

# 地学教育

第48巻 第6号 (通巻 第239号)

1995年11月

---

## 目 次

### 原著論文：

- 太陽黒点相対数について……………久保田 諄・鈴木美好・時政典孝…(211～224)  
PETボトルを使用した地盤の液状化モデルの開発……………間々田和彦…(225～229)  
高等学校地学における自然放射能に関する授業実践……………萩原 彰…(231～236)

### 資 料

- 古流系解析からみた地質学 (堆積学) 及び地学教育研究史  
—その2：スランプ構造及び漣痕—  
……………長沼幸男・長浜春夫・照井一明…(237～250)

紹 介 小林和男著：生きている深海底 (230)

追 悼 名誉会員 西尾敏夫氏を悼む (表2)

---

日本地学教育学会

184 東京都小金井市貫井北町4-1 東京学芸大学地学教室内

## 追 悼

本会名誉会員 東京学芸大学名誉教授西尾敏夫氏には、平成7年10月2日に腎不全のため逝去されました。享年86歳。

同氏は昭和9年東北帝国大学理学部をご卒業になり、同学部副手、八雲鉱業株式会社、世田谷中学校、樺太庁殖産部鉱務課、山口高等学校を経て、昭和16年第二高等学校教授、昭和24年8月に東京第一師範学校教授として、同時に兼任で東京学芸大学助教授として赴任され、以来昭和47年まで同学に在職され、地学教室教官として多くの有為な教育者・研究者の養成に尽力され、多大な功績を残されました。

同氏の専門は地質学、地形学ならびに地学教育で、第二次世界大戦前には、樺太（サハリン）の炭田その他の地質調査、山口県鹿野町輝安鉱床調査、鬼首の地質・地形・間歇泉の調査、宮城県広瀬川上流部地質調査等の研究に従事されました。東京学芸大学に就任後は、主に房総半島の地質・地形ならびに古生物の研究に勤しまれ、またそれらについて学生の指導に当たられました。温厚な人柄により多くの学生から慕われ、定年退職後も多数の卒業生が同氏宅を訪れました。地質学鉱物学に関する幾多の論文や啓蒙書、また地球の歴史、地球の進化史についての書籍を出版されました。日本地学教育学会、日本地質学会、日本古生物学会、そして日本地理学会の会員として長年活躍されました。中でも日本地学教育学会では、昭和41年第一回海外巡検団の団長としてヨーロッパ、アメリカ、ハワイの各種地学事象・博物館・天文台などを視察して回り、これは以後回を重ねることになった海外巡検の嚆矢となりました。また本会の会計監査や副会長を務めるなど、地学教育の普及発展に尽力されました。

慎んでご冥福をお祈り申し上げます。

平成7年10月15日

ご遺族の住所は下記のとおりです。

〒178 東京都練馬区東大泉 5～10～8

(東京学芸大学 石井 醇)

# 太陽黒点相対数について

久保田 諄\*1・鈴木美好\*2・時政典孝\*3

## 1. 太陽黒点相対数とは

Wolf (1816-1893) が太陽面に現れる黒点の数を記録するために考案した黒点相対数(あるいは, ウォルフ数)は, 手軽に記録できる黒点数の指標値として, 1852年以来, 国際協同観測により毎日の記録が続けられている。また, この相対数の計算方法も Wolf が創始して以来, 現在に至るまでほとんど変わることなく踏襲されている。それは次のような指標値である。ある日, 太陽面に  $g$  個の黒点群があり, それぞれの黒点群に含まれている黒点の総数が  $f$  個あった場合, その日の黒点相対数  $R$  は

$$R = k(10g + f) \quad (1)$$

の式を使って計算される。ただし,  $k$  は観測に使った望遠鏡の性能や観測者自身の観測方法によって決まる常数である。太陽面に現れる黒点のほとんどはいくつかの黒点の集合した黒点群であって, 単独の黒点は少ない。しかし, この方法では単独の黒点であっても一つの黒点群と見なして計算する。従って, もし太陽面にただ一つの小さい黒点しか無かった場合でも,  $k = 1$  とするならば, その日の黒点相対数は11となる。また,  $k = 1$  の場合は Wolf の使った口径7.5cm, 焦点距離110cm, 倍率64倍の屈折望遠鏡を使って太陽面を観察し, 黒点の数を直接に眼で見て数えた場合に相当する。個々の観測者は自分自身が求めた黒点相対数の値を国際太陽指数データセンター(Solar index data center; SIDC) から公表される確定値と比較して, 自分が行っている観測についての  $k$  の値を知る。この値を使って, その次からはより正しい黒点相対数の観測ができることになる。

黒点相対数の観測の例として, 鈴木美好が1988年7月2日に行なった太陽面のスケッチと黒点相対数の計算を示そう。観測は口径103mm, 焦点距離1100mmの屈折望遠鏡にとりつけた投影板の上に置いた白紙に太陽の像を15cm直径に拡大して投影する。投影した太陽像の中の黒い黒点の像を鉛筆でなぞりながらスケッチしたものである(図1)。図で明らかなように太陽面に6個の黒点群があり, これらに含まれる黒点の総数は185個である。従って,  $k = 1$  とするならば, この日の黒点相対数は  $R = 10 \times 6 + 185 = 245$  となる。一方, SIDC が発表した1988年7月2日の黒点相対数の確定値は184なので, この観測についての  $k$  値は  $184 / 245 = 0.751$  となる。勿論,  $k$  の値の正確な決定は一回だけではなく, 数多くの観測を使って統計的に決める必要がある。

個々の観測者が求めた黒点相対数の値は各国のセンターに報告され, ベルギーのブリュッセルにある SIDC に

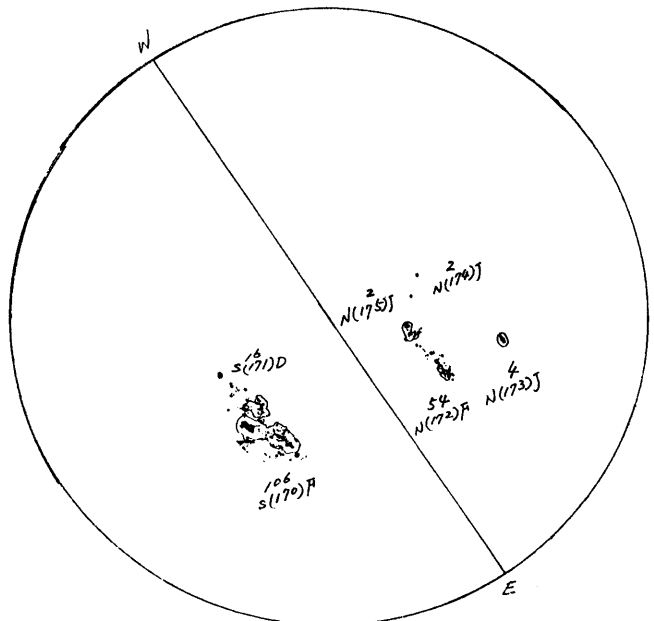


図1: 1988年7月2日の太陽面スケッチ。記入された数字は黒点群の通し番号。直線は空の東西方向を示す。

\*1大阪経済大学

\*2三重県立津高校

\*3兵庫県立はりま天文台

1995年3月20日受付 9月16日受理

送られる。SIDCではこれらのデータを整理して毎日の黒点相対数の確定値を公表する。これが黒点相対数として多方面に利用されている値である。

毎日の黒点相対数を使い、それぞれの月の中で計算した平均の値は月平均黒点相対数である。また、同じよう

に一年間にわたって平均した値の年平均黒点相対数も公表されている。図2は1750年から1985年までの235年間の年平均黒点相対数の推移を示している。約11年の周期をもつ変化が顕著に表れており、相対数はこのような黒点数の時間的変化をより強調して表すように考えられた

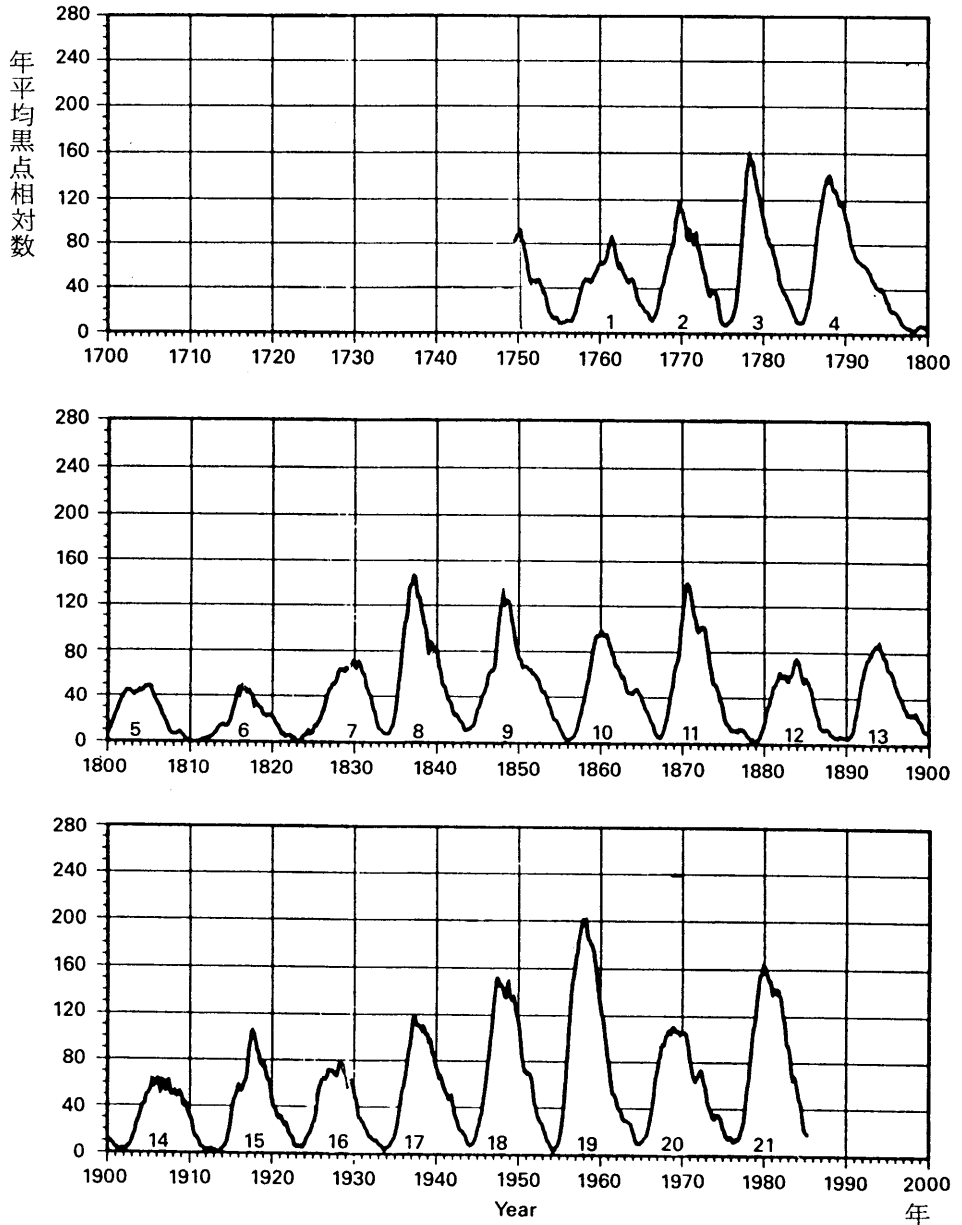


図2：1750年から1985年までの期間の年平均黒点相対数経年変化  
(Daniel C.Wilkinson による。P.O.Taylor(1991))。

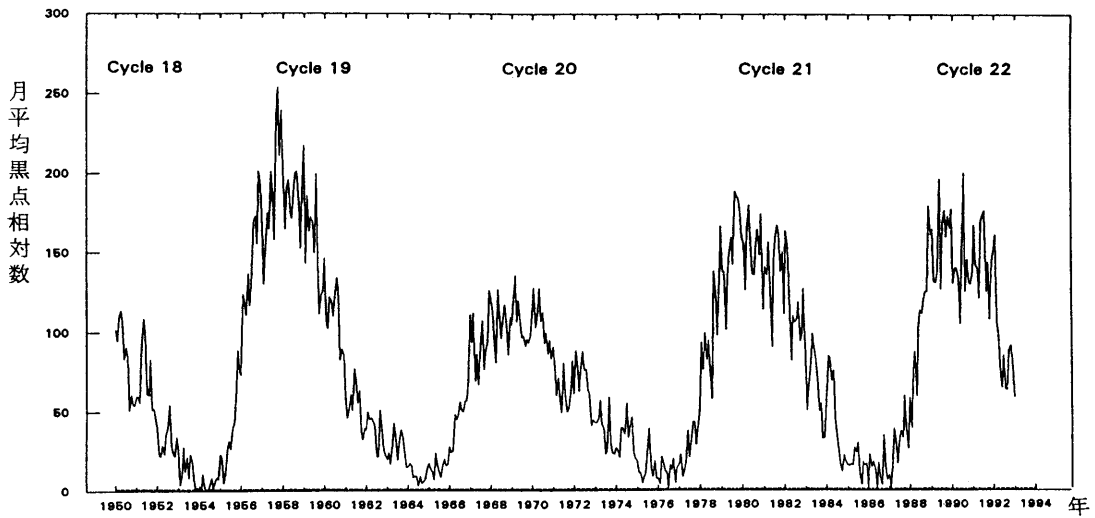


図3：1950年から1994年までの期間の月平均黒点相対数の時間的変化。(SGDによる)

指標値であることがわかる。1755年以降、11年毎のサイクルに番号が付けられている。1995年現在は太陽黒点活動サイクルの22番、つまり、サイクル22の途中である。また、図3には1950-1994年の期間の月平均黒点相対数の時間的変化を示している。データはアメリカ商務省大気海洋局 (NOAA) 発行の太陽地球物理学データ (Solar geophysical data: SGD) による。全体として11年の大きい周期の変化の中に数カ月の周期の変動が加わっていることがわかる。

過去140年間におよびデータの蓄積があるため、太陽の活動を示す基本的な指標値として、黒点相対数は自然科学や社会科学の関連した分野で広く利用されている。特に、地球-太陽間空間の環境問題では太陽面活動の度合を示す重要な指数の一つである。それにも拘らず、黒点相対数そのものは物理的にどのような意味を持つ指標値なのか明確に把握しないままに使われることが多い。また、高校の地学教育においても単に黒点数の代わりとして扱っているので、(1)式の $g$ の係数10の意味は生徒から度々質問を受ける事柄である。確かに黒点の数の変動を顕著に表す指標値であるが、具体的に太陽面の活動現象のどの物理量に対応するのかはっきりしない。この文では黒点相対数と黒点面積、ブラージュ面積、2800 MHz電波フラックス、軟X線フラックス、太陽全放射量との関係を比較的に入手しやすいデータを使って調べ、黒点相対数の変化が黒点以外のどのような太陽面現象の物理量の変化に対応するかを明らかにして、黒点相対数の物理的な意味について解説する。

## 2. 黒点相対数と太陽面現象

### 2.1 黒点相対数と黒点面積

太陽面に現れる黒点群は大きいものから小さいものまで様々なサイズがある。しかし、(1)式の中で群の数 $g$ を10倍するのは、大きい群も小さい群も活動の度合という点でウェイトが同じであることを意味する。一方、黒点群の周辺で発生するフレアなどの活動現象は小さい黒点群と較べて大きい黒点群の方が遙かに頻度が高い。このような違いを無視して大きい黒点も小さい黒点と同じ扱いをすることは納得できない点である。しかし、黒点相対数に較べて、黒点面積は太陽面に光球の下から浮上してきた全磁束量に関係しているので、太陽面の黒点活動の度合を表す指標値としてより合理的な量であると考えられる。

毎日の太陽面上の黒点が占める面積は1874年から1976年までグリニッチ天文台において継続して観測され、その結果はGreenwich Photoheliographic Resultsとして公開されている。この仕事は1977年以降、ハンガリーのデブレッヘン天文台に引き継がれているが、結果は1977年度分が発刊されただけである。また、ローマのモンテマリオ天文台やアメリカの海軍天文台においても観測が続けられている。

黒点の面積は太陽面の写真や図1のようなスケッチの上で面積計 (プランメーター) を使って測る。太陽面は球面なので、太陽の縁に近いところにある黒点は地球からは斜めに見ているので、太陽の半径方向に縮小されて見える (投影効果)。一つ一つの黒点の位置からその縮

小の割合を知って、測定した黒点の面積に投影効果の補正をしなければならない。一般に太陽面上の黒点の面積は太陽の半球の表面積の100万分の一を単位として表している。

毎日の黒点面積は個々の黒点群の面積だけでなく、見えているすべての黒点の面積の総和の値が国際天文連合の太陽活動四半年報告(Quarterly Bulletin of Solar Activity; QBSA)に報告されている。月平均黒点面積は1カ月間に観測された日々の黒点面積の平均である。例えば、5月に13日だけ観測できた場合、5月の月平均黒点面積は13回の測定の平均である。

QBSAに収録されている1956年1月から1985年12月までの期間の毎月の月平均黒点相対数と月平均黒点面積を使って、両者の相関関係を調べた。図4は月平均黒点相対数(曲線R)と月平均黒点面積(曲線A)の時間的変化である。縦軸のスケールは任意であるが、黒点面積の最大は5488、最小は4である(平均1269)。また、黒点相対数の最大は254、最小は2(平均81)である。両者の時間的変化がほとんど同期しており、相関が極めて好いことがわかる。また、縦軸に月平均黒点面積(A)、横軸に月平均黒点相対数(R)をとって、毎月の両方の値をプロットしたのが図5である。黒点相対数の値が大きい場合には黒点面積のバラつきも著しいが、全体として両者の直線的な相関が見られる。両者の相関係数は0.94で、極めて良い正の相関である。最小自乗法によって月平均黒点相対数(R)と月平均黒点面積(A)の回帰直線を求めると  $A = 18.3R - 219.7$  となる。R=0のときA=0であることから、AとRの関係を求めると、 $A = 17.3R$  となって、Waldmeier(1955)が求めた  $A = 16.7R$  の関係式とほぼ一致する。すなわち、月平均黒点相対数Rは月平均黒点面積Aにほぼ比例するので、前者は後者の良い指標値であると言える。

次に毎日の黒点相対数(r)と黒

点面積(a)の関係を調べる。データはQBSAに記載された1980年9月1日から1981年12月31日までの期間の毎日の黒点相対数と黒点面積を使った。この期間は1976年から始まった太陽活動サイクル21の極大期に当たっているため、黒点相対数は最大263から最小43まで広く分布している(平均145)。また、黒点面積の範囲は最大7897から最小241の中にある(平均2580)。rとaの相関係数は0.703で、月平均黒点相対数と月平均黒点面積ほどではないが、かなり良い相関と言えるだろう。両者の回帰直線は

$$a = 23.46r - 849.4$$

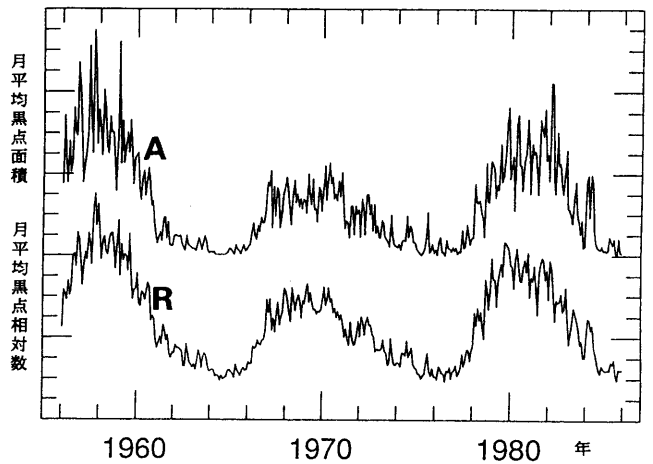


図4：1956-1985年の期間における月平均黒点相対数(曲線R)と月平均黒点面積(曲線A)の時間的変化。

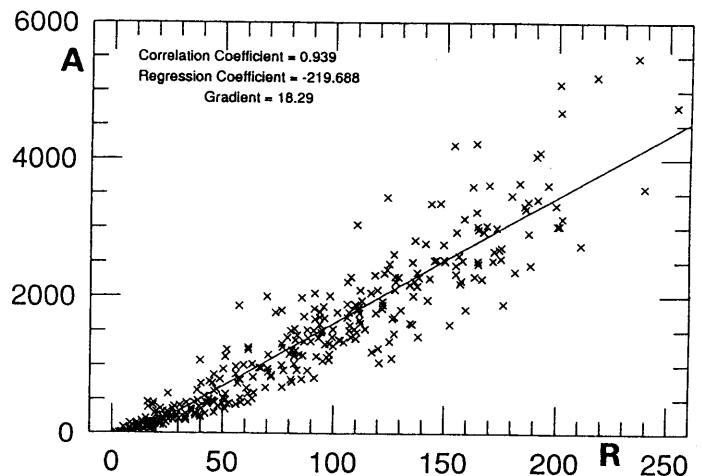


図5：図4に示した月平均黒点相対数(R)と月平均黒点面積(A)の相関図。

と書ける。

## 2.2 黒点相対数とブラージュの面積

白色光で太陽面を観察すると、黒点の周囲に白斑（ファキュラ, faculae）と呼ばれる明るく光った斑点の連なった領域がとり巻いていることがわかる。この白斑は太陽面の中心付近では見えないが、縁近くにある時はその周囲の光球と較べて数%明るいので、コントラストが高くなって良く見える。写真1はフランスのピックデュミデイ天文台で撮影された、太陽面の縁に近い黒点とその周囲にひろがる白斑の写真である。白色光で見えるこの白斑は黒点が現れる数日前からその場所に見えている。また、黒点が消えてしまっても、その寿命の数倍くらいの期間にその場所の周辺に見えている。このことから、

