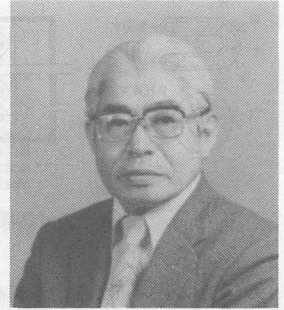


■ 展 望 ■

# 鉱物資源の化学的探査

Geochemistry in Mineral Exploration



椎 川 誠\*

Makoto Shiikawa

## 1. は し が き

地表に分布している岩石、土壌、河川堆積物(川砂)、河川水あるいは植物などに含まれている特定元素の異常値(アノマリー)と、その分布範囲を見出して、地下の鉱物や地熱資源を探し出す方法を、地球化学探査法、地化探査法あるいは化学探査と呼んでいる。

これが有効な探査法の一つとして認識されるようになってからは未だ浅いが、国の内外におけるこの探査法及び技術の現況を紹介し、その将来の見通しについて展望してみたいと思う。

## 2. 地球化学探査法

### 2.1 バックグラウンド

地表には、地質時代の古い変成岩類から新期の火山岩類のような新しいものまで、また花こう岩のような酸性岩から、かんらん岩のような超塩基性岩まで多種多様の岩石が分布している。これらの岩石は岩質や組織も異なるが、また主要成分や微量元素の含有量にも差異がみられる。このことは、地表における諸元素の濃度分布は地質を反映し、各元素のバックグラウンド値は地質によって異なることをいみする。(表1)<sup>1)</sup>

一方、鉱化作用により形成される特定元素の異常濃集帯(アノマリー)を検出して、鉱床探査を行う地球化学探査法においては、いうまでもなく、探査地域における指示元素のバックグラウンド値を、予め把握しておくことが必要である。

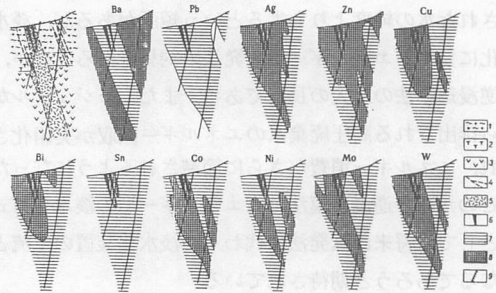
### 2.2 ハロー(異常濃集帯)

鉱床の生成に伴って、鉱体周辺には特定元素の異常濃集帯(ハローと呼ぶ)が形成される。この一例を図-1<sup>2)</sup>に示す。これからも明らかなように、Ag, Zn, Cu, Bi, などの諸元素は鉱体上部に、またCo, Ni,

表1 地球化学標準試料のNi, Co, Cr, 及びCu含有量 (ppm)

	Ni	Co	Cr	Cu
花崗岩(G-2)	2.5	4.7	82	10.8
玄武岩(BCR)	13.7	31.5	14.6	24.6
かんらん岩(PCC)	2,130	94.3	2,588	911
花崗閃緑岩(GSP)	7.7	7.0	13.5	45.1
ヅンかんらん岩(DTS)	2,110	116.3	3,713	6.7
安山岩(AGV)	14.1	13.5	13.0	64.1

(米国地質調査所のデータによる, 1966)<sup>1)</sup>



(Beusand Grigorianによる)<sup>2)</sup> 1975

図-1 東カマンズルに分布する鉱体周辺のハロー

- 1: 玢岩 2: 凝灰岩及び溶岩 3: 安山岩, 玢岩 4: 裂罅
- 5: 破砕帯 6: 鉱体 7と8: 元素濃度%
- 7. Ba: 0.04~0.2, Pb: 0.05~0.1, Ag: 0.00001~0.0001  
Zn: 0.05~0.01, Cu: 0.0045~0.01, Bi: 0.00008~0.001  
Sn: 0.001~0.0043, Co: 0.00022~0.001, Ni: 0.00022~0.001  
Mo: 0.0001~0.001, W: 0.0002~0.001
- 8. Ba: 0.2~0.55, Ag: 0.0001~0.06, Zn: 0.01~0.8, Cu: 0.01~3.0  
Bi: 0.01~0, Sn: 0.001~0.002, Co: 0.001~0.0064,  
Ni: 0.001~0.0086, W: 0.001~0.1
- 9. サンプル採取間隔

