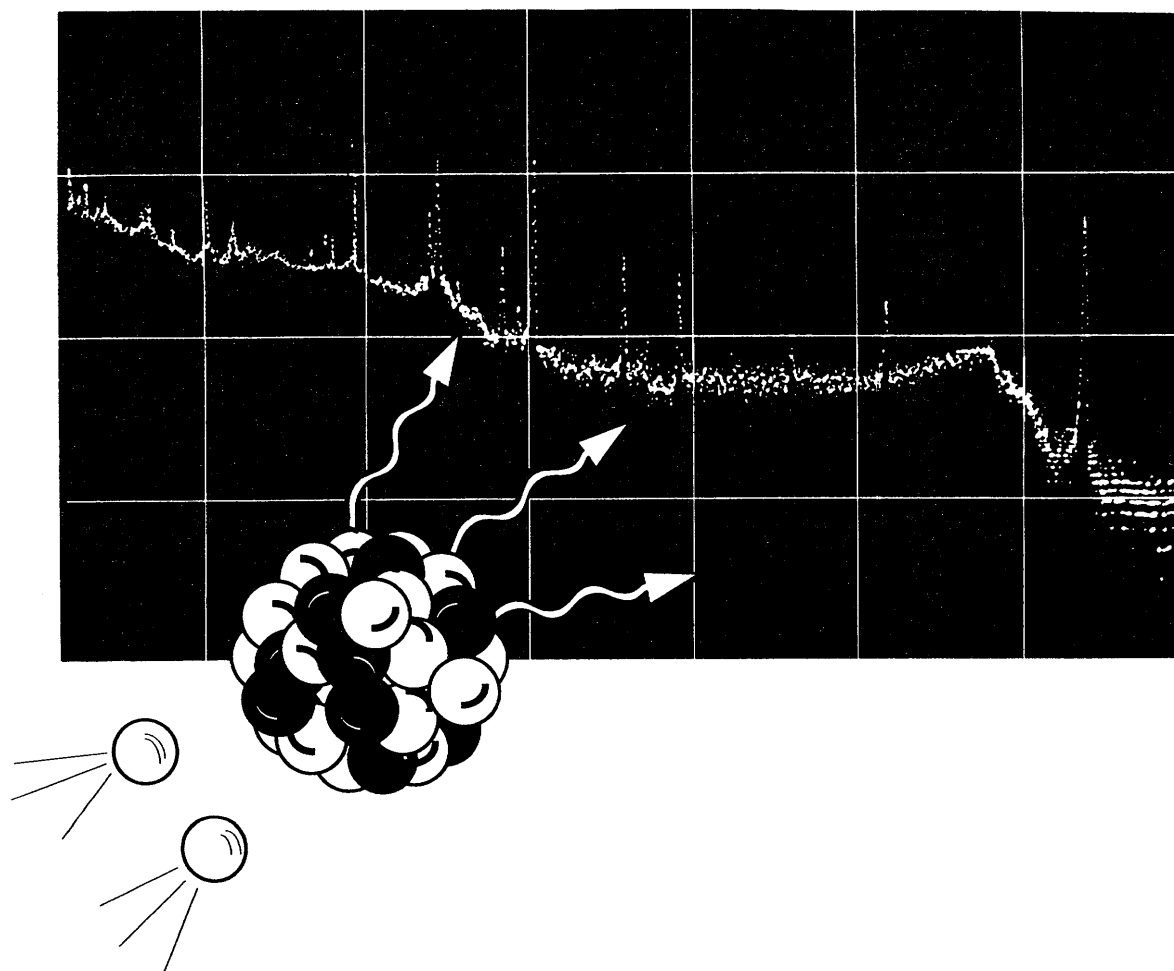


2000年11月

放射化分析

No. 11



放射化分析研究会

放射化分析研究会

Japan Association of Activation Analysis

(JA³)

会誌「放射化分析」

「Activation Analysis」

表紙図案は 岡田佳子さん（武蔵工大・工学部）によるものです。

放射化分析 No. 11

目次

講座「ライフサイエンスにおける放射化分析」		
1. はじめに	片山幸士	…… 1
2. 毛髪が多元素放射化分析	高橋ユリア 大森佐興子	…… 2
3. 動物試料の放射化分析	福島美智子	…… 7
4. インスリン様作用を示すバナジウム錯体と放射化分析	桜井 弘	…… 13
研究紹介 隕石中ハロゲン元素の放射化分析 - 光量子放射化分析と隕石内での分布 -	海老原充	…… 19
研究会記録 「放射化分析の新展開」	榎本和義	…… 24
依頼講演		
1 中性子利用研究の新展開と統合計画	池田 進	…… 30
2 日本原子力研究所における即発ガンマ線分析の現状と将来	米沢伸四郎	…… 34
3 JCO 臨界事故で放出された中性子による環境物質の放射化	中西 孝	…… 36
4 NAA, PAA による岩石・植物試料の分析から学んだこと	坂本 浩	…… 38
講演		
1 樹木年輪中の放射性核種の分布	百島則幸	…… 40
2 環境における未知有機ハロゲン化合物の存在とその挙動	河野公栄・脇本 忠明・茂田良光	…… 42
3 機器中性子放射化分析による地衣類の元素濃度の定量	齋藤陽子・関李 紀	…… 44
4 ブタ胎子の臓器に含まれる元素の放射化分析	福島美智子・玉 手英利・中野幸 廣	…… 46
5 Long-Evans Cinnamon (LEC) ラット肝臓の PIXE 分析	太田顕成・世良 耕一郎・二ツ川 章二	…… 48
6 植物の放射化分析について	高田実弥	…… 50
7 k_0 中性子即発 γ 線分析法による多元素定量	松江秀明・米沢 伸四郎	…… 52
8 フロー法による炭素の迅速分離検出法の開発と放射化分析への適用	榎本和義・大槻 勉・鹿野弘二・ 伊藤寛	…… 53
9 荷電粒子放射化法による酸素の深さ方向分析	水野哲・櫻井宏 行・竹谷実・金 子誠一・榎本和 義・伊藤寛	…… 55

1 0	多重 γ 線検出法の分析化学への応用	初川雄一・大島真澄・早川岳人・藤暢輔・篠原伸夫	… 57
1 1	エアロゾル降下量の季節変動と発生源	杉原真司・百島則幸・大島進・前田米蔵	… 58
1 2	隕石中ハロゲン元素の放射化分析	仲本朝嗣・Sk.A. Latif・大浦泰嗣・海老原充・中原弘道	… 60
1 3	大型試料の即発 γ 線分析	大浦泰嗣・Sk.A. Latif・海老原充・中原弘道	… 62
受賞	中西友子さん、猿橋賞		… 64
研究会報告			
	MARC V に参加して	榎本和義	… 66
	第61回 分析化学討論会	岡田往子	… 67
	放射化分析「夏の学校」	片山幸士	… 68
	第44回 放射化学討論会	海老原充	… 70
	同上・放射化分析分科会	片山幸士	… 72
	同上	百島則幸	… 73
	第3回 中性子将来計画検討会	米沢仲四郎	… 75
施設便り			
	東北大学・核理研		… 77
	京都大学原子炉実験所		
	原研施設利用共同研究		
施設 紹介			
	東北大サイクロトロン第一ターゲット室照射コースの整備	大槻 勉	… 80
追悼 濱口 博 先生			
		戸村健児 海老原充	… 83
編集後記			
	会員名簿		… 87
	広告		

講座「ライフサイエンスにおける放射化分析」

Activation Analysis in Life Sciences

1. はじめに

ライフサイエンスがあつかう範囲は大変広い。医学、理学、農学、薬学などで、それぞれの立場から生命現象とそれとの係わりについて研究が進められている。機器熱中性子放射化分析法の進歩とともに、この領域での放射化分析の利用は拡大してきた。すなわち、半導体検出器の分解能の向上が、非破壊法で、多元素の定量を可能にしてきている。しかし、目的元素の分析精度を高めるために化学分離を併用する研究例も少なくはない。したがって、この講座で全ての領域・方法論をカバーできるものではないことは言うまでもない。

そこで、今回は「毛髪の多元素放射化分析」で高血圧症とミネラルバランス（高橋・大森）、「動物試料の放射化分析」で大型動物であるブタ、ウシ、ニホンカモシカの臓器中の元素分析から種間差や妊娠期間中の元素変化を（福島）、さらに「インスリン様作用を示すバナジウム錯体と放射化分析」で糖尿病に有効なバナジウム錯体の開発に果たす放射化分析の役割について（桜井）ご紹介いただいた。

2. ライフサイエンスへの放射化分析の応用

今年度の原研施設利用総合共同研究及び京大炉共同利用研究での採択状況から、ライフサイエンス関係の研究課題をみとめる。ライフサイエンス関係で通常採択された件数は、原研施設12件、京大炉で18件である（もちろん境界があいまいなものもあるが）。医学関係では腫

瘍の治療に関する研究としてホウ素化合物と中性子捕捉に関するもの、また脳、肝臓等の各種臓器中の微量元素と病体の解明に放射化分析が利用されている。もちろん人間に応用する前にラットなどの動物実験が繰り返されている。また今回紹介されているように毛髪を用いての栄養管理・病態把握にも放射化分析が有効な手段になっている。微生物や植物領域では、例えば、アーバスキューラー菌根の形成、せん苔類、羊歯菌や地衣類、高等植物の葉への摂取・移行・濃縮などの解明にも利用されている。このほかにも有機態ハロゲンの定量も可能で生体内での環境ホルモンの挙動の解析に役立っている。

前回の講座で福岡先生がご指摘されているように、放射化分析は多くの利点を持つが万能でないことは周知のことである。とくに、この10年間でICPやICP-MSが著しく普及した。しかし、放射化分析の利用者は決して減ってはいない。このことは8月21日と22日に開催された京都大学原子炉実験所の専門委員会（夏の学校）、「放射化分析の現況と今後の展望」での若手研究者の発表や、その総合討論からも証左されている。したがって、ライフサイエンスのみならず、あらゆる研究に利用できるように「放射化分析のマニュアル」の作成が急がれる。

（京都大学大学院農学研究科・片山幸士）

毛髪 of 多元素放射化分析

高橋ユリア 大森佐與子*

大妻女子大学短期大学部 *同社会情報学部

はじめに

毛髪は一種の金属排泄器官である。多くの元素は血液に比較し 10 ~ 100 倍高値に検出される¹⁾。さらにサンプリング、保存、運搬が容易であり、微量元素定量に妨害となる Na、Cl、P の含有量が少ないので非破壊・多元素同時分析に適する唯一の生体試料である。毛髪の成長速度は 1cm / 月であり、毛根からの距離により、元素の取り込み状態や推移など、切片分析による追跡調査が可能であるという利点を持っている。大森ら¹⁾は日本人の毛髪中元素濃度の正常値を作製し、毛髪の多元素放射化分析による環境金属の汚染指標およびその生体影響²⁾と毛髪の多元素放射化分析による病態把握の可能性³⁾を検討し報告している。今回、毛の多元素放射化分析による生活習慣病およびストレス度などの健康チェックを目的として検討を行った。最初に、小動物を用いて生活習慣病のひとつである高血圧症における体毛中ミネラルバランスの特徴および飼料摂取傾向による降圧効果について検討した。次にストレスが原因と考えられる摂食障害者の病状変化を毛髪中ミネラルバランスの観点から検討するとともにストレス負荷量と毛髪中含有元素濃度の関連を検討した。

1. 毛髪の放射化分析¹⁾

試料: 高血圧症の体毛中ミネラルバランスを調べるために、Control 群としての Wister 系ラット (8 週齢♂5 匹) および高血圧自然発症ラット (SHR) (8 週齢♂6 匹) を 19 週齢まで飼育した後、体毛を採取した。飼育期間の平均体重は 230 g → 350 g、1 日平均餌の

摂取量は 18.4 g、摂水量は 30.9 g であった。

降圧効果を調べるために、SHR (5 週齢♂24 匹) を 10 日間予備飼育後、Control (基準飼料 100%)、アルギン酸ナトリウム 5% (基準飼料 95%+アルギン酸ナトリウム 5%)、クロレラ 10% (基準飼料 90%+クロレラ 10%)、GABA クロレラ 10% (基準飼料 90%+ GABA クロレラ 10%) の 4 群 (各 6 匹) の飼料区による飼育を行い、14 週間飼育した後、体毛を採取した。GABA クロレラとは、クロレラに窒素ガスを注入し、嫌気性処理を行い、グルタミン酸を脱炭酸酵素により、γ-アミノ酪酸である GABA に変化させたものである。血圧の測定はテールカフ法により毎週行った。

ストレスと毛髪中ミネラルバランスとの関連を調べるために、摂食障害者の毛髪 (重症患者 4 名、回復患者 3 名) を採取し、さらに有職者 6 名に、社会的再適応評価尺度⁴⁾を用いた聞き取り調査を行い、ストレス度 (LCU=Lile Change Units)⁵⁾を求めた毛髪を用いた。

毛髪に影響をおよぼす外的要因のひとつである、シャンプーの影響について、54 日間使用した後、使用中 3 ヶ月後の毛髪を採取し経時変化を調べた。

試料の採取方法および前処理: ラット体毛は、電動バリカンによる背部の採毛を行った。毛髪は、頭部全体の 10 箇所以上から 1 箇所数本を毛根近くから切り、それぞれの毛髪は、毛根近くから約 6cm の長さに切り揃え混合し、個人試料とした。

前処理は毛の洗浄を行う。各採取した試料をアセトン-精製水 3 回-アセトン (各

25ml) の順で各 10 分間、強振洗浄し乾燥後、短寿命核種測定用試料は約 0.03g、中・長寿命核種測定用試料は約 0.06 g を精秤し、硝酸洗浄済ポリエチレン袋に封入し照射試料とした。

標準試料・標準物質：標準試料は下記のように、原子吸光用標準原液 1000ppm (和光純薬工業株式会社) を適宜希釈混合し、その 100 μ l をマイクロピペットにより硝酸洗浄済濾紙に滴下し、硝酸洗浄済ポリエチレン袋に封入し照射試料とした。混合した元素群と照射量を下記に示した。

短寿命核種測定用標準試料

S - 1 ; Al(2)、Ca(100)、Cu(5)、Mg(20)、Mn(0.5)、S(1000)、V(0.05)

S - 2 ; Br(2)、Cl(20)、I(1)

S - 3 ; Ti(10)

中・長寿命核種測定用標準試料

L - 1 ; As(1)、Au(0.1)、Na(5)、K(100)

L - 2 ; Ag(10)、Co(2)、Cr(10)、Zn(20)

L - 3 ; Fe(100)、Sb(2)、Sc(0.2)、Se(10)

L - 4 ; Hg(5)

S - 2 は風乾せず、L - 4 は Hg を滴下後、チオアセトアミド飽和溶液を滴下してただちに、そして他は風乾して、それぞれをポリエチレン袋に封入した。

標準物質は、各元素濃度が保証されている標準物質である Hair (NIES) と、Orchard Leaves (NBS) を短寿命用核種測定用 0.01g、中・長寿命用核種測定用 0.05g を精秤し、硝酸洗浄済ポリエチレン袋に封入し照射試料とした。

照射および測定条件：ラット体毛および毛髪は、KUR-Pn-1 (京都大学原子炉実験所、熱出力 5000kW、熱中性子束 $2 \times 10^{13} \text{ n} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{sec}^{-1}$) にて標準試料、標準物質と共に 1 分間 (短寿命核種)、60 分間照射 (中・長寿命核種) を行い、2 ~ 6 分間 (短寿命核種)、2 日間 (中寿命核種) および 30 日間冷却後 (長寿命核種)、Ge (Li) 検出器付属 4096ch

波高分析器による 200 秒 (短寿命核種) 間、300 秒 (中寿命核種) 間および 3000 秒間 (長寿命核種) γ 線測定を行なった。但しストレス度と亜鉛との関連を検討した男性毛髪中亜鉛濃度は、TRIGA MARK II (立教大学原子力研究所、熱出力 100kW、熱中性子束 $1.5 \times 10^{12} \text{ n} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{sec}^{-1}$) にて 6 時間照射を行い、30 日間冷却後 50ccGe 検出器付属 4096ch 波高分析器による、600 秒間 γ 線測定を行なった。

両方法ともに、元素の同定は照射試料から得られた光電ピークのエネルギー位置および半減期を調べることにより行なった。定量は同時に照射した標準試料の放射能強度との比較により定量を行なった。各元素濃度が保証されている標準物質の分析を行い、作成した標準試料の信頼性を確認した。

2. SHRを用いた高血圧症とミネラル

SHRの体毛中ミネラルバランスの特徴⁶⁾

SHR の体毛中ミネラルバランスを Fig.1 に示した。Na、K は有意に高値 ($P < 0.01$) であり、I は有意に低値 ($P < 0.01$) を示し、これらの元素は、 $\pm 2\sigma$ を逸脱していることが認められた。細胞の生体膜には Na - K ATPase というポンプが存在し⁷⁾ Na、K の不均衡を是正する働きがある。しかし、高血圧症においては ATPase 系に異常性が生じている結果であり、特徴と考えられ、実試料毛髪について検討している。

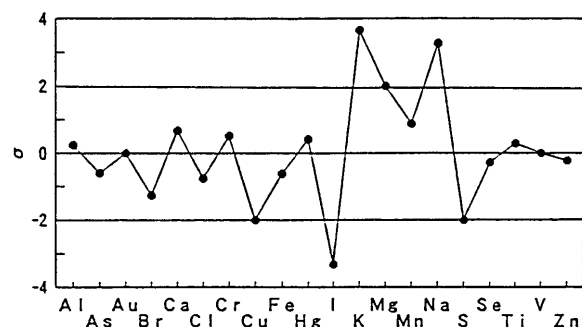


Fig. 1 SHR体毛中ミネラルバランス

血圧上昇抑制効果要因としてのGABAクロレラの効果⁸⁾

血圧上昇抑制効果を調べるために、血圧抑制効果が認められたクロレラ 10%、GABAクロレラ 10%、逆に血圧を上昇させたアルギン酸ナトリウム 5%を投与し、体毛中含有元素濃度を検討した。その結果を Fig.2 に示した。Na は、血圧抑制効果が認められたクロレラ 10%区 ($p < 0.05$)、GABA クロレラ 10%区 ($p < 0.01$) が Control 区より有意に低下した。K においても同様にクロレラ 10%区 ($p <$

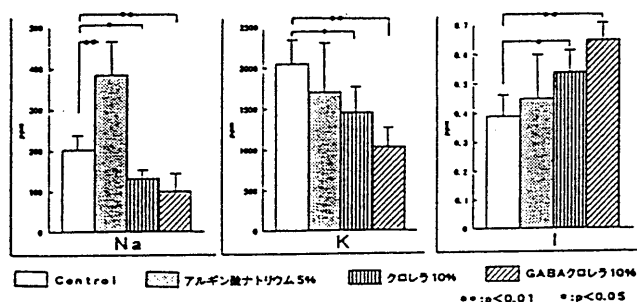


Fig.2. 飼料区別による SHR 体毛中 Na, K, I の濃度

0.05)、GABA クロレラ 10%区 ($p < 0.01$) が有意に低下した。また、I はクロレラ 10%区 ($p < 0.05$)、GABA クロレラ 10%区 ($p < 0.01$) が Control 区より有意に高くなった。以上のことよりクロレラや GABA クロレラには、形質膜での Na - KATPase ポンプの不均衡を正常化する働きがあるのではないかと推測される。

正常血圧の Wister 系ラット体毛中元素濃度を 0 とし、各飼料区の体毛中ミネラルバランスを検討し Fig.3 に示した。Control 飼料区の SHR 体毛中ミネラルバランスの崩れは大きく、血圧抑制効果が認められたクロレラ 10%区、GABA クロレラ 10%区に崩れは小さくなり、GABA クロレラ 10%区は最も正常血圧の Wister 系ラットの値に近くなった。

以上の結果から、GABA 処理食品投与による血圧上昇抑制効果が、SHR 体毛中元素濃度の変動、すなわち K、Na の低下および I

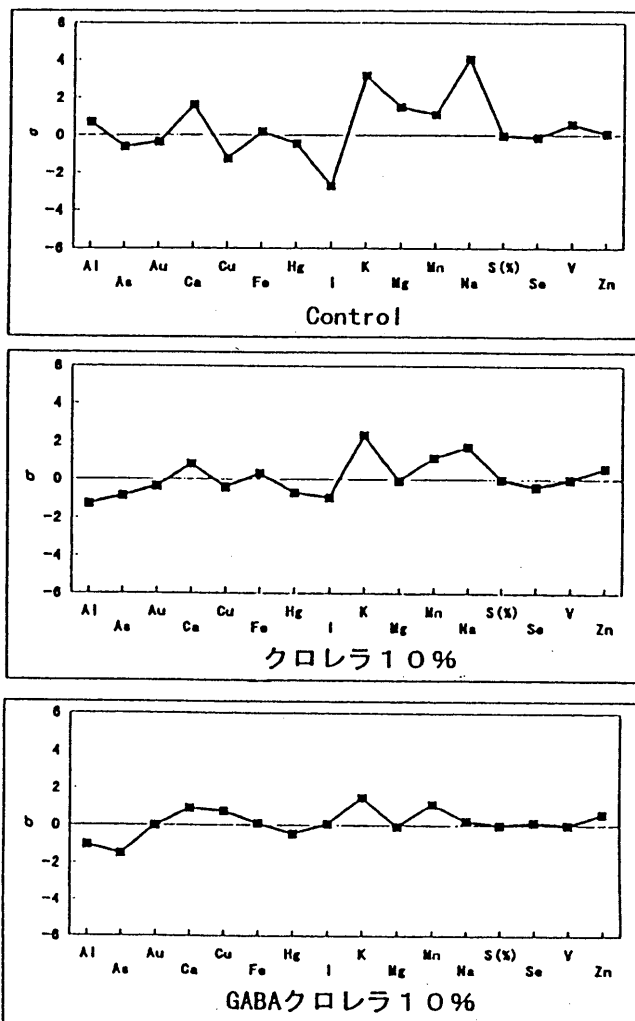


Fig.3 飼料区による SHR 体毛中ミネラルバランスの変動

の増加、さらに体毛中ミネラルバランスの正常化から示唆された。

3. 毛髪中元素濃度による健康度チェック

摂食障害者の毛髪中ミネラルバランスと病状⁹⁾

ストレスが引き金で生じた重症の摂食障害患者と、病状が回復した患者の毛髪中ミネラルバランスを Fig.4 に示した。重症患者における毛髪中ミネラルバランスでは、正常値 0 と比較し、Zn、As、Cl、Hg、I、K (検出不可)、Na、Se は -2σ あるいは、それを下回るなど、Cu を除いて多くの元素は一側にシフトしていた。このことは嘔吐による栄養素吸収低下が考えられる。

次に病状が回復し、ストレスと関係するZnは -2σ から -0.1σ にもどり、体調が最も良好と診断された摂食障害者の毛髪中ミネラルバランスは全元素が $\pm 2\sigma$ 内（正常範囲）にあった。重症患者および回復患者の臨床所見における生化学検査では変化が認められなかった。

毛髪中ミネラルバランス変化は病状変化を示していることが示唆された。

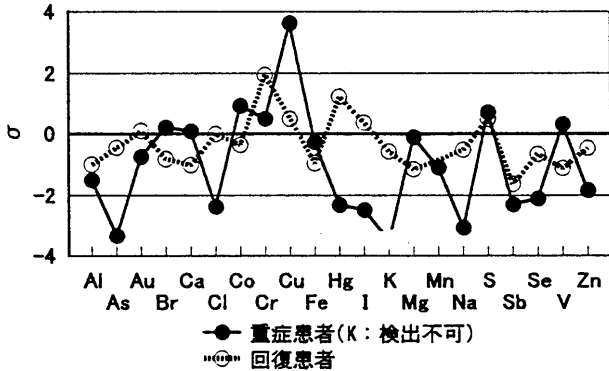


Fig.4 摂食障害者の毛髪中ミネラルバランス

ストレス度と亜鉛¹⁰⁾

有職者6名のストレスの程度を、社会的再適応評価尺度⁴⁾のストレス度(LCU)⁵⁾を用いて評価し、毛髪中Zn濃度との相関関係をFig.5に示した。相関関係は $r = -0.98$ であり、ストレス度が増加するに従って毛髪中Zn濃度は低下する傾向が認められた ($p < 0.01$)。

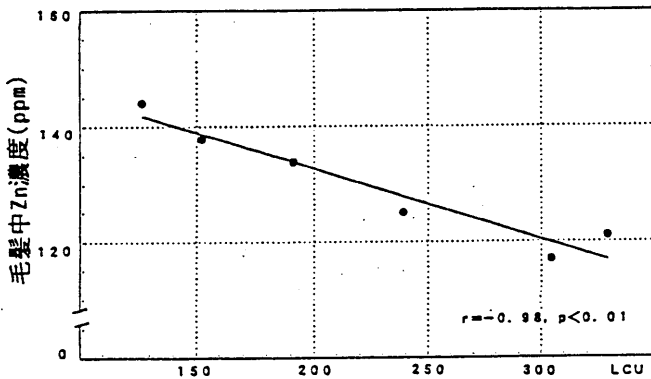


Fig.5 毛髪中Zn濃度とLCUとの相関

ヒトや実験動物を用いた研究において、ストレスによって肝臓でメタロチオネイン (MT) が誘導合成されることによりZnが取り込まれ、肝細胞中のZnは上昇し、血液中Zn濃度は低下すること¹²⁾および血中Znと毛髪中Zn濃度が正相関にあることは報告されている¹³⁾。

社会的ストレス負荷の度合いが増大すると毛髪中Zn濃度は低下する傾向にあり、毛髪中Zn濃度は社会的ストレス度を表す指標となりうることが示唆された。

3) シャンプーの毛髪中Zn濃度に及ぼす影響

ふけとりシャンプーにZnが添加されており、Znの毛髪への付着影響を検討した。①Aシャンプー+Bリンス、②Aシャンプーのみ、③Bリンスのみの3グループに分けて使用し、毛髪中Zn濃度を検討した。54日間使用し、その後3ヶ月間Zn入りシャンプーやリンスの使用を中止した結果をFig.6に示し

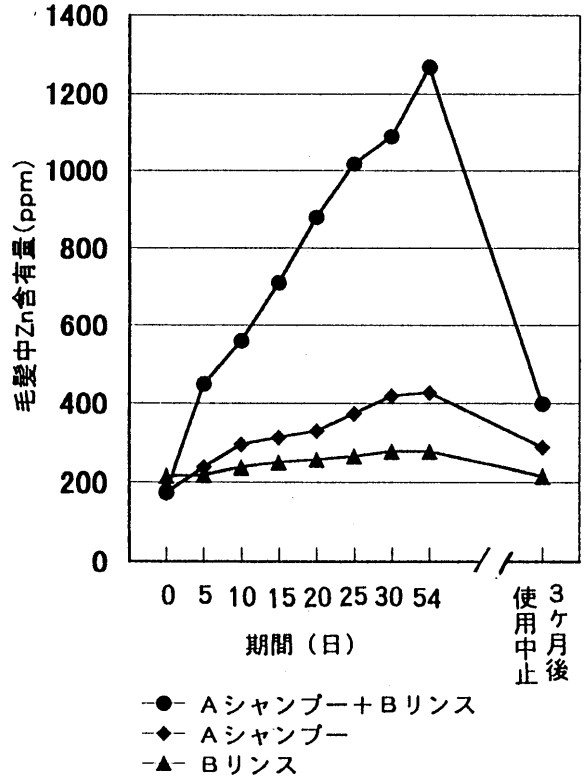


Fig.6 ふけとりシャンプー及びリンスの使用による毛髪中Zn濃度の経時変化

た。①において最終 54 日後には使用前の 6 倍以上もの Zn 濃度が検出され、使用中止 3 ヶ月後は最終 54 日後の 1/3 にしか減っておらず、使用前の 2 倍の Zn 濃度が維持されていた。②では最終 54 日後は 2.5 弱倍で使用中止 3 ヶ月後は 1.5 倍の濃度が維持されていた。③では最終 54 日後は 1.3 倍で使用中止 3 ヶ月後は使用前と同値であった。

以上の結果から Zn 入りふけとりシャンプーおよびリンスの使用は毛髪中の Zn 濃度の高値の原因となるので、シャンプーおよびリンスの種類と使用状況を知ることが大切である。

参考文献

- 1) S.Ohmori, H.Tsuji, Y.Kusaka, T.Takeuchi, T.Hayashi, J.Takada, M.Koyama, H.Kosuka, M.Shinogi, A.Aoki, K.Katayama, T.Tomiyma : Radioactivation Analysis of Hair - A Means of Biological Monitoring of the Environment - . *J.Radioanal Chem.* **63** : 269, 1981
- 2) 大森佐與子 : 毛髪が多元素放射化分析. 放射化分析 **8** : 22, 1999
- 3) 大森佐與子 : 印刷中
- 4) T.H.Holmes, R.H.Raha: The Social Readjustment Rating Scale. *J.Psychosom. Research*, **11** : 213, 1967
- 5) T.H.Holmes, M.Masuda: Life Change and Illness Susceptibility. In : B. S. Dohrenwend, B. P. Dohrenwend. (ed.): *Stressful Life Events : Their Nature and Effects*. J. Wiley, New York, 1974
- 6) 高橋ユリア、大森佐與子、大森正司 : 高血圧自然発症ラット (SHR) における体毛中含有元素濃度について. *Biomed Res Trace Elements* **6** : 169, 1995
- 7) J. David Rawn, 長野敬、吉田賢右監訳 : ローン生化学、医学書院、東京 (1991) 1030
- 8) 高橋ユリア、大森佐與子、大森正司 : 高血圧自然発症ラット (SHR) における血圧上昇抑制効果要因と体毛中含有微量元素濃度の変動について. *Biomed Res Trace Elements* **9** : 169, 1998
- 9) 高橋ユリア、大森佐與子、山岡昌之 : 摂食障害者の毛髪中微量元素. *Biomed Res Trace Elements* **5** : 267, 1994
- 10) 高橋ユリア、大森佐與子 : 社会的ストレスによる毛髪中亜鉛濃度の変化. *体力・栄養・免疫学雑誌* **8** : 122, 1998
- 11) Oh SH, Deagen JT, Whanger PD & Weswig PH : Biological function of metallothionein. V, Its induction in rats by various stresses. *Am J Physiol* **234** : E282, 1987
- 12) 大森佐與子、高木洋治、岡田正、板倉文夫、根津理一郎 : 高カロリー輸液時における毛髪中微量元素 (第 3 報). *微量金属代謝* **13** : 59, 1985

動物試料の放射化分析

石巻専修大学理工学部 福島美智子

1 序

動物組織は一般に高濃度の Na, K, Mg, Cl などを含み、共存する微量元素を定量するときには、それらマトリックス元素が妨害することが多い。放射化分析法は多くの元素に対して高感度な同時分析が可能なため、多元素濃度のバランスを知ることを目的にするときには、非常にすぐれた方法であるといえる。また、ICP や AAS と異なり、固体状態の試料を分解して液体にする必要がないため、元素の揮散や外部からの汚染の問題もかなり減少させることができる。

本研究では健康な動物の正常な元素濃度を明らかにすることを目的に、ブタ [1]、ウシ [2]、野生のニホンジカ [2, 3] を対象にして、肝臓と脾臓中の元素の放射化分析を行い、生物種間での比較を行った。またブタについては母ブタの妊娠期間が異なると思われる胎仔について肝臓、脾臓、腎臓について分析を行い、月齢に依存する各臓器における元素濃度の変化を求めた。

2 実験

2.1 試料

ブタの臓器は宮城県北食肉センターで屠殺された健康な成豚からすぐに取り出された。ウシの臓器は生後一ヵ月の子牛から屠殺後すぐに取り出された。ニホンジカは兵庫県和田山町で捕獲、射殺後に取り出された。ブタ胎仔は屠殺された健康な母豚の胎内からとりだされ、ホルマリン中に1週間以内保存後、肝臓、脾臓、腎臓が取り出された。

2.2 試料処理

ブタ胎仔以外の動物の各臓器はセラミック製のナイフで5～10 mmの角片に細断後、液体窒素を満たした磁製乳鉢中で乳棒を用いてたたいて碎き、その後凍結乾燥した。乾燥後に200 meshのステンレス製ふるいとシリコンゴム製のヘラで粉末にし、200 meshの目を通った粉末を照射試料にした。ブタ胎仔の臓器はセラミック製ナイフで小片にした後に凍結乾燥し、ミルで粉碎後は他の試料と同様に処理した。

2.3 比較標準試料

元素定量のための比較標準試料として NIST SRM-1577b Bovine Liver, BCR No.185 Bovine Liver, BCR No.186 Pig Kidney および NRCC TORT-1 Lobster を用いた。

2.4 照射

2.4.1 光量子放射化分析 (PAA)

照射試料は、高純度アルミニウム箔で100–300 mgの粉末を二重に包み、直径10 mmで厚さ2–3 mmの形状にした。比較標準試料も同様の形状にし、2, 3種類の比較標準試料のグループで3, 4個の分析試料をはさむように内径およそ12 mmの石英管に封じこんだ。この石英管には一端に内径6–7 mm、長さ10 cm程度の石英管がL字形になるように接続しており、照射時に試料の分解などによる内圧の上昇が起こりにくくなっている。

照射は、東北大学理学部原子核理学研究施設において電子線型加速器による30 MeVの制動放射で3–4時間行った。照射後に石英管から試料および比較標準試料をとりだし、新しいアルミニウム箔で包み直し、約2時間、1日、7日、30日の冷却期間後にゲルマニウム検出器を用いてガンマ線スペクトルを測定した。測定時間はそれぞれ10分間、1時間、3時間、6時間であった。定量に用いた核種、ガンマ線を表1に示す。

Table 1. Nuclear data for the analyzed elements.

Element	Target nuclide	Nuclear reaction	Product nuclide	Half-life	Gamma-ray used, keV
Ag	Ag-109	(n, γ)	Ag-110m	249.76d	657.8
Br	Br-79	(γ , 2n)	Br-77	2.3765d	238.97
Ca	Ca-44	(γ , p)	K-43	22.3h	372.9
Co	Co-59	(n, γ)	Co-60	5.271y	1173.2, 1332.5
Cu	Cu-63	(γ , 2n)	Cu-61	3.41h	282.9
Fe	Fe-58	(n, γ)	Fe-59	44.5d	1099.3, 1291.6
	Fe-56	(γ , pn)	Mn-56	2.579h	846.8
I	I-127	(γ , n)	I-128	13.0d	388.6, 666.3
Mg	Mg-25	(γ , p)	Na-24	15.02h	1368.6
Mn	Mn-55	(γ , n)	Mn-54	312.2d	834.8
Mo	Mo-100	(γ , n)	Mo-99	66h	140.5
Na	Na-23	(γ , n)	Na-22	2.602y	1274.6
Rb	Rb-85	(n, γ)	Rb-86	18.66d	1076.7
		(γ , n)	Rb-84	32.9d	881.6
Se	Se-74	(n, γ)	Se-75	121d	136, 264.7, 400.7
Sn	Sn-118	(γ , n)	Sn-117m	14.0d	158.6
Sr	Sr-88	(γ , n)	Sr-87m	2.8h	388.4
Zn	Zn-64	(n, γ)	Zn-65	244.1d	1115.5
	Zn-66	(γ , n)	Zn-65	244.1d	1115.5

2.4.2 中性子放射化分析(NAA)

照射は茨城県大洗町日本原子力研究所の研究用実験炉(JMTR)および大阪府泉南郡熊取町京都大学研究用原子炉(KUR)で行った。照射試料を作成するために、JMTR の場合はアルミニウム箔を用いてPAAと同様の形状にした。KUR の場合は、あらかじめ硝酸、水道水、蒸留水で洗浄したポリエチレンシートに100 - 300 mgの粉末を二重に包み、一辺が15 mm程度の四角形になるように封じた。比較標準試料についても同様な形状にした。数個の比較標準試料と20 - 30個の分析試料を石英管、あるいはプラスチック製カプセルに封じ、各々 $1.0 \times 10^{14} \text{ n} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 、 $2.75 \times 10^{13} \text{ n} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ の中性子束で各々6 - 24時間、および1時間照射した。照射後に約30日間冷却し、各試料を包み直したのちにガンマ線を測定した。定量に用いた核種、ガンマ線を表1に示す。

3 結果と考察

3.1 分析試料

凍結乾燥による分析試料の湿重量および乾燥重量の変化を表2に示す。肝臓についての値をみると、ブタ胎仔を除けば乾燥重量/湿重量の比が0.26-0.29と非常に近い値をしめしていることがわかる。ブタ胎仔の肝臓は非常にやわらかく、乾燥後には将来

Table 2. The organs of even-toed ungulates.

Organ	Species	n	dry weight / wet weight*
liver	Pig(adult)	5	0.29
	Pig(fetus)	16	0.20 ± 0.02
	Japanese sika deer(adult)	9	0.26 ± 0.04
	Calf(one-month-old)	8	0.27 ± 0.01
spleen	Pig(adult)	5	0.20
	Pig(fetus)	14	0.21 ± 0.04
	Calf(one-month-old)	8	0.23 ± 0.01
kidney	Pig(fetus)	15	0.14 ± 0.01
	Calf(one-month-old)	8	0.23 ± 0.02

* Average ± SD

肝動脈や肝静脈になると思われる太い血管が簡単にはずれるくらいであった。このことより、胎仔の場合には肝組織がそれほど発達しておらず、密度もひくいため、他の3種の生物に比べると比が小さいのだと思われる。腎臓についてはブタ胎仔と生後1月のウシについてしか値を得ていないが、肝臓と同様に胎仔の腎臓も非常にやわらかく、得られた値もウシのそれより小さい。しかし脾臓については3種の生物の値にあまり違いがみられない。

3.2 動物臓器中の元素濃度

ブタ胎仔を除く分析試料について得られた元素濃度を表3に示す。3種類の生物種について濃度が得られている肝臓の数種類の元素レベルを、標準偏差とともに平均値で図1に示す。図1ではNaを除いているが、Br, Zn以外についてはほとんど生物種の差が見られない。

Table 3 Elemental levels in organs (unit: ug/g dry weight).

