

国内外の地球化学図と 日本全国をカバーする地球化学図プロジェクト

今井 登¹⁾・寺島 滋¹⁾・岡井 貴司¹⁾・金井 豊¹⁾・御子柴真澄¹⁾
上岡 晃¹⁾・富樫 茂子¹⁾・松久 幸敬²⁾・谷口 政碩³⁾・横田 節哉⁴⁾

1. まえがき

地球化学図とは地殻表層における元素の濃度分布図のことである。このような地球化学図は最近問題となっている土壤汚染などにおいて、例えば有害物質であるヒ素や水銀、カドミウムなどがわれわれの周辺にどれくらいの濃度で分布しているか、またそれがわれわれにどのような影響を与えているかに答えるものである。しかしながら、自然界には鉱床などのように、自然的な要因でもともと特定元素の濃度の高い地域があり、環境汚染を正しく評

価するためにはこれらの自然起源の元素による自然のバックグラウンド値を正しく把握する必要がある。

現在、地質調査所では全国カバープロジェクトとして、これまで全く手つかずであった日本全国における地球化学図を作成する計画が進行中である。この中で有害元素(As, Be, Cd, Hg, Mo, Sb等)をはじめとする約50元素の地球化学図を作成するための技術開発を行い、地球化学図による各種元素の地球化学的挙動の解明と有害元素による人為汚染の評価をめざしている。試料は広域代表性にすぐれた河川堆積物を用い、効率的な試料の採取・選定法と分析法を開発し、元素の広域分布特性と地質的、地理的、地球化学的要因を総合的に解析して自然バックグラウンドと人為汚染の評価を行う予定である。



第1図 英国のBaの地球化学図。

2. 国内外の地球化学図

地球化学図を作成することは、地表での重金属の局所的な異常濃集帯を発見して、その周辺に存在する鉱床を探索する目的で古くから行われていた。これらはいずれも一定の狭い地域で行われたが、これをより広い地域で、すなわち北アイルランド(Webb *et al.*, 1973)やイギリス全土(Webb *et al.*, 1978)のような広域的な地球化学図を作成して大きなインパクトを与えたのがイギリスのImperial CollegeのWebbらのグループであった。彼らはイギリス全土(約151,000km²)から約50,000個の試料を採取して全国をカバーする地球化学図を作成し、地球化学アトラスと名付けた。第1図および口

1) 地質調査所 地殻化学部
2) 地質調査所 首席研究官
3) 地質調査所 地殻熱部
4) 地質調査所 北海道支所

キーワード: 地球化学図, 中国地方, 環境汚染, GIS

表1 世界各国の地球化学図。

国等	出版年	面積 (km ²)	試料数	採取密度	スケール
イギリス	1972	151,000	河川堆積物50,000	1試料/3 km ²	200万分の1
北アイルランド	1978	15,000	河川堆積物4,800	1試料/3 km ²	
西ドイツ	1983	249,000	河川堆積物70,000 地表水80,000	1試料/3 km ²	200万分の1
アラスカ	1983	932,000	河川堆積物38,000 湖沼堆積物24,000	中高地1試料/10 km ² 低平地1試料/23 km ²	600万分の1
フィンランド	1992	338,145	氷河堆積物1,057 地下水6,000	1試料/300 km ² 1試料/56 km ²	400万分の1
ポーランド	1995	323,250	河川堆積物12,778 土壌10,840 地表水12,955	1試料/4 km ² 1試料/30 km ² 1試料/25 km ²	250万分の1
北関東	1991	4,000	河川堆積物3,850	1試料/1 km ²	20万分の1
日本全国	作成中	377,801	河川堆積物3,000	1試料/120 km ²	200万分の1

絵に英国におけるBaの分布を示した。英国中西部でBaの濃度が高いことがわかる。その後これに刺激されてアラスカ(口絵: Uの分布, Weaver *et al.*, 1983), 西ドイツ(口絵: Crの分布, Fauth *et al.*, 1985), フィンランド(口絵: Asの分布, Koljonen, 1992), ポーランド(口絵: Znの分布, Lis *et al.*, 1995)などで全国規模の地球化学図が完成した。西ドイツではCrが, アラスカではUが中央部でそれぞれ濃度が高い。また, フィンランドでは南部のAsの濃度が北部と比べて1桁以上高いという顕著な違いが見られる。これらはいずれも主に背景の地質を反映したものであるとされている。ポーランドでは口絵に示したように, 土壌, 地表水, 河川堆積物の3種類の異なる試料を同時に採取して地球化学図を作成した。3種類の試料によるZnの分布はいずれもよく類似しており, この地域では元素分布に対して同じ因子が支配していることがわかる。このほかオーストラリアなどでも一部地域で地球化学図が作成されている。この延長線上に世界規模の地球化学図作成という壮大な計画が国際地質科学連合(IUGS)のもとで1988年にたてられた。これは世界70カ国以上の関係各機関に呼びかけて全世界をカバーしようという計画であり, 現在も各地域ごとに実現に向けて検討が行われている。特にヨーロッパ各国は熱心で, 欧州地質調査所フォーラム(FOREGS)を中心として統一的手法で欧州全体をカバーする計画が実際に進行中である。

