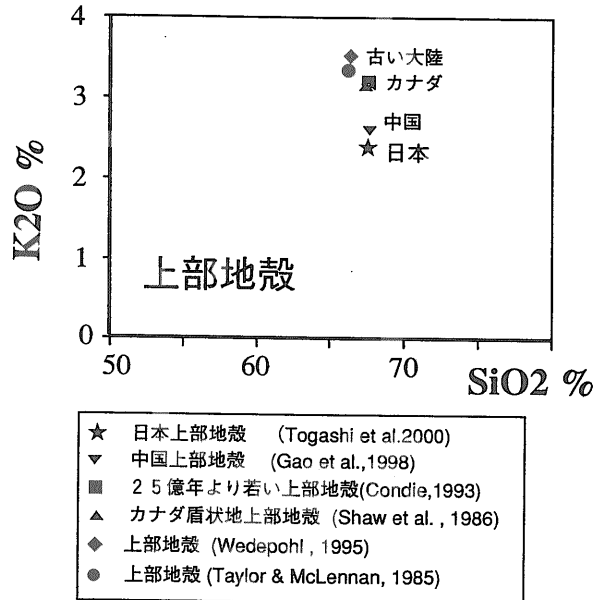


# 日本列島の“クラーク数” 若い島弧の上部地殻の元素存在度

富樫 茂子<sup>1)</sup>・今井 登<sup>1)</sup>・奥山(楠瀬)康子<sup>2)</sup>・田中 剛<sup>3)</sup>  
岡井 貴司<sup>1)</sup>・狛 武<sup>1)</sup>・村田 泰章<sup>4)</sup>・青山 秀喜<sup>5)</sup>

## 1. はじめに

この特集の地球化学図は、ある元素がどこに、どのように、どのくらいの濃度で存在しているかを示す図である。普通は濃度で示されているが、日本全体の平均値を用いて、平均値からのずれで表現できれば、規格化され、相互の比較が容易となる。これまで日本の上部地殻の平均値は推定されておらず、比較をするときには、“大陸地殻”の平均値を用いることが多かった。しかし、これまでの“大陸地殻”の値の多くは、カナダ盾状地など古いクラトンから得られたデータを元にしており、日本の上部地殻の平均値と同じではないだろうと思われていたものの、私たちは“大陸地殻”の平均値に代えるべき値を持たなかった。一方で、造山帯の平均的な火山活動は安山岩であるとの認識から、若い島弧の上部地殻は安山岩質ではないかと漠然と理解されていることもある。



第1図 上部地殻の組成の比較。日本の上部地殻はデイサイト組成である。

## 2. 日本の上部地殻は古い大陸と同じか？

最近の私たちの研究により、日本の上部地殻の平均値が求められた(Togashi et al., 2000)。その結果、日本の上部地殻の平均値はデイサイト組成であり、“大陸地殻”とほとんど同じであることがわかった(第1表)(第1図)。考えてみれば、つい最近まで中国大陸と陸続きであったのだから、当然ともいえる。日本海が形成された1,500-2,000万年前という年代は、少なくとも2億年前までは遡る日本の

上部地殻の岩石の歴史に比べれば、ほんの少し前の出来事である。

しかし、いくつか元素には明らかに差があった。まず、アンチモンと砒素が“大陸地殻”の平均値と比べて、2-3倍高い。これらの元素は大陸縁の細粒堆積物に濃度が高く、日本の上部地殻の構成物として、これらの細粒堆積物の寄与が大きいためである。さらに、差は大きくはないが有意の差をもって、ニオブ・ジルコニウムやカリウムの濃度が低く、地殻の形成過程を考える上で大きな意味がある。詳しくは後で述べる。

1) 地質調査所 地殻化学部  
2) 地質調査所 地質標本館  
3) 名古屋大学 理学部  
4) 地質調査所 地質情報センター  
5) 地質調査所 大阪地域地質センター

キーワード: 日本列島, 上部地殻, 元素存在度, 島弧

第1表 日本の上部地殻の平均組成 (Togashi *et al.*, 2000).

