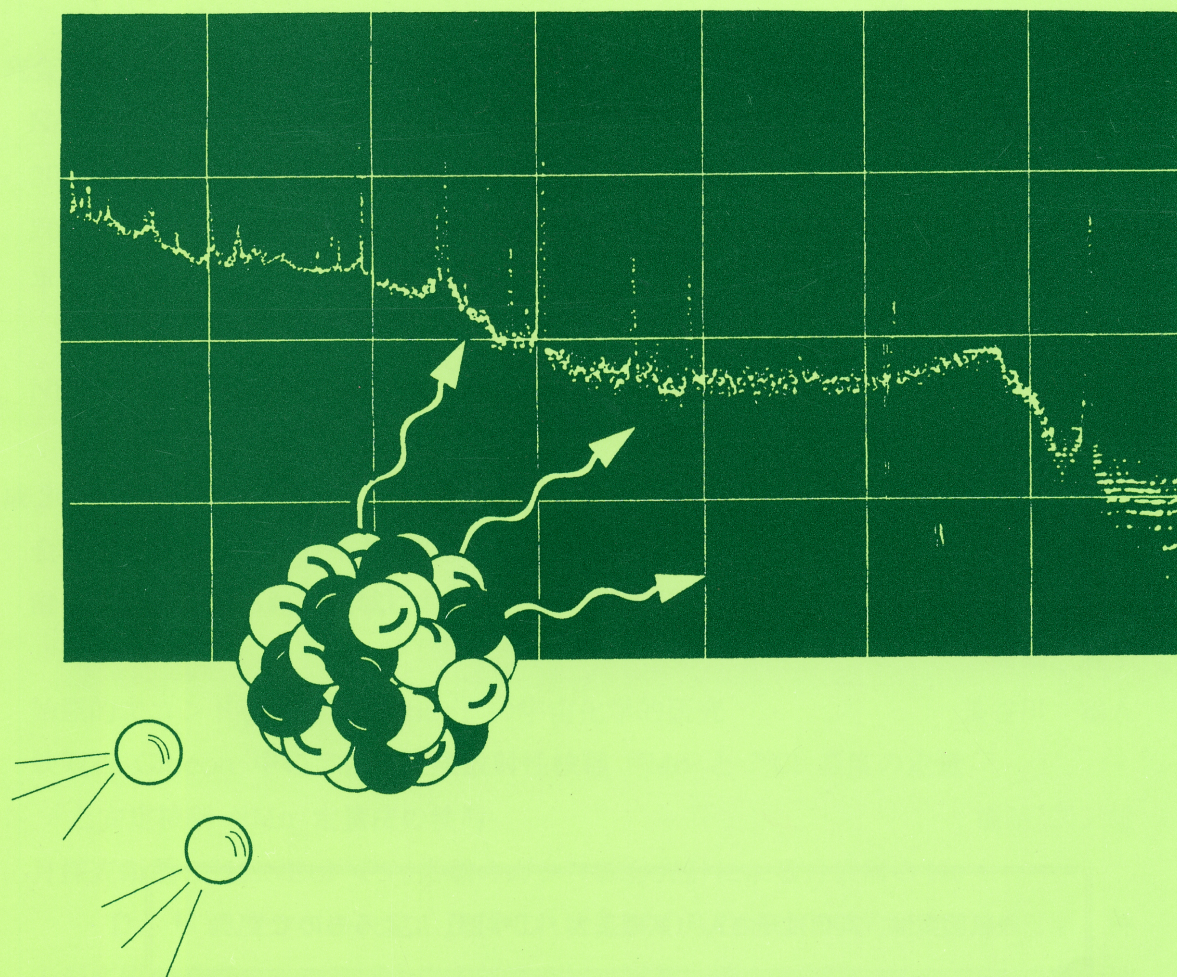


2009年6月

# 放射化分析

No.24



放射化分析研究会

放射化分析研究会

Japan Association of Activation Analysis

(JA<sup>3</sup>)

会誌

「Activation Analysis」

表紙図案は 岡田往子さん（武蔵工大・工学部）によるものです。

# 放射化分析 No.24

## 目次

### 研究紹介

ホヤの金属濃縮機構熱中性子放射化分析から始まった研究	道端 齊	1
平成 20 年度京都大学原子炉実験所専門研究会		
KUR 再開へ向けての現況	中島 健	12
KUR 再開にむけた放射化分析共同利用実験の準備状況	関本 俊	17
精錬工場周辺土壌中のアンチモン・ヒ素濃度の分布	福谷 哲 他	21
内部標準併用中性子放射化分析法による標準物質中微量元素の定量	三浦 勉	23
多重即発ガンマ線分析法の宇宙地球化学的試料の適用	渡部 良 他	26

### 研究会報告

NAMLS-9	福島美智子	28
2008 年日本放射化学会年会・第 52 回放射化学討論会	箕輪はるか	31
2008 年 FNCA 中性子放射化分析ワークショップ	海老原充	33
平成 20 年度京都大学原子炉実験所専門研究会	三浦 勉	35
同上	柴田誠一	36
NRC-7		37

### 平成 20 年度修士論文抄録

金属相を含むユークライト隕石及び玄武岩質隕石の宇宙化学的考察	伊佐 純子	40
酸性雨被害が見られる地域における土壌の元素分析と酸中和能との関連性	高橋 麻子	42
始原的エコンドライト「Divnoe」の宇宙化学的研究	長谷川 雅人	45
鉄隕石 Gibeon 中の宇宙線生成放射性核種 $^{53}\text{Mn}$ と $^{36}\text{Cl}$ 濃度の定量 と安定核種 $^{55}\text{Mn}$ 定量法の検討	橋詰 二三雄	47
月探査衛星 SELENE(かぐや)搭載のガンマ線分光計による月表層の K、 Th、U 濃度分布の決定、及びそれに基づく月の地球化学的研究	日原 健	49
干潟底質の元素分布に及ぼす周辺部埋立ての影響に関する研究	諸町大地	51
交換性陽イオンによる土壌の酸中和能の解析	山ノ井 俊	54

## 平成 20 年度卒業論文抄録

中性子放射化分析によるユレライト隕石の元素分析	栗飯原はるか	56
CK コンドライトの主要及び微量元素組成	伊佐 美紀	57
HED 隕石 Dho275, NWA1929 の元素組成	大井 誠	58
光量子放射化分析法による大気浮遊粒子の形態別炭素濃度定量のための基礎検討	鈴木 智誠	59
コンドライト質隕石中の宇宙線生成核種 $^{36}\text{Cl}$ の標的要素別生成率	浜中 芳文	60
雪氷中の粒子状物質の元素分析による大気汚染物質の挙動に関する研究	藤井政光	61

## 施設便り

日本原子力研究開発機構原子力科学研究所	62
東京大学共同利用管理本部	63
京都大学原子炉実験所	63
東北大学原子核理学研究施設	64

## 事務局より

第 52 回放射化学討論会 放射化分析分科会報告	65
2008-2009 年度放射化分析研究会拡大幹事会議事録	65

## カレンダー

67

## 編集後記

会員名簿

広告

# 研究紹介

## ホヤの金属濃縮機構 熱中性子放射化分析から始まった研究

広島大学大学院理学研究科生物科学専攻 道端 齊

### 研究開始の動機

1976年春、私は大学院博士課程を修了し、研究生と日本学術振興会の博士研究員を経てその年の暮れに富山大学文理学部生物学科に採用された。新設の研究室の名前は環境生物学であった。当時は1960年代の高度成長期に表面化したいわゆる公害問題への対応が求められていた。大学院で放射線生物学さらに重金属の生物影響の研究をしていた私が採用されたのは、そのような時代背景があったためかも知れない。

学位を取った後どのような研究を進めるのかが重要だ、と周りから威されていた。放射線や重金属の生物影響に関する研究を行っていた私は、そこから脱却してもっと生命現象そのものの謎に迫りたいと思っていた。その気持ちと環境生物学の研究室に求められるものを同時に満たすテーマを上司の堀令司教授と何度も話し合っ、これだと決めたのがホヤのバナジウム濃縮機構であった。今から考えると若干不純な動機だったかも知れないが、重金属の濃縮機構の研究は環境生物学の”立派な”テーマであり、ホヤによるバナジウムの濃縮の謎解きは生命現象そのものであると思って仕事を開始した。

### ヘモバナジン

1911年ドイツ人化学者の Henze (図1)はナポリ臨海実験所 (Stazione Zoologica di Napoli)で採集したホヤの一種に高濃度のバナジウムと硫酸イオンが含まれていることを見つけた<sup>1)</sup>。Henzeの発見に刺激された多くの研究者が、その後、ホヤを始めとする海産生物に含まれる金属元素の分析を試みるようになった。当時すでに鉄がヘモグロビンの、銅がヘモシアニンの補欠分子族であることが分かっており、新たに発見されたバナジウムは第三の呼吸色素の補欠分子族であると考えられた。

Callifano & Caselliはホヤの血球のバナジウム化合物をヘモバナジン(haemovanadin)と名付けた<sup>2)</sup>。Bieligらはヘモバナジンについて一連の生化学的研究を行った。血球中に存在しているもともとのヘモバナジンは、淡緑色で、溶血すると赤色ヘモバナジン(red haemovanadin)のいわゆる Henze's solution になり、さらに酸化されると青色ヘモバナジン(blue haemovanadin)の Henze's chromogen として沈殿する。Henze's chromogenを分析すると $[C_{16}H_{19}N_3O_{12}]VO$ という化学式で表されるバナジウム錯体であった。彼らはホヤの血球の中ではバ



図1. Prof. F. W. Martin Henze (1873-1956) Stazione Zoologica di Napoliで採集したホヤの血球から初めてバナジウムと硫酸イオンを検出した<sup>1)</sup>。

ナジウムは三価に還元されており、低分子化合物やタンパク質そして硫酸イオンとが複合物を作っている」と報告した<sup>3)</sup>。

### ホヤの採集と放射化分析

それらの論文をお手本にして研究をすすめることとし、我が国のホヤ研究のメッカの一つであった青森市浅虫の東北大学理学部附属臨海実験所へ出掛けた。そこでは実験所のスタッフの沼宮内隆晴先生が、ホヤの採集や飼育、実験室の使用などに便宜を図っていた。そのこともあって、ホヤを用いて受精、発生、免疫機構の解明をめざす研究者が全国から集まり、短い人で数日、長い人は数ヶ月も滞在して研究を行っていた。

陸奥湾ではマボヤが養殖されており、ホヤの入手は容易であった。まずはマボヤを手に入れて被嚢、筋肉、消化管、生殖巣、血漿、血球に分けて含有する金属イオンの定量をすることとした。問題はバナジウム分析であった。研究室にあったフレーム型の原子吸光分析装置で分析を試みたが、もちろんバナジウムを検出することはできなかった。

神奈川県横須賀市には、立教大学原子力研究所(立教炉)の出力 100 kW の小型原子炉があった。小回りがきき、短寿命核種の分析に適しており、液体試料を扱えるのも好都合であった。立教炉でマボヤの組織・器官を次々と分析をしたが<sup>52</sup>V に由来する  $\gamma$  線のピークはほとんど得られなかった。

沼宮内先生や星野善一郎岩手大学教授に、ホヤの分類学や現場でのホヤの見分け方を一から教わって様々な種類のホヤを採集し、組織・器官毎のバナジウムの定量を開始した。ナツメボヤ(*Ascidia ahodori*)の血球試料を熱中性子で 3 分間照射し、3 分の冷却時間後 Ge(Li)検出器で<sup>52</sup>V(n,  $\gamma$ )に由来する  $\gamma$  線を測定したところ、測定開始直後から 1434 keV のピークがどんどん上昇してきた(図 2)。ホヤのバナジウムを熱中性子放射化分析法で検出できた一瞬だった。Henze の論文<sup>1)</sup>に書かれたことを再確認でき、じわっと喜びが溢れてきた。

ホヤは南極の海から赤道直下、北極圏に至るまで広く分布しており、これまでに記載された種は少なくとも 3,000 種に達し、それらは分類学的に 4 亜目に区分されている。我々はその中で扁鰓亜目(Phlebobranchia)と剛鰓亜目(Stolidobranchia)に属するホヤを中心に採集を開始した。富山大学の学生達と車を駆って全国の臨海実験所に出掛け、得られた試料を次々と立教炉に持ち込んで分析を繰り返した。

研究を進める内、Henze が初めてホヤから高濃度のバナジウムと硫酸イオンを検出したナポリ臨海実験所で自分も研究をしてみたいという思いが募ってきた。その願いが叶って日本学術振興会ナポリ派遣研究員に採択されて出掛けたのは、1982 年 9 月であった。ナポリ臨海実験所は、ドイツ人科学者の Prof. Anton Dohrn が 1872 年に私財を投じて創設した世界でも最も古い臨海実験所の一つである。約半年の滞在期間中、ナポリ大学(Università di Napoli)の Prof. Mario de Vincentiis のグループとホヤを用いた生化学的実験をするとともに、せっせとホヤを集めて富山大学の研究室に送った。

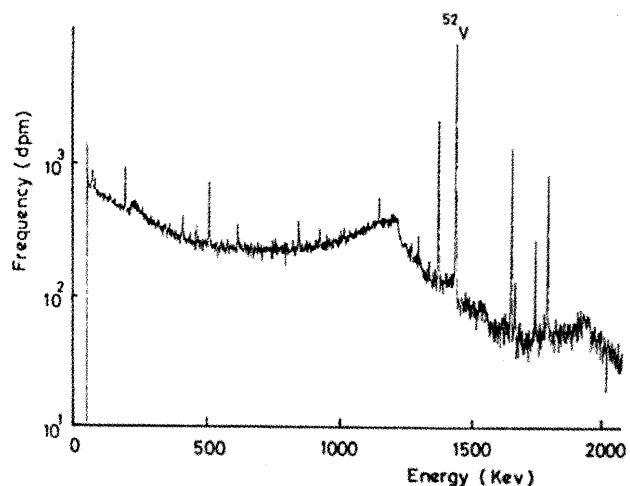


図 2. ナツメボヤの血球に由来する  $\gamma$  線スペクトル  
1434 keV に<sup>52</sup>V の鋭いピークが観察された<sup>4)</sup>。

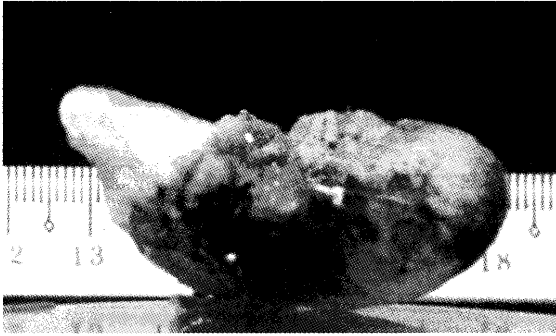


図3. バナジウムボヤ  
血球に含まれるバナジウムの濃度は約 350mM に達する<sup>5)</sup>。

帰国後は、集めた試料を持って再び立教炉に通った。その結果、マボヤやシロボヤなどホヤの中でも進化した剛鰓亜目に属するホヤのバナジウム含有量は少ないこと、扁鰓亜目アスキジア科に属するナツメボヤやスジキレボヤは高濃度にバナジウムを濃縮していること、組織・器官別では血球にもっとも高濃度のバナジウムが含まれており、次いでエラに多いことが分かった。同時に定量した鉄やマンガンの含有量はホヤの種類によっては殆ど変化が認められなかった<sup>4)</sup>。

さらに、その後手に入れた *Ascidia gemmata* の血球から、これまでの最大濃度の 350 mM のバナジウムを検出し<sup>5)</sup>、このホヤの和名をバナジウムボヤ(図3)と名付けた。海水に溶存しているバナジウムの濃度は約 35 nM である。バナジウムボヤのバナジウム濃縮係数は、最大  $10^7$  (1,000 万倍) に達し、このように極端に金属イオンを濃縮する生物は他に例を見ない。

### バナドサイトの決定

さて、バナジウムは扁鰓亜目アスキジア科のホヤの血球に多く含まれることを放射化分析法で明らかにすることができたが、バナジウムを濃縮しているいわゆるバナドサイト (vanadocytes) がどの細胞であるかについては研究者間で論争になっていた。アスキジア科のホヤの血球をノマルスキー顕微鏡で観察すると形態学的に約 10 種類に区分できる(図4)。従来、モルーラ細胞(morula cells)と呼ばれる桑の実状の細胞がバナドサイトであると信じられてきた。その根拠は青緑色に見えるこの細胞の色調がバナジウムの酸性溶液のそれと似通っていること、また、この細胞を電子顕微鏡で観察すると電子密度の高い顆粒が液胞に局在し、これらの顆粒はバナジウムに由来すると考えられたことによる。しかし、de Vincentiis のグループが分析電子顕微鏡でこれらの顆粒を分析したところ、バナジウムに由来する特性 X 線が観察されず、代わってシグネットリング細胞(signet ring cells)からバナジウムが検出されたと報告した<sup>6)</sup>。

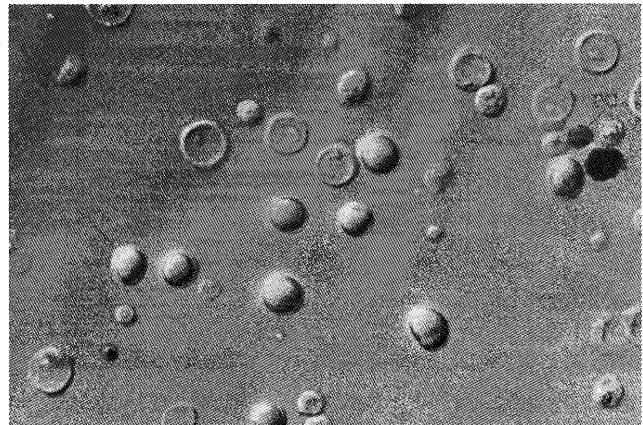


図4. スジキレボヤの血球のノマルスキー顕微鏡像  
SRC:シグネットリング細胞、MC:モルーラ細胞、PC:ピグメント細胞、細胞の直径は 8-12 μm。

どの細胞が本当のバナドサイトであるか、我々は密度勾配遠心法で細胞を分離し、それぞれの細胞集団に含まれるバナジウム含有量を放射化分析法で定量した。その結果、シグネットリング細胞を高純度で含む細胞集団からバナジウムが検出され、真のバナドサイトはシグネットリング細胞であると報告した<sup>7)</sup>。後に、我々はグルノーブルにあるヨーロッパ放射光機構(The European Synchrotron Radiation Facility)の X 線顕微鏡を利用して、生きた血球に放射光を照射し、バナジウム由来の蛍光 X 線はシグネットリング細胞から放射されるがモルーラ細胞からは出ないことを確認し、この論争に終止符を打った(図5)<sup>8)</sup>。

## バナドサイトのモノクローナル抗体

シグネットリング細胞がバナドサイトであることが判明したが、この細胞を他の細胞と簡単に区別するマーカーが必要であった。そこで、スジキレボヤのシグネットリング細胞をホモジナイズしてマウスに注射し、この細胞を特異的に認識するモノクローナル抗体を作製した。S4D5 と名付けたモノクローナル抗体は、アスキジア科の他のホヤのシグネットリング細胞とも特異的に結合し、バナドサイトを特定するのに有益だった<sup>9)</sup>。

後日、このモノクローナル抗体が認識する抗原分子を調べてみたところ、解糖系的一种であるペ

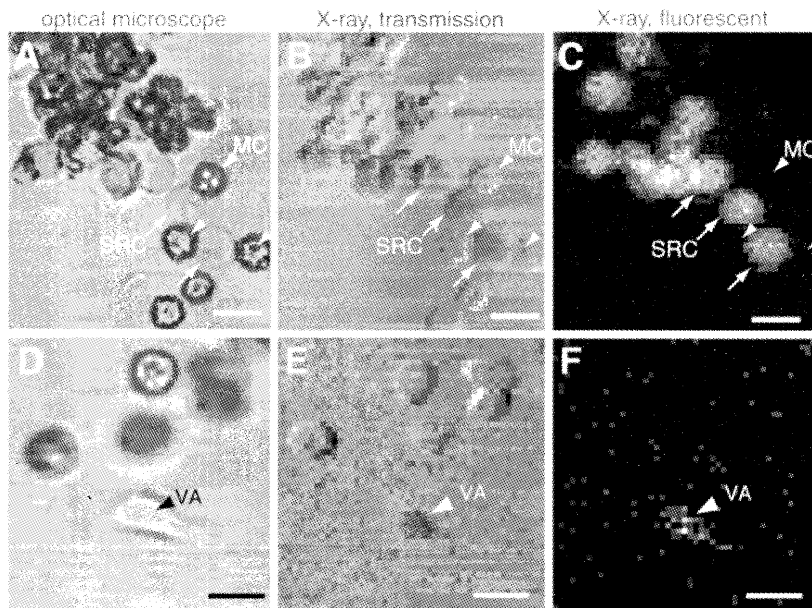


図5.ヨーロッパ放射光機構のX線顕微鏡によるバナドサイトの同定  
AとD: *Phallusia mammillata* の生きた血球の光学顕微鏡像、MC:モル  
ーラ細胞、SRC:シグネットリング細胞、VA:液胞アメーバ細胞。BとE:  
透過X線の顕微鏡像。CとF: 5.5keVの蛍光X線の顕微鏡像。バナジウ  
ムの蛍光X線はSRCから観察されたがMCからは観察されなかった。  
VAから弱いシグナルが観察された<sup>8)</sup>。

ントースリン酸経路の酵素、  
6PGDH (6-phosphogluconate  
dehydrogenase)であることが分か  
った<sup>10)</sup>。その他にも、シグネット  
リング細胞にはペントースリン酸  
経路関連の酵素 G6PDH  
(Glucose-6-phosphate  
dehydrogenase)<sup>11)</sup>、GP (Glycogen  
phosphorylase)<sup>12)</sup>、TKL  
(transketolase)<sup>13)</sup>が局在していた。  
ペントースリン酸経路は一巡する  
と、補酵素のNADPHを2モル産  
生するエネルギー産生機構であり、  
NADPHは生体内で還元剤として  
働く。後述するようにこの偶然の  
発見は、ホヤに濃縮されたバナジ  
ウムの役割を考える上で重要なポ  
イントになってきた。

## バナジウムの原子価と還元物質

バナジウムは多原子価元素である。水溶液中では、五価( $V^V$ )、四価( $V^{IV}$ )、三価( $V^{III}$ )、二価( $V^{II}$ )の原子価を取りうるが、二価は強い還元性を有するので生理的意義は殆どない。海水中のバナジウムは五価の陰イオン  $V^V$  ( $[H_2VO_4]^-$ ,  $[HVO_4]^{2-}$ )として溶存している。それに対してホヤに濃縮されたバナジウムは、四価( $VO^{2+}$ )あるいは三価( $V^{3+}$ )に還元されているとされ、研究者によってもホヤの種によっても異なった報告がされてきた。

我々はバナジウムボヤのバナドサイトを電子スピン共鳴法(EPR)で観察し、含まれるバナジウムの98%が三価で残り2%が四価であることを明らかにした<sup>14)</sup>。すなわち、海水中で五価で溶存していたバナジウムはホヤに取り込まれた後、四価に還元され、さらに三価に還元されて濃縮されることが分かった。

バナジウムを還元する物質としては、上述のヘモバナジンが最初の候補に上ったが、化学構造の解明が不十分であった。次に Brandeis University の Prof. Kenneth Kustin のグループによって、ホヤの血球から抽出された明黄色のツニクローム(tunichrome)と呼ばれる低分子化合物が、初期反応で1



モル当たり五価のバナジウムを2モル、あるいは三価の鉄を4モル還元し、さらに遅い反応で三価鉄を9モル還元すると報告された<sup>15)</sup>。ツニクロームという名前は、被囊類 tunicate から抽出した色素体 chromogen という意味である。その後、Columbia University の中西香爾教授と Kustin 教授らはその構造が3ユニットの hydroxy-DOPA(3,4,5-trihydroxyphenylalanine)から成り、五価バナジウムを四価に還元すると報告した<sup>16)</sup>。ツニクロームに由来する 524 nm の蛍光は、モルーラ細胞からは観察されるが、シグネットリング細胞からは観察できないとされた<sup>17)</sup>。当時はモルーラ細胞がバナドサイトであると信じられていた。

この頃、私は Kustin 教授の研究室で PD として働いていたが、ツニクロームとバナジウムはそれぞれ異なる血球に局在するのではないだろうか、もしそうならば細胞内でツニクロームがバナジウムを還元することはないと主張し、ボスと厳しい論争を重ねた。帰国後、真のバナドサイトはシグネットリング細胞であり、そこにはツニクロームが局在しておらず、細胞内でバナジウムの還元に関与しないことを明らかにし<sup>18)</sup>、還元物質探しは振り出しに戻った。

後述するが、最近バナジウム結合タンパク質 Vanabin2 が五価バナジウムを四価に還元することを発見した(未発表)。さらに、システインメチルエステルが四価バナジウムを三価に還元することを見出したが<sup>19)</sup>、この物質がバナドサイト内に局在するかどうかは不明である。五価から四価を経て三価への還元はもとより、逆に三価から五価への酸化が起こる可能性もあるので、今後とも未知の酸化・還元剤を探索する必要がある。

### バナジウム濃縮のエネルギー機構

最大  $10^7$  もの濃度勾配に逆らって金属イオンを濃縮する生物は、現在のところホヤ以外には知られていない。その濃縮のエネルギー機構はどうなっているのだろうか。我々は高濃度のバナジウムを含有するホヤほどバナドサイトの pH が低いことに気付いた(表 1)<sup>5)</sup>。すなわち、バナジウム濃度とプロトン濃度との間に関連性があるのではないかと考えた。実際にバナドサイトの液胞にプロトンを濃縮する膜貫通ポンプである液胞型  $H^+$ -ATPase が存在するの否かを抗体を用いて調べたところ、バナドサイトの液胞膜に局在することが分かった。さらに、液胞型  $H^+$ -ATPase の特異的阻害剤 bafilomycin  $A_1$  で処理すると、液胞の pH が上昇し中性になった<sup>20)</sup>。その際、液胞内に蓄えられていたバナジウムが 30~40%程流出することから、バナジウムの濃縮に液胞型  $H^+$ -ATPase が関与することは間違いない。

それにしてもバナドサイトの 1.9~4.2 という pH の値は低い。その謎を探るため、液胞型  $H^+$ -ATPase の触媒部位を構成するサブユニット A~D の遺伝子をクローニングした。その結果、ATPase 活性の制御に係わるサブユニット C が他の生物のそれと相同性が低かった。その遺伝子をサブユニット C を欠失している酵母に導入し、プロトン濃度の低い pH7.5 の培養液中で培養したところ、この酵母は成育することができた<sup>21)</sup>。すなわち、本来プロトン濃度が低い環境では成育できない突然変異体の酵母にプロトン濃縮に係わるホヤの遺伝子が発現したため、プロトンを強力に濃縮できるようになり、酵母が増殖したことになる。今後、この酵母の系を用いてプロトンとバナジウム濃縮機構の相関関係の詳細を調べるこ

表 1. ホヤの血球に含まれるバナジウム濃度と pH の関係<sup>5)</sup>

ホヤの種	バナジウムの濃度	pH
バナジウムボヤ <i>Ascidia gemmata</i>	350 mM	1.86
ナツメボヤ <i>A. ahodori</i>	60 mM	2.67
スジキレボヤ <i>A. sydneienseis samea</i>	13 mM	4.20

(Michibata *et al.*, J. Exp. Zool., 257: 306-313, 1991)

とが必要である。

しかし、これほど極端なプロトン濃度は液胞型 H<sup>+</sup>-ATPase の機能だけでは説明ができないかも知れない。水溶液中で五価バナジウムが四価さらに三価に還元される過程で、水分子が解離されて生ずるプロトンの寄与を考慮した実験が欠かせないと思う。

## バナジウム結合タンパク質

海水中に溶存している数多くの金属イオンの中から、ホヤがバナジウムを選択的に濃縮するには、金属イオン選択性を持った輸送タンパク質(トランスポーター)、濃度勾配に逆らって濃縮するイオンポンプ、特異的結合をするタンパク質などが必要と考えられる。しかし、それまでにホヤからこのようなタンパク質を抽出できたという報告はなかった。

我々はスジキレボヤの血球ホモジネイトを陰イオン交換クロマトグラフィに掛け、得られたフラクションに含まれるタンパク質とバナジウム含有量を定量して 12.5kDa と 15 kDa の二種類のバナジウム結合タンパク質を得た。これらのタンパク質の N 末のアミノ酸配列をエドマン分解法で決定してディジェネレートプライマーを作製すると共にモノクローナル抗体を作製した。これらをプローブとしてバナドサイトで発現している遺伝子ライブラリー(cDNA library)からバナジウム結合タンパク質をコードする 2 種類の cDNA を得た。得られた cDNA の配列からアミノ酸の一次配列を推測すると、翻訳領域には約 90 個のアミノ酸残基が含まれ、その中ではシステインが 18 残基ときわめて多いこと、システイン残基の繰り返し配列の間隔が 2 種類のバナジウム結合タンパク質間でほぼ一定であることが分かった(図 6)。これらのバナジウム結合タンパク質の遺伝子を大腸菌に発現させ、得られた組み換えタンパク質を用いてバナジウムとの結合実験を行った。その結果、Vanabin1 と名付けた 12.5kDa のタンパク質は 10 個の四価バナジウムイオンと、15kDa の Vanabin2 は 20 個の四価バナジウムイオンとで、それぞれ、解離定数  $2.1 \times 10^{-5} \text{M}$  と  $2.3 \times 10^{-5} \text{M}$  で結合することが分かった<sup>22)</sup>。EPR を用いた滴定実験でも同様の結合数が得られた<sup>23)</sup>。

