

地学教育

第56巻 第5号 (通巻 第286号)

2003年9月

目 次

原著論文

モンテカルロ法による地質柱状図の復元

—房総半島に分布する上総層群の堆積構造を例として— ……青野宏美…(173~189)

教育実践論文

方解石の教材化に関する実践的研究 ……………岡本弥彦…(191~201)

学会記事 (202)

日本地学教育学会

263-8522 千葉県千葉市稲毛区弥生町1-33 千葉大学教育学部理科教育教室内

役員選挙に関する公示

正会員および学生会員 各位

2003年10月16日
日本地学教育学会 選挙管理委員会

役員候補者の推薦について

「役員選挙についての細則」に基づいて、平成16年度年度役員（会長および評議員、監事）の選挙を行います。ついでに細則により、会長および評議員候補者の推薦をお願いいたします。

【参考】役員選挙についての細則（抜粋）

4. 会長候補者の推薦は、正会員5名の署名捺印した推薦状に本人の承諾書を添えて、推薦者が12月1日から12月25日（消印有効）までに選挙管理委員会（事務局）に届けるものとする。
5. 評議員候補者の推薦は、正会員および学生会員3名以上の署名捺印した推薦状に本人の承諾書を添えて、推薦者が12月1日から12月25日（消印有効）までに選挙管理委員会（事務局）に届けるものとする。
6. 監事候補者の推薦は、常務委員会が行う。
（注）会則および細則の全文は、会誌「地学教育」52巻3号、1999年5月発行を参照してください。

現在の役員は、下記のとおりです。

- 1) 平成15年度で、任期の切れる会長（再選を認められている）：下野 洋
- 2) 平成15年度で、任期の切れる副会長（会則第11条第2項：会長が評議員の中から指名する；評議員として再選を認められている）：馬場勝良
- 3) 平成15年度で、任期の切れる評議員（再選を認められている）
北海道・東北地区：宮嶋衛次
関東地区：菅野重也・円城寺守
中部地区：鹿野勘次
近畿地区：戸倉則正
中国・四国地区：依藤英徳
九州・沖縄地区：八田明夫
会長指名：濱田浩美・林 慶一
- 4) 平成13年度まで、任期のある評議員（推薦しても無効）
北海道・東北地区：照井一明・中村泰久、関東地区：島津幸生・渋谷 紘・米澤正弘・加藤尚裕・江藤哲人・松森靖夫、中部地区：遠西昭寿・渡辺 隆、近畿地区：田結庄良昭・藤岡達也、中国・四国地区：野瀬重人・秦 明徳、九州・沖縄地区：田中基義・宮脇亮介
会長指名：買手屋 仁・加藤圭司・青野宏美・高橋 修・土橋一仁・五島政一・馬場勝良・松川正樹・宮下 治・岡本弥彦

モンテカルロ法による地質柱状図の復元

—房総半島に分布する上総層群の堆積構造を例として—

The Reconstruction of Geological Columnar Sections by the Monte Carlo Method
in the Plio-Pleistocene Fore-Arc Basin Deposits of the Kazusa Group,
Boso Peninsula, Japan

青野 宏美*

Hiromi AONO

Abstract: The vertical transition between the lithologic facies subjected to a Markov chain analysis. The columnar sections observed in the Plio-Pleistocene fore-arc basin deposits of the Kazusa Group, Boso Peninsula, were reconstructed by the Monte Carlo method with a computer which generates a random number sequence. A geological class on reconstruction of geological columnar sections was presented in the Tokyo-Seitoku high-school. Chi-square tests have demonstrated the relationship between the lower and upper successions in the columnar sections as also shown by the Markov chain analysis.

Key words: Markov chain, Kazusa Group, Monte Carlo, random dice, chi-square test, entropy

1. はじめに

野外の地質調査で行う基本的作業として、ルートマップ・柱状図・地質図・地質断面図の作成がある。この柱状図での地層の積み重なり方がランダムなのか規則的なのかを判定することは難しい。一見ランダムに見えるようでも、統計的な手法によって、規則的に積み重なっていることが明らかになる場合もある。この地質柱状図や、遺伝暗号であるDNAの塩基配列、楽譜、言語などは、すべて1次元での複数の要素が規則的あるいは不規則に並ぶ例である。

房総半島には、氷河性海面変動の影響を受けて新生代の鮮新-更新世に堆積した海底扇状地堆積物(上総層群)が、東西方向に広く分布する(三梨, 1979; 大原ほか, 1997)。これらは、いわゆる砂泥互層からなるが、この互層の1枚1枚がタービダイトと呼ばれている乱泥流堆積物(Bouma, 1962)からなり、露頭でその断面を観察すると、乱泥流の流速を反映した堆積構造

が見える。なかでも、ブーマ・シーケンス(a~e)の堆積構造がよく発達する上総層群は、陸棚・斜面・海底扇状地・海盆平坦面などの堆積環境(図1)を示すことが知られており(Katsura, 1984; Ito & Katsura, 1992; 1993)、それらの異なる堆積環境での積み重なり方にも、特徴的な違いが見られる(青野・桂, 1995)。しかし、そうした違いを抽出するためには、各堆積環境ごとに共通して見出される要素に基づいて、その違いを明らかにする必要がある。最も共通して見られる要素として、このブーマ・シーケンス(a~e)を用いるのが便利である。また、堆積相解析の手法として、時系列解析(石原・徳橋, 2002)、マルコフ解析(Hattori, 1976a; 牧野・増田, 1978; Hiscot, 1980)、エントロピー解析(Hattori, 1976b; 青野・桂, 1995)、クラスタ解析(八田, 1979; 青野, 2002)などがある。本論では、各堆積場ごとに解析を行い、それらの解析結果に基づいて、そのブーマ・シーケンスが完全にランダムであるか、あるいはマルコフ過程に従って、規

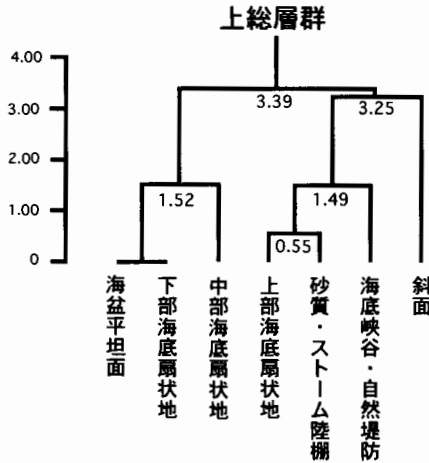
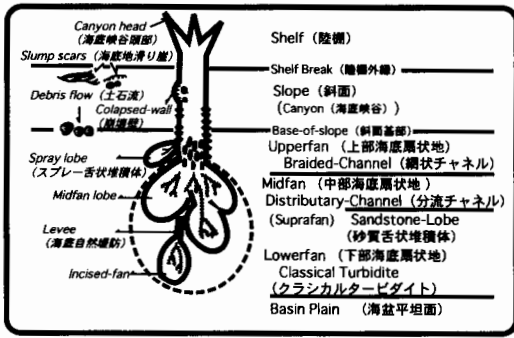


図1 房総半島の上総層群に見られる堆積環境 (Katsura, 1985) を改変) と類似度を表すデンドログラム (青野, 2002). 縦軸は0に近いほど、類似度が高いことを表す。

則的に積み重なっているのかを検証した。

まず、地質柱状図の1次元的な配列データから推移頻度行列 F を作成し、さらに推移確率行列 P とランダム配列行列 R との差分推移行列 S を計算して差分マルコフ鎖を作成した。次に、推移確率行列 P を基にして質的に異なる2つのエントロピー量、すなわち等確率状態からのずれを表す量 D_1 と、独立状態からのずれを表す量 D_2 (Gatlin, 1972) を計算した。そのエントロピーの値と χ^2 の値をモンテカルロ法による試行回数の指標として用いることにした。これらの地層は、完全にランダムに積み重なっているのではなく、堆積場ごとの堆積環境の違いを反映して、異なる様式で積み重なっている。その積み重なり方の測定結果を基にして、コンピュータの表計算ソフトを用いて乱数を発生させて柱状図復元のシミュレーションを行い、妥当な乱数発生に必要な試行回数あるいは、露頭で調

べるべき必要最小限の要素数が何回以上あればよいかを調べた。次に、高校地学の授業として、正20面体を用いた乱数サイを作成して、サイコロを振って、海盆平坦面の完全ランダム状態、半ランダム状態、マルコフ過程について各々の実験を行い、疑似柱状図の復元とその復元結果の推移頻度行列および推移確率行列を計算させた。その結果、房総半島に分布する上総層群中の堆積相の積み重なり方は、全くランダムではなく、マルコフ過程によって直前に出現した地層の要素によって左右されながら、堆積したことが明らかとなった。これらの違いは、ブーマ・シーケンス(a→e)の積み重なり方と供給源地からの遠近の違いを反映していることを意味する。

2. 上総層群に見られる堆積相のマルコフ表示

日本列島は、環太平洋変動帯に位置し、フィリピン海プレートが南東から北西方向に日本列島の下に潜り込み、さらにその下に東南東から西北西方向に太平洋プレートが潜り込んでいる。新生代第三紀鮮新世から第四紀更新世にかけて、現在の房総半島中部に分布する上総層群 (三梨, 1979) は、大陸斜面の海段の凹みを埋積した海底扇状地の堆積物からなり、氷河性海面変動の影響を受けながら、次第にその海盆は埋め立てられて、浅海化していった (Ito and Katsura, 1992; 1993)。房総半島に分布する上総層群の乱泥流堆積物は、側方への連続性のよい (徳橋, 1988) 主に未固結の砂泥互層からなり、露頭での詳細な柱状図を記録できる。上総層群の堆積環境は、海盆平坦面・海底扇状地・斜面・陸棚などのさまざまな堆積環境を示し (Katsura, 1984)、堆積相の情報解析 (青野・桂, 1995; 青野, 2002) を行うには絶好のフィールドである。

この論文で解析に用いたデータは、千葉県房総半島に分布する鮮新-更新統からなる上総層群中のタービダイト堆積物中に見られるブーマ・シーケンス(a→e)の下から上への積み重なり方のデータである。Katsura (1984) の堆積相解析によって明らかにされた、海盆平坦面・海底扇状地・斜面・陸棚に対する堆積環境のモデル (図1) の中で、堆積相の重なり方を示す推移頻度行列 F のデータは、上総層群の代表的な堆積環境を示す多数の露頭において収集された (青野, 2002)。タービダイト単層の厚さおよび火山灰・スランプ・礫岩などのブーマ・シーケンス以外の要素に関しては、全体に共通した普遍的な要素とは見なされないで、ここでは無視する。地層は、「地層累重の法

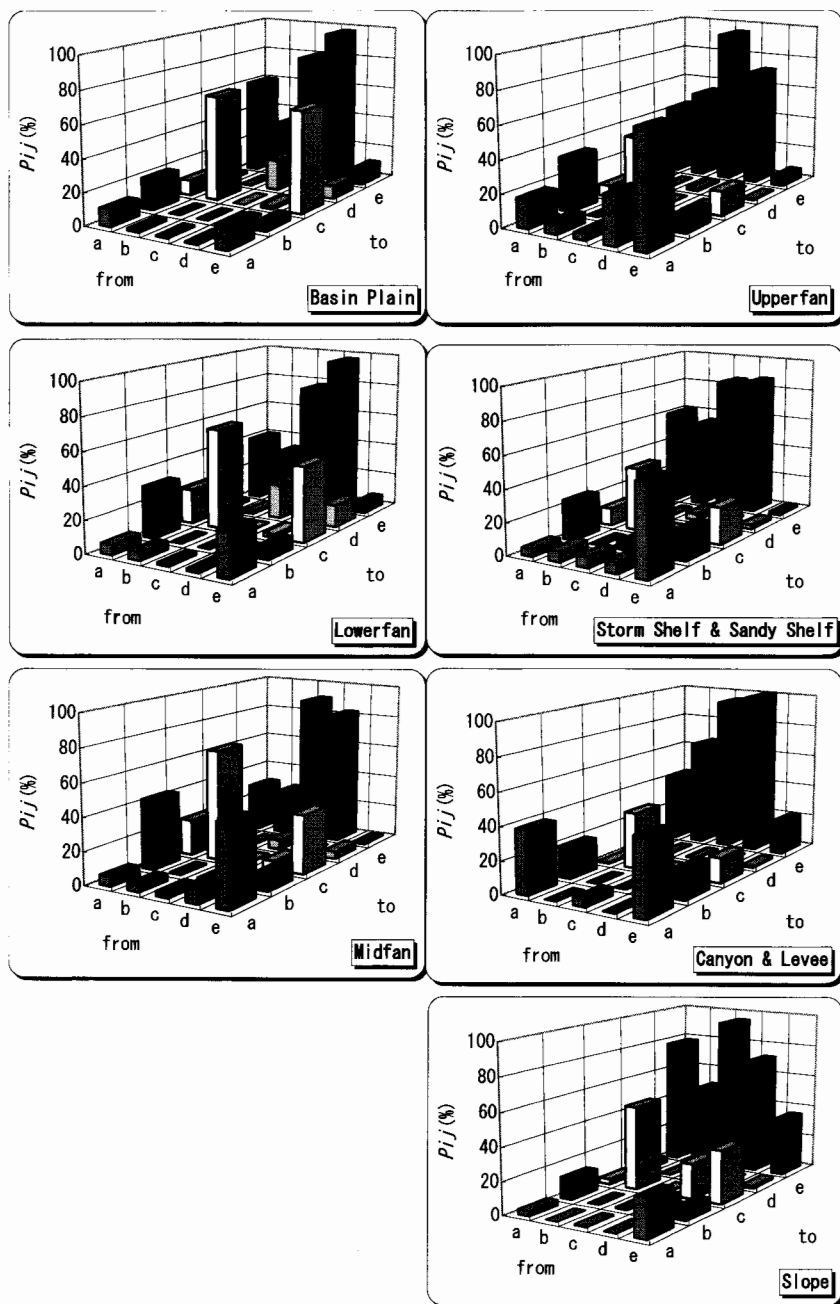


図2 上総層群の各堆積環境の推移確率行列の3D

則」に従って、時間の経過に伴い、上方に積み重なる。その各堆積相間の推移は確率過程と考えられる。つまり、ある時点における堆積相は、その直前の堆積相に確率的に依存する「マルコフ過程」として取り扱うことができる。このマルコフ解析を行うことにより各堆

積相の特徴と相違を明らかにし、堆積盆における乱泥流堆積作用の根本的な特徴をより明確にすることができる。千葉県房総半島に分布する上総層群の堆積相解析を基にして、推移頻度行列 F 、推移確率行列 P (図2)、ランダム推移頻度行列 R 、差分推移確率行列 S