SiO <sub>2</sub> (%)	67.53	Sc (ppm)	16	Y (ppm)	26	Sm (ppm)	4.28	Hf (ppm)	4.10
TiO <sub>2</sub> (%)	0.62	V (ppm)	110	Zr (ppm)	135	Eu (ppm)	1.07	Ta (ppm)	0.72
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	14.67	Cr (ppm)	84	Nb (ppm)	9	Gd (ppm)	3.65	Pb (ppm)	16.9
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	5.39	Co (ppm)	15	Sb (ppm)	0.61	Tb (ppm)	0.70	Th (ppm)	8.3
MnO (%)	0.11	Ni (ppm)	38	Cs (ppm)	5.5	Dy (ppm)	3.94	U (ppm)	2.32
MgO (%)	2.53	Cu (ppm)	25	Ba (ppm)	458	Ho (ppm)	0.72		
CaO (%)	3.90	Zn (ppm)	74.1	La (ppm)	21.7	Er (ppm)	2.39		
Na <sub>2</sub> O (%)	2.72	As (ppm)	6.5-7.1	Ce (ppm)	46.4	Tm (ppm)	0.39		
K <sub>2</sub> O (%)	2.42	Rb (ppm)	85	Pr (ppm)	5.54	Yb (ppm)	2.57		
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (%)	0.12	Sr (ppm)	225	Nd (ppm)	20.8	Lu (ppm)	0.40		

### 3. 地殻の平均組成を求める方法

今から100年近く前、米国地質調査所のクラーク博士は、地殻の組成を求めるために、堆積岩や変成岩の寄与は小さいと考え、数千にのぼる火成岩の分析値を吟味し、平均値を提案した。この値はクラーク数と呼ばれ、地殻の平均組成と考えられた。その後、改訂が繰り返されているが、主要な元素についての修正の程度はわずかである(クラーク, 1924)。地殻の平均組成を求める方法に大きく分けて3つの方法がある。

(1) 自然のプロセスで良く混合された物質の組成を測定する。この方法は主に上部地殻組成を求めるために用いられる。

自然のプロセスで広域の地殻物質を良く混合された物質として、氷河堆積物の粘土、海底の堆積物、空中に舞い上がったちりなどが使われる。氷河堆積物の粘土の場合、氷河が地殻をランダムに剝削したと考える。最近では海底堆積物がよく使われる。この場合は、堆積物の起源がどこであるかという地域性や堆積過程での分別、海底での変質による変化などが問題になる。空中に舞い上がったちりも、ちりの形成・運搬・移動による変化を吟味する必要がある。ところで、空中に舞い上がったちりといえば、砂嵐が吹き荒れる火星では、遠く離れたところでサンプリングされた砂の組成がほとんど同じであり、火星表面で物質の混合過程が盛んに働いていることを示している。

(2) 地表地質に基づいて、戦略的なサンプリングを行い、これを正確に分析して、地質の分布に基づいて重みをつけて平均化する。この方法も、主に上部地殻組成を求めるために用いられる。

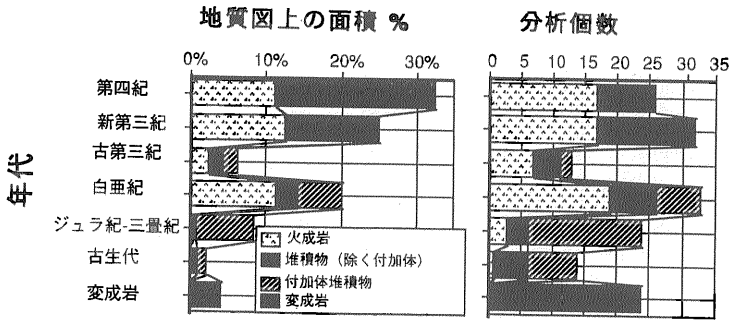
この場合は戦略的なサンプリングをどこまでできるかがカギとなる。また、主に地表サンプリングに基づくので、地殻のどの部分まで剝削されているかという吟味が必要である。古い地層ほど深部が露出しやすいというバイアスもかかり得る。

(3) 地殻構造のモデルをたて、これに基づいてそれぞれの単位の化学組成を求め、単位ごとの物質の量比を用いて計算する。この場合は地殻全体や、下部地殻の組成の推定も可能である。

地殻構造のモデルとしては、地震波速度のように物理モデルや、サブダクションなどの地質モデル、地殻はそもそも火成岩であったというクラークの岩石モデルなどがある。モデルに大きく依存する値になるはずだが、上部地殻の場合は主成分に関しては、どのモデルでもそれほど大きく違わない。一方、下部地殻に関してはモデルによる依存性が強い。

