

ウランと先端産業

——マクロとミクロの世界

金井 豊¹⁾

はじめに

「ウランと先端産業」と聞いて、皆さんは何を連想するでしょうか。数十年前だったら100人中100人、誰もが原子力産業を連想したに違いありません。いや、今でもおそらく99人までは原子力関連の事を考えるでしょう。それほどにまでウランは原子力と深い関わりを持っており、今後もそれは変わらないことでしょう。

けれどもここでは、違った先端産業におけるウランの別の横顔について紹介したいと思います。

今や世の中コンピュータ時代となりました。研究室や事務室のあちらこちらにパソコンやワープロが置かれ、実験室の分析装置や設備までマイコン制御で動かすよう

なものがあります。身近な生活の場でも、電子手帳、炊飯器、カメラ等にまでマイコンが使われています。このようなコンピュータは、半導体の集積回路の集まりなのですけれども、これらにもウランの話題があるのです。そろそろ気付いた方もおられるでしょう。でもその前にウランの紹介から。

かわいいウラン？

ウラン (Uranium) は原子番号92番目の元素で、天然には質量数が238, 235, 234の3種類が存在しています。それらの物理化学的性質は第1表に示しましたので、詳細はそちらを見てもらうことにしましょう。ウランは、

第1表 ウランの物理化学的性質

核種	²³⁸ U	²³⁵ U	²³⁴ U
質量	238.05078	235.04392	234.04095
存在比 (%)	99.2745	0.7200	0.0055
半減期 (年)	4.468 x 10 ⁹	7.038 x 10 ⁸	2.45 x 10 ⁵
主なα線エネルギー (MeV)	4.196±0.004(77%)	4.598±0.002(4.6%)	4.7739±0.0009(72%)
並びにその割合 (%)	4.147(23%)	4.401±0.002(57%)	4.717(28%)
	4.038(0.23%)	4.365±0.002(18%)	4.600(0.3%)
		4.219±0.002(5.7%)	
スピン	0	5/2	0
磁気二重極モーメント (核磁子)	0	0.35	0
電気四重極モーメント (e x 10 ⁻²⁴ cm ²)	0	4.1	0
原子量		238.0289	
密度 (g · cm ⁻³)		18.7	
比熱 (J · g ⁻¹ · K ⁻¹)		0.114 (0°C)	
融点 (°C)		1133	
沸点 (°C)		3887	
基底状態の電子配置	1s ² 2s ² 2p ⁶ 3s ² 3p ⁶ 4s ² 3d ¹⁰ 4p ⁶ 5s ² 4d ¹⁰ 5p ⁶ 6s ² 4f ¹⁴ 5d ¹² 6p ⁶ 5f ³ 6d ¹ 7s ²		
酸化状態		[+3], +4, [+5], +6	
第一イオン化電位 (eV)		6.08 (⁴ I _{9/2})	
超電導の臨界温度 (K)		0.68 U(α)	
結晶型		α 斜方 < 668 °C β 正方 668-775 °C γ 体心立方 775 °C <	

1) 地質調査所地殻化学部

キーワード: ウラン, 超微量分析, 地球化学

ドイツの M. H. Klaproth が今からちょうど 2 世紀前の 1789 年に、黒色の鉱物から新しい元素として見いだしたのが最初で、当時新しく見つけられた天王星 (Uranus) から Uranite と命名されたといわれております。単体としての純粋なウランは、それから 50 年ほどした 1841 年に、フランスの E. M. Piligot が見いだしています。しかし、当時はウランの持つ放射能についてはまだ知られておりませんが、それからまた 50 年ほどした 1896 年に、放射能の SI 単位として有名な H. Becquerel がウランの放射能を発見しております。ちなみにウランの命名の元となった天王星は、ギリシャ神話では天空の神様であり、1986 年 1 月 24 日にアメリカの無人惑星探査機ボイジャー 2 号が、その発見から約 2 世紀の後に私達の目の前にその姿を明らかにしてくれました。一方、元素としてのウランはどうでしょうね。

さて、ここで皆さん、ウランのイメージを想像してみてください。★銀白色で反応性が高い金属で……。硬い硬い、頭がカチンカチンですね。そんなことでは独創的な研究などできません。★ピカッと光ったかと思うときのご雲がドドドと天まで上り……。現実的な方ですね。ちょっとベシミストかも。★アメリカ大使館にでも売り込みに行って一儲けを……。これはまたオプティミストですね。ウラン価格はそれほど高くありませんし、警察のお世話になるだけです。★キュッキュッと足を鳴らして歩くかわいい女の子で……。ムムッ、危ない危ない。ロリコン、はたまた連続少女誘拐犯か。いやいや、アトムの妹のウランちゃんでした。そうです。今はなき手塚治虫先生の「鉄腕アトム」はもう 30 年近くも昔の大ヒットアニメですが、そこに出てくるアトムの妹の名前はウランでした。その中に描かれている社会は、夢の近代化社会であり、希望の話でした。当時の原子力開発に先見の明を持った先生の命名だったと思います。ウランは天空の神様から名前をとっただけあって、やはり輝く希望の星だったのかも知れません。

