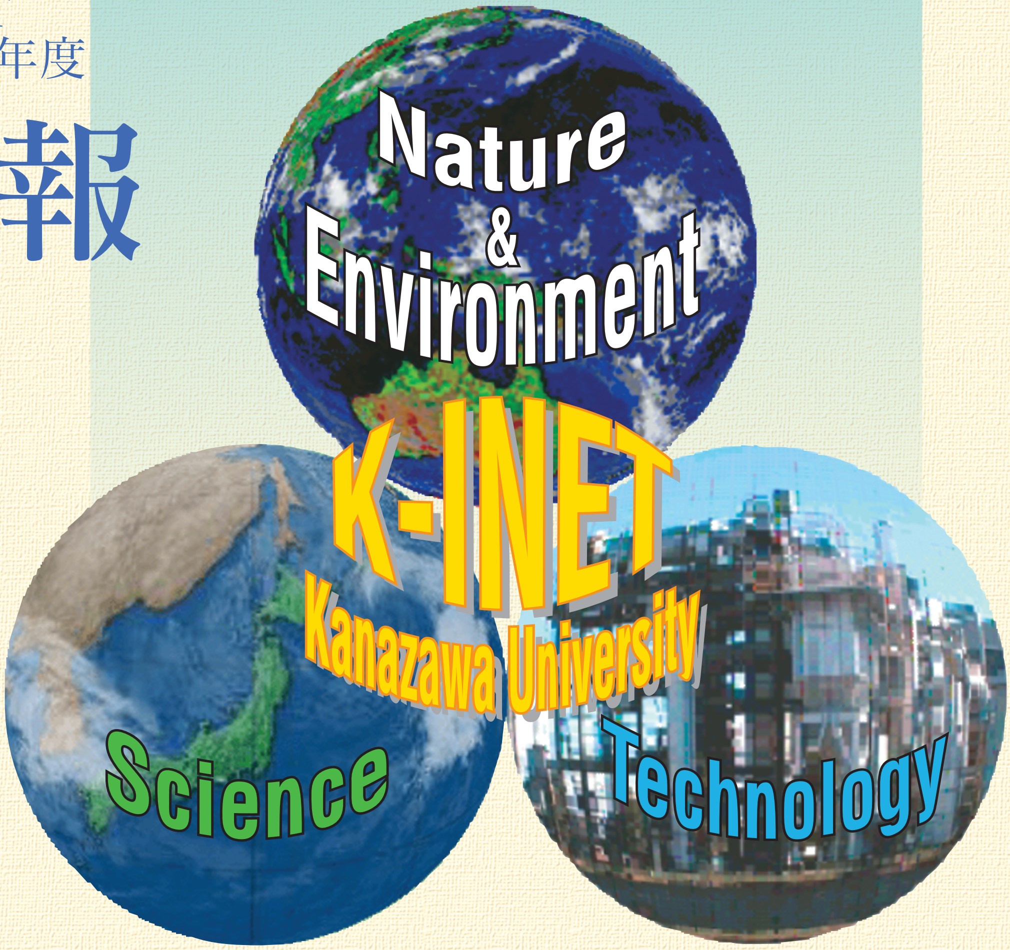
金沢大学
環日本海域環境研究センター

Institute of Nature and Environmental Technology

Kanazawa University
Japan

K-INET
平成25年度

年報



2013

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

目　次

活　動　報　告

巻　頭　言

環日本海域環境研究センター長　早川和一

平成 24 年 4 月に環日本海域環境研究センター長に就任し、早くも 2 年近くが経過ました。この間、文部科学省全国共同利用・共同教育拠点「日本海域環境教育共同利用拠点」に採択された臨海実験施設は、その後も利用者が着実に増加し、実績を伸ばしていることはよろこばしい限りです。

また、臨海実験所と低レベル放射能実験施設の改修が 3 月に完了したことも大きなニュースです。臨海実験所は昭和 33（1958）年に理学部附属能登臨海実験所として設立されました。また、低レベル放射能実験施設はやはり理学部附属低レベル放射能実験施設として昭和 50（1975）年に設立されました。いずれも建物の老朽化が激しく、その改修は長年の懸案でした。今回の改修で、臨海実験施設は食堂、講義室、実習室及び各研究室の配管・空調設備が更新され、緊急避難場所として駐車場も設置されました。また、低レベル放射能実験施設は既存の建物の改修工事とともに、共同研究者用の実験室が増築され、入り口の壁面には、環日本海域の逆さ地図をモチーフにしたレリーフが設置されました。いずれの施設も、学内の学生・教員はもとより、学外・海外の研究者の利用が増大して、いっそうの研究成果があげられるように期待しています。

平成 24 年度報告書の巻頭言には、本センターの平成 25 年度全国共同利用・共同研究拠点申請は、ヒアリングまで残ったが残念ながら不採択であったこと、その理由の一つとして、本センターの共同研究実績の少なさが指摘されたことを述べました。これを改善するための対策として、本年度は学外の研究者と本センターの教員との共同研究を公募し、16 件を採択しました。

そして、平成 26 年 3 月 5，6 日の 2 日間にわたって角間キャンパス自然科学研究棟で、平成 25 年度環日本海域環境研究センターシンポジウムを開催しました。第 1 日目の「共同研究成果報告会」では、上述の平成 25 年度に採択された共同研究課題の中から 4 課題について、代表者から成果を発表していただきました。第 2 日目の「戦略研究成果報告会」では、戦略的推進プログラム及び次世代重点研究プログラムの研究成果をそれぞれの代表者と主要分担研究者から発表していただきました。いずれも、発表後には活発な質疑応答が繰り広げられ、共同研究の重要さを改めて認識した次第です。これらの研究がますます発展・展開して、多くの共同研究成果が論文に纏められて、国内外に発信されることを期待して止みません。

平成 25 年度末で清水宣明教授がご定年退職されました。先生には、これまで環日本海域環境研究センターが、2002 年に自然計測応用研究センターとして設立した当初から、本センターの発展にご尽力頂きましたことに、厚く御礼申し上げます。

環日本海域環境研究センターは、21 世紀 COE プログラム「環日本海域の環境変動と長期・短期変動予測」の事後評価で、環日本海域の環境研究に焦点を合せて研究教育を推進するのが良いとの指摘を受け、センター名（和文）を「環日本海域環境研究センター」に改称しました。しかし、組織は従来のままで、必ずしもその名に相応しい研究内容に集約されたわけではありませんでした。今後は、名実ともに環日本海域の環境研究に取り組む世界トップクラスの研究拠点を目指して、組織改革に取り組むことになるでしょう。日

最後に、環日本海域環境研究センター平成 25 年度報告書をご覧いただき、当センターの活動にご理解を頂きますとともに、今後の発展に忌憚のないご意見を頂ければ幸いに存じます。

平成 26 年 12 月

金沢大学環日本海域環境研究センター　日本海域環境学教育共同利用拠点の利用実績の紹介

鈴木信雄

１．はじめに

臨海実験施設は、平成 24 年に日本海域環境学教育共同利用拠点に認定された。ここでは、拠点活動の実績について述べる。

２．日本海域の総合環境学の教育拠点

平成 24 年度 7 月 31 日付けで日本海域環境学教育共同利用拠点に認定された。以下にその経緯とこれまでの利用実績を示す。

当施設は、北陸 3 県（富山県、石川県、福井県）の大学の臨海実習を行う拠点として昭和 33 年に発足した。以来、自大学のみならず富山大学や福井大学の臨海実習を実施してきた。さらに、全国臨海臨湖実験所が主催する公開臨海実習（全国の国公立及び私立大学の大学生・大学院生を対象にして実施する単位互換性の臨海実習）を行い、日本海の生物多様性を中心とした環境学を学ぶ施設として貢献してきた。

平成 24 年度に実施した公開臨海実習では、11 大学（帯広畜産大学、埼玉大学、東洋大学、静岡大学、富山大学、福井県立大学、京都大学、大阪大学、奈良女子大学、広島大学、鹿児島大学）から 23 名の受講生が参加して日本海の生物多様性を個体レベルのみならず分子レベルでも学んだ。

平成 25 年度の公開臨海実習においても、13 大学（お茶の水女子大学大、京都大学、立教大学、大阪大学、高知大学、奈良女子大学、東洋大学、山梨大学、千葉大学、甲南大学、愛知教育大学、東京農工大学、日本獣医生命科学大学）から，21 名の受講生が参加した。この実習の旅費は、学生負担であるにもかかわらず、毎年全国から多くの受講生が参加しており、とても人気の高い実習である。さらに北里大学、東海大学、九州大学、東北大学、首都大学東京等からの利用もあり、日本全国から日本海の環境学を教育・研究する拠点となっている。その他、富山・石川・福井県の高等学校のスーパーサイエンスハイスクールの実習を行い、高校生に海の動物の分類・系統についても教育している。金沢こども財団を通して、小学生や中学生にも日本海に生息する生物を教えてきた実績もある。

以上のように、当施設は全国レベルの大学生及び大学院生に対して、日本海の環境学を教育する拠点として貢献し、かつ高校生、中学生及び小学生の教育も実施してきた。平成 23 年度は他大学の利用は 13 校、延べ人数は 1,076 名、平成 24 年度は他大学の利用は 21 校、延べ人数は 1,509 名、平成 25 年度は施設の改修工事（平成 25 年 12 月から平成 26 年 3 月）のため、実質 4 月から 11 月の実績であるが、他大学の利用は 22 校、延べ人数は 1,601 名であり、利用率が増加している。改修工事によりリニューアルした当施設の平成 26 年度の利用実績は、顕著に増大した（30 校近い他大学の利用、2,000 以上の延べ人数の見込み）。日本海域環境学教育共同利用拠点は、平成 28 年度に再認定の申請を行う予定であり、今後、さらに利用者を増やすよう、努力していきたい。

低レベル放射能実験施設及び臨海実験施設の改修工事

鈴木信雄・長尾誠也

文科省の補正予算により、平成25年度に施設の改修工事が行われました。低レベル放射能実験施設は、既存の建物の改修工事とともに、共同研究者用の実験室が増築され、入り口の壁面には、環日本海域の逆さ地図をモチーフにしたレリーフが設置されました（写真参照）。また臨海実験施設は、部分的に改修工事が行われ（写真参照）、食堂、講義室、実習室及び各研究室の配管・空調設備が更新され、緊急避難場所として駐車場も設置されました。

低レベル放射能実験施設の改修後の建物

臨海実験施設の改修前後の食堂と講義室

１年間の活動概況

国際ワークショップ・シンポジウム

1　第 10 回 East Asia International Workshop on Present Earth Surface Processes and Long-term Environmental Changes in East Eurasia, 2013.10. 7 － 12, Guangju, Korea，約 100 名

研究会等の開催

1　ユーラシア東部/環日本海域国際環境セミナー(講師：梁東潤)，自然科学講義棟 1 階 ワークショップ 1，50 名，2014.1.15
2　ユーラシア東部/環日本海域国際環境セミナー(講師：林俊全)，自然科学講義棟 1 階 108 室，36 名，2014.2.7
3　北陸流体工学研究会（2013 年 8 月 17 日，北陸先端大学院大学，約 100 名
4　第 19 回大気化学討論会（2013 年 11 月 6～8 日，七尾市，約 109 名）
5　北陸流体工学研究会（2014 年 3 月 1 日，福井大学，約 100 名）
6　電気学会マグネティックス研究会、平成 25 年 10 月 24-25 日、金沢大学自然科学図書館棟会議室 G15
7　電気学会マグネティックス研究会、平成 25 年 12 月 19-20 日、金沢大学自然科学図書館棟会議室 G15
8　第２回金沢バイオエンジニアリング・コンポジット研究会、平成 26 年 2 月 21 日､金沢市（石川県文教会館）

社会教育を目的とした実習・講義

1　富山県カンボジア王国親善協会記念講演「アンコール世界遺産の開発と保全にかかる諸問題-この 20 年を振り返って」（2013 年 5 月 13 日，約 80 名）
2　海外学生インターンシップ（2014 年 8 月 23 日～9 月 7 日，カンボジア王国アンコール世界遺産管理機構，8 名）
3　留学生の課外活動「華道」（通年，金沢大学，約 20 名）
4　電気学会東京支部講習会「磁気応用技術が拓く医療のフロンティア」､主催　電気学会東京支部、平成 25 年 7 月 12 日、電気学会会議室（東京）
5　テクノフロンテア 2013 磁気応用技術シンポジウム「モータの小型・高性能化に向けた解析手法と事例」､（社）日本能率協会、平成 25 年 7 月 19 日、東京ビックサイト

シンポジウム開催報告

1　第 10 回東アジア国際ワークショップ「現在の地表プロセスと東部ユーラシアの長期環境変動」

地球環境計測部門　長谷部徳子

本国際会議は当センターの主催もしくは共催で，日本，韓国，中国，台湾で開催され，記念すべき第 10 回会議は韓国の光州で執り行われた。海外からの参加者は 70 名近く，韓国国内からの参加者は，30 名程度で約 100 人の参加者を得た。10 月 7 日に受付を開始し，８−９日に口頭発表及びポスター発表が実施された。第 10 回開催を記念して Special Lecture が企画され，Gale 教授が「Geochronology: the key to reconstructing the recent past」と題した講演を，また Andreev 博士が

「Long-term environmental changes in northeastern Eurasia since Middle Pliocene inferred from the Lake El'gygytgyn pollen record」と題した講演をおこなった。続く 10-11 日には野外巡検が実施され，順天湾の湿地帯や先史時代の遺跡（ファスン巨石群）及び斜面の土地利用（ボソン）などを視察した。この会議には留学生支援制度の短期派遣プログラムを利用して，金沢大学の学生が実習の一環として参加し，国際的な環境研究の最前線を学ぶとともに，国際交流をおこなった。

2　北陸流体工学研究会

エコテクノロジー研究部門　木村繁男

北陸３県内の金沢大学，金沢工業大学，富山大学，富山県立大学，福井大学，福井工業大学等から約 100 名の研究者・学生が参加し，風力発電，地中熱，地熱発電，CFD（数値流体解析），流体運動の可視化, 熱移動, 相変化, 非ニュートン流体, 混相流などについて研究発表を行った．毎年，夏には新しく北陸の大学に着任した教員の紹介を兼ねて講演を行ってもらい，3 月には修士 2 年の学生を中心にして研究発表を行っている．今年度は 2013 年 8 月 17 日に北陸先端大学院大学，2014 年 3 月 1 日に福井大学で開催された．

3　第 19 回大気化学討論会

エコテクノロジー研究部門　松木　篤

富山大学，金沢大学，石川県立大学，富山県立大学など北陸地域の会員が中心となって実行委員会を組織し, 第 19 回目の大気化学討論会を開催した. 全国から総数 109 名（一般 71 名，学生 38 名）の参加があり，特別講演はセンター長の早川和一教授が務めるなど，北陸における大気研究のアクティビティを紹介する良い機会となった．また，討論会終了後のエクスカーションとして, 能登半島先端の石川県珠洲市にある能登スーパーサイトの見学を企画し, 20 名近い参加があった．当研究部門の活動が認知されるとともに，こうした取り組みが契機となって，能登スーパーサイトを舞台とした共同研究も始まっている．

4　平成 25 年日本磁気学会学術講演会

Symposium “Genaration and Utilization of a Magnetic Field for Medaical Applications”

主催　日本磁気学会、平成 25 年 9 月 5 日、北海道大学

２．組織と運営

研究組織

【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，および自然環境の保全と持続的活用のため，大気環境計測技術の開発とその実用化，自然界のエコエネルギー源の計測ならびにその要素技術の研究開発，東アジアの自然環境の成立とその環境変遷史/将来予測に関する研究をおこない，自然環境の保全技術の開発と環境にやさしい産業活動の創出とに貢献する．

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″の相互関係，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。

センターの構成

地球環境計測研究部門

教　授	山本政儀、長尾誠也
客員教授	梁東潤、林俊全、中村俊夫
准教授	長谷部徳子
助　教	福士圭介、浜島靖典、井上睦夫
研究員・協力員	Aleksandr Orkhonselenge，伊藤一充，北台紀夫
技術員・補佐員	大林麗子、中本美智代

エコテクノロジー研究部門

教　授	木村繁男
教　授	塚脇真二
准教授	松木　篤
助　教	仁宮一章
客員教授	石戸恒雄（産業技術総合研究所）

生物多様性研究部門

教　授	
准教授	木下栄一郎、鈴木信雄
助　教	関口俊男
連携研究員	赤石大輔、笠木哲也、木村一也、小路晋作
技術員・補佐員	又多政博、曽良美智子、安田晴夫

生体機能計測研究部門

教　授	清水宣明，山田外史
客員教授	笹田一郎
准教授	田中茂雄
助　教	柿川真紀子
研究員・協力員	南谷　保
技術員・補佐員	池畑芳雄，松田彩子

事務担当

人事係	西口 明宏、北川 達也

３　研究・運営活動

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に取り組んだ。

1 湖沼-流域系を対象とした現代の地表プロセスの解明と歴史時代における水文環境の解析

湖沼堆積物は湖沼－流域系において環境変動の記録を保存すると同時に汎世界的な環境変動の情報も有する記録媒体である。一般に小規模な湖沼－流域系では短期間の水文環境変動および地表プロセスの解明に用いられ，大規模な湖沼－流域系では長期間の水文環境変動の復元が行われてきた。本研究ではプロセスと変動の解明を目的として，小規模な湖沼－流域系（金沢市滝谷池）と大規模な湖沼－流域系（琵琶湖，大沼）を対象とし，観測と湖沼堆積物試料採取・分析を進めてきた。滝谷池の観測試料および資料から，堆積速度は降水強度（外的要因）と水位低下量（侵食可能な面積の増加；システム要因）の関数で表すことができた。琵琶湖では堆積物コア試料の物理量（鉱物粒径，密度，鉱物含有率）から伊勢湾台風（1959 年）および明治大豪雨（1896 年）を検出することができ，その侵食・堆積環境を推定した（Itono et al., 2012）。北海道渡島半島の大沼湖沼－流域系では，水文資料の解析とコア試料の分析から年間降水量（夏季降水量）は堆積物の物理量（鉱物粒径）に対応することを明らかにした。また，夏季と冬季では流域－湖沼プロセスの相違が物理量にも反映していることを明らかにした。

2 余呉湖沼堆積物の光励起ルミネセンス年代測定と環境変動解析

未来の環境変動を知るためには過去の環境変動を解明する必要がある。湖沼堆積物は流域の人為的影響を含めた環境変化の記録を保持している。余呉湖は直接の流出河川を持たない準閉塞湖であるため、比較的乱されずに環境変化の記録記録を保持していることが期待されるのに加え、粗粒は降水量増加を示すという様に鉱物粒径と降水量が比例することがわかっている。本研究では余呉から得られた柱状試料に対して詳細な光励起ルミネセンス年代測定を行うことで､余呉湖過去数 1000 年にわたる環境変動の解析を試みた。その結果、先行研究では鉱物粒径が大きく変化する水文レジームの変化点

を約 1300 年前としていたが、本研究の年代軸に基づくと、その年代は約 2300 年前とおよそ 1000 年も異なる値を示した。このような水文レジームの変化が起きる要因として、地震などによる流入河川の変化や湖底の沈降が考えられるが、湖底の沈降は鉱物粒径の粗粒化と矛盾している。また、湿潤化を反映している可能性もあるが､約 2300 年前に相当する縄文晩期から弥生にかけて気候は寒冷化したと言われており(山本,2010)、気候が類似している琵琶湖では湿潤と温暖が対応しているためこれも矛盾している。人類紀自然学編集委員会(2007)によると、縄文晩期から弥生時代にかけて日本では稲作が普及している。余呉湖は淡水湖であるため、湖の堆積過程に影響を与えるような人間活動が活発化したとすれば、粗粒化することも考えられる。

3 大気中ナノ粒子の吸水挙動の分光学的検討

ナノサイズの鉱物粒子は、地球表層・大気中での化学反応プロセスにおいて重要な役割を果たしている。地球上に存在する代表的なナノサイズ鉱物粒子としてフェリハイドライトが挙げられる。フェリハイドライトは地球表層に広く分布する低結晶性鉄酸化物であり、巨大な比表面積を持つ。地表水のほぼすべての微量元素の移動度はフェリハイドライト上の吸着方法によって影響される。したがって水溶液中の生体必須主要元素の動態にもフェリハイドライトのもつ吸着プロセスが関与している可能性が高い。また近年、大陸からの大気中エアロゾル中にフェリハイドライトが普遍的に存在するとの報告がある。フェリハイドライト表面の反応性には、表面に吸着した水分子が大きな影響を及ぼすことが指摘されている。本研究では表面上の水の吸着の分子レベルでの理解を目的としてフェリハイドライト表面に吸着した水の分子構造を減衰全反射（ATR）赤外分光(IR)法および水蒸気吸着・脱離等温線測定から検討した。ATR-FTIR 結果から、低湿度(相対湿度<30%)におけるフェリハイドライトは構造化した水との強い吸着を示し、高湿度(相対湿度>30%)条件においては液体水構造としての弱い吸着が確認できた。また、吸着・脱離等温線から、低湿度(相対湿度<32%)条件では水分子は多分子層吸着とした強い吸着を示し、高湿度(相対湿度>32%)条件においては毛管凝集作用により弱い吸着を示すことが確認できた。

4 その他の研究

このほかに､｢第四紀の火山活動の年代決定に関する基礎実験｣｢方解石の熱ルミネセンス特性｣｢非晶質炭酸カルシウム変質挙動のその場分光観察｣｢ナノサイズアルミニウムケイ酸塩による鉛の吸着の表面錯体モデリング｣｢グリシン重合化に及ぼす鉱物種の影響 ｣｢スメクタイトに保持された微量セシウムの脱離挙動｣｢原子間力顕微鏡を使用した南極大陸のジルコンのフィッション･トラック年代測定｣に関する研究も行った。

【低レベル放射能実験施設分野】

研究概況

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環境・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、福島第一原発事故関連も含めて以下の研究を実施した。

地球・環境化学的研究

1) 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，冬期にはシベリア等気圧に伴う季節風によって､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，環境汚染物質や黄砂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 20 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 ^{7}Be、②主に大陸起源の ^{210}Pb、③土壌起源の ^{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，大気エーロゾル，鉱物粒子(黄砂も含めて)の大陸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．併せて、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、ハイボリュム・エアサンプラーを用いて、エアロゾルも採取し，大気と降下物のつながり、変動などを検討した。

2) ^{228}Ra/^{226}Ra 比からみた対馬暖流の水塊流動

日本海の多くを占める対馬暖流は季節変動や年々変動を示すことから、その水塊流動の詳細については、不明な点が多い。本研究では、水塊流動のトレーサーとして ^{228}Ra/^{226}Ra 比を用い、2010-2013 年の 7 月に中央水産研究所所属の蒼鷹丸の航海で採取された、日本海表層海水の ^{228}Ra/^{226}Ra 比から、表層海水の循環パターンを議論した。その結果、^{228}Ra/^{226}Ra 比に福井沿岸～沖合側線に明らかな境界(～37°N) がみられた。沿岸分枝と沖合分枝の存在を示唆する。秋田沿岸～沖合側線では、その中間値を示すなど沿岸分枝と沖合分枝のほぼ対等な混合を示唆した。さらに北緯～40°以北で、リマン海流が確認された。

3) 陸奥湾における堆積環境の研究

青森県の陸奥湾をフィールドにして､海底堆積物の堆積環境変遷解明の研究を 2011 年から行っている。陸奥湾は大都市と比べて人口密度の低い地域に存在し、沿岸からの人為的影響が比較的少ないと推察できるが、陸奥湾は漁業生産の場として古い歴史を持ち、1970 年代から増養殖産業(特にホタテ)が盛んに行われており､過密養殖によるホタテの大量斃死､水質悪化による赤潮の害が発生しており、ヘドロの増加も懸念されている。内湾全域の堆積環境の解析を目的として、西湾と比べて海水交換が少なく、汚染が進行していると思われる東湾を中心に新たに 7 地点でコアーを採取した。堆積環境の変遷の全体像を把握するために、^{210}Pb (半減期 22.3 年)を用いた堆積速度、蓄積量，さらに有機物などを検討した。その結果、湾央が沿岸と比べて，過剰 ^{210}Pb 量の蓄積量が多く、表層が 10-15cm 深さまで生物的作用で撹乱されていることが見出され，湾央への sediment focusing が進行していることが示唆された。

4) 能登半島七尾湾流域における物質動態研究

里山と里海の連関性を物質動態の観点より検討するため、2013 年 4 月に熊木川と七尾西湾での調査を実施した。熊木川では上流から下流まで、栄養塩と窒素同位体比分析用の河川水試料を密に採水した。七尾西湾では、地下水の寄与を検討するために海水の Ra と栄養塩を測定した。また、海草の現存量調査とともに、生産量調査を石川県、長崎大学と共同で実施した。

5) 木場潟の有機汚濁の変遷

湖沼における有機汚濁の指標として、化学的酸素要求量(COD)が用いられている。湖沼での有機汚濁は、流域から流入する直接負荷に加え、植物プランクトンによる湖内生産および底泥からの栄養塩類溶出の水域内部で発生する間接負荷と関係する。そのため、湖沼の水質改善を推進するためには、湖沼の有機物の特性、起源を把握することが重要である。本研究では、現在もCOD値が高い木場潟を対象に、有機汚濁の原因について堆積物の有機物の分析結果より検討した。

2012 年 6 月に中央部で採取した柱状堆積物の ^{210}Pb の深度分布より求めた堆積速度は、表層 0~8 cm で 0.15 g/cm^2/y、8~14 cm では 0.05−0.11 g/cm^2/y、14~26.7cm で 0.05 g/cm^2/y と大きく変動し、流域環境の変化が起こっていると考えられる。現在の堆積物への有機炭素（TOC）フラックスは深さ 14 cm の 1959 年当時に比べると約 4 倍高く、近年、湖内での有機物の蓄積が増加していることが明らかとなった。一方、TOC/TN モル比（C/N）は 15.7 から 12.8 と現在に向けて減少している。陸上植物の C/N は 20~75、植物プランクトンは 7~8 であることから、近年の有機物の蓄積には植物プランクトンの寄与が相対的に増えていることが示唆され、木場潟の COD 増加と関連する可能性が考えられる。

6) C-14 をトレーサーとした有機物の環境動態研究

地球温暖化に関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。当実験施設では、炭素安定同位体比（δ^{13}C）と放射性炭素（Δ^{14}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。本研究では、河川流域から河川を経由して輸送される粒子態有機物の移行動態、および、沿岸域堆積物への堆積過程を明らかにするため、九頭竜川、釧路川、別寒辺牛川−厚岸湖、熊木川−七尾西湾を対象に検討を進めている。九頭竜川では、九頭竜川本流と主要な支流の日野川を調査地域に設定し、下流域の 1 地点で 2010 年に 4 回、河川水約 120L を流心から採取した。連続遠心機を用いて河川水から懸濁粒子を分離し、凍結乾燥した後にメノウ乳鉢で粉砕して粉末試料とした。有機物の C-14/C-12 の測定は、1M 塩酸で炭酸塩の除去を行った試料について、日本原子力研究開発機構青森研究開発センターむつ事務所の加速器質量分析計により行った。測定した値はΔ^{14}C = ((pMC/100)−1) x 1000)として表した。また、C-13/C-12 の測定は、質量分析計により行い、δ^{13}C 値として表した。河川懸濁粒子と沿岸域堆積物の有機炭素含量、全窒素含量は元素分析計により測定した。

河川懸濁粒子有機物のδ^{13}C 値は、九頭竜川で–26.3‰から–24.0‰、日野川では–27.0‰から–26.1‰であった。一方、Δ^{14}C 値は九頭竜川で–168‰から–87‰、日野川で–209‰から–143‰であり、九頭竜川の方が見かけ上、新しい有機物で構成されていることが明らかとなった。また、C/N 比の平均値は、九頭竜川で 9.1 ± 1.1、日野川で 8.2 ± 1.1 と、炭素同位体比と同様に九頭竜川と日野川で違いが認められた。これらの懸濁粒子の有機物の特徴の違いを検討した結果、流域の特徴と流量が関係する可能性が示唆された。

7) カリフォルニアに落下した炭素質隕石中の宇宙線生成核種

尾小屋地下実験室の極低バックグランド井戸型 Ge 検出器を用いて, 2012 年 4 月 22 日にカリフォルニアに落下した炭素質隕石の中から，2012 年に測定した 3~5g 程度の試料 2 個に引き続き 3.2g 資料を

尾小屋地下実験施設の井戸型 Ge 検出器で測定した。落下後 1 年経過していたため Cr51, Be7, Co58,は検出限界以下であったが Co57, Mn54, Co60, Na22, K40, Al26 を検出した。他の分析結果とともに，Meteoritics & Planetary Science（2014） に掲載され，隕石の由来などを考察した。

福島第一原発事故に絡む放射能汚染の調査・研究

事故が発生して以来 3 年余りが経過した。今年度も，昨年度に引き続き、環境に放出された放射性核種、特に放射性セシウムの動態研究 (福島県・新潟県内の河川、太平洋) および超ウラン元素諸核種 (^{238,239,240}Pu, ^{241}Am, ^{242,243,244}Cm) の測定を実施した。

1) 福島県河川湖沼

福島第一原子力発電所から環境中に放出された放射性セシウムは陸上の広範囲に沈着し、福島県と茨城県、群馬県の山間部に比較的高い放射性セシウムの蓄積量を示している。2011 年 5 月 20 日から 2012 年 11 月 2 日まで福島県白河市の羅漢橋と伊達市の梁川大橋で採取した河川水について測定した結果､河川水中の ^{137}Cs の全放射能濃度（溶存態＋懸濁態 Cs-137 放射能濃度）は，白河で 0.024～0.59Bq/L,伊達では 0.043～2.32Bq/L の範囲を示した。降雨後に観測した 2012 年 6 月 20～21 日を除くと，平水時の河川環境では，福島原発事故後，時間の経過とともに徐々に河川水中の ^{137}Cs 放射能濃度が減少していることを示している。このような変動傾向は，阿武隈川の他の観測点や宇多川，新田川，鮫川，夏井川でも認められた。ただし，中流の伊達観測点では，上流の白河観測点に比べて放射能濃度が高い傾向である。このことは，上流から下流へ河川水が移行する過程で，流域からの放射性セシウムの流入が存在することを示唆している。

2012 年 3 月 8 日, 4 月 18 日の平水時に伊達で採取した河川水の ^{137}Cs 放射能濃度は 0.043～0.079 Bq/L の値を示したが，6 月 20 日未明の台風 4 号（グッチョル）通過に伴う降雨後に採取した河川水は最大で 2.32 Bq/L まで増加した。同様の ^{137}Cs 放射能濃度増加は,上流の白河,中流の本宮,下流の岩沼でも観測され,最大値は 3.83 Bq/L であった。この時の粒子態の割合は平水時の 77-89%から 100%近くまで増加し,各観測点での水位変動との関連性が認められた。これらの結果より,台風に伴う降雨により粒子態の放射性セシウムがパルス的に陸域から海洋へ放出されるが,全体的には放射性セシウムの流出は減少していることが明らかとなった。

2) 新潟県河川・沿岸域

日本海側では、原発からの汚染水の直接流入はなく、大気からのフォールアウトによる影響も極めて小さい。一方で、阿賀野川は、その上流を福島県にもち、新潟県を経て日本海にそそぎ込む。それを反映し､信濃川河川粒子の ^{134}Cs 濃度は 20-30 Bq/kg-dry に対し､阿賀野川では 100-700 Bq/kg-dry と、河川水粒子中の ^{134}Cs 濃度が高い値を示す。また、阿賀野川河口付近の海底堆積物の ^{134}Cs 濃度は 2-30 Bq/kg-dry で、河口に近いほど高濃度を示した。阿賀野川が福島原発起源の ^{134}Cs を日本海に運搬したと考えられる。阿賀野川流域から河口域における、河川粒子、海底堆積物の ^{134}Cs の分布を調べることで、阿賀野川河川粒子が河川から海底に堆積するまでのプロセスおよびその移動範囲を議論した。

3）超ウラン元素諸核種の測定

放射線影響の観点から重視されている ^{90}Sr やプルトニウムをはじめとする超ウラン元素諸核種については、これら核種が測定困難なβあるいはα線放射体のために当初情報が非常に少なかった。原子

炉でウラン燃料が燃やされると燃料ウラン（主に ^{238}U）と中性子との核反応、さらに生成した Pu と中性子との核反応により種々のPu同位体が生成され、^{239}Puに対する存在度が燃焼度と共に増加する。それ故、原発由来 Pu の存在を検知あるいは識別する際には、濃度のみならず同位体比での検討が必須である。2012 年 9-11 月にかけて、原発近傍の市町村（南相馬市、浪江町、双葉町、大熊町、それから原発南方の市町村）から立ち入りの許可を得て、黒い物質（道路脇のダストを含む土壌）や落ち葉、さらに降下量評価のための土壌コア試料を 100-200 地点で採取した。土壌コア試料については、^{238}Pu、$^{239、240}$Pu のみであるが、黒い物質や落ち葉にでは殆どの試料について、試料 40-70g から ^{238}Pu、$^{239、240}$Pu、 ^{241}Am、 ^{242}Cm、$^{243、244}$Cm を明瞭に検出でき、原発由来 $^{239、240}$Pu 蓄積量のみならず、これら核種間の信頼に耐え得る放射能比を評価することができた。土壌コア試料から評価された原発由来 $^{239、240}$Pu 蓄積量は、0〜2.8 Bq/m^2 で平均 0.20±0.37 Bq/m^2 で非常に少なく、$^{239、240}$Pu/^{137}Cs 比は 10^{-7} オーダであることが分かった。原子力研究開発機構の西原らが評価した原子炉のコア・インベントリーの核種間の比と今回測定した試料での核種間の比との比較を示すが、$^{239、240}$Pu/^{137}Cs 比を除いて、両者は 2 倍以内でよく一致していることが分かった。このような結果は、U（^{236}U 測定は広島大・坂口らとの共同）も含めて、Pu、Am、Cm が大きな分別をすること無く、微粉末となって蒸気と共に放出（carry-over）された可能性が高いことを示していると思われる。これらのデータは、原子炉の燃焼度、メルダウン・メルトスルーの燃料破損状況の考察、さらに環境中での非揮発性 (refractory) 元素（Pu など）と揮発性 (volatile) 元素（Cs など）の拡散、降下挙動を比較検討する上で貴重なデータではないかと考えている。

4) 海洋環境における放射性核種の長期挙動に関する研究

海水中に震災前から存在する極微量の人工放射性核種 ^{137}Cs（30.17 年）に加え，震災以降放出された ^{137}Cs 及び ^{1347}Cs（2.06 年）の海水循環の研究で，総計 292 試料の北太平洋全域の表層海水，南太平洋南極大陸周辺の N62.0/E132.6 度の 4500m までの深度分布を尾小屋地下実験室の Ge 検出器で測定した。この結果から太平洋の海水循環，特に南極大陸周辺の深度分布が初めて明らかになり，加えて震災により放出された放射性物質の移流拡散が明らかになった。この結果は，他の分析結果とともに海水大循環予測モデルのデータとして提供し，モデルの検証が行われている。

エコテクノロジー研究部門

【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

低エンタルピエネルギーの利用においては，地下タンク内に満たされた水を熱源とする空調，路面凍結防止システムについて数値的に検討した．数値モデルは 2 次元のタンク鉛直断面内を解析対象とした．タンク外壁は簡単のために断熱条件とした．一方，タンク内の熱交換器も簡単のため円管とした．スケール解析を実施した結果，非定常なタンク水への蓄熱プロセスは，熱伝導支配，自然対流支配，そしてタンク上部に滞留する温水が熱交換器を覆うようになって，再び熱伝導支配になること，

またそれぞれの状態になるまでの時間を与えられたパラメータを用いて予測した．2 次元の層流モデルを用いた数値解析により，理論的に予測された時間の妥当性が検証された．引き続き乱流モデルを用いたより現実的規模でのスケール解析の検証を行う予定である．また，タンクから地中への熱移動については，地下水の水位と地下タンクとの位置関係を重要なパラメータとして今後整理して行く予定である．

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．本年度は，錫—亜鉛の２元共晶系合金（Sn6.8ｗｔ％）を用いたより高温における凝固過程の実験を行った．直径 13ｃｍ，深さ 13ｃｍのステンレス製るつぼと電気炉を用いて溶融合金を作り，上部に直径 12ｃｍの円筒状冷却盤を接触させて凝固層を形成させた．実験は凝固層が 5ｍｍ～10ｍｍに成長するまで行い，1ｃｍ四方のサンプルを切り出し，光学顕微鏡により組織の観察を行った．凝固初期においては Sn の初晶が多く見られる．しかし，凝固の進行とともに Zn が排出され，融液の Zn 濃度が上がり，結果的に実験終了時近くで形成された固層では共晶組織の割合が多くなることが確認できた．ただし，凝固速度が速すぎるため，その制御が上手く行かず，さらに巣が多くみられる結果となった．そのため，今後は冷却盤を改造し，冷却面温度が 200℃から数十℃まで制御できるようにする．さらに，蛍光 X 線分析装置により，生成された固層内での Sn 成分の分布を定量的に評価する予定である．

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などを決定し，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小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．本研究では，金沢大学角間キャンパスの里山内にある 20m の観測タワーを利用して，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楢やくぬぎの木が多く密生し，所々に竹の群落が見られる．また，観測点は丘陵地の尾根の部分に位置している．今年度は 5 台の超音波風速計にる常時風速の計測を行う計測システムを実施した．森林内の移動現象を支配しているのは気流の渦拡散係数である．観測地は複雑な地形となっているため，地形が渦拡散係数に与える影響を定量的に評価した．その結果，葉面積密度がほとんど０となる 12 月～3 月の間は，風向きにより鉛直方向風速分布や拡散係数に顕著な違いが見られた．しかし，葉が密生している 5 月～11 月ではその違いは小さくなった．また，大気安定度が中立ないし安定で，葉面積密度が大きい場合は，乱流の長さスケールが，葉の空間的粗密度の長さスケール（1～2m）に近いことが確認された．

【環境保全システム分野】

１）能登スーパーサイトの展開

環日本海域は，急速な経済発展をとげる大陸沿岸部を中心に汚染物質の排出が進み，世界的にみて大気環境問題がもっとも顕在化している地域のひとつである．本研究では能登半島先端の珠洲市にあ

る金沢大学里山里海自然学校（旧小泊小学校）の一角を観測拠点に選び，国内外の関連研究機関と連携しながら環日本海域における微量気体成分，大気エアロゾル（浮遊粒子状物質）の連続観測を継続している．昨年度から導入した雲凝結核カウンター，エアロゾル質量分析計に代表される最先端の観測機材を用いた通年の観測に成功し，解析の結果，この地域に特徴的な大気エアロゾルの構成成分と雲の形成に与える影響の季節変化が明らかになった．また，雲凝結核として働く粒子の重要なソースとして注目される新粒子生成イベントについても，冬季に多く観測されるなど，日本海の地域性を色濃く反映した興味深い結果が得られつつある．

【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，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，アンコール遺跡世界遺産の観光基地シェムリア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世界遺産管理機構，UNESCO などとの密接な連携のもとに実施しており，平成 22 年度からはいわゆる社会科学・人文科学をも組み込んだ分野横断的調査研究として展開している．

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や外来魚の持ち込みなどが湖の生態系や水・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・空間的にほぼ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，小松市，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．これまでの調査の成果をひとまず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．

【エコエネルギー分野】

１）木質系バイオマスの効率的利用を目指した超音波とイオン液体による前処理

カーボンニュートラルな資源であるバイオマスのうち，地球上で最も量の多く，食糧と競合しない木質系バイオマス（籾殻，木屑など）の細胞壁成分であるリグノセルロースを原料として，アルコール（輸送用燃料・プラスチックの原料）やリグニンや芳香属化合物等の混合物（フェノール系樹脂の原料，ピッチ系炭素繊維の原料）を効率的に生産する技術を創出する．特に，イオン液体を用いた革新的酵素糖化前処理・分画技術を確立し，セルロースだけでなく，リグニンも含めた木質系バイオマスのトータルリファイナリーを行っている．

生物多様性研究部門

【海洋生物多様性分野】

1　無脊椎動物及び脊椎動物の生理・生化学的研究

マリンバイオ共同推進機構（JAMBIO）の助成を受けて、ヌタウナギのカルシトニン様物質の構造決定を試みている。これまで最古の脊椎動物として知られるヌタウナギ（*Eptatretus burgeri*）において鰓後腺は存在しないと言われているが、その血液中にカルシトニン様分子の存在を確認し、さらにラットを用いたバイオアッセイにより、ラットの血中カルシウム濃度を低下させる活性があることを報告している（Suzuki, 1995）。本年度は、ヌタウナギのカルシトニンの探索を実施した。理化学研究所発生・再生科学総合研究センター 工樂樹洋博士との共同研究により、カルシトニン関連ペプチド（CGRP）配列を明らかにした。CGRP は、脊椎動物ではカルシトニンと同じ遺伝子にコードされている。現在、このペプチドをコードする mRNA の全長配列決定を行っている。その後、ゲノム DNA より遺伝子を単離し、カルシトニンをコードするエクソンを同定する予定である。

さらに関口俊男助教を中心として原索動物ホヤ CCK/ガストリンの研究を行っている。哺乳類において、CCK/ガストリンは、それぞれ胆嚢の収縮、胃酸の放出を刺激する消化ホルモンである。脊椎動物の祖先的動物であるホヤを用いて、これらの祖先遺伝子 Cionin が同定されている。我々は、既に Cionin 受容体の存在を証明しており、今年度はこの受容体の幼生における局在を解析した。Cionin 受容体プロモーターの下流で蛍光タンパク質 kaede が発現するベクターをホヤ受精卵に導入した結果、幼生の運動神経及び尾部神経索で蛍光が検出された。加えてアセチルコリントランスポーターのプロモーター下で青色蛍光を発するトランスジェニック個体を用いた解析より、Cionin 受容体陽性神経の多くが、コリン作動性神経であることを明らかにした。なお本研究もマリンバイオ共同推進機構（JAMBIO）の助成を受けている。

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

魚のウロコを骨のモデルとして、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鈴木准教授が中心となり研究を進めている。

本年度は、山本 樹君の修士論文研究の一環として、3 次元クリノスタットにより擬似微小重力に対する再生ウロコの骨芽細胞及び破骨細胞に対する応答を調べた。その結果、再生ウロコは非常に感度よく擬似微小重力に応答して、破骨細胞の活性化が起こった。さらに破骨細胞の活性化に関与する遺伝子についても解析して、日本比較内分泌学会（宮崎）で発表した。

宇宙実験（微小重力下での応答解析）では、新規メラトニン誘導体の作用についても解析している。この研究は、東京医科歯科大学の服部淳彦教授と金沢大学の染井正徳名誉教授との共同研究であり、2004 年から継続して研究しているテーマである。既に、国内特許（タイトル：インドール誘導体及びその用途、JP Patent 4014052 号）及び米国特許（title: Indole derivative and application thereof、8,053,462）を取得済である。本年度、JST の A-step の助成を受けて、メラトニン誘導体の骨折ラットにおける影響を評価して、国際骨代謝学会（神戸）、抗加齢医学会内分泌研究会（東京）、日本比較内分泌学会（宮崎）及び日本動物学会中部支部例会（岡崎）で発表した。なお、メラトニン誘導体に関する研究は、帖地　藍氏の卒業論文研究の一環として行った。

3　海洋汚染に関する研究

金沢大学医薬保健研究域薬学系の早川和一教授、鈴木准教授、関口俊男助教との共同研究により、多環芳香族炭化水素類（PAH）の内分泌攪乱作用を調べている。多環芳香族炭化水素（PAH）類は化石燃料の燃焼に伴って生成して大気中に放出される非意図的生成化学物質の一つであり、その中にはベンゾ[*a*]ピレンのように発癌性/変異原性を有するものが多い。また、PAH 類は原油にも含まれており、1997 年 1 月に日本海で発生したロシア船籍タンカーナホトカ号の重油流出事故では、流出した大量の重油による海洋生態系への影響が危惧された。しかし、重油残留海域で採集した魚類に癌が見出された報告はこれまでなく、重油汚染海水で孵化した稚魚に脊柱彎曲が観察されている。したがって、魚類に及ぼす重油の影響は発癌ではなく、骨代謝異常であることを強く示唆しているが、その発症機序は不明のままである。そこで、表　俊樹君の卒業論文研究の一環としてウロコを用いて PAH 類の骨に対する作用を解析した。ウロコの *in vitro* の培養系で解析した結果、水酸化 PAH（P450 により代謝された PAH の代謝産物）の内分泌攪乱作用が、PAH 自体よりも強いことが示唆された（日本比較内分泌学会で発表）。現在、富山大学遺伝子実験施設の田渕圭章准教授との共同研究により、GeneChip 解析を行い、詳細な機構を解析中である。

さらに重金属の 1 種である水銀に対する影響も評価した。この研究は、谷内口孝治氏の博士論文の一環として行った。海産硬骨魚類のメジナを用いて、独自にアッセイ系を構築して水銀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、水銀は破骨細胞に対して応答性がよく、短時間で活性が抑制されるが、骨芽細胞は比較的長時間培養しないと、影響が出ないことがわかった。この骨芽細胞に対する水銀の作用を調べるために、水銀の解毒に関与しているタンパク質（メタロチオネイン）を解析して、メタロチオネイン mRNA の発現が水銀で処理すると上昇することを明らかにした（Zool. Sci., 2014）。