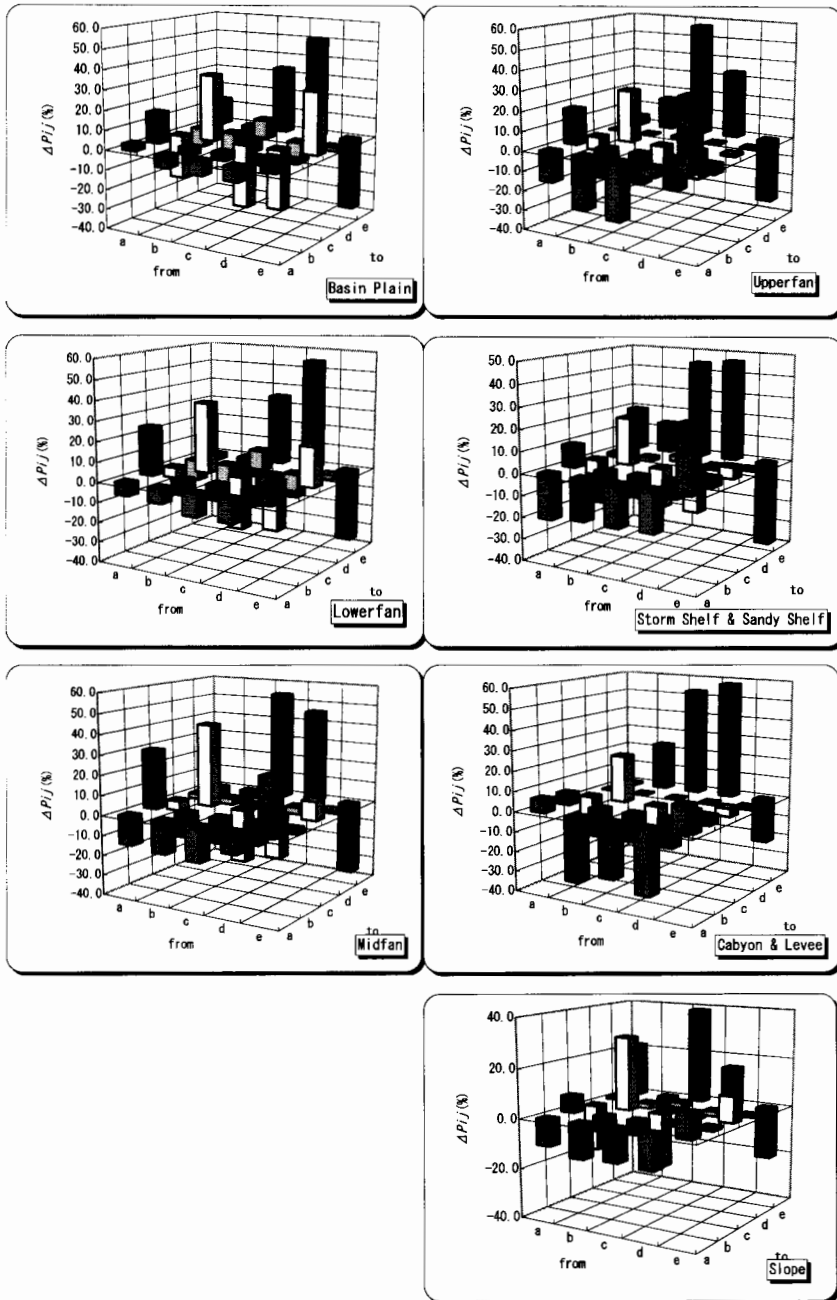


図3 上総層群の各堆積環境の差分推移確率行列の3D

(図3)を作成して、差分マルコフ鎖(図4)を作成した。これらの行列からマルコフ鎖を作成する方法を以下に簡単に示す。

①各要素を F_{ij} とする推移頻度行列 F を作成する。行列 F は、ルートマップや柱状図をもとに、ある堆積

相から次の堆積相へと変わる回数を各要素ごとに計測して行列を作成する。

②推移頻度行列 F に基づき、推移確率行列 P を計算する。行列 P (図2) の各要素 P_{ij} は、行列 F の各要素 F_{ij} を行合計 F_i で割ったものである(下から上への

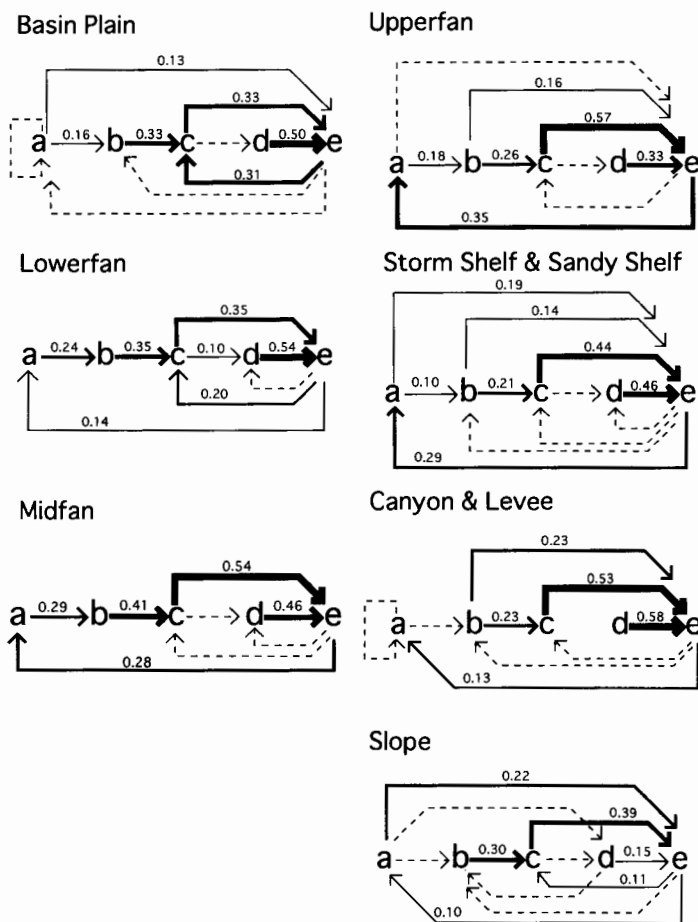


図4 上総層群の各堆積環境の差分マルコフ鎖。これらのマルコフ鎖では、上への堆積相へ移行する確率が高いほど、太い矢印線を用いて表示してある。

行列の場合)。

③行列 P を基に差分マルコフ鎖を作成する (図4)。

(1) 式は、各堆積相がランダムに配列したと仮定したときの各堆積相の出現確率を表す。さらに、(2) 式は、実際に測定された推移確率行列 P から、ランダム推移確率行列 R を差し引いた差分を、+、- によって表す差分推移確率行列 S である。

$$R_{ij} = \Sigma F_i \Sigma F_j / (\Sigma \Sigma F_{ij}) \quad (1)$$

$$S_{ij} = P_{ij} - R_{ij} \quad (2)$$

普通のマルコフ鎖の表示では、a~eの各要素間の推移の様子が詳細に読み取れるが、差分推移確率行列 S のより単純化されたマルコフ鎖 (図4) の方が、各堆積環境ごとのブーマシーケンスの特徴がより明確になり、直感的に分かりやすい。ここでは、a→b→cと推移するグループとd→eと推移する2つに分けられ

る。前者のグループは、乱泥流の流れるチャンネルから舌状堆積体にかけて堆積し、後者は、自然堤防から側方に乱泥流があふれ出たために、流速が急に減衰したときの堆積物に相当すると考えられる。c→eと推移するグループは、乱泥流が堆積した後のコンターライト (Ito, 1996) を示している可能性が高い。しかし、各堆積環境どうしのマルコフ鎖を比較した場合、どの堆積環境がどれくらい似ているのかをすぐに判断することは困難である。マルコフ鎖は推移確率行列 P や差分推移確率行列 S をアナログ化した図であるが、これらの行列どうしの類似度を比較検討するためには、別な方法としてのクラスタ解析が必要となる (八田, 1979; 青野, 2002)。

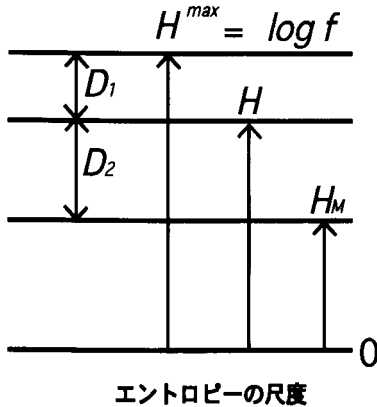
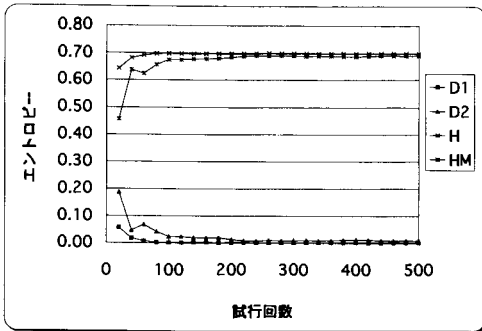


図5 完全ランダム法によるエントロピー量の変化(上)とエントロピーの尺度(下). 出現に関する空間エントロピー H は, 各要素数を f , 各要素の出現確率を P_i , 推移確率を P_{ij} , 任意の定数を K とすると,

$$H = -\sum P_i \log P_i \quad (\text{底}=2)$$

各要素の出現確率 P_i が, すべて等しい場合に出現に関する空間エントロピー H は, 最大値 $H^{\max} = \log f$ となる. 等確率状態からのずれの量を表す D_1 は,

$$D_1 = H^{\max} - H = \log f - H$$

一重マルコフ鎖のエントロピー (H -Markov) H_M は,

$$H_M = -\sum \sum P_i P_{ij} \log P_{ij}$$

配列の秩序を測る物差しであり, 独立状態からのずれの量を表す D_2 は, $D_2 = H - H_M \geq 0$ ($H \geq H_M$) となる.

3. 堆積相の乱雑さの指標としてのエントロピー表示

Gatlin (1972) は, 生物遺伝子中の DNA に組み込まれた遺伝情報を解析するために, 新たなエントロピーの尺度を示した. DNA は, アデニン (A)・チミン (T)・シトシン (C)・グアニン (G) の塩基配列であり, また堆積物の重なり方は, 連続的な堆積相の変化を示

す柱状図として表され, どちらも 1 次元配列による特定事象の連続体である. したがって, 地質柱状図に示された堆積相解析にも, この方法が応用できる. エントロピーの概念は, 次のように表せる. すなわち, 高いエントロピー状態は, 「乱雑, 不規則, 未組織, 無秩序, 混沌」な状態を表し, 逆に低いエントロピー状態は, 「秩序, 分別, 規則的, 組織的」な状態を示す. エントロピーが最大, すなわち最も乱雑かつランダムな状態では, 各要素の事象が, 等確率かつ独立となる. したがって, 等確率からのずれの量 D_1 と独立性からのずれの量 D_2 を定義することにより, エントロピー量を質的に異なる 2 種類の量に分けられる. これらのエントロピー尺度の相互関係を図 5 に示す.

ここで, 各要素の出現確率がすべて等しい場合は, $H = H^{\max}$ となり $D_1 = H^{\max} - H = 0$ となる. また, 各要素の推移確率がすべて等しい場合は, $H = H_M$ となり $D_2 = H - H_M = 0$ となる. つまり, 各要素が等確率で出現し, 完全にランダムあるいは無秩序に並んでいる場合は, $H = H^{\max} = H_M$ となり $D_1 = D_2 = 0$ になる. したがって, ここで計算したランダム性や規則性を表すエントロピー量 H と H_M あるいは D_1 と D_2 を組み合わせれば, 柱状図をシミュレートして復元する際の重要な指標の 1 つとなる. 図 5 は, ブーマ・シーケンスの要素 a~e の出現確率がすべて等しく ($P_i = 1/5 = 0.2, D_1 = 0$), かつ独立 ($D_2 = 0$) に, つまり完全にランダムに推移した場合のエントロピー量の試行回数による変化を表している. 試行回数がほぼ 100 回を超えると, エントロピー量 D_1 と D_2 は, ほぼ 0 となり, 試行回数を増やしてもあまり変化しないことが分かる.

4. モンテカルロ法による柱状図の復元

モンテカルロ法とは, はじめはフォン・ノイマンとウラムにより「決定的な数学の問題の処理に, 乱数を用いること」とされたが, 今日では「決定的および確率的な問題の処理に, 無作為抽出を用いること」と定義されている (武隈, 1975). ランダム・ウォーク (酔歩) と呼ばれることもある. このモンテカルロ法により, すでに明らかとなっている上総層群の各堆積環境ごとの推移確率行列 P を基にして, 各堆積環境に似せた疑似柱状図 (堆積物の厚さを除く) を作成することが可能となる. 上総層群での各堆積環境のタービダイト中のブーマ・シーケンス (a~e) の積み重なり方のデータを基にして, コンピュータにより乱数を発生さ

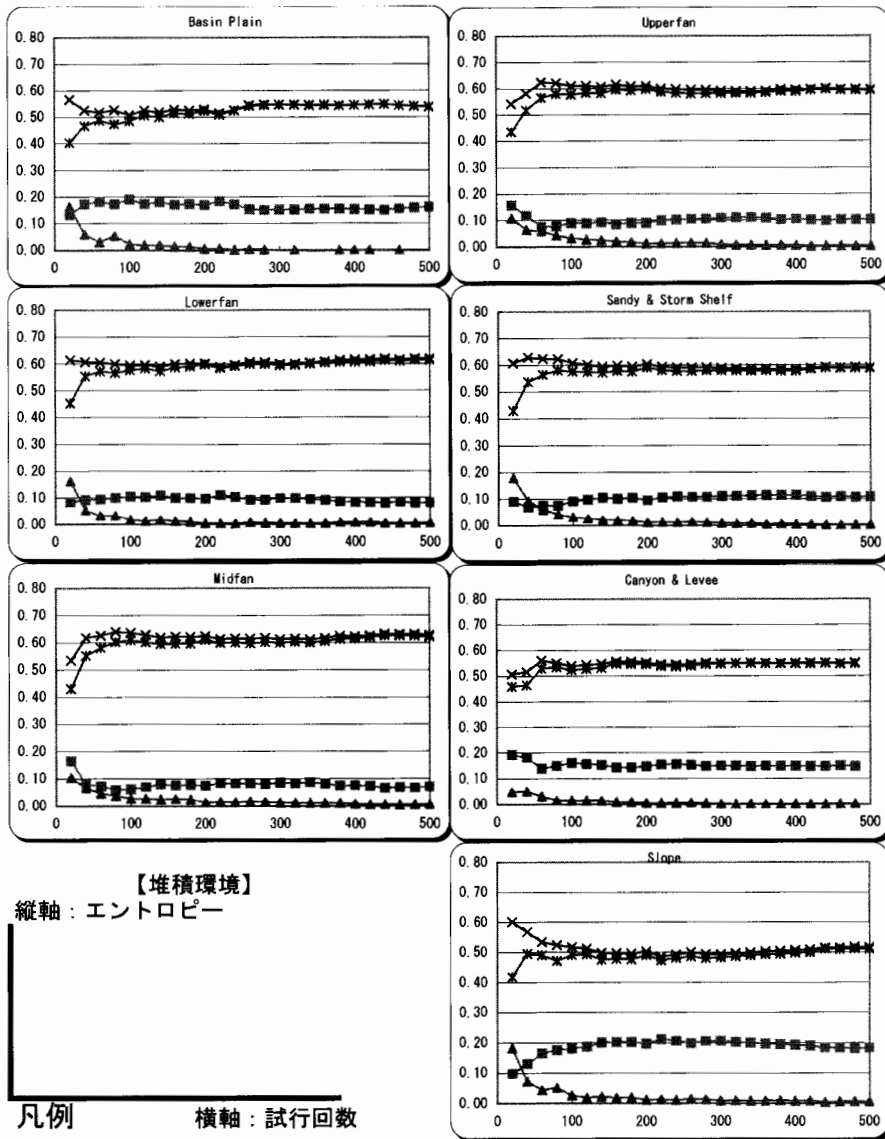


図6 半ランダム法による海盆平坦面のエントロピー量の変化. グラフの凡例は図5に同じ. 縦軸は, エントロピー量を示し, 横軸は試行回数 (最大500回) を表す.

