地質学における統計パッケージ・プログラムの 利用とこれによる砂岩組成の因子分析

西 脇 二 一* 山 本 嘉 一 郎*

**Application of Statistical Package Programs in Geology, Especially
Referring to the Factor Analysis on the Composition of Sandstones**

Niichi NISHIWAKI and Kaichiro YAMAMOTO

Abstract

The utilization of the package program is introduced with an example of the factor analysis on the geologic data, intending to popularize the computer application in geology.

There are enormous amount of data and informations in geology as in other fields of science, and we cannot make good use of them without a help of the high capacity computer. However, special knowledges, experiences, time and labors are required for programming. The program package or package program has been developed for researchers to use the computer more easily and promptly.

We have made efforts to prepare the package program for geologic use (GEOPAK). However, it cannot be completed in a short time, and we would like to introduce some package programs for analyzing geologic problems. There are two popular package programs in the world, the one is the BMD (Biomedical Computer Programs) and the other is the SPSS (Statistical Package for the Social Sciences). The former is famous in the world for its high computational ability and variety of programs, and has been introduced to almost all the institutes in the United States. The latter has an excellent data file system organically combined with many subprograms for various statistical analyses, and may be called a package program in the strict sense. The both programs have already been introduced into several computer centers in Japan and can be utilized by many scientists.

To show the high usefulness of the package program some basic examples of the SPSS processings are explained at first, that is, set-up of control cards, calculation of descriptive statistics, preparation of histogram and scattergram. Then an example of multivariate analysis by using the SPSS is presented, for the multivariate analysis is one of the most important techniques of the computer application to science. Many attempts to apply the technique to geologic problems have been done showing its usefulness in various branches of geology. However, it is not easy to make up a program

* 京都大学理学部地質学鉱物学教室

Department of Geology and Mineralogy, Faculty of Sciences, Kyoto University

in each case. Under such circumstances, the SPSS has made it possible to apply the technique with very simple procedures. Besides the ordinal cards of the SPSS only a few control cards of natural language are needed for the computation.

As an example a factor analysis is presented on the compositional data of sandstones of the Cretaceous Goshonoura and Himenoura Groups in Kyushu, West Japan. The purpose of the factor analysis is to clarify the structure of the data, and as the result some data structures different from those generally accepted have been clarified. For example, the amount of quartz, generally treated as a simple component of informations concerned with the composition of sandstones, has revealed to include two components. It must, therefore, be divided into two types, i.e. metamorphic quartz and igneous quartz. Some factors extracted from the data of the major compositions may be related to some ones extracted from those of the heavy minerals, i.e. the second factor of the former is equivalent to the second factor of the latter, the third factor of the former is opposite to the fourth factor of the latter. The result supports the general triangle diagram in the heavy mineral analysis whose end members are zircon, garnet and tourmaline.

Although much more examinations should be done before the data structure is clearly defined, such an examination may give us many informations on the data structure and, furthermore, many suggestions on the collecting technique of the data. The readiness of such a complicated calculation as the factor analysis by using the SPSS helps us check a data structure before collecting and/or interpreting geological data.

Some technical informations and references to use these package programs in the computer centers in Japan are also added for the beginners.

I. はじめに

統計学は、その実用性から多分野にわたって広く応用されている。特に電算機の発達により計算作業が容易になり、統計処理はまったく日常的となつた。統計処理の種類は多種であるがそれぞれ汎用性が高く、そのための電算機プログラムもこの点を重視して作られることが多い。これ迄に電算機メーカーや計算センターなどで多くの汎用統計処理プログラムがプログラム・ライブラリー（プログラムのコレクション）の形で作られてきた。

統計処理はデータのもつ情報を的確な形で抽出するために行なわれる。このためには与えられたデータに対して種々の処理を加えることが要求される。また、データによつて、加えられるべき処理法も種々異なる。そこで、このようなライブラリーはできるだけ多種多様な処理プログラムをそろえていることが望ましい。しかし、個々に開発されたプログラムの集合では、各プログラムの使用法が異なつたりして使いにくいので、ライブラリー全体が一定の設計思想にもとづいて作製される必要がある。この様な形のプログラム・ライブラリーを一般にプログラム・パッケージと呼ぶ。

BMD (Biomedical Computer Programs) はその一つであり、カリフォルニア大学で開発され専任のプログラマー (Librarian) が保守に当っている (DIXON, 1973)。**BMD** は 50 以上のプログラムからなり、利用者はこの中から希望するプログラムを選んで使うことができる。その使用法は統一されており、使用説明書 (Manual 又は Writeup と呼ぶ) が出版されている (DIXON, 1973)。

