

# 日本の地球化学図

今井 登<sup>1)</sup>・寺島 滋<sup>1)</sup>・太田 充恒<sup>1)</sup>・御子柴(氏家)真澄<sup>1)</sup>  
岡井 貴司<sup>1)</sup>・立花 好子<sup>1)</sup>・富樫 茂子<sup>1)</sup>・松久 幸敬<sup>1)</sup>  
金井 豊<sup>2)</sup>・上岡 晃<sup>2)</sup>・谷口 政碩<sup>3)</sup>

## 1. まえがき

日本列島における元素分布の特徴を明らかにする日本の地球化学図がこのほど完成した。本地球化学図は過去5年間にわたり産業技術総合研究所が作成していたもので、日本全土における有害元素(ヒ素, 水銀, カドミウム, アンチモン, ビスマス, 鉛等)をはじめとする53元素の濃度分布と、日本における元素のバックグラウンドを明らかにするものである。データは「日本の地球化学図」として地質調査総合センターより出版されるほか、すべてのデータはホームページ(<http://www.aist.go.jp/RIODB/geochemmap/>)でも公開されているのでここで紹介したい。

地球化学図は、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作成されてきたが、最近では環境汚染などの環境問題の観点から作成されることが多く、諸外国では国単位で地球化学図が作成されている。国内においても複数の機関がそれぞれの地域で地球化学図を作成し発表してきた(今井ほか, 2001)。本研究では、日本全国から系統的に採取された約3,000個の河川堆積物中の53元素を同一手法(ICP発光・質量分析法, 原子吸光法)で定量し、全国規模での地球化学図を作成し元素の濃度分布を明らかにすることができた。

## 2. 試料および分析法

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。河川堆積物とは河川の

河床に堆積している粘土, 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の地質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ることから, 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。試料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試料を採取した。試料の採取密度は10×10kmに1試料を目安とした。第1表に実際に採取した試料を1/20万地形図の図画ごとに分けた数を示した。一区画30~50個程度であり, 総数は3,024個である(今井ほか, 2001)。

試料採取法は各河川の指定地点において, 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。採取した試料は加熱等を一切行わず自然乾燥(風乾)した後, 篩<sup>ふるい</sup>って粒度80メッシュ(180 $\mu$ m)以下の部分を分離した。さらに薄くのばし, 磁石を用いて磁鉄鉱などの明らかな磁性鉱物を除き分析試料とした。

試料は硝酸, 過塩素酸, フッ化水素酸で分解しICP発光分析法, ICP質量分析法で分析した。ICP発光分析法でアルミニウム, バリウム, カルシウム, 鉄, カリウム, マグネシウム, マンガン, ナトリウム, リン, ストロンチウム, チタン, パナジウムを, ICP質量分析法でベリリウム, ビスマス, カドミウム, セリウム, コバルト, クロム, セシウム, 銅, ジスプロシウム