せて, その各要素の積み重なり方をシミュレートした. この乱数は表計算ソフト (MS Excel) によって簡単に発生できるが, 正 20 面体を利用した乱数サイを作成して, サイコロを振ることにより, 乱数を作ることできる (森口, 1978). 各要素数 (a~e) をすべて等しくし, 積み重なり方もランダムにした場合を完全ランダム法, 各要素の出現確率を各堆積環境に比例させて, その積み重なり方をランダムにした場合を半ランダム法, 各要素の出現確率と各堆積環境の推移確率

行列を基にしてシミュレートした場合をマルコフ法と呼ぶことにする. 各方法に分けて指標となるエントロピー量と χ^2 の値が, 試行回数に伴ってどう変化するのかを観察した. その結果, 最低でも 80 回以上の試行を行えば, 十分に柱状図を復元することが可能である. 高等学校の地学 IB での授業では, 正 20 面体サイを作成し, このサイコロを振って疑似乱数を発生させ, 一例として海盆平坦面での完全ランダム法, 半ランダム法, マルコフ法の 3 通りの試行を行い, 各方法

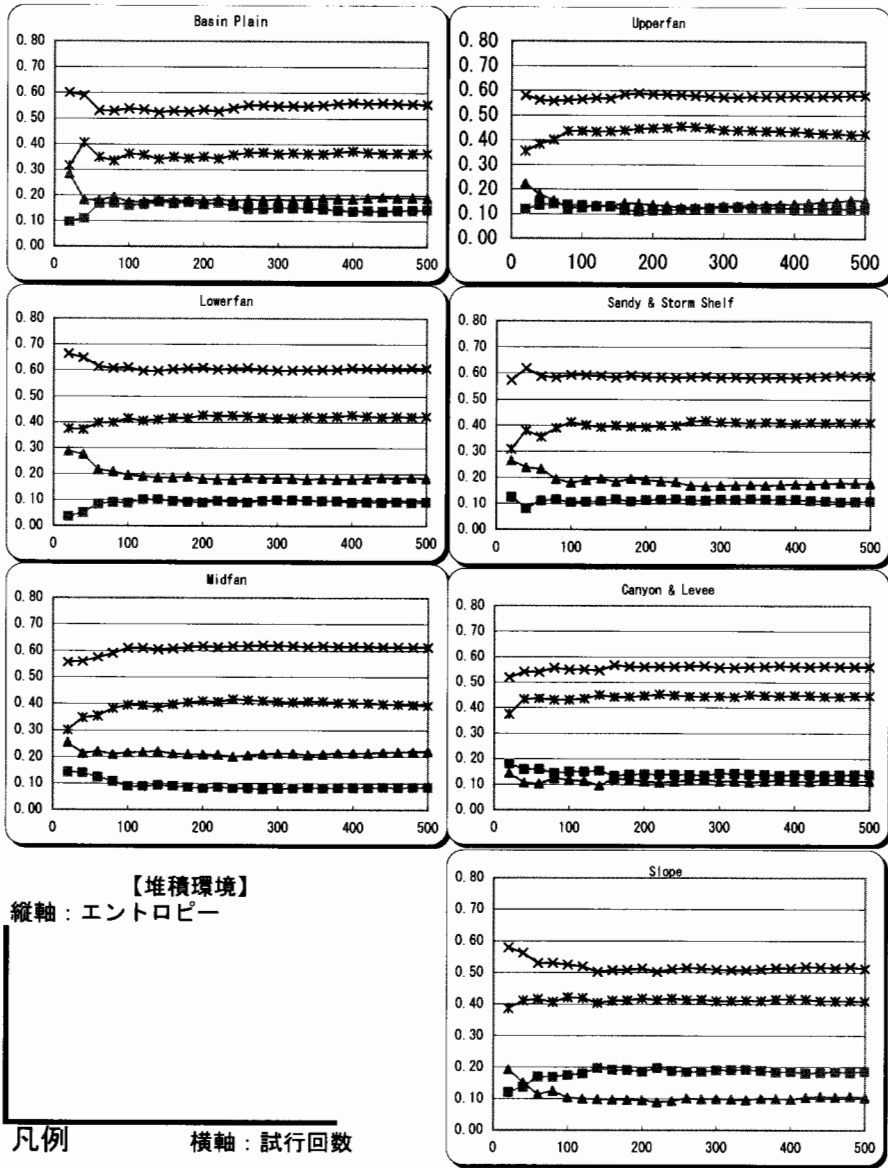


図7 マルコフ法による海盆平坦面のエントロピー量の変化。グラフの凡例は図5に同じ。縦軸は、エントロピー量を示し、横軸は試行回数（最大500回）を表す。

ごとに疑似柱状図を作らせた。

4.1 完全ランダム法

まず、コンピュータの中で表計算ソフトのExcelを用いて500個の疑似乱数(1~100)を発生させる。要素 f は、ブーマ・シーケンス(a~e)の5通りなので、乱数の1~20までをa, 21~40までをb, 41~60までをc, 61~80までをd, 81~100までをeの各20個に置き換える。500枚の柱状図ができたところで、便宜

的に試行回数20回ごとに累積頻度行列 F と累積推移確率行列 P を作成し、その行列 P のエントロピー量と行列 F の χ^2 の値を計算して、その推移グラフを描いた(図5上)。エントロピー量の H と H_M は、試行回数100回を超えると、 $\log 5 \approx 0.69$ に近づき、 D_1 と D_2 は0に近づく。

4.2 半ランダム法

次に、4.1で用いた500個の乱数と同じ乱数列を用



図8 マルコフ法による上総層群の疑似柱状図. 右側の三角形は、上方細粒化を示す1枚の乱泥流堆積物を表す.

いて海盆平坦面の出現確率 P_i に基づき、かつ推移が独立(ランダム)な疑似柱状図を作成する。海盆平坦面の出現確率は、すでに分かっているので、1~100までの乱数をこの出現確率の割合に比例して割り振る。この数値の割り振りは、各要素の出現確率を100倍して小数点以下を四捨五入し、合計が100になるように調整した。つまり、乱数の1~7までをa(7個)、8~11までをb(4個)、12~43までをc(32個)、

44~53までをd(10個)、54~100までをe(47個)とした。後は、4.2と同様な方法で疑似柱状図を作成し、試行回数の20回ごとにエントロピーと χ^2 の値を計算して、その推移グラフを作成した(図6)。このグラフでは、各堆積環境ともに試行回数が約100を超えたあたりで、 D_1 の値が一定となり、また $H=H_M$ となるので D_2 の値は0に近づく。

堆積環境	実測値	コンピュータ	乱数サイ	$\chi^2 \geq 32$	グラフの傾き	D_1	D_2
Midfan	2246	472	/	43.0	0.92	0.09	0.21
Basin Plain	1233	364	178	46.6	0.73	0.16	0.18
Lowerfan	1938	382	/	27.4	0.72	0.09	0.19
Storm & Sandy Shelf	544	352	/	19.6	0.67	0.11	0.19
Upperfan	1461	334	/	61.9	0.64	0.12	0.14
Canyon & Levee	153	227	/	80.1	0.47	0.14	0.11
Slope	240	201	/	79.0	0.39	0.19	0.10

表 1 上総層群の各堆積環境の実測値とコンピュータのマルコフ法による χ^2 の値は、すべて自由度 16 のときの χ^2 の評価点 32.0 を超えており、堆積物が独立に積み重なっていないことを示している。($\chi^2 \geq 32$) の値は、 χ^2 の評価点 32.0 を超えたときの試行回数を示す。 D_1 、 D_2 は、コンピュータによる推移確率行列 P のエントロピーの値を示す。

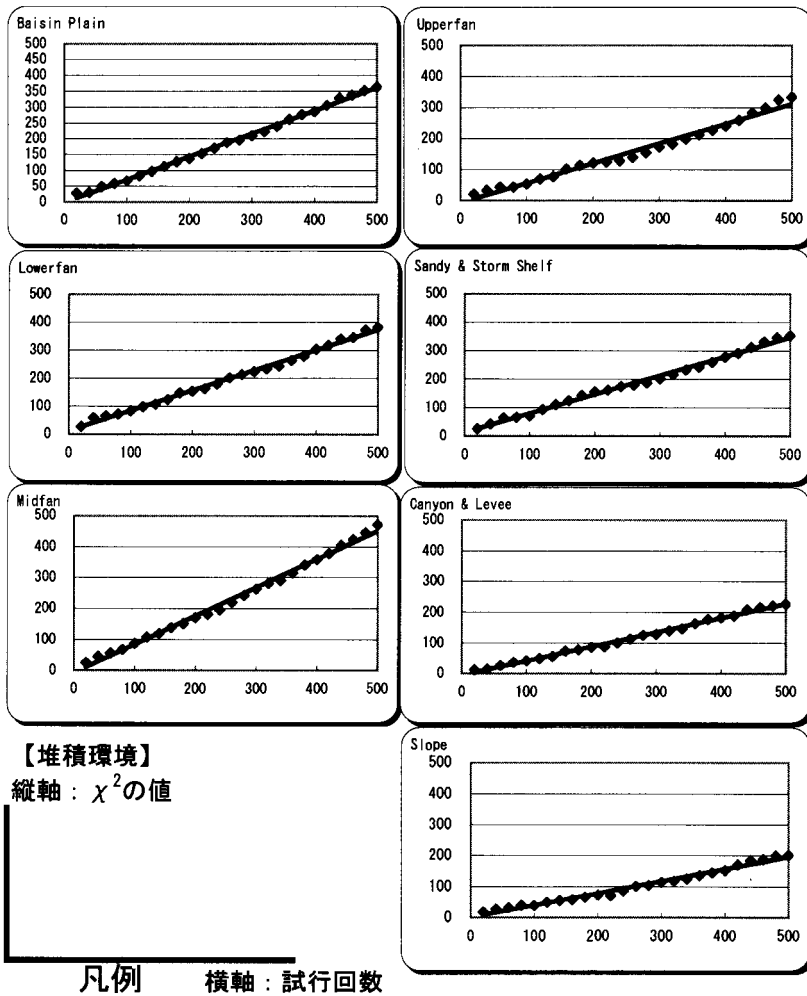


図 9 グラフは、横軸にコンピュータのマルコフ法による試行回数、縦軸に累積推移頻度行列の χ^2 の値を表し、直線はその回帰直線を示す。グラフの傾きが大きいほどマルコフ性が高い堆積環境であることを表している。

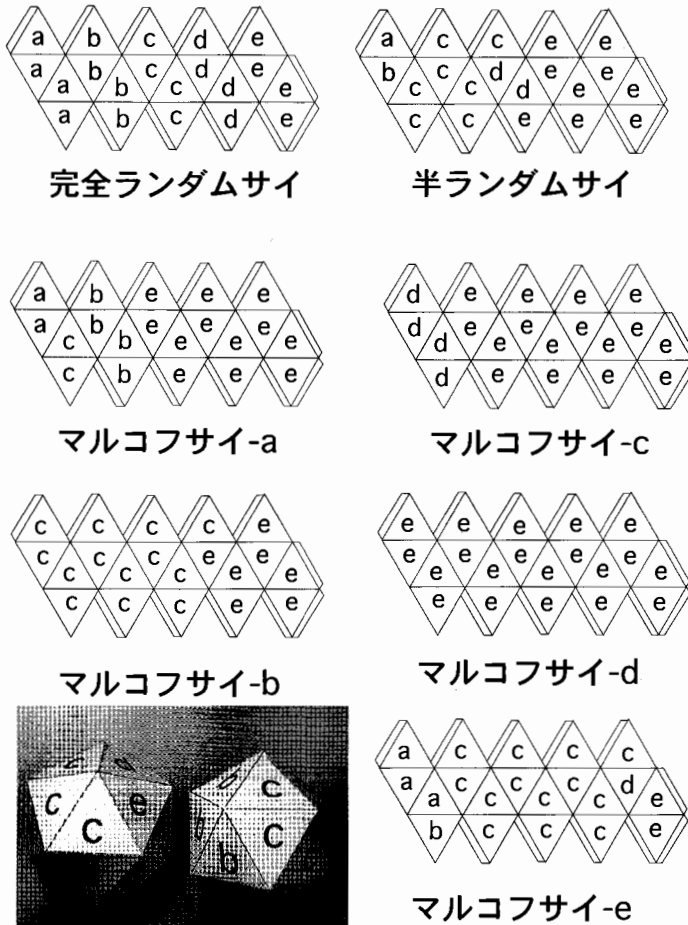


図10 正20面体サイの展開図(海盆平坦面の完全ランダムサイ(左上), 半ランダムサイ(右上), マルコフサイ(a~e))と実際に作成した正20面体サイの写真。

4.3 マルコフ法

3番目に、海盆平坦面の推移確率行列の各要素を100倍して、その数値に4.1で用いたのと同じ乱数列を使用して、500枚の柱状図を作成した。やや複雑な手順となるが、最初にe(泥質部)から始めて、行列Fのeの行ではじめの乱数の数値に相当する要素(a~e)を1個選択する。次に、選択した要素の行に飛び、次の乱数の数値に相当する要素を1個選び、再びa~eを選択して次の行に移動することを繰り返す。エントロピーの値(図7)は、ほぼ100回を超えると安定した値になる。海盆平坦面・下部海底扇状地・中部海底扇状地・上部海底扇状地・砂質およびストーム海岸では、 $D_2 > D_1$ となり、海底谷および自然堤防・斜面では、逆に $D_1 > D_2$ となる。後者のグループになるほど、 D_2 の値が D_1 より低くなり、より乱雑でランダムな積