BMD は世界的に広く利用されている代表的な汎用統計プログラム・パッケージであるが、いくつかの

難点があり (三宅, 1972 a), この難点を教訓としてスタンフォード大学で生まれたのが SPSS (Statistical Package for the Social Sciences) である (NIE *et al.* 1973)。SPSS は後述する様に, データ・ファイルを中心としてその管理と統計処理の機能を一つのプログラムの中に組込んでおり, パッケージ・プログラムと呼ぶにふさわしいまったく新しい形のプログラムである。また, それ迄のプログラムが数値や記号をパンチ・カードの一定の位置に入れて処理内容の指示をプログラムに対して行なう様になっていたが, SPSS ではこれを日常の言語 (英語) によつており, 利用者はプログラミングについてほとんど知らなくても良いなど, その負担を著しく軽減させている。

地質学の分野においても他と同様に, それ迄単変量解析を中心に行なわれていた統計解析で, 1960年代には多変量解析が電算機の発達とともに広く応用されるようになった (この間の経緯については, 水谷 (1974) を参照)。そこで, 統計処理などに関する汎用プログラムの整備がカンサス大学などを中心に行なわれ, その紹介が Computer Contribution, Kansas Geological Survey を通して行なわれてきた。プログラム数も相当数に達し内容も優れたものが多い。しかし, これらのプログラムは全体として規格の統一されたプログラム・パッケージではなく, プログラムの内容についての報告の形式を統一したに過ぎない。また, その中の多くが BMD や SPSS にも備えられている。従つて, 現時点では BMD 及び SPSS を中心にして, これに備えられていないもの (たとえば trend-surface analysis など) を補なうことにするのが良いと考えられる。

著者らはこの方針にそつて, BMD 及び SPSS の地質学での有効な利用法を探究するとともに, 統計処理に限らず地質学で有用な電算機プログラムの導入及び開発を進めている。これによりできるだけ多くの電算機処理に対する要求に応えられるプログラム・ライブラリーの完備を目指している。その内から, ここでは BMD と SPSS の紹介を利用例にもとづいて行なう。これが電算機による統計処理を考慮中の研究者の助けとなれば幸いである。

II. BMD, SPSS を使つてできる統計処理

1. BMD

ここでは現在京都大学大型計算機センター及び北海道大学大型計算機センターで 使用可能なものについて挙げる。なおカッコ内は各プログラムの名前である。

(1) データの単純記述 (BMD 01 D)	(14) 2 グループへの判別分析 (BMD 04 M)
(2) データの変容を含む相関分析 (BMD 02 D)	(15) 3 グループ以上への判別分析 (BMD 05 M)
(3) アイテム削除を含む相関分析 (BMD 03 D)	(16) 正準分析 (BMD 06 M)
(4) プロットとヒストグラム (BMD 05 D)	(17) 逐次判別分析 (BMD 07 M)
(5) 各層別記述 (BMD 06 D)	(18) 逐次法による多重線型回帰 (BMD 02 R)
(6) ヒストグラム付層別データ記述 (BMD 07 D)	(19) ケース併合を伴う多重回帰分析 (BMD 03 R)
(7) 多数スタッキングを伴うクロス表作成 (BMD 08 D)	(20) 周期回帰と調和回帰分析 (BMD 04 R)
(8) 不完全なデータを扱い得る, クロス表作成プログラム (BMD 09 D)	(21) 多項式回帰分析 (BMD 05 R)
(9) 1,0データのパターン記述 (BMD 10 D)	(22) 変型指数函数による漸近回帰 (BMD 0 R)
(10) 変分類データのパターン記述 (BMD 11 D)	(23) 振幅と位相分析 (BMD 01 T)
(11) 主成分分析 (BMD 01 M)	(24) 時系列の自己共分散とスペクトラム分析 (BMD 02 T)
(12) 主成分回帰式 (BMD 02 M)	(25) 一要因分散分析 (BMD 01 V)
(13) 因子分析 (BMD 03 M)	(26) クロス表作製 (BMD 02 S)
	(27) データ変容 (BMD 09 S)

(28) 大きなマトリックスの変容(BMD 10 S)	(31) 正準分析(BMDX75)
(29) 多重時系列のスペクトル分析(BMDX68)	(32) 非線型最小二乗法(BMDX85)
(30) 因子分析(BMDX72)	(33) 時系列のスペクトル推定(BMDX92)

BMD については現在 P-series の名でその改訂が進められており、上記の他にも新しいプログラムが追加されている。その中で、京都大学大型計算機センターではクラスター分析用の3種が使用出来る状態にある(山本, 1974 と 1975)。

2. SPSS

SPSS は毎年のように改訂が行なわれており、現在京都大学大型計算機センターでは第4版が使用されており、第5版が試験的に使用されている。50年度には大幅に機能アップされた第6版の登録が予定されている。ここでは第4版のものについてその統計処理種を掲げる。なおカッコ内はサブプログラム名である(**SPSS** は一つのプログラムであり、各統計処理はサブプログラムにより行なわれる。詳細は次章を参照)。