第1表に世界各国の主な地球化学図について出版年, 面積 (km²), 試料数, 採取密度, 試料の種

類, スケールを示した。イギリス, 西ドイツなど多くの地域で1試料/3~10 km²の密度で数万個の試料を採取し, 200~600万分の1程度のスケールで地球化学図が作成されていることがわかる。第2表に世界各国の地球化学図の測定元素と分析法を示した。元素数は河川堆積物については21~45元素で, 地表水に対しては10~24元素(成分)である。分析法は発光分光法, 原子吸光法, ICP発光分析法, ICP質量分析法などである。年代が早い時期に作成された地球化学図では, 当時一般的に用いられていた多元素同時分析の可能な発光分光法により分析が行われたが, 最近では多数の元素を比較的簡単・正確に測定できるICP発光分析法が中心となってきていることがわかる。

国内では地質調査所が1991年に水戸市からいわき市にいたる北関東地域約4,000km²の地域で地球化学図を作成した(伊藤ほか, 1991, 本誌上岡の稿参照)。試料は河川堆積物を北関東地域から約3,850試料採取し, コバルト, クロム, 銅, ニッケル, リン, 鉛, ウラン, 亜鉛などの26元素の地球化学図を作成した。この他に北関東以外の地域として, 地質調査所が行っている仙台市及び山形市周辺地域(今井ほか, 1997, 2000), 秋田大学が行った秋田県(権川ほか, 1984), 金属鉱業事業団(山本, 1999), 及び北海道立地下資源調査所が行った北海道の中・北部地域(菅ほか, 1996), 名古屋大学が行っている愛知県(山本, 1998, 本誌田中の稿参照), 及び海城で地質調査所が行った能登半島から秋田沖にかけての表層堆積物について求

表2 世界各国の地球化学図の測定元素と分析法.

国等	元素数	出版年	分析法
イギリス	21	Al, As, Ba, Ca, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Ga, K, Li, Mn, Mo, Ni, Pb, Sc, Sn, Sr, V, Zn	OES
西ドイツ	河川堆積物29 地表水10	Ag, As, B, Ba, Be, Bi, Cd, Co, Cr, Ce, Cu, Ga, Ge, La, Li, Mn, Mo, Nb, Ni, Pb, Sb, Sc, Sn, Sr, W, Y, V, Zn, Zr PH, 伝導度, Cd, Co, Cu, F, Ni, Pb, U, Zn	OES, AAS
アラスカ	42	Ag, Al, As, Au, Be, Bi, Ba, Ca, Ce, Co, Cr, Cs, Cu, Dy, Eu, Fe, Hf, K, La, Li, Lu, Mg, Mn, Na, Ni, Pb, Sb, Se, Sc, Sn, Sr, Ta, Tb, Th, Ti, U, V, W, Yb, Zn, Zr	NAA, XRF, OES
フィンランド	氷河堆積物45 地下水24	Ag, Al, As, Au, B, Ba, Br, Ca, Cd, Co, Cr, Cs, Cu, F, Fe, K, La, Li, Lu, Mg, Mn, Mo, Na, Ni, P, Pb, Pd, Rb, S, SO ₄ , Sb, Sc, Si, Sm, Sn, Sr, Ta, Th, Ti, U, V, W, Y, Yb, Zn, Zr PH, EC, Eh, 溶存酸素, CO ₂ , COD, HCO ₃ , SO ₄ , Cl, F, SiO ₂ , NO ₃ , Ca, Mg, Na, K, Fe, Mn, Zn, Cu, Ni, Pb, Cd, U	ICP-AES, NAA AAS, 伝導度計等
ポーランド	河川堆積物20 地表水23	Ag, As, Ba, Be, Ca, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Mg, Ni, P, Pb, S, Sr, Ti, V, Y, Zn Al, As, B, Ba, Ca, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, K, Li, Mg, Mn, Na, Ni, P, Pb, SiO ₂ , SO ₄ , Ti, V, Zn	ICP-AES, AAS ICP-AES, Color
北関東	26	Ba, Ca, Ce, Co, Cr, Cs, Cu, Eu, Fe, Hf, La, Lu, Mg, Mn, Na, Ni, P, Pb, Sc, Sm, Sr, Th, Ti, U, V, Zn	ICP-AES, NAA
日本全国	53	Al, As, Ba, Be, Bi, Ca, Cd, Ce, Co, Cr, Cs, Cu, Dy, Er, Eu, Fe, Ga, Gd, Hf, Hg, Ho, K, La, Li, Lu, Mg, Mn, Mo, Na, Nb, Nd, Ni, P, Pb, Pr, Rb, Sb, Sc, Sm, Sn, Sr, Ta, Tb, Th, Ti, Tl, Tm, U, V, Y, Yb, Zn, Zr	ICP-MS, ICP-AES, AAS

