

金沢大学 環日本海域環境研究センター

Institute of Nature and Environmental Technology

Kanazawa University
Japan

K-INET
平成20年度

年報



2008

<http://k-inet.ee.t.kanazawa-u.ac.jp/>

目 次

卷頭言	1
センターの活動	2
組織と運営	5
研究・運営活動（2008年度の研究概要）	7
研究成果リスト	20
研究費	53
研究指導	56
その他	60
研究報告	63

活 動 報 告

卷頭言

能登から日本海、東アジア大陸へ：環日本海域環境研究センター2年目の航跡

環日本海域環境研究センター長 中村浩二

私は、本年度より2年間の任期でセンター長となりました。生物多様性研究部門の陸上生態系を担当しており、最近は里山・里海生態系の動態・保全・活用を中心に研究しています。微力ですが、よろしくお願ひします。本センターは、2002年4月に当時の理学部（低レベル研究施設、臨海研究所、植物園）と工学部（電磁場制御実験施設）、および、両学部の環境研究者が参加して「自然計測応用研究センター」として発足しました。ミッションは、環日本海域を中心とした、自然、および人為活動に起因する「環境問題」の解明と解決です。環境変動の基礎研究（理学的手法）、環境保全技術の開発・産業創出（工学的手法）を目指すとともに、その成果を環日本海域（石川県から日本海、朝鮮半島、東アジア等）へ還元し、社会的・国際的貢献をめざしています。2002年から2006年まで実施された、金沢大学21世紀COE「環日本海域の環境計測と長期・短期変動予測」では、本センターは、中心的な役割を担い、COE終了後は、それを受け継ぎ、さらに発展させる受け皿として活動してきました。そのことを明確にするため、2008年からは、「日本海域環境研究センター」と改称するとともに、「自然計測領域」（前センター）にくわえて、「環境情報領域」（情報の収集、管理、活用）と「地域研究領域」（人文社会学的アプローチ。長年の歴史を有する「日本海域研究所」を受け継ぐ）を発足させました。昨年度、海外の研究拠点（海外分室）が中国（中国科学院大気物理研究所内）、韓国（韓国地質資源研究院内）を設置し、ロシア（ウラジオストックのロシア科学院極東支部）にも設置準備中です。同時に金沢大学内にも韓国地質資源研究院分室を設置しました。それとともに、新しい動きとして、筆者も関与している能登半島での研究活動について、紹介させていただきます。能登半島最先端部にある珠洲市において、廃校であった小学校を再生した拠点を形成し（能登学舎）、地元自治体等の支援を得て、里山里海生態系の動態を物質循環と生物多様性の両面から研究するプロジェクトや、おなじく同校を拠点とする「大気観測スーパーサイト」（大陸から飛来する黄砂を中心とした大気観測。三井物産環境基金による）が活動を開始しました。これらは能登学舎を拠点とする「能登半島・里山里海自然学校」（三井物産環境基金）、「能登里山マイスター養成プログラム」（科学振興調整費）ともリンクしながら、地域と密接に連携した活動を繰り広げつつあります。日本海域は、世界中でもっとも鋭敏に地球環境変動を反映して、大きく変動しつつある地域であるといわれます。たとえば、日本海の水温は、最近25年間で 1.04°C も上昇（世界第4位）しており、すでに様々な「異変」（エチゼンクラゲの大発生、魚種の転換等）が起きつつあります。また陸域でも温暖化の影響は、々々に現れています。能登半島から朝鮮半島、アジア大陸東北部までの活発なフィールド・ワークと、センターが誇る環境分析力、技術力を統合、駆使して、いまこそ、当センターの求心力をたかめ、展開力を發揮する好機の出現であると感じています。

1 センターの活動

1 年間の活動概況

国際ワークショップ・シンポジウム

- (1) The 7th International Symposium on Environmental Changes in East Eurasia and Adjacent Areas, Ulaanbaatar-Hatgal, Mongolia, 2008.8.23-29.全 34 名
- (2) The 5th Japan-Korea China International Workshop, Hakodate, Japan, 2008.10.7-11.全 54 名
- (3) International Workshop for the Iron-Bentonite Interaction, Kanazawa, Japan, 2008.11.18-19. 全 43 名
- (4) 国際シンポジウム「アンコール遺跡区域における自然環境の現状と影響評価 (International Symposium on the Present Situation of Environments in the Angkor Monument Park and Its Environs, Cambodia)」(平成 21 年 3 月 17 日, カンボジア王国シェムリアップ市 UNESCO/JASA ホール, 76 名)
- (5) 第 2 回環日本海域の環境シンポジウム「地球環境地域学の創成を目指して」(金沢大学, 平成 20 年 11 月 25~26 日, 80 名超)
- (6) Asia-Pacific Symposium on Applied Electromagnetics and Mechanics (24-25, July 2008)

研究会等の開催

- (1) ユーラシア東部・環日本海域環境セミナー「東アジアにおける資源・環境政策と地球環境」(平成 21 年 2 月 10 日、金沢大学自然科学研究科大講義室棟)
- (2) 第 30 回日本地熱学会学術講演会 (平成 20 年 10 月 30 日~11 月 1 日, 金沢大学自然科学研究棟, 162 名)
- (3) 国際研究セミナー「アンコール遺跡区域における自然環境の現状と影響評価 (International Research Seminar on the Present Situation of Environments in the Angkor Monument Park and Its Environs, Cambodia)」(平成 21 年 3 月 18 日, カンボジア王国プノンペン市カンボジア工科大学, 80 名)
- (4) 第 11 回バイオサイエンスシンポジウム (平成 21 年 2 月 18 日、金沢大学自然科学研究棟)

社会教育を目的とした実習・講義

- (1) 特別実習「偏光顕微鏡の使い方」(平成 20 年 6 月 9 日, カンボジア王国プノンペン市カンボジア王国国立教育学研究所)
- (2) 金沢市教育委員会平成 20 年度中学校理科学教育専門家招聘事業「サマースクール理科：化石発掘体験」(平成 20 年 7 月 22 日, 金沢市立犀生中学校)
- (3) 秋の遠足「化石の採集と地層の観察」(平成 20 年 9 月 25 日, 金沢市立大徳中学校)
- (4) 石川県教育センター「ふるさと教育講座 B」(2008 年 10 月 2 日, 石川県教育センター)
- (5) 石川県教育センター「フォローアップ研修理科」(2008 年 10 月 7 日, 石川県教育センター)
- (6) 日本機械学会北陸信越支部特別講演会「地熱発電の歴史, 現状そして課題」(平成 21 年 1 月 15 日, 富山大学)
- (7) 金沢市教育委員会平成 20 年度中学校理科学教育専門家招聘事業「地層と化石」(平成 21 年 3 月 3 日, 金沢市立小将町中学校)

シンポジウム開催報告

(1) International Workshop for the Iron-Bentonite Interaction

鉄によるベントナイトの変質挙動は放射性廃棄物の処分場概念の成立性を示す上で重要な課題の一つであり、世界的に大きな関心を集めている。2008年11月18-19日に金沢大学において環日本海域環境研究センター、北海道大学環境地質学研究室、北海道大学原子力環境材料研究室が主催して「鉄-ベントナイト相互作用に関する国際ワークショップ」を開催した。海外から4名、国内から4名の研究者が鉄-ベントナイト相互作用に関する最近の研究トピックを紹介した。43名の参加があり、活発な質疑応答が行われた。以下は講演プログラムである。

- (1) Satoru Suzuki (Nuclear Waste Management Organization (NUMO), Japan)
"The long-term behavior of bentonite as a promising candidate of the buffer material"
- (2) Tamotsu Kozaki (Hokkaido University, Japan)
"Effect of exchangeable cations on performance of bentonite buffer"
- (3) Luc R. Van Loon (Paul Scherrer Institut, Switzerland)
"Effect of Exchangeable Cations and Pore Water chemistry on the Diffusion of Radionuclides in Compacted Bentonite"
- (4) Andreas Bauer (Forschungszentrum Karlsruhe GmbH, Germany)
"Is Plutonium diffusion in Opalinus claystone possible?"
- (5) Eric Gaucher (BRGM, France)
"Modelling dual alteration of a bentonite plug by iron corrosion and concrete interaction"
- (6) Hiroshi Sasamoto (Japan Atomic Energy Agency (JAEA), Japan)
"Experimental investigation of iron-bentonite interaction under high temperature conditions"
- (7) James Wilson (Quintessa Ltd. UK)
"Iron-bentonite stability: insights from experiments and modelling"
- (8) Keisuke Fukushi (Kanazawa University, Japan)
"Iron-bentonite interactions found in nature"

(自然計測研究部門 福士圭介)

(2) 環日本海域の環境シンポジウム：地球環境地域学の創成を目指して

環日本海地域におけるさまざまな環境問題を、大気環境問題を中心としつつ、より幅広い問題について議論するため、平成20年11月25-26日、金沢大学において、環日本海域環境研究センター、フロンティアサイエンス機構、環日本海域環境シンポジウム実行委員会が主催、三井物産環境基金、金沢大学里山プロジェクトが後援して環日本海域の環境シンポジウムが開催された。シンポジウムには、国内各地の研究者に加え、中国、韓国からの研究者の参加も得て、80名超が参加し、以下の3つのセッション及びバイオエアロゾル研究会と能登スーパーサイト国際助言委員会・企画助言委員会合同委員会が開催された。

セッション1：環日本海域の環境研究を進めるためのネットワーク：ネットワークというスタイル、ネットワークと言う道具

セッション2：海と森・林と人とのかかわり

セッション3：能登半島の位置

(エコテクノロジー研究部門 岩坂泰信／松木 篤/洪天祥)

(3) 国際シンポジウム/国際研究セミナー「アンコール遺跡区域における自然環境の現状と影響評価」

カンボジア社会の発展、とくに観光産業の爆発的な発展とともに顕在化してきたアンコール遺跡区域の環境汚染/環境破壊問題について、大気環境、水/生態環境、森林環境および地盤/河川環境の各分野で推進してきた調査成果を、平成 21 年 3 月 17 日にシェムリアップ市の UNESCO/JASA ホールで国際シンポジウムとして、また、翌 18 日に首都プノンペンで国際研究セミナーとして開催した。主催は海外学術調査隊「カンボジアのアンコール遺跡区域における環境破壊/汚染の現状と影響評価（通称：ERDAC）」、共催はアンコール遺跡整備公団（APSARA 公団）、後援は在カンボジア日本大使館、UNESCO、東アジア・東南アジア地球科学計画調整委員会（CCOP）、およびカンボジア工科大学である。また、両者は外務省の日メコン交流年 2009 事業として認定されている。シェムリアップ市の国際シンポジウムには、遺跡の修復作業や環境整備事業にたずさわる同国 APSARA 公団関係者、世界遺跡整備基金、（独）国際協力機構などの 76 名が参加し活発な質疑が展開された。一方、プノンペンの国際研究セミナーには、在カンボジア日本大使館、カンボジア王国閣僚評議会、カンボジア工科大学の教員/学生など 80 名が出席した。この両事業の成果は平成 21 年 6 月に開催されるアンコール遺跡国際管理運営委員会で報告予定であり、これをふまえてアンコール遺跡区域の環境改善事業についての議論が進められることとなった。なお、国際シンポジウムのセッションは以下のとおりである。

セッション 1：アンコール遺跡区域の環境汚染/破壊の現状

セッション 2：大気環境分野から：シェムリアップとプノンペン

セッション 3：水環境分野から：水質、一次生産、生態系

セッション 4：地盤/河川環境分野から：遺跡区域の地盤環境と河川変動予測

セッション 5：森林環境分野から：プラ・カーン遺跡でのモデルケース

セッション 6：総合討論

(エコテクノロジー研究部門 塚脇真二)

(4) Asia-Pacific Symposium on Applied Electromagnetics and Mechanics

環日本海域環境研究センターの共催により 2008 年 7 月 24-25 日にタイ・バンコクにて Asia-Pacific symposium on Applied Electromagnetics and Mechanics が開催された。電気・磁気材料、電磁気を利用した応用機器、センサ、逆問題など多岐にわたる分野での研究発表が行われ（口頭発表 67 件、ポスター発表 46 件）、活発な討論が行われた。

(5) 第 11 回バイオサイエンスシンポジウム

平成 20 年度は 2 月 18 日に第 11 回バイオサイエンスシンポジウムを開催した。このシンポジウムは、バイオサイエンス関連の研究の交流と企業への情報提供を目指し、環日本海域環境研究センターの共催により開催しているものである。第 11 回は「—マグнетイクスと医療—」をテーマに合計 3 件の招待講演、一般講演があり、参加者らの間では活発な質疑応答が行われた。以下は講演プログラムである。

2009 年 2 月 18 日 金沢大学自然科学研究科

特別講演：マグネットイクスが拓く医療の世界（松木英敏 東北大学大学院医工学研究科教授・

環日本海域環境研究センター客員教授)

- 講 演：① 酸化チタン粒子の医療・環境分野への応用（清水宣明）
② 抗がん剤と磁場の併用曝露に関する基礎的研究（柿川真紀子）

2 組織と運営

自然計測領域

地球環境計測研究部門

地球環境システムの構造や変化を明らかにするために、陸域堆積物（風成堆積物・湖沼堆積物）などを対象とした物理・化学測定および解析を行う。特に極低レベルの放射能測定及び同位体比の測定を含む最新の高感度・高精度分析測定技術に基づく測定・解析を進める。その成果を予知・予測に生かすとともに、地球環境科学、地球化学の新研究領域の開拓を目指す。

エコテクノロジー研究部門

限りある資源とエネルギーの有効利用のため、都市ゴミ、産業廃棄物等の再資源化とその処理技術、フィルタ技術の開発及び自然界のエコエネルギー源の計測並びにその要素技術の研究開発を行い、環境に優しい産業活動の創出に貢献する。

生物多様性研究部門

日本海及び北陸地域に生息する“生物の多様性”と“環境の多様性”的相互関係、環境の自然及び人為的変動が生物の多様性に及ぼす影響をミクロな遺伝子からマクロな生態学までの種々の手法を用いて解明する。

生体機能計測部門

ヒトを取り巻く電磁界、有害化学物質、騒音等のストレスの計測技術の開発を行い、環境保全、産業活動の安全管理、環境産業の創出並びに人類の健康な生活の維持に貢献する。

環境情報領域

自然環境情報研究部門

ユーラシア東部・環日本海域自然環境情報の統合とデータベースの構築、陸域大気水圏（雪氷圏を含む）情報、リモートセンシング情報の集約と分析を進める。

人間環境情報研究部門

ユーラシア東部・環日本海域の地理環境、人間環境に関する各種の情報の集約と分析、提言、データベースの構築を行う。

地域研究領域

人文・社会研究部門・環境・防災研究部門

ユーラシア東部、中国、ロシア・シベリア地方に関する当該地域の歴史、社会情勢、環境問題などを幅広い視点から現地の調査機関と連携しながら、従来の学問分野にとらわれることなく総合的な調査、研究を行う。

センター教員会議構成員

センター長 中村浩二

教授：柏谷健二、山本政儀、長尾誠也、木村繁男、岩坂泰信、笹山雄一、清水宣明、山田外史、弁納才一、梶川伸一

准教授：長谷部徳子、塙脇真二、木下栄一郎、田中茂雄、青木賢人

センターの構成

地球環境計測研究部門

教授 柏谷健二、山本政儀、長尾誠也

客員教授 中村俊夫

准教授 長谷部徳子

助 教 濱島靖典、井上睦夫、福士圭介

研究員・協力員 青田容明、落合伸也、ナセル・アシュラフィ

技術員・補佐員 西川方敏、中本美智代、福山泰治郎、大林麗子

エコテクノロジー研究部門

教授 木村繁男

客員教授 大屋裕二（九州大学応用力学研究所教授）

特任教授 岩坂泰信（フロンティアサイエンス機構）

准教授 塙脇真二

助 教 仁宮一章

特任助教 松木 篤（フロンティアサイエンス機構）

技術員・補佐員 洪 天祥

生物多様性研究部門

教授 中村浩二、笹山雄一、

准教授 木下栄一郎

助教 鈴木信雄

連携研究員 赤石大輔、笠木哲也、岩西 哲、井下田 寛、木村一也、小路晋作、宇都宮大輔

技術員・補佐員 又多政博、曾良美智子、涌村 聰

生体機能計測研究部門

教授 清水宣明、山田外史

客員教授 松木英敏（東北大学）

准教授 田中茂雄

助 教 柿川真紀子

研究員・協力員 アダム・クルニキ

技術員・補佐員 松本有加、山田彩子

環境情報領域

自然環境情報研究部門

客員教授 功刀 正行、梁 東潤、林 俊全

人間環境情報研究部門

教授 鈴木克徳

准教授：青木賢人

人文・社会研究部門・環境・防災研究部門

教授：弁納才一、梶川伸一

事務担当

総務課第二係 北村久美子（係長）、藏上由季

3 研究・運営活動 (2008 年度の研究概要)

地球環境計測研究部門

【地球環境システム分野】

地球環境システムの構造や変化を明らかにするために、地表プロセスの解明、陸域生成鉱物・堆積物などを対象とした物理・化学測定および解析を行っている。本年度は主に以下の研究課題に取り組んだ。

- (1) 堆積物情報および流域情報から見る土砂移動プロセスの解明
- (2) バイカル湖地域における過去 10 万年の短周期水文環境変動の解明
- (3) 湖沼堆積物分析への熱ルミネセンスカラー画像解析有効性の検証
- (4) 白山噴出物中のジルコンを用いた U-Th 放射非平衡年代測定
- (5) 年代学的手法による付加体の広域的挙動の解明

1) 堆積物情報および流域情報から見る土砂移動プロセスの解明

集水域が小さい複数の池沼での池沼堆積物を用いて、流域環境が土砂移動プロセスに与える影響を検討した。対象とした池沼は兵庫県瀬池、石川県滝谷池と富山県泥鱈池である。各調査地からセディメントトラップを用いて堆積物を採取し、堆積量、鉱物粒径、鉱物含有量、有機物含有量および生物起源シリカ量の測定を行った。得られた測定値と降水量との比較から、土砂移動プロセスに及ぼす流域からの影響と堆積場の影響を検討した。その結果、流域における水文環境の変化が年間通して小さい地域は、降水の影響が堆積物に反映されやすいこと、流域の勾配が大きく土砂が池沼まで運搬されやすい地域は、短時間の強雨の影響が堆積物に反映されることが明らかとなった。また土砂移動プロセスを正確に解明するには流域環境のみならず池沼内における堆積場の影響を考慮する必要があり、「降水」「堆積量」「粒径」という 3 要素の対応関係を少しでも明瞭にするには、できるだけ単純な構造である池沼を選択し、セディメントトラップ設置地点の特徴を考慮して観測を行うほうがよいことが示

唆された。

2) バイカル湖地域における過去 10 万年の短周期水文環境変動の解明

バイカル湖湖沼堆積物の分析から、バイカル湖地域における過去 10 万年の環境変動の特徴を検討した。また氷床コアに見られる最終氷期における特徴的な短周期環境変動との比較から、全球スケールにおける環境変動の挙動を議論した。解析には 1999 年に採取された掘削コア BDP99 を用いた。分析試料は最終氷期から現在までを対象とし、粒度分析、生物起源シリカ量および有機物含有量を測定した。さらに鉱物粒子の粒径も測定した。その結果、BDP99 はバイカル湖地域の変動の特徴を捉えていること、セレンガデルタの影響により堆積速度が速く解像度がよいこと、そして流域の水文環境変動へのレスポンスがよいことが明らかとなり、氷床コアとの比較に適していることがわかった。また最終氷期における数百～数千年スケールの短周期変動である Dansgaard-Oeschger Cycle に伴う気候変動とバイカル湖の水文気候変動の対応は明瞭ではないが、5 千～1 万年スケールの Bond Cycle にはよく対応することが明らかとなった。さらに BDP99 に見られる約 40～45kyrB.P.での粒径の細粒化、それと同時に起こる珪藻の生産性の上昇は他地域ではあまり認められないバイカル湖地域の乾燥化を示す可能性が示唆された。

3) 湖沼堆積物分析への熱ルミネセンスカラー画像解析有効性の検証

熱ルミネセンス(TL)または熱蛍光は、主に透過性のある白色鉱物において発生することが知られている。鉱物の蓄積したエネルギーとしての TL の発光色（波長）には、対象試料の特性を反映して複数の色が確認されている。石英の場合その色は大きく青色と赤色に大別でき、色の違いの原因は生成環境に関係付けられると考えられている。この色差を利用する TL カラー画像解析(TLCI-CIA)法は新たな鉱物の起源研究ツールとして役立つことが期待されている。本研究では TLCI-CIA 法をポリミネラルである湖沼堆積物まで拡張し、堆積環境の異なる 3 つの湖のボーリングコア試料における有効性を検証した。検討にはバイカル湖（ロシア）、フブスグル湖（モンゴル）および碧骨堤（韓国）から採取したボーリングコアを試料として用いた。それぞれの試料に薬品処理を行うことで含有鉱物を段階的に除去し、各処理後の試料と未処理試料に γ 線を照射した。350°C のヒータに適量の試料を載せた銀皿に載せ、30 秒間を 2 回デジタルカメラのシャッタを開放し発光を撮影し、得られたデジタル画像について TLCI-CIA を行った。得られた TLCI-CIA 結果は各湖沼・各段階で大きな違いがあった。ボーリングコアから採取した試料深度は異なるものの、近接したバイカル湖とフブスグル湖でも違いが見られローカルな違いを反映していた。もちろん東に大きく離れた碧骨堤はバイカル・フブスグル湖と大きな違いがあった。TLCI-CIA 法を用いて、TL カラーが試料の特性や採取地の地域性・気候に依存している可能性を考慮すると、ポリミネラルである湖沼堆積物の特徴を、それらの TLCI から読み取り、ボーリングコア試料の分析結果と対比させることで、堆積当時の古環境の推定が可能であると考えられる。TLCI-CIA 法は高感度光子計測手法を使ったときと同様に、信頼性があり有効で、かつ単純で経済的な手法であることがわかった。

4) 白山噴出物中のジルコンを用いた U-Th 放射非平衡年代測定

本研究では第四紀の火山である白山火山を研究対象とし、溶岩やテフラのもととなるマグマの起源を年代学的に明らかにすることを目的とした。今回は、古白山火山、新白山火山 I 期、新白山火山 II 期からの噴出物を採取し、試料中のジルコンとガラス質石器から粒子中各同位体元素を測定した。その結果ジルコンの晶出年代の分布は、その火山の噴出時期と同じかまたは少し古い年代を示すことが認められた。古白山火山（100-140ka）、新白山火山 II 期(-10ka)の年代分布はモノモーダルな曲線を描き、晶出が多く起きた年代として、それぞれ 130ka と 80ka を示した。これら二つの噴出期の間に当たる

新白山火山Ⅰ期(30-40ka)の分布は、バイモーダルな曲線を描き、そのピークは上記の2つの年代とおよそ一致した。このことから古白山火山と新白山火山では噴出中心は異なっているが、同じマグマ溜りを経由したことが明らかになった。放射平衡に達した古い粒子、100-150kaの古白山火山噴出期に晶出した粒子、80ka前後の粒子、 ^{230}Th が検出限界未満の粒子の個数を比較すると、古い時代ほど粒子数が多く結晶晶出が盛んであるため火山の活動活発であったと考えられる。これは古白山と新白山を比較すると、古白山の火山体体積が新白山火山のそれよりも有意に大きいことと整合的である。晶出粒子の多さと火山噴火の規模は比例していると考えられ、このことはだんだんと白山の活動は弱まりつつあることを示しているかもしれない。

5) 年代学的手法による付加体の広域的挙動の解明

日本はユーラシア大陸の東縁、2つのプレートが沈み込むプレート収束帯に位置する。沈み込みに伴う付加体の形成プロセスの解明は、地球規模での物質循環や大陸地殻の成長の理解のために重要な課題となっている。本研究ではフィッショントラック(FT)法やU-Pb法などの年代学的手法を用いて西南日本に広く分布する四万十帯について熱履歴を構築し、過去の付加体における広域形成プロセスを考察した。ジルコンのFT(ZFT)年代は1試料を除き堆積年代より古く、100Ma以上の年代値が得られた。ジルコンのFT長を粒子のZFT年代ごとに分類して測定したところ、堆積年代より古い粒子のみで短縮が見られ、堆積後にZFTに影響を与える加熱がなかったことが示された。紀伊半島中西部では既報アパタイトFT(AFT)年代より若い約15Maが得られたが、これは近傍の大峰花崗岩類のZFT年代と等しく、花崗岩の貫入による被熱年代を示していると推測される。AFT年代は九州で既報年代とほぼ同じ約10Maであり、堆積後の加熱の影響がみられるが、紀伊南端部では他とは異なる非常に古い年代を示した。紀伊南端部試料におけるAFT年代の原因はウラン濃度の低さにあり、ウラン濃度が低いとされる三波川帯起源のアパタイト粒子である可能性が考えられる。ジルコンのU-Pb年代は約2000-1700Maの原生代と約300-80Maの石炭紀～白亜紀に分類され、大半の粒子がコンコーディア上に示された。これらのU-Pb年代は西南日本や朝鮮半島南西部に分布する他の地質体に見られるU-Pb年代の特徴に一致し、四万十帯を形成した物質は、より古くにユーラシア大陸東縁に存在した地質体に由来すると推測される。時間-温度熱履歴モデリングでは、全試料でいったん温度上昇を経験した後、約7-2Ma、80-100°C付近からの急激な冷却パスを示した。四万十帯におけるこれら冷却パスは上昇削剥による温度低下を表していると考えられ、四万十帯における上昇削剥が、後期中新世～後期鮮新世にはほぼ同時的に広域的に起こったこと、またFT年代のみから推定された年代より若い時代に上昇イベントが起こったことを示唆している。この上昇イベントの年代は、地磁気データ等から報告されている約6Maのフィリピン海プレートの沈み込みの再開と、約2Maの沈み込み方向の西偏に一致しており、プレート活動の活発化が海溝部への物質供給を増大させ、付加体の成長が促された結果、急激な上昇削剥が四万十帯全域に起こったと考えられる。

6) その他の研究

このほかに、「鉄-ベントナイト相互作用のナチュラルアナログ研究」「モノハイドロカルサイトによるヒ酸の吸着」「フェリハイドライト-水界面における硫酸の表面科学種分布」に関する研究も行った。

【低レベル放射能実験施設分野】

本研究施設では、低バックグラウンドガンマ線測定法などの適用により、放射性核種を精密に測定し、物質の時間的・空間的分布や移行挙動の地球科学的解析を行うほか、放射性同位体をトレーサーとする研究領域の開拓を目指すことを目的としている。本年度は放射性核種をトレーサーとする地球

化学研究に焦点を当て、以下の研究を実施した。

1) バックグラウンド低減化システムの開発と応用

Ge 半導体検出器の周り $2\pi \text{ sr}$ に薄いプラスチックシンチレータ (PS) と波長変換光ファイバーを設置して、バックグラウンド (BKG) となる宇宙線成分を検出し、逆同時計数により BKG 成分を除去するシステムを開発した。若狭湾エネルギー研究センターの地上設置 Ge 検出器に応用し、100keV から 2000keV の BKG 成分の約 46% を除去できる事が確認された。一方、本システムによる宇宙線成分除去の有無による Pb-210(46keV)、Pb-212(238keV)、K-40(1462keV) のピーク面積変化は誤差範囲内で無視することができ、有効性が示された。

2) 尾小屋地下測定室の整備

5 年計画「極低レベル放射能測定による新研究領域開発と全国共同利用微弱放射能測定拠点の形成」の 4 年度目に当り、文科省特別教育研究経費 680 万円と学長特別研究経費 980 万円の交付をもとに尾小屋地下測定室の整備を行った。さらにトンネル内の路盤整備等を行った。

3) 大陸からの汚染物質の長距離輸送

我が国は、極東アジアの中緯度に位置するため、ジェット気流に伴う偏西風が卓越し、風上側のアジア大陸から日本海を経由して多量の自然・人為起源物質が日本列島さらに太平洋に輸送される。これらの輸送の実態把握と将来予測は気候変動の面からのみならず、黄砂を初めとする鉱物エアロゾルについては海洋への一次生産への影響評価の面からも重要視されている。当実験施設のある石川県辰口町で一月毎に採取している 10 数年継続の降下物試料を用いて放射性核種、①成層圏起源の ^7Be 、②主に大陸起源の ^{210}Pb 、③土壤起源の ^{40}K および ^{137}Cs 降下量の長期観測を実施している。これらの放射性核種は、大気エアロゾル、鉱物粒子(黄砂も含めて)の大蔵から日本への輸送過程を解明する有用なトレーサーでありデータの蓄積を図っている。本年度は、アジア大陸由来の空気塊が日本海でどのように変質しているかを検討するために、アンダーセンエアサンプラーを用いて、エアロゾルを粒径別に採取した。

4) 湖底堆積物から環境変動解析

自然-人間系の相互作用の結果としての環境変動変遷史の記録計として、地域の集水域を含む湖沼系を取り上げ、その湖底堆積物コアから過去数百年の自然変動と人間活動による環境変動を解読する時計を提示しその有効性を検証することを目的としている。湖底堆積物は、過去における流域の変動や湖内で生息した生物などの気候変動に絡む物理、化学、生物的変化をそれぞれの化石として記録している。化学成分は堆積後、続成作用の影響を受けるものがあり、堆積当時を保存しているとは限らない。しかし基礎的な研究・検討を通じての適当な手法を用いれば、化学成分からも堆積環境変動解析が可能である。具体的には、従来の堆積物の物理・化学的測定に加えて、新規に堆積物中の天然放射性元素ウラン(トリウム) 同位体を指標にする。特に堆積物中のウランは、河川から流入する岩石・土壤に由来する成分と、湖内で溶存する成分が沈降堆積したものを含み、両者の含有割合が気候変動などによって大きく変動することが期待できる。数年前から陸域環境で気候変動に最も鋭敏なユーラシア東部を中心に、バイカル湖およびフズスグル湖で採取した堆積物コアを用いてウラン(トリウム) 同位体組成変動からの環境変動解析を検討している。また併せて堆積年代への応用も試みる。

5) 日本海固有水の多核種同時測定

ラジウム同位体、 ^{137}Cs は溶存成分として海水の動きを探るトレーサーとして、 ^7Be 、 ^{210}Pb および ^{228}Th は粒子に強く反応する核種としてこれら核種の海水からの除去過程、さらには粒子の挙動のトレーサーとしてこれら海水に存在する放射性核種は、古くから海洋化学に重要な役割を果してきた。これ

ら半減期および地球化学的挙動の異なる複数の核種を組み合わせることにより海水の物質循環に関する総括的な議論が可能になる。

今年度は、平成 20 年 7-8 月の蒼鷹丸調査航海において、大和堆、対馬海盆の日本海混合層水および固有水を鉛直方向に採取、簡便な共沈法および低バックグラウンドガンマ線測定法により、海水試料における⁷Be、¹³⁷Cs、²²⁶Ra、²²⁸Ra および²²⁸Th の同時測定をおこなった。その結果より、日本海における水塊、粒子など物質循環に関する知見を引き出す。

6) 海洋環境における放射性核種の長期挙動に関する研究

海水中に存在する極微量の人工放射性核種¹³⁷Cs (30.5 年) の海水循環の研究（気象研からの受託研究として共同で推進）で 150 試料を測定した。南半球深海 3500-4500m の南極終極深層水中に¹³⁷Cs 濃度の高い地点が観測された。

7) 旧ソ連核実験場セミパラチンスク周辺の放射能汚染と住民への被曝線量評価

21 世紀の環境科学に課せられた最大の課題は、世界中に創りあげてきた環境問題、すなわち負の遺産の複雑現象を科学的に学び、将来に向けた新たな解決策を提示することである。こうした中、核被災や 10 年前から始まる劣化ウラン被災の住民、環境は最たるものである。旧ソ連の核実験場セミパラチンスクでは、450 回以上の核実験が行われ、それによって数十万とも言われる周辺の住民が外部および内部からの長期の低線量率被曝を受けてきた。1994 年以来、住民への放射線影響の基礎となる被曝線量評価、特に放射能汚染状況の把握と外部被曝および内部被曝線量評価を重点的に行ってい。

8) グローバルフォールアウト²³⁶U の評価と広島原爆への応用

現在までに、広島原爆直後の中性子やγ線による人体への直接の被曝線量評価などは日米共同で信頼できるまでに至っている (DS02)。しかし、“黒い雨”など爆発後の核分裂生成核種のローカルフォールアウト分布は、世界的な大気圏核実験由来のグローバルフォールアウトの影響により、60 年近く解明できない状況にある。我々は、広島原爆が原爆材料として²³⁵U を使用していることに着目し、²³⁵U(n, γ)²³⁶U 反応により生成したと考えられる²³⁶U から広島原爆由来のローカルフォールアウト分布を解明できないかと考えた。環境中に存在する²³⁶U は非常に低濃度であるため、ウィーン大学加速器研究機関 (VERA) の加速器質量分析計 (TOF-AMS) で測定した (共同研究)。本年度は、土壌試料からの²³⁶U 抽出条件の検討し、人為的なローカルフォールアウトの影響がほとんどないと考えられる石川県能美市辰口の土壌を用いてグローバルフォールアウト由来の²³⁶U を評価した。

9) 大深度掘削井から得られる高塩濃度 Na-Cl 型温鉱泉温鉱泉の Ra 同位体の地球化学的研究

油田塩水など、海水よりも高塩濃度の塩水が Ra 同位体を高濃度(例えば、²²⁶Ra 濃度で数 10~ 数 100 Bq/kg)に含むことが世界各地で見出されている。日本では、近年の掘削技術の進歩により平野部や海岸地域において温泉井の開発が進み、様々な種類の水 (例えば、海水、化石水、沈み込むプレートからの脱水流体など) を起源とする高塩濃度 Na-Cl 型温鉱泉水が得られるようになった。我々は、これら高塩濃度 Na-Cl 型温鉱泉が²²⁶Ra を高濃度に含むのではないかと考え、Na-Cl 型温鉱泉水中の Ra 同位体の地球化学的研究を始めた。その第一段階として、放射性廃棄物地層処分に絡む地下深部における放射性核種の長期移行・挙動解明の観点も鑑み、地層中に長期間閉じ込められている化石水に焦点を絞り、化石水を起源とする高塩濃度 Na-Cl 型温鉱泉が得やすい日本海沿岸地域を研究フィールドとした。本年度は、石川県沿岸地域の大深度掘削井から得られた Ra 同位体について報告する。また、東北地方 (青森県・秋田県・山形県) において温鉱泉水の、新潟県で岩石の採取を行った。

10) ³H, ⁷Be, ²²Na, ¹³⁷Cs および Ra 同位体からみた手取川流域水圈における水循環

降水および陸水には、宇宙線生成核種 (³H, 12.3 年; ⁷Be, 53.3 日; ²²Na, 2.60 年)、天然放射性核種 (²²⁶Ra,

1600 年; ^{228}Ra , 5.75 年)、人工放射性核種 (^{137}Cs , 30.2 年) など様々な供給源、半減期をもつ放射性核種が含まれている。陸水におけるこれら核種濃度はその生成、供給、希釈、循環過程の壊変など水循環にともない、徐々に変化していくことから、水の履歴を探る重要な指標核種となりえる。本研究では、石川県西部に位置する手取川流域をフィールドとし、降水、地下水、河川水さらには沿岸海水試料に低バックグラウンド γ 線測定法を適用、これら核種の分布から手取川流域における水循環のメカニズムを探った。

11) アクチノイドと腐植物質との錯体研究

放射性廃棄物の地中埋設処分において、放射性核種の移行に影響を及ぼす溶存有機物の検討が重要課題として残され、地下水有機物の大部分を占め、アクチノイドとの錯形成能が高い腐植物質を対象にした研究が行われている。腐植物質は、フミン酸とフルボ酸で構成され、生成される環境により構造・官能基特性等が異なる。そのため、アクチノイドの移行挙動への影響を定量化するには、1つのパラメータで系統的に評価する必要がある。我々は、腐植物質の分子サイズに着目し、分子サイズをパラメータとして錯形成、吸着移行性に関する検討を進めている。今年度は、土壌から分離精製したフミン酸と Am との錯形成の特徴を検討するため、限外濾過法により 5 つの分子サイズ (450 nm-100kDa、100kDa-30kDa、30kDa-10kDa、10kDa-5kDa、<5kDa) に分画し、各分子サイズ画分のフミン酸と錯生成した Am の存在割合を比較した。その結果、両者には正の相関関係が存在した。このことは、土壌フミン酸の分子サイズの存在割合と錯形成に活性な官能基含有量とに関連性が存在することが示唆された。

12) C-14 をトレーサーとした有機物の環境動態研究

地球温暖化に關係した有機物の動態研究では、炭素の貯蔵媒体の陸域や海洋における溶存有機炭素の特徴や起源推定、時間軸を考慮することが重要である。また、微量金属や有害有機物の輸送媒体として有機物の重要性が報告され、生態系との関連性の観点から、腐植物質の移行挙動に関心が集まっている。

我々は、炭素安定同位体比 ($\delta^{13}\text{C}$) と放射性炭素 ($\Delta^{14}\text{C}$) を組み合わせて、有機物の分解・滞留時間を考慮した有機物の移行動態の検討を進めている。このアプローチでの河川や大気での報告例はそれほど多くはないが、トレーサーとしての有効性が示唆されている。今年度は北海道の石狩川において 2004-2006 年の 3 年間に岩見沢大橋で 1-2 か月に 1 回河川水を採取し、懸濁態有機物の炭素同位体比を測定した。その結果、雪解け時期と降雨時に比較的古い有機物が河川を移行していることが明らかとなった。

13) 甲殻類の年齢の推定

若狭湾エネルギー研究センターとの共同研究で、甲殻類の脱皮後の年齢推定に Ra228-Th228 法が応用出来るかを検討した。本年度は 11 検体で測定を継続し、Ra228 から Th228 の成長が成長曲線とどの程度一致するか検討した。

エコテクノロジー研究部門

【環境保全システム分野】

本分野では、大気エアロゾルの機能、特に地球環境から見た機能の解明、あるいは大気環境計測技術の開発とその応用などを行っている。とりわけ近年注目されることが多くなった黄砂を対象として多面的な研究を行っている。本年度は、以下の研究課題に取り組んだ。各研究課題の詳細は以下の様で

ある。

1) 黄砂の発生源地域の地形的・局地気象的特長と黄砂の長距離輸送との関係

黄砂の発生メカニズムには、さまざまなプロセスが関与している。タクラマカン砂漠の砂塵は、おおきな低気圧活動に伴って大気中に舞いあげられるものに加えて、局地的な山谷風によっても自由大気圏に巻き上げられているために、バックグラウンド黄砂の主要な生成源と考えられる。ここでは、比較的地表面近くからおよそ5キロメートル辺りまで気塊は日常的にかき混ぜられているため、比較的地表面付近に浮かんでいる物質もたやすく自由大気圏高度に運ばれる。このことを利用して係留気球を使った黄砂と微生物の混合状態に関する観測研究が始まった。韓国の釜慶大学校と黄砂の長距離輸送の解明に向けた共同研究体制の準備は本年度も継続して行われた。蘭州大学にライダー観測装置を移設して、蘭州大学、国立環境研究所などとともに黄砂の長距離輸送を監視・研究する体制を作った。

2) 黄砂の輸送途中に生じる黄砂粒子表面の物理化学的变化に与える水蒸気の影響

大陸起源の乾燥した気塊が日本海洋上で海からの水蒸気によって大気質を変えることは、以前から気象学あるいは大気物理学の立場から注目され降水過程や雲過程に関する研究は行われてきた。しかし、大気化学的な面での観測研究は著しく少なく、今日越境大気汚染が社会の強い関心を集めているにもかかわらずそれらの関心にこたえる化学的成果は少ない。昨年度に引き続き、韓国の釜慶大学校との連携によって養生水蒸気の観測計画を進めてきた。

3) 能登スーパーサイトの展開

能登半島の珠洲市にある小泊小学校廃校跡の施設を利用して、大気環境観測を中心とした活動を開始した。4月-5月に係留気球を用いた観測を試行し、観測設備の運用や物資輸送をはじめとするロジスティックスの諸問題の洗い出しを行った。その後、電力供給、研究用試料大気採集のための大気導入システム、その他の整備を行い、次第に全国の研究者に使ってもらえるような基本設備が整いつつある。また、能登スーパーサイト利用者会議などを通じて、広く全国の関係研究者に使ってもらい、野外観測を通した学術交流の場を生みだしてゆくことを目指している。

4) 国際プロジェクト Anthropogenic Brown Cloud(ABC)への参加

ここ1,2年の間に開始されるこれらのプロジェクトは北東アジアを極めて重要視しており、本分野で進めてきた研究と深い関係にある。能登スーパーサイトの活動がこの国際プログラムに呼応して活動できるよう、関係研究者と連携観測計画を試行した。

5) 国際プロジェクト Surface Ocean-Lower Atmosphere Study(SOLAS)への参加

これまでの気球観測の結果の解析を進めるとともに、長距離水平非行型気球を使った観測準備の一環として気象ゾンデ受信システムを導入し試験運転を実施した。

6) バイオエアロゾルの自由大気圏中の動態研究と気球搭載型蛍光計測装置の開発

蛍光を利用して、大気中の生物起源の微小粒子体の検出を行うために、気球搭載型の蛍光計測装置の開発を行い、プロトタイプの製作に成功した。現在地上において試験運用中である。また、バイオエアロゾルエアロゾル研究会を発足させ、関係研究者の情報交換を目的としたシンポジウムの開催などを行った。

7) チベット高気圧とエアロゾル

チベット高原に発生する強い上昇流に伴ってエアロゾルが活性化され雲粒子に成長する可能性を気球観測データの解析から明らかにした。

【エコエネルギー分野】

エコエネルギー分野では、1) 地下水流動の計測技術と低エンタルピエネルギー利用技術の開発、2) 環境流体の凝固過程解明、3) 環境流体による熱・物質輸送プロセスの解明、の三つの柱を立てて研究を行っている。以下各個別の研究テーマについて、その研究活動の概要について述べる。

1) 地下水流動の計測技術と低エンタルピエネルギー利用技術の開発

地下水の流動を計測することは一般に極めて難しい。それは地下水が地層の中を流れるため、計測器を設置するのが困難である点と、その流動状況を直接目で見ることが出来ない点にある。これまで本研究では一本の調査井を用いて地下水の流向と流速を同時計測する計測プローブの開発を主な目的としてきた。しかし、一本の観測井を用いた計測では平面上の一点における情報しか得ることができない。そのため、複数の観測井を用いて、地下水に投入された塩水トレーサーが流れに乗って、移動してゆく様子を観測井間の電気抵抗値から同定する研究を昨年度から開始した。ヘルショウセルを用いた実験でその可能性について検討を進めた結果、交流 20V(周波数 20-100Hz)程度の印加電圧により、電極間を塩水塊が通過する時 $100 \text{ k } \Omega$ から $60 \text{ k } \Omega$ に抵抗が減少することを確認し、塩水塊の流れを電気抵抗値の変化から同定することができた。

2) 環境流体の凝固過程の研究

自然環境中に存在する水、すなわち海水や湖沼水、あるいは地下水の凝固は一般に冷却温度が季節変動や日変動をする場合が多い。このような冷却面温度が非定常的に変動する場合に凝固や融解がどのように進行するかを解明するのが本研究の主なねらいである。特にこのような非定常現象について一次元の解析モデルを提案することを目的とする。一次元モデルはその解法がきわめて簡単で、実用的だけでなく、どのような無次元パラメータが現象を支配しているのかについて明快な理解を得ることができる。本年度は流動管路内の凝固現象に着目した研究を実施した。鉛直に流下する角管路内的一つの壁面を冷却して固相がどのように発達して行くかについて、実験的、数値的および解析的に研究を行った。数値解では境界固定法により、成長する固液界面を追って行く手法を用いた。一次元モデルでは、液相からの対流熱伝達と固相を通った冷却面への熱伝導とのアンバランスが固相成長を駆動するとして定式化を行った。固相の生成量あるいは平均の厚さについて、数値モデルと解析モデルは共に実験結果と良く一致した。特に、一次元モデルでは固液界面での熱伝達率をどのように見積もるかにより、その結果に大きな影響を与えることがわかった。管路内の凝固の場合、固相成長に伴い流路が狭められ、平均流速が大きくなることを考慮することが必須である。また、PIV 計測を実施した結果、固液界面近傍においては逆流域が存在しないことを確認した。

3) 環境流体による熱・物質輸送プロセスに関する研究

森林内の気流は温度、湿度、二酸化炭素濃度分布を決定し、森林内の微気象を支配する重要な要因となる。森林内の微気象条件は動植物の生存環境を形成するため極めて重要である。たとえば風媒樹木の分断化が繁殖に与える影響は花粉の飛散距離に大きく左右される。また、山火事の際に発生する火の粉の飛散などにも影響を与える。本研究では、金沢大学角間キャンパスの里山内にある 20m のタワーを利用して、5 台の超音波風速計を用いて樹林内での気流の計測を行なっている。観測タワーの周辺は樅やくぬぎの木が多く密生している。また、観測点は丘陵地の尾根に位置している。本年度は特に冬から初春にかけての落葉時における渦拡散係数の異方性に着目して計測を行った。その結果、水平方向の渦拡散係数は鉛直方向に比較して 3 - 4 倍程度大きいことがわかった。キャノピー上方での平均風速が $4 - 5 \text{ m/s}$ の場合、鉛直方向の渦拡散係数は $2 - 3 \text{ m}^2/\text{s}$ であるが、水平方向は $10 - 12 \text{ m}^2/\text{s}$ 程度であった。したがって、冬枯れで完全に落葉した森林キャノピー内の流れは、水平な円盤

状の渦構造が支配的であることを明らかにした。これは、森林キャノピーより上部の大気の流れ構造が、キャノピー内でも維持されていることを示唆している。また、これらの観測時のモニン・オブコフ長さを計算するとほとんどの場合正の値を取り、大気は安定な状態にあることがわかった。

4) 風ライダーの開発

本学の岩坂教授、村本教授、および北海道大学低温科学研究所の藤吉教授の協力を得ながら大気の流れをリアルタイムで計測する装置を開発している。相互相関法を用いてエアロゾルの動きから大気の動きを可視化する手法について引き続き研究を行った。本年度は計算機上に一定速度で水平に運動する3次元のエアロゾル塊を発生させ、レーザー光のスキャンによる後方散乱画像（時間遅れを伴う複数枚の2次元スキャン画像）が得られたと仮定して、それらの画像を合成することにより3次元の風速ベクトル分布を計算することを試みた。まだ誤差の問題が残っているが、基本的にはこのような手法で大気の3次元運動が観測できることを示した。

【環境動態解析分野】

環境動態解析分野では、北陸地方、日本海東縁部、および東南アジア大陸部を調査研究対象に地質科学/環境科学的な手法にもとづく以下の研究を展開している。

1) カンボジアのアンコール遺跡区域における環境汚染・環境破壊の現状評価

長年の戦乱から見事な復興をとげたカンボジアであるが、社会経済の発展とともに環境保全をかえりみない政策のため環境汚染や環境破壊がいっきに顕在化してきた。同国の首都プノンペンはもちろんのこと、同国の外貨獲得の最大の手段であるアンコール遺跡観光の基地シェムリアップ市でこれが著しい。これを放置することは住民の健康被害を招くことはもちろんのこと、アンコール遺跡群の観光資源としての価値低下にもつながることになる。そこで、このような環境汚染や破壊の現状を正確に評価するとともにその低減・撲滅策の提言を目的として、大気環境分野、森林環境分野、河川/地盤環境分野、水/生物環境分野からなる分野横断的な観測・調査を同国政府やアンコール遺跡整備機構、UNESCOなどとの密接な連携のもとに実施しており、2009年3月にはこれにかかる国際シンポジウムおよび国際研究セミナーをカンボジアのシェムリアップ市および首都プノンペンでそれぞれ開催した。

2) カンボジアのトンレサップ湖における環境変遷史および生物多様性の解明

トンレサップ湖は東南アジア最大の淡水湖であり、熱帯低地に位置する湖としては世界最大の大きさを誇る。また、この湖は乾季と雨季とでその面積が7倍にも変化する伸縮する水域として著名であるとともに、世界最高水準の生物多様性で有名でもある。この湖が生み出す水産資源が有史以前から現在にいたるまでカンボジアの暮らす人々の社会を支えてきたともいえよう。これまでの16年間にわたっての調査で、同湖ならびにメコン河下流域における過去約2万年間の環境や地形の変化を復元し、環境変化と文明の盛衰との関係を探るとともに将来の気候変動や開発にともなう環境変化の予測に成功した。さらに、同湖の生物多様性の維持機構を、湖底地質学、水文学、植物動態学、無脊椎動物学の各分野から記録保存してきた。これらの成果をふまえながら、この湖の近い将来の環境変化、とくに現在計画されている諸開発事業が湖の生態系や水・堆積物収支などに与える影響を評価している。

3) 南タイのマングローブ林周辺海域における堆積作用とスマトラ地震津波の影響評価

東南アジアの海岸域に広く分布するマングローブ林は貴重な生物資源として、また環境保護の見地からその保全が訴えられている。さらに将来予測される海面変動がその立地環境に与える影響も大いに懸念されている。しかし、マングローブ林周辺海域での堆積物の浸食・運搬・堆積過程についてはいまだに不明な点が多くこれが立地変動予測や保全対策への障害となっていた。これまで継続してきた

南タイに分布するマングローブ林周辺海域での堆積作用の調査研究、および開発や海面変動による同海域での堆積作用の将来的変化の予測にもとづき、近年では最大の環境変動といえる2004年12月に発生したスマトラ・アンダマン地震津波がマングローブ生態系や周辺海域に与えた影響とその後の生態系の再生作用について、津波襲来前後の堆積物や微小生物群集の比較検討による評価を行っている。

4) 日本海における過去2万年間の堆積作用ならびに環境変遷史

代表的な縁海である日本海は、最深部が3,000mをこえるにもかかわらず太平洋などの外洋とは対馬海峡や津軽海峡などの狭小で浅い海峡で連絡するのみであり、同じく縁海である南シナ海や東シナ海に比べて閉鎖性がきわめて高いことを特徴とする。これに加えて日本海は、閉鎖性の高さに加えて暖流と寒流とがちょうどぶつかりあう中緯度に位置することから、汎世界的海水準変動に対応してその海洋環境を著しく変えてきた。これまでの約10年間に我が国経済水域下となる日本海東半部海域ほぼ全域での海洋地質学的調査を実施し、約50点の海底柱状試料および約500点の海底表層堆積物試料を採集した。そしてこれらの解析結果にもとづき、氷河時代最盛期となる約20,000年前から約6,000年前の海面高頂期をへて現在に至るまでの日本海の海洋環境変化を復元するとともに、表層堆積物の空間分布、とくに深度に応じた分布を明らかにしてきた。現在は海洋環境変化のさらに高精度での復元、ならびにこれにもとづく日本海深海域の堆積作用変遷史の解明をめざしている。

5) 北陸地方に分布する上部新生界の地質構造発達史

石川県を中心とする北陸地方には、寒流系貝化石の多産で著名な下部更新統大桑層など我が国日本海側を代表する上部新生界の時間的・空間的には連続する分布が知られる。代表的背弧海盆である日本海の形成過程が世界的に注目されるなか、これらの地層群は拡大中あるいは拡大後の日本海ならびに周辺陸域の環境変遷史や地質構造発達史を解明するうえで重要な存在でありその層序や地質構造などの再検討は急務である。また、2007年3月に発生した能登半島地震にみられるように、防災や開発の視点からも同地方での実用的な地質図の完備が望まれている。そこで精密な地質調査による高精度地質図の作成をまず金沢市地域から開始し、これまでに金沢市の主要地域、津幡町南部、能美市、けい当市、富山県西部の小矢部市、氷見市、旧福光町での調査が終了した。今年度はこれらの調査を金沢市南部の湯涌市方面へ拡大するとともに、これまでの成果を総括することで金沢市およびその周辺地域の後期新生代層序の確立を進めている。

生物多様性研究部門

【海洋生物多様性分野】

1) 脊椎動物および無脊椎動物の生理・生化学的研究

博士後期過程に属する Arin Ngamiyom 君は、今年の9月に課程を修了する。現在、学位論文を執筆中であるが、審査制のある国際誌に1報以上の論文を発表しなければならない。彼は、『Expression levels of hormone receptors and bone morphogenic protein in fins of medaka』というタイトルで Zoological Science 誌にまず、第1報が受理されており、現在、第2報を執筆中である。その受理された論文の内容は、ニホンメダカとタイメダカのヒレ（背ビレ、胸ビレ、腹ビレ、尻ビレ、尾ビレ）において、男性ホルモンと女性ホルモンの受容体および、骨形成蛋白の発現を比較したものである。ヒレの形態が第二次性徴を現しているからである。さらに、タイメダカの中には、そのヒレの形態からオスともメスとも区別できない外形的中間型が存在する。彼の研究の結果、初めて、ヒレの性的二型が生じる分子生物学的証拠が得られた。また、タイメダカの中間型においては、それらの性ホルモン受容体の

発現は、正常な雌雄の中間型であることも明らかになった。

修士2年修了の浅田光子君は、『脊椎動物の肝臓における伊東細胞様細胞の存在と機能』について研究を行った。伊東細胞は、哺乳類の肝臓において、血管上皮下に存在し、別名、星細胞と呼ばれるように、周囲に細胞突起を出し、コラーゲンを産生し肝臓の形を保持する細胞でビタミンAを貯蔵する、と規定されている。浅田君は、この細胞が真骨魚や両生類にも存在するかを、ヘマトキシリン・エオシンの2重染色法および渡銀染色法を用いて調べた。その結果、メダカ、コモンフグ、ササノハベラなど6種の真骨魚とニホンアマガエルの幼生において、肝血管上皮直下にあり、周囲に細胞質突起を出している典型的な伊東細胞様細胞を見い出すことができた。しかしながら、哺乳類の伊東細胞では、最近、この細胞が神経と起源や働きが似ていると指摘する論文が多く出版されており、本研究でも、コラーゲンの成分の一部でもあり、さらに神経軸索の一部を構成する要素である β -チューブリンに対する抗体を用いて免疫染色を施すと、2種の真骨魚類とヤマアカガエルにおいて伊東細胞様細胞が陽性の反応を示した。したがって、この細胞は下等脊椎動物においても神経要素をもち、未知の働きを持っている可能性が示唆された。

4年次卒業生の田村 知君は、『キンギョの組織における異所性カルシトニンの検出』というタイトルで研究を行った。キンギョは飼育が容易で手術にも強く、性周期に伴う種々の生理現象が完全に解明されており、実験動物として有利な点を多く持っている。一方、カルシトニンは破骨細胞の活性を抑制し、血中カルシウム濃度を低下させるペプチドであり、32個のアミノ酸で構成されている。これまで魚類以上の脊椎動物において29種の動物から35種類のカルシトニンが知られているが、キンギョにおいては、カルシトニンの生産に働く内分泌腺である鰓後腺からRT-PCRによって増幅され、実際にホルモンとして機能するカルシトニンの他に、肝臓のDNAからgenomic PCRによって増幅されるカルシトニンの2種類が報告されている。これらをそれぞれカルシトニンIとカルシトニンIIと呼んでいる。本研究では、種々の組織からカルシトニンIとIIを見分けて増幅させるプライマーを用いて、RT-PCRを行った結果、ほとんどの組織においてそれらが同時に発現していることを見い出した。

笹山は、環形動物門マシコヒゲムシにおいて栄養体内腔の形態に関する一考察を行い、その栄養体からX線分析顕微鏡によってイオウを検出し、どちらも論文として発表した。

2) 様々な物理的刺激に対する骨組織の応答に関する研究：魚類のウロコを用いた解析

鈴木は魚のウロコを骨のモデルとして用い、物理的刺激やホルモン等の生理活性物質の骨に対する作用を調べ、その応答の多様性を研究している。

本年度は国際宇宙ステーション「きぼう」船内実験室第2期利用に向けた候補テーマとして採択され、その準備に関する実験を行ってきた。その成果は、宇宙生物科学会及び宇宙利用シンポジウムで発表した。宇宙実験では再生ウロコを用いる予定であり、再生ウロコの骨芽細胞及び破骨細胞の活性をウロコの重量ではなく、面積当たりで算出する方法を開発した(Biol. Sci. Spaceに投稿予定)。さらに宇宙環境利用科学委員会研究班ワーキンググループの研究助成を受け、ウロコの滅菌方法及び培養方法の検討も行った。その結果、26°Cで1週間培養可能であり、4°Cで1週間保管しても過重力に対する応答性を保持していた。宇宙実験では骨芽細胞の培養株を用いた実験はあるが、破骨細胞は多核の活性型に誘導する必要があり、培養した破骨細胞を用いた宇宙実験は実現していない。また宇宙飛行士及びラットによる宇宙実験(*in vivo*)や、後肢懸垂ラット等を用いた地上実験(*in vivo*)では、骨芽細胞の活性低下はいつも起こるが、破骨細胞については結果に一致を欠いており、変化しなかったという報告とその活性が上昇したという報告がある。*in vivo*では、ホルモン等の様々な生理活性物質の影響

を受けるため、宇宙空間における微小重力の直接的な影響を解析するには、*in vitro* で実験を行う必要がある。哺乳類の骨芽細胞と破骨細胞の共存培養は、地上では可能な技術であるが、宇宙空間では不可能に近いのが現状である。一方魚類のウロコには骨芽細胞と破骨細胞が共存しており、長期培養及び低温保存も可能であることから、ウロコは宇宙実験に適した材料である。現在、国際宇宙ステーション「きぼう」を用いた宇宙実験を目指して準備中である。

また、科学研究費の助成を受け、超音波の音圧による機械的刺激に対する応答を解析した。本年度は、富山大学生命科学先端研究センター遺伝子実験施設の田渕圭章准教授と高崎一朗助教との共同研究により GeneChip 解析を行った。骨芽細胞と破骨細胞の共存培養下で超音波刺激により応答する遺伝子を網羅的に解析して、オーストラリアのシドニーで開催された国際骨代謝学会で発表した。

3) 魚類の骨代謝に関する研究：内分泌学的側面からの解析

オーストラリアのメルボルン大学の Prof. T. John Martin と RMIT 大学 Dr. Janine A. Danks、東京医科歯科大学の服部淳彦教授、同大学の田畠 純准教授、岡山大学の山本敏男教授、同大学池亀美華准教授との共同研究により、副甲状腺ホルモンのウロコの骨芽細胞及び破骨細胞に対する作用を解析した。その結果、副甲状腺ホルモンはヒトと同様にまず骨芽細胞を活性化して、次いで破骨細胞を活性化して骨吸収を行うことを *in vitro* 及び *in vivo* でも証明した。さらに骨芽細胞で発現しているリガンドである Receptor Activator of NF- κ B Ligand (RANKL) と破骨細胞にあるレセプターである Receptor Activator of NF- κ B (RANK) の mRNA 発現も副甲状腺ホルモンにより上昇することが判明した。これらの成果は、オーストラリアで開催された国際骨代謝学会のサテライトシンポジウム (Comparative Endocrinology of Calcium Regulation) で発表（招待講演）した。

メラトニンの魚類の骨代謝に対する作用についても解析した。この研究は、東京医科歯科大学の服部淳彦教授との共同研究であり、早稲田大学の中村正久教授には RANK と RANKL、九州大学の安東宏徳准教授にはメラトニン受容体のクローニング (Comp. Biol. Physiol., 2009) を手伝っていただいた。これらの共同研究の結果、生殖時期にウロコでメラトニンが骨芽細胞で合成され、破骨細胞の活性を抑制するというメラトニンの新規作用を発見することができた。さらに、メラトニン誘導体 (J. Pineal Res., 2008a) の卵巣除去ラットにおける影響を評価した。その結果、卵巣除去ラットにおいても骨強度が有意に上昇した（米国、中国、欧州特許出願中）。また、ハムリー（株）の関あづさ博士と共に、低 Ca 食ラットを用いて実験を行った結果、骨密度を有意に上昇させることができた (J. Pineal Res., 2008b)。なおこれらの成果は、第 26 回日本骨代謝学会で発表した。宇宙実験でもメラトニン誘導体の効果を調べる予定である。

【陸上生物多様性部門】

陸上生物多様性部門では陸上生物の群集構造や種分化や形質進化に関する研究を行っている。これらの研究では生態学および遺伝学的な手法が用いられている。野調査は角間キャンパス里山地区や能登から東南アジア、オセアニアまで至る。

1) テンナンショウ属植物（サトイモ科）の性転換モデルの検証

金沢市のマムシグサ集団から DNA を抽出し、マイクラサテライト領域を用いて種子の花粉親を決定している。繁殖成功が個体サイズの関係が雄個体と雌個体で異なっている状況下で性転換が進化しうるという Size Advantage 仮説の検証を行っている。長野県の集団の性転換サイズはこの仮説の下で予想されるサイズとほぼ一致した。金沢のマムシグサ集団の性転換サイズは長野県の集団とは異なる。金沢の性転換サイズを計算するためには、個体サイズと繁殖成功の関係を知ることが必要である。雌

の繁殖成功は果実数を繁殖成功とすることができますため、サイズと繁殖成功的関係は容易にわかる。雄の場合、できた種子の花粉親を決定し、それを基に繁殖成功とサイズの関係を構築する必要がある。異なる集団に見られる性転換サイズの違いを Size Advantage 仮説で説明できれば、この仮説はほぼ検証されたことになる。これは西沢徹氏（国立環境研究所生態遺伝部門）との共同研究である。

2) 雜種起源種トウカイコモウセンゴケの生活史の比較研究

異質倍数体起源種とその両親種の生活史の比較を行い、異質倍数体種の確立と新しい環境に対する適応や定着に関する研究を行っている。対象はとその両親種である。2009年1月8日から1月22日までオーストラリアでコモウセンゴケの現地調査を行った。コモウセンゴケはトウカイコモウセンゴケの片親と見なされている種である。これは中野真理子氏（石川県自然史資料館）と植田邦彦氏（金沢大学大学院自然科学研究科）との共同研究である。