(1) 汎用記述統計 (CONDESCRIPTIVE)	SON CORR)
(2) 統計記録表の作製, ヒストグラムの作製 (CODEBOOK)	(11) 順位相関, 順位尺度 (たとえば硬度) データの相関 (NONPAR CORR)
(3) 度数分布統計 (MARGINALS)	(12) 偏相関 (PARTIAL CORR)
(4) 簡易度数統計表の作製 (FASTMARG)	(13) T検定 (T-TEST)
(5) 分割型記述統計 (BREAK DOWN)	(14) 多重回帰分析 (REGRESSION)
(6) データ・パターンの抽出 (DATA PATTERN)	(15) 多重判別分析 (DISCRIMINANT)
(7) クロス集計表の作製 (CROSS TABS)	(16) 尺度分析 (GUTTMAN SCALE)
(8) 簡易クロス集計表の作製 (FASTABS)	(17) 正準相関分析 (CANCORR)
(9) 散布図の作製 (SCATTERGRAM)	(18) 因子分析 (FACTOR)
(10) ピアソン相関, 量的データの相関 (PEAR-	(19) 林式数量化理論第 I, II, III, IV類 (HA-
	YASI 1, 2, 3, 4)

III. SPSS, その特徴と使用例

1. SPSS の概略

SPSS は多種多様な統計処理を行なう機能を備えていながら実は一つのプログラムである。処理されるべきデータをまとめたデータ・ファイルを管理し、利用者の指示に従って適当な統計処理を行なう。この点が **SPSS** の最大の特徴でありパッケージ・プログラムと呼ばれる所以である。また、プログラムにその処理に関する指示を与えるためのデータをコントロール・データと呼ぶが、これが日常の英語に近い形

第1図 **SPSS** の構造。中央の control 機能により data file の管理や統計処理の選択が利用者の指示 (indication) に従って行なわれる。

をとっており、使い易さの点でも一段と工夫されている。(特徴の詳細については、三宅 (1972 a, 1973), NIE et al. (1973)などを参照)。

SPSS は第1図に示されるような構造をしている。**SPSS** は、プログラムへ入力された被処理データをコントロール・データに示された利用者の指示に従って適当な形でデータ・ファイルへ納める。このデータ・ファイルはそのまま保存させる

ことができ、この更新や保存管理などの操作 (management) はすべて SPSS のコントロール部分が利用者からの指示に従って行なう。また、行なうべき統計処理の選択は同じく利用者からの指示に従って行なう。この時使われる被処理データはデータ・ファイル中のものであるが、処理に当たっては必要ならば変換や選別を行なわせることができる。さらに SPSS は、データ・ファイルの中の内容を変換したり選別したりして出力する機能を備えている。このように優れたデータ・ファイル管理機能を利用して、研究者はコンピュータ処理を前提としたデータ・ファイルの作製、更新を能率的に行なうことができる。

次にデータ・ファイル及びその管理機能について説明する。

2. SPSS のデータ・ファイル

SPSS のデータ・ファイルは第2図に示すような形をしている。データはすべてケースデータ (case data) と呼ばれるもので、たとえば、サンプルあるいは地点 (これをケース (case) と呼ぶ) ごとに各種観測項目 (変数 (variable) と呼ぶ) についてのデータが行列状 (matrix form) に求められていなければならない。この様なデータに、その案内情報 (information) としてデータの形式、変数名、値名などを付けてデータ・ファイルが構成される。データ・

File-defining information: file name and label; variable names, labels, and formats; variable values and value labels; missing data indicators.				
Variable →	First	Second	...	Last
First subfile	First case	...	...	
	Second case			
	...			
	Last case			
Second subfile	First case	...	...	
	Second case			
	...			
	Last case			
...	...	...	...	...
Last subfile	First case	...	...	
	Second case			
	...			
	Last case			

第2図 SPSS データ・ファイルの一般的な形。変数×標本 (case) のマトリックス形式となつている。
(NIE *et al.*, 1973 より)

Data Item (variable) Label	Sample identification																											
	SEQUOM SAMIDENT	Sample # HORIZON Igneous quartz Metamorphic quartz Chert Orthoclase Plagioclase S.S. Perthite Microcline Myrmekite Matrix S.S. Rock fragments S.S. Calcite Grain size Roundness Grain size level Total quartz K-feldspar Plagioclase Rock fragments w. chert Matrix w. chert																										
Subfile 1 GOSHO	1 GS	13 1A 28	2 4 32	1											33	C .2	4 30 32	1 4 33										
	2 GS	21 1A 62		21 8											9	C .3	4 62 21	8 9										
	3 GS	24 1A 49	4 2 18	9											16	C .2	4 53 18	9 2 18										
	.																											
	.																											
42 GSEX	10 3C 29	16 15 3 3											24 3 7 M .5	3 45 3 3 18 31														
Subfile 2 GOHIME	1 GSEX	11 4A 35	15 5 15 3											27	M .4	3 50 15 3 5 27												
	.																											
	4 GS	101 4B 39	7 3 22 28											1	M .3	3 46 22 28 3 1												
Subfile 3 HIME	1 HM K	2 1 27 20	2 20 10											12 1 8 M .2	3 47 20 10 3 20													
	2 HM K	3 1 54 3	2 13 19											7	2 M .3	3 57 13 19 2 9												
	.																											
	9 HM	893 3 19	5 12 6 11											41 6 M .6	3 24 6 11 18 41													