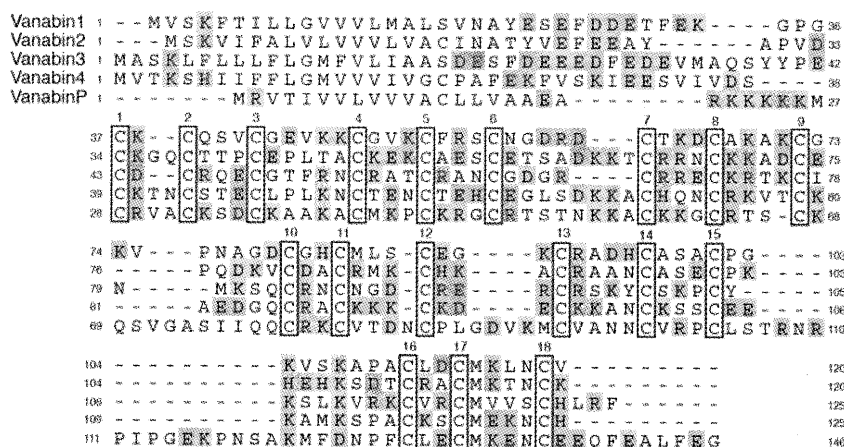


図 6. Vanabin family のアミノ酸の一次配列の比較

いずれの Vanabin にも 18 残基のシステインが含まれ、その配置もほぼ一致している<sup>23)</sup>。

## Vanabin2 の立体構造

Vanabin2 の溶液中での立体構造は、理化学研究所ゲノム科学研究センターの廣田洋先生のグループとの共同研究によって明らかになった<sup>24)</sup>。Vanabin2 は 4 本の  $\alpha$  ヘリックスを含み、18 個のシステイン残基がジスルフィド(SS)結合をして、ちょうど堅琴のような形状をしていた(図 7)。一方、四価のバナジウムイオン(V<sup>IV</sup>)は <sup>15</sup>N-labeled Vanabin2 の NMR シグナルを消光することが知られている。このことを利用してバナジウムイオンの結合部位を求めると、アミン態窒素を有するリシンとアルギニン、ヒスチジンが局在している部位であることが分かった。この結果は、EPR のパラメーター

から推測したバナジウムイオンの結合部位と一致した<sup>23)</sup>。現在、これらの結合部位のアミノ酸残基に部位特異的変異を導入した変異体を作製して、バナジウムイオンの結合部位を詳細に突き止めようとしている。

一方、EST(発現遺伝子配列断片)解析などによって、バナドサイトの細胞質には少なくともさらに2種類、血漿には1種類のVanabinが局在することを見出し、それぞれVanabin3、Vanabin4そしてVanabinPと名付けた<sup>25,26)</sup>。Vanabin2の立体構造を元にしてコンピュータ上でこれらのタンパク質のホモロジーモデリングをした結果、いずれも9対のジスルフィド結合を有する類似の構造を持つことが推測された<sup>27)</sup>。

さらに、Vanabinと類似のタンパク質がスジキレボヤ以外のホヤにも存在するの否かは興味深い。ゲノム解析が進んでいるカタウレイボヤ *Ciona intestinalis* のcDNA データベースを検索したところ、ホモロジーの高い遺伝子が得られた。*CiVanabin*と名付けられた遺伝子は少なくとも5種類存在し、それらは8.4kbのゲノム上にタンデムに並んでいた。その中の*CiVanabin5*の組み換えタンパク質は四価バナジウムイオンと結合することを明らかにした<sup>28)</sup>。この他にもユウレイボヤ *C. savignii*にもVanabinファミリーが存在することから、バナジウムを比較的高濃度で濃縮しているホヤにはホモログが存在すると考えられる。

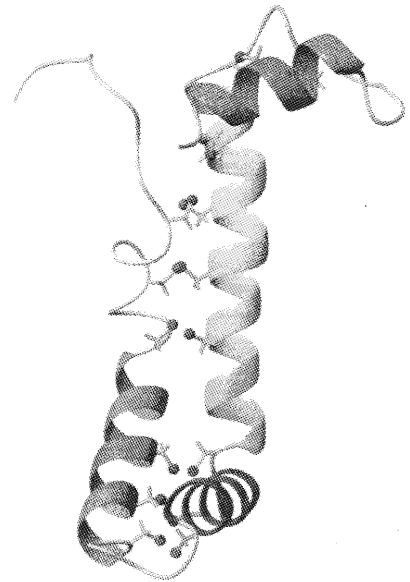


図7. Vanabin2の立体構造  
4本の $\alpha$ -ヘリックスを持ち、18個のシステイン残基は9対のジスルフィド結合をしている<sup>24)</sup>。

### その他濃縮に関連するタンパク質

バナジウムの濃縮経路の詳細は不明であるが、入水孔からエラや消化管を經由して体腔内に取り込まれ、最終的にバナドサイトに濃縮されると考えられる。エラは最初にバナジウムと接触する組織であり、そこにはバナジウムの濃縮に関係するチャンネルや受容体などのタンパク質が存在すると思われる。しかし、薄い膜状のエラから充分量のタンパク質を得るのは難しいだけでなく、微生物およびホヤ自身の血球の混入を避けがたいことから解析は進んでいない。

最近、エラに連なる消化管と血漿からバナジウム結合タンパク質を得ることができた。消化管から抽出したタンパク質の遺

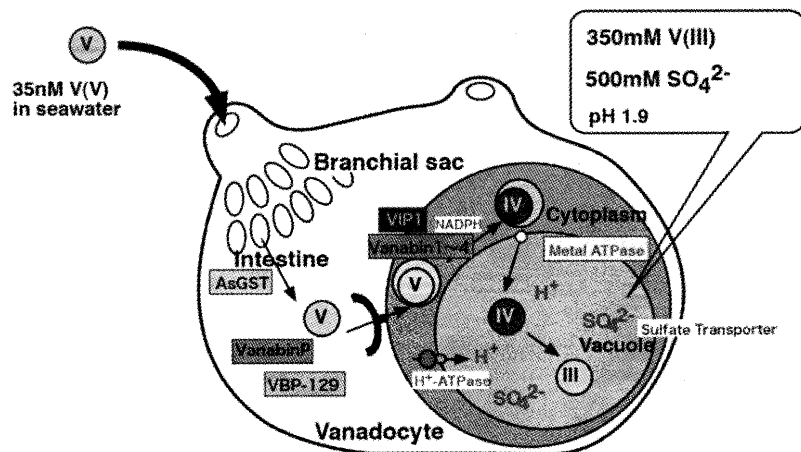


図8. ホヤのバナジウム濃縮の予想経路とバナジウムの濃縮還元に関与するタンパク質

消化管からはAsGST<sup>29)</sup>、血漿にはVanabinP<sup>26)</sup>とVBP-129<sup>30)</sup>、バナドサイトの細胞質にはVanabin1-4<sup>20)</sup>が局在している。この他、Vanabinと相互作用するVIP1<sup>27)</sup>やペントースリン酸経路の酵素群<sup>10-13)</sup>、チオールの酸化・還元酵素群が局在する。また、膜状には液胞型H<sup>+</sup>-ATPase<sup>20)</sup>やMetal-ATPase、硫酸イオン輸送体が存在する。

伝子を解析したところ、グルタチオン-S-トランスフェラーゼ(glutathione-S-transferase)であることが分かり、AsGSTと名付けた<sup>29)</sup>。この酵素は、生体内で生ずる過酸化物質や活性酸素種とグルタチオン(GSH)との結合反応を触媒する酵素である。この酵素が五価ならびに四価バナジウムイオンと結合することは、チオール(R-SH)がバナジウムの酸化還元に密接に関係することを示唆している。

また、血漿からは129個のアミノ酸残基が連なった新規バナジウム結合タンパク質を抽出し、VBP-129と名付けた。VBP-129は血漿中に局在するVanabinPと相互作用する<sup>30)</sup>。すでにバナドサイトの細胞質にはVanabin1~4と相互作用するVIP1と名付けたタンパク質が局在することを報告している<sup>27)</sup>。これらのことから、バナジウム結合タンパク質は単独で働くのではなく、他のタンパク質と結合することによって、金属イオンを授受するいわゆるメタロシャペロン(metallochaperone)としての役割を果たしていると考えられる。細胞膜や液胞膜にバナジウム結合タンパク質のレセプターが存在するか否かを含め、今後システマティックな解析が必要である(図8)。

### 硫酸イオンの濃縮

Henzeはバナジウムと共に高濃度の硫酸イオンを検出している<sup>1)</sup>。その後も硫酸イオンやスルホン酸塩、脂肪族スルホン酸塩がホヤの血球に存在することが分析電子顕微鏡やX線マイクロアナリシスによって観察されてきた<sup>31-35)</sup>。我々はラマン分光法でバナジウムボヤの血球から $\text{SO}_4^{2-}$ に由来する対称伸縮振動のラマンバンド( $983\text{ cm}^{-1}$ )とV=Oに由来する伸縮振動のバンド( $995\text{ cm}^{-1}$ )を同時に得たが、血漿成分からは硫酸イオンのバンドのみが観察された。血球と血漿に含まれる硫酸イオンの濃度は、それぞれ515 mMと14 mMであった。バナジウムボヤのバナジウム濃度は350 mMなので、血球中の硫酸イオンとバナジウムイオンの濃度比は約1.5になる<sup>36)</sup>。FrankらはX線吸収端近傍構造(XANES)を用いて、*A. ceratodes*の血球から多量の硫酸イオンと少量のチオール、チオエーテルを検出している<sup>37)</sup>。

最近、我々はスジキレボヤの血球から硫酸イオン輸送体(sulfate transporter)のホモログをクローニングし、*AsSUL1*と名付けた。この遺伝子をアフリカツメガエルの卵母細胞に発現させて $^{35}\text{SO}_4^{2-}$ の取り込みを見たところ、 $\text{Na}^+$ 存在下で有意に硫酸イオンを取り込むことが分かった(未発表)。今後、この系を用いてバナジウム濃縮との関連を詳細に検討したい。

### バナジウムの生理機能

ホヤに濃縮された高濃度のバナジウムはどのような役割を担っているのだろうか?。これまでに下記に示すようにいろいろな仮説が提唱されたが、いずれも直接的証拠に乏しく広く認められているとは言い難い。

ホヤは動物では唯一セルロースを生合成しており、被嚢を構成するホヤの体表はセルロースとムコ多糖からなるツニシン(tunicin)で覆われている。このセルロースを生合成する際に、バナジウムが触媒として働くのではないか(被嚢形成説)<sup>38,39)</sup>、また、高濃度の硫酸イオンの生成に触媒として関与している(硫酸生成説)<sup>40)</sup>とか、抗バクテリア作用に用いられている(抗バクテリア説)<sup>41)</sup>という提案もあった。さらに、ヘモバナジンは前述のようにそもそも呼吸色素として抽出されてきたので、バナジウムは鉄や銅に次ぐ呼吸色素の補欠分子族である(酸素運搬説)<sup>42)</sup>とも言われたが、その後バナドサイトには酸素運搬能がないことが報告された<sup>43)</sup>。

今、我々はVanabin2の9対のジスルフィド結合に着目している。最近、グルタチオン存在下でVanabin2のジスルフィドがチオールに還元され、その結果9対のジスルフィド結合が開裂することを見出した。そこで、チオール・ジスルフィド交換反応(SH-SS交換反応)がバナジウムの酸化・還

元と共役するのではないかと考え、Vanabin2 と GSH の共存下で五価のバナジウムイオンが四価に還元されるか否かを調べたところ、急速な還元が観察された。このことから Vanabin2 はチオール・ジスルフィド交換反応によって五価バナジウムを還元する新規の金属還元酵素(metal reductase)と考えられる(論文投稿中)。

一方、バナドサイトには NADPH を産生するペントースリン酸経路(PPP)の酵素群<sup>10-13)</sup>とチオールの酸化・還元酵素群が局在し、約 2mM の GSH が含まれる(論文投稿中)。上述の AsGST が消化管に発現していること<sup>29,44)</sup>を考え合わせると、ホヤによるバナジウムの濃縮・還元には SH-SS 交換反応を介した電子伝達カスケードが関与していると考えられる。この電子伝達カスケードを介して、ホヤに濃縮された五価バナジウムは四価に還元され、さらに未知の還元剤で三価に還元されるのではないか。もし、一連のカスケードの逆反応によって、バナジウムが酸化されるならば、最終的に NADPH の産生に結びつくことになる。すなわち、ホヤに濃縮されたバナジウムは酸化還元電池(redox battery)としての機能を有しているのかも知れない。今後の研究の展開が待ち望まれる。

## おわりに

富山大学で開始した研究が、イタリア共和国ナポリ市のナポリ臨海実験所とアメリカ合衆国マサチューセッツ州の Brandeis University での二度に亘る外国での研究生活を挟んで、広島大学理学部附属臨海実験所、さらに同大学院理学研究科生物科学専攻へと移るたびに、共同研究者のお陰で新たな方法論を得て、思い掛けない発見や興味深い発展に結びついてきた。それらの成果は時折総説に纏めてきたが<sup>45-48)</sup>、最近、斯界の第一人者 Universität Hamburg の Prof. D. Rehder が我々の成果を彼の近著で大きく引用してくれた<sup>49)</sup>。

生物系の学会でこれらの研究を報告すると、若い人達から元々の化学屋さんと間違えられたり、いつしか生物無機化学系の国際学会の常連になるなど、この研究が私のライフワークになってしまったことに深い感慨を覚えている。

## 謝辞

本稿は、2008 年 9 月 25 日に広島大学広仁会館で開催された日本放射化学学会年会第 52 回放射化学討論会の放射化分析分科会での依頼講演の内容をまとめたものです。講演と本誌に寄稿する機会を与えて下さった首都大学東京理工学研究科分子物質化学専攻の海老原充教授と本学理学研究科地球惑星システム科学専攻の日高洋教授に厚く御礼申し上げます。お陰様で 30 年来の研究を振り返ることができました。なお、本研究は引用した原著論文に名前を連ねた共同研究者と富山大学ならびに広島大学の研究室に所属した学生達の努力で成し遂げられたものです。彼らに改めて感謝申し上げます。

## 引用論文

1. Henze, M., *Hoppe-Seyler's Z. Physiol. Chem.*, 72, 494-501 (1911)
2. Callifano, L., Caselli, P., *Pubbl. Stazione Zool. Napoli*, 21, 261-271 (1948)
3. Bielig, H. J., Jost, E., Pheleger, K., Rummel, W., *Hoppe-Seyler's Z. Physiol. Chem.*, 325, 132-145 (1961)
4. Michibata, H., Terada, T., Anada, N., Yamakawa, K., Numakunai, T., *Biol. Bull.*, 171, 672-681 (1986)
5. Michibata, H., Iwata, Y., Hirata, J., *J. Exp. Zool.*, 257, 306-313 (1991)

6. Scippa, S., Zierold, K., de Vincentiis, M., *J. Submicroscop. Cytol. Pathol.*, 20, 719-730 (1988)
7. Michibata, H., Hirata, J., Uesaka, M., Numakunai, T., Sakurai, H., *J. Exp. Zool.*, 244, 33-38 (1987)
8. Ueki, T., Takemoto, K., Fayard, B., Salomé, M., Yamamoto, A., Kihara, H., Susini, J., Scippa, S., Uyama, T., Michibata, H., *Zool. Sci.*, 19, 27-35 (2002)
9. Uyama, T., Nishikata, T., Satoh, N., Michibata, H., *J. Exp. Zool.*, 259, 196-201 (1991)
10. Uyama, T., Kinoshita, T., Takahashi, H., Satoh, N., Kanamori, K., Michibata, H., *J. Biochem.*, 124, 377-382 (1998)
11. Uyama, T., Yamamoto, K., Kanamori, K., Michibata, H., *Zool. Sci.*, 15, 441-446 (1998)
12. Uyama, T., Ueki, T., Suhama, Y., Kanamori, K., Michibata, H., *Zool. Sci.*, 15, 815-821 (1998)
13. Ueki, T., Uyama, T., Yamamoto, K., Kanamori, K., Michibata, H., *Biochim. Biophys. Acta*, 1494, 83-90 (2000)
14. Hirara, J., Michibata, H., *J. Exp. Zool.*, 257, 160-165 (1991)
15. Macara, I. G., McLeod, G. C., Kustin, K., *Biochem. J.*, 181, 457-465 (1979)
16. Bruening, R. C., Oltz, E. M., Furukawa, J., Nakanishi, K., Kustin, K., *J. Am. Chem. Soc.*, 107, 5298-5300 (1985)
17. Robinson, W. E., Agudelo, M. I., Kustin, K., *Comp. Biochem. Physiol.*, 78A, 667-673 (1984)
18. Michibata, H., Hirata, J., Terada, T., Sakurai, H., *Experientia*, 44, 906-907 (1988)
19. Kanamori, K., Kinebuchi, Y., Michibata, H., *Chem. Lett.*, 1997, 423-424 (1997)
20. Uyama, T., Moriyama, Y., Futai, M., Michibata, H., *J. Exp. Zool.*, 270, 148-154 (1994)
21. Ueki, T., Uyama, T., Kanamori, K., Michibata, H., *Marine Biotech.*, 3, 316-321 (2001)
22. Ueki, T., Adachi, T., Kawano, S., Aoshima, M., Yamaguchi, N., Kanamori, K., Michibata, H., *Biochim. Biophys. Acta*, 1626, 43-50 (2003)
23. Fukui, K., Ueki, T., Ohya, H., Michibata, H., *J. Am. Chem. Soc.*, 125, 6352-6353 (2003)
24. Hamada, T., Asanuma, M., Ueki, T., Hayashi, F., Kobayashi, N., Yokoyama, S., Michibata, H., Hirota, H., *J. Am. Chem. Soc.*, 127, 4216-4222 (2005)
25. Yamaguchi, N., Amakawa, Y., Yamada, H., Ueki, T., Michibata, H., *Zool. Sci.*, 23, 909-915 (2006)
26. Yoshihara, M., Ueki, T., Watanabe, T., Yamaguchi, N., Kamino, K., Michibata, H., *Biochim. Biophys. Acta*, 1730, 206-214 (2005)
27. Ueki, T., Shintaku, K., Yonekawa, Y., Takatsu, N., Yamada, H., Hamada, T., Hirota, H., Michibata, H., *Biochim. Biophys. Acta*, 1770, 951-957 (2007)
28. Trivedi, S., Ueki, T., Yamaguchi, N., Michibata, H., *Biochim. Biophys. Acta*, 1630, 64-70 (2003)
29. Yoshinaga, M., Ueki, T., Yamaguchi, N., Kamino, K., Michibata, H., *Biochim. Biophys. Acta*, 1760, 495-503 (2006)
30. Yoshihara, M., Ueki, T., Yamaguchi, N., Kamino, K., Michibata, H., *Biochim. Biophys. Acta*, 1780, 256-263 (2008)
31. Botte, L., Scippa, S., *Experientia*, 33, 80-81 (1977)
32. Botte, L., Scippa, S., de Vincentiis, M., *Experientia*, 35, 1228-1230 (1979)
33. Bell, M. V., Pirie, B. J. S., McPhall, D. B., Goodmann, B. A., Falk-Petersen, I. -B., Sargent, J. R., *J. Marine Biol. Assoc., U. K.*, 62, 709-716 (1982)
34. Scippa, S., Botte, L., Zierold, K., de Vincentiis, M., *Cell Tissue Res.*, 239, 459-461 (1985)
35. Scippa, S., Zierold, K., de Vincentiis, M., *J. Submicroscop. Cytol. Pathol.*, 20, 719-730 (1988)

36. Kanamori, K., Michibata, H., *J. Marine Biol. Assoc., U. K.*, 74, 279-286 (1994)
37. Frank, P., Hedman, B., Carlson, R. K., Tyson, T. A., Row, A. L., Hodgson, K. O., *Biochemistry*, 26, 4975-4979 (1987)
38. Endean, R., *Austr. J. Marine Freshwat. Res.*, 6, 35-59 (1955)
39. Smith, M. J., *Biol. Bull.*, 138, 354-378 (1970)
40. Swinehart, J. H., Biggs, W. R., Halko, D. J., Schroeder, N. C., *Biol. Bull.*, 146, 302-312 (1974)
41. Rowley, A. F., *J. Exp. Zool.*, 227, 319-322 (1983)
42. Carlisle, D. B., *Proc. Roy. Soc. London B*, 171, 31-42 (1968)
43. Macara, I. G., McLeod, G. C., Kustin, K., *Comp. Biochem. Physiol.*, 62A, 821-826 (1979)
44. Yoshinaga, M., Ueki, T., Michibata, H., *Biochim. Biophys. Acta*, 1770, 1413-1418 (2007)
45. Michibata, H.; Uyama, T.; Kanamori, K. *Am. Chem. Soc. Symp. Ser.*, 248-258 (1998)
46. Michibata, H.; Uyama, T.; Ueki, T.; Kanamori, K. *Microsc. Res. Tech.*, 56, 421-434 (2002)
47. Michibata, H.; Yamaguchi, N.; Uyama, T.; Ueki, T. *Coord. Chem. Rev.*, 237, 41-51 (2003)
48. Michibata, H., Yoshinaga, M., Yoshihara, M., Kawakami, N., Yamaguchi, N, Ueki, T., *Am. Chem. Soc. Symp. Ser.*, 974, 264-280 (2007)
49. Rehder, D., *Bioinorganic Vanadium Chemistry, John Wiley & Sons, Ltd.* (2007)

## 著者略歴

1971.3 新潟大学理学部生物学科卒業  
 1973.3 同大学院理学研究科修士課程修了  
 1976.3 東京大学大学院理学系研究科博士課程動物学専門課程修了(理学博士)  
 1976.12～1991.3 富山大学文理学部生物学科講師、同理学部助教授  
 1982.9～1983.2 日本学術振興会ナポリ臨海実験所派遣研究員  
 1986.10～1987.9 ブランダイス大学化学教室 PD  
 1991.4～1992.4 広島大学理学部附属臨海実験所助教授  
 1992.5～2003.8 同教授  
 1995.9 (社)日本動物学会学会賞受賞  
 1996.2 (財)井上科学振興財団井上学術賞受賞  
 2001～現在 国際バナジウムシンポジウム組織委員・Vanadis Award 選考委員  
 2003～04 Editor-in-Chief of Zoological Science  
 2003.9～現在 広島大学大学院理学研究科生物科学専攻教授  
 2008～現在 14<sup>th</sup> Int. Conference on Biological Inorganic Chemistry プログラム委員

連絡先: 〒739-8526 東広島市鏡山 1-3-1 広島大学大学院理学研究科生物科学専攻  
 メール: hmichi@hiroshima-u.ac.jp、電話&FAX: 082-424-7438

## KUR 運転再開へ向けての現状

京都大学原子炉実験所 中島 健

### － 概 要 －

世界各国の研究用原子炉（研究炉）では、従来は濃縮度 90%以上の高濃縮ウランを使用していたが、この高濃縮ウランは核兵器に直接転用可能であるため、米国と IAEA（国際原子力機関）の主導により、濃縮度 20%未満の低濃縮ウランに転換するプログラム（RERTR: Reduced Enrichment for Research and Test Reactor）が進められている。多くの研究炉では、燃料の濃縮度を低くした代わりに燃料 1 体当たりのウラン量（ウラン密度）を増やすことによって、原子炉の特性がほとんど変わらないように工夫している。ウラン密度を増加させるには、従来のウラン-アルミニウム合金では困難なため、ウラン-シリサイド合金をアルミニウム中に分散させた燃料（シリサイド燃料）が広く採用されている。

京都大学研究用原子炉 KUR でも、これまでは濃縮度 93%の高濃縮ウランを使用していたが、2006年2月の運転を持ってその使用を終了し、燃料低濃縮化のための作業を開始した。今後のKURでは、濃縮度を93%から約20%へと低減し、ウラン密度を約0.6g/cm<sup>3</sup>から3.2g/cm<sup>3</sup>へと増加させた低濃縮ウラン燃料（シリサイド燃料）を使用することとなる。この低濃縮化のための準備作業として、原子炉等規制法に基づく原子炉設置承認申請書の変更（いわゆる安全審査）をこれまでに終了し、現在は低濃縮ウラン燃料の製造及び関連する検査、休止中の原子炉の健全性確認（総点検）を順次行っているところである。健全性確認では、運転再開後の安定した使用が可能となるように、運転中は観察が行えない箇所も含めて大掛かりな点検及び必要な機器設備の改修を行っている。また、低濃縮ウラン燃料を装荷した炉心の核特性解析を行い、運転及び実験における濃縮度低減の影響評価を行っている。なお、使用済みの高濃縮ウラン燃料については、既に全数を米国に返送済みである。

低濃縮ウラン燃料の製造はフランスの燃料メーカーにて行っており、2009年5月に当実験所に到着する予定である。その後各種の検査等を行い、これらに無事合格した後に、KURは運転を再開することとなる。ただし、燃料製造に係るコストの問題から、今回製造する燃料は30体のみであり、従前のような定格出力5MWの運転を定常的に行うと短期間で全燃料を消費してしまう。このため、運転再開後は出力1MWを標準とした運転を計画しているところである。

本報告では、燃料低濃縮化を含めたKUR停止期間中に実施してきた、あるいは実施中の、各種の作業及び新炉心の核特性予測評価等、運転再開に向けての準備状況と今後の予定について紹介する。

（専門研究会報告書より転載）



## KUR運転再開へ向けての現状

- ・KURの現状
- ・低濃縮化の計画・内容
- ・低濃縮炉心特性の評価
- ・停止中の総点検
- ・運転再開の予定

京都大学原子炉実験所 中島 健

1

## KURの現状

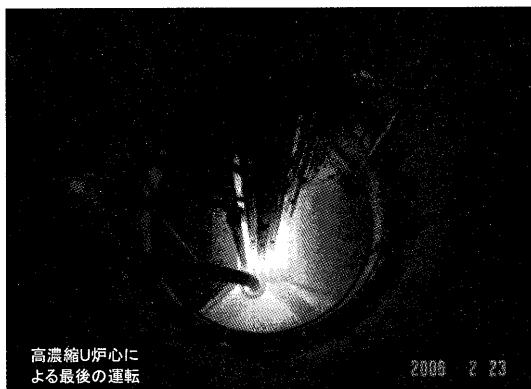
現在、原子炉は休止中(燃料濃縮度低減のための諸手続き中)  
来年度運転再開予定

### 変更の概要

- ・燃料濃縮度の低減: 93%→20%未満
- ・ウラン密度の増加:  $0.58\text{gU/cm}^3 \rightarrow 3.2\text{gU/cm}^3$
- ・ウラン・アルミニウム合金(U-Al) から  
ウランシリサイド・アルミニウム分散型燃料材( $\text{U}_3\text{Si}_2\text{-Al}$ )へ
- ・燃料要素の形状・寸法は変更なし
- ・安全保護回路等の一部変更

2

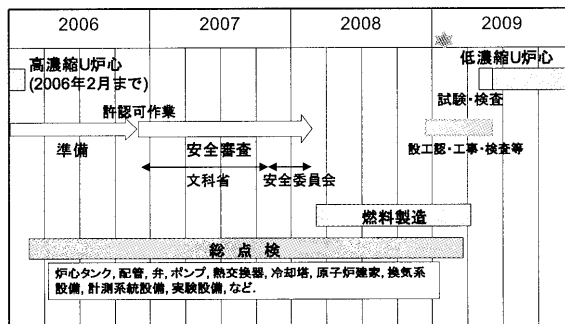
## KUR: 5MW 運転中



高濃縮U炉心による最後の運転

3

## KUR燃料低濃縮化の計画



4

### ▶ 燃料の変更

- ・濃縮度低減:  
93% [高濃縮U] → 20%未満[低濃縮U]
- ・U密度の増加:  $0.58\text{gU/cm}^3 \rightarrow 3.2\text{gU/cm}^3$
- ・燃料組成の変更:  
U-Al (ウラン-アルミ合金) →  $\text{U}_3\text{Si}_2\text{-Al}$  (シリサイド)
- ・最高燃焼度の増加:  
25% of U-235 → 35% of U-235
- ・燃料の外観・形状は変更なし

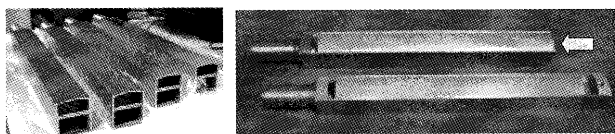
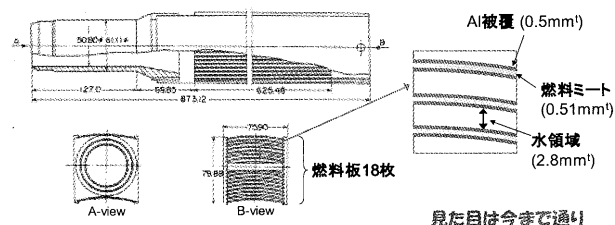
製作する燃料は総計30体  
(標準燃料:24体、特殊燃料6体) → 運転時間・出力の制限が必要

↑  
予算上の制約

1MWを主とした運転計画

5

### ▶ KURの燃料 (標準燃料)



6

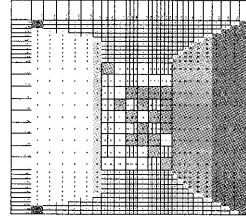
### ▶ 安全上の制限値(核的制限値)

- 過剰反応度: 最大5%dk/k
- 停止余裕  
全制御棒挿入時: 最小5%dk/k  
1本スタック時: 最小1%dk/k(新規追加)
- 制御棒反応度価値  
粗調整用制御棒: 2 to 4%dk/k  
微調整用制御棒: 0.1 to 0.5%dk/k
- 反応度付加率  
粗調整用制御棒: 最大0.015%dk/k/s(変更)  
微調整用制御棒: 最大0.030%dk/k/s
- 出力係数: 全領域で負

7

### ▶ 核特性の評価

- 核計算: SRACコードシステム + 核データJENDL-3.3
- セル計算: 衝突確率法(エネルギー107群)
- 炉心計算: 3次元(X-Y-Z)拡散計算(CITATION, 10群)  
( $\beta_{eff}$  (実効遅発中性子)の計算は19群)
- 燃焼計算: SRAC/Cell burn及びCore burnコード



炉心計算のモデル

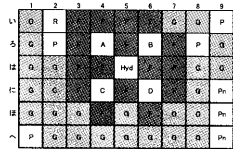
- 安全上の制限値を満足する炉心を構成できるか?
- 高濃縮ウラン燃料と比べて、照射性能が変化しているか?(中性子量が減っていないか?)
- 燃料要素30本で、どこまで運転できるか?