Moなどのような元素類は鉱体下部に顕著なハローを形成する。これらのハロー形成元素で、とくに地表に顕著なハローを形成しやすい元素あるいは元素群(共生元素)は指示元素(Pathfinder)と呼ばれている。

金鉱床における水銀や、黒鉱床における銅、鉛、

\* 秋田大学教育学部地学教室教授

〒010 秋田市手形学園町1-1

亜鉛，カドミウムなどの共生元素はこの標式的ものである。

鉱化帯における指示元素の異常値は，バックグラウンド値に，一次及び二次分散とによって付加されたその元素の濃度によって示される。従って鉱化作用の認められない地域と，同一地質条件でも，鉱化作用を蒙った地域との間には，特定元素の濃度レベルにバックグラウンド値とハロー値との差異が生ずる。表 2<sup>3)</sup> は鉛・亜鉛を産する岐阜県神岡鉱床とその周辺地域における

表 2 神岡鉱山およびその周辺地域の岩石と土壌中の重金属のバックグラウンド値 (ppm)

	区 分	試料数	Cu	Pb	Zn	Cd
岩石	非鉱化帯	112	11	16	99	0.1
	弱鉱化帯	70	11	22	140	0.3
	強鉱化帯	187	12	50	270	1.0
	計	369	12	34	190	0.6
土壌 (A層)	非鉱化帯	112	15	31	130	0.4
	弱鉱化帯	70	20	200	170	0.9
	強鉱化帯	187	41	320	350	2.3
	計	369	29	210	250	1.5
土壌 (B層)	非鉱化帯	113	17	31	120	0.2
	弱鉱化帯	70	23	170	240	0.7
	強鉱化帯	187	41	242	460	1.4
	計	370	30	160	310	0.9

(備考) 非鉱化帯: 打保地区 弱鉱化帯: 亀ヶ谷地区  
強鉱化帯: 神岡地区(日本鉱業会化探実施技術  
研究委員会のデータによる, 1978)<sup>3)</sup>

平均濃度を示したものである。鉱化帯の中心の神岡鉱床，弱鉱化帯の亀ヶ谷鉱床地区は，伊西岩と変塩基性岩を主とし，非鉱化帯の打保地区はparagneissを主とする地質からなる。鉱化帯の地域には明らかに鉱化作用に由来する重金属が濃集し，鉱化帯地域を特徴づけている。このことは，地球化学探査の有効性を示すものである。

2.3 国内外の地球化学探査

地球化学探査法が鉱床探査法の一つとして紹介され，その有効性が認識されるようになったのは，昭和45年島誠によって“地球化学探査法”<sup>4)</sup>が刊行されてからのことである。これによって，その基礎は確立されたが，まだ当時は探査方法もその技術も現在のようなものではなく，指示元素も単元素を主体とし，また分析法も比色法によるが多かった。

探査実施は木村健二郎によって，昭和24年能登半島の燐鉱床例が，わが国の最初といわれている。

このような島，木村らの努力にもかかわらず，わが国における地球化学探査法の発展はのびなやんでいた感が深い。一方，国外では，わが国とは反対に，各国とくにカナダ，アメリカ，英国においては地球化学探査に関する専門技術者の養成を始めとし，この分野の研究と実施活動が極めて活発で，その方法及び技術の進歩はめざましい発展をとげつつあった。すなわち，1966年には第1回の国際地球化学探査シンポジウムが，カナダのオタワで開かれてから，2年毎に，アメ

表 3 日本鉱業会地球化学探査研究委員会の活動のあゆみ

	期 間	研究 内 容	備 考
基礎 研究	1970~1971	サンプル a サンプル・メディア b サンプルング法 c サンプルング密度	地球化学探査ハンドブック (日本鉱業会地球化学探査研究委員会編) 昭和52年
	1971~1972	化学分析 a 分解 { 全分解 冷分解 b 機器分析法 c 指示元素	
	1972~1973	解 析 データの数値処理	
	1974~1976	地球化学図の作成 (基礎的研究) 花山・鬼首地区	
応用 (実施) 研究	1977~1978	神岡地区	Pyrometasomatic replacement
	1978~1979	明延・大身谷地区	Polymetallic
	1979~1980	北鹿地区	Exhalative sedimentary origin
	1980~1981	伊豆・清越地区	Fissure-filling Au-Ag vein
	1981~1982	泥湯・小安地区	地熱探査 Geothermal Energy
	1982~1983	松川地区	