### 4. 日本列島のクラーク数を求めるために・・・地質調査所の財産

日本列島のクラーク数は上記の2番目の方法、すなわち、地表地質に基づいて、戦略的なサンプリングを行い、これを正確に分析して、地質の分布に基づいて重みをつけて平均化するという方法をとっ



第2図

年代および岩石種ごとの地質図上の分布割合と代表的試料の分析個数 (Togashi et al., 2000). 地質図上の分布割合は村田・鹿野 (1995) による。多様性のある区分 (たとえば変成岩) での分析数が多く、平均値の計算では面積%による重み付けを行っている。

た、地質調査所はこれまで100年以上の間、全国にわたり詳細な地質調査を行ってきており、その結果、充実した地質図群と、標本館に收藏された多数の標本という貴重な財産を持っている。これをベースとし、地質調査所が持つ最新の岩石分析技術をもって系統的に分析すれば、日本列島の地殻の組成を求めることができると考えた。

さて、日本列島のクラーク数を求めようというこのプロジェクトが始まって1年足らずで、主唱者の田中が名古屋大学に出向し、富樫が後を引き継いだ時点では、正直いってどのように進めて良いかよく理解していたとはいえない。

まず直面したことは、分析できる数が限られているので、日本の代表的な岩石をどう選ぶかという大問題であった。この選択が結果を大きく左右しかねない。試料の選定は奥山が中心になって行った。92年の第3版100万分の1の日本の地質図は165のユニットに区分されている。これを年代・岩石種・地質区分・地質図に占める割合により、37のグループにまとめ、グループごとに代表的試料候補を選んだ。次に、地質調査所の標本館が中心となってまとめた「日本の岩石と鉱物」に記載され、標本館に登録された試料から、十分な量があるものを選んだ。さらに、必要な試料を持っている地質調査所の多くの研究者にお願いして、いただいた。この段階で火成岩・変成岩・堆積岩の大部分を選ぶことができた。付加体については、十分な量の試料が得られなかったので、四万十帯については田中らが採取に行き、丹波帯および超丹波帯については奥山が採取した。これらに、地質調査所が発行している岩石標準試料を加え、結果として166試料を選択した (第2図)。

試料の粉碎が次の課題である。試料ごとに不均一性が異なるので、これを考慮して、最大2kgの岩

石の塊を粗く砕いた後縮分し、約300gを大阪地域地質センターの青山が途中で他のものが混じらないように細心の注意を払って微粉碎した。

元素濃度測定の大部分は、富樫が蛍光X線分析と放射化分析を、今井がICP-質量分析を用いて行った。燃焼による重量の減少は狛が担当した。炭酸塩岩は特に組成が他の岩石と大きく異なり、上記の方法では測定困難である。従って、炭酸塩岩については、岡井が原子吸光法・比色法・滴定法などを駆使して分析した。村田は平均値の計算のために数値化地質図から地質区分ごとの面積を算出し、試料分布を示すために、再グループ化して簡略化した地質図を作成した。

## 5. 平均値の推定法

平均値は次の様にして求めた。92年の第3版100万分の1の日本地質図に基づいて分類した37のグループについて、グループ内で複数の分析値がある場合はその平均をとった。使用した代表的試料は、既存の地質情報に基づいて、グループにおける岩石種の割合を考慮して選択してある。従って、特に出現頻度が少ない極く少数の岩石にはファクターをかけたが、ほとんどの場合はこの段階での重み付けは行わなかった。たとえば、砂岩と泥岩がおおよそ同程度ならばその両方を代表的試料として選んである。火成岩については、多くの研究が行われているので、これを基準に、多様性をカバーした上で代表的な試料を選んでいる。非常に不均質な岩相分布を示す付加体の岩石については、木村ら (1989) の5万分の1綫部図幅に基づく系統的な試料を用いて、組成の代表性について吟味した。それぞれのグループの平均値に各グループの面積比を乗じて日本全体の平均値を求めた。各グ