1) 産総研 地質情報研究部門  
2) 産総研 深部地質環境研究センター  
3) 産総研 元所員

キーワード: 地球化学図, 有害元素, 元素分布, 河川堆積物, 環境汚染

第1表 1/20万図画ごとの試料数(総数3,024個)。沖縄は1/20万那覇と  
与論島を合わせて一つとして数えている。

No	図名	試料数	No	図名	試料数	No	図名	試料数	No	図名	試料数
0	沖縄	16	26	伊勢	32	52	水戸	42	78	函館	33
1	開聞岳	14	27	伊良湖岬	2	53	七尾	19	79	尻屋崎	5
2	鹿児島	46	28	御前崎	2	54	富山	42	80	久遠	12
3	宮崎	34	29	見島	3	55	高田	51	81	室蘭	36
4	野母崎	1	30	浜田	36	56	日光	31	82	苫小牧	14
5	八代	36	31	高梁	39	57	白河	39	83	浦河	28
6	延岡	39	32	姫路	53	58	輪島	8	84	広尾	22
7	長崎	21	33	京都及大阪	53	59	長岡	25	85	岩内	36
8	熊本	58	34	名古屋	48	60	新潟	52	86	札幌	53
9	大分	55	35	豊橋	44	61	福島	48	87	夕張岳	44
10	宇和島	25	36	静岡	48	62	相川	19	88	帯広	56
11	窪川	6	37	横須賀	14	63	村上	26	89	釧路	27
12	唐津	5	38	大多喜	9	64	仙台	57	90	根室	7
13	福岡	33	39	大社	5	65	石巻	10	91	留萌	34
14	中津	26	40	松江	11	66	酒田	16	92	旭川	49
15	松山	27	41	鳥取	24	67	新庄	45	93	北見	38
16	高知	56	42	宮津	19	68	一関	37	94	斜里	39
17	剣山	30	43	岐阜	42	69	男鹿	3	95	標津	18
18	田辺	27	44	飯田	46	70	秋田	42	96	羽幌	20
19	木本	3	45	甲府	38	71	盛岡	43	97	名寄	37
20	小串	5	46	東京	47	72	深浦	3	98	紋別	27
21	山口	39	47	千葉	29	73	弘前	38	99	網走	5
22	広島	32	48	金沢	36	74	八戸	31	100	知床岬	6
23	岡山及丸亀	21	49	高山	77	75	青森	28	101	天塩	17
24	徳島	24	50	長野	42	76	野辺地	13	102	枝幸	26
25	和歌山	30	51	宇都宮	50	77	渡島大島	1	103	稚内	8

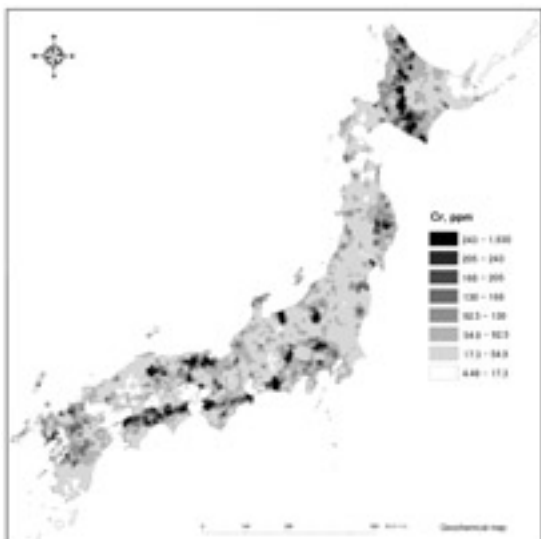
ム、エルビウム、ユーロピウム、ガリウム、ガドリニウム、ハフニウム、ホロニウム、ランタン、リチウム、ルテチウム、モリブデン、ニオブ、ネオジム、ニッケル、鉛、プラセオジム、ルビジウム、アンチモン、スカンジウム、サマリウム、スズ、タンタル、テルビウム、トリウム、タリウム、ツリウム、ウラン、イットリウム、イッテルビウム、亜鉛、ジルコニウムを、水銀とヒ素については原子吸光法を用いて分析した。また、これとは別に希酸に可溶性元素を分析するため「農用地の土壌の汚染防止に関する法律」に基づく検定方法0.1規定(以下Nと表記)塩酸浸出法による可溶性元素の分析法を用いて分析した。

### 3. 全国の地球化学図

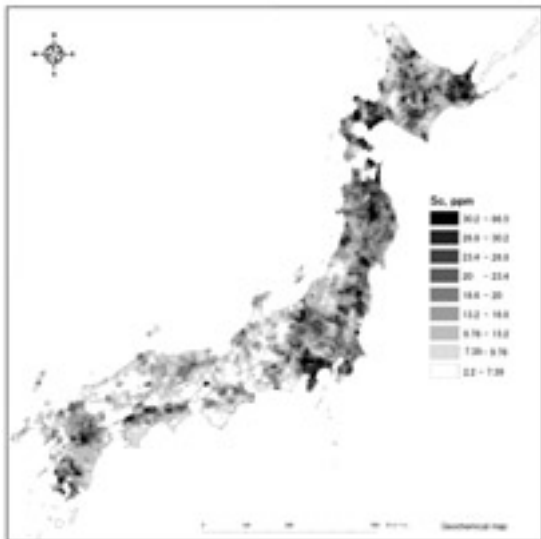
前述したように、本研究で用いた河川堆積物試料の組成はその河川の上流域の地質を代表すると考えることができる。従って、地球化学図の作図は試料採取点のみではなく、このような流域を考慮して行った。本研究では標高データとしては国土地