8

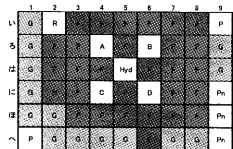
### 制御棒価値の評価

制限値を満足していることを確認

	最小炉心 (平均燃焼度:0%)					最大炉心 (平均燃焼度:25%)				
	A	B	C	D	R	A	B	C	D	R
停止余裕(%dk/k) -全制御棒挿入 -1本スタック時	11.6 5.9					7.4 4.1				
制御棒反応度価値(%dk/k)	3.89	3.29	2.75	2.47	0.38	2.38	2.60	2.23	2.48	0.36
最大反応度付加率(%dk/k/s) -粗調整用制御棒 -微調整用制御棒	0.014 (A-rod) 0.010					0.011 (B-rod) 0.009				



Minimum core (0% burnup)

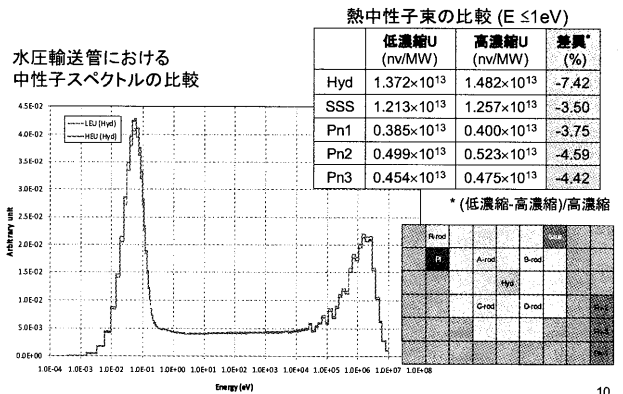


Maximum core (25% burnup)

9

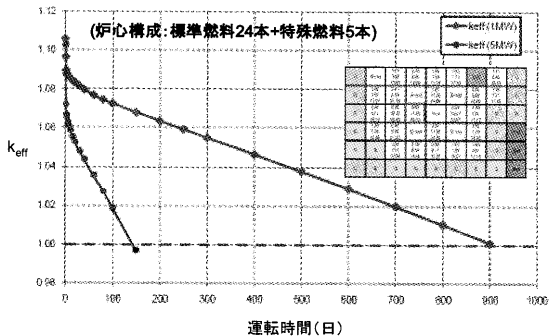
### 高濃縮ウラン炉心との比較

僅かに中性子量が減少



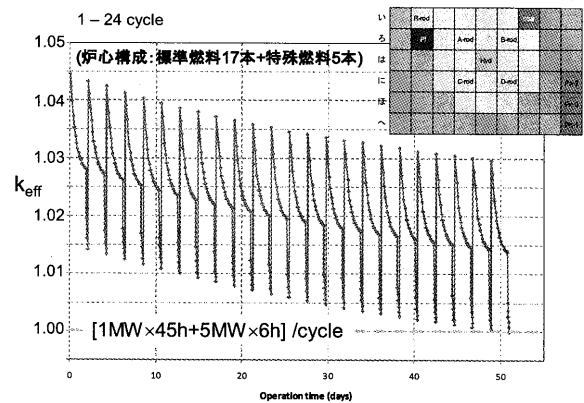
10

### 連続運転日数の評価 (最大炉心での燃焼計算)



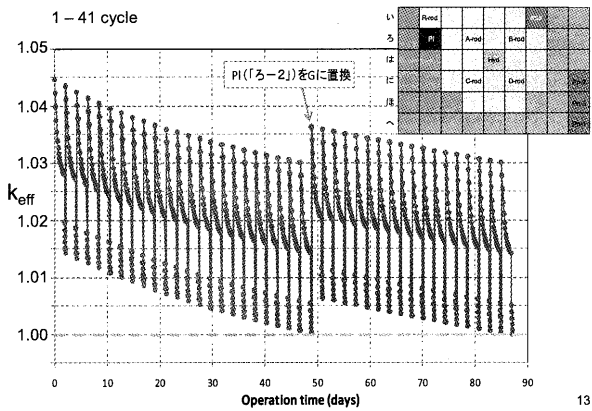
11

### 過剰反応度の燃焼による変化(1)



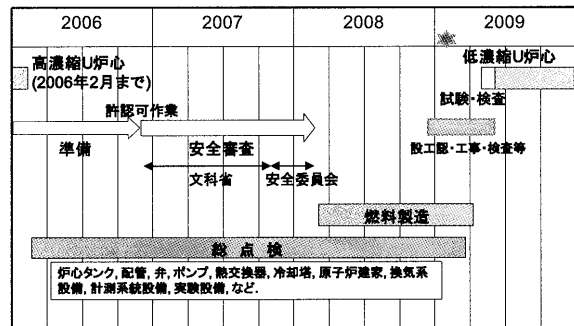
12

### 過剰反応度の燃焼による変化(2)



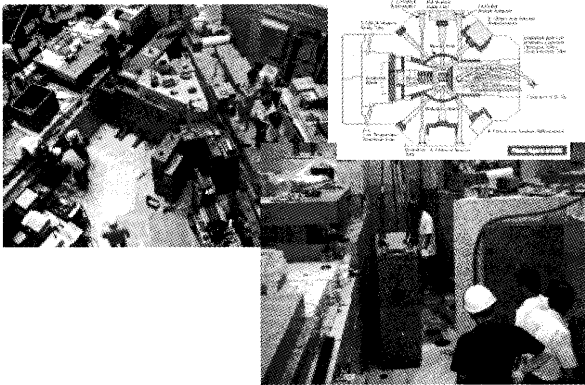
13

### KUR燃料低濃縮化の計画



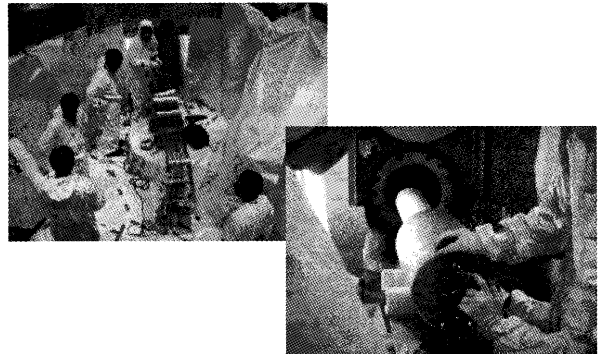
14

### 実験孔の点検



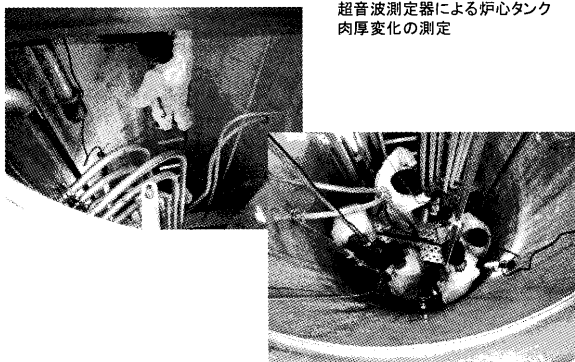
15

### 実験孔の点検



16

### 炉心タンクの点検



17

### 運転再開の予定(案)

2009年	5月	6月	7月	8月	9月
		☐ 燃料要素(30体)搬入			
		☐ 使用前検査(1)			
		☐ 未臨界検査(施設性能測定)			
		☐ 使用前検査(2)			
			臨界特性測定		
			出力特性測定		
			☐ 使用前検査(3)		
		施設定期検査			
				特性試験	
					利用運転

利用運転のパターン(例)  
 (火) 13:00~(木) 10:00: 1MW × 45時間  
 (木) 10:00~16:00 : 5MW × 6時間(医療照射)

18

## まとめ

- KURは2006年2月に高濃縮ウラン燃料を用いた運転を終了し、現在は低濃縮化炉心での再開にむけて準備作業中。
- 施設の総点検、再開後の炉心特性の評価などを実施中。
- 2009年度初めに低濃縮ウラン燃料(30体)が完成の予定。
- 国による使用前検査合格に引き続き、特性試験を実施。その後に、利用運転を開始の予定。

19

## KUR 再開に向けた放射化分析共同利用実験の準備状況

京都大学原子炉実験所 関本 俊

平成 18 年 2 月 23 日の運転を最後に、高濃縮ウラン燃料での運転を終了した京大炉 (KUR) であるが、平成 21 年 7 月頃には低濃縮燃料での運転を再開し、同年 10 月以降には、共同利用も再開する予定である。本専門研究会では、KUR を利用した放射化分析共同利用の再開に向け、1. 既存の設備 (圧気輸送管 No. 1-3) の変更点について、2. 平成 20 年度原子力基礎基盤戦略研究イニシアティブにより新たに導入される予定の設備について説明を行い、また平成 21 年度の KUR プロジェクト研究 (放射化分析関連) の紹介を行った。ここでは上記の 1 と 2 について簡単に記し、研究会で発表に用いたファイルを添付しておく。

### 1. 既存の設備 (圧気輸送管(Pn)No. 1-3) の変更点について

制御系の改築として、より安全かつ簡便にシステムを扱うために、緊急時のキャプセル取り出しの方法を変更した。将来的には、Pn 利用有資格者等を認め、共同利用者に Pn システムを操作していただくことも考えている。

照射時間に関して、医療照射の際の原子炉 5MW 運転時には、Pn 1-3 において、従来どおり 1 時間を限度とするが、1MW 運転時には、5 時間以上の照射を可能にしたい。この件については、運転再開後、安全性を確認する予定である。いずれにしても、共同利用開始前に、再開後の KUR の中性子フラックスの調査などの特性試験を行う予定である。

### 2. 平成 20 年度原子力基礎基盤戦略研究イニシアティブにより新たに導入される予定の設備について

京都大学原子炉実験所においては、平成 20 年度原子力基礎基盤イニシアティブ、研究炉・ホットラボ等活用プログラムとして採択された研究課題「京大炉(KUR)及びホットラボの利用高度化に関する研究」の一環として、即発ガンマ線分析 (PGA)装置や短寿命核種分析用のステーションなどの導入が予定されている。これらの整備により、従来の中性子放射化分析では不可能であった水素、ホウ素等の軽元素の分析が可能になり、中性子放射化によって生成する核種の半減期が数分以下と短い場合により良い分析精度が得られるようになる。また上記イニシアティブ採択課題として、X 線蛍光分析法、ICP-AES なども導入予定であり、これらの分析法を、中性子を利用する分析法を相補的に利用することにより、ほぼすべての元素に対する定量分析が可能な、総合的な微量元素総合計測システムの構築を目指す。

本プロジェクトにおける現在の進捗状況として、短寿命核種分析用のステーションの導入につ

いては、短寿命核種測定システムの基本設計を検討し、試料ホルダーおよび自動測定開始装置の設計と基礎試験を行っている。また即発ガンマ線分析 (PGA)装置の導入については、日本原子力研究開発機構および韓国原子力研究所に設置されている即発  $\gamma$  線分析装置に関する調査を行い、開発する反同時計測システムの設計を検討し、その結果をもとに回路系の準備を行っている。また、上記の調査結果および論文調査の結果をもとに KUR の B4 実験孔に設置する即発  $\gamma$  線分析装置に最適な Ge 検出器の仕様を検討し決定した。

(専門研究会報告書より転載)

## KUR再開に向けた放射化分析共同利用実験の準備状況

1. 既存の設備 (Pn-1, 2, 3) の変更
  - ・制御系の改築
  - ・照射時間の延長
2. 新しく導入する設備 (H20-原子力基礎基盤戦略研究イニシアティブにより)
  - ・短寿命核種測定システム
  - ・即発ガンマ線分析システム
3. KUR-プロジェクト研究、及び所内スタッフの紹介

関本 俊

1. 既存の設備 (Pn-1, 2, 3, Tc-Pn) の変更
  - ・制御系の改築
  - 緊急時のキャプセル取り出しなどについて

より安全に、より簡便に扱うための改築  
将来的には、共同利用者によるPnシステムの操作 (Pn利用有資格者など)

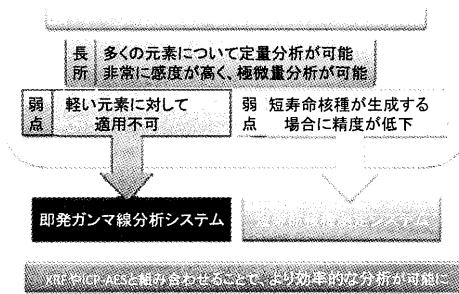
- ・照射時間の延長
- 5MW運転時: 従来どおり
- 1MW運転時: 5時間照射を申請  
安全性確認後、~6時間の照射を試みる

共同利用再開前に、特性試験  
中性子フラックス  
その他

-KUR再開に向けた放射化分析共同利用実験の準備状況-

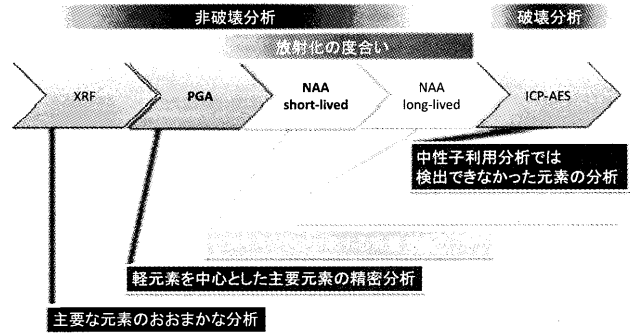
### 2. 新しく導入する設備

H20-原子力基礎基盤戦略研究イニシアティブ  
京大炉 (KUR) 及びホットラボの利用高度化に関する研究  
-微量元素総合計測システムの構築-



### 2. 新しく導入する設備

H20-原子力基礎基盤戦略研究イニシアティブ  
京大炉 (KUR) 及びホットラボの利用高度化に関する研究  
-微量元素総合計測システムの構築-



### 2. 新しく導入する設備

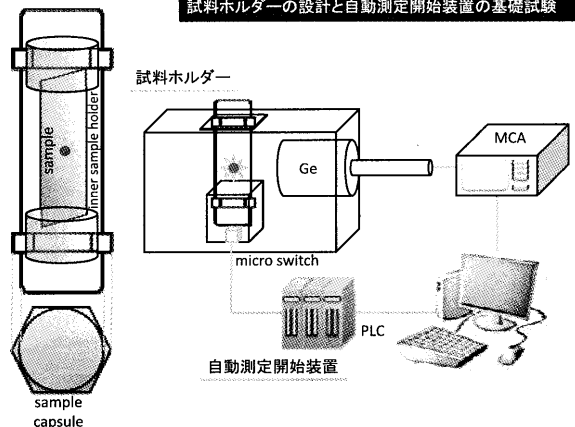
H20-原子力基礎基盤戦略研究イニシアティブ  
京大炉 (KUR) 及びホットラボの利用高度化に関する研究

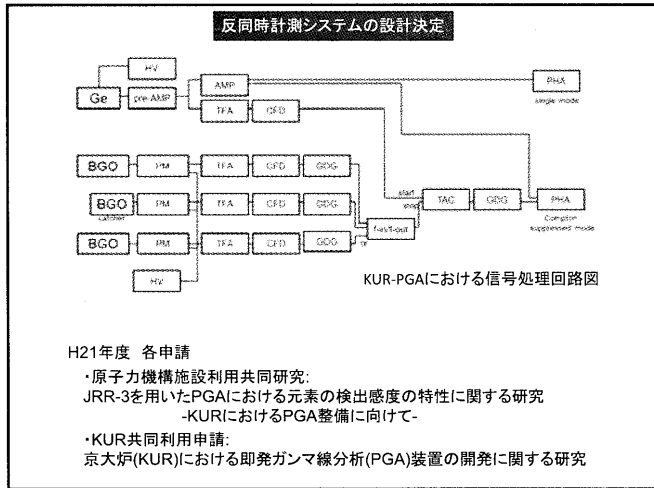
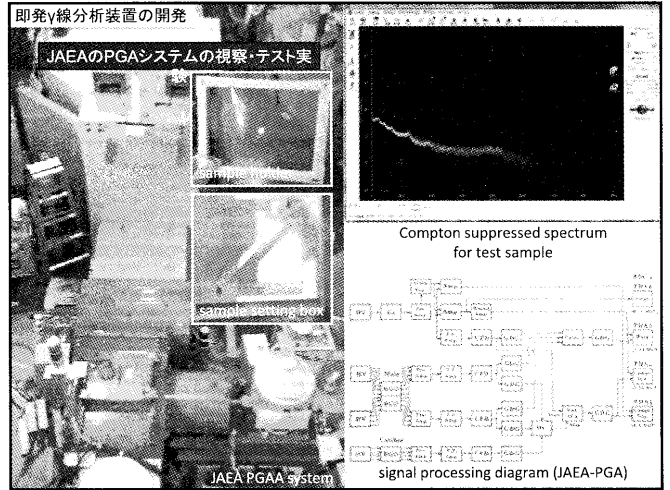
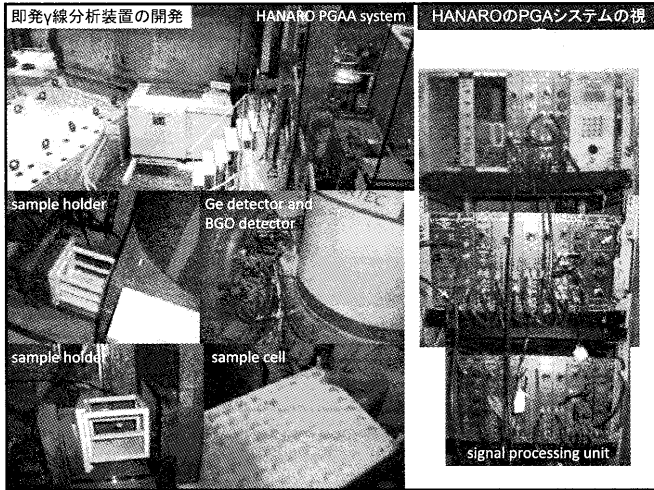
現在の状況 (と今後の予定)

- ・短寿命核種測定システム
    1. 試料ホルダーの設計
    2. 自動測定開始装置の基礎試験
    3. 管理区域内設置のため、設置場所の検討中
  - ・即発ガンマ線分析システム
    1. 反時計計測システムの設計決定・発注
    2. JAEA・HANAROのPGAシステムの視察
    3. Ge検出器の仕様決定
- 今後、
1. PGAA反時計計測システムの導入と作動試験
  2. ガンマ線遮蔽体の設計および組み立て
  3. 中性子遮蔽材の設計および組み立て
  4. 標準試料による中性子オンライン実験
  5. BGO検出器の導入と性能評価

### 短寿命核種測定システムの開発

試料ホルダーの設計と自動測定開始装置の基礎試験





3. KUR-プロジェクト研究、及び所内スタッフの紹介

「中性子放射化により生成する短寿命核種の定量法の開発」 高宮幸一

「京大炉における即発ガンマ線分析装置の開発」 関本俊

「土壌中微量環境負荷元素の汚染経路の解明に関する研究」 福谷哲

「短寿命核種による生物体中のAgおよびSeの中性子放射化分析」 福島美智子

「中性子放射化分析法による農作物及び土壌試料中の塩素の定量」 田上恵子

「毛髪含有元素濃度の基礎的・応用的研究  
—生体ミネラルに及ぼすサプリメント摂取の影響—」 大森左與子

-放射化分析共同利用時の所内スタッフ-

中野幸広  
高宮幸一  
奥村良  
関本 俊



## 製錬工場周辺土壌中のアンチモン・ヒ素濃度の分布

福谷 哲<sup>a</sup>、高宮幸一<sup>a</sup>、関本 俊<sup>a</sup>、中野幸廣<sup>a</sup>、奥村 良<sup>a</sup>、J. H. Moon<sup>b</sup>、Y. S. Chung<sup>b</sup>、S. H. Kim<sup>b</sup>

a: 京都大学原子炉実験所、b: Korea Atomic Energy Research Institute

### 1.はじめに

アンチモン(Sb)はその使用量の多さと基準値の厳しさから、環境中での挙動を解明することが急務な元素であると考えられる。Sb 製錬工場周辺の土壌をサンプリングし、土壌中 Sb とその同族元素であるヒ素(As)との濃度分布を測定して、土壌中 Sb の挙動特性に関する知見を得た。

### 2.試料および方法

Sb 製錬工場周辺の 3 地点でコアサンプラーを用いて土壌を深さ方向にサンプリングし、各地点深さ方向に 10~12 個の土壌分画を得た。各分画から 100mg 程度を採取し中性子放射化分析法 (Instrumental Neutron Activation Analysis; INAA)によって土壌中 Sb、As 濃度を測定した。INAA は韓国原子力研究所(Korea Atomic Energy Research Institute; KAERI)の HANARO(High-flux Advanced Application Reactor, 30MW)にて行った。土壌サンプルと標準試料(Sb に関しては BCR176: Sb = 412mg/kg、As に関しては原子吸光用標準液を濾紙に添加したもの: 201.2 μg)とを 1 地点ずつ 1 つのポリエチレン製カプセルに入れ、圧気輸送管によって熱中性子フラックス  $3.9 \times 10^{13} \text{ n / cm}^2 / \text{ s}$  (公称)の照射孔(NAA1)に送り 200 秒間中性子を照射した。照射孔から戻したカプセルは 1 日程度冷却し、その後開封して Ge 半導体検出器(EG&G Ortec)にてガンマ線スペクトルを測定した。Sb と As の定性にはそれぞれ Sb-122(半減期 2.7 日)の 564keV、As-76(半減期 1.1 日)の 559keV のガンマ線を用いた。定量は標準試料との比較法で行った。

### 3.結果と考察

土壌サンプルのガンマ線スペクトルの 1 例を図 1 に示す。本測定条件で Sb と As は良好に定性定量できたと考えられる。2 地点(AA, AB)における深さ方向への土壌中 Sb 濃度分布を図 2 に示す。Sb のバックグラウンド濃度は数 mg/kg と報告があり、本研究のサンプリング地点の表層ではバックグラウンド濃度の数十から百倍程度という高濃度の Sb が検出され、人工的に付加されたことが明らかである。また Sb 濃度は深さ方向に向けて減少しているが、深部においても検出されたことから Sb は土壌中を移動することが明らかになった。一方、当該製錬工場が操業を停止してから久しいが、今なお表層土壌中の Sb 濃度は高いことからその土壌中移動速度は遅いことが示唆される。あるいは現存する Sb 製品製造工場由来の新たな汚染の可能性も考えられる。つぎに、すべての地点(AA、AB、B)における土壌中 As 濃度の深さ方向への分布を図 3 に示す。Sb の濃度分布と比較すると、As は深さ方向にほぼ一定の濃度分布をとっていると言える。サンプリング地点の As

のバックグラウンド濃度は 20mg/kg 程度と報告があり、また深さ方向に向けて濃度の増減がみられないことから、検出された As はおそらくバックグラウンド由来のものであると考えられる。本サンプリング地点では Sb と As の濃度分布に相関はあまりみられなかった。

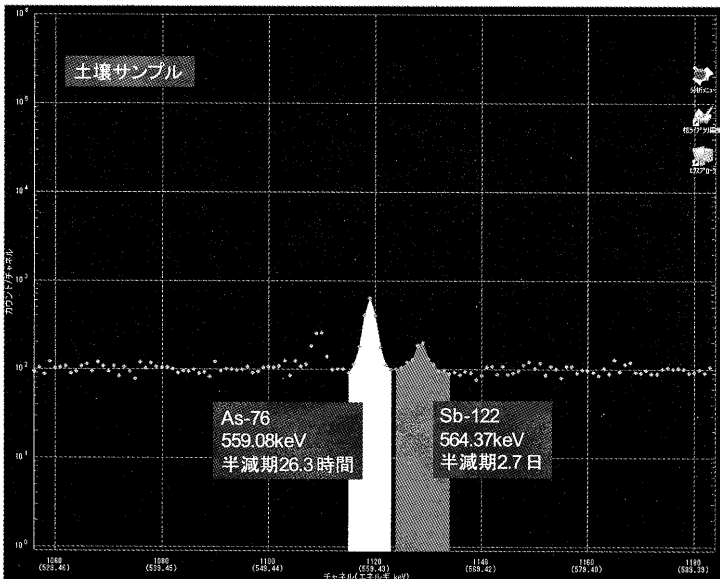


図1 土壌サンプルのガンマ線スペクトル

図2 アンチモン(Sb)の濃度分布

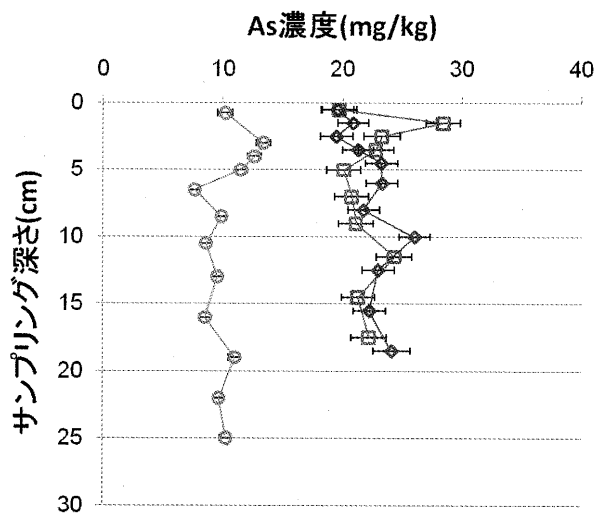
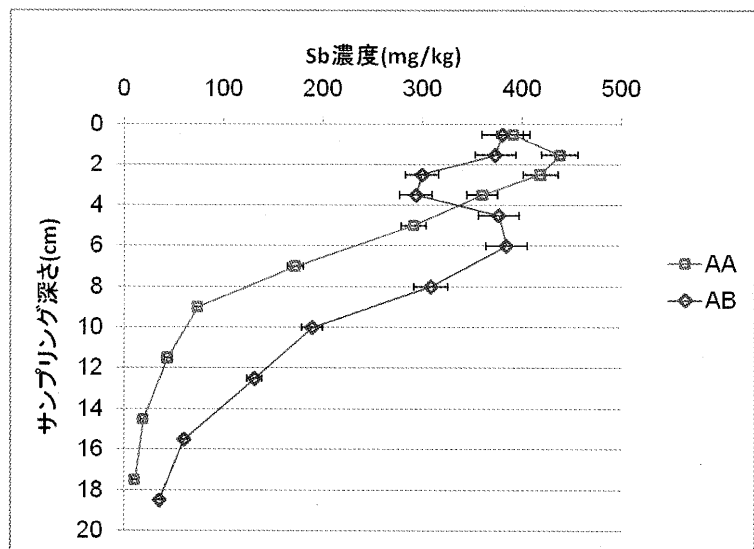


図3 ヒ素(As)の濃度分布

(専門研究会報告書より転載)

## 内部標準併用中性子放射化分析法による標準物質中微量元素の定量

産業技術総合研究所計測標準研究部門 三浦 勉

## 1. 緒言

産業技術総合研究所計測標準研究部門では、国家計量機関として国家計量標準の開発・供給を行っている。無機化学標準の分野では、これまで重量分析法、電量分析法、滴定法、同位体希釈質量分析法等の一次標準測定法による測定結果を用いて値付けを行い、基盤的な元素標準液や社会的にニーズが高い材料系標準物質（鉄鋼、セラミックス等）、環境組成標準物質（底質、生物試料）を開発してきた。材料系標準物質、環境組成標準物質の認証値の算出には、主に同位体希釈法を中心とした複数の分析法（ID-ICPMS, ICP-MS, ICP-OES）を適用しているが、これらの手法とは異なる原理に基づく機器中性子放射化分析法（INAA）を適用することで、開発した標準物質の認証値の信頼性をさらに向上させることが期待できる。INAA は上記の一次標準測定法とは異なり、溶液化することなく定量できることが大きな利点である。しかしながら、国内においては INAA による分析結果の信頼性評価について、標準物質開発に欠かせない測定不確かさの観点から評価した例は少ない。そこで本研究では、当研究所が最近開発した NMIJ CRM 8004-a 窒化けい素微粉末中の Cr、Co を INAA で定量し、その定量値の不確かさを評価することを目的とした。また、原子炉中の中性子照射時における中性子束密度の不均質性や  $\gamma$  線スペクトル測定時の幾何学的位置による計数値のばらつきを軽減するために、内部標準物質として Cs を全ての試料及び比較標準に添加した。最終的に INAA により得られた Cr、Co 定量値を他の手法（ID-ICPMS, ICP-MS, ICP-OES）による分析結果と比較した。

## 2. 実験

照射試料の作成には 1M 硝酸で洗浄した日立電線製高純度ポリエチレンを用いた。内部標準物質は Merck 製 Cs ICP standard 1000 mg/L Cs CertiPUR を希釈して用いた。この Merck 製 Cs 溶液中の Cr、Co 濃度は ICP-OES、INAA の結果からそれぞれ  $4 \text{ ng g}^{-1}$  以下であることを確認しており、ブランクとしての寄与はない。また逆に以下に示す Cr、Co 標準溶液及び分析試料中には検出可能な Cs が存在していないことは予備的に行った INAA で確認済みである。Cr、Co の比較標準は、当研究所が純度決定した高純度金属から調製した Cr 標準液及び Co 標準液に、内部標準物質として Cs 溶液を加えて混合、希釈して調製した各標準溶液を、ポリエチレン袋に入れた洗浄済みろ紙（ADVANTEC No 5C）に滴下して作成した。

