



日本海域研究

Japan Sea Research

Vol. 46 2015

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

目 次

【論 文】

- 木村一也・笠木哲也・中村浩二
能登半島の農業景観とアオサギの採餌場所の季節変化の関係…………… 1
- 板垣英治
大野弁吉著「一東視窮録 製菓 上」の舎密学関係事項の出典の調査・研究…………… 9
- 金岡克文
世界金融危機以降の人民元国際化の進展とその限界性…………… 27

【短 報】

- 笠木哲也・宇都宮大輔・Windra Priawandiputra・中村浩二
外来植物が在来植物とハナバチ類の关系到及ぼす影響…………… 43
- 荒木祐二・岡村浩美・塚脇真二
奥能登地域の学校教育における栽培体験活動の現況：世界農業遺産の継承に向けて…………… 49

【翻訳・翻刻】

- 板垣英治
宇田川榕菴著『舎密開宗』続編『消石説』
その翻刻と翻訳及び伊藤圭介著『萬宝叢書硝石篇』との比較研究…………… 57
- 黒田 智・鳥谷武史・吉岡由哲・石垣孝芳・林 亮太・小早川裕悟
史料紹介 宝集寺所蔵「高野大師行状図画」…………… 79

【総 説】

- 仁宮一章・高橋憲司
イオン液体を用いた里山バイオマスリファイナリー…………… 95
- 福士圭介
モンゴル古代湖沼堆積物から認められたモノハイドロカルサイト：
古環境指標・環境浄化材料としての役割…………… 107
- 「日本海域研究」投稿規定…………… 124

CONTENTS

[Original Articles]

- Kazuya KIMURA, Tetsuya KASAGI and Koji NAKAMURA
The Relationship between the Agricultural Landscape and the Seasonal Changes in the Foraging Habitats of the Grey Heron (*Ardea cinerea*) on the Noto Peninsula 1
- Eiji ITAGAKI
An Examination of Benkiti Ohno and His Famous Notebook “*Ittousi Kyuroku Seiyaku* (Notes regarding Pharmaceutical Science)” 9
- Katsufumi KANAOKA
The Progress of the Renminbi (RMB)’s Internationalization after the Financial Crisis of 2007 to 2008 27

[Short Articles]

- Tetsuya KASAGI, Daisuke UTSUNOMIYA, Windra PRIAWANDIPUTRA and Koji NAKAMURA
The Effect of Alien Plants on Relationships between Domestic Plants and Bees 43
- Yuji ARAKI, Hiromi OKAMURA and Shinji TSUKAWAKI
Teaching Cultivation Activities, and Passing on Experience of Agricultural Practices on the Noto Peninsula: Safeguarding “Globally Important Agricultural Heritage Systems (GIAHS)” for Future Generations 49

[Translations and Reprints]

- Eiji ITAGAKI
“*Syoseki Setu*”, an Addendum to “*Seimi Kaiso* (A Story about Potassium Nitrate)”, as an Addendum to “An Introduction to Chemistry”, Written and Edited by Yhoan Udagawa in 1843 In addition, its Reprint, Translation, and Comparative Study of “*Manhou Sousyo* (a Chapter about Potassium Nitrate)” Written by Keisuke Ito in 1854 57
- Satoshi KURODA, Takefumi TORITANI, Yoshiaki YOSHIOKA, Takayoshi ISHIGAKI,
Ryota HAYASHI and Yugo KOBAYAKAWA
An Introduction to Historical Material entitled “*Koyadaishi Gyojo Zue*” (The Illustrated Biography of the Priest, Koyadaishi) which is on display in Hoshuji Temple 79

[General Remarks]

- Kazuaki NINOMIYA and Kenji TAKAHASHI
The Refining of Lignocellulosic Biomass using Ionic Liquids 95
- Keisuke FUKUSHI
Monohydrocalcite from Sediment from the Bottom of an Ancient Lake in Mongolia: its Role as an Environmental Indicator and Environmental Remediation Material 107

能登半島の農業景観と アオサギの採餌場所の季節変化の関係

木村一也^{1,2*}・笠木哲也^{1,2}・中村浩二²

2014年9月26日受付, Received 26 September 2014
2014年11月21日受理, Accepted 21 November 2014

The Relationship between the Agricultural Landscape and the Seasonal Changes in the Foraging Habitats of the Grey Heron (*Ardea cinerea*) on the Noto Peninsula

Kazuya KIMURA^{1,2*}, Tetsuya KASAGI^{1,2} and Koji NAKAMURA²

Abstract

In order to evaluate the importance of the agricultural landscape for grey herons, we investigated the seasonal changes in the foraging habitats of the Grey Heron (*Ardea cinerea*) in two river basins. These were located in the Wakayama River and the Kumaki River on the Noto Peninsula. The peninsula's fertile landscape is well-known for its traditional agricultural practices and fields. We conducted 15 censuses from March until November in 2011 in the entire waterside area within each basin. Sampled habitats included paddy fields, rivers, ditches, irrigation ponds, coasts, and fields. Seasonal fluctuations in the number of herons were mostly synchronized between the two river basins during the breeding season, and a large increase in the population size in June was due to an increase in the number of fledglings. During the non-breeding season, only the Kumaki River basin was a major stopover during migration for grey herons, because a large increase in the population size equivalent to that of June occurred in September. The difference in the seasonality of the population size between the two river basins may reflect the latitudinal difference relating to the fall-winter migration patterns of grey herons.

The population size of the paddy fields correlated with the proportion of irrigated paddy fields, suggesting that the patterns of habitat use for foraging by grey herons were dependent on the degree of irrigation in the paddy fields. Furthermore, the number and proportion of herons in the other habitats became larger when those of paddy fields became smaller. Thus, the complementary relationship between the seasonality in population size of paddy fields and of the other habitats suggests that those such as rivers and ditches may play a role as substitutional habitats. However, the combined population size in the rivers and ditches did not amount to the maximum population size of the paddy fields. It may indicate that food organisms in the rivers and ditches in the two river basins are poorer in quality and quantity than those in the paddy fields.

¹金沢大学環日本海域環境研究センター 自然計測領域生物多様性部門 〒920-1192 石川県金沢市角間町 (Division of Biodiversity, Department of Natural Science and Measurement, Institute of Nature and Environmental Technology, Kanazawa University, Kakuma-machi, Kanazawa, 920-1192 Japan)

²金沢大学地域連携推進センター 〒920-1192 石川県金沢市角間町 (Center for Regional Collaboration, Kanazawa University, Kakuma-machi, Kanazawa, 920-1192 Japan)

*連絡著者 (Author for correspondence)

Key Words: Grey Heron, *Ardea cinerea*, Noto Peninsula, foraging habitat, seasonal change, agricultural landscape

キーワード: アオサギ, 能登半島, 農業景観, 採餌場所, 季節変化

I. はじめに

わが国の地方部における一般的な農業景観は、耕作地、河川、ため池、森林など様々な生態系を含んでいる。稲作はわが国で最も普及している農耕であり、水田は湿地帯の代替地として水禽類の生息地としての役割を果たしている (Elphick, 2000; Maeda, 2001)。しかし、この半世紀にわたって圃場整備が進んだ結果、整備による水田の乾田化が進み、それが水鳥の生息数や種多様性に及ぼす影響について近年注目されている (Fujioka and Yoshida, 2001)。

湿地の普通種であるサギ類は、平野部を中心に山間部まで広く分布し、その生活史の中でさまざまな水辺環境を利用する。サギ類の多くは繁殖期のあいだ頻りに水田で採餌し (Fasola, 1983, 1996; Maeda, 2001; Hattori, 2001), 摂取する餌の大部分を水田に依存している種もみられる (佐原ほか, 1994; Fasola and Brangi, 2010)。そのため、水田は繁殖期間中のサギ類にとって餌場としての価値が高い (中島ほか, 2006; Fasola and Brangi, 2010)。他方、非繁殖期間である冬季には水田を利用するサギ類の数は減少する。これは気温低下にともなう餌生物の減少による現象であることに加え、乾田化された水田の普及によって湿田面積が減少したために、本来は湿地として潜在的に存在する餌量が欠落しているために起こった現象と考えられる (中島ほか, 2006)。

このように、水田のあり方はサギ類の分布や個体群動態に強く影響している。しかしながら、水田では湛水期間中も人為によって取水が調節されるため、一年を通して水位が頻りに変化する。水田は自然下の湿地にくらべて時間的に空間的に不安定な生息条件をもつ。それに対応して、サギ類の多くはほかの採餌場所、例えば河川 (中島ほか, 2006) やため池 (工・江崎, 1998), 養魚池 (山岸ほか, 1980) などを利用する。したがって、水田に加えて、周辺の水辺環境はサギ類の生息地として非常に重要な役割を担っていると推測される。サギ類は水系食物網における高次捕食者であり (Steinmetz *et al.*, 2003), その生息密度や生活史は餌生物の組成やバイオマスの影

響を強く受けている (Hafner and Britton, 1983; Powell, 1983; Butler, 1993)。サギ類の環境利用の変化はそれぞれの環境の有用性を表すと考えられ、生物の生息地としての潜在性からみた環境評価に繋がることが期待できよう。

本研究では、サギ類が利用可能な採餌場所とその季節変化を明らかにするため、河川や農地が含まれる能登半島の主要な流域で、最も一般的な種であるアオサギの分布と利用場所の季節学的調査を行った。能登半島には伝統的に維持されてきた農業景観が広がり、河川を中心に水田を基調とした典型的な水辺環境が整っている。

II. 調査地

調査は能登半島の奥能登地域に位置する2つの主要河川で行った (図1)。能登半島先端部に位置する宝立山 (標高471m) の山域を水源としてほぼ東へ流れる若山川 (河口部北緯37度26分, 東経137度15分)

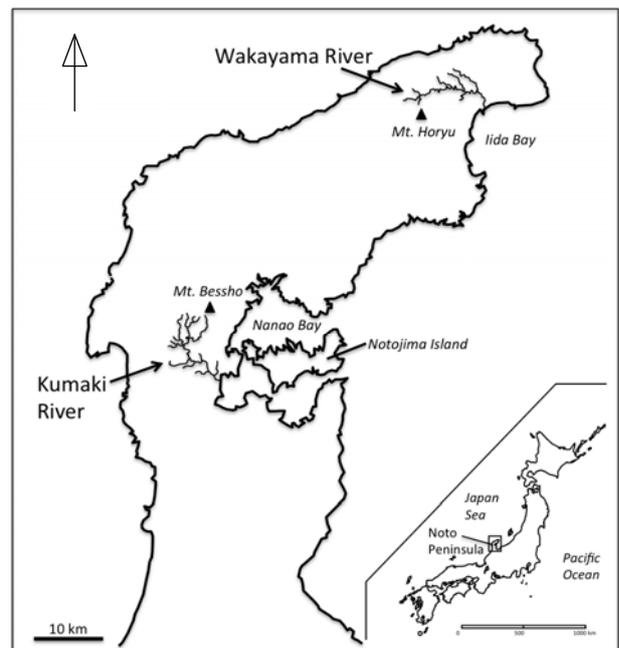


図1 能登半島における2つの調査流域、若山川流域と熊木川流域の位置。

Fig. 1 The location of two study areas, river basins of Wakayama and Kumaki, in the Noto Peninsula.

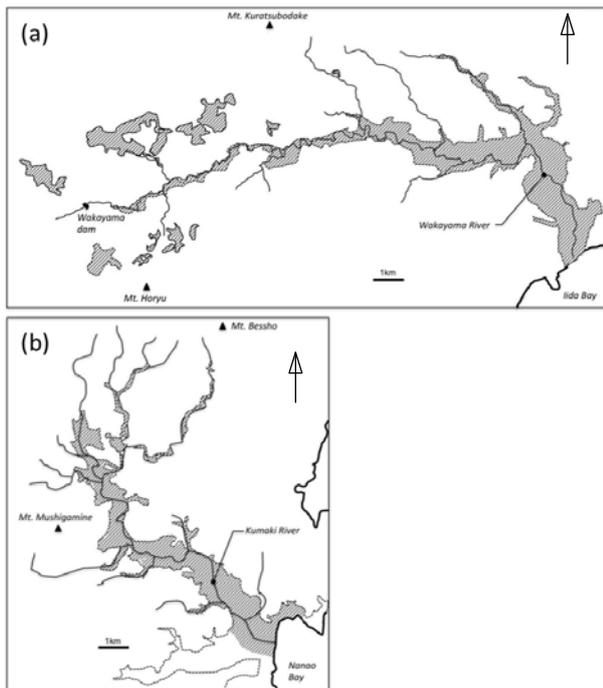


図2 2つの調査流域における調査地（斜線部）. (a) 若山川流域, (b) 熊木川流域. 点線は平地と山林の境界部（林縁）を示す.

Fig. 2 An observation area (shaded) in Wakayama (a) and Kumaki (b). Dotted line shows the forest edge, the boundary between open areas (e.g. the fields and the town area) and forests.

は、延長17.4km、流域面積52km²を有する。他方、熊木川（河口部北緯37度06分、東経136度52分）は能登半島中部の別所岳（標高358m）の山城を水源として東方の七尾湾に流れ込み、延長14.8km、流域面積47km²を有する。河口付近の市街地を除き、両河川の下流部から上流部の中山間地にかけて水田を主とする耕作地が広がり、隣接する丘陵地や山地は落葉広葉樹二次林あるいはスギ植林に覆われている。

調査地は河川の本流と支流に隣接して広がる、林縁を境とした平野部と平地である（図2）。調査地の面積はどちらも約700haであり、それぞれ約300haの水田面積を有する。河川や水田以外の主な水域として灌漑用ため池があり、調査地内のため池面積は若山川で約9ha、熊木川で約3haである。

調査地の水田は4月上旬から湛水が始まり、流域内の地区間で開始時期の差がみられるが、5月上旬にほぼすべてが湛水される。5月中旬には田植えが完了し、6月下旬まで湛水状態が続く。6月下旬から7月上旬にかけて中干しが行われ、そのあとは湛水田と中干し田が混在する。8月下旬には水の引き込みが止められ

て乾田化が始まり、10月にかけて稲刈りが行われる。稲刈り後、ほとんどの田は乾田状態で維持される。冬季は降雪によって部分的に水溜まりができるなど湿った状態が続く。

III. 調査方法

調査は2011年の3月下旬から11月上旬までの約7ヶ月間に、2週間に1回を目安にして計15回行った。この期間はアオサギの繁殖期開始から非繁殖期までを含む。1回の調査は1～2日間として、1日あたり早朝と夕刻の計2回の巡回を行い、巡回ごとに調査地全域のアオサギの観察を行った。ただし、強風や豪雨などアオサギの移動に影響すると推測される悪天候時は巡回を中止した。調査者から100mの範囲内にいるアオサギはすべて発見できると仮定して、調査地のすべての範囲を網羅するように設定した道筋を時速約15kmで車走行しながら、河川下流から上流へと巡回した。なお、灌漑池や用水など車上から確認しにくい場所では、停車あるいは降車して確認した。1巡回あたりの所要時間を2時間以内とし、運転者と観察者の2人1組で、毎調査1～3組で調査範囲を分担して巡回した。

巡回中にアオサギが観察された場合、その利用場所と行動（採餌中、休息、飛翔）、そして地図上の位置を記録した。アオサギの食性は幅広く、魚類、昆虫類、両生類などの水生動物や爬虫類、小型哺乳類などの陸生動物を捕食することが知られていることから（佐原ほか、1994；大串、2006）、アオサギが利用可能な場所として、水田（畔を含む）、河川（堤を含む）、灌漑池（堤を含む）、水路、海岸、畑地、その他（家屋など）の7区分を定義した。記録個体が巡回を終えていない場所へ飛び去った場合、重複して記録する可能性を考慮して解析から除外した。

水田の湛水状態はアオサギの採餌に影響すると考えられる。そこでアオサギの出現個体数の調査と同時に湛水田の枚数を数え、全体の水田数に対する割合を湛水田率とした。なお、水位にかかわらず表面が冠水している水田を湛水田として扱った。

IV. 結果

1) アオサギ個体数の季節変化

観察された総個体数は、調査期間をとおして若山川では1344個体、熊木川では976個体が確認された。その季節変化は、調査期間の前半と後半それぞれの時期で流域間の傾向が異なった（図3）。調査開始時から8月までの観察された個体数は両流域でほぼ一山型の変化がみられた。調査開始時から徐々に増加し始めた個体数は、6月にピークに達してから徐々に減少して、期間後半には小さなピークが確認された。ピークの出現時期はいずれも熊木川の方が2週間早かった。ピーク時の最大個体数は若山川で53個体、熊木川で56個体とほぼ同程度だった。

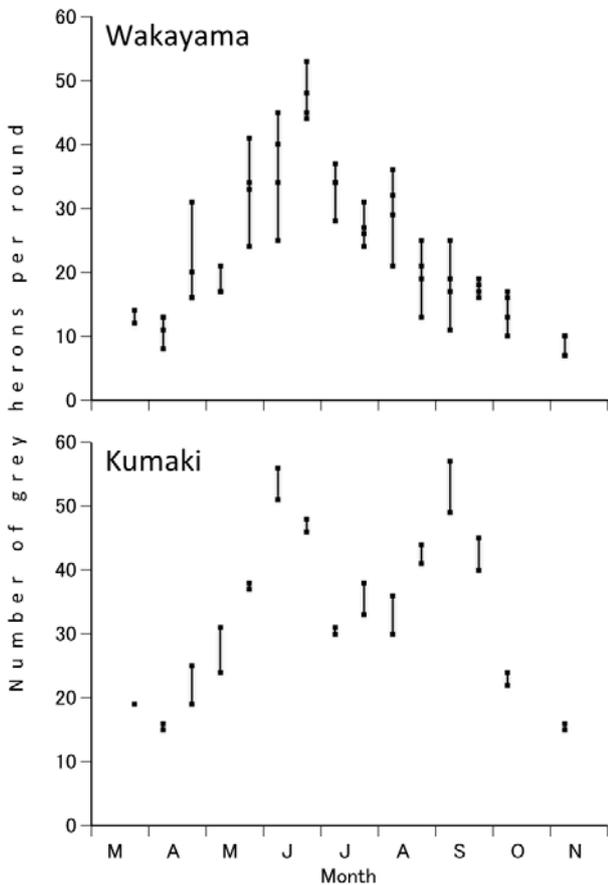


図3 調査流域における1巡回あたりアオサギ個体数の季節変化。(上段)若山川流域、(下段)熊木川流域。■, 1巡回あたり個体数；—, 調査回ごとの最高値と最低値を結んだ範囲。

Fig. 3 Seasonal change in number of grey herons per round in Wakayama (top) and Kumaki (bottom). Line shows the range of values in each biweekly census.

他方、9月以降に観察された個体数は流域間で大きく異なった（図3）。調査期間前半から徐々に個体数が減少した若山川と異なり、熊木川では9月上旬にも6月のピークに匹敵する大きなピークが確認された。調査終了時の個体数はどちらの流域でも調査開始時の水準まで減少した。

2) アオサギの採餌利用環境の季節変化

調査期間をとおして若山川では761個体、熊木川では591個体の採餌行動が確認された。

アオサギの採餌場所は両流域で季節的な変化がみられ、水田で採餌するアオサギ個体数は湛水田率に対応して変化した（図4）。水田の採餌個体数は灌漑期間に徐々に増え、6月にピークに達した後、短期間

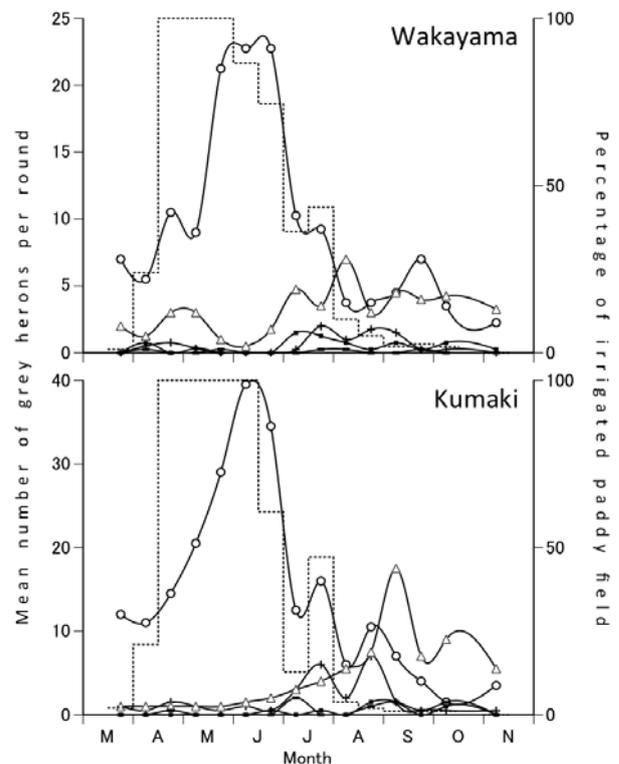


図4 調査流域における利用場所ごとの採餌個体数の季節変化。(上段)若山川流域、(下段)熊木川流域。○, 水田；△, 河川；+ , 水路；■, 灌漑池；—, 海岸または畑地。点線は流域全体の水田枚数に対する湛水田の割合を表す。

Fig. 4 Seasonal change in number of foraging grey herons in different habitats of Wakayama (top) and Kumaki (bottom). Each habitat is shown as follows: paddy field (circle), river (triangle), ditch (cross), pond (square) and coast or field as others (bar). Dotted line shows percentage of irrigated paddy field relative to the total number of paddy field in each basin.

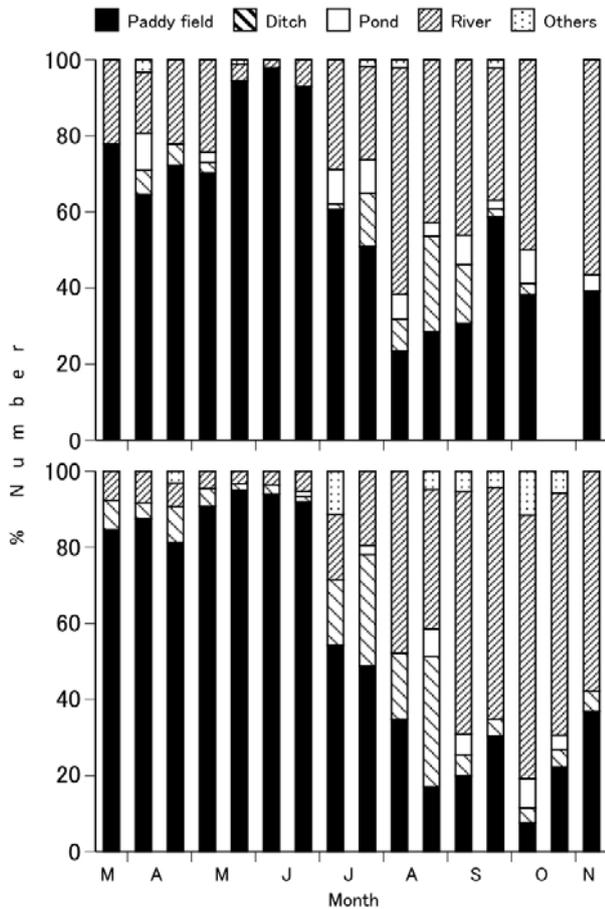


図5 調査流域におけるアオサギの採餌場所の季節推移。(上段) 若山川流域, (下段) 熊木川流域。

Fig. 5 Seasonal change of foraging habitat composition in Wakayama (top) and Kumaki (bottom).

で灌漑開始時期の水準まで減少した。8月上旬までの個体数は灌漑率の増減に対応した変化が認められた (Speaman's rank correlation test: 若山川, $\rho = 0.79$, $p < 0.01$; 熊木川, $\rho = 0.90$, $p < 0.001$)。水田に隣接する水路の採餌個体数は、水田の個体数の増減に同調して変化した。河川や灌漑池の採餌個体数は7月から増加し、熊木川では9月上旬に河川の採餌個体数のピークがみられた。

季節の進行とともに、アオサギの採餌場所は水田から河川や水路へ移った (図5)。1調査あたりの全採餌個体数に対する水田採餌個体数の割合は、調査開始時から6月まで高かったが、7月から徐々に低くなった。それに代わって、水田以外の場所における採餌利用が多くを占め、その中でも特に河川の採餌個体数の割合が高かった。8月以降、熊木川では水田と河川のあいだで採餌個体数の割合に差がみられたが、若山川では差がみられなかった (t test with

arcsine-transformed data: 若山川, $t = -1.23$, n.s.; 熊木川, $t = -5.51$, $p < 0.01$)。

V. 考 察

1) アオサギ個体数の季節変化

2つの流域でみられたアオサギの観察個体数の季節変化は、まず繁殖に関わるイベントにともなう流域個体群サイズの変化を反映したと考えられる。2つの流域で同時にみられた春季の個体数増加は、繁殖のために南方から訪れるアオサギの季節的移住が進んだためと考えられる。つづく6月の著しい個体数増加は、実際、6月は多くの幼鳥が確認され始めたことから (木村, 未公表), 巣立ち雛の加入による増加と考えられる。しかしながら、幼鳥は8月まで確認されたにもかかわらず (木村, 未公表), 8月上旬には最大個体数の約6割相当の個体数まで減少している。この減少はアオサギが流域外へ移動分散したために起こったと考えられる。

その移動分散の行先については、ため池 (工・江崎, 1998), 養魚池 (山岸ほか, 1980) や養魚場 (Lekuona, 2002) などが考えられる。若山川付近には大きな灌漑池があり、熊木川が流れ込む七尾湾は漁場として水産業が盛んな地域である。これらの場所が一時的な採餌場所としてアオサギに利用されているかもしれない。

9月には熊木川流域でのみ個体数の著しい増加が確認された。サギ類は多くの鳥類と同様、繁殖期から非繁殖期への移行にともなって季節移動 (秋の渡り) が始まり、分散あるいは南方の越冬地へ移動する (高野, 1982)。個体数の変化パターンと幼鳥の出現時期から、調査流域を含む奥能登地域におけるアオサギの繁殖活動は8月にほぼ終息し、9月に大規模な季節移動が起こったと考えられる。渡りによる個体の流入が多かった熊木川流域は、アオサギにとって渡りの中継地であると推測される。

他方、非繁殖期から繁殖期に移行する早春には、南方から北方へとアオサギの移動 (春の渡り) が始まる。しかしながら、春季の観察個体数の変化に流域間の違いはみられなかった。サギ類の渡りに関する知見は未だに乏しいが、調査地よりさらに南方から両流域へ一気に分散するなど、アオサギの春の渡りは秋の渡りとは異なった移動パターンがあると考え

られる。

2) アオサギの採餌利用環境

アオサギは繁殖期のあいだ頻繁に水田で採餌し、河川や他の場所の利用頻度が低いことが明らかになった。特に5月下旬から6月までは水田での採餌が集中している。湛水された水田は繁殖中のアオサギにとって主要な採餌場所であり、さらに巣立ったばかりの幼鳥にとっても重要な餌の供給地になっていると考えられる。それゆえ、7月から行われた中干しによって湛水率が低下した結果、水生動物を主とした餌が減少したために採餌個体数は急激に減少したと考えられる。その直後の7月下旬から8月上旬にかけて採餌個体数の変動は湛水率の変動に強く対応していたことから、湛水田の有無がアオサギによる水田利用に強く影響していると示唆される。

繁殖期の後半にみられた水田の利用頻度の低下は、河川や水路など水田以外の利用頻度の上昇に繋がったと推測され、これらの採餌場所はこの時期、湛水田に対する代償的な餌場としての役割を担っていると考えられる。しかしながら、河川や水路の採餌個体数は6月にみられた水田の最大採餌個体数にくらべて明らかに小さく、総個体数においても6月の最大個体数はそのあと維持されていない。サギ類の生息密度や生活史は餌生物の組成やバイオマスの影響を強く受けている (Hafner and Britton, 1983; Powell, 1983; Butterm 1993)。したがって、それぞれの流域内の河川や水路には、水田を餌場として大きくなったアオサギの個体群サイズを維持するだけの餌条件が満たされていないと考えられる。

農閑期に起こる田面の乾田化は、サギの田面採餌を減少させ、水田の餌場としての価値を著しく低下させる (中島ほか, 2006)。調査地でも、9月から始まった稲刈りから稲刈り後まで乾田状態の水田に占められたことによって、アオサギによる水田利用が減少していったと考えられる。若山川のように、それでも水田利用が続いていたのは、アオサギの食性の多様さに起因しているかもしれない。アオサギは主に魚食であるが、陸生動物も捕食する (佐原ほか, 1994; 大串, 2006)。そのため、乾田状態の水田での採餌が可能になっていると考えられる (中島ほか, 2006)。

本研究では、河川はアオサギにとって水田の代償

的な餌場であり、一時的な餌供給地として重要な役割を担っていると位置づけられた。さらに、非繁殖期に熊木川でみられた渡りピーク時においても、河川で採餌する個体は急激に増えた一方で水田採餌個体が減少したことから同様のことが示唆される。調査流域内における河川の環境収容力は大面積の水田にくらべて非常に小さいが、水田の湛水状況によって河川の餌場としての価値は相対的に高くなると考えられる。

中島ほか (2006) は兵庫県豊岡盆地におけるサギ類の調査で、水田の状態にかかわらずアオサギの河川利用個体数が年中安定していたことを明らかにし、その季節変化から河川はアオサギの餌場として安定した価値を持つと示した。一方、本調査地ではアオサギの水田利用個体数が圧倒的に増えたのとは逆に、河川個体数は著しく減少した時期がみられた。これは河川の餌場としての価値が見かけ低下していることを示唆しており、アオサギは選好的に水田を利用していると考えられる。豊岡盆地の円山川にくらべて、調査流域の河川は規模が小さく、利用可能な餌生物や浅瀬が少ないなど、アオサギの餌場としての価値は低いかもしれない。しかしながら、本研究の結果から、河川の餌場としての実質的な価値を評価できない。河川をはじめとする環境ごとの餌生物に関する季節的、定量的な情報が必要であろう。

サギ類はコウノトリの野生復帰をはじめ水禽類の保全における好例な研究対象として注目されている。その中で、湛水田への移行 (中島ほか, 2006)、水路整備による水田と河川の水循環の回復 (成末・内田, 1993) などが指摘され、水路のコンクリート化など餌となる生物の定着や移動を妨げる構造物の影響などの事例も数多く報告されている。アオサギの餌場としての相対的価値が低い秋季、冬季の乾田や初夏の河川や水路に対して、水田の冬季湛水、魚道の確保、河川・水路における生物生息環境の改善をそれぞれ行うことによって、流域内の生物生産を安定的に高めることが期待できると考えられる。しかしながら、水田の冬季湛水による畔の崩壊など農作業に支障をきたす場合もあり (山本ほか, 1999)、それらを考慮した整備の実施が望まれる。

さらに、サギ類の保全を進める上でサギ類による農業被害を考慮する必要がある。水稻の踏み倒しなど、サギ類による農業被害は全国的に報告されてい

る（総務省，2012）。調査地においても，初夏にアオサギが水田で採餌するために，小規模ながら水稲が踏み荒らされていた（木村，未発表）。このようなアオサギの集中的な水田利用を緩和するため，水田以外の餌場への分散を促すことが現時点では効果的と考えられる。前述した河川・水路の整備に加えて，耕作放棄地を利用して水辺環境を造りだすことも有効であろう。調査流域の大部分は，農山村の過疎高齢化によって耕作放棄地が増加している中山間地域であり（日本の里山・里海評価—北信越クラスター，2010），餌場の創出という点で潜在性の高い地域と考えられる。

謝 辞：本調査に協力をいただいた奥野弘吉，後藤美穂，佐野禎宣，干場みゆき，出村正幸，西絵美，山野仁志，加藤秀夫，山口順司，壺内巧馬の諸氏に厚く御礼申し上げます。原稿について適切な助言をいただいた匿名の査読者に感謝申し上げます。赤石大輔博士には珠洲市のサギ調査に関する有益な情報をいただいた。本研究は文科省特別教育研究経費（持続可能な地域発展を目指す「里山里海再生学」の構築—能登半島から世界へ向けた発信）により実施された。

文 献

- Butler, R. W., 1993: Time of breeding in relation to food availability of female Great Blue Herons (*Ardea herodias*). *Auk*, **110**, 693-701.
- Elphick, C. S., 2000: Functional equivalency between rice fields and seminatural wetland habitats. *Conservation Biology*, **14**, 181-191.
- Fasola, M., 1983: Nesting populations of herons in Italy depending on feeding habitats. *Bolletino di Zoologia*, **50**, 21-24.
- Fasola, M. and Brangi, A., 2010: Consequences of rice agriculture for waterbird population size and dynamics. *Waterbirds*, **33**, 160-166.
- Fasola, M., Canova, L. and Saino, N., 1996: Rice fields support a large portion of herons breeding in the Mediterranean region. *Colonial Waterbirds*, **19**, 129-134.
- Fujioka, M. and Yoshida, H., 2001: The potential and problems of agricultural ecosystems for birds in Japan. *Global Environmental Research*, **5**, 151-161.
- Hafner, H. and Britton, R. H., 1983: Changes of foraging sites by nesting little egrets (*Egretta garzetta* l.) in relation to food supply. *Colonial Waterbirds*, **6**, 24-30.
- Hattori, A. and Mae, S., 2001: Habitat use and diversity of waterbirds in a coastal lagoon around Lake Biwa, Japan. *Ecological Research*, **16**, 543-553.
- Lekuona, J. M., 2002: Food intake, feeding behaviour and stock losses of cormorants, *Phalacrocorax carbo*, and grey herons, *Ardea cinerea*, at a fish farm in Arcachon Bay (Southwest France) during breeding and non-breeding season. *Folia Zoologica*, **51**, 23-34.
- Maeda, T., 2001: Patterns of bird abundance and habitat use in rice fields of the Kanto Plain, central Japan. *Ecological Research*, **16**, 569-585.
- 中島 拓・江崎保男・中上喜文・大迫義人，2006：水田と河川，コウノトリ野生復帰地での餌場の相対的価値—豊岡盆地に生息するサギ類を指標として—。保全生態学研究，**11**，35-42.
- 成末雅恵・内田 博，1993：土地改良とサギ類の退行。Strix，**12**，121-130.
- 日本の里山・里海評価—北信越クラスター，2010：里山・里海：日本の社会生態学的生産ランドスケープ—北信越の経験と教訓—，国際連合大学，東京，109p.
- 大串龍一，2006：河北潟干拓地における小型哺乳類の生息状況（2003-04）。河北潟総合研究（Kahokugata Lake Science），**9**，23-32.
- Powell, G. V. N., 1983: Food availability and reproduction by Great White Herons, *Ardea herodias*: a food addition study. *Colonial Waterbirds*, **6**, 139-147.
- 佐原雄二・作山宗樹・出町 玄，1994：繁殖期におけるアオサギ *Ardea cinerea* のエサと採餌場利用。日本鳥学会誌，**43**，61-71.
- 総務省，2012：鳥獣被害防止対策に関する行政評価・監視結果報告書。166p.
- Steinmetz, J., Kohler, S. L. and Soluk, D. A., 2003: Birds are overlooked top predators in aquatic food webs. *Ecology*, **84**, 1324-1328.
- 高野伸二，1982：フィールドガイド 日本の野鳥。日本野鳥の会，326p.
- 工 義尚・江崎保男，1998：ため池・水田地帯におけるサギ類の生息場所分離。日本生態学会誌，**48**，17-26.
- 山岸 哲・井上良和・米田重玄，1980：奈良盆地における

サギ類の集団繁殖地と埒の配置および採食範囲. 鳥, **29**, 69-85.

山本浩伸・大畑孝二・山本芳夫, 1999: 石川県加賀市の水田地帯における越冬期のカモ類の環境選好性—片野鴨

池に飛来するカモ類の減少を抑制するための試み—. *Strix*, **17**, 127-132.

大野弁吉著「一東視窮録 製薬 上」の舎密学関係事項 の出典の調査・研究

板垣英治^{1*}

2014年8月21日受付, Received 21 August 2014
2014年10月30日受理, Accepted 30 October 2014

An Examination of Benkiti Ohno and His Famous Notebook “*Ittousi Kyuroku Seiyaku* (Notes regarding Pharmaceutical Science)”

Eiji ITAGAKI^{1*}

Abstract

Benkiti Ohno, a technician who specialized in mechanical dolls, wrote in relation to over one hundred and fifty subjects concerning pharmaceutical science in his notebook “*Ittousi kyuroku.*” In this paper, analyses of the subjects that he wrote about were conducted. New evidence was found that Ohno went to the chemistry office of the Soyukan to conduct research on subjects that he was interested in in the book “*Seimi kaisou*”. “*Seimi kaisou*” is the title of a famous book written by Yhoan Utogawa, who translated important information about chemistry subjects from Dutch textbooks and converted his translations into a book. Ohno also viewed other scientific books stored in the library room of the Soyukan. As a result of this paper, the personal life history of Benkiti Ohno in Kanazawa in the latter-half of the nineteenth century was presented for the first time ever.

Key Words: Benkiti Ohno, *Ittousi Kyuroku*, chemistry subjects, *Seimi Kaisou*, Soyukan, Yhoan Utogawa

キーワード: 大野弁吉, 一東視窮録, 舎密学, 壮猶館, 舎密開宗, 宇田川榕菴

I. はじめに

大野弁吉は奇才カラクリ師として知られ、石川県は彼の功績を称え「大野からくり記念館」を平成8年(1996)に、彼の居住した金沢市大野町に建設して、広く弁吉の業績を伝えてきた。ところが、この弁吉の履歴に関する史料が少なく、弁吉を研究する者を困惑させてきた。彼の自筆の文書で現存するのは、大野弁吉著『一東視窮録 製薬 上』のみであ

る(史料¹)。先に(小林, 1991)によりこの『一東視窮録』の内容の分析が行われていたが、弁吉を理解するにはほど遠いものであった。弁吉は本史料に「製薬 上」として、多くの事柄を記載しており、その事項を分類した小林によれば、1. 舎密術(化学)関係事項, 2. 科学器具(兵器を含む)関係項目, 3. 医術・薬学関係項目, 4. 伝統技術関係項目となり多岐に渉って掲載していた事が明らかとなっている。弁吉がこれらを記述することが出来た理由は、豊富な

¹金沢大学名誉教授 〒921-8173 石川県金沢市円光寺3-15-16 (Emeritus Professor of Kanazawa University, 15-16 Enkoji 3 chome, Kanazawa, 921-8173 Japan) / 金沢大学環日本海域環境研究センター 地域研究領域外来研究員 (Visiting Researcher, Department of Regional Studies, Institute of Nature and Environmental Technology, Kanazawa University)

*連絡著者 (Author for correspondence)

学術的知識を有していた事に依るのか、さらにこの知識を何時・如何様にして得ていたのかは、彼の履歴が明瞭になって居ない限り明らかにならない。ただ、彼は長崎に行きシーボルトに師事したとか(永井, 1938)などは種々の憶測で記述されているに過ぎなかった(鍋木, 1954; 立川, 1969; 本康, 2007)。

この問題を解く一つの鍵が、上記の四領域の項目に記載された事項を如何なる資料から収集していたかを知ることである。これは彼の学習の方法を示唆する事ともなり、重要な手段の一つである。

筆者らは先に、『一東視窮録 製薬 上』の医術・薬学関係項目の解説・研究を試み、ほぼすべての項目が漢方の処方である事を明らかにした(板垣・本康, 2014)。このことは弁吉がオランダ医学を積極的には習って居なかったことを示唆している。しばしば彼の蘭語学習について取り上げられているが、今回の研究結果は、彼が蘭語の解読能力を有していた事について疑問を呈している。続いて、今回は最も項目数の多い舎密学関係事項に関する調査・研究を行い、弁吉についての重要な情報を得る事が出来たので本稿に詳述する。

大野弁吉は享和元年(1800)に京都に生まれ、明治3年(1870)に金沢で没している。この時代の初期には、わが国にはオランダから多くの新科学技術の情報が伝達され、自然科学の進歩に大きく貢献した。その蘭学に造詣の最も深かった人物が宇田川榛齋であり『遠西医方名物考』(史料²)と『和蘭薬鏡』(史料³)を著述し、さらに宇田川榕菴が、『植学啓原』(史料⁴)および最大の業績である『舎密開宗』(史料⁵)を翻訳・編集していた。本書は多数の西欧の化学書から翻訳・編集したもので、わが国最初の本格的な系統的化学書であった。

ところが、従来の弁吉研究では、中心が「カラクリ奇器」となり、前記の『一東視窮録』に記載された事項の関係項目とは直接関連は無かった(立川, 1969; 小林, 1991)。弁吉が取り上げていた150余の舎密学関係項目が、何処で、どの様な資料を用いて検索して、選択・摂取されていたのかは全く研究対象に成って居なかった。その結果、弁吉と当時の蘭学資料との関係には触れられていなかった。

今回の調査・研究では、大野弁吉著『一東視窮録』の原典のコピーを調査資料とする事が不可能なことから、小林(1991)に掲載された、舎密術(化学)

関係事項及び医術・薬学関係項目、さらに科学器具関係項目を調査の対象とした。この医術・薬学関係項目の調査の結果は、すでに板垣・本康(2014)に掲載した様に、医術・薬学関係項目はほぼ総てが“漢方薬”の処方であり、その為にこの原典の調査は不可能であった。しかし蘭医学説は否定することになり、従来の弁吉の長崎留学説を承認する事は出来無くなった。

本報では、舎密学関係項目を先ず11項目に分類して、各項目の調査を行い、弁吉が参考にした史料を同定した。『一東視窮録』と参考史料の項目名の漢字表記が同一であること、および引用された図が同一であることを重視した。また、項目の説明文がある場合は、説明文の一致も重要な因子である。特に舎密学関係項目は宇田川榕菴『舎密開宗』(史料⁵)が最も重要な史料であり、本書の記述内容との比較を重視した。さらに科学器具関係項目よりの一部も調査して同様に記載した。幸いな事に「加賀藩壮猶館蔵書目録」には『舎密開宗』全巻が安政4年5月に購入したことが記載されていた(板垣, 2011)。

本稿では、弁吉の記載した全ての舎密学関係項目を分類して表1に記し、その右側に関係史料での項目名を記し、簡単な解説を記述した。右端には引用史料名と掲載箇所を標記した。本論文に史料を引用する際には、句読点を書き加えて記した。表1の項目の番号を本文での項目の引用の際にも付け加えた。

II. 『一東視窮録 製薬 上』に記載の舎密学関係項目

舎密学関係項目を表1に示した様に分類して、各分類項目から数項目を挙げ、その説明を次に記載した。

1) 金属と塩類

『一東視窮録』に記載される舎密学関係項目の詳細な分析を行ったところ、総数158項目であり、それぞれの項目を調査して分類した結果、91項目、57.8%が宇田川榕菴編著の『舎密開宗』全巻から引用・記載されていたことが明らかになった。

[金, 白金, 銀, 水銀関係]では12項目中11項目が『舎密開宗』(四)巻十から巻十一に掲載されている。ここには雷金(1), 雷銀(4), 雷項(汞)(6), ドンドルプラチナ(8)などが含まれている。

[鉄, 銅及び鉛関係]は、同書(四)巻二十に「鋼」

(13) が記載されており、「真鍮合並諸合」(15) が同書(五)巻十三の附録に「銅他金和合」として銅合金類が記載されている。

詳細は表1に示した。

「製金合」(29) は「葛修氏紫金」Cassius purple であり、金コロイドと錫の水酸化物の混合物であり、『舎密開宗』(四)巻十、第一百七十五章に記されている。

【銅合金類】では、白銅(16)、烏金(17)、敦抜加(ダンバカ)(18)、利応斯金(リオスキん)(19)、テレスコープ鏡料(望遠鏡用鏡材)(20)、彬斯別幾(ヒンスベッキ)(21)、斎密羅爾(シミロル)(22)、近來用モルチール(白砲地金)(23)、大活字鑄料(24)等の多数の項がある。これらは、『舎密開宗』(四)巻十三、(五)巻十三、同十四、にまとめて記載されている(表1を参照のこと)。

【メッキ、鍍金、蠟付け関係】では、銀焼き付け(31)は鍍銀法として、銀早蠟(33)は銀釐薬方として『舎密開宗』(四)巻十一に記載されているが、亜鉛メッキ、真鍮早蠟、真鍮打柳蠟等は『舎密開宗』には記載がなく、別の資料からの引用であると見られる。

【無機酸類及び塩類】は硫酸(37)、塩酸(41)、硝酸(42)等とその塩類24項目からなり、その殆ど総てが『舎密開宗』(二)巻四、巻五、巻六に記載されている。

「賽雷酸」(45)は『舎密開宗』(二)巻五、百十二章に「賽雷酸」として記載されている。詳しくは表1を参照のこと。

譬乙典埵加里製(58)、その他。

小林(1991)の舎密術関係事項の中に記載された次の項目は、宇田川榛斎編著『遠西医方名物考、十巻、九』^(史料2)にも掲載されており、本書より写し書きして、引用したものである。また、『舎密開宗』(一)巻三、加里及び曹達 第五十八章、6~7頁にも記載されている。

大野弁吉『一東視窮録』最初の頁(小林, 1991)の図1, 302頁には、

○「譬乙典埵加里製」バイデンデカリ(bijtende potasch),
腐食加里

「半炭酸加里 尋常ノ剥篤亜斯 二分 生石灰三分ヲ和シ 水十六分ニ攪セ煮事四分時。試

ニ上清少許ヲ取テ 酸精少許ニ交テ沸滓セズ 炭酸、己ニ脱スル候 炭酸加里ヲ加テ濁ヲ生セザルニ至テ 重綿布ヲ以テ漉シ 煮テ八分トシ 固封シ静定メ沈殿ヲ去リ 澄ヲ取 煮テ醇滷トナシ硝子壘ニ入固封シ貯ル。」

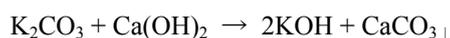
これに対して、宇田川榛斎編著『遠西医方名物考、十巻、九』及び宇田川榕菴編著『舎密開宗』(一)巻三、加里及び曹達 第五十八章には、

○「譬乙典埵加里」バイデンデカリ

「半炭酸加里 尋常ノ剥篤亜斯 二分ニ 生石灰三分ヲ和シ 水十六分ニ攪セ 煮事四分時。試ニ上清少許ヲ取テ 酸精少許ニ和テ沸滓セズ 炭酸、己ニ脱スル候 炭酸加里ヲ加テ濁ヲ生セザルニ至リ 重綿布ヲ以テ漉シ 煮テ八分トシ 固封シ静定メ沈殿ヲ去リ 澄ヲ小壘数個ニ別チ貯エル。」

とあり、両者が明らかに同一の文章であることが分かる。

この項は水酸化カリの製法であり、炭酸加里と水酸化カルシウムとの反応により、水酸化加里と炭酸カルシウムが生成して、炭酸カルシウムは沈殿して、上清液は水酸化加里溶液となることを示して居る。



2) 気 体

『一東視窮録』には気体類として、水素瓦斯(61)、炭水瓦斯(63)、炭酸瓦斯(64)、酸素瓦斯(65)、窒素瓦斯(66)、酸化水素瓦斯(67)、水之酸素瓦斯(68)、磷化水素瓦斯(69)、蘇魯林瓦斯(塩素瓦斯)(70)、ヨウジウム(71)の10種が記載されている。これらは『舎密開宗』巻二を中心にして引用されていた。

炭水瓦斯(63)は炭化水素瓦斯でメタンなどをさす。酸化水素瓦斯(67)は水の電気分解により得られる酸素・水素混合瓦斯について触れている。水の電気分解については後述する。

弁吉は種々のガスを取り出す装置として、2点の集気装置の図を掲載していた。図1は、集気装置で上方置換法での気体を集める簡単な装置の図である。この図と同じ図が、『舎密開宗』(一)巻二、第三十一章「得ル酸素瓦斯ヲ法」5~6頁に記載され、巻末の図

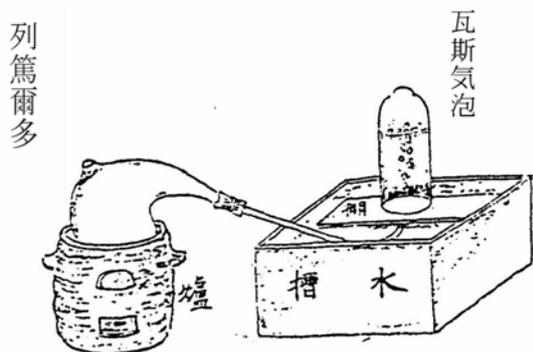


図1 化学実験装置の図（『一東視窮録』の図。（小林，1991）の図5。聚気装置で左のレトルト内で発生した気体を右硝子容器に入った水と上方置換により気体を集める図である。

Fig. 1 An apparatus of chemical experiments for preparation of hydrogen gas depicted by B. Ohno.

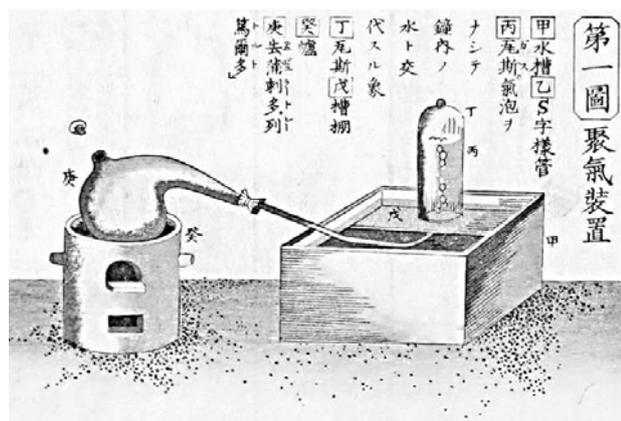


図2 『舍密開宗』(一) 卷二、第三十一章の第一圖 聚気装置の図。甲：水槽，乙：S字鉄管，丙：瓦斯気泡ヲナシテ鐘内ノ水と交代する象，丁：瓦斯，戊：槽棚，癸：炉，庚：列篤爾多（レトルト）。

Fig. 2 An apparatus for preparation of hydrogen gas (after “Seimi Kaisou”).

の頁に図2「第一圖，聚気装置」に掲載されている。この事実は、弁吉が『舍密開宗』の図を書写していた事を証明している。

次に酸素瓦斯（65）では、酸化マンガン^{IV}の熱分解について、同じ図を使用して説明をしている。

「酸素瓦斯ヲ得ル法。一菴ナラズ。今五法ヲ挙ク。其第一法ハ黒酸化満俺（ブロインステーン）（第二百五十一章）ヲ火ニ耐ル陶製ノ列篤爾多ニ納レ、熾熱ヲ以テ餾シ、（中略）○按ニ水槽ヲ

装置ス 以下同じ。第一図是ナリ。○沙布答爾氏云、黒酸化満俺四オンスヲ餾シテ、純精ノ酸素瓦斯 九彬篤容ヲ発ス。」

黒酸化満俺は酸化マンガン（IV）（ MnO_2 ）で、熱分解により酸素瓦斯と酸化マンガン（II）になる。黒酸化満俺を陶製の容器・レトルトに入れて、その口にS字管をつなぎ、水槽の中に逆さに立て、水を充たした壺の口に差し込む。炉の燈火の上にレトルトを置き加熱すると、酸化マンガン（IV）の熱分解がおこり、酸素瓦斯が発生して、逆さに立てた聚気壺の中に貯まる。

この同じ装置を使用して水素ガスを得ることも出来る。

水素瓦斯（61）

得ル水素瓦斯ヲ法、舎密開宗（一）卷二、第四十一章、十二頁。

瓦斯喜度羅羅涅，ワートルストフ ガス

「鍍屑或ハ細キ鍍釘ヲ玻璃壺或ハ小列篤爾多（レトルト）ニ納レ、硫酸ニ水五六倍ヲ和スル者ヲ注ゲバ、沸焔シテ水素瓦斯ヲ発シ、水槽ノ鐘中ニ聚ル（第一図）」（図2）。

図2のガスの上方位置換法による装置を用いての水素ガスの製造法である。

つづいて、第三図及び「第二図，水ヲ分離スル式」（図4）では：

水を分離（分解）する方法とは、左の燈火炉の上のレトルトよりの水蒸気を銅製加熱器に入れた鉄製蛇管を通して水蒸気を分解して、つぎに水素瓦斯と残っている水とを分離して、硝子管を通して右端の集気壺に集める装置である。図3に弁吉の図を示す。図4には『舍密開宗』「第二図，水ヲ分離スル式」の図を示す。

『舍密開宗』（一）卷二，水ヲ分離スル法，第四十八章，19頁。

「水ノ分離法。二法アリ。一ハ或ハ止 其水素瓦斯ヲ分チ 或ハ止 其酸素瓦斯ヲ分ベク、一ハ酸水ノ二瓦斯ニ分離スベキ法ナリ。水ノ水素瓦斯ヲ分ツ法ハ銃筒ノ螺螄纏（ネジ）ヲ除キ、縋キタル鉄線ヲ納レ横ニ竈ニ串キ、一

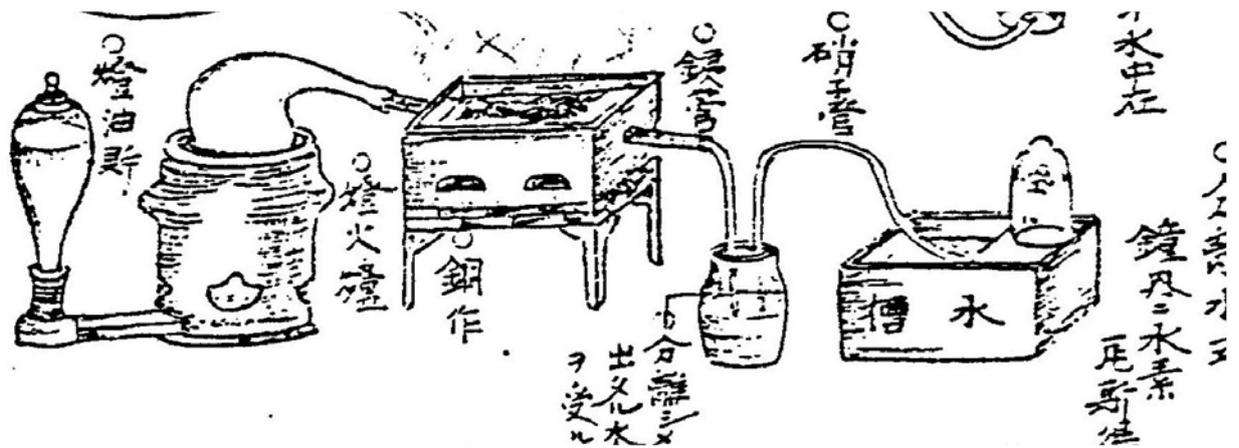


図3 水ヲ分離スル式. 『一東視窮録』の図. (小林, 1991) 図5. 種々のガスを取り出す装置の図より).

Fig. 3 An apparatus for preparation of hydrogen gas, which was made of water vapor by catalytic action of highly heated iron.

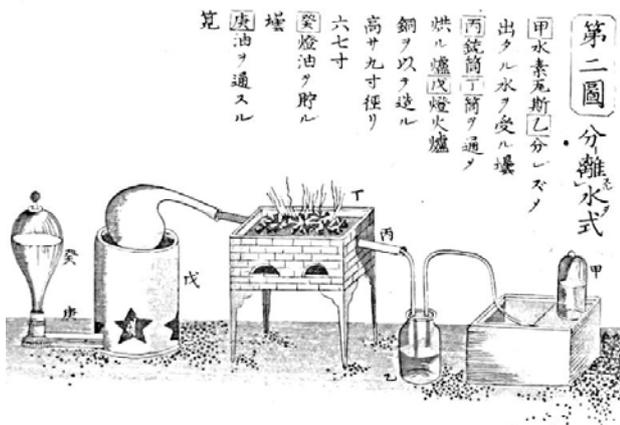


図4 水ヲ分離スル式 (水素を分解する方法) 『舎密開宗』(一) 卷二, 第四十八章, 19頁, 第二図. 卷末の図の頁の第二図より. 甲: 水素瓦斯, 乙: 分レズシテ出タル水ヲ受ル壺, 丙: 銃筒, 丁: 筒ヲ通シ烘ル炉, 戊: 燈火炉, 銅ヲ以テ造ル, 高サ九寸, 径リ六七寸, 己: 燈油ヲ貯ル壺, 庚: 油ヲ通スル筧.

Fig. 4 The same of Fig.3, cited from "Seimi Kaisou".

端ヲ水ヲ盛タル列篤爾多ニ続キ, 稍高クシ, 一端ニ彎レル管ヲ続キ, 管端ヲ水槽ノ鐘下ニ臨マシメ, 竈ニ炭火ヲ装ヒ筒ヲ熾紅ニシ, 燈火ヲ以テ列篤爾多ヲ煥レバ水ノ炊気, 銃筒ヲ經過スル間ニ分離ス, 即チ其酸素ハ銃筒ノ鉄ニ親和シ, 水素ハ瓦斯ト為テ彎管ヨリ出テ鐘内ニ聚ル, 凡水素瓦斯ヲ多ク取ルニ, 此法尤モ簡ニメ且ツ費用少ナシ. 第二図出 (図4).」

図3の装置の図は図4 (第二図) と同じである。本

図の内部に書かれた説明は弁吉の引用した図3の説明でもある。

次に窒素瓦斯 (66) を得る方法を記す。

「窒素瓦斯」, 「得ル窒素瓦斯ヲ法」 『舎密開宗』(一) 第三十六章, 卷二, 9頁。

スチックストフ ガス, サルペートル ストフ ガス, 硝石素瓦斯

「鉄屑, 硫黄, 各等分ヲ水ニ和シテ泥トシ小皿ニ納レテ, 水上ニ置ク事 第三十三章ノ如クシ, 大氣ヲ充タル玻璃鐘ヲ覆ヒ, 一二日ヲ経レバ, 鐘内ノ大氣ノ酸素ハ, 其和剤ニ和シ, 気容ハ漸ク縮シテ四分ノ三ト為リ, 水槽ノ水 随テ鐘内ニ昇ル, 於テ是ニ 皿ヲ水中ニテ取り除キ 夫ノ縮ミタル氣ヲ捕ヘ収ム 即チ窒(素)瓦斯ナリ。」

鉄屑と硫黄の混合物が大気中の酸素と反応することから, これを硝子鐘内で行い, 鐘内に残った気体を取れば窒素が得られる。

次にヨウ素 (71) とその製法を記す。

「ヨジウム」(伊阿曹母), ヨジウム製法 (72) は, 『舎密開宗』(五) 卷十五, 二百六十二章, 18頁, 新金属の項に記載されている。

「伊阿曹母」イオジウム, ケルプストフ, 堇花色素, 此素ノ蒸気堇花色ナルニ因テ達喜氏, 伊阿曹母ト名ク

「伊阿曹母ハ千八百十一年 文化八年 格烏爾

トイス
対ス氏曹達埵華列斯ノ母滷中ニテ創見セル元素ナリ 天生遊離ノ者無シ 亜爾加里金属、曹曹母等、ニ和合シテ海産動植物、就中微爾、海綿某種ノ石塩灰中ニ多シ、海潮ニハ未タ之ヲ含ム者ヲ見ズ。」(以下に沃度の性質を記載)。

「得^ル伊阿曹母^ヲ法」ヨジウム製法

「曹達埵華列斯ノ母滷ヲ煮テ乾シ、(コノ乾滷ヲ伊阿陣曹曹母ト名ク) 硫酸少許ヲ注キ輕ク温メテ勉テ滷塩内所含ノ塩酸ヲ飛散セシメ而後、酸化満俺ト多分ノ硫酸ヲ加テ玻璃ノ列篤爾多ニテ溜スレバ美紫色ノ蒸気、受器ニ出 凝テ伊阿曹母ト為ル。」

海藻よりのヨウ素の取り方の説明である。弁吉の記した「ヨヂユム製法」には、ヨウ素ガスの色が「緑色之烟」と誤って記載されている(本康, 2007, p.113)。弁吉は『舎密開宗』とは違った史料を使用していた。ヨウジウム項にはヨウ素化合物についての記載はない。

3) 蛍光体と燐光体

「東燐」(カントンセホスホール) (73) は硫化カルシウム蛍光体である。

『舎密開宗』(三) 卷七, 百四十三章, 附録 18頁。

蛎殻殻3分と硫黄華1分を混合して坩堝に入れ、口を封じ、約30分間バーナーで加熱する。火の強さは試料が紅色より過ぎるのをさける。冷後、最も潔白なところを撰んで取り細末として、硝子瓶に入れ貯える。この細末はしばらく日光にさらして後、暗い部屋に移すと漠然として光を放つ。これは硫化カルシウムと硫酸銅および賦活物質の存在により、蛍光物質となりブラックライトの照射により緑色の光を放っている。賦活物質の種類により光の波長が変化する。

「ホスホール*」(75) は木片に燐と硫黄を付けた付け木(マッチ)であり、「発燐」(ホスホリセトッキース) phosphorus stokijes (76) は「燐少許ヲ取り無膠紙ニテ水気ヲ拭ヒ乾シ、小玻璃壺ニ納レ温メ焔シ少く気ニ触テ酸化セシメ、壺ヲ回轉シテ燐ヲシテ普ク壺内ニ布達セシメ、密ニロヲ栓塞シ貯フ。夜中火ヲ求ムントスルトキ、ロヲ開キ、硫付ケ木ヲ以テ壺内ヲ攪擾スレバ、硫付ケ木 便チ火ヲ引テ燃ユ」であると『舎密開宗』(三) 卷七, 百三十三章, 2頁に

記載されている。小林(1991)の図4は、弁吉が発燐燐をマッチと誤って理解していたことを示している。

「燐化加爾基」(リンカカルキ) (77) =リン化カルシウムCa₂Pであり、『舎密開宗』(三) 卷七, 百四十三章に掲載されている。

*ボスポール(硝石)は間違いである。

4) 染料と墨

「紫金」(78) は「葛修氏紫金」Cassius purpleであり、金のナノ粒子である。金を消塩酸(王水)に溶解して、錫を加えて還元すると紫色沈殿が出来る。還元生成物は金の径が10⁹mサイズの微粒子の懸濁液-コロイド溶液であり、赤紫色をしている。これは瑠璃の色づけに使用される。『舎密開宗』(四) 卷十, 百七十五章, 13~14頁に記載されている。

「繆^{シヨ}西加爾^{シカール}臥^{ゴウ}鳥^ド度」アウリウムミシキウム (79) は『舎密開宗』(五) 卷十三, 二百二十九章, 2頁に次の如く記載されている。

「製法 精錫一オンスニ 生瀝, 銀朱, 硫黄 各十錢 塩酸諸模尼亜八錢 (一方 無銀朱) 錫ニ瀝ヲ和シテ錫膏(錫アマルガム) トシ、銀朱以下ヲ加ヘテ研合シ、格爾弗ニ内レ烈火ニ煨ス事二時ナレバ、銀朱ハ昇テ華ト為リ、器底ニ金色ノ物残ル。鬆脆ニシテ針眼多シ之ヲ水ニ洗ヒ乾ス金色ノ畫ヲ彩スルニ用フ。」

金色をした錫の硫化物と見られ、これを絵画の金色の画材とした。

「藍色隱頭墨」(80) は『舎密開宗』(五) 卷十五, 二百五十八章, 3頁に掲載されている。コバルトを硝酸または塩酸に溶解する。この溶液を用いて紙に画を描き、乾燥の後、弱火で加熱すると藍色~緑色の画像が現れる。又の方法は、酸化コバルトを酢酸に溶かし、食塩を少し加える。この溶液で紙に画像を画き乾燥後、弱火で加熱すると青色の画像が現れる。

「鉛之隱頭墨黒色」(81) は『舎密開宗』(五) 卷十, 二百二十二章, 15~16頁に掲載されている。酸化コバルトを酢酸に溶かし、食塩を少し加える。この溶液で紙に画像を画き、乾燥後、弱火で加熱すると鉛色の画像が現れる。コバルト酸化物は鉛色である。

「蒲龍斯吻乙吉緑」(ブロンスウエイキ) (84) は

『舎密開宗』(五) 卷十三, 二百十章, 附録, 5頁に掲載されている。アンモニア硫酸銅塩錯体からなり、フリースグリーンとも呼ばれる油彩用緑色顔料である。

「緑色隠頭墨」(82)は、『舎密開宗』(五) 卷十五, 二百五十八章, 2頁にあり, 酸化コバルト溶液に塩化アンモニウムを加えて, 緑色の塩化コバルトとする。この希薄溶液を使用する。

「紅墨水」(83)は『舎密開宗』(六) 卷十八, 二百九十四章, 18頁に記載されている。紅色の墨汁であり, 蘓木(蘓方木, すほう)の木の煎汁よりの赤い色素を使用した墨汁である。『和漢三才図会』江戸時代中期(1713年頃)刊より蘓木の図を示す。



図5 蘓方木, 蘓木の図。『和漢三才図会』より(石川県立図書館蔵)(史料6)

Fig. 5 *Caesalpin sappan* Blanco, a plant for yielding of medical materials and red dye. An illustration of the plant and explanation of the medical use were written.

5) ボルタ電池とガルバニー電池

「ボルタ電池」(本項目は科学器具関係項目に入れられて居る。)

用ル^{ボルタ}福爾答氏ノ格羅母^法 (ボルタ氏カラムを用いる法) 『舎密開宗』(一) 卷二, 第五十章, 21頁。

「按ニ一千七百九十一年 寛政三年 意太里^{イタリ}亜^ア・解剖学教頭瓦爾華尼(ガルバニー)一種ノ越列機^{エレキ}気力ヲ偶悟シ其説ヲ列公シテ後進ノ考ヲ俟ツ 竟ニ府中ノ福爾答 銭形ノ金属ヲ累テ柱ノ如ク積ミ 其機力ヲ發セシム時 人其匠心ヲ美シ 之ヲ福爾答氏ノ格羅母 此ノ訳 柱ト称ス 然レドモ 其發明ノ主ハ瓦爾華尼氏ナルニ因テ 機力ヲ謂テ 瓦爾華尼攝越列機^{エレキ}の里西^シ底多ト云ヒ, 装置ヲ斥テ 福爾答攝格羅母 或ハ 瓦爾華尼攝拔的麗ト云ウ。第七図。福爾答攝格羅母ハ近世發明ノ奇器ナリ 造法ハ 亜鉛(或イハ錫)ヲ鑄テ銭ノ形トス, 稍厚シ銀(或イハ銅)ヲ以テ又此銭ヲ造リ, 哆囉紙(ラシヤ)(或イハ厚紙)ヲ円ク剪テ其大ノ如クス。」

以上は第七図(図6)の説明文である。これはボルタが発明した電池, バッテリーであり, 亜鉛板と銀板または銅板を重ね, その上に塩汁を浸したラシヤ紙を置く。これを30~50組造り重ねた物がこのガルバニーカラム, 或いはボルタカラムである。図七(図6)では甲, 乙二つの麦酒蓋に試料溶液を加え, 丙の

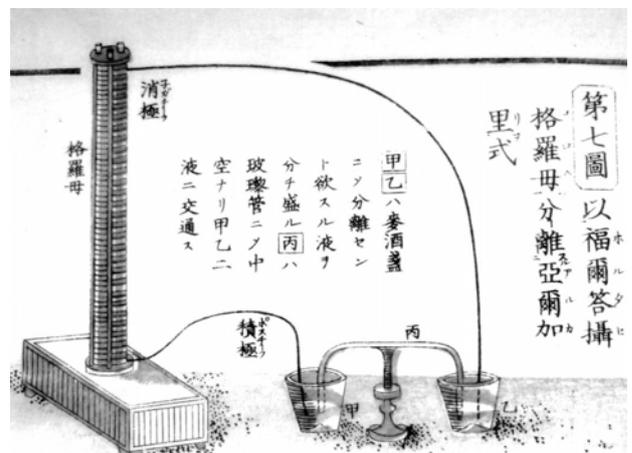


図6 ボルタカラムの図。『舎密開宗』より

Fig. 6 Volta column, explaining of the battery and electric disruption of water using cells.