み重なり方をしていることが分かる。

これらの乱数発生は、コンピュータソフトによる計算法が最も簡便であるが、おみくじやビンゴゲーム、サイコロなどでも代用できる。コンピュータによる乱数発生で作成したマルコフ法による上総層群の各堆積環境における疑似柱状図を図8に示す。

最後に上総層群の各堆積環境における乱泥流堆積物中のプーマ・シーケンス(a~e)の積み重なり方の前後に関連性があるか否かを、 χ^2 検定を用いて行った(表1)。この場合、仮説として「推移頻度行列の列の項目(直前)と行の項目(直後)との間に関連性がない、すなわち両者は独立である」とする。まず、各行と各列に対して、それぞれ合計値を計算し、行列の各要素を行列の総合計で割る。行列の各要素の確率は、各行と各列との間に全く関連性がないとしたときの理



図 11 乱数サイを用いた (A~C) 海盆平坦面の疑似柱状図 (累積要素数 100)。A: 完全ランダム法, B: 半ランダム法, C: マルコフ法, D: コンピュータによるマルコフ法

論値となる。各欄の(実測値-理論値)²/理論値を合計したものが χ^2 の値となる。また、この場合の χ^2 分布の自由度は $(5-1) \times (5-1) = 16$ である。ここで、危険率1%、自由度16の χ^2 の値は、 $\chi^2 = 32$ である。表1に示したように、各堆積場の観測値の χ^2 の値、コンピュータの乱数発生によるマルコフ法の χ^2 の値、乱数サイのマルコフ法による χ^2 の値(海盆平坦面のみ試行)のいずれもが、32を大きく超えているので、仮説は棄却される。つまり、堆積する前と後の各堆積相には、有意水準1%で関連性があることになる。各堆積環境ごとに、この χ^2 の値が有意水準1%を示す評価点の約32を超えときの試行回数を最小2乗法のグラフにより計算して求めた(図9)。その結果、最低でもおよそ80回以上の試行を行えば、この評価点の32を超えることが分かった(最小19回~最大80回)。ここで、 χ^2 のグラフの傾きの値とエントロピーの D_2 の値とは、相関係数0.89の関連が認められた。つまり、 χ^2 のグラフの傾きが急なほど、マルコフ過程による関連性がより強いということが出来る。

5. 正20面体サイによる柱状図の復元

表計算ソフトによる乱数発生の代わりに、サイコロを用いて乱数を作ることもできる。サイコロの場合、1~6の数字の出現確率が、1/6ですべて等しく、かつ直前に出た目の数に左右されず、正しいサイコロは、ランダムに目が出るようになっている。普通のサイコロでは、6面しかないので、5つの要素a~eを割り振ることはできないが、正20面体のサイコロを用いれば、堆積環境ごとの推移確率をかなりの程度まで近似して再現することができる。この正20面体サイによる授業実習で疑似柱状図の作成を行い、その測定結果をマルコフ鎖に表して実測値やコンピュータによる場合と比較した。まず、正20面体サイの展開図(図10)を生徒に渡し、堆積環境として海盆平坦面を選んで、完全ランダム法によって200回の試行を行い、その疑似柱状図を作成した。完全ランダム法のサイコロを作るには、正20面体サイの4面をそれぞれa~eに割り振れば、各要素の出現確率が1/5となりすべての要素が、等確率の状態になる。この正20面体サイを200回振って、要素a~eの結果をそのまま方眼紙の縦軸に取り、横軸に粒度として要素(a~e)を入れると、ブーマ・シーケンス(a~e)の厚さを無視した疑似柱状図となる。この柱状図から推移頻度行列Fを作成し、推移確率行列P、差分推移確率行列Sを計算して

マルコフ鎖を作成した。次に、半ランダム法による正20面体サイを作成して同様の作業を経て疑似柱状図を作成した。半ランダム法では、海盆平坦面の出現確率を20倍して小数点以下を四捨五入し、要素数の合計が20になるように調整した。その結果、正20面体サイのaとbを1面ずつとし、cを7面、dを2面、残りの9面をeとした。最後に、マルコフ法により、海盆平坦面の推移確率行列に比例した個数の要素a~eを正20面体サイに書き込んだサイコロを5種類作成した(図10)。初めの要素をe(泥質部)として、eの正20面体サイを振り、次に出た目の要素a~eの正20面体サイを振る。次々に正20面体サイを各要素ごとに取り替えながら、201回サイコロを振って、その出た目の要素a~eを順に記録していく。正20面体サイの作成には、多少の時間を要するが、あらかじめメント紙にプリントした用紙を切り貼りして30分ほどで作成できた。試行回数の200回は30分もあれば終了できる。この結果から、3種類の疑似柱状図(図11のA~C)を作成して、さらに、マルコフ鎖を作らせ、完全ランダム法、半ランダム法、マルコフ法の各場合を比較した。明らかに、この順に海盆平坦面で堆積した柱状図に近づいていくことが見てとれる。また、野外での実測によるデータから作成したマルコフ鎖(図12左)、コンピュータによる乱数発生のマルコフ法によるマルコフ鎖(図12中央)、乱数サイのマルコフ法によるマルコフ鎖(図12右)を比較してみると、若干の数値の違いは見られるが、本質的な違いはない。コンピュータでも、乱数の桁数を増やし、試行回数を十分大きくすれば、実測値にいくらでも近づけることができると考えられるが、正20面体の乱数サイであっても、十分にうまくシミュレートできることが分かった。この実習を行うことにより、房総半島に分布する上総層群の海盆平坦面の地層は、一見ランダムに重なって見えるが、実はある規則(マルコフ過程)に従って積み重なっていることが理解できる。この実習は東京成徳大学高等学校の地学IBの授業で行った。この授業での高3の選択科目者は10名であり、統計的にその授業効果が有意であるか否かは判定できない。しかし、単に教科書だけで行う柱状図学習に比べて、自分で堆積相の柱状図を作る造物主になることによって、サイコロを振れば、明らかにその内容が生徒の身に付いたと思われる。こうした下準備を行ってから、地質野外見学などの野外学習に結びつけばさらに、学習効果が上がるものと考えられる。以下に、正

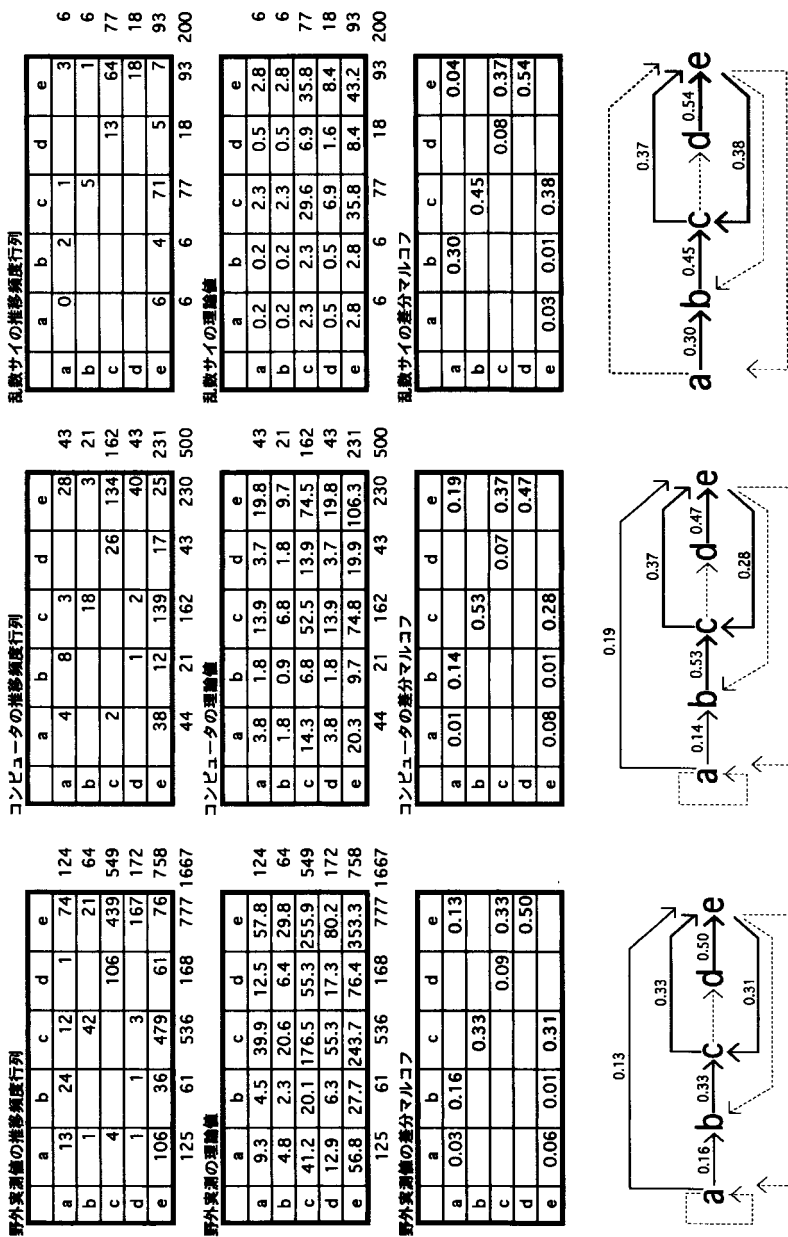


図 12 上総層群の海盆平坦面の野外実測値 (左), コンピュータによるマルコフ法 (中央), 乱数サイのマルコフ法 (右) による差分推移確率行列から作成した差分マルコフ鎖 (下図).

20 面体サイによる試行実験後の生徒の感想を一部抜粋して記す。

生徒 A: 授業では推移頻度行列の意味がよく分からなかったけれど、乱数サイで実験を行った後では、行列の意味がよく分かるようになった。

生徒 B: 地層は、ランダムに積み重なっていると思っていたが、実験によってある法則に従って積み重

なっていることが理解できた。

生徒 C: 乱数サイで、柱状図ができるのか不思議だったが、実際にデータを取ってみたら、実際の地層に近い柱状図ができたので驚いた。

生徒 E: 授業では地層には、あまり関心がなかったけれど、実験を行うに従い、柱状図の姿が現れたのにびっくりした。実際の露頭にてかけて自分の目で見てみたいと思った。

生徒 F: 乱数サイを展開図から作成するのがおもしろい。今度は、コンピュータのシミュレーションをやってみよう。

上総層群の各堆積環境における乱泥流堆積物中のブーマ・シーケンス (a~e) の前後 (上下) の積み重なり方には有意の関係、つまり因果関係があることはすでに述べたが、完全ランダム法、半ランダム法、マルコフ法でシミュレーションした海盆平坦面での結果も、各要素の堆積の前後で独立なのか、あるいは関連性があるのかを、 χ^2 検定を用いて行った (表 2)。この場合も、「推移頻度行列の列の項目 (直前) と行の項目 (直後) との間に関連性がない、すなわち両者は独立である」と仮定する。この χ^2 分布の自由度も、 $(5-1) \times (5-1) = 16$ となる。危険率 1%、自由度 16 の χ^2 の値

	コンピュータ	検定結果	乱数サイ	検定結果
独立の理論値	0	○	0	○
完全ランダム法	18	○	11	○
半ランダム法	9	○	18	○
マルコフ法	364	×	178	×

表 2 海盆平坦面 (Basin Plain) における完全ランダム法・半ランダム法・マルコフ法による、自由度 16 のときの χ^2 の値と、危険率 1% の検定結果 (○, ×)。 χ^2 の評価点は、32.0 である。○印は各要素の独立性が棄却できないことを示す。つまり、完全ランダム法と半ランダム法では、各要素はマルコフ性を示さず、独立に積み重なっていることを示す。×印は各要素の独立性が、棄却されることを示す。つまり、マルコフ法では各要素は、ランダムに積み重なっているのではなく、各要素が関連性をもって積み重なっていることを表す。

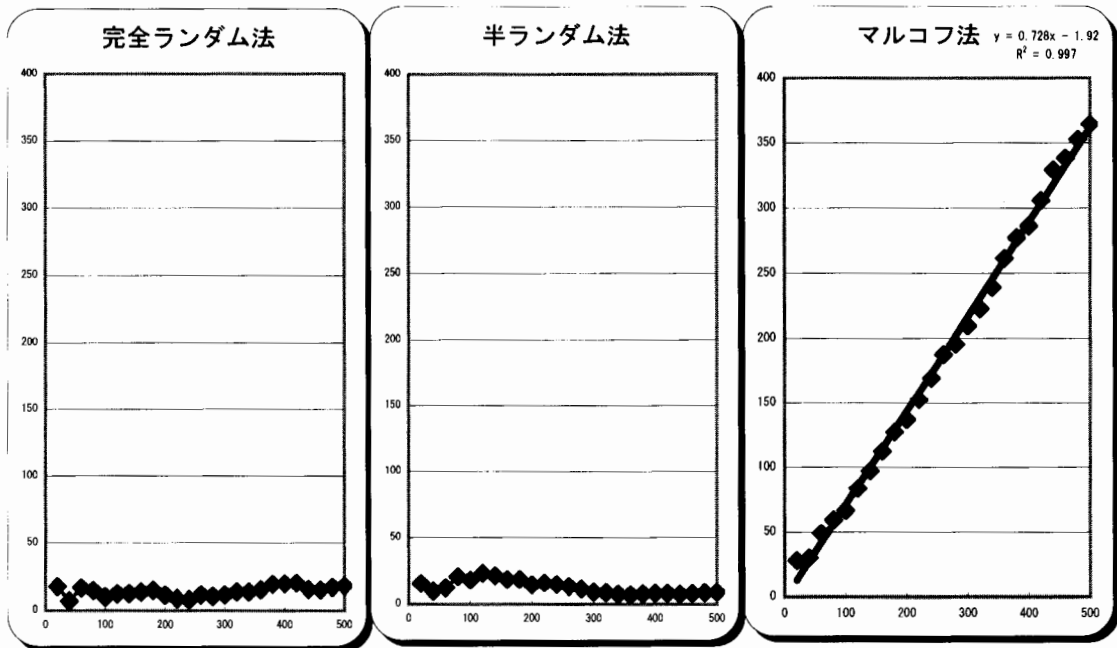


図 13 図は、横軸に海盆平坦面 (Basin Plain) における完全ランダム・半ランダム・マルコフの各法によるコンピュータの試行回数、縦軸に推移頻度行列の χ^2 の値 (自由度 16) を 20 回ごとに累積して表し、直線はその回帰直線を示す。