3) 自家不和合性の崩壊過程の進化モデルの構築

ミヤマガマズミとコバノガマズミを用いて、繁殖様式の進化に関する研究を行っている。ミヤマガマズミとコバノガマズミは近縁種で里山地区でも同所的に生育している。ミヤマガマズミは自家不和合性であるが、コバノガマズミは自家不和合性が崩壊して自家和合性になりつつあることを見つけた。一般に自家不和合性は近交弱勢 $\delta > 1/2$ の時維持されるが、 $\delta > 1/2$ の時でもある状況下では自家和合性の個体が侵入できることが進化モデルから予想されている。コバノガマズミの場合であることがわかつてき。 $\delta > 1/2$ でも自家和合性の個体が侵入、自家不和合性の崩壊を生じさせる生態的条件に関する数理モデルの構築とその検証を現在行っている。

4) 雜種起源種オオミズヒキモとその両親種の繁殖と分散に関する研究

オオミズヒキモは栄養繁殖をおこなうため、交雑個体が不穏であっても大きなクローン集団を形成し維持することが可能である。3種が栄養繁殖によって河川の中でどのように分布しているのかを解明するために、個体を識別できる分子マーカーが必要である。マイクロサテライトは個体の認識が可能な解像力を持つ遺伝マーカーである。現在オオミズヒキモの個体識別用のマイクロサテライトマーカーを開発している。この研究は中嶋信美・西沢徹氏（国立環境研究所生態遺伝部門）との共同研究でもある。

5) 能登地域における水田畦畔植物の種多様性とその地域間比較

能登地域の農村域で水田畦畔植物相を調査し、それらの地域間比較および人為的攪乱がそれらに及ぼす影響評価を行っている。17カ所の農村域に設けた53調査地点において、計64科251種の水田畦畔植物が記録された。53地点の種組成は農村域ごとにまとまる傾向がみられた。能登の小地域ごとに農法や圃場整備の経歴は比較的似ているため、人間活動によって引き起こされる攪乱の強度は地域（農村域）内では似ていることが予想される。しかしながら、能登町波並、輪島市金蔵、羽咋町神子原などは域内で種組成の違いが大きく、その結果、他の調査地との種組成の違いがはっきりしない傾向もみられた。今後は管理手法や圃場整備経歴などを地点ごとに精査し、地域間地域内の種多様性パターンとそれらを生み出しうる要因群との関係性を明らかにしていく。

6) 热帯山地林における *Medinilla* 属 8種の開花・結実の季節性

1996年から2001年にかけてマレーシア・サバ州キナバル山の熱帯山地林で行った生物季節学的研究の一部に関してとりまとめを進めた。湿潤熱帯では気候の季節変化が乏しいにもかかわらず、そこに生育する植物の多くはその繁殖活動に明瞭な季節性を示す。本研究では、ノボタン科の *Medinilla* 属8種の繁殖時期および繁殖トリガーを明らかにするため、開花・結実と気温、降水量、日照量との季節的対応について調べた。本研究の内容は、第57回日本生態学学会（2009、盛岡）で発表し、日本生態

学会誌の Tropics に掲載されている。

7) 林内低木種ヒサカキの成長・繁殖に関する生態学的研究

林内低木種ヒサカキの成長・繁殖に関する研究を行っている。二次林低木層を優占するヒサカキの成長戦略と繁殖戦略を解明するために、個体ごとの繁殖形質（花・果実サイズ、開花・結実サイズ、フェノロジー等）、繁殖成功に影響する内外的要因（個体サイズ、枝伸長量、葉数、日照条件、送粉者、種子散布者など）と繁殖成功度（結果率、果実食害率、果実消費率、散布種子数など）の関係を明らかにする。2008 年度は、調査地の選定、調査個体（100 個体）のマーキング、開花数の予備調査を行った。

8) 林床植物チゴユリの繁殖戦略に関する生態学的研究

林床植物チゴユリの繁殖戦略の解明をめざした調査を行っている。チゴユリの繁殖活動には種子繁殖と、匍匐枝をのばして分布を広げる栄養繁殖がみられる。チゴユリは外的要因（送粉者、物理的環境など）の状況に応じた繁殖戦略を探っていると推測される。さらにチゴユリは光が乏しい条件下に生育するために光合成が制限され、成長と繁殖のあいだに物質投資のトレードオフがあると推測される。摘葉や摘花を行って投資先を操作し、チゴユリの種子繁殖、栄養繁殖、成長のあいだ投資配分の関係を明らかにする。

4. 研究成果リスト

自然計測研究部門

1) 学術論文

- (1) K. Shichi, H. Takahara, S. K. Krivonogov, E. V. Bezrukova, K. Kashiwaya, A. Takehara, T. Nakamura, Late Pleistocene and Holocene vegetation and climate records from Lake Kotokel, central Baikal region, Quaternary International, in press
- (2) A. Sakaguchi, Yamamoto, M., Tomita, J., Kenta, M., Sasaki, K., Kashiwaya, K., Kawai, T., Wake, Uranium-series chronology for sediments of Lake Hovsgol, Mongolia, and the 1-Ma records of Uranium and Thorium isotopes from the HDP-04 drill core., Quaternary International, in press
- (3) S. Tamamura, T. Sato, Y., Y. Aota, K. Kashiwaya and M. Kumagai, Seasonal Deposition Fluxes of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) in Lake Biwa, Japan, Water, Air, and Soil Pollution, in press
- (4) Kazumi Ito, Noriko Hasebe, Ryosuke Sumita, Shoji Arai, Masayoshi Yamamoto, Kenji Kashiwaya, Yoshihiro Ganzawa, LA-ICP-MS analysis of pressed powder pellets to luminescence geochronology, Chemical Geology
- (5) Noriko Hasebe, Andrew Carter, Anthony J. Hurford and Shoji Arai, The effect of chemical etching on LA-ICP-MS analysis in determining uranium concentration for fission-track chronometry. Geological Society Special Publication “Thermochronological methods: from palaeotemperature constraints to landscape evolution models” in press
- (6) 郁芳隨徹・長谷部徳子・山田隆二・荒井章司, ジルコンフィッショントラック法を用いた茂住祐延断層付近の岩石の熱史の分析, フィッショントラックニュースレター, 21, 20-21, 2008
- (7) 長谷部徳子, IGCP 543 workshop1: fission track analysis 参加報告, フィッショントラックニュースレター, 21, 22, 2008
- (8) 伊藤一充・長谷部徳子・雁沢好博・柏谷健二・荒井章司, 湖沼細粒堆積物のルミネッセンス年代測定, フィッショントラックニュースレター, 21, 34-36, 2008

- (9) 稲垣有香・長谷部徳子・荒井章司, 雲仙火山岩類のジルコンを用いた U-Th 年代測定, フィッシュショントラックニュースレター, 21, 37-38, 2008
- (10) 荒田孔明・長谷部徳子, アパタイトのトラック長分布からみた四万十帯の熱履歴—四国・九州について—, フィッシュショントラックニュースレター, 21, 39-41, 2008
- (11) 伊藤健太郎・長谷部徳子, 画像処理を用いた火山ガラス中のフィッシュショントラック計測, フィッシュショントラックニュースレター, 21, 42-44, 2008
- (12) Kazumi Ito, Noriko Hasebe, Akihiro Tamura and Shoji Arai, Comparison of calibration methods to estimate chemical concentrations using Laser Ablation - Inductively Coupled Plasma - Mass Spectrometer (LA-ICP-MS): mean count rate vs integrated signal intensity, The Science Reports of Kanazawa University, vol., 52, p. 27-36, 2008
- (13) T. Nagata, K. Fukushi and Y. Takahashi, Prediction of iodide adsorption on oxides by surface complexation modeling with spectroscopic confirmation. *Journal of Colloid and Interface Science*, in press
- (14) 伊藤健一・福士圭介・橋本晃一・田中小満・池田穂高・佐藤努・米田哲朗, 自然浄化機構に学ぶ新しい資源回収型酸性坑廃水処理方法の開発, *Journal of MMJ*, 124, 519-528, 2008
- (15) T. Munemoto and K. Fukushi, Transformation kinetics of monohydrocalcite to aragonite in aqueous solution. *Journal of Mineralogical and Petrological Sciences*, 103, 345-349, 2008
- (16) 高田盛生・福士圭介・佐藤努・米田哲朗, シュベルトマナイトへの様々なオキシ陰イオンの吸着とその後の安定性 粘土科学, 47, 255-260, 2008
- (17) Endo, S., Tomita, J., Yamamoto, M., Others 9: Iodine-129 measurement in soil samples from Dolon village near the Semipalatinsk nuclear test site. *Radiat. Environ. Biophys.* 47, 359-365 (2008)
- (18) (2) Fukushima, M., Shigematsu, S. Nagao, S: Oxidative degradation of 2,4,6-trichlorophenol and pentachlorophenol in contaminated soil suspensions using a supramolecular catalyst of 5,10,15,20-tetrakis (*p*-hydroxyphenyl) porphine-iron(III) bound to humic acid via formaldehyde polycondensation. *J. Environ. Sci. Health, Part A* (accepted)
- (19) (3) Fukuyama, T., Onda, Y., Gomi, T., Yamamoto, K., Kondo, N., Miyata, S., Kosugi, K., Mizugaki, S.: Quantifying the impact of forest management practice on the runoff of the surface-derived suspended sediment using fallout radionuclides. *Hydrol. Processes* (accepted)
- (20) (4) Fukuyama, T., Fujiwara, H.: Contribution of Asian dust to atmospheric deposition of radioactive cesium (^{137}Cs). *Sci. Total Environ.* 405, 389-395 (2008)
- (21) (5) Fukuyama, T., Onda, Y., Takenaka, C., Walling, D.E.: Investigating erosion rates within a Japanese cypress plantation using Cs-137 and Pb-210_{ex} measurements. *J. Geophys. Res.* 113:F02007 (2008)
- (22) (6) 福山泰治郎 : 人工林荒廃と水・土砂流出の実態、4章 5節「放射性降下物を用いたヒノキ林における土壤侵食量の推定」. pp.142-152, 恩田裕一編, 第1版、岩波書店、東京、ISBN978-4-00-005463-8 (2008)
- (23) (7) Komura, K., Ahmed, N.K., El-Kamel, A.H., Yousef, A.M.M.: Variation of environmental neutron flux with the depth of water and soil. *J. Nucl. Radiochem. Sci.* 9, 45-47 (2008)
- (24) (8) Komura, K., Ahmed, N.K., El-Kamel, A.H., Yousef, A.M.M.: Some applications of the gold activation by environmental neutrons. *J. Nucl. Radiochem. Sci.* 9, 49-52 (2008)
- (25) (9) Matsunaga, T., Nagao, S: Environmental behavior of plutonium isotopes studied in the area affected by the Chernobyl accident. *Humic Substances Research* (in press)

- (26) (10) Mizugaki, S., Onda, Y., Fukuyama, T., Koga, S., Asai, H., Hiramatsu, S.: Estimation of sediment sources using ^{137}Cs and $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$ in unmanaged Japanese cypress plantation watersheds, southern Japan. *Hydrol. Processes.* 22 / 23, 4519-4531 (2008)
- (27) (11) Nakano, Y., Inoue, M., Komura, K.: A simple coprecipitation method combined with low-background γ -spectrometry: Determination of ^7Be , ^{137}Cs , ^{210}Pb , and radium and thorium isotopes in small-volume coastal water samples. *J. Oceanogr.* 64, 713-717
- (28) (12) Saitoh, Y., Kuma, K., Isoda, Y., Kuroda, H., Matsuura, Wagawa, T., Tanaka, H., Kobayashi, N., Nagao, S., Nakatsuka, T.: Processes influencing iron distributions in the coastal waters of the Tsugaru Strait, Japan. *J. Oceanogr.*, 64, 815-830 (2008)
- (29) (13) Sakaguchi, A., Yamamoto, M., Tomita, J., Mino, K., Sasaki, K., Kashiwaya, K., Kawai, T.: Uranium-series chronology for sediments of Lake Hovsgol, Mongolia, and the 1-Ma records of Uranium and Thorium isotopes from the HDP-04 drill core, Quaternary International, 2009. (accepted)
- (30) (14) Sakaguchi, A., Kawai, K., Steier, P., Quint, F., Mino, K., Tomita, J., Hoshi, M., Whitehead, N., Yamamoto, M.: First results on ^{236}U levels in global fallout, *Science of the Total Environment*, 2009 (accepted)
- (31) (15) Suzuki, T., Sugiyama, Y., Wada, C., Kumagai, T., Nagao, S., Kitano, T., Nakano, S., Mitamura, O., Matsuura, Y., Drucker, V. V., Fialkov, V. A., Sugiyama, M.: Role of allochthonous organic matter in Lake Bikal investigated using a 3-dimensional fluorescence excitation-emission matrix spectroscopy and high-performance liquid chromatography-mass spectrometry. *Verhandlungen*, 30, 469-476 (2008)
- (32) (16) Nagao, S., Sakamoto, Y., Tanaka, T., Rao, R. R.: Effects of groundwater humic substances on sorption of Np (V) sandy materials. *Humic Substances Research* (in press)
- (33) (17) 長尾誠也、関陽児、渡部芳夫：山形県金丸地区の地下水溶存有機物の蛍光特性. 原子力バックエンド研究 (印刷中)
- (34) (18) 長尾誠也、岩月輝希、濱克宏：岐阜県東濃地域の地下水から分離精製した溶存腐植物質の特性. 原子力バックエンド研究 (印刷中)
- (35) (19) 富田純平、佐竹 洋、佐々木圭一、坂口 綾、井上睦夫、浜島靖典、山本政儀：大深度掘削井から得られた Na-Cl 型温鉱泉水中のラジウム (Ra) 同位体—石川県沿岸地域—. 温泉科学 58, 244-258 (2009)
- (36) (20) Yamada, Y., Yasuike, K., Komura, K.: Relationship between carbon-14 concentrations in tree-ring cellulose and atmospheric CO_2 . *J. Nucl. Radiochem. Sci.* 9, 41-44 (2008)
- (37) (21) Yamamoto, M., Oikawa, S., Sakaguchi, A., Tomita, J., Hoshi, M., Apsalikov, K. N.: Determination of $^{240}\text{Pu}/^{239}\text{Pu}$ isotopic ratio in human tissues collected from areas around the Semipalatinsk nuclear test site by sector-field high resolution ICP-MS. *Health Phys.* 95, 291-299 (2008)

2) 総説・資料・報告書

- (1) 福士圭介、酸化物による無機陰イオンの吸着-吸着実験による巨視的吸着挙動とその場分光分析による微視的表面錯体構造、粘土科学, 47, 121-158, 2008
- (2) 福士圭介、粘土によるイオン吸着のモデリング、粘土科学, 47, 93-103, 2008
- (3) Kim, V. I., Makhinov, A. N., Nagao, S., Seki, O., Kawahigashi, M. (2008) Stream flow distribution between the sub-channels within the middle-Amur Plain: Report on Amur-Okhotsk Project, No.5, 31-35

- (4) (2) Nagao, S., Seki, O., Kawahigashi, M. (2008) Geochemical behavior of dissolved iron in waters from the Amur River, Amur-Liman and Sakhalin Bay:: Report on Amur-Okhotsk Project, No.5, 21-25
- (5) (3) Onishi, T., hibata, H., Nagao, S., Park, H., You, M., Shamov, V. V. (2008) Long-term trend of dissolved iron concentration and hydrological model incorporating dissolved iron production mechanism of the Amur River basin:: Report on Amur-Okhotsk Project, No.5, 199-207
- (6) (4) 長尾誠也 (2008) 「放射性廃棄物処分研究のためのネットワーク」 第1回情報交換会講演資料集 連携重点研究課題5 放射性廃棄物処分研究のためのネットワーク第1回情報交換会実行委員会 : JAEA-Conf2008-002.
- (7) (5) 長尾誠也 (2008) 「環境中の腐植物質：その特徴と研究法」 石渡良志・米林甲陽・宮島徹編、三共出版、東京 pp30-48, 98-106, 153-157.
- (8) (6) 野村律夫、井上睦夫、瀬戸浩二、入月俊明、高田祐行：中海の閉鎖性水域の開削に伴う湖水循環の変化と周辺域への影響. 平成19年度ニッセイ財団研究報告書

3) 著書

- (1) Kashiwaya, K., Slaymaker, O. and Church, M.; Lakes, lake-catchments and landscape change, In: Slaymaker, O. Spencer, T. and Embleton-Hamann, C. (eds), *Landscape Change in the 21st century*, Cambridge Univ. Press, in press.

4) 学術発表

- (1) K. Kashiwaya, Studies on lake-catchment system - an introduction to limno-geomorphology -, Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources (KIGAM), Korea, May 21, 2008.
- (2) K. Kashiwaya, Studies on lake-catchment system - an introduction to limno-geomorphology -, Kyunhee University, Korea, May 23, 2008
- (3) K. Kashiwaya, Environmental monitoring on lake-catchment systems for natural and artificial earth surface changes, National Taiwan University, Taiwan, November 15, 2008.
- (4) 福士圭介・杉浦朋典・山田浩史・森下知晃・長谷部徳子・遠藤徳孝, 鉄-ベントナイト相互作用のナチュラルアナログ, NIMS 光触媒材料センター ナノ構造制御グループ研究会, つくば, 2008.7.22
- (5) 佐藤努・福士圭介・米田哲朗, 無機陰イオンの環境地球化学, 日本地球化学会第55回年会, 東京, 2008.9.17-19
- (6) 山本政儀、美濃健太：極微量放射能測定と放射年代測定への応用、名古屋大学タンデトロン加速器質量分析計シンポジウム (2009.1)
- (7) 長尾誠也：河川に流入した DOC の移行と生元素の運搬、日本土壤肥料学会愛知大会シンポジウム「土壤－河川－海生態系における溶存有機炭素(DOC)の動態と機能」、愛知 (2008.9)
- (8) K. Kashiwaya, K. Ito, T. Nakagawa, K. Fukushi, S. Ochiai, N. Hasebe, H. Sakai and T. Kawai, Some Preliminary Results for HDP08 and Comparison with Previous Records from Lake Hovsgol, The 7th International Symposium on Environmental Changes in East Eurasia and Adjacent Areas, Ulaanbaatar-Hatgal, Mongolia, 2008.8.23-29
- (9) K. Mino, A. Sakaguchi, S. Krivonogov, A. Orkhonselenge, T. Nakamura, K. Kashiwaya and M. Yamamoto, Uranium and Thorium Records in the Holocene High-Resolution Sediments from Bortsog Bay in Lake

Hovsgol, Mongolia, The 7th International Symposium on Environmental Changes in East Eurasia and Adjacent Areas, Ulaanbaatar-Hatgal, Mongolia, 2008.8.23-29

- (10) Orkhonselenge, K. Kashiwaya, S. Ochiai, K. S. Krivonogov and T. Nakamura, Hydro-Geomorphic Evolution during the Holocene along the Eastern Shore in Lake Khuvgul Catchment, Mongolia, The 7th International Symposium on Environmental Changes in East Eurasia and Adjacent Areas, Ulaanbaatar-Hatgal, Mongolia, 2008.8.23-29
- (11) K. Kashiwaya, Spatial and Temporal Models for lake catchment systems, The 5th Japan-Korea- China International Workshop, Hakodate, Japan, 2008.10.7-11
- (12) Y. Aota, K. Kashiwaya and M. Kumagai, Seasonal Characteristics of Lake Current and Vertical Mixing Affecting on Sediment Transport in the Hypolimnion of Lake Biwa, The 5th Japan-Korea-China International Workshop, Hakodate, Japan, 2008.10.7-11
- (13) S. Iwakami, K. Kashiwaya, S. Ochiai, G. Sumino, T. Tsukamoto and A. Szyniszewska, High-resolution lacustrine records for recent glacial-interglacial periods obtained in lake Hövsgöl (HDP04), Mongolian Plateau, The 5th Japan-Korea-China International Workshop, Hakodate, Japan, 2008.10.7-11
- (14) C. Li and K. Kashiwaya, High Resolution Environmental Records in Recent Lacustrine Sediments of Yuanchi, The 5th Japan-Korea-China International Workshop, Hakodate, Japan, 2008.10.7-11
- (15) N. Hasebe, A. Hasebe and S. Arai, Dating of Quaternary volcanic rocks: fission track and uranium-series disequilibrium dating methods Luminescence dating of fine grained quartz from Lake Hovsgol (HDP08), The 7th International Symposium on Environmental Changes in East Eurasia and Adjacent Areas-High resolution environmental records of terrestrial sediments, Ulaanbaatar- Hatgal, Mongolia, August 23-29, 2008
- (16) K. Ito, N. Hasebe, K. Kashiwaya and S. Arai, Luminescence dating of fine grained quartz from Lake Hovsgol (HDP08), The 7th International Symposium on Environmental Changes in East Eurasia and Adjacent Areas- High resolution environmental records of terrestrial sediments, Ulaanbaatar-Hatgal, Mongolia, August 23-29, 2008
- (17) N. Hasebe, A. Hasebe & S. Arai, FT dating results using LA-ICP-MS: Age plus something, FT2008-11th International Conference on Thermochronometry, Alaska, USA, 8.14-19, 2008
- (18) K. Arata & N. Hasebe, Thermal history and uplift process of the Shimanto Belt, southwest Japan, analyzed by fission-track length distributions of apatite, FT2008-11th International Conference on Thermochronometry, Alaska, USA, 8.14-19, 2008
- (19) K. Ito & N. Hasebe, Counting fission tracks in volcanic glass using image processing, FT2008-11th International Conference on Thermochronometry, Alaska, USA, 8.14-19, 2008
- (20) N. Hasebe, Dating of Quaternary volcanic rocks: fission track and uranium-series disequilibrium dating methods, The 5th Japan – Korea – China International Workshop Present Earth Surface Processes and Historical Environmental Changes in East Asia-Terrestrial Processes in Loess-covering Zone and its Surroundings -, October 7-11, 2008, Hakodate, Japan
- (21) K. Arata and N. Hasebe, Erosion rate estimate from the thermal history of the Shimanto Belt; a fission track study, The 5th Japan – Korea – China International Workshop Present Earth Surface Processes and Historical Environmental Changes in East Asia-Terrestrial Processes in Loess-covering Zone and its Surroundings -, October 7-11, 2008, Hakodate, Japan

- (22) K. Ito, N. Hasebe, K. Kashiwaya and S. Arai, Luminescence dating of fine grained sediments from Lake Hovsgol (HDP08), The 5th Japan – Korea – China International Workshop Present Earth Surface Processes and Historical Environmental Changes in East Asia-Terrestrial Processes in Loess-covering Zone and its Surroundings - October 7-11, 2008, Hakodate, Japan
- (23) K. Fukushi, T. Sugiura, T. Morishita, H. Yamada, N. Hasebe and N. Endo, Iron-Bentonite Interactions found in Nature, International Workshop for the Iron-Bentonite Interaction, Kanazawa, Japan, 2008.11.18-19
- (24) K. Fukushi, K. Aoyama and T. Nagata, Surface speciation of sulfate on ferrihydrite-aqueous solution interface, 5th Japan-Korea-China International Workshop, Hakodate, Japan, 2008.10.7-11
- (25) T. Munemoto and K. Fukushi, Alteration kinetics of monohydrocalcite to aragonite in aqueous solutions, 5th Japan-Korea-China International Workshop, Hakodate, Japan, 2008.10.7-11
- (26) H. Fukumoto, K. Fukushi, S. Ochiai and K. Kashiwaya, Paleoenvironment recorded in minerals of the sediments, 5th Japan-Korea-China International Workshop, Hakodate, Japan, 2008.10.7-11
- (27) T. Nagata, K. Fukushi and Y. Takahashi, Prediction of iodide adsorption on oxides by surface complexation modeling with spectroscopic confirmation, 5th Japan-Korea-China International Workshop, Hakodate, Japan, 2008.10.7-11
- (28) H. Fukumoto, K. Fukushi, S. Ochiai and K. Kashiwaya, Paleoenvironment in lake Hovsgol recorded in minerals of the sediments, The 7th International Symposium on Terrestrial Environmental Changes in East Eurasia and Adjacent Areas, Ulaanbaatar-Hatgal, Mongolia, 2008.8.23-29
- (29) K. Fukushi, T. Munemoto, M. Sakai, H. Fukumoto and K. Kashiwaya, Formation, stability and interaction with anionic species of monohydrocalcite found in the sediments in lake Hovsgol, The 7th International Symposium on Terrestrial Environmental Changes in East Eurasia and Adjacent Areas, Ulaanbaatar-Hatgal, Mongolia, 2008.8.23-29
- (30) S. Ochiai, J. Lin and K. Kashiwaya, Sedimentation processes and lake basin development in Sun Moon Lake, Taiwan, International Geographical Union Commission on Land Degradation and Desertification International Conference, Taipei, Taiwan, 2008.6.8-13
- (31) S. Ochiai, J. Lin and K. Kashiwaya, Sedimentation processes and human-induced lake basin development in Sun Moon Lake, Taiwan, The 5th Japan – Korea – China International Workshop on Present Earth Surface Processes and Historical Environmental Changes in East Asia, Hakodate, Japan, 2008.10.7-11
- (32) J. Lin, S. Ochiai, B. Chang and C. Jen, Sedimentation and transportation of mud rock material in southern Taiwan, The 5th Japan – Korea – China International Workshop on Present Earth Surface Processes and Historical Environmental Changes in East Asia, Hakodate, Japan, 2008.10.7-11
- (33) J. Lin and S. Ochiai, Sedimentation and transportation of mud rock material, American Geophysical Union 2008 Fall Meeting, San Francisco, USA, 2008.12.15-19
- (34) Y. Aota, K. Kashiwaya and M. Kumagai, Seasonal Characteristics of Lake Current and Vertical Mixing Affecting on Sediment Transport in the Hypolimnion of Lake Biwa, The 5th Japan – Korea – China International Workshop on Present Earth Surface Processes and Historical Environmental Changes in East Asia, Hakodate, Japan, 2008.10.7-11
- (35) 柏谷健二、東北アジアの湖沼-流域系から推定される水文地形情報、日本地球惑星科学連合 2008 年大会, 幕張, 2008.5.29

- (36) 柏谷健二; 流域の物理環境の変動と堆積物情報、日本地形学連合 2008 年秋季大会、東京、2008.10.19
- (37) 伊藤一充・福士圭介・長谷部徳子・柏谷健二・河合崇欣, HDP08 掘削&分取報告、日本 BICER 協議会第 18 回総会・シンポジウム、京都、2008.6.7
- (38) 末岡茂、田上高広、長谷部徳子、山田隆二、堤浩之、田村明弘、荒井章司、松田達生、小村健太朗、FT 熱年代に基づいた六甲山地の冷却史・削剥史、日本地球惑星科学連合 2008 年大会、幕張、2008.5.25-30
- (39) 福士圭介、杉浦朋典、森下知晃、長谷部徳子、遠藤徳孝、伊藤弘志、ベントナイト-鉄相互作用のナチュラルアナログ研究、鉄を含む流体によるベントナイトの変質挙動、日本地球惑星科学連合 2008 年大会、幕張、2008.5.25-30
- (40) 伊藤一充、長谷部徳子、柏谷健二、荒井章司、山本政儀、バイカル湖細粒堆積物のルミネッセンス年代測定、日本地球惑星科学連合 2008 年大会、幕張、2008.5.25-30
- (41) 長谷川孝宗、清川昌一、長谷部徳子、長崎県五島列島西部の構造発達史、日本地球惑星科学連合 2008 年大会、幕張、2008.5.25-30
- (42) 郁芳隨徹、長谷部徳子、山田隆二、荒井章司、ジルコンフィッシュション・トラック法を用いた茂住祐延断層付近の岩石の熱史の分析、日本地球惑星科学連合 2008 年大会、幕張、2008.5.25-30
- (43) 稲垣有香、長谷部徳子、荒井章司、雲仙火山岩類のジルコンを用いた U-Th 年代測定、日本地球惑星科学連合 2008 年大会、幕張、2008.5.25-30
- (44) Sherif Masour, Noriko Haesbe, 1st Egypt – Japan International Symposium on Science and Technology, Tokyo, Japan, 2008.6.8-9
- (45) 荒田孔明・長谷部徳子・荒井章司、年代学的手法による四万十帯の付加プロセスの推定、第 33 回フィッシュントラック研究会、金沢、2009.1.9-10
- (46) 郁芳隨徹・長谷部徳子・山田国見・田上高広・渡邊裕美子・山田隆二・荒井章司、熱年代学的手法を用いた茂住祐延断層付近の岩石の熱史の分析、第 33 回フィッシュントラック研究会、金沢、2009.1.9-10
- (47) Sherif El-Shaha El-Sayed Mansour, Noriko Hasebe and Shoji Arai, Fission-track and U-Pb datings of Abu Zenima area, west Central Sinai, Egypt, 第 33 回フィッシュントラック研究会、金沢、2009.1.9-10
- (48) 末岡茂・堤浩之・田上高広・長谷部徳子・山田国見・田村明弘・荒井章司、熱年代学的手法に基づく木曾山脈の冷却・削剥史（予報）、第 33 回フィッシュントラック研究会、金沢、2009.1.9-10
- (49) 伊藤一充・長谷部徳子・住田亮輔・荒井章司・山本政義・柏谷健二・賀澤好博、粉末圧縮ペレットを用いた放射性同位体濃度見積もりのための新たな試み、第 33 回フィッシュントラック研究会、金沢、2009.1.9-10
- (50) 宮本 光・長谷部徳子・東野外志男・荒井章司、白山火山噴出物中のジルコンを用いた U-Th 放射非平衡年代測定、第 33 回フィッシュントラック研究会、金沢、2009.1.9-10
- (51) 稲垣亜矢子・伊藤一充・遠藤徳孝・長谷部徳子、湖沼堆積物特性分析への熱ルミネンスカラーライ画像解析の有効性の検証、第 33 回フィッシュントラック研究会、金沢、2009.1.9-10
- (52) 山田浩史・長谷部徳子・福士圭介、ベントナイトの変質年代と温度決定の試み、第 33 回フィッシュントラック研究会、金沢、2009.1.9-10
- (53) 伊藤健太郎・遠藤徳孝・長谷部徳子、C# プログラミングによる火山ガラス中の自発フィッシュントラックの計測、第 33 回フィッシュントラック研究会、金沢、2009.1.9-10
- (54) 長谷部徳子・市山祐司・田村明弘、岩石薄片のアパタイト FT 年代測定、第 33 回フィッシュン

ト ラック研究会, 金沢, 2009.1.9-10

- (55) 稲垣亜矢子・伊藤一充・遠藤徳孝・長谷部徳子・柏谷健二, Java プログラムを用いる TLCI 色解析, 2008 年度ルミネッセンス年代測定研究会, 浜松, 2009.3.2-4
- (56) 伊藤一充・長谷部徳子・田村明弘・荒井章司, ルミネッセンス年代測定のための LA-ICP-MS による放射性同位体測定, 2008 年度ルミネッセンス年代測定研究会, 浜松, 2009.3.2-4
- (57) 伊藤健太郎, 遠藤徳孝, 長谷部徳子, 火山ガラス中のフィッシュントラック数計測の自動化—画像処理による高速化を目指して—, 第 76 回パターン計測部会研究会, 金沢, 2008.7.11
- (58) 福士圭介, 青山和樹, 永田貴洋, 水-フェリハイドライト界面における吸着硫酸イオンの表面化学種分布, 日本地球化学会第 55 回年会, 東京, 2008.9.17-19
- (59) 永田貴洋, 福士圭介, 高橋嘉夫, 表面錯体モデリングによる酸化物への I-吸着の予測, 日本地球化学会第 55 回年会, 東京, 2008.9.17-19
- (60) 福士圭介, 杉浦朋典, 山田浩史, 森下知晃, 長谷部徳子, 遠藤徳孝, 鉄-ベントナイト相互作用のナチュラルアナログ, 第 52 回粘土科学討論会, 那覇, 2008.9.3-5
- (61) 宗本隆志, 福士圭介, モノハイドロカルサイトの安定性: モノハイドロカルサイトの相変化速度に及ぼすリン酸の影響, 第 52 回粘土科学討論会, 那覇, 2008.9.3-5
- (62) 福士圭介, 宗本隆志, 福本寛人, 柏谷健二, フブスグル湖堆積物に認められたモノハイドロカルサイトの生成と安定性, 日本 BICER 協議会第 18 回総会・シンポジウム, 京都, 2008.6.7-8
- (63) 宗本隆志, 福士圭介, モノハイドロカルサイトの生成と安定性, 日本地球惑星科学連合 2008 年大会, 幕張, 2008.5.29
- (64) 福本寛人, 福士圭介, 落合伸也, 柏谷健二, フブスグル湖堆積物中の鉱物組成から読み取る湖沼環境の変動, 日本地球惑星科学連合 2008 年大会, 幕張, 2008.5.29
- (65) 永田貴洋, 福士圭介, 高橋嘉夫, フェリハイドライトによるヨウ素吸着の表面錯体モデリング, 日本地球惑星科学連合 2008 年大会, 幕張, 2008.5.29
- (66) 福士圭介, 杉浦朋典, 森下知晃, 長谷部徳子, 遠藤徳孝, 伊藤弘志, 鉄-ベントナイト相互作用のナチュラルアナログ、含鉄溶液によるベントナイトの変質挙動, 日本地球惑星科学連合 2008 年大会, 幕張, 2008.5.29
- (67) 福士圭介, 杉浦朋典, 森下知晃, 長谷部徳子, 遠藤徳孝, 伊藤弘志, 鉄-ベントナイト相互作用のナチュラルアナログ, 水-鉱物-大気-微生物相互作用研究会, 東京, 2008.3.6-7
- (68) 阿部琢也、小池裕也、廣田昌大、小佐古敏莊、山口芳香、田中究、村田祥全、小村和久：メソスケール大気動態解析のための大気中放射性核種の高解像度同時観測. 日本保健物理学会、沖縄 (2008.6)
- (69) 福嶋正巳、長尾誠也：ヒドロキノンを修飾した腐植酸への鉄ポルフィリン触媒の導入とその触媒活性の評価. 第 24 回腐植物質学会、札幌 (2008.11)
- (70) 福山泰治郎、恩田裕一、水垣滋：貯水池堆積物の解析に基づいたヒノキ人工林流域の侵食履歴推定. 平成 20 年度砂防学会研究発表会、札幌 (2008.5)
- (71) 福山泰治郎、恩田裕一、水垣滋：貯水池堆積物中の放射性降下物から推定したヒノキ人工林流域の侵食履歴. 第 21 回水文・水資源学会総会・研究発表会、東京 (2008.8)
- (72) Fukuyama, T., Onda, Y., Gomi, T., Yamamoto, K., Kondo, N., Miyata, S., Kosugi, K., Mizugaki, S., Tsubonuma, N.: Erosion processes in Japanese cypress plantation catchment estimated from the Cs-137 and Pb-210ex activities in suspended sediment. *Hydrochange 2008*, Kyoto (2008.10)

- (73) 福山 泰治郎、山本 政儀、井上 瞳夫、恩田 裕一、水垣 滋、成沢 知広：放射性核種 Be-7 (ベリリウム 7) の表土トレーサーとしての適用性の検討. 第 120 回日本森林学会大会、京都 (2009.3)
- (74) 浜島靖典、古沢優太：薄いプラスチックシンチレータと波長変換ファイバーを用いた Ge 用宇宙線除去装置の開発. 第 52 回放射化学討論会、広島 (2008.9)
- (75) Inoue, M. and Nakamura, N.: Peculiar REE pattern in a granular-olivine inclusion from the Murchison (CM2) chondrite. 71th Annual Meeting of the Meteoritical Society, Matsue, Japan (2008.7-8)
- (76) 井上瞳夫、中野佑介、福山泰治郎、小藤久毅、浜島靖典：手取川流域の降水、地下水、河川水における³H, ⁷Be, ²²Na, ¹³⁷Cs および Ra 同位体の分布. 第 52 回放射化学討論会、広島 (2008.9)
- (77) 井上瞳夫、中野佑介、福山泰治郎、小藤久毅、横田喜一郎、浜島靖典：³H, ⁷Be, ²²Na, ¹³⁷Cs および Ra 同位体をトレーサーとした水圏における水循環---手取川流域を例にとって---. 日本陸水学会第 73 回大会、札幌 (2008.10)
- (78) 美濃健太、坂口綾、山本政儀、柏谷健二、中村俊夫：湖底堆積物中のウラン・トリウム同位体：モンゴル・フブスグル湖. 日本陸水学会第 73 回大会、札幌 (2008.10)
- (79) Mino, K., Sakaguchi, A., Krivonogov, S., Orkhonselenge, A., Nakamura, T., Kashiwaya, K., Yamamoto, M.: URANIUM AND THORIUM RECORDS IN THE HOLOCENE HIGH-RESOLUTION SEDIMENTS FROM BORSOG BAY IN LAKE HOVSGOL, MONGOLIA The 7th International symposium on Environmental Changes in East Eurasia and Adjacent Areas – High resolution records of terrestrial sediments, Hatgal, Mongolia (2008.8)
- (80) 三上裕、閑宰、長尾誠也、福嶋正巳、荒巻能史、内田昌男、柴田康行、南秀樹、加藤義久、坂本竜彦、中塚武：オホーツク海表層堆積物における有機物の起源推定. 日本地球化学会年会、東京 (2008.9)
- (81) Nagao, S., Aoyama, M., Watanabe, A., Tanaka. T.: Complexation of Am with size-fractionated soil humic acids, 5th International Conference Interactions Against Pollution, Kyoto (2008.6)
- (82) Nagao, S., Aramaki, T., Seki, O., Uchida, M., Shibata, Y.: Carbon isotopes of POC in a small river in Bekanbeushi moor, northern Japan 11th International Conference on Accelerator Mass Spectroscopy, Rome, Italy (2008.9)
- (83) Nagao, S., Itoh, S., Yoh, M., Yan, B., Zhang, B., Shiraiwa. T.: Spatial distribution of fluorescent organic matter in groundwaters at Sanjiang Plain. International Symposium on Hydrological Changes and Measurements from Headwater to the Ocean, Kyoto (2008.10)
- (84) Nagao, S., Aramaki, T., Ogurom, Y., Amano, H., Uchida, M., Shibata, Y.: Variations in $\Delta^{14}\text{C}$ values of POM in the Ishikari River, American Geophysical Union, Fall Meeting, San Francisco, America (2008.12)
- (85) 長尾誠也：北海道湿原域河川水の腐植物質の特徴と移行挙動. 第 24 回日本腐植物質学会、札幌 (2008.11)
- (86) 長尾誠也、岩月輝希、吉川英樹：北海道幌延地域の深部地下水腐植物質の特徴. 日本地球化学会年会、東京 (2008.9)
- (87) 中野佑介、井上瞳夫、皆川昌幸、田中究、浜島靖典：日本海海水における⁷Be, ¹³⁷Cs, ²²⁶Ra, ²²⁸Ra および ²²⁸Th の鉛直分布. 第 52 回放射化学討論会、広島 (2008.9)
- (88) 閑宰、長尾誠也、児玉宏樹、米林甲陽、宮島徹、中塚武、藤嶽暢英：土壤、堆積物および溶存腐植物質の水素同位体比. 第 24 回腐植物質学会、札幌 (2008.11)
- (89) 鈴木智代、長尾誠也、楊宗興、閻百興：中国三江平原における溶存有機物の蛍光特性. 地球惑星

科学合同大会、幕張 (2008.5)

- (90) 玉村修司、長尾誠也 : Eu(III)との錯形成による蛍光消光特性の腐植物質分子量依存性—三次元—蛍光スペクトルと高速液体サイズ排除クロマトグラフィーによる検討、第 24 回腐植物質学会. 札幌 (2008.11)
- (91) 寺島元基、長尾誠也、福嶋正巳 : フミン酸およびそのサイズ画分のカオリナイトへの協同吸着. 第 24 回腐植物質学会、札幌 (2008.11)
- (92) 富田純平、山本政儀、佐竹洋 : 大深度掘削井から得られた Na-Cl 型温鉱泉の Ra 同位体 : 新潟県. 日本温泉科学会、茨城 (2008.9)
- (93) 富田純平、井上睦夫、浜島靖典、佐竹洋、山本政儀 : 日本海沿岸地域の大深度掘削井から得られる高塩濃度 Na-Cl 型温鉱泉の Ra 同位体. 日本陸水学会第 73 回大会、札幌 (2008.10)
- (94) 遠藤暁、静間 清、星 正治、天野 光、富田純平、山本政儀、今中哲二、福谷 哲、田中憲一、川村秀久、河村日佐男 : セミパラチンスク核実験場近郊から採取した土壤試料中I-129汚染量の測定. 日本原子力学会、東京 (2009.3)
- (95) 山口芳香、阿部琢也、村田祥全、田中究、小村和久 : 大気中環境動態のトレーサーとしての極低レベル放射性核種の高解像度観測. 日本保健物理学会、沖縄 (2008.6)
- (96) Yamamoto, M., Kawai, K., Mino, K., Tomita, J., Oikawa, S., Imanaka, T., Hoshi, M., Endo, S., Apsalikov, K. N., Sakaguchi, A., Steier, P.: Radionuclide Contamination of the Settlements where the Semipalatinsk historical cohort resided: Laying Stress on Sarzhal and Karaul settlements. 14th Hiroshima International Symposium-Semipalatinsk and related studies, Hiroshima (2009.3)

5) 研究交流

- 共同研究

- 柏谷健二、山本政儀、長谷部徳子、福士圭介、モンゴル・フズスグル湖掘削；モンゴル・地質資源研究所、ロシア地球化学研究所、韓国・韓国地質資源研究院
 - 柏谷健二、山本政儀、長谷部徳子、福士圭介、中国東北部豆満江流域の環境変動に関する共同調査・解析；中国・延辺大学
 - 柏谷健二、山本政儀、長谷部徳子、福士圭介、韓国中央部の地表環境の共同調査・解析；韓国・韓国地質資源研究院
 - 柏谷健二、山本政儀、長谷部徳子、福士圭介、台湾日月潭流域の環境に関する共同調査・解析；台湾・国立台湾大学
 - 長谷部徳子、インドネシアジャワ原人の時代決定、国立科学博物館
 - 山本政義、旧ソ連核実験場セミパラチンスクの環境放射能汚染と住民の被曝線量評価、星 正治、広島大学原爆医学放射線研究所、1995-現在
 - 長尾誠也、北東アジアの人間活動が北太平洋の生物生産に与える影響評価、総合地球環境学研究所、2003-現在
 - 長尾誠也、深部地質環境における生物化学特性の評価、産業技術総合研究所、2005-現在
 - 浜島靖典、放射性同位元素分析によるズワイガニの年齢評価、若狭湾エネルギーセンター、2007-現在
- 海外渡航
- 柏谷健二、韓国・大田・ソウル、招待講演・共同調査、2008.5.20-23

- 2) 柏谷健二、中国・延辺、共同調査、2008.7.29-8.3
- 3) 柏谷健二、モンゴル・ウランバートル・ハトガル、国際会議出席、2008.8.23-29
- 4) 柏谷健二、台湾・台北、国際会議・招待講演、2008.11.14-16
- 5) 柏谷健二、モンゴル・ウランバートル・ハトガル、共同調査、2009.3.2-8
- 6) 長谷部徳子、モンゴル・ハトガル、国際会議出席、2008.8.22-29
- 7) 長谷部徳子、アメリカ・アラスカ、国際会議出席、2008.9.11-24
- 8) 福士圭介、モンゴル・ウランバートル、ハトガル、フブスグル湖調査、2008.2.20-3.4
- 9) 福士圭介、モンゴル・ウランバートル、ハトガル、国際会議出席、2008.8.23-29
- 10) 山本政儀、フブスグル湖周辺環境試料採取、モンゴル (2008.8)
- 11) 山本政儀、「旧ソ連核実験場周辺住民の被曝線量評価」の土壤試料収集、カザフスタン共和国 (2008.9)
- 12) 山本政儀、「平和研究と平和教育」に関する国際会議参加と現地状況調査、国立トムスク教育大学 (ロシア連邦) (2008.9)
- 13) 長尾誠也、河口域調査、アムール川、ロシア (2008.8)
- 14) 長尾誠也、American Geophysical Union の Fall Meeting、サンフランシスコ、アメリカ (2008.12)
- 訪問外国人研究者
 - (1) Kim Jin Kwan, 韓国地質資源研究院、研究員、共同研究、2008.5.6-9
 - (2) 李春景、中国延辺大学、副教授、共同研究・国際会議出席、2008.9.27-11.5
 - (3) Yang Xiangdong, 中国科学アカデミー南京地理湖沼研究所、教授、国際会議出席、2008.10.7-11
 - (4) Wu Jinglu, 中国科学アカデミー南京地理湖沼研究所、教授、国際会議出席、2008.10.7-11
 - (5) Wu Yanhong, 中国科学アカデミー南京地理湖沼研究所、教授、国際会議出席、2008.10.7-11
 - (6) Xia Weilan, 中国科学アカデミー南京地理湖沼研究所、国際会議出席、2008.10.7-11
 - (7) Xue Bin, 中国科学アカデミー南京地理湖沼研究所、教授、国際会議出席、2008.10.7-11
 - (8) Shen Ji, 中国科学アカデミー南京地理湖沼研究所、教授、国際会議出席、2008.10.7-11
 - (9) Kim Jin Kwan, 韓国地質資源研究院、研究員、国際会議出席、2008.10.7-11
 - (10) Kim Ju Yong, 韓国地質資源研究院、地質環境災害研究部、責任研究員、国際会議出席、2008.10.7-11
 - (11) Nahm Wook Hyun, 韓国地質資源研究院、研究員、国際会議出席、2008.10.7-11
 - (12) Yang Dong Yoon, 韓国地質資源研究院、地質環境災害研究部チームリーダー、国際会議出席、2008.10.7-11
 - (13) Lim Jaesoo, 韓国地質資源研究院、研究員、国際会議出席、2008.10.7-11
 - (14) Kim Jeong Chan, 韓国地質資源研究院、研究員、国際会議出席、2008.10.7-11.
 - (15) Yun Hyun Soo, 韓国地質資源研究院、研究員、国際会議出席、2008.10.7-11
 - (16) Woo Kyung Sik, Kangwon National University, 教授、2008.10.7-11
 - (17) 田中幸哉、韓国慶熙大学校、教授、国際会議出席、2008.10.7-11
 - (18) Lin Jiun-Chuan, 国立台湾大学、教授、国際会議出席、2008.10.7-11
 - (19) Jen Chia-Hung, National Kaohsiung Normal University, 国際会議出席、2008.10.7-11
 - (20) Oyunchimeg Tserentsegmid, モンゴル科学アカデミー・地質鉱物資源研究所、研究員、国際会議出席、2008.10.7-11
 - (21) Alexander Orkhonselenge, Korea Institute of Geoscience & Mineral Resources, 博士研究員、共同研究、2009.2.3-10

- (22) Yang Dong Yoon, 韓国地質資源研究院、地質環境災害研究部チームリーダー、セミナー出席、2009.2.9-11
- (23) Feroze Ahamed, バングラデシュ工科大学(BUET)、教授、研究討論、2008.10
- (24) Andreas Bauer, 研究員, Forschungszentrum Karlsruhe GmbH, Germany、国際ワークショップ参加、2008.11
- (25) Eric Gaucher, 研究員, BRGM, France、国際ワークショップ参加、2008.11
- (26) James Wilson, 研究員, Quintessa Ltd. UK、国際ワークショップ参加、2008.11
- (27) Luc R. Van Loon, 研究員, Paul Scherrer Institut, Switzerland、国際ワークショップ参加、2008.11
- 非常勤講師
 - (1) 柏谷健二, 九州大学
 - (2) 柏谷健二, 岡山理科大学
 - (3) 柏谷健二, 三重大学

6) 各種活動

- 学会活動
 - (1) 柏谷健二：日本地形学連合委員, 1981－現在
 - (2) 柏谷健二：日本地形学連合涉外主幹, 2007－現在
 - (3) 柏谷健二：国際ワークショップ「現代の環境プロセスと歴史的環境変動」共同議長, 2004－現在
 - (4) 柏谷健二：日本 BICER 協議会副会長, 2006－現在
 - (5) 柏谷健二：International Symposium on Terrestrial Environmental Changes in East Eurasia and Adjacent Areas 共同議長, 2003-現在
 - (6) 柏谷健二：日本学術会議地球惑星科学委員会 IAG 小委員会委員長, 2006－現在、連携会員、2009-現在
 - (7) 柏谷健二：国際地形学会日本代表, 2008－現在
 - (8) 長谷部徳子、地質学雑誌編集委員
 - (9) 長谷部徳子、地質学会代議員
 - (10) 長谷部徳子、フィッショントラック研究会会長
 - (11) 福士圭介、日本粘土学会若手の会代表, 2008－現在
 - 山本政儀：日本放射線影響学会幹事、日本原子力学会中部支部幹事、日本放射化学会編集委員、日本温泉科学会編集委員
 - (12) 長尾誠也：日本腐植物質学会評議員、日本原子力学会学会誌編集委員、日本分析化学会北海道支部幹事
- 社会活動
 - (1) 福士圭介、(独) 物質・材料研究機構光触媒センターリサーチアドバイザー、2007-現在
 - (2) 福士圭介、(財) 原子力安全研究協会「人工バリアの設計・製作に関する技術課題検討専門委員会ワーキンググループ」委員、2007-現在
 - (3) 福士圭介、(独)産業技術総合研究所地質調査総合センター協力研究員、2008-現在
- 地方自治体役員等
 - (1) 長谷部徳子、泉丘高校「資源とエネルギー：鉱物・岩石の観察と放射能測定」実習、2009年3月6

目

- (2) 福士圭介、金沢子ども科学財団、児童・生徒科学研究作品展、審査員、2008年
- (3) 山本政儀：原子力安全委員会核燃料安全専門審査会審査委員、国連科学委員会 UNSCEAR 国内対応委員、核融合科学研究所重水実験安全評価委員会委員、環境科学技術研究所委員会委員、福井県原子力安全専門委員会委員、福井県美浜町原子力環境安全監視委員、福井県客員研究員、石川県環境試料測定法調査検討委員
- (4) 長尾誠也：日本原子力研究開発機構研究嘱託、日本分析センター「放射能分析確認調査」ワーキンググループ委員、地球科学技術総合推進機構「非破壊計測ワーキンググループ」委員

エコテクノロジー研究部門

1) 学術論文

- (1) Abdelkareem, A. H., Kimura, S., Kiwata, T. and Komatsu, N., 2008, Oscillatory natural convection in a Hele-Shaw Cell due to unstably-heated side. *Transport in Porous Media*, 76 (3), 363-375.
- (2) Bardakov, R. N., Kistovich, A. V. and Kimura, S., 2008, The calculation of sound velocity for inhomogeneous fluid. *Fluxes and Structures in Fluid-2007: Selected Papers*, Edited by Y.D. Chashechkin and V.G. Baydulov, Institute for Problems in Mechanics of the Russian Science of Academy, 18-23.
- (3) Crumeyrolle, S., Gomes, L., Tulet, P. and Matsuki, A., 2008, Schwarzenboeck, A. and Crahan, K., Increase of the aerosol hygroscopicity by cloud processing in a mesoscale convective system: a case study from the AMMA campaign. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 8, 6907-6924.
- (4) Hirabuki, Y., Araki, Y., Dourung, P., Tsukawaki, S., Suzuki, K., Im, S. and Chay, R., 2009, Herbaceous aquatic vegetation in Lake Tonle Sap at peak flooding: a case study at Chong Khnies, Southern Siem Reap. *Treatises of Faculty of Liberal Arts, Tohoku Gakuin University*, 152, 57-68.
- (5) Iwasaka, Y., Shi, G.-Y., Yamada, M., Kobayashi, F., Kakikawa, M., Maki, T., Naganuma, T., Chen, B., Tobe, Y. and Hong, C.-S., 2009, Mixture of Kosa (Asian dust) and bioaerosols detected in the atmosphere over the Kosa particle source regions with balloon-borne measurements: possibility of long-range transport. *Air Quality, Atmosphere and Health*, DOI 10.1007/s11869-009-0031-5.
- (6) Kakikawa, M., Kobayashi, F., Maki, T., Yamada, M., Higashi, T., Chen, B., Shi, G.-Y., Hong, C.-S., Tobe, Y. and Iwasaka, Y., 2008, Dustborne microorganisms in the atmosphere over Asian dust source region. *Air Quality, Atmosphere and Health*, DOI 10.1007/s11869-008-0024-9.
- (7) Kakikawa, M., Kobayashi, F., Maki, T., Yamada, M., Higashi, T., Chen, B., Shi, G.-Y., Hong, C.-S., Tobe, Y. and Iwasaka, Y., 2008, Phylogenetic diversity and vertical distribution of a halobacterial community in the atmosphere of an Asian dust (KOSA) source region, Dunhuang city, air quality. *Air Quality, Atmosphere and Health*, DOI 10.1007/s11869-008-0016-9.
- (8) Kanaoka, Y., Kimura, S., Vynnycky, M., Kimura, O. and Kiwata, T., in press, Method for measuring fluid velocity based on periodic heating and MEMS techniques. *Int. J. Transport Phenomena*.
- (9) Kanev, K., Kimura, S. and Orr, T., 2009, A framework for collaborative working in dynamic group environments. *Journal of Distance Education Technologies*, 7 (1), 58-77.
- (10) 木村繁男・野原庸平・木綿隆弘・小松信義, 印刷中, 上方冷却による2成分系水溶液の凝固プロセス, 日本機械学会論文集 (B編)
- (11) 木綿隆弘・喜多哲義・山田達郎・高田真映・小松信義・木村繁男, 2008, リンク機構による

- 可変ピッチ式直線翼型垂直軸風車の性能に関する研究, 日本機械学会論文集(B 編), 74 (748), 2543-2551.
- (12) Komatsu, N., Kiwata, T. and Kimura, S., 2008, Numerical irreversibility in self- gravitating small N-body systems. *Physica A*, 387 (10), 2267-2278.
 - (13) Komatsu, N., Kiwata, T. and Kimura, S., 2009, Numerical irreversibility in self- gravitating small N-body systems. (II). Influence of instability affected by softening parameters. *Physica A*, 388 (Issue 5-1), 639-650.
 - (14) Matsuki, A., Schwarzenboeck, A., Venzac, H., Laj, P., Crumeyrolle, S. and Gomes, L., 2009, Effect of surface reaction on the cloud nucleating properties of mineral dust: AMMA aircraft campaign in summer 2006. *Atmospheric Chemistry and Physics Discussion*, 9, 1797-1830.
 - (15) Rokugou, A., Kiwata, T., Okajima, A., Kimura, S. and Yamamoto, H., 2008, Numerical analysis of aerodynamic sound radiated from rectangular cylinder. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 96 (10-11), 2203-2216.
 - (16) Tobo, Y., Iwasaka, Y., Zhang, D., Shi, G., Kim, Y.-S., Tamura, K. and Ohashi, T., 2008, Summertime “ozone valley” over the Tibetan Plateau driven from ozonesondes and EP/TOMS data. *Geophys. Res. Lett.*, 35, L16801, doi:10.1029/2008GL034341
 - (17) Tobo T., Zhang, D., Nakata, N., Yamada, M., Ogata, H., Hara, K. and Iwasaka, Y., 2009, Hygroscopic mineral dust particles as influenced by chlorine chemistry in the marine atmosphere. *Geophys. Res. Lett.*, 36, doi 10.1029/2008GL036883
 - (18) 富田瑞樹・平吹喜彦・荒木祐二・Ly Bora・塙脇真二・Hang Peou, 2008, アンコール遺跡に生残する樹木の個体群構造と空間分布の景観生態学的評価. 地理情報システム学会講演論文集, 17, 493-496.
 - (19) Tsukawaki, S., Surface sediment samples of the Japan Sea and the surrounding seas collected by R/V *Tansei-maru* and Kanazawa University. *Nihon-Kaiiki Kenkyu*, 40, 141-153.
 - (20) 塙脇真二・伊藤恒平・谷 英治・浅井健史, 2009, 金沢大学角間キャンパスの地質－地学散策/地層観察ルート策定のための基礎資料. 日本海域研究, 40, 1-11.

2) 総説・資料・報告書

- (1) 岩坂泰信, 2008, 黄砂は何を運んでくるのか. 科学, 78, 729-735.
- (2) 岩坂泰信, 2008, 金沢大学における特色ある教育・研究の取り組み - 環日本海域に見る土地・海・風の環. 文部科学教育通信, November No.2008, 32-33.
- (3) 木村繁男, 2008, 現場紹介「環日本海域環境研究センター」, 地熱技術, 33 (1-2), 77-81.
- (4) 谷 英治・伊藤恒平・浅井健史・塙脇真二, 2008, 石川県津幡町南部鳥越～富山県小矢部市北西部横谷地域の層序. 2007 年度金沢大学環日本海域環境研究センタ一年報, 100-103.
- (5) 塙脇真二, 2009, いしかわの地質資産－金沢市の大桑層. 地質いしかわ, 63, 12-13.
- (6) 塙脇真二, 2008, カンボジアの自然環境と環境保全－トシレサップ湖の自然環境調査およびアンコール遺跡の環境保全調査から－. 電力土木, 355, 3-9.

