

第 199 回地質調査所研究発表会講演要旨*

特集 地球化学データの社会的利用

第 1 部 精密年代測定による断層活動性評価の研究

研究の概要

柴田 賢

この研究は原子力施設等安全研究専門部会により策定された年次計画（昭和 61-平成 2 年度）にもとづき、原子力施設耐震検討会で採択された研究課題「活断層評価手法の高度化」に対応して地質調査所が分担するものであり、国立機関原子力試験研究費（原子力特研）により昭和 61 年度から 4 ヵ年計画で開始された。

本研究では、第四紀層がなく基盤岩石の露出する地域を調査対象として、種々の年代測定法を用いて断層帯の岩石の放射年代を精密測定する技術を開発し、断層の活動性を年代学的に評価する手法の確立を目標とする。最近岩石中の各種鉱物の放射年代に関する閉鎖温度の概念が確立されつつあり、種々の鉱物の測定方法別年代を求めることにより、岩石の経た熱史、冷却史を知ることができるようになった。この手法を断層帯の岩石に適用して断層の活動史を明らかにする。

断層地域の精密地質調査と試料採取については、中央構造線を初年度・2 年度、阿寺断層を 3 年度、火山岩地域の断層を最終年度に実施した。地化学調査については最終年度に実施した。精密年代測定法の開発については、断層ガウジ（断層内物質）の分離・精製法、K-Ar、Rb-Sr 精密年代測定法の開発をほぼ予定どおり終了し、断層ガウジ及び周辺岩石の年代を多数測定した。本研究における主な成果は次のとおりである。

1. 断層ガウジの細粒部分（ $<2\mu\text{m}$ ）の多くは、雲母粘土鉱物とカオリナイトからなり、特に雲母粘土鉱物は断層活動に伴う熱水作用によって生じたものと推定される。従って、細粒部分の K-Ar 年代は断層の主要な活動時期を示すものと解釈される。ただし、地表近くで起こった横ずれ成分の卓越する活断層においては、断層ガウジの年代の若返りは認められず、断層ガウジを用いる

活動性の評価には限界がある。

2. 断層周辺の岩石中の諸鉱物は、主要な断層活動の影響を受けて、断層からほぼ一定の距離の間で若返り、特徴的な放射年代パターンを示す。さらに、このパターンの違いから、断層の規模をある程度推定できる。

3. 新しい K-Ar 年代測定法（ピーク値比較法）を開発し、これまできわめて困難とされてきた 10 万年より若い岩石の年代測定が可能となった。これにより、火山岩を切る断層の活動時期推定に対し直接的な情報を与えることが可能となった。また、間接的にはテフラの年代決定により、これを用いて行われている断層活動時期推定に対し、より正確な時間的情報を提供できる。

（地殻化学部）

中央構造線のアクティブテクトニクス

佃 栄吉

中央構造線（MTL）はおよそ 110 Ma より以前から活動を開始し、約 50 Ma までの運動は左横ずれ運動であったと考えられている。50 Ma 以降は中央構造線全域にわたる活動は見られなくなり、局地的な逆断層運動が認められるだけとなる（砥部衝上など）。さらに、中央構造線に沿う盆地の発達認められないこと、中央構造線を越えて北流する多くの河川が存在することなどから、鮮新世末期までは MTL の活動を積極的に裏付ける地質学的・地形学的現象はない（寒川, 1986）。この peneplanation の時期（5 Ma-2.5 Ma : period of tectonic quiescence）の後、2.5 Ma-0.7 Ma の第 2 瀬戸内期に讃岐山地、和泉山地の隆起が始まり、菖蒲谷層の堆積、逆断層運動が起こっている。その後 0.7 Ma ごろから右横ずれ断層運動を始め、現在までの総変位量として讃岐地域で 4 km、紀伊側で 1.5 km が認められている。すなわち、中央構造線は 2.5 Ma から再び活発に活動するようになり、現在の右横ずれ運動を行っているように見える。

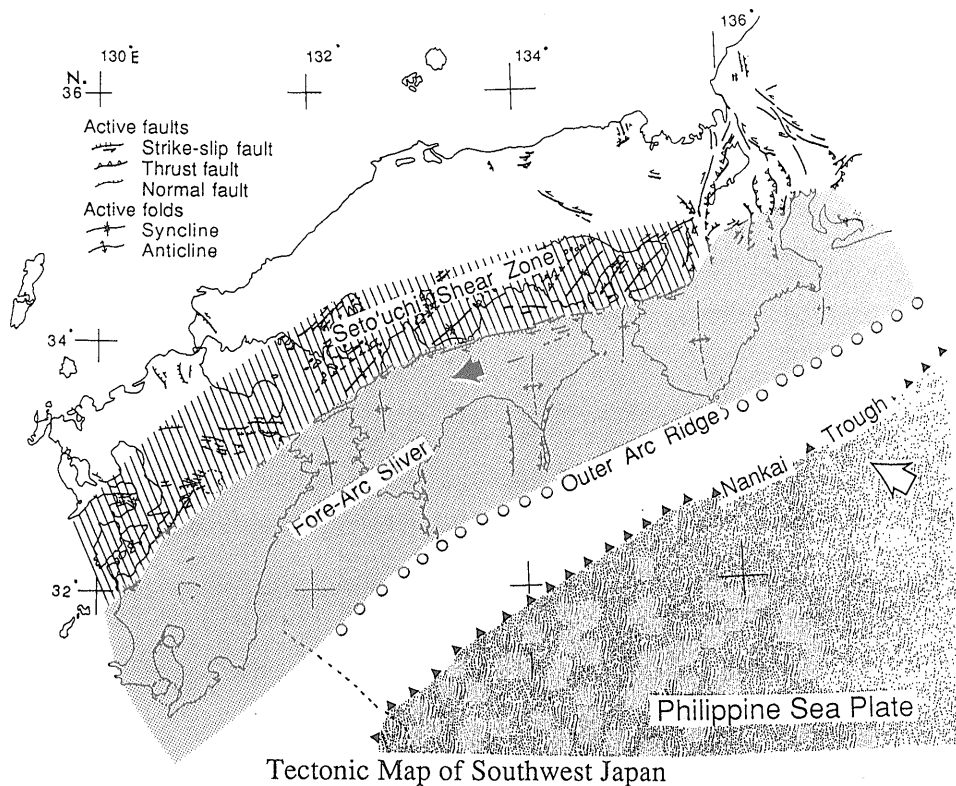
*平成 2 年 2 月 5 日本所において開催

西南日本の主要な活構造は MTL の南の外帯スリバーが西へ移動することによって形成されると考えられる(佃, 1989) (第1図)。MTL の北側の瀬戸内海海域は、大阪湾に代表される、北東に長軸を持つ楕円形の雁行盆地群の配列が特徴的である。この構造は MTL も含めて、幅数十 km の右ずれ剪断帯(瀬戸内剪断帯)として認識することができる。千年あたり数 m の平均変位速度で右ずれ変位をしている、MTL はこの剪断帯の南縁を画する断層である。さらに、この右ずれ剪断帯は、雁行地構群が発達する九州中部の火山地帯へと連続す