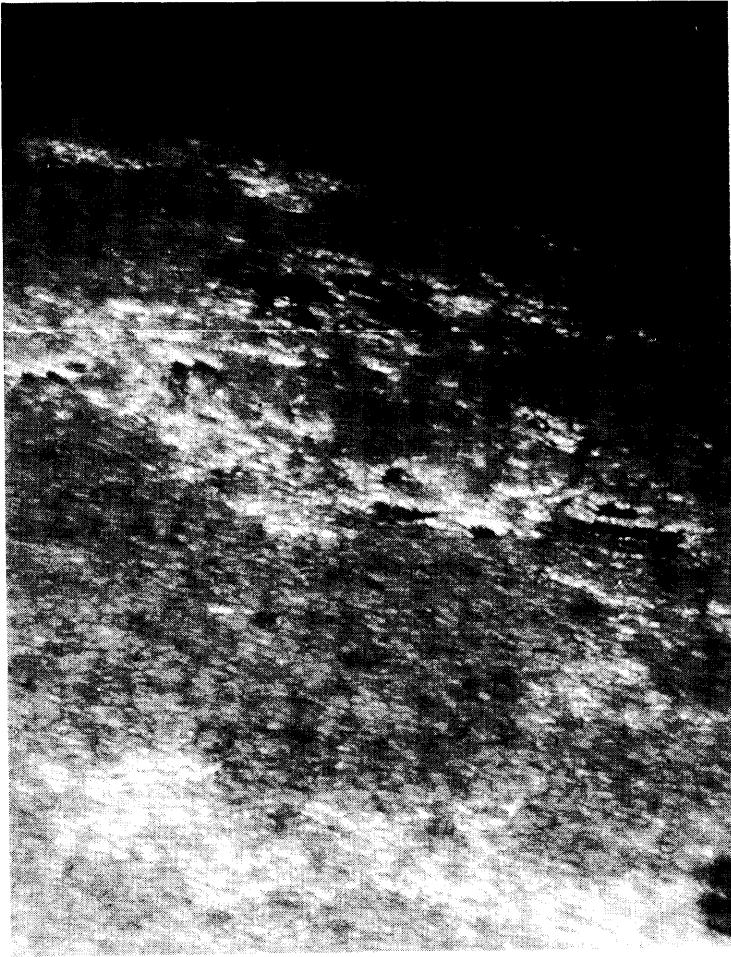


写真1：太陽面の縁近くに見える白斑の網目状分布。  
(撮影 フランス、ピックデュミデイ天文台)

白斑は黒点よりもずっと寿命の長い現象と言えらるう。

この明るい斑点のような白斑（ファキュラ）も、非常に高い空間分解能をもつ望遠鏡を使って細かい構造まで観察すると、直径が約700kmあるいはそれ以下の小さく輝いた点（ファキュラ点）が網目状に並んだ集合であることがわかる（写真1）。このようなファキュラ点は約1000ガウス程度の強い磁場を持つことが確かめられている。太陽面に現れた太い磁束管の切口が黒点だとするならば、下から浮上してきた細い磁束管の太陽表面での切口の部分がファキュラ点に相当していると考えられる。

このような白斑の領域を強いスペクトル線（例えば、 $H\alpha$ 線やイオン化カルシウムのH、K線）の光で見ると、白色光で見た場合と違って、ファキュラ点の周囲に対するコントラストは著しく高まり、太陽面のどこにあっても黒点の周囲で明るく光って見える。これが彩層における白斑の姿であり、白色光で見える白斑の上部構造であり、ブラージュ（Plage, フランス語で砂浜の意味）と呼ばれる。写真2にイオン化カルシウムのK線の光で観測した太陽面の写真を示す。黒点をとり巻いて強く光っている領域が彩層ファキュラ、すなわち、ブラージュである。ブラージュを構成している個々の斑点はファキュラ点よりもサイズが大きい。これは光球と較べて、彩層の中では磁束管の広がりが多いことを意味している。

太陽面上でブラージュが占める面積は1947年以来、マクマスハルパート天文台でイオン化カルシウムのK線の光によって観測され、また、ウイルソン山天文台でも毎日の観測が行われた。その後、ビッグベア天文台で観測が続けられ、これらの結果はアメリカ商務省大気海洋局世界データセンター（NOAA, World Data Center, Boulder）によってまとめられ、観測した結果からブラージュ指数（Plage Index）を計算してSGDに公表されている。これは毎日、太陽面上に見える個々のブラージュの

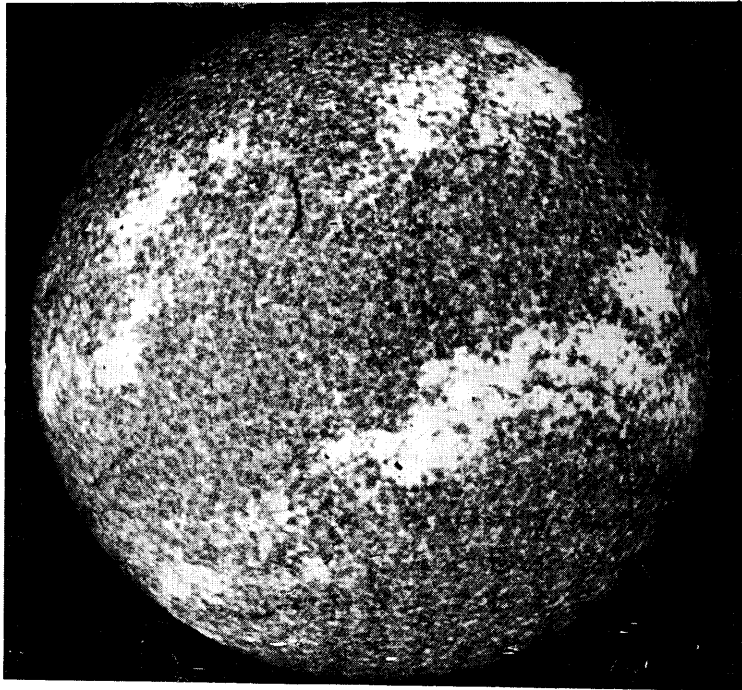


写真 2 : イオン化カルシウム K 線の光 (波長 393.2 nm) で見た太陽面。黒点群の周囲に広がるプラージュ。  
(撮影 アメリカ, ウイルソン山天文台)

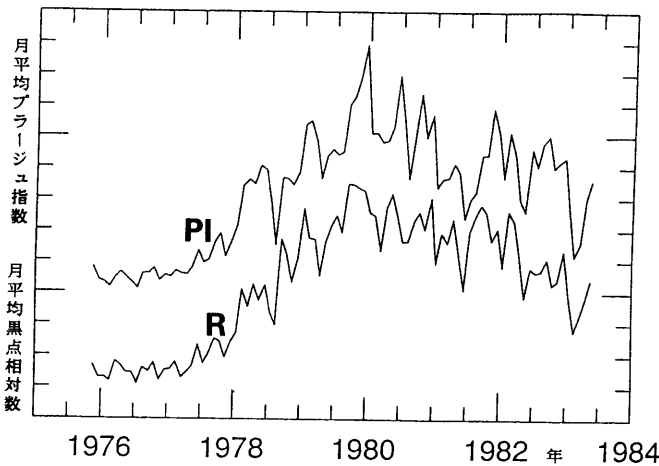


図 6 : 1975年11月から1983年5月までの期間の月平均プラージュ指数 (曲線 PI) と月平均黒点相対数 (曲線 R) の時間的变化。

面積 ( $A_i$ ) と最も明るい点におけるイオン化カルシウム K 線の光の強度 ( $I_i$ ) を使って、次の式で計算される。ただし、面積  $A_i$  は太陽半球の表面積の百万分の一を単位として表し、強度  $I_i$  はプラージュにおける K 線の強度を 5 段階に分けて表している。

$$P I = [\sum I_i A_i \cos \theta_i \cos \phi_i] / 1000 \quad (2)$$

総和はその日の太陽に見られる全部のプラージュについて行う。 $\theta_i$  は個々のプラージュの太陽面中心子午線からの角距離、 $\phi_i$  は同様に個々のプラージュの日面緯度を示す。 $\cos \theta_i \cos \phi_i$  を掛けることにより、空の面への投影効果が補正されたことになる。

先に述べたように、プラージュの面積の観測は1947年以来毎日行われているが、ここで取り上げるのは SGD に記載された1975年11月から1983年5月までの91カ月間のプラージュ指数である。プラージュの観測には欠測の日がかなりあるので、月平均プラージュ指数を計算し、月平均黒点相対数と比較した。図6は月

平均プラージュ指数 (PI) と月平均黒点相対数 (R) の時間的变化を示している。縦軸のスケールは任意であるが、PI の最大値は79.47、最小値は1.15 (平均32.6)、R の最大値は189、最小値は2 (平均96.5) である。両者の相関が良いことはこの図からも明かである。また、図7はPIをRに対してプロットしている。直線は両者



の一次回帰である。両者の相関係数は0.94で、極めて高い。一次回帰式は  $PI=0.314R+2.24$  と書ける。

### 2.3 黒点相対数と2800 MHz ラジオ電波

太陽で観測される周波数2800MHz (波長10.7cm) のマイクロ波は一般に彩層や低部コロナにおける自由電子の熱放射 (自由-自由遷移による放射) と考えられる。そのマイクロ波にも時間的にゆっくりと強度が変化する成分が含まれていて、S-成分 (Slowly varying component の略) と呼ばれている。このS-成分も彩層や低部コロナからの放射で、強い磁場によってたくさんのプラズマ物質が包み込まれているような密度の高い構造体から放射されていることは確かである (Tapping 1987)。S-成分に関係した構造体とは黒点群を中心とした活動領域 (ブラージュ) の上のコロナにある熱い雲、つまり、コロナ凝縮の雲 (Coronal condensation) である。黒点から上のコロナの中に伸びている強い磁場に閉じ込められたプラズマガスの自由電子が熱運動を行い、自由-自由遷移によって電波を放射する。

もちろん、観測される2800 MHz 電波の全フラックスがコロナ凝縮からの熱放射だけによるものではない。黒点そのものの上のコロナにある、コンパクトで明るい小さな源 (数1000kmの大きさ) からくる電波も含まれている。これは黒点の強いループ磁場の中に閉じ込められた密度の高いプラズマの自由電子が行うジャイロシンクロトロン放射であると考えられる。それは、この小さい電波源から来るマイクロ波が強く偏光しているからである。しかし、S-成分への寄与という点から見ると、この小さい電波源からのフラックスは大きいサイズを持ったコロナ凝縮からの寄与に較べて著しく小さい。

また、太陽面上にあまねく分布している超粒状斑 (Super-granulation) のセルの境界にある活動的なネットワークには Ca II モットル (イオン化カルシウム原子のK線の光で見たとき、ガスの炎の集合体が見える) が存在しているが、2800 MHz マイクロ波の放射の一部がこの Ca II モットルから来ていることが確認されている (Erskine and Kundu 1982)。その他、古い活動領域の残骸を含めた広域複雑活動域 (Complex of Activity: Gaizauskas et al. 1983) からこのマイクロ波が放射されてい

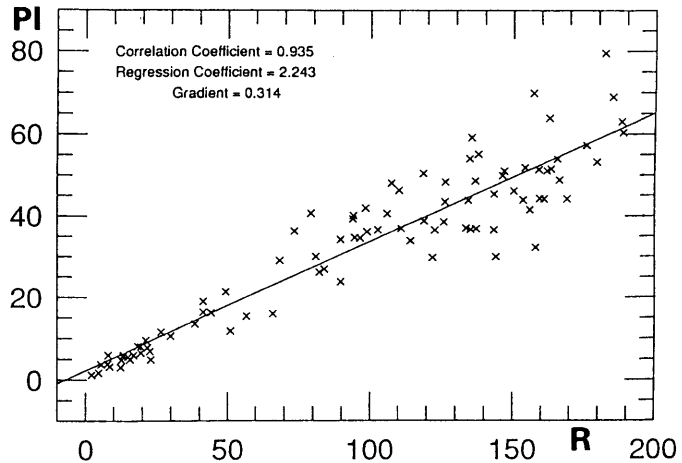


図7：月平均ブラージュ指数 (PI) と月平均黒点相対数 (R) の相関図。

る。これらのフラックスは27日周期、あるいは11年周期でゆっくりと時間的に変化し、背景放射の一部となっている。

周波数2800 MHz のマイクロ波電波の観測は1947年にカナダのオタワで始まり、現在も毎日、アルゴンキンラジオ観測所において直径1.8mのパラボラアンテナを使って続けられている。SGD に報告されているフラックスの値は  $10^{-22} \text{ Wm}^{-2} \text{ Hz}^{-1}$  を単位として表され、急激な変化やバーストなどの影響を含まない、その日その日の背景放射とも言えるべき、強く急激な変化であるバースト強度を測るときの基準レベルとなる値である。また、観測されたフラックスの値には太陽の周囲を楕円軌道を描いて公転する地球から太陽までの距離の変化による影響を含んでいるので、その補正された値がSGDに掲載されている。

月平均黒点相対数と月平均2800 MHz 電波フラックスの関係性を明らかにしよう。SGD に記載されている1948年1月から1990年12月までの期間の月平均黒点相対数 (R) と月平均2800 MHz 電波フラックス (F) をデータとして使った。太陽活動サイクル18の途中からサイクル22の極大までの期間のRとFの時間的変化、そして、両者が良く同期していることは図8で明かである。月平均黒点相対数は最大253、最小0.2の範囲にあり、平均は79である。また、月平均2800 MHz 電波フラックスは最大  $286.5$  から最小  $67$  の範囲にあり (単位は  $10^{-22} \text{ Wm}^{-2} \text{ Hz}^{-1}$ )、平均値は131.1である。両者の相関係数は0.9833で、極めて良い正の相関である。最小自乗法によって、RとF

の回帰式を求めると、 $F = 60.5 + 0.89R$  が得られる (図9)。

しかし、毎日の黒点相対数と日平均2800 MHz 電波フラックスの相関はそれほど良くはない。1990年10月1日から1991年9月31日までの365日間の毎日の黒点相対数 ( $r$ ) と日平均2800 MHz 電波フラックス ( $f$ ) のデータはSGDに記載された値を使った。 $r$  は250-33の範囲にあり、その平均は146.4である。また、 $f$  は359.2から137.4の範囲で、その平均値は205.43であった(図12参照)。 $r$  と  $f$  の相関係数は0.743であり、やや良い正の相関と言えるであろう。上と同じように  $r$  と  $f$  の一次回帰式を求めると  $f = 108.09 + 0.665r$  となる。

#### 2.4 軟X線強度と黒点相対数

軟X線の光で撮影された太陽の写真を見ると、太陽からの軟X線は太陽表面(光球)ではなく、100万度K以上の高温を持ったコロナ領域から放射されていることがわかる。特に、黒点群を中心とした周囲の活動領域の上にあるコロナでは、黒点から上に伸びたループ形の磁場があって、高温のコロナ物質をその中に包みこんでいる。このような密度の高いコロナからの軟X線が太陽から来る軟X線のほとんどを占めている。活動領域では時々、フレアやガス噴出などの爆発現象があって、その度に軟X線フラックスが一時的に高まることがある。しかし、黒点の上のループ磁場に包まれたコロナは、ちょうど周波数2800 MHzのマイクロ波のS-成分と同じように、毎日ゆっくりと変化する軟X線の背景放射の源となっている。

太陽の軟X線の背景放射の観測は1974年5月以来、SMS衛星(Synchronous Meteorological Satellite)やGOES衛星(Geostationary Operational Environmental Satellite)に搭載された軟X線測定器を使って続けられている。この測定器はイオンチェンバー(電離箱)と呼ばれ、太陽面全面から放射される波長範囲0.5-4 Å (Åはオングストローム単位)、1-8 Åの軟X線強度

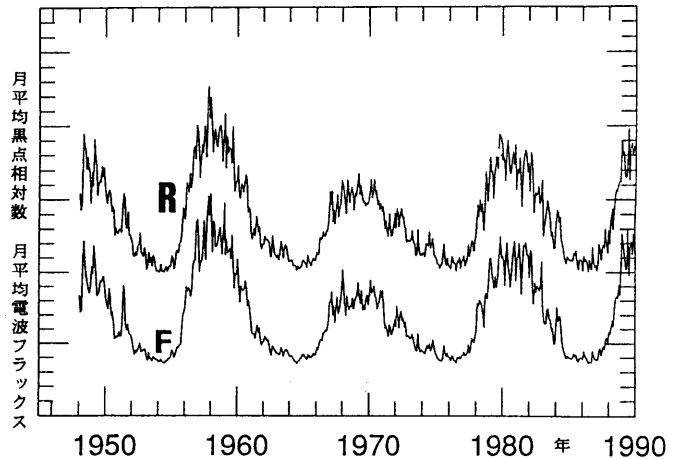


図8：1948-1990年の期間における月平均2800 MHz 電波フラックス(曲線F)と月平均黒点相対数(曲線R)の時間的変化。

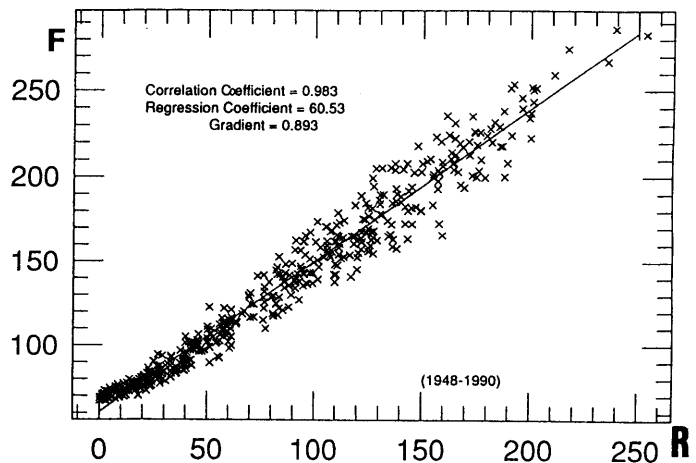


図9：月平均2800 MHz 電波フラックス (F) と月平均黒点相対数 (R) の相関図。

を測定する。これはカプセルに封入された貴金属ガスに軟X線が入射すると、ガスがイオン化し、そこを流れる電流の量が変わることを利用した測定器である。現在はGOES-6衛星に搭載された測定器による毎日の背景放射(Daily background)の平均値がSGDに報告されている。

図10は1987年5月から1993年12月までの80カ月間の月平均軟X線フラックス(F)の時間的変化を月平均黒点相対数の変化(R)と比較している。両方の縦軸のスケールは任意であるが、Fの最大は $2.37 \times 10^{-6}$ 、最小は $6.12 \times 10^{-8}$  (平均 $8.35 \times 10^{-7}$ )、Rの最大は359、最小は

27 (平均は202.1) である。両者の変化が同期していることが良くわかる。縦軸に月平均軟X線フラックス, 横軸に月平均黒点相対数をとって, 相関を示したのが図11である。この一次回帰は  $F = -3.114 + 0.106 R$  (単位  $10^{-7} \text{ Wm}^{-2}$ ) である。また, 両者の相関係数は0.899でかなり高いが, RやFの小さい時に較べて, 大きい場合には分散が大きくなっている。これはRのせいか, Fのせいかわかりにくい。

次に, 1990年10月1日から1991年9月30日までの一年間(365日)にSGDに報告された毎日のGOES軟X線平均フラックス(f)をそれぞれの日の黒点相対数(r)と比較した。図12にはこの期間における毎日の軟X線フラックスと黒点相対数の時間的変化を比較している。両者の時間的変化はよく同期して増減しているように見えるが, 相関係数は0.48となって低い。また, 軟X線フラックス(縦軸)を黒点相対数(横軸)に対してプロットしたのは図13である。一次回帰式は  $f = 0.45 r + 7.94$  (単位  $10^{-7} \text{ Wm}^{-2}$ ) と書けるが, 相関係数が低いので, この式はあまり意味がない。

2.5 黒点相対数と太陽放射量

太陽面に現れる黒点の数は約11年の周期で増加と減少を繰り返しているが, 太陽が放射する光のエネルギー量もこれに同期して変化するであろうか。そして, この変化が地上の気候に影響を及ぼしているであろうか。この古くて新しい問題への挑戦は今世紀の始め, アメリカのアボットによる太陽放射量の測定で始まった。銀盤パイルヘリオメーターと呼ばれる彼の測定器は, 黒く塗った銀の板に太陽光を当て, その上昇する温度を温度計で測る方式の器械である。アボットはこの測定器をロッキー山脈やアンデス山脈の高峰の頂上に運んで, 断続的ではあったが, 約50年間にわたって太陽から地球に届く放射のエネルギー量の測定を行なった。しかし, この測定は地球大気による吸収の補正が大きいため, 時には0.2%にも及ぶ一時的な変動を観測することはあっても,

