

放射化学ニュース 第7号

放射化学ニュース

第7号

平成14年(2002年)12月20日

目次

解説

希土類化合物のメスバウアー測定(高橋 正、王 軍虎、北澤孝史、竹田満洲雄)…………… 1

時過ぎて

故 阪上正信先生を偲ぶ(橋本哲夫、小村和久、佐伯正克、中西 孝)…………… 7

歴史と教育

超ウラン元素物語(Ⅱ)ー米ソの先陣争いー(馬場 宏)…………… 9

The American Chemical Society's Summer Schools in Nuclear and Radiochemistry

Sue B. Clark, Director (Washington State University) …………… 12

放射化学討論会ニュース

1. 2002 日本放射化学会年会・第46回放射化学討論会 報告(大西俊之)…………… 15

「若手の会」報告(高山 努)…………… 16

「核化学分科会」報告(大槻 勤)…………… 16

「原子核プローブ分科会」報告(関根 勉)…………… 16

「放射化分析分科会」報告(福島美智子)…………… 16

「アルファ放射体・環境放射能研究分科会」報告(小崎 完)…………… 17

2. 2003 日本放射化学会年会・第47回放射化学討論会(柴田誠一)…………… 17

施設だより

日本原子力研究所東海研究所 ー研究用原子炉関係ー (米沢伸四郎).....	18
---------------------------------------	----

研究集会だより

1. 第41回核化学夏の学校の思い出 (高宮幸一)	20
2. 第4回環境放射能・放射線夏の学校 (白石久仁雄、天野 光、高田 純、山本政儀)	20
3. AMS-9 (永井尚生)	21

関連学協会・研究会から

中間子連絡会紹介 (西山樟生).....	23
----------------------	----

情報プラザ

1. 学術的会合.....	25
2. その他.....	26
3. 情報をお寄せ下さい (編集委員会)	26

学位論文要録

学会だより

1. 第4回日本放射化学会総会報告	29
2. 日本放射化学会第12回理事会議事要録	33
3. 日本放射化学会第13回理事会議事要録	34
4. 日本放射化学会第14回理事会 (新旧役員合同) 議事要録	34
5. 会員動向.....	35
6. 日本学術会議の改革について.....	37
7. 日本放射化学会入会勧誘のお願い.....	39
8. オンラインジャーナルとホームページの運営について.....	41
9. Journal of Nuclear and Radiochemical Sciences (日本放射化学会誌) への投稿について	42
10. Journal of Nuclear and Radiochemical Sciences (日本放射化学会誌) 投稿の手引き	42
11. 日本放射化学会会則.....	43

解 説

希土類化合物のメスバウアー測定

高橋 正、王 軍虎、北澤孝史、竹田満洲雄（東邦大学理学部）

1. はじめに

希土類元素のメスバウアー効果はCeを除く13元素、37核種について観測される。この中には ^{137}La 、 ^{147}Pm のような実際的でない核種や ^{159}Tb 、 ^{165}Ho のように線幅が広い核種などがあるのでそれらを除くとEu、Gd、Dy、Er、Tm、Ybなどが、メスバウアー分光の実際的な研究対象となる元素である。それらの核データを表1に示した。これらの元素のなかでは ^{151}Eu はメスバウアー γ 線のエネルギーが低く室温でも測定可能で、線源も市販されている。このほか ^{155}Gd 、 ^{161}Dy なども比較的に利用されている元素である。

これまでの希土類元素のメスバウアー分光は、おもに金属、金属間化合物もしくは酸化物などに限られていた。これらの化合物では、f電子が関与する磁性研究に興味をもたれ、その目的にはメスバウアー分光法が有効であるからである。これに対して希土類化合物ではf電子が化学結合にあまり関与しないため、化学的な情報があまり期待できないから、金属錯体をはじめとする分子性の化合物の研究には用いられなかった。当初われわれは、希土類ハライドクラスターの電子状態に興味をもち、これをメスバウアー分光的に研究することを目的に研究を始めた。研究を進めるうちに、化学的な情報も得られることがわかってきた。ここでは、我々がおこなっている ^{155}Gd 、 ^{161}Dy 、

^{166}Er メスバウアースペクトル測定を紹介する。

2. 線源の作成

^{155}Gd メスバウアー線源 Gdについては6核種9メスバウアー遷移が知られているが、 ^{155}Gd の86.5 keVの遷移が線幅が狭く、メスバウアー測定には最適である。線源としては ^{155}Eu (Pd) (^{155}Eu をPd中に拡散させたもの)または $^{155}\text{Eu}/\text{SmPd}_3$ を用いる。われわれはProwseらの方法²⁾に基づいて作成した後者の線源を用いている。

$^{154}\text{Sm}_2\text{O}_3$ (濃縮度98.6%) 231 mgを約5 cm³のギ酸に溶解し、蒸発乾固を繰り返して $^{154}\text{Sm}(\text{HCOO})_3$ とした。水素化パラジウムPdH_xとSm(HCOO)₃をPd対Smの比が1:3となるよう混合後ペレットとし、水素気流中で1000℃、18時間加熱して $^{154}\text{SmPd}_3$ とした。SmPd₃となったことは、XRDにより確認した。 β -PdH_x ($a = 401.8$ pm)とSmPd₃ ($a = 410.1$ pm)は同じ立方晶に属すが、SmPd₃となると格子定数が大きくなるので、両者を区別することができる。念のために天然組成のSm₂O₃から合成したSmPd₃についてラザフォード後方散乱による水素の定量を行ったが、有意な量の水素を検出できなかった。Prowseらは高周波誘導炉を用いて水素化物を完全に分解する操作を行っているが、これがなくてもSmPd₃を作ることができた。

312 mgの $^{154}\text{SmPd}_3$ を加圧してディスクにした

表1 希土類元素の主なメスバウアー遷移の核データ

核種	E_γ keV	Γ_{nat} mm s ⁻¹	I_g	I_e	a %	μ_g μ_N	μ_e μ_N	Q_g 10 ⁻²⁴ cm ²	Q_e 10 ⁻²⁴ cm ²	親核	壊変	$T_{1/2}$	製造法	論文数*
^{151}Eu	21.53	1.32	5/2+	7/2+	47.8	+3.472	+2.591	+0.903	+1.28	^{151}Gd	EC	120 d	$^{151}\text{Eu}(p,n)$	702
^{155}Gd	86.55	0.487	3/2-	5/2+	14.80	-0.259	-0.525	+1.30	+0.112	^{155}Eu	β^-	4.96 y	$^{154}\text{Sm}(n,\gamma)^{155}\text{Sm}(\beta^-)$	235
^{161}Dy	25.65	0.367	5/2+	5/2-	18.9	-0.480	+0.594	+2.507	+2.506	^{161}Tb	β^-	6.91 d	$^{160}\text{Gd}(n,\gamma)^{161}\text{Gd}(\beta^-)$	259
^{166}Er	80.58	1.87	0+	2+	33.6	0	+0.632	0	-1.9	^{166}Ho	β^-	1.12 d	$^{165}\text{Ho}(n,\gamma)$	127
^{169}Tm	8.41	7.98	1/2+	3/2+	100	-0.232	+0.515	0	-1.2	^{169}Er	β^-	9.4 d	$^{168}\text{Er}(n,\gamma)$	137
^{170}Yb	84.26	2.03	0+	2+	3.05	0	+0.674	0	2.12	^{170}Tm	β^-	130 d	$^{169}\text{Tm}(n,\gamma)$	181

*参考文献1

後、高純度(4N5)のアルミニウム箔(厚さ100 μm)に包んで、日本原子力研究所のJRR-3M HR-1照射孔(中性子束 $6 \times 10^{13} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$)で67時間中性子照射して、 $^{155}\text{Eu}/^{154}\text{SmPd}_3$ を得た。(n, γ)反応で生成する $^{155\text{m}}\text{Sm}$ は β^- 壊変($T_{1/2} = 22 \text{ min}$)で ^{155}Eu ($T_{1/2} = 4.96 \text{ y}$)となる。生成した ^{155}Eu は231 MBqと計算された。

^{161}Dy メスバウアー線源 Dyについては4核種6遷移についてメスバウアー効果が報告されているが、もっぱら ^{161}Dy の25.67 keVの遷移がメスバウアースペクトルの測定に用いられている。これはメスバウアー γ 線のエネルギーが低いために温度変化の測定ができることと、線幅に比べて磁気分裂が大きいために磁性研究に適しているからである。線源には $^{161}\text{Tb}/\text{GdF}_3$ がもっとも普通に利用されている。

線源は固相反応で合成した $^{160}\text{GdF}_3$ を中性子放射化して作成した。水溶液中での Gd^{3+} とF $^-$ の反応による GdF_3 の合成も検討したが、生成する GdF_3 の結晶性のよさから、乾式法を採用した。 $^{160}\text{Gd}_2\text{O}_3$ (98.2%) 90 mgとフッ化アンモニウム173 mgを混合し、白金ボートに移してインコーネル管中、300 $^\circ\text{C}$ で12時間反応させて、 $^{160}\text{GdF}_3$ 113 mgを得た。そのうちの6 mgを $\phi 3 \text{ mm}$ のペレットとしてから、融解した低密度ポリエチレン(Aldrich社、融点90 $^\circ\text{C}$)に入れてこの中に封入した。これをJRR-3M HR-2照射孔($\phi = 1.4 \times 10^{14} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$)で72時間中性子照射をおこない、 $^{161}\text{Tb}/\text{GdF}_3$ (242 MBq)を得た。線源は3週間程度測定に使用できる。

^{166}Er メスバウアー線源 Erについては5核種5遷移についてメスバウアー効果が報告されているが、測定に適しているのは ^{166}Er である。線源化合物としては Al_2Ho 、 HoPd_3 なども用いられているが、我々はStröhrらの方法³⁾で合成した $\text{Ho}_{0.4}\text{Y}_{0.6}\text{H}_2$ を用いている。HoとYを原子数比で2:3の比に計りとり、アーク炉で溶解して $\text{Ho}_{0.4}\text{Y}_{0.6}$ とした。なおHo、Yともに単核種元素であるので、市販の高純度品をそのまま使用することができる。約200 mgの $\text{Ho}_{0.4}\text{Y}_{0.6}$ をタンタル箔とチタン箔(酸素ゲッター)で二重に包んでから、真空中(油回転ポンプ使用)1時間850 $^\circ\text{C}$ で加熱した。つづいてこの温度で水素分圧を200 Torrに保ちなが