ところでウランちゃんは女性でしたが、ウランは本当に女性的な元素でしょうか。諸外国ではどうでしょう。ドイツ語では das Uran で中性、フランス語では Uranium で男性なのです。ちなみにウランの最初の命名となった Uranite やウランの酸化物、鉱石などはフランス語で女性です。いろいろな国々における物の見方・考え方の違いがそこに現れているのでしょうか。

ウランと原子力

ウランの原子力産業での用途は、当然のことながら原子炉の燃料としてです。ウラン鉱石からウランを取り出

すには、粗製錬として酸やアルカリでウランを溶出させ、溶媒抽出・イオン交換等でウランを分離した後、アンモニアを加えてイエローケーキ (重ウラン酸アンモニウム, ADU, $(\text{NH}_4)_2\text{U}_2\text{O}_7$) とします。ADU 中のウランの同位体である ^{235}U は、第 1 表に示されているように天然比の 0.72% しか存在していませんから、このままでは原子炉の燃料としてなかなか使用できません。そこで、ADU から UF_4 さらにガス状の UF_6 に転換する精製錬または転換といわれる工程を経た後、ガス拡散法・遠心分離法やレーザー法で ^{235}U を約 3% に濃縮して燃料とするわけです。

皆さん良くご存じのように、ウラン (^{235}U) はその原子核に中性子が当たると核分裂を起こします。その核分裂片は、約 60—90 MeV の運動エネルギーを持っており、原子炉でそのエネルギーを熱エネルギーに変換します。この熱エネルギーを利用するのが原子力発電です。現在日本国内の総電力のおおよそ 3 割が原子力発電によってまかなわれているといわれております。

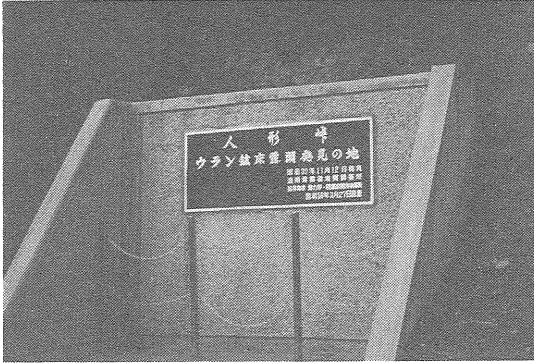
日本で最初に原子力予算が計上されたのは、昭和 29 年 (1954 年)、今から約 35 年ほど前のことです。戦後の社会において原子力に対する民衆の統一の認識がまだできていませんでしたが、当時の自由党・改進黨・日本自由党の保守 3 党により総額 2 億 5,000 万円という巨額な予算案が突如として国会に出され、それが自然成立してわが国の原子力開発の幕開けとなりました (原子力開発十年史, 1965)。

さて、当地質調査所においても、調査費として 1,500 万円の予算が付けられました。そして日夜ウラン鉱床探しが始まったわけです。最初に日本でウラン鉱床が見つかったのは人形峠であります。その峠はそれまで名もないような峠だったそうです。今では、この発見露頭にそれを記念して立派な記念碑がたてられています (第 1 図)。

現在、ウランは西側自由諸国だけで 39,200 トンの需要があり (1985 年)、この量は種々の社会的要因により変動するでしょうが、OECD/NEA (経済開発協力機構・原子力機関) と IAEA (国際原子力機関) によると、今後さらに増加していき、2000 年には 5 万トンをこえるの見込まれております (プロメテウス, 1986)。このような原子力産業に用いられるウランは、鉱床のように濃集状態であることが必要なのですが、もう一つのウランの話は、逆にウランを少なく少なくする話なのです。それではウランの裏ん話のはじまりはじまり。