る。この右ずれ運動は畑中・島崎(1988)に示された九州北部の変位図にも良く表わされている。

瀬戸内右ずれ剪断帯を形成する原因である、外弧スリバーの西方への移動は FITCH (1972) で示されたフィリピン海プレートのオプリークサブダクションに因るものと考えられる。したがって、フィリピン海プレートとユーラシアプレートが現在のような相対運動をするようになったのは 0.7 Ma まで遡ることができる。

(環境地質部)



第1図 西南日本の活構造図

放射年代からみた中央構造線の活動史

- 柴田 賢¹⁾・高木秀雄²⁾・中島 隆¹⁾
- 白波瀬輝夫³⁾・寒川 旭⁴⁾・杉山雄一⁵⁾
- 内海 茂¹⁾・松本哲一¹⁾・青山秀喜⁶⁾

中央構造線を対象とした放射年代学的研究は、三重県飯南、奈良県吉野・五条、および長野県伊那(経常研

究)の各地域において諸岩石、断層ガウジを対象に行った。また四国の中央構造線露頭の断層ガウジも測定対象とした。中央構造線周辺の岩石の放射年代パターンは、奈良県吉野、三重県飯南、長野県伊那の各地域において、きわめて類似した傾向を示すことがわかった。すなわち、構造線から数百メートルの範囲の領家帯で、カリ長石、ジルコンについて年代の低下が認められる。これに対し三波川帯では構造線の近傍においても年代変化が認められない。

花崗岩の角閃石、黒雲母、カリ長石の K-Ar 年代と閉鎖温度から計算される岩体の冷却速度は、伊那・吉野地域が 23-28°C/Ma であるのに対して、粥見地域は 31-56°C/Ma でかなり大きい。花崗岩のジルコンの F. T. 年代は、中央構造線の近傍においてカタクラサイトの影響を受けたものを除けば、カリ長石の K-Ar 年代にほぼ等しい。このことはジルコンの閉鎖温度がカリ長石のそれと同じく約 150°Cであることを示唆する。

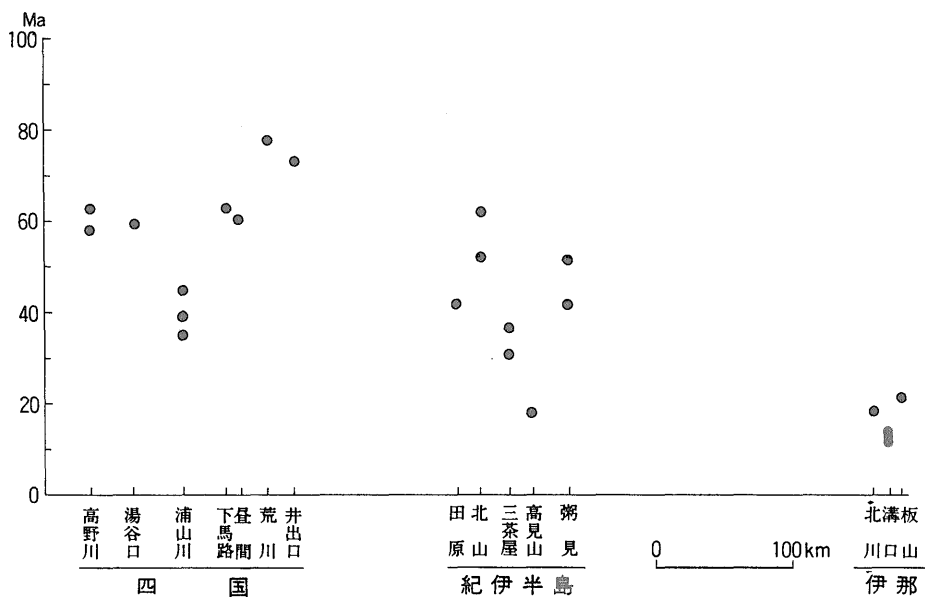
中央構造線の露頭で採取した断層ガウジの細粒部分 (<2 μm) の多くは、雲母粘土鉱物とカオリナイトからなる。雲母粘土鉱物を主とする断層ガウジについて、底面間隔、イライト結晶度指数、2M 型の割合を測定した結果、雲母粘土鉱物に関するこれらの要素には比較的よい相関があることがわかった。断層ガウジ中の雲母粘土鉱物は断層近傍の岩石の年代パターン等から判断して、おそらく地下における熱水変質作用によって生じたものであろう。従って断層ガウジについて求められた K-Ar 年代は、断層活動にともなう熱水作用により雲母粘土鉱物が生成した年代を表わすと解釈される。

断層ガウジの K-Ar 年代は、第 1 図にみられるよう

に、四国のものが最も古く、東に向かって若くなる傾向がある。これは中央構造線の主要な活動時期が東方ほど若いことを示す重要な新発見である。一方、四国の中央構造線や紀伊半島の金剛断層は第四紀後半に活動したいわゆる“活断層”であるが、断層露頭でみられる断層ガウジは年代測定の結果その生成時代は古く、新しい断層活動によって生成したものではないことが明らかになった。これは地表近くで起こる横ずれ成分の卓越する断層活動では、鉱物の年代をリセットする程温度が上昇しないためであろう。

フィンガープリント法による土壌ガス地化学調査を奈良県東吉野村と愛媛県土居町の中央構造線を切る 4 測線について実施した。その結果、全ガス発散量・高質量ガス発散比の違いにより、断層・断裂帯を示す試料とバックグラウンドを示す試料に明瞭に区別できる。特に、吉野地域の鷲家断層は規模の大きい断裂系であることが判明した。

- (¹)地殻化学部 (²)早稲田大学 (³)地質情報センター
 (⁴)近畿・中部地域地質センター (⁵)環境地質部
 (⁶)地質標本館)



第 1 図 中央構造線露頭から採取した断層ガウジ (細粒部分) の K-Ar 年代

領家帯の年代学

中島 隆・内海 茂・柴田 賢

領家帯は主として、西南日本内帯に広く分布する後期中生代花崗岩類のうちでも最も南側に分布する領家花崗岩類と、ジュラ紀の付加体を原岩とする低圧高温型の領家変成岩題から成り、中央構造線にそって九州西部から

長野県まで連続して分布する。

今回、四国西部の高縄半島地域及び奈良県五条地域の領家花崗岩類において、閉鎖温度の異なる角閃石・黒雲母・カリ長石を用いた系統的な K-Ar 年代測定が行われた。すでに同様の方針で年代測定が行われ、公表されている奈良県吉野地域(柴田ほか, 1988), 三重県粥見地域(高木ほか, 1988), 及び長野県伊那地域(柴田・高木, 1988)での結果と合わせて、領家花崗岩類の広域的な総括を試みた。