ら水素化をおこなった。反応は比較的速く進行するが、1時間水素と接触させた。三水素化物の生成を抑えるために試料容器ごと液体窒素で急冷して、 $\text{Ho}_{0.4}\text{Y}_{0.6}\text{H}_2$ を得た。

約55 mgを $\phi 10 \text{ mm}$ のディスクとして高純度アルミニウム箔(4N5)で包んで、JRR-3MのPN-1照射孔(中性子束 $6.0 \times 10^{13} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$)で9分間照射して $^{166}\text{Ho}/\text{Ho}_{0.4}\text{Y}_{0.6}\text{H}_2$ (1.48 GBq)を得た。半減期が26.9 hと短いので、一つの線源では7~10日間しか測定に使用できない。また放射化で生成する ^{90}Y ($T_{1/2} = 64.1 \text{ h}$)は2.28 MeVの β^- 線(100%)を放出するので、取扱いの際にはこれによる被爆について注意する必要がある。

自作の線源を用いたメスバウアー測定で注意しなければならないことの一つは、線源の密封である。 ^{155}Gd と ^{166}Er では比較的多量の線源化合物を照射するので、照射前にペレットとしてから高純度アルミニウム箔に包んで密封してから放射化している。照射によって生成する ^{28}Al の半減期は2.24 mなのでメスバウアー測定時には減衰してしまい測定の妨害にはならない。またアルミニウム箔中の不純物からの放射能も特に問題となることはない。いっぽう ^{161}Dy では線源化合物の量が10 mgもないので、線源の作成のところに記したようにポリエチレン中に密封してから照射している。ポリエチレンは照射によって脆くはなるものの、割れてしまって放射化した線源が飛散することはない。いずれの線源でも照射後の線源はアルミニウム製の線源ホルダーに真空グリースを使って固定したあと、ホルダーを100 μm のアルミニウム箔で覆って密封、さらにエポキシ樹脂で覆っている(写真1)。

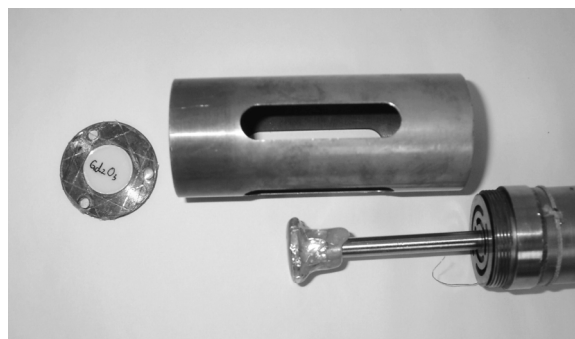


写真1 メスバウアー線源(中央)と試料(左上)。

3. スペクトルの測定

すでに述べたように¹⁵⁵Gdと¹⁶⁶Erメスバウアースペクトルの測定に際しては、メスバウアー γ 線のエネルギーが高いため、試料および線源を冷却して測定しなければならない。このために閉サイクル型冷凍機(岩谷瓦斯(株)クライオミニD2)を取り付けたクライオスタットを用いている。このクライオスタットは、これまでに我々が¹²¹Sb、¹²⁷Iおよび¹⁹⁷Auメスバウアー測定に用いてきたものと同一の構成となっている⁴⁾。装置の外観を写真2に示した。線源と吸収体は冷凍機の振動から隔離するために、クライオスタット本体とは別の架台に設置されていて、本体とはベローズを介して連結されている。試料部の外筒が冷凍機からの伝熱で冷却され、試料は交換ガスとして満たされているヘリウムによって冷却される。試料部の温度はFe(Au)-クロメル熱電対で測定しているが、通常12 Kに保たれている。線源はアルミニウム製の長い棒の先にねじで固定し、棒を架台に取り付けたトランスデューサーで鉛直方向に駆動している。

¹⁶¹Dyメスバウアースペクトルは室温でも測定



写真2 低温メスバウアー測定装置。クライオスタット部分。

が可能なので、⁵⁷Feと同様の配置を用いている。すなわちガスフロー型のクライオスタットの中に吸収体を置き、線源は室温に保ちながら「横置き形」の配置でスペクトルを測定している。いずれのスペクトルにおいても、線源の駆動速度はレーザー干渉計を用いてスペクトルの測定のために測定している。

4. メスバウアー測定の実例

¹⁵⁵Gdメスバウアースペクトル 吸収体厚みが 100 mgGd cm^{-2} となる量の試料について測定している。酸化物や金属間化合物などは半日から1日の測定で十分なスペクトルが得られるが、分子性の化合物では1週間以上の積算を要することがある。図1は Gd_2O_3 の¹⁵⁵Gdメスバウアースペクトルである。二組のダブルレットが観測されている。 Gd_2O_3 はホタル石型構造から系統的に酸素原子を取り除いた構造(Mn_2O_3 型構造)であるが、酸素空孔が面対角線方向に存在するサイトAと体対角線方向に存在するサイトBがある。メスバウアースペクトルにはこの二つのサイトが識別されて観測されている。サイトAは内側のダブルレットで異性体シフト(δ :線源基準)と四極結合定数(e^2qQ)の値は、 0.51 および 5.53 mm s^{-1} である。サイトBの δ と e^2qQ は 0.50 、 10.85 mm s^{-1} である。 Gd^{3+} は $4f^7$ の電子配置をもち、結晶場の影響を受けにくい。そのためf電子のは七つの4f軌道を均等に占有していると考えことができ、4f電子の電場勾配への寄与は無視できる。電場勾配はむしろ、陰イオンの配置、いわゆる格子の寄与によるものである。したがって Gd^{3+} 化合物の e^2qQ は Gd^{3+} 周りのイオンの対称性に注目することで説明できる。実際 Gd_2O_3 における二つのサイトの e^2qQ の値の違いは、酸素空孔の配置の違いをよく反映している。

ところで¹⁵⁵Gdのスペクトルは⁵⁷Feに見られるダブルレットと同じように見えるが、実は $I_g = 3/2 \rightarrow I_e = 5/2$ の遷移なので、5本の遷移が重なって不完全に分離されて観測されている(5本の遷移の位置を e^2qQ が大きな Gd_2O_3 のサイトBに重ねて示してある)。これは励起状態の核四極モーメントが基底状態の約1/10なので、見かけ上 $I_g = 3/2 \rightarrow I_e = 1/2$ の遷移のように見えるためである。従って2本のローレンツ型の吸収で解析すると、メ

スバウアーパラメータが正しくなくなる。また $3/2 \rightarrow 5/2$ の遷移であるので、本来はスペクトルは非対称で e^2qQ の符号が求まるはずであるが、実際は上記の理由で e^2qQ の符号を決めることは困難である。

さて図1にはシアノ架橋高分子錯体 $\text{GdFe}^{\text{III}}(\text{CN})_6 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ のスペクトルも示してある⁵⁾。この化合物は Gd^{3+} と Fe^{3+} を CN^- が架橋した構造をもち、 Gd^{3+} には CN^- の N 末端のほか水も配位しており 8 配位正方ねじれプリズム型構造である。異性体シフトと四極結合定数の値は、0.61 および 4.07 mm s^{-1} である。 Fe^{II} 錯体 $\text{KGdFe}^{\text{II}}(\text{CN})_6 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ も $\text{GdFe}^{\text{III}}(\text{CN})_6 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ と同形で、 K^+ が H_2O をランダムに置換している。この錯体の δ と e^2qQ の値は、0.60、 4.81 mm s^{-1} である。 e^2qQ が増加するが、これは結晶格子の大きさの変化で説明できる。 Fe^{III} から Fe^{II} になると、 Fe^{2+} のほうがイオン半径は大きい

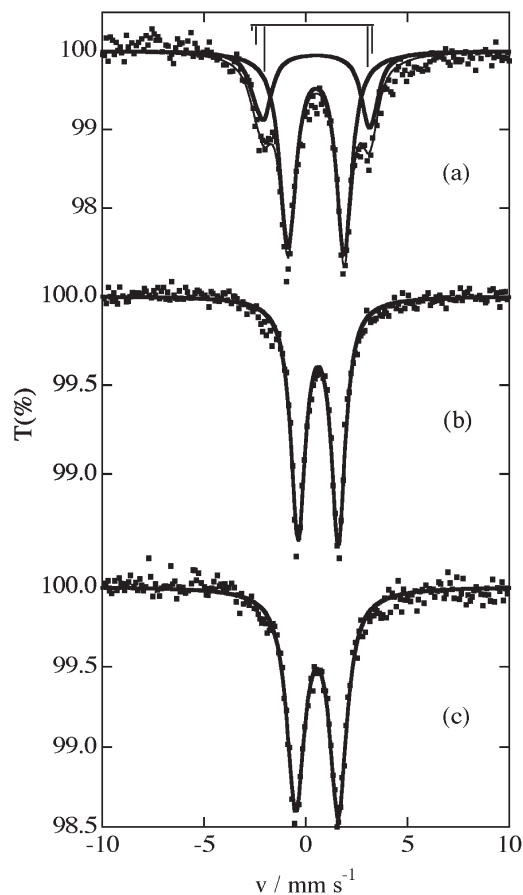


図1 ガドリニウム(Ⅲ)化合物の¹⁵⁵Gdメスバウアー
スペクトル。a: Gd_2O_3 、b: $\text{DyFe}(\text{CN})_6 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ 、
c: $\text{KDyFe}(\text{CN})_6 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ 。

にもかかわらず、単位格子の体積が減少する。特に b 軸方向への縮む割合が大きい。この結果4回軸方向の収縮が相対的に大きくなっており、電場勾配の増大はこの変形によるものと説明できる。

¹⁶¹Dyメスバウアースペクトル 我々は吸収体厚みが $30 - 50 \text{ mgDy cm}^{-2}$ の試料について測定している。線源作成直後には6時間程度で良質のスペクトルを測定できるが、3週間後には1日程度の積算が必要となる。