* Automatically numbered by SPSS

第3図 SPSS データファイルの具体例。砂岩に関するデータ (岡田, 1961を使用)

ファイルは一定の規準（たとえば地域別など）に従ってグループ分けしておくことができる（これをサブファイル（subfile）と呼ぶ）。第3図にデータ・ファイルの具体例を示す。このファイルは3つのサブファイルからなっている。

3. データ・ファイルの管理機能

データ・ファイルの管理機能には次のようなものがある。

(1) データ・ファイル保存 (store) の指示と保	(3) 値の変更。
存されているデータ・ファイルの呼び出し	(4) 値の変換、計算式による新しい変数の値の
の指示。	算出。
(2) 変数及びサブファイルの追加・削除の指	(5) データの選別（基準値を与えてのふるい分
示。	けなど）。

4. SPSS の使用例

第3図に示したデータ・ファイルの作製とこれを使つたいくつかの統計処理について述べる。

```

(1)  RUN NAME      FILE PRODUCTION FOR SST DATA BY OKADA (1961)
(2)  FILE NAME     GOHIME, SST DATA OF GOSHONOURA AND HIMENOURA GROUPS
(3)  VARIABLE LIST SAMIDENT,SAMPLENO,HORIZON,IGNIOZ,METAOZ,CHERT,ORTHOQ,PL,PERTHITE,
                     MICRO,MYRME,MATRIX,ROCK,CALCITE,GRAIN,ROUND
                     FIXED (2A4,2X,A3,2X,11F5.0,3X,A2,F5.1)
(4)  INPUT FORMAT  (2A4,2X,A3,2X,11F5.0,3X,A2,F5.1)
(5)  INPUT MEDIUM CARD
(6)  SUBFILE LIST  GOSHO,GOHIME,HIME
(7)  # OF CASES    42, 4, 9
(8)  COMPUTE        SIZEVL = 0
(9)  IF              (GRAIN EQ 'VF') SIZEVL = 1
                     IF (GRAIN EQ 'F') SIZEVL = 2
                     IF (GRAIN EQ 'M') SIZEVL = 3
                     IF (GRAIN EQ 'C') SIZEVL = 4
                     IF (GRAIN EQ 'VC') SIZEVL = 5
(13) IF
(14) COMPUTE        QUARTZ = IGNIOZ + METAOZ
                     COMPUTE KFELD = ORTHO + PERTHITE + MICRO
                     COMPUTE PLAGIO = PL + MYRME
                     COMPUTE ROCKFRAG = ROCK + CHERT
                     COMPUTE TOTALMAT = MATRIX + CALCITE
(18) PRINT FORMATS  SAMIDENT TO HORIZON,GRAIN(A)/SIZEVL(0)/ROUND(1)
                     MISSING VALUE GRAIN(' ') /ROUND,SIZEVL(0)
(21) VAR LABELS     SAMIDENT,SAMPLE IDENTIFICATION/
                     SAMPLENO,SAMPLE NUMBER/
                     IGNIOZ,IGNIOUS QUARTZ/
                     METAOZ,METAMORPHIC QUARTZ/
                     ORTHO,ORTHOCLASE/
                     PL,PLAGIOCLASE S.S./
                     MICRO,MICROCLINE/
                     MYRME,MYRMEKITE/
                     MATRIX,MATRIX S.S./
                     ROCK,ROCK FRAGMENTS S.S./
                     GRAIN,GRAIN SIZE/
                     SIZEVL,GRAIN SIZE LEVEL/
                     ROUND,ROUNDNESS/
                     QUARTZ,TOTAL QUARTZ/
                     KFELD,K-FELDSPAR/
                     PLAGIO,PLAGIOCLASE S.S./
                     ROCKFRAG,ROCK FRAGMENTS INCLUDING CHERT/
                     TOTALMAT,MATRIX INCLUDING CALCITE/
(22) VALUE LABELS  GRAIN ('VF')VERY FINE SST ('F')FINE SST ('M') MEDIUM SST
                     ('C')COARSE SST ('VC')VERY COARSE SST
(23) DOCUMENT       SUBFILE NAME GOSHO...GOSHONOURA GROUP
                     GOHIME...HIMENOURA GROUP IN GOSHONOURA ISLAND
                     HIME...HIMENOURA GROUP IN THE TYPE AREA
                     ORIGIN OF DATA: TABLE 4. COMPOSITION OF MAJOR CONSTITUENTS OF
                     SANDSTONE (OKADA, 1961)
                     ORIGINAL PAPER: HAKUYU OKADA (1961) CRETACEOUS SANDSTONE OF
                     GOSHONOURA ISLAND, KYUSHU. MEM. FAC. SCI.
                     KYUSHU UNIV. SER. D. GEOLOGY, VOL. 11, NO. 1,
                     PP. 1-48, TEXT-FIGS. 1-11, TABS. 1-8, PLS. 1,2.
(24) READ INPUT DATA
                     .
                     data
                     .

(25) SAVE FILE
(26) FINISH