4　放射線の骨に対する影響評価

放射線を生物に照射するとラジカルが発生し、ラジカルが DNA にダメージを与え、アポトーシスを誘引する。この放射線の作用を応用して癌治療が行われている。しかしながら、骨は放射線の感受性が低いことから他の組織と比較して研究が少ない。現在、骨に転移した癌に対する放射線治療が行われており、臨床や *in vivo* の研究が多く、それぞれの細胞の単独培養の研究はあるが、骨基質を含み破骨細胞と骨芽細胞が共存する状態で *in vitro* で解析した研究はない。さらに本研究では、メラトニンという物質にも着目した。メラトニンは松果体から分泌される分子量 232.28 のアミンで、ラジカルをスカベンジする作用がある。この作用により、放射線照射によって生じたラジカルを除去して間接的に細胞を放射線からレスキューすることが報告されている。このレスキュー作用についても表皮細胞や神経細胞などでは調べられているが、骨の細胞では報告されていない。

以上のように、骨については、放射線に関する基礎研究が遅れている。一方、硬骨魚類のウロコは骨と同様に骨基質上で破骨細胞と骨芽細胞が共存しており、骨のモデルとして使用可能であり、ヒトの骨と同様にホルモン応答や重力応答することがわかっている。そこで富山大学近藤 隆教授、同大学田渕圭章准教授、同大学和田重人講師との共同研究により、X 線を用いて、放射線の骨に対する作用を解析した。その結果、2, 4, 8 Gy の強度で X 線を照射すると生細胞活性が徐々に低下したが、メラトニンを添加するとメラトニンのレスキュー作用を確認することができた。特に、4 Gy において有意差が認められた。これらの研究の成果は、上西篤志君の修士論文の一環として、日本比較内分泌学会（宮崎大会）で発表した。メラトニンは、環形動物のアオゴカイにも存在し（新田沙織君の卒業論文研究）、

無脊椎動物にも何らかの役割を有している。脊椎動物と無脊椎動物に共通なメラトニンの生理的な役割を調べていきたいと考えている。

【陸上生物多様性分野】

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佐渡に至る。

1　トキを象徴種とした里地の社会生態システムの再生

佐渡の田園地帯を主なフィールドとして、食品科学や、環境経済学，農業経済学、数理生態学の研究者と連携を図りながら、水田の生物多様性，米の品質，および米の販売量を最大化させる農業者の取り組みと，それを持続的に支援する支援社会構築の検討を行った。

全島の 300 筆を越える広域野外調査の結果から，佐渡では多様な生物共生型農法への取り組みが、水田の生物多様性の向上につながっていることが示唆された。農協に米を出荷している全 5010 戸の水稲農家へのアンケート調査の結果から、無農薬・無化学肥料栽培は、農業者の取り組み負担が最も大きいにもかかわらず､水田の生物多様性再生に及ぼす費用対効果が最も大きいことが示された。また、水田周囲の景観要因や、水田の立地環境、水管理方法は水田の生物多様性と米の食味に大きく影響を及ぼすため、生物多様性に配慮しつつも米の良食味を維持するためには、対外的にアピールする水田の立地環境や水管理法に配慮することが望ましいと考えられる。

首都圏や阪神圏における米の市場調査の結果から、生物多様性に配慮した環境配慮型栽培米を嗜好する消費者は､全体の約 30％を占めることが明らかとなり､今後､認証米の販売戦略を策定する上で、この消費者層が有望なターゲットとなりうることが示唆された。

理論研究より、佐渡の自然再生を持続的に推進するためには、補助金のみに頼るのではなく、米の知名度の向上を通じて､米の販売量をさらに向上させていくことが重要であることが示された。今後、佐渡の水田の生物多様性の特性や食味の情報を効果的に消費者に伝える方法について精査していく予定である。

2　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るため、サイズと繁殖成功の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。

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ってきた。$\delta > 1/2$ 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　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。

5　鳥類散布植物の果実生産量の違いが種子散布パタンに与える影響

鳥類による種子散布は，鳥類に果実を提供して種子を散布する鳥散布植物の地域個体群，ひいては北陸地域における二次林の更新過程や生物多様性維持に関わる重要な生態系内機能である。本研究では, 年変動する果実生産量（結実の豊凶）によって引き起こされる種子散布動態を明らかにするため, 2011 年から 2013 年まで，4 地点（石川県金沢市角間、能美市辰口、七尾市中島、珠洲市吉ヶ池）の落葉広葉樹二次林に調査区を設け，鳥散布植物群の果実密度と散布種子密度の関係を調べた。豊作年にあたる 2011 年は，調査区内にみられた樹種の果実密度と散布種子密度のあいだに正の相関がみられ，果実生産が増加するにつれて鳥によって散布される種子数が増加する傾向が見出された。一方，回収された種子にはギャップ植物である調査区外の樹種が含まれ，それらは調査区内の果実密度に関係なく一定数の種子が林内に散布されたことが明らかになった。

生体機能計測研究部門

【生物機能材料分野】

生物が有する優れた分子認識能や触媒機能を，ナノレベルでの解析，遺伝子操作などの手法を駆使することにより，工学的観点から活用する．これから得られる基盤技術を先端医療技術，環境浄化技術，および遺伝子組換え微生物の開発研究などへ応用することにより，人類の健康維持に貢献することを目指している．具体的には以下のような研究テーマについて研究を行っている．

1　標的化ナノテクノロジーと超音波技術を融合した新規がん治療

本研究は，二酸化チタン（光触媒）に超音波を照射した時生成する高濃度のＯＨラジカルを新規のがん治療に応用することを目的とする．がん細胞を特異的に認識するタンパク質もしくは DNA 分子

を修飾した二酸化チタンナノ粒子を作製し，その結合および細胞内取り込みを解析する．また超音波照射によって誘起される細胞死を解析する．

2　超音波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システムの開発

本研究目的は「抗がん剤を必要な量を必要な時期に必要な場所に送達する」次世代型の新規薬物送達システム(DDS)のプラットホーム技術を構築することにある．このため目的抗がん剤の運搬担体として，超音波刺激に応答するナノサイズ(50～100 nm)のリポソームを作製する．リポソーム表面にはがん細胞を特異的に認識するタンパク質あるいは抗体などを化学的に修飾することでがん組織に特異的に集積させる．さらに超音波照射による表面修飾温度感受性ポリマーの相転移によりリポソームの内容物を放出させる．

3　がん細胞を特異的に認識する機能性 DNA 分子（アプタマー）の探索

通常，生体内の DNA は２重螺旋構造をしている．しかし，本研究では，様々な構造を取り，生体分子に対して親和性を持つ一本鎖の DNA 分子（DNA アプタマー）を設計し利用することを目的とする．本研究では，分子進化工学的手法によって，がん細胞を特異的に認識する DNA アプタマーを探索し，さらに取得された DNA アプタマーのがん細胞に対する結合能力を評価する．

4　嫌気性細菌をがん組織探索マイクロマシンとして用いるがん治療システムの開発

固形がん組織は極めて低酸素な状態であることから，本研究では，嫌気性細菌をがん組織探索マシンとした新規がん治療用ドラッグデリバリーシステムの構築を目的とする．ビフィズス菌や乳酸菌の「嫌気性」や「自己複製能」を利用することで，遺伝子組換え菌体表層に発現させた抗がん性タンパク質をがん組織へ「特異的」かつ「高濃度」で送達・集積させる．

【電磁環境分野】

電磁環境分野の研究は，「磁界」をキーワードに産業機器保全，自然環境計測，バイオセンシング技術，電磁環境技術等の研究開発である．また，磁界の非接触，低侵襲の特徴を生かした磁気の刺激作用，エネルギー伝送による医療応用，また殺菌・不活化などバイオ環境の改善技術の基礎研究等を進めている．

具体的に研究項目を挙げると下記のようになる．

- マイクロうず電流探傷技術による高密度プリント基板検査への研究開発
- 針形状マイクロ磁気プローブの非破壊検査への応用
- 火山性岩石の微小残留磁気の計測法の開発
- 誘導加熱形ハイパーサーミア治療法における磁場発生装置の研究
- 交流磁界による抗がん剤作用の増強効果に関する研究
- バイオエアロゾルの生命情報学的解明

下記において主な項目ついて概要を説明する．

1　火山性岩石の微小残留磁気の計測法の開発

地磁場以下に磁化された火山性岩石などの残留磁気（磁気モーメント）を測定するには,試料に磁気シールドが必要であり,実験には磁気シールドルームなど大規模な設備が必須であった。我々は磁性体

の円柱穴内では，磁界分布が磁化方向に一様なことに着目し,円柱穴内の磁束密度を測定することで地磁場以下の残留磁気の大きさ,方向の検出が可能であること示した。

すなわち，地磁気をキャンセルするため,マグネティクインピーダンス(MI)磁気センサを試料の貫通穴内中央に固定し,試料を回転させる測定系を考案した。地磁気は変動しないため,MI センサの信号の直流部分をカットすることで,試料の着磁成分を試料の回転で生じる交流磁界成分として検出できる。

阿蘇火砕流堆積物（溶結凝灰岩）をサンプルに残留磁束密度を計測した結果，地磁気環境の実験室内で 0.5～15 □T の値を計測できた。その検出限界は，磁気センサの限界 1 nT 程度である。

2　誘導加熱形ハイパーサーミア治療法における磁場発生装置の研究

磁気の医療機器への応用として癌温熱療法用の励磁コイル(アップリケータがある。体外に置かれた励磁コイルにより体内の発熱体(磁性微粒子・インプラント)を高周波(数10 -100 kHz)の磁界を体内(体表面から最大14cm程度)に発生させ疾病を43-60℃程度に加熱する必要がある。このためには，高レベルの磁界(数mT- 数10 mT)を体内の発熱体部分に発生する必要がある。我々は，体深部での磁界を大きくするとともに患者の体型に合わせることができる2個の平面コイルで構成したダブルパンケーキ形励磁コイル装置を提案した，さらに磁気結合によるワイヤレス給電システムにて電流を誘導することを提案した。

今回，磁場の増強を目指し2個の空心コイルの上下への漏れ磁束を減少させ，かつ周囲の機器へのシールドを目的にMn-Znフェライト磁心からなる平板のヨークをコイル上下に取り付けた。治療空間のコイル間，ならびにバックヨーク外の磁束密度の大きさについて検討した結果，コイル間ではバックヨークの作用により1.8倍に増加，一方バックヨーク外では大きいところで約1/5に漏れ磁束密度が抑制されている。，また，共振回路の特性を大きく変動させるものではなく，励磁周波数を制御することにより安定した励磁電流の供給が可能となった。

3　交流磁界による抗がん剤作用の増強効果に関する研究

がん化学療法においてがん病巣へ交流磁界を局所的に曝すことで薬の作用を増強することができれば，投薬量を減らし，副作用を軽減する効果的な治療法が確立できる可能性がある。本研究では，この交流磁界による抗がん剤作用の増強について，効果的な交流磁界条件や抗がん剤の種類，磁界の作用メカニズムについて検討している。 基礎的な大腸菌を用いた実験結果から，磁束密度が高くなればなるほど薬剤作用を高めること, 60 Hz 磁界は細胞内への薬剤取り込み量を増加させることで，薬剤の作用を高めることが明らかとなってきた。現在，ヒト培養細胞での薬剤作用における 60 Hz 磁界の影響を検討している。

4　バイオエアロゾルの生命情報学的解明

バイオエアロゾルとは，生物に由来する浮遊粒子状物質のことであり，その中には真菌や細菌などの微生物，ウイルス，花粉などが含まれる。バイオエアロゾルは空気質や自然環境，ヒトの健康影響において重要な役割を示すが，感染リスク評価に関するバイオエアロゾル濃度や生物種のデータ，生態系や地球規模での気候におけるバイオエアロゾルの役割・機構に関する報告は少ない。一般的に用いられる微生物解析の分離培養法では，環境中の 99%以上の微生物については培養不可能といわれているため，本研究では生命情報学的に DNA 配列情報より大気中のバイオエアロゾルの生物種や濃度解析を行っている。これまでに大気中に新種の微生物が存在することや黄砂飛来時にはバイオエアロゾル濃度が増えることが明らかになってきた。

【力学環境分野】

力学環境分野では「骨組織」,「再生骨」,「ティッシュエンジニアリング」をキーワードとして，力学刺激をはじめとする物理刺激による骨の形成・再生の促進に関する研究，および骨や再生骨の力学的特性に関する研究を行っている。また，骨の密度，再生，および細胞応答を光により非破壊的に計測する技術の開発研究を並行して行っている。最終的には，以上より得られた成果を骨粗鬆症予防や骨再生医療へ応用することを目指している。主な研究課題の概要は下記の通りである。

1　物理刺激による骨形成促進に関する研究

骨粗鬆症予防には運動による骨への力学刺激が有用であるが，一方で，運動が困難な高齢者も少なくない。そこで，筋への電気刺激により生じる筋収縮力で骨を歪ませ，これにより実際に運動をすることなしに骨を力学的に刺激する方法を提案した。これまで，ラットを用いた大腿四頭筋への電気刺激において大腿骨の骨形成が促進されることを骨形成計測法などの組織学的評価手法により確認している。また，電気刺激の波形をランダムパルス列にすることで一般的な周期的パルス列波形よりも高い刺激効果が得られることを骨幹中央部緻密骨において確認している。今後，骨粗鬆症骨折の起こりやすい大腿骨骨頭頸部海綿骨における同刺激の効果を確認する予定である。

2　物理刺激による培養再生骨の再生促進に関する研究

骨は力学刺激に対して適応的骨形成反応を示すが，力学刺激以外の電気刺激や電磁場刺激などの物理刺刺激でも骨形成反応が起こる。我々は，培養再生骨の再生促進，すなわち骨芽細胞による石灰化を促す手段として物理刺激に着目し，これまでに力学刺激，電気刺激，電磁場刺激といった物理刺激が実際に培養再生骨の石灰化を促進することを確認してきた。また，二次元培養された骨芽細胞の実験においてランダムな刺激は規則的な刺激よりも高い刺激効果が得られることを確認している。現在，ランダムパルス列刺激波形を用いた電気刺激または電磁場刺激により培養再生骨の石灰化促進の効率化を試みている。同時に，Hodgkin-Huxley モデル（神経の活動電位モデル）をベースに骨細胞の刺激応答数理モデルを構築し，骨細胞の刺激応答を再現することでランダム刺激の刺激効果の解明を進めている。

3　光を用いた非破壊的生体情報計測法の開発

光を利用した新たな生体計測装置の開発を行っている。これまで，近赤外光 LED，小型半導体レーザーなどを利用することにより，骨粗鬆症や宇宙滞在により生じる骨密度の減少を非侵襲的に調べる装置，培養再生骨の石灰化度を非破壊的に定量評価する装置，および物理刺激に対する細胞内 Ca^{2+}応答をその場観察する装置の開発を行ってきた。現在, 各装置の実用化に向けた取り組みを進めている。

４．研究成果リスト

地球環境計測研究部門

1　学術論文

1　Noriko Hasebe, Akihiro Tamura, Shoji Arai, Zeta equivalent fission-track dating using LA-ICP-MS and examples with simultaneous U–Pb dating, Island Arc, 22, 280-291, 2013

2　Hideki Iwano, Yuji Orihashi Takafumi Hirata, Masatsugu Ogasawara, Tohru Danhara, Kenji Horie, Noriko Hasebe, Shigeru Sueoka, Akihiro Tamura, Yasutaka Hayasaka, Aya Katsube, Hisatoshi Ito, Kenichiro Tani,Jun'Ichi Kimura, Qing Chang, Yoshikazu Kouchi, Yasuhiro Haruta,& Koshi Yamamoto, Multichronologic data for OD-3 zircon standard from Japan: A round-robin test, Island Arc, 22, 382-394, 2013

3　Gang Li, Hisao Ando, Hitoshi Hasegawa, Masanobu Yamamoto, Takashi Hasegawa, Tohru Ohta, Noriko Hasebe, and Niiden Ichinnorov , Confirmation of a Middle Jurassic age for the Eedemt Formation in Dundgobi Province, southeast Mongolia: constraints from the discovery of new spinicaudatans (clam shrimps), Alcheringa: An Australasian Journal of Palaeontology, DOI:10.1080/03115518.2014.870834, 2014

4　伊藤一充　・Geoff Duller　・長谷部徳子　・荒井章司・中村俊夫　・柏谷健二, モンゴル・フブスグル湖コア堆積物のルミネッセンス年代決定 (Kazumi Ito , Geoff Duller , Noriko Hasebe, Shoji Arai, Toshio Nakamura and Kenji Kashiwaya, Luminescence dating of core sediments from Lake Hovsgol, Mongolia) フィッション・トラック　ニュースレター，26，26-28 2013

5　中野靖幸・長谷部徳子・宮本光・東野外志男・田村明弘・荒井章司，白山火山のマルチ年代測定（Yasuyuki Nakano, Noriko Hasebe, Hikaru Miyamoto, Toshio Higashino Akihiro Tamura and Shoji Arai, Multi-geochronology of Hakusan Volcano）フィッション・トラック　ニュースレター，26，32-33 2013

6　高岡美咲・長谷部徳子・石川尚人・岩田尚能・田村明弘・荒井章司, 南極・昭和基地周辺の岩石のアパタイトフィッショントラック年代測定 (Misaki Takaoka, Noriko Hasebe, Naoto Ishikawa, Naoyoshi Iwata, Akihiro Tamura*and Shoji Arai,Apatite fission track age determination on samples around Syowa Station, Antarctica) フィッション・トラック　ニュースレター，26，34-36 2013

7　Aoi Y. Fukushi K. Itono T. Kitadai N. Kashiwaya K. Yamada H. Hatta T. and Manpuku Y. (2014) Distribution and mineralogy of radioactive Cs in reservoir sediment contaminated by the Fukushima nuclear accident. Journal of Mineralogical and Petrological Sciences, 109, 23-27, DOI: 10.2465/jmps.130620c

8　Tamamura, S. Takada, T. Tomita, J. Nagao, S. Fukushi, K. and Yamamoto, M. (2014) Salinity dependence of 226Ra adsorption on montmorillonite and kaolinite. Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry, 299, 569-575, DOI: 10.1007/s10967-013-2740-3

9　Fukushi, K. Hasegawa, Y. Maeda, K. Aoi, Y. Tamura, A. Arai, S. Yamamoto, Y. Aosai, D. Mizuno, T. (2013) Sorption of Eu(III) on granite: EPMA, LA-ICP-MS, batch and modeling studies. Environmental Science and Technology, 47, 12811-12818, DOI: 10.1021/es402676n

10　Nagao, S. Kanamori, M. Ochiai, S. Tomihara, S. Fukushi, K. and Yamamoto, M. (2013) Export of 134Cs and 137Cs in the Fukushima river systems at heavy rains by Typhoon Roke in September 2011. Biogeosciences, 10, 6215-6223, DOI: 10.5194/bg-10-6215-2013

11　Fukushi, K. Aoyama, K. Yang, C. Kitadai, N. and Nakashima, S. (2013) Surface complexation modeling

for sulfate adsorption on ferrihydrite consistent with in-situ infrared spectroscopic observations. Applied Geochemistry, 36, 92-103, DOI: 10.1016/j.apgeochem.2013.06.013

12 Inoue, M., Kofuji, H., Murakami, T., Oikawa, S., Yamamoto, M., Nagao, S., Hamajima, Y., Misonoo, J. (2013) Spatial variations of low levels of ^{134}Cs and ^{137}Cs in seawaters within the Sea of Japan after the Fukushima Dai-ichi Nuclear Power Plant accident. *Appl. Radiat. Isot.* **81**, 340-343.

13 Inoue, M., Furusawa, Y., Fujimoto, K., Minakawa, M., Kofuji, H., Nagao, S., Yamamoto, M., Hamajima, Y., Yoshida, K., Nakano, Y., Hayakawa, K., Oikawa, S., Misonoo, J., Isoda, Y. (2013) ^{228}Ra/^{226}Ra ratio and ^{7}Be concentration in the Sea of Japan as indicators for water transport: Comparison with migration pattern of Fukushima Dai-ichi NPP-derived ^{134}Cs and ^{137}Cs. *J. Environ. Radioactivity* **126**, 176-187.

14 J. K. Kim, S. K. Krivonogov, Y. J. Lee, J. Y. Woo. K. C. Oh, D. Y. Yang, J. C. Kim, I. Y. Safonova, M. Yamamoto (2013) Climatic stages recorded in sediments of the Gunang Cave, South Korea, *Ouaternary Intenational* **313-314**, 194-209.

15 Kofuji, H., Inoue, M. (2013) Temporal variations in ^{134}Cs and ^{137}Cs concentrations in seawater along the Shimokita Peninsula and the northern Sanriku coast in northeastern Japan, one year after the Fukushima Dai-ichi Nuclear Power Plant accident. *J. Environ. Radioactivity* **124**, 239-245.

16 T. Matsunaga, J. Koarashi, M. Atarashi-Abdoh, S. Nagao, T. Sato, H. Nagai (2013) Comparison of the vertical distributions of Fukushima nuclear accident radiocesium in soil before and after the first rainy season, with physicochemical and mineralogical interpretations. *Sci. Total Environ.*, **447**, 301-314.

17 S. Nagao, T. Aramaki, N. Fujitake, H. Kodama, T. Tanaka, S. Ochiai, M. Uchida, Y. Shibata, M. Yamamoto (2013) Variation of Δ^{14}C and δ^{13}C values of dissolved humic and fulvic acids in the Tokachi River system in northern Japan. *Radiocarbon*, **55**, 1007-1016.

18 S. Nagao, M. Kanamori, S. Ochiai, S. Tomihara, K. Fukushi, M. Yamamoto (2013) Export of ^{134}Cs and ^{137}Cs in the Fukushima river systems at heavy rains by Typhoon Roke in September 2011. *Biogeosciences* **10**, 6215-6223.

19 S. Nagao, O. Seki, M. Kawahigashi, H. Kodama, T. Suzuki, V. P. Shesterkin, V. I. Kim, S. I. Levshina, A. N. Makhinov (2014) Migration Behavior of Dissolved Organic Matter in the Lower Amur River. Proceedings of the 3rd International Meeting of Amur-Okhotsk Consortium 2013 edited by Amur-Okhotsk Consortium published by Institute of Low Temperature Science, Hokkaido University, Research Institute for Humanity and Nature, Mitsui & Co., Ltd. Environmental Fund, p29-32.

20 K. Nishiizumi, M. W. Caffee, Y. Hamajima, R. C. Reedy, K. C. Welten (2014) Exposure history of the Sutter's Mill carbonaceous chondrite. *Meteor. Planet. Sci.* 1–8: doi: 10.1111/maps.12297

21 Ochiai S., Nagao S., Yamamoto M., Itono T., Kashiwaya K., Fukui K., Iida H. (2013) Deposition records in lake sediments in western Japan of radioactive Cs from the Fukushima Dai-ichi nuclear power plant accident. *Appl. Radiat. Isot.* **81**, 366-370.

22 A. Sakaguchi, A. Kadokura, P. Steier, Y. Takahashi, K. Shizuma, M. Hoshi, T. Nakakuki, M. Yamamoto (2013) Uranium-236 as a new oceanic tracer: a first depth profile in the Japan Sea and comparison with caesium-137. *Earth Planet. Sci. Lett.* **333**, 165-170.

23 坂口綾、角倉彰伸、P. Steier、山本政儀、坂田昂平、富田純平、高橋嘉夫（2013）：環境中のウラン同位体 U-236 を利用した研究-海洋循環トレーサーとしての確立を目指して：*分析化学*、**62**（第 11 号）、1001-1012.

24 S. Tamamura, T. Takada, J. Tomita, S. Nagao, K. Fukushi, M. Yamamoto (2014) Salinity dependence of ^{226}Ra adsorption on montmorillonite and kaolinite. *J. Radioanal. Nucl. Chem.* **299**, 569-575.

25 S. Tamamura, R. Ohashi, S. Nagao, M. Yamamoto, M. Mizuno (2013) Molecular–size -distribution-dependent aggregation of humic substances by Na(I), Ag(I), Ca(II), and Eu(III), Colloids and Surfaces A: *Physicochem. Eng. Aspects* **434**, 9-15.

26 M. Yamamoto, M. Hoshi, K. Zhumadilov, S. Endo, A. Sakaguchi, T. Imanaka, Y. Miyamoto : Estimation of close-in fallout ^{137}Cs deposition level due to the Hiroshima atomic bomb from soil samples under houses built 1-4 years after the explosion, Revist: The Hiroshima A-bomb with a Database, Volume 2 Hiroshima City 2013, ISBN 978-4-9905935-1-3, p35-43 (2013/3)

2 総説・資料・報告書

1 長谷部徳子，伊藤健太郎，福間剛士，大石新之介，金周龍，フィッショントラック年代測定における多様化する観察法，Advances in observation methods for fission track dating，号外地球」第四紀研究における高精度年代測定法の新展開：最近 10 年間の進展，62, 124-128, 2013

2 伊藤一充，長谷部徳子，柏谷健二，湖沼堆積物のルミネッセンス年代測定とその問題点，Luminescence dating of lake sediments and some problems，「号外地球」第四紀研究における高精度年代測定法の新展開：最近 10 年間の進展，62, 37-43, 2013

3 長尾誠也、新堀雄一、田中忠夫、佐々木隆之、斉藤拓巳、桐島陽、吉川英樹、飯島和毅、濱克宏、岩月輝希、高橋嘉夫、足立泰久、鈴木庸平、渡部芳夫 (2013) 放射性廃棄物の地層処分における国内の地下水コロイド研究の現状と今後の展開. 20, 3-14.

4 長尾誠也、大西健夫 (共著) アムール川、全世界の河川辞典（編者 : 高橋裕、賽馨、野々村邦夫、春山成子）、丸善出版

3 著書

1 福士圭介（分担執筆） (2014) 土壌中の鉱物における Cs 吸着ハンドブック、星雲社

4 学術発表

1 中野靖幸・長谷部徳子・宮本光・東野外志男・田村明弘・荒井章司, マルチ年代学による白山火山活動史研究, 日本地球惑星科学連合 2013 年大会，幕張，2013.5.19-24

2 青井裕介・福士圭介・糸野妙子・北台紀夫・柏谷健二・山田裕久・八田珠郎・万福裕三　福島県飯舘村比曽地区ため池底土に保持された放射性Ｃｓの特徴, 日本地球惑星科学連合 2013 年大会，幕張，2013.5.19-24

3 福士圭介・青山和樹・楊晨・北台紀夫・中嶋悟　フェリハイドライトへの硫酸イオンの吸着：表面錯体モデリングとその場赤外分光観察, 日本地球惑星科学連合 2013 年大会, 幕張, 2013.5.19-24

4 Kitadai N. Sawai T. Tonoue R. Nakashima S. Katsura M. and Fukushi K.; Effects of caions on the OH stretching band of water as studied by attenuated total reflection infrared (ATR-IR) spectroscopy, 7th International Conference on Advanced Vibrational Spectroscopy, 2013.8. 25-30, Kobe, Japan

5 Yang C. Kitadai N. and Fukushi K.; In-situ infrared spectroscopic observations of surface complexation modeling for sulfate adsorption on ferrihydrite, 7th International Conference on Advanced Vibrational Spectroscopy, 2013.8. 25-30, Kobe, Japan

6 Sato T. and Fukushi K.; Let's use metastable geomaterials in environmental protection: An intelligent geotechnology learnt from natural processes" (invited), The 23nd V.M. Goldschmidt Conference, 2013.8.26-30, Florence, Italy

7 Aoi Y. Fukushi K. Morishita T. and Kamei A.; Selective Cs uptake in biotite on Abukuma granite, The 23nd V.M. Goldschmidt Conference, 2013.8.26-30, Florence, Italy

8 Fukushi K. Yamashina Y. Aoi Y. and Sakai H.; Desorption behavior of cesium from smectite by major cations, The 23nd V.M. Goldschmidt Conference, 2013.8.26-30, Florence, Italy

9 青井裕介、福士圭介、田村明弘、森下知晃、荒井章司、亀井淳志　局所分析で探る花崗岩によるセシウム取り込み挙動, 日本地球化学会第６０回年会,筑波大学, 2013.9.11-13 日

10 酒井遥、福士圭介　陽イオン混合溶液によるスメクタイトからのセシウム溶出挙動, 日本地球化学会第６０回年会,筑波大学, 2013.9.11-13 日

11 大西浩之、北台紀夫、福士圭介　様々な鉱物の Gly 重合促進効果についての実験的評価, 日本地球化学会第６０回年会,筑波大学, 2013.9.11-13 日

12 牛山智樹、福士圭介　ナノサイズアルミニウムケイ酸塩による Pb2+の吸着挙動, 日本地球化学会第６０回年会,筑波大学, 2013.9.11-13 日

13 Fukushi K. Yamashina Y. Aoi Y. and Sakai H.; Desorption behavior of cesium from smectite by major cations, 日本鉱物科学会 2013 年年会, 筑波大学, 2013.9.11-13 日

14 Itono T., Hasebe N., Kashiwaya K., Ochiai S., Onuma research group; Hydroenvironmental

15 changes inferred from Lake Onuma sediments since the 1640 eruption of Hokkaido-Komagatake, Japan, 10th East Asia International Workshop on Present Earth Surface Processes and Long-term Environmental Changes in East Eurasia, 2013.10. 7-12, Guangju, Korea

16 Hasebe N., Nakano Y., Miyamoto Y., Higashino T., Tamura A., Arai S., Kim J.Y.; Multi-geochronological study of Hakusan volcano, central Japan, 10th East Asia International Workshop on Present Earth Surface Processes and Long-term Environmental Changes in East Eurasia, 2013.10. 7-12, Guangju, Korea

17 Ogata M., Hasebe N., Fukushi K., Fujii N., Yamakawa M., Sato T.; Towards accurate thermoluminescence dating of calcite, 10th East Asia International Workshop on Present Earth Surface Processes and Long-term Environmental Changes in East Eurasia, 2013.10. 7-12, Guangju, Korea

18 Darkhad Drilling Project Members (Presenter: Noriko Hasebe & Takayoshi Kawai), Three sedimentary cores from Darkhad Basin: Preliminary results, 10th East Asia International Workshop on Present Earth Surface Processes and Long-term Environmental Changes in East Eurasia, 2013.10. 7-12, Guangju, Korea

19 Yang, C. Kitadai, N. and Fukushi, K.; In-situ Infrared Spectroscopic Observation of Adsorbed Water on Ferrihydrite, 10th East Asia International Workshop on Present Earth Surface Processes and Long-term Environmental Changes in East Eurasia, 2013.10. 7-12, Guangju, Korea

20 Fukushi, K. Aoi Y. Onishi H. Ushiyama T. Nagao S. and Tomihara S.; Distribution and Mineralogy of Radioactive Cesium in reservoir sediments from Iwaki, Fukushima Prefecture Japan, 10th East Asia International Workshop on Present Earth Surface Processes and Long-term Environmental Changes in East Eurasia, 2013.10. 7-12, Guangju, Korea

21 Murakami, T. Yamamoto, M. Fuchizaki, M. Fukushi, K. Nagao, S. and Kashiwaya K.; Distribution of uranium and thorium isotopes in DDP10-3 of Darhad basin, northern Mongolia, 10th East Asia International Workshop on Present Earth Surface Processes and Long-term Environmental Changes in East

Eurasia, 2013.10. 7-12, Guangju, Korea

22 Shirai, R. Fukushi, K. Kitadai, N. and Nishiyama R.; In-situ spectroscopic observation of preparation of metastable calcium carbonate in aqueous solutions, 10th East Asia International Workshop on Present Earth Surface Processes and Long-term Environmental Changes in East Eurasia, 2013.10. 7-12, Guangju, Korea

23 伊藤健太郎, 長谷部徳子, 福間剛士, 松木篤, 遠藤徳孝，第四紀火山活動史解明のための放射線損傷を利用した年代測定法の改良と開発，フィッションルトラック研究会，ルミネッセンス年代測定研究会，ESR 応用計測研究会合同研究会，2014.2.16-18

24 林遼，長谷部徳子，柏谷健二，伊藤一充，糸野妙子，小形学，田村明弘，余呉湖沼堆積物の光励起ルミネセンス年代測定と環境変動解析，フィッションルトラック研究会，ルミネッセンス年代測定研究会，ESR 応用計測研究会合同研究会，2014.2.16-18

25 本田千晶，長谷部徳子，松木篤，水上知行，田村明弘，伊藤健太郎，岩田尚能，石川尚人，原子間力顕微鏡を用いた南極大陸の FT 年代測定，フィッションルトラック研究会，ルミネッセンス年代測定研究会，ESR 応用計測研究会合同研究会，2014.2.16-18

26 小形学，長谷部徳子，福士圭介，藤井直樹，山川稔，佐藤努，伊藤一充，方解石の熱ルミネセンス特性，フィッションルトラック研究会，ルミネッセンス年代測定研究会，ESR 応用計測研究会合同研究会，2014.2.16-18

27 Y. Furusawa, M. Inoue, S. Nagao, M. Yamamoto, Y. Hamajima, H. Kofuji, K. Yoshida, Y. Nakano, K. Fujimoto, A. Morimoto, T. Takikawa, Y. Isoda: Lateral distribution of ^{228}Th/^{228}Ra and ^{228}Ra/^{226}Ra ratios in surface waters of the Sea of Japan and their physical implication. 5th Asia-Pacific Symposium on Radiochemistry (APSORC 13). Kanazawa, Japan (2013/9).

28 K. Hamataka, S. Nagao. M. Kato, I. Kudo, M. Yamamoto: Sedimentary environment inferred from sedimentation rates by ^{210}Pb and ^{137}Cs and their inventories in Mutsu Bay, Japan. 5th Asia-Pacific Symposium on Radiochemistry (APSORC 13). Kanazawa, Japan (2013/9).

29 M. Inoue, M. Minakami, K. Yoshida, Y. Nakano, H. Kofuji, S. Nagao, M. Yamamoto, Y. Hamajima: Vertical profiles of ^{228}Ra and ^{226}Ra activities in the Sea of Japan and their implications for wate circulation. 5th Asia-Pacific Symposium on Radiochemistry (APSORC 13). Kanazawa, Japan (2013/9).

30 M. Inoue, S. Ochiai, T. Murakami, S. Oikawa, M. Yamamoto, S. Nagao, Y. Hamajima, H. Kofuji, J. Misonoo: Low levels of ^{134}Cs and ^{137}Cs in bottom sediments along the Japanese Archipelago side of the Sea of Japan after the Fukushima Dai-ichi NPP accident. 5th Asia-Pacific Symposium on Radiochemistry (APSORC 13). Kanazawa, Japan (2013/9).

31 井上睦夫、長尾誠也、山本政儀、浜島靖典、小藤久毅、早川和一、藤本賢、皆川昌幸、磯田豊：福島原発事故以降の日本海およびその周辺海域の低レベル ^{134}Cs, ^{137}Cs 濃度の経時変動、環日本海域環境研究センターシンポジウム、金沢 (2014/3)

32 Y. Kawano, S. Nagao, S. Ochiai, M. Yamamoto: Study of factors controlling organic pollution in Lake Kiba. 5th Asia-Pacific Symposium on Radiochemistry (APSORC 13). Kanazawa, Japan (2013/9).

33 H. Kofuji: In-site measurement of ^{134}Cs and ^{137}Cs in seabed by underwater γ-spectrometry systems and application for the survey to the Fukushima Dai-ichi NPP accident. 5th Asia-Pacific Symposium on Radiochemistry (APSORC 13). Kanazawa, Japan (2013/9).

34 長尾誠也、金森正樹、桐島陽、落合伸也、山本政儀：阿武隈川における放射性セシウムの移行に

及ぼす降雨の影響評価. 日本地球惑星科学連合 2013 年大会（福島セッション）、幕張メッセ (2013/5).

35 長尾誠也、関宰、鈴木智代、落合伸也、鎌内宏光、田中孝幸、荒巻能史、山本政儀：厚岸湖における陸起源粒子態有機物の移行と堆積状況. 日本地球惑星科学連合 2013 年大会（水循環・水環境セッション）、幕張メッセ (2013/5).

36 (長尾誠也、鈴木智代、関宰、落合伸也、田中孝幸、荒巻能史、山本政儀：放射性炭素と炭素安定同位体比を用いた釧路川河川懸濁態有機物の移行動態に関する研究. 日本地球惑星科学連合 2013 年大会（生物地球化学セッション）、幕張メッセ (2013/5).

37 S. Nagao, M. Kanamori, S. Ochiai, S. Tomihara, A. Kirishima, M. Yamamoto: Transport of ^{134}Cs and ^{137}Cs in river waters from Fukushima Prefecture in Japan during 2011-2012. Joint Assembly of IAHS-IAPSO-IASPEI, Gothenburg, Sweden (2013/7).

38 S. Nagao, M. Kanamori, S. Ochiai, S. Tomihara, M. Yamamoto: Transport of dissolved and particulate forms of ^{134}Cs and ^{137}Cs in river waters from Fukushima Prefecture after the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant accident. Second Russian-Japanese seminar “Behaviors of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons and Radioactive Compounds in atmosphere and marine environment at East Asia” Vladivostok, Russia (2013/8).

39 S. Nagao, K. Hamataka, T. Arai, S. Tomihara, K. Tanaka, M. Uematsu, M. Inoue, Y. Hamajima, M.: Yamamoto: Distribution of ^{134}Cs and ^{137}Cs radioactivity in seawaters from the coastal area off Fukushima to Pacific Ocean. Third Russian-Japanese seminar “Behaviors of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons and Radioactive Compounds in atmosphere and marine environment at East Asia” Kanazawa, Japan (2013/8).

40 S. Nagao, T. Suzuki, S. Ochiai, M. Yamamoto, K. Nakamura: Study on transport of particulate organic matter in the Kumaki River system. The 10th East Eurasia International Workshop on Present Earth Surface Processes and Long-term Environmental Changes in East Eurasia. Kwangju, Korea (2013/8).

41 R. Nomura, M. Inoue, H. Kofuji and S. Ikeda: Verification of anticlockwise gyre in the semi-closed water area of Lake Nakaumi, southwest Japan, by using ^{224}Ra/^{228}Ra activity ratios. 5th Asia-Pacific Symposium on Radiochemistry (APSORC 13). Kanazawa, Japan (2013/9).

42 Ochiai S., Nagao S., Suzuki T., Yamamoto M., Yonebayashi K., Okazaki M., Kashiwaya K., Nakamura K.: Sedimentation Processes of Nanao Bay, Japan, 2013 Taiwan Geosciences Assembly, Taoyuan, Taiwan (2013/5)

43 Ochiai S., Nagao S., Suzuki T., Yamamoto M., Yonebayashi K., Okazaki M., Kashiwaya K., Nakamura K.: Sedimentation Processes of Nanao Bay, Japan, LOICZ workshop, Taipei, Taiwan (2013/5)

44 落合伸也, 長尾誠也, 米林甲陽, 福山泰治郎, 山本政儀, 柏谷健二, 中村浩二:貯水池堆積物に基づく能登半島北部の流域環境変動の推定, 日本地球惑星科学連合2013年大会, 幕張メッセ (2013/5).

45 落合伸也、長尾誠也、金森正樹、桐島陽、落合伸也、山本政儀：阿武隈川における放射性セシウムの移行に及ぼす降雨の影響評価. 日本地球惑星科学連合 2013 年大会（水循環・水環境セッション）、幕張メッセ (2013/5).

46 Ochiai S., Nagao S., Yamamoto M., Itono T., Kashiwaya K.: Sediment transport processes in reservoir-catchment system inferred from sediment trap observation and fallout radionuclides. 5th Asia-Pacific Symposium on Radiochemistry (APSORC 13). Kanazawa, Japan (2013/9).

47 Ochiai S., Nagao S., Yonebayashi K., Itono T., Suzuki T., Hasegawa T., Kashiwaya K., Yamamoto

M.:Catchment environmental changes inferred from geochemical properties of Lake Onuma sediment, Japan, The 10th East Eurasia International Workshop Present Earth Surface Processes and Long-term Environmental Changes in East Eurasia, Gwangju, Korea (2013/10)

48 A. Sakaguchi, A. Kadokura, P. Steier, Y. Takahashi, K. Shizuma,T. Nakakuki, M. Yamamoto: Depth distribution of U-236 and Cs-137 in the Japan Sea: toward the potential use as a new oceanic circulation tracer. 5th Asia-Pacific Symposium on Radiochemistry (APSORC 13). Kanazawa, Japan (2013/9).

49 鈴木智代、長尾誠也、山本政儀、中村浩二：能登半島の熊木川における降雨時の溶存有機物の特徴と流出応答性. 日本地球惑星科学連合 2013 年大会（水循環・水環境セッション）、幕張メッセ (2013/5).

50 富田純平、高田貴裕、山本政儀 : NaCl 型温鉱泉中のラジウム濃度、日本温泉科学会第 66 回大会、岳温泉、福島県二本松市 (2013/9).

51 J. Tomita, T. Takada, S. Nagao, M. Yamamoto: Ra isotopes in Na-Cl type groundwater in Japan. 5th Asia-Pacific Symposium on Radiochemistry (APSORC 13). Kanazawa, Japan (2013/9).

52 M. Yamamoto, A. Sakaguchi, S. Ochiai, T. Takada, S. Nagao, P. Steier: Isotopic U, Pu, Am and Cm signatures in environmental samples from the Fukushima Dai-ichi Nuclear Power Plant accident. 5th Asia-Pacific Symposium on Radiochemistry (APSORC 13). Kanazawa, Japan (2013/9).

5 研究交流

- 共同研究

1 長谷部徳子, モンゴル白亜系湖成層のコア掘削：数万年精度での OAE 期の陸－海環境リンケージ解明, 茨城大学, 名古屋大学, モンゴル古生物研究所

2 長谷部徳子, 辺縁の人類史－アジア島嶼域におけるユニークな人類進化をさぐる, 国立科学博物館, インドネシア科学研究所

3 山本政儀、長尾誠也、長谷部徳子、福士圭介、モンゴルフブスグル湖・ダルハド盆地 掘削, 岐阜大学, 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,

4 長谷部徳子、福士圭介、モンゴルティルヒンツァガン湖研究, 岐阜大学, モンゴル国立大学, モンゴル地理研究所、韓国キョンヒ大学,

5 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

6 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

7 山本政義、 環境試料中の迅速簡便な ^{241}Am 分析･測定法の開発､海洋生物環境研究所共同研究（及川真司　研究員）、2010-2013

8 長尾誠也、北海道沿岸河口域における物質動態に関する検討、北海道大学低温科学研究所、一般共同研究、2009-現在

9 長尾誠也、C-14 をトレーサーとし河川水中粒子態有機物の起源推定研究、日本原子力研究開発機構、施設利用共同研究、2006-現在

10 長尾誠也、福島原発事故由来の放射性セシウムの海洋堆積物への蓄積に関する研究（代表 JAMSTEC 本多牧生）、金沢大学環日本海域環境研究センター　一般共同研究、2013 年度

11 長尾誠也、沖縄海域における溶存有機物の特性に関する研究（代表　北海道大学 島村道代）、金沢大学環日本海域環境研究センター　一般共同研究、2013 年度

12 長尾誠也、Cs-137 および Pb-210 を用いたインドネシア農地における土壌浸食量の推定（代表　岐阜大学 大西健夫）、金沢大学環日本海域環境研究センター　一般共同研究、2013 年度
13 長尾誠也、北海道大沼の湖沼堆積物に見られる縞構造の形成過程の解明（代表　岐阜大学　勝田長貴）、金沢大学環日本海域環境研究センター　一般共同研究、2013 年度

- 海外渡航

1 長谷部徳子，韓国　地質資源研究院，Brain Pool Researcher 2013. 4.1 -11.1
2 長谷部徳子，モンゴル，湖沼堆積物掘削国際共同研究　2013. 8. 25-31
3 福士圭介，イタリアフィレンツェ，国際会議参加　2013. 8. 26-30
4 福士圭介，モンゴル，湖沼堆積物掘削国際共同研究　2013. 9. 2-10
5 長谷部徳子，インドネシア　ジャワ島地質調査, 2013. 9.14-22
6 福士圭介，韓国　光州，国際ワークショップ参加　2013 10, 7-9
7 福士圭介，モンゴル　地理学研究所，試料処理　2013 10, 10-13
8 長谷部徳子・福士圭介，韓国　地質資源研究院，日中韓国際共同研究報告書会議　2014, 1, 22 -24
9 山本政儀、セミパラチンスク核実験場周辺住民のフォールアウトによる健康リスクに関する国際ワークショップ」出席のためリヨンへ出張 (2013/5/4-10)
10 長尾誠也、TGA conference、台湾 (2013/5/12-15)
11 長尾誠也、Join Assembly Conference、スウェーデン（2013/7/21-28）
12 長尾誠也、日本−ロシア二国間共同研究、ロシア（2013/7/31-8/3）
13 長尾誠也、アムール・オホーツクコンソーシャム、ロシア (2013/10/5-8)
14 長尾誠也、10^{th} East Eurasia International Workshop、韓国 (2013/10/8-10)
15 落合伸也、2013 Taiwan Geosciences Assembly、台湾 (2013/5/12-15)
16 落合伸也、モンゴルの湖沼堆積物試料採取、モンゴル (2013/8/25-31)
17 落合伸也、The 10th East Eurasia International Workshop、韓国 (2013/10/7-13)

- 訪問外国人研究者

1 梁東潤（韓国地質資源研究院・上級研究員）環日本海環境研究センター・客員教授，2014. 1. 13-16
2 林俊全（台湾大学・教授）環日本海環境研究センター・客員教授，2014. 2. 6-8
3 Jaahanaa Davaadorj （モンゴル国立大学　助教）国際共同研究，2013.12.22-2014.3.2
4 陳 歆穎（台湾大学・博士前期課程 1 年生）国際共同研究，22013.7.2-2013.9.1，2014.2.5-2014.2.22

- 非常勤講師

1 長尾誠也（非常勤講師）、集中講義 専門科目「地球環境科学特別講義」神戸大学 2013/8/23-24
2 長尾誠也、北海道大学原子力人材育成　中級講義「環境放射能測定 VI 海洋における放射性核種の挙動」2013/7/15

6 各種活動

- 学会活動

1 長谷部徳子：火山学会編集委員 2010-現在、地質学会代議員 2012-現在、フィッショントラック研究会幹事（会計），2010-現在
2 福士圭介：日本粘土学会評議員, 2010-現在
3 山本政儀：日本温泉科学会編集委員、日本放射線研究連合幹事

4　長尾誠也：日本原子力学会評議員、日本原子力学会バックエンド部会長、日本放射化学会編集委員、日本腐植物質学会編集委員・会長、国際腐植物質学会日本支部長、日本地球惑星連合 2013 年大会「水循環・水環境」コンビーナー
5　浜島靖典：日本放射化学会ニュース編集委員

- 社会活動

1　長谷部徳子：白山自然保護調査研究会　幹事, 2012-現在、　愛知県立松蔭高等学校「リケジョ（理工系女子）と学ぶ地球・環境・安全・資源」(2014.3.5)、金沢大学女性研究者活動支援事業普及促進会議委員，2013-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、公益財団法人原子力環境整備促進・資金管理センター外部有識者委員会分野別委員会（地質環境）委員, 2013-現在、独）日本学術振興会産学協力研究委員会鉱物新活用第 111 委員会委員, 2013-現在、公益財団法人韓沢子ども科学財団自動・生徒科学研究作品審査委員, (2013. 9. 15)
3　山本政儀：日本分析センター評議委員、環境科学技術研究所委員会委員、福井県美浜町原子力環境安全監視委員、石川県原子力安全専門委員、石川県原子力環境安全管理協議会委員、石川県放射線測定試技術委員会委員、
4　(長尾誠也：小松高校 SSH 運営委員・評価委員、日本原子力研究開発機構研究嘱託、環境技術研究所 排出放射能環境移行調査検討委員会委員

7　その他

- 招待講演および特別講演，依頼講演

1　M. Yamamoto: Overview of the Fukushima Dai-ichi Nuclea Power Plant (FDNPP) accident, with amounts and isotopic compositions of released radionuclides, In:5th-Pacific Symposium on Radiochemistry, APSORC13, Kanazawa Japan, 22-27 September 2013 (特別講演)
2　S. Nagao, M. Kanamori, S. Ochiai, S. Tomihara, M. Yamamoto: Transport of ^{134}Cs and ^{137}Cs in the Natsui River and Same River in Fukushima Prefecture, Japan. 2013 Taiwan Geosciences Assembly (LOICZ-Land Ocean Interaction in the Coastal Monitoring), Taoyuan, Taiwan, 13 May 2013. （招待講演）
3　S. Nagao: Study on transport of particulate organic matter in river and coastal marine systems using radiocarbon (Plenary Lecture). APSORC 2013. 24 September 2013, Kanazawa, Japan.
4　長尾誠也：木場潟汚染原因の解明、こまつ水郷 2020 ネット講演会、小松市 (2014/1/25).
5　長尾誠也：木場潟の有機汚濁の変遷、木場潟環境フォーラム、小松市 (2014/2/9).

