

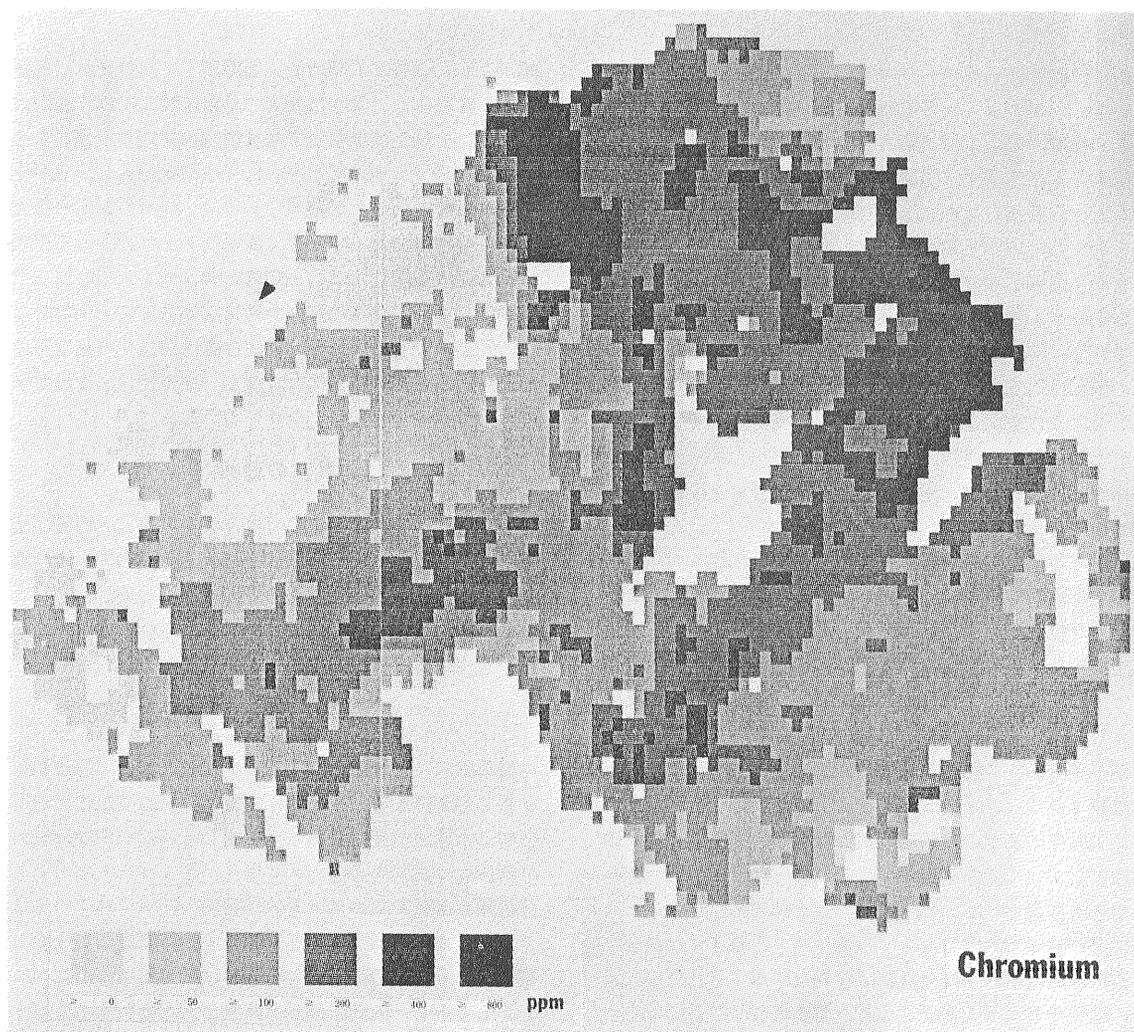
# 地球化学図と人為環境汚染の評価

伊藤 司郎 (技術部)  
Shiro Itoh

公害の予測・予防に使えるような地球化学図作成のための標準マニュアルを作る研究が60年度より5ケ年の計画でスタートする。“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”と題する公害防止技術特別研究である。その研究概要と期待される成果を紹介したい。