これらの年代測定は、中央構造線近傍の花崗岩類について行われたが、断層運動による年代の若返りは、断層極近のごくせまい範囲でしか起こっていないこと、その結果、中央構造線から充分離れた地点では、その岩体本来の年代が得られることが確認された。こうして得られた領家花崗岩類の K-Ar 年代は、上記の各地域すべてにおいて、角閃石年代(閉鎖温度約 500°C), 黒雲母年代(同約 300°C), カリ長石年代(同約 160°C), の順に若くなり、基本的にそれぞれの岩体の冷却過程を表わしていると考えられる。領家花崗岩類は、産状・岩相及び貫入関係から、新期領家花崗岩類と古期領家花崗岩類に分類されてきたが、これらの鉱物年代でみる限り、両者の間には、年代においても、冷却速度においても有意の差はみられない。さらに、これまでに報告された領家花崗岩類の年代値を合わせて見ると、新期及び古期領家花崗岩類は年代的な差はなく、一様な冷却速度をもって、全体として西から東に向かって若くなることがわかる。その年代値は、今回の一連の研究で新たに得られた黒雲母年代でみると、四国西部で 90-92 Ma, 近畿地方で 63-80 Ma, 中部地方で 63-65 Ma である。領家変成岩類の年代値は、いずれも K-Ar 黒雲母年代で、その数は少ないものの、上記の領家花崗岩類の広域的年代変化とほぼ一致した分布を示す。

これら領家花崗岩類・変成岩類の年代は、NAKAJIMA *et al.* (1990) によって示された山陽帯花崗岩類の広域的年代分布ともよく一致し、同経度のもの同士比較すると、両者はほぼ同様の年代値をもつことがわかった。このことから、領家花崗岩類と同変成岩類、及び山陽帯花崗岩類は互いに関連して形成されたこと、そしてこれらを形成する場、あるいはテクトニックな条件が、時代と共に西から東へと移動していったことが示される。従って、ユーラシア大陸東縁の後期中生代火成活動は、少なくとも現在の西南日本弧に相当する部分に関しては、大陸縁辺における海洋プレートの定常的沈みこみモデルでは説明できない。

(地殻化学部)

阿寺断層の活動史に関する新データ

山田直利¹⁾・柴田 賢²⁾・佃 栄吉³⁾
内海 茂²⁾・松本哲一²⁾・青山秀喜¹⁾
高木秀雄⁴⁾

阿寺断層は、本州中央部を北西-南東方向に横切る長さ 60 Km 以上の日本では第 1 級の活断層で、若干の北東側隆起成分を持つ左横ずれ断層である。この断層の活動史を年代学的に考察するため、断層周辺地域の岩石 12 試料と断層ガウジ 9 試料を採集して、K-Ar 年代を測定し、またその一部についてジルコンのフィッシュン・トラック年代(以下、FT 年代)を求めた。

阿寺断層周辺地域の地質は、古い方から、美濃帯中生層、濃飛流紋岩類、花崗閃緑斑岩、花崗斑岩、伊奈川花崗岩、苗木・上松花崗岩、小川花崗閃緑岩、瑞浪層群、瀬戸層群、上野玄武岩、段丘堆積物および沖積層からなる。これらのほか、阿寺断層に沿って、流紋岩-デイサイトの岩脈およびデイサイト火山(湯ヶ峰デイサイト)が分布している。また、濃飛流紋岩類の西縁部には同岩類に不整合に覆われる河岐石英閃緑岩が小規模に分布している。

河岐石英閃緑岩の黒雲母の K-Ar 年代は 87.4 ± 1.9 Ma, カリ長石の K-Ar 年代は 77.8 ± 2.4 Ma, FT 年代が 77.2 ± 4.9 Ma で、これらは濃飛流紋岩類の年代の下限を示すものである。濃飛流紋岩類の一部(白川流紋岩類)の FT 年代は、 67.3 ± 3.5 Ma である。

苗木・上松花崗岩は、阿寺断層に近接した部分を除き、黒雲母の K-Ar 年代は 64-67 Ma (6 試料), カリ長石の K-Ar 年代は 56-61 Ma (5 試料), FT 年代は 60-61 Ma (2 試料) である。阿寺断層から 10 m 以内の花崗岩の K-Ar 年代は、黒雲母が 38.2 ± 3.6 Ma, カリ長石が 54.1 ± 1.7 Ma, FT 年代が 54.1 ± 2.7 Ma で、若干の年代の若返りが見られるが、それより離れた試料ではこのような傾向は見られない。中央構造線周辺の岩石については数百 m にわたって年代低下が認められるのに対して、阿寺断層による周辺岩石への影響は断層の真近に限られ、それだけ断層の規模が小さいことを物語っている。

小川花崗閃緑岩の角閃石の K-Ar 年代は 69.8 ± 3.8 Ma, 黒雲母の K-Ar 年代は 66.6 ± 2.1 Ma, カリ長石の K-Ar 年代は 62.2 ± 1.9 Ma である。本岩は各地で苗木・上松花崗岩を貫いているが、年代値はそれとほとんど同一である。

阿寺断層に沿って貫入している坂下町小野沢の流紋岩岩脈の K-Ar 年代 (全岩) は 2 試料共 22.5 ± 0.8 Ma であり, 小坂町若栴谷のデイサイト岩脈の K-Ar 年代は 13.6 ± 0.4 Ma (全岩), 11.8 ± 0.5 Ma (黒雲母) である。また, 湯ヶ峰デイサイトの K-Ar 年代 (全岩) は 0.10 ± 0.01 Ma である。このように, 本地域では, 中新世前期, 中新世中期および更新世後期の 3 回にわたって珪長質の火成活動が行われた。小野沢の流紋岩岩脈は, 花崗岩の破砕帯中に貫入しており, 岩脈自身はほとんど破砕されていない。

阿寺断層による断層ガウジの細粒部分 ($< 2 \mu\text{m}$) の K-Ar 年代は, 39-55 Ma (6 試料) および 23 Ma (1 試料) で, 古第三紀ないし中新世前期を示している。このことは, 上記の流紋岩岩脈についての情報と調和的で, 阿寺断層による主要な破砕・変質作用の時期が従来考えられていた時代 (第四紀後半) よりはずっと古いことを示している。これらの細粒物質は, 雲母粘土鉱物 (イライト), モンモリロナイト, カオリナイト, 混合層鉱物などの混合物であり, 少なくとも雲母粘土鉱物については熱水作用により生成したものと考えられる。

(¹)地質標本館 (²)地殻化学部
(³)環境地質部 (⁴)早稲田大学)

第四紀火山岩の K-Ar 年代測定

松本哲一・宇都浩三・柴田 賢

日本各地から採取した約 30 個の最近噴出した溶岩 (歴史溶岩) のアルゴン同位体比測定を行ったところ, 従来の仮定である大気アルゴン同位体比と一致した試料はわずかに 4 個だけであり, その他は 1 個の例外を除き, すべて大気アルゴンからの同位体分別直線上にプロットされることが判明した。この結果から, 10 万年より若い火山岩の K-Ar 年代測定では, 初生アルゴンが同位体分別を受けても正確に放射起源 ^{40}Ar を定量できるピーク値比較法を採用することにした。