¹⁶¹Dyメスバウアースペクトルの特色は、室温でも測定が可能なことである。図2はシアノ架橋高分子錯体 $\text{DyFe}(\text{CN})_6 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ の室温と77 Kでの¹⁶¹Dyスペクトルである⁶⁾。この化合物は、先に取り上げた $\text{GdFe}(\text{CN})_6 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ と同形である。室温のスペクトルは対称的なスペクトルである。異性体シフト(線源基準) -0.45 mm s^{-1} であった。77 Kのスペクトルは吸収が膨らんでおり、磁気緩和の影響を受けていることがわかる。Nowik-Wickmanモデル⁷⁾を用いて解析すると、緩和時間1.7 nsという結果が得られた。吸収面積の温度変化を測定し、 $M\Theta_D^2$ を求めてみると、 $7.4 \times 10^6 \text{ K}^2$ であった。分子性の化合物では M に分子量を用いればデバイ温度 Θ_D が求まるが、この錯体は配位高分子な

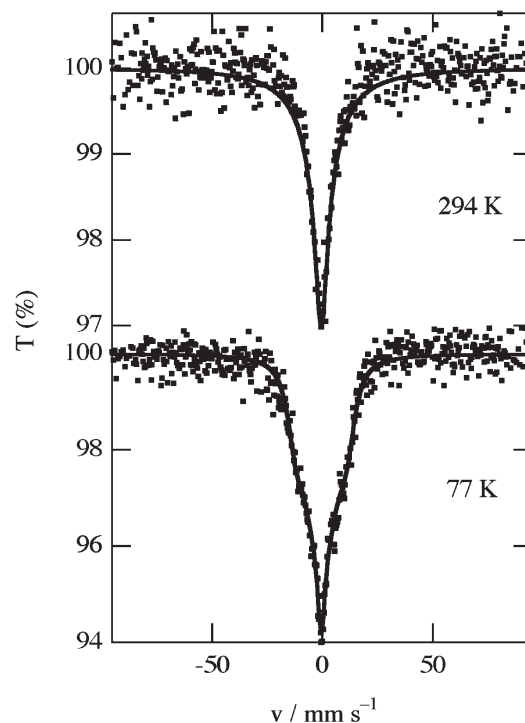


図2 $\text{DyFe}(\text{CN})_6 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ の¹⁶¹Dyメスバウアースペクトル

ので M を一義的に決めることができない。この値は ^{57}Fe スペクトルの吸収面積の温度変化から求めた $M\Theta_D^2(\text{Fe})$ の値 $5.7 \times 10^6 \text{ K}^2$ よりも少し大きな値であった。同様の関係は、類似構造の $\text{KDyFe}(\text{CN})_6 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ の ^{161}Dy と ^{57}Fe メスバウアースペクトルについても観測されたし、同型の $\text{EuFe}(\text{CN})_6 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ の ^{155}Eu と ^{57}Fe スペクトルについても報告されている⁸⁾。なお δ や e^2qQ の有用性については、これからの検討課題である。

^{166}Er メスバウアースペクトル 我々は $100 \text{ mg Er cm}^{-2}$ の吸収体を用いて測定している。図3に示すのは β -ジケトン錯体の 12 K におけるスペクトルである⁹⁾。図からわかるように 12 K においても吸収が弱く、一つのスペクトルの測定に $3 \sim 4$ 日を要した。スペクトルは上から順に、 $[\text{Er}(\text{pta})_3(\text{H}_2\text{O})]$ (1: $\text{Hpta} = {}^t\text{BuCOCH}_2\text{COCF}_3$)、 $[\text{Er}(\text{dpm})_3(\text{H}_2\text{O})]$ (2: $\text{Hdpm} = {}^t\text{BuCOCH}_2\text{CO}^t\text{Bu}$)、 $[\text{Er}_2(\text{pta})_6]$ (3)、

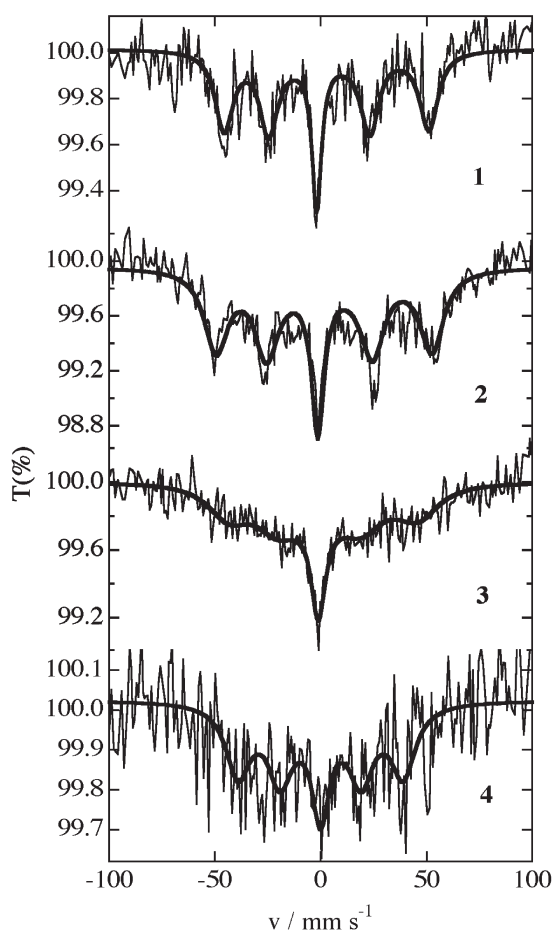


図3 エルビウム(Ⅲ)の β -ジケトン錯体の ^{166}Er メスバウアースペクトル

$[\text{Er}(\text{dpm})_3]$ (4) である。いずれも常磁性緩和が観測されているので Nowik-Wickman モデルを用いて解析したところ、緩和時間 τ は上から順に 0.5 、 0.4 、 0.1 、 0.3 ns であった。常磁性緩和では、スピン間の距離が τ を決める要因の一つとして指摘されている。結晶構造解析により求めた最短の Er 原子間の距離は、 $1 \sim 4$ の順に 587 、 558 、 382 、 998 pm であった。 $1 \sim 3$ では、スピン間の距離が短くなるにつれて緩和時間が短くなることを確認できた。しかしながら 4 は $\text{Er} - \text{Er}$ 間が 1 nm 近くもあるにもかかわらず、 τ は 0.3 ns であった。実は $1 \sim 3$ において Er は単面冠三方柱 7 配位構造であるが、 4 は三方柱 6 配位構造である。この結果は配位構造もまた緩和時間を決める一つの要因であることを示している。ここで明らかになったような配位構造による緩和時間の違いは、 7 配位のアクアトリス- β -ジケトナト錯体や EDTA 錯体においても確認されている。

1 、 2 のように緩和時間が長くなって磁気分裂が明瞭に観測される場合は、 e^2qQ を求めることができる。 5 本の吸収線の間隔が等間隔でないことからわかるように 1 、 2 の e^2qQ は 0 でなく、それぞれ 7.0 、 4.3 mm s^{-1} であった。

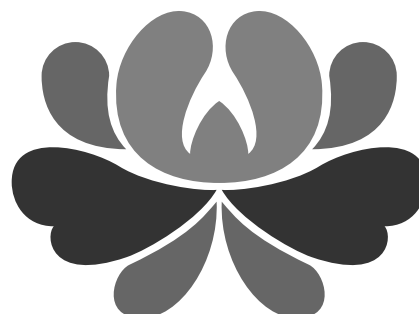
5. おわりに

^{155}Gd 、 ^{161}Dy および ^{166}Er メスバウアーパラメータから得られる情報は元素によって異なり、 ^{155}Gd では異性体シフトと四極結合定数、 ^{161}Dy では内部磁場(ここでは取り上げなかった)や格子力学的定数 $M\Theta_D$ 、そして ^{166}Er では内部磁場、磁気緩和時間、四極結合定数が、有用である。これらの情報は相補的であるから、同形の希土類化合物について異なる核種のメスバウアースペクトルを測定することにより、詳細な化学的な知見が得られるものと期待される。まだ研究は始まったばかりである。

メスバウアー線源は全て原研施設利用共同研究を利用して作成した。照射に際してお世話になった、東京大学原子力研究総合センターの澤幡浩之、川手稔両氏に感謝する。またメスバウアー線源作成は南波洋、鈴木勝也両氏の努力の賜物であり、感謝する。

参考文献

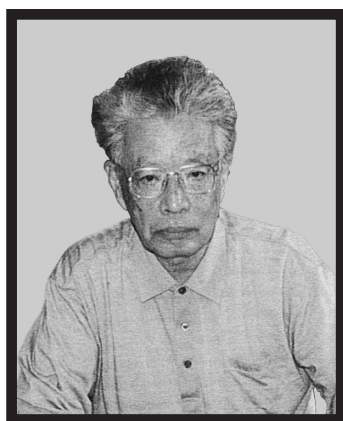
- 1) 平成14年4月末にSciFinder Scholar を用いて検索した。検索語には、各核種の名称とメスバウアーを用い、その論理積を取った。主なメスバウアー核種の論文数は次の通り。 $^{57}\text{Fe} = 14671$, $^{119}\text{Sn} = 3220$, $^{197}\text{Au} = 617$, $^{121}\text{Sb} = 404$, $^{129}\text{I} = 381$.
- 2) D. P. Prowse, A. Vas, J. D. Cashion, *J. Phys. D*, **6**, 646 (1973).
- 3) J. Stöhr, J. D. Cashion, *Phys. Rev.*, **B12**, 4805 (1975).
- 4) 高野, 伊藤, 竹田, *Radioisotopes*, **29**, 341 (1980).
- 5) J. Wang, J. Abe, T. Kitazawa, M. Takahashi, M. Takeda, *Z. Naturforsch.* **57a**, in press.
- 6) K. Suzuki, T. Kitazawa, M. Takahashi, M. Takeda, *J. Radioanal. Nucl. Chem.*, in press.
- 7) I. Nowik, H. H. Wickman, *Phys. Rev. Lett.*, **17**, 949 (1966).
- 8) 片田, 私信.
- 9) J. Wang, M. Takahashi, M. Takeda, *Bull. Chem. Soc. Jpn.*, **75**, 735 (2002).



