

地学野外実習としての地球化学図作成

田中 剛¹⁾・川邊 岩夫¹⁾・山本 鋼志¹⁾
三村 耕一¹⁾・淺原 良浩¹⁾・南 雅代¹⁾

1. はじめに

多くの地学系教室で、組織やカリキュラムが変えられつつあるようです。その結果、環境とか惑星に言寄せた講義は増えるものの、野外調査を指導する実習時間は、フィールドワークを専門にする先生の減少以上の早さで少なくなっていると聞きます。一方、パソコンに慣れた学生の側にも、地形図に岩相分布を塗り込めていく作業(地質調査実習)の遥か先に横たわる多様な効用を掴みきれないところがあるようです。

名古屋大学の地球惑星科学科では1学年約25名の内、5-6名が地球化学系(大講座)に進級しますが、進級当初は、フィールドに興味をもつ学生は少なく、自分で考えて手足を動かす要領もきわめて悪いものです。そこで地球化学系では、4年に進級した4月の初めから連休前までの4週間、研究室全員(職員6名、学生20名くらい)で地球化学図づくりをやることにしています。地球化学図は、いま流行の“環境”の響きを持っていますし、教える側も地質についてさほどの専門知識がなくてもフィールド付き合いができます。以下に紹介するのは、名古屋大学ですすめている地学野外実習としての地球化学図作成プログラムで、伊藤ほか(1991)による地球化学図の作成法を学生実習用にアレンジしたものです。

2. ガイダンス

なぜ地球化学図をやるかについては、以下のようにはあらかじめ学生にたたき込みます。

私達はさまざまな環境情報のなかで生活している。そのうち自然環境情報の基礎部分は、理科の諸分野、

すなわち、物理、化学、生物、地学に対応している。物理情報は、環境の位置・高低・距離どのように地形図、生物情報は植生図、地層や断層等の地学情報は地質図として表現され、それらが人間生活の基礎情報として、どれ程役立っているかは周知の事である。しかし、著しく欠けているのは地圏の化学情報ではないだろうか。地圏の化学情報に関する基本図が地球化学図である。土壌汚染などが騒がれているが、たいていの無機金属元素が、もともと地圏環境に存在する。そのバックグラウンドがどれほどあるのか。地域による違いはいかほどなのかについて、私達はほとんど知識も情報も持っていない。

われわれは、以下の2つの目標をもってこの実習を行う。① 地圏環境の化学的バックグラウンドとそれを規制する要因を明らかにし、地球化学的法制性を見いだすこと。② 研究室のどこにどのような器具や薬品があり、それを使うには誰に相談をし、何に注意をすれば良いか等、基礎的な化学的手法を体得すること。