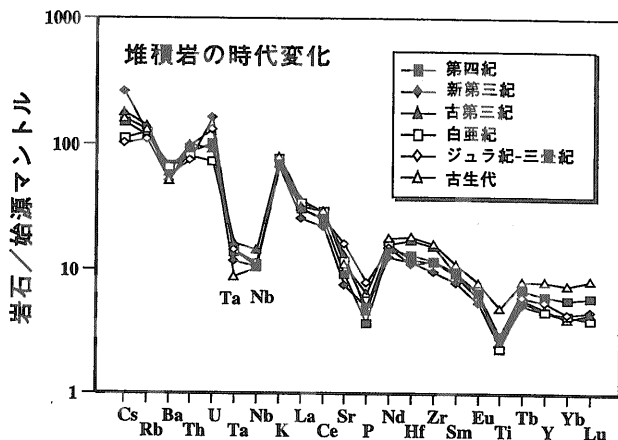
ループの面積は95年に出版された100万分の1地質図(第3版)CD-ROM版をもとに算出された値(村田・鹿野, 1995)を用いた。

論文を投稿した後、レフェリーにしつこく問われたことはやはり試料の代表性である。これに対しては選択法を明確にし、さらに結果をいくつかに分けて平均値をとり、互いに比較して吟味する方法を提示することにより理解された。試料の代表性についてはクラークも根強く批判されており、常に問題となることである。豊富に地質学データに裏付けられ吟味されたサンプリングであることを強調して反論した。

川沿いの露頭での採取では削剥の選択性があるのではないかという疑問もなげかけられた。最初は指摘の意味がよくわからなかった。やりとりするうちに、川に対するイメージが全く異なることを実感した。長い距離を縫うように流れる大陸の河と、V字谷を作って急流を流れ下る日本の川の違いである。V字谷を形成する日本の川の削剥は、U字谷を形成する氷河の削剥に近く、岩石の硬さによる削剥の選択性は少ないのだということを実感してわかってもらった。

## 6. 若い島弧は安山岩質ではなくデイサイト

結果として、日本の上部地殻の平均値はデイサイト組成であった。これまで、若い島弧は安山岩質という暗黙の理解があったように思う。たとえば、地殻全体の組成を安山岩であると推定する根拠は、若い島弧は安山岩質という認識であった(Taylor and McLennan, 1985)。確かに活動を始めたばかりの火山では玄武岩質や安山岩質のマグマの活動が卓越することが多い。しかし、東北の多くの第四紀火山でも活動を始めて数十万年後にはデイサイトが卓越するようになることが多い。厳密に比較すると、百万年程度の若い火山岩はそれより古い火山岩に比べて数%程度SiO<sub>2</sub>に乏しいが、それでも主成分はデイサイトであって安山岩ではない。しかも、玄武岩の方が地表に噴出しやすく、第四紀火山岩の削剥が進んでいないため、SiO<sub>2</sub>に乏しくなるバイアスが働いていると考えるならば、この程度にSiO<sub>2</sub>が乏しいことは十分説明できる。従って数百万年の単位で見ると、この程度に“若い”



第3図 時代ごとの堆積岩の微量元素の組成変化(Togashi et al., 2000)。時代によってパターンはほとんど変化していない。始源マンタルの組成はSun & McDonough (1989)を使用。

島弧は安山岩質ではなくデイサイト質組成であったということになる。

## 7. 時代と共に組成は変化するか?

堆積岩の時代をいくつかに分けて、それぞれの平均値を求め、微量元素が時代と共に変化するかどうか吟味した(第3図)。始源的なマンタルで規格化したスパイダー図で比較した結果、大局的には時代変化は認められない。古生代の岩石は既に、マグマに濃集しやすい元素(Ba, Th, U, K等)に比較してニオブ(Nb)やタンタル(Ta)の濃度が著しく低い特徴を持っている。しかもこれらの堆積岩の微量元素の特徴は、現在の日本の火山のマグマの特徴と似ている。つまり、最近の数億年の間、日本列島の地殻組成は微量元素においても大局的には変化していないことになる。図には示していないが、唯一の例外は、日本海が形成され、日本列島の中国大陸からの分離に関連したマグマ活動である。

## 8. 付加体堆積物は良く混ざっている

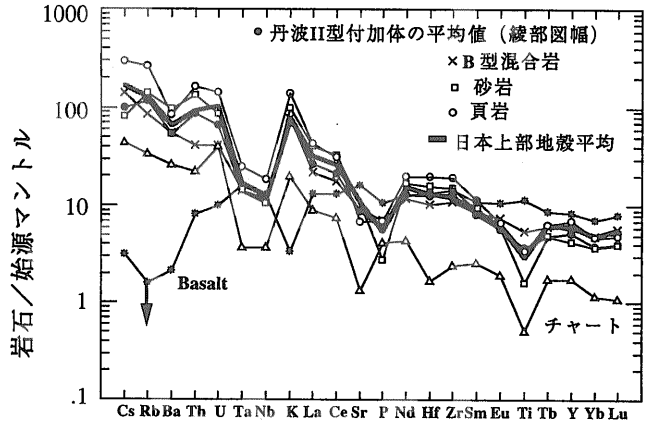
付加体堆積物は岩石学的にはかなり不均一でありながら、こぶし大の混合岩の全岩組成は、5万分の1スケール地質図上の平均組成とほとんど同じ