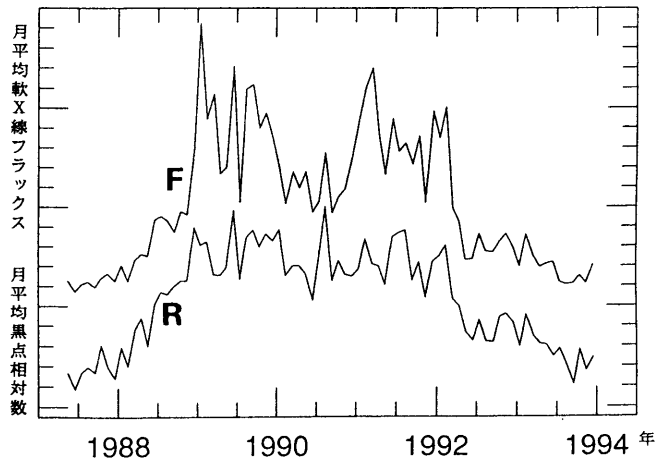


図10: 1987年5月から1993年12月までの期間における月平均軟X線フラックス(曲線F)と月平均黒点相対数(曲線R)の時間的変化。

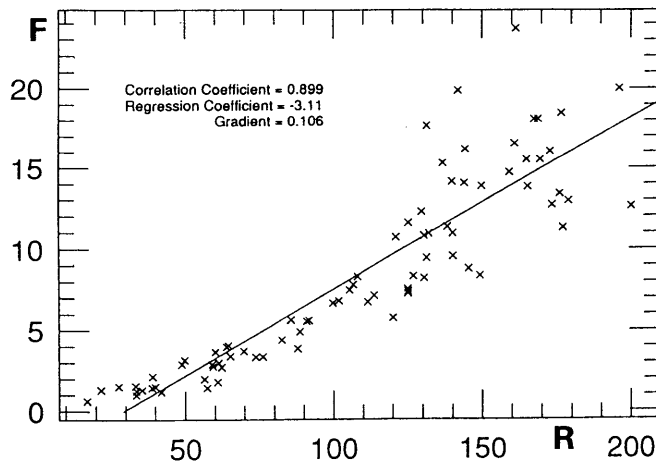


図11: 月平均軟X線フラックス(F)と月平均黒点相対数(R)の相関図。

黒点数の変化の約11年周期に対応した太陽放射量の経年変化を検出することはできなかった。

宇宙空間の飛行体による地球大気外での太陽放射量の測定は1978年11月16日, ニンバス(Nimbus)7衛星によるERB(Earth Radiation Budget Experiment)実験のセンサーを使って始まった。このセンサーは10cと名付けられた空洞パイルヘリオメーター(Cavity Pyrheliometer)であり, その中心には黒く塗られた円錐形の受光部がある。0.5cmの窓を通して太陽光が空洞に入り, 円錐形の受光部に当たって, その温度を上昇させる。温度上昇分をサーモパイル(熱電対列)で測定する方式の特殊な放射計である(図14参照)。ニンバス7は地球の

北極と南極の上空を回る極周回衛星である。その公転周期は約104分であり、衛星が南極上空に達する104分毎に3分間測定が行われた (Hickey et al. 1988)。一日の全部の測定値を平均してその日の平均太陽放射量とした。

同じ目的で1980年2月にはSMM (Solar Maximum Mission) 衛星が打ち上げられ、搭載された太陽放射計により、紫外線、赤外線と可視光線のすべての波長領域にわたって、太陽から地球が受ける全放射エネルギー量を測定した。測定は1日400回行われ、その平均をとって、その日の太陽放射量 (太陽に面した一平方メートルの面積が受けるエネルギー量でワット単位:  $Wm^{-2}$ ) とした。SMM 衛星は1989年11月まで9年8カ月間にわたって太陽放射量の変化を測定した。これは太陽活動のサイクル21の黒点数極大期から次のサイクル22の極大期近くまでのほぼ一サイクルの期間に相当する。

SMM 衛星の観測は終了したが、ニンバス7衛星は今なお健在で、太陽放射量の測定を続行中である。現在も観測中で、今後データが引き続いて入手できることから、この研究ではニンバス7衛星のERB測定の結果をデータとして使うことにする。データはSGDに掲載されている毎日の平均太陽放射量である。

SMM 衛星によるデータでも検討されたように、大きい黒点群が太陽面に現れると、それが太陽面で遮蔽した量だけ太陽放射量が減少する。しかし、黒点群の遮蔽による放射量の減少は数日間の一時的なもので、サイクル全体から見た黒点数の増加や減少にともなって、太陽放射量が全体として黒点数と同期して変化していることは、SMM 衛星によるデータの解析から明らかにされている。これは黒点数の増加にともなって白斑の占める面積が増加していることや、超粒状斑のセルの互いの境界において放射量が増していることが原因と考えられている (Foukal and Lean 1988)。

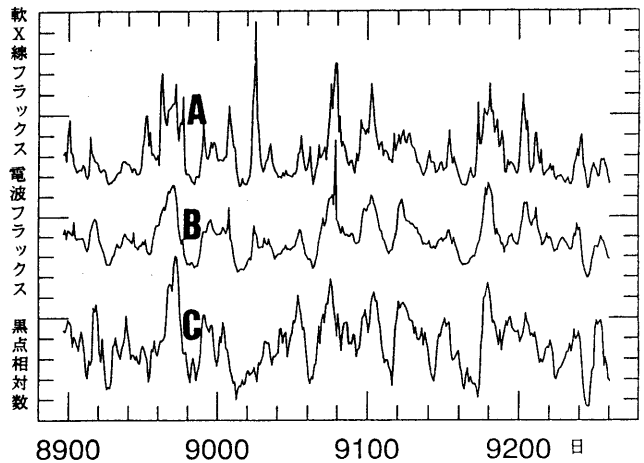


図12: 1990年10月1日から1991年9月30日までの365日における毎日のGOES 軟X線フラックス(曲線A)、2800 MHz 電波フラックス(曲線B)および黒点相対数(曲線C)の時間的变化。データはSGDによる。横軸の数字はユリウス通日 (+2440000)。

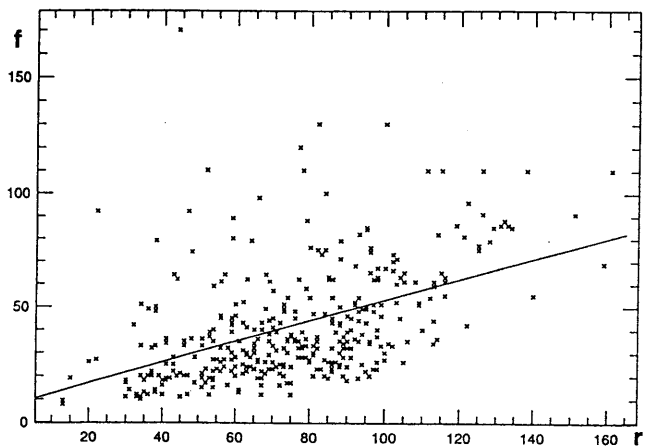


図13: 毎日の軟X線フラックス( $f$ )と黒点相対数( $r$ )の相関図。

黒点群の出現による太陽放射量の一時的な減少の影響をできるだけ避けて、太陽放射量のグローバルな変化と黒点相対数の関係を調べるために、SGDに掲載されている毎日のニンバス7衛星のERB測定のうち、各月の最大値だけを使うことにする。図15は1978年11月から1992年5月までの162カ月間の各月の太陽放射量の最大値( $I$ )と月平均黒点相対数( $R$ )の変化を比較している。 $I$ の最大値は1374.88 (単位  $Wm^{-2}$ )、最小値は1371.40 (平均1372.68) であり、 $R$ の最大は200.3、最小は1.1 (平均99.40) である。SMM衛星による測定と同じよう

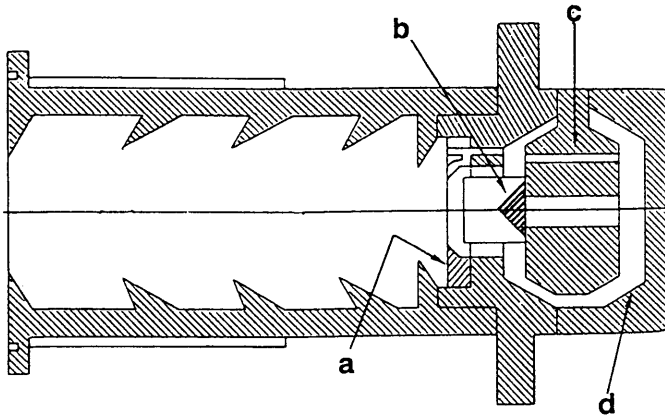


図14：ニンパス7衛星に搭載された太陽放射計（10C、空洞パイルヘリオメーター）の概念図。太陽からの放射は左の窓（a）から放射計に入り、奥の中央の黒塗のコーン（b）を照らして、これを暖める。この温度上昇を熱電対（c）で測定する。（d）は温度を一定に保つための遮蔽体である。

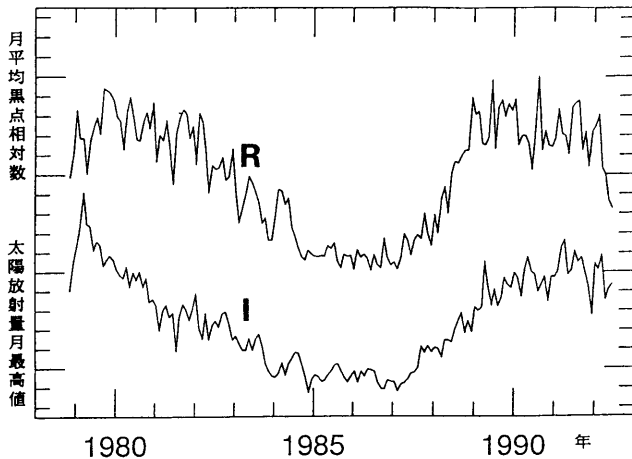


図15：1978年11月から1992年5月までの期間における太陽放射量の月最高値（曲線I）と月平均黒点相対数（曲線R）の時間的变化。

に、黒点相対数の変化と同期して太陽放射量も増減しており、黒点相対数最大と最小の時の太陽放射量の差は約  $2 \text{ Wm}^{-2}$  で約0.15%の変化であることがわかる。これはSMM衛星による測定結果と同じである。また、図16は各月の太陽放射量の最大値（I，縦軸）を月平均黒点相対数（R，横軸）に対してプロットしている。相関係数は0.82なので、両者の相関は極めて良い。また、最小自乗法により一次回帰直線を求めると、 $I = 0.011R + 137$   $1.56 \text{ W/m}^2$  となる。

### 3 考察とまとめ

月平均黒点相対数と月平均黒点面積は極めて高い相関（相関係数  $r = 0.94$ ）を示している。このことは黒点相対数の意味を考える上で重要であろう。

Wolf が黒点観測を始めた頃は黒点の面積の測定に重点を置いていた。しかし、先述のように黒点面積の測定は技術的にも難しく煩雑な仕事である。そこで、練習すれば誰にでも容易に出来て、単に黒点数と黒点群の数を数えることにより、その日の黒点の全面積を見積ることのできる指標値を考えたのが黒点相対数であろう。毎日の黒点相対数と黒点

面積はそれほど高い相関を示さなくても ( $r = 0.74$ )、太陽の自自転内で両者の平均値が高い相関を示すように工夫された指標値と考えられる。結局、黒点相対数は、図5のように黒点面積とその指標値が1対1の明かな関係をもつように(1)式の黒点群の数  $g$  の係数を決めて、黒点数  $f$  と組み合わせたと考えられる。従って、(1)式の  $g$  の係数10には特に物理的な意味はない。

黒点暗部の明るさは周屈の光球の約10%なので、黒点や黒点群が太陽面に現れると、その面積に応じて太陽面から出て来る放射が遮蔽され、太陽全放射量はその分だけ減少する。Wolf は初めは太陽放射量の変化の原因と

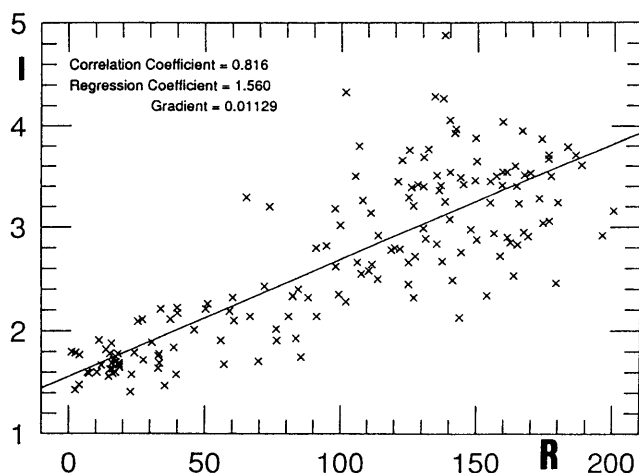


図16：太陽放射量の月最高値(I)と月平均黒点相対数(R)の相関図。

して黒点面積に注目したのであろう。

しかし、黒点磁場の発見は黒点の見方を大きく変えることとなった。Wolfの時代よりも遥かに遅れて、黒点には強い磁場が存在し、そのため黒点部分が周囲にくらべて低温となっていることを明らかにしたのはHale(1938)である。その後の数多くの観測から、いろいろなサイズの黒点および黒点群の中で暗部における磁場の強さ(または磁束密度)がほとんど同じ(数千ガウス)であることがわかった。従って、黒点面積が大きいほど、下から太陽面に浮上して来たその黒点の中の磁束量は大きく、両者はほぼ比例関係にあると言える。この関係は太陽面に現れている全部の黒点で成り立つとすると、黒点全面積を $A_s$ 、黒点磁場の全磁束量を $\Phi_t$ とすると、次のように書ける。

$$\Phi_t (10^{21} \text{ Mx}) = 2.3 A_s (10^{18} \text{ cm}^2) \quad (3)$$

$$\text{ただし、} \Phi_t = \frac{1}{4} \sum (B m_i \times A_i) \times 2 \quad (4)$$

(D'Silva and Choudhuri 1993)。 $B m_i$ はある黒点の中の磁場強度の最大値、 $A_i$ はその黒点の面積である。それ故、黒点相対数の測定により黒点磁場の全磁束量を見積ることができる。黒点相対数は黒点面積についての指標値であるばかりでなく、太陽面に現れた強い黒点磁場の全磁束量についての指標値とも見なせる。

黒点が見えた時、その周囲で発生する最も活動的な現象はフレアである。フレアが放出する熱、光、そして粒子放出の莫大なエネルギーは、黒点の持っている強い磁場の磁気エネルギーの一部が熱エネルギーとして解放されたものと考えられる。MayfieldとLawrence(1985)によれば、黒点群の周囲で発生するフレアの大きさ(重要度)と頻度はその黒点群の持つ全磁束量に関係する。

従って、黒点相対数はフレア活動の指標値とも考えられる。

2.2節で月平均プラージュ指数と月平均黒点相対数が、黒点面積と黒点相対数の関係と同じ程度に良い相関( $r=0.94$ )であることを示した。これはプラージュ面積と黒点面積に密接な関係があることを示唆している。即ち、黒点として太陽面に現れる全磁束量とそれぞれの黒点の周囲に見える白斑の占める面積が比例し、同時に黒点の全磁束に比例して彩層における活動領域の広がりも大きくなることを示している。

2.3節で求めた月平均2800 MHz電波フラックスと月平均黒点相対数の

相関は極めて高い( $r=0.97$ )。これはFoukal(1993)が1947-1989年の期間の年平均黒点面積と年平均2800 MHzマイクロ波フラックスを比較した結果( $r=0.97$ )とも良く一致している。この電波のS-成分は黒点群を中心とした活動領域の上にあるコロナ凝縮の中で自由電子が熱放射するために発生する。2800 MHz電波のS-成分が黒点相対数と密接な関係を持っていることは、コロナ凝縮のガスの温度と密度がほぼ一定であること仮定するならば、コロナ凝縮の体積が黒点の全磁束量と密接に関係していることを示唆する。

GOES衛星が測定した軟X線の太陽背景放射フラックスの月平均値も月平均黒点相対数とかなり高い相関( $r=0.899$ )を示している。この軟X線は100万度K以上の高温のコロナから熱放射されるので、2800 MHzマイクロ波と同様に、一太陽自転の期間内に太陽面に現れた軟X線の放射領域であるコロナ凝縮の大きさが黒点の全磁束量と比例していることを示している。しかし、日々のGOES軟X線フラックスは黒点相対数とそれほど明かな相関は示さない( $r=0.48$ )。黒点の全磁束量の変化に対して、軟X線を放射するコロナ領域の体積の変化が直ちに対応しないで、時間的に遅れて変化するためであろうか。

ニンバス7衛星によるERB実験で測定された太陽放射量の月最大値は月平均黒点相対数と大きい相関( $r=0.82$ )を示している。この高い相関は、FoukalとLean(1985)が指摘したように、黒点の周囲に発生し、黒点自体よりも遥かに寿命の長い白斑領域の占める面積が黒点面積(あるいは黒点磁場)の時間的変化に伴って増減することを示唆している。超粒状斑の互いのセルの境界

においても放射量が増減するかも知れないが、これは今後の測定によって確かめられるであろう。

以上に述べたように、黒点面積、ブラージュ指数、周波数2800 MHz マイクロ波フラックス、軟X線背景放射フラックスのそれぞれの月平均値、および、太陽放射量の月最大値のすべてが月平均黒点相対数と密接な関係を持つことがわかった。日々のこれらの指標値は互いにそれほど大きい相関を示さないが、太陽の自転周期に近い1カ月間の平均値を使うと大きい相関が得られるのは面白い。これらの指標値の時間的変化に互いに1カ月以内の進みや遅れがあるためかも知れない。

結論として、黒点相対数は意味不明の指数ではなく、これらのすべての指標値を見積り、太陽面の活動状況を総合的に表す優れた指標値であることがわかる。さらに、この指数の観測には特別な装置を必要としない。小さい望遠鏡を使って少し練習すれば誰でも容易に観測し計算できるので、学校教育、特に生徒のクラブ活動では良い教材である。一日一回の観測で良いのだが、長期にわたって同じ望遠鏡を使って観測を続けることが必要である。

しかし、最近、黒点相対数の観測を長期にわたって続ける学校や観測者が減っているのは大変残念なことである。かつて、わが国は西ドイツと並んで、専門家以外の人々の黒点相対数の観測が最も盛んな国であったが、その地位は今や失われつつある。その原因の一つは簡単な観測とは云っても黒点群の見分け方が難しく、少々の慣れが必要なこともかも知れない。実際の黒点群の区分法についての説明は、

天体観測入門 日本天文学会編 恒星社厚生閣  
(昭和28年) 1頁

太陽黒点の観測 清水一郎, 小野実, 小山ひさ子  
恒星社厚生閣 (昭和55年) 82頁

太陽観測 (アストラルシリーズ) 清水一郎編  
恒星社恒星閣 (昭和58年) 80頁

などの文献に詳しい。これから太陽黒点相対数の観測を始められる方はこれらの本を参考にされるか、あるいは経験を積んだ方の直接の指導を受けられると良い。

以上に述べた事柄の概要は平成6年の天文教育研究会やその他の集会において公表した。この一文はその時に多くの方々から寄せられた様々な貴重な意見を含めて黒点相対数の特徴と意味を解説したものである。

## 参考文献

- Donnelly, R. F. 1987: Temporal trends of solar EUV and UV full-disk fluxes: Solar Physics Vol.109, 37.
- D'Silva, S., and Choudhuri, A.R. 1993: A theoretical model for tilts of bipolar magnetic regions: Astronomy and Astrophysics Vol.272, 621.
- Erskine, F.T., and M.R.Kundu 1982: Time variability and structure of quiet sun sources at 6cm wavelength: Solar Physics Vol.76, 221.
- Foukal, P., and Lean, J. 1988: Magnetic modulation of solar luminosity by photospheric activity: Astrophysical J. Vol.328, 347.
- Foukal, P. 1993: The curious case of the greenwich faculae: Solar Physics Vol.148, 219.
- Gaizauskas, V., Harvey, K.L., Harvey, J.W., and Zwaan, C. 1983: Large scale patterns formed by solar active regions during the ascending phase of cycle 21: Astrophysical J. Vol.256, 1056.
- Hale, G.E., and Nicholson, S.B., 1938: Magnetic observation of sunspot 1917-1924 Part I: Publ. Carnegie Institution No.498.
- Hickey, J.R., Alton, B.M., Kyle, H.L., and Hoyt, D. 1988: Total solar irradiance measurements by ERB/Nimbus 7, A review of nine years: Space Science Review Vol. 48, 321.
- Mayfield, E.B., and Lawrence, J.K. 1985: The correlation of solar flare production with magnetic energy in active regions: Solar Physics Vol.96, 293.
- Taylor, P.O. 1991: "Observing the Sun" (Cambridge University Press, Cambridge) p.21.
- Tapping, K. 1987: Recent solar radio astronomy at centimeter wavelengths. The temporal variability of the 10.7cm flux: J.Geophysical Research Vol.92, 829.

久保田 諄・鈴木美好・時政典孝：太陽黒点相対数について，地学教育 48巻，6号，211～224，1995年11月  
〔キーワード〕 太陽黒点，コロナ，太陽放射

〔要旨〕 太陽黒点相対数の月平均値と，黒点面積，プラージュ面積2800 MHz ラジオ電波強度，軟X線強度のそれぞれの月平均値および太陽全放射量の月最大値は非常に良い相関を示す。黒点相対数は，黒点面積の指標として考えられた値で，その計算式自体に物理的な意味はないが，太陽面の黒点を中心としたさまざまな現象の活動状況を表す，すぐれた指標値である。

Jun KUBOTA, Miyoshi SUZUKI and Noritaka TOKIMASA: An interpretation of the Sunspot relative number. *Educational Earth Sci.*, 48(6), 211-224, 1995.