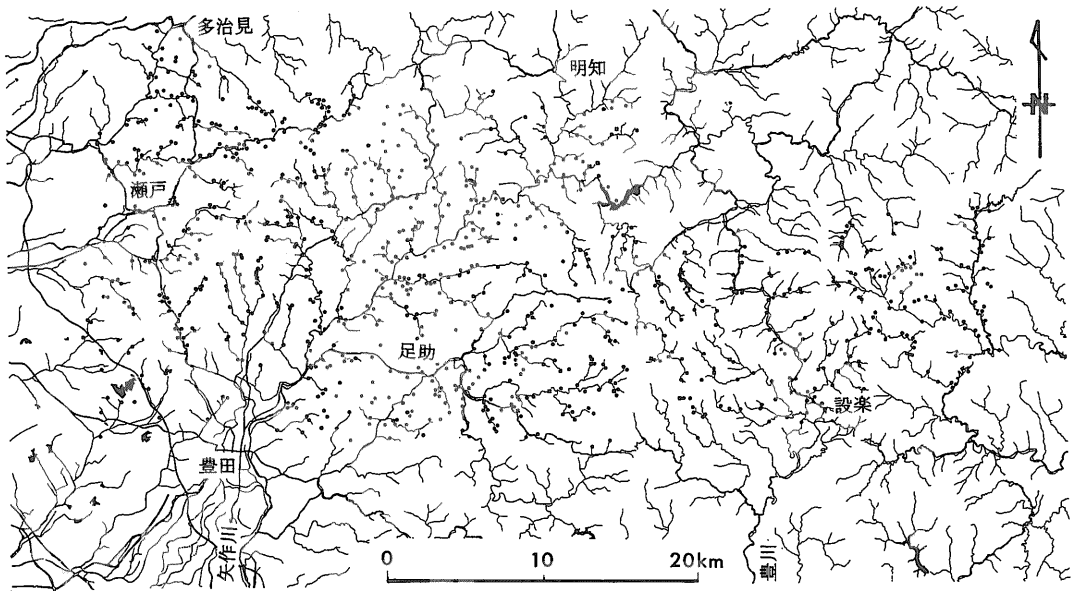
3. フィールド

私達は、名古屋市東方、瀬戸市、豊田市、猿投山の周辺から設楽郡や岐阜県南部をフィールドにしています。本音は大学から近くて楽に調査が出来るところにありますが、学生には以下のように意義付けをしています。

この地域には、自然のバックグラウンドとして領家かこう岩/変成岩類や第三紀堆積岩をはじめとする様々な地質が分布する。また、津具の金鉱床や土岐のウラン鉱床も存在し、ここでは自然界での元素濃縮機構が評価される。一方、瀬戸や多治見の陶磁器産業地帯や豊田周辺の自動車関連産業地帯では地圏環境への人間活動の影響を見いだすことができるかもしれない。

キーワード: 地球化学図, 地学実習, 河床堆積物, 地圏環境, 環境評価, 元素分布

1) 名古屋大学 理学部:
〒464-8602 名古屋市千種区不老町



第1図 これまでの地球化学図実習での試料採集地点。川は1/5万地形図に記されているもの。試料は主にその枝川で採集される。

また、猿投山西部丘陵地帯では西暦2005年に万国博覧会の開催が決定し、大規模な地圏環境の改変がはじまった。したがって、この地域は、自然環境による元素存在度の変動を明らかにするとともに、その地域の人間活動により付加される人為寄与を評価するには最適のフィールドと考えられる。

4. 試料

何を試料とすればその地域の元素存在度を最も良く表現できるかについては、試料の採集のし易さとも関連して、さまざまな考えがあります。土壌や湖の堆積物が使われることもあります。私達の研究では、川床堆積物 (stream sediments) を用います。これは、地質調査所やイギリス、ドイツの地球化学図と同じで、第1図のように小さな沢ごとにその出口で砂を集め、それがその集水域の地表の化学組成を表すと考えるわけです。通常分析には数百mg程度の少量の試料しか用いられませんから、大きな砂粒が1個入って化学組成が偏ることもあり得ます。そこで、そのようなことを避けるため、現場で180 μ m (80メッシュ) の篩を通し、細かい粒子だけを集めます。篩の目の荒さを変えてみたり、流域に実際分布する露岩を分析したりして、河床

堆積物の代表性を調べてきました。ボールミルで10-20分ほど粉碎しますが、この地域ではチタンを含む重鉱物の存在度に依存する元素のばらつきがもっとも大きく、30%程にもなります (田中ほか, 1995)。しかしそのばらつきは、地質ニュース本号4ページの口絵に示す地域による変化に比べて遥かに小さなものです。

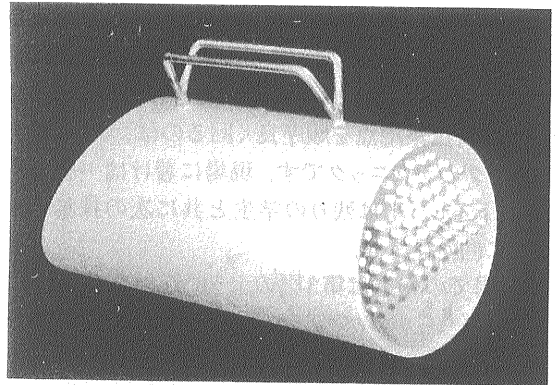
試料の採集位置は、全調査地域を眺めながら、あらかじめ室内で決めておきます。集水域の大きな枝沢はできるだけ取り残さないようにします。小さな沢は、水量も少なく試料採集が困難なので、割愛することもあります。また、林道の終点から延々と歩かなければならないところも、時間あたりの効率を考えて割愛します。どの点を拾いどの点を捨てるかの決断は、地形図の凹凸とアクセスの難易さを全体としてバランスさせながら読まねばならず、学生にとっては、とても良い作業になります。結果的に1平方キロメートルあたり1個、1/25,000地形図1枚で100試料が目安になります。