エコテクノロジー研究部門

1　学術論文

1　長谷川翔・木綿隆弘・岡島　厚・六郷　彰・木村繁男・小松信義，2013，地面板上を移動する角柱周りの流れの可視化実験と数値解析．可視化情報学会論文集，**33**，7-15．
2　河野孝昭・東　大輝・木綿隆弘・木村繁男・小松信義，2013，直線翼垂直軸風車の空力騒音に関する風洞実験．日本機械学会論文集（B 編），**79**，2577-2581．
3　Komatsu, N. and Kimura, S., 2013, Entropic cosmology for a generalized black-hole entropy.

Phys. Rev. D, **88**, 083534, 1-16.
4 Masuda, Y., Yoneya, M. and Kimura, S., 2013, Multiple solutions of double-diffusive convection in porous media due to opposing heat and mass fluxes on vertical walls. *Journal of Thermal Science and Technology*, **8**, 533-542.
5 Matsuki, A., 2013, Application of micro Raman spectroscopy on atmospheric aerosol research. *Earozoru Kenkyu*, **28**, 208-213.
6 Ninomiya, K., Kawabata, S., Tashita, H. and Shimizu, N., 2014, Ultrasound-mediated drug delivery using liposomes modified with a thermosensitive polymer. *Ultrason. Sonochem.*, **21**, 310-316.
7 Ninomiya, K., Noda, K., Ogino, C., Kuroda, S., and Shimizu, H., 2014, Enhanced OH radical generation by dual-frequency ultrasound with TiO_2 nanoparticles: its application to targeted sonodynamic therapy. *Ultrason. Sonochem.*, **21**, 289-294.
8 Ninomiya, K., Ishijima, T., Imamura, M., Yamahara, T., Enomoto, H., Takahashi, K., Tanaka, Y., Uesugi, Y. and Shimizu, N., 2013, Evaluation of extra- and intracellular OH radical generation, cancer cell injury, and apoptosis induced by a non-thermal atmospheric pressure plasma jet. *J. Phys. D: Appl. Phys.*, **46**, 425401.
9 Ninomiya, K., Ogino, C., Kawabata, S., Kitamura, K., Maki, T., Hasegawa, H. and Shimizu, N., 2013, Ultrasonic inactivation of Microcystis aeruginosa in the presence of TiO_2 particles. *J. Biosci. Bioeng.*, **116**, 214-218.
10 Ninomiya, K., Takamatsu, H., Ohnishi, A., Takahashi, K. and Shimizu, N., 2013, Sonocatalytic-Fenton reaction for enhanced OH radical generation and its application to lignin degradation, Ultrason. *Sonochem.*, **20**, 1092-1097.
11 Ota, T., Kimura, S., Kiwata, T., Komatsu, N. and Kono, T., 2014, Experimental confirmation on the calibration curves for Preston's method. *Journal of Energy and Power Engineering* (in press).
12 Yamada, K., Terakura, M. and Tsukawaki, S., 2014, The impact on bottom sediments and ostracods in the Khlong Thom River mouth following the 2004 Indian Ocean tsunami. *Paleontological Research*, **18**, 104-117

2　総説・資料・報告書

1 Aomori, Y., Ueda, Y., Inoue, K., Ninomiya, K. and Takahashi, K., 2013, Application of lignin fractionated by ionic liquid to resin. *Proceedings of the 33th International Conference on Solution Chemistry, Post Symposium on Ionic Liquids from Science to Green Chemical Application*, Tokyo, p.30.
2 青森有香・大澤浩二・仁宮一章．高橋憲司，2013，イオン液体とラジカルを用いたリグノセルロースリファイナリー．化学工業，**64**，38-45.
3 早川和一・塚脇真二，2014，環日本海域研究センター設立 10 周年記念国際シンポジウムの概要．日本海域研究，**45**，1-2.
4 Ishijima, T., Imazawa, Y., Ninomiya, K., Takahashi, K., Tanaka, Y. and Uesugi, Y., 2013, Investigation of OH radical generation rate in liquid induced by non-equilibrium atmosphere

pressure plasma jet irradiation. *Proceedings of the 66th Annual Gaseous Electronics Conference (GEC2013)*, Princeton, USA, p.43.

5 Ishijima, T., Yamahara, T., Imamura, M., Ninomiya, K., Takahashi, K., Tanaka, Y. and Uesugi, Y., 2013, Fundamental study of OH radical generation rate induced by low frequency plasma jet. *Proceedings of the the 9th Asian-European International Conference on Plasma Surface Engineering (AEPSE2013)*, P4-29, Cheju, Korea.

6 Japan National Committee for CCOP (Tsukuda, E., Tsukawaki, S. *et al.*), 2013, *Member Country Report of Japan*. 49th Annual Session, Sendai, CCOP-49AS/3.07, 28p.

7 金沢大学アンコール遺跡整備公団インターンシップ実施委員会（塚脇真二，他３名），2014，2013年度アンコール遺跡整備公団インターンシップ報告書．金沢大学人間社会学域国際学類/環日本海域環境研究センター，前田印刷，金沢，40p.

8 Kimura, S., 2014, *Groundwater flows and velocity measurements*. Handbook of Porous Media, Edited by Vafai, K., Taylor & Francis (in press).

9 木村繁男，2013，解説「流れとかたち」―万物のデザインを決める新たな物理法則．エイドリアン・ベジャン（著），J. ペダー・ゼイン（編），柴田裕之（訳），紀伊国屋書店，，東京，392-403.

10 木村繁男・塚脇真二・松木　篤，2013，環境における「流れ」の役割とその解明：自然計測領域エコテクノロジー研究部門．日本海域研究，**45**，11-14.

11 木村繁男，他７名，2013，流体工学．日本機械学会誌-特集機械工学年鑑，116-1137，535-540.

12 松木　篤・木村繁男・塚脇真二，2013，広域大気汚染の解明と国際的観測網への貢献：自然計測領域エコテクノロジー研究部門．日本海域研究，**45**，39-43.

13 Ninomiya, K., and Takahashi, K., 2013, Biomass refinery using ionic liquids. *Proceedings of the 33th International Conference on Solution Chemistry, Post Symposium on Ionic Liquids from Science to Green Chemical Application*, Tokyo, p.10.

14 Ninomiya, K. and Takahashi, K., 2013, Pretreatment of lignocellulosic biomass using ionic liquid. *Proceedings of the 2013 Korean Society for Microbiology and Biotechnology KMB's 40th Anniversary International Symposium,* IS4-2, Pyeongchang, Gangwondo.

15 Ninomiya, K., Ogino, C., Takahashi, K. and Shimizu, N., 2013, Bio-derived ionic liquids for pretreatment of lignocellulosic biomass. *Proceedings of the 5th Congress on Ionic Liquids (COIL5)*, P108, Algarve.

16 仁宮一章・清水 宣明，2013，がん細胞と特異的に結合する超音波刺激応答性リポソームの創製．超音波テクノ，**25**，46-51.

17 Nishizawa, Y., Takamizawa, Y., Aomori, Y., Inoue, K., Ninomiya, K. and Takahashi, K., 2013, Reaction of lignin dissolved in ionic liquid. *Proceedings of the 33th International Conference on Solution Chemistry, Post Symposium on Ionic Liquids from Science to Green Chemical Application*, Tokyo, p.29.

18 清水宣明・山田外史・田中茂雄・仁宮一章・柿川真紀子，2014，環境刺激の生体利用と生体計測技術の研究－自然計測領域生体機能計測研究部門－．日本海域研究，**45**，19-25.

19 塚脇真二，2014，金沢大学日本海域研究所と「日本海域研究」－地域研究領域－．日本海域研究，**45**，29-33.

20 塚脇真二・全　希永・Hang Peou，2014，東アジアの中の日本海域－地域研究の拠点としての地

域研究領域－．日本海域研究，**45**，57-60.

3　著書

1　大政健史・仁宮一章・荻野千秋・滝口　昇・中島田豊，2013，基礎から学ぶ生物化学工学演習．日本生物工学会編，コロナ社，東京，160p.

4　学術発表

1　青森有香・上田雄喜・井上　健・仁宮一章・高橋憲司，イオン液体により分画されたリグニンの樹脂材料への利用．第 4 回イオン液体討論会，慶應義塾大学，横浜（2013.11）

2　青森有香・上田雄喜・井上　健・仁宮一章・ 高橋憲司，イオン液体により分画されたリグニンの樹脂材料への利用．化学工学会第 45 回秋季大会，岡山大学津島キャンパス，岡山（2013.9）

3　Araki, Y., Tsukawaki, S. and All Members of Team ERDAC, Recent changes of the people's livelihood and its circumstances in the area of Chong Kneas floating village, south of Siem Reap. *The 22nd Technical Committee, International Coordinating Committee for the Safeguarding and Development of the Histric Site of Angkor*, Sokha Resort and Spa, Siem Reap, Cambodia (2013.12)

4　Furt, J. -M., Hubert, B. and Tsukawaki, S., A., Recommendation of the ad hoc group of experts for sustainable development. *The 22nd Technical Committee, International Coordinating Committee for the Safeguarding and Development of the Histric Site of Angkor*, Sokha Resort and Spa, Siem Reap, Cambodia (2013.12).

5　原　和崇・牧　輝弥・岩田　歩・松木　篤，日本海側の降雪に対する生物氷晶核の影響．第 8 回大気バイオエアロゾルシンポジウム，大阪大学中之島センター，大阪（2014.1）

6　原　和崇・小林史尚・松木　篤，降雨に伴う大気中氷晶核濃度の増大と生物氷晶核との関連性．第 8 回大気バイオエアロゾルシンポジウム，大阪大学中之島センター，大阪（2014.1）

7　原　和崇・牧　輝弥・岩田　歩・松木　篤，耐熱性に基づく生物氷晶核の分類．第 19 回大気化学討論会，のと楽，石川（2013.11）

8　Hara, K., Iwata, A. and Matsuki, A., Heat sensitivity of ice nuclei in fresh snow collected in Kanazawa, Japan. *The 19th International Conference on Nucleation and Atmospheric Aerosols, Colorado State University* ,Fort Collins, USA (2013.6)

9　東　大輝・河野孝昭・木綿隆弘・木村繁男・小松信義，直線翼垂直軸風車の空力騒音に関する風洞実験．第 18 回動力・エネルギー技術シンポジウム講演論文集，No.13-10，27-28，千葉（2013.6）

10　Higashi, D., Kono, T., Kiwata, T., Kimura, S. and Komatsu, N., Measurement of aeroacoustic noise from a straight-bladed vertical-axis wind turbine. *The 12th International Symposium on Fluid Control, Measurements, and Visualization (FLUCOME 2013)*, OS18-04-3(USB), Nara, Japan (2013.11).

11　櫃田禎大・木綿隆弘・河野孝昭・木村繁男・小松信義・中田博精・古路裕子，斜風時のクロスフロー風車周りの流れと端板設置による出力改善．第 10 回生体工学と流体工学に関するシンポジウム講演論文集，9-12，金沢（2014.2）

12　本間　駿・小松信義・木村繁男・木綿隆弘・河野孝昭，地面効果を考慮した切欠きを有する 2 次元角柱周り流れの RANS 解析．第 91 期日本機械学会流体工学部門講演会講演論文集(USB)，G703,

福岡（2013.11）

13 井上　健・吉田祐紀子・辰巳真衣・仁宮一章・高橋憲司，酸触媒性イオン液体を用いたバイオマスの前処理および酸加水分解反応．第 4 回イオン液体討論会，慶應義塾大学，横浜（2013.11）

14 石島達夫・今澤優子・仁宮一章・髙橋憲司・田中康規・上杉喜彦，大気圧非平衡プラズマジェット照射時の溶液表面積が OH 生成反応速度に与える影響．応用物理学会第 74 回秋季大会，京田辺，同志社大学京田辺キャンパス，京田辺（2013.9）

15 岩本洋子・木ノ内健人・鏡味沙良・松木　篤，能登半島における雲凝結核の通年観測．第 19 回大気化学討論会，のと楽，石川（2013.11）

16 岩本洋子・木ノ内健人・鏡味沙良・松木　篤，能登半島で観測された雲凝結核の性状：通年観測によってわかったこと．山岳大気研究部門第 3 回成果報告会，東京理科大学，東京（2014. 3）

17 Iwamoto, Y., Kinouchi, K. and Matsuki, A., Simultaneous measurement of CCN activity and chemical composition of fine aerosols at Noto peninsula, Japan, in autumn 2012. *Goldschmidt 2013*, Firenze Fiera Congress and Exhibition Centre, Firenze, Italy (2013.8)

18 岩本洋子・木ノ内健人・松木　篤，2012 年秋季に能登半島で観測された雲凝結核の特性．日本地球惑星科学連合 2013 年大会，幕張メッセ国際会議場，千葉（2013.5）

19 岩田　歩・原　和崇・松木　篤，スギ花粉の気候への影響．第 19 回大気化学討論会，のと楽，石川（2013.11）

20 Iwata，A., Hara, K., Matsuki, A., Iwamoto, Y., Maki, T. and Kakikawa, M., Investigation on the vertical distribution of Japanese cedar pollen and its potential impact on ice cloud formation. *American Association for Aerosol Research 32nd Annual Conference*, Oregon Convention Center, Portland, USA (2013.9)

21 亀田貴之・安積愛理・福島杏希・唐　寧・松木　篤・鳥羽　陽・早川和一，黄砂粒子表面における多環芳香族炭化水素のニトロ化促進メカニズム．第 54 回大気環境学会年会，新潟コンベンションセンター，新潟（2013.9）

22 Kimura, S., Morning breakup, modelling atmospheric and oceanic flows: insights from laboratory experiments and numerical simulations. *EUROMECH Colloquium 552*, Belrin, Germany (2013. 9)

23 Kimura, S., Intuition and quantification. *The 58th Congress of the Indian Society of Theoretical and Applied Mechanics; An International Conference*, Kolkata, India (2013. 12)

24 木村繁男・大西一樹・木綿隆弘・小松信義・河野孝昭，垂直円筒周りの凝固時における対流の可視化．日本地熱学会平成 25 年学術講演会，千葉（2013.11）

25 木ノ内健人・岩本洋子・松木　篤，能登半島における CCN カウンタを用いた雲粒粒径の計測．第 19 回大気化学討論会，のと楽，石川（2013.11）

26 Kinouchi, K., Iwamoto, Y. and Matsuki, A., What affects the growth of cloud droplets? *The 10th East Eurasia International Workshop on Present Earth Surface Processes and Long-term Environmental Changes in East Eurasia*, Kim Daejung Conventional Center, Kwangju, Korea (2013.10)

27 Kinouchi, K., Iwamoto, Y. and Matsuki, A., Droplet sizes of activated CCN measured at Noto Peninsula, Japan, in Autumn 2012. *The 19th International Conference on Nucleation and Atmospheric Aerosols*, Colorado State University, Fort Collins, USA (2013.6)

28 木ノ内健人・岩本洋子・松木　篤，2012年秋季に能登半島で観測された複数の過飽和度条件下における雲粒の大きさ．日本地球惑星科学連合2013年大会，幕張メッセ国際会議場，千葉（2013.5）
29 小林史尚・牧　輝弥・柿川真紀子・山田　丸・松木　篤・長沼　毅・岩坂泰信，南極域における大気バイオエアロゾル直接採集．第8回大気バイオエアロゾルシンポジウム，大阪大学中之島センター，大阪（2014.1）
30 Kobayashi, F., Maki, T., Kakikawa, M., Yamada, M., Matsuki, A., Naganuma, T. and Iwasaka, Y., Direct sampling of atmospheric bioaerosol using a tethered balloon on the Antarctic. *The 7th International Workshop on Sand/Duststorms and Associated Dustfall*, Frascati ,Rome, Italy (2013.12)
31 Kobayashi, F., Maki, T., Kakikawa, M., Yamada, M., Matsuki, A., Naganuma, T. and Iwasaka, Y., Direct sampling and bioanalysis of atmospheric bioaerosol on the Antarctic. 第4回極域科学シンポジウム，極地研究所，東京（2013.11）
32 小林史尚・牧　輝弥・柿川真紀子・山田　丸・松木　篤・長沼　毅・岩坂泰信，南極域の風送バイオエアロゾル実相調査．第65回日本生物工学会大会，広島国際会議場，広島（2013.9）
33 Maki, T., Kobayashi, F., Chen, B., Puspitasari, F., Kakikawa, M., Matsuki, A., Shi, G., Hasegawa, H. and Iwasaka, Y., Bacterial structures in atmosphere and sand dunes of Taklimakan Desert. 第8回大気バイオエアロゾルシンポジウム，大阪大学中之島センター，大阪（2014.1）
34 Maki, T., Kobayashi, F., Chen, B., Puspitasari, F., Kakikawa, M., Matsuki, A., Shi, G., Hasegawa, H. and Iwasaka, Y., Diversity and structure dynamics of airborne bacteria (bioaerosols) in Dunhuang City during a dust event. *The 7th International Workshop on Sand/Duststorms and Associated Dustfall*, Frascati,Rome, Italy (2013.12)
35 牧　輝弥・小林史尚・松木　篤・岩坂泰信，大気バイオエアロゾルとして選ばれる細菌種は？第19回大気化学討論会，のと楽，石川（2013.11）
36 Maki, T., Kobayashi, F., Kakikawa, M., Yamada, M., Matsuki, A. and Iwasaka, Y., Comparison of airborne bacterial compositions in bioaerosols collected at 3,000m, 1,000m, 10m over Japan. *American Association for Aerosol Research 32nd Annual Conference,* Oregon Convention Center, Portland, USA (2013.9)
37 丸山裕慎・仁宮一章・清水宣明，超音波照射による二酸化チタンプレート表面での細胞傷害効果．日本ソノケミストリー学会第22回討論会，信州大学，松本（2013.10）
38 増田光平・小田切正人・守屋敏春・仁宮一章・遠藤　浩，シロアリ腸内に共生する原生生物由来セルラーゼの繊毛虫テトラヒメによる発現とそのタンパク質の分泌．第36回日本分子生物学会年会，神戸ポートピアアイランド，神戸（2013.12）
39 松木　篤・岩本洋子・木ノ内健人・鏡味沙良，能登半島における大気エアロゾルの連続観測．第19回大気化学討論会，のと楽，石川（2013.11）
40 Matsuki, A., Minute particles have major impact on climate. *The 10th Japanese-German Frontiers of Science Symposium*, Brighton Hotel, Kyoto (2013.10)
41 松木　篤，能登スーパーサイトにおける大気モニタリング研究．日本地球惑星科学連合2013年大会，幕張メッセ国際会議場，千葉（2013.5）
42 中道淳平・木綿隆弘・歌野原陽一・木村繁男・小松信義・河野孝昭・ 河合敦史，円管内オリフィ

ス下流域における壁面せん断応力測定．第 91 期日本機械学会流体工学部門講演会講演論文集 (USB)，福岡（2013.11）

43 中道淳平・木綿隆弘・歌野原陽一・木村繁男・小松信義・河野孝昭・河合敦史，円管内オリフィス下流域の壁面せん断応力に関する研究．第 52 回北陸流体工学研究会，福井（2014.3）

44 中村香耶・山田　丸・唐　寧・亀田貴之・小林史尚・松木　篤・簗城寿長・檜垣誠吾・岩坂泰信・早川和一，フタロシアニンによる多環芳香族炭化水素類の除去効果評価システムの開発．日本薬学会第 134 年会，熊本大学，熊本（2014.3）

45 中村香耶・山田　丸・唐　寧・亀田貴之・小林史尚・松木　篤・簗城寿長・檜垣誠吾・岩坂泰信・早川和一，フタロシアン担持繊維の大気中多環芳香族炭化水素吸着及び微生物増殖抑制効果．フォーラム 2013：衛生薬学・環境トキシコロジー，九州大学医学部百年講堂，福岡（2013.9）

46 仁宮一章・荻野千秋・清水宣明・高橋憲司，イオン液体を用いたリグノセルロースのトータルリファイナリー．化学工学会第 79 年会，岐阜大学柳戸キャンパス，岐阜（2014.3）

47 仁宮一章・山田龍治・清水宣明，微生物をキャリアとした遺伝子導入法における超音波照射の効果．　日本ソノケミストリー学会第 22 回討論会，信州大学，松本（2013.10）

48 仁宮一章・表小百合・清水宣明・佐藤勝也・鳴海一成，イオン液体耐性酵母を用いたイオン液体前処理バイオマスからの同時糖化発酵．第 8 回高崎量子応用研究シンポジウム，高崎シティギャラリー，高崎（2013.10）

49 仁宮一章・北村憲太郎・増田光平・東　浩・守屋敏春・小田切正人・清水宣明，セルラーゼ発現テトラヒメナを用いた微細藻類の直接生物的変換．日本生物工学会第 65 回大会，広島国際会議場，広島（2013.9）

50 西澤悠希・高見澤勇太・仁宮一章・高橋憲司，イオン液体に溶解したリグニンの反応．第 4 回イオン液体討論会，慶應義塾大学，横浜（2013.11）

51 西澤悠希・高見澤勇太・青森有香・井上　健・仁宮一章・高橋憲司，イオン液体に溶解したリグニンの反応．化学工学会第 45 回秋季大会，岡山大学津島キャンパス，岡山（2013.9）

52 沖田　剛・仁宮一章・高橋憲司，ヒドロキシラジカルを用いたリグニンの低分子化による有用物質への変換．化学工学会第 45 回秋季大会，岡山大学津島キャンパス，岡山（2013.9）

53 表小百合・仁宮一章・荻野千秋・高橋憲司・清水宣明，低細胞毒性イオン液体により前処理した木質系バイオマスからの同時糖化発酵．第 4 回イオン液体討論会，慶應義塾大学，横浜（2013.11）

54 表小百合・仁宮一章・曽田裕司・荻野千秋・高橋憲司・清水宣明，低細胞毒性イオン液体により前処理した木質系バイオマスからの同時糖化発酵．日本生物工学会第 65 回大会，広島国際会議場，広島（2013.9）

55 Ota, T., Kimura, S., Kiwata, T., Komatsu, N. and Kono, T., Experimental confirmation on the calibration curves for Preston's method. *The 4th International Conference on Jets, Wakes and Separated Flows*, No.13-201, ICJWSF2013-1060 (CD-ROM), Nagoya, Japan (2013.9)

56 太田寿英・木村繁男．金岡佳充・木綿隆弘・小松信義・河野孝昭，フローベクトルセンサの壁面せん断応力に対する出力特性の評価．第 52 回北陸流体工学研究会，福井（2014.3）

57 Ota, T., Kimura, S., Kanaoka, Y., Kiwata, T., Komatsu, N. and Kono, T., Experimental confirmations of MEMS based sensor for flow direction and wall shear stress. *The 24th International Symposium on Transport Phenomena, ISTP-24*, p.67, Yamaguchi, Japan (2013.11)

58 定永靖宗・高治　諒・石山絢菜・松木　篤・佐藤啓市・長田和雄・坂東　博，能登半島珠洲における NOy とその構成成分の総合的観測．第 19 回大気化学討論会，のと楽，石川（2013.11）

59 紫合英樹・定永靖宗・橋本侑樹・石山絢菜・高治　諒・高見昭憲・大原利眞・横内陽子・米村正一郎・松木　篤・佐藤啓市・長田和雄・坂東　博，東アジアから越境輸送される窒素酸化物によるオゾン生成効率の評価. 第 54 回大気環境学会年会, 新潟コンベンションセンター, 新潟(2013.9)

60 高治　諒・定永靖宗・石山絢菜・松木 篤・佐藤啓市・長田和雄・坂東　博，キャビティ減衰位相シフト分光法，有機硝酸エステル，反応性総窒素酸化物．第 54 回大気環境学会年会，新潟コンベンションセンター，新潟（2013.9）

61 辰巳真衣・大澤浩二・仁宮一章・高橋憲司，イオン交換膜を用いたイオン液体水溶液からのイオン液体の回収．第 4 回イオン液体討論会，慶應義塾大学，横浜（2013.11）

62 Tsukawaki, S. and Beschaouch, A., The effects of climate and pollution on the monuments in Angkor Park. *The 22nd Technical Committee, International Coordinating Committee for the Safeguarding and Development of the Histric Site of Angkor*, Sokha Resort and Spa, Siem Reap, Cambodia (2013.12)

63 Tsukawaki, S. and Delanghe, P., New technologies: New Approaches, New Technologies, New Competencies. *The 3rd Intergovernmental Congress, International Coordinating Committee for the Safeguarding and Development of the Histric Site of Angkor,* Sokha Resort and Spa, Siem Reap, Cambodia (2013.12)

64 上田紗也子・中山智喜・松見　豊・竹谷文一・足立光司・松木　篤・岩本洋子，登スーパーサイトで春季に観測した炭素質エアロゾルの光吸収特性および個別粒子の特徴．第 19 回大気化学討論会，のと楽，石川（2013.11）

65 山田　丸・中村香耶・亀田貴之・小林史尚・松木　篤・築城寿長・檜垣誠吾・早川和一・岩坂泰信, 黄砂用マスクの開発と評価. 第 30 回エアロゾル科学･技術研究討論会, 京都大学, 京都(2013.8)

66 山田怜奈・木ノ内健人・岩本洋子・鏡味沙良・原　和崇・松木　篤・渡辺幸一・山崎暢浩・兼保直樹，2013 年夏季に能登半島で観測された大気エアロゾルの特徴．都市大気の PM2.5 研究会講演会，名古屋大学，名古屋（2014. 3）

67 Yamagishi, A., Kono, T., Kiwata, T., Kimura, S. and Komatsu, N., Numerical and experimental study on the flow characteristics around a cross-flow wind turbine. *The 12th International Symposium on Fluid Control, Measurements, and Visualization (FLUCOME 2013)*, OS18-04-4(USB), Nara, Japan (2013.11)

68 山口　誠・木綿隆弘・上野敏幸・中島亜久里・木村繁男・小松信義・河野孝昭，片持ち弾性支持柱状構造物の流力振動応答特性と振動発電に関する研究．第 10 回生体工学と流体工学に関するシンポジウム講演論文集，13-14，金沢（2014.2）

69 山下克也・田尻拓也・斎藤篤思・村上正隆・牧　輝弥・松木　篤・原　和嵩・岩田　歩，室内実験から得られたバイオエアロゾルの CCN・IN 能．第 8 回大気バイオエアロゾルシンポジウム，大阪大学中之島センター，大阪（2014.1）

70 山下貴宏・仁宮一章・清水宣明，超音波刺激で気化する PFC 内包リポソームを用いた DDS 型がん治療．日本ソノケミストリー学会第 22 回討論会，信州大学，松本（2013.10）

4　研究交流

・共同研究

1　木村繁男：「凝固現象に関する研究」，Michael Vynnycky, MACSI Senior Research Fellow, Department of Mathematics and Statistics University of Limerick, Limerick, Irland

2　木村繁男：「植生内の乱流拡散に関する研究」「不飽和多孔質体内での強制対流熱伝達」，Robert McKibbin, Professor, Department of Mathematics, Massey University, New Zealand

3　木村繁男：「マイクロフローセンサーの開発に関する研究」，矢崎総業（株）

4　木村繁男：「地下タンクを用いた地中熱利用に関する研究」，玉田工業（株）

5　塚脇真二：「アンコール遺跡区域における環境汚染の現状と評価」，カンボジア王国アンコール世界遺産整備機構（APSARA 公団），鹿児島大学，日本大学，横浜国立大学，滋賀大学，大阪電気通信大学，弘前大学，東北学院大学，京都大学，東京情報大学

6　塚脇真二：「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）」，カンボジア王国産業省資源総局（GDMR），アンコール世界遺産整備機構（APSARA 公団），水資源気象省水文河川局，UNESCO/MAB-IHP，北海道大学，鹿児島大学，日本大学，横浜国立大学，北海道大学，滋賀大学，大阪電気通信大学，弘前大学，東北学院大学

7　塚脇真二：「南タイマングローブ生態系におけるスマトラーアンダマン津波の影響評価」，タイ王国マヒドゥ大学，同プリンスオブソンクラ大学，同産業省資源局（DMR），東北大学，信州大学

8　塚脇真二：「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」，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）

9　松木　篤：「黄砂バイオエアロゾル及び人為起源のエアロゾルの雲核・氷晶核能に関する研究」，科研費基盤（A），気象研究所（代表者：村上正隆）

・海外渡航

1　木村繁男，ベルリン（ドイツ），Modelling Atmospheric and Oceanic Flows:insights from laboratory experiments and numerical simulationsEUROMECH Colloquium 552, Belrin, Germany（2013. 9）

2　木村繁男，コルカタ（インド），58th Congress of the Indian Society of Theoretical and Applied Mechanics; An International Conference（第 58 回インド理論応用力学会;国際会議/招待講演）（2013. 12）

3　塚脇真二，プノンペン・シェムリアプ（カンボジア），第 37 回 UNESCO 世界遺産会議（2012. 6）

4　塚脇真二，シェムリアプ（カンボジア），アンコール世界遺産およびトンレサップ生物圏保護区の環境保全調査およびアンコール遺跡整備公団での学生インターンシップ支援（2013. 8-9）

5　塚脇真二，シェムリアプ・プノンペン（カンボジア）．第 20 回アンコール世界遺産国際管理運営委員会総会，第 22 回アンコール世界遺産国際管理運営委員会技術委員会，および第 3 回アンコール世界遺産政府間会議（2013.11-12）

6　塚脇真二，大田（韓国），韓国地質資源研究院との交流協定にかかる意見交換（2013.2）

7　塚脇真二，シェムリアプ（カンボジア），アンコール世界遺産における地下地質構造調査および自然環境調査（2013. 2）

8　塚脇真二，プノンペン（カンボジア），金沢大学とカンボジア国立経営大学との交流協定調印式ほ

か（2013. 3）

9 松木　篤，コロラド（アメリカ），International Conference on Nucleation and Atmospheric Aerosols,　（2013.6）

10 松木　篤，クレルモン=フェラン（フランス），雲＝エアロゾル相互作用に関する研究打ち合わせ（2013. 8-9）

・訪問外国人研究者

1 Robert McKibbin, マッセー大学（ニュージーランド），多孔質層内強制熱伝達に関する研究，木村繁男（2013.11）

2 Hor Peng，カンボジア国立経営大学（カンボジア）学長，金沢大学との交流協定締結にかかる打合せ，塚脇真二（2014.01）

3 Regis Dupuy, ブレース・パスカル大学（フランス），雲＝エアロゾル相互作用に関する研究打ち合わせ，松木　篤（2014.3）

5　各種活動（学会・社会）

・学会活動

1 木村繁男 : Associate Editor of “Journal of Porous Media” and “Special Topics and Reviews in Porous Media”; International Editorial Board Member of “Transport in Porous Media”, Springer；International Scientific Committee Member for the 24th International Symposium on Transport Phenomena（Yamaguchi, Japan, 2013.11）; International Scientific Committee Member for the 25th International Symposium on Transport Phenomena（Krabi, Thailand, 2014.11）; 一般社団法人日本機械学会企画理事（2012-2013 年度）; 日本流体力学会中部支部幹事

2 塚脇真二：日本応用地質学会中部支部顧問（2008～），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/日本国代表委員会委員（2006～）

3 松木　篤 : 日本学術会議・環境学委員会・地球惑星科学委員会合同 IGBP・WCRP・DIVERSITAS 合同分科会 IGAC 小委員会委員(2012～)

・社会活動

1 木村繁男：経済産業省・地熱開発理解促進関連事業支援補助金審査委員会委員長，NEDO 研究補助金審査委員，(2013.7～2014.3)，白峰地区地域振興に関する懇談会講師「地熱エネルギーと地中熱利用について」，金沢大学（2013.10），コープいしかわ第 3 回エネルギー政策推進委員会講師「地熱エネルギーの現状と課題」，石川県地場産業振興センター（2014.2）

2 塚脇真二：UNESCO アンコール世界遺産国際管理運営委員会専門家委員会委員（開発・保全担当顧問）（2012～），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（2004～），カンボジアのシェムリアプ州ならびにアンコール世界遺産水問題会議委員（2006～）

3 松木　篤：日本海イノベーション会議 2013 年度金沢大学第 1 回プログラム「PM2.5 が地球を冷ます？能登で測る日本海の大気」，北國新聞会館，講師（2013.7），理学の広場 地学体験セミナー

「発見！大気と水の不思議」，金沢大学角間キャンパス，講師（2013. 8），石川県高等学校教育研究会地学部会「能登を通して見る大気環境の変化：半島の先端を超高感度環境センサーに見立てて」，石川県立自然史資料館，講師（2014.2），金沢大学まちなかサイエンスセミナー「雲をつかむような話：PM2.5 と雲の意外な関係」，本多の森会議室，講師（2014.3）

生物多様性研究部門

1　学術論文

1 Yano, S., Kitamura, K., Satoh, Y., Nakano, M., Hattori, A., Sekiguchi, T., Ikegame, M., Nakashima, H., Omori, K., Hayakawa, K., Chiba, A., Sasayama, Y., Ejiri, S., Mikuni-Takagaki, Y., Mishima, H., Funahashi, H., Sakamoto, T. and Suzuki, N.: Static and dynamic hypergravity responses of osteoblasts and osteoclasts in medaka scales. Zool. Sci., 30: 217-223 (2013)

2 Kitamura, K., Takahira, K., Inari, M., Satoh, Y., Hayakawa, K., Tabuchi, Y., Ohgai, K., Nishiuchi, T., Kondo, T., Mikuni-Takagaki, Y., Chen, W., Hattori, A. and Suzuki, N.: Zebrafish scales respond differently to in vitro dynamic and static acceleration: analysis of interaction between osteoblasts and osteoclasts. Comp. Biochem. Physiol. Part A, 166: 74-80 (2013)

3 Rai, R., Mishra, D., Srivastav, S.K., Suzuki, N., Srivastav, A.K.: Effects of lead nitrate on histo-cytological alterations of corpuscles of Stannius of stinging catfish, *Heteropneustes fossilis*. Iran. J. Toxicol., 20: 823-830 (2013)

4 Kumar, A., Prasad, M.R., Srivastava, K., Srivastav, S.K., Suzuki, N. and Srivastav, A.K.: Cyto-histopathological alterations in the liver of azadirachtin treated catfish, *Heteropneustes fossilis*. Proc. Nat. Acad. Sci., Section B: Biol. Sci., 83:609–613 (2013)

5 Srivastav, A.K., Rai, R., Suzuki, N., Mishra, D. and Srivastav, S.K.: Effects of lead on the plasma electrolytes of a freshwater fish, *Heteropneustes fossilis*. Int. Aquat. Res., 5:4 (Online) (2013)

6 Tripathi, S., Suzuki, N. and Srivastav, A.K.: Response of serum minerals (calcium, phosphate and magnesium) and endocrine glands (calcitonin cells and parathyroid gland) of wistar rat after chlorpyrifos administration. Microsc. Res. Tech., 76:673-678 (2013)

7 Undap, S. L., Matsunaga, S., Honda, M., Sekiguchi, T., Suzuki, N., Khalil, F., Qiu, X., Shimasaki, Y., Ando, H., Sato-Okoshi, W., Sunobe, T., Takeda, S., Munehara, H. and Oshima, Y.: Accumulation of organotins in wharf roach (Ligia exotica Roux) and its ability to serve as a biomonitoring species for coastal pollution. Ecotoxicol. Environ. Saf., 96: 75-79 (2013)

8 Srivastav, A.K., Rai, R., Suzuki, N., Mishra, D. and Srivastav, S.K.: Responses of the prolactin cells of the stinging catfish *Heteropneustes fossilis* following lead intoxication Egypt. J. Aqua. Res., 39: 111-114 (2013)

9 Tabuchi, Y., Sugahara, Y., Ikegame, M., Suzuki, N., Kitamura, K. and Kondo, T.: Genes responsive to low-intensity pulsed ultrasound in MC3T3-E1 preosteoblast cells. Int. J. Mol. Sci., 14, 22721-22740 (2013)

10 三島弘幸，井上昌子，門田理佳，服部淳彦，鈴木信雄，筧 光夫，松本 敬，里村一人，見明康雄：象牙質の成長線の周期と体内時計の情報伝達分子のメラトニンの分泌リズムの関連．日本再生歯科医学会雑誌，11; 27-39 (2013)

11 Tabuchi, Y., Wada, S., Ikegame, M., Kariya, A., Furusawa, Y., Hoshi, N., Yunoki, T., Suzuki, N., Takasaki, I., Kondo, T. and Suzuki, Y.: Development of oral epithelial cell line ROE2 with differentiation potential from transgenic rats harboring temperature-sensitive simian virus 40 large T-antigen. Exp. Anim., 63: 31-44 (2014)

12 Suzuki, N., Maruyama, Y., Nakano, M., Hattori, A., Honda, M., Shimazaki, Y., Sekiguchi, T., Mishima, H., Wada, S., Srivastav, A.K., Hayakawa, K. and Oshima, Y.: Increased PGE_2 has a positive correlation with plasma calcium during goldfish reproduction. J. Fac. Agr., Kyushu Univ., 59: 97-101 (2014)

13 Yachiguchi, K., Sekiguchi, T., Nakano, M., Hattori, A., Yamamoto, M., Kitamura, K., Maeda, M., Tabuchi, Y., Kondo, T., Kamauchi, H., Nakabayashi, H., Srivastav, A.K., Hayakawa, K., Sakamoto, T. and Suzuki, N.: Effect of inorganic mercury and methylmercury on osteoclasts and osteoblasts in the scales of the marine teleost as a model system of bone. Zool. Sci., 31: 330-337 (2014)

14 Yachiguchi, K., Matsumoto, N., Haga, Y., Suzuki, M., Matsumura, C., Tsurukawa, M., Okuno, T., Nakano, T., Kawabe, K., Kitamura, K., Toriba, A., Hayakawa, K., Chowdhury, V.S., Endo, M., Chiba, A., Sekiguchi, T., Nakano, M., Tabuchi, Y., Kondo, T., Wada, S., Mishima, H., Hattori, A. and Suzuki, N.: Polychlorinated biphenyl (118) activates osteoclasts and induces bone resorption in goldfish. Env. Sci. Poll. Res., 21: 6365–6372 (2014)

15 Tabuchi, Y., Yunoki, T., Hoshi, N., Suzuki, N. and Takashi, T.: Genes and gene networks involved in sodium fluoride-elicited apoptosis accompanying endoplasmic reticulum stress in oral epithelial cells. Int. J. Mol. Sci., 15: 8959-8978 (2014)

16 Kumar, A., Prasad, M., Srivastav, S.K., Suzuki, N. and Srivastav, A.K.: Toxicological impacts of a botanical pesticide, azadirachtin on corpuscles of Stannius of stinging catfish, *Heteropneustes fossilis*. Int. J. Environ. Sci. Technol. in press

17 Srivastav, A.K., Rai, R., Tripathi, S., Mishra, D., Srivastav, S.K. and Suzuki, N.: Histo-cytological responses of the prolactin cells of the catfish *Heteropneustes fossilis* to cadmium exposure. Egypt. Acad. J. Biolog. Sci., in press

18 Kumar, A., Prasad, M.R., Suzuki, N., Srivastav, S.K. and Srivastav, A.K.: Influence of a botanical pesticide, azadirachtin, on ultimobranchial gland of the freshwater catfish *Heteropneustes fossilis*. Toxicol. Env. Chem., in press

19 Usio N, Imada M, Nakagawa M, Akasaka M, Takamura N (2013) Effects of pond draining on biodiversity and water quality of farm ponds. *Conservation Biology* 27: 1429–1438.

20 福山厚子・長谷川和久・木下栄一郎・奥野正幸，酸性雨ストレスなどから緑環境を保全－酸性水灌水がクロマツの生長へ及ぼす影響，農業および園芸，第 88 巻　第 2 号, p225-231, 2013.

21 -福山厚子・長谷川和久・木下栄一郎・奥野正幸，植栽カンツバキの衰退事例－石川県小松市における事例報告－，樹木医学研究，Vol. 18 No.1, p1-5, 2014.