であった(第4図)。5万分の1スケールの平均組成は、それぞれの岩相の岩石の組成を5万分の1スケールの地質図の分布面積による重みつき平均として求めた。

さらに注目すべきことは、その組成は日本の上部地殻の平均値と大局的に一致している。これにはいくつか理由があるが、最も重要なことは、木村ら(1989)が示した様に、付加体は数十kmから数cmの薄片サイズに至るまでフラクタルな性質を示すことである。つまり、基質部分は薄片サイズに至るまで、物質の混合が進んでいるということになる。

### 9. 海洋地殻や海底堆積物の影響は限られている

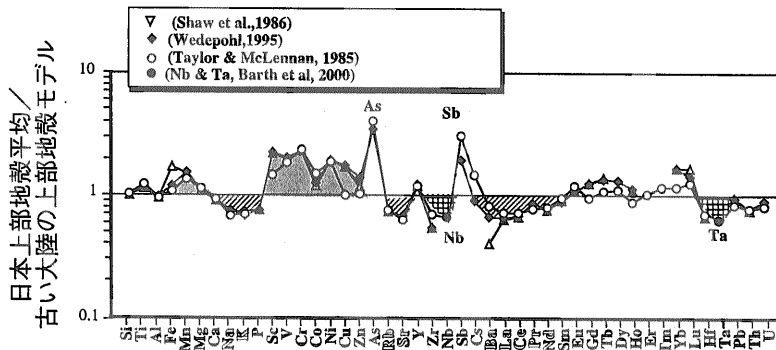
付加体堆積物と上部地殻の平均値の大局的な一致は、付加体堆積物が良く混ざっているだけでは説明できない。海洋地殻や海底堆積物の影響を評価する必要がある。少量ながら混入している海洋地殻は、地殻の組成を特徴づける元素の濃度が低いために、多少混合しても全体の組成をほとんど変えられない。海洋地殻の混入量の比較的多いB型混合岩においてさえもその影響は大きくない(第4図)。つまり海洋地殻が、堆積物という朱に混じっても、全体は赤くなるという現象である。例外はニッケル・クロムなどのマフィック成分のみである。さらに、海底堆積物はそもそもその大部分が河川や風送により供給された大陸地殻物質であり、これが混じってもほとんどの元素の濃度は変化しようがない。結局のところ、地殻の化学組成という観点にたった場合、海洋地殻や海底堆積物の影響はあったとしても限られている。



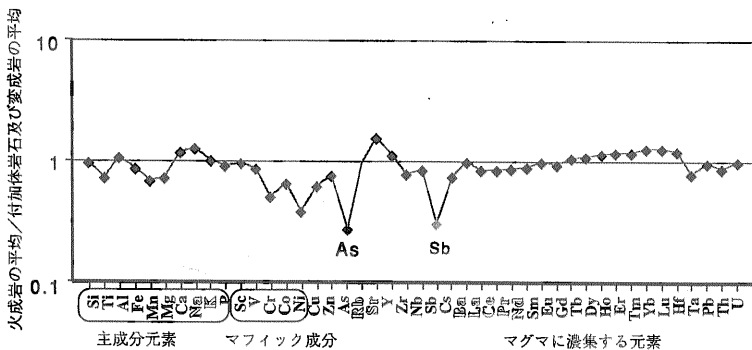
第4図 付加体堆積物の組成の検討(Togashi et al., 2000)。綾部地域5万分の1地質図幅(木村ら1989)における丹波II型付加体の代表的岩石の化学組成と地質図全体の平均値を示した。手標本サイズのB型混合岩の組成が、5万分の1地質図幅の平均値と良く似たパターンを示す。また、地質図全体の平均値は日本の上部地殻の平均値と酷似した濃度を示している。