ウランと半導体

ウランはほとんどあらゆるものに含まれております。



第1図 人形峠の記念碑。「人形峠，ウラン鉱床露頭発見の地，昭和30年11月12日発見，通商産業省地質調査所，鉱業権者動力炉・核燃料開発事業団」と記されている。

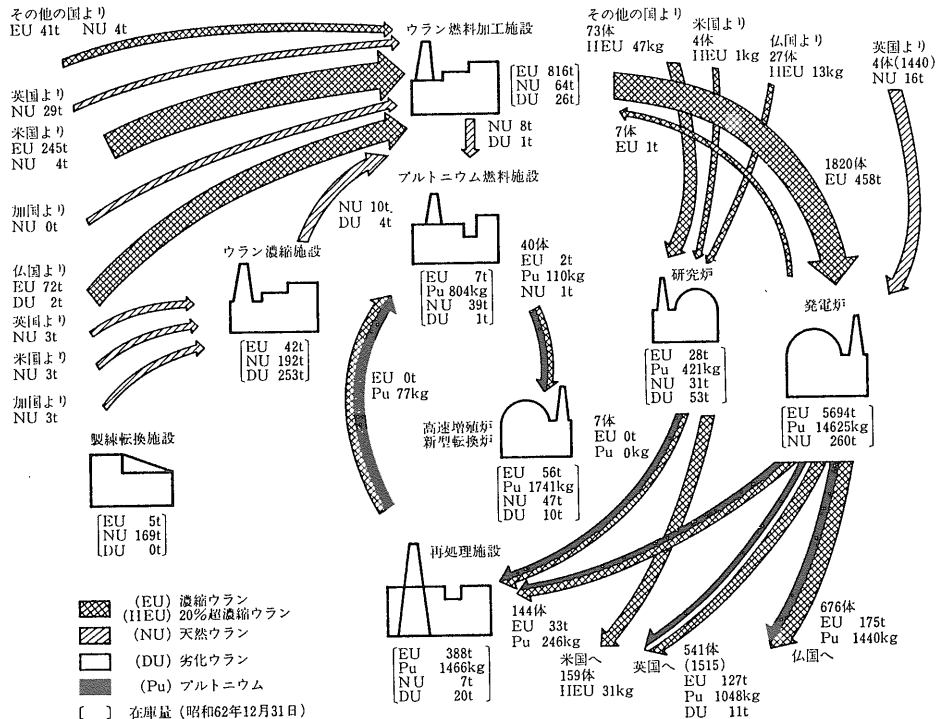
このことは，多くの場合極微量であるため特別問題にはならないのですが，現在の先端産業の一つであります半導体分野においては重大な問題となっているのです。というのは，ウランやトリウムの放出する放射線（α線）によってコンピュータにエラーが生じてしまうからです。

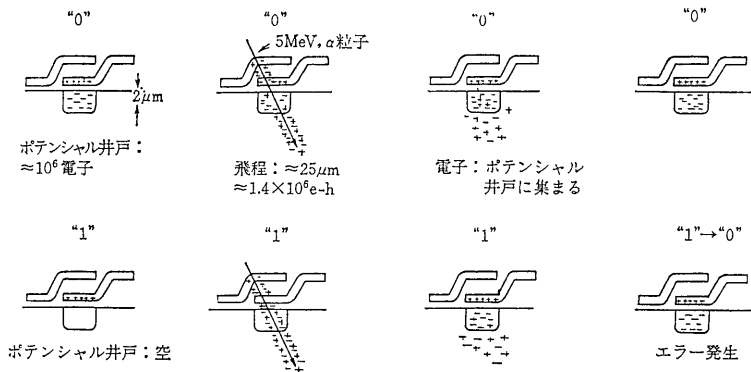
このようなエラーは，ハード面のエラーと異なり“ソフトウェア”と呼ばれていますが，そのメカニズムは第

2図に模式的に示してあります。2進法では0と1，OFFとON，帯電のあるなしが情報なのですが，そこにα線が飛び込むと，その飛跡に沿って原子をイオン化してしまい，帯電状態を変えてしまうのです。すなわち，メモリーは約 10^6 個の電子の電荷量の有無で規定されているのですが，5 MeVのエネルギーを持つα粒子（ウランやトリウムのα線のエネルギーは，だいたい4.5~5.4 MeVです）が物質中を通過すると約 1.4×10^6 個の電子対を生成するため，容易にそのメモリーが反転してしまうのです。このような半導体材料中のα線を減らすには，その中のウランやトリウムの量を低くするしか他に手はありません。仮りに 10^{-9} gの ^{238}U が存在したとしますと，単純に考えて統計的に1個のα線を放出するまでの時間 T は，

$$dN = -\lambda N \cdot dT \quad \lambda = 0.693 / (4.49 \times 10^9 \text{y})$$

で $dN=1$ となる時間 dT から求められ，22.4時間，約1日となります。わずか 10^{-9} gのウランがあるだけで，一日しか正常に動かないコンピュータとなってしまいます。α線は四方八方360°どの方向にも飛びますし，また，ひとつのコンピュータには半導体チップは数十数百あることですから，そのα線によるメモリー損傷の確率はかなり高くなるのが推定されます。

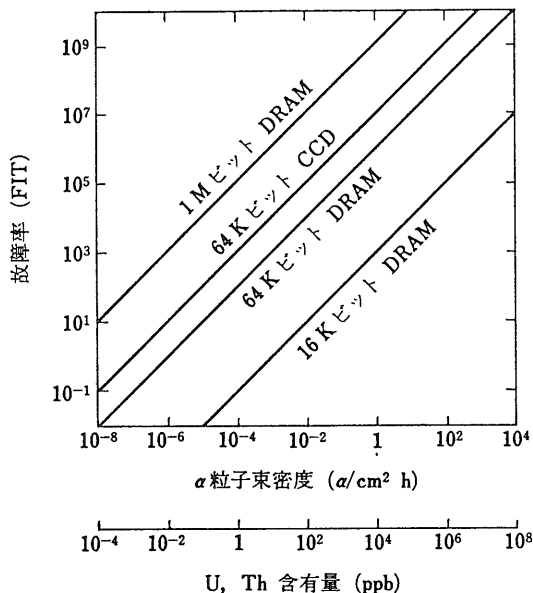




第2図 ソフトエラーのメカニズム (工藤ほか, 1982)