AAS：原子吸光分析, ICP-AES：ICP発光分析, ICP-MS：ICP質量分析,
NAA：放射化分析, OES：発光分光分析, Color：分光光度法

めた海域の地球化学図(今井ほか, 1997, 本誌寺島の稿参照)がある。これらはいずれも一部の限られた地域で、しかも各地域で対象とする試料の種類や採取法および粒度などが異なり統一的な評価は不可能な状況にある。基盤となる地質が同一であっても元素の分布は異なる場合もあり、より正確な情報を入手するためには同一手法による全国規模の地球化学図を早急に作成することが強く望まれており、本研究により日本全国をカバーする地球化学図が作成され、全国規模での元素の分布と環境影響評価が可能となることが期待されている。

3. 全国カバープロジェクト

地質調査所では前述の要請に応じて平成11年度から5カ年計画で全国をカバーする地球化学図の作成計画を開始した。北海道から九州までの全国の河川から1試料/約10km²の密度で約3,000試料を採取する予定である。この河川堆積物から80メッシュ以下の細粒の試料を分離し、各種の分析を行って元素濃度を求め地球化学図を作成する。ここではその手法の概要とこれまでにデータ解析

の進んだ中国地方の地球化学図を中心に述べる。

3.1 試料の種類

本研究では地球化学図を作成するための試料として河川堆積物を用いた。河川堆積物試料とは河川の河床に堆積している細粒の川砂のことであり、その試料を採取した地点より上流域に分布する岩石や堆積物、土壌等を河川が流下するに際して削剥・混合してできたものと考えられる。すなわち河川堆積物の組成はその河川の上流域を代表すると考えることができる。このように河川堆積物を用いれば、比較的少ない試料数で広い地域の情報をカバーすることができ、地球化学図の作成にもっともよく用いられる試料である。

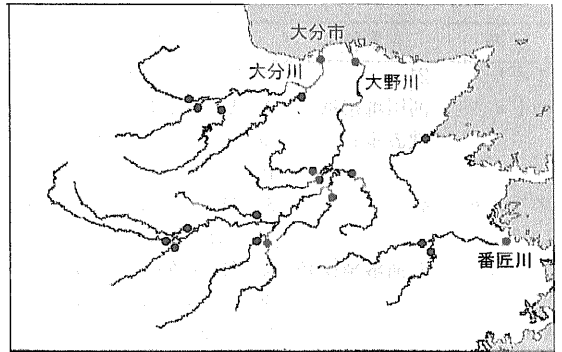
地球化学図作成に用いられる試料としては、第1表に示したように、この他に岩石、土壌、湖沼堆積物、氷河堆積物、地下水、河川水などがある(伊藤ほか, 1985)。岩石は地表に分布する元素の最大の供給源であり、基本的な元素分布を支配していると考えられるが、場所による不均質性が大きく、風化などにより組成が大きく変化する。また、岩石は人為的な汚染に関する情報は持っていない。こ

の点で土壌は農業、鉱工業、生活環境等からの著しい影響を受けており、人為的汚染を評価する上で重要な試料である。しかしながらその情報はきわめて局地的であり、広域をカバーするには代表性に問題があり、高い密度で試料採取するなど細心の注意を払わなければならない。湖沼堆積物は周囲の河川を通して運び込まれた堆積物であり、基本的には河川堆積物と同質であるが、湖沼の分布が限られること、及びその元素分布には元素の固定・沈積過程で再溶解による元素の移動など別の要因が加わるため河川堆積物と同等に扱うことはできない。アラスカの地球化学図では両者を同一のデータとして用いているが、本来は別の解釈が必要である。氷河堆積物はフィンランドなどの極地方で用いられ、代表性という点で優れているが、適用できる地域は限られ一般的ではない。河川水は土壌と同様に人為汚染に関する豊富な情報が得られるが、水量や水温の変化による変動が大きく、採取法及びその評価には十分な注意を要する。他にも地球化学探査では特定の元素が濃縮する植物などが利用され、特定の元素の欠乏や過剰の評価、及び特定の鉱床の発見等に利用されている。

3.2 試料採取位置

試料の採取位置決定の原則は、河川の本支流の合流付近において支流の河床にある堆積物を採取するということである。第2図に大分市周辺の大分川と大野川の流域に関して試料を採取した点を示した。川の上流域において本支流の区別がつきにくい時は両方の川から採取した。また、本流沿いに採取地点の間隔が大きくあくときは適当な間隔で本流より試料を採取した。本研究では、試料の採取に当たっては短時間でできるだけ多数の試料を採取するため、採取地点の選定には道路事情を優先させ、道路と河川が交差するか近接する地点を選んだ。

試料数に関しては、日本の国土は約370,000 km²であり、本研究では試料の採取密度は10×10 kmに1試料として試料総数約3,000試料を目標とした。従来の地球化学図に比較して試料密度が粗いため、河川のすべての支流はカバーしておらず、いくつかの支流の中で作図にとって重要と思われる河川系の試料を優先して採取した。諸外国のように



第2図 大分市周辺の大分川と大野川の流域において試料を採取した点。

数万個という単位の試料を採取することは現時点では労力/費用から考えて現実的ではなく、第1段階として試料密度は粗くても全国をカバーすることを最優先に考えて試料数を決定した。これまで日本では全国規模の地球化学図は作成されておらず、多少精度は粗くてもこのような全国をカバーする地球化学図は全体を見渡す意味で非常に重要だと考えられる。