は、 $\chi^2 \approx 32$ である。表2に示したように、海盆平坦面の堆積相の前後が完全に独立であると仮定したときの χ^2 の理論値はもちろん0となる。検定の結果、コンピュータと乱数サイのいずれも、完全ランダム法と半ランダム法では、 χ^2 の値は32を下回っているので(表2の○印)、仮説は棄却されず、前後の堆積要素の間には関連性がない、あるいは独立であることになる。逆にマルコフ法では、コンピュータと乱数サイのいずれも χ^2 の値は32を上回った(表2の×印)ので仮説は棄却される。つまり、有意水準1%で堆積する直前と直後の各堆積要素には、互いに関連性(マルコフ過程)があり、この χ^2 の値が評価点の約32を超えるとときの試行回数は約47回である(図13)。

6. おわりに

房総半島に分布する上総層群中の堆積構造から地質情報を読み取るために、各堆積環境中に共通して含まれる乱泥流堆積物中のブーマ・シークエンスの区分a~eを主な要素として、(上方)推移確率行列Pから差分推移確率行列Sを計算して、差分マルコフ鎖を作成し、さらにそれらの乱雑さやランダム性の指標となるエントロピー量を求めた。この差分法によるマルコフ表示は、従来のマルコフ鎖表示に比べてシンプルで分かりやすい。

エントロピー量の計算結果は、モンテカルロ法による柱状図復元の際の重要な試行回数の指標の1つである。コンピュータの表計算ソフトを用いたモンテカルロ法によって、柱状図の復元を行い、乱泥流堆積物の単層の厚さを無視した疑似柱状図を作成した。この復元された疑似柱状図から、推移確率行列P、差分推移確率行列Sを作成し、各行列のエントロピー量を計算して試行回数に対する変化を追跡したところ、最低100回以上の試行を行えば、十分に柱状図の復元が可能であることが分かった。この結果を踏まえて、高校地学での授業実習として、正20面体サイによる疑似柱状図の作成実習を行った。その手順は、「正20面体サイによる乱数の発生→疑似柱状図の作成→推移確率行列の作成→差分推移確率行列の作成→差分マルコフ鎖の作成→ χ^2 検定」を順に行い、その復元過程の妥当性を検証した。

χ^2 検定の結果、以下のことが明らかとなった。

①上総層群の各堆積場の推移頻度行列では、堆積の直前と直後との間に危険率1%の有意水準で独立ではない、つまり強い関連性(マルコフ過程)がある。

②コンピュータの表計算ソフトのマルコフ法によって、上総層群の各堆積場でのシミュレーションを行った。その結果作成された疑似柱状図から求めた推移頻度行列では、①と同様に堆積前後の間に危険率1%の有意水準で、独立ではなく、強い関連性がある。

③上総層群の海盆平坦面について、コンピュータと乱数サイで柱状図の復元を行った結果、この疑似柱状図から作成した推移頻度行列では、完全ランダム法と半ランダム法において、堆積の前後では危険率1%の有意水準で、独立であり関連性がない。逆に、マルコフ法では同様の条件で独立ではなく、強い関連性があることが明らかとなった。上総層群での堆積環境をシミュレートするために、 χ^2 検定による最小2乗法の回帰直線グラフから χ^2 の値を計算した結果、危険率1%の有意水準で、独立ではなくなる評価点の32を超えるためには、最低80回以上の試行を行えばよいことが分かった。このことは、露頭でも80以上の要素数を含む柱状図のデータを取れば、統計上有為なものとなることを意味する。タービダイトの枚数でいえば、最低30~40枚以上実測すれば、よいことになる。

この正20面体サイを用いた授業実習により、房総半島に分布する上総層群の地層の前後(上下)の積み重なり方は、完全にランダムあるいは無秩序ではなく、マルコフ過程に従って、堆積直前の要素に左右されながら積み重なっていることを生徒たちは理解することができた。

謝 辞 文化庁文化財部の桂 雄三博士には、上総層群の地層についてのご討論をいただきました。厚く御礼申し上げます。

文 献

- 青野宏美(2002): 地学的データの類似と相違の表現方法。地学教育, 55(6), 259-266。
- 青野宏美・桂 雄三(1995): 房総半島, 上総層群における堆積相の情報解析。情報地質, 6(4), 178-187。
- Bouma, A. H. (1962): Sedimentology of some flysch deposits. Amsterdam, Elsevier, 168p.
- Gatlin, L. L. (1972): Information theory and the living system. (生体系と情報理論, 野田春彦・長谷川政美・矢野隆昭 邦訳) 東京化学同人, 23-63。
- 八田明夫(1979): 続・似ている程度の定量化。地学教材へのクラスター解析の導入。地学教育, 32(5), 147-154。
- Hattori, I. (1976a): Lithology and Markov analysis of the Paleozoic strata in the Fujibashi area, Central Japan. *Jour. Geol. Soc. Japan*, 82(1), 19-33。

- Hattori, I. (1976b): Entropy in Markov chains and discrimination of cyclic patterns in lithologic successions. *Jour. Math. Geol.*, **8**(4), 477-497.
- Hiscott, N. Richard (1980): Depositional framework of sandy mid-fan complexes of Tourelle Formation, Ordovician, Quebec. *Amer. Assoc. Petro. Geol. Bull.*, **64**(7), 1052-1077
- 石原与四郎・徳橋秀一 (2002): 時系列解析結果からみた新潟堆積盆鮮新統川口層中の半深海および浅海成タービダイトサクセッションの堆積システム. *地質学雑誌*, **108**(3), 164-175
- Ito, M. (1996): Sandy contourites of the Lower Kazusa Group in the Boso Peninsula, Japan. *Jour. Sediment. Res.*, **66**, 587-598.
- Ito, M. and Katsura, Y. (1992): Inferred glacio-eustatic control for high-frequency depositional sequences of the Plio-Pleistocene Kazusa Group, a forearc basin fill in Boso Peninsula, Japan. *Sediment. Geol.*, **80**, 67-75.
- Ito, M. and Katsura, Y. (1993): Depositional sequences in turbidite successions of the lower Kazusa Group, the Plio-Pleistocene forearc basin fill in the Boso Peninsula, Japan. *Jour. Geol. Soc. Japan*, **99**, 813-829.
- Katsura, Y. (1984): Depositional environments of the Plio-Pleistocene Kazusa Group, Boso Peninsula, Japan. *Sci. Rep., Inst. Geosci., Univ. Tsukuba*, **5**, 69-104.
- 牧野泰彦・増田富士雄 (1978): 紀伊山地中央部柏木地域の秩父系のマルコフ解析. 茨城大学教育学部紀要, *自然科学*, **27**, 53-83.
- 三梨 昂 (1979): 「大多喜」地質図. 1:20万, 地質調査所.
- 森口繁一 (1978): 応用数学夜話, 一現象と処理と統計一. 日科技連出版, 318p.
- 大原 隆・井上厚行・伊藤 慎 編 (1997): 地球環境の復元—南関東のジオ・サイエンス—. 朝倉書店, 334p.
- 武隈良一 (1975): 偶然の数学. 科学ブック 26, 共立出版, 225p.
- 徳橋秀一 (1988): 古海底扇状地堆積物における乱泥流砂岩単層の広がり形態. *石油学会誌*, **31** (1), 12-19.

青野宏美: モンテカルロ法による地質柱状図の復元—房総半島に分布する上総層群の堆積構造を例として—
地学教育 **56** 巻 5 号, 173-189, 2003

〔キーワード〕 上総層群, マルコフ鎖, エントロピー, 乱数サイ, モンテカルロ法, χ^2 検定

〔要旨〕 房総半島の鮮新-更新統の前弧海盆を埋積したタービダイトの性質の時空間的変遷を解明するために, 堆積相間の垂直変位をマルコフ過程として取り扱うことができる. 房総半島の上総層群に見られるマルコフ過程を示す堆積相の推移確率行列 P を用いて, マルコフ鎖を作成し, モンテカルロ法によってコンピュータで発生させた乱数を用いて, その疑似柱状図を復元した. 乱雑さの指標となるエントロピーや χ^2 の値を指標とした試行回数は, 80~100 回程度行えば十分復元が可能であることが分かった. 高校地学 IB の授業では, 正 20 面体の乱数サイを用いて上総層群の疑似柱状図の復元の実習を行い, χ^2 検定の結果から, 堆積前後の要素に強い関連性があることを検証した.

Hiroki AONO: The Reconstruction of Geological Columnar Sections by the Monte Carlo Method in the Plio-Pleistocene Fore-Arc Basin Deposits of the Kazusa Group, Boso Peninsula, Japan *Educ. Earth Sci.*, **56**(5), 173-189, 2003



教育実践論文

方解石の教材化に関する実践的研究

A Practical Research on Learning of Calcite

岡本 弥彦*

Yasuhiko OKAMOTO

Abstract: In this course of study, the author developed three perspectives on learning about minerals. Based on these viewpoints, the author used calcite as a teaching material for a class "Using minerals in Earth Science IA" in upper secondary school, making connections with crystalline limestone and kitchen cleanser powder. Then, new minerals discovered in Okayama Prefecture were also utilized as teaching aids. As a result, many students took an interest in minerals and understood the relationship between minerals and our daily life.

I. はじめに

理科教育に携わっている方々の多くは、六角柱状の水晶の結晶に、自然の美しさや神秘さを感じたり、薄いセロハンのように剥がれてしまう白雲母や、割っても割ってもつぶれたマッチ箱の形状をなす方解石に、自然界の物質の不思議さを感じたりした経験をもっていることと思う。しかし、最近の理科の授業では、児童生徒にこうした経験をさせる機会がほとんどなくなってしまっているのが現状ではないだろうか。

表1は、平成元年3月に告示された学習指導要領

(文部省, 1989a~c; 以下, 「従前の学習指導要領」と略す。)と、平成10年12月(小・中学校)及び平成11年3月(高等学校)に告示された学習指導要領(文部省, 1999a~c; 以下, 「新学習指導要領」と略す。)において、鉱物に関連する学習内容の概略を示したものである。

従前の学習指導要領において、小学校では、鉱物を直接取り扱った内容はないが、第3学年の「(1) 石と土」で、石の色、模様、硬さなどを観察する活動が取り扱われ、第6学年の「(2) 土地のつくり」では、地層を構成している物や堆積岩・火成岩をつくっている

表1 鉱物に関連する学習内容 (文部省, 1989a~c; 文部省, 1999a~c)

校種	従前の学習指導要領 (平成元年告示)	新学習指導要領 (平成10年・11年告示)
小学校	【C区分】 第3学年 (1) 石と土 第6学年 (2) 土地のつくり	【C区分】 第6学年 (1) 土地のつくりと変化
中学校	【第2分野】 (6) 大地の変化と地球 ア 火山と地震 (4) 火山岩と深成岩	【第2分野】 (2) 大地の変化 イ 火山と地震 (7) マグマと火成岩
高等学校	【地学IA】 (1) 身の回りの地学 ウ 身近な鉱物 【地学IB】 (2) 地球の構成 イ 地球の内部 (4) 地殻の構成物質	【地学I】 (1) 地球の構成 イ 地球の内部 (7) 地球の内部構造と構成物質

* 麻布大学環境保健学部 2003年3月24日受付 2003年9月6日受理

粒を観察する活動が取り扱われている。これらは、地殻の構成物としての鉱物についての見方や考え方を養う上で基礎的な部分を担っているといえる。中学校では、これを受けて「(6) 大地の変化と地球」で火山灰や火成岩の観察を通して、火山灰に含まれる鉱物の色や形、火成岩の造岩鉱物の特徴を学習することとなっている。ただし、学習対象の主体は火山噴出物や火成岩であり、鉱物はそれらの構成物として扱われているに過ぎない。また、堆積岩と鉱物との関係はまったく触れられていない。高等学校では、従前の学習指導要領で新設された科目「地学 IA」において、「(1) 身の回りの地学」の中項目「ウ 身近な鉱物」として、身の回りで利用されている鉱物や宝石の種類、それらの色、成分、産状、鉱物の形や物理的性質などが取り扱われており、鉱物そのものが学習対象となっている。また、「地学 IB」では、「(2) 地球の構成」の小項目「(イ) 地殻の構成物質」の中で、主要な造岩鉱物や鉱物資源の概要について触れることとされているが、ここの学習の中心は、岩石である。

こうした学習の系統は、新学習指導要領でもほぼ継承されているが、小学校では、岩石や鉱物に関連する学習は第6学年のみとなった。また、中学校では、第2分野の大項目の配列が変わった程度で、学習内容はほぼ受け継がれているが、「(ア) マグマと火成岩」で扱われる火成岩が、火山岩・深成岩についてそれぞれ1種類となったため、実質上扱われる造岩鉱物の種類は減少したことになる。さらに、高等学校では、日常生活との関連に重点を置いていた「地学 IA」の内容が「理科総合 A」「理科総合 B」「地学 I」に組み替えられたため、「身近な鉱物」に関する項目は削減されている。

以上のように、今回の学習指導要領の改訂によって学習内容が削減・厳選される中、岩石に関する学習内容は、ある程度維持されてはいるものの、鉱物に関する学習内容は、大きく縮減されている。しかし、時間的・空間的スケールの幅広さなどから直接の観察・実験が行いにくい地学領域の中で、鉱物に関する学習は、身近な場所で採集できる標本や、日常生活で利用している材料を実験室や教室の中で取り扱うことができるため、自然界に産する均質物質としての鉱物の性質や成因を調べたり、その性質を生かした用途を理解したりするなど、観察・実験などの体験的な活動を取り入れた授業が行いやすいという長所を有している。

身近な鉱物に関する実践的な研究については、人間

生活とのつながりを考え、身近な岩石・鉱物を生かした中学校第2分野の事例(阿子島, 1995)や、岩石から目的とする宝石鉱物を取り出す体験活動を取り入れた事例(横山, 2001)などが報告されているが、その数は少ない。また、高等学校「地学 IA」の「身近な鉱物」については、高等学校理科指導資料(文部省, 1992)の中で観察・実験のテーマ例として、水晶や方解石などの鉱物の結晶の形、色、光沢、硬さ等を調べ、成分や性質を考察することが例示されているが、その具体的な展開事例の紹介にまでは及んでいない。

そこで、本研究では、今回の学習指導要領の改善の基本方針の一つである「日常生活との関連を図った学習を一層重視すること」も踏まえながら、鉱物に対する生徒の関心を高めさせることを主な目的として、高等学校「地学 IA」の「身近な鉱物」の一つとして方解石を教材化し、授業実践を試みた。「地学 IA」は、実践の場が残り少なくなった科目であるが、本研究の成果は、新学習指導要領による教育課程においても生かすことができると考える。

II. 鉱物の教材化

1. 教材化の視点と方解石

鉱物の教材化の視点として、表1に示した学習指導要領における鉱物に関連する学習内容を踏まえ、次の3点を提案したい。

視点1: 自然界の物質としての視点

視点2: 岩石の構成物としての視点

視点3: 日常生活との関連の視点

鉱物とは、地球の表面又はそれに近い部分に出現する、ほぼ均質な物質であると定義される(森本ほか, 1975)。そのほとんどが結晶質の無機物質であり、現在知られている種類は、約4,000種弱(宮島, 2001)とされるが、鉱物の色、硬度、形態、化学成分、結晶構造、産状などには、他の自然事象と同じように、共通性と多様性を有している。つまり、鉱物を、一定の物理的・化学的・結晶学的性質をもった自然界の物質としてとらえることが第一義的に必要である。

