

北関東の地球化学図

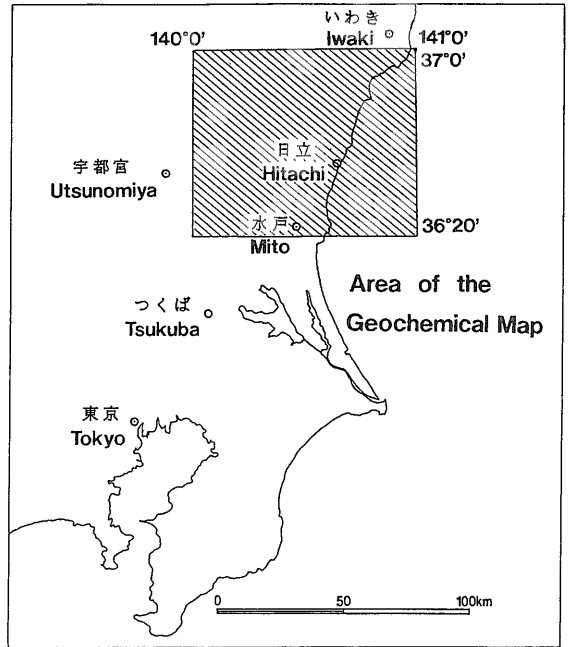
上岡 晃¹⁾

1. はじめに

国土の基本情報の一つである地球化学図は、欧米諸国では1970年代後半から1980年代を中心として全国土をカバーするものが発行されている(例えばWebb *et al.*, 1978). わが国においても、地球環境への関心の高まりと共にその重要性が認識されつつあり、環境評価を目的とするものが宮城県仙台市周辺(今井ほか, 1997)や愛知県の一部(Tanaka *et al.*, 1994; 田中ほか, 1995)などで作成されて来ている。地質調査所では、それらに先立ち、1985年度から5年計画で環境庁予算の国立機関公害防止等試験研究「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の研究」として、わが国の特質に合った地球化学図の作成法の研究を行い(上岡ほか, 1990; 上岡ほか, 1991)、北関東の地球化学図を出版した(伊藤ほか, 1991; 田中ほか, 1992)。本稿ではその概要を述べる。

2. モデルフィールド

茨城県北部、栃木県東部、福島県南部にまたがる約4,000km²の地域(第1図)を地球化学図作成のモデルフィールドとした。これは、国土地理院発行の20万分の1地勢図「水戸」の北半分および「白河」の南半分にあたる。この地域は、堆積岩、変成岩、花崗岩、火山噴出物など、表層地質が多様であり、かつ日立鉱山や高取鉱山などの金属鉱床も存在する(第2図)。また平野、山地、都市、田園など、地形や土地利用の点でもバラエティーに富んでいる。このため、様々な条件下での地球化学図作成法を研究するうえで好都合であり、また地質調査所の存在するつくば市から比較的近いというメリッ



第1図 地球化学図作成のモデルフィールド。

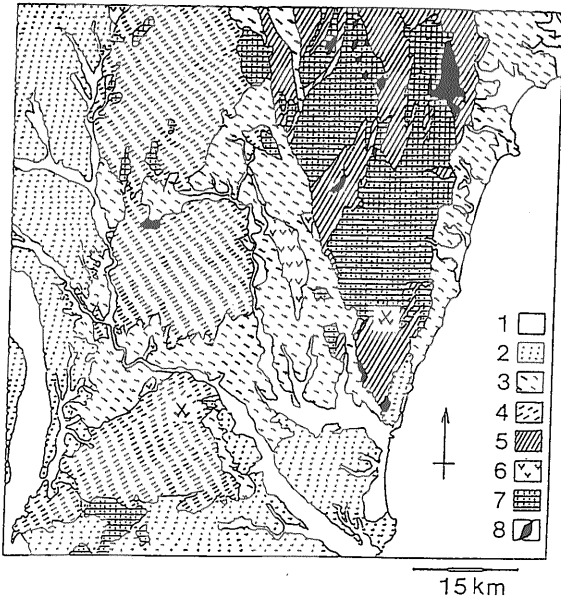
トもあって本研究のモデルフィールドとして選定された。

3. 試料と採取法

地球化学図作成のための試料は、主として河川堆積物を用いた。日本は山地が多く、河川系が発達しているため、広い地域を効率良くカバーするためには河川堆積物が最も適していると考えられる。河川堆積物はその上流の後背地に存在する物質の平均的な組成を示していると考え、ひとつの試料の分析値はその後背地を囲む閉領域に付随する情報として捉えることができる。