約 200 mg の NMIJ CRM 8004-a 窒化けい素をポリエチレン袋に秤量し、試料とした。試料にも内部標準として Cs 溶液を添加した。比較標準、試料ともポリエチレン袋を二重に封入した。Cr、Co 標準液、Cs 内部標準液の添加量は、滴下に用いたポリプロピレン製シリンジの添加前後の質量差から決定した。各溶液の添加量は 20mg から 50mg の範囲であった。

調製した照射試料を日本原子力研究開発機構研究用原子炉 JRR-3、Pn-1（熱中性子束密度： $5.2 \times 10^{17} \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 、Cd 比：23）で 20 分間照射した。短半減期核種を減衰させた後、外側のポリエチレン袋を交換し、日本原子力研究開発機構量子ビーム応用研究部門中性子イメージング・分析研究グループ所有の Ge 半導体検出器（ORTEC GMX-30190）により  $\gamma$  線スペクトルを測定した。試料及び比較標準の測定は複数回行った。また計数誤差による計数値のばらつきを軽減するために、 $^{51}\text{Cr}$ 、 $^{60}\text{Co}$ 、 $^{134}\text{Cs}$  のピークカウントが 3 万から 6 万カウント以上になるまで  $\gamma$  線スペクトルを測定した。 $\gamma$  線スペクトルの解析には SEIKO EG&G 製 Spectrum Navigator と、Hypermet PC 5.0（Institute of Isotopes, Budapest, Hungary）を用いた。

### 3. 結果と考察

#### 3. 1 中性子束密度の分布

本実験では Cs 内部標準法を行うために、全ての比較標準及び試料に既知量の Cs を添加したので全試料における  $^{134}\text{Cs}$  の単位質量当たりの計数率（cps  $\mu\text{g}^{-1}$ ）が得られる。特に比較標準は標準溶液をろ紙に滴下して作成したので、形状、密度もほぼ同一と考えられ、各比較標準における同一エネルギーの  $^{134}\text{Cs}$  cps  $\mu\text{g}^{-1}$  の分布は、照射キャプセル内の中性子束の分布を反映する。9 個の比較標準中の  $^{134}\text{Cs}$  796 keV の単位質量当たりの計数率（cps  $\mu\text{g}^{-1}$ ）を分散分析した結果、試料位置による相対標準不確かさとして 2.7% が得られた。なお本法では試料ごとの中性子束のばらつきは  $^{134}\text{Cs}$ （cps  $\mu\text{g}^{-1}$ ）を基準として用いる内部標準法なので、考慮する必要がない。

#### 3. 2 $\gamma$ 線測定の繰り返し性

$^{134}\text{Cs}$  内部標準法を用いることで  $\gamma$  線測定の繰り返し性も大幅に向上することが確認できた。例えば、 $^{51}\text{Cr}$  320 keV の単位質量当たりの計数率（cps  $\mu\text{g}^{-1}$ ）の相対標準偏差は内部標準不使用時では 3.2% であったのに対して、内部標準併用時では相対標準偏差は 0.42% となり、 $\gamma$  線測定の繰り返し性を大幅に改善させることができた。

#### 3. 3 検量線の直線性

$^{134}\text{Cs}$  内部標準法を用いることで Cr、Co 検量線の直線性も向上した。Cr 検量線を例にすると、内部標準不使用時では相関係数  $r$  は 0.9962 であったのに対して、 $^{134}\text{Cs}$  内部標準併用時では相関係数  $r$  は 0.9999 に改善された。

#### 3. 4 不確かさの評価と他の手法による定量値との比較

$^{134}\text{Cs}$  内部標準法で NMIJ CRM 8004-a 中の Cr 及び Co は、Cr が  $9.70 \text{ mg/kg} \pm 0.19 \text{ mg/kg}$  ( $k=2$ )、Co が  $6.09 \text{ mg/kg} \pm 0.092 \text{ mg/kg}$  ( $k=2$ ) の定量値が得られた。両元素の定量値の拡張不確かさは Cr が 2.0%、Co が 1.5% であった。本法による Cr 及び Co 定量値は他の分析法による定量値 (Cr: ICP-SFMS、Isotope dilution/ICP-SFMS、ICP-OES、Co: ICP-SFMS、ICP-OES) と良く一致した。

以上のように、 $^{134}\text{Cs}$  内部標準法を用いることで  $\gamma$  線測定の繰り返し性と、検量線の直線性を改善、向上できることを明らかにした。INAA に内部標準法を併用することで測定不確かさを低減し、

定量値の信頼性の向上が可能である。

#### 参考文献

- 1) J. Kucera, P. Bode, V. Stepanek, Uncertainty evaluation in instrumental and Radio-chemical neutron activation analysis, in IAEA-TECDOC-1401 Quantifying uncertainty in nuclear analytical measurements, Vienna, Austria, 2004.
- 2) R.M. Lindstrom, R. R. Greenberg, *J. Nucl. Radiochem. Sci.*, 2001, 2, R1.
- 3) G. Leliaert, J. Hoste, Z. Eechhaut, *Nature*, 1958, 182, 600.
- 4) M. Yagi, K. Masumoto, *J. Radioanal. Nucl. Chem., Articles*, 1984, 83/2, 319.
- 5) C. Yonezawa, H. Imai, T. Hongo, M. Hoshi, E. Tachikawa, M. Kabuto, T. Suzuki, *Bunseki Kagaku*, 1992, 41, 581.
- 6) Technical report of development of silicon nitride powder direct nitridation II certified reference material NMIJ CRM 8004-a, Y. Uwamino, A. Tsuge, H. Morikawa, A. Hioki, N. Nonose, NMIJ-AIST, Tsukuba, Japan.

(専門研究会報告書より転載)

## 多重即発ガンマ線分析法の宇宙地球化学的試料への適用

首都大院理工 渡部良、大浦泰嗣、海老原充

原子力機構 大島真澄、藤 暢輔、木村敦、小泉光生、古高和禎、村上幸弘

〔はじめに〕

多重ガンマ線検出法を適用した即発ガンマ線分析 (PGA) 法である多重即発ガンマ線分析 (MPGA) 法では放射される 2 つのカスケード即発ガンマ線を 2 台の Ge 検出器で同時に検出し、2 次元スペクトルを作成する。

PGA は高感度な非破壊多元素同時定量法であるが、各元素から放出される即発ガンマ線の数が多いため、微量元素の様に放出するガンマ線の強度が小さいときは試料を構成する主要元素のガンマ線により検出が困難であることが多い。また、注目するガンマ線のエネルギーに近接したエネルギーの即発ガンマ線が複数の元素から放出されるが、これらの寄与の正確な補正はむずかしい。よって、MPGA に対し、2 次元スペクトルを用いることによる従来の PGA で測定困難な微量元素の定量や、定量値の確度の向上が期待される。

本研究では MPGA 法を宇宙地球化学的試料へ適用してゆくための基礎検討として試料サイズの変化に伴う計数率への影響と測定の再現性の確認、そして、測定結果と標準値との比較を行うために試料を測定した。

〔実験〕

照射と測定は日本原子力研究開発機構の JRR-3M 冷中性子ビームラインに設置された MPGA 装置で行った。FEP フィルムに封入した試料を CO<sub>2</sub> 雰囲気下で 2×3 cm<sup>2</sup> の中性子ビームで照射し、クローバー型 Ge 検出器 8 台と BGO シンチレータで構成された検出器システムで即発ガンマ線を測定した。測定データは event by event で記録し、測定終了後、sorting により 2 次元スペクトルを作った。不感時間を補正するために <sup>133</sup>Ba 標準線源を常に同時に測定した。

まず、異なるサイズの Cu 板を用いて適切な試料サイズを検討した。また、測定の再現性を確認するために 18.22mg のステンレス (SUS304) 板を適当な間隔をおいて 3 回測定した。そして、Allende (233.1 mg)、JA-2 (62.87 mg)、JB-1 (205.85 mg)、JB-1a (143.8 mg、48.2 mg、9.59 mg)、JSO-2 (229.64 mg、45.06 mg) を測定し、比較法と内標準法を用いて元素定量を試みた。

〔結果〕

表 1 に試料量と <sup>133</sup>Ba 計数率を示した。JB-1a (143.8 mg) を測定した時の <sup>133</sup>Ba 計数率は <sup>133</sup>Ba のみのときの計数率の 48% であった。従来の PGA ではこの試料でほとんど不感時間は生じないが、MPGA では 50% 以上の不感時間が生じることがわかった。

8×8 から 20×20 mm<sup>2</sup>までサイズをかえて Cu 板を測定したところ、サイズによる計数率の系統的な差はみられず、誤差の範囲内でほぼ一致した。ビームサイズ内の中性子束はほぼ一定であると考えられ、少なくとも 20×20 mm<sup>2</sup>までのサイズの試料を用いることができる。

また、3 回のステンレス試料による測定より中性子束の変動も含めて、測定のよい再現性を確認した。

岩石試料の定量を試みた。ほとんどの試料で Fe、Ti、Si 濃度は推奨値と誤差内で一致した。ただし、JB-1a (9.59 mg) においては一致しなかった。現在のところ原因は不明である。

今後は偶然同時計数を除去するための異なる sorting 法を試みてみる。また、MPGA に適切な試料量の検討を行う予定である。

	cps
<sup>133</sup> Baのみ	39.25
Cu : 23.77mg	17.91
Cu : 28.46mg	16.36
Cu : 35.74mg	13.37
Cu : 37.84mg	12.49
Cu : 51.20mg	9.54
Cu : 68.96mg	7.37
JB-1a : 9.59mg	34.46
JB-1a : 48.2mg	28.61
JB-1a : 143.8mg	18.98

cps = counts/RT

表1. 試料量と<sup>133</sup>Ba計数率の関係

(専門研究会報告書より転載)

# 研究会報告

NAMLS-9

[2009年9月7-12日]

石巻専修大 福島美智子

NAMLS-9(9<sup>th</sup> International Conference on “Nuclear Analytical Methods in the Life Sciences”)が2008年9月7日(日)~12日(金)の6日間にわたり、ポルトガルのリスボンにて開催された。リスボン市内の旧市街地から車で10分ほど、リスボン空港から車で10分ほどのところに、1998年にエキスポが開かれた広場が公園になっている。その広場とオリエンテ駅の間にはさまれるようにホテル チボリがあり、このホテルが会場になった。

まず、学会のスケジュールを簡単に説明すると、以下の通りであった。7日 Reception, 8日 8:30 Opening, Young Scientist Award and lecture, Oral presentation, 9日 午前 Oral presentation, 午後 Tour+Banquet Dinner, 10日, 11日ともに Oral + Poster presentation, 12日 Oral presentation, 17:30~ Closing.

1 日目のオープニングセレモニーの際にチェコの Jan Kucera から、NAMLS International Scientific Committee の長をオランダの Peter Bode に代わってもらおう、という発表があった。次にヤングサイエンティスト賞の授賞式が行われ、インドの R. Acharya が受賞した。その後、彼の受賞講演を皮切りに口頭発表が開始した。口頭発表は会期中1会場でのみ行うというスタイルだった。



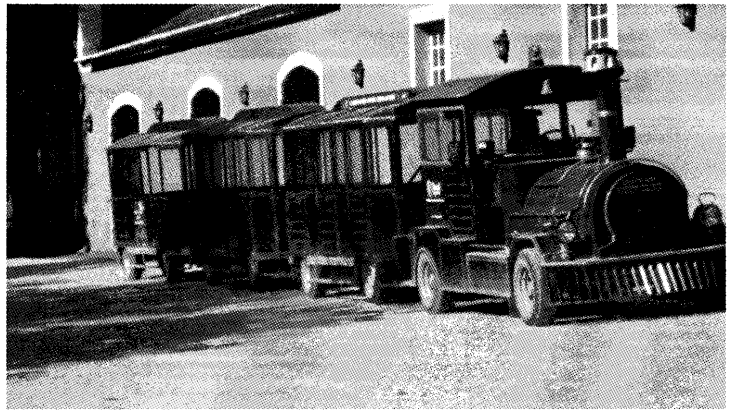
YSA を受けた Dr. R.Acharya(左から2番目)

昼休みが2時間の設定になっていて、わたしはポルトガルに行ったのは初めてだったが、これが聞くとシエスタの習慣あるいは名残りなのか、と思った。またこの日はランチボックスが配られたが、その量がすごかった。このような学会報告に昼食のことを書くのも気が引けるが、でも、本当にすごかった。りんご2個、ジュース1本、水1本、ハムとチーズのサンドイッチ4個(食パンで4枚ということになる)、カスタードクリーム入りタルト1個、小さなクロワッサン1個、トリ肉の手羽1本、コロケのようなもの3個、以上。日本人だけではなくほかの国からおいでになった方々もこの量にはびっくり。2, 3日分かな、と互いに印象を語り合っていた。午後のセッションは18:10まで行われた。

2日目は午前中のみ発表が行われ、10分間ほどの間をおいただけで、すぐにバス3台に分乗して excursion にでかけた。行き先は、バスで1時間ほど高速道路を走って Mafla という集落に行った。そこにかつての王様の夏の宮があり、今は一山ぐるりと(21km) 塀で囲まれていて、トロッコツアー、馬でのツアー、狩りの体験などができる自然のままの公園になっている。そこでまたしても例のランチボックスならぬランチバッグが配られた。広場のベンチでランチをとっていると、どこからともなくイノシシの子供があらわれた。何の説明もなくその公園内でバスから降ろされた



のでよくわからなかったが、どうやらこの公園にはイノシシとシカが飼われていることがわかった。昼食後に集まって写真撮影。その後、まるでディズニーランドの冒険の国を走るトロッコ電車のような乗り物に分乗して、公園内の探検旅行がスタートした。乾いた山道をもうもうと土ぼこりをあげながらゴトゴトとトロッコ車は進んで行った。若い男性の公園のガイドが乗



これがトロッコのような自動車

り込んでいて、英語で説明しようとするが、あまり英語の単語がわからなくて、苦労していた。するとポルトガル語で説明すればいいよ！！という声が飛び、彼がポルトガル語で説明すると、だれかが英語の単語を教え、彼が再び英語で話す、という調子で楽しく、国際的な雰囲気ですターが2時間ほど続いた。公園の山の土は乾いていて、大きな樹木はたいていコルクの木、そして白っぽい葉をつけているオリーブの木がはえているが、あまり下草は生えていない。乾いているからか、放されている鹿が食べてしまうからか。ツアーが済んで、公園入り口付近で思い思いにビールやアイスクリームを楽しんで、再びバスに乗り込んだ。30分間ほどのドライブで海岸に出た。そこは断崖に囲まれた大きな海水浴場になっていた。その海岸やちかくの集落で自由時間1時間ほど過ごしたのち、近くのホテルで Bauquet Dinner が行われた。

翌日からまた Oral と Poster presentation が行われた。ポスター会場は、口頭発表に使用していた大きな会場の後部と、別の小さな部屋にわかれて、同時に2カ所で行われた。コアタイムに発表者不在のところもあり、もりあがりに欠ける場所も見受けられた。

3日目の発表が済んだ夕方に、エキスポ公園内になる水族館見学が予定されていたので、みんなでぞろぞろと10分ほど歩いて水族館に行った。百数十名が入場を待っていると、なんと！水族館は5分前に閉館したと主催者側から知らされ、翌日の昼休みに見学が変更になった。三々五々散らばって夕食に向った。

11日の昼休み、またしても水族館にでかけた。今回は昨日よりは参加者は少なく、80人前後というところだろうか。学会に行き、みんなで水族館見学、というのもめずらしい体験だった。いままで見た事のない、青いクラゲや大きなイソギンチャク、ヒトデなどを楽しんだ。この日の夕方はオプションで、ファドを聞きながらの Dinner が企画されていた。参加費は50ユーロ。当日の発表が終了したところで、参加者はぞろぞろとオ



ファドを聞きに行ったレストランの中

リエンテ駅に行き、タクシーに分乗。石畳の急で狭い道をタクシーが上がって行き、サン・ジョルジェ城に到着した。ガイドブックによると1500年ほど前に要塞として建設されたそうだ。小高い丘の頂になるので、リスポンの街がくるとみわたせた。1時間ほど歩いた後、城をでて、とてもすべりやすい石畳を下ってファドのレストランに向った。城がある丘の中腹が古い市街地になっている。小さな道が何本も複雑にわかれていて、それらの中で比較的太い道をケーブルカー（路面電車？）がくねくねと走っている。カーブしているところではほとんど歩行者と接触しそうなくらいだ。迷子になりながら歩いていくこと20分、やっと目指したレストランに到着した。Clube do Fado という名門ファドハウスらしい。食事をしながらファドを聞いた。食事は肉か魚料理の選択肢があった。肉料理は鶏肉のソテーのようなもの、魚料理はまるで小型さつま揚げのようなものだった。

12日は最終日。Closingの際に Best Presentation Award として CHATT 賞の受賞者が発表された。受賞者は以下の通りである。

(1) the First Prize for a Student Oral Paper to: Ms. S. Metairon

Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, São Paulo, SP, Brazil

(2) the First Prize for a Student Poster Paper to: Mr. M.A. Alkhorayef

University of Surrey, Guildford, Surrey, U.K.

(3) the Second Prize for a Student Poster Paper to: Ms. T.S. Baptista

Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares; São Paulo, SP, Brazil

最後に参加者達がたがいに再会の約束をして、学会は終了した。

今回の学会の参加登録者は133名と発表されている。国別に見ると以下の通り。

ブラジル：31名、ポルトガル：23名、チェコ：7名、ベルギー、アメリカ合衆国：6名、インド、UK、オランダ、中国、カナダ、韓国、メキシコ：4名、日本、マレーシア、ドイツ、ポーランド：3名、アルジェリア、アルゼンチン、ロシア、フランス、オーストラリア：2名、台湾、タイ、UN、ナイジェリア、トルコ、ブルガリア、スロベニア、スペイン、JRC、IAEA: 1名。参加者には、プログラムと要旨をおさめたCD版が配られた。軽いのはよいが、学会に参加している最中に要旨を見る時にパソコンを起動しなければいけないのは、少々不便であった。発表に関しては、これまでの学会にくらべて、あまり議論を交わされることがなかったように感じられた。発表件数も多くはないので、当然のことながら、同じ分野の発表者も多くはなく、残念ながら有意義な学会だった、という印象は得られなかった。

東京慈恵会医科大学 箕輪はるか

2008年の日本放射化学会年会および放射化学討論会が2008年9月25日（木）～27日（土）に広島大学、霞キャンパス広仁会館で開催されました。

今回は原爆の投下を受けた広島における開催とのことで「原爆関連研究の発展と今後」と題して、原爆に関連した放射能や放射性同位元素、線量評価に関する広島特別セッションが企画されました。また、特別講演は「スピントロスオーバー錯体－磁氣的挙動の学問的意義と機能」前田米蔵氏（九大名誉教授）、「生命の起源は宇宙にあり？」長沼毅氏（広島大院生物圏）の2件で、非常に興味深い話を聞くことができました。懇親会はひろしま美術館を会場として開催され、美しく洗練された雰囲気の中で親交を深めることができました。

講演数は、2会場において、特別セッション6件、特別講演2件、学会賞・奨励賞受賞講演3件、一般口頭発表61件、ポスター発表61件を合わせて、133件でした。恒例となりつつある若手を対象とした優秀な口頭発表・ポスター発表者の表彰も行われ、5名が賞を受けました。

放射化分析分科会は、初日の昼食時に開催されました。前半は、「ホヤの金属濃縮研究－熱中性子放射化分析から始まった研究」と題して、道端齊氏（広島大院理・生物）より、生物の未知機能の解明へと発展した生体微量元素に関する講演がありました。後半は、原子力機構、京大原子炉より各放射線施設の紹介があり、放射化分析研究会の会計報告がされました。なお、詳細な議事録は本誌に別掲されています。

放射化分析に関連した発表は、口頭発表12件、ポスター発表6件の計18件ありました。以下にリストを挙げます。

#### ◎口頭発表

- 1B09 化粧品放射化分析（お茶大、都立大、武蔵工大、慈恵医大）○古田悦子、中原弘道、岡田往子、箕輪はるか
- 1B10 主成分元素を内部標準とする中性子放射化分析（産総研計測標準、原子力機構量子ビーム）○三浦 勉、松江秀明、黒岩貴芳、千葉光一
- 1B11 多重即発ガンマ線分析による農産物等の測定（原子力機構、科学技術振興機構）○藤 暢輔、大島真澄、小泉光生、古高和禎、木村 敦、村上幸弘
- 1B12 多重即発ガンマ線分析装置の完成（原子力機構）○大島真澄、藤 暢輔、古高和禎、村上幸弘、木村 敦、小泉光生
- 1B13 多重即発ガンマ線分析法による標準試料定量評価（科学技術振興機構、原子力機構、東レリサーチセ）○村上幸弘、大島真澄、藤 暢輔、木村 敦、小泉光生、古高和禎、初川雄一、須志田一義、谷口 舞

- 1B14 多重即発ガンマ線分析(MPGA)法による宇宙化学的試料の分析 (首都大院理工、原子力機構) 大浦泰嗣、海老原充、大島真澄、藤 暢輔、木村 敦、小泉光生、古高和禎
- 1B15 短寿命核種を用いた海洋生物の中性子放射化分析 (石巻専修大理工、ダルハウジー大 SLOWPOKE-2) ○福島美智子、アマレス チャット
- 1B16 過剰<sup>230</sup>Th により年代決定された遠洋性海洋堆積物表層におけるAragonite-Calcite 相転移 (東大院総合、産総研、東大海洋研) ○小豆川勝見、金井 豊、佐野有司、松尾基之
- 1B17 岩石試料のウランL<sub>III</sub> 吸収端XANES の蛍光分光法による高感度測定 (広島大院理、産総研、SPring-8/JASRI) ○山本祐平、高橋嘉夫、金井 豊、渡部芳夫、宇留賀朋哉、谷田 肇、寺田靖子、清水 洋
- 3B01 医療用加速器施設における放射化量評価 (高エネルギー加速器研究機構) ○榎本和義、豊田晃弘、中村 一、鈴木健訓、萩原雅之
- 3B02 ビスの $\gamma$ 線分析を用いたサイクロトロン室内中性子束推定 (名大医保、名大医院、長寿研、高エネ研、名古屋リハビリセンター) ○緒方良至、石樽信人、望月真吾、伊藤健吾、簗野健太郎、阿部潤一郎、榎本和義、中村 一、松下 宏、伊藤由磨
- 3B03 徳島大学病院医療用自己遮蔽型PETサイクロトロン及び電子リニアックにおける中性子束の箔放射化法による測定 (徳島大医、徳島大RI セ、住重加速器、徳島大病、徳島大院HBS 口腔放射線、徳島大院HBS 病態放射線、高エネ研) ○阪間 稔、佐瀬卓也、谷井 喬、前澤 博、前田幸志、佐藤一雄、誉田栄一、西谷 弘、榎本和義

◎ポスター発表

- 1P01 亜鉛欠乏初期におけるマウス肝細胞中の微量元素濃度およびタンパク質の変化 (静岡大理放射研、静岡大理生物) ○村松 航、上島淳慈、川島美智子、山野 喜、菅沼英夫、野口基子、矢永誠人
- 1P02 多重ガンマ線放射化分析法によるイリジウムの高感度分析 (原子力機構) ○初川雄一、大澤崇人、松江秀明、瀬川麻里子、大島真澄、藤 暢輔、木村 敦、小泉光生、古高和禎
- 1P03 放射化分析法を用いた干潟の変遷と底質中の元素垂直分布の関連性の検討 (東大院総合) ○諸町大地、松尾基之
- 3P01 即発 $\gamma$ 線分析による石材の産地同定の試み (原子力機構、ひたちなかテクノセンター、茨城県工技セ、羽黒石材商工業協同組合、産総研、茨城大) ○松江秀明、小島 均、吉田博和、浅野信子、長谷川正一、長 秋雄、初川雄一、瀬川麻里子、大澤崇人、沼尾達弥、木村 亨、舟川 勲
- 3P02 放射化分析による水生昆虫の重金属分析 (九大RIセ、熊本大院自然) ○百島則幸、杉原真司、日比野啓一、中村康宏
- 3P03 北部北太平洋で捕獲されたプランクトン及び魚試料中の有機態ハロゲン(EOX)の放射化分析 (愛媛大農) ○河野公栄、森田昌敏

産業技術総合研究所計測標準研究部門 三浦 勉

平成20年度京都大学原子炉実験所専門研究会「京大原子炉の再開と放射化分析専門研究会」（放射化分析冬の学校）が2009年1月30日に京都大学原子炉実験所事務棟大会議室で開催されました。今年度はカナダDalhousie大学のA. Chatt教授も参加されました。

研究会では、まず施設側からの報告として、京大原子炉からKUR再開に向けた活動や放射化分析用共同利用照射設備の準備状況が紹介された後、原子力機構から原研炉の状況、休止しているJRR-4の再起動予定についての説明がありました。続いてFNCA（Forum for Nuclear Cooperation in Asia）加盟国における原子炉、放射化分析に関する情報の紹介がありました。午前中最後のセッションとして、Chatt教授の「Studies of Short-Lived Nuclides using the Dalhousie University Rapid Transfer Cyclic System and Compton Suppression Gamma-Ray Spectroscopy」と題する講演があり、繰り返し照射法を利用することで短寿命核種の放射化分析法の高度化を達成したことが多くの成果とともに紹介されました。

午後からは韓国の原子炉「HANARO」を利用した研究の成果の発表が2件あった後、片山幸士氏の「放射化分析との出会い」と題する示唆に富む講演が行われました。講演では放射化分析を行うに至った経緯、放射化分析を用いて研究を進める中であった多くの成果、出来事が紹介されました。その後、一般講演2件、学生の研究発表2件が行われました。最後に片山幸士氏の閉会の挨拶で午後5時頃に終了となりました。

「京大原子炉の再開と放射化分析専門研究会」プログラム

開催日：平成21年1月30日（金）

会場：京都大学原子炉実験所 事務棟大会議室

8:55 開会

座長 柴田誠一

9:00-9:30 「KUR再開へ向けての現況」 京大原子炉 中島 健

座長 福岡孝昭

9:30-9:45 「KUR再開にむけた放射化分析共同利用実験の準備状況」

京大原子炉 関本俊

9:45-10:10 「JAEAの研究炉の現況」日本原子力研究開発機構 本橋純、松江秀明

10:10-10:40 「アジアの放射化分析に関連する原子炉の稼動状況と放射化分析の現況」

首都大学東京 海老原充

座長 松尾基之

11:00-12:00 ” Studies of Short-Lived Nuclides using the Dalhousie University Rapid Transfer Cyclic System and Compton Suppression Gamma-Ray Spectroscopy”

A. Chat, Dalhousie University, Canada

座長 高宮幸一

13:00-13:30 「食用海草からの抽出液に含まれるヒ素化学種のスペシエーション」

石巻専修大学 福島美智子

13:30-13:45 「精錬工場周辺土壤中のアンチモン・ヒ素濃度の分布」

京大原子炉 福谷哲

座長 葉袋佳孝

13:45-14:35 「放射化分析との出会い」

片山幸士

座長 大浦泰嗣

14:55-15:15 「内部標準併用中性子放射化分析法による標準物質中微量元素の定量」

産業技術総合研究所 三浦勉

15:15-15:35 「機器中性子放射化分析法による炭酸塩岩石中の微量元素の定量」

群馬大学工学部 相沢省一

座長 宮本ユタカ

15:35-15:55 「多重即発ガンマ線分析法の宇宙地球化学的試料の適用」

首都大学東京大学院理工学研究科 渡部良

15:55-16:15 「東京湾感潮域底質における酸化還元電位と元素の挙動に関する研究」

東大大学院総合文化研究科 原 直樹

16:15- 閉会

---

## 開催報告

京大原子炉 柴田 誠一

平成20年度京都大学原子炉実験所専門研究会「京大原子炉の再開と放射化分析専門研究会」が平成21年1月30日(金)に所外の研究者26名を迎えて開催されました。研究会では、まず京大炉(KUR)の運転再開に向け、研究炉及び放射化分析共同利用実験の準備状況についての報告があり、再開後のKURの運転計画案や、H20年度原子力基礎基盤戦略研究イニシアティブにより導入予定の短寿命核種測定システムや即発ガンマ線分析装置についての説明がありました。また原子力機構の研究炉の現況の報告に加え、アジア・オセアニア諸国の研究炉や、平成20年10月15-20日にベトナムで行われた、2008FNCA(Forum for Nuclear Cooperation in Asia)ワークショップの様子なども紹介され、今後、放射化分析分野でのアジア諸国との連携強化を目指す上でのKURの役割についても提案されました。その他、韓国原子力研究所の研究炉(HANARO)を利用した放射化分析の結果に基づいた研究報告を含めた、最新の研究成果の発表が行われ、本年度で本専門研究会の所外開催責任者を交代される片山幸士先生には「放射化分析との出会い」

A. Chat, Dalhousie University, Canada

座長 高宮幸一

13:00-13:30 「食用海草からの抽出液に含まれるヒ素化学種のスペシエーション」

石巻専修大学 福島美智子

13:30-13:45 「精錬工場周辺土壤中のアンチモン・ヒ素濃度の分布」

京大原子炉 福谷哲

座長 葉袋佳孝

13:45-14:35 「放射化分析との出会い」

片山幸士

座長 大浦泰嗣

14:55-15:15 「内部標準併用中性子放射化分析法による標準物質中微量元素の定量」

産業技術総合研究所 三浦勉

15:15-15:35 「機器中性子放射化分析法による炭酸塩岩石中の微量元素の定量」

群馬大学工学部 相沢省一

座長 宮本ユタカ

15:35-15:55 「多重即発ガンマ線分析法の宇宙地球化学的試料の適用」

首都大学東京大学院理工学研究科 渡部良

15:55-16:15 「東京湾感潮域底質における酸化還元電位と元素の挙動に関する研究」

東大大学院総合文化研究科 原 直樹

16:15- 閉会

---

## 開催報告

京大原子炉 柴田 誠一

平成20年度京都大学原子炉実験所専門研究会「京大原子炉の再開と放射化分析専門研究会」が平成21年1月30日(金)に所外の研究者26名を迎えて開催されました。研究会では、まず京大炉(KUR)の運転再開に向け、研究炉及び放射化分析共同利用実験の準備状況についての報告があり、再開後のKURの運転計画案や、H20年度原子力基礎基盤戦略研究イニシアティブにより導入予定の短寿命核種測定システムや即発ガンマ線分析装置についての説明がありました。また原子力機構の研究炉の現況の報告に加え、アジア・オセアニア諸国の研究炉や、平成20年10月15-20日にベトナムで行われた、2008FNCA(Forum for Nuclear Cooperation in Asia)ワークショップの様子なども紹介され、今後、放射化分析分野でのアジア諸国との連携強化を目指す上でのKURの役割についても提案されました。その他、韓国原子力研究所の研究炉(HANARO)を利用した放射化分析の結果に基づいた研究報告を含めた、最新の研究成果の発表が行われ、本年度で本専門研究会の所外開催責任者を交代される片山幸士先生には「放射化分析との出会い」