理院の50mメッシュ標高データを用い、解析ソフトはESRI社のArc GISを用いた。本研究では簡便化のため調査地域を適当な大きさのメッシュで区切り、地形を考慮しながら各メッシュがどの流域に帰属するかを定め、このメッシュデータをもとに地理情報システムを用いて地球化学図を作成した。

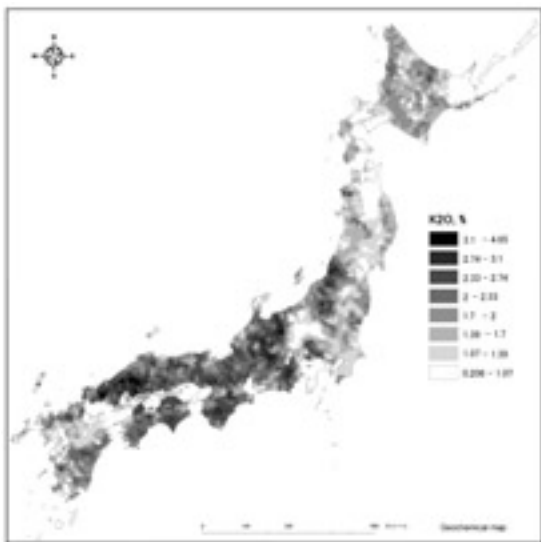
全国の地球化学図の例を第1図～第4図に示した。この中で特にクロムの分布(第1図:口絵1)は特徴的であり、四国・近畿を東西に横断して東海・関東に至る構造線(中央構造線)や北海道の中央部を南北に縦断する構造線に沿って200ppm以上の顕著な高濃度地域(赤い帯)が見られる。このほかに北陸の姫川流域などいくつかの地域でクロムの特徴的な高濃度を示す。これは、この地域に分布するクロムやニッケルを多量に含有する緑色岩類やその周辺の超塩基性岩に起因すると考えられる。四国・近畿の中央構造線や北海道の構造線に沿ってもこのような超塩基性岩が分布しており、クロムのほかニッケルについても高濃度帯が見られた。



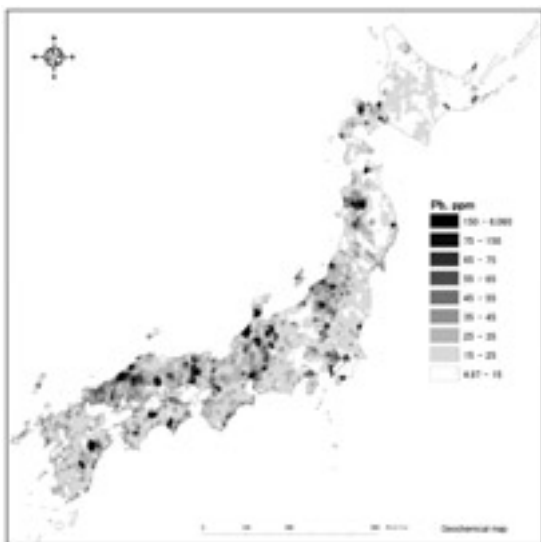
第1図 クロムの全国地球化学図.



第3図 スカンジウムの全国地球化学図.



第2図 カリウムの全国地球化学図.



第4図 鉛の全国地球化学図.

カリウムの分布(第2図:口絵2)は背景の地質と密接な関係があり、花崗岩や流紋岩などのシリカの含有量が高い酸性岩で濃度が高いことが知られている。従って、酸性岩が広く分布する西日本で濃度が高くなっており、酸性岩の分布が少ない東北地方では濃度が低くなっている。反対にスカンジウムの分布(第3図:口絵3)は玄武岩などの塩基性岩で濃度が高く、塩基性岩の分布が卓越する東北日本で濃度が高く西日本で濃度が低くなっている。