3) 著書

4) 学術発表

- (1) Araki, Y., Hirabuki, Y., Tomita, M., Hang, P., Ly, B. And Tsukawaki, S., Reinventory of the emergent-trees in the Preah Khan forest in the Angkor Monument Park, Cambodia. *International Symposium on the Present Situation of Environment in the Angkor Monument Park and Its Environs, Cambodia*, UNESCO/JASA Central Hall, Siem Reap, Cambodia (2009. 3)
- (2) Araki, Y., Hirabuki, Y., Tomita, M., Hang, P., Ly, B. And Tsukawaki, S., Emergent-trees photography in the Preah Khan forest—toward to exhibition into the ruins –. *International Symposium on the Present Situation of Environment in the Angkor Monument Park and Its Environs, Cambodia*, UNESCO/JASA Central Hall, Siem Reap, Cambodia (2009. 3).
- (3) Crumeyrolle, S., Gomes, L., Tullet, P., Bourrianne, T., Burnet, F., Venzac, H., Matsuki, A., Schwarzenboeck, A., Laurent, O. and Momboisse, G., ATR-42 observations and modelisation of dust particles during the AMMA campaign. *AMMA (African Monsoon Multidisciplinary Analysis) Aerosol and Chemistry Joint Meeting of WPs 2.4, 2.1.2 & 4.1.3*, Toulouse, France (2009. 2)
- (4) Crumeyrolle, S., Gomes, L., Tullet, P., Matsuki, A. and Schwarzenboeck, A., The role of mesoscale convective systems in the change of aerosol hygroscopic properties: a case study from the AMMA campaign. *IGAC (International Global Atmospheric Chemistry) 10th International Conference*, Annecy, France (2008. 9)
- (5) Fujioka, Y., Kimura, S., Kiwata, T., Komatsu, N. and Nakamura, K., Observation of turbulent diffusion in a deciduous forest canopy in winter. *Proceedings of the 3rd International Symposium on Biomechanics, Human Function and Information Science*, Kanazawa, Japan, 76-91 (2009.2).
- (6) Furuuchi, M., Tsukawaki, S., Hang, P., Sieng, S., Yoshikawa, F. and Masai, A., Characteristics of air pollution and possible emission sources in Siem Reap and Angkor Monument Area, Cambodia. *International Symposium on the Present Situation of Environment in the Angkor Monument Park and Its Environs, Cambodia*, UNESCO/JASA Central Hall, Siem Reap, Cambodia (2009. 3).
- (7) Furuuchi, M., Tsukawaki, S., Lim, K., Kanamori, M., Hang, P., Sieng, S., Hata, M., Mikami, N. and Masai, A., Seasonal characteristics of air pollution in Phnom Penh: particulate matter and particle-bound PAHs. *International Symposium on the Present Situation of Environment in the Angkor Monument Park and Its Environs, Cambodia*, UNESCO/JASA Central Hall, Siem Reap, Cambodia (2009. 3).
- (8) Hirabuki, Y., Araki, Y., Powkhy, D., Tsukawaki, S., Rachana, C., Tomita, M., Bora, L., Peou, H. and Suzuki, K., Degraded Barringtonia-dominant vegetation around Lake Tonle Sap, Cambodia: zonal arrangement of vegetation, life-style shift of local people and ecological significance of the inundated woodland under large seasonal fluctuations in water-level. *International Conference FORTROP II "Tropical Forestry Change in a Changing World*, Kasetsart University, Bangkok, Thailand (2008.11).
- (9) Hirabuki, Y., Tomita, M., Araki, Y., Ly, B., Rith, S., Tsukawaki, S. and Hang, P., Spatial arrangement of emergent-trees in the Preah Khan monument: present status and proposed eco-management. *International Symposium on the Present Situation of Environment in the Angkor Monument Park and Its Environs, Cambodia*, UNESCO/JASA Central Hall, Siem Reap, Cambodia (2009. 3).
- (10) Iwasaka, Y., Shi, G.-Y., Yamada, M., Kobayashi, F., Kakikawa, M., Maki, T., Naganuma, T., Chen, B., Tobo, Y., Hong, C.-S., Mixture of Kosa and Bioaerosols Detected in the Atmosphere over the KOSA (Asian Dust) Particles Source Regions: Balloon-borne Measurements at Dunhuang, China. *5th*

International Workshop on Sand/Duststorms and Associated Dustfall, Urumqi, China (2008.5)

- (11) Japan National Committee for CCOP (Tsukuda, E., Tsukawaki, S. et al.), 2008, *Member Country Report of Japan*, 45th Annual Session, Pullman Hotel, Khon Kaen, Thailand (2008.11).
- (12) Kakikawa, M., Kobayashi, F., Maki, T., Yamada, M., Higashi, T., Chen, B., Shi, G., Hong, C., Tobo, Y. and Iwasaka, Y., Dustborne microorganisms in KOSA source region, Dunhuang. *5th International Workshop on Sand/Duststorms and Associated Dustfall*, Urumqi, China (2008.5).
- (13) Kanaoka, Y., Kimura, S., Vynnycky, M. and Kiwata, T., Temperature signal characteristics of the MEMS flow sensor adopting a periodic heating method at low flow velocities. *Proceedings of the 19th International Symposium on Transport Phenomena*, Reykjavik, Iceland, ISPT19-58 (CD-ROM), 1-7 (2008.8).
- (14) Kanev, K., Kimura, S. and Yoneya, M., E-learning fluid flows: tank discharge through an orifice, *Proceedings of Inter-Academia 2008*, Pecs, Hungary, 144-151 (2008.9).
- (15) 木村 平・木綿隆弘・齊藤雅之・小松信義・木村繁男, 円筒型給水タンク内の流動制御に関する研究. 日本機械学会北陸信越支部第46期総会・講演会講演論文集, 097-1, 239-240, 富山 (2009.3).
- (16) 木綿隆弘・富岡裕之・喜多哲義・小松信義・木村繁男, 可変ピッチ式直線翼垂直軸風車用翼形に関する研究. 日本機械学会北陸信越支部第46期総会・講演会講演論文集, 097-1, 富山, 215-216 (2009.3).
- (17) Kiwata, T., Murata, H., Kimura, S. and Komatsu, N., Flow characteristics of plane jet with an extended lip and tabs, *Proceedings of 2nd International Conference on Jets, Wakes and Separated Flows*, Berlin, Germany, ICJWSF-08_Kiwata (CD-ROM), 1-9 (2008.10).
- (18) Kobayashi, F., Toda, S., Yamada, M., Kakikawa, M., Maki, T., Higashi, T., Hong, C., Tobo, Y., Chen, B., Shi, G.-Y., Iwasaka, Y., Bioaerosols in the convective mixed layer over KOSA region, Dunhuang. *IGAC 10th International Conference*, Annecy, France (2008.9).
- (19) Komatsu, N., Kimura, S. and Kiwata, T., Irreversibility and instability in long-range interacting systems, creation of non-equilibrium soft matter physics, -structure and dynamics of mesoscopic systems-, *Abstracts of the International Symposium on Non-Equilibrium Soft Matter*, Kyoto, JAPAN, p.36 (2008.6).
- (20) 小松信義・木綿隆弘・木村繁男, N体シミュレーションの数値誤差と不可逆性:自己重力N体系の数値的不可逆性. 第57回理論応用力学講演会講演論文集 NCTAM2008, 東京, 509-510(2008.6.12).
- (21) Komatsu, N., Kiwata, T. and Kimura, S., Numerical irreversibility and instability in self-gravitating small N-body systems. *Proceedings of the 5th International Conference on Nonlinear Science, Dynamics Days Asia Pacific 5 (DDAP5)*, Nara, JAPAN, p.112 (2008.9).
- (22) 小松信義・木綿隆弘・木村繁男, 自己重力系の非平衡過程と負の比熱のN体解析・日本物理学会北陸支部定例学術講演会 講演予稿集, 福井, p.45 (2008.11).
- (23) 桑野 馨・小松信義・木村繁男・木綿隆弘, ガーニーフラップを取り付けた NACA0012 翼型まわりの流れ場の数値解析. 日本機械学会北陸信越学生会第38回学生卒業研究発表講演会講演論文集, 富山, 139-140 (2009.3).
- (24) Lee, Y. H., Kimura, S., Kiwata, T., Komatsu, N. and Kim, Y. H., Structure analysis on thermal deformation of liquefied gas vaporizer (LNG Satellite Station). *Proceedings of 4th International Conference on Cooling and Heating Technologies*, Jinhae, Korea, 265-271 (2008.10).
- (25) Maki, T., Susuki, S., Kobayashi, F., Kakikawa, M., Yamada, M., Higashi, T., Hong, C., Tobo, Y.,

- Hasegawa, H., Ueda, K. and Iwasaka, Y., Halotolerant bacterial community survived in atmosphere of Asian dust (KOSA) source region, Dunhuang City. *5th International Workshop on Sand/Duststorms and Associated Dustfall*, Urumqi, China (2008. 5)
- (26) 松木 篤, 岩坂泰信, Schwarzenboeck, A., Venzac, H., Laj, P., Crumeyrolle, S. and Gomes, L., 航空機観測に基づく鉱物粒子の雲凝結特性 : 2006 年夏季の AMMA 集中観測から. 第 25 回エアロゾル科学・技術研究討論会, 金沢 (2008. 8)
- (27) 松木 篤, 岩坂泰信, 中村浩二, 早川和一, 川西琢也, 小林史尚, 唐寧, 洪 天祥, 當房豊能, 能登 大気観測スーパーサイト構想 : 発足にむけて. 第 2 回環日本海域環境シンポジウム, 金沢 (2008. 11)
- (28) Matsuki, A., Schwarzenboeck, A., Quennehen, B., Venzac, H., Laj, P., Crumeyrolle, S. and Gomes, L., Physico-chemical CN and CCN characterization onboard ATR-42 during SOP-1, -2a1, and -2a2. *AMMA (African Monsoon Multidisciplinary Analysis) Aerosol and Chemistry Joint Meeting of WPs 2.4, 2.1.2 & 4.1.3*, Toulouse, France (2009. 2)
- (29) 松木 篤, Laj, P., Villani, P., Pichon, J.M., Sellegri, K., Venzac, H., Bonasoni, P., Marinoni, A., Cristofanelli, P., De cesari, S., Facchini, M.C., Fuzzi, S. and Vuillermoz, E., ネパールの標高 5079m における ABC-Pyramid の活動紹介 : 過去 2 ½ 年間の観測概要について. 平成 20 年度 富士山測候所利活用に関する成果報告会, 東京 (招待講演) (2009. 1)
- (30) Matsuki, A., Schwarzenboeck, A., Venzac, H., Laj, P., Laurent, O., Momboisse, G., Crumeyrolle, S., Gomes, L. and Bourrianne, T., Cloud nucleating properties of mineral dust particles observed during AMMA special observation periods in summer 2006. *IGAC (International Global Atmospheric Chemistry) 10th International Conference*, Annecy, France (2008. 9)
- (31) 宮川朋也・木村繁男・木綿隆弘・小松信義, 地下水用流向・流速プローブの熱伝達に関するシミュレーション. 日本地熱学会平成 20 年学術講演会・講演会講演要旨集, A08, 石川 (2008.10) .
- (32) Motomura, H., Tsukawaki, S., Hang, P., Chou, R. and Sar, S., Ichthyofauna in the moats of Angkor Wat, Siem Reap, with comments on fishes of Lake Tonle Sap, Cambodia. *International Symposium on the Present Situation of Environment in the Angkor Monument Park and Its Environs, Cambodia*, UNESCO/JASA Central Hall, Siem Reap, Cambodia (2009. 3).
- (33) 仁志出憲聖・木綿隆弘・小松信義・木村繁男・金 栄勲, 片側平板及び鋸歯状タブを付加した平面噴流の可視化・日本機械学会北陸信越学生会第 38 回学生員卒業研究発表講演会講演論文集, 富山, 171-172 (2009.3) .
- (34) 奥田晃徳・木村繁男・木綿隆弘・小松信義, 安定成層流体中における二次元山形模型周りの水槽実験. 第 42 回北陸流体工学研究会, 富山 (2009.2).
- (35) Oyagi, H., Ishikawa, T., Okumura, Y., Chhay, B., Hang, P. and Tsukawaki, S., Seasonal change in the water quality in Siem Reap River, Cambodia. *International Symposium on the Present Situation of Environment in the Angkor Monument Park and Its Environs, Cambodia*, UNESCO/JASA Central Hall, Siem Reap, Cambodia (2009. 3).
- (36) 大八木英夫・遠藤修一・奥村康昭・石川俊之・塚脇真二, カンボジア・トンレサップ湖とその集水域における水質特性について. 日本地熱学会第 73 回大会, 北海道大学, 札幌 (2008.10).
- (37) 小澤 裕・木村繁男・山田外史・木綿隆弘・小松信義, 電気抵抗値の変化による地下水流动測定の室内実験, 電気抵抗値の変化による地下水流动測定の室内実験. 日本地熱学会平成 20 年学術講

演会・講演会講演要旨集, A07, 石川 (2008.10) .

- (38) Schwarzenboeck, A., Matsuki, A., Venzac, H., Laj, P. and Gomes L., Aerosol vertical profiles measured before and after the arrival of the West African Monsoon in summer 2006. *European Aerosol Conference*, Thessaloniki, Greece (2008. 8).
- (39) Takahara, T., Tsukawaki, S., Yamakami, T. and Chhouk, C. H., Possibility of ground settlement in varying ground water level around Angkor Monuments, Cambodia. *International Symposium on the Present Situation of Environment in the Angkor Monument Park and Its Environs, Cambodia*, UNESCO/JASA Central Hall, Siem Reap, Cambodia (2009. 3).
- (40) Takebayashi, S., Tsukawaki, S., Hang, P. and Chhay, B., Channel deformation characteristics of Siem Reap River, Cambodia. *International Symposium on the Present Situation of Environment in the Angkor Monument Park and Its Environs, Cambodia*, UNESCO/JASA Central Hall, Siem Reap, Cambodia (2009. 3).
- (41) 富岡裕之・木綿隆弘・Elkhouri Michel・喜多哲義・小松信義・木村繁男, 可変ピッチ式直線翼垂直軸風車性能の流管モデルによる予測と風洞実験. 日本機械学会 2008 年度年次大会講演論文集, 2 (08-1), 横浜, 175-176 (2008. 8).
- (42) 富田瑞樹・平吹喜彦・荒木祐二・Ly Bora・塚脇真二・Hang Peou, アンコール遺跡に生残する樹木の個体群構造と空間分布の景観生態学的評価. 地理情報システム学会, 東京大学生産技術研究所, 東京 (2008.10).
- (43) Tomita, M., Hirabuki, Y., Araki, Y., Ly, B., Tsukawaki, S. and Hang, P., Landscape and forest ecological evaluation of remnant trees in the Preah Khan monument, Cambodia. *International Symposium on the Present Situation of Environment in the Angkor Monument Park and Its Environs, Cambodia*, UNESCO/JASA Central Hall, Siem Reap, Cambodia (2009. 3).
- (44) Tsukawaki, S., Hang, P. and all members of Team ERDAC, An interim report of the environmental researches in and around the Angkor Monument Area, Siem Reap Province, Cambodia (June 2007 - May 2008). *the 17th Technical Committee of the International Co-ordinating Committee for the Safeguarding and Development of the Historic Site of Angkor*, Sokha-Angkor Hotel, Siem Reap, Cambodia (2008. 6.).
- (45) Tsukawaki, S., Hang, P. and all members of Team ERDAC: Introduction of the research activities of the Team ERDAC (Environmental Research Development in Angkor, Cambodia) in the Angkor Monument Park and its environs. *International Symposium on the Present Situation of Environment in the Angkor Monument Park and Its Environs, Cambodia*, UNESCO/JASA Central Hall, Siem Reap, Cambodia (2009. 3).
- (46) Tsukawaki, S. and all members of Teams ERDAC, EMSB and EMSB-u32, and TS21: Background of the environment research in the Angkor Park and its environs, Cambodia - two research programmes in Lake Tonle Sap: the Past, the Present and for the Future -. *International Symposium on the Present Situation of Environment in the Angkor Monument Park and Its Environs, Cambodia*, UNESCO/JASA Central Hall, Siem Reap, Cambodia (2009. 3).
- (47) Tsukawaki, S., Hirabuki, Y., Araki, Y., Suzuki, K., Tomita, M., Droung, P. and So, P., Three Cambodian home-gardens in Siem Reap, Cambodia - on the water and in the forest -. *International Symposium on the Present Situation of Environment in the Angkor Monument Park and Its Environs, Cambodia*, UNESCO/JASA Central Hall, Siem Reap, Cambodia (2009. 3).

- (48) Tsukawaki, S. and Hang, P., Introduction: environmental research development of the Angkor Monument Park, Cambodia. *International Research Seminar on the Present Situation of Environment in the Angkor Monument Park and Its Environs, Cambodia*, Institute of Technology, Phnom Penh, Cambodia (2009. 3).
- (49) Tsukawaki, S., Takebayashi, H., Takahara, T., Yamakami, T. and Motomura, H., Channel deformation characteristics of Siem Reap River, possibility of ground settlement in varying ground water level around Angkor Monuments, and Ichthyofauna in the moats of Angkor Wat, Siem Reap, with comments on fishes of Lake Tonle Sap, Cambodia. *International Research Seminar on the Present Situation of Environment in the Angkor Monument Park and Its Environs, Cambodia*, Institute of Technology, Phnom Penh, Cambodia (2009. 3)
- (50) Vynnycky, M. and Kimura, S., Towards a natural-convection model for the Mpemba Effect. *Proceedings of the 19th International Symposium on Transport Phenomena*, Reykjavik, Iceland, ISPT19-216 (CD-ROM), 1-7 (2008.8).
- (51) 山田達郎・木綿隆弘・小松信義・木村繁男, 可変ピッチ式直線翼垂直軸風車用尾翼のヨーイング運動に関する研究. 日本機械学会北陸信越支部第46期総会・講演会講演論文集, 097-1, 217-218, 富山(2009.3).
- (52) 山田達郎・木綿隆弘・木村繁男・小松信義, 翼のピッチ制御による小形H型ダリウス風車の性能向上. 第42回北陸流体工学研究会, 富山 (2009.2).
- (53) 山本洋民・小林正弘・木村繁男・木綿隆弘・小松信義, 鉛直角管路内の層流片側冷却における凝固実験. 日本機械学会北陸信越支部第46期総会・講演会講演論文集, 097-1, 247-248, 富山 (2009.3).

5) 研究交流

- 共同研究

- 木村繁男, Michael Vynnycky, MACSI Senior Research Fellow, Department of Mathematics and Statistics University of Limerick, Limerick, Irland, Mpemba効果に関する研究
- 木村繁男, Robert McKibbin, Professor, Department of Mathematics, Massey University, New Zealand, 植生内の乱流拡散に関する研究
- 塚脇真二, カンボジア王国アンコール遺跡整備機構(APSARA), アンコール遺跡区域における環境汚染の現状と評価
- 塚脇真二, カンボジア王国産業省資源総局(GDMR), アンコール遺跡整備機構(APSARA), 水資源気象省水文河川局, UNESCO/MAB-IHP, カンボジアのトンレサップ湖における生物多様性維持機構調査(EMSB&EMSB-u32)
- 塚脇真二, タイ王国マヒドゥ大学, 同チュラロンコン大学, 同プリンスオブソンクラ大学, 同産業省資源局(DMR), 東北大大学, 信州大学, 弘前大学, スマトラーアンダマン津波の影響評価
- 塚脇真二, タイ王国プリンスオブソンクラ大学, 南タイのゴムプランテーションにともなう大気汚染の歴史的評価
- 塚脇真二, カンボジア王国アンコール遺跡整備機構, 東北学院大学, 横浜国立大学, 東京情報大学, 湿潤アジアの伝統的ホームガーデン調査
- 塚脇真二, カンボジア王国教育省教育学研究所(NIE), 同カンボジア工科大学(ITC), 同産業省資源総局(GDMR), 東アジアおよび東南アジア地球科学諸計画調整委員会(CCOP), カンボジアにおける地球科学/環境科学教育ネットワーク構築計画

- (9) 松木 篤, ブレース・パスカル大学 物理気象研究所(LaMP), 春季北極圏における大気エアロゾル航空機観測
- 海外渡航
 - (1) 松木篤, スウェーデン (キルナ), 春季北極圏における大気エアロゾル観測の実施 (2008. 4)
 - (2) 塚脇真二, カンボジア (シェムリアップ, プノンペン), アンコール遺跡区域における環境評価調査 (2008. 5)
 - (3) 塚脇真二, カンボジア (シェムリアップ), アンコール遺跡国際管理技術委員会 (2008. 6)
 - (4) 木村繁男, ロシア (モスクワ), ロシア科学アカデミー力学問題研究所 (2008. 7)
 - (5) 塚脇真二, カンボジア (シェムリアップ, プノンペン), アンコール遺跡区域における環境評価調査 (2008. 7)
 - (6) 岩坂泰信, 中国 (北京), 学位審査 (2008. 8)
 - (7) 塚脇真二, タイ (クラビ, バンコク), スマトラーアンダマン津波堆積物調査 (2008. 8)
 - (8) 塚脇真二, カンボジア (シェムリアップ, プノンペン), アンコール遺跡区域における環境評価調査 (2008. 9)
 - (9) 岩坂泰信, 中国 (ウルムチ), 第5回砂塵嵐と降塵に関する国際ワークショップ (2008. 9)
 - (10) 松木篤, フランス (アヌシー), IGAC (International Global Atmospheric Chemistry) 10th International Conference (2008. 9)
 - (11) 塚脇真二, タイ (コンケーン, バンコク), 第45回東アジア・東南アジア地球科学調整委員会年次総会 (2008. 11)
 - (12) 塚脇真二, カンボジア (シェムリアップ), アンコール遺跡国際管理運営委員会およびシェムリアップ州水会議 (2008. 12)
 - (13) 塚脇真二, カンボジア (シェムリアップ, プノンペン), アンコール遺跡区域における環境評価調査 (2008. 12)
 - (14) 塚脇真二, カンボジア (シェムリアップ, プノンペン), アンコール遺跡区域における環境評価調査 (2009. 1~2)
 - (15) 松木篤, フランス (ブローニュ), 春季北極圏における大気エアロゾル観測にかかる試料分析作業と打ち合わせ(2009. 2)
 - (16) 塚脇真二, ベトナム(ハノイ), 地球科学/環境科学教育ネットワーク構築のための予備調査(2009. 3)
 - (17) 塚脇真二, カンボジア (シェムリアップ, プノンペン), アンコール遺跡区域における環境評価調査および国際シンポジウムおよび国際研究セミナーの主催 (2008. 3)
 - 訪問外国人研究者
 - (1) G. Y. Shi, Professor, Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Science (石 広玉, 中国科学院大気物理研究所教授), 能登スーパーサイト運営の打ち合わせ (2008.11)
 - (2) D. I. Lee, Professor, Bugyon University, 能登スーパーサイト運営の打ち合わせ (2008.11)
 - (3) Paolo Laj, Senior Scientist, Laboratoire de Glaciologie et Geophysique de l'Environnement, Grenoble, France, 富士山山頂における大気エアロゾル共同観測にかかる打ち合わせ (2008. 7)
 - (4) Yonghun Lee, Assistant Professor, Gyeongsang National University, 自然対流熱伝達に関する研究 (2008. 4-12)

6) 各種活動（学会・社会）

• 学会活動

岩坂泰信：Advanced in Meteorology 編集委員

木村繁男：日本流体力学会代議員， International Editorial Board Member of “*Transport in Porous Media*”, International Scientific Committee Member for the 20th International Symposium on Transport Phenomena (ヴィクトリア, カナダ, 2009.8), International Program Committee Member for "Fluxes and Structures in Fluids: Physics of Geospheres" (モスクワ, ロシア, 2009.7)

塚脇真二：日本応用地質学会中部支部評議員，東アジアおよび東南アジア地球科学計画調整委員会日本国内委員会委員，UNESCO-MAB (Man and Biosphere: 人と生物圏) および UNESCO-BR (Biosphere Reserves: 生物圏保護区) 東アジア・東南アジア地区メンバー，東アジア・東南アジア地球科学計画調整委員会(CCOP) 日本国内委員会委員，カンボジアのシェムリアップ州ならびにアンコール遺跡区域水問題会議委員，アンコール遺跡国際管理運営委員会メンバー

松木 篤：第25回エアロゾル科学・技術研究討論会（金沢, 2008. 8. 20～8. 22) 実行委員

• 社会活動

岩坂泰信：環境省黄砂問題検討会座長，環境省オゾン層保護検討会科学分科会委員，文部科学省南極地域観測推進統合本部委員，文部科学省(南極観測船)船名委員会委員，財団法人環境創造センター理事，みなと振興財団運営委員，国立極地研究所運営協議委員，国立総合地球環境科学研究所評価委員および運営協議委員，海洋研究開発機構地球環境フロンティア研究センター評価委員，海洋開発研究機構評価委員

木村繁男：静岡大学電子技術研究所外部評価委員

塚脇真二：金沢市教育委員会平成20年度中学校理科学教育専門家招聘事業講師「地層と化石の観察(スマースクール理科1年)」金沢市立犀生中学校，金沢市教育委員会平成20年度中学校理科学教育専門家招聘事業講師「地層と化石」金沢市立大徳中学校，金沢市教育委員会平成20年度中学校理科学教育専門家招聘事業講師「化石の観察」金沢市立小将町中学校，石川県教育センター「ふるさと講座B」石川県教育センター，石川県教育センター「フォローアップ研修理科」石川県教育センター，海外技術協力委員会地区専門委員(北陸)，カンボジア王国教育省教育学研究所(National Institute of Education) 特別実習「偏光顕微鏡の使い方」，国際シンポジウムおよび国際研究セミナー「アンコール遺跡区域における環境の現状」日メコン交流年2009認定事業

松木篤：第25回エアロゾル科学・技術研究討論会（金沢, 2008. 8. 20～8. 22) 実行委員

生物多様性研究部門

1) 学術論文

- (1) Suzuki, N., Kitamura, K., Somei, M. Reiter, R.J. and Hattori, A.: Novel bromomelatonin derivatives suppress osteoclastic activity and increase osteoblastic activity: Implications for the treatment of bone diseases. *J. Pineal Res.*, 44: 326-334 (2008)
- (2) Suzuki, N., Omori, K., Nakamura, M., Tabata, M.J., Ikegami, M., Ijiri, K., Kitamura, K., Nemoto, T., Shimizu, N., Kondo, T., Matsuda, K., Ando, H., Kasahara, H., Nagase, M., Nara, M. and Hattori, A.: Scale osteoblasts and osteoclasts sensitively respond to low-gravity loading by centrifuge. *Biol. Sci. Space*, 22: 3-7 (2008)
- (3) Aida, M., Kanemori, M., Kubota, N., Matada, M., Sasayama, Y. and Fukumori, Y.: Distribution and

- population of free-living cells related to endosymbiont harbored in *Oligobrachia mashikoi* (a siboglinid polychaete) inhabiting Tsukumo Bay. *Microbes Environ.*, 23: 81-88 (2008)
- (4) Koizumi, T. and Sasayama, Y.: On the alpha-glucosidase-like activity detected in a siboglinid polychaeta, *Oligobrachia mashikoi*. *Zool. Sci.*, 25: 364-271 (2008)
 - (5) Numoto, N., Nakagawa, T., Sasayama, Y., Fukumori, Y. and Miki, K.: Structure of the partially unliganded met state of 400 kDa hemoglobin: Insights into ligand-induced structural changes of giant hemoglobins. *Proteins*, 73: 111-125 (2008)
 - (6) Numoto, N., Nakagawa, T., Kita, A., Sasayama, Y., Fukumori, Y. and Miki, K.: Structural basis for the heterotropic and homotropic interactions of invertebrate giant hemoglobin. *Biochemistry*, 47: 11231-11238 (2008)
 - (7) Nakahama, S., Nakagawa, T., Kanemori, M., Fukumori, Y. and Sasayama, Y.: Direct evidence that extracellular giant hemoglobin is produced in chloragogen tissues in a beard worm, *Oligobrachia mashikoi* (Frenulata, Siboglinidae, Annelida). *Zool. Sci.*, 25: 1247-1252 (2008)
 - (8) Takahashi, H., Suzuki, N., Takagi, C., Ikegame, M., Yamamoto, T., Takahashi, A., Moriyama, S., Hattori, A. and Sakamoto, T.: Prolactin inhibits osteoclastic activity in the goldfish scale: A novel direct action of prolactin in teleosts. *Zool. Sci.*, 25: 739-745 (2008)
 - (9) Mishra, D., Srivastav, S.K., Suzuki, N. and Srivastav, A.K.: Prolactin cells of a teleost, *Heteropneustes fossilis* intoxicated with Metacid-50. *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, 3: 339-345 (2008)
 - (10) 鈴木信雄, 小林史尚, 又多政博, 服部淳彦, 伊藤 靖, 大嶋雄治: 能登半島沿岸の海水中のトリプチルスズ濃度測定と海洋細菌によるトリプチルスズの浄化の試み. *日本海域研究*, 39: 49-53 (2008)
 - (11) 鈴木信雄, 大森克徳, 井尻憲一, 北村敬一郎, 清水宣明, 田畠 純, 池亀美華, 中村正久, 近藤 隆, 松田恒平, 安東宏徳, 笠原春夫, 永瀬 瞳, 久保田幸治, 奈良雅之, 服部淳彦: 擬似微小重力及び過重力下における骨代謝制御: 培養ウロコを用いた解析. *Space Utiliz. Res.*, 24: 230-233 (2008)
 - (12) Suzuki, N., Hayakawa, K., Kameda, K., Triba, A., Tang, N., Tabata, M.J., Takada, K., Wada, S., Omori, K., Srivastav, A.K., Mishima, H. and Hattori, A.: Monohydroxylated polycyclic aromatic hydrocarbons inhibit both osteoclastic and osteoblastic activities in teleost scales. *Life Sci.*, 84: 482-488 (2009)
 - (13) Ngamniyom, A., Magtoon, W., Nagahama, Y. and Sasayama, Y.: Expression levels of hormone receptors and bone morphogenic protein in fins of medaka. *Zool. Sci.*, 26: 74-79 (2009)
 - (14) Hamazaki, T., Suzuki, N., Widjowati, R., Miyahara, T., Kadota, S., Ochiai, H. and Hamazaki, K.: The depressive effects of 5,8,11-eicosatrienoic acid (20:3n-9) on osteoblasts. *Lipids*, 44: 97-102 (2009)
 - (15) Ikegami, T., Azuma, K., Nakamura, M., Suzuki, N., Hattori, A. and Ando, H.: Diurnal expressions of four subtypes of melatonin receptor genes in the opticlectum and retina of goldfish. *Comp. Biochem. Physiol.*, part A 152: 219-224 (2009)
 - (16) Matsuno, A. and Sasayama, Y.: A discussion of the morphology of the central lumen in the trophosome of a Frenulata (beard worm), *Oligobrachia mashikoi*, Siboglinidae, Annelida. *Rep. Noto Mar. Cent.*, in press
 - (17) Sasayama, Y., Fukumori, Y., Nakabayashi, H. and Shimizu, N.: Detection of sulfur using an X-ray analytical microscope from the trophosome of a beard worm, *Oligobrachia mashikoi*, Frenulata, Siboglinidae. *Nihonkai Kenkyu*, in press
 - (18) Srivastav, A.K., Srivastava, S.K., Mishra, D., Srivastav, S.K. and Suzuki, N.: Effects of deltamethrin on

- serum calcium and corpuscles of Stannius of freshwater catfish, *Heteropneustes fossilis*. *Toxicol. Environ. Chem.*, in press
- (19) Srivastava, B., Mishra, D., Srivastav, S.K., Suzuki, N. and Srivastav, A.K.: 1, 25(OH)₂D₃ induced alterations in plasma calcium, inorganic phosphate, ultimobranchial gland and parathyroid gland of the garden lizard, *Calotes versicolor*. *Zool. Poloniae*, in press
- (20) 鈴木信雄, 田畠 純, 大森克徳, 井戸憲一, 北村敬一郎, 根本 鉄, 清水宣明, 染井正徳, 池亀美華, 中村正久, 近藤 隆, 古澤之裕, 松田恒平, 田渕圭章, 高崎一朗, 和田重人, 安東宏徳, 笠原春夫, 永瀬 瞳, 久保田幸治, 鈴木 徹, 遠藤雅人, 竹内俊郎, 奈良雅之, 服部淳彦:魚類のウロコを用いた宇宙生物学的研究:宇宙実験に適したウロコの培養法の検討. *Space Utiliz. Res.*, 印刷中
- (21) Kameyama, Y., Kasagi, T., and Kudo, G. (2008) A hybrid zone dominated by fertile F1s of two alpine shrub species, *Phyllodoce caerulea* and *Phyllodoce aleutica*, along a snowmelt gradient. *Journal of Evolutionary Biology* 21: 588-597.
- (22) Kimura, K., Yumoto, T., Kikuzawa, K. & Kitayama, K. Flowering and fruiting seasonality of eight species of *Medinilla* (Melastomataceae) in a tropical montane forest of Mount Kinabalu, Borneo. *Tropics* (in press)
- (23) 笠木哲也. なぜオウレンは雄花を生産するのか. いしかわ自然史 46: 8.
- (24) 中村浩二・笠木哲也. 白山の高山植物の生態学的研究:開花フェノロジーと送粉の関係. 平成20年度石川県白山自然保護センター研究報告, 36: (印刷中).

2) 総説・試料・報告書

- (1) Suzuki, N., Somei, M., Seki, A., Reiter, R.J. and Hattori, A.: Novel bromomelatonin derivatives as potentially effective drugs to treat bone diseases. *J. Pineal Res.*, 45: 229-234 (2008)
- (2) 鈴木信雄, 清水宣明, 北村敬一郎, 根本 鉄, 染井正徳, 池亀美華, 和田重人, 近藤 隆, 大森克徳, 中村正久, 井戸憲一, 田畠 純, 服部淳彦:物理的刺激に対する骨芽細胞・破骨細胞の応答:魚類のウロコを骨のモデルとした骨代謝の解析. 日本生体電気・物理的刺激研究会誌, 21: 31-37 (2008)
- (3) 野上達也・畠中康郎・木下栄一郎. 白山におけるクロユリ集団の動態 (特集:中部山岳地域の高山植生と地球温暖化). 日本国際学会誌 58: 213-218

3) 著書

- (1) Srivastav, A.K., Yadav, S., Srivastav, S.K. and Suzuki, N.: The ultimobranchial gland in poikilotherms: Morphological and functional aspect. In "Experimental Endocrinology and Reproductive Biology", Haldar et al. eds, Science Publishers, Enfield, NH, USA, 269-296 (2008)
- (2) 鈴木信雄, 田畠 純, 服部淳彦:第3章 キンギョ. 『身近な動物を使った実験1』, 鈴木範男編, 三共出版, 東京, 印刷中
- (3) 服部淳彦, 田畠 純, 鈴木信雄:第3章 親子判別. 『身近な動物を使った実験4』, 鈴木範男編, 三共出版, 東京, 印刷中

4) 学術発表

- (1) 鈴木信雄:海洋汚染物質トリプチルスズの骨代謝に及ぼす影響:骨のモデルである魚類のウロコ

- のアッセイ系による解析. 第 22 回海洋生物活性談話会. 石川 (2008, 5)
- (2) 笹山雄一: 無脊椎動物の分類に関する最近の 2,3 の話題. 第 22 回海洋生物活性談話会. 石川 (2008, 5)
- (3) Hamazaki, T., Suzuki, N., Widyowati, R., Miyahara, T., Kadota, S., Ochiai, H., and Hamazaki, K.: The effect of n-9 eicosatrienoic acid (mead acid) on osteoblasts. The 8th meeting of International Society for the Study of Fatty Acids and Lipids, USA (2008, 5) (招待講演)
- (4) Ikegami, T., Azuma, K., Nakamura, M., Suzuki, N., Hattori, A. and Ando, H.: Synchronous and diurnal expressions of genes encoding four different subtypes of melatonin receptors in the goldfish brain. 6th International Symposium on Fish Endocrinology, Canada (2008, 6)
- (5) 鈴木信雄: 環境攪乱因子及び様々な物理的刺激に対する魚類の骨芽細胞及び破骨細胞の応答: 培養ウロコを用いた解析. 平成 20 年日本動物学会中部支部例会シンポジウム, 環境要因と生物応答システム, 富山 (2008, 7)
- (6) 田村 知, Ngamniyom A., 鈴木信雄, 笹山雄一: キンギョにおける異所性カルシトニンの検出. 平成 20 年日本動物学会中部支部例会, 富山 (2008, 7)
- (7) 鈴木信雄, Danks, J.A., 田畠 純, 池亀美華, 中村正久, 服部淳彦: 副甲状腺ホルモンのウロコの骨芽細胞及び破骨細胞に対する作用. 第 79 回日本動物学会, 福岡 (2008, 9)
- (8) 鈴木信雄, 北村敬一郎, 大森克徳, 田畠 純, 池亀美華, 井尻憲一, 近藤 隆, 山田依里, 西島史恵, 根本 鉄, 清水宣明, 服部淳彦: 再生鱗を用いた評価系の開発と加速度重力の解析. 宇宙生物科学会第 22 回大会, 奈良 (2008, 9)
- (9) 服部淳彦, 鈴木信雄: 破骨細胞の分化・機能を抑制する松果体ホルモン・メラトニン. 第 26 回日本骨代謝学会, 大阪 (2008, 10)
- (10) 鈴木信雄, 染井正徳, 関あづさ, 池亀美華, 服部淳彦: 新規プロモメラトニンは破骨細胞の活性を抑制し、骨芽細胞の活性を上げる: 培養ウロコを用いた解析. 第 26 回日本骨代謝学会, 大阪 (2008, 10)
- (11) 関あづさ, 鈴木信雄, 染井正徳, 池亀美華, 服部淳彦: 新規プロモメラトニン誘導体の卵巣摘出ラットおよび低カルシウム食ラットに及ぼす影響. 第 26 回日本骨代謝学会, 大阪 (2008, 10)
- (12) 鈴木信雄, 早川和一, 服部淳彦: 多環芳香族炭化水素類の破骨・骨芽細胞に対する影響評価: 魚類のウロコを用いたアッセイ系による解析. 第 33 回日本比較内分泌学会, 広島 (2008, 12)
- (13) 丸山雄介, 鈴木信雄, 服部淳彦: 繁殖期の雌キンギョに対してメラトニンは血漿カルシウム濃度を有意に抑制する. 第 33 回日本比較内分泌学会, 広島 (2008, 12)
- (14) 田中大輔, 井上和仁, 鈴木信雄, 服部淳彦: 繁殖期の雌キンギョのウロコにおけるメラトニン合成酵素の遺伝子発現. 第 33 回日本比較内分泌学会, 広島 (2008, 12)
- (15) 宇都理佳, 古谷 遼, 中村正久, 鈴木信雄, 服部淳彦: キンギョ再生ウロコにおける隆起線形成と骨形成関連遺伝子発現の日内変動. 第 33 回日本比較内分泌学会, 広島 (2008, 12)
- (16) Thiparpa, T., 中村正久, 鈴木信雄, 服部淳彦: キンギョのウロコにおける破壊と再生の開始シグナル. 第 33 回日本比較内分泌学会, 広島 (2008, 12)
- (17) 鈴木信雄, 早川和一: 重油にも含まれる多環芳香族炭化水素類の魚の骨代謝に及ぼす影響評価. 平成 22 年度日本水環境学会中部支部学術集会, 富山 (2008, 12)
- (18) 鈴木信雄, 田畠 純, 大森克徳, 井尻憲一, 北村敬一郎, 根本 鉄, 清水宣明, 染井正徳, 池亀美華, 中村正久, 近藤 隆, 古澤之裕, 松田恒平, 田渕圭章, 高崎一朗, 和田重人, 安東宏徳, 笠原

- 春夫, 永瀬 瞳, 久保田幸治, 鈴木 徹, 遠藤雅人, 竹内俊郎, 奈良雅之, 服部淳彦:魚類のウロコを用いた宇宙生物学的研究:宇宙実験に適したウロコの培養法の検討. 第25回宇宙利用シンポジム, 神奈川 (2009, 1)
- (19) 石岡憲昭, 浅島 誠, 石原昭彦, 泉 龍太郎, 宇佐美真一, 大石浩隆, 大森克徳, 鎌田源司, 黒谷明美, 鈴木ひろみ, 鈴木信雄, 曾我部正博, 高橋昭久, 二川 健, 東谷篤志, 東端 晃, 馬嶋秀行, 宮崎安将, 向井千秋, 保田浩志, 山崎 丘, Chattopadhyay, K., Orlov, O.I., Sharma, S.C., Shivaji, S., 庄逢源:平成20年度宇宙ストレス生物学研究班WG活動報告. 第25回宇宙利用シンポジム, 神奈川 (2009, 1)
- (20) 早川和一, 鈴木信雄:酵母 Two-hybrid 法及び魚ウロコを用いた多環芳香族炭化水素類の毒性評価. 第129回日本薬学会年大会, 京都 (2009, 3)
- (21) Suzuki, N.: Physiological significance of the scale in the teleost calcium metabolism. The 7th International Satellite Symposium on the Comparative Endocrinology of Calcium Regulation (17th Scientific Meeting Second Joint Meeting of International Bone and Mineral Society), Australia (2009, 3) (招待講演)
- (22) Suzuki, N., Furusawa, Y., Takasaki, I., Tabuchi, Y., Kitamura, K., Wada, S., Hori, T., Kondo, T., Nemoto, T., Shimizu, N. and Hattori, A.: Effect of low-intensity pulsed ultrasound on osteoblasts and osteoclasts of zebrafish scales. 2nd Joint Meeting of the International Bone and Mineral Society and the Australian and New Zealand Bone and Mineral Society. Australia (2009, 3)
- (23) 天野永一朗, 佐藤達也, 野口侑真, 丸山雄介, 鈴木信雄, 服部淳彦:他家移植ウロコに誘導された破骨細胞に対するコルチゾールの効果:キンギョのウロコを用いた解析. 第61回 日本動物学会関東支部大会, 東京 (2009, 3)
- (24) 木村一也・湯本貴和・菊沢喜八郎・北山兼弘. 熱帯山地林における Medinilla 属 8 種の開花・結実の季節性と気候条件との関係. 日本生態学会第56回全国大会 盛岡 (2009, 3月)
- (25) 吉本敦子・木下栄一郎. 同所的に生育するガマズミ属 2 種の開花資源量と訪花昆虫の時間的変化 第4回種生物学シンポジウム 守谷 (2008年12月)
- (26) 笠木哲也・中村浩二. 里山林の管理放棄に対する林床植物の生理生態的反応. 応用生態工学会・日本景観生態学会・日本緑化工学会3学会合同大会 福岡 (2008, 9)
- (27) 笠木哲也・谷友和・中村浩二. オウレンにおける雌機能不全花の生態的意義. 日本生態学会第56回大会 盛岡(2009, 3)

5) 研究交流

- 共同研究

- (1) 笠山雄一:タイ・バンコク郊外におけるメダカの雌雄性を指標にした環境汚染の研究, 国立 スリナカリンウイロット大学 (タイ) Dr. Wichian Magtoon
- (2) 笠山雄一:メダカの鰓の形成に及ぼす性ホルモンの研究, 基礎生物学研究所教授 長濱義孝氏
- (3) 笠山雄一:マシコヒゲムシ栄養体のバクテリオサイト微細構造の研究, 島根大学生物資源科学部教授 松野あきら氏
- (4) 笠山雄一:マシコヒゲムシ栄養体の脂肪酸組成の研究, 東京学芸大学教授 三田雅敏氏
- (5) 鈴木信雄:魚類の副甲状腺ホルモンに関する研究, メルボルン大学 (オーストラリア) Prof. T. John Martin、RMIT 大学 (オーストラリア) Dr. Janine A. Danks
- (6) 鈴木信雄:魚類のカルセミックホルモン (カルシトニン、ビタミン D、スタニオカルシン) に関

- する研究、ゴラクプール大学（インド）Prof. Ajai K. Srivastav
- (7) 鈴木信雄：メラトニンの骨代謝に関する研究、東京医科歯科大学教授 服部淳彦氏、九州大学大学院農学研究院准教授 安東宏徳氏
- (8) 鈴木信雄：重金属の骨芽・破骨細胞に及ぼす影響：ウロコのアッセイ系による解析、国立水俣病研究センター主任研究員 山元 恵氏、東京慈恵会医科大学医学部准教授 高田耕司氏
- (9) 鈴木信雄：ニワトリのカルシトニンレセプターのクローニングとその発現に関する研究、新潟大学農学部助教 杉山稔恵氏
- (10) 鈴木信雄：ウロコの破骨細胞に関する研究、岡山大学大学院医歯薬学総合研究科教授 山本敏男氏、同准教授 池亀美華氏
- (11) 鈴木信雄：プロラクチンの骨組織に対する作用、岡山大学理学部付属臨海実験所教授 坂本竜哉氏、北里大学水産学部教授 高橋明義氏、同准教授 森山俊介氏
- (12) 鈴木信雄：再生ウロコに関する研究、北海道大学大学院水産科学研究院教授 都木靖章氏、東京医科歯科大学大学院医歯学総合研究科准教授 田畠 純氏
- (13) 鈴木信雄：円口類と軟骨魚類のカルシトニンの構造決定、東京大学海洋研究所教授 竹井祥郎氏、同准教授 兵藤 晋氏
- (14) 鈴木信雄：交流磁場の骨代謝に及ぼす影響、九州大学大学院工学研究院特任教授 上野照剛氏、千葉大学 工学部准教授 岩坂正和氏
- (15) 鈴木信雄：魚類の鰓後腺に存在するエストロゲンレセプターに関する研究、早稲田大学教育学部名誉教授 菊山 榮氏、早稲田大学人間総合研究センター研究員 山本和俊氏
- (16) 鈴木信雄：ヒラメの初期発生におけるカルシトニンの作用、東北大学農学研究科教授 鈴木徹氏、独立行政法人水産総合研究センター養殖研究所発育制御チーム長 黒川忠英氏
- (17) 鈴木信雄：脂肪酸の石灰化に対する作用、富山大学 和漢薬研究所教授 浜崎智仁氏
- (18) 鈴木信雄：超音波の骨代謝に及ぼす影響、富山大学大学院医学薬学研究部教授 近藤 隆氏、同大学 医学部講師 和田重人氏
- (19) 鈴木信雄：ウロコの破骨細胞で発現している遺伝子の解析、早稲田大学教育学部教授 中村正久氏
- (20) 鈴木信雄：重力及び微小重力の骨組織に対する作用、東京大学 アイソトープ総合センター 教授 井尻憲一氏
- (21) 鈴木信雄：歯の石灰化に関する研究、高知学園短期大学教授 三島弘幸氏
- (22) 鈴木信雄：静磁場の骨代謝に及ぼす影響、独立行政法人 物質・材料研究機構 強磁場研究センター 研究員 廣田憲之氏、同研究センター 特別研究員 木村史子氏
- (23) 鈴木信雄：インドール化合物の抗菌活性及び植物の根の成長促進作用に関する研究、富山大学大学院理工学研究部客員教授 神坂盛一郎氏、同准教授 唐原一郎氏
- (24) 鈴木信雄：魚のウロコを用いた宇宙生物学的研究、宇宙航空研究開発機構主任研究員 大森克徳氏、富山大学大学院理工学研究部教授 松田恒平氏
- (25) 鈴木信雄：トリブチルスズの海域汚染に関する研究、九州大学大学院農学研究院准教授 大嶋雄治氏
- (26) 鈴木信雄：インドール化合物のラットの骨代謝に及ぼす影響、ハムリー（株）国際事業部部長 関あづさ氏
- (27) 鈴木信雄：魚類の骨代謝におけるビタミンKの作用、神戸薬科大学教授 岡野登志夫氏、同講師

中川公恵氏

- (28) 鈴木信雄：魚のウロコで発現している遺伝子のメカニカルストレスに対する応答，富山大学生命科学先端研究センター 遺伝子実験施設 准教授 田渕圭章氏、同助教 高崎一朗氏
- (29) 鈴木信雄. 耳石の石灰化に対するメラトニンの作用, 奈良県立医科大学准教授 大西 健氏
- (30) 木下栄一郎. テンナンショウ属植物（サトイモ科）の性転換モデルの検証, 国立環境研究所 生態遺伝部門研究員 西沢徹氏
- (31) 木下栄一郎. 雜種起源種トウカイコモウセンゴケの生活史の比較研究, 中野真理子 石川県自然史資料館
- (32) 木下栄一郎. 雜種起源種オオミズヒキモとその両親種の繁殖と分散に関する研究, 国立環境研究所生態遺伝部門主任研究員 中嶋信美氏, 同研究員 西沢徹氏
- 海外渡航
- 1) 木下栄一郎. オーストラリア, コモウセンゴケ類の現地調査と試料採取 (2009, 1)

6) 各種活動

- 社会活動

- (1) 笹山雄一：石川県環境影響評価委員会委員, 2003-現在
 - (2) 笹山雄一：石川県原子力発電温排水検討委員会委員, 2000-現在
 - (3) 笹山雄一：のと海洋ふれあいセンター研究報告編集委員会委員, 1994-現在
 - (4) 笹山雄一：石川県立七尾高等学校スーパーサイエンススクール運営委員会委員, 2004-現在
 - (5) 笹山雄一：石川県公共事業評価監視委員会委員, 2005-現在
 - (6) 木下栄一郎：石川県環境影響評価委員会委員, 2003-現在
 - (7) 木下栄一郎：金沢市文化財保護委員会委員、2000-現在
- 学会活動
- (1) 笹山雄一：日本動物学会中部支部長, 2005-2008
 - (2) 鈴木信雄：日本動物学会中部支部代議員, 2008-現在
 - (3) 木下栄一郎：種生物学会庶務幹事, 2007-現在
 - (4) 木下栄一郎：植物地理・分類学会学会庶務幹事, 2005-現在

生体機能計測部門

1) 学術論文

- (1) Shimizu, N., Ogino, C., Dadjour, M.F., Ninomiya, K., Fujihira, A., Sakiyama, K. Sonocatalytic facilitation of hydroxyl radical generation in the presence of TiO₂. *Ultrason. Sonochem.*, 15, 988-994 (2008)
- (2) Kanehira, K., Banzai, T., Ogino, C., Shimizu, N., Kubota, Y., Sonezaki, S. Properties of TiO₂-polyacrylic acid dispersions with potential for molecular recognition. *Colloids Surf. B: Biointerfaces*, 64, 10-15 (2008)
- (3) Miyoshi, N., Tuziuti, T., Yasui, K., Iida, Y., Shimizu, N., Riesz, P., Sostaric, J.Z. Ultrasound-induced cytolysis of cancer cells is enhanced in the presence of micron-sized alumina particles. *Ultrason. Sonochem.*, 15, 881-890 (2008)
- (4) Ogino, C., Dadjour, M.F., Iida, Y., Shimizu, N. Decolorization of methylene blue in aqueous suspensions of titanium peroxide. *J. Hazardous Materials*, 153, 551-556 (2008)
- (5) Suzuki, N., Omori, K., Nakamura, M., Tabata, M.J., Ikegami, M., Ijiri, K., Kitamura, K., Nemoto, T., Shimizu N., Kondo, T., Matsuda, K., Ando, H., Kasahara, H., Nagase, M., Nara, M., Hattori, A. Scale

- osteoblasts and osteoclasts sensitively respond to low-gravity loading by centrifuge. *Biol. Sci. Space.*, 22(1), 3-7 (2008)
- (6) Kazuaki Ninomiya, Kazuhiro Matsuda, Takashi Kawahata, Tadashi Kanaya, Mamiko Kohno, Yoshio Katakura, Masanori Asada, Suteaki Shioya: Effect of CO₂ concentration on the growth and exopolysaccharide production of *Bifidobacterium longum* cultivated under anaerobic conditions. *J. Biosci. Bioeng.*, (2009) in press.
 - (7) Naoyuki Okuda, Mayumi Soneura, Kazuaki Ninomiya, Yoshio Katakura, Suteaki Shioya: Biological detoxification of waste house wood hydrolysate using *Ureibacillus thermosphaericus* for bioethanol production, *J Biosci Bioeng.* 2008 Aug; 106(2):128-33.
 - (8) Dong Hwan Choi, Yoshio Katakura, Kazuaki Ninomiya, Suteaki Shioya.:Rational screening of antibodies and design of sandwich enzyme linked immunosorbant assay on the basis of a kinetic model. *J Biosci Bioeng.* 2008 Mar;105(3):261-72.
 - (9) Naoyuki Okuda, Kazuaki. Ninomiya, Yoshio Katakura, Suteaki Shioya: Strategies for reducing supplemental medium cost in bioethanol production from waste house wood hydrolysate by ethanologenic *Escherichia coli*: Inoculum size increase and co-culture with *Saccharomyces cerevisiae*. *J. Biosci. Bioeng.*, 105(2), 90-96 (2008) Feb.
 - (10) H. Bayani, M. Nishino, S. Yamada, M. Iwahara, Introduction of a Base-Model for Eddy Current
 - (11) Testing of Printed Circuit Boards, *日本AEM 学会誌*, 16, 2, 95-100 (2008)
 - (12) C. Gooneratne, K. Chomsuwan, A. Lekawa, M. Kakikawa, M. Iwahara, S.Yamada, Estimation of Density of Low-Concentration Magnetic Fluid by a Needle-Type GMR Sensor for Medical Applications, *Journal of the Magnetics Society of Japan*, 32, 3, 191-194 (2008)
 - (13) S. Yamada, C. Gooneratne, M. Iwahara, M. Kakikawa, Detection and Estimation of Low-Concentration Magnetic Fluid inside Body by a Needle-Type GMR Sensor, *IEEE Transactions on Magnetics*, 44, 11, 4541-4544 (2008)
 - (14) Lekawa, C. Gooneratne, K. Chomsuwan, M. Iwahara, H. Stryczewska, S. Yamada, Detection of Magnetic Field Distribution from Nerve Action Model With Needle Type SV-GMR Sensor, *日本AEM 学会誌*, Vol.16, No.3, (2008)
 - (15) 渡邊裕之、山田外史、伊藤光宏, 磁気センサを利用した丸棒鋼用アレイ渦流探傷技術の基礎開発, *電気製鋼*, 79, 4, 271-279 (2008)
 - (16) T. Maki, S. Susuki, F. Kobayashi, M. Kakikawa, M. Yamada, T. Higashi, B. Chen, G. Shi, C. Hong, Y. Tobe, H. Hasegawa, K. Ueda, Y. Iwasaka, Phylogenetic Diversity and Vertical Distribution of a Halobacterial Community in the Atmosphere of an Asian Dust (KOSA) SourceRegion, Dunhuang City, *Air Qual. Atmos. Health*, 1, 81-89 (2008)
 - (17) T. Maki, S. Susuki, F. Kobayashi, M. Kakikawa, M. Yamada, T. Higashi, C. Hong, Y. Toubou, H. Hasegawa, K. Ueda, and Y. Iwasaka, Ecophysiological Analysis of Halobacteria in Bioaerosol, *J. Ecotechnol. Res.* 13, 309-303 (2008)
 - (18) M. Kakikawa, F. Kobayashi, T. Maki, M. Yamada, T. Higashi, B. Chen, G. Shi, C. Hong, Y. Tobe, Y. Iwasaka, Dustborne Microorganisms in the atmosphere over an Asian dust source region, Dunhuang, *Air Qual. Atmos. Health*, 1, 195-202 (2008)
 - (19) Tanaka, S.M., Kondo, K. Frequency and resting time dependencies of electrically-induced muscle

contraction force, *Journal of Biomechanical Science and Engineering*, 4(2), in press

- (20) 田中茂雄, 曹 廷舜, 山越憲一, 辻本敏行, 光を利用した骨密度計測法の開発－光深度分解法による皮膚影響補償－, 日本臨床バイオメカニクス学会誌, 29, 181-186 (2008)
- (21) 垣尾雅文, 杉浦直樹, 山越憲一, 田中茂雄, 光を用いた再生骨の石灰化モニタリング, 日本臨床バイオメカニクス学会誌, 29, 187-192 (2008)
- (22) 近藤香菜子, 瀧本貴友, 山越憲一, 田中茂雄, 電気的筋収縮制御による骨量減少抑制, 日本臨床バイオメカニクス学会誌, 29, 199-204 (2008)
- (23) Tanaka, S.M., Kakio, M., Yamakoshi, K., Non-destructive optical monitoring for calcification of tissue-engineered bone in vitro, *Journal of Biomechanical Science and Engineering*, 3(3), 332-342 (2008)

2) 総説・資料・報告書

- (1) 清水 宣明, 仁宮 一章, 萩野 千秋 二酸化チタン/超音波触媒法とその医療応用. 化学工学誌 特集「ソノプロセス」, 72(11), 636-638 (2008)
- (2) 清水宣明, 仁宮一章, 萩野千秋 二酸化チタン/超音波触媒法による水質浄化－レジオネラ, 内分泌搅乱化学物質, 農薬－. OH ラジカル類の生成と応用技術－特性・反応・シミュレーションから環境浄化・衛生管理・製造プロセスへの応用まで－, NTS, 東京, pp. 302-311 (2008)
- (3) 仁宮一章：微生物細胞の最適化問題, 生物工学会誌 バイオミディア, 86(4), 169, (2008) April.
- (4) S. Yamada, C. Goonetartne, M. Iwahara, M. Kakikawa, Detection of Low-Concentration Magnetic Particles by GMR Probe for Medical Applications, 電気学会マグネティクス研究会, MAG-08-11, (2008)
- (5) 北田亮平、山田外史、岩原正吉, 永久磁石界磁 2 極 3 スロット型小型直流電動機のモデル化とその数値解析, 電気学会マグネティクス研究会, MAG-08-49, (2008)
- (6) 有馬浩史, 山田外史, 岩原正吉, 山崎裕也, マルチ GMR プローブによる金属丸棒の軸偏心の検査法, 電気学会マグネティクス研究会, MAG-08-66, (2008)
- (7) 山田外史, 他, 磁気応用技術の調和的利用法の現状と展望, 電気学会技術報告, 1133, (2008.9)
- (8) 柿川真紀子, 抗がん剤と磁場の併用曝露システムの構築, 平成 19 年度学長戦略経費（重点研究経費）実施報告書 (2008)

3) 著書

4) 学会発表

- (1) 宮地佑典, 金田壱彦, 竹田智文, 萩野千秋, 清水宣明: 原子間力顕微鏡を用いた DNA aptamer の選抜. 日本化学会 第 88 春季年会, 東京 (2008・3)
- (2) Katsuda, T., Ogino, C., Iwasaki, H., Yamagami, K., Katoh, S., Shimizu, N.: Oxidative-Stress-Induced Metabolite Production with Sonocatalytic Formation of Reactive Oxygen Species. ASM general meeting, ボストン, 米国 (2008・6)
- (3) Ogino, C., Shimizu, N.: Application of Biomolecule-Immobilized TiO₂ Nanoparticle for Mammalian Cell killing. ASM general meeting, ボストン, 米国 (2008・6)
- (4) 宮下徹, 伊藤裕子, 清水宣明, 萩野千秋: リン脂質代謝酵素のイオン液体中での反応解析. 日本生

物工学会 第 60 回大会, 仙台 (2008・8)

- (5) 伊藤裕子, 宮下徹, 清水宣明, 萩野千秋: 遺伝子組み換え放線菌を用いたセルラーゼ発現システムの構築. 日本生物工学会 第 60 回大会, 仙台 (2008・8)
- (6) K. Ninomiya, S. Sonoke, S. Oshima, C. Ogino, S. Kuroda and N. Shimizu: Evaluation of sonocatalytic cytotoxicity of cancer cells with incorporation of TiO₂ nanoparticles, Proceedings of the 14th Symposium of Young Asian Biochemical Engineers' Community (YABEC) 2008, p.131, Tokyo (2008・11)
- (7) 仁宮一章, 園家史朗, 大島周平, 萩野千秋, 黒田俊一, 清水宣明 : TiO₂ ナノ粒子と超音波触媒法を併用したがん細胞傷害効果の評価, 日本ソノケミストリー学会 第 17 回討論会, 東京 (2008・12)
- (8) 大庭達哉, 仁宮一章, 萩野千秋, 清水宣明 : 二酸化チタン/超音波触媒法による OH ラジカル生成に及ぼす超音波周波数の影響, 日本ソノケミストリー学会 第 17 回討論会, 東京 (2008・12)
- (9) ラハマンモハマドミザヌル, 荒川雅幸, 仁宮一章, 萩野千秋, 清水宣明 : Ultrasonically induced membrane lipid peroxidation of *Escherichia coli* in the presence of TiO₂, towards an understanding of its killing mechanisms (二酸化チタン/超音波触媒法による大腸菌膜過酸化脂質の生成と殺菌メカニズム), 日本ソノケミストリー学会 第 17 回討論会, 東京 (2008・12)
- (10) 荒川雅幸, ラハマンモハマドミザヌル, 仁宮一章, 萩野千秋, 清水宣明 : 二酸化チタン・超音波触媒法を応用した新規殺菌方法の開発とそのメカニズム解析, 日本ソノケミストリー学会 第 17 回討論会, 東京 (2008・12)
- (11) 仁宮一章, 園家史朗, 大島周平, 萩野千秋, 黒田俊一, 清水宣明 : TiO₂ ナノ粒子と超音波を併用した新規がん治療法構築のための基礎的検討, 化学工学会 第 74 年会, 横浜 (2009・3)
- (12) 萩野千秋, 伊藤裕子, 宮下徹, 仁宮一章, 清水宣明 : 放線菌遺伝子組み換え系のタンパク質分泌生産への適用, 化学工学会 第 74 年会, 横浜 (2009・3)
- (13) 片倉啓雄, 川畑隆司, 仁宮一章, 金谷忠, 河野麻美子, 浅田雅宣, 塩谷捨明 : CO₂ 要求性ビフィズス菌における ¹³CO₂ を用いた代謝解析化学工学会 第 74 年会, 横浜 (2009・3)
- (14) Moukamnerd Churairat, 原田佳苗, 大道徹太郎, 平尾桂一, 片倉啓雄, 仁宮一章, 塩谷捨明 : Ethanol production from biomass by Consolidated Continuous Solid State Fermentation System, 化学工学会 第 74 年会, 横浜 (2009・3)
- (15) 仁宮一章, 野口智子, 森脇久美子, CAHYANI Antari, 片倉啓雄, 塩谷捨明 : *Lactococcus lactis* のナイシン生産に及ぼす生合成関連遺伝子増強の効果, 日本生物工学会 60 回大会, 仙台, (2008.8)
- (16) 奥田直之, 塙浦真由美, 仁宮一章, 片倉啓雄, 塩谷捨明 : *Ureibacillus thermosphaericus* を用いた木質系バイオマス加水分解液の発酵阻害物質除去, 日本生物工学会 60 回大会, 仙台(2008.8)
- (17) 片倉啓雄、橋本高志、佐野良介、仁宮一章、塩谷捨明 : 乳酸菌は酵母のマンナンを認識する, 日本乳酸菌学会 2008 年度大会, 京都 (2008.7)
- (18) 仁宮一章、野口智子、森脇久美子、Antari Daru Cahyani、片倉啓雄、塩谷捨明 : 高濃度ナイシン生産株の育種に向けた生合成経路のボトルネック解析, 2008 年度 乳酸菌腸内細菌工学研究部会講演会, 箕面 (2008.6)
- (19) 片倉啓雄、佐野良介、橋本高志、仁宮一章、塩谷捨明 : 乳酸菌は酵母のマンナンを認識する, 2008 年度 乳酸菌腸内細菌工学研究部会 講演会, 箕面 (2008.6)
- (20) 山田外史、長野 勇、長江英夫, 誘導加熱によるハイパーサーミアと磁性微粒子の低侵襲計測, 平成 20 年電気学会全国大会, 1-H1-6 (2008.3).
- (21) 山田外史, 鈴木宏尚, 柿川真紀子, 松本有加, 岩原正吉, 超磁歪駆動キャビテーション発生装置による

- ラジカル生成の検証,平成 20 年電気学会全国大会, 5-228 (2008).
- (22) Lekaza, H. D.Stryczewska, S. Yamada, C.Gooneratne, Review of Biomedical applications of SV-GMR sensors the 6th International Conference ELMECO-6 (2008).
- (23) A.A.Hussien, S.Yamada, M.Iwahara, Fabrication of single axis controlled micro mass measureing device employing a repulsive type magnetic levitation system, Asian-Pacific Symposium on Applied Electromagnetics and Mechanics, Thailand (2008.7).
- (24) M.Kakikawa, T.Fujihata, M.Iwahara, S.Yamada, Enhanced Potency of Anticancer Drug, Bieomycin by ELF Magnetic Fields, Asian-Pacific Symposium on Applied Electromagnetics and Mechanics, Thailand (2008.7).
- (25) Y.Hirai, M.Kakikawa, S.Yamada, M.Iwahara, Influence of ELF Magnetic Fields on Anticancer Drug Cisplatin Potency, Asian-Pacific Symposium on Applied Electromagnetics and Mechanics, Thailand (2008.7).
- (26) T.Somsak, K.Chomsuwan, S.Yamada, M.Iwahara, Application of Giant Magnetoresistance Sensor for Micro Material Detection, Asian-Pacific Symposium on Applied Electromagnetics and Mechanics, Thailand (2008.7).
- (27) C.P.Gooneratne, S.Yamada, M.Iwahara, M.Kakikawa, Y.Matsumoto, Novel GMR Sensor for Detection of Magnetic Nanoparticles Inside Minute Cavities, Asian-Pacific Symposium on Applied Electromagnetics and Mechanics, Thailand (2008.7).
- (28) H.Arima, S.Yamada, M.Iwahara, Measurement of Axis Eccentric of Round Rod by Multi Giant Magnetoresistance Probe, Asian-Pacific Symposium on Applied Electromagnetics and Mechanics, Thailand (2008.7).
- (29) H.Bayani, M.Nishino, S.Yamada, M.Iwahara, Introduction of a Base-Model for Eddy Current Testing of Printed Circuit Boards, Asian-Pacific Symposium on Applied Electromagnetics and Mechanics, Thailand (2008.7).
- (30) 藤井邦明,松本有加,柿川真紀子,岩原正吉,山田外史, 磁性微粒子モデルによる磁性流体の濃度と比透磁率の関係,平成 20 年度電気関係学会北陸支部連合大会, A-44, 富山 (2008.9).
- (31) 松本有加,藤井邦明,柿川真紀子,岩原正吉,山田外史, 磁性流体の磁性微粒子の分散状態と透磁率,平成 20 年度電気関係学会北陸支部連合大会, A-45,富山(2008.9).
- (32) 藤畠貴史,柿川真紀子,岩原正吉,山田外史, 抗がん剤の作用における交流次回の影響評価, 平成 20 年度電気関係学会北陸支部連合大会, A-46 ,富山(2008.9).
- (33) 藤畠貴史,柿川真紀子,岩原正吉,山田外史, 磁気限流器におけるバイアス用磁石配置に関する検討, 平成 20 年度電気関係学会北陸支部連合大会, A-48,富山 (2008.9).
- (34) Gooneratne, S.Yamada, M.Iwahara, M.Kakikawa, GMR Sensor Application in Detecting and Estimating Magnetic Fluid Weight Density inside Various Size Tumors, 第 32 回日本応用磁気学会, 12pC-9,仙台 (2008.9).
- (35) 柿川真紀子,平井雄一郎, 岩原正吉, 山田外史, 抗がん剤シスプラチンの作用における交流磁界曝露影響, 第 32 回日本応用磁気学会, 14a1PS-41,仙台(2008.9).
- (36) 柿川真紀子、小林史尚、牧輝弥、山田丸、東朋美、陳彬、石廣玉、當房豊、洪天祥、岩坂泰信、黃砂発生源のエアロゾルに含まれる微生物, 第 25 回エアロゾル科学・技術研究討論会 A04,金沢 (2008.8).