このピーク値比較法によって, 実際に 10 万年より若い火山岩の K-Ar 年代測定を実施したところ, K-Ar 年代 10 万年の試料では誤差 10-20%, 5 万年の試料では誤差 20-30% 程度で測定することができ, 層序的にも矛盾の無い結果が得られた。また, 歴史溶岩のアルゴン同位体比測定の結果から, 現在噴出した溶岩と識別するために最低限必要な経過時間を見積ったところ, 平均的な安山岩質試料 ($\text{K}_2\text{O}: 1.5\%$, 全 ^{40}Ar 量: $1 \times 10^{-7} \text{ml/g}$)

では, 噴出してから 2 年以上の時間が経過していれば充分識別できることが分かった。以上の結果は, 今回新しく確立したピーク値比較法による K-Ar 年代測定によって, 今まで存在していた K-Ar 法と ^{14}C 法の測定限界のギャップ (5-10 万年) を埋めることがほぼ可能であることを示唆している。

2 万年前に噴出した火山岩の K-Ar 年代測定を可能とした本法による今後の応用例としては, 広域テフラの噴出年代を直接あるいはそれら広域テフラの直上または直下に位置する溶岩流の K-Ar 年代から間接的に求めることによって, テフロクロノロジーへの年代情報の提供などが考えられる。

(地殻化学部)

断層ガウジの化学組成

田中 剛*・柴田 賢*・青山秀喜**

精密年代測定による断層活動性評価の研究において, K-Ar 法による年代測定がなされた断層ガウジのうち, 25 試料を中性子放射法により分析した。得られた元素存在度を源岩の種類, 主な粘土鉱物, 産地などとの関連において考察を行った。その結果, 次のことが明らかになった。雲母粘土鉱物に富む試料には K, Rb, La, Ce, Nd, Yb, U が多く含まれ, これらの元素存在度は正の相関をもつこと。Cr はカオリナイトに富む試料に多いこと。カオリナイトと緑泥石に富む試料には Co と Ni が多く存在するが, 両者の存在量に相関がないこと。緑泥石に富む試料には当然ながら鉄が多いこと。鉱物組成によらず, 源岩の岩種によるのは Zr, Hf, Cs, Sc で, 前 3 元素は泉層群中の試料に多く存在すること。源岩とも粘土鉱物ともはっきりとした関係を持たず, 産地により濃度の高い“元素のスパイク現象”がみられるのは, Ta, Zn, Sr, Ba, Sb, Se, As, Br であった。Sb の存在度が高い試料は奈良県, 三重県のもので, スティブナイトの産出で有名な伊予西条市の市ノ川鉱山と類似の地質環境を持つこと。“元素のスパイク現象”が出現するのは全くランダムであること (1 つの元素のスパイクがあっても他の元素は全く平常値)。ガウジへの元素濃縮度は JG-1 に比較した場合, Ni が十数倍, Cs, Cr が約十倍, Sc, Co が数倍, 他の元素は数倍から数分の一の範囲である。

(*地殻化学部 **地質標本館)

第2部 地球化学図による元素のバックグラウンドと人為汚染の 評価技術に関する研究

地球化学図の意義と概要

伊藤 司郎

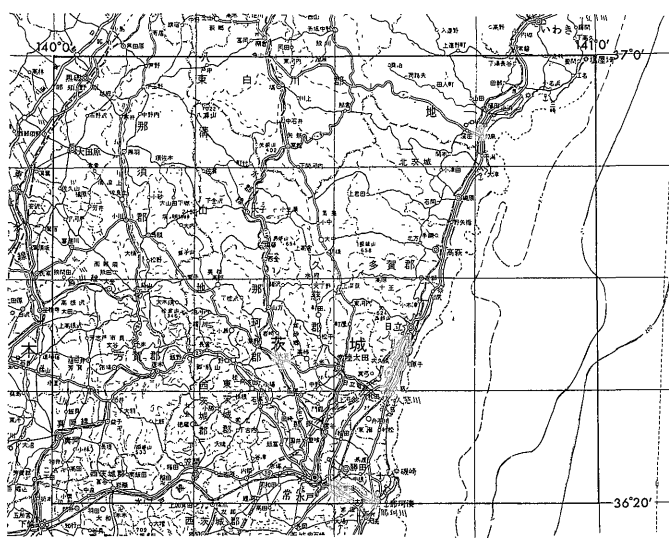
産業公害防止特別研究として昭和60年度より平成元年度までの5ケ年間、地球化学図による元素のバックグラウンドと人為汚染の評価技術に関する研究を実施した。この場合、地球化学図とは元素あるいは元素群の地表分布図のことである。従来この種の分布図は鉱床探査を目的に作成されることが常であった。環境問題に対する寄与を意識して作る場合は従来とは異なる手法が必要である。例えば、従来法では鉱区単位の狭い地域で鉱床指示元素の異常高濃度分布域を画くのみで充分その目的が達せられるのに対して、環境を意識する場合は広域、例えば日本全土、をカバーする出来るだけ多数の元素

の、しかもバックグラウンドレベルの濃度分布図を作成することが求められる。

かなりの速さで日本各地にいわゆるハイテク工場が設立され、また廃棄物処理場などが拡散している今日、多種多量の元素の人為汚染が進行中であると考えられる。これらの汚染が問題となる前に、できるだけ速やかに日本全土の地球化学図を作成する必要がある。理想的には一定期間ごとに重複作成することによって元素の移動様式が明白になる。したがって、特定元素の汚染源や汚染の拡がりに対するデータも得られ、対策を講ずることも容易になると思われる。

本研究は北関東の約4000 km²(第1図)をモデルフィールドとして、日本全土をカバーするケースを想定した時の標準となる手法を開発することを目的とした。

(地殻化学部)



第1図 地球化学図作成のモデルフィールド

堆積層に基づく地球化学図作成の試みと問題点

金井 豊*・坂本 亨**

茨城県北東部に位置する那珂台地をモデルフィールド

とし、そこでの新第三系-現世堆積物を採取して化学組成を明らかにすると同時に、堆積層に基づく地球化学図の作成を試みたので、その結果と問題点について触れた。

那珂台地は、久慈川と那珂川に囲まれた丘陵地であるが、新第三系の旧河谷を埋めるように堆積した引田層・

見和層と幾つかの河岸段丘礫層から構成される。当地における各種堆積物を採取し、 TiO_2 、 Al_2O_3 、 Fe_2O_3 、 MnO 、 MgO 、 CaO 、 Na_2O 、 K_2O 、 P_2O_5 、 Zn 、 Co 、 Ni 、 Cr 、 V 、 Cu 、 Sc 、 Y 、 Sr 、 La 、 Ba 等の主・微量成分を定量して、その堆積層ごとの平均的な化学組成を明らかにした。その結果、当地域の一般的な傾向として、TURIKIAN and WEDEPOHL (1961) の化学組成と比較し Mg 、 Ca 、 Cr 、 La 等の濃度が低く、 Na 、 Sc 等の濃度が高いことが明らかになった。