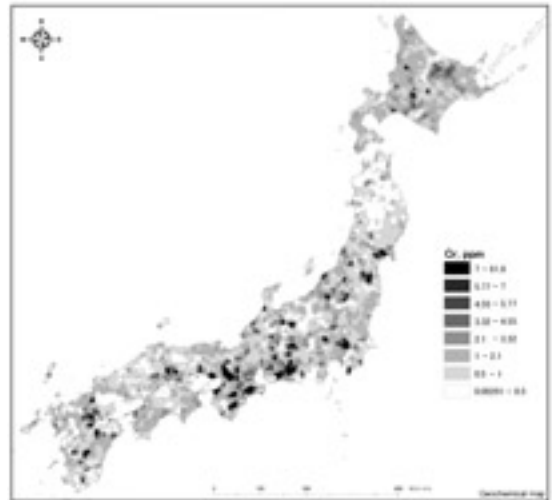
鉛(第4図:口絵5)の分布に関しては、各地の鉱床に関連していると考えられ、かつての鉱床地域と各元素の高濃度域がほぼ一致する。特に大規模な鉱山であった足尾、日立、尾去沢、小坂、生野、別子などの周辺地域で明らかな高濃度を示している。

#### 4. 0.1N塩酸抽出成分の全国地球化学図

環境汚染により深く関係していると考えられる希酸に可溶な存在形態の元素濃度分布を明らかにす



第5図 鉛の0.1N塩酸抽出地球化学図.



第6図 クロムの0.1N塩酸抽出地球化学図.

るため、0.1N塩酸浸出法による可溶性元素の全国地球化学図を作成した。鉛(第5図:口絵6)については元素濃度は全含有量の20~30%になっているが全体の分布の傾向は全含有量の分布とよく一致した。土壤汚染対策法では1N塩酸による抽出の値が環境基準として規定されている。環境基準に定められている元素は溶出しやすい元素が多く、本研究による0.1N塩酸浸出法の値と比較すると環境基準の1N塩酸抽出法の値はより含有量に近い値であると考えられる。これに対して0.1N塩酸浸出法によるクロムについては含有量とは全く異なる濃度分布を示しており(第6図)、元素の存在形態や価数が異なるといったような、含有量とは異なる情報が示されていると考えられる。従って、このような元素による汚染を考えるときには含有量の地球化学図を用いるだけでは不十分であり、元素の存在形態とその起源について考察する必要があると考えられる。

## 5. 全国の元素濃度データ

採取した全国の河川堆積物3,024個の元素濃度データの平均値、中央値、最大値、最小値、標準偏差を第2表に示した。銅や鉛などの元素は鉱床周辺では極端な高濃度となるため、平均値と標準偏差の算出に当たってはこのような異常値(はずれ値)はスミルノフ・グラブスの検定により除外して計

算した。また、中央値、最大値、最小値は異常値を除外する前の全データから求めた。

この結果、全体として平均値は中央値とほぼ同じか、やや高いという結果となった。中央値はこのような高濃度異常値には影響されにくいので代表値としてはより妥当であると考えられる。元素濃度のばらつき(変動係数:標準偏差/平均値)はほぼ20~60%程度である。平均値・中央値と日本元素存在度(日本の上部地殻の元素組成平均値)(Togashi *et al.*, 2000)と比較すると河川堆積物の方が高い元素はチタン、ヒ素、銅、鉛、亜鉛であり、同程度なのが鉄、マグネシウム、リン、バリウム、コバルト、セシウム、アンチモン、バナジウムで、低い元素はアルミニウム、カルシウム、カリウム、ナトリウム、リチウム、クロム、ニッケル、ルビジウム、スカンジウム、ストロンチウム、トリウム、ウラン、希土類元素である。本研究で採用した分解法(硝酸、過塩素酸、フッ化水素酸分解)ではジルコンなどの一部の鉱物は溶解しないため、ジルコニウム、ハフニウム、イットリウム、重希土類元素などは実際の含有量よりもかなり低い値を与える可能性がありこの比較からは除外した。

河川堆積物中の元素のうち一般に鉱床に関連している元素は統計処理をしても高濃度異常が幾分残存するため日本の元素存在度よりやや高い値となった。それ以外の岩石の基質に存在するような元素と希土類元素、ウラン、トリウム等はやや低い