U字管で両者を連結している。甲に陽極（+）を、乙に消極（陰極）（-）をつなぎ、電気分解の様子を示している。

弁吉の『一東視窮録』の科学器具関係項目の「福爾答攝格羅母」（ホルタセコロム）には同じ図が掲載されている（図7）。これは上図を書き写したものである。小林（1991）の図7では、「電気分解装置や寒暖計の図」とあるが、本図はボルタ電池の説明図である。原図では電池は52組であるが、弁吉の図では39組となっている。

注：1791年に、ガルバニーはカエルの足の筋肉が金属片に触れると伸縮することを発見した。これを生体電気によるとした。ボルタは1800年にガルバニーの考えを否定して、2種の金属片を酸や塩の溶液に入れると、電気が起きるを見つけ、この電池を発明した。故にボルタ電池と云われている。

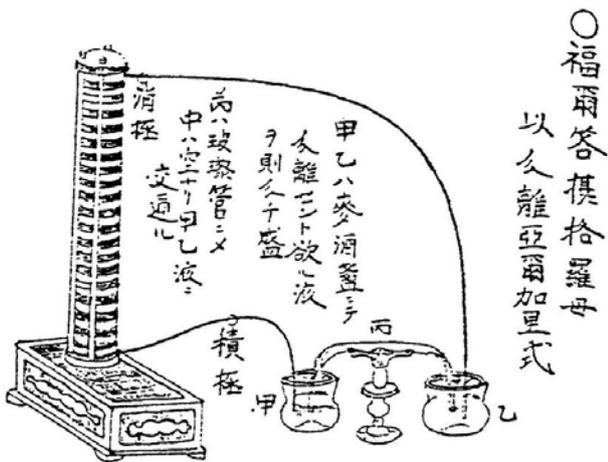


図7 弁吉の画いたボルタカラムの図（小林，1991）。
Fig. 7 The same figure of Fig.6, depicted by B. Ohno.

『舎密開宗』のボルタ電堆の図6と大野弁吉の「福爾答攝格羅母」の図7は同じものである。但し細かく見ると、カラムの台の模様、及び硝子カップの形が変わっている。図の内部に記入された説明文は同じものである。

「ガルバニー電池」（本項目は科学器具関係項目に入れられて居る。）

『舎密開宗』（一）巻二，第五十章，23頁。

「瓦爾華尼本機ヲ發明ス。第九図ノ如シ彎リタル玻璃管。長サ六寸 径リ半寸至一寸ヲ取り、甲ノ部ニ鉛瀝、各半ノ瀝膏ヲ填メ、乙ノ部ニ硫

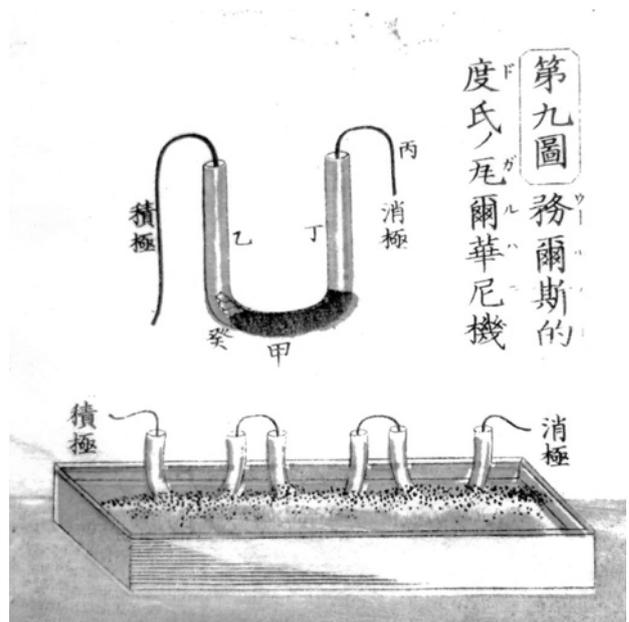


図8 ガルバニーの電池の図（『舎密開宗』より）。
Fig. 8 Galvani Cell, cited from “Seimi Kaisou”.

酸一分。水四分或六分ヲ和スル者ヲ充。癸ノ部ニ亜鉛碎数オンスヲ沈メテ瀝膏ニ触レシメ、乙部ノ稀硫酸ニ鈎曲セル鉛線ヲ挿ス事一寸許、之ヲ積極トス。○又甲ノ瀝膏ニ粗キ鉛線或ハ鋳線ヲ挿シ、丙ノ如ク管外ニ出テ鈎ル、之ヲ消極トス。○消極ノ導線ヲ別ノ一基ニ挿シ、図ノ如ク砂ニ埋テ数基連続スレバ機力愈強シ、三基ヲ連スレバ能ク水ヲ分離シ、四基ヲ連レハ諸ノ舎密術ニ用ベシ。」

硝子製U字管（長さ6寸，18cm，径半寸，1.5cm乃至1寸，3cm，を作り、甲の底部に鉛アマルガムを詰め、左側の乙部に1：6の稀硫酸を充たし、彎曲部分（癸）に亜鉛碎（トタン屑）を入れる。この稀硫酸に鉛線を挿して積極とする。甲の底部の水銀に粗い鉛線或いは鋳線を右側（丁）の管から挿して丙の様に管外に出して消極とする。

(+) Pb（導線），稀硫酸 | Zn | Pb（水銀アマルガム） | 稀硫酸，Pb（導線）（-）の構成である。稀硫酸中の亜鉛碎と鉛（アマルガム）との間の電極反応により機力（電力）を起こしている。これを多数連ねることにより、起電力は大きくなり、色々な化学実験に使用可能と述べている。

電極反応：陽極 $Zn \rightarrow Zn^{2+} + 電子2e^{-}$
陰極 $Pb^{2+} + 電子2e^{-} \rightarrow Pb$

弁吉のガルバニー機の図(図9)と『舎密開宗』の図(図8)には、西暦1800年(寛政11年)郭逆法瓦府・ウールステッド・ガルバニー機之図と記されている。図8と図9とは同じものであり、弁吉はボルタカラムとガルバニー機の図も『舎密開宗』の図を写し描いていた。

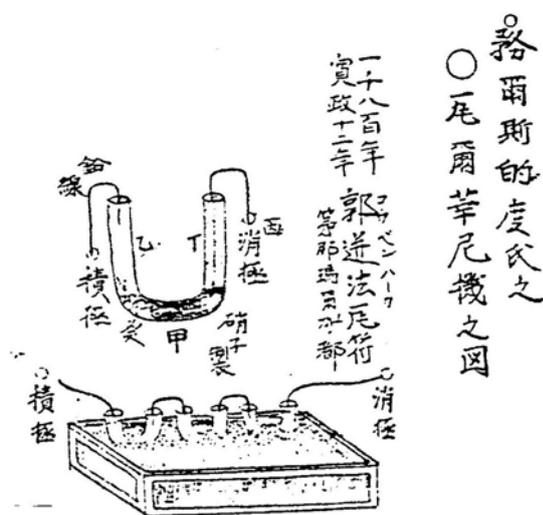


図9 大野弁吉のガルバニー電池の図(小林, 1991). ウールステッド氏のガルバニ機の図, 1800年, 寛政12年, コペンハーゲン(デンマークの都)と記入している。

Fig. 9 Galvani Cell, depicted by B. Ohno.

6) 硝子, ギヤマン

硝子乳白器(86), 白硝子(87), 玻璃製(88), 硝子色物分量(89)などガラス関係の項目がある。

「硝子乳白器」(86), 『舎密開宗』(三) 卷九, 18頁, 附録, に「乳色玻璃方」が掲載されている。「海塩ヲ烘テ白粉トシ之ヲ綠色ノ焔玻璃ニ加テ爍化ス」とあり, その他の方法も記載されている。牛骨粉を硝子の原料に加えて混合して熔かし, 急冷すると乳白色の硝子にする法もある。

玻璃製(88)(ギヤマン) ビードロは『舎密開宗』(三) 卷九, 第百六十二章, 10頁に詳しく記載されている。序文を記す。

「珪土ニ炭酸加里同量ヲ和シ烈火ニ爍セバ則チニ玻璃ト為ル, 故ニ玻璃ハ珪土加里ノ二物ヲ本

然ノ成分トシ, 他諸物 酸化鉛, 万俺石, 加爾基等 ヲ偶然ノ成分トス。玻璃ハ諸物ニ遇テ変セズ。唯, 弗耳乙酸 第百五十二章 ニ遇バ壞爛シテ溶解ス, 又珪土ノ本性ニ係ルノミ。」

ガラスは珪酸塩と炭酸塩の混合物であり, 是に鉛, マンガン, カルシウムなど無機化合物が含まれている固熔体である。ガラスは化学的に安定であるが, 唯一フッ化水素酸に合えば破壊して溶解すると記るされている。次の五種がある。

1. 黒玻璃, 壘玻璃, 2. 別結爾玻璃, 3. 羅乙甸瓦刺斯, 4. 水精玻璃, 5. 弗舜多玻璃

「硝子色物分量」(89)

『舎密開宗』(三) 卷九, 百六十二章, 附録 に色玻璃の方に多種の色ガラスの製作法が記載されている。すべての色硝子は常に白硝子に金属酸化物を加えて, 様々な美しい色を生成している。この方法は宝石の紛いものを製する方法と同じものが多い。

「白硝子」(87) は白玻璃の製法であり前項に含まれる。

『一東視窮録』の上白硝子の項には, 白硝子の原料の量目が記されている(小林, 1991)。出典は不詳。いずれも鉛を多く含む鉛ガラスであり, 軟質硝子である。

「硝子紙」(90), 「硝子燈」(91), 「赤煉玉」(92) は, 『舎密開宗』には見られない。

7) カルシウム, カリウム, マグネシア, マンガン 「フッ化物及び宝石」

「弗耳乙酸留」(93) はフッ素酸であり, 『舎密開宗』(二) 卷八, 百五十三章, 18頁に記載されている。

「弗耳乙蘇杷多」(94)(フルーイスパート, 紅宝石名) は『舎密開宗』(二) 卷八, 百五十一章, 同 百五十二章, 18頁に掲載されている。Fluis-spaat, Flurite はフッ酸カルシウムCaF₂であり, その鉱石は「螢石」で知られて居る。結晶への夾雑物により, 白, 紫, 黄, 緑, 淡赤, 鮮赤, 無色等のものがある。

「加留母」(95) はカリウムであり, 『舎密開宗』(三) 卷八, 百五十七章, 5~6頁に記載されている。

「剝篤亜斯等品」(96) はカリウム化合物とみられる。前項の資料に記載されている。

「諸厄利亜亜斯」(97)はengels zoutで瀉利塩とエプソム塩とも呼ばれる硫酸マグネシウムである。

『舎密開宗』(三)巻八、百五十六章、12頁に掲載されている。

「麻倨涅失亜」(98)はマグネシアで、酸化マグネシウムMgOを意味する。『舎密開宗』(二)巻八、第百五十四章、9頁の「苦土」の項に掲載される。炭酸マグネシウム(MgCO₃)を強く加熱すると酸化マグネシウム(MgO)の白い粉末となる。制酸剤として胃腸薬に使用する。

「加熱良」(カメレオン)(99)はChamaeleon mineraleであり『スロイス舎密学』171頁に掲載(板垣、2005)、また『舎密開宗』(五)巻十四、二百五十五章、21頁に掲載される。緑色のマンガン酸カリウム、K₂MnO₄、溶液に多量の水を加えると鮮紅色の溶液に変化する。この現象を基にマンガン酸カリウムはカメレオン・ミネラルと謂われた。

8) 硝石

「硝石作法」(100)は硝石の生産法の一つである古土法について記したものである。乾いた古い床下土より、硝酸カルシウムを水で抽出する。この抽出液を濃縮の後に、灰汁を加えて、硝酸カリウムとし、濾別して濃縮を行い、結晶化する方法である。『舎密開宗』(二)巻五、同百十一章、18頁に記載されている。「硝石清ク製」(101)は粗製硝石、灰汁煮硝石の再結晶により精製硝石を得る方法と見られる。「硝石作土灰分量」(102)は「硝丘法」による硝石の生産であり、使用する土に石灰を加えていた。カルシウム塩を供給したものと見られる。「硝丘法」はヨーロッパで当時盛んに行われた硝石の生産法である。『舎密開宗』(二)巻五、第百十章、同百十一章を参照のこと。

「合薬諸品」(103)は銃薬の硝石、硫黄、炭の混合割合を記したものである、常用の例では、硝石76斤、硫黄9斤、木炭15斤である。『舎密開宗』(二)巻五、第百十三章、21頁に記載される。火薬、弾薬、弾丸等は兵学書よりの引用と見られる。

「黒熔散」(104)は『舎密開宗』(二)巻十四、第百三十六章、6頁に記載される。

9) 医学・薬学関係項目

「酒石塩」(ウエーンステーン ソツト)(117)

『舎密開宗』(六)巻十七、二百七十六章、3-4頁に掲載されている。

酒酸曹達(酒石酸ナトリウム塩)

「方柱或ハ針ヲ為ス氣ニ変セズ温レバ粉化ス水ハ八分湯ハ二分不及ニ溶ク亜爾箇児ニ溶ケズ。」

酒石酸の製法、同 二百七十五章 に掲載されている。

「酒石羅護(精製酒石)ヲ沸湯ニ溶シ、炭酸加爾基ヲ加テ、沸滓歇ニ至レバ、沈渣ヲ生ズ、即チ酒酸加爾基ナリ。之ヲ水洗シテ、稀硫酸ヲ注ゲバ、硫酸加爾基ハ沈ミ、酒酸ハ分テ、澄中ニ在リ。澄ヲ蒸散メ冷セバ端正ノ晶ヲ結ブ。」

「医学薬学関係項目」に入る次の8項目は『遠西医学方名物考』より引用されていた(表1)。

バシリコン(105)、カンプラ(カンファ)(106)、尋常石鹼(111)、薄荷油(112)、亜爾箇児(アルコール)(113)、甘硝石精(114)、アラビアゴム(115)、芫青(116)。

先に、『一東視窮録』の「医术・薬学関係項目」(小林、1991、p.311)に記載された項目を調査・研究を行った結果、殆どが漢方薬の処方であることが明らかとなった(板垣・本康、2014)が、如何なる理由で、これらの事項が舎密術(化学)関係項目に加えられていたのかは解らない。この他に、ウルニス(107)とホルトス(108)が記載されているが、これは和製の蘭薬擬きの薬物である。詳細は(板垣・本康、2014)に記載した。

「ソッピルと生々乳」いずれも水銀製剤である。ソッピルウルニス(109)はメリキュリウス、ソッピルマアト=シュピルマチスとあり、前者は水銀、後者は上升煅煉した水銀=升汞丹=精製水銀をさす。ソッピルを「猛升汞丹」と呼び、主として外科で使用された(史料7)。

生々乳ウルニス(110)は漢方薬で癩瘡(梅毒)の治療に使用された。「白丹砂」とも云い、成分は雲母、硝石、朱砂液、普礬、綠礬、食塩、枯礬、青塩、煅煉礬石の9種を混ぜて、反応させて作られた水銀塩を含む薬物である(史料8)。

これらは、医学・薬学関連項目に含まれるべき項

目である。

10) 科学器具関連項目中の舎密学関連項目

「福窟篤啼篤児」(ホクトメートル)、(比重計)
『舎密開宗』(一) 序列、9頁。

「液類ニ幾十度ト云ハ^{アムステルダム}亜護斯的爾達護・合薬家ノ
福窟多黙多爾ノ度ナリ 第十一図」

とあり、浮き秤(比重計)の図がある。弁吉は図10
の左の榛齋の『遠西医方名物考』巻四、18頁の福窟
篤啼篤児の図を写していた(小林, 1991, 図7)。こ
れは水よりも軽い比重の液体用である。この図はメ

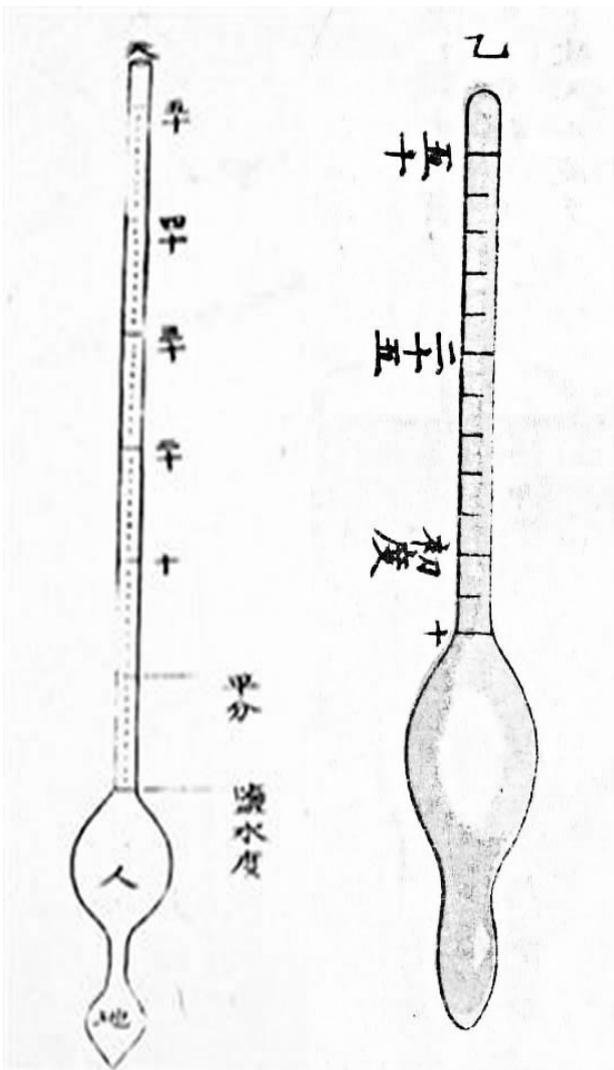


図10 比重計の図。(右)『舎密開宗』(一) 序列の第十一
図、^{アムステルダム}亜護斯的爾達護合薬家之福窟多黙多爾、及び
(左)『遠西医方名物考』巻四、福窟篤啼篤児の図
(弁吉の引用した図)。

Fig. 10 Liquid densitometer cited from "Seimi Kaiso"
(right) and the same depicted by B. Ohno (left).

モリの書き方が『舎密開宗』(一)の図とは違っている。

「寒暑計」(タルモメートル)

『舎密開宗』(一) 序列、9頁に「驗温器ノ度ハ皆華
氏ノ製ニヨル、第十図」とあり、タルモメートルの
図が描かれている。驗温器は『名物考補遺』巻九、8
頁~11頁にも記載されている。弁吉の図は別の史料
よりのタルモメートルの図である。

Ⅲ. イヨジューム鏡、写真鏡、陰画写目鏡

弁吉の科学器具関係項目(小林, 1991)には写真
撮影に関係した三項目が記載されている。

1) イヨジューム鏡

これはダゲレオタイプの「真写影鏡」で使用した
感光板のことである。先ず、弁吉の『一東視窮録』
に記載された文章を示す。

「以銀鏡 薄板ニ作(リ) 銅ニハル イヨジューム
煙風 ヨジュームノケムリニ当ルニ 能々当長俣
早く蓋ヲシテ 写真鏡之箱之中ニ入レ 日ヨキ
ヲウカガイ 右之蓋ヲ横方ニ引取 シハラクシ
テ ウツルヲウカガイ 早く蓋ヲ横方ヨリ如元
ニサシ 其俣箱之内ヨリ出シ 扱火中ニ水銀ヲ
入レ ソノ烟ニ当 右之蓋ヲ横方へ取り 能々
水銀烟氣ニ當 其俣 外箱ニ入 貯 但し、平
日モ亦蓋ヲメ 貯事為良」

「水銀箱ノ内ニ鉄皿ヲ入 其中ニ 入(レタ)
焼酒ニ火付ケ 皿ソノママ アタタメシテ 水
銀ノ蒸氣アタル イヨジュームハ箱内ニオキ 上
ニ銀鏡ヲウツムケニ置キ 氣ヲスウナリ 二四
度ニ 凡ガ口クウキ和タシ」

以上の説明文から考えると; 1. 薄い銅板に銀メッ
キを行い銀薄膜板をつくる。2. これをヨウ素のガス
に曝して、銀をヨウ化銀とする。3. この板を写真鏡
之暗箱に入れる。4. 天気の良い日に、写真鏡の蓋を
横に引き、露光する。5. その後、直ちに蓋を横から
中に差し込む。6. この露光した感光板をつぎに、水
銀の蒸気にさらす(ここまでが上記の文章である)。

銅板上の銀はヨウ化銀となっている(これをイヨ
ジューム鏡といった)*。露光によりヨウ化銀は光化

学反応により銀微粒子に変わる。この銀微粒子は水銀蒸気にさらすと、水銀アマルガムとなる。露光されずに残っているヨウ化銀は、この板を食塩水またはチオ硫酸ナトリウム溶液で洗浄することにより取り除かれて、画像が現れる。

上の文章には、画像の定着操作が記載されていない。これはダゲレオタイプ写真技術と云われたものである。

* この記述は化学的に正しくない。正しくは柳川春三著「写真鏡図説」に記載されている(史料15)。

これは川本幸民の『遠西奇器述』の「写真影鏡」(ダゲウロテープー)(1854)の器術と同じ操作の説明である。但し図11は「暗箱写生器」(カメラオブスキュラ)の様相であり、この反射鏡の位置に感光板を置いたものである。朝倉長右エ門の嘉永2年(1849)の「大野一東之伝法諸々免許」の「写真仕方」(史料10)は、この「暗室写生器の鏡の製作」の記述であり、湿式写真術の記述ではない。

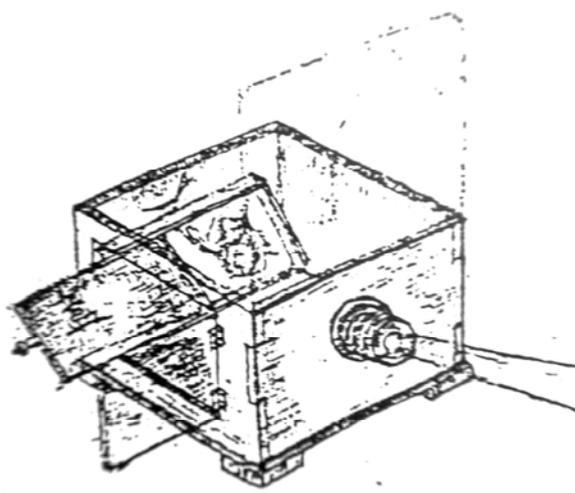


図11 イヨジューム鏡の図(小林, 1991).
Fig. 11 An iodium mirror-box, camera obscura depicted by B. Ohno.

2) 写真鏡, 陰画写目鏡

「写真鏡」は「写真鏡之箱」を意味する。露光した銀板の状態を観察するために「陰画写目鏡」と云うステレオスコープを使用した。

以下の項に関しては、出典は不詳である。瓦斯ランプ用器, ガスランプ製法, パラモンメートル(U

字形棒磁石) 視微鏡寸法, ガラス窯。

次の項目は兵学書からの引用である。水炮(ドンドル筒), 風砲金具, モルチール(大砲), ジュンドルス, ホウイッスル, 鳴雷子, ドンドルペツヒル, 引砲之図, ピストール, ペーピー。

IV. 考察

本稿では、大野弁吉の動向を具体的に捉えることを目的に、『一東視窮録』の舎密学関係項目の解説・調査を初めて行った。其の結果は表1にまとめた様に、158項目中91項目が宇田川榕菴訳著『舎密開宗』より引用されていることが明らかになった。このことは弁吉が『舎密開宗』全十七卷二百九十五章に目を通して、これらの情報を入手していたことを示している。彼が本書より得た化学的情報をどの様に使用していたかを示す資料はまだ眼にしていないが、物知りの奇人といわれた人物であることから、周りの者どもに語っていたと考えられる。この表の左から第1行は弁吉が取り上げた項目名であり、それを記述するに使用した漢字は第2行の宇田川榕菴著述の『舎密開宗』で用いていた漢字と一致している。特に外来語の当て字での漢字記述が全く同じであることは弁吉が本書を使用したことを示す重要な証拠である。この表は弁吉が『舎密開宗』を紐解き、十七卷、全二百九十五章を閲覧して興味ある事柄を書写していた事を確実なものとしている。舎密学関係の項目の他の書籍からの引用や、蘭書から翻訳・引用は行っていなかったのである。本項に含まれて居た医学・薬学に関係した項目では、宇田川榛齋編著『遠西医方名物考』と同書補遺から多くを引用していた。また兵学関係の項目は、壮猶館に架蔵された兵学書を利用したものと見られる。

ところが弁吉は何処で『舎密開宗』を閲覧していたかが大きな問題である。宇田川榕菴編著『舎密開宗』は天保8年(1837)から弘化4年(1847)にかけて刊行された書物である。ところが加賀藩の「壮猶館蔵書目録」の『舎密開宗』の項には”巳五月十三日御買上”の添え書きがある(板垣, 2011)。この左には『測量集成』3冊も”同日に御買上”とある。本書は福田理軒が安政2年に刊行したものである。さらに『理学訓蒙』初編, 平野俊平, 安政3年, と『銃工便覧』林潤暉著, 安政3年が“巳五月三日御買上”と

記載されている。この事実から、加賀藩は安政四丁巳年5月（1857）に『舎密開宗』を購入していたのである。この時にF. van Catz, Smallemburg, “Leerboek der Scheikunde, Leiden, 1827”, 4冊も購入していた。さらにP. J. Kasteleijnの化学書も壮猶館に架蔵されていた（板垣, 2006）。この『舎密開宗』は、明治以後は東京の尊経閣文庫に架蔵されていた（尊経閣, 1939）。

一方、大野弁吉は『一東視窮録 製薬 上』を嘉永6年頃に著作したと推定されているが（本康, 2007）、これに基づく弁吉は『舎密開宗』を壮猶館が設立された安政元年以前に閲覧していたことになり、事実とは矛盾している。本書は壮猶館の開設後の安政4年5月に購入されていた事から、それ以後に弁吉は壮猶館舎密局で『舎密開宗』の閲覧・調査を行い、舎密学関係項目を纏めて『一東視窮録 製薬 上』に付け加えたのである。なお前記のSmallemburgの「蘇氏舎密」およびKasteleijnの「葛氏舎密」を弁吉が調べた形跡はない。当時、壮猶館舎密局には高峰元種と松原小四郎が勤めていたが、弁吉と接触していたことを示す記録はまだ目にしていない。文久3年6月に、壮猶館から弁吉に舎密局助手としての雇傭の申し入れがあったことは、弁吉と壮猶館との関係の深さを裏づけている（史料16）。

『舎密開宗』はわが国の化学古典書としては超一級の書籍であり、わが国で最初の近代化学を紹介する書物である。この事から『舎密開宗』を用いての弁吉の舎密学の学習は並大抵のものではなかったと想像される。彼は書写はしているが、項目のみを記載したものが多く、その理解の程度を知ることは不可能である。或いは壮猶館舎密局での指導を受けていたかもしれない。『舎密開宗』の全巻を学ぶ事が出来たのは彼の緻密な性格によるものと判断できる。

前記した様に、『一東視窮録 製薬 上』には写真鏡、イヨジューム鏡など写真関係が3項目があるが、これらを調べるためにわが国では「写真」という言葉が何時から使用されてきたかを考察した。島津斎彬が安政4年9月（1857）に城内で自分の肖像写真をダゲレオタイプで撮影した。この銀板写真が現存している（小沢, 1994）。この肖像写真と関係していたのが川本幸民であり、彼は安政元年に『遠西奇器述』を著していた（史料11）。川本は斎彬の命により、P. van der Berg, *Erste Grondbeginselen der Natuurkunde* (1852) を翻訳して、本書を安政元年（1854）に刊行してい

た。本書では「真写影鏡」（ダゲウロテーピー）と翻訳して、銀板写真の解説をしていたが、その中で「写真」なる言葉は使用していなかった（史料11）。ところが、「写真器」をヘルデルカーメル、カメラリュシダ、ドンクルカーメルとして使用したが、これはカメラオブスキュラであり、「暗箱写生器」の事である。『鹿児島県史料・斎彬公史料』（史料13）には、「島津斎彬公 撮影術御開キ 御真影ヲ写サセメ玉ヒシ事実」とあり、「撮影術」と翻訳・使用されていた。

つぎに、上野彦馬は和蘭人医師ポンペの指導のもとで湿式写真を初めていた。彦馬は堀江鉄次郎と共に、文久2年（1862）に『舎密局必携』を、津藩藤堂家の支援のもとで刊行した。本書の巻三、附録に「撮形術」—ポトガラヒー—が掲載されているが（史料14）、この「撮形術」の中には「写真」と記述されているのは次の二箇所のみである。

- 積極像影ヲ形ドリ・・・, で「地景家屋ノ写真ニ適當ス」とあり、
- 格羅細穩濃厚ニ還ル・・・, で「直チニ写真影石版ヲ発兌セリ」。

まだ、「写真」という言葉が現在の意味を持った単語とはなっていないことを示している。カメラは「撮影鏡器」と呼ばれていた。

上野彦馬と堀江鉄次郎は、Girardin, Jean. *Scheikunde voor den beschaafden Stand, en het Fabriekwezen*, G. B. van Goor, Gouda (1851)（ギラルジン氏舎密学, 精撰化学実践用）を原典として翻訳・編集して『舎密局必携』を刊行していた。

つぎに、柳川春三が慶応三年に出版した『写真鏡図説』では、「写真」が中心的な言葉となり、多用されている（史料15）。本書はフランス人Rene Dagronの1864年に出版された写真術書（英語版）を原典としていた。柳川は同書に「フットガラヒー（・・・）此の語は元来ギリシャ語で「光」をフットと言ひ、「書き写す」をガラホと言う。この2語を合わせるものにして、即ち光の力に依って「図を写す術」という意なり。此方に翻訳して之を写真術と言ふ」と記して居る。彼により、初めて写真術の正しい意味が解説されていた。写真術の器械の図も示していた。

この様な事実から、わが国で写真、写真術、写真器なる言葉が使用され始めるのは、文久年間以後で

あった。したがって、弁吉が「写真鏡之箱」を写真器、写真術として記載したのでは無く、ヘルデルカームル（真写暗箱、暗箱写生器）の意味で使用していたのである。なお、この記述からも安政期以後の記述であると推定される。但しこの原典は現在不詳となっている。朝倉文書の「大野一東之伝法」の「写真仕方」は硝子板の研磨・洗浄法を記したものであり、これから直ちに湿式写真術と連想することには困難である（本康，2007；小林，1991）。

さらに、弁吉の『一東視窮録』の舎密学関係項目の中には、湿板写真を行うに必要な薬品類一硝酸銀、ヨウ化カリ、臭化カリ、コロジオン（綿火薬、ニトロセルローズ）、エーテル等の感光板の製作に必須な薬品の記載は無い。さらに、露光した感光版を現像するために必要な薬品（現像薬）として没食子酸、ピロガロール、チオ硫酸ナトリウム等も記載されていない。これらの化学物質には、『舎密開宗』には記載されていないものもある。

この事柄から、高度の化学的知識の必要な「湿式感光板」を弁吉が独自に作り写真撮影をしたと推定する事には、証拠が乏しいのではないかと考えられる。従来弁吉の写真撮影を行っていた年代を嘉永期以前と推定していたが（鏑木，1954）、これには技術的に無理があり承服されるもので無い。写真撮影用の化学薬品が容易に入手出来るようになるのは文久年間以後であり、金沢では慶応年間に卯辰山養生所写真局で湿式写真の撮影が行われていた（板垣，2014）。弁吉の自画像のガラス湿板写真は「慶応年間（1865～68）」のもものとされている。また、自作の木製カメラは米国製を模したものであることも、この事を支持している（小沢，1994）。近刊の写真史家・梅本貞雄著の書籍には「大野弁吉写真記」の章があり、「弁吉に就いては種々疑問だらけで、文献の乏しさに痛嘆しなければならぬが、といて、此俣置古しも出来無い。」と記述している（緒川，2014）。

以上をまとめると、安政4年5月中旬以降に、大野弁吉は加賀藩壮猶館で宇田川榕菴編著『舎密開宗』を読み、『一東視窮録』の舎密学関係項目を記述していた。医学・薬学関係項目では、宇田川榛斎編著『遠西医方名物考』も目にしていた。これらの書籍は加賀藩・壮猶館文庫に架蔵されていたものである。彼は同所に架蔵されていた舎密学の蘭書を読んではいなかった。弁吉の写真術は、文久年間以後に写真用

化学試薬が容易に入手出来る環境が整った頃に、始めたものと推定される。必要な試薬の選択、調製を自分で行い、写真術を開発したとの説は否定される。『一東視窮録』の舎密学関係項目の調査・解読により、弁吉の性格も垣間見ることが出来、さらに従来の弁吉の事跡の記述には多くの疑問を呈する結果となり、今後のさらなる詳細な調査・研究が必要である。

文 献

- 板垣英治，2005：スロイス講義，舎密学．金沢大学資料館。
板垣英治，2006：加賀藩旧蔵洋書目録．金沢大学資料館，122p.
板垣英治，2011：壮猶館蔵書目録．北陸史学，**58**，94-101。
板垣英治・本康宏史，2014：大野弁吉著「一東視窮録 製薬 上」を読む．北陸医史，**36**，36-52。
鏑木勢岐，1954：錢屋五兵衛の研究．錢五顕彰会，金沢，498p.
小林忠雄，1991：絡繰師大野弁吉の伝承的世界とその構造—幕末の都市伝説—．国立歴史民俗博物館研究報，**36**，295-331。
本康宏史，2007：からくり師大野弁吉とその時代—技術文化と地域社会．岩田書院，東京，446p.
永井柳太郎，1938：錢五の陰の人 大野弁吉．中央公論，240-251。
小沢健志，1994：幕末 写真の時代．筑摩書房，東京，254p.
尊経閣編，1939：尊経閣文庫加越能文献書目。
※本書には『舎密開宗』は掲載されているが、現在は在庫していない。
立川昭二，1969：からくり ものと人間の文化史 3．法政大学出版局，東京，393p.
梅本貞雄，2014：写真師たちの幕末維新 日本初の写真史家・梅本貞雄の世界．緒川直人編，国書刊行会，東京，444p.

史 料

1. 大野弁吉，「一東視窮録 製薬 上」大友家蔵。
2. 宇田川榛斎，『遠西医方名物考』，風雲堂蔵版，文政5年（1822），江戸青藜閣，石川県立図書館蔵。
3. 宇田川榛斎，『和蘭薬鏡』，風雲堂蔵版，文政11年（1828），江戸青藜閣，早稲田大学図書館デジタルライブラリーの

資料を使用。

4. 宇田川榕菴, 『植学啓原』, 風雲堂蔵版, 天保4年(1833), 江戸青藜閣, 江戸科学古典叢書 24, 1980, 恒和出版.
5. 宇田川榕菴訳, 『舍密開宗』, 須原屋伊八(江戸), 天保8年~弘化4年(1837-1847), 石川県立図書館蔵.
6. 寺島良安編著, 『和漢三才絵図』, 聖徳2年(1712), 東洋文庫, 石川県立図書館蔵.
7. 破窓菴主人纂輯, 『百工新書 前篇 完』, 明治6年(1873).
8. 中井厚澤, 『升汞丹製法秘訣』, 江戸科学古典叢書25(水銀系薬物製法書九篇), 恒和出版(1980).
9. 黒沢松益述, 『生々乳製法秘録』, 江戸科学古典叢書25(水銀系薬物製法書九篇), 恒和出版(1980).
10. 「蘭方ホルトス弘方心得帳」, 出版地不明, 出版者不明, 出版年不明.
11. 川本幸民, 『遠西奇器術』, 嘉永7年(1854), 江戸科学古典叢書 38, 恒和出版(1983).
12. 朝倉長右衛門, 嘉永2年(1849), 「大野一東之伝法諸々免許」, 朝倉家蔵.
13. 『鹿児島県史料, 斎彬公史料』第2巻, 安政元年~4年, 鹿児島県維新史料編纂所編, 833頁(1983).
14. 上野彦馬, 『舍密局必携』, 前篇, 文久2年(1862), 早稲田大学図書館デジタルライブラリーの資料を使用.
15. 柳川春三, 『写真鏡図説』, 慶応3年(1867), 江戸科学古典叢書38, 恒和出版(1983).
16. 「文久三年 中村屋弁吉一件, 坂井三郎兵衛から大野町年寄中あて」書簡: 金沢市大野町史, 藩政期3, 行政関係, 大野町史編集委員会編, 995頁, 北国出版社(1976).

表1 大野弁吉著『一東視窮録 製薬 上』 舎密学関係項目とその原典のリスト。
Table 1 Chemical terms described in "B. Ohno's Iitousi Kyuroku" and the references of these words.

弁吉の資料		文献・資料よりの名称		解説 (分子式, 製法, 性質など)		文 献	
1	雷金	雷金	Au ₂ O ₃ ・2NH ₃ , Au ₂ O ₃ ・3NH ₃ , ドンドルゴウド	雷金降法	舎密開宗 (四) 卷十, 百七十三章, 十頁	舎密開宗 (四) 卷十, 百七十三章, 十頁	
2	降雷金	降雷金		大きな音を発して爆発する性質	舎密開宗 (四) 卷十, 百七十三章, 十一頁	舎密開宗 (四) 卷十, 百七十三章, 十一頁	
3	爆鳴性	爆鳴性					
4	雷銀	雷銀	Ag ₂ N, Ag ₂ H ₂ N, fulminating silver, Knaizilver, ドンドルシルフル	ドンドル銀を砂に混ぜ、紙で包んだ爆発物	舎密開宗 (四) 卷十一, 百八十五章, 十頁	舎密開宗 (四) 卷十一, 百八十五章, 十頁	
5	雷鳴子	雷鳴子			舎密開宗 (四) 卷十一, 百八十五章, 二十三頁	舎密開宗 (四) 卷十一, 百八十五章, 二十三頁	
6	雷瀆	雷瀆	雷汞, 雷酸水銀, kwickzilver fluminat, ドンドルクイキ	プラチナ	舎密開宗 (四) 卷十, 百八十章, 附録, 十七頁	舎密開宗 (四) 卷十, 百八十章, 附録, 十七頁	
7	白金	白金			舎密開宗 (四) 卷十一, 百八十四章, 七頁	舎密開宗 (四) 卷十一, 百八十四章, 七頁	
8	ドンドルブラチナ	ドンドルブラチナ			舎密開宗 (四) 卷十一, 百八十二章, 五頁	舎密開宗 (四) 卷十一, 百八十二章, 五頁	
9	銀樹	銀樹	賽雷酸白金, Platina fluminat	シルフルボーム (図あり)	舎密開宗 (四) 卷十二, 百九十四章, 九頁	舎密開宗 (四) 卷十二, 百九十四章, 九頁	
10	厄利齋亜水	厄利齋亜水, キリシヤ	硝酸銀希釈溶液	塩酸全酸化液, 酸化水銀, 塩化水銀の製法	舎密開宗 (四) 卷十一, 百八十三章, 六頁	舎密開宗 (四) 卷十一, 百八十三章, 六頁	
11	湿道降法	湿道降法					
12	銀朱還魂之法	銀朱還魂之法		銀朱を鉄粉と切り交ぜて, 金属水銀を作る方法			
13	鋼	鋼	スタール=staal, 鋼鉄 steel, 附録, 鉄炭素之和物		舎密開宗 (四) 卷十二, 百九十八章, 附録, 十九頁	舎密開宗 (四) 卷十二, 百九十八章, 附録, 十九頁	
14	鑄硫和	鑄硫和		鋼屑と硫黄粉を混ぜて加熱して硫化鉄とする	舎密開宗 (五) 卷十三, 二百七章, 十八頁	舎密開宗 (五) 卷十三, 二百七章, 十八頁	
15	真銀合並諸合	銅他金和合, 黄銅		銅と亜鉛の合金で, 別の名を真銀という。六・四真銀, 七・三真銀	舎密開宗 (五) 卷十三, 二百七章, 十八頁	舎密開宗 (五) 卷十三, 二百七章, 十八頁	
16	白銅	白銅	ハーゼシルフル	銅に6分, 砒4分, 加里2分とした合金	舎密開宗 (五) 卷十三, 二百七章, 十八頁	舎密開宗 (五) 卷十三, 二百七章, 十八頁	
				「砒和銅為白銅」あり	舎密開宗 (五) 卷十四, 二百三十八章, 七頁	舎密開宗 (五) 卷十四, 二百三十八章, 七頁	
17	烏金	烏金		日本の伝統的な銅合金。銅に微量の金を含有させた合金	舎密開宗 (四) 卷十三, 二百四章, 七頁	舎密開宗 (四) 卷十三, 二百四章, 七頁	
18	敦抜加	敦抜加, ダンバカ		精銅12分, 黄銅8分を煉和す	舎密開宗 (四) 卷十三, 二百四章, 七頁	舎密開宗 (四) 卷十三, 二百四章, 七頁	
19	利心斯金	利心斯金, リイスキ		精銅に炭末, 亜鉛各6分1を煉和す。金線帯を織るに使用	舎密開宗 (四) 卷十三, 二百四章, 七頁	舎密開宗 (四) 卷十三, 二百四章, 七頁	
20	火打鏡攝光千里鏡之用	火打鏡攝光千里鏡之用		テレスコープの鏡材料, 銅3分, 錫1分, 砒少許を煉和す	舎密開宗 (四) 卷十三, 二百四章, 七頁	舎密開宗 (四) 卷十三, 二百四章, 七頁	
21	彬斯別幾	彬斯別幾, ビンスベツキ		黄銅1分に銅屑2分を坩堝に入れ炭末にせずめ煉和す 黄金色あり	舎密開宗 (四) 卷十三, 二百四章, 七頁	舎密開宗 (四) 卷十三, 二百四章, 七頁	
22	齋密羅爾	齋密羅爾, シミロル		マンヘイメルゴロウド, 銅4分, 亜鉛1分の和和, 指輪, 首輪, 耳環等に使用	舎密開宗 (四) 卷十三, 二百四章, 七頁	舎密開宗 (四) 卷十三, 二百四章, 七頁	
23	近來用モリチール	大活字鋳料		銅16分, 錫1分の合金, 大砲鑄造用青銅	舎密開宗 (四) 卷十三, 二百四章, 七頁	舎密開宗 (四) 卷十三, 二百四章, 七頁	
24	大活字鋳料	大活字鋳料		銅25分, 鉛100分の活字用合金	舎密開宗 (四) 卷十三, 二百四章, 七頁	舎密開宗 (四) 卷十三, 二百四章, 七頁	
25	唐金筒筒合	唐金筒筒合		大砲鑄造用青銅か?	舎密開宗 (四) 卷十三, 二百四章, 七頁	舎密開宗 (四) 卷十三, 二百四章, 七頁	
26	酢酸鉛	酢酸鉛		鉛糖, ローンドンイクル, Lood suiker. Pb(CH ₃ COO) ₂	舎密開宗 (五) 卷十三, 二百二十一章, 十四頁	舎密開宗 (五) 卷十三, 二百二十一章, 十四頁	
27	銀色地金合	銀色地金合			舎密開宗 (四) 卷十三, 附録, 銅他金和合, 十四頁	舎密開宗 (四) 卷十三, 附録, 銅他金和合, 十四頁	
28	製銀合	製銀合		蘭坡曹斯氏の銀を精製する法 (78. 紫金を参照のこと)	百工新書 卷之一, 六項, 10-11頁	百工新書 卷之一, 六項, 10-11頁	
29	製金合	製金合			舎密開宗 (四) 卷十, 百七十五章, 十四頁	舎密開宗 (四) 卷十, 百七十五章, 十四頁	
30	亜鉛減金	亜鉛減金		亜鉛メッキ	舎密開宗 (四) 卷十一, 百八十六章, 十五頁	舎密開宗 (四) 卷十一, 百八十六章, 十五頁	
31	銀塩焼付	銀塩焼付		銀メッキ	百工新書 前篇 完, 五項, 十頁	百工新書 前篇 完, 五項, 十頁	
32	鍍金之金を剥ぎ落法	鍍金之金を剥ぎ落法		器を綠礬, 硝石, 海塩の混合物に埋めて焼けば金は剥落する	舎密開宗 (四) 卷十一, 百八十六章, 附録, 十四頁	舎密開宗 (四) 卷十一, 百八十六章, 附録, 十四頁	
33	銀早礬	銀早礬		銅釘 (ぎんろう), 銀四分, 黄銅二分を煉和して, 打つて薬片として用いる (関連事項)			
34	銀薄張礬	銀薄張礬					
35	真鍮早礬	真鍮早礬		銅と亜鉛の合金を使用する。早礬は低い温度で熔融する合金			
36	真鍮打柳礬	真鍮打柳礬		銅と亜鉛の合金で線状のものを打ち柳礬と呼んだらしい	百工新書 外編卷之三, 五十二項, 四頁	百工新書 外編卷之三, 五十二項, 四頁	
				連西医方名物考=史料2, 百工新書=史料7.			

【無機酸類及び塩類】

37	緑礬油	フーリーナーンコーペル ロート	Olie von Couperose, 硫酸 vitriol 緑礬精=稀硫酸溶液	遠西匠方名物考, 卷二十九 舎密開宗 (二) 卷四, 八十六章, 十四頁
38	丹礬精	丹礬精	丹礬精は 硫酸と見られる	舎密開宗 (五) 卷十三, 二百十章, 十二頁
39	硫黄華	硫黄=硫黄華	硫黄を釜にいれて乾留すると, 昇華して得られる硫黄を硫黄華という	舎密開宗 (二) 卷四, 八十四章, 十二頁
40	硫酸曹達	硫酸曹達	海塩, 食塩	舎密開宗 (二) 卷六, 百十九頁, 五頁
41	塩酸	塩酸	HCl	舎密開宗 (二) 卷六, 百十六頁, 一~三頁
42	硝酸	窒素和酸素を 消酸	ステルキ, ステルスワートル (強水)	舎密開宗 (二) 卷五, 百一章, 八頁
43	急二亜硫酸水ヲ製ス	急二製ル亜硫酸ヲ法	付け木の硫黄を燃焼し, 壺内の水に養生したガスを吸取・溶解する	舎密開宗 (二) 卷四, 九十章, 十九頁
44	亜硫酸水	亜硫酸水	亜硫酸, 二酸化硫黄の気体を冷水に吹き込むと亜硫酸水が出来る	舎密開宗 (二) 卷四, 九十章, 十八頁
45	賽靨酸	賽靨酸	ピュルヒス, ヒュルナンス, 硝酸カリ・炭酸カリ・硫黄の三者混合物	舎密開宗 (二) 卷五, 百二章, 二頁
46	炭酸語模尼亞水	炭酸語模尼亞水	(NH ₄) ₂ CO ₃ の水溶液, オードルコールシュール	舎密開宗 (二) 卷四, 八十一章, 九頁
47	結晶次炭酸曹達	次炭酸ソーダ	炭酸曹達の項に記述	舎密開宗 (二) 卷四, 八十章, 七頁
48	半炭酸加里	半炭酸加里	炭酸水素加里 (重炭酸カリウム)	舎密開宗 (二) 卷四, 七十九章, 六頁
49	酸化塩酸加里	酸化塩酸加里	塩素酸カリ, KClO ₃	舎密開宗 (二) 卷六, 百二十四章, 十二頁
50	精製塩酸曹達	精製塩酸曹達	塩化ナトリウム, 食塩	舎密開宗 (二) 卷六, 百十九頁, 五頁
51	加里滴	加里滴	塩化カリウム, KCl	
52	塩酸加里	塩酸加里	塩化カリウム, KCl	舎密開宗 (二) 卷五, 百十八章, 四~五頁
53	霸王塩	硫酸加里, 霸王塩	硫酸カリ, K ₂ SO ₄ ・5H ₂ O	舎密開宗 (二) 卷五, 九十二章, 一頁
54	礬礬	礬礬	硫酸アンモニウム銅	舎密開宗 (五) 卷十三, 二百九章, 三頁
55	白羅波律斯	白羅波律斯	コージェヒュール, ピロホリユス, 明礬・硫黄・木炭を混合加熱したもの。	舎密開宗 (三) 卷八, 百五十九章, 十八~十九頁
56	語模尼亞水	語模尼亞水二和ス	アンモニウム水	舎密開宗 (七) 外編, 卷一, 十九頁, 二十一頁
57	生石灰	石灰水	水酸化カルシウム溶液	舎密開宗 (七) 外編, 卷一, 十九頁, 二十一頁
58	瞥乙典堅加里	瞥乙典堅加里	ベイズンデカリ, 瞥乙典堅羅個ベイズンデローグ	遠西匠方名物考, 十卷, 九, 二百六十四頁
59	加爾苦窩篋兒	加爾苦窩篋兒	刺必斯・加烏斯藝屈斯 (羅), ベイレズンデステーン (蘭) 『腐蝕石』	遠西匠方名物考, 十卷, 七, 二百六十二頁
60	諸油液沸度	諸油液沸度	石灰水, Kalk water, gebluschter Kalk, Ca(OH) ₂ , 消石灰 アンモニウム, 塩酸カリキ, 消酸, 硫酸, 燐, テレピン油, 硫黄, 亜麻油のデーター	舎密開宗 (二) 卷七, 百四十一章, 十六頁
				舎密開宗 (一) 卷一, 十八章, 十四頁
				舎密開宗 (一) 卷二, 四十一章~四十三章, 十三頁
61	水素瓦斯	水素瓦斯	ワートルストッフガス 水素ガス	舎密開宗 (一) 卷二, 四十八章,
62	水素瓦斯得分量	水分離法	水素を水の熱分解で得る法	舎密開宗 (二) 卷二, 四十八章,
63	炭水瓦斯	炭水瓦斯	炭化水素瓦斯, メタン, 低分子量の炭化水素の気体, 一名, 生油瓦斯	舎密開宗 (二) 卷四, 八十三章, 十頁 附録第二
64	炭酸瓦斯	炭酸瓦斯	コールストッフガス, 炭酸ガス	舎密開宗 (一) 卷三, 六十五章, 十四~十五頁
65	酸素瓦斯	酸素瓦斯	シュールストッフガス, 酸素ガス	舎密開宗 (一) 卷二, 三十一章, 五~六頁
66	窒素瓦斯	窒素瓦斯	スタツキストッフガス, 窒素ガス	舎密開宗 (一) 卷二, 三十六章, 九頁
67	酸化水素瓦斯	酸化水素瓦斯	フアンブロッッフエントガス, 燐鳴気	舎密開宗 (一) 卷二, 五十章, 二十一頁
68	水之酸素瓦斯	水之酸素瓦斯	水の分解で得られる酸素瓦斯	舎密開宗 (一) 卷二, 四十八章, 二十頁
69	燐化水素瓦斯	燐化水素瓦斯	PH ₃ , 可燃性, 有毒ガス	舎密開宗 (三) 卷七, 百三十六頁, 九頁
70	蘇魯林瓦斯	蘇魯林瓦斯	Chlorine gas, 塩素ガス Cl ₂ , (酸化塩素瓦斯の項にあり)	舎密開宗 (二) 卷六, 百二十一頁, 九頁
71	伊阿謂母ヨヂユム	伊阿謂母, イオジユム	ヨウ素, 海産動物物の石塩灰中に多し	舎密開宗 (五) 卷十五, 二百六十二章, 十八頁
72	ヨヂユム製法	伊阿謂母得法	海藻からのヨウ素の精製法	舎密開宗 (五) 卷十五, 二百六十二章, 十九頁
				舎密開宗 (三) 卷七, 百四十三章, 附録, 十八頁
73	燐光体	燐光体	カントンセホスホル, 硫化カルシウム燐光体	舎密開宗 (三) 卷七, 百四十三章, 附録, 十八頁
74	時計之角リン	時計盤計時分ヲ照シ見ル	同上の燐光体を時計に使用した	舎密開宗 (三) 卷七, 百四十三章, 附録, 十八頁
75	ボスボール	ボスボール	phosphor 燐光物質?	
76	発燐燐	ホスホリーセ	ホスホリーセ ストキース, 燐少量を濾紙の端に付けて乾かしたものを, マッチ	舎密開宗 (三) 卷七, 百三十章, 一頁
77	燐化加爾基	燐化加爾基	リン化カルシウム, Ca ₃ P ₂ , Calcium phosphide	舎密開宗 (三) 卷七, 百四十三章, 十八頁

[塗料、墨]

78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92
紫金	縹西加爾臥高度	藍色隠頭墨	鉛之隠頭墨黒色	緑色隠頭墨	紅墨水	蒲龍斯物乙吉緑	諸金細工色出煮液	硝子乳白器	白硝子	玻蓼製	硝子色物分量	硝子紙	硝子燈	赤煉玉
葛修氏紫金, Cassius purple (ミュシカールゴード) = 硫化錫の金色の細粉, 金色の画料	コバルトを硝酸または塩酸に溶解する。これで紙に面を描く	酸化コバルトを酢酸に溶し食塩を少し加えた溶液。コバルト酸化物は鉛色	乾性隠頭墨の法、あぶりだし、コバルトを硝酸或は塩酸の溶液を使用	紅色の墨汁、蕪木よりの色素を使用した墨汁	フリースグルーン油彩用緑色顔料, アンモニア硫酸銅塩	乳白ノ方, 乳色玻蓼ノ方。牛骨粉を硝子の原料に混合して焙かした硝子	白玻蓼ノ方	ギヤマン, ビードロ, 硝子製	色硝子は白硝子に酸化金属を加えて、色々の美しい色を生成する	その方法は寶石のまがいを製する法と同じもの多し	紙布に硝子の粉末を付着した紙やすり, 木製品, 鋳製品に使用	白ガラス製のランプの覆いを使用したもの	赤ガラスで作ったガラス玉	
会密開宗 (四) 卷十, 百七十五章, 十三~十四頁	会密開宗 (五) 卷十三, 二百二十九章, 二十二頁	会密開宗 (五) 卷十五, 二百五十八章, 三頁	会密開宗 (五) 卷十, 二百二十二章, 十五~十六頁	会密開宗 (五) 卷十五, 二百五十八章, 二頁	会密開宗 (六) 卷十八, 二百九十四章, 十八頁	会密開宗 (五) 卷十三, 二百十章, 附録, 五頁		会密開宗 (三) 卷七, 附録	会密開宗 (三) 卷九, 百六十二章, 十四頁	百工新書, 卷之二, 二十八項, 21頁~27頁	会密開宗 (三) 卷九, 附録 色玻蓼の方			

93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103	104	[医学・薬学関係項目]																			
フツ化物、寶石]	弗耳乙酸留	弗耳乙蘇把多	カリウム、マグネシウム、砒素]	加留母	刺蓼 弗耳等品	諸厄利亜亜斯	麻偏涅失重	加照良	[硝石]	硝石作法	硝石清ク製	硝石作土灰分量	合薬諸品	黒熔散	バジリコン	カンブラ (イヤシ)	ウルニス	ホルトス	ソツピル	生々乳	尋常石鹼	薄荷塩 (油)	亜爾箇兒	甘硝石精	サルペトルアータール	アラビアゴム	芫青	酒石塩	米砂糖		
フツ素酸, フツ化水素	(フルーイイスパート, 紅寶石名) Fluiss-spaat, Flurite, フツ化カルシウム塩	カリウム, ボタシウム	カリウム、ボタシウムの化合物類か	イギリス, engels zout = 瀉利塩, エプソム塩, 硫酸マグネシウム	マグネシア, 苦土, 酸化マグネシウム	(カメレオン) Chamaeleon minerale. 緑色のマンガン酸カリウム溶液	古土法, 乾いた古い床土より, 硝酸カルシウムを水で抽出する	粗製硝石, 灰汁煮硝石の再結晶により精製硝石が得られる	硝丘法での硝石生産	銃薬の混合比率	硝石と酒石を混合して掛湯で焼たもの。酸化砒素の還元を使用する	油脂の混合物, 麻油, 黄蠟, 唐チャン, 松脂を加熱して混合し、濾過後使用	硝布羅, 樟腦	マグネシア, 硝石, 甘遂, 阿仙菓よりなる消化器薬か?	硫黄, 硝石, 大黃, 甘遂よりなるムネヤク, 瘧疾の丸薬	ソツピル=メリクユリユス, ソツピルマアト=ジュピルマチスとあり	前者は水銀, 後者は上升煨煉する水銀=升汞丹=精製水銀をさす	漢方薬で鐵瘡 (梅毒) の治療に使用された。白丹砂	成分は雲母, 硝石, 朱砂液, 普賢, 綠礬, 食塩, 枯礬, 青塩, 硃礬礬石の9種	固体アルカリ塩を製すべし。苛性ソーダの製法が記載され、この溶液に油脂を加え、反応して凝結して硬い石鹼とした	薄荷の葉を水蒸気蒸留すると得られる精油, メントールMentholである	アルコール, 焼酎20度, 五ポンドに, ポットアスを加え, 硝子瓶に入れて密封, 脱水を行い, これを蒸留して3.2度の焼酎とする	アルコールと硝酸の混合物, 一酸化窒素が発生する。この溶液を服用すると呼吸器の血管の拡張が起きる。吐痰、喘息に効あり	アラビアの樹脂で、アラビアゴムの木の分泌物を乾燥したもの	カンタリー, カンタリス, 婦薬, 昆虫ハニミョウウの分泌液	ウエーンステーン ソツト wijnsteenzuur, tartaric acid, 酒石酸塩	キリストリインク				
会密開宗 (二) 卷八, 百五十三章, 十八頁	会密開宗 (二) 卷八, 百五十一章, 同五十二章, 十八頁	会密開宗 (一) 卷三, 五十七章, 五~六頁	会密開宗 (二) 卷四, 七十五章, 四頁	会密開宗 (三) 卷八, 百五十六章, 十二頁	会密開宗 (二) 卷五, 百十章, 十八頁		会密開宗 (二) 卷五, 百十章, 十八頁	会密開宗 (二) 卷五, 百十章, 十九頁	会密開宗 (二) 卷五, 百十三章, 二十一頁	会密開宗 (五) 卷十四, 二百三十六章, 六頁	遠西医方名物考, 卷二, 二十四頁	遠西医方名物考, 卷七, 八~十五頁	蘭方ホルトス弘方心得書 (15)	升汞丹製法秘訣, 山陽, 中井潤厚譯著 (7)	生々乳製法秘録, 東都, 黒沢松益述 (8)	百工新書, 前編 完 60項, 40-47頁	遠西医方名物考, 卷三十, 七頁	遠西医方名物考, 卷二, 「波」の項	遠西医方名物考, 卷三十一, 四~五頁	遠西医方名物考, 卷二十八, 二十六頁	遠西医方名物考, 卷十六, 一頁	遠西医方名物考, 卷十二, 一頁	会密開宗 (六) 卷十七, 二百七十六章, 一頁	会密開宗 (六) 卷十六, 二百六十五章, 七頁							

世界金融危機以降の人民元国際化の進展とその限界性^(注1)

金岡克文^{1*}

2014年9月23日受付, Received 23 September 2014

2015年1月9日受理, Accepted 9 January 2015

The Progress of the Renminbi (RMB)'s Internationalization after the Financial Crisis of 2007 to 2008

Katsufumi KANAOKA^{1*}

Abstract

The internationalization of the renminbi (Chinese Yuan (CNY)) was promoted significantly after the Financial Crisis of 2007 to 2008. This internationalization was started in the 1990s in accordance with the planned expansion of the Chinese economy. It has advanced gradually since then. China commenced a 4 trillion RMB economic stimulus program in 2008, and then the Chinese authorities came up with additional plans for boosting their country's economy and for ensuring its continued growth. These fiscal measures appear to have been successful in preventing the collapse of China's economy during the financial crisis. At the same time, these measures created a huge surplus of domestic financial reserves. As a result, the Chinese government needs to think carefully about the utilization of their huge stock of surplus money in order to avoid the problems associated with a real estate property bubble. The internationalization of the RMB means not only the expansion of the international use of the RMB but also about hedging exchange risks and responding to expanding external investments. At present, there seems to be no alternative but to continue with the internationalization of the RMB even though it risks fissuring China's controlled exchange system and state-planned economy. As this paper discusses, the solution to the problem of massive surplus RMB reserves is important not only for continuing China's economic development but also for the international currency system in the future.

Key Words: Renminbi (RMB), Chinese Yuan (CNY), internationalization of currency, China's exchange rate policy, international currency system

キーワード: 人民元, 中国為替政策, 通貨の国際化, 国際通貨制度

I. はじめに

現在, 世界第2位の経済大国となった中国は, 基軸通貨ドルへの依存を脱し, 人民元の国際化を推し進めようとする姿勢を明らかにしている。人民元の国

際化は, 中国の世界経済に占める地位上昇の中で, 必然的に生じてくるものである。ただし, 通貨の国際化は当然ながらそのみで完結するものではない。つまり, それは当該国の金融機関及び金融市場の国際化とあわせて, はじめて金融の国際化として意義

¹高岡法科大学 〒939-1193 富山県高岡市戸出石代307-7 (Takaoka University of Law, 307-7 Toidekokudai, Takaoka, 939-1193 Japan) / 金沢大学環日本海域環境研究センター 地域研究領域外来研究員 (Visiting Researcher, Department of Regional Studies, Institute of Nature and Environmental Technology, Kanazawa University)

*連絡著者 (Author for correspondence)

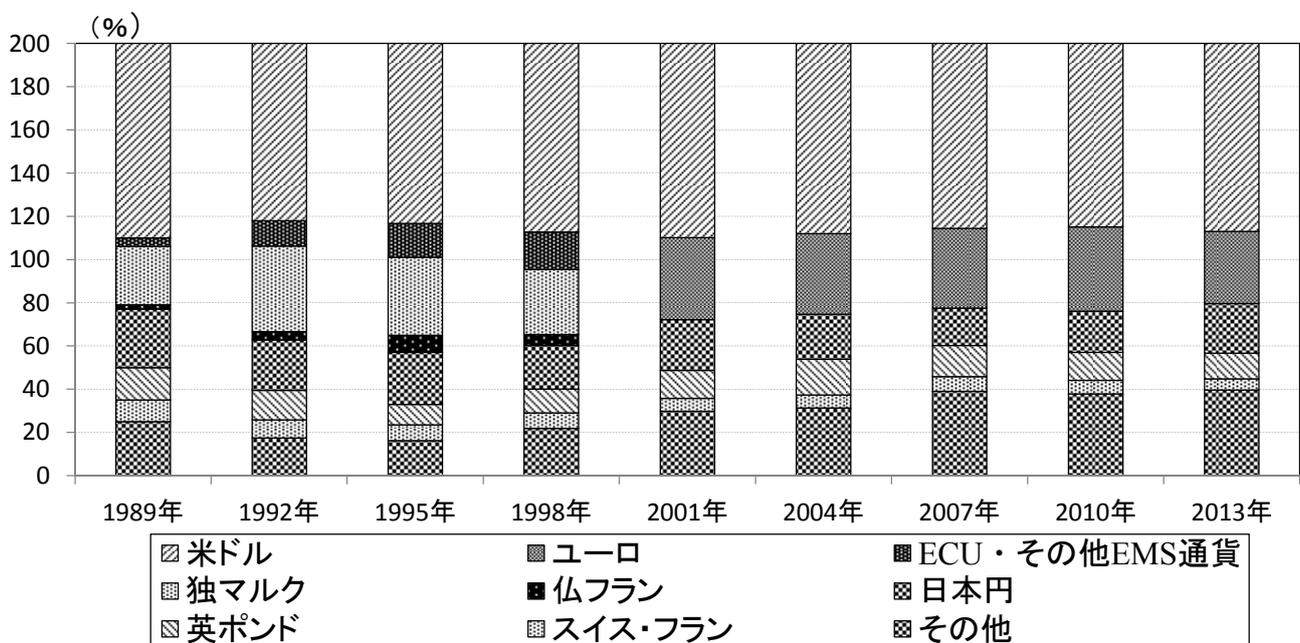
を持つのである。

近年、ほとんどの国において海外進出を含む金融機関の様々な業務、国内金融市場における取引、当該国通貨の取引のかなりの部分が自由化され、望むと望まざるに関わらずグローバルな金融システムに一方的に取り込まれている。そのような中で、中国は為替管理と資本取引規制をある程度維持しながら漸進的に自国金融の国際化を進行させてきた。ところが、2007～2008年の金融危機以降、通貨の国際化に関する制度改革が次々と急速に進んだ。当初から様々な制度改革の対象となってきた金融機関はもちろん、香港や上海などの金融市場においても矢継ぎ早に国際化の改革が発表されている。そして、その過程において重要であるのが、現基軸通貨たるドルとの関係である。

現在、基軸通貨として国際的な資金取引の中心にあるのはドルである。そのこと自体は、金融危機を経ても揺るぎないように見える。実際、外国為替市場で取引される通貨（売買を合計）に占めるドルの割合は4割程度で、ここ20年間大きな変化はみられない（図1）。しかし、1985年のプラザ合意を契機に、

強固なアメリカ経済を背景として機能してきたそれまでの基軸通貨体制は大きく変化し、現在も不安定性を拡大しているように見える。各国の準備通貨においてドルの占める割合はいまだ60%程度はあるが、準備通貨の多様性は進んでいる^(注2)。急速に進む人民元の国際化が、即ドルの凋落と人民元の基軸通貨化に結びつくはずもないが、その濫觴となる可能性も否定できない。

本研究は、世界金融危機以降に人民元の国際化がどのような枠組みで進んでいるかについて検討し、その国際通貨体制への影響に関して展望を示すものである。まず第Ⅱ章では、世界金融危機の発生以降の為替政策とそれによって進展する人民元の国際化の実際について検討する。つまり制度改革によって、人民元の国際化がどの程度進んでいるかを追究する。第Ⅲ章では、なぜ金融危機以降に人民元の国際化が急速に進んできたか、その構造について考察を加える。金融危機以前から徐々に通貨の国際化に関する制度改革が進んでいたとはいえ、準備通貨はもちろん取引通貨としても漸進的にしか利用が拡大していなかった人民元の国際化が、この危機を契機に急速



注1: BIS “Triennial Central Bank Survey of Foreign Exchange and Derivatives Market Activity” 各号のデータを利用して作成した。

注2: 各年4月における1日の平均取引割合。

図1 外国為替市場取引高通貨別割合。

Fig. 1 Currency distribution of global foreign exchange market turnover.