	Liver			Spleen		Kidney
	Pig (adult)	Japanese sika deer	Calf(one-month-old)	Pig (adult)	Calf(one-month-old)	Calf(one-month-old)
n	5	7~9	8	5	8	8
Ag		0.051 ± 0.017				
Br	20.2 ± 3.7	22.0 ± 7.5	2.2 ± 0.8	29.3 ± 10.8	28.8 ± 4.4	61.4 ± 9.5
Ca	192 ± 42	245 ± 76	403 ± 200	274 ± 47	230 ± 20	706 ± 601
Co		0.246 ± 0.102				
Cu			977 ± 378		ND	ND
Fe	665 ± 226	739 ± 537	476 ± 365	1440 ± 660	681 ± 280	156 ± 56
Mg	674 ± 23	535 ± 75	787 ± 310	939 ± 55	903 ± 59	867 ± 31
Mn	17.4 ± 2.1	16.3 ± 2.7	17.1 ± 8.0	19.4 ± 6.7	12.2 ± 4.0	4.7 ± 1.4
Mo	3.3 ± 3.2	2.5 ± 0.5		0.7 ± 0.6	1.2 ± 0.2	1.9 ± 0.3
Na	2210 ± 180	3850 ± 1570	4050 ± 1480	3050 ± 310	3750 ± 280	9060 ± 850
Rb	26.2 ± 2.2	28.1 ± 8.1		46.0 ± 2.7	38.5 ± 8.7	29.2 ± 5.0
Se		1.66 ± 1.41				
Zn	321 ± 73	117 ± 45	500 ± 206	122 ± 19	115 ± 18	127 ± 8

つぎにブタ胎仔の臓器中の元素濃度についてであるが、母ブタの妊娠期間と胎仔の体重および体長（頭胴長）の関係を図2 [4] に示す。日本で飼育されているブタの出産までに妊娠期間はほぼ120日間とされているが、この図より胎仔の体長は50日齢から80日齢あたりの間に目立った増加をすることがわかる。本実験で用いた胎仔の日齢は不明であったので、測定した体長から日齢を推定した。

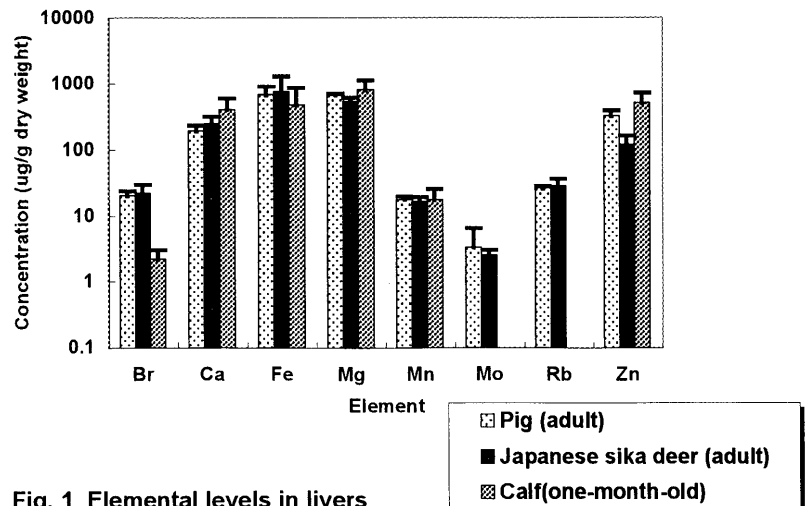


Fig. 1 Elemental levels in livers

用いたブタ胎子の体長は12-35 cm であり、母ブタの妊娠期間はおおよそ 60-120 日であると推定した。取り出した肝臓、脾臓、腎臓はそれぞれ 4-22 g, 1-7 g, 0.06-0.9 g (湿重量) であった。これら臓器の湿重量と体長の関係を図 3 に示す。縦軸の臓器重量を対数でとっているが、各臓器について体長約 20 cm までの重量の増加が著しいことが見て取れる。これは 80 日齢くらいにあたり、体長が著しく増加する時期と一致している。

ブタ胎子の肝臓、腎臓、脾臓について得られた元素濃度の範囲および平均値±標準偏差を表 4 に示す。これら濃度と体長の間にはいくつかの特徴がみられ、それらを以下にまとめる。

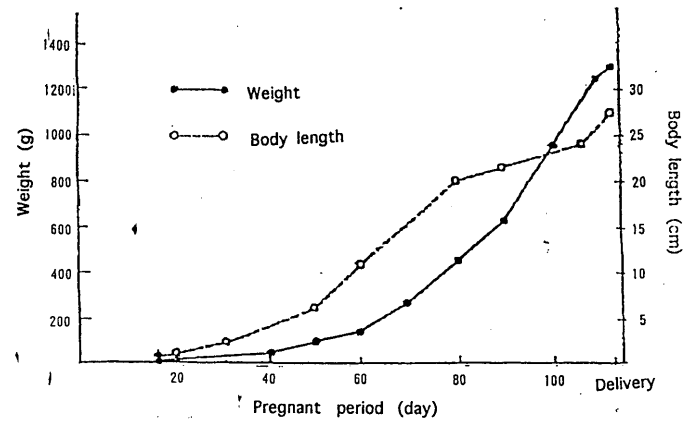


Fig. 2 The relationship between weight, body length pregnancy period for pig fetus [4]

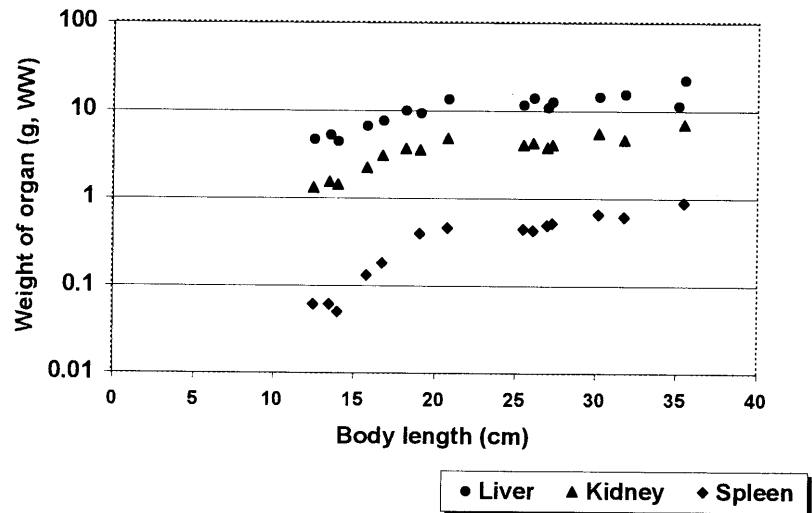


Fig. 3 Weight of organs and body length.

- (1) 日齢が比較的低い時期に蓄積される——脾臓の Br, 肝臓、腎臓、脾臓の Zn (図 4)
 - (2) 誕生近くなると急激に濃度が増加する——肝臓、腎臓、脾臓の Na (図 4), Rb, K(原子吸光光度法で測定)
 - (3) 胎子の期間はほぼ一定の濃度を保つ——肝臓、腎臓、脾臓の Ca, Mg, Cu, Fe
- また、ブタ胎子と成豚の肝臓および脾臓に含まれる元素濃度を平均値で比較した (図 5)。この図より、胎子の脾臓中の Br 濃度は成体に比べると高く、肝臓および脾臓中の Ca 濃度はともに成体に比べると非常に高いことがわかる。胎子の時期にはこのような臓器がカルシウムプールとして働くことを暗示しているのかもしれない。同族元素である Mg にも Ca と同様な傾向はみとれる。胎子の脾臓中の Fe 濃度が成体に比べてかなり低いのは、脾臓がまだ機能していないことを示すのであろう。

Table 4. Elemental levels of organs of pig fetuses (unit: $\mu\text{g/g}$ dry weight).

Element	Liver		Kidney		Spleen	
	Range	Ave. \pm SD	Range	Ave. \pm SD	Range	Ave. \pm SD
Ag	ND		ND		ND	
As	ND - 0.8	0.2 \pm 0.2	ND - 0.7	0.2 \pm 0.3	ND - 1.8	1.0 \pm 0.6
Br	6.2 - 17.3	10.7 \pm 2.9	10.0 - 78.5	33.8 \pm 20.2	11.9 - 168	72.8 \pm 46.3
Ca	4230 - 5620	4840 \pm 380	3650 - 5190	4580 \pm 440	4080 - 5520	5030 \pm 380
Co	ND		ND		ND	
Cr	ND		ND		ND	
Cu	202 - 462	326 \pm 76	ND - 83.8	37.8 \pm 24.9	ND - 85.7	34.7 \pm 27.6
Fe	408 - 1090	806 \pm 204	133 - 291	218 \pm 43	117 - 848	622 \pm 180
I	0.1 - 1.3	0.6 \pm 0.3	ND - 3.8	0.5 \pm 1.0	ND - 1.8	0.6 \pm 0.7
Mg	913 - 1120	1020 \pm 60	925 - 1140	1030 \pm 80	918 - 1410	1180 \pm 140
Mn	4.6 - 12.0	8.3 \pm 2.7	0.2 - 10.8	3.2 \pm 2.5	ND - 26.4	6.9 \pm 6.9
Na	2020 - 6220	2780 \pm 1110	2950 - 9430	4080 \pm 1680	2320 - 7540	3620 \pm 1380
Ni	ND		ND - 3.6	1.7 \pm 1.1	ND - 26.1	7.3 \pm 7.4
Rb	4.4 - 9.3	5.7 \pm 1.2	5.3 - 13.0	8.1 \pm 2.0	3.1 - 11.8	7.0 \pm 2.6
Se	0.1 - 8.1		ND		ND	
Sn	6.5 - 11.6	8.3 \pm 1.5	4.0 - 65.1	17.9 \pm 18.2	0.3 - 15.1	8.0 \pm 5.0
Sr	0.2 - 3.2	1.2 \pm 0.7	0.2 - 1.6	0.9 \pm 0.3	0.2 - 1.4	0.9 \pm 0.4
Zn	115 - 537	237 \pm 143	15.1 - 278	127 \pm 72	19.9 - 825	173 \pm 234

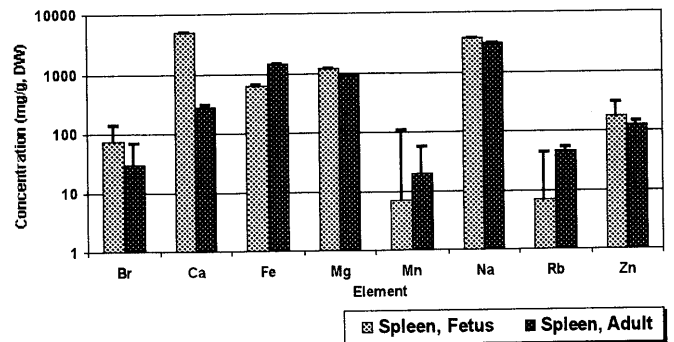
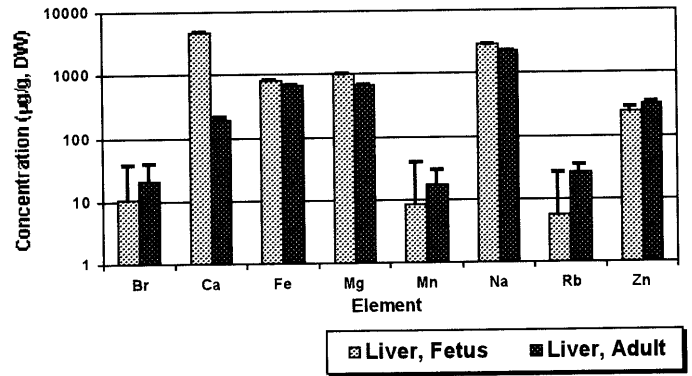
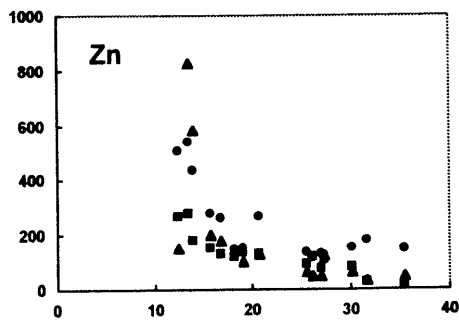
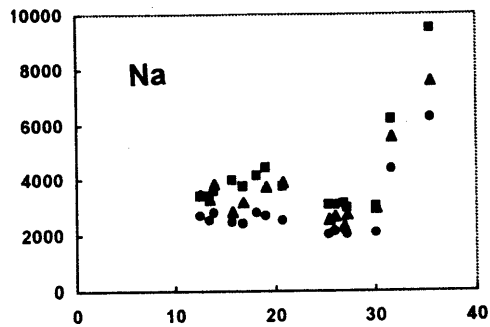
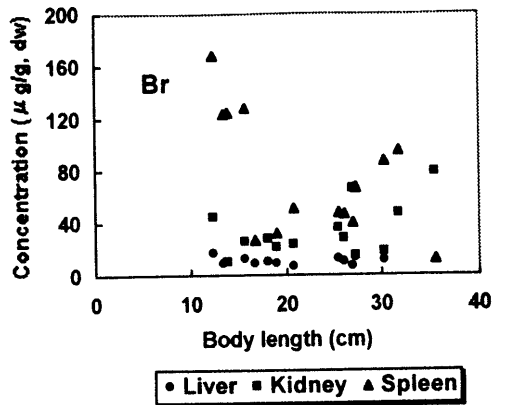


Fig. 5 Elemental levels in organs of pigs.

Fig.4 Elemental levels in organs of pig fetuses.

いままで述べてきたような偶蹄類の臓器のほかに海洋性無脊椎動物の放射化分析を行っており、いくつかの興味深い点があきらかになってきている。また、無脊椎動物については金属結合タンパクの分離と放射化分析による定量をはじめたところである。このようなルーチン分析を行うときに放射化分析は非常に有効な方法であると思うのだが、照射や測定のための時間があまりとれないこと、本来の専門が生物学ではないので、結果に対して十分な解釈ができないこと、および放射化学関係の分野で発表しても生物や環境などが専門の方のご意見をうかがう機会はあまりない、ということがわたしにとっては大きな問題である。この「放射化分析」を通して同じようなことを行っている研究グループに加えていただくとか、興味のある数名であたらしいグループをつくるというようなことができればおもしろいと思う。

参考文献

- [1] M. Fukushima, J. Radioanal. Nucl. Chem. Articles, 195.1, (1995) 145-153.
- [2] M. Fukushima, H. Tamate, S. Sato, S. Terui, S. Mitsugashira, J. Radioanal. Nucl. Chem., 239.3, (1999) 595-599.
- [3] 福島美智子・玉手英利、核理研研究報告、29.1, (1996) 84- 87.
- [4] T. Niwa et al., Japanese J. of Zootech. Sci., (1954) 251, p5.



インスリン様作用を示すバナジウム錯体と放射化分析

Sakurai Hiromu

京都薬科大学 桜井 弘

1. はじめに

生活習慣病として位置づけられる糖尿病は1型インスリン依存性糖尿病と2型インスリン非依存性糖尿病とに大きく分類される。わが国の糖尿病患者の95-97%は2型、そして1-3%は1型であるのに対し、欧米の1型糖尿病患者は全体の約10-20%を占める。2型糖尿病の治療には、多数の合成薬剤が開発され用いられているが、1型糖尿病の治療にはインスリンの筋肉注射に頼るしかないのが現状である。^{1),2)} 近年、生体元素であり、かつ遷移金属元素の仲間の一つであるバナジウムやその錯体が、実験動物のみならずヒト糖尿病の治療に有効であることが明らかにされ、世界的に注目を集められるようになった。^{1),2)} 本「講座」では、インスリン様錯体の開発に果たす「放射化分析」の役割について紹介させていただく。

2. バナジウムのインスリン様作用発見の歴史

1960年代の終わりころ、古くから強心配糖体として知られていたウアバイアン(キョウチクトウ科の植物の種子中に存在)は、 Na^+ , K^+ -ATPaseを阻害すること、およびラットの脂肪細胞においてインスリンと同様の作用を示すことが見出された。1977年には、Sigma社のATP製品中に酸化数+5のバナデイトが混在しており、これが Na^+ , K^+ -ATPaseを阻害することが偶然に見出された。この二つの事実を合わせると、ウアバイアンがインスリン様作用を示すなら、 Na^+ , K^+ -ATPaseの阻害剤として見出されたバナデイトにもインスリン様作用があることが期待された。そこで多くの人々が研究を行った結果、バナデイトはラッ

トの脂肪細胞へのグルコースの取り込みを促進しインスリン様作用を示すことが判った。この結果にもとづいて、*in vivo* 研究が展開され、1987年に、ストレプトゾシン(STZ)で誘導した1型糖尿病ラットに80mMの食塩水に溶かした NaVO_3 溶液(0.8 mg/ml)を飲料水の代わりに与えると、4日後には正常血糖値を示すことが見出された。⁴⁾ しかし、この溶液を飲料水のみに変えると血糖値は元のように高くなった。この事実は、バナデイトが血糖降下作用を示す画期的な最初の例となった。バナデイトは一電子還元型の酸化数+4のバナジルよりも毒性が強いため、バナジルを用いて同様の研究が行われた。その結果、バナジルにも血糖降下作用があることが分かった。⁵⁻⁷⁾

3. バナジウムのインスリン様作用発現の機構

バナジルあるいはバナデイトが共にインスリン様作用を示すことが判ったため、どちらの酸化状態が活性型であり、どのような機構が働いているかが追究された。エピネフリン共存下でラット脂肪細胞に+3、+4または+5バナジウム(V)を加えると、+3および+4Vはインスリンと同様に細胞からの脂肪酸の放出を抑制するが、+5Vは抑制しなかった。+3Vは+4Vに自動酸化されるため、+3Vは+4Vに酸化されて効果を発揮すると考えられた。⁷⁾ また、+4Vはグルコーストランスポータに作用すること、⁷⁾ phosphotyrosine phosphataseを阻害すること、インスリンレセプタの β -サブユニットに存在するtyrosine kinaseを活性化すること、あるいは脂肪細胞内に取り込まれた+4Vはインスリンレセプタやグルコ

ーストランスポータとは関係のない酵素系に作用している可能性などが提案され、まだ統一的な機構は明らかでないのが現状である。作業仮説としてのバナジウムのインスリン様作用の機構を図1に示した。^[1-3]

4. 経口バナジウム錯体の開発研究

2型糖尿病の治療には、インスリンの筋肉注射に代わる経口投与剤の開発が世界的に期待されている。1990年、筆者らは初めてバナジル-システインメチルエステルやバナジル-酒石酸錯体を経口投与すると、STZラットの血糖値を正常化させることを報告した。^[1-3] この発見に続いて、カナダのMcNeilらは、バナジル-マルトール錯体も経口投与で有効であると報告した。^[8] 我々は引き続き種々の配位構造を持つ錯体を見出した。2000年までに報告された経口投与により有効なバナジル錯体を図2に示した。^[9] 現在までのところ、薬理効果や毒性から評価して、バナジル-6-メチルピコリン酸 ($\text{VO}(\text{6MPA})_2$) 錯体が最も有望と考えられた。図3に $\text{VO}(\text{6MPA})_2$ を STZ 糖尿病ラットに経口投与したときの血糖値と体重変化を示した。この錯体の大きな特徴は、20日間経口投与すると血糖値が正常化したことに加えて、錯体投与中止後約80日間も血糖値が準正常状態を維持していることと、錯体投与期間中ラットの体重が減少していないことである。そこで、本錯体を投与したラットについて、バナジウムの体内分布や動態を研究した。

5. バナジル錯体 $\text{VO}(\text{6MPA})_2$ を投与したラットにおけるバナジウムの体内分布と動態

$\text{VO}(\text{6MPA})_2$ を STZ 糖尿病ラットに腹腔内または経口投与して、総バナジウムを京都大学原子炉実験所において放射化分析法により定量した。 $^{51}\text{V}(n, \gamma)^{52}\text{V}$ 反応を用い、 ^{52}V (半減期: 3.75分) にもとづく 1434.1 KeV のピ

ーク面積を定量した。

腹腔内投与は14日間その後の7日間は無投与、経口投与は20日間後の結果を、図4に示した。両投与方法ではバナジウムの総投与量は異なるにもかかわらず、バナジウムは骨、続いて、腎臓、脾臓、肝臓の順に取り込まれていることが判った。また肝細胞ではミトコンドリアに、腎臓では上清および核画分にバナジウムが集積していることが判った(図5)。

そこで次に錯体を単回投与し、経時的に腹部大動脈から血液を採取し、同時にいくつかの臓器を摘出した。血液および各臓器中のバナジウム濃度の経時変化をイオン型+4価Vの硫酸バナジウムを投与した結果と比較しながら図6に示した。腹腔内および経口投与方法共にバナジウム濃度は腎臓が最も高く続いて骨、肝臓、血液の順であった。図6から明らかかなように、腹腔内投与すると検討した全ての臓器でバナジウム濃度は、経口投与によるものよりもかなり高くなっている。さらに、 $\text{VO}(\text{6MPA})_2$ の作用持続性を示唆するように、単回投与の結果からも、バナジウムの骨への蓄積が経時的に上昇している。イオン型の硫酸バナジウムではこの傾向は見られなかった。筆者らは $\text{VO}(\text{6MPA})_2$ の血糖値正常化作用の持続性は、バナジウムの体内動態の特徴、すなわち $\text{VO}(\text{6MPA})_2$ の骨への蓄積に原因しているのではないかと推測して来たが、中性子放射化分析法によりバナジウムの体内動態を研究した結果、この概念が支持されることが判った。また、ここでは触れないが、図6のデータを詳細に解析することにより、 $\text{VO}(\text{6MPA})_2$ のバイオアベイラビリティが硫酸バナジウムのそれよりも高いことが判った。 $\text{VO}(\text{6MPA})_2$ では他のバナジル錯体とは異なり、低用量の経口投与によっても十分に血糖値正常化作用を示す。すなわち、バイオアベイラビリティの上昇が中性子放射化分析法の結果から支持されることとなった。

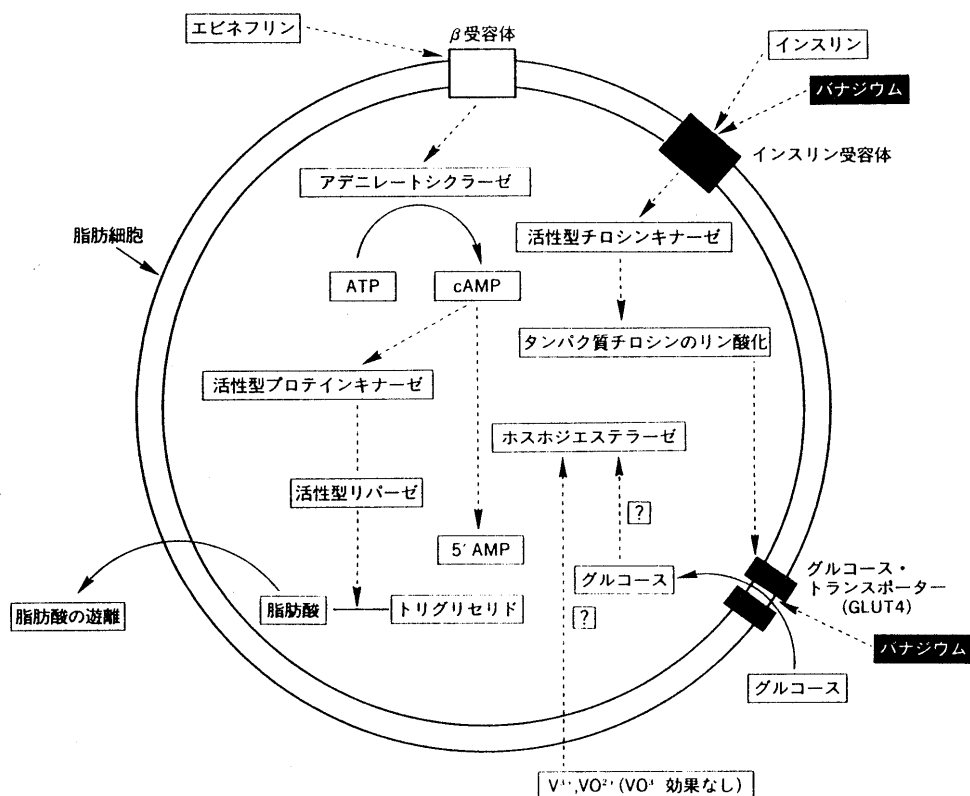
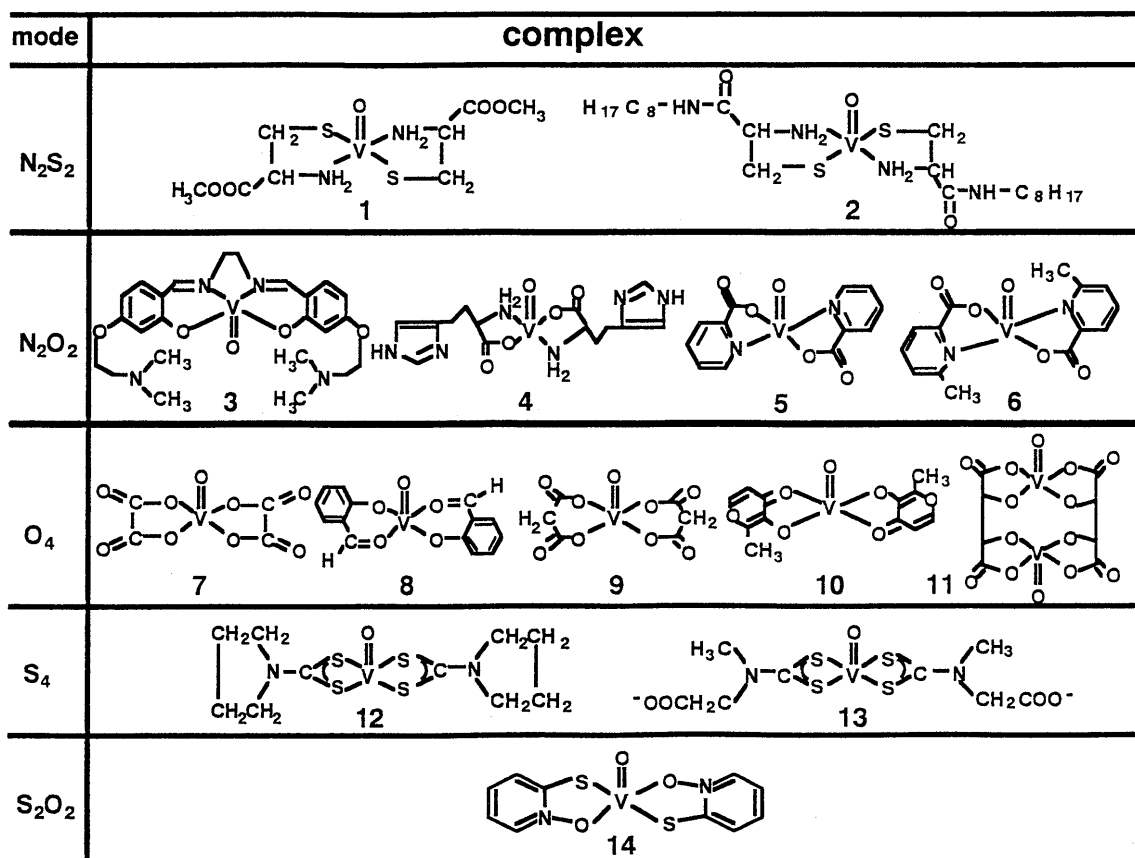


図1. バナジウムのインスリン様作用の機構



1 Sakurai et al. (1990), 2 EP patent 305246, 3 Junod et al. (1969), 4~6 Sakurai et al. (1994), 7~9 Sakurai et al. (1990), 10 McNeil et al. (1992), 11 Sakurai et al. (1990), 12 Watanabe et al. (1994), 13 Sakurai et al. (1995), 14 Sakurai et al. (1999).

図2. 1型糖尿病ラットに経口投与したときに有効なバナジル錯体の化学構造

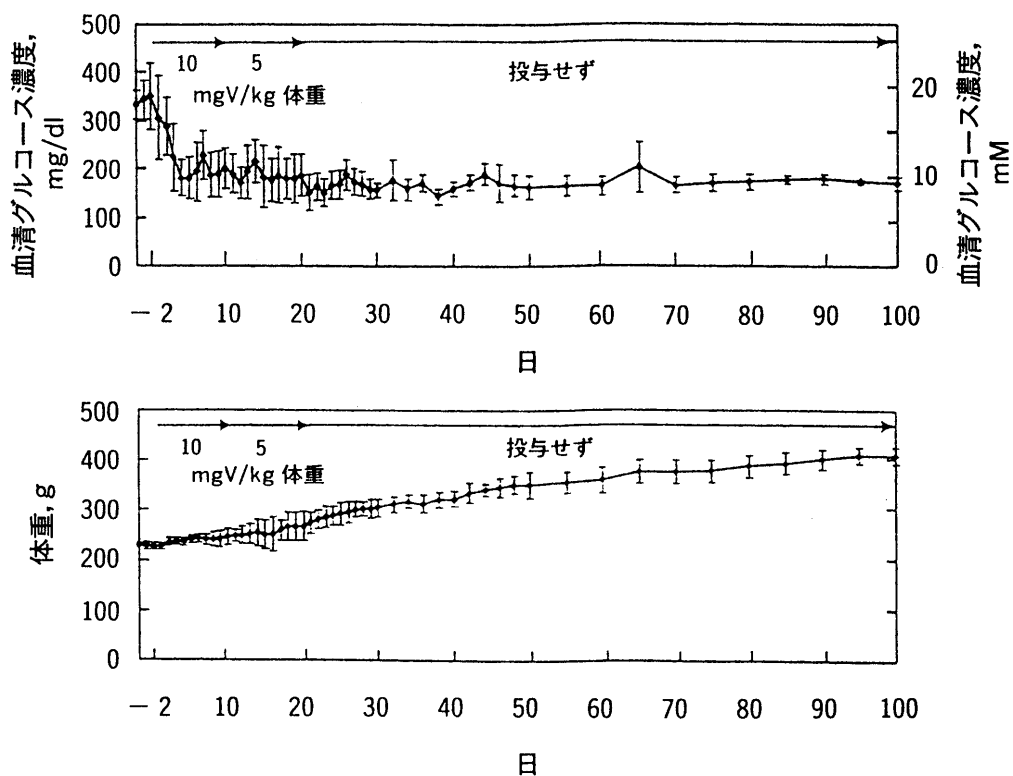


図3. VO(6MPA)₂を経口投与したSTZ糖尿病ラットの血清グルコース濃度(上)と体重変化(下)

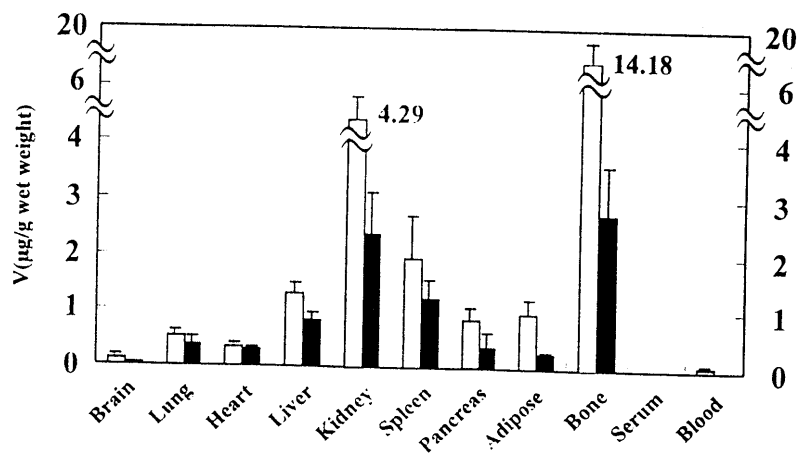


図4. VO(6MPA)₂を14日間腹腔内投与(□)または20日間経口投与(■)したSTZラットの肝臓中および腎臓中のバナジウム分布

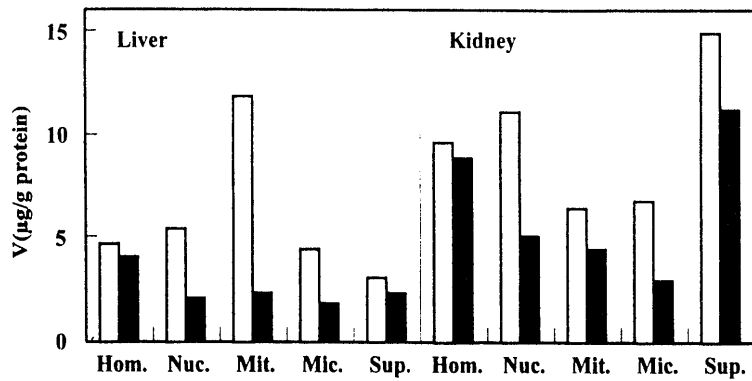


図5. VO(6MPA)₂を14日間腹腔内投与 (□) または20日間経口投与 (■) したSTZラットの肝臓中および腎臓中のバナジウム分布

Hom: 総ホモジネート, Nuc: 核画分, Mit: ミトコンドリア画分,
Mic: ミクロソーム画分, Sup: 上清細胞質画分

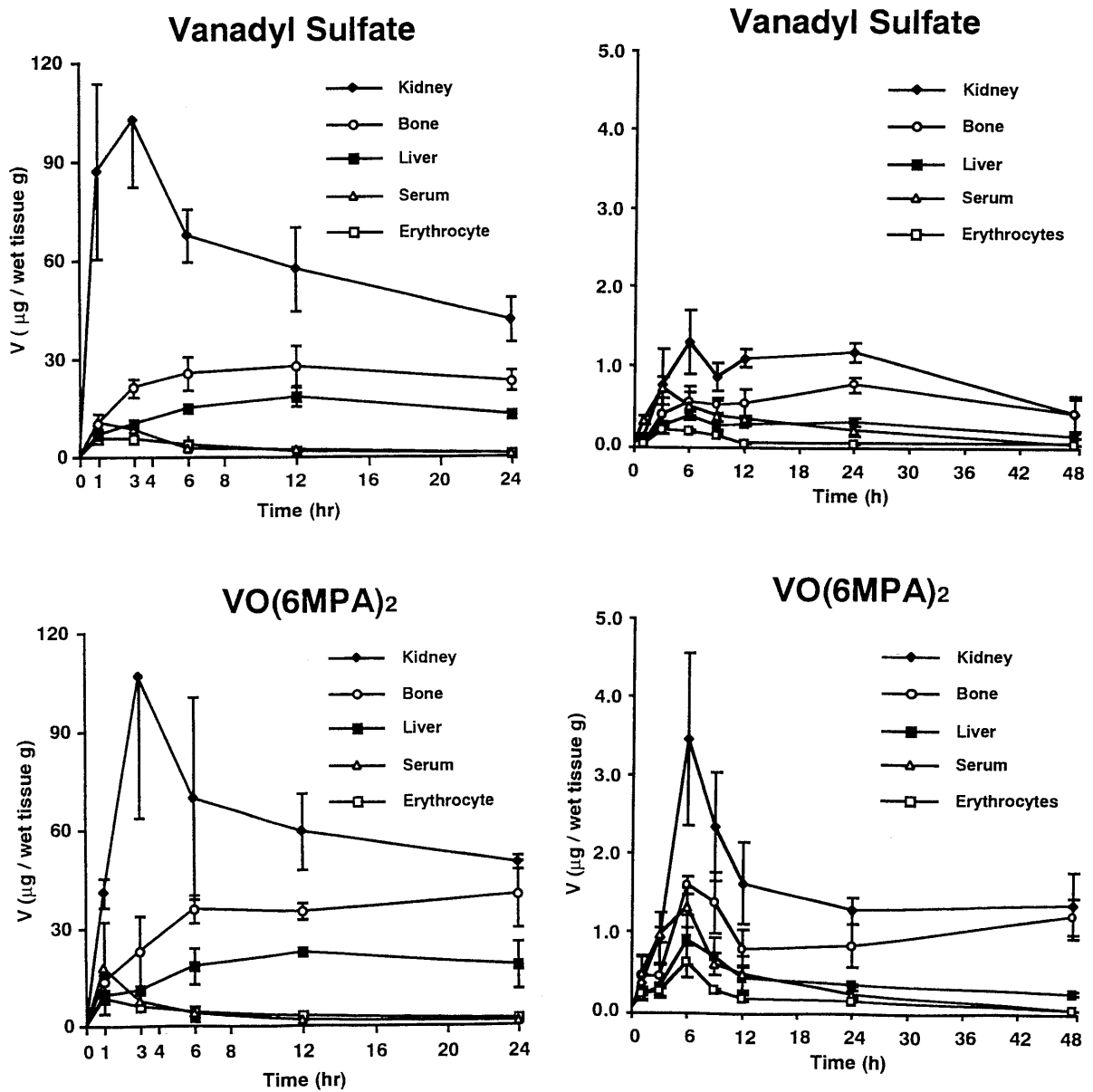


図6. 硫酸バナジウム(Vanadyl Sulfate)またはVO(6MPA)₂を単回腹腔内投与 (左) または経口投与 (右) したラットの各組織中のバナジウム濃度の経時変化

6. おわりに

バナジウム錯体のインスリン様作用と治療作用をバナジウムの放射化分析法による結果にもとづいて解釈できる例を紹介した。ここでは触れなかったが、バナジルイオンが常磁性イオンであることに注目して、我々はESR（電子スピン共鳴）を用いて、バナジル錯体を投与したラットのバナジル種にもとづく血中動態をリアルタイムで研究する方法を開発している。これについては、文献のみ紹介させていただく。^[10]しかし、バナジウムのインスリン様作用の本質はまだ未解明であり、作用機構にもとづく錯体の開発は21世紀の課題になると思われる。分子量6,000のインスリンの役割に、原子量51のバナジウムがどこまで迫ることができるかは、この領域の研究の核心である。^[11]