第2表 各種アルミニウムに含まれるウラン・トリウム量 (工藤ほか, 1982)

各種アルミニウム	U (ppb)	Th (ppb)
高純度A1材		
A1線 (99.999%)	7.2	4.7
A1板 (99.999%)		
1	100	190
2	110	180
3	<2.0	<0.20
ゾーンメルトA1インゴット (先端部)	3.1	<0.79
ゾーンメルトA1インゴット (後端部)	1,500	830
市販アルミナ		
国産品		
1	1,000	60±20
2	300	<85
3	1,200	110±40
4	300	190±40
5	<100	60±55
6	1,100	160±30
7	1,100	120±30
8	300	150±30
輸入品		
1	0.06	60±20
2	<0.07	20±10
3	0.9	30±20
4	<0.2	110±40
セラミック用 Al ₂ O ₃		
A-1	1,470±110	
B-I-1	1,490±120	
B-II-1	792±72	
C-1	73±17	



第3図 α粒子束密度と故障率の関係 (平井, 1988)

こうしたエラーの率は FIT という単位で表されますが、これは 10⁹ 時間に 1 回故障が生じる率です。α粒子束密度と故障率との関係を第3図に示しましたが、集積度が高くなるにつれて故障率が高くなっています。人間に例えれば、頭の良い人ほどおかしな行動を示し易くなるということでしょうか (そういえば・・・なんて思い当たる節がありますか?)。現在、ソフトウェアの許容限界は 1,000FIT (な、なんと114年に1回の故障率です!!) というのが一つの目安となっています。0.1α/cm²hr は自然の大気中の放射性物質のレベルと同じといわれていますから (福浦・高見, 1981), 64K ビットの半導体メモリーで 10⁻³~10⁻⁴α/cm²hr というのはかなり厳しいものといえるでしょう。第2表には、半導体材料としても用いられている各種アルミニウム材に含まれているウラン・トリ

ウム量を示しました。実際のパーツではさらに低濃度です。また、ハンダにも α線濃度を低くした物もあり、ウラン・トリウムいずれも 0.2ppb 以下ということ (戸田ほか, 1988)。

第3表 ウラン・トリウムの微量分析法と検出感度
(平井, 1988(に加筆))

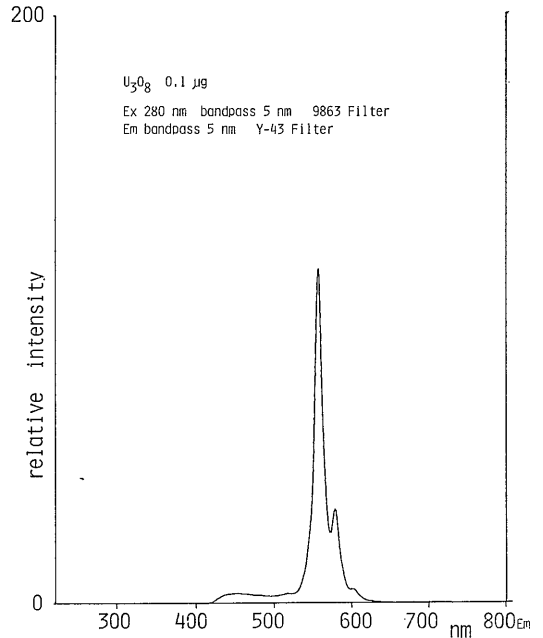
分析 方 法	検出限界(ppb)
[ウランの分析法]	
固体蛍光光度法	0.01~0.1
機器中性子放射化分析法	0.1~10
放射化学中性子放射化分析法	0.05~0.1
ICP 発光分光法	10~300
電熱気化/ICP 発光分光法	0.02~0.05
質量分析法(二重収束型, 二次イオン)	1~30
ICP 質量分析法	0.002~0.005
γ線スペクトロメトリー	50000~100000
フィッシュントラック法	0.02
吸光光度法	50~100
シンクロトロン蛍光 X線法	0.4
陰極溶出ボルタンメトリー	3
[トリウムの分析法]	
ICP 発光分光法	20~300
電熱気化/ICP 発光分光法	0.02~0.1
機器中性子放射化分析法	0.1~50
放射化学中性子放射化分析法	0.05~0.5
吸光光度法	50~100
質量分析法(二重収束型, 二次イオン)	0.2~30
ICP 質量分析法	0.002~0.005
固体蛍光光度法	20
[α粒子の分析法]	
α線スペクトロメトリー	100
α線カウント法	0.02~0.03(C/cm ² h)