さらに、これらのデータから堆積層に基づく地球化学図の作製を試みた。那珂台地を1分ごとのグリッドに分割し、その中の地質に相当する試料をそのグリッド内の地質の代表点とする手法で、銅と亜鉛について例示した。

このような手法は、代表試料としての試料の均質性や試料採取地点の任意性、分析するまでの試料調製にかかる手間などの問題点は幾つか有るものの、

- (1) 新鮮な岩石そのものの化学組成が明らかになる
 - (2) 岩石学的・地球化学的な基礎データとして活用できる
 - (3) 人為汚染の少ない試料を採取することができる
 - (4) 地質図との対応で、各地層の元素濃度の違いとローカルな変動とを併せて理解することができる
- 等の利点を有していることが明らかになった。

(*地殻化学部 **元 地質部、現 名古屋大学)

地球化学図作成のための試料及びその採取法

伊藤司郎・今井 登・金井 豊
岡井貴司・田中 剛・富樫茂子
宇都浩三・上岡 晃

鉱床探査を目的とした地球化学図では、岩石、土壤、河床堆積物、地表水、植物、空気などが試料として採取される。環境問題を意識した広域の地球化学図作成のためには、広域を効率よくカバーし、容易に採取できる利点を持つ河床堆積物が最適と考えられる。

河床堆積物は採取地点より上流域の化学組成を代表していることを仮定し、それに基づいて各元素の濃度分布図を作成する。したがって、この仮定が成立するような試料採取法が求められる。モデルフィールドにおける実行経験を経て得られた野外作業標準マニュアルの概要は以下の通りである。

- i) 試料採取地点は本・支流合流付近において支流側の河床とする。本流側は川沿に約 2 km ごとに採取点

を決める。ii) 試料はマイナス 80 メッシュとし、現場で河水を利用してふるい分ける。iii) 80 メッシュのふるいを通して河床堆積物は No. 5 A 程度の汙紙で汙過し、紙封筒さらに布袋に入れて運送し、できるだけ速かに風乾した後、スチロール製ビンに移して保存する。iv) 試料は川の中央部、流水下にある堆積物を原則とするが、現場によっては中州または岸寄りの適当な堆積物であってもよい。v) 現場において、河床の状況、川巾、水深、流速、流水の状況、河川中の試料採取位置、川の両側の土手の状況などを野外データシートに記入する。

このような野外作業は作業員 2 名で約 20-30 分で終了することがモデルフィールドで確かめられた。

(地殻化学部)

ICP 発光分光法による河床堆積物の 迅速分析とその問題点

今井 登

誘導結合プラズマ発光法 (ICP) は多数の元素を比較的簡単な操作で迅速に分析することができるため、地球化学図のような大量の試料を測定する必要があるときには最適の方法である。しかしながら ICP 測定には試料を溶液化する操作が不可欠であるため、河床堆積物の分析においては、酸に溶解しにくい磁鉄鉱やチタン鉄鉱が多量に含まれる場合があり問題となる。また、鉱床地帯や都市部で Cu や Zn などのいくつかの元素が濃集して非常に高い値を示すことがあり注意が必要である。

測定においてはまず、河床堆積物に主成分として含有する Fe 、 Al 、 Mg 、 Ca 、 Na 、 K 、 Ti による分光干渉の補正を行った。大きな干渉を示すのは Fe と Ti であり、この両元素が高濃度で含まれる場合は注意が必要である。

次に試料を粒度別に分けた場合、各元素の濃度がどのように変化するかを検討した。その結果細粒の試料になるほど明確な濃縮傾向を示すのが Cu 、 Pb 、 Zn 、 Cr であり、 Ni は 400 メッシュ以下でのみ濃度が高く、この他の元素では明らかな濃縮傾向を示すものはなかった。

試料の分解法については、まず混酸による分解法として硝酸-過塩素酸-フッ化水素酸及び塩酸-硝酸による分解法を検討し、炭酸ナトリウム-ホウ酸による融解法と比較した。磁鉄鉱やチタン鉄鉱を多量に含む試料で検討を行った結果を第 1 表に示す。硝酸-過塩素酸-フッ化水素酸による分解を行った時には黒い不溶解の残渣が残る

第1表 酸分解と融解法による比較

	HNO ₃ - HClO ₄ - HF	HCl- HNO ₃	Na ₂ CO ₃ - HBO ₃	残査
SiO ₂	—	—	43.04	18.18
Al ₂ O ₃	12.25	2.15	12.19	0.58
Fe ₂ O ₃ T	23.83	7.99	25.29	46.31
MnO	0.21	0.12	0.22	0.44
MgO	2.28	0.56	2.44	3.92
CaO	4.05	0.56	4.01	0.36
Na ₂ O	1.36	0.06	—	—
K ₂ O	0.27	0.07	0.29	—
TiO ₂	9.53	0.81	10.98	32.50
P ₂ O ₅	0.068	0.072	0.070	0.01
Ba	194	46.1	193	—
Co	10.7	9.4	9.4	—
Cr	87.0	31.1	115	407
Cu	5.5	6.9	8.0	24.1
La	10.8	6.2	10.2	12.1
Ni	0.4	0.3	1.2	59.0
Pb	—	—	—	—
Sc	35.3	4.9	37.8	90.6
Sr	159	22.9	159	1.1
V	797	352	869	2059
Y	12.9	5.8	14.6	90.6
Zn	182	99.6	185	308

SiO₂-P₂O₅の濃度は%, Ba-Znの濃度はppmで示した。

(5.3 W%) が、これが完全に溶解すると考えられる融解法と比較すると Fe, Ti, Mg, Cr, V がやや低値を与える傾向を示した。不溶解残査のみを融解して分析した結果を第1表に併せて示したが、Fe, Ti, Mg が主成分であり、他に Cr, V の濃度が高く上記の事実と一致した。また硝酸-塩酸分解ではいずれの元素も低値を与えることがわかった。以上のことから、河床堆積物の分析には簡単に迅速な前処理法として硝酸-過塩素酸-フッ化水素酸の分解法を用いることとした。本法により1日で25個、1月で500試料の分析が可能であった。

(地殻化学部)

機器中性子放射化法による多試料・多元素 自動分析システムの開発

上岡 晃・田中 剛

地球化学図の作成に使用される大量の河床堆積物の分析を目的とし、標記システムを開発した。本システム

は、その測定対象を玄武岩-花崗岩の組成を持つものと、ある程度限定することにより、分析値の信頼性を高め、かつコンピュータ制御による高度の自動化によって効率的な分析を可能にする、という方針で設計されたものであり、次のような特徴を持つ。

①主として微量成分(39元素)を測定対象とする。

②測定試料は石英管に封入し、放射化後テフロンチューブで保護する方法をとるため、力学的破損を受けにくく、また調製も簡単である。

③自動試料交換装置を装備しており、最大30試料の連続自動分析が可能である。また、測定者の放射線被曝も少なくできる。

④測定からデータ解析に至るまで、コンピュータで制御されるため、手計算等の必要はない。

⑤スペクトルデータ解析においては、あらかじめJB-1及びJG-1のγ線スペクトルを用いて、元素ごとのピーク領域・ベース領域を他ピークの干渉を受けない位置に定め、それらをピーク中心から相対的に設定しておく方法をとった。ピーク中心の絶対的なチャンネル位置は個々の測定のたびに校正を行って求められるため、検出器の温度変化等によるピーク位置移動の影響を受けない。