謝辞：本研究の放射化分析に関しては、京都大学原子炉実験所の高田実弥および松下緑治両先生に長年お世話になりました。ここにお礼と感謝を申し上げます。

文献

- [1] Sakurai H, Tsuji A: Antidiabetic action of vanadium complexes in animals: blood glucose normalizing effect, organ distribution of vanadium, and mechanism for insulin-mimetic action in Vanadium in the Environment. Part 2. Health Effects (Nriagu JO ed.) PP297-315, John Wiley & Sons, New York, 1988
- [2] Sakurai H, Fujii K, Fujimoto S, et al. : Structure-activity relationship of insulin-mimetic vanadyl complexes with VO(N₂O₂) coordination mode in Vanadium Complexes: Chemistry, Biochemistry, and Therapeutic Application. ACS Symp. Ser. 711 (Tracey AS & Crans DC eds.) pp344-352, Am. Chem. Soc., Washington, 1998
- [3] 桜井 弘：バナジウムによる糖代謝の調節—糖尿病の予防と治療、バイオメタル—生体調節の多彩な役割と病態—山口正義編, pp83-104, 1998
- [4] Meyerowitch J, Farfel Z, Sack J, et al. : Oral administration of vanadate normalizes blood glucose levels in streptozotocin-treated rats. J. Biol. Chem., 262: 6658-6662, 1987
- [5] Peterson RA, Ramaradham S, Buchan MJ, et al. : Long-term effects of vanadyl-treatment on streptozotocin-induced diabetes in rats. Diabetes 38: 1390-1395, 1989
- [6] Sakurai H, Tsuchiya K, Nukatsuka M, et al. : Insulin-like effects of vanadyl ion on streptozotocin-induced diabetic rats. J. Endocrinol 126: 451-459, 1990
- [7] Nakai M, Watanabe H, Fujiwara C, et al. : Mechanism on insulin-like action of vanadyl sulfate: studies on interaction between rat adipocytes and vanadium compounds. Biol. Pharm. Bull., 18: 719-725, 1995
- [8] McNeil JH, Yuen VG, Hoveyda HR, et al. : Bis(maltolato)oxovanadium(IV) is a potent insulin mimetics. J. Med. Chem., 35: 1489-1491, 1992
- [9] Sakurai H, Sano H, Takino T, et al. : A new orally active antidiabetic vanadyl complex: in vitro and in vivo evaluations in rats. 37th IUPAC Congress, Abstracts part 1: p191, Berlin, Germany, Aug. 14-19, 1999
- [10] H. Yasui, K. Takino and H. Sakurai: Metallokinetic analysis of disposition of vanadyl complexes as insulin-mimetics in rats using BCM-ESR method. J. Inorg. Biochem., 78 : 185-196, 2000
- [11] 桜井 弘：バナジウムと糖尿病, 微量栄養素研究 16 : 1-12, 1999

隕石中ハロゲン元素の放射化分析 —光量子放射化分析法と隕石内での分布—

(東京都立大学大学院理学研究科) 仲本朝嗣, Sk.A.Latif, 大浦泰嗣,
海老原充, 中原弘道

1 はじめに

隕石や岩石中の微量ハロゲン元素の分析には放射化分析法が適しており、よく利用される。我々も、放射化学的中性子放射化分析法 (RNAA)により、隕石や岩石中の I、Br、および Cl の定量を行ってきた¹⁾。しかし、RNAA では F の定量が表 1 で示すように利用できる核種の半減期が 11 秒と短いため困難である。また、I では定量に用いる ¹²⁸I の半減期が 25 分であり、定量は化学分離に要する時間との勝負である。一方、光量子放射化分析法では、F の定量に半減期 110 分の ¹⁸F が利用でき、他の 3 元素にも定量に用いるのに適当な半減期の核種が存在するため RNAA では困難であった F、Cl、Br、I の 4 元素すべての定量が可能である。また ¹²⁶I は半減期が 13 日と長く、RNAA の場合のように化学分離中の減衰を気にしなくてすむ。そこで、本研究では 1 度の照射でハロゲン 4 元素を同時に定量できる放射化学的光量子放射化分析法 (RPAA) の開発・検討を行った。

表 1 ハロゲン元素の中性子放射化分析 (RNAA)・光量子放射化分析 (RPAA) で利用する標的核種 (同位体存在度)、生成核種とその半減期、測定に用いる γ 線エネルギー (分岐比)。

RNAA				RPAA			
標的核種	生成核種	半減期	γ 線 エネルギー	標的核種	生成核種	半減期	γ 線 エネルギー
¹⁹ F (100%)	²⁰ F	11 秒	1634keV (100%)	¹⁹ F (100%)	¹⁸ F	110 分	511keV
³⁷ Cl (24%)	³⁸ Cl	37 分	1643keV (32%)	³⁵ Cl (76%)	^{34m} Cl	32 分	146keV (41%)
⁸¹ Br (49%)	⁸² Br	1.5 日	777 (84%)	⁸¹ Br (49%)	^{80m} Br	4.4 時間	616keV* (6.7%)
¹²⁷ I (100%)	¹²⁸ I	25 分	443keV (17%)	¹²⁷ I (100%)	¹²⁶ I	13 日	389keV (34%)

*娘核種 ^{80g}Br からの γ 線

ハロゲン元素の化学的性質は広く知られているが、宇宙化学的性質、すなわち隕石を代表とする宇宙物質中での挙動については、ほとんど知られていない。原始太陽系におけるハロゲン元素の宇宙化学的挙動を考察する目的で、コンドライト隕石を構成するいくつかの構成鉱物間でのハロゲン元素の分布を化学エッチング法により調べた。

2 ハロゲン 4 元素の光量子放射化分析法の検討

2.1 照射および化学分離

粉末試料約 100mg を Al 箔で二重に包み、直径 1cm のペレット状に整形して照射試料とした。これを、flux を補正するための金箔と一緒に石英管内に常圧封入した。東北大学大学院理学研究科附属原子核理学研究施設の電子線形加速器にて最大エネルギー (E_{max}) 30MeV の制動放射線を 2~6 時間照射後、図 1 に示す化学操作を行い、F は CaF₂、Cl と Br は AgCl+AgBr、I は PdI₂ としてそれぞれ分離した。測定試料が十分に冷却した後、立教大学原子力研究所 TRIGA II 原子炉にて再放射化し、化学収率を求めた。収率は、F 5~60%、Cl 70~90%、Br 40~60%、I 30~70%であった。

2.2 測定

γ 線測定は Ge 半導体検出器を用いて行った。Cl+Br 試料は化学分離後ただちに測定を開始し、1 回あたり 600 秒の測定時間で数回にわたって測定し、^{34m}Cl の減衰を追跡した。その数時間後、

^{80m}Br を 3000 秒間測定した。511keV の消滅 γ 線を測定するフッ素試料は厚さ 1mm の銅板ではさんだ後、600 秒間測定を約半日の間くりかえし、減衰を追跡した。ヨウ素試料は東京都立大学 RI 研究施設にて、半日から一日間測定した。

2.3 結果と考察

2.3.1 妨害核種

F の定量には 511keV 消滅 γ 線を用いるため、各試料で壊変曲線を作成し、汚染核種の寄与を補正した。図 2 に壊変曲線の一例を示す。汚染核種は主に ^{56}Co と ^{57}Ni であった。この例のように、ほとんどの試料において最初の数回の測定では汚染核種による 511keV 消滅 γ 線への寄与は無視することができた。Cl + Br の測定試料には $^{24}\text{Na}(t_{1/2}=14.95\text{h})$, $^{43}\text{K}(t_{1/2}=22.3\text{h})$, $^{56}\text{Mn}(t_{1/2}=2.578\text{h})$ が含まれていた。 ^{43}K は ^{80}Br と同じエネルギーの γ 線を放出するため、その寄与を補正した。

2.3.2 妨害核反応

ハロゲン元素定量の妨害核反応として

- (i) $^{23}\text{Na}(\gamma, \alpha n)^{18}\text{F}$ ($Q=-20.9\text{MeV}$)
- (ii) $^{39}\text{K}(\gamma, \alpha n)^{34m}\text{Cl}$ ($Q=-20.0\text{MeV}$)
- (iii) $^{85}\text{Rb}(\gamma, \alpha n)^{80m}\text{Br}$ ($Q=-16.9\text{MeV}$)

があり、 $E_{\text{max}}=30\text{MeV}$ で照射する際はこれらの補正が必要となる。そこで、これらの元素の純度 99.9% の炭酸塩を試料と同時に照射し、寄与補正係数を求めた(表 2)。Rb の Br への寄与は、コンドライト隕石試料中の Rb と Br の含有量が同程度であるため、無視できることが分かった。

2.3.3 定量結果

既知量の KF、KCl、KBr、KI 溶液を滴下・乾燥した Al 箔を比較標準試料として照射し、検量線の作成を試みたが、いずれの元素においても直線性のよい検量線が得られなかった。中性子束の大きい原子炉を用いた放射化分析では、照射中に標準試料の揮発性元素が揮散することが知られている²⁾が、制動放射線の照射でも同様のことが起きているようである。そこで比較標準試料として堆積岩試料 D-41-7 を用いて定量値を求めた。表 3 は、Allende 隕石、及び標準岩石 JR-1 について、各ハロゲン元素の定量値を文献値で割った値をまとめたものである。6 時間照射した試料の I の定量値は文献値よりも大きな値が得られた。これは標準試料として用いた堆積岩試料から I が一部揮散したためと考えられる。I の揮散は、Allende、JR-1 についても起きている可能性は否定できない。

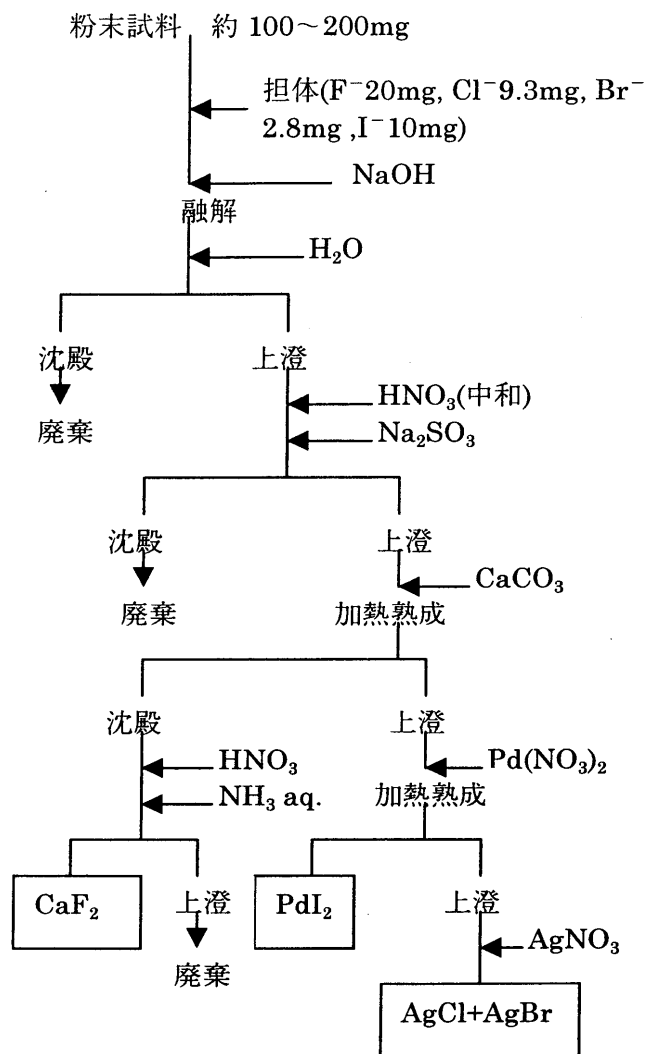


図 1 ハロゲン元素の化学分離法

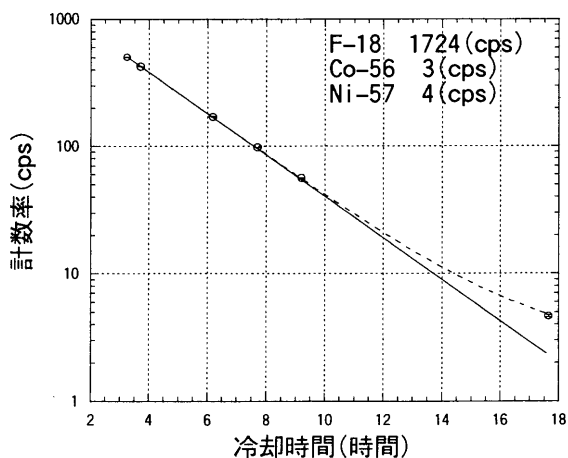


図 2 511keV 消滅 γ 線の壊変曲線(岩石試料 JR-1)。点線は消滅 γ 線の実測値を最小二乗法でフィットさせたもの。実線は ^{18}F だけの壊変曲線。計数率(cps)は照射終了時の値。

表2 ハロゲン元素の妨害核反応

定量元素	妨害核反応	寄与補正係数 ($E_{\max}=30\text{MeV}$)
F	$^{23}\text{Na}(\gamma, \alpha n)^{18}\text{F}$	$7\mu\text{gF}/1\text{mgNa}$
Cl	$^{39}\text{K}(\gamma, \alpha n)^{34\text{m}}\text{Cl}$	$2\mu\text{gCl}/1\text{mgK}$
Br	$^{85}\text{Rb}(\gamma, \alpha n)^{80\text{m}}\text{Br}$	$0.1\mu\text{gBr}/1\text{mgRb}$

表3 定量結果

試料	ハロゲン元素	照射時間 [時間]	定量値/文献値
Allende(隕石)	F	2	1.08 ± 0.14
	Cl	2	0.87 ± 0.13
	Br	2	1.25 ± 0.23
	I	2	0.82 ± 0.13
	I	6	1.47 ± 0.45
JR-1(流紋岩)	Cl	2	1.18 ± 0.12
	Br	2	0.96 ± 0.07
	I	2	1.08 ± 0.16
	I	6	1.34 ± 0.39

2.3.4 照射中の揮散

ハロゲン元素の照射中の揮散を考察するために、次のような実験を行った。堆積岩試料 D-41-7 を Al 箔だけの試料とともに照射時間をかえて、30分～6時間制動放射線を照射し、ハロゲン4元素の誘導放射能を測定した。その結果、F、Cl、Brについては30分～2時間の照射の範囲では試料中からの明らかな揮散は見出されなかった。Iについても30分～2時間照射については明らかな揮散は観察されなかったが、6時間照射では試料を包んでいた Al 箔とblank Al 箔にそれぞれ ^{126}I が検出された(表4)。6時間照射では、明らかに試料からIが揮散していることが確認された。

表4 堆積岩試料中の ^{126}I に対する比(%)

照射時間	30分	1時間	2時間	6時間
D-41-7	$\equiv 100$	$\equiv 100$	$\equiv 100$	$\equiv 100$
blank Al 箔	<5.9	<2.4	<1.3	13
試料を包んだ Al 箔	<2.9	<2.4	<1.3	24
SiO_2				<12
SiO_2 を包んだ Al 箔				1.6

2.5 RPAA まとめ

本研究において、同一固体試料からハロゲン4元素(F、Cl、Br、I)を分離する放射化学的手法を確立した。また、RPAA法を用いることによって、これら4ハロゲン元素の放射化学的分離操作をするのに十分な半減期を持つ核種を用いることが出来たため、同一試料から一回の照射で4元素すべてを定量することができる見通しを得ることができた。しかし、照射中にハロゲン元素(特にI)が揮散する可能性があることが判り、まだ正確な定量値を得るところまで至っていない。この揮散に関する問題は、照射時間を考慮することにより解決法が見出せる可能性がある。今後さらに実験を重ね、ハロゲン元素の正確な定量値が得られる手法を確立させていく予定である。

3 隕石内でのハロゲン元素の分布

3.1 目的

太陽系初期では、原始太陽系星雲と呼ばれる太陽系の元素組成をもつ気相が存在した。これが凝縮過程を経て固相となり、それが集積して小惑星を形成するが、惑星はこれら小惑星が集積・合体したものである。惑星まで進化せず、かつ熱による変性を最小限経験した小惑星も存在し、その一部が地球上に飛来したものがコンドライト隕石である。揮発性元素として知られているハロゲン元素の原始太陽系での挙動を考察する目的で、コンドライト隕石中ハロゲン元素の鉱物相間での分布を調べた。

3.2 実験

3.2.1 試料

本研究では、コンドライト隕石の中でも最も落下数の多いオーディナリーコンドライトの Dhajala(H3 : 1976 年インドに落下)と Saratov(L4 : 1918 年ソ連に落下)を用いた。これらはどちらも落下直後に回収されたもので、地上での汚染が小さく、また隕石母天体(小惑星)上での熱変性の程度が小さい(特に Dhajala)ため、より始原的な情報をもつ。

3.2.2 鉱物相分離

鉱物相分離法には、磁性・比重を利用する物理的分離法と溶解度を利用する化学的分離法がある。前者は分離度は優れているが、構成鉱物の粒度の細かいコンドライトには適さない。そこで、今回は化学的分離法によって特定鉱物を選択的に溶出する方法を用いた。表5に溶出に用いた溶媒と、各溶媒に溶出する鉱物を示す。

表5 鉱物相分離に用いた溶媒と各溶媒に溶出する鉱物

溶媒	溶出鉱物
温水	岩塩(NaCl)
EDTA (0.1M pH=9)	アパタイト($\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{Cl}$), ウイトロカイト ($\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$)
硝酸 (6M)	Fe-Ni, FeS, カンラン石($(\text{Fe,Mg})_2\text{SiO}_4$)
(酸残渣)	輝石($(\text{Mg,Fe})\text{SiO}_3$), 斜長石($(\text{Al,Na})\text{Si}_3\text{O}_8$)

3.2.3 化学操作

Cl、Br の定量には RNAA を用いた。各隕石試料(粒状、約 200mg)を立教大学原子力研究所 TRIGA II 原子炉にて 30 分間中性子照射をした。また I の定量は RPAA を用い、試料(約 200mg)を東北大学大学院理学研究科附属原子核理学研究施設の電子線形加速器にて最大エネルギー 30MeV の制動放射線を 6.5 時間照射した。

照射試料に温水、EDTA 溶液、硝酸を順次加え、10 分間温めながら特定の鉱物相の溶解を行った。各溶出液にハロゲン担体(KCl, KBr, KI)を加え、Cl、Br は $\text{AgCl}+\text{AgBr}$ 、I は PdI_2 として沈殿させて回収し、 γ 線を測定した。最後の酸残渣はアルカリ融解して同様に化学分離した。

3.5 結果・考察

図3に Dhajara(a)と Saratov(b)のハロゲン元素の溶出パターンを、各溶出液および酸残渣それぞれから検出されたハロゲン元素の放射能の分配比の変化として示す。Dhajala と Saratov で異なる溶出パターンが得られたが、これは隕石の種類の違いによるものと考えられる。しかし、温水には Br が多く溶出する点は共通している。Cl は隕石中でカルシウムリン酸塩中に存在することが知られており、これはキレート剤である EDTA 溶液に溶解すると予想されたが、溶出時間が 10 分と短かったため EDTA には十分に溶けきれずに、次のより条件の強い硝酸に溶解したと思われる。また、Cl と Br が類似した溶出挙動をとるのに対し、I は違う挙動を示した。特に、Cl と Br が硝酸に多く溶出したのに対し、I は硝酸ではあまり溶出せず、硝酸に溶け残った酸残渣に多く検出された点で著しい違いが認められた。酸残渣は主に輝石と長石からなるものと考えられるが、このうち輝石は原始太陽系の集積過程において高温で集積した鉱物の一つである。もしこの輝石に I がかなりの割合で含有されているとすると、原始太陽系において I は不揮発性元素として挙動していた可能性も考えられる。今後さらに分析を続け、ハロゲン元素の分配を通じて、その宇宙化学的挙動を調べていく予定である。

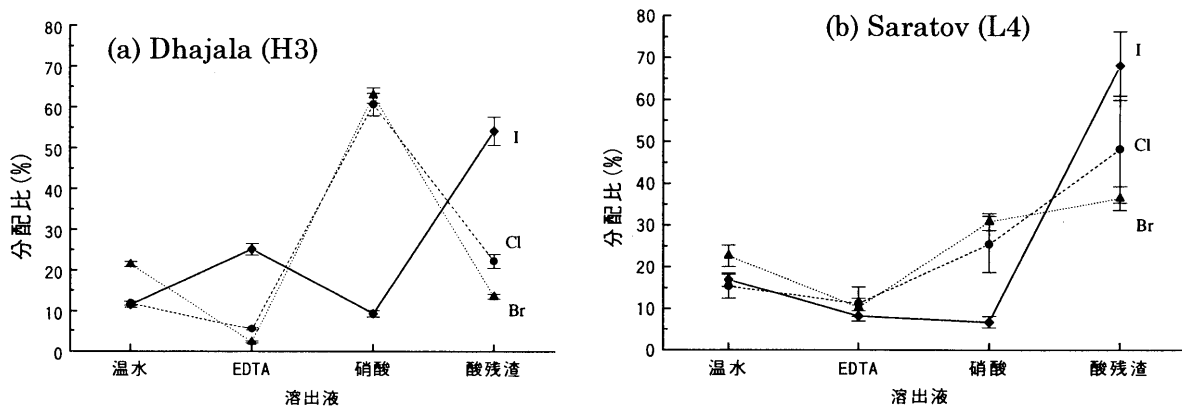


図3 ハロゲン元素の溶出パターン ● : Cl ▲ : Br ◆ : I

参考文献

- 1) M. Ebihara et. al *J. Radioanal. Nucle. Chem.* **216**. 107 (1997).
- 2) 日本アイソトープ協会 「放射化分析による環境調査」 p.80 (1979).

「放射化分析の新展開」研究会報告

高エネルギー加速器研究機構 榎本 和義

「放射化分析の新展開」と題して平成 12 年 3 月 21 日及び 3 月 22 日の両日にわたって、高エネルギー加速器研究機構 (KEK) 田無分室において研究会が行われました。KEK 田無分室と放射化分析研究会、日本放射化学会放射化分析分科会との共催で行われましたが、放射化分析研究会にとっては今年の夏の学校に次ぐ企画となりました。第 1 日目は、特別講演 4 件、第 2 日目は一般講演 13 件の発表がありました。広く会員の皆さまにも紹介させていただくために、研究会で発表された講演の概要と要旨を掲載させていただくことにしました。

研究会の趣旨

放射化分析研究会での今後の研究活動を一層拡げていくうえで会員の最近の研究成果、これからの展望など、学会発表とは一味違った討論の場を作ることにした。特に、研究会ではこれまで扱われてこなかった対象試料、対象元素、また元素の分布や状態の情報を得るための、放射化、検出、分離、定量の各ステップにおける新たなアイデアの提案、分析するうえで根幹となる品質保証、品質管理のための精度や感度の向上、機器化、自動化についての提案などを紹介していただきながら、討論を深めることにした。

研究会のトピックスとして大強度陽子加速器計画と JCO 事故についての講演を企画した。高エネルギー加速器研究機構田無分室 (旧東大原子核研究所) において従来より計画してきた「大型ハドロン (JHF) 計画」は、昨年より日本原子力研究所の提案である「中性子科学研究計画」と一つになり「大強度陽子加速器計画」として協力して推進することになった。そこで、現在の中性子ビーム発生施設の計画および中性子利用研究についての先端で研究を行っておられる先生の講演をお願いした。また、JCO 事故は「放射化分析の世界である」と言われるように、施設周辺での中性子放射化量の評価が重要になっている。研究会では放射化分析および環境放射能分析にまたがる研究者から調査報告をふまえた事故の捉え方について紹介していただいた。さらに、坂本浩先生に中性子および光子放射化分析における重要かつ基礎的問題である妨害反応の評価と解決について紹介していただくことにした。

研究会プログラム

=====
平成 12 年 3 月 21 日 (火)

13:00-13:30 受付

13:30-14:30 依頼講演 1 座長 榎本 和義

「中性子利用研究の新展開と大強度パルス中性子源計画」・・・ (高エネ機構・物構研) 池田 進

14:30-15:30 依頼講演 2 座長 松尾 基之

「日本原子力研究所における即発 γ 線分析研究の現状と将来」・・・・・・ (原研) 米沢仲四郎

15:30-16:30 依頼講演3 座長 百島 則行

「JCO 臨界事故で放出された中性子による環境物質の放射化」 (金沢大理) 中西 孝

16:30-17:30 依頼講演4 座長 片山 幸士

「NAA, PAA による岩石・植物試料の分析から学んだこと」 (金沢大理) 坂本 浩

17:30-17:50 放射化分析研究会現状報告 研究会幹事

18:00-20:00 懇親会 (宿舎食堂)

=====

平成12年3月22日(水)午前

9:30-10:30 研究発表(20分 X 3件) 座長 海老原 充

講演1: 樹木年輪中の放射性核種の分布 (熊大理) 百島則幸

講演2: 環境における未知有機ハロゲン化合物の存在とその挙動 (愛媛大・農) 河野公栄、脇本忠明

講演3: 機器中性子放射化分析による地衣類の元素濃度の定量

(A)筑波大理工学, (B)筑波大化) (A)齋藤陽子, (B)関 李紀

10:40-11:40 研究発表(20分 X 3件) 座長 岡田 往子

講演4: プタ胎子の臓器に含まれる元素の放射化分析

((A)石巻専修大、(B)京大原子炉) (A)福島美智子、(A)玉手英利 (B)中野幸廣

講演5: PIXEの医学利用 (北里大) 太田顕成

講演6: 植物の放射化分析について - 植物葉中の微量元素の分布と特異集積の研究 -

(京大・原子炉) 高田實弥

平成12年3月22日(水)午後

13:30-14:30 研究発表(20分 X 3件) 座長 薬袋 佳孝

講演7: k₀-中性子即発 γ 線分析法による多元素定量 (原研) 松江秀明、米沢仲四郎

講演8: フロー法による炭素の迅速分離検出法の開発と放射化分析への適用

((A)KEK・放射線セ、(B)東北大・核理研、(C)NTT フォトニクス研究所)

(A)榎本和義、(B)大槻 勤、(C)鹿野 弘二、(A)伊藤 寛

講演9: 荷電粒子放射化法による酸素の深さ方向分析

((A)三菱マテリアル総研、(B)三菱マテリアルクォーツ、(C)KEK・放射線セ)

(A)水野 哲、(A)櫻井宏行、(A)竹谷 実、(B)金子誠一、(C)榎本和義、(C)伊藤 寛

14:30-15:50 研究発表(20分 X 4件) 座長 福岡 孝昭

講演10: 多重ガンマ線検出法の分析化学への応用

(原研) 初川雄一、大島真澄、早川岳人、藤暢 輔、篠原伸夫

講演11: エアロゾル降下量の季節変動と発生源

((A)九大院理、(B)熊大理、(C)九大アイセ) (A)杉原真司、(B)百島則幸、(C)大崎 進、(A)前田米

蔵

講演12: 隕石中ハロゲン元素の放射化分析—光量子放射化分析法と隕石内での分布—

(A)都立大理, (B)都立大院理) (A)仲本朝嗣, (B)Sk.A.Latif, (B)大浦泰嗣, (B)海老原充, (B)中原弘道
講演 13: 大型試料の即発 γ 線分析—中性子透過度と隕石への応用—

(都立大院) 大浦泰嗣, Sk.A.Latif, 海老原充, 中原弘道

講演の概要

以下に座長の感想を紹介しながら講演の概要を紹介する。

依頼講演 1. 「中性子利用研究の新展開と大強度パルス中性子源計画（統合計画）」

高エネルギー研究機構物質構造研究所池田進先生は現在中性子散乱研究のリーダーとして活躍されているだけでなく、日本原子力研究所との統合計画でも大強度中性子源計画においても中心的役割を果たしておられる。はじめに、中性子散乱研究の原理、歴史および最近のトピックの紹介の後、大強度陽子加速器計画でのパルス中性子源計画の概要を講演していただいた。

講演で最も興味が持たれたのは、池田先生が最近始められた、中性子共鳴吸収法による微量元素分析の可能性の紹介であった。パルス中性子を利用すると、中性子のエネルギーを横軸に中性子の吸収スペクトルを容易に求めることができる。このため、非破壊的にその吸収量から試料に含まれる元素（同位体）を高感度に定量できることになる。これは共鳴吸収後に発生するガンマ線を測定する分析法と相対する分析法として非常に期待できるものである。討論では、共鳴吸収とともに即発ガンマ線を時間分析することで選択性、精度の向上の可能性はあるかなどが議論された。（榎本）

依頼講演 2. 「日本原子力研究所における即発ガンマ線分析研究の現状と将来」

米沢先生は、中性子誘起即発ガンマ線分析の第一人者であり、放射化分析研究会のメンバーの中でも、多くの者が、協力研究あるいは共同利用という形で、即発ガンマ線分析装置を用いて種々の研究を行っている。

講演では、即発ガンマ線分析の歴史や特長についてのお話しから始まり、高感度元素分析で重要な低 γ 線バックグラウンドをどのように達成しているか等の、装置の開発やその性能についての説明があった。元素ごとの分析感度と検出限界を求めた結果が報告され、スペクトルの重なりによる妨害の除去の例として、ホウ素のピークに対するナトリウムの妨害とその補正法についての説明があった。ホウ素については、今年から環境中への排出に関して規制が行われるとのことで、その簡便で正確な定量法がますます必要となってくると考えられる。

また、元素の定量法としては、比較法、内標準法が使われているが、後者の1つとして、最近、 k_0 法が開発された旨の紹介があった。（詳細は、翌日の松江秀明さんによる一般講演にて説明された）。即発ガンマ線分析の応用として、原子炉材料等の各種材料、岩石、隕石、植物、各種環境試料等のホウ素の定量や、脳腫瘍治療の際の、患者の体内組織中の ^{10}B の定量への応用について紹介があった。即発ガンマ線分析の将来については、大強度陽子加速器を利用した核破碎中性子源の利用や、中性子レンズを用いてビームを0.5mm ϕ 以下に絞る、微小分析への可能性について説明があった。

討論では、これまで即発ガンマ線分析を利用したことがない出席者から、その特長や自分たちの試料への適用の可能性についての質問があったほか、これまで利用経験がある者からも、水素濃度が高い

試料（植物やwetな土壌試料）での散乱の影響と、それによる他の元素の感度低下についての質問があった。また、加速器中性子源と、原子炉中性子の特長の違いなどについてのディスカッションがあり、即発ガンマ線分析に対する出席者の関心の高さがうかがわれた。（松尾）

依頼講演 3. 「JCO臨界事故で放出された中性子による環境物質の放射化」

JCO 臨界事故では放射化分析、環境放射能を研究してこられた方々が調査チームを結成し、事故当初から精力的に現地に入って試料採取と分析作業を進められてきた。中西先生はそのメンバーの一員として活動されている。講演ではこれまでの調査で分かってきたことを紹介していただいた。（榎本）

我が国でまさか臨界事故が起こるとは、おそらく誰も思っていなかったことであろう。事故発生から半年ほど経過したが、今回の事故の社会的影響の大きさは計り知れないものがある。放射化分析とは試料を原子炉で照射して行うものと考えていた研究者に、環境の放射化と言うとんでもない試料を提供した。講演では、適切な環境試料（すでに放射化された）の早急な選定作業、試料調達と事故現場での環境測定における当事者・関係機関・住民との対応やそこから生じる活動の制限などを含めた広い話を聞くことができた。これまで蓄積してきた放射化分析の知識と経験を、社会と深く関わる今回のような放射能事故にどのように生かしていくのか、科学的な面と社会的な面における取り組みが研究者に求められている。（百島）

依頼講演 4. 「NAA, PAA による岩石・植物試料の分析から学んだこと」

放射化分析における妨害反応は常に問題となっているテーマであるが、実試料分析を行う際にもすれば見逃されることが多い。坂本先生は京大原子炉とライナックを利用した経験をもとに岩石試料と植物試料の分析においてとくに注意すべき点を紹介された。特に、岩石試料の中性子放射化分析ではウランの核分裂生成物が直接、間接に定量の妨害となる事例について具体的に報告があった。また、光量子放射化では2次的に発生する中性子の評価が重要であり、カドミウム箔での照射カプセルのカバーが妨害低減に効果的であることが示された。（榎本）

講演 1 「樹林年輪中の放射性核種の分布」

杉の年輪中に存在するフォールアウト起源 ^{137}Cs 、 ^{90}Sr の濃度を測定し、年輪中におけるそれら核種の挙動や、系年変化について考察した。 ^{137}Cs は年輪中を移動し、再分配されるのに対し、 ^{90}Sr 濃度変化はフォールアウトの蓄積パターンと一致する事が分かり、アルカリ元素であるセシウムが年輪中に塩として存在し、水で溶脱しやすいのに対して、アルカリ土類元素であるストロンチウムはイオン交換サイトに保持され、年輪中に固定されるものと解釈された。但し、フォールアウトパターンからのずれを生じることもあり、恐らく、酸性雨等の土壌環境の変化で樹液-細胞膜間の化学平衡がくずれた結果であると推察した。 ^{137}Cs 、 ^{90}Sr 濃度と他の元素濃度との関連を求めめるために放射化分析が利用されている。フォールアウトの系年変化を知るために樹木の年輪を用いるという着想は比較的容易だが、正確に読みとるためには慎重な考察が必要なことを痛感させられると共に、樹木の中での元素の挙動を化学的見地から考察するところに研究の奥行きの高さを感じさせられた。（海老原）

講演 2 「環境中における未知有機ハロゲン化合物の存在とその挙動」

渡り鳥の一種であるキアシシギを対象とし、その皮下脂肪中に存在する有機体ハロゲン化合物の種類と存在量を調べた。有機溶媒を用いて皮下脂肪から有機体ハロゲン化合物を抽出し、無機ハロゲン化合物を除いた後に機器中性子放射化分析法 (INAA) を用いて、塩素、臭素、ヨウ素を定量した。有機体ハロゲンの濃度はこの順に減少するが、有機体塩素の半分以上は未知の有機塩素化合物に由来することが分かった。これらの未知有機塩素化合物は安定性や蓄積性が高く、河口域の干潟に生息する餌になる生物から取り込まれたものと考えられる。環境中には未知の有機ハロゲン化合物が思った以上に多く存在し、今後の環境問題を考える上でその種類や毒性、滞留性などについて早急に研究を進める必要があると痛感させられた。上記のハロゲン元素は中性子放射化分析で分析するには都合の良い元素であり、今後この分野でますます INAA が効果的に利用されるものと予想される。(海老原)

講演 3. 「機器中性子放射化分析による地衣類の元素濃度の定量」

日本各地から採取した種類の異なる地衣類を INAA で分析し、元素組成を比較することによって、環境変動を考察するための指標として地衣類がどのくらい有効かを考察した。採取された地衣類を水洗後、冷凍乾燥し、粉碎して均一な試料としたものを一定量用いて INAA による元素分析を行った。その結果、地衣類の族や種に関係なく、生育環境を反映した元素濃度を示すことがわかり、特にその傾向は非必須元素に強く現れることが示された。環境問題は、このような地道な研究を重ねることによってはじめて有意義な議論がなされるわけで、今後の研究の進展が大いに期待されるとことである。発表後に多くの質問、コメントが寄せられ、参加者の関心の深さを感じさせられた。このような研究においても NAA、特に INAA は最も有効な研究手段として利用されていることが示された。(海老原)

講演 4. 「ブタ胎仔の臓器に含まれる元素の放射化分析」

要約：ブタ胎仔の肝臓、腎臓及び脾臓に含まれる 19 元素を PAA, NAA 及び AAS の 3 方法を用いて定量を行った。その結果から、胎仔の月齢と各臓器中の元素の濃度変化の関係を明らかにした。月齢期間中ほぼ一定濃度を示した元素は Mg, Ca, Fe, Cu、誕生がちかい時期に急激な増加を示す元素は Na, K, Rb、月齢の小さい時期に濃度が高い元素は Zn であった。

座長談：本ご講演はブタの特に胎仔という、普段見聞きしない対象でしたのでそれぞれがいろいろな興味で拝聴したようでした。特に、母胎中の月齢期間の胎仔がどんな元素を取り込んで成長するのかという内容には、分野を越えて興味をそそったようでした。(岡田)

講演 5. 「PIXE の医学利用について」

要約：日本アイソトープ協会茅記念滝沢研究所・仁科記念サイクロトロンセンターの PIXE 装置を利用して Long-Evans Cinnamon (LEC) ラット (肝炎・肝癌を自然発生する特徴を持つ) の臓器中の微量元素を分析した。定量された元素は約 23 元素であった。特に、LEC ラットの肝臓中の Cu 濃度は高い値を示した。

座長談：ご講演は放射化分析を利用されてきた経験を交えて、PIXE 装置を通して、利用者からみた利用しやすい施設やデータの提供の仕方などを中心にお話されていた。(岡田)

講演6. 「植物の放射化分析について—植物葉中の微量元素の分析と特異集積の研究—」

要約：西日本に成育する植物の葉中の微量元素を成育環境との関連で NAA 法で分析をした。その結果、特定元素を集積する植物が見いだされ、集積植物と集積元素とは特定の組み合わせがあることが判明した。また、植物の生育環境と元素分布では母材や土壌の元素組成が植物の元素組成に反映し、特にこの傾向は非必須元素で明瞭であった。このことは植物が生育環境の指標とし応用できることを示している。

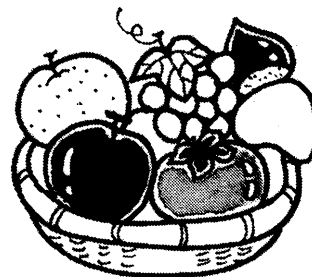
座長談：本講演は演者らの長年積み重ねたデータ集積とご発表中に何回か登場したなつかしい小山先生のお名前ですごく重みのあるお話でした。(岡田)

講演7から13までの座長の感想は寄せられませんでした。手法としての展開、アプリケーションでの展開について発表と討論がありました。とくに、それぞれの経験からこのようなやり方をやってみたらどうか、このような点に注意が必要であるとか、突っ込んだ議論もありとても有意義でした。(榎本)