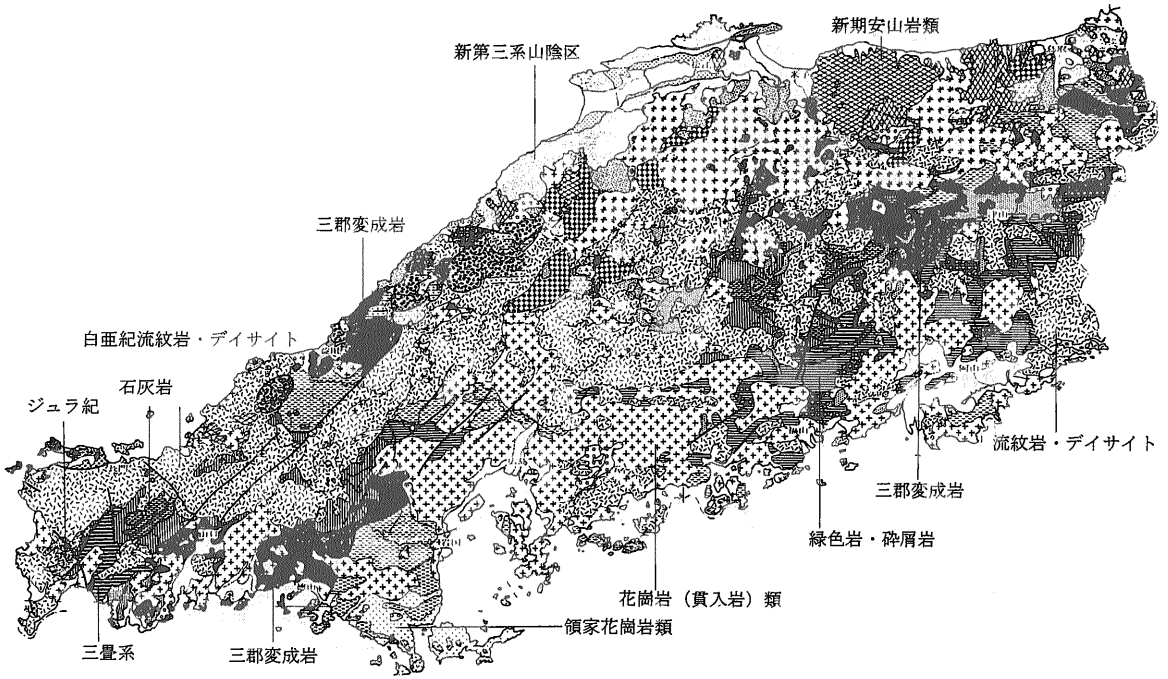
3.3 試料採取・試料処理法

試料採取法は各河川の指定地点において、その河川の上流域から供給された細粒の堆積物(最大粒径3mm程度以下)約1kgをスコップ等で採取し、試料袋に入れ番号を付した。採取する堆積物は、現在の流水下のもの、および過去の大雨等に伴って供給された堆積物のいずれかである。但し、すぐ近くに生活排水等人為的汚染が考えられる水が流入している地点の堆積物、および磁鉄鉱等特殊な鉱物が濃集している堆積物は原則として採取しなかった。今回は短時間で試料採取を行うことを最優先したため、現地ですぐふるい分けることはせず、そのまま実験室に持ち帰ることとした。

採取した試料は加熱等を一切しない自然乾燥(風乾)で乾燥した。この試料を薄くのばして磁石を用いて磁鉄鉱などの明らかな磁性鉱物を除いた。さらにこの試料をふるって80メッシュ(180 μ)以下の粒度の試料を分離し、それ以上の粉碎等を行うことなくそのまま分析試料とした。

3.4 試料の分析

採取した試料は原子吸光法、ICP発光・質量分



第3図 中国地方の地質.

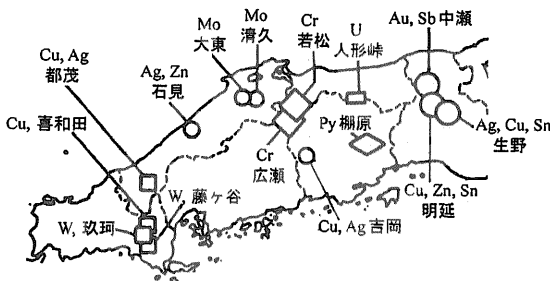
析法で分析を行った。分析した元素はAl, As, Ba, Be, Bi, Ca, Cd, Ce, Co, Cr, Cs, Cu, Dy, Er, Eu, Fe, Ga, Gd, Hf, Hg, Ho, K, La, Li, Lu, Mg, Mn, Mo, Na, Nb, Nd, Ni, P, Pb, Pr, Rb, Sb, Sc, Sm, Sn, Sr, Ta, Tb, Th, Ti, Tl, Tm, U, V, Y, Yb, Zn, Zrの53元素である。主成分元素はICP発光分析法で、微量成分元素はICP発光分析法で、AsとHgは原子吸光法で分析した。