ひとつの河川系に着目すると、まず河口で試料
キーワード: 地球化学図, 北関東, 河川堆積物

1) 地質調査所 地殻化学部



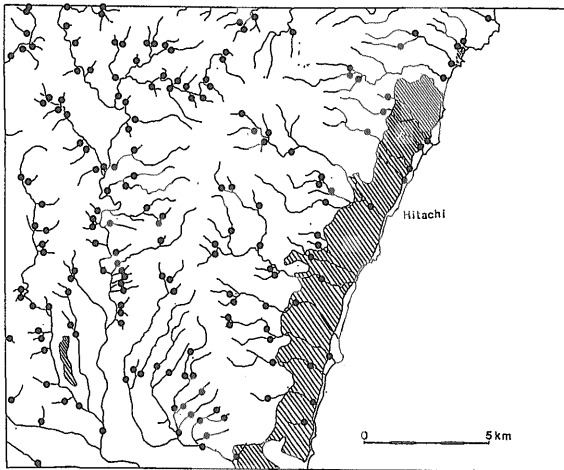
第2図 モデルフィールド地質概略図。日立鉾山(海岸線中央部)および高取鉾山(南西部)の位置も示されている。各番号は以下の地質区分を表す。

1. 第四紀河岸段丘
2. 第四紀洪積層
3. 第三紀層
4. 中・古生代堆積岩(八溝層群)
5. 古生層起源変成岩類
6. 安山岩質火山岩
7. 花崗岩類
8. はんれい岩

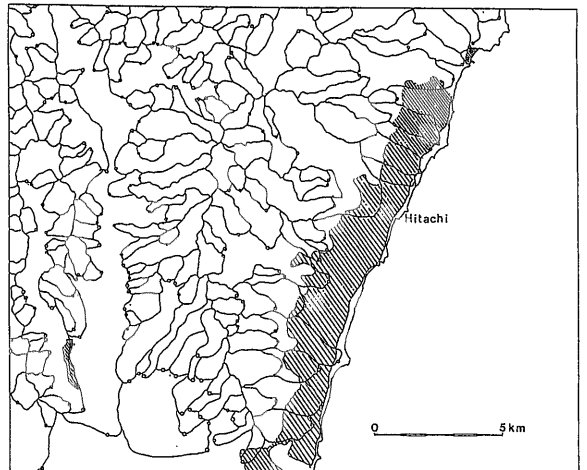
を採取し、それ以外は全ての支流について本流との合流点付近でサンプリングすれば、全流域がカバーできることになる。例として第3図aに、国土地理院5万分の1地形図「日立」の範囲内の河川および試料採取点を示す。第3図bは同じ範囲について試料の後背地を示す閉領域が描かれており、第3図aに示された試料でこの地域が効率よくカバーされていることがわかる。

試料採取点においては、河川のできるだけ中央部で採取した堆積物から、まず16メッシュ(粒径

1mm)のふるいを通るものを集め、それからさらに80メッシュ(粒径 $180\mu\text{m}$)のふるいを通るものをペーパーフィルター上に集めて最終的な試料とした。ふるい分けの際は現地の水を流しながら行った。通常、数kgの堆積物を処理して数10gの試料が得られる。なお、このようなふるい分けを行った場合、粒度による化学組成の違いによって化学組成が元の河川堆積物から変化してしまう可能性も考えられるが、予備実験により、80メッシュ以下を分析試料とする場合には問題ないことが確かめられた(今