まとめ

放射化分析は分析の手段として、各分野に広く浸透しているため、なかなか他分野まで情報が流れきません。特に新たに分析をはじめようとする者や新分野を開拓しようとする者にとって専門家や先人のアドバイスが必要です。今回のような研究会は分野を越えて放射化分析の話が聴ける良い場であると思います。また、(北里大)太田顕成先生のお話のなかにもありましたが、放射化分析法をさらに普及させるためにも、「ユーザーの利用しやすい放射化分析」についても考えてゆく必要があるのではないのでしょうか？ (岡田)

池田、米沢両先生の話から、お二人を中心につくばで一緒に実験をやってみようという試みも始まったようですが、このようなことができてくることこそ願っていたものだと言えます。KEK 田無分室は平成12年度につくばへ移転することになっており、今回が田無での最後の研究会であり、最後の共同利用宿舎の利用ということになりましたが、参加者からは次回以降のつくばでの開催にも期待を寄せられました。(榎本)



中性子利用研究の新展開と大強度パルス中性子源計画（統合計画）

（高エネ機構・物構研）

池田 進

中性子散乱と物質科学

中性子は、粒子であるとともに波である。

$$\lambda = \frac{h}{p} = \frac{h}{\sqrt{2mE}} = \frac{30.84}{\sqrt{E(K)}} = \frac{9.081}{\sqrt{E(\text{meV})}}$$

物質科学の手段は中性子の他に電子線や電磁波すなわち γ 線、X線、可視光、赤外線、マイクロ波等がある。

$$E(K) = \frac{9.51 \times 10^2}{\lambda^2} \quad (\text{中性子})$$

$$E(K) = \frac{1.75 \times 10^6}{\lambda^2} \quad (\text{電子線})$$

$$E(K) = \frac{1.44 \times 10^8}{\lambda} \quad (\text{電磁波})$$

電磁波のエネルギーが $\frac{1}{\lambda}$ に比例するのに対して、中性子のそれは $\frac{1}{\lambda^2}$ に比例することにある。また、中性子の場合には固体内の原子間距離とほぼひとしい波長 2\AA の波長の中性子 238 K のエネルギーを持つが、同じ波長の電磁波は $7 \times 10^7\text{ K}$ と高いエネルギーを持つことがわかる。これらから次のような特徴が挙げられる。

（1）時空相関の研究

物質の時空相関の研究には原子間距離程度の波長で、原子の運動エネルギー（大体 $10-100\text{ K}$ 程度）に等しいエネルギーを持ったプローブが適している。この程度のエネルギーを持った電磁波は赤外線であるが、 300 K の赤外線の波長は $5\text{ }\mu\text{m}$ で空間配列の研究には役立たない。中性子はそのエネルギーと波長がともに適した大きさを持っている。

（2）中性

物質内の電子とほとんど相互作用することなく内部まで入り込むことができる。

（3）磁気散乱

原子の磁気モーメントと相互作用をすることにある。磁気構造を知る唯一の直接的手段といえる。

（4）核散乱

一般的に、X線散乱が不得意とする軽元素に大きな散乱断面積をもっている。

（5）コントラストバリエーション法

特に水素と重水素の散乱長が負と正であるため、水溶液な平均散乱長を変化させることができ、生体物質の研究にコントラストバリエーション法が使える。

中性子散乱の歴史

1936年 ©Elsasser neutronは結晶で回折することを示唆。

1937年 O.Halpern & M.H.Joison 中性子散乱を定式化。Phys. Rev. 51('37)992, 52('37)52

1940年 L. Alvariz and F.Bloch 中性子の磁気モーメントの大きさ決定。Phys. Rev. 57('40) 111

1945年 E. O. Wollan Double crystal spectrometerをOak Ridgeに設置。

1946年 W. H. Zinn Argonne Nat. Lab.にspectrometer 設置。

1947年 Fermi - Marshall Neutron diffraction をscattering amplitude決定に利用。

1948年 Wollan et al neutron diffraction によるLaue Spot の観測。

1949年 Shull and Smart MnOのmagnetic scattering の観測。

1948-1955年 中性子回折萌芽期；弾性散乱による構造決定。

1955-1965年 第1成長期； 磁気構造の決定。偏極中性子による磁気形状因子の決定。非弾性散乱研究の開始。

1965-1975年 第2成長期； 非弾性散乱研究。集団励起の観測。散漫散乱の観測。冷中性子ガイド管の開発。

1975-1985年 第3成長期； 中性子散乱の新しい研究分野への応用。化学、生物、高分子。新技術の開発 (spin echo--> neV分光)。新型中性子源の開発 (パルス中性子源KEKで完成、1980年)

1985- 第4成長期； 強力パルス中性子源ISIS完成。広いS(Q,w)の観測。高エネルギー励起の観測。中性子コンプトン散乱。中性子 reflectometer。

最近のトピックス

- (1) 粉末構造解析装置の進歩—高温超伝導体の構造解析
- (2) 中性子反射計による表面研究
- (3) 電池の構造研究
- (4) 水素の位置／運動の決定

中性子散乱研究への最近の要請

1. デモンストレーション実験から実用実験へ
工業利用
2. 小さな試料への要求
中性子密度の向上、フォーカスデバイス
3. 広い時空相関の研究
高いエネルギーを使った中性子散乱
4. 多次元時空相関の研究
膨大なデータ処理
5. 中性子散乱強度分布の研究
散乱強度の絶対値測定
6. 高分解能中性子散乱
高いQ分解能、高いエネルギー分解能、精密測定
7. Selection Rule の付加
偏極中性子
8. ニュートロンギャップ
原子炉の閉鎖に対抗
9. 新しい応用
共鳴吸収、干渉計の応用、実空間分布

大輝度パルス中性子源計画（統合計画）

経緯

統合計画は、原研が進めていた中性子科学研究計画（NSP）と KEK が進めていた大型ハドロン計画（JHF）について、陽子加速器や核破砕中性子源等の共通する施設を統合し、資金面での合理化を図り、両計画が目指した科学研究の早期実現を図るものである。この中において、加速器と中性子利用研究は、“統合のシンボル”という特殊な位置を占めている。

施設

中性子散乱実験施設は、ミュオン及び短寿命核実験施設を同一建家内に串刺しに配置する案が基準案として検討が進められた。中性子源設計では、原研が検討していた 5MW ターゲットステーションや KEK が進めていた固体ターゲットステーションを基に、1MW（1 期、3 GeV、333mA）への設計を行っている。これができれば、世界最高の中性子源となり、世界最高の研究活動を行う。また、現在、米国、欧州で進められている SNS、ESS 計画とともに、世界の中性子源の三大メッカとして、アジア-オセアニアの研究発展に貢献する。完成は 2005（6）年の予定。

中性子グループ（共同チーム）

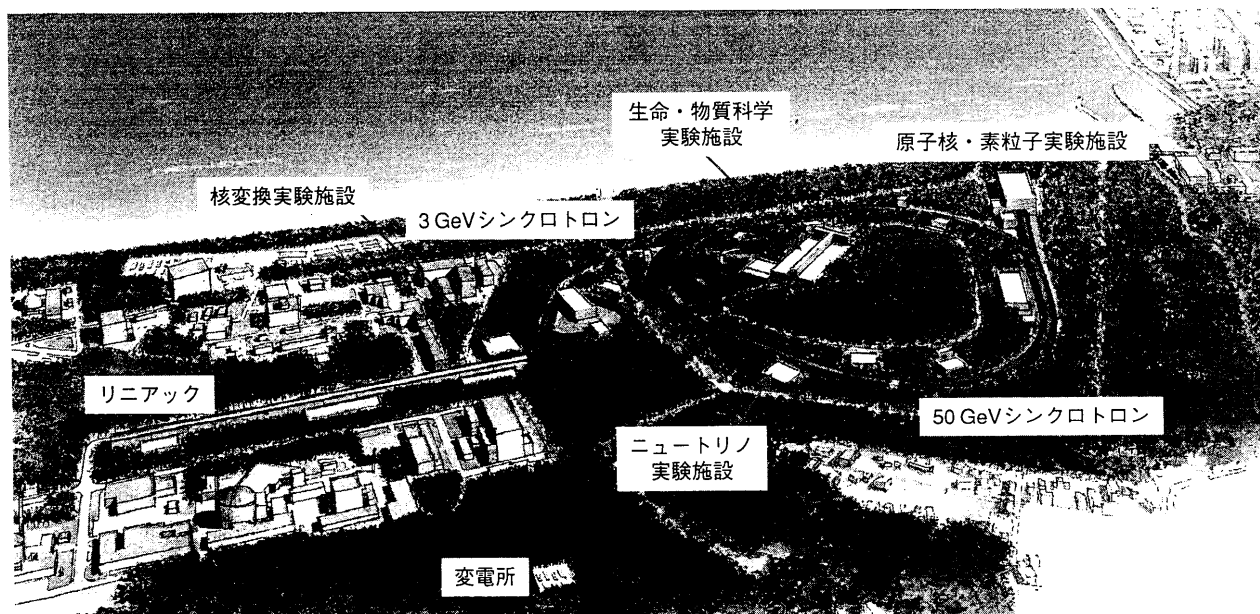
中性子グループは、中性子源とより利用に結びついた計測装置を含むこと、両計画の歴史的経緯もあるために、大山（原研）、池田（KEK）が協力して推進することとなった。現在、この新体制の基で大強度パルス中性子源班（班長：日野）、分光器班（班長：新井）、特殊装置班（班長：

古坂)、サイエンス班、中性子ビームライン班等作業グループを立ち上げつつある。また、これらの作業グループ間の調整や全体の指針を協議する中性子グループ統括会議(メンバー:池田、新井、古坂(以上 KEK)、大山、新村、森井、池田裕、日野(以上原研))を結成し、毎月1回の割合で会議を開催し、概算要求案作成作業やユーザー対応を含む各種の検討作業を進めている。

大強度陽子加速器計画

JAERI/KEK
Joint Project

日本原子力研究所(JAERI)「中性子科学研究計画」
高エネルギー加速器研究機構(KEK)「大型ハドロン計画」



大強度陽子加速器施設 イメージ図

日本原子力研究所における即発 γ 線分析研究の現状と将来

(原研東海研) 米沢伸四郎

1 はじめに

中性子即発 γ 線分析法 (PGA) は、中性子放射化分析法 (NAA) では分析が困難な H, B, C, N, S, Si 等の軽元素及び Cd, Hg 等の有害元素を含む多元素を非破壊で分析ができるという特長をもつ。更に、中性子源として冷中性子等の低エネルギーガイドビームを使用することにより、高感度分析が可能になる。このようなことから、米国 NIST, Texas 大学, ドイツ Jülich 研究所, ハンガリー同位体研究所で装置が設置され、研究が活発に行われている。我国に於ても京都大学原子炉 (KUR) と原研の JRR-3M に冷及び熱中性子ビームガイドが設置され、PGA の研究が行われている。講演では、原研の JRR-3M の冷及び熱中性子ガイドビームを使用した PGA 研究の現状と核破砕中性子源を利用した将来計画を紹介する。

2 即発 γ 線分析装置

JRR-3M の即発 γ 線分析装置は、高感度元素分析で重要な低 γ 線バックグラウンドになるように設計されている。このために、1) 試料周りの遮蔽材料及び構造材料には即発 γ 線発生量の少ない LiF タイル及びフッ素樹脂の使用, 2) 試料の照射雰囲気として中性子散乱断面積が小さく、即発 γ 線発生量が少ない He の使用, 3) Ge-BGO (ゲルマニウム酸ビスマス, $\text{Bi}_4\text{Ge}_3\text{O}_{12}$) 検出器を用いた多モード γ 線スペクトロメーターによる、コンプトンバックグラウンドの低下と、複雑なスペクトルの単純化、等の対策が講じられている。本装置の γ 線バックグラウンドは、従来の装置のものに比べ約 1/56 ~ 1/166 と格段に低く、この結果、分析感度及び検出限界も優れている。

3 即発 γ 線による元素分析

JRR-3M の冷及び熱中性子ビームによる元素の分析感度と検出限界を求めた結果、1) B, Cd, Gd, Sm, Eu は最も高感度で、その検出限界は ng レベルと低い; 2) 他の方法では分析が困難な H, B, N, Si, S 等の軽元素を含む多元素を非破壊同時分析することができる; 3) 有害元素の Cd と Hg を比較的高感度で分析することができる、等が明らかにされた。実際の試料では共存元素の影響により元素の検出限界は試料によって約 1 桁の変動幅を持つが、最も高感度な B, Cd, Sm, Gd は ppb レベル, H, Na, S, Cl, K, Ti, Mn, Co, Hg は ppm レベル, C, N, Mg, Al, Si, P, Ca, Fe は % レベル以上の濃度の検出が可能である。更に、即発 γ 線のスペクトル干渉とその妨害補正法、 γ 線バックグラウンド及びマトリックス元素による中性子散乱の影響等についても検討が行われた。

元素の定量は、比較法、内標準法等により行われている。比較法では、試料と標準の中性子束の違いは中性子モニターの計数値で補正され、ほぼ 15% 以内の精度・正確さで定量することができた。比較法で問題となる試料間のジオメトリー及びマトリックスの影響を少なくするためには内標準法が有効になる。内標準法としては、 k_0 法と単一内標準法が開発された。 k_0 法は定量元素と内標準元素の断面積と γ 線放出率の比

を定数 (k_0 係数) として元素を定量する方法で、現在世界各地の装置で k_0 係数が測定されている。JRR-3M の冷及び熱中性子ビームに於ても、これまで 27 元素の k_0 係数が測定され、各種標準物質の分析に利用されている。

4 即発 γ 線の応用

B は最も高感度な元素の一つであり、PGA によりサブ ppm レベル以上の B を非破壊定量することができる。ICP-MS, -AES 等の破壊分析法では、試料の化学操作の際の汚染及び飛散等の問題があるが、PGA ではこのような影響が少なく正確な分析が可能である。このようなことから、原子炉材料等の各種材料、岩石、隕石、植物、各種環境試料等の B 定量に利用されている。更に、実用的な応用例としてホウ素中性子捕捉療法による脳腫瘍治療の際に、中性子照射量を決めるために患者の体内組織中の ^{10}B の定量に利用されている。また、PGA の新しい応用として、B 478 keV のドップラー拡がりを利用した状態分析の研究も行われている。

PGA はその非破壊分析性により、試料が貴重かあるいは化学的に安定なため分解が困難な考古学試料、隕石、岩石等の分析に適している。さらに、NAA に比べて誘導放射能が無視できる程少なく、PGA で分析した試料を他の方法で分析することができ、少量の試料で多量の分析データを取得することができる。このような例として各種環境試料の分析に応用されている。

5 即発 γ 線分析の将来

次世代の強力中性子源として、大強度陽子加速器を利用した核破砕中性子源の建設計画が進められている。本中性子源は、原子炉と比べ 1) パルス状ビーム, 2) 大強度, 3) 冷中性子だけでなく熱外中性子ビームも利用可能、等の特長を持つ。PGA はこれまで試料サイズが数 cm^2 以上のバルク分析に利用されてきたが、近年冷中性子ビームを直径 0.5 mm 以下のサイズに絞ることができるマイクロレンズが開発され、微小試料分析の研究も行われ始めた。現在ビーム径を更に小さくする高性能デバイスの開発が世界中で活発に行われており、近い将来ビーム径が μm オーダーの冷中性子ビームの利用が可能になると予想される。微小ビームにより局所領域 (又は微小試料) の元素組成分析のみならず試料の移動により元素 (又は同位体) の 3 次元分布の測定が可能になる。更に又、(n, α) 反応で放出される α 線等の荷電粒子を測定する中性子デプスプロファイリング (NDP) により、B 及び Li 等の nm $\sim\mu\text{m}$ レンジの深さ方向分布を求めることもできる。このような微小ビームによる分析には高強度の中性子ビームが必要であり、核破砕中性子の冷中性子ビームの利用により、PGA と NDP を組み合わせた元素の局所 (微小試料) 及び 3 次元分布が可能となる。

また、熱外中性子も PGA に利用することができる。各同位体は熱外中性子領域に固有の捕獲反応共鳴吸収ピークを持っている。中性子フィルター等によって選別した特定のエネルギーの熱外中性子照射により、元素又は同位体の選択性の高い高感度非破壊分析が可能になる。

JCO 臨界事故で放出された中性子による環境物質の放射化

(金沢大理) 中西 孝

我々は広島・長崎の原爆中性子線量再評価に関係する研究を約 20 年間に亘って行っている〔原爆は核分裂性物質を中性子反射材で囲む構造であったため、中性子線量 $\approx(0.2\sim 0.004)\times\gamma$ 線量〕。しかし、未だに中性子線量評価に不確かさがあり、 γ 線被曝による障害と中性子線被曝による障害を区別して診ることができないこともあって、原爆放射線の人体影響（線量と影響の関係）には不確かさが残っている。したがって、広島と長崎における「放射線量と人体影響の関係」を最大の根拠とする今日の国際的な放射線防護基準は確定したものとは考えられていない。原爆放射線量評価及び放射線防護基準にこのような不確かさを残す状況が続く中で東海村臨界事故が発生した（1999 年 9 月 30 日 10:35 頃～同 10 月 1 日 06:14 頃）。この事故では熱線や爆風の発生が無く放射性物質の環境への放出は少量にとどまったが、居住環境に中性子源が置かれたことに相当するので、放出中性子線に多数の人が曝されるとともに、環境物質が放射化された。 γ 線量（一次及び二次）に比較して中性子線量が高かったため〔中性子線量 $\approx(9\sim 4)\times\gamma$ 線量〕、中性子線の人体影響を明確にする科学と最新医療による中性子線被曝者の長期的・合理的な健康管理策に寄与する観点で東海村における被曝中性子線量評価を正確に行うことの重要性は極めて高い。しかし、臨界の継続中も終息後も、事故現場を中心にした広域にわたる中性子線量率及び集積中性子線量の実測データの取得は、緊急時対応の不十分さのもとで行政目的優先で行われていたので、科学的には不十分ではないかという危惧があった。そこで、今回の事故で放出された中性子線の実態を可能な限り科学的に正確に把握することを目的とする研究班（科学研究費補助金（特別研究促進費）、研究代表者：金沢大理・小村和久）が急遽編成され、我々はそのもとで 1999 年 10 月上旬から中性子線量評価に関する調査研究を実施してきている。その中心的な内容は、いろいろな場所で身の回りの物質を採取して中性子放射化生成核種の微弱な（人体影響を無視しうる）残留放射能を測定するとともに中性子放射化分析を行ってターゲット元素を定量し、各地点の中性子フルエンスを評価しようとするものである。

1. 調査計画の策定

中性子束評価の重要性と必要性に関する理解を共有しながら中性子放射化で生成した核種を手がかりとする調査研究を多くの研究者が協力して効率よく実施するための具体的な計画を立案する役目が急遽演者に回ってきた。まず当局に調査研究計画書を提出するために、‘どのような目的’のために‘どのような試料’を‘どれくらい’採取するかを 10 月 6 日に見積もったが、身の回りの物質それぞれにどのような元素が含まれているかという知識と中性子放射化分析の経験が役に立ち、事故の規模（とくに中性子フルエンス）に関する情報が乏しい中で、主要な放射化生成核種（とくに短半減期核種と速中性子で生成する核種）及びその核種を測定するための試料の種類と量に関する取りあえずの第 1 次計画を半日がかりでつくった。その後、実測データが得られるに伴って計画の軌道修正を行ってきている。

2. 高放射化土壌の測定¹⁾

臨界事故が起こった JCO の敷地内への立入と環境試料採取が 10 月 7 日午後到我々の研究班に許可され、事故現場の転換試験棟（以下‘転換棟’と略記）内の沈殿槽を基点とする放射状

の線上（屋外）で距離別に表層土壌などが採取された（第1次立入調査）。採取された一連の土壌試料の中で最も放射化の程度が強かった1試料（沈殿槽から直線距離 10.3 m の転換棟横で採取）が8日に演者の手に届いた。直ちに γ 線スペクトロメトリーを開始し、最も短半減期の核種として ^{24}Na を確認した。正確な核種の同定と定量を期して、まず2時間ずつの測定を繰り返すことを基本とする減衰追跡を行った。中性子放射化生成核種としては、 ^{24}Na の他に、半減期順に ^{82}Br 、 ^{140}La 、 ^{122}Sb 、 ^{59}Fe 、 ^{124}Sb 、 ^{46}Sc 、 ^{65}Zn 、 ^{134}Cs 、 ^{60}Co が検出され、核分裂生成物（F.P.）の ^{131}I と ^{137}Cs も検出された。この残留放射能測定と並行して中性子放射化分析法による元素分析も行い、各核種について臨界終息時の‘放射化生成核種量/ターゲット核種量’を求めて中性子フルエンスを評価した。臨界が継続した約20時間の間に出力変動があったので半減期が44日以上の中性子放射化生成核種のみから評価した結果、熱中性子フルエンス $\sim 7 \times 10^{10} \text{ cm}^{-2}$ と熱外中性子フルエンス $\sim 1 \times 10^9 \text{ cm}^{-2}$ の値が得られた。転換棟の壁や空気中を通過する間の中性子の吸収やエネルギースペクトルの変化に対する補正を省き、「 $1/\text{距離}^2$ 」則のみを考慮して沈殿槽外に放出された全中性子数を見積もると、少なくとも $\sim 9 \times 10^{17}$ となる。

なお、放射化量測定による地点ごとの中性子束評価のために、広い範囲で土壌以外の種々の試料（金製品、硬貨、ステンレス製品、蛍光灯など）が多数採取され、我々を含む多くの研究者により分析が続けられている。

3. in situ γ 線スペクトロメトリーによる全核分裂数の評価²⁾

転換棟内は空間線量率と放射能汚染の程度が極めて高い管理区域であるため、当局の特命を帯びた者にしか内部への立入と試料採取が許されていない。転換棟内への立ち入りは許されていないが外壁に接近することができる我々は、転換棟内部や転換棟の建物自体がどの程度放射化されているかを評価するために、可搬型 Ge 半導体検出器を用いて建物の外で γ 線スペクトロメトリーを行った（10月26日、第2次立入調査）。その結果、放射化生成核種ではなく ^{140}La などのF.P.に由来する強烈な γ 線が検出された。そこで急遽、沈殿槽に残留するF.P.の定量を試みることにし、可能な限り遮蔽の弱い方向（高所）で位置を変えながら（沈殿槽から7.4 m ~ 9.2 m） γ 線スペクトロメトリーを行った（11月9日、第3次立入調査）。 ^{140}La 、 ^{103}Ru 、 ^{95}Zr などのF.P.の γ 線計数率に、検出器の検出効率・遮蔽物（建物壁等）による γ 線吸収・沈殿槽-検出器間の距離・放射性核種の γ 線放出率と減衰に関する補正を加えて臨界終息時のF.P.量を求め、さらに全核分裂数を評価した。その結果、 $(3.1 \pm 0.4) \times 10^{18}$ ($\pm 3\sigma$) が評価された。この全核分裂数は、 ^{235}U 約 1.3 mgが核分裂したことに相当し、政府発表の値 (2.5×10^{18}) とほぼ一致している。全核分裂数の評価値に基づいて沈殿槽外に放出された中性子束を評価するためには、沈殿槽系における中性子の散乱・吸収に関する計算を要するが、沈殿槽外に放出された全中性子数についての上記の推定 ($\sim 9 \times 10^{17}$) との比較により、 $(3.1 \pm 0.4) \times 10^{18}$ 回の核分裂で発生した中性子の内の少なくとも10%が沈殿槽外に漏れ出たと推定される。

文 献

1) T. Nakanishi, R. Hosotani, K. Komura, T. Muroyama, H. Kofuji, Y. Murata, S. Kimura, S.K. Sahoo, H. Yonehara, Y. Watanabe and T. Ban-nai, J. Environmental Radioactivity, in press (2000).

2) T. Mitsugashira, M. Hara, T. Nakanishi, T. Sekine, R. Seki and S.Kojima, J. Environmental Radioactivity, in press (2000).

NAA, PAA による岩石・植物試料の分析から学んだこと

金沢大理 坂 本 浩

近年、我々(主に宮本ユタカ、梶本和義、坂本 浩)は、岩石及び動・植物試料について、京大原子炉実験所(KURRI)の研究炉(KUR)で炉心気送システム pn-2 (3×10^{13} n/cm²·sec, Cd 比=5.8) とサーマルカラム気送システム TC-pn (4×10^{11} n/cm²·sec, Cd 比=54)を使う中性子放射化(NAA), 及び KURRI の中性子発生用 45 MeV 電子線ライナックと東北大核理研 300 MeV 電子線ライナックを使う光量子放射化(PAA)を行い、相互に比較検討することを経験した。具体的な試料は、岩石は比較標準用の日本地質調査所発行の 15 種の火成岩及び 9 種の堆積岩シリーズ、韓国地質調査所(現在、エネルギー資源研究所)発行の 6 種の火成岩、動物は週令差の異なるマウスの各種臓器(及びその分画)、植物は 18 種類の産地の異なるスパイス計 32 試料と 8 種類の豆類 16 試料である。動植物の分析には、NIST 及び IAEA 発行の比較標準を用いた。

放射化分析、特に NAA は、既に確立された分析技術として、広い分野で使われているが、我々のように研究炉の異なる照射場を使ったり、さらに PAA の結果と比較する、また PAA だけで測定できる元素を加えるなどの方法を論文投稿してみるとまだ歓迎される。同一試料をさらに別の方法で分析することも望ましいがこの点はさておく。我々の場合は、それぞれの AA において、測定妨害を除く(或いは補正する)努力をしてきたが、“確立された AA”を応用方面で使っている場合に必ずしもそのような注意が払われていないことを心配している。

妨害とは次のような場合である。NAA では、主に (n, γ) 反応を使うが、①他の元素の (n,p) や (n, α) で同じ核種を作る、②希土類元素(REE), Zr, Ru, Mo の (n, γ) 生成核種には ²³⁵U の核分裂生成核種と同じとか、それらの β^- 壊変核種が同じである。③別の元素の (n, $\gamma \beta^-$) が同じ核種となる。PAA では (γ , n), (γ , p) 反応が主に使われるが、二次中性子捕獲反応が妨害することがある。また、NAA, PAA 共に高純度 Ge 検出器による γ 線測定が多用されるが、他の核種からの γ 線を分解しきれないことが屡々ある。半減期が十分に異なったり、別の分岐のエネルギーの異なる γ ピークを使える場合は補正できるが、十分に壊変追跡を行う必要がある。

これらの問題は、AA の教科書には必ず触れられているが、試料種により対応が異なる

し、また、放射化学的分離を伴う分析（RAA）を行えば避けられる問題もあるが、非破壊分析（IAA）が広まるにつれて忘れられがちの感がする。

本講では、岩石と植物試料の場合のいくつかの実例を挙げて、これらの妨害の回避や補正の方法に関して学んできたことを紹介して参考に供したい。なお、詳細は、次の論文で報告している。

1. K. Sakamoto et al., “Neutron and Photon Activation Analyses of Twenty Four GSJ and Six KIER Rock Reference Samples”, *J. Radioanal. Nucl. Chem.*, **215**, 69-76 (1997)
2. K. Masumoto et al., “Photon Activation Analysis of Iodine, Thallium and Uranium in Environmental Materials”, *ibid.*, **239**, 495-500 (1999)
3. Y. Miyamoto et al., “Interferences in Neutron and Photon Activation Analysis”, *ibid.*, **239**, 165-175 (1999)
4. Y. Miyamoto et al., “Minor and Trace Element Determination of Food Spices and Pulses of Different Origins by NAA and PAA”, *ibid.*, **243**, 747-765 (2000)



樹木年輪中の放射性核種の分布

熊本大学理学部 百島 則幸

1950-60年代に行われた核実験により森林の放射能汚染が世界的規模で起こった。フォールアウトとして森林土壌に蓄積した放射性核種のうち、長半減期の核種は長く森林生態系に留まり、一部は経根吸収により樹木に移行している。核実験のフォールアウト核種のうち、長半減期のセシウム-137（半減期 30 年）とストロンチウム-90（半減期 27 年）が森林生態系で広く検出される。放射性核種の環境動態を明らかにするために、森林生態系の元素サイクルにおいて重要な役割を担っている樹木への放射性核種の移行を調べた。本研究では、年輪中のルビジウムとセシウム濃度の定量を中性子放射化機器分析法で行った。

図 1 に福岡市に生育していたスギ（樹齢 77 年）のセシウム-137 とストロンチウム-90 の分布を示す。森林生態系へのフォールアウトの蓄積は 1950 年代半ばから始まり、大部分は核実験が集中した 1960 年代前半に起こった。年輪中のセシウム-137 の分布はフォールアウトの蓄積の様子とは大きく異なり、セシウムは樹木年輪中を移動し再配置する元素であることを示している。このことはセシウム-137 の比放射能が年輪中でほぼ一定値であることからわかる。これまで分析した樹種はすべて針葉樹や広葉樹に関わらずセシウム-137 は年輪の中心まで移行し

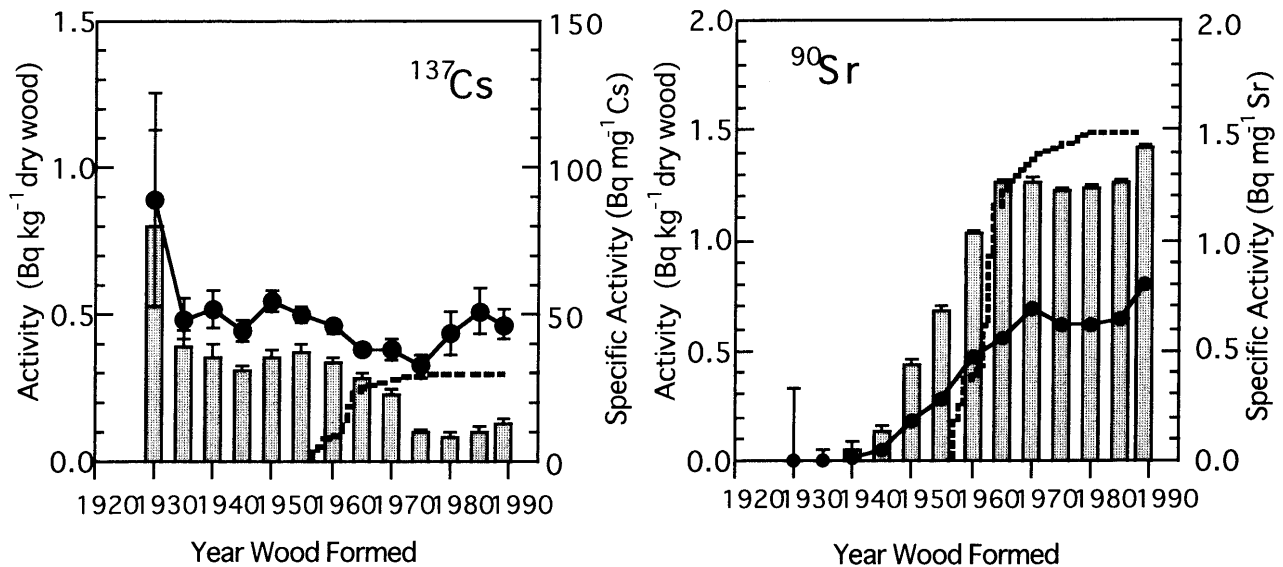


図 1 スギ年輪中の Cs-137 と Sr-90 の分布。フォールアウトの地表面への蓄積パターンを破線で示す。降下は 1960 年代前半に集中して起こった。放射能は棒グラフで示し、比放射能は黒丸で示す。

Noriyuki Momoshima: Department of Environmental Science,
Faculty of Science, Kumamoto University
2-39-1, Kurokami, Kumamoto 860-8555, Japan
E-mail: momoenv@aster.sci.kumamoto-u.ac.jp

ていた。ストロンチウム-90 はフォールアウトの蓄積パターンに類似した分布を示しているが、大規模なフォールアウトが始まった 1954 年以前の古い年輪まで検出されている。経根吸収された放射性核種を含む無機元素は辺材（樹皮側の木部）を通り樹冠に移動する。辺材は水の通り道であり幅を持っている。このスギは伐採時点（1990 年）で 22 年の辺材幅であったが、1954 年（樹齢 37 年）当時は十数年の辺材幅であったと考えられる。ストロンチウム-90 が 1940 年以前の古い年輪には検出されていないことは、ストロンチウム-90 の取り込みは辺材に限定され、年輪間を越えてストロンチウムが移動しにくい元素であることを示している。フォールアウトの地表面への蓄積ピークは 1960 年代前半に起こったが、スギ年輪中のストロンチウム-90 のピークも 1960 年代前半に見られ一致している。

針葉樹（レッドスプルース、ホワイトパイン、ヘムロック）はすべて 1960 年代にピークを示し、針葉樹生態系はフォールアウトの根域への移動が速やかに起ると考えられる。一方、広葉樹（ヒッコリー、エルム、アメリカンビーチ）は、フォールアウトの蓄積パターンに似た年輪中の分布を示したが、ピークは 1970 年代に見られている。広葉樹は一般的に根が深い位置にあることが関係していると考えられる。フォールアウトの蓄積パターンと異なる分布を示した広葉樹（イエローポプラ、シュガーメイプル）もあることに注意する必要がある。

年輪中の金属は、水の通り道である仮導管や導管の細胞壁の交換サイトにイオン交換的に保持されているものと塩として存在するものがある。カリウムは木部から水洗いで溶脱することから大部分塩として存在していると考えられる。図 2 に示すように年輪中のセシウムとカリウムの分布が酷似していることと両元素が同じアルカリ金属に属することから、セシウムも塩として存在している可能性が高く、このことがセシウム-137 の年輪中の高い移動性と関係していると推定される。年輪中でストロンチウムは交換サイトに存在している。細胞壁の交換サイトと樹液（木部に含まれている水分）間の金属の分配は化学平衡で、金属濃度、pH、交換サイト容量で決まる。土壌から取り込まれたストロンチウム-90 は樹液と細胞壁の化学平衡の結果として年輪中に固定されている。もし、土壌環境に大きな変化（例えば、酸性雨によるストロンチウムの溶脱）が起こると、その変化は樹液を介して辺材に及ぶことになる。そのような変化は、年輪中のスト

ロンチウム-90 の分布をフォールアウトパターンと異なる分布に変えることになる。

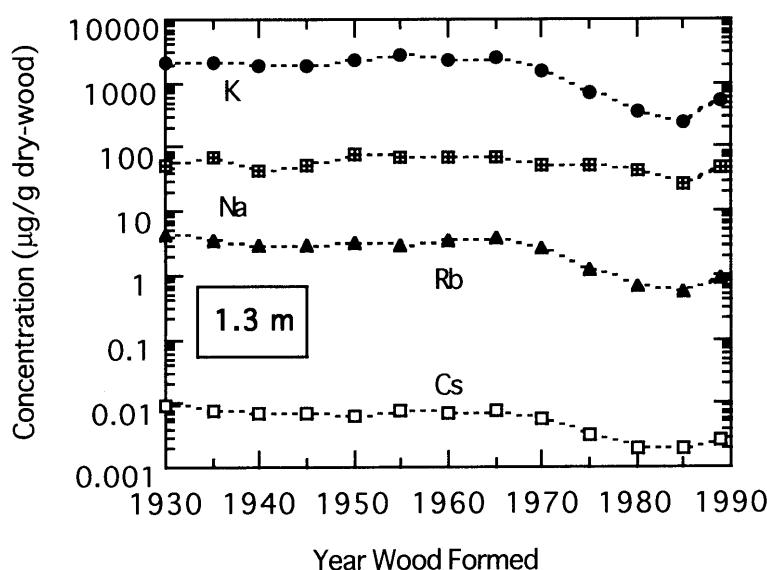


図2 スギ年輪中のアルカリ元素の分布

環境における未知有機ハロゲン化合物の存在とその挙動 -キアシシギ(*Heteroscelus brevipes*)について-

○河野公栄、脇本忠明(愛媛大農)、茂田良光(山階鳥研)

【目的】

今日、多種類の化学物質が大量に生産・使用され、それらによる環境汚染が懸念される。環境汚染物質の中でもPCBsやダイオキシン類など有機ハロゲン化合物は環境残留性を有し、生物に毒性影響を及ぼすことから注目されている。特に近年これらの化合物の新たな毒性影響として内分泌系の攪乱を導くことが明らかにされているが、毒性の強い未知有機ハロゲン化合物による環境汚染が危惧される。

そこで本研究では、機器中性子放射化分析法によって環境中に残留する未だ検討されていない未知有機ハロゲン化合物の存在を明らかにすると共にそれらの蓄積性等について検討を行った。なお有機態ハロゲン(Extractable organic halogens: EOX)を放射化分析法で測定し、別途GC-MSで定量した個別有機ハロゲン化合物(PCBs, DDTs, HCHs, CHLs, HCB等、200種以上)の濃度との比較により未知有機ハロゲン化合物濃度を求めた。

【試料と方法】

分析対象のキアシシギ(*Heteroscelus brevipes*)は、千葉県・小櫃川河口で渡り途中の個体を許可の下に1989年から1992年の間、捕獲した。本種は、シベリアから日本を経てオーストラリア等の南方へ長距離移動する渡り鳥であるが、陸域由来の汚染物質が集積する場である河口等の干潟を摂餌域とする生態系の高次生物であり、餌生物を通じて未知有機ハロゲン化合物を高濃縮することが考えられる。

分析法は、有機溶媒を用い皮下脂肪よりEOXを抽出後、無機ハロゲンを水洗及びゲル浸透クロマトグラフィーにより除去し、得られた抽出液をポリエチレン管に入れ、日本原子力研究所の原子炉JRR-3,4を用いる機器中性子放射化分析により測定した。なお、放射化には中性子束 $3.7 \times 10^{13} \text{ n/cm}^2 \cdot \text{秒}$ で、2分間照射し生成した放射性核種 $^{36} \text{Cl}$ (1642 keV, 2167keV), $^{80} \text{Br}$ (617keV, 666keV), $^{128} \text{I}$ (443keV)を γ -スペクトロメトリーにより計測した。またPCBs, DDTs, HCHs, CHLs, HCBなど代表的な残留性人工有機塩素化合物は有機溶媒抽出後、フロリジルを用いるカラムクロマトグラフィーによる妨害物の除去の後、GC-MSにより定量した。