以上のような特徴を持つ本システムの、様々な地質試料への適合性を検定するため、地質調査所発行の岩石標準試料「火成岩シリーズ」17種すべてを分析し、文献値(1986値)と比較検討した。その結果、元素によっては次のような問題点があることがわかった。

①希土類元素・クロム・トリウム等、微量の副成分物質に濃集しがちな元素については、本システムで用いられる100mg程度の分析試料量では、それらの鉱物の偏在に起因する分析値のばらつきが見られた。ただ、河床堆積物の場合、それらの変動は多くの場合20-30%以下であり、地球化学図としての実用上は問題ないであろう。

②酸性岩等、ウラン含有量の多い試料では、その核分裂の影響でジルコニウムの分析値が高くなることがある。これは、試料と同時にウラン試薬を中性子照射することにより、補正できる。

③かんらん岩等、クロム含有量が数千ppmと多い試料では、その後方散乱γ線の干渉により、セリウムの分析値が見かけ上高くなることもある。

④標準物質として岩石標準試料を用いる場合、その化学組成の文献値そのものの信頼性に問題があると、未知試料の分析値の誤差も大きくなってしまふ。例えばBCR-1を標準としたクロムの測定値は、系統的に30%

程度高くなってしまった。このような場合には、試薬を標準物質とした測定が有効である。

以上のような問題点もあるものの、分析値の約80%は、1986値と数%の範囲内で一致した。残りについても、半分以上は、検討の結果むしろ1986値の方に問題があることが判明した。よって、本システムが、様々な組成を持つ地質試料の非破壊自動分析に充分適したものであることが示された。

以上のシステムにより、年間約1000試料のルーチン分析が可能となり、昭和62年3月設置以来、大きなトラブルもなく、河床堆積物約2500試料が分析された。

(地殻化学部)

試薬を標準物質に用いた機器中性子放射化法によるクロムの定量

富樫茂子・上岡 晃・田中 剛

クロムは、火成岩などの成因を議論する上で重要な元素である。しかし、岩石標準試料の報告値は分散していることがあり (GLADNEY and BURNS, 1983, 山重・寺島, 1986 および上岡・田中, 1989), 岩石標準試料の値を基準とする機器分析を行う上で問題となる。そこで、本報告では、濃度既知の試薬を標準試料とし、中性子放射化分析法で、岩石標準試料のクロム濃度を精度よく測定し、これまでの報告値と比較検討した。

GSJ 標準試料 JP-1, JB-1, JB-1 a, JB-2, JB-3, JA-3, JGb-1, JA-1 および USGS 標準試料 G-2, BCR-1 の試料についての測定結果を ANDO (1987) および GLADNEY and BURNS (1983) によるコンセンサス値と比較すると、コンセンサス値の誤差の範囲で両者は一致している。

BCR-1, JB-1 などのクロムのコンセンサス値の変動が大きいのは、高濃度のクロムを含むアクセサリ-鉱物に起因する試料の不均一によるものと推定される。

このようにクロムに関して不均一な天然の標準試料を基準として用いるのに比べ、本法の様に、既知濃度の試薬を基準として用いることは、クロムの測定の確度を向上させる上で有効である。

(地殻化学部)

地質調査所作製の岩石標準試料の均質性

寺島 滋・岡井貴司
安藤 厚・伊藤司郎

岩石標準試料における均質性の確保は、分析標準としての利用はもとより、異なる手法、研究機関における共通分析試料としても重要である。本研究では、これまでに地質調査所で作製された“火成岩シリーズ”15試料、“堆積岩シリーズ”9試料の均質性を検討するため主成分 (Fe₂O₃, MnO, MgO, CaO, Na₂O, K₂O) と微量成分7元素の分析を行った。

ほとんどの試料中の各成分について不均質はなかったが、JA-2中のMgO, JLS-1中のMnO, MgO, Na₂O, JSI-1中のCaO, JSI-2中のMnO, CaOでは変動係数2-10%の試料の不均質に由来すると考えられるばらつきが認められた。主成分で不均質の認められた試料ではいくつかの微量成分にも不均質があったが、主成分に不均質のない試料では認められなかった。

試料の不均質は、主としてsplit番号の異なる試料の分析において生じており、同一試料びんおよび同一split番号の試料の分析におけるばらつきは分析誤差以下であると判断された。試料の不均質に起因するばらつきは、現時点における共同分析のデータのばらつきと同程度かそれ以下で特に問題とはならないが、分析標準としての利用では注意が必要である。本研究の詳細については地調月報, vol. 41, p. 129-138を参照されたい。

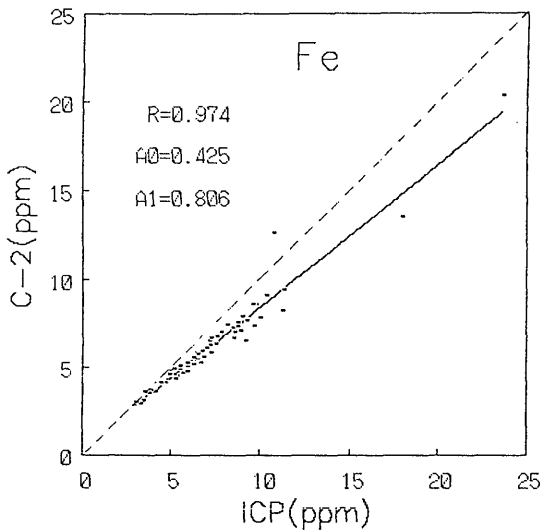
(地殻化学部)

河床堆積物分析値の実験室間系統誤差

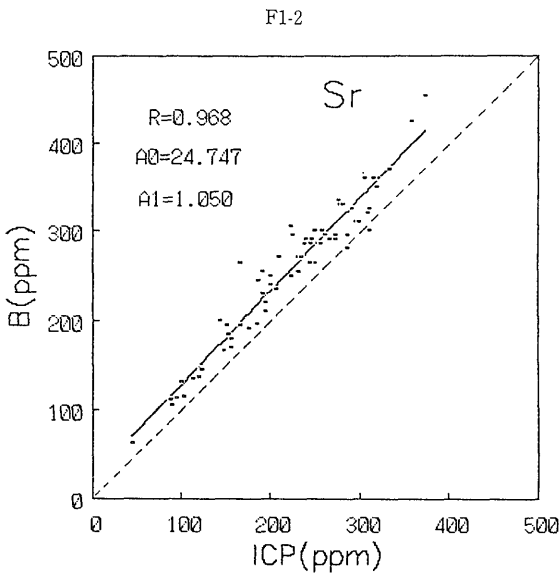
伊藤司郎・上岡 晃

全国規模の地球化学図を作成する場合は、膨大な数の試料を短期間で分析する必要がある。これは単独の実験室では困難であり、同一手法を用いた多数の実験室による、迅速な分析を組織する必要がある。このような場合に予想される実験室間の誤差を検証するために、同一試料群を複数の実験室で分析し、得られた結果を比較した。