# PET ボトルを使用した地盤の液状化モデルの開発

間々田和彦\*

## はじめに

日本では、地震発生時における災害として、従来から建物の倒壊や地割れ、断層の発生、津波等が取り上げられてきた。これらの災害の他に地盤の液状化によるものが大きく話題となったのは、1964年の新潟地震であるといわれる。もちろん、大きく話題となったのが新潟地震が最初であって、それ以前に地震が起こったときに地盤の液状化がなかったわけではない(理科年表, 1994など)。1923年の関東大地震、1891年の濃尾地震においても数多く発生していることが記録されている(中村他, 1987, 宇津, 1984など)。また、各地の遺跡の発掘調査で以前より通告されていた「下に行くほど末広がりになる」溝(田中他編, 1994)は、地盤の液状化の跡であることが判明している。現在、このような痕跡は遺構の年代対比や年代判定に大きく役立っている(安藤他, 1993)。さらに、地質時代の地盤の液状化を示すものは、千葉県成田層の露頭等で観察することができる。

## 1 問題点

地震時における地盤の液状化は、粒のそろった細かい砂<sup>1</sup>が水で飽和されている状態で振動が与えられたときに、容易に生じる。特に近年、海岸地方の埋め立て地において地震時に地盤の液状化による被害が多く生じていることは、1994年の北海道西南沖地震、1995年の阪神大震災の報道によるまでもないだろう。

地盤の液状化発生メカニズムについては、守屋(1994)、町田・小島編(1986)に詳しく述べられているが、これを簡単に示すことができるモデル(教材)は少ない。その中でレールの上に置いた水槽に砂と水を入れ、地震のゆれに相当する横揺れを与え地盤の液状化と同様な現象を観察するモデルがある(香村他, 1990)。

ここでは砂の上に水が出てくる様子や、砂の中に埋め込んだフィルムケースが浮かび上がってくるようすが観察することができる。しかしながら、このような児童生徒が液状化現象を視覚的に良く理解しやすいものにおいても、揺れている時に砂の中が流動化している状態を直接観察することはできない。

## 2 目的

PET ボトル<sup>2</sup>を利用し、児童生徒を対象とした地盤の液状化を示すモデルの作成を目的とする。また、盲学校での授業実践を踏まえ、普通校(小学校、中学校、高等学校)での本教材の有効性を検討することも目的とする。

## 3 液状化モデルの作成

今回、児童生徒にとって身近なものである、1.5リットルの炭酸飲料PET ボトル、砂、水、を使用し、地盤の液状化モデルを作成した。

ここで1.5リットルの炭酸飲料用PET ボトルを使用したのは、非炭酸飲料用のものに比べて堅牢であり衝撃を与えたとき損傷しにくいこと、表面が球面のために凹凸が無く観察しやすいこと大きさが適当であることの3点の理由による。砂は園芸店で販売しているものを十分に乾燥させ、を使用した。PET ボトルに地震に相当する振動を与えるために、電動マッサージ器(ユニオン電器社製ビブレット MODEL-S)<sup>3</sup>を使用した。なお、木槌で細かく叩くことによっても電動マッサージ器と同様な振動状態になる。

また、地震発生時に地盤が液状化する地域で、コンクリート製の電柱の地上部分の質量が土中部分に加わるために電柱が沈下することや、地下のガソリンタンクが浮かび上がる現象が観察されることがある。

こうした現象を再現するものとして、次のモデル作成の方法⑥⑦で作製するような試料を用意した。

### 1. モデル作成の方法

- ①PET ボトル(口径20mm)に水を400cc入れる。
- ②十分に乾いた砂を2kg入れる。
- ③入れた砂が上部まで濡れているかを確認する。

\* 筑波大学附属盲学校

<sup>1</sup>砂: 砂は、1/16mm以上2mm以下の粒子を示すため、正確には粒子と表現しなければならない。しかしながら、文意を通りやすくするため、特に断らない限り砂と表現する。

<sup>2</sup>PET ボトル: Poly-Ethelen-Terephetarete bottle

<sup>3</sup>このモデル使用時の振幅1.5mm, 周期47/S

1995年4月4日受付 9月16日受理

④電動マッサージ器で振動を与え、砂の上部に水が溜まることを確かめる。

⑤確かめた後、モデルを逆さにして上下に振る。その後、1時間程度放置することにより、砂が固まってくるのが観察出来る。ここでは、1日放置したものを使用した。この段階での水を含んだ部分の平均密度は $2.2\text{ g/cm}^3$ であった。

⑥中空のアクリル棒（外径20mm、内径16mm、長さ205mm）の片方の口をアクリル板で塞いだものを2本作成する。

⑦⑥で作成したアクリル棒に、A. 金属棒（真鍮製口径15mm）と、B. 棒材（パルサ材口径15mm）を差し込み、密度が大きい試料と、密度が小さい試料とした。なお、両試料の平均密度は、以下の通りである。

A. 密度が大きい試料： $5.1\text{ g/cm}^3$

B. 密度が小さい試料： $0.8\text{ g/cm}^3$

#### 2. 使用した砂の粒度分布

表1は、今回使用した砂の粒度分布を加積体積百分率で示しものである。

粒径 (mm)	0.25mm 以下	0.25 ~0.5	0.5 ~1.0	1.0 ~2.0	2.0 ~4.0	4.0 ~6.73
(%)	7.5	18.0	23.8	33.5	16.7	0.5

表1 使用した砂の粒径分布

## 4 授業実践

### 1. 対象生徒

高校2年生（全盲生1名、弱視生2名）：地学選択者3名とも地学学習に関する興味関心は高い。また、一般的な視覚障害者の特徴として、発話量が弱視生よりも全盲生の方が多いとされている。この3名においても同様である。

対象生徒は、地震分野は既習であった。しかしながら、今回の阪神・淡路大震災を鑑み、地盤の液状化モデルを使用した授業を行うこととした。

### 2. 授業時間

授業時間は、1995年5月26日、同年6月5日。

#### ①1時間目

##### 授業内容

##### i. 地震発生メカニズムの復習

プレートの動きに関連する地震の発生メカニズムを中心に復習した。

##### ii. 地震災害の種類

地震災害としてこれまで主として扱われてきたものとして、「津波」「山崩れ」「揺れによる建物の倒壊」を取

り上げ、解説した。

#### iii. 地盤の液状化現象

これまでii. で取り上げた地震災害ほど大きく取り上げられてはこなかったが、被害の記述は古文書にも記されていること、新潟地震で有名になったこと、近年、埋め立て地での被害がでていること、液状化現象が発生しやすい条件として、粒子の大きさ・水で飽和していることの各項目について指導した。

#### ②2時間目

##### 本時の授業

#### 3. 本時の目標

本時の目標として、次の3点をあげた。

①一日放置したモデルは内部が固くなっていることが観察できること。

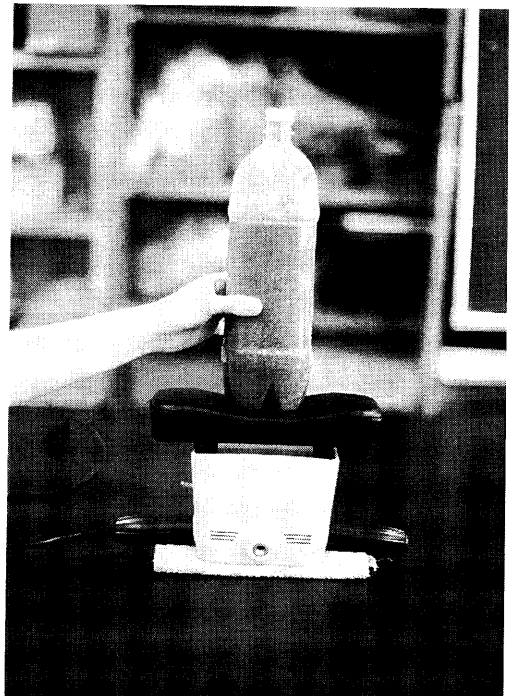
②振動が与えられているとき、内部が流動的であることが観察できること。

③振動が与えられているとき、試料の密度が違うことによる結果の違いが観察できること。

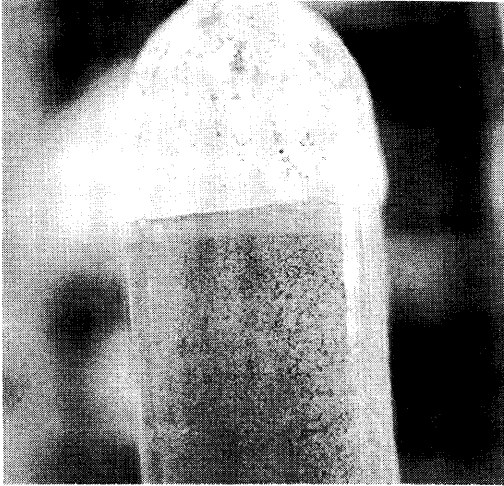
#### 4. 液状化モデル使用の授業実践

①実験前にはPETボトルの外から触って観察し、硬さを観察する。

②PETボトルを電器マッサージ器の上に載せ、振動を与える。振動中は容器内が柔らかく流動的な状態であることを観察する。

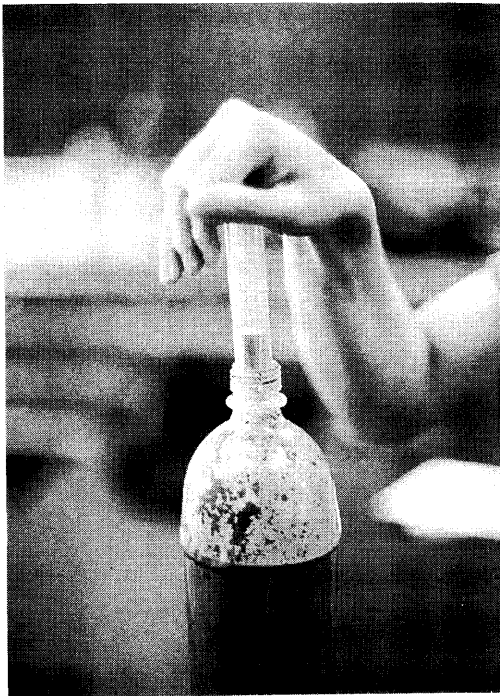


③振動を与えていると上部へ「泥水」が徐々に上昇して溜まってくる。



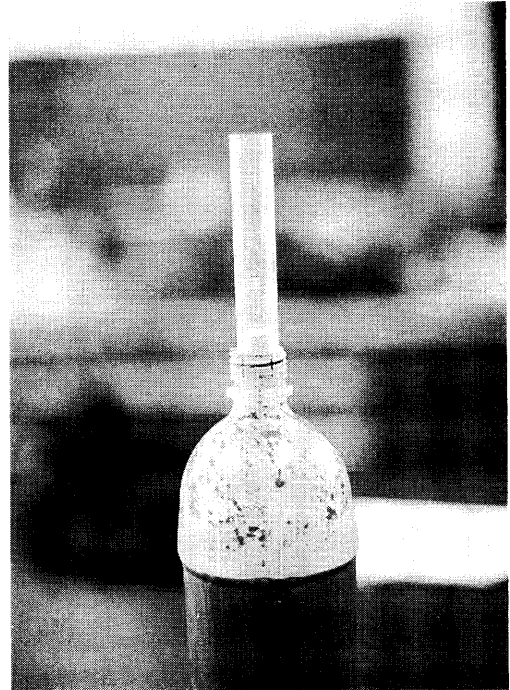
④振動を止めた時、振動を与える前に比べて、下部は固く、上部は柔らかいままであることを観察する。

⑤PET ボトルの口へ中空の亚克力棒に密度が大きい試料と密度が小さい試料を順に差し込み、振動を与える。この時、差し込むことに力が必要なことを観察する。



⑥振動が与えられたとき、密度が大きい試料はすばやく沈下していくことを観察する。

⑦振動が与えられているとき、密度が小さい試料は上から容易に押さえることができること、押し込んだ後に離すと浮上してくることを観察する。



なお、このモデルを起震室に固定すると、この実験と同じ様子が観察できた。

## 5. 生徒の反応

### ①学習前

前時の地盤の液状化についての質問には、振動が与えられると砂が液体のようにふるまうことは「イメージしにくい」(全盲生)、「よく分からない」(弱視生)との回答があった。

### ②学習中

容器が振動しているときには砂が流動していることを観察することができた。密度が異なる試料での観察では、振動前には密度が異なってもアクリル棒は差し込みにくいことから、「砂だけでもけっこう固い」(全盲生)と観察している。

振動を与えると、密度が大きい試料のアクリル棒はすばやく沈下することから、「どこまで下がるのだろう」(全盲生)、「振動を止めても下がるか」(全盲生)といった回答があった。後者の意見を受けて、振動が停止したときにアクリル棒の沈下が停止すること、振動を再開すると沈下が始まることを観察した。

密度が小さい試料のアクリル棒は、押さえつける力をなくすと、徐々に浮上してくることが観察できた。「マンフォールが浮かび上がったのはこれか」、「地下街はどうなるのか」(全盲生)の回答があった。

### ③学習後

振動を与えると砂が流動し、停止すると固くなること、密度が大きい試料の観察結果から、「地震の時に地盤が液状化することをイメージできた」(全員)との感想が得られた。

### ④評価

行動面(観察面)では、全員が観察できたこと、5. ①②③での回答から、3. 授業の目的で掲げた3目標は達成できたと考えられる。

知識面では、定期テストにおいて今回の観察に関する設問に全員が正解できたことから、3. 授業の目的で掲げた3目標は達成できたと考えられる。

## 5 本モデルの有効性

本モデルの有効性は、1. モデル自体の有効性 2. 普通校での有効性 3. 教材開発の観点からの有効性 の3点から検討することが必要であろう。

### 1. モデル自体の有効性の検討

### ①液状化現象の再現

振動中にモデル内が流動化していること、「泥水」が上部に溜まりその部分がしばらくの間柔らかいままであること、密度が異なる試料を使った観察結果からはそれがより顕著になったことなど、液状化現象と同様な結果が得られた。これらの結果が、実際の液状化現象と全く同じであるかについては専門的な検証が必要であるだろう。しかしながら少なくとも同様な結果が得られたことは、教育的には十分有効であると考えられる。

### ②使用した砂

液状化しやすい砂の粒度分布は図1に示すとおりである。図の中で、○—○が使用した砂の粒度分布であり、液状化しにくいとされる範囲となっている。これは本モデルではかなり粗い粒子が入っているにもかかわらず、液状化と同様な結果が得られたことを示しており、手軽に購入できる砂を利用して教育的には有効なモデルを作成できるものと考えられる。

### ③生徒の理解

4 および5で述べたような結果から、本モデルは生徒にも理解しやすいものであったと考えられる。

### 2. 普通校での有効性の検討

今回地盤の液状化モデルの開発をおこなったが、授業実践は筆者が勤務する盲学校生徒に行ったものであった。視覚障害生徒にとって有効であった教材が普通校(小学校、中学校、高等学校)の児童生徒に対する学習教材として有効であるかについて、以下の4点から検討していく。

### ①人数

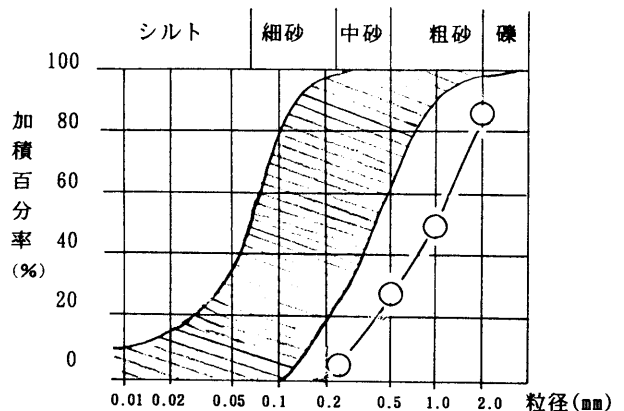


図1 地震時に液状化しやすい砂の粒度分布と本モデルで使用した砂の粒度分布 (○—○)  
(守屋, 1994, p.123を元にした)

今回の実践では3名を対象とした授業であった。この程度の人数であると、生徒の反応を直接授業展開に取り入れることができる。本校でも密度の異なる試料を使った観察を除いた授業を7名（全員弱視生、または全盲生の中学2、3年生クラス）で実施したが、容器の観察を含め全員が授業に参加することができた。普通校では、35名から45名といった人数の授業が主体であり、その場合にも直接観察することを考慮に入れると、7～8名のグループで行えば、今回のような結果が得られると考えられる。

#### ②時間

視覚障害生徒に対して実験や観察を行うときには、装置の確認など普通校の生徒よりも時間がかかることはいうまでもない。従って、今回は1時間の授業内で本モデルを使用した授業を実践したが、普通校においてもこれ以上の時間を要する必要はないと考えられる。

#### ③視覚情報

普通校においては、AV機器の活用が授業を進める上で重要な役割を果たす。本モデルでも、流動化している状態をTVカメラで多人数に視聴させるならば、実験手段の提示や観察内容の確認に有効であろうと考える。

#### ④授業の展開

普通校においては、実際の地盤の液化化による被害状況を提示し、本モデルを使用した授業展開することがより有効なものとなるだろう。

①～④より、本モデルは普通校においても有効な教材と考えられた。

#### 3. 教材開発の原理からの有効性の検討

視覚障害教育では、教材教具の開発の原理（文部省1986）として次の3点を掲げている。

①素朴な装置で仕組みで用意に理解できるものであること。

②操作が簡単であること。

③身近な材料で教師が自作することのできる安価なものであること。

本モデルはこれらの原理に合致したものであることはいうまでもない。また、これらの原理は普通校においても重要な原理と考えられることから、本モデルの有効性が得られたと考えられる。

#### 謝 辞

本論文をまとめるにあたり、科学技術庁防災科学技術研究所地震・火山防災研究室長の木下繁夫氏には貴重な示唆と試料を頂戴した。また、千葉県水質保全研究所地質環境研究室の香村一夫氏には資料とご意見を頂戴した。

両氏のご厚意に対し、ここ謝辞を述べるものである。

#### 参考・引用文献

- 安藤雅孝・吉井敏尅, 1993, 地震, 丸善, 94p., 55～60.  
 宇津徳次, 1984, 地震学第2版. 共立出版, 300p., 262.  
 香村一夫, 楡井久, 1990, 簡単につくれる「液化化実験装置」. 地学教育と科学運動, 18, 88～92.  
 国立天文台編, 1995, 理科年表. 丸善, 1046p.  
 小島圭二, 1993, 自然災害を読む. 岩波書店, 139p.  
 田中琢・佐原真編, 1994, 「液化現象」. 地学事典, 平凡社, 1540p., 104.  
 中村一明他, 1987, 火山と地震の国. 岩波書店, 338p., 182.  
 町田洋・小島圭二, 1986, 自然の猛威. 岩波書店, 218p., 162～169.  
 守屋喜久夫, 1994, 新編地震災害と地盤・基礎. 鹿島出版会, 178p., 119～125.  
 文部省, 1986, 実験と観察の指導. 慶應通信株式会社, 206p., 25.

間々田和彦：PET ボトルを使用した地盤の液化化モデルの開発地学教育 48巻, 6号, 225～230, 1995

〔キーワード〕 液化化現象, ペットボトル

〔要旨〕 水で飽和した砂を詰めたペットボトルと電動マッサージ器を使用し、地震時に生じる地盤液化化現象のモデルを作成した。電動マッサージ器で振動が与えられたペットボトルを触って観察することにより、容器の中が液化化により流動していることが直接確かめられた。また、密度の異なる試料を使用した観察では、マンホールの抜け上がりや電柱の沈み込みに相当する現象が再現できた。

Kazuhiko MAMADA: Development of liquefaction model with PET bottle. Educat. Earth. Sci., 48(6), 225～229, 1995.

## 紹 介

小林和男著 生きている深海底 四六判 292ページ  
1995年3月初版 2900円 平凡社

著書は、海洋学者であることを知っている人は多いと思う。その著者自身が「しんかい6500」で潜水し、研究した大西洋中央海嶺中軸谷とトランスフォーム断層を含め、多くの最新の成果をまじえて、世界の深海底の様子を記したものである。およそ、無味乾燥な説明になりがちな海底の地学現象を、明快な文章で説明し読者を飽きさせないと思う。本書の紹介は内容が明確になった方がよいと思い、目次の全項目を書くことにする。

プロローグ

### 第一章 大西洋中央海嶺

①稜線に沿う谷間 ②じくじく切られた中央海嶺  
③海嶺の裂け目を覗く ④中軸谷の精密調査 ⑤「しんかい6500」の大西洋航海 ⑥深海に顔を出したマントル岩石 ⑦やっと見つかった大西洋の熱水噴出 ⑧深海掘削 ⑨最古の大西洋は？

### 第二章 激しく噴火する東太平洋海膨

①熱水噴出の発見 ②暗黒の深海底は生命の故郷 ③マグマ溜りを探る ④海上の磁気縞模様 ⑤ファンデフーカ海嶺 ⑥ファンデフーカ海嶺の熱水噴出 ⑦インド洋海底 ⑧海嶺山腹の傾斜と海底年齢

### 第三章 深海にきらめく海山

①海底の星座 ②煙残るハワイ諸島 ③プレート運動の足跡 ④乱立するマントル・ブリューム ⑤海山によるプレートのたわみ ⑥海山の帽子 ⑦海山の磁気異常

### 第四章 深海底の広域大噴火とマントル・ブリューム

①中部太平洋のスーパーシュウェル ②白亜紀太平洋のスーパーブリューム ③スーパーブリュームと地球磁場反転 ④ジュラ紀太平洋のマントル・ブリューム ⑤最古の太平洋を求めて

### 第五章 深海底が沈み込む

①日本海溝と日本列島 ②裸の沈み込み帯 ③マントルからの贈り物—蛇紋岩海山 ④付加型沈込帯—南海トラフ ⑤盛り上がった海溝—バルバドス ⑥比較海溝学の例 ⑦マリアナ型と付加型沈込帯の見本市—中米海溝

### 第六章 日本列島の庭園—日本海と四国海盆

①寺田寅彦の日本海拡大説 ②日本海の深海掘削 ③地震の巣か？—日本海中部地震、北海道南西沖地震 ④奥尻海嶺—深海掘削と潜航調査 ⑤島弧が割れた—四国海盆と九州パラオ海盆

### 第七章 列島分裂—拡大する背弧海盆

①熱水を噴き出すマリアナトラフ ②背弧拡大記録保

持者—ビスマルク海 ③ホワイトレディのすみか—北フィジー海 ④南に伝播する背弧拡大—ラオ海盆とアーブルトラフ ⑤卵からひよこが生まれるか？—沖繩トラフ ⑥伊豆七島の背後に海底の裂け目—鳥島、青ヶ島、須美寿リフト系 ⑦裂けるのを止めた東北日本

### 第八章 海底は地球環境の証人

①海底に刻まれた地球環境の変遷 ②気候の指導—微化石 ③堆積物の時間目盛り—磁気層位学 ④磁場変動に見る地球核の流動と環境変動 ⑤もう一つの時間目盛り—火山灰（テフラ）

### 第九章 炭素の貯蔵庫—深海底

①二酸化炭素の行方 ②深海底の温度・圧力計—海底相似面（BSR） ③クラスレートの掘削 ④熱水とともに噴き出した二酸化炭素—沖繩トラフの例 ⑤炭酸カルシウム消失深度と石灰層 ⑥深海底チャート層とオパールA/C T転移面