ICP発光・質量分析を行うための試料処理は以下のようにして行った。すなわち、0.2gの試料をテ

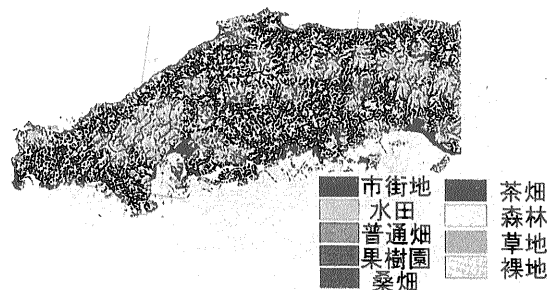
フロンビーカーにはかりとり、硝酸、過塩素酸、フッ化水素酸を加えて200℃以下で加熱して分解する。蒸発乾固後、硝酸を加えて溶解し、水を加えて100mlに定容する。ICP発光分析法ではそのまま、ICP質量分析法ではさらに1/10に薄めて測定を行った。Asは水素化物原子吸光法で、Hgは還元気化原子吸光法で測定した。

4. 中国地方の地球化学図

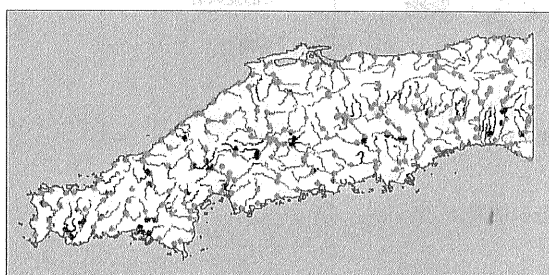
これまでに本州の主要部分の試料採取を終了した。ここでは解析の進んでいる中国地方の地球化学図を中心に述べる。中国地方は本州の西端部に位置する。中国山地の中央部には1,000mを超える山々が連なり、本州弧の延長方向にほぼ平行する脊梁山地を形成する。脊梁山地の南側には、津山、東城、三次などの盆地をへだてて吉備高原、周防高原があり、北側の石見高原へと続く。山陽、山陰の両海岸に沿って低い丘陵地帯が続き、平野は少ない。第3図に中国地方の地質を示した(猪木ほか, 1987)。中国地方の地質系統のうち、先白亜系は西部の秋吉台付近や、岡山県中・東部と、脊梁山地の南北両側の高原あるいは盆地に断片的に



第4図 中国地方の鉱床の分布。記号の形は鉱床のタイプを表し、丸は熱水脈脈鉱床、菱形は正マグマ鉱床、つぶれた菱形は黒鉱・キースラガー鉱床、四角はスカルン鉱床、つぶれた四角は堆積鉱床である。



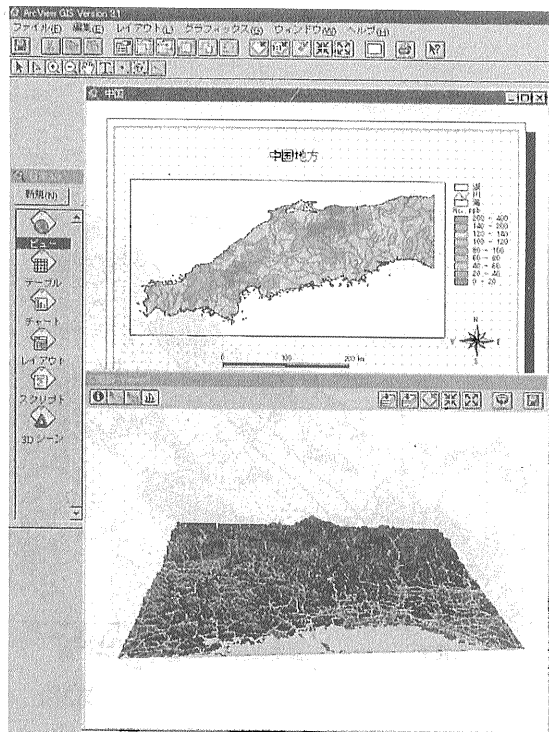
第5図 中国地方の土地利用図(市街地, 水田, 畑, 果樹園, 森林).



第6図 中国地方における試料採取点.

分布している。これらは花崗岩類に貫入されたり、白亜紀以降の火砕岩類などの堆積岩類に覆われている。先白亜系は北から南へ飛騨帯、中国帯、舞鶴帯、領家帯に分けられ、中国帯が大部分を占める。白亜紀～古第三紀の火山岩類は先白亜系を貫くか覆って、本州弧の方向へのび、南から北へ領家帯、山陽帯、山陰帯に分けられる。新第三系は大部分が西部地域や南と北の海岸線に沿う丘陵地帯・脊梁山地付近および山間盆地などに分布する。山陰海岸沿いにカルクアルカリ岩系の火山列があり大山火山帯を形成する。アルカリ岩は中国山地各地のほか山陰海岸地域に分布する。

第4図に中国地方の主な金属鉱床を示した(地学団体研究会, 1996)。中国地方には規模は小さいが、多くの金属鉱床が点在しており、それらの大部分は白亜紀～第三紀の火成活動と関係したものである。主なものは中瀬のAu, Sb鉱床, 明延のCu, Zn, Sn鉱床, 生野のAg, Cu, Sn鉱床, 人形峠のU鉱床, 棚原の硫化鉄鉱床(Py), 吉岡のCu, Ag