時過ぎて

故 阪上正信先生 を偲ぶ

橋本哲夫 (新潟大学理学部)
小村和久 (金沢大学自然計測応用研究センター)
佐伯正克 (日本原子力研究所)
中西 孝 (金沢大学理学部)



故 阪上正信先生
1921.12.12 - 2002.8.27

2002年8月27日、本会名誉会員の阪上正信先生(金沢大学名誉教授)が出血性胃潰瘍のため急逝された。当日14時から16時まで福井県美浜町の原子力安全監視委員会に日帰り出席し、宝塚市のご自宅に帰宅されて間もない22時11分のことであった。先生の温顔にもお言葉にも接することができなくなってしまい、悲痛の極みである。

先生は1921年大阪市でお生まれになり、旧制神戸第一中学校、旧制第六高等学校を経て1943年東京帝国大学理学部化学科を卒業された。直ちに海軍技術科に応募されたが、軍役中に病魔に冒され、戦後の1951年までの約6年間療養生活を送られた。ご快復後の約5年間、愛知県と兵庫県の中学校で教鞭をとられたのち、1956年岡山大学温泉研究所助手に着任され、地球化学・放射化学の研究を開始された。1960年岡山大学助教授に昇任され、1961年東京大学から理学博士の学位を受けられた。1962年金沢大学理学部化学科に

新設された放射化学講座の担当教授として着任され、さらに1975年金沢大学に新設された理学部附属低レベル放射能実験施設の施設長に就任された。1987年金沢大学を停年で退官され、金沢大学名誉教授とられた。

岡山大学と金沢大学に在職された約30年間に、先生は放射化学・核地球化学の分野で常に先導的かつ広汎な研究を展開され、数々の輝かしい研究成果を多数の研究論文のみならず著書・総説・解説などとして著された。学生の教育にも絶えず熱意を注がれ、多くの卒業生・修了生を社会に送り出された。先生の教育研究活動は放射化学・核地球化学にとどまらず、化学史や化学教育にまで及んだ。また、先生のご活躍は大学の中での教育研究や管理運営だけでなく、小学生・中学生・高校生・市民の教育、国及び自治体の行政への助言、そして国際的にはIUPACの委員としてやIAEAのシンポジウムなどを舞台にした活動など実に多方面に及んだ。停年退官後も、お亡くなりになるまさにその日まで、全力で活動されていた。

阪上先生が展開された放射化学・核地球化学のご研究の出発点は、岡山大学温泉研究所(鳥取県三朝町)における放射性堆積物・山陰地方の温泉の地球化学的研究と'前線反応'を利用するペーパークロマトグラフィーによるウランの簡易微量定量法の開発であった。金沢大学に赴任されてからも、天然アルファ放射性核種を主な対象とする放射化学と地球化学の研究を更に進められ、プロトアクチニウムの分離と定量、ウラン-234/ウラン-238放射能比の測定と応用、ウラン・プロトアクチニウム・トリウム・ラジウムの逐次分離・定量法の開発及び逐次分離法を応用したウラン鉱物や

化石の年代測定などの研究を展開された。これらの天然微量アルファ放射性核種の適確な化学分離・定量のためには収率測定用の適切なトレーサーが不可欠であるため、研究はトレーサー製造及びそれに関わる核反応や反跳現象利用の方向へも進み、更にしきい核反応を組み合わせた中性子束評価や真空昇華法によるホットアトムの研究へと発展した。また、1960年代前半をピークに大気圏内核実験に由来する人工放射性核種による環境汚染が進行しつつあったため、先生は核分裂生成物や超ウラン核種(とくにプルトニウム)の分離・定量と環境における分布・動態の研究も始められた。そして、環境放射能の研究対象核種がラジウム-226, 228・鉛-210・ポロニウム-210・炭素-14、トリチウムなどへと広がる一方で、化学分離操作を用いない核現象利用分析や環境放射能・放射線の測定研究も展開され、放射化オートラジオグラフィによる地球化学試料中の元素分布測定法の開発、粒子トラック法による核分裂性核種とアルファ放射性核種の定量、*in-situ* ガンマ線スペクトロメトリーによる環境放射能・放射線の評価や広島・長崎の原爆被ばく試料中に残留する中性子誘導放射性核種による中性子フルエンスの評価

など幅広い研究を推し進められた。

先生が展開された研究は余りにも多岐・多彩で、我々不肖の弟子たちの能力で十分な紹介をすることはできないが、概略以上のご活躍とご業績により、先生は「U-237, Th-231のホットアトム化学的研究」で仁科記念学術奨励金(1968)、「長崎原爆の影響-残留放射能と残留トラックの測定」で朝日学術奨励金(1973)、「アルファ放射体に関する地球化学的研究」で地球化学研究協会学術賞(1978)、「天然放射体による年代測定などの研究」で石川テレビ賞(1979)、「地域社会における原子力の安全確保等への貢献」で科学技術庁長官賞(原子力安全功労者表彰)(1986)、「化学史でたどる化学実験の普及等による化学教育への貢献」で日本化学会化学教育賞(1988)を受賞された。また1997年には勲三等旭日中綬章の叙勲を受けられ、本会と日本放射線影響学会では名誉会員になられた。

先生は、生前にご自身の戒名を「博覧院釋正思」と決めて80年と8カ月余りの生涯を閉じられた。

先生のご業績を称え、ご指導に感謝して謹んでご冥福をお祈りする次第である。



歴史と教育

超ウラン元素物語 (Ⅱ) 一米ソの先陣争い

馬場 宏 (大阪大学名誉教授)

1961年、Ghiorsoらは、 $^{249-252}\text{Cf}$ をターゲットとして、 ^{10}B と ^{11}B の二種類のビームによる反応によって半減期8秒の $^{257}\text{103}$ を得たと報告し、サイクロトロンを発明者であるバークレーのLawrenceにちなんでローレンシウム(Lw)と命名した。この時の核種同定の根拠は励起関数の系統性であり、 α 壊変鎖を利用するgenetic methodに比べ多分に不明確さが含まれる。果たせるかな、彼等の見付けた $^{257}\text{103}$ は追試によって確認されず、誤りであったことが判明した。その結果、ローレンシウムという名はそのまま残ったものの、元素記号はIUPACによってLwからLrに変更された。 ^{257}Lr の半減期は0.65秒であり、現在知られているローレンシウムの同位体に8秒という半減期のものはない。

1958年頃から、旧ソ連のドゥブナ研究所のグループが新元素合成の競争に加わるようになった。1965年、ドゥブナのDonets等は ^{243}Am (^{18}O , 5n) 反応によって、103番元素を合成し、 ^{256}Lr と孫の ^{252}Fm との親子関係によって同定・確認した。 ^{256}Lr の半減期は(45±10)秒と測定された。ドゥブナのグループは、1965年から1968年にかけて103番元素の合成実験を繰り返し、結論として1961年にバークレー・グループが観測したのは ^{255}Lr ($t_{1/2}=4.35\text{s}$)か ^{259}Lr ($t_{1/2}=5.4\text{s}$)ではないかと述べている。もっとも、現在知られている ^{255}Lr の半減期は21.5秒である。103番元素で5f軌道が完結する。

バークレーのグループが103番元素合成でドゥブナに遅れを取ったのは、実験中に起きた思いがけない事故のせいであった。重イオン加速器HILACのビームラインとCmターゲットを隔っていたHe冷却層の薄窓に過剰な圧がかかって破れ、Cmターゲットが粉々になって 10^{10}Bq 余りの α 放射能がカウンター・ホール中に飛散してしまったのである。そのため、カウンター・ホールが完全

に使用不能になり、除染を終えて再びホールが使えるようになったのは1967年頃であった。その間、新元素合成実験はドゥブナ・グループの独り舞台であった。

104番以降の元素については、priorityをめぐる米ソが鋭く対立して譲らず、それぞれ別個の名前を主張したために、長い間元素名が決められなかった。最近になって、ようやくIUPACの場で妥協が成立して109番迄の元素名が決められた。

1964年、ドゥブナのFlerovらのグループは、 ^{242}Pu (^{22}Ne , 4n) 反応によって、半減期0.3秒で自発核分裂のみの壊変をする $^{260}\text{104}$ を合成したと発表した。彼等の核種同定の根拠は、 $^{260}\text{104}$ 生成反応に対する励起関数の最大値を与えるエネルギー値と、同時に検出したと主張する $^{259}\text{104}$ ($t_{1/2}=4\text{s}$, 自発核分裂10-20%)生成反応の励起関数のそれとの相対関係である。さらに、1966年には、同じドゥブナのZvaraらが、この $^{260}\text{104}$ と同定した放射性元素が揮発性の塩化物を形成することを見出し、この性質は同じIV族のHfとの類似性を示すもので、104番元素であることの証拠になると主張した。これらの実験結果に基づいて、Flerovらは旧ソ連の核物理研究の先駆者であるKurchatovの名にちなんでクルチャトビウムという元素名を提唱した。これに対して、バークレーのグループは疑義を呈し、ドゥブナのpriorityを認めていない。

HILACでの深刻な汚染事故のためにドゥブナに遅れを取っていたバークレーのGhiorso達は、ようやく実験を再開し、1969年になって ^{249}Cf (^{12}C , 4n) 反応によって半減期およそ3秒の α 放射体を観測し、その α 壊変によって既知の ^{253}No が生成することから $^{257}\text{104}$ と決定した。これに基づきGhiorsoらは元素変換を発見した核物理学の巨人Rutherfordにちなんでラザフォージウムという

名を提唱した。

Zvara らがいう揮発性の塩化物を作るという性質が104番元素同定の決め手になるか否かについては、確かにGhiorso らがいうように疑問が残る。さらに、1976年になってドゥブナのDruin らが $^{260}_{104}$ の半減期を0.3秒から20msに変更した事実もドゥブナのpriorityにまつわる弱点と思われる。最終的には、IUPACによって、104番元素はラザフォージウム(Rf)と決められた。