に進められている理由を抽出する。そして、人民元の国際化の性質についても考察を加える。最後に第IV章では、人民元の国際化とドル体制の問題について将来をも展望しつつ言及していく。

多くの先行研究では、人民元国際化の進展をグローバル経済下における中国当局による政策の必然的展開にとらえ、人民元がドルを補完する重要な準備通貨として成長する可能性も指摘される^(注3)。これらの研究では、現在の人民元国際化の抱える問題に言及しつつも、おおむねこれを中国の市場経済化の前進として評価する。これに対して、本稿は世界金融危機以降の人民元国際化の実態を検証することで、その内実と限界を明らかにし、それを基礎に国際通貨システムとの関係性についても論じていく。

中国の政治体制が、経済成長をその体制維持のために必須としているのであれば、人民元の国際化も単なる経済構造的な要請のみで進むとは考えられず、政治的な要因も強く影響するであろう。しかし、中国の経済規模からすれば、その動向はどの方向に向かうのであれ、現在のドル国際通貨体制に強い影響を与えざるを得ない。本研究を今後のドルを基軸通貨とした国際通体制のあり方についての考察を深め、以後の国際通貨体制について論究していくための一助としたい。

II. 人民元国際化とその進展

1) 人民元国際化への制度改革

共産党体制確立後、いわゆるモノバンク制下で社会主義経済が推し進められていた1970年代までの中国では為替相場自体が機能しておらず、貿易決済で人民元が使用されることはほとんどなかった。よって人民元国際化は、改革開放政策への転換期を経て、1990年代に至ってようやく現実的な意味を持ち始める。

国際取引における人民元の利用は、1994年の為替直物取引開始によって拡大していく。しかし、その進展は漸進的なものであり、中国の経済規模の拡大ほど急激ではなかった。人民元の利用が拡大するとしても、それは中国周辺部での取引通貨化、そしてアジア地域における中心通貨という段階を踏んで展開するものであり、実際にはアジア金融危機の発生などもあって政策的に強く推進されてはこなかった。

このような展開は、例えばドルの国際化の進展をみれば当然のものと思われる。ドルの国際化の進展も、まずは自国貿易取引のドル化に始まり、その後は主に南米地域に拡大、戦後は日本のドル利用の拡大によって国際通貨としての地位を確立していくのである^(注4)。人民元の国際化も、ドルの国際化が見た目ほど容易に進んでいかなかった（アメリカが世界第一位の工業国と成ったのは1900年代はじめであり、ドルが国際通貨としての地位を確立したのは第二次世界大戦後）のと同じく、段階的に進んでいった。

中国の経済成長率は、2000年代に入っても10%前後の高い水準を維持していた。貿易取引も急速に拡大しており、2003年11月には香港特区での人民元業務が解禁され、2005年8月には先物為替取引が開始されている。その後も、2006年にはフィリピン中央銀行が、海外中銀としてはじめて人民元を外貨準備通貨へ採用し、翌2007年9月には日本も中国と通貨スワップ協定を締結している。しかし、これらはその経済規模の拡大からみれば、当然の動きであったと言えよう。

2008年のリーマンショックを機に漸進的な改革姿勢が変化する。以前から成長に限界がみえはじめていた輸出が、世界（特に米国）経済悪化の影響を受け始める。そこで中国当局は新たな貿易振興策のひとつとして、人民元建て貿易取引の拡大を検討する。2009年から人民元建てクロスボーダー貿易決済の試験の実施が開始され、翌年には導入地域が大きく拡大する。そして、その翌年の2011年にはこの試行地域が中国全土に拡大された。さらに翌2012年には人民元建て国際貿易決済が、全輸出入企業に拡大されることで貿易取引における人民元利用は新たな段階へと進むこととなった。

人民元建て貿易決済は、スタートからわずか3年で人民元の貿易利用をほぼ全面解禁にするまでに展開する。これまでの人民元の国際化の進展状況からすれば、かなり急速であると言える。これは人民元決済の導入が完全にスムーズに進んだことによって期間が短縮した結果とは考えにくい。その理由として、例えば自国通貨建て決済で輸入が先行していたことがあげられる。

というのも、本来自国貿易における自国通貨の利用は、為替差損を縮減する（リスク回避による輸出の

表1 人民元の国際化年表

Table 1 RMB Internationalization Timeline.

年月	人民元国際化関連事項
1994年4月	直物為替取引の開始
2003年11月	香港特区での人民元業務解禁
2005年8月	先物為替取引開始
2006年4月	為替スワップ取引開始
2006年12月	フィリピン中央銀行による海外中銀としてはじめての人民元の外貨準備通貨への採用
2007年9月	日本と通貨スワップ協定を締結
2009年7月	人民元建てクロスボーダー貿易決済の試験的实施
2010年2月	香港での人民元業務規制の緩和（海外企業・金融機関の人民元建て債券発行、香港系銀行の貿易金融を許可）
2010年6月	人民元建てクロスボーダー貿易決済モデル地区の拡大
2010年7月	香港特区での人民元建て預金の銀行振替の許可、企業による人民元と外貨交換の金額制限の撤廃
2011年4月	人民元の対外貨オプション取引の開始
2011年8月	人民元建てクロスボーダー貿易決済試行地域を中国全土に拡大
2011年12月	人民元適格海外機関投資家（RQFII）による域内証券投資の試験的实施
2012年3月	人民元建てクロスボーダー貿易決済を全輸出入企業に拡大
2013年3月	RQFIIの範囲が香港基盤のほとんどの金融機関に拡大
2013年7月	人民元建てクロスボーダー決済関連の手續の簡素化
2014年2月	上海自由貿易試験区での人民元クロスボーダー取引拡大を支持する通知

拡大) という目的からして輸出において先行するはずである。他方、輸入においては、特に国際商品価格が形成されている物品の場合、国際通貨（ドルなど）での取引が一般的で、かつ有利な点が多いため、自国通貨での輸入は、輸出に比べて低い比率となる可能性が高いものだからである^(注5)。そこには中国の特殊事情が反映していた。

すなわち、この時まだ人民元建てクロスボーダー貿易決済が本格化しておらず、利用企業に偏りがあったこと、また輸出に関しては相手方に人民元での支払の了承を得、また相手方もその資金を調達することが可能でなければならなかったことが指摘される^(注6)。人民元決済の導入は、全面的に円滑に進んだわけではなかったのである。ただし、この偏りは徐々に解消されていった。2010年には輸入総額に占める人民元建て輸入の比率が4.3%、それに対して輸出は0.3%に過ぎなかったが、2011年になると輸入の10.9%に対して輸出は2.9%となっている。

その後も、中国当局は人民元の国際化に関わる施

策を、次々と打ち出していく（表1）。それは、人民元建てクロスボーダー貿易決済の導入がそうであったように、試験的導入、翌年に導入地域を拡大、そして全国規模での導入というペースで進んでいる。そして、その間に手続きの簡素化などの、実際に取引を拡大するための措置も次々と行われている。人民元の国際化のための制度改革は、世界金融危機以降の数年間で、これまでの遅れを取り戻すように進んでいる。

それでは、このように大きく進展を見せた制度改革を受けて、実際はどの程度人民元の国際化は進んでいるのだろうか。次項においてはこの点について、人民元国際化指標を利用しながら検討を加えていく。

2) 人民元国際化の実態

前項でみてきたように、世界金融危機を契機に急速に人民元の国際化に関する制度改革は進んできた。それでは、その実態はどのように評価されるのであ

ろうか。これに関しては、中国人民大学の国際貨幣研究所が発表している人民元国際化指数（RMB Internationalization Index）^(注7)が参考になると考えられる。

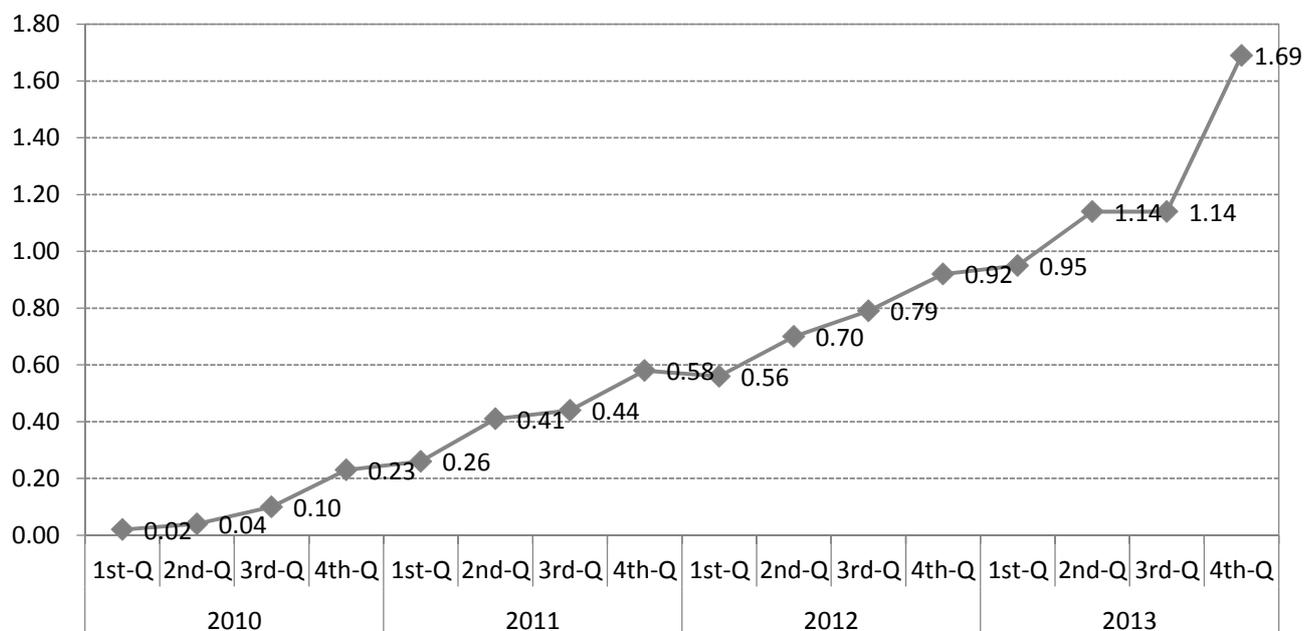
ただし、この指数は主要通貨の指数合計が100となる形で示されている。つまり、各通貨が国際通貨としての機能を示す様々な項目において占める割合を、それぞれ計算して総合したものである。ゆえに、本来の意味での通貨の国際化を示しているのかという点に関しては、大いに疑問が残る。例えば、スイス・フランのような通貨は、その国家の経済規模に比べて国際的利用、つまり第三国間取引規模が大きい。このような通貨は、極めて国際化した通貨と考えるべきであろう。しかし、この指標でしめされるスイス・フランの6.4（2010年）という数値は、それを十全に反映していないと考えられる。

つまり、この国際化指数は、図1で示したような国際的に占める割合、地位を示すものであって、純粋な通貨の国際化を示しているとは言い難い。この数値は、ある意味基軸通貨の地位を得る可能性を持った通貨を、つまりドルやユーロ、円を評価するための指標であると考えられる^(注8)。とはいえ、そのよ

うなものとして理解する分には、人民元の目指す「国際化」の一つの方向性を反映した指標であり、その国際化の実態を表していると思われる。

この指標によると、人民元国際化に関する制度改革がはじまった2010年の第1四半期の人民元の国際化指数は0.02であったとされる（図2）。同期のドルの国際化指標が52.79、ユーロが26.95、ポンドが4.64、円が3.59とされていることからすれば、ほぼゼロに近いという評価であった。ところが、同年第4四半期には0.23と10倍にまで増加している。たった1年程度でのこの変化は、この指標自体の問題も示しているが、しかしほぼゼロの状態から急速な変化生じていたことを示している。

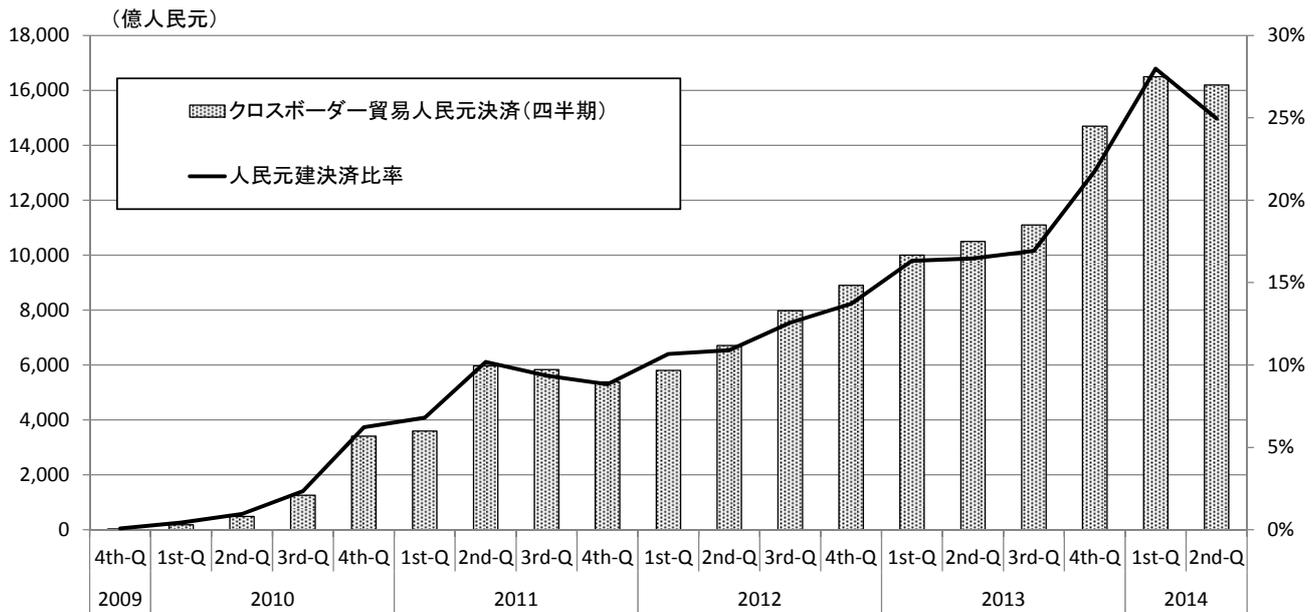
さらに、翌2011年第4四半期には0.58と前年同期の2倍以上にまで増大している。同年8月には人民元建てクロスボーダー貿易決済試行地域が中国全土にまで拡大されており、中国の貿易額のうち人民元建て決済は、2.5%程度であった2010年から2011年には10%前後へと大きく増加している（図3）^(注9)。その内訳としては、前述のように人民元建て財貿易のうち輸入でのそれが92%を占めた偏った状態にはあったが、とにかく貿易決済における自国通貨の利用は中国貿



注：2010年の数値は中国人民大学国際貨幣研究所(2012)、それ以降は同(2013)及び(2014)のデータを利用

図2 人民元国際化指数.

Fig. 2 RMB Internationalization Index.



注1: 中国人民銀行及び海関総署のデータより作成。
 注2: 人民元建て決済比率は、四半期毎の商品貿易取引に対する人民元建て決済取引の比率。

図3 クロスボーダー人民元決済額及び人民元決済比率 (2009年第1四半期～2014年第2四半期).
 Fig. 3 Cross border settlement in Renminbi.

易の国際的重要性を背景として急速に高まったのである。

人民元建てロスボーダー貿易決済が全輸出入企業に拡大された2012年には、指数の上昇自体はほぼゼロからのスタートであったこれまでに比べて緩やかになるが、それでも第4四半期には0.92と前年同期の1.5倍にまで上昇している。同年には、人民元建てクロスボーダー貿易決済が全輸出入企業に拡大され、他にもドルを介さず人民元と円を売買する直接交換取引も始まっており、人民元建て決済比率も約12%まで上昇している。

2013年には人民元クロスボーダー取引の手続きも簡素化され、さらに上海自由貿易試験区での人民元クロスボーダー取引の拡大を支持することを当局が表明した。これらのこともあって、人民元建て貿易取引はさらに急速に拡大し、2013年前半に人民元建て決済比率は16%程度にまで上昇し、同年通しても平均18%程度にまでに達している^(注10)。そして同年第4四半期の国際化指数は、1.69にまで上昇しているのである。

これには、もちろん人民元による香港オフショア市場を通じた資金調達・資金運用が、制度的にも市

場の拡大によっても年々容易化することによる影響も大きいと考えられる。更に2014年2月には中国(上海)自由貿易試験区で区内の企業・金融機関による人民元の国際取引も始まり、ますます人民元の国際化の実質的な拡大は続いている。実際に2014年第1四半期の人民元決済比率は約28%にまで上昇している。

以上のように、人民元の国際化は主に貿易決済を通じて、かなりの速度で進んでいると考えられる。人民元国際化指数の急激な上昇も、その内実はこの自国貿易取引の人民元決済が中心にあることは、図2と図3の動きがほぼリンクしていることから推察される。ではなぜ、世界金融危機を機に人民元の国際化政策は大きく進展し、それまでほぼ無きに等しかった人民元の国際化が進んできたのであろうか。次節では、人民元国際化の実体化の必然性について、その要因を検討していく。

Ⅲ. 人民元国際化の構造

1) 人民元国際化の枠組み

人民元の国際化は、前述のような人民元の国際化

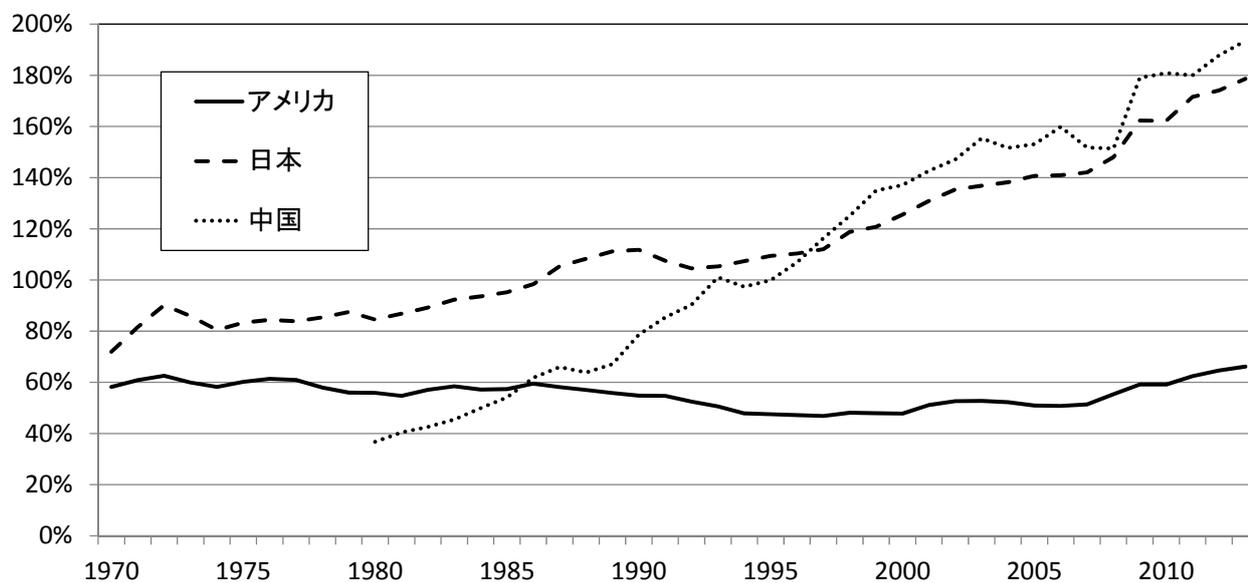
指数のような視角からみれば、現在の主要国際通貨、つまりドルはもちろんユーロや円、それどころかスイス・フランなどと比較しても進んでいるとは言い難い。しかしながら、ほぼゼロからスタートして、かなりの速度で国際化が進展していることは確かである。では、金融危機以降の人民元の国際化は、なぜこのように急速に進むことになったのであろうか。

人民元の国際化が、かなり以前から中国当局に意識されていたことは当然であろう。世界最大の人口をもつ国家が、自国通貨が国際的に広く利用されることを意識するのは理の当然である。しかしながら、前述のように改革開放路線への転換以前の経済状況と、それを反映した為替市場のあり方は、現実問題として人民元の国際化を必要とするものではなかった。そして、その経済的プレゼンスが上昇し、外資に頼らざるを得ないような状況が改善されてきた1990年代からは、明確なロードマップはなくとも対ドル為替政策などにおいて意識されていたであろう。

人民元国際化の方向性として考えられるのは、アジア地域における中心通貨としての地位から漸進的に国際化を目指すものである^(注11)。しかしながら、ユーロ危機以降のアジアにおいてユーロのような通

貨の構築も難しく、日本の円や韓国のウォンなどとの関係からしても現実味が薄れたと考えられる。これに対して、もう一つの方向がドルとの関係から国際的な人民元のプレゼンスを直接に拡大していくものである。中国は最大のドル債権保有国となったことで、ドル体制最大のステークホルダーになった。それは他方で、ドルへの依存から如何にして脱するかという問題に直面することも意味する。2009年の周小川人民銀行総裁のSDR活用案^(注12)などは、そこから生じてきたものと考えられる^(注13)。

それでは、2010年頃から進んできた人民元国際化の方向性はどちらに属するものなのであろうか。当然ながら、前者のアジア通貨体制の流れにないことは明らかである。とすれば、後者のドル依存から脱していく流れのものかといえ、そうだと明確には肯定できない側面も存在する^(注14)。中国の貿易取引において利用される決済通貨は基本的にドル、ユーロ、円であった。しかしながら、各通貨ともに金融危機以降にアメリカの量的緩和や日本のゼロ金利政策、ユーロ危機の発生によって十分に安定的な通貨とはいえない為替変動を繰り返している。このような動きに対して自国通貨決済を増加させたとい



注1: 各国GDPはIMF Data and Statistics、アメリカの通貨供給はM2でFRB Historical Data、日本はM2+CDで日銀、中国はM2で人民銀行の各データを使用して作成した。

注2: 日米は1970～2013年、中国は1980～2013年を対象としている。

図4 日米中の通貨供給量の対GDP比。

Fig. 4 Money supply of the United States, Japan, and China (% of GDP).

うのが、貿易取引において人民元決済が急激化したことについての、最も直接的な見方であると考えられる。

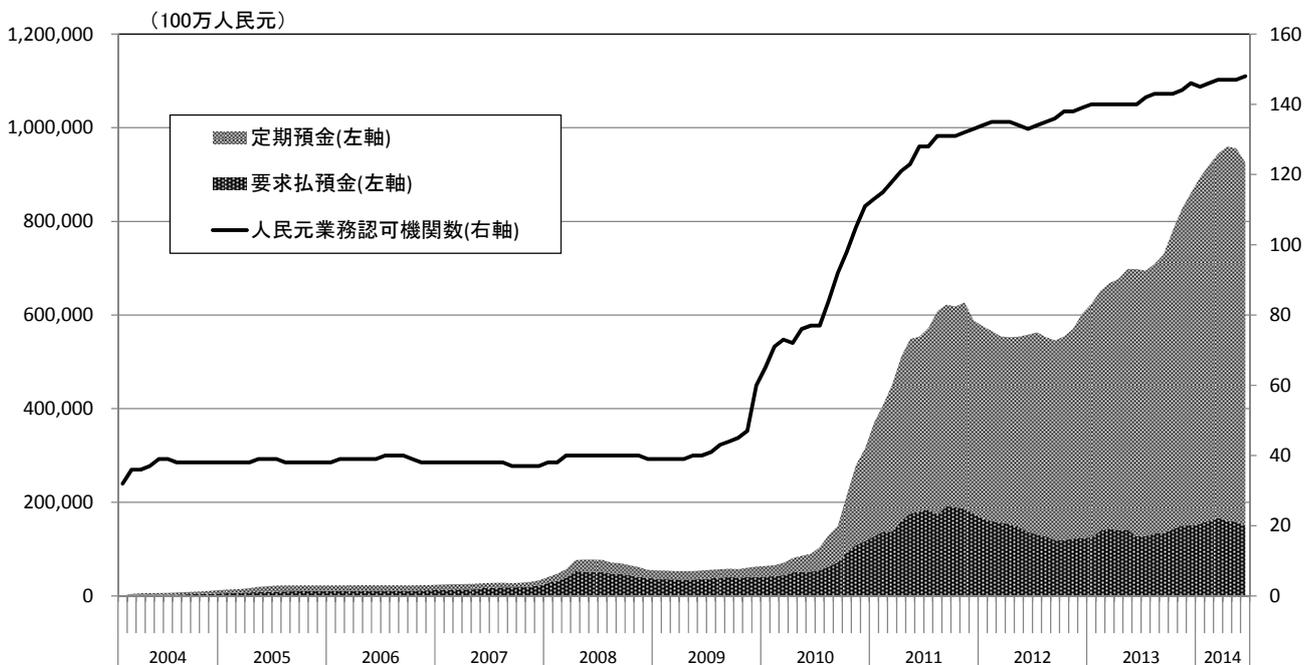
とはいえ、このような為替変動が生じたのはこれが初めてではないし、それにしてもこれまでの動きに対して変化が大きすぎる。とすれば、このような動きの背景として存在するのは、人民元供給量の急激な増加であると考えられる。図4は、米中日3国のGDPに対する通貨供給量(M2)の比率を示したものである。アメリカや日本と比較しても中国の通貨供給量の伸びが全体的に早いことは明らかである。しかし、中国は高い経済成長率を示しており、それによって通貨供給量の絶対値が拡大することは当然である。2008年までの増加は急速な経済成長において、実際のGDPの増加に先んじて通貨供給量が増加しているものと考えられ^(注15)、高度成長期においては当然生じうるものである。

これに対して2009年のそれはこれまでにない急激な伸びである。2008年から2009年には151%から179%へと1年で20%近い増加をみせ、巨額の財政出動や為替政策などの様々な金融危機への対策で貨幣供給量がGDP比からみても急激に増大したのである。

つまり、以前からの経済成長を実現する過程で累積した通貨と金融危機対策によって供給された通貨が、中国内部で貨幣市場に対する巨大な圧力となったと考えられるのである。これらの通貨が国内に滞留し続ければ、国内金融市場取引の更なる自由化を求め、いつバブルを引き起こすか分からないリスク要因となる。

そのリスク解消には二つの道が考えられる。まず過剰資金供給を整理する道である。しかし、その方向に向かえば、不良資産と化したそれらの清算による経済成長への悪影響は必至であろう。社会体制維持の上で、高い経済成長率を犠牲にするわけにはいかない。そのような状況において進められていったのが、もう一つの道である貿易決済における人民元利用の拡大である。図3に示されるような急速な人民元取引の拡大は、もちろん貿易不振対策という側面があるとしても、やはり経済の根幹に関わる部分での要因があったと考えるべきであろう。

しかしながら、貿易取引における拡大のためには中国企業はもちろんのこと、その取引相手が人民元を調達・運用する市場を整える必要であった。金融の国際化は、金融機関、金融市場、通貨の国際化が



注: 香港金融管理局(HKMA)のデータより作成。

図5 香港人民元建預金残高及び人民元業務認可機関数の推移(2004年2月~2014年6月)。

Fig. 5 Renminbi deposits and number of authorized institutions engaged in RMB business in Hong Kong.

セットであるとされる所以である。そこで重要な意義を持つのが、香港オフショア市場の発展である。

2) 香港オフショア市場の発展と人民元の国際化の限界性

香港が1997年に中国に返還され、一国二制度の下で特別行政区となって以来、中国経済において香港の占める重要性は高いが、特に2004年に人民元業務が解禁されて以降、外につながる最も重要な人民元のチャンネルとして人民元国際化においても重要な役割を果たしてきた。

2010年6月に人民元建てクロスボーダー貿易決済モデル地区が拡大され、その翌月には香港特区での人民元建て預金の銀行振替が許可され、企業による人民元と外貨交換の金額制限も撤廃される。この頃から、香港人民元建て預金は急速に増加していく(図5)。さらに当局から人民元取扱業務の許可を受けた企業数も、2010年から2011年にかけて急増し、一気に3倍程度にまで達している(図5、右軸参照)。人民元クロスボーダー貿易決済の拡大が、香港オフショア市場の拡大の後押しし、またその拡大が貿易決済を支えたものと考えられる。

ただし、人民元建て貿易取引拡大による人民元預金の拡大のみが人民元取引の拡大の要因ではない。預金の大部分を定期性預金が占めていることから分かるように、金融取引、特に投機的な取引の拡大の影響も大きい。オフショア人民元市場とオンショア人民元市場間における裁定取引等も、香港オフショア市場の拡大を支えている^(注16)。ただし、オフショア人民元市場とオンショア人民元市場間における鞘取りにはリスクが存在し、リスクヘッジなしのこのような取引の増加は健全な金融市場の発展を阻害する恐れがあるとされる^(注17)。つまり香港オフショア市場の拡大は、投機的な取引等の問題を引き起こす可能性をはらんでいる。

しかしながら、それが直接国内に達する危険性は抑えられている。最も自由度が高く、外に向かって開かれているこの香港においても、中国当局による厳しい監視が存在するからである。人民元資金の大陸への流入は厳しく規制されている。そして、改革の契機が、金融危機に対する国内経済対策であったことからすれば、この人民元の国際化は、まずなにより国内における問題を基礎にして急速に進んだ内

向きの国際化^(注18)であったと考えざるをえない。

金融危機以降の人民元の国際化は、生産力や金融市場の発展に裏付けられた金融国際化を構成する本来の「通貨の国際化」に比べ、国内経済事情に端を発したバランスを欠いたもののようにみえる。自国貿易取引の自国通貨決済も漸進的な金融国際化の重要な一部であるが、それはさらなる金融自由化を必要としているようにみえる。もちろん、上海などの金融市場における自由化も進んできてはいるが、少なくとも数値上は日本にも迫るほどの自国貿易の自国通貨決済化を実現していることを考えれば、それは中国の金融国際化全体における重要な障害ともなりうる。

ただし中国の人民元の国際化自体は、以上のような問題をはらみながらも、急速に進んでいくと考えられる。それが前述のような内的要因によるものであったとしても、国際的にも重要な影響を与える。そこで次項では、このような人民元の国際化とそれを推し進めた重要な要因である通貨量の増大が国際通貨システムにとってどのような意義を持つのかについて考察する。

IV. ドル体制と人民元国際化

1) 人民元国際化の拡大

人民元の国際化は、中国の経済力の増大を端緒とし、金融危機を契機に急速に進んできた。しかし一方では、資源獲得のためなどの海外直接投資も、人民元の国際化を促進してきている。中国からの多額の投資を受けたナイジェリアが最初に人民元の準備通貨への組み入れを宣言し、ハイパーインフレーションを経たジンバブエなど、アフリカの多くの国々が人民元を重要視することはアフリカにおける人民元の地位を反映したものである。

現在進んでいる人民元の国際化は、本来通貨の国際化においては必須条件である為替取引の自由化(為替管理の緩和)及び資本取引の自由化を漸進的なものに止めながら、香港オフショア市場の創設と発展によって為替取引の流動性を確保、代位することで進められているようにみえる。これによって、通貨の国際化において最も重要な貿易取引における自国通貨取引を、前述のように進めているのである。そして、それによって中国と密接な関係を持つ新興

国が人民元を準備通貨としてもある程度保持する条件を整えている。

人民元の国際化に必要な条件として、①実需に基づく使用拡大、②使用地域の拡大、③通貨としての機能強化、④オフショア、オンショア両市場の調和的な発展、⑤資本取引の自由化が指摘される^(注19)。これらのうち①は金融危機以降かなり進んでいるが、その他の部分は必ずしも十分に進展しているとは言えない。中国人民銀行は2008年以降、以前よりも急速に通貨スワップ協定を各国と締結している。特に最近はオーストラリアやイギリスなどの先進国との取引が多くなっている^(注20)。人民元利用の本来の意味での国際的な拡大も、徐々にではあるが進められているようにみえる。

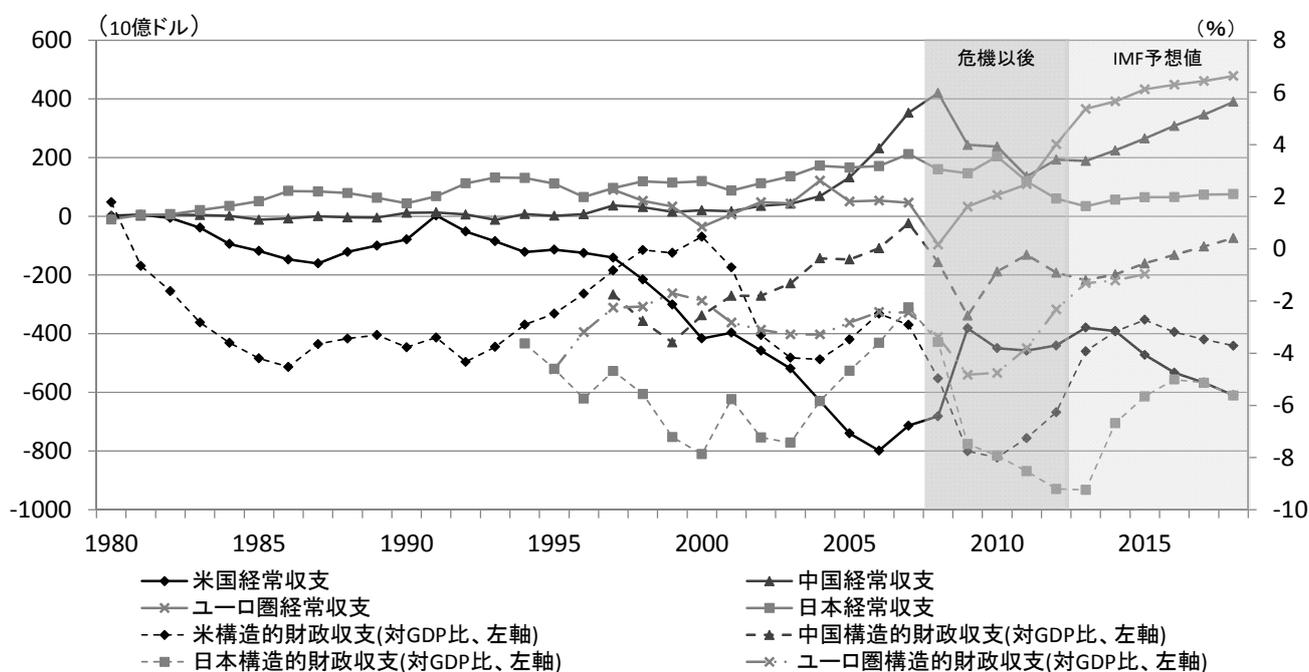
しかしながら、金融危機以降の人民元の国際化は前述のように「内向きの」国際化、つまり国内的要因を中心にして進められていると考えられる。もちろん国内的な要因によって通貨の国際化が進められたとしても、それ自体が問題であるわけではない。例えば、1985年に円の国際化の最も重要な施策として創設された円建BA市場も、大正期にすでに貿易振

興策として創設が試みられている。ただし、大正期の円建BA市場の場合、あくまでその目的は貿易振興にあったことから、制度自体が換骨奪胎されて円建貿易の拡大に資するものとはならなくなっていく^(注21)、市場自体も崩壊に至った。

このような事例からすれば、人民元の国際化はバランスのとれた本当の国際化として、外に向いて他国と歩を合わせていけるのかということが重要である。そして、その問題は結局のところ現在のドル体制下で人民元がどのような地位を占め、ドルとどのような関係のような関係を築くのかという点にあると考えられる。

2) 基軸通貨ドルと人民元の国際化

世界金融危機以前の国際収支の不均衡体制は、アメリカの財政収支と経常収支の赤字によって流出するドル資金が、経常収支黒字国である日本や中国によるアメリカ証券等の購入を通じて環流することで維持されてきた。しかし、世界金融危機の発生以降、現在はドルを吸収し続けていた日本、そしてドル資産保有額でトップとなった中国も、今まで以上に国



注1: IMF World Economic Outlook Database October 2013, April 2014のデータ及び U.S. Department of Commerce, Bureau of Economic Analysisのデータを利用した。
注2: 2014年以降は予想値。

図6 米中日及びユーロ圏の経常収支・構造的財政収支（対GDP比）の推移。
Fig. 6 Balance of Payments and Structural Fiscal Balance (% of GDP).

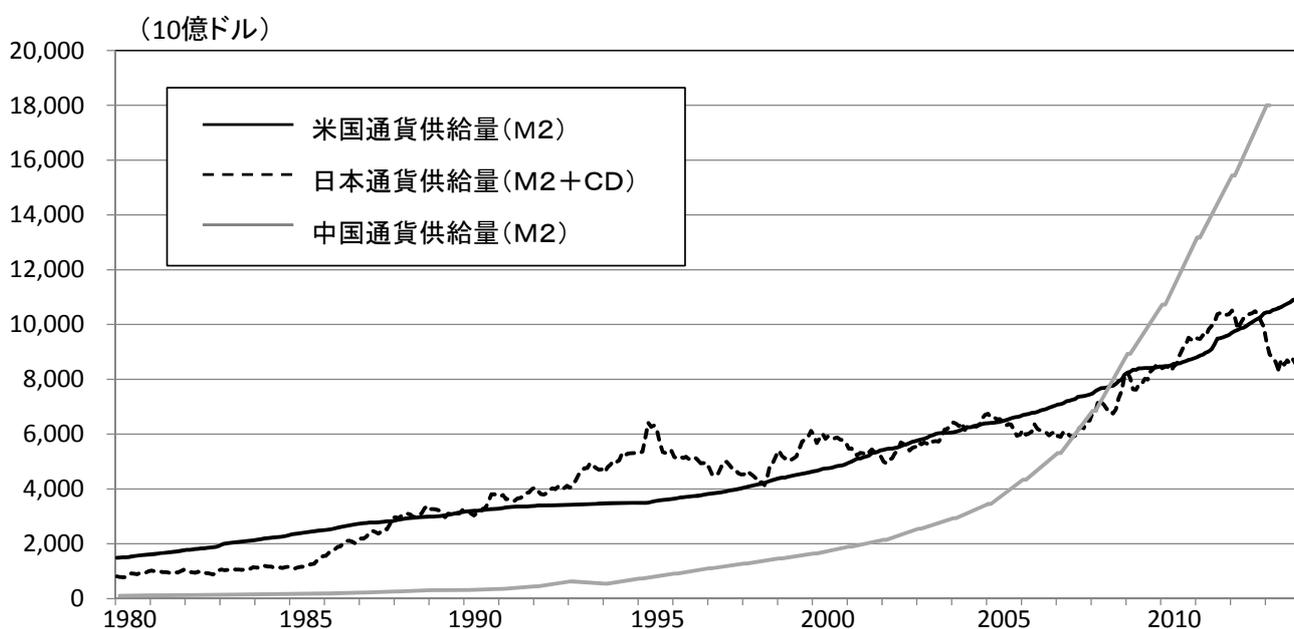
内に過剰な資本圧力が生じている。両国ともに経常収支が黒字、または均衡に近い状態にあるので、それが直接の国際的な圧力にはなっていない（図6）。しかしながら、日本も金利が比較的lowだった時期に円キャリー取引が増加し、世界中に投機的な資金を供給している。

もちろん中国は、アメリカと異なり前述のように財政収支・経常収支ともに赤字の状態になく、日本のように国内における不況対策のために低金利下で財政収支を悪化させ続けている^(注22)わけでもないから、これらの国家のように国際流動性を供給する可能性はない。急激に見える通貨供給量の増加も、基本的にその高い成長率に先行して供給されていたものと考えられる。そのため、それは一時的なものであり、経済成長さえ維持されれば自然と解消される問題のようにみえる。このことから、政府当局は自国通貨決済の増加や管理が可能な香港におけるオフショア市場の拡大という形で資金の行き先を作り出す方向に進んだと考えられる。

そして人民元の国際化が進んだ先には、ドル依存からの脱却がある。それは、前述の周小川人民銀行

総裁の国際通貨システム改革案からしても明らかであろう。ドルに対する依存から脱却しようとする動きは中国だけのものではない。中国を含むいわゆるBRICS諸国はもちろんのこと、その他の経済新興国なども準備通貨の多様化を進めている。2014年第一四半期のドルが各国準備高に占める割合は約61%と、2000年以降では最低水準まで落ち込んでいる^(注23)。しかしながら、このようにドル依存からの脱却を多くの国が目指すのは、アジア金融危機から世界金融危機にいたるまで、その発生と拡大の重要な要因となったのが巨額の投機的ドル資金であったからであろう。

このような巨大なドル投機資金、過剰流動性の根本にはアメリカの財政収支赤字と経常収支赤字がある。すでに中国の通貨供給量がGDP比でアメリカや日本に比べても急激に伸びていることはみてきた（図4）。これをドル建てで換算したのが図7である。各国で制度や通貨量統計の基準が異なり、同じM2といっても単純に比較できるものではない。しかし、中国の通貨供給量が2008年頃から急激に伸びていること、そしてそれがいかに巨額であるかが分かる。



注1: データは、Board of Governors of the Federal Reserve System 人民銀行、日本銀行。

注2: 日米に関しては毎月の、中国は毎年のデータを利用している。

図7 米中日通貨供給量（ドル建て）の推移（1980～2013年）。

Fig. 7 Money supply of the United States, Japan, and China (in U.S. dollars).

もちろん、日本と中国のドル建てでの通貨供給量の大きさは、それぞれの為替相場における対ドル相場の変動によっていかようにも変化する。

日本は現状において巨額の財政赤字を抱えながらも経常収支黒字をある程度維持できているからこそ、現状の為替水準を維持できているのである。それは中国も同じである。しかしながら、これだけの通貨供給を行っている国家が、通貨の国際化を進めていることはその国のみの問題であるとはいえないと考えられる。確かに、人民元資金が世界経済に影響を与えるように国際化するには、いわゆる国際金融のトリレンマ、つまり為替相場の安定、独立した金融政策、自由な資本移動のうち同時に実現できるのは2つのみであること、が問題となる。前の2つは中国の経済発展には不可欠であり、自由な資本移動の実現が困難なことは明らかである。ただし、人民元を使用するかは他国の選択であり^(注24)、前述のアフリカ諸国のように積極的に人民元資金に頼る国家が増加すれば、人民元を囲む状況も大きく変化すると考えられる。

世界金融危機以降の人民元の国際化は、前述のように「内向き」の国際化であると考えられる。そして、それを人民元国際化の限界性として指摘した。実際、人民元の国際化は、当局の厳しい管理下において、経済成長に対するリスクを回避するように進められている^(注25)。それは全体としての今後の人民元の国際化の流れに反するものではないが、その限界性を脱ぎ捨てた本当の意味での国際化、つまり第三国間を含めた利用拡大につながるものかは、結局のところ実質的な為替管理をどれだけ緩和し、資本取引の自由化を進められるかにかかっている^(注26)。とすれば、結局のところ人民元の国際化は、中国が主導する地域経済圏においてある程度限定されて進むような形に収斂するのかもしれない。しかし、たとえそうであるにしても、巨額の国際通貨人民元を含んでどのような国際通貨システムを構築するのかという問題は世界に突きつけられることとなると考えられる。

V. おわりに

中国経済は改革開放路線への転換以降、急速な発展を続けてきた。世界経済における重要性は、すで

にヨーロッパや日本に匹敵するものとなっている。しかしながら前述のように、最近になるまで人民元の国際化は、基軸通貨ドルに対抗する時代の国際通貨としての期待度は大きかったものの、部門や地域ごとに異なるとしても、全体的には漸進的な制度改革によって徐々に進むものと考えられた。なぜなら、経済発展を維持しようとする中国政府当局は、ある程度の為替相場管理を保持しようとするであろうし、ゆえに通貨の国際化において重要な要因となる資本移動の自由化は容易には進まないと考えられたからである。

ところが、リーマンショック後の巨額の財政出動が、状況を一変させる事となった。人民元の国際化は、単なる中国経済発展の行き着いた先に存在するものではなく、本稿で分析したように適正な発展を続けるために不可欠なものとなったのである。巨大な通貨（人民元）ストックは、放置すればバブル経済を生じさせてしまうことになる。それを防ぐためには、より適正な利用、投資先を意図せざるを得ず、人民元の国際化が不可欠なものとなった。そして、もちろん従来の人民元国際化の流れ、つまり中国経済の重要性の増大や為替リスクの回避などの問題もこれを後押し、人民元の国際化は急速に進もうとしている。しかしながら、人民元の国際化は当局による一方的な制度改革によってのみ達成されるものではなく、中国経済に特有の多くの問題を含む。

中国経済は多くの場合、国家資本主義と規定され、それは中国経済の一面を表しているが、そうではない側面も無視できない。中国の社会主義体制自体は、その成立期から文革期を経済システムに致命的な問題を抱えながら乗り切り、崩壊する事なく現在まで一応存続している。それには多くの要因があるが、中でも国家資本主義的ではあってもそれに収斂しない、その社会経済体制の持つ複雑性が重要であると考えられる^(注27)。それは例えば中国経済が、国家が資本を統制するという一方的なシステムではなく、党支配と市場経済システムなどが相互に影響し合いながら、その下において伝統的なものを含む様々な正規、非正規のシステムが機能するような形態であると考えられる。人民元の国際化も、当然ながら国家による一方的な押しつけで進むものではない。実際、現在問題となっているシャドウバンキング、さらには国家統制の及ばないインフォーマル金融もま

た、巨額の貨幣ストックを通じて、人民元の国際化と看過し得ない関係を持っているのである。

人民元の国際化は、中国に存在する複雑かつ様々な正規、非正規の金融システムを巻き込んで進まざるを得ない。しかし、本稿で示したような大量の通貨発行による圧力は大きく、通貨当局は為替相場をにらみながら慎重に通貨システム改革を進めざるを得ない一方、さらなるスピード感をもって内向きの「国際化」を押し進めていくと考えられる。ただし、中国が一党独裁体制下にある以上、それを揺るがすような経済成長の停滞などは避けなければならない、それすらも困難な途である。ゆえに、急激に進んだ人民元の国際化も、旧来の地域通貨圏構想等に沿うような漸進的なものとなる可能性もある。しかしながら、そうなるにしても国際通貨システムはドルとともに巨大な人民元建ての資金の存在という新たな困難に直面することとなる。

中国における人民元の国際化を、国際通貨体制の変容という視角から更に分析を深めるためには、ドルはもちろんユーロや円との関係のみではなく、アジア各国や近年中国との関係を深めているアフリカ各国との経済・金融関係が重要である。また、人民元国際化それ自体の本質を追究するには、国際化指数の更なる精査や金融機関等の取り組みを含めた分析も必須であろう。これらに関する詳細な分析は、次稿以降の課題としたい。

注

- (1) 本研究は京都大学経済研究所共同利用・共同研究拠点プロジェクト研究（「グローバル危機以降の先進国・新興国の経済制度変化と政策の比較分析」）の助成を受けたものです。
- (2) IMFのデータ（2014年3月）では、通貨構成の判明している外貨準備6兆1755億ドルのうち、ドル建ては3兆7632億ドルとされる。
- (3) Eichengreen (2014), Eichengreen and Kawai (2014), ECB (2013), World Bank & DRC (2010)などを参照。
- (4) アメリカの場合は、まずは連邦準備制度（中央銀行制度）が成立し、それとともにドル建て銀行引受手形市場が整備されて、ドルの国際化が進められていく（金岡, 2001及び金岡, 2007aを参照）。
- (5) 日本の場合、貿易取引通貨の円建て比率は2014年の上半期で輸出が37.5%（アジア地域43.1%）であり、輸入では20.5%（アジア地域24.5%）である（財務省貿易統計）。
- (6) 中国人民大学国際貨幣研究所（2012）p.18～20（邦訳 p.38～41）参照。
- (7) 国際化指数の詳細については中国人民大学国際貨幣研究所（2012）p.1～10（邦訳p.14～25）を参照。
- (8) 中国で進む人民元の国際化が、「国際通貨」化とは異なるものであると指摘される（鳥谷, 2011, p.114～117）。
- (9) 国際化指数の各データに関しては中国人民大学国際貨幣研究所（2012）p.10～13及び中国人民大学国際貨幣研究所（2013）p.3～4参照。
- (10) 中国に進出している日本企業に対するアンケートでも、有効回答の26%がすでに人民元建て決済を行っており、検討中の企業も多い。その理由としては中国での事業の拡大によって人民元建て取引が増加したことから、人民元を利用することで為替リスクや両替手数料などの回避を目的としていると考えられる（日本経済新聞 2013年8月23日号）。
- (11) 呉（2010）を参照。
- (12) 中国人民銀行総裁の周小川氏の国際通貨システム改革に関しては岡村（2009），p.250～254。
- (13) Gao and Yu (2011) p.11～13参照。
- (14) 人民元に関わる地域金融協力や国際通貨システムの改革の遅れがあつて、人民元の国際化が重要な意義をもつようになったとの指摘もある（Gao and Yu, 2011, p.2参照）。
- (15) 日本における高度成長期の通貨供給、インフレなどに関しては川合（1982）第10章及び宮田（2005）第3章を参照。
- (16) 香港オフショア市場と国内オンショア市場は裁定関係にあり、その規制関係は複雑である（鳥谷, 2013, p.37～38を参照）。
- (17) 中国人民大学国際貨幣研究所（2012）p.157（邦訳, p.212）参照。
- (18) 2011年頃までの人民元の国際化は限定的な、内向きの国際化であつたと指摘される（鳥谷・松浦編著, 2013, p.230～231参照）。
- (19) 巴（2012）p.36～39参照。
- (20) 中国との通貨スワップ協定締結国及び規模に関しては中国人民大学国際貨幣研究所（2012）p.38～41及び（2013）p.37～38を参照。
- (21) 銀行引受手形制度創設後すぐに、日銀が貿易手形を

保証するスタンプ手形制度が成立し、円建貿易拡大と関係なく貿易資金が供給されることとなった(金岡, 2007bを参照)。

- (22) 日本においては、バブル崩壊後の現実資本の過剰が恐慌対策(財政政策)で支えられ、これが財政収支を悪化させる。その一方で過剰な現実資本は、企業の債務過剰としてあらわれ、それらは最終的に金融機関の不良債権となる。そしてこれが再び財政政策によって支えられて、企業の債務過剰、そして不良債権、財政収支悪化が拡大再生産されるという構造があった(宮田, 2005, 第9~10章を参照)。
- (23) 構成比が判明している準備通貨の中(IMF, Currency Composition of Official Foreign Exchange Reserves (COFER), June 30, 2014)。
- (24) 鳥谷(2011) p.117~118参照。
- (25) 香港オフショア市場とオンショア市場に関する中国の管理体制とは、資金が出ていくのはある程度自由であるが、資金の環流に関しては厳しい(村瀬, 2013を参照)。
- (26) 世界銀行と中国の國務院開発研究センターの共同研究においてもこのことは指摘されている(Word Bank & DRC, 2010, p.63参照)。
- (27) 中国社会・経済体制、制度の持つ曖昧さが、その経済発展に重要な役割を果たしたことが指摘される(加藤, 2013, 第8章を参照)。

文 献

- 巴 曙松, 2012: 人民元の国際化: プロセス, 挑戦と道のり. 季刊中国資本市場研究2012年夏号, 29-40.
- Eichengreen, B., 2014: *Pathways to Renminbi Internationalization. Internationalisation of the Renminbi: Pathways, Implications and Opportunities*. Research Report March 2014, the Centre for International Finance and Regulation.
- Eichengreen, B. and Kawai, M., 2014: *Issues for Renminbi Internationalization: An Overview*. ADBI Working Paper Series, No.454, Asian Development Bank Institute, January 2014.
- European Central Bank (ECB), 2013: The emergence of the Chinese Renminbi as an international currency. *The International Role of the Euro 2013*, Frankfurt: ECB, 44-54.
- Frankel, J., 2011: *Historical Precedents for Internationalization of the RMB*. Paper for Workshop of the Council on Foreign Relations, November 2011.
- 深尾光洋, 2006: 中国経済と人民元の方行: 戦後日本の通貨・為替政策との比較. 三田商学研究, **49**, 123-140.
- Gao, H. and Yu, Y., 2011: Internationalisation of the Renminbi. *Currency Internationalisation: Lessons from the Global Financial Crisis and Prospects for the Future in Asia and the Pacific*, 2011, **61**, 105-124.
- 井西 立, 1999: 過渡期における中国の外国為替政策: 1957年から1977年まで. 現代社会文化研究, **16**, 221-247.
- 井西 立, 2000: 中国の外国為替政策の形成と発展: 1949年から1956年まで. 現代社会文化研究, **18**, 201-227.
- Kanaoka, K., 2007a: The dollar-denominated banker's acceptance market after WWII - its limits as an international money market -. *Human and Socio-Environmental Studies*, **13**, 45-59.
- 金岡克文, 2007b: 日本における銀行引受手形制度の創設—1919(大正8)~1927(昭和2)年における銀行引受手形市場の展開—. 人間社会環境研究, **14**, 39-53.
- 金岡克文, 2014a: 円建BA市場の創設と円国際化の試み: 1985年の円建BA市場創設とその展開. 人間社会環境研究, **27**, 71-86.
- 金岡克文, 2014b: ブレトンウッズ体制の崩壊とドル建BA市場. 高岡法科大学紀要, **25**, 23-48.
- 柯 隆, 2010: 中国人民元為替問題の中間的総括. 研究レポート(富士通総研経済研究所), **355**, 1-18.
- 加藤弘之, 2013: 「曖昧な制度」としての中国型資本主義(世界のなかの日本経済: 不確実性を越えて3), NTT出版, 東京, 291p.
- 川合一郎, 1974: 管理通貨と金融資本. 有斐閣, 東京, 294p.
- 李 婧・林 盼青, 2013: 人民元国際化実験に見る不均衡現象と新情勢下のドルリスク対策. 国際金融, **1246**, 6-13.
- McCauley, R. N., 2011: *Renminbi Internationalization and China's Financial Development*. BIS Quarterly Review, December 2011.
- 宮田美智也, 1995: ロンドン手形市場の国際金融構造. 文眞堂, 東京, 345p.
- 宮田美智也, 2005: 管理通貨制度と資本蓄積. 晃洋書房, 京都, 289p.
- 村瀬哲司, 2012: 人民元の「管理された」国際化と通貨政策3原則. 国際金融, **1233**, 14-20.
- 村瀬哲司, 2013: 人民元国際化の鍵となる資本自由化と金融改革. 国際経済金融論考, 国際通貨研究所, 2013年第1号.

- 岡村健司編, 2009: 国際金融危機とIMF. 大蔵財務協会, 東京, 324p.
- 大森拓磨, 2014: 米中経済と世界変動(シリーズ現代世界の変動). 岩波書店, 東京, 264p.
- 齋藤尚登, 2013: 人民元の国際化とオフショア市場を巡る争奪戦. リサーチレポート, 大和総研, 2013年12月26日, 20p.
- 齋藤尚登, 2014: オフショア取引拡大機運等にみられる人民元国際化の動き: その背景と今後. 月刊資本市場, **342**, 56-63.
- 関根栄一, 2009: 中国人民元建て貿易決済の導入と人民元の国際化. 季刊中国資本市場研究, 2010年冬号, 31-45.
- 鳥谷一生, 2010: 国際通貨体制と東アジア. ミネルヴァ書房, 東京, 344p.
- 鳥谷一生, 2011: 人民元「国際化」と香港オフショア市場の役割: 「国際通貨」論の観点から一. 大分大学経済論集, **62**, 111-146.
- 鳥谷一生, 2013: 転換期を迎えた人民元「国際化」: 人民元建貿易取引を牽引する背景. 現代社会研究, **16**, 35-53.
- 鳥谷一生・松浦一悦編著, 2013: グローバル金融資本主義のゆくえ: 現代社会を理解する経済学入門. ミネルヴァ書房, 東京, 324p.
- 余 永定, 2012: 人民元の国際化か資本自由化か. 季刊中国資本市場研究, 2012年春号, 40-43.
- 張 斌・徐 奇淵・林 盼青, 2012: 為替レート管理と資本規制下の人民元国際化. 国際金融, **1238**, 12-19.
- Word Bank and Development Research Center (DRC) of the State Council (国务院发展研究中心), 2010: *China 2030: Building a Modern, Harmonious, and Creative High-Income Society Building a Modern, Harmonious, and Creative High-Income Society*.
- 呉 曉求, 2010: 国際通貨体制改革: 一極型の維持か多極型への移行か. 季刊中国資本市場研究, 2010年冬号, 21-30.
- 中国人民大学国际货币研究所, 2012: 人民币国际化报告 2012. 中国人民大学出版社(邦訳: 人民元—国際化への挑戦. 科学出版社東京(2013), 英訳: *The Internationalization of the Renminbi*, China Renmin University Press (2012)).
- 中国人民大学国际货币研究所, 2013: 人民币国际化报告 2013. 中国人民大学, 北京.
- 中国人民大学国际货币研究所, 2014: 人民币国际化报告 2014. 中国人民大学, 北京.

参考ウェブサイト

- 国際決済銀行 (Bank for International Settlements, BIS)
<http://www.bis.org/>
- 香港金融管理局 (Hong Kong Monetary Authority)
<http://www.hkma.gov.hk/>
- 国際通貨基金 (International Monetary Fund)
<http://www.imf.org/>
- 中国人民銀行 (People's Bank of China)
<http://www.pbc.gov.cn/>

外来植物が在来植物とハナバチ類の關係に及ぼす影響

笠木哲也^{1,2*}・宇都宮大輔^{1,2}・Windra Priawandiputra³・中村浩二²

2014年9月26日受付, Received 26 September 2014
2014年12月17日受理, Accepted 17 December 2014

The Effect of Alien Plants on Relationships between Domestic Plants and Bees

Tetsuya KASAGI^{1,2*}, Daisuke UTSUNOMIYA^{1,2}, Windra PRIAWANDIPUTRA³
and Koji NAKAMURA²

Abstract

Recently, it has been suggested by some researchers that the dispersion of invasive alien herb plants is influencing pollination interactions among domestic herbs and bees, which serve as pollinators within temperate zone grasslands. Such an invasion may induce changes amongst the major pollinator species in each domestic plant, leading to a decrease in pollination efficiency or a disturbance in breeding. In this study, the species composition of flowering plants and pollinator bees were investigated via a field census in the agricultural landscape of Suzu city on the Noto Peninsula. In addition to a discussion of the effects of flowering in invasive plants, the pollination of domestic plants was also discussed in the description data. Following 8 rounds of census taking, a total of 148 species of flowering plants were recorded, and 24 of these species were found to be invasive species. In particular, the flowering densities of three invasive species, *Hypochaeris radicata*, *Erigeron annuus*, and *Trifolium repens* were the highest in the plant community. Furthermore, a total of 3,049 individual bees in the flowers of 61 plant species were recorded. About 52.7% of the bees were observed on flowers of the three major invasive plants. This indicated that the invasion of these plants to farmland area has any effects on bee's visiting pollination at domestic plant flowers, associated with pollination efficiency.

Key Words: invasive plant, *Hypochaeris radicata*, *Erigeron annuus*, *Trifolium repens*, bees, agricultural landscape, satoyama

キーワード: 外来植物, ブタナ, ヒメジョオン, シロツメクサ, ハナバチ, 農村景観, 里山

¹金沢大学環日本海域環境研究センター 自然計測領域生物多様性部門 〒920-1192 石川県金沢市角間町 (Division of Biodiversity, Department of Natural Science and Measurement, Institute of Nature and Environmental Technology, Kanazawa University, Kakuma-machi, Kanazawa, 920-1192 Japan)

²金沢大学地域連携推進センター 〒920-1192 石川県金沢市角間町 (Center for Regional Collaboration, Kanazawa University, Kakuma-machi, Kanazawa, 920-1192 Japan)

³金沢大学大学院自然科学研究科 〒920-1192 石川県金沢市角間町 (Graduate School of Natural Science and Technology, Kanazawa University, Kakuma-machi, Kanazawa, 920-1192 Japan)

*連絡著者 (Author for correspondence)

I. はじめに

日本列島では現在、高山帯から低地まで広い環境に外来植物が分布しており、日本列島に分布する約4,000種の植物のうち、およそ1,200種は外来植物とされる。特に人里の近くや里山環境では全植物種数に占める外来種の割合が高い(金子, 2009)。しかし大規模な外来種の侵入は在来種の減少や、異種間交雑の増加に伴う遺伝的な攪乱を引き起こすことが懸念されている。こうした既存の生態系不安定化に関する危険性から、外来生物法(特定外来生物による生態系等に係る被害の防止に関する法律, 2005年施行)によって、現在までに11種の植物種が特定外来生物に、82種と1属及び1種群が要注意外来生物に指定されている。しかし、これらの指定の主な理由は既存種の分布減少に関する危険性であり、先に挙げた植物と送粉者の関係を攪乱する点はあまり考慮されていない。里山環境ではこうした外来種の侵入によってハナバチ類と既存植物種との送粉を通じた相互関係が攪乱されている可能性がある。そこで、本調査では外来植物種の分布拡大が在来植物種とハナバチ

類の関係に与えている影響を検討するため、能登半島先端部の里山環境で草本植物種の開花状況とそれに対するハナバチ類の訪花状況を調べた。

II. 調査地と方法

1) 調査地

里山の植物の開花状況とハナバチ相を幅広く把握するため、石川県の能登半島先端部に位置する珠洲市内で典型的な里山景観を示す味噌池、野々江、経念、吉ヶ池、北山の5集落を調査地とした(図1)。味噌池と北山間の距離が最長で約17kmある。各集落内におよそ500m×500mの調査エリアを設定した。各調査エリアの中心地点の標高は味噌池が18m、野々江が4m、経念が23m、吉ヶ池が216m、北山が202mである。能登半島先端部の集落は稲作を中心とした農村であり、民家や、水田、休耕田の周囲を森林が取り囲むという景観パターンをもっている。味噌池と野々江は大きな水田が広がり、周囲を森林が取り囲む。経念は野々江と同様に大きな水田が多いが、谷部の水田は棚田であった。吉ヶ池と北山は山間部

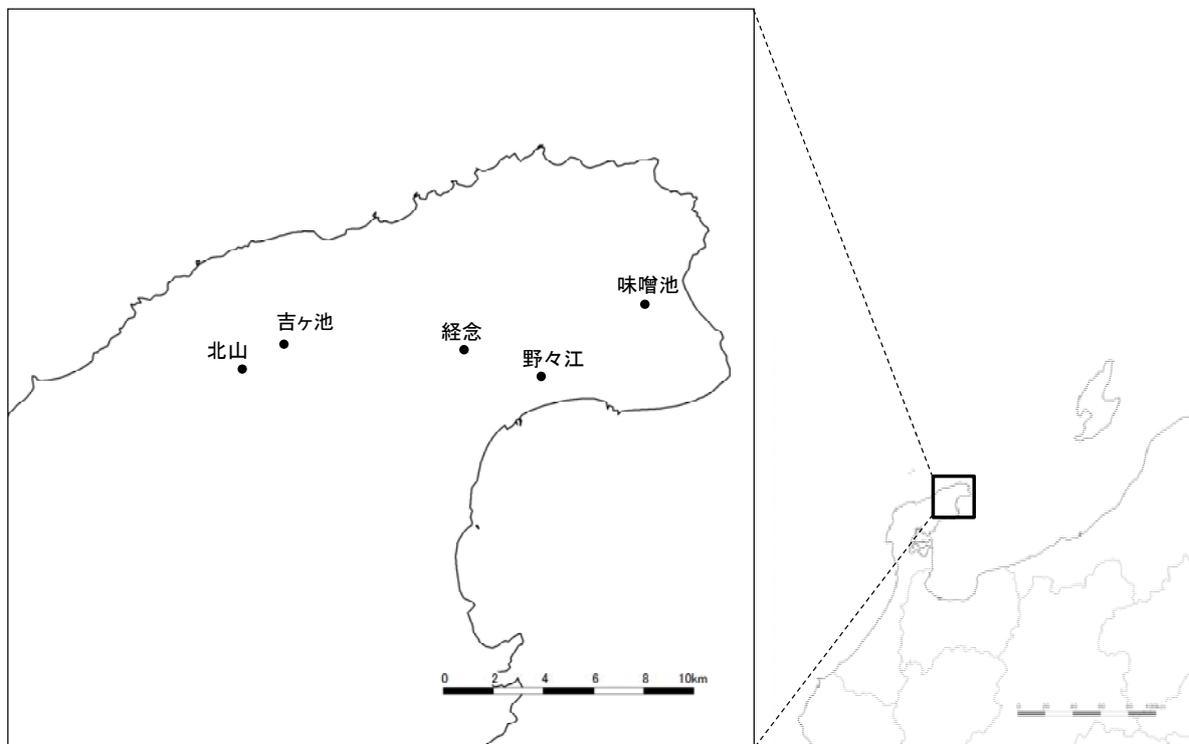


図1 調査地.

Fig. 1 Research sites.

の斜面地形に位置し、棚田中心の水田地帯となっていた。

2) 植物の開花量

2010年7月から10月にかけて、各調査地とも毎月上旬と下旬に1日ずつ調査日を設定して植物の開花量を調べた。各調査地で水田のあぜ、休耕田、路傍、林縁などの環境をランダムに選び、長さ100m、幅1mの調査ラインを計20本設定した。各調査ラインを1m間隔で100区画に区切り、調査日ごとに、開花していた全植物について花が確認された区画数を記録した。各調査地に設定した20本の調査ラインの計2,000区画、5調査地で計10,000区画について、7月から10月にかけて8回の調査を行ったので、調査区画数は積算で80,000区画となった。植物種間の開花量を比較するため、各植物について開花を確認した区画数を積算した。

3) ハナバチ類の訪花数

2010年7月から10月にかけて、各調査地とも毎月上旬と下旬の植物の開花量調査と同日にハナバチ類の訪花状況を調べた。各調査地では調査日の朝、午前7時頃からハナバチ類の訪花行動が始まると同時に観察を開始し、1人の調査者が一定速度で歩行しながら目撃したハナバチ類をカウントし、訪花していた植物名を記録した。1日あたりの観察時間は4時間とし、500m×500mの調査地内の水田あぜ、休耕田、路傍、林縁など植物が開花している場所を網羅するように調査ルートを設定した。

III. 結果と考察

1) 草本性植物の種構成と開花量

全5か所の調査地における8回の調査で計149種の植物の開花を記録した(表1)。全149種の植物のうち24種は外来種であり、全種数の約16.1%を占めていた。また開花量が特に多かった10種のうち、シロツメクサ、ヒメジョオン、ブタナ、セイタカアワダチソウ、オオアレチノギクの5種は外来種であった。さらに全開花量の40.5%は外来植物種で占められており、開花量が最も多かったシロツメクサは全調査期間、全調査地を通して調査区画を積算した総計80,000区画のうち54.7%の42,761区画で開花が確認

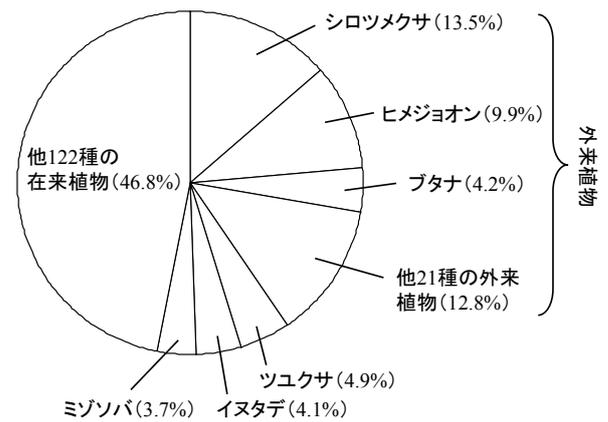


図2 植物の開花量の比率。

Fig. 2 Proportion of number of flowering patches of major plants.