超微量分析技術

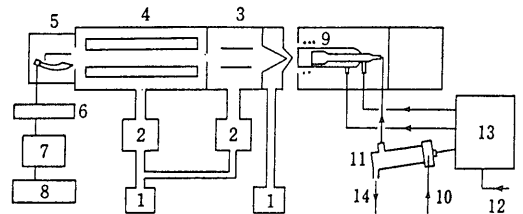
以上述べてきたような問題に伴い、材料や製品の品質管理においても ppb レベルの高感度・高精度な分析技術が重要となってきました (ppbは10⁻⁹の割合をいい、100m四方のグラウンドに落ちたダイヤモンドの小さなかけらを捜すようなものです)。これらの分析技術は、単に半導体分析のみならず地球化学的な試料の微量分析にも有効であるため、そのことに触れておきたいと思います。半導体中のウランやトリウムなどの微量分析に用いられている分析法を第3表に示しました。

これらの分析法にはそれぞれ一長一短がありますが、ウランの分析法では多少古典的になりますが、固体蛍光法で分析する例が多いようです。当所でも、岩石や地下水などの地球化学的な試料に含まれている微量のウランは、イオン交換分離の後フッ化物の溶融物に変え、280 nm の励起光によって生じる 556nm 付近の蛍光を測定することによりウランの定量を行っています。第4図にウランの蛍光スペクトルを示しました。

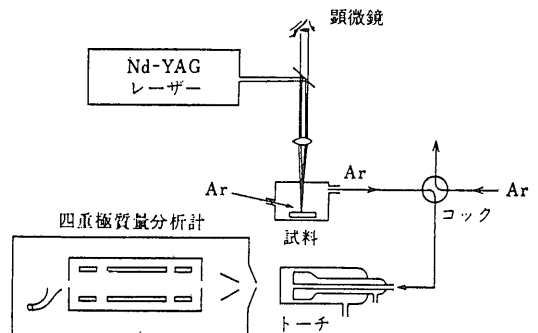
中性子放射化分析法は、特別な前処理を必要とせず、



第4図 ウランの蛍光スペクトル



第5図 ICP-MS のブロックダイアグラム (清水, 1987)



第6図 レーザー法による試料導入系 (清水, 1987)

				ppb				
Aluminium	Al	0.020	Gold	Au	<0.002	Sodium	Na	<0.005
Antimony	Sb	<0.02	Iron	Fe	<0.01	Strontium	Sr	<0.02
Beryllium	Be	<0.002	Lead	Pb	<0.005	Tin	Sn	<0.02
Bismuth	Bi	<0.01	Lithium	Li	<0.002	Zinc	Zn	<0.001
Cadmium	Cd	<0.003	Magnesium	Mg	0.0016			
Calcium	Ca	<0.003	Manganese	Mn	<0.005	Thorium * Th		<0.001
Chromium	Cr	<0.005	Nickel	Ni	<0.01	Uranium * U		<0.001
Cobalt	Co	<0.02	Pottasium	K	<0.01			
Copper	Cu	<0.01	Silver	Ag	<0.002			

*) ICPで測定
その他 フレームレス原子吸光度計で測定。

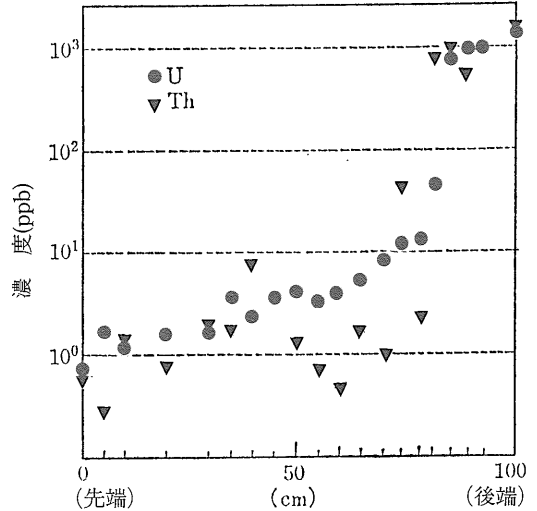
第7図 試薬の不純物表示の一例

また非破壊で分析が可能である等の利点を有しておりますが、検出感度が固体蛍光法に比べ1桁低くなっています。

ICP 発光分光分析法は、近年特に多元素分析でその威力を発揮してきておりますが、感度的にはかなり劣っています。しかし、機器の安定性の向上や使用の簡便さもあり、濃縮操作を行えばある程度のものであれば利用価値が高いと思われます。また、マイクロサンプルシステムと呼ばれる高温気化装置を接続することで検出感度は格段に高まり、イオン交換クロマトグラフでウラン・トリウムを分離後マイクロサンプルシステムをつけたICPで定量を行い、検出限界 U 0.05ng, Th 0.03ng という報告(飯利・岡田, 1984)もなされています。