というタイトルで特別講演をしていただきました。

京大炉 (KUR) の運転再開は、現時点では平成 21 年 7 月頃の予定で、共同利用の再開は同年 10 月以降になるとの見通しが報告されています。平成 21 年度の専門研究会は、首都大学東京の海老原充教授に所外開催責任者になっていただき、「京大炉(KUR)における総合的微量元素計測システムの構築と応用」のタイトルで平成 21 年 12 月か翌年の 1 月に開催予定です。この時には利用者の皆様に、再開後の KUR の特性や新たに導入する設備の準備・利用状況とその適用範囲をお知らせできると思います。

中性子放射化分析は、再開後も休止前と同様、KUR の共同利用研究の重要な柱として位置づけられています。平成 21 年度の専門研究会についてはあらためてお知らせしますが、多くの講演が行われ、活発な議論が展開されることを期待しています。

*NRC-7*

*[2008 年 8 月 24 - 29 日]*

ブダペストで開催された Seventh International Conference on Nuclear and Radiochemistry (NRC-7) の Radioanalytical chemistry セッションの発表タイトルを掲載します。

(大浦泰嗣)

**Radioanalytical chemistry**

PA13: Composite ion exchanger with Titanium (IV) Vanadate and its application in radioactive waste

abs117 S. Ahmadi

PA14: First experiments at the new PGAA facility at the research reactor FRM II

abs240 L. Canella

PA15: Studied solid surface as by tritium probe

abs70 M. Chernysheva

PA16: Method validation of a recommend procedure of Po-210 in water using DDTC solvent extraction and Sr extraction chromatography

abs86 C. Kim

PA17: Characterization of Zr-93 at trace level in radioactive effluents and wastes

abs71 I. LASZAK

PA18: Heavy metal absorption properties of silk powders using radiotracers

abs180 D. Mallenahally Siddalingappa

PA19: Implementation of contemporary separation technique for determination of Sr-90 in soil based on Sr-Spec resin

abs48 N. Milusheva

PA20: High mass lanthanide separations from mixed fission product samples

abs173 R. Payne



というタイトルで特別講演をしていただきました。

京大炉 (KUR) の運転再開は、現時点では平成 21 年 7 月頃の予定で、共同利用の再開は同年 10 月以降になるとの見通しが報告されています。平成 21 年度の専門研究会は、首都大学東京の海老原充教授に所外開催責任者になっていただき、「京大炉(KUR)における総合的微量元素計測システムの構築と応用」のタイトルで平成 21 年 12 月か翌年の 1 月に開催予定です。この時には利用者の皆様に、再開後の KUR の特性や新たに導入する設備の準備・利用状況とその適用範囲をお知らせできると思います。

中性子放射化分析は、再開後も休止前と同様、KUR の共同利用研究の重要な柱として位置づけられています。平成 21 年度の専門研究会についてはあらためてお知らせしますが、多くの講演が行われ、活発な議論が展開されることを期待しています。

*NRC-7*

*[2008 年 8 月 24 - 29 日]*

ブダペストで開催された Seventh International Conference on Nuclear and Radiochemistry (NRC-7) の Radioanalytical chemistry セッションの発表タイトルを掲載します。

(大浦泰嗣)

**Radioanalytical chemistry**

PA13: Composite ion exchanger with Titanium (IV) Vanadate and its application in radioactive waste

abs117 S. Ahmadi

PA14: First experiments at the new PGAA facility at the research reactor FRM II

abs240 L. Canella

PA15: Studied solid surface as by tritium probe

abs70 M. Chernysheva

PA16: Method validation of a recommend procedure of Po-210 in water using DDTC solvent extraction and Sr extraction chromatography

abs86 C. Kim

PA17: Characterization of Zr-93 at trace level in radioactive effluents and wastes

abs71 I. LASZAK

PA18: Heavy metal absorption properties of silk powders using radiotracers

abs180 D. Mallenahally Siddalingappa

PA19: Implementation of contemporary separation technique for determination of Sr-90 in soil based on Sr-Spec resin

abs48 N. Milusheva

PA20: High mass lanthanide separations from mixed fission product samples

abs173 R. Payne

- PA21: Radiochemical separation of Yttrium from Strontium  
abs55 A. Sattari
- PA22: Intakes of Radionuclides from Foods in Total Diet Study and Concentrations of Cs-137 in Imported Foods in Japan  
abs184 H. Sugiyama
- PA23: An example of archaeometrical usage of prompt gamma activation analysis: chemical characterization of Early Bronze Age pottery from two archaeological  
abs285 V. Szilágyi
- PA24: Study of interactions between hexavalent plutonium and environmental inorganic ligands by coupling capillary electrophoresis with ICP-MS (CE-ICPMS)  
abs95 S. Topin
- PA25: Rapid method for the simultaneous determination of actinides by  $\alpha$ -spectrometry  
abs229 N. Vajda
- PA26: Production date determination of nuclear materials by inductively coupled plasma mass spectrometry  
abs252 Z. Varga
- PA27: Coupling of CE with RIMS, a method for ultra trace speciation studies  
abs56 T. Wunderlich
- PA28: A comparison between cold and thermal neutron prompt gamma activation analysis in determination of carbon, nitrogen, and phosphorus in cattail  
abs202 L. Zhao
- PB9: Determination of reference values for U-234, U-238 and Ra-226 in bottled drinking water by alpha spectrometry  
abs43 L. Benedik
- PB10: Determination of complexation constants between inorganic ligands and At(I) and At(III) species present at ultra-trace concentrations  
abs191 J. Champion
- PB11: INAA investigation of major and trace elements distribution in unconsolidated sediments collected from Black Sea anoxic zone  
abs263 O. Dului
- PB12: Aqueous Biphasic Extraction: A Tool to Generate Radiogenic Gold-Palladium Nanoparticles  
abs29 S. Lahiri
- PB13: Radiolytical stability of alkylimidazolium-based Room-Temperature Ionic Liquids for nuclear applications  
abs100 G. Le Rouzo
- PB14: Uranium determination by delayed fission neutron and  $k_0$ -standardization methods

- abs258 M. Menezes  
PB15: Absorption Spectroscopy of Europium with a Liquid Waveguide Capillary Cell
- abs246 M. Müller  
PB16: Determination of low energy gamma (I-129) and beta (Sm-151, Zr-93) emitting radionuclides in radwaste from NPP A1 Jaslovske Bohunice.
- abs193 B. Remenec  
PB17: Application of laser ablation ICP-MS for nuclear forensic investigation
- abs242 Z. Stefanka  
PB18: The new PGAI-NT setup and the first elemental imaging experiments at the Budapest Research Reactor
- abs232 L. Szentmiklosi  
PB19: The Effect of Bitumen Layers on Radon Exhalation from NORM
- abs260 S. Takriti  
PB20: Determining Rn-222 emanation rate in gravel by liquid scintillation counting
- abs125 T. Turtiainen  
PB21: Direct Measurement of Alpha Spectrometric Sources by Laser Ablation Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry
- abs251 Z. Varga  
PB22 Uranium extraction from natural waters by ionic liquids
- abs49 G. Wallner  
PB23: Composite ion exchanger with Titanium (IV) Vanadate and its application in radioactive waste
- abs115 R. Yavari

**Nuclear methods in material science and industrial applications**

- PB72: Planning of PGNAA Facilities at the Portuguese Research Reactor using MCNP  
abs243 D.G. Beasley
- PB73: Effect of Bi<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Content on Optical and Radiation-Shielding Properties of (Na<sub>2</sub>O,K<sub>2</sub>O)-SiO<sub>2</sub>-CaO-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Glass System  
abs256 P. Dararutana
- PB74: Physicochemical Studies on Cross-linked Thorium Alginate Complex Especially the Electrical Conductivity and Chemical Equilibrium  
abs106 R. Hassan
- PB75: Analysis of slag cement based concrete using PGNAA technique  
abs190 A. Naqvi
- PB76: Investigation of the occupational exposure in a romanian fertilizer plant by instrumental neutron activation analysis of hair and nail samples  
abs283 A. Pantelica

# 平成 20 年度修士論文抄録

## 金属相を含むユークライト隕石及び玄武岩質隕石の宇宙化学的考察

首都大学東京 理工学研究科 分子物質化学専攻 伊佐 純子

[はじめに] 地球型惑星は、火成活動を経験しケイ酸塩部分と鉄ニッケル合金を主成分とする金属核に溶融分化したと考えられる。同じように火成活動を経験した小惑星の地殻に由来すると考えられる隕石を研究対象とした。地球は形成後から現在に至るまで火成活動を続けているのに対し、分化した小惑星は太陽系形成後すぐに固化し、当時の火成活動の状態をそのまま留めていると考えられる。そのためこれらの隕石を研究することで、地球型惑星の初期進化過程を解明する手がかりを得られると考えられる。

地殻成分は主にケイ酸塩鉱物でできているため、金属核に濃集すると考えられる親鉄性元素は本来ほとんど含まれておらず、金属相もほとんど含まれていない。そのため、全岩の親鉄性元素濃度は隕石母天体の衝突物を同定する良い指標となると考えられている。本研究では、金属相を含むユークライト、玄武岩質な隕石それぞれに対して、特に隕石中の親鉄性元素である白金族元素に着目し、金属相の成因や衝突物との関係を考察した。

[試料及び実験] 玄武岩質隕石 NWA011、NWA2976、ユークライト隕石 Camel Donga、NWA1109、の 4 試料に対して全岩化学組成を分析した。NWA011：玄武岩質な隕石。NWA2976：NWA011 とペアであると考えられている玄武岩質な隕石。Camel Donga：モノミクトユークライト。2つの断片を分析した。NWA1109：ポリミクトユークライトに分類される隕石。5つの断片に分けて分析を行った。

全岩の主要および微量元素組成は放射化分析法を用いた。白金族元素組成はニッケル硫黄 fire-assay 法を用いた同位体希釈誘導結合プラズマ質量分析法にて定量分析を行った。また、国立極地研究所において走査型電子顕微鏡 (SEM)、X線マイクロアナライザ (EPMA) を用いて組織の観察と鉱物中の元素の定性/定量分析を行った。

### [結果及び考察] <NWA011、NWA2976>

NWA011 は Ir、Ni 等の元素含有量から衝突物による親鉄性元素の混入が示唆されている<sup>1)</sup>。そこで、本研究で定量した NWA011、NWA2976 中の親鉄性元素組成を NWA011 と同様に小惑星地殻由来と考えられるユークライト隕石と比較した (図 1)。報告値<sup>1)</sup> 同様、NWA011 中の親鉄性元素含有量は高く、火成活動では説明できない。ゆえに外来成分の付加が考えられる。また、その組成は白金族元素および Co が分別していないのに対し、Ni の分別がみられた。

SEM での観察および鉱物中の元素の定性分析により、

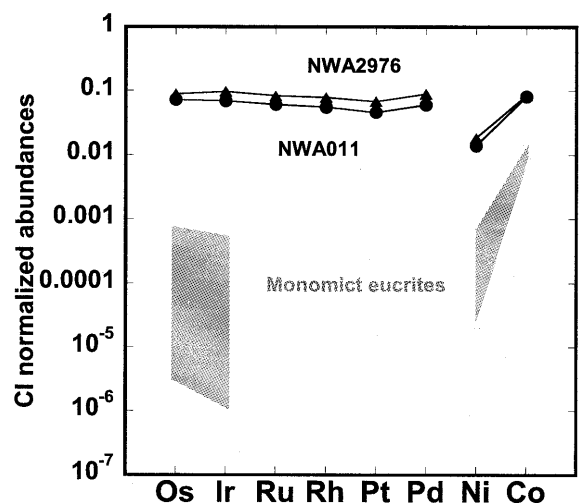


図 1. NWA011とNWA2976、およびモノミクトユークライトの親鉄性元素組成

親鉄性元素である Ni が濃集している鉱物は風化されていることがわかった (図 2)。この風化生成物に他の強親鉄性元素も濃集していると考えられる。また、風化生成物中の Ni が地球上での風化の影響で溶出した可能性が考えられるため、NWA011 および NWA2976 中の Ni 含有量から衝突物の同定は出来ないと判断した。そのため、白金族元素組成のみを用い、衝突物の同定を試みた。NWA011 および NWA2976 と類似した白金族元素組成をもち、かつ親鉄性元素を多く含む隕石は、鉄隕石の一部とコンドライト隕石に存在する。そこでコンドライトグループと白金族元素組成を比較した (図 3)。報告されているコンドライトの相関に対して NWA011 および NWA2976 の白金族元素組成はこの相関からずれるため、コンドライト物質の衝突による混入ではない可能性が高いだろう (図 3)。

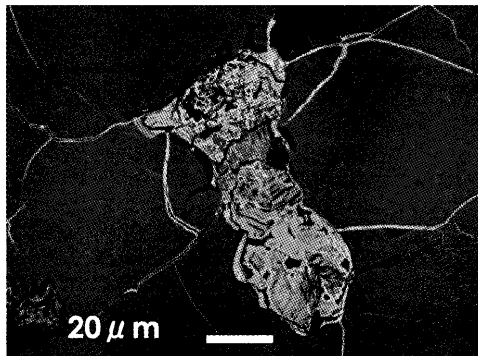


図 2. NWA011のSEM画像。Niを濃集する、風化により生成したと考えられる組織

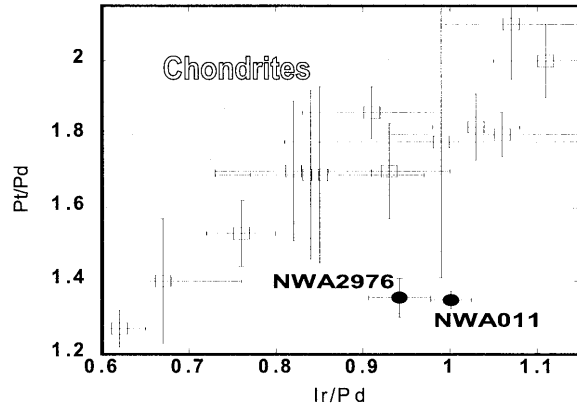


図 3. コンドライトグループ<sup>2)</sup>とNWA011とNWA2976の白金族組成比。

#### < Camel Donga、 NWA1109 >

ユークライト中に見られる金属相の起源として、ケイ酸塩中に多く存在する 2 価の Fe の還元による金属と、母天体外部からの衝突により混入された金属、が考えられている。両者の金属相の元素組成の大きな違いとして、前者は金属相へ還元される以前の地殻成分を反映しているが、後者は衝突物の痕跡を元素組成に反映していると予想される。そのため、地殻中に乏しい親鉄性元素に特に注目し、外来成分の有無を判断した。

Camel Donga は、全岩で親鉄性元素含有量が他のモノミクトユークライト同様に低いことが報告されており<sup>3)4)</sup>、本研究でも親鉄性元素含有量が低いことを確認した。一方、NWA1109 では金属の多い断片の白金族元素および Ni 含有量はモノミクトユークライトに比べて約 100 倍以上高く、外来成分の影響が考えられる。

Camel Donga に関しては、全岩組成金属相中の Ni 含有量が 0.058% と低いこと、鉱物組織の観察結果等から  $\text{FeSiO}_3$  の還元に伴い金属相ができたと考えられている<sup>3)4)</sup>。対して、NWA1109 は親鉄性元素含有量が高いにもかかわらず、金属相の分析では 0.63-0.91% と Camel Donga の十数倍程度の Ni しか含まないことが観察された。Ni 含有量は、金属相を多く含むコンドライトは少なくとも数%、鉄隕石でおよそ 10% 以上含まれており、NWA1109 中の金属相は現在知られている金属相を多く含む隕石の単純な混入によるものではないと考えられる。

#### [参考文献]

- 1) Yamaguchi et al., Science 296 (2002).
- 2) Tagle and Berlin, Meteoritics & Planetary Science 43 541-559 (2008).
- 3) Cleverly et al., Meteoritics 21, 263-269 (1986).
- 4) Palme et al., Meteoritics 23, 49-57 (1988)

## 酸性雨被害が見られる地域における土壌の元素分析と酸中和能との関連性

東京大学大学院総合文化研究科広域化学専攻 高橋 麻子

### 【はじめに】

現在、世界の各地で酸性雨被害が報告されている。また、日本国内においても金精峠や大山などで酸性雨被害が見られ、将来的に土壌の酸性化が進行すると懸念される。酸性雨被害を止めるにはその元となる酸性物質の放出を止めることが最も望ましい。しかし、酸性物質の元となっている石油などの燃料は、現在の人間の産業活動には欠かせないものであり、その代替エネルギーの実用化と普及もまだまだ十分ではない。そのため、酸性雨被害を最小限にとどめるというのが現実的な対応策である。

日本ではヨーロッパと同程度の酸性雨が降っているにもかかわらず、酸性雨被害はそれほど顕著ではない。その原因の一つとして、日本の土壌が欧米諸国の土壌に比べ、酸性雨を中和する能力、すなわち酸中和能 (ANC: Acid Neutralization Capacity) が大きいことが挙げられる。酸性雨研究において土壌の酸中和能を研究する理由は、植物被害が根から吸収する土壌水に主原因を求めることに由来する。現在、この土壌の酸中和能については様々な先行研究が行われている。鉛直方向にその分布を調べている研究の一例としては、森林土壌の持つ酸中和能の鉛直分布が佐藤・大岸<sup>1)</sup>により検討されているが、研究例はわずかである。よって、本来その土壌の持つ酸中和能と、被害が顕著になっている地域での土壌の酸中和能の違いを把握することで、酸中和能の減少のメカニズムの解明に一步近づけるものと考えている。

本研究の目的は、酸性雨被害の顕在化している地域(枯損域)と顕在化していない地域(非枯損域)における土壌の元素分析と酸中和能との関連性により、その反応過程を明らかにすることである。本研究では、酸性雨被害が顕在化する金精峠の土壌を試料とした。金精峠の大きな特徴として、首都圏から排出された酸性物質の影響により栃木県側では酸性雨被害が見られるものの、山を越えた群馬県側ではそれほど被害は見られないことが挙げられる。さらに、酸性雨被害が見られるのは針葉樹林であり、広葉樹林では被害は見られない。この特徴に着目し、枯損域、非枯損域土壌の比較を行った。また、近年の東アジアの経済発展に伴う越境汚染により、日本国内においても日本海側地域で被害が報告されている。そのため、中国側からの越境汚染による被害が考えられる新潟県丸山、立山黒部地区の土壌と金精峠の土壌の比較を行い、その相違を明らかにした。

### 【実験方法】

#### ・試料採取

枯損域と非枯損域における土壌の比較を行うため、金精峠に関しては枯損域である栃木側針葉樹、非枯損域である栃木側広葉樹、群馬側針葉樹、群馬側広葉樹の4地点の土壌を採取した。また、中国側からの越境汚染の影響が考えられる地域として丸山山頂(新潟県)と立山黒部地区の土壌を採取した。

また本研究では、鉛直方向の変化を明らかにするため深さ45cmまでの土壌を10cmずつ4区分に分け採取を行った(表層・15-25cm・25-35cm・35-45cm)。サンプル名の表記例として、金精峠栃木側針葉樹はKTSとし、表層・15-25cm・25-35cm・35-45cmの土壌を区分するため、さらにKTS10, KTS20, KTS30, KTS40のように表記した。

#### ・ANC測定

乾燥土壌約1gに酢酸-酢酸アンモニウム緩衝液0.5mol/l (pH4.75)を50ml加えて室温で24時間振とうした。その後、硝酸0.1mol/lを約5ml加え、2倍に希釈したものをICP-AESによって定量した。その定量値から、水可溶性のCa<sup>2+</sup>、Mg<sup>2+</sup>、Na<sup>+</sup>、K<sup>+</sup>の量を差し引き、各イオンについて乾燥土壌100g当たりのmeq(ミリ当量)で表示した。

#### ・元素分析

土壌中のANCとそれに関連する元素、Na, Mg, Ca, Kの関連性を調べるため、機器中性子放射

化分析 (INAA) により定量を行った。Na, Mg, Ca の 3 元素については短寿命測定を、K については中寿命測定を用いた。

【結果と考察】

本研究では金精峠において、枯損域・非枯損域土壌の比較を、元素分析、ANC 測定により行った。金精峠において、枯損が見られるのは首都圏から排出される酸性物質の影響を受ける栃木側であり、さらに栃木側においても針葉樹林でのみ枯損が見られることから、以下に示すように 4 種の比較を行った。

例として、(1) について元素量および ANC の比較を Fig. 1 に示す。

	Tochigi_side		Gunma_side
針葉樹	KTS	↔ (1)	KGS
			↑(4)
広葉樹	KTK	↔ (3)	KGK

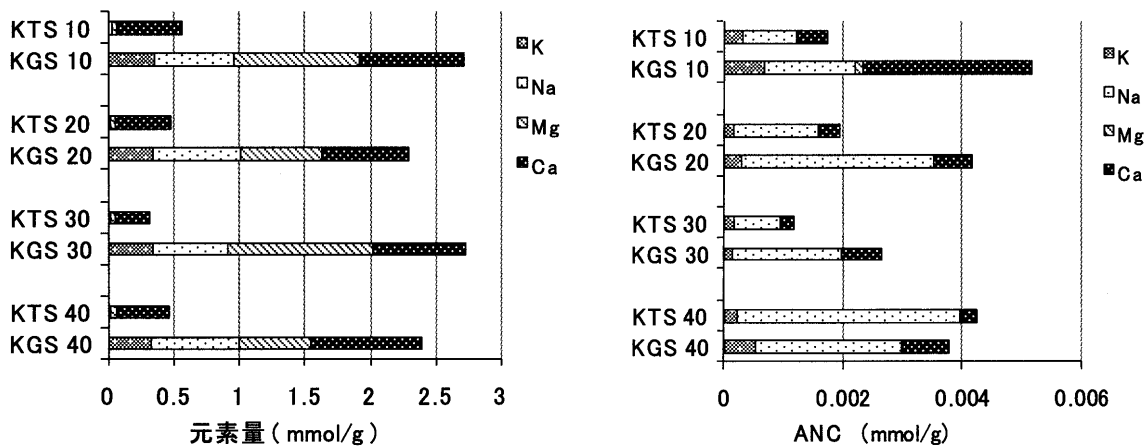


Fig. 1 針葉樹林における栃木側土壌、群馬側土壌の元素量および ANC 比較

深さ 0-45cm のどの部分の土壌においても、枯損域である KTS 中の元素量は非枯損域である KGS と比較して 2.0 mmol 程度の開きが見られ、これはおおよそ 5 倍の濃度差にあたる。ここで最も着目すべき点は土壌中の Ca 濃度であり、両者でほとんど差が生じていない。一方、枯損域である KTS の ANC は KGS の ANC と比較して 1/2 程度にまで減少しており、中でも表層土壌である KTS 10 と KGS 10 の差は他の深さの試料と比較して最も大きい。また、KTS と KGS で ANC に顕著な差が見られるのは、深さ 35cm までであり、深さ 40cm の土壌ではほぼ差は見られない。よって、枯損域である KTS 土壌についても深さ 40cm では非枯損域と同程度の ANC を有しており、ANC の減少は深さ 0-35cm で起こったと考えられる。

同様な比較を (2), (3), (4) についても行った結果、枯損状況として群馬側より首都圏の影響を受ける栃木側の方が、また、広葉樹より針葉樹の方が悪化していることが明らかとなった。広葉樹林で枯損が見られない要因として、有機酸の酸中和能は非常に高いことから、落葉による腐植中の有機酸 (フミン酸など) が酸中和に影響しているものと考えられる。これにより有機酸による高い酸中和能が存在することで酸性雨の影響を緩和していることが推定できる。

また、Ca を例にとると土壌中における Ca の形態は、1. 土壌溶液中の Ca<sup>2+</sup> 2. 交換性 Ca<sup>2+</sup> 3. Al の水和酸化物などによって閉じ込められた Ca<sup>2+</sup> 4. 層状結晶の中にきっちりと固定されている Ca の 4 種に分類でき、このうち、3. の形態の Ca は植物の有機酸などによって溶出を妨げる物質が取り除かれ、2. の形態さらに 1. の形態へと変化する。このことも、広葉樹で枯損が見られない要因の一つであると考えられる。また本研究では、枯損域での ANC は、深くなるにつれて

増加する傾向を示したのに対して、非枯損域ではその逆の傾向を示した。この結果より非枯損から枯損へと変化する過程で、表層土壌の ANC の消費が優先して起こると考えられる。以上をまとめると金精峠において、以下に示す仮定をすることができる。

- 1) 広葉樹林は落葉によって有機酸が生じ、それが表層における ANC に大きな寄与をする。
- 2) 有機酸が少ない針葉樹林は広葉樹林と比較して ANC が低い。
- 3) 針葉樹林における ANC の獲得過程は以下の 3 ステップのように考えられる。
  - (ア) 土壌元素が酸性雨によって酸可溶態へと状態変化する
  - (イ) 枯損域となる環境下では外的要因によって第一次的に K, Na, Mg が溶出する
  - (ウ) K, Na, Mg が溶出し終わると第二次的に Ca が溶出する
- 4) ANC のバッファが限界を超えたときに植生に影響が出る。

本研究では、中国側からの越境汚染による被害が考えられる新潟県丸山、立山黒部地区の土壌と金精峠の土壌の比較も行った。その結果、丸山、立山黒部地区における美女平共に、金精峠と比較して土壌の枯損は進んでおらず、国内では首都圏による影響の方が顕著であることがわかった。しかしながら、同じ立山黒部地区においても中国大陸の影響を受ける美女平と、山脈を越え大陸の影響を受けにくい扇沢を比較した結果、ANC および ANC に関与する元素濃度は減少しており、その差が顕著であった。よって、今後も越境汚染による影響が継続もしくは増大すれば土壌は非可溶態から可溶態への変化、ANC の減少を経て、枯損域である金精峠に似た組成に変化していくのではないかと考えられる。

また枯損域土壌中 (KTS) に残存する Ca がどのような形態であるのか分析する必要があると考え、枯損域土壌 (KTS) の X 線吸収微細構造 (XAFS) の測定を行った。参考として、Ca を含む鉱物の XAFS データを Fig.2 に示した。また、枯損域土壌である KTS 土壌を硝酸で 1 回洗浄したもの (KTS-1) と 15 回洗浄したもの (KTS-15) の比較として Fig. 3 に示した。Fig.2 および Fig.3 に見られるスペクトルの特徴から KTS 土壌中に含まれる Ca は炭酸塩であることは間違いなく、coral に近いものであると考えられる。これはカルサイトなどの鉱物と比較して比較的崩れやすく脆い構造を持つ。Fig.3 より硝酸による洗浄を重ねるにつれて KTS-1 から KTS-15 へ強度が減少し、顕著な差が生じたことから、今後酸性雨が降り続けた場合、coral に似た形状の Ca が非可溶態から可溶態への形態変化し、ANC の獲得過程に関与すると推察できる。

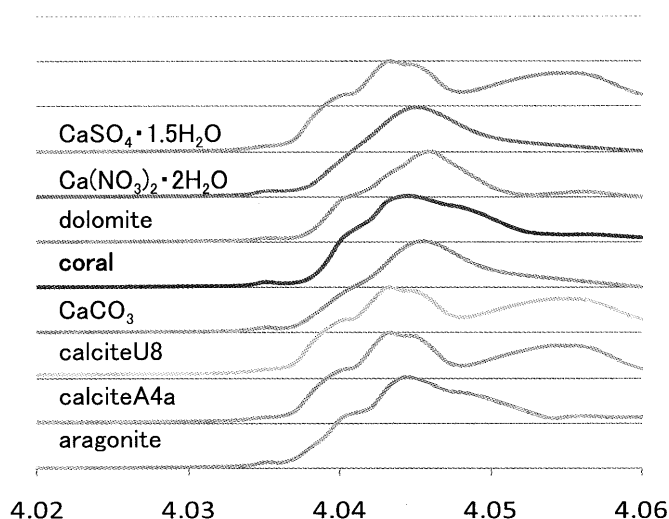


Fig. 2 Ca を含む鉱物の XAFS 測定データ

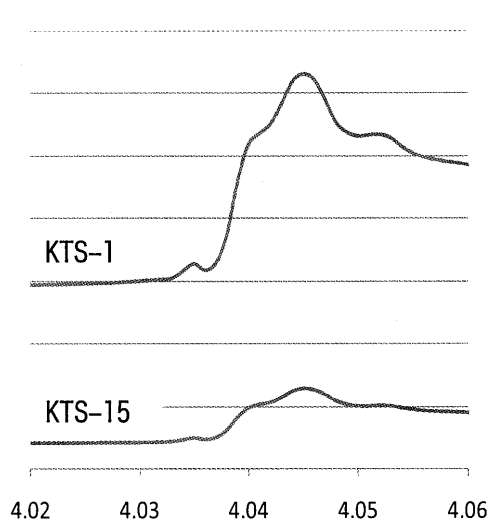


Fig. 3 過剰な酸洗浄を行う前後の枯損域土壌 (KTS) の XAFS 測定結果 (Ca)

#### 参考文献

- 1) 佐藤一男・大岸 宏、“酸性降下物に対する土壌中和能の断面垂直分布”  
環境科学会誌 4 (2) , 115-121 (1991)