リカ、カナダ、オーストラリア、英国、西独などの各地で開かれ、第9回目の同上シンポジウムは1982年カナダのサスカトゥーン市で開かれた。毎回このシンポジウムには、約45ヶ国、数100名を越す研究者や技術者が参加している。

このシンポジウムは、1970年に発足した地球化学探査学会“Association Exploration Geochemists”によって主催されている。第10回目の国際シンポジウムは、本年（1983年）の8月下旬～9月上旬、ヘルシンキで開催が予定されている。

一方、アジアにおいては、ユネスコとエカフェとが主催し、1963年に第1回の「地球化学探査法とその技術」に関するセミナーがバンコックで、また第2回目<sup>6)</sup>が、1970年にスリランカで開かれ、わが国をはじめとするアジア各国が参加した。

またわが国では、1970年に日本鉱業会に地球化学探査研究委員会が、鉱山会社、地質調査所及び大学などの研究者や技術者らをメンバーとして発足し、表3に掲げる活動を行い、わが国における地球化学探査法の基礎の確立と、この探査法の有効性の立証に大きな足跡をのこした。

#### 2.4 探査技術の発展

10有余年間にとげたこの探査法の発展の要因は、第一には高周波プラズマ (ICP) や蛍光X線法などによる同時多元素分析法が進歩し、また微量の検出限界が向上したことによる。従来の指示元素は単元素から多元素へと移行し、その結果として探査成果の向上をもたらすようになった。第二はコンピュータの活用により複雑化した多量のデータの数値処理の確立とルーチン化とにより、偽アノマリーによる誤った解析を行うことがすくなくなり、この探査法の有効性が認識されたことによるものである。

### 3. 地球化学探査の特異性

#### 3.1 地球化学輪廻

図-2<sup>6)</sup>にはEngelmann Spruce(モミの樹の一種)が、地下の鉱物資源から一次及び二次分散作用によって、地表の土壤中に濃集した元素Ag, Pb, Bi, Co, Be, Ga, Ti, La, Y, Zr(A層), Be(B層)及びCr, Fe, V, Sc(C層)をこの樹の根から吸収し、これらは樹木中に含まれている揮発性テルペン有機物と結合して金属テルペン化合物となり、樹木の各器官(幹, 葉, 枝その他)中に濃集する。この化合物は揮発性のため日の出の気温上昇に伴い、樹木から気化し、森林上空

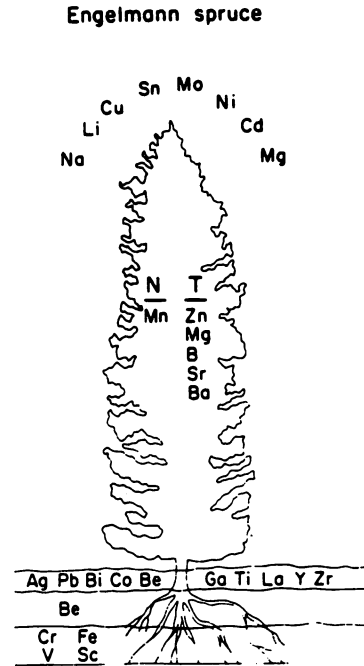


図-2 樹木の元素の吸収と気化  
(G. C. Curtin et, al)<sup>6)</sup> 1974

にて金属テルペン化合物のエアゾル(径 $2.0\mu$ )を形成する。この一部は大気中へ拡散し、一部は地表に降下する。また、その他の例として地表から蒸発した水銀および土壌ガス中の水銀の異常値を、金の鉱化帯直上の大気中から検出し、金の鉱床探査に成功した例も報告されている。

これらのことは、元素が次のような地球化学輪廻を繰返していることを示すものである。すなわち、

鉱体→地表(岩石, 土壌, 河川堆積物, 河川水)→植物→大気→地表

このような、地球化学的輪廻により、地球化学探査においては、岩石(Litho geochemistry), 土壌(Pedogeochemistry), 河川堆積物及び河川水(Hydrogeochemistry), 大気(Atmogeochemistry)及び植物(Biogeochemistry)がサンプル・メディアとして用いられている。

リモートセンシング法を用いた探査の一例として、土壌から吸収した元素により発生する植物体の白化作用(chlorosis)を、特殊な赤外線フィルターを用いた航空写真により、判読し、鉱物資源の分布を推定する方法も報告されている。