され、開花量全体の13.5%を占めていた(図2)。次に開花量の多かったヒメジョオンは全調査区画のうち39.1%の31,239区画で開花が確認され、全開花量の9.9%を占めた。またブタナも全区画のうち16.5%の13,180区画で開花し、全開花量の4.2%を占めており、この3種だけで全開花量の27.7%を占めていた。この植物群集における外来種の優占は日本の里山の標準的な植生状況の1つで(金子, 2009)、特に外来種は在来種よりも種数に比して開花量が多く、数種のみが極端に多い開花量を示す。能登半島先端部でもシロツメクサ、ヒメジョオン、ブタナの優占と開花が、在来種とハナバチ類の送粉ネットワークの攪乱要因となっている可能性がある。

2) ハナバチ類の訪花頻度と在来植物種の送粉系への影響

全5か所の調査地で調査期間中に開花が確認された総計149種の植物のうち40.9%にあたる61種(在来種: 51種, 外来種: 10種)に3,049個体のハナバチ類の訪花が観察され(表1)、在来種に1,284個体、外来種に1,765個体が訪花していた(図3)。ハナバチ類が訪花した51種の在来種の開花区画数は総計151,614区画であったが、10種の外来種では総計117,810区画であり、外来種は在来種よりも開花区画あたりのハナバチ類の個体数が有意に多かった($\chi^2 = 244.9$, $p < 0.0001$; カイ2乗検定)。

ハナバチ類の訪花個体数が最も多かった植物種はブタナで606個体、次にヒメジョオンが533個体、シ

表1 植物の開花量とハナバチ類の訪花個体数.

Table 1 Flowering densities and number of bees.

植物種名	開花が確認された区画数	全体の開花量に対する割合	ハナバチ類の訪花個体数	植物種名	開花が確認された区画数	全体の開花量に対する割合	ハナバチ類の訪花個体数
シロツメクサ(外来種)	42,761	13.5	468	ネジバナ	334	0.1	1
ヒメジョオン(外来種)	31,239	9.9	533	イボクサ	333	0.1	0
ツユクサ	15,406	4.9	40	カラムシ	320	0.1	0
ブタナ(外来種)	13,180	4.2	606	セイヨウタンポポ(外来種)	314	0.1	0
イヌタデ	12,908	4.1	1	イヌトウバナ	298	0.1	1
セイトカアワダチソウ(外来種)	12,057	3.8	37	ツルマメ	289	0.1	3
ミゾソバ	11,619	3.7	45	タネツケバナ	275	0.1	0
ニガナ	10,782	3.4	18	ホタルブクロ	247	0.1	0
ヨモギ	10,751	3.4	0	サワギク	240	0.1	0
オオアレチノギク(外来種)	9,941	3.1	47	ヘラオモダカ	227	0.1	0
クサネム	8,196	2.6	84	アキギリ	224	0.1	0
ヒメジョ	7,794	2.5	2	ヤブマメ	224	0.1	0
ユウガギク	7,363	2.3	52	オオバギボウシ	216	0.1	2
アキノノゲシ	7,163	2.3	413	ヤマアジサイ	208	0.1	8
ハルノノゲシ	7,088	2.2	60	ヤブカンゾウ	205	0.1	0
ドクダミ	7,030	2.2	3	ヤマツツジ	183	0.1	0
ハハコグサ	5,681	1.8	3	コナスビ	175	0.1	0
イノコズチ	5,549	1.8	34	ミソハギ	165	0.1	14
カタバミ	5,021	1.6	7	アジサイ	160	0.1	0
タカサブロウ	4,937	1.6	1	ウシハコベ	150	0.0	0
アメリカセンダングサ(外来種)	4,677	1.5	46	メドハギ	131	0.0	2
ゲンノショウコ	4,664	1.5	3	コヤブタバコ	130	0.0	0
ベニバナボロギク(外来種)	3,837	1.2	0	マツヨイグサ(外来種)	128	0.0	0
コケオトギリ	3,489	1.1	0	ヤハズソウ	128	0.0	0
アメリカアゼナ(外来種)	3,435	1.1	0	ハコベ	122	0.0	0
ノアザミ	3,031	1.0	73	ヤノネグサ	120	0.0	0
トキワハゼ	2,654	0.8	0	センニンソウ	112	0.0	4
ミゾカクシ	2,335	0.7	0	ハギ	110	0.0	0
ヒメムカシヨモギ(外来種)	2,272	0.7	3	イヌコウジュ	107	0.0	0
キンミズヒキ	2,004	0.6	25	ネムノキ	100	0.0	0
ツリガネニンジン	2,002	0.6	6	オランダミミナグサ(外来種)	88	0.0	0
シシウド	1,772	0.6	2	ギンギン	88	0.0	0
ノブドウ	1,643	0.5	13	コニシキソウ(外来種)	80	0.0	0
キツネノボタン	1,565	0.5	2	ニワゼキショウ(外来種)	77	0.0	0
コメツブウマゴヤシ(外来種)	1,395	0.4	0	オドリコソウ	77	0.0	0
アキノウナギツカミ	1,384	0.4	3	アキノ	76	0.0	0
ハナタデ	1,365	0.4	0	アカバナ	72	0.0	0
ヒルガオ	1,319	0.4	17	クルマバナ	69	0.0	0
トウバナ	1,301	0.4	3	ハンカグサ	67	0.0	0
ヌスビトハギ	1,295	0.4	21	チヂミザサ	67	0.0	0
シロバナサクラタデ	1,293	0.4	6	ヒメミソハギ	64	0.0	0
ウツボグサ	1,286	0.4	13	ヤブヘビイチゴ	64	0.0	0
ヤマハッカ	1,264	0.4	0	チドメグサ	60	0.0	0
オトギリソウ	1,057	0.3	6	ヤマブドウ	57	0.0	0
ヒヨドリバナ	973	0.3	9	コモチマンネングサ	48	0.0	1
ヤマハギ	931	0.3	28	ミスヒキ	43	0.0	0
オカトラノオ	811	0.3	30	シロネ	42	0.0	0
ドクゼリ	789	0.2	0	ヤブマオ	40	0.0	3
イヌガラシ	787	0.2	0	アオツツラフジ	40	0.0	0
オモダカ	781	0.2	0	タウコギ	40	0.0	0
ムラサキツメクサ(外来種)	771	0.2	14	ヒメオドリコソウ(外来種)	33	0.0	0
サクラタデ	764	0.2	2	オランダガラシ(外来種)	32	0.0	0
ヤナギタデ	714	0.2	0	ケキツネノボタン	32	0.0	0
オニタビラコ	704	0.2	0	ササユリ	32	0.0	0
アキカラマツ	695	0.2	0	ヌルデ	32	0.0	0
セリ	687	0.2	21	ボントクタデ	32	0.0	0
ヘクソカズラ	678	0.2	9	ノジスミレ	29	0.0	0
ニオイタデ	599	0.2	1	ムラサキカタバミ(外来種)	27	0.0	0
カナムグラ	560	0.2	0	オオバコ	27	0.0	0
オニノゲン(外来種)	549	0.2	1	スイバ	27	0.0	0
クズ	539	0.2	14	ウマノアシガタ	23	0.0	0
コウゾリナ	525	0.2	0	キランソウ	16	0.0	1
コナギ	506	0.2	0	コシロネ	16	0.0	0
チョウジタデ	480	0.2	0	ゴマナ	16	0.0	0
オオイヌタデ	459	0.1	3	オオフタバムグラ(外来種)	13	0.0	0
オトコエシ	430	0.1	55	ワルナスビ(外来種)	13	0.0	0
ミツバ	425	0.1	0	ジャノヒゲ	13	0.0	0
アキノキリンソウ	387	0.1	0	ヨメナ	13	0.0	0
イタドリ	379	0.1	43	ナガハノウナギツカミ	10	0.0	0
ノコンギク	379	0.1	0	ヒメシロネ	10	0.0	0
ダンドボロギク(外来種)	364	0.1	10	ホウキギク(外来種)	9	0.0	0
ツリフネソウ	352	0.1	73	アカシヨウマ	8	0.0	0
アキチヨウジ	344	0.1	0	イヌコマ	8	0.0	0
ヒヨドリジョウゴ	341	0.1	0	ヤブツルアズキ	8	0.0	0
ミヤコグサ	337	0.1	0				

ロツメクサが468個体で、観察例の52.7%はこの外来種3種への訪花であった(図3)。また外来植物種10種への訪花個体1765個体のうち91.0%はこの3種での観察であった。この3種の外来植物種は在来植物種とハナバチ類の送粉系ネットワークを攪乱している可能性がある。また、ハナバチ類の訪花個体数が4番目に多かったのは在来植物のアキノノゲシで413個体が訪花した。それ以外の在来植物50種と外来植

物7種に訪花したハナバチ類は全て90個体以下であった。ハナバチ類の訪花個体数が極端に少ない種もあったため単純な比較はできないが、ハナバチ類の訪花頻度を、各植物種につき1区画あたりの訪花個体数(ハナバチ類の訪花個体数 / 開花が確認された区画数)で比較すると、訪花頻度が高いのはツリフネソウ(0.208), オトコエシ(0.128), イタドリ(0.114), アキノノゲシ(0.058)など多くが在来種であった(図4)。一方、訪花頻度が高かった外来種3種は、ブタナで0.046, またヒメジョオン, シロツメクサでそれぞれ0.017, 0.011と低くなっていた。この優占的であった外来種3種の訪花頻度は種間で有意に異なった($\chi^2 = 650.5, p < 0.0001$; カイ2乗検定)。この訪花頻度の違いは、ブタナのハナバチ類に対する誘引性が他の2種よりも高いことを示唆しており、本種は多い開花量と高い誘引性によってハナバチ類に高頻度で訪花されていると考えられる。

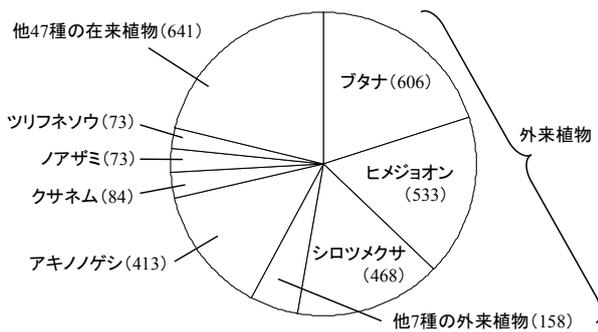


図3 ハナバチ類の訪花個体数.

Fig. 3 Proportion of number of bees on each plant.

しかし、訪花頻度は在来植物種でも高い傾向にあった(図4)。これは多くの在来種がハナバチ類に対して高い誘引性を持ち、潜在的にハナバチ類を介

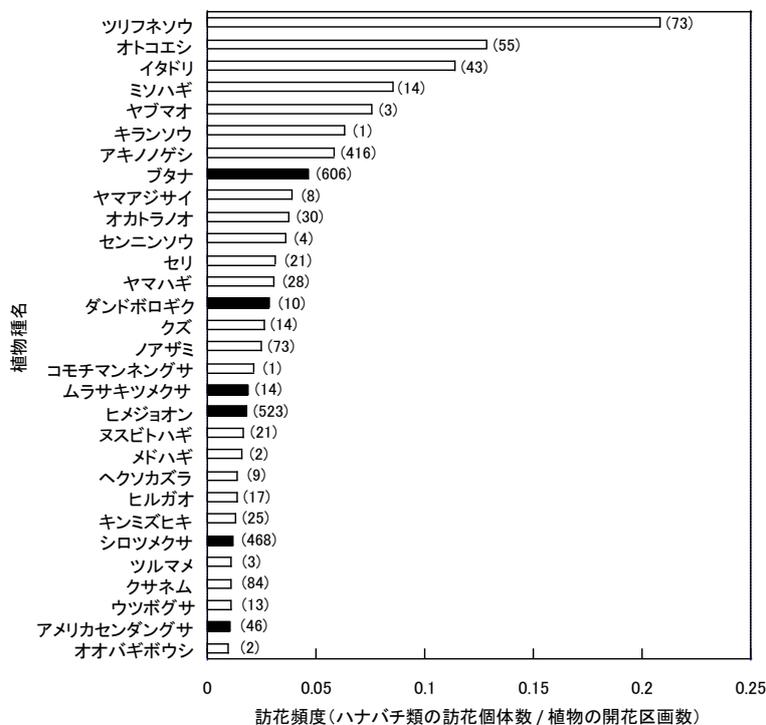


図4 各植物へのハナバチ類の訪花頻度(ハナバチ類の訪花個体数 / 植物の開花区画数)。カッコ内に訪花個体数を示した。訪花頻度上位30種の植物について示し、白抜きのパールは在来種、黒色のパールは外来種を意味する。

Fig. 4 Visitation rate of bees on each plant species (bee number / number of flowering patches). Number of bees visited on each plant was shown in the parenthesis. The top 30 of plant species in visitation rate are exhibited in this figure. Vacant bars indicate domestic plant species and closed bars indicate invasive ones.

した虫媒花であることを示唆している (Waser and Ollerton, 2006)。各種に訪花したハナバチ類の種組成も調べる必要があるが、ハナバチ類に高頻度で訪花されるブタナは、在来種へのハナバチ類の訪花頻度を減少させている可能性がある (Kaiser-Bunbury *et al.*, 2009)。それは種子生産の低下を引き起こし、在来種の個体群衰退を招くことも考えられる。また開花区画数は少なかったが訪花頻度が比較的高い外来種もあり (ダンドボロギク : 0.027, ムラサキツメクサ : 0.018, アメリカセンダングサ : 0.01), 環境条件の変化などによって開花量が増加した場合、これらの種も他種の訪花頻度に影響を与えることが予測される。例えば、ムラサキツメクサは主にマルハナバチによって花粉媒介されることが知られており (Ishii, 2013), さらに本調査で訪花頻度が最も高かったツリフネソウも典型的なマルハナバチ媒花である (Kato, 1998)。マルハナバチは訪花する植物種を決めるとその種を選好訪花するため (Heinrich, 1976), ムラサキツメクサの増加はツリフネソウの送粉系に影響を与えると考えられる。このように本調査は里山環境において一部の外来植物種が大量に開花すると、在来種の訪花頻度に影響を与える可能性を示し、それは花粉媒介昆虫と在来植物種の共生関係を崩す危険性を示唆している。今後はその影響を具体的に検証, 解明していく必要があるだろう。

謝 辞 : 本調査の実施にあたり, Christopher Yanto Barsulo, 米島諒, 大宮正太郎の各氏にはハナバチ類の調査を補助していただいた。匿名の査読者には初期の原稿に対して非常に有益かつ親切なコメントをいただいた。以上の方々に深くお礼申し上げます。本調査は科学研究費補助金・基盤研究C (課題番号 22570014, 代表 : 笠木哲也), 文部科学省特別教育研究経費 (持続可能な地域発展をめざす「里山里海再

生学」の構築—能登半島から世界へ向けた発信) により実施された。

文 献

- Heinrich, B., 1976 : The foraging specializations of individual bumblebees. *Ecological Monograph*, **46**, 105-128.
- Ishii, H. 2013 : Community-dependent foraging habits of flower visitors: cascading indirect interactions among five bumble bee species. *Ecological Research*, **28**, 603-613.
- Kaiser-Bunbury, C. N., Memmott, J. and Müller, C. B., 2009 : Community structure of pollination webs of Mauritian heathland habitats. *Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics*, **11**, 241-254.
- 金子是久・三村啓太・天野誠・長谷川雅美, 2009 : 千葉県白井市における管理形態の異なる草地の植物相. 景観生態学会誌, **14**, 163-176.
- Kasagi, T. and Kudo, G., 2003 : Variations in bumblebee preference and pollen limitation among neighboring populations: comparisons between *Phyllodoce caerulea* and *Phyllodoce aleutica* (Ericaceae) along snowmelt gradients. *American Journal of Botany*, **90**, 1321-1327.
- 笠木哲也・大宮正太郎・木村一也・金子洋平・本間航介・湯本貴和・中村浩二, 2012 : 能登半島と佐渡島におけるハナバチ類の種組成と分布. 日本海域研究, **43**, 9-17.
- 笠木哲也・中村浩二, 2013 : 加賀地方の標高傾度に沿ったハナバチ相の比較. 日本海域研究, **44**, 1-9.
- Kato, M., 1988: Bumblebee visits to *Impatiens* spp.: patterns and efficiency. *Oecologia*, **76**, 364-370.
- Thorp, R. W., 2000: The collection of pollen by bees. *Plant Systematics and Evolution*, **222**, 211-233.
- Waser, N. M. and Ollerton, J., 2006: *Plant-Pollinator Interactions: From Specialization to Generalization*. University of Chicago Press, Chicago, 488p.

奥能登地域の学校教育における栽培体験活動の現況： 世界農業遺産の継承に向けて

荒木祐二^{1,2*}・岡村浩美¹・塚脇真二³

2014年9月26日受付, Received 26 September 2014
2014年11月18日受理, Accepted 18 November 2014

Teaching Cultivation Activities, and Passing on Experience of Agricultural Practices on the Noto Peninsula: Safeguarding “Globally Important Agricultural Heritage Systems (GIAHS)” for Future Generations

Yuji ARAKI^{1,2*}, Hiromi OKAMURA¹ and Shinji TSUKAWAKI³

Abstract

The Noto Peninsula was designated as an area possessing Globally Important Agricultural Heritage Systems (GIAHS) by the United Nations' Food and Agriculture Organisation (FAO) in 2011. This was in recognition of the importance of local initiatives such as *Satoyama* and *Satoumi*, which represented a harmonious balance between nature, and the agricultural, forestry, and fisheries industries. As a result of such initiatives and via agriculture-related experience acquired at school, it is expected that valuable local property and land will be inherited by future generations. However, the continuous teaching of cultivation activities and the acquisition of experience by young people is confronted by challenges such as the limited teaching time that teachers have, as well as their own lack of cultivation training and teaching experience at school. In order to understand the current status of the educational environment in the Noto area, we sent out a questionnaire to elementary and junior high schools teachers there and interviewed them. As a result of the questionnaire, it was learned that Noto pupils at school generally know about GIAHS, but that there were significant differences of opinion amongst teachers about whether or not to teach GIAHS related activities in class. Although many junior high school students have lived with three generations of Noto family members, and are interested in nature and their local traditions, they were less interested in local agriculture due to a lack of learning opportunities vis-à-vis the agricultural sector. In this context, some teachers really depend on local farmers as a valuable resource of information with which to teach students about cultivation. Our paper suggests that the Noto area has a greater potential for collaboration between schools, local farmers, and the Japan Agricultural Co-operative (JAC) in order to safeguard “Globally Important Agricultural Heritage Systems (GIAHS)” for future generations.

¹埼玉大学教育学部 〒338-8570 埼玉県さいたま市桜区下大久保255 (Faculty of Education, Saitama University, 255 Simo-Ookubo, Sakura-ku, Saitama, 338-8570 Japan)

²金沢大学環日本海域環境研究センター 地域研究領域外来研究員 (Visiting Researcher, Department of Regional Studies, Institute of Nature and Environmental Technology, Kanazawa University)

³金沢大学環日本海研究センター 自然計測領域エコテクノロジー研究部門 〒920-1192 石川県金沢市角間町 (Division of Eco-Technology, Department of Natural Science and Measurement, Institute of Nature and Environmental Technology, Kanazawa University, Kakuma-machi, Kanazawa, 920-1192 Japan)

*連絡著者 (Author for correspondence)

Key Words: Teaching Cultivation Activities, Passing on Experience of Agricultural Practices, Cooperation with the local community, Globally Important Agricultural Heritage Systems (GIAHS), the Noto Peninsula, questionnaire

キーワード: 栽培体験活動, 地域との連携, 世界農業遺産, 奥能登地域, アンケート

I. はじめに

石川県北部に位置する能登半島では、長年にわたり自然と調和した農業、林業、漁業が営まれ、独自性のある豊かで多様な農法、漁法、資源管理、生活様式、伝統文化等が育まれてきた(世界農業遺産調査委員会, 2013)。この農林漁業を核とした独自のシステムが、伝統文化と生物多様性の双方を維持し、持続可能な資源利用を図る優れたシステムとして高く評価されたことから、当該地域は2011年に国際連合食糧農業機関 (FAO) の世界農業遺産 (Globally Important Agricultural Heritage Systems : GIAHS) に認定された。世界農業遺産の対象地域は能登半島全域におよび、佐渡地域と同時に日本ではじめて認定されている。今後は、緑の革命に象徴される近代的な農業と世界農業遺産に象徴される伝統的な農業の長所を融合した農業システムを模索しつつ、地元の農家や関連団体、行政 (以後、地域と表記) が連携して世界農業遺産のシステムを次世代に確実に継承していくことが望まれている (武内, 2013)。その取り組みの一つとして、義務教育段階における植物の育成を通じた栽培体験活動が果たす役割は大きい。土に接して播種し、植物を育成して収穫の充実感を覚える農業教育を通して、子どもたちは生命倫理を直接的に学習し、自然との親和性を確立する。また、「地域農業」や「伝統食」などを通して、子どもたちが「育てる」ことと「食べる」ことを一体的なものとして捉えられ、地域との関わりのなかで地域における子どもの居場所や役割を発展的に保障することが可能となる (鈴木, 2007)。そうした学習を継続することによって、子どもたちは教育の場である地域の自然環境を大切に、その保全に務めようとする態度を身につけていくのである (大田, 1993)。

栽培体験活動は、中学校の技術・家庭科技術分野 (以後、技術科と略記) において、平成24年度から「生物育成に関する技術」の学習内容の一つとして必修化され、小学校でも生活科や総合的な学習の時間における指導の充実が進められている (文部科学

省, 2008)。技術科で実施される栽培学習は、平成20年度の学習指導要領の改訂以前には選択性とされ、その履修率は20%程度ときわめて低かった (土屋・梁川, 1994 ; 谷保・魚住, 2003)。低履修率の原因について、土屋・梁川 (1994) は、社会的、教育現場、子どもたち自身それぞれに内在する要因・背景などが関与することを指摘している。そして、教育現場では未だに教員の時間的な制約や指導経験の不足によって栽培体験活動の継続的な実施が困難な状態にあり、植物育成を学んでも地域や自然とのかかわりまで学習が発展しない事例が少なくない (稲葉, 2011 ; 高橋ほか, 2012 ; 荒木ほか, 2014)。

本研究では、世界農業遺産に認定されている能登地域における栽培体験活動の現況を把握し、学校教育を通して世界農業遺産を継承する可能性を探ることを目的とする。奥能登地域の小中学校教員を対象としたアンケート調査を行い、とくに世界農業遺産に関する教員の認知度や、世界農業遺産を授業で取り上げる積極性、児童・生徒の特性等を把握することにより、奥能登の地域性を評価する。その結果をもとに、能登地域にみられる地域性を活かした栽培体験活動のあり方について論じる。

II. 調査対象と調査方法

1) 調査対象

世界農業遺産に登録されている石川県能登地域には4市5町が含まれ、第一次産業人口が多い地域である (武内, 2013)。なかでも奥能登地域に位置する2市2町 (輪島市, 珠洲市, 穴水町, 能登町) では全人口の14%以上が農林水産業に従事している。これに加工、流通、販売など関連産業従事者を加えた多くの人々が里山・里海に関わっている。本研究では、奥能登地域に焦点を当て、奥能登地域の公立小学校25校、公立中学校16校を対象としたアンケート調査を行った。アンケート対象者は、小中学校の総合的な学習の時間 (以後、総合と略記)、中学校の技術科、小学校の生活科、理科を担当する教員 (いない場合

はそれらに準ずる教員)とした。

2) アンケート調査実施方法

アンケート調査は、奥能登地域の小中学校における栽培体験活動の実施状況を把握し、教員の栽培体験活動に対する意識や世界農業遺産の認知度、児童・生徒の特性、栽培体験活動が抱える課題を明らかにすることを目的として行った。本研究では栽培体験活動について、小中学校の総合で行う栽培体験活動、小学校生活科・理科で行う植物の育成、および中学校技術科の「C 生物育成に関する技術」で

実施する栽培分野の学習を一括りにして扱った。質問紙は、谷保・魚住(2003)および荒木ほか(2014)が実施した栽培体験活動に関するアンケート調査を参考にして作成し、(1)教員の属性・意識に関する46項目、(2)児童・生徒の特性に関する9項目、(3)栽培体験活動の実施に関する9項目の合計64項目で構成した(表1)。教員の属性・意識に関する質問では、栽培講義の受講経験、栽培体験活動の指導年数、情報収集の方法といった教員自身の情報を把握した。また、教員の世界農業遺産に関する理解度を把握するための項目を設けた。児童・生徒の特性に関する質問では、家族構成、地域・自然に対する興味・関心、自然体験の程度、栽培技術に対する興味・関心を尋ねた。栽培体験活動の実施に関する質問では、実施教科や授業時数、栽培体験活動を行うきっかけ、ならびに課題改善への期待などを把握した。アンケートの回答方法は、質問項目に応じて択一式、自由記述式、複数回答式、4件法を適用した。

2014年1月上旬に能登半島にて現地視察を実施した後、奥能登地域の教育委員会等へ調査協力を依頼した。そこで承諾を得られた全小中学校(小25校、中16校)に対し、同年3月上旬に各学校宛てに質問紙を郵送して、同封した返信用封筒により同年3月中旬までに回収した。

III. 結果と考察

1) アンケートの回答率と教員の属性

アンケートを依頼した学校のうち、小学校13校、中学校10校の合計23校から回答を得られた(回答率

表1 質問項目の構成.

Table 1 Framework of questionnaire items.

質問項目	
教員の属性・意識	1) 教員自身: 年齢, 性別, 勤務形態, 勤務年数, 取得教員免許状 2) 栽培学習に関して: 栽培講義の受講経験と履修期間, 栽培学習の指導経験, 栽培への興味, 情報収集の方法, 授業の準備時間, 栽培学習実施に対する不安, 学習を妨げる要因, 課題改善への期待, 期待する教育効果 3) 世界農業遺産について: 世界農業遺産の認知, 世界農業遺産を学習で取り上げる積極性
児童・生徒の特性	家族構成, 地域・農業・自然に対する興味・関心, 自然体験の有無, 植物の育成に対する興味・関心
栽培体験活動	今年度の授業時数, 栽培学習の実施教科・学年, 実施している栽培体験活動, 栽培学習を行うきっかけ, 栽培活動方法と圃場面積, 指導教員の担当者, 扱う栽培植物とその選定理由

表2 アンケートに回答した教員の属性.

Table 2 Characteristics of teacher respondents.

	年齢				性別		栽培学習の指導年数				
	20代	30代	40代	50代	男性	女性	1年未満	<2年程度	<5年程度	5年以上	無回答
小	1	1	3	8	10	3	2	1	0	9	1
中	0	1	3	6	8	1	5	1	3	1	0

	栽培の受講経験					履修期間				
	なし	中学校授業	大学講義	市民講座	無回答	1年未満	<2年程度	<5年程度	5年以上	無回答
小	7	3	3	1	0	4	2	0	0	7
中	5	3	1	0	1	0	1	1	1	1

＝小52.0%，中62.5%）。本研究では23校のすべての回答が有効回答となった。

アンケートに回答した教員の年齢は、小中学校ともに50代が多く（小学校＝61.5%，中学校＝60.0%），栽培体験活動の担当者は50代の教員が半数以上を占めた（表2）。また，回答者のおよそ70～80%が勤務年数5年以上であった。植物栽培の履修経験がある教員は，小学校で46.2%（6人），中学校で50.0%（5人）となり，小中学校とも半数程度だった。このうち，中学校で栽培の授業を経験した教員数は小中学校のどちらも3人で，大学の講義を履修した教員数は小学校で3人，中学校で1人だった。小学校教員の1人は，中学校の授業と大学の講義の両方を履修した経験を有していた。履修経験者の履修期間は，小学校教員では「1年未満」と「1～2年程度」に偏り，中学校教員では「3～5年程度」，「5年以上」と比較的長い期間の履修経験を有することが確認された。

一方で，栽培体験活動の指導年数は，小学校で「1

年未満」が15.4%（2人），「1～2年程度」7.7%（1人），「5年以上」69.2%（9人），中学校で「1年未満」が50.0%（5人），「1～2年程度」10.0%（1人），「3～5年程度」30.0%（3人），「5年以上」10.0%（1人）となった（表2）。栽培体験活動の指導年数は，小学校では「5年以上」，中学校では「1年未満」の教員がもっとも多かった。

2) 世界農業遺産の認知度

世界農業遺産の認知度は，小学校では100%となり，その内訳は「説明できる」が38.5%（5人），「少しわかる」46.2%（6人），「聞いたことはある」15.4%（2人）となった。中学校でも認知度は90%と高く，「説明できる」が10.0%（1人），「少しわかる」50.0%（5人），「聞いたことはある」30.0%（3人）となり，「知らない」と回答した教員も10.0%（1人）いた。小中学校ともに世界農業遺産の認知度は高い。ただし，説明できる教員は少なく，とりわけ中学校教員では1

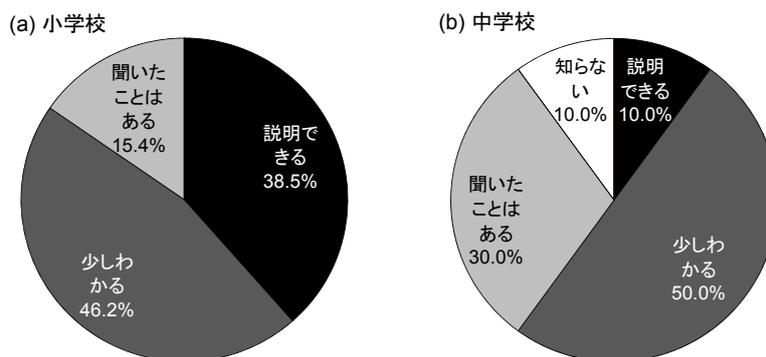


図1 奥能登地域における世界農業遺産の認知度。

Fig. 1 Visibility of GIAHS in Noto Peninsula.

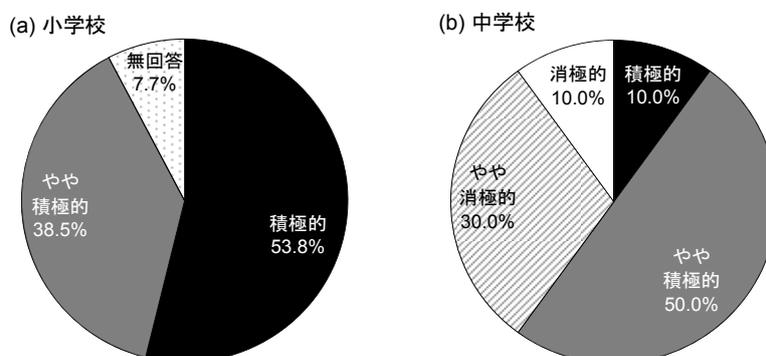


図2 教員が世界農業遺産を授業で取り上げる積極性。

Fig. 2 Teacher's motivation to teach GIAHS in class.

人のみであった（図1）。世界農業遺産は教育現場に
いまだ根付いていないことがうかがえる。

さらに、世界農業遺産を授業で取り上げる意欲を
尋ねたところ、小学校教員では「積極的」が53.8%
（7人）、「やや積極的」38.5%（5人）、「無回答」7.7%
（1人）であるのに対し、中学校教員では「積極的」
が10.0%（1人）、「やや積極的」50.0%（5人）、「やや
消極的」30.0%（3人）、「消極的」10.0%（1人）となっ
た（図2）。小学校で9割以上が取り入れることに肯定的
である一方で、中学校では60%にとどまった。

3）奥能登地域における児童・生徒の特性と栽培体 験活動の授業時間数

前節で示した小中学校間にみられる教員意識の差
異について、児童・生徒の特性をもとに検討する。
アンケート調査の結果、奥能登地域の児童・生徒の
半数以上は3世代以上と同居し、郷土愛が強く、地域
の伝統や自然への興味が高いことが示された（図3）。
一方で、「地域の農業や植物の育成に対する興味」に
ついては、小学校では「とても多い」、「半数より多
い」の回答が50%以上だったのに対し、中学校では
「半数より多い」の回答が10%にとどまった。同様
に、「植物の育成に対する興味」と「栽培の先端技術
（植物工場など）に対する興味」についても中学校
で低い傾向が認められた。すなわち、伝統や自然へ
の興味があって郷土に対する愛着があるものの、比
較的身近な存在である農業（ここでは植物栽培）へ
の関心が低いことが示された。3世帯以上で同居し、

祖父母世代が農業に従事している割合が高いとはい
え、親世代が農業から離れている現状を勘案すると、
児童よりも生徒の方がより現実的に農業を評価して
いると推察される。さらには、こうした傾向は全国的
に認められるものであり（森山ほか，2000；荒木
ほか，2014），中学校において栽培体験活動が十分に
実施されていないことも、生徒の農業に対する関心
の低さを招く一因だと考えられる。

そこで、奥能登地域における栽培体験活動の実施
状況に着目すると、授業科目は、小学校で「生活」、
「理科」、 「総合」、中学校では「技術科」、 「総合」と
規定通りの科目となっていた（表3）。また、授業時
間は、小学校では「5～10時間程度」と「10～20時間

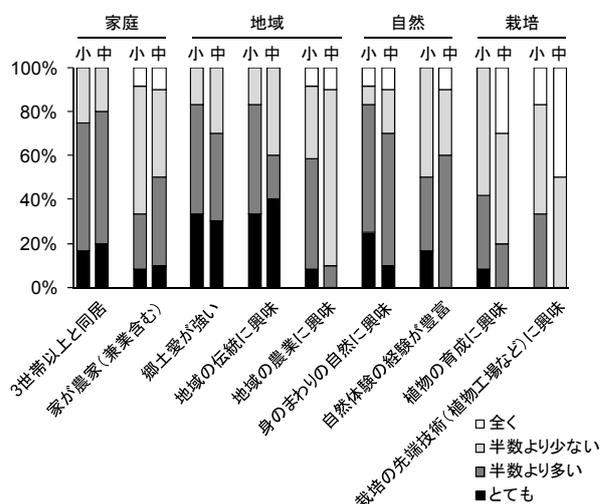


図3 奥能登地域における児童・生徒の属性.
Fig. 3 Characteristics of students in Noto Peninsula

表3 奥能登地域における栽培体験学習の授業科目と時間数.

Table 3 Subject and class time for cultivation experience activity in Noto peninsula.

	小1	小2	小3	小4	小5	小6	中1	中2	中3
生活	10	10	-	-	-	-	-	-	-
理科	-	-	8	9	9	10	0	0	0
技術	-	-	-	-	-	-	1	4	0
総合	0	0	4	4	8	6	2	2	2
無回答	3	3	4	3	2	3	7	6	8

	小1	小2	小3	小4	小5	小6	中1	中2	中3
5時間未満	0	0	0	1	2	3	1	3	1
5～10時間程度	3	3	5	4	3	4	3	2	0
10～20時間	2	2	2	2	3	1	0	1	0
20時間以上	1	1	0	0	0	0	1*	1*	2*
無回答	7	7	6	6	5	5	5	3	7

*: クラブ活動の時間として回答.

程度」に回答が集中したのに対し、中学校では、それより少なく「5時間未満」と「5～10時間程度」に偏り、学年が上がるにつれて授業時間が減少していた。定められたカリキュラムの標準時間であったが、農業を理解したうえで栽培体験活動を実践するには学習時間があまりにも短い。そのため、作業としての活動にとどまり実学的な学習に発展しないことから、栽培指導が十分に実施されずに植物育成や栽培技術に関する生徒の興味が薄れていると考えられる。

4) 奥能登の地域性に鑑みた栽培体験活動のあり方

以上により、奥能登地域の教育現場における栽培体験活動は、植物栽培に関する教員の経験不足や授業時間の制約、農業に対する生徒の興味の低さなどの課題を抱えていることが示された。こうした要因が複合的に作用することにより、中学校において世

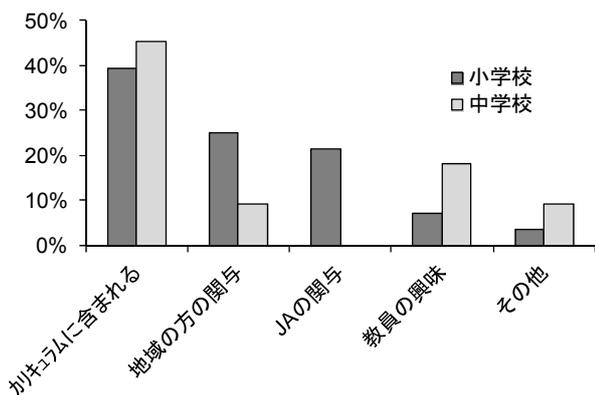


図4 栽培体験活動をはじめたきっかけ。
Fig. 4 Initial trigger for cultivation experience activity.

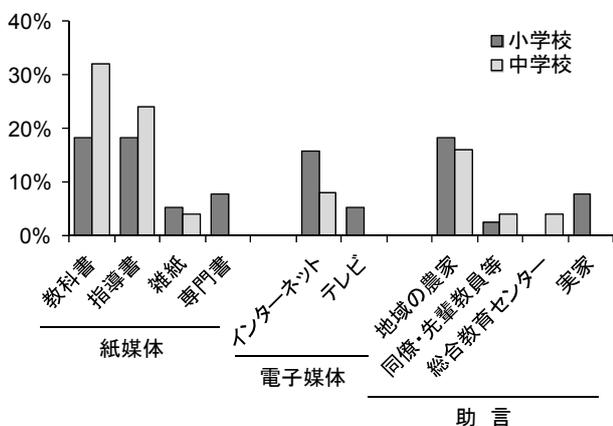


図5 栽培体験活動において教員が利用する情報源。
Fig. 5 Practical source of information for teacher in cultivation experience activity.

界農業遺産を学習で取り上げる教員の意欲が阻害されていると推察される。教員の意欲が低ければ、せっかく栽培体験活動を実施しても、世界農業遺産に対する生徒の興味・関心は高まらないだろう。一方で、世界農業遺産を積極的に授業に取り入れたいと考える教員からは、「校区が世界農業遺産だから」、「自分たちの地域が登録されているから」、「ふるさとの良さを実感させたい」、「世界農業遺産を知らない児童が多いから」という肯定的意見が挙がっている。栽培体験活動の実施が困難であり、教員間の意識に大きな差異が生じる状況において、学習支援体制の整備は急務といえよう。

こうした課題の解決に向けて、奥能登地域の学校教育に栽培体験活動を定着させるための方策を以下に検討する。各学校が栽培体験活動を開始したきっかけには、学習カリキュラムに含まれる以外に、地域住民の関与やJAの関与も認められる(図4)。また、栽培体験活動を指導するにあたり、教科書や指導書に次いで、自地域の農家を情報源として頼りにし(図5)、教員は地域の農家やJAなどからの学習支援に少なからずの期待を抱いていることがわかる(図6)。これは、奥能登地域には学校と地域が協力し合える潜在的可能性があること示唆するものである。したがって、奥能登のこうした地域性を活かし、学校と地域との連携を図ることが、植物栽培に関する教員の知識・経験や情報の不足などの課題を解決し、世

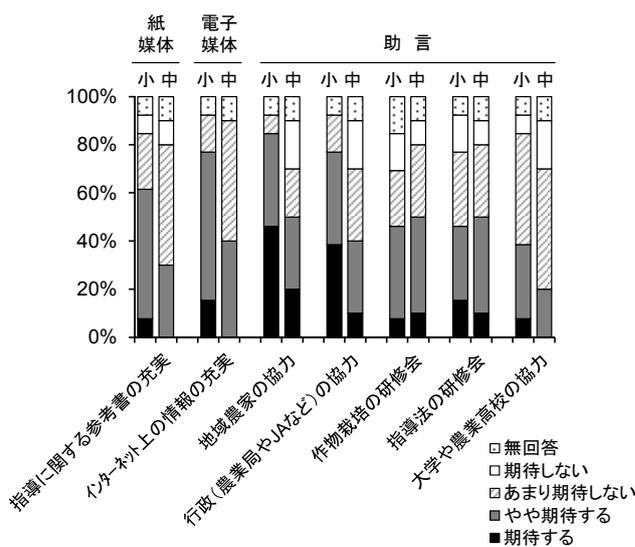


図6 栽培体験活動が抱える課題の改善に対する期待。
Fig. 6 Expectancy for improvement in problems of cultivation experience activity.

界農業遺産を次世代以降に継承する端緒となり得ると考える。

本研究では、奥能登地域の教育事情と地域性を明らかにするにあたり、教員に対する質問紙によるアンケート調査と電話による簡易なヒアリングを実施することとどまった。本研究で得られた見解を裏付けるためにも、学校と地域との連携によって精力的に栽培体験活動を実施している活動事例を蓄積することが求められる。奥能登地域を再訪問し、教員のほか、JAや農業団体などの技術協力者、地域住民に対するヒアリングを行い、学校の事情や奥能登の地域性に鑑みた連携体制を構築することを今後の課題としたい。

謝 辞：本研究を遂行するにあたり、本研究のアンケートに協力していただいた石川県奥能登地域の学校関係各位に厚く御礼申し上げます。金沢大学の中村浩二名誉教授にはアンケート実施や現地調査に際して便宜を図っていただいた。金沢大学国際学類に在学していた笹田絵美氏には現地調査の際にご協力いただいた。また、埼玉大学教育学部技術専修の山田晴菜氏、高橋信子氏には、アンケート実施にかかわる配布準備や集計、ならびに現地調査に助力していただいた。ここに記して謝意を表す。なお、本研究は平成26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（採択番号15）の支援により実施された。

文 献

荒木祐二・石川莉帆・齊藤亜紗美・田代しほり，2014：栽

培学習を取り巻く現状と課題：埼玉県中学校を例に。日本産業教育技術学会技術教育分科会技術科教育の研究，**19**，19-27.

稲葉健五，2011：学習指導要領の改訂に伴う生物育成技術の扱いについて－中学校技術科担当教員に対するアンケート調査－。茨城大学教育実践研究，**30**，67-75.

文部科学省，2008：中学校学習指導要領解説 技術・家庭編，105p.

森山 潤・高井 久・梁川 正，2000：中学校における栽培活動の実態及び環境教育との関連性に関する調査。日本教科教育学会誌，**23**，17-25.

大田 堯，1993：学校と環境教育・環境教育シリーズ2。東海大学出版会，東京，242p.

世界農業遺産活用実行委員会，2013：「能登の里山里海」：世界農業遺産構成資産調査報告書。「能登の里山里海」世界農業遺産活用実行委員会，石川，169p.

鈴木善次，2007：食農で教育再生－保育園・学校から社会教育まで－。農山漁村文化協会，東京，245p.

高橋満彦・村田邦雄・増山照夫，2012：環境教育との接合を意識した中学校技術科の生物育成（栽培）の可能性と課題：生物育成の必修化を迎えて。富山大学人間発達科学研究実践総合センター紀要，**6**，31-39.

武内和彦，2013：世界農業遺産－注目される日本の里地里山－。祥伝社，東京，220p.

土屋英男・梁川 正，1994：中学校技術科栽培領域の課題 第1章 技術科栽培領域の履修率低下の要因・背景とその対策。日本産業技術教育学会誌，**36**，155-166.

谷保成洋・魚住明生，2003：技術科教育における栽培体験活動に関する基礎的研究：新学習指導要領における中学校へのアンケート調査を基にしての一考察。富山大学教育実践総合センター紀要，**4**，35-44.

宇田川榕菴著『舎密開宗』続編『消石説』
その翻刻と翻訳及び伊藤圭介著『萬宝叢書硝石篇』との比較研究

板垣英治^{1*}

2014年8月21日受付, Received 21 August 2014
2014年11月6日受理, Accepted 6 November 2014

**“*Syoseki Setu*”, an Addendum to “*Seimi Kaiso* (A Story about Potassium Nitrate)”, as an Addendum to “An Introduction to Chemistry”, Written and Edited by Yhoan Udagawa in 1843
In addition, its Reprint, Translation, and Comparative Study of “*Manhou Sousyo* (a Chapter about Potassium Nitrate)”
Written by Keisuke Ito in 1854**

Eiji ITAGAKI^{1*}

Abstract

Yhoan Udagawa published a series of books, “*Seimi Kaiso*” (An Introduction to Chemistry) from 1837 to 1847. The series is composed of seven books and twenty-one volumes, and the first one about chemistry described Western chemistry in the eighteenth and nineteenth centuries. As an addendum, a book entitled “Historical and Detailed Studies on Potassium Nitrate” was published in 1843. His works provided a comprehensive study of historical approaches to the subject of potassium nitrate. In 1854, after a period of eleven years, Keisuke Ito wrote and published a book, entitled “*Syoseki Hen*” (a characterization of potassium nitrate) at Owari Clan. In order to make his work easier to understand, his former works were translated and reprinted into the modern version of the Japanese language. Comparative research of Yhoan’s and Keisuke’s works were conducted and interesting results were obtained. This research indicated that Ito’s works were like a new and updated version of Udagawa’s works, which included new findings and scientific evidence regarding potassium nitrate from Western countries and also east India. Useful data for making crystalline saltpeter in order to assist in the production of gunpowder is also written about in detail in this paper.

Key Words: Yhoan Udagawa, *Seimi Kaiso*, *Syoseki Setu*, Keisuke Ito, *Manhou Sousyo Syouseki Hen*
キーワード: 宇田川榕菴, 舎密開宗, 硝石説, 伊藤圭介, 萬宝叢書硝石篇

¹金沢大学名誉教授 〒921-8173 石川県金沢市円光寺3-15-16 (Emeritus Professor of Kanazawa University, 15-16 Enkoji 3 chome, Kanazawa, 921-8173 Japan) / 金沢大学環日本海域環境研究センター 地域研究領域外来研究員 (Visiting Researcher, Department of Regional Studies, Institute of Nature and Environmental Technology, Kanazawa University)

*連絡著者 (Author for correspondence)

I. はじめに

宇田川榕菴は名著『舎密開宗』内編6編と外編1編、計7編、21巻を編述して、天保8年（1837）から弘化4年（1847）にかけて刊行した。さらに、彼は続編として『消石説』を天保14年（1843）に訳述していた（田中、1975）^{（史料1）}。本書は『舎密開宗』の第二編、巻五、第百十章、消酸カリ、及び第百十一章、消酸カリ分離、18～21頁に記載した内容に硝石に関する多くの事柄を加えて記述したものである。その原本は武田薬品図書館に架蔵され（田中、1975）、さらに故岡村千叟氏による写書本が早稲田大学図書館に架蔵されている^{（史料1）}。今回、同館古典籍総合データベース、古典籍洋学文庫からの本書写資料を入手して、本書の翻刻と現代語訳を行った。榕菴は本書では「○正字本作消 俗偽為硝」と記して、「消石」と記述していた。また『舎密開宗』でも「消石」と記載していた。

硝石は火薬の生産のための必須な原料であることから、江戸時代から幾つかの硝石に関する書籍が編纂・刊行が行われていた。その中から特に注目されるものが、伊藤圭介が安政元年（1854）に刊行した『萬宝叢書硝石篇』であった^{（史料2）}。本稿では硝石の科学に関する重要な『硝石篇』と『消石説』との記述内容の比較を行ったところ、『硝石篇』には『消石説』に記載されたものと類似した箇所が多くみられることが明らかとなった。これは榕菴と圭介が親密な関係にあったことから、榕菴の影響を圭介は強く受けていた事を示していると考えられる。

『舎密開宗』は当時、西欧で出版されていた化学書で、特にわが国に和蘭から輸入された化学書を基にして、榕菴が書き上げたわが国最初の本格的な化学書であり、本書を通し19世紀初期の西欧の進んだ「化学」を熟知する事が出来る様になった。わが国への最新化学の導入の当に「舎密学事始め」を示す貴重な書籍である。本書には「蘇氏韻府」および「淑氏韻府」が屢々引用されており、榕菴にとって重要な化学書であったことを示している。『消石説』にも両書から多くの硝石に関する事柄が引用されて訳述されていた。蘇氏はF. van Catz Smalenburgであり、同氏の著書 ”Leerboek der Scheikunde. 3 vols, 1827-1833” が使用されていた。本書は加賀藩の壮猶館では安政4年に、『舎密開宗』とともに購入されて

いた（板垣、2011）。淑氏はNoel M. Chomelであり、”Huishoudig Handboek voor den Stedeling en Landman, Amsterdam, 1800-1803”が訳読され引用されていた。

『消石説』は11章からなり、発明・名義、天生・原始、種消法論、淋煎為朴消等々から構成されている。特に当時の西欧および東印度各地での硝石の製法を記した「種消法論」には、多くの頁が充てられている。

本稿では、『消石説』を翻刻・記述し、続いて、『萬宝叢書硝石篇』に類似した記載が存在する場合は、同書の巻数、および丁数を記載し、さらに本書の復刻本である『江戸科学古典叢書』12巻に記載されている頁数を記載した^{（史料2）}。『硝石篇』から引用した文章は、文頭を2文字下げて原文のカタカナ文字で記載した。『消石説』と『硝石篇』では、現行使用されていない難解な漢字が多く使用されているが、これらの文字はそのまま使用した。ついで、該当する『消石説』の部分の「現代語訳」の文章を、ひらがな文として掲載した。人名、地名は調査して明らかになったものは、現代語訳の文章中にカタカナで記載した。

なお、紙面の関係から、『消石説』と『萬宝叢書硝石篇』との比較で見いだされた記述を全て掲載することは出来無いために、『硝石篇』の類似した記述の一部を撰び出して掲載した。『消石説』および『硝石篇』の記載にあたり、新たにカンマおよびピリオッドを挿入した。

II. 『舎密開宗統説・消石説』

1) 発明 名義

蘇氏舎密ニ消石ハ上古ヨリ世ニ知ラレタリ。業会別爾（古賢之名）ノ經典既ニ名ヲ著シ、「ル・バコ」コレヲ詳言セリ、（按ニ 医学宝函ニ諳厄利亜ノ古医聖「フ・ルバコン」消石ノ熱病ニ殊効アルヲ以、「コ・ウデスペセリー」ト称スト云ウ。「ル・バコ」ハ即チ「フ・バコン」ト同人ナラン）淑氏韻府ニ『消石ノ羅匈名 尼多律母 ハ厄利齋語 尼多侖ニ濫觴シ、佛蘭西、諳厄利亜共ニ羅匈名ニ據テ尼多侖ト呼ブ。今和蘭ニ^{サルベートル}撒爾百多爾ト称スルハ』、古名^{サルベートル}撒爾百多刺ノ一転ニシテ、^{ステール}嚴塩ノ義ナリト云ウ。^{ホツマン}ス答爾、忽弗滿並ニ曰、古ニ所謂尼多律母ハ消石ニ非ス、今ノ蓬砂ナリ。又、布里紐スノ説ニ尼多律母ハ 今、海潮ヲ晒シテ、海塩ヲ取ル法ノ如ク、泥祿

河ノ水ヲ晒シテ、製スル者ニシテ、其晒法ヲ尼多里亜ト謂ト云。

(按ニ 漢名ノ義ハ、「天工開物」ニ、以其入水即消鎔、故名曰消、凡消三所最多、出蜀中者 曰川消、生山西者 俗呼塩消、生山東者 俗呼土消、下略(史料4)。

○正字通、本作消、俗偽為硝

『萬宝叢書硝石篇 卷上』硝石総論 一丁(179頁)
(史料2)

(上記の文章の『 』で囲まれた文章が記載されているが省略する)

「現代語訳」

スマーレンベルグの化学書(史料3)に硝石は古くから世間に知られた物であるとある。業会別爾(ゲーエベル・古賢之名)の經典には既に記載され、「ル・バコ」がこれを詳しく書いていた(医学辞典にはイギリスの古い医師「フ・ルバコン」が、硝石は熱病に有効なものであるとし、これを「コ・ウデスペセリー」と呼んだ。「ル・バコ」と「フ・バコン」は同じ人であると見られる)。ショメールの辞典(史料8)には、硝石のラテン名のニトリウムは、ギリシャ語のニトロンに由来しており、フランス、イギリスではともにラテン名に因ってニトロンと呼ぶが、和蘭においてはサルペートルと云う。古名サルペートルの一転したものであり、これは「岩塩」を意味する。斯答爾、忽弗満(スタール、ホフツマン、不詳)が語るのでは、昔はニトリウムが硝石ではなく今の硼砂である。また、フリニユスの説によれば、ニトリウムは現在、海の潮を日光にさらして食塩を取る方法のように、泥祿河の水を日光にさらして塩を作るもので、この方法をニタリアと呼んだとある。

(漢名の意味は李時珍の『天工開物』によれば、消石は水に入れてよく溶けて見えなくなる。このために消石と云われた。凡そ、消石は次ぎの3箇所に多く産出した。蜀中(四川省)の産物を「川消」、山西省の産物を俗に「塩消」と呼び、山東省の産物を俗に「土消」と呼んでい。以下は略す。正字では「消」を用い、俗字では誤った「硝」を用いている。)

注：宇田川榕菴は「消石」を使用したか、伊藤圭介は「硝石」を使用している。

2) 天生 原始

広義 諸書ニ消石ハ^{イスパニア}伊斯把你亜、^{エジプト}東印度、^{エジプト}阨日多ノ諸地ニ自生シ、稍寒地ニモ生ス。凡ソ土壤卑湿ニシテ動植腐朽シ、其汚穢ヲ蒙リ、風氣通暢スル地ニ善ク消石ヲ生スト云ウ。淑氏韻府林娜斯ノ説ヲ引テ、消石ハ雨露ヲ蒙ラザル土ニ自発ス。盖シ大塊ノ氣中ニ消石氣(リュクドサルペートル)アリ。此氣地面ニ侵透シ、自ラ之ヲ結生スト謂ヒ、府兒花歇ハ動物中、特ニ鳥類等塩ヲ食ベザル者ノ糞及其ノ腐体ニ草木灰・石灰和シメ生スト云ヘリ。

今原始ノ什磨ヲ説カズ。却テ人間種消ノ法ヲ説トキハ、其由テ生スル所以理自ラ明ナリ。『瓜哇ノ俗ハ、地上ニ土壇ヲ築キ居屋ヲ其上ニ作り、竹ヲ編テ^{ニカ}地板トシ、二便ヲ其下ニ遺ス。屋下ノ土、歳深クシテ、自ラ霜花ヲ生ス、此土ヲ淋煎シテ、消石ヲ得、彼地、火薬ニ用者、皆此種ノミ』、然則 鳥糞ニ限ラズ、人糞物ヨリモ生シ、亦生石灰ノ拌和ヲ假ラズ。

(按 物理小識、硝皆地出、小洩蝕土物、久者可煉取硝、則硝乃鹹氣所成者也(史料5))

『萬宝叢書硝石篇 卷上』尿尿能硝石生、十四丁(206頁)(史料2)

(上記の文章の『 』の部分と同一の内容が記載されている)

「現代語訳」

広義 色々な書籍には、硝石はイスパニア(スペイン)、東印度、エジプト等の諸地域で自生していると記されている。さらに少々寒冷な地域にも自生している。凡そ、土壤に湿気が少なく、動植物が腐敗して其汚穢が残り、空気がよく流通している場所にはよく硝石が生じていると云われて居る。

ショメールの辞典(史料8)に「^{リンナウス}林娜スノ説」を引用して、硝石は雨露の罹らない土地に自然に発生する。但し、大氣中に硝石氣(lucht de salt peter, リュクドサルペートル)があり、此氣が地面に吸収されて、自然に硝石が生成すると云われていた。府兒花歇(フルカカン)は動物中、特に鳥類等の食塩を食べない生き物の糞及其の腐敗

物に草木灰、石灰を混ぜて置くと硝石が出来る
と云っている。

今、却って人工の種硝の方法を説明する。其れ
に由って硝石の出来る場所の理由を明らかにす
る。瓜哇（ジャバ）では、地上に土壇を築いて、
居屋を其上に作り、竹を編んで床板とし、大便
と小便を其下に入れ置く。屋下の土は年月が経
つと、自然に「霜花」が出来る。此土を用いて
抽出・濃縮を行い、硝石を得ていた。この地で
は火薬の生産に使用する硝石は、皆此種のもの
であり、当然鳥糞のみでなく、人の糞物よりも
硝石を生産した。亦生石灰を混ぜ込むことは無
かった。

（按 『物理小識』^{（史料5）}には、硝石はすべて地
に製する少しの浸蝕土物の古いものより硝石を
煉取することが可能である。硝石はこれの鹹気
の有る所に成るものなりとある）

○ス魯亜涅（スロアネ）ガ『牙売加（ジャマイカ、
亜墨利加島名）ノ記事ニ、彼島ニテハ印度人ノ葬穴
或ハ蝙蝠尿堆積セル處ノ土ヲ、淋煎シテ消石ヲ得ト
云ウニ』、彼地方時氣薰熱ニシテ大氣ニ炭酸多シ、鉛
ヲ日光中ル處ニ置ケバ、一年ニシテ殆ド酸化シ消シ、
鉄ノ器什モ亦鏽敗甚シ、消石ノ生スル自ラ理アリ。
○『莫卧爾（モゴール）ノ内 就中榜瓦刺部（ビハー
ル）ハ地ニ加里、石灰性多ク、駱駝、馴象ノ屎尿熱
ノタメニ消酸ヲ生シテ、其土ニ和シ、自ラ消石ヲ生
シ、東印度商船ヲ以テ、和蘭、諳厄利亜ニ致スコト、
歳々千セントネル（百斤為一セントネル、則一万斤）
ヲ以テ計フ。』（按 本説中東印度消石ト云者、則此
品ナラン）又意ニ野戦ニハ巨万ノ人馬屍ヲ曠原ニ露
シ、日光ヲ以テ消化シ、且ツ草木兵燹ニ焼ケテ灰燼
スルコト多ケレバ、必ズ自ラ消石ヲ生スベシ。

『萬宝叢書硝石篇 卷上』尿尿能硝石生、十四～
十五丁（206～207頁）^{（史料2）}

（上記のインドのモゴールからの硝石の部分が記
載されているが省略する）

「現代語訳」

○ス魯亜涅（スロアネ）の牙売加（ジャマイカ、
アメリカの島名）の記事に、この島に於いては
土地の人達、葬穴或は蝙蝠尿の堆積する處の土

を取り集めて、淋煎して硝石を得ると云われて
いる。彼地方はいつも蒸し暑くて、大氣中に炭
酸が多く、鉛を日光の当たる處に置くと1ヶ年で
殆ど酸化して無くなる。鉄の什器でも亦甚だし
く錆びる。硝石の自然に生ずる理由がある。

○インドの莫卧爾（モゴール）の内、特に榜瓦
刺部（ビハール）の地には加里、石灰性が多く
あり、駱駝、馴象の屎尿は熱の為に硝酸が生成
して、其土に混ざり、自から硝石が生ずる。東
印度会社は商船を使用して、この硝石を和蘭、
諳厄利亜（イギリス）に運んでいた。その量は
歳々1000セントネル（100斤為1セントネル、則
ち1万斤、50トン）になる。又、野戦場には多数
の人馬の屍が曠原に露出されており、日光に
因って硝化し、且つ草木が兵火で焼けて灰燼に
なることも多く、必ず自然に硝石が出来る。

注：印度北部に1542～1605年に栄えたモゴール朝（Gran
Mogol）の存在した地域。ビハール（Bihar）州、イ
ンド・カンジス河の中流から下流部にある州名。

○萬国伝信紀事ニ、和蘭人莫卧爾（モゴール）所産
ノ消石ヲ其ノ城地、亜卧刺（アゴラ）及ビ巴丟亜（パ
チュア）ニ買集メ、巴丟亜ヲ距ルコト四里、沙阿烏
巴爾（サアウパル）ニ蔵庫、製煉場ヲ建テ、煎煉シ、
歳々数千セントネルヲ祖国ニ輸スト云。

萬国伝信＝不詳

「現代語訳」

萬国伝信紀事に、和蘭人が印度の莫卧爾（モゴール）
で産する硝石を、其の城地である亜卧刺（ア
ゴラ、Arago）及び巴丟亜（パチュア、Patna、
ガンジス川沿岸の港町）に買い集めて、巴丟亜
を距てること4里の沙阿烏巴爾（サアウパル、
Sabalpur）に倉庫と製煉場を建て、硝石を煎煉
して、年々数千セントネル（約50トン）をオラ
ンダに輸出した。

○『植物ニモ消石ヲ含ム者アリ。ベルナデイ』、ガラ
スコロイド、ワートルケルス、『淡波姫、向日葵』、
水萬苳（ベグボーム）、蒲公英、西格列、洋萬苳、
地錦苗ノ如シ。其ノ杵汁 清涼ノ味アリ、然レドモ
此ヨリ消石ヲ得事能ハズ。

『萬宝叢書硝石論 卷上』草木有硝石質，十五丁(207頁)^(史料2)(上記の文章で引用された植物名が記載されている。)

「現代語訳」

植物にも消石を含むものがある。ベルナギイ bernagie (borage), ガラスコロイド, ワートルケルス (waterkers, クレソン), 淡波姑(たばこ), 向日葵(ひまわり), 水萬苳(水チシャ), 水萬苳(ベークボーム), 蒲公英(たんぽぽ), 西格列, 洋萬苳(洋チシャ), 地錦苗(つた)などである。其の茎の汁液は清涼の味がある。しかし此より硝石を取る事は出来無い。

3) 種消法論

広義云、消石諸国ニ自生スト雖モ、取テ欧羅巴州中ノ用ニ給スルニ足ラズ。人為ヲ以テ種作セスハ有ベカラズ。向ニ仏蘭西鼎沸ノ歳ノ如キ大ニ消ニ歎窮シ俄ニ窖内厩辺ノ穢土ヲ煎煉セシニ至レリ。

広義『種消法 厥ヲ造ル、長百尺、濶十六尺屋ヲ葺テ雨ヲ防キ、四方ニ戸牖ヲ設ケ、内ニ消山ヲ作ル。山長五十尺、濶四尺ナルベシ。山ヲ築ク料ハ鬆軟ナル粘土(ロッセレーム アールド), 或 石灰土デ宜シ。此土ハ旧厩工作場(ウエルキプラーツエン)等ヨリ堀取り、或ハ汚溝ヨリ浚ヒ揚タル者ヲ佳トス。其上ニ山土毎百分ニ視テ、生石灰末十五分ヲ摻ク、又其上ニ動植ノ塵芥タトエバ糞尿・血角・皮毛ノ余屑朽稈百二十分(按ニ亦 山土毎百分ニ視テ云 下同)ヲ置キテ、其土ヲ蓋ヒ、尚上ヨリ、糞水ヲ澆キ、最後ニ竈灰ニ糞汁ヲ沾シタル者五十分ヲ蓋フ。』

『萬宝叢書硝石篇 卷上』硝石丘築造式，十六丁(209頁)^(史料2)

(上記の文章の『 』でかこまれた部分が次の文章に記載されている)

硝石丘ヲ築造スルノ板舎ハ長サ十丈、幅一丈六尺、(和蘭一尺ハ我一尺零三分四厘許ニ当ル下皆同)ニシテ、南北ヲ縦トシ東西ヲ横トス。板ヲ以テ密ニ屋上ヲ覆ヒ善ク雨ヲ防ギ、日光ヲ遮ル、又四方ニ小窓ヲ開キテ外氣ヲシテ自在ニ通入セシム。而シテ舎内ニ硝石丘ヲ築ク。長サ五丈、幅一丈、高サ四尺ニシテ、此上部ハ円背

トス。此丘ハ軟ナル膠土(レイムアールデ, leem aarde), (按ニ又陶土ト云、磁器ヲ製スル土ニシテ、即チ粳米土ナリ) 或ハ石灰質土(カルキアクチヘアールド, kalkachtig aarde) (按ニ石灰質ノ土ニシテ煨ケバ石灰トナル者ヲ云フ、(中略) 假令ヘバ曠野ノ地面下二三寸ノ土、黒土、或ハ園土等ノ如キ是ナリ) ヲ以テ築成ス、若シ舊キ厩舎及ビ工匠場等ヨリ堀出セル土、或ハ汚穢ノ溝瀆ノ泥土ヲ得テ用レバ殊ニ良ナリ。其土ノ量百分ヲ用フ。(以下の部分は全て「消石説」に殆ど同じで在る)。

「現代語訳」

広義に云う。硝石は諸国に自生すると雖も、それを取って欧羅巴州中の必要量を賄うには足らない。人為的に硝石を作らねば育たないものである。仏蘭西では革命の時に大いに硝石が不足した。そこで俄に窖内・厩辺の汚れた土を取り集め、煎煉することになった。小屋(長さ10丈、幅16尺、高さ不詳)を設けて、その内部に硝山(硝石丘)を作った。その山の長さは50尺(約15m)、巾4尺(1.2m)である。この硝石丘を築く材料は軟かい粘土(ロッセレーム アールド、赤土)或、石灰土でも宜い。此土は旧い厩工作場(ウエルキプラーツエン, werkplaten)等から採取し、或は汚れた溝より浚い揚げた泥土でも佳しい。其上に山土を毎百分にして、生石灰十五分を加え、さらに其上に動植物ノ塵芥、例えば糞・尿・血・角皮・毛の余屑、朽ちた麦稈 百二十分(按亦、山土毎百分に見立てて云 下同)を置き、其土をかぶせ、尚上より糞水を注ぎかけ、最後に竈灰に糞汁を混ぜたものを、五十分で覆った。

注1：煎煉する=堀出した土に水を加えて、硝酸カルシウムを抽出し、これを灰汁処理して硝酸カリウムに変え、その溶液を濃縮して、結晶化する作業を「煎煉」と呼んでいた。

注2：榕菴の原文では、「消山ヲ作ル。山長五十尺、濶四尺ナルベシ」とあるが、圭介の文章では、「硝石丘ヲ築ク、長サ五丈、幅一丈、高サ四尺ニシテ」と記載され、前者の「濶」は誤りで、「高さ」と記すべきである。幅は記載もれである。

如此ニシテ二ヶ月毎ニ其山ヲ壊チ、土ヲ上下ニ翻覆シ、敗尿・糞水ヲ澆グベシ、又常ニ戸牖ヲ啓テ風氣ヲ通ス。特ニ夏ハ東風、北風ヲ引キ、凍寒ノ候ニハ南風ヲ引クベシ。如此毎二月手作シテ二年ヲ経レバ、其土十分ニ硝氣ヲ含ム、此ヲ淋煎シテ朴消トス。
(按ニ、紐氏韻府ノ法^(史料6)、此ト大略同ジ)

「現代語訳」

この様にして、2ヶ月毎に其山を壊して、土を上下に覆し、敗尿・糞水を注ぐことをした。又常に戸を開けて風気を通すこと。特に夏は東風と北風を通し、凍寒の候には南風を通した。この様にして2ヶ月毎に手入れして、2年を経れば、其土には十分に硝氣が含まれている。此を淋煎して朴硝を得る（紐氏韻府の法は、此と大略同じである）。