1968年、Flerov らは、 $^{243}\text{Am} + ^{22}\text{Ne}$ の反応によって短寿命の α 放射体を作り、その性質が $^{256}_{103}$ に似ていると報告、これによって105番元素が合成されたと結論した。さらに、1970年には、同じ方法によって繰り返し105番元素合成実験を行い、その質量数は不明なるも、半減期2秒で生成断面積が約 10^{-34}cm^2 と報告した。次いで、Druin等は、半減期1.4秒なる値を与え、さらに、Oganessian らの論文では $t_{1/2} = (1.8 \pm 0.6)\text{s}$, $\sigma = (5.0 \pm 1.5) \times 10^{-34}\text{cm}^2$ で、自発核分裂により壊変するとしている。

一方、バークレーでは、Ghiorso 達が $^{249}\text{Cf} (^{15}\text{N}, 4n)$ 反応によって、半減期 (1.6 ± 0.3) 秒の $^{260}_{105}$ を合成したと発表した。この時の実験では、反跳ミルキングにより、半減期30秒(正しくは25.9秒)の娘核種の ^{256}Lr を検出することにより同定した。同時に $^{260}_{105}$ の壊変による3本の α 線を検出したが、Flerov らが報告した2本の α 線はいずれも存在せず、また自発核分裂の分岐比も20%以下であると述べている。

これらの結果を基に、ドゥブナのグループはNiels Bohr にちなんだニールスボリウムを、一方、バークレー・グループは核分裂の発見者Otto Hahnの名を取ってハーニウムという元素名を提唱した。客観的に見ると、ドゥブナの一連の実験では105番元素が疑問の余地なく同定されたとは言い難く、バークレーの業績に軍配を上げるのが妥当であろう。最終的にIUPACが採用した元素名はドゥブナ研究所から取ったドブニウム(Db)であった。

1976年、ドゥブナのOganessian らは、 $^{207,208}\text{Pb} + ^{54}\text{Cr}$ の反応により半減期数nsの自発核分

裂を観測し、これを106番元素であるとした。同じ年、Ghiorso らは、 $^{249}\text{Cf} (^{18}\text{O}, 4n)$ 反応によって生成した半減期 (0.9 ± 0.2) 秒の α 放射体を、 $^{263}_{106} \rightarrow ^{259}\text{Rf} \rightarrow ^{255}\text{No}$ の親子関係により $^{263}_{106}$ と同定した。Ghiorso らの結果は、米国オークリッジ国立研究所のグループの追試によって支持された。したがって、106番元素に関してはGhiorso 達の優位性は間違いのないところであろう。

106番元素の名前については、米国グループの悲願が実って、アクチニド説の提唱者であるSeaborg にちなんだシーボーギウム(Sg)とすることがIUPACによって承認された。

ところで、102番以降の元素合成では、出来るだけ重い元素をターゲットにして、比較的小さい重イオンをぶつける方法がとられて来た。しかしながら、バークレーではカリホルニウムやインシュタニウムのような重元素が用意できたのに対して、ドゥブナでは利用できる元素は精々アメリカシウムどまりであった。このため、ターゲットと入射粒子の組み合わせが両者で異なり、生成する新元素の質量数も、 $^{260}_{105}$ を除き、同じにならなかった。これが両者の先陣争いに決着が付かなかった一因でもある。

これらの実験で使われた核反応はクーロン障壁を乗り越えるために、入射イオンに高いエネルギーを与えねばならず、そのため、生成核に大きなエネルギーが残されて不安定になるという欠点がある。これらの反応はhot fusionと呼ばれるのに対して、Oganessian等が採用した反応形態はcold fusionと呼ばれ、107番以降の新元素合成に専ら使われることになる。Oganessian らが導入したcold fusionとは、double magic またはその近傍の鉛やビスマスをターゲットにして入射イオンに鉄等の遷移元素を用いる方法である。このような組み合わせでは大きな吸熱反応となるため、生成核に僅かなエネルギーしか与えられず、高々1個か2個の中性を放出するだけで、残留核が生き残る確率が高くなる。cold fusionの登場を境にして新元素合成実験の様相は一新され、実験の主役もバークレーやドゥブナに代わってドイツの重イオン研究所(GSI)のMünzenbergやArmbrusterを中心とするグループに移ることになる。

106番元素が発見されてから次の新元素が発見されるまで、7年の年月が経過した。その主な理由は、研究者の関心が超ウラン元素の延長としての新元素合成よりも超重元素に重心を移したためである。超重元素は、核分裂の理論的研究の中で現れた予言で、重元素の不安定領域の海中にシェル効果のために安定な超重元素の島が出現するというものである。そのため、世界中の原子核研究者が、天然に残存する超重元素ないしその痕跡探しを続け、他方、人工的に超重元素を合成することを試みたが、いずれも失敗に終わった。

GSIのグループは、電場と磁場を組み合わせる目的の反応生成物を選択的に取り出すSHIPと名付けた質量分離装置を開発し、超重元素を視野に

入れた実験に着手し、107番、109番元素を手始めに114番元素までの合成に成功している。

106番元素を境に、新元素合成実験は明らかに質的な変化を遂げた。まず採用する反応がhot fusionからcold fusionないしwarm fusionに変わり、実験手法が化学主体から物理主体に、そして目標が超ウラン元素から超重元素へと変わったとすることができる。さらに、実験を取り巻く環境がこれまでの米ソ対立に代わって国際的協力態勢が定着した。まさに、辺境開拓の時代が終わって、宇宙開発の時代に突入したとすることができる。その意味で、本稿もこの辺で筆を置くことにしたい。これ以降の事情については、例えば永目、工藤、篠原三氏の共著になるRadioisotopes 49巻7号の総説を参照されたい。



歴史と教育

The American Chemical Society's Summer Schools in Nuclear and Radiochemistry

Sue B. Clark, Director

Washington State University
Department of Chemistry, Pullman, WA 99164-4630

Although the subjects of nuclear chemistry and radiochemistry were once prominent in the undergraduate curricula of most US colleges and universities offering baccalaureate degrees in the physical sciences and engineering, these courses have slowly disappeared at many academic institutions due to faculty retirements and decisions by university administrators not to continue educational activities in these areas. At the same time, nuclear chemistry and radiochemistry remain as a recommended component of broad and balanced training in the physical sciences, especially chemistry [1]. Also, nuclear science applications are essential to the foundation of many technologies at the beginning of the 21st century. The National Research Council in the US stated in 1988 that, "...The future vigor and prosperity of American medicine, science, technology, and national defense clearly depend on continued development of nuclear techniques and use of radioactive materials. Loss of know-how in the field or failure to develop new uses for the technology could seriously and adversely affect this country's economic competitiveness in many technological and industrial areas..." [2]. More recently, a report prepared for the US Congress in 1998 concludes that "... Too few isotope experts are being prepared for functions of government, medicine, industry, technology, and science..." [3].

The federal agency within the US government that is most affected by the loss of academic infrastructure in nuclear and radiochemistry is the US Department of Energy (DOE). The DOE maintains large nuclear facilities and national laboratories across the US. Many of the nuclear facilities are in need of

clean-up and environmental remediation from radioactive contamination. The national laboratories are essential components of the foundation of American investment in research and technology development. Most DOE facilities and national laboratories are projecting the need to replace large numbers of nuclear scientists and engineers as the scientists of the Cold War era retire. Workforce studies at these sites show that 40% or more of the nuclear workers are over 55 years of age, and 60% are over 45 years old [4]. Consequently, concern about finding adequately trained personnel among college graduates at all degree levels exists at all DOE facilities.

One of the ways that DOE is addressing this need for trained personnel is by supporting a summer educational program in nuclear and radiochemistry for undergraduate students offered by the American Chemical Society (ACS). Each year, twenty-four undergraduates are provided an opportunity to complete a six-week course in nuclear and radiochemistry at one of two locations in the US, either Brookhaven National Laboratory in Upton, NY or San Jose State University in San Jose, CA. Twelve students are accommodated at each site, and all of their expenses are covered, including travel, living expenses, tuition and fees, textbooks, laboratory fees, etc. Upon successful completion of the course, the students receive college credits that can be applied towards earning their BS degrees.

The goals of the ACS Summer Schools in Nuclear and Radiochemistry are:

1. to provide fundamental training opportunities in nuclear and radiochemistry principles, particularly to students from institutions that

do not have such programs,

2. stimulate interest in students who are making important choices about their future careers to consider the fields of nuclear and radiochemistry, and
3. generate awareness and acceptance of nuclear technologies and application in society.

Participants are selected from a nation-wide pool of applicants who are currently enrolled as undergraduates seeking BS degrees, preferably in disciplines of physical sciences or engineering. Materials covered in the course include nuclear structure, radioactive decay, nuclear reactions, interactions of radiation with matter, the nuclear fuel cycle, and applications of nuclear and radiochemistry in medicine, geology, astronomy, and archeology. In addition to receiving lectures and laboratory experiences in nuclear and radiochemistry, students also participate in field trips to nuclear research and operating facilities in close proximity to their sites. Also, prominent scientists who conduct research in various areas of nuclear and radiochemistry are invited to present their work at the Summer Schools. This activity provides the students opportunities to build a professional network within the community of US nuclear scientists and engineers.

The students also receive career counseling and information about graduate study and job opportunities in nuclear areas. Upon completion of the course, the students return to their home institutions to complete their BS degrees. Even after leaving the program, students are offered considerable assistance in finding graduate programs and subsequent summer positions in nuclear fields. Every year, students are asked to comment on their experiences in the Summer Schools, and this information is used to improve the program and plan for subsequent years. As much as possible, participants are tracked upon completion of the course to assess retention in nuclear and radiochemistry. The Summer Schools have a demonstrated track record of retention of students in the nuclear field. Even for those students

who pursue other non-nuclear fields, many report that their experiences in the Summer Schools were very influential in their development and their awareness of the advantages of nuclear technologies in our society.