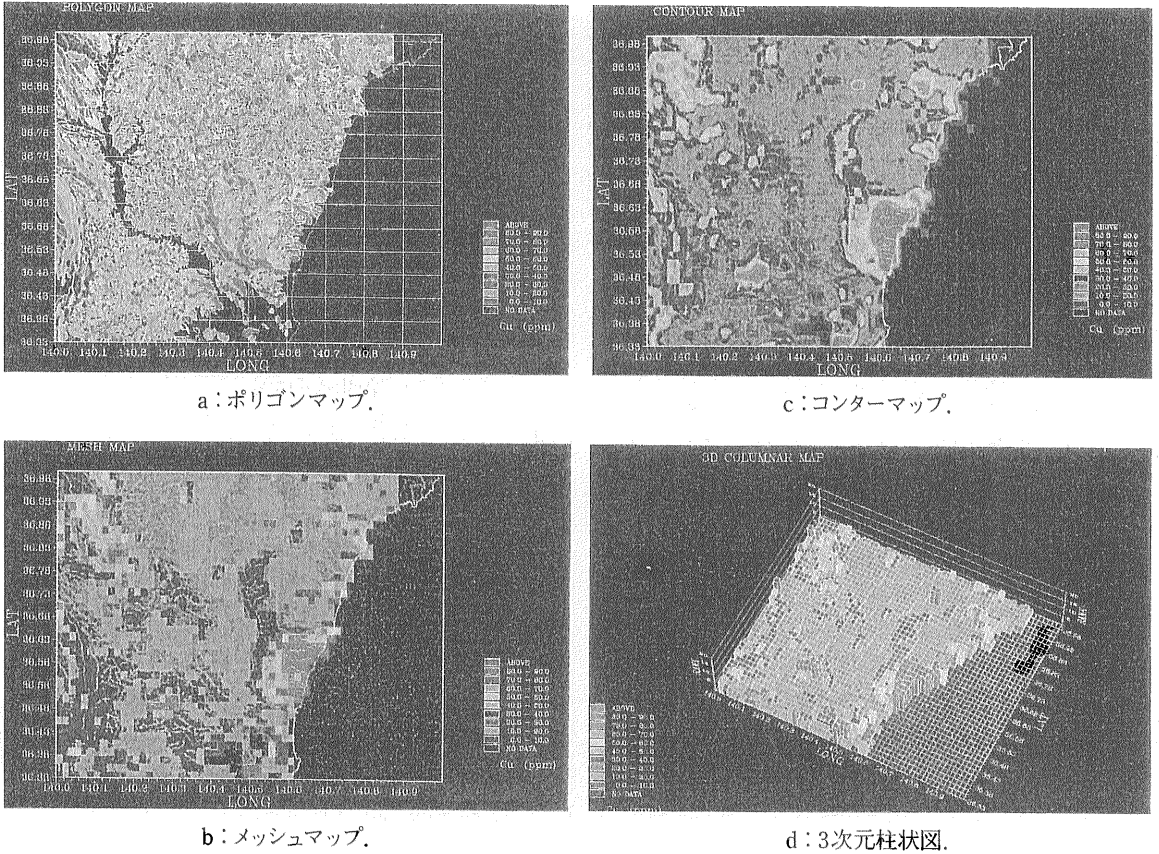


a: 河川およびサンプリングポイント。



b: 同一地域について各試料の後背地を閉曲線で示したもの。

第3図 サンプリングポイントの例。国土地理院5万分の1地形図「日立」の範囲。斜線部は市街地を示す。



a: ポリゴンマップ.

c: コンターマップ.

b: メッシュマップ.

d: 3次元柱状図.

第4図 各種表現法による地球化学図. すべて銅の地球化学図で、ワークステーション画面のハードコピーである.

井, 1987). 以上の手法により, 少量で採取点の化学組成を代表する試料が得られる.

このように採取時のふり分けによって試料を少量化・細粒化することは, 試料の実験室への輸送や一時保管の際に便利であること, 分析する際に粉砕する必要がないために手間が省け, また粉砕過程に伴うコンタミネーションも防止できることなど, 多数の試料を効率良く処理するうえで大きなメリットがある.

試料採取の密度は1km²あたり1個程度とし, モデルフィールド全体で約4,000個の河川堆積物試料が採取された. 試料は実験室に持ち帰って風乾し, そのまま分析に用いた.

4. 分析法

多元素・多試料を効率よく測定できる手法として, ICP発光分光分析法(ICP)および機器中性子

放射化分析法(INAA)を用いた, また一部の試料は分析業者への外注によっても行った(手法はICPおよびINAA). 以上の手法により, 主成分・微量元素あわせて53元素(第1表)が分析された.

ICPによる分析は, 試料約0.2gを硝酸-過塩素酸-フッ化水素酸で溶解し, シーケンシャル型のセイコー電子工業SPS-1200によって行った. 本分析法により, 主成分7元素, 微量元素9元素の分析が300試料/月のペースで行われた(今井, 1987).