ICP 質量分析法は、本質的には質量分析法ですから、原子一つ一つ数えるため極めて高感度であります。第5図に装置のブロックダイアグラムを示しました。ウランやトリウムのみならず、他のさまざまな元素についても定量が可能のため、今後その利用が高まって行くものと考えられます。また、レーザーを用いて固体試料を直接分析する手法(第6図)もあり、岩石試料の微量分析においても良好な結果が得られております(今井, 1989)。

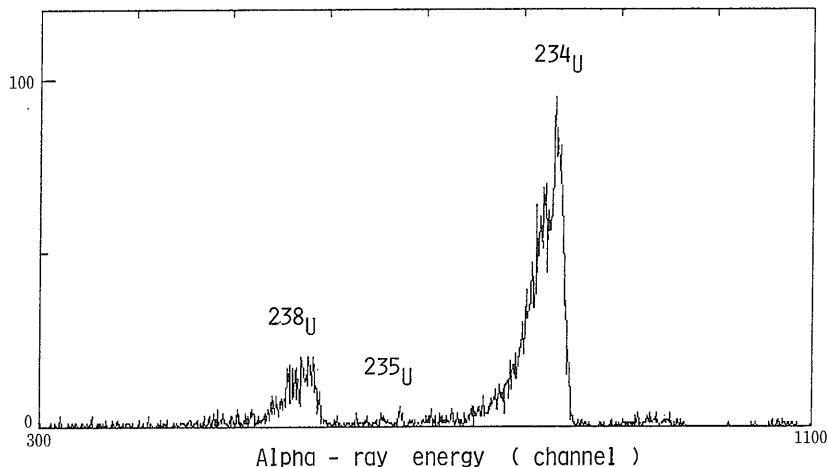
このような超微量分析になってくると、鉱石のレベルでは考えも及ばないような、分析に用いる試薬や器具からのコンタミネーションが問題となってきます。例えば、ウランの抽出に酢酸エチルを用いて抽出を行うことがよくありますが、その時にかなりの量の硝酸アルミニウムを加えます。アルミニウムにウランが混入していることは第2表に示した通りですから、当然硝酸アルミニウムにもウランが入っています。従って、抽出濃縮を行うときには硝酸アルミニウムからの汚染に注意をする必要があります。酸やアルカリにも数十～数百 pg/ml のウランが混入しており(平井, 1988)、また、分離に用いるイオン交換樹脂にもウランが含まれており(川島ほか)、十分にブランク試験を行う必要があります。試薬の中には、第7図のようにウランやトリウムの混入量が非常に少ないことを強調している物も市販されており、ウランやトリウムの重要性を物語っている一例とい



第8図 ゾーンメルトによるA1棒のU・Th濃度分布(工藤ほか, 1982に加筆)

えるでしょう。

ところで、ファイブナインといわれる高純度のアルミニウムにもウランが含まれ、第2表に示したようにウラン濃度にばらつきがみられました。アルミニウムは、ボーキサイトから精錬されて製造されるのは皆さん良くご存じでしょうが、精製過程でゾーンメルトがなされます。その時のウランは、第8図にありますように場所によってかなりの濃度が異なっており、A1インゴットの後部に濃縮しています。こうした元素の分別は、超微量のミクロの世界のみならず地球内部のマグマでも起こっていることを考えると面白いものですね。また、硝酸アルミニウムの試薬に含まれていたウランのαスペクトルを第9図に示しましたが、このようなウラン核種²³⁸Uと²³⁴Uの分別も、地球の内部、地表における風化・続成、さらに試薬として製品化されるまでの過程で行われてきたことを考えると、非常に興味深く感じられます。



第9図
硝酸アルミニウム試薬中
に含まれるウランのαス
ペクトルの一例。
238Uと234Uとの間に大き
な非平衡がある。

第4表 各種鉱石・植物・人体に含まれるウラン量

(無機化学全書, 1953)

(1) 各種鉱石中のウラン含有量

鉱石	U (ppm)
方鉛鉱 (Cumberland 産)	0.008
閃亜鉛鉱 (Wales, Denbigh 産)	0.57
錫石 (St. Austell 産)	2.9
岩塩	0.0006
螢石 (Harz 産, 淡緑色)	0.8

(2) 各種植物体中のウラン含有量

植 物	U (ppm)	
	灰 分	新鮮試料
リンゴ種子	5.06	0.281
ブドウ果皮	1.6	0.0729
ブドウ種子	2,800	33.8
ジャガイ芋	0.0318	0.00271
セロリ主根	2.96	0.0186
セロリ葉	26.5	0.141
ニンニク皮	4.38	0.303

(3) 人体中のウラン含有量

人体各部	U
尿	1.2 × 10 ⁻¹¹ g/ml
大便	4 × 10 ⁻¹⁰ g/g
血液	10 ⁻¹⁰ g/ml
爪	4.11 × 10 ⁻⁷
毛髪(女性)	1.27 × 10 ⁻⁷
大脳	1.9 × 10 ⁻⁹ g/g
腎臓	3.34~13.1 × 10 ⁻⁹ g/g
心臓	4.42 × 10 ⁻⁹ g/g