### 10. 砒素が高いのはなぜ?

日本の上部地殻の平均値は大局において中国のような大陸地殻と同じであったが、砒素やアンチモンが2-3倍と明らかに高かった(第5図)。砒素は有害元素であり、その環境基準は土壤中で15ppmが上限であるが、岩石によっては、この環境基準上限前後のものもある。今回の分析では、特に細粒の海底堆積物は砒素の濃度が高かった。海底堆積物は大陸地殻物質の推定にも用いられるほどで、ほとんどの大陸地殻との差がないが、両者の間で、明らかに大きく濃度の異なる元素がいくつか存在する。すなわち、海水中から堆積物に加わったり(ホウ素、砒素、アンチモン・イオウなど)、取り除かれる(ナトリウムなど)元素である。加わった元素



第5図 日本の上部地殻平均値と古い大陸の上部地殻モデルとの比較。日本の上部地殻平均値は古い大陸の上部地殻モデルに比べて、砒素(As)とアンチモン(Sb)に富み、ニオブ(Nb)やタンタル(Ta)に乏しい。DataはTogashi et al., 2000による。



第6図

日本の上部地殻の火成岩の平均組成と付加体岩石及び変成岩の平均組成の比較。火成岩の主成分元素とマグマに濃集する元素は、付加体岩石や付加体起源の変成岩の平均値とほとんど同じである。マフィック成分と堆積物に濃集しやすい元素(As, Sb)にはやや乏しい。DataはTogashi et al, 2000による。

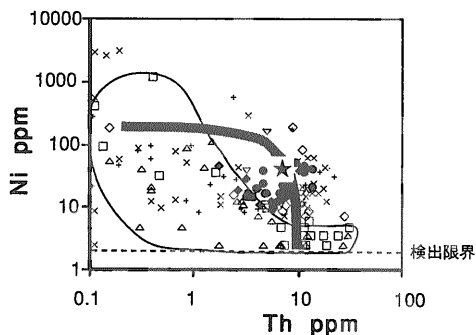
は、鉱物表面の吸着やイオウ化合物として存在していると考えられる。

一方、図には示していないが、海底堆積物起源の変成岩の砒素濃度は明らかに低く、深成岩も砒素濃度が低い傾向がある。つまり、堆積物がサブダクションで潜り込んで温度が高くなるとこれらの元

素は流体と共に逸散してしまうと考えられる。従って、日本の上部地殻の平均値の砒素やアンチモン濃度が高いのは、変成度の低い堆積物の寄与が大きいためであると考えられる。

### 11. 酸性マグマは堆積物が融けてできたのか？

主成分組成やマグマに濃集しやすい元素の濃度に関して、付加体堆積物の平均組成は、火成岩の平均組成とほぼ同じであった(第6図)。ならば、付加体堆積物が融けて酸性マグマができたと考えて良いだろうか。答えは否である。両者の岩石の主成分組成やマグマに濃集しやすい元素の濃度はほぼ同じであるから、付加体堆積物が融けて酸性マグマを作るためには、付加体堆積物のほとんど全部を融かさなければならない。このようにして酸性マグマを生成した場合は、酸性マグマは微量成分の全てにおいて付加体堆積物の平均組成と同一でなければならない。しかし、酸性マグマは微量成分特にマグマに入りにくい成分(ニッケルやクロム)の組成は極めて多様であり、組成が均一な付加体堆積物を全部融かしたのでは説明することができない(第7図)。一方、個々の酸性マグマで多様性を示すこれらの元素においても、その平均値は付加体堆積物との差は小さい。従って、付加体堆積物が融けて酸性マグマができたのではなく、酸性マグマが剝削・運搬・堆積して平均化され、付加体堆積物ができたのである。



マフィックとフェルシク成分の典型的な混合線

- △ 新第三紀
- 先新第三紀
- ▽ 新第三紀
- ◇ 先新第三紀
- 海成堆積岩
- ◆ 淡水成堆積岩
- × 付加体岩石
- +

★ 日本上部地殻 (Togashi et al.2000)

第7図 マグマに入りにくいマフィック元素(ニッケルNi)とマグマに濃集する元素(トリウムTh)の濃度。日本の上部地殻の平均は、マフィック成分とフェルシク成分の混合線上にある。大部分の火成岩は平均値とは異なる場所に散在する。一方で堆積岩と付加体岩石の多く(特に堆積岩)は狭い範囲に集中し、その値は日本の上部地殻の平均に近い。堆積岩は火成岩の混合物である。一様な堆積岩を原料として多様な火成岩を形成することは、困難である。