2 総説

1 Satake, H., Aoyama, M., Sekiguchi, T. and Kawada, T.: Insight into molecular and functional diversity of tachykinins and their receptors. Protein Pept. Lett., 20: 615-627 (2013)

2 服部淳彦，池亀美華，矢野幸子，染井正徳，鈴木信雄：宇宙メラトニン研究と抗加齢医学との接点．抗加齢医学会雑誌，9: 356 -363 (2013)

3　大澤剛士，鎌内宏光，細矢　剛，伊藤元己：LTER、GBIF における国際的な生物多様性データベースの動向と日本国内の課題：国際ワークショップ参加報告．日本生態学会誌，63: 269-273 (2013)
4　木下栄一郎，鈴木信雄，関口俊男，中村浩二：環日本海域における生物多様性研究の 10 年
5　－自然計測領域生物多様性研究部門－．日本海域研究，45: 15-17 (2014)
6　鈴木信雄，関口俊男，木下栄一郎，中村浩二：生物多様性を基盤にした環境学研究．日本海域研究，45: 45-47 (2014)
7　西川　潮　編著（2014）トキを象徴種とした里地の社会生態システムの再生，平成 23～25 年度　自然再生学講座−環境・経済好循環分野−報告書，新潟大学 朱鷺・自然再生学研究センター，佐渡市．

3　著書

1　Suzuki, N.: Calcitonin family. In "Handbook on Hormones". Y. Takei, H. Ando, and K.Tsutsui. Eds. ELSEVIER, USA, in press
2　Suzuki, N.: Calcitonin. In "Handbook on Hormones". Y. Takei, H. Ando, and K.Tsutsui. Eds. ELSEVIER, USA, in press
3　Suzuki, N.: Staniocalcin. In "Handbook on Hormones". Y. Takei, H. Ando, and K.Tsutsui. Eds. ELSEVIER, USA, in press
4　Suzuki, N.: Parathyroid hormone family. In "Handbook on Hormones". Y. Takei, H. Ando, and K.Tsutsui. Eds. ELSEVIER, USA, in press
5　Suzuki, N.: Parathyroid hormone. In "Handbook on Hormones". Y. Takei, H. Ando, and K.Tsutsui. Eds. ELSEVIER, USA, in press
6　Suzuki, N.: Parathyroid hormone-related protein. In "Handbook on Hormones". Y. Takei, H. Ando, and K.Tsutsui. Eds. ELSEVIER, USA, in press
7　Sekiguchi T.: Gastrin family. In "Handbook on Hormones". Y. Takei, H. Ando, and K.Tsutsui. Eds. ELSEVIER, USA, in press
8　Sekiguchi T.: Gastrin. In "Handbook on Hormones". Y. Takei, H. Ando, and K.Tsutsui. Eds. ELSEVIER, USA, in press
9　Sekiguchi T.: Cholecystokinin. In "Handbook on Hormones". Y. Takei, H. Ando, and K.Tsutsui. Eds. ELSEVIER, USA, in press
10　Sekiguchi T.: Caerulein. In "Handbook on Hormones". Y. Takei, H. Ando, and K.Tsutsui. Eds. ELSEVIER, USA, in press
11　服部淳彦，田畑　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　Suzuki, N.: Development and application of a fish scale *in vitro* assay system. The 9th International Satellite Symposium on the Comparative Endocrinology of Calcium Regulation (Second Joint Meeting of the International Bone and Mineral Society, Japanese Society for Bone and Mineral Research), Kobe, Japan (2013, 28 May - 1 June)（招待講演）
2　三島弘幸，門田理佳，井上昌子，.服部淳彦，.鈴木信雄，田畑　純，寛　光夫，松本　敬，里村一人，

見明康雄：象牙質の成長線形成と体内時計の情報伝達分子メラトニンの関連．第 31 回化石研究会総会・学術大会，下仁田町文化ホール，群馬県（2013, 6/1-2）

3 鈴木信雄，関 あずさ，関口俊男，染井正徳，高垣裕子，矢野幸子，服部淳彦：新規メラトニン誘導体－骨粗鬆症の治療に向けて．第 5 回抗加齢内分泌研究会．立教大学，東京（2013, 9/1）（招待講演）

4 奈良雅之，服部淳彦，大西晃宏，赤塚陽子，矢野幸子，鈴木信雄，松田准一：キンギョウロコのアパタイトの解析－赤外ラマン分光によるアプローチ．第 22 回日本バイオイメージング学会，東京大学薬学部，東京（2013, 9/14-16）

5 関口俊男，上西篤志，山本 樹，谷内口孝治，鈴木信雄：円口類のカルシトニンとカルシトニン受容体についての研究．第 84 回日本動物学会，岡山大学，岡山県（2013, 9/26-28）

6 赤塚涼佑，黒田美翔，丸山雄介，鈴木信雄，服部淳彦：キンギョの再生鱗における時計遺伝子と骨芽細胞関連遺伝子の発現．第 84 回日本動物学会，岡山大学，岡山県（2013, 9/26-28）

7 鈴木信雄，池亀美華，山本 樹，北村敬一郎，田渕圭章，矢野幸子，服部淳彦：微小重力におけるウロコの破骨細胞の応答．第 84 回日本動物学会，岡山大学，岡山県（2013, 9/26-28）

8 谷内口孝治，関口俊男，羽賀雄紀，松村千里，鶴川正寛，中野武，北村敬一郎，鳥羽 陽，早川和一，近藤 隆，田渕圭章，和田重人，遠藤雅人，服部淳彦，鈴木信雄：ポリ塩化ビフェニル（PCB118）は魚の骨代謝を攪乱する．第 84 回日本動物学会，岡山大学，岡山県（2013, 9/26-28）

9 鈴木信雄，矢野幸子，服部淳彦：魚のウロコを用いた宇宙実験．第 84 回日本動物学会　動物学のひろば，玉野海洋博物館，岡山県（2013, 9/28）

10 鈴木信雄，福森義宏，又多政博，関口俊男，小木曽正造，三田雅敏，笹山雄一：口・腸・肛門も無い変な動物（マシコヒゲムシ）はどうやって生きているか？それに未来はあるか？第 84 回日本動物学会　動物学のひろば，玉野海洋博物館，岡山県（2013, 9/28）

11 Tabuchi, Y., Sugahara, Y., Ikegame, M., Suzuki, N., Kitamura, K., Kondo, T.: Identification of genes responsive to low-intensity pulsed ultrasound in mouse preosteoblast cells. 2013 ICBMU (International Conference on Biomedical Ultrasound), National Taiwan University, Taiwan (2013, 22-23 October)

12 帖地　藍，谷内口孝治，田渕圭章，近藤　隆，北村敬一郎，清水宣明，関口俊男，矢野幸子，服部淳彦，鈴木信雄：新規メラトニン誘導体の魚類の骨代謝に対する作用．第 38 回日本比較内分泌学会大会，宮崎市民プラザ，宮崎県（2013,10/24-26）

13 上西篤志，丸山雄介，中野真樹，松本謙一郎，大森克徳，田渕圭章，和田重人，近藤 隆，遠藤雅人，北村敬一郎，早川和一，矢野幸子，清水宣明，関口俊男，服部淳彦，鈴木信雄：骨モデル（魚のウロコ）に対する放射線とメラトニンの影響．第 38 回日本比較内分泌学会大会，宮崎市民プラザ，宮崎県（2013,10/24-26）

14 北村敬一郎，安藤　忠，桶作若菜，遠藤雅人，服部淳彦，鈴木信雄：キンギョを用いた糖尿病様モデルのインスリン産生能の解析．第 38 回日本比較内分泌学会大会，宮崎市民プラザ，宮崎県（2013,10/24-26）

15 新田沙織，関口俊男，金澤直子，海老原充，服部淳彦，鈴木信雄：アオゴカイ（環形動物）におけるメラトニンの同定. 第 38 回日本比較内分泌学会大会, 宮崎市民プラザ, 宮崎県（2013,10/24-26）

16 山本 樹，池亀美華，田渕圭章，矢野幸子，遠藤雅人，近藤 隆，中野真樹，北村敬一郎，関口俊男，清水宣明，服部淳彦，鈴木信雄：擬似微小重力に対する骨モデル（ウロコ）の破骨細胞及び骨芽細胞の応答解析．第 38 回日本比較内分泌学会大会，宮崎市民プラザ，宮崎県（2013,10/24-26）

17 表 俊樹，川部季美，北村敬一郎，服部淳彦，田渕圭章，近藤 隆，鳥羽 陽，早川和一，鈴木信雄：多環芳香族炭化水素類の魚類の骨代謝に対する作用．第 38 回日本比較内分泌学会大会，宮崎市民プラザ，宮崎県（2013,10/24-26）

18 関口俊男，帖地 藍，関あずさ，高垣裕子，池亀美華，田渕圭章，近藤 隆，北村敬一郎，清水宣明，矢野幸子，服部淳彦，鈴木信雄：新規メラトニン誘導体の卵巣摘出ラットに対する作用．第 38 回日本比較内分泌学会大会，宮崎市民プラザ，宮崎県（2013,10/24-26）

19 鈴木信雄：金沢大学能登臨海実験施設のこれまでの活動と今後の方向について．能登キャンパス構想推進協議会，のと海洋ふれあいセンター，石川県（2013, 11/9）（招待講演）

20 三島弘幸，門田理佳，井上昌子，服部淳彦，鈴木信雄，寛 光男，松本 敬，里村一人，見明康夫：象牙質の成長線形成とサーカディアンリズム同調因子メラトニンの関係．バイオミネラリゼーション研究会，東京大学，東京都（2013,11/30）

21 大嶋雄治，本田匡人，松永啓志，Suanne Undap，関口俊男，鈴木信雄，島崎洋平：フナムシを用いた渚域の汚染評価．第 16 回環境ホルモン学会，東京大学山上会館，東京都（2013, 12/12-13）

22 田渕圭章，菅原有希，池亀美華，鈴木信雄，北村敬一郎，近藤 隆：MC3T3-E1 骨芽前駆細胞において低出力パルス超音波によって誘導される遺伝子の DNA マイクロアレイ解析．第 17 回超音波骨折研究会，クラウンパレス神戸，兵庫県（2014, 1/25）

23 三島弘幸，門田理佳，服部淳彦，鈴木信雄，筧 光男，松本 敬，里村一人，見明康雄：メラトニン投与における象牙質の成長線の形成や象牙質組成に関する分析学的及び組織学的研究.

24 第 119 回日本解剖学会，自治医科大学，栃木県（2014, 3/27-29）

25 鈴木信雄，関口俊男，帖地　藍，山本　樹，上西篤志，関 あずさ，高垣裕子，池亀美華，田渕圭章，近藤　隆，北村敬一郎，清水宣明，矢野幸子，染井正徳，服部淳彦：新規メラトニン誘導体の骨代謝に対する作用：魚類及び哺乳類における *in vivo* の解析．平成 25 年度日本動物学会中部支部例会，愛知県（2014, 3/8-9）

26 西川 潮，柘植隆宏，赤沼宏美，中村 慧 佐渡島における生物共生型農法の費用対効果，農業農村工学会，東京都（2013 年 9 月 4 日）

27 Nisikawa Usio, Ryoji Saito, Takahiro Tsuge, Satoshi Nakamura, Hiromi Akanuma Cost-effectiveness of wildlife-friendly farming on Sado Island. International Society of Limnology (SIL) Congress Budapest, Hungary (6 August 2013)

28 西川 潮，赤沼宏美、佐渡世界農業遺産の生物共生型農業　日本生態学会第 61 回大会公募シンポジウム，広島市（2014 年 3 月 18 日）

29 柘植隆宏，赤沼宏美，遠藤千尋，大脇淳，金子洋平，小林頼太，田中里奈，寺井亜希，中田誠（，中村慧，西川 潮、生物共生型農法の費用対効果　日本生態学会第 61 回大会公募シンポジウム，広島市（2014 年 3 月 18 日）

30 木村一也･木下栄一郎・吉元敦子・小路晋作･中村浩二、中山間地域の畦畔植物の種多様性と圃場整備の関係、日本生態学会第 61 回大会、広島 (2014, 3/16-19)

31 福山厚子，山田丸，岩坂泰信，陳彬，小林史尚，牧輝弥，柿川真紀子，張代洲，松木篤，石広玉，木下栄一郎，長谷川和久，奥野正幸，2013，北陸の自然環境と PM2.5 -北陸のクロマツ生育環境と PM2.5 の発生源-, 小松東ロータリークラブ第 1761 回例会講演.

32 -福山厚子，山田丸，岩坂泰信，陳彬，小林史尚，牧輝弥，柿川真紀子，張代洲，松木篤，石広玉，木下栄一郎，長谷川和久，奥野正幸，2013，PM2.5 と植物環境への影響，小松シティＲＣ第 675

回例会講演.

33 -福山厚子，奥野正幸，長谷川和久，木下栄一郎，2013，小松空港周辺のクロマツ大量枯死と土壌環境，樹木医学会大 18 回大会，p8.

34 -福山厚子，奥野正幸，長谷川和久，木下栄一郎，2013，貝化石および油分解菌による油汚染土壌の分解実験，第 23 回環境地質学シンポジウム，p171-174.

35 -福山厚子，奥野正幸，長谷川和久，木下栄一郎，2014，植栽カンツバキの衰弱と土壌環境－石川県小松市における臨床事例－，第 18 回「環境の保全と緑化に関わる資材・技術研究会」.

36 -福山厚子，長谷川和久，木下栄一郎，奥野正幸，2014，中国の沙漠緑地化・ワイン葡萄農場視察報告，第 7 回 NPO 法人日中資源開発協会講演会.

5 研究交流

- 共同研究

1 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）Prof. Janine A. Danks

2 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

3 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，新潟大学理学部附属臨海実験所教授 安東宏徳氏

4 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教授 高田耕司氏

5 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，新潟大学農学部准教授 杉山稔恵氏

6 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

7 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，同教授 森山俊介氏

8 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

9 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

10 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

11 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 東北区水産研究所 資源生産部 増養殖管理グループ長 黒川忠英氏

12 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

13 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，同大学准教授 田渕圭章氏，同大学助教 高崎一朗氏，同大学 講師 和田重人氏，昭和大学舟橋久幸氏，JAXA 主任研究員 矢野幸子氏

14 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
15 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
16 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　主任研究員　廣田憲之氏，同研究センター　特別研究員　木村史子氏
17 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
18 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，同主任研究員　矢野幸子氏，富山大学大学院理工学研究部教授　松田恒平氏
19 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教授　大嶋雄治氏、同准教授　島崎洋平氏
20 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　関あずさ氏，神奈川歯科大学教授　高垣裕子氏，朝日大学歯学部教授　江尻貞一氏
21 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，　同准教授　中川公恵氏
22 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
23 鈴木信雄：耳石の石灰化に対するメラトニンの作用，茨城県立医療大学教授　大西 健氏
24 鈴木信雄：カルシトニンの構造進化及び作用進化に関する研究，(財)サントリー生物有機科学研究所・第二研究部部長・主幹研究員　佐竹 炎氏，同主席研究員　川田剛士氏
25 鈴木信雄：海洋細菌に関する研究，富山大学生物圏地球科学科教授　中村省吾氏，同准教授　田中大祐氏
26 鈴木信雄：放射線の骨に対する影響評価，放射線医学総合研究所主任研究員　松本謙一郎氏，富山大学大学院医学薬学研究部教授　近藤 隆氏，同大学准教授　田渕圭章氏，同大学 講師　和田重人氏
27 関口俊男：ナメクジウオカルシトニン機能の研究，基礎生物学研究所形態形成部門助教　高橋弘樹氏
28 関口俊男：原索動物神経ペプチドの研究，千葉大学大学院融合科学准教授　小笠原道生氏
29 関口俊男：ナメクジウオ受容体活性調節蛋白の機能についての研究，宮崎大学フロンティア科学実験統合センター　生命科学研究部門准教授　桑迫健二氏
30 関口俊男：ヌタウナギカルシトニンの機能解析研究，理化学研究所・発生・再生科学総合研究センター・ゲノム資源解析ユニット　ユニットリーダー　工樂樹洋氏
31 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
32 木下栄一郎．雑種起源種トウカイコモウセンゴケの生活史の比較研究，中野真理子氏　石川県自然史資料館

6 各種活動

- 学会活動

1 鈴木信雄：日本動物学会中部支部地区委員，2012-現在
2 鈴木信雄：日本宇宙生物科学会　評議員，2012-現在

3　西川潮：Associate Editor of “Limnology”（2011～）

4　西川潮：Special Feature Guest Editor of “Limnology”（2013～）

- 社会活動

1　鈴木信雄：石川県環境影響評価委員会委員，2010 - 現在

2　西川潮：佐渡市環境アドバイサー（2010～），佐渡市環境経済好循環戦略推進委員（2011～），」佐渡動植物生息実態調査委員（淡水産大型甲殻類担当）（2012～）、特定外来生物等分類群専門家グループ会合(無脊椎動物)検討委員（2014～）

3　木下栄一郎：石川県環境影響評価委員会委員，2003-現在、金沢市文化財保護委員会委員、2000-現在

7　その他

- 招待講演および特別講演，依頼講演

1　西川 潮　農地の生物多様性保全と自然再生，自然再生学概論，朱鷺の島環境再生リーダー養成ユニット，佐渡市（2014 年 3 月 28 日）

2　西川 潮　トキを象徴種とした里地の自然再生：佐渡モデル．「雁の池」から考える人・いきもの・水のつながり，自然と共生する地域づくりフォーラム，珠洲市（2014 年 3 月 22 日）

3　西川 潮　生物多様性の保全と再生，第二回環境リーダー養成講座，新潟市（2013 年 10 月 19 日）

4　Nisikawa Usio Using Crested Ibis as a flagship: the wildlife-friendly farming on Sado Island.　2013 Good Practice Program of Niigata University, International Satellite Seminar I & II"　Agricultural Capacity Building by Global Gym System", Niigata (28 August 2013).

5　西川 潮　トキを象徴種とした水田の自然再生．新潟大学産学地域連携推進機構協力会，新潟市（2013 年 5 月 28 日）

生体機能計測研究部門

1　学術論文

1　K.Ninomiya, S. Kawabata, H. Tashita, N. Shimizu Ultrasound-mediated drug delivery using liposomes modified with a thermosensitive polymer. *Ultrason. Sonochem.*, 21(1), 310-316, 2014.

2　K. Ninomiya, K. Noda, C. Ogino, S. Kuroda, N. Shimizu. Enhanced OH radical generation by dual-frequency ultrasound with TiO_2 nanoparticles: its application to targeted sonodynamic therapy. *Ultrason. Sonochem.*, 21(1), 289-294, 2014.

3　K. Ninomiya, T. Ishijima, M. Imamura, T. Yamahara, H. Enomoto, K. Takahashi, Y. Tanaka, Y. Uesugi, N. Shimizu, Evaluation of extra- and intracellular OH radical generation, cancer cell injury, and apoptosis induced by a non-thermal atmospheric pressure plasma jet, *J. Phys. D: Appl. Phys*., 46(42), 425401, 2013.

4　K. Ninomiya, C. Ogino, S. Kawabata, K. Kitamura, T. Maki, H. Hasegawa, N. Shimizu. Ultrasonic inactivation of *Microcystis aeruginosa* in the presence of TiO_2 particles, *J. Biosci. Bioeng.*,116(2) 214-218, 2013.

5　K. Ninomiya, H. Takamatsu, A. Ohnishi, K. Takahashi, N. Shimizu. Sonocatalytic-Fenton reaction for enhanced OH radical generation and its application to lignin degradation, *Ultrason. Sonochem.*, 20(4) 1092-1097, 2013.

6　S.Yamada, Y.Ikehata, T.Ueno, M.Kakikawa, Flustuation of Resonance Frequency of Applicator Having

Wireless Power Transmission for Hyperthemia Therapy, Journal of the Magnetics Society of Japan, Vol37, pp.282-286, 2013.

7 金森周矢，H.ホアン，上野敏幸，山田外史, 針形状磁気プローブを用いた狭空間内の微小傷に対するうず電流探傷,日本磁気学会論文誌, Vol37, pp.8-11, 2013.

8 柿川真紀子，山田外史，池畑芳雄，　培養細胞における薬剤増強評価のための磁場曝露システム,電気学会論文誌A基礎・材料・共通部門誌, Vol.133, No.6, pp.385-386, 2013.

9 長江英夫，山田外史，池畑芳雄，八木谷聡，長野勇,,医用磁性流体を用いる電磁誘導型癌温熱療法の研究,電気学会論文誌A，基礎・材料・共通部門誌, Vol.133, No.6, pp.366-371, 2013.

10 Maki T, Kakikawa M, Kobayashi F, Yamada M, Matsuki A, Hasegawa H, Iwasaka Y, Atmospheric Environment, Vol. 74, pp. 73-82, 2013.

11 H.Hoang, M.Kakikawa, S.Yamada,,High Spatial Resolution Non-contact Measurement of Low Current Signal by Needle-Type GMR Probe,,Journal of the Japan Society of Applied Electromagnetics and Mechanics, Vol.21, No.3, pp.54-58, 2013.

12 S.Yamada, S.Nakamura, M.Kakikawa, T.Ueno, Sterilization Action on Cavitation Phenomenon Generated by Magnetostrictive Actuator, Journal of the Japan Society of Applied Electromagnetics and Mechanics, Vol.21, No3, pp.20-23, 2013.

13 C. P.Gooneratne, A.Kurnicki, S.Yamada, S. C.Mukhopadhyay, J.Kosel, Analysis of the Distribution of Magnetic Fluid inside Tumors by a Giant Magnetoresistance Probe, PLOS ONE, 8, 11, e81227, 2013.

14 S.Kanamori, S.Yamada, T.Ueno, 2-D Image of Eddy-Current Testing and Dependence of Shape for Notch inside of Narrow Hole by Needle-Type Probe, Journal of the Magnetics Society of Japan, Vol.38, No.2-1, pp.21-24, 2014.

15 S.Yamada, Y.Ikehata, T.Ueno, M.Kakikawa, Control of Exciting Frequency to Pancake Type Applicator Having Wireless Transmission for Hyperthermia Therapy, Journal of the Magnetics Society of Japan, Vol.38, No.2-1, pp.37-41, 2014.

16 S.Kanamori, S.Yamada, T.Ueno, 2-D Image of Eddy-Current Testing and Dependence of Shape for Notch inside of Narrow Hole by Needle-Type Probe, Journal of Magnetics and Society of Japan, Vol.38, pp.21-24, 2014.

17 S.Yamada, Y.Ikehata, T.Ueno, M.Kakikawa, Control of Exciting Frequency to Pancale Type Applicator Having Wireless Transmission for Hyperthemia Therapy, Journal of Magnetics and Society of Japan, Vol.38, pp.37-41, 2014.

18 萬谷勇磨，坂本二郎，田中茂雄，電気的筋刺激法の骨形成促進効果 - 骨ひずみの有限要素解析による効果の検証 - ，臨床バイオメカニクス，Vol.34, pp.71-76, 2013.

2 総説・資料・報告書

1 仁宮一章，清水 宣明：　がん細胞と特異的に結合する超音波刺激応答性リポソームの創製, 超音波テクノ, 25(5), 46－51, 2013.

2 青森有香，大澤浩二, 仁宮一章，高橋憲司：　イオン液体とラジカルを用いたリグノセルロースリファイナリー, 化学工業, 64(6), 38-45, 2013.

3 山田外史（代表）, 科学研究費基盤研究(B）報告書,「マイクロ駆動機構を持つ針状磁気抵抗効果プローブによる低侵襲・非破壊計測の開発」.

3　著書

1　S. Yamada et al., : Giant Magnetoresistance (GMR) Sensors, Springer, (2013).

2　大政健史，仁宮一章，荻野千秋，滝口昇，中島田豊：“基礎から学ぶ生物化学工学演習” (日本生物工学会編)　コロナ社，東京　(2013) Sep.

4　学術発表

1　仁宮一章，荻野千秋，清水宣明，高橋憲司：イオン液体を用いたリグノセルロースのトータルリファイナリー，化学工学会　第79年会，岐阜，岐阜大学柳戸キャンパス，2014年3月18-20日

2　増田光平，小田切正人，守屋敏春，仁宮一章，遠藤浩：シロアリ腸内に共生する原生生物由来セルラーゼの繊毛虫テトラヒメによる発現とそのタンパク質の分泌，第36回　日本分子生物学会年会，神戸，神戸ポートピアアイランド，2013年12月3−6日

3　辰巳真衣，大澤浩二，仁宮一章，高橋憲司：イオン交換膜を用いたイオン液体水溶液からのイオン液体の回収，第4回イオン液体討論会，横浜，慶應義塾大学，2013年11月20−21日

4　井上健，吉田祐紀子，辰巳真衣，仁宮一章，高橋憲司：酸触媒性イオン液体を用いたバイオマスの前処理および酸加水分解反応，第4回イオン液体討論会，横浜，慶應義塾大学，2013年11月20−21日

5　西澤悠希，高見澤勇太，仁宮一章，高橋憲司：イオン液体に溶解したリグニンの反応，第4回イオン液体討論会，横浜，慶應義塾大学，2013年11月20−21日

6　青森有香，上田雄喜，井上健，仁宮一章，高橋憲司：イオン液体により分画されたリグニンの樹脂材料への利用，第4回イオン液体討論会，横浜，慶應義塾大学，2013年11月20−21日

7　表小百合，仁宮一章，荻野千秋，高橋憲司，清水宣明：低細胞毒性イオン液体により前処理した木質系バイオマスからの同時糖化発酵，第4回イオン液体討論会，横浜，慶應義塾大学，2013年11月20−21日

8　仁宮一章，山田龍治，清水宣明：微生物をキャリアとした遺伝子導入法における超音波照射の効果，日本ソノケミストリー学会　第22回討論会，松本，信州大学，2013年10月25−26日

9　山下貴宏，仁宮一章，清水宣明：超音波刺激で気化するPFC内包リポソームを用いたDDS型がん治療，日本ソノケミストリー学会　第22回討論会，松本，信州大学，2013年10月25−26日

10　丸山裕慎，仁宮一章，清水宣明：超音波照射による二酸化チタンプレート表面での細胞傷害効果，日本ソノケミストリー学会　第22回討論会，松本，信州大学，2013年10月25−26日

11　仁宮一章，表小百合，清水宣明，佐藤勝也，鳴海一成：イオン液体耐性酵母を用いたイオン液体前処理バイオマスからの同時糖化発酵，第8回高崎量子応用研究シンポジウム，高崎，高崎シティギャラリー，2013年10月10−11日

12　表小百合，仁宮一章，曽田裕司，荻野千秋，高橋憲司，清水宣明：低細胞毒性イオン液体により前処理した木質系バイオマスからの同時糖化発酵，日本生物工学会　第65回大会，広島，広島国際会議場，2013年9月18−20日

13　仁宮一章，北村憲太郎，増田光平，東浩，守屋敏春，小田切正人，清水宣明：セルラーゼ発現テトラヒメナを用いた微細藻類の直接生物的変換，日本生物工学会　第65回大会，広島，広島国際会議場，2013年9月18−20日

14　石島達夫，今澤優子，仁宮一章，高橋憲司，田中康規，上杉喜彦：大気圧非平衡プラズマジェッ

ト照射時の溶液表面積が OH 生成反応速度に与える影響, 応用物理学会　第 74 回秋季大会，京田辺，同志社大学京田辺キャンパス，2013 年 9 月 16-20 日

15 青森有香，上田雄喜，井上健，仁宮一章, 高橋憲司：イオン液体により分画されたリグニンの樹脂材料への利用, 化学工学会　第 45 回秋季大会，岡山，岡山大学　津島キャンパス，2013 年 9 月 16-18 日

16 沖田剛，仁宮一章, 高橋憲司：ヒドロキシラジカルを用いたリグニンの低分子化による有用物質への変換, 化学工学会　第 45 回秋季大会，岡山，岡山大学　津島キャンパス，2013 年 9 月 16-18 日

17 西澤悠希，高見澤勇太，青森有香，井上健，仁宮一章，高橋憲司：イオン液体に溶解したリグニンの反応，化学工学会　第 45 回秋季大会，岡山，岡山大学　津島キャンパス，2013 年 9 月 16-18 日

18 T. Ishijima, Y. Imazawa, K. Ninomiya, K. Takahashi, Y. Tanaka, Y. Uesugi; Investigation of OH radical generation rate in liquid induced by non-equilibrium atmosphere pressure plasma jet irradiation, Proceedings of the 66th Annual Gaseous Electronics Conference(GEC2013), p47, Princeton (2013).

19 T. Ishijima, T. Yamahara, M. Imamura, K. Ninomiya, K. Takahashi, Y. Tanaka, Y. Uesugi; Fundamental Study of OH Radical Generation Rate Induced by Low Frequency Plasma Jet, Proceedings of the The 9th Asian-European International Conference on Plasma Surface Engineering (AEPSE2013), P4-29, Cheju (2013) Aug.

20 K. Ninomiya, K. Takahashi: Biomass refinery using ionic liquids, Proceedings of the 33th International Conference on Solution Chemistry, Post Symposium on Ionic Liquids from Science to Green Chemical Application, p. 10, Tokyo (2013) July 13 (Oral) (invited)

21 Y. Nishizawa, Y. Takamizawa, Y. Aomori, K. Inoue, K. Ninomiya, K. Takahashi: Reaction of lignin dissolved in ionic liquid, Proceedings of the 33th International Conference on Solution Chemistry, Post Symposium on Ionic Liquids from Science to Green Chemical Application, p. 29, Tokyo (2013) July 13 (Poster)

22 Y. Aomori, Y. Ueda, K. Inoue, K. Ninomiya, K. Takahashi: Application of lignin fractionated by ionic liquid to resin, Proceedings of the 33th International Conference on Solution Chemistry, Post Symposium on Ionic Liquids from Science to Green Chemical Application, p. 30, Tokyo (2013) July 13 (Poster)

23 K. Ninomiya, K. Takahashi: Pretreatment of lignocellulosic biomass using ionic liquid, Proceedings of the 2013 Korean Society for Microbiology and Biotechnology KMB's 40th Anniversary International Symposium, IS4-2, Pyeongchang, Gangwondo (2013) July 4 (Oral) (invited Korean Society for Microbiology and Biotechnology)

24 K. Ninomiya, C. Ogino, K. Takahashi, N. Shimizu: Bio-derived ionic liquids for pretreatment of lignocellulosic biomass, Proceedings of the 5th Congress on ionic liquids (COIL5), P108, Algarve (2013) April 22(Poster)

25 長江英夫，山田外史，八木谷聡，池畑芳雄，長野勇，癌温熱療法に有用な市販MRI造影剤の薬効活性成分，電気学会マグネティックス研究会，東京，2013.2.

26 村田裕章，池畑芳雄，山田外史，うず電流探傷技術を用いた高速なPCB検査のための傷抽出手法の提案，第25回「電磁力関連のダイナミクス」シンポジウム，箱根，2013.5.

27 加藤寛也，上野敏幸，山田外史，高次共振を利用した磁歪式振動発電機の高周波数帯域化の検討,

第25回「電磁力関連のダイナミクス」シンポジウム，箱根，2013.5.

28 八田茂之，上野敏幸，山田外史, 音叉構造を用いた磁歪式発電機の評価, 第25回「電磁力関連のダイナミクス」シンポジウム，箱根，2013.5.

29 北翔太，上野敏幸，山田外史, 磁歪材料を用いた波力発電システムの基礎的研究, 第25回「電磁力関連のダイナミクス」シンポジウム，箱根，2013.5.

30 上野敏幸，谷中伸吾，山田外史, 磁歪材料を用いた発電白杖の特性評価, 第25回「電磁力関連のダイナミクス」シンポジウム，箱根，2013.5.

31 山田外史，金森周矢，上野敏幸, 針形状磁気プローブを用いた狭空間内のうず電流探傷法, 第25回「電磁力関連のダイナミクス」シンポジウム，箱根，2013.5.

32 山田外史，池畑芳雄，上野敏幸，柿川真紀子, がん誘導加温療法におけるワイヤレス励磁コイルの共振周波数の制御と磁界分布, 平成25年電気学会全国大会，名古屋，2013.3.

33 金森周矢，山田外史，上野敏幸, 針状磁気プローブを用いた円筒穴内のうず電流探傷法, 平成25年電気学会全国大会，名古屋，2013.3.

34 金森周矢，山田外史，上野敏幸, 針状磁気プローブによるうず電流探傷信号のホール内キズ形状による依存性, 第37回日本磁気学会学術講演会，2013.9.

35 加藤淳貴，上野敏幸，山田外史, 床発電に利用するスイッチ型振動発電機の形状によるエネルギー変換効率の向上, 平成25年度電気関係学会北陸支部連合大会，A3-3，金沢，2013.9.

36 八田茂之，上野敏幸，山田外史, 磁歪式振動発電機の等価回路のモデル化とその応用, 平成25年度電気関係学会北陸支部連合大会，A3-4，金沢，2013.9.

37 山田外史, 池畑芳雄, 磁気医療用に向けた磁場発生器の励磁周波数制御, 平成25年度電気関係学会北陸支部連合大会，A3-5，金沢，2013.9.

38 金森周矢，山田外史，上野敏幸, 針状磁気プローブによるうず電流探傷信号のホール内キズ形状による依存性, 平成25年度電気関係学会北陸支部連合大会，A3-8，金沢，2013.9.

39 北翔太，上野敏幸，山田外史, 磁歪式振動発電の電気・機械結合係数の向上, 平成25年度電気関係学会北陸支部連合大会，A3-30，金沢，2013.9.

40 北翔太，上野敏幸，山田外史, 磁歪式振動発電の電気機械結合係数および発電効率の向上, 電機学会マグネティックス研究会，金沢，2013.10.

41 北翔太，上野敏幸，山田外史, 磁歪式振動発電デバイスの結合係数における磁気回路の影響, 平成26年電気学会全国大会，金沢，2014.3.

42 山田外史，池畑芳雄，林 亮平，上野敏幸, バックヨーク付平面形励磁コイルの電気磁気特性, 平成26年電気学会全国大会，金沢，2014.3

43 南谷 保，若浦 大，山田外史, 磁性体の微小残留磁気計測に関する研究, 平成26年電気学会全国大会，金沢，2014.3.

44 金森周矢，山田外史，上野敏幸, 針状磁気プローブを用いたリベットホール内部のうず電流探傷, 平成26年電気学会全国大会，金沢，2014.3.

45 高津 大輔, 萬谷勇磨, 坂本二郎, 田中茂雄, 電気的筋刺激により生じる骨ひずみと骨形成の関係, 日本機械学会北陸信越支部第51期総会・講演会，射水市（富山県立大学），2014.3.

46 山口裕己，山下達郎，田中茂雄，非線形振動モデルによる骨芽細胞の刺激応答機構の検討，日本機械学会北陸信越支部第51期総会・講演会，射水市（富山県立大学），2014.3.

47 山本達郎，山口裕己，斎藤宏貴，田中茂雄，骨芽細胞の非線形物理刺激応答の数理モデルの構築，

日本機械学会北陸信越学生会第43回学生員卒業研究発表講演会，富山市（富山大学），2014.3.

48 赤江　景，山下裕貴，田中茂雄，生骨用担体としての灰化ウシ海綿骨の特性評価，日本機械学会北陸信越学生会第43回学生員卒業研究発表講演会，富山市（富山大学），2014.3

49 吉澤和輝，山下裕貴，田中茂雄，衝撃圧縮荷重下における灰化ウシ海綿骨担体の力学特性評価，日本機械学会北陸信越学生会第43回学生員卒業研究発表講演会，富山市（富山大学），2014.3

50 山下裕貴, 田中茂雄, 灰化ウシ海綿骨担体を利用した培養再生骨の構造観察および力学特性評価，第26回バイオエンジニアリング講演会，仙台市（東北大学），2014.1.

51 田中茂雄，山下裕貴，灰化ウシ海綿骨担体の作製と特性評価，第40回日本臨床バイオメカニクス学会，神戸市（神戸国際会議場），2013.11.

52 田中茂雄，高津大輔，萬谷勇磨，電気的筋刺激を利用した骨ひずみ発生とその骨形成効果，日本非破壊検査協会応力・ひずみ測定部門講演会（金沢大学），2013.11.

53 山下裕貴，田中茂雄，灰化ウシ海綿骨担体を利用した培養再生骨の作製，第24回バイオフロンティア講演会，京都市（同志社大学），2013.11.

5　研究交流

- 共同研究

1 田中茂雄：力学的刺激による培養再生骨の石灰化促進に関する研究，キングモンクット工科大学（タイ）Anak Khantachawana 准教授

2 田中茂雄：ハイドロゲルを使った新規再生骨用担体の開発に関する研究，関西大学，平野義明教授

- 海外渡航

1 田中茂雄：キングモンクット工科大学，共同研究，タイ(2013.3)

2 柿川真紀子: 中国, 敦煌, 黄砂発生源地でのバイオエアロゾル調査, (2013. 9).

- 訪問外国人研究者

1 田中茂雄：Anak Khantachawana 准教授（キングモンクット工科大学，タイ），2014 年 2 月 24 日～26 日，共同研究

6　各種活動

- 学会活動

1 山田外史：電気学会マグネティックス技術委員会 1 号委員，電気学会高効率エネルギー変換のための磁気応用技術調査専門委員会委員，電気設備学会北陸支部支部長，日本磁気学会編集委員，日本AEM学会理事・企画運営委員，第26「電磁力関連のダイナミクス」シンポジウム2013実行委員会，

2 田中茂雄：日本機械学会北陸信越支部学生会顧問教員，日本生体医工学会北陸支部評議委員

3 柿川真紀子：日本磁気学会編集委員

- 社会活動

1　山田外史：日本能率協会磁気応用技術シンポジウム委員会委員，北陸電気使用合理化委員会委員，電気保安功労者表彰選考北陸委員会委員

５．研究費

地球環境計測研究部門

1　科学研究費

1　長谷部徳子　（分担）　2013-2015 基盤研究（Ｂ）（海外学術調査）モンゴル白亜系湖成層のコア掘削：数万年精度での OAE 期の陸－海環境リンケージ解明，150 千円

2　福士圭介（代表）2013-2014 新学術領域研究（研究領域提案型）　公募研究　福島第一原発周辺に分布する土壌粘土鉱物によるセシウム脱離予測モデル, 2700 千円

3　長谷部徳子（代表）2012-2014　挑戦的萌芽研究，原子間力顕微鏡を利用した放射線損傷年代測定法の開発，800 千円

4　長谷部徳子　（分担）　2012-2016 基盤研究（A）（一般）辺縁の人類史－アジア島嶼域におけるユニークな人類進化をさぐる, 600 千円

5　福士圭介（分担）2012-2014　基盤研究(B)　陸域から沿岸域への放射性セシウムの移行動態解析と生態系への影響評価, 500 千円

6　福士圭介（代表）2011-2013　挑戦的萌芽研究，準安定炭酸塩鉱物の水溶液中における相転移挙動のその場分光観察, 800 千円

7　長谷部徳子・福士圭介　（分担）　2011-2013　科学研究費・基盤　A，湖沼ー流域系に基づく東アジアの現在の地表プロセスと歴史的環境変動の解明，400 千円

8	山本政儀（代表）新学術領域研究　(総額　15,600 千円)　2,840 千円		
9	山本政儀（分担）新学術領域研究	150 千円	
10	山本政儀（分担）基盤研究(B)	600 千円	
11	山本政儀（分担）基盤研究(B)	200 千円	
12	山本政儀（分担）基盤研究(B)	100 千円	
13	山本政儀（分担）基盤研究(C)	100 千円	
14	長尾誠也（代表）基盤研究(B)	1,900 千円	
15	長尾誠也（分担）新学術領域研究	3,160 千円	
16	長尾誠也（分担）基盤研究(C)	100 千円	
17	井上睦夫（代表）基盤研究(C)	1100 千円	
18	井上睦夫（分担）基盤研究(B)	100 千円	
19	井上睦夫（分担）基盤研究(B)	150 千円	
20	浜島靖典（分担）新学術領域研究	560 千円	
21	浜島靖典（分担）基盤研究(B)	870 千円	
22	浜島靖典（分担）基盤研究(C)	100 千円	
23	宮田佳樹（代表）基盤研究(B)	1,200 千円	

2 研究助成金等

1　長谷部徳子・福士圭介　（分担）　2010-2013　科学技術振興機構　戦略的国際科学技術協力推進事業「代替および観測資料に基づいた東北アジアにおける過去数千年の水文気候変動ー東アジアにおける２１世紀末の温暖化と降水量増加への対応、 4750 千円

2　山本政儀、日本原子力研究開発機構受託研究　　8,264 千円

3　山本政儀、海洋生物環境研究所共同研究　　1,420 千円

4	長尾誠也、**海上技術安全研究所受託研究**	22,745 千円
5	長尾誠也、国立環境研究所受託研究	997 千円
6	長尾誠也、日本原子力研究開発機構受託研究	1,237 千円
7	長尾誠也、地(知)の拠点整備事業	400 千円
8	長尾誠也、小松市受託研究	281 千円
9	浜島靖典、気象研究所受託研究	2,006 千円
10	浜島靖典、㈱環境総合テクノス寄付金	1,914 千円

3　共同研究費

1　長谷部徳子, 日本原子力研究開発機構 先行攻基礎工学研究「熱水変質鉱物を用いた熱水変質帯の年代測定と活動性評価に関する研究」500 千円

2　福士圭介，日立化成株式会社, 600 千円

エコテクノロジー研究部門

1　科学研究費

1　木村繁男，基盤研究（C）「溶融金属からの凝固相内偏析構造設計に関する研究」，代表者，平成25～27 年度，4,000 千円.

2　仁宮一章，基盤研究（C）「イオン液体とラジカルを利用したリグノセルロースのトータルリファイナリー」，代表者，平成 24～26 年度

3　仁宮一章，挑戦的萌芽「抗がん剤耐性を示すがん幹細胞へ集積する超音波応答性ナノ粒子を用いたがん根治療法」，分担者（代表者：清水宣明），平成 24～25 年度

2　研究助成金等

1　仁宮一章, 第 21 回公益信託小野音響学研究助成基金「抗がん剤耐性を示すがん幹細胞へ集積する超音波応答性ナノ粒子を用いたがん根治療法」，代表者，平成 25 年度

3　共同研究費

なし

4　受託研究費

1　仁宮一章，独立行政法人科学技術振興機構　研究成果最適展開支援事業（A-STEP）復興促進プログラム探索タイプ「イオン液体と超音波を用いたリグノセルロース系バイオマスの新規前処理技術」，代表者，平成 24～25 年度

2　仁宮一章，独立行政法人科学技術振興機構　戦略的創造研究推進事業　先端的低炭素化技術開発(ALCA)「イオン液体とラジカルを利用したリグノセルロースリファイナリー」，分担者（代表者：高橋憲司)，平成 23-28 年度

5　奨学寄付金

なし

6　その他

1　松木　篤，内閣府先端研究助成基金助成金（最先端・次世代研究開発支援プログラム）「有機エアロゾルの超高感度分析技術の確立と応用に基づく次世代環境影響評価」, 代表者, 平成 22-25 年度, 11,654 千円.

生物多様性部門

1　科学研究費

1　鈴木信雄（代表），基盤研究（C），新規硬組織モデルを用いた微小重力・過重力下での骨吸収及び骨形成の機構解析，1,500,000 円.

2　関口俊男（代表），若手研究（B），消化管ペプチドの機能進化の研究：ホヤの受容体トランスジェニック個体を用いた解析，1,700,000 円

3　鈴木信雄（分担），挑戦的萌芽研究，重油汚染海水で生まれた魚の脊柱彎曲の機構解明と新規解毒タンパク質によるレスキュー（代表：早川和一，金沢大学医薬保健研究域薬学系・教授）分担金 400,000 円（直接経費 total 1,600,000 円）

4　鈴木信雄（分担），基盤研究（C），新規糖尿病モデルを用いた骨代謝機構の解析と運動による改善に関する研究（代表：北村敬一郎，金沢大学医薬保健研究域保健学系・准教授）　分担金 2013 年 100,000 円（2013 年の直接経費 total 1,600,000 万円）

5　西川　潮（代表），基盤研究（C），表現型と遺伝子型特性に基づく外来ザリガニの危険度評価手法の開発、420 万円

2 受託研究費

1　企業側代表：関あずさ（ハムリー株式会社），研究者代表：鈴木信雄，科学技術振興機構　研究成果展開事業 研究成果最適展開支援プログラム A-step．フィージビリティスタディステージ　シーズ顕在化タイプ，新規メラトニン誘導体の骨折治癒モデル動物に対する作用及び骨形成機構の解析．1,500,000 円（2013 年の直接経費 total 4,000, 000 円）

2　木下栄一郎　オオキンケイギクの生活史に関する研究、金沢市・環境省受託研究、800 千円

3　佐渡動植物生息実態調査（佐渡市レッドデータブック作成準備調査），淡水産大型甲殻類，佐渡市受託研究，50 万円

3 共同研究費

1　鈴木信雄（代表），公益財団法人三谷研究開発支援財団，新規骨疾患治療薬の骨疾患動物モデルに対する作用及び骨形成機構の解析，1,000,000 円

2　鈴木信雄（代表），ハムリー（株），宇宙実験を利用した新規骨疾患治療薬の開発，200,000 円

4 その他

1　鈴木信雄（代表），マリンバイオ共同推進機構公募利用研究助成，海産無脊椎動物および脊椎動物

のカルシトニンの構造及び生理的役割：特に円口類について，150,000 円

2 関口俊男（代表），マリンバイオ共同推進機構公募利用研究助成, 原索動物における CCK/ガストリンの機能進化における研究，150,000 円

生体機能計測研究部門

1 科学研究費

1 清水宣明（代表）挑戦的萌芽，抗がん剤耐性を示すがん幹細胞へ集積する超音波応答性ナノ粒子を用いたがん根治療法，300万円

2 山田外史（分担）基盤研究（B） 磁歪式マイクロ振動発電素子を用いた自動車用自律センシングシステムの開発, 100千円.

3 山田外史（分担）基盤研究(C), 交流磁場を用いた抗がん剤の標的治療技術の開発, 100 千円.

4 山田外史（分担）基盤研究(C), 肺がん化学療法における交流磁場併用療法の開発, 200 千円.

5 柿川真紀子（代表）基盤研究(B) 由大気圏を長距離移動するバイオエアロゾルが遺伝子の水平伝播に及ぼす影響, 4680 千円

6 柿川真紀子（代表）基盤研究(C) 交流磁場を用いた抗がん剤の標的治療技術の開発, 1690 千円

7 柿川真紀子（分担）基盤研究(B) 南極域の風送バイオエアロゾル実相調査:気球等を使った先駆的生態系観測の展開, 100 千円

8 柿川真紀子（分担）基盤研究(C), 黄砂粒子に付着している微生物の定量分析同定法の確立, 200 千円

9 柿川真紀子（分担）基盤研究(C), 肺がん化学療法における交流磁場併用療法の開発, 200 千円

3 共同研究費

1 山田外史・酒井英男，金沢大学環日本海域環境研究センター全国共同利用研究,「自然界の物質を対象とする微細磁場の非破壊測定法の開発」, 200 千円.

2 山田外史・小林　誠，金沢大学環日本海域環境研究センター全国共同利用研究,「抗がん剤の交流磁場併用による薬理作用増強に関する基礎的検討」, 200千円.

3 柿川真紀子・張代洲，金沢大学環日本海域環境研究センター全国共同利用研究,「九州沿岸地域と北陸沿岸地域のバイオエアロゾルの比較」, 200 千円.

4 受託研究費

6 その他

1 山田外史（代表），北陸地区国立大学学術研究連携支援,「針状磁気センサプローブの理工学計測への応用に関する連携研究」, 100 千円.