しかし、地球化学探査法において、一般に広く用いられているサンプル・メディアとしては岩石, 土壌および河川堆積物などがあげられるが、河川堆積物とは

表4 河川堆積物の粒度別金属含有量の比較

FRACTION		Cu(PPM)	Pb(PPM)	Zn(PPM)	Cd(PPM)	As(PPM)	Fe(%)	Mn(PPM)
入見内川	-10+30	825.6	238.0	366.5	0.988	7.08	3.68	1152.8
	-30+80	910.2	353.3	373.3	0.961	17.085	4.38	1195.2
	-80+120	980.4	850.2	403.4	1.136	16.305	7.80	1549.0
	-120+200	976.8	675.0	409.1	1.193	11.031	7.05	1356.5
	-200	1001.3	462.3	388.68	1.451	8.689	5.26	1192.7
土買川	-10+30	72.0	126.7	169.92	1.182		2.21	542.7
	-30+80	89.7	200.2	163.30	1.773	10.1	2.45	588.3
	-80+120	118.6	269.5	228.0	1.790	17.0	4.859	1063.5
	-120+200	134.2	263.3	254.0	2.02	17.9	4.624	1137.0
	-200	150.4	256.7	361.2	3.12	23.9	3.755	1137.5

各河川ともサンプリング距離は上流から下流まで約13 km, サンプリング地点は河川によってそれぞれ20点ずつ。

くに、次の特性を有することから、概査にはもっともよく用いられてサンプル・メディアの一つである。

### 3.2 河川堆積物

河川堆積物は地球化学探査におけるサンプルとしては、他のサンプルに比して、複雑な基盤岩、被覆物、及び土壌の分布する地域を代表する複合的サンプルの性格を有し、しかも集水面積内の地質や鉱化帯を反映するようなデータを提供する。従って地球化学図作成には最適の試料となる。

河川堆積物は-10+30~-200メッシュなど粒度によって金属含有量が異なり、一般に粒度がこまかくなるにつれて、金属含有量は増加の傾向を示す。表4には入見内川及び土買川からの粒度別河川堆積物、-10+30, -30+80, -80+120, -120+200, -200メッシュの重金属濃度の比較結果を示す。それぞれの河川の上流には三日市鉱山(金, 銅, 鉛鉱床)及び小杉沢鉱山(金稼行鉱床)が分布する。

この表からも明らかなように、上述のように全体的には両河川とも河川堆積物中の重金属濃度は粒度の細かい程増加するが、これら河川に合流する支川の影響などにより、必ずしも粒度のこまかいものももっとも高い値を示すとは限らない場合もある。

河川堆積物は、地下水に由来するマンガン酸化物のフィルムによって被覆されたり、細かい粒状のマンガン酸化物を形成する。これらの生成は、一般に流速が速く、酸化作用の活発な早瀬のようなところが、良好である。この酸化物は河川水中の溶存金属イオンを吸着することから、マンガン酸化物のフィルムで、コーティングを受けている河川堆積物は、高い金属濃度を示す。一方、河川水が一時的にも流速を減じ、流水が停滞しがちな河床の凹処では、還元作用の方が酸化よ

りも優る。従って、この環境下では、マンガン酸化物に吸着されている金属は溶脱し、河川堆積物中の金属濃度は減少する。

ニッケル、亜鉛、コバルト、銅などを高濃度で含有する大平洋深海底産マンガン・ノジュールや、第三紀中新世の西黒沢相当層から産するマンガン・ノジュールなどのマンガン酸化物皮殻の生成環境と金属の高濃度の濃集機構には、河川堆積物に伴うマンガン酸化物の作用と類似点が存するようにも考えられる。

## 4. データの数値処理と解析

### 4.1 データの多様化

従来の地球化学探査は、単元素を指示元素とする解析を主体とすることから、Artificial mapping によるアノマリー図作成で目的が達せられる場合が多かった。

従ってデータを単純な手法により解析する結果、しばしば、偽アノマリーによる探査ミスあるいは失敗を招くことがあった。

近年の多元素同時分析法によるデータの複雑・多様化に伴ない、コンピュータ活用による数値処理を適用することにより、極めて迅速に、しかも客観的にアノマリーを解析することができるようになった。

地球化学探査において、10数年以前の解析法とその技術とを現在と比較し、顕著な差異はデータの複雑多様化と、このようなデータ解析法の進歩による探査成果の向上であろう。つぎに近年ルーチン化されているデータの数値処理に関する1, 2の手法を紹介してみたい。