## 始原的エコンドライト「Divnoe」の宇宙化学的研究

首都大学東京 理工学研究科 分子物質化学専攻 長谷川 雅人

はじめに

始原的エコンドライトはコンドライトに似た化学組成を持っているが、その岩石学的組織は変性を受け、コンドライトとは異なっている。また、始原的エコンドライトは起源となる星雲物質に対し中程度に分別した親石・親鉄・親銅・親気元素組成を持っており、母天体での溶融の途中の状態を保持し、コンドライトとエコンドライトの間を結びつける隕石であると考えられている。従って、このような隕石の化学組成を分析することによって、その隕石の母天体が経験した分化過程についての情報を得ることができると期待される。

本研究では、そのような始原的エコンドライト隕石に属すると考えられている Divnoe 隕石を研究対象とした。Divnoe 隕石は 1981 年、ロシアで発見された総量 12.7 kg の隕石で、シャワー状に落下した隕石群のひとつであるとみられているが、他の断片は見つかっていない。初期分析により、その主要元素組成などから始原的エコンドライトに分類され、さらに 1990 年から Petaev らによって積極的に研究された。また、Weigel et al. (1997) は化学組成・酸素同位体比・キセノン同位体比からブラチナイトと少なからず関係があることを示唆したが、Mittlefehldt et al. (2003) はブラチナイトは始原的エコンドライトではないと結論づけた。このように Divnoe 隕石はその位置づけが明確でなく、どの隕石グループにも分類されていないユニークな隕石である可能性も持つ。本研究では Divnoe の化学組成を詳細に調べ、その化学的特徴を明らかにし、それをもとに Divnoe 隕石の分化過程について考察することを目的とした。

実験

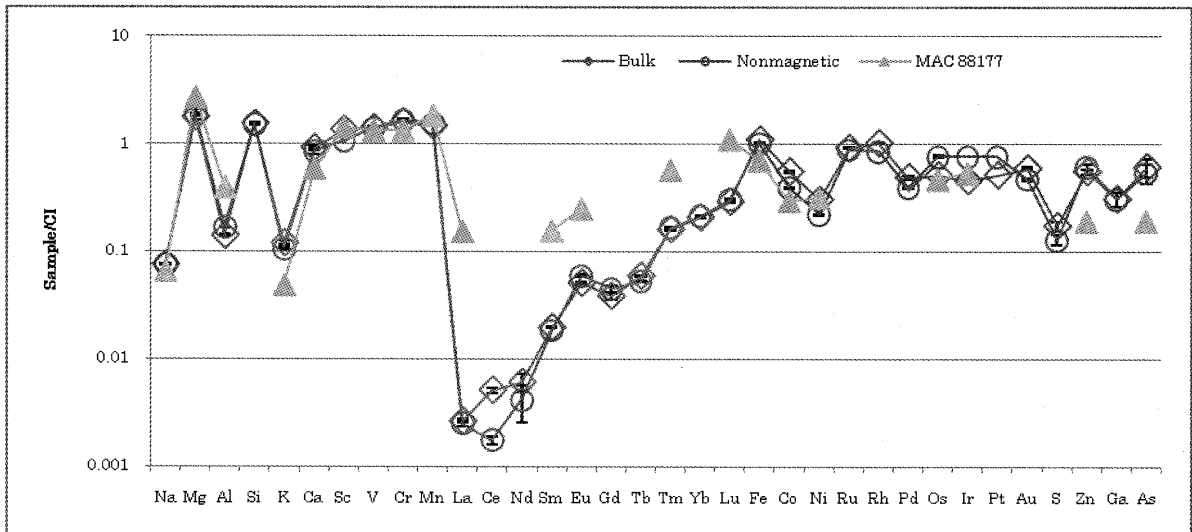
Divnoe 隕石のふたつの断片（それぞれ約 500 mg）を用いて実験を行った。片方には大きな金属の塊が含まれており、すり潰すことが困難であったため、磁石で磁性相を分離し、残った非磁性相をメノウ乳鉢を用いて粉末化した。その結果、バルク粉末試料 531 mg、非磁性相粉末試料 433 mg、磁性相粒状試料 24.6 mg が得られた。

上記のように得られた粉末 2 試料に対し、Ni-S fire assay 法と同位体希釈法を組み合わせた誘導結合プラズマ質量分析法を用いて白金族元素 (Ru, Rh, Pd, Os, Ir, Pt) を、即発ガンマ線分析法を用いて B, Ca, Cl, Co, Cr, Fe, Mn, Na, Ni, S, Si, Ti を、機器中性子放射化分析法を用いて Al, As, Au, Br, Ca, Co, Cr, Fe, Ga, Ir, K, Mg, Mn, Na, Ni, Sc, Ti, V, Zn を、放射化学的中性子放射化

分析法を用いて希土類元素（REE：La, Ce, Nd, Sm, Eu, Gd, Tb, Tm, Yb, Lu）を定量した。

## 結果と考察

分析結果を下の図に示した。縦軸は太陽系の平均組成と等しいと考えられている CI コンドライトの値で規格化した相対元素存在度を表している。また、横軸の元素は地球化学的な分類（親石性元素：Na-Lu, 親鉄性元素：Fe-Au, 親銅性元素：S-As）ごとに原子番号順に並べた。



Divnoe の主要元素組成（Si, Fe, Mg など）は、他の始原的エコンドライトと同様にコンドライト的な値を示した。一方、K や REE では  $CI \times 0.1 \sim 0.001$  と低い値が見られ、REE 間では軽希土類元素（La など）よりも重希土類元素（Yb, Lu など）に富んだ値を示した。K は液相濃集元素であり、ケイ酸塩メルトに強く分配される。また、REE はランタノイド収縮により軽希土類元素の方が重希土類元素に比べてイオン半径が大きいためにより液相に分配されやすく、メルトへの分配率が段階的に変化するために La から Lu にかけて滑らかなパターンを描いている。またこれらの元素存在度のもつ特徴は、Divnoe の成因が普通コンドライトに似た組成を持つ起源物質の部分溶融の残渣であるというこれまでの研究結果（Petaev et al., 1994 など）と整合する。

他の始原的エコンドライトでは Na, Al, K, REE における分別はあまり見られないが、Divnoe と似た元素組成パターンを持つ隕石としてロドラナイト隕石である MAC 88177 が挙げられる。上図に MAC 88177 の元素組成の文献値を示した（K は上限値）。MAC 88177 は上記元素に加え親鉄性元素や親銅性元素でも分別を起こしており、溶融過程において硫化物メルトとケイ酸塩メルトを失ったと考えられている（Patzner et al., 2004）。Divnoe はメタルを多く含み、親鉄性元素や親銅性元素ではあまり分別が見られない。よって、Divnoe は MAC 88177 に似た溶融プロセスを経験したものの、硫化物メルトや金属メルトを失うには至らなかったと考えられる。

# 鉄隕石 Gibeon 中の宇宙線生成放射性核種 $^{53}\text{Mn}$ と $^{36}\text{Cl}$ 濃度の定量と、 安定核種 $^{55}\text{Mn}$ 定量法の検討

首都大学東京 理工学研究科 分子物質化学専攻 橋詰 二三雄

## 【はじめに】

隕石中には宇宙線との核反応により生成した多数の核反応生成物が含まれている。この核反応生成物を宇宙線生成核種と呼ぶ。鉄隕石中の宇宙線生成核種の濃度は、隕石自身の遮蔽効果によって表面からの深度方向に依存する。宇宙線生成核種のうち、希ガス安定核種と  $^{10}\text{Be}$  (半減期  $=1.5 \times 10^6$  年),  $^{26}\text{Al}$  ( $7.1 \times 10^5$  年),  $^{36}\text{Cl}$  ( $3.0 \times 10^5$  年),  $^{53}\text{Mn}$  ( $3.7 \times 10^6$  年) などの長半減期放射性核種は、隕石の宇宙空間における大きさ、宇宙線照射年代、落下年代などの情報を与える。 $^{53}\text{Mn}$  は  $^{10}\text{Be}$ ,  $^{26}\text{Al}$ ,  $^{36}\text{Cl}$  と比べて半減期が長く、宇宙線生成放射性核種を用いた議論では重要な核種である。

1836 年ナミビア共和国で発見された鉄隕石 Gibeon は、総重量が 26,000 kg 以上あり、宇宙空間で大きな隕石であったと予想できる。この隕石中の宇宙線生成放射性核種のうち、 $^{10}\text{Be}$  と  $^{26}\text{Al}$  は系統的に隕石表面から深部まで測定されているが、 $^{36}\text{Cl}$  のデータは比較的少なく、 $^{53}\text{Mn}$  のデータに至ってはさらに少ない。安定希ガス核種から求められた Gibeon 隕石の宇宙線照射年代として 3 億年と、1 千万年前後の 2 つの値が報告されている。この 2 つの宇宙線照射年代が存在する原因として、落下中の希ガスの脱ガス、もしくは宇宙線の多段階照射が考えられている。しかし、詳細な原因は明らかになっていない。また、近年、宇宙線生成核種の濃度が極めて低いギベオン隕石が発見されたが、測定が困難な状態である。

そこで、本研究では、まだデータの少ない  $^{36}\text{Cl}$  と  $^{53}\text{Mn}$  に対し、隕石の表面から定量限界と考えられる深度の試料について、 $^{36}\text{Cl}$  は加速器質量分析法を、 $^{53}\text{Mn}$  は中性子放射化分析法 (NAA) を用いて定量を行った。

$^{53}\text{Mn}$  定量において、高感度測定が可能な加速器質量分析法 (AMS) はほとんど適用されていない。そのため、予備濃縮を併用した  $^{53}\text{Mn}(n, \gamma)^{54}\text{Mn}$  (312 日) 反応による中性子放射化分析法が唯一の  $^{53}\text{Mn}$  定量法である。中性子放射化分析法を用いて低濃度な  $^{53}\text{Mn}$  を定量する場合、予備濃縮時に添加した Mn 担体による  $^{55}\text{Mn}(n, 2n)^{54}\text{Mn}$  反応の妨害が無視できない。より低濃度な  $^{53}\text{Mn}$  定量のためにはこの妨害反応の寄与を正確に補正する必要がある。Mn 担体量を減らす事により妨害を小さくする事はできるが、隕石中に含まれる安定同位体  $^{55}\text{Mn}$  の量が担体として加えた Mn 量に対して無視できなくなる可能性があり、鉄隕石に含まれる Mn 濃度を知る必要がある。そこで、鉄隕石中の安定同位体  $^{55}\text{Mn}$  の定量法を検討した。

## 【実験】

まず、Mn 担体由来の妨害を下げるために、放射性トレーサーを用いて Mn 担体量を従来の 1/10 にした化学分離実験を行い、Mn の化学分離回収率を確認した。

各隕石試料は、鉄隕石 Gibeon を 0.5 g ~ 2 g 使用した。まず試料表面を洗浄し、既知量の Mn 担体と Cl 担体を添加後、試料から Cl と Mn をそれぞれ化学分離後、Cl フラクシオンの

$^{36}\text{Cl}/^{35}\text{Cl}$  比を筑波大学タンデム加速器にて AMS 法により測定した。Mn フラクシオンは日本原子力研究開発機構 JRR3 DR-1 にて中性子を 601.5 時間照射した後、さらに Mn を精製して  $^{54}\text{Mn}$  の  $\gamma$  線を測定した。Mn の化学収率は、再放射化法により求めた。

#### 【結果・考察】

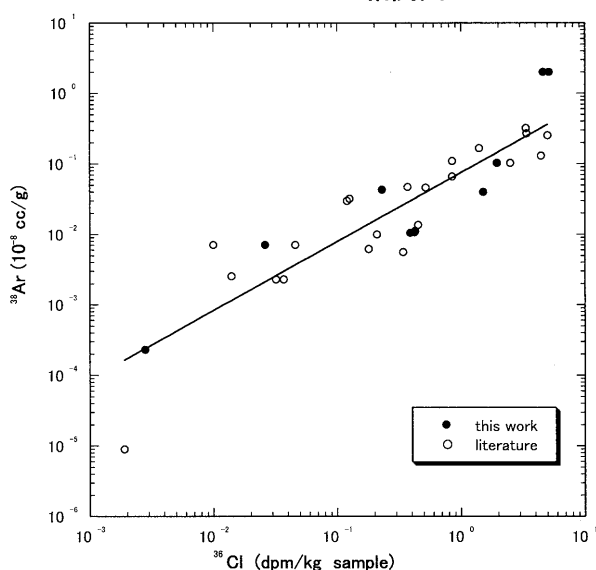
図に本研究で得た  $^{36}\text{Cl}$  定量値ならびに  $^{36}\text{Cl}$  文献値と報告されている  $^{38}\text{Ar}$  濃度との相関図を示した。この相関図において、宇宙線生成核種の正の相関が見られた。また、 $^{36}\text{Cl}$  定量値と Ar 濃度から、Cl/Ar 年代法より、本研究で分析に用いた Gibeon 隕石片の宇宙線照射年代は 1 千万年前後であることが

確認された。 $^{36}\text{Cl}$  の定量限界は隕石 1g を用いると、0.001 dpm/kg sample であり、さらに濃度の低い試料を測定するには、担体や試料量を検討する必要がある。

放射性トレーサーを用いた Mn の化学分離実験の結果、少ない担体量でも十分な化学収率を得ることがわかった。担体量を減らすことで、0.5 dpm/kg sample 程度までの定量が可能であると推定できたので、0.5 dpm/kg sample 程度と見込まれる試料の  $^{53}\text{Mn}$  の定量を行った。現在解析中である。

Mn ( $^{55}\text{Mn}$ ) 定量法にはさまざまな方法があるが、現在までに鉄隕石中の Mn を正確に定量したという報告はほとんどない。主な問題点は、Mn の含有量が非常に低いために鉄からの妨害が大きいことである。極微量の多元素同時分析が可能な放射光蛍光 X 線分析による鉄隕石の非破壊分析を試みたが、鉄の X 線ラマン散乱による非弾性散乱ピークの妨害により Mn の検出は不可能であった。Mn の測定感度が良いとされる ICP-発光分析による測定においても鉄の影響でバックグラウンドが上がるため、定量するには、Mn から鉄を 1mg 以下に除去しなければならないことがわかった。よって、鉄隕石から Mn を定量的に分離する方法を確立しなければならない。また、Mn の検出感度から ICP-AES では測定溶液中の Mn 濃度は 10 ppb 以上必要であることが分かった。これらより、5g 以上の鉄隕石を用いて、鉄を 1mg 以下に除去すれば、ICP-AES で鉄隕石中の Mn を定量できると考えられる。一方、中性子放射化分析法にて定量する方法の検討も行った。 $^{55}\text{Mn}(n, \gamma)^{56}\text{Mn}$  反応を利用する NAA においても鉄の妨害核反応  $^{56}\text{Fe}(n, p)^{56}\text{Mn}$  が存在するため、Mn を鉄隕石試料から化学分離する必要があり、化学分離しきれない鉄による妨害核反応寄与率を考慮しなければならない。この妨害核反応は速中性子により誘起されるので、速中性子束の最も小さな照射場、すなわち JRR-3 PN3 で照射を行った。その結果、鉄を 1mg 以下に除去すれば、1g 以上の鉄隕石を用いて、NAA で鉄隕石中の Mn を定量できると考えられる。また、Mn/Fe 比の異なる試料を照射し、鉄の妨害核反応の寄与を見積もった結果、鉄 1mg の試料から 20 ngMn に相当する  $^{56}\text{Mn}$  が検出された。今後、この検出された  $^{56}\text{Mn}$  が鉄の妨害反応によるものだけなのか検討していく予定である。

$^{36}\text{Cl}$  と  $^{38}\text{Ar}$  の相関図



# 月探査衛星 SELENE (かぐや) 搭載のガンマ線分光計による月表層の K、Th、U 濃度分布の決定、及びそれに基づく月の地球化学的研究

首都大学東京 理工学研究科 分子物質化学専攻 日原健

## 【序論】

月は 1969 年から始まったアポロ・ルナ計画により採取された岩石試料やガンマ線分光計などの搭載された機器による観測により研究が行われた。その後、月起源の隕石を用いて化学的手法、地質学的手法など様々な方法で研究が行われることによって、アポロ・ルナ計画での研究からはわからなかった月の地殻の形成史について新たな事実がわかろうとしている。さらに、近年クレメンタインやルナプロスペクターなどの人工衛星による月の周回軌道上からの観測により今まで得られていなかった月全球の情報を得ることが出来た。アポロ・ルナ計画による月の局所的な情報と月隕石、衛星による全球の情報を相互に補い、多くの議論がなされた。

ルナプロスペクターはガンマ線分光計に BGO シンチレータを用いて月表層の元素を観測したが、検出器のエネルギー分解能が低いために観測されたスペクトル上では複数のピークが重なっており、解析には様々な補正が用いられた<sup>1</sup>。月の進化を議論するうえで重要な元素である U の濃度はコンドライト隕石の U/Th 比を用いて Th 濃度から間接的に計算されたなど、不完全なデータしか得られなかった。一方、現在観測が続けられている SELENE に搭載されているガンマ線分光計は Ge 検出器を用いており、ルナプロスペクターに搭載されたガンマ線分光計よりもエネルギー分解能が優れているので、ルナプロスペクターで観測された複合ピークの多くが単一ピークとして観測された。

SELENE は 2007 年 9 月 14 日に打ち上げられ、2007 年 10 月 4 日に月周回軌道に投入された。ガンマ線分光計は 2007 年 12 月 14 日に観測を開始した。本研究では 2007 年 12 月 14 日から 2008 年 10 月 31 日まで観測されたスペクトルを用いて、月表面でのガンマ線分光で宇宙線の影響をあまり受けずに定量できる天然放射性元素 K、Th、U の濃度を求めた。月の形成過程は現在、巨大隕石衝突説が有力視されており、その際大規模なマグマオーシャンが起こったと考えられている。K、Th、U は月の主な鉱物に取り込まれにくいために月の分化において残渣マグマに取り残されたと考えられている<sup>2</sup>ので、これらの元素の壊変エネルギーは、熱源として月の歴史に多大な影響を与えてきたと考えられている。そこで得られた K、Th、U 濃度分布に基づいて月の地殻とマントルに含まれる K、Th、U 量を算出し、月の熱史についての考察も試みた。

## 【濃度分布地図の作成】

K、Th、U の定量にはそれぞれ 1460.8 keV、2614.6 keV、1764.5 keV のガンマ線を用いた。1460.8 keV は <sup>40</sup>K の EC 壊変に伴い発生するガンマ線、2614.8 keV は <sup>232</sup>Th の壊変系列である <sup>208</sup>Tl の  $\beta^-$ 壊変によるガンマ線、そして 1764.5 keV は <sup>238</sup>U の壊変系列である <sup>214</sup>Bi の  $\beta^-$ 壊変によるガンマ線である。これらのガンマ線を用いて K、Th、U の計数率地図を作成した。本研究で得られる計数率を月面の濃度に変換する必要がある。そこで計数率を濃度に変換するために、ア

ポロ・ルナの着陸点を含む地域の K、Th、U 濃度をアポロ・ルナ試料の K、Th、U 濃度と同じと仮定した。ここでアポロ・ルナ試料の濃度は Korotev (1998) と Korotev (2000) <sup>3</sup> の報告値を採用した。これにより K、Th、U の濃度分布図を作成した。K、Th、U 濃度分布図を比較すると表側に高い濃集を示す地域、裏側の南極付近に中程度の濃集を示す地域がそれぞれ認められ、それ以外の高地の地域には K、Th、U は乏しいことがわかった。また、Th、U の濃度の高い地域の輪郭と K の濃度の高い地域の輪郭に違いがみられた。K はカリ長石などに含まれる一方、Th、U はリン酸塩に取り込まれやすいため、両者の分布に違いが生じたものと考えられる。

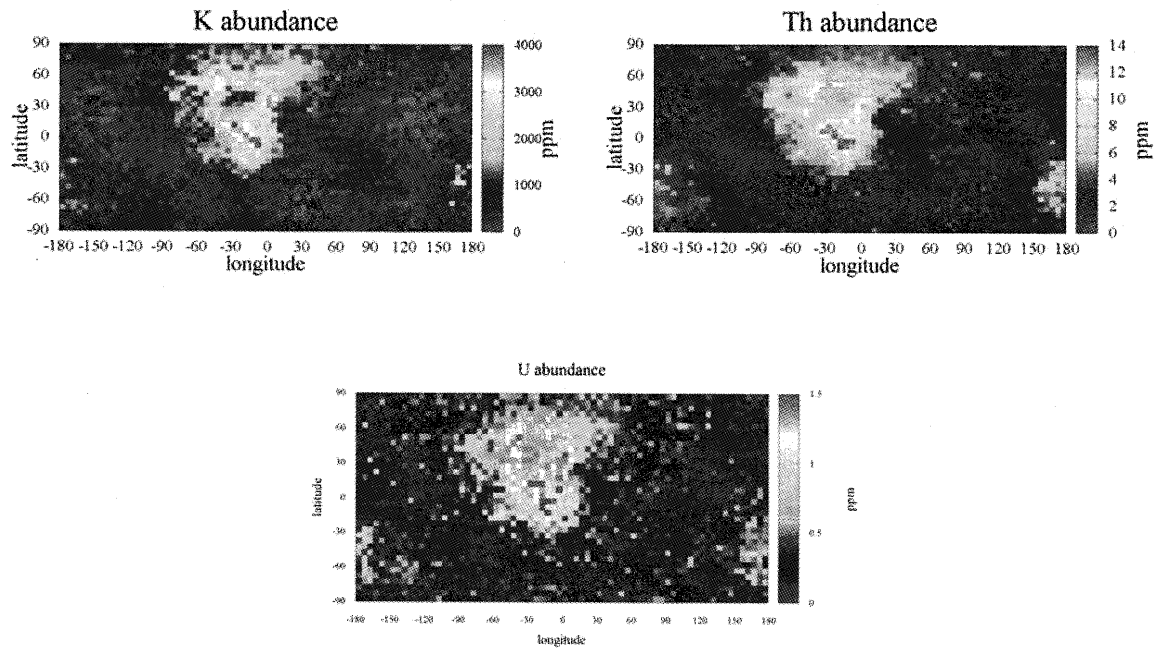


図1 K、Th、U の濃度分布図  
西経 90 度から東経 90 度までが月の表側（地球に面する側）

【月面の平均組成】

各地域の K、Th、U 濃度をもとに K、Th、U の月面の平均濃度を算出した。表 1 に Th の値を文献値と共に示す。こうして求められる月面の平均濃度を月地殻の平均濃度と仮定することによって、月の核を除く、地殻とマントル中に存在する K、Th、U 量を算出することができる。詳しい計算は現在実施中である。

表 1 月面の Th 平均組成

	本研究	Warren et al. (2005) <sup>4</sup>	Prettyman et al. (2006)
月面の Th 平均組成 (μg/g)	1.52	1.35	1.70

<sup>1</sup> Prettyman et al. (2006), J. Geophys. Res., 111(E12007).  
<sup>2</sup> Korotev (1998), J. Geophys. Res., 103(E1), 1691-1701.  
<sup>3</sup> Korotev (2000), Lunar Planet. Sci., 31 (1363).  
<sup>4</sup> Warren et al. (2005), Meteorit. Planet. Sci., 40(3), 477-506.

## 干潟底質の元素分布に及ぼす周辺部埋立ての影響に関する研究

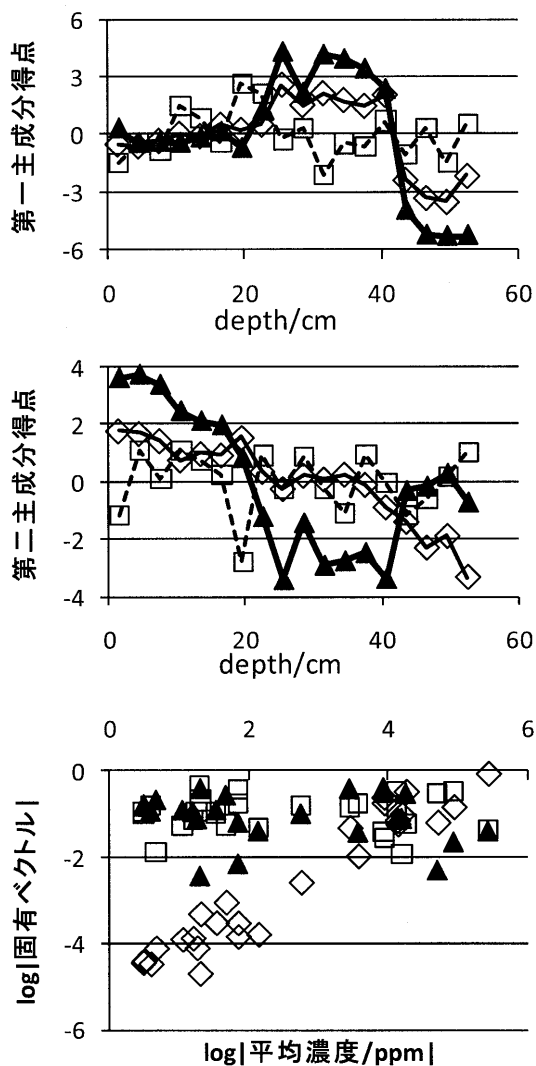
東京大学大学院総合文化研究科広域科学専攻  
環境分析化学研究室 諸町大地

【目的】環境意識が高まり、干潟の埋立て中止や保全・再生の動きが活発化している。一方で、諫早湾干拓事業が断行され、有明海の漁民らが漁業被害を訴えているが、福岡高裁は科学的な証明がないとして訴えを退け、佐賀地裁は水門常時開放と調査を国に命じている。このように、干拓や埋立てが周辺に及ぼす影響は未解明であり、これらを明らかにすることが社会的にも科学的にも求められている。本研究では、埋立ての影響が極端に大きかったと考えられる千葉県谷津干潟と、そのすぐそばにありながら比較的影響が小さいと考えられる三番瀬猫実川河口付近を対象として、当研究室で河口域底質や干潟底質に用いられてきた分析手法および統計的手法を用いて、埋立てが周辺に与えた影響を調査する。また、同時に、主要元素から微量元素に至るデータを扱う方法についての検討を行う。

【実験】谷津干潟は、元は東京湾奥に広がる広大な前浜干潟の一部であったが、埋立てにより四方が陸地となった長方形の干潟で、東京湾とは2本の細い水路によってつながっている。埋立て後、さらに高架橋によって大小2つのエリアに分断されたことから、それぞれのエリアで底質試料を柱状に約50 cm採取した。また、周辺で埋立てが行われたものの、谷津干潟のように東京湾からは隔離されず、埋立ての影響が比較的小さいと考えられる三番瀬猫実川河口付近でも同様に底質試料を採取した。得られた試料を3 cmごとに切り分け、空気による酸化に注意しながら、窒素加圧濾過により間隙水と湿試料に分離し、湿試料の一部を凍結乾燥により乾燥試料とした。これらの操作の前後の重量変化から含水率を求め、湿試料を用いてメスバウアー分光法とX線吸収微細構造(XAFS)法によってFeとS、Mnの状態分析を行い、乾燥試料を用いて機器中性子放射化分析(INAA)および中性子誘起即発ガンマ線分析(PGA)によって元素の垂直分布を、有機元素分析装置によって有機物量を求めた。

【結果・考察】谷津干潟両地点において周辺埋立ての影響と考えられる大きな変化が各測定の結果にあらわれていた。また谷津干潟の小さなエリアでのみ、分断の影響と思われる変化が確認できた。一方、三番瀬試料については谷津干潟のような目立った変化はみられなかった。得られた測定結果のうち、INAAとPGAによる元素垂直分布のデータに対して主成分分析を行った。主成分分析は、分散が最大になる方向に新しい軸をとることで複数のデータから総合的な指標を抽出する手法であり、分散共分散行列を用いる方法と相関行列を用いる方法の二手法が存在し、前者はデータの値をそのまま反映させるのに対し、後者はデータを分散1、平均0に標準化した値を用いる。本研究では両手法ともを行い、まず比較を行った。その結果、分散共分散行列を用いた主成分分析では、埋立てや分断の影響が

主成分得点にあらわれていたが、固有ベクトルの絶対値が元素濃度と高い相関を示し、微量元素の挙動は主成分得点にほとんど寄与していないと言えた。逆に、相関行列を用いた主成分分析では、元素濃度と固有ベクトルの絶対値には相関はなく、微量元素も主要元素と同様に扱われていたが、主成分得点には埋立てや分断の影響が抽出されていなかった。前者は、分散の大きさが平均の大きさに依存しているため、後者はデータを分散1に規格化することで、誤差が拡大し過大評価されたためと考えられる。そこで、元素垂直分布のデータを各元素の平均濃度で割り、平均を1に規格化したうえで分散共分散行列を用いて主成分分析を行った。図1に、谷津干潟の小さいエリアにおける試料に上記3手法による主成分分析の結果を示す。この地点では、周辺埋立ての影響が約40 cm、分断の影響が25 cmの深さにあらわれていた。本手法を用いた場合のみ、第一主成分得点も第二主成分得点も埋立てや分断の影響を反映していると思われる値を示し、固有ベクトルの値が平均濃度と相関せず、微量元素が主要元素と同様に扱われていることがわかる。したがって、本手法では微量元素を含めた主成分分析が正しく行われたと考えることができる。図2に第一主成分と第二主成分の固有ベクトルの二次元プロットを示す。同じ挙動を示す元素は同じ象限に位置し、元素の挙動は固有ベクトルの符号によって分類することができ、原点から遠くに位置するほど変動が大きく、変動の大きさを原点からの距離であらわせる。図1では、粘土鉱物への風化反応で、溶脱するCa, Na, (Si)、粘土鉱物中に付加するHが、残存するAl, Ti, FeがNaを除きほぼ一直線上に並び、そのやや下に希土類元素をはじめとして粘土鉱物に吸着されやすい元素が集まっている。NaおよびBr, Clは海水起源、S