Since its inception in 1984, the American Chemical Society's Summer Schools in Nuclear and Radiochemistry have served a total of 396 undergraduate students. For almost twenty years, it has provided a small, but steady supply of students into graduate programs of nuclear physics, nuclear chemistry, radiochemistry, nuclear medicine, and other areas. These students earn PhD's in these areas, and many of them enter into careers working for DOE, either directly as employees at DOE facilities or national laboratories or indirectly in industrial positions or as faculty members at universities conducting research supported by DOE. This program does not ameliorate the loss of academic infrastructure in nuclear and radiochemistry in the US, nor will it alone be sufficient to address the projected work force crisis for nuclear workers at DOE facilities and national laboratories. It has, however, enabled many students to enter this field of study during their academic training, many of whom report that they would not have considered this area of study without their Summer School experiences. Additional information about the ACS Summer Schools in Nuclear and Radiochemistry can be found at the website of the ACS Division of Nuclear Chemistry and Technology [5].

Literature Cited

- (1) American Chemical Society guidelines on ACS-approved chemistry curricula, Committee on Professional Training. See <http://www.acs.org/cpt.html>.
- (2) The National Research Council, 1988. Training requirements for chemists in nuclear medicine, nuclear industry, and related areas", Report of a workshop.
- (3) "The Education and Training of Isotopes Experts," 1998. A report of a Study for the Subcommittee on Energy and Environment of

the Committee on Science of the U.S. House of Representatives. A link for this report can be found at <http://www.cofc.edu/~nuclear>.

(4) Personal communication with W. Keogh of Los Alamos National Laboratory; personal commu-

nication with E. Leber of Pacific Northwest National Laboratory; personal communication with D. Kaplan of Westinghouse Savannah River Company.

(5) <http://www.cofc.edu/~nuclear>



*
*
*
*
*
*
*
*
*

放射化学討論会ニュース

1. 2002日本放射化学会年会・第46回放射化学討論会 報告

大西俊之 (実行委員会委員長、北海道大学)

2002日本放射化学会年会・第46回放射化学討論会は、日本放射化学会の主催、日本化学会、日本薬学会、日本原子力学会、日本分析化学会の共催で、2002年9月23日から25日の3日間、札幌市の「かでの2.7」で開催されました。遠方にもかかわらず、多数の参加を頂きましてありがとうございました。放射化学討論会は1957年に東京で第1回が開催され、これまで45回開催の歴史があります。日本放射化学会は、1999年につくば市で設立総会を行い発足し、2000年には神戸市で第1回年会、2001年には福岡市で第2回年会を行っています。2002年の札幌開催で第3回となります。1999年以来、歴史ある「放射化学討論会」の名前を消さずに、「年会」と「討論会」の名前を並列に表記しています。今回会場として使用した施設「かでの2.7」の「かでの」は聞きなれない名前であろうかと思えます。「かでの」は北海道の方言で「参加する」とか「加わる」などの意味があり、また「2.7」は、所在地の「札幌市北2条西7丁目」に由来しています。ご存じの方が多くと思いますが、札幌市の南北は、大通り公園を境にして北側に北1条、北2条…となっており、東西は、札幌を東西に分断して流れる豊平川の支流の創生川を境にして西側に西1丁目、西2丁目…となります。

日本放射化学会年会にしても放射化学討論会にしても、これまで北海道で開催されたことはありませんでした。昨年の総会でぜひ北海道での要請を頂き、実行委員会を立ち上げて昨秋から準備いたしました。開催会場として、当初は北海道大学内の施設を予約しておりましたが、大学独立法人化に関連して施設使用料が値上げされるとの情報が入り、急遽「かでの2.7」に変更するなどの

一幕がありました。日本放射化学会ホームページや共催学会の学会誌に会告を掲載し、ようやく準備ができました。結果的に2002日本放射化学会年会・第46回放射化学討論会では、招待講演1件、特別講演3件、口頭発表89件、ポスター発表59件を数えるに至り、200名を越える参加がありました。

招待講演は、日本原子力研究所の永目諭一郎先生の協力で、ドイツ国立重イオン研究所のDr.Sigurd.Hofmannにお願いしました。「Synthesis and Properties of Superheavy Elements」の講演を頂きました。超重元素の合成理論とそれらの性質と言う元素や物質の本質に迫る興味深い内容でありました。講演途中でOHPランプが切れて冷や冷やしましたが、参加者は非常に熱心に聞いていました。

特別講演は北海道大学大学院薬学研究科の大熊康修氏から「健康を増進する北海道産食素材有効成分を求めて—老化促進モデルマウスを用いた探索—」、北海道大学大学院獣医学研究科の桑原幹典氏から「放射線に対する細胞応答」、北海道大学大学院工学研究科の鬼柳善明氏から「大強度陽子加速器施設と中性子科学」の3講演を頂きました。大熊氏は、老化促進モデルマウスを用いて、加齢に伴っておきる記憶・学習機能障害を阻止する食素材成分と食素材成分の生理作用を講演されました。我が国が迎える高齢化社会を考えると、非常に興味深い講演でありました。桑原氏は、哺乳動物細胞を用いて、放射線—細胞分裂・増殖のチェックポイント—アポトーシス（能動的なプログラム死）を中心とした放射線細胞応答の講演をされました。放射線は人体に有害で危険とされているが、実際にどのように危険かを解明する有意義な講演でした。鬼柳氏は、日本原子力研究所—高エネルギー加速器研究機構で建設中の大強度陽子加速器の計画と自身の中性子研究について講演

されました。今後この施設を利用して行われる中性子科学の世界を興味深く解説されました。これらの招待講演と特別講演は、24日の午後に開催されましたが、学会員以外の参加を認めた一般公開の形で行われ、37名の一般参加がありました。招待・特別講演の終了後、討論会直前に急逝された阪上正信先生（金沢大学名誉教授）を偲び、短い時間ではありましたが思い出やご業績の一端が紹介され、黙祷をささげました。

口頭発表は23日の全日と25日の午前に、3会場に分かれ、ほぼ同時に進行して行われました。89題の口頭発表演題を、重・超アクチノイド化学、加速器高度利用、核構造・核反応、 k_0 法の展開、機器放射化分析、放射化分析の隕石・岩石への応用、テクネチウム・同位体化学、メスbauer分光、放射能と社会問題、高度分離利用、超ウラン元素の処理研究、アクチノイドフラーレンの化学、アクチノイド化学、環境放射能等のセッションに分けて行われました。特に関心の高いセッションでは、100余名の収容会場に補助椅子が必要なくらいの聴衆に溢れ、熱心に質疑が行われ、参加者の熱意が感じられました。

ポスター発表は、25日の午後に1室だけを使用して行われました。午前中で口頭発表が終わったことでもあり、ポスターの参観者が少ないのではないかと危惧されましたが、非常に多くの方が参観し、熱心な質疑が随所で行われていました。その他、学会員の自主的な企画として若手の会と分科会が行われました。分科会は、核化学分科会、原子核プローブ分科会、放射化分析分科会、アルファ放射体・環境放射能研究分科会が開催されました。

「若手の会」報告

高山 努（若手の会世話人、東北大学）

本年度は討論会初日のお昼に開催いたしました。49名と非常に多くの皆さんに参加していただきました。若手研究者の講演として北海道大学大学院工学研究科量子エネルギー工学専攻原子力材料システム学分野の桜木智史氏より「天然有機物とアクチノイド元素の相互作用に関する研究 ―札幌と大洗を往き来して―」との題目で最新の研究をご紹介いただきました。また、その後の若手

の会総会では、参加者全員の自己紹介もあり、和気藹々とした雰囲気の中で若手研究者間の交流を深めました。

「核化学分科会」報告

大槻 勤（核化学分科会世話人、東北大学）

例年、核化学分科会においては核化学の領域に近い原子核物理などの分野の方に講師をお願いしていた。しかし、今回は核化学分野の方も少なからず利用している原子炉の問題を取り上げ、以下の方々に日本の原子炉の現状とその問題等をレビューをして頂いた。出席者は約50名程度で、今後の原子炉の在り方について議論がなされた。1) 伊藤泰男氏（東京大学原子力研究総合センター）「研究用原子炉の現状と今後の課題について」2) 柴田誠一氏（京都大学原子炉実験所）「京大炉及び近大炉の現状、その他」

「原子核プローブ分科会」報告

関根 勉（原子核プローブ分科会世話人、東北大学）

原子核プローブ分科会では木野康志氏（東北大院理）、久保謙哉氏（国際基督教大理）に講演をしていただきました。木野氏は「反陽子質量の精密決定と反水素合成の計算」と題して、最近Cernで報告された反水素合成の最新のトピックをまじえながら、反陽子ヘリウム原子の理論計算が紹介されました。また久保氏は「大強度陽子加速器での放射化学研究」と題して、大強度陽子加速器の建設経過及び中性子ポートの利用と研究展開について説明されました。

「放射化分析分科会」報告

福島美智子（放射化分析分科会世話人、石巻専修大学）

9月23日の夕方から分科会を行った。会場は出席者でほぼ満席であった。豊田和弘氏（北大・院地球環境）から「堆積物コア試料の時間高分解能な放射化分析の実際」というタイトルでご講演をいただいた。講演後に出席者との間で活発な討論がなされ、討論時間をもっと長く設定するべきだったと、うれしい反省をした。次に放射化分析研究会からの連絡・その他の事項が、代表幹事であ

る海老原充氏（都立大院）からなされた。また、共同利用施設からの連絡・報告を澤幡浩之氏（原研施設）および柴田誠一氏（京都大学原子炉実験所）からいただいた。ここまでのところで、予定していた90分間をだいぶ過ぎてしまい、同様に準備をしていただいた大槻勤氏（東北大学原子核理学研究施設）にはお話をしていただけず、失礼をした。共同利用施設からの報告や連絡事項は各分科会で行われていたようだが、核化学分科会と放射化分析分科会は同時に開かれ、かつ、両分科会で施設からの報告等を行っている。本来共同利用施設からの報告・連絡は分科会にとどまらず、もっと多数の出席者にアナウンスされてしかるべきものだと考える。よって、次回以降の年会・討論会の企画の際に、この点を検討していただきたいと考える。

「アルファ放射体・環境放射能研究分科会」報告

小崎 完（アルファ放射体・環境放射能研究分科会世話人、北海道大学）

本分科会は、9月24日（火）のお昼休みに会員50名が参加して行われました。まず、当分科会の母体（アルファ放射体環境放射能研究懇談会）の発足にご尽力頂きました故阪上正信先生を偲び、新潟大学の橋本哲夫先生に阪上先生の業績のご紹介を頂きました。また、その後、京大炉・藤川陽子氏および核燃料サイクル開発機構・藤島敦氏から、それぞれ「広島と水俣における環境調査の経験」、「幌延深地層研究計画の概要と調査研究の現状」と題する話題をご提供頂き、活発な質疑・討論がなされました。