【結果と考察】

未知有機ハロゲン化合物に由来する有機態ハロゲンの濃度順位は $\text{EOCl} > \text{EOBr} > \text{EOI}$ であった。特に、未知有機塩素化合物の EOCl 濃度は $0.734\text{--}61.1 \mu\text{g/g}$ (組織湿重)であった。一方、既知の有機塩素化合物として全ての試料からPCBs, DDTs, HCHs, CHLs, HCB等が検出された。このうちPCBsが比較的高く、濃度範囲は $150\text{--}2,100 \text{ ng/g}$ が得られた。EOXの中で EOCl が最も高濃度で、 EOCl に占める上記の既知の総有機塩素化合物の割合は、 $2\text{--}53\%$ であり、キアシシギ体内に存在する有機態塩素の $47\text{--}98\%$ が未検討の有機塩素化合物に由来することが明らかとなった。組成の概略を次ページに図示している。

Occurrence and Behaviour of Unidentified Organohalogen Compounds Residued in Grey-tailed Tattler (*Heteroscelus brevipes*)

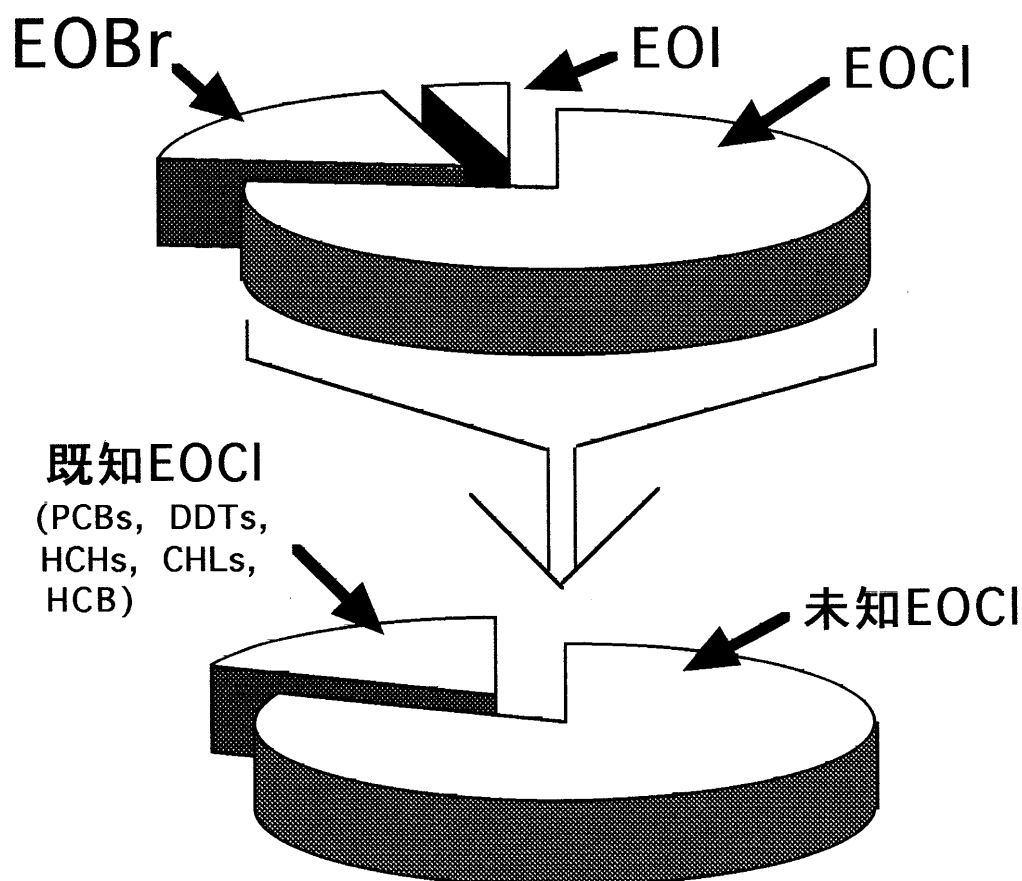
Masahide KAWANO¹, Tadaaki WAKIMOTO¹ and Yoshimitsu SIGETA²

1. Department of Environment Conservation, Ehime University, 3-5-7 Tarumi, Matsuyama, 790-8566 Ehime, TEL 089-946-9906, FAX 089-977-4364
2. Bird Migration Research Center, Yamashina Institute for Ornithology, 115 Konoyama, Abiko, 270-1145 Chiba, TEL 0471-82-1107, FAX 0471-82-1106

既知有機塩素化合物は脂溶性であることから、EOXも脂溶性で体内の脂肪組織に蓄積していることが考えられる。従って、渡りの期間中の体脂肪の消長(消耗と蓄積)に伴いキアシシギ体内のEOXも変動することが推定される。そこで、EOXの体内総負荷量と体脂肪率(体重に占める脂肪組織の割合)の関係を検討した。その結果、EOClおよびEOBrについて、体内総負荷量と体脂肪率の間に相関関係が見られ、体脂肪の増加にともなって体内総負荷量も上昇する傾向が見られた。さらにEOClから既知人工有機塩素化合物(PCBs, DDTs, HCHs, CHLs および HCB)の有機態塩素濃度を差し引いた未知の有機塩素化合物に由来する有機態塩素濃度も既知有機塩素化合物のそれと同様に、体脂肪率の上昇に伴い体内総負荷量が顕著に増加する傾向を示した。以上の結果は、キアシシギはシベリアからオーストラリアへ渡る途中で日本の干潟において休息し摂餌するが、その際、塩素及び臭素を含む未検討の有機ハロゲン化合物を餌生物を介して取り込んでいることを示唆している。

さらに未知有機塩素化合物と既知有機塩素化合物間の相関関係について検討したところ、未知有機塩素化合物とHCHs及びPCBsとの間に比較的良好な相関関係が見られた。このことは、キアシシギ体内に取り込まれている未知の有機塩素化合物はPCBsやDDTsなどと同様に極めて安定で蓄積性が強いことが考えられる。

以上、キアシシギは汚染物質が集積する河口域の干潟において、摂餌によって比較的残留性の強い未知の有機ハロゲン化合物を取り込んでいることが懸念される。



キアシシギの皮下脂肪より検出されたEOXの組成

講演 3

機器中性子放射化分析による地衣類の元素濃度の定量 (筑波大理工・筑波大化¹) ○齋藤陽子・関 李紀¹

1. はじめに

大気汚染などの環境汚染における汚染物質はその存在量が極めて微量であり、その環境媒体である大気や海水を直接測定することは難しい。汚染物質を蓄積する生物指標の利用が有用である。地衣類は、寿命が長く、金属を蓄積する性質を持つことから環境指標としての利用が重要視されている。しかし、地衣類は種数が多く、生育基物も様々であるため、未だ地衣類個々の元素濃度はわかっていない。またこれまで用いられてきた種は、その研究地で優先的な種であり、我が国では珍しい種であることが少なくない。本研究では、環境指標として地衣類を用いる基礎研究として、機器中性子放射化分析を用いて日本で採取した様々な地衣類の元素濃度の定量を行い、地衣体中の元素濃度の特徴を検討した。

2. 実験方法

日本に広い生育分布をもつ地衣類ハナゴケ、ウメノキゴケ、マツゲゴケおよびキウメノキゴケなどを日本各地で採取した。採取した試料は水洗後、押し葉標本として保管し、分析試料は乾燥標本を凍結乾燥し、粉碎して用いた。地衣体中の元素濃度の分析には機器中性子放射化分析を用い、照射は立教大学原子力研究所(TRIGA II)および日本原子力研究所(JRR-3M)で行った。測定は立教大学および筑波大学の Ge 半導体検出器とマルチチャンネル波高分析器を用いた γ 線スペクトロメトリーを用いた。元素の定量は比較標準試料を分析試料と同一条件で照射・測定する比較法により行った。また分析精度を確認するため、NBS や IAEA の環境標準試料を用いた。

3. 結果及び考察

日本各地から採取した地衣類約 20 種 83 試料について、機器中性子放射化分析により 16 の元素について定量した。まず、茨城県東海村で採取した地衣類試料を土壌および高等植物、キノコ中の元素濃度と比較すると¹、地衣類は、他の植物より Al, Fe などの元素濃度が高く、また Cs もキノコに次いで多く含有していることがわかった。

地衣類の属による比較として、秋田県秋田市で採取したウメノキゴケ属のキウメノキゴケと、ハナゴケ属のハナゴケ中の元素濃度を比べてみると、Al, Mg および Ti など多くの元素でキウメノキゴケとハナゴケの元素濃度は一致し、属による違いはほとんど見られなかった。しかし、奈良県吉野山から採取したアオキノリ的一种と、ウメノキゴケ、ヒメレンゲゴケでは、Cl および I 以外の元素で、アオキノリ的一种が他の 2 種に比べ高い元素濃度を示した。またウメノキゴケ、ヒメレンゲゴケでは差があるものの、アオキノリ的一种との差に比べれば小さかった。これは、地衣体中に含まれる共生藻の違いによるものと考えられる。アオキノリ的一种は共生藻として藍藻を含み、ヒメレンゲゴケおよびウメノキゴケは緑藻を含む。藍藻と緑藻では、その必須元素が異なり²、また地衣体への主な無機元素の取り込み過程と考えられる水の吸収量も緑藻を含む地衣類と藍藻を含む地衣類では異なる³。よって、このような共生体の違いによって同一地域に生育する地衣類でも元素濃度は大きく異なることがわかった。また同一属内で、種による比較を行ってみると、愛媛県石鎚山で採取したウメノキゴケ属のウメノキゴケ、マツゲゴケ、キウメノキゴケでは、Na, Mg および Fe などの多くの元素で 3 種の元素濃度は一致し、種による違いはほとんど見られなかった。しかし、Ca で種による違いが大きく見られた。さらに本研究で用いたすべてのウメノキゴケ属試料を見てみると、最も種の違いが見られた元素は Ca で、その他 K や Cl であった。図 1 にウメノキゴケ属各種の Ca および Cl 濃度を示す。この図から明らかのように、Ca ではキウメノキゴケが最も高く、続いてウメノキゴケ、マツゲゴケと低くなる傾向が見られ、K で

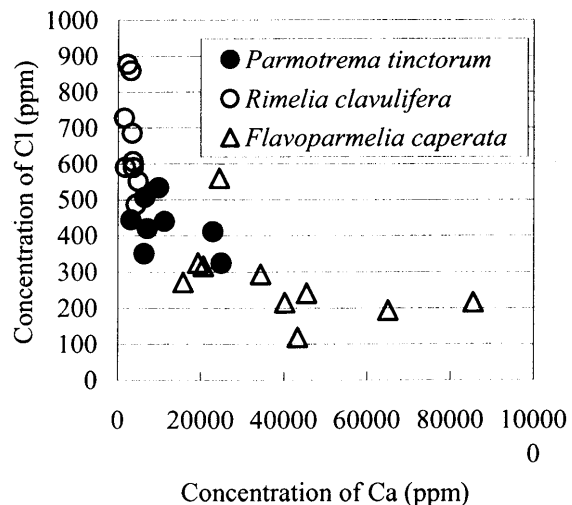


図 1 ウメノキゴケ属 (広義) の 3 種の Ca, Cl 濃度

も同様の傾向が見られた。しかし、Clでは逆の傾向が見られ、種によって特異的に元素を蓄積する場合があることがわかった。

また生育環境の違いにより元素濃度に違いが見られた。ウメノキゴケ、マツゲゴケ、キウメノキゴケはウメノキゴケ属に属し、これらは岩の上や樹皮の上など様々な基物に生育する。この生育基物と地衣体中の元素濃度の関連を調べるため、基物ごとに元素濃度を比較した。その結果、特にAl, Vで基物の影響が見られ、岩上生がどちらの元素に対しても高い濃度を示し、続いてマツ樹皮上生、サクラ樹皮上生の順で低くなる傾向が見られた。図2に着生基物ごとのウメノキゴケ属各種中のAlおよびV濃度を示す。しかし、Fe, Clではそのような傾向は見られず、このような着生基物の影響は、必須元素以外の元素で特に見られることがわかった。

地衣類を環境指標として用いる場合、地衣類がその生育環境を反映して、汚染物質を高濃度に蓄積する必要がある。人為的な汚染ではないが、ある元素が高濃度に存在する特異的な環境に生育する地衣類について、その元素濃度が生育環境を反映するか否かを検討した。まず、青森県恐山の火山ガス噴気孔付近に生育していたヤマトハナゴケ、イオウゴケから、他の試料では検出できなかったAsが検出された。また茨城県筑波山で採取したマツゲゴケから45.2 ppmのCuが検出された。図3に各地域で採取したマツゲゴケ中のCu濃度を示す。他のマツゲゴケ中の平均Cu濃度が9.4 ppmなのに対し、約5倍と筑波山の試料は高い値であった。これは、採取地わきに筑波山神社社殿の銅葺き屋根があったためだと思われる。したがって、いずれの場合にも地衣類はその生育環境を反映した元素濃度を示すことが確認できた。

以上、地衣体中の元素濃度は、地衣類の属や種に関係なくその生育環境を反映していることがわかり、特にこの傾向は非必須元素で見られることから、大気汚染などを引き起こす元素に対し、有用な指標となることが示唆された。また本研究で取り上げたハナゴケ、ウメノキゴケ、マツゲゴケおよびキウメノキゴケ4種のうち、どの種もその元素濃度は生育環境を反映し、種による特異的な蓄積を注意すれば4種どの種も環境汚染の指標種として利用可能であることがわかった。しかし、ウメノキゴケなどウメノキゴケ属3種の方が、都市などにも広く生育しており、また大気汚染と地衣類の生育分布などの研究も盛んなことから、ハナゴケより指標種として利用しやすいことがわかった。

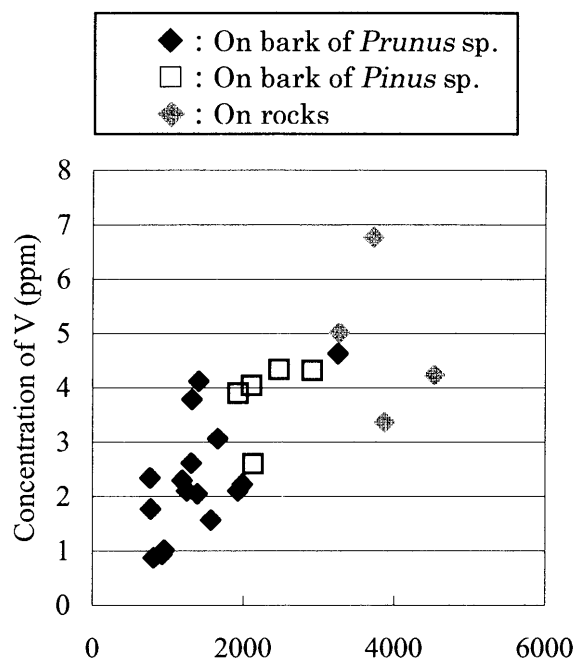


図2 着生基物ごとのウメノキゴケ属各種中のAlおよびV濃度

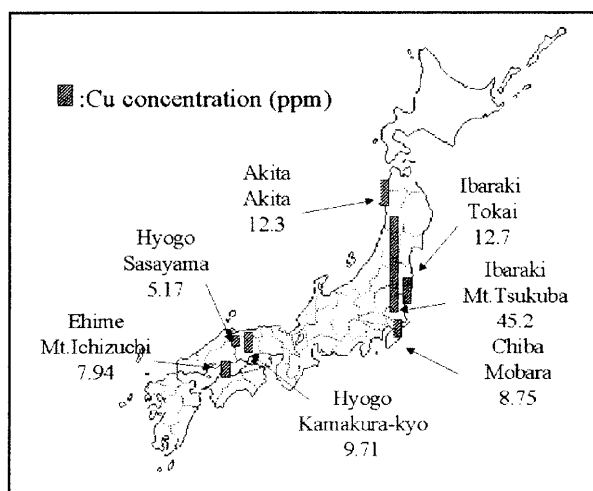


図3 マツゲゴケ中のCu濃度

Determination of elemental concentrations in lichens by instrumental neutron activation analysis
Saito, Y., Seki, R.

¹ Yoshida, S., Muramatsu, Y., *Intern. J. Environ. Anal. Chem.*, **67**, 49 (97)

² 浅見輝男, 茅野充男, 環境無機化学, 博友社, pp.147 (83)

³ Nash, T.H., *Lichen Biology*, Cambridge univ. Press, pp.92 (97)

ブタ胎仔の臓器に含まれる元素の放射化分析

石巻専修大・*京大原子炉

福島 美智子・玉手 英利・*中野 幸廣

[序]

哺乳類の胎仔の月齢と各臓器における元素類の濃度変化の関係を、ブタ胎仔について明らかにすることを目的にした。

妊娠期間が異なると思われる母ブタから摘出された胎仔の肝臓、腎臓および脾臓に含まれる元素濃度を光量子放射化分析法 (PAA)、中性子放射化分析法 (NAA) および原子吸光光度法 (AAS) により求めた。PAA により Br, Ca, Cu, Fe, I, Mg, Mn, Na, Rb, Sn, Sr, および Zn の 12 元素、NAA により Ag, Co, Cr, Fe, Se および Zn の 6 元素、AAS により Cu, Fe, K, Ni, Pb, および Zn の 6 元素を分析し、計 19 元素の分析値を得た。各臓器に共通してみられたこれら元素濃度の変化は、(1) 検討した月齢期間中ほぼ一定 (Mg, Ca, Fe, Cu), (2) 誕生ちかい時期における急激な増加 (Na, K, Rb), (3) 月齢の小さい時期に濃縮 (Zn), のようにまとめられた。さらに各臓器における濃度変化の差異も何点か明らかになった。

[実験]

ブタ胎仔 30 個体は、宮城県北食肉センターで屠殺された健康な数頭の母ブタから屠殺後に摘出され、ホルマリン中で保管された。1 週間以内にホルマリンより取出し、体長を測定したのち、15 個体ずつの 2 グループに分類した。ひとつのグループは放射化分析用試料、他のグループは AAS 用試料とした。

1. 放射化分析

各々の体内より肝臓、腎臓および脾臓を摘出し、肝臓および腎臓については細断、凍結乾燥後、200 メッシュ以上の粉末を照射試料とした。脾臓はそのまま凍結乾燥し、200 メッシュ以上の粉末を照射試料とした。

1-1. PAA

分析試料を数種類の比較標準物質とともに東北大学理学部附属原子核理学研究施設の電子線型加速器で 30MeV の制動放射線を 3 時間照射した。照射後 3 時間、12 時間、3 日、1 週間、1 月の冷却期間をもうけてガンマ線スペクトルを測定して各元素の分析値を得た。

1-2. NAA

分析試料を数種類の比較標準物質とともに京都大学原子炉実験所の原子炉で 1 時間照射した。照射後に 1 月間冷却してガンマ線スペクトルを測定して各元

素の分析値を得た。

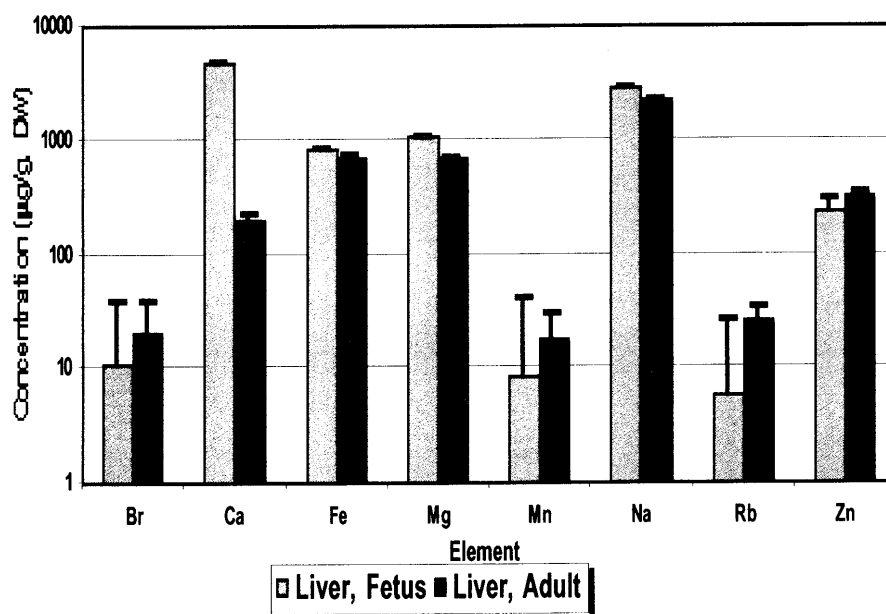
2. AAS

分析試料を硝酸、過酸化水素水で分解し、得られた溶液をメンブレンフィルターで濾過後、10%ジエチルジチオカルバミン酸ナトリウム水溶液を加えて、緩衝溶液でpHを6に調整したのち、メチルイソブチルケトンで抽出した。両相を分離後に、各々の相を直接原子吸光光度計に噴霧して、吸光度から元素濃度をもとめた。

[結果]

PAA, NAA および AAS の3方法を用いてブタ胎仔の肝臓、腎臓および脾臓に含まれる19元素の濃度を得た。それらから、胎仔の月齢、臓器の種類、元素濃度の間にいくつかの特徴があきらかになった。また、我々が以前に求めた成豚の肝臓に含まれる元素濃度の平均値と、今回得られた胎仔の肝臓に含まれる元素濃度の平均値を下図に示す。これより胎仔の肝臓中のカルシウム濃度はおとなのそれに比べると非常に高濃度であることがみてとれる。同様な特徴は脾臓についてもみられた。

Elemental concentrations in livers.



Long-Evans Cinnamon(LEC)ラット肝臓のPIXE分析

太田顕成¹⁾、世良耕一郎²⁾、二ツ川章二³⁾北里大学医学部¹⁾岩手医科大学サイクロトロンセンター²⁾日本アイソトープ協会茅記念滝沢研究所³⁾

はじめに

Particle-Induced X-ray Emission(PIXE)はサイクロトロンから発生する粒子線を利用する。粒子線のうち、PIXEによく利用されるのは陽子線である。PIXEは、陽子線が物質に衝突したときに、物質を構成する元素との反応によって発生する元素特有のX線(特性X線)のエネルギーと強度から元素の種類と量を特定する元素分析法である。PIXEは1970年、T. B. Johanssonによって見出された。

日本アイソトープ協会茅記念滝沢研究所・仁科記念サイクロトロンセンター(NMCC)のPIXE装置は、医療用ベビーサイクロトロンに接続された、わが国唯一の設備である。NMCCは、医療施設でもあり、岩手医科大学サイクロトロンセンターがこの施設で、サイクロトロン核医学(PET)診療を行っている。このために、ここでは¹⁸F-DG、¹¹C-Met、H₂¹⁵O、C¹⁵O₂、¹⁵O₂、C¹⁵O、などのPET用薬剤の化学合成が行われている。NMCCのPIXEコースはこの診療施設内に併設されている。

NMCCにおけるPIXE分析では、ヒト血清や肝臓などの生体試料のほか、樹木、土器、海産物、等々が分析されている。生体試料としては、血清が最も多く、髄液、尿、肝臓、肺、病院給食、などのヒトに関わる医療材料が取り扱われている。また、ラット、マウス、ネコ、イヌ、などの実験動物の血清、尿、肝臓などの臓器も多く分析されている。表1は、NMCCでPIXE分析されたことのある生体試料と分析元素および分析目的についての測定例を纏めて示す。

本稿では、Long-Evans Cinnamon(LEC)ラット肝臓がNMCCのPIXE装置で分析された測定結果が報告される。

表1. NMCCのPIXE装置で分析された試料と分析元素および分析目的

試料	分析元素	分析目的
ヒト血清	Mg, Fe, Ca, Zn, Se, Rb Fe, Ni, Cu, Zn, Se, Rb Zn	心肺停止の影響 心筋梗塞患者 喫煙の影響
ヒト血清と髄液	Br, Cu, Fe, Zn, Mg, Cu/Zn	パーキンソン病の治療効果
ヒト肝臓	Cu, Fe, Zn, Mn, Se	試料調製法の検討
ヒト肺	Ti, Cr, Ni, Zn, Se, Br, Pb, Mg, Al, Si	特発性間質性肺炎
ラット尿	Na, Mg, Si, K, Ca, Mn, Fe, Cu, Zn, Rb, Sr	キレート剤の影響
ラット(LEC)肝臓	Mg, Al, P, S, K, Cr, Mn, Fe, Co, Cu, Zn, As, Rb	SDラットとの比較
マウス腫瘍	Mg, Mn	放射線照射の影響
イヌ、ネコ毛髪	Se, Zn	飼養環境の影響
病院給食	Mn, Fe, Cu, Zn, Br, Sr	経口摂取量の測定

LECラット肝臓のPIXE分析

Long-Evans Cinnamon(LEC)ラットは、北海道大学においてLong Evansラットから分離樹立されたラットで、肝炎・肝癌を自然発症し、また肝臓に銅(Cu)が異常に高濃度で蓄積する特徴を有する遺伝性の疾患動物で、癌研究およびヒトWilson病の動物モデルとして用いられている。¹⁾

PIXEによる元素分析のための試料調製とデータ解析は、それぞれNMCCにおいて確立された方法に基づき、試料の前処理は硝酸灰化法、またデータ解析はSAPIXに従って次のように行われた。

LECラットは、Charles River Japan Inc.から購入された。放血された3ヶ月齢雄ラットから肝臓が摘出され、洗浄された後2昼夜凍結乾燥された。乾燥肝臓100mgが熱分解用テフロン耐圧容器に入れられ、これに内部標準元素のAg（原子吸光分析用試薬、1mg/g）と分析用濃硝酸1mlとが加えられて、レンジで2分間、2回処理された。

PIXE分析には灰化溶液5 μ lが用いられ、測定用試料支持台のマイラー膜に塗布された。Table 1は、LECラット肝臓のPIXE分析の結果を示す。肝臓中に含まれている、22元素が定量された。図1は、同様にして分析されたFischerおよびBN（Brown-Norway）ラット肝臓中のCu濃度とLECラット肝臓Cuとを比較した結果を示す。図から明らかなように、LECラット肝臓Cuは、FischerおよびBNラットに比べ異常に高い値であることが瞭然である。図2はLECラット肝臓の電子顕微鏡像を示す。図の中で高密度顆粒はLysosomeである。X線マイクロアナライザーによる分析によってCuはこのLysosomeに高濃度で検出された。

既に、肝臓でのCuの局在場所は、Schaffner et al(1962)、その他によって、Lysosomeであることが明らかにされているが、本実験の結果はこれらと一致する。

PIXEは、放射化分析、ICP発光分析、および蛍光X線分析と並んで多元素同時微量元素分析法であり、これらはそれぞれの特徴を有する。PIXEでは大気下分析できるが、表面分析である。言葉どおりの「非破壊多元素同時微量元素分析」は、現時点では放射化分析のみに限られていると考えられる。

Table 1. Analytical Values of Elements in the Liver of LEC Rat by PIXE ($\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$, n=1)

No.	Element	LEC Liver
1	Na	898.2
2	Mg	376.0
3	Al	27.58
4	Si	-
5	P	7,579.6
6	S	5,726.2
7	Cl	198.7
8	K	8,106.0
9	Ca	213.2
10	Cr	0.420
11	Mn	6.177
12	Fe	892.6
13	Co	6.681
14	Ni	-
15	Cu	319.5
16	Zn	145.6
17	Ga	-
18	As	0.152
19	Se	3.484
20	Br	3.262
21	Rb	23.32
22	Sr	0.508
23	Hg	-
24	Mo	3.746
25	Pb	2.004

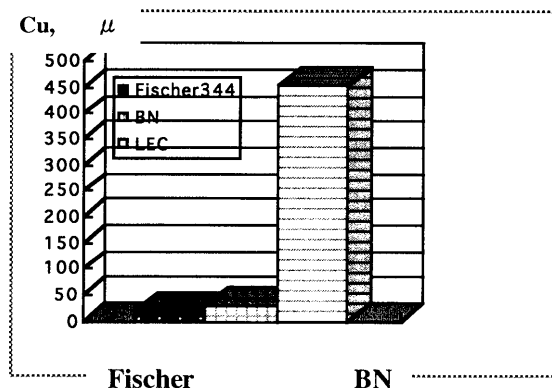


図1. Fischer, BN, および LEC ラット肝臓 Cu 濃度の比較

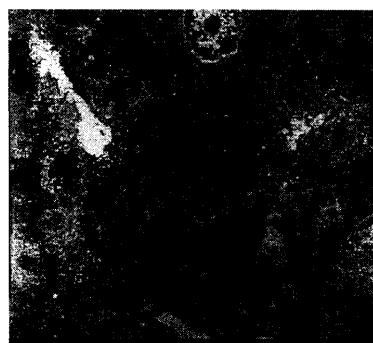


図2. LECラット肝臓電子顕微鏡像

参考文献

- 1) 武市紀年：LECラット—肝炎・肝癌自然発症動物—、CRJ Letters, Vol. 4, No.1, 1-8, 1991, Charles River Japan Inc.
- 2) 世良耕一郎、二ツ川章二：PIXEの多目的利用のための測定法、解析法の開発、NMCC共同利用研究成果報文集 1, 55-65, 1993, 日本アイソトープ協会、東京、1994年
- 3) 二ツ川章二、畠山 智、斎藤義弘、世良耕一郎：PIXE試料調製法の検討、NMCC共同利用研究成果報文集 1, 70-81, 1993, 日本アイソトープ協会、東京、1994年

植物の放射化分析について

(植物葉中の微量元素の分布と特異集積の研究)

(京大原子炉) 高田 実弥

植物においても、諸元素の必須性に関する研究は、今日にいたるまで、数多くの研究がされている。植物体を構成する元素組成には土壌中の元素分布が強く影響しており、元素の存在量や動態の情報を得ることは環境問題の上からも重要である。放射化分析法で、可能なかぎり植物の葉中の無機元素を主成分から微量成分にいたるまで、生育環境との関連で分析した。その結果、特定元素を集積する植物が、見出され、集積植物と集積元素とは特定の組み合わせがあることが判明した。

放射化分析

採取地点は、西日本各地に生育する植物を採取し、葉の部分、短寿命と中長寿命核種用に分けて放射化分析を行った。短寿命核種の検出の場合はKURの圧気輸送管で20秒間照射し、照射後ただちに測定する。中長寿命核種の場合は、1時間照射し、約1週間冷却後、中寿命を測定する。測定後は再び20~30日冷却させて、長寿命測定を行う。元素の定量は小山らが開発した「コンパレーター法」によって行なった

結果

図1は基礎統計量から最大値、第3四分位数、中央値、第1四分位数、および最小値を求め、中央値の高い元素から低い元素へ順に示す。Ca→Auの化学操作なしで約8桁もの広い範囲わたって、定量できるのが放射化分析の特徴である。中央値と第3四分位数および最大値の間隔が広い元素では、これらの元素を特異的に高濃度集積する植物が存在する事を示している。Alを集積する植物種としてはツバキ科植物やユキノシタ科植物が高い値を示した。Coを集積する植物はリョウブが有名であるが、集積植物探索の一環として、コバルト集積植物の検索に重点をおき、トウダイクサ科のシラキに含まれていることを見出した。さらに注意深くデータを検討すると、同じトウダイグサ科の他の植物にも多く含まれていることが見出した。表1にその結果を示す。

植物の生育環境と元素分布との関係について検討をおこそう。母材や土壌の元素組成が植物の元素組成に反映していることがあきらかになり、特に、この傾向は非必須元素で明瞭に認められた。このことは、植物の元素組成が生育環境、特に土壌の影響を強く受けていることを意味している。植物が生育環境の指標として応用出来ることを示すものである。

Neutron activation analysis of plant leaves.

(Study on distribution and accumulation of trace elements in plant leaves)

TAKADA J.

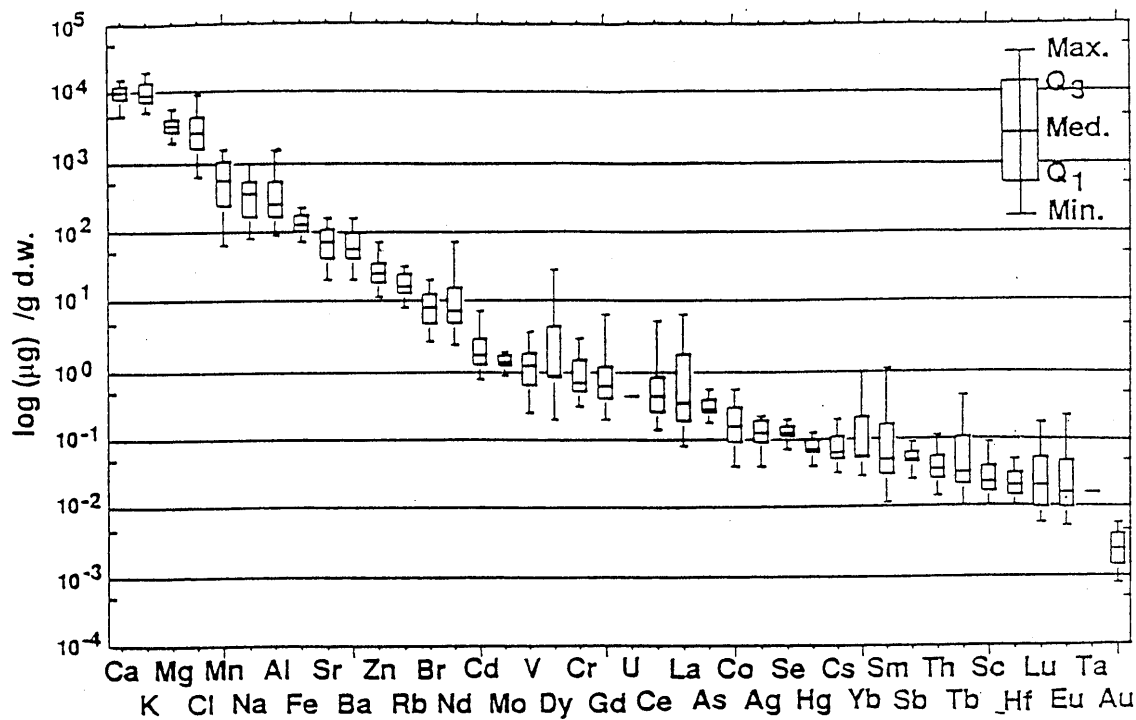


Fig.1 Box-whisker scheme shown in log-scale for 40 elements lined in order with decline of median value. Maximum : upper line, Median : middle in box. Minimum : lower line, Q3 and Q1 are shown in upper and lower line of box.

Table Concentrations of Cobalt in *Euphorbiaceae* except for *Sapium japonicum*

Sample		Co Conc.	Site
Japanese Name	Botanical Name	(ppm)	
Urajiro kankonoki	<i>Glochidion acuminatum</i>	64.0	a
		47.5	a
Yamahihatsu	<i>Antidesma japonicum</i>	26.5	a
Kankonoki	<i>Glochidion obovatum</i>	21.1	a
		2.72	c
Shina aburagiri	<i>Vernicia fordii</i>	15.6	a
		2.63	h
Kakiba kankonoki	<i>Glochidion zeylanicum</i>	13.4	a
		13.2	a
		2.37	c
Hirami kankonoki	<i>Glochidion rubrum</i>	6.71	f
Akahada kobannoki	<i>Nargaritaria indica</i>	5.70	a
Nankinhaze	<i>Sapium sebiferum</i>	5.62	g
		2.24	a
Akagi	<i>Bischofia javanica</i>	3.05	b
		2.12	a
		1.83	a
		0.179	d
Akamegashiwa	<i>Nallotus japonicus</i>	2.66	e
		0.102	c

- a : Experimental Plantation of Faculty of Agriculture, Univ. of the Ryukyus, Okinawa Prefecture (Pareozoic)
- b : Okinawa Prefectural Forestry Experimental Station, Okinawa Prefecture
- c : Iriomote Island, Okinawa Prefecture (Sandstone)
- d : Mt. Heto, Okinawa Prefecture (Sandstone)
- e : Miyako Island, Okinawa Prefecture (Limestone)
- f : Ishigaki Island, Okinawa Prefecture (Granite and Andesite)
- h : Experimental Field in Kyoto Univ. Campus (Granite)

k₀-中性子即発 γ 線分析法による多元素定量 (原研東海) ○松江秀明、米沢伸四郎

【はじめに】 内標準法に基づいた k₀ 法は、比較標準試料を使用しないで多元素を簡単に定量できることから、NAA の定量法として注目されている。近年ハンガリー同位体研究所 (IKI) 及び米国 NIST において中性子即発 γ 線分析 (PGA) へ k₀ 法の適用が試みられ、Cl を内標準とする 16 元素の k₀ 値が報告された¹⁾。PGA に k₀ 法を適用することで、比較標準試料を使用しないで多元素を正確に定量でき、さらに得られた k₀ 値は他の施設と共用できることから、原研においても、Cl を内標準とする k₀ 値の測定を行い、k₀-PGA の検討を行っている²⁾。また、k₀-PGA の問題点として、元素の絶対濃度を直接求めることができない点があるが、その解決策としては、標準添加法により試料中の 1 元素を定量し、その値から各元素の絶対濃度を求める方法を検討した。この、k₀-PGA と標準添加法を併用した方法で、国立環境研究所が調製した日本人の標準的な食事試料である Typical Japanese Diet 標準物質、日本分析化学会が調製した土壌標準物質 (JSAC401, JSAC411) を分析し、共同分析に参加した。

【実験】 元素標準試料の調製と測定： PGA で分析対象となることの多い 27 元素についてその塩化物をそのままか、あるいは酸化物等と塩化アンモニウムとを混合して標準試料を調製した。k₀-PGA 用試料の調製： 試料 0.5 ~ 1 g をはかり取り試料とした。これらの試料は FEP フィルムに熔封し測定試料とした。これらを JRR-3M の冷及び熱中性子ビームポートに設置した即発 γ 線分析装置により測定した。検出器の効率曲線の測定： k₀ 値の評価を行うため、検出器の検出効率の測定を冷及び熱中性子ビームポート (試料-検出器間距離はそれぞれ; 29.5 cm, 24.5 cm) において行った。Ge 検出器の校正は標準線源と中性子照射を行って作成した γ 線源 (²⁴Na, ⁴⁶Sc, ⁵⁶Mn, ⁷⁵Se, ^{110m}Ag) 及び即発 γ 線測定 (C(n, γ), N(n, γ), Cl(n, γ)) により得られた γ 線 (59 ~ 10829 keV) を使用した。 γ 線スペクトル解析： γ 線スペクトル解析は IKI が開発した γ 線解析プログラム Hypermet-PC を用いた。元素の k₀ 値は Cl の 1951 keV を内標準として求めた。k₀-PGA による定量では、他元素の妨害が少なく、放出率の大きな γ 線ピークの計数率、k₀ 値及び γ 線検出効率より、各元素の相対濃度を求めた。更に、標準添加法を併用した場合は、標準添加法で求めた元素濃度から、各元素の絶対濃度を求めた。

【結果】 現在までに、冷及び熱中性子ビームで 27 元素の k_{0,Cl} 値をほとんどの元素において 3% 以下の測定誤差で求めることができた。冷と熱中性子ビームにおける k_{0,Cl} 値はほとんどの元素において 3% 以内で一致した。また、JRR-3M の冷及び熱中性子ビームの k_{0,Cl} 値は同じ熱中性子ガイドビームによる IKI の k_{0,Cl} 値と 15 元素中 9 元素が 3% 以内で一致した。更に、本方法の正確さを評価するために標準物質 (River sediment (NIST SRM 1645)、Coal fly ash (NIST SRM 1633a)) の分析を行った。その結果、それぞれの認証値に対して 6% 以下の正確さで分析が可能であった。また、k₀-PGA 法と標準添加法を併用した方法では、同方法で NIST の Typical Diet (SRM 1548a) を分析した結果、各元素の定量値は認証と 6% 以内で一致した。

【参考文献】

1. G. L. Molnár, Zs. Révay, R. L. Paul, R. M. Lindstrom, "Prompt-gamma activation analysis using the k₀ approach", J. Radioanal. Nucl. Chem., 234 (1988) 21
2. H. Matsue, C. Yonezawa, "k₀ Standardization Approach in Neutron-Induced Prompt Gamma-Ray Analysis at JAERI", J. Radioanal. Nucl. Chem., 245 (2000).