### 4.2 データの数値処理

すでに、国外では1960年代あるいはそれ以前から、

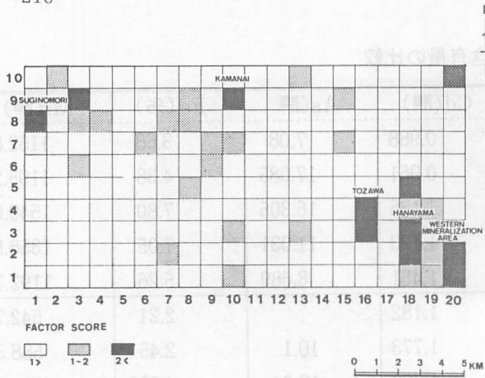


図-3 宮城県栗原郡花山・鬼首地区の河川堆積物による鉍化作用地球化学図 (日本鉱業会地球化学探査研究委員会, 1974)

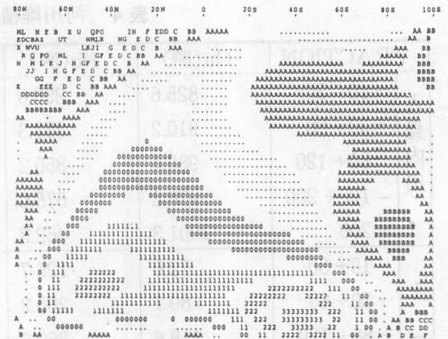


図-5 Yukon州のAISHIHIK湖周辺の斑銅鉍床の傾向分析図(銅) (椎川ら 1969)

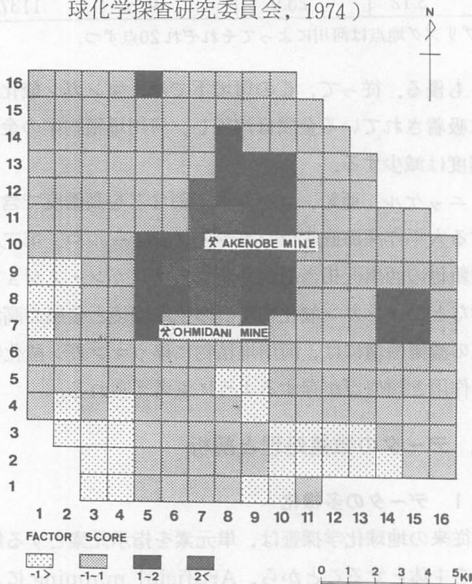


図-4 兵庫県明延・大身谷地域の河川堆積物による鉍化作用地球化学図 (日本鉱業会地球化学探査研究委員会 1978)

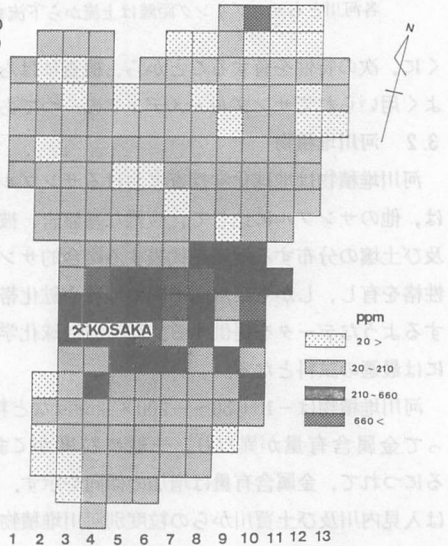


図-6 秋田県鹿角郡小坂山付近の土壌地球化学図

データの数値処理に関する研究は盛んで、種々の方法がこころみられてきている。そのなかの代表的な方法の一つに因子分析があげられる。

(1) 因子分析 (Factor Analysis)

これは、1904年 Spearman<sup>7)</sup> によって心理学に用いられた方法で、これが地球科学の分野へ適用されるようになったのは、1957年Krumbein<sup>8)</sup>によるものである。その後1964年にはHarbaughらによって複雑なデータ中に内蔵されている相関を見出す方法として、因子分析法が有効であることが報告された。この分析法にはQ技法とR技法とがあり、Q技法は、サンプル間、R技法は変量間(元素)間に、それぞれ相関性を見出すための統計的処理法で、多変量であらわされる変動をより少数の代表的及び仮設の変動によって説明し、複雑なデータから科学的単純性