INAAにおいては, 試料自動交換装置を装備したγ線自動測定・解析システムを開発した(田中ほか, 1988). 試料約0.1gを石英管に封入し, 日本原子力研究所のJRR-4原子炉, T照射孔で40分間中性子照射を行って放射化した. 測定は, 高純度ゲルマニウム検出器(オルテックGEM20180)およびマルチチャンネルアナライザー(セイコーEG&G 7800-8A2)を用い, 微量元素を中心とする39元素の分析が, 80試料/月のペースで行われた.

第1表 分析対象とされた元素および分析法。

element	ICP	NAA	A	B	C	element	ICP	NAA	A	B	C
Be (ppm)				○	○	Cd (ppm)				○	○
F (ppm)						Sb (ppm)		○	○		
Na (%)	○	○	○	○		Cs (ppm)		○	○		
Mg (%)	○			○		Ba (ppm)	○	○		○	
Al (%)				○		La (ppm)		○	○		
P (ppm)	○			○		Ce (ppm)		○	○		
K (%)		○		○		Nd (ppm)		○	○		
Ca (%)	○		○	○		Sm (ppm)		○	○		
Sc (ppm)		○	○			Eu (ppm)		○	○		
Ti (%)	○			○		Tb (ppm)		○	○		
V (ppm)	○			○	○	Dy (ppm)		○			
Cr (ppm)	○	○	○	○	○	Tm (ppm)		○			
Mn (ppm)	○			○		Yb (ppm)		○	○		
Fe (%)	○	○	○	○		Lu (ppm)		○	○		
Co (ppm)	○	○	○	○	○	Hf (ppm)		○	○		
Ni (ppm)	○	○	○	○	○	Ta (ppm)		○	○		
Cu (ppm)	○			○	○	W (ppm)		○	○	○	
Zn (ppm)	○	○	○	○	○	Re (ppb)		○			
As (ppm)		○	○			Os (ppb)		○			
Se (ppb)		○	○			Ir (ppb)		○	○		
Br (ppb)		○	○			Pt (ppb)		○			
Rb (ppm)		○	○			Au (ppb)		○	○		
Sr (ppm)	○	○	○	○	○	Pb (ppm)	○			○	○
Zr (ppm)		○				Bi (ppm)				○	
Mo (ppm)			○	○	○	Th (ppm)		○			
Ru (ppb)		○				U (ppm)		○			
Ag (ppb)		○	○	○	○						

ICP：ICP発光分光分析。NAA：機器中性子放射化分析。A, B, C：分析業者への外注。
A社は放射化分析。BおよびC社はICP(フッ素のみイオン選択性電極による)。

5. コンピューター処理による地球化学図の作成

地球化学図作成のためのデータ処理はワークステーション(東芝AS3060C)を用いて行った。データ処理の詳細は上岡(1992)に述べられている。分析値や河川流量など各試料に付随する情報を入力し、基本データベースを構築した。このデータベース部分は、市販のリレーショナルデータベースソフト(日本語UNIFY)を利用した。また、各試料の後背地を囲む閉領域、海岸線、主要な河川・稜線等の地理情報は、デジタイザーを用い、緯度・経度で表される点データの集合として入力した。

以上のデータベースから元素名、範囲等を指定して地球化学図作成のための分析値データを抽出する。分析値データは試料に付随する閉領域(ポリゴン)と結合され、元素濃度によるランク分けな

どを経て画像出力のためのファイルが作られる。本研究では、次に述べるようないくつかの表現法による地球化学図の作成を試みた。

1) ポリゴンマップ：各ポリゴンをそのままの形で、その分析値に応じた色で表現したもの(第4図a)。各ポリゴンに包含関係がある場合、下流のポリゴンはより上流のポリゴンで上書きされる。生データを最も直接的に表した図であるが、ポリゴン数は試料数と同じく約4,000個あり、また各ポリゴンの形も不規則であるため図が細かく煩雑になる。また突発的に高い(低い)データもそのまま表現されるためやや見にくい。汚染源の特定等には適している。

2) メッシュマップ：ポリゴンデータに指定した大きさの格子を重ねる。格子で分割された四角形の各領域の元素濃度は、その中に含まれるポリゴン

の持つ分析値を領域内に占めるポリゴンの面積で荷重平均することによって求める(第5図)。このようにポリゴンデータをメッシュデータに変換したうえで、各領域を濃度に応じた色で表現する(第4図b)。ポリゴンマップと比べ、データがある程度平均化されるため、地域的な傾向がよりはっきりする。