### 第十章 海底に残る大変動の記録

①地中海は砂漠だった ②さまざまな顔を持った地中海 ③重金属の宝庫—紅海 ④氷期に沈んだ海—日本海 ⑤今も黒く濁った黒海とサンタバーバラ海盆 ⑥インド洋に見るヒマラヤとモンスーンの誕生

エピローグ、註、索引

内容は以上の通りである。地学の授業に直接に使用できると思われる図や表もある。

参考のため、著者が大西洋中央海嶺のケーン断層帯のトランスフォーム断層の一部分を観察したときの驚きを、本書の44ページから引用し、次に書いてみる。「(前略)とりわけ断層の激しい動きに伴う多くの崖崩れと地汜りには驚かされた。この海域では海洋拡大とトランスフォーム双方の働きで海底表面には大小さまざまな亀裂が生成され続け、切り立った崖をつくる。崖に露出する岩石は断層運動によってもまれて碎かれる一方で熱水や冷たい底層水と反応してもろくなっていることが多いので、ちょっとしたショックで崩れやすくなっている。海底では当然ながらすべての空隙が海水で飽和しているの、陸上で豪雨下に土砂崩れが起こりやすいのと同じかその最極端な場合に相当するわけだ。しかも中軸谷とトランスフォーム断層沿いにはマグニチュード4までのごく浅い地震がしばしば起っているからたまらない。崖はたちまち崩れて土石流となって斜面下部に大小礫の山を築くことになる。(後略)」こうした説明が随所にあり、地学の授業の資料に適切に利用できる本であると、私は思う。

(貫井 茂)

# 高等学校地学における自然放射能に関する授業実践

荻原 彰\*

## I. はじめに

他の先進諸国に比べ、日本の児童・生徒の放射線や放射能に対する認識はやや劣っていることが原子力文化振興財団の報告書である『日本とヨーロッパ「エネルギーと環境」に関する生徒の意識調査報告書』に指摘されている。

一方地球科学においては物理探査の一種として放射能探査が盛んに行われており、断層や鉱物資源を探る際の重要な手段となっている。しかし高等学校ⅠA、ⅠBおよびⅡの地学(ⅠAは第一学習社、ⅠBは東京書籍、実教出版、啓林館から出ている)の教科書では熱源としての放射性物質、年代測定への放射性同位体の利用は扱われているが、地表での自然放射能をとりあげているものは見当たらず、自然放射能を教材として取り上げようという試みも金柿(1994)などに見られるが、その数は少ない。そこで本研究では上述のような状況の改善に資するため、自然放射能に関する地学教材の開発を行ってみた。

対象は長野県須坂高等学校の選択地学受講者39名、実践を行った時間は平成6年7月上旬、授業時間は4時間である。

## II. 自然放射能の調査

ここで自然放射能と呼ぶのは、環境中の放射能の中で人工放射能を除いた部分、すなわち地球内部に存在する放射性物質の放射能と地球の外からやってくる宇宙線などの放射能を意味する。ただし、この授業ではもっぱら地球内部からの放射能を取り上げている。

目に見えない自然放射能の存在を実感するためには、自然放射能を実際に調査することが必要と思われるが、限られた授業時間では十分な調査は難しい。そこで授業では学校内や学校近くの公園の自然放射能を調べ、「はかるくん」による広範囲の調査は本校地学クラブ地質班の活動で得られたデータを利用した。

### 1. 放射線計測器「はかるくん」による調査

放射線計測には放射線計測協会(財団法人)で貸し出している放射線計測器「はかるくん」を使用した。

「はかるくん」は主に大地からのr線を測る測定器でCsIシンチレーターを用いて測定している。

授業では学校の玄関壁面(花崗岩)と図書館の壁面(安山岩)、学校近くの公園の銅像の基台(花崗岩)、公園入り口の露頭のヒン岩、公園横の寺院の石碑(ハンレイ岩)をそれぞれ測定した。また地学クラブでは通学区内の須坂市、高山村、長野市の各地域をさまざまな岩種(コンクリートも含む)にわたって調査した。それらをまとめた結果を表(表1 単位はnSV/h)に示す。

はかるくんによる測定は岩石表面とはかるくん先端部(検出機側)をできるだけ近づけ(1cm程度)で測定し、3回測定した値の平均をその岩石の放射能値とした。

また平成3年10月に行った本校の修学旅行で、広島市の原爆公園(花崗岩の敷石)と姫路市の姫路城(おそらく流紋岩質凝灰岩の石垣)において筆者が測定した結果と高山村で測定した結果(このデータは表1には記されていない)を比較した調査も授業で使用したのでその結果を図1にしめす。測定はそれぞれの場所の歩道に沿って行い、側点は20m程度の間隔である。図1の横軸の測定地はこの側点のことである。これらの調査から次のことが言える。

(a) 酸性岩は放射能値が高く、塩基性岩はそれが低い。中性岩はその中間である。すなわち岩石が酸性岩になるにつれて放射能値も高くなる傾向がある。

(b) コンクリートの放射能の値はやや高い

(c) 雪が岩石の上を覆うと放射能値が低くなる。

(d) 七味温泉の安山岩は他の安山岩に比べかなり放射能値が高い。

これらの調査結果は次のように説明できる。

(a) や(c)は「はかるくん」を貸し出している放射線計測協会の手引きにも指摘されていることである。

(c)については、雪による放射線の遮蔽によるものであるが、雪のために岩石と「はかるくん」の距離が離れたことも関係しているであろう。

コンクリートは放射能値が比較的高いこともよく知ら

\*長野県須坂高等学校

1995年4月24日受付 9月29日受理

表1：いろいろな場所での放射能

1から5までは授業時、10から29はクラブによる測定

	花崗岩	石英閃緑岩	安山岩	ヒン岩	ハンレイ岩	玄武岩	凝灰岩	泥岩	コンクリート	不明
1 学校玄関壁面	83									
2 図書館壁面			47							
3 臥竜公園入口の露頭				43						
4 公園内の像の台座	90									
5 昌福寺石碑					32					
6 遊歩道石垣							46			
7 石碑1	111									
8 石碑2	116									
9 臥竜山露頭								67		
10 山田牧場露頭			30							
11 七味温泉露頭			70							
12 雷滝露頭			35							
13 小河原石垣									39	
14 北相之島石垣									37	
15 別府町石垣									40	
16 八町石垣									41	
17 井上露頭1						14				
18 塩野石垣										26
19 塩野石垣で雪におおわれた部分										20
20 米子							45			
21 明德露頭		43								
22 明德露頭で雪におおわれた部分		35								
23 仁礼露頭1		49								
24 仁礼露頭2		41								
25 井上露頭2						26				
26 綿内露頭1						22				
27 綿内露頭2						18				
28 保科露頭1						18				
29 保科露頭2						29				



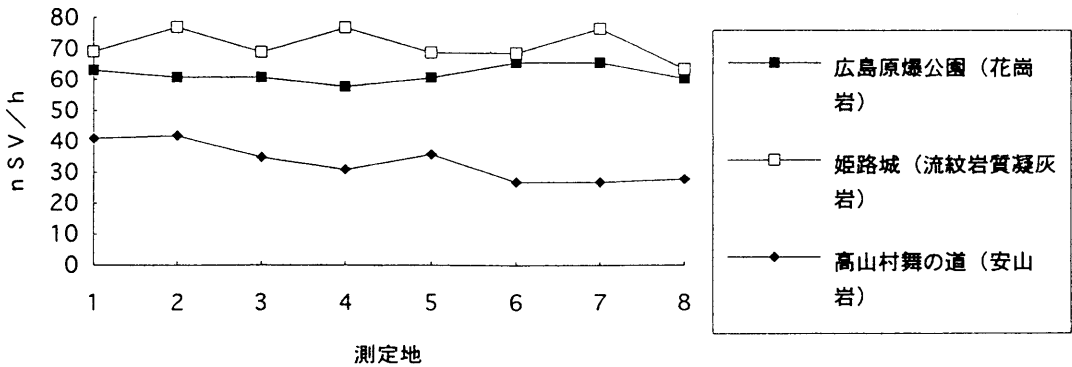


図1：修学旅行での放射能調査

れている。(d)については原因ははっきりわからないが、岩石が著しく変質しており、また測定点が七味温泉の直近であることから、測定点付近に断層破碎帯があり、そこを通過して放射性元素を含む熱水が上昇しているのかもしれない。

### Ⅲ. 教材の構成

本教材は4時間をかけて実践されたものであり、討論や放射能値の測定は3～4人の班単位でおこなった。

教材は大まかに言って次のような全体構成となっている。

#### 第1次—自然放射能への導入

自然放射能についての基礎知識を学び、修学旅行で訪れた広島や姫路と高山村での放射能値の違いの原因について考える。この授業のねらいは自然界にも放射能が存在することを確認し、地質の違いが放射能値の違いをもたらしていることを学ぶことである。

#### 第2次—放射能調査

自然放射能が岩種によってどう違うのかを知るため、学校近辺で「はかるくん」により放射能調査を行う。この授業のねらいは自然放射能を実際に測定することで自然放射能の存在を実感し、また岩種が違っていると放射能値が違ってくることが測定を通して学ぶことである。

#### 第3次—自然放射能と岩種

地学部で集めた自然放射能（「はかるくん」による）のデータと第2次で集めた自然放射能のデータから岩種と自然放射能の関係を推定する。この授業のねらいは岩種と自然放射能の値には一定の規則的な関係があることをグラフの作成などを通して学ぶことである。

#### 第4次—自然放射能と断層

$\alpha$ トラックのデータと測定点の露頭の写真をもとに自

然放射能と断層のような地質構造の関係を推定する。

この第4次は生徒に提示した資料と生徒に求めた考察の間に飛躍があり、また $\alpha$ トラック法の結果から明白に断層を識別できなかったため、この報告からは省略する。

以下、教材の内容を詳しく述べる。

#### 1. 自然放射能への導入

ここでの学習は表2の通りである。この授業では次の事に配慮した。

(a) 放射能についての基礎知識は高校2年の化学と3年の地学で既に学習しているので、簡単な復習にとどめ、放射能は教室内や家の中などどこにでも存在しているということを強調する。

(b) 地質(岩種)により、放射能値が違うということは「関係があるらしい」と指摘する程度にとどめ、その他の原因(人工放射能、標高の違い)により、広島、姫路、高山村の放射能値の違いが生じるのではないということを明確にする。このような間接的な方法をとるのは、地質(岩種)による違いを調べる次時の活動につなげるためである。具体的な方法としては、あらかじめ生徒が放射能値の違いの原因として挙げるであろうものを予想し、それを否定する資料を配布し、説明するという方法をとった。用意した資料は市川(1985)より $^{90}\text{Sr}$ の土壌含有量のグラフと樋口(1991)より飛行機が離陸してから着陸するまで、「はかるくん」で測定した放射能のグラフである。 $^{90}\text{Sr}$ の土壌含有量のグラフは、広島という地名から連想されるであろう原爆の放射能が残っているのではないかという考え方を否定するために用いた。 $^{90}\text{Sr}$ は核爆発由来の人工放射性核種であり、 $^{90}\text{Sr}$ の土壌含量は人工放射能の指標となる。広島の土壌の $^{90}\text{Sr}$ の量よりも長野や札幌のそれの方が多く、広島での放射能値の高さが原爆に由来するものでないことがわかる。

飛行機が離陸してから着陸するまでの放射能のグラフは標高が高くなると放射能値は高くなることを示すために用いた。高度が高くなると宇宙線の量が多くなり、「はかるくん」の示す放射能値も高くなる。一方、修学旅行での「はかるくん」による測定値を見ると、高山村は広島や姫路よりも標高が高いにもかかわらず放射能値が低く、広島・姫路と高山の放射能値の差が標高の違いによるものではないことがわかる。

各班の考えを発表させたところ、地質の違いが原因であるとする班が4班、標高の違いが6班で人工放射能によると考えた班はなかった。標高の違いによると考えた班はいずれも宇宙からの影響は考えておらず、標高が高いとそれだけ地球内部から遠いため、その影響が届きにくくなって、放射能値が減ると考えていた。

表2 第1次の学習

学習内容	学習指導の展開
導入	自然放射能についての講義と資料より次のことについて学ぶ (a)不安定な元素(放射性元素)の原子核が崩壊し、放射線が放出される (b) $\alpha$ 線、 $\beta$ 線、 $\gamma$ 線の各放射線とその透過能力 (c)放射線は自然界のあらゆるところに存在し、したがって放射能は原爆のような人工的なものばかりでなく、自然放射能という形でどこにでも存在する
考察	修学旅行で訪れた広島、姫路、通学区内で生徒に身近な高山村のそれぞれにおいて「はかるくん」で測定した放射能値のグラフから地域によってその値が違うことを学び、何故そのような違いが生じるか、その原因について考える
まとめ	各地の放射能値の違いが地質に起因することを、それ以外の原因を否定してゆくことにより、間接的に学ぶ

## 2. 放射能調査

ここでの学習は表3の通りである。

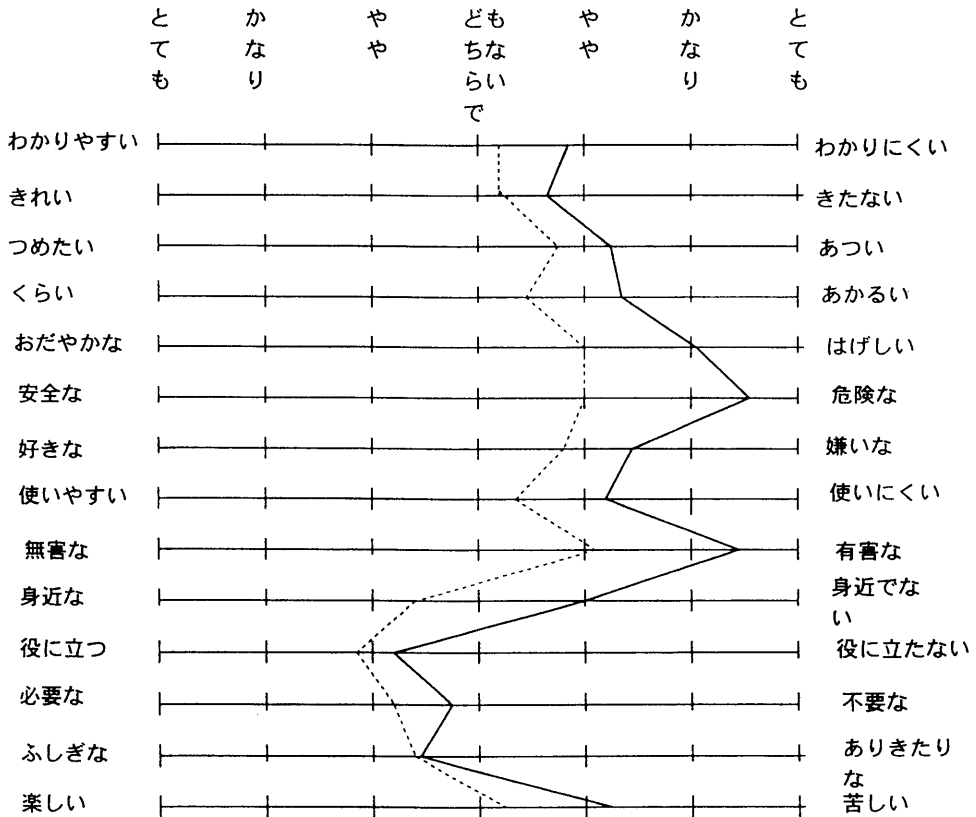
表3 第2次の学習

学習内容	学習指導の展開
導入	放射能測定器「はかるくん」の使い方と放射能値の記録の取り方を教師の説明により知る
測定	図1に示す各測定点の放射能値測定を各班ごとに行う
まとめ	各測定点の放射能値を平均し、記録を提出する。

表4 第3次の学習

学習内容	学習指導の展開
導入	前時に行った自然放射能の調査結果(各班の調査結果を地点別に平均したもの)と地学クラブの調査結果をまとめた表(表1)から各班ごとにグラフを作る
考察	グラフからどのような事が言えるのか、火成岩の分類表も参考にし、各班ごとに考察し、発表する。発表から次のことを知る。 ①火成岩については酸性岩になるにつれ放射能値が大きくなる。 ②雪があると放射能値が低くなる
まとめ	資料と教師によるまとめから次のことを知る。 ①火成岩では酸性岩になるにつれ放射性元素の含有量が増し、放射能値が高くなる ②従って花崗岩などの酸性岩の多い西日本では放射能値が高くなる。広島や姫路で放射能値が高かったのはこのためである。 ③コンクリートは放射性元素が多く含まれているため放射能値が高い。 ④雪上や水上では雪や水が放射線をさえぎるため放射能値が低い。

図2 放射能についてのイメージ (実線は授業前転載は授業後)



3. 自然放射能と岩種

ここでの学習は表4の通りである。

この授業での各班の考察を見ると、七味温泉の安山岩のような例外があるため、岩種と放射能値の関係の一般的傾向を導き出すことはやや難しかったらしく、10個の班のうち、酸性度が高いと放射能値も高くなるという関係を見いだしたのは7つの班、また雪があると同じ場所で測定しても放射能値が低くなると指摘したのは1つの班にとどまった。またこのデータではコンクリートの放射能値が目を引くほど高くなかったため、コンクリートの放射能値の高いことを指摘する班はなかった。そのためコンクリートについては教師のまとめで補足した。

IV. 評価

評価は「放射能」という言葉に対する形容詞一対比較法で行った。評価に使った形容詞は、予備調査で生徒から出された形容詞の中から適切な反対語が存在するものを使用した。同一の形容詞対を授業前・授業後にそれぞれ

示し、5段階の尺度で評定してもらった。各形容詞対と授業前、授業後の評定尺度平均を図7に示す。

それぞれの形容詞対の評定尺度平均について授業前と授業後に有意な差がみられるかどうかt検定(5%水準)を行ったところ、わかりやすい—わかりにくい、あかるい—くらい、はげしい—おだやかな、安全な—危険な、好きな—嫌いな、使いやすい—使いにくい、無害な—有害な、身近な—身近でない、楽しい—苦しいの9つの形容詞対について有意な差があった。つまり本教材を使用することによって、生徒の放射能に対するイメージは、よりわかりやすく、くらく、おだやかで、安全で、好きで、使いやすく、無害で、身近で、楽しいと感じる方向へ変化した。

総じて言うと、授業前には放射能に対して悪いもの、いやなものというイメージが著しく強かったのが、授業後にはその嫌悪感が減少したと見ることができる。このような変化は自然放射能を実際に測定するなどの活動を経た結果もたらされたものであり、生徒の放射能への認

識の深まりを反映したものと思われる。

## Ⅶ. 謝辞

本論文を作成するにあたり、信州大学教育学部の飯島雄一教授にご助言いただいた。また村松久和助教授、飯島南海夫名誉教授、学生の田中英二氏にαトラック法の指導をいただいた。放射線計測協会には「はかるくん」をクラブ活動や授業に長期間貸していただいた。これらの方々に御礼申し上げる。

なおこの研究は文部省の科学研究費補助金（奨励研究（B））を受けている。

## 参考文献

- 1) 飯島南海夫, 堀内公子, 村山悠紀雄「松代温泉地域のラドンと断層について」, 『温泉科学』, 1981, 32巻, 2号, pp. 42-51
- 2) 市川龍資『暮らしの放射線学』, 1985, 電力新報社, p. 135
- 3) 海野和二郎 他『地学ⅠB』, 1994, 東京書籍, p. 312
- 4) 海野和二郎 他『地学Ⅱ』, 1994, 東京書籍, p. 192
- 5) 大森昌衛 他『地学ⅠB』, 1994, 実教出版, p. 207
- 6) 金柿主税, 木下紀正, 三仲啓「環境放射線観測と教育」, 『鹿児島大学教育学部研究紀要特別号』, 1994, pp. 47-55
- 7) 小島丈児 他『地学ⅠB』, 1994, 第一学習社, p. 320
- 8) 小島丈児 他「図解地学ⅠA」, 1995, 第一学習社, p. 159
- 9) 財団法人放射線計測協会『はかるくんの手引き』, 1993, p. 23
- 10) 友田好文 他『地学ⅠB』, 1993, 新興出版社啓林館, p. 311
- 11) 友田好文 他『地学Ⅱ』, 1993, 新興出版社啓林館, p. 175
- 12) 日本原子力文化振興財団『日本とヨーロッパ「エネルギーと環境」に関する生徒の意識調査報告書』, 1993, p. 252
- 14) 樋之口仁「身のまわりの環境放射線について—高校理科における原子力分派の教材化に関する基礎研究の中間報告—」, 『鹿児島県高校理化学会誌』, 1991, 33巻, 38号, pp. 38-47
- 12) 力武常次 他『地学ⅠB』, 1993, 数研出版, p. 319

荻原 彰：高等学校地学における自然放射能に関する授業実践, 地学教育 48巻, 6号, 231~236, 1995年11月

〔キーワード〕 自然放射能, 放射線, 高等学校地学, 形容詞一対比較法

〔要旨〕 長野県須坂市, 高山村, 長野市においてr線計測を行い, その調査結果を利用し, また授業でのγ線計測も取り入れた教材開発を行った。

形容詞一対比較法で評価し, 授業前後で有意な変化が見られた。

Akira OGIWARA: Teaching of Natural Radioactivity in High School Geology. *Educate Earth Sci.*, 48(6), 231~236, 1995

## 資料

# 古流系解析からみた地質学(堆積学)及び地学教育研究史

～その2. スランプ構造及び漣痕～

長沼 幸男\*・長浜 春夫\*\*・照井 一明\*\*\*

第一報で述べたように、古流系解析の研究を内包した堆積学は、ごく一部の大学を除いて、第二次世界大戦終了まで研究及び教育の伝統が存在しなかった。近代地質学は、明治以降欧米から導入され進展してきたが、その中心は層位学・古生物学・岩石学・鉱物学などといった分野であった。それゆえ、1945年以前は、古流系解析はおろか堆積構造の記載すら極めて乏しい状況であった。

このような状況の中で、今回述べるスランプ構造と漣痕については、早くも1920年代にその記載を主題にした論文が発表されており、その意味では我が国の堆積学研究の草分けの意義を有しているといえることができる。