2 田中茂雄（代表），平成２５年度重点戦略経費（研究活性化推進経費（重点研究経費））「ランダム性を有する物理刺激波形の骨形成促進効果の実験的検証」，平成 25 年度，500 千円

3 田中茂雄，平野義明（関西大学，代表），平成 25 年度金沢大学環日本海域環境研究センター全国共同利用研究「力学的刺激の骨再生に及ぼす影響とその利用法に関する研究―分化誘導ハイドロゲルを用いた担体素材―」，平成 25 年度，200 千円

4 田中茂雄，アナック　カンタチャワナ（キングモンクット工科大学，代表），平成 25 年度金沢大

学環日本海域環境研究センター全国共同利用研究「力学的刺激の骨再生に及ぼす影響とその利用法に関する研究」，平成 25 年度，200 千円

６．研究指導

地球環境計測研究部門

1 博士論文

1　伊藤健太郎「Improvement and development of dating methods using radiation damage for reconstructing Quaternary volcanic history」自然科学研究科博士後期課程，博士（理学），長谷部徳子

2　糸野妙子「Present earth-surface processes and historical hydro-environmental fluctuations inferred from lake-catchment systems」自然科学研究科博士後期課程，博士（理学），長谷部徳子

3　糸野妙子　Present earth surface processes and historical hydro-environmental fluctuations inferred from lake-catchment systems（湖沼−流域系を対象とした現代の地表プロセスの解明と歴史時代における水文環境の解析）、自然科学研究科環境科学専攻、博士（理学）副査：長尾誠也，山本政儀

2 修士論文

1　小形学「方解石の熱ルミネセンス特性」自然科学研究科博士前期課程，修士（理学），長谷部徳子

2　白井　涼大「非晶質炭酸カルシウム変質挙動のその場分光観察」自然科学研究科博士前期課程，修士（理学），福士圭介

3　楊　晨　　「ナノ鉱物-水界面のその場赤外分光観察」自然科学研究科博士前期課程，修士（理学），福士圭介卒業研究

4　濱高一仁、鉛-210 法による陸奥湾の堆積速度と堆積環境の解析、自然科学研究科物質化学専攻、修士（理学）、山本政儀

5　古澤佑一、放射性核種からみた東シナ海・日本海表層海水の水塊流動に関する研究、自然科学研究科物質化学専攻、修士（理学）、長尾誠也

3 卒業研究

1　牛山　智樹「ナノサイズアルミニウムケイ酸塩による鉛の吸着の表面錯体モデリング」理工学域自然システム学類，学士（理学），福士圭介

2　大西　浩之「グリシン重合化に及ぼす鉱物種の影響 」理工学域自然システム学類，学士（理学），福士圭介

3　酒井　遥「スメクタイトに保持された微量セシウムの脱離挙動」理工学域自然システム学類，学士（理学），福士圭介

4　林　遼　　「余呉湖沼堆積物の光励起ルミネセンス年代測定と環境変動解析」理工学域自然システム学類，学士（理学），長谷部徳子

5　本田　千晶「原子間力顕微鏡を使用した南極大陸のジルコンのフィッション・トラック年代測定」理工学域自然システム学類，学士（理学），長谷部徳子

6　上村宙輝、福島県内の河川における放射性セシウムの移行挙動、理学部化学科、学士（理学）、長尾誠也

7　米岡修一郎、福島原発事故由来 ^{134}Cs をトレーサーとした阿賀野川河川粒子の日本海への流入・拡散、理学部化学科、学士（理学)、長尾誠也

エコテクノロジー研究部門

1　博士論文

なし

2　修士論文

1　岩田　歩，日本を代表する花粉および花粉抽出物の氷晶核能評価．自然科学研究科自然システム学専攻，修士（理学)，松木　篤・長谷部徳子・福士圭介

2　丸山裕慎，超音波照射時の二酸化チタン金属表面における細胞障害効果の評価，自然科学研究科物質工学専攻，修士（工学)，仁宮一章・清水宣明

3　表小百合，低毒性イオン液体で前処理した木質系バイオマスからの同時糖化発酵，自然科学研究科 自然システム学専攻 バイオ工学コース，修士（工学)，仁宮一章・清水宣明

4　太田寿英，フローベクトルセンサの壁面せん断応力に対する出力特性に関する研究．自然科学研究科機械科学専攻，修士（工学)，木村繁男

5　山下貴広,相変化ナノ液滴内包リポソームの開発と超音波刺激 DDS への応用,自然科学研究科 自然システム学専攻 バイオ工学コース，修士（工学)，仁宮一章・清水宣明

3　卒業研究

1　鏡味沙良，能登半島における新粒子生成イベントの観測．理工学域自然システム学類地球学コース，学士（理学)，松木　篤

2　小林佑基，フローベクトルセンサ周りの流れ及び温度場に関する数値シミュレーション．機械工学類，学士（工学)，木村繁男

3　小堀麻美，低毒性イオン液体を用いたワンポット前処理・酵素糖化プロセスの構築，自然システム学類バイオ工学コース，学士（工学)，仁宮一章・清水宣明

4　森井昌也，一方向凝固法における二元共晶系合金の凝固プロセスに関する実験的研究．機械工学類，学士（工学)，木村繁男

5　酒井結香，高分子基質を用いた培養におけるセルラーゼ発現テトラヒメナの増殖挙動の評価，自然システム学類バイオ工学コース，学士（工学)，仁宮一章・清水宣明

6　數井友里絵，超音波刺激応答性リポソームにおける遺伝子デリバリー，自然システム学類バイオ工学コース，学士（工学)，仁宮一章・清水宣明

7　山田怜奈，TEM を使用した夏季の能登半島におけるエアロゾルの混合状態に関する研究.．理工学域自然システム学類地球学コース，学士（理学)，松木　篤

8　山本淳司，森林内乱流拡散における植生構造の影響，機械工学類，学士（工学)，木村繁男

9　上口友輔,黄砂粒子の組成と混合状態高度による違い.理工学域自然システム学類地球学コース,学士（理学)，松木　篤

10　山崎由里絵，がん細胞を特異的に認識する膜融合リポソームによる遺伝子導入システムの開発，自然システム学類バイオ工学コース，学士（工学)，仁宮一章・清水宣明

生物多様性研究部門

1 博士論文

1　谷内口孝治 : Effects of environmental pollutants on osteoclasts and osteoblasts of teleost scales.　真骨魚類のウロコの破骨細胞及び骨芽細胞に対する環境汚染物質の影響，自然科学研究科，生命科学専攻，生物多様性動態学講座，博士（理学），鈴木信雄

2 卒業研究

1　表　俊樹 : 多環芳香族炭化水素類の魚類の骨代謝に対する作用，自然システム学類，生物学コース，学士（理学），鈴木信雄

2　帖地　藍 : 新規メラトニン誘導体の骨代謝に対する作用，自然システム学類，生物学コース，学士（理学），鈴木信雄

3　新田沙織 : アオゴカイにおけるメラトニンの同定，自然システム学類，生物学コース，学士（理学），関口俊男

4　池嶋美佳 : ウマノミツバ属植物２種(セリ科)の生活史の比較，自然システム学類，生物学コース，学士（理学），木下栄一郎

5　山本多代 : つる植物の葉のつく位置と葉形の関係，自然システム学類，生物学コース，学士（理学），木下栄一郎

生体機能計測部門

1 博士論文

2 修士論文

1　表小百合，低毒性イオン液体で前処理した木質系バイオマスからの同時糖化発酵，自然科学研究科 自然システム学専攻 バイオ工学コース，修士(工学)，仁宮一章・清水宣明

2　丸山裕慎，超音波照射時の二酸化チタン金属表面における細胞障害効果の評価，自然科学研究科物質工学専攻，修士(工学)，仁宮一章・清水宣明

3　山下貴広，相変化ナノ液滴内包リポソームの開発と超音波刺激 DDS への応用，自然科学研究科 自然システム学専攻 バイオ工学コース，修士 (工学)，仁宮一章・清水宣明

4　金森周矢，針状磁気プローブを用いた狭空間内部のうず電流探傷に関する研究，自然科学研究科電子情報科学専攻，修士 (工学)，山田外史

5　齊藤宏貴，培養再生骨の石灰化モニタリングのための光学デバイスの開発，自然科学研究科機械科学専攻，修士（工学），田中茂雄，坂本二郎

6　萬谷勇磨「ランダムパルス列波形を用いた電気的筋刺激の骨形成促進効果」，自然科学研究科機械科学専攻，修士（工学），田中茂雄，坂本二郎

3 卒業研究

1　數井友里絵，超音波刺激応答性リポソームにおける遺伝子デリバリー，自然システム学類バイオ工学コース，学士(工学)，仁宮一章・清水宣明

2　小堀麻美，低毒性イオン液体を用いたワンポット前処理・酵素糖化プロセスの構築，自然システム学類バイオ工学コース，学士(工学)，仁宮一章・清水宣明

3　酒井結香，高分子基質を用いた培養におけるセルラーゼ発現テトラヒメナの増殖挙動の評価，自然システム学類バイオ工学コース，学士(工学)，仁宮一章・清水宣明
4　山崎由里絵，がん細胞を特異的に認識する膜融合リポソームによる遺伝子導入システムの開発，自然システム学類バイオ工学コース，学士(工学)，仁宮一章・清水宣明
5　牛丸　透，コロニーアッセイを用いたヒト細胞への抗がん剤シスプラチン作用に対する磁界曝露影響，電子情報学類，学士(工学)，柿川真紀子・山田外史
6　林　亮平，バックヨークを使用した医療用磁界発生装置の電気・磁気特性に関する研究，電子情報学類，学士(工学)，山田外史
7　若浦　大，低透磁率材料磁性体の微小残留磁気測定に関する研究，電子情報学類，学士(工学)，山田外史
8　北村　和，中国砂漠地帯における大気浮遊微生物の DNA 配列解析，電子情報学類，学士(工学)，柿川真紀子・山田外史
9　赤江　景，再生骨用担体としての灰化ウシ海綿骨の有用性の検証，機械工学類，学士（工学），田中茂雄
10　山本達郎，非線形振動モデルによる骨芽細胞の刺激応答機構の検討，機械工学類，学士（工学），田中茂雄
11　吉澤和輝，衝撃荷重下における再生骨用担体の力学特性評価，機械工学類，学士（工学），田中茂雄

７．その他

1　特許

2　新聞等報道

- 新　聞

1　塚脇真二、カンボジアの生活紹介する教材：毎日新聞朝刊全国版（2013 年 8 月 23 日）
2　福士圭介，今、福島の森と川で何がおきているのか，週刊金曜日 2013.9.13
3　福士圭介，金沢大、レアアース回収を黒雲母で安価に-ユーロピウムの吸着確認，日刊工業新聞 2013.10.24
4　長尾誠也、こまつ水郷 2020 ネット講演会開催　木場潟の水質調査を報告　北國新聞　(2014/1/26)
5　長尾誠也、木場潟環境フォーラムで木場潟の有機汚濁の状況を報告　北陸中日新聞　(2014/2/10)
6　長尾誠也、木場潟の環境を考える―小松でフォーラム、北国新聞（2014/2/10）
7　鈴木信雄・関口俊男，平成 25 年 4 月 28 日（北國新聞）: いしかわシティカレッジ海洋生化学演習に関する記事
8　鈴木信雄，平成 25 年 7 月 16 日（北陸中日新聞）: いしかわシティカレッジ生物多様性実習に関する記事
9　鈴木信雄・関口俊男，平成 25 年 9 月 4 日（北國新聞）、平成 25 年 9 月 7 日（北陸中日新聞）: 全国公開臨海実習に関する記事

3　受賞

1　日本 AEM 学会功績賞，山田外史.，平成 25 年 12 月 2 日.

2　金沢大学中村賞女性研究者優秀賞，柿川真紀子，平成 26 年 1 月 25 日.

3　日本磁気学会学術奨励賞，金森周矢，平成 25 年 9 月 4 日.

4　金沢大学学長賞，金森周矢，平成 26 年 3 月 22 日.

5　金沢大学理工学長賞，金森周矢，平成 26 年 3 月 22 日.

研　究　報　告

方解石におけるX線と天然放射線による熱ルミネセンス生成効率の関係

小形学[1]・長谷部徳子[2]・福士圭介[2]・藤井直樹[3]・山川稔[3]・佐藤努[4]・伊藤一充[5]
[1]〒920-1192　金沢市角間町　金沢大学
[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
[3]〒104-0052 東京都中央区月島一丁目15番7号　パシフィックマークス月島8階
原子力環境整備促進・資金管理センター
[4]〒060-8628 北海道札幌市北区北13条西8丁目　北海道大学大学院工学研究科
[5]〒305-8568 茨城県つくば市梅園1-1-1 産業技術総合研究所

Manabu Ogata[1], Noriko Hasebe[2], Keisuke Fukushi, Naoki Fujii,
Minoru Yamakawa, Tsutomu Sato, Kazumi Ito :
Relationship between thermoluminescence efficiencies induced by
X-ray and natural radiations (alpha, beta, and gamma-rays) for calcite

はじめに

熱ルミネセンス年代測定法は、放射線を受けた鉱物を加熱する際に発する光(熱ルミネセンス)の量から年代を算出する方法である。発光量は受けた放射線量に比例するので、発光量を計測することで総被曝量(蓄積線量)を求めることができる。そして、一年当たりの被曝量(年間線量)で蓄積線量を割ることによりルミネセンス年代は得られる。熱ルミネセンス年代測定は数十万年までに及ぶ年代適用範囲と、普遍的な鉱物(石英や長石、方解石等)で測定を行えることから、考古資料や火山噴出物、堆積物の年代測定に利用されてきた(Aitken, 1985; 橋本, 2005)。

方解石の熱ルミネセンス年代測定は、1)方解石は地球上に普遍的に存在する、2)方解石熱ルミネセンスは石英熱ルミネセンスと比較し大きな発光を示すため若年代試料への適用可能性が高い、の2点から第四紀層研究において重要視されている。しかし方解石熱ルミネセンスは石英･長石熱ルミネセンスに比べて基礎的な理解が不十分な点が多く、近年では年代測定に用いられる例は少ない。例えば、再現放射線としてX線源を用いることがあるが、石英ではX線と自然放射線(β, γ線)間に放射線量に対するルミネセンス量の差はないことが示されているが、方解石においては未解明である。また、方解石熱ルミネセンス特性は微量元素濃度に強く依存することが報告されているが(Townsend et al. 1994)、各放射線ごとの熱ルミネセンス特性に微量元素組成が与える影響については考慮されていない。

そこで、方解石熱ルミネセンス年代測定法の精度･確度を向上させることを目的に、微量元素濃度の異なる様々な方解石(フィリピン, モンゴル, 合成方解石)を用いⅰ)熱ルミネセンス特性、およびⅱ)微量元素濃度と自然放射線・X線の相関関係を調べた。

測定

複数の方解石にX, α線, β線, γ線を任意量照射し、熱ルミネセンス測定を行うことで、各方解石熱ルミネセンス特性(発光量、発光ピーク温度)を測定、比較した。照射と測定の間に時間をおくことで

ルミネセンスの長期安定性も評価した。またX線と各自然放射能に対する熱ルミネセンス感度(発光効率)の違いを明らかにした。それらの特性と微量元素濃度の関係を調べた。

方解石の赤色熱ルミネセン(RTL)測定には、受光波長域を約 600-650nm にする透過フィルター(R60,hoya+IRC-65L,kenko)を付けた光電子増倍管(浜松フォトニクス、受光波長域 300-850nm,ピーク420nm)を使用した。微量元素濃度測定にはLA-ICP-MS測定を用いて、Mn,Fe他計43種の元素濃度を測定した。

結果と考察

ｉ)方解石の熱ルミネセンス特性

各方解石試料にX線を照射して測定した熱ルミネセンス特性はそれぞれ異なっていた(図.1)。ほとんどの方解石熱ルミネセンスは共通して、100℃と230℃に発光ピークを示すが、フィリピン方解石は230℃ではなく、260℃にピークを示す。これが不純物濃度によるものか、他の要因によるものかは、さらに調査が必要である。

100℃ピークは全ての方解石熱ルミネセンスで最大の発光量を示し､次に発光量の大きいピークは方解石によって異なる。100℃ピークは非常に不安定で放射線照射直後からフェーデイング(ルミネセンス減衰)が始まるので、発光ピークとして安定でほとんどの方解石で表れる230℃ピークでルミネセンス評価を行うこととした。

ⅱ) 微量元素濃度と自然放射線・X線の関係

各放射線源を利用して任意量放射線を照射した後、熱ルミネセンスを測定しX線に対するα,β,γ線のルミネセンス効率をa-x-value,b-x-value,c-x-valueとした。各方解石試料の自然放射線ルミネセンス効率は従来の報告とは異なり､a-x-valueでは0.08-0.8,b-x-valueで0.05-0.71,c-x-valueで0.27-0.95の値を示した。微量元素のうち、ルミネセンス効率と相関を示したものはMg,Mn,Fe,Srであった(図2)。また、Fe濃度は発光量と逆相関を示すことから、Feにはクエンチャー効果があると考えられ、Fe濃度は方解石熱ルミネセンス特性に影響を与える重要な要因である。

結論

方解石熱ルミネセンスは微量元素濃度(Fe や Mg,Mn,Sr)に依存することが明らかになった。方解石の熱ルミネセンス年代測定において、X 線による検量線と自然放射能によるルミネッセンス効率の関係は非常に重要であるため、より正確な熱ルミネセンス年代を得るために、測定試料毎にa-x-value,b-x-value,c-x-valueを評価･考慮して年代を算出する必要がある。

謝辞

本研究を進めるにあたりα線照射に関して、金沢大学の長村雄一郎氏にお世話になった。またγ線照射は京都大学原子炉実験所で行い、中野幸廣氏、阪本雅昭氏にご協力いただいた。また、LA-ICP-MS測定の際には金沢大学荒井章司教授、長谷部明弘氏にお世話になった。以上の方々に心から感謝申し上げる。

引用文献

橋本哲夫.(2005)ルミネッセンス(発光)で探る古代情報,新潟日報事業社

P.D.Townsend,B.J.Luff and R.A.Wood(1994)Mn^{2+} Transitions in the TL emission spectra of calcite.

Radiation Measurement, Vol.23, Nos2/3, 433-440.
M.J.Aitken(1985) Thermoluminescence dating. Akademic Press, London, 357p

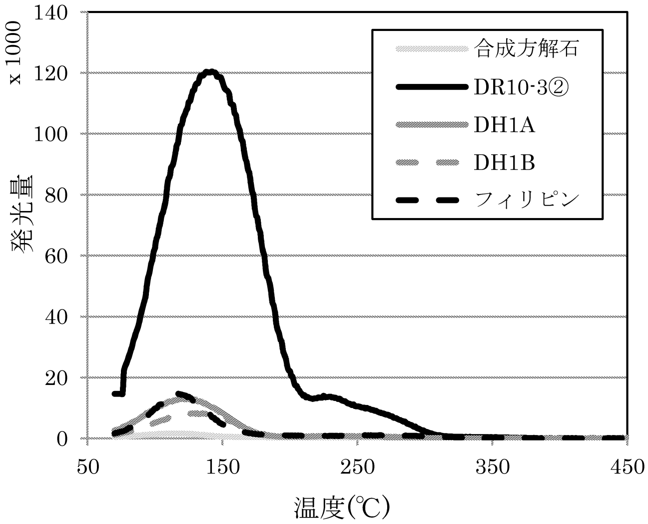


図 1. X 線を 99Gy 照射した方解石試料の熱ルミネセンス

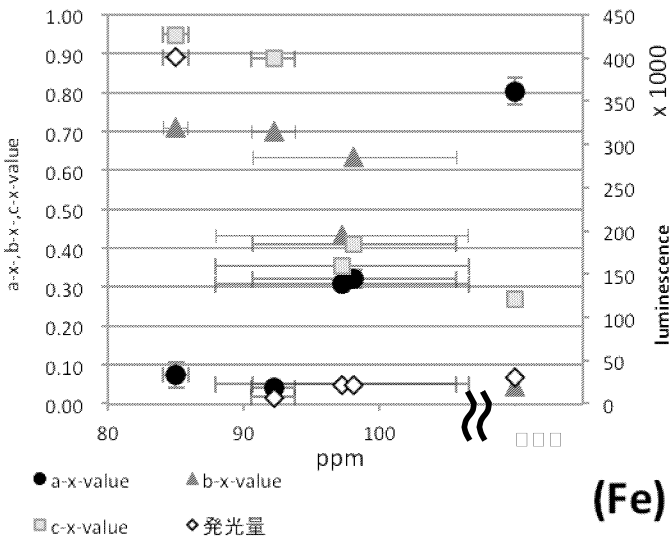


図 2. Fe の濃度に対する方解石熱ルミネセンス特性

低毒性イオン液体で前処理した木質系バイオマスからの同時糖化発酵

表小百合[1]・仁宮一章[2]・清水宣明[2]

[1]〒920-1192　金沢市角間町　金沢大学自然科学研究科

[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

1.　緒言

現在、地球温暖化問題や石油資源枯渇が深刻となり、石油資源の代替資源として、カーボンニュートラルで地球環境にやさしいバイオマス資源の利用が期待されている。このバイオリファイナリー最大の製品としてバイオエタノールが挙げられ、現在は主にトウモロコシやサトウキビなどの植物から生産されている。しかしながら、これら食用植物をエネルギーに利用するため、穀物の高騰など食物競合問題が生じている。その解決策として、非食用である木質系バイオマスを用いたバイオエタノール生産が近年注目を浴びている。

バイオエタノールの生産工程を Fig.1 に示す。木質系バイオマスはセルロースとヘミセルロースが複雑に結合し、さらにそれらをリグニンが覆った形で形成されるリグノセルロースで構成される。この複雑な構造を糖化・発酵前に簡単な構造に変える処理を糖化前処理といい、既往の糖化前処理方法としては、高温熱水処理や希硫酸処理、白色腐朽菌を用いた生物処理などが挙げられる。本研究では、低エネルギーで高効率に糖化・発酵を可能にする「イオン液体と超音波処理を用いた糖化前処理」を提案し、採用している[1]。しかしながら、イオン液体は一般的に高価であり、また低濃度でも酵母の活性を阻害する高い毒性を持つ。そのため糖化前処理後のイオン液体を取り除いた際の大量の廃液や、発酵へのイオン液体の持込が問題となっている。

そこで本研究では、イオン液体の毒性に着目し、細胞膜成分の一つであるコリンをカチオンとする、コリン系イオン液体を安価に合成し、また野生株の酵母からイオン液体耐性をもつ酵母を取得した。そしてイオン液体を用いた木質系バイオマスの糖化前処理において前処理コストとプロセスの削減を目標として、①野生株において、毒性の強いイミダゾリウム系イオン液体とコリン系イオン液体による影響の比較、②野生株と耐性株におけるコリン系イオン液体による影響の比較を行った。

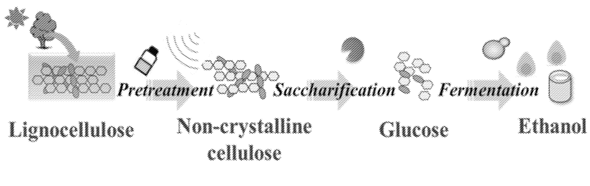


Fig.1 Pretreatment of　lignocellulose

2.　実験

2.1　実験材料

使用酵母

野生株として Saccharomyce cerevisiae MT8－1 (ade2, his3, leu2, trp1, ura3)を使用した。耐性株は、重イオンビームを照射した野生株を、高濃度のイオン液体添加培地で順化培養して取得した。

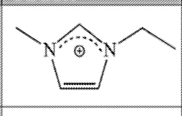
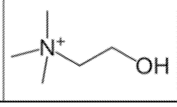
原料バイオマス

リグノセルロース系バイオマスとして、0.25 mm 以下に粉砕したバガスを用いた。バガスの水分を取り除くため、実験で使用する際には 90℃のインキュベーターで Over night 乾燥させた後使用した。

イオン液体

イオン液体とは「無機アニオンと有機カチオンの２つだけのイオンから成る 100℃以下で液体の塩」である。イオン液体が難溶解性物質のバイオマスを溶解できる性質を持ち、セルロースの非結晶化をおこすことができる。そのため糖化前処理への利用が期待されている[2,3]。本研究では、イミダゾリウム系イオン液体として 1-Ethyl-3-methylimidazolium　Acetate (EmimOAc)、コリン系イオン液体として Choline Acetate (ChOAc)を使用した。また、ChOAc は本研究室で合成したものを使用した(Table 1)。

Table 1　Ionic liquids used in this study

Ionic liquid [IL]	cation	anion
1-Ethyl-3-methylimidazolium		CH_3COO
Choline Acetate (ChOAc)		

2.2　糖化前処理

超音波照射

イオン液体 5 g とバガスを 0.5 g を 15 ml コーニングチューブにいれ、35 W, 24 kHz,1 h 超音波照射を行った。このときチューブが高温となるのを防ぐため、20℃の水中で照射を行った。

洗浄操作

糖化前処理後のバイオマスはイオン液体に溶解しているため、バイオマスよりイオン液体を完全に取り除く洗浄操作を行う必要がある。サンプルを 50 ml チューブにうつし、貧溶媒の蒸留水 50 ml を加え析出させた。その後サンプルは遠心分離した。この洗浄操作を 1~5 回繰り返し行った。洗浄したバイオマスは発酵に使用した。

2.3　イオン液体存在下における酵母増殖

5 mL の YPD 試験管培地に、イオン液体濃度が 0-15%となるように EmimOAc または ChOAc を添加した。その後、24 h 前培養した野生株または耐性株を OD_{600}=0.1 となるように植菌した。0, 6, 12, 18, 24, 36, 48 h のときサンプリングを行い、吸光度計にて OD_{600} を測定した。細胞増殖率(Relative growth)は Eq.(1)にて算出した。

$$\mathrm{Re} = \frac{OD_{600}(ILadd)}{OD_{600}(ILfree)} \times 100 \qquad (1)$$

Re: 細胞増殖率(%)

$OD_{600}(IL\ free)$: 培養 48 時間における IL 無添加培地における菌体濁度 (-)

$OD_{600}(IL\ add)$: 培養 48 時間における IL 添加培地における菌体濁度 (-)

2.4　エタノール発酵

木質系バイオマスを唯一の炭素源として、酵素および酵母を用いてエタノール発酵を行った。前処理済みのバイオマス 50 g/L、酵素(Ctec2)10FPU、酢酸バッファー(pH5.0, 50 mM)5 ml を 15 ml チューブに入れ、50℃、48 h 回転攪拌して反応させた。反応後上澄み糖溶液 4 ml、YP 培地 1 ml、酵母 100 g-wet cell/L を発酵瓶に入れ、30℃、72 h エタノール発酵を行った。0, 12, 24, 48, 72 h のときサンプリングを行い、遠心分離して菌体を取り除いた。エタノール濃度はガスクロマトグラフィーを用いて測定し、Eq.(2)にてエタノール収率を算出した。

$$Y_E = \frac{M_E}{T_E} \times 100 \qquad (2)$$

Y_E: エタノール収率 (%)
T_E: 理論的に得られるエタノール量 (g)
M_E: 実験的に得られたエタノール量 (g)

2.5　メタボロミクス解析

乾燥菌体の取得

YPD 培地で 24 h 前培養した酵母(野生株または耐性株)の培養液を、乾燥菌体が 10 mg となるように量りとり、フィルターろ過した。ろ過後ミリ Q 水で菌体を洗浄し、菌体の付着したフィルターを凍結保存用チューブにいれ、-80℃の液体窒素を用いて菌体の代謝を凍結停止させた。その後タンパク質などの不純物を取り除くため抽出操作を行った。-80℃で保存したメタノール溶液と粉砕用のシリカビーズをチューブに加え 1200 rpm、5 min で粉砕を行った。粉砕後の菌体が懸濁したメタノール溶液を二等分にし、それぞれクロロホルムと水を加えた後 150 rpm、4℃、5 min 遠心分離を行った。遠心分離後、上澄み(水―メタノール相)をチューブにとり、over night 凍結乾燥させた。

分析および解析

菌体の細胞内の代謝物の蓄積量を、ガスクロマトグラフィー質量分析器(GC-MS)または高速液体クロマトグラフィー質量分析器(LC-MS)にて測定した。GC-MS 分析の際、サンプルに 100 µl の methoxyamine hydrochloride (20 mg/ml pyridine)を加えて 30℃、90 min、1200 rpm で加温振とうした。反応後 50 µl の MSTFA を添加して 37℃、30 min、1200 rpm で加温振とうして誘導化させた。また LC-MS 分析の際、サンプルに 50 µl のミリ Q 水を添加してよく懸濁させた後分析した。分析後は多変量解析ソフト(SIMCA)を用いて統計解析を行った。

3.　結果および考察

3.1　野生株におけるコリン系イオン液体とイミダゾリウム系イオン液体による影響の比較

酵母増殖(毒性評価)

ChOAc, EmimOAc を様々な濃度となるように培地に添加したとき、酵母の増殖率がどのように影響を受けるかを検討した結果を Fig.2 に示した。

EmimOAc 添加培地で野生株を培養したとき、イオン液体濃度(C_{IL})が 0.3%のときに増殖率が半減している(EC_{50}) のに対して、ChOAc 添加培地で培養したとき C_{IL}=3.5%のとき増殖率が半減するという結果が得られた。また EmimOAc のとき、C_{IL}=1%のときほとんど増殖不可能であるのに対して、ChOAc のときはイオン液体無添加のときよりも細胞増殖率が向上した。イオン液体のいくつかは殺虫剤と類似しているものもあり、イミダゾール系の場合は長鎖のアルキル基があるとき、毒性が高い。このため酵母の活性に著しく影響を与え、増殖阻害が生じたのではないかと思われる。一方で ChOAc のときはカチオンが生体関連物質であるコリンであるため、より毒性が低い結果が得られたのではないかと考えられる。以上のことから ChOAc は非常に酵母に対して温和なイオン液体であるということが分かった。

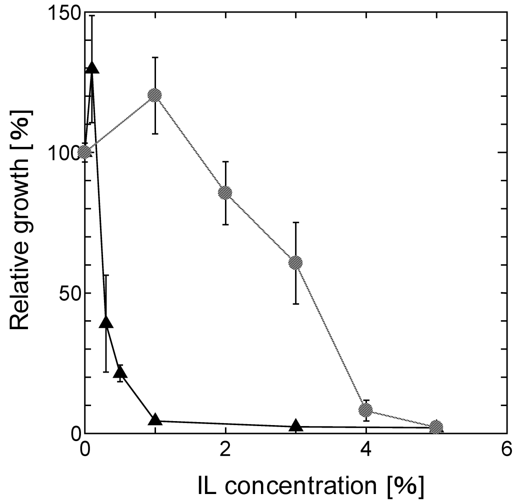


Fig.2 Relative growth of yeast cultured in ionic liquids (●ChOAc, ▲EmimOAc)

洗浄操作によるイオン液体の除去

洗浄操作を 0, 1, 2, 3, 4, 5 回行ったとき、前処理バイオマスよりイオン液体がどれだけ除去できるか検討した結果を Fig.3 に示した。

1 回洗浄において EmimOAc のとき 40%が、ChOAc のとき 20%が除去できず前処理バイオマスに付着したままであった。実際の作業において、ChOAc が溶解しているバイオマスに水を添加すると水中に分散し、バイオマスに付着しているイオン液体が水に接し十分に混ざり合うことを確認している。そのためバイオマスからのイオン液体の除去が容易となるのではないのかと思われる。一方で EmimOAc を用いて前処理を行ったとき、バイオマスと EmimOAc が完全に溶解してゲル状となり、水を添加しても分散がみられない。以上により、少ない洗浄回数では EmimOAc が十分に除去できないことが分かった。

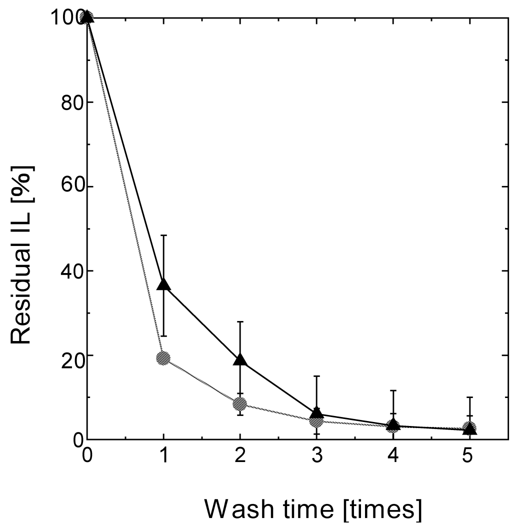


Fig.3 Ratio of residual ionic liquids with pretreated biomass (●ChOAc, ▲EmimOAc)

残存イオン液体によるエタノール発酵への影響

ChOAc または EmimOAc により糖化前処理を行い、1~5 回洗浄を行ったバイオマスを用いて、エタノール発酵を行った結果を Fig.4 に示した。

ChOAc では洗浄操作を 5 回行ったときが 60%、2 回洗浄では 65%のエタノール収率であり、洗浄操作の削減による収率の低下はみられなかった。一方で EmimOAc では 5 回洗浄したとき 60%であるのに対し、2 回洗浄では 35%と大きく収率が低下するなど、洗浄回数の削減に伴って収率が低下していることが分かった。イオン液体が十分除去できておらず、残存するイオン液体により発酵が阻害されているのではないかと思われる。一方で、ChOAc は酵母に対して毒性が低いこと、また EmimOAc と比べて除去が容易であることから収率の大きな低下が見られなかったのではないかと考えられる。以上により、毒性が高く前処理バイオマスに残存しやすい EmimOAc ではなく、毒性が低くバイオマスから除去しやすい ChOAc をイオン液体として用いることで洗浄操作を削減できるのではないかと考えられる。

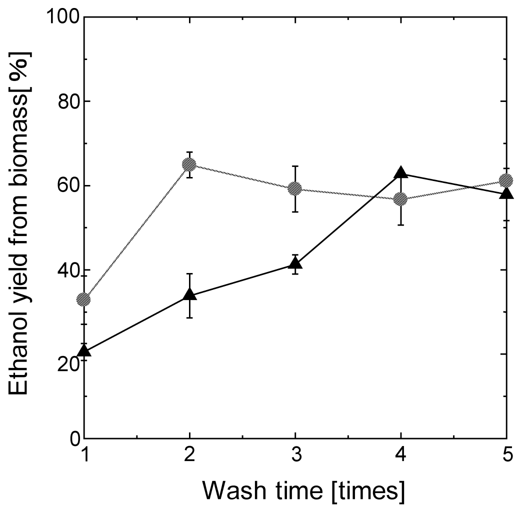


Fig.4 Ethanol fermentation yield from biomass (●ChOAc, ▲EmimOAc)

3.2 野生株と耐性株におけるコリン系イオン液体による影響の比較

酵母増殖(毒性評価)

ChOAc を様々な濃度で培地に添加したとき、野生株と耐性株において、酵母増殖がどのように影響を受けるかを検討した結果を Fig.5 に示した。

野生株を酵母として用いたとき、C_{IL}=3.5%で細胞増殖率が半減するのに対して(EC_{50})、耐性株を酵母として用いたときは C_{IL}=8.5%で細胞増殖率が半減した。また野生株では 5%添加でほとんど増殖不可能であったのに対し、耐性株では C_{IL}=5%のとき、約 90%の細胞増殖率であった。さらにイオン液体濃度 10%においても増殖可能であるという結果が得られた。以上のことから、ChOAc に対

してより強い耐性酵母を取得したことを確認することができた。

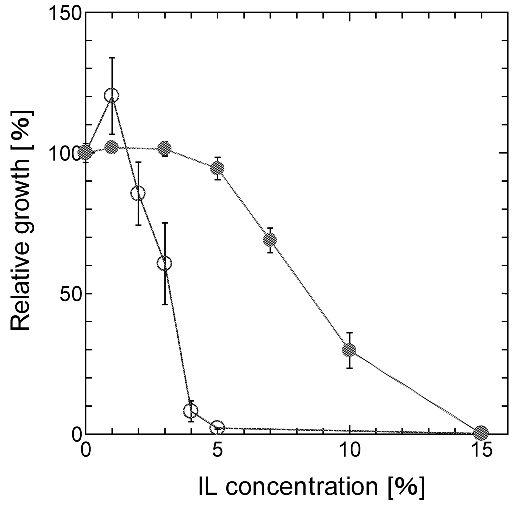


Fig.5 Relative ratio of yeast cultured in ChOAc medium

(○Wild type, ●Mutant type)

細胞内代謝物

ChOAc を EC_{50} 濃度で培地に添加したとき、イオン液体無添加培地で培養したときに比べて野生株または耐性株の細胞内代謝物の蓄積量がどのように変化するか検討し、その結果を代謝経路に基づいて Fig.6 に示した。

野生株のとき、イオン液体の添加によってほとんどの解糖系・TCA サイクルの代謝物で減少傾向がみられた。アミノ酸においては、Alanine や Lysine などが著しく増加した。一方で耐性株のとき、野生株ほど増減はみられず、特に解糖系やアミノ酸では野生株をイオン液体に曝露した時に比べて変化量が少なかった。Citrate や Fumalate などの TCA サイクルの代謝物においては､耐性株で増加する傾向であったが、これは耐性株のスクリーニングの過程で高濃度のイオン液体に適応するため蓄積するようになったのではないかと考えられる。その他の細胞内代謝物においては、耐性株に比べて野生株は影響を受けやすいという結果が得られた。

また多変量解析を行った結果、イオン液体添加培地で耐性株を培養したとき、特異的にいくつかの代謝物の蓄積量が増加しており、耐性株を特徴づけていることが明らかとなった。このことを確認するため、解析によって信頼区間 90%以上で特徴的であるとされた代謝物のうち、GABA、4-hydroxy-D-proline、Xylitol をそれぞれ 50 mM となるように YPD 培地に添加し、さらに ChOAc を C_{IL}=3.5%となるように添加して酵母増殖試験を行った。またイオン液体を添加したとき野生株に特徴的に蓄積する Lysine、耐性株と野生株でほとんど差のなかった Lactate についても検討した。この結果を Fig.7 に示す。培地に Lysine を添加したとき、イオン液体無添加培地においても増殖不可能となり、Lactate を添加したとき、代謝物を添加していないときとほとんど変化がないという結果が得られた。一方で GABA を添加したとき 85%の細胞増殖率であり､4-hydroxy-D-proline のとき 75%、Xylitol では 70%であった。またメタボロミクス解析を行い、実際にこれらの代謝物が蓄積していることを確認した。以上のことから、耐性を持つために非常に重要である代謝物を特定することが出来たと考える。

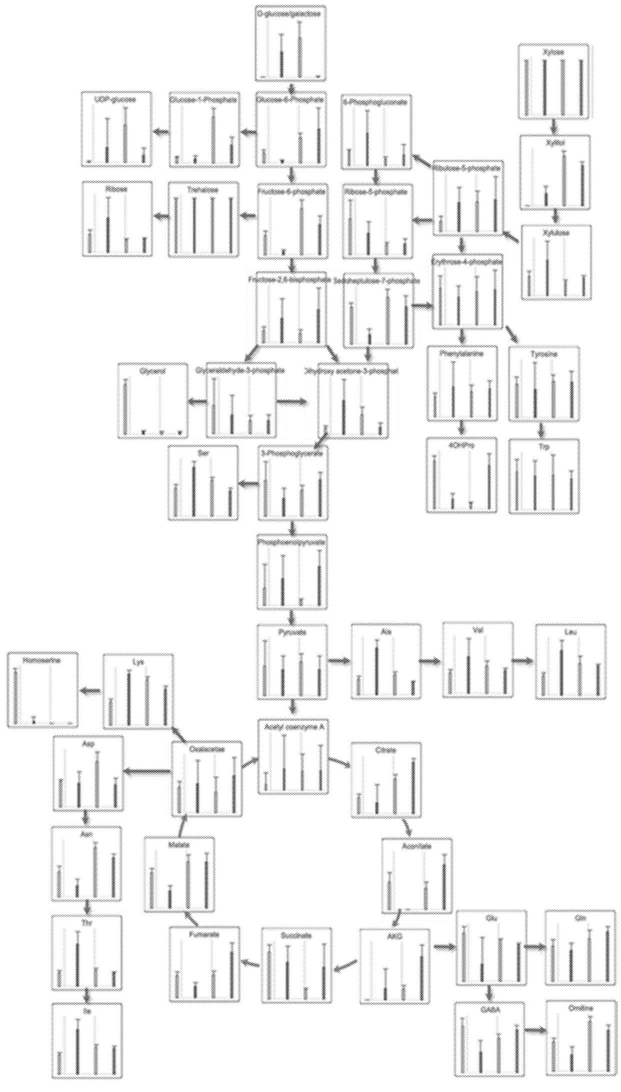


Fig.6 Comparison of influence of ChOAc for accumulation of metabolite in yeast
(■WT cultured in IL free medium, ■WT cultured in ChOAc medium, ■MT cultured in IL free medium, ■MT cultured in ChOAc medium)

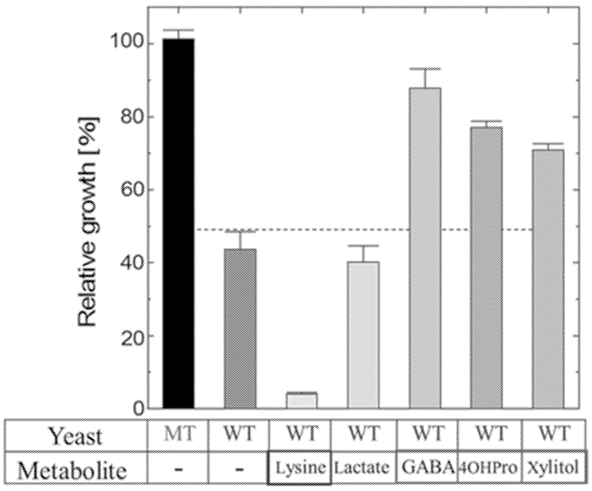


Fig.7 Relative growth of yeast in ChOAc medium which added metabolite (C_{IL}=3.5%, metabolite concentration=50 mM)

4. 結言

本研究ではイオン液体を用いた木質系バイオマスの糖化前処理において前処理コストとプロセスの削減を目標とし、本研究室でコリン系イオン液体を安価に合成および野生株の酵母からイオン液体耐性をもつ酵母の取得を行った。そして酵母毒性、イオン液体の持込によるエタノール発酵への影響といった観点より、イミダゾリウム系イオン液体とコリン系イオン液体による影響の比較と、野生株と耐性株における比較を行った。以下に得られた知見を示す。

(1):イミダゾリウム系イオン液体は EC_{50}=0.5%と非常に毒性が高く、また糖化前処理後の洗浄操作でイオン液体の除去が困難であり、イオン液体の持込がエタノール発酵に大きく影響していた。一方でコリン系イオン液体を用いたとき、EC_{50}=3.5%とイミダゾリウム系イオン液体に比べて毒性が低く、洗浄回数 2 回においても高いエタノール収率であった。以上により、洗浄操作の削減にはコリン酢酸は有効である。
(2):スクリーニングにより、EC_{50}=8.5%と高いイオン液体耐性を持つ耐性株を取得することができた。また細胞内代謝物の蓄積量において、野生株に比べて耐性株はイオン液体の影響が少なく、さらに耐性株に特徴的な代謝物を特定することができた。イオン液体の残存するエタノール生産プロセスにおいて耐性株の利用が期待できると考える。

5. Literature cited

1) 上出一輝 修士学位論文 (2011)
2) T. Heinze et al. Macromolecular Bioscience, 5, 520, (2005)
3) R. P. Swatlosk et al. J. Am. Chem. Soc., 124, 4974, (2002)

超音波照射時の二酸化チタン金属表面における細胞障害効果の評価

丸山裕慎[1]・仁宮一章[2]・清水宣明[2]
[1]〒920-1192　金沢市角間町　金沢大学自然科学研究科
[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

1. 諸言

近年、血管内部が狭くなり血流が悪くなる動脈硬化という病気が増えてきている。その病気に対する治療法として、狭くなった血管をステントと呼ばれる網状の金属で血管内部より押し広げ、正常な血流を確保する「ステント治療」がある。しかし、拡張した血管部分で網状の金属の隙間より再び血管内部に細胞増殖が進行し、再度血管内が狭くなることが問題とされている。そこで、ステントを光触媒として知られている二酸化チタンで構成することでこの問題を解決にあたる。この光触媒として知られている二酸化チタンは超音波を照射した際にも、光を照射した際と同様に活性酸素種であるヒドロキシルラジカル(OH ラジカル)の生成が促進され(二酸化チタン/超音波触媒法(TiO_2 / US 法))、その酸化力によって細胞殺傷効果を示すことが報告されている。このことから、二酸化チタンで構成されたステントに体外より超音波の照射を組み合わせることで再狭窄の予防に対する新規治療法の検討を行っている。

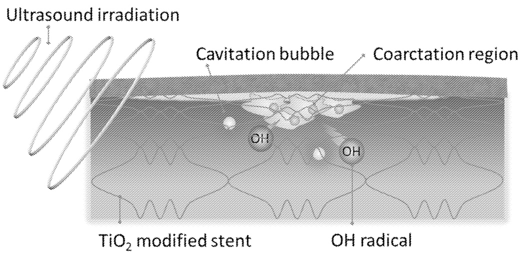


Fig. 1 Strategy of this research

2. 理論

2.1 TiO_2/US 法

TiO_2 は光によって励起され、活性酸素種を発生させることが知られている。TiO_2 / US 法とは、その二酸化チタンに超音波を照射すると、OH ラジカル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、TiO_2 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)。

また、光触媒としての TiO_2 は励起エネルギーとして紫外光照射を必要とするため、ラジカルの発生は紫外光が到達可能な表面付近でのみしか起こらないと考えられる。しかし本研究で提案する TiO_2/US 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においても治療が可能となり､非侵襲的ながん治療を開発できる。

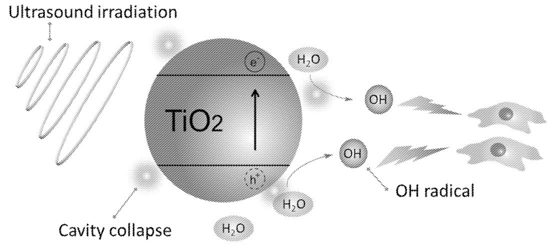


Fig. 2　Schematic illustration of TiO_2 / U.S. method.