僕氏韻府ニ 倭律涅尔、布列都両氏 一七四九年（寛延二年）所著、種消法ヲ引イテ曰、種消ニハ石灰土粘土ヲ必需ツ石灰土ハ原野雑草ノ下数寸ニ有リ、粘土ハ黒壤ニシテ、六街三市人烟稠密ノ辺ニ有リ、獸舎馬厩ノ下ニ在者 特ニ佳ナリ。此土ニ竈灰五分一ト軟キ麦稈ヲ拌ゼ、塵塚ヨリ流出ル糞水ニテ涅シ、泥塊トシ、此塊ヲ以テ墻ヲ築ク。之ヲ消墻ト名ツク。墻内ヲ空虚ニシテ大氣ヲ通スルヲ要ス。日ヲ経テ泥中ノ稈化爛スレバ、其跡漸ク孔窠ヲ作シテ、愈氣ヲ通ス。墻上ハ麦稈ニテ屋ヲ葺キ雨日ヲ遮防ス。一年ノ後、墻内ノ孔面ニ硝石花ヲ発ス。花発スルヲ候ヒ墻ヲ壊テ淋煎ス。

「現代語訳」

僕氏の著書に、倭律涅尔（クツネツヤ）および布列都（フレット）両氏が1749年（寛延2年）に著したものがあり、それより種消法を引用して記している。種消には原野雑草の下数寸に有る粘土で黒い土壌であり、六街三市の人家の密な地域に有り、また獸舎・馬厩の下に在る土が特に良い。此土に竈灰五分一と軟い麦稈を混ぜる。塵塚より流出する糞水を混ぜて泥の塊として、此塊を以て墻（垣根）を築く。之を「消墻」と名づけていた。墻内部を空虚にして大氣を通すことが必要である。日を経て泥の中の麦稈が腐敗すれば、其跡に多数の孔窠が出来て、空気が

通ずる様になる。墻上には麦稈で屋根を葺き、雨・日を遮蔽する。1年の後に、墻内の孔面に硝石花が出来る。この花の出来る候に墻を壊して淋煎する。

注：僕氏韻府 不詳である。

広義附録ニ、『蘇亦齋ニテハ、草屋ノ故茅石灰竈灰圃土ノ四品ニテ消石床ヲ作ル。（一書ニ 蘇亦齋ハ地磽确ニシテ、自然ニ消石ヲ生セズ。故ニ種消ノ法ヲ用フ。）

其法 瓠瓠（シキガワラ）ヲ地ニ布キ基礎トシ、上ニ圃土・竈灰・石灰ノ三和土一層ヲ置キ、朴消ノ剩滷或敗尿ヲ饒多ニ澆キ、其上ニ故茅一層ヲ置キ、如此三和土ト故茅ト互ニ疊堆シテ、上ニ板屋ヲ葺、土ト共ニ鋤取タル草□（しばくさ）ヲ蓋テ、雨日ヲ防グ、一年ヲ経レバ床ニ硝花ヲ発ス、之ヲ箒ニテ掃聚ム。掃取事凡十年ニシテ消氣全ク尽ク、但シ一掃後毎ニ床ニ敗尿溝水等ヲ澆クベシ。此床十年ノ後ハ壊碎キ、麻圃ニ培ヘバ甚ダ肥ト為ル。』

『萬宝叢書硝石篇 卷上』硝石丘築法各国異同 十九～二十丁（216～218頁）^(史料2)

（上記の文章の『 』で囲んだ部分と似た文章が次ぎに記載されている）

○蘇亦齋（ズエシヤ）ニ於テハ古屋ノ茅、石灰及ビ灰、隴圃ノ土ヲ以テ硝石丘ヲ造ル。其法、煨キタル石ヲ用テ基礎トシ、次ニ土、石灰灰ニ硝石ヲ煮製セシトキノ剩液、或ハ尿ヲ多ク注ギ、調和シタル者ヲ蓋ヒテ一層トス。此上ニ古屋ノ茅一層ヲ積ミ再ビ前ノ如ク一層ヲ置キ、此ノ如ク逐次ニ重疊スル事適宜ノ高サヲ得ルニ至リ、而後此硝石丘ヲ板舎ニテ覆ヒ雨溼ノ患ヲ防ク。一年ヲ経テ後、此丘上ニ許多ノ生硝石、自ラ萌發スルヲ候ヒ、箒ヲ以テ之ヲ掃ヒ取ル、斯ノ如ク十年ノ間、時々採取ス、但シ之ヲ採リテ後、毎次、尿及ビ腐敗ノ汚水等ヲ多ク丘上ニ澆グ。十年ノ後、既ニ効ヲ奏スルニ足ラザル候テ、此丘ヲ崩壊ス、之ヲ細カニ碎キテ大麻、苧麻等ヲ培養スルノ土トナシテ極メテ良ナリト云。

「現代語訳」

広義の附録に蘇亦齋（スエーデン）には、草屋に茅・石灰・竈灰・圃土の四品で硝石床を作っ

ている（一書には、スウェーデンでは、土地が軟らかいので、自然には硝石が生じない。故に種硝の方法を使用した）。其法 敷瓦を地に置いて基礎として、その上に圃土・竈灰・石灰の三品を混合した土を一層に置き、朴硝の残りかす或は敗尿を多く撒き、其上に古茅の一層を置き、此様に三品混合土と古茅とを交互に積み重ねて、その上に板屋を葺いた。土と共に鋤取った芝草で覆い、雨日を防いだ。1年間経てば床に「硝花」が出来る。之を箒で掃き聚つめる。掃取事凡10年間すると硝気は全く尽きて無くなる。但し、一掃後に毎回床に敗尿・溝水を撒けば硝花の発生は続く。此床10年の後は壊砕き、麻畠に入れば甚だよい肥料と為る。

『馬児答島ニテハ鬆軟石灰土・朽稈・糞芥ヲ以テ、長キ三稜錐塚ヲ築キ、煎消剩滷ニ塵塚ノ汚水ヲ和シ澆キ、其錐塚 乾ケバ又砕キテ、右件ノ水ヲ漉キテ改メ築キ、初メ一年ハ毎月風化石灰ヲ少宛摻ケ三年ニシテ其堆ヲ壊チ煎シメ朴消ヲ得』。

『萬宝叢書硝石篇 卷上』硝石丘築法各国異同、二十丁（218頁）（史料2）

（上記のマルタ島での硝石製造法が記載されているが略す）

「現代語訳」

馬児答島（マルタMalta）では、軟かい石灰土・朽稈・糞芥を以て、長い三稜錐塚を築き、煎硝の剩滷に塵塚の汚水を混ぜて振り掛けた。其錐塚が乾けば、また砕いて、右件の水を撒いて改めて塚を築いた。初め1年間は毎月、風化石灰を少し宛摻き、3年が経てば其堆を壊して、煎煮して朴硝を得た。

注：マルタ＝イタリア南部の小島の名前

『李漏生ニテハ、黒キ圃土或馬厩土窖ノ土五容ニ竈灰・麦稈一容ヲ和シ、仔細ニ拌攪シテ、塵塚ノ糞水ヲ澆キ、此土ゴ早湿ノ陰地ニ於テ、長二十尺、高六七尺ノ牆ヲ築キ、幾多ノ箒柄ヲ簪挿シ、牆土半乾テ之ヲ抽去レバ、彼此ニ孔眼ヲ残ス。此牆ニ怠ラズ汚水ヲ澆ク事一年ニシテ、消花発スルヲ俟テ乃淋煎ス。牆上ハ茅屋ヲ蓋テ雨ヲ防グベシ』

『萬宝叢書硝石篇 卷上』硝石丘築法各国異同、二十一丁（219頁）（史料2）

（プロイセンでの硝石製法は上記の文章とほぼ同じであるので略す）

「現代語訳」

李漏生（プロイセン）では黒い圃土或は馬厩、土窖の土を五容と竈灰・麦稈一容を混ぜ、よく攪拌する。これに塵塚の糞水を注ぎ入れ、その上で湿り気の少ない陰地に、長20尺、高6～7尺の牆を築き、これに多くの箒の柄を突き刺した。牆土が半乾になった後に柄を抜き取り、その跡に孔眼を残した。此牆には怠らずに汚水を澆ぐ事を一年間行い「硝花」が発生するのを待った。その後、硝土を採取して淋煎した。牆土は茅屋を建て雨に濡れるのを防いだ。

○『雪徴説児斯甘東（按 甘東猶言部 也）遏扁攝尔々（上地都会）ニテハ、山ノ峠側ニ畜厩ヲ構フ。厩一方ハ山腹ニ倚テ支ヘ、一方ハ牆ニテ其下墁リタル方柱ニテ支ヘ、厩下ノ山腹ニ深サ三尺ノ溝ヲ掘リ、内ニ鬆軟ニシテ種消ニ佳キ土ヲ実ス。此ニ因テ牲畜ノ尿淋瀝シテ溝内ノ土ニ侵淫ス。毎三年其土ヲ取テ朴消ヲ煎シ、余土ハ溝内ニ還ス。』

『萬宝叢書硝石篇 卷上』硝石丘築法各国異同、七十一丁（220頁）（史料2）

スイツヱルランド
雪徴説児国ノ「カントン」地名及ビ「アッペンセルル」同上ニ於テハ、生硝石ヲ製スルガ為ニ厩ヲ山脚ニ築キ其用ニ供ス。此厩ノ一側ハ山脚ニ沿テ牆ヲ築キ、是ニ相對スル牆ハ塗墁セル方柱ノ上ニ安ズ。厩ノ磚ト其下ニ在ル土トノ間ニ少シノ空處アリ、其中ニ深サ三尺ノ溝ヲ穿チ、甚ダ鬆疏ニシテ硝石ヲ製スルニ極メテ良ナル土ヲ填テ、此土中ニ獸尿ノ流泄スル者ヲシテ自ラ聚リ入ラシム。三年毎ニ土ヲ淋シテ、滷汁ヲ取り煮製ス。此剩土ハ再び溝内ニ投入シ置クナリ。且ツ此硝石場ハ北ニ向ヒテ營造セリ。

「現代語訳」

○雪徴説児斯甘東（スイス）のカントン、遏扁攝尔々（アッペンセルル）では、山の峠側に家畜厩を構築する。厩一方は山腹に寄って支へ、

一方は墻で、其下の堤に方柱で支へた。厩下の山腹に深さ三尺の溝を掘り、その内に軟かな種硝によい土を充たした。これに牲畜の尿を淋瀝して、溝内の土にしみ込ます。毎三年に其土を採取して、朴硝を煎し、余った土は再び溝内に還した。

注：カントン=canton, Kanton で準州を意味する。アツペンセルル=Appenzell であり、スイスの南部のボーデン湖の近くにある準州で、高原地である。

医嘯爾弗ノ説ニ、種消ノ法ハ概子 土灰ヲ基本トシ、或ハ尿ヲ澆キ、或ハ生石灰ヲ拌シ、此剤ヲ或ハ風日中ニ堆積シ、或ハ屋ヲ蓋ヒ、或ハ墻トシ、或小堤ノ如クシ、或坑中ニ実ス。皆能ク消ヲ生ス。但多少ノ差アリ。此差ハ種法、淋煎ノ巧拙ニ拘ラズ、専ラ土味ノ粘膩、枯瘦ニ係ル、故ニ種消ハ肥膏ノ土ヲ擇ムヲ首務トス。

合薬舎密云 種消ノ法ハ常土ヲ消石土ト為ス法ノミ、動植腐化シテ発スル窒素瓦斯中ノ酸素ニ親和シテ、消酸ヲ為シ、此消酸土中ノ石灰苦土加里ニ親和シテ、消酸塩ト為ル。

(按ニ種消ニ竈石灰灰故茅麦稈ヲ用ルハ石灰加里ヲ出スガ為ナリ。麦稈等腐レバ石灰加里ト為ル。) ○消酸塩ヲ含ム土ヲ消石土(サルペートルアールド又 テルラマテル母土)ト名ク、嘗メテ苦味アリ、火ニ投スレハ、焔鳴シ或ハ表面ニ細キ塩芒ヲ発ス。

「現代語訳」

医師嘯爾弗(ウオルフ)の説に、種硝の方法は概して土と灰を基本とするところである。これに尿を注ぎ、或は生石灰を混ぜ、これを或は日中に堆積する。或は屋根を覆い、或は墻として、或は小堤の様に、或は坑の中に充たす。どれも皆能く硝石ができる。但し多少の差は有る。此の差は種法や淋煎の巧拙に拘わるものではなく、専ら土味の粘膩、枯瘦に係るものである。故に種硝には肥膏な土を選ぶことが重要である。

「合薬舎密」で云われていることは、種硝の法は常土を硝石土とする方法のみで、動物・植物腐敗して石灰加里(炭酸カリ)と化合して硝酸塩となる(按に 種硝には竈灰・石灰・古い茅・麦稈を用いることは、石灰加里がこれらから補われる為である。麦稈等は腐れば石灰加里とな

るからである)。

○硝酸塩を含む土を硝石土、サルペートルアールド又テルラマテル母土と呼ばれている。これは嘗めると苦味がある、火に入れれば焔鳴を發する、或は表面に細い塩芒を生ずる。

注：「合薬舎密」=J.B.Trommsdorff の化学書(史料7)。

宇加頼涅(堺ヲ魯西亜、小韃靼ニ接シ、半ハ魯西亜ニ属シ、半ハ波羅尼亞ニ属ス。キリム黒海ノ北ニ在リ、キリム即小韃靼ノ都会)ニハ、消石土自然ニ多ク生ス。土人消ヲ煎シテ欧羅巴諸州ニ致ス。凡ソ消石ハ東産ノ者多シト雖、日用ニ給スレニ足ラズ、種デ之ヲ造ル。欧羅巴ニテハ蒲即鄧蒲尔孤(ブランデンブルグ)、仏蘭西、孛漏生ノ諸地多ク消ヲ種ト雖モ、戦争ノ時ニ於テハ尚使用ニ歎シ、孛漏生ニハ最多ノ種ト雖モ從來得タル所ノ量 從來費シタル千分ノ一ニ過ギズ。元來其地膏腴ノ黒赤ノ粘土ナレバ固リ、種消ニ佳ナリト雖、消ヲ種ルヨリハ、穀蔬ヲ種テ益多ク、消ハ波羅尼亞、魯西亜ニ向テ、宇加頼涅ノ製ヲ買ヲ廉価トスルガ故ナリ。

『萬宝叢書硝石篇 卷中』「ユクライ子」国 一名南露西亜 硝石製法説 九～十丁(259～262頁)(史料²⁾「ユクライネ」での硝石製法は、上記の内容と同一であるので略す)。

「現代語訳」

宇加頼涅(ウクライナ)は、境を魯西亜、小韃靼に接して、半分は魯西亜に属し、半分は波羅尼亞(ポーランド)に属す。キリム(クリミア)は黒海の北に在り、クリミアの小韃靼の町には、硝石土が自然に多く出来る。土地の人は硝石を煎して、その製品を欧羅巴諸州に売っている。凡そ硝石は東産の者(アジア産のもの)が多いが、日用に使用するには十分でない。種硝で之を造っている。欧羅巴にては蒲即鄧蒲尔孤(ブランデンブルグ)、仏蘭西、孛漏生(プロシヤ)の諸地では多く硝石を造るが、戦時に於いては尚使用に不足する。プロシヤでは多く種硝を行っていたが、從來産出した所の硝石の量はこれまでの消費した量の千分の一に過ぎなかった。從來、其地は膏腴の黒赤の粘土であり、固まって種硝によいといわれていたが、硝石を造るよ

りは、穀物や野菜を作った方が収益多かった。硝石は波羅尼亞（ポーランド）や魯西亜に比べて、ウクライナの製品が廉価であるために買入されていた。

『宇加頼湟ノ地ハ革命後 第三百年、此土民 韃児ノ為ニ遂レテ、以後荒野ト為リシガ、星霜久シクシテ、今ハ膏艘ト為リ、土面数寸乃至尺許ノ間ハ、或黒壤、或ハ赤墳ニシテ、ソノ下ハ白加尔基土ニシテ、螺蛤ノ殻多ク、或ハ貝介ノミ石結スル處アリ。粘土、砂礫少シ、那ノ黒赤ノ鬆土 乾ケバ風塵ト為テ頗ル旅行ヲ煩ス。土人此土ノ膩氣有リ、嘗テ清涼味アリ、鋤鑿入ラザル處ハ、消花自ラ黴ノ如ク発スルヲ見テ、早已ニ消石氣多事ヲ知り、今ニ至リ消石ヲ淋煎ス。意フニ此地ノ上古ハ一坐ノ府城ニシテ、四辺ニ邨邑多ク牛馬羊豕ノ厩圍戰場九原モ少ナカラザリケン。此ニ一丘陵アリ彼俗呼テ莫義哩ト云、此丘下修上奔ニシテ、円錐形ヲ為スヲ以テ、天造ニアラズ、人築為ス者ナルベシ。此處古戰場ナル確證アリ。然レバ当時蹂躪ノ餘骸ヲ合葬テ、如此阜高ノ土饅頭ヲ為セシ事疑無シ。丘周三百シケレーデン（度名）許ナリ。百余年消石土ヲ此ニ掘テ、今尚然ク丘ヲ為スヲ見レバ、往事ハ今ヨリモ高カリケン』。

○計ルニ此土九尺或十尺立方ヲ淋煎シテ朴消一斤（ポンド）ヲ得ベシ。淋餘ノ土ハ堆テ高四尺許ノ小堤トシ、七年ヲ経レバ、復タ初メノ如ク消石ヲ淋煎スベシ。第三煎ニ及ンデハ、所得其勞費ニ歎クセズト云。

『萬宝叢書硝石篇 卷中』「ユカライ子」国 一名南露西亜 硝石製法説 九～十丁、(259-262頁)^{(史料²⁾}（ここに記載された文章は上記の文章と類似しているのを略す）。

「現代語訳」

宇加頼湟の地は革命の後、300年間は、此土民は韃児の為に逐われて、以後荒野と為ったが、星霜久しくして、今は膏艘の土地と為り、地表面から数寸乃至尺許の間は、或黒壤或は赤墳であり、その下は白い加尔基（カルキ）土がある。ここには螺蛤の殻が多く、或は貝介のみが石に混ざる處もある。粘土や砂礫は少ない。その黒赤の鬆土は乾けば風塵と為って頗る旅行者を煩

わす。土地の人は、此土に膩氣が有り、嘗て清涼味あり、鋤鑿の入らない所は、硝花を自然に黴の様に発生するのを見て、早くから硝石氣が多い事を知っていた。今に至り硝石を淋煎している。思うに、此地は上古には一坐の府城があり、四辺に邨邑が多くあり、牛馬羊豕の厩圍、戰場九箇所の野原も火災を受けていた。此に一つの丘陵があり、俗に呼んで「莫義哩」（ボギリ）と云、此丘は下に広く上に尖り、円錐形を為していることから、自然のものでなく、人の築いたものであった。此處は古戰場であつた確證がある。然れば当時蹂躪の後の死骸を合葬して、此の様な阜高の土饅頭を築いた事は疑い無い。丘周三百シケレーデン（度名）許である。百余年の間に硝石土を此に掘って、今尚も丘を形成しているのを見れば、往事は今日よりも高いものであつたと見られる。

○計ると、此土九尺或十尺立方を淋煎すると朴硝一斤（ポンド）が得られた。淋餘の土は積みあげて高さ四尺許の小堤として、七年間を経ればまた初めの様に硝石を淋煎することができた。第三煎に成つては、その収入は其の勞費ほどに高くないと云われた。

4) 淋煎為朴消

（本項の記載では『消石説』と『硝石篇』の内容がほぼ同じであるから、前項の様な『 』の挿入は省いた）

広義ニ消山数十坐毎ニ煎消戸ヲ設ク、煎戸ニハ大釜三個、大桶三十六個ヲ備フ。桶各潤六尺、高二尺、重底アリ。下底三寸、上ニ上底アリ。上底ニ数多ノ細孔ヲ穿チ、上下底ノ間ノ側ニ注管アリ。三十六桶ヲ六列六行ニ排列シ、毎六桶ノ間ニ「ゲプラフェイデン桶」ト名ル者ヲ置キ、此ニ六注管ヨリ注出ス消滲ヲ滙会ス。初六行ノ桶ハ底ニ麦稈ヲ敷キ、木灰二車（コロイワーゲン）、生石灰一車ノ和劑ヲ固ク撞実シ、其上ニ消石土二十車ヲ納レ、水ヲ注テ、其水土上四寸ヲ越スヲ度トス。次ノ六ノ五行ノ桶ハ装置モ盛劑モ前ノ如ニシテ、水ヲ注ガズ。初行六桶ヨリ注出ル滲ヲ受ケ次第ニ淋過ス。初行六桶ハ水ヲ停ル事一浹辰明且 注管ヲ放テ、其滲ヲ第二行ニ注ギ、初行ニ再ビ新水ヲ注グ。如此ニシテ每行六桶ノ土ヲシテ、各新水ヲ受ル事三回ナラシム。其終行ノ桶ヨリ瀝ル滲ハ消分ニ飽クヲ以テ釜ニ納レ煎煉ス。

『萬宝叢書硝石篇 卷中』人工硝土淋法並煮法、一〜三丁（243〜246頁）^{（史料2）}（『消石説』の内容と同じものが記載されているので略す）。

注：『消石説』では「潤六尺」とあり、『硝石篇』では「広さ六尺」とある。

「現代語訳」

淋煎して朴硝を作る。広義には、硝石山の数が十坐毎に淋煎を行う。まず「煎硝戸」（煎硝小屋）を設けて、この煎小屋には大釜3個、大桶36個を備へる。桶は各周り6尺、高さ2尺で二重底のあるものを使用する。下底の3寸上に上底があり、この上底には数多の小さい孔を開け、上下の底の間の桶の壁には、注管（呑口）がある。36個の桶を6列6行に配列して、毎6桶の間には「ゲブラフェイデン桶」（gegrafdenkuip）と呼ぶ桶を置いて、此れに6本の呑口より注ぎ出る硝滲を集める。初めの6行の桶は底に麦稈（麦わら）を敷き、木灰を運搬車2台分（コロイワーゲン、石炭運搬車）と、生石灰を1台分と混ぜて固くして詰める。其上に硝石土を、運搬車20台分を入れて、これに水を注ぐ。その水の量は、土の上4寸を越すところを限度とする。6列5行の桶は装置も盛剤も前の様にするが、水は注がない。これには初行6桶より注出る滲水を入れ、この中の硝土に淋過させる。初行6桶は水を停めて、一昼夜放置後に注管を開けて、其滲を第2行の桶に注ぎ、初行の桶には再び新水を注ぐ。この様にして毎行6桶の土に、各新水を受ける事を3回行い、其終の行の桶より滴る滲水は硝分で飽和している。これを釜に入れて煎煉する。

○釜ハ三個ヲ一列ニ窯上ニ駢ブ。第一釜最卑シ、第二釜ハ第一釜ヨリ半尺高ク、第三釜ハ第二釜ヨリ半尺高シ。此ニ目デ薪火ノ炎斜メニ三釜ノ底デ遍過シ、終ニ第三釜ノ後面ナル煙筒ヨリ泄散ス。

○第一釜ノ煮、滲ノ水気稍減スルヲ候テ、此ヲ第二釜ニ移シテ、再ビ新滲ヲ煮、第二釜モ煮 滲稍稠厚ト為ルヲ第三釜ニ移ス。煮沸ノ間汚物泡沫ト為テ浮ムヲ抄ヒ去リ、其滲渾濁スルヲ煮足ル候トシ、濾テ結晶桶ニ移セバ、二三日ニシテ、朴硝ヲ結ブ。剩滲中猶消分多シト謂者ハ再煎シテ晶ヲ収ベシ。最後ノ剩滲ハ棄スシテ、消山ニ澆テ益アリ。

『萬宝叢書硝石篇 卷中』人工硝土淋法並煮法 二〜三丁（246〜248頁）^{（史料2）}（『消石説』に記載の文章と同じであるために略す）。

「現代語訳」

釜は3個を1列に窯上に並べる。第一釜は最も低い場所に、第二釜は第一釜より半尺高く置く、第三釜は第二釜よりも半尺高くし、此れで以て薪火の炎が斜めに三釜の底を遍通して、終熱は第三釜の後面にある煙筒に排出される。第一釜の煮は滲水の水気が稍減した時に、此を第二釜に移して、その後で再び新滲水を煮る。第二釜の煮も滲水が稍濃厚となれば、第三釜に移す。煮沸の間に汚物は泡沫となって表面に浮く。これをすくい去り、其滲水が濁るまで煮詰める。これを濾して除き、濾液を結晶桶に移し静置すると、2〜3日すれば朴硝の結晶が出る。上澄液に残った滲水には猶硝石分が多くあり、これは再度煎して結晶を取る。最後の残りの滲水は棄てることなく、硝山に撒くと利益が有る。

宇加頼涅*ニテ莫義哩丘**ノ消石土ヲ淋煎スル法ハ、先ツ佳處ヲ占テ其處ニ淋煎什具ヲ搬フ。什具ハ方言ニ買咀（マイダン）ト喚ビ、大銅釜水三百餘斤ヲ煮ヘキ者一個、底側注管アル桶百個、各消石土一車（カル）ヲ容ベシ。大桶（オキスホーフド*** 或云 一斛三斗**** 有奇ヲ容ル、或云九斗五升四合ヲ容ル）二個、扁キ結晶桶三十二個。搬水辱桶数件ナリ。○釜ハ地ニ穴シテ安ンシ、釜口ヲ地面ト均フシ、下ニ熬薪ノ處ヲ設ケ、釜側ニ大桶ヲ置ク。

*ウクライナ、**バギリ一丘、***オキスホーフド=okishoofd (233lit) 大樽=約2石、****一斛三斗=一石三斗。

『萬宝叢書硝石篇 卷中』「ユカライ子」国硝石製法記、十〜十一丁、（262〜263頁）^{（史料2）}

其製ハ適宜ノ場ヲ撰ビテ有用ノ諸器ヲ備フ。其器ハ、大ナル銅釜一個但シ三百封度ノ水ヲ納ルベキ者、桶百個、但シ各一「カルレフラクト」* 此量未詳、ノ土ヲ容ル可クシテ、底ノ傍ニ一孔ヲ穿ツ者、酒桶（オキスホーフド）二個、此桶ハ水三百八十四彬篤（ピント）ヲ納ル但シ一彬篤ハ二十穩設（オンセ）ナリ。穩設既ニ出ヅ。木造ノ槽（バック）潤キ者三

十二個、是レハ結晶ノ用トス。又汲桶二三個ヲ注グニ供ス。其鐘ハ土中ニ坑ヲ穿チテ之ヲ埋メ、其周縁ヲ地面ト均シカラシメ、沸湯ノ湧溢ヲ防グガ為ニ、小枝ヲ以テ圍抱ス。其下ニ竈ヲ造リ、鐘ノ傍ニハ、所レ謂酒桶二個ヲ置ク。

*カルレフラクト=karrevracht, 荷車一車分の荷物をさす。

「現代語訳」は後にまとめて記載する。

○粘膩有テ塩黴発スル土ヲ扱シテ掘取り、此土ニ草木腐化セル土ヲ和シ、木灰（地ニ苦樞木*多シ、之ヲ焼灰シ用フ）五分一ヲ拌セ、人尿或朴消剩瀘ヲ澆キ、之ヲ桶ニ納レ水或湯ヲ澆キ木棍ニテ攪シ、尚時々ノ混動シ、浹辰ノ後桶側ノ注孔ヲ放テ水筧ニテ、其瀘ヲ二大桶ニ引キ湛へ、其滓土ハ積集テ、別ノ桶ニテ再淋ス。

『萬宝叢書硝石篇 卷中』「ユカライ子」国硝石製法記、十一丁、(263～264頁) (史料2)

先ズ其掘出シタル土ヲ鐘ノ傍ニ積ム。此土ハ膩滑ニシテ塩質ヲ帶ブヲ以テ、硝石ヲ多ク含ム事既ニ知ルベキ者ニシテ、是ト又他ノ草木質ノ腐化シタル瘠土トヲ調和シ搗キ固ム。又木灰五分ノ一許ヲ以テ之ニ加フ。其灰ハ黍皮（トネリコ）*ヲ焼キ用フ。此木尋常多ク産スルガ故ナリ。尿或ハ硝石ヲ製セシ剩液アル時ハ亦是ニ注ス。但シ生石灰ヲ加ヘズ。此合物ヲ速ニ桶ニ入レ冷水、或ハ湯ヲ注ギヨク杖ヲ以テ攪回ス。此後一食頃静定ス。但シ此際、亦時々攪動ス。而後桶底ノ側ナル孔ヨリ、此瀘汁ヲ注泻シ木樋ニ流シテ二個ノ大桶中ニ移シ入ル。終ニ其桶内ノ旧土ヲ出シ去テ復タ新土ヲ納ル。

注：*原文では「苦樞木（クヌギ）、之ヲ焼灰シ用フ」とあるが、『硝石篇』では「其灰ハ黍皮（トネリコ）ヲ焼キ用フ」と代わっている。ところが、トネリコは日本産の植物であり、黍皮（トネリコ）と記すのは正しくない。ブナ科の堅い木の灰を使用したと見られる。

○淋瀘ヲ釜ニ納レ、結晶後ノ稠瀘ヲ加ヘ煮事二十小時 或塩膜浮来ルヲ度トシ、結晶桶ニ移セバ、一昼夜ニシテ結晶ス。晶ヲ結ザル瀘ハ釜ニ還シ、新瀘ヲ補ヒ、又煎シテ晶ヲ収ム。此晶甚ダ不潔ナルニ見テ、再溶シテ結晶シ、発販ス。然トモ、仍精消ニアラズ。

朴消ノミ。日ニ結晶四十二斤許ヲ得ベシ。再煮ニ於イテ、三斤減耗スト云。

『萬宝叢書硝石篇 卷中』「ユクライ子」国硝石製法記、十二丁 (265～266頁) (史料2)

十二時許ヲ経テ液ノ上面ニ結晶ノ候ヲ現ハルニ至テ、此瀘汁ヲ所レ謂木槽ノ内ニ移シ暫時冷定シ結晶セシム。後其瀘汁ヲ再ビ鐘中ニ注ギ入レ又新瀘汁ヲ加ヘ、復タ之ヲ煮ル事前法ノ如クス。槽内ニ結成スル硝石ハ甚淨潔ナラズ故ニ再ビ小鐘ニ入レ煮テ純粹ノ晶ヲ結バシメ以テ之ヲ世ノ販グベキニ至ル。通常一日ノ業、能ク生硝石二十封度ヲ得ベシ。是ヲ精製スレバ三封度ヲ減ス。

注：『消石説』では「日ニ結晶四十二斤許ヲ得ベシ。」が『硝石篇』では「通常一日ノ業、能ク生硝石二十封度ヲ得ベシ」に置き換わっている。

凡、煎消ニハ結晶後ニ残タル石灰土、海塩等ヲ雑ル。稠瀘ヲ要用ノ者トス故ニ、今歳残ル所ノ剩瀘ハ、明年ノ夏マデ貯用スベシ。若シ旧瀘ノ貯無キ時ハ新瀘ヲ八日煮テ故テニ稠瀘トシ用ベシ。按ニ淑氏韻府ニ、朴消淋煎ニハ石灰土木灰ヲ十分ニ用ザレバ消晶小ニシテ脆シ、堅木ノ灰ヲ用レバ、東産ノ如ク晶形大ニシテ、堅実ナリト云。所謂 結晶後ノ残瀘ハ石灰土ノ汚雑アリ、却テ煎消ニ益ズト見ヘタリ。

『萬宝叢書硝石篇 卷中』「ユクライ子」国硝石製法記、十一～十二丁 (264～265頁) (史料2) (『消石説』と同じ内容が記載されているので省略する)。

「現代語訳」

宇加頼湟（ウクライナ）では、莫義哩丘（バギリの丘）の硝石土を採取して淋煎する方法があり、先ず良い場所を撰び、其場所に淋煎什具を運ぶ。什具は方言では「買咀（マイダン）」と呼び、大銅釜に水三百餘斤（150リットル）を煮ることが出来る者1個、底側に注管（呑口）のある桶を100個に、各硝石土を一車分（カル）を入れる。大桶（オキスホーフド、或云一斛三斗有奇を容る、或云九斗五升四合を容る）2個、平な結晶桶32個および水運搬用桶数個である。釜の側に大桶を置く。

○粘りが有り塩礮のある土を扱んで掘取り、此土に草木の腐敗した土を混ぜ、木灰（特にウクライナでは苦櫨木（クヌギ）が多いので、これの焼灰を用いる）五分一を混ぜ、人尿或朴硝剩瀝水を撒きいれ、木棍でかき回して、尚時々混ぜ、一昼夜後、桶側の注孔（呑口）を開けて放ち、水筧に流し採り、其瀝水を2個の大桶に入れて充たす。其残りの滓土は貯えて、別の桶で再淋する。

○淋瀝水を釜に入れて、結晶後の稠瀝水を加へて煮る事24時間後に、或は塩膜が浮出る時を限度として、濃縮液を結晶桶に移す。一昼夜すると結晶が出来る。結晶を結ばない瀝水は釜に還して、新瀝水を補って、又煎して結晶を結ばせる。此結晶は甚だ不純であり、再び溶解して再結晶する。これを販売する。これは精製した硝石ではなく、朴硝である。日に結晶42斤許を得ることが出来る。再煮をすると、3斤ほど量が減る。

凡、煎硝すると結晶には、残る石灰土、海塩等が雑る。稠瀝水を使用するからである。今歳の残る剩瀝水は、明年の夏まで貯へておくべし。若し旧瀝水の貯が無い時は、新瀝水を八日間煮て、これを稠瀝水とて用いること。

（按に 淑氏韻府に、朴硝の淋煎には石灰土・木灰を十分に用いなければ硝石の結晶は小さくなり、脆くなる。堅木の灰を用いれば、アジア産の様に結晶の形は大きくなり、堅実となると云われている。所謂、結晶後の残瀝水には石灰土の汚雑があり、却て煎硝では利益はないと見られる）。

注：『消石説』では単位・斤が使用され、『硝石篇』では封度（ポンド）が使用されている。1斤=1封度=500グラムである。

5) 再煎朴消為精消

舎密諸書云 消石土ノ淋瀝ニハ、消酸加爾基、消酸苦土、塩酸加里、塩酸曹達等諸雜物并ニ色分アリ。木灰ヲ加エテ朴消ヲ結シメ、朴消ト為ニ至テハ、加爾基、苦土ノ塩類脱スト雖モ、塩酸加里、曹達、色分ハ脱セズ。故ニ朴消ハ再三溶シ結晶セシメ精消ト為スベシ。東産ノ朴消ヲ再煮シテ精消ト為ス術ヲ「ラフィネーレン」ト称ス。其法、概子ハ朴消ニ多水ヲ

加へ、大釜ニ煮溶シ、清晶ニ頼テ澄明ノ瀝トシ、精晶ヲ結シム。所謂清晶ノ劑 把列斯ニテハ蛋清・魚鱈、或ハ醋、或ハ明礬ヲ用フ。家々同カラズ。或地ニテハ燒酒、某ニ酒類ヲ用ヒ、或地ニテハ其劑ヲ國秘トシテ他ヘ伝エズ。

「現代語訳」

朴硝を再び煎じ精硝とする。舎密諸書に云われていることによれば、硝石土の淋瀝には、硝酸加爾基（硝酸カルキ、硝酸カルシウム）、硝酸苦土、硝酸マグネシウム、塩酸加里、塩酸曹達、塩化ナトリウム等の諸雜物并に着色物が含まれている。木灰を加えて処理後に朴硝を結晶させて、精製朴硝とするには、加爾基（炭酸塩類）、苦土の塩類（マグネシウム塩類）を除くというが、塩酸加里、曹達（ナトリウム塩）、着色物は除くことは出来無い。故に朴硝は再び溶かして、結晶化を行って精製硝石とすべきである。東洋産の朴硝を再び煮て精硝とする技術を「ラフィネーレン」(rafineren, 精製)と云う。其法は、概ねは朴硝に多くの水を加へ大釜で煮て溶かして清硝剤を加えて澄明な瀝水とし、精製硝石の結晶を作る。所謂、清硝剤は把列斯（パリ）では、卵白、魚鱈（魚ニカワ）、或は醋（酢）、或は明礬を使用している。これは家々で同じでない。或地にては燒酒（焼酎）、また某にては酒類を使用し、或地にては其の劑を秘密として他人へは教えなかった。

広義ニ仏蘭西ニテ近年マデ用ヒシ法ハ、朴晶二千斤ヲ外面土*ニテ壘タル銅釜ニ納レ、河水一千六百斤ニ溶化シ、膠十二斤ヲ沸湯十彬篤（按ニ仏蘭西ハ三十二斤ヲ一彬篤トス。我六合三勺六才ニ当ト云、然レバ十彬篤ハ我六升三合六）ニ溶シ加ヘ攪和シ、煮テ甚シク泡沫ヲ発スルニ至リ、匙杓ヲ以テ浮沫並ニ沸瀝面ニ結フ海塩晶ヲ抄ヒ去リ、且煮テ瀝十分ニ稠厚ト為ルヲ候ヒ、結晶桶ニ移シ密ニ蓋ヒ外氣ヲ絶テ晶ヲ結シム。頗ル好イ消石ト為ル、之ヲ再ビ左法ニテ精製ス。

『萬宝叢書硝石篇 卷中』同精製法、四丁（249～250頁）（史料2）

生硝石二千封度（一封度ハ我九十八錢四分八厘四毛強）ヲ銅鐘ノ内面密*ニ塗墁セシ者ノ中ニ入レ、河水千六百封度ヲ加ヘ硝石ヲ溶解セシム。又膠一封度ヲ沸湯十彬篤（ピント、ポイント）（按ズルニ、二十六封度及ビー封度三分之ニニ当ル、一彬篤ハ二十穩設（オンセ）ナリ。一穩設ハ一封度ノ十二分の一ニシテ、我八錢二分零七毛強）ニ溶解セシ液ヲ此中ニ合セ加フ。此諸品ヨク混和スルニ至テ、此液ヲ善ク攪擾シ煮沸シテ、泡沫ノ多ク浮出スルニ至ル可シ。此泡沫ヲ大ナル抄泡杓ヲ以テ抄ヒ去リ、又此杓ヲ以テ煮沸スル液ノ上面ニ凝固スル食塩ヲ抄ヒ去ルベシ。斯ノ如ク務メテヨク十分ニ抄ヒ去リテ、此液ヲ漸次ニ濃厚トナシテ後、結晶器ニ移スベシ。此器ハ蓋ヲ密閉シテ外氣ノ通入ヲ防クベシ。此法ヲ以テ甚純潔ノ硝石ヲ得。是ヲ次法ニ據テ、再製シ尚純精ノ品トナス。

注：*『消石説』では「外面」と記されているが、『硝石篇』では「内面」と記されている。文章の前後の関係から「外面に土を塗った銅釜」が正しいと考えられる。

「現代語訳」

広義には、仏蘭西で近年まで用いられた方法は朴晶2,000斤を外面に土を塗った銅釜に入れて、河水1,600斤に溶かし、ニカワ12オンスを沸湯10ポイント*に溶し攪拌して煮立てた。甚だしく泡沫を發する様になれば、匙で浮沫並に沸騰する滲水面に出来る食塩の結晶を抄くい去った。さらに煮て滲水を十分に稠厚とする。これを結晶桶に移して密に覆い、外気を絶って結晶を作らせると頗る好い硝石と為る。之を再び次ぎの方法で精製すると純精な硝石が得られる。

注：*pint=568ml, 按に、32オンスを1彬篤（ポイント）とする。これは6合3勺6才に当たると云う。10ポイントは6升3合6勺となる。

『消石説』に記載のニカワの使用量（12オンス/10ポイント）とあり、『硝石篇』のニカワの使用量（5オンス/10ポイント）とあり、互いに違っている。

○其法此消石二千斤ヲ清水五百斤（按 消四分一）ニ銅釜ニ溶シ、好膠半斤、水十六斤ニ溶シタルヲ加ヘ、更ニ清水二罈（按、一罈ハ四十八ミンゲル、二

罈ハ九十六ミンゲル、即 我五斗八合八勺ニ当タルト云、猶可考）ヲ和シ、前ノ如ク煮テ浮沫ヲ去リ、結晶度ニ至テ、銅鉢ニ移シ置ケバ、五日ノ後、砂塊ヲ結フ。剩滲ハ再煮テ、晶ヲ扱ム。砂塊ヲ三四十日風乾シ、其内部砂糖ノ如キ處ヲ留テ火薬ニ製シ、外部ニ結タル六稜柱ノ大晶ハ別ニ分テ薬局ニ与ベシ。（此義後ニ註ス）。

注：罈（コ、あか汲み）=汲桶=エムメル=約96リットルの容器。

『萬宝叢書硝石篇 卷中』同精製法、四～五丁（250～252頁）^{（史料2）}（『消石説』と同じ内容の文章であり省略する）。

注：中煮硝石を煮て上硝石を精製する方法の説明である。

『合薬舎密』ノ法ハ清水二十斤ヲ煮沸シ朴晶十六斤、加里六⁵ヲ投シ溶シ、木格ニ麻布ヲ幘リ、無膠紙ヲ襯キタルニ注ギ、磁鉢内ニ濾過ス。此滲冷定レバ、美ナル柱晶ヲ結ブ。之ヲ取テ快手ク少シノ水ニテ淋洗シ、紙ニ上セ乾ス。晶ヲ結ザル滲ハ再煮テ晶ヲ結シムベシ。但初得ノ晶ノ清潔ニ加エズ、塩酸加里ヲ含ム故ニ薬用トセズ、肉類ヲ醃蔵スルニ用フ。

「現代語訳」

其法では、此硝石2,000斤を清水500斤（按 消石の四分一量）に銅釜を用いて溶す。ニカワ半斤を水16斤に溶したものをこれに加へ、更に清水2罈（按、1罈は48ミンゲル*、2罈は96ミンゲル、即 5斗8合8勺に当たる、猶、考へるべし）を加え、前の様に煮て浮沫を取り除き、結晶度になれば、銅鉢に移して静置すれば、5日後には砂の様な小さい塊が出来る。残りの滲水は再び煮て、結晶を取る。砂塊を3～40日間風乾して、其の内部の砂糖の様な部分を貯めて火薬の製造に使用する。他に結晶した六稜柱形の大きな結晶は別に分けて薬局に与へる。（此義後に記す）。

注：*11ミンゲル=1.22リットル。

『合薬舎密』の方法では、清水20斤を煮沸して、これに朴晶16斤と、加里6オンス加えて溶かす。木枠に麻布を張り、これに無膠紙（濾紙）を広げ、これに朴晶の溶液を注ぎ、磁製鉢の内に濾過する。此滲液を冷やすと、美しい柱状晶が出来る。之を手につ

て、少しの水で淋洗する。その結晶を紙に上せて乾す。結晶の出来のよくない滷液は再び煮て結晶を作る。但し初めに得られる結晶は純粋なものではなく、結晶の製品には加えない。これには塩酸加里が含まれているから薬用とせず、肉類を醃蔵*するために用いる。

注：『合衆舎密』= Trommsdorffの化学書 (史料7)

*肉類を醃蔵=肉の防腐のために、食塩に硝石を混ぜて、これを肉に塗りつけて、塩漬けとして保存した。

○朴硝精鍊ノトキ木灰ヲ和ス、之ニ因テ灰中ノ加里ハ硝酸塩中ノ硝酸ニ親和シ、向ニ硝酸ニ和シタル加爾基苦土分レテ沈降ス。木灰ニハ加里アリ、加爾基アリ。其加里ハ能ク土質塩ノ土分ヲ分ツト雖モ、其加爾基ハ大ニ消石ノ質ニ害アリ。故ニ此法木灰ヲ用ヒズ、加里ヲ用フ。

「現代語訳」

○朴硝精鍊の時に木灰を使用する。之に因って灰中の加里は硝酸塩中の硝酸に化合して、先に硝酸に化合していた加爾基(カルシウムイオン)は苦土*からの炭酸と化合して、炭酸カルシウムとなって沈降する。木灰には加里あり、加爾基(カルシウム)あり、其の加里は能く土質塩(カルシウムを指す)の土分(カルシウム)を分けるが、其加爾基(カルシウム塩)の混入は大に消石の品質を低下する。故に此法では木灰を用ひずに、加里(炭酸加里)を用いている。

注：*苦土=酸化マグネシウム、苦灰石=炭酸マグネシウム、土壤中のマグネシウム塩を総称して苦土と呼んでいた。

広義云 往日ハ朴硝ヲ精製スルニ数月ノ工夫ヲ費セシガ、舎密ノ学關ケテヨリ、其簡法世ニ明ナリ。其法、朴硝ヲ杵碎シ、四百斤乃至六百斤ヲ容ベキ桶ニ内レ、消每百斤ニ水二十斤ヲ注ギ、仔細ニ攪和シ、六七小時静定ス。此ニ因テ所含ノ土質塩、海塩ハ消石ヨリ水ニ溶易キガ故ニ、先ツ此水ニ溶ケ、此水福窟多黙篤尔ニ測テ、其重二十五度或三十度ヲ得、於是桶下ノ注管ヲ放テ、滷水ヲ瀝シ去リ、又其上ニ水十斤ヲ注キ攪セ置コト一小時ニシテ瀝シ去リ、又水五斤ヲ注テ攪セ、這般ハ即チ淋瀝シ去ル。此淋洗ノ法ニ因テ外着ノ雜塩悉ク去テ、僅ニ少々ノ海塩残り

雜ルノミ。此法、淨消石ヲ銅釜ニ納レ、消每百斤ニ清水五十斤ヲ加煮、福窟多黙篤尔ニ測テ六十六度至六十八度稠厚トシ、長十尺、凋八尺、深一尺五寸ナル銅鉛或錫ノ結晶槽ニ注ギ、半小時ノ後消石稍々結意アルヲ候ヒ、木棍ヲ杷リ手ヲ駐メズ攪ゼ、務テ細晶ヲ結シメ、其晶ヲ抄沫匙(按ニ千眼匙)ニテ抄ヒ籬上ニ置ク。籬ハ斜ニ結晶槽ノ縁ニ掛テ、淋滷自ラ槽中ニ瀝リ還ルベクス。其滷晶ヲ結ザルニ至テ籬中ノ細晶ヲ釜ニ納レ、華氏百三十度ノ熱ヲ以テ攪ゼツツ乾ス。之ヲ粉晶消石ト名ケ、剩滷ハ再煮テ、次品ノ精消ヲ取り己ニ不潔ノ滷ト為ルニ至リテ貯テ消山ニ澆ク料トス。此消石常用ニ於テハ十分精好ナリ、但シ舎密加試術ニ極テ精消石ヲ要スル者ハ、之ヲ再ヒ湯ニ溶シ溶液ヲ漸次ニ冷シ、端正有法ノ稜晶ヲ結シム。此ニ因テ、僅ニ所殘ノ海塩結ンテ液面ニ膜シ、或滷中ニ残りテ、淨々無垢ノ消石ト為ル。

○又法 粉晶消石ヲ底ニ細孔アル器ニ入レ、其上ヨリ晶百分ノ四分量ノ水ヲ注テ洗スベシ。

『萬宝叢書硝石篇 卷中』同精製法、六～八丁(255～259頁) (史料2) (『消石説』と同じ内容の文章であるので省略する。)

「現代語訳」

広義に云う。往日は朴硝を精製するには数日の工夫を費やしたが、舎密学が進み、其簡単な方法が世に明となった。其法は、朴硝を杵で碎細して、この400斤乃至600斤を大桶に容れ、朴硝100斤毎に水20斤を注いで、丁寧に攪和する。6～7時間静定する。此に因って含まれている上質塩、海塩は硝石より水に溶け易いために、先に此れが水に溶ける。此の水溶液を福窟多黙篤尔(ホルトメートル)(比重計)で測定して、其重25度或30度となる。是の溶液を桶下の注管(呑口)を用いて取りだし、滷水を取り去る。次いで又、其上に水10斤を注ぎ、よく攪拌して置くこと1時間として、再び滷水を取り去る。又水5斤を注いで攪拌して、この操作で即ち淋瀝して除く。此淋洗の方法に因って、外着の雜塩を悉く除き、僅に少々ノ海塩が残り雜るのみとなる。次いで、淨硝石を銅釜に入れて、硝石100斤毎に清水50斤を加へて煮る。比重計(福窟多黙篤尔)で測定して、66度至68度の稠厚なものとし、長

10尺、深1尺5寸の銅・鉛或錫製の結晶槽に注ぎ入れる。30分後には硝石は少々結晶しだす。棍棒を手に取り、手を休めずに攪拌して、務めて細かい結晶を作る。其晶は小匙で抄くい、箕の上に置く。箕は斜に結晶槽の縁に掛けて、淋漓水を自ら槽中に滴り還す様にする。其滷水が結晶を結なくなれば、箕の中の細晶を釜に入れて、華氏130度（摂氏約54度）で加熱しながら攪拌して乾燥する。之を「粉晶硝石」と名付ける。余った滷水は再び煮て、次品の精製硝石を取り、不純な滷水と為るに至って、貯めて硝山に撒くものとする。此硝石は常用には十分な精製度であるが、舎密加試術（化学分析用）に極めて精製した硝石が要いる場合は、之を再び湯に溶かして、その濃厚溶液を漸次に冷して、端正有法の稜型の結晶を作る。此に因って、僅に残る食塩は結晶して液面に集まり膜となる。或は滷水中に残って、淨々の無垢の硝石となる。

○又法 粉晶硝石を底に細孔のある器に入れて、其上に硝石結晶の百分の四分量の水を注いで一洗するとよい。

6) 品 類

淑氏韻府云 仏蘭西ニ朴消三種アリ、一種ハ「サルペートル デ ホウッサーゲ」ト名ク。此ハ土窖・馬厩・石間牆側ニ自発スルヲ毛氈（タペイテン）ノ剩毛ヲ打如ク箒ニテ掃集タル者ナリ。（按ニ 僕氏韻府ニ之ヲ「アフゲフェーグテ サルペートル」ト名ク）色微赭ヲ帯フ、此古所謂 奈多律母 和蘭名加爾基塩者ニシテ、再煎スレバ精消ト為ル。（按 物理小識 凡五更掃地皆可取消、而偃牆邊為易取耳。

○天工開物 長淮以北節過中秋 即居室之中隔日掃可取少許以供煎煉）一種ハ消石土ニ木灰五分一ヲ和シ淋煎セル者普通ノ種消ナリ、一種ハ東印度朴消ニシテ印度地ノ曠野ニ自生スル者ナリ色赤ヲ帯フ。

『萬宝叢書硝石篇 卷上』硝石產地，十二丁（202頁）（史料2）

仏蘭西ニハ三種ノ生硝石アリ。第一種ハ「ハウスサゲ」硝石ト称ス、此名ヲ命スル所以ハ氈、幕等ヲ掃フ所ノ「ハウスソイル」ト名ヅク箒ヲ用テ窖内ノ壁、厩、洞穴、石坑等ニ自生スル硝石ヲ掃ヒ取ルヲ

以テナリ。此硝石ノ色、白ヨリハ却テ褐ニ近シ、精製シテ好品ヲナス、但シ此レハ多ク産セズ。第二種ハ洞窟、窖内ノ土、又廢宅ノ碎石等硝石ヲ含ム者ヲ采テ製造ス。（以下略） 第三種ハ最良ノ品、即チ東印度ヨリ来ル者トス。

「現代語訳」

淑氏韻府によれば、フランスには3種の朴硝があった。第一種は「サルペートル デ ホウッサーゲ」*と名付くもので、此は土窖・馬厩・石間牆側に自然にできるもので、毛氈（タペイテン）の剩毛を打つように箒で掃き集める物である。これは壁硝石である。（按に、僕氏韻府には、之を「アフゲフェーグテ サルペートル」**と云われ、色が微赤を帯びたものである。此は古くは所謂、奈多律母 和蘭名加爾基塩 のものであり、再煎すれば精製硝石となる）。（按 物理小識 凡五更掃地皆可取消、而偃牆邊為易取耳。）

注：*サルペートルデホウッサーゲ salpeter de houtzaagmolen、製材所の硝石、**アフゲフェーグテサルペートル 不詳。

○天工開物に、長淮以北節過中秋 即居室之中隔日掃可取少許以供煎煉とある。次ぎの一種は硝石土に木灰五分一を混ぜ淋煎したもので普通の硝石である。さらに一種は、東印度朴硝であり印度の曠野の地に自然に生ずるもので、赤色を帯びている。

7) 晶 形

賢哩曰 八稜柱晶ヲ為ス 尋常六稜ニシテ、兩端ニ弁尖体ヲ為ス者多シ。○広義云 華鳥意氏結晶體ニ原始（フールスプロインケシイキ）偶然（ツーフアルリゲ）ノ二象有コトヲ唱へ、消石原始ノ晶形ハ直角八稜（レクトフーキ ヘアクトカナント）ニシテ、尖頭（ナールドツイル）ノ二面 一ハ百二十度ノ角ヲ為シ、一ハ百八十度ノ角ヲ為スト云ヒ、消石晶四種ヲ挙テ曰。

『萬宝叢書硝石篇 卷上』硝石晶形，三丁（183頁）（史料2）

○「ハウイ」人名 ハ許多ノ工夫ヲ費ヤシ結晶品ノ

本体ト変体トヲ鑒定セリ。其説ヲ考フルニ硝石ノ本体ヲ八面柱トシテ晶形ヲ分チテ四種トス。

第一原始消石 甚ダ稀ナリ、按 淑氏韻府 一種立方消石（テールリングセ サルペートル）又（キュービーケ サルペートル）アリ、其晶太々海塩晶ニ似タリ。蓋シ海塩有テ初メニ原始「フールスプロング」ヲ為シ、而後消石其形ニ準シテ、晶ヲ為ス者ナリ。東産ノ朴消海塩多シテ、此晶ヲ為者アリ。再煮スレバ、此晶ヲ為コト無シト云。原始ノ語ニ據テ按スレバ即是ナリ。

第二ゲバセールデ消石 此内原始晶形アリ、然レドモ兩頭直角ニ断ゼリ。アフゲスネーデン 此種晶ヲ世ニ「ターフル ゲウェーセ」ト云ヘリ。

第三 石英状消石 端正六稜ニシテ尖頭亦六稜ニシテ石英ノ如シ。

第四 節様消石 端正六稜ウェールスカンテン十八稜ニ終ル。

『萬宝叢書硝石篇 卷上』硝石晶形，三丁（183頁）（史料2）

第一種ハ即チ本体ノ者ニシテ、此品ヲ生ズル事甚ダ稀ナリ。第二種ハ本体硝品ノ状ニシテ、兩端直角ニ横断ス。第三種ハ石英様硝石ニシテ、形状六面柱其尖六稜ヲナシ石英ノ如シ。第四種ハ整齋ノ六稜、其兩端十八稜ヲナス。

蘇氏舎密云 消石ハ滷多量ナラザル時ハ、縦理アル長キ無法ノ稜柱ヲ為シ、滷十分多量ニシテ、漸々ニ冷セバ有方六稜ノ大晶ヲ結ブ。○淑氏韻府ニ消石晶有法六稜ニシテ、石英ノ如シ、稀ニ其兩端六尖弁ヲ為シ、二面ハ濶ク、二面ハ狭キ者アリ。但多クハ兩端断折（アフゲブローケン）シテ、截□形ヲ為ス。又云福烏多応ノ珍藏ニ^{アムステルダム}亜謨斯的^{ハルガ}の^ル達謨ノ薬局發ル瓦^ソ孫ガ家ニテ結ヒタル消晶数品アリ、一種ハ扁キ六稜柱ニシテ、四面ハ殆ト平坦ニシテ狭ク二面ハ濶倍ニ過ク、第四十五版第三図ノ如シ、一種ハ其頭尖体ヲ為シテ（ベパールド）小キ斜四稜ト大ナル六稜ト共ニ無法ノ面ヲ併テ斧如シ、第四図是ナリ。又柱身（スチーフアン）六稜柱ニシテ石英ノ如ク、端ニ二個ノ斜方（シケーフェヒールフーク）有テ、尖体ヲ為ス者アリ。長或半尺余或尺許厚一二寸、手ニ握レバ、手温ニ因テ自ラ横ニ折裂ス、蓋シ消石ノ一

殊性ナリ。

蘇氏舎密云 消石晶ハ細粗ニ拘ラズ、長サニ沿テ内ニ多々ノ眼理貫通シ、眼内ニ母滷ヲ含ム 故ニ凡ソ消石ノ不精ナルハ此ガ為ス所ナリ。本質ノ不精ナルニ非ス。

『萬宝叢書硝石篇 卷上』硝石晶形，三丁（184頁）（史料2）

○硝石晶、或ハ小或ハ大、共ニ許多ノ孔アリテ縦ニ晶中ヲ貫ク。尋常此孔中ニ母滷汁ヲ含ム。此汁アルヲ以テ硝石ヲシテ純粹ナラザラシム。

○ 図符下同ハ尋常ノ品六面柱形、稍扁ニシテ二濶面相對シ其余ノ四面ハ甚ダ狭ク其端、一ハ二面相合シテ尖体ヲナシ又一端ハ損傷スル者。

○広義云 消石瑩然タル大晶ヲ為シ因テ美觀トスル者ハ結晶水多シ、（按ニ 蘇氏ハ消石結晶水無シト云ヘリ、此ニ結晶水ト云者ハ蓋シ蘇氏ノ所謂眼理中ノ母滷ナルベシ）故ニ搗碎シテ極末ト為ラズ、細末スル者モ湿気アリ。是以テ火薬ニ入ルニハ、細晶ヲ為シ、色暗白不透明ノ者佳トス。如此者ハ細末スレバ雪白ノ極末ト為テ湿気無シ、夫ノ朴消再煮ノ後沙糖一般ノ沙晶ヲ留テ火薬ニ用ヒ、外部ノ稜晶ハ別テ薬局ニ与フト云者ハ、火薬局ニテハ美觀ノ大晶ヲ貴ハザル故ナリ。

『萬宝叢書硝石篇 卷上』硝石晶形，七丁（191頁）（史料2）

○鮮美ノ大晶ハ諸家製造ノ用ニ最良トセズ。其水ヲ多ク含ムヲ以テ研磨スト雖ドモ、極微ノ細粉トナリ難クシテ、常ニ滋潤ヲ帶ブ、故ニ硝石ヲ諸製造ノ用ニ供シ、殊ニ火薬ニ配合スルニハ晶体小ニシテ、殆ト透瑩ナラザル者ヲ撰用スベシ。此品能ク白色ノ細粉トナレバナリ。

「現代語訳」

晶 形

賢哩氏（ヘンリー）が云うには、硝石は八稜型結晶を成すものがある。尋常は六稜型であり、兩端に二弁尖体を持つものが多い。○広義に云われているものは、華烏意氏（カウイー）の結晶型では原始（フールスプロインケシイキ）、偶

然（ツーフアルリゲ）の二つの現象が有る。これを唱へて、硝石原始の晶形は直角八稜型（レクトフーキ ヘ アクトカナン）であり、尖頭（ナールドツイル）の二面があり、一は120度の角を為し、もう一つは180度の角を為すと云われている。

硝石結晶の四種を次ぎに記す。

賢哩＝ヘンリー W. Henry

第一原始硝石は甚だ稀なものである。按に淑氏韻府には一種立方硝石（テールリングセ サルペートル）又は（キュービーケ サルペートル、kubiek salpeter）とあり、其の結晶は非常に食塩の結晶に似ている。まず食塩があり、これに初めに原始「オールスプロング」が出来、その後に硝石が其形にしたがって結晶を成長したものである。東洋産の朴硝は食塩を多く含み、此結晶を作るものがある。再結晶すれば此の結晶となることはない。原始の語によって考えれば即ち是である。

第二ゲバセールデ硝石 此の内の原始晶形であり、しかし両端は直角に切れている。アフゲスネーデン（人名？）は此種晶を「ターフル ゲウェーセ」と言っている。

第三 石英状硝石 端正六稜型結晶であり、両端は尖頭六稜であり石英の結晶の様である。

第四 節様硝石 端正六稜、ウェールスカンテン、十八稜である。

蘇氏舎密云。硝石は滷水が多量でない時は、縦理のある長い不定な稜柱晶をつくる。滷水が十分多量にあるときは、ゆっくり冷せば有方六稜型の大きい結晶を作る。

○淑氏韻府には次の如く記載されている。硝石の結晶は一定の六稜晶であり、石英に似ている。稀に其両端が六尖弁をしているもの、二面が開けているもの、二面の狭いものなどがある。但し多くは、両端は折れて（アフゲブローケン）、截断した形をしている。又、福烏多応の珍藏には、亜謨斯的尔達謨（アムステルダム）の薬局・発尔瓦尔孫（ハルガルソン）の家にて製作した消石の結晶が数品ある。一種は扁い六稜柱晶である、四面は殆ど平坦であり、狭い二面は潤倍にある。第45版第3図に示す。一種は其の頭端は尖体であり（ベバールド）、小さい斜四稜と大

さい六稜とが共に不規則に面にあり、斧の様な形である。第4図にこれを示す。又柱状（スチーハファン）六稜柱型であり、石英の様に、端に2個の斜方（シケーフェヒールフーク）があり、尖体を有するものがある。長さは半尺余（約15cm）、或は尺許（約30cm）で、厚さ1～2寸（3～6cm）で、手に握れば、手の熱で自ら横に折れるものがある。しかしこれは硝石の一つの特徴的な性質である。

蘇氏舎密云。硝石の結晶は細さ粗さに拘わらず、長軸に沿って内部に多くの眼理が貫通している。この眼理の内部には母滷水が含まれている。故に凡そ硝石の不純であるのは、この眼理によっている。本質的に不純なものではない。

○広義云。硝石は瑩然な大きい結晶をしており、因って美観であるものは結晶水が多く含まれている。（按に 蘇氏は、硝石には結晶水は無いと云ったが、結晶水と云うものは蘇氏の云うところの眼理の中の母滷水である）。故に搗き砕して極末とならない。細末にしても湿気がある。是を火薬に入れるには、細い結晶を作り、色は暗白で不透明なものとするよりよい。この様なものは細末とすれば雪白色の極細末となり湿気はない。この朴硝を再煮して後に砂糖の様な小さい結晶の硝石として、これを火薬の製造に用いる。それ以外の稜型の結晶硝石は別に薬局に与えると云う。火薬局では美観のある大きい結晶硝石は貴ばれない理由である。

（図1. 第四十五版、第三図及び第四図）硝石の結晶の図は省略する。

8) 撰 品

精消ハ六稜柱ニシテ或雪白或瑩明、味清涼ニシテ、苛ク口舌ヲ浸刺シ、火ニ投スルニ、一斉ニ燃へ、其烟天ニ朝テ昇リ、嗶叭ノ声無ク、火屑四散セズ、燃テ後土質残ラズ、試シニ細末百分ヲ漉紙上ニ置キ、清水二十分量ヲ其上ニ注テ、液ヲ瀝シ、再ビ水十分分量ヲ注キ、又水十分量ヲ注キ、再三液ヲ瀝シ、其消末ノ湿り初ノ如ク之ヲ秤量シテ、其量百分七分半或八分ヨリ多ク減セザルヲ好品トス。

『萬宝叢書硝石篇 卷上』硝石晶形、二丁（182頁）（史料2）

硝石ハ味苛烈ニシテ舌ヲ刺戟シ、清涼ヲ覺エ且微苦ヲ帶ブ、形状六面柱ニシテ兩端ハ六辨晶体、或ハ二辨晶体ヲナス。

○蘇氏舍密云 精消ハ氣ニ中テ潮ラズ、火ニ烱易ク、烱ケタル者冷レバ、即凝結ス。凝結スル者ヲ碎ケバ、碎面光芒状ヲ為ス。若シ海塩二十分一或其余雜ルトキハ火ニ烱ケ冷テ凝タル者 破裂ノ處、光芒状ヲ為サズ。海塩僅ニ四十分一雜ルガ如キモ、其凝結中ニ白キ條理通シテ、必然ニ海塩有事ヲ識ルベシ、故ニ消石ハ火ニ烱シ、凝ヲシテ純雜ヲ試スベシ^(史料3)。

舍密書云 精消ハ其重 餾水ニ比シテ一〇〇〇〇ト一九三六九トノ如シ、水ニ溶シ塩酸重土液 或消酸銀液ヲ點滴シテ濁ラズ。(按ニ 硫酸塩無キ徴ナリ) 然レドモ藥用ニハ、斯ノ如ニ者ニ及ハズ。

『萬寶叢書硝石篇 卷上』硝石溶解、八丁(193頁)^(史料2)

而シテ火ニハ燦化シ易シ之ヲ火ニ烱シテ後、冷定シ凝固セル者ヲ破碎スレバ縦理紋ヲ現ハス。(硝石中ニ二十分一、若クハ尚少クトモ食塩ヲ含ムトキハ破碎ノ面ニ縦理紋ヲナス事シ。塩量僅ニ四十分一ト雖ドモ此凝固質ノ中心ニ白條ヲ現スニ因テ食塩ヲ雜フル事既ニ著明ナリ、故ニ燦化ヲ以テ硝石ノ精粗ヲ鑒定スルー便法トス。)

○和蘭局方ニ精消ノ溶液トシ、次炭酸亜爾加里(按、剥篤亜斯鹼蓬塩ヲ云ウ)ヲ加テ土分降ラズ、或降コト甚ダ少シ。

○或云 鉄氣アル土ニ種タル消石ハ赤ミアリ、所餾ノ消酸多ク赤烟ヲ發ス。波羅尼亞消石ハ黄氣アリト雖、其酸赤烟少シ、舍密家好テ之ヲ用フ。亦好火藥ヲ合スベシ要之、天生消ハ火藥ニ合シメ其力種消ニ及バス。

「現代語訳」

精製した硝石は六稜柱型結晶であり、或は雪白色、或は瑩明であり、味は清涼であり、苛らく舌を刺激する。硝石を火に投げ入れると一斉に燃える。其の烟は高く昇るが、はげしい爆発音(嘩ひの声)はなく、火層は四方に飛び散ることもない。燃えた後に、土質(灰)は残らない。

試しに百分の細末を漉し紙の上に置き、清水二十分量を其の上に注いだ後に、その滴る液を取り、再び水十分量を注ぎ、さらに水十分量を注ぎ、再三にその滴る液をとり、其の硝石末の湿りの様子を初めと同様にそれぞれを秤量して、其量が百分七分半、或八分より多く減少しない品を良いものとする(食塩を多く含まない証である)。

○蘇氏舍密云。精製硝石は大氣中において水を吸収して湿らない(潮解性はない)。火で能く溶け、溶けたものを冷せば、すぐに凝結する。凝結したものを砕くと、破碎した面は光芒状を示す。若し食塩が二十分一 或はそれ以上に雜るときは火にかざして溶けて、再び冷すと、凝固したものは破裂し、その面が光芒状を呈する。食塩が僅に四十分一混ざっていると、其の凝結のときに白い條理が出来ることにより、必然的に食塩の有ることを知ることができる。故に硝石を火で溶かして、再び凝結して純粹か雜物を含むかを試験するとよい^(史料3)。