### Ⅲ スランプ構造 (slumping structure) による古流系解析

本稿では、スランプ構造の解析から得られるスランピングの運動方向すなわち地層のすべりの方向もまた古流系の一つとして扱う。

#### 1. スランプ構造とは

海成層や湖成層の成層状態は、必ずしも畳を重ねたように整然となっているとは限らず、上下を正常な地層によって挟まれた単層あるいは単層群オーダーで地層に乱れを生じていることがある。このような乱れた堆積状態を示す地層をスランプ層 (slump bed, 写真1) と呼んでいる。これは、一旦堆積した地層が、水底面の傾斜角の急激な変化や地震の衝撃等の影響を受けて、未固結～半固結状態のまま水底の斜面を一団となってすべり下ったときに形成されると言われている。

スランプ層の内部を観察すると、①地層が波のようなくねりを示しているもの(スランプ褶曲)、②くねりの軸面が一方方向に倒れ横臥褶曲状の形態を示しているもの(スランプ過褶曲)、③地層がバラバラに壊されて偽礫化したもの(スランプボール)など、いろいろなスラン

プ構造を見ることができる。このうち、スランプ過褶曲と呼ばれるスランプ構造は、「褶曲軸面が水底斜面の最大傾斜の方向に倒れる」との前提のもとに、スランピングの運動方向(斜面の傾斜方向)を教えてくれる。

#### 2. スランプ構造の研究史の概要と文献リスト

スランプ層・スランプ構造という名称が広く用いられるようになったのは、おおむね1965年以降で、それ以前は層間異常(異状)とか層間褶曲などと呼ばれていた。

我が国のスランプ層・スランプ構造に関する学術的記載は、房総半島新第三系において植田(1929)により開始された。翌年、早川(1930)は、秩父盆地第三系においてほぼ全域を網羅する形でスランプ層の発達状況を調べ、「秩父盆地第三紀層堆積の途中に於て異常地層を生じたる水中地帯は大凡二大時期に起きたものと推察することが出来る」との結論を得ている。

後年、房総半島のスランプ構造は小池(1953, 1955)や山内(1969)らによって、また秩父盆地のそれはArai and Kanno(1960)や山内(1977, 1979)らによって次々と研究成果が発表されることになるが、植田(1929)や早川(1930)の記載は、まさにそれらに先鞭をつける意義あるものであった。

早川(1930)より後のスランプ構造の研究の進展は、戦後まで待たなければならなかった。1950年代を迎えると、藤原・生越(1950)、林(1951)、池辺(1951)らを始めとする多くの地質学者が、第三紀層を中心に各所で様々な形態のスランプ構造を報告するようになった。これによって、50年代の後半には、もはやスランプ構造は異常(異状)なものではなく、堆積盆地の発達過程のある時期においては、むしろありふれたものでさえあることが広く認識されるようになった。

そして、1960年代に至ると、スランプ構造の形態からスランピングの運動方向が具体的に論じられるようになってるとともに、中・古生層(田中, 1965ほか)や四万十累層群(Katto, 1964ほか)においてもスランプ構造解析が手掛けられるようになった。続く1970年代には、たとえば牡鹿半島の白亜紀層における滝沢(1975)や紀伊半島

\*大宮市立少年自然の家

\*\*大同建設工業株式会社(元地質調査所)

\*\*\*岩手県立総合教育センター

1995年7月21日受付 9月16日受理

- 南部における紀州四万十帯団体研究グループ (1970) の研究にみられるように、スランプ過褶曲の解析から堆積盆地の形態や供給源の方向を推定する試みが積極的になされた。
- しかし、1980年代以降は、付加体、メランジュという概念が急速に広まったために、いわゆる秩父中・古生層や四万十帯層群におけるスランプ構造解析のみの研究は行なわれなくなった。このため、スランプ構造解析の主要な研究対象は、構造的変形度の低い新第三紀層や洪積層に絞られる傾向が顕在化するとともに、論文の数も全体的に減少してきている。
- スランプ層・スランプ構造に関する文献リストは、次のとおり。
- 足立 守・水谷伸次郎, 1971: 美濃帯古生層の sole markings と古流系について. 地質学論集, 6号, 39-48.
- Arai, J., 1957: Preliminary Remarks on some sedimentary structures observed in the Tertiary Formations of the Chichibu Basin, Saitama Prefecture, Japan. *Bull. Chichibu Mus. Nat. Hist.*, no.7, 67-84.
- Arai, J., 1958: Types of the sedimentary structures of the Chichibu Basin, Saitama Prefecture, Japan. *Jubilee Publ. Commem. Prof. Fujimoto, 60<sup>th</sup> Birthday*, 224-231.
- 新井重三, 1967: 五日市盆地第三紀層中にみられる堆積構造の研究. 埼玉大紀要教育学部, 16号, 81-106.
- Arai, J. and Kanno, S., 1960: The Tertiary System of the Chichibu Basin, Saitama Prefecture, Central Japan. *Japan Soc. Prom. Sci.*, 1-396.
- 葦津賢一・岡田博有, 1989: 山口県新第三紀油谷湾層群の堆積学的研究. 九州大理研報 (地質), 16巻, 1号, 1-17.
- 千々和一豊, 1980: 和歌山・三重両県境付近に分布する熊野層群の堆積相 (演旨). 日本地質学会87年大会, 81.
- 遠藤正孝・立石雅昭, 1990: 北部フォッサマグナ, 中新世の難波山海底扇状地の復元. 地質雑, 96巻, 3号, 193-209.
- 藤田至則・陶山国男, 1952: 小櫃川・養老川上流地域の中部鮮新統の堆積機構 (その1) —とくに、地質構造について—. 地質雑, 58巻, 687号, 553-561.
- 藤田至則・陶山国男, 1953: 小櫃川・養老川上流地域の中部鮮新統の堆積機構 (その2) —とくに、地殻変動と地層生成との関連性—. 地質雑, 59巻, 688号, 25-31.
- 藤原 昭・生越 忠, 1950: いわゆる“層間異常堆積”についての一考察. 地質雑, 56巻, 656号, 299.
- 原田哲朗・志岐常正・徳岡隆夫, 1969: 和歌山県切目崎海岸に発達する砂質フリッシュの堆積構造 (その1) —内部堆積構造とBOUMAの模式—. 和歌山大教育紀要 (自然科学), 19集, 31-36.
- 長谷紘和, 1967: 秋田県五城目町北方にみられる船川層中の乱堆積層について (演旨). 地質雑, 73巻, 2号, 105.
- 橋本 亘・菅野三郎・品田 稜・大島一精, 1963: 北海道渡島半島今金一國縫一八雲間の地質, 地質雑, 69巻, 812号, 228-238.
- Hatai, K. and Funayama, Y., 1956: Remarks on the sedimentary structures observed in the Older Miocene marine formation developed in Nishi-Murayama and Nishi-Oitama districts, Yamagata Prefecture, Northeast Honshu, Japan. *Jour. Geol. Soc. Japan*. vol.62, no.726, 139-144.
- Hatai, K., Omori, M., Aoki, S., Sato, T., Ujiie, H., Yabe, Y., Igo, H. and Komatsu, N., 1956: A preliminary note on some sedimentary structures observed in the Cenozoic rocks of Boso Peninsula, Chiba Prefecture, Japan. *Sci. Rept., Tokyo Kyoiku Daigaku, Sec. C*, vol.4, no.33, 185-208.
- 早川千尋, 1930: 秩父盆地第三紀層中に存する水中地. 地質雑, 42巻, 496号, 342-346.
- 林 唯一, 1951: 層間褶曲と揺変性 (主として知多半島第三系内の層間褶曲に関する知見と実験考察) (演旨). 地質雑, 57巻, 670号, 320.
- 林 唯一, 1954: 揺変性層間褶曲について. 愛知学芸大研報, 第三輯, 80-87.
- 林 唯一, 1955: ティクソトロピーに関連する地質現象. 地球科学, 24号, 37-42.
- 林 唯一・桑 浩一・杉江邦一, 1955: 愛知県知多半島南部の中新統について (演旨). 地質雑, 61巻, 718号, 360-361.
- 弘畑佳之・岡村 真・平 朝彦, 1982: 高知県大方町一土佐佐賀町における四万十帯白亜系～古第三系 (演旨). 日本地質学会89年大会, 231.
- 久富邦彦, 1981: 紀伊半島東南部の熊野層群の地質と堆積. 地質雑, 87巻, 3号, 157-174.
- 久富邦彦・三宅康幸, 1979: 潮岬火成複合岩体付近にみられる熊野層群中のスランプ層について (演旨). 日本地質学会86年大会, 129.
- 堀内一利・谷口英嗣, 1985: 三浦半島南部の新第三系 (その2) (演旨). 日本地質学会92年大会, 122.
- 保柳康一, 1989: 埋積と前進に伴うタービダイトの岩相

- 変化—中部北海道・中部中新統古丹別層一, 地質雑, 95巻, 7号, 509—525.
- 保柳康一・大上拓男, 1986: 海底チャネルによるタービダイトと関連粗粒岩の形成—中央北海道・中部中新統古丹別層一. 地質雑, 92巻, 12号, 855—870.
- 飯島祥二・造田 誠・山内靖喜・三梨 昂, 1984: 房総半島西部上総層群十宮層中のチャネル構造及び乱堆積構造について (演旨). 日本地質学会91年大会, 139.
- 池辺展生, 1951: いわゆる層間異常についての考察 (演旨). 地質雑, 57巻, 670号, 320.
- 池谷仙之・植松健児, 1968: 瀬棚層と黒松内層との関係について—北海道渡島半島八雲・今金・瀬棚地域の地質一. 地質雑, 74巻, 1号, 21—36.
- 井宮 裕, 1982: 三国山付近の和泉層群の堆積学的研究 (演旨). 日本地質学会89年大会, 304.
- 井宮 裕, 1984: 和泉山脈三国山付近の和泉層群の堆積学的研究 (演旨). 日本地質学会91年大会, 217.
- 井上寛生・片平忠実, 1967: 北蒲原地域に発達する乱堆積層 (演旨). 石油技誌, 32巻, 5号, 303.
- 石上知良・紀州四万十帯団体研究グループ, 1979: 紀伊半島南部海岸地域, 見老津—日置川間の牟婁層群について (演旨). 日本地質学会86年大会, 128.
- 磯見 博・長浜春夫, 1965: 対馬北端の海老島に見られる鮮新統と対州層群との不整合関係—対州層群の時代論に関する—資料—. 地質雑, 71巻, 832号, 32—35.
- Ito, M., 1985: The Nakatsu Group: a Plio-Pleistocene transgressive nearshore to slope sequence embracing multiple slump scars in southeastern margin of the Kanto Mountains, central Honshu. *Jour. Geol. Soc. Japan.* vol.91, no.3, 213—232.
- 伊藤谷生, 1977: 秋田県二ッ井付近七座背斜の成長と堆積環境の解析. 地質雑, 83巻, 8号, 509—521.
- 岩井淳一, 1953: 亀ノ尾層に見られる層間異常. 東北大地質古生物教室研邦文報, 42号, 1—22.
- 岩田尊人, 1984: 徳島県上那賀町・海南町付近の四万十果層群の層序・構造 (演旨). 日本地質学会91年大会, 165.
- 鎌田耕太郎, 1980: 南部北上山地唐桑半島周辺の三疊系稲井層群 (その2) —大沢層にみられる層間異常について—. 地質雑, 86巻, 11号, 713—726.
- 鎌田耕太郎, 1981: 宮城県登米町付近にみられる稲井層群中の海底地滑り堆積物 (演旨). 日本地質学会88年大会, 225.
- 菅野三郎, 1966: スランプ構造. 地質学ハンドブック, 朝倉書店, 115—119.
- 菅野三郎・新井重三, 1964: 五日市盆地の第三系について, 秩父自然科博研報, 12号, 1—14.
- 菅野三郎・橋本 亘, 1964: 北海道朱鞠内〜添牛内付近の新生界 (演旨). 地質雑, 70巻, 826号, 403.
- 菅野三郎・小川 久, 1963: 北海道夕張市紅葉山一滝の上付近の第三系, 地質雑, 69巻, 813号, 262—278.
- 桂 雄三, 1980: 三浦半島南部中新統中の海底地すべり堆積物 (演旨). 日本地質学会87年大会, 180.
- Katto, J., 1961: Sedimentary structures from the Shimanto Terrain, Shikoku, Southwest Japan. *Res. Rept. Kochi Univ. (Nat. Sci. I)*, vol.10, no.6, 1—8.
- Katto, J., 1964: Some sedimentary structures and problematica from the Shimanto Terrain of Kochi Prefecture, Japan. *Res. Rept. Kochi Univ. (Nat. Sci. I)*, vol.13, no.6, 45—58.
- 甲藤次郎・有田正史, 1965: 室戸半島の地質 (その1). 高知大学術研報 (自然科学I), 15巻, 59—63.
- Kiminami, K., 1975: Sedimentology of the Nemuro Group (Part I). *Jour. Geol. Soc. Japan.* vol.81, no.4, 215—232.
- 君波和雄, 1975: 根室層群の堆積学的研究 (その2) —根室層群厚岸層のフリッシュ型砂岩のX線による透過観察—. 地質雑, 81巻, 11号, 697—708.
- 君波和雄, 1976: 根室層群の堆積学的研究 (その4) —下部厚岸部層から中部厚岸部層にかけての後背地の変化について—. 地質雑, 82巻, 12号, 773—782.
- Kiminami, K., 1983: Sedimentary history of the late Cretaceous-Paleogene Nemuro Group, Hokkaido, Japan: a forearc basin of the Paleo-Kuril arc-trench system. *Jour. Geol. Soc. Japan.* vol.89, no.11, 607—624.
- 紀州四万十帯団体研究グループ, 1969: 紀伊半島南部海岸地域の層序と構造—紀伊半島四万十果帯の研究 (その3) —. 和歌山大教育紀要 (自然科学), 19集, 19—29.
- 紀州四万十帯団体研究グループ, 1970: 紀伊半島南部海岸地域の牟婁層群の堆積学的・古生物学的研究—紀伊半島四万十果帯の研究 (その4) —. 和歌山大教育紀要 (自然科学), 20集, 75—102.
- 小池 清, 1953: 層間異常の地史的意義について, 堆積学研究, 5号, 2—3.
- 小池 清, 1955: いわゆる層間異常の地史的意義について. 地質雑, 61巻, 723号, 556—582.
- 小島伸夫, 1980 a: 三浦半島南西部の三崎累層にみられる乱堆積層について (第1報). 地質雑, 86巻, 5号, 313—326.
- 小島伸夫, 1980 b: 三浦半島南西部の三崎累層にみられ

- る乱堆積層について (第2報). 地質雑, 87巻, 4号, 197—210.
- 小松直幹・大森隆一郎, 1956: 層間異常の一つについて. 堆積学研究, 13号, 1—6.
- 久保誠二・角田寛子, 1970: 群馬県南西部に分布する神戸砂泥互層の砂岩. 地質雑, 76巻, 7号, 337—346.
- Makiyama, J., 1954: Syntectonic construction of geosynclinal neptons. *Mem. Coll. Sci., Univ. Kyoto, Ser. B*, vol. 21, no.2, 115—125.
- 松本 良・片山哲哉・飯島 東, 1985: 伊豆半島南部下田周辺の地質の再検討—堆積盆の変遷, 火成活動と熱水変質作用—. 地質雑, 91巻, 1号, 43—63.
- 三梨 昂・垣見俊弘, 1965: 異常堆積層の2つのタイプとその意義について (演旨). 地質雑, 71巻, 838号, 370—371.
- 宮崎 浩・阿竹彦彦, 1968: 男鹿半島鮪川層砂岩中の堆積微構造について (演旨). 地質雑, 74巻, 2号, 141—142.
- 茂木 睦, 1969: 長野県浜横川マンガン鉱床の逆転層序と乱流による鉱床の変形. 鉱山地質, 19巻, 93号, 1—8.
- 武藤鉄司, 1985: 掛川地域の更新統から発見された化石海底チャンネル. 地質雑, 91巻, 7号, 439—452.
- 長浜春夫, 1970: 天草上島にみられる古流系 (演旨). 地質雑, 76巻, 2号, 89.
- 長浜春夫, 1983: 長崎県対馬の古地理 (演旨). 日本地質学会90年大会, 243.
- 長浜春夫・長沼幸男・西川正己, 1973: 対馬鹿見地域にみられる対州層群のスランプ構造 (演旨). 日本地質学会80年大会, 126.
- 長浜春夫・坂井 卓, 1972: 鹿児島県屋久島の四万十果層群の堆積構造. 地調月報, 23巻, 8号, 1—11.
- 長浜春夫・章 基弘, 1979: 対馬対州層群中の赤色礫岩の供給源 (韓国白亜系の関係) (演旨). 地調月報, 30巻, 4号, 261—262.
- 長沼幸男・長浜春夫, 1981: 島根県中部, “大田湾入部”南縁の波多層の古流向. 日本地質学会88年大会, 240.
- 成瀬 洋, 1954: 豊房累層の堆積環境—房総南端その2—. 地質雑, 60巻, 708号, 388—399.
- 成瀬 洋・杉村 新・小池 清, 1951: 房総南端—新第三紀層—. 地質雑, 57巻, 675号, 511—525.
- 西田彰一・津田禾粒・長谷川義行・永田 聡・篠原興弥, 1966: いわゆる難波山層の堆積構造—いわゆる難波山層に関する研究 (その2)—. 新潟大地質鉱物教室研報, 1号, 15—20.
- 西田彰一・津田禾粒・篠原興弥・永田 聡, 1967: 新潟盆地の新第三系中に発達する互層に関する考察 (演旨). 地質雑, 73巻, 2号, 103.
- 仁科良夫・島田安太郎, 1962: 木曾谷・滝越湖成層 (演旨). 地質雑, 68巻, 802号, 423—424.
- 岡 孝雄, 1979: 北海道東部・豊頃丘陵南部地域の第三系の地質および構造 (演旨). 日本地質学会86年大会, 97.
- 岡田博有・柴田秀道・辰巳洋治郎・鍋倉直哉, 1971: 対馬北部の地質. 鹿児島大理報, 20号, 13—31.
- 大森隆一郎・小松直幹, 1958: 房総半島の鮮新統中の層間異常の1, 2について. 藤本治義教授還暦記念論文集, 202—208.
- 坂 靖範・三梨 昂・山内靖喜, 1989: 深層型地入り層のスケールモデル実験 (演旨). 日本地質学会96年大会, 409.
- 佐々木清隆・牛島信義, 1966: 新潟県東山油帯の椎谷層および西山層に発達する級化砂岩の堆積学的研究. 岩鉱, 56巻, 4号, 161—182.
- Shibata, T., 1961: A interesting sedimentary structure observed in the Tomiya-Nakakita area in the north of Sendai City, Miyagi Prefecture. *Sci. Rept. Tohoku Univ., 2 Ser. (Geol.)*, vol.32, no.2, 273—281.
- Shibata, T., 1962: Pyroclastic ruggle flow in the Yumoto Tuff Member, Miyagi Prefecture. *Sci. Rept. Tohoku Univ., 2 Ser. (Geol.)*, Spec., vol.5, 293—302.
- 島田昱郎, 1955: 古湖盆の堆積学研究 (第1報)—鬼首湖成層の堆積状態について—. 地質雑, 61巻, 716号, 218—226.
- 塩原鉄郎・松橋正昭, 1971: 八戸市西方の鮮新統正法寺層の乱堆積 (演旨). 日本地質学会78年大会, 123.
- 徐 垣, 1980: 富士川層群身延累層の堆積学的研究 (演旨). 日本地質学会87年大会, 178.
- 徐 垣, 1985: 富士川層群身延累層中にみられる古海底チャンネルの堆積相とその形成過程. 地質雑, 91巻, 2号, 87—107.
- 菅 清規・伊藤俊弥・高橋敏夫・大森吉蔵, 1972: 花岡鉱山, 松峰鉱床の海底熱水性噴気堆積鉱床としての全体像, 鉱山地質, 22巻, 3号, 225—249.
- 杉山雄一, 1979: 大井川層群の海底地すべり堆積物—瀬戸川層群起源の異地性角礫岩体について (演旨). 日本地質学会86年大会, 211.
- 須鎗和己・坂東祐司・波田重熙, 1969: 四国東部の秩父累帯古生界の構造—とくに深層断面について—. 徳島大教養紀要 (自然科学), 3巻, 9—18.