第5表 我が国における温泉水中のウラン含有量

県名	温泉地名	ウラン濃度 (ppb)	主な泉質*	pH*	関連地質*	文献
北海道	登別温泉明ばん泉	>0.02	VIII		QV	1)
秋田県	玉川温泉 (N=4)	0.~2.6	VII	1.2-2.0	QA	2)
	ふけの湯 (1号)	0.0	IX	2.4	QA	2)
	後生掛 (2号)	0.0	IX	3.0	QA	2)
	赤川温泉	<0.1	IX	2.6	QA	2)
	川原毛温泉 (1号)	1.4	IX	1.6	QA	2)
宮城県	鳴子温泉 湯の湯 2	<0.1	X	2.3	N	2)
群馬県	水上温泉	1.2	VI-I	7.0-8.6	NR	1)
	伊香保	1.5	VI	5.6	QA	1)
	万座温泉 (N=7)	0.0~1.8	IX-VIII	1.6-3.0	QA	2)
			-VII			
	白根山涌釜	1.3		1.0		2)
	草津温泉 (N=5)	0.28~0.72	IX-VIII	1.7-2.0	QV	2)
	香碓温泉 (N=2)	9.3~10.1				2)
	万座ラジウム涌の湯	0.8				1)
神奈川県	湯河原	0.4	V-VI-I	7.2-8.6	QA	1)
静岡県	修善寺温泉	<0.002	I-V-VI	8.2-8.3	PP-N	3)
	水明原の湯		-III-IX			
山梨県	増高鉱泉A B号泉	0.3	V-XI	6.7	K-P	3)
	増高温泉 (N=13)	0.01~2.07 (ave. 0.27)				7)
		0.0~3.8				2)
富山県	立山地獄谷 (N=16)	0.09	V	7.8	N	4)
石川県	和倉温泉 (5号)	0.02	V	6.7-7.4	CG	4)
	岩間温泉	0.15				4)
	岩間噴泉塔	0.07	VI	8.4	NV	4)
	山中温泉 (5号)	0.04	V	Q	4)	
	八幡	0.04	VI	NV	4)	
	瀬原	0.08	I	NR	4)	
	赤瀬	0.95	XI			3)
兵庫県	新石馬温泉	0.06	II	4.8-6.7	PG	3)
	有馬炭酸泉	<0.01				3)
	有馬温泉明湯					3)
鳥取県	三朝 岩崎山の湯	13.	XI-I-V	6.2-7.3	KG	5)
	岩崎ホルド	20.				5)
	温泉会館	6.				5)
鳥根県	池田鉱泉 (T 1)	13.	XI	5.5	KG	5)
	小林鉱泉	43.				5)
	湯掛温泉	24.	V	5.7-6.6	KG	5)
岡山県	浅瀬鉱泉	68.	XI		KG	5)
大分県	別府 海地獄	0.16	V-X	2.0	QA	6)
	十万地獄	0.016	V	3.8		6)
	築石地獄	0.005	X	2.7		6)
	血の池地獄	0.032	V-X	2.1		6)
	竜巻地獄	0.14	V-X	2.4		6)
	御夢想	0.000	V	7.2		6)
	筋湯	0.029	V	7.0		6)
	四の湯	0.012	V	6.6		6)
	弓が浜	0.025	IV	7.0		6)
	的が浜	0.026	IV	7.3		6)
	瀬門寺	0.000	V	6.4		6)
	竹瓦	0.022	IV	7.2		6)
	梅園	0.032	IV	6.8		6)
	楠	0.010	I	6.4		6)
	不老	0.008	I	6.9		6)

泉質 I: 単純泉 II: 単純炭酸泉 III: 重炭酸土類泉 IV: 重曹泉 V: 食塩泉
VI: 硫酸塩泉 VII: 鉄泉 VIII: 明ばん泉 IX: 硫酸泉 X: 酸性泉 XI: 放射能泉
地質 C: 新生代 Q: 第四紀 N: 新第三紀 P: 古第三紀 K: 白亜紀 p: 先"
A: 安山岩・アモフライト G: 花崗岩・花崗斑岩・石英閃緑岩・石英斑岩・花崗閃緑岩
・グラファイト 石英閃緑岩 R: 流紋岩・石英安山岩 V: 火山岩
文献 1) 鳥居・村上・村井(1958) 2) 野口・今橋(1967) 3) 中西(1948)
4) 板倉(1988) 5) 阪上・橋本(1964) 6) 古賀(1959)
7) KANA'I(1988) *文献に記載されていないデータは、角清愛(1975)による。