5. 試料採集手順

学生は2名が1組となり、一〜二組が職員の運転するレンタカー1台に乗ります。各組には必ず先

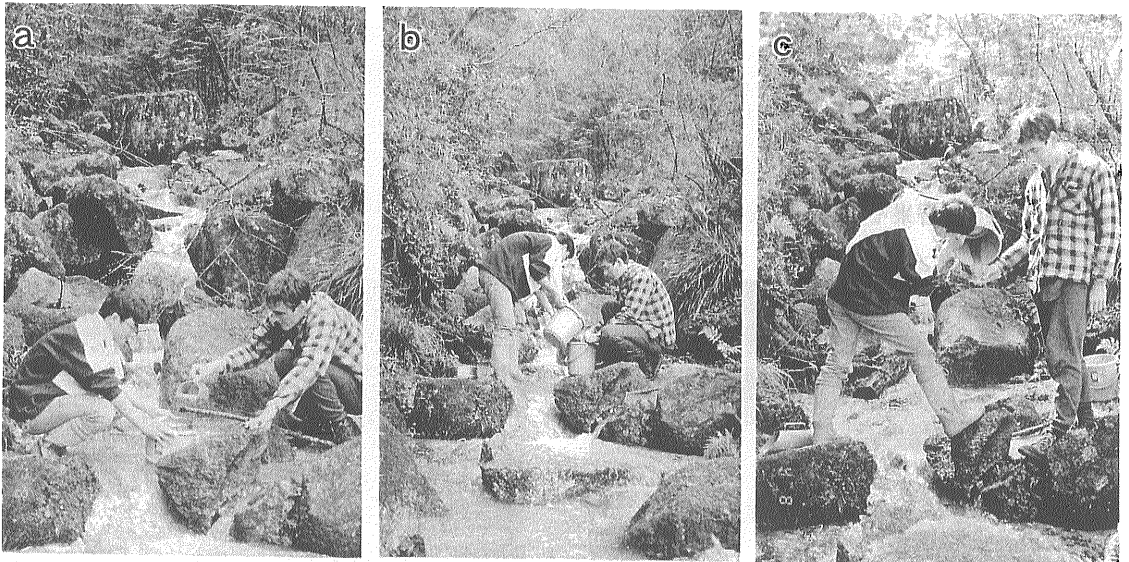
年度の経験者が加わります。一組の学生が用いる用具は、

- ① ポリバケツ2個
- ② スコップ1丁(使ってみるとあまり便利でない)
- ③ 砂採集筒(第2図): 地質調査所で作られたもので、とても便利。雑貨工具店で売られている壁塗り用泥すくい(1,000円くらい)も使える。
- ④ 篩, 16メッシュ(孔の径1mm)と80メッシュ(孔の径 $180\mu\text{m}$)を各1個。80メッシュの篩は破れやすいので注意を促しておく。
- ⑤ 巻き尺
- ⑥ コーヒーフィルター多数とフィルター用ロート1個(ロートは流しやすい)
- ⑦ 封筒(角型8号)多数と布袋数枚
- ⑧ マジックインク(耐水性)
- ⑨ 紙挟み, データーシート(伊藤ほか, 1991の仕様), 鉛筆
- ⑩ 以上の物を入れるバッグ, 作業を続ける時は①~④をバケツに入れるのが便利。
- ⑪ カメラ, 各試料採集地点の状況がわかるような写真を1枚。



第2図 とても効率の良い砂採集筒, 地質調査所(伊藤ほか, 1991)で用いられたもの。全長約35cm, 直径12cm。

試料の採集場所は、危険のない限り、流れの中央部が望ましい。砂が溜まっている狭い場所ではなく、より広い範囲から集めるのが良い。一般に流れの急な場所は重鉱物が多く、砂のマウンドには、軽い鉱物が多い。流れの淀んだところや大きな石の下は元素の存在状態が異なる。がけ崩れの近くもさける。支流では洪水の時に本流から逆流があるかも知れないので、適度に上流側がよい。