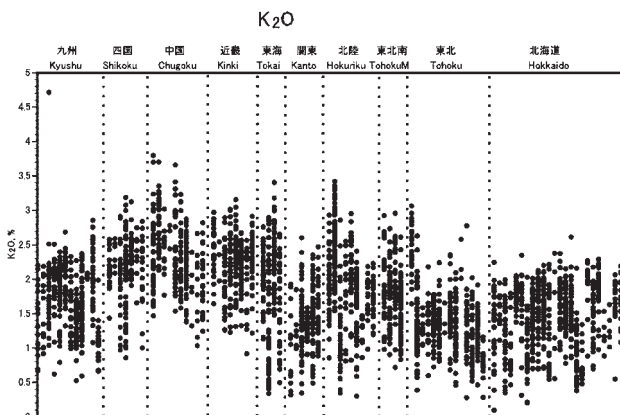
第2表 全国の河川堆積物の元素濃度データの平均値, 中央値, 最大値, 最小値, 標準偏差, 日本元素存在度 (Togashi et al., 2000). 濃度の単位はアルミニウム (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) からチタン (TiO<sub>2</sub>) までは%, ヒ素 (As) ~ジルコニウム (Zr) までは ppm.

元素	平均値	中央値	最大値	最小値	標準偏差	日本元素存在度	元素	平均値	中央値	最大値	最小値	標準偏差	日本元素存在度
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , %	10.86	10.87	27.99	2.88	2.43	14.67	La	17.2	16.5	1344	2.16	7.01	21.7
CaO	2.52	2.33	23.82	0.119	1.58	3.90	Li	29.7	28.3	115	5.04	12.4	46.4
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	6.13	5.74	26.11	1.34	2.35	5.39	Lu	0.255	0.245	1.85	0.032	0.095	0.40
K <sub>2</sub> O	1.73	1.74	4.71	0.088	0.59	2.42	Mo	1.28	1.15	32.6	0.164	0.647	
MgO	2.82	2.56	14.12	0.187	1.42	2.53	Nb	7.47	7.16	56.6	0.47	3.16	9
MnO	0.126	0.12	2.38	0.013	0.057	0.11	Nd	16.4	15.6	698	3.02	5.4	20.8
Na <sub>2</sub> O	2.16	2.16	5.44	0.318	0.549	2.72	Ni	25.1	20.7	2401	1.38	17.9	38
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.131	0.121	3.46	0.0208	0.055	0.12	Pb	23.1	20.7	7594	4.07	11.8	16.9
TiO <sub>2</sub>	0.777	0.716	4.94	0.137	0.317	0.62	Pr	4.08	3.91	207	0.62	1.46	5.54
As, ppm	9.32	8	2010	<1	7.51	6.5-7.1	Rb	69.7	65.6	265	2.7	37.4	85
Ba	408	413	2915	65.1	111	458	Sb	0.699	0.601	123	0.066	0.416	0.61
Be	1.36	1.32	16.1	0.118	0.501		Sc	14.9	13.4	95.2	2.18	7.57	16
Bi	0.252	0.226	87	0.024	0.152		Sm	3.47	3.29	87.7	0.721	1.05	4.28
Cd	0.158	0.13	28.9	0.017	0.1		Sn	2.43	2.14	194	0.468	1.28	
Ce	32	30.2	2464	4.48	12.9	46.4	Sr	153	146	1321	22.8	64.2	225
Co	15.6	14.2	111	1.79	7.52	15	Ta	0.611	0.574	5.38	0.003	0.28	0.72
Cr	65.2	53.1	1941	3.34	45.4	84	Tb	0.574	0.552	7.13	0.101	0.175	0.70
Cs	3.95	3.59	33.6	0.199	2.18	5.5	Th	5.89	5.43	363	0.432	3.23	8.3
Cu	30.6	27.4	6723	3.49	17	25	Tl	0.49	0.469	6.54	<0.01	0.218	
Dy	2.98	2.86	29.4	0.511	0.96	3.94	Tm	0.277	0.265	2.13	0.036	0.098	0.39
Er	1.73	1.66	14.2	0.256	0.6	2.39	U	1.41	1.29	86.2	0.116	0.698	2.32
Eu	0.832	0.816	3.38	0.175	0.214	1.07	V	131	119	561	10.7	63.4	110
Ga	16.3	16.2	33.9	5.06	2.4		Y	18.1	17.3	153	2.24	6.42	26
Gd	3.28	3.14	56.4	0.607	0.957	3.65	Yb	1.73	1.66	12.9	0.211	0.622	2.57
Hf	1.58	1.55	11.9	0.141	0.617	4.10	Zn	118	107	11444	17.1	46.3	74.1
Hg	0.054	0.040	18.05	<0.0010	0.0468		Zr	56.2	54.3	358	3.99	24.5	135
Ho	0.585	0.56	5.13	0.091	0.198	0.72							