- ◇ 分散共分散行列を用いた主成分分析
- 相関行列を用いた主成分分析
- ▲ 本手法

図1. 3手法による主成分分析の結果比較  
 上段：第一主成分得点の垂直変化  
 中段：第二主成分得点の垂直変化  
 下段：各元素の第一主成分の固有ベクトルと平均濃度の関係



は硫酸還元菌による硫化水素の発生による硫化物の生成と関連すると考えられる。

これらの観点と含水率や有機物量、元素化学状態など他の測定結果との比較から、第一主成分は粒形と大きく関係し、堆積時の水の流れの弱さを示す指標、第二主成分は堆積後の海水とのインタラクションの強さをあらわす指標となると考えられる。これらを総合すると、周辺埋立ての影響により、谷津干潟では流速が低下して泥質化し、希土類元素などが吸着しやすい環境となった。また、酸素の供給が減ったため、底質中が強い還元的状態となったことがわかる。一方で高架橋による分断は、それらの変化をさらに加速させるものと思われたが、第一主成分得点は埋立て前後の中間的な値に、第二主成分得点は埋立て前以上の値を示している。これは、小さく区切られたことで、水路のような状態になり、流速が増したことで、酸素を豊富に含む新鮮な海水が一度この場所でたまるようになったためと考えられる。このことから、埋立てや分断といった影響は、干潟面積の変化とは一致せず、流速や酸素の供給に強く依存すると言える。また、三番瀬試料については、谷津干潟試料ほど顕著な変化は見られなかったものの、谷津干潟における分断の影響と同じような主成分得点の変化を示す層が存在した。この変化が何に起因するものであるかまでは明らかにできなかったが、本手法を用いることでそれほど大きな変化が見られなかった試料に対しても有効であることがわかった。

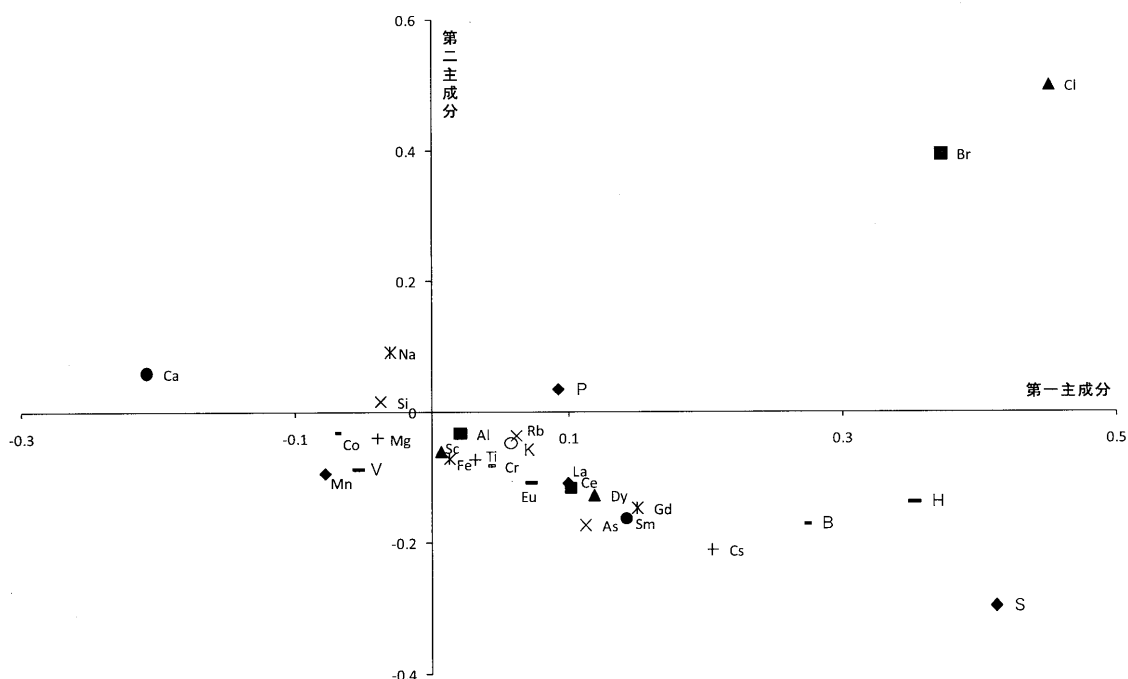


図2. 第一主成分と第二主成分の固有ベクトル

## 交換性陽イオンによる土壌の酸中和能の解析

東京大学大学院理学系研究科化学専攻 環境分析化学研究室  
山ノ井 俊

### [序]

土壌の持つ酸中和能は日本の森林の酸性雨による被害の抑制という面で大きな役割を果たしており、その酸中和能の多くは交換性陽イオンによるものだと考えられている。当研究室のこれまでの研究により関東地方の枯損域土壌では、交換性陽イオンの中でも Ca が酸中和能に対して最も大きな影響を与えることが明らかにされた。しかし、土壌には様々な形態の Ca が含まれており、どの形態の Ca が酸中和能に影響を与えているのか、またどのような条件で酸を中和するかは明らかにされていない。酸性雨の抑制に根本的な解決策が見いだせない状況下では、酸中和能の役割は今後より一層大きくなると予想される。そこで本研究では日本の土壌に多く含まれる非晶質アルミノケイ酸塩であるアロフェンを合成し、Ca を吸着させることで交換性陽イオンとして酸中和能に影響を与える Ca の形態について調べた。また合成アロフェンを土壌モデルとして、pH ごとにどの程度 Ca を吸着するかを調べ、中和条件を検討した。次に、酸中和能が減少している神奈川県大山及び栃木県金精峠の土壌サンプルを用い、土壌に含まれる主要元素と交換性陽イオンの濃度変化を比較し、モデルで考察した現象が妥当であるか検討した。

### [アロフェンを土壌モデルとした酸中和能の検討]

#### 実験方法

1969 年に小坂らにより報告された合成方法に従い Si:Al:Fe 比の異なる数種類の非晶質アルミノケイ酸塩であるアロフェンを合成した。続いてアロフェン 0.15 g を 0.01 mol/L 水酸化カルシウム水溶液と 1h 反応させることにより、アロフェン上に Ca を結合させた。また、Ca の酸性雨条件下での変化を調べるため反応後のアロフェンを pH4.5 に保たれた硝酸水溶液にて 1day 攪拌させた。得られたアロフェンを高エネルギー加速器研究機構 Photon Factory の BL-9A において蛍光法により測定することで、Ca の K 吸収端 EXAFS を得た。また、Fe による影響を調べるため  $^{57}\text{Fe}$  メスバウアー分光法を用いて鉄の化学状態の検討を行った。続いて吸着条件を検討するため、水酸化カルシウムと塩化カルシウムにて pH の異なる 0.005 N Ca イオン水溶液を作り、アロフェンを加え 24h 攪拌した。反応後の pH および Ca イオンを ICP-AES にて測定することで各 pH の吸着率を得た。比較対象として同周期の一価の陽イオンである K においても同様の実験を行った。

#### 結果と考察

図 1 にシリカゲルに吸着された Ca(a)、酸化アルミニウムに吸着された Ca(b)、アロフェンに吸着された Ca(c)、及び鉄を含むアロフェンに吸着された Ca(d)の K 吸収端 EXAFS より得られた動径構造関数を示す。(a)には第二配位圏にて Si のピークが確認され、(b)では Al のピークを確認することができなかった。また、(c)においても Al のピークは確認できず、Si のピークのみ確認できた。この結果からアロフェン内の Si は内圏錯体として O を介し結合することで Ca を吸着し、Al は外圏錯体として静電的な結合で Ca を吸着することがわかった。また、(d)は(c)と比較して Fe のピークを確認することができなかった。

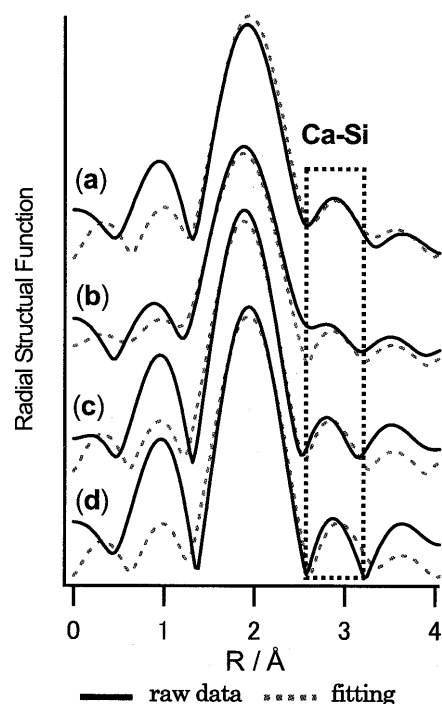


図1 Ca 吸着アロフェンの動径構造関数

続いて図2に鉄を含むアロフェンの<sup>57</sup>Feメスバウアースペクトルを示す。Caを吸着することで吸着前(a)に比べアロフェン内のOH基を持つ表面鉄(ピーク(2))の量が減少し、構造鉄(ピーク(1))の量が増加した(b)。次に酸で振とうすることで再び表面鉄が増加し構造鉄が減少する様子が観察された(c)。この結果からアロフェンに含まれる鉄は内圏錯体を形成してCaを吸着し、それを放出することで酸中和能に影響を与えていることが明らかになった。また、Kにおいても同様の結果が得られた。

図3にCa及びKのpHによる吸着率の変化を示す。pH>8の範囲でCaの吸着量が急激に増加し、Kの吸着率より大きくなること確認された。これは、AlがpH>8の範囲で陽イオンを静電的に吸着し、1価のイオンより2価のイオンをより多く吸着するためだと考えられる。自然界における雨のpHである5.5において吸着率を見てみると、約0.2程度であった。この結果から、土壌は自然界の雨を中和するためにも交換性陽イオンを放出していることが分かった。

**[土壌サンプルを用いた酸中和能の検討]**

**実験方法**

続いて上記実験をふまえ実際の森林土壌における酸中和能のメカニズムを調査するため、酸中和能が減少していると報告された神奈川県大山、栃木県金精峠の深さ10~80cmの土壌を採取した。また東大キャンパス内で落ち葉を数サンプル採取した。日本原子力研究開発機構の研究炉(JRR-3M, JRR-4)にて機器中性子放射化分析法(INAA)および即発γ線分析法(PGA)を用い、それぞれのSi, Al, Fe, Ca, Mg, K, Naの濃度を得た。この結果を比較することで酸中和能による影響を調べた。

**結果と考察**

酸中和能が減少している森林土壌では、浅くなるに従いFeの濃度が低くなる傾向が見られた(図4)。これは酸性雨によってFeが溶出したためだと考えられる。Alにおいても同様の変化が見られた。これに対し、FeやAlよりも溶出しやすい交換性陽イオンでは同様の変化が予想されるが、実際の鉛直濃度分布には系統的变化が見られなかった。これは、一方的に交換性陽イオンが溶出するのではなく、外的要因から供給されているためだと考えられる。また、落ち葉は多くの交換性陽イオンを含んでいることが確認された。このため、交換性陽イオンの供給源として落ち葉が有力であると考えられる。これらの結果から、自然界では溶出と供給が繰り返されて定常状態になっていると考えられる。

**[結論]**

これまで酸中和能は減少する一方だと考えられていたが、落ち葉により交換性陽イオンが供給されアロフェンが吸着し、再び酸性雨により放出されるというサイクルが存在することが分かった。そして、近年の森林の枯死は、工業の発展に伴う雨のpH低下により交換性陽イオンの供給量が中和量に追いつかなくなり、土壌の酸中和能が低下したことが一因であると考えられる。

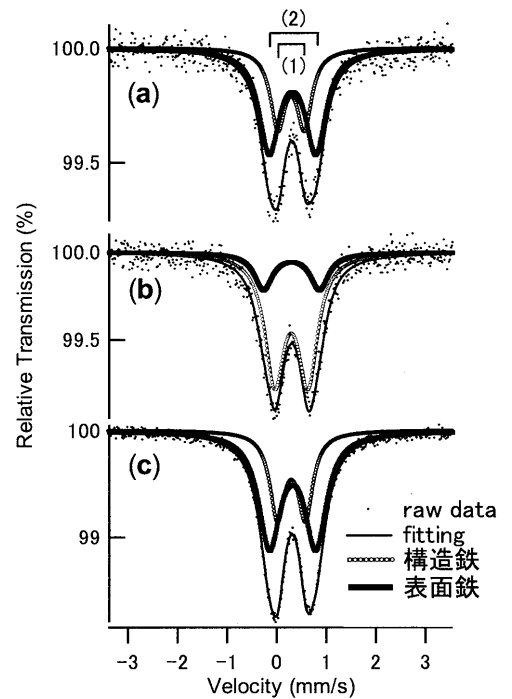


図2 鉄を含むアロフェンの<sup>57</sup>Feメスバウアースペクトル

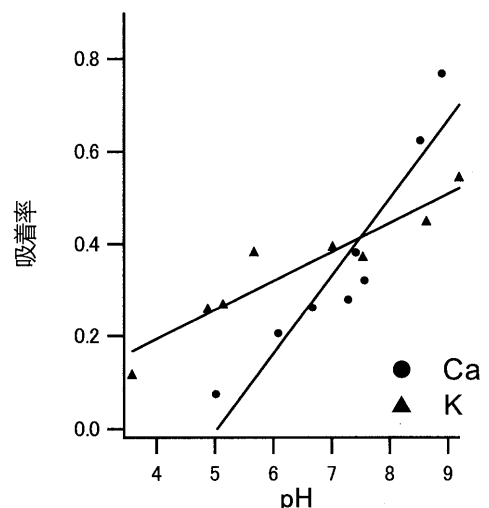


図3 Ca・KのpHによる吸着率の変化

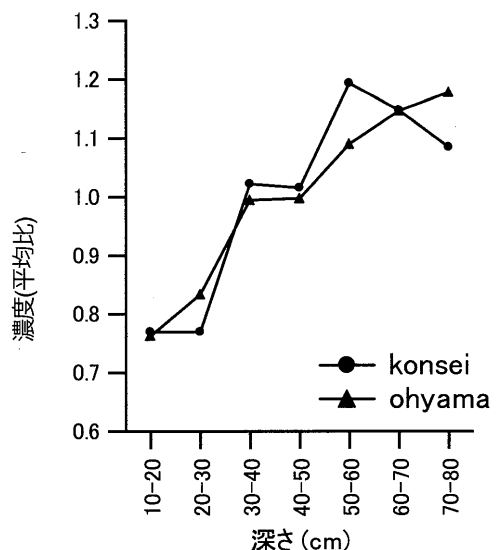


図4 森林土壌中のFeの鉛直濃度変化

# 平成 20 年度卒業論文抄録

## 中性子放射化分析によるユレライト隕石の元素分析

首都大学東京 都市教養学部理工学系 栗飯原はるか

[はじめに]

石質隕石は火成活動などによる物質の分化を経ているかどうかにより、始原的なコンドライトと分化したエコンドライトの2つのグループに分けられる。ユレライトはエコンドライトに分類されているが、始原的な性質ももっている特異な隕石である。

ユレライトはエコンドライトの中で2番目に試料数の多いグループで、主にカンラン石とピジョン輝石から成り斜長石が乏しい超苦鉄質岩である。鉱物や組織の観察からは強く分別された火成岩としての特徴が認められるが、本来微量なはずの親鉄性元素や貴ガスが豊富に含有される点、また酸素同位体組成が炭素質コンドライトと同じである点など始原的な特徴も示す。この一見矛盾すると見られる特徴を説明するユレライト形成モデルは確立されていないが、その矛盾を解明するためには正確な元素組成が重要な鍵を握るものと考えられる。

本研究は4個のユレライト隕石 NWA2234, NWA3222, NWA4508, NWA4519 を分析した。これらの隕石はいずれも2000年～2001年にモロッコの砂漠で発見されたもので、それらの元素組成はまだ報告されていない。そこでこれらの試料の元素組成を求め、化学的特徴を明らかにすることを目的とした。

[実験]

ユレライト隕石 NWA2234, 12 (563.94 mg), NWA3222, 21 (355.97 mg), NWA4508, 13 (775.40 mg), NWA4519, 22 (674.98 mg) を日本原子力研究開発機構 JRR-3 にて即発 $\gamma$ 線分析および機器中性子放射化分析を行った。即発 $\gamma$ 線分析は塊状の全量を2時間照射、測定を行い、その後試料を粉末化しその一部を用いて機器中性子放射化分析を行った。

[結果と考察]

放射化分析法により30元素の定量値を得た。図1に定量値をCIコンドライト濃度<sup>[1]</sup>で規格化した値を斜長石に濃集しやすい元素、親石性元素、親鉄性元素、親銅性元素の順に並べた。比較のため他のユレライトの分析値(文献値<sup>[2]</sup>)から計算した平均値を示した。

本研究によりはじめて上記4個の隕石の元素組成が得られた。4個のユレライト間で同じ存在度パターンを示すことがわかり、これらの値は平均値とよく一致し、平均的なユレライトであることがわかった。Al, K, Naが枯渇していることは斜長石成分の欠如していること整合する。またSiやMgに対してCaが枯渇していることは非炭素質コンドライトの特徴と考えられるが、これはユレライトの酸素同位体比などが炭素質コンドライトと類似している点と矛盾する。

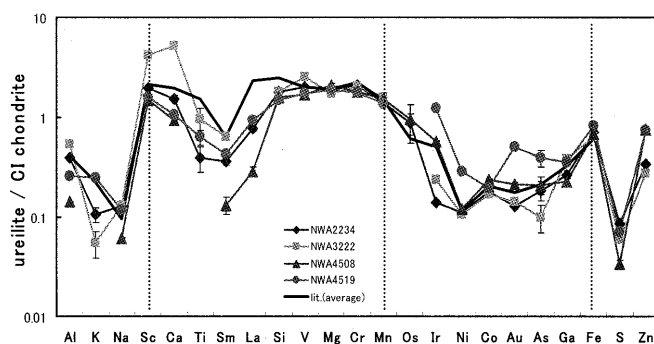


図1 CIコンドライトで規格化した元素存在度

[1] Anders and Grevesse (1989) GCA 53, 19. [2] Warren et al. (2006) GCA 70, 2104.

# CK コンドライトの主要及び微量元素組成

首都大学東京 都市教養学部理工学系 伊佐 美紀

## 《研究背景》

始原的な特徴を持つコンドライトはオーディナリー、エンスタタイト、炭素質、R（ルムルチ群）とK（カカンガリ群）の5種類に分類され、その中の炭素質はさらに8つに分類される（CK, CB, CH, CI, CM, CO, CR, CV）。このうちCKコンドライト（以下CK）グループに属する試料は現在180個見つかっており、そのうち落下隕石は2個のみで、他はすべて発見隕石であり、その内の104個は南極で発見されたものである<sup>1</sup>。

CKは太陽系における最も始原的な物質と考えられているCAIを含む事から、太陽系初期の出来事を知るうえで重要な隕石と考えられている。さらに非常に酸化された無水の隕石であり、岩石学的タイプ4から6の熱変性を受けた唯一の炭素質コンドライトとして注目されている<sup>2</sup>。

本研究はCKの元素組成を調べ、その化学的特徴を明らかにする事を目的とする。本研究では砂漠よりも地球上での風化による影響の少ない南極で発見された隕石を用いた。

## 《実験方法》

ALH85002, DAV92300, EET83311, EET87507, EET87860, EET99430, LEW86258, LEW87009, PCA82500, PCA91470の10個のCK隕石の元素分析を行った。

日本原子力研究開発機構の研究用原子炉JRR-3にて、即発γ線分析法（PGA）及び機器中性子放射化分析法（INAA）を行い、主要及び微量元素を定量した。PGAでは全10試料、INAAではDAV92300, EET83311, EET99430, PCA82500の4試料のみの分析を行った。

## 《結果》

本研究では計26元素の主要及び微量元素の定量値が得られた。INAAで求められた文献値とほとんど一致した値が得られた。また、PGAを用いる事によりINAAでは定量不可能な元素を今回新たに定量出来た。図1にCIの値で規格化した定量値を元素の凝縮温度の高い順にプロットした。図中の灰色の帯はCK（37個）の文献値<sup>2,3</sup>の範囲を示し、実線はCKの落下隕石の平均値<sup>3</sup>を示す。分析したCK隕石は、CKの特徴であるAlからCrまでの比較的フラットなパターン、そしてAu以降（揮発性を持つ元素）の右下がりの傾向を示した。今回新たに得られたTi, Gd, Si, Cl, Sの元素濃度は他の元素から得たパターンの傾向とよく一致することがわかった。また、多くの元素で試料間の相違は小さかったが、Ni, Cl, Sは試料間で値が大きくばらつく事がわかった。

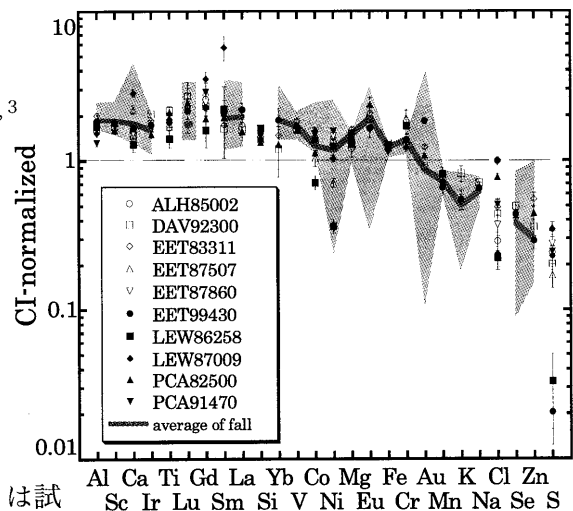


図1：CIコンドライトで規格化した元素濃度パターン

1. Meteoritical Bulletin Database. 2. Kallemeyn et al. (1991) GCA 55, 881. 3. Huber et al. (2006) GCA 70, 4019.

## HED 隕石 Dho275, NWA1929 の元素組成

首都大学東京 都市教養学部理工学系 大井 誠

<はじめに>

HED 隕石とは、ホワルダイト(H), ユークライト(E), ダイオジェナイト(D) から構成される隕石グループで、小惑星 4Vesta またはそれに類似した小惑星から飛来したと考えられており、分化した隕石のうち最も個数の多いグループである。

HED 隕石のうちユークライトは HED 隕石母天体の表層に起源を持つ隕石と考えられており、岩石の固化あるいは溶融時に液相に濃集されやすい希土類元素 (REE) を多く含んでいる。一方ダイオジェナイトは母天体の比較的深部に由来し、またホワルダイトはユークライトとダイオジェナイトの混合物であると考えられている。ホワルダイトの REE 濃度は主にユークライトとダイオジェナイトの混合比に依存する。HED 隕石中の REE を含む微量元素の存在度を研究することは、HED 隕石母天体の進化過程を解き明かす手がかりとなる。

ユークライト隕石 Dho275, ホワルダイト隕石 NWA1929 は現在までに研究例がなく、本研究による分析値は今後詳細な研究を進めるうえでの貴重な基礎データとなる。本研究ではこれらの隕石を対象に主要、微量元素および REE 濃度の測定を行った。

<実験>

Dho275, NWA1929 それぞれ 1g を用いて、日本原子力研究開発機構 JRR-3 において、即発γ線分析を行った。その後試料を粉末化し、一部を分取して、誘導結合プラズマ質量分析法により REE 濃度の測定を行った。

<結果, 考察>

PGA 法で定量した、 $\text{Al}_2\text{O}_3$  と  $\text{CaO}$  濃度の関係を右図に文献値<sup>1,2</sup> とともに示した。HED 隕石においてこれらの元素濃度には正の相関があることが知られており、HED 隕石がお互いに関連性があることの根拠として用いられる。Dho275 はユークライト領域の近くにプロットされたが、NWA1929 については  $\text{Ca}$  の値がホワルダイトの値に比べて高く、ユークライト的な特徴を示した。

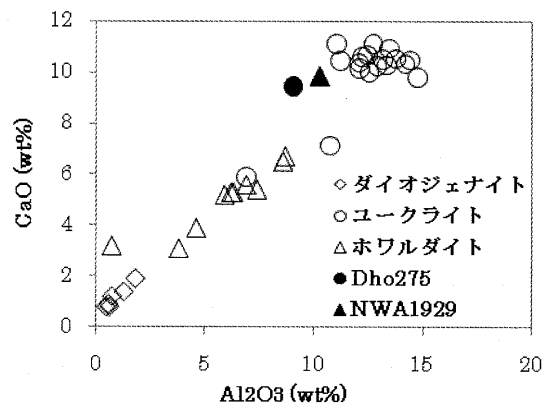


図 1. HED 隕石における  $\text{Al}_2\text{O}_3$  vs  $\text{CaO}$  プロット

REE のうち Sm と Gd 濃度は両元素とも未分化なコンドライト隕石よりも 10 倍程度高

い値が得られた。今後、ICP-MS 法により全 REE 元素濃度を精密に定量し、存在度パターンをもとに両隕石の化学的特徴について考察する予定である。

1. Fukuoka et al., Proc. Lunar Sci. Conf. 8<sup>th</sup> (1977), 187-210.
2. Barrat et al., Meteor. Planet. Sci. 35 (2000), 1087-1100.

# 光量子放射化分析法による大気浮遊粒子の形態別炭素濃度定量のための基礎検討

東京都立大学理学部化学科 鈴木 智誠

## 【はじめに】

大気中に浮遊する粒径  $10\mu\text{m}$  以下の粒子を  $\text{PM}_{10}$  と呼ぶ。 $\text{PM}_{10}$  粒子の主要な構成成分のひとつは炭素であり、有機系炭素(OC)、煤に代表される元素状炭素(EC)、ならびに炭酸塩として含有されている。OC は多様な有機物で構成されていて、その中には人体に有害な化学種も多く発見されている。EC は黒色のため吸光性があり、地球温暖化に關与しているといわれている。OC と EC を区別して定量することは、 $\text{PM}_{10}$  の起源や、人体や環境への影響を考察する上で非常に重要である。

本研究室では 2002 年度から光量子放射化分析法(IPAA)を用いて、キャンパス内で採集した  $\text{PM}_{10}$  中の全炭素(TC)濃度の定量を行っており、昨年度は OC と EC それぞれの定量が試みられた<sup>1)</sup>。放射化分析法では、その化学形に依存せず濃度が得られるため、OC と EC を分別定量するには事前に分離しておく必要がある。一般には、OC が EC よりも低温で揮発することを利用して、段階的加熱により OC と EC が分離されているが、研究者によって加熱条件が異なっており、統一された分離条件はまだ確立されていない。そこで本研究では  $\text{PM}_{10}$  中の OC と EC の分離条件を検討した。

## 【実験】

条件を検討する試料として、墨の原料である松煙と油煙を用いた。窒素、空気雰囲気下での熱重量分析を行い、加熱による減少量を調べて分離温度を検討した。IPAA により、加熱しない試料で TC を、熱重量分析で検討した温度で事前に 30 分加熱した試料で EC を求め、TC と EC の差を OC とした。SPM 用の標準試料である NIST1649a(Urban Dust)と NIES No.8(自動車排出粒子)も同様に分析した。また、NIST1649a 以外の試料は照射後に有機溶媒による OC の抽出を行い、OC の定量を行った。

## 【結果・考察】

事前に  $500^\circ\text{C}$  で加熱し OC を除去した松煙と油煙の空気雰囲気下での熱重量分析の結果を図 1 に示す。松煙、油煙ともに  $100^\circ\text{C}$  以下で重量が大きく減少し、 $400^\circ\text{C}$  付近から再び重量が減少している。 $100^\circ\text{C}$  以下の重量減少は、試料に吸着していた水によるもので、 $400^\circ\text{C}$  以上は、EC の酸化による減少と考えられる。菅原<sup>1)</sup> は  $350^\circ\text{C}$  を OC と EC の分離温度とし、一方 P.Fermo ら<sup>2)</sup> は  $425^\circ\text{C}$  と報告している。本実験の結果から、 $350^\circ\text{C}$  では EC はほとんど揮発せず残っているが、 $425^\circ\text{C}$  ではわずかに揮発している可能性があることがわかった。

IPAA については現在解析を進めている。

## 【参考文献】

- 1)菅原慈卒業論文(2008)
- 2)P.Fermo et al.,Atmos.Chem.Phys 6,255-266 (2006)

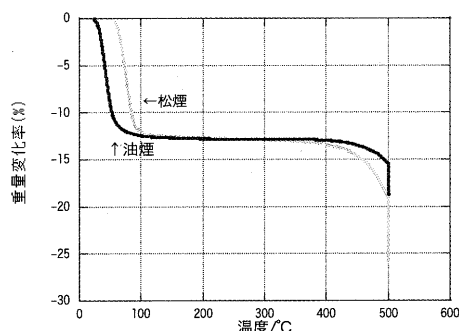


図 1. 松煙と油煙の熱重量分析結果

# コンドライト質隕石中の宇宙線生成核種 $^{36}\text{Cl}$ の標的要素別生成率

首都大学東京 都市教養学部理工学系 浜中 芳文

## 【はじめに】

$^{36}\text{Cl}$  は30万年の半減期をもつ放射性宇宙線生成核種であり、K, Ca, Ti, Cr, Mn, Fe, Ni といった隕石の主要元素と宇宙線との核破砕反応や、Cl の二次中性子捕獲反応により生成される。 $^{36}\text{Cl}$  の生成率は宇宙線のエネルギーと強度に依存するため、隕石の地球に落下する前の大きさや隕石内の位置により変動する。 $^{36}\text{Cl}$  生成率のエネルギー依存性は元素ごとに特徴的に異なるため、 $^{36}\text{Cl}$  生成率を元素ごとに正確に求めることで、隕石の宇宙線照射環境や、二次中性子に関する情報を得ることが出来る。本研究室の山崎は、Allegan 隕石と Barwell 隕石について、元素濃度の異なる複数の相に分離し、 $^{36}\text{Cl}$  濃度を定量して元素毎の  $^{36}\text{Cl}$  生成率を求めた(H18年度 修士論文)。各元素での  $^{36}\text{Cl}$  生成率は試料によって異なることが期待されたが、得られた生成率はほぼ同じであった。そこで、本研究では、さらに別の隕石試料を用いて、各相中の  $^{36}\text{Cl}$  濃度ならびに主な標的要素濃度を定量し、各元素からの  $^{36}\text{Cl}$  の生成率を求め、得られた生成率から隕石の宇宙線照射環境や中性子束などの情報を得ることを試みた。