フロー法による炭素の迅速分離検出法の開発と放射化分析への適用

高エネ研・放射線セ (A)、東北大・核理研(B)、NTT フォトニクス研究所(C)

梶本和義(A)、大槻 勤(B)、鹿野 弘二(C)、伊藤 寛(A)

【はじめに】

各種材料中の軽元素の定量は加速器による放射化分析の特徴であり、化学状態に関係なくしかも高感度に行えることから放射化分析の利用が不可欠となっている。軽元素の放射化分析では短寿命核種の迅速な分離、検出が必要とされるため、より一層の簡便迅速な定量法の開発が必要とされている。最近、フローインジェクション法は化学分析の自動化に大きな役割を果たしてきており、放射化学分離においても迅速化、簡便化のためにフロー法を組み込むことを検討してきた。ここでは ^{11}C の分離法の検討および実際に鉄鋼中の炭素の光量子放射化分析に適用した結果について報告することにする。

【実験】

分離、捕集条件の検討： ^{11}C の分離を行うための助燃剤、燃焼温度、昇温速度、酸素流量、エタノールアミンの濃度、流量などについて最適条件を求めた。

炭素の定量：東北大原子核理学研究施設の電子ライナックにおいて、加速エネルギー 30MeV、平均電流 100 μA で 20 分間照射した。照射試料は図 1 に示す装置を用いて ^{11}C を分離・測定した。酸素流量は 0.2l/min とした。炭素から生成する ^{11}C はゴールドイメージ炉による燃焼法で CO_2 とし、エタノールアミン溶液 (75%) を 0.2ml/min の流速で流したガラス製コイル中を通すことで連続的に抽出した。抽出液は 2 台の BGO 検出器の間を通し、マルチチャンネルスクエーラで連続的に放射能測定した。

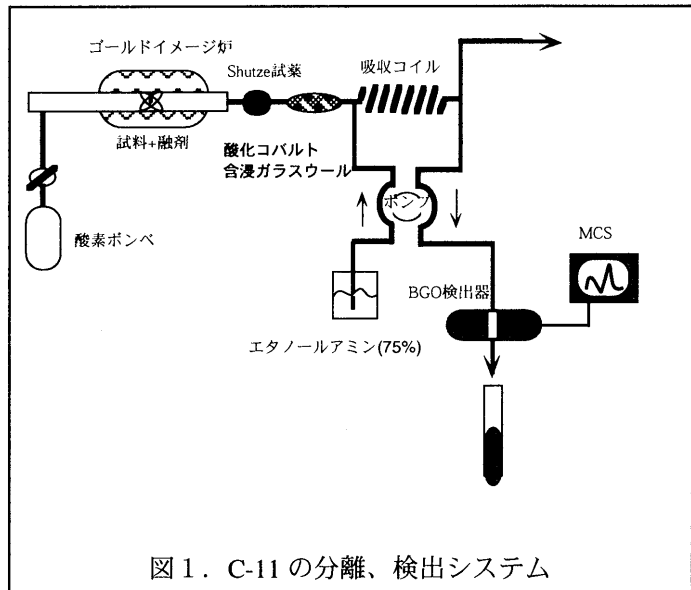


図 1. C-11 の分離、検出システム

【結果】

図 2 に鉄鋼試料からの放射性炭素の連続抽出パターンを示した。測定中の ^{11}C 放射能の減衰は補正してある。約 6 分後から放射能が検出され始め、10 分後に最大となり、約 30 分で検出されなくなることが分かる。

炭素の含有量と得られた計数の積算値から検量線を作成することができる。また、抽出液を試験管に捕集し、その放射能を測定することによっても検量線が作成できる。図 3 は、BGO 検出器で得られた計数の積算値および Ge 検出器で測定した 511keV γ 線のピーク面積値を炭素量に対してプロットしたものである。

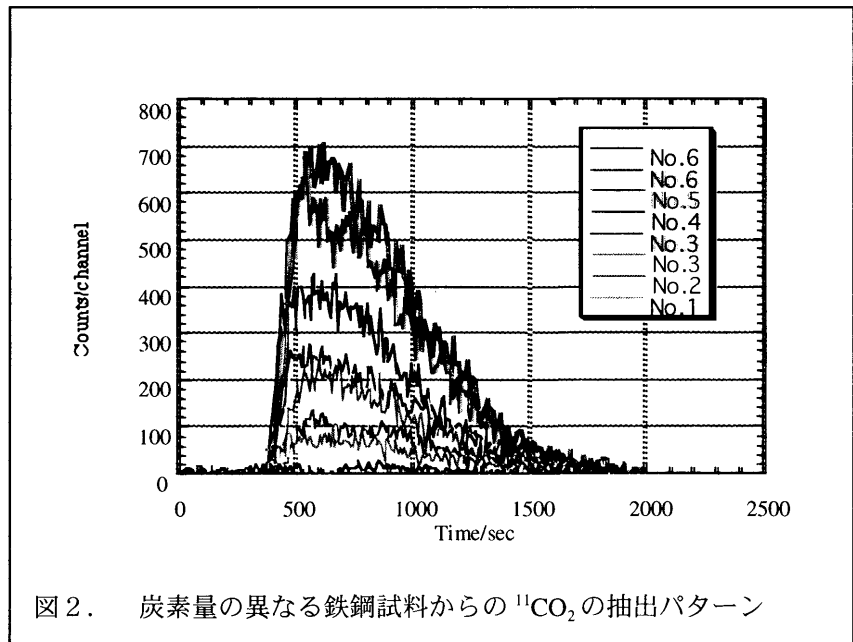


図 2. 炭素量の異なる鉄鋼試料からの $^{11}\text{CO}_2$ の抽出パターン

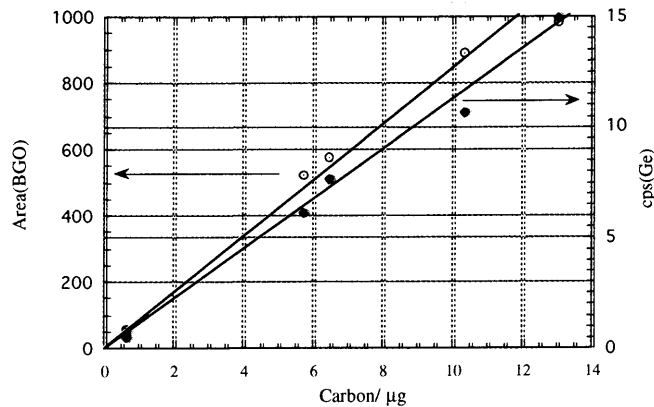


図3. 試料中の炭素含有量と抽出クロマトグラムの積算値および抽出液の放射能 (Ge 検出器で測定した 511keV γ 線ピーク面積) との関係

図3から分かるように、炭素含有量 0.5~15 μ g の範囲で検量線はいずれも良い直線関係が得られ、 μ g レベルの炭素が簡便に定量できることを示している。

粒状試料で求めた検量線を用いて、板状試料の炭素濃度を定量した。表1にその結果を示した。BGO 検出器で得られた積算値から定量した結果は最も濃度が高い No.1003 で値のばらつきが大きかった。2回の定量値の平均は認証値と良い一致を示した。また、Ge 検出器で定量した値は全体に低めの傾向が見られた。いずれの測定においても精度にはまだ若干問題があるものの、マイクログラム量の炭素の定量に十分の感度があった。

表1. 鉄鋼試料の比較法による定量結果

JSS No.	認証値(ppm)	Ge検出器	BGO検出器
1003	190	174, 172	146, 204
1008	10	7.2, 8.6	8.6, 11.3
1005	32	40, 25	34, 32

【まとめ】

これまで燃焼・沈殿分離・ろ過・放射能測定といった操作が必要であったのに対し、フロー法では1) 燃焼から測定までが連続的に行える、2) 分離に要する液量も少量で済む、3) 毎回の器具洗浄の必要がない、というように迅速性、簡便性が向上することが確かめられた。また、MCS モードで捕集溶液中の放射能の経時変化を測定できるため、試料毎の燃焼の状況が観察できるという付加的利点もみられた。これは、核反応で生成した放射性炭素の試料内での状態を探るうえでも興味深い。

しかし、絶対値を求めるには、化学組成が分かった化合物または絶対値が求められた標準物質との生成放射能を比較をする必要がある。例えば、炭酸リチウムを標準物質として照射し、炭酸リチウムからの ^{11}C との生成放射能の比から定量できる。この場合、抽出液を一旦捕集し、Ge検出器またはBGO検出器やNaI(Tl)検出器を用いた同時計数装置で測定する必要がある。この際、溶液試料と標準物質の測定のジオメトリーに注意が必要である。また、subppm領域の炭素濃度を定量するには、抽出液を捕集後、時間をかけて計数を蓄積することが望ましい。フロー法では連続的に捕集液を測るだけであり、もし万一他の放射性同位体が混入していると、定量の誤差となってしまう。このため、捕集液の放射能を数回繰り返し測定し、半減期をチェックし、液には ^{11}C のみが含まれていることを確かめておくことが必要である。

フロー法では100%の回収率を得ることが必要である。このため、試料の分解が安定に再現性良く行われなければならない。このための、融剤の選択や炉の温度についての工夫も必要となる。

荷電粒子放射化法による酸素の深さ方向分析

三菱マテリアル総研(A), 三菱マテリアルクォーツ(B), KEK・放射線科学センター(C)

○水野 哲, 櫻井 宏行, 竹谷 実(A), 金子 誠一(B), 榎本 和義, 伊藤 寛(C)

1. 序論

現在のシリコン半導体デバイスは、微細化、高密度化が急速に進行しており、製造プロセスにおけるシリコン中の微量不純物の分析は重要性を増している。ところで、シリコンの化学的、物理的性質は、含まれる酸素の量に依存することが知られており、たとえば、シリコン結晶中の酸素は析出核を形成し、格子欠陥の原因になるなど材料の特性に大きな影響を与えている。特にデバイスの作成には、シリコンウェーハ表面近傍に欠陥が存在しないことが不可欠である。そのため、表面のデバイス形成領域は酸化誘起積層欠陥(OSF)を伴わない無欠陥層(DZ 層)を形成する方法が検討されている。そこで、この DZ 層を評価するために、ウェーハ表面近傍の深さ方向の酸素濃度を把握することが重要視されている。

通常、シリコン中の酸素の深さ方向分析は SIMS で行われている。しかし、測定範囲が非常に狭いことや、酸素濃度のプロファイルは求められるが、正確な標準試料を用いなければ絶対量を求めることが困難であるといった問題がある。そのため、SIMS による分析値を別法により検証する必要がある。

荷電粒子放射化法は、1)酸素に対して非常に高感度、2)絶対量を求めることが可能といった利点があり、酸素の深さ方向分析に応用できるものと思われる。本研究では、荷電粒子放射化法によるシリコンウェーハ中の深さ方向の酸素分析法の検討を行なった。

2. 実験

2. 1. 試薬および試料

試薬はすべて特級以上のものを使用し、水はイオン交換水を用いた。標準試料は、棒状の石英(直径 10mm)を高速カッターで厚さ 2mmに切り出したものを用いた。分析試料は、バルク分析では、2 mm厚の高純度シリコンを高速カッターで1 cm角に切り出したものを、深さ方向分析では、8 インチの水素アニールウェーハを、1 cm角にへき開させ用いた。

2. 2. 照射

照射は東京大学原子核科学研究センターの SF サイクロトロンを用い、 ^3He を照射した。試料の照射面には照射線束のモニターとして厚さ $10\ \mu\text{m}$ の高純度銅箔を配置し、さらに高純度アルミ箔で包装して、水冷式照射ホルダーに固定した。照射は、真空状態で加速エネルギー 20MeV、平均電流 $1\ \mu\text{A}$ で 120 分間行なった。標準試料は、平均電流 5nA で 1 分間照射した。

2. 3. エッチング

照射後の試料は表面酸化膜および反跳の影響を除くため、照射面のみ HF:HNO₃:CH₃COOH=3:5:3 の混酸でエッチングを行なった。その後、NaOH 水溶液を用いて、逐次照射面のエッチングを行ない、このエッチング液を回収し試料溶液とした。エッチング深さは、マイクロメーターで測定し、さらに、ろ液中の Si を測定して補正を行なった。

2. 4. 化学分離と放射能測定

試料溶液にキャリアーとして NaF を添加し、硝酸により中和後、析出したシリカをろ別した。そのろ液を回収し、1M La(NO₃)₃ 溶液を加え、フッ素を LaF₃ として沈殿させた。生成した沈殿は、あらかじめ秤量した直径 47mm のメンブランフィルター上に均一に捕集した。フィルターはポリエチレン袋に入れ、ポリプロピレン製のサンプルホルダーに固定し、測定試料とした。

フッ素の回収率は、放射能測定後にフィルターを乾燥し、秤量して求めた。

^{18}F からの陽電子壊変に伴う 511keV の消滅放射線の測定は 1 対の BGO 検出器を用いてコイ

ンシデンス測定を行なった。また、試料と同時に照射した Cu 箔から生成する ^{66}Ga の放射能を Ge 検出器で測定し、試料に照射された線束の補正を行なった。

3. 結果

バルク試料及び水素アニールウェーハ試料についての定量結果を示す。

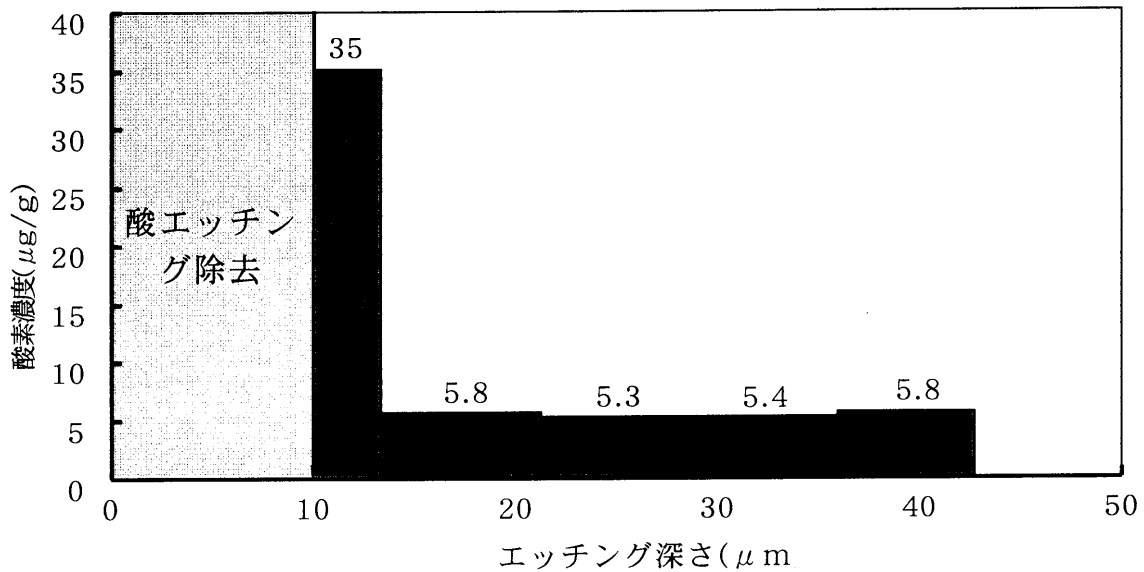


図 1-1. バルク試料についての定量結果

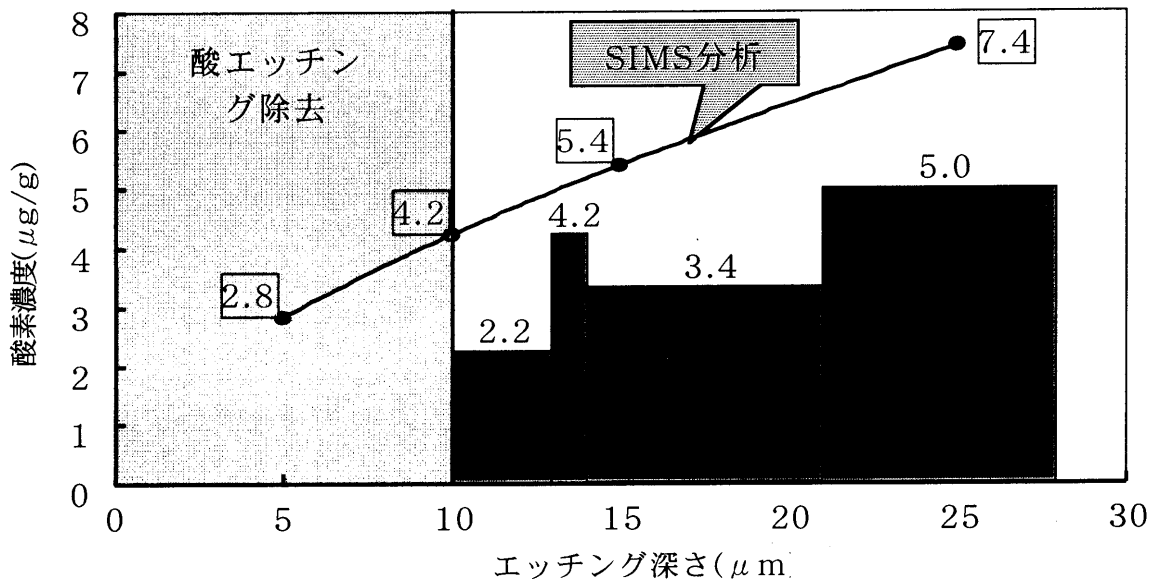


図 1-2. 水素アニールウェーハ試料についての定量結果

バルク試料では、深さ方向の酸素分布がほぼ均一なのに対し、ウェーハ試料では、内部ほど酸素濃度が高くなるのがわかった。また、同一のウェーハ試料を SIMS により分析したところ、同様の傾向が得られた。

なお、バルク試料について全酸素濃度分析を行なったところ、不活性ガス融解 - 赤外線吸収法、及び、FT-IR 法ともよく一致した結果が得られた。

多重ガンマ線検出法の分析化学への応用

日本原子力研究所

初川雄一、大島真澄、早川岳人、藤暢輔、篠原伸夫

分析化学では多量の妨害物質の中から微量な特定の元素の検出、定量を目的としている。一方、多重ガンマ線検出器は原子核の高励起状態を核分光学的に研究するために設計された検出器で、多量に存在する低レベルへの遷移の中からごくわずかな遷移を効果的に検出し、原子核構造の研究に広く応用されている。これまでに核分光の分野ではこの多重ガンマ線検出器を用いる事により多くの成果を上げてきている。これは主な低レベルの遷移に対して 10^6 程度の強度しかない分岐を抽出することにより見出し極僅かな高励起状態の情報を得ることを可能としている。この多重ガンマ線スペクトルを分析化学への応用を目指した基礎研究を行った。インビーム実験では大きな分岐を有するガンマ線の中から極微少なガンマ線の出射を検出することにより極限状態の原子核に関する情報を得ることが可能となり超変形や高励起状態の研究に活用されている。この検出感度の高さに着目して中性子放射化分析により岩石試料中の微量元素の検出を試みた。一般に地質学的試料の中性子放射化分析では主要成分からの放射線が強く微量成分の検出には化学分離などが必要であるが、多重ガンマ線検出器によって得られた2次元スペクトルにより非破壊で微量成分の検出に成功した。実験は地質調査所から配布され微量成分の定量がなされている標準岩石試料 JB-1a (玄武岩) と JP-1 (かんらん石) を用いて行った。原研原子炉 JRR-4 気送管で標準岩石試料約 100mg を 10 分間照射した後にゲルマニウム検出器系 GEMINI を用いてガンマ線測定を行った。12組の BGO 結晶によるアンチコンプトンサプレッサーを装備したゲルマニウム検出器から成る原研 GEMINI を用いて測定し、得られたガンマ線の同時事象は磁気テープ上に記録される。得られた2次元マトリクスから γ - γ のコインシデンスを取り出し解析を行った結果2種類の標準岩石試料 JB-1a および JP-1 試料中に合計 27 元素を検出することができた。検出された元素は K, Sc, Ti, Ca, Fe, Ni, Co, Ga, As, Br, Ba, Cs, La, Ce, Eu, Sm, Tb, Yb, Lu, Hf, Ta, W, Bi, Th(Pa), U(Np), Na, Mn である。この内 U と Th は娘核種の Np と Pa を経由してそれぞれ観察された事を示す。臭素については ^{82}Br (図-1) を測定することができたが、JB-1a および JP-1 では今までに臭素の含有量について報告されていなかった。また検出された元素の中では JP-1 中の Eu がもっとも微量な成分でありその含有量は 4 ppb であった。

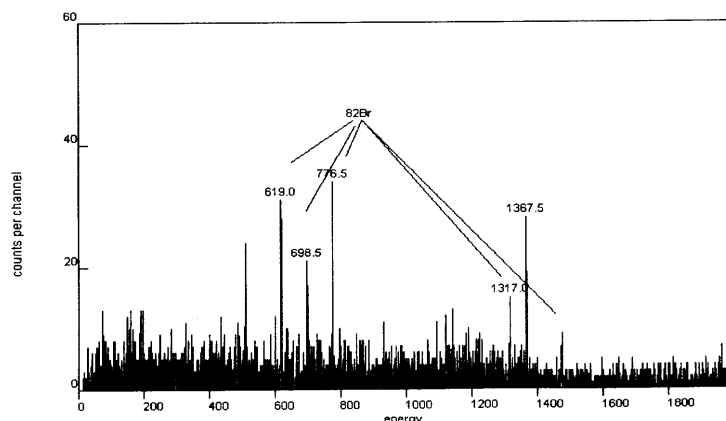


図-1

JB-1a 試料の 554keV のゲートスペクトル。 ^{82}Br から発せられた 1317, 619, 698, 776keV のガンマ線がコインシデンスしている。

エアロゾル降下量の季節変動と発生源

(九大院理、熊大理¹、九大アイセ²) 杉原真司、百島則幸¹、
大崎 進²、前田米藏

【はじめに】

地球温暖化、オゾン層破壊、酸性雨等の地球環境問題の現象解明の一環としてエアロゾルの挙動に着目し、その挙動をエアロゾルに含まれる放射能から解析すると共に、含有元素の濃度変動から発生源の推定を試みた。

エアロゾルは太陽放射を散乱・吸収することにより、地球の放射収支に大きな影響を及ぼすことが知られている。また、エアロゾルは雲の凝結核として働くために、雲の消長にも大きな影響を与え、その事が結果として、地球の放射収支に大きな影響を与えている。アジア地域は、アジア大陸に発生源を持つ土壌粒子及びこの地域の工業化に伴って増加している人為起源のエアロゾル粒子のために相対的に高いアルベドを持つ地域になっていると考えられる。福岡においてもアジア大陸の影響は十分に考えられ、大陸起源のエアロゾルの寄与を見積もることが可能である。各種の環境問題の現象解明には、地球という複雑なシステムにおいて、様々なスケールのダイナミクスの理解の積み重ねが必要不可欠である。

福岡市において、大気中エアロゾル、雨、降下物を採取し、ベリリウム-7、鉛-210 を γ 線スペクトロメトリーで、その他の元素を中性子放射化分析で定量した。ここでは、降下物中の元素の変動について報告する。

【実験】

福岡市東区の九州大学アイソトープ総合センター及び約8 km内陸部の篠栗町の九州大学農学部附属福岡演習林において、月間降下物（水盤法）を採取した。採取期間は、1995年から1999年までである。降下物は、蒸発乾固させプラスチック容器にいれ、 γ 線をGe半導体検出器で約1日測定した。放射化分析は、原研のJRR-3、4号炉を利用した。照射は3時間照射と気送管による10秒照射の2種類行った。それぞれ、約20~40 mgを石英管とポリエチレン袋に封入して照射した。3時間照射分は、10日程度冷却し、10秒照射分は直後に原研のGe半導体検出器で γ 線を測定した。測定時間は、各1000秒及び100秒である。標準はJB-1を利用した。各年を通して、定量できた元素の内、含有量が多い元素から順に12元素を選び、相関を取ると共に、季節変動を見た。また、主成分分析を適用し、降下のパターンを分類して、降下の季節パターンと発生源の関係を考察した。

【結果と考察】

選んだ12元素は、Al、Ca、Co、Cr、Cs、Eu、Fe、La、Mn、Na、Sc、Vである。表1、2に福岡市及び篠栗町における各元素間の相関係数を示す。相関の度合いが異なる元素が多く、10 km弱の地点間距離ながら、エアロゾルの挙動の違いがあることがわかる。特に、Cr、Naにおいて変化が大きく、海塩粒子、人為的起源粒子の影響の違いであろうと思われる。福岡市（九大）の採取地点は、海岸から約2 kmであり、国道も近く市街地であるが、演習林は郊外の丘（約70 m）にあって影響が少ないことがこの結果に現れている。

月間降下量の季節変動をみると、どの元素もほぼ冬に多く、夏に少ないというパターンを繰り返している。季節変動も、両地点では若干異なっている。エアロゾルは、種々の発生源を持つエアロゾルの複合物として降下してくるので、あきらかな発生源を特定することはできない。そこで、主成分分析を行い、その季節変動のパターンと、各成分への元素分布の違い

いから発生源の寄与の推定を試みた。図1は福岡市における、各成分の季節変動を示す。第1主成分がほぼ全体の元素の季節変動を示しているが、第2成分では、夏場にピークが見られ、この成分へのNaの寄与が多いことから、海塩粒子独特の変動であると考えられる。Alを土壌起源と考えた場合、春のAl降下量の上昇は第1成分の寄与が大きいが、冬の上昇はNaの降下量の上昇も見られることから、海塩粒子の寄与が大きくなり、大陸方向からの風に海塩粒子が取り込まれてきていると考えられる。一方、篠栗町の季節変動は、各成分への元素の寄与が大きく異なり、第1成分への海塩粒子の寄与が大きく働き、夏のNaの上昇を表している。このように、各成分の寄与を考慮して、各元素の季節変動を再現し、季節による発生源の異なるエアロゾルの降下量の変化を考察することが可能であり、また採取地点による違いからエアロゾルの発生から降下までの様子を考察する。

表1 福岡市における元素間濃度相関

	Al	Ca	Co	Cr	Cs	Eu	Fe	La	Mn	Na	Sc
Ca	0.62										
Co	0.78	0.91									
Cr	0.54	0.78	0.79								
Cs	0.32	0.75	0.74	0.52							
Eu	0.81	0.82	0.91	0.57	0.67						
Fe	0.73	0.85	0.92	0.78	0.59	0.82					
La	0.83	0.90	0.96	0.71	0.75	0.96	0.86				
Mn	0.79	0.83	0.87	0.69	0.67	0.88	0.86	0.95			
Na	0.38	0.33	0.46	0.83	0.15	0.25	0.53	0.36	0.37		
Sc	0.90	0.88	0.93	0.68	0.62	0.92	0.85	0.97	0.92	0.32	
V	0.95	0.67	0.79	0.65	0.39	0.79	0.70	0.86	0.85	0.44	0.91

表2 篠栗町における元素間濃度相関

	Al	Ca	Co	Cr	Cs	Eu	Fe	La	Mn	Na	Sc
Ca	0.56										
Co	0.48	0.70									
Cr	-0.14	0.54	0.45								
Cs	0.80	0.51	0.26	0.13							
Eu	0.67	0.75	0.63	0.06	0.37						
Fe	0.82	0.41	0.52	-0.01	0.72	0.41					
La	0.78	0.82	0.46	0.19	0.69	0.80	0.50				
Mn	0.59	0.87	0.80	0.60	0.50	0.70	0.59	0.73			
Na	0.13	0.62	0.23	0.78	0.45	0.03	0.27	0.39	0.61		
Sc	0.92	0.60	0.38	-0.16	0.67	0.79	0.58	0.89	0.55	0.05	
V	0.94	0.72	0.52	0.12	0.85	0.73	0.75	0.90	0.74	0.36	0.92

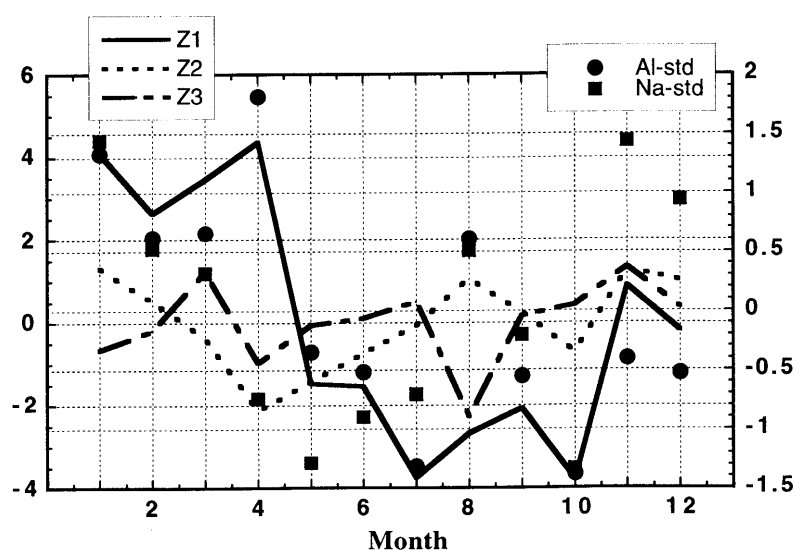


図1 福岡市におけるAl, Na濃度と各成分の季節変動

隕石中ハロゲン元素の放射化分析—光量子放射化分析法と隕石内での分布—

(都立大理¹、都立大院理²) 仲本朝嗣¹, Sk.A.Latif², 大浦泰嗣²,
海老原充², 中原弘道²

〔はじめに〕

隕石や岩石中の微量ハロゲン元素の分析には放射化分析法が適しており、よく利用される。これまで我々は、放射化学的中性子放射化分析法 (RNAA)を開発してきた。しかし、RNAA ではフッ素の定量が表1で示すように利用できる核種の半減期が11秒と短いため困難である。また、ヨウ素では定量に用いる¹²⁸Iの半減期が25分であり、定量は化学分離に要する時間との勝負である。一方、光量子放射化分析法は、フッ素の定量に¹⁸Fを利用するため、RNAAでは困難であったF、Cl、Br、Iの4元素すべての定量が可能であり、また¹²⁶Iは半減期が長く、化学分離中の減衰を気にしなくてすむ。そこで、ハロゲン4元素を同時に定量できる放射化学的光量子放射化分析法 (RPAA)の開発を行った。

ハロゲン元素の化学的性質は広く知られているが、宇宙化学的性質、すなわち隕石を代表とする宇宙物質中での挙動については、ほとんど知られていない。原始太陽系におけるハロゲン元素の宇宙化学的挙動を考察する目的で、コンドライト隕石を構成するいくつかの構成鉱物間でのハロゲン元素の分布を化学エッチング法により調べた。

〔ハロゲン元素の放射化学的光量子放射化分析法〕

隕石、岩石中のハロゲン4元素を1回の照射ですべて定量するための放射化学分離法を開発した。粉末試料約100mgをAl箔で二重に包み、直径1cmのペレット状に整形して照射試料とした。これを、fluxを補正するための金箔と一緒に石英管内に常圧封入した。最大エネルギー30MeVの制動放射線を照射後、図1のようにアルカリ融解し、フッ素はCaF₂、塩素と臭素はAgCl+AgBr、ヨウ素はPdI₂としてそれぞれ分離した。

既知量のKF、KCl、KBr、KI溶液を滴下・乾燥したAl箔を比較標準試料として照射し、検量線の作成を試みたが、直線性のよい検量線が得られなかった。中性子束の大きい原子炉を用いた放射化分析では、照射中に標準試料の揮発性元素が揮散することが知られているが、制動放射線の照射でも同様のことが起きているようである。このことが、隕石、岩石試料についても起きているのか調べた。堆積岩試料D-41-7をブランク試料としてのAl箔、Ni箔と一緒に石英管に封入し、照射時間をかえて(30分~6時間)照射し、ハロゲン4元素を分析した。その結果、フッ素、塩素、臭素については試料中からの明らかな揮散は見出されなかった。一方、ヨウ素については30分~2時間照射については明らかな揮散は観察されなかったが、6時間照射では試料を包んでいたAl箔とブランクAl箔にそれぞれ試料の約24%と約10%の¹²⁶Iが検出された。これは、試料からヨウ素が揮散していることを示唆していると考えられる。今後、さらに詳細に調べていく予定である。

〔隕石内でのハロゲン元素の分布〕

試料として普通コンドライトのSaratov(L4)とDhajala(H3)を用いた。これらは落下時に発見され、すぐに回収されたため地上での汚染がない。また鉱物学的分類において非平衡であり、原始太陽系における熱変性の度合いが小さいため、より始原的な情報を持っていることが予想される。

Cl、Brの定量にはRNAAを用い、試料を立教大学原子力研究所TRIGAⅡ原子炉にて30分間中性子照射をした。またIの定量はRPAAを用い、試料を東北大学理学部附属原子核理学研究施設の電子線形加速器にて最大エネルギー30MeVの制動放射線を6.5時間照射した。

照射試料に温水、EDTA溶液、硝酸を順次加え、10分間温めながら特定の鉱物相のみ溶解した。各溶出液にハロゲン担体(KCl, KBr, KI)を加え、塩素、臭素はハロゲン化銀、ヨウ素はヨウ化パラジウムとして沈殿させて回収し、γ線を測定した。最後の酸残渣はアルカリ融解して同様に化学分離した。

図2に Dhajara と Saratov のハロゲン元素の溶出パターンを、各溶出液および酸残渣それぞれから検出されたハロゲン元素の放射能の分配比として示す。Dhajara と Saratov で異なる分配比パターンが得られたが、これは隕石の種類によるものであろう。しかし、以下の特徴は共通している。各溶出液中のハロゲン元素の分配比を比べると、塩素と臭素が類似した挙動をとるのに対し、ヨウ素は違う挙動を示す。最大の違いは、塩素と臭素が硝酸に多く溶出したのに対し、ヨウ素は硝酸ではあまり溶出せず、硝酸に溶け残った酸残渣に多く検出されたことである。酸残渣には、原始太陽系の集積過程において高温で集積した鉱物である輝石が主に含まれていると考えられる。この輝石にヨウ素が含有されているとすると、原始太陽系においてヨウ素は不揮発性元素として挙動していた可能性も考えられる。今後さらに分析を続け、ハロゲン元素の分配を調べていく予定である。