## 地球化学図

地球化学図は地表における元素の濃度分布を表わした図のことである。調査地域を細かく(例えば1km グリッドに)分割し各ブロックを代表させる特定物質(例えば河川堆積物)を分析して特定元素の濃度を求め図化する。縮尺度の大きな図になると数ブロックの平均値が作図に用いられる。全国規模になれば 丁度天気予



第1図 アイルランドの地球化学図 (Cr)



第2図

中国のKeshan 病の発生分布図。

これらの地域は土壌または水中のSeの量が他より低いことが判り この病気はSe欠乏症であると疑われている (CHENその他,1980)。Keshan病は急性心不全からショック 肺浮腫 不整脈 僅かな心不全による死亡などの臨床観察で特徴づけられている。

報に使われているアメダスのように 広い地域 (例えば 100km<sup>2</sup>) が1点として扱われるようになる。この場合この地域内の全ての試料の平均値が採用される。

もともと地球化学図は広域的な鉱床探査もしくはポテンシャル評価のために作られてきた。この場合 鉱床を形成している元素または元素群の地表における濃度分布が主な関心事である。これらの元素のバックグラウンドレベルでの濃度差は基盤岩の違いによると考えられている。基盤岩に鉱化作用があれば それに伴う元素の増加は地表の濃度分布にも現われることが期待される。このような変化を捕えるために 地域によってまたは探査対象の鉱床の種類によって 採取すべき試料の種類や採取密度 分析法 作図法などにさまざまな工夫が施されてきた。

探査対象を鉱床から公害源に置き換えれば 人間にとって有毒な元素の根源を探り 対策を立てることにこの手法を役立たせることができそうである。しかし 鉱床探査は過去の鉱化作用を探し出すことであるのに対して 公害源は現在進行中の現象を捕えなければならない。

したがってこの場合は目的の変化に応じた手法の変更が必要であり 濃度分布の時間的変化を予測することも必要である。

土壌や地表水の化学組成が食物連鎖を通じて人間の健康におおいに関係しているらしいことは 風土病の存在からも推察されている。どの成分がどんなメカニズムでどの病気の原因になっているかは さまざまな角度から広域的に検討されなければならないが それには広域の地球化学図が大変役立つことであろう。

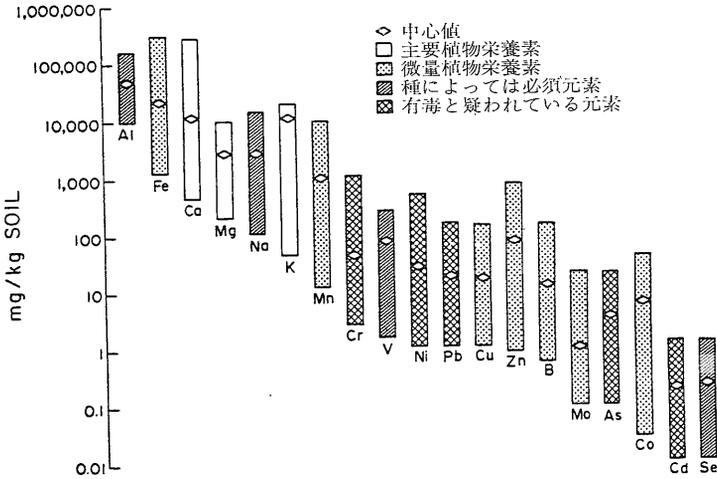
地質図から地表の元素の分布を読み取ることがかなり

難しい。特に人間の健康と関連して注目され 痕跡量しか存在しないような元素の分布に関しては一層困難である。例えば堆積岩では堆積時の組成の変化が大きく 火成岩でも周縁部と中心部では微量元素の組成が全く異なっていることが普通である。岩石の風化の程度は気候や地形によって大きく異なり それに伴って土壌の化学組成も変化する。時代と共に埋もれてしまった鉱山跡や製錬場跡も地質図からは読み取ることができない。このように 元素の地表分布はかなりの程度基盤地質に起因しているとはいっても 地球化学図を地質図で代用させるわけにはいかないのである。