を見出す方法である。

図-3には宮城県栗原郡花山村地区の河川堆積物中のCu, Pb, Zn, Cd, Ag, Ti, V, Ni, Co, Crなどの分析値に、因子分析(Varimax法、及びPCA)を適用した例を示す。その結果、第一因子としてはCd, Zn, Ag, Pb, の因子負荷量が高く、鉍化作用の地球化学特性が示され、しかも、この因子の得点は、既知鉍化帯で高い値を示した。また図-4の兵庫県の明延・大身谷鉍床とその周辺の河川堆積物の分析結果、えられた第1因子はCd, Zn, Cu, Fe, Mn及びHgなどで、明らかに鉍化作用の特性を示し、しかも、高い因子得点分布地域は、明瞭に、明延、大身谷及び神子畑の鉍化帯を反映している。

(2) 傾向分析 (Trend Surface Analysis)

1969年7月~8月、筆者らはカナダのYukon州のAISHIHIK湖周辺のポーフィリーカッパー地帯の

地球化学探査に従事する機会がえられた。この鉱化帯はカナダのB.C.州を北北西方向に延びているポーフィリー・銅帯の延長上に位置する。東西と南北方向にそれぞれ、1000フィートと500フィート間隔の測線を設定し、土壌A層のシステムティックのサンプリングを行った。サンプル中の銅はバイキノリン法によって現地分析を行った。この分析データを、ブリティッシュ・コロンビア大学のコンピュータによって傾向分析を行い、その結果を図-5に掲げた。図-6は、秋田県鹿角郡小坂鉱山周辺の自然残留土壌A層中の銅の水平的濃度分布図で、コンピュータによる自動図法によるものである。従来の主観にとらわれがちなhandling図法は、コンピュータ利用による客観的マッピング法になり、また図-5のTrend Surface法を用いることにより鉱化帯の方向性と、採試のできなかった地域の濃度分布についての推定もできた。

このような、データの適切な数値処理による解析は探査成果の向上に重要な役割を果している。

## 5. 地熱の地球化学探査

### 5.1 指示元素

1974年宮城県奥の尾首地区の河川堆積物による地球化学探査において、データの因子分析の結果、Hg, As, Bからなる第1因子がえられた(図-7)。これは明らかに、地熱の地球化学特性を示す因子と解釈されるもので、しかもこの高い因子得点の分布は荒湯及び片山地獄にみとめられた。1981年、秋田県小安・泥湯地域の地熱探査や、1982年に実施の岩手県松川地域の探査においても同様にHg, As及びBからなる地熱を特徴づける因子がえられ、この因子得点の高い値が、それぞれの地域の既知地熱帯において明示された。

これらのことから、地熱の探査には、Hg, As及びBを指示元素とした地球化学的手法が、きわめて有効であり、この結果の一部については、1982年、カナダのサンカチアン州で開催の第9回国際地球化学探査学会において、筆者らによって報告された。

### 5.2 判別分析法の活用

判別分析法は、試錐を継続すべきか、あるいは中止すべきかを決定するのに有効な解析法で、とくに地熱探査のような深い井戸の試錐を必要とする場合には、最もぞましいデータ処理法の一つである。すなわち、下部あるいは深部に探査目的の鉱化帯あるいは熱源が存在しているか否かについて確認ずみの試錐岩芯から

のデータを用い、資源の存否を明瞭に区別するような判別関数を求める。この関数を用いて、未知探査試錐岩芯の一部のデータを検討し、下部ないし深部の資源の存否を推定しようとするもので、一般に、試錐開始後深度50~100m以内の試錐岩芯で目的が達せられる。この手法の活用は、深層試錐探査ではとくにその有効性が期待される。

## 6. 地球化学図

### 6.1 地球化学図とは

すでに述べたように地表には、地質及び鉱化作用を反映し、種々の元素が種々の濃度レベルで分布している。この濃度を数段階のレベルに区分し、地図上に単元素別、あるいは数元素を同時に同一図上に示したものが地球化学図で、単元素の濃度レベルは単色の濃淡で、また三元素の場合は、カラーミクシング(減算混合法)であらわす方法が開発され、これによる図法が一般に用いられている。