第3図 河床堆積物試料採集手順。a: 小さな枝川の川床から、篩を使って1mmより細かい堆積物を集めます。流れの急なところには重鉱物が、緩やかな川岸には軽い鉱物が集まりがちですから、まんべんなく集めます。b: aで集めた川砂を再度 $180\mu\text{m}$ の篩を通します。これらの作業は現場の流水を用いて行います。c: $180\mu\text{m}$ より細かい川床堆積物を、試料としてろ紙の中に回収します。試料は研究室に持ち帰り乾燥、ポールミルなどで均質化します。

学生は地形図を見ながら、職員の運転する車を現場近くまで誘導します。走る車を迷わせずに誘導するには、すばやく地図が読めなければなりません。試料採集地点を順序良く回るのは、オリエンテーリングのテクニックです。現場に着けば一組の学生を下ろし、車は残りの学生と共に次の採集ポイントに向かいます。

現場での作業は第3図のように行います。まず、1名がどちらかのバケツの上で16メッシュの篩を支え、もう1名が、水とともに土砂を篩に流し込みます(第3図a)。バケツの底に荒い篩を通った試料が相当溜まったら、もう一つのバケツの上に80メッシュの篩を支え、先のバケツから水と一緒に荒い試料を流し込みます(第3図b)。80メッシュを通った試料は30グラム(握りこぶしの1/5大)もあれば十分です。全ての荒い試料から80メッシュを通る細かい試料の採取が終わったら、先のバケツをよく洗い、再度80メッシュを通した後、バケツの中の試料が底に十分沈むまで5-6分放置します。その間に、採集地点を確認し、写真を撮ったり、データシートの書き込みをします。バケツの上澄みをゆっくりと捨て、底に溜まっている試料を水とともにコーヒーフィルターに流し込みます(第3図c)。水が無くなったら、試料番号を書いた紙封筒にいれ、大学に持ち帰ります。これらの作業にはチームワークが大切で、2名の学生は手際良く協力しないとなかなか良い試料は採れません。予定していた試料採集地点やその周囲の河川が3面工事などで、試料が採れない時は、将来そこを取り残し場所と考え、

再度その地点を訪れることを防ぐために×印を入れておく役立ちます。

夜は山中のバンガローで新入生(新しく講座に配属された4年生)の歓迎コンパです。お互いにSamplingの苦勞話に花が咲き、次の日は二日酔いものかは、採集競争はより激しくなるようです(第4図)。一泊二日の野外採集で一組あたり15個の試料をノルマと言ひ渡しておきますが、ノルマを達成できる学生はそう多くありません。持ち帰った試料は40-50度の乾燥棚で乾燥させます。乾燥後ボールミルで20分程粉碎すると均質性が上がります。試料採集ポイントは帰学後すぐに緯度経度の値によりデジタル化しておきます。

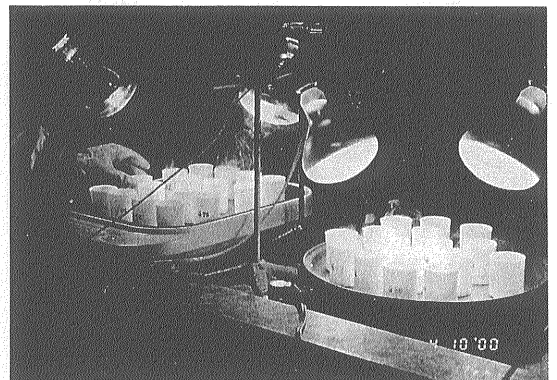
6. 分析概要

分析には、あまり手間(抽出/分離など)をかけずに多くの試料の多元素が手早く簡単に分析できる方法を選びます(第1表)。原子吸光分光分析装置(AA)やICP発光分光分析装置(ICP)は、地学系の教室にも備えられていることが多いと思いますが、この学生実習でもこれら二つの装置を使い、17元素を分析します。中性子放射化分析(INAA)と蛍光X線分析は、地球化学図を卒論や修論に選んだ学生のadvanced course用です。