### 試料の種類

地球化学図を作るために分析される試料は 岩石 土壌 河川堆積物 湖底堆積物 地表水 植物から選ばれる。いずれもある特別な環境の下では最適試料とされるが 通常は土壌と河川堆積物が採用されることが多い。その理由は以下のような各々の長所・短所から判断できる。

**岩石試料**：地球化学図用として考えた場合 岩石試料は多くの欠点を有している。まず 岩石は風化の程度に応じた組成の変化があり 風化していない新鮮な試料の採取には試錐を必要とする場合が多くコスト高である。分析用に調製するコストも他の試料に比べて高くつく。さらに 岩石試料は採取地点のごく狭い地域しか代表し得ないし 人為汚染に関する情報は全く持っていない。しかしながら 人間の健康に直接かわりのある土壌や地下水の組成は周辺の岩石の性質に大きく影響を受けて



第3図 汚染を受けていない土壌に含まれている金属元素の濃度範囲と中心値（データは BOWEN, 1979）

いることは常に考慮されていなければならない。

**土壌試料：**土壌試料は気象 地形 灌水域など土壌形成過程に影響を与える多くの因子によって 短距離でその組成に著しい変化がみられる。そのため 岩石試料と同様に ごく狭い地域を代表させるしかない。しかしながら 容易に試料採取ができることや何よりも 食物連鎖を通じて 人間の健康に直接かかわりを持っている鍵物質であることから 地球化学図作成には 高密度の土壌調査が理想とされる。しかしこれは 広い地域を対象とする場合は極めて非経済的である。

**河川堆積物試料：**活動中の河川の河床に堆積している物質は 採取点より上流の全域における土壌および岩石の風化侵蝕産物の混合試料に近似していると考えられることができる。この広い地域の代表性を維持するために 試料は採取地点周囲の土手の崩壊に由来する物質を避け川の中央部に採取される。代表される流域の面積が小さい程 その近似性は大きくなる。河川堆積物の化学組成は川水よりも季節変動が小さく安定しており しかも川水の溶存組成とかなりの相関関係があって 水質のガイドとして用いることができることもある (THORNTON and WEBB, 1979)。しかしながら 長い水路を運ばれている間の分別的沈殿 MnやFeの水酸化物の沈殿や有機物の混入による重金属元素の濃集 多量のCaCO<sub>3</sub>の沈殿による重金属元素濃度の希釈など 地球化学的データ解釈上 留意すべき点も多い。このような問題点もあるが 組成の安定性 広域の代表性に加えて 試料採取および分析試料調製が容易なことから 広域の地球化学図を作る場合はほとんど河川堆積物の分析データが使用される。

**湖沼堆積物試料：**周囲の陸地から湖沼に運び込まれる懸濁無機物質は河川堆積物と同質である。しかし 金属元素の運搬 固定 沈積の各過程で作用する因子の数は河川堆積物の場合よりはるかに多く複雑である。カナダや北米東部地帯で広域的組織的に調査されたことがあるが 環境的視点からの意義はまだ充分研究されていない。

**地表水試料：**地表水の化学組成および懸濁負荷量には 日変化や季節変化があつて 広域にまたがる地球化学図に地表水を対象とすることは適当と考えられていない。しかし 地表水は土壌と同様に人間の健康と直接かかわりのある物質であるから ある場合には河川堆積物による地球化学図より得られた知見に基づいて 定常的な水質モニターを勧告される地域が新たに見出されることも考えられる。

**植物試料：**ある種の植物がある特定の元素を好むことを利用して 生物地球化学が探鉱に使われることがある。しかし 環境問題に関連した地球化学図に植物試料が使われた例はない。その最大の理由は 植物の種類や年齢や部分によって化学組成の変化が大きく 結果の解釈が困難であることにある。