- (37) 小林史尚, 牧輝弥, 柿川真紀子, 東朋美, 山田丸, 石廣玉, 岩坂泰信, 敦煌気球観測で見られる微生物と黄砂, 第49回年会大気環境学会, 金沢(2008.9)
- (38) M. Kakikawa, F. Kobayashi, T. Maki, M. Yamada, T. Higashi, B. Chen, G. Shi, C. Hong, Y. Tobe, Y. Iwasaka, Dustborne Microorganisms in KOSA Source Region, Dunhuang, 5th International Workshop on Sand and Duststorms, Urumqi, China (2008.5).
- (39) G. Shi, F. Kobayashi, S. Toda, M. Yamada, M. Kakikawa, T. Maki, T. Higashi, C. Hong, Y. Tobe, B. Chen, T. Naganuma, Y. Iwasaka, Direct Sampling and Identification of Bioaerosols in the Convective Mixed Layer Over KOSA Region, Dunhuang, Using the Separate Culture, 5th International Workshop on Sand and Duststorms, Urumqi, China (2008.5).
- (40) T. Maki, S. Susuki, F. Kobayashi, M. Kakikawa, M. Yamada, T. Higashi, B. Chen, G. Shi, C. Hong, Y. Tobe, H. Hasegawa, K. Ueda, Y. Iwasaka, Halotolerant Bacterial Community Survived in Atmosphere of Asian Dust (KOSA) Source Region, Dunhuang City, 5th International Workshop on Sand and Duststorms, Urumqi, China (2008.5).
- (41) F. Kobayashi, S. Toda, M. Yamada, M. Kakikawa, T. Maki, T. Higashi, C. Hong, Y. Tobe, B. Chen, G.-Y. Shi, Y. Iwasaka, Bioaerosols in the Convective Mixed Layer Over KOSA Region, Dunhuang, IGAC 10th International Conference, France (2008).
- (42) M. Yamada, T. Maki, F. Kobayashi, B. Chen, M. Kakikawa, D. Zhang, M. Nagatani, C. Hong, G.-Y. Shi, Y. Iwasaka, Diffusion of bioaerosols linked with mineral particles in the boundary layer over a desert area of the Northwest China, IGAC 10th International Conference, France (2008).
- (43) 田中茂雄, 垣尾雅文, 力学的刺激により促進される培養再生骨の石灰化, 日本機械学会北陸信越支部第46期総会・講演会, 富山, 2009.3.7
- (44) 曹廷舜, 辻本敏行, 田中茂雄, 光深度分解法による骨密度計測—モンテカルロ・シミュレーションによる骨内光拡散状態の解析—, 日本機械学会北陸信越支部第46期総会・講演会, 富山, 2009.3.7
- (45) 垣尾雅文, 田中茂雄, ひずみ誘導型液体流動刺激による培養再生骨の石灰化促進, 第21回バイオエンジニアリング講演会, 札幌, 2009.1.23-24
- (46) 近藤香菜子, 菊池俊介, 田中茂雄, 電気的筋収縮制御を利用した骨の力学刺激法に関する研究—骨形成効果を増大させる電気刺激波形の検討—, 第21回バイオエンジニアリング講演会, 札幌, 2009.1.23-24
- (47) 垣尾雅文, 山越憲一, 田中茂雄, ひずみ誘導型液体流動による再生骨の石灰化促進, 平成20年度日本生体医工学会北陸支部大会, 金沢, 2008.12.13
- (48) 杉浦直樹, 垣尾雅文, 武田純, 田中茂雄, 細胞内Ca²⁺動態観察用小型光システムの開発, 第35回日本臨床バイオメカニクス学会, 大阪, 2008.11.14-15
- (49) 曹廷舜, 辻本敏行, 田中茂雄, 光深度分解法による骨密度計測—モデル実験による検証—, 第35回日本臨床バイオメカニクス学会, 大阪, 2008.11.14-15
- (50) 潤本貴友, 近藤香菜子, 田中茂雄, 電気的筋収縮制御による骨形成促進効果—有限要素電流密度解析による電流刺激効果の評価—, 第35回日本臨床バイオメカニクス学会, 大阪, 2008.11.14-15
- (51) 田中茂雄, 再生組織用カルシウムイオンモニタリング装置, BioJapan2008 World Business Forum, 横浜, 2008.10.15-17
- (52) 田中茂雄, 曹廷舜, 山越憲一, 辻本敏行: 光深度分解法による非侵襲骨密度計測, 日本機械学

会 2008 年度年次大会, 横浜, 2008.8.3-7

- (53) 曹 廷舜, 辻本敏行, 山越憲一, 田中茂雄: 光散乱制御媒体を用いた深度分解法－非侵襲骨密度計測への応用－, 電子情報通信学会 ME とバイオサイバネティックス研究会, 富山, 2008.5.23
- (54) 山越健弘, 小林寛之, 山越憲一, 田中志信, 野川雅道, 田中茂雄, 廣瀬幸雄, 澤田幸展, 柴田政廣, 山越康弘, 朴相範: 差分体表面温度法を用いた単調運動ストレス評価に関する実験的検討, 第 47 回日本生体医工学大会, 神戸, 2008.5.8-10
- (55) 杉浦直樹, 垣尾雅文, 田中茂雄, 山越憲一: 再生骨における刺激効果を評価する小型光センシングシステム, 第 47 回日本生体医工学大会, 神戸, 2008.5.8-10
- (56) 川口道寛, 曹廷舜, 辻本敏行, 山越憲一, 田中茂雄: 光空間分解法を用いた骨密度計測, 第 47 回日本生体医工学大会, 神戸, 2008.5.8-10
- (57) 瀧本貴友, 近藤香菜子, 田中茂雄, 山越憲一: 有限要素電流密度解析を用いた骨格筋電気刺激による骨形成促進効果の評価, 第 47 回日本生体医工学大会, 神戸, 2008.5.8-10
- (58) 曹 廷舜, 川口道寛, 辻本敏行, 山越憲一, 田中茂雄: 参照散乱体を用いた光深度分解法－骨密度計測への応用－, 第 47 回日本生体医工学大会, 神戸国際会議場, 2008.5.8-10
- (59) Tanaka, S.M., Kakio, M., Yamakoshi K., Strain-induced fluid flow in a three-dimensional porous matrix promotes osteoblastic calcification in vitro, The American Society for Bone and Mineral Research 30th Annual Meeting, Montreal, Canada, September 12-16, 2008

5) 研究交流

- 共同研究
 - (1) 田中茂雄, 株式会社堀場製作所, 「近赤外分光法－骨密度計の実用化に向けた研究」
 - (2) 田中茂雄, 帝人ファーマ株式会社, 「培養軟骨細胞における確率共振現象の効果」
- 訪問外国人研究者
 - (1) Andrew nafalski, 南オーストラリア大学, 教授, 研究交流, 2008.12.5-2009.1.6.
 - (2) Anak Khantachawana, キングモンクット工科大 (タイ), 准教授, 研究交流, 2009.3.12
- 海外渡航
 - (1) 山田外史, スペイン, マドリード, IEEE INTERMAG (2008.5)
 - (2) 山田外史, ポーランド, ルブリン, EMELCO (2008.6)
 - (3) 山田外史, タイ, バンコク, Asia-Pacific Symposium on Applied Electromagnetics and Mechanics (2008.7)
 - (4) 田中茂雄, カナダ, モントリオール, ASBMR (2008.9)
 - (5) 柿川真紀子, タイ, バンコク, Asia-Pacific Symposium on Applied Electromagnetics and Mechanics (2008.7)
 - (6) 柿川真紀子, 中国, 敦煌, 黄砂発生地でのバイオエアロゾル調査 (2008.10)

6) 各種活動 (学会・社会)

- 学会活動

山田外史: マグネティクス技術委員会1号委員、新世代の電気・磁気アクチュエータ調査専門委員会委員、電気学会マイクロ磁気ドライブ技術調査専門委員会委員、電気学会マイクロ磁気ドライブ技

術とその応用調査専門委員会委員、生体および医療における磁気利用調査専門委員会委員、電気学会北陸支部監査委員、電気設備学会北陸支部理事、日本磁気学会編集委員、日本AEM学会理事・企画運営委員、日本能率協会・磁気応用シンポジウム委員長

田中茂雄：日本機械学会第86期バイオエンジニアリング部門代議員、日本機械学会2008年度（第86期）校閲委員、日本機械学会「能登半島地震による地場産業等の被害とその復興に関する臨時調査分科会」委員

仁宮一章：日本生物工学会 乳酸菌腸内細菌工学研究部会委員、日本生物工学会 IT駆動型微生物学研究部会委員、日本生物工学会 システムバイオテクノロジー研究部会委員

- 社会活動

山田外史：北陸電気使用合理化委員会委員、電気保安功労者表彰専攻北陸委員会委員、北陸グリーン電力基金運営委員会

仁宮一章：バイオ工学コース～バイオによるものづくり～（理工学域、自然システム学類、バイオ工学コース 紹介）, Voice, (2008.12), バイオマス利用のためのバイオテクノロジー, 金沢市産学連携セミナー, 金沢 (2008.11.19), 「バイオのちから」ってすごいよね！！～環境評価からものづくり、医療応用まで～, 金沢大学ふれてサイエンス&テクテクテクノロジー (2008.11.1), バイオテクノロジーについて「バイオのちから」ってすごいよね！！ 七尾高等学校出張講義 (2008.10.17), 「バイオのちから」ってすごいよね！！～環境評価からものづくり、医療応用まで～, 金沢大学オープンキャンパス (2008.8.7- 8)

5. 研究費

自然計測研究部門

1) 科学研究費

- (1) 柏谷健二（代表）：科学研究費基盤 A、陸域堆積物情報に基づく新生代後期氷河時代の成立と氷期・間氷期・超間氷期変動、3,900 千円
- (2) 福士圭介、科学研究費若手（若手B）、水・酸化物界面における陰イオン表面化学種（スペシエーション）のその場分光観察、234 万円
- (3) 山本政儀（代表）、文部科学省特別研究、極低レベル放射能測定による新領域の開発と全国共同利用微弱放射能測定拠点の形成、6,800 千円
- (4) 山本政儀（代表）、学長戦略経費（重点研究経費）、極低レベル放射能測定による新領域の開発と全国共同利用微弱放射能測定拠点の形成、9,800 千円
- (5) 山本政儀（代表） 基盤研究(B)、旧ソ連核実験場周辺住民の被曝線量評価の解決に向けて、3,100 千円
- (6) 長尾誠也（代表） 基盤研究(B)、集中豪雨により放出される懸濁粒子の特徴と沿岸生態系への影響評価、277 千円
- (7) 長尾誠也（分担） 科学研究費基盤研究 A、縁辺海（ベーリング海、オホーツク海、日本海）の基礎生産を支える鉄の挙動とその起原（代表：久万健志）、50 千円
- (8) 井上睦夫（代表） 基盤研究(C)、短寿命宇宙線誘導核種をトレーサーとする水文科学研究、900 千円
- (9) 富田純平 特別研究員奨励費、安定・放射性同位体をプローブとする温鉱泉の地球化学的研究：油田塩水のラジウム異常、600 千円

2) 研究助成金等

- (1) 柏谷健二（代表）：二国間交流事業、東アジアにおける現在の地表環境プロセスと歴史的な環境変動、1,000 千円
- (2) 山本政儀、石川県受託研究、プルトニウム等 α 線放出核種の分布状況及び移行挙動調査、2,000 千円
- (3) 長尾誠也（北大） 日本原子力研究開発機構受託研究、原位置における有機物特性データ取得法の検討、3,000 千円
- (4) 長尾誠也（北大） 産業技術総合研究所受託研究、溶存有機物の核種移行への影響とりまとめ、5,000 千円
- (5) 浜島靖典、気象研究所受託研究、海洋環境における放射性核種の長期挙動に関する研究、3,000 千円
- (6) 浜島靖典、若狭湾エネルギー研究センター共同研究、放射性同位元素分析によるズワイガニの年齢評価、525 千円

3) 共同研究費

4) 受託研究費

- (1) 福士圭介・長谷部徳子・遠藤徳孝、(財)原子力環境整備促進・資金管理センター、放射性廃棄物重要基礎技術研究調査研究、鉄-ベントナイト相互作用のナチュラルアナログ研究、500 万円

5) 奨学寄付金

- 1) 福士圭介、株式会社金沢大学ティ・エル・オー、技術移転に関わる対価、137 万円
- 2) 長尾誠也（代表）、福田水文センター、1,363 千円

エコテクノロジー研究部門

1) 科学研究費

岩坂泰信（代表）基盤研究（A）砂漠上空での砂塵とバイオエアロゾルの混合状態に関する研究、17,000 千円

木村繁男（分担）、基盤研究（C）搖動翼方式によるジャイロ型垂直軸風車の性能改善と騒音低減に関する研究、800 千円

木村繁男（分担）、基盤研究（C）実用プラント配管内構造物の流力振動評価と学会基準・指針の統括的検討、800 千円

塚脇真二（代表）、基盤研究（B）カンボジアのアンコール遺跡区域における環境破壊・汚染の現状と影響評価、13,800 千円

塚脇真二（分担）、萌芽研究、湿潤アジアの‘伝統的なホームガーデン’を素材とした環境学習プログラムの創出、1,200 千円

松木 篤（代表）、特別研究促進費 雲エアロゾル相互作用の解明にむけた雲採集装置の開発、1,500 千円

2) 共同研究費

3) 奨学寄付金

- (1) 岩坂泰信（代表），平和中島財団，1710 千円
- (2) 岩坂泰信（代表），三井物産環境基金，17,550 千円

4) その他

- (1) 岩坂泰信（代表），日本学術振興会に国際協力，600 千円
- (2) 松木 篤（代表），平成 20 年度金沢大学学長戦略経費（重点研究経費）若手育成，400 千円

生物多様性研究部門

1) 科学研究費

- (1) 笹山雄一（代表），基盤研究（C），ヒゲムシと化学合成細菌の共生：宿主細胞による細菌の支配の解明に向けて，600,000 円。
- (2) 鈴木信雄（代表），基盤研究（C），新規硬組織モデルによる骨・歯の疾患に対する超音波治療方法の開発，700,000 円。
- (3) 鈴木信雄（分担），基盤研究（C），ナノ粒子を利用した特異的温度制御による口腔癌治療
- (4) （代表：和田重人，富山大学）分担金 2008 年 200,000 円（2008 年の直接経費 total 2,200,000 円）
- (5) 鈴木信雄（分担），基盤研究（C），象牙質における成長線の周期性と生物時計との関連：メラトニンによる調節（代表：三島弘幸，高知学園短期大学）分担金 2008 年 180,000 円（2008 年の直接経費 total 2,300,000 円）

2) 共同研究費

- (1) 鈴木信雄（代表），宇宙航空研究開発機構 国際宇宙ステーション「きぼう」船内実験室第 2 期利用に向けた候補テーマ，宇宙空間における骨代謝制御：キンギョの培養ウロコを骨のモデルとした解析，3,000,000 円（間接経費：150,000 円）
- (2) 鈴木信雄（代表），宇宙航空研究開発機構 宇宙環境利用科学委員会研究班ワーキング グループ活動支援，魚類のウロコを用いた宇宙生物学的研究，1,650,000 円

3) 受託研究費

- (1) 鈴木信雄（分担），環境省 ExTEND2005 フィージビリティースタディー，多環芳香族炭化水素類の内分泌かく乱作用の構造活性相関に基づく魚鱗の化学物質スクリーニング法に関する研究。（代表：早川和一、金沢大学）2008 年 4,000,000 円

生体機能計測研究部門

1) 科学研究費

- (1) 清水 宣明（代表），基盤研究（B），分子標的ナノ粒子を用いた診断と治療を同時に行う超音波力学的がん治療，7,670 千円
- (2) 田中茂雄（代表），基盤研究（C），ひずみ誘導型液体流動による骨形成反応促進効果の実験的検証，1,700 千円

- (3) 柿川真紀子（分担）、環境省・地球環境総合推進費、黄砂バイオエアロゾルの越境的健康被害調査のためのサンプリング・同定に関する研究、11,185千円
- (4) 仁宮一章（代表）、若手研究（B）、バイオエタノールの効率的生産を目指したスーパー酵母の育種、190万円
- (5) 仁宮一章（分担）、基盤研究（B）、分子標的ナノ粒子を用いた診断と治療を同時に行う超音波力学的がん治療、7,670千円

2) 共同研究費

- (1) 田中茂雄（代表）、帝人ファーマ株式会社、800千円

3) 受託研究費

4) 奨学寄付金

- (1) 清水 宣明（代表）、住友商事株式会社、2,000千円
- (2) 山田外史（代表）、有限会社テクノシステム、250千円
- (3) 仁宮一章（代表）、財団法人 日揮・実吉奨学会、バイオマスエタノールの効率的生産のためのスーパー酵母の育種、100万円
- (4)

5) その他

- (1) 山田外史（代表）、金沢大学重点研究費、針形状磁気センサによる低侵襲・体内磁気情報計測の医療応用に関する国際共同研究、700千円
- (2) 山田外史（代表）、シーズ発掘試験研究、生体内磁気ビーズ計測の低侵襲製極細針形磁気センサの測定限界の研究、1,975千円
- (3) 柿川真紀子（代表）、金沢大学重点研究費、抗がん剤ブレオマイシン作用における磁場曝露効果、700千円

6. 研究指導

自然計測研究部門

1) 博士論文

2) 修士論文

- (1) 荒田孔明、年代学的手法による付加体の広域的挙動の解明、自然科学研究科地球環境学専攻、修士（理学）、長谷部徳子

3) 卒業研究

- (1) 島根亮、堆積情報および流域情報から見る土砂移動プロセスの解明、理学部地球学科、学士（理学）、柏谷健二
- (2) 竹内裕人、バイカル湖地域における過去10万年の短周期水文環境変動の解明、理学部地球学科、学士（理学）、柏谷健二

- (3) 稲垣亜矢子、湖沼堆積物分析への熱ルミネッセンスカラー画像解析有効性の検証、理学部地球学科、学士（理学）、長谷部徳子
- (4) 宮本光、白山火山噴出物中のジルコンを用いたU-T h放射非平衡年代測定、理学部地球学科、学士（理学）、長谷部徳子
- (5) 山田浩史、ベントナイトの変質年代と温度決定の試み、理学部地球学科、学士（理学）、長谷部徳子
- (6) 中島智美、洪水の流量と頻度による河川地形への影響：室内モデル実験、理学部地球学科、学士（理学）、遠藤徳孝
- (7) 青山和樹、水-フェリハイドライト界面における硫酸の表面化学種分布、理学部地球学科、学士（理学）、福士圭介
- (8) 酒井実、モノハイドロカルサイトによるヒ酸の取り込み、理学部地球学科、学士（理学）、福士圭介
- (9) 杉浦朋典、天然にみられる鉄-ベントナイト相互作用、学士（理学）、福士圭介

エコテクノロジー研究部門

1) 博士論文

2) 修士論文

- (1) 小林正弘、鉛直な角管路内の層流片側冷却における凝固実験。自然科学研究科機械科学専攻、修士（工学）、木村繁男
- (2) 奥田晃徳、安定成層流体中における二次元山形模型周りの水槽実験。自然科学研究科機械科学専攻、修士（工学）、木村繁男
- (3) 小澤 裕、電気抵抗値の変化を用いた地下水流动計測原理の検証。自然科学研究科機械科学専攻、修士（工学）、木村繁男

3) 卒業研究

- (1) 橋詰朝美、タイ王国クラビ州クロントムのマングローブ林周辺堆積物。工学部土木建設工学科、学士（工学）、塙脇真二
- (2) 糊 剛史、石川県金沢市南部上山～北袋地域の地質。工学部土木建設工学科、学士（工学）、塙脇真二
- (3) 小川順平、冬季における大気安定下での森林内乱流構造に関する研究。工学部機能機械工学科、学士（工学）、木村繁男
- (4) 大隅崇太郎、石川県金沢市南部北袋～白見地域の地質。工学部土木建設工学科、学士（工学）、塙脇真二
- (5) 佐々木祥平、成層化した流れ場に関する数値シミュレーション。工学部機能機械工学科、学士（工学）、木村繁男

生物多様性研究部門

1) 博士論文

2) 修士論文

- (1) 水野文敬, 環形動物門マシコヒゲムシの心臓小体に関する一考察, 自然科学研究科 生物科学専攻, 修士(理学), 笹山雄一
- (2) 板津秀彰, 環形動物門マシコヒゲムシの栄養体各部におけるグリコーゲン貯蔵量の比較, 自然科学研究科 生物科学専攻, 修士(理学), 笹山雄一
- (3) 浅田光子, 脊椎動物の肝臓における伊東細胞様細胞の存在と機能, 自然科学研究科 生物科学専攻, 修士(理学), 笹山雄一

3) 卒業研究

- (1) 田村 知, キンギョの組織における異所性カルシトニンの検出, 理学部 生物学科, 学士(理学), 笹山雄一
- (2) 高橋成明, 珠洲市野々江町の圃場整備区域のアメリカザリガニ駆除のための生態調査, 理学部 生物学科, 学士(理学), 中村浩二
- (3) 藤居聖一, 小矢部川水系における2種の雑種、アイノコイトモ、オオミズヒキモの分布状況について, 理学部 生物学科, 学士(理学), 木下栄一郎
- (4) 横山和也, 角間丘陵地におけるジャノヒゲ(広義)の形態と開花フェノロジー, 理学部 生物学科, 学士(理学), 木下栄一郎

生体機能計測研究部門

1) 博士論文

2) 修士論文

- (1) 荒川雅幸, 二酸化チタン・超音波触媒法と電気化学を組み合わせた新規殺菌法の開発(清水宣明・仁宮一章), 自然科学研究科物質工学専攻, 修士(工学)
- (2) 伊藤裕子, 遺伝子組換え放線菌を用いたセルラーゼ発現システムの構築(清水宣明・仁宮一章), 自然科学研究科物質工学専攻, 修士(工学)
- (3) 大庭達哉, 二酸化チタン表面での超音波力学的OHラジカル生成機構の解析(清水宣明・仁宮一章), 自然科学研究科物質工学専攻, 修士(工学)
- (4) 園家史朗, 肝細胞特異認識能を有する二酸化チタン・ナノ粒子を用いた超音波力学的がん治療(清水宣明・仁宮一章), 自然科学研究科物質工学専攻, 修士(工学)
- (5) 宮下徹, 放線菌でのタンパク質分泌生産系の改良とその酵素を用いた新規反応場反応(清水宣明・仁宮一章), 自然科学研究科物質工学専攻, 修士(工学)
- (6) 有馬浩史, マルチ磁気プローブを用いた非接触による金属丸棒の偏芯および形状歪みの測定に関する研究(山田外史), 自然科学研究科電子情報科学専攻, 修士(工学)
- (7) 鈴木宏尚, 超磁歪アクチュエータ駆動によるキャビテーション現象を応用した水質浄化に関する研究(山田外史), 自然科学研究科電子情報科学専攻, 修士(工学)
- (8) 平井雄一朗, 抗がん剤マイトマイシンCとシスプラチンの作用における交流磁界曝露影響,(柿川真紀子, 山田外史), 自然科学研究科電子情報科学専攻, 修士(工学)

- (9) 垣尾雅文, 力学的刺激による培養再生骨の石灰化促進 (田中茂雄), 自然科学研究科人間・機械科学専攻, 修士 (工学)
- (10) 近藤香菜子, 電気的筋収縮の骨量減少抑制効果に関する研究 (田中茂雄), 自然科学研究科人間・機械科学専攻, 修士 (工学)

3) 卒業研究

- (1) 上出一輝, 進化代謝工学のための大腸菌シグマ因子変異ライブラリーの作製 (清水宣明・仁宮一章) 工学部物質化学工学科, 学士(工学)
- (2) 田下裕之, 温度刺激応答性ナノキャリアによるピンポイント抗がん剤投与法の開発 (清水宣明・仁宮一章) 工学部物質化学工学科, 学士(工学)
- (3) 田中順喜, ケナフの酵素糖化における超音波照射前処理の効果 (清水宣明・仁宮一章) 工学部物質化学工学科, 学士(工学)
- (4) 長田さつき, *B. thuringiensis* 結晶タンパク質のがん細胞傷害活性 (清水宣明・仁宮一章) 工学部物質化学工学科, 学士(工学)
- (5) 馬場悠介, 進化代謝工学のための酵母基本転写因子変異ライブラリーの作製 (清水宣明・仁宮一章) 工学部物質化学工学科, 学士(工学)
- (6) 山田真由実, 二酸化チタン/超音波触媒法による高効率 H₂ 生成法の開発 (清水宣明・仁宮一章) 工学部物質化学工学科, 学士(工学)
- (7) 伏見允秀, 小形 2 極 3 スロット突極構造 DC モータの数値シミュレーション (山田外史)、工学部電気電子システム工学科、学士 (工学)
- (8) 水野佑亮, 小形 3 相かご型誘導電動機モデルの数値シミュレーション (山田外史)、工学部電気電子システム工学科、学士 (工学)
- (9) 武内伊久磨, 磁気回路法による三相 2 極同期電動機の数値シミュレーション (山田外史)、工学部電気電子システム工学科、学士 (工学)
- (10) 杉山修平, 漏れ磁束を考慮した一磁心並列バイアス方式限流器の数値解析 (山田外史)、工学部電気電子システム工学科、学士 (工学)
- (11) 田中重行, CT 法による 3 次元漏洩磁界の可視化と小型電子機器への適用 (山田外史)、工学部電気電子システム工学科、学士 (工学)
- (12) 中早政輝, マルチ GMR プローブを用いた金属丸棒の偏芯の測定と精度向上 (山田外史)、工学部電気電子システム工学科、学士 (工学)
- (13) 井波孝仁, うず電流探傷技術を用いた PCB 検査における画像処理に関する研究 (山田外史)、工学部電気電子システム工学科、学士 (工学)
- (14) 岩瀬勝紀, 巨大磁気抵抗効果センサによる磁性流体の極低濃度の計測 (山田外史)、工学部電気電子システム工学科、学士 (工学)
- (15) ホアンハ, 針状磁気プローブによる神経モデルからの信号検出の可能性 (山田外史)、工学部電気電子システム工学科、学士 (工学)
- (16) 鈴木峻, 超磁歪アクチュエータ駆動によるキャビテーション発生を利用したウイルスの不活性化 (山田外史)、工学部電気電子システム工学科、学士 (工学)
- (17) 西頭浩司, 600 Hz 交流磁界発生装置によるシスプラチンの抗がん作用への影響評価 (柿川真紀子, 山田外史)、工学部電気電子システム工学科、学士 (工学)

- (18) 今井俊輔, 交流磁界曝露下における抗がん剤ブレオマイシンの作用 (柿川真紀子, 山田外史)、工学部電気電子システム工学科、学士（工学）
- (19) 高田智也, 骨モデルとしてのキンギョウロコの再生における 60 Hz 交流磁界の影響評価 (柿川真紀子, 山田外史)、工学部電気電子システム工学科、学士（工学）
- (20) 菊池俊介, 電気的筋刺激法による骨形成促進－電気的筋刺激法から見た刺激パターンの検討－, 工学部人間・機械工学科、学士（工学）

7. その他

自然計測研究部門

1) 学術賞等の受賞状況

2) 新聞等報道

3) 特許

- 1) 福士圭介, 酒井実, 宗本隆志, ヒ素収着材, 特願 2009-017367, 出願日 2009/1/28, 出国立大学法人
金沢大学

エコテクノロジー研究部門

1) 学術賞等の受賞状況

2) 新聞等報道

3) 特許

生物多様性研究部門

1) 学術賞等の受賞状況

- (1) 鈴木信雄, 平成 22 年度 日本水環境学会中部支部学術集会 優秀ポスター賞
「重油にも含まれる多環芳香族炭化水素類の魚の骨代謝に及ぼす影響評価」

2) 新聞等報道

3) 特許

生体機能計測研究部門

1) 学術賞等の受賞状況

- (1) 仁宮一章, TiO₂ ナノ粒子と超音波触媒法を併用したがん細胞傷害効果の評価, 日本ソノケミストリー学会, ソノケミストリー奨励賞 (2008)
- (2) 柿川真紀子, 黄砂発生源におけるバイオエアロゾル拡散に関する研究 (共著), 日本エアロゾル学会論文賞 (平成 20 年度)

2) 新聞等報道

3) 特許

研 究 報 告

年代学的手法による四万十帯の付加プロセスの推定

荒田孔明¹・長谷部徳子²

¹〒920-1192 金沢市角間町 金沢大学大学院自然科学研究科；

²〒920-1192 金沢市角間町 金沢大学環日本海域環境研究センター

ARATA Komei and HASEBE Noriko:

Accretionary process of the Shimanto Belt analyzed by thermochronological methods

1 はじめに

四万十帯は西南日本に広く分布する過去の付加体である。大陸縁辺部における付加体の成長は、地球表層部での物質循環や大陸地殻の水平・垂直方向への成長の観点から重要な研究対象となっている。中でもフィッショング・トラック(以下 FT)法による研究では、温度情報を記録するツールとして年代値が主として用いられてきた。しかしながら、より詳細な温度履歴を記録していることが期待される FT 長は、四万十帯ではアパタイトのトラック密度の低さから難しく、行われてこなかった。そこで荒田・長谷部(2007)では追加エッチング法によるトラック長測定を提案し、四万十帯におけるアパタイトの FT 長測定を行った。本研究では紀伊半島、四国、九州地域について、追加エッチング法を用いてアパタイトのトラック長を測定し、FT 年代データと併せてその温度履歴の考察を行った。また九州と紀伊半島の一部試料については U-Pb 法でも年代値を測定し議論した。

2 試料と手順

試料は紀伊半島、四国、九州地域の四万十帯から採取した主に砂岩であり、一部弱變成を受けている。アパタイトの FT (AFT) 年代は約 10Ma であるが(Hasebe et al., 1993, 1997)、紀伊半島の一部で約 30Ma の値も報告されている(Hasebe and Tagami, 2001)。

アパタイトの FT 長測定は荒田・長谷部(2007)に従い、熱履歴のモデリングには解析ソフトウェア HeFTy (v. 1.5.5: Ketcham, 2005) を用いた。Hasebe and Tagami (2001)において年代値の報告のない試料についてはトラック長測定と併せて LA-ICP-MS による FT、U-Pb 年代の導出を行った。

3 結果と考察

FT 年代、FT 長のデータを表 1 に示す。3 試料のアパタイト、5 試料のジルコンで新たに FT、U-Pb 年代が得られた。またアパタイトの FT 長は、いずれの試料でも短縮が確認された。しかし 2 試料でアパタイト粒子が得られず、9 試料で粒子が少なく FT 長のデータも不十分であった。

ジルコンの FT (ZFT) 年代は 1 試料を除いて堆積年代より古く、100Ma 以上の年代値が得られた。ジルコンの FT 長を粒子の ZFT 年代ごとに分類して測定したところ、堆積年代より古い粒子でのみ短縮が見られ、堆積後に ZFT に影響を与える加熱がなかったことが示された。紀伊半島中西部では既報 AFT 年代より若い約 15Ma の ZFT 年代が得られたが、これは近傍の大峰花崗岩類の ZFT 年代(約 15Ma: Hasebe and Watanabe, 2004)と等しく、花崗岩の貫入による被熱年代を示していると考えられる。AFT 年代は九州で既報年代とほぼ同じ約 10Ma であり、堆積後の加熱の影響が見られる。ジルコンの U-Pb 年代は約 2000-1700Ma の原生代と約 300-80Ma の石炭紀～白亜紀に分類され、大半の粒子がコンコーディア上に示された(図 1)。これらの U-Pb 年代は西南日本や朝鮮半島南西部に分布する他の地質体に見られる U-Pb 年代の特徴(例えば Aoki et al., 2007; Turek and Kim, 1996)に一致し、四万十帯を形成した物質は、

より古くにユーラシア大陸東縁に存在した地質体に由来すると推測される。

HeFTy による熱履歴モデリングは、解析に足りたすべての試料で、堆積後にいったん温度上昇を経験し、約 7-2Ma、80-100°C付近からの急激な冷却過程を示した(図 2)。これは紀伊半島、四国、九州の各地域において同時期的に冷却現象が起こったことを示しており、この現象が四万十帯に広域的に起こったことが明らかにされた。

四万十帯におけるこれら冷却過程は上昇削剥による温度低下を表していると考えられ、四万十帯における上昇削剥が、後期中新世～後期鮮新世(約 7-2Ma)にほぼ同時的に広域的に起こったこと、また FT 年代のみから推定された年代(約 10Ma)より若い時代に上昇イベントが起こったことが示された。この上昇イベントの年代は、島弧における火山活動等から報告されている約 6Ma のフィリピン海プレートの沈み込みの再開(Kamata and Kodama, 1999)に一致しており、プレート活動の活発化が海溝部への物質供給を増大させ、急激な上昇削剥が四万十帯全域に起こったと考えられる。

参考文献

- Aoki, K., Iizuka, T., Hirata, T., Maruyama, S., Terabayashi, M., 2007, Tectonic boundary between the Sanbagawa belt and the Shimanto belt in central Shikoku, Japan. *The Journal of the Geological Society of Japan* 113, 5, 171-183.
- 荒田孔明, 長谷部徳子, 2007, アパタイトの confined トラック增加のためのエッチング条件：四万十帯中のアパタイトへの適用. *フィッショントラックニュースレター* 20, 6-12.
- Hasebe, N., Tagami, T., Nishimura, S., 1993, Evolution of the Shimanto accretionary complex: A fission-track thermochronologic study. *Geological Society of America Special Paper* 273, 121-136.
- Hasebe, N., Tagami, T., Nishimura, S., 1997, Melange-forming processes in the development of an accretionary prism: Evidence from fission track thermochronology. *Journal of Geophysical Research* 102, 7659-7672.
- Hasebe, N., Tagami, T., 2001, Exhumation of an accretionary prism – results from fission track thermochronology of the Shimanto Belt, southwest Japan. *Tectonophysics* 331, 247-267.
- Hasebe, N., Watanabe, H., 2004, Heat influx and exhumation of the Shimanto accretionary complex: Miocene fission track ages from the Kii Peninsula, southwest Japan. *The Island Arc* 13, 533-543.
- Kamata H., Kodama K. 1999. Volcanic history and tectonics of the Southwest Japan Arc. *The Island Arc* 8, 393-403.
- Ketcham, R. A., 2005, Forward and inverse modeling of low-temperature thermochronometry data. *Reviews in Mineralogy and Geochemistry* 58, 275-314.
- Turek, A., Kim, C. B., 1996, U-Pb zircon ages for Precambrian rocks in southwestern Ryeongnam and southwestern Gyeonggi massifs, Korea. *Geochemical Journal* 30, 231-249.

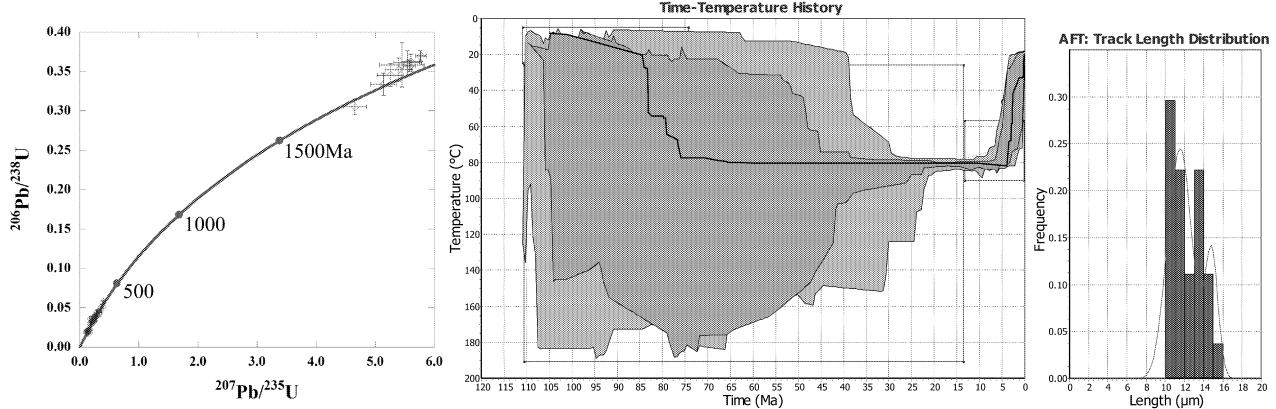


図1 紀伊半島FTW02におけるU-Pbコンコーディア図。約2000-1700Maと約300-80Maに分かれる

図2 紀伊半島FTW02におけるHeFTyによる熱履歴モデリング結果の一例。左図は時間-温度履歴モデルを示し、右図はAFTトラック長分布を示す

表1

四五十帯における各試料のFT年代値とFT長データ。太字は本研究による結果、他は引用値

Sample	Age (Ma)			AFT Length			ZFT Length		
	Deposition	ZFT $\pm 2\sigma$	AFT $\pm 2\sigma$	No. of apatites	No. of tracks	MTL $\pm 2\sigma$ (μm)	No. of zircons	No. of tracks	MTL $\pm 2\sigma$ (μm)
Kii									
SHNW37	-	78.3 \pm 8.5	14.0 \pm 6.2	114	15	8.8 \pm 3.1			
SHNW33	88.5-74.0	146.8 \pm 13.2	16.7 \pm 4.9	1	0	-			
SHNW30	88.5-74.0	154.9 \pm 17.2	16.8 \pm 5.0	5	2	8.0 \pm 1.0			
SHNW07	88.5-74.0	103.6\pm12.0	36.4 \pm 5.1	8	3	8.4 \pm 1.7	32	158	10.1 \pm 2.6
SHP03	112.0-90.4	15.1\pm2.2	37.3 \pm 20.8	10	0	-	46	68	9.1 \pm 4.1
FTW02	112.0-90.4	136.2\pm11.6	15.2 \pm 5.8	201	27	10.0 \pm 3.1	40	233	10.4 \pm 2.5
FTW03	112.0-90.4	-	12.9 \pm 3.6	16	1	5.0			
FTW10	83.0-65.0	-	-	0	-	-			
FTW16	50.0-35.4	-	6.0 \pm 2.6	16	0	-			
FTW19	50.0-35.4	-	5.9 \pm 3.2	0	-	-			
FTW22	50.0-35.4	-	139.1\pm142.0	8	1	12.5			
Shikoku									
SH01	208.0-145.6	147.7 \pm 14.6	10.2 \pm 2.1	149	106	9.8 \pm 3.4			
SH02	112.0-88.5	129.1 \pm 12.8	11.4 \pm 1.9	272	87	8.6 \pm 3.6			
SH19	50.0-35.4	215.0 \pm 49.9	13.5 \pm 3.7	166	86	9.4 \pm 3.3			
SH20	38.6-29.3	127.8 \pm 14.2	7.2 \pm 2.3	185	78	9.3 \pm 3.5			
SH21	38.6-29.3	105.0 \pm 11.3	8.9 \pm 2.0	144	33	10.1 \pm 3.4			
SHMIC05	29.3-16.3	100.9 \pm 12.7	11.8 \pm 5.3	52	13	8.7 \pm 3.4			
Kyushu									
SHQ07	97.0-90.4	115.6 \pm 11.8	13.3 \pm 3.7	208	63	8.5 \pm 3.7			
SHQ06	97.0-74.0	102.9\pm8.9	11.5\pm2.3	307	48	9.7 \pm 2.9	36	166	9.6 \pm 2.4
SHQ03	97.0-74.0	68.1 \pm 7.7	7.1 \pm 2.3	5	2	5.5 \pm 0.3			
SHQ02	97.0-74.0	70.4 \pm 9.7	8.8 \pm 6.5	121	30	9.0 \pm 3.9			
SHQ21	50.0-29.3	118.5\pm11.2	8.5\pm3.0	77	18	8.4 \pm 3.7	23	101	10.2 \pm 2.3
SHQ22	50.0-29.3	90.1 \pm 8.4	7.6 \pm 4.1	9	4	8.7 \pm 3.9			

モノハイドロカルサイトによるヒ酸の取り込み

酒井実¹、宗本隆志²、福士圭介³

¹〒920-1192 金沢市角間町 金沢大学理学部地球学科

²〒920-1192 金沢市角間町 金沢大学大学院自然科学研究科

³〒920-1192 金沢市角間町 金沢大学環日本海域環境研究センター

M. Sakai, T. Munemoto and K. Fukushi

Arsenate uptake by monohydrocalcite

はじめに

ヒ素はバングラデシュやインド、アメリカなど世界各地で水質・土壤汚染の原因となっている有害元素である (Smedley et al. 2002)。天然水中でヒ素は主にヒ酸(HAsO₄²⁻)もしくは亜ヒ酸(H₃AsO₃⁰)として存在しており、酸化的環境においてはヒ酸(HAsO₄²⁻)の形態をとる。ヒ酸の除去方法として Al や Fe 酸化物などの鉱物を用いた方法が研究されている (Fukushi and Sverjensky 2007)。特に、Fe 酸化物の準安定相であるフェリハイドライトやシュベルトマナイトは安定相よりも反応性が大きく、効果的にヒ酸を吸着することが知られている(Fukushi et al. 2004; Fukushi and Sverjensky 2007)。また Alexandratos et al.(2007) は Al や Fe 酸化物に加えカルシウム炭酸塩鉱物であるカルサイトもヒ酸の効果的な吸着体であることを示した。

カルシウム炭酸塩鉱物の準安定相として、モノハイドロカルサイト(CaCO₃·H₂O: 以下 MHC)が知られている。MHC は母液に Mg²⁺イオンが存在し、高 pH、高 CO₂過飽和度が達成された水質条件において速やかに生成することが知られている (Taylor 1975)。溶液中で MHC は時間とともにアラゴナイトやカルサイトに相変化する。MHC の相変化によりアラゴナイトが生成するかカルサイトが生成するかは、MHC に含まれる不純物の Mg の量が影響していると考えられている(Munemoto and Fukushi 2008)。MHC は準安定相であるため、カルシウム炭酸塩の安定相であるカルサイトよりも反応性が高いことが予想され、カルサイトよりもさらにヒ酸を効果的に取り除くことが期待される。そこで本研究ではモノハイドロカルサイトのヒ酸に対する取り込み挙動を室内実験によって明らかにすることを目的とする。

実験方法

本研究で用いる MHC は 0.06M CaCl₂, 0.06M MgCl₂·6H₂O, 0.08M Na₂CO₃ の混合溶液を 48 時間 25±0.5°C で熟成させ、生成した懸濁液を固液分離して得られたものである。得られた物質(以下、Solid-1)を自然乾燥させ以下の実験に用いた。また MHC を脱イオン水と懸濁・攪拌させた後にろ過をする操作を繰り返し行うことで MHC の洗浄を行い、Mg の含有量を半分にしたもの(以下、Solid-2)も用意した。合成試料は粉末 X 線回折(XRD)から MHC の単一相であることが確認されている。合成試料の化学組成は Solid-1 で Ca_{0.976}Mg_{0.024}CO₃·1.5H₂O であり、Solid-2 で Ca_{0.988}Mg_{0.012}CO₃·1.3H₂O であった。それぞれの MHC を 0.01M NaCl、0~200 μM Na₂AsO₄·7H₂O 溶液と固液比 100mg/50mL にて混合した。混合溶液を低温インキュベーター内において 25°C、大気に開いた系でマグネティックスターにより 24 時間攪拌した。反応後減圧ろ過し固液分離を行い、固相はスライドガラスに塗布し自然乾燥させた。乾燥後 XRD を用い鉱物同定、外部標準法を用いたアラゴナイトの定量を行った。ろ液は ICP-OES によりヒ酸濃度の測定をした。初期ヒ酸濃度と反応後の溶存ヒ酸濃度の差より、MHC 単位質量あたりに取り込まれたヒ素の mol 数を算出した。XRD は Rigaku RINT1200 を使用し、CuKα 線, 40kV 30mA で測定した。ICP-OES は

VarianICP 発光分析装置を用いた。

結果

XRD 結果から、Solid-1 の実験系で回収した固相は初期ヒ酸濃度 $95\mu\text{M}$ 以下の条件ではアラゴナイトへ完全に変質した(Fig.1)。より高いヒ酸濃度条件においては MHC とアラゴナイトが共存し、ヒ酸濃度が高くなるとアラゴナイトのピーク面積は減少した。反応後の溶存ヒ酸濃度とヒ酸の取り込み量の関係をプロットした収着等温線を Fig.2 に示す。Solid-1 によるヒ酸の取り込み量は初期ヒ酸濃度 $60\mu\text{M}$ (反応後の溶存ヒ酸濃度(以下平衡濃度 $13\mu\text{M}$)以下の条件では線形的に増加した。初期ヒ酸濃度 $60\mu\text{M}$ (平衡濃度 $13\mu\text{M}$)から $95\mu\text{M}$ (平衡濃度 $66\mu\text{M}$)の条件において一定となり、その時の取り込み量は $23.4\text{mmol As/kg MHC}$ であった。初期ヒ酸濃度 $95\mu\text{M}$ (平衡濃度 $66\mu\text{M}$)以上では取り込み量が減少した。Solid-2 では初期ヒ酸濃度 $137\mu\text{M}$ (平衡濃度 $58\mu\text{M}$)以下の条件においてアラゴナイトとカルサイトの混合物へ変質した。より高いヒ酸濃度条件においては MHC と変質相が共存し、ヒ酸濃度が高くなると変質相のピーク面積は減少した(Fig.1)。この実験系で得られた収着等温線を Fig.2 に示す。取り込み量は初期ヒ酸濃度 $137\mu\text{M}$ (平衡濃度 $58\mu\text{M}$)以下では線形に増加し、更にヒ酸濃度が高くなると減少した。

考察

Fig.1 よりヒ酸濃度条件が高いものほど MHC の相変化が遅延され、Fig.2 から反応後の溶存ヒ酸濃度が高いものほど取り込み量が減少していることが分かった。変質相の生成が認められる最低ヒ酸濃度条件と、取り込み量が減少するヒ酸濃度条件が一致していることから、ヒ酸の取り込みは相変化が進むほど有効であることが推測される。アラゴナイトの重量%とヒ酸の取り込み量のプロット(Fig.3)から、アラゴナイトの生成量とヒ酸の取り込み量には線形関係が認められた。Munemoto and Fukushi (2008)によると MHC の相変化は MHC の溶解と、引き続く変質相の生成からなる。この変質機構と Fig.3 の線形的な関係より、MHC が溶解し変質相が形成される際に溶液からヒ酸が取り込まれていると考えられる。

低いヒ酸濃度条件でのヒ酸の取り込み量と反応後の溶存ヒ酸濃度の間の線形な関係は、一定の分配関係を保ってヒ酸が変質相に取り込まれていることを示す。この分配関係は分配係数 K_d ($K_d = [\text{As}]_{\text{solid}}/[\text{As}]_{\text{solution}}$) によって表され、取り込みの効率を表す。Solid-1 は $K_d = 1.94 \times 10^3 \text{L/kg}$ 、Solid-2 については $K_d = 8.42 \times 10^2 \text{L/kg}$ であった。Solid-1 で見られるその後の取り込み量の一定は、変質相が取り込むことが出来る上限に達したためであると思われ、最大取り込み量 $M=23.4\text{mmol As/kg MHC}$ が得られた。Solid-2 については上限に達していないので、最も取り込み量の高いものを最大取り込み量と仮定すると $M=39.8\text{mmol As/kg MHC}$ であった。Solid-1 および Solid-2 で得られた分配係数および最大取り込み量の差異は、変質相の鉱物種の違いに起因すると考えられる。ヒ酸濃度が高い条件における取り込み量の減少は、MHC の変質がヒ酸により遅延され変質相の生成が十分でないために、変質相に取り込まれるヒ酸の量が減少したためであると考えられる。

Alexandratos et al.(2007)によりカルサイトによるヒ酸吸着の分配係数は $K_d = \sim 1.90 \times 10^2 \text{L/kg}$ 、最大吸着量は $M=6.56\text{mmol As/kg calcite}$ であることが示された。 K_d を比較すると Solid-1、2 の方が優れた値を示し、カルサイトの吸着よりも効果的にヒ酸を取り込むことが分かった。 M もカルサイトの吸着よりも大きく、Solid-1、2 がより多くのヒ酸を取り込むことが示された。カルサイトの吸着に比べると MHC はより多くのヒ酸を取り込むことが分かった。

まとめ

- ・MHC によるヒ酸の取り込みメカニズムは、MHC が溶解し変質相が形成される際に溶液中のヒ酸を取り込むものである。
- ・ヒ酸濃度が高い条件では MHC の変質が遅延されるため取り込み量が減少する。
- ・MHC の変質相がアラゴナイトかカルサイトであるかによってヒ酸の取り込み挙動が異なる。
- ・カルサイトの吸着と比較すると MHC は効果的にヒ酸を取り込むことができる。

引用文献

- Smedley P.L. and Kinniburgh D.G. (2002) Appl. Geochem., vol.17, pp.517-568
 Fukushi K. and Sverjensky D.A. (2007) Geochim. Cosmochim. Acta, vol.71, pp.1-24
 Fukushi K., Sato T., Yanase N., Minato J. and Yamada H. (2004) Am. Min., vol.89, pp. 1728-1734
 Alexandratos G.V., Elzinga E.J., Reeder R.J. (2007) Geochim. Cosmochim. Acta, vol.71, pp.4172-4187
 Taylor G.F. (1975) Am. Min., vol.60, pp.690-697
 Munemoto T. and Fukushi K. (2008) J. Mineral. and Petrol., vol.103, pp.345-349

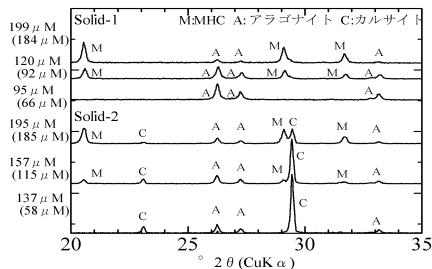


Fig.1 XRD 結果

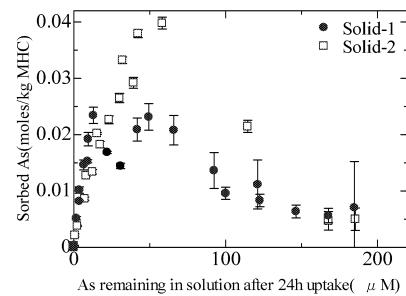


Fig.2 収着等温線

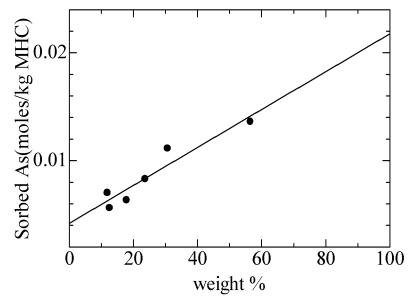


Fig.3 アラゴナイト

重量%と取り込み量

Ultra low level deep water ^{137}Cs activity in the South Pacific Ocean

M. Aoyama¹, Y. Hamajima²

¹Meteorological Research Institute

²Low level Radioactivity Laboratory, Kanazawa University

We are measuring ^{137}Cs concentrations of deep water samples in the subtropical gyres in the South Pacific collected during the BEAGLE2003 cruise (Aoyama et al., 2006) at an underground facility (Ogoya Underground Laboratory: OUL, Hamajima & Komura, 2004; Komura & Hamajima, 2004) to achieve extremely low background γ -spectrometry using Ge detectors with high efficiency and low background materials. A detection limit of ^{137}Cs at the OUL is 0.18 mBq for a counting time of 600000 seconds (Hirose et al., 2005). There is a residual problem of underground γ -spectrometry for ^{137}Cs measurements. AMP adsorbs trace amounts of potassium when Cs is extracted from seawater, therefore trace amounts of ^{40}K cause elevation of background corresponding to energy range of ^{137}Cs due to Compton scattering of ^{40}K . To remove ^{40}K from the AMP/Cs compound, a precipitation method including insoluble platinate salt of Cs was used (Aoyama and Hirose, 2008).

We did 1500000 seconds to 2500000 seconds measurements for combined samples from deep water to reduce counting error for the samples of which net activities were around 0.5 - 1 m Bq. We have obtained reliable value of ^{137}Cs activity in the deeper layers. ^{137}Cs activity at the layers between 2000-4500 m ranged from 14 ± 5 mBq m⁻³ to 21 ± 9 mBq m⁻³. The inventory of ^{137}Cs from surface to 1000 m depth ranged from 270 ± 100 Bq m⁻² to 1050 ± 130 Bq m⁻², while the inventory from 2000 m to the sea bottom is estimated to be about 50 to 80 Bq m⁻² in this region.

Aoyama M., and K. Hirose, Y. Igarashi (2006), J. Environ. Monit., 8, 431-438.

Aoyama M., and K. Hirose (2008), Analysis of Environmental Radionuclides, Radioact. Environ., 11, 137-162.

Hirose K., M. Aoyama, Y. Igarashi, and K. Komura (2005), J. Radioanal. Nucl. Chem., 263, 349-353.

Komura K., and Y. Hamajima (2004), Appl. Radiation Isotopes, 61, 185-189.

Hamajima Y., and K. Komura (2004), Appl. Radiation Isotopes, 61, 179-183.

Complexation of Am with size-fractionated soil humic acids

S. Nagao¹, M. Aoyama², A. Watanabe³, T. Tanaka⁴

¹Faculty of Environmental Earth Science, Hokkaido University,

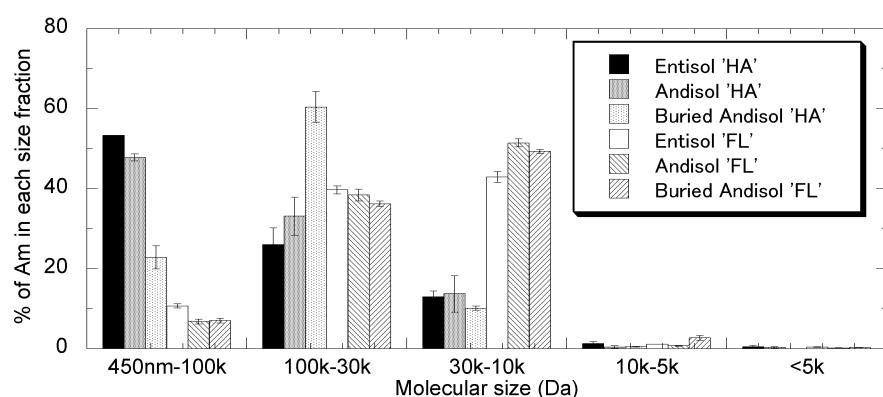
²Faculty of Agriculture and Life Science, Hirosaki University ,

³Graduate school of Bioagricultural Sciences, Nagoya University,

⁴Tokai Research and Development Center, Japan Atomic Energy Agency

Humic substances (humic and fulvic acids) are ubiquitous in nature and have many beneficial effects on soils and aquatic environments. They play important role in geochemical behavior of trace elements such as actinides from fallout and local sources in aquatic environments. Therefore, characteristics of actinides bound to humic and fulvic acids can yield information on the geochemical role of humic substances in the migration of actinides. In this study, the association properties of Am with humic substances were studied on the basis of structural feature of humic substances. We separated two humic acids ('HA': fluorescence-poor and higher molecular size fraction, 'FL': fluorescence-rich and lower molecular size fraction) with different structural features from humic acids prepared from three types of soils (andisol, entisol and buried andisol) by Sephadex G-25. The association experiments were carried out in a medium of 0.01M NaClO₄ solution at a humus concentration of 10 mg/l and pH6-8. After finishing the association experiments, ultrafiltration was used to size-fractionate Am in the humus solutions. Figure 1 shows molecular size distribution of Am in the presence of size-fractionated HAs. The dominant size fractions of Am in the presence of 'HA' were 450nm-100k Da (48-53% for the andisol and entisol) and 100k-30k Da (60% for the buried andisol). On the other hand, 43-51% of Am was presented in the size of 30-10k Da in the 'FL' HA solutions from three soil types. These results indicate that characteristics of size-fractionated humic acids are related association properties with Am.

Fig. 1 Size distribution of Am in the presence of HAs.



Carbon isotopes of POC in a small river in Bekanbeushi moor, northern Japan

S. Nagao¹, T. Aramaki², O. Seki¹, M. Uchida², Y. Shibata²

¹Faculty of Environmental Earth Science, Hokkaido University, N5W10, Kita-ku, Sapporo 060-0810, Japan

² Environmental Chemical Division, National Institute for Environmental Studies, 16-2 Onogawa, Tsukuba 305-8506, Japan

An important part of global organic carbon cycle is the flux of terrestrial organic carbon from the continents to the oceans. Small rivers and streams have potential significance in the transport of sediments and organic matter, and its export flux is estimated as ~40% of riverine global organic carbon. Knowledge of organic carbon dynamics in river basins is required to study the role of rivers in global biogeochemical cycles and organic carbon flux. For better understanding the transport of organic carbon, carbon isotopes of particulate organic carbon (POC) are useful tools as tracers of the sources and behavior.

The objective of this study is to understand the transport behavior of POC from terrestrial region to ocean. We selected a small river, lower turbidity in a year except for spring snowmelt period, in Bekanbeushi moor located in Hokkaido, northern Japan. Water sampling was carried out at a fixed point from summer in 2004 to April 2008. Suspended solids samples were concentrated from 45-90 L of river waters by a single-bowl flow continuous centrifuge technique. We used carbon isotopes ($\Delta^{14}\text{C}$ and $\delta^{13}\text{C}$ values) and lignin composition of POC.

The $\Delta^{14}\text{C}$ values of Bekanbeushi POC range from -12‰ to $+9.7\text{‰}$ at summer and winter season and -164‰ at snowmelt season. The $\delta^{13}\text{C}$ values have a very narrow range of -29.1‰ to -28.7‰ . The C/N ratio is 10.9-12.4. The paired $\Delta^{14}\text{C}$ vs. $\delta^{13}\text{C}$ distributions are different from the Tokachi and Zengjiang Rivers (Nagao et al., 2005, Gao et al., 2007). The Bekanbeushi $\Delta^{14}\text{C}$ and $\delta^{13}\text{C}$ values show younger and lighter than the others. These results suggest that freshly produced organic matter is supplied from the moor to the small river except for snowmelt period.

Variations in $\Delta^{14}\text{C}$ values of POM in the Ishikari River

S. Nagao¹, T. Aramaki², Y. Oguro¹, H. Amano³, M. Uchida², Y. Shibata²

¹Faculty of Environmental Earth Science, Hokkaido University, N5W10, Kita-ku, Sapporo 060-0810, Japan

² Environmental Chemical Division, National Institute for Environmental Studies, 16-2 Onogawa, Tsukuba
305-8506, Japan

³Aomori Research and Development Center, Japan Atomic Energy Agency, 4-24 Minato, Mutsu 035-0064,
Japan

Particulate organic matter (POM) is the terrigenous component directly incorporated into continental margin sediments. For better understanding the origin, forms, and fate of POM, it is important to study the characteristics of riverine POM because of its heterogeneous mixtures of organic matter. Information on characteristics of POM in river basins is required to quantify the role of rivers in global biogeochemical cycles.

We have been investigated at the Ishikari River system, which is 268 km long from the source to mouth and a drainage basin of 14330 km², in northern Japan. The Ishikari River has two peaks of water discharge at spring snowmelt and autumn rain events. In this study, water samples were collected four times at three stations (Osamunai, Sorachi, and Iwamizawa-Ohashi) from April to October in 2006. The Osamunai and Iwamizawa-Ohashi are located at the upstream and downstream of Ishikari River, respectively. The Sorachi is located at the downstream of Sorachi River, which is the largest tributary of the Ishikari River. We discussed the dynamics of POM within the Ishikari River basin on the basis of $\Delta^{14}\text{C}$ and $\delta^{13}\text{C}$ values of POM.

The variations in $\Delta^{14}\text{C}$ values of riverine POM are different from each station. In the Iwamizawa-Ohashi, the $\Delta^{14}\text{C}$ values were -273‰ for the spring snowmelt season, and $-210 \sim -130\text{‰}$ for the normal flow condition. In the Sorachi, the $\Delta^{14}\text{C}$ values were -369‰ for the spring snowmelt season, $-150 \sim -41\text{‰}$ for the normal flow condition and -447‰ for the heavy rain event in autumn. On the other hand, POC of the Osamunai shows opposite variation trend. The POM had $\Delta^{14}\text{C}$ of $-95 \pm 89\text{‰}$ and $-145 \pm 10\text{‰}$ at high and low water discharge, respectively. These results suggest that the sources and supply processes of POM from watershed are different from the upstream and downstream. The variations in $\Delta^{14}\text{C}$ values also appear to be correlation with water discharge.