3) 平滑化メッシュマップ：上記メッシュマップに対し、 3×3 メッシュをウィンドウとする移動平均を行ったもの。広域的なトレンドがよりはっきり表される。

4) コンターマップ：メッシュデータを加工して得られる等濃度線図(第4図c)。濃度による色分け表示の他、等濃度線のみを図も出力可能で、地質図等と重ねて見る際に便利である。

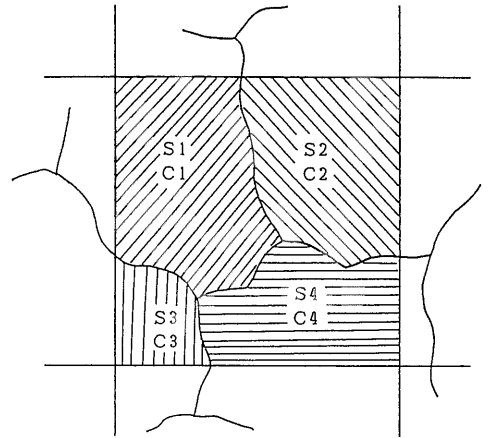
5) 3次元柱状図：メッシュマップの各メッシュの元素濃度を、色に加えて3次元表示された柱の高さで表したもの(第4図d)。色のみで表した図に比べ、濃度差をより強調して表現することができる。

6) 3元素の重ね合わせ：指定した3つの元素につき、赤、緑、青の3原色を割り当て、それぞれの元素濃度を各色の階調で表した図である。挙動に類似性のある元素あるいは対照的な元素を選んで、それらの分布を同じ図上で検討する場合などに有用である。

6. 元素の地表分布例

北関東の地球化学図に見られる元素の地表分布は、多くの場合、基盤地質を良く反映していることがわかった。また一部の元素の分布パターンには、人為的要因を反映していると思われるものも見つかった。以下、いくつかの元素の地表分布の特徴について述べる。

1) ランタン、セリウム、ネオジウム、サマリウム、トリウム：花崗岩が露出する地域の一部で濃度が高い(第6図a)。これらの元素は、花崗岩中に副成分鉱物として存在するモナズ石などの鉱物に由来するものと考えられる。モナズ石は $(La, Ce) PO_4$ の組成を持ち、これらの元素濃度が非常に高い。特に阿武隈花崗岩が露出するモデルフィールド東部の一部にはセリウム濃度が数100ppm～1,000ppm以上と、極めて軽希土類元素に富む試料が多数存在しており、調査の結果、それらの試料中には実際に



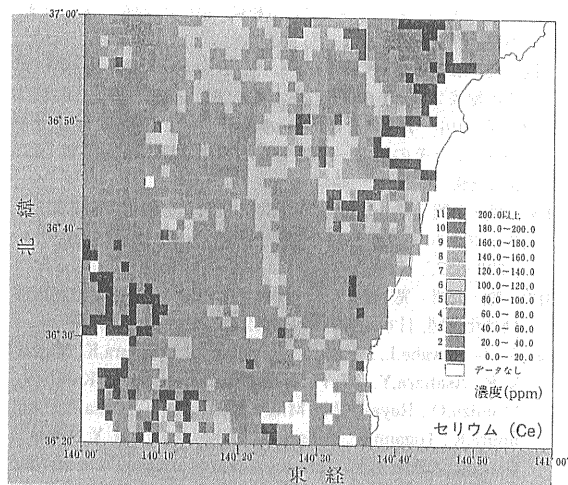
第5図 ポリゴンデータのメッシュ化法。図中の4角形の領域がひとつのメッシュを表す。領域中に占める各ポリゴンの面積を S_i 、各ポリゴンの持つ分析値を C_i とすると、このメッシュの元素濃度は、次式で求められる。

$$(\text{メッシュの元素濃度}) = \frac{\sum_{i=1}^4 S_i C_i}{\sum_{i=1}^4 S_i}$$

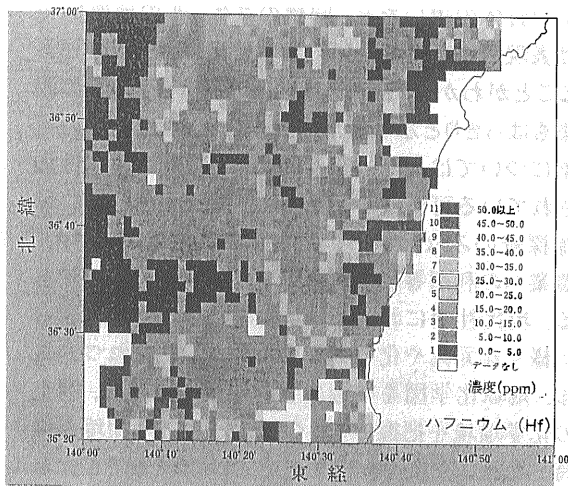
モナズ石が多く含まれることがわかった。採取地点付近には、地質図には表示されない小規模のペグマタイト脈が多く見られ、モナズ石はそれらから供給されたのであろう。

