
砂岩の鉱物組成・化学組成と「造構場」

公文富士男

入門講座

砂岩の鉱物組成・化学組成と「造構場」

公文 富士夫*

1991年10月にサンディエゴで開催されたアメリカ地質学会(GSA)の年会においてWilliam R. Dickinsonがペンローズ賞というアメリカ地質学界でもっとも権威のある賞の1つを受賞した。環太平洋地域の造構作用と堆積作用の関係の解明とともに、彼の長年にわたる砂岩研究におけるパイオニアとしての役割、とりわけ、砂岩組成を造構場と関連づけて、テクトニクスと火成作用、堆積作用を総合的に解明したことが受賞理由の1つであった。

このことに象徴されるように、砂岩研究の主要な研究動向の1つは、砂岩組成を基に堆積盆全体を支配する造構環境を解明しようとする方向である。これは、砂岩のモード組成が単なる記載と分類の手段となるだけでなく、堆積盆のおかれた造構場(tectonic setting)の解明にも直接に役立つことを示す点で、多くの地質学者の関心を集めている。ある砂岩組成が特定の造構環境と結び付くという考え方(「砂岩組成の造構規制」と呼ばれる)は必ずしも新しいものではないが、Dickinsonはモード組成の測定方法を改良した上で、様々な造構環境の砂岩組成の資料を集め、砂岩組成と造構場との関係を明らかにすることによって、砂岩組成を造構場を識別する有効な手段まで高めた(第1図; Dickinson and Suczek, 1979; Dickinson et al., 1983)。

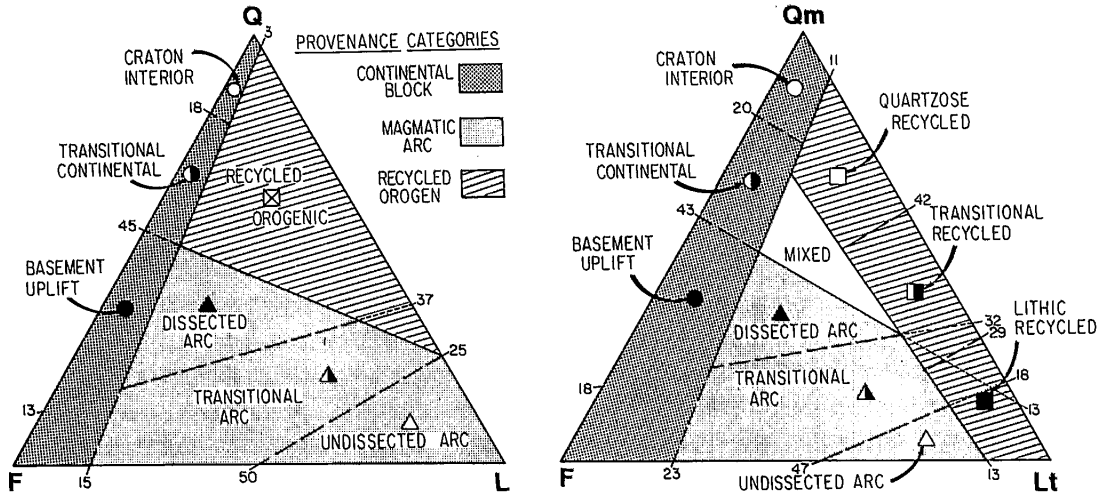
もちろんそのダイアグラムも万能ではなく、Basu and Blom (1990)によれば、ダイアグラムの種類によっても違いますが、その的中率は80~90%と計算されている。また、その造構場の分類の単位はかなり大まかなものであり、より詳細な情報を求める人には不満もあるであろう。しかし、砂岩組成を造構場に結び付けるという方向は多くの研究者の関心を引く、実りの多い目標であり、Dickinsonらの提案を改善しながら、よりよい造構場の識別ダイアグラムを作り上げていくことが重要である。