次に、鉱物の集合体が岩石であり、さらに岩石の集合体が地殻・地球であるため、鉱物は、地球の構成や歴史を探究する際の最小要素ととらえることができる。つまり、岩石・地殻・地球の構成物としての鉱物という視点が必要である。この視点は、地学的な見方や考え方を養う上では、最も重要なものといえる。

さらに、鉱物は、金属の原料、工業材料、宝石など

表2 教材化の視点からみた鉱物の例

視点	教材となる鉱物の例	学習内容
【視点1】 自然界の物質としての視点	石英(水晶), 方解石, ホタル石など 方解石, 雲母類, 岩塩 滑石, 石コウ, 方解石, ホタル石, 正長石, 石英, コランダム, ダイヤモンドなど カンラン石, 岩塩, 石英など ダイヤモンドと石墨, 方解石とアラレ石 斜長石, 輝石, カンラン石など	結晶の形 劈開 硬度(モース硬度) 結晶構造 多形(同質異像) 固溶体
【視点2】 岩石の構成物としての視点	石英, カリ長石, 斜長石, 黒雲母, 角閃石, 輝石, カンラン石 磁鉄鉱, 斜長石, 石英, 黒雲母など キン青石, 紅柱石, ラン晶石, ケイ線石, 緑泥石, 石墨, 緑レン石, 白雲母など 方解石	火成岩の主要造岩鉱物 火山灰・砂の構成鉱物 変成岩の造岩鉱物 石灰岩・結晶質石灰岩の造岩鉱物
【視点3】 日常生活との関連の視点	石英(水晶) ダイヤモンド, ザクロ石など 方解石 黄鉄鉱, 磁鉄鉱, 赤鉄鉱, 黄銅鉱など 葉ロウ石, 滑石, カオリナイトなど シン砂, クジャク石, 赤鉄鉱など	水晶発振器, ケイ素・ガラスの原料 宝石, 研磨剤 石灰・セメントの原料, 研磨剤 硫黄・鉄・銅などの原料 陶磁器・耐火材の原料 顔料

として利用されている。つまり、日常生活との関連からみた鉱物という視点も必要である。特にこの視点は、日常生活との関連を図った学習や自然と人間とのかわりなどの学習が一層重視される、これからの理科教育の方向にも沿ったものである。

高等学校の地学の教科書(友田ほか, 1997; 小島ほか, 1999; 海野ほか, 1999; 大森ほか, 2002)などに取り上げられている鉱物をこうした視点からまとめると、表2のようになる。この表から分かるように、三つのすべての視点を持ち合わせている鉱物は、石英と方解石である。石英が多くの教科書に取り上げられ、鉱物の代名詞的な存在にもなっていることが理解できる。しかし、方解石については、後述するように、教材としての可能性を多く持ち合わせていながら、教科書では複屈折の観察が取り上げられている程度(小島ほか, 1999)である。

2. 自然界の物質としての方解石

方解石の化学組成は、ほぼ純粋な炭酸カルシウム CaCO_3 であり、希塩酸などを加えると激しく発泡して二酸化炭素を発生する。炭酸カルシウムには、方解石(三方晶系, 低圧相)とアラレ石(斜方晶系, 高圧相)などが知られており、これらの鉱物は、互いに多形(同質異像)の関係にある。

色は純粋なものは無色透明、比重は2.7102、硬度は

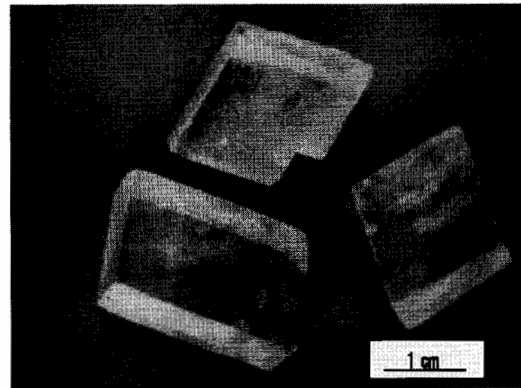


図1 透明な方解石の結晶(産地: メキシコ)

3(モース硬度の標準鉱物)である。屈折率は、 $\omega = 1.658$, $\epsilon = 1.486$ で、複屈折率($\delta = 0.172$)が著しく大きく、透明な結晶を通して文字を観察すると、文字が二重に見える。

また、結晶構造は基本的には岩塩型構造で、岩塩と同じように3方向の完全な劈開を有するが、結晶系が三方晶系であり、つぶれたマッチ箱の形に割れることが特徴である。

以上が、方解石の化学的・物理的・結晶学的性質(森本ほか, 1975)の概要である。これらのうち、化学組成、色、硬度、複屈折、劈開は、簡単な観察・実験

を確認することができる。そこで、授業実践では、図1に示す市販の方解石の標本（メキシコ産）を用いて、これらの性質を観察・実験を通して扱うことにより、鉱物に対する関心を高めさせ、方解石の特徴を理解させることができると考えた。

3. 岩石の構成物としての方解石

従前の学習指導要領及び新学習指導要領ともに、教材としての鉱物のとらえ方は、岩石の構成物、つまり造岩鉱物としての視点が最も多い。中学校では、火成岩の造岩鉱物として、石英・長石・黒雲母・角閃石・輝石・カンラン石が、高等学校では、これらに加えて、変成岩に含まれる変成鉱物が数種類取り上げられることが多いが、そのほとんどがケイ酸塩鉱物である。ケイ酸塩鉱物は、地殻を構成する鉱物としては、量的に最も多く、また、種類としても現在知られている鉱物の大半を占めている。したがって、地殻の構成や地球の歴史など、地学的な見方からは、ケイ酸塩鉱物が最も重要である。しかし、これは、岩石があつての鉱物というとらえ方であるため、高等学校においても、岩石の成因や変化を理解する上で造岩鉱物についても触れることとされているが、結晶系は扱わない（文部省、1999c）など、鉱物の性質についての深入りはできないようになっている。

今回取り上げた方解石は、堆積岩中に広く分布し、石灰岩の主要鉱物である。石灰岩は、二酸化炭素を発生させる際の材料として生徒にとって親しみのある岩石であるが、一般に構成鉱物の粒径が微小なため、鉱物を取り出してその性質を調べるための教材としては、適しているとはいえない。

石灰岩のほかに、方解石を構成鉱物とする岩石としては、石灰岩の接触変成岩である結晶質石灰岩（大理石）が挙げられる。方解石が再結晶して粗粒になっているため、岩石の構成物として方解石をとらえる際には最も適した岩石である。

授業実践では、岡山県内で採集した結晶質石灰岩を取り上げて観察・実験に用いることとした。これにより、身近な鉱物や岩石に対する関心を高めさせ、鉱物と岩石との関係を理解させることができると考えた。

岡山県内に見られる石灰岩は、古生代石炭紀からペルム紀にかけて形成されたもので、サンゴやウミユリなど多数の化石を含んでいることが多い（光野ほか、1980）。県北西部に集中して分布しているが、その一部は、花こう岩類による接触変成作用を受けて、結晶質石灰岩になっており、典型的な岩石標本として採集



図2 結晶質石灰岩を採集した露頭（岡山県総社市日羽）
崖の白っぽく見える部分がすべて結晶質石灰岩

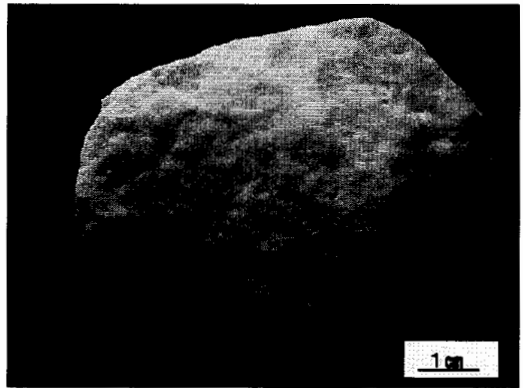


図3 結晶質石灰岩の標本（産地：岡山県総社市日羽）
ほぼ純白で1~2 mm程度の方解石の結晶からなる。

できる露頭が何か所もある。授業では、当初その一つを使用する予定であったが、2002年10月に、県南部（総社市日羽）に小規模に分布する結晶質石灰岩が発見（再確認）されたため、この岩石を採集して使用することとした。

この結晶質石灰岩は、昭和初期の地質図（赤木、1927）に分布が示されながら、その後発行された他の地質図からは消えていたものである。国道沿いの工事に伴って、幅約20 m、高さ約5 mの露頭（図2）が再確認され、「幻の大理石」として新聞の地方紙にも掲載されて県民の注目を集めた。この付近には花こう岩や流紋岩が広く分布しているが、その中に結晶質石灰岩が非変成の石灰岩を伴わずに分布していることは、

表3 方解石(石灰岩)の主な用途(石灰石鉱業協会, 1997)

窯業	セメント, ガラス, 陶磁器, タイル, 耐火れんが, るつぼ
鉄鋼・非鉄金属	鋼材, 鑄鉄, 還元剤, 合金
一般工業	ソーダ灰, さらし粉, 塩化カルシウム, 肥料, 紙, ポリウレタン
建築・土木	コンクリート, アスファルト, 建材, 保温材, 地盤改良
農業・畜産	肥料, 土壌改良, 農業, 飼料
食品・医療	こんにゃく, ビスケット, カルシウム補給, 制酸剤, ギブス
水処理・公害防止	硬度調整, 中和処理, 排脱石コウ

地質学的・岩石学的にも興味深いものであり, 今後の研究が待たれている。露頭で観察・採集できる結晶質石灰岩は, 全体的には白色不透明で1 mm程度の細粒の結晶からなる。部分的には5 mm以上の粗粒の結晶が見られたり, 泥質と思われる灰色の脈状部が見られたりもする。授業実践では, 図3に示すように, できるだけ白色で粗粒の結晶が観察できる部分を選んで使用した。

4. 日常生活との関連からみた方解石

鉱物を日常生活との関連からみると, 金属・非金属の原料や工業材料, 宝石や装飾用などとしての利用が挙げられる。表3は, 方解石(石灰岩)の主な用途(石灰石鉱業協会, 1997)をまとめたものである。方解石は, 非金属原料鉱物や非金属材料鉱物として, その用途は極めて広いことが分かる。ただし, これらは方解石そのものの利用というより, 石灰岩の利用又はそれを加工した化合物の利用ととらえた方がよい。

方解石の特徴を生かした用途としては, 透明な結晶のプリズムなどへの利用もあるが, 最も身近な用途の一つとしては, 研磨材としての利用が挙げられる。ほとんどの台所用クレンザーに含まれる研磨剤は方解石である。方解石のモース硬度は3で, ガラスやステンレスより低いため, 食器や流し台に傷を付けないで汚れを落とすのに適している。

市販の粉末状のクレンザーに水を混ぜ合わせて放置すると, 研磨剤である方解石の結晶が沈殿してくる。この操作を繰り返して界面活性剤などの洗剤成分を取り除くと, ほぼ純粋な方解石からなる粉末が得られる。図4は, 粉末状のクレンザーから取り出した方解石の顕微鏡写真である。多少丸みを帯びた結晶が多いが, 平行四辺形の劈開面を観察することができる。乳液状のクレンザーでも, 結晶粒は小さいが, 同様の結晶が観察できる。授業実践では, このクレンザーの研磨剤を扱うことにより, 鉱物が日常生活で利用されていることを理解させ, 身の回りの鉱物に対する関心を高めさせることができると考えた。なお, 製造メーカーからの聞き取りによると, クレンザー中の方解石

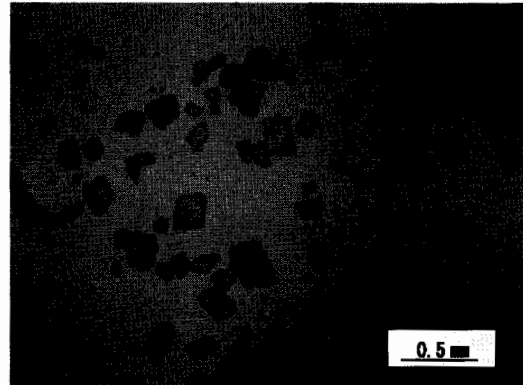


図4 クレンザーの中の方解石の結晶

はすべて天然物で, 産地は福島県などであるとのことである。

III. 授業実践

1. 教育課程と「地学IA」の項目選択

今回授業実践を行った学校は, 岡山県公立真備陵南高等学校(岡山県吉備郡真備町)である。全国的にも珍しい町立の高等学校で, 全学年で8クラスからなる昼間定時制普通科高校である。

当校の教育課程(3修コース)は, 理科に関して, 1・2学年で「化学IB」を3単位, 2・3学年で「生物IB」を3単位, 3学年で「地学IA」を2単位の, 計3科目8単位の履修計画となっている。「地学IA」の学習項目については, 必修項目である「(5) 地球と人間」のほか, 「(1) 身の回りの地学」と「(4) 地球の活動と災害」を選択している。

2. 生徒の実態

授業での実践に先立って, 鉱物に関する生徒の意識を知るために, 3年生25名を対象にアンケート調査を実施した。次に示す五つの内容について, 「よく当てはまる」から「まったく当てはまらない」の5段階に分けて尋ねた。

問1 鉱物が採集できる場所に, 実際に行ってみた。

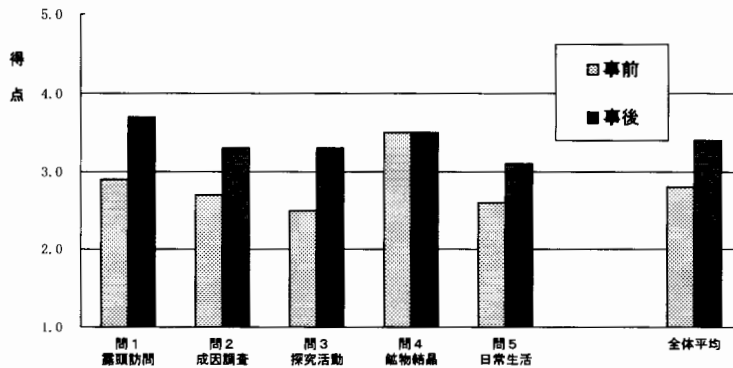


図5 鉱物に対する関心度

問2 鉱物がどのようにしてできるのかを調べてみたい。

問3 鉱物の種類や性質について調べてみたい。

問4 美しい鉱物の結晶を見ると感動すると思う。

問5 日常生活で利用されている鉱物について調べてみたい。

この結果を図5(事前)に示す。図中の得点は、「よく当てはまる」を5点、「だいたい当てはまる」を4点、「どちらともいえない」を3点、「あまり当てはまらない」を2点、「ほとんど当てはまらない」を1点として求め平均したものである。