```

第4図 第3図のデータ・ファイルを作製するための SPSS コントロール・カード。
「data」の位置にマトリックス形式のデータを入れる。

A. データ・ファイルの作製

第4図はデータファイルの作製のためのコントロール・カードとデータ・カードの内容である。一行がカード一枚に相当する。

- (1) 作業名を与える。ここで与える作業名は出力リストの各ページに印刷される。
- (2) 作製するファイルに名を与える。保存後呼び出しの際キー(key)として使われる。
- (3) データの項目(変数と呼ぶ)リスト。
- (4) 各項目のカード上での位置や形式(数値データ, 文字データの別など。FORTRAN 入門書参照)の指示。
- (5) データがカードから読み込まれることを示している。
- (6) サブファイルのリスト。3つのサブファイルからなり, それぞれ GOSHO, GOHIME, HIME と名前が付けられる。
- (7) 各サブファイルの中のデータ数(サンプル数)
- (8)~(13) 項目 GRAIN の内容に従って, 新たに SIZELV の値を決める。たとえば(9)は, GRAIN の中に VF という文字がデータとして入っている時 SIZEVL の値を1とすることを

指示している。

(14)~(18) COMPUTE の右にある式に従って, QUARTZ, KFELD, PLAGIO, ROCKFRAG, TOTALMAT の値を計算する。

(21) データ項目用ラベル。コード化された項目名に詳細なラベルを付ける。

(22) 値用ラベル, 文字データ GRAIN の中に現われる値(VF, F など)の説明をラベルとして付ける。

(23) このデータ・ファイルの説明。

(24) 被処理データの読み込みを指示する。

(25) このデータ・ファイルの保存を指示する。

この結果, 第4b図に示す項目が保存される。この中には読み込んだデータの他に作業中に計算されたデータ(QUARTZ など)も含まれる。

(26) 作業の終了を指示する。

B. 統計処理

(1) 平均標準偏差など, 各種統計値の計算

第5図は, 平均, 標準偏差などの各種統計値を

CONDESCRIPTIVE TEST RUN

NOV.28, 1974

PAGE 2

FILE GOHIME (CREATION DATE = NOV.28, 1974) SST DATA OF GOSHONOURA AND HIMENOURA GROUPS

SUBFILE GOSHO GOHIME HIME

VARIABLE	QUANTZ	TOTAL QUANTZ				
MEAN	43.000		STD ERROR	1.277	STD DEV	9.473
VARIANCE	89.741		KURTOSIS	-0.608	SKENNESS	0.261
RANGE	42.000		MINIMUM	24.000	MAXIMUM	66.000
VALID OBSERVATIONS =	55					
MISSING OBSERVATIONS =	0					

VARIABLE	KFELD	K=FELDSPAR				
MEAN	11.564		STD ERROR	1.091	STD DEV	8.089
VARIANCE	65.436		KURTOSIS	-0.564	SKENNESS	0.572
RANGE	31.000		MINIMUM	1.000	MAXIMUM	32.000
VALID OBSERVATIONS =	55					
MISSING OBSERVATIONS =	0					

VARIABLE	PLAGIO	PLAGIOCLASE S.L.				
MEAN	5.200		STD ERROR	0.682	STD DEV	5.057
VARIANCE	25.570		KURTOSIS	6.541	SKENNESS	2.209
RANGE	28.000		MINIMUM	0.0	MAXIMUM	28.000
VALID OBSERVATIONS =	55					
MISSING OBSERVATIONS =	0					

第5図 サブプログラム CONDESCRIPTIVE による処理例。データの基本的な統計記述に使用する。

DISCRPTION OF GOHIME DATA
 FILE GOHIME (CREATION DATE = NOV.28, 1974) SST DATA OF GOSHONOURA AND HIMENOURA GROUPS
 SUBFILE GOSHO GOHIME HIME
 VARIABLE ROUND ROUNDNESS
 CODE
 0.2 ***** (8) 14.5 PCT
 0.3 ***** (4) 7.3 PCT
 0.4 ***** (17) 30.9 PCT
 0.5 ***** (24) 43.6 PCT
 0.6 ***** (2) 3.6 PCT
 0.0 * (0) 0.0 PCT
 (MISSING)
 0
 5 10 15 20 25 30 35 40 45 50
 FREQUENCY
 STATISTICS..
 MEAN 0.415 STD ERROR 0.015 MEDIAN 0.441
 MODE 0.500 STD DEV 0.111 VARIANCE 0.012
 KURTOSIS -0.379 SKEWNESS -0.778 RANGE 0.400
 MINIMUM 0.200 MAXIMUM 0.600
 VALID OBSERVATIONS = 55
 MISSING OBSERVATIONS = 0