試料約500mgを50ccのテフロンビーカーに精秤し、フッ酸、硝酸、過塩素酸とともに加熱分解します。テフロンビーカーは80個程を4台の焼肉ホットプレートで加熱乾固させます(第5図)。乾固物を



第4図 山中のバンガローでの新人歓迎会。翌日は、二日酔いでも張り切らざるを得ない。



第5図 分析は“全体として”早くこなす工夫をする。“地角斜玄武岩”の分析精神(杉崎, 田中: 1971)である。

第1表 名古屋大学での地球化学図プロジェクトで用いられている分析機器とモニターされる元素。

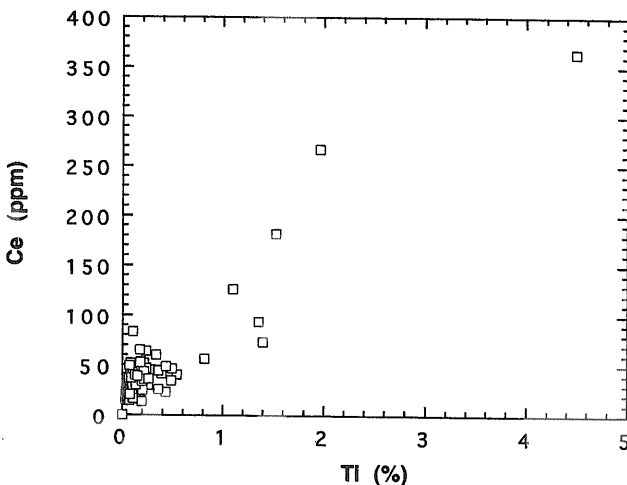
原子吸光	Na, K, Mg, Ca, Fe, Mn
ICP-AES	Al, Ti, P, Ce, Co, Cr, Cu, Ni, Sr, V, Zn
INAA	Na, K, Sc, Cr, Fe, Co, Ni, Zn, As, Se, Br, Rb, Sr, Zr, Ru, Ag, Sb, Cs, Ba, La, Ce, Nd, Sm, Eu, Tb, Dy, Tm, Yb, Lu, Hf, Ta, W, Re, Os, Ir, Pt, Au, Th, U
蛍光X線	Si, Ti, Al, Fe, Mn, Mg, Ca, Na, K, P

塩酸に溶解させ、不溶物によるICPネブライザーの目詰まりを防ぐため、50cc定容とした後、ろ過します。この溶液を用いてICPにより10元素を定量します(第1表)。この溶液をさらに50倍に薄めた液を用い、原子吸光により6元素(第1表)と、ICPによりアルミニウムを定量します。学生の分析技術向上のため、標準溶液もできるだけ手作りをめざします。ただし、Mg, Fe, Mn, Al, Ce, Co, Cr, Cu, Ni, VおよびTiは市販の1,000ppm標準液を購入/調製します。

分析試料の中には、20試料に1個の割合で、地質調査所発行の岩石標準試料JG-1aを分析します。岩石標準試料はいずれの値も推奨値と5%以内の差で一致しますが、未知試料の繰り返し分析では、チタン等が30%の変動を示すことがあります。これは、分解しにくい鉱物の遍在によるものと思われます。しかし、地域による分析値の変動は、値の数%にもなり、地域変化の議論にはなんら問題はありません。学生は分析技術もさる事ながら、試料の調製が大事なことで、データに依る議論の限界を知ることにあります。

7. データ解析

ここは学生の独壇場です。分析データは、試料採集位置やデータシートの情報、後背地の地質情報とともに、Microsoft社の「Excel」に入力/保存されます。それ以降の解析に必要なプログラムは、学生が探してきます。まず Synergy Software社の「Kaleida Graph」を使って頻度分布を書いたり、Excelに付属する「分析ツール」を利用して相関係数を求めたりして、元素同士の関係を調べます。そして、相関の良い元素の組み合わせには「Kaleida Graph」を使って相関図を描きます。ところがここにも落とし穴があります。猿投山周辺の地球化学図(Tanaka *et al.*, 1994)では、チタンとセリウムに0.92という高い正の相関が得られました。この数値だけをみると猿投山周辺では、北関東(伊藤ほか, 1991)のセリウム-モナズ石と異なり、スフェン?が希土類元素の分布を規定しているように思えます。ところが、第6図のように個々のデータを観察すると、この高い相関係数はわずか7個のデータによって作られたことがわかります。残りの120個のデータは、なんらの関係を示していません。学生