図 1

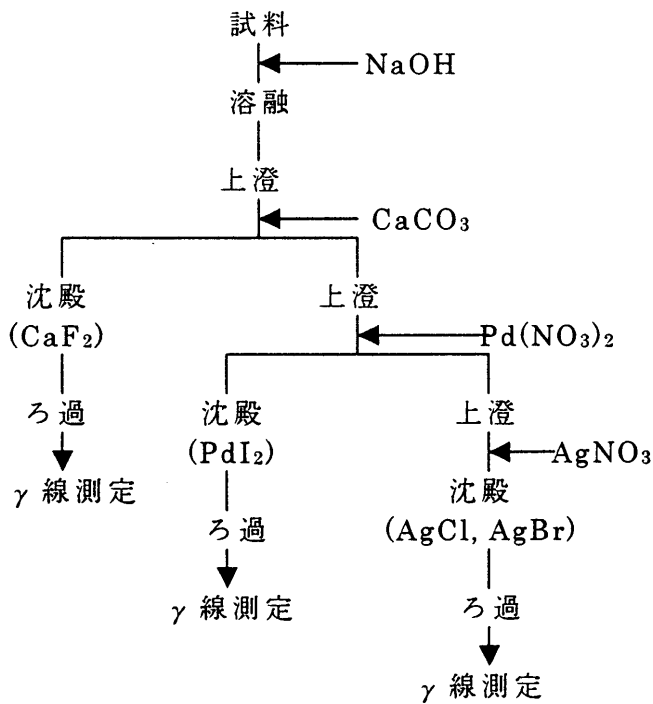
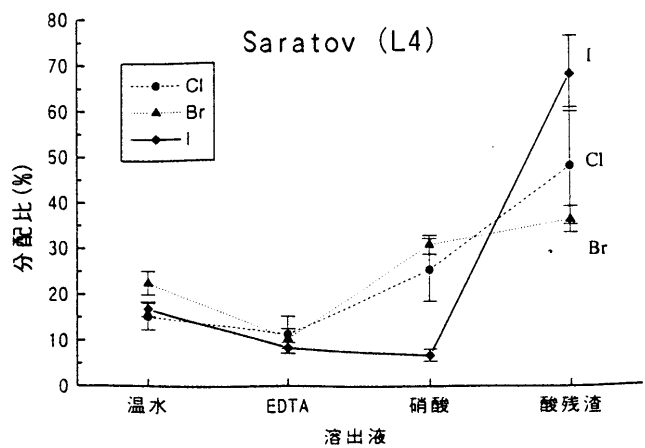
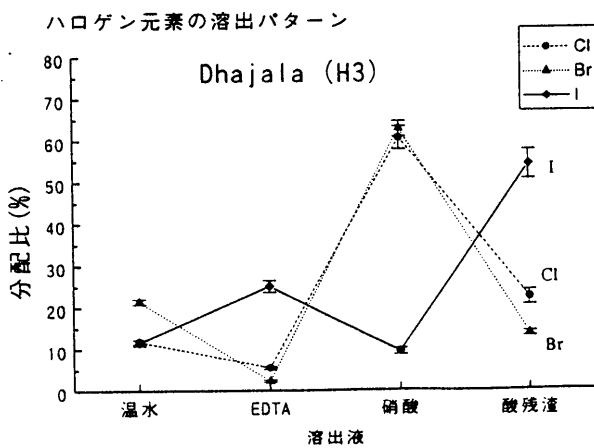


表 1

中性子放射化分析で利用する核種			
標的核種	同位体存在度(%)	生成核種	半減期
^{19}F	100	^{20}F	11 秒
^{37}Cl	24.23	^{38}Cl	37 分
^{81}Br	49.31	^{82}Br	1.5 日
^{127}I	100	^{128}I	25 分

光量子放射化分析で利用する核種			
標的核種	同位体存在度(%)	生成核種	半減期
^{19}F	100	^{18}F	110 分
^{35}Cl	75.77	$^{34\text{m}}\text{Cl}$	32 分
^{81}Br	49.31	$^{80\text{m}}\text{Br}$	4.4 時間
^{127}I	100	^{126}I	13 日

図 2



大型試料の即発 γ 線分析—中性子透過度と隕石への応用—

(都立大院理) 大浦泰嗣, Sk.A.Latif, 海老原充, 中原弘道

[はじめに]

中性子ガイドビームを用いる即発 γ 線分析(PGA)法は、粉末試料のみならず比較的大きな試料をも分析に供することができる。我々は、特にこの特徴を有効に利用するために、大型試料中の元素濃度(比)定量のための内標準法を開発し、考古学的試料(陶磁器、須恵器、銅鏡)と生物学的試料(ラット内臓)の分析に応用してきた。考古学的試料の厚さは最大で約2~3cm程度で十分中性子は透過していると考えていた。しかし、ラット内臓試料ではかなり中性子束が試料により減少することが見いだされたので、模擬試料を用いて試料の厚さによる中性子束の変化、中性子透過度を調べた。また、最近内標準法を大型隕石試料に応用したので、この結果についても報告する。

[中性子透過度]

陶器・須恵器のかわりにセラミック板(97×97×5mm)4枚のスタック、銅鏡のかわりに銅板(48×48×1mm)30枚のスタック、内臓のかわりにロースハム(48×48×1.8または2.5mm)15または18枚のスタックを20×20mmの熱中性子および冷中性子ビームで照射した。照射後、各板中に生成した中性子捕獲放射性核種をイメージングプレートにて測定した。 γ 線スペクトロメトリーは行わなかったがこれまでの経験より、セラミック板では、 ^{28}Al , ^{24}Na , ^{56}Mn が、銅板では $^{64,66}\text{Cu}$ が、ロースハムでは ^{38}Cl , ^{24}Na が主にイメージングプレートの感光に寄与していると考えられる。

図1に20×20mm領域での平均強度の相対値を深さに対してプロットした。セラミックと銅での熱中性子と冷中性子の透過度にはほとんど差は見られない。一方、ハムでは冷中性子の方が熱中性子よりもより透過度が大きく、より深くまで中性子が進行する。水素を多く含むハムでは冷中性子が熱中性子になりやすいことがこの一因であると考えられる。この結果より、これまでに我々が分析してきた考古学的試料では中性子はほとんど透過しており、試料全体の、または、中性子照射部の平均組成が得られていたことを確かめられた。

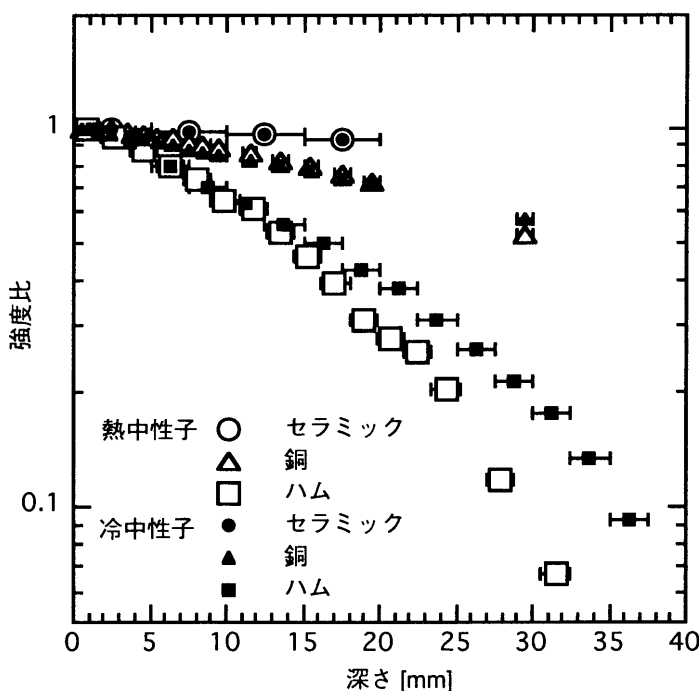


図1 中性子透過度

[大型隕石のPGA]

まず、鉄隕石のFe, Ni, Co濃度の測定を試みた。約50~1300gの鉄隕石をそのままFEPフィルムで包み、熱中性子で照射した。Feを内標準元素に選びFeとの濃度比を定量し、Fe+Ni+Co=100%と仮定して濃度を求めた。表に測定値を文献値(斜体)とともに示した。文献値とよく一致しており、PGA法を用いて、鉄隕石を粉碎せずにその主要組成を簡便に定量可能である。

隕石	重量 [g]	Fe (%)	Ni (%)	Co (%)
Toluca(Mexico)	220	91	8.9	0.53
<i>B.G.Chai et al('95)</i>		<i>91.6</i>	<i>7.86</i>	<i>0.489</i>
Toluca(Xiquipilco)	320	90	9	0.51
<i>B.G.Chai et al('95)</i>		<i>91.6</i>	<i>7.86</i>	<i>0.489</i>
Canyon Diablo	1,304	92	7.9	0.5
<i>D.J.Malvin et al.(84)</i>		<i>92.5</i>	<i>7.01</i>	<i>0.466</i>
Squaw Creek	50	93	6.1	0.49
<i>B.G.Chai et al('95)</i>		<i>94.1</i>	<i>5.45</i>	<i>0.435</i>

つぎに、⁶LiFコリメータでビームサイズを10×10 mmに絞り、大型球粒隕石及び鉄隕石を用い

て、同一試料で異なる数カ所を照射し、組成の均一性や表面に現れていないインクルージョンの探査が可能か調べた。図2に球粒隕石ALH-769 (約9×5×5cm, 343g)を8ヶ所照射した結果を示す。どの元素もほぼ一定値を示しており、主要元素はマクロ的には均一に分布していることが確かめられた。

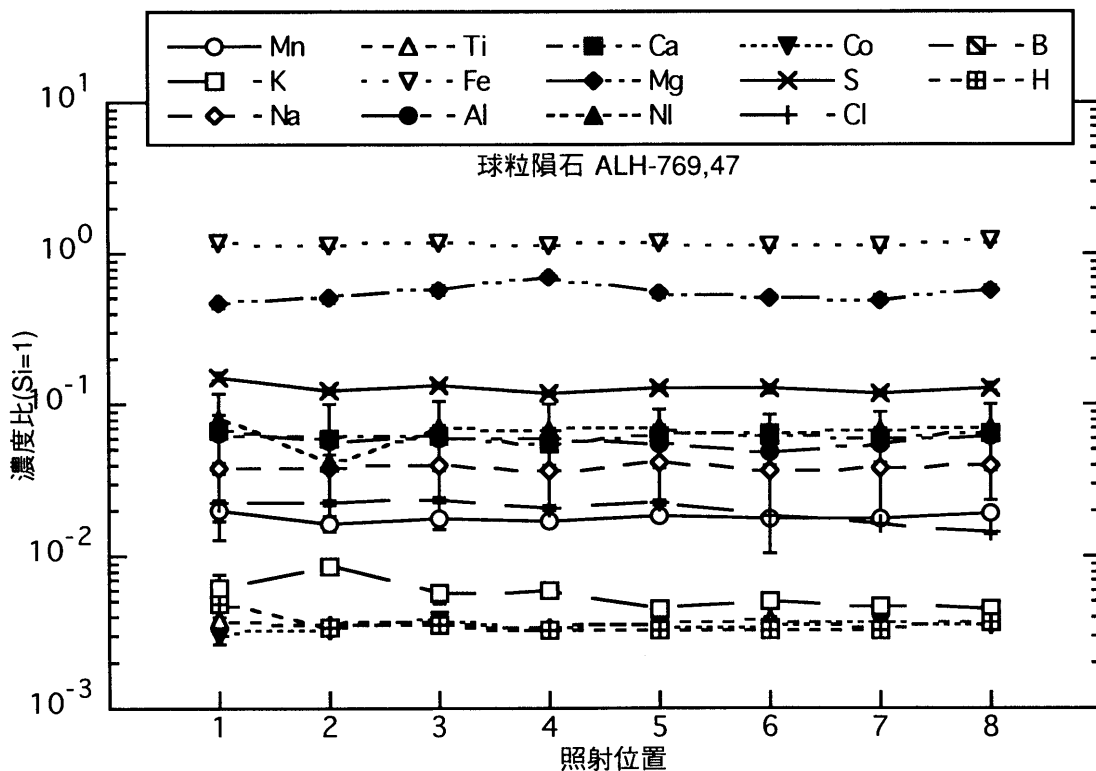


図2 球粒隕石での元素組成の均一性

蛍光X線分析, EPMA, SIMSなど元素分布を測定する方法は存在するが、いずれも表面近傍しか測定することができない。一方、PGAは現在のところ測定領域は大きい試料内部の情報も得ることができ、これは他の方法では不可能である。深さ方向での元素組成変化が測定可能になれば、さらに応用範囲が広がるであろう。

受賞

本研究会の会員 中西友子さんが猿橋賞を受賞されました。

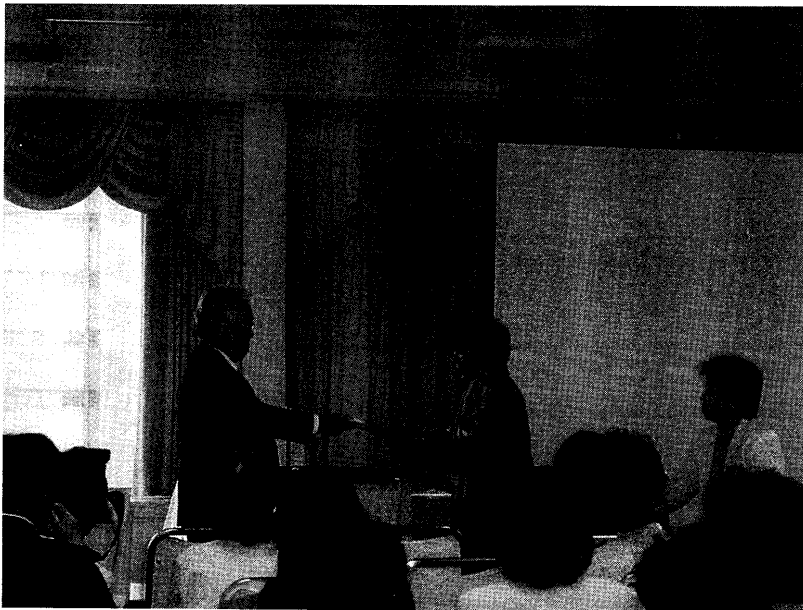
受賞の内容も直接放射化分析に関係するもので、
本研究会としても喜びに絶えません。
以下、授賞式当日に配布された中西さんの業績説明と
スナップ写真を掲載します。

第20回猿橋賞受賞者 中西友子博士の研究業績
東京大学大学院農学生命科学研究科助教授

受賞研究題目

植物における水および微量元素の挙動
Water and Trace Element Behavior in Plants

賞贈呈式日時 2000年5月27日午後4時
ところ 霞ヶ関ビル33階 東海大学校友会



中西友子博士の受賞研究について、簡単にご紹介いたします。

博士は生きた植物の情報伝達がどのように行われているかを調べるため、「植物を生きたまま解析できないか」と考えた。研究に取り組む中で世界で誰も手を付けなかった「植物中の水の挙動」に着目し、中性子線による水の可視化と

いう独自の手法を開発した。

これまでは生体の内部状態を調べるため、X線や赤外線などが利用され、動物の内臓・骨などの像や温度分布から応用研究が行われてきた。しかし生体の80%以上を構成する水については、何処にどのように存在しているかを、正確に知ることは困難だった。

そこで放射化学が専門の中西博士は中性子に注目した。電氣的に中性である中性子は、殆どの原子を通り抜けるが、自分とほぼ同じ大きさの水素原子にぶつかると、吸収されたり散乱されたりする。従って水素原子が多い水の部分は中性子線が通過しにくく、水の像を浮び上がらせることができる。実際に独自の測定系やコンピューターソフトの開発によって、植物中の水のCT像（コンピューターによる断面像）が得られるようになった。さらにこれらのCT像を重ね合わせて、立体的な水の像を得ることに成功した。

これまでに生きているヒルガオの花弁中の水分像、ナタネではサヤの中の組織像など見事な画像が得られている。中性子線には日本原子力研究所の研究用原子炉を使った。

水の像が得られれば、水の動きやサヤのなかにある種子の成熟過程、土壌中の根の生育過程等、生きたままの組織の形態も分かる。現実には植物中の水分吸収、乾燥過程を解析できたほか、根近傍（根圏）の土壌水分の変化を解析し謎の多い根の活動を明らかにした。

また博士は環境変化を敏感に反映する植物中の微量元素の中で、作物育成環境で重要な役割を果たしながらも、挙動が殆ど解明されていないアルミニウムとホウ素に着目した。アルミニウムについては、共焦点レーザー顕微鏡を用いた高感度の蛍光染色法を世界に先駆けて開発し、細胞内のアルミニウムの立体分析を明らかにした。ホウ素では即発ガンマ線分析法により、細胞の分裂期にホウ素量が最も少なくなることを見出した。

中西博士は民間の研究所や企業勤務で多くの経験をし、それらが学生や若い研究者を熱心に育成する基本となった。学生には、出来るだけ早い時期に国際会議で発表する機会を与えている。このことは、研究業績の向上とともに、人材育成の面でも、高い評価を受けている。

MARC V に参加して

高エネルギー加速器研究機構 榎本 和義

4月9日から14日にかけて第5回の放射分析化学の方法と応用に関する国際会議がハワイのコナで開かれました。私は今回初めて参加しましたが、参加者の多くはMTAAにも出席しており、顔馴染みが多く、この分野の出席者の固定化が感じられました。

今回の目玉はヘベシー賞をこの会議で出すことになり、ベルギーのDeCorte教授が受賞されました。初日の授賞式の後の講演“The standardization of Standardless NAA”ではDeCorte教授のNAAの標準化に対する熱意と執念を感じることができました。彼の研究所には6年前に滞在したこともあり、その後、奥様とともにソウルでのMTAAのあと新潟での放射化学討論会に招待し、自宅にも来ていただいたこともあって、久しぶりの再会で懐かしくお話をすることができました。また、ベルリンのBAMのSegebadeとは古くからの知人で、今度John Wiley社から発行される“Encyclopedia of Analytical Chemistry”の中で私が分担した“Photon Activation Analysis”の共著者をお願いしたこともあって、ベルリンのこと、現在の研究のことなどを久しぶりにお話しすることができました。

相変わらず、オランダのデルフトの研究グループは活発でしたが、ベルギーのGeelのライナックを使った中性子共鳴吸収法による分析の紹介は、KEKの池田先生がやっておられる方法に相通じるところがあり、日本でも展開を急いだ方がいいのではと思った次第です。

日本からも多くの方が参加されましたが、ほとんどがポスターセッションにまわされてしまうなかで、東大の中西先生は「日本人を差別しているのでは」と抗議し、ただ一人オーラル発表になったと伺っています。中性子イメージングプレートによる植物試料の水の取り込みの中性子透過画像とポジトロン断層測定によるラジオアイソトープ吸収状況の画像化の報告はとても内容豊富で充実しており、発表後立ち上がって拍手をする人もいて非常に良かったと思います。私はポスターでフロー法による迅速分離、検出について発表をしましたが、BAMのGoernerがしつこく食い下がってくれて、なかなか楽しい議論ができました。

最終日に石巻専修大の福島さんが企画してくれた10名程での島巡りのバスツアーではキラウエアの溶岩流、溶岩洞窟、生い茂るシダと熱帯の鳥のサエズリなどを鑑賞できました。

カナダのJervisやChattからは次回のMTAAの日本開催への期待を寄せられ、協力できるところはしたいと言ってくれました。今年中に開催地を決定する予定とのことでもあり、研究会でも幹事会を中心に積極的に検討を進めなければと思います。日本の放射化学会、放射化分析の動きはなかなか見えていないようで、放射化分析研究会の会員が200名弱いることを聞いてびっくりしていました。また、多くの方が来年のAPSORC2001の情報にも非常に興味を持っていました。いずれにせよ、日本からの情報発信はもっと必要だと感じた次第です。

第 61 回 分析化学討論会

武蔵工業大学 工学部 岡田 往子

分析化学討論会は 5 月 17 日 (水)・18 日 (木) の会期で新潟県長岡市のハイブ長岡及び長岡リリックホールで行われた。会場のある周辺は近くに美術館や公園のあり、ゆったりとした雰囲気です。2 日間の学会が開催された。討論主題は「生活環境・文化財を守る分析化学」、「ダウンサイズ化する分析化学」、「分離技術が支える分析化学」であり、それぞれに 4 名の講師による特別講演が設置された。放射化分析に関する発表は主題講演 2 件、一般講演 3 件でした。以下題目と発表者を記載する。

主題講演

- 1 E01 高エネルギー放射光蛍光 X 線分析法の開発と物質史研究への応用
(東理大・理. *Spring-8,JASRI) ○中井 泉, 大和聖子, 寺田靖子, *伊藤真義, *桜井吉晴
- 1 E02 微量元素からみた古鉄釘の特徴
(武蔵工大・工) ○岡田往子, 平井正司

一般講演

- 1 E07 同時計数法を用いた機器中性子放射化分析による多元素定量
(武蔵工大・工) ○鈴木章悟, 岡田往子, 平井正司
- 1 E08 中性子によるホウ素及びリチウムの深さ方向分析
(原研東海) ○米沢仲四郎, 松江秀明
- 2 E02 中性子即発 γ 線分析法による食事及び土壌標準物質中の多元素定量
(原研東海) 松江秀明, ○米沢仲四郎

放射化分析「夏の学校」

京都大学大学院・農学研究科 片山幸士

昨年度に引き続き本研究会の主催行事の一つとして、放射化分析に関する“夏の学校”が、8月21日と22日の2日間京都大学原子炉実験所で開催された。今回は立教大学原子力研究所で行われた。これは立教炉の共同利用が平成11年度で終わることが予想されていたので、多年にわたってこの炉が果たしてきた大きな役割に敬意を表すること、今後、立教原研で一同に会することが期待できないなどの想いがこめられていたと考えている。

今回は、京都大学原子炉実験所へ専門研究会「放射化分析の現況と今後の展望」として申請し、採択された。開催責任者には、所内・高田實彌先生、所外からは片山があたった。立教炉および武蔵工大炉のような低出力運転（100kW）の再開が困難な状況下で、放射化分析の利用、とくに若手研究者がこの方法とどのように付き合っておられるのか、また今後の方向性を、研究報告を通して討論していくことに力点をおいた。そこから京大炉や東海のJRR-3MやJRR-4運営に反映していくことも検討課題とした。所外から30数名、所内からも10数名の参加者があり活発な討論が行われた。次年度も専門研究会を申請する予定である。

研究会（夏の学校）の開催に際して、申請時からご協力いただいた京都大学原子炉実験所の共同利用掛の職員の方々にあらためて謝意を表させていただく。また、ご多用のなか、京大炉の将来計画についてご説明いただいた柴田誠一教授にも感謝するとともに今後のご支援をお願いする次第である。

研究会（夏の学校）のプログラムを以下に掲載する。

☆☆☆☆☆☆☆☆

京都大学原子炉実験所専門研究会 「放射化分析の現況と今後の展望」

開催日時：8月21日（月）13時～22日（火）12時30分

1. 挨拶 専門研究会の開催について 京都大学 高田實彌・片山幸士
2. 講演
(21日, 13時10分—)
「鉄製考古資料の放射化分析」

元興寺文化財研究所 菅井裕子

「インスリン様バナジウム錯体を投与したラットにおけるバナジウムの組織分布と体内動態の解析」

京都薬科大学・京大原子炉 ○安井裕之・田和理市・藤本盛揮・藤沢弥恵・滝野俊和・高田實彌・松下緑治・桜井弘

「INAA および ICP-MS を用いた樹木中の微量元素分析」

京都大学 ○幸進・青木達・片山幸士

「INAA 及び LA-ICP-MS による鉱床を伴う花崗岩中の微量成分の分析

—岩手県宮古花崗岩類と山口鉱床の銅-タングステン鉱化作用—」

秋田大学・京大原子炉 ○緒方武幸・水田敏夫・石山大三・高田実彌

「希土類元素を用いた日本列島の地殻進化過程の研究」

島根大学 道前香緒理

「土壌中の U, Th 分析— JCO 敷地内外からの試料への適応」

金沢大学 ○川端良子・山本政儀

「JCO 事故により周辺環境で生成した放射性核種の測定と放射化分析」

愛知医科大学 小島貞男

講演

(22日, 午前9時—)

「大学開放研究室における k0 標準化放射化分析の整備状況」

東大原総センター ○澤幡浩之・川手稔・伊藤泰男

「JRR-4 の放射化分析用照射孔の安定性について」

東大原総センター ○川手稔・澤幡浩之・伊藤泰男・福岡孝昭・海老原充

「中性子放射化分析法による岩石試料中の微量希土類元素、トリウム、ウランの定量法の検討」

東京都立大学 ○柴剣宇・海老原充

「中性子放射化分析法によるパラサイト隕石のかんらん石中の希土類元素の定量」

東京都立大学 ○箕輪はるか・大浦泰嗣・海老原充

「放射化分析法を用いた都市河川底質中の元素の分布に関する研究」

東京大学 ○田中佑人・松尾基之

「負ミュオンを用いた非破壊元素分析の試み」

東京大学 久保謙哉

3. 総合討論

第 44 回 放射化学討論会

都立大院 理 海老原 充

本年度の放射化学討論会は神戸の甲南大学で、9月12日(火)から14日(木)まで開催された。本年度は討論会としては第44回で、放射化学会の年会としては2回目ということになる。討論会の前日に中部地方を中心として豪雨があり、東海道新幹線がほぼまる1日止まってしまった。そのために参加を途中で断念せざるを得なかった人も少なくなく、講演中止でセッションに穴ができてしまう場面もみられた。しかし、天気の方も会期中に好転し、討論会自体も成功裡に終了したとの印象を持った。

放射化分析のセッションは、口頭発表が初日、ポスター発表が最終日と分散してしまっただ。放射化分析分科会は初日の講演終了後に行われた。分科会に関する内容等については別掲の記事を参照されたい。本年度の討論会で発表された講演で、放射化分析関係の講演は以下の通りである。

口頭発表

- 1C01 隕石中のハロゲン元素の光量子放射化分析
(都立大院理) 仲本朝嗣、S. A. Latif、大浦泰嗣、海老原充
- 1C02 多重ガンマ線分析の放射化分析への応用-2
(原研) 初川雄一、大島真澄、早川岳人、藤暢輔、篠原伸夫
- 1C03 中性子即発 γ 線分析法のためのKo係数の正確さ
(原研) 松江秀明、米沢仲四郎、
- 1C04 JRR-3M 即発 γ 線分析装置の改良-BGO 検出器の更新と荷電粒子測定装置の設置-
(原研) 米沢仲四郎、松江秀明、太田一昭、笹島文雄
- 1C05 古代土器産地問題に関する研究-指標元素としてのScとLa-
(奈教大、京大原子炉) 三辻利一、中野幸広、中村泰治、宮崎利靖

ポスター発表

- 3P01 Neutron activation analysis of rock samples for trace U, Th and lanthanoids
(都立大院理、東北大金研・大洗) 柴剣宇、大浦泰嗣、海老原充、三頭聡明
- 3P02 ファイバーアンプ用ガラス中の酸素の荷電粒子放射化分析
(NTT PH 研、NEL、KEK、核理研) 鹿野弘二、西田好毅、小林健二、清水誠、榎本和義、大槻勤
- 3P06 大学開放研におけるKo標準化放射化分析の整備状況
(東大原総セ) 澤幡浩之、川手稔、伊藤泰男

3P07 大学開放研における 2 検出器自動γ線スペクトル測定装置

(東大原総セ) 川手稔、澤幡浩之、伊藤泰男

3P08 JRR-4 の放射化分析用照射孔の安定性について

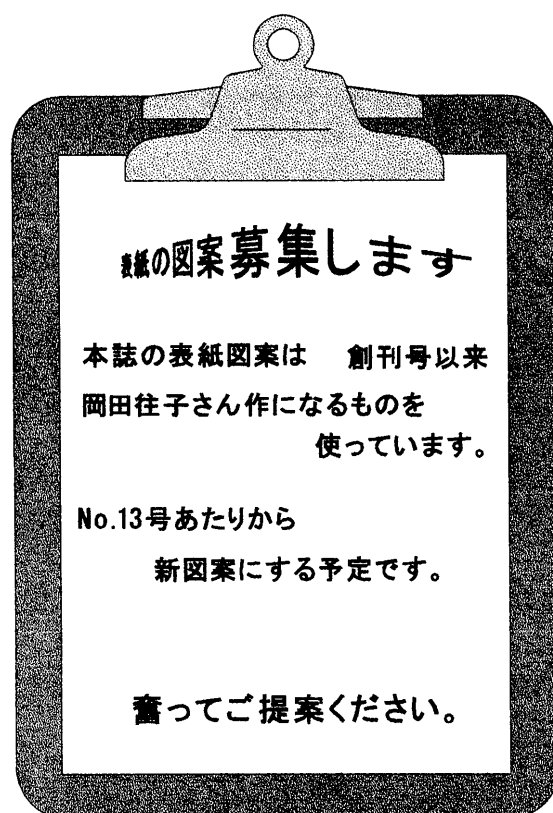
(東大原総セ、立正大、都立大院理) 澤幡浩之、川手稔、伊藤泰男、福岡孝昭、海老原充

3P11 INAA による樹木年輪中の微量元素定量のための基礎的検討

(京大 RI セ、京大院農、京大原子炉) 清水達、幸進、高田実彌、片山幸士

なお、JCO 臨海事故に関する研究結果の報告も活発に行われた。現象はウラン (^{235}U) の核分裂とその結果放出された中性子による放射化であり、中性子放射化分析に関連するが、ここでは省略する。

討論会の要旨集は日本放射化学会の学会 Journal of Nuclear and Radiochemical Sciences の Supplement として発行されており、興味を持たれる方は事務局に問い合わせられたい (tel: 0298-64-5451)。



3P07 大学開放研における 2 検出器自動 γ 線スペクトル測定装置

(東大原総セ) 川手稔、澤幡浩之、伊藤泰男

3P08 JRR-4 の放射化分析用照射孔の安定性について

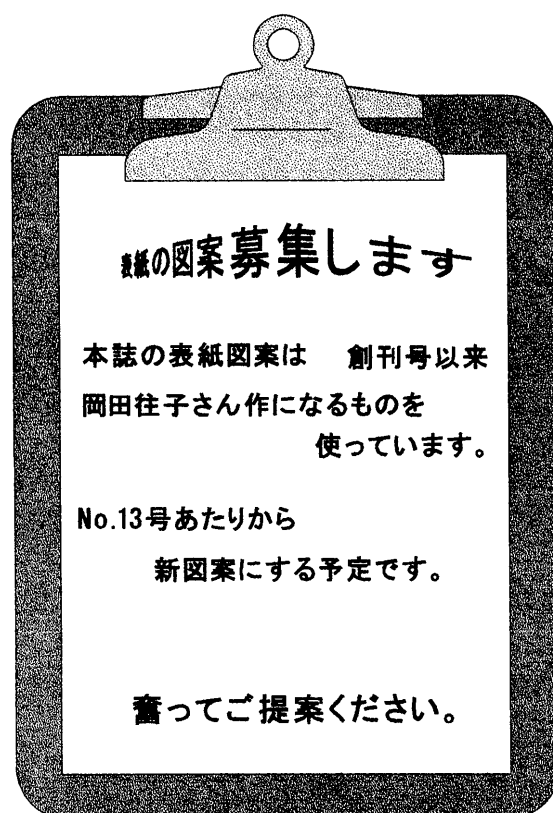
(東大原総セ、立正大、都立大院理) 澤幡浩之、川手稔、伊藤泰男、福岡孝昭、海老原充

3P11 INAA による樹木年輪中の微量元素定量のための基礎的検討

(京大 RI セ、京大院農、京大原子炉) 清水達、幸進、高田実彌、片山幸士

なお、JCO 臨海事故に関する研究結果の報告も活発に行われた。現象はウラン (^{235}U) の核分裂とその結果放出された中性子による放射化であり、中性子放射化分析に関連するが、ここでは省略する。

討論会の要旨集は日本放射化学会の学会 Journal of Nuclear and Radiochemical Sciences の Supplement として発行されており、興味を持たれる方は事務局に問い合わせられたい (tel: 0298-64-5451)。



第 44 回放射化学討論会・放射化分析分科会

京都大学大学院・農学研究科 片山幸士

放射化分析分科会を以下の議題を準備し行った。9月11日と12日は大雨のため東海道新幹線が大幅に遅れたため、原研・米沢仲四郎先生が欠席された。しかし、30名の出席者があった。

日 時：9月12日（火） 17時～19時

場 所：第44回放射化学討論会 C会場（甲南大学）

議 題：「パルス中性子源を使用した即発 γ 線分析研究計画」

原研 米沢仲四郎

「京都大学原子炉実験所専門研究会の報告と来年度の予定」

京大 片山幸士

「放射化分析研究会拡大幹事会」

東大 伊藤泰男

「大学開放研究室の放射化分析推進プロジェクト研究」

東大 伊藤泰男

「放射化分析テキストブック（マニュアル本）」

東京都立大 海老原 充

討議の結果、今後の活動に関する事項は以下の通りである。

1. 第3回放射化分析に関する“夏の学校”を今年度同様、京都大学原子炉実験所に専門研究会として申請する（高田實彌・片山幸士担当）。
2. 「大学開放研究室の放射化分析推進プロジェクト研究」については、早急に申請する必要があるので、「中性子利用分析委員会」を中心に原案を作成し、会員にメールで意見を求め、そのうえで最終案を決定する（伊藤泰男担当）
3. 「放射化分析テキストブック（マニュアル本）」については、平易なものと、授業に使えるような教科書の二面性のあるものが求められたが結論には達しなかった。海老原先生を中心に数名でもってワーキンググループを作り、作業を進める（海老原充担当）。
4. 次回の分科会の担当は、九州大学大学院理学研究科・杉原真司先生にお願いした。

第44回放射化学討論会放射化分析分科会報告

熊本大 理 百島 則幸

第44回放射化学討論会(9月12-14日)が神戸の甲南大学で開催された。甲南大学で開催されるのは2度目で、第28回放射化学討論会が放射化分析(共立全書)の著者である日下謙先生のお世話で開催されている。沖縄近辺にあった台風14号と秋雨前線の影響で、近畿・東海地方は未曾有の雨に見舞われた。新幹線は20時間以上に渡り不通となり、多くの方が列車内で不自由な時間を過ごさざる得ない羽目となった。案の定、東京方面からの討論会参加者は、このトラブルに巻き込まれた人も多く、NAA関連のいくつかの講演はキャンセルされた。

放射化分析分科会は討論会初日の夕方5時から、京都大学の片山先生のお世話で始まり、東大原子力総合センターの伊藤先生から提示されたいくつかの議題について話し合いがもたれた。分科会の内容をかいつまんで報告する。

研究用原子炉を取り巻く状況には厳しいものがあり、NAAが行える原子炉は京大炉と原研炉に限られている。そこで、NAAを活性化するために、総合的研究テーマを立ち上げてはどうかと伊藤先生から提案があった。これは原研炉を用いたもので、形態としては「協力研究」の形をとり、できるだけ多くの研究者が参加できるものとするもので、具体的な内容については原研施設の共同利用委員会のもとに設置されている中性子利用分析専門委員会(東大原子力研究総合センター)で検討していただくことになった。原子炉を100KW出力で運転した場合、精度良いNAAデータを得ることができたことが開放研から報告されたが、NAAのための原子炉特性の評価やKo法などを研究テーマとしてはどうかとの意見があった。具体的な研究テーマの内容は上記委員会で煮詰められることになるが、NAA研究者の協力がなければ進まないものであり、多くの方が参加されることを希望する。

今回のMTAA(The International Conference on Modern Trends in Activation Analysis)開催を日本で引き受けることについて話し合いがもたれた。世界的にみても日本におけるNAA利用者の数は決して少なくないと考えられ、我が国でMTAAを開催する下地は十分にあると思われる。現在、東大原子力総合センターの伊藤先生が個人レベルで日本開催についてコンタクトを取られている状況であるが、正式な受け入れとなった場合、受入母体を確定することが必要となる。いくつかの国が次回開催に名乗りを上げているようであり、動向が注目される。なお前回のMTAA-10は米国ワシントンで開催されたが、都立大の海老原先生が概要を放射化分析No.9(1999年10月号)に報告されている。

放射化分析研究会の幹事会では議論されていたことだが、放射化分析の本を作ることにについて意見が求められた。まず、本を作ることの是非については、新しいNAA関連の本が見あたらないこと、また、利用可能な原子炉が限られていることから具体的な利用方法(申し込み方法、カプセル形状など)を含めた出版物を考えてはどうかとの意見があった。本を出すことについては全員の方が賛成であると思われた。本の章立てについて都立大海老原先生から、教科書としての基礎的な部分と応用的な部分を含む構成が示され、出

版は大きな労力が伴うため、これまで放射化分析にまとめられた記事を手直しして進めることが得策と報告された。その方向で進めることになったが、武蔵大学の薬袋先生から出版形態について、実験操作などの映像情報を含めることがネット出版では可能なので検討してはどうかと提案があった。

来年は福岡市で放射化学討論会が開催されることになっており、世話人を九州大学 RI センターの杉原真司氏にお願いすることになった。



第3回中性子将来計画検討会

日本原子力研究所 米沢仲四郎

去る10月5, 6日の2日間原研東海研究所で表記検討会が開催され, 大強度パルス中性子源における実験装置についての具体的な検討が行われました。この中で即発 γ 線分析に関しても分科会が設けられ, パルス中性子を利用した放射化分析及び関連する研究テーマについて話し合いが行われ, 研究テーマの実施とその実験装置の設置の提案を行いました。

即発 γ 線分析分科会への参加者(敬称略)

中原弘道(前東京都立大), 海老原充(東京都立大), 大浦泰嗣(東京都立大), 伊藤泰男(東大), 久保謙哉(東大), 葉袋佳孝(武蔵大), 加美山隆(北大), 大島真澄(原研), 初川雄一(原研), 片桐政樹(原研), 宮本ユタカ(原研), 松江秀明(原研), 米沢仲四郎(原研)

ワーキンググループ(敬称略)

大浦泰嗣(東京都立大), 久保謙哉(東大), 葉袋佳孝(武蔵大), 加美山隆(北大), 大島真澄(原研), 片桐政樹(原研), 松江秀明(原研), 米沢仲四郎(原研)

即発ガンマグループの提案

研究テーマと装置

1. 冷中性子誘起 γ 線分析

(1)パルス利用による分析の高度化

- ・パルス特性を利用し, 即発 γ 線と壊変 γ 線を分別して測定
- ・多重 γ 線検出器による高感度, 高選択性 γ 線測定
その場・インビーム多元素同時非破壊分析
極短寿命核種を利用した分析
- ・励起核構造の研究

(2)マイクロビーム分析

- ・中性子レンズにより μm オーダーのビームを作る
- ・局所, 微小試料の元素分析
微小隕石, 宇宙塵, 火山灰, 大気浮遊塵, 岩石, 生体試料, 癌細胞
元素(同位体)3次元分析
- ・即発 γ 線測定による2次元分布+荷電粒子測定による深さ方向分析

(3)短寿命励起化学種 γ 線分光

- ・メスバウアー分光と γ - γ 角相関
中性子パルスに同期した励起(光, 磁場, 電場, 圧力及び核反応等)によって生成する短寿命化学種のキャラクタリゼーション
機能性錯体やクラスター化合物の励起状態の分光
光誘起磁性体, ホットアトム化学の研究