### 分析 法

鉱床探査用に作られてきた地球化学図の場合に較べて 環境問題用に作られる地球化学図では分析の内容はより厳密さが要求される。

例えば 鉱床探査では多数の試料の中の少数の異常値が主な関心事で バックグラウンド値はそれ以上の興味の対象とはならない。また バックグラウンドレベルで

第1表 地殻・岩石・土壌の微量元素の平均存在量 (ppm) (LEVINSON, 1974)

元 素	地 殻	超塩基性岩	玄武岩	花崗閃緑岩	花崗岩	砂 岩	頁 岩	石灰岩	土 壤
Ag	0.07	0.06	0.1	0.07	0.04	—	0.05	1	0.1
As	1.8	1	2	2	1.5	1	15	2.5	1.50
Au	0.004	0.005	0.004	0.004	0.004	—	0.004	0.005	—
B	10	5	5	20	15	35	100	10	2-10
Ba	425	2	250	500	600	—	700	100	100-3000
Be	2.8	—	0.5	2	5	—	3	1	6
Bi	0.17	0.02	0.15	—	0.1	—	0.18	—	—
Br	2.5	1	3.6	—	2.9	1	4	6.2	—
Cd	0.2	—	0.2	0.2	0.2	—	0.2	0.1	1
Cl	130	85	60	—	165	10	180	150	—
Co	25	150	50	10	1	0.3	20	4	1-40
Cr	100	2000	200	20	4	35	100	10	5-1000
Cs	3	—	1	2	5	—	5	—	6
Cu	55	10	100	30	10	—	50	15	2-100
F	625	100	400	—	735	270	740	330	—
Ga	15	1	12	18	18	12	20	0.06	15
Ge	1.5	1	1.5	1	1.5	0.8	1.5	0.1	1
Hg	0.08	—	0.08	0.08	0.08	0.03	0.5	0.05	0.03
I	0.5	0.5	0.5	—	0.5	1.7	2.2	1.2	—
Li	20	—	10	25	30	15	60	20	5-200
Mn	950	1300	2200	1200	500	—	850	1100	850
Mo	1.5	0.3	1	1	2	0.2	3	1	2
Ni	75	2000	150	20	0.5	2	70	12	5-500
Pb	12.5	0.1	5	15	20	7	20	8	2-200
Rb	90	—	30	120	150	60	140	5	20-500
Sb	0.2	0.1	0.2	0.2	0.2	—	1	—	5
Se	0.05	—	0.05	—	0.05	0.05	0.6	0.08	0.2
Sn	2	0.5	1	2	3	—	4	4	10
Sr	375	1	465	450	285	20	300	500	50-1000
Te	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	—	0.01	—	—
Th	10	0.003	2.2	10	17	1.7	12	2	13
Ti	5700	3000	9000	8000	2300	1500	4600	400	5000
Tl	0.45	0.05	0.1	0.5	0.75	0.82	0.3	—	0.1
U	2.7	0.001	0.6	3	4.8	0.45	4	2	1
V	135	50	250	100	20	20	130	15	20-500
W	1.5	0.5	1	2	2	1.6	2	0.5	—
Zn	70	50	100	60	40	16	100	25	20

の分析の精度に対する要求は弱く 場合によっては検出限界以下に落されることも稀ではない。これに対して環境問題では バックグラウンドレベルそのものが興味の対象であり 正確に決定されなければならない。実際 ある金属元素が異常に低い地域がある種の風土病との関係から注目されることがある。その風土病がその元素の欠乏が原因かもしれないという疑いに根拠が得られるかもしれないからである。

また 環境問題に関係した分析は公開が原則であり それ故に 異なる実験室および分析法による追試に耐えられる程の正確度が要求される。対照的に探鉱プロジェクトのほとんどは秘密に包まれており 同一実験室での一貫性だけで充分である。