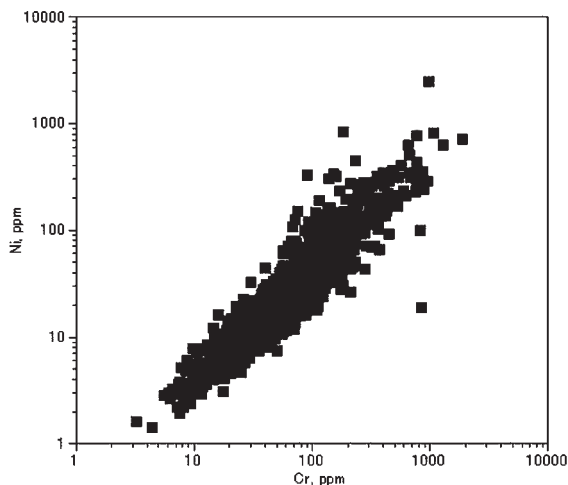
値となった。これは日本の元素存在度が乾燥重量ベースによって算出されているが、河川堆積物は自然乾燥のみでそのまま分析したため、試料によっては湿分が10%前後含まれていることによる。また、両者を計算する際の試料の違い、および河川堆積物試料の分解法の違い等が関与しているものと考えられる。

## 6. 地域別の元素濃度

第7図に地域別(北から南へ北海道, 東北, 東北南, 北陸, 関東, 東海, 近畿, 中国, 四国, 九州)に分類したカリウムの濃度を示した。全試料の元素濃度が地域別に示されている。全体として四国, 中国, 近畿などの西日本で濃度が高く、東北, 北



第7図 カリウムの地域別の元素濃度。横軸は地域別に分けた1/20万図画ごとの地図番号(第1表参照)をとった。



第8図 クロムとニッケルの相関 (相関係数0.74)。

海道などの東日本で濃度が低いという特徴があることが分かる。このほかにベリリウム、ルビジウム等も同様な傾向を示す。反対に鉄、スカンジウム、バナジウムは西日本で濃度が低く、東日本で濃度が高い。ランタンについては西日本でやや濃度が高く、特に東海地方に濃度の高い値がある。

## 7. 元素濃度データの相関

元素の濃度分布に関して元素濃度間には密接な相関がある。第8図に示したように超塩基性岩で特徴的な高濃度を示すニッケルとクロムの相関係数は0.74で非常に高い。鉱床に関連した亜鉛-カドミウム (相関係数0.81)、銅-カドミウム (相関係数0.72)、アンチモン-鉛 (相関係数0.77) も高い相関を示す。ウラン-トリウム (相関係数0.89) は両者とも放射性元素であり相互に極めて高い相関を持っている。酸性岩で濃度が高いカリウム-ルビジウム (相関係数0.88)、塩基性岩で濃度が高い鉄-スカンジウム (相関係数0.82)、鉄-バナジウム (相関係数0.87) も高い相関を示している。

## 8. データの公表

このような全国の地球化学図のデータをWeb上で広く一般に公開するためにホームページを作成した。第9図 (口絵7) にホームページの表紙を示す。ここから全国の地球化学図、地方の地球化学