また、各単元の導入(後述の第二次の第1時及び第三次の第1時)では、岩石名及び宝石名についての生徒の知識の程度を見るために発問による調査を行った。その発問に対する生徒の応答結果は次のとおりである。

発問1「知っている岩石の名前を挙げなさい。」

(第二次「建造物と岩石」の第1時)

→生徒の応答:「花こう岩」「玄武岩」「石灰岩」「石英」「水晶」

発問2「知っている宝石の名前を挙げなさい。」

(第三次「鉱物とその利用」の第1時)

→生徒の応答:「ダイヤモンド」「ルビー」「サファイア」「エメラルド」「パール」「オパール」「アメジスト」「水晶」

以上のことから、鉱物に関心をもっている生徒が少ないことや、岩石と鉱物を混同している生徒が多いことが分かった。これは、岩石について中学校第3学年以降学習していないことや、鉱物について今までの学習経験が少ないことによるものと推測される。したがって、授業実践では、鉱物に対する関心を高め、鉱物と岩石の違いや鉱物の特徴についての理解や、日常

生活で利用されている鉱物の存在についての認識が深まるような展開が必要であると考えた。また、結晶の美しさや宝石については、関心の程度が比較的高いことから、実物の鉱物の結晶を授業に取り入れることによって、学習をより一層意欲的に進めていくことができるのではないかと考えた。

3. 実践の内容

授業は、男子15名、女子10名、計25名からなるクラスにおいて、2002年11月に行った。使用した教科書は、第一学習社「高等学校改訂地学IA」(小島ほか、1999)である。以下に、学習指導案を示す。

(1) 単元名「身の回りの地学」

(2) 単元のねらい

身近に観察できる自然の風景や、日常生活で実用あるいは装飾として利用している鉱物や岩石など、身の回りの地学的な事物・現象を通して、地学が人間生活と関連した自然科学であるということを理解させる(文部省、1989c)とともに、自然に対する地学的な見方・考え方を養う。

(3) 指導計画

第一次 自然の風景……………6時間

第二次 建造物と岩石……………6時間

第三次 鉱物とその利用……………7時間

第1時 鉱物とは

第2・3時 宝石鉱物

第4・5時 方解石【本時】

第6時 岡山県の鉱物

第7時 まとめ

(4) 鉱物に関連した本時までの指導

第二次「建造物と岩石」の中で、石灰岩と結晶質石灰岩の化学組成や成因について触れた。

第三次の第1時では、水晶とダイヤモンドを取り上

表4 学習計画(第三次 第4・5時)

	学 習 活 動	指 導 上 の 留 意 点	準 備 物 ・ 資 料
第4時	新聞記事を読み、「幻の大埋石」が発見されたことを知る。 新聞記事や露頭の写真に関する説明を聞く。	前時までの岩石に関する既習事項を踏まえながら、新聞記事を読ませる。	県内で再発見された結晶質石灰岩についての新聞記事
	1枚の地形図上に、本校と露頭の位置を記入し、両者の位置関係を理解する。	生徒一人一人に結晶質石灰岩の標本を配付する。 露頭の写真はプロジェクターによって実物大に拡大して臨場感を高める。	結晶質石灰岩の露頭の位置などを記入する地形図 結晶質石灰岩の標本
展 開	結晶質石灰岩の標本をルーベを用いて観察し、スケッチする。	結晶質石灰岩が、ある鉱物結晶の集合体であることに気付かせる。 ワークシートを配付し、スケッチの指示をする。	ワークシート ルーベ
	結晶質石灰岩を鉄乳鉢で細かく砕く。これをピーカーに取り、水でよく洗った後、双眼実体顕微鏡又は生物顕微鏡で観察し、スケッチする。	規則正しい形をした結晶を見つけたら、ワークシートにスケッチさせる。	ハンマー 鉄乳鉢・乳棒 ピーカー 双眼実体顕微鏡 生物顕微鏡 シャーレ
	結晶質石灰岩の入ったピーカーに塩酸を加え、シャーレでふたをして反応の様子を観察する。 反応後、火のついた線香をピーカーの中に入れ、線香の様子を観察する。 ピーカーの水溶液にシュウ酸アンモニウム水溶液を少量加えて、水溶液の変化を観察する。 (以下、「塩酸・シュウ酸アンモニウムとの反応の実験」と略す。)	発生した気体が二酸化炭素であること、生じた白色沈殿からカルシウムイオンの存在が確認できることを説明し、結晶質石灰岩をつくる鉱物の化学組成が炭酸カルシウムであることを理解させる。	塩酸 線香 シュウ酸アンモニウム水溶液
ま と め	結晶質石灰岩が1種類の鉱物からできていることが分かり、その鉱物の特徴をまとめる。 結晶質石灰岩を実際に観察して感じたことをワークシートに記入する。	鉱物の特徴としては、 ①色(白色又は無色) ②形(平行六面体：つぶれたマッチ箱のような形) ③化学組成(炭酸カルシウム)に注目させる。	

げ、化学組成や、硬度・劈開などの物理的性質に触れた。第2・3時では、生徒の関心の高い宝石(誕生石)を取り上げ、鉱物についての関心を高めさせるよう配慮した。

(5) 指導の背景と教材観

従来、この単元の学習では、市販されている水晶や方解石の標本を単に観察させるだけに終わることが多く、生徒実習としては、水晶の面角を測定したり、方解石の複屈折を観察したりする程度で済ますことが多かった。特に、鉱物が身近に利用されていることについては、教科書等の資料を使う程度で、観察・実験を通して実感させるに至っていない。

今回の授業実践では、IIの1で述べた鉱物の教材化の視点を基に、結晶質石灰岩と方解石の標本及びク

レンザーを実習の材料とした。生徒にとって、身近な場所で採集された結晶質石灰岩や普段使用しているクレンザーを取り扱うことにより、鉱物に対する関心を一層高めるものと考えた。また、これらを取り扱うことにより、方解石の色、形、複屈折、劈開、硬度、化学組成についての理解を深めるとともに、方解石が結晶質石灰岩や石灰岩の造岩鉱物であることや、クレンザーの研磨剤に方解石が利用されていること、それが方解石の硬度に因るものであることにも気付かせ、前述の三つの視点からの鉱物の見方や考え方が総合的に養われるものと考えた。なお、本時では、第二次「建造物と岩石」の学習との接続から、「視点2」→「視点1」→「視点3」の順で学習を展開した。

表4 つづき

	学 習 活 動	指 導 上 の 留 意 点	準 備 物 ・ 資 料
第5時	導 入 前時の結晶質石灰岩をつくる鉱物の特徴を確認する。	鉱物の特徴（色・形・化学組成）について発問する。	
	展 開 1 方解石の透明な結晶を観察し、スケッチする。	色と形に注目させ、ワークシートを配付し、スケッチの指示をする。	ワークシート 透明な方解石の結晶
	方解石を、ワークシートの上に書いた十字線の上に置き、真上から観察する。また、方解石を回転させて十字線の変化を観察する。	複屈折の仕組みなどについては深入りせず、ここでは鉱物の物理的性質の一つである程度に留める。（第7時のまとめで解説する。）	
	方解石と、ガラス板・鉄板・爪とを互いにこすりつけ、硬度を比較する。	硬度の大きさが、 爪<方解石<鉄<ガラス の順であることに気付かせる。	スライドガラス 薄い鉄板
	方解石をハンマーで砕いたときの割れ方（劈開）を観察する。	劈開の原因などについては深入りせず、ここでは鉱物の物理的性質の一つである程度に留める。（第7時のまとめで解説する。）	ハンマー
	方解石の破片をピーカーに入れ、塩酸・シュウ酸アンモニウムとの反応の実験を行い、変化を観察する。	結晶質石灰岩と同じ結果（化学組成が炭酸カルシウム）であることに気付かせる。	塩酸 線香 シュウ酸アンモニウム水溶液
展 開 2 クレンザーをピーカーに取り、洗剤の泡が出なくなるまで水でよく洗った後、双眼実体顕微鏡又は生物顕微鏡で研磨剤の色や形などを観察する。	規則正しい形をした結晶を見つけたら、ワークシートにスケッチさせる。 今までに観察した鉱物結晶と同じであることに気付かせる。	クレンザー ピーカー 双眼実体顕微鏡 生物顕微鏡 シャーレ	
水洗したクレンザーの研磨剤について、塩酸・シュウ酸アンモニウムとの反応の実験を行い、変化を観察する。	結晶質石灰岩や方解石と同じ結果（化学組成が炭酸カルシウム）であることに気付かせる。	塩酸 線香 シュウ酸アンモニウム水溶液	
ま と め これまでの結果から、結晶質石灰岩、方解石、クレンザーの研磨剤の関係を考える。 何故、クレンザーの研磨剤に方解石が利用されているのかを考える。 今回の2時間の実習を通して、鉱物について感じたこと、興味深かったことなどをワークシートに記入する。	方解石が結晶質石灰岩の構成鉱物であること、クレンザーの研磨剤が方解石であることに気付かせる。 方解石の硬度に着目させ、クレンザーがガラスコップなどの食器に傷を付けずに汚れを落とすことに気付かせる。 鉱物が単に岩石の構成物であるということだけでなく、その特徴を生かして日常生活にも利用されていることを理解させる。		

(6) 本時案（第三次 第4・5時）

① 目標

- (ア) 県内で採集された結晶質石灰岩を観察し、この岩石をつくっている鉱物の特徴を見いだすとともに、身近な岩石や鉱物に対する関心を高める。
- (イ) 方解石の結晶を観察し、この鉱物の特徴を見いだすとともに、鉱物を観察する観点を理解する。

- (ウ) クレンザーに含まれる鉱物を観察し、その特徴を基に鉱物を同定するとともに、鉱物の性質を踏まえて鉱物が日常生活で利用されていることを考察する。

② 学習計画

表4に示す。

③ 学習活動における評価規準（【 】内は評価方法）

- (ア) 関心・意欲・態度

○結晶質石灰岩や方解石に関心をもち、それらの性質を進んで調べようとする。【行動観察】

○結晶質石灰岩や方解石を身近な岩石・鉱物としてとらえようとする。【ワークシート】【感想文】

(イ) 思考・判断

○観察・実験の結果から、結晶質石灰岩を構成する鉱物及びクレンザーの研磨剤として利用されている鉱物を同定する。【ワークシート】

○塩酸・シュウ酸アンモニウムとの反応の実験結果から、方解石の化学組成を推定する。【ワークシート】

○方解石がクレンザーの研磨剤として利用されている理由を、方解石の性質から見いだす。【ワークシート】【ペーパーテスト】

(ウ) 観察・実験の技能・表現

○結晶質石灰岩や方解石の結晶を、顕微鏡やルーペを正しく使って観察する。【行動観察】

○観察・実験の結果及び自分の考えを的確に表現する。【ワークシート】【感想文】

(エ) 知識・理解

○方解石の、結晶の形、色、硬度、化学組成などの性質を指摘できる。【ワークシート】【ペーパーテスト】

○結晶質石灰岩、方解石、クレンザーの研磨剤の関係を説明できる。【ペーパーテスト】

4. 実践の結果

今回の実践を通して、生徒の意識、岩石・鉱物への関心度がどのように変化したかを見るために、事前に行ったアンケートとほぼ同じ内容で調査を行った。その結果を図5(事後)に示す。問4「美しい鉱物の結晶を見ると感動すると思う。」については、もともと得点が高かったためにほとんど変化が見られなかったが、他の四つについては、すべて得点が上昇した。

各教材ごとの成果については、実習中の生徒の行動、ワークシートや感想文での生徒の記述などを中心に述べることにする。

(1) 結晶質石灰岩について

第二次「建造物と岩石」において、他の岩石とともに結晶質石灰岩を観察していたため、本時では、その経験を生かすことができ、観察やスケッチをスムーズに進めることができた。また、今回使用した結晶質石灰岩が純白に近い色を呈し、構成鉱物の結晶面(劈開面)が光をよく反射するため一見して美しい岩石であること、今回発見された露頭が学校からそれほど遠

くない場所にあり、身近な場所で採集された岩石であること、発見のニュースが新聞でも取り上げられ、その記事が既習事項から理解することができたことなどから、生徒の関心を一層高めることができた。これらについては、次に示す生徒の感想からも伺うことができた。

「白くてキラキラ輝いてきれいな岩石だった。こんな石灰岩があるとはすごい。観察した標本をもらって帰りたい気持ちです。」

「今までまったく気にしていなかったけど、地元にもこんな珍しい物があつたんだ。露頭を一度見てみたいものだ。」

「こんな身近な場所で『幻の石灰岩』が見つかったのにはビックリ。しかも、そのことで昔のことが分かるということもすごい。」

(2) 方解石について

複屈折や劈開などの性質が観察しやすいことから、生徒は観察・実験を次々とこなしていった。実習後に取ったアンケートから、方解石の諸性質の関心度の高さを調べたところ、図6に示す結果を得た。これは、今回観察した六つの性質を、関心の高かった順に順位付けをし、1位を8点、2位を6点、以下3~6位を4~1点と得点化して集計したものである。最も関心の高かったのは、複屈折であった。これは、今までに経験したことのない現象であったためと予想される。次に高かった硬度については、方解石が一見硬そうに見えることの予想に反したために生徒の印象に強く残ったものと思われる。生徒の感想にも、次に示すような記述が多かった。