このように環境問題における分析法は 特に低レベルでの分析に工夫が必要であり 同時に地球化学図作成のためには 高生産性および低コストという探鉱プロジェクトの場合の分析の特長は そのまま維持されなければならない。

### 作 図 法

試料の採取位置と分析データから 各種の地球化学図が作られるが 広域の地球化学図になると取扱うデータの数は膨大なものとなる。

例えば 本研究では 4000km<sup>2</sup>のモデルフィールドから 4000個の試料を採取する予定であるが もし30成分を分析すると 120,000の分析データと約 40,000の野外データを取り扱うことになる。この野外データには緯度・経度・高度の位置データや採取地点の川巾 水量 川床や土手の状況などのデータが含まれる。日本全土 (372,000 km<sup>2</sup>) を対象とする場合は 平均 2 km<sup>2</sup> 当たり 1 試料の密度と仮定して 約558万の分析データと約186万の野外データを取り扱わねばならない。

このような膨大なデータを取扱うにはコンピュータの力を借りるしかない。入力および検索の容易なデータバンキングシステムを構築し 図化に必要な計算プログラムと結び付ける必要がある。

図化に際してどのような計算が必要かはこれからの研究課題であるが 英国で出版された地球化学図を例にとると まず 試料採取および分析の誤差に由来するノイ

第2表 Eh および pH の条件変化に伴う微量元素の相対的拡散性 (PLANT&RAISWELL, 1983)

相対的拡散性	環 境 条 件			
	酸 化 帯	酸 性	中性～アルカリ性	還 元 帯
非常に高い	Cl, I, Br S, B	Cl, I, Br S, B	Cl, I, Br S, B Mo, V, U, Se, Re	Cl, I, Br
高	Mo, V, U, Se, Re Ca, Na, Mg, F, Sr, Ra Zn	Mo, V, U, Se Ca, Na, Mg, F, Sr, Ra Zn	Ca, Na, Mg, F, Sr, Ra	Ca, Na, Mg, F, Sr, Ra
中	Cu, Co, Ni, Hg, Ag, Au As, Cd	Cu, Co, Ni, Hg, Ag, Au As, Cd	As, Cd	
低	Si, P, K Pb, Li, Rb, Ba, Se Bi, Sb, Ge, Cs, Tl Fe, Mn	Si, P, K Pb, Li, Rb, Ba, Be Bi, Sb, Ge, Cs, Tl	Si, P, K Pb, Li, Rb, Ba, Be Bi, Sb, Ge, Cs, Tl	Si, P, K
非常に低い または殆んど 拡散しない	Al, Ti, Sn, Te, W Nb, Ta, Pt, Cr, Zr Th, Rare, earths	Al, Ti, Sn Nb, Ta, Pt, Cr, Zr Th, Rare earths	Al, Ti, Sn, Te, W Nb, Ta, Pt, Cr, Zr Th, Rare earths	Al, Ti, Sn, Te, W Nb, Ta, Pt, Cr, Zr Th, Rare earths S, B Mo, V, U, Se, Re Zn Cu, Co, Ni, Hg, Ag, Au Co, Cu, Ni, Hg, Ag, Au As, Cd Pb, Li, Rb, Ba, Be Bi, Sb, Ge, Cs, Tl

ズを減らすために移動平均値を計算する。この操作はまた特殊な農場や地質に起因する非常に局地的な地球化学的特質をぼかして広域の特長を浮び上がらせる効果もある。次に全データの頻度分布から一定の濃度範囲ごとに試料を分類し各濃度区分ごとに一定の色を割当てて地形図上に図化している。この区分けの仕方は機械的に累積個数が10%に達するごとにその濃度で切っていく方法および頻度分布図をみた上で経験的に濃度区分を決める方法の二通りが採用されている。複数の元素の共存関係を示す図では濃度ごとに与えられている色を元素ごとに交えて重ね合わせるという手法が示された。