## 【実験】

GoldBasin (L4 コンドライト) を2断片(#A と#B と呼ぶ)と Gao (H4-5 コンドライト) 1断片の分析を行った。隕石試料はメノー乳鉢で粉末状にした後、磁石により金属相と珪酸塩相に分けた。その後、金属相はフッ化水素酸で表面に付着した硫化鉄やケイ酸塩をできる限り取り除き、より純粋にした。珪酸塩相は硝酸で処理し、酸可溶相と酸不溶相の2相に分離した。この硝酸処理は二回行い、酸可溶相を2つ得た。この計6つの相(全岩, 珪酸塩, 金属相, 珪酸塩酸不溶相, 珪酸塩酸可溶相×2)中の  $^{36}\text{Cl}$  濃度を加速器質量分析法により、標的要素濃度を即発  $\gamma$  線分析法、ならびに機器中性子放射化分析法により定量した。

## 【結果及び考察】

$^{36}\text{Cl}$  濃度は各相で異なる値を示し、珪酸塩酸可溶相1で最も高くなった(表1)。Gold Basin #A, #Bの金属相の  $^{36}\text{Cl}$  濃度と、Gold Basin についての文献値[1]から、これらの試料が隕石の表面からそれぞれ 90cm, 120cm 付近に埋もれていたことが推

表1 各相の  $^{36}\text{Cl}$  濃度 [dpm/kg sample]

相	Gold Basin#A	Gold Basin#B	Gao
全岩	10.9 ± 0.2	7.06 ± 0.14	9.95 ± 0.18
珪酸塩	11.4 ± 0.2	5.47 ± 0.11	10.3 ± 0.2
金属	2.49 ± 0.07	1.33 ± 0.04	7.46 ± 0.15
酸不溶	2.01 ± 0.06	1.23 ± 0.04	4.80 ± 0.13
酸可溶1	46.8 ± 0.7	22.5 ± 0.3	25.3 ± 0.6
酸可溶2	0.96 ± 0.03	0.74 ± 0.03	3.52 ± 0.08

察された。また、珪酸塩相の  $^{36}\text{Cl}$  濃度が金属相の  $^{36}\text{Cl}$  濃度より高く、これは Allegan 隕石や Barwell 隕石の結果とは異なる。今回の隕石では、Allegan 隕石や Barwell 隕石とは各元素での  $^{36}\text{Cl}$  生成率に違いが生じることが期待できる。

各試料の標的要素濃度は測定、解析中である。元素濃度を定量後、各元素からの  $^{36}\text{Cl}$  生成率を求め、隕石の宇宙線照射環境について、より考察を深めていく。

[1] K.C.Welten et al., (2003) Meteoritics & Planetary Science 38, 157-173



# 雪氷中の粒子状物質の元素分析による大気汚染物質の挙動に関する研究

東京大学教養学部広域科学科  
環境分析化学研究室 藤井政光

## 【序論】

東アジアの経済発展に伴う越境大気汚染物質による酸性雨や、中国の急速な砂漠化による黄砂の増加が近年指摘されている。大気汚染物質の湿性沈着の機構としては、黄砂を含めた吸湿性のエアロゾルは降水時に氷晶核として機能し、逆に氷晶核は周囲のエアロゾルを捕捉するということが報告されている。よって、降雪後に汚染されず凍結した雪氷には、降雪時の大気の状態が記録されている。

以上を踏まえ、本研究は、日本海側地域の雪氷を採取し融解液中の粒子状物質を観察し元素分析することで、大気汚染物質の発生源と挙動を明らかにすることを目的とする。

## 【実験】

酸性雨による植生の枯損が報告されているが、付近に人為的汚染の要因の少ない立山・黒部地区にて雪氷を採取し、融解液中の粒子状物質を吸引濾過によって分離した。採取地点は、地形を変数として山脈を挟んだ4ヶ所選定した。濾紙上に得られた粒子状物質について、個々の粒子の形状や組成を明らかにする必要性から、走査型電子顕微鏡 (SEM-EDS) で観察し元素分析を行った。また、日本原子力研究開発機構の研究炉 JRR-3M を使用した機器中性子放射化分析 (INAA) を行い、SEM-EDS による元素分析値の信頼性の確認を行った。

## 【結果と考察】

SEM 観察により粒子状物質中に多量の fly ash の存在が確認された。fly ash は火力発電所で使用する石炭の燃焼によって発生するものであり、遠隔地からの大気汚染物質の輸送を証明するものである。また、山脈を挟んで fly ash の粒径に差がみられた。以上から、fly ash が大気汚染物質の挙動を示す1つの指標となりうると考えられる。

黄砂の含有については、その指標とされる Ca の質量濃度が SEM-EDS の分析結果では検出限界以下であったが、INAA を行った試料については測定対象とした元素の中では Al・Mg に次ぐ定量値が得られた。粒子状物質の質量を測定することができないため INAA で各元素の質量濃度を測定することはできないが、SEM-EDS で測定した Al の質量濃度で規格化することは可能である。今後は、Al で規格化した各元素の濃度を用いて、種々の試料について INAA を行い、検討を進める予定である。

エアロゾルの回収方法として雪氷を採取するという手法は、大気汚染物質を実際に可視化できたことから、有効な手段であると考えられる。今後は、太平洋側地域の雪氷試料を採取し、今回の結果と比較検討することで、含まれる大気汚染物質の性質とその挙動の差異を解明することを当面の目標としたい。

# 施 設 便 り

## 日本原子力研究開発機構

平成 21 年度から平成 22 年度の JRR-3 及び JRR-4 の運転・管理計画をお知らせします。

### ■JRR-3

平成 21 年度の JRR-3 の運転・管理計画は、平成 21 年 7 月 6 日から平成 21 年 11 月 27 日まで、施設定期自主検査期間となります。そして、平成 21 年 11 月 30 日から平成 22 年度にかけて、連続運転 10 サイクルを計画しております。

### ■JRR-4

現在 JRR-4 は、反射体要素の製作を行っております。そして、平成 21 年 10 月 26 日から各実験設備及び照射設備の特性試験運転（約 2 週間）後、11 月上旬から施設共用運転開始を予定しております。利用者の皆様に多大なご迷惑をおかけし誠に申し訳ございません。深くお詫び申し上げます。

平成 21 年度及び平成 22 年度の研究炉運転・管理計画を下表に示します。

研究炉運転・管理計画

年度	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月
二 十 一 年 度	<b>JRR-3</b> 3/23 17 4 29 8 3 21-01 21-02 21-03 ← 施設定期自主検査(20週) → 21-04 18 20 20 25 官庁立会検査											
	<b>JRR-4</b> ← 施設定期自主検査(53週) → 26 25 官庁立会検査 × 9週 5週 点検(保守) 5週 4 5 1											
二 十 二 年 度	<b>JRR-3</b> 22-01 22-02 22-03 22-04 22-05 22-06 22-07 ← 施設定期自主検査(32週)											
	<b>JRR-4</b> 22週 ← 施設定期自主検査(24週) → 官庁立会検査 5週											

平成 21 年度は、7 月 6 日から 11 月上旬にかけて JRR-3 及び JRR-4 が運転停止となるため、各実験設備及び照射設備の計画的なご利用をお願いします。

利用日程のご相談、お問い合わせ等ございましたら、以下までご連絡ください。

研究炉加速器管理部 研究炉利用課 計画調整係

電話：029-282-5591 e-mail：kenkyuro-riyou@jaea.go.jp

URL <http://rrsys.tokai-sc.jaea.go.jp/rrsys/>

## 東京大学大学院工学系研究科原子力専攻共同利用管理本部 (大学開放研究室)

平成21年度原子力機構施設利用共同研究は東海村の原子力科学研究所の施設利用が70件、高崎量子応用研究所の施設利用が20件となっており合計90件の研究課題で共同利用を行っております。これは前年度に比べ12件増となります。なお、東海研利用の70件のうち、6件が医療照射、中性子ビームを利用した中性子ラジオグラフィーおよび残留応力測定装置での研究課題が17件と、研究課題も多岐にわたり実施されています。

また、長らく懸案となっておりましたJRR-4の運転も11月上旬には再開される事になり、漸く、本来の共同利用形態が回復する事となります。然しながら、JRR-3においては、7月から12月上旬までの凡そ5ヶ月間と長期にわたり定期自主検査が予定されており、その間の運転はありません。そのため、年末、年度末の利用に関してはこれまで以上に照射日程の逼迫化が予想されますので今後の実験計画はお早めをお願い致します。なお、照射および実験関係の情報については、開放研ホームページ (<http://kaihoken.nuclear.jp/>) にて随時、お知らせして参ります。

昨今、共同利用を運営していく上で外部からの評価として求められているものに「人材育成」というキーワードが頻繁に取り沙汰されています。大学開放研としましては、昨年度より利用者の皆様に卒業論文や学術論文数の情報提供のご協力をお願いしております。引き続き、ご理解とご協力をお願い致します。

大学開放研では、人材育成の一環として、これまで築き上げてきたノウハウと設備を生かして、照射試料の調整や放射線取扱いの実際などを目的とした実地でしか出来ない実習を行う予定です。まだ、計画の段階ですので実施に向けての皆様方からご要望やニーズなど率直なご意見をお寄せ下さい。問い合わせ先は澤幡 (sawahata@nuclear.jp) までお願い致します。

(澤幡浩之)

## 京都大学原子炉実験所

約3年の運転休止の末、2009年5月に新燃料によるKURの運転再開が決定しました。本格的な共同利用の再開は9月以降になる予定ですが、それまでに新燃料を用いたKURの特性試験や、圧気輸送管照射設備の運用試験などを行い、本格稼働へ向けて準備を進める予定です。夏前には下半期共同利用研究の募集がありますので、多くの研究者の皆様の応募をお待ちしております。

また、韓国原子力研究所のHANAROでの放射化分析研究に関する共同利用実験も継続して行います。KUR再開のため採択件数は少なくなりますが、アジアでの研究用原子炉利用研究の相互発展のためにも、HANAROとの協力関係を継続していきたいと思っています。

KURでの放射化分析研究の環境は、装置、スタッフとも大きく変わっていく時期にあります。より良い実験環境や成果を作り上げていくためには、利用者の皆様のご協力が必要不可欠です。K

## 東京大学大学院工学系研究科原子力専攻共同利用管理本部 (大学開放研究室)

平成21年度原子力機構施設利用共同研究は東海村の原子力科学研究所の施設利用が70件、高崎量子応用研究所の施設利用が20件となっており合計90件の研究課題で共同利用を行っております。これは前年度に比べ12件増となります。なお、東海研利用の70件のうち、6件が医療照射、中性子ビームを利用した中性子ラジオグラフィーおよび残留応力測定装置での研究課題が17件と、研究課題も多岐にわたり実施されています。

また、長らく懸案となっておりましたJRR-4の運転も11月上旬には再開される事になり、漸く、本来の共同利用形態が回復する事となります。然しながら、JRR-3においては、7月から12月上旬までの凡そ5ヶ月間と長期にわたり定期自主検査が予定されており、その間の運転はありません。そのため、年末、年度末の利用に関してはこれまで以上に照射日程の逼迫化が予想されますので今後の実験計画はお早めをお願い致します。なお、照射および実験関係の情報については、開放研ホームページ (<http://kaihoken.nuclear.jp/>) にて随時、お知らせして参ります。

昨今、共同利用を運営していく上で外部からの評価として求められているものに「人材育成」というキーワードが頻繁に取り沙汰されています。大学開放研としましては、昨年度より利用者の皆様に卒業論文や学術論文数の情報提供のご協力をお願いしております。引き続き、ご理解とご協力をお願い致します。

大学開放研では、人材育成の一環として、これまで築き上げてきたノウハウと設備を生かして、照射試料の調整や放射線取扱いの実際などを目的とした実地でしか出来ない実習を行う予定です。まだ、計画の段階ですので実施に向けての皆様方からご要望やニーズなど率直なご意見をお寄せ下さい。問い合わせ先は澤幡 (sawahata@nuclear.jp) までお願い致します。

(澤幡浩之)

## 京都大学原子炉実験所

約3年の運転休止の末、2009年5月に新燃料によるKURの運転再開が決定しました。本格的な共同利用の再開は9月以降になる予定ですが、それまでに新燃料を用いたKURの特性試験や、圧気輸送管照射設備の運用試験などを行い、本格稼働へ向けて準備を進める予定です。夏前には下半期共同利用研究の募集がありますので、多くの研究者の皆様の応募をお待ちしております。

また、韓国原子力研究所のHANAROでの放射化分析研究に関する共同利用実験も継続して行います。KUR再開のため採択件数は少なくなりますが、アジアでの研究用原子炉利用研究の相互発展のためにも、HANAROとの協力関係を継続していきたいと思っています。

KURでの放射化分析研究の環境は、装置、スタッフとも大きく変わっていく時期にあります。より良い実験環境や成果を作り上げていくためには、利用者の皆様のご協力が必要不可欠です。K

UR再開後も何卒皆様のご支援、ご協力をお願い致します。

(高宮幸一)

## 東北大学原子核理学研究施設

東北大学大学院理学研究科原子核理学研究施設では平成 21 年度前期の核放射化学関連分野の研究課題として以下のテーマを採択しました。現在、加速器の 2 号機が故障中で 50MeV のビームを供給できないため 30MeV のビームで共同利用を行っています。ご迷惑をおかけしますが、よろしくお願いいたします。

課題番号	代表者	所属	研究テーマ
2665	大浦 泰嗣	首都大	宇宙化学的試料および環境試料の光量子放射化分析
2666	関本 俊	京大・炉	光量子放射化分析法による磁性球粒試料中の微量ニッケルの定量
2667	大槻 勤	核理研	半減期変化の系統的研究
2668	鹿野 弘二	函館高専	放射化分析法による通信用材料中の不純物評価
2669	鈴木 達也	東工大	固体抽出剤を用いた希土類元素とアクチノイド元素の分離に関する研究
2670	佐藤 修彰	東北大多元研	選択硫化を用いる使用済燃料の再処理法の研究
2671	柴田 誠一	京大・炉	Cr, Y, Tb ターゲットにおける光核反応による生成核種の収率測定
2672	山村 朝雄	東北大金研	超臨界水利用の MOX 燃料製造と核分裂生成物分離に関する研究
2673	木野 康志	東北大・理	陽電子消滅 $\gamma$ 線ドップラー拡がり測定装置の較正用線源 (Sr-85) 製造
2674	中西 孝	金沢大・理	$^{147}\text{Sm}(\gamma, n)^{146}\text{Sm}$ 反応と $^{231}\text{Pa}(\gamma, f)$ 反応の断面積測定
2675	高宮 幸一	京大・炉	$^{99\text{m}}\text{Tc}$ の壊変定数の化学形に対する依存性
2677	岩田高広	山形大	偏極陽子標的用ポリエチレン試料に対する低エネルギー電子線照射による不対電子生成の研究

(大槻勤)

UR再開後も何卒皆様のご支援、ご協力をお願い致します。

(高宮幸一)

## 東北大学原子核理学研究施設

東北大学大学院理学研究科原子核理学研究施設では平成 21 年度前期の核放射化学関連分野の研究課題として以下のテーマを採択しました。現在、加速器の 2 号機が故障中で 50MeV のビームを供給できないため 30MeV のビームで共同利用を行っています。ご迷惑をおかけしますが、よろしくお願いいたします。

課題番号	代表者	所属	研究テーマ
2665	大浦 泰嗣	首都大	宇宙化学的試料および環境試料の光量子放射化分析
2666	関本 俊	京大・炉	光量子放射化分析法による磁性球粒試料中の微量ニッケルの定量
2667	大槻 勤	核理研	半減期変化の系統的研究
2668	鹿野 弘二	函館高専	放射化分析法による通信用材料中の不純物評価
2669	鈴木 達也	東工大	固体抽出剤を用いた希土類元素とアクチノイド元素の分離に関する研究
2670	佐藤 修彰	東北大多元研	選択硫化を用いる使用済燃料の再処理法の研究
2671	柴田 誠一	京大・炉	Cr, Y, Tb ターゲットにおける光核反応による生成核種の収率測定
2672	山村 朝雄	東北大金研	超臨界水利用の MOX 燃料製造と核分裂生成物分離に関する研究
2673	木野 康志	東北大・理	陽電子消滅 $\gamma$ 線ドップラー拡がり測定装置の較正用線源 (Sr-85) 製造
2674	中西 孝	金沢大・理	$^{147}\text{Sm}(\gamma, n)^{146}\text{Sm}$ 反応と $^{231}\text{Pa}(\gamma, f)$ 反応の断面積測定
2675	高宮 幸一	京大・炉	$^{99\text{m}}\text{Tc}$ の壊変定数の化学形に対する依存性
2677	岩田高広	山形大	偏極陽子標的用ポリエチレン試料に対する低エネルギー電子線照射による不対電子生成の研究

(大槻勤)

## 事務局より

### ◇第52回放射化学討論会 放射化分析分科会報告

開催日時：平成20年9月25日（木） 12:00～13:00

開催場所：広島大学霞キャンパス広仁会館 B会場

参加者：約30名

世話人：広島大学 日高宏

第1部では、道端齋先生（広島大学）による「ホヤの金属濃縮機構 熱中性子放射化分析から始まった研究」と題した講演が行われた。

第2部では、各施設報告と研究会総会が行われた。

#### 1. 各共同利用施設報告

- ・日本原子力研究開発機構原子力科学研究所（松江秀明）

JRR-3とJRR-4が同時に運転停止とならないように運転サイクルをできる限り調整する。

平成20年～平成22年の運転計画

JRR-5計画、概念設計を行っている。出力60MW。

- ・京都大学原子力実験所（高宮幸一）

KURは2009年春に低濃縮燃料にて運転再開予定、共同利用は、2009年夏以降気送管設備の改修を行っている。

短寿命核種定量用測定システムと即発ガンマ線測定装置を導入予定。

- ・東京大学共同利用管理本部（澤幡浩之）

共同利用公募

新オートサンプルチェンジャーが稼働開始

JAEAとの連携、協力関係を強化する

#### 2. 放射化分析研究会総会

時間の都合上、澤幡氏より会計報告のみ行った。

次回の放射化学討論会は、2009年9月28-30日に日本大学文理学部にて開催されます。

（報告者 大浦泰嗣）

### ◇2008-2009年度放射化分析研究会拡大幹事会議事録

日時：2008年9月25日 18:00～19:30

会場：広島大学霞キャンパス広仁会館1階小会議室（広島市南区霞1-2-3）

出席者：海老原充、葉袋佳孝、榎本和義、松尾基之、大浦泰嗣、宮本ユタカ、高宮幸一、松江秀明、初川雄一、三浦勉、福島美智子、関本俊（敬称略）

## 事務局より

### ◇第52回放射化学討論会 放射化分析分科会報告

開催日時：平成20年9月25日（木） 12:00～13:00

開催場所：広島大学霞キャンパス広仁会館 B会場

参加者：約30名

世話人：広島大学 日高宏

第1部では、道端齋先生（広島大学）による「ホヤの金属濃縮機構 熱中性子放射化分析から始まった研究」と題した講演が行われた。

第2部では、各施設報告と研究会総会が行われた。

#### 1. 各共同利用施設報告

- ・日本原子力研究開発機構原子力科学研究所（松江秀明）

JRR-3とJRR-4が同時に運転停止とならないように運転サイクルをできる限り調整する。

平成20年～平成22年の運転計画

JRR-5計画、概念設計を行っている。出力60MW。

- ・京都大学原子力実験所（高宮幸一）

KURは2009年春に低濃縮燃料にて運転再開予定、共同利用は、2009年夏以降気送管設備の改修を行っている。

短寿命核種定量用測定システムと即発ガンマ線測定装置を導入予定。

- ・東京大学共同利用管理本部（澤幡浩之）

共同利用公募

新オートサンプルチェンジャーが稼働開始

JAEAとの連携、協力関係を強化する

#### 2. 放射化分析研究会総会

時間の都合上、澤幡氏より会計報告のみ行った。

次回の放射化学討論会は、2009年9月28-30日に日本大学文理学部にて開催されます。

（報告者 大浦泰嗣）

### ◇2008-2009年度放射化分析研究会拡大幹事会議事録

日時：2008年9月25日 18:00～19:30

会場：広島大学霞キャンパス広仁会館1階小会議室（広島市南区霞1-2-3）

出席者：海老原充、葉袋佳孝、榎本和義、松尾基之、大浦泰嗣、宮本ユタカ、高宮幸一、松江秀明、初川雄一、三浦勉、福島美智子、関本俊（敬称略）



## 議事

### 1. 選挙について

海老原代表幹事より今年度の選挙の経緯について説明があった。選出幹事（任期：2008-2009, 2009-2010）、留任幹事（任期：2007-2008, 2008-2009）は以下のとおり。

選出幹事：海老原充、河野公栄、木川田喜一、澤幡浩之、初川雄一、三浦勉、宮本ユタカ

留任幹事：大浦泰嗣、岡田往子、高宮幸一、榎本和義、松尾基之、松江秀明

### 2. 事業年度、会計年度について

標記の件について検討した。その結果、以下の結論になった。

(1) 幹事の呼称は選考時期により、例えば今年度選出された場合は2008-2009年度期幹事とする。

(2) 9月1日から翌年度8月31日までを事業年度とし、会計は7月31日締めとする。

(3) 会誌の出版は4月、10月を目標とする。

### 3. MTAA12 について

松尾幹事より、MTAA12 proceedings 発行に関する以下の報告があった。6月末に110件のproceedingsをJRNC Editorに送付した。現在、各著者に順次proofが送付されている。JRNC11月号、12月号に掲載される見込み。今後の作業としては参加者へのCD-ROMの発送が残っており、発送の終了を持って事業としてのMTAA12は終了となる。海老原代表幹事より、MTAA13はTexas A&Mで2011年3月に開催されるとの報告があった。

### 4. 会誌の発行について

大浦幹事より、現在No.23号の発行準備を行っており、10月中には発行できる見込み。特集記事の企画案のストックがなくなりつつあるので、提案を期待するとの説明があった。

### 5. 2008-2009, 2009-2010 期の活動方針

海老原代表幹事より2008-2009, 2009-2010期の活動方針として、国内活動としてはJAEAユーザーとKURユーザーのさらなる連携を図ること、国外活動としてアジア各国、FNCA参加国(10カ国；オーストラリアを含む)との連携を図ることを目標としたいとの説明があった。

### 6. 各幹事の役割分担は以下のように決定した。

会誌：大浦、宮本、高宮、三浦（広告も大浦幹事に集約する。発行は年2回とする。）

会計：澤幡、初川

監査：河野

Home Page：榎本

会務：松江（会員管理。会計と連携し会費未納入者に対する対応を行う。）

行事：松尾、高宮

（未定：木川田、岡田）

### 6. その他

・会誌及びWebの位置づけについて意見交換を行った。

・KURにおいて、気送管照射設備、即発ガンマ線分析装置が整備されることになったことが紹介された。

## カレンダー

2009/5/16 - 17

第 70 回分析化学討論会

和歌山大学栄谷キャンパス

<http://www.bunkin.org/touron70/index.html>

2009/6/9 - 11

第 18 回環境化学討論会

つくば国際会議場

<http://wwwsoc.nii.ac.jp/jec/conference/18th/index.html>

2009/7/1 - 3

第 46 回アイソトープ・放射線 研究発表会

日本科学未来館

<http://www.jrias.or.jp>

2009/7/2 - 3

第 20 回日本微量元素学会 学術集会

京王プラザホテル(東京)

<http://accessbrain.co.jp/brte20/index.html>

2009/7/11 - 12

日本文化財科学会第 26 回大会

名古屋大学

<http://www.nendai.nagoya-u.ac.jp/jssscp/>

2009/9/11 - 12

Basic Training in the use of the Kayzero for Windows Software

Belo Horizonte, Brazil

<http://www.kayzero.com/training2009.html>

2009/9/13 - 18

5<sup>th</sup> International k<sub>0</sub> Users Workshop

Belo Horizonte, Brazil

<http://www.k0naabrazil.org/>

2009/9/15 - 17

2009 年度日本地球化学会年会

広島大学理学部

<http://www.wdc-jp.biz/geochem/2009/>

講演申込締切/要旨締切: 2009/7/13

参加登録締切: 2009/8/28

2009/9/16-18

日本原子力学会 2009 年秋の大会

東北大学青葉山キャンパス [http://www.aesj.or.jp/meeting/2009f/j/J09Fall\\_TOP.htm](http://www.aesj.or.jp/meeting/2009f/j/J09Fall_TOP.htm)

2009/9/16 - 18

第 50 回大気環境学会年会

慶應義塾大学日吉キャンパス <http://www.toptour.co.jp/conv/3913/jsae2009/>

2009/9/24 - 26

日本分析化学会第 58 年会

北海道大学高等教育機能開発総合センター <http://bun58.ees.hokudai.ac.jp/index.html>

講演申込締切: 2009/6/3

2009/9/28-30

2009 日本放射化学会年会・第 53 回放射化学討論会

日本大学文理学部

<http://rc53.chs.nihon-u.ac.jp/>

発表申込締切: 2009/7/10

予稿締切: 2009/8/18

2009/11/29 - 12/4

Asia-Pacific Symposium on Radiochemistry (APSORC-09)

Napa, California, USA

<http://apsorc2009.berkeley.edu/>

要旨締切: 2009/7/1

参加申込締切: 2009/9/1

2009/12/9 - 11

日本中性子科学会第 9 回年会

いばらき量子ビーム研究センター

2010/3/26 - 28

日本原子力学会 2010 年春の年会

茨城大学 水戸キャンパス

2010/3/26 - 29

日本化学会第 90 春季年会  
近畿大学東大阪キャンパス

2010/2/7 - 13

Application of Radiotracers in Chemical, Environmental and Biological Sciences  
(ARCEBS 10)

Bidhannagar, India

<http://www.saha.ac.in/cs/arcebs.2010/>

要旨締切: 2009/9/15

参加申込締切: 2009/12/31

2010/4/18 - 23

16<sup>th</sup> Radiochemical Conference (RadChem2010)

Marianske Lazne, Czech Republic

<http://www.radchem.cz/>

要旨締切: 2009/9/30

## 編集後記

- 諸事情より特集の掲載を見送りました。申し訳ありません。
- △ 昨年の放射化学討論会・放射化分析分科会にて講演していただいた広島大学 道端先生より御講演内容を寄稿していただきました。参加できなかった方はぜひご覧ください。今後も、分科会での講演について掲載できるようにしていきたいと思っております。
- JRR-4 の運転再開は、6月から11月に延期されたため、JAEAでは7月から10月までNAAができない状況となってしまいました。加速器もそうですが、大型実験施設の不具合による運転停止はユーザーではどうにもならず、困った問題です。一方、京大炉は今年度運転が再開されます。出力が1MWに下がりますが、NAAにとっては好都合のようにも思います。また、KUCAを利用した加速器駆動未臨界炉の実験が始まりました。将来の有望な中性子源となるよう期待したいと思います。

(Y.O.)

## 本会誌の内容および投稿募集

放射化分析研究会の情報媒体は、定期刊行機関紙「放射化分析」、および電子メールです。会誌「放射化分析」は下記の記事で構成されます。

### 講座・特集・解説:

専門的な記事を毎号企画していきます。記事の内容についてのご希望や提案をお寄せください。

### 研究紹介:

放射化分析に関する研究、放射化分析を用いた研究を紹介していきます。

研究の当事者にまとまった内容を執筆していただくものと、秀れた論文を紹介するものがあります。

特に紹介したい研究についてご意見をお寄せください。

### Q&A:

会員から質問を受けて、回答やアドバイスを掲載します。どのような質問でも結構です。

回答者は幹事会が責任をもって会員の中から選定します。

### 施設だより:

放射化分析を行うことができる共同利用施設の近況報告。また、採択されている研究課題などを掲載します。

### 談話室:

会員の気軽なおしゃべりの場です。要望、話題、新刊紹介、その他、どのような内容でも結構です。

### 若い声:

学生や若手研究者およびこれから放射化分析を手がけようとする方々の新鮮な声を反映させる欄です。

### 研究会報告・最近の動向等:

最近開催された研究会の報告です。放射化分析が取り扱われている研究は広範囲な分野に顔を出している筈です。放射化分析が関係している研究課題が1件でもあれば、この欄に取り上げたいと思います。

会員の皆さんからの情報提供をお待ちしています。

### 博士論文・修士論文・卒業論文抄録

### 事務局より

### 会員名簿

原稿は A4 横書き、40 字 x40 行、上下マージン 25mm、左右マージン 20mm を標準として、電子ファイルにより提出してください。編集の際にレイアウトを工夫させていただくこともあります。これ以外でもご相談に応じます。

幹事会・事務局への連絡・要望等は JA3-jimu@kaihoken.nuclear.jp に発信して下さい。

メールアドレスを持っているけれど、事務局等からの電子メールを受け取ったことの無い会員は、アドレスが正しく登録されていない可能性があります。お心当たりの方は事務局宛ご連絡下さい。入力を修正します。

#### 放射化分析研究会

事務局 319-1195 茨城県那珂郡東海村白方白根 2-4

日本原子力研究開発機構内 東京大学共同利用管理本部

TEL 029-282-5516 FAX 029-287-2464

E-mail: JA3-jimu@kaihoken.nuclear.jp

HomePage: <http://wwwsoc.nii.ac.jp/ja3/>

#### 幹事

海老原充 大浦泰嗣 岡田往子 河野公栄 木川田喜一 澤幡浩之 高宮幸一  
初川雄一 榎本和義 松尾基之 松江秀明 三浦 勉 宮本ユタカ