そのための具体的課題はいくつかある。砂岩のモード

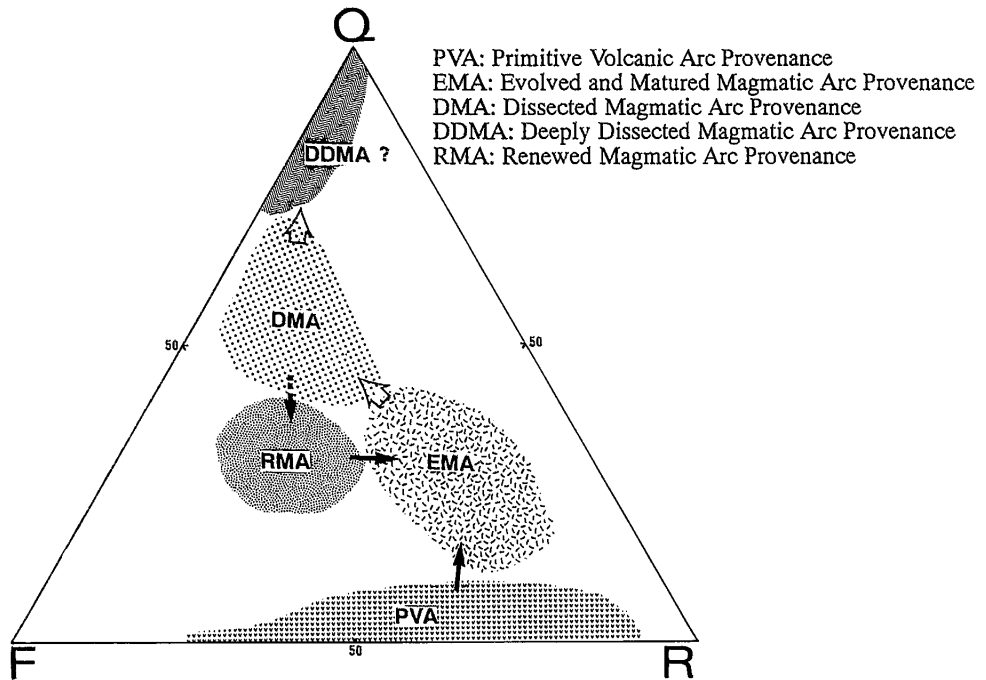
組成の測定は比較的簡便な方法である反面、測定方法や鉱物の識別に曖昧さが生じやすい。この点については、君波和雄会員を中心とした総合研究の一環として、公文ほか(1992)によって「標準砂岩」が設定されており、また、染色による鉱物識別の平易化や、伝統的測定方法とDickinsonらの新しい測定方法(Gazzi-Dickinson method)との違いなどが説明されている。モード組成の測定については、ある程度の習熟は当然必要であるが、誰にでも手軽にできる、個人差の少ない測定方法を確立し、普及することがまず必要なことである。ここで、望ましい測定方法について簡単にふれる。端的に言えば、偏光顕微鏡による鉱物の鑑定能力をつけた上で、伝統的な測定方法とGazzi-Dickinson methodとの両方に対応できる測定値記載シートを使って、カリ長石を染色した薄片について、十分に広い間隔で500点を数え、モード組成を計算すればよい。その上で、各自が研究する砂岩組成に近い組成を持つ標準砂岩試料を用いて、測定者個人の測定の偏差を出し、データに付記しておくことよ。より詳しいことは、公文ほか(1992)を参考にされたい。公文ほか(1992)は、このような点をふまえて、火成弧を起源とする砂岩のモード組成と火成弧の発展過程との対応関係について新しい提案を行っている(第2図)。今後、統一性のとれた方法で現世から過去の様々な造構環境における砂および砂岩のモード組成のデータを蓄積することが基本的に重要なことである。

次に、石英や長石の量(比率)といったモード組成で表される情報以上のものを何から得ることができるかということが、より高い精度で後背地や造構場を復元する鍵となる。重鉱物の種類と量比を知ることは従来から行われてきているが、最近の分析機器と技術の進歩はいろいろな可能性を開いている。例えば、ザクロ石、輝石、角閃石などは成因や形成条件によって異なる組成を持っており、EPMAやEDXで分析することで、後背地に関する情報を得ることができる(竹内, 1986; 柿崎は

*松本支部, 信州大学理学部地質学教室, 〒390 松本市旭3-1-1



第1図 Gazzi-Dickinson method によるモード組成から後背地のタイプ（造構場）を識別するダイアグラム。大陸地殻内、火成弧、および古期堆積岩類からなる造山帯と大きく3分し、さらに細かな分類を試みている。Dickinson et al. (1983) より引用。