移動平均法においては一定の面積(正方形または円形が普通)を試料位置図上に設定し(これを窓という)その内に入ってくる試料のデータの平均をとって窓の中心にプロットする。窓はサーチライトのように連続的に移動していくので条件さえ整えば陸上のどの地点にでも計算値を与えることが可能である。したがってその値を用いて地球化学的トレンドを示すようなコンターマップを作成することもできる。

### 地球化学図の利用

地球化学図は地質図や地形図と同様に国土基本図の1種と考えられる。したがって信頼性の高い地球化学図を作成すること自体に意義があり専門分野によって

様々な利用の仕方が考えられるであろう。

地球化学図を作る立場から予想できる利用のされ方として以下のような事が考えられる。

1. 鉱床探査：前述したように地球化学図はもともと鉱床探査のために作られた。この場合広域とは云ってもたかだか数百km<sup>2</sup>で元素も数種類にすぎなかった。

しかも鉱床探査の目的には特定の元素で異常に高い値を示す少数の試料のみが注目されその他の多数のバックグラウンドレベルの試料はほとんど無視されてきた。しかし最近では例えば金鉱床を伴う花崗岩は鉱床を伴わない花崗岩に較べて金含量が高いらしいと云われており信頼できるバックグラウンドレベルのデータが求められるようになってきている。

2. 人為汚染：地質図から読み取れる基盤岩石が風化作用を受けて岩石中の元素は二次的に拡散していく。このような自然拡散と人間の経済活動や生活に伴って付加される元素とがあって地球化学図はそれらの情報を包含している。様々なケース・スタデーと地域対比を通じて自然拡散(バックグラウンド)と人為的付加量とをそれぞれ算出する技術を確立することは本研究の目標の一つとなっている。

3. 環境問題：バックグラウンドにしる人為的にしるある特定の元素が地域の環境にある量以上に存在し

たりある量以下であつたりすることが食物連鎖を通じて人間の健康に影響をおよぼすことはよく知られており最近の研究特に発ガン性物質の研究はそのような元素の種類が増大していることを示している。地球化学図は各種微量元素に関して総合的データを提供するのでこのような公衆衛生学的研究において対立した母集団を抽出するための適切な地域を選定するのに格好な資料となるであろう。

4. 農業問題：適当な量の重金属（例えば Cu Co Fe Mn Mo Zn）は農産物に必須であることが知られている。これらの元素の不均衡は穀物の収量低下 家畜の生産性の低下 不毛化などの結果を与える。このような動植物の病理学的現象を研究し改良し予防するのに地球化学図は大変重要な基礎資料となるであろう。

#### 各国の地球化学図作成計画

現在 国土の地球化学図作りで最も進んでいるのはイギリスである。Imperial College of Science and TechnologyのWEBB 教授らが北アイルランド（13,500km<sup>2</sup>）の地球化学図を1973年に出版したのに続いて イングランドとウェールズ（合わせて約151,000km<sup>2</sup>）の地球化学図を1978年に完成させた。後者の地球化学図には50,000個の河川堆積物試料の分析データが用いられている。ロンドンなど都市部は除いているので結果的に平均2.5km<sup>2</sup>当たり1試料の密度で試料が集められている。この試料を採取するのに2人×28チームで10週間を要したと報告している。

西ドイツでは地質調査所が地球化学図作成を計画し1977年に開始した。1982年までに全国土（249,000km<sup>2</sup>）をカバーする河川堆積物145,640試料および河川水80,000試料を採集し分析を完了させている。都市部を除外すると平均1.5km<sup>2</sup>当たり1試料の密度となる。1984年秋頃まで出版が予定されていたが多少遅れているようである。

アメリカ合衆国では U.S. Department of Energy が National Uranium Resource Evaluation 計画を1975年より開始している。この計画では アラスカを含む約7,830,000km<sup>2</sup>をカバーする約600,000試料の河川堆積物（1試料/13km<sup>2</sup>）と約310,000試料の地下水を採集して多元素の分析が行なわれているのでウラン資源の評価ばかりでなく多目的の地球化学図の作成にも利用されるものと考えられる。