2.2 TiO_2/US 法の医療応用

超音波技術は機器の殺菌や水の浄化、医療分野に多く応用されている。これは、回折能が高く、深部まで到達することができるという超音波の特性に寄与している。TiO_2 / US 法についても医療応用の研究が進められており、がん細胞の増殖阻害効果およびその細胞死メカニズムの解析や、血管内治療であるカテーテル治療の際の炎症予防など、多岐にわたる分野で研究報告が行われている(1)(2)。

3. 実験

3.1 使用細胞ならびに使用金属プレート

本研究ではモデル細胞としてヒト乳腺がん由来細胞株 MCF-7 を用いた。また、実験の便宜上ステントではなく同金属組成のプレートを用いて実験を行った。そして､TiO_2 修飾の金属プレートと TiO_2 未修飾の金属プレートの 2 種類を用いて比較実験を行った。

3.2 OH ラジカルの生成量の測定

2 種類の金属プレートに超音波を照射した際に生じる OH ラジカルの生成量の測定を行った。

OH ラジカルは非常に半減期の短い物質であり、直接定量することは困難とされている。そのため、

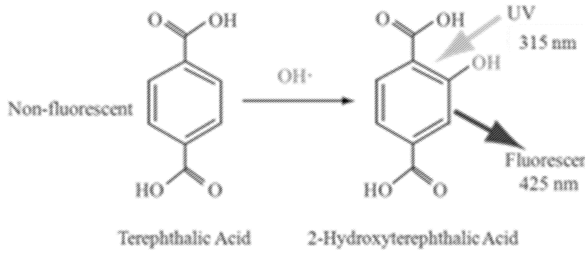


Fig. 3　Schematic illustration of TiO_2 / U.S. method

Terephthalic Acid(TA)を使った化学プローブ法を用い、OH ラジカルを間接的に定量した。

35 mm dish に 3 mM に調整した TA を 2 ml とり縦 10 mm 横 8 mm に規格化したプレートを添加し超音波照射(1 MHz, 0.5 W/cm^2, 50% duty, 30 s)を行った。この際、dish 底面と金属プレートの間にワイヤーをかまし、12 mm の間隔を設けた。超音波照射後のサンプルを 200 µl ずつ 96 well-plate に移し、蛍光マイクロプレートリーダーを用いて、生成した 2-Hydroxyterephthalic Acid(2HTA)の蛍光強度を測定した。比較として、TiO_2 未修飾の金属プレートに超音波を照射していない条件(Ti(US-))、TiO_2 修飾の金属プレートに超音波を照射していない条件(TiO_2(US-))、 TiO_2 未修飾の金属プレートに超音波を照射した条件(Ti(US+))、TiO_2 修飾の金属プレートに超音波を照射した条件(TiO_2(US+))の 4 つの条件について測定を行った。

3.3 金属プレートへの細胞接着量評価

本実験の目的は金属プレートへ接着した細胞への TiO_2 / US 法の影響による細胞障害効果の評価である。そのため、金属プレート表面に細胞を接着させたものを準備し、評価した。

24 well-plate に規格化した金属プレートを設置し、8×10^4 cells/ml に調整した MCF-7 を播種した後、48 h インキュベートした。金属プレートをとりだし D-PBS(-)で wash した後、金属プレートへの細胞接着を SEM 画像により確認した。また、接着している生細胞数を SEM 画像で確認した細胞数をマニュアルカウントする方法、および金属プレートに接着した生細胞の ATP 量を測定し算出する方法を用いて、生細胞数の定量化を行った。

3.4 細胞障害効果の評価

TiO_2 修飾の金属プレート表面に接着した細胞に対する超音波照射時の細胞障害効果の評価を行った。

24 well-plate に規格化した金属プレートを設置し 8×10^4 cells/ml に調整した MCF-7 を播種した。48 h インキュベートした後、金属プレートを取出し D-PBS(-)で wash し、培地を 2 ml 加えた 35 mm dish 中で超音波照射(1 MHz, 0.5 W/cm^2, 50% duty, 30 s)を行った。プレートは超音波の影響を受けやすいように細胞接着面を下方に向けて設置し、細胞への負荷を避けるためワイヤーをかますことで dish 底面と金属プレートの間に 12 mm の間隔を設けた。そして、超音波照射後 0, 24, 48 h の金属プレート表面に残存した生細胞数を ATP 量を測ることで測定した。比較として Ti(US-)、TiO_2(US-)、Ti(US+)、TiO_2(US+)の 4 つの条件で実験を行った。

3.5 細胞死メカニズムの解析

3.3 で生じた細胞死が TiO_2 / US 法により生成した OH ラジカルの影響によるものかを細胞死メカニズムを解析することで評価した。

本研究では細胞核を染色し、蛍光顕微鏡で観察することでアポトーシスの解析を行った。また、走査顕微鏡を用い、形態学的にアポトーシスの解析も行った。

4. 結果および考察

4.1 OH ラジカルの生成量の測定

本実験で用いた TA は無蛍光物質であるが、OH ラジカルと反応し 2HTA となることで紫外線を受け蛍光を発する蛍光物質となる。この反応を利用し、OH ラジカルの定量を行った。結果を Fig. 4 に示す。

Fig. 4 より、超音波照射をした条件と超音波照射をしていない条件の比較より、超音波照射によって 2HTA の生成が引き起こされたと考える事ができる。これは、本研究で用いた超音波照射条件がキャビテーションバブルの生成閾値を満たしており[1]、生成したキャビテーションバブルが圧壊する際に多くの OH ラジカルが生成したためであると考えられる。Ti(US-)と　TiO_2(US-)の条件の比較では、プレートの差異による 2HTA の生成の違いは確認できなかった。このことから、プレートの違いがヒドロキシラジカルの生成に直接関与していないことが確認できた。Ti(US+)と TiO_2(US+)の条件の比較より、TiO_2(US+)条件でより 2HTA の生成が確認された。このことから、キャビテーシ

ョンバブルが圧壊した際の熱および光のエネルギーを受け、二酸化チタンの励起が起こり OH ラジカルの生成促進効果が起こったと考えられる。

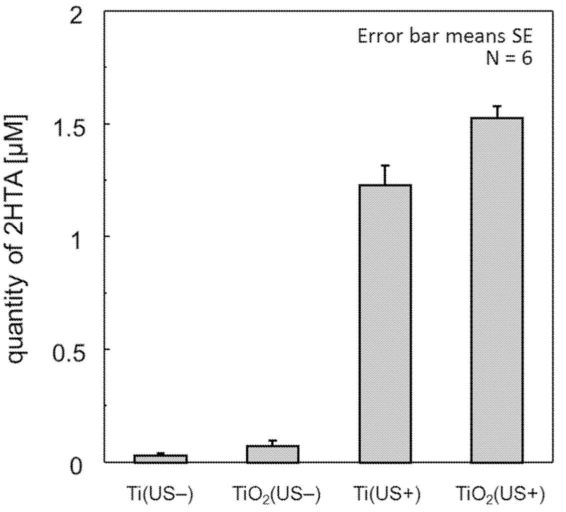


Fig.4 The generation of 2HTA

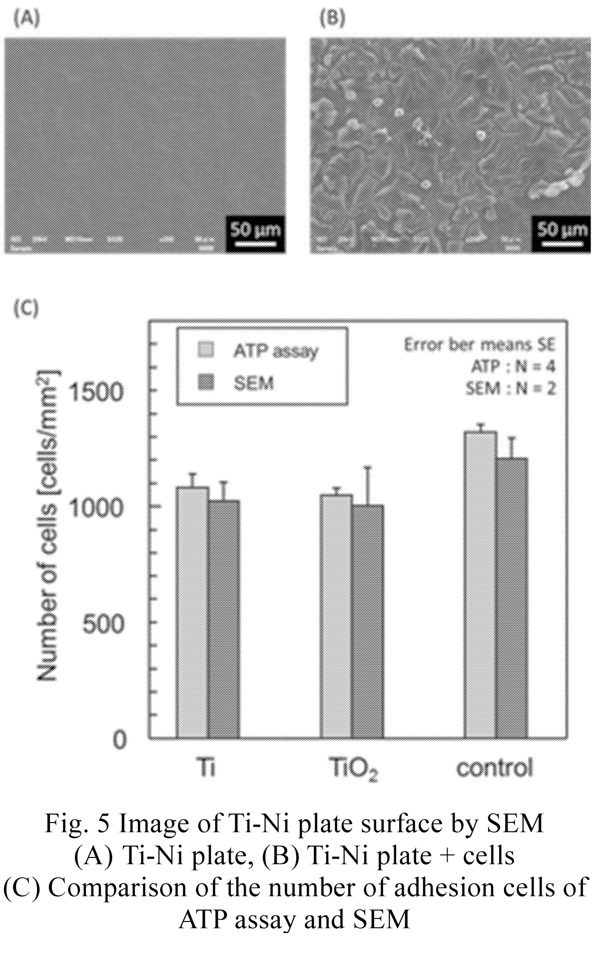


Fig. 5 Image of Ti-Ni plate surface by SEM
(A) Ti-Ni plate, (B) Ti-Ni plate + cells
(C) Comparison of the number of adhesion cells of ATP assay and SEM

4.2 金属プレートへの細胞接着量評価

金属プレートへの細胞接着を SEM 画像観察と ATP 量測定の双方の実験をもって評価した。結果を Fig. 5 に示す。

Fig.5 の(A),(B)の比較より、金属プレート表面に生細胞数が接着していることを確認した。さらに(C)より双方の方法で算出した生細胞数に違いがなかったことから、以降の実験では ATP 量測定により生細胞数の算出を行った。

4.3 細胞障害効果の評価

先の実験で細胞を接着させたプレートを準備できる事が確認できた。そのため、この細胞を接着させた金属プレートに 4 つの比較条件を用い超音波照射実験を行った。その結果を Fig. 6 に示した。

この結果より、Ti(US-)と TiO_2(US-)の超音波照射を加えていない条件の比較では金属プレートに細胞を播種した後の細胞増殖に差が見られなかった。この事より、プレートの違いが細胞に与えている影響は少なく、細胞増殖を阻害する程のものではない事が考えられる。

US+と US-の条件の比較より、超音波照射前後のところで生細胞数が約半減している。これは、超音波照射の影響を受け金属プレートに接着していた生細胞数が培地中に剥がれ落ちたためであると考えられる。本研究では、金属プレートに接着した生細胞の細胞障害効果の評価を目的としているため、この金属プレートより離脱した細胞数に関しては考察しなかった。

Ti(US+)と TiO_2(US+)の条件の比較より、TiO_2(US+)の超音波照射後 24, 48 h の条件にて、生細胞数が小さい値となった。この事より TiO_2(US+)の条件にて TiO_2/US 法により生成した OH ラジカルの酸化力を受け、細胞障害効果が引き起こされた事が示唆される。

このような結果となったのは、金属プレート付近にて生成する OH ラジカルの生成量の違いによるものであると考えられる。Fig.4 で確認したように Ti(US+)と TiO_2(US+)の条件では OH ラジカルの生成量に有意差が見られる。この OH ラジカルの生成量の差をすべて TiO_2/US 法による OH ラジカルの生成促進効果であると考えると、OH ラジカルの半減期は非常に短いことから、Ti(US+)と TiO_2(US+)で生じた OH ラジカル生成量の差はすべて TiO_2 修飾を施した金属プレート表面で生成された事となる。Ti(US+)の条件では dish 全体で 1.23 μM の 2HTA の生成が確認されており、

TiO_2(US+)の条件ではdish全体で1.53 μMの2HTAの生成が確認された。ゆえにこの差である0.597 nmolの2HTAがTiO_2修飾の金属プレート表面に生成していることとなる。このTiO_2修飾の金属プレート表面に生成したOHラジカルの生成量の違いが細胞障害効果を引き起こしたと考えられる。

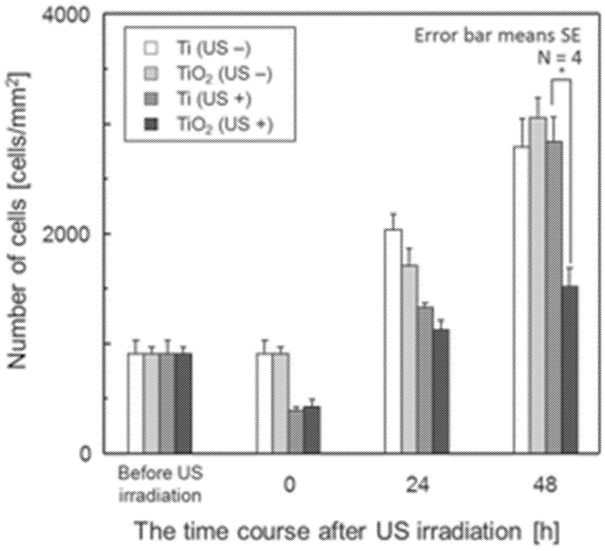


Fig.6 The cytostatic activity by using TiO_2 / U.S.

4.4 細胞死メカニズムの解析

細胞死が引き起こされる条件として様々な外的要因が挙げられる。しかし、細胞死のメカニズムとしてはアポトーシスによるものと、ネクローシスによるものの2つに分類される。

そのため、DAPI(4,6-diamino-2phenylindole)を用いた核染色画像による解析、SEMを用いた細胞の形態学変化の解析の2点より細胞死メカニズムの解析を行った。その結果をFig. 7に示す。

DAPIにより核が染色された画像結果がFig. 7 (A)である。アポトーシスによる細胞死が引き起こった場合、核内のクロマチンの凝集が見られる。この際に、DAPIによる青色蛍光が強まり、高蛍光強度の青色蛍光を生じさせる。これにより，超音波照射後にプレート上で起こった細胞死のメカニズムの解析を行った。超音波照射後6hにて、Ti(US+)の条件では核の高蛍光強度の青色染色は観察されなかった。一方、TiO_2(US+)の条件では核の高強度の青色染色を確認することができた。このことよりTiO_2(US+)ではアポトーシスによる細胞死が起こっていることが示唆された。

SEMを用いた解析画像がFig. 7 (B)である。アポトーシスが引き起こされた細胞には細胞表面の微繊毛が消失し、細胞縮小が誘発される[3]。超音波照射後48 hの金属プレート表面のSEM画像をFig. 7 (B)に示した。Ti(US+)では生細胞が金属プレートに接着しており、細胞表面に微繊毛を確認することができた。一方、TiO_2(US+)では細胞表面の微繊毛が消失し、細胞収縮が引き起こされた細胞を確認することができた。このことより、TiO_2(US+)ではアポトーシスによる細胞死が起こっていることが示唆された。

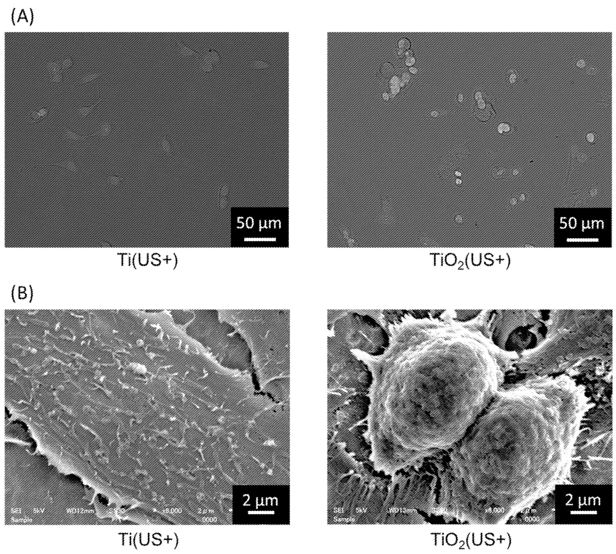


Fig. 7　apoptosis analysis
(A) DAPI, (B) SEM image

5. 結言

本研究では、TiO_2を表面に修飾した金属プレートに接着させたMCF-7細胞に対するTiO_2/ US法の効果について評価を行った。そのため、二酸化チタン修飾を施した金属プレートに超音波を照射した際に生成するOHラジカルの生成量の評価を行った。さらに、金属表面に細胞を接着させたプレートを準備し、そこへ超音波照射を行った際の細胞障害効果を評価した。また、その細胞死メカニズムを複数の解析を行うことで評価した。その結果得られた知見を以下に示す。

(1)OHラジカルの生成量評価の実験において、超音波を照射することでOHラジカルの生成が起こっていることを確認した。さらに、TiO_2修飾の金属プレートに超音波照射を行った際、より高濃度のOHラジカルの生成を確認することができた。

(2)細胞を接着させた金属プレートを用いて超音波照射を行った実験において、超音波を照射していない条件および二酸化チタン修飾を施していない金属プレートに超音波を照射させた条件では、超音波照射後48 hまでの細胞増殖に変化は見られず、細胞障害効果は確認されなかった。一方、TiO_2修飾を施した金属プレートに超音波を照射した条件では超音波照射後48 hまでの細胞増殖が抑えられており、細胞障害効果が引き起こされていることを確認することができた。

(3)上記の実験で確認された細胞障害効果の細胞死メカニズムを核内のクロマチンの凝集、細胞の形態学的変化の2点より解析実験を行った。その結果より、上記の実験で生じた細胞障害効果はアポトーシスに起因した細胞死であることが考えられる。

よって、本実験においてTiO_2修飾を施した金属プレート表面において起こった細胞障害効果はTiO_2/ US法によって生成したOHラジカルの影響であると考えることができる。

Literature cited

1 N. Nitta *et al*, *Jpn J Appl Phys*, 49, 07HF24-1-07HF24-7 (2010)

2 K. Ninomiya *et al*, *Ultrason Sonochem*, 19, 607-614 (2012)

3 T. Mustafa *et al*, *Biomater. Sci.*, 1, 870-880 (2013),

相変化ナノ液滴内包リポソームの開発と超音波刺激 DDS への応用

山下貴広 [1]・仁宮一章 [2]・清水宣明

[1]〒920-1192　金沢市角間町　金沢大学自然科学研究科

[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

1. 諸言および理論

がんの治療法の一つに抗がん剤(化学物質)を用いた化学的療法があるが､副作用による患者への負担が大きいことが問題となっていた。これは十分量の抗がん剤をがん組織のみに送達させることが困難であったためである。この問題を解決するために、抗がん剤を効率良くがん組織にのみ送達させる技術・方法論であるドラッグデリバリーシステム(DDS)が検討されているが、現在の最先端の DDS 手法を持ってしても臨床においてがんに対する根治的な治療とは成り得ていない。

そこで本研究では､従来の DDS 技術と次世代型がん治療として注目されている物理エネルギーの一つである超音波によるキャビテーション効果､およびそれによって生じる局所的高温・高圧場(ホットスポット)の形成を利用し、抗がん剤などの薬剤を必要としない物理的ながん治療を可能とする、新規のがん治療法の構築を目的としている。

本研究では、比較的低い温度下で気-液相変化を引き起こすパーフルオロカーボン(PFC)の一つであるパーフルオロペンタン(PFP)を腫瘍部位に送達させるための運搬体(キャリア)デザインの構築に、それぞれウイルス性・非ウイルス性のドラッグキャリアであるセンダイウイルス(SeV)、およびリポソーム(Lipo)の知見を応用し､両キャリアの性質を持った膜融合リポソーム(FL)を構築した｡さらにこの複合体キャリアに、腫瘍部位に集積させるためにがん細胞認識分子としてアビジンを用い､超音波刺激 DDS によるがん治療を可能とする新規キャリアの構築を目指した(Fig. 2)｡

センダイウイルスはマウスやラットを自然宿主とする呼吸器病ウイルスであり、パラミクソウイルス科のマウスパラインフルエンザウイルス I 型に分類される｡本ウイルスは 1950 年代に日本で分離され､細胞生物学の分野ではその強い細胞融合活性を活かして膜融合機構の解析、あるいは雑種細胞の作製などの研究に広く用いられた経歴を持つ。一方、リポソームは、生体膜成分であるリン脂質によって構成される脂質二重膜構造の小胞体であり、毒性や抗原性が低く、様々な表面修飾が容易で標的化に適することといった薬剤キャリアとしての利点が存在する(Fig. 1)｡

センダイウイルスの細胞膜融合性・リポソームの表面修飾の簡便さ、および毒性の低さという両キャリアの性質を持った膜融合リポソームを適用することで、内部に封入した化学物質を体内・細胞質内の諸酵素の影響を掻い潜って細胞内に直接導入することができるという大きな利点となる。

アビジン(Avi)は生卵白中に 0.06 %程含まれる分子量約 68,000 の低分子糖タンパク質の一種である。このアビジンに含まれる糖鎖が、がん細胞表面に過剰発現されていると考えられているレクチンと結合する性質に着目し、分子標的化の観点から、アビジン分子によるがん細胞の標的化を行った研究が報告されている。本研究においても、膜融合リポソームの表面にアビジンを修飾することで、標的部位に対してより集積性・選択性を持った複合体キャリアの構築を試みた。

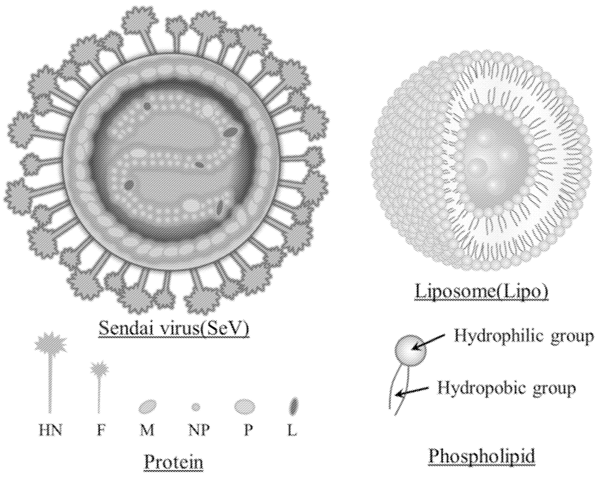


Fig. 1 Structure of Sendai virus and Liposome

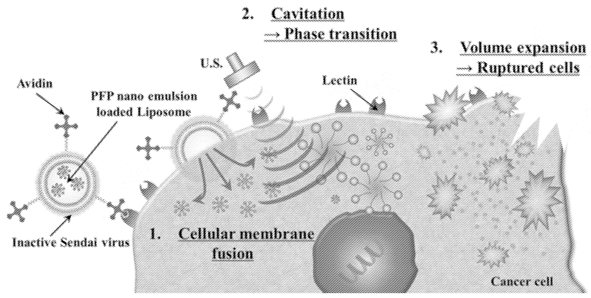


Fig. 2 Schematic illustration of investigation strategy.

2. 実験

2.1 相変化ナノ液滴内包リポソームの作製および評価

PFP のリポソームへの封入

超音波によるキャビテーション効果に応答するリポソームを作製するために、リポソーム内部に PFP を封入した。1,2-Dipalmitoyl-sn-glycerol-3-phosphate monosodium salt(DPPA) 10 mg を 5 %酢酸/クロロホルム溶液(v/v) 5mL に溶解し、エバポレーターにて溶媒を蒸発させることで脂質薄膜を獲得し、PFP 600 µL、リン酸緩衝生理食塩水(PBS) 2 mL を添加し超音波(Cycle 0.5 , 1.5 分 , Amplitude 50)を照射することでナノ液滴(O/W ナノエマルジョン)状態の PFP を作製した。この PFP ナノエマルジョンと凍結乾燥リン脂質(ジミリストイルホスファチジン酸:ジパルミトイルホスファチジルコリン:コレステロール=10: 40: 50(モル比))とを、4℃で 3 時間攪拌する。その後、遠心分離(15,000 rpm, 60 分, 4℃×3 回)・0.1 µm の粒径調整を経て目的の相変化ナノ液滴内包リポソームを得た。

相変化ナノ液滴内包リポソームの超音波応答性評価

相変化ナノ液滴内包リポソーム懸濁液を PBS で希釈し、コニカルチューブ(15 mL)に 5 mL 添加した。超音波(Cycle 0.5 , 10 分 , Amplitude 50)を照射し、懸濁液の観察、および濁度(OD_{600})を測定することによって相変化ナノ液滴内包リポソームの超音波刺激応答性を評価した。

2.2 標的がん指向性・融合能付与型リポソームの作製および評価

リポソームの血中滞留性の向上(ステルス化)、およびリガンドの修飾の補助を目的として、Lipo-Avi 間にポリエチレングリコール(PEG)化リン脂質を修飾した。

アビジン修飾リポソーム(Avi-Lipo)の作製

凍結乾燥リン脂質 20 mg、末端に NHS(N-ヒドロキシスクシンイミド)基を有する PEG 化リン脂質(DSPE-PEG-NHS(ジステアロイルホスファチジルエタノールアミン)) 4 mg、アビジン 2 mg、および PFP ナノエマルジョンの代替となる薬剤モデルとして、蛍光試薬であるカルセイン溶液、またはヨウ化プロピジ

ウム(PI)溶液 1 mL を混合し、4℃で 8 時間撹拌する。その後、遠心分離(15,000 rpm, 60 分, 4℃×3 回)・0.8 μm の粒径調整を経て目的のアビジン修飾リポソームを得た。

膜融合リポソーム(FL)の作製

凍結乾燥リン脂質 20 mg、薬剤モデルとして蛍光試薬であるカルセイン溶液、またはヨウ化プロピジウム(PI)溶液 1 mL を混合し、4℃で 3 時間撹拌する。その後、遠心分離(15,000 rpm, 60 分, 4℃×3 回)・0.8 μm の粒径調整を経た後、不活性化センダイウイルス 0.6 mg を添加し、室温(RT)で 2 時間撹拌する。その後、遠心分離(15,000 rpm, 60 分, 4℃×3 回)を経て目的の膜融合リポソームを得た。

アビジン修飾-膜融合リポソーム(Avi-FL)の作製

凍結乾燥リン脂質 20 mg、末端に NHS(N-ヒドロキシスクシンイミド)基を有する PEG 化リン脂質(DSPE-PEG-NHS(ジステアロイルホスファチジルエタノールアミン)) 4 mg、アビジン 2 mg、および薬剤モデルとして蛍光試薬であるカルセイン溶液、またはヨウ化プロピジウム(PI)溶液 1 mL を混合し、4℃で 3 時間撹拌する。その後、遠心分離(15,000 rpm, 60 分, 4℃×3 回)・0.8 μm の粒径調整を経た後、不活性化センダイウイルス 0.6 mg を添加し、室温(RT)で 2 時間撹拌する。その後、遠心分離(15,000 rpm, 60 分, 4℃×3 回)を経て目的のアビジン修飾-膜融合リポソームを得た。

リポソームのがん細胞への結合能・細胞膜融合能評価

標的がん細胞としてヒト乳がん由来細胞株 MCF-7 を用いた。細胞濃度が 2×10^5 cells/mL となるよう調整し、培養皿に 2 mL 播種した。その後、インキュベータ(37℃, 5 %CO^2)内で 24 時間培養した後、MCF-7 細胞に未修飾リポソーム(Lipo), アビジン修飾リポソーム(Avi-Lipo), 膜融合リポソーム(FL), アビジン修飾-膜融合リポソーム(Avi-FL)の計 4 種のリポソームを添加した。インキュベータ内で 30 分静置後、PBS による洗浄を行い蛍光顕微鏡で細胞を観察した。また、細胞の蛍光を定量的に評価するために、観察後の培養皿から細胞を剥離し、細胞懸濁液の蛍光強度をフローサイトメトリーにて測定した。

2.3 相変化ナノ液滴内包リポソームの *in vitro* での細胞障害効果

細胞濃度が 2×10^5 cells/mL となるよう調整し、培養皿に 2 mL 播種した。その後、インキュベータ(37℃, 5 %CO^2)内で 24 時間培養した後、新しい培地(リポソーム懸濁液を遠心分離し、上澄みを取り除いた後、培地で再懸濁)を 2 mL 添加した。インキュベータ内で 30 分静置後、PBS による洗浄を行い超音波(1 MHz, 1.0~1.4 W/cm^2, 20~50 % Duty 比, 30 秒)を照射した。照射後、インキュベータ内で再び 60 分静置し、その後 PBS による洗浄を行い、細胞を剥離し生細胞数をトリパンブルー染色法により測定した。

3. 結果および考察

3.1 相変化ナノ液滴内包リポソームの超音波応答性評価

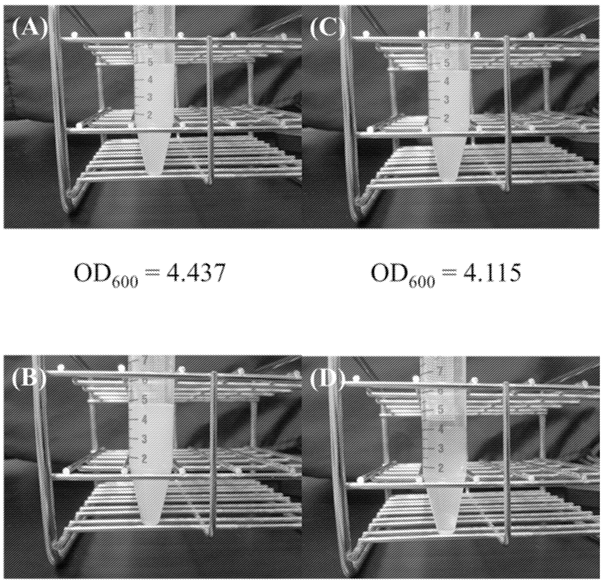
PFP ナノエマルジョンを内包した相変化ナノ液滴内包リポソームの超音波応答性についての評価を行った(Fig. 3)。超音波照射の前後にかかわらず(A)Lipo、および(C)Lipo+超音波(U.S.)のリポソーム崩壊による懸濁液の濁度低下が見受けられなかった。しかし、PFP 内包 Lipo では超音波照射後である(D)PFP 内包 Lipo+U.S.において著しい濁度の低下(OD_{600} の値にして約 1/10)が見受けられた。以上の結果から、相変化ナノ液滴内包リポソームは超音波刺激に応答し、内包物である PFP が気-液相変化反応を引き起こすことで、その急激な体積変化に耐えきれずリポソーム膜の不安定化・崩壊へと移行したことが確認された。

超音波照射による相変化ナノ液滴内包リポソームの崩壊には、

① 超音波エネルギーが熱エネルギーに変換されることによる液温の上昇

② キャビテーションバブル圧壊時に発生する局所的高温場の形成

のいずれかが関与している可能性がある。本実験では①の可能性を排除するために、10 分間の照射時間のうち 30 秒の超音波照射毎に、氷水による 1 分間の冷却時間を設けた。よって、超音波照射による PFP を内包した相変化ナノ液滴内包リポソームの崩壊には、②のキャビテーションバブル圧壊時に形成される局所的な高温場のみが影響している可能性が示唆された。



OD_{600} = 4.437　　OD_{600} = 4.115

OD_{600} = 5.695　　OD_{600} = 0.543

Fig. 3 Image of liposomal suspension

(A), (C) Liposome (B), (D) PFP nano emulsion loaded Liposome

(A), (B) Before an ultrasonic irradiation (C), (D) After an ultrasonic irradiation

3.2 リポソームのがん細胞への結合能・細胞膜融合能評価

アビジン修飾リポソームのがん細胞結合能の評価

リガンドであるアビジンがリポソームに修飾されているかを確認するために、各サンプルを標的がん細胞である MCF-7 に添加した。インキュベート後、洗浄することによりがん細胞に結合していないリポソームを除去し、蛍光顕微鏡にて細胞を観察した(Fig. 4)。リポソーム表面にアビジンが修飾されていれば、アビジン-レクチンの親和性を介してリポソームががん細胞と結合し、カルセインの蛍光が観察されると考えられる。

Fig. 4 より、アビジン修飾リポソーム(Avi-Lipo)を添加した細胞はコントロールである Buffer(PBS のみを添加したもの)や対照(リポソーム(Lipo) , 膜融合リポソーム(FL))の細胞に比べ、カルセイン由来の緑色蛍光が数多く観察された。また、アビジン修飾-膜融合リポソーム(Avi-FL)を添加した細胞も同様に、緑色蛍光が見受けられ、さらに五つのサンプルの中で最も数多くの緑色蛍光が見受けられた。これは、アビジンを表面修飾したリポソームががん細胞膜上のレクチンを介して結合したためであると考えられる。この結果は、フローサイトメトリーによる蛍光強度の定量測定においても同様の結果が得られた(Fig. 5)。

以上の結果より、アビジンを表面修飾したアビジン修飾リポソームのがん細胞への結合が確認された。

次に、細胞膜融合能を司る不活性化センダイウイルスがリポソームに導入されているかを確認するために、各サンプルを標的がん細胞である MCF-7 に添加した。インキュベート後、洗浄することによりがん細胞膜に融合していないリポソームを除去し、蛍光顕微鏡にて細胞を観察した(Fig. 6)。リポソーム表面にセンダイウイルスの膜融合タンパク質が導入されていれば、膜融合によって内包物である PI が細胞質内に直接導入され、PI の蛍光が観察されると考えられる。

Fig. 6 より、膜融合リポソーム(FL)を添加した細胞はコントロールである Buffer(PBS のみを添加したもの)や対照(リポソーム(Lipo) , アビジン修飾リポソーム(Avi-Lipo))の細胞に比べ、PI 由来の赤色蛍光が数多く観察された。また、アビジン修飾-膜融合リポソーム(Avi-FL)を添加した細胞も同様に、赤色蛍光が見受けられ、さらに五つのサンプルの中で最も数多くの赤色蛍光が見受けられた。これは、センダイウイルスの膜融合タンパク質が導入されたリポソームが細胞膜と融合し、内包物が細胞質内に放出されたためであると考えられる。この結果は、フローサイトメトリーによる蛍光強度の定量測定においても同様の結果が得られた(Fig. 7)。

以上の結果より、センダイウイルスの膜融合タンパク質を表面に導入した膜融合リポソームの細胞膜融合性が確認された。

さらに結合・膜融合評価を通して、両性質が自身の性質を互いに抑制し合うことなく、寧ろ相加効果により、個々の能力以上の内包物導入効果が得られることが判明した。

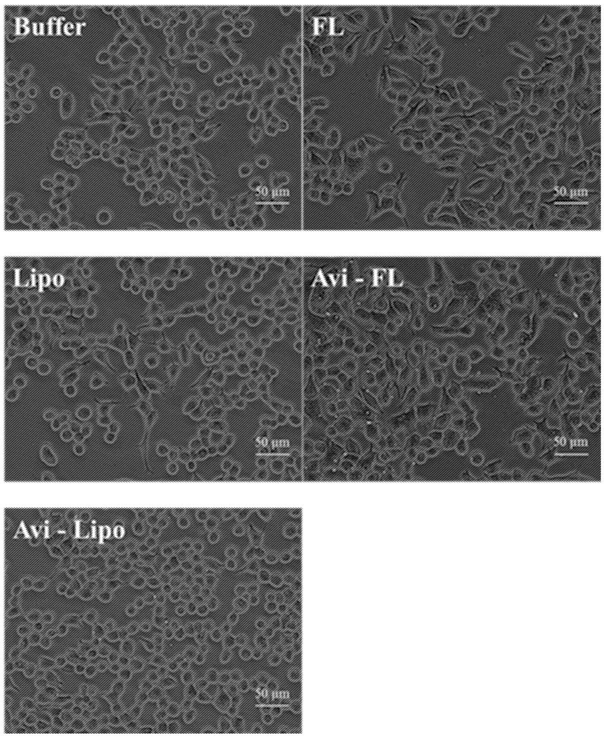


Fig. 4 Confocal imaging of MCF-7 cells at 30 min (Calcein)

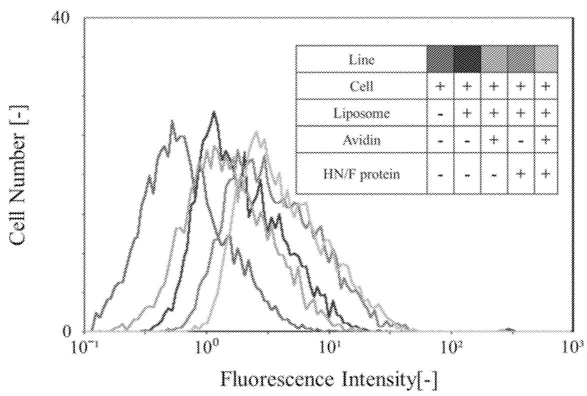


Fig. 5 Evaluation method of cell binding by flow cytometry at 30 min (calcein)

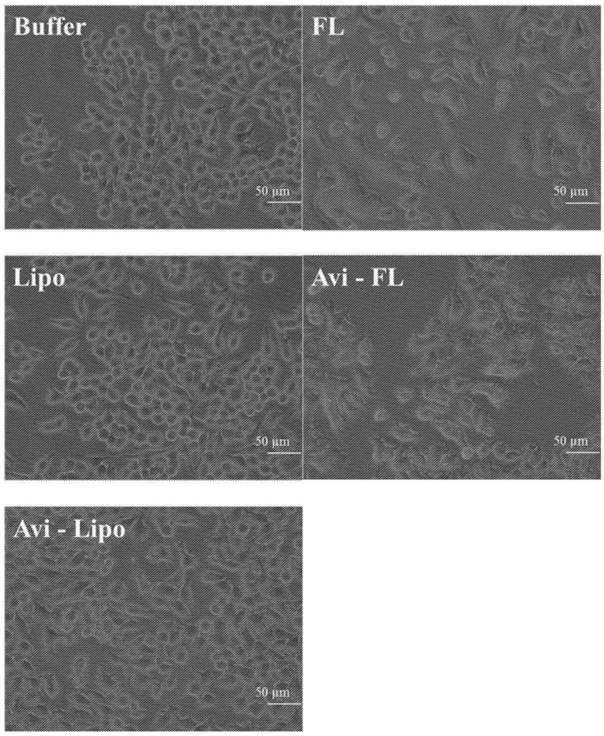


Fig. 6 Confocal imaging of MCF-7 cells at 30 min (PI)

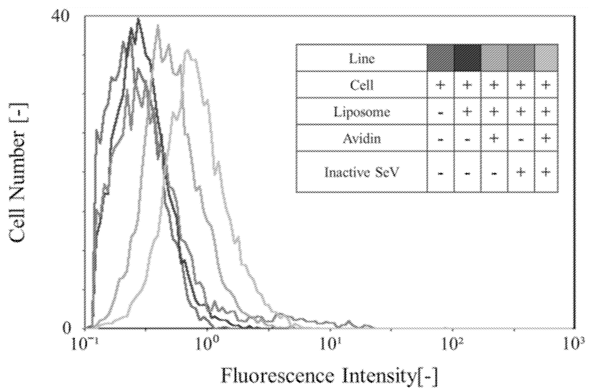
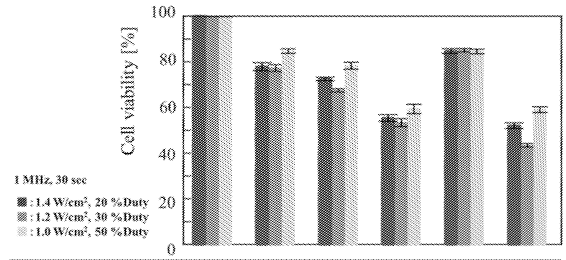


Fig. 7 Evaluation method of cell binding by flow cytometry at 30 min (PI)

3.3 相変化ナノ液滴内包リポソームの *in vitro* での細胞障害効果

作製した相変化ナノ液滴内包リポソームの細胞傷害効果について検討した。結果はFig. 8のようになり、超音波照射条件(1 MHz, 1.2 W/cm^2, 30 % Duty 比, 30 秒)においてアビジン修飾-膜融合リポソーム(Avi-FL)+超音波(U.S.)照射で処理することで最も高い細胞傷害効果を示した。U.S. only, アビジン修飾リポソーム(Avi-Lipo) , アビジン修飾-膜融合リポソーム(Avi-FL)では約 75～85 %の細胞生存率だったのに対して、膜融合リポソーム(FL)+U.S.では約 55 %, Avi-FL+U.S.では約 40%と、細胞生存率が大幅に低下した。これは 3.2 の結果からも、結合能・膜融合能の両性質が相加効果により、個々の能力以上の内包物導入効果が得られたことで、細胞内に取り込まれた PFP ナノエマルジョンの量が最も多かったために高い細胞傷害効果が得られたと考えられる。



U.S.	-	+	+	+	-	+
PFP emulsion loaded Lipo	-	-	+	+	+	+
Avi	-	-	+	-	+	+
Inactive SeV	-	-	-	+	+	+

Fig. 8 Cell viability of MCF-7 exposed to ultrasound and PFP emulsion loaded Liposome

(Each bar mean ± S.E., n=7)

4. 結言

本研究によって得られた知見を以下に示す。

1) 内部にパーフルオロペンタンのナノエマルジョンを封入した相変化ナノ液滴内包リポソームを作製した。
2) 相変化ナノ液滴内包リポソームは、超音波刺激に対し高い応答性があることを確認した。
3) アビジン修飾-膜融合リポソームのがん細胞への結合・細胞膜融合を確認した。
4) 相変化ナノ液滴内包リポソーム系のがん細胞に対する高い障害効果を確認した。

Literature cited

4） Kunisawa, J. *et al. Journal of Controlled Release*, **105**, 344-353 (2005)
5） Javadi, M. *et al. Journal of Controlled Release*, **167**, 92-100 (2013)
6） 河端伸哉：金沢大学修士学位論文 (2010)
7） 田下裕之：金沢大学修士学位

海水硬骨魚（メジナ）の破骨細胞と骨芽細胞に対する無機水銀と有機水銀の影響

谷内口孝治

〒927-0553　鳳珠郡能登町小木ム 4-1,金沢大学　環日本海域環境研究センター　臨海実験施設

Koji YACHIGUCHI : Effect of inorganic mercury and methylmercury on osteoclasts and osteoblasts in the scales of the marine teleost as a model system of bone

【はじめに】

水銀は、毒性が強く残留性も高いため、ひとたび陸地で汚染が拡大すると、やがて河川を経由して海洋汚染へと拡散する。汚染された生物は、生物濃縮を起こすことによりさらに深刻な汚染となることが、水俣病を例として知られている。水俣病は汚染された魚介類の食をとおして、人の中枢神経系に疾患をもたらせた。そのため、神経系に対する作用を中心に解析が進められたが、骨についての研究は十分とは言えない。近年、汚染された魚の研究により、ウロコと筋肉との総水銀濃度において相関関係が高いことが明らかにされ、ウロコを用いた水銀の評価が可能となってきた。また、放射性同位元素を用いた研究から、骨よりもウロコの方がより活発なカルシウムの貯蔵器官であることが認められている。つまり、硬骨魚類のウロコは、ヒトの骨と同じようなカルシウム調節能を有しているのである。

そこで、海水硬骨魚のウロコを使って、新たな *in vitro* 評価システムの開発を行った。さらに、このシステムを用いて、無機水銀（$HgCl_2$: InHg）と有機水銀（CH_3HgCl : MeHg）の破骨細胞と骨芽細胞に対する影響を調べた。

【実験方法】

海水硬骨魚（メジナ、*Girella punctata*）を実験材料として用い、2-フェノキシエタノール（0.004 %）で麻酔してウロコを採取した。この際、およそ同じ大きさのウロコを採取し、ウロコの面積あたりの TRAP や ALP 活性が同じ活性を持つウロコを探索した。さらに、破骨細胞と骨芽細胞の共存状態の形態学的な観察も行った。次に、ほぼ同じ TRAP と ALP 活性を持つウロコを用いて、InHg と MeHg をそれぞれ添加した培地で 6, 18 及び 36 時間培養を行い、InHg と MeHg との作用を比較した。

遺伝子発現の実験に際し、最初に RNA 抽出キット（NucleoSpin RNA Ⅱ、タカラバイオ社、）を使って全 RNA を調製し、cDNA は PrimeScriptTM RT 試薬キット（タカラバイオ社）を用いて合成した。その後、既に報告されている動物群の配列に基づき縮重プライマーを設計して、酒石酸耐性酸性ホスファターゼ (TRAP)、タイプ 1 コラーゲン α1（COL1A1）及びメタロチオネイン (MT) の cDNA 断片をクローニングした。これらの配列に基づき特異的なプライマーを用いてリアルタイム PCR 法で mRNA の変化を調べた。

【実験結果及び考察】

メジナのウロコを採取して、ウロコの面積あたり、TRAP や ALP 活性がほぼ同じになるようなウロコの位置を探した。その結果、１行のウロコの中では、隣同士は活性が非常に近いことが判明した。そこでウロコを交互に分けて、2 群（対照群と実験群）を設定した（Fig. 1)。さらに、形態学的な観察により、ウロコの溝条の部位において、破骨細胞と骨芽細胞の共存が観察された。

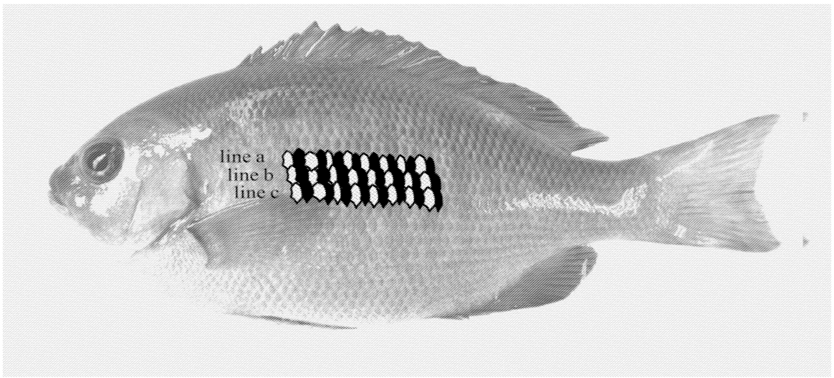


Fig. 1. Location of the scales used in the present study. In nibbler fish, lines of scales of approximately the same size were chosen. In each line, the removed scales were divided into two groups: a control group and an experimental group. The scales of each group are shown in white and black, respectively.