複数の放射性核種を用いた日本海における物質循環解明

中野佑介¹・井上睦夫¹・皆川昌幸²・濱島靖典¹・山本政儀¹

¹〒923-1224 石川県能美市 金沢大学 LLRL, K-INET

²〒236-8648 神奈川県横浜市 独立行政法人水産総合研究センター中央水産研究所

Y. Nakano, M. Inoue, M. Minakawa, Y. Hamajima and M. Yamamoto: Implications for geochemical cycles within the Sea of Japan using multiple radionuclide

<はじめに>

^{137}Cs (30 年), ^{226}Ra (1600 年), ^{228}Ra (5.75 年) および ^{228}Th (1.91 年) といった海水中に微量に存在する天然および人工放射性核種は、古くから海洋化学の分野で重要な役割を果たしてきた。ラジウム同位体は主に沿岸堆積物からの溶出によりもたらされる。 ^{226}Ra は水塊の水平輸送あるいは深層水の流動トレーサーとして、 ^{228}Ra は沿岸堆積物もしくは大陸棚浅層水の影響を見積もるトレーサーとして利用されてきた。 ^{137}Cs は核実験由来のフォールアウト核種であり、溶存核種であることから、水塊の移動を探るトレーサーとして利用される。 ^{228}Ra の娘核種である ^{228}Th は溶存性であるラジウム同位体とは異なり、粒子と強く反応する性質をもち、沈降粒子と共に深層水にもたらされる。そのため、 ^{228}Th は海水中における粒子物質の挙動を見積もるトレーサーとしての利用が期待される。しかし、これらの核種はその有用性にもかかわらず、非常に低濃度であることから、通常の γ 線測定では 500-1000 L もの海水試料を必要とする。そのため、海洋における、これらの核種の時間的にも空間的にも十分なデータの蓄積は無い。当研究室では、ラジウム同位体、 ^{137}Cs については尾小屋地下測定施設を利用した低バックグラウンド γ 線測定法を採用し、少量 (~20 L) の海水試料を用いた測定が可能である。

本研究では、これまでの測定法を改良し、トリウム同位体の測定も同時に行なう。この測定法を日本海海水試料に適用し、これらの核種がもたらす水塊の移動あるいは粒子物質輸送のメカニズムに関する知見を得ることを目的とした。

<海水試料採取および実験>

ラジウム同位体から黒潮・東シナ海大陸棚水混合の季節変動のメカニズムを明らかにするために、対馬東水道 (TE) および九州西岸沖の 3 地点 (YK1; N 30°30' E 126°, YK2; N 31°45' E 127°15', YK3; N 31°45' E 128°45') で表層海水を各 20 L 採取した (Fig. 1)。採取は、TE で 2008 年の 1 ヶ月毎に、YK では 2, 4, 7, 10 月におこなった。また、日本海の代表的海域での ^{226}Ra , ^{228}Ra , ^{137}Cs および ^{228}Th の鉛直分布を求めるため、日本海盆 (YR1; N40°50', E138°00'; 3685 m depth, SY07; N41°02', E138°10'; 3700 m depth)、大和海盆 (YR5; N39°22', E136°30'; 2610 m depth)、大和堆 (SY06 および SY08A; N39°25', E135°40'; 367 m depth) および 対馬海盆 (SY08B; N36°11', E132°20'; 1161 m depth) で海水 50-60 L を採取した。さらに、日本列島沿岸域 (HK, NI, IS, FKE, FKW, SM, SG; 65-475 m depth)において、表層海水と海底直上水で 30 試料 (各 20 L) 採取した。採取期間は 2005-2008 年の 7-8 月である。

採取した海水試料を濃硝酸で pH 1 に調製した後、リンモリブデン酸アンモニウム (AMP) を加え、 ^{137}Cs を AMP に吸着させた。これを回収、乾燥し、 γ 線測定用試料とした。次にバリウム担体を加え、 BaSO_4 を生成させ、ラジウム同位

体を共沈回収した。その後、鉄担体を加え、アンモニア水で pH 7 に調製し、 Fe(OH)_3 を生成させ、トリウム同位体を共沈回収した。生成した BaSO_4 , Fe(OH)_3 沈殿を回収し、測定用試料とした。 γ 線測定は尾小屋地下測定施設の Ge 検出器を用いて行なった。核種回収後の海水試料の上澄み液にもう一度同様の

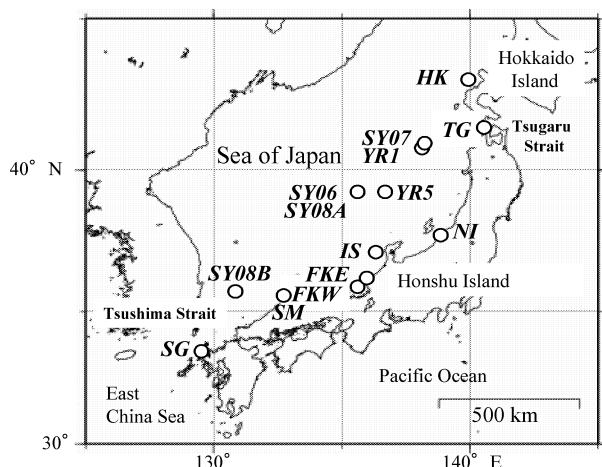


Fig. 1 Locations of sampling sites for seawater samples within the Sea of Japan

実験操作を行なう方法と、 BaSO_4 と Fe_2O_3 の回収率を測定する方法で、目的核種の回収率を補正した(Ra: 77-91%, Th: 89-92%, ^{137}Cs : 97%)。

<結果>

東シナ海大陸側海水は、黒潮と比べ、著しく高い ^{228}Ra 濃度を示すことが知られている。東シナ海では、九州から離れるにつれ、 $^{228}\text{Ra}/^{226}\text{Ra}$ 比が高く(YK1)、同一地点においては夏期ほど $^{228}\text{Ra}/^{226}\text{Ra}$ 比が高いという顕著な特徴がみられた。7月に ^{228}Ra に富む大陸側海水が九州側(YK2, YK3)に張り出す一方、2、4、10月には大陸側の(YK2以西の) ^{228}Ra に富む海水が対馬海峡にもたらされると推測される。当施設の先の研究で日本海沿岸分枝の $^{228}\text{Ra}/^{226}\text{Ra}$ 比が初夏に最小、秋から冬に最大を示すことが報告されたが、これは各季節における大陸側海水の黒潮に対する混合比を反映していることが、明らかになった。

対馬海盆、大和堆、大和海盆、日本海盆における ^{226}Ra , ^{228}Ra , ^{137}Cs および ^{228}Th 濃度の鉛直分布を Fig. 2 に示した。 ^{226}Ra , ^{228}Ra 濃度の鉛直分布は、各地点で類似した傾向がみられたが、例外的に対馬海盆の混合層において、 ^{228}Ra 濃度が他の海域よりも非常に高い値(約 4 mBq/L)を示した。海水試料が採取された夏に ^{228}Ra 濃度が非常に高い東シナ海大陸棚水が対馬海峡を通して対馬海盆表層に流れ込むためである。下部固有水における ^{228}Ra の存在は海水の鉛直混合による直接的な輸送あるいは沈降粒子を介在させた輸送メカニズムを反映する。

下部固有水における ^{137}Cs 濃度の鉛直分布は混合層と同様に各海域ごとに大きな変動をみせた。これは海表面にもたらされてから約 50 年経過した現在でも、 ^{137}Cs が水平、鉛直ともに均質化された状態には至っていないということである。

日本海南部(大和海盆、対馬海盆)の混合層海水における ^{228}Th 濃度は日本海北部(日本海盆、大和堆)と比較すると低い値となった。これら日本海南部混合層は、北部に比ベスカベンジの寄与が大きい、または非常に高い粒子フラックスをもつ東シナ海大陸棚浅層水を起源とする対馬沿岸分枝によって大部分が占められているためと考えられる。

本研究の一部は笹川科学研究助成によっておこなわれた。

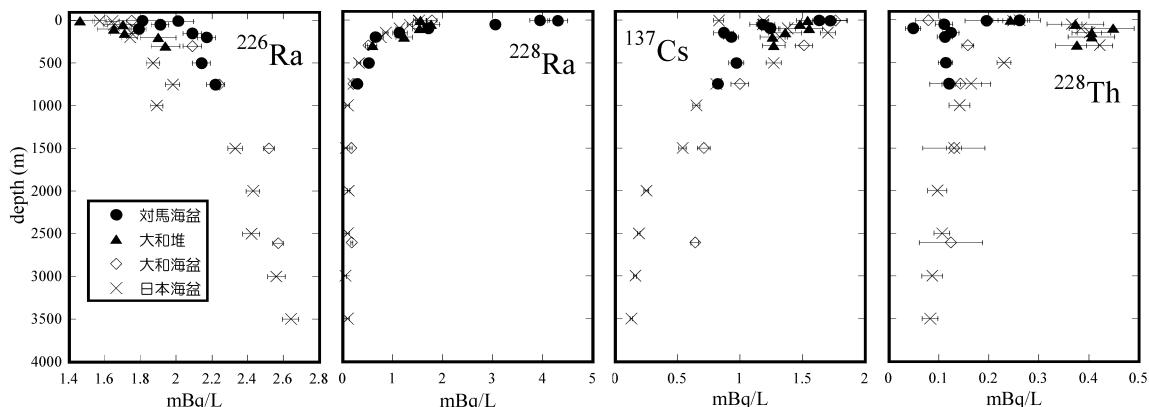


Fig. 2 Vertical profiles of ^{226}Ra , ^{228}Ra , ^{137}Cs and ^{228}Th activity of the Tsushima, Yamato and Japan Basin and Yamato Rise

日本海側における大気エアロゾルの Pb-210 と Be-7 濃度の粒径分布

吉田圭佑、福山泰治朗、浜島靖典、山本政儀

〒923-1224 石川県能美市和氣町 金沢大学環日本海域環境研究センターLLRL

K.Yoshida, T. Fukuyama, Y. Hamajima, M.Yamamoto: Size distributions of Pb-210 and Be-7 contents in atmospheric aerosol at the Japan Sea side

[はじめに]

陸源性 ^{210}Pb (半減期 22.3 年)と宇宙線起源の ^7Be (半減期 53.3 日)は、それぞれ地表及び成層圏(対流圏上層)を起源としている。これらの放射性核種は生成後、周囲の大気塊に付着し、エアロゾルとほぼ同じような挙動を取ると考えられている。半減期、生成源の違いにより大気塊のトレーサーとして ^{210}Pb と ^7Be は用いられ、多くの研究が行われてきた。

エアロゾルの挙動はエアロゾル自身の物理的・化学的性質により支配される。特に物理的性質である粒径分布はエアロゾルの滞留時間を決定する重要な要素であり、ゆえに粒径分布はエアロゾル挙動の解明に不可欠な要素である。

日本は偏西風の卓越する極東アジアの中緯度に位置し、特に冬季には季節風の影響を強く受ける。冬季に大陸からの冷たい乾燥した空気塊が日本海を通過するとき、海面から大量に熱と水蒸気の補給を受け湿潤な空気塊に変質する。本研究は、この日本海側でのエアロゾルの変質過程を解明することを目的として、大気エアロゾル中 ^{210}Pb と ^7Be 濃度の粒径分布の季節変動を検討した。

[実験]

サンプリングにはアンダーセンエアサンプラー(SIBATA AH-600F)を用いた。50%分離径は、7.0、3.3、2.0、1.1 μm である。サンプリングは 2008 年 6 月から実施し、採取間隔は 7 日から 10 日である。採取した各段の石英フィルターは、乾燥後加圧成型し、当実験施設及び尾小屋地下測定室の Ge 検出器で γ 線測定を行った。

[結果と考察]

^{210}Pb と ^7Be 濃度の粒径別および $^{210}\text{Pb}/^7\text{Be}$ 放射能比の経時変化を Fig.1 に示す。 ^{210}Pb と ^7Be 共に 1.1 μm 以下フラクションに 70-80% 存在した。T 検定により、3.3-2.0、2.0-1.1、1.1 μm 以下の粒径において ^{210}Pb と ^7Be の有意な差が認められ、両核種の挙動の違いが示唆された。全ての粒径を合計した濃度はそれぞれ 0.15-0.68 mBq/m³、0.96-3.82 mBq/m³ であった。10 月に ^{210}Pb と ^7Be 濃度が高くなる傾向が見られ、 ^{210}Pb については不明であるが、 ^7Be については濃度の高い成層圏の空気塊が対流圏界面褶曲によりもたらされることによると思われる。冬季(12 月、1 月)には、中国の北京や韓国のソウルで ^{210}Pb 濃度が 5-10 mBq/m³ と非常に高濃度になるが、その大陸起源の空気塊がもたらされる日本海側では ^7Be 濃度とともに ^{210}Pb 濃度の顕著な増加は見られない。これは日本海上空で起こる空気の変質と降水により、エアロゾル中の ^{210}Pb と ^7Be が除去されたためであると考えられる。 $^{210}\text{Pb}/^7\text{Be}$ 比は 0.12-0.32 の間で変動し、夏季に高く、冬期に低くなる傾向が見られる。夏季には太平洋高気圧により、 ^7Be 生成割合の低い低緯度の空気がもたらされるため、 $^{210}\text{Pb}/^7\text{Be}$ は低くなったと思われるが、冬期に低くなる要因も含めて、同時に測定している降水データを交えて検討中である。

Fig.2 に各サンプルにおける空気力学的放射能中央径、AMAD(activity median aerodynamic diameter)を示した。AMAD は、粒径分布を知るための指標である。殆どの試料で ^7Be の AMAD(0.35-0.67 μm)が ^{210}Pb のそれ(0.32-0.58 μm)より大きく、特に対流圏界面褶曲のおこる 10-11 月にこの傾向は顕著である。一方、同時期の ^{210}Pb の AMAD には顕著な増加傾向は見られない。このことは、主に成層圏で生成する ^7Be が、成層圏内でのエアロゾルに付着しその滞留時間が長いことによる凝集作用でサイズが成長することと、 ^{210}Pb が主に対流圏内で生成する滞留時間の短いエアロゾルに付着することによる挙動の違いを示唆する。さらなる議論を行うにはより細かく粒径を分けてサンプリングを行うことが必要である。

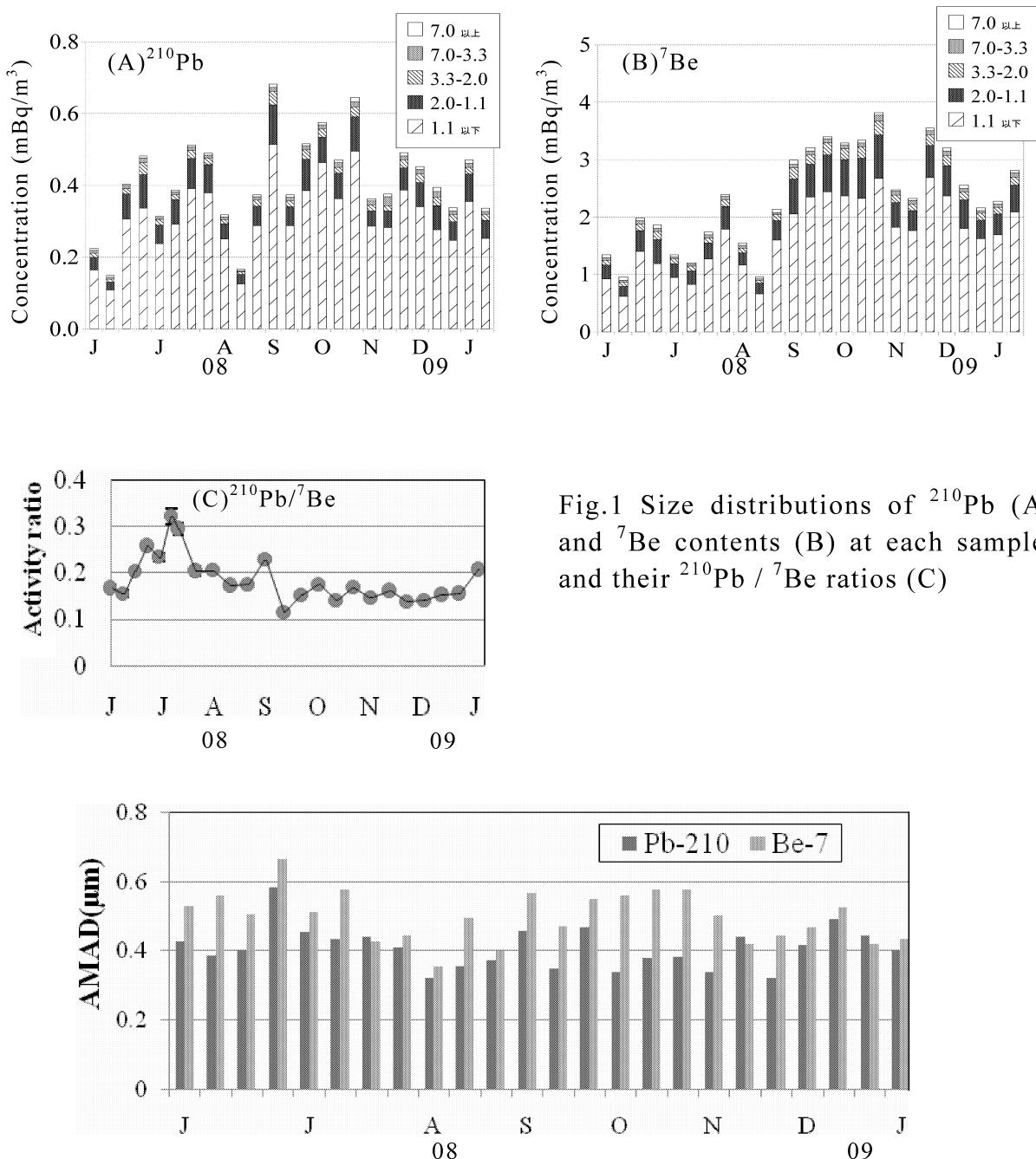


Fig.1 Size distributions of ^{210}Pb (A) and ^7Be contents (B) at each sample, and their $^{210}\text{Pb} / ^7\text{Be}$ ratios (C)

Fig.2 AMAD of each sample

湖底堆積物中のウラン・トリウム同位体：モンゴル・フブスグル湖

美濃健太¹、山本政儀¹、柏谷健二²、中村俊夫³

¹〒923-1224 石川県能美市和氣町 金沢大学環日本海域環境研究センター L L R L

²〒923-1192 石川県金沢市角間町 金沢大学環日本海域環境研究センター

³〒464-8602 愛知県名古屋市千種区不老町 名古屋大学年代測定総合研究センター

K.Mino, M.Yamamoto, K.Kashiwaya, T.Nakamura: Uranium and thorium isotopes in the lacustrine sediments : Lake Hovsgol, Mongolia

[はじめに] 湖底堆積物は過去にその集水域で生じた環境変動の情報を探る物理・化学・生物的な変化として記録している。当研究室ではこれまでに、古代湖をフィールドとしたウラン(U)・トリウム(Th)同位体研究から湖底堆積物へのU(Th)年代測定法の応用可能性を報告してきた。その中でフブスグル湖の堆積物試料(HDP04)からは、U濃度が氷期・間氷期の気候変動に対応して分布することも見いただしている。Edgington et al., (1996)では堆積物中のU濃度の増加は温暖・湿潤な気候で起源となる土壤・岩石からのUの流出が増加した事に起因すると説明されている。また Sakaguchi らは全Uの50-80%が溶存層から沈降したUで占められており、逐次抽出の結果からバイオジエニックシリカフラクションに自生性Uは堆積しないことを示している。しかしながら、Uの沈降メカニズムに関する研究例は少なく、依然として不明な点が多い。

本研究では完新世の情報を優れた時間分解能で保存していると考えられるフブスグル湖 BB03 堆積物試料を用いて、湖底堆積物へのU(Th)同位体の堆積挙動を検討した。

[方法] 2003年にフブスグル湖東部に位置する Borsog Bay (Fig.1)から採取された BB03 コア(1233cm)を用いた。1cm毎に切断した1233試料のうち、10-15cm間隔で取り出した全120試料について全分解、化学分離後、 α 線測定によりU・Th同位体を測定した。また、溶存相から沈降したU(自生性U)、河川などによって運ばれる土壤・岩石起源のU(陸源性U)を評価するため、0.5N、2N塩酸抽出による疑似アイソクロム法を用いて自生性 ^{234}U / ^{238}U 放射能比を求めた。またBB03コアについて堆積年代を把握するため、名古屋大学タンデトロンを用いて ^{14}C 年代測定を実施した。

[結果と考察] ^{14}C 年代測定の結果をFig.2に示す。図ではTOC年代の測定結果から矛盾の少ない年代の遷移直線を推定し示した。TOCでの ^{14}C 年代は最表層で 2555 ± 31 yr BP、最下層で 8984 ± 43 yr BPの値が得られた。深度80-180cm、

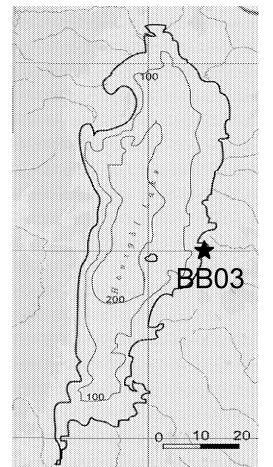


Fig.1 Map of Lake Hovsgol showing coring site BB03

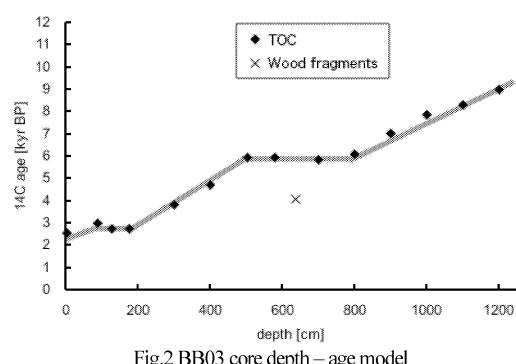


Fig.2 BB03 core depth-age model

500-800 cm の試料からはそれぞれ同じ年代が得られており、これらの深度では一度に大量の堆積があったことが示唆される。また深度 638 cm で産出した木片の ^{14}C 年代は 4079 ± 29 yr BP であった。試料採取時に表層の欠損は報告されていない。

最表層の TOC 年代が陸源性の土壤有機物と炭素のリザーバー効果により見かけ古い年代を示しているとすると、その効果は約 2500 年と見積もられる。しかしながら、炭素の起源が明らかである木片の年代が真の年代を示しているとしたとき、木片の年代とこの木片が産出した深度の TOC 年代との差は約 2000 年となり、表層試料からの見積もりと一致しない。このずれの原因には、いずれかの試料が堆積時に乱れた可能性が考えられる。

全分解による堆積物中の U、Th 同位体濃度測定の結果を Fig.3 に示す。全 ^{238}U 、 ^{232}Th 濃度はそれぞれ 19-103 Bq/kg、7-46 Bq/kg の範囲で変動した。短期間に大量の堆積があったと考えられる深度 80-180 cm、500-800 cm の範囲では U 濃度は極小となる。

深度 80-180 cm、500-800 cm の範囲では $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ 放射能比は、特に深度 500-800 cm で、放射平衡の値(=1)に近づいている。本試料においても陸源性 U 系列核種に放射平衡を仮定すると、これらの時期では陸域から大量の土砂が流入し堆積したと考えられる。また、全岩粒度分布測定の結果からも、これらの時期は比較的に粒径が大きくなっている、さらに深度 500-800 cm では少なくとも 4 回、粗粒化、細粒化のサイクルが見いだされている。これらの結果から、この深度で見られた堆積速度の極端な増加は、陸域から大量の土砂が流入する、例えば洪水のようなイベントが断続的に存在していたことによるものと考えられる。

堆積物中の U 濃度の変動とこれらイベントとの関係を検討するため、全分解による U 濃度から陸源性 U、自生性 U の識別を行った。15 試料については塩酸抽出の疑似アイソクロン法から自生性 U 濃度を求め、全 U 濃度を測定した試料については陸源性 U 系列に放射平衡を仮定し、Th を陸源性物質の指標として識別を試みた(Fig.5)。疑似アイソクロン法により求めた自生性 ^{238}U 濃度は、 $^{230}\text{Th}/^{232}\text{Th}$ 放射能比を過去一定と仮定し推定した自生性 ^{238}U 濃度の遷移曲線上にプロットされた。Th を陸源性物質の指標とみなす推定法は、陸源性 U 系列に放射平衡を仮定する上では妥当であるといえる。自生性 ^{238}U 濃度は堆積物中全 ^{238}U 濃度の最大 66% を占め、全 ^{238}U と同様の変動を見せる。この堆積物中の全 ^{238}U 濃度の変動は自生性 ^{238}U 濃度の変動に起因するものと考えられる。

現在、イベント時の溶存 U 濃度と吸着剤の親和性を検討すべく、吸着剤に鉄・マンガンの水和酸化物や有機物を想定した吸着実験を予定している。

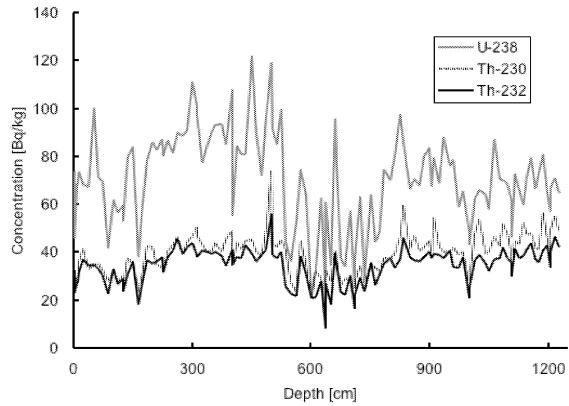


Fig.3 Vertical distribution of U-238, Th-230 and Th-232

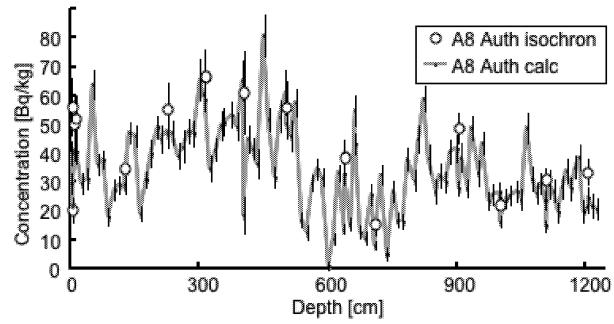


Fig.4 Vertical distribution of authigenic U-238

薄いプラスチックシンチレータと波長変換ファイバーを用いた Ge 用宇宙線除去装置の開発

浜島靖典, 古沢優太

〒923-1224 石川県能美市和気町 金沢大学環日本海域環境研究センターLLRL

Hamajima, Y. and Furusawa, Y.: Cosmic ray BKG reduction system for Ge detector utilizing thin plastic scintillators and wavelength shifting fibers

【緒言】Ge 検出器のバックグラウンド(BKG)成分の一つに、2 次宇宙線成分のミュー粒子に由来する成分がある。この成分を除去する手段として、遮へいの外側に数センチ厚のプラスチックシンチレータ(PS)を設置し、Ge 検出器との逆同時計数が行なわれる。この方法では PS の事象が多いため、Ge の真の事象を逃すことがある。この問題を解決するため、また、簡便な取扱いと安価に製作する目的で、鉛遮へいの間に挿入する薄い PS と波長変換光ファイバー(WSF)を用いて Ge 検出器用の宇宙線除去装置の開発を試みた。

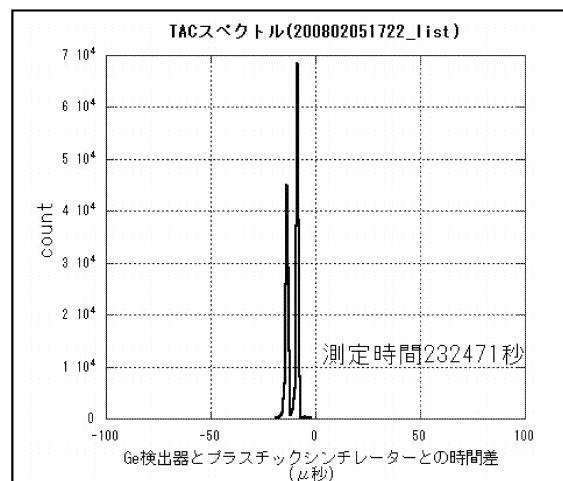
【装置】KURARAY 製 SCSN-81 PS (180×200 mm 厚さ 3 mm, ピーク発光波長 440 nm(青), 減衰長 1.4 m) の周囲に幅 1.2 mm 深さ 2.0 mm の溝を彫り、BICRON 社の BCF-91A(直径 1.0 mm, ピーク発光波長 494 nm(緑), 減衰時間 12 n sec, 減衰長 3.5 m 以上) WSF を挿入した。この WSF を浜松ホトニクス製 H3165-10 光電子増倍管 (1/2 インチ; バイアルカリ光電面, 感度波長 300-650 nm, ピーク 420 nm) に接続した。PS は酸化チタン反射材を塗布したフィルムで覆い遮光した。Ge 検出器の 2π をカバーするため、この PS と WSF を 5 組用いる。5 本の WSF はまとめて 1 本の光電子増倍管に接続し、和事象とする事が可能であり、このための電子回路が不要となる。タイミング系の全回路を省略し、信号は全て直接岩通計測 A3100 に入力し list モード測定をテストした。

【結果と考察】Sr-90 線源を用いて PS の計数効率の入射位置による違いを測定したところ±20%程度の差が見られたが、実用性には問題ないと考えている。

図に Ge の事象を基準にした時間差スペクトルを示す。-10 μ 秒付近に 2 本のピークが観測されたが、時間幅を -20 から 0 μ 秒とするとほぼ全ての同時事象を検出できる。右のピークと同時計数する Ge のエネルギーは 4MeV 以上のみ、左は 0-4MeV 全体に分布していた。

5PS シングル, 100%Ge シングル、両者の同時事象の計数率はそれぞれ約 1k, 130 (BKG 高い), 50 cpm で、厚さ 3 mm の PS でも充分にミュー粒子由来成分を検出でき、PS の計数率も下げる事ができた。しかし、同時計数率はまだ 50%以下であり、調整不足である。

Ge 検出器の 1 事象に対し複数個の PS 事象が観測される事があった。システム全体について検討すべき点はあるが、本装置は宇宙線除去装置として充分使用可能である。



大深度掘削井から得られた Na-Cl 型温鉱泉水中の Ra 同位体－石川県沿岸地域－

富田純平¹, 佐竹 洋², 佐々木圭一³, 坂口 綾⁴, 井上睦夫¹, 浜島靖典¹, 山本政儀¹

¹〒923-1224 石川県能美市 金沢大学環日本海域環境研究センター, LLRL; ²〒930-8555 富山県富山市 富山大学理学部; ³〒920-1392 石川県金沢市 金沢学院大学美術文化学部 ⁴〒734-8553 広島県広島市 広島大学原爆放射線医科学研究所

J. Tomita¹, H. Satake², K. Sasaki³, A. Sakaguchi⁴, M. Inoue¹, Y. Hamajima¹, M. Yamamoto¹: Radium Isotope in Na-Cl Type Saline Waters from Deep Wells around Coastal Area in Ishikawa Prefecture, Japan

【はじめに】

温鉱泉水中の放射性核種, 特に Ra および Rn 同位体の研究は盛んに行われてきた. その結果, 現在までにいくつかの ^{226}Ra を高濃度に含む温鉱泉水が見出されている. 例えは, 花崗岩地帯から湧出する有馬温泉 (^{226}Ra : $\sim 6.2 \text{ Bq/kg}$; 横山, 1955) および増富温泉 (^{226}Ra : $\sim 1.4 \text{ Bq/L}$; Kanai, 1988), ウラン鉱床付近から湧出する三朝温泉 (^{226}Ra : $\sim 0.55 \text{ Bq/L}$; 横山, 1955) などが代表的な温鉱泉である. 近年, 掘削技術の進歩により平野部や沿岸地域の大深度掘削井から海水や化石海水を起源とする高塩濃度の Na-Cl 型温鉱泉が多数得られるようになった(宮崎ら, 2007). 世界の油田・ガス田池帯など海水よりも高塩濃度の塩水中に 100 Bq/kg を超える ^{226}Ra が見出されていること (Sturchio et al., 2001), また一部の地域では ^{226}Ra 濃度が塩濃度と良い相関を示すことから, わが国においても平野部や沿岸地域の大深度掘削井から得られる高塩濃度 Na-Cl 型温鉱泉中に ^{226}Ra を高濃度に含む温鉱泉が存在することは十分予想できる. そこで, 我々は高塩濃度 Na-Cl 型温鉱泉が得易い沿岸地域での Ra 同位体の地球化学的調査・研究を開始した. 本年度は, 石川県沿岸地域の大深度掘削井から採取した Na-Cl 型温鉱泉の Ra 同位体について報告するとともに, Na-Cl 型温鉱泉水中の U 濃度, 水素・酸素同位体比および主要化学成分の結果も踏まえ, Ra 同位体の水相への供給メカニズムについて議論する.

【試料採取および実験方法】

試料採取地点および表層地質を図 1 に示す. Na-Cl 型温鉱泉水の試料採取は石川県沿岸地域から計 23 地点において行った. 大部分の温鉱泉水は 1000 m 級の大深度掘削井から得られたものである. また, 5 地点において河川水の採取も行った. 温鉱泉水中の Ra および U 同位体は, それぞれ BaSO_4 および $\text{Fe}(\text{OH})_3$ 共沈法により回収し, それぞれ γ 線および α 線スペクトロメトリーにより定量した. 水素同位体比 (δD) および酸素同位体比 ($\delta^{18}\text{O}$) は安定同位体比用質量分析計, 主要化学成分はイオンクロマトグラフにより測定した. Alkalinity 測定は 0.1 M HCl 滴定法で行った.

【結果と考察】

$\delta\text{D}-\delta^{18}\text{O}$, $\delta\text{D}-\text{Cl}$, $\delta^{18}\text{O}-\text{Cl}$ の関係から, Na-Cl 型温鉱泉水は海水と地域の天水の混合物であることが示された. また, 一部の温鉱泉では SO_4/Cl 比が海水と比べ著しく減少しており, これら温鉱泉水は化石

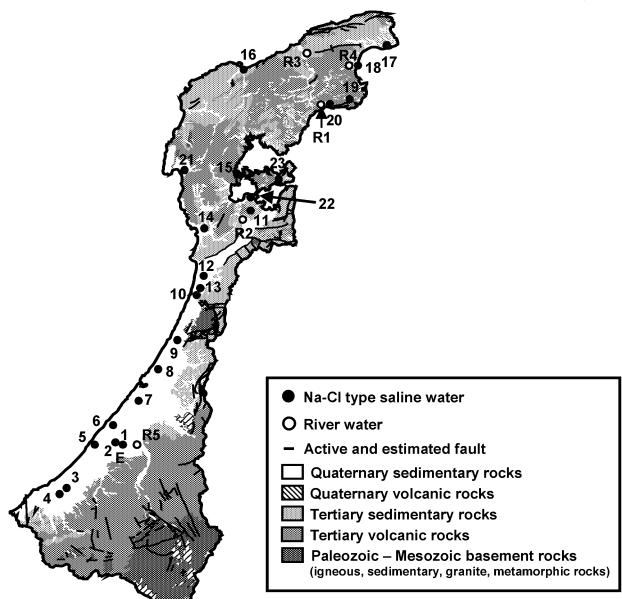


図1 試料採取地点と表層地質

海水起源であると考えられる。図2に ^{226}Ra 濃度および $^{228}\text{Ra}/^{226}\text{Ra}$ 放射能比の測定結果を示す。Na-Cl型温鉱泉水中の ^{226}Ra 濃度は、1.78~2143 mBq/kgと幅広い値であり、我々が当初予測したように ^{226}Ra を高濃度（温泉法の基準である $1 \times 10^{-8} \text{ mg/kg}$ 、放射能強度で ^{226}Ra が370 mBq/kg以上）に含む温鉱泉水が存在した。

$^{228}\text{Ra}/^{226}\text{Ra}$ 放射能比は0.83~4.9であり、日本の代表的な岩石の $^{232}\text{Th}/^{238}\text{U}$ 放射能比（花崗岩: 0.4~2.9、玄武岩: 0.8~2.2, Miyake et al., 1975）と同程度からやや高い値であった。また、 ^{226}Ra 濃度は塩濃度が高くなると高くなる傾向が見出された（図3）。これはRa濃度が塩濃度依存性の吸着/脱離反応により支配されていることを示す。温鉱泉水中の ^{238}U 濃度は、検出限界以下~2.04 mBq/kgと非常に低濃度であった。これは、温鉱泉水が還元環境に胚胎していることが示唆される。以上の測定結果から、Ra同位体は、岩石（鉱物）表層（岩石一水境界）に存在するTh同位体の α 壊変に伴う α 反跳により水相へ供給され、Ra濃度は塩濃度依存性の吸着/脱離反応により支配されていること明らかとなった。また、温鉱泉水中のRa同位体が高濃度となるには、塩濃度のみならず、Ra同位体の親核種であるTh同位体が粘土のような粒径の小さい鉱物に存在するか、岩石（鉱物）表層に濃集している、またはその両方である必要性が示唆された。

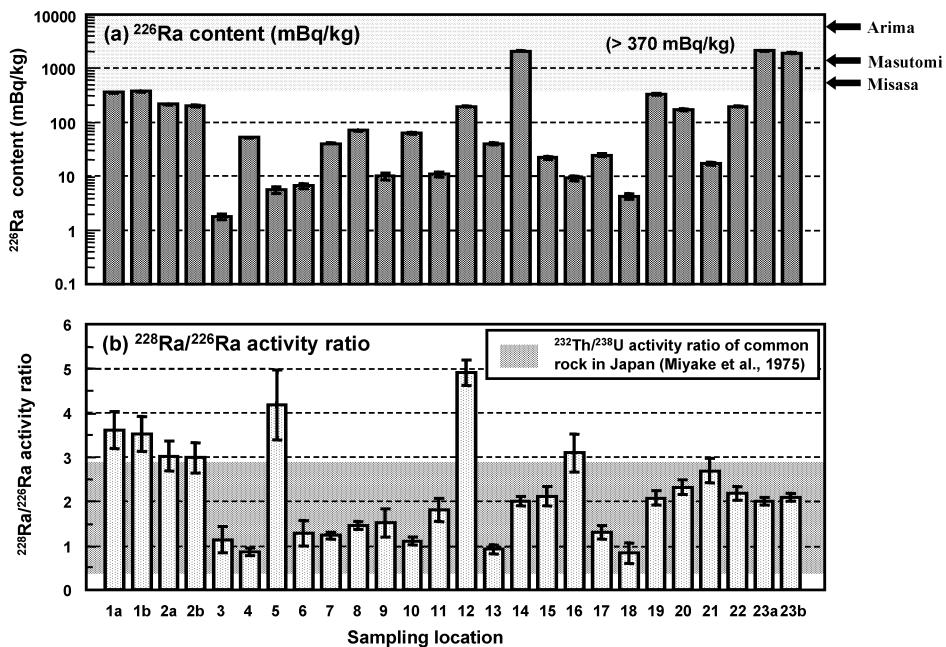


図2 Na-Cl型温鉱泉水中の ^{226}Ra 濃度および $^{228}\text{Ra}/^{226}\text{Ra}$ 放射能比

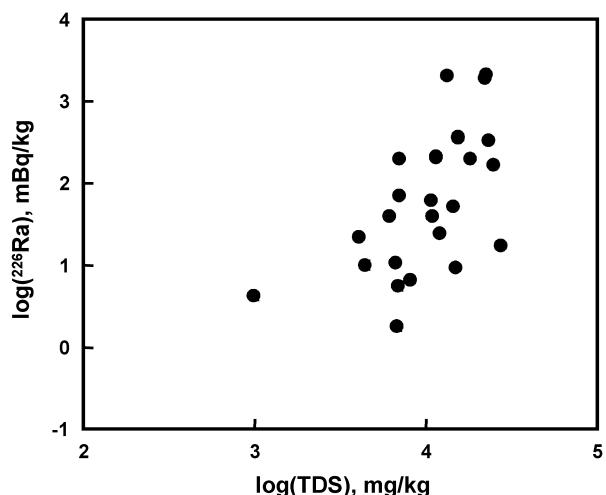


図3 $^{226}\text{Ra}-\text{TDS}$ の関係

【参考文献】

- Kanai, Y. (1988): Geochem. J., 22, 285-292.
 紺野義夫 (1993): 新版・石川県地質図. 石川県.
 Miyake, Y., Sugimura, Y., Hirao, Y. (1975): Proc. 2nd. Inter. Symp. Natural Radiat. Environ., 535-558.
 宮崎哲郎, 柴田智郎, 秋田藤夫, 高橋徹哉, 青柳直樹, 中山憲司, 内野栄治, 橋爪 清, 甘露寺泰雄 (2007): 温泉科学, 57, 99-114.
 Ohwada, M., Satake, H., Nagao, K., Kazahaya, K. (2007): J. Volc. Geotherm. Res., 168, 55-67.
 Sturchio, N.C., Banner, J.L., Binz, C.M., Heraty, L.B., Musgrove, M. (2001): Appl. Geochem., 16, 109-122.
 横山祐之 (1955) : 日化誌, 76, 558-562.

森林斜面の表面流における⁷Beの分配係数 - 現地観測と室内吸着実験-

福山泰治郎¹, 井上睦夫¹, 山本政儀¹, 恩田裕一²,

¹〒923-1224 石川県能美市 金沢大学環日本海域環境研究センターLLRL

²〒305-8572 茨城県つくば市 筑波大学大学院生命環境科学研究科

T. Fukuyama, M. Inoue, M. Yamamoto, Y. Onda: Distribution coefficient of ⁷Be in overland flow along a forested hillslope: field measurements and laboratory batch experiments

[はじめに]

⁷Beは、下部成層圏及び上部対流圏において恒常に生成される放射性核種で、53日の半減期を有する。主に降雨によって地表に降下し、表層の土壤粒子に吸着される。¹³⁷Csや²¹⁰Pbなどの放射性降下物と同様に、表土の標識として、土壤侵食・輸送・堆積・底質の巻き上げなどの研究に用いられてきた。これらの研究では、湖水や河川水における⁷Beの分配係数 (K_d : 固相の⁷Be濃度／液相の⁷Be濃度) が高い (約 10^4 - 10^6 ; e.g. Hawley *et al.*, 1986) という知見に基づいて、地表に降下した⁷Beが速やかに粒子に吸着され、輸送中も粒子に吸着し続けるという仮定が置かれている。しかしながら、降水中の⁷Beは溶存態が主であるとされている (Osaki *et al.*, 2007)。このことは、降水の一部が土壤に浸透せず、表面流として地表面を流下した場合、表面流に含まれる⁷Beが溶存態で輸送されている可能性を示唆している。したがって、土壤粒子の標識として⁷Beを用いるためには、表面流における分配係数を明らかにする必要がある。本研究では、森林斜面で発生する表面流に含まれる⁷Beの分配係数を調べるために、樹冠通過雨と表面流を採取し、溶存態と粒子態の⁷Be濃度を測定した。さらに、実験室において、新しい (⁷Beを含んだ) 降水と古い (⁷Beの無くなった) 森林表土を用いて⁷Beの吸着実験を行った。

[方法]

現地観測：四万十川水系・葛籠（つづら）川流域のヒノキ人工林（高知県四万十町）において、幅1m、斜面長3mの斜面流出プロットを設置し、枠内で発生した表面流をタンクに貯留した。また、プロット付近に水盤を設置し、樹冠通過雨を採取した。試料は約1ヶ月ごとに回収し、現地で0.5□mのフィルターで濾過した。ろ液に陽および陰イオン交換樹脂を加えて攪拌し、沈殿物を実験室に持ち帰った。

室内実験：土壤試料を、四万十川水系・葛籠川流域のヒノキ人工林（高知県四万十町）で採取した後、屋内で約2年間保管した表層土壤を実験に用いた。採取から実験開始まで13半減期以上経過しているので、⁷Beは採取時の約0.01%程度まで減少したと考えられる。雨水試料は、LLRL屋上において実験開始直前に捕集し、直ちに0.5 μ mのフィルターで濾過したものを用いた。雨水試料を土壤試料に加え、振とうしたのち0.45□mメンブレンフィルターでろ過した。土砂濃度は、100 mg L⁻¹, 10 g L⁻¹、振とう時間は1時間に設定し、各3回繰り返した。濾紙上の土壤および濾紙を灰化し、固相の試料とした。ろ液に陽および陰イオン交換樹脂

(Powdex-PCH, -PAO) を加えて攪拌し、沈殿した樹脂を液相の試料とした。固相と液相の試料はそれぞれ封入し、Ge半導体検出器でγ線を測定した。固相および液相の⁷Be濃度 (Bq ml⁻¹) から、分配係数 K_d を求めた。

[結果]

表面流の⁷Be、¹³⁷Cs、²¹⁰Pb濃度について、土砂濃度と吸着態の放射性核種の割合をプロットした (Fig.1)。表面流の⁷Beの K_d は、 $1.2\text{-}7.6 \times 10^4$ だった。この値は、アメリカの河川・河口・沿岸で報告された K_d (7×10^3 - 2×10^5) (Olsen *et al.*, 1986)と同様の値で、⁷Beが highly adsorptive であることを示している。表面流の¹³⁷Csと²¹⁰Pbの K_d は、どちらも 10^3 - 10^5 オーダーだった。室内実験の土砂濃度と吸着態の放射性核種の割合をプロットした (Fig.2)。⁷Be、¹³⁷Cs、²¹⁰Pbいずれも、土砂濃度 10 g/L程度で 98%以上が粒子に吸着された。⁷Be

の K_d は、 $6.6 \times 10^3 \sim 1 \times 10^4$ で、現地で観測された表面流の分配係数と一致した。 ^{137}Cs 、 ^{210}Pb は、おおむね $K_d = 10^4 \sim 10^5$ であった。これらの結果は、 ^7Be の分配係数が高く、土壤粒子に吸着されやすいことを示しているが、土粒子の移動のトレーサーとして用いるためには、 ^7Be によって標識された土粒子が流域内の斜面から流れ下る過程で、脱着が生じるのかを明らかにする必要があると考えられる。

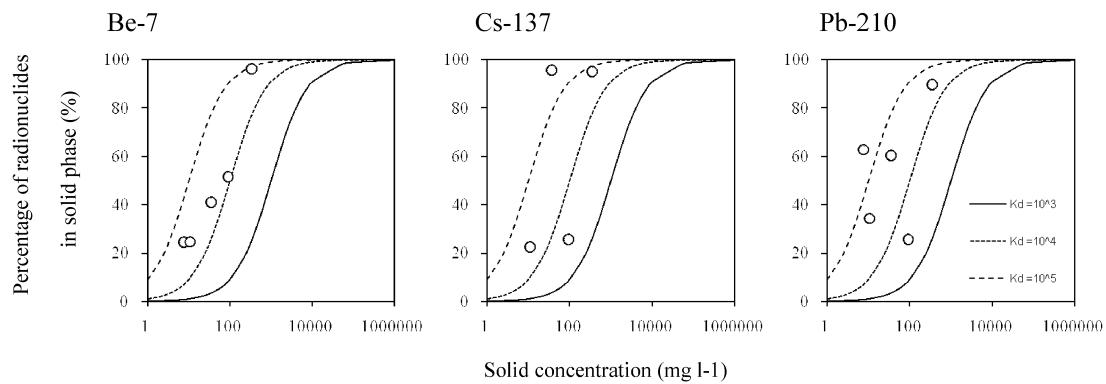


Fig. 1 Percentage of radionuclides in particulate form

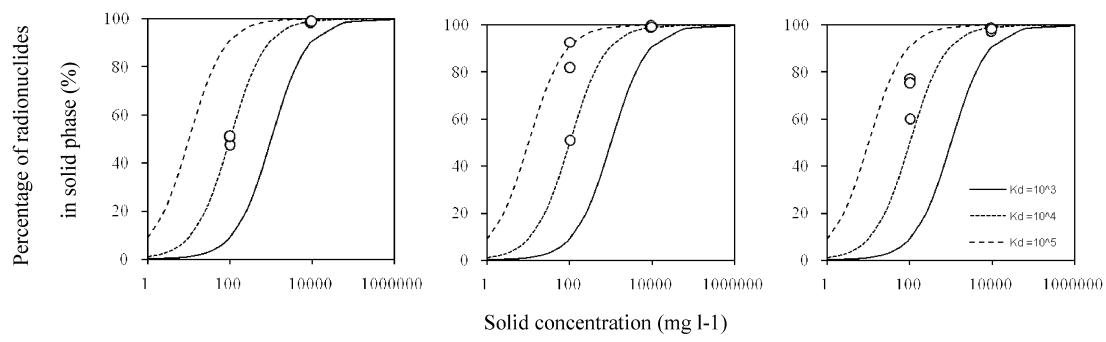


Fig. 2 Percentage of radionuclides in particulate form after batch experiment

[引用文献] Hawley N, Robbins JA, Eadie BJ. *Geochim. Cosmochim. Acta* 50, 1127-113 (1986); Osaki S, Sugihara S, Maeda Y, Osaki T. *J Radioanal. Nucl. Chem.* 272(1), 147-152 (2007); Olsen CR, Larsen IL, Lowry PD, Cutshall NH, Nichols MM. *J. Geophys. Res.* 91, 896-908 (1986)

手取川流域の降水、地下水、河川水における ^3H , ^7Be , ^{22}Na , ^{137}Cs および Ra 同位体の分布

井上睦夫¹、小藤久毅²、中野佑介¹、浜島靖典¹、山本政儀¹

¹〒923-1224 石川県能美市和氣町 金沢大学環日本海域環境研究センターLLRL

²〒035-0064 青森県むつ市港町 日本海洋科学振興財団

Inoue, M., Nakano, Y., Kofuji, H., Hamajima, Y. and Yamamoto, M.:

Distributions of ^3H , ^7Be , ^{22}Na , ^{137}Cs and Ra isotopes in rain water, ground water and river water of the Tedori River Basin

[はじめに]

降水として地表にもたらされた水は地下水、河川水の供給源となり、その後も循環を続ける。それら降水および陸水には、宇宙線生成核種 (^3H 、12.3 年; ^7Be 、53.3 日; ^{22}Na 、2.60 年)、天然放射性核種 (^{226}Ra 、1600 年; ^{228}Ra 、5.75 年)、人工放射性核種 (^{137}Cs 、30.2 年) など様々な起源、半減期をもつ放射性核種が含まれている。陸水におけるこれら核種濃度はその生成、供給、希釈、循環過程の壊変など水循環にともない、徐々に変化していくことから、水の履歴を探る重要な指標核種となりえる。降水の ^7Be などの例外を除き、これら核種は陸水中には極めて微量にしか存在しておらず、低バックグラウンド γ 線測定においても、数百リットル以上の地下水が必要となるなど、その測定は困難とされてきた。本研究では、石川県西部に位置する手取川流域を研究フィールドとし、降水、地下水、河川水さらには沿岸海水試料を採取、低バックグラウンド γ 線測定法を適用、これら放射性核種の分布を探る。さらに、この測定結果が、降水の涵養時の土壤との相互作用、陸水の循環メカニズム（特に、降水、河川水、沿岸海水とのこれら核種濃度の比較からみた地下水の履歴）にもたらす知見について議論する。

[試料と実験]

本研究で使用した水試料の採取地点を Fig. 1 に示した。採取地点におけるイオン交換樹脂（主に Powdex 樹脂）を使用したバッチ法（一部、研究室での共沈法）により、300 L の地下水、100 L の河川水試料および 20 L の降水、沿岸海水試料より目的核種を分離した。これら試料に対し、尾小屋地下測定室（水深換算 270 m）に設置したゲルマニウム検出器を使用した低バックグラウンド γ 線測定法を適用した。 ^3H 濃度については、電解濃縮後、 β 線計測をおこなった。

[結果と考察]

手取川流域の降水、地下水、河川水における ^3H , ^7Be , ^{22}Na , ^{137}Cs および Ra 同位体の分布を Fig. 2 にまとめた。

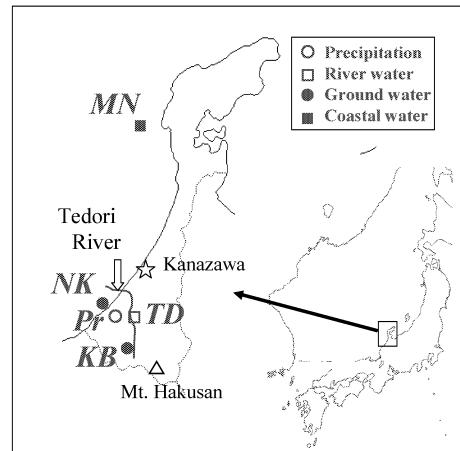


Fig. 1 Sampling locations for water samples

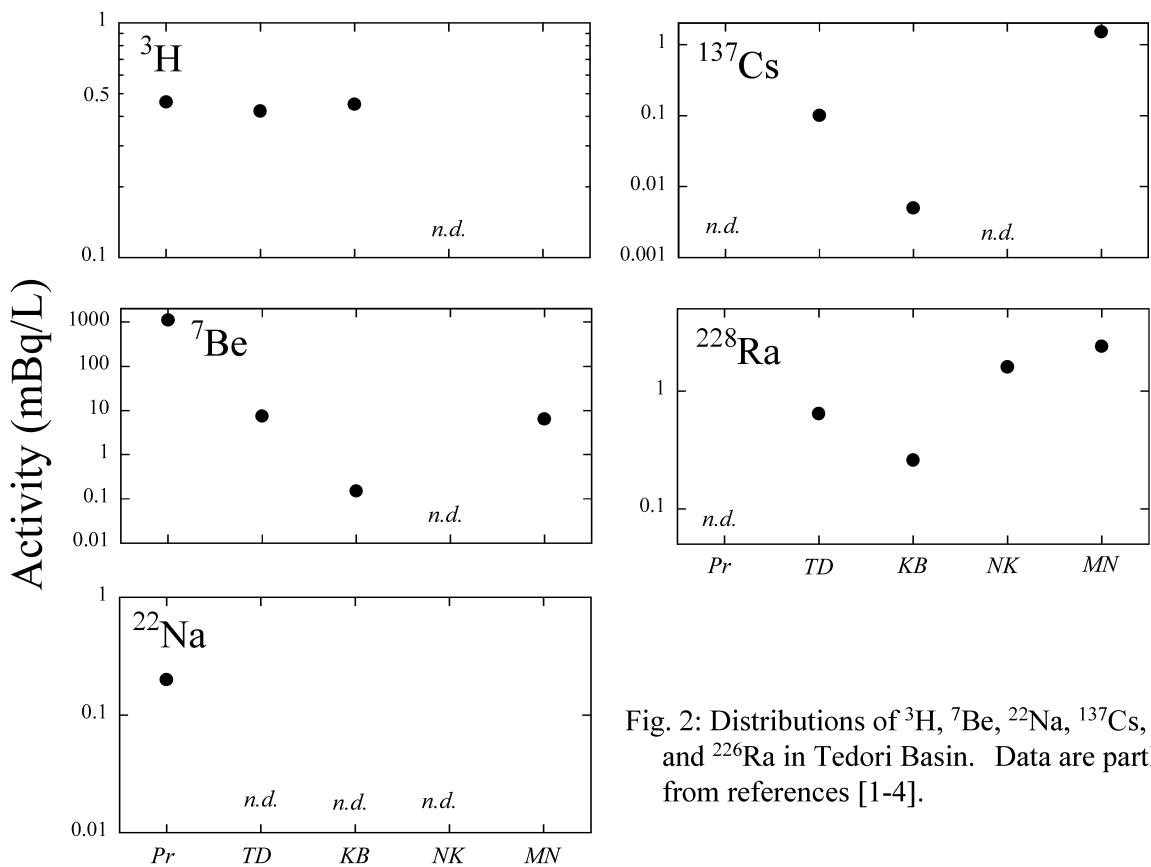


Fig. 2: Distributions of ^3H , ^7Be , ^{22}Na , ^{137}Cs , and ^{228}Ra in Tedori Basin. Data are partly from references [1-4].

降水 (Pr)

宇宙線生成核種 ^7Be 、 ^{22}Na は、河川水 (TD)、地下水 (KB) より明らかに高濃度であったが、より半減期の長い ^3H には濃度差はみられなかった。

中流河川水 (TD)

降水 (Pr) および地下水 (KB, NK) の特徴が同時にみられた。

山間中腹部地下水 (KB)

微弱であるが ^7Be ($\sim 0.1 \text{ mBq/L}$)、 ^{137}Cs の検出 ($\sim 0.01 \text{ mBq/L}$) に、それぞれ降水、および表層堆積物の寄与がみられなど、浅層移動の若い年齢が反映された。河川水と同レベルの ^3H 濃度 ($\sim 0.45 \text{ mBq/L}$) は、これと矛盾しない。

平野部地下水 (NK)

手取川さらに海岸線に近く湧出するが、 ^3H 、 ^7Be 、 ^{137}Cs が検出限界以下、さらに高いラジウム濃度は長く深い流路における周囲からの溶出を反映するなど、中腹地下水 (KB) に比べ、長い滞留時間が推測される。

参考文献 : [1] Komura *et al.* (2007) *J. Environ. Radioactivity* **96**, 103-109; [2] 笠原ほか (2007) 新潟県放射線監視センタ一年報 **5**, 28-34; [3] Sugihara *et al.* (2007) 8th Inter. Conf. ^3H Sci. Tech. poster; [4] Inoue *et al.* (2007) *Mar. Chem.* **107**, 559-568

水酸化多環芳香族炭化水素類の魚類の骨芽細胞及び破骨細胞に対する影響

鈴木信雄¹, 服部淳彦², 早川和一³

¹〒927-0553 鳳珠郡能登町小木, 金沢大学 環日本海域環境研究センター 臨海実験施設; ²〒272-0827 千葉県市川市国府台, 東京医科歯科大学 教養部 生物学教室; ³〒920-1192 金沢市角間町, 金沢大学 医薬保健研究域薬学系 環境衛生化学

Nobuo SUZUKI¹, Atsuhiko HATTORI², Kazuichi HAYAKAWA³: Effect of monohydroxylated polycyclic aromatic hydrocarbons on osteoblasts and osteoclasts in teleosts

多環芳香族炭化水素類（PAH）は、石炭燃料やディーゼル車からの排ガス粉塵に起因する大気汚染物質である。PAHは動物体内に入ると、P450により水酸化される。そのPAHの代謝産物である水酸化PAHに内分泌攪乱作用（エストロゲン受容体と結合する作用）があることが、酵母two-hybrid assayによりわかつてき（Hayakawa et al., 2007）。しかしPAH自体にはエストロゲン受容体との結合がみられないことから、水酸化PAHが内分泌攪乱作用の活性物質であると推測される（Hayakawa et al., 2007）。またPAHは重油にも含まれており、重油汚染海域では魚の脊柱彎曲が観察されている。水酸化PAHが魚の骨代謝に影響を与えていた可能性が非常に高い。しかし、これまで水酸化PAHの生物に対する作用はほとんど注目されておらず、骨代謝に及ぼす影響はこれまで全く調べられていない現状にある。

そこで我々は、「魚類のウロコ」に注目した。ウロコには骨芽細胞と破骨細胞が共存し、エストロゲン受容体も存在している（Suzuki et al., 2006）。さらに、ウロコを用いたアッセイを開発して、ビスフェノールA（Suzuki and Hattori, 2003）及びトリプチルスズ（Suzuki et al., 2006）の影響を評価してきた。

本研究では、水酸化PAHの骨代謝に及ぼす作用をキンギョのウロコのアッセイシステムで評価し、さらにRT-PCRにより骨組織に特異的に発現している遺伝子の変化も解析した。

【方法】

1) キンギョおよびベラのウロコのアッセイ系を用いた水酸化PAH類の骨代謝に対する影響評価

材料としてキンギョ(*Carassius auratus*)とベラ(*Pseudolabrus sieboldii*)を用いた。魚をMS-222で麻酔し、ウロコを取った。そのウロコを半分に切り、実験群と対照群とに分けた(N=8)。なお、1個体の魚からウロコを約100枚とり、一連の実験は同一個体のウロコを用いて行った。統計はstudent's t-testで解析した。HEPES(20 mM)(pH 7.0)及び抗生物質(1%)を含む培地(MEM、ICN Biomedicals Inc.)に4-hydroxybenz[a]anthracene(4-OHBaA)と3-hydroxybenz[a]anthracene(3-OHBaA)を添加し、水酸化PAHの破骨細胞及び骨芽細胞に対する作用を評価した。培養時間は6及び18時間で、濃度は 10^{-7} , 10^{-6} , 10^{-5} Mでその作用を解析した。また、ネガティブコントロールとして酵母のtwo-hybrid assayでエストロゲン及び抗エストロゲン活性がみられなかった1-hydroxypyrene(1-OHPy)を用い、ポジティブコントロールとして17 β -estradiolを用いて実験を行った。

本研究では、破骨細胞の活性の指標として酒石酸抵抗性酸フォスファターゼ(TRAP)を用い、骨芽細胞の活性の指標としてアルカリリフォスファターゼ(ALP)を使用し、水酸化PAH類の骨組織に対する作用を調べた。骨芽及び破骨細胞の活性の測定方法はSuzuki and Hattori(2002)により行った。

2) 水酸化PAHのカテプシンK及びIGF-I mRNAの発現に対する影響

8匹のキンギョのウロコを取り、前述と同様の方法により、ウロコを半分に切り、実験群と対照群とに分けた。なお、今回は1匹のキンギョにおいて、実験群と対照群との差をpaired t-testで解析した。HEPES(20 mM)(pH 7.0)及び抗生物質(1%)を含む培地(MEM、ICN Biomedicals Inc.)に4-OHBaA(10^{-5} M)を添加し、水酸化PAHのmRNAの発現に対する影響を解析した。哺乳類と同様にしてキンギョにおいても、カテプシンKは破骨細胞(Azuma et al., 2007)、IGF-Iは骨芽細胞(Suzuki and Hattori,

2003)のマーカーとして有用であることは既に検証済なので、本研究では、これらのマーカーの発現を解析した。培養時間は6及び18時間で、 17β -estradiolとの作用を比較した。培養後、ウロコからキアゲンのキットによりmRNAを抽出し、キアゲンのキットを用いてcDNAを合成した。その後、mRNAの発現に対する影響をSuzuki et al. (2004)の方法に従い、解析した。

【実験結果】

1) キンギョおよびベラの破骨細胞に対する水酸化PAHの作用

6時間の培養において、4-OHBaA (10^{-7} , 10^{-6} , 10^{-5} M)・3-OHBaA (10^{-5} M)は、キンギョの破骨細胞の活性を有意に抑制した。ベラにおいても4-OHBaA (10^{-6} , 10^{-5} M)と3-OHBaA (10^{-5} M)は破骨細胞の活性を抑制した。一方、E₂ (10^{-6} , 10^{-5} M)はキンギョの破骨細胞の活性を有意に上昇した。なお、1-OHPyは有意な変化は示さなかった。18時間の培養においても、4-OHBaA (10^{-5} M)はキンギョおよびベラの破骨細胞の活性を抑制した。一方E₂は、キンギョでは 10^{-7} , 10^{-6} , 10^{-5} Mにおいて、ベラでは 10^{-5} Mにおいて破骨細胞の活性を上昇させ、1-OHPyは破骨細胞の活性を変化させなかった。

2) キンギョおよびベラの骨芽細胞に対する水酸化PAHの作用

キンギョおよびベラの骨芽細胞においても、4-OHBaAおよび3-OHBaAは活性抑制作用を示した(キンギョ:6時間, 4-OHBaA (10^{-5} M), 3-OHBaA (10^{-5} M)、ベラ:6時間, 4-OHBaA (10^{-5} M), 3-OHBaA (10^{-5} M))。一方、E₂(キンギョ: 10^{-6} , 10^{-5} M、ベラ: 10^{-5} M)は骨芽細胞の活性を上昇した。なお、1-OHPyは有意な変化は示さなかった。18時間の培養においては、4-OHBaAはキンギョの骨芽細胞の活性を抑制する傾向がみられ、ベラでは有意に活性を低下させた(4-OHBaA (10^{-5} M), 3-OHBaA (10^{-5} M))。一方、E₂(キンギョ: 10^{-7} , 10^{-6} , 10^{-5} M、ベラ: 10^{-6} , 10^{-5} M)は骨芽細胞の活性を上昇させ、1-OHPyは破骨細胞の活性を変化させなかった。

3) カテプシンK及びIGF-I mRNAの発現に対する水酸化PAHの影響

4-OHBaA (10^{-5} M)は破骨細胞のマーカーであるカテプシンK及び骨芽細胞のマーカーであるIGF-I mRNAの発現を抑制した。一方、E₂ (10^{-6} M)はこれらの発現を上昇させた。

【まとめ】

1. 酵母two-hybrid法で強いエストロゲン様活性を示した4-OHBaA及び3-OHBaAは共に、魚類のウロコの破骨細胞及び骨芽細胞の活性抑制作用があり、魚類においてこれらの水酸化PAHはエストロゲンとは異なる作用が認められた。
2. 酵母two-hybrid法でエストロゲン様活性を示さなかった1-OHPyは、魚類のウロコの破骨細胞及び骨芽細胞のいずれにも影響を示さなかった。
3. 4-OHBaAは、破骨細胞及び骨芽細胞のマーカー遺伝子の発現も抑制し、細胞の活性と同様の変化を確認できた。

謝辞 本研究の一部は、科学研究費補助金(基盤研究(C) No. 18500375、代表：鈴木信雄)及び環境省ExTEND 2005基盤的研究(代表：早川和一)の援助により行われた。

引用文献

- 1) Azuma, K., et. al., Biochem. Biophys. Res. Commun., 362: 594-600 (2007).
- 2) Hayakawa, K. et al., J. Health Sci., 53: 562-570 (2007).
- 3) Suzuki, N. and Hattori, A., J. Pineal Res., 33: 253-258 (2002).
- 4) Suzuki, N. and Hattori, A., Life Sci., 73: 2237-2247 (2003).
- 5) Suzuki, N., et. al., J. Bone Miner. Metab., 22: 439-446 (2004).
- 6) Suzuki, N., et al., Life Sci., 78: 2533-2541 (2006).