第6図 サブプログラム CODEBOOK による処理例。頻度分布の計算と表示に使用する。

第7図 サブプログラム SCATTERGRAM による処理例。二次元散布図を描き、データの相関性を検討するために使用する。


```

CORRELATION TEST OF GOHIME                                NOV.28, 1974          PAGE    2
FILE  GOHIME (CREATION DATE = NOV.28, 1974)  SST DATA OF GOSHONOURA AND HIMENOURA GROUPS
SUBFILE GOSHO GOHIME HIME
----- PEARSON CORRELATION COEFFICIENTS -----
VARIABLE      VARIABLE      VARIABLE      VARIABLE      VARIABLE      VARIABLE
PAIR          PAIR          PAIR          PAIR          PAIR          PAIR
-----
QUARTZ      0.0478  QUARTZ      0.0719  QUARTZ      -0.3010  QUARTZ      -0.5840  KFELD      0.4612  KFELD      -0.6806
WITH        N( 55)  WITH        N( 55)  WITH        N( 55)  WITH        N( 55)  WITH        N( 55)
KFELD      SIG .729  PLAGIO      SIG .692  ROCKFRAG    SIG .026  TOTALMAT    SIG .001  PLAGIO      SIG .001  ROCKFRAG    SIG .001

KFELD      -0.1687  PLAGIO      -0.5068  PLAGIO      -0.2528  ROCKFRAG    -0.1990
WITH        N( 55)  WITH        N( 55)  WITH        N( 55)  WITH        N( 55)
TOTALMAT    SIG .218  ROCKFRAG    SIG .001  TOTALMAT    SIG .063  TOTALMAT    SIG .145

A VALUE OF 99.0000 IS PRINTED IF A COEFFICIENT CANNOT BE COMPUTED.

```

第8図 サブプログラム PEARSONCORR による処理例。単純相関の計算に使用する。

計算するサブ・プログラム CONDESCRIPTIV による処理例である。ここでは、項目 QUARTZ, KFELD, PLAGIO について処理を行なっている。

(2) ヒストグラムの作製

第6図はサブ・プログラム CODEBOOK によるヒストグラムの作製例である。ここでは項目 ROUND について処理を行っている。図に見られるように各種統計値も合せて計算される。

(3) 2次元散布図の作製

第7図はサブ・プログラム SCATTERGRAM

による2次元散布図の作製例である。ここでは項目 KFELD と PLAGIO を使って図を描いている。図中の「*」印がサンプルの位置であり同一地点に複数個のサンプルがプロットされる時は9個を限度としてその数がプロットされる。

(4) 相関係数の計算

第8図はサブ・プログラム PEARSON CORR による相関係数の計算例である。ここでは保存データの項目リスト中(第4b図) QUARTZ から TOTALMAT 迄の項目の全組合せについて相関係数と有意率が計算されている。

IV. 砂岩組成の因子分析

SPSS データ・ファイル及びサブプログラムを用いて地質学上の問題を解析する例として、先にデータ・ファイルの作製例(第3, 4図)で示した OKADA (1961) の御所浦島の白亜紀砂岩の組成についてのデータの構造を解析してみた。但し今回は解析法を中心として述べ、解析結果の詳細は後日発表した。

1. 概説

御所浦層群は下位の肥後変成岩・花崗岩を不整合に覆い、上位は姫浦層群に平行不整合に覆われる。岩相は砂岩を主とし、上部と下部に礫質赤色岩を挟む。時代は後白亜紀富岡世～ギリヤーク世、層厚は約1,000 mである。

姫浦層群は御所浦層群及びその下位の変成岩と花崗岩を不整合に覆い、上位は、始新統の上島層群に不整合に覆われる。岩相は、下部は基底礫岩と砂岩、中部は頁岩、上部は砂泥互層を中心とする。時代は浦河世～ヘトナイ世で、層厚は約1,000 mである。

使用したデータは、御所浦島の御所浦層群、御所浦島の姫浦層群、天草上島の姫浦層群の三つに関するもので、先にそれぞれ GOSHO, GOHI, HIME のサブ・ファイルとしてデータ・ファイルを作製したが(第3図)、さらにここではいくつかの変数が追加されている(第1表)。

砂岩の組成は主成分と重鉱物について調べられているが、すべてのサンプルについてこの両者が調べられているわけではないので、これを区別するため変数 INDEX を用いて識別することにした(第9図)。また、主成分についても、長石や石英等について詳細に区分しているものと、そうでないものがある。これを区別するために変数 FINDEX を導入しこれに MISSING VALUE(欠損値)としてゼロを与えることにより処理の際(詳細な区分のないものを)除けるようにした。これは SPSS の欠損値処理機能による。

第9図 データの種類を示す変数 INDEX の頻度分布(サブプログラム CODEBOOK による)

第1表 変数名とそのラベル. 第3図のものにいくつかの変数を追加した.