2) マグネシウム、スカンジウム、チタン、バナジウム、マンガン、鉄、コバルト：第四紀洪積層や阿武隈の塩基性岩・変成岩地域で高濃度である(第6図b)。これらの元素は、塩基性岩に多く含まれる磁鉄鉱、チタン鉄鉱などの不透明鉱物に対応するものと考えられる。

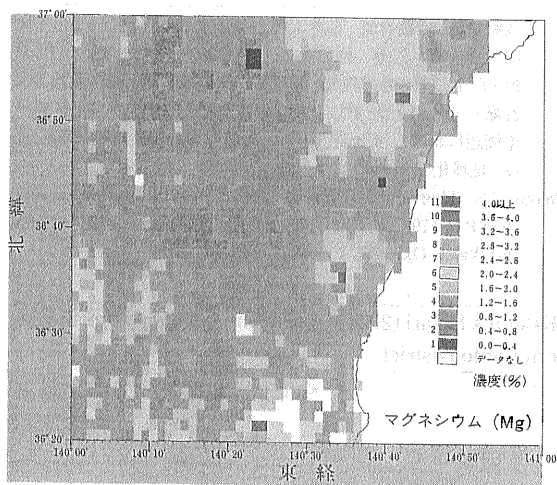
3) ユーロピウム、イッテルビウム、ルテチウム、ハフニウム、ウラン：1)に述べた元素と同様に花崗岩地域で濃度が高い(第6図c)。これらの元素は、やはり花崗岩中の副成分鉱物であるジルコン($ZrSiO_3$)の化学組成に対応するものである。阿武隈山地で特に濃度の高い試料が存在しており、それらの試料中には実際にジルコンが多く存在することが確認された。しかし、セリウムなどと比較すると、阿武隈地域における高濃度域は一致しない。阿武隈における両者の分布の違いは、この地域に年代や化学組成が多少異なる複数の花崗岩類の岩体が存在することを反映していると考えられる。おおまかに言って、セリウムなどの濃度が高い地域は、



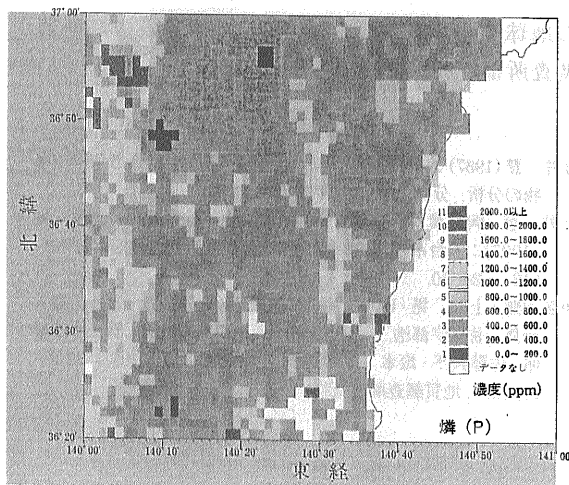
a:セリウム.



c:ハフニウム.



b:マグネシウム.



d:リン.

第6図 いくつかの元素の地表分布例。伊藤ほか(1991)の地球化学図に一部変更を加えたもの。いずれもメッシュマップで表現されている。

黒雲母アダムロ岩、黒雲母花崗閃緑岩などからなる鳥根岩体に、ハフニウムなどが高濃度である地域は角閃石・黒雲母花崗閃緑岩などからなる入四間岩体にそれぞれ対応している。

4) 銅, リン, 亜鉛: これらの元素の分布パターンは、人為的な影響を受けている可能性がある。銅は、日立鉾山周辺および八溝山地南部の高取鉾山周辺での濃集が顕著であるほか、市街地で採取された試料にも高濃度のものがある。リンは北西部一帯で濃度が高く、1,500ppmを超える試料もある(第6図d)。この地域は那須火山の噴出物などから