脊椎動物の肝臓における伊東細胞様細胞の存在と機能

浅田光子

〒927-0553 鳳珠郡能登町小木 金沢大学環日本海域環境研究センター、臨海実験施設

Mitsuko ASADA: Presence and function of Ito-cell-like cells in the liver of vertebrates

哺乳類において、消化管に入った食物は、消化管ホルモンの刺激によってタイミングよく消化液や酵素の分泌を受け、消化・吸収される。近年、消化管ホルモンは、この働きの他に、血流に乗り肝臓に達し、肝門脈内皮細胞直下に分布する求心性神経の末端にある神経小体様構造物によって情報分子として捉えられ、直接、血液の栄養状況を中枢神経に伝える機能をも有する可能性が出てきた。本研究においては、このような情報システムが真骨魚類や両生類の肝臓にも存在するか否かを調べた。その結果、現在、同様な構造物の発見には至っていない。しかしながら、研究の過程で、肝臓実質組織に存在し、興味深い分布と形態をなす細胞を見出したので報告する。

ヘマトキシリン・エオシンの二重染色において、メダカの肝細胞の間に伸長した細胞質のように見える構造が認められた。これが眞の細胞であるか否かを確かめるために、メダカ、コモンフグ、ササノハベラなど6種の真骨魚とニホンアマガエルの幼生の肝臓に、神経軸索や膠原線維等の微細な構造を染め出すことのできる渡銀染色を施した。その結果、その構造は楕円形あるいは三角形の核を持つ細胞で、肝臓の組織に広く分布し、細胞質をいくつかの方向に伸ばし、動物種によつては、その細胞末端どうしが重なり合い、結合しているように見える場合もあった。したがつて、その細胞どうしは肝臓において立体的なネットワークを形成していることが明らかになった。これらの細胞の形態や分布の特徴は、哺乳類の肝臓におけるいわゆる“伊東細胞”に酷似していたので、本研究では、この細胞を“伊東細胞様細胞”と呼ぶことにした。

哺乳類において伊東細胞は、ビタミンAを貯蓄する働きを有する他に、コラーゲン纖維を産生し、肝臓全体の形態を維持するように機能していると考えられてきた。しかしながら、最近の研究によると、伊東細胞が、主に神経細胞が発現させている数種のタンパク質を発現させていること、また電子顕微鏡によってシナプス小胞のような構造が観察されていることなどから、起源が神経冠由来であることが示唆され、これまで知られていない機能を有する可能性が報告されている。本研究では、微小管の構成要素である β -tubulinに注目した。神経軸索では微小管により軸索輸送が行われ、神経細胞ならば必ず β -tubulinを発現させている。このタンパク質のアミノ酸構造の一部は、極めて保存性が高く、原生動物から哺乳類まで共通である。その部分から作成した抗体を用いて、2種の真骨魚とヤマアカガエル、およびラットの肝臓を免疫染色した。その結果、観察したすべての種の伊東細胞様細胞が陽性の反応を示した。さらに、神経特異的に発現する class III β -tubulinのみを認識する抗体を用いて免疫染色を行った結果、上記の細胞と思われる陽性細胞を確認できた。

以上より得られた事実を併せて考えると、伊東細胞様細胞は眞の伊東細胞である可能性があり、将来、哺乳類の伊東細胞で見つかるであろう機能を有することが証明されるか否

か興味深い。

(本研究は、金沢大学大学院自然科学研究科 生物科学専攻 浅田光子君の修士論文の一環として行われた)

環形動物門マシコヒゲムシの栄養体各部におけるグリコーゲン貯蔵量

板津秀彰

〒927-0553 鳳珠郡能登町小木 金沢大学環日本海域環境研究センター、臨海実験施設

Hideaki ITATSU: Glycogen contents of several portions of the trophosome in the beard worm, *Oligobrachia mashikoi* (Annelida)

環形動物門マシコヒゲムシ (*Oligobrachia mashikoi*) は石川県能登半島、九十九湾水深約 25m の海底に生息する。本種を含むヒゲムシ類は口や消化管を持たない代わりに栄養体という組織を発達させ、組織内に共生させた化学合成細菌が作り出す炭水化物物により生きている。栄養体は化学合成細菌を共生させているバクテリオサイトと、それに隣接する栄養貯蔵細胞からなる。これまでの研究で、栄養貯蔵細胞には大量の中性脂肪やグリコーゲン顆粒が確認されている。これまでヒゲムシ類では *Siboglinum atlanticum* 前体部及び後体部におけるグリコーゲンの分布が調べられている。しかし、後体部における位置とグリコーゲン分布の関係は調べられたことがなく、更に、本種における栄養体は一般的なヒゲムシと形態的な特徴が大きく異なっている。そこで、本研究では、グリコーゲンの分布及び量を調べるために組織化学的な PAS 染色の手法を用い、栄養体各部におけるグリコーゲンを可視化、貯蔵量の比較を試みた。

一般的なヒゲムシにおいて、オスの個体では後体部の前部をほぼ精巢が占め、栄養体は後体部の後部でしか見られないが、本種では栄養体と精巢が同時に観察された。PAS 染色の結果、*S. atlanticum* と同様に表皮や栄養体にてグリコーゲンの反応が見られた。さらに、本種における栄養体は二本の血管の間、広い範囲に存在するが、中央までバクテリオサイト及び栄養貯蔵細胞で構成されるわけではなく、内側は栄養体内腔や大きく膨らんだ細胞で満たされており、その領域で非常に強い陽性反応が見られた。前体部及び後体部は環帶付近で区別されるが、環帶からヒゲムシ後方への距離と栄養貯蔵細胞内グリコーゲン占有率の間には相関は見られなかったが、環帶からの距離が遠くなるほど栄養体の内側の領域でのグリコーゲン占有率は減少する傾向があった。また、断面積が大きな個体ほど、栄養体の内側の領域でグリコーゲン占有率が高まる傾向があった。加えて栄養体の内側の領域でのグリコーゲン面積と栄養貯蔵細胞を比較したところ、約 5.5 倍と栄養体の内側の領域でのグリコーゲン面積が大幅に上回っていた。これらの結果は、本種におけるグリコーゲンの貯蔵は主に栄養貯蔵細胞内ではなく、栄養体の内側の領域で行っているということを示唆している。本種では、栄養貯蔵細胞において大量の中性脂肪が貯蔵されていることが確認されており、グリコーゲンは一時的な貯蔵物質であると考えられる。よって、貯蔵したグリコーゲンを栄養体にて吸収していることが示唆されるが、これは消化管としての機能と類似しており、本種がヒゲムシ類の中で、原始的な種であるということと考え合わせると興味深い。

(本研究は、金沢大学大学院自然科学研究科 生物科学専攻 板津秀彰君の修士論文の一環として行われた)

環形動物門マシコヒゲムシの心臓小体の形態学的研究

水野文敬

〒927-0553 鳳珠郡能登町小木 金沢大学環日本海域環境研究センター、臨海実験施設

Hisataka MIZUNO: Morphological study of the heart body in the beard worm, *Oligobrachia mashikoi* (Annelida)

マシコヒゲムシ (*Oligobrachia mashikoi*) は、環形動物門 Siboglinidae 科に属する動物である。環形動物は心臓の周囲に心臓小体という組織を有する。心臓小体とは体腔を裏打ちする体腔膜のうち、血管を取り囲む体腔膜が分化したものである。マシコヒゲムシにおいては、栄養体を覆う体腔膜と頭部の背血管と腹血管の間に存在する組織が心臓小体とされ、その構造は一般的な環形動物における心臓小体のものと異なり、背血管と腹血管の間に位置し、どちらにも接する特異な構造であると報告されていた。本研究では、マシコヒゲムシにおける心臓小体と血管との位置関係やその構造を詳細に検討した。

心臓小体の構造を解明するため、ヒゲムシ体腔内へ直接墨汁を注入する方法で体腔の可視化を試みた。その後、ヒゲムシのパラフィン組織切片を作製した。組織切片はヘマトキシリソとエオシンによって細胞核や纖維組織を染色し、組織と体腔の構造を観察した。ヒゲムシ体腔内へ墨汁を注入したことにより、組織切片の観察の際には、体腔と組織との境界を明確に判別できた。

組織切片の観察の結果、本種の心臓に相当する前体部背血管付近で心臓小体と考えられる構造を発見した。その構造は、血管内皮細胞と体腔膜が密接した血管壁が血管内方向へ落ち込み、落ち込んだ部分によって血管の表面を背側から腹側へと続く細長い窪みが形成されていた。この細長い窪みを形成する体腔膜と窪んでいる部分の体腔を併せた構造が本種における心臓小体であると思われる。また、背血管の表面にある細長い窪みは幾筋も存在した。その細長い窪みの筋は互いに平行で、筋同士が交差する箇所は少なかった。仲濱ら (2008) は、背血管に入り込む細い窪みにグロブリン mRNA を *in situ* ハイブリダイゼーションにより検出している。グロブリンの発現と本研究で明らかにされた心臓小体の位置はほとんど一致していた。この結果も含めて、心臓小体の機能について調べていく予定である。

参考文献

Nakahama, S., Nakagawa, T., Kanemori, M., Fukumori, Y. and Sasayama, Y.: Direct evidence that extracellular giant hemoglobin is produced in chloragogen tissues in a beard worm, *Oligobrachia mashikoi* (Frenulata, Siboglinidae, Annelida). Zool. Sci., 25: 1247-1252 (2008)

(本研究は、金沢大学大学院自然科学研究科 生物科学専攻 水野文敬君の修士論文の一環として行われた)

キンギョの様々な組織におけるカルシトニン mRNA の検出

田村 知

〒927-0553 鳳珠郡能登町小木 金沢大学環日本海域環境研究センター、臨海実験施設
Chika TAMURA: Detection of calcitonin mRNA in various tissues of the goldfish

キンギョは、飼育が容易で手術にも強く、生殖周期に伴う種々の生理現象が完全に解明されており、実験動物として有利な点を多くもっている。一方、カルシトニンは破骨細胞の活性を抑制し、血中カルシウム濃度を低下させるペプチドホルモンであり、32個のアミノ酸で構成されている。このホルモンは骨粗鬆症の治療薬として知られている。また、カルシトニンは骨吸収作用だけでなく、腸管への作用、肝臓への作用、腎臓への作用、さらに神経系における鎮痛作用など、それぞれの組織においてさまざまに機能することも報告されている。これまで魚類以上の脊椎動物において29種の動物から、アミノ酸配列が異なる35種類のカルシトニンが知られている。キンギョにおいては、カルシトニンの生産に働く内分泌腺である“鰓後腺”からRT-PCRによって増幅され、実際にホルモンとして機能するカルシトニンの他に、肝臓のDNAからgenomic PCRによって増幅されたカルシトニンの2種類が報告されている。これらをそれぞれカルシトニンI、カルシトニンIIと呼んでいる。但し、これまでカルシトニンIIが実際に発現しているか否かは調べられたことはない。

本研究においては、まずカルシトニンの生産を受け持っている内分泌器官である鰓後腺において、カルシトニンIIが產生されているか否かを調べた。また、その他に脳（前脳、中脳、後脳）、腎臓、肝臓、筋肉、鱗、脾臓、硬骨、生殖巣（卵巣あるいは精巣）の各組織においてカルシトニンIとIIが発現しているか否かをアクチンの発現を内部標準にした半定量的PCR法により調べた。実験に先立ち、カルシトニンIとIIを区別して増幅させることができるプライマーを設計した。それらは、それぞれのカルシトニンの5'末端と3'末端の塩基配列を基本とした20merあるいは21merの相補的ヌクレオチド配列である。cDNA作成後のPCR条件は、アクチンとカルシトニンIおよびIIとともにPCRサイクル数を変えたときの反応生成物量から最適サイクル数を求め、その時の生成物量で比較した。

その結果、実際にカルシトニンIIは鰓後腺において発現していることが明らかになった。但し、その発現量はIと比較すると少ない傾向にあった。また、調べた全ての組織において程度の差はあるが、どちらのカルシトニンも発現していることがわかった。なかでも脳は調べた組織の中で常に両カルシトニンを発現させていた。したがって、本研究では脳を詳しく調べた。その結果、脳はその部位によってカルシトニンの発現量に違いがあるように見えた。また魚のカルシトニンに対する抗体を用いて、RT-PCRの手法だけではなく免疫組織学的手法も用いても、確かにカルシトニンが脳において発現していることが明らかになった。また、これまでのカルシトニンI、IIに相当する配列は、キンギョの他にイワシにおいても知られており、IどうしよりもIIどうしの相同性が高く、IIの方が分子系統学的に古い可能性が示唆されている。このことを踏まえて本研究の結果を考察する。

(本研究は、金沢大学自然システム学類生物学科 田村 知君の卒業論文の一環として行われた)

角間丘陵に生育するガマズミ属2種の落下果実の季節性

木村一也¹・吉本敦子²・木下栄一郎¹

¹〒920-1192 金沢市角間町 金沢大学環日本海域環境研究センター, ²〒920-1192 金沢市角間町 金沢大学
大学院自然科学研究科

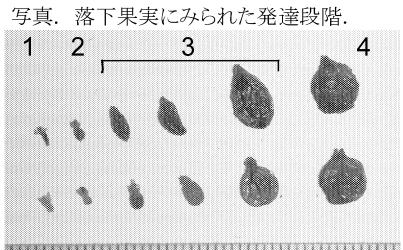
Kazuya KIMURA¹, Atsuko YOSHIMOTO² and Eiichiro KINOSHITA¹:

Fruit fall of two sympatric *Viburnum* species in a secondary forest of Kakuma Hill

金沢大学キャンパス内の角間の森に生育するガマズミ属2種（ミヤマガマズミ *Viburnum wrightii*, コバノガマズミ *V. erosum*）の3年間にわたる開花フェノロジー調査から、常にミヤマガマズミが先に開花すること、開花時期の一部は重複すること、が明らかになった。その後、果実の残存率は開花終了3週間後までは急激に、それ以降は緩やかに減少する2段階の時期が見られることがわかった。果実の落下は、未受精等の内部要因と昆虫による食害や物理的要因といった外部要因に起因していると考えられる。そこで本研究ではガマズミ属2種の果実の落下要因を探ることを目的とし、落下した果実数と食害率について調べた。果実の落下要因の解明は、両種の繁殖フェノロジーを決定する究極要因を解明する上で重要である。

方法

調査は、角間の森に生育するミヤマガマズミとコバノガマズミの各種10個体を対象にしておこなった。2007年の開花前（4月下旬）に、対象個体の樹冠下に漏斗型トラップ（0.5 m²）を設置し、その後10月中旬まで1週間に1回、サンプル回収をおこなった。回収後は植物園実験室内で、果実の発達段階と食害による外観変化に基づきながらサンプルの仕分けをおこなった。果実は開花から果実が熟すまでに至る登熟期間中に、種子の発達段階に応じて果実サイズが増す。本調査では、開花直後に落し子房の肥大がみられない果実（発達段階1）、サイズは発達段階1と変わらないが子房がやや肥大した果実（発達段階2）、子房肥大とともにサイズが大きくなった未熟果実（発達段階3）、赤く色づいた熟果（発達段階4）として、果実サイズの判別をおこなった（左、写真）。



結果と考察

ミヤマガマズミの果実落下ピークはコバノガマズミより早く現れ、両種間の開花最盛期のずれをほぼ

表1. 総落下果実数に占める各発達段階落下果実の割合。

種	N	総落下 果実数	発達段階 (%)				Total (%)
			1	2	3	4	
ミヤマガマズミ	10	8914	70.9	18.6	9.6	1.0	100.0
コバノガマズミ	10	24382	74.2	6.8	16.9	2.1	100.0

反映した落下パターンが観察された（図1）。

落下果実数のうち、ミヤマガマズミでは89.5%、コバノガマズミでは81%が発達段階1と2といった発達段階初期の果実サイズに

よって占められ、果実の落下は開花後数週間以内に集中することがわかった（表1、図2）。発達段階ごとの食害率は、ミヤマガマズミの発達段階初期で0.02%、発達段階3で18%、発達段階4で17%だった。同様にコバノガマズミでは、0.02%、46%、0.5%だった。以上から、開花終了後初期の激しい果実落下は内的要因による落下である可能性が示唆された。

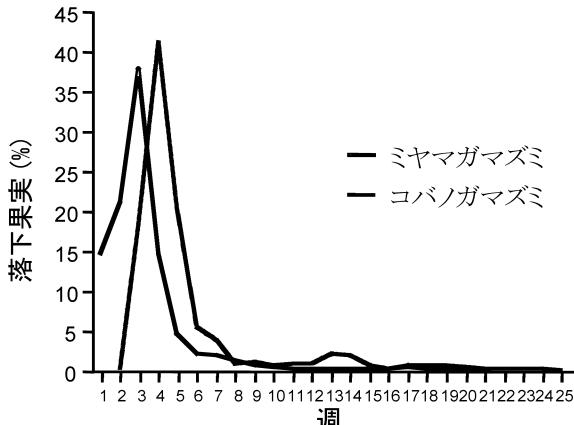


図1. 落下果実の季節推移。縦軸は総落下果実数に占める落下果実の割合を示す。

コバノガマズミの果実食害率 $7.3 \pm 5.4\%$ に対して、ミヤマガマズミの果実食害率は $3.4 \pm 2.8\%$ と有意に低く（Mann-Whitney U test, $p < .05$ ）、両種個体を通して果実落下時期が早い個体ほど食害率が低かった（図3）。ミヤマガマズミは落下時期が早かった個体が多く、それらの食害率が低かったため、食害率がコバノガマズミより低かったと考えられる。

結論

ミヤマガマズミとコバノガマズミの果実落下は、初期果実の急激な落下とその後の健全果実と食害果実の落下によって特徴づけられ、前者は内的要因、後者は偶然的要因と果実・種子食害者による影響を強く受けていることが明らかとなった。加えて、ミヤマガマズミ個体群はコバノガマズミ個体群より早く咲くことによって、果実の食害を効果的に逃れていることが推測された。

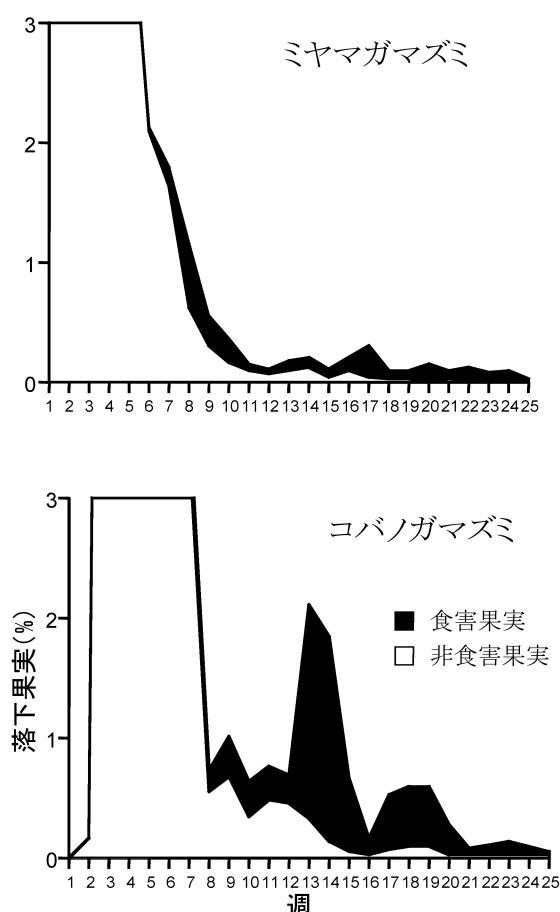


図2. ガマズミ属2種の食害・非食害果実の季節推移。縦軸は総落下果実数に占める落下果実の割合を示す。

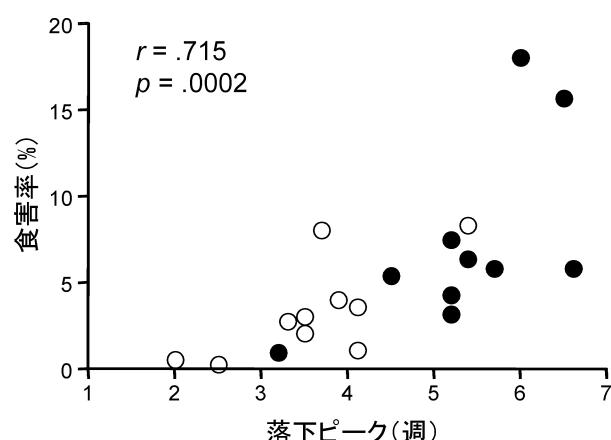


図3. 果実落下時期と全食害率との相関。白丸はミヤマガマズミ、黒丸はコバノガマズミを表す。rはピアソン相関係数。

熱帯山地林における *Medinilla* 属 8 種の開花・結実の季節性

木村一也¹・湯本貴和²・菊沢喜八郎³・北山兼広⁴

¹〒920-1192 金沢市角間町 金沢大学環日本海域研究センター;

²〒603-8047 京都市北区上賀茂本山 457-7 総合地球環境学研究所;

³〒921-8836 石川県野々市町末松 1-308 石川県立大学;

⁴〒520-2113 滋賀県大津市平野 2-509-3 京都大学生態学研究センター

KIMURA Kazuya, YUMOTO Takakazu, KIKUZAWA Kihachiro and KITAYAMA Kanehiro:
Flowering and fruiting seasonality of eight species of *Medinilla* in a tropical montane forest of
Mount Kinabalu, Borneo

湿潤熱帯に生育する植物の繁殖時期および繁殖トリガーを明らかにするため、ボルネオ島キナバル山の熱帯山地林に生育する低木、ノボタン科 *Medinilla* 属 8 種 (*M. amplectens* Regalado, *M. suberosa* Regalado, *M. homoeandra* (Stapf) Nayar, *M. beamanii* Regalado, *M. clemensiana* Regalado, *M. crassifolia* (Reinw. ex Blume) Blume, *M. speciosa* (Reinw. ex Blume) Blume, *M. stephanostegia* Stapf) の開花・結実と気温、降水量、日照量との季節的対応について調べた。

対象種 120 個体について 1996 年 7 月から翌年 6 月までの 1 年間、2 週間に 1 回の頻度で花芽、開花、未熟果実、熟果実の有無を記録し、その後 4 年に渡って計 10 回の断続的調査を行った。その結果、*Medinilla* 属の繁殖には明瞭な季節性がみられ、年二回の開花時期がみられた（図 1）。8 種はそれぞれ明瞭な繁殖の季節性を示し、種によって年一回あるいは二回の開花・結実時期をもつことが明らかになった（図 2）。

Medinilla 属の花芽形成開始個体数の変化は日最低気温（14

日間平均値）の変化に対して強い負の相関を示した（ステップワイズ回帰分析： $R^2=.291$, $F_{s}=10.4$, $p=.003$ ）。他方、結実（未熟果実と熟果実）個体数は 5 月から 8 月のあいだに増加し（図 1）、気温と日照量の季節変化とのあいだに正の相関がみられた（スピアマン順位相関）。

以上の結果と近年の東南アジア熱帯低地林での知見を総合すると、低温がトリガーとして *Medinilla* 属の花芽形成を誘導していることが推測され、その開花活動は気温によって制御されていることが示唆された。加えて、高気温と高日射に対応して結実する種が多かったことは、涼しい環境かつ光条件

が悪い林床に生育する *Medinilla* 属にとって、それらの気候条件は光合成や他の生理反応の

活性化ひいては果実・種子の発達に必要な物質の生産を促していることを示唆している。

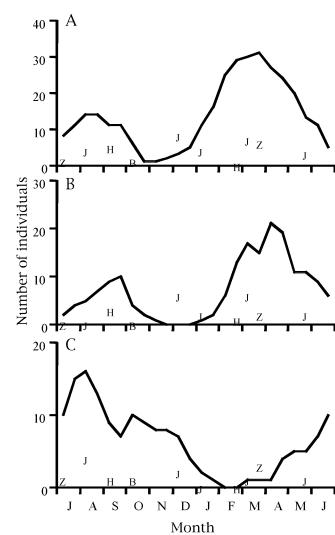


図 1. *Medinilla* 属の花芽形成 (A), 開花 (B), 結実 (C)
個体数の季節変化. 実線は 1
年目, ●印は 2 年目, ▲印は
3 年目, ■印は 4 年目, +印

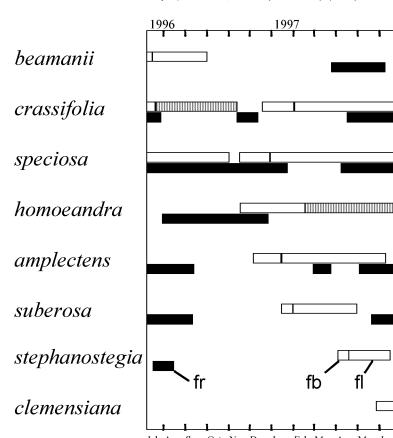


図 2. 観察 1 年目にみられた
Medinilla 属 8 種の繁殖スケジュール.
白：花芽形成, 灰：開花,

オウレンの性表現と送粉

笠木哲也^{1,2}・中村浩二¹

¹〒920-1192 金沢市角間町 金沢大学環日本海域環境研究センター

²〒920-1192 金沢市角間町 金沢大学地域連携推進センター

KASAGI Tetsuya and NAKAMURA Koji

Sex expression and pollination in *Coptis japonica*

1. はじめに

植物にはさまざまな性表現パターンがある。雄花をつくる性型には雌雄同株、雄性両全同株、雌雄異株、雄性両全異株がある。雄性両全同種の植物は1個体上に両性花と雄花をもつ。雄性両全同株の雄花は個体内での資源量調節のために両性花から雌機能が退化したものと考えられるが、適応度が最大化するように雌雄両機能へ資源配分されているはずである。しかし、雄性両全同株における雄花生産の適応的意義に関しては実証的研究による説明がされていない。本研究はオウレンを材料として雄花の生産状況を明らかにし、雄性両全同株植物が雄花を生産する生態学的意義を送粉関係から検討する。

2. 植物材料と調査地

オウレン (*Coptis japonica*: キンポウゲ科) は北海道南西部から本州まで日本海側に分布する半常緑性の多年草で、主に落葉広葉樹林の林床に生育する。オウレンは根茎から1～数個の花茎を生産し、1花茎に3個、まれに4個以上の花をつける。本研究では金沢市角間地区の落葉広葉樹林を調査地とした。角間地区に生育するオウレンは3月上旬の消雪直後から開花が始まり、3月下旬には花期が終了する。種子は花期終了後1ヶ月以内に散布される。

3. 結果

3-1. 雄花の生産状況

- ・次の2点からオウレンは雄性両全同株であることが判明した。
 - i) 1花茎の中に両性花と雄花が混在することがあった。
 - ii) 両性花をつけた花茎と雄花をつけた花茎を同時に生産する個体があった。

- ・次の5点からオウレンが雄花を生産する理由は資源の制約によるものと推測された。
 - i) 両性花の雄蕊数には個体間及び個体内(花茎間)、花茎内で大きな変異があった。これは個花単位で資源の調節が行われていることを示唆する。
 - ii) 雌しべが極度に萎縮した両性花は胚珠がなく、機能的に雄花として振る舞っていた。
 - iii) 生産する花のタイプ(両性花または雄花)が年によって変化する個体があった。
 - iv) 切葉実験をした。強度の葉の損失は翌年の両性花の生産数を減らす傾向がった。また、雄花をつけていた個体は翌年の花茎生産が困難となった。
 - v) 開花時期(3月)、種子成熟期(4月)、林冠閉鎖後(6月と9月)に光合成速度を測定した。開花時期と9月には両性花をつけた個体と雄花をつけた個体の光合成速度に違いはなかった。しかし種子成熟期と6月には両性花をつけた個体の方が光合成速度が速く、両性花の維持及び種子生産に伴うコストの高さが示唆された。

3-2. 送粉の状況

・受粉実験によって次の3点が明らかになった。

- i) オウレンに強制自家受粉をしても種子を生産しなかった。すなわち自家不和合性のオウレンの種子生産には昆虫による送粉が必要であった。
- ii) 花粉付加処理をしたオウレンは自然状態よりも結実率が上昇し、訪花昆虫による送粉が十分には機能していないことが分かった。
- iii) 個体周囲に雄花が多数開花している両性花ほど結実率が高かった。

・送粉者はキイロハナムグリハネカクシと考えられた。

- i) 雪解け直後に開花するオウレンに訪花する昆虫はほとんどなかったが、小型甲虫類のキイロハナムグリハネカクシの訪花が観察された。このハネカクシは主に花粉食行動をしたが、花上が交尾場所となっており、柱頭や薬の上を歩き回ることによって受粉を促進していると考えられた。
- ii) オウレンの開花時期は雪解け直後で気温が低いため、キイロハナムグリハネカクシの行動は活発ではなかった。観察されたハネカクシの半数以上はひとつの花の上に5分以上滞在し、オウレン個体間の移動頻度は低いものと推測された。
- iii) 雄花の局所的な開花密度の高さはキイロハナムグリハネカクシの訪花頻度を増加させた。

4. 考察

オウレンは雄性両全同株であり、資源に制約があるときに雌機能を制限して雄花を生産すると考えられた。ハネカクシ類は一般的に花粉食者だが、雪解け直後の昆虫が少ない時期に開花するオウレンにおいてキイロハナムグリハネカクシは送粉者として機能していた。オウレンが資源不足の時にも花生産を中止せずに雄花を生産する意義として、移動頻度の低いキイロハナムグリハネカクシによる送粉を機能させるために集団内の花粉親密度を高く維持することが考えられた。

超磁歪アクチュエータ駆動による キャビテーション現象を応用した水質浄化に関する研究

環日本海域環境研究センター センター 生体機能計測研究部門

山田外史, 鈴木宏尚, 柿川真紀子

S. Yamada, H. Suzuki, M. Kakikawa

Cavitation phenomena generated by giant magnetostrictive actuator and application to water remediation

1. はじめに

現在様々な環境問題が現実化し、我々の関心が高まる中、光触媒材料；二酸化チタンの浄化作用に対する研究が盛んに行われている。発見者の名前から【本田一藤嶋効果】と名づけられているこの効果は、酸化チタンに紫外線が照射された場合に生じる励起現象に端を発するものである。

二酸化チタン粒子に波長380 nm以下の紫外線が照射されると、バンド・ギャップ3.2 eVを超えたエネルギーにより還元力のある伝導帯（捕捉）電子、あるいは強酸化力をもつ価電子帯（捕捉）正孔が生じる。生じた電子・正孔がチタンに接触している物質を直接酸化還元、またはラジカルを生成し浄化作用を生むというものである。

すでに病院壁や浄化フィルターに応用されているTiO₂の光触媒反応であるが、水媒質中のTiO₂粒子に超音波を照射する方法でもラジカルの生成が可能であることが報告されている^[1]。原因として超音波の縦波による微小空間の圧力変化によるキャビテーション発生と崩壊現象だと考えられており、事実機械的ピストン運動による慣性を用いたキャビテーション発生装置においても同様の効果が獲得されている^[2]。

しかし、紫外線・超音波は、水媒質の状況（汚濁状態・粘性・使用環境・減衰等）に左右され、慣性機械式ピストン機構ではピストン部の劣化や超高速駆動が困難であることなどの欠点がある。そこで本稿では磁気応用分野から、高速応答・大応力の特性をもつ磁歪素子を用いたキャビテーション発生装置を考案・構成し、紫外線・超音波・機械的ピストンの欠点を補える水質浄化（ラジカル生成）装置の構成を目標とした。目標評価の浄化モデルとしてメチレンブルー還元作用と大腸菌XL1-Blue (*Escherichia coli*; *E. coli*) 減菌作用を用いた。

2. 超磁歪アクチュエータによるキャビテーションとラジカル生成と水質浄化評価方法

2.1 超磁歪アクチュエータとキャビテーション

磁歪とは磁性体に磁界を加えることでその素子寸法が変化する（通常 $\delta l/l = 10^{-5} \sim 10^{-6}$ ）現象だが、超磁歪素子は本来の $10^2 \sim 10^3$ 倍の磁歪特性を示す。図1に超磁歪アクチュエータの概形と表1に超磁歪アクチュエータによるキャビテーション発生装置のパラメータを示す。キャビテーションの発生は、超磁歪アクチュエータに直接したピストン・シリンドー機構による水槽内の断熱圧力変化によって狙う。キャビテーションの発生は適用する水媒質の飽和蒸気圧 P_s を下回る減圧を施す必要があるが、超磁歪アクチュエータによるキャビテーション発生装置はその条件を満たす。

キャビテーション現象は本来、その特性から流体機器の性能劣化や破壊を引き起こすことから問題視されている要素のひとつである。キャビテーションは流体媒質の圧力が飽和蒸気圧を下回った場合に溶存気体や気泡核によってキャビテー（マイクロバブル）が発生し、それが成長し崩壊するまでの過程を示す。キャビテーション現象は極短時間に行われるため、その実測は大変困難である。数々のシミュレーションによって2 μs間に1,000~1,400 MPa、平均7,000~20,000 Kのエネルギーが発生すると計算されている。

2.2 超磁歪アクチュエータによるラジカル生成

本来、二酸化チタンの励起現象は3.2 eVを超えた紫外線の持つエネルギーによって励起される。そのため超音波をはじめとするキャビテーション現象によるものは、その平均キャビテー

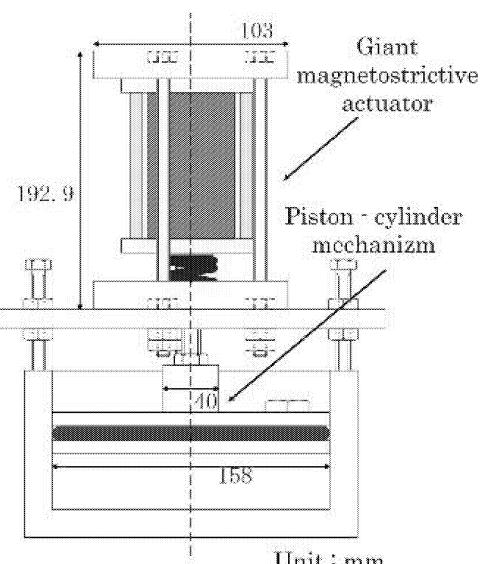
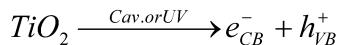


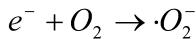
図1 超磁歪アクチュエータと機構

崩壊エネルギーを超えたものによって発生し得ると考えられる。まず、バンド・ギャップ3.2 eV（温度エネルギー換算約32,000 K）を超えるエネルギーを与えられた二酸化チタンは荷

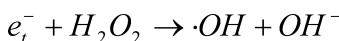
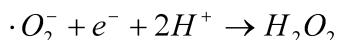
電子帶電子が伝導帶に励起し、伝導帶電子 e_{CB}^- ・荷電子帶正孔 h_{VB}^+ が生じる。



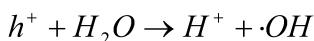
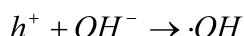
e_{CB}^- そのものがチタン表面の酸素を還元するか、表面に捕捉された捕捉電子 e_t^- が酸素分子を還元し、スーパーオキサイドアニオン・ O_2^- を生成する。



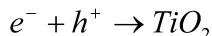
生成された $\cdot O_2^-$ によって酸化力をもつ活性酸素種の過酸化水素 H_2O_2 が生み出され、また H_2O_2 と $\cdot O_2^-$ 、 e_t^- の反応によって強酸化力をもつヒドロキシルラジカル(OHラジカル)・ OH が生成される。



また、正孔が水溶液中に存在する水分子・水酸基イオンと結びつくことによっても $\cdot OH$ が生成される。



反応に寄与しなかった電子・正孔は再結合する。



2.3 水質浄化評価方法

2.3.1. メチレンブルー脱色による評価方法

反応性の高い・ OH は存在時間が10 ns程度と非常に短寿命なため、メチレンブルー(以降MB)の還元反応によって間接的定量を行う。魚病薬や染色材料として用いられているMBは、二酸化チタン励起波長域380 nm付近に吸収を持たず、また紫外線照射によっても変性しないため取り扱いに安全であり、本実験にて適したモデルであるといえる。また、超音波や紫外線による TiO_2 励起による脱色報告が存在する^[3]。

通常青色を示すMB溶液は、還元することで無色透明のロイコメチレンブルー溶液に変化する。このことより、キャビテーション装置駆動前後の吸光度を比較することによってラジカル生成を考察することが可能である。

MB脱色実験では表2に示すMB溶液、表3の試験条件で行った。キャビテーション発生装置駆動中はC1 & C2は遮光袋にて遮光保管した。なお使用二酸化チタン粒子を2種使用したのは溶液に触れる TiO_2 粒子の表面積による影響を調査するためである。

2.3.2 大腸菌滅菌による評価方法

微生物の滅菌モデルとして大腸菌XL1-Blueを用いた。XL1-Blueは $E. coli$ の遺伝情報を操作した変異体であるが、成長過程・寸法などは $E. coli$ と違わない。 $E. coli$ はグラム陰性の棒状菌であり、環境中に存在する主要な菌のひとつである。サルモネア菌などの水系感染性細菌と似た特徴をもつこと、日本の上水道から検出されてはいけない菌であること、光触媒において滅菌報告がある^[4-5]ことから本研究に適したモデルであると考えられる。本稿によるキャビテーション装置により滅菌が確認されれば、化学薬品を含まない・二次副産物を生じ得ないことから大きな利点をもつ滅菌法だといえる。

表2 メチレンブルー脱色実験溶液

項目	使用量
蒸留水	500 ml
メチレンブルー	0.5 ml
過酸化水素: H_2O_2 (オキシドール；3.0 %)	10 ml
二酸化チタン粒子 (1, 2 mm ^φ の2種)	500 g

表3 脱色・滅菌評価条件

評価対称	TiO_2 粒子	振動印加
Control 1 (C1)	なし	なし
Control 2 (C2)	含む	
Exposure 1 (E1)	なし	あり
Exposure 2 (E2)	含む	

*チタン粒子は2 mm^φを使用

ラジカルによる大腸菌の死滅は、細胞を覆っている外膜の破壊と細胞質膜の破壊による無秩序化によって引き起こされる。また、大腸菌の死滅には H_2O_2 も役割を持つと考えられている。

大腸菌滅菌検討には透析膜を用いた。大腸菌を含む菌液を希釀し、感熱滅菌を行った TiO_2 とともに評価条件につき各1000 μl ずつ封入する。評価条件は表3に従う。対象群C1、C2は遮光袋中にて保管した。

装置駆動終了後取り出した各菌液は固体培地上に塗布し、一晩培養したものをコロニーアッセイ法にてカウントし、大腸菌生存数から考察を行う。

3. 水質浄化評価結果

3.1 メチレンブルー脱色による評価結果

以下、検討を行った項目と結果を示す。

(1) TiO_2 粒子有無の影響評価（図2）

二酸化チタン粒子を添加しなかった場合に溶液の脱色が観察されなかったことから、キャビテーション現象だけでは溶液中の水分子をラジカル解離できないことが示された。

(2) 過酸化水素の含有量依存による影響（図3）

MB溶液に過酸化水素を含有しない場合でも溶液の吸光度降下が観察された。また、過酸化水素含有量を増すことによって溶液の脱色が進行した。よってMBは過酸化水素に直接還元されているのではなく、過酸化水素を通じたラジカルの生成が影響していると考えられる。

(3) 装置駆動時間の影響（図4）

キャビテーション装置の駆動時間を長くすることによって溶液の脱色を進行させることができた。キャビテーションによるラジカル生成条件下に溶液が長く曝露されていたためであると考えられる。

(4) TiO_2 粒子径による影響（図5）

二酸化チタン粒子の総評面積を増やすことにより、より短時間で溶液の脱色を進行させることができた。ラジカルの生成が二酸化チタン表面積に依存しているためだと考えられる。

(5) アクチュエータ動作周波数による影響（図6）

アクチュエータの駆動周波数を高めることで、脱色を進行させることができた。キャビテーション現象発生頻度が高められたため、より多くのラジカルが生成されたためであると考えられる。

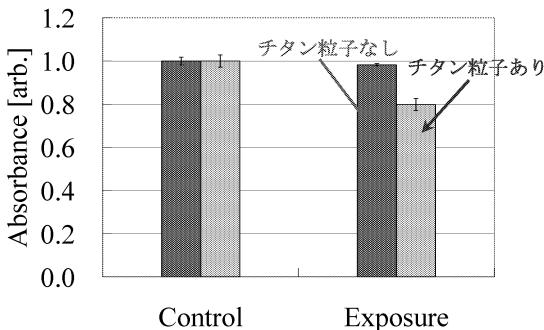


図2 チタン粒子添加有無による脱色効果への影響
($f_D = 120$ Hz, $I_{EX} = 5.0$ A, $T_D = 20$ min)

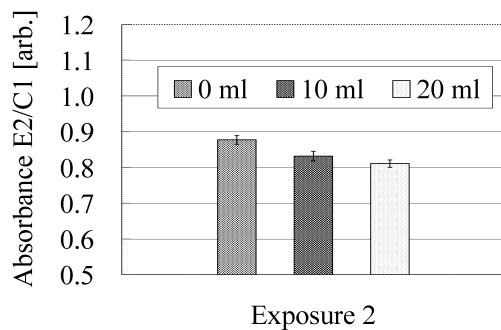


図3 MB溶液の過酸化水素含有の脱色への影響
($f_D = 120$ Hz, $I_{EX} = 5.0$ A, $T_D = 20$ min)

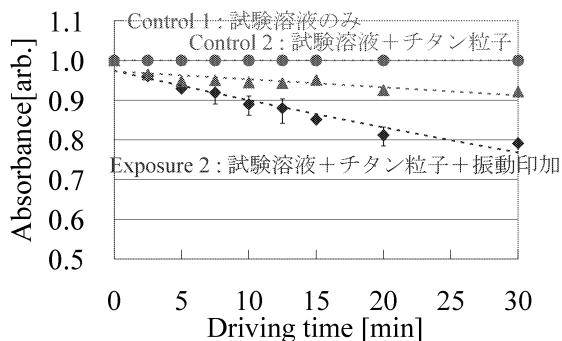


図4 MB溶液脱色のキャビテーション装置
駆動時間による影響 ($f_D = 120$ Hz, $I_{EX} = 5.0$ A)

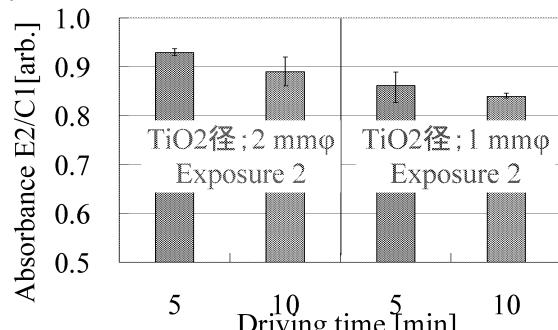


図5 二酸化チタン粒子径によるMB溶液脱色影響
($f_D = 120$ Hz, $I_{EX} = 5.0$ A)

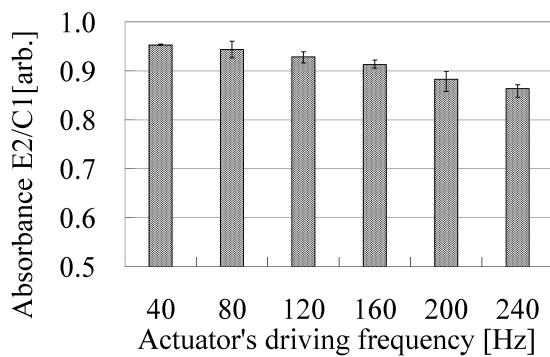


図6 アクチュエータ駆動周波数によるMB溶液脱色への影響($I_{\text{EX}} = 5.0 \text{ A}$, $T_D = 5 \text{ min}$)

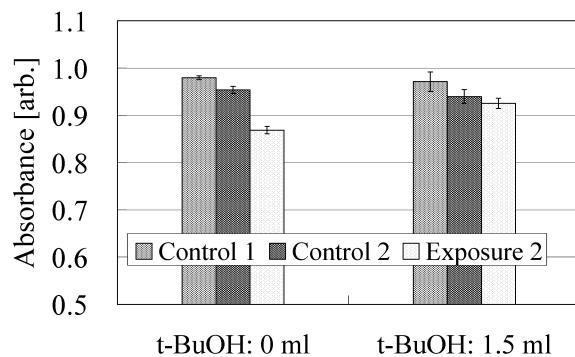


図7 $\cdot\text{OH}$ 捕捉剤 $t\text{-BuOH}$ をMB溶液に混入した場合の脱色影響($f_D = 120 \text{ Hz}$, $I_{\text{EX}} = 5.0 \text{ A}$, $T_D = 20 \text{ min}$)

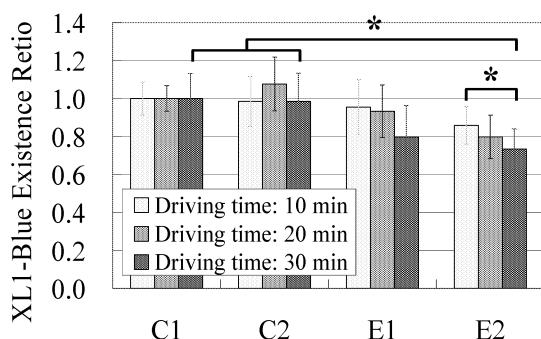


図8 アクチュエータ駆動時間による大腸菌存在数影響($f_D = 120 \text{ Hz}$, $I_{\text{EX}} = 5.0 \text{ A}$, TiO_2 ; 10粒)

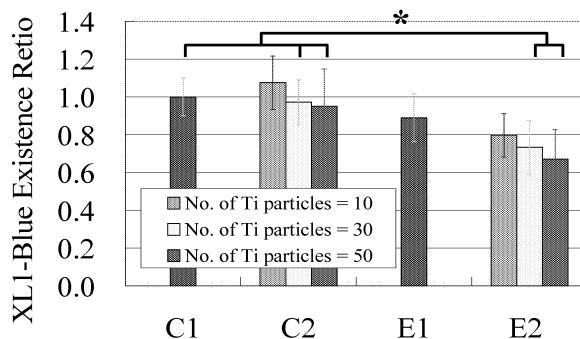


図9 封入チタン粒子数による大腸菌存在比($f_D = 120 \text{ Hz}$, $I_{\text{EX}} = 5.0 \text{ A}$, $T_D = 20 \text{ min}$)

(6) $\cdot\text{OH}$ 捕捉剤 $t\text{-BuOH}$ 含有による影響(図7)

OH 捕捉剤をMB溶液中に混合させることで溶液の脱色を抑えることができた。捕捉剤 $t\text{-BuOH}$ はチタン表面に存在する一部の $\cdot\text{OH}$ と溶液中に拡散するほぼすべての $\cdot\text{OH}$ を捕捉することが知られている。よって $\cdot\text{OH}$ によるMB溶液の脱色は二酸化チタン表面で行われているものは少なく、大部分が溶液中に拡散した $\cdot\text{OH}$ による還元反応である。

3.2 大腸菌滅菌による評価結果

(1) アクチュエータ駆動時間による滅菌影響(図8)

駆動時間依存の結果から、キャビテーション曝露時間30 minの場合にC1&C2とE2との大腸菌数に有意差が観察された。キャビテーション曝露によってラジカル・過酸化水素が生成され、大腸菌を滅菌したと考えられる。またE1の値がC1, C2よりも減少していることから、大腸菌がキャビテー崩壊によって直接外傷を受けていることが示唆される。

(2) 封入 TiO_2 粒子数の滅菌効果への影響(図9)

封入粒子数が30 or 50粒の場合にC1&C2とE2の間に有意差が見られたことから、大腸菌が生成されたラジカル・ H_2O_2 により滅菌されたと考えられる。

4.まとめ

MB脱色結果から、キャビテーション曝露時間・駆動周波数・溶液に接触している二酸化チタン表面積を増加させることにより、ラジカルを多量に発生させることができた。またMBの脱色に H_2O_2 が直接的に関与しているわけではないことが示された。大腸菌滅菌結果からキャビテーションバブルの崩壊エネルギーとラジカル反応の双方によって大腸菌が滅菌されることが示された。キャビテーション曝露時間・駆動周波数・封入二酸化チタンを高めることで脱色・滅菌効果を高められ、媒質全体に作用し汚染状態に左右されないことから、化学薬品や二次副産物を生じない浄化システムとして検討できる装置であることが示された。

文 献

- [1] 野田泰行, 萩野千秋, 清水宣明他, 第8回シンポジウム光触媒反応の最近の展開 要旨集, p.106, 2001.
- [2] 藤本雅久, キャビテーション発生方法, 及び発生装置, <http://www.j-tokkyo.com/2004/B06B/JP2004-298856.shtml>
- [3] N.Shimizu, C.Ogino, M.F.Dadjour, T.Murata, Sonocatalytic degradation of methylene blue with TiO_2 pellets in water, Ultrasonics Sonochemistry, p.184-190, 2007

- [4] M.Cho, H.Chung, W.Chi, J.Yoon, Different Inactivation Behaviors of MS-2 Phage and *Escherichia coli* in TiO₂ Photocatalytic Disinfection, Applied and Environmental Microbiology, p.270-275, 2005.
- [5] M.Furuta, M.Yamaguchi, T.Tsukamoto, B.Yim, C.E.Stavarache, K.Hashiba, Y.Maeda, Inactivation of *Escherichia coli* by ultrasonic irradiation,Ultrasonics Sonochemistry ,p.57-60, 2004.