その他 中国 スウェーデン フィンランドでも計画が進行中のようである。

我が国では 1984年3月に秋田大学の椎川教授らが秋田県のほぼ半分強（5,400km<sup>2</sup>）をカバーする14の元素の地球化学図を公表した。しかし 試料採取法 分析試料調製法 分析法 図化法の全てに 経済性 迅速性 信頼性の観点から難があり 全国カバーのための標準マニュアルとはなり得ない。

#### 本特別研究の概要

茨城県北部とその周辺の4,000km<sup>2</sup>をモデルフィールドとして選んだ。東経140°～140°45′ 北緯36°20′～37°の範囲の陸域部である。この地域は那珂川 久慈川の流域が大半を占め 北部は山岳地帯が 南部は平野部が優る。地質的には 東部阿武隈山地を構成する花崗岩類 変成岩類および日立古生層 中央部の八溝山塊から鷲の子山塊を構成している砂岩 頁岩 チャートをもつ古期岩類 久慈川流域の凝灰岩 凝灰質泥岩をもつ第三紀層 および平野部の段丘地帯を占める第四紀のローム層に大別することができる。

この地域から河川堆積物 土壌 岩石 地表水などの試料が採集されるが 上述したように地球化学図には河川堆積物のデータが主として用いられる。研究期間の初めの段階で 4,000個の河川堆積物試料を採集する計画である。

河川堆積物試料は篩分けされて80メッシュ（0.18mm）以下の粒子が分析の対象となる。試料を乾燥してから篩分けるか 篩分けしてからマイナス80メッシュ分だけを乾燥させるかの二通りが考えられる。イギリスでは前者の方法 秋田大学では後者の方法が採用された。場所によって大きく変動するが 50gのマイナス80メッシュ分を得るのに 粒径1cm以下の河川堆積物が約1kg（水分を含む）必要である。したがって前者の方法の場合 試料採取現場での所要時間は短かくてすむが試料の乾燥のための広い施設と長時間を必要とする。一方 後者の方法では 採取現場の川水を用いて試料の篩分けを行なうので 現場作業時間はかなり長くなるが試料の乾燥は容易である。ただし 微細粒の粒子は篩分け時に流失してしまうことが考えられる。このような両方法の利害得失をコストおよびスピードの両面から検討する。

可能な限り多数の元素の濃度範囲を明らかにする計画で 誘導プラズマ発光分光法 中性子放射化法 原子吸光法のなかから 元素によってまたその濃度によって最適と考えられる分析手段が検証される。この場合 膨大な試料数のことを考慮すると 分析前処理法も含めた分析法は特にスピードが重視されることになる。充

分な感度と精確度を保持した上で 高スピード・低コストの方法が追求されることになる。

これらと平行して 研究期間の中段では 生産されるであろう大量の分析データや野外データを貯蔵するのに最適なデータベースが検討され データを入力する計画である。これらのデータはコンピュータによって加工され 最終的な地球化学図となって出力される。出力される地球化学図は単元素用ばかりでなく 数元素の多重図示や 濃度コンターマップと地質図の重複図および鳥瞰図など利用し易い表現法を研究する計画である。

また 多数の元素の分析データや野外データを総合的に解析するための各種の統計計算(例えば回帰分析 主成分

分析 因子分析 クラスター分析など)やシミュレーション技法を用いて 元素の移動の有様が明らかにされれば、汚染系の評価に役立たせることができると考えている。

#### 引用文献

- BOWEN, H. J. M. (1979). "Environmental Chemistry of the Elements". Academic Press.
- CHEN, X. et al. (1980). *Eiol. Trace Elem. Res.* 2, 91-107.
- LEVINSON, A. A. (1974). "Introduction to Exploration Geochemistry". Applied Publishing Ltd.
- PLANT, J. A. and RAISWELL, R. (1983). In "Applied Environmental Geochemistry". Academic Press.
- THORNTON, I. and WEBB, J. S. (1979). *Phil. Trans. R. Soc. Lond.* B288, 151-168.