一部の元素 (例えばCrなど) を除くと、二実験室間または異なる分析法 (例えばICP法とINAA法) 間の分析値の相関係数は0.95以上であり、良い相関を示した。しかし、殆んどの場合絶対値は一致せず、それらに



第1図 実験室Cと地調実験室間のICP法によるFeの分析結果の対比図
(R: 相関係数, A0: 実線が縦軸を切る値, A1: 実線の係数)



第2図 実験室Bと地調実験室間のICP法によるSrの分析結果の対比図

系統的偏差が生じていることが明らかとなった。

この系統的偏差には2種類があって、その1つは第1図に示されているような回転バイアスと呼ばれるものであり、他の1つは第2図に見られるような平行バイアスと称せられるものである。

ICP法やAAS法の場合は、分析線の強度を標準溶液の強度と比較して定量する。この標準溶液は市販の元素ごとの標準原液(通常1000ppm)を希釈して準備するのが一般的な方法である。ここで標準溶液に実験室ごとあるいは分析試料群ごとに差異(希釈率の誤りなど)が発生していると、その間に回転バイアスが生ずる。また、希釈する純水に一定量の分析元素が混入していると平行バイアスが生ずることが考えられる。

通常の化学実験室においては上記のような事態が生じないよう細心の注意が払われる。しかし、ルーチン化した分析においては、しばしばこのような事態が生ずることを予想した上で対策を講じておくことが必要かと思われる。対策としては、日々の分析試料群に必ず共通標準試料を入れておき、その分析結果を用いて日々の全分析値を補正する方法、または分析試料の3分の1は重複分析試料とし、標準溶液を作り代えた場合の全体の整合性を保つ方法および両方法を併用することなどが考えられる。

(地殻化学部)

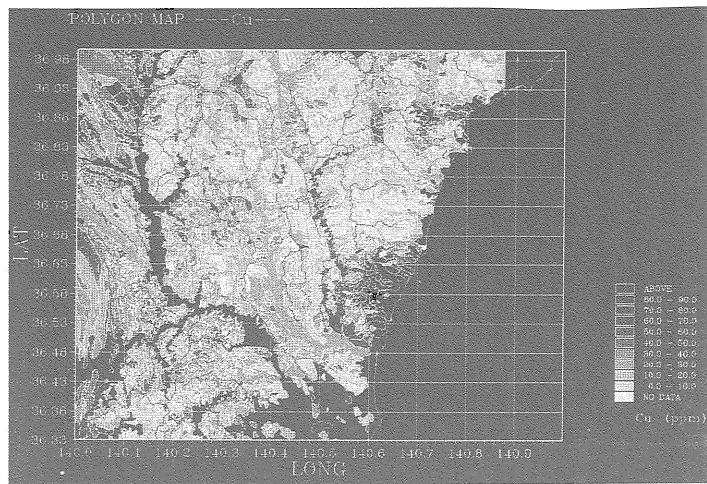
コンピュータマッピングによる地球化学図作成システムと出力例

上岡 晃・伊藤司郎

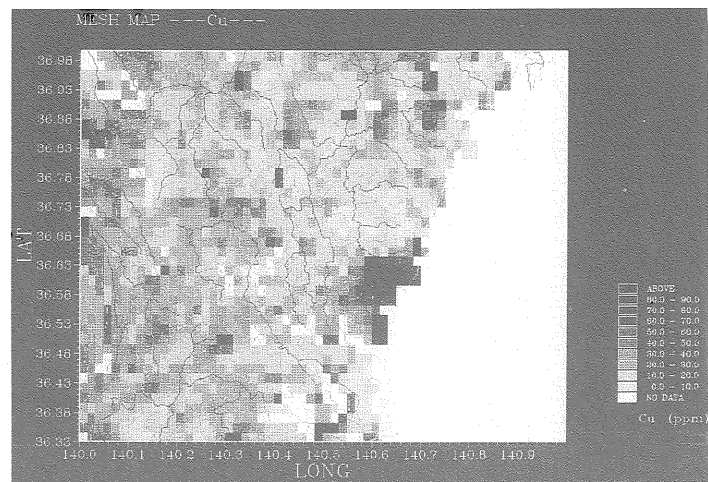
地球化学図の作成は、約4000個の試料の50元素以上の分析値等、大量のデータに基づいて行われるため、コンピュータ処理が不可欠である。本研究では、32ビットワークステーションを用い、地球化学図を作成するシステムを開発した。

まず基本となるデータベース部分は、市販のソフトである「日本語UNIFY」を用いて構築された。入力されたデータは、53元素の分析値、河川流量・河床の状況などの野外データ、等である。また、試料が代表する領域(採取点上流域をポリゴンで表わしたもの)、主要な河川・稜線・海岸線等、地形図上の情報も、デジタルイザを使用して緯経度データとしてファイル化された。

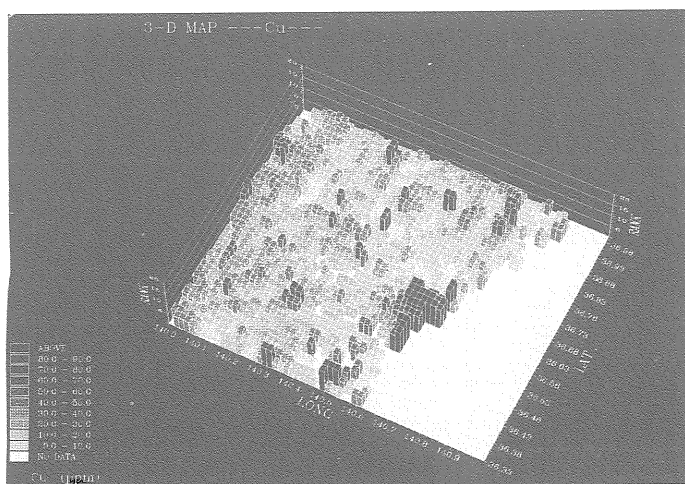
以上のデータベースから抽出された分析値は、まずポリゴンデータとリンクされる。次にそれを基にデータのメッシュ化、元素濃度によるランキング等の処理を経て、各種地球化学図が作成される。画像データは、コンピュータのCRTの他、高解像度プロット出力用イメージファイルへも出力できる。この他、抽出データに対して、因子分析・主成分分析・クラスター分析等、多変量統計解析を行うことも可能である。さらに、算出された