InHg と MeHg のメジナの培養ウロコに対する作用を比較すると、TRAP 活性は、6 時間培養で InHg（10^{-5}～10^{-4} M）処理によって有意に低下した。また MeHg においても 6 時間で TRAP 活性が有意に低下した（10^{-6}～10^{-4} M)。一方、InHg と MeHg の ALP 活性に対する作用を調べた結果、6 時間の培養では変化がなかった。しかし、18 時間や 36 時間の培養では、InHg 及び MeHg ともに ALP の活性が低下していた。InHg 及び MeHg に対する酵素活性の応答性は、いずれも海水硬骨魚のメジナの方が淡水硬骨魚のキンギョの結果と比較して低い傾向にあった。この結果は、淡水魚の方が海水魚より低いカルシウム環境に生息しているため、淡水硬骨魚のウロコの方が、カルシウム代謝に重要な働きをしていることと一致する。

マーカー遺伝子の mRNA 発現解析から、6 時間の培養で、骨芽細胞のマーカーである COL1A1 の mRNA 発現は変わらなかったが、InHg と MeHg で処理したウロコにおける TRAP mRNA の発現量は有意に低下し、MT の発現は上昇していた。この結果は、淡水硬骨魚類のキンギョにおける結果と一致する。6 時間の培養で、骨芽細胞は MT を作ることにより、水銀に対する耐性を得ている可能性がある。

このように破骨細胞と骨芽細胞の関連性がみられる実験結果より、両細胞を同時に行う培養実験は、水銀の骨代謝に対する作用を評価する上で必要である。しかし、破骨細胞と骨芽細胞の共存培養は、特に破骨細胞の取扱いが困難なため容易ではない。そこで本研究では、海水硬骨魚を用いたウロコの *in vitro* 分析システムを開発した。このシステムにより、破骨細胞と骨芽細胞の活性を同時に調べることができた。、さらに、メジナのウロコから TRAP、COL1A1 と MT のクローニングも行うことができ、

遺伝子発現解析も可能になった。したがって、本研究により開発された *in vitro* の評価システムは、重金属の骨に対する作用を調べるのに有効であると思われる。

　本研究は、金沢大学大学院自然科学研究科生命科学専攻　谷内口孝治氏の学位論文の一環として行われた。なお、本研究の成果の一部は、Yachiguchi,K.,et al.: Effect of inorganic mercury and methylmercury on osteoclasts and osteoblasts in the scales of the marine teleost as a model system of bone. Zoological Science (Submitted :Dec. 2013)　に記載した。本研究は、多くの研究者にご協力・ご支援していただいた成果である。

臨海実験施設周辺における海水温度と塩分、気温と湿度の観測

小木曽正造，又多政博

〒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

Shouzo　OGISO，Masahiro　MATADA：The observation of seawater temperature, salinity and atmospheric temperature around the Noto Marine Laboratory

【はじめに】

臨海実験施設では、1975 年以前（当時理学部附属臨海実験所）より 1994 年まで施設前にて表面海水の水温と比重、気温の測定を行っていた。1980 年から 1985 年までは九十九湾内 2 カ所、湾口及び湾沖の計 4 か所にて月 1 回の定点観測を行い、各地点の水深 0 m、5 m、20 m の水温と比重や溶存酸素量（DO）などを記録した。これらのうち、1980 年から 1985 年の 6 年間分は金沢大学能登臨海実験所年報 1980～1985 で報告している。

1994 年に近隣にのと海洋ふれあいセンターが開館し、毎日の気象と海水温等の観測と、月 1 回の九十九湾内外での定点観測が行われるようになり、それ以降、当施設での観測は行わなかった。

2012 年 7 月に当施設が教育関係共同利用拠点として文部科学省に認定されたことを受け、当施設を利用した実習･演習などの教育や研究の基礎資料とするため、2013 年 10 月より海水温と塩分、2013 年 12 月より気温等の観測を再開した。

【測定方法】

海水温と塩分

施設前の浮桟橋に日油技研工業株式会社製「水温リモート監視装置 AEM-04H」を設置し、水温計アレイ（H）（精度±0.1℃）を用いて水深 5.0 m 及び 7.5 m における水温を 1 時間に 1 回測定している。また、水深 0.5 m では JFE アドバンテック株式会社製「ワイパー式メモリー水温塩分計 INFINITY-CTW ACTW-USB」を用いて水温（精度±0.01℃、分解能 0.001℃）と電気伝導度（精度±0.01mS/cm、分解能 0.001 mS/cm）を測定し、電気伝導度を実用塩分に換算している。測定したデータは「データ転送装置 Aqua e monitor」によって 1 日に数回電子メールで送信され、集計ソフト「e monitor Compiler 2」で自動的に記録される。

気温と湿度

過去に気温測定を行っていたのと同じ直射日光が当たらず、風通しの良い地上 180 cm の高さに fourtec 社製「温湿度データロガーMicroLite LITE5032P-RH」を設置し、気温（精度±0.3℃、分解能 0.1℃）と湿度（精度±2 %、分解能 0.5 %）を 1 時間に 1 回測定している。機器を月 1 度回収し、データを保存している。

【結果と考察】

月別の平均水温を見るといずれの水深でも 3 月が最も低く、水深 0.5 m、5.0 m、7.5 m でそれぞれ 9.66℃、9.3℃、9.5℃だった（Figs. 1, 2, 3）。測定値全体での最低水温は 2 月 15 日 8:00 の水深 0.5 m で 8.35℃だった。

月別の平均塩分は 10 月から徐々に上昇し、3 月が最も高く 33.54 だった（Fig. 4）。測定値全体での最高塩分は 3 月 9 日 3:00、4:00、5:00 の 33.92 で、最低塩分は 11 月 20 日 0:00 の 28.48 だった。

月別の平均気温は 2 月が最も低く、2.6℃で、全体の最低気温は 2 月 5 日 23:00 の-3.3℃だった（Fig. 5)。月別平均湿度の最高は 12 月の 89 ％で最低は 2 月の 83 ％だった（Fig. 6)。

今後のデータ蓄積により、年ごとの比較や各水深における水温変化の比較を行うなどして、九十九湾における気象観測の基礎資料として有効活用したい。研究者等から依頼があれば、各データを Excel 表で提供したり、機器の測定間隔を縮めたりすることも可能である。

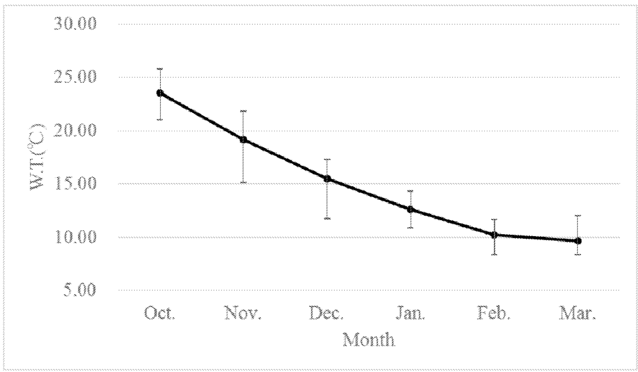


Fig. 1. Monthly average water temperature at a depth of 0.5m. Vertical bars indicate the range of the highest and lowest temperature.

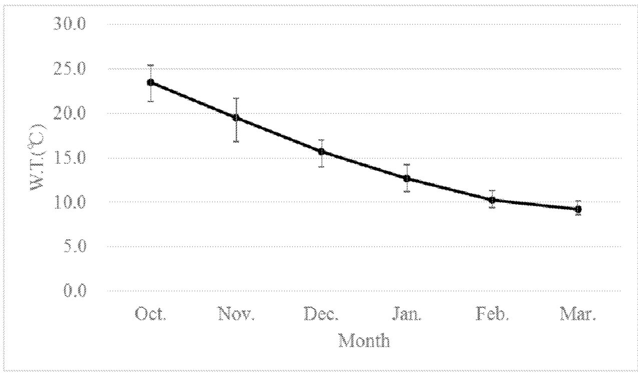


Fig. 2. Monthly average water temperature at a depth of 5.0m. Vertical bars indicate the range of the highest and lowest temperature.

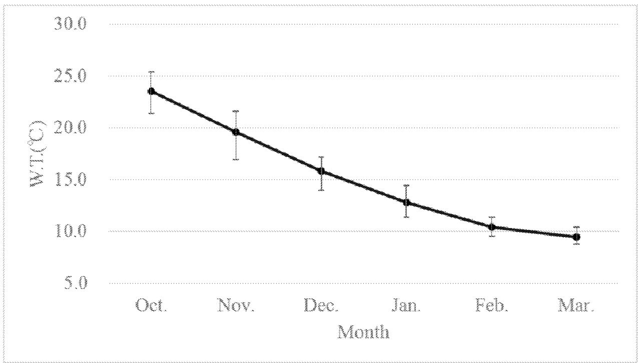


Fig. 3. Monthly average water temperature at a depth of 7.5m. Vertical bars indicate the range of the highest and lowest temperature.

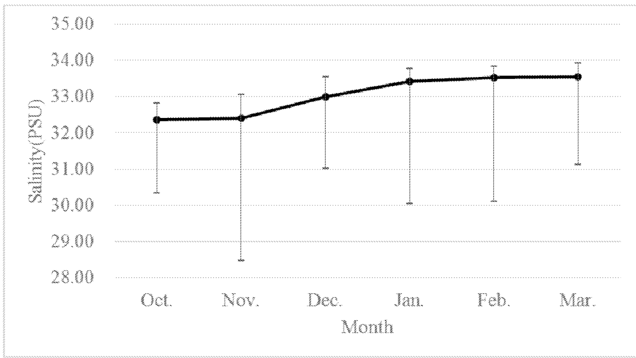


Fig. 4. Monthly average salinity at a depth of 0.5m. Vertical bars indicate the range of the highest and lowest salinity.

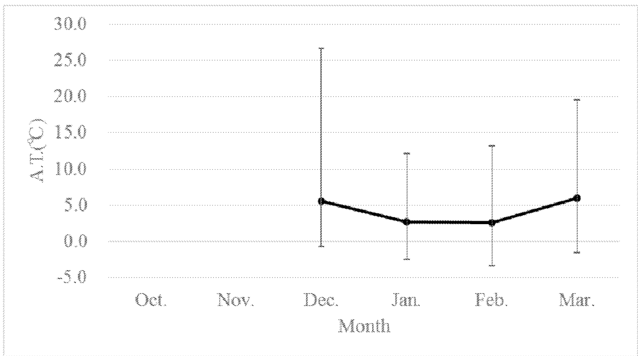


Fig. 5. Monthly average atmospheric temperature. Vertical bars indicate the range of the highest and lowest temperature.

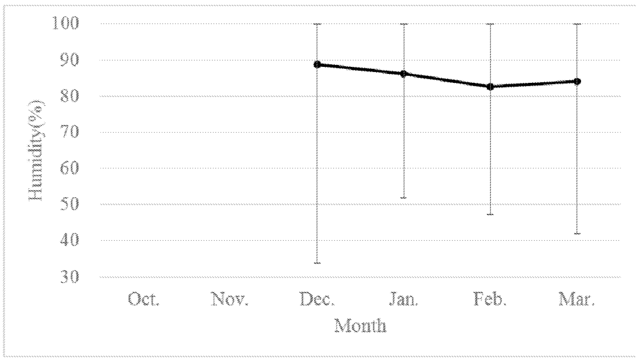


Fig. 6. Monthly average Humidity. Vertical bars indicate the range of the highest and lowest temperature.

新規メラトニン誘導体の骨代謝に対する作用

帖地 藍, 関口俊男, 鈴木信雄

〒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

Ai Chouchi, Toshio Sekiguchi, Nobuo Suzuki: Effect of novel melatonin deraivatives on bone metabolism.

【背景】

メラトニンは、概日リズムを調節するホルモンであるが、最近、骨代謝への関与を示唆する報告がある。一方、真骨魚類のウロコには哺乳類の骨と同様に、骨芽細胞と破骨細胞が共存しており、ヒトの膜性骨（頭蓋骨及び鎖骨）と非常によく似た骨形成・骨代謝を行う（Suzuki et al., 2008a)。そこでメラトニンの骨に対する作用を、ウロコという骨モデルを用いて *in vitro* で解析した。その結果、メラトニンは骨芽細胞と破骨細胞の両方の細胞の活性を抑制することがわかった（Suzuki and Hattori, 2002)。さらに、メラトニンの新規誘導体（1-benzyl-2,4,6-tribromo-melatonin: BTBM）(Fig. 1) を合成し、ウロコに対する作用を調べた結果、新規メラトニン誘導体は、骨芽細胞の活性を上昇させるが、破骨細胞の活性を抑制することをウロコの *in vitro* の培養系により見出した（Suzuki et al., 2008b)。

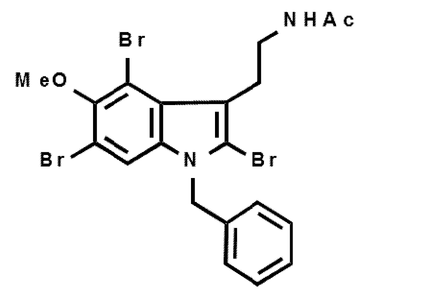


Fig.1. Structure of novel melatonin derivatives（1-benzyl-2,4,6-tribromo-melatonin）

【目的】

本研究では、以下の 2 種類の実験を行った。実験 1 では、魚の骨代謝に対する新規メラトニン誘導体の作用を調べるために、キンギョを用いて *in vivo* の実験を行い、*in vitro* で行った実験の再現性を調べた。次に、実験２では、ラット（骨折治癒モデル）を用いた *in vivo* の実験により、魚類で得られた結果の再現性を哺乳類で確認すると共に、骨折治癒の効果を調べた。

【方法】

実験１：魚の骨代謝に対する BTBM の作用（*in vivo*）

内在性の性ホルモンの影響を除くために、材料として、未成熟なキンギョ（*Carassius auratus*）(体重 4 - 6 g）を用いた。キンギョの腹腔内に BTBM を 0.5 g/ g body weight の割合で未成熟なキンギョに投与し、1、2、及び 3 日目にそれぞれのキンギョの鰓を切断して、ヘパリン処理したキャピラリーを用いて採血し、さらにウロコを採取して細胞活性と遺伝子発現を調べた（それぞれの日数において、n = 10)。なお、BTBM は、1% DMSO に溶解して、キンギョの腹腔内に投与した。一方、コントロールも実験群と同様に 1% DMSO を腹腔内に投与して、1、2、及び 3 日目に採血及びウロコを採取した。採取した血液及びウロコは、測定まで-80℃で保管した。

血液中のカルシウム濃度は、和光のキットを用いて測定した。一方、ウロコで発現している遺伝子を調べるために、まず、キアゲンのキットを用いてトータル RNA を抽出して、タカラのキットを用いて cDNA 合成を行った。その後、リアルタイム PCR により、ウロコで発現している骨代謝マーカー遺伝子を解析した。

実験２：ラット（哺乳類）の骨代謝に対する BTBM の作用（*in vivo*）

ラットの実験は、ハムリー株式会社で実施した。5 週齢の SD ラットを用いて、通常食を与え、バリアシステム（BSL2 レベル）で飼育した。ラットは、左側の大腿骨の骨幹部を外科的に切断した骨折治癒モデルを用いた。陽性対照薬にビスホスホネートの 1 種であるアレンドロ酸ナトリウム（ALN）を用いて、BTBM との作用を比較した。ALN は、現在、ヒトの骨疾患の治療薬として実際

に使用されている化合物である。ALN（20 μg/kg）を1週間に3回投与した。一方、BTBMは0.6 mg/headを1日1回、毎日投与した。投与開始後4週目と8週目で大腿骨及び血液を採取した。骨は破砕し、TaKaRaのキットを用いてトータルRNAを抽出して、cDNAを合成した。その後、リアルタイムPCRにより、ウロコで発現している骨代謝マーカー遺伝子を解析した。一方、血液中のカルシウム濃度は、魚と同様にして和光のキットを用いた測定した。

【結果】

実験１：魚の骨代謝に対する新規メラトニン誘導体の作用（*in vivo*）

　BTBM を投与してから 1 日目において、有意に血漿中のカルシウム濃度が低下した。そこで、1日目にサンプリングしたウロコの細胞活性を測定した。その結果、破骨細胞の活性が有意に低下していることがわかった。また破骨細胞のマーカーを解析した結果、破骨細胞のマーカーであるカテプシン K 及び酒石酸抵抗性酸フォスファターゼ mRNA の発現量が低下していることがわかった。さらに骨芽細胞で発現して、破骨細胞を活性化する遺伝子（RANKL）の発現量が有意に低下した。

実験２：ラット（哺乳類）の骨代謝に対する BTBM の作用（*in vivo*）

　キンギョのみならずラットにおいても、BTBM を投与して 4 週間後に、血液中のカルシウム濃度が有意に低下した。なお、8 週後には対照群の値にまで回復していた。一方、ALN を投与すると、血液中のカルシウム濃度は、有意差は認められなかったが、上昇する傾向があった。骨代謝マーカーの mRNA の発現を調べた結果、骨折治癒が完了していない 4 週齢で有意な変化が認められた。非骨折部位において、破骨細胞の吸収抑制効果が認められ、骨折部位でも同様の変化があった。さらに骨芽細胞のマーカーにおいては、有意差は認められなかったが、上昇傾向が認められた。したがって、骨折部位及び非骨折部位においても、骨形成が進行している方向で作用していることが判明した。

【まとめ】

１）キンギョを用いた *in vivo* の実験により、BTBM は破骨細胞に作用して、破骨細胞の活性を抑制することにより、血液中のカルシウム濃度を低下させることが判明した。
２）BTBM は骨芽細胞で発現して破骨細胞を活性化させる因子（RANKL）の発現も抑制することがわかった。
３）ラットにおいても、BTBM は骨吸収抑制作用があり、血液中のカルシウム濃度を低下させ、骨吸収を抑制して、骨形成も促すことがわかった。さらに、骨折治癒にも有効である可能性が示された。

【引用文献】

Suzuki, N. and Hattori, A.: Melatonin suppresses osteoclastic and osteoblastic activities in the scales of goldfish. *J. Pineal Res*., **33**: 253-258 (2002)

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 (2008a)

Suzuki, N., Somei, M., Kitamura, K., 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 (2008b)

（本研究は、金沢大学自然システム学類生物コース　帖地藍氏の卒業論文の一環として行われた)

アオゴカイにおけるメラトニンの同定

新田沙織，関口俊男，鈴木信雄

〒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

Saori Nitta, Toshio Sekiguchi, Nobuo Suzuki: Idenitification of melatonin in annelid, *Perinereis aibuhitensis*

【背景】

メラトニンは分子量 232 のアミンであり、その産生量は脊椎動物において、暗期に高く明期に低いリズムを示している。その生理的機能は概日リズムへの同調機構、季節性の繁殖の調節機能、抗酸化物質としての酸化ストレス応答等が知られている。メラトニンは、トリプトファンを出発物質として、5-ヒドロキシトリプトファン、セロトニン（5－ヒドロキシトリプタミン）、N-アセチルセロトニンを経て合成される。哺乳類におけるメラトニン合成の律速段階段階として、セロトニンからN－アセチルセロトニンへの合成が重要であるとされており、この酵素の発現が夜間に高くなることにより、夜間にメラトニンの合成が促進される。このN-アセチルセロトニンの合成に関与するのが、アリルアルキルアミン N-アセチルトランスフェラーゼ（AANAT）である。

上記の知見は、主にヒトを含めた脊椎動物の研究により得られたものであり、無脊椎動物におけるメラトニンの役割や合成経路は不明な点が多く、特に環形動物ではメラトニンも同定されていない。

【目的】

本研究では、海産環形動物であるアオゴカイ (*Perinereis aibuhitensis*) に注目してメラトニンの同定研究を行った。

【方法】

<u>材料と飼育方法</u>

アオゴカイ成体（*Perinereis aibuhitensis*）は、伊豆中央水産から購入した（Fig. 1）。インキュベーター(Panasonic MIR-154) を用い、19℃300 lux の光を 12 時間の明暗サイクルで、最低 5 日間飼育した。

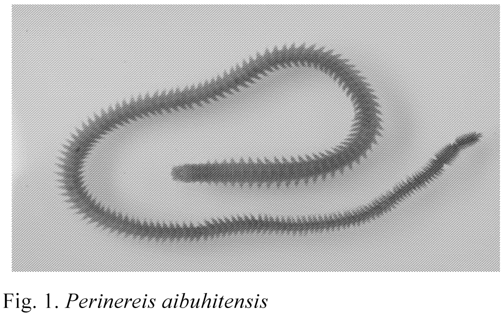


Fig. 1. *Perinereis aibuhitensis*

<u>実験 1, アオゴカイ頭部におけるメラトニンの同定</u>

アオゴカイの頭部を夜 24:00 に 20 個体分採取し、クロロホルム 1ml に浸漬、10℃で 24 時間撹拌した。クロロホルム層を回収し、窒素乾固後、高速液体クロマトグラフィー (HPLC) 用のバッファー(メタノール 30%、酢酸アンモニウム 50 mM、pH4.8) 300 μl に溶解した。試料は、HPLC (Hitachi Model D-2000 Elite) を用い、C18 カラムに対し、バッファーを流速 0.8 ml/min で分析した。メラトニン標準物質と同一のリテンションタイムを示すピークを分取

し、液体高速クロマトグラフ/タンデム質量分析器 (LC/MC/MC) を用いメラトニンであることを確認した。

実験 2. メラトニン合成に関わる酵素活性の検討

12 時間の明暗サイクルに順化させたアオゴカイの頭部を明期（12:00）に 10 個体採取し、PBS 3 ml でホモジェナイズし、セロトニンとアセチル coA を加え 26℃で 30 分インキュベートした。ネガティブコントロールとして、PBS にセロトニンとアセチル CoA を加えたサンプル、ゴカイ頭部ホモジェネートにアセチル CoA のみ加えたサンプルを用意し、同様の条件でインキュベートした。各サンプルは、メラトニン分析と同じ条件によって HPLC で分析した。産物の有無は、N-アセチルセロトニン標準物質との比較で検討した。

【結果】

実験 1, アオゴカイ頭部におけるメラトニンの同定

アオゴカイにおいてメラトニンを同定する為に、頭部をクロロホルム抽出し、HPLC を用い分析した結果、メラトニンの標準物質と同じリテンションタイムである部分ににピークが検出された。さらにこのピークを回収し、LC/MS/MS により質量分析した結果、233 と 174.4 にピークをもつメラトニンに特異的なシグナルパターンを得たため、ゴカイ頭部におけるメラトニンの存在を確認した。

実験 2. メラトニン合成に関わる酵素活性の検討

ゴカイのメラトニン合成経路を明らかにするために、哺乳類におけるメラトニン合成の律速酵素である AANAT の酵素活性を、明期のアオゴカイを使用して検討した結果、ゴカイ頭部抽出液にセロトニンとアセチル CoA を加えることで、N-アセチルセロトニンが生成された。加えて、PBS にセロトニンとアセチル CoA を加えたサンプルと、ゴカイ頭部にアセチル CoA のみ加えたサンプルの分析より、基質と補酵素のみで N-アセチルセロトニンが生成しないこと、本解析におけるゴカイ頭部抽出液の量では、セロトニンないし、N-アセチルセロトニンの混入がほとんど認められないことを示した。以上のことから、ゴカイがメラトニンを合成していること、メラトニン合成に AANAT が関与していることを明らかにした。

【まとめ】

１）HPLC と LC/MS/MS を用いた解析より、
アオゴカイにメラトニンが存在することを明らかにした。

２）AANAT 活性実験の結果、
アオゴカイがメラトニンを合成していること、メラトニンの合成経路が脊椎動物と類似していることを明らかにした。

（本研究は、金沢大学自然システム学類生物コース　新田沙織氏の卒業論文の一環として行われた)

多環芳香族炭化水素類の魚類の骨代謝に対する作用

表　俊樹，関口俊男，鈴木信雄
〒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

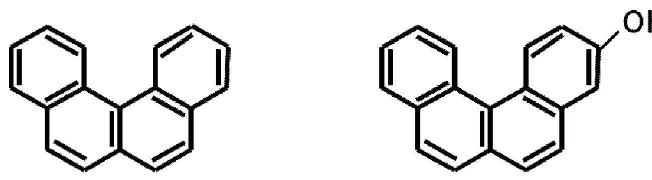
Toshiki Omote, Toshio Sekiguchi, Nobuo Suzuki: Effect of polycyclic aromatic hydrocarbon (PAH) on bone metabolism in teleosts.

【背景】

多環芳香族炭化水素（Polycyclic aromatic hydrocarbon: PAH）類は原油に含まれる環境汚染物質の一つであり、重油流出事故等を通じて海洋汚染を引き起こす。実際に原油汚染海水で孵化した稚魚には脊柱彎曲が観察されているが（Incarbona et al., 2005）、その発症機序は不明である。そこで骨のモデルとして骨芽細胞と破骨細胞が共存するウロコ（Suzuki et al., 2007）を用いて、PAH 類の骨代謝に対する作用を解析した。

【目的】

本研究では、再生ウロコは骨芽細胞と破骨細胞のいずれの活性も高い（Suzuki et al., 2009）ことから、再生ウロコを用いた。PAH 類として注目しているのは、Benzo[*c*]phenanthrene（BcP）（Fig. 1）である。この化合物は、メダカの胚を用いた実験で毒性が強いことが、当研究室で明らかにされている。さらに、この BcP の代謝産物である水酸化体（3-OHBcP: 3-hydroxybenzo[*c*]phenanthrene）（Fig. 1）の毒性が BcP よりも強いこともメダカの胚を用いた実験で明らかになったので、BcP 及び 3-OHBcP に注目して実験を行った。*in vivo* の実験では、親化合物である BcP の投与によるウロコの再生率（%）に対する影響を調べ、さらに実際に BcP が代謝され、3-OHBcP に変換したことを確認した。即ち、BcP を腹腔内に投与後、胆汁を採取して胆汁中の水酸化体を解析した。*in vitro* の実験では、BcP と 3-OHBcP の骨芽細胞及び破骨細胞に対する作用を調べるために、再生ウロコの培養系で解析した。



Benzo[*c*]phenanthrene (BcP)　　3-Hydroxybenzo[*c*]phenanthrene (3-OHBcP)

Fig. 1. PAHs used in this study.

【方法】

実験１：キンギョのウロコの再生率に対する BcP の影響（*in vivo*）

麻酔下でキンギョからウロコを抜き、そのキンギョの腹腔内に BcP をそれぞれ 0.1 ng/g body weight の割合で 3 日おきに投与し、25℃ でキンギョを飼育した。ウロコの再生段階で細胞活性が盛んな時期である 12 日目に再生ウロコを採取した。採取した再生前のウロコの面積を 100 とした時の割合を調べた。さらに *in vivo* の実験では、BcP が実際に代謝され水酸化体に変換したことを確認するため、胆汁を採取して胆汁中の BcP の水酸化体を解析した。

実験２：キンギョのウロコの骨芽及び破骨細胞に対する PAH と OHPAH 類の影響（*in vitro*）

麻酔下でオスのキンギョ（*Carassius auratus*）からウロコを抜き、12 日後に、再度麻酔下で再生ウロコを採取した。採取した再生ウロコを 10^{-11}、10^{-10}、10^{-9}、10^{-8}、10^{-7} M の BcP と 3-OHBcP をそれぞれ添加した培地（L-15 培地）で 6 時間培養した。なお、これらの化合物はエタノールに溶解していたので、対照群にはそれと同様のエタノール（0.1%）を添加した。キンギョの右と左側の同じ位置のウロコは骨代謝がほぼ同じであることから、左側に試験物質を、右側にエタノールをコント

ロールとして入れ、左右同じ位置のウロコで比較した。6 時間培養後、－80℃で急速冷凍し、保存した。その後、常温で解凍し、破骨細胞活性マーカーとして酒石酸耐性酸ホファターゼ の活性を、*p*-ニトロフェニルリン酸ニナトリウムを基質として pH5.3 の酸性酒石酸緩衝液中で生成する *p*-ニトロフェノールを 405 nm で吸光度を測定することによって求めた。骨芽細胞活性マーカーとしてアルカリホファターゼの活性を、*p*-ニトロフェニルリン酸ニナトリウムを基質として、pH 9.5 の 100 mM トリス・塩酸緩衝液中で生成する *p*-ニトロフェノールを同様に測定することによって求めた。ウロコの面積は、メチレンブルー染色を施してイメージスキャナーにより自動測定した。本研究では、20 匹のキンギョを用いた。1 個体からそれぞれ 8 枚のウロコをとり、その 8 枚の平均値を実験群と対照群との間で比較した。

【結果】

実験１：キンギョのウロコの骨芽及び破骨細胞に対する PAH と OHPAH 類の影響（*in vitro*）

in vivo の実験においては、ウロコの再生率は、12 日目で有意に低下することが判明した。胆汁中の OHBcP 類については、BcP を投与したキンギョから 3-OHBcP が検出され、実際にキンギョにおいて BcP が代謝されて、3-OHBcP が作られていることが判明した。

実験２：キンギョのウロコの骨芽及び破骨細胞に対する PAH と OHPAH 類の影響（*in vitro*）

in vitro の実験において、3-OHBcP を添加して培養した時に濃度依存的に骨芽細胞の活性の低下し、10^{-10} M においても有意差が認められた。しかし BcP を添加した場合は、骨芽細胞の活性には影響を示さなかった。破骨細胞においては、BcP 及び 3-OHBcP を添加しても有意な変化は見られなかった。

【まとめ】

１）非常に低い濃度の BcP（0.1 ng/g body weight）を投与しても、キンギョのウロコの再生率が低下することが判明した。
２）BcP を投与したキンギョの胆汁から 3-OHBcP が検出された。
３）*in vitro* の実験により、骨芽細胞の活性を抑制するのは、BcP ではなく、3-OHBcP であることが判明した。

以上のことから、PAH 類は、水酸化体に変換されることで魚の骨代謝に毒性を発生している可能性が高いことがわかった。現在、ゼブラフィッシュのウロコを用いた GeneChip 解析を行い、詳細な機構を調べている。

【引用文献】

Incarbona, J. P., et al., Aryl hydrocarbon receptor-independent toxicity of weathered crude oil during fish development. *Environ. Health Perspect.*, **113**, 1755-1762 (2005).

Suzuki, N., et al., Effect of vibration with a frequency on osteoblastic and osteoclastic activities: Analysis of bone metabolism using goldfish scale as a model for bone. *Adv. Space Res*., **40**,1711-1721 (2007)

Suzuki, N., et al., Response of osteoblasts and osteoclasts in regenerating scales to gravity loading. *Biol. Sci. Space*, **23**, 211-217 (2009)

（本研究は、金沢大学自然システム学類生物コース　表　俊樹氏の卒業論文の一環として行われた)

ウマノミツバ属植物 2 種(セリ科)の生活史の比較

池嶋美佳・木下栄一郎

〒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

Mika IKEJIMA and Eiichiro KINOSHITA :

Comparisons of life histories between two species of *Sanicula* (Apiaceae)

はじめに

生活史とは、生物個体が出生してから死ぬまでにおこることの総体である(河野　1984a)。自然界で存続するために、種は固有の生活史戦略を備えている。つまり生活史の研究は生物の「種とはなにか」、あるいは「種分化」の解明をめざす研究である。

ウマノミツバ属植物(セリ科)は日本国内に 5 種自生している(佐竹ほか　1982)。そのうち、ウマノミツバ(*Sanicula chinensis* Bunge)は全国各地の林床に生育している。しかし、ほかの 4 種はいずれも特定の地域にのみ生育している希少種である。近年、石川県内の数か所で新たなウマノミツバ属植物が発見され、新種記載される予定である。ここではホクリクトキワミツバと仮称する。

目的

本研究は、ウマノミツバとホクリクトキワミツバの生活史を比較し、2　種の生活史と生育環境との関係について考察をする。

方法

調査地として、ウマノミツバは石川県金沢市金沢大学キャンパス内、ホクリクトキワミツバは石川県小松市を選定した。それぞれの調査区において、2013 年 3 月に無作為に選んだ 40 個体を標識した。2013 年の 12 月まで、2 週間に 1 回の頻度で追跡調査をおこなった。計測項目は以下のとおりであった：根出葉数、根出葉身長、根出葉柄長、花茎数、花茎長、花数。また、必要に応じて生育地の植生調査や掘り取りによる地下部の調査もおこなった。

結果

(1)生育地

ウマノミツバの調査地の生育地は相対照度の低い山地の林床である。出現頻度の高かったものは、高木層でスギ・ミズキ・コブシ、低木層でムラサキシキブ・ケナシヤブデマリであった。草本層はダイコンソウ・ミズヒキ・ツリフネソウ・ミゾソバ・リョウメンシダなどの草丈が 30 ㎝以上にもなる植物が生育していた。

ホクリクトキワミツバの調査地の生育地は日当たりのよい河川の氾濫原である。そこでは年に数回増水し植生の攪乱がおこるため、草丈の低い草本群落が発達していた。出現頻度の高かったものは、ウワバミソウ・ダイコンソウ・ミツバ・ミズヒキ・コチャルメルソウ・シケシダなどであった。これらの草丈はたかだか 30 ㎝ほどであった。生育地の横の河川は 2013 年 7 月～9 月にかけて数回増水し、生育地は完全に水没した。その期間に花や果実をつけていた植物(ウワバミソウ・ダイコンソウなど)の地上部は流されていた。

(2)生活史特性の比較

ウマノミツバとホクリクトキワミツバの生活史は多くの点で異なっていた。それらの違いを表 1 に示した。

表 1. 生育地と生活史特性の比較

	ウマノミツバ	ホクリクトキワミツバ
生育地	山地の林床	河川の氾濫原
生育型	夏緑性多年生草本	常緑性多年生草本
根茎	直立	匍匐
地上茎	1 本	なし
繁殖様式	種子繁殖･栄養繁殖	種子繁殖
繁殖型	1 回繁殖	多回繁殖
花期	6 月中旬～8 月下旬	3 月下旬～5 月上旬
種子散布時期	7 月中旬～9 月下旬	5 月中旬～6 月下旬

考察

ウマノミツバとホクリクトキワミツバは、繁殖様式、地上茎の有無、根茎、花と葉のフェノロジーが異なっていた。これらの相違点は生育地の環境のちがいを反映している。ウマノミツバは撹乱の少ない林床で生育していた。ウマノミツバの形態や繁殖様式は、安定した林床で生育できることを示している(河野 1984b)。したがって、ウマノミツバは安定した林床で存続できる生活史をもつ。一方、ホクリクトキワミツバの生活史は、資源をめぐる他種との競争の結果、安定した林床で成長･繁殖できないことを示唆している。

ホクリクトキワミツバの形態や繁殖様式は、撹乱が非常に大きな氾濫原で生育し繁殖することを可能にしている。ホクリクトキワミツバは地上茎をもたず、発達した匍匐根茎をもつ。そのため増水時でも水に流されないですむ。またホクリクトキワミツバは匍匐根茎から根出葉や花茎を出す。この生育地では草丈の高い植物がいないので、匍匐根茎から根出葉や花茎を出していても光合成をおこなうことができる。また、ホクリクトキワミツバの根出葉は常緑なので、雪解けとともに活動を開始でき、すぐに開花し種子を完熟させる。この早い開花および結実は、増水する前に種子を散布することを可能にしている(図 1)。

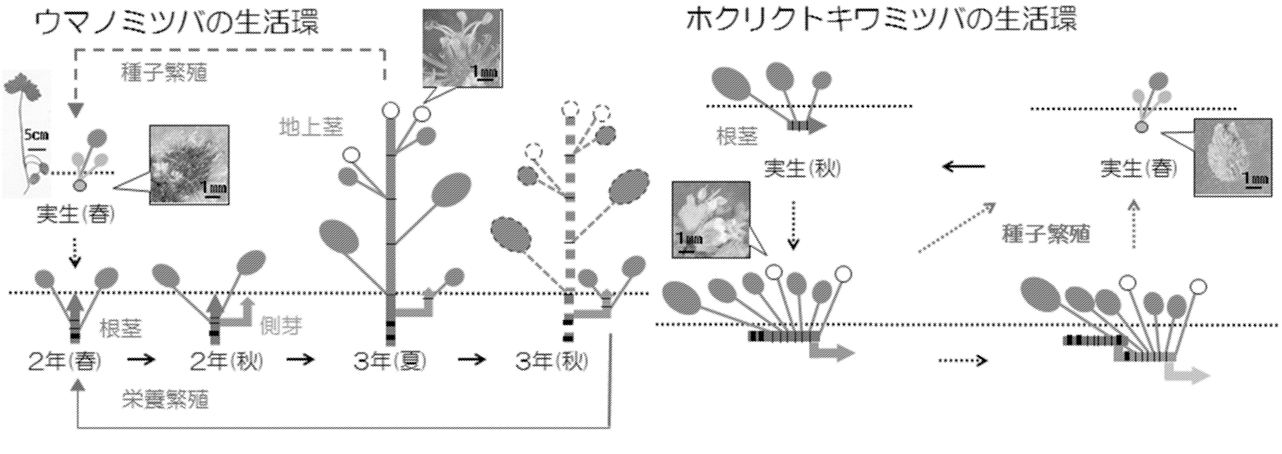


図 1,ウマノミツバとホクリクトキワミツバの生活環

謝辞

本研究の現地調査、資料提供に対して以下の方がたに協力していただきました。ここに記してお礼を申しあげます：山本多代、中野真理子、西井武秀。

針状磁気プローブによるうず電流探傷信号の
ホール内キズ形状による依存性

金森周矢，山田外史，上野敏幸
環日本海域環境研究センター，金沢大学

1. はじめに

うず電流探傷法は，非破壊検査の一種で主に非磁性導体の表面キズの探傷に利用されている。リベット穴や加工溝中などのキズを探傷するには，プローブのサイズは走査範囲に対して小さなものが要求される。そこで，スピンバルブ形巨大磁気抵抗(SV-GMR)に注目し，先端にGMRセンサがついた超小形針形状磁気プローブを考案した[1]。今回，この針状磁気プローブを利用して，金属の円筒穴のキズに対してうず電流探傷の実験を行ない，キズが表面まで達しているサンプルと達していないサンプルの比較を行った。

2. 針状磁気プローブを用いたうず電流探傷

円筒穴内部の探傷原理をFig.1に示す。プローブを円筒穴の内部に挿入し，側面に沿ってθ方向に回転走査する。キズ付近では，うず電流はz方向に流れθ方向の磁界が顕著になる[1]。プローブの感度方向をθ方向となるように配置することで，プローブがキズ付近を通過するとき出力が変化し，大小の極値が得られると考えられる。

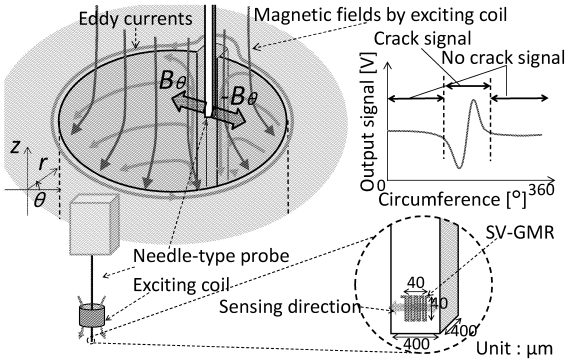


Fig.1 Principle of inspection inside hole

3. 円筒穴内部の探傷実験

Fig. 2に示すキズ深さ d = 0, 2.0 mmの2種類の試験サンプルを用いて探傷実験を行った。実験条件として，励磁周波数は50 kHz，θ方向の走査ピッチ5 °，キズが走査角度180 °付近に位置するように試験サンプルを配置して実験を行った。

Fig. 3にd = 0, 2.0 mmのそれぞれの試験サンプルの探傷結果を示す。Fig. 3 (a)では，深さが2.0, 2,8, 3.6 mmのどの場合も大小の極値が確認でき，深さが深くなるにつれて信号は減少傾向になった。一方，Fig. 3 (b)では，表面からの深さがどの場合も大小の極値が確認できた。しかし，Fig. 3(a)とは異なり，深さが2.0, 2.8 mmのときは大小の極値が反転する。

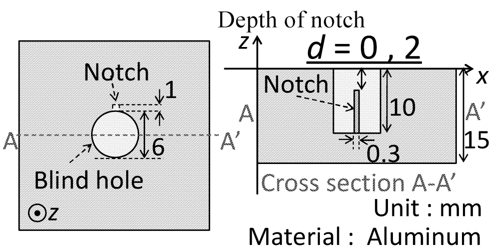
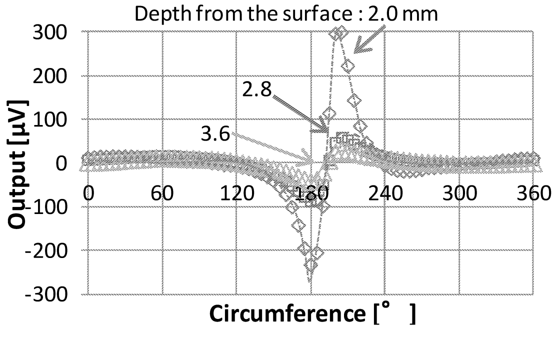


Fig. 2 Sample piece with hole

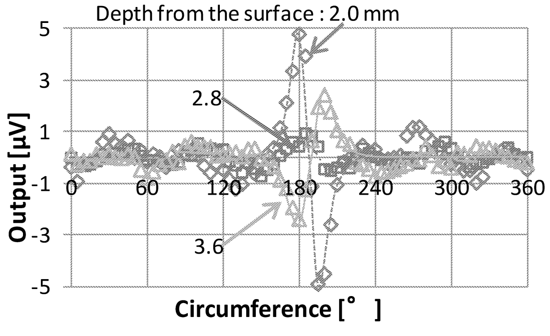
4. おわりに

針状磁気プローブを用いて，金属の円筒穴のキズに対してうず電流探傷実験を行った。実験の結果，キズが表面まで達していないサンプルにおいてキズの上端付近では大小の極値が反転した。

参考文献 1) 金森，他 : *J. Magn. Soc. Jpn*., **37**, 1, 8(2013).



(a) Sample for d = 0 mm



(b) Sample for d = 2 mm

Fig. 3 Detected signal for notch

Double Pancake Coil Type Applicator
Having Wireless Transmission for Hyperthermia Therapy

S. Yamada, Y.Ikehata, M.Kakikawa
Institute of Nature and Environmental Technology, Kanazawa University, Kanazawa.

1. Introduction

Hyperthermia therapy is a low-inversive target treatment that carries out apoptosis or necrosis on cancer tumor [1]. The tumor with injected magnetic materials can be heated by hysteresis and eddy-current losses under external high frequency magnetic fields with more than 200 kHz×mT [2]. We proposed the double pancake type exciting system (applicator) with two flat coils sandwiching a body. The exciting system does not restrict flexibility of flat coil configuration and improves the attenuation of magnetic fields far from an exciting coil. And we applied wireless power transfer system(electromagnetic induction type) to the excitation of double pancake coils, that is, one is the exciting coil and the other is induced coil. Two coils without a physical connection enable us to install the applicator to a patient easily. But since this system is constituted by two tuned resonant circuits, the characteristics are sensitive to the change of parameters. Then the fluctuation range of the resonance frequency is discussed for a tuned exciting power source.

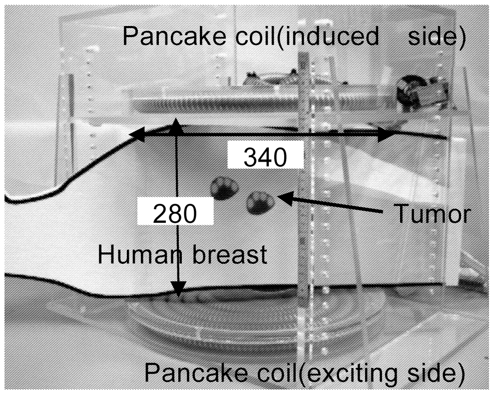


Fig. 1 Applicator with double pancake coils.

2. Applicator with wireless transmission system [3]

Fig. 1 shows the excitation of double pancake coils with wireless transmittion system. One of pancake coils (lower) operates as exciting coil and current is induced on the other pancake coil(upper). Two coils sandwiches a body and generate magnetic fields on both upper and lower sides. It is easy to arrange the distance of pancake coils according to bodily size and to align a position as shown in Fig. 2. But the coupling condition, mutual inductance, depending upon the distance between two pancake coils remarkably affects the effect of resonance frequency and wireless transmission.

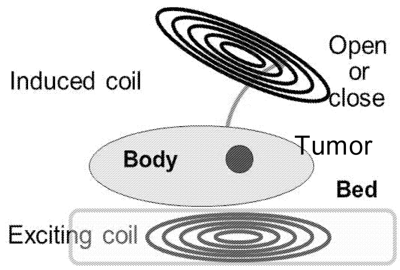


Fig. 2 Flexibility of coil gap and position for hyperthermia therapy.

Fig. 3 shows the outline of applicator with double pancake coils by a wireless transmission system (electromagnetic induction type). The lower coil with series capacitor C_1, is connected to a high frequency power source directly and the upper pancake coil is connected to a resonance capacitor.