抗がん剤マイトマイシンCとシスプラチニンの作用における交流磁界曝露影響

平井雄一朗, 柿川真紀子, 山田外史
環日本海域環境研究センター 生体機能計測研究部門
Y. Hirai, M. Kakikawa, S. Yamada

Effect of ELF magnetic fields exposure on the potency of anticancer drugs, mitomycin C and cisplatin

1. はじめに

これまでに磁界による生体への影響に関する様々な研究がなされており、磁界を化学物質や放射線などと併用した場合、化学物質や放射線の生体への作用が変化するという報告がある。例えば、ELF (Extremely low frequency : 極低周波) 磁界曝露を併用することで、X線照射による染色体異常が磁束密度依存的に増加したという報告^[1]がある。本研究で扱う抗がん剤 MMC (マイトマイシンC) についても次のような報告がある。MMCに60 Hz, 45 mTの交流磁界曝露を併用した結果、2倍程度DNA損傷作用が高まったという報告^[2]で、このことから、交流磁界曝露を併用した場合におけるMMCの抗がん効果の向上が期待でき、その他の抗がん剤についても抗がん効果を向上できる可能性がある。抗がん剤を投与し、患部に交流磁界を曝露することで患部における抗がん効果が向上すれば、抗がん剤の投与量を抑えることができ、副作用を軽減できるかもしれない。

現段階ではどの抗がん剤に磁界曝露の影響があるのか、どの磁界条件（磁束密度、磁界曝露時間、周波数）が効果的なのかなど不明な点が多い。抗がん剤と交流磁界の併用療法を実現するためにも、どの抗がん剤にどの程度磁界曝露の影響があるのかを評価して効果的な磁界条件を明確にする必要がある。そこで本研究では、抗がん剤の作用への効果的な磁界条件や抗がん剤の濃度への依存性を検討し、抗がん剤ごとの交流磁界曝露の影響度合を比較することを目的とし、抗がん剤 MMC およびシスプラチニンへの交流磁界曝露の併用効果に関する研究を行った。

2. 交流磁界曝露影響の評価方法

2.1. 交流磁界発生装置

本研究で使用した60 Hz交流磁界発生装置(Exposure側)を図1に示す。磁界発生装置は、U字型鉄心を用いその鉄心の頭頂部に立方形のギャップを設け、アクリルケースを設置して実験領域とした。回路にはコンデンサ(C=1000 · F(500 · F×2))を用い、共振回路を構成し入力インピーダンスを大きくすることで入力電流を小さく抑えられるように考慮されており、実験領域において周波数60 Hzの交流磁界を得られる。またアクリルケース内部にはコイルによって発生する熱の影響を避けるため、恒温装置で一定温度の水を循環させた。

2.2. 抗がん剤

本研究ではマイトマイシンC(MMC)およびシスプラチニンという2種類の抗がん剤を使用した。

2.2.1 マイトマイシンC (Mitomycin C)

マイトマイシンCは日本で見出され発展した抗腫瘍抗生物質であり、現在ではがん治療上重要な薬と認められ、世界中の多くの国で使われている抗がん剤である^{[3][4]}。

マイトマイシンCは、細胞の二重螺旋構造をとっているDNAの二本鎖にそれぞれ結合し、二重鎖DNAへの架橋結合を形成する。そのため二本鎖DNAが完全にほどけることができなくなりDNAの複製を阻害し、細胞の分裂・増殖を抑止する。これによりがん細胞の増殖を抑止でき、抗がん効果を得られる。

2.2.2 シスプラチニン

シスプラチニンはプラチナ化合物であり、プラチナ化合物はがん治療において広く使われている。その中でもシスプラチニンは最も広く使われている抗がん剤の一種である^[5]。

シスプラチニンもMMCと同様に、DNAに結合してDNAの複製を阻害することでがん細胞の増殖を抑止、ひいてはがん細胞を死滅させるタイプの抗がん剤である。

シスプラチニンはDNA鎖に架橋結合することで、DNAの複製を阻害する。また、プラチナが架橋結合してDNAの構造が歪曲することにより、さらにDNAの複製が阻害される。

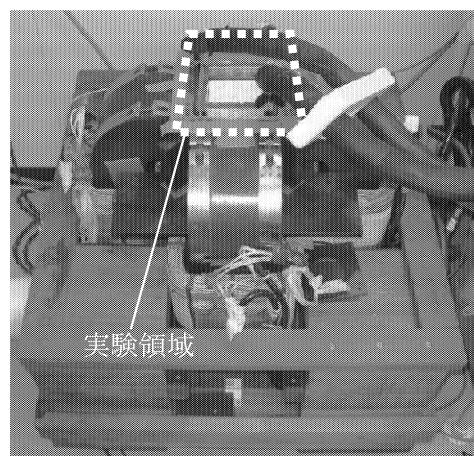


図1 60 Hz交流磁界発生装置
(磁界曝露側:Exposure)

2.3 大腸菌

抗がん剤の殺ガン細胞効果は、微生物の殺菌作用と相関が認められていることから、本研究では、ヒト細胞と同様に抗がん剤のDNA損傷を受ける細胞であり、遺伝情報が解明されており、細胞の増殖サイクルが非常に早い図2に示すような大腸菌を実験対象として用いた。その中でも野生株であるW3110と変異株JE5595 recA1を用いた。

2.3.1 大腸菌 W3110

大腸菌のK12株のW3110という系統名の大腸菌で、W3110はその特徴として、野生株で病原性がない。また、大腸菌細胞中にはアミノ酸やタンパク質、DNAなどが存在している。

2.3.1 大腸菌 JE5595 recA1

JE5595 recA1も大腸菌の一種である。自己修復遺伝子の1つ*recA1*を機能しないようにしてある変異株で、DNAダメージに対して感受性が高い。

2.4 交流磁界曝露影響の評価方法：コロニーアッセイ法

抗がん剤の作用に対する交流磁界曝露の影響を評価するために、抗がん剤と交流磁界曝露を併用した場合(Exposure)と抗がん剤のみで交流磁界曝露を併用しない場合(Control)とで大腸菌の生菌数を比較する。生菌数が少なければ抗がん剤の効果が高いということになり、これにより交流磁界曝露の併用が抗がん効果を高めるかどうかを評価することができる。生菌数を定量化する方法として、本研究ではコロニーアッセイ法を用いた。コロニーアッセイ法の簡略図を図3に示す。

3. 抗がん剤の作用における交流磁界曝露の影響測定結果

3.1 大腸菌 W3110に対する抗がん剤 MMC の作用における 60 Hz, 50 mT の交流磁界曝露の影響測定結果

磁界曝露時間0時間、2時間、4時間、6時間、24時間において、W3110に対してMMC濃度0 µg/ml, 1 µg/ml, 2 µg/ml, 3 µg/mlで、交流磁界曝露の影響を評価した。MMCと50 mT交流磁界曝露の併用結果を図4に示す。横軸を磁界曝露時間(非磁界曝露では培養時間)、縦軸を対数表示で生菌数としている。MはMMCのみでの生菌数、MEはMMCと交流磁界曝露を併用したときの生菌数である。

MMC濃度0 µg/mlの結果からMMCを加えずに交流磁界曝露のみの影響を評価すると、生菌数は同じとなっており、交流磁界曝露のみでは増殖能力への影響はみられなかった。

反応2時間で比較すると、非磁界曝露に比べて磁界曝露の生菌数は1 µg/mlでは0.28倍、2 µg/mlでは0.17倍、3 µg/mlでは0.053倍となった。4時間においては、生菌数が1 µg/mlで0.13倍、2 µg/mlで0.023倍、3 µg/mlで0.0041倍、6時間では1 µg/mlで0.12倍、2 µg/mlで0.016倍、3 µg/mlで0.0044倍となっており、非常に大きな生菌数の減少がみられた。

各濃度間で比較すると、反応2時間においては、磁界曝露のMMC1 µg/mlの作用は非磁界曝露の2 µg/mlより強く、非曝露の3 µg/mlに近い作用を示し、また、磁界曝露のMMC2 µg/mlは非曝露の3 µg/mlより強い作用を示した。4時間と6時間では、磁界曝露のMMC1 µg/mlの作用は非磁界曝露の2 µg/mlより強く、磁界曝露の2 µg/mlは非曝露の3 µg/mlより強い作用が認められた。

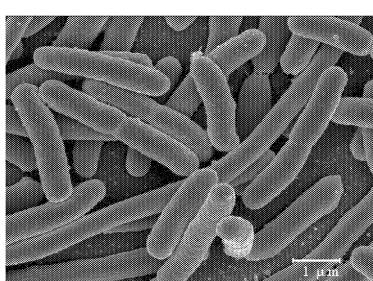


図2 大腸菌

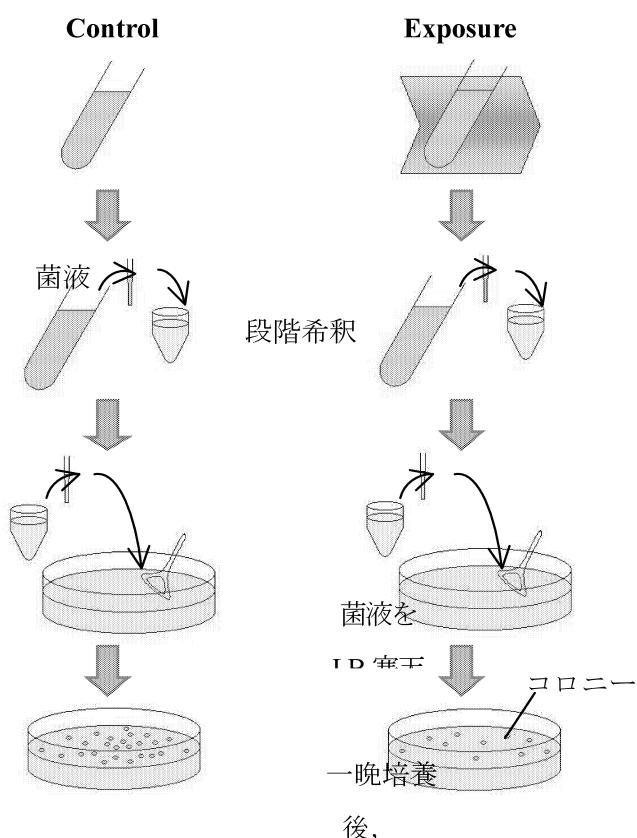


図3 コロニーアッセイ法の概略図

60 Hz 50 mT の交流磁界曝露を併用すると、6時間において各 MMC 濃度で作用が約 2.3 倍に大きく増強された。30 mT の交流磁界曝露を併用した場合は、各 MMC 濃度で約 1.8 倍、5 mT の交流磁界曝露を併用した場合は約 1.3 倍となり MMC 作用の増強が認められた。60 Hz 交流磁界曝露によって W3110 に対する MMC の作用が高まることがわかった。

3.2 大腸菌 W3110 に対する抗がん剤シスプラチニンの作用における 60 Hz, 50 mT の交流磁界曝露の影響測定結果

シスプラチニン濃度 0 $\mu\text{g}/\text{ml}$, 40 $\mu\text{g}/\text{ml}$ で、交流磁界曝露の影響を評価した。シスプラチニンと 50 mT 交流磁界曝露併用の結果を図 5 に示す。C はシスプラチニンのみでの生菌数、CE はシスプラチニンと交流磁界曝露を併用したときの生菌数である。反応 4 時間ににおいて非磁界曝露に比べて磁界曝露の生菌数が 0.25 倍となっており、6 時間ににおいては 0.16 倍となるという結果を得られた。

60 Hz 50 mT の交流磁界曝露によって W3110 に対するシスプラチニンの作用が高まることがわかった。

3.3 大腸菌 JE5595 recA1 に対する抗がん剤シスプラチニンの作用における 60 Hz, 50 mT の交流磁界曝露の影響測定結果

シスプラチニン濃度 0, 2.5, 5, 7.5 $\mu\text{g}/\text{ml}$ で、交流磁界曝露の影響を評価した。シスプラチニンと 50 mT 交流磁界曝露併用の結果を図 6 に示す。

反応 2 時間で比較すると、非磁界曝露に比べて磁界曝露の生菌数が 5 $\mu\text{g}/\text{ml}$ で 0.20 倍、7.5 $\mu\text{g}/\text{ml}$ で 0.18 倍となった。

4 時間ににおいては、

生菌数が 2.5 $\mu\text{g}/\text{ml}$ で 0.43 倍、5 $\mu\text{g}/\text{ml}$ で 0.10 倍、7.5 $\mu\text{g}/\text{ml}$ で 0.081 倍、6 時間では 2.5 $\mu\text{g}/\text{ml}$ で 0.22 倍、5 $\mu\text{g}/\text{ml}$ で 0.139 倍、7.5 $\mu\text{g}/\text{ml}$ で 0.22 倍となる減少が認められた。

各濃度間で比較すると、反応 4 時間と 6 時間ににおいて、磁界曝露のシスプラチニン 5 $\mu\text{g}/\text{ml}$ と非曝露の 7.5 $\mu\text{g}/\text{ml}$ で同程度のシスプラチニン作用を示した。

60 Hz 50 mT の交流磁界曝露を併用すると、6時間において各シスプラチニン濃度で作用が約 1.4 倍に増強された。30 mT の交流磁界曝露を併用した場合は、各シスプラチニン濃度で約 1.1 倍のシスプラチニン作用が認められた。60 Hz 交流磁界曝露によって JE5595 recA1 に対するシスプラチニンの作用が高まることがわかった。

4.まとめと今後の課題

大腸菌 W3110 または JE5595 recA1 に対する抗がん剤 MMC またはシスプラチニンの作用が、60 Hz の交流磁界の曝露により高まるか、またどの程度高まるかを評価する実験を行った。本研究で行った実験条件では、シスプラチニンの作用への交流磁界の影響より MMC の作用への交流磁界の影響の方が大きいことがわかった。しかし、大腸菌と抗がん剤のどの組み合わせでも、磁束密度が大きいほど交流磁界曝露の影響が強い、つまり磁束密度依存的に抗がん剤の作用が高まる結果が得られた。

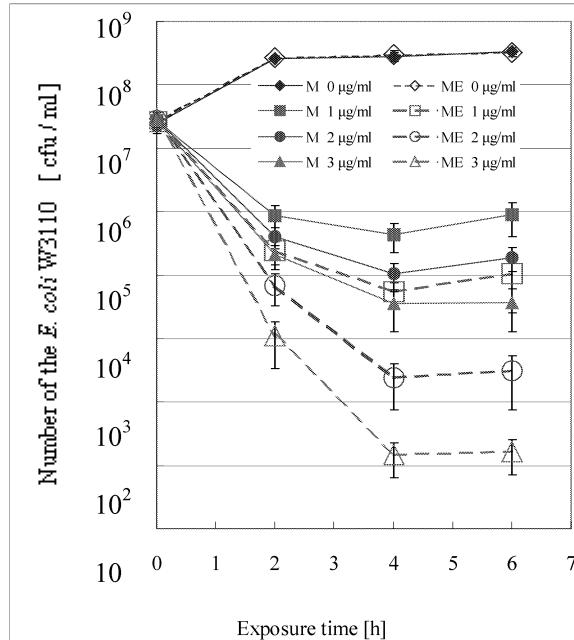


図 4 W3110 に対する MMC と
60 Hz, 50 mT 交流磁界曝露の併用効果
(M : MMC only, ME : MMC+MF)

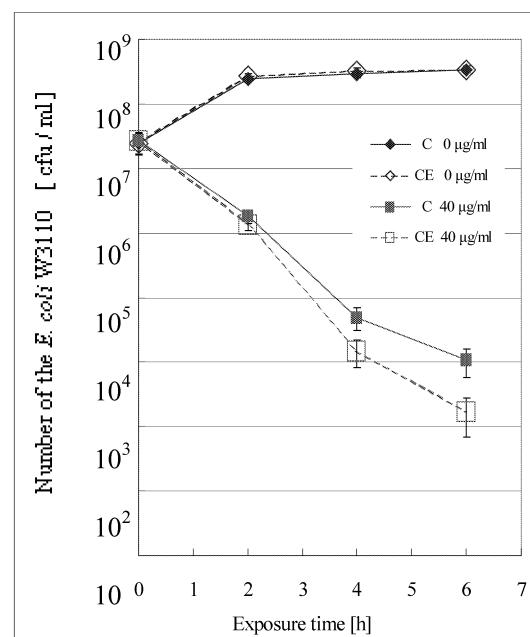


図 5 W3110 に対するシスプラチニンと
60 Hz, 50 mT 交流磁界曝露の併用効果
(C : Cisplatin only, CE : Cisplatin+MF)

また、磁束密度を一定にした場合、抗がん剤の濃度に依存せずにどの濃度でも一定の増強率で抗がん剤の作用が高まった。このことから、交流磁界曝露を併用することによって、より薄い濃度の抗がん剤でがん治療を行え、副作用を軽減できる可能性を示唆している。

現段階では、抗がん剤の作用に対してどのように交流磁界が影響しているのかはわかっていない。そこで、より磁界影響のある磁界条件下で、より詳細な分子レベルでの解析を進め、抗がん剤の作用における磁界影響のメカニズムを解明していく必要がある。また、本研究では大腸菌を用いて実験を行ったが、交流磁界曝露を実際のがん治療に応用するためにもヒト培養細胞を用いた実験を行う必要がある。

文 献

- [1] Yaguchi H., Yoshida M., Diing D-R., Shing K., Miyakoshi M: Int.Radiat Biol., 76, 1677-1684, (2000)
- [2] M.Kakikawa, R.Hosono, S.Hashimoto, M.Iwahara, S.Yamada, J. of MSJ, 28, 437-440 (2004).
- [3] 梅田; “常用医薬品の副作用”, 南江堂, 491, 5, U49 (1996)
- [4] 日本標準商品分類番号 874231 取扱い説明書 マイトマイシン C, 協和発酵工業株式会社.
- [5] 日本標準商品分類番号 874291 取扱い説明書 シスプラチン注, マルコ製薬株式会社

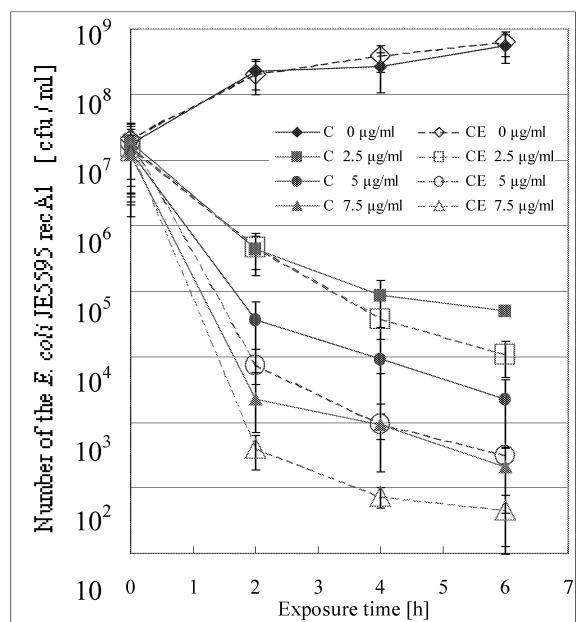


図 6 JE5595 recA1 に対するシスプラチンと
60 Hz, 50 mT 交流磁界曝露の併用効果
(C : Cisplatin only, CE : Cisplatin + MF)

マルチ磁気プローブを用いた非接触による 金属丸棒の偏芯および形状歪みの測定

環日本海域環境研究センター センター 生体機能計測研究部門

山田外史, 有馬浩史, 柿川真紀子

S. Yamada, H. Arima, M. Kakikawa

Non-Contact Measurement of Axis Eccentric and Distortion of Round Rod
using Multi Magnetic Sensor Probe

1. はじめに

本研究の目的は、うず電流探傷法を応用して巨大磁気抵抗効果(GMR)素子を用いることにより実際に産業に使用できる方法を考案し偏芯と欠陥を検出することである。溶接などの加工において対象物が高温になる場合、非接触により金属棒の位置をセンサ等により測定することで位置決めができるようになれば、加工精度の向上、自動化が容易というメリットがある。また、非破壊検査においては丸棒や管がプローブの中心にあることにより、高い検出精度を実現することができる^[1]。

製造工程や保守点検において金属棒や金属管の欠陥である形状の歪みを検出することにより信頼性の向上が望める。偏芯や形状の歪みの測定を光学式やうず電流式などのギャップセンサでは通常は測定対象が平面であるため、径の小さな丸棒のように測定対象が曲面のものや必ずしも滑らかではない表面の距離の測定が困難である。

近年、超小形なGMR素子の作製が可能になることに伴い、高空間分解能で高感度のマルチ磁気センサが可能になった。本研究は、金属丸棒の位置の変化である偏芯と金属丸棒の形状歪みを環状にセンサを設置したマルチ磁気プローブを用いることにより高リフトオフ高さで測定法について提案し、その結果の評価検討を行った。

2. 金属棒の偏芯および形状歪みの測定法

2.1 マルチセンサプローブの構成^[2-3]

測定用のプローブの基本構成は励磁コイルとうず電流により生じる磁束を検出する磁気センサである。本研究では試験対象の直径が16 mmの金属棒として、図1に示すように貫通型の励磁コイルと感度方向を周方向とした磁気センサの36番センサを基準として10°間隔で1番から36番まで36個環状に配置することにより金属丸棒の検査を目的としたマルチ磁気

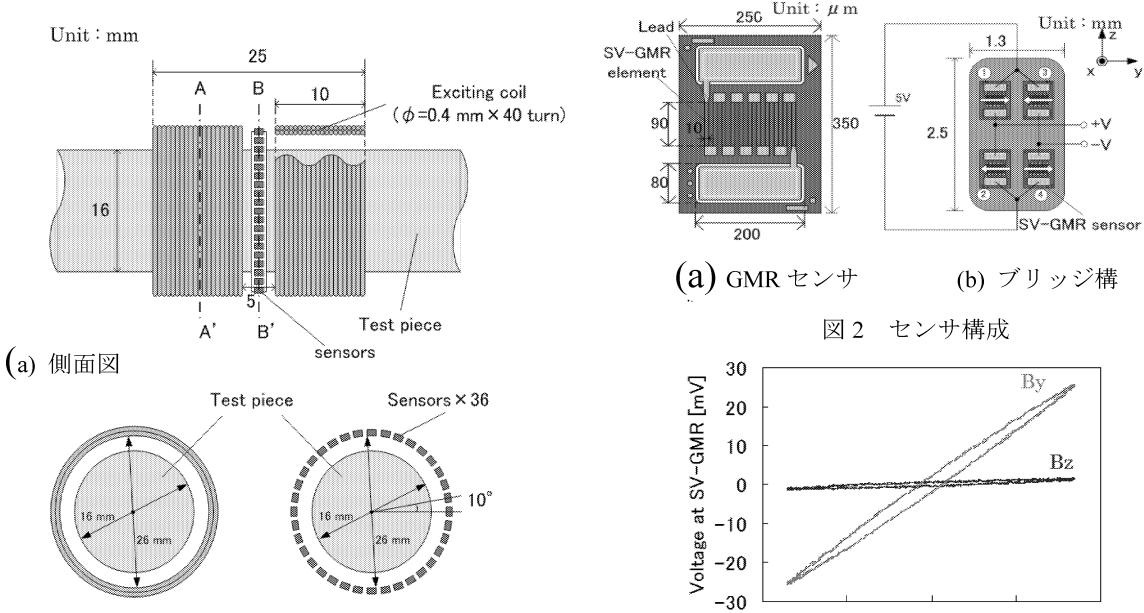


図1 プローブの構成

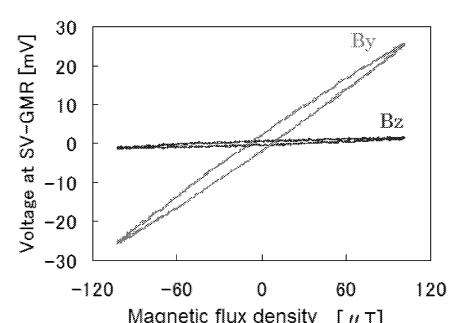


図3 センサ特性と指向性

プローブとした。励磁部には試験対象貫通型のコイルを用い図1(b)に示すように、試験対象である金属棒の直径が16 mmであるのに対して、励磁コイルの直径を26 mmとした。励磁コイルの電流の向きは磁束が2個の励磁コイルの間を通り互いに反対の位相になるようにした。

本研究では指向性特性のあるGMRセンサを磁気センサとして使用した。図2(a)に示したようなGMRセンサを図2(b)に示したように4個のGMRセンサを高感度方向が互い違いになるようにブリッジ構成して1個のセンサとすることにより感度が高くなり、熱雑音などに強くなる。図3に示すようにブリッジ構成により得られたセンサの感度特性はy方向1方向だけに大きな感度を示しておりその感度は230 $\mu\text{V}/\mu\text{T}$ で、z方向には10 $\mu\text{V}/\mu\text{T}$ 、x方向にはほとんど感度を示さない。

2.2 磁束の分布^[2,3]

励磁コイルからの磁束とそれを打ち消す方向に発生するうず電流による磁束の分布を別々に考えると、センサ位置において励磁コイルからの磁束ベクトルは常にプローブの半径方向であり、高感度方向が周方向であるセンサでは磁束を検出することはない。しかし、うず電流からの磁束は金属棒の位置や形状によって分布が変わる。うず電流からの磁束は図4に示すように金属棒の軸を中心として放射状に表面から垂直に発生し、歪みのない金属丸棒がプローブの中心にあるときうず電流からの磁束は励磁コイルからの磁束と同様にセンサで検出することはできない。金属棒がプローブの中心から離れて偏芯したり、金属棒の形状が歪んだりするとセンサの位置では半径方向だけではなく、周方向成分のベクトルを含んだ磁束が存在し、この周方向成分の磁束の測定をおこなう。図5に偏芯がある場合、金属丸棒が楕円状に歪んだ場合のセンサプローブ近傍の磁束密度ベクトルの状況を示す。

このように互いの場合でもセンサ番号 n では感度方向成分を含む磁束ベクトルが存在する。偏芯の時は定数 k 、偏芯の大きさ d 、プローブの半径 r_2 、偏芯の方向 θ_0 を用いて式(1)、楕円状への形状歪みの時は定数 k 、楕円の長軸を $2a$ 、短軸を $2b$ 、長軸の方向を θ_0 で表すと式(2)のように表すことができる。

$$V_n = k \left(\frac{d}{r_2} \sin(\theta_n - \theta_0) + \frac{3}{4} \left(\frac{d}{r_2} \right)^2 \sin 2(\theta_n - \theta_0) \right) \quad (1)$$

$$V_n = k \frac{a - b}{2a} \sin 2(\theta_n - \theta_0) \quad (2)$$

3. 偏芯および形状歪みの測定結果

3.1 偏芯の測定結果

測定には、偏芯の大きさを0.1 mmずつ変化させ金属棒が中心にある時を偏芯量0 mmとして中心から2.0 mm偏芯したところまで、偏芯方向はセンサ番号36番の方向を 0° として、 30° 偏芯方向を変え同じ偏芯量で12方向の測定を行った。偏芯量 d が1.0 mmの時の測定結果を図6に示す。横軸には 10° 間隔で環状に並べられたセンサ番号、縦軸にはそれにより得られた出力結果とした。測定結果は最小二乗法を用いることにより近似し式(1)と同等の関数で表した。これより偏芯により得られた信号はプローブ1周の空間を周期Tとすると、周期TとT/2の成分で表せることが分かる。

図7(a)に偏芯の大きさを変えて測定を行った結果を示す。この結果より、明らかに偏芯量を大きくすると振幅量も大きくなっている。式(1)より周期Tの信号の振幅と偏芯の大きさは比例関係にあり、図7(b)に示した偏芯量と振幅の結果より実験結果からも比例関係にあることが分かる。また、その関係は235 mV/mmで、誤差範囲6%以下で偏芯の大きさ測定することができる。また、偏芯方向は式(1)の θ_0 により求めることができる。これは実験結果ではセンサの出力が0 Vとなる方向である。実験ではセンサの出力が正の傾きで0 Vとなる方向に偏芯している。

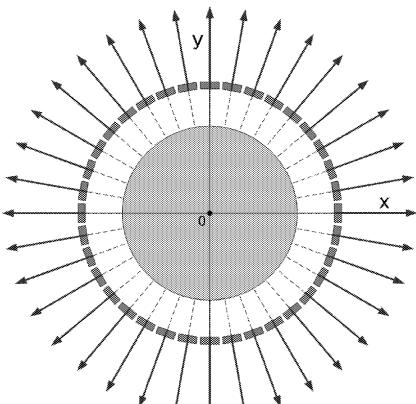
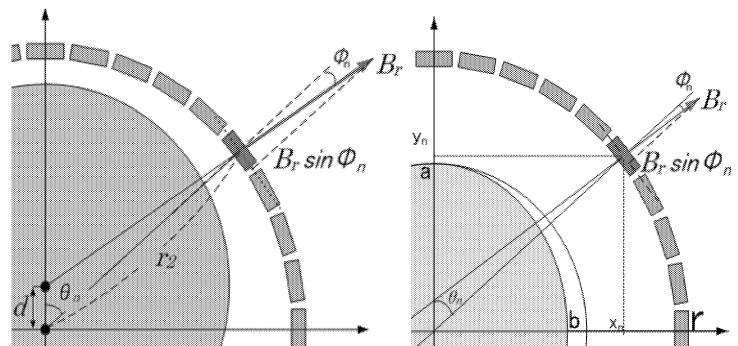


図4 うず電流影響下による磁界分布



a) 偏芯の場合
b) 形状歪(楕円)の場合
図5 センサ上の磁束密度ベクトル

図8に偏芯量を0.6 mmで統一し偏芯方向をそれぞれおよそ 90° 変えた測定結果を示す。これらは、それぞれ出力電圧が0 Vとなる点つまり θ_0 を求めるときそれぞれ36番センサの方向を基準の 0° として $32, 118, 207, 292^\circ$ の方向に偏芯していることが確認できる。

3.2 形状歪みの測定^[4]

形状の歪みは比較的解析が容易である楕円状に歪んだものを用いた。測定には表1に表したように楕円の長軸の長さ $2a$ を16 mmで統一し、短軸の長さを $2b$ を0.25 mmずつ変化させた番号①～④の4種類の楕円棒を用いてそれぞれ楕円の長軸の向きを 30° 変えて測定を行った。①の楕円棒を用いて測定をした結果を図9に示す。測定の結果は偏芯の時と同様に最小二乗法により近似式(2)と同等の関数で表した。これにより周期T/2の信号で出力結果を表すことができるが分かる。

図10(a)に歪みの大きさ $2a-2b$ が違うものの測定結果を示す。これより形状歪みの大きさが大きくなると振幅も大きくなることが確認できる。また、実験結果による振幅の大きさと金属棒の形状歪みの大きさの関係を図10(b)に示す。これより実験結果でも振幅と形状歪みの大きさ $2a-2b$ は式(2)と同様に比例関係にあることが確認でき、その関係は45 mV/mmである。

偏芯の測定と同様に式(2)の θ_0 を求めることにより楕円の長軸の方向が分かる。測定結果の信号は周期T/2のため出力電圧が0 Vとなる点は4ヶ所ある。この測定では互いに 180° 違い正の傾きで出力電圧が0 Vとなる向きが長軸の方向で負の傾きで出力電圧が0 Vとなる方向が短軸の方向ある。図11にそれぞれ 60° 長軸の向きを変えて測定した結果を示す。これらは出力電圧が0 Vとなる点より長軸が $30-210^\circ, 90-270^\circ, 150-330^\circ$ の方向にあることが確認できる。

3.3 偏芯がある楕円棒の測定

前節で示したように金属棒の形状が歪んでいる時には測定することができたが、これは金属棒がプローブの中心にある時である。しかし、金属棒が中心からずれると金属棒の歪みを測定することはできない。そこで、形状歪みの信号と偏芯の信号をわける必要がある。微小に楕円棒が偏芯した時出力信号

表1 楕円棒試験試料

材料番号	長軸 2a[mm]	短軸 2b[mm]
①	16	15
②	16	15.25
③	16	15.5
④	16	15.75

は周期T、T/2で表すことができる。周期Tの信号は偏芯によるものでT/2のものには偏芯と楕円によるもの両方が含まれている、式(1)より偏芯の周期T/2成分は周期T成分との比により求めることができます。そこで、偏芯した楕円棒から偏芯の信号を引くことにより楕円棒による信号を取り出すことができる。

図12に①番の楕円棒を用いて偏芯した楕円棒の測定結果を示す。

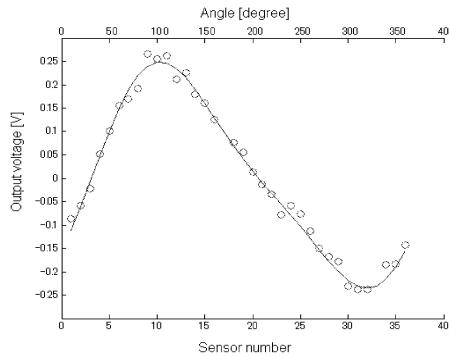


図6 偏芯量1.0 mmにおける測定結果

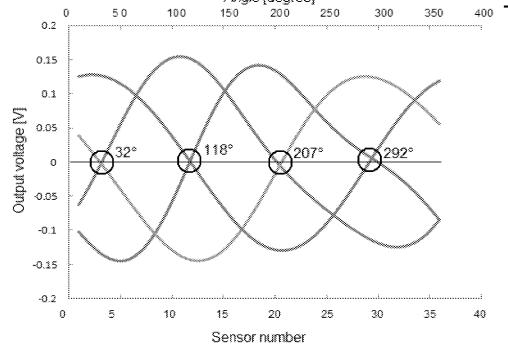
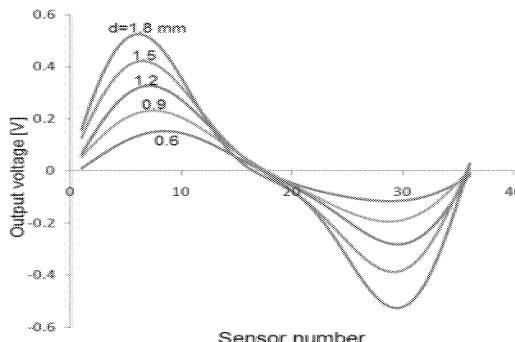
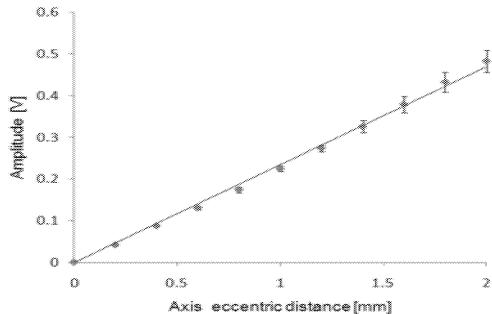


図8 偏芯の方向を変えた測定結果



(a) 偏芯の大きさに対する結果



(b) 偏芯と振幅(基本波)の関係

図7 偏芯の大きさを変えた比較

偏芯した楕円棒の信号から偏芯の信号を取り除くことにより棒の信号を表すことが確認できる。また、楕円の信号の振幅48 mVと測定結果とかなり近い値を得る。

4.まとめ

本研究では環状に配置されたマルチ磁気プローブを用いて金属棒の偏芯および形状歪みの測定を行った。

偏芯の測定では周期Tの振幅を見ることにより偏芯の大きさを測定することができる。その関係は235 mV/mmで誤差範囲6%以下で測定することができた。

形状の歪みは解析の容易な楕円状に歪んだものを測定した。歪みの大きさは周期T/2の振幅と比例関係にあり、その関係は45 mV/mmとなった。また、偏芯のある楕円棒では偏芯の信号を取り除くことにより楕円棒の信号を取り出すことができた。

今後の課題として、本研究では形状歪みは楕円状に歪んだものののみの測定を行ったが、他の形状の歪んだのものや金属の管に対しても測定検討しなくてはならない。

文献

- [6] C.Cordier: Accurate Steel Tube Axis Alignment in Nondestructive Evaluation Probe, *IEEE Transactions on Magnetics*, 44, 2008.
- [2] 有馬, 山田, 岩原 : マルチGMRプローブによる金属丸棒の軸偏芯の検査法, 電気学会マグネティックス研究会, MAG-08-66, 2008.
- [3] H.Arima,S.Yamada,M.Iwahara: Measurement of Axis Eccentric of Round Rod by Multi Giant Magnetoresistance Probe , *Proceedings of 2nd Asia- Pacific Symposium on Applied Electromagnetics and Mechanics 2008*, Bangkok, Thailand, pp.135-138, 2008.
- [4] 有馬, 山田, 岩原 : マルチGMRプローブを用いた金属棒の形状歪みの測定, 平成21年電気学会全国大会, 2009.

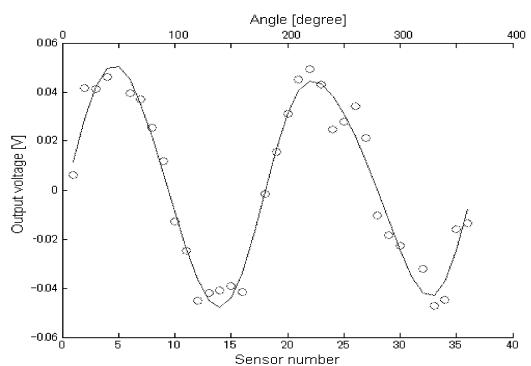
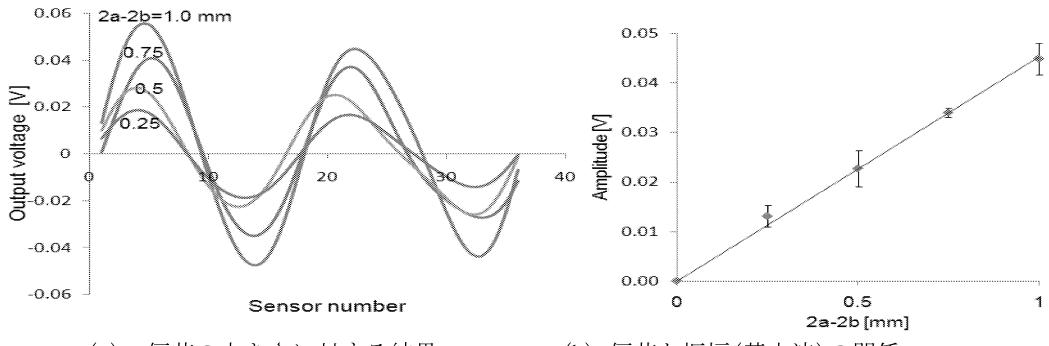


図9 偏芯量1.0 mmにおける測定結果



(a) 偏芯の大きさに対する結果

(b) 偏芯と振幅(基本波)の関係

図10 偏芯の大きさを変えた比較

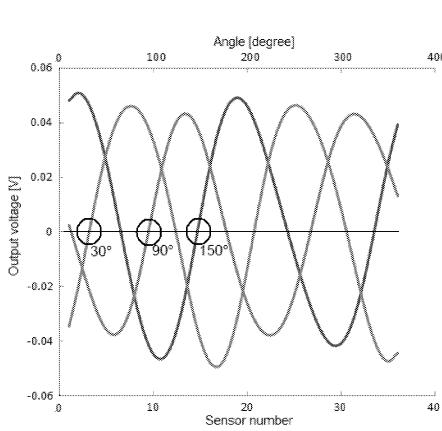


図11 偏芯の方向を変えた測定結果

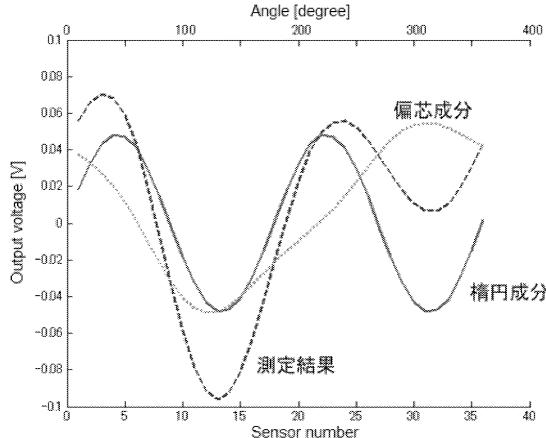


図12 偏芯のある楕円棒の測定結果

電気的筋収縮制御を利用した骨の力学刺激法に関する研究

—骨形成効果を増大させる電気刺激波形の検討—

近藤香菜子¹, 菊池俊介², 田中茂雄³

¹金沢大学大学院自然科学研究科

²金沢大学工学部人間・機械工学科

³金沢大学環日本海城環境研究センター生体機能計測研究部門

Kanako Kondo, Shunsuke Kikuchi, Shigeo M. Tanaka

Mechanical stimulation of bone by electrically-controlled muscle contraction

- A study on stimulation pattern to enhance the osteogenic effect -

1. 背景と目的

日常的な骨への力学刺激により骨量が維持されるが、無重力下においては骨への力学刺激が喪失し、骨量の減少が起こることが知られている。一方、骨量減少は加齢でも起こる。加齢とともに進行する骨粗鬆症は容易に骨折する原因となるため、超高齢化社会を迎えた我が国で大きな社会問題となっている。骨量減少の抑制には運動による力学刺激が有効である。しかし、身体活動が著しく制限される宇宙滞在者や骨折の危険性の高い骨粗鬆症患者に対しては適用が困難である。そこで本研究では、運動の代替な力学刺激法として電気的筋収縮を利用した骨刺激法に着目した。過去の研究¹⁻²⁾により同方法の骨形成促進効果が報告されているが、より効率的に効果を引き出す刺激パターンについては十分検討されていない。

同方法において骨形成効果を向上させるには、筋へ与える電気刺激の周波数を高めることで刺激回数を増やすことが有効と考えられ、これにより骨への積算刺激量を増加させることができる。ところが、高い周波数での刺激では筋疲労による筋収縮力の減衰がより急速に起こるため積算刺激量の減少が起こる。そして筋収縮力の回復には休息時間の導入が必要となり、これにより刺激回数は減少する。すなわち、検討すべき力学刺激量としては、電気刺激により生じる筋収縮力の大きさ、刺激回数、および筋収縮力の積算量が上げられるが、それぞれは筋疲労との関係から刺激周波数と休息時間の影響を受ける。現在のところ、いずれの力学刺激量が骨形成促進効果と関連するかは不明である。

そこで本研究では、骨形成促進効果の高い電気的筋刺激パターンを検討するために、ラットを用いて、(1) さまざま刺激周波数および休息時間の組み合わせの刺激における力学刺激量を調べこと、および、(2) 準定量的逆転写酵素-ポリメラーゼ連鎖反応法 (Reverse Transcriptase-Polymerase Chain Reaction : 以下、RT-PCR 法) により骨関連タンパクの遺伝子発現を見ることでどの組み合わせがより刺激的であるかを調べることを目的とした。

2. 力学刺激量の評価

2. 1 筋収縮力の計測

SD ラット (12 週齢、雌、n = 15) の左足大腿四頭筋に電気刺激を与え、その時発生する筋収縮力を張力トランスデューサにより計測した。ネンブタール麻酔下において皮膚を切開した後、針電極 (長さ 13 mm, テルモ, 26G 針) を大腿四頭筋の筋纖維方向に平行となるように、外側から約 10 mm 間隔で刺入した。さらに膝蓋腱を切断し、膝蓋腱の大脚四頭筋側切断端と張力トランスデューサのカンチ

レバー自由端を縫合用ナイロン糸（約 ϕ 0.2 mm, Alfresa, HT1604NA75）で繋いだ（図 1）。これにより、電気刺激時に発生する大腿骨四頭筋の等尺性筋収縮力がナイロン糸を介してカンチレバーへ伝えられる（図 2）。筋収縮力によるカンチレバーの曲げをカンチレバー両面に貼り付けたひずみゲージにより検出し、検出信号を予め求めた較正直線により張力値に変換することで筋収縮力を決定した。

2. 2 電気刺激波形

電気刺激は、持続時間 $552 \mu\text{s}$ 、デューティー比 50% のパルスが 45 個連なった約 50 ms のパルス列波形で与えられる。一つの電気パルス列により筋収縮が 1 回生じ、パルス列を繰り返し与えることで連續した筋収縮が起こる。本研究では、1 秒当たりの筋収縮回数が 2 回（刺激周波数：2 Hz）、5 回（5 Hz）、10 回（10 Hz）、または 20 回（20 Hz）となるよう電気パルス列同士の間隔を調整した。さらに、電気刺激を連續的に与えた場合（no-rest）と間欠的に休息時間を挿入した場合を比較した。休息時間を含む刺激では、10 秒間の刺激の後に 10 秒間の休息時間が続くもの（10s-rest）と 20 秒間の休息時間が続くもの（20s-rest）の二通りを用意した。すなわち、刺激周波数と休息時間の組み合わせは計 12 種類となる。なお、パルスのピーク電流値は $\pm 2 \text{ mA}$ とし、休息時間を含む全刺激時間は 30 分とした。

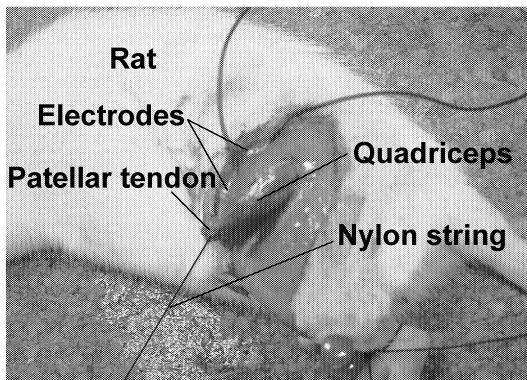


Fig.1 Electrical stimulation to the rat quadriceps using needle electrodes. A patellar tendon, which was cut off from the patella, is connected to the cantilever of force transducer with a nylon string.

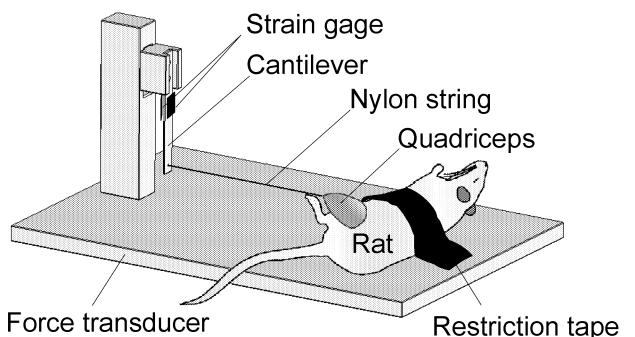


Fig.2 Measurement of electrically-induced muscle contraction force by the force transducer with a

2. 3 力学刺激パラメタ

電気刺激による筋収縮の時間波形データを解析し、各収縮における収縮力の peak-to-peak 値を求めた。さらに、ラットの個体差や電極設置誤差に起因するばらつきの影響を除去するために、各筋収縮力 peak-to-peak 値を最初の収縮力 peak 値により正規化した。この正規化した筋収縮力 peak-to-peak 値を用いて 1 分毎の平均値（以下、平均筋収縮力 AveCF）を以下のように求めた。

$$\text{AveCF} = \sum_{i \rightarrow 1 \text{ min}} (\text{PtP}_i / P_1) / N_{\text{for } 1 \text{ min}} \quad (1)$$

ここで、 PtP_i は i 番目の筋収縮の収縮力 peak-to-peak 値である。また P_1 は最初の筋収縮の収縮力 peak 値を示し、 $\text{PtP}_1 = P_1$ とした。 $N_{\text{for } 1 \text{ min}}$ は 1 分間の筋収縮回数である。以上のデータより、力学刺激量と

して、①平均筋収縮力の刺激終了 1 分前における減少率、②刺激周波数より計算される刺激回数、および③30 分間の積算筋収縮力（以下、積算筋収縮力 AccCF）を求めた。なお、③は次式のように表される。

$$AccCF = \sum_{i \rightarrow 30 \text{ min}} (PtP_i / P_1) \quad (2)$$

2. 4 結果および考察

表 1 に全ての組み合わせの刺激パターンにおける力学刺激量を示す。平均筋収縮力は、刺激周波数が低い方がより高い値を刺激時間全般にわたり維持しており、この傾向は 20s-rest において顕著であった。一方、10s-rest による顕著な回復効果は見られなかった。以上の結果は、刺激周波数が高いほど筋疲労の蓄積が早く、休息時間を長いほど疲労の回復が大きいことを示している。なお、刺激終了 1 分前における平均筋収縮力は、刺激周波数 2 Hz で 20s-rest の場合が最大となった。積算筋収縮力は、休息時間がない場合の方がある場合よりも大きくなり、刺激周波数 10 Hz で no-rest の組み合わせで最大値が観察された。なお刺激回数は、刺激周波数が最も高く休息時間がない 20 Hz と no-rest の組み合わせで最大となる。

Table 1 Comparison of the mechanical stimulation parameters among all groups.

		積算筋収縮力	収縮回数 (×1000)	PtP減少率 (%)
2Hz	no_rest	1800.0	3.6	55.8
	10s_rest	1060.8	2.4	48.4
	20s_rest	1037.4	1.2	10.6
5Hz	no_rest	2668.9	9	73.3
	10s_rest	1386.3	6	75.0
	20s_rest	1924.7	3	51.1
10Hz	no_rest	3205.0	18	84.5
	10s_rest	1179.6	12	89.6
	20s_rest	1847.4	6	76.0
20Hz	no_rest	759.2	36	96.0
	10s_rest	693.9	24	96.5
	20s_rest	1394.0	12	89.3

3. 骨形成促進効果の評価

各力学刺激量が最大となる組み合わせ、すなわち、①2 Hz, 20s-rest, ②10 Hz, no-rest, ③20 Hz, no-rest、および④一般的な刺激パターンである 2 Hz, no-rest の 4 つの刺激パターンにおいて刺激の骨形成促進効果を RT-PCR 法により評価した。

3. 1 RT-PCR 法による遺伝子解析

SD ラット（8 週齢、雌）の左足大腿四頭筋へ 2. 1 節と同様の方法で刺激を与えた。刺激終了 3 時間後に両足大腿骨を摘出した。液体窒素により摘出大腿骨を凍結し、ハンマーで粉碎した後、粉碎

骨から RNA を抽出した。なお、RNA の抽出には市販のキット (QIAGEN, RNeasy Mini Kit, 74104) を用いた。得られた RNA サンプルと RT-PCR 反応液(TaKaRa, mRNA Selective PCR Kit Ver.1.1, RR025A) を調合し、サーマルサイクラー (アステック, PC 320) を用いて 27~30 サイクルの RT-PCR 反応を実施した。反応終了後、PCR 生成物を EtBr を含むアガロースゲル中で泳動させた。泳動後、バンドを紫外線ライトボックス上で発光させ、デジタルカメラで撮影した。撮影されたバンドの平均輝度値から mRNA 発現量を評価した。なお、本研究では代表的な骨形成タンパクであるオステオカルシンを目的遺伝子とした。

3. 2 結果および考察

図6は、各刺激パターンにおけるオステオカルシンmRNA の発現量を示したものである。なお、発現量は、刺激を与えていない右大腿骨での値に対する相対値として示した。同図より、20Hz と no_rest の組み合わせの刺激パターンが最も高い発現量を示していることがわかる。すなわち、同刺激パターンが本研究で取り上げた刺激パターンの中で最も骨形成促進効果が高いと推察される。この結果は、より高い周波数での力学的負荷が骨形成をより促進するという従来の報告³⁾と一致している。しかしながら、各刺激パターン間の差は有意ではなく、今後、本結果を検証するためのさらなる調査が必要である。

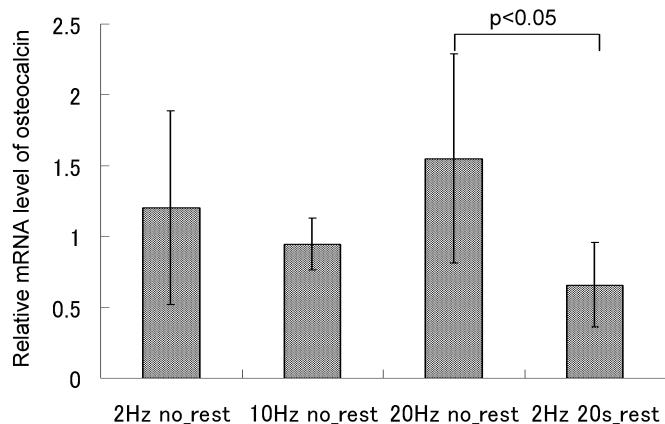


Fig.6 Compression of the relative mRNA level of osteocalcin. Data represent the average \pm SD in 5-6 time-repetitive analysis for one sample.

4.まとめ

本研究では、電気的筋刺激による骨形成促進効果を高める刺激パターンを検討するために、さまざまな刺激パターンでラット大腿四頭筋へ電気刺激実験を行い、大腿骨での骨形成反応を RT-PCR 法により調べた。その結果、周波数 20 Hz の刺激を休息なしに与えるパターンが効果的であることがわかった。

参考文献

- 1) Burr, DB, et al., Clin. Orthop. Relat. Res., Vol. 189, pp. 264-278, 1984
- 2) 近藤ら,日本臨床バイオメカニクス学会誌, Vol. 29, pp. 199-204, 2008
- 3) Rubin C et al., Faseb J., Vol. 5, pp. 225-9, 200

ひずみ誘導型液体流動刺激による培養再生骨の石灰化促進

垣尾雅文¹, 田中茂雄²

¹金沢大学大学院自然科学研究科

²金沢大学環日本海城環境研究センター生体機能計測研究部門

Masafumi Kakio, Shigeo M. Tanaka

Promotion of in vitro osteogenesis of tissue-engineered bone by strain-induced fluid flow

1. 緒言

従来、骨欠損部の補填や人工関節置換術に使用される人工骨には、セラミックスや金属などが用いられている。しかし、これらの人工骨は移植後も長期にわたり体内に残留し、人工股関節の場合は金属性システムと大腿骨の機械的特性の違いに起因するゆるみ・摩耗を生じるなど生体適合性や力学的適合性の点で問題を抱えている。これらの諸問題を克服すべく組織再生技術を骨へ応用した再生骨の確立が試みられている。再生骨は患者の自家骨芽細胞を医用生体材料からなる足場材料に播種して作製され、生体骨に近い移植材として期待されるが、いまだ実用段階には至っていない。一方、力学的刺激は骨形成促進効果があることから、培養下の再生骨の石灰化度を促進する方法として有効であると考えられる。我々は、再生骨の石灰化を促進させるための刺激として生体骨内で生じる力学刺激形態であるひずみ誘導型液体流動に着目した。同刺激はひずみ単体よりも骨芽細胞を刺激することが報告されている⁽¹⁾。しかし、同刺激による再生骨の石灰化反応を観察した例はない。

そこで本研究では、ピエゾアクチュエータを用いた刺激装置によりラット初代培養骨芽細胞とコラーゲンスponジ担体からなる再生骨に対してひずみ誘導型液体流動を負荷し、同刺激により促進される石灰化の様子を観察した。

2. 実験方法

2. 1 力学的刺激

ラット (Sprague-Dawley, 雌, 10 週齢) 6 匹の左右大腿骨・脛骨より採取した間葉系幹細胞を osteogenic medium⁽²⁾ 内で培養することで骨芽細胞を得た。得られた骨芽細胞を 0.9×10^6 個ずつ I 型コラーゲンスponジ担体 (Zimmer Dental, L 20 mm × W 16 mm × t 2 mm, 孔径：約 100 μm) に播種したものを作成した。力学刺激システムはピエゾアクチュエータ、渦電流型非接触変位センサ、および制御用コンピュータ (PC) で構成されており、変位センサの信号を利用してピエゾアクチュエータの変位がフィードバック制御される⁽³⁾。ピエゾアクチュエータによりコラーゲンスponジに繰り返しの負荷を与えることでスponジ内にひずみが生じ、これにより培養液の繰り返し流動が起こる (図 1)。本実験ではスponジに対し 0.2% の最大圧縮変形を周波数 0.8 Hz で正弦波状に与えた。刺激は、1 日 1 回 3 分間で、これを播種後 35 日目まで毎日与えた。なお、刺激培養群 (刺激群) と静置培養対照群 (コントロール群) のサンプル数は、ともに 4 個とした。

2. 2 石灰化モニタリング

培養再生骨の石灰化状態は、近赤外光を利用した再生骨の非破壊的石灰化モニタリングシステム^(4, 5)を用いて観察した。本システムでは、再生骨が置かれた培養チャンバ直下に四つの近赤外光 LED (波長 850 nm) と一つのフォトダイオード (PD) が並置されている (図 2 a)。LED の照射光強度 (I_0) を増加させた際の再生骨からの反射・散乱光強度 (I) の変化を PD で検出することで $I_0 - I$ 曲線を得

る(図2b). この I_0-I 曲線の傾きから再生骨の石灰化度を評価する. LEDの照射光強度はPCにより電流制御され, PDで検出した反射・散乱光強度信号はアンプによる増幅後, PCへ転送される. LEDの発光制御とPDの検出信号の取得は, Visual Basicで記述したプログラムによって16 bitの分解能を持つAD/DAインターフェースボードを操作することで行った. なお, 石灰化度計測は毎日1回行った. 本研究では, I_0-I 曲線の傾きと再生骨の石灰化度の関係を以下のように調べ, 両者の関係式を本システムの較正曲線として用いた. 2.1と同様の方法により22個の再生骨を作製し, それに対し最長35日間の培養を行った. 培養1, 4, 7, 14, 21, 28, および35日目において本システムにより I_0-I 曲線の傾きを求めた後, 分光光度計(HITACHI, U-1900)と血液検査用カルシウムキット(Wako, カルシウムE-テストワコー)を用いた比色定量法(MXB法)によりCaの担体体積当たりの含有量(以下, Ca含有率, mg/cm³)を求めた. なお, 培養期間の経過に伴う再生骨の収縮を考慮するために, 再生骨の体積は正面と側面の接写像から求めた. I_0-I 曲線の傾きとCa含有率の関係は次式で表すことができた($r^2 = 0.892$, 図3).

$$\text{Slope} = 0.111 \times \ln (\text{CC}) + 0.124 \quad \dots \quad (1)$$

ここで, Slopeは I_0-I 曲線の傾きで, CCはCa含有率である.

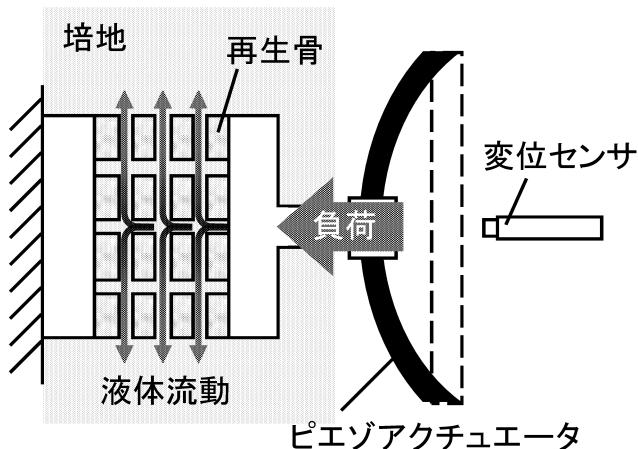


図1 再生骨へのひずみ誘導型液体流動の負荷

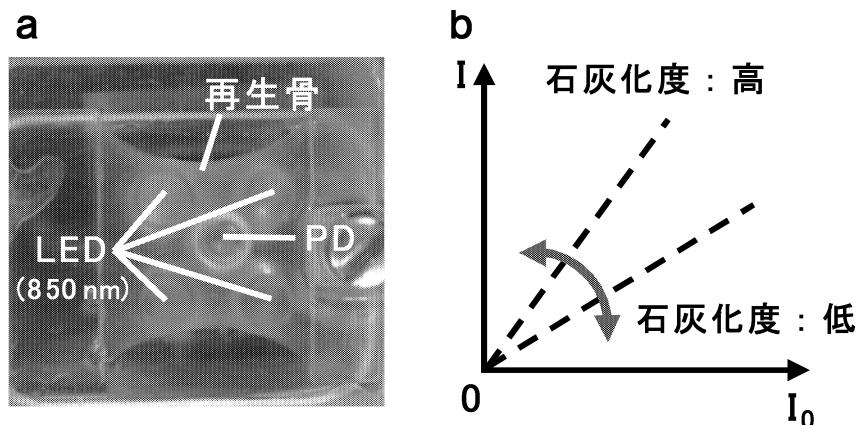


図2 近赤外光を用いた石灰化モニタリングシステム. (a) LEDとPDの配置, (b) I_0-I 曲線

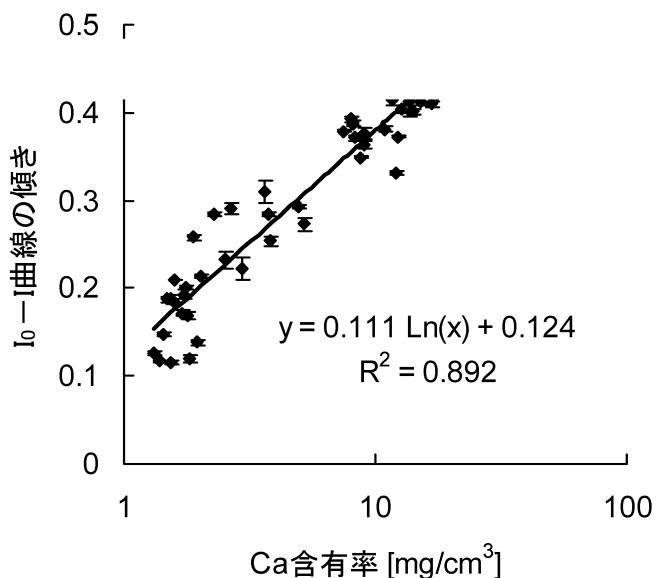


図3 再生骨のCa含有率と $I_0 - I$ 曲線の傾きの関係

3. 実験結果

図4は、非破壊的石灰化モニタリングシステムにより計測した再生骨のCa含有率の培養期間に伴う変化である。両群ともに培養期間が長くなるに従ってCa含有率が増加するものの、培養7日目以降において刺激群の方がコントロール群に比べてより大きく増加することが確認できた。刺激群では培養12日目以降はほぼ全ての計測日において培養1日目とくらべ有意に増加していた。一方、コントロール群では培養35日目のみで有意なCa含有率の増加が見られた。両群のCa含有率の違いは、培養35日の時点では約2.5倍（刺激群：3.74 mg/cm³、コントロール群：1.50 mg/cm³）となった。

図5は、培養10、20、および30日目の再生骨の表面上の形態を撮影した接写像である。両群ともに培養期間が長くなるに従い石灰化領域と思われる白濁した領域が増大した。刺激群では、培養10日目において既にこの白濁領域が見られ、その後の培養20日目、30日目において同領域の面積と濃さが増大する様子が確認できた。一方、コントロール群では白濁領域の増大は遅く、培養30日目のみにおいて再生骨縁部で同領域が確認できた。

4. 考察

以上の結果は、ひずみ誘導型液体流動による力学刺激が再生骨の石灰化促進に有効であることを示唆している。今後、同刺激による石灰化促進メカニズムの解明を進めるとともに、刺激群の再生骨で見られた石灰化の不均一性について検討する必要がある。しかしながら、培養中に細胞の引張力によりコラーゲンスponジ担体の収縮が起こるため、液体流動と石灰化の関係を調べることは容易ではないと思われる。また、移植材として利用可能な程度に高石灰化した再生骨を得るために、より効果的に石灰化を促進する刺激パターンの探索が必要である。

5. 結言

本研究では、ピエゾアクチュエータを用いた力学刺激装置によりラット初代培養骨芽細胞とI型コラーゲンスponジ担体からなる再生骨に対してひずみ誘導型液体流動を負荷し、同刺激による石灰化

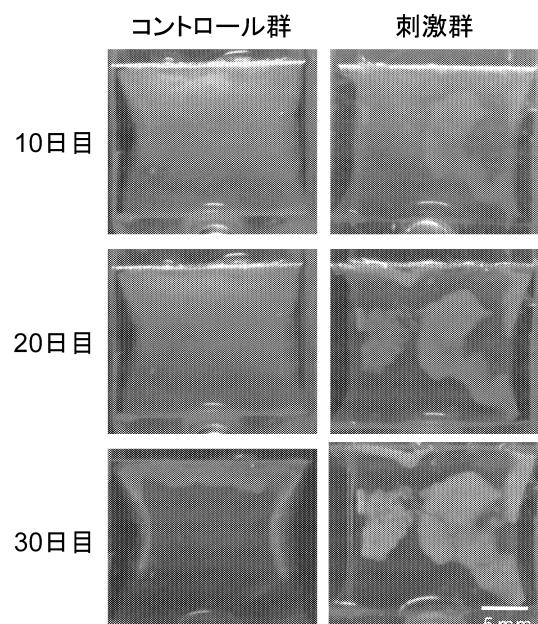
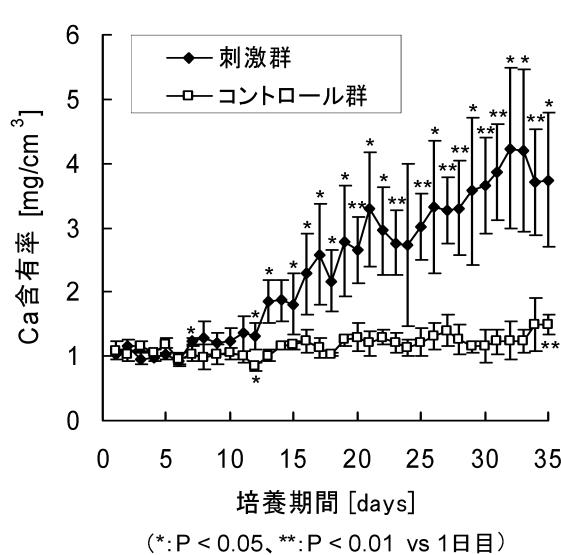
促進効果を確認した。

6. 謝辞

本研究の一部は、文部科学省科学研究費補助金、基盤研究(C)(課題番号:20560070)の支援により行われた。

参考文献

- (1) Tanaka, S.M., et al., Calcified Tissue International, Vol. 76, No. 4, pp. 261-271, 2005
- (2) Maniatopoulos, C., et al., Cell and Tissue Research, Vol. 254, pp. 317-330, 1988
- (3) Tanaka, S.M., et al., Journal of Biomechanics, Vol. 36, No. 1, pp. 73-80, 2003
- (4) 垣尾雅文, その他, 日本臨床バイオメカニクス学会誌, Vol. 29, pp. 187-192, 2008
- (5) Tanaka, S.M., et al., Journal of Biomechanical Science and Engineering, Vol. 3, No. 3, pp. 332-342, 2008



二酸化チタン表面での超音波力学的 OH ラジカル生成機構の解析

大庭 達哉¹, 仁宮 一章², 清水 宣明²

¹〒920-1192 金沢市角間町 金沢大学大学院自然科学研究科

²〒920-1192 金沢市角間町 金沢大学環日本海域環境研究センター

Oniwa, T., Ninomiya, K., Shimizu, N.

Analysis of OH radical formation on the surface of TiO₂ particle under ultrasonic irradiation.

1. 緒言

環境問題に対する関心が高まり、環境浄化のための技術が求められているなかで、光触媒が注目を集めている。環境汚染物質の中には、例えば内分泌搅乱物質、いわゆる環境ホルモンのように比較的構造が安定で、環境の自浄作用による分解が期待できない物質もある。これらの物質を効率よく分解するために、光触媒に光を照射することで生成する活性酸素種が有効であるといわれている。活性酸素種の作用により環境ホルモンなどの有害物質を無機物にまで分解することが可能である。その一方で光触媒反応には、濁った汚染水の深部など、光が到達しにくい箇所への応用が難しいという欠点がある。近年、当研究室では代表的な光触媒として様々な用途で用いられている二酸化チタン (TiO₂) に対して、紫外光の代わりに超音波を照射することでも高濃度の活性酸素種が生成することを報告した。回折能の高い超音波を用いることで、光の届かない場所においても活性酸素種を生成し、環境汚染物質を分解することができると考えられる。Fig. 1 にその様子を示す。

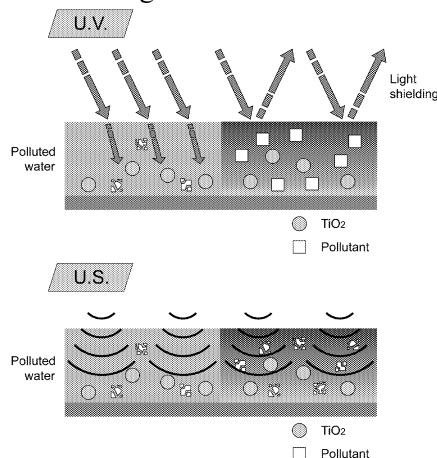


Fig. 1 Advantage of TiO₂/ultrasonic irradiation.