第9図 地球化学図のホームページ。

<http://www.aist.go.jp/RIODB/geochemmap/>

図、試料の詳細情報を参照することができる。全国の地球化学図を選択すると、周期律表が表示され元素の選択画面になる。ここで参照したい元素、例えばクロムをクリックすると全国の地球化学図、ヒストグラム、試料数、平均値、中央値、最大値、最小値、標準偏差を参照できる。地方の地球化学図を選択すると地方選択画面が表示され北海道から九州まで選択することができる。適当な地域を選択するとその地域の地球化学図が表示される。

また、試料の個別の詳細情報を知りたいときは試料の詳細情報を選択すると1/20万図面の選択画面が現れる。このページから試料採取点の写真/風景、試料外観 (クリックすると岩石種が判別できるような拡大写真が表示される)、試料詳細情報、緯度経度、地名、河川名、河床幅、流水幅、流速、河床状況、試料粒度、試料色調、護岸、コメントを知ることができる。このほかホームページ上から全試料の元素濃度・緯度経度データ、全国・地方地

球化学図データ(画像/地理情報データ:シェープファイル形式)および関連情報をダウンロードすることができる。

## 9. 地球化学図を使用するに当たっての注意点

地球化学図はカラーマップから直感的に元素濃度の分布を知ることができ便利ではあるが、使用するに当たって注意すべき点がある。まず重要なことは、試料採取密度が $10 \times 10 \text{ km}$ に1試料であるということである。地球化学図は試料採取点においてその流域を代表するという仮定に基づいている。試料採取点はあくまで点データであり、面として色を塗っている場合でも、各部分は内挿しておりその分解能は $10 \text{ km}$ 程度である。従って、異常値を与える要因が近くにあっても図上に現れないことがある。逆に1点のみ極端に高濃度のデータがあった場合は、そのデータが流域全体に拡張されるため強調されて表示される場合がある。

また、一部の元素は低値を与える可能性がある。重希土類元素、イットリウム、ジルコニウム、ハフニウム等は特定の深成岩、変成岩や有機物を多量に含有する試料などで、本研究で用いた硝酸-過塩素酸-フッ化水素酸分解では完全に分解せず低値を与える可能性がある。また、水銀は試料の不均質によると見られる値の変動が大きく再現性も乏しい場合がある。

試料採取に関しては、大都市の市街地では試料採取を避けている点が挙げられる。大都市の市街地内部については自然的要因以外の様々な汚染が予想されるので、自然のバックグラウンドを求めることが目的の本研究では一部の例外を除き試料採

取を避けている。従って、大都市内部では周辺地域から外挿している。また、市街地内の護岸を伴った河川では流域という概念は当てはまらない。

濃度値の精度について、その変動は $1/2 \sim 2$ 倍程度と考えられる。試料採取、分析等による値の変動は通常 $1/2 \sim 2$ 倍程度であると考えられるが、場合によってはさらに大きくなることが考えられる。また、地球化学図の作図にあたっては離散的なデータを補間して表示しているため、示された濃度値カテゴリーの最大値と最小値は実際の最大値と最小値とは異なる。

以上のように53元素の全国の地球化学図が完成した。今後は、この地球化学図のデータが各方面で広く利用されるように公開するとともに、海域を含めた沿岸域にも適用範囲を拡大してより広範囲の地球化学図を作製し、元素の分布と移動過程を明らかにしてゆきたいと考えている。

### 参考文献

- 今井 登, 寺島 滋, 岡井貴司, 金井 豊, 御子柴真澄, 上岡 晃, 富樫茂子, 松久幸敬, 谷口政碩, 横田節哉(2001): 地質ニュース, no.558, 9-17.  
Togashi, S., Imai, N., Okuyama-Kusunose, Y., Tanaka, T., Okai, T., Koma, T. and Murata, Y. (2000): Younger upper crustal chemical composition of the orogenic Japan Arc, *Geochem. Geophys. Geosyst.*, 1, 2000GC000083.

IMAI Noboru, TERASHIMA Shigeru, OHTA Atsuyuki, MIKOSHIBA (UJIE) Masumi, OKAI Takashi, TACHIBANA Yoshiko, TOGASHI Shigeko, MATSUHISA Yukihiro, KANAI Yutaka, KAMIOKA Hikari and TANIGUCHI Masahiko (2004): *Geochemical map of Japan.*

<受付: 2004年9月8日>