- 鈴木博之, 1975: フリッシュ中のスランプ過“褶曲”(演旨). 日本地質学会82年大会, 76.
- 鈴木一久, 1977: 北部フォッサマグナ地域中央部における新第三系, 青木・小川・柵累層の古流系と堆積相. 地質雑, 83巻, 12号, 783-793.
- 高木 孝, 1972: 層間異常と上下のフリッシュ (演旨). 日本地質学会79年大会, 179.
- 滝沢文教, 1968: 牡鹿層群のジュラ系と白亜系 (演旨). 地質雑, 74巻, 2号, 94.
- 滝沢文教, 1974: 唐桑・牡鹿の上部ジュラ系フリッシュ様堆積物 (演旨). 日本地質学会81年大会, 148.
- 滝沢文教, 1975: 南部北上牡鹿半島の白亜紀層の堆積. 地調月報, 26巻, 6号, 1-39.
- 滝沢文教, 1976a: 南部北上帯中生界の構造発達史に関する若干の問題. 地研第30回総会シンポジウム「日本列島地質構造発達史」資料集, 34-38.
- 滝沢文教, 1976b: 南部北上牡鹿半島のジュラ系にみられる河川成堆積サイクル. 地質雑, 82巻, 10号, 625-642.
- 棚部一成, 1972: 宇和島地方の白亜紀層. 地質雑, 78巻, 4号, 177-190.
- 田中啓策, 1965: 和泉山脈中部の和泉層群, とくにその堆積相と堆積輪廻について, 地調報告, 212号, 1-33.
- 田中啓策, 1970: 茨城県那珂湊海岸の上部白亜紀タービダイト層. 地調月報, 21巻, 10号, 13-27.
- 田中啓策・角 靖夫, 1981: 北海道中軸帯白亜系の古流系. 地調月報, 32巻, 2号, 65-114.
- 田中啓策・寺岡易司, 1973: 鹿児島県甌島の上部白亜系姫浦層群. 地調月報, 24巻, 4号, 1-28.
- 寺岡易司, 1970: 九州大野川盆地付近の白亜紀層. 地調報告, 237号, 1-84.
- 津田禾粒・永田 聡, 1969: 新潟県下の新生界中に発達するフリッシュ型互層に関する諸問題—いわゆる難波山層に関する研究(その4)—. グリータフに関する諸問題(日本地質学会第76年学術大会総合討論会資料), 275-282.
- 植田房雄, 1929: 上総新第三紀層中の層間異状堆積. 地質雑, 36巻, 429号, 288-289.
- 渡辺拓哉, 1983: 房総半島, 大田代層の泥勝ち互層中の一乱堆積層について (演旨). 日本地質学会90年大会, 259.
- Yagishita, K., 1973: Dimensional orientation of sand grains in convolute lamination. *Jour. Geol. Soc. Japan.* vol.79, no.6, 381-390.
- 山内靖喜, 1964: 房総半島新第三系にみられる1・2の小構造 (演旨). 地質雑, 70巻, 826号, 396-397.
- 山内靖喜, 1969: 層間異常層の構造解析. 地質雑, 75巻, 6号, 293-302.
- 山内靖喜, 1977: 秩父盆地の中新統内の乱堆積構造 その1 形態. 地質雑, 83巻, 8号, 475-489.
- 山内靖喜, 1979: 秩父盆地の中新統内の乱堆積構造 その2, 古海底地形. 地質雑, 85巻, 10号, 613-625.
- 山内靖喜・垣見俊弘・三梨 昂, 1968: いわゆる層間異状について. 日本地質学会第75年年会地質見学案内書, 36-41.
- 山内靖喜ほか(地層変形研究グループ), 1965: 層内変形層の解析—S l u m p構造について (演旨). 地質雑, 71巻, 838号, 371.
- 山内靖喜・三梨 昂・飯島祥二・片岡信将, 1983: 神奈川県三浦半島南端にみられるいわゆるスランプ構造について (演旨). 日本地質学会90年大会, 257.
- 山内靖喜・三梨 昂・片岡信将, 1982: 三浦半島南部および城ヶ島の三崎累層中のスランプ構造 (演旨). 日本地質学会89年大会, 297.
- Yamauchi, S., Mitsunashi, T. and Okubo S., 1990: Growth pattern of the Early Pleistocene Higashi-higasa Submarine Channel, Boso Peninsula, central Japan. *Jour. Geol. Soc. Japan.* vol.96, no.7, 523-536.
- 山内靖喜・友利彦彦・三梨 昂, 1989: 上総層群中の長浜チャネルの構造 (演旨). 日本地質学会96年大会, 318.
- 山崎博史・上田哲郎・飯島祥二・山内靖喜, 1985: 広島県三次市南部の備北層群中にみられるスランプ構造について (演旨). 日本地質学会92年大会, 101.
- 八尾 昭, 1983: 紀伊由良地域の秩父帯南部・四万十帯北縁の中生層 (演旨). 日本地質学会90年大会, 175.
- 吉谷昭彦・山内靖喜・安藤善之, 1982: 照来層群春來泥岩層にみられる乱堆積構造. 鳥取大学教育学部研報, 31巻, 2号, 85-95.

### 3. 地学教育面からみたスランプ構造の研究小史

スランプ層・スランプ構造なるものが最初に一般の人人の目に触れたのは, 地質ニュースに掲載された三梨・垣見(1964)の「いわゆる異常堆積について」と題する解説文であろう。「いわゆる」という言葉を冠したところがいかにも一般向けらしい。彼らは, 異常堆積を表層地すべり型(単層オーダーの変形)と深層地すべり型(単層群オーダーの変形)に大別し, それぞれの実例を多数の写真やスケッチを付して紹介した。同著の最後の項には, 「深層地すべり型の異常層は, 堆積盆内におけ

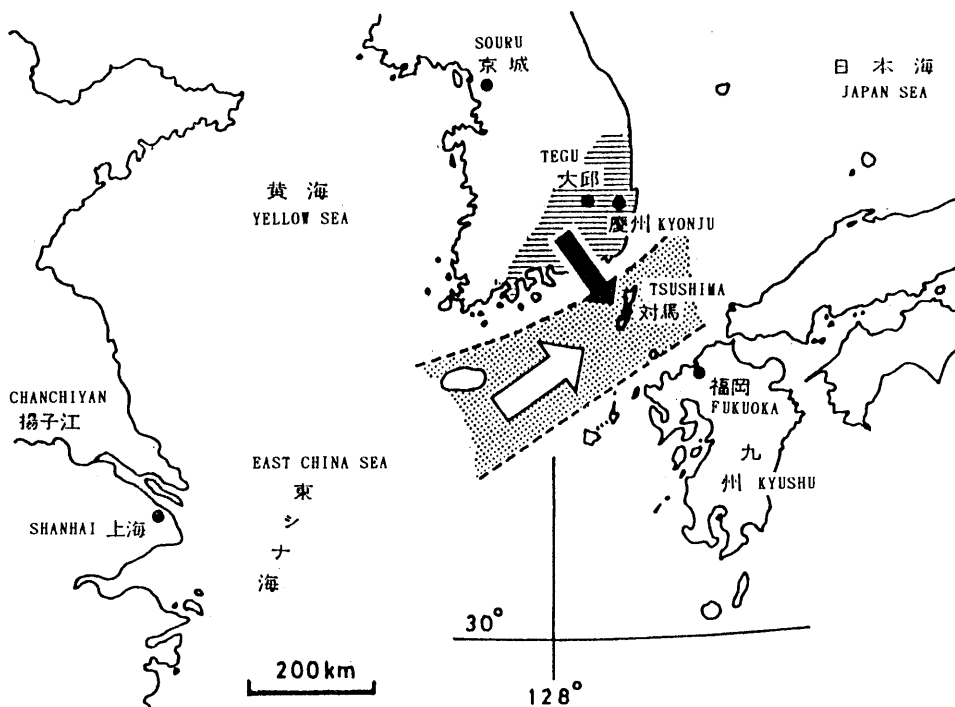
る沈降の中心が変位する（づれる）という運動の型式を具体的に表現したものであり、それを起こした沈降運動は、ひきつづき次の時期の地層の発達を規制している」とみることができる」との一節がゴシック書きされているが、このような指摘は地質の入門者には大変参考になるものであった。

ところが、その後しばらくは、スランブ構造を教育の舞台に登場させる試みは頓挫してしまった。その主因は、測定の仕方や堆積時への復元の操作が学生・生徒には難しいと判断されたためである。実際、変形している地層の、どこを、どのように測ればよいのか理解にいくいうえ、堆積時への復元操作もステレオネット（ウルフ網）を用いた複数の過程を経なければならない。さらに、地質の研究者の中には、ユニバーサルクリノメーターという学生・生徒にはほとんど馴染みのない測定器具を使う人も多く、スランブ構造の教育場面での取り掛かりを一層困難にした可能性がある。

かなりの時間が経過した後、長沼・長浜（1981）が、

本誌において「堆積盆解析の一方法 —スランブ構造の例—」と題する論文を著した。この当時、スランブ層については、「たいせきした層が沖のほうにすべって移動する場合もある」（昭和56年度用中学校理科第二分野下、大日本図書）というように中学校の教科書に載っていたこともあって、決して難しい地質現象ではないとみなされたからであった。長沼らは、スランブ過褶曲を例に、①野外において観察・測定すべき要素を具体的な例をあげて示し、②難しいとされていたステレオネットによる堆積時への復元操作を10コマの図を用いて順を追って表し、③九州対馬の対州層群において解析したすべりの方向とその解釈の一例を概念図（第4図）を添えながら解説した。そして、「スランブ層は、中生層や第三紀層を中心に、日本の多くの地域で観察されるので、高等学校の地学クラブの研究として、あるいは地質学の入門者が訓練の一環として取り組むには良い教材となる。」との結語をもって締めくくった。

後年、この試みを土台に、長沼らは、本誌において、



第4図 対州層群堆積時の古流系概念図（長沼・長浜，1981）

黒矢印はスランブ層の解析から推定される砕屑物の供給方向，白矢印はソールマーク等が示す中軸流の方向，横線部は中生代白亜紀陸成層の分布域，網部は対州層群堆積当時の堆積盆の広がり。

より簡易なスランプ過褶曲の測定及び堆積時への復元法を提示した(長沼ほか, 1984; 長沼・長浜, 1989)。

地学教育面におけるスランプ構造関係の文献は、次のとおり。

三梨 昂・垣見俊弘, 1964: いわゆる異常堆積について, 地質ニュース, 117号, 8-14.

長沼幸男・長浜春夫, 1981: 堆積盆解析の一方法 — スランプ構造の例一. 地学教育, 34巻, 3号, 63-70.

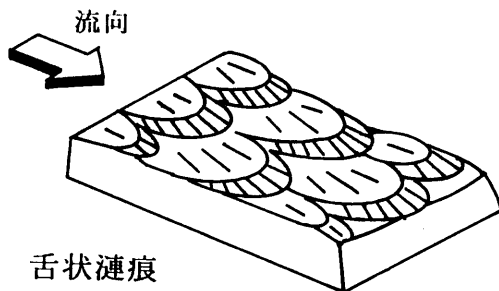
長沼幸男・長浜春夫, 1989: 神奈川県城ヶ島付近における地学実習コース(その3) — 古流系の面的解析例を中心をとした地質教材一. 地学教育, 42巻, 4号, 151-165.

長沼幸男・長浜春夫・斎藤洋彦, 1984: 神奈川県城ヶ島付近における地学実習コース(その2) — 城ヶ島西海岸地域の地質教材一. 地学教育, 37巻, 5号, 145-154.

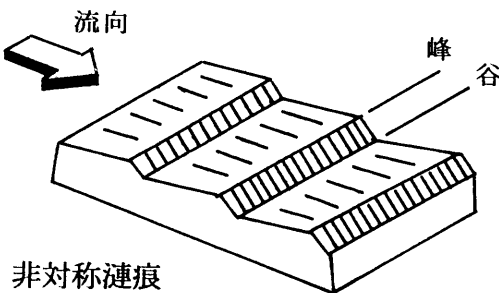
#### IV 漣痕(ripple mark)による古流系解析

##### 1. 漣痕とは

砂層の表面を水あるいは空気が流れると、表層部の砂粒が横方向に移動し、漣痕と呼ばれる周期的な模様作られる。漣痕は、砂粒を動かす営力の違いや平面的な形



舌状漣痕



非対称漣痕

第5図 舌状漣痕と非対称漣痕の模式図

態の違いによっていくつかの型に分けられているが、古流系解析の手段としてよく用いられるものは舌状漣痕と非対称漣痕である(第5図)。

舌状漣痕(写真2)は、文字が示すように平面的な形態が舌によく似ている。この型の漣痕は、舌の突き出ている方向が水流の方向を示す。

非対称漣痕は、ほぼ直線上に延びる峰と谷が交互に繰り返す。水流の向きは、峰(谷)の延びの方向に直角で、かつ峰から谷へ向かう斜面が急傾斜する方向である。

##### 2. 漣痕の研究史の概要と文献リスト

日本人による漣痕の記載は、早くも1926年に脇水によってなされ、続く1930年代にはOgura(1930)、門田(1932)及び大石(1935)らが優れた研究を行った。

1940年代には見るべき業績はないが、1950年代に入ると甲藤(1952)、深田・生越(1952)、早坂(1953)等の手によって再び記載学的研究が進められた。

さて、漣痕から古流系を論じた最初の論文は、沢田(1954)である。彼は、佐世保炭田の古第三系において漣痕により流向を推定し、これと岩相図を組み合わせると地史的議論を展開するという画期的な研究を行った。その後、武井(1962)はこの種の研究を中生層に、またIwai(1962)は第四紀層に、更に長浜(1970)は現世堆積層にそれぞれ広げた。

一方、長浜ほか(1968)は、多数の図及び写真を示しながら、「水流漣痕と他の初生的堆積構造の流向には45~90°の違いがある」と指摘し、「両者の野外および理論的な室内実験の詳細な観察と考察が望ましい」との問題提起をした。

これらの研究を踏まえ、以後全国各地で数多くの漣痕に基づく古流系解析が行われているが、1980年以降は堆積相解析(後掲)の視点から他の堆積構造と組み合わせた総合的な取り扱いが主流をなしている。

一方、古流系解析の基礎となる実験堆積学的研究であるが、この分野では野満ほか(1943)が先駆をなし、続いて木村(1954)、庄司(1955)及び林(1958)らが発展させた。

漣痕に関する文献リストは、次のとおり。

新井房夫・武井規明・細谷 尚・林 信悟・高橋 冽, 1958: 山中地溝帯で発見された化石漣痕について—その記載と一考察—. 地球科学, 40号, 1-12.

Arai, J., 1957: Preliminary remarks on some sedimentary structures observed in the Tertiary Formations of the Chichibu Basin, Saitama Prefecture Japan. *Bull. Chichibu Mus. Nat. Hist.*, no.7, 67-84.

Arai, J., 1959: Cylindrical structures in the Tertiary sedi-

- ments of the Chichibu Basin, Saitama Prefecture, Japan. *Bull. Chichibu Mus. Nat. Hist.*, no.9, 61-66.
- Arai, J. and Kanno, S., 1960: The Tertiary System of the Chichibu Basin, Saitama Prefecture, Central Japan. *Japan Soc. Prom. Sci.*, 1-396.
- 葦津賢一・岡田博有, 1989: 山口県新第三紀油谷湾層群の堆積学的研究. 九州大理研報 (地質), 16巻, 1号, 1-17.
- Chijiwa, K. and Tomita, S., 1981: Sedimentary environments of the main part of the Kumano Group (A study of the Tertiary formations of the Kumano Coal-field in the Kii Peninsula, southwest Japan, Part2). *Mem. Fac. Sci., Kyushu Univ., Ser. D. Geol.*, vol. XXIV, no.4, 281-297.
- 遠藤正孝・立石雅昭, 1990: 北部フォッサマグナ, 中新世の難波山海底扇状地の復元. 地質雑, 96巻, 3号, 193-209.
- 深田淳夫・生越 忠, 1952: 高知県三崎町千尋岬林における漣痕についての一考察, 地質雑, 58巻, 677号, 63-70.
- 原田哲朗・志岐常正・徳岡隆夫, 1969: 和歌山県切目崎海岸に発達する砂質フリッシュの堆積構造 (その1) —内部堆積構造とBOUMAの模式—. 和歌山大教育紀要 (自然科学), 19集, 31-36.
- Hatai, K., 1960: A rill-mark observed along the Nobiru Beach, Mono-gun, Miyagi Prefecture. *Saito Ho-on kai Mus. Res. Bull.*, no.29, 28-30.
- 早坂一郎, 1953: 漣痕についての観察. 北海道地要, 24号, 21-24.
- 林 唯一, 1958: 漣痕のできかた. 藤本治義教授還暦記念論文集, 410-415.
- 平山次郎・中嶋輝允, 1971: Turbidites deposition cone について (演旨). 日本地質学会78年大会, 124.
- 久富邦彦, 1981: 紀伊半島東南部の熊野層群の地質と堆積. 地質雑, 87巻, 3号, 157-174.
- Ikeda, H. and Masuda, F., 1981: Deformation of the coastal terrace by active folding in the Teshio area, Northern Hokkaido. *Ann. Rep. Inst. Geosci., Univ. Tsukuba*, no.7, 30-32.
- Ikehara, K., 1993: Modern sedimentation in the shelf to basin areas around southwest Japan, with special reference to the relationship between sedimentation and oceanographic conditions. *Bull. Geol. Surv. Japan*. vol. 44, no.5, 283-349.
- 池原 研・木下泰正・西村清和・中村光一・川幡穂高, 1988: 大隈海峡にみられるベッドフォームの形態と分布. 地調月報, 39巻, 2号, 95-113.
- Iwai, J., 1962: Sedimentary structures observed in the Hanaizumi Formation, Iwate Prefecture, Northeast Japan. *Sci. Rept. Tohoku Univ., 2 Ser. (Geol.)*, vol.34, no.5, 279-292.
- 門田重行, 1932: 大連付近の漣痕と其の層位学的意義. 地質雑, 39巻, 471号, 759-771.
- 鎌田耕太郎, 1984: 南部北上山地宮城県津谷地域の中中部三畳系風越層の堆積環境. 地質雑, 90巻, 12号, 875-888.
- 蟹江康光, 1969: 三浦半島, 佐島の北方, 秋谷の第三系にみられる堆積構造. 横須賀博研報 (自然科学), 15号, 37-43.
- Katsura, Y., Masuda, F. and Obata, I., 1984: Storm-dominated shelf sea from the Lower Cretaceous Choshi Group, Japan. *Ann. Rep. Inst. Geosci., Univ. Tsukuba*, no.10, 92-95.
- 桂 雄三・増田富士雄・岡崎浩子・牧野泰彦, 1985: 筑波台地周辺の第四系中にみられるストーム堆積物の特徴, 筑波の環境研究9, 56-62.
- 甲藤次郎, 1952: 四国外帯の時代未詳層群に関する研究第3報 高知県幡多郡清水町及び三崎町付近に於ける新観察—(其の一) 特に地層面の形態について—〔附〕その他の地域で観察される2, 3の地層面について. 高知大学術研報(自然科学I), 1巻, 11号, 1-8.
- 川村由香里・増田富士雄, 1985: 古東京湾口のサンドウェーブ (演旨). 日本地質学会92年大会, 249.
- 河村由香里・増田富士雄, 1986: 古東京湾, 潮流口のサンドウェーブ (演旨). 日本地質学会93年大会, 299.
- 木村春彦, 1954: 堆積機構の基礎的研究 (その5) —波状堆積について—. 地質雑, 60巻, 711号, 505-516.
- 木村公志, 1978: 高知県南西部四万十帯古第三系の堆積学的研究 (演旨). 日本地質学会85年大会, 213.
- 木村公志, 1985: 四国南西部の第三系清水層および三崎層の層序および堆積相. 地質雑, 91巻, 12号, 815-831.
- 木村公志, 1987: 四国南西部の三崎層に発達する浅海成砂岩層の堆積様式 (演旨). 日本地質学会94年大会, 339.
- 紀州四万十帯団体研究グループ, 1969: 紀伊半島南部海岸地域の層序と構造—紀伊半島四万十帯帯の研究 (その3) —. 和歌山大教育紀要 (自然科学), 19集, 19-29.
- 紀州四万十帯団体研究グループ, 1970: 紀伊半島南部海

- 岸地域の牟婁層群の堆積学的・古生物学的研究—紀伊半島四十累帯の研究(その4)—。和歌山大教育紀要(自然科学), 20集, 75—102.
- 久保誠二・角田寛子, 1973: 群馬県高崎市西方に分布する板鼻層の堆積サイクル。地質雑, 79巻, 10号, 687—697.
- 黒川和美, 1972: 紀伊半島南部海岸地域牟婁層群のフリッシュに見られる単層内部堆積構造。地球科学, 26巻, 6号, 235—242.
- 牧野泰彦・川村由香里・増田富士雄, 1986: 古東京湾の潮流口堆積物中のウェーブリップル。茨城大学教育学部紀要(自然科学), 35号, 65—72.
- 牧野泰彦・増田富士雄, 1986a: 霞ヶ浦北東岸の成田層に見られるウェーブデューン。茨城大学教育学部紀要(自然科学), 35号, 73—84.
- 牧野泰彦・増田富士雄, 1986b: 古東京湾のメガリップル(演旨)。日本地質学会93年大会, 298.
- 牧野泰彦・増田富士雄・岡崎浩子, 1985: 茨城県に分布する下総層群中のウェーブリップル。茨城大学教育学部紀要(自然科学), 34号, 35—55.
- 増田富士雄・岡崎浩子, 1983: 筑波台地およびその周辺台地の第四系にみられる方向を示す構造。筑波の環境研究7, 99—110.
- 増田富士雄・須崎和俊, 1984: 未固結砂の定方位薄片作製とその堆積学的意義。筑波大学水理実験センター報告, 8号, 17—28.
- 目加田義正・新妻信明・平朝彦, 1970: 自動粒度分析法による砂泥互層中の砂岩層粒度解析(演旨)。地質雑, 76巻, 2号, 88.
- 三梨 昂・影山邦夫・鈴木尉元・平山次郎, 1970: 新潟堆積盆地の構造地質学的研究(その4)—堆積構造—(演旨)。日本地質学会77年大会, 192.
- 宮田雄一郎, 1994: リップル発生の数理モデル(演旨)。日本地質学会101年大会, 138.
- 宮田雄一郎・山村恒夫・古田土俊夫・徳橋秀一, 1989: 淡水性デルタの形成過程—琵琶湖愛知川デルタを例として—1. 現在の堆積環境。地質雑, 95巻, 3号, 209—225.
- 武蔵野実・中村雅利, 1975: 京都市北方雲ヶ畑地域の砂岩の鉱物組成と古流向(演旨)。日本地質学会82年大会, 266.
- 長浜春夫, 1965: 斜層理からみた北西九州第三紀層の堆積。地調報告, 211号, 1—66.
- 長浜春夫, 1967a: 宍島島勝本層の古流系(演旨)。地質雑, 73巻, 2号, 124.
- 長浜春夫, 1967b: 対州層群の古流系。佐々保雄教授還暦記念論文集, 135—147.
- 長浜春夫, 1967c: 堆積構造からみた古流系の研究史。堆積学に関する諸問題(日本地質学会1967年学術大会討論会資料), 159—163.
- 長浜春夫, 1970: 洪水による現成の斜層理と連痕の考察。地調月報, 21巻, 10号, 29—35.
- 長浜春夫, 1972: 白亜紀銚子層の古流向。地調月報, 23巻, 11号, 21—29.
- 長浜春夫・広川 治・遠田朝子, 1968: 堆積構造からみた古流系の研究史—付 古流向図と堆積構造の写真—。地調月報, 19巻, 1号, 1—17.
- 長浜春夫・長沼幸男, 1972: 対州層群の砂岩泥岩互層中にみられる舌状連痕の古流向(演旨)。日本地質学会79年大会, 189.
- 長浜春夫・大嶋和雄, 1974: 与那国島の八重山層群にみられる堆積構造(演旨)。日本地質学会81年大会, 202.
- 長浜春夫・坂井 卓, 1972: 鹿児島県屋久島の四十累層群の堆積構造。地調月報, 23巻, 8号, 1—11.
- 中嶋輝允, 1977: タービダイト砂粒子の定向配列—実験的研究と野外資料への適用—。地質雑, 83巻, 10号, 617—629.
- 中山尚美・増田富士雄, 1987: 房総半島, 更新統上総層群市宿層の海流堆積相。地質雑, 93巻, 11号, 833—845.
- 西田彰一・津田禾粒・長谷川義行・永田 聡・篠原興弥, 1966: いわゆる難波山層の堆積構造—いわゆる難波山層に関する研究(その2)—。新潟大地質鉱物教室研報, 1号, 15—20.
- 野満隆治・斉藤泰一・田坂 浩, 1943: 定常波による湖海の砂堆と砂連。地球物理, 7巻, 1号, 61—79.
- 小川直樹, 1978: 岐阜県大野郡荘川村の手取層群(演旨)。日本地質学会85年大会, 132.
- 小川勇二郎, 1971: 徳島県勝浦川地域の地質—その層序と構造—。地質雑, 77巻, 10号, 617—634.
- Ogura, T., 1930: Ripple marks with special reference to those in Ryojun. *Ryojin Coll. Eng. Mem.*, vol.3, no.2-A.
- 大石三郎, 1935: 樺太で観察した連痕の一例に就いて。科学, 5巻, 4号, 134.
- 岡田博有, 1969: 対馬北部地質断面の予察的研究。国立科博専報, 2号, 19—25.
- 岡田博有, 1977: 島弧背後盆地にみられるオリストストローム—中新世古丹別層(北海道)—(演旨)。日本地質学会84年大会, 146.
- 岡田博有・藤山家徳, 1970: 対馬中部, 塩浜付近の対州