「複屈折は不思議だった。他にも複屈折をもつ鉱物があるのか興味が出てきた。」

「方解石が見た目以上に軟らかいことに驚いた。もっと硬いと思ったのに。」

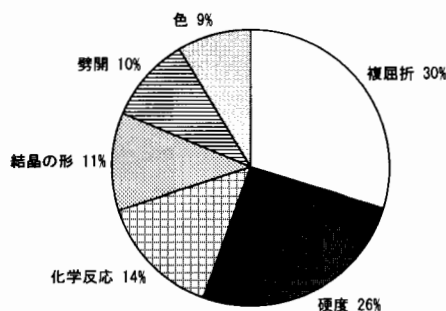


図6 方解石の性質への関心度の割合

表5 岡山県産の新鉱物(宮島, 2000)の一覧

報告年	鉱物名	化学組成	産出地
1998	パラシベリア石 Parasilbirskitite	$\text{Ca}_2\text{B}_2\text{O}_7 \cdot \text{H}_2\text{O}$	川上郡備中町布賀
1998	岡山石 Okayamalite	$\text{Ca}_2\text{B}_2\text{SiO}_7$	川上郡備中町布賀
1995	武田石 Takedaitite	$\text{Ca}_2(\text{BO}_3)_2$	川上郡備中町布賀
1995	森本柘榴石 Morimotoite	$\text{Ca}_2\text{TlFe}^{2+}\text{Si}_2\text{O}_{12}$	川上郡備中町布賀
1995	草地鉱 Kusachiite	CuBi_2O_6	川上郡備中町布賀
1992	単斜トベルモリ石 Clinotobermorite	$\text{Ca}_2\text{Si}_2(\text{O},\text{OH})_{10} \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	川上郡備中町布賀
1986	逸見石 Henmiite	$\text{Ca}_2\text{Cu}(\text{OH})_2[\text{B}(\text{OH})_4]_2$	川上郡備中町布賀
1984	大江石 Oyelite	$\text{Ca}_2\text{B}_2\text{Si}_2\text{O}_{12} \cdot 12.5\text{H}_2\text{O}$	川上郡備中町布賀
1981	ソーダ魚眼石 Natroapophyllite	$\text{NaCa}_2\text{Si}_2\text{O}_7\text{F} \cdot 8\text{H}_2\text{O}$	川上郡川上町山宝鉱山
1980	三原鉱 Miharaite	$\text{Cu}_2\text{FePbBiS}_6$	後月郡芳井町三原鉱山
1977	布賀石 Fukaitite	$\text{Ca}_2\text{Si}_2\text{O}_7(\text{CO}_3)(\text{OH},\text{F})_2$	川上郡備中町布賀
1973	備中石 Bichulite	$\text{Ca}_2\text{Al}_2\text{SiO}_7(\text{OH})_2$	川上郡備中町布賀
1969	褐錫鉱 Stannoidite	$\text{Cu}_2(\text{Fe},\text{Zn})_2\text{Sn}_2\text{S}_7$	英田郡作東町金生鉱山

これに対して、劈開については、もっと関心をもつてであろうと予想していたが、低いものとなってしまった。これは、鉱物の割れ方を方解石でしか観察しなかったために、他の鉱物との比較ができなかったためと考える。今後、石英などの劈開のない鉱物を対照として導入することが必要であろう。

(3) クレンザーについて

観察・実験の方法が結晶質石灰岩や方解石の場合と同じことの繰り返しであったため、多少退屈さを感じさせることとなったが、クレンザーの研磨剤が方解石(炭酸カルシウム)であり、結晶質石灰岩を構成するものと同じであるということ、また、方解石の硬度が研磨剤として適当であるということが分かるにつれ、次に示す生徒の感想のように、身の回りの鉱物に関心を高めていったことが分かった。

「鉱物という日常聞き慣れない物が、生活のすぐそばにあると分かった。今回、鉱物の性質をいろいろと知ることができて良かった。」

「日常生活の中にも、方解石のように利用されている鉱物があることを知って驚いた。ほかにも、もっと生活の中にある鉱物について調べてみたい。」

(4) 岡山県産の新鉱物について

今回の授業実践で用いた結晶質石灰岩が比較的近い場所で採集できたものであるということから、さらに岡山県で産出した新鉱物についても授業で取り上げることとした(第三次の第6時)。表5は、岡山県産の新鉱物(宮島, 2001)をまとめたものである。これらの鉱物を直接教材化することは難しいが、岡山石をはじめとして地域にゆかりのある鉱物名が付けられていたり、草地鉱などのように新鉱物発見に寄与した研究者の名前にちなんで命名されたりしている鉱物が多い。

授業では、岡山県が日本で最も多くの新鉱物が発見されている県であることや、新鉱物の発見には多くの努力が必要であることなどを、表5を使って説明し、生徒にこれらについての感想文を書かせた。

生徒は、予想以上に多くの感想を書いていた。特に、次の感想に見られるように、新たに発見された鉱物やその鉱物を発見した研究者について関心を高めていたり、岡山県という郷土のよさを発見・再認識したりしていた。

「岡山県川上郡備中町が、日本で最も多くの新鉱物が発見されている所だなんてすごいと思う。数mmの鉱物を見つけた人も、たいへんな集中力だと思う。岡山石を一度見てみたいと思う。」

「新鉱物を発見した人が鉱物に興味になかったら、山に入っていたとしても、新鉱物は見つからなかったと思います。色々な物に興味を持っていれば、何か今まで出会ったことのない物が見えてくる可能性があるんだなと思いました。」

「岡山県には、まだ知られていない謎が多いんだなと思いました。岡山の各地で、いろいろな鉱物が出てきたら、過去の様子ももっとはっきり予想できるかもしれない。」

「岡山県は、新鉱物や結晶質石灰岩など『石の宝箱』だと思った。地学を勉強して、岡山にもいろいろな岩石や鉱物があるということを知って楽しかった。」

IV. 研究のまとめ

本研究では、鉱物の教材化の視点を定め、それに基づいて方解石を取り上げ、高等学校「地学IA」での授業実践を行うことができた。方解石の観察では、鉱物のもつ物性の不思議さを生徒に実感させることができ

た。また、身近な場所で採集された結晶質石灰岩を取り上げたため、生徒は親近感をもって学習に取り組むことができた。さらに、クレンザーの研磨剤を教材化したことは、鉱物と日常生活との関連を考えさせる上で有効であった。

以上のように、鉱物の教材化の視点に沿った学習を、それぞれ別の鉱物で行うのではなく、方解石という1種類の鉱物で関連付けて展開したことが、鉱物に対する多面的な見方を育成する上で意義があったと考えている。また、岡山県産の新鉱物に触れることにより、鉱物に対する関心の一層の高揚や、郷土理解の深化も図ることもできた。

今回は触れなかったが、方解石には、生体鉱物としての側面など、教材としての可能性がまだ多くあると考えている。また、鉱物に関する学習を促進する上では、他の鉱物についての教材化も必要であろう。これらについては、今後の課題としたい。

謝 辞 本研究を行うに当たり、岡山県産の新鉱物については、岡山大学教育学部の 草地 功 教授に、結晶質石灰岩については、同理学部の 鈴木茂之 助教授にそれぞれ貴重なご助言を頂きました。ここに深甚の謝意を表します。

引用文献

- 赤木 健(1927): 7万5千分の1地質図幅「岡山」, 商工省。
 阿子島充(1995): 身近な素材を生かした地学分野の指導, 理科の教育, 10月号, 東洋館出版社, 25-28。
 小島丈兒・内海和彦・神谷雅晴・杉村 新・鈴木盛久・長谷 晃・福岡義隆・渡邊 洵・橋本雅巳・前田文則・山田正巳(1999): 高等学校改訂地学 IA, 第一学習社, 東京, 167p。

- 光野千春・沼野忠之・野瀬重人(1980): 岡山県地学のガイド, コロナ社, 東京, 7-9。
 宮島 宏(2001): 日本の新鉱物 1934-2000, フォッサマグナミュージアム, 新潟, 124p。
 森本信男・砂川一郎・都城秋穂(1975): 鉱物学, 岩波書店, 東京, 457-467。
 文部省(1989a): 小学校指導書理科編, 教育出版, 東京, 116p。
 文部省(1989b): 中学校指導書理科編, 学校図書, 東京, 173p。
 文部省(1989c): 高等学校学習指導要領解説理科編・理数編, 実教出版, 東京, 286p。
 文部省(1992): 高等学校理科指導資料 指導計画の作成と学習指導の工夫—IAを付した科目の指導—, 東洋館出版社, 東京, 213-267。
 文部省(1999a): 小学校学習指導要領解説理科編, 東洋館出版社, 東京, 122p。
 文部省(1999b): 中学校学習指導要領(平成10年12月)解説—理科編—, 大日本図書, 東京, 162p。
 文部省(1999c): 高等学校学習指導要領解説理科編・理数編, 大日本図書, 東京, 310p。
 大森昌衛・森本雅樹・井本伸廣・黒川勝己・佐藤 武・鈴木尉元・野村 哲・丸山健人・守屋以智雄・小森長生・足立久男・石田吉明・坂本隆彦・宮城晴耕(2002): 地学 I, 実教出版, 東京, 159p。
 石灰石鉱業協会(1997): 石灰石の話, 東京, 62p。
 友田好文・松田時彦・池辺展生・江里口良治・山崎貞治・有山智雄・岡田昌訓・柴山元彦・永田 洋・増田哲雄(1997): 高等学校地学 IB改訂版, 啓林館, 大阪, 311p。
 海野和三郎・山元龍三郎・鎮西清高・荒川忠彦・植村善博・杉本敬信・谷垣内宏之・饒村 曜・林 慶一・半田 孝・福江 純・藤本正樹・前川寛和・茂木秀二・横尾武夫・吉永順一(1999): 地学の世界 [IA], 東京書籍, 東京, 167p。
 横山義人(2001): 知覚を深化させる試み—含エメラルド黒雲母片岩を題材にした授業—, 日本地質学会第108回年会講演要旨, 308。

岡本弥彦: 方解石の教材化に関する実践的研究 地学教育 56巻5号, 191-201, 2003

〔キーワード〕 鉱物, 方解石, 結晶質石灰岩, クレンザー, 地学 IA

〔要旨〕 学習指導要領での鉱物の取り扱いなどを基に、鉱物の教材化の視点を定めた。これに基づいて、方解石を結晶質石灰岩やクレンザーの研磨剤と関連づけて教材化した。また、岡山県産の新鉱物についても、補助教材として取り上げた。これらを活用して高等学校「地学 IA」の「身近な鉱物」についての学習指導を展開したところ、生徒は鉱物に対する関心を高めるとともに、鉱物の性質や日常生活との関連などについて理解を深めることができた。

Yasuhiko OKAMOTO: A Practical Research on Learning of Calcite. *Educat. Earth Sci.*, 56(5), 191-201, 2003

学会記事

第2回 常務委員会議事録

日時：平成15年7月3日(木)午後6時30分

場所：日本教育研究連合会 会議室(4階)

出席者：下野 洋・五島政一・濱田浩美・青野
美・馬場勝良・相場博明・高橋 修・中川
清隆

議 題：

1. 平成15年度上越大会について
上越大会中川事務局長から、上越大会の現在までの進行状況について報告があり、式次第等について、その手順や内容などの承認がなされた。
2. 評議員会について
上越大会開催時に行われる定例評議員会の議題について審議が行われ、ほぼ例年どおりの議事内容が承認された。
3. 大会宣言について
上越大会大会宣言文の内容について検討された。原文は上越大会の実行委員会へ持ち込まれ、最終的に大会前の評議員会で承認が行われることになった。
4. 平成16年度以降の大会について
平成16年度岡山大会は、岡山理科大学で開催され、その進行状況について報告された。その他とくに審議されるべき内容はなかった。
5. 入会者・退会者について
入会者：高野稔之(宮城)・市原(千葉)
退会者：奥村 清・小椋知子・神崎洋一・熊崎
憲次・桑田龍三・井東澄雄
6. その他
1) さる5月29日の地球惑星科学関連学会2003年合同大会の「地学教育」連絡会において「地学教育」委員会が設立され、日本地学教育学会の参加の有無が求められたことについて審議が行われた。審議の結果、来年度以降の地球惑星科学関連学会合同大会「地学教育」セッションへの協賛と、本学会から、南島会員を同「地学教育」委員会の構成員として派遣することが承認された。また、同委員会では、学校科目「地学」関連学会連絡協議会との近い将来における協同活動が視野に入れられており、当面協議会の構成メンバーも

同委員会の活動に参加することが決まった。

2) 日本地学教育学会・日本地質学会・地学団体研究会の3学会が合同で、「すばる望遠鏡と銀河(仮)」というテーマで、11月15日学習院中等科において地学教育セミナーを行うことが承認された。

3) 雑誌「地学教育」の電子ファイル化について協議され、今後も検討されることになった。

報 告：

1. 各種常置委員会から
1) 編集委員会から、56巻第4号の編集状況について報告があった。また、地学教育特集として、「地学教育と体験活動」特集号が編集されることが報告された。
2) 行事委員会から、10月18日(土)に北区北とびあで開催される、日本地学教育学会秋のシンポジウム「地学教育で育成すべき生きる力とはなにか」について報告があった。
3) 国際交流委員会より、6月8日に国立教育政策研究所で行われた、グローバルサイエンスリテラシーとアースシステム教育の展望について報告があった。
2. 寄贈交換図書などについて
・理科の教育, 611, 日本理科教育学会
・理科の教育, 612, 日本理科教育学会
・地学雑誌, 112-2, 東京地学会
・地学雑誌, 112-3, 東京地学会
・地質ニュース, 584, 産業技術総合研究所
・神戸大学発達科学部研究紀要, 9-3, 神戸大学発達科学部
・神戸大学発達科学部研究紀要, 10-1, 神戸大学発達科学部
・神戸大学発達科学部研究紀要, 10-2, 神戸大学発達科学部
・愛知教育大学研究報告, 52, 愛知教育大学
・山口県の自然, 63, 山口県立山口博物館
・山口県立山口博物館研究報告, 29, 山口県立山口博物館
・平地学同好会会報, 24, 平地学同好会
・イリューム, 29, 東京電力

編集委員会より

定例編集委員会は、9月6日(土)に行われ、原著論文1件、教育実践論文1件が受理されました。

原稿の投稿先

〒150-0013 東京都渋谷区恵比寿 2-35-1 慶應義塾幼稚舎 相場博明宛
TEL. 03-3441-7221, FAX. 03-4331-7224

原稿の投稿先・編集に関する問い合わせ先

青野宏美 副委員長 h-aono@juno.ocn.ne.jp
〒114-8526 東京都北区豊島 8-26-9 東京成徳大学高等学校
相場博明 副委員長 aiba@yochisha.keio.ac.jp
〒150-0013 東京都渋谷区恵比寿 2-35-1 慶應義塾幼稚舎

地 学 教 育 第 56 卷 第 5 号

平成 15 年 9 月 20 日印刷

平成 15 年 9 月 25 日発行

編 集 兼 日 本 地 学 教 育 学 会
発 行 者 代 表 下 野 洋

〒263-8522

千葉県千葉市稲毛区弥生町 1-33

千葉大学教育学部理科教育教室内

電話 & FAX 043-290-3682 (濱田)

振替口座 00100-2-74684

印 刷 所 株式会社 国際文献印刷社

169-0075 東京都新宿区高田馬場 3-8-8

電話 03-3362-9741~4

EDUCATION OF EARTH SCIENCE

VOL. 56, NO. 5

SEPTEMBER, 2003

CONTENTS

Original Article

- The Reconstruction of Geological Columnar Sections by the Monte Carlo Method
in the Plio-Pleistocene Fore-Arc Basin Deposits of the Kazusa Group,
Boso Peninsula, JapanHiromi AONO...173~189

Practical Article

- A Practical Research on Learning of Calcite.....Yasuhiko OKAMOTO...191~201

Proceeding of the Society (202)

All communications relating this Journal should be addressed to the
JAPAN SOCIETY OF EARTH SCIENCE EDUCATION

c/o Faculty of Education, Chiba University, Chiba-shi, 263-8522, Japan