2. 2003日本放射化学学会年会・第47回放射化学討論会

柴田誠一（京都大学原子炉実験所）

2003日本放射化学学会年会・第47回放射化学討論会は下記の要領での開催を予定していますのでご案内いたします。

京都大学が開催をお世話するのは第2回放射化学討論会（京都）、第15回放射化学討論会（宇治）以来3度目で、原子炉実験所では初めてのこととなります。実験所内には講堂、講義室等開催に必要な場所が残念ながらありません。それで、原子炉実験所がある熊取町のおとなりの泉佐野市の市営の会場を利用して開催いたします。皆様多数のご参加をお待ちしております。

詳細につきましては、今後学会のホームページ等を通じて随時案内させていただきますので、そちらの方もご覧下さい

開催期間：2003年10月1日（水）～3日（金）

開催場所：泉の森ホール

（大阪府泉佐野市市場東1-295-1,

<http://www.izuminomori.or.jp/>）

会場への交通は

南海線利用の場合、泉佐野駅下車、バス10分
泉佐野市役所前下車（徒歩の場合15～20分）

JR 阪和線利用の場合、熊取駅下車バス15分泉佐野市役所前下車（徒歩の場合20分以上かかります）

大阪までは関西空港の利用が便利です。関西空港から南海線泉佐野駅まで、JR 熊取駅までどちらも15分程度です。

施設だより

日本原子力研究所東海研究所 ー研究用原子炉関係ー

米沢伸四郎

1. 施設の概要

日本原子力研究所東海研究所（原研東海）では、2基の研究用原子炉（JRR-3MとJRR-4）が稼働中で、中性子放射化分析（NAA）、中性子散乱、中性子ラジオグラフィ、医療照射、及びシリコンドーピング等に利用されている。原研東海の原子炉施設の特徴は、高中性子束の照射設備と高品質で多種類のビーム実験設備を持つことであり、2基の原子炉の相補的な運転により、ほぼ常時中性子照射をすることができる。また、立教炉の利用停止に伴い、NAA関係者の要望に応じて低中性子束照射や、NAA支援システムの整備も行われた。以下に各原子炉の実験設備とその利用方法を紹介する。

2. JRR-3M

JRR-3Mは、1990年に改造された最新鋭の原子炉（熱出力20 MW）で、 $10^{13}\text{n/cm}^2\cdot\text{s}$ 以上の高中性子束の照射設備と、冷及び熱中性子ガイドビーム設備をはじめとした数多くのビーム実験設備を持つ。運転は、連続4週間（26日間）を1サイクルとして、年間7サイクル実施している。今年度は、定期自主検査（11月30日～3月末）のため停止される以外は定常的に運転される。

照射設備としては、気送管、水力照射、垂直孔等があり、 $10^{13}\text{n/cm}^2\cdot\text{s}$ 以上の中性子束で、5秒～1サイクル以上の照射が可能である。気送管と水力照射は、照射筒が重水領域に設置されているため、Cd比が高く、NAAに適している。また、放射化分析設備（PN-3）は、Cd比が300と大きく、(n, p), (n, α) 反応等による妨害を受けることなしに半減期秒オーダー以上の核種分析に利用できる。垂直孔は、燃料領域に設置されているものが多く、 $10^{14}\text{n/cm}^2\cdot\text{s}$ 以上の高中性子束で1サイクル以上の照射をすることができる。照射カプセルは、気送管ではポリエチレン製、そして水力照射と垂直孔

ではAl又はステンレス鋼製が使われている。

JRR-3Mには、原子炉周りの水平実験孔の中性子ビーム設備の他、冷中性子及び熱中性子ガイドビーム設備が設置されている。冷及び熱中性子ガイドビームは、高品質の低エネルギー中性子ビームであるため、核反応を利用する実験ではより高感度であり、また散乱を利用する実験ではその長波長性によって生体試料及び高分子化合物などの構造解析に有効になる。ビーム実験装置としては、即発 γ 線分析、中性子ラジオグラフィ、及び各種中性子散乱の装置が設置されている。

3. JRR-4

JRR-4は1965年遮へい研究用として建設された原子炉で、1998年に燃料の低濃縮度化と医療照射設備の整備のために改造され、主にNAAと医療照射に利用されている。JRR-4は6時間/日のデイリー運転を基本としており、これを4日間/週を1サイクルとして年間約40サイクル実施している。本原子炉の最高熱出力は3.5 MWであるが、NAAユーザーからの要請に応え、100 kWと350 kWの低出力運転も行われている。本年度JRR-4は、定期自主検査（8月26日～11月8日）と点検保守（2月17日～21日）のために停止される以外は定常的に運転される。

照射設備としては、気送管とT-, S-, D-, N-パイプがあり、 $10^{13}\text{n/cm}^2\cdot\text{s}$ 以上の中性子束で6秒～6時間照射することができる。また、低出力運転の場合、 $10^{12}\text{n/cm}^2\cdot\text{s}$ オーダーの中性子照射を行うことができる。JRR-4はJRR-3Mに比べて中性子束が低く、小回りの利いた照射をすることができるため、NAAに最も多く利用されている。本原子炉は、JRR-3Mに比べ高エネルギー成分の中性子が多いが、この特性を利用して熱外中性子NAAを行うことができる。気送管にはこのためのCdフィルターが取付けられている。照射カプセルは、

約20分間までの照射にはポリエチレン製、それ以上の時間ではPENと呼ばれる樹脂製又はAl製が使われている。

JRR-4は、改造により低 γ 線線量率の熱中性子及び熱外中性子照射の医療照射設備が整備され、ホウ素中性子捕捉療法(BNCT)による脳腫瘍等の治療に利用されている。また、BNCTによる治療では微量Bの分析が必須であるが、このための即発 γ 線分析装置も整備されている。

4. 利用方法

これらの原子炉施設は、利用者が利用料金を支払って利用する「共同利用」と、原研内の研究グループと研究契約を結んで実施する「協力研究」と「共同研究」によって利用することができる。照射設備の詳細、運転スケジュール、利用方法等に関する詳細は、研究炉部研究炉利用課計画調整係(電話：029-282-5594, FAX：029-282-6763, URL：<http://rrsys.tokai.jaeri.go.jp/>)に問合せいただきたい。



*
*
*
*
*
*
*
*

研究集会だより

1. 第41回核化学夏の学校の思い出

高宮幸一（京都大学原子炉実験所）

「今年の核化学夏の学校の感想は？」と問われたら、参加された人のほとんどは「うまかったねえ！」と答えるでしょう。夏の学校はグルメ紀行とは違いますから、講義もあり、エクスカージョンもあり、いつもどおりの夏の学校だったのですが、最初に口をついて出る感想は「うまかったねえ！」なのです。

今年の核化学夏の学校は東北大学の三頭先生・大槻先生・結城先生に世話人になって頂き、7月28日から7月31日の3泊4日の日程で、宮城県の南三陸金華山国定公園にある白銀岬ホテル雀島で行われました。このホテルが「うまかったねえ！」のホテルなのです。

参加する前から「このホテルは食事がすごいよ！」と聞いていたのですが、初日の夕食からみんな目を丸くしていました。私は大阪から14時間の車での移動でくたくたに疲れていたのですが、夕食のテーブルには隙間が見えないほど器が並べられ、その器には海の幸がこれでもかというほど盛り付けてあり、疲れを忘れて箸を動かしました。参加者の皆さんのほとんどが、一日目から懇親会なの？と思ったに違いありません。そして3日目の懇親会では予想を超えた料理の数々で、器がテーブルにきちんと載りきれずに重なっているという夢のような状態でした。それになにより印象に残ったのは、これまでの夏の学校ではありそうでなかったカラオケ大会でした。そのなかでも西朋太先生、岩田志郎先生、古川路明先生、藤原一郎先生、馬場宏先生、坂本浩先生のグループでの大合唱にはびっくりしました。特に西先生は口を大きく開けて熱唱され、その迫力にみんなが感動しました。

なにやら食事と懇親会だけの思い出になってしまいましたが、講師の先生には核物理を中心に須

田利美先生、板橋健太先生、永井康介先生、土岐博先生、織原彦之丞先生、坂本澄彦先生と非常にバラエティに富み、黒田先生のビデオ鑑賞会や女川原発の見学もあり、エクスカージョンでは船を出して釣りに興じたり(私も大きなアイナメを3匹釣りました)と、よく学び、よく遊び、そしてよく食べた夏の学校でした。また最後になりましたが、日本放射化学会より多額の補助を戴きましたことを感謝いたします。

2. 第4回環境放射能・放射線夏の学校

白石久仁雄、天野 光、高田 純、山本政儀
(環境放射能・放射線夏の学校運営委員会委員)

第4回環境放射能・放射線夏の学校は放医研の白石久仁雄先生を校長に平成14年8月1日～3日の期日で箱根のKKR箱根清風荘にて37名の参加のもと開催された。今回のテーマは“環境放射能・放射線研究と他サイエンスとの接点”でした。この“夏の学校の主旨”は、アカデミックなレベルと和気藹々さを高度に保ちながら個人の理解を深めることです。講義、話題提供のほかに、参加者全員がイブニングセッションにてOHPの1-3枚程度を使用して各自の研究・仕事等を紹介・討論する。“参加者全員が必ず何かを一度は話す”のがこの学校の特徴であります。

生物系の講義Ⅰ“マイクロビームによる放射線科学”と講義Ⅱ“環境化学への生物学的アプローチ”。化学系の講義Ⅲ“核合成”と講義Ⅳ“環境放射能と地球科学の関連—黄砂を例として”が各々1時間行われた。講義Ⅰは逆線量率効果と分解能 $2\mu\text{m}$ 以下のマイクロビーム利用によるこれからの放射線研究について。講義Ⅱではマイクロアレイを用いた化学物質による酵母の遺伝子(DNA)レベルで影響と評価について。講義Ⅲはサワー氏による英語での講義で、地球上の元素の生成とTIMS法によるルテニウムの分析。講義Ⅳ