舍密書云。精製硝石は其の重さを蒸餾水に比べて、10,000対19,369で、水に溶解する。その溶液に塩化バリウム水、或は硝酸銀液などを滴下しても濁らない(按に 硫酸塩が無いことを知る証しである)。それでも、藥用にはこの様なものでも適さない。

○和蘭局方には、精製硝石の溶液は、次炭酸亜爾加里(按、剥篤亜斯鹼蓬塩、硼酸カリウム)では沈殿は出来無いか、或は沈殿することは甚だ少ない(次炭酸亜爾加里は炭酸水素加里と推定される)。

○或云。鉄分のある土を材料にした硝石はその色に赤味がある。所餾の硝酸も多くは赤い烟を發生する。波羅尼亞製(不詳)の硝石は黄氣をしているが、其の硝酸よりは赤烟は少ない。舍密家は好んで之の硝酸を用いる。亦、これは良い火藥を作ることの要である。天生硝石で火藥を作っても其力は種硝石には及ばない。

9) 殊性 成分

広義云 中和ノ季候(按ニ華氏六十度ヲ云ウ)ニテハ自量七倍ノ水ニ溶ケ(按ニ 諸書概同シ、唯淑氏韻府 六倍トシ、一本 七八倍トス)沸湯ニハ同

量ヨリ多ク、殆ド半量ニ溶ク、故ニ消石ノ沸熱飽化液ハ冷レバ、甚ダ晶ヲ結易シ。(按ニ 滷中ノ水量消石ノ七・八分一ニ過ザルヲ飽化液ト云)。

『萬宝叢書硝石篇 卷上』硝石溶解，七丁（191～192頁）^{（史料2）}

（『消石説』と同じ内容であるので省略する）

○広義及備要云 消石ハ加里四十九分消酸三十三分、結晶水十八分ヲ以テ百分ヲ成ス。合葉舎密云 加里五一又ハ八、消酸四四、結晶水四又ニ成ル。(按ニ亦 結晶水ヲ言フ 恐クハ新設ニアラズ)。

『萬宝叢書硝石篇 卷上』硝石成分，二丁（181頁）^{（史料2）}

（『消石説』と同じ内容であるので省略する）

○蘇氏舎密云。消石ハ^{アルコール}亜爾箇兒ニ溶ケズ、結晶、水ヲ含マズ。火度焔化ノ度ヲ超レバ、酸素瓦斯ヲ発シテ、次亜消酸加里ト為リ、火度更ニ烈ケレバ、酸化窒素ト加里トニ分離ス。

『萬宝叢書硝石篇 卷上』硝石溶解，八丁（193～194頁）^{（史料2）}

硝石ハ亜而箇兒ニハ溶解スル事ナシ。(中略)火勢強キニ至レバ硝石中ノ酸素瓦斯飛散シテ次硝酸加里*ニ變ズ、尚火度ヲ増進シテ猛烈ナラシムレバ、硝石全ク分離シテ全酸化窒素ト加里ノ合物ヲ剩スノミ。

注：*オンドルサルペートルシューレポットアス *Onder salpeter zuur potas*

『消石説』では次亜消酸加里とあるが、『硝石篇』では次硝酸加里に代わっている。酸化窒素は一酸化窒素 (NO) である。硝石の熱分解により亜硝酸加里が生成される。

○羅微都曰。消石四十八錢ヲ坩堝ニ焔シ漸々木炭末ヲ加ヘ加テ、九錢ニ至レバ綠色ノ渣塊ト為ル、之ヲ半解消石ト謂ヒ、尚炭末ヲ加テ十八錢ニ至レバ、消石全ク分離ス、之ヲ全解消石ト謂フ。

「現代語訳」

広義云。常温（按に華氏60度を云う）では、自量の7倍の水には溶ける（按に、諸書概同じ、唯

淑氏韻府では6倍とある^{（史料3）}。ある一本では7～8倍と記載。）沸湯には同量より多く溶け、殆ど半量の湯に溶ける。故に硝石の熱い飽和溶液を冷せば、甚だ結晶化は容易である（按に 滷水中の水量が硝石の7～8分一に過ないものを飽和と云う）。

○広義及備要云。硝石は加里49分、硝酸43分、結晶水18分を以て百分と成っている。合葉舎密には、加里五一又は八、硝酸四四、結晶水四又二であると記されている^{（史料7）}。（按に亦、結晶水と言うが、これは恐く新説ではない。）

○蘇氏舎密云。硝石は亜爾箇兒（アルコール）には溶けない。結晶には水を含まない（結晶水はない）。火の温度が熔融温度を超へると、分解して酸素瓦斯を發して、次亜硝酸加里となり、火の温度を更に上げれば、酸化窒素と加里とに分解する^{（史料3）}。

○羅微都曰。硝石四十八錢をルツボ内で熔融して、漸々に木炭末を加えると、九錢になると綠色の渣塊となる、之を「半解硝石」と謂う。さらに炭末を加えて十八錢になれば、硝石は完全に分解する、之を「全解硝石」と謂う。

10) 価値

宇加頼湴ニテハ朴消三十九斤ニテ 其価戦争ノ時九^{ギルデン}牛尔甸至十牛尔甸 平時ニハ稍賤シ。

○傳信記事ニ精消ハ朴消ヨリ三倍貴シ、故ニ和蘭東産朴消ヲ莫卧尔ノ沙阿烏巴尔ニテ再煎セシメ祖国ノ舶ニ致スト云。

○按ニ和蘭一牛尔甸ヲ我四錢五分トスレバ、十牛尔甸ハ我四十五錢ナリ。彼斤ハ九十六錢ナリ、今宇加頼湴朴消ノ價四十五錢ヲ三十九ニ除レバ彼一斤ノ價一錢一分五厘三毛八四ナリ、此ヲ三率ニ比例スレバ我百六十錢斤ノ價ハ一錢九分二厘三令六々有奇 精消九十六錢斤ハ五錢七分六厘九毛一弗九八。

○曾テ菓舗大四老人ニ 本邦消石ノ原價ヲ聞ニ 金一兩（銀六十錢）ニ四貫二百錢（二十六斤二五）ヲ平價トシ、四貫八百錢（三十斤）ヲ至賤トス、文化中至貴ノ時價二貫五百錢（十五斤六二五）ヨリ二貫四百錢（十五斤）ニ至リシト云。然レバ平價ハ每斤、（百六十錢）、二錢 至貴ノ時價ハ三錢八分四厘ヨリ四錢ニ至ルナリ。

「現代語訳」

宇加頼涅（ウクライナ）にては、朴硝39斤にて其価は戦時には9ギルデン（牛尔甸）至10ギルデン（牛尔甸）で平時には稍や安い。○傳信紀事には精製硝石は朴硝よりも3倍高價と記されている。故に和蘭東産朴硝をインドの莫卧尔（モゴール）の沙阿烏巴尔（サアウバル）で再煎（再結晶化）を行い、祖国の舶に積載して送ると云う。○按に和蘭1ギルデン（牛尔甸）を我4錢5分とすれば、10ギルデンは我45錢である。彼1斤は96錢である。今、宇加頼涅朴硝の價45錢を39（斤）で除すれば、彼の朴硝1斤の價格は1錢1分5厘3毛84である。此を三率に比例すれば、我160錢/斤の價は1錢9分2厘3令66有奇であり、精製硝石96錢/斤は5錢7分6厘9毛1弗98である。○曾て 薬舗大四老人に本邦硝石の原價を聞くと、金1両（銀60錢）で硝石4貫200錢（26斤25）が平常の價であり、4貫800錢（30斤）を安価とする。文化年間に高價となり、硝石2貫500錢、（15斤625）より2貫400錢（15斤）となった。これは平價で毎斤当たり2錢9分2厘に、高値の時は3錢8分4厘より4錢に至った。

11) 効 用

消ノ物タル医薬ニ入テ繕生ノ効浩ク、特ニ壯熱ヲ解シ、焮痛ヲ鎮ム、百工ノ家ニ在テハ玻璃ヲ鎔シ諸金ヲ燦シ、獸魚ノ肉ヲ醃藏シ（按ニ臘干ヲ製スルニ塩ニ消石ヲ和シ肉ヲ醃ス）其精ハ銅板ヲ刻シ、銷金諸雜技ニ用ヒ、舍密ノ分術ニ要用タリ。雖然必竟火薬トシテ以テ銃礮ニ装シ、治国平天下ノ功ヨリ大ナルハ莫シ。

「現代語訳」

硝石は医薬として治療の効果が多くある。特に激しい熱を解熱し、酷い痛を鎮める。百工の家にてはガラスを熔して、色々な金属を熔かし、さらに獣や魚の肉を醃藏*にするに使用する（按に 臘干を製するために、まず塩に硝石を混ぜて肉を塩漬けとする）。其精製硝石は銅板を刻み、銷金・諸雜技にも用いられ、また化学の分離術（分析）には重要である。しかし、硝石を火薬として以て銃礮（銃砲）に装備して、治国平天下の功より大きいものはない。

注：*醃藏＝塩漬けにして保存する、臘干＝干した肉。

天保十四年癸卯臘月望日（1843年臘月望日）
緑舫老人榕弟三未定
卷終

Ⅲ. 考 察

歴史的・科学的視点から蘭書の情報を基にした硝石に関する著述は、文政5年（1822）に宇田川榛齋著『遠西医方名物考』がわが国で最初のものであり、「消石はあるかり塩と酸性気とが抱合してなる一種の中和塩なり」と記載していた。次いで宇田川榕菴が天保6年（1835）に『理学入門植学啓原』を出版して、植物の化学的成分の一つとして硝酸加里が含まれていることを記述していた。本書は西欧の新しい植物学をわが国に紹介した初めてのものであった。続いて、同じく榕菴が大著『舍密開宗』内篇18巻、外篇3巻を天保8年（1837）から弘化4年（1847）にかけて刊行をした。本書巻五、十八丁、第百十章「消酸加里」で、硝酸カリの化学的性質を中心にした記載がある、次いで第百十一章「消酸加里分離」（十九丁）では、「合薬舍密精製消酸加里法」が記載され、硝酸カリの硝丘法による生産について僅か9行で記載していた（田中，1975）。この不足分を補う形で『消石説』が『舍密開宗・続訳』として天保14年（1843）臘月（春）に成稿していた（史料1）。

榕菴は、「硝」の正しい文字は「消」であり、「硝」は俗の誤った文字と記述して、『舍密開宗』と同様に「消石」と記述していた。

榕菴が「硝石」を重視して特別にこれを著作した訳は、当時のわが国の舍密学は、“黒色火薬”に関する西欧の化学的情報を学ぶ事が主目的であったからである。わが国では、硝石の供給は主に貿易船による輸入に依存しており、自給できる藩はごく限られていた。加賀藩は五箇山で大量に硝石を生産して、それを買い上げるにより自給できた唯一の藩であった。さらに金沢の壮猶館舍密局では、洋式火薬の調査・研究が行われ、そのために兵学書、舍密学書が多く購入されていた。その中に『舍密開宗』を始め、Smallenburg、およびNoel M Chomel等の蘭書が含まれていた（板垣，2007）。

『消石説』は、発明・名義、天生・原始、種消法

論、淋煎為朴硝、再煎朴消為精消、品類、晶形、撰品、殊性・成分、価値、効用、図で構成されているが、特に硝石の生産および精製に関する情報に重きを置いている。引用されている蘭書はF. van Smalenburg, *Leerboek der Scheikunde*, 3 vols. 1827-1833, (蘇氏韻府)^(史料3) および J. B. Trommsdorff, *Leerboek der Artsenymengkundige, Proefondervindelijke Scheikunde*. 1815^(史料7), Noel Choml, *Huishoudkundig Handboek voor den Stedeling en Landman*, Amsterdam, 1800~1803. (淑氏韻府)^(史料8) 等が主なものであった。其の結果、17~19世紀の西欧で行われていた朴硝の生産と硝石精製について詳しく知ることができる。

榕菴に次いで植物学者として知られる尾張藩・伊藤圭介が安政元年(1854)に『萬宝叢書硝石篇』を刊行していた^(史料2)。伊藤が本書を作成するに至った理由は次ぎの事由である(杉本, 1960)。圭介は19才で京都・藤林泰介に洋学を学び、21才で尾張・吉雄常三に蘭学を、さらに25才で宇田川榕菴に師事して舎密学などを学んでいた。嘉永元年(1848)に尾張藩・上田仲敏が蘭学を修め、自宅に私塾「西洋学館」を開き、蘭学や洋式銃砲の研鑽を始めた。伊藤(46才)もこれに加わり、その成果が嘉永4年(1851)10月に『遠西硝石考』(4冊)として完成して、藩主に献呈していた。これが更に、安政元年(1854)に改定・増補が行なわれて『萬宝叢書硝石篇』(3巻)として刊行した^(史料2)。本書はこの私塾での兵学の教育に使用されたものと考えられている(杉本, 1960)。本書の内容は硝石に関する基礎的な化学が先に記述され、後半部で「硝石の自生の理」「硝石産地」等が記載されている。

本書の内容と榕菴の『消石説』^(史料1)とを比較したところ、多くの箇所ではほぼ一致した事項が記述されていることが、今回の調査で確認された。この事は、榕菴の使用した蘭書と同じ書籍が参考書として使用されていたと推定される。ところが圭介の『硝石篇』には使用した文献名は記されていない。或いは、榕菴と圭介は篤い親交があったことから、圭介は『消石説』を参考資料として使用していた事も考えられる。Smalenburg(蘇氏)の化学書から^(史料3)、榕菴は(1) 発明・名義、(7) 晶形、(8) 撰品、(9) 殊性、成分の項を訳述しているが、圭介は(1) から硝石総論を、(7) から硝石晶形、(8) から硝石溶解を、(9)

から硝石溶解を同様に訳述・掲載していた。さらに、

(3) 種消法論の古土の選択と採取および消石丘の築造と管理、(4) 淋煎為朴消の硝石土からの灰汁処理を兼ねての硝石の抽出及び淋煎して朴硝(灰汁煮硝石)の精製、(5) 再煎為朴消精消の朴硝(灰汁煮硝石)の溶解、濃縮・結晶化による精製硝石(中煮硝石)の精製の3項目の内容のほぼ全てが圭介の『硝石篇』に掲載されている。ただし、『硝石篇』では内容の記述が詳細で解読しやすくなっている。

先に伊藤圭介著『萬宝叢書硝石篇』^(史料2)を引用して、総説『硝石の舎密学と技術史』(板垣, 2006)で欧羅巴での硝石の生産法などを紹介したが、宇田川榕菴著『消石説』は引用されなかった。今回、『消石説』が翻刻され、西欧の多くの硝石関係史料が明らかになったことは有益なことである。わが国では、本書に掲載されている洋式硝石丘法を本格的に行っていたのは鹿児島藩の谷山作硝場のみであり、しかも幕末期の短い期間であった(河島, 1879)。1600年代初期には、多くの藩では硝石生産を床下の古土を原料とする古土法で行われていたが、長続きはしなかった。加賀藩のみが富山・五箇山で合掌造りの民家の床下で「培養法」で硝石の生産をした。本法は乾いた培養土を用い、積み上げた培養土の内部でも硝化細菌が活発に活動する様に好氣的な環境を作っていたことが、西欧の「硝石丘法」と大きく異なる点であった(板垣, 2006)。本「培養法」は世界的にも稀な独創的な硝石生産法であり、長期間に渉り高純度の硝石の多量生産に使用されていたことは、改めて称賛すべき事柄である(板垣, 2014)。宇田川榕菴著『消石説』は西欧の硝石製造法を伝える重要な資料であると評価される。

文 献

- 板垣英治, 2006: 硝石の舎密学と技術史. 金沢大学文化財学研究, **8**, 19-58.
- 板垣英治, 2007: 加賀藩旧蔵洋書の目録作成: 壮猶館|日蔵洋書目録, 卯辰山養生所旧蔵洋書目録, 金沢医学館旧蔵洋書目録, 加州軍艦所旧蔵洋書目録, 加州弾薬所旧蔵洋書目録, 加州海軍局文庫|日蔵洋書目録, および藩校「学校」旧蔵洋書目録と金沢学校旧蔵洋書目録. 付録: 石川県勸業博物館時代の蘭書目録. 日本海域研究, **38**, 21-66.
- 板垣英治, 2011: 加賀藩壮猶館蔵書目録 石川県立図書館

蔵：復刻。北陸史学，58，94-101.

板垣英治，2014：加賀藩の火薬。論文集，石川県立図書館蔵。

河島高良，1879：鹿児島県谷山作硝所見聞記。明治12年9月写し。

坂口正男・菊池俊彦・道家達将・田中實，1975：舍密開宗研究。講談社，東京，131p.

杉本 勲，1960：伊藤圭介 人物叢書46. 吉川弘文館，164.

宇田川榕菴（田中 實校注），1975：舍密開宗 復刻と現代語訳・註・研究。講談社，東京，568p.

史 料

1. 宇田川榕菴訳述，『消石説』，『舍密開宗 続訳』，書写本（岡村千叟書写）全21丁，古典籍総合データベース，早稲田大学図書館。
2. 伊藤圭介纂，『萬宝叢書硝石篇』安政元年：『江戸科学古

典叢書12』，174～358，（恒和出版）1978.

3. 『蘇氏韻府』=F. van Catz Smalenburg, Leerboek der Scheikunde, 3 vols. 1827-1833. 金沢大学図書館医学部分館蔵。

4. 『天工開物』宋応星撰：東洋文庫（平凡社），昭和47年，130.

5. 『物理小識』山愚者智集，于藻 重訂，1664（序）。

6. 紐氏 韻 府 = Egbert Buys , Nieuw en Volkomen Woordenboek van Konsten en Watenschappen, 10 vols. 1769-1778. 石川県立図書館蔵。

7. 『合薬舍密』=J. B. Trommsdorff, Leerboek der Artse nymengkundige, Proefondervindelijke Scheikunde. tr. by N. C. Meppen. 1815.

8. 淑氏韻府=Noel Chomel, Huishoudkundig Handboek voor den Stedeling en Landman, Amsterdam, 1800-1803. 金沢大学図書館医学部分館蔵。

史料紹介 宝集寺所蔵「高野大師行状図画」

黒田 智^{1*}・鳥谷武史²・吉岡由哲³・石垣孝芳³・林 亮太²・小早川裕悟²

2014年9月26日受付, Received 26 September 2014

2014年11月10日受理, Accepted 10 November 2014

An Introduction to Historical Material entitled “Koyadaishi Gyojo Zue” (The Illustrated Biography of the Priest, Koyadaishi) which is on display in Hoshuji Temple

Satoshi KURODA¹, Takefumi TORITANI², Yoshiaki YOSHIOKA³, Takayoshi ISHIGAKI³,
Ryota HAYASHI² and Yugo KOBAYAKAWA²

Abstract

“Koya-Daishi Gyojo Zue”, which is on display in Hoshuji Temple in Kanazawa city, Ishikawa is a picture scroll illustrating the life of Koya-Daishi (also known as Kobo-Daishi). The Hoshuji copy is a reproduction created in 1506 by Koen, a priest from Zokoin, which was located in Okachinumadate, in historical Dewa province (present day Yamagata and Akita Prefectures). The scroll has links to Gobokyochibo, which is located in Isshin’indani in Koyasan, a famous monastic center. It is a valuable material with which scholars can trace the faith in Kobo-Daishi as well as the activities of Koyahijiri in the Japanese countryside.

Key Words: Kobodaishi (Kukai), a picture scroll, Hoshuji Temple in Kanazawa city, the third year of Eisho, Koyahijiri

キーワード: 弘法大師 (空海), 絵巻物, 金沢宝集寺, 永正3年, 高野聖

いわゆる弘法大師伝絵巻と総称される絵巻群は、弘法大師空海の生涯を絵巻物形式にまとめたものであり、すでに塩出貴美子氏、鹿島繭氏、辻英子氏らによって諸本の系統分析が行なわれてきた。本稿では、石川県金沢市の宝集寺に所蔵される紙本著色「高野大師行状図画」を紹介する。

同絵巻を所蔵する俱利伽羅山宝集寺は、金沢市寺

町にある真言宗寺院である。寛永20年(1643)に河北郡俱利伽羅山長楽寺の住僧弘誉上人が中興開山となって再興されたと伝えられ、同寺の下山仏を多く所蔵する。また「金沢古蹟志」によれば、承応元年(1652)に津田重久の孫伊織が堀川讃岐町に母の位牌所を建立し、のち正徳4年(1714)に現在地に移転したという。10代藩主前田重教のころから前田家の

¹金沢大学人間社会研究域学校教育系 〒920-1192 石川県金沢市角間町 (Faculty of Education, Institute of Human and Social Sciences, Kanazawa University, Kakuma-machi, Kanazawa, 920-1192 Japan)

²金沢大学大学院人間社会環境研究科博士後期課程 〒920-1192 石川県金沢市角間町 (Graduate School of Human and Socio-Environmental Studies, Kanazawa University, Kakuma-machi, Kanazawa, 920-1192 Japan)

³金沢大学大学院教育学研究科修士課程, 〒920-1192 石川県金沢市角間町 (Graduate School of Education, Kanazawa University, Kakuma-machi, Kanazawa, 920-1192 Japan)

*連絡著者 (Author for correspondence)

祈願寺となり、現在の堂舎は12代齊広の産母である貞淋院の発願により建立された。

宝集寺本は、全10巻のうち巻5を欠くものの、はなはだしい欠損や錯簡は存在しない。ただし、他巻では51cm前後の料紙を継いでいる一方で、巻4の料紙のみ、紙長が一定しない。この巻4の奥には、「元応元年（己未）八月日」の日付とともに、絵師、詞書筆者の一覧があり、もと高野山惣持院にあった原本や白鶴美術館本との直接の関係をうかがわせるものの、宝集寺本の詞書は、むしろ親王院本、大蔵寺本、岡寺本に共通する部分が多い。とりわけ大蔵寺本は、宝集寺本の成立に近い延徳3年（1491）の奥書を有しており、15世紀末から16世紀初頭にかけての高野山における転写作業では、このグループに近い詞書が主として用いられたことを推測させる。

絵画に注目すると、宝集寺本には4つの特徴が挙げられる。第1に、人物をやや大きくクローズアップした視点で描いている。この点は延暦寺本にも共通しており、宝集寺本を延暦寺本の系統に位置付ける鹿島氏の分類を裏付けるものといえよう。また第2に、人物や背景の間隔が密になっているため、全体を圧縮したような印象を受ける。このように余白が狭くとられる要因としては、あらかじめ記された詞書によって紙面が制約されていた可能性が挙げられる。第3に、建築部材の遮蔽関係や設置方向などに誤りが多く、人物や草木に比して、立体的構造物の表現が非常に稚拙である。そして第4に、唐絵風の特徴が認められる。背景の草木は輪郭線を基調として描かれており、とりわけ巻1の「四天執蓋事」に描かれる子供たちは、まさに唐絵のそれというべき姿である。

宝集寺本の制作経緯は、巻1および巻10の奥書によって知ることができる。これによれば、永正3年（1506）に出羽雄勝沼館蔵光院の住侶であった28歳の弘演なる僧が、乞食生活をふくむ長い旅のはてに高野山一心院谷の五坊経智坊において模写した。ほどなくして弘演は帰郷し、残された経智坊の永舜房成快が詞書を完成させたという。ただし、巻1「大瀧嶽事」の題字に、前段から続く絵の胡粉がかかることから、弘演の高野山滞在中に、詞書の筆写も開始されたと考えられる。

見返しに「寂静院」の書付けがあることから、制作後しばらくは寂静院の什物として経智坊に所蔵されたのであろう。また、鎌倉時代中期から末期ころ

の寂静院が仁和寺系統の寺院であったとの指摘もあり、元応元年（1319）の年紀を持つ巻4奥書に挙げられた複数の仁和寺関係者と合わせて、弘法大師伝絵巻の制作契機に仁和寺が関わっていたことをうかがわせる。

はるばる出羽雄勝沼館より来たという弘演なる若僧の詳細は不明であるが、宝集寺本の制作された16世紀初頭に、時を同じくして、小野寺氏が同地へ拠点を移している。この小野寺氏に関して、大永年間のころに、小野寺中宮亮なる者が京都扶持衆として上洛して洛外の旅宿にて病死し、石清水八幡社僧の娘との間に生まれたその子息四郎丸が足利義晴の近習として仕えたという異説がある。また、小野寺氏当主の上洛中に、出羽稲庭城の留守役をつとめた稲庭道俊は、大永5年（1525）に熊野三所の本地仏をあらわした3面の懸仏を造立している。当時の小野寺氏と中央との関係や、その篤い熊野信仰をうかがい知ることができよう。

また一心院は、覺鑊の念仏の師であった明寂を開基とする院家で、五室聖へと発展する高野聖たちの活発な活動の舞台であった。16世紀の高野聖たちは、高野山内で弘法大師絵巻を書写し、弘法大師伝絵巻を地方へ伝播する役割を担っていた。宝集寺本は、地方の弘法大師信仰と高野聖の足跡をたどる貴重な史料といえよう。

文 献

- 塩出貴美子, 1997: 弘法大師伝絵巻考 - 諸本の分類と概要 - . 文化財學報, **15**, 31-46.
- 鹿島 蘭, 1994: 弘法大師伝絵巻一十卷本について. MUSEUM, **514**, 24-35.
- 辻 英子編, 2005: 高野大師行状図画. 親王院堯榮文庫, 高野町, 318p.
- 山陰加春夫, 2007: 高野の聖たち - 高野山一心院谷の場合 - . 密教文化, **218**, 27-82.
- 遠藤 巖, 1988: 戦国大名小野寺氏一植道・輝道関連史料の検討一. 秋大史学, **34**, 1-20.
- 東北歴史博物館, 2006: 特別展示展図録「熊野信仰と東北」. 東北歴史博物館.
- 横手市編, 2008: 横手市史 通史編 原始・古代・中世. 横手市, 671p.

表1 「高野大師行状図画」法量表 (単位: cm).

Table 1 Sizes of "Koyadaishi Gyojo Zue" (unit: cm).

	第1巻	第2巻	第3巻	第4巻	第5巻
見返し	24.0	24.0	24.5	22.7	
1紙	49.5 序文	50.4 詞1、絵1	49.4 詞1	50.2 詞1	
2紙	51.4 序文	51.5 絵1	50.1 詞1	35.0 詞1	
3紙	51.1 序文、詞1	50.1 絵1	50.1 絵1	41.9 絵1	
4紙	51.4 絵1	51.5 絵1、詞2	51.6 絵1	16.7 詞2	
5紙	51.3 絵1	51.3 詞2、絵2	51.6 絵1	19.8 詞2	
6紙	51.4 絵1、詞2	51.5 絵2	51.6 絵1	9.0 絵2	
7紙	51.2 詞2、絵2	51.6 絵2	51.6 絵1、詞2	51.8 絵2、詞3	
8紙	51.3 絵2、詞3	51.5 絵2、詞3、絵3	51.6 詞2	51.7 詞3、絵3	
9紙	51.4 詞3、絵3	51.7 絵3	51.6 詞2、絵2	11.2 絵3	
10紙	51.5 絵3、詞4	51.8 絵3、詞4、絵4	51.6 絵2	31.7 詞4	
11紙	51.1 絵4	51.9 絵4	51.7 絵2、詞3、絵3	30.9 詞4	
12紙	51.3 詞5、絵5	51.8 絵4、詞5	52.0 絵3	40.1 絵4	
13紙	51.4 絵5	51.6 詞5、絵5	51.8 絵3、詞4、絵4	20.0 詞5	
14紙	51.2 絵5、詞6	51.8 絵5	51.0 絵4	41.3 詞5	
15紙	51.2 詞6、絵6	51.6 絵5、詞6	51.8 詞5	51.9 絵5	欠巻
16紙	51.2 絵6	52.0 絵6	51.8 絵5、詞6	28.2 絵5	
17紙	51.5 詞7、絵7	51.7 絵6	51.8 詞6	10.0 詞6	
18紙	51.5 詞8、絵8	51.8 絵6	51.8 詞6	51.8 詞6	
19紙	51.2 絵8、詞9、絵9	51.8 絵6、詞7	51.8 詞6	23.3 絵6	
20紙	51.2 絵9、詞10、絵10	51.6 絵7	51.7 詞6、絵6	52.2 絵6、詞7	
21紙	51.3 絵10	52.0 絵7	51.8 絵6	51.8 詞7、絵7	
22紙	51.4 詞11、絵11	51.8 絵7、詞8	51.6 絵6、詞7	51.9 絵7	
23紙	50.8 絵11	47.8 絵8	51.6 詞7、絵7	23.6 絵7	
24紙	41.0 絵11、奥書	42.5 絵8	51.7 絵7、詞8、絵8	27.0 詞8	
25紙			51.7 絵8	27.4 絵8	
26紙			51.7 絵8	51.7 絵8	
27紙			51.6 絵8、詞9、絵9	51.6 奥書	
28紙			51.6 絵9		
29紙			51.3 絵9		
30紙			45.2 絵9		
計	1242.8	1248.6	1562.3	976.4	

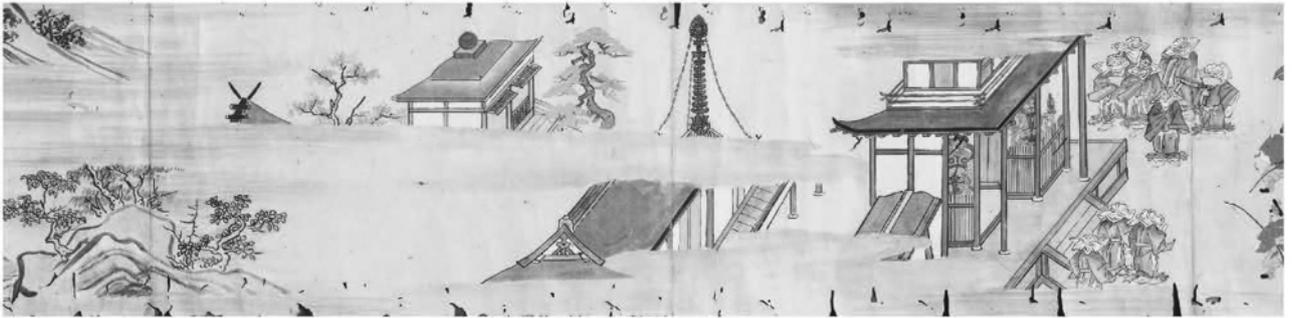
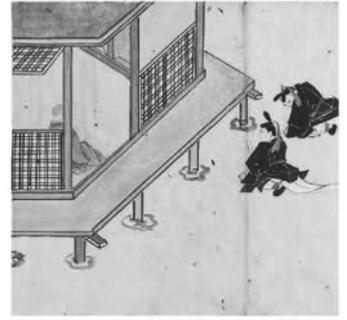
	第6巻	第7巻	第8巻	第9巻	第10巻
見返し	23.7	23.9	23.4	23.7	24.0
1紙	50.0 詞1	16.8	48.5 詞1	50.6 詞1	11.7 詞1
2紙	51.7 詞1、絵1	51.7 詞1、絵1	51.8 詞1	51.9 詞1	51.6 詞1、絵1
3紙	51.8 絵1、詞2、絵2	52.0 絵1、詞2	51.7 詞1	52.5 詞1	51.6 絵1、詞2
4紙	51.4 絵2、詞3、絵3	51.4 詞2、絵2	51.3 詞1、絵1	51.8 詞1、絵1	51.7 詞2、絵2、詞3
5紙	51.5 絵3、詞4、絵4	51.8 絵2、詞3	51.8 絵1	52.0 絵1、詞2、絵2	51.2 詞3、絵3、詞4
6紙	51.8 絵4、詞5、絵5	51.8 詞3、絵3	52.3 絵1、詞2、絵2	51.5 絵2、詞3	52.0 詞4、絵4
7紙	51.8 絵5、詞6	51.8 絵3、詞4、絵4、詞5	51.9 絵2、詞3	52.1 詞3	52.1 絵4
8紙	51.3 詞6、絵6	51.0 詞5、絵5	51.8 詞3	52.1 詞3、絵3	51.6 絵4、詞5、絵5
9紙	51.2 詞7、絵7	51.4 絵5	51.7 詞3、絵3	51.8 絵3	51.9 絵5、詞6
10紙	51.6 絵7、詞8、絵8	51.6 絵5、詞6	51.6 絵3、詞4	51.9 絵3	51.8 詞6
11紙	51.2 絵8、詞9	51.6 詞6、絵6	52.2 詞4、絵4	52.0 絵3	52.0 詞6
12紙	51.6 詞9、絵9、詞10	51.6 絵6	51.7 絵4、詞5、絵5	52.2 絵3、詞4、絵4	52.0 詞6、絵6
13紙	51.5 絵10、詞11	51.7 絵6	51.7 絵5、詞6	51.8 絵4、詞5	51.8 絵6
14紙	51.5 詞11、絵11、詞12	51.6 絵6	52.0 詞6、絵6	52.1 詞5、絵5	51.6 絵6
15紙	51.5 絵12	51.7 絵6	51.9 絵6、詞7	52.1 絵5、詞6、絵6	51.8 絵6
16紙	21.5 絵12	51.7 絵6	51.8 詞7、絵7	51.8 絵6、詞7	51.5 絵6
17紙		51.7 絵6、詞7、絵7	51.9 絵7	51.6 詞7、絵7	51.9 絵6
18紙		51.7 絵7、詞8	52.0 白紙	51.5 絵7	52.3 絵6
19紙		51.9 詞8、絵8		29.7 絵7	52.1 絵6
20紙		51.6 絵8、詞9			51.9 絵6
21紙		52.1 詞9、絵9			52.5 絵6
22紙		51.6 絵9、詞10、絵10			51.8 絵6
23紙		51.5 絵10、詞11			52.1 絵6
24紙		51.6 詞11、絵11			52.2 絵6
25紙		50.9 絵11			33.3 絵6
26紙		49.8 絵11			45.2 奥書
27紙					15.9 奥書
28紙					
29紙					
30紙					
計	816.6	1329.5	953.0	986.7	1323.1



卷十一六 高野山臨幸



卷十一五 大塔修造

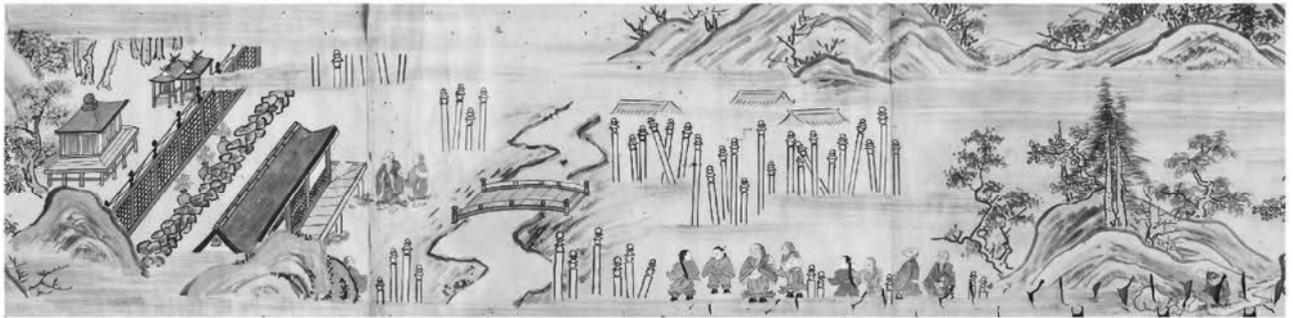




卷十一 四博陸參詣



卷十一 三遺跡影向



卷十 輿書

出羽國山形縣藤野治館菩提寺之
 任信小比呂祖法從名宗賢生年
 女八歲法年八十九見神跡奉詣
 靈地深秘之沃藤山十九全向三年
 維女其別稱欲別品雜轉 遂定靈地
 為靈地祀佛供養當來引續有也
 永正三年九月廿一日
 高野山之心院行五智院智切太子如教
 深秋石筆成水師法春秋十二歲

卷四 輿書

高野大神御贈詞執事人
 永應仁和寺壬午宮
 第一卷中院中僧長高僧長高僧長
 第二卷三卷僧長大僧長僧長僧長
 第三卷仁和寺花院院僧長僧長僧長
 第四卷海陽米山白雲院僧長
 第五卷法川大叡大僧長僧長僧長
 第六卷上院院僧長僧長僧長僧長
 第七卷高僧三僧長僧長僧長僧長
 第八卷法華寺一僧長僧長僧長僧長
 第九卷仁和寺僧長僧長僧長僧長
 第十卷仁和寺大僧院僧長僧長僧長
 佛師金經末善僧師末善僧師末善僧師
 石依為總持院重寶無不可等此也
 元應元年八月

卷一 輿書

永正三年九月廿一日
 出羽國山形縣藤野治館菩提寺任信法從
 女八歲法年八十九見神跡奉詣
 靈地深秘之沃藤山十九全向三年
 維女其別稱欲別品雜轉 遂定靈地
 為靈地祀佛供養當來引續有也
 永正三年九月廿一日
 高野山之心院行五智院智切太子如教
 深秋石筆成水師法春秋十二歲



卷八一二 守敏降伏事



卷八一 神泉苑事



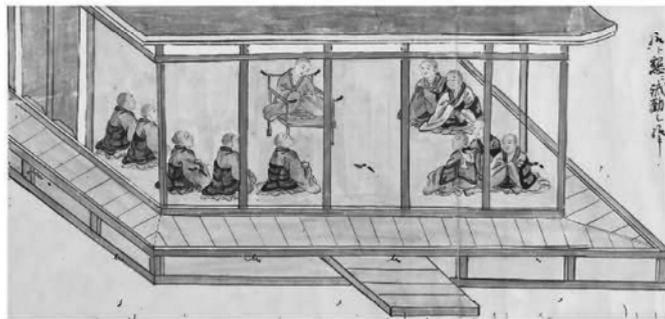
卷八一六 惠果救療



卷八一五 對治疫鬼



卷九一三 入定留身事



卷九一二 門徒雅訓事



卷九一四 嵯峨喪礼事



卷十一二 幡慶夢想



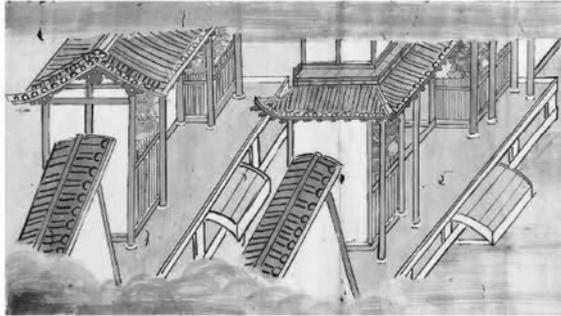
卷十一一 住吉同躰



卷七十一 東寺勅給



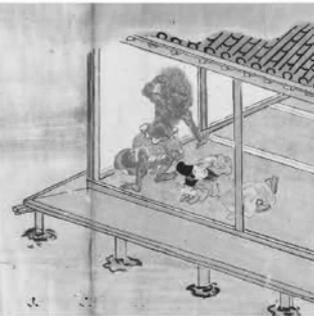
卷八十三 仁王經法事



卷八十四 二間修法



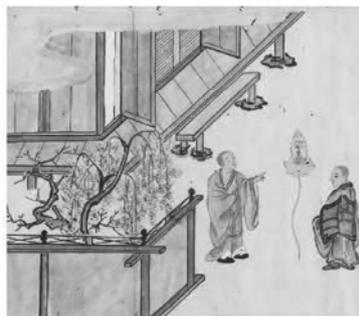
卷八十七 皇嘉門額



卷九十一 後七日法事



卷九十六 慈覚霊夢



卷九十七 大師号事





卷六十一 日想観



卷六十 知牛語



卷七十三 丹生説宣事



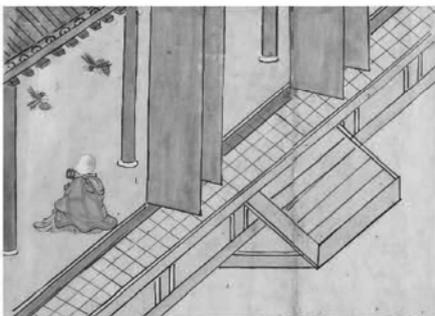
卷七十二 巡見上表事



卷七十一 高野尋入事



卷七十六 大塔建立事



卷七十 東大寺蜂



卷七十九 皇帝受法

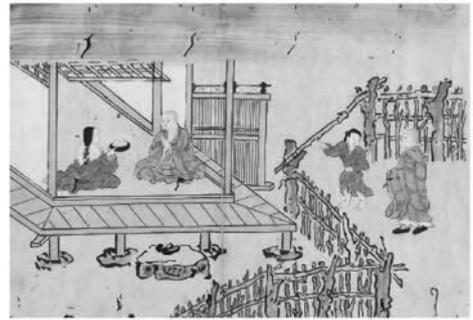




卷六—九 小兒活生



卷六—八 大峯修行事



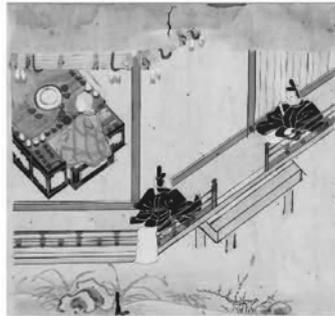
卷六—七 天地合三字



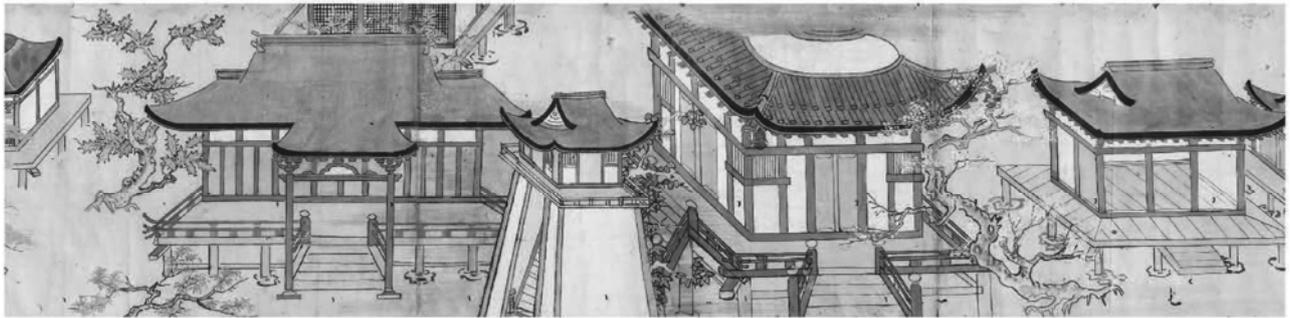
卷六—十二 龍泉涌水



卷七—五 三鉈寶釵事



卷七—四 皇帝御祈



卷七—八 權者自稱事



卷七—七 秘鍵開題事



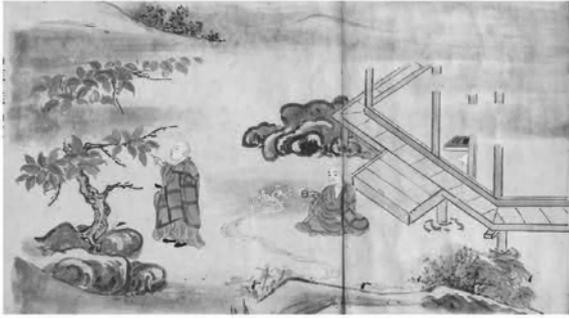
卷三一九 着岸上表



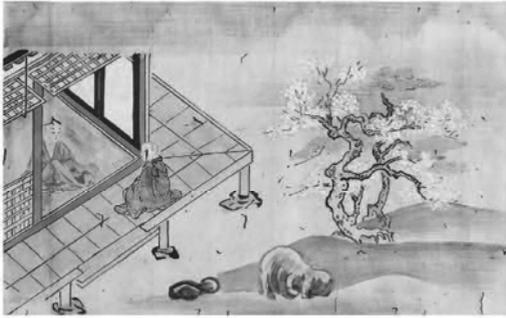
卷四一二 賀春山生木



卷四一 歸朝上表事



卷四一六 橫尾寺



卷六一一 惠日寺草創事



卷六一六 生朽木

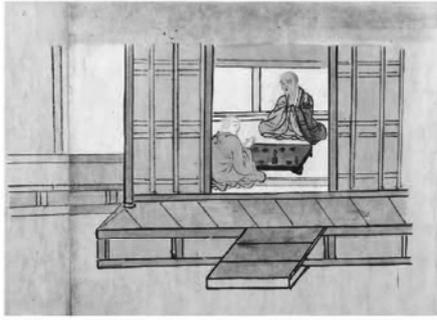


卷六一五 善通寺額





卷三一八 大師擲三鈷事



卷三一七 惠果影現事



卷四一五 宗論事



卷四一四 大師上宮御廟參詣事



卷四一三 救火災



卷四一八 隔河書額



卷四一七 高雄灌頂事



卷六一四 鈿御山



卷六一三 釋迦如来出現



卷六一二 靈山寺結界事



卷二一六 入唐着岸事



卷二一八 五筆和尚事



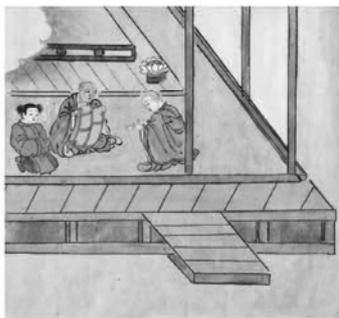
卷三一 渡天礼拝釋尊事



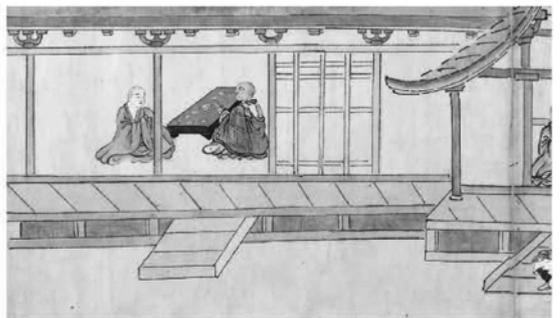
卷三一二 大師御入壇事



卷三一六 惠果御入滅事

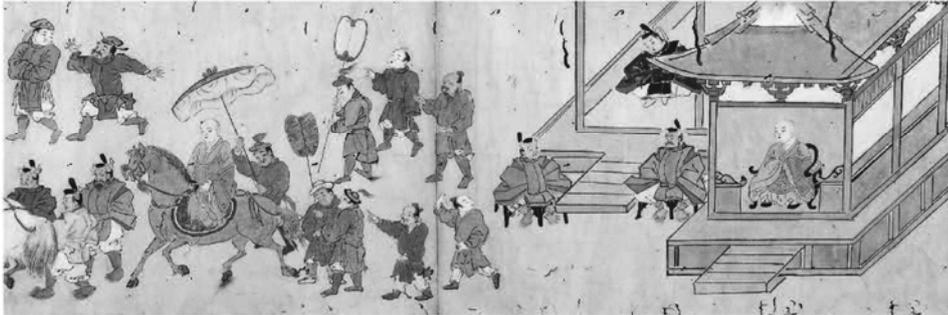


卷三一五 道具相承之事





卷二一五 大師御入唐事



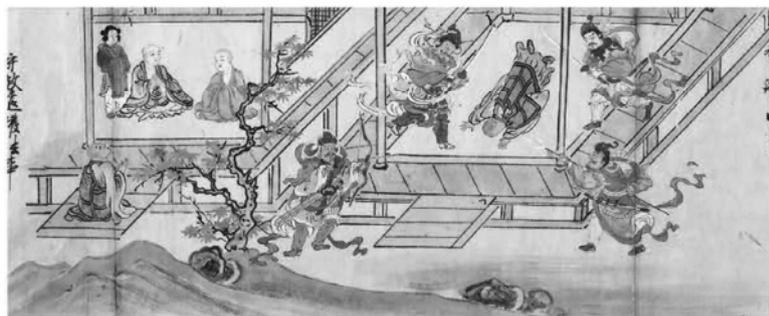
卷二一七 入唐入洛事



卷二一九 虚空書字事



卷三二四 守敏遣護法事



卷三二三 珎賀怨念事





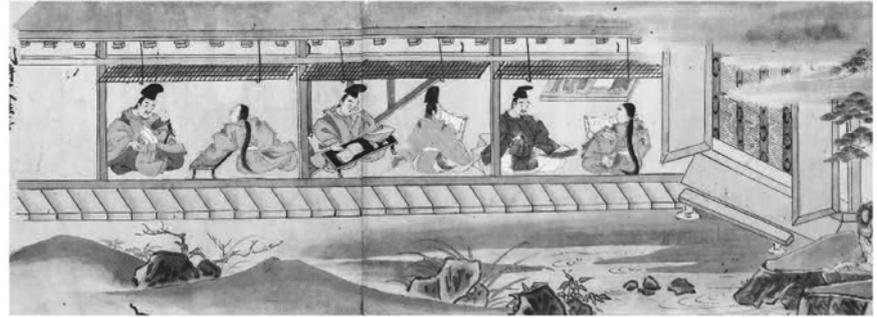
卷一—三四天執蓋事



卷一—二幼稚遊戲事



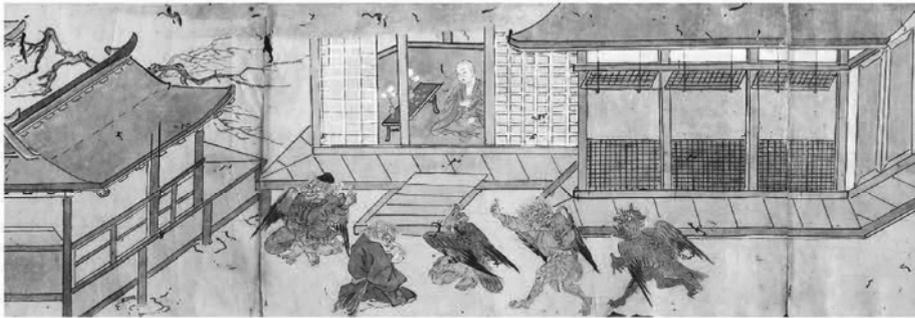
卷一—六聞持受法事



卷一—十出家受戒事



卷一—九桂谷降魔



卷二—一天狗問答事



卷二—四渡海祈願



宝集寺藏

「高野大師行状図画」

卷一—一 誕生事



卷一—四 誓願捨身事



卷一—五 明敏篤學事



卷一—七 大瀧獄事



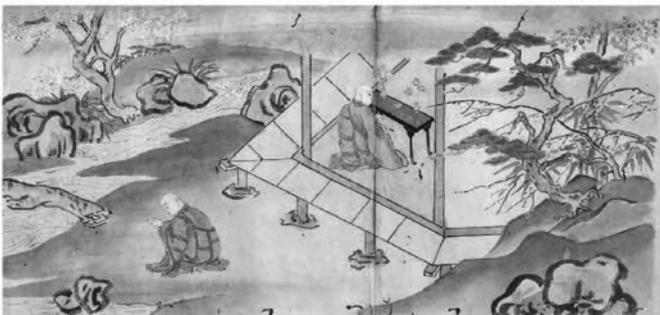
卷一—八 伏悪龍



卷一—十一 明星入口事



卷一—十二 久米寺東塔
心柱事



イオン液体を用いた里山バイオマスリファイナリー

仁宮一章^{1*}・高橋憲司²

2014年10月21日受理, Accepted 21 October 2014

The Refining of Lignocellulosic Biomass using Ionic Liquids

Kazuaki NINOMIYA^{1*} and Kenji TAKAHASHI²

Abstract

In the study discussed below, we developed an ionic liquid-assisted bio-refinery process, which converts lignocellulosic biomass into biofuel and bioplastics. Most notably, the ionic liquid was utilized as a solvent for biomass pretreatment before the enzymatic hydrolysis of polysaccharides, and was also utilized as a solvent and catalyst for the chemical reaction of lignin macromolecules.

Key Words: biorefinery, lignocellulosic biomass, ionic liquids

キーワード: バイオリファイナリー, 木質系バイオマス, イオン液体

1. はじめに

現在われわれは, 燃料や化成品・樹脂など, 日常のあらゆる製品を石油のケミカルリファイナリーを経て製造している。これらの製品は, 最終的に燃焼・焼却され, 二酸化炭素として環境中に排出され, 地球温暖化の原因となる(図1)。これに対し, リグノセルロースを原料として生産された糖を, エタノール等のアルコールに変換後, 燃料としての利用に加え, 化成品・樹脂などへも化学変換するプロセス(リグノセルロースのバイオリファイナリー(図2))を経て製造された製品は, 燃焼・焼却されてもネットの二酸化炭素排出量がゼロ(カーボンニュートラル)であることから, 「化石資源依存からの脱却」や「温暖化ガスの削減」のための切り札といえる。環境省の

資料をもとに二酸化炭素削減量を計算すると, バイオエタノールを1年間に20万kL生産して混合ガソリンなどとして使用された場合, 1年間に二酸化炭素30万トンの削減につながる。

リグノセルロースを原料としてエタノールを製造する際に今後克服すべき課題として, その製造コストの低減があげられる。リグノセルロースからのエタノール製造は大きく分けて, ①糖化前処理, ②糖化, ③発酵の3つの単位プロセスに分けられる(図3)。この一連のプロセスにおいて, 製造コスト低減のために優先的に改善すべき工程は, ②糖化, ③発酵よりもむしろ, プロセスの最も上流に位置し, 従来からエネルギー効率および環境負荷の観点で課題が多く, 下流のプロセス設計を大きく左右するといわれる①の糖化前処理プロセスであり, 本研究開発では,

¹金沢大学環日本海域環境研究センター 自然計測領域エコテクノロジー研究部門 〒920-1192 石川県金沢市角間町 (Division of Eco-Technology, Department of Natural Science and Measurement, Institute of Nature and Environmental Technology, Kakuma-machi, Kanazawa, 920-1192 Japan)

²金沢大学理工研究域自然システム学系 〒920-1192 石川県金沢市角間町 (Faculty of Natural System, Institute of Science and Engineering, Kanazawa University, Kakuma-machi, Kanazawa, 920-1192 Japan)

*連絡著者 (Author for correspondence)

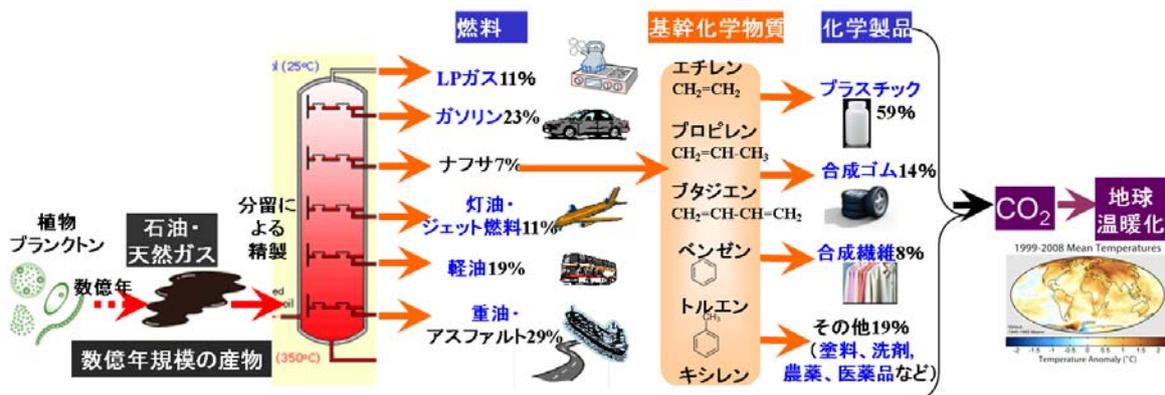


図1 石油化学工業（オイルリファイナリー）の概念図。
Fig. 1 Conceptual diagram of oil refinery.

炭素循環型社会の実現！

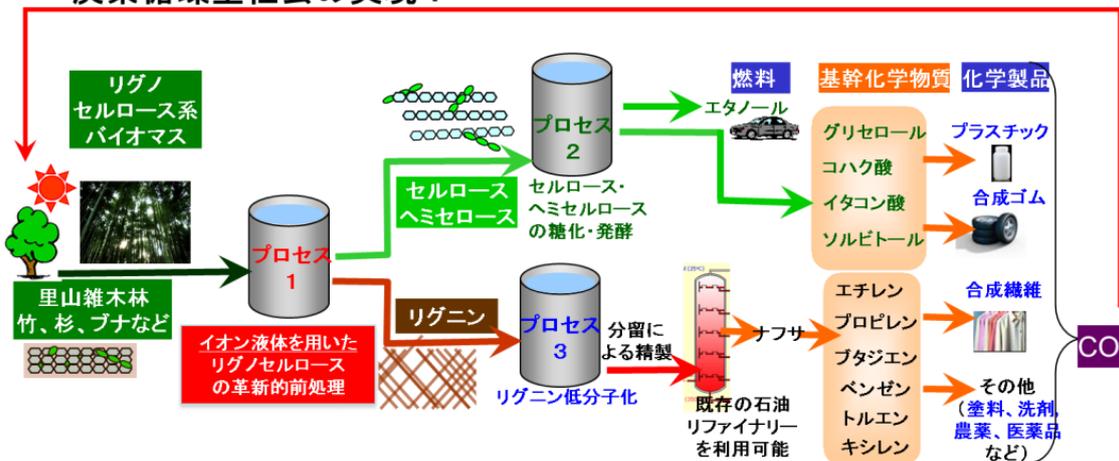


図2 木質系バイオマスのリファイナリーの概念図。
Fig. 2 Conceptual diagram of biomass refinery.

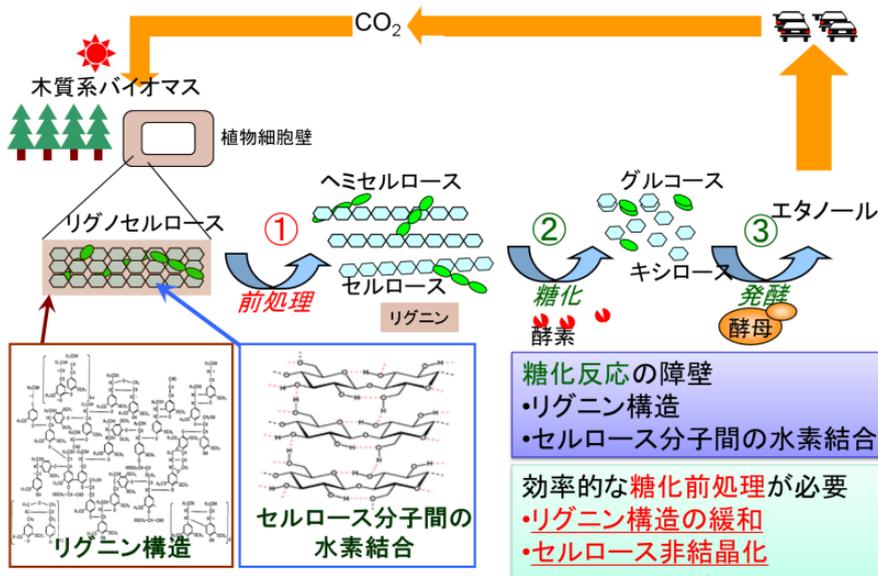


図3 木質系バイオマスの前処理・糖化・発酵の概念図。
Fig. 3 Scheme of pretreatment, saccharification, and fermentation of lignocellulosic biomass.

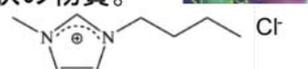
イオン液体という新規物質群 (図4) を用いて、この課題の解決に取り組む。さらに、糖化後に残るリグニンの低分子化混合物を、フェノール系樹脂原料や原油代替資源として有効利用することは、プロセス

のコスト削減には極めて重要であり、この課題解決にも取り組んで行く。

イオン液体とは

一般的な定義

陽イオンと陰イオンのみからなり、100°C以下でも液状の物質。
(常温溶融塩)



1-Butyl-3-methylimidazolium chloride

我々が着目する特徴

- ①熱安定性が高い&蒸気圧を持たない(蒸発しない)
(→再利用可能な環境にやさしい溶媒)
- ②陽イオンと陰イオンの組み合わせを設計できる
(→デザインブル流体)
- ③常圧, 100°C以下の温和な条件でさまざまな化合物を溶解できる
(極性、非極性、有機、無機、高分子化合物).
(→セルロースポリマー溶解への応用)

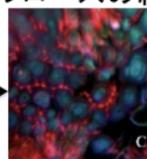
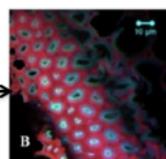
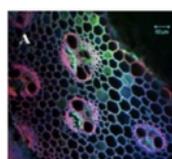
イオン液体にはセルロースだけでなくリグノセルロースを溶解できるものもある

(D. A Fort, et al, *Green Chemistry*, vol. 9, 2007, p. 63.)



＝リグノセルロースの革新的前処理方法!

イオン液体処理後は、
セルロースの結晶構造やリグニン構造が崩壊



Singh et al., *Biotech. Bioeng.*, 104, 68(2009)

従来のリグノセルロース前処理法との比較

前処理の方法	前処理溶媒の価格	前処理プラントの価格	前処理による糖の分解
希硫酸による前処理(従来法)	硫酸180円/kg リサイクル不可能	高温高圧→ プラント価格と ランニングコスト高い	高温高圧酸性→ フルフラール・ HMFの生成あり →糖ロスあり
イオン液体による前処理(本研究)	コリン酢酸340円/kg リサイクル200回程度可能 →1.7円/kg	100°C以下、常圧→ プラント価格 とランニングコスト高い	100°C以下常圧→ 糖の過分解、 ロスなし

図4 イオン液体の性質と木質系バイオマスの前処理への適用性.

Fig. 4 Property of ionic liquids and their availability to biomass pretreatment.

II. 研究成果の概要

地球上で最も量が多く食糧と競合しないリグノセルロースを原料として、イオン液体を用いた革新的酵素糖化前処理技術を確認し、また、本プロセスで生成してくるリグニンの有効利用技術の創出を目指して研究を遂行してきた。この実現のために以下の三つのプロセスに着目し、それぞれ研究を進めてきた(図5)。(1)リグノセルロースの前処理・分画、(2)前処理・分離されたセルロースの糖化・発酵、(3)前処理・分離されたリグニンの樹脂等への利用。イオン液体として、酵素反応や酵母発酵へ阻害作用が少なく、原料が安価なコリン酢酸を合成して用いた。上記3つのプロセスは、バイオマス処理の上流から下流プロセスへ対応する。

プロセス(1)では、イオン液体と超音波処理を併用することにより、極めて効率的にリグノセルロースを前処理可能であるという知見が得られた。また、プロセス(2)では、同時糖化発酵により、プロセス(1)で分離されたセルロースを用いることにより、熱処

理バイオマスよりも高効率でエタノール生成が可能であるという知見を得た。また、本プロセスでは3種類のリグニンが得られる事が分かった。つまり、(a)イオン液体処理後に分画されるリグニン、(b)糖化発酵後に出る残差中のリグニン、(c)イオン液体に溶け込んだ低分子リグニン。このうち、(a)の分画リグニンを用いることにより、炭素繊維に応用できる熱溶解性を持つリグニンを得ることができた。また、(b)の残渣リグニンをイオン液体中で反応させることにより、樹脂化が可能であるとの知見を得た。

1) イオン液体によるバイオマスの前処理

バイオマス(バガス:1mm以下)に対して、0-20倍重量のイオン液体(EmimOAcおよびChOAc)を用いて110°C180分間前処理を行った結果、1-3倍量のイオン液体さえあれば、80-90%の糖化率を示すまで前処理できることを見出した(図6)。このとき、セルロースの結晶構造は緩和されているのがXRD分析によっても確認できた。

バイオマス(バガス:1mm以下)に対して、倍重

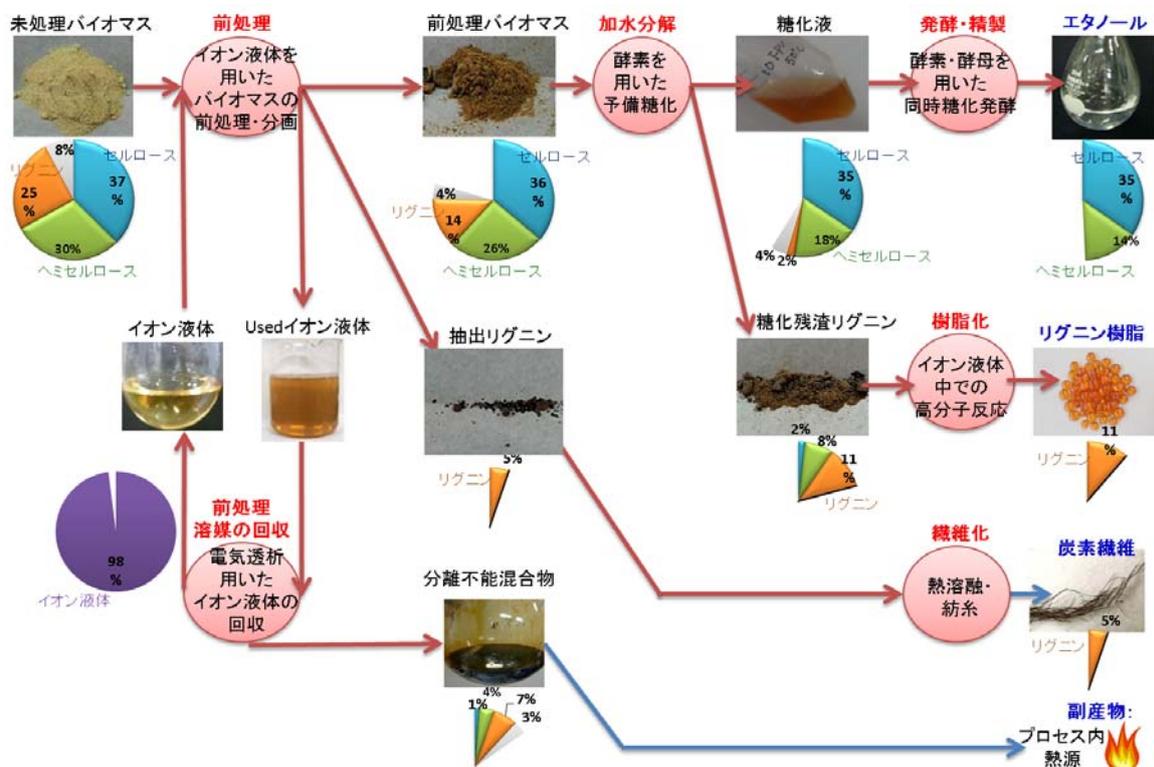


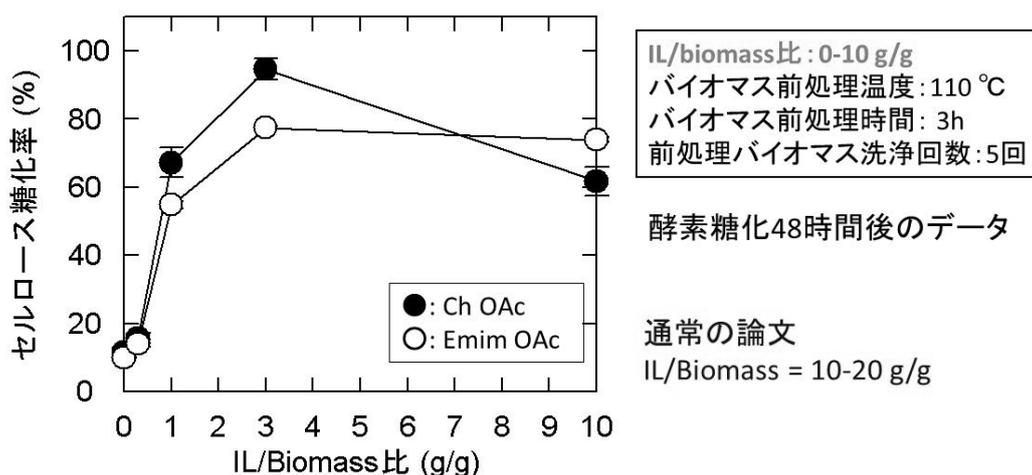
図5 イオン液体を用いたバイオマス前処理・糖化・発酵・リグニン利用での物質収支の結果。

Fig. 5 Mass balance of lignocellulosic biomass component during ionic liquid-assisted pretreatment, saccharification, and fermentation.