### 12. よく見れば、日本列島は大陸とは違っている

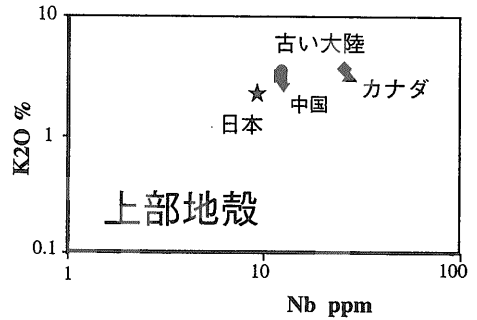
これまで、堆積物に濃集しやすい元素以外は、日本列島は大陸地殻と大局的に同じと主張してき

た。しかし、厳密にみると、ニオブ・ジルコニウムのような重要な元素において、差は小さいが明らかな差が日本列島と大陸地殻の間に認められる。日本列島は、他の大陸地殻に比べ、ニオブ・ジルコニウムの濃度が低い(第8図)。これらの元素は、島弧のマグマ中の濃度が特に低いことが知られているHFSE (High Field Strength Element, イオン半径/価数比の小さい元素)とよばれる元素である。Togashi *et al.* (1992)は島弧のマグマにおけるこれらの元素は、10億年といった長いプロセスのマントルの進化の結果であると考えており、日本列島にマグマを供給している若いマントルと、古い大陸地殻下の古いマントルの進化の度合いの違いを反映していると考えている。

### 13. 大陸は成長するか?

大陸はいつ成長したのであろうか。46億年の歴史の中で、最近でも大陸は成長しているかどうかは未だ論争的である。かつて国際会議で、アームストロングが大陸の量は動的平衡状態にあり、その総量は最近数十億年は変化していないと講演した。これにアレグレが同位体的には変化しているとコメントした。たとえ化学組成は変化しなくても、放射壊変で同位体比は変化するのだから、両者の主張は矛盾はしていない。結局のところ、最近でも大陸は成長しているかどうか、どちらの主張も決定的な根拠があるとは言い難い状態にある。

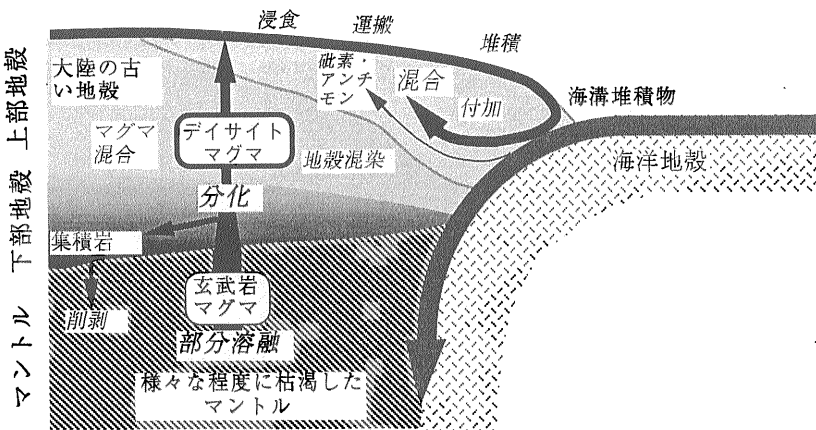
大陸はどのように成長するのであろうか。昔読んだ大陸の成長と安山岩の論文 (Taylor &



- ★ 日本上部地殻 (Togashi *et al.* 2000)
- ▼ 中国上部地殻 (Gao *et al.*, 1998)
- 25億年より若い上部地殻 (Condie, 1993)
- ▲ カナダ盾状地上部地殻 (Shaw *et al.*, 1986)
- ◆ 上部地殻 (Wedepohl, 1995)
- 上部地殻 (Barth *et al.* 2000, Taylor & McLennan, 1985)

第8図 上部地殻のニオブ組成の比較。日本上部地殻はわずかではあるが明らかにニオブに乏しい。この傾向はジルコニウム等の存在度とも整合性がある。目盛が対数であることに注意。ただし、カナダとこれを採用しているWedepohlの値は高めにてでている可能性はある。