2. 熱外中性子共鳴即発 γ 線分析

- ・TOF によって求めた中性子エネルギーに対して γ 線強度を測定
- ・Ge 検出器による高分解能 γ 線エネルギー測定による高選択性非破壊分析
- ・元素の状態分析
- ・共鳴吸収基礎データの測定

設置する実験装置

1. 冷中性子誘起 γ 線分析装置

- 中性子モデレータ: Coupled H₂
- ガイド管: 曲線スーパーミラー導管
- ビームポート: 線源から 30 m 以上離れたところ

2. 熱外中性子共鳴即発 γ 線分析装置

- 中性子モデレータ: Decoupled H₂
- ガイド管: 無し
- ビームポート: 線源から 15 m

展開されるサイエンス

基礎科学

- 励起核をプローブとする化学の進展
- 宇宙での元素生成及び地球史の解明(宇宙・地球科学)

人文・社会科学(考古学, 美術, 犯罪捜査)

- 産地同定, 技法解明, 保存手法の開発, 真贋鑑定等による諸分野への貢献

環境科学

- 現在の地球環境における物質動態の解明並びに静脈型産業(リサイクル等)への貢献

医療, ライフサイエンス

- 診断, 癌等治療, 病理の解明等に寄与する
- 生体中の微量元素の役割を解明し生命の根源に迫る

材料科学→産業への貢献

今後は更に具体的な検討をワーキンググループが中心になって進め, 適宜本研究会に E-mail 等で報告していきます。なおワーキンググループのメンバーは固定したものではありません。本研究に興味をお持ちの方は是非参加してください。

東北大核理研 施設だより

東北大核理研 大槻 勤

平成12年度前期・後期 RI 関係共同利用課題採択状況

東北大核理研では平成12年度放射化学物性関連分野の前期及び後期の課題について、以下の様な課題が採択され実施されています。さらに皆さまの積極的な利用をお待ちしています。

平成12年度前期

鹿野弘二	NTT	ファイバンプ用ガラス中の炭素の光量子放射化分析
榊本和義	KEK 田無	軽元素の光量子放射化分析のための迅速化学分離法の開発
藤川辰一郎	東北大院工	マグネシウムおよびSiCにおける拡散
山村朝雄	東北大金研	ネプツニウム精製システム開発を目的としたイオン交換クロマトグラフィの過負荷状態の解析
三頭聡明	東北大金研	Th-229mの製造とその崩壊特性
原田雅幸	東工大	沈澱法にもとづく核分裂生成物およびアクチニド元素の系統的分離法の研究
秋葉健一	東北大素材研	バイオポリマーを用いた抽出剤のマイクロカプセル化と核種分離
海老原充	都立大	光量子放射化分析法による隕石試料中のハロゲン元素の定量
大槻 勤	東北大核理研	標識化による金属内包フラーレン及びヘテロフラーレンの研究
中西 孝	金沢大	$^{230}\text{Th}(g,n)$ 反応で生成する $^{229m,229}\text{Th}$ の反跳捕集
関根 勉	東北大院理	長寿命放射性核種の環境中移行における基礎化学反応研究

平成12年度後期

藤川辰一郎	東北大院工	マグネシウムにおける拡散
関根 勉	東北大院理	長寿命放射性核種の環境中移行における基礎化学反応研究
秋葉健一	東北大素材研	フライアッシュのゼオライト化および核種の分離固定
鹿野弘二	NTT	ファイバンプ用ガラス中の炭素の光量子放射化分析
三頭聡明	東北大金研	Th-229mの製造とその崩壊特性
山村朝雄	東北大金研	Csトレーサーの製造精製法の開発
中西 孝	金沢大	$^{230}\text{Th}(g,n)$ 反応で生成する ^{229m}Th の反跳捕集と ^{146}Sm の製造
大槻 勤	東北大核理研	標識化による金属内包フラーレン及びヘテロフラーレンの研究及びその応用
福島美智子	石巻専大	海洋環境における動植物の多元素同時放射化分析
海老原充	都立大	光量子放射化分析法による隕石試料中のハロゲン元素の定量

京都大学原子炉実験所 施設便り

京都大学原子炉実験所 高田 実彌

平成12年度共同利用〔放射化分析関係〕採択一覧

申請者	研究題目
高松 武次郎(国立環境研) 岩本 多実(福井工大)	バikal湖堆積物を用いた古環境の復元 未攪乱閉鎖系山頂池における碎屑粒子堆積物の溶脱挙動に関する研究
加藤 喜久雄(名大水圏) 堀内 将人(大同工大)	放射化分析による土壌における森林火災の履歴の解明 大気-水-土壌-植物系を通じた微量重金属の動態把握とリスク評価に関する研究
吉谷 昭彦(鳥取大) 佐藤 武雄(都神経研) 加藤 洋(都保健大)	ガラス質火山岩類における微量元素組成に関する研究 ヒト組織中の各種元素の放射化分析 アルミニウム投与ラット組織の放射化分析
武蔵野 実(京都教大) 水田 敏夫(秋田大工) 福島 美智子(石巻専大) 橋本 哲夫(新潟大理)	第四紀堆積物の化学組成と環境変動 鉱床及び関連火成岩類の地球化学的研究 海洋性無脊椎動物の微量金属元素の中性子放射化分析 γ線照射に起因する絶縁性物質の電子スピン共鳴とルミネッセンス特性
飯田 孝夫(名大院工) 増澤 文武(元興寺文研)	コンクリート中に含まれる放射化断面積の大きい微量元素の定量 有機物の付着する出土金属器の放射化分析並びにその画像解析とデータ集積
永淵 修 (福岡県環研) 山田 隆二(長岡雪氷研)	東アジア圏における酸性物質の長距離移流の解明 北極域雪氷水の微量元素分析による広域火山灰の起源の同定-気候変動全地球的物質循環の解明にむけて
関 達也(岡山理大) 矢永 誠人(静岡大理) 片山 幸士(京大院農) 森澤 真輔(京大院工) 河野 益近(京大大院) 小島 貞男(愛知医大) 桜井 弘 (京都薬大) 天野 良平(金沢大医) 石渡 明 (金沢大理) 小山 元子(都産業研) 溝畑 朗 (大阪府大) 佐野 栄 (愛媛大教) 小林 貴之(日大文理) 増澤 敏行(名大水圏) 吉田 宗平(和医大)	放射化分析による陸源堆積物の研究 亜鉛欠乏マウス臓器中の微量元素の分析 水-土壌-植物系での微量元素および放射性核種の移行 環境中におけるアンチモン動態把握とリスクの低減策に関する研究 紙に含まれる微量元素の分析 放射化分析による環境中の微量元素の分布と挙動 金属医薬品を投与した動物組織中生体微量元素の定量 動物及びヒトにおける脳内微量元素の放射化分析 マントル起源岩石の中性子放射化分析 放射化イメージング法による微量元素の二次元分布状態に関する研究 大気エアゾール粒子のキャラクタリゼーション 付加体構成岩類の微量元素組成 宇宙物質の放射化分析 海洋の生物生産・沈降・堆積に伴う親生物微量元素動態の研究 紀伊半島における神経変性疾患（筋萎縮性側索硬化症及びパーキンソン痴呆・アルツハイマー病・パーキンソン病）の環境要因分析
今井 佐金吾(神戸環境研)	放射化分析法による植物、特にせん苔類、羊歯類の微量元素濃縮

平良 初男(琉球大理)	と環境評価の研究
大森佐與子(大妻女大)	珊瑚礁、沖縄トナ海底堆積物の微量元素含有量
梅田 幹雄(京大院農)	毛髪元素の基礎的・応用的研究—栄養管理・病態把握の試み—
荒川 泰昭(静岡県大)	施肥計画のための土の元素循環分析
風間 重雄(中央大理工)	脳及び胸腺免疫における病的老化と微量元素に関する研究
松山 奉史(京大原子炉)	原子・分子クラスターのつくる新奇な凝縮系物質の構造の研究と電子状態の研究
木野村 淳(大阪工技研)	核的手法による機能性高分子の電気・光物性 照射損傷を媒介とした結晶成長と拡散過程の研究

原研施設利用共同研究

- 1) 平成12年度の研究課題一覧は、前号(10号)に掲載されています。
- 2) 大学開放研究室のホームページ <http://kaihoken.tokai.jaeri.go.jp/> に逐次情報を掲載しています。

最新情報のページ

原研施設利用共同研究のページ

利用日程

特筆すべき成果

発表論文リスト (現在 No.8 を利用者からの報告あり次第アップデートしています。)

以上の他、教育講座「放射線と正しくつきあうために」

解説 「社会の安全と中性子利用展開のための研究炉利用」

読み物 「海外研究炉事情」

なども収録されています。

- 3) 東海研究所 JRR-3(最大熱出力 20MW)は、平成 12 年 7 月 10 日から 7 月 14 日までの予定で平成 12 年度施設定期自主検査の飽和値等確認のため高出力試験運転を行っていたところ、7 月 13 日(木)制御棒 R-2(以下、R-2 という)の「100%挿入位置」の表示が点灯し、その他の制御棒が自動挿入(制御棒リバース)された後、原子炉が自動的に停止した。調査の結果、制御棒 R-2 を支持している電磁コイルの接続端子ボックス内のリード線の接続不良(ハンダ接続、エポキシ樹脂を用いたモールド)が原因となって断線していたことが判明した。(詳細は、日本原子力研究所のホームページ <http://www.jaeri.go.jp/> に掲載されています)

現在対策を施して JRR-3 の運転が回復したいです。

平良 初男(琉球大理)	と環境評価の研究
大森佐與子(大妻女大)	珊瑚礁、沖縄トヲ海底堆積物の微量元素含有量
梅田 幹雄(京大院農)	毛髪元素の基礎的・応用的研究—栄養管理・病態把握の試み—
荒川 泰昭(静岡県大)	施肥計画のための土の元素循環分析
風間 重雄(中央大理工)	脳及び胸腺免疫における病的老化と微量元素に関する研究
松山 奉史(京大原子炉)	原子・分子クラスターのつくる新奇な凝縮系物質の構造の研究と電子状態の研究
木野村 淳(大阪工技研)	核的手法による機能性高分子の電気・光物性 照射損傷を媒介とした結晶成長と拡散過程の研究

原研施設利用共同研究

- 1) 平成12年度の研究課題一覧は、前号(10号)に掲載されています。
- 2) 大学開放研究室のホームページ <http://kaihoken.tokai.jaeri.go.jp/> に逐次情報を掲載しています。

最新情報のページ

原研施設利用共同研究のページ

利用日程

特筆すべき成果

発表論文リスト (現在 No.8 を利用者からの報告あり次第アップデートしています。)

以上の他、教育講座「放射線と正しくつきあうために」

解説 「社会の安全と中性子利用展開のための研究炉利用」

読み物 「海外研究炉事情」

なども収録されています。

- 3) 東海研究所 JRR-3(最大熱出力 20MW)は、平成 12 年 7 月 10 日から 7 月 14 日までの予定で平成 12 年度施設定期自主検査の飽和値等確認のため高出力試験運転を行っていたところ、7 月 13 日(木)制御棒 R-2(以下、R-2 という)の「100%挿入位置」の表示が点灯し、その他の制御棒が自動挿入(制御棒リバース)された後、原子炉が自動的に停止した。調査の結果、制御棒 R-2 を支持している電磁コイルの接続端子ボックス内のリード線の接続不良(ハンダ接続、エポキシ樹脂を用いたモールド)が原因となって断線していたことが判明した。(詳細は、日本原子力研究所のホームページ <http://www.jaeri.go.jp/> に掲載されています)

現在対策を施して JRR-3 の運転が回復したいです。

東北大サイクロトロン第一ターゲット室照射コースの整備

大学院理学研究科原子核理学研究施設 大槻 勤

東北大サイクロトロン・RI センターでは新型 AVF サイクロトロンの導入に伴ない新たな研究がスタートしようとしている。当センターでは大小二つの新型サイクロトロンの稼働を目指してきたが、すでに核薬学・核医学分野では第一ターゲット室の旧第二照射コースの位置に HM12 (ベビーサイクロトロン) が導入されて共同利用が始まっている。第一ターゲット室にはもうひとつのビームライン (第一照射コース) があり、放射化学分野、物性分野あるいは一部の核薬学などの共同利用を行う予定とされていた。しかし、HM12 (核薬学・核医学利用) の稼働時間帯はほとんどが昼間である。第一照射コースを旧来どおり手操作によるターゲット装着を行うならば、本コースの利用可能な時間帯は核薬学・核医学分野が使用しない夜間に限られることになる。したがって新型 AVF サイクロトロンの稼働に伴ない有効に新型サイクロの利用を進めるためには自動ターゲット搬入・搬出システムの導入が不可欠で、本システムの導入に至った。旧来のシステムではターゲット装着及び取り外しは照射位置での手作業を伴ない被曝の点でも問題があったが、本システムを導入することによって被曝をできるだけ小さくすることも重要なポイントである。

自動ターゲット搬入・搬出システムは図 1 の様に第一ターゲット室の入り口上にある直径 20cm の S 字状ホールを利用し、ターゲット移動行程を平滑にするためのガイド板 (いわゆる回転寿司ガイド板) を設置することにした。この回転寿司ガイド板上をターゲットセルを載せたトロッコが走ることになる。まずターゲットはホットラボのドラフト中でホルダーに装着し、トロッコに収納する。ターゲットを乗せたトロッコはボタンひとつで自動的に回転寿司ガイド板上を走って第一コース照射位置上で回転型アームに移る。さらにアームの回転により照射位置まで運ばれた後備え付けのシリンダーにより圧着される (図 2)。新型サイクロトロンより供給される大強度ビームによってターゲット及びハーバーフォイルの破壊が起こらないよう、双方を冷却ヘリウム吹きつけることにより冷却する。ホットラボでのターゲット装着からビーム位置での圧着までに要する時間は 3 分程度と見積もられるので、短半減期核種でもある程度は利用可能となる。ホットラボのドラフト中から運搬用鉛コンテナ等により保管庫への移動、ホットラボや RI 棟での化学処理までのプロセスが容易になり荷電粒子放射化分析やトレーサー製造等の研究に威力を発揮するものとなるであろう。

また、さらに短半減期核種の利用及び新同位元素の探索には欠かせないヘリウムジェットシステムの導入も一緒に進めている。このチェンバーに関しては手操作による取り付けが必要となるが、ターゲット交換等を頻繁に伴わないので問題はない。本システムでは製造された短半減期核種を第二ターゲット室のイオンガイド質量分離装置やテープトランスポートシステムと結合し γ 線核分光や重元素の新同位体探索などの研究を進めるに重要なものとなる。

東日本では諸分野に於ける RI 製造とその利用を進める拠点としては KEK 田無の SF サイクロトロンや NTT サイクロトロンが無くなった現在、東北大学サイクロトロン・RI センターの第一ターゲット室の照射コースは無くてはならない重要なコースとなった。今後、本センターの RI 製造コースを用いて放射化学や物性学、生物学等に於ける多くの学際的研究がなされることを望むものである。特に本研究会会員諸氏に於ても荷電粒子放射化分析等の研究におおいに利用して頂きたい。ちなみに新型 AVF サイクロトロンの性能は表 (Table) 1 ~ 2 に記すので参考にされたい。実際の共同利用開始は本年 10 月頃からとなる見込みである。

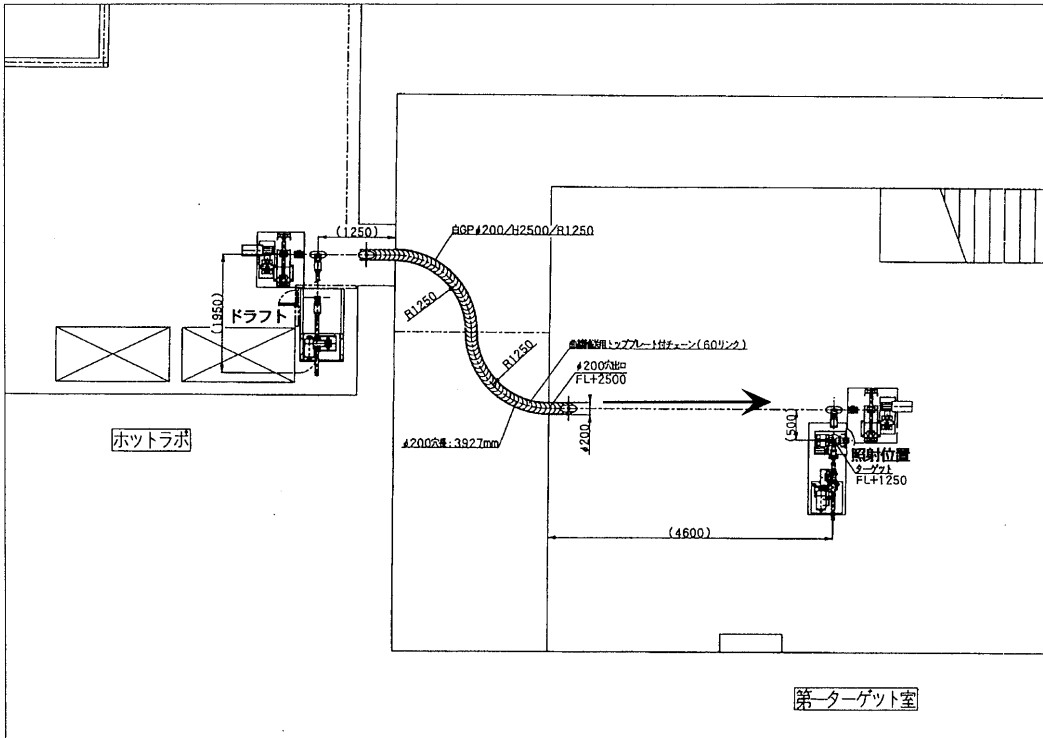


図1 ホットラボより照射位置までの自動ターゲット搬送

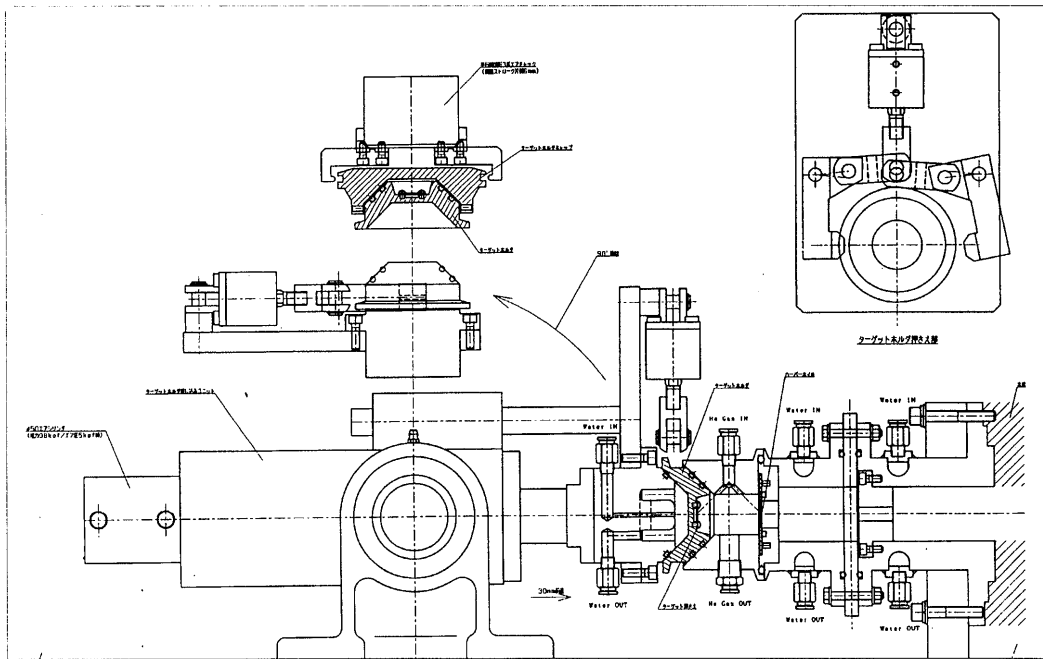


図2 照射部概略図

Tables 1 and 2 list the specifications and beam characters of the new cyclotron.

Table 1. Specification of the new AVF cyclotron.

Electromagnet System		
	Weight	200 ton
	Extraction Radius	923 mm
	Number of Sector	4
	Max. Average Induction	19.6 kG (over Hill)
	Main Coil Power	230 kW
	Number of Trim Coil	12 pairs
Radio-Frequency System		
	Number of Dee's	2
	Frequency	11-22 MHz
	Max. Dee Voltage	50 kV
	Max. RF Power	70 kW x 2
External Ion Source		
	Negative ion	Cusp-type
	Positive ion	ECR, 10GHz
		ECR, 14GHz

Table 2. Beam energies of the new AVF cyclotron.

a) Positive ion acceleration.

Accelerated Particle	Energy (MeV)	Beam intensity(μ A)
p	10-90	50
d	10-65	50
³ He	20-170	50
⁴ He	20-130	50
¹² C	20-397	5p
¹⁴ N	20-463	5p
¹⁶ O	20-530	5p
²⁰ Ne	20-662	5p
³² S	20-698	3p
⁴⁰ Ar	20-744	3p
⁸⁴ Kr	20-695	3p
¹²⁹ Xe	20-748	1p

a) Negative ion acceleration.

Accelerated Particle	Energy (MeV)	Beam intensity(μ A)
p	10-50	300
d	10-25	300

浜口 博 会員

本会発足時からの会員であられた浜口博東京大学名誉教授は、平成12年7月14日午後7時、逝去されました。享年85でした。

浜口博先生は、昭和12年東京帝国大学理学部化学科を卒業され、秋田鉱山専門学校、第一高等学校、東京文理科大学を経て、昭和27年に東京教育大学の教授になられました。その後昭和39年には東京大学教授になられました。この間、放射化学、分析化学、宇宙・地球化学の分野で多くの研究業績を残されました。

先生は東京大学在職中から（財）日本分析センターの設立に尽力され、昭和51年3月東京大学退官後は同センターの理事長に就任されました。平成2年まで理事長を務められ、この間昭和60年に長年の放射化分析の研究で紫綬褒章を受章されました。

ご冥福をお祈りします。

濱口先生を偲んで

立教大学名誉教授 戸村健児

われわれ放射化分析グループの育ての親ともいうべき濱口博先生が2000年7月14日に逝去されました。

先生は1915年1月18日三重県に生まれ、その後上京し、府立三中（現、両国高）、一高を経て1937年東京帝国大学理学部化学科を卒業されました。同大大学院を経て、秋田鉱専、文理大、教育大、東大、日本分析センターで教育、研究と環境放射能分析機関の運営に当たられました。また、日本地球化学会長、日本分析化学会長として学会の運営と発展にも寄与されました。

先生が放射化学的研究を始められたのは戦前のことで、東洋産含稀元素鉱物や深海底のラジウムの定量だったと思います。私も教育大・大学院1年の時、先生がラジウムを分析しているところを拝見いたしました。岩石試料を炭酸ソーダで熔融し、塩酸で溶解し、フラスコ状のガラス容器に封入し、ラドンが平行に達した時点で容器中のガスを箔検電器に導入し、金箔の開き工合を標準ラジウムと比較して定量するものだったと記憶しています。原理は簡単ですが、不器用な私には困難な実験との印象を受けました。

1954年秋に、シカゴ大学エンリコフェルミ研究所に留学し、隕石・隕鉄中の超微量ウランを放射化学的放射化分析（RNAA）で定量するという大変難しい研究に立ち向かいます。留学前に、先生は、重水素の発見でノーベル賞を贈られた宇宙化学の第一人者であるハロルド・C・ユーレイ博士に何回か手紙を送り、シカゴ大学への留学が実現しました。「留学の機会は2度とないだろうから一流中の一流の学者の許で勉強してきたい」という、普段の控えめの先生からは考えも及ばない積極性のある一面を窺うことができました。

2年間のシカゴにおける研究は隕石、隕鉄中のウラン、バリウムの定量という2つの論文にまとめられました。太陽系や地球が生成する際の熱収支の計算に不可欠な貴重なデータを提供したとの高い評価を得ました。その後、日本からは、学習院大学の木越邦彦先生を始めとする多数の放射化学者、地球化学者がシカゴ大学に招聘され、活躍者したのも、先生の業績に負うところが大きいといえましょう。

先生の帰国後、間もなく日本原子力研究所の1号炉、JRR-1が臨海に達し、日本でも中性子放射化分析が現実の微量分析手段として利用できるようになります。先生は、RNAAを駆使してJRR-1のような熱出力の余り大きくない炉でも隕石や標準岩石中の多数の微量元素が定量できることを報告され、放射化分析の名声を高めることに貢献されました。1970年からは“Journal of Radioanalytical Chemistry”のEditorial Advisory Boardの一メンバーに推挙されました。同誌のVol. 4の冒頭に当時の先生のお写真が掲載されています。

先生は地球化学、分析化学、放射化学等広範囲な研究にたずさわってきましたが、その底に常に一貫して流れているモットーは「正確な分析値を発表すること」にあったと思います。いい加減なデータを使って針小棒大に議論を発展する学者を苦々しく思っていたようです。一時、我が国の理学系分析化学研究室が第2物理化学研究室の様相を呈した時も、実際の試料が分析できる分析化学を目標に研究を展開してきました。先生は、正確な分析値を得るためには標準物質の協同分析が重要であるとの観点から、米国の地質調査所の標準岩石試料の分析にいち早く参加されました。放射化分析についても国内の20名の専門家の先頭に立ち、NBSのオーチャードリーブスとポーバインリバーを協同分析し、分析化学会誌にその成果を報告し、放射化分析の優秀さを世に示しました。先生が放射化分析を半生の仕事として選択されたのも放射化分析が最も優れた微量元素分析法の1つであり、「正確な分析値」を得るためには不可欠な分析法との考えからだったと思います。

日本分析センターの設立に当たって、東大在学中から濱口博先生以外にセンターを軌道に乗せていける人材はいないとして、時の政府の実力者の一人であった森山鉄二代議員等からの強い要請を断りきれずに、「放射化分析以外に分析研究を行ってもよい」との条件を付けてセンターの運営をお引き受けになったと聞いています。先生は分析センターにあっても大学にいたときと同様、理事長でありながら、白衣を着て技術系職員にケイ酸塩岩石の分析指導を行ったとも聞いています。

先生は、私大炉にも深い関心を持たれ、私どもの立教原研が経済的危機にあることをお話しすると、さっそく、科研費の総合研究班を組織して、立教炉が広範囲な研究に貢献できることを示していただきました。1974年度より25年間の長きにわたって立教炉の全国大学共同研究制度によって多くの放射化学研究者がその恩恵に浴し得たのも一重に先生のお力によるところが大きかったものと思います。その共同利用制度も2000年3月を以て無事幕を落とすことになりました。このことを先生にご報告する機会もなく、ご逝去の報に接したことを誠に残念に思います。先生の安らかなご冥福をお祈りいたします。

浜口先生の思い出

都立大大学院理学研究科 海老原 充

はじめに、自分のことを少しだけ書くことをお許し下さい。私が放射化学に興味を持つきっかけになったのは、小学生の時に見た NHK の夕方のテレビ番組でした。顔は人形で、手を人間が演じる「ケッヘル先生」（と記憶しています）が登場し、いろいろな質問に答えるコーナーがありました。ある時、「大昔の出来事の年代を実験で科学的に決めることができる、そしてそれは放射壊変現象を利用するのだ」と、今の知識でいえばこのように表現できるやり取りがありました。この人形の姿と質問の内容は今でもはっきり覚えています。そして、このことが結果として、その後の自分の進路に繋がっていったことは間違いありません。私が大学受験を経験した当時は、原子力に対して今のような感覚とは正反対の意識がありましたので、原子力工学科に進学するつもりで大学に入学しました。教養課程を終了し、専攻を決めるときに、すでに原子力工学科から同大学院に進学していた中学校以来の先輩に相談しました。私の話を聞いたその先輩から、工学部原子力工学科ではなく、理学部化学科に進学し、放射化学研究室に所属することを勧められました。この助言に素直に従い、理学部化学科に進学しました。こうした経緯を経て、浜口先生との最初の出会いは、化学科3年生の時の「放射化学」の講義の時でした。化学科の講義の中ではちょっと異色で、それが非常に新鮮で、大変興味を持ち、先輩の的確な助言に感謝したものです。学部4年生の後期の卒業研究では、躊躇なく浜口研究室を選択しました。昭和48年（1973年）の秋のことです。

私と一緒に浜口研究室に卒研生として配属になったのは4人で、うち2人が浜口先生の専門の放射化分析のテーマ、もう2人が当時助教授をされていた馬淵久夫先生のもとで宇宙化学のテーマを選びました。どのように学生間でテーマを割り振ったのかは記憶していませんが、希望を入れて調整したのだと思います。私が選んだテーマは中性子放射化分析による毛髪分析でした。その頃、公害問題が盛んに社会を賑わせており、その人体への影響を評価する一つの手段として髪の毛の元素分析が取り上げられていました。テーマが決まると早速試料の調達に出かけました。その日のことは今でもはっきりと覚えています。ある日、浜口先生の教授室に呼ばれ、これから卒研で分析する試料を貰いに行くから同行するように、と言われました。東大・本郷の構内からタクシーで連れて行かれたところは、当時千鳥ヶ淵にあった警察庁の科学捜査研究所でした。後の富山医科薬科大学薬学部教授に転出された狐塚寛氏と面会し、多くの毛髪試料を頂きました。その毛髪試料がどのようにして科学捜査研究所に集められたのかは、尋ねませんでした。

いただいた毛髪試料を分析するにあたり、試料を洗浄する必要がありました。当時浜口先生は理学部化学科の放射化学講座の教授でしたが、工学部原子力工学科の協力講座の教授もかねていた頃の名残か、弥生キャンパスのとある実験室を利用することができました。その実験室の片隅で、毛髪試料を水とアセトンで順次洗浄し、乾燥後、照射用試料としました。実験に用いた試料には、科学捜査研究所から頂いた試料に加えて、浜口研究室の先生や先輩・同僚の人の毛髪もサンプリングし、利用させていただきました。さすがに、浜口先生から頂いた記憶はありません。洗浄した毛髪試料を適当な長さに切り、石英管に入れて、日本原子

力研究所（東海研究所）の原子炉で照射しました。試料の石英管への封入や照射手続きなどを含めて、卒研全般の実質的な指導は、当時浜口研の助手をされていた菅野等さん（現防衛大教授）から受けました。照射に関する詳しい情報は今となっては忘れてしまいました。私の実験ではこれといってトラブルがありませんでしたが、一緒に放射化分析のテーマを行っていた同級生の海水試料を照射中に照射管が割れて照射孔を汚染し、大騒ぎをした覚えがあります。今考えると、有機物である毛髪試料や液体の海水試料を石英管に入れて、よく照射できたものだと不思議に思われます。分析結果について浜口先生と直接議論したという記憶はありませんが、データに対する取り扱い是非常に厳しかったという印象があります。

私の卒研の頃に（株）分析科研のデータ捏造事件がありました。その結果、（財）日本分析センターが設立されることになるわけですが、その設立の過渡期に、理研の駒込分室の一角で分析を行ったことはあまり知られていないかも知れません。我々浜口研の卒研生はその分析業務を一時的に手伝うことになりました。もちろんアルバイトとしてですが、立場的には理研の嘱託ということになっていました。そこで得難い経験をしました。それは、浜口先生自らが白衣を着て、発煙硝酸法でカルシウムとストロンチウムを分離する操作をやって見せてくれたことです。浜口先生が実験するところを見たのは、後にも先にもこの時以外にはなく、貴重な経験をしました。浜口先生はその1年後に東大を定年退官し、日本分析センターの理事長に就任されました。

卒研を終わって、大学院に進学することになりますが、浜口先生が定年の1年前ということもあり、物性研究所の本田雅健教授の研究室に進学することにしました。ここで隕石との出会いがあり、結果として、その後の研究の方向が決まりました。本田先生の指導のもとで学位を取り、すぐにシカゴ大学のエンリコフェルミ研究所のアンダース教授のところで博士研究員になりました。このエンリコフェルミ研究所にはその約20年前に浜口先生が文部省の派遣研究員として訪れており、今でも引用されることのある中性子放射化分析法による隕石試料中のウランの定量の仕事がされました。アンダースも浜口先生のことはよく知っていて、話の端々から尊敬の念を感じることができました。私がシカゴ滞在中、浜口先生御夫婦がシカゴを来訪されたことがありました。懐かしいシカゴ大キャンパスやダウンタウンに案内し、我が家で日本食の夕食をとっていただきました。このときのことは今でも鮮明に覚えている思い出の一つです。

まだ自分の一生を振り返る年でもありませんが、人の一生には多くの人がかかわってくる中で、浜口先生は自分のこれまでの人生にもっとも大きな影響を与えた人の一人であることは間違いありません。お通夜の祭壇で微笑まれる先生の遺影を前に、思わず涙ぐんでしまいました。浜口先生のご冥福をお祈り申し上げます。

編集後記

「放射化分析」誌もようやく「つ離れ」ができました。これも会員各位の協力のたまものであることは言うまでもありません。学会をはじめとして、ある団体ができる、まずは会誌を発行するのが常です。一人でいくつもの学会や研究会に所属していると、このての会誌が定期的にかかなりの冊数送られてきます。どのような会誌であれ、定期的に発行するにはかなりの努力が払われていることは間違いないでしょう。しかしその努力が本当に報われているかどうか、「放射化分析」誌の編集にかかわるようになって大変気になるようになりました。私自身、ざっと目を通して、すぐ、あるいは一定の猶予期間後、処分してしまうものが少なくありません。部屋のスペースが限られている状況では仕方がないということもありますが、多くの会誌が情報を提供するものであればその情報が古くなる段階でゴミ箱に捨てられるのは会誌の運命であり、ある意味では当然であるといえます。多少手前味噌的ではありますが、「放射化分析」誌は我が研究室の本棚のベストポジションを確保しています。一人でも多くの会員の方がなるべく永く本棚に並べられるような会誌を今後も編集していきたいと思っています。どうぞご協力を切にお願いいたします。 (M. E.)

放射化分析研究会申し合わせ

第1章 総則

第1条 本会は放射化分析研究会（Japan Association of Activation Analysis, JA³）と称する。

第2条 会員相互の交流を行うことによって、放射化分析および関連分野の研究の進展を図り、放射化分析の発展、普及に寄与することを目的とする。

第3条 前条の目的を達成するために次の活動を行う。

- (1) 機関誌「放射化分析」およびニュースレター（不定期）の発行
- (2) 研究会、講習会等各種学術的行事の開催
- (3) 放射化分析施設の整備、将来計画及び国際交流等の放射化分析に関わる活動に対する会員の総意のまとめと提言
- (4) その他前条の目的を達成するために必要な事業

第2章 会員

第4条 会員は正会員および賛助会員とする。

- 1) 正会員は本会の趣旨に賛同しその活動に参加する一般個人および学生
- 2) 賛助会員は本会の主旨に賛同し、その事業を援助する組織又は団体

第5条 所定の入会申込書によって申し込みがあり、幹事会で入会が適当と認められたものを会員とする。また退会する場合には、本会事務局に届け出なければならない。

第3章 幹事及び幹事会

第6条 会の運営は、幹事若干名で構成される幹事会で行う。幹事は編集・行事・庶務・会計などの業務を行う。

第7条 幹事の任期は2年とし、毎年4月に半数を交替する。幹事の再任を妨げない。幹事は専門と地域の均衡を考慮して前任の幹事会で推薦して会員に周知し（会誌またはニュースによる）、特別の問題が指摘されないことをもって選出される。

第4章 会費および会計監査

第8条 会員は入会時および年度初頭に以下の会費を納入しなければならない。

正会員（一般）2,000円、（学生）1,000円

賛助会員 1口 25,000円

第9条 会計年度は4月1日から翌年3月31日とする。

第10条 会計監査は会員より選出される。会計監査は会の収入、支出が正しく運用されていることを監査する。

第5章 事務局

第11条 本会の事務一般業務を行うため事務局を置く。事務局担当幹事を幹事会代表とする。

第12条 事務局は適宜持ち回ることとし、幹事会の合議によって決める。

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」、不定期の「放射化分析研究会ニュース」、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め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備です。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・研究室紹介

放射化分析を行うことができる施設については、放射化分析関係の共同利用、共同研究が行われている施設で採択されている研究課題などを掲載します。また放射化分析を行っている研究室の紹介を適宜行います。

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

学生や着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。会員の皆さんがらの情報提供をお待ちしています。

アナウンスメント

論文紹介（発表論文アブストラクト）

会員から届けられた論文別刷りを元に、発表された学術論文のタイトルとアブストラクトが随時掲載されます。博士・修論文の要約も掲載します。

会員名簿

原稿はA4 横書き、40 字 x 40 行、上下マージン 25 mm、左右マージン 20 mm を標準として、そのままオフセット印刷又はコピーして使える形に清書して送付して下さい。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ので、念のためファイルをフロッピーディスク添付して下さい。

（ファイルはMS-DOS のテキスト又はMS WORD が最適ですが、Macintosh のファイルやワープロ専用機のファイルもかなりの程度処理できます）

電子メーリングシステム

会員及び幹事会の電子メールアドレスが、下記のエイリアスに登録されています。これを用いて会員相互の交流・意見交換を促進していきます。

会員 : JA3@kaihoken.tokai.jaeri.go.jp

幹事会 : JA3-kanjikai@kaihoken.tokai.jaeri.go.jp

JA3@kaihoken.tokai.jaeri.go.jp に発信すれば、（電子メールアドレスが登録されている）会員全体に配信されます。幹事会・事務局への連絡・要望等はJA3-kanjikai@kaihoken.tokai.jaeri.go.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、アドレスがエイリアスに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 日本原子力研究所内 大学開放研究室

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

E-mail : JA3-kanjikai@kaihoken.tokai.jaeri.go.jp

Home Page : <http://kaihoken.tokai.jaeri.go.jp/JA3.htm>

幹事

相沢省一	伊藤泰男	海老原充	大浦泰嗣	岡田往子	大槻 勤	片山幸士
桜井 弘	重松俊男	関 李紀	高田實彌	田中 剛	豊田和弘	榎本和義
宮本ユタカ	百島則幸					