成るが、上記濃度は表層地質からは説明できない。この地域は田園地帯であり、高濃度のリンは肥料からもたらされた可能性が高い。亜鉛は市街地や平野部で濃度が高く、タイヤの摩耗粉塵からもたらされている可能性がある。

7. おわりに

本研究の手法によって河川堆積物から作成した地球化学図は、表層地質を確かに反映した元素の分布パターンを示すとともに、小規模なペグマタイ

トや岩体の違いなど、同様のスケールの地質図では表現されない細かい情報も検出できる場合があることがわかった。また鉱化作用に伴う元素の濃集もはっきりと示された。さらに、リンなど一部の元素については人為的な要因によって環境中に付加されている可能性も示された。地球化学図は、資源探査のみならず、環境汚染の見積もりや抑止、農業への利用等幅広い分野で活用可能なものである。現代社会においては、人類の産業活動によって様々な元素や化合物が環境中へ放出されつつある。地球化学図を早急に全国規模で作成し、国土の化学環境を把握しておくことは、現在の環境を維持・改善し次世代へ引き継いでいくうえからも大きな意義を持つであろう。

なお、本研究の成果物として出版された北関東の地球化学アトラスは、地質図幅等と同様に地質調査所より入手可能である。

文 献

- 今井 登(1987):誘導結合プラズマ発光分光分析法による河川堆積物の分析. 分析化学, 36, T41-T45.
- 今井 登・岡井貴司・遠藤秀典・田口雄作・石井武政・上岡 晃(1997):仙台市周辺の地球化学図と環境評価. 地質ニュース, 513, p.26-30.
- 伊藤司郎・上岡 晃・田中 剛・富樫茂子・今井 登・金井 豊・寺島 滋・宇都浩三・岡井貴司・氏家真澄・柴田 賢・神谷雅晴・佐藤興平・坂本 享・安藤 厚(1991):地球化学アトラス-北関東-. 地質調査所出版物, 35p.
- 上岡 晃(1992):メッシュマップと分析値-地球化学図-. ぶんせき, 216, p.975-983.
- 上岡 晃・田中 剛・伊藤司郎・今井 登(1990):地球化学図-元素の地表分布とその解析. 地学雑誌, 99, p.555-569.
- 上岡 晃・田中 剛・伊藤司郎・今井 登(1991):元素の地表分布パターンとその解析-北関東の地球化学図. 地球化学, 25, p.81-99.
- 田中 剛・上岡 晃・山中宏青(1988):放射化分析用自動計測・解析システムの開発と岩石標準試料の分析. 地調月報, 39, p.537-557.
- 田中 剛・上岡 晃・今井 登・伊藤司郎(1992):関東地方北東部地球化学図. 日本地質アトラス(第2版). 朝倉書店, 東京.
- Tanaka, T., Kawabe, I., Hirahara, Y., Iwamori, H., Mimura, K., Sugisaki, R., Asahara, Y., Ito, T., Yurai, H., Yonezawa, C., Kanda, S., Shimizu, O., Hayashi, M., Miura, N., Mutoh, K., Ohta, A., Sugimura, K., Togami, K., Toriumi, T. and Matsumura, Y. (1994): Geochemical survey of Sanage-yama area in Aichi Prefecture for environmental assessment. Jour. Earth Planet. Sci. Nagoya Univ., 41, p.1-31.
- 田中 剛・川邊岩夫・山本鋼志・岩森 光・平原靖大・三村耕一・浅原良浩・伊藤真盛・米澤千夏・ドラグシャヌ クリスチャン・神田 聡・清水乙彦・林 正人・三浦典子・青木 浩・太田充恒・戸上 薫・鳥海貴弘・村松陽子・榊原智康・谷水雅治・水谷嘉一・宮永直澄・村山正樹・大森扶美子(1995):愛知県瀬戸市周辺における河川堆積物中の元素分布と地圏環境評価の試み. 地球化学, 29, p.113-125.
- Webb, J.S., Thornton, I., Thompson, M., Howarth, R.J. and Lowenstein, P.L. (1978): The Wolfson Geochemical Atlas of England and Wales. Oxford Univ. Press, Oxford, 74p.

KAMIOKA Hikari (2001): Geochemical map of northeastern Kanto District.

< 受付: 2000年12月28日 >