第2図 伝統的な測定法による砂岩のモード組成から後背地、特に火成弧の発展段階を識別するダイアグラムの試案。日本列島のデータに基づいている。

Q ; 石英, F : 長石, R ; 全岩片, PVA : 未成熟な火山島弧, EMA : 成熟した火成弧, DMA : 削剝された火成弧, RMA : 火山活動の再開した成熟火成弧, DDMA : 深く削剝された火成弧。黒矢印は火成活動の発展方向を, 白抜き矢印は隆起・削剝の進行方向を示す。DDMA の設定には多少問題がある。公文ほか(1992) より引用。

か、1992；立石ほか、1992)。ごく最近では、モナザイト粒子やジルコン粒子のトリウム・ウラン・鉛含有量を測定することによってアイソクロン年代を計算し(CHIME法；足立・鈴木、1992)、後背地の源岩の年代を知ることができるようになった。また、カリ長石粒子一個一個の Ar-Ar 年代の測定がレーザ・プローブを用いて可能となり、実際に後背地の解明にも使われはじめている (Renne et al., 1990)。

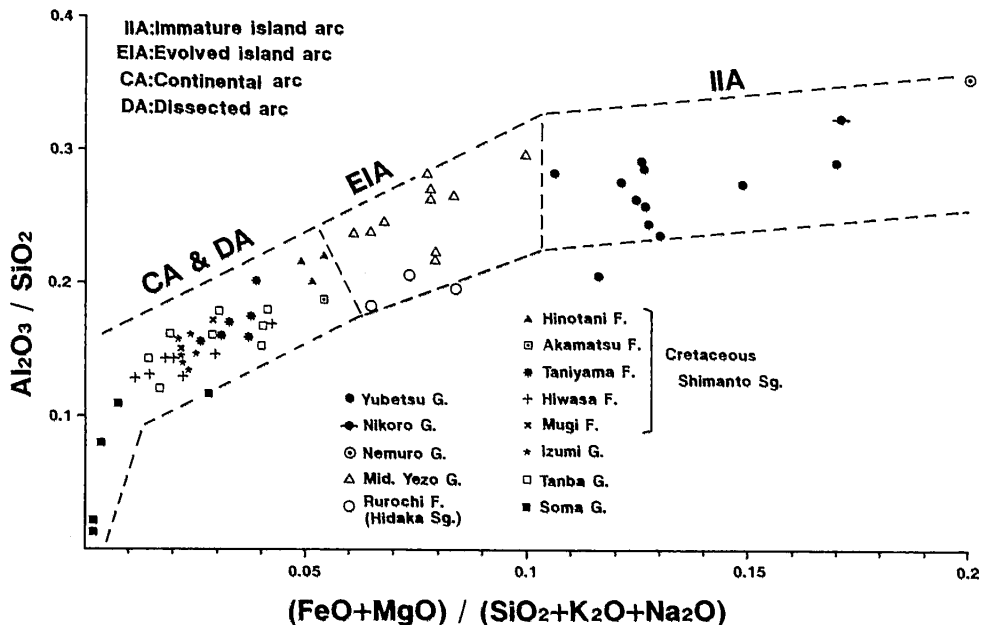
砂岩試料全体を化学分析することによっても造構場に関する情報を得ることができる。Bhatia (1983, 1985)・Bhatia and Crook (1986) は砂岩の化学組成と堆積盆の造構環境を関連づける判別図を作成し、化学組成が造構場の識別に有効であることを示した。最近では、君波ほか (1992) が変動帯の砂岩の化学組成を広く検討し、造構場の識別に有効な判別図を新しく提案している (第3図)。堆積岩の化学分析は、希土類元素の分析を含めて最近の新しい研究動向であり、後背地や堆積環境の新しい指標を提示するものである。

造構環境と後背地について、さらに精度をあげた復元を行うために重要なことは、後背地や造構場を反映した初生的なモード組成や化学組成が二次的にどの様に改変されているのか、という点を明らかにすることである。