2. 理論

2.1 超音波キャビテーション

沸騰や高速の攪拌など、外部から与えられた熱や力が液体を維持するために必要な力を上回ったとき、気泡が発生する。液体中に超音波を照射した場合、縦波の影響で分子が縦方向に振動し、液体中に局所的な圧力変動が生じる。つまり液体中に高密度の部分 (高圧域) と低密度の部分 (低圧域) ができる、低圧状態において圧力が溶媒の蒸気圧より十分低くなると、溶媒分子同士が引き離され、さらにその内部に溶存ガスや溶媒の蒸気が取り込まれ気泡が生成する。この気泡は、液体中の圧力変化に伴って気泡表面の膨張・収縮を繰り返し、さらに溶媒を内部に取り込み成長していく。気泡が十分に成長し、臨界状態に達すると圧壊とよばれる激しい収縮を起こす。この圧壊とよばれる収縮の速度は非常に速く、断熱圧縮と見なすことができるため、局所的な超高温・高圧場 (ホットスポット) を形成するといわれている。ホットスポット内の圧力は 1000 数百気圧、温度は 5000~数万度にも達すると考えられている。この時の熱エネルギーで水分子が熱分解し、(1)式 のようにヒドロキシラジカル

(·OH) が生成することが報告されている。

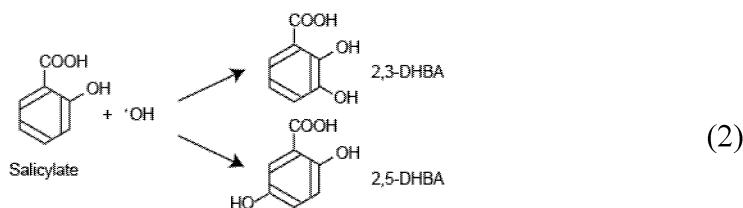


2.2 ソノケミストリー

キャビテーションによって生じる短命のホットスポットにおいて、水分子は容易に分解し、強力な酸化力をもつヒドロキシルラジカルが生成することは先に述べた。ヒドロキシルラジカル以外にも過酸化水素やオゾン等の酸化剤が生成すると言われており、このような超音波キャビテーションによって生じる活性酸素種がひき起こす化学反応を扱う分野をソノケミストリーとよぶ。ソノケミストリーは非接触で局所的に反応を起こすことが出来るため、医療分野や工業分野への応用が期待される。ソノケミストリーにおいて、化学反応はラジカルの生成が第一段階である。このラジカルは超音波を溶液中に照射することによって、溶液中の分子の化学結合が切断されて生じる。

2.3 ヒドロキシルラジカルの定量

ヒドロキシルラジカルは半減期が非常に短く、直接の測定は極めて困難である。本研究では、サリチル酸の m-位に OH 基が付加した 2 種類のジヒドロキシ安息香酸 (2,3-dihydroxy benzoic acid (2,3-DHBA) および 2,5-DHBA) を測定し、間接的にヒドロキシルラジカルの定量を行った。その反応式を(2)式 に示す。これら DHBA は電気化学的に活性であり、高速液体クロマトグラフィー (HPLC) と電気化学検出器 (ECD) を用いて高感度に定量することが可能である。本研究において OH 基の付加に選択性は無いと考え、この 2 種類の DHBA の総和をヒドロキシルラジカルの生成量として評価した。



3. 実験

3.1 超音波照射条件の検討

当研究室の既往の研究において、 TiO_2 粒子存在下で超音波照射を行うと、光触媒活性を持たない他の粒子を添加した場合と比べてヒドロキシルラジカルの生成が有意に促進されることが判明している。しかし当研究室ではこれまで低周波 (40 kHz 程度) の超音波を用いた検討は数多く行ってきたが、高周波の超音波を用いた検討が不十分であった。本研究では照射する超音波の周波数が、ヒドロキシルラジカル生成や TiO_2 が持つラジカル生成促進効果に及ぼす影響を検討した。本研究では溶液を反応溶液に入れ、水中に設置し下方から水を介して超音波を照射する、いわゆる間接照射の形で検討を行った。この場合同じ出力で超音波を照射しても、反応溶液に伝わる正味の超音波エネルギーが周波数によって変動する可能性がある。これでは超音波の周波数がラジカル生成に及ぼす影響を正しく評価することができないと考え、本研究ではカロリメトリ法を採用した。カロリメトリ法とは超音波エネルギーが溶液中で熱エネルギーに変換されることを利用して、溶液の温度上昇を測定することで溶液中に伝る超音波エネルギーを算出する方法である。この方法によって算出した値を、ソノケミカル効率を評価する指標として用いている文献もある。超音波エネルギーの計算式を (3)式に示す。この理論を参考にして、各周波数において溶液の温度上昇、すなわち溶液に伝わる超音波エネルギーが一定となるような超音波照射条件をそれぞれ決定した。実験装置の概要を Fig. 2 に示す。Fig. 2 において振動子と反応容器との距離を L [mm]とした。

超純水 5 ml を反応容器に入れ、恒温槽によって 21.3~21.4 °C に調節された水中に設置し、1 分間の超音波照射による温度変化をサーモメーターを用いて測定した。各周波数において溶液の温度上昇の程度が等しくなるように超音波照射条件 (出力、振動子と反応容器との距離) を調節した。また実験

に用いた超純水はバブリングによって空気を十分に溶解させたものを用いた。

$$P_{US} = (dT/dt) C_P M \quad (3)$$

P_{US} : Ultrasonic power [W]

dT/dt : Rate of temperature increase [K/s]

C_P : Heat capacity of water [J/g · K]

M : Mass of water [g]

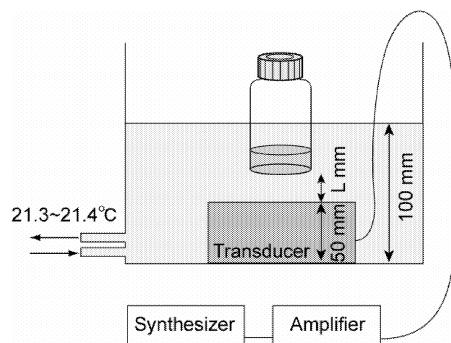


Fig. 2 Schematic illustration of experimental setup.

3.2 添加粒子の影響 (100, 300, 500, 1000 kHz)

リン酸緩衝液 (20 mM) によって pH=8.0 に調整したサリチル酸ナトリウム水溶液 (100 μM, 5 ml) と、洗浄済みの TiO₂ 粒子 (ルチル型、直径 2 mm, 1 g) を反応容器に入れた。この反応容器を恒温槽によって 21.3~21.4 °C に調節された水中に設置し、カロリメトリー法を用いて決定した条件で超音波照射を行った。試料を採取し、HPLC-ECD システムによって DHBA の定量を行った。粒子無添加の場合および Al₂O₃ 粒子を添加した場合においても同様の実験を行い、比較検討を行った。

3.3 脱気操作の影響 (300 kHz)

キャビテーション気泡は主に溶液中の溶存ガスなどを核として生成する。そこで脱気操作により溶存ガス濃度を減少させた状態で超音波を照射することで、ラジカル生成にどのような影響を与えるかを検討した。3.2 の場合と同様に溶液と TiO₂ 粒子を反応容器に入れ、脱気操作 (94 kPa, 5 min) を行った。その後脱気状態を保ったまま超音波照射 (300 kHz, 5 W, L=5 mm, 60 min) を行い、試料を経時的に採取し HPLC-ECD システムによって DHBA の定量を行った。

3.4 溶存 Ar がラジカル生成に及ぼす影響 (300 kHz)

希ガスなどを溶存させた溶液に超音波を照射すると、空気溶存の場合と比較して、キャビテーション気泡圧壊時の局所的高温場の温度が高くなる。また O₂ や Ar 溶存によって、有機物質の超音波分解が促進されることが報告されている。また、3.3 の結果より、溶存ガスの有無がキャビテーションに大きく影響することが確認された。そこで空気の代わりに Ar を溶存させた状態で超音波を照射することで、ヒドロキシリラジカルの生成にどのような影響を与えるかを検討した。3.2 の場合と同様に溶液と TiO₂ 粒子を反応容器に入れ、脱気操作 (94 kPa, 5 min) を行った。続いて Ar ガスをバブリング (100 ml/min, 30 sec) によって添加し、反応容器内も Ar ガスで充満させた。この反応容器を恒温槽によって 21.3~21.4 °C に調節した水中に設置し、超音波照射 (300 kHz, 5 W, L=5 mm, 60 min) を行った。試料を採取し HPLC-ECD システムによって DHBA の定量を行った。また、試料の採取後に毎回上記の脱気・バブリング操作を行った。同様の実験を粒子無添加の場合、Al₂O₃ 粒子を添加した場合においても行い、比較検討を行った。

4. 結果と考察

4.1 超音波照射条件の検討

同条件下で超音波照射を行い、温度上昇を測定すると、300 kHz と 500 kHz ではほぼ同等の温度上昇を示したが、100 kHz や 1000 kHz を用いた場合の温度上昇とは大きな開きが見られた。この結果より、同じ出力の超音波を照射した場合でも周波数が異なることで、実験溶液に伝わる超音波エネルギーに差が生じることがわかった。そこで各周波数における照射条件を Table 1 のように調節し、この条件での温度上昇を測定した結果を Fig. 3 に示す。結果より、照射条件を調節することで全ての周波数において温度上昇の度合いがほぼ等しくなった。従ってこの条件下でヒドロキシルラジカル生成における超音波周波数の影響を検討した。

F [kHz]	P [W]	L [mm]
100	10	8
300	5	5
500	5	5
1000	10	5

F: Ultrasonic frequency
P: Output power
L: Distance between the vessel and the transducer

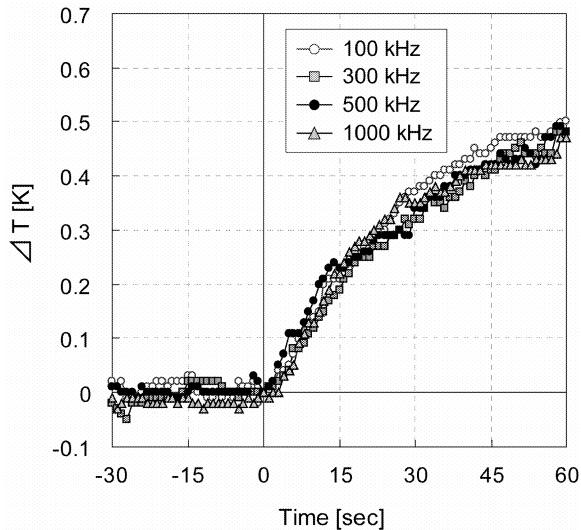


Fig. 3 Increasing in temperature of water during ultrasonic irradiation.

4.2 添加粒子の影響 (100, 300, 500, 1000 kHz)

超音波照射 (60 min) による DHBA 生成における周波数の影響を Fig. 4 に示す。粒子無添加系での超音波照射による DHBA 生成量を各周波数で比較すると、300 kHz において最も DHBA の生成量が多く、100 kHz と 1000 kHz では DHBA の生成は認められなかった。一般的に、周波数が高くなるほどキャビテーション気泡の生じやすさ、即ちキャビテーション閾値は増大すると言われている。逆に周波数が低くなるほど波長が長くなるため、溶液中で気泡が生成するスポットが少なくなる。よって DHBA の生成量が超音波周波数に対してピークを持ったと考えられ、今回用いた周波数の中では 300 kHz が最もキャビテーション効率の良い周波数であり、水の熱分解によるヒドロキシルラジカル生成量が最も多かったと考えられる。粒子添加のラジカル生成促進効果は 100 kHz, 300 kHz において確認され、500 kHz, 1000 kHz では確認されなかった。周波数が高くなるにつれて超音波の指向性が増し回折能が小さくなるため、添加粒子による超音波の遮蔽効果の影響が強くなり、ラジカル生成が抑制された可能性は否定できない。ラジカル生成における TiO_2 粒子の有効性は 300 kHz においてのみ認められた。100 kHz では粒子添加によるラジカル生成促進は確認されたが、 TiO_2 粒子と Al_2O_3 粒子との間に大きな差が見られなかったことから、この条件下でのラジカル生成における TiO_2 粒子の有効性は粒子添加

による水の熱分解の促進のみということが出来る。ラジカル生成における TiO_2 粒子の有効性が、効率よくキャビテーション気泡が生成する超音波照射条件でのみ確認されたことから、その有効性はキャビテーション気泡の生成・圧壊が原因となっていることが示唆された。

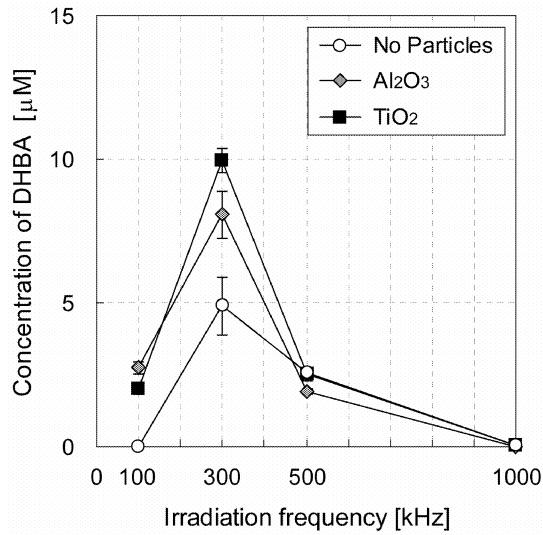


Fig. 4 Effects of frequency on the generation of DHBA during ultrasonic irradiation.

4.3 脱気操作の影響 (300 kHz)

脱気状態での超音波照射による DHBA 生成の経時変化を Fig. 5 に示す。脱気を行っていない空気雰囲気下では 60 分間の超音波照射で DHBA 濃度は $10 \mu\text{M}$ まで上昇した。これに対して脱気を行うことで DHBA の生成が完全に抑制された。これは脱気操作により溶存ガス量が減少し、キャビテーション気泡の生成が抑制されたためと考えられる。 TiO_2 が超音波照射によって有意にラジカルを生成するためにはキャビテーション気泡の生成・圧壊が不可欠であることが示唆される。

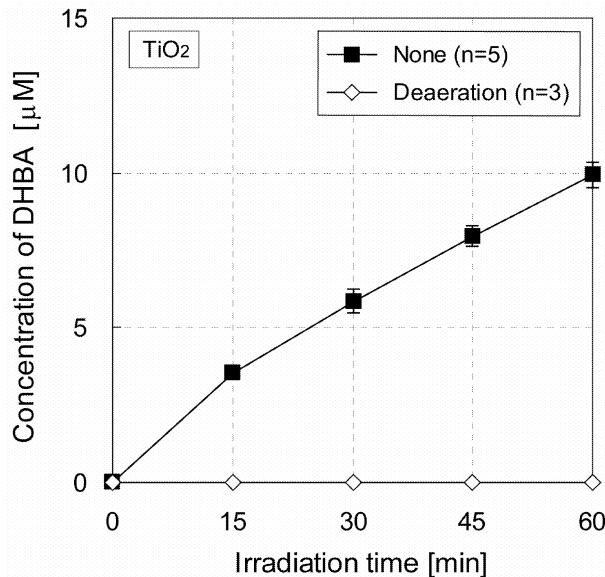


Fig. 5 Effects of deaeration on the generation of DHBA during ultrasonic irradiation with TiO_2 particles.

4.4 溶存 Ar ガラジカル生成に及ぼす影響 (300 kHz)

Ar ガスを溶存させた溶液への超音波照射を行い、DHBA の生成量を調べた結果を Fig. 6 に示す。Ar

を添加することで超音波照射による DHBA 生成量が有意に増加した。(4)式 からも明らかなように、キャビテーション気泡圧壊時の気泡内温度はモル熱容量比に依存して高くなる。また、4.3 の実験結果よりキャビテーション気泡の生成は溶存ガスの有無に大きく依存することが確認されたため、溶液に対するガスの溶解度もキャビテーションにおいて重要な因子であると考えられる。溶解度が高いガスほど溶液中の溶存ガス量が多く、キャビテーション気泡の生成量が増えることが示唆される。したがって DHBA 生成における Ar 無添加との差は、Ar と空気のモル熱容量比や溶解度の差によるものであろう。TiO₂粒子を添加した場合、比較対照として用いた Al₂O₃粒子を添加した場合と比べて、DHBA 生成量が大きく増加した。Ar ガスの添加により、キャビテーション気泡の生成量が増加することや、気泡圧壊時の気泡内温度が上昇することで TiO₂ のラジカル生成促進効果が向上したことから、ソノルミネッセンスによる TiO₂ の光励起や高熱による熱励起によってヒドロキシルラジカル生成量が増加するというメカニズムが考えられる。

$$T_{ad} = T \left(\frac{R_{co}}{R_e} \right)^{3(\gamma-1)} \quad (4)$$

T : Water temperature

T_{ad} : Intracavity temperature

R_{co} : Bubble radius at which collapse begins

R_e: Bubble radius at which collapsed

	Heat capacity ratio, γ	Solubility $\times 10^4$
Air	1.41	0.153
Ar	1.67	0.252

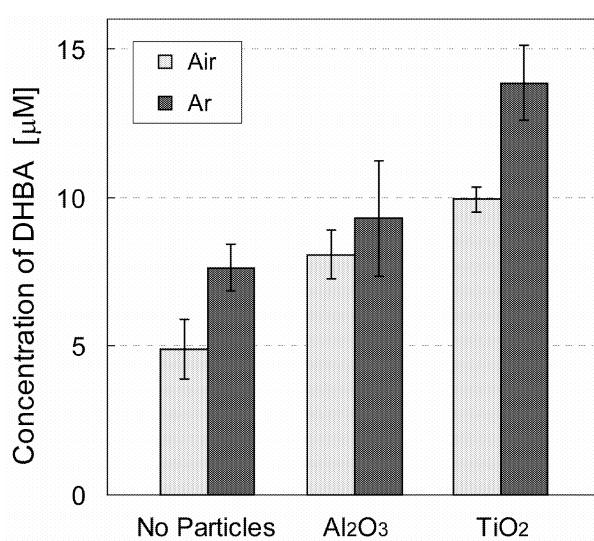


Fig. 6 Effects of dissolved Ar on the generation of DHBA during ultrasonic irradiation.

5. 結言

超音波照射による二酸化チタン表面でのヒドロキシルラジカル生成機構について以下のように考えられる。

(1) 水中への超音波照射によりキャビテーション気泡が生成・圧壊する。またこの現象は二酸化チタンなどの粒子表面において促進されると考えられる。(2) キャビテーション気泡が圧壊する際、局所的な高温場の発生およびそれに伴う微発光が生じるといわれている。この高温場の温度は溶存ガスのモル熱容量比が高いほど上昇する。

(3) キャビテーション気泡圧壊時の局所的高温場での水の熱分解によってヒドロキシルラジカルが生

成する。またキャビテーション気泡圧壊時のソノルミネッセンスによる二酸化チタンの光励起、局所的高温場による二酸化チタンの熱励起などによってヒドロキシリジカルの生成が促進される可能性がある。

参考文献

- [1] M. Cho, H. Chung, W. Choi, J. Yoon, Appl. Environ. Microbiol. 71 (2005) 270.
- [2] N. Shimizu, C. Ogino, M. Farshbaf Dadjour, K. Ninomiya, A. Fujihira, K. Sakiyama, Ultrason. Sonochem. 15 (2008) 988.
- [3] N. Shimizu, C. Ogino, M. D. Farshbaf, T. Murata, Ultrason. Sonochem. 14 (2007) 184.
- [4] C. Ogino, M.D. Farshbaf, K. Takaki, N. Shimizu, Biochem. Eng. J. 32 (2006) 100.
- [5] A. Nakajima, H. Sasaki, Y. Kameshima, K. Okada, H. Harada, Ultrason. Sonochem. 14 (2007) 19

肝細胞特異認識能を有する二酸化チタン・ナノ粒子を用いた超音波力学的がん治療

園家 史朗¹, 仁宮 一章², 清水 宣明²

¹〒920-1192 金沢市角間町 金沢大学大学院自然科学研究科

²〒920-1192 金沢市角間町 金沢大学環日本海域環境研究センター

Sonoche, S., Ninomiya, K., Shimizu, N.

Sonodynamic therapy of cancer using nano-sized TiO₂ particles with a selective affinity for hepatic cells.

1. 緒言

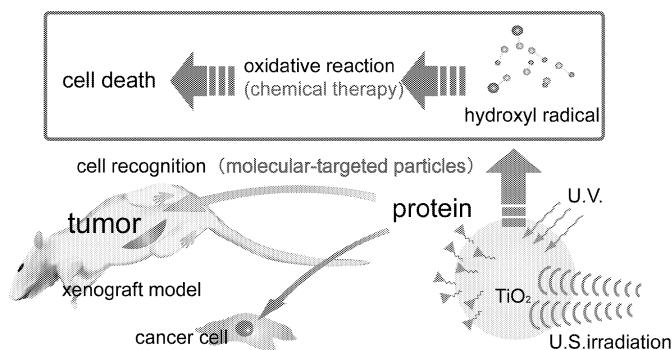
がん治療には外科的手術をはじめ放射線療法、化学療法等様々な治療法が試みられているが、これらの治療法は副作用による身体への負担が大きい。これは薬剤が正常な細胞にも送達されてしまい、毒性を発現することが主な原因と考えられる。このため、効率よく薬剤を必要な患部に、必要な量だけ送達させることができ不可欠である。

本研究室では二酸化チタン (TiO₂) ナノ粒子と B 型肝炎ウイルスの肝細胞認識部位である preS1/S2 タンパク質に着目した。TiO₂ ナノ粒子は、波長 380 nm 以下の紫外光を照射すると、酸化力を持つ活性酸素種が生成する光触媒として知られている。本研究室では、この TiO₂ ナノ粒子に超音波を照射すると、紫外光照射と同様に活性酸素種であるヒドロキシルラジカル (· OH) の生成が促進されることを確認した (二酸化チタン / 超音波触媒法 (TiO₂ / U.S.法))。これまでに、この TiO₂ / U.S.法を用いて大腸菌やレジオネラなどの効果的な殺菌効果が得られることが確認された。そこで本研究では、がん細胞に対しても同様の効果があると考え、TiO₂ / U.S.法を新規がん治療法として提案するため、TiO₂ / U.S.法のがん細胞への適用について検討した。これまでの研究によって、本研究室ではタンパク質を TiO₂ ナノ粒子表面に修飾することで肝細胞を特異的に認識する粒子の構築に成功している。本研究では構築した肝細胞認識二酸化チタン・ナノ粒子を用い、超音波照射下の培養がん細胞の死滅効果および担がんマウスに対する抗腫瘍効果を検討した。

2. 理論

2.1 二酸化チタン・超音波触媒法

光触媒として知られている TiO₂ は光によって励起し、活性酸素種を発生させることが報告されている。二酸化チタン・超音波法とは、その二酸化チタンに超音波を照射すると、強い酸化力をもつ化学種 (· OH) が発生することを利用した方法である。この原理を応用し、二酸化チタンを細胞内に取り込ませた後、超音波を照射することで、腫瘍細胞を死滅させることができると考えられる (Fig.1)。本来、光触媒としての二酸化チタンは励起エネルギーとして紫外光(UV)照射が必要なため、ラジカル発生は UV が到達できる表面近傍でのみしか起こらないと考えられる。しかし、二酸化チタン・超音波触媒法によりラジカルを発生させれば、皮膚組織などの表面部位だけでなく臓器深部の腫瘍組織においても治療が可能となり、非侵襲的ながん治療法を開発できる。



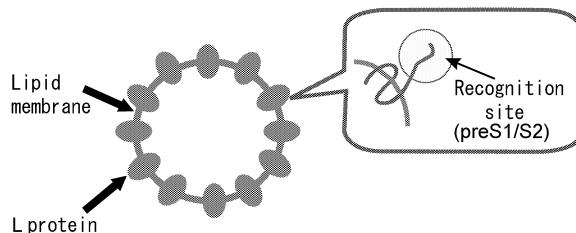
2.2 B 型肝炎ウイルスエンベロープ

B 型肝炎ウイルス (HBV) は、ウイルスゲノムをヌクレオカプシド (nucleocapsid) が包む直径約 27nm のコア粒子と、これを被う外殻 (エンベロープ、envelope) から成る二重構造をとっている。このウイルスゲノムがなく、外皮タンパク質が宿主由来の脂質二重膜上に膜タンパク質として存在し、直径約 100 nm の中空粒子を形成したものを B 型肝炎ウイルスエンベロープという (Fig. 2)。この粒子はウイルスが本来持つ肝臓への高い感染力を保持しつつも人体に危険性のないことが明らかになっている^[1]。また B 型肝炎ウイルスエンベ

ロープの分子認識部位を、他の臓器を特異的に認識する分子に置き換えることで、任意の臓器に遺伝子や薬剤の送達が期待されている。既往の研究により、この肝細胞認識タンパク質(preS1/S2)を二酸化チタン・ナノ粒子表面に修飾することに成功している。

Fig. 2 Hepatitis B virus envelope.

3. 実験



3.1 TiO₂ / U.S. 法適用後の細胞損傷効果の測定

4×10^5 cells/dish になるように 3.5 cm dish に 2 ml ずつ細胞懸濁液を播種し、37 °C、5 % CO₂ で 24 時間培養した。その後、TiO₂ 濃度 0.1 % (v/v) の preS1/S2 固定化 TiO₂ を 200 μl 添加し、さらに 37 °C、5 % CO₂ 条件下で 6 時間培養し細胞に取り込ませた。培養がん細胞に TiO₂ を取り込ませた後、1 MHz の超音波 (0.1 W/cm^2 、50 % Duty 比) を 30 秒間照射した。その後、超音波照射直後から 96 時間後までの生細胞数をトリパンブルー染色により測定した。

この実験と同様の方法で培養がん細胞に対して TiO₂ / U.S.法を 24 時間ごとに適用し、その後の細胞数を測定した。

3.2 TiO₂ / U.S. 法適用後の細胞の形態変化

上記と同様の方法で培養がん細胞に対して TiO₂ / U.S.法を用い、超音波照射直後および 48 時間後までの細胞の形態変化を顕微鏡を用いて観察した。同様に超音波照射後 4% パラホルムアルデヒド によって細胞を固定し、4,6-diamino-2phenylindole (DAPI) によって細胞核を染色後、蛍光顕微鏡を用いて観察した。

3.3 TiO₂ / U.S. 法による抗腫瘍効果

3.3.1 担がんマウスを用いた TiO₂ / U.S.法 マトリゲルと細胞懸濁液を混合し、細胞濃度を final 5×10^6 ~ 1×10^7 cells/ml となるように調整し、ヌードマウス(5 週齢)の背中側の皮下に注射した。数週間後、腫瘍の形成を確認した後、0.1%(v/v) の preS1/S2 固定化 TiO₂ を腫瘍部位に 100 μl 注入した。投与して 2 分後、腫瘍局部へゲルを塗り 1 MHz の超音波を各条件 (2 W/cm^2 , 1 min × 2, 1 W/cm^2 , 2 min × 2) で照射した。TiO₂ 投与および超音波照射を行った時点を 0 週として、その後経過日数毎にマウスの体重および腫瘍の大きさを測定した。TiO₂ 投与および超音波照射は 0 週から 1 週間ごとに行った。

3.3.2 高頻度で TiO₂ / U.S.法を適用することによる抗腫瘍効果 上記と同様の方法で xenograft model を作製し、腫瘍形成を確認した。ペントバルビタールナトリウムを 1 mg / 匹 で腹腔内投与により麻酔後、0.1%(v/v) の preS1/S2 固定化 TiO₂ を腫瘍部位に 100 μl 注入した。投与 2 分後、約 37°C の水槽内にマウスの腫瘍部位を浸漬し、超音波を各条件 (1 W/cm^2 , 1 min, 1 W/cm^2 , 30 min, 0.5 W/cm^2 , 1 min) で照射した。TiO₂ 投与および超音波照射を行った時点を 0 日とし、3 回/ week という頻度で TiO₂ / U.S.法を用い、腫瘍体積および体重を測定した。

4. 結果および考察

4.1 TiO₂ / U.S. 法適用後の細胞損傷効果

1 MHz、50 % Duty 比、30 秒間、 0.1 W/cm^2 の条件で超音波をそれぞれ照射したところ、どの細胞群でも照射直後から 12 時間後までは細胞数に有意差は見られなかった。超音波照射を行っただけの細胞群では 96 時間後までコントロールと同様に正常に細胞数が増殖しているのに対し、PreS1 / S2-TiO₂ を添加した細胞群では超音波照射後 24 時間から徐々に細胞損傷効果が現れ始めた。その効果は時間を追う毎に増大し、96 時間後の時点で TiO₂ / U.S.法で処置した細胞群は細胞数がコントロール群の 1/2 程度までしか増殖しなかった (Fig. 3)。また、複数回照射によってその効果はさらに顕著になった。この実験より、TiO₂ / U.S.法で処置した細胞には細胞増殖抑制効果が現れ、その効果は時間が経過するごとに増大していくことを確認した。超音波照射を行っただけでは細胞損傷効果を確認することはできなかったことから、TiO₂ / U.S.法によって起こる細胞損傷効果は超音波照射による物理的な影響は少ないと考えられる。これらのことから TiO₂ / U.S.法を用いた細胞は細胞膜などに超音波による物理的な損傷を受けた結果ネクローシスが誘導されたのではなく、OH ラジカルなどの化学種の酸化作用により損傷を受け、アポトーシスを誘導し細胞死を起こした可能性が強い。

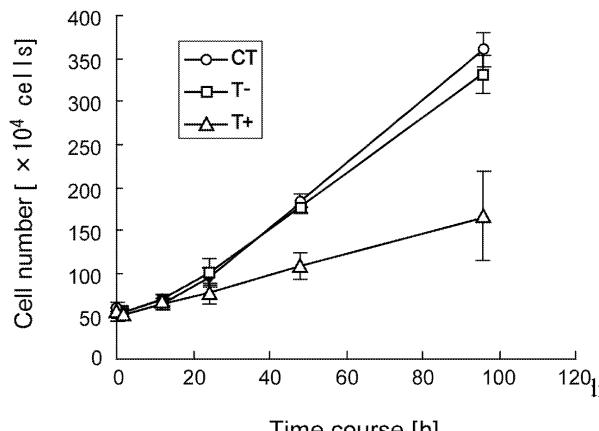
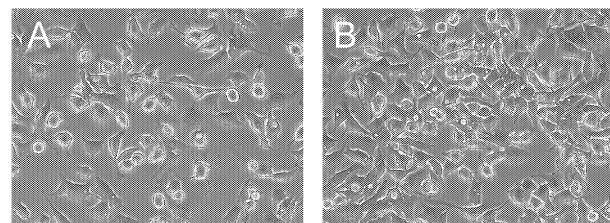


Fig. 3 Effect of

Time course [h]

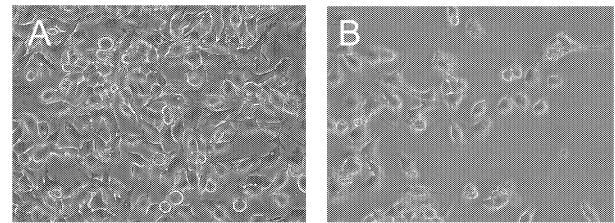
4.2 TiO₂ / U.S. 法適用後の細胞の形態変化

未処理の細胞群では48時間後まで接着性を保ったまま細胞増殖を続けている。それに対して TiO₂ / U.S.法を用いた細胞では超音波照射後時間が経過するにしたがって全体の細胞数も減少し、その形態は球形になり、24時間後には接着性細胞である HepG2 が培養液中に浮遊していた。また、48時間後には細胞数自体が激減しており、残存する細胞もメディウム中に浮遊していた。また、超音波を照射しただけの細胞では細胞数は減少しているものの、接着性は保持していた(Fig. 4)。さらに DAPI 染色法から、TiO₂ / U.S.法を適用した細胞では超音波照射後 6 時間からクロマチンの凝集が確認でき、その現象は24時間後にさらに顕著に観察できた(Fig. 5-1,2)。つまり TiO₂ / U.S.法を用いた細胞は、超音波照射後 6 時間でクロマチンの凝集を起こし、結果として 24 時間後には細胞の接着性を失い培養液中に浮遊していると考えられる。従って DAPI 染色法によつても TiO₂ / U.S.法を用いた細胞はアポトーシスを誘導した結果その接着性を失い最終的に死にいたることが示唆された。



just after irradiation

A : Control
B : TiO₂(-) U.S.(+)
C : TiO₂(+) U.S.(+)



48 h after irradiation

A : Control
B : TiO₂(-) U.S.(+)
C : TiO₂(+) U.S.(+)

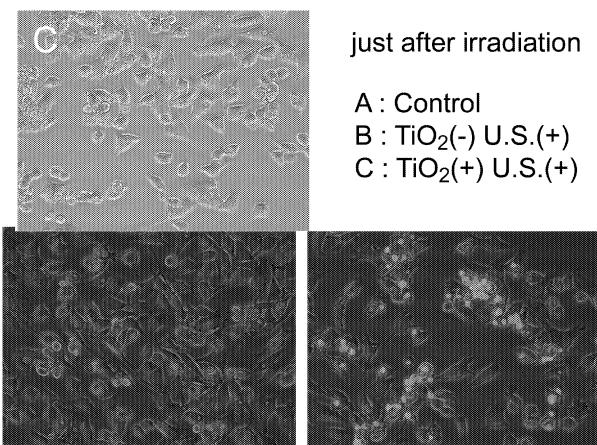


Fig.5-1 Nuclear condensation cells at 6 h after U.S. irradiation

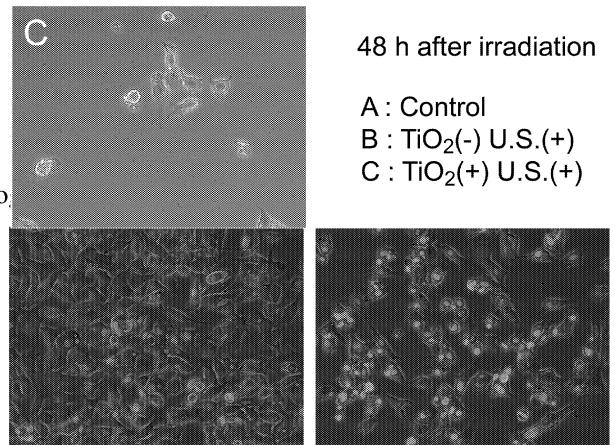


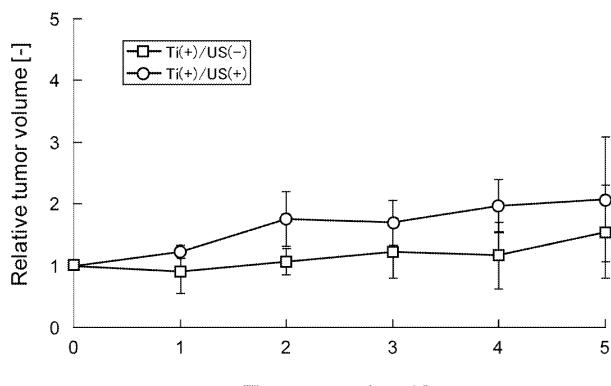
Fig. 5-2 Nuclear condensation cells at 24 h after U.S. irradiation.

4.3 TiO₂ / U.S. 法による抗腫瘍効果

4.3.1 担がんマウスを用いた TiO₂ / U.S.法 マウスにヒト肝臓がん由来細胞 HepG2 を移植し、担がんマウスを作製して実験を行った。腫瘍の大きさは $1/2 \times (\text{長径}) \times (\text{短径})^2 (\text{mm}^3)$ として算出した。

TiO₂ ナノ粒子を投与せず超音波も照射しない系では個体差はあるものの全てのマウスで腫瘍が成長していることが確認できた。また、同様に TiO₂ / U.S.法を用いた系のマウスにおいて、どの超音波照射条件でも腫瘍の成長が観察された (Fig. 6-1)。体重においても、TiO₂ / U.S.法を適用した系がコントロール群と同様の

傾向を示し元の体重の 10%程度の減少がみられた(Fig.6-2)。これは腫瘍の成長が見られたことと一致する。今回の結果から、1 MHz, 2 W/cm², 30 % duty, 1 min×2 回と、1 MHz, 1 W/cm², 30 % duty, 2min×2 回という超音波照射条件では TiO₂ / U.S.法による抗腫瘍効果は確認できなかった。



U.S. irradiation condition : 2 W/cm², 1 min×2

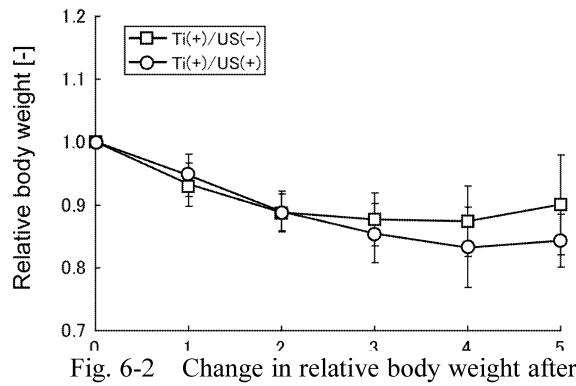


Fig. 6-2 Change in relative body weight after treatment of TiO₂ / U.S. method

4.3.2 高頻度で TiO₂ / U.S.法を適用することによる抗腫瘍効果

前述の実験方法との大きな変更点は、超音波の照射方法である。4.3.1 ではゲルを塗布した後直接超音波を照射していたが、本実験では麻酔下のマウスを腫瘍部位まで水中に浸し、超音波照射を行うことで安定して照射することが可能となった。また、TiO₂ / U.S.法を以前の週に 1 回という頻度から週に 3 回と高い頻度で行った。

1 MHz, 1 W/cm², 1 min, 連続照射という条件で超音波を照射したところ、超音波照射のみの群と TiO₂ 粒子を添加して超音波照射を行った群でマウスに対して強い障害およびストレスはみられなかった。さらに、コントロールの群、1 W/cm², 1 min で超音波照射のみの群および TiO₂ 粒子を投与し 0.5 W/cm², 1 min という条件で超音波を照射した群ではほとんどのマウスで腫瘍が成長した (Fig. 7)。また、1 W/cm², 1 min、では 4 匹中 3 匹、1 W/cm², 30 sec では 4 匹中 2 匹の腫瘍体積が半分程度まで縮小した (Fig.8)。以上の結果から、TiO₂ / U.S.法を用いる場合、超音波は 1 W/cm² という照射強度がマウスに対するストレスもなく腫瘍の縮小を可能にし、1 MHz, 1 W/cm², 1 min, Duty 連続という照射条件が最も有意に抗腫瘍効果を示す可能性が示唆された。しかし、この実験ではサンプル数が同一条件全体で 4 匹と少なく、その中で抗腫瘍効果が認められたマウス、認められなかったマウスの両方が存在し、個体差が大きいため今後さらに試行回数を増やすべきと考えられる。

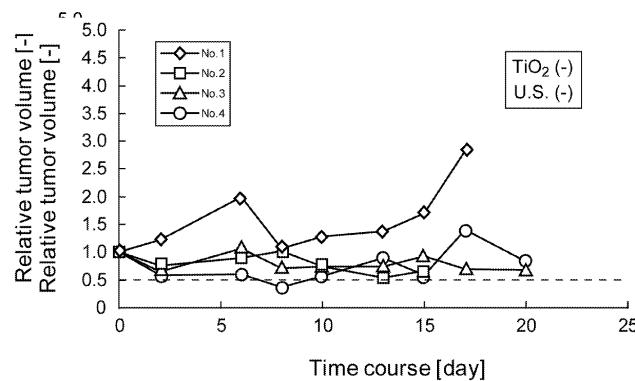


Fig. 7 Antitumor effect of TiO₂ / U.S. method

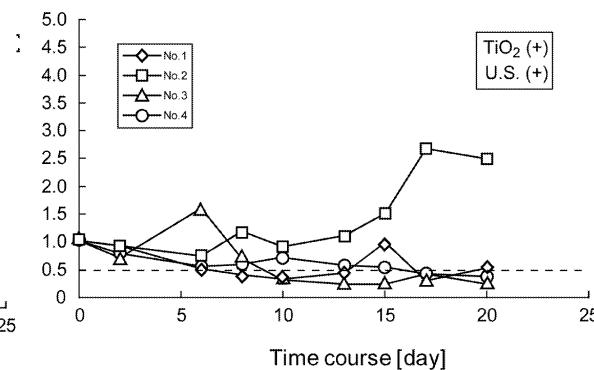


Fig. 8 Antitumor effect of TiO₂ / U.S. method.

U.S. irradiation condition : 1 W/cm², 1 min

5. 結言

本研究によって、以下の結論が得られた。

- 1) 0.1 W / cm²、30 秒間という照射条件で TiO₂/U.S.法を適用した細胞群は超音波照射後 24 時間から徐々に細胞増殖抑制効果が現れ始め、その効果は時間経過と共に大きくなつた。

2) 0.1 W / cm²、30 秒間の条件で 24 時間毎に継続して超音波を照射することで細胞増殖抑制効果は増大した。このことからも *In vivo* での実験でも複数回 TiO₂ / U.S.法を用いることが必要とである。

3) 超音波照射後の細胞の形態変化および DAPI 染色

法による結果から TiO₂/U.S.法を適用した細胞群では超音波照射後約 6 時間でアポトーシスを誘導した結果、接着能を失い培養液中に浮遊するということが確認できた。

4) 担がんマウスに対して週に 3 回の頻度で超音波照射を行った場合、1 MHz, 1 W/cm², 1 min, Duty 連続という照射条件が最も有意に抗腫瘍効果を示した。

In vivo での実験はまだ初期段階であり TiO₂ / U.S.法の抗腫瘍効果を確認するには試行回数が不足であると考えられる。また、今後超音波の照射条件だけではなく TiO₂ ナノ粒子濃度条件の検討、尾静脈注射による TiO₂ ナノ粒子の肝細胞認識能の評価などを行い、さらなる TiO₂ / U.S.法の抗がん作用を検討する必要がある。

参考文献

- T. Yamada, S. Kuroda et al., Nanoparticles for the delivery of genes and drugs to human hepatocytes. *Nature Biotech.* 21 (2003) 885-890.
D.C. Alvaro Jr., L. G. Mota, E. A. Nunan, et al., *Life Sci.* 80 (2007) 659-64.
H.-G. Zhang, K. Mehta, P. Cohen, C. Guha, *Cancer Lett.*, 271 (2008) 191-194.
W. Zhang, J. Liu, Y. Wu, F. Xiao, Y. Wang, R. Wang, H. Yang, G. Wang, J. Yang, H. Deng, J. Li, Y. Wen, Y. Wei, *Biochem. Biophys. Res. Comm.*, 376 (2008) 10-14.
X.-L. Lu, X.-B Jiang, R.-E. Liu, S.-M Zhang, *Vaccine* 26 (2008) 5352-5357.

二酸化チタン・超音波触媒法と 電気化学を組み合わせた新規殺菌法の開発

荒川 雅幸¹, 仁宮 一章², 清水 宣明²

¹〒920-1192 金沢市角間町 金沢大学大学院自然科学研究科

²〒920-1192 金沢市角間町 金沢大学環日本海域環境研究センター

Arakawa, M., Ninomiya, K., Shimizu, N.

Evaluation of novel disinfection system in conjunction with electrochemical and TiO₂-sonocatalytic treatments.

1 緒言

微生物による水質汚濁は発展途上国のみならず、先進国においてもレジオネラやノロウイルスによる感染が深刻な社会問題となっている。現在殺菌方法として主に塩素殺菌が用いられているが、クリプトスピリジウムのような有害な塩素耐性微生物の出現や、フミン質と塩素が反応することによりトリハロメタンのような発癌性物質が生成するといった問題が生じている。

近年、新たな殺菌方法として、二酸化チタンの光触媒反応を利用したものが注目されている。これは二酸化チタンに波長 390 nm 以下の光を照射することにより電子が励起する現象を利用したものであり、この現象により二酸化チタン表面に活性酸素種が生成する。生成した活性酸素種は微生物を酸化し、死滅させることができる。光触媒反応を利用した殺菌の特徴として、生成する活性酸素種は非常に酸化力が強いので毒素の分解が可能であることや、耐性菌が生じ難いといった特徴が考えられる。さらに、二酸化チタンそのものには毒性がないという特徴がある。このような、優れた特徴を有している殺菌方法ではあるが、実際の水質浄化の分野で応用しようと考えた場合、紫外光は波長が短いため回折能が悪く、深部への照射が困難であるという問題がある。

本研究室では新たなエネルギー源として周波数 20 kHz 以上の音波である超音波に着目した。超音波を用いる利点として紫外光より波長が長く回折能が良いため、深部への照射が可能となるということが考えられる。これまで本研究室では、水溶液中で二酸化チタン粒子に超音波を照射した場合にも活性酸素種であるヒドロキシルラジカルが高濃度生成することを報告した。更に、二酸化チタン粒子と超音波を用いた方法（以下、二酸化チタン・超音波触媒法）を用いて、大腸菌およびレジオネラに対して殺菌効果が得られることを確認し報告した。

本研究では二酸化チタン・超音波触媒法による殺菌のメカニズム解析、更に本方法のより効果的な使用方法として二酸化チタン・超音波触媒法と通電の併用方法について検討を行った。

2 理論

2.1 キャビテーション効果

超音波は流体中を縦波として伝わる。従って、流体中に超音波を照射すると高压域と低压域が形成され、圧力変動が生じる。この圧力変動により、キャビテーション気泡とよばれる気泡の生成・成長・圧壊という一連の現象が起こる。キャビテーション気泡の圧壊時には中心温度数千度、圧力数百気圧の極限場が形成され、様々な効果が生じる（キャビテーション効果）。

キャビテーション効果により、水分子が熱分解しヒドロキシルラジカルが生成することや、強い機械的作用を示す衝撃波の発生が報告されている。

2.2 ニ酸化チタン・超音波触媒法

ニ酸化チタンに超音波を照射することにより、ニ酸化チタンがキャビテーション気泡の核となり、キャビテーション気泡の数が増加する。その結果、高濃度のヒドロキシルラジカルが生成することを確認し、報告している。生成経路としては、キャビテーション気泡の圧壊に伴う（1）水分子の熱分解（2）ニ酸化チタンの熱励起によって生じた正孔による水分子の分解の二点が考えられる。

2.3 ヒドロキシルラジカル

ヒドロキシルラジカル（·OH）は非常に酸化力が強く、そのエネルギーは 120 kcal/mol である。一方、有機化合物を構成する分子中の結合エネルギーは、C-C 結合（83 kcal/mol）、C-H 結合（99 kcal/mol）、C-N 結合（73 kcal/mol）、C-O 結合（84 kcal/mol）、O-H 結合（111 kcal/mol）、N-O 結合（93 kcal/mol）とヒドロキシルラジカルのそれに比べて小さい。このため、ヒドロキシルラジカルはこれらの結合を容易に切断することができる。

生物への影響としては、「脂質」、「タンパク質」、「酵素」あるいは「核酸」などに障害を与えやすく、脂質過酸化、タンパク質変性、酵素失活、核酸分解などを引き起こし、細胞死を招く引き金になり得ると考えられている。

3 実験

3.1 殺菌因子の検討

殺菌因子としてはヒドロキシルラジカルとキャビテーション気泡の圧壊に伴う機械的作用が考えられる。そこで、ラジカル捕捉剤（ラジカルスカベンジャー）、すなわち活性酸素種を消去し、無毒化する働きをする物質を超音波照射する前の試料に添加し、殺菌因子としてヒドロキシルラジカルが関与しているかどうかの検討を行った。

実験方法

LB 培地で大腸菌（*Novablue*）を 13 時間培養し、培養後の培養液を遠心分離機（2000 G、5 min）で集菌し、PBS を用いて洗浄した。同様の操作を再度行い、1×1 cm² 不織布タイプニ酸化チタン（アナターゼ）1 枚を添加した PBS（pH7.4、2 mL）あるいは tert-ブチルアルコール（30 mM）PBS（pH7.4、2 mL）に懸濁させた。この試料に超音波照射（36 kHz, 300 W）を行った後、コロニーカウント法により殺菌評価を行った。

3.2 膜酸化の評価

ヒドロキシルラジカルは外膜の一部ならびに細胞膜を構成しているリン脂質と連鎖的過酸化脂質反応を引きこし、過酸化脂質を生成する。そこで、ヒドロキシルラジカルが関与しているということを確認するため、直接的な証拠である過酸化脂質の測定を行った。過酸化脂質の測定には Diphenyl-1-pyrenyl phosphine（Dppp）を用いた。Dppp は過酸化脂質と反応し、Dppp oxide（DpppO）を生成する。この DpppO は励起波長 352 nm、蛍光波長 380 nm をもつ。従ってマイクロプレートリーダーにて DpppO を測定することにより過酸化脂質の測定を行うことができる。

実験方法

3.1 と同様の操作を行い、大腸菌を 1×1 cm² 不織布タイプニ酸化チタン（アナターゼ）1 枚を添加した PBS（pH7.4、2 mL）あるいは tert-ブチルアルコール（30 mM）、グルタチオン（30 mM）PBS（pH7.4、2 mL）に懸濁させた。この試料に超音波照射（36 kHz, 300 W）を行った。照射後の試料に 100 μM となるように Dppp を添加し、室温、暗所で 10 min 反応させた。その後、マイクロプレートリーダーを用いて蛍光強度（EX:360/40 nm, EM:395/25 nm）を測定した。

3.3 外膜損傷の評価

外膜は細胞壁の最も外側の部分に相当し、多糖からなる Lipopolysaccharide (LPS)、リン脂質、タンパク質で構成されている。外膜は最初に活性酸素種によって攻撃を受ける部分であり、またバリアーとしての役割を担っている。そこで、殺菌メカニズムの解析を行うに当たり、二酸化チタン・超音波触媒法が及ぼす外膜損傷への影響を評価した。外膜損傷評価には Carboxy fluorescein diacetate (CFDA) を用いた。CFDA は細胞内でエステラーゼにより加水分解され、Carboxy fluorescein (CF) となる。この CF は励起波長 410-510 nm、蛍光波長 520 nm をもつ。外膜損傷により CFDA がより細胞内に取り込まれるようになるので、CF をマイクロプレートリーダーにて測定することにより外膜損傷の評価を行うことができる。

実験方法

3.1 と同様の操作を行い、大腸菌を $1 \times 1 \text{ cm}^2$ 不織布タイプ二酸化チタン（アナターゼ）1枚を添加した PBS (pH7.4, 2 mL) あるいは tert-ブチルアルコール (30 mM) PBS (pH7.4, 2 mL) に懸濁させた。この試料に超音波照射 (36 kHz, 300 W) を行った。照射後の試料に $100 \mu\text{M}$ となるように CFDA を添加し、37 °C、暗所で 10 min 反応させた。その後、マイクロプレートリーダーを用いて蛍光強度 (EX:485/20 nm, EM:530/25 nm) を測定した。

3.4 細胞膜損傷の評価

外膜の内側にはペプチドグリカンがあり、更にその内側にはリン脂質とタンパク質で構成された細胞膜がある。細胞膜は細胞質と直接接しているので、細胞膜が過度の損傷を受けると、溶菌することが考えられる。そこで、殺菌メカニズムの解析を行うに当たり、二酸化チタン・超音波触媒法が及ぼす細胞膜損傷への影響を評価した。細胞膜損傷評価には Propidium iodide (PI) を用いた。PI は細胞膜の損傷により細胞内に入り、核とインターカレートすることにより、強い蛍光（励起波長 410-510 nm、蛍光波長 620 nm）を発するようになる。従って、マイクロプレートリーダーにて測定することにより細胞膜損傷の評価を行うことができる。

実験方法

3.1 と同様の操作を行い、大腸菌を $1 \times 1 \text{ cm}^2$ 不織布タイプ二酸化チタン（アナターゼ）1枚を添加した PBS (pH7.4, 2 mL) に懸濁させた。この試料に超音波照射 (36 kHz, 300 W) を行った。照射後の試料に $60 \mu\text{M}$ となるように PI を添加し、氷水上、暗所で 10 min 反応させた。その後、マイクロプレートリーダーを用いて蛍光強度 (EX:485/20 nm, EM:645/40 nm) を測定した。

3.5 核酸への影響の評価

ヒドロキシルラジカルは核酸と反応し、核酸を断片化することが知られている。そこで、殺菌メカニズムの解析を行うに当たり、二酸化チタン・超音波触媒法が及ぼす核酸への影響をアガロースゲル電気泳動法を用いることにより評価した。

実験方法

3.1 と同様の操作を行い、大腸菌を $1 \times 1 \text{ cm}^2$ 不織布タイプ二酸化チタン（アナターゼ）1枚を添加した PBS (pH7.4, 2 mL) に懸濁させた。この試料に超音波照射 (36 kHz, 300 W) を行い、試料を採取した。その後、エタノール沈殿、アガロースゲル電気泳動を行った。

3.6 殺菌効果の増強に関する検討

二酸化チタン・超音波触媒法を用いた殺菌の特徴として、殺菌は二酸化チタン近傍あるいは表面で起こることが考えられる。この特徴を考慮すると、二酸化チタンと大腸菌との親和性が重要であるということが考えられる。二酸化チタンと大腸菌との親和性はそれぞれの表面の帯電状態に大きく依存するが、通常の環境下 (pH7 付近) では二酸化チタン（アナターゼ）の等電点は pH6 付近、大腸菌は pH3 付近であることから、親和性は良くない。

そこで、効果的な殺菌方法の開発を目的とし、電気化学的手法を取り入れた。すなわち、二酸化チタンを陽極として用い集菌効果を期待した新規殺菌方法の検討を行った。

実験方法

陽極には不織布タイプの二酸化チタン（アナターゼ、 $1.5 \times 3.5 \text{ cm}^2$ ）、陰極には白金（ $1.5 \times 1.5 \text{ cm}^2$ ）を用い、電解液にはリン酸緩衝液（ 0.1 M 、pH 7.1）を用いた。

LB 培地で大腸菌を 13 時間培養し、培養後の培養液を遠心分離機（2000 G、5 min）で集菌し、リン酸緩衝液を用いて洗浄した。同様の操作をもう一度行い、リン酸緩衝液（ 0.1 M 、pH 7.1、40 mL）に懸濁させた。その後、 10 mA の定電流下で通電を行いながら、超音波照射（36 kHz, 300 W）を行った。試料を採取し、コロニーカウント法により殺菌評価を行った。なお、対照実験として、通電のみ、通電は行わず超音波照射のみ、更には、超音波照射時に逆向きに通電を行った実験を同時に行った。

4 結果および考察

4.1 殺菌因子の検討

実験結果を Fig. 1 に示す。ラジカルスカベンジャーである tert-ブチルアルコール存在下で 120 分超音波照射を行うことにより、初期濃度の 95% の死滅を確認した。一方、無添加の場合では 99 % の死滅を確認した。また、照射 5 min、10 min、15 min、30 min、60 min、90 min でも無添加の場合においてそれぞれ 29 %、36 %、37 %、24 %、18 %、9 % の生存率であった。このようにラジカルスカベンジャーを添加することにより殺菌効果が抑制されることを確認した。ラジカルスカベンジャーは活性酸素を消去し無毒化する働きを有するので、二酸化チタン・超音波触媒法の殺菌因子としてヒドロキシラジカルが考えられる。また、十分量のスカベンジャーを添加した場合でも殺菌効果が得られることより、キャビテーション気泡の圧壊に伴う機械的作用も殺菌因子として示唆される。なお、ヒドロキシラジカル同士の結合により生じる過酸化水素も殺菌因子として考えられるが、過酸化水素生成濃度（120 min 照射で $8.2 \mu \text{M}$ ）における影響を調べたところ、直接的には影響を与えないという結果が得られた。

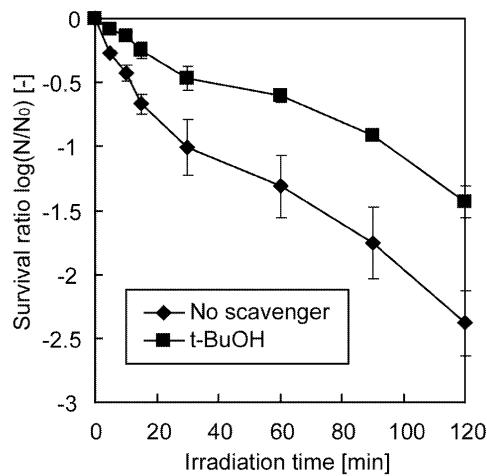


Fig. 1 Effect of radical scavenger on the *E.coli* disinfection during ultrasonic irradiation with TiO_2 .

4.2 膜酸化の評価

実験結果を Fig. 2 に示す。それぞれの蛍光強度の値は測定値からバックグラウンドとして、溶液の蛍光強度の値を差し引いた値を示した。ラジカルスカベンジャー無添加の場合では、超音波照射 5 min で蛍光

強度が増加し、その後一定となるという結果が得られた。一方、ラジカルスカベンジャーである tert-ブチルアルコール、グルタチオンを添加した場合では超音波照射を行っても蛍光強度の増加は確認されなかつた。このことから、二酸化チタン・超音波触媒法で生成したヒドロキシルラジカルが殺菌過程において大腸菌のリン脂質と反応し、過酸化脂質が生成する反応、すなわち連鎖的過酸化脂質反応を起こしていることが考えられ、ヒドロキシルラジカルの関与が強く示唆された。

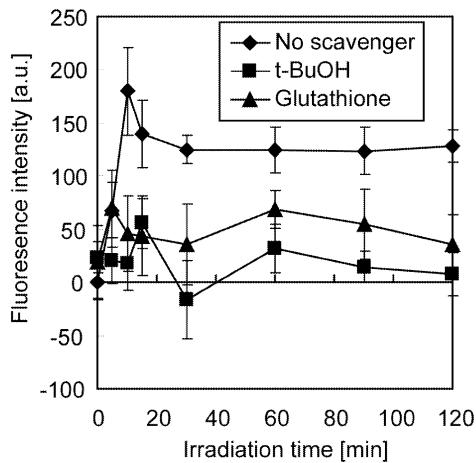


Fig. 2 Evaluation of lipidperoxide caused by $\text{TiO}_2/\text{ultrasound}$ method.

4.3 外膜損傷の評価

実験結果を Fig. 3 に示す。ラジカルスカベンジャー無添加の場合、超音波照射に伴い蛍光強度が増加し、15 min でピークとなり、その後減少していく結果が得られた。このことから、超音波照射に伴い外膜の損傷が起こること、さらに蛍光強度の減少から照射時間に伴い酵素活性が失われていくことが示唆される。一方、ラジカルスカベンジャーである tert-ブチルアルコールを添加した場合では、無添加の場合に比べて蛍光強度の増加が時間的に遅れるという結果が得られた。この結果から外膜の損傷にヒドロキシルラジカルが関与していることが示唆される。

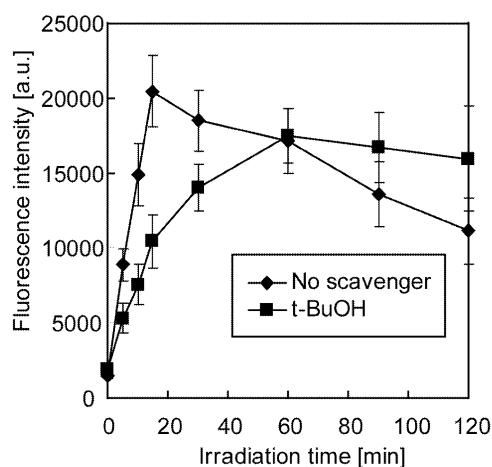


Fig. 3 Evaluation of outer membrane disruption caused by $\text{TiO}_2/\text{ultrasound}$ method.

4.4 核酸への影響の評価

細胞膜の損傷で溶出してくる核酸をアガロースゲル電気泳動法により解析した。実験結果を Fig. 4 に示す。白く光っている部分が核酸に相当する。照射時間に伴いバンドは薄くなり、低分子側に断片化することを確認した。このことより、大腸菌が短時間で溶菌され、溶出した核酸は生成したヒドロキシルラジカルにより断片化され、低分子化したことを確認した。

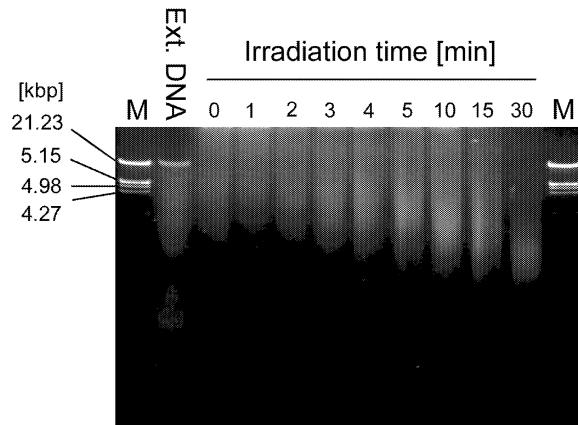


Fig. 4 Agarose gel electrophoresis of DNA released upon cell lyses during ultrasonic irradiation with TiO_2 . M, DNA size marker; Ext. DNA, chromosomal DNA extracted from *E. coli*.

4.5 殺菌効果の増強に関する検討

実験結果を Fig. 5 に示す。通電により超音波单独の場合と比較してより高い殺菌効果が得られ、また、逆向きに通電することで殺菌効果が抑制されるという結果が得られた。超音波单独の場合に比べて、電圧を印加することにより殺菌効果が促進された理由として、二酸化チタン表面で電子が引き抜かれる効果、すなわち、表面酸化の効果が加わったことが考えられる（カロメル電極に対して +0.7 V で起こることが報告されている）。更に大腸菌の細胞表面は負に帯電しており、ヒドロキシルラジカルやキャビテーション気泡の圧壊による機械的作用の発生頻度が高い二酸化チタン近傍に集菌されたため殺菌効果が促進された可能性が示唆される。

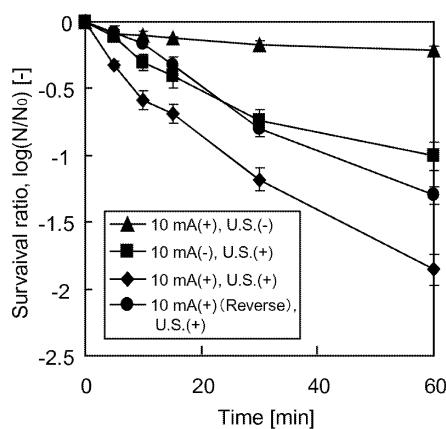


Fig. 5 Effect of applied current with TiO_2 /ultrasound method on *E. coli* disinfection.

5 結言

本研究により以下の点が明らかとなった。

- 1) 二酸化チタン・超音波触媒法を用いた殺菌メカニズムの要因としては、キャビテーション気泡の

圧壊時に生じるヒドロキシラジカル、衝撃波などによる機械的作用が考えられる。

- 2) 二酸化チタン・超音波触媒法と通電を併用したとき、殺菌効果の相乗効果が得られた。
- 3) 殺菌効果の促進理由として、二酸化チタン表面で電子が引き抜かれる効果、すなわち表面酸化の効果が加わったこと、およびヒドロキシラジカルや機械的作用の発生頻度が高い二酸化チタン表面近傍に集菌されたことに起因する可能性が示唆された。

参考文献

- [1] Shimizu, N. et al., Ultrason. Sonochem., 15, 988-994, 2008.
- [2] Dadjour, M.F., Ogino, C., Matsumura, S., Nakamura, S., Shimizu, N. *Water Res.*, 40(6), 1137-1142, 2006.
- [3] Dadjour, M.F., Ogino, C., Matsumura, S., Shimizu, N. *Biochem. Eng. J.* 25, 243-248, 2005.

編集委員会

井上睦夫・柿川真紀子・木下栄一郎
鈴木信雄・田中茂雄・塚脇真二・長谷部徳子

金沢大学環日本海域環境研究センター

平成20年度年報

発 行 日 2010年1月29日

発 行 人 中村浩二

編集・発行 金沢大学環日本海域環境研究センター
〒920-1192 金沢市角間町

印 刷 所 田中昭文堂印刷株式会社
〒920-0377 金沢市打木町東1448番地

金沢大学
環日本海域環境研究センター
<http://k-inet.ee.t.kanazawa-u.ac.jp/>

〈事務局〉

金沢大学角間南地区 事務部総務課 総務第二係
Address 920-1192 金沢市角間町
Tel 076-234-6825, 6826, 6830, 6833
Fax 076-234-6842
E-mail s-somu2@ad.kanazawa-u.ac.jp