地球における微量ウランの存在

前にも述べましたが、ウランはほとんどあらゆるものに含まれております。いわゆる Noddack のいう『元素普遍説』です。すなわち、ウランは地殻を構成する岩石を始め、草木や私達の体の中にもあるのです。大地を構成する岩石にウランが比較的多く含まれていることは、皆さんよくご存じの事と思えます。ウランのほとんどを占める ^{238}U の半減期が約 45 億年ですから、地球が誕生したといわれる今から 46 億年前には、現在の約 2 倍近いウランが存在した計算になります。一方、逆にウラン含有量の少ないものとして、第 4 表に鉱石中のウラン含有量を示しました。鉱石はある元素の濃集物と考えられ、比較的純粋な化合物と思われるのですが、そんな中にもウランは隠れているわけです。また、第 4 表には、私達が口にする食べ物や、私達の人体に含まれるウラン量も示しました。このようなデータは、微量であるが故に余り報告されてはならず、精度の高いデータの蓄積が期待されております。

日本は火山国で温泉が多く、また、放射能泉として有名な温泉も数多くあります。第 5 表には、今までに報告された温泉水中のウラン含有量を示しました。放射能泉というから放射性物質が多く、ウランもまた多いかと思うと、意外にもウラン量の少ない温泉が多いのです。放射能泉の放射能は、別の機会に紹介したいと思えますが、多くの場合ラジウムやラドンによるものなのです。

おわりに

ウランについての話題から、最近の話題ともいえる半導体分野から誘発された微量分析技術を思いつくまま簡単に述べてきました。筆者は、半導体そのものは研究対象にはおりませんが、そこに応用されている微量分析法は、ウランの地球化学の分野での有効な手段となるものと考えられます。

地質試料、特に地下水・河川水・湖水・海水のような水試料においては、ウランはいくらでも低濃度で存在することが出来ます。その存在形態を明らかにすると同時に、こうした手法によりその超微量な濃度を明らかにする事ができれば、いままで見えなかった低濃度領域（ミクロの世界）でのウランの溶液挙動が明らかになることでしょう。また、岩石試料でも砂岩やデイサイトのようなものはウラン含有量が低く、マクロ量とは異なるミクロの状態におけるウランの岩石化学的挙動についても、高感度分析技術の応用で明らかにされることでしょう。

こうした分析技術が、従来“検出されず”“検出限界

以下”として処理されてきた分野での地球化学、地質現象の解明に、今後新しい展望を切り開き、未来にあかりを灯してくれるものと期待されます。

参考文献

- 福浦雄飛・高見昭雄 (1981) IC の高性能化と基板、パッケージなど材料の対応策。工業レアメタル, No. 76, p. 87-91。
 原子力開発十年史編纂委員会 (1965) 原子力開発十年史, 日本原子力産業会議, p. 26-27。
 平井昭司 (1988) 半導体材料中のウラン, トリウム及び α 放射体の分析。ぶんせき, No. 9, p. 639-646。
 飯利茂雄・岡田章 (1984) ICP による半導体材料中の微量 U, Th の定量。第 45 回分析化学討論会講演要旨集, p. 29-30。
 今井 登 (1989) レーザーアブレーション ICP 質量分析法による岩石の分析。第 38 回日本分析化学会年会講演要旨集, p. 527。
 板倉 淳 (1968) 石川県の温泉および温泉沈殿物中の微量成分の放射化学的研究。温泉工学会誌, Vol. 5, p. 41-45。
 金井 豊 (1988) 山梨県増富温泉における ^{238}U 及び娘核種の挙動。Geochem. J., Vol. 22, p. 285-292。
 川島 敏 他 (1984) 超 LSI 関連材料中の微量ウランの蛍光定量。日立テクニカルデータ, No. 15。
 古賀昭人 (1959) 別府温泉の微量成分。日本化学雑誌, Vol. 80, p. 369-370。
 工藤 洵 他 (1982) LSI 構成材料中のウラン, トリウム, α 放射体の評価。Radioisotopes, Vol. 31, p. 490-499。
 無機化学全書 (1953) 柴田雄次監修 XVII-1 ウラン。丸善。
 中西正城 (1948) 蛍光法による微量のウランの定量。日本化学雑誌, Vol. 69, p. 4。
 野口喜三雄・今橋正征 (1967) 本邦酸性泉のウラン含量。温泉科学, Vol. 18, p. 1-7。
 阪上正信・橋本哲夫 (1964) $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ 比の測定。日本化学雑誌, Vol. 85, p. 622-627。
 プロメテウス (1988) Vol. 12, p. 42。
 清水 洋 (1987) ICP-MS の分析化学への応用。ぶんせき, No. 7, p. 480-484。
 角 清愛 (1975) 日本温泉・鉱泉一覧。地質調査所。
 戸田英二 他 (1988) 低 α 線鉛およびはんだ中の超微量ウラン, トリウムの定量。第 37 回日本分析化学会年会講演要旨集, p. 616。
 鳥居鉄也 他 (1958) 鉱泉中のウランについて。温泉科学, Vol. 9, p. 91。

<受付: 1989年10月18日>