第6図 猿投山周辺に分布する川床堆積物のチタンとセリウムの関係。両元素存在度の相関は数字の上で0.920と高いが、この図をよく見ると、高い相関はわずか7個のデータにより作られたもので、残り120個の試料で、両元素はなんらの関係を示さない。地球化学図は数値計算の裏をも体験できる。

第2表 1999年度地球化学図予定表。

日時	曜日	予定	分解A班	分解B班	分解C班	学校行事予定	
4月1日	木	午後1時半～コロキウム					
2日	金	スタンダード作成					
3日	土	スタンダード作成					
4日	日						
5日	月	スタンダード作成					
6日	火	サンプリング				学生証配布	
7日	水	サンプリング					
8日	木	試料乾燥・瓶詰め	秤量1			入学式	
9日	金	試料乾燥・瓶詰め・分解	分解乾固1	秤量2・分解乾固	秤量3	健康診断(女)	
10日	土	試料分解	ろ過希釈1	ろ過希釈2	分解乾固3		
11日	日	試料分解	洗い物	洗い物	ろ過希釈3		
12日	月	後片付け・測定					
13日	火	測定					
14日	水	測定				学生実験開始	
15日	木	測定					
16日	金	測定					
17日	土	測定・データ解析	スタンダード作成及び測定元素				
18日	日						
19日	月	データ解析					
20日	火	データ解析					
21日	水	学生による話し合い					
22日	木	データ解析					
23日	金	データ解析					
24日	土	最終結果報告会					
25日	日	うちあげ?					

班	氏名	STD(作成)	STD(希釈)	滴定	測定(AA)	測定(ICP)
A	太田 山下 ^東	Sr	Cu, Sr			Cu, Sr
	倉田 柴田		Cr, Mn	Mn	Mn	Cr
B	谷水 木村	Zn, K	Zn	EDTA	K	Zn
	高間 山下 ^理	Na	Ni	EDTA	Na	Ni
C	高木 小笠原	P	V	Fe	Fe	P, V
	加地 森		Al	Mg	Mg	Al
D	仙田 近藤	Ca	Co	Ca	Ca	Co
	田中 武辺	Ti	Ce			Ce, Ti

は、統計数値のトリックに気がつき、また、この7個のデータが意味する、地質学的／環境化学的意味を考えはじめます。逆の事もあります。一見相関が悪いと思える組み合わせを図上にプロットすると、実はそれは見事な相関関係をもつ2地域のデータの混合であったこともあります。地球科学で位置情報が重要なことを身をもって体験します。

場所に関する情報を含む地球化学図では、地図上での解析も重要です。プログラムの得意な学生は、プログラム作成ツール「Visual Basic」等を使って独自の表現方法を開拓します(本号4ページの口絵：伊藤・太田, 1999)。自分が採集した試料に銅やクロムが多いと、汚水の流れ込むどぶ川で採集したことが良い思い出となって、データの解釈にも励みが出るようです。1週間後、数十枚の解析図表が出来上がります

地球化学図には多様な解析法が適用できますが、評価に関わる大切なことは、単純に元素濃度の高い／低いでなく、他の元素との関わり合いが元素の由来を判断する材料になることです(田中, 1999)。精度の良い統計解析のためには一見無駄に見えるたくさんの元素数が必要です。バックグラウンドレベルは、その地域の地質に拠ります。自然

のバックグラウンドを正しく評価するためには、さまざまな地質の地域を調べることが必要です(戸上ほか, 1997; 山本ほか, 1998)。

8. 実習のタイムテーブルと成果の公表

1999年の地球化学図実習は(第2表)のように行われました。実際の班分けや試料採集地点のチェックは、大学院の学生の指導の下に進められます。

これまでの成果として、学生自身が準備をして地球化学会で毎年ポスター発表をし、また参加者全員の連名で印刷物が公表されました。教官にとってわずかな期間で多くのデータが得られるメリットはもちろんですが、学生にとっても、