量のイオン液体 (EmimOAcおよびChOAc) を用いて超音波照射による前処理 (図7) を室温にて行った結果, 60分間の前処理時間で90%の糖化率を示すまで前処理できることを見出した (図8)。

未処理およびイオン液体 (ChOAc) による前処理を行ったリグノセルロース (竹およびバガス粉末: 1mm以下) について, SEM観察, XRD分析, FTIR分析により結晶構造および化学結合の状態を分析し

糖化酵素反応後のセルロース糖化率とIL/Biomass比との関係



バイオマス(1 mm以下)に対して3倍重量のイオン液体でも前処理できた
 → イオン液体使用量の削減につながる

図6 イオン液体バイオマス前処理におけるイオン液体/バイオマス比と糖化率の関係。

Fig. 6 Saccharification efficiency of ionic liquid-pretreated biomass with different ionic liquid/biomass ratio.

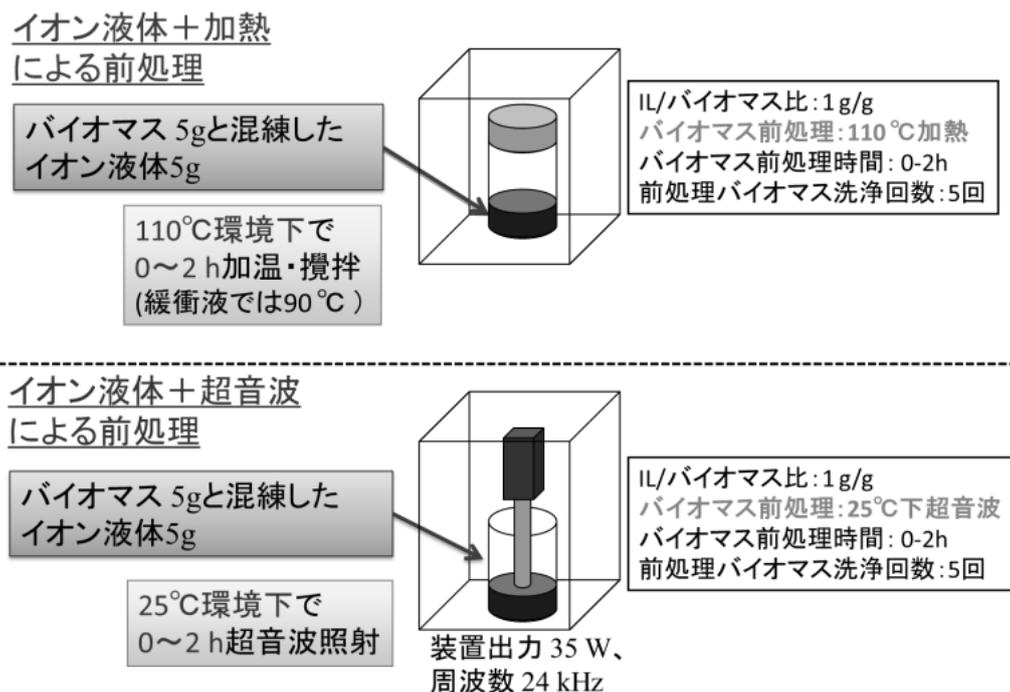


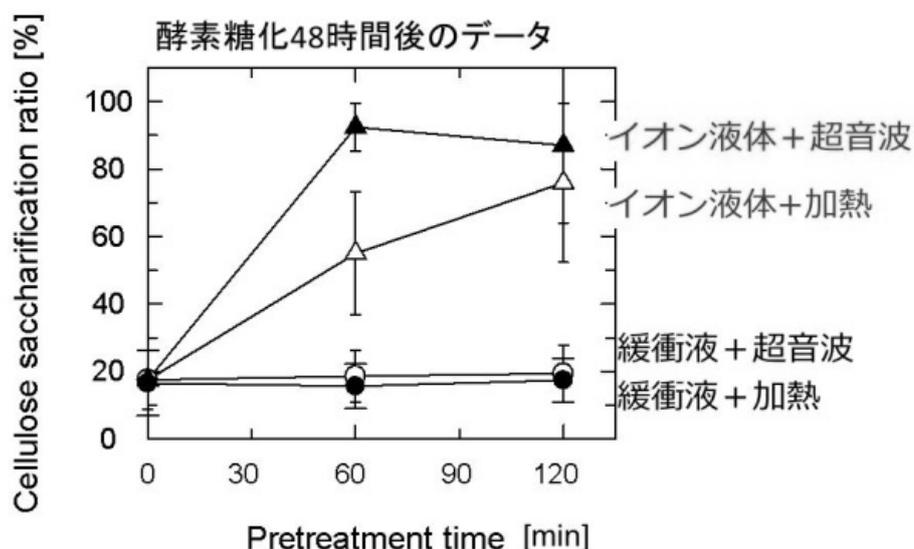
図7 イオン液体と超音波照射を組み合わせた室温前処理の作業図。

Fig. 7 Room temperature-pretreatment of lignocellulosic biomass using ionic liquid and ultrasound irradiation.

た。その結果、イオン液体によるセルロースの結晶構造の緩和に加えて超音波照射により発生する衝撃波等によるリグニン構造の緩和が見られた(図9, 10)。さらにラマンイメージングより、セルロースの膨潤と

リグニンの離脱も確認された(図11)。

イオン液体とバイオマスを混合し超音波を照射することで前処理し、そこへアセトン水溶液(セルロースに対する貧溶媒かつリグニンに対する溶媒)を加



イオン液体と超音波を組み合わせることにより、60分の前処理後の酵素によるセルロース糖化率100%近い値を達成できた。

図8 イオン液体バイオマス前処理における前処理時間と糖化率の関係。
Fig. 8 Relationships of saccharification efficiency and pretreatment time.

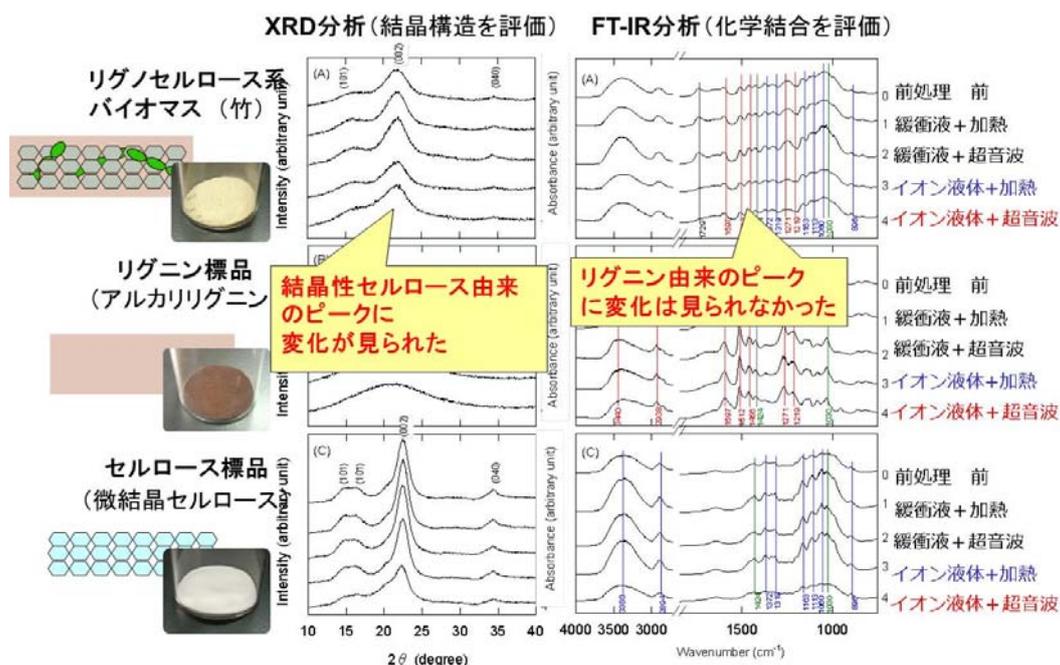


図9 イオン液体前処理後のバイオマスのXRD分析、FTIR分析結果。
Fig. 9 XRD and FTIR analyses of ionic liquid-pretreated biomass.

えることにより、ホロセルロースとリグニンを分画した(図12)。FTIRスペクトルからも分画されていること、セルロースが非結晶化していることが確認できた(図13)。分画セルロースは、モデルセルロースと同様に、約95%の糖化率を示した(ただし、す

べてのリグニンを分画することはできなかった)。

従来、バイオマスの前処理後に生じる希薄イオン液体水溶液からのイオン液体を回収するには、イオン液体の不揮発性に着目し、共存する水をエバポレートしていた。しかしこの方法では、イオン液体

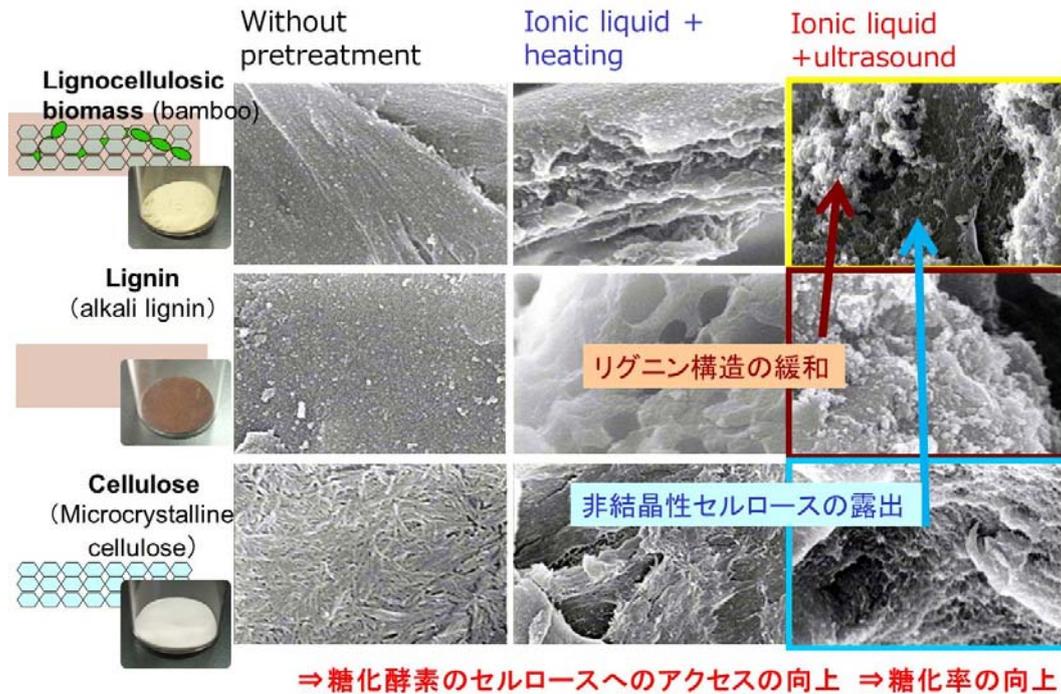


図10 イオン液体前処理後のバイオマスのSEM画像.
Fig. 10 SEM images of ionic liquid-pretreated biomass.

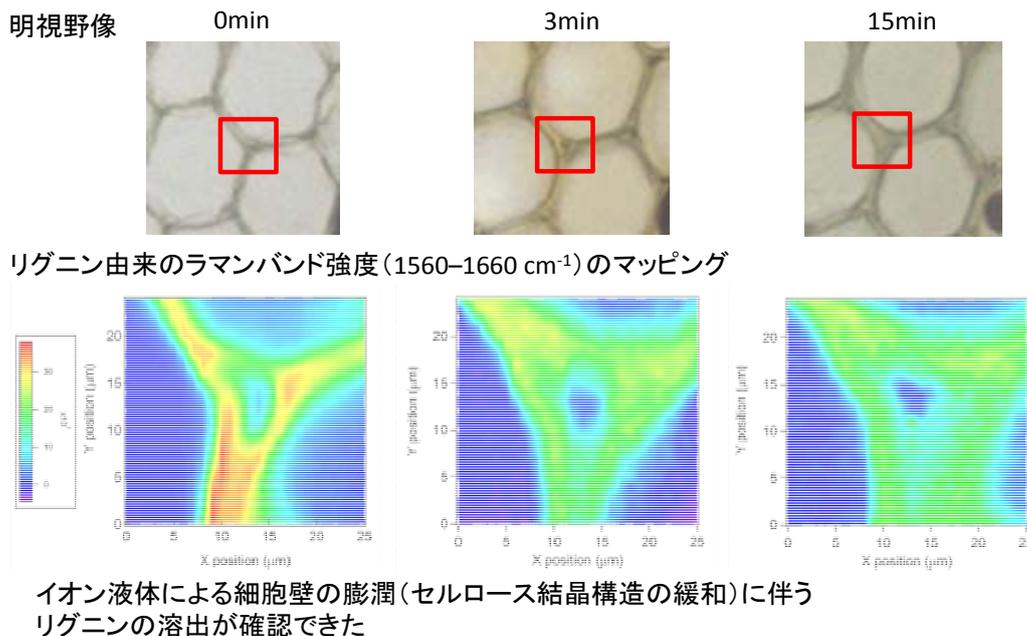


図11 イオン液体前処理後のバイオマスのラマンイメージング.
Fig. 11 Raman imaging of ionic liquid-pretreated biomass.

に溶解してしまったリグニン分解物等がイオン液体に残存し、前処理能力を低下させることが問題であった。今回、イオン交換膜を用いた電気透析法によりした結果、純度ほぼ100%のイオン液体を回収率

95%以上で回収できる事が分かった (図14)。回収したイオン液体のNMRスペクトルや前処理能力には問題なかった。

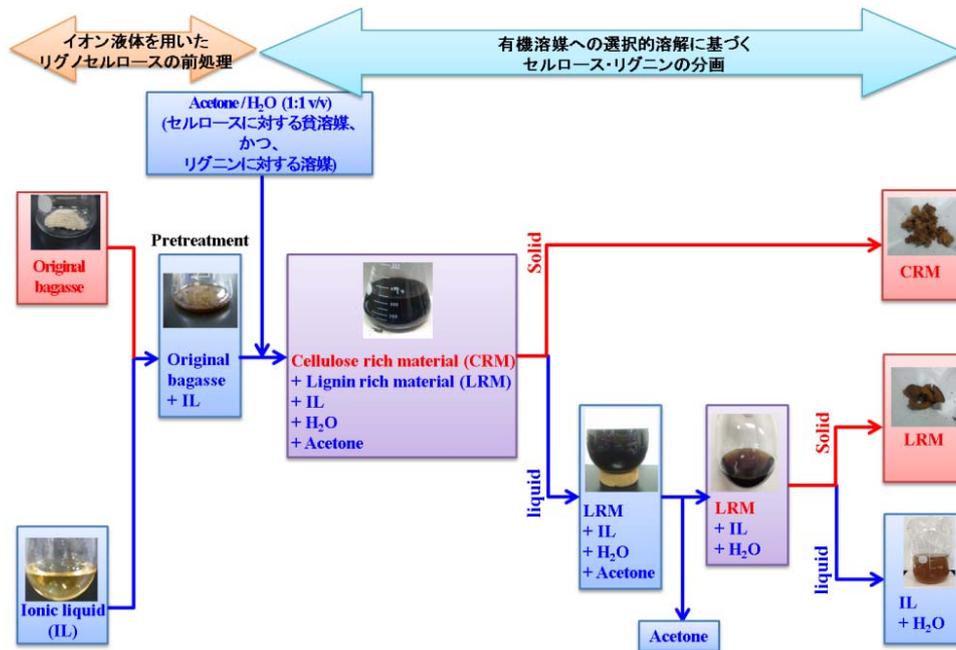
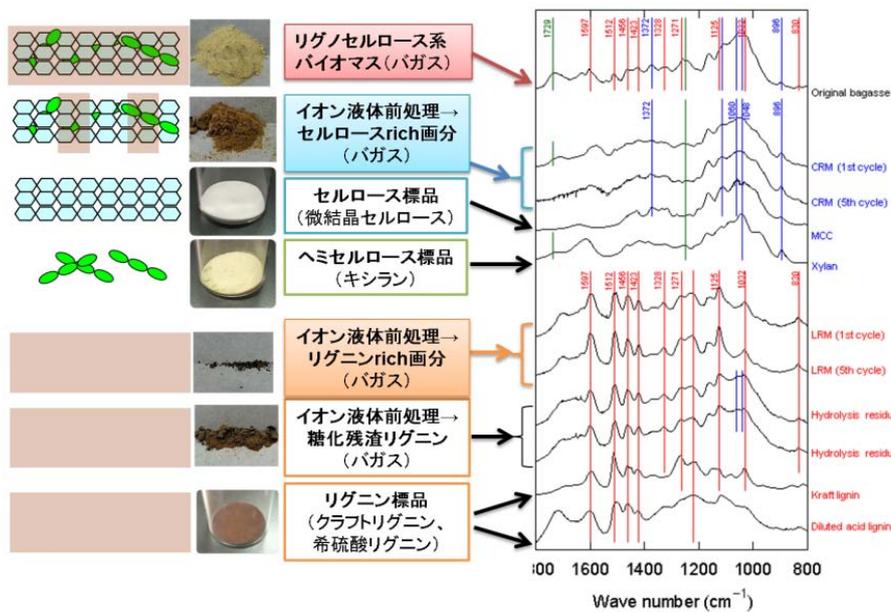


図12 イオン液体前処理時のセルロースとリグニンとの分画作業.

Fig. 12 Fractionation scheme of cellulose and lignin during ionic liquid pretreatment.



バガスのFTIRスペクトルに見られたホロセルロース、リグニンに固有なピークがセルロースrich画分ならびにリグニンrich画分それぞれへと分離されていることが確認できた。

図13 イオン液体前処理時に分画されたセルロースリッチ、リグニンリッチ画分のFTIR分析.

Fig. 13 FTIR analyses of cellulose rich and lignin rich fractions obtained during ionic liquid-assisted pretreatment and fractionation of biomass.

2) イオン液体で前処理されたバイオマスからの糖化・発酵

イオン液体・超音波を用いて前処理後、分画したセルロースrich画分を半固体状で酵素糖化し、高濃

度の糖液を調整した (図15)。セルロースrich画分中のセルロースおよびヘミセルロースの糖化率は、それぞれ96%および73%と高い値であり、膨潤処理モデルセルロースの酵素糖化の場合と比較しても同等

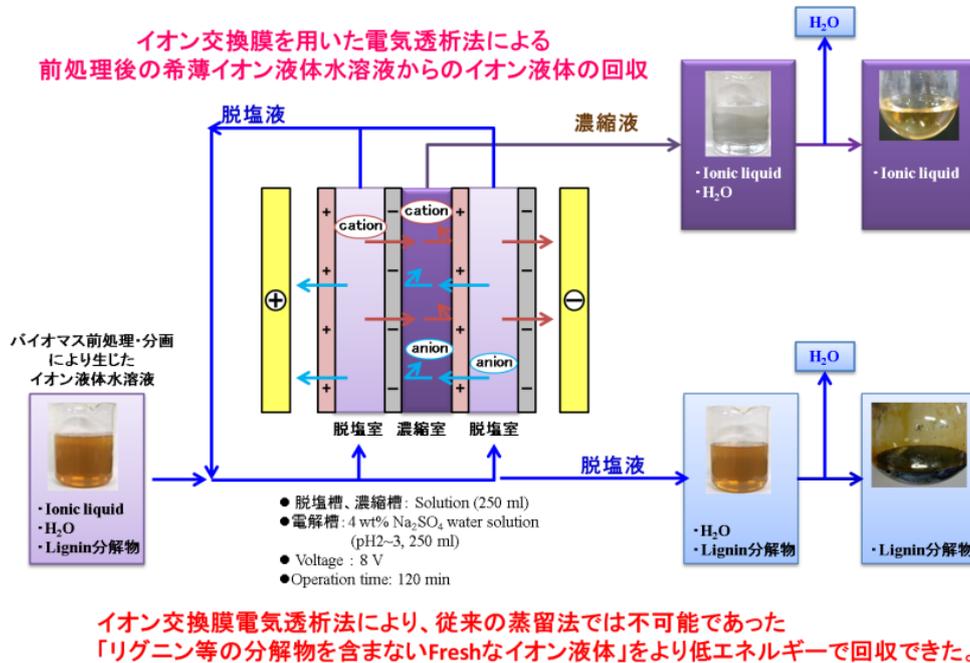


図14 バイオマス前処理後に得られるイオン液体希薄水溶液の電気透析による精製。

Fig. 14 Enrichment of ionic liquid from diluted ionic liquid aqueous solution obtained after ionic-assisted pretreatment of biomass.

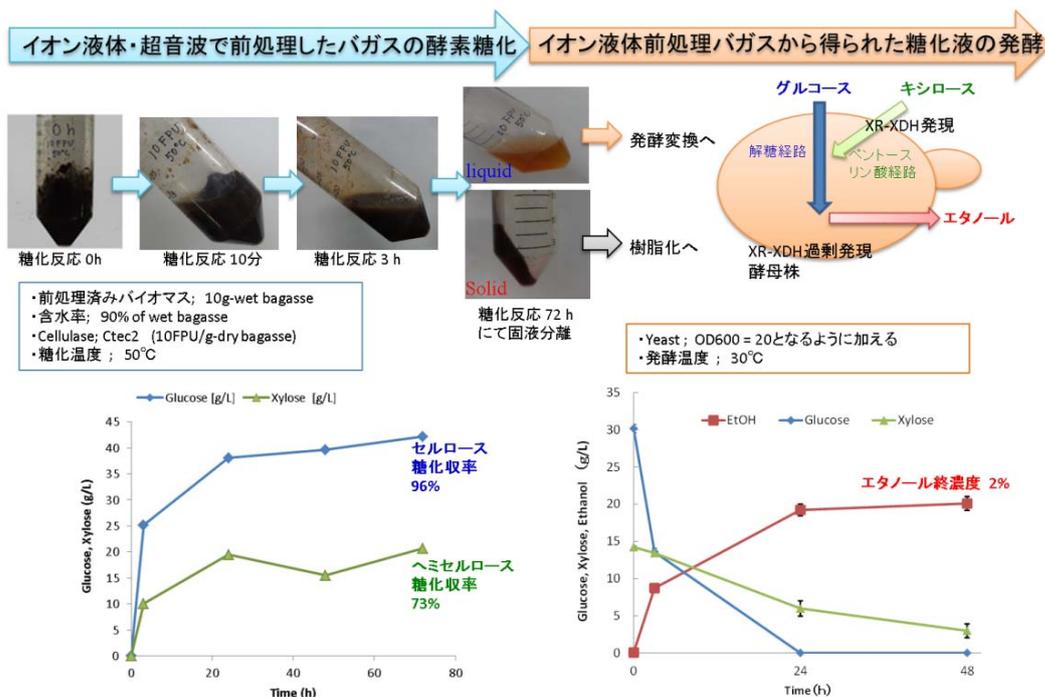
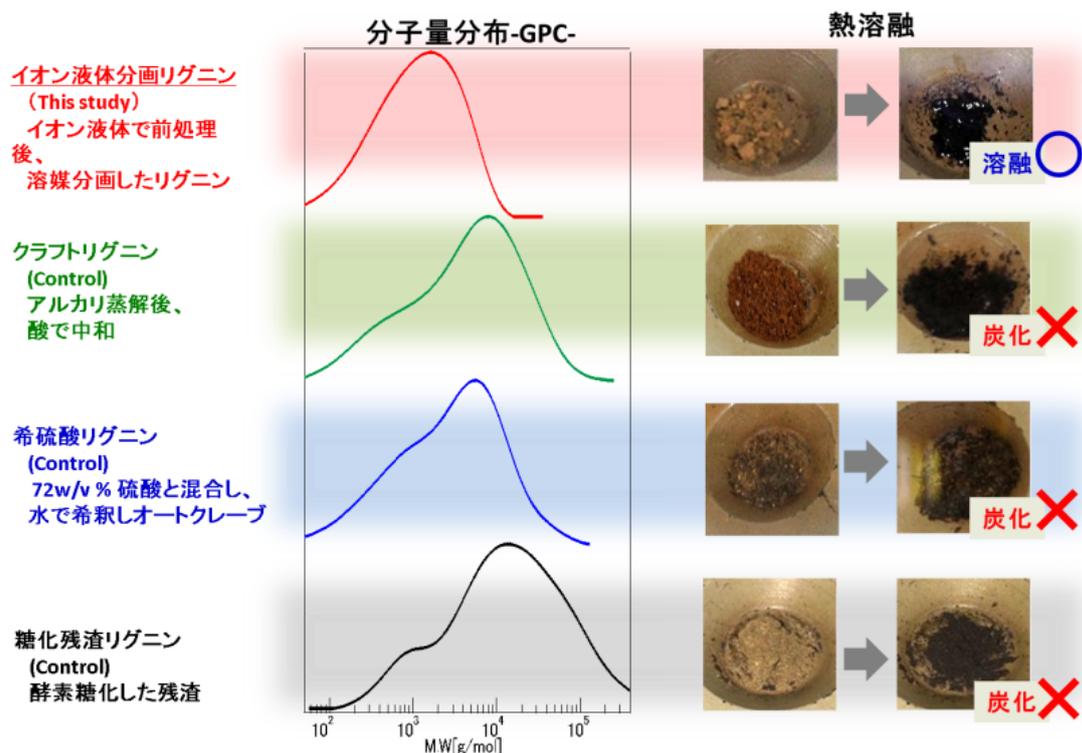


図15 イオン液体により前処理されたバイオマスの糖化と発酵。

Fig. 15 Saccharification and fermentation of ionic liquid-pretreated biomass.



イオン液体分画リグニン → 熱溶解性あり → 熱溶解・紡糸により炭素繊維として応用できる。

図16 イオン液体前処理時に分画されたリグニンの分子量分布および熱溶解試験。

Fig. 16 Molecular weight distribution and thermal fusion assay for lignin fractionated during ionic liquid-assisted pretreatment and fractionation of biomass.

の値と言える。また、その糖化速度も極めて早く、膨潤処理モデルセルロースと比較しても、遜色ないものであった。

イオン液体・超音波を用いて前処理後、分画したホロセルロースを酵素糖化することにより得られた糖液に、キシロース資化経路(キシロースリダクターゼならびにキシルトールデヒドロゲナーゼ)を付与した酵母株を添加し発酵を行った(図16)。この発酵過程においては、キシロース資化経路を付与した酵母株を用いることにより、培養48時間目までに、6単糖(グルコース)はすべて資化され、また5単糖(キシロース)も83%が資化されていることが確認できた。また得られたグルコース・キシロース混合糖液から理論収率の約90%でエタノールへの変換を達成した。

3) イオン液体前処理時の分画リグニン・イオン液体前処理後の糖化残渣リグニンについての樹脂への利用可能性

本研究で提案するプロセスでは、イオン液体・超

音波を用いて前処理後、バイオマスをセルロース rich画分とリグニン rich画分とに分画した。このうち分画リグニンについては、一般的なクラフトリグニンは希硫酸リグニンと比べ分子量が一桁低く、分子量は約103弱であり、熱溶解性を示した(図16)。このことから、熱溶解・紡糸によりピッチ系炭素繊維へと変換可能である。

さらに非結晶化されたセルロース rich画分からは糖化残渣リグニンが得られた。この糖化残渣リグニンについては、酸触媒機能をもつイオン液体中において、解重合すると同時にクレゾールと重合反応を起こすことにより、リグニン含有フェノール樹脂が合成されることを見出した(図17)。

III. おわりに

本研究で構築されたイオン液体を用いたバイオマス前処理法の特徴として、他の類似研究にはない以下の項目があげられる。(1)前処理操作温度が室温でよい。このため、消費エネルギーを格段に少なくす

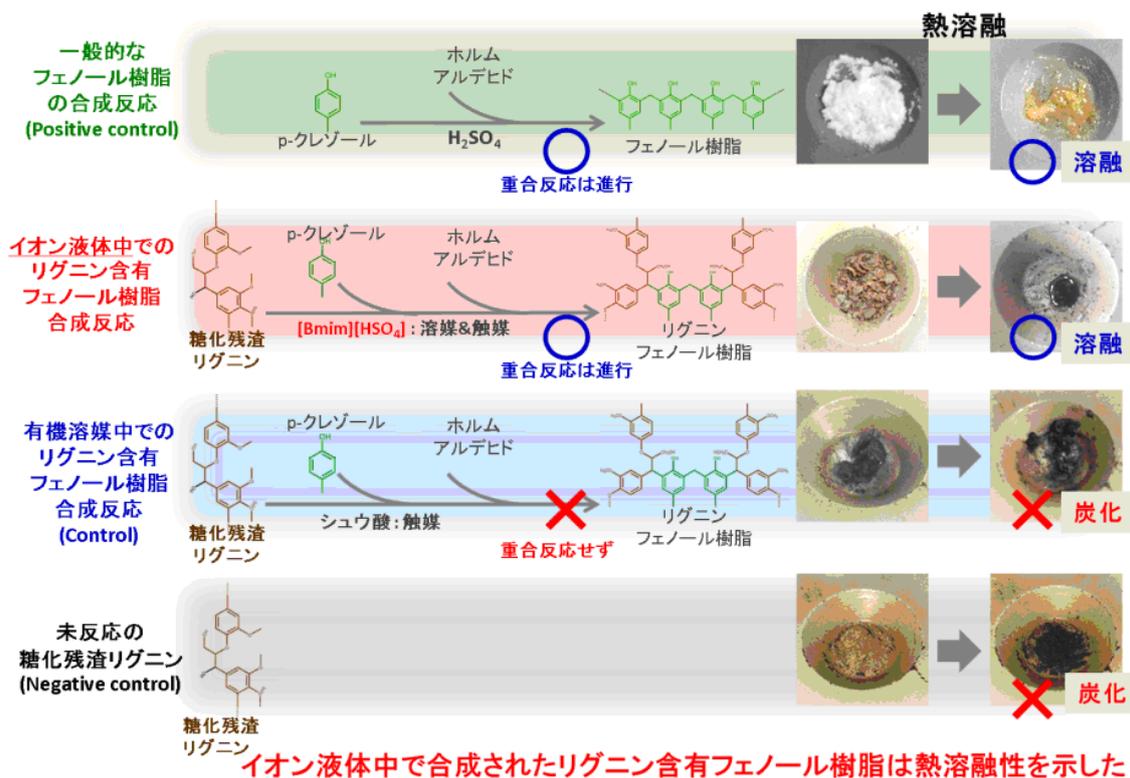


図17 イオン液体前処理後の糖化残渣リグニンのイオン液体中での高分子反応。

Fig. 17 Polymer synthesis reaction in ionic liquid using enzymatic saccharification residue lignin.

ることができる。(2)前処理操作が穏和なため、糖化前処理後のバイオマスにヘミセルロースも残存している。(3)熱的操作と比較して、超音波処理により、リグニンとホロセルロースの分離が効果的に行われる。(4)リグノセルロースを糖化後に残るリグニンの有効利用まで含めたトータルのバイオリファイナリー実現を目指している。イオン液体を用いたバイオマス前処理研究として、我々の研究は世界でもトップクラスであり、他にはない優位性を保っている。

バイオマスリファイナリーを実用化するには、一般的に、下記のような点を考慮しなければいけない。i) 現状ですでに社会実装可能なデンプン系バイオマスリファイナリーの場合と異なり、リグノセルロース系バイオマスリファイナリーの場合は、コスト削減のために、低エネルギーの前処理手法の開発が重要である。ii) バイオマスリファイナリーでは、燃料だけでなく樹脂、繊維を安価に製造する技術開発が必須である。iii) 現状のバイオマスリファイナリーのプロセスで単純に燃焼されているリグニン成分の高度利用が、リファイナリープロセス全体としての

コスト削減のために、重要である。これらに対して、本研究で提案した「イオン液体を利用した木質系バイオマスのトータルリファイナリーは、その要求を満たす技術と考えられる。

謝辞：本研究の一部は、革新的イノベーション創出プログラム (COI) 「革新材料による次世代インフラシステムの構築～安全・安心で地球と共存できる数世紀社会の実現～」, 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」、戦略的イノベーション創出プログラム (SIP) 「植物由来の炭素繊維複合材料の開発」の支援を受けて行われたものです。

文献

- 青森有香・仁宮一章・高橋憲司, 2013: イオン液体を用いたバイオマスリファイナリー. 化学工業, **64**, 45-51.
 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.
- 浅野 真・植田典巳稚・仁宮一章・高橋憲司, 2012 : ラジカル反応を利用したリグニン低分子化による有効利用. バイオインダストリー, **29**, 46-52.
- 仁宮一章・高橋憲司・清水宣明, 2011 : イオン液体と超音波を組み合わせたリグノセルロースの糖化前処理. ケミカルエンジニアリング, **56**, 19-23.
- Ninomiya, K., Kamide, K., Takahashi, K. and Shimizu, N., 2012: Enhanced enzymatic saccharification of kenaf powder after ultrasonic pretreatment in ionic liquids at room temperature. *Bioresource Technology*, **103**, 259-265.
- Ninomiya, K., Soda, H., Ogino, C., Takahashi, K. and Shimizu, N., 2013: Effect of ionic liquid weight ratio on pretreatment of bamboo powder prior to enzymatic saccharification. *Bioresource Technology*, **128**, 188-192.
- Ninomiya, K., Yamauchi, T., Ogino, C., Shimizu, N. and Takahashi, K., 2014: Microwave pretreatment of lignocellulosic material in cholinium ionic liquid for efficient enzymatic saccharification. *Biochemical Engineering Journal*, **90**, 90-95.
- 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. *Ultrasonic Sonochemistry*, **20**, 1092-1097.
- Ninomiya, K., Yamauchi, T., Kobayashi, M., Ogino, C., Shimizu, N. and Takahashi, K., 2013: Cholinium carboxylate ionic liquids for pretreatment of lignocellulosic materials to enhance subsequent enzymatic saccharification. *Biochemical Engineering Journal*, **71**, 25-29.
- Ninomiya, K., Ohta, A., Omote, S., Ogino, C., Takahashi, K. and Shimizu, N., 2013: Combined use of completely bio-derived cholinium ionic liquids and ultrasound irradiation for the pretreatment of lignocellulosic material to enhance enzymatic saccharification. *Chemical Engineering Journal*, **215-216**, 811-818.
- Ninomiya, K., Inoue, K., Aomori, Y., Ohnishi, A., Ogino, C., Shimizu, N. and Takahashi, K., 2015 : Characterization of fractionated biomass component and recovered ionic liquid during cholinium ionic liquid-assisted pretreatment process with its recycle. *Chemical Engineering Journal*, **259**, 323-329.
- Ogura, K., Ninomiya, K., Takahashi, K., Ogino, C. and Kondo, A., 2014 : Pretreatment of Japanese cedar by ionic liquid solutions in combination with acid and metal ion, and its application to high solid loading. *Biotechnology for Biofuels*, **7**, p.120.
- 高橋憲司・仁宮一章・荻野千秋・清水宣明, 2012 : イオン液体と超音波を組み合わせたリグノセルロース前処理によるバイオマス・リファイナリー. バイオインダストリー, **29**, 38-45.

モンゴル古代湖沼堆積物から認められたモノヒドロカルサイト： 古環境指標・環境浄化材料としての役割

福士圭介^{1*}

2014年12月2日受理, Accepted 2 December 2014

Monohydrocalcite from Sediment from the Bottom of an Ancient Lake in Mongolia: its Role as an Environmental Indicator and Environmental Remediation Material

Keisuke FUKUSHI^{1*}

Abstract

Monohydrocalcite (MHC: $\text{CaCO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$) is a rare mineral in nature and was recovered from the lake sediments of Lake Hovsgol in Mongolia. In order to assess the performance of MHC as an environmental indicator and as an environmental remediation material, the physicochemical properties of MHC, for example its transformation mechanism, kinetics, and formation conditions, as well as the uptake mechanisms and properties of hazardous anions (phosphate and arsenate), were examined in laboratory experiments. The investigations showed that MHC in the sediments can record the past saline conditions of lake water. In addition, MHC possesses a higher ability for both phosphate and arsenate sorption and is a promising environmental purification material for hazardous anions.

Key Words: monohydrocalcite, Lake Hovsgol, environmental indicator, transformation, formation, environmental purification material, phosphate, arsenate

キーワード: モノヒドロカルサイト, フブスグル湖, 古環境指標, 変質, 生成, 環境浄化材料, リン酸, ヒ酸

I. はじめに

炭酸カルシウムは地球上に広く存在する物質である。自然界に存在する炭酸カルシウムには、カルサイト（方解石）、アラゴナイト（霰石）およびバテライトの無水塩（組成はいずれも CaCO_3 ）と、イカイト（ $\text{CaCO}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ）、モノヒドロカルサイト（ $\text{CaCO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ）および非晶質炭酸カルシウム（ $\text{CaCO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ）の含水塩がある。カルサイトおよびアラゴナイトは

地球上に存在する炭酸カルシウムのほとんどを占め、工業的にも利用されることから膨大な研究例がある。一方、その他の炭酸カルシウムは天然環境での産出が稀であるためか、その研究例は極端に少ない。Thomson Reutersの学術データベースであるweb of scienceを用いて1980年から現在（2014年11月）の公表論文数を調べたところ、「calcite（カルサイト）」で検索すると21,500件、「aragonite（アラゴナイト）」では4,800件、「vaterite（バテライト）」では1,300件、イ

¹金沢大学環日本海域環境研究センター 自然計測領域地球環境計測研究部門 〒920-1192 石川県金沢市角間町 (Division of Earth Dynamics, Department of Natural Science and Measurement, Institute of Nature and Environmental Technology, Kanazawa University, Kakuma-machi, Kanazawa, 920-1192 Japan)

*連絡著者 (Author for correspondence)

カイトでは110件、「monohydrocalcite (モノヒドロカルサイト)」では100件の研究論文がヒットした。本稿で取り扱うモノヒドロカルサイトは炭酸カルシウムの中でも特に研究例が少ない鉱物といえる。

筆者とモノヒドロカルサイト (以後MHC) との出会いは、金沢大学自然計測応用研究センター (現在の環日本海域研究センター) に赴任した2006年にさかのぼる。筆者の所属する地球環境システム分野では柏谷健二教授 (現名誉教授), 長谷部徳子准教授を中心に、東アジア地域の湖から採取された堆積物コアの分析により古環境変動記録を構築する研究が進められている。筆者は、氷期-間氷期サイクルにおける気候の変化に敏感なユーラシア大陸内陸部に位置するモンゴルのフブスグル湖から掘削された長

尺コア (HDP04コア: 図1) の鉱物学的分析を担当した。堆積物は細粒な鉱物の複雑な集合体であり、そこに含まれる鉱物種の同定には粉末X線回折法 (X-ray diffraction: XRD) がもっともパワフルな手法である。図2に堆積物の分析結果の一例を示す。分析したすべての深度に共通して、石英、長石、角閃石といった初生鉱物と粘土鉱物が認められた。一方特定の深度から得られたサンプルでは炭酸塩鉱物を含むものが見いだされ、その中でも寒冷期に相当する深度にはMHCが含まれることが認められた (Fukushi *et al.* 2006)。前述のようにMHCは天然での報告例が極めて少ない鉱物である。天然においてMHCの産出が希少であるのは、MHCが異常な地球化学的コンディションにおいてしか生成・保存されないことに

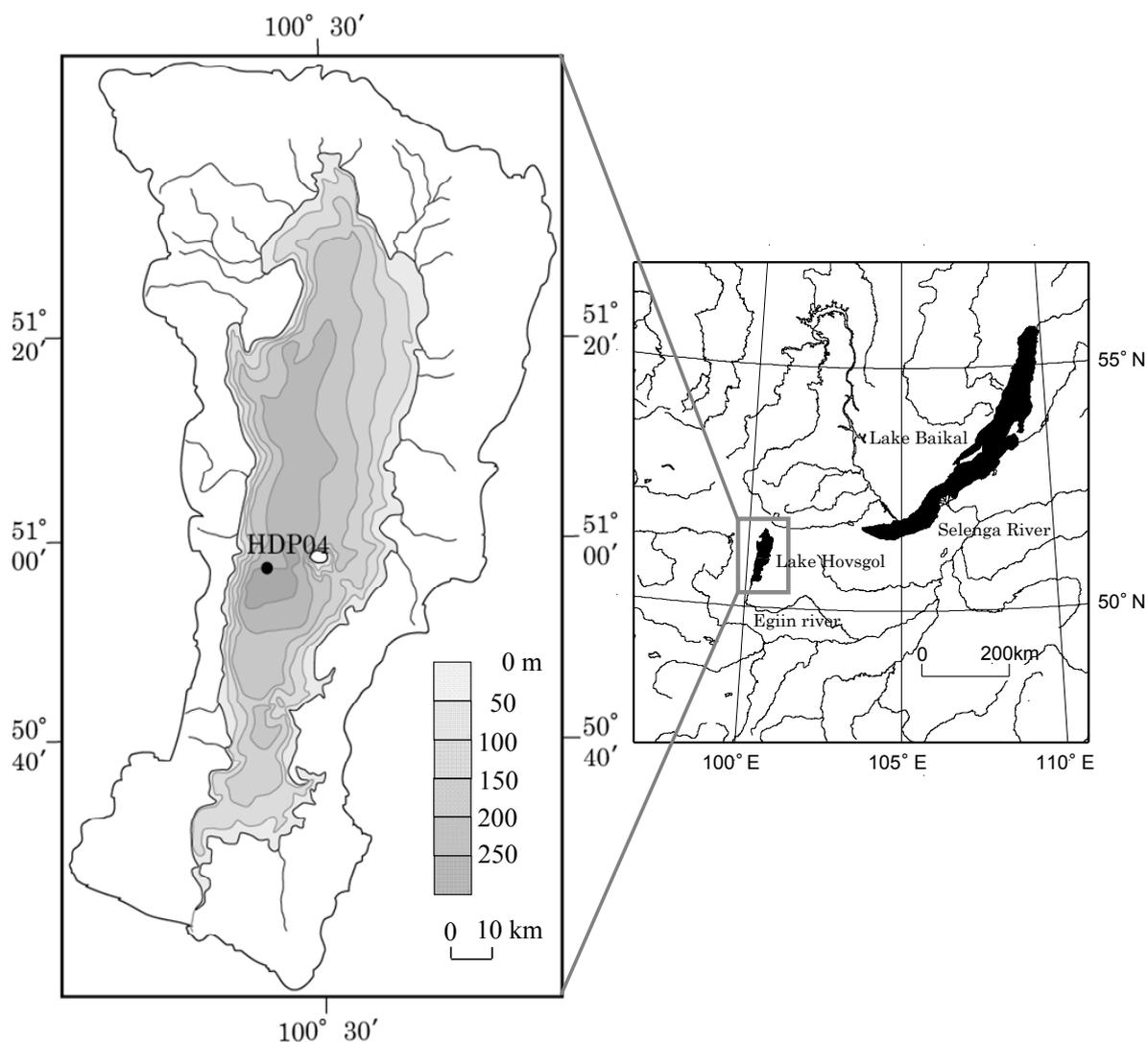


図1 フブスグル湖およびHDP04コアの採取地点。

Fig. 1 Map of the Lake Hovsgol watershed showing the site of core HDP04.

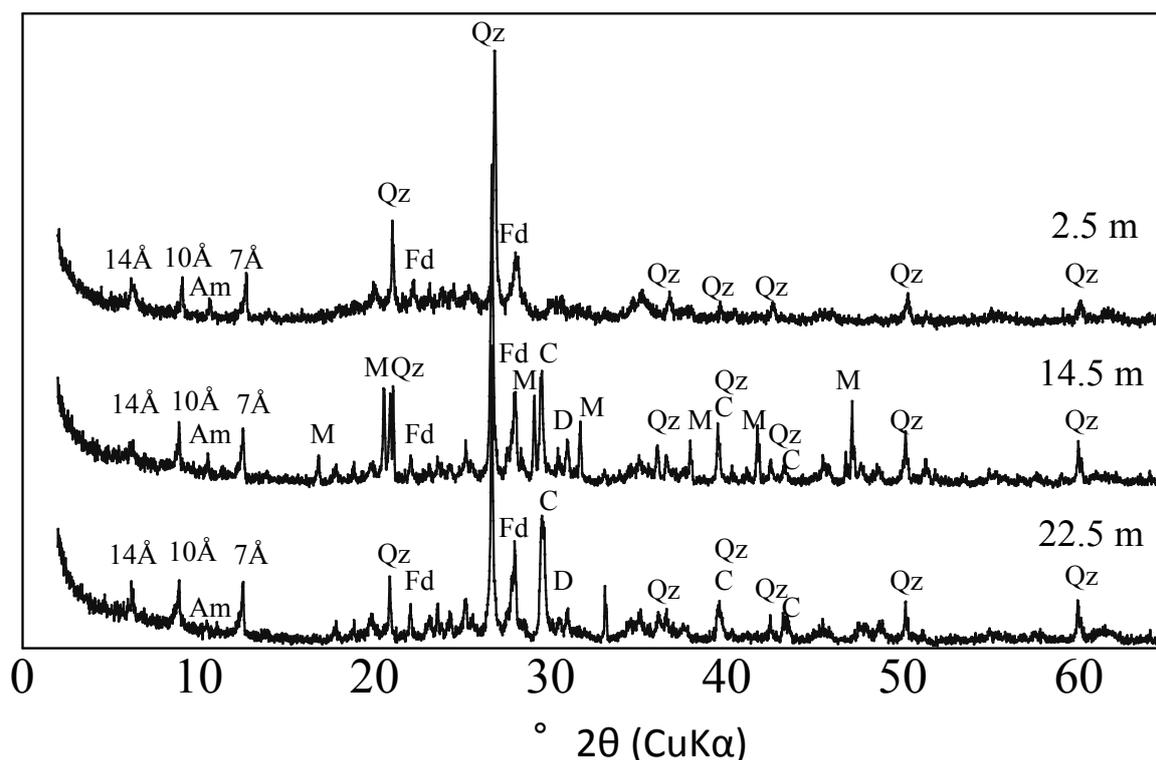


図2 フブスグル湖堆積物のXRDパターン. Qz : 石英, Fd : 長石, Am : 角閃石, C : カルサイト, D : ドロマイト, M : MHC. 7, 10, および14 Åは粘土鉱物のピークに相当する.

Fig. 2 Representative XRD patterns of Hovsgol sediment from 2 to 65 degree for bulk samples. Qz: quartz, Fd: feldspar, Am: amphibole, C: calcite, D: dolomite, M: monohydrocalcite. Clay mineral peaks can be seen at 7, 10, and 14 Å, each peak corresponds to chlorite, illite, chlorite and smectite, respectively.

よる。したがってMHCの生成と安定性を理解することにより、かつて寒冷期がフブスグル湖にもたらした異常環境を復元できるはずである。

ところで筆者は金沢大学赴任以前から、鉱物による有害元素の取り込み過程に強い興味をもっていた。自然界には様々な鉱物が存在するが、特定の鉱物は有害元素を効率よく取り込む性質がある。筆者の持論としては、不安定な物質であるほど、有害元素をよく取り込む (Fukushi and Sato, 2005; Fukushi and Sverjensky, 2007)。一例をあげると、鉄酸化物には安定な赤鉄鉱や針鉄鉱および不安定なフェリハイドライトやシュベルトマナイトが存在するが、有害元素であるヒ素の取り込み能力はフェリハイドライトやシュベルトマナイトが赤鉄鉱や針鉄鉱よりも高い (Fukushi and Sverjensky, 2007)。MHCは準安定相であり、カルサイトやアラゴナイトよりも不安定な鉱物である。したがって、MHCは有害元素の有効な取り込み材料の可能性はある。

以上のような背景で、MHCの生成・安定性や有害

イオンの取り込み挙動を主として室内実験から明らかにする研究を行ってきた。本稿ではこれまでに得られているいくつかの成果について述べていく。

II. モノヒドロカルサイトの生成と安定性

1) モノヒドロカルサイトの安定性 (Munemoto and Fukushi 2008)

1-1) はじめに

MHCは準安定鉱物であり、乾燥条件では数年間変化しないが、高温の水中に存在するとカルサイトやアラゴナイトへ短時間で相変化する (Taylor, 1975)。したがって、MHCは地球科学的研究対象となる保存期間を持たないと考えられ、その安定性はほとんど検討されてきていなかった。本研究では室内実験からMHCの安定性を評価することを目的とし、準安定相の理解に必須となる低温におけるMHCの変質挙動とその速度について検討を行った。

1-2) 実験方法

本研究で用いるMHCは0.06M CaCl₂, 0.06M MgCl₂, 0.08M Na₂CO₃の混合溶液を48時間25±0.5℃で熟成させ、生成した懸濁液を固液分離して得られたものである。得られた物質を脱イオン水によりよく洗浄した後自然乾燥させ以下の実験に用いた。

合成したMHCと予め実験温度(50℃, 40℃, 25℃, 10℃)に調整した0.01M NaCl支持電解質溶液を固液比80mg/40mlになるように樹脂製反応容器内に混合させた。MHCを添加後、直ちに懸濁液のpHを、ガラス電極を用いて計測し反応容器のふたを閉じた。各温度条件につき、インキュベーター内において同一の混合溶液を数個用意し実験温度±0.5℃で攪拌した。反応容器は任意の時間で回収し減圧濾過により固液分離をすることで固相を回収した。得られた固相をスライドガラスに丁寧に塗布しXRDで鉱物同定を行った。得られた各XRDパターンに対して外部標準法を用いて、変質試料中に含まれるMHCとアラゴナイトの定量を行った。XRDはRigaku RINT1200

を使用し、CuKα線、40kV、30mAで測定した。

1-3) 結果と考察

本研究で行った全ての実験温度条件で、MHCの変質相はアラゴナイトであった(表1)。MHCのXRDパターンから算出した時間に伴うMHCの重量変化は、いずれの温度条件においても、初期段階から一定時間重量が変化せず、その後急激に重量が減少し、比較的短時間でMHCは完全に消失した(図3)。この急速な重量減少の開始はアラゴナイトのピークが現れる時間と一致し、MHCの減少に伴いアラゴナイトの増加が確認された。またMHCの減少せずに維持される時間(アラゴナイトのピークが出現するまでの時間)と、MHCのピークが減少し消滅するまでの時間は双方とも温度の上昇に伴い減少した(図3)。両者における変質過程が異なると考えられ、維持される時間をstep 1、減少する時間をstep 2とする。

水溶液中におけるMHCのアラゴナイトへの変質過程は、MHCの溶解、溶液からのアラゴナイトの核

表1 MHCの変質速度実験結果 (Munemoto and Fukushi, 2008).

Table 1 Mineralogy, amount of MHC and aragonite calculated by the external standard method (Munemoto and Fukushi, 2008).

t(°C)	Time(sec)	Mineralogy	Amounts of MHC (mmol)	Amounts of aragonite (mmol)	t(°C)	Time(sec)	Mineralogy	Amounts of MHC (mmol)	Amounts of aragonite (mmol)	pH	
50°C	0	MHC	0.70		25°C	0	MHC	0.70			
	1800	MHC	0.56			7200	MHC	0.64			10.78
	3600	MHC,Ara	0.32	0.19		14400	MHC	0.69			10.69
	5400	MHC,Ara	0.19	0.48		21600	MHC	0.67			10.64
	7200	MHC,Ara	0.10	0.57		28800	MHC	0.69			10.64
	9000	Ara		0.70		36000	MHC,Ara	0.66	0.019		10.62
40°C	0	MHC	0.70		43200	MHC,Ara	0.67	0.025		10.59	
	3600	MHC	0.65		50400	MHC,Ara	0.65	0.042		10.58	
	7200	MHC,Ara	0.59	0.061	57600	MHC,Ara	0.55	0.076		10.61	
	10800	MHC,Ara	0.36	0.30	64800	MHC,Ara	0.51	0.11		10.51	
	14400	MHC,Ara	0.15	0.61	72000	MHC,Ara	0.36	0.25		10.48	
	18000	MHC,Ara	0.11	0.69	79200	MHC,Ara	0.15	0.53		10.48	
	21600	Ara		0.70	86400	Ara		0.70		10.52	
	10°C	0	MHC	0.70							
432000		MHC	0.63								
518400		MHC	0.74								
604800		MHC	0.76								
691200		MHC	0.74								
777600		MHC,Ara	0.50	0.15							
950400		MHC,Ara	0.20	0.43							
1036800		Ara		0.70							

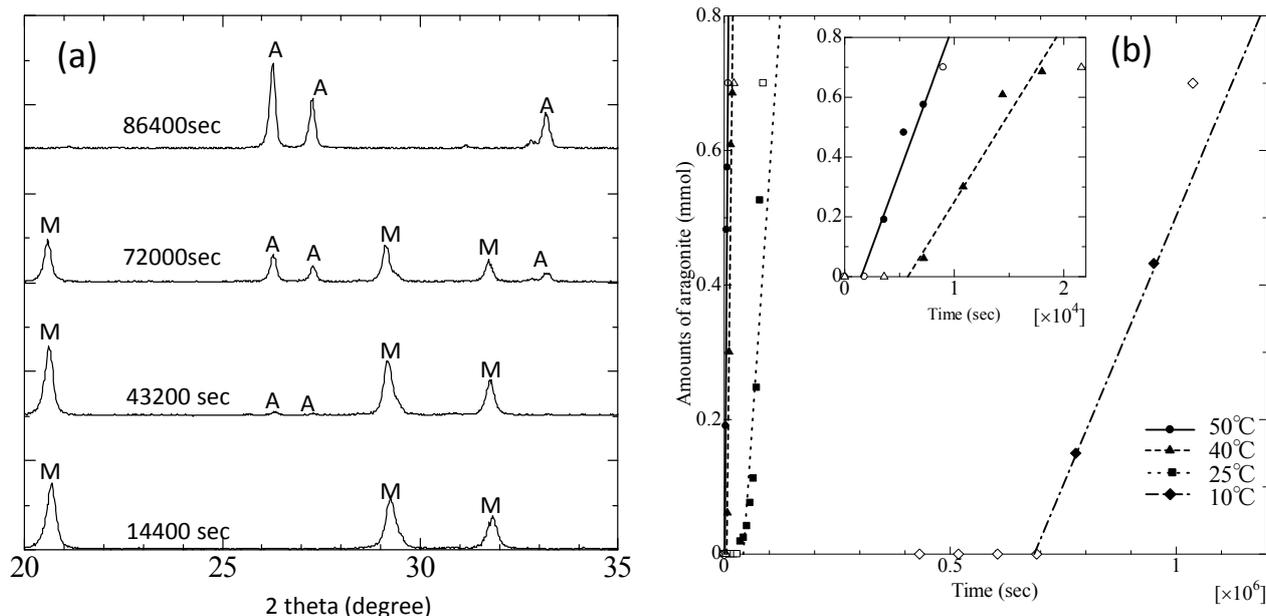


図3 各時間で回収した試料のXRDパターン (a). A : アラゴナイト, M : MHC. 時間ごとのアラゴナイト生成量の変化(b) (Munemoto and Fukushi, 2008).

Fig. 3 RD patterns of collected samples after 14400, 43200, 72000 and 86400 seconds at 25 °C (Munemoto and Fukushi 2008). A: aragonite, M: MHC. (b) Changes in amounts of aragonite formation as function of time up to 1,200,000 seconds. The figure in the inset shows the changes in the formation of aragonite up to 22,000 seconds. The line indicates the regression for the pseudo-zero-order reaction for aragonite crystal growth. The open circles indicate the periods when both aragonite and MHC coexist from XRD patterns. The closed circles indicate the periods when aragonite and MHC solely occur.

形成およびアラゴナイトの結晶成長から構成されると考えられる。25°Cの条件下においてMHCを溶液に添加した後、懸濁液のpHは数分オーダーでMHCの平衡pH付近まで達することが認められた(表1)。このことは、MHCの溶解速度は極めて速く、MHCが存在する条件において溶液は常に飽和状態が維持されていると考えられる。step 2の開始はアラゴナイトの生成と一致する。したがってstep 1は、アラゴナイトに関して過飽和状態にある溶液から、アラゴナイトの核形成が起こるプロセスが律速であり、step 2は溶液に溶出した成分を消費しアラゴナイトが成長するプロセスが律速となっていることが推測される。二つのプロセスの温度依存性はアレニウスプロットから活性化エネルギーを見積もることにより評価され(図4)、核形成プロセスは108.1kJ/mol、アラゴナイトの成長プロセスは80.6kJ/molと見積もられた。

2) モノヒドロカルサイトの生成条件 (Nishiyama *et al.*, 2013)

2-1) はじめに

MHCは地球表層環境では非常にめずらしい準安

定炭酸塩鉱物であり、地球上では主に塩湖での産出が認められている(図5)。MHCの溶解度は、無水カルシウム炭酸塩鉱物の安定相であるカルサイトやアラゴナイトよりも1桁高いのみであり、しばしば塩湖で観察されるジブサムに比べると3桁も低い。なぜ低い溶解度を有するMHCが、高い塩濃度の環境で生成するのかはこれまで明らかになっていない。

また、MHCの結晶構造にMgは入らないにもかかわらず、室内実験および天然での産状から、MHCの生成には溶液中にMgの存在が必要であることが示されている(Fukushi *et al.* 2011; Kimura and Koga 2011)。MHC生成におけるMgの重要性の影響に取り組む研究は今までに行われてきた(Kimura and Koga 2011)。しかし、天然の系でのMHCの生成条件を解明するためには、 Ca^{2+} Mg^{2+} CO_3^{2-} の相互の寄与を理解することが重要である。

本研究では、MHCの生成条件を明らかにすることおよびMHC生成におけるMgの役割を明らかにするために、 CaCl_2 - MgCl_2 - Na_2CO_3 溶液からの系統的な炭酸塩鉱物生成実験を行った。

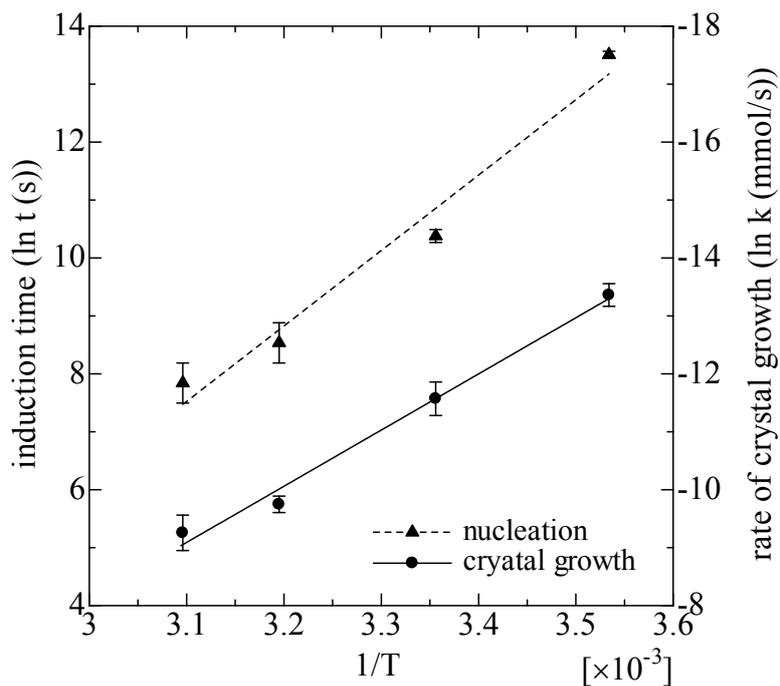


図4 アラゴナイト核形成および結晶成長プロセスのアレニウスプロット (Munemoto and Fukushi, 2008) .

Fig. 4 Arrhenius plot for the nucleation and crystal growth of aragonite during the transformation of MHC (Munemoto and Fukushi, 2008). The broken line is the regression line for nucleation, and the solid line is the regression line for crystal growth.

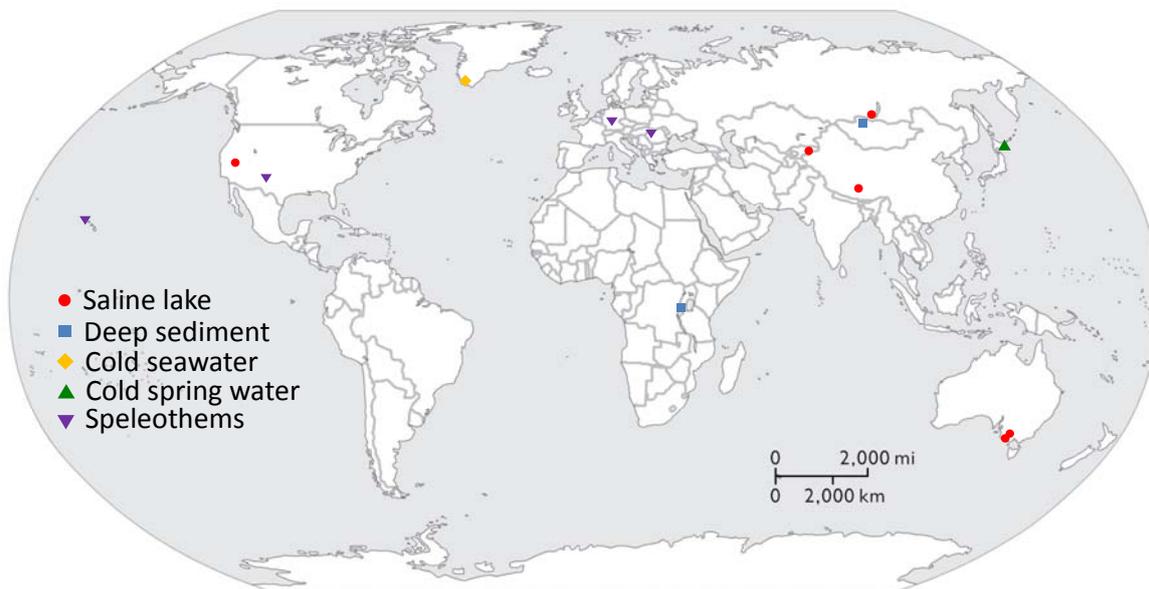


図5 地球上におけるMHCの分布 (Fukushi *et al.*, 2011).

Fig. 5 Distribution of reported MHC formation in the world (Fukushi *et al.*, 2011).

2-2) 実験方法

Ca濃度が0.025~0.10M, Mg濃度が0~0.05M, CO₃濃度が0.03~0.10Mになるように, CaCl₂とMgCl₂・6H₂Oの混合溶液50mLに2.5MのNa₂CO₃溶液を添加し

封入した。全部で42通りの初期溶液組成から実験を行った。全ての濃度条件において, 溶液を混合すると直ちに白い沈殿物の生成が確認された。反応容器をインキュベーター内で25°Cに保ち, ミックスロー

ターを用いて24時間攪拌した。また、いくつかの条件では12, 48, および60時間攪拌した。攪拌後、懸濁液のpHを測定し減圧ろ過により固液分離を行った。固相はスライドガラスに均質になるように塗布し、風乾させた後、粉末X線回折 (Ultima IV, CuK α , 40mA, 30kV, Rigaku Corp.)により生成物を同定した。

また走査型電子顕微鏡 (SEM: JSM-5200LV, JEOL S-3000N, Hitachi High-Technologies Corp.)およびエネルギー分散型X線分光器 (EDX: EMAX500, Horiba Ltd.)を用い、生成物の形態観察、元素分布分析を行った。ろ液に対してはアルカリニティー滴定により炭酸濃度を測定し、高速液体クロマトグラフィー (HPLC, 8020 series, Tosho Co., Inc.)によりCa, MgおよびNa濃度を測定した。また、反応溶液のpH, Ca, Mg, Na, ClおよびCO₃濃度を入力値として地球化学コードThe Geochemist's Workbench (Bethke, 1998)を用いて、各種活量を計算した。固体中に分配されるCa, MgおよびCO₃は、初期濃度から反応溶液中の濃度を引

くことで見積もった。

2-3) 結果と考察

XRD分析の結果、生成物はMHC, アラゴナイトとカルサイトが混合したもの、カルサイトとファテライトが混合したもの、非晶質の4種類に分類できた (図6)。MHCのピークが確認できたものの中で、固体中のMg/Ca比が0.4より高いときはピーク強度が低く、半値幅が大きい。これらは低結晶性のMHCとすることにした。

縦軸に初期Mg濃度, 横軸に初期[CO₃]/[Ca]をとったものを図7に示す。Mgが0.01M以上添加された条件において、MHCは初期溶液組成が初期[CO₃]/[Ca] > 1のときに生成することが確認できた。また、Mg濃度および初期[CO₃]/[Ca]がともに高い条件で低結晶性を示し、さらに高いと非晶質であった。Munemoto and Fukushi (2008) やKimura and Koga (2011) で行われたMHC合成条件も、本実験の初期

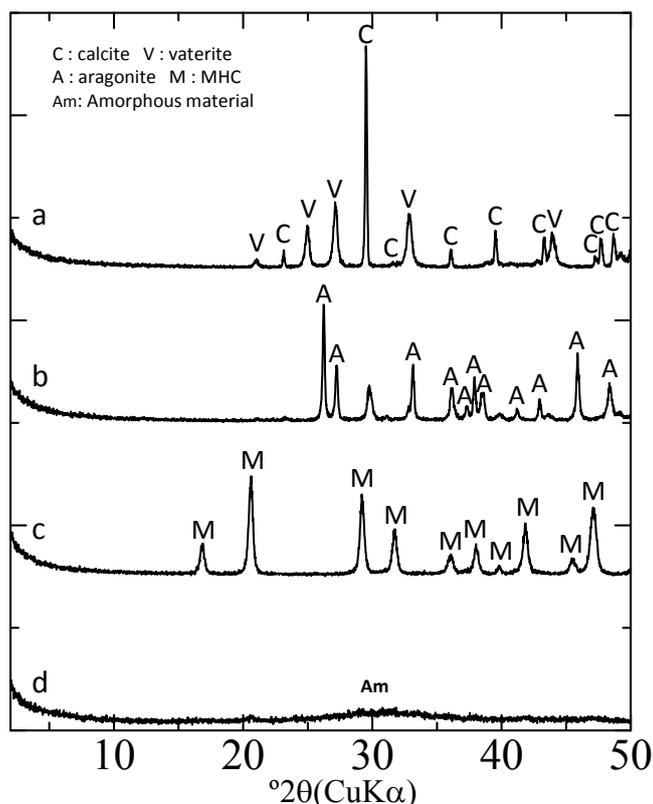


図6 合成実験試料の代表的なXRDパターン (Nishiyama *et al.*, 2013). C: カルサイト, V: バテライト, A: アラゴナイト, M: MHC, Am: 非晶質物質.