一般的にその変化には、運搬・堆積過程における淘汰・選別作用によるものと堆積後の続成作用によるものがある。しかし、それらが砂岩の組成や組織にどのような影響を与えるのか、その影響は何を指標とすればわかるのか、といった点での具体的な資料は極めて少なく、そこに今後の重要な研究課題がある。

例えば、同じ後背地に由来する砂でも、沖積平野とその先に当たる海岸では、後者が石英に富み、岩片が少ないという組成的な差があることが報告されている (伊藤・増田、1986)。しかし、河川の流量・平均流速・運搬距離による組成や組織の変化、海岸における運搬距離と波浪の強度や時間の影響を定量的に明らかにするためには、長い道のりが横たわっている。現世堆積物や堆積環境の分かりやすい過去の地層で系統的な研究を積み上げていく必要がある。

堆積後、続成作用の過程で不安定な鉱物種が分解し、安定な鉱物種の相対的量比 (組成) が変わることは比較的古くから知られている。特に重鉱物組成においてその違いが問題になることがあり、中・古生界の砂岩の重鉱物組成はジルコン、ガーネット、電気石などの安定な鉱物の組み合わせになる傾向が強いことが指摘されている。そのため、重鉱物組成の研究は第三紀以降の地層で



第3図 砂岩の化学組成に基づいて後背地 (造構場) を識別するダイアグラムの試案。火成弧における火成活動の初期の段階の識別に敏感であるが、後期の段階、特に中～酸性の火山活動期とその後の隆起・削剝にともなって花崗岩類が露出する時期との区別が難しい。後者の問題は化学組成に基づく識別ダイアグラムの多くに共通する難点である。君波ほか (1992) より引用。

行われることが多い。最近ではイタリア北部で大変よく続く鍵層砂岩 (Contessa megabeds) の重鉱物組成が、埋没深度の差に応じて一定の傾向で変化することが見いだされている (Cavazza and Gandolfi, 1990)。それゆえ、厳密な重鉱物組成の比較には、埋没条件にもとづく「補正」が必要であるが、そのような補正値を作り上げることも重要な課題である。

基質についても続成作用の影響がある。Dickinson (1970) によれば、「基質」とされている粒子間の充填物のかなりの部分は、軟らかくて不安定な岩片や鉱物が堆積後に変化したものであって、pseudomatrix と呼ぶべきものであることを指摘している。その量は続成作用の進行とともに増加する。この pseudomatrix を識別し、元初生的な組成で評価することが後背地の復元には重要である。これは、基質量を分類の主要基準にしている現在の砂岩の分類体系にも問題を投げかけるものである。

砂岩の粒子となっている鉱物の組成にも続成作用の影響が表れることがある。斜長石は灰長石と曹長石を端成分とする固溶体系列をなし、その組成はマグマの組成に依存するため、源岩の推定に有用な情報をもたらしてくれる (Trevena and Nash, 1981)。しかしながら、斜長石は、約120°C以上になる深度まで埋没し、Na の供給があれば、Ca が Na に置き換えられてアルバイト化することが判明している (Iijima and Utad, 1972; Boles, 1982)。このような場合には斜長石の組成は後背地を解明する手段とはならないが、アルバイト化の割合とその分布から、その地層のおかれた造構環境を知ることが可能となる場合がある (公文, 1992)。同様に、砂岩中に含まれるジルコンや燐灰石のフィッシュン・トラックにもとづく年代とその焼きなまし (annealing) の割合いことから、地層が経験した熱的事件を解明する研究も進められている (長谷部ほか, 1992)。

このような碎屑岩の堆積後の二次的な変化を解明すること自体、実は極めて重要な現在の研究課題であり、ビトリナイトの反射率やイライトの結晶度に基づく研究と合わせて、付加帯の形成史の解明 (Underwood *et al.*, 1992) や、石油の生成や貯油層の形成過程の解明 (Boles, 1982) などに非常に有益な情報を提供するものである。この方面の研究はいま盛んになりつつあるところであり、若手の参入が大いに期待されるところである。