White, 1965)で、地殻の部分溶融や、再溶融では大陸は成長しないと書いてあった。アンデス山脈などで地殻が厚いのは物理的に短縮して厚さが増したか、マントルから物質が供給されるしかないというわけである。今でもこれは卓見であると思う。つまり、酸性岩の成因というところすぐ地殻の部分溶融や再溶融と言うのは短絡的であると思う。長い地球の歴史の中で、もちろんそのような成因のものも



第9図 島弧における地殻の形成モデル (Togashi *et al.*, 2000)。付加体における物質移動は [Tagami *et al.*, 1995] に基づく。サブダクションによる付加プロセスでは、上部地殻の化学組成はほとんど変化しない。例外は砒素やアンチモンなど堆積物に多く含まれる成分のみ。上部地殻の化学組成は主としてマントルから供給されるマグマと下部地殻から削剥される物質の組成と量によってコントロールされる。

あるだろうが、それが主なメカニズムであるとは到底思われない。

マントルから供給されたマグマと、地殻底部で削剥された物質の量と組成によって、地殻の総量と組成が決まる(第9図)。結局、日本列島の上部地殻の平均組成は、マグマの起源であるマントルが、その長期の進化の過程で獲得した特徴によって特徴付けられていると考えている。

#### 参考文献

クラーク(1924):地球化学のデータ(第5版),藤原鎮男訳,化学の原典 5地球化学,日本化学会編,学会出版センター。  
Condie, K. C. (1993): Chemical composition and evolution of the upper continental crust: Contrasting results from surface samples and shales, *Chem. Geol.*, 104, p.1-37.  
Gao, S., Luo, T.-C., Zhang, B.-R., Zhang, H.-F., Han, Y.-W., Zhao, Z.-D. and Hu, Y.-K. (1998): Chemical composition of the continental crust as revealed by studies in East China, *Geochim. Cosmochim. Acta*, 62, p.1,959-1,975.  
地質調査所(1992):100万分の1日本地質図(第3版),地質調査所。  
地質調査所(1995):100万分の1日本地質図(第3版)CD-ROM版,地質調査所。  
地質調査所編(1992):日本の岩石と鉱物,東海大学出版会,150p。  
村田泰章・鹿野和彦(1995):「100万分の1日本地質図(第3版)CD-ROM版」から求めた日本列島を構成する岩石の分布面積,地質ニュース, no.493, p.26-29。  
木村克己,牧本 博,吉岡敏和(1989):綾部地域の地質,地域地質研究報告,(5万分の1地質図幅),地質調査所,104p。

平 朝彦ほか(1997):岩波講座地球惑星科学8地殻の形成,岩波書店。  
平 朝彦ほか(1997):岩波講座地球惑星科学9地殻の進化,岩波書店。  
Tagami, T., Hasebe, N. and Shimada, C. (1995): Episodic exhumation of accretionary complexes: Fission-track thermochronologic evidence from the Shimanto Belt and its vicinities, south-west Japan, *Island Arc*, 4, p.209-230。  
高橋正樹(2000):島弧・マグマ・テクトニクス,東京大学出版会,322p。  
Togashi, S., Tanaka, T., Yoshida, T., Ishikawa, K., Fujinawa, A. and Kurasawa, H. (1992): Trace elements and Nd-Sr isotopes of island arc tholeiites from frontal arc of Northeast Japan, *Geochem. Jour.* 26, p.261-277。  
Togashi, S., Imai, N., Okuyama-Kusunose, Y., Tanaka, T., Okai, T., Koma, T. and Murata, Y. (2000): Young upper crustal chemical composition of the orogenic Japan Arc, *Geochem. Geophys. Geosyst.*, vol. 1, Paper number 2000GC000083 [8034 words, 12 figures, 5 tables, 1 appendix table]. 電子ジャーナルです。 <http://gcubed.magnet.fsu.edu/> でアクセスできます。  
Taylor, S. R. and White, A. J. R. (1965): Geochemistry of andesite and the growth of continents, *Nature*, 208, p.271-273。  
Taylor, S. R. and McLennan, S. M. (1985): *The Continental Crust: Its Composition and Evolution*, 312pp., Blackwell, Oxford, England.

TOGASHI Shigeko, IMAI Noboru, OKUYAMA-KUSUNOSE Yasuko, TANAKA Tsuyoshi, OKAI Takashi, KOMA Takeshi, MURATA Yasuaki and AOYAMA Hideki (2001): Clarke number of the Japanese Island- Young upper crustal chemical composition of the orogenic Japan Arc.

<受付:2000年12月28日>