GROUP+NAME OF GEOLOGICAL GROUP/ FOM+NAME OF FORMATION/ JLEN+SAMPLE CLASSIFICATION GROUP NAME/ SAMCO+SAMPLE CLASSIFICATION COMMENT/ SAMNC+SAMPLE NUMBER/ QZ+TOTAL QUARTZ/ %Z+PERCENT QUARTZ/ %MET+METAMORPHIC QUANT/ %Z+TOTAL FELDSPAR/ PORTH+ORTHOCPLASE/ FPLAG+PLAGIOCLASE S.S./ FPH+PERTHITE/ FMICR+MICROCLINE/ FMYR+MYRMORPHITE/ TR+TOTAL FELDSPAR/ ANAT+ANATASE S.S./ HCK+HCK FRAGMENT EXCLUDING CHERT/ CAL+CALCITE/ CHAIN+CHAIN SIZE DIVISION/ RCUR+ROUNDNESS/ COLR1+COLOR INDEX PART1/ COLR2+COLOR INDEX PART2/ COLR3+COLOR INDEX PART3/ COLR4+COLOR INDEX PART4/ SAMHE+INTERFERING INDEX FOR HEAVY MINERAL DATA/ ZIRCL+ZIRCON EUMEDRAL COLORLESS/ ZIRPK+ZIRCON EUMEDRAL PALE PINK/ ZIRYL+ZIRCON EUMEDRAL YELLOW/ ZIRPL+ZIRCON EUMEDRAL PURPLE/ ZIRNCL+ZIRCON EUMEDRAL COLORLESS/ ZIRPK+ZIRCON EUMEDRAL PALE PINK/ ZIRYL+ZIRCON EUMEDRAL YELLOW/ ZIRPL+ZIRCON EUMEDRAL PURPLE/ GARNCL+GARNET COLORLESS/ GARNPK+GARNET PALE PINK/ GARNCH+GARNET CHANGE/ EPI+EPIDOTE/ TOURBL+TOURMARINE BLUE/	TOURBR+TOURMARINE BROWN/ TOURGR+TOURMARINE GREEN/ HOBGR+HORNBLende BROWN/ HOBGRN+HORNBLende GREEN/ AU+AUIGITE/ HY+HYPHENSTHENE/ APA+APATITE/ KUT+KUTITE/ SP+SPINEL/ ANAT+ANATASE/ GLAUC+GLAUCONITE/ CHL+CHLORITE/ BIO+BIOTITE/ MUSCO+MUSCOVITE/ HOP+HOPKINSONITE/ TRH+TOTAL HEAVY MINERAL PERCENT/ HORIZON+DESCENDING ORDER OF HORIZON/ ASDH+ASCENDING ORDER OF HORIZON/ SIZE+ASCENDING ORDER OF GRAIN SIZE/ FEL+FELDSPAR/ PL+PLAGIOCLASE/ HCK+HCK FRAGMENT INCLUDING CHERT/ TRH+TOTAL HEAVY MINERAL PERCENT/ ZIRCON+TOTAL ZIRCON/ GARNET+TOTAL GARNET/ TOURMA+TOTAL TOURMARINE/ HORN+TOTAL HORNBLende/ INDEX+INDEX FOR DATA KIND/ INDEX+INDEX FOR DATA KIND
--	--

なおこのデータ・ファイルには、この他、層準、サンプル番号、粒度、円磨度、color index などが含まれている(第1表)。

OKADA (1961) は PETTIJOHN (1957) に従って砂岩のパターンを Arkose, Feldspathic, Graywacke, Lithic Graywacke, Subgraywacke の4つに区分した。さらに、御所浦層群について正長石含有量が上位程多いことに注目し、これをA1, A2, B1, B2, Cの五つの型に区分している。後者の事実については SPSS の SCATTERGRAM サブプログラムを利用した散布図(第10図)にも良く示されている。但しこの図のY(縦)方向は層序区分の下位からの順位であり、層厚または時間と必ずしも一致していないので、両者の相関係数(0.71409)それ自身には大きな意味はない。

2. 因子分析の方法

因子分析は元来心理学に於いて潜在因子を追求するために開発された手法で、与えられた変数の中からいくつかの共通因子を推測するモデルを作製するものである。現在では単に心理学のみならず広い分野にわたって適用されており、地質学に於いても, UJIE (1962), IMBRIE (1964), KLOVAN (1966), DAVIS (1970), 山本 (1974) などがある。

因子分析は、相関係数の計算、初期因子構造の抽出、最終因子構造への回転の三つのステップで構成される。段階毎にいろいろな方法が工夫され、それぞれ特色を持っている(芝(1972), 浅野(1971), HARMAN (1967))。SPSS にもかなりのオプションが用意されていて選択の自由がかなりあるが、ここでは最

第10図 層準と正長石量の相関を示す散布図(サブプログラム SCATTERGRAM による)。

も一般的な、繰返し計算つき主因子法(コントロール・カード中 TYPE=PA 2で指示されている)による因子抽出とバリマックス法による因子軸回転によって解析してみた。