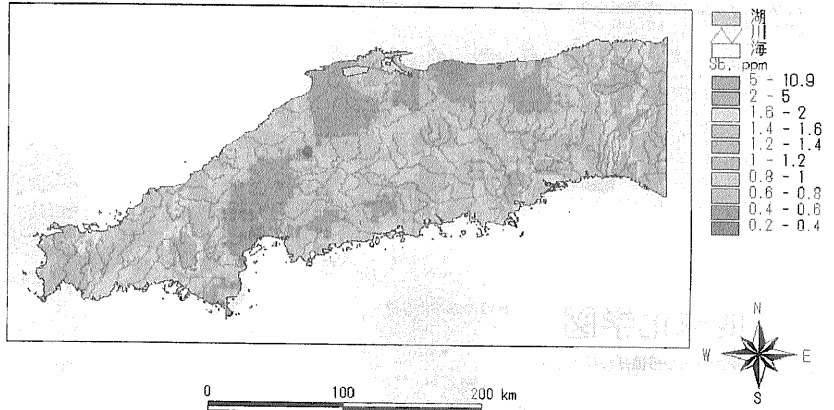


第7図 ESRI社のArcView GISの操作画面。上の図は中国地方の水銀の分布で、下の図は姫路地方の3次元地形に試料採取点(赤丸)や河川等を表示したもの。

鉱床, 若松, 広瀬のCr鉱床, 清久, 大東のMo鉱床, 石見のAg, Zn鉱床, 都茂のCu, Ag鉱床, 喜和田のCu鉱床, 玖珂, 藤ヶ谷のW鉱床である。記号の形は鉱床のタイプを表し、丸は熱水鉱脈鉱床, 菱形は正マグマ鉱床, つぶれた菱形は黒鉄・キースラガー鉱床, 四角はスカム鉱床, つぶれた四角は堆積鉱床である。

第5図に中国地方の土地利用図を示した(国土地理院, 1997)。地球化学図は背景の地質だけでなく産業や農業活動に影響されると考えられる。市街地, 水田, 畑, 森林などに分類して分けられている。黒く示した部分が市街地であり、都市活動の影響が現れると思われる。第6図に中国地方における試料採取点を示した。中国地方の主要河川から各支流の分岐点付近を中心に約500点の試料採取を行った。試料採取点および分析した元素濃度のデータの解析はESRI社のArcView GISを用いて行った(第7図)。このソフトウェアでは試料採取点の情報の表示, 元素分布の解析と2次元の

分布図の作成, 3次元データの表示, 地形データを用いた水理解析, 流域および集水域の解析などが可能である. この図では中国地方の水銀の分布を求めた例と, 姫路地方の3次元の地形に試料採取点(赤丸)や河川等を表示したものである. 第8図に中国地方におけるSbの地球化学図の例を示した(1ページ左下の口絵のPb, K₂Oの分布も参照).

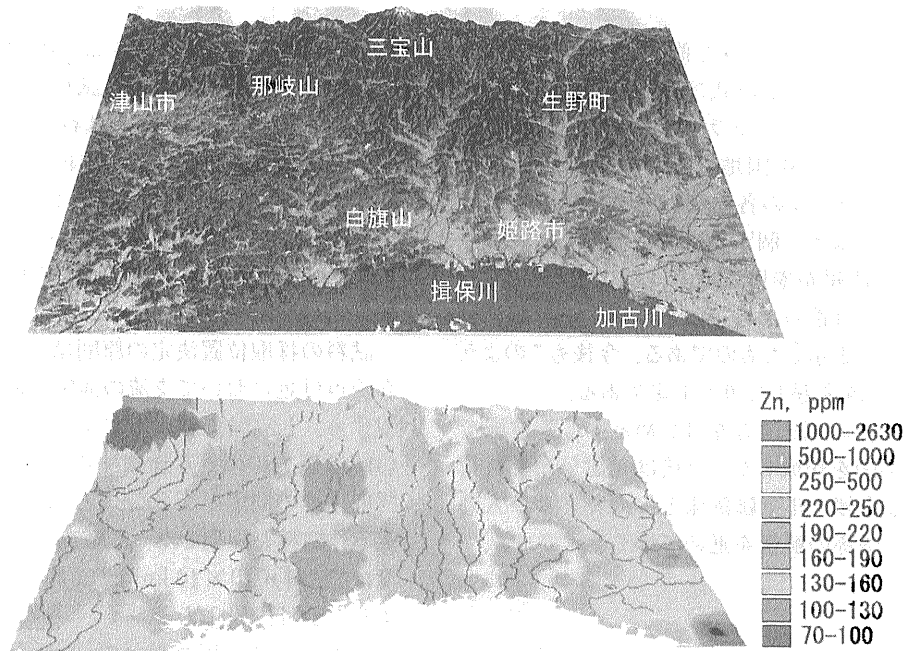


第8図 中国地方におけるSbの地球化学図.