1972年、Lowenstein<sup>9)</sup>らによって、地球化学図作成法が報告されてから、1974年<sup>10)</sup>には、第5回国際地球化学探査シンポジウムにおいて、Webbによって図-8に掲げた地球化学図と、この図が鉱物資源探査ばかりではなく、農業対策、水産及び環境保全などの分野においても、極めて大きな役割を果すことが報告された。1978年には、ロンドン大学のWebb教授を中心とする応用地球化学研究グループ<sup>11)</sup>によって“Wolfson Geochemical Atlas of England and Wales”が刊行された。

1982年5月、カナダ、サスカチアン州のSaskatoon市で開催された第9回国際地球化学探査シンポジウムにおいては、西独、南アフリカ、中国、米国などで作成中の地球化学図の一部が紹介された。

わが国においては、1974年~77年に至る3ケ年、文部省特定研究“人間生存と自然環境”<sup>12) 13) 14) 15)</sup>の1部の研究として「人間生存環境のインデックスとしての地球化学図作成に関する基礎的研究」が筆者らによって行われた。この基礎的研究によって確立された作成手法を駆使して、わが国で初めての地球化学図の作成が、文部省の試験研究費の助成をうけて、秋田県を対象として1982年から2ケ年間の計画で、筆者らによって作成されている。

### 6.2 地球化学図の鉱物探査への活用

図-3と7には1974年~76年、日本鉱業会地球化学探査研究委員会が、地球化学図作成法の基礎的研究の対



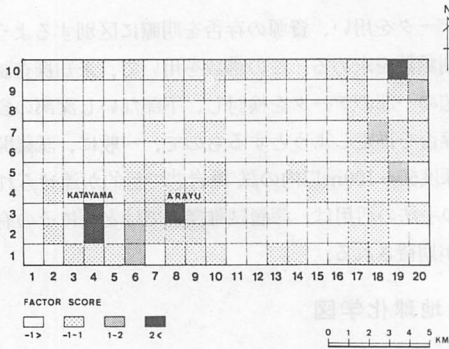


図-7 宮城県鬼首温泉付近の河川堆積物による地熱地球化学図 (Hg, As及びBよりなる因子)

象地域として選定した宮城県栗原郡花山地域の地球化学図を示す。この範囲は東西20km×南北10kmで、河川堆積物を1平方kmから1点の割合で採取した。分析元素はCu, Ag, Pb, Zn, Cd, Ni, Co, Cr, V, Ti, Hg, B, As などである。

分析結果はバリマックス法により、因子分析を行い第1因子として、Cd, Zn, Ag, Pb, 第4因子としてHg, As, Bの共生元素とそれらの因子得点が算出された。この第1因子は細倉鉱床を特徴づける地球化学的及び鉱床学的特性を示すもので、また高い因子得点を示すところは、既知の鉱化帯で特徴づけられ、第4因子は鬼首地区の地熱を特徴づける地球化学的特性を有し、高因子得点地区は既知地熱の高ポテンシャル帯と一致の傾向を示す。このように、地球化学図の鉱物資源探査への有効性は非常に高い。

### 6.3 環境図としての地球化学図の役割

#### (1) 人間生存環境のインデックス

微量成分元素が生体に及ぼす影響は、極めてデリケートであり、カシンベックその他の風土病などもその一例としてあげられ、特定地域に限って多く発症する疾患のなかには、toxicな微量成分の分布と密接な関係を示す多くの事例が知られている。生産活動の発展に伴い、しばしば有害元素の人工的蓄積汚染が発生する。人間生存のインデックスとして、自然作用による微量成分元素のバックグラウンドを明らかにしておくことが急がれる。

#### (2) 農業への利用

英国では農林関係機関による地球化学図の活用が非常に活発で、農業対策においても大きな成果をあげている。八郎瀧の干拓後の土壌中の重金属分布を調査し、銅が25~27、鉛が17~18、亜鉛が103~115、ニッケルが41~47ppmの結果が得られた<sup>14)</sup>。これは八郎瀧干拓以前の流入河川流域には、鉱化帯の発達