3. Characteristics and fluctuation of resonance frequency

Fig. 4 shows the equivalent circuit with resonance circuit connected by magnetic coupling. The primary side is the exciting part and the secondary side is the induced part. The applicator system has no load but there are losses in coils and wires expressed by resistances, r_1 and r_2.

On the design, the L-C parameters at the exciting and induce circuits has the same resonance frequency f_0, that is,

$$f_0 = 1/2\pi\sqrt{L_1C_1} = 1/2\pi\sqrt{L_2C_2} \quad (1)$$

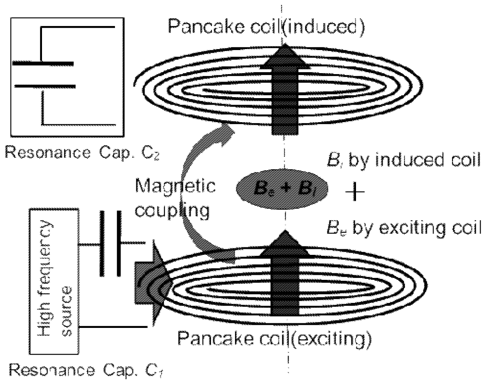


Fig. 3 Applicator with wireless transmission system.

According to the experiments, the frequency characteristics on the exciting and induced circuit are shown in Fig 5. We observed two resonance frequencies (f_1 and f_2). The resonance frequency of the L-C circuit is between these frequencies. The resonance frequencies, f_1 and f_2, are expressed by,

$$f_1 = \frac{1}{2\pi\sqrt{C_1(L_1 + M)}}, \quad f_2 = \frac{1}{2\pi\sqrt{C_2(L_2 - M)}}. \qquad (2)$$

It is remarkable that the exciting and induced currents have the same amplitude near two resonance frequencies.

The phase difference between the exciting and induced currents is approximately π at the frequency f_1, *and* 2π at f_2. Then the currents, I_1 and I_2 flow so that the magnetic fields act as addition at f_1. On the contrary, the magnetic fields induced by two coils are canceled at f_2. Fig. 5(b) shows the magnetic field distribution on the *z*- axis. The magnetic fields by two coils are added at f_1, but subtracted at f_2.

If pancake coils are adjusted to a body of patient as shown in Fig. 2, a mutual inductance M between two coils is changed slightly and then the frequency f_1 is altered. The recognition of the fluctuation of the resonance frequency is important for a source with variable frequency.

Fig. 6(a) shows the calculated values of mutual inductance and coupling coefficient by the change of the distance *d*. When the distance changes by ±30 mm shift centering on *d* = 280 mm, the mutual inductance increases at +27 % and decreases at -20 % respectively. On the other hand, the resonance frequencies f_1 are changed from -0.9(-0.8) to +0.7 kHz (+0.6 %).

4. Conclusion

The applicator system with wireless transfer system enables us to excite double pancake coils and to obtain the magnetic fields generated by the excitation of both pancake coils. The fluctuation of the position movement of two coils and the resonance capacitor by temperature shifts the resonance frequency. The frequency of exciting power source should be tuned to the resonance frequency f_1 inside the estimated fluctuation of frequency.

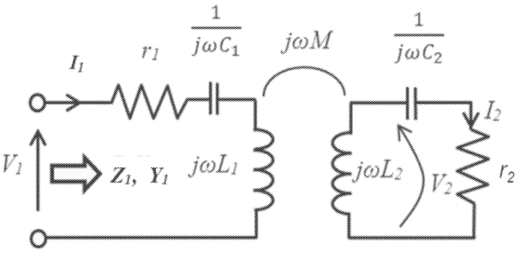
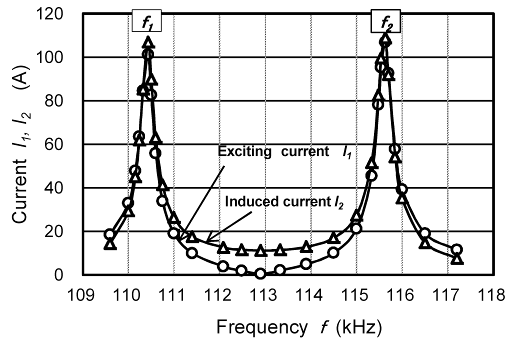
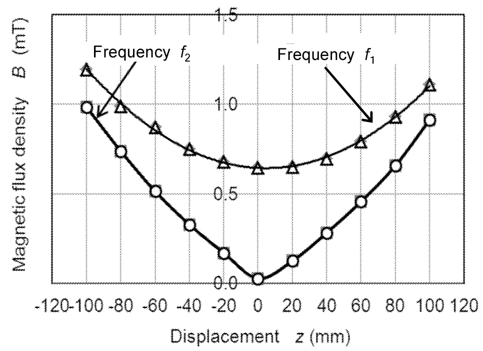


Fig. 4 Equivalent circuit.



(a) Currents of exciting I_1 and induced currents I_2.

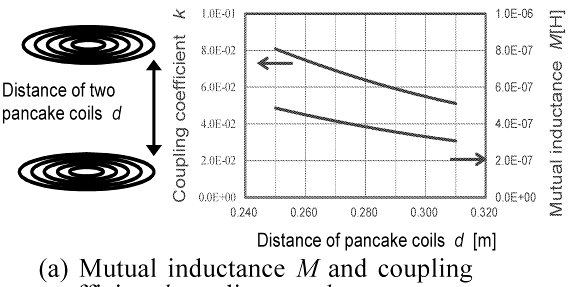


(b) Magnetic flux density along z-axis at two resonance frequencies.

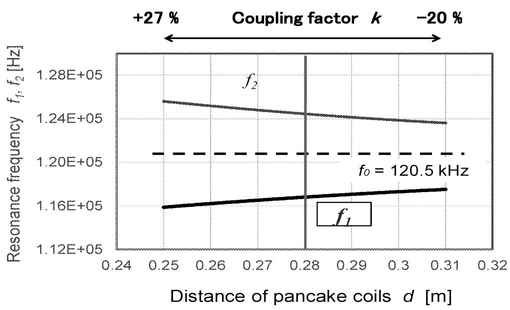
Fig. 5 Characteristics of currents and magnetic field distribution.

Reference

1) Y.Yamazaki and et al : *JSAEM Studies in Applied Electromagnetics and Mechanics*, **14,** 241 (2003).
2) T.Maruyama, and et al. : *J. Magn. Soc. Jpn*., **31**, 380 (2007).
3) S.Yamada, et al, : *J. Magn. Soc. Jpn*., **37**, 282 (2013).



(a) Mutual inductance M and coupling coefficient k vs. distance d



(b) Resonance frequencies *f1* and *f2* vs. distance *d*

Fig. 6 Fluctuation of resonance frequency depending on the distance of pancake coils.

Methodology of Measuring Minute Remanence up to Submicron Tesla Level

T. Minamitani, D. Wakaura, S. Yamada
Institute of Nature and Environmental Technology, Kanazawa University..

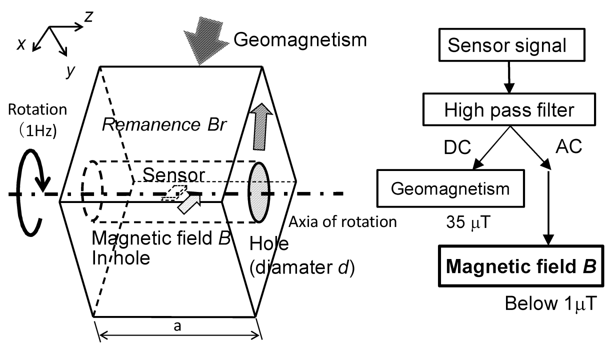
Introduction

The remanence remaining in a volcanic rock is one of important measurement data in geophysics field. The sample of a rock has the remanent magnetization up to 10^{-9} T [1]. Generally the remote magnetic fields measured by SQUID gradiometer presume the remanence [2]. We propose a new methodology to measure a magnetic field inside a cylindrical hole in the rotating sample. We can develop the simple measurement without shield system and high sensitivity sensor. The paper described the measurement system and the measured results of the rock.

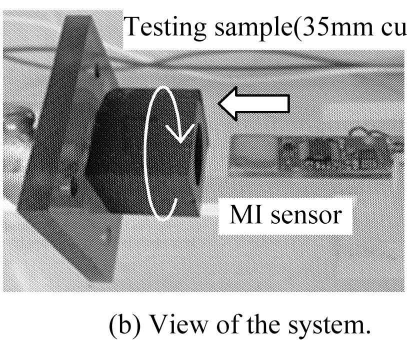
Methodology

There are two items of examination to measure a low-level remanent magnetization of rock and metal, (1) remove of the signal of geomagnetism much greater than remanent field, and (2) the measured point of magnetic field depending on the remanent magnetization of rock. For the former, two components of magnetic fields perpendicular to the axis of rotation become alternating field if a sample rotates. When the lock-in amplifier is applied, the amplitude and phase of the ac magnetic fields presume two components of magnetic fields. For the later, we make a small through hole for a sample and measure the magnetic fields inside the hole. The advantages are that the magnitude of magnetic field is larger in the hole than outside the sample, and magnetic fields have a uniform distribution. But the drawback is that only two components perpendicular to the axis of a hole can be measured. Therefore, we need to drill two holes and to measure two times.

The outline of the measuring system is shown in Fig. 1. The measured sample rotates with a fixed speed on the axis of a hole. The magnetic sensor is set on an axis and the sensing direction is perpendicular to a hole. The signal of a remanence fixed on the sample is picked up as alternating component. On the other hand, geomagnetism as dc component can be rejected by a filter. Fig. 2 shows the magnetic fields *B* inside the air hole originating in the remanence of a sample. The ratio of *B* to remanent magnetization *Br* is relatively uniform versus the ratio of diameter of hole to length of cubic sample. These results show that the degree of margin to the accuracy to the position of a sensor and the size of a sample is high.

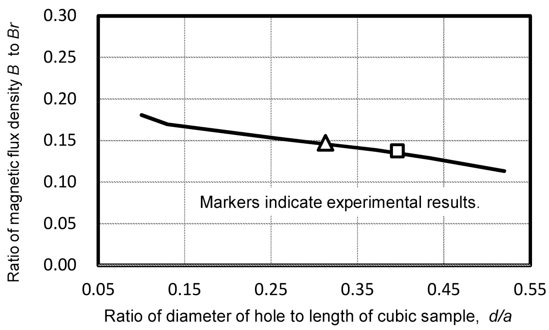


(a) Outline of measuring system.

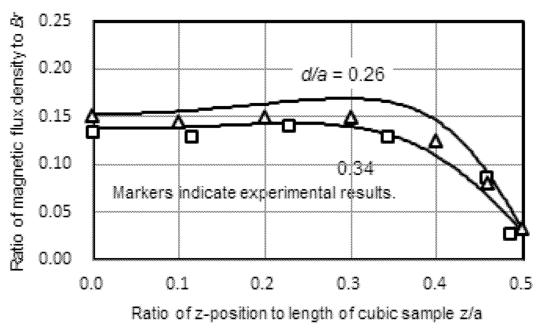


(b) View of the system.

Fig. 1 Configuration of the system.



(a) Ratio of *B* in the center of a hole to remanence *Br*.



(b) Distribution in a hole.

Fig. 2 Magnetic fields inside a hole by remanence.

Measurement of remanence

We made a cubic sample with a cylindrical through hole as magnetic material with extremely low remanent magnetization. The material of the sample is plastic solid with 0.1 – 1.0 wt% nano magnetite. The amplitude of remanence is magnetized from 10 nT to 10 μT by Helmholtz coil and the direction is perpendicular to the rotating shaft. We used magnetic impedance(MI) sensor as a sensor [3]. The MI sensor element is about 5 mm in length and the width of the printed circuit with MI sensor and amplifier is 11 mm. A through hole with a diameter of 13 mm is drilled in a testing sample. The length of the cubic sample *a* is 35 mm, then the ratio *d/a* is 0.37. According to Fig. 2(a), the ratio of
magnetic flux density to remanence is about 0.13.

Fig. 3 shows the original output signal of MI sensor when the sample is rotated by f =1.0 Hz. By using lock-in amplifier, we obtain the amplitude and phase of the ac signal. The amplitude and phase show the magnitude and the direction of the magnetic flux density in the air hole. Fig. 4(a) shows the relationship between the prescribed remanent magnetization *Br* and the measured magnetic flux density *B*. The coefficient, *B/Br* = 0.13, is well in agreement with the calculated result as shown in Fig. 2(a). The experimental results show the measurement range of remanent magnetization from 0.05 nT to 10 μT. Fig. 4(b) shows the comparison between the magnetizing direction and magnetic fields in an air hole.

We measured the remanence of a volcanic stone quarried from the rock in Mt.Aso, Japan. The size of the stone is about of cubic structure and about 35 in length. The diameter of the hole is 18 mm. Fig. 5(a) shows the measured signal of the magnetic fields in the hole and the direction of remanence in the stone.

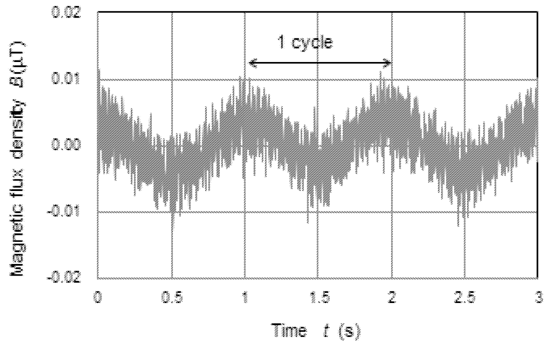
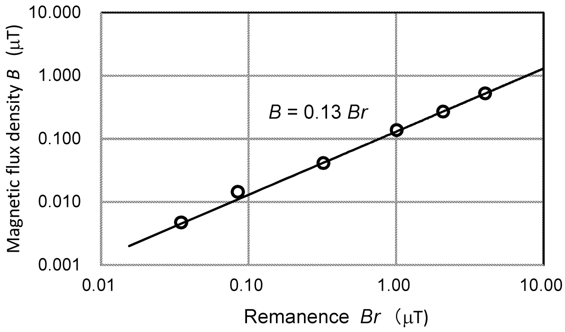
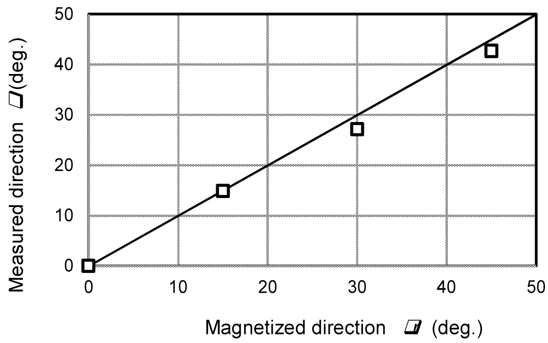


Fig. 3 Measured signal by MI sensor.

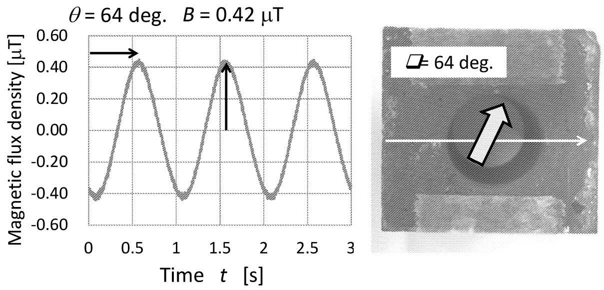


(a) Amplitude.



(b) Direction of remanence.

Fig. 4 Comparison of prescribed remanence and measured values.



(a) Measured signal. (b) Direction of remanen

Fig. 5 Measurement of volcanic rock.

Conclusion

We proposed the simple methodology of measuring remanence of materials with low-density magnetic particles as stone. The measurement in two holes enables us to estimate the 3-dimensional component of remanence in the proposed method.

References

[1] H.Kanaya, S.Okuma, ***Bull. Ggeol. Surv. Japan***, 61, 1/2, pp.1-15, 2010.
[2] H.Sakai, etal., ***IEEJ Trans. on Power and Energy**, Vol.133*, No.9, 694-699.
[3] Nanotesla sensor, Aichi Micro Intelligent Co .: http: //www.aichi-mi.com/magnetometer/type-dh_en .htm.

再生骨用担体としての灰化ウシ海綿骨の特性評価

赤江　景[1]・田中　茂雄[2]
[1]〒920-1192　金沢市角間町　金沢大学理工学域機械工学類
[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
Hikari Akae[1], Shigeo Tanaka[2] : Characterization of bone cancellous bone ash as a scaffold for bone regeneration

1. 緒言

ティッシュエンジニアリング技術により作製される再生骨組織では骨の細胞の足場となる担体が力学的に重要な役割を担っている．ウシ海綿骨は低コストで調達でき，培養担体として必要な初期剛性と多孔質構造を有しているため，海綿骨の担体素材として有望である．しかし，海綿骨に含まれる有機成分は免疫原性となり移植先での拒絶反応が生じることや感染のリスクも存在する．我々はこれまで，海綿骨を灰化処理することで有機成分を除去した灰化ウシ海綿骨に着目し，再生骨用担体としての有用性を研究してきた[1]．本研究では，異なる灰化温度で灰化ウシ海綿骨を作製し，成分および力学特性の調査することで再生骨用担体として望ましい灰化温度の検討を行うことを目的とした．

2. 実験方法

2.1　灰化ウシ海綿骨担体の作製

ウシ大腿骨遠位部より 1 辺約 2cm の立方体にのこぎりで海綿骨を切り出した．切り出した海綿骨は煮沸して骨髄や脂分を取り除いた．その後，マイクロカッターを用いて L 6 mm×W 5 mm×H 5 mm の角柱状に加工した．このとき，角柱の長軸がウシ大腿骨の骨軸方向と一致するようにした（生体海綿骨）．加工した海綿骨をるつぼに入れ電気炉を用いて 300℃，600℃，または 900℃で 22 時間灰化処理し，灰化海綿骨を得た（図１）.

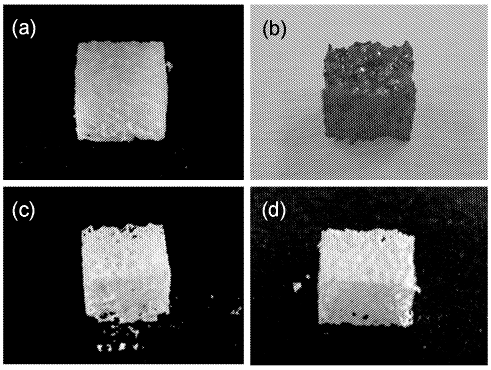


Fig.1 Close-up images of bovine trabecular bone, intact (a), and ash at 300 °C (b), 600 °C (c), 900 °C (d).

2.2　フーリエ変換赤外分光法（FT-IR)

フーリエ変換赤外分光装置（堀場製作所，FT-730）を用い，生体海綿骨および灰化海綿骨の成分分析を行った．分析は，粉末にした海綿骨試料に対し実施し，合成ハイドロキシアパタイト（HAp）粉末のデータと比較した．

2.3　準静的圧縮試験

精密万能試験機（島津製作所　AG-250kNXplus）を用い，海綿骨試料の長軸方向に対し変位速度 1 mm/min の準静的圧縮試験を行った．得られた荷重―変位曲線より，最大荷重，圧縮強度，剛性，および破断までのエネルギー吸収を求めた．さらに，応力―ひずみ曲線から最大応力（強度）および弾性率を求めた．

3．結果および考察

図 2 に，生体海綿骨，300℃，600℃，900℃で灰化処理した灰化海綿骨、および HAp の FT-IR スペクトルを示す．300℃の灰化海綿骨では有機成分を示す複数のピークが確認され，同処理温度では有機成分が残存することが示された．一方，600℃と 900℃で処理された灰化海綿骨ではこれらのピークは消失し，HAp のスペクトルと類似していた．しかしながら，600℃で処理した灰化海綿骨のスペクトルには，900℃の灰化海綿骨や HAp のスペクトルにはない炭酸基に由来するピーク（波数 1410，1460 cm^{-1}）が見られた．表 1 に生体海綿骨と灰化海綿骨の力学特性を示す．生体海綿骨と比べ灰化海綿骨ではいずれの力学特性も低下した．特に，灰化温度が高くなるほどその傾向が顕著であった．

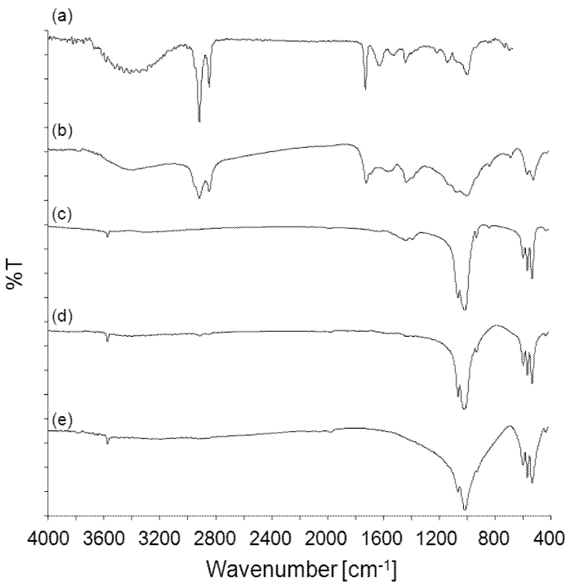


Fig.2 FT-IR spectrums of bovine cancellous bone. (a) intact, (b) ash at 300 °C, (c) 600 °C, (d) 900 °C, and (e) hydroxyapatite.

Table 1 Mechanical properties of bovine cancellous bone (n = 8).

Treatment	Maximum load [N]	Stiffness [N/mm]	Energy to fracture [J]	Maximum stress [MPa]	Elastic modulus [MPa]
intact	305±92.5	1966±866	29.1±9.62	12.2±3.70	469±204
300℃	24.3±11.2	146.2±104.1	3.39±2.91	0.97±0.45	35.1±25.0
600℃	9.59±2.46	307.2±131.1	0.20±0.09	0.38±0.10	73.7±32.6
900℃	5.16±2.84	130.5±2.84	0.14±0.10	0.21±0.12	31.3±11.2

4．結論

FT-IR 分析の結果，ウシ海綿骨は，600℃で灰化処理することで有機成分が除去され，且つ主成分が生体吸収性に優れる炭酸アパタイト[2]となることが示された．このことから，ウシ海綿骨の灰化処理温度としては600℃が望ましいと判断された．しかし，力学試験の結果より、灰化処理で力学的特性が大きく低下することが明らかとなり，今後，灰化海綿骨の力学的特性を改善する必要であることがわかった．

参考文献

[1] Yamashita, Y., et al, Proceedings of the 26th Bioengineering Conference 2014 Annual Meeting of BED, JSME, pp503-504
[2] Ohashi, H., et al. Key Engineering Materials, Vol. 361-363, pp. 1037-1042, 2008

衝撃荷重下における再生骨用担体の力学特性評価

吉澤　和輝[1]・田中　茂雄[2]

[1]〒920-1192　金沢市角間町　金沢大学理工学域機械工学類

[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

Kazuki Yoshizawa[1] and Shigeo Tanaka[2] : Mechanical properties of bovine trabecular bone ash as a scaffold for bone tissue engineering under impact loading

1. 緒言

近年，患者の細胞を用いて体外で再生した生体組織を患部へ移植する組織再生医療技術（ティッシュ・エンジニアリング）の発展が注目されている．培養骨芽細胞から作られる再生骨では，力学特性を生体骨と同等とすること，すなわち，力学的適合性が求められ，それを評価することは重要である．とりわけ，大腿骨近位部の骨折原因は転倒が最も多く[1]，そのため，再生骨用担体には衝撃荷重に耐えうる高い強度や靭性が求められる．免疫原性となる有機成分が除去された灰化ウシ海綿骨は低コストで調達可能であり，また，必要な初期剛性および多孔質構造を有するため再生骨用担体として有望である［2］．本研究では，灰化ウシ海綿骨担体の衝撃下における力学特性を調べ，灰化処理の有無による違い，また，準静的下との違いを確認した．

2.実験方法

2.1　灰化ウシ海綿骨担体

ウシ大腿骨遠位部より切り出した海綿骨は煮沸して骨髄や脂分を取り除き，L 6 mm×W 5mm×H 5 mm の角柱状に加工した（図 1 a，生体海綿骨）．その後電気炉を用いて 600℃で 22 時間灰化処理することで灰化ウシ海綿骨担体を得た（図 1 b，灰化海綿骨担体）．

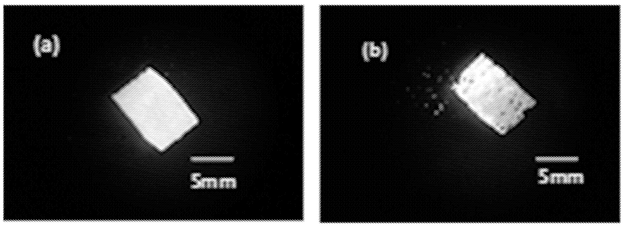


Fig.1 Bovine cancellous bone. (a) Intact,（b) ash.

2.2 ホプキンソン棒法衝撃試験[3]

試料の長さ方向に対し，ホプキンソン棒法衝撃圧縮試験を行った．図 2 に装置の構成を示す．試料を両棒で挟み，ストライカーを入力棒端面に衝突させ衝撃を加える．両棒に貼り付けたひずみゲージ（2 ゲージ法，KYOWA，KSP-1-350-E4）により伝播した弾性波を検出する．検出したひずみ波形をひずみアンプ（KYOWA, CDV-900A）により増幅，オシロスコープ（IWATSU, DS-5106）で記録し，次式により試料のひずみ速度（$\dot{\varepsilon}$），ひずみ（ε）および応力（σ）を計算した．

$$\dot{\varepsilon} = \frac{2}{\rho c L}(\sigma_I - \sigma_T) \quad ・・・(1)$$

$$\varepsilon = \frac{2}{\rho c L}\int_0^t(\sigma_I - \sigma_T)dt \quad ・・・(2)$$

$$\sigma = \frac{A_i}{A_s}\sigma_T \quad ・・・(3)$$

ここで，σ_Iは入力棒の応力，σ_Tは出力棒の応力，ρは試料密度， cは入出力棒中の弾性波速度（c = 5100 m/s），Lは試料の荷重方向長さ，A_iは入出力棒の断面積， A_sは試料の断面積である．なおρは，重量を見かけの体積当たりの重量として求め，入出力棒の弾性率は206 GPaとした．

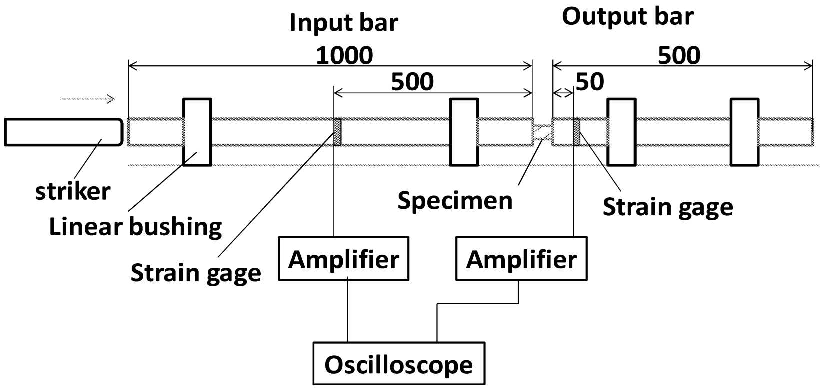


Fig.2 Schematic diagram of the equipment for impact loading test (Hopkinson pressure bar method).

2.3 準静的圧縮試験

試料の長軸方向に対し変位速度1mm/minの準静的圧縮試験を破断に至るまで実施した．得られた応力―ひずみ曲線から弾性率および最大応力を求めた．なお，弾性率は応力―ひずみ曲線の初期線形部の傾きから求めた．

3．結果

図３および４は，それぞれ衝撃下および準静的下における生体海綿骨と灰化海綿骨担体の弾性率と最大応力の平均値を比較したものである．衝撃下では，灰化海綿骨担体の弾性率は26 MPa，最大応力は0.45 MPaであり，それぞれ生体海綿骨の値の12 %と31 %であった．一方，準静的下では，弾性率が74 MPa，最大応力が0.38 MPaであり，それぞれ生体海綿骨の値の16%と3%であった．

4．まとめ

ウシ海綿骨は灰化処理により，衝撃下，準静的下いずれにおいても力学的強度が大きく減少することが分かった。以上の結果より，灰化海綿骨を再生骨用担体として利用するには力学的強度を高める工夫が必要と考えられる．

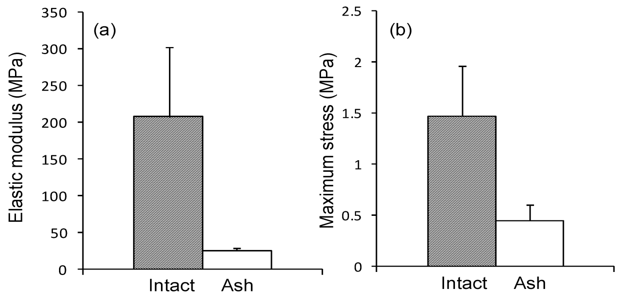


Fig.3 Comparison of mechanical properties between intact and bone ash under impact compressive loading. (a) Elastic modulus, (b) maximum stress. (n = 3)

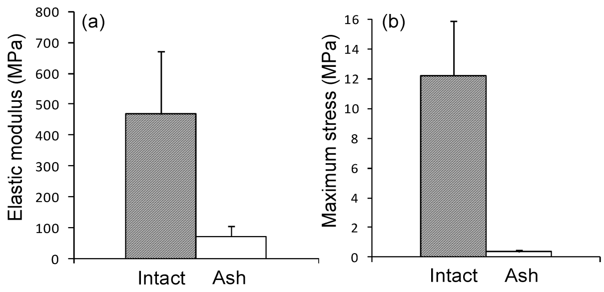


Fig.4 Comparison of mechanical properties between intact and bone ash under quasi-static compressive loading. (a) Elastic modulus, (b) maximum stress. (n = 8)

参考文献

[1] Committee for Osteoporosis Treatment of the Japanese Orthopaedic Association. Nationwide survey of hip fractures in Japan. J Orthop Sci 2004 ; 9 : 1-5

[2]Y Yamashita, et al, Proceedings of the 26th Bioengineering Conference 2014 Annual Meeting of BED, JSME, pp503-504

[3] Y Tanabe, et al, Proceedings of The Thirty Fourth Japan Congress on Materials Research, pp.233-237, 1991

骨芽細胞の非線形物理刺激応答の数理モデルの構築

山本　達郎[1]・田中　茂雄[2]
[1]〒920-1192　金沢市角間町　金沢大学理工学域機械工学類
[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

Tatsuro Yamamoto[1], Shigeo Tanaka[2] : Mathematical modeling of non-linear osteoblastic response to physical stimulation

1. 緒言

骨は外部からの力学的刺激に対し適応的に反応し，骨形成が起こることが知られている．従来，刺激の大きさや量,またはその積算に依存して骨形成量が線形的に決定されると考えられてきた.一方,これまで我々は，ランダムな刺激の与え方がより多くの骨形成反応を生じさせることを報告しており[1，2]，この知見は，物理的な刺激と骨形成の関係は非線形的に扱われる必要性があることを示唆している．しかしながら，骨の非線形刺激応答については十分調べられておらず，また，それを統一的に取り扱える数理モデルも確立していない．そこで本研究では，神経細胞と心筋細胞の非線形刺激応答モデルをベースモデルとして骨芽細胞の非線形刺激応答モデルを作成することを試みた． また，構築したモデルを使い骨芽細胞のランダム刺激に対する細胞内 Ca^{2+}応答を再現し，同モデルの有用性を検証した.

2.　非線形振動モデル

細胞膜上のイオンチャネルやイオンポンプを介して細胞内外を出入りする主なイオンは Na^+, K^+, Ca^{2+}であり，これらが出入りする時に細胞膜内外で電位差，すなわち活動電位が生じる．神経細胞の活動電位は，Na^+，K^+チャネルが，また，心筋細胞の活動電位では Ca^{2+}チャネルが主体的に関与している．一方，骨芽細胞においても Ca2+チャネルがメカノセンサーとして機能していることから心筋細胞に近い活動電位生成機構が考えられるが，同細胞の活動電位変化の波形は心筋細胞よりも神経細胞のものと近い[3]．そこで，神経細胞のモデルある Hodgkin-Huxley モデル[4]（以下，H-H モデル）と心筋細胞のモデルである Luo-Rudy dynamics モデル[5]（以下，L-R モデル）を組み合わせることで骨芽細胞の刺激応答モデルを作成した．本モデルでは， L-R モデルの Ca^{2+}チャネルを表現する項と Ca^{2+}ポンプを表現する項が，Na^+と K^+チャネルで構成される H-H モデルの式に組み込みこまれおり，次式のように表される.

$$\mathrm{Cm}\frac{\mathrm{d}V}{\mathrm{dt}} = -\left(\mathrm{I_{Na}}(\mathrm{t},V) + \mathrm{I_K}(\mathrm{t},V) + \mathrm{I_{si}}(\mathrm{t},V) + \mathrm{I_{p(Ca)}}(\mathrm{t},V) + \mathrm{I_{leak}}(V)\right) + \mathrm{I_{input}}(\mathrm{t})$$

ここで，Cm は膜容量，V は細胞膜電位，INa(t，V)は電位依存性 Na+チャネルを介した電流，I_K(t，V)は電位依存性 K^+チャネルを介した電流，I_{si}(t，V)は電位依存性 Ca^{2+}チャネルを介した電流，I_p(Ca)(t，V)は Ca^{2+}ポンプを介した電流，I_{leak}(V)はリークチャネルから流出する K^+による電流，I_{input}(t)は外部からの入力電流である．また， 細胞内 Ca^{2+}濃度（$[Ca^{2+}]_i$）は，I_{si} および I_p(Ca)と次のような関係で表される.

$$\frac{d([Ca]_i)}{dt} = 10^{-4} \times (I_{si}(t,V) + I_{p(Ca)}(t,V)) + 0.07(10^{-4} - [Ca]_i)$$

3. ランダム刺激への細胞内Ca2+応答の解析

作成したモデルの各定数等の値を調整することで骨芽細胞のランダム刺激に対する細胞内Ca^{2+}応答の再現を試みた．本計算では，各定数の値を，C_m = 1 [μF/cm^2]，G_{Na} ＝ 120 [mS/cm^2]，G_K ＝ 36 [mS/cm^2]，G_{leak} ＝ 0.3 [mS/cm^2]，G_{si}= 0.09 [mS/cm^2]，E_{Na} = 50 [mV]，E_K = -77 [mV]，E_{leak} = -54.387 [mV]，E_{si} = 7.7-13.0287·ln($[Ca]_i$，$I_{p(Ca)}$ = 1.15 [μA/μF]，$K_{m,p}$(Ca) = 500 [nM]とし，初期値として$[Ca]_i$ = 50 [nM]，V = -70 [mV]，m = 0.1，h = 0.6，n = 0.35，d = 0，f = 1とした．なお， Gはイオンチャネル又はイオンポンプの最大コンダクタンス，Eはイオンの平衡電位，$I_{p(Ca)}$ はCa^{2+}ポンプの最大電流，$K_{m,p(Ca)}$は半飽和濃度である．また，m，h，n，d，fはゲート変数を示している．計算は4次のルンゲクッタ法により行い，数値計算プログラムはMicrosoft Excel VBAで作成した．$I_{input(t)}$として，(1)ステップ波形(Fig.1a)， (2)パルス幅1 msec,でパルス間隔1 msec,の周期的パルス列波形(Fig.1b)，(3)パルス幅 1 msec,でパルス間隔をパープルノイズ様にランダムに変化させたランダムパルス列波形(Fig.1c)の3種類の波形を作成した．なお，いずれの波形も強度は400μA/cm^{2}とした．

各入力波形に対する細胞内Ca2+応答の解析結果をFig.2に示す．いずれの入力波形に対しても，細胞内Ca^{2+}濃度は入力開始直後に急速に増加し，その後，なだらかに減衰する様子が示された．初期ピーク以降のCa^{2+}濃度を比較すると，ランダムパルス列波形が最も高く，ステップ波形で最も低くなった．この結果は，これまでに報告した実験結果 [1, 2]，を支持するものであり，本モデルの有用性を示唆している．しかしながら，本解析結果においては，Ca2+濃度が平衡濃度に戻ることが再現出来ていない為，今後更なるモデルの改良が必要である．

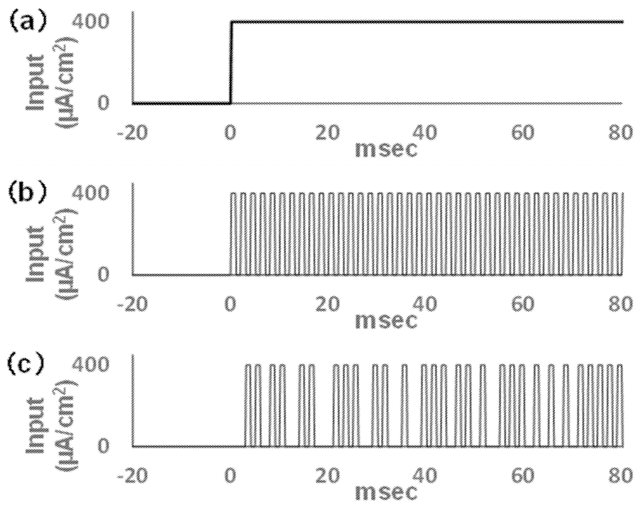


Fig.1 Input current waveforms. (a) Step, (b) Periodic pulse train, (c) Random pulse train.

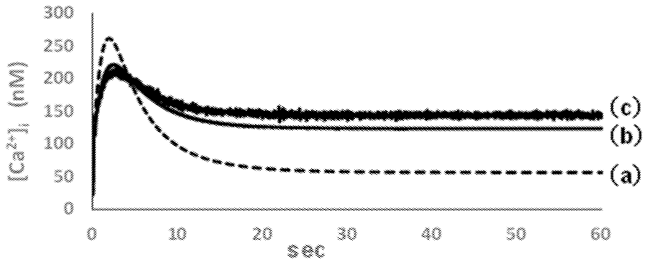


Fig.2 Changes in the intracellular Ca^{2+} concentration of osteoblasts in response to input current. (a) Step, (b) Periodic pulse train, (c) Random pulse train.

4. 結言

H-H モデルと L-R モデルをベースモデルとして骨芽細胞の刺激応答モデルを作成し，それを用いて骨芽細胞の細胞内 Ca^{2+}応答を再現するとともに，ランダム刺激の優位性を確認することが出来た．

参考文献

[1] 瀧本ら，臨床バイオメカニクス (2010)31, 181-186

[2] 松村ら，臨床バイオメカニクス (2012)33, 41-46

[3] Pangalos, M., J. Bioenerg. Biomembr. (2011) 43:311–322

[4] Hodgkin., A. M., et al., J. Physiol. (1952) 117, 500-544

[5] Luo, C. H., and Rudy, Y., Circ. Res.. (1994) 74 , 1071-1096

コロニーアッセイを用いたヒト細胞への抗がん剤シスプラチンに対する磁界曝露影響

牛丸透[1]・柿川真紀子[2]・山田外史[2]
[1]〒920-1192　金沢市角間町　金沢大学理工学域電子情報学類
[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
Toru Ushimaru[1], Makiko Kakikawa[2], Sotoshi Yamada[2]:
Effect of ELF magnetic fields on anticancer drug cisplatin potency to human lung cancer cell line

1.　緒論

がん治療法として普及している抗がん剤には，細胞の増殖を抑制する作用がある。しかし正常細胞にも作用するため副作用が生じてしまう。先行研究において，大腸菌に対して抗がん剤作用が磁界曝露により増強することが確認されている。磁界曝露をがん細胞に局所的に行うことで，がん部位でのみ抗がん剤作用を増強させせることが可能となり，全体の抗がん剤投与量を少なくし，副作用が軽減できると考えられる。ヒト細胞においては，細胞の評価方法として「Trypan Blue」「CCK-8」を用いたが，磁界影響を明確にすることができなかった。原因として，上記 2 つの評価方法では，細胞の細胞膜損傷および脱水素酵素活性で細胞生死を判断するために正確に評価できなかった。
そこで本研究では，細胞の増殖能力を評価するコロニーアッセイによって抗がん剤作用への磁界影響を検討した。

2. 抗がん剤作用に対する磁界影響評価方法

2.1 実験で使用する抗がん剤およびヒト細胞

本研究では，抗がん剤シスプラチン(Cisplatin)を用いた。Cisplatin は DNA に結合し，DNA の複製を阻害することでがん細胞の増殖を抑制する抗がん剤である。ヒト培養細胞として，58 歳男性の肺がん細胞株 A549 を用いた。この細胞は，接着培養系細胞であり，ディッシュに接着しながら増殖していく。A549 は，増殖速度が×2/day である。

2.2 交流磁界発生装置

使用する実験領域(縦 90 mm×横 100 mm×高さ 40 mm)において, 周波数 60 Hz, 磁束密度 50 mT ± 10%である。上記の交流磁界装置を CO2 インキュベータ内に設置し,温度を非曝露槽と同様に 36.5 ℃で一定とした。

2.3 ヒト細胞への評価方法

本研究では，コロニーアッセイによって，A549 の増殖能をもとに生死判別し，磁界影響の評価を行った。A549 は，単一接着細胞がディッシュに付着し，その場で増殖を繰り返すことで図 1 に示すように肉眼で確認できる大きさとなった細胞集団(コロニー)を形成する。図 1 では，本来は半透明であるA549 をギムザ染色(青色)後の様子である。コロニーアッセイでは，細胞の増殖能をコロニー数およびサイズで評価を行うことができる。

2.4 磁界影響評価のための比較方法

同数の A549 細胞を含む培養液をいれたディッシュを複数用意し，Cisplatin を培養液にそれぞれ加えた。Cisplatin 添加後，磁界曝露または非磁界曝露の環境下でそれぞれの細胞を 24 h 培養する。その後，培養液を新しい培養液に入れ替えることで，抗がん剤シスプラチンを除去し，再度培養によりコ

ロニーを形成させた。磁界曝露の有無により，コロニー数の比較を行い，抗がん剤作用に対する磁界影響を検討した。

3.　抗がん剤作用に対する磁界影響および考察

図2に,抗がん剤添加時間24 hにおける非曝露群の細胞生存数を1とし,曝露群との相対比を示す。図2より，すべての抗がん剤濃度において，相対比が1より小さいことから，非曝露群より曝露群のほうが薬剤作用が強いことを示している。また抗がん剤濃度2.0 μg/mlで，有意差検定(t検定)を行ったところ，p値0.0242(n=6)より磁界曝露によって抗がん剤作用が有意に増強されていることが確認できた。抗がん剤濃度4.0 μg/ml以上では，抗がん剤濃度が2.5 μg/ml以下に比べ，曝露群の細胞生存率が非曝露の約0.5倍と小さくなっているが，これは抗がん剤作用が増強した分，磁界影響が顕著になっている。

4.　結論および今後の課題

磁界曝露による抗がん剤作用の増強はヒト細胞においても確認できた。しかし先行研究での大腸菌を用いたときほど磁界影響が表れなかった。大腸菌では，磁界曝露により抗がん剤の膜透過性が増加したことで，抗がん剤作用が増強していた。ヒト細胞と大腸菌では，それぞれ細胞膜が一重と二重であり，膜構造が異なる。それにより抗がん剤の分子量，作用機序によって，ヒト細胞と大腸菌で磁界影響の大きさが異なることが考えられる。シスプラチンでは，磁界影響が小さかったが，他の抗がん剤でも磁界影響を検討する必要がある。そこで今後は，作用機序，分子量が異なる抗がん剤を使用することで，ヒト細胞への抗がん剤作用に対する磁界影響についてさらなる解明を進めていく。

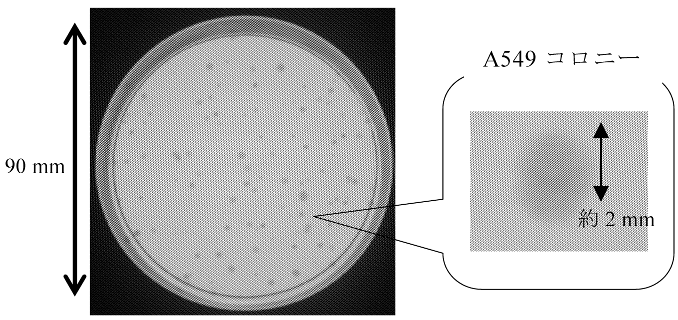


図1　染色後のA549コロニー

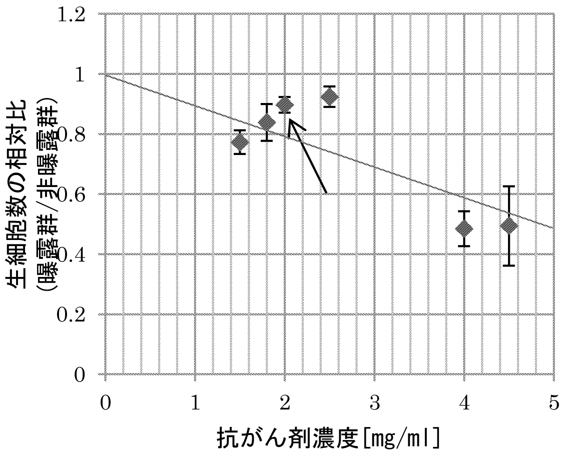


図2　抗がん剤濃度による細胞数の相対比

金沢大学環日本海域環境研究センター
平成25年度年報

発　行　日	2015年１月31日
発　行　人	早川和一
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