は黄砂、鉄、Sr-90, Cs-137等のグローバルな動きについておこなわれた。話題提供(トピックス)の3題(3日目の午前中、各20分)の他に、残りの参加者全員が1、2日目の夜のイブニングセッション-1, 2、ないし3日目の午前のイブニングセッション-3において3~20分の発表をおこない、基礎から応用に至る質問、コメント、アドバイス等、活発な質疑応答の雰囲気の中で知識の吸収をおこなった。時間的な制限から質疑を止めざるを得ないのは非常に残念であった。講義以外の発表内容としては、放射性核種の分析法、測定法の開発・改良に関する物(Ra-226, Rn-222, Pu, 宇宙線生成核種の利用、マルチレーザー利用、イメージングプレート法、GPS付可搬型 γ 線測定器)、放射線事故と核汚染関連(チェルノブイリ、タイのサムットパラカン事故、セミパラチンスク)、比較環境影響関連(久慈川の物質移行、ミミズ、セレン)、地球化学(大村湾の堆積物、湖沼堆積物のウラン同位体)、モニタリング技術開発、物質移行予測コード開発、高LET放射線突然変異等であった。第5回は長崎大学環境学部(吉川教授、高辻助教授)が担当で、九州で開催することになった。多数の若手研究者の参加により、実り多い学校となりますようお願いしています。

3. AMS-9 永井尚生 (日本大学文理学部)

“The Ninth International Conference on Accelerator Mass Spectrometry”(AMS-9)

“AMS-9 Workshop on Meteoric ^{10}Be in Environmental Systems: Applications and Limitations to Chronologic and Rate Studies”

“AMS-9 Workshop on Application of Cosmogenic Nuclides to Geoarchaeology”

第9回加速器質量分析国際会議(“The Ninth International Conference on Accelerator Mass Spectrometry”)が平成14年9月9日(月)より、平成14年9月13日(金)まで、名古屋大学豊田講堂を主会場として開催された。参加者は256名、参加国26カ国、日本からは、81名。主催は、名古屋大学年代測定総合研究センターの中村俊夫教授を委員長とする、第9回加速器質量分析国際会議組織委員会。この国際会議に関連して、二つの

Pre-Conference Workshopが開催された。本会議に先立つ9月6日(金)に、“Workshop on Meteoric ^{10}Be in Environmental Systems: Applications and Limitations to Chronologic and Rate Studies”(AMS-9 Workshop I)が、東京大学弥生講堂において、日本大学文理学部自然科学研究所と東京大学原子力研究総合センターの共催により開催された。10 papers、参加者58名。また、9月7日(土)に、“AMS-9 Workshop on Application of Cosmogenic Nuclides to Geoarchaeology”が、国立歴史民俗博物館大会議室において「国立歴史民俗博物館」の主催によりされた。11 papers+1 poster、参加者54名。

本会議は、加速器による質量分析法の技術と応用に関するテーマで3年ごとに開催されている。加速器質量分析法は1977年に最初の研究論文が発表されて、今年で25年目を迎える。ここ数年応用分野において、基礎的な方法論として定着し始め装置の導入が増加している。3年前に比べ、13施設が新たに加わり、現在世界の約63施設が加速器質量分析の研究を行っている。本年はテーブルトップ大のAMS装置が発表され、小型化が装置開発の一つの流れとなっていることを印象付けた。応用では、地球科学、環境科学への応用がめだつた。考古学は本年、Oxfordでのワークショップがあったほか、来年、Radiocarbon国際会議が予定されているため少なかった。医学・生物学は、同時期に関連の会議が開催されていたため、発表が少なかった。

具体的には、本会議は17のセッションに分かれ、討論を行った。一部を名古屋大学シンポジオン会場で開催した。口頭発表のセッションはそれぞれ、Keynote address(2)、New AMS Facility(6)、New AMS Facility and Technical Developments(5)、Future Problems(5)、Current AMS Labs(4)、Current AMS Labs and Technical Progresses(8)、Technical Progresses(8)、Atmospheric Science(4)、Archeology(4)、Special Lecture(2)、Biomedical and Biochemical Sciences(5)、Glaciology, Cosmo-geochemistry and Astrophysics(13)、Oceanography(5)、Hydrology(4)、Sedimentology and Soil Science(6)、Sedimentology, Soil Science and Forensic Problems(6)、Nuclear Safeguards(6)、

Nuclear Safeguards and Heavy Nuclides (4)、AMS standards, Intercomparison, ^{14}C Calibration (4)、Summary and closing of AMS-9であった。()内は論文数。二つのSpecial Lectureの一つは、理化学研究所の谷畑功氏が“New features in nuclear structure far from the stability line”のテーマで、最近のSHEの話題も含め話した。

ポスターセッションは、2回に分けて行われた。内容は、

New AMS Facilities (3)、Status of current AMS Facilities (14)、Technical Progresses (Ion Source) (3)、Technical Progresses (Detection Method) (6)、Technical Progresses (Sample Preparation) (14)、Technical Progresses (Data Acquisition and Analysis) (2)、Technical Progresses (Others) (8)、Atmospheric Sciences (9)、Archeology & Cultural property science (14)、AMS Standards and Refer-

ence Materials (2)、Radiocarbon Calibration (5)、Oceanography (6)、Hydrology (5)、Surficial geology-A (15)、Surficial geology-B (11)、Glaciology (7)、Cosmochemistry and Astrophysics (7)、Biomedical and Biochemical Sciences (7)、Nuclear Safeguards (4)、Heavy nuclides (4)、Environmental Pollution (3)である。

ワークショップはそれぞれ、Workshop Iが大気起源 ^{10}Be の地球・環境科学への応用に関する課題を、Workshop IIが宇宙線生成核種の考古学への応用に関しての新しい方法論とその課題を議論した。

会期中に名古屋大学のAMSシステムのLaboratory Tourを行い盛況であった。また、水曜日は、市内観光も含めた、excursion programを組み、明治村の帝国ホテル旧館でのバンケットを行った。

関連学協会・研究会から

中間子連絡会紹介

西山樟生（高エネルギー加速器研究機構）

中間子科学連絡会は中間子やミュオンを用いた学術研究の研究者間の全国的組織として1995年2月20日に発足した。以来今日にいたるまで、日本におけるミュオン科学研究者のための唯一の組織として存在している。初代の会長はミュオン科学の草分けである山崎敏光氏が務められた。現在の会長は東工大教授の西田信彦氏が、また副会長は秋光純氏と久野良孝氏が務められている。会則は1997年2月に最終案が決まり、同4月に正式に総会で決定された。現在の会員数は130余名を数え、会員からの直接選挙によって選ばれた運営委員（高エネルギー加速器研究機構外から10名、機構内から4名）で構成する運営委員会により運営されている。会長、副会長等の執行部は運営委員会での互選によって選出されている。

1997年4月に東京大学理学部中間子科学研究センターが改組され、東京大学原子核研究所と高エネルギー物理学研究所と共に統合されて高エネルギー加速器研究機構が発足した。これを機会に、機構の共同利用のユーザーコミュニティとしての性格が付け加わった。事務局は現在のところ機構内の中間子科学研究施設に置かれている。

中間子科学連絡会の主な活動として、第一に共同利用実験報告会やミュオン科学の研究会等の開催が挙げられる。機構や理化学研究所ミュオン科学・RAL支所と共催で行っている。

第二にはユーザーコミュニティとして、ミュオン科学研究者の意見を集約してきた。機構長や原研理事長に対して、ミュオン科学に関わる将来計画についての要望書を取りまとめて提出した。また物質構造科学研究所の運営協議会や中間子共同利用実験審査委員会に委員を推薦する役割も果たしている。

第三に、年2回「めそん」という数十ページの会誌発行を行っている。この中で各種研究会や学術発表の紹介、ならびにミュオン施設の現状、将

来計画の進捗状況などが報告されており、またその折々の特集記事が掲載されている。3年ごとに開催される μ SR国際会議（1996年日光、1999年スイス、2002年米国にて開催）をはじめ、2000年秋（12号）にはパルス中間子発生20周年、2001年秋（14号）ミュオン触媒核融合および関連するエキゾチック原子に関する国際会議（ μ CF01）から、また最新号ではデータ収集システムに関する記事が出ている。毎号ミュオン利用者の研究室紹介なども掲載されている。

さてこのように現存する施設利用者を主な対象として活動して来た連絡会であるが、新たな飛躍が求められる状況が生じて来た。すなわち国内のミュオン科学者にとって年来の念願であった、現在の世界的水準に匹敵し、それを超える強度と特徴を持つミュオンビームを出す施設の建設が始まっている。この新しいミュオン科学実験施設は、J-PARK「大強度陽子加速器計画」の物質生命科学施設の一部をなす。J-PARKでは原研東海研のキャンパスに高エネルギー加速器研究機構と日本原子力研究所と共同で加速器施設を建設し、得られる大強度陽子ビームから発生する二次粒子を用いて基礎科学から応用まで含めた広範な研究をめざしている。ミュオン科学実験施設はこの一翼を担うものとして考えられている。ここでは機構の現行施設の数百倍、理研RAL施設の強度の1桁上の強度のミュオンビームを得ることが可能である。物性 μ SR研究ははもちろんのこと、今まで実用的には不可能であった負ミュオンの科学や基礎科学を含めた新しい科学が展開できる。放射化学者のなかにも、電子と陽子の中間的な質量を持ったミュオン（正、負の荷電を持っている）の物質中の挙動等に興味をもたれる方も数多くいらっしゃると思われる。放射化学分析としてのミュオンX線分析なども実用化が可能な強度が得られるであろう。連絡会はミュオン科学実験施設建設に

当たり国内のミュオン科学者の総意を反映させていくための唯一の組織であり、日本放射化学会の諸兄の積極的な参加、助言が待たれている。

国内の計画が進展していく一方では、世界的に

も全ミュオン科学研究者を結集する動きがISMS (International Society for μ SR Spectroscopy) 結成に顕われており、連絡会はこの中でも積極的に関わっていく責務がある。