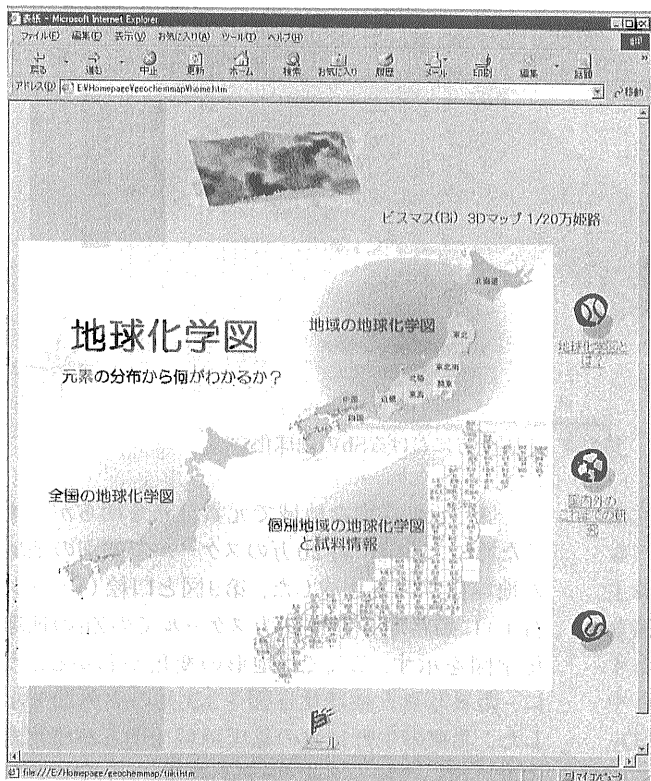
SbとPbで示したように, いくつかの微量元素に関しては鉱床のある地域で濃度が顕著に高くなっていることがわかる. またK₂Oをはじめとする主成分元素については多くの場合背景地質と密接な関係があり, 中国地方西部から中部に広く分布する花崗岩, 流紋岩等の酸性岩地域ではK₂OやNa₂Oの濃度が高くなっている. 一方, MgO, P₂O₅, Vなどの元素は, より塩基性の岩石が分布する中国地方東部地域で相対的に濃度が大きくなる傾向が見られる.

一方, より詳細な地域で元素分布を明らかにするために, 同時に1/20万のスケールで個別の地域の地球化学図を作成した. 第9図と口絵(1ページ右下)に姫路地方の1/20万スケールでのZnの地球化学図を示す. ここでは地形の変化がわかるように, 衛星写真と地球化学図を3次元の立体図で示した. 北東の生野付近の鉱床地域で明らかに元素濃度の高い地域があることがわかる.

このような, 各地域の多数の地球化学図と約3,000点にのぼる試料採取点の情報は膨大な量に



第9図 姫路地方におけるZnの地球化学図. 上図: 衛星写真, 下図: 3次元地球化学図(Zn).



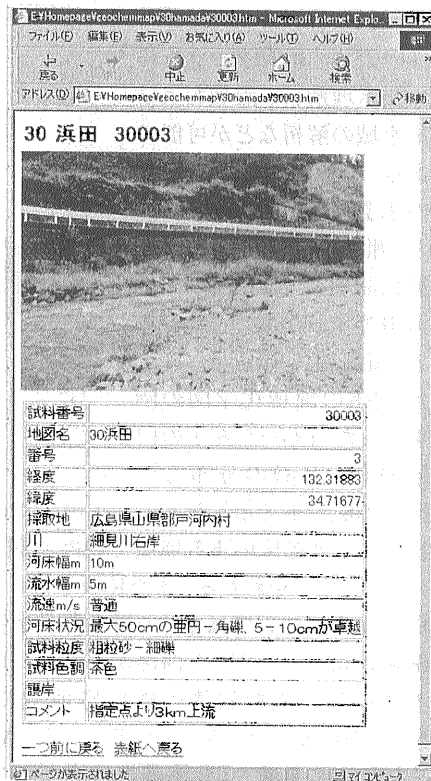
第10図 地球化学図におけるデータの表示。ブラウザから全国の地球化学図(作成中)、中国地方などの広域地球化学図、1/20万スケールの各地域の地球化学図を見ることができる。

なるため、それらのデータを簡単かつ系統的に参照できるようにHTML形式で保存した(第10図)。必要に応じて手持ちのブラウザから全国の地球化学図(作成中)、中国地方などの広域地球化学図、1/20万スケールの各地域の地球化学図を見ることができる。また、個別の試料を採取した状況と試料の詳細情報が参照できる。ここでは例として1/20万浜田の3番の試料採取点に関する詳細データを第11図に表示したものである。今後もこのような形でデータを蓄積してゆく予定である。

以上のように中国地方をはじめとする各地域での地球化学図を作成した。今後は元素分布と背景地質および金属・非金属鉱床との関係および人為的影響との関係の解析を進めてゆく予定である。

5. まとめ

本研究では、日本全土における有害元素(As, B,



第11図 1/20万浜田の3番の試料採取点に関する詳細データの表示。

Be, Cd, Hg, Mo, Sb等)をはじめとする約50元素の地球化学図を作成する。試料としては河川堆積物を用いたが、これはその試料を採取した地点より上流域に分布する岩石や堆積物、土壌等を河川が流下するに際して削剥・混合してできたものと考えられる。河川堆積物の組成はその河川の上流域を代表すると考えることができ、比較的少ない試料数で広い地域をカバーすることができる。