- 層群中のサイクルと堆積. 国立科博専報, 3号, 9-17.
- 岡田博有・McD. Whitaker, J. H., 1974: 種子島の四万十層群 (演旨). 日本地質学会81年大会, 201.
- 岡田博有・柴田秀道・辰巳洋治郎・鍋倉直哉, 1971: 対馬北部の地質. 鹿児島大理報, 20号, 13-31.
- 岡崎浩子, 1988: 古東京湾地域の古流系 (演旨). 日本地質学会95年大会, 102.
- 岡崎浩子, 1989: 古東京湾の流向 (演旨). 日本地質学会96年大会, 321.
- 岡崎浩子・増田富士雄・牧野泰彦, 1985: 古東京湾のウェーブ・リップルの水理条件 (演旨). 日本地質学会92年大会, 250.
- 斎藤克栄・岡田博有・孔 榮世, 1978: 古海底谷の一産状—中新世古丹別層 (北海道) の例 (演旨). 日本地質学会85年大会, 196.
- 沢田秀穂, 1954: 北西九州佐世保層群中のある漣痕—漣痕によって水流の方向を推定した一例—. 地調月報, 5巻, 8号, 359-372.
- 沢田秀穂・會我部正敏, 1954: 北海道炭田における地層の上下判定の一考察. 炭鉱技術, 9巻, 2号, 48-49.
- 沢村武雄, 1951: 高知県幡多郡の化石漣痕. 鉱物と地質, 4巻, 1-2号, 3.
- 庄司力偉, 1955: 堆積機構の基礎的研究—沈澱池につくられる累積層および砂漣—. 地質雑, 61巻, 722号, 518-531.
- 杉山雄一・下川浩一, 1981: 静岡県中部に分布する古第三系瀬戸川層群の古地理学的研究. 地質雑, 87巻, 7号, 439-456.
- 鈴木清史・中世古幸次郎・岡田博有, 1979: 種子島南部, 熊毛層群の層序, 構造および時代 (演旨). 日本地質学会86年大会, 134.
- 高橋英太郎, 1965: 宇部市海岸で観察したリップル・マーク (1) (短報). 地学研究, 16巻, 5号, 145-148.
- 高橋英太郎, 1966: 山口県八が浜砂丘における漣痕 (短報). 地学研究, 17巻, 6号, 148-149.
- 高橋治之, 1964: 三畳系稲井層群中にみられる堆積構造について. 茨城大文理紀要 (自然科学), 15号, 97-104.
- 武井現朔, 1960: 関東産地から発見された二畳紀の漣痕 (短報). 地球科学, 49号, 37-38.
- 武井現朔, 1962: 山中地溝帯の漣痕化石について. 秩父自然科博研報, 11号, 23-32.
- 武井現朔, 1964: 山中地溝帯東半部白亜系の地史. 秩父自然科博研報, 12号, 17-27.
- 滝沢文教, 1975: 南部北上牡鹿半島の白亜紀層の堆積. 地調月報, 26巻, 6号, 1-39.
- Tanaka, K., 1970: Sedimentation of the Cretaceous flysch sequence in the Ikushunbetsu area, Hokkaido, Japan. *Rept., Geol. Surv. Japan*, no.236, 102p.
- 田中啓策・松野久也・水野篤行・石田正夫, 1964: 5万分の1地質図幅「岩見沢」および同説明書. 北海道開発庁, 78-84.
- 田中啓策・角 靖夫, 1975: 北海道北部佐久一音威子府地域白亜系の古流系. 地調月報, 26巻, 4号, 1-16.
- 田中啓策・寺岡易司, 1973: 鹿児島県甌島の上部白亜系姫浦層群. 地調月報, 24巻, 4号, 1-28.
- 丹波地帯研究グループ, 1969: 丹波層群砂岩層の堆積構造 (演旨). 地質雑, 75巻, 2号, 88.
- 田代修一, 1952: 漣痕と地波. 堆積学研究, 1号, 4-5.
- 立石雅昭, 1976: 牟婁帯西南部の牟婁層群. 地質雑, 82巻, 6号, 395-407.
- Tateishi, M., 1978: Sedimentology and basin analysis of Paleogene Muro Group in the Kii Peninsula, Southwest Japan. *Mem. Fac. Sci., Kyoto Univ., Ser. Geol. Mineral.*, vol.45, 187-232.
- 徳岡隆夫, 1966: 和歌山県日置川上流の牟婁層群. 地質雑, 72巻, 2号, 53-61.
- 津田禾粒・永田 聡, 1969: 新潟県下の新生界中に発達するフリッシュ型互層に関する諸問題—いわゆる難波山層に関する研究 (その4) —. グリータフに関する諸問題 (日本地質学会第76年学術大会総合討論会資料), 275-282.
- ト部厚志, 1993: 房総半島南端, 豊房層群の堆積過程 (演旨). 日本地質学会100年大会, 362.
- 和田信彦, 1976: 静岡県, 安倍川地域の地質について. 地質雑, 82巻, 9号, 581-593.
- 和田信彦・瀬戸川団研グループ, 1973: 静岡市安倍川・藁科川流域の瀬戸川層群について (演旨). 日本地質学会80年大会, 57.
- 脇水鉄五郎, 1926 a: 犬吠崎の漣痕 (摘録). 地球, 5巻, 6号. 569.
- 脇水鉄五郎, 1926 b: 千葉県犬吠崎のリップルマーク, 史蹟名勝天然記念物, 1集, 2号, 29-32.
- 山内靖喜・後藤広喜, 1971: 秩父盆地の新第三系における古流系. 地質雑, 77巻, 1号, 37-46.
- 吉村敬司・坂本隆彦・藤岡達也・横井 定, 1987: 寝屋川市で発見された大飯層群中の漣痕について (演旨).

日本地質学会94年大会, 130.

### 3. 地学教育面からみた漣痕の研究小史

漣痕を教育の場に導入したのは、脇水（1926）である。現場の先生の目に触れやすい教育雑誌（地理教育）に漣痕を紹介した意義は大きい。

また、漣痕を一般向けにやさしく解説した最初の論文は、おそらく角（1964）であろう。彼は漣痕を揺動型・水流型及び干渉型の3つに分けてそれぞれの特徴を平易に説明し、「野外では、形状・断面のほか、広がり・上下の地層・構成物質の観察も必要」とし、「地層中の漣痕は、水の運動に伴う他の現象と総合して研究すれば、地層の堆積環境を解析する上にたいへん役立つ」との指針を与えた。

次いで、長浜（1976）は、漣痕を、砂粒を動かす営力の違いによって水流漣痕・波漣痕・風成漣痕及び干渉漣痕の4つに、また平面的な形の違いによって直線状・曲がり・舌状・半月状などに分けられることを示すとともに、「漣痕においては、頂点をつらねる線または谷の方

向は水や空気の動きの方向と直交する」と述べ、流向測定へのアプローチを図った。

その後、須藤・長沼（1978）は、漣痕による古流系解析法を測定、堆積時への復元、解析例（第6図）の順で具体的に示し、地学教育現場での利用に供した。

地学教育面における漣痕の文献は、次のとおり。  
水野篤行, 1966 a : 南紀海岸の地質見学①, 地質ニュース, 140号, 36-43.

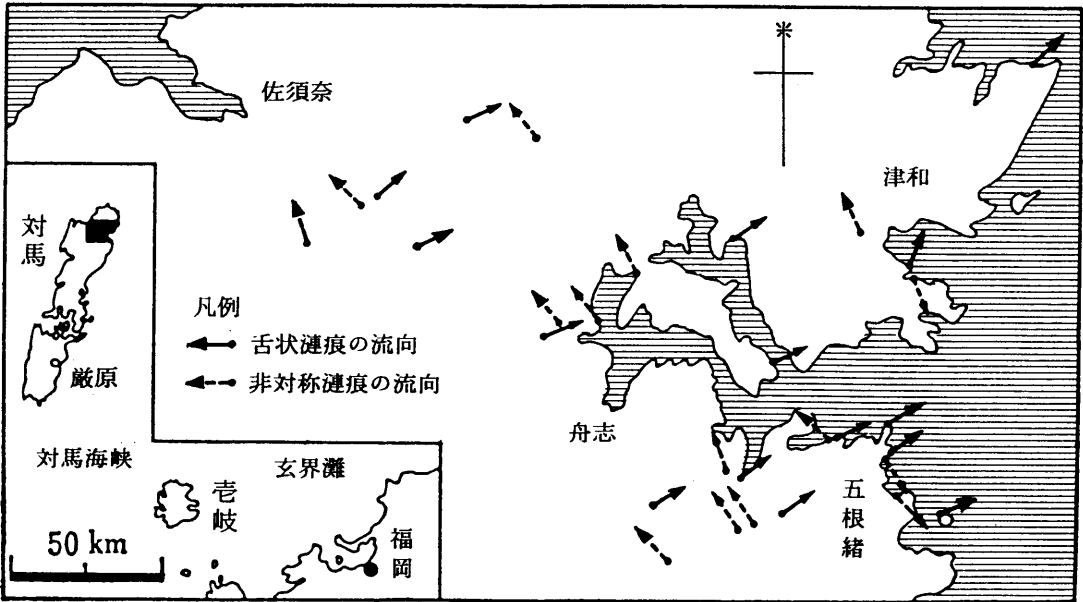
水野篤行, 1966 b : 南紀海岸の地質見学③, 地質ニュース, 142号, 20-33.

長浜春夫, 1976 : 過去の砂の動きをさぐる —古流向— (その3) 漣痕 (砂層がたまたまなくなってから後の記録), 自然科学と博物館, 43巻, 4号, 9-12.

須藤和人・長沼幸男, 1978 : 5. 堆積構造の調べ方. 地学の調べ方 (奥村 清編), コロナ社, 62-79.

角 靖夫, 1964 : 漣痕, 地質ニュース, 117号, 19-20.

脇水鉄五郎, 1926 : 日本で稀に見る標式的地層面のリップルマーク. 地理教育, 3巻. 6号. 521-525.



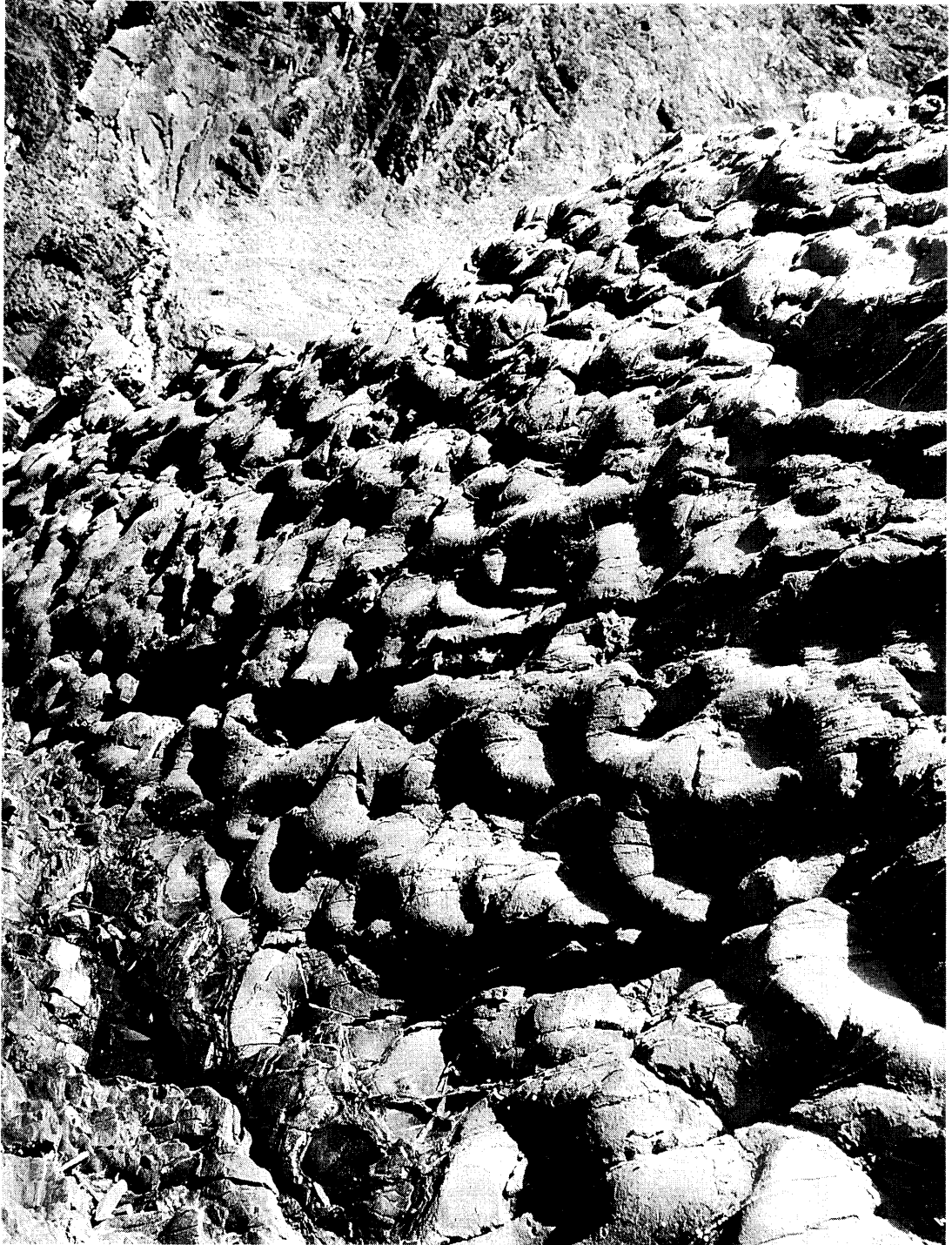
第6図 漣痕による古流系解析例 (須藤・長沼, 1978に一部加筆)



写真 1 スラソソ構造 (長崎県上県町の第三系対州層群)



写真2 舌状澱痕 (長崎県上対馬町の第三系対州層群)



長沼幸男・長浜春夫・照井一明：古流系解析からみた地質学（堆積学）及び地学教育研究史—その2．スランプ構造及び漣痕— 地学教育 第48巻，第6号，237～250 1995年11月．

【キーワード】 研究史，堆積学，地学教育，古流系，スランプ構造，漣痕

【要旨】 戦後になってから進展した堆積学の研究史を，古流系解析の視点からレビューするとともに，それらが地学教育面において果たしてきた役割について概観した。本号では，とくにスランプ構造と漣痕に基づく古流系解析の文献を対象とした。

Yukio NAGANUMA, Haruo NAGAHAMA, and Kazuaki TERUI: History of researches on geology (sedimentology) and earth science education in reference to paleocurrent analysis. -Part 2. slumping structure and ripple mark- *Educat. Earth Sci.*, 48(6), 237~250, 1995.

## 気候講演会「地球温暖化を考える」

日時：平成8年1月24日（水）14時～17時

会場：科学技術館サイエンスホール  
（千代田区北の丸公園2-1）

主催：気象庁、(財)日本気象協会

後援：運輸省、(社)日本気象学会  
(財)気象業務支援センター

入場料：無料（先着400名）

問合せ先：気象庁総務部企画課気候変動対策室

TEL：03-3212-8341（内線2263）

講演：(仮題)

①地球温暖化と海

東京大学海洋研究所 教授 野崎義行

②地球温暖化の最新の見通し

気象研究所気候研究部 第一研究室長 鬼頭 昭雄

③地球温暖化問題の科学と政治

三菱化学生命科学研究所 社会生命科学研究室長

米本 昌平

## 理科教育賞「受賞作品集」・「理科ビデオテープ」について

(財)東レ科学振興会は、創意と工夫により著しい成果をあげた理科教育の事例を中学校・高等学校の理科教育振興の一助として昭和44年以来募集し、優秀なものに「東レ理科教育賞」を贈呈してまいりました。また受賞作の内容を説明し、その応用に役立つように毎年「受賞作品集」を作成し、全国の中学校・高等学校・理科教育センターなどへ寄贈しております。

受賞作品のうち映像化することにより普及の効果が上がると思われる作品を、よりわかりやすく説明するため昭和59年度からビデオテープにとり無料で貸出を行うことといたしました。このテープは生徒や一般の人が見ても興味を持つようにと直接生徒に見せられるようつくってありますが、むしろ教育に携わる先生方に一つの授業例として見ていただき、実際に自らの授業に応用していただくことを第一の目的としております。

これらの資料の活発なご利用こそ弊会の財団活動の本旨といたすところでございます。利用の要領を下記いたしましたので、どうかご活用をのほどをお願いいたします。

### 1. 「受賞作品集」について

毎年7月に前年度の「受賞作品集」を全国の中学校、高等学校、理科教育センターおよび博物館などへ寄贈し、

ご活用をお願いしております。

このほかにご希望の場合は、別記の申込先へ葉書または電話かファックスでお申込みください。在庫のあるかぎり実費でお分けいたします。

(実費：第2回300円、13回400円、第14・15各450円、第16・18～26回各350円、および送料)

### 2. 「理科ビデオテープ」について

利用は次の要領でお願いいたします。

- (1) 別記の申込先へ葉書または電話かファックスでお申込みください。
- (2) 貸出期間はビデオテープ到着後7日です。
- (3) 貸出料は無料です。

ビデオテープの発送料は弊会で負担しますが、返送料は利用者にご負担いただきます。

- (4) ダビングすることは差し支えありません。

\*アンケートにお答えくださいますようお願いいたします。

### 3. 申込先

〒279 千葉県浦安市美浜一丁目8番1号（東レビル）

財団法人 東レ科学振興会

TEL (0473) 50-6104 FAX (0473) 50-6082

### ビデオテープ（規格：VHS・カラー）

No.	対象分野	題	名	時間
1	中学理科 第一分野	簡易ラジオメーターによる光エネルギーの実験		14分
2	中学理科 第一分野	※ボタンを使った理科の実験		22分
3	中学理科 第一分野	大電流電線による電磁気の実験		20分
4	中学理科 第二分野	葉のでんぷんの検出 ～たたき染め法～		18分
5	中学理科 第二分野	雲の発生のしくみ ～大気圧および断熱膨脹の体験的学習～		22分
6	高等学校 物 理	自然放射線の実験 ～土砂からのトロン崩壊を調べる～		22分
7	高等学校 物 理	古テレビのブラウン管で探る電子のはたらき		21分
8	高等学校 化 学	ミクロの世界の探訪 ～顕微鏡で見る物質の世界～		18分
9	高等学校 化 学	気体にさわろう ～手で触れて探る気体の性質～		26分
10	高等学校 生 物	コンピュータを用いた筋収縮の実験		15分

※第30回科学技術映画祭において科学技術庁長官賞を受賞。

# EDUCATION OF EARTH SCIENCE

---

**VOL. 48, NO.6.**

**NOV., 1995**

---

## Articles:

An interpretation of the Sunspot relative Number

..... Jun KUBOTA, Miyoshi SUZUKI and Noritake TOKIMASA ...211~224

Development of liquefaction model with PET bottle. .... Kazuhiko MAMADA ...225~229

Teaching of Natural Radioactivity in High School Geology ..... Akira OGIWARA ...231~236

History of reserches on geology (sedimentology) and Earth science education  
in referens to paleocurrent analysis.

Part 2: Slumping structure and ripple mark.

..... Yukio NAGANUMA, Haruo NAGAHAMA and Kazuaki TERUI ...193~203

Review (130)    Memorial (ii)

---

All Communications relating this Journal should be addressed to the

**JAPAN SOCIETY OF EARTH SCIENCE EDUCATION**

**c/o Tokyo Gakugei University; Koganei-shi, Tokyo, 184 Japan**

平成7年11月25日 印刷 平成7年11月30日 発行 編集兼発行者 日本地学教育学会 代表 岡村三郎  
184 東京都小金井市貫井北町4-1 東京学芸大学地学教室内 電話 0423-25-2111 振替口座 00160-3-86783