文 献

- 足立 守・鈴木和博 (1992) 舞鶴帯北東部の上部三畳系難波江層群砂岩中の碎屑性モナザイトおよびジルコンの年代 (予報). 地質学論集, 38, 111-120.
- Basu, A. and Blom, M. (1991) Petrography, geochemistry, statistics and reliability of common procedures for provenance determination of siliciclastic rocks. *13th International Sedimentological Congress, Abstracts (paper)*, 40-41, Nottingham.
- Bhatia, M. R. (1983) Plate tectonics and geochemical composition of sandstone. *Jour. Geology*, 91, 611-627.
- (1985) Rare earth element geochemistry of Australian Paleozoic graywackes and mudrocks: provenance and tectonic control. *Sed. Geology*, 45, 97-113.
- and Crook, A. W. (1986) Trace element characteristics of graywackes and tectonic setting discrimination of sedimentary basins. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 92, 181-193.
- Boles, J. R. (1982) Active albitization of plagioclase, Gulf Coast Tertiary. *Am. Jour. Science*, 282, 165-180.
- Cavazza, W. and Gandolfi, G. (1990) Intrastratal solution in basin-wide marker beds as function of burial depth. *13th International Sedimentological Congress, Abstracts (paper)*, 81, Nottingham.
- Dickinson, W. R. (1970) Interpreting detrital modes of graywacke and arkose. *Jour. Sed. Petrology*, 40, 695-707.
- , Beard, L. S., Brakenridge, G. R., Erjavec, J. L., Ferguson, R. C., Inman, K. F., Knepp, R. A., Lindberg, F. A. and Ryberg, P. T. (1983) Provenance of North American Phanerozoic sandstones in relation to tectonic setting. *GSA, Bull.*, 94, 222-235.
- and Suczek, C. A. (1979) Plate tectonics and sandstone compositions. *AAPG, Bull.*, 63, 2164-2182.
- 長谷部徳子・田上高広・西村 進 (1992) フィッシュン・トラック法による四万十帯の形成過程の研究. 日本地質学会関西支部報, No. 113, 2-3. (講演要旨)

- Iijima, A. and Utada, M. (1972) A critical review on the occurrence of zeolites in sedimentary rocks in Japan. *Japan. Jour. Geol. Geography*, 42, 61-83.
- Ingersoll, R. V., Bullard, T. F., Ford, R. L., Grimm, J. P., Pickle, J. D. and Sares, S. W. (1984) The effect of grain size on detrital modes: a test of the Gazzi-Dickinson point-counting method. *Jour. Sedimentary Petrology*, 54, 103-116.
- 伊藤 真・増田富士雄 (1986) 古東京湾の砂組成と堆積環境. 堆積学研究会報, 25号, 15-22.
- 柿崎 聡・東 将士・立石雅昭 (1992) 北部フォッサマグナ小谷-笹ヶ峰地域の第三系堆積岩類の後背地と堆積盆地. 地質学論集, 38, 191-204.
- 君波和雄・公文富士夫・西村年春・志岐常正 (1992) 火成弧に由来する砂岩の化学組成. 地質学論集, 38, 361-372.
- 公文富士夫・君波和雄・足立 守・別所孝範・川端清司・楠 利夫・西村年晴・岡田博有・大上和良・鈴木茂之・寺岡易司 (1992) 日本列島の代表的砂岩のモード組成と造構場. 地質学論集, 38, 385-401.
- Renne, P. R., Becker, T. A. and S. M. Swapp (1990) $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ laser-probe dating of detrital micas from the Montgomery Creek Formation, northern California: Clues to provenance, tectonics and weathering processes. *Geology*, 18, 563-566.
- 竹内 誠 (1986) 紀伊半島中央部, 中・古生界砂岩中の碎屑性ザクロ石. 地質雑, 92, 289-306.
- 立石雅昭・アデル エル ハバブ・島津光夫 (1992) 北部フォッサマグナ頸城地域の中鮮新統タービダイト砂岩の源岩. 地質学論集, 38, 181-190.
- Trevena, A. S. and Nash, W. P. (1981) An electron microprobe study of detrital feldspar. *Jour. Sed. Petrology*, 51, 137-150.
- Underwood, M. B., Laughland, M. M., Bryne, T., Hibbard, J. P. and DiTullio, L. (1992) The thermal evolution of the Tertiary Shimanoto Belt, Muroto Peninsula, Shikoku, Japan. *Island Arc*, 1, 116-132.