Fig. 6 Representative XRD patterns of the samples (Nishiyama *et al.*, 2013). All XRD patterns are categorized four mineral assemblages. They are vaterite and calcite (a), aragonite and calcite (b), MHC (c) and amorphous material (d). C: calcite, V: vaterite, A: aragonite, M: MHC, Am: amorphous material.

条件とよく一致する (図7)。Kimura and Koga (2011) ではハイドロマグネサイト ($\text{Mg}_5(\text{CO}_3)_4(\text{OH})_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$) がMHCと共存してできているが、この違いは熟成時間の違いに起因していると考えられる。

図8は反応溶液の Mg^{2+} と CO_3^{2-} 活量の関係を示している。無水のカルシウム炭酸塩鉱物の Mg^{2+} と CO_3^{2-} 活量の関係に系統的な傾向はない。一方、MHCおよび非晶質物質が生成した溶液には良い相関がある。

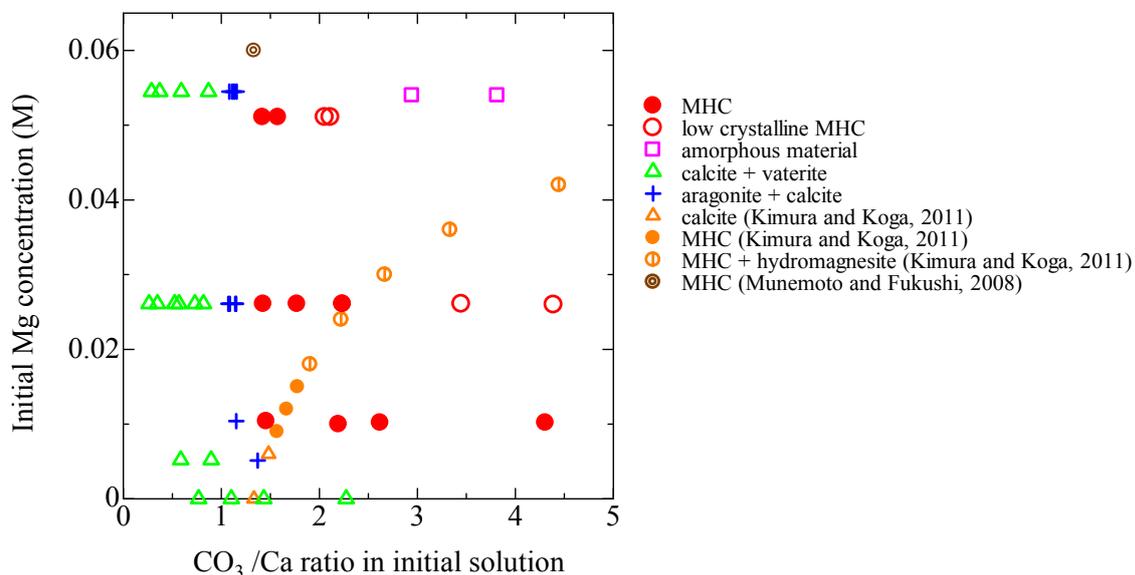


図7 初期溶液の Ca/CO_3 および Mg 濃度領域における鉱物組み合わせの分布 (Nishiyama *et al.*, 2013).

Fig. 7 Distribution of the mineral assemblages as a function of the Ca/CO_3 ratio in the initial solution and initial Mg concentration obtained from the present study (Nishiyama *et al.*, 2013) and previous studies (Munemoto and Fukushi, 2008; Kimura and Koga, 2011).

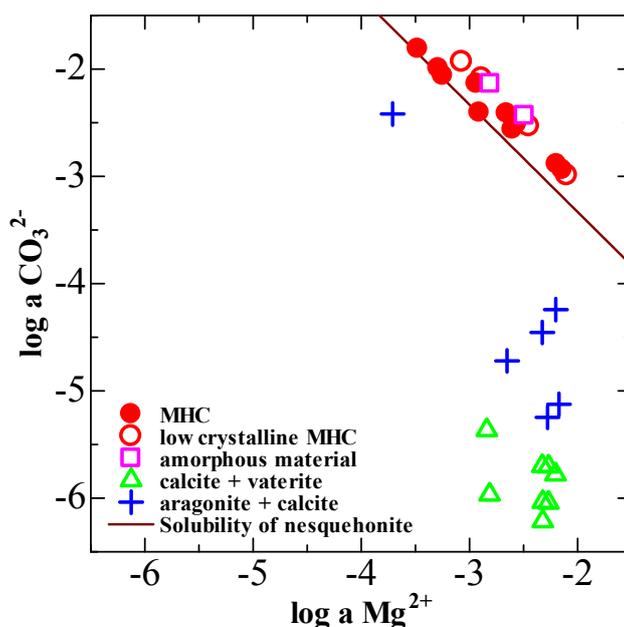


図8 反応溶液中の Mg^{2+} and CO_3^{2-} 活量対数図 (Nishiyama *et al.*, 2013).

Fig. 8 Activity relation between Mg^{2+} and CO_3^{2-} in reacted solutions (Nishiyama *et al.*, 2013). Different symbols represent different mineral assemblages.

回帰分析は傾きが-1にとっても近いことを示している。この直線は、1モルの Mg^{2+} と1モルの CO_3^{2-} を含む鉱物と平衡に近いことを意味する。図中の直線はネスケホナイト ($MgCO_3 \cdot 3H_2O$) の溶解度を示している。MHCが生成した後の溶液中の Mg^{2+} と CO_3^{2-} の活量はネスケホナイトに関して平衡またはやや過飽和である。ネスケホナイトは準安定相であり、ネスケホナイトがヒドロマグネサイトに変質する例もいくつか報告されている (Hopkinson *et al.*, 2014; Konigsberger *et al.*, 1999)。本研究でも熟成時間が60時間においてヒドロマグネサイトの生成を確認しており、それはネスケホナイトからの変質によってできたものであることが予期される。XRDパターンからは結晶性のMg相を確認できなかったが、微量の含水Mg炭酸塩鉱物が生成していると考えられる。

生成物の経時変化を調べた検討からMHCは非晶質からの変質で生成していることが推測される。図7によると、非晶質も含水Mg炭酸塩鉱物の共生を必要としている。非晶質の多孔質構造中のMgの存在は、脱水を妨害する効果がある (Rodriguez-Blanco *et al.*, 2012)。Mgが存在する中で非晶質のCa成分は、脱水が阻害されているため含水カルシウム炭酸塩に変質すると考えられる。SEM-EDX分析結果より、MgはMHC固体に均質に分布していることが観察された。非晶質物質が変質した後に生成したMHCはMg炭酸塩によって覆われ、それがさらなる無水炭酸塩への変質を妨げる役割をしているに違いない。

含水Mg炭酸塩の溶解度は極めて高いため、塩水環

境でのみしか生成しない。MHCの生成にはMg炭酸塩の共生が必要であるため、MHCは高い塩濃度条件で主に観察されると考えられる。天然での産出の希少さは含水Mg炭酸塩の共生が必要なことおよびMHCの準安定性によって説明される。

3) フブスグル湖湖沼堆積物に認められたMHCの古環境指標としての役割

フブスグル湖では寒冷期に現在よりも水位が低く、流出河川の失われた閉塞湖であったことが推測されている (HDP members, 2009)。湖から流出河川が失われると、流入河川から溶存成分が湖内に入り込むが、溶存成分は湖外に排出されないため、湖の塩濃度は上昇すること。なおその際、流入した水は蒸発により湖内から除去される。本研究で明らかになったように、MHCの生成には溶解度の高い含水マグネシウム炭酸塩の生成を必要とする。図9には地球化学コードThe Geochemist's Workbench (Bethke, 1998) を用いて、現在のフブスグル湖の水質から、水を除去し塩を濃縮させるシミュレーションを行った結果を示している。MHCと含水マグネシウム炭酸塩であるネスケホナイトが同時に生成できる条件は、現在よりも30倍程度塩が濃縮された条件である (図9a)。なお、その条件において、水中の塩濃度は塩湖に分類されるほど上昇することが確認できる (図9b)。以上のシミュレーションに基づくと、MHCが生成していた寒冷期では、現在淡水湖であるフブスグル湖は塩湖であったことが推測される。

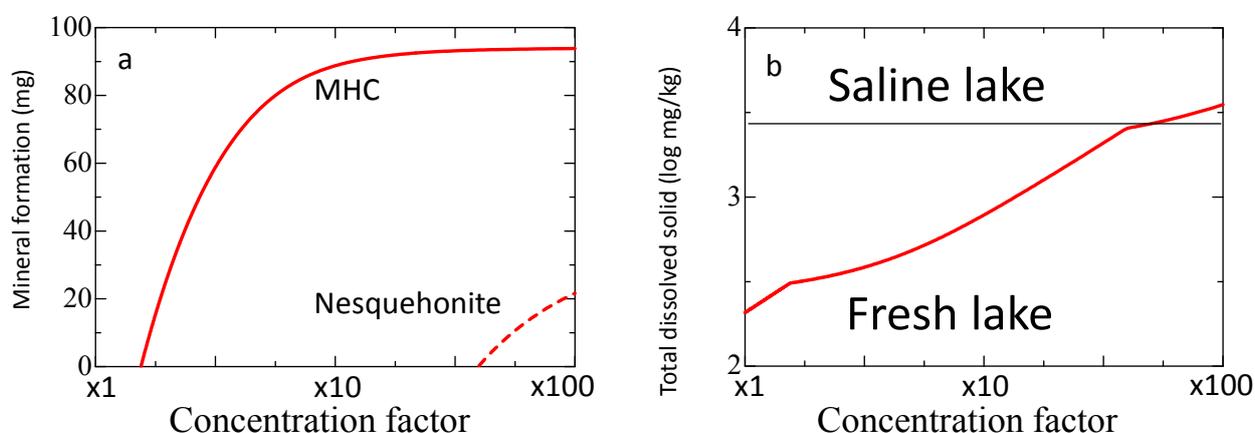


図9 現在のフブスグル湖の水質から、水を除去し塩を濃縮させるシミュレーション結果。

Fig. 9 Modeled calculations of the relevant mineral formations (a) and changes of total dissolved solid (b) from the water in Lake Hovsgol as function of concentration factor.

MHCは準安定相であり、筆者らの実験結果に基づくなら低温条件であっても水の存在下であれば数か月のオーダーで相変化するはずである。一方、フブスグル湖沼堆積物からは数万年前に相当する深度にMHCが見いだされている。なぜ、これほどの超長期間MHCが保存されたのか？それはいまだ明らかにできていない。後述のように、リンの存在はMHCの変質を阻害する性質がある。現在のところ湖水中の不純物がMHCの変質を妨げたと推測できるが、数万年オーダーの保存を説明できるかは自信がない。今後の研究が必要とされる。

Ⅲ. モノヒドロカルサイトによる有害イオンの取り込み

1) モノヒドロカルサイトによるリン酸の取り込み (Yagi and Fukushi 2011, 2012)

1-1) はじめに

リンは生物にとって必須栄養素であり、化学肥料としてリンを用いることで食糧生産量は飛躍的に増加する。しかし、過剰なリンの供給は水圏環境における富栄養化を引き起こし、生態系に重要な影響を与える。水圏環境における富栄養化の解消には、溶存するリンの除去が必須であり、安価で効率的な除去技術の確立が望まれている。一方、化学肥料に利用されるリン資源は今後100年以内に枯渇することが推定されており、持続的な食糧生産のために新たなリンの資源開発が急務となっている。水質汚染物質であるリンを効果的に回収し、化学肥料として再利用することができると、上記環境問題と資源問題を同時に解決するブレークスルーとなりえるため、その技術開発は現在注目を集めている。カルシウム炭酸塩は天然にありふれた元素から構成されるため、環境負荷が極めて少なく、リン酸を回収した後の資材は直接に酸性土壌下で肥料として利用できるというメリットを持つ。そのため、カルサイト・アラゴナイト (CaCO_3) をリンの吸着剤として用いる研究も行われている (e.g. Millero *et al.*, 2001)。

MHCはカルシウム炭酸塩鉱物の準安定相である。一般的に準安定相は安定相より比表面積が大きく反応性も高いことが知られており (Fukushi and Sato, 2005), MHCはカルサイトやアラゴナイトより大きな取り込み能力を持つことが期待される。Millero *et*

al. (2001) は、カルサイトやアラゴナイトによるリン酸の吸着が水質組成によって大きく変化することを報告している。そのため、MHCによるリン酸の取り込みプロセスにも水溶液組成が影響を与えると考えられる。そこで、本研究では、MHCによるリン酸の取り込み実験を行い、取り込み挙動とそのメカニズムを幅広い水溶液組成 (Mg濃度、イオン強度及び温度) で解明することを目的とする。

1-2) 実験方法

本研究に用いるMHCは、塩化カルシウム溶液0.06M、塩化マグネシウム6水和物溶液0.06M、炭酸ナトリウム溶液0.08Mの混合溶液を25°C、48時間ミックスローターを用いて熟成させることで合成した。得られた合成試料を2日間低温条件で透析処理を行い過剰な塩を除去した。透析後の試料は減圧濾過により固液分離し、固相を凍結乾燥させて実験に用いた。試料に含まれるCaおよび不純物として含まれるMg含有量は、合成試料50mgを1Mの HNO_3 に溶解させ、溶液に含まれるCaとMgを高速液体クロマトグラフィー (HPLC: 東ソー8020シリーズ) により測定することにより見積もった。 CO_3 および H_2O 含有量は熱分析 (Rigaku TG-DTA TG8120) により見積もった。MHC 1gあたりの各成分の含有量は、Ca 8.49mmol/g、Mg 0.19mmol/g、 CO_3 8.68mmol/g、 H_2O 8.77mmol/gであった。また、MHCの比表面積は16.4m²/gだった。

Na_2HPO_4 を用いて初期リン酸濃度 (PI) が0μM~210μMになるように調整した0.01M NaCl溶液を反応溶液 (50mL) とした。この溶液にMHCを100mg添加し、インキュベーター内で25°Cに設定し、大気に開いた系でマグネティックスターラーを用いて24時間攪拌した。また、0.5mM、1.0mMになるようにMgを添加した系、0.1M、0.7M NaClを支持電解質溶液として用いた系、温度を15°C、35°Cに調整した系において、同様のリン酸取り込み実験を行った。反応溶液のpH測定を行い、0.2μm径フィルターを用いて固液分離を行った。固相は粉末X線回折 (Rigaku UltimaIV, CuKα, 40mA, 30kV) で含有鉱物の同定を行った。ろ液に含まれるリン酸濃度は分光光度計 (島津 UV-1200) により測定した。CaおよびMg濃度はHPLCにより測定した。得られた水溶液組成に対して地球化学コードVisual Minteqを用いてスペシエーション・サチュレーション計算を行った。

1-3) 結果と考察

反応試料のXRD分析から、初期リン酸濃度(PI) < 30 μ Mの条件においては、MHCは消失し、カルサイトやアラゴナイトへの変質が確認された。また、PI > 30 μ Mの条件ではいずれの試料も変質は認められなかった。

本研究で得られたリン酸吸着等温線を図10に示す。平衡リン酸濃度(Ps)が低濃度の場合、取り込み量が急激に増加し、それより高いPsでは取り込み量の増加は緩やかとなり、再び吸着量が急激に増加するという傾向が全ての実験結果でみられた。Mgが異なる系では、Ps < 40 μ Mまでリン酸の取り込み量に差異がみられなかったが、Ps > 40 μ MではMgを添加していない系に比べてMgを添加した系における取り込み量はいずれも小さかった(図10a)。またイオン強度

が異なる系では、溶液のイオン強度が増加するにつれリン酸の取り込み量が小さくなっていった(図10b)。一方温度の異なる系では、Ps < 40 μ Mまでリン酸の取り込み量に差異が小さかったが、Ps > 40 μ Mでは温度が高くなるにつれ取り込み量が大きくなった(図10c)。

低濃度条件における等温線データをLangmuir吸着等温式によりフィッティングした結果も図10に示す。Langmuir吸着等温式は表面における単層吸着を仮定した理論式である。したがって、低濃度の溶質条件における実測とフィットの一致はリン酸の取り込みが吸着プロセスにより行われることを示唆している。また低濃度の溶質条件における吸着プロセスでは、Mgや温度が異なる系での取り込み量の差異が小さい(図10ac)。そのため、吸着プロセスではMg及

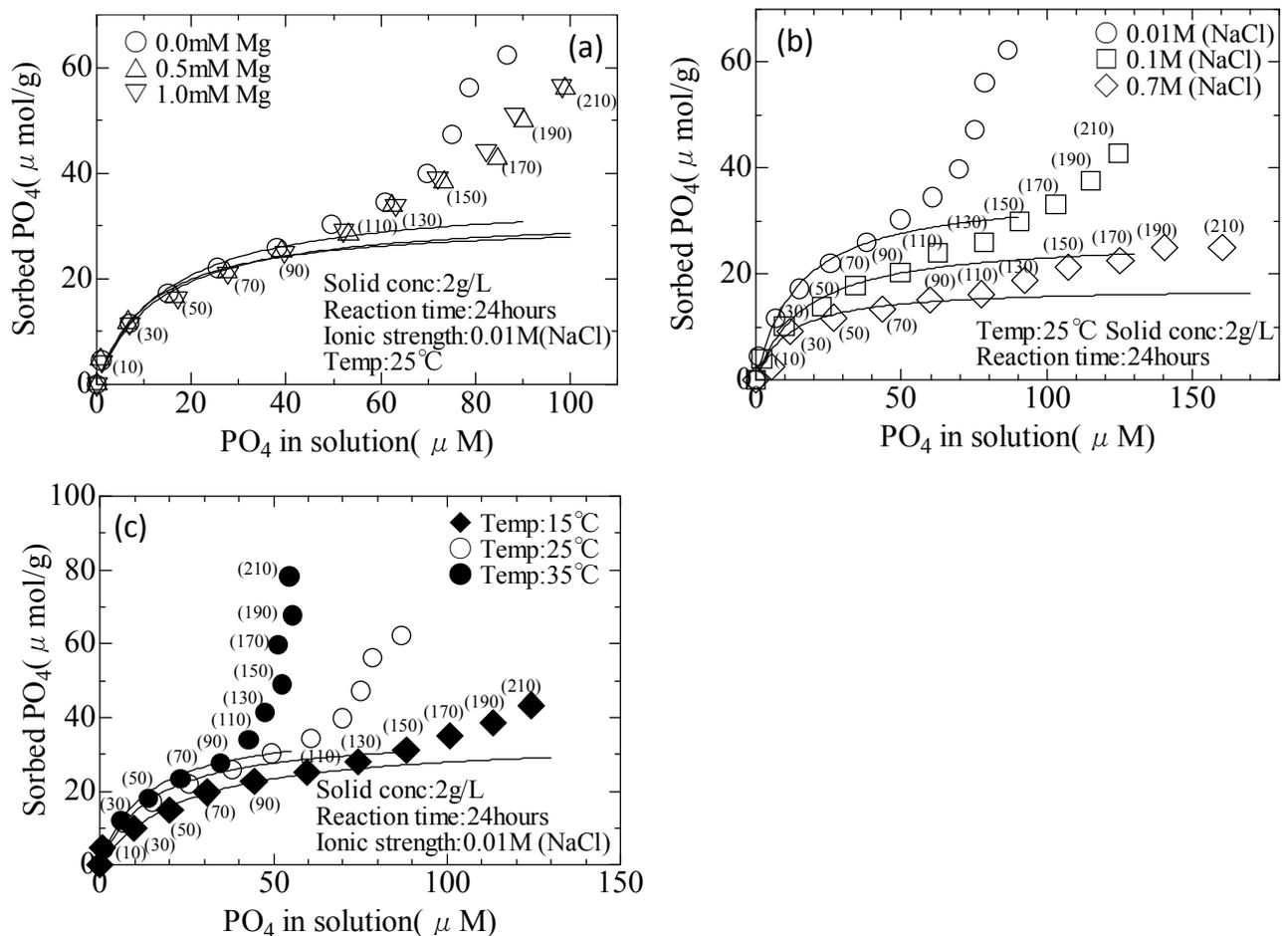


図10 異なるMg濃度、イオン強度および温度条件におけるMHCに対するリン酸の吸着等温線 (Yagi and Fukushi, 2012).

Fig. 10 Sorption isotherms for the sorption of PO₄ onto MHC at different Mg level (a), ionic strength (b) and temperatures (c) (Yagi and Fukushi, 2012). The numbers in parentheses denote the initial PO₄ concentrations. Lines in the figure show curves regressed using the Langmuir equation.

び温度依存性が小さいと考えられる。一方、高濃度条件における実測とフィットの不一致は、リン酸濃度の増加に伴い吸着以外の取り込みプロセスが生じていることを示唆している。図11はVisual Minteqより計算したリン酸カルシウム鉱物の溶解度図を示している。溶解度図では、平衡定数 (K) と生成反応式に基づいてリン酸カルシウム鉱物の相対的安定性が視覚的に評価できる。Langmuir吸着等温式から逸脱が生じる溶液組成と一致する溶液組成では、図上で2つの領域に明瞭に区別される。Van der Houwen and Jones (2001) は、Hydroxyapatiteに対する過飽和度 (SI_{HAP}) が10.93を超えると、Amorphous calcium phosphate (ACP) の沈殿が生じることを報告している。この2つの領域の境界は、ACPが沈殿する条件 ($SI_{HAP} > 10.93$) にほぼ一致しており、溶液中に添加された高濃度のリン酸は、水溶液中のカルシウムと結合することでACPを形成し、溶液から除去された

と考えられる。2つの領域の境界から、ACPの生成反応式に基づいて25°CにおけるKを算出したところ、 $\log K = -12.7$ となった。

リン酸が高濃度の条件では、時間の経過と共にリン酸の取り込み量の増加と溶液中のリン酸濃度の減少が観察された(図12)。Christoffersen *et al.* (1990) によって、ACPは時間が経つにつれ、Octa-calcium phosphate (OCP) に変質することが報告されている。図12で示されるように、ACPに対する過飽和な状態から時間とともに未飽和な条件に移行することから、OCPへの変質が起きていると考えられる。OCPへの変質が生じ結晶成長することで、より多くのリン酸が水溶液中から除去されたと考えられる。MHCによるリン酸の取り込みメカニズムは低リン酸濃度における吸着プロセスと、ACPが沈殿しその後OCPへ結晶成長する高リン酸濃度におけるリン酸カルシウム鉱物の生成プロセスから構成されると考えられる(図13)。

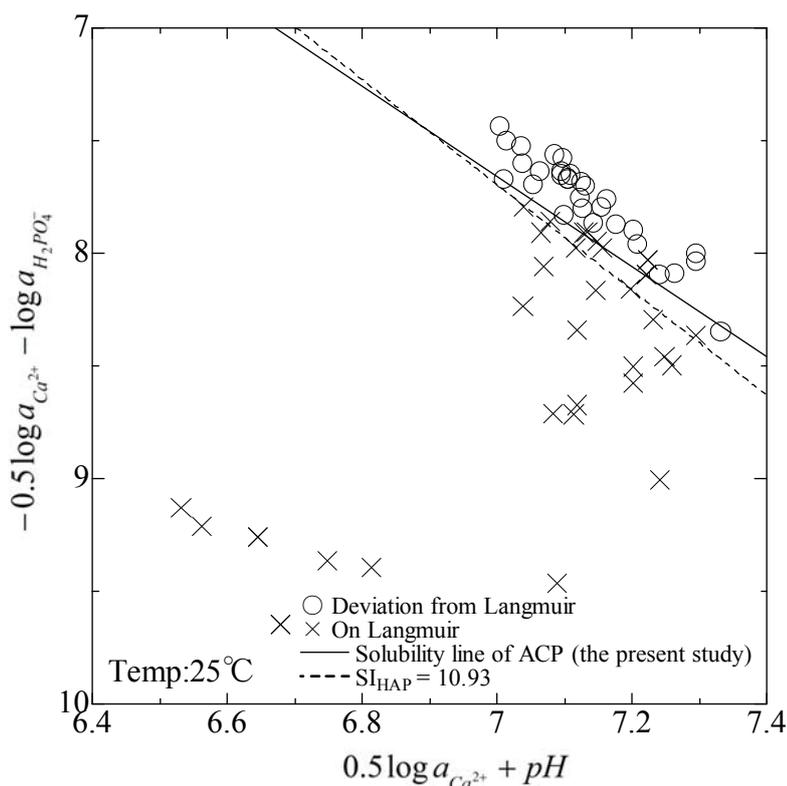


図11 リン酸カルシウム鉱物の溶解度図 (Yagi and Fukushi, 2012).

Fig. 11 Solubility diagram of the reacted solutions as a function of $0.5 \log a_{Ca^{2+}} + pH$ and $-0.5 \log a_{Ca^{2+}} - \log a_{H_2PO_4^-}$ (Yagi and Fukushi, 2012). The symbol "o" shows plots from which PO_4 sorption deviated from the Langmuir isotherm, whereas "x" shows plots from which PO_4 sorption were on the Langmuir isotherm. The straight lines show the regressed solubility with $\frac{2a-b}{b} = 2$ with $\log K_{sp} = -12.7$ (see the text). The dotted line corresponds to the $SI_{HAP} = 10.93$.

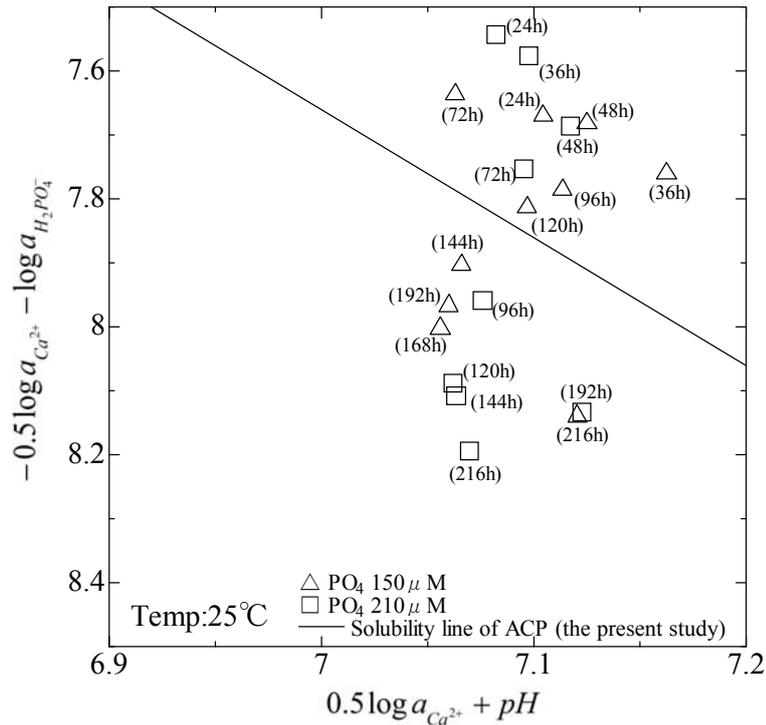


図12 反応時間ともなう反応溶液の溶解度の変化 (Yagi and Fukushi, 2012).

Fig. 12 Changes of the solubilities of reacted solutions after PO_4 sorption with reaction times obtained from sorption kinetics experiments as a function of $0.5 \log a_{Ca^{2+}} + pH$ and $-0.5 \log a_{Ca^{2+}} - \log a_{H_2PO_4^-}$ (Yagi and Fukushi, 2012).

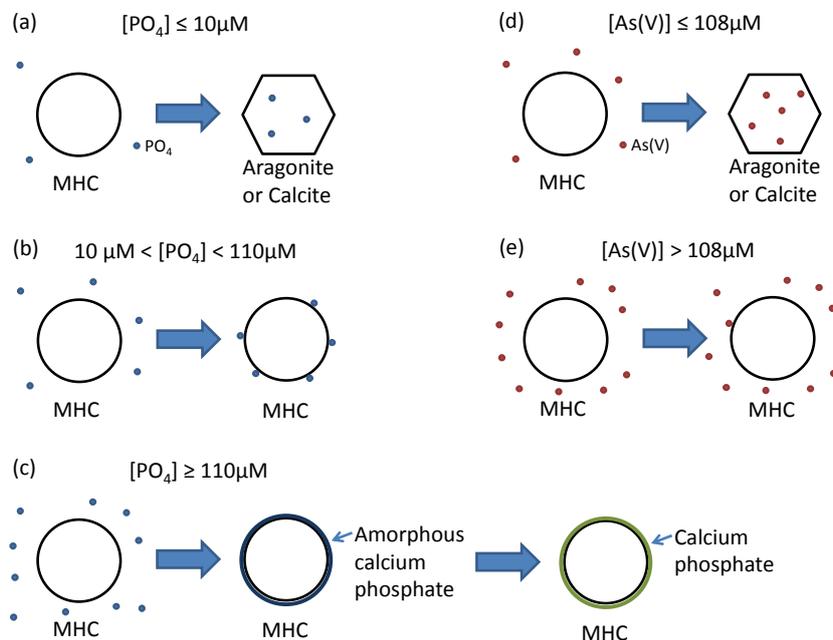


図13 リン酸およびヒ酸のMHCへの取り込みメカニズムの概念図.

Fig. 13 Schematic representations of PO_4 (a-c) and As (V) (d and e) sorption mechanism on MHC. (a) Coprecipitation of PO_4 during transformation of MHC to aragonite or calcite at low level of PO_4 . (b) Adsorption of PO_4 to MHC and inhibition of transformation of MHC at medium level of PO_4 . (c) Precipitation of amorphous calcium phosphate and inhibition of transformation of MHC at high level of PO_4 . (d) Coprecipitation of As(V) during transformation of MHC to aragonite or calcite at low to medium level of As(V). (e) Inhibition of transformation of MHC. As little sorbs to MHC at high level of As(V).

なおカルサイトやアラゴナイトのリン酸吸着等温線データからは、本実験に相当する濃度条件においてリン酸カルシウム鉱物の生成は認められない (Millero *et al.*, 2001)。リン酸カルシウム鉱物の生成はより効率的にリンを溶液から除去することができる。したがってMHCはカルサイトやアラゴナイトよりも優れたリン酸に対する取り込み材料であると考えられることができる。この成果に基づいて特許申請を行い、2014年に国内で特許登録 (特許第5618064号) されている。

2) モノヒドロカルサイトによるヒ酸の取り込み (Fukushi *et al.*, 2011)

2-1) はじめに

ヒ素はバングラデシュやインド、アメリカなど世界各地で水質・土壌汚染の原因となっている有害元素である (Smedley and Kinniburgh, 2002)。天然水中でヒ素は主にヒ酸 (HAsO_4^{2-}) もしくは亜ヒ酸 (H_3AsO_3^0) として存在しており、酸化環境においてはヒ酸 (HAsO_4^{2-}) の形態をとる。ヒ酸の除去方法としてAlやFe酸化物などの鉱物を用いた方法が研究されている (Fukushi and Sverjensky, 2007)。特に、Fe酸化物の準安定相であるフェリハイドライトやシュベルトマナイトは安定相よりも反応性が大きく、効果的にヒ酸を吸着することが知られている (Fukushi *et al.*, 2004; Fukushi and Sverjensky, 2007)。また Alexandratos *et al.* (2007) はAlやFe酸化物に加えカルシウム炭酸塩鉱物であるカルサイトもヒ酸の効果的な吸着体であることを示した。

カルシウム炭酸塩鉱物の準安定相として、MHCが知られている。MHCは母液に Mg^{2+} イオンが存在し、高pH、高 CO_2 過飽和度が達成された水質条件において速やかに生成することが知られている (Taylor, 1975)。溶液中でMHCは時間とともにアラゴナイトやカルサイトに相変化する。MHCの相変化によりアラゴナイトが生成するかカルサイトが生成するかは、MHCに含まれる不純物のMgの量が影響していると考えられている (Munemoto and Fukushi, 2008)。MHCは準安定相であるため、カルシウム炭酸塩の安定相であるカルサイトよりも反応性が高いことが予想され、カルサイトよりもさらにヒ酸を効果的に取り除くことが期待される。そこで本研究ではモノヒドロカルサイトのヒ酸に対する取り込み挙動を室内実

験によって明らかにすることを目的とする。

2-2) 実験方法

本研究で用いるMHCは0.06M CaCl_2 、0.06M $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 、0.08M Na_2CO_3 の混合溶液を48時間 $25 \pm 0.5^\circ\text{C}$ で熟成させ、生成した懸濁液を固液分離して得られたものである。得られた物質を自然乾燥させ以下の実験に用いた。合成試料はXRDからMHCの単一相であることが確認されている。MHCを0.01M NaCl 、 $0 \sim 200 \mu\text{M}$ $\text{Na}_2\text{HAsO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 溶液と固液比100mg/50mLにて混合した。混合溶液を低温インキュベーター内において 25°C 、大気に開いた系でマグネティックスターラーにより24時間攪拌した。反応後減圧ろ過し固液分離を行い、固相はスライドガラスに塗布し自然乾燥させた。乾燥後XRDを用い鉱物同定、外部標準法を用いたアラゴナイトの定量を行った。ろ液はICP-OESによりヒ酸濃度の測定をした。初期ヒ酸濃度と反応後の溶存ヒ酸濃度の差より、MHC単位質量あたりに取り込まれたヒ素のmol数を算出した。XRDはRigaku RINT1200を使用し、 $\text{CuK}\alpha$ 線、40kV、30mAで測定した。ICP-OESはVarian ICP発光分析装置を用いた。

2-3) 結果

XRD結果から、回収した固相は初期ヒ酸濃度 $95 \mu\text{M}$ 以下の条件ではアラゴナイトへ完全に変質した (図14)。より高いヒ酸濃度条件においてはMHCとアラゴナイトが共存し、ヒ酸濃度が高くなるとアラゴナイトのピーク面積は減少した。反応後の溶存ヒ酸濃度とヒ酸の取り込み量の関係をプロットした収着等温線を図15に示す。ヒ酸の取り込み量は初期ヒ酸濃度 $60 \mu\text{M}$ (反応後の溶存ヒ酸濃度、以下平衡濃度 $13 \mu\text{M}$) 以下の条件では線形的に増加した。初期ヒ酸濃度 $60 \mu\text{M}$ (平衡濃度 $13 \mu\text{M}$) から $95 \mu\text{M}$ (平衡濃度 $66 \mu\text{M}$) の条件において一定となり、その時の取り込み量は $23.4 \text{mmol As/kg MHC}$ であった。初期ヒ酸濃度 $95 \mu\text{M}$ (平衡濃度 $66 \mu\text{M}$) 以上では取り込み量が減少した。

2-4) 考察

図14よりヒ酸濃度条件が高いものほどMHCの相変化が遅延され、図15から反応後の溶存ヒ酸濃度が高いものほど取り込み量が減少していることが分

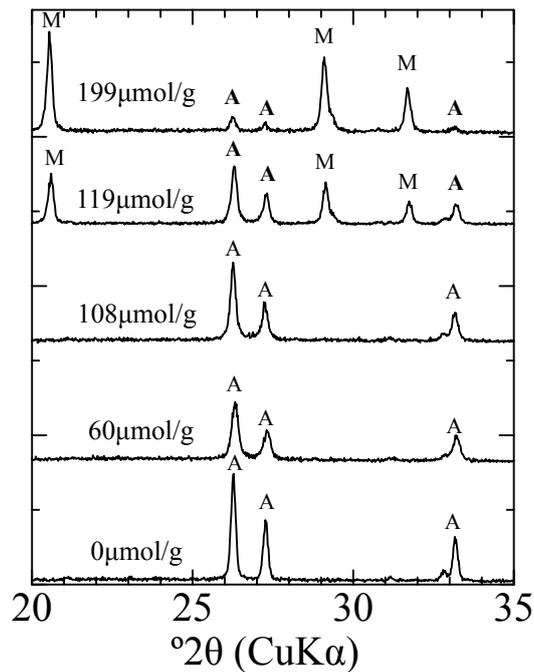


図14 ヒ酸取り込み実験あとの反応試料のXRDパターン (Fukushi *et al.*, 2011). A : アラゴナイト, C : カルサイト, M : MHC.

Fig. 14 Representative XRD patterns of the reacted samples (Fukushi *et al.*, 2011). The numbers indicate the initial arsenate concentrations. A: Aragonite, C: Calcite, M: MHC.

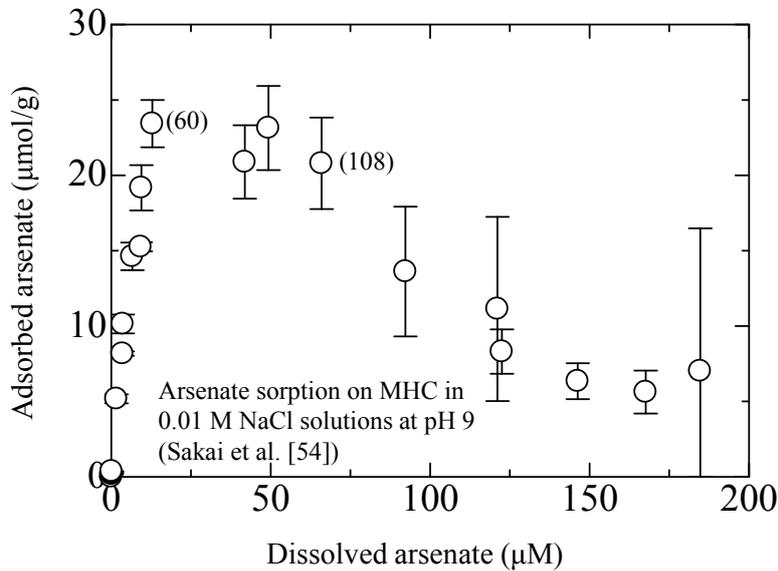


図15 MHCに対するヒ酸の収着等温線 (Fukushi *et al.*, 2011).

Fig. 15 Sorption isotherm for arsenate on MHC (Fukushi *et al.*, 2011). The values in parentheses are the initial As concentrations.

かった。変質相の生成が認められる最低ヒ酸濃度条件と、取り込み量が減少するヒ酸濃度条件が一致していることから、ヒ酸の取り込みは相変化が進むほど有効であることが推測される。Munemoto and Fukushi (2008)によるとMHCの相変化はMHCの溶解

と、引き続き変質相の生成からなる。この変質機構からMHCが溶解し変質相が形成される際に溶液からヒ酸が取り込まれていると考えられる。

低いヒ酸濃度条件でのヒ酸の取り込み量と反応後の溶存ヒ酸濃度との線形な関係は、一定の分配関

係を保ってヒ酸が変質相に取り込まれていることを示す。この分配関係は分配係数 K_d ($K_d = [\text{As}]_{\text{solid}} / [\text{As}]_{\text{solution}}$) によって表され、取り込みの効率を表す。本実験では $K_d = 1.94 \times 10^3 \text{ L/kg}$ であった。その後の取り込み量の一定は、変質相が取り込むことが出来る上限に達したためであると思われ、最大取り込み量は 23.4 mmol As/kg であった。ヒ酸濃度が高い条件における取り込み量の減少は、MHCの変質がヒ酸により遅延され変質相の生成が十分でないために、変質相に取り込まれるヒ酸の量が減少したためであると考えられる。以上より、MHCによるヒ酸取り込みメカニズムは、ヒ酸濃度が低い条件においてはMHCの相変化と変質相生成時における共沈プロセスであり、ヒ酸濃度が高い条件ではMHCへの吸着プロセスである (図13)。

Alexandratos *et al.* (2007) によりカルサイトによるヒ酸吸着の分配係数は $K_d \sim 1.90 \times 10^2 \text{ L/kg}$ 、最大吸着量は 6.56 mmol/kg であることが示された。 K_d を比較するとMHCの方が優れた値を示し、カルサイトの吸着よりも効果的にヒ酸を取り込むことが分かった。最大取り込み量もカルサイトの吸着よりも大きく、MHCがより多くのヒ酸を取り込むことが示された。この成果に基づいて、特許申請を行い、2012年には米国で (Patent No.: US8, 227, 378B2)、2013年には国内で (特許第5548956号) 特許登録されている。

謝 辞 : 本稿で紹介した研究はいずれも筆者が指導する学生が卒業研究、修士論文研究として行ったものである。本研究を進めていただいた歴代卒業生の福本寛人君 (2008年学部卒、2010年博士前期課程修了)、宗本隆志君 (2008年学部卒、2010年博士前期課程卒)、酒井実君 (2009年学部卒)、八木新大朗君 (2010年学部卒、2012年博士前期課程修了)、西山理沙さん (2011年学部卒、2013年博士前期課程修了)、白井涼大君 (2012年学部卒、2014年博士前期課程修了) に感謝いたします。

文 献

- Alexandratos, V. G., Elzinga, E. J. and Reeder, R. J., 2007: Arsenate uptake by calcite: Macroscopic and spectroscopic characterization of adsorption and incorporation mechanisms. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, **71**, 4172-4187.
- Bethke, C. M., 1998: *The Geochemist's Workbench Users Guide*. University of Illinois.
- Christoffersen, M. R., Christoffersen, J. and Kibalczyk, W., 1990: Apparent solubilities of two amorphous calcium phosphates and of octacalcium phosphate in the temperature range 30–42°C. *Journal of Crystal Growth*, **106**, 349-354.
- Fukushi, K., and Sato, T., 2005: Using a surface complexation model to predict the nature and stability of nanoparticles. *Environmental Science and Technology*, **39**, 1250-1256.
- Fukushi, K. and Sverjensky, D. A., 2007: A predictive model (ETLM) for arsenate adsorption and surface speciation on oxides consistent with spectroscopic and theoretical molecular evidence. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, **71**, 3717-3745.
- Fukushi, K., Sato, T., Yanase, N., Minato, J. and Yamada, H., 2004: Arsenate sorption on schwertmannite. *American Mineralogist*, **89**, 1728-1734.
- Fukushi, K., Fukumoto, H., Munemoto, T., Nagata, T. and Kashiwaya, K., 2006: Carbonate mineralogy in sediment from Lake Hovsgol and its implications for environmental and geochemical changes of lake water. *Abstract volume in The 5th International Symposium on Terrestrial Environmental Changes in East Eurasia and Adjacent Areas*, 12-13 .
- Fukushi, K., Munemoto, T., Sakai, M. and Yagi, S., 2011: Monohydrocalcite: A promising remediation material for hazardous anions. *Science and Technology of Advanced Materials*, **12**, 064702.
- HDP Members 2009: Sedimentary record from Lake Hovsgol, NW Mongolia: Results from the HDP-04 and HDP-06 drill cores. *Quaternary International*, **205**, 21–37.
- Hopkinson, L., Kristova, P., Rutt, K. and Cressey, G., 2012: Phase transitions in the system $\text{MgO}-\text{CO}_2-\text{H}_2\text{O}$ during CO_2 degassing of Mg-bearing solutions. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, **76**, 1–13.
- Kimura, T. and Koga, N., 2011: Monohydrocalcite in Comparison with Hydrated Amorphous Calcium Carbonate: Precipitation Condition and Thermal Behavior. *Crystal Growth and Design*, **11**, 3877–3884.
- Konigsberger, E., Konigsberger, L. C. and Gamsjager, H., 1999: Low-temperature thermodynamic model for the system $\text{Na}_2\text{CO}_3-\text{MgCO}_3-\text{CaCO}_3-\text{H}_2\text{O}$. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, **63**, 3105–3119.

- Millero, F., Huang, F., Zhu, X. and Zhang, J.Z., 2001: Adsorption and Desorption of Phosphate on Calcite and Aragonite in Seawater. *Aquatic Geochemistry*, **7**, 33-56.
- Munemoto, T. and Fukushi, K., 2008: Transformation kinetics of monohydrocalcite to aragonite in aqueous solution. *Journal of Mineralogical and Petrological Sciences*, **103**, 345-349.
- Nishiyama, R., Munemoto, T. and Fukushi, K., 2013: Formation condition of monohydrocalcite from CaCl_2 - MgCl_2 - Na_2CO_3 solutions. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, **100**, 217-231.
- Rodriguez-Blanco, J. D., Shaw, S., Bot,s P., Roncal-Herrero, T., and Benning, L.G. 2012: The role of pH and Mg on the stability and crystallization of amorphous calcium carbonate. *Journal of Alloys and Compounds*, **536**, 477-479.
- Smedley, P. L. and Kinniburgh, D. G., 2002: A review of the source, behaviour and distribution of arsenic in natural waters. *Applied Geochemistry*, **17**, 517-568.
- Taylor, G. F., 1975: The occurrence of monohydrocalcite in two small lakes in the South-East of South Australia. *American Mineralogist*, **60**, 690-697.
- Van der Houwen J. A. M. and Valsami-Jones E., 2001: The application of calcium phosphate precipitation chemistry to phosphorus recovery: the influence of organic ligands. *Environmental Technology*, **22**, 1325–1335.
- Yagi, S. and Fukushi, K., 2011: Phosphate sorption on monohydrocalcite. *Journal of Mineralogical and Petrological Sciences*, **106**, 109-113.
- Yagi, S. and Fukushi, K., 2012: Removal of phosphate from solution by adsorption and precipitation of calcium phosphate onto monohydrocalcite. *Journal of Colloid and Interface Science*, **384**, 128-136.

日本海域研究投稿規定（2009年7月16日施行）

（2013年4月9日改定）

総 則

1. 原稿内容

投稿原稿は一般公開刊行物に未公開のもので、その内容は日本海および日本海周辺地域（以下「日本海域」）の自然、人文、社会科学研究に関するものとする。

2. 投稿資格

金沢大学教職員、環日本海域環境研究センター外来研究員、同連携研究員、同博士研究員を原則とする。複数の著者による投稿の場合には、著者のうち少なくとも一人がこれらのいずれかに該当すること。ただし、編集委員会がその内容を適当と認めた場合にはこれ以外の投稿も受け付ける。

3. 掲載の決定

編集委員会は、委員会が指名した査読者の査読結果にもとづいて投稿原稿の掲載の可否を決定する。

4. 著作権

掲載された論文などの著作権は金沢大学環日本海域環境研究センターが所有する。

投稿された原稿はすべて以下のいずれかに類別される。著者は投稿時、所定書式の「原稿送り状」に原稿の種類を明記する。編集委員会で内容を検討し種類を変更する場合もある。

(1) 論文：日本海域における独自の研究成果をまとめたもの。

(2) 総説：日本海域に関する研究成果を分析・検討し、研究史や研究の現状、将来の展望などについてまとめたもの。

(3) 短報（要約・抄訳を含む）

(A) 論文の内容となりうる情報を含む調査研究成果の速報。

(B) 総説の内容となりうる情報を含む研究動向・研究展望の紹介や報告。

(C) 新しい研究手法の提案など。

(4) 資料：日本海域に関係のある調査、記録、統計などにもとづいて、資料的に価値のある情報をまとめたもの。

(5) 報告：補助金による事業の結果と経過、イベントなどの報告。

(6) 翻訳：日本海域にかかる外国語論文、総説、短報などの日本語訳。

3. 原稿の言語

投稿原稿は原則として日本語あるいは英語とする。ただし、編集委員会が認める場合にはこれ以外の言語も受け付ける。

4. 投稿

投稿の方法は、電子媒体による投稿のみとする。なお、1人あたりの投稿原稿数は、単著で1人2編、共著で1人3編（単著を含む）までとする。

5. 受付

投稿原稿には受付日が付される。ただし、原稿に不備があると判断された原稿などは著者に差し戻される。差し戻された原稿の受付日は再投稿後となる。また、再投稿が原稿受付〆切以後であった場合は次号送りとなる。

細 則

1. 著者が負担する費用

投稿は無料である。ただし、以下の場合には著者の負担とする。

(1) ページの超過：投稿要領で定めた原稿の上限ページを超えた場合。

(2) 特殊印刷料金：カラーページや折り込み図面など。

(3) 別途作業料金：図面の清書、電子ファイルの作成などを編集委員会に依頼した場合。

(4) 別刷り超過分の印刷料金：別刷りが1編につき25部を超えた場合。

2. 原稿の種類

6. 査読

論文、総説、短報、資料、翻訳は、編集委員会が定める査読者による査読結果にもとづいて掲載の可否が編集委員会により決定される。報告は掲載の可否が編集委員会により決定される。

7. 入稿用原稿

編集委員会によって掲載可とされた投稿原稿は、著者が入稿用原稿（電子ファイル）を作成し、必要に応じてレイアウト見本（PDFファイル）とともに編集委員会へ完成原稿として提出する。図表・写真などは高精度の電子ファイルを提出する。

8. 校正

原則として編集委員会が校正を行う。

9. 発行後の投稿原稿の処理

原稿が印刷・発行された後は、環日本海域環境研究センターの責任で外部へ流出することがないように投稿原稿は処分される。図表・写真などで著者で返却を希望するものがあれば、投稿時の「原稿送り状」にその旨を明記する。

10. 別刷

1編につき25部を環日本海域環境研究センターの費用で作成するがそれを超える場合は著者負担とする。

11. 著作権

図表などを他の文献から転載する場合は、著者の責任において、受理までに転載許可を得なければならない。また、その場合は必ず出典を明記する。翻訳についても著者の責任において、受理までに該当論文などの著作権所有者から許可を得ることとする。

12. 投稿要領

細則の具体的運用法、原稿の形式および作成時の注意事項は、投稿要領に記す。

投 稿 要 領

1. 原稿送付先および投稿に関する相談窓口

住所：〒920-1192 石川県金沢市角間町
金沢大学理工系事務部総務課総務係

環日本海域環境研究センター

「日本海域研究」編集委員会

電話：076-234-6821, FAX：076-234-6844

Email：s-somu@adm.kanazawa-u.ac.jp

2. 刷り上がり時のページ数

各種原稿は以下に示すページ数を上限とし、ページ超過時の料金は著者の負担とする。

(1) 論文、総説、資料、翻訳：16ページ

(2) 短報：8ページ

(3) 報告：4ページ

※刷り上がり時の文字数は、日本語で約2100字/ページ、英語で約4500文字（スペースを含む）/ページ（あるいは約700単語/ページ）であるので、これをもとに換算する。

3. 各種原稿が含むべき項目

(1) 本文：投稿原稿は原則として日本語または英語とする（細則3）。

(2) 本文以外に必要な項目

(A) 表題：日本語と英語で併記する。英題は、単語の先頭は大文字とし、冠詞（ただし表題の先頭にくる場合を除く）と接続詞は小文字とする。

(B) 著者名：日本語と英語とをフルネームで併記する。英語では、姓はすべて大文字、名は最初のみが大文字で以下は小文字とし、姓名の順で記載する（例：YAMAGUCHI Masaaki）。また、連絡著者（Author for correspondence）を必ず指定する。

(C) 所属：日本語と英語で住所とともに併記する。所属がない場合には自宅住所とする。連絡著者については電子メールアドレスと電話番号を必ず記入する。

(D) キーワード（5個程度）：日本語と英語で併記する。キーワードとキーワードの間はカンマ「,」で分ける。

(E) 要旨：本文が日本語の場合には200～300語程度の英文要旨を付ける。英文要旨は「Abstract」であり「Summary」とはしない。英語原稿の場合には、英語要旨に加えて日本語（200～600字程度）の要旨を付ける。日本語の場合は「要旨」であり「梗概」や「摘要」とはしない。

(F) 図表・写真：制限なし。

(G) キャプション：日本語原稿の場合は日本語および英語で併記する。英語原稿の場合は英語のみとする。

4. 原稿の提出について

(1) 提出時の基本確認事項

(A) 投稿者や1人あたりの投稿数は総則2ならびに細則4のとおりとする。

(B) 図表等を他の文献から転載する場合は細則11のとおりとする。

(C) 連名の場合、著者全員が原稿の投稿および内容を了解し、連名となった著者が投稿原稿への貢献と責任に関し必要十分な構成であることを確認する。

(2) 投稿方法

用紙に印刷された「原稿送り状(PDFファイルでも可)」と電子ファイル(原則としてPDFファイル)を編集委員会宛に送付する。電子ファイルの送付にあたっては、

(1) 添付ファイルとして編集委員会に電子メールで提出する、(2) CD-ROMなどの電子媒体にコピーして編集委員会宛に封書で送付する、あるいは(3) 金沢大学総合メディア基盤センターの「ファイル送信サービス」などを利用する。本文、図表、写真などは、ひとつの電子ファイルにして提出する。ファイルサイズには制限を設けないが、標準的な処理能力のパーソナルコンピュータで支障なく閲覧できるサイズしておく。これを超えるような大容量ファイルとなる場合には編集委員会に相談する(細則4)。

5. 原稿の書式

(1) 原稿のサイズとフォント

原稿はA4サイズ用の紙に1ページあたり35字/行×30行を目安とし、上下左右の余白(それぞれ30mm以上)と行間をとを十分にとる。フォントは日本語ではMS明朝、欧文はTimes系あるいはCenturyを原則とし、読みやすいポイント数(おおよそ11ポイント以上)とする。

(2) 先頭ページ

投稿原稿の先頭ページには、日本語の表題、著者名、所属機関・部局名と住所をそれぞれ英文表記とともに以上の順番で記入する。連絡著者についてはこれに加えて電子メールアドレスと電話番号を記入する。改ページ後、英文要旨およびキーワードを記入する。キーワードはまず日本語で1行に収め、改行後に英語で一行に収める。

(3) ページ番号

本文にはページ番号を必ず記入する。先頭ページならびに続く英文要旨などのページにはページ番号をふらない。

(4) 文字方向

すべて横書きとする。

(5) 見出し

見出しとして、ローマ数字I, II, III, IVがついた章を最上位に置く。章の下には節が置かれ、右括弧の数字1), 2), 3), 4)を付す。さらに小節1-1), 1-2), 1-3), 1-4), 小小節1-1, 1),

1-1, 2), 1-1, 3), 1-1, 4)とする。それ以下の階層ではアルファベットの小文字を用いてもよい。英語原稿の場合にはこれらはすべて半角にする。

(6) 箇条書き

箇条書きには半角の番号を付す。たとえば, 1.2., (1)(2), など。

(7) 句読点

本文では句点は「。」, 読点は「, 」とする。「?」は必要に応じて句点として使用してもよい。キャプションでは句点を「. 」とする。英語原稿の場合にはピリオド「. 」とカンマ「, 」を用いる。

(8) 日本語以外の言語および記号

日本語以外の文字の挿入は、原則としてギリシャ文字を含む西欧文字書体による表記法を用いる。ロシア語書体、中国語の簡字体やハングル語、アラビア語書体等の挿入は、技術的制約もあるため入稿までに編集委員会と協議する。

(9) カラー文字、下線の使用

本文では黒以外の色文字は使用できない。下線は原則として使用しない。

(10) 数式

数式は原則として改行後上下に0.5行程度の行間をとって配置し、右端に括弧付きの数式番号を付す。引用は「式(1)」などとする。 σ , ϕ のように数式中の記号を本文中で引用する場合は、数式中のものと同一でなければならない。量を表す記号はイタリックとし、ベクトルはイタリックまたはローマンのボールドとする。下付・上付文字は原則として、変数に対応するものはイタリック、属性を示すものはローマンとする。関数記号はローマンとする。

(11) 脚注と文末注

本文、キャプションでの注はすべて末尾(文献リストの直前)とし、脚注は使用しない。注は番号を付けて列記し、本文中の番号と対照できるようにする。文末注に文献を記述してはならない。文献はすべて文献リストとしてまとめる。

(12) 文献の引用

本文中での文献の引用は以下のように記述する。

[単独著者] 日本語・英語ともに「姓(年号)」とする。同姓別人で同年号の文献がある場合には、名も記入する。

鈴木(2005)によると……

Suzuki(2003)は……

鈴木一郎(2002)に対して鈴木二郎(2002)は……

[複数著者(2名)] 日本語の場合には「姓・姓(年号)」とする。英語の場合には「and」を用いる。同

姓別人の場合は単独著者の例に準じる。

鈴木・中村 (2002) は・・・
Suzuki and Nakamura (2002) では・・・

[複数著者 (3名以上)] 日本語の場合は筆頭著者以外は「ほか」で表す。英語の場合は「*et al.*」を用いる。

山口ほか (1996) では・・・
Yamaguchi *et al.* (1998) によると・・・

[括弧付き引用] 単一の文献を括弧付きで引用する場合は以下のとおりとする。

・・・と報告されている (鈴木, 1992)。
・・・とすでに明らかにされている (鈴木・山口, 2001)。
・・・と結論づけられている (Suzuki and Yamaguchi, 2008)。
・・・である (Suzuki *et al.*, 2009)。

[括弧付き複数引用] 複数の文献を括弧付きで引用する場合は以下のとおりとする。

・・・と結論づけられている (山口, 2000; 中村・鈴木, 2002)。※単著・複数著者にかかわらず年代順にする。
・・・と報告されている (Suzuki and Yamaguchi, 2002; 中村, 2002)。※同年代の文献のときは著者数にかかわらず筆頭著者の姓のアルファベット順にする。
・・・とすでに明らかにされている (山口, 1996, 1997)。※同著者の異なる年代の文献の引用は、年代のみをカンマで区切って並べる。
・・・との報告がある (中村, 2004a, b)。※同著者の同じ年代の文献の引用は、アルファベット小文字で区別し、文献リストの年代にも対応するアルファベットを記入する。

[未公表資料の引用] 卒業論文や修士論文のような未公表論文・資料の引用はできるだけ避ける。どうしても引用が必要な場合には著者姓のあとに「未公表」を付す。

・・・との報告がある (高橋, 1998, 未公表)。
これについて高橋 (1998, 未公表) は・・・

(13) 文献リスト

文献リストは次の順に配列する。

和文欧文を問わず、筆頭著者の姓 (Last Name) に対応した英語式アルファベット順とする。外国人の名前で姓名の区別が明確でないものや姓名の区別がないものについては慣用的に用いられている方法をとる。同一筆頭著者が複数のときは以下の順とする。

① 単著論文は年代順。

② 2名連名の場合は、第二著者の姓のアルファベット順とそれらの年代順。

③ 3名以上連名の場合は、年代順。

※URLによる引用は、それ以外に情報にアクセスする手段のないかぎり行わない。

(14) 文献の書き方

① 日本語論文

著者名 (姓名, 複数著者の場合には「・」で分ける。著者が多数にわたる場合でも略さない), 発行年: 論文名. 掲載誌名 (原則として略さない), 巻 (号) 数 (ボールド), 最初と最後のページ。

望月勝海, 1930: 金沢付近の地史. 地質学雑誌, **37**, 278-280.

清水 徹・西川政弘・塚脇真二, 1998: 石川県金沢市卯辰山～上涌波地域の地質—とくに下部更新統大桑層の岩相層序について—. 金沢大学日本海域研究所報告, **29**, 91-114.

② 日本語単行本

著者名 (姓名, 複数著者の場合には「・」で分ける。著者が多数にわたる場合でも原則として略さない), 発行年: 単行本名. 出版社名, 発行地, 総ページ数。

藤山家徳・浜田隆士・山際延夫, 1982: 学生版日本古生物図鑑. 北隆館, 東京, 574p.

③ 欧文論文

著者名 (苗字, イニシャル. 2名の場合は「and」で分ける。3名以上の場合は「,」で分けるが、最後の著者の直前のみは「and」で分ける。著者が多数にわたる場合でも原則として略さない。著者が複数でかつ同姓を含むときは名も書く), 発行年: 論文名. 掲載誌名 (イタリック, 常識的な簡略化 (たとえば “*Journal*” を “*J.*” など) は可), 巻 (号) 数 (ボールド), 最初と最後のページ。

Hasegawa, S., 1979: Foraminifera of the Himi Group, Hokuriku Province, central Japan. *J. Geography*, **49**, 89-163.

Kaseno, Y. and Matsuura, N., 1965: Pliocene shells from the Omma Formation around Kanazawa City, Japan. *Sci. Rep., Kanazawa Univ.*, **10**, 27-62.

Yoshioka, T., Ly, V., Maeda, T. and Tomii, Y., 2000: Geology of Kakuma area, Kanazawa City, central Japan. *Geological Magazine*, **25**, 49-62.

④ 欧文単行本

著者名 (欧文論文の場合に準じる), 発行年: 単行本名 (イタリック). 出版社名, 発行地, 総ページ数。

Ager, D. V., 1980: *The Geology of Europe*. McGraw-Hill Book Co., Maidenhead, 535p.

Closs, H., Roeder, D. and Schmidt, K., 1978: *Geologic History and Palaeogeography of Eastern Europe during Alpine Geosynclinal Evolution*. Editions Technip Co., Paris,

164p.

⑤ 未公表論文・資料（日本語・欧文とも）

著者名，年，未公表：論文・資料名．論文・資料の種類・区分等，総ページ数．

清水 智，1983，未公表：K-Ar年代測定結果からみた中部日本における鮮新—更新世の火山活動史．金沢大学理学部地学科修士論文，64p.

なお，巻号のある雑誌（たとえば”第6巻第2号”など）で巻ごとに通しページのある場合は号数を省略する。号数のみのものは巻数に準ずる。巻号のある雑誌で号ごとにのみ通しページのある場合は巻番号のあとに号番号を括弧付きで記述する。

地学雑誌，第64巻第2号，331-364（巻ごと通しページ）→地学雑誌，64，331-364

土木学会誌，第25巻第4号，21-25（号ごと通しページ）→土木学会誌，25（4），21-24

（15）付録

本文の流れをさまたげる可能性のあるもの，たとえば，用いたデータの詳細，分析法・解析手法の詳細，数式の導出，調査地点の説明，などは付録として本文のあと（文献リストの直後）に置くことができる。

（16）図表・写真

電子ファイルとして作成し，図表中の文字，記号，模様などは印刷時のサイズで明瞭に読めるものとする。まぎらわしい色や形を避ける。とくに印刷時にグレースケールあるいは白黒印刷となるものは判別可能となるように配慮する。写真は図として扱うが，本文の最後（文献リストあるいは付録の直後）に図版としてまとめてよい。

（17）図表挿入位置

本文の左右いずれかの余白あるいは本文中に図表の挿入位置と希望する縮小率を指定する。

（18）図表・付録の引用

図は「図1」，「図2」のように順に番号を付す。順番は本文中に引用される順とする。写真も図として扱うため「写真1」などとはしない。表も順に番号を付し「表1」，「表2」のように記述する。図版写真の引用は図版番号に合わせ「図版1-写真1」，「図版1-写真2」と記述する。付録は「付録1」，「付録2」と記述する。英語論文の場合には，これらはそれぞれ「Figure 1」，「Table 1」，「Plate 1 - Photo 1」，「Appendix 1」となる。なお，「Figure」については文頭にこない場合に限って「Fig.」と略することができる。

（19）図表のキャプション

番号順に別紙にまとめ，日本語・英語を併記する。ただし，英語原稿の場合は英語のみとする。

（20）原稿の順番

① 表題，著者名，所属機関・部局

② 英文要旨，キーワード（英語原稿の場合はこれに加えて日本語要旨）

③ 本文（文末注，文献リスト，付録を含む）

④ 図表のキャプション

⑤ 表

⑥ 図および図版

5-2. 英語の原稿

英語の原稿の書き方は上にとくに断りがない場合は日本語原稿の規定に準ずる。英語として完成されたものであること。

6. 受付

投稿原稿には受付日が付される。ただし，原稿に不備があるもの，日本海域研究の発刊目的に整合しない内容の原稿，完成度が低く査読不可能と判断された原稿などは著者に差し戻される。差し戻された原稿の受付日は再投稿後となる。再投稿が原稿受付後以後であった場合は次号送りとなる。（細則5）

7. 原稿の査読とその修正

論文，総説，短報，資料，翻訳は，編集委員会が定める査読者による査読結果にもとづき掲載の可否が編集委員会により決定される。報告は掲載の可否が編集委員会により決定される。投稿原稿は査読終了後修正を求められることがある。査読意見に対する反論がある場合は原稿とは別の用紙に記載し，編集委員会に修正原稿とともに送付する（印刷物あるいは電子的方法による）。修正にあたっては，修正原稿内あるいは別紙で修正箇所を明示する。

8. 受理と入稿

原稿受理後は著者側で速やかに入稿用原稿（電子ファイル）を準備する。原稿のテキスト部分とイメージ部分は以下のように作成する。

（1）テキスト部分（表題，著者・所属，キーワード，要旨，本文，キャプション，文献，付録，など）

編集委員会が指定する書式に従って，Microsoft-Wordで入稿用ファイルを作成する。これら以外のソフトウェアを使用する場合あるいはテキストファイルで入稿する場合には編集委員会と協議する。表はMicrosoft-Excelで作成し，Microsoft Wordに貼り込まない。ファイルは電子メールあるいはCD-ROMなどにコピーして編集委員会に提出する。論文，総説，短報，資料では，これとともに著者が希望する刷り上がりレイアウトを印刷物あ

るいはPDFファイル形式で提出することが望ましい。

(2) イメージ部分 (図, 写真, 図版, 複雑な表など)

イメージ部分は, ポストスクリプト形式 (.eps, .ps), アドビ・イラストレーター形式 (.ai), TIF形式 (.tif, .tiff), PDF形式 (.pdf), JPEG形式 (.jpg, .jpeg) のファイル形式でテキスト部分とは別に提出する。イメージ部分はイメージごとに個々のファイルとすることが望ましい。Microsoft Powerpoint形式のファイルは認めない。図・写真をスキャナーで電子化する場合は600dpi以上の解像度とし, 白黒の鮮明な線画はTIF形式ファイルが望ましい。写真は高解像度のオリジナルファイルを提出する。

「日本海域研究」第46号

編集委員会

(2014年4月1日～2015年3月31日)

委員長 早川和一 (環日本海域環境研究センター長)

編集主幹 塚脇真二 (環日本海域環境研究センター)

古内正美 (理工研究域環境デザイン学系)

鏡味治也 (人間社会研究域人間科学系)

加藤和夫 (人間社会研究域歴史言語文化学系)

小林信介 (人間社会研究域経済学経営学系)

関口俊男 (環日本海域環境研究センター)

鈴木信雄 (環日本海域環境研究センター)

Japan Sea Research vol. 46

Editorial Board

(1 April 2014 to 31 March 2015)

Editor in Chief: Kazuichi HAYAKAWA

Managing Editor: Shinji TSUKAWAKI

Editors: Masami FURUUCHI

Haruya KAGAMI

Kazuo KATO

Shinsuke KOBAYASHI

Toshio SEKIGUCHI

Nobuo SUZUKI

発行所 金沢大学 環日本海域環境研究センター

〒920-1192 石川県金沢市角間町

TEL (076) 234-6821

FAX (076) 234-6844

印刷 平成27年 3月25日

発行 平成27年 3月31日

印刷所 前田印刷株式会社

TEL (076) 274-2225

FAX (076) 274-5223