- ① 手早く研究室に溶け込み、先輩とのコミュニケーションが良くなる。
- ② 試料の採集、化学分析の基本と要領、データの取り扱いなど地球化学の基本が体得できる。
- ③ これ以降のような研究(卒論)をしても、就職面接の時に、目的を持った3K(学生達はこの試料採集作業を、“どぶさらい”と呼びます)に従事したというセールスポイントができる(ただし、いまだこのセールスポイントが功を奏して職を得た学生はいない)。

など、数々の利点が期待されます。最後にこの地球化学図作成実習は、大学院授業“地圏環境情報解析講究”5単位としても認定されます。

9. おわりに

地質調査所も大学も“独立行政法人化”の波に揺れています。小論では、地球化学図を教育的視点から概観しました。地球化学図が地圏の環境評価だけでなく、これからの地学教育において、学生の野外調査への興味を維持できる場のひとつになることを願っています。2000年度から、立正大学地球環境科学部(熊谷市)が埼玉県西部の地球化学図作成をカリキュラムに組み入れたと聞いております。私どもも実習期間中に学生さん(院生)を見学によこしていただければ要領をお教えしたいと思います。

1994年から始めた名古屋での地球化学図実習も8年目を迎えました。研究面での評価も少しずついただけるようになり、1997年度シェル石油研究奨励金、1998年度岩谷科学技術研究助成金、1999年度石田財団研究助成金、2000年度文部省科学研究費および赤崎記念研究奨励事業、の御支援を頂き、元気付けられて、実習を兼ねた研究をすすめることができました。これらの御援助に心から御礼申し上げます。

参考文献

- 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・神谷雅治・佐藤典平・坂本 享・安藤 厚(1991):地球化学アトラス-北関東-. 35p., 地質調査所.
- 伊藤貴盛・太田充恒(1999):地球化学図作成プログラムの製作. 名古屋大学古川総合研究資料館報告, No15, p.117-124.
- 杉崎隆一・田中 剛(1971):同時処理による岩石の大量分析法と標準岩石の分析. 地質学雑誌, 77巻, p.453-463.
- Tanaka, T., Kawabe, I., Hirahara, Y., Iwamori, H., Mimura, K., Sugisaki, R., Asahara, Y., Itoh, T., Yurai, H., Yonezawa, C., Kanda, S., Simizu, O., Hayashi, M., Miura, N., Mutoh, K., Ohta, A., Sugimura, K., Togami, K., Toriumi, T. and Matsumura, Y. (1994): Geochemical survey of the Sanage-Yama area, in Aichi Prefecture for environmental assessment. Jour. Earth Planet. Sci. Nagoya Univ. vol. 41, p.1-31.
- 田中 剛・川邊岩夫・山本綱志・岩森 光・平原靖大・三村耕一・浅原良浩・伊藤貴盛・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・松村陽子・榊原智康・谷水雅治・水谷嘉一・宮永直澄・村山正樹・大森英美子(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巻, p.113-125.
- 田中 剛(1999):地面の化学バックグラウンドと地球化学図. ぼんざ, 288号, p.10-20.
- 戸上 薫・田中 剛・岩森 光(1997):愛知県北東部津具地域の元素濃度分布とその規定要因. 資源地質, 47巻, p.305-318.
- 山本綱志・田中 剛・川邊岩夫・岩森 光・平原靖大・浅原良浩・金 奎漢・リチャードソン クリストファー・伊藤貴盛・ドラグシャヌ クリスチャン・三浦典子・青木 浩・太田充恒・榊原智康・谷水雅治・水谷嘉一・宮永直澄・村山正樹・仙田量子・高柳幸央・井上裕介・川崎啓介・高木真理・根布悟志・稲吉正実(1998):愛知県豊田市北東部の領家花崗岩地域の地球化学図. 地質学雑誌, 104巻, p.688-704.

TANAKA Tsuyoshi, KAWABE Iwao, YAMAMOTO Koshi, MIMURA Koichi, ASAHARA Yoshihiro and MINAMI Masayo (2001): Geochemical mapping: A fruitful field training in geology.

<受付:2000年12月28日>