#### 新刊紹介

##### 日本の地質学——1970年代から1980年代へ——

地質学論集 第25号 518ページ 日本地質学会会員頒価3,500円  
「日本の地質学」刊行委員会(委員長:端山好和)編 日本地質学会刊 1985年3月

日本地質学会は1968年にその創立75周年を記念して「日本の地質学」を刊行した。その直後すなわち1970年代から80年代前半にかけて 刊行委員長の言葉を借りれば 地質学の世界はまさに疾風怒濤の時代を迎えた。そして 刊行委員長が本書の「まえがき」で2ページにわたって要約・記述しているように 日本の地質学の各分野は 国際的・学際的な研究体制の進展 高度の研究機器の開発と普及を背景として 急速に著しく発展した。この間 とくに国際的な研究協力が日本列島周辺海域の地質構造の解明に貢献し ニュージーランドのテクトニクスや微化石研究の進展は日本列島の構造発達史の書きかえを導き あるいは地質学と社会のかかわりあいが大きくなるとともに環境地質学が発展してきた。

このような事情から 日本地質学会が1983年に創立90周年を迎えたのを記念して 当時の執行委員会において本書の刊行が検討・計画され 評議員会で承認された後組織された刊行委員会で行実務がすすめられてきた。

本書は「日本の地質学」以降これまでの地質学各分野における研究の進展・現状を具体的にまとめたものであり その間実際に研究の進展を担ってきた若手の研究者層を中心とした約50名の執筆者によって書かれた33論文から構成されている。各論文においては いずれもこの数10年間の歩みが詳細にレビューされて 今後の課題が指摘されている。引用文献は各論文ごとにつけられている。地質学の分野は非常に多様であり また細分化している。本書にもりこまれていない分野も非常に多い。また議論の内容については見解を異にする研究者もあるに違いない。しかしすべての分野を網羅することは事実上不可能である(33論文だけで厚さ3cmの刷り上りとなっている)。このようなことがあるとしても 本書は1980年代の中葉においては日本の地質学論分野の現状をまとめて把握する上に職域・専門・年齢層を問わず

必要不可欠なものと云える。また 将来日本の地質学の歴史を考察する際に「日本の地質学」とならんでこの「新」「日本の地質学」は貴重な資料を提供することは疑いないところであろう。構成は次の通りである。

#### 第I部 日本列島の地史

中・古生界の微化石層序と西南日本の中生代造構史の最近の諸問題 北上山地の中・古生層: 研究展望 グリーンタフ変動の諸問題 第三系の層序と古地理 第四紀層序学 日本列島周辺における最近の海洋底の研究 島弧—海溝系のテクトニクス

#### 第II部 地質構造の解析

西南日本の中・古生代造構作用の諸問題—高圧変成等の造構作用 阿武隈変成帯の造構作用 北海道中軸部の構造帯—その構成性格および構造運動— 新生代地質構造の研究 第四紀の地殻変動

#### 第III部 岩石学と鉱物学

島弧の火山活動と安山岩マグマの発生 白亜紀—古第三紀酸性火成活動 花崗岩系列の提唱と発展 変成岩と変成帯 我が国における鉱物の微細組織研究の進歩—電子顕微鏡の鉱物学への応用に関連して— 高温・高圧下における鉱物の合成・相平衡からの地球内部の理解 南極隕石の発見とその研究システム 日本の隕石学

#### 第IV部 堆積物の研究

堆積相と堆積環境 堆積岩無機物の研究 堆積岩有機物の研究 第V部 同位体地質学

日本における同位体岩石学の進歩 地質年代学における技術的進歩と日本における年代学的研究 古生物資料の同位体を用いた古環境解析

#### 第VI部 資源・環境問題と地質学

日本における鉱床学の進展—特に花崗岩類に伴う鉱床と黒鉱々床の研究 日本における石油地質学の進歩 環境地質学 自然災害地質学 広域地下水シミュレーションの発展 地熱開発と利用

#### 第VII部 地学教育

地学教育の諸問題 (水野篤行)