試料の採取位置決定の原則は、河川の本支流の合流点付近において支流の河床にある堆積物を採取する。上流域において本支流の区別が付きにくい時は両方の川から採取する。また、本流沿いに採取地点の間隔が大きくあくときは適当な間隔で本流より試料を採取した。本研究では試料の採取密度は1試料/10×10 kmとして約3,000試料を採取することを目標とした。

採取法は各河川において、その河川の上流域から供給された細粒の堆積物(最大粒径3mm程度以

下) 約1kgをスコップ等で採取した。採取した試料は自然乾燥(風乾)し、磁石を用いて磁鉄鉱などの明らかな磁性鉱物を除いた。さらにふるいでふるって80メッシュ(180 μ)以下の粒度の試料を分離し、そのまま分析試料とした。分析法としては原子吸光法、ICP発光・質量分析法を用い53元素を分析した。

中国地方から約500試料を採取し、分析を行った地球化学図を求めた。また、同時に1/20万の単位で地球化学図を作成した。中国地方における背景地質および金属・非金属鉱床等との関係およびその影響について検討を行った。

文 献

- Fauth, H., Hindel, R., Siewers, U. and Zinner, J. (1985): *Geochemischer Atlas Bundesrepublik Deutschland*. Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR), Hannover, 79p.
- 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, no.513, p.26-30.
- 今井 登・寺島 滋・片山 肇・中島 健・池原 研・谷口政碩 (1997): 日本海東部沿岸域海底表層堆積物中の重金属等の地球化学的挙動, 地質調査所月報, 48, p.511-529.
- 今井 登・岡井貴司・遠藤秀典・石井武政・田口雄作・上岡 晃 (2000): 山形市周辺地域の地球化学図, 地質調査所地質環境アトラス「山形市周辺地域」, p.37-40.
- 猪木幸男・村上允英・大久保雅弘 (1987): 日本の地質7 中国地方, 共立出版, 290p.
- 伊藤司郎・柴田 賢・田中 剛・宇都浩三・安藤 厚・寺島 滋・今井 登・金井 豊・坂本 亨 (1985): 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, 昭和60年度国立機関公害防止等試験研究成果報告書, 82-1~82-17, 環境庁.
- 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 亨・安藤 厚 (1991): 地球化学アトラス-北関東-, 地質調査所出版物, 35p.
- Koljonen, T. (1992): *The Geochemical Atlas of Finland, Part 2: Till*, Geological Survey of Finland, 218p.
- 国土地理院 (1997): 土地利用図, 日本国勢地図, 日本地図センター.
- Lis, J. and Pasieczna, A. (1995): *Geochemical Atlas of Poland*, Polish Geological Institute, 125p.
- 権川 誠・金山道雄・滝沢行雄 (応用地球化学研究グループ) (1984): 秋田県の地球化学図, 秋田大学教育学部地学教室, 29p.
- 菅 和哉・黒沢邦彦 (1996): 北海道中央部における土壌元素の地球化学図, 北海道立地下資源調査所, 39p.
- 地学団体研究会 (1996): 日本の主要な金属鉱床分布図, 地学事典付図付表, 46, 平凡社.
- 山本鋼志・田中 剛・川邊岩夫・岩森 光・平原靖大・浅原良浩・金 奎漢・Richardson, C.・伊藤貴盛・Dragusanu, C.・三浦典子・青木 浩・太田充恒・榎原智康・谷水雅治・水谷嘉一・宮永真澄・村山正樹・仙台量子・高柳幸央・井上裕介・高木真理・値布悟志・稲吉正実 (1998): 愛知県豊田市北東部の嶺家花崗岩地域の地球化学図, 地質学雑誌, 104, p.688-704.
- Weaver, T.A., Broxton, D.E., Bolivar, S.L. and Freeman, S.H. (1983): *The Geochemical Atlas of Alaska*, Geochemistry Group, Earth and Space Science Division, Los Alamos National Laboratory, GJBX-32 (83) US DOE, 61p.
- Webb, J.S., Nichol, I., Foster, R., Lowenstein, P.L. and Howarth, R.J. (1973): *Provisional Geochemical Atlas of Northern Ireland*. Applied Geochemical Research Group, Imperial College, London, 36p.
- Webb, J.S., Thornton, I., Thompson, M., Howarth, R.J. and Lowenstein, P.L. (1978): *The Wolfson Geochemical Atlas of England and Wales*. Clarendon Press, Oxford, 69p.

IMAI Noboru, TERASHIMA Shigeru, OKAI Takashi, KANAI Yutaka, MIKOSHIBA Masumi, KAMIOKA Hikari, TOGASHI Shigeko, MATSUHISA Yukihiro, TANIGUCHI Masahiro and YOKOTA Setsuya (2001): *The geochemical map of domestic and foreign countries and new geochemical map project covering whole country in Japan*.

< 受付: 2000年12月28日 >