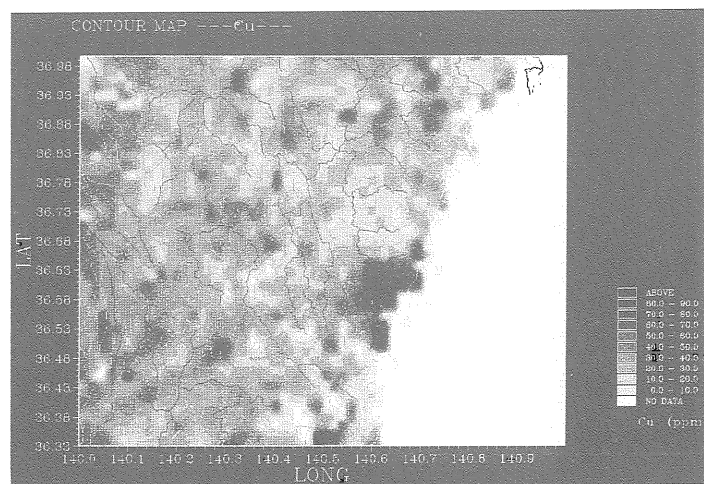
第1図 ポリゴンマップ



第2図 メッシュマップ



第3図 3次元柱状図



第4図 コンターマップ

因子得点及び主成分得点によるマッピングも可能であり、多数の元素の情報が集約された地球化学図が作成できる。

第1図-第4図は、モデルフィールド全域における、銅の各種地球化学図の出力例である。図では、日立鉱山周辺や日立市街地等での銅の濃集が明らかである。なお、これらの例以外にも、移動平均による平滑化を行ったメッシュマップ等や、3元素の濃度を光の3原色の階調に割当てて重ね合わせた図も出力できる。セリウム・クロム・ウランの3元素をそれぞれ赤・緑・青に割当てた例では、中・古生界の堆積岩、阿武隅花崗岩類、日立変成岩類、等の露出する地域が、色調の違いとして明瞭に識別できた。さらに、花崗岩地域の一部におけるセリウムの異常濃集等、地質図では得られない情報もはっきりと検出された。

(地殻化学部)

地球化学図で見い出された希元素 高度濃集帯について

田中 剛*・上岡 晃*
今井 登*・神谷雅晴**

地球化学図による元素のバックグラウンド評価に関する本研究の途中、茨城県多賀郡・久慈郡及び高萩市にわたる堅破山・妙見山地域から採集された試料には、1000 ppm以上のセリウムを含むものがあり、その周囲には数百 ppmの含有量を持つものが高頻度で出現することがわかった。

セリウムに富むものは他の軽希土やジルコニウムにも富んでいる。また河川堆積物試料を重液で分画し、それぞれを分析すると、セリウムに富むものは、比重が3.3以上の最も重い部分であった。同試料中には、実体顕微鏡による観察の結果、多量のモナズ石やジルコンが見い出された。希土類元素を多く含む河川堆積物の希土類元素存在度パターンは、そこから取り出されたモナズ石のパターンに、その傾きやユーロピウム異常の程度が極めてよく似ており、河川堆積物中の希土類元素の多くがモナズ石に由来することがわかった。

さらに、セリウム・サマリウム・ルテチウム・ジルコニウム・ハフニウム・トリウム・ウランの各元素存在度について、因子分析を行った。バリマックス回転を行った結果、固有値の大きい方から2つの因子が合計で80%以上の寄与率を持ち、第1因子が軽希土及びトリウムと、第2因子が重希土・ジルコニウム・ハフニウム・

ウランと、それぞれ強い相関を持つことがわかった。そこで、因子得点によるマッピングを行ったところ、第1因子得点の高い区域は大まかに鳥峯根岩体に相当し、第2因子については上君田と入四間岩体に相当することがわかった。しかし、その分布は岩体の形と必ずしも一致せず、岩体内部での分化に伴う元素の偏在が表れているものと考えられる。今後、ネオジムの同位体による元素の起源を究明することが必要であろう。

(*地殻化学部 **鉱物資源部)

地球化学図の全国展開と今後の展望

田中 剛・伊藤司郎

国土の基本情報は理学の物理・化学・生物・地学の各分野に対応している。高低などの物理量を表わす地形図、生態系の情報を表わす植生図、地学に基づく地質図。これらはそれぞれ1つ以上の研究機関が取組んでいる。では、化学に基づく国土基本情報は何だろうか?イギリス・西ドイツ・オーストリアなど欧米先進諸国は地球化学図による全国カバーを完成した。科学先進国?日本において地球化学図の全国カバーはどれ程のマンパワーと予算を要するものか?今回の研究の総括からその割り出しを試みた。

まず、今回の地球化学図プロジェクトにおいて使用された予算を用途項目別に解析を行った。次いで、使用されたマンパワーの種類(研究者、アルバイトなど)をそれぞれの用途(技術や装置の開発、試料採集、ルーチン分析、アルバイトへの指示など)による分類と解析を行った。そして、それぞれの量を今回のモデルフィールド(4000平方キロ、4100試料)から日本全国(37万平方キロ、37万試料)にスケールアップを試みた。スケールアップに際しては次の仮定に基づいた。

- ① 試料採集のマンパワーと経費は試料数に比例する。
- ② 分析はICPマス(50元素・50試料/日)で行う。
- ③ ②項の消耗品・アルバイト量は試料数に比例する。
- ④ ②項のルーチン化・開発量は本研究と同額とする。
- ⑤ ②項の研究員のマンパワーは(試料数比)^{1/2}に比例する。
- ⑥ コンピュータの設備経費は(試料数比)^{1/2}に比例する。
- ⑦ コンピュータの消耗品・アルバイト量は試料数に比例する。
- ⑧ 研究者のコンピュータ関連労力は(試料数比)^{1/2}に比例する。

⑨ 地球化学図の全国カバーは 10 年間で完成する。

以上の仮定に基づくスケールアップの結果、研究者の出張は 23850 人・日。そのための旅費は約 3 億円。それに伴う人夫賃やレンタカー代などが約 6 億円。分析およびデータ解析に要する備品が 3 億円。室内作業のアルバイトが 40000 人・日で約 2 億円。消耗品が約 1.5 億円。総額で 15.5 億円で、諸経費を加えると年間 2.5 億円の予算が必要である。室内研究に要する研究員は 11000 人/日、フルタイム専従 5 名余である。試料採集は年間 50 日の出張を仮定すれば 48 名となる。

研究員のマンパワーを要する試料採集と分析を外注した場合経費は 1/20 万地形図 1 枚ぶん 6000 個で約 1 億円と見積られている。この場合、外注費が 60 億円。加えて所内での解析作業と諸経費を入れると 80 億円、年間

8 億円が必要と思われる。

外注は研究者が“つまらなく評価されない仕事”に携わる時間を減らし得る。しかし、それは長期的にみても良策であろうか？世界的に Geologist の仕事が減少しているなかで、米国ニュージャージー州では新たに 100 人以上の Geologist (学部卒以上) が州の環境保全部に雇用され、公害関連問題にそのフィールド調査能力を果敢に発揮しているという (Geotimes, vol. 34, no. 12, 1989)。地球化学図の全国カバーが日本の国土基本情報として環境問題の解決に大きく役立つことはもちろんであるが、地球環境時代を生き延びる地質調査所にとって糊口の資とはならないだろうか。

(地殻化学部)