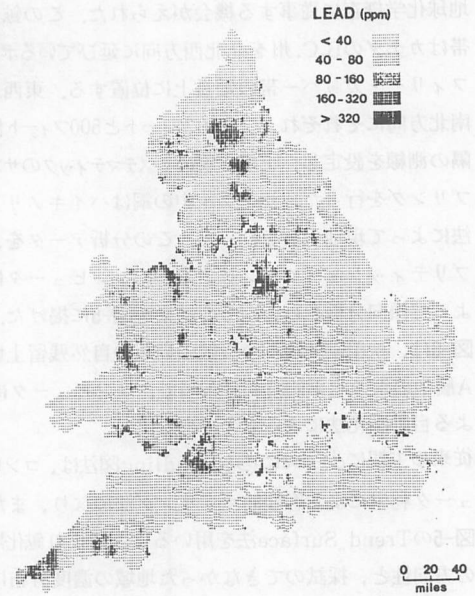


図-8-a England と Wales の Pb地球化学図 (Webb ら, 1974)<sup>10)</sup>

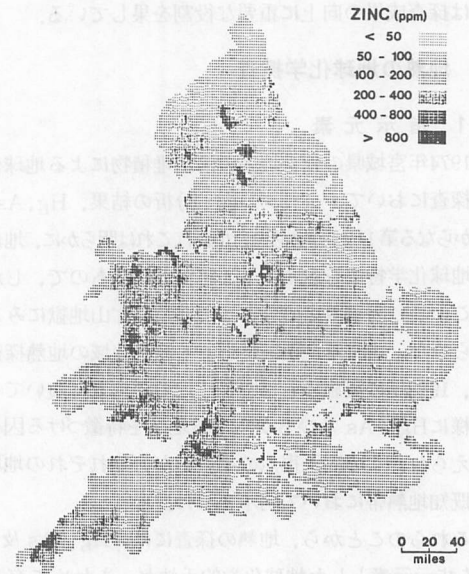


図-8-b England と Wales の Znの地球化学図 (Webb ら, 1974)<sup>10)</sup>

はなく、八郎瀧低質が干拓土壌母材としての適性を示すものである。

#### (3) 水産への利用

一般に湾あるいは河口付近に設置されるふ化場の生物には、その河川水中の成分元素が大きな影響を与えることが多い。図-8-bの地球化学図には、北西ウエールズに設けられたカキのふ化場に流入す

る河川流域に亜鉛の鉱化帯が分布し、ふ化場の湾の水質は潮汐によって、亜鉛濃度が100~500 $\mu\text{g/l}$ の変化範囲を示すために、この河川の流入する湾はふ化場として不適なことが地球化学図によって明示されている。

7. ま と め

地球化学探査法による鉱物資源の探査について、国内外のあゆみについて、その概要を紹介した。紙面の関係上、地球化学探査法において指示元素のハローやアノマリーの形成機構及び地表の天然物質中における指示元素の化学的挙動や動態については、次の機会にゆずった。さいごに、地球化学図について付記したが英国全土をカバーする地球化学図<sup>11)</sup>が完成後、世界各国が競って、地球化学図の作成にとりかかっていることや、わが国でも、秋田大学応用地球化学研究グループによって、目下秋田県の地球化学図の作成が進行中であることを付記した。

引 用 文 献

1) Flanagan, F.J.; U.S.G.S. Silicate Rock Standards (1966) 289~307  
 2) Bens, A.A and Grigorian s.v.; Geochem. Explor. Method for Mineral Deposits (1975) 1-283  
 3) 椎川誠編; 地球化学探査実施技術研究報告(その1) (1979), 日本鉱業会誌 95, 1100, 763, 763~775.

4) 島 誠; 地球化学探査法 (昭和45年) 共立出版社  
 5) UNSCO and ECAFE; Proceedings of the Second Seminar on Geochem. Prospecting Methods and Technique (1970) 1~413  
 6) Curtin, G. C., King, H. D., Moiser, E. L.; Jour. Geochem. Explor., Vol.3, No.3(1974), 245~264  
 7) Spearman, C.; Amer. Jour. Psych. Vol.15 (1904), 201~293.  
 8) Krumbein, W.C.; Jour. sed. Pet. (1957), 293~297  
 9) Lowenstein, P. L. and Howarth, R. J.; Proc. of 4th International Geochem. Explor. Sym (1972), 297-304.  
 10) Webb, J. S. ; Geochem. Explor. (1974), 5~17.  
 11) Webb J. S. et al; "Wolfson Geochemical Atlas of England and Wales" Oxford  
 12) 椎川誠 他; 人間生存環境のインデックスとしての地球化学図作成に関する基礎的研究 (昭和49年) 1~9  
 13) 同 上 ; 同 上 (昭和50年) 1~26  
 14) 同 上 ; 同 上 (昭和51年) 1~44  
 15) 同 上 ; 「人間の生存にかかわる自然環境に関する基礎的研究」研究報告集録 (昭和51年) 471~485