今回はデータの構造の解析に主眼をおいたので、主成分鉱物、重鉱物のそれぞれについて別々に因子分析を行い、更に両方のデータを合わせたものについてこれを行い、それらの結果を比較することにした。

今回のコントロール・データを第11図に示す。またここに指示されていない各種のコントロールについては、全て自動設定値(default value)を使用するに留めた。

3. 出力について

RUN NAME SANDSTONE ANALYSIS OF THE GOSHONOURA AND HIMENOURA GROUP
GET FILE GOSHIME
DUMP VARLIST
*SELECT IF (INDEX NE 1 AND FINDEX NE 0)
FACTOR VARIABLES=QZIG TO CAL/
NFACTORS=5/FACSCORE/
ALL
STATISTICS (INDEX NE 0)
*SELECT IF VARIABLES=ZIRECL TO ZIREYL, ZIRKCL TO TOURGR, HOGREEN TO SPI,
FACTOR GLAUCO TO IROPAG/NFACTORS=5/FACSCORE/
ALL
STATISTICS (INDEX EQ 2 AND FINDEX NE 0)
*SELECT IF VARIABLES=QZIG TO CAL, ZIRECL TO ZIREYL, ZIRKCL TO TOURGR, HOGREEN
FACTOR TO SPI, GLAUCO TO IROPAG/NFACTORS=5/FACSCORE/
FINISH ALL

第11図 因子分析のための SPSS コントロール・カード。3つの FACTOR カードにより使用変数の異なる3種類の分析を指示している。各分析で使用する変数に対して値が欠けているサンプルがあるため、それを SELECT IF カードで除外している。

SPSS の FACTOR サブプログラムによる因子分析の出力には次のようなものがある。ただしデータの性質によって計算できないものや、前段階の計算の結果実行されないものについては出力されない。

(1) 入力変数名とそのラベル	(6) 回転後の因子行列
(2) 各変数の平均と標準偏差	(7) 回転に用いた変換行列
(3) 相関行列	(8) 因子得点係数行列
(4) 共通性、固有値と累積分散比率 (%)	(9) 回転後の因子プロット
(5) 初期因子行列	(10) 因子得点

A. 主成分鉱物について

13変数(第2 a表), 55サンプルを使用した分析で第2 b表に示すように最初の5因子で全分散の80.3%が説明でき, 第2 c表の初期因子行列が得られた。しかし, このままでは各因子についての解釈が困難である。そこで, 因子構造を簡素化するためバリマックス回転を行なった(第2 d表)。これによつて得られた最終因子構造(第2 d表)については次のように考える事ができる。

第1因子(MF 1): 正長石(orthoclase)を中心とした長石類が正の岩片とチャートが負の大きな値を示す。主として長石量, 特に正長石量がこの因子と関連し, この因子が全分散の約 $\frac{1}{3}$ を説明している。

第2因子(MF 2): 長石のうち微斜長石(myclocline)とミルメカイト(myrmekite)に関する因子である。

第3因子(MF 3): 石英, 変性岩質石英が正, 基質量が負の強い関連を持つ淘汰度に関する因子らしい。

第4因子(MF 4): 火山性石英斜長石(plagioclase)が正, 変成岩質石英が負の強い関連を持つ。火山性物質質量に関する因子らしい。

第5因子(MF 5): 斜長石に正パーサイト(perthite)に負の関連を示すが, 他に方解石(calcite)や全長石量も関与している。

この結果を, 一般に砂岩の分類に使用される五成分(石英, 斜長石, 正長石, 岩片, 基質)と比較すると次のようなことが分る。

- (1) 石英は火山性のものと変成岩のもので別々の変動をしているので, 両者を区別すべきである。
- (2) 長石は全長石量として一つの因子をなすが, そのうちの, ミルメカイトと微斜長石は別の因子をなしている, 区別されねばならない。
- (3) チャートは明らかに岩片と同じ変動をしている。古くは石英+チャートを三角ダイアグラムの端成分としていたが, これはやはり現在行なわれているように岩片+チャートで一つの端成分とすべきである。

各変数が因子空間上でどのような位置にあるかをプロットした図(第12図)は, MF 1—MF 2(第12a図)では微斜長石(81)とミルメカイト(9)が近いことを, MF 1—MF 3(第12b図)では, 全長石量(10)と正長石(5)が, またチャート(4)と岩片(12)が近いことを良く示している。

B. 重鉱物について

分析の結果は第3表の通りで, ここでは, 最終因子構造(第3 c表)のみについて考察する。

HF 1.: 緑色の角閃石, 緑泥石, 黒雲母, 燐灰石の主要有色鉱物に対して正の大きな値を示しており, 有色鉱物量に関する因子と言える。

HF 2.: ジルコン, 特に黄色と桃色のジルコンが主としてこの因子をなしている。

HF 3.: 無色ガーネット, 緑廉石の他に iron opaque とジルコンの一部が入る。しかし特に主体となるものはつきりしない。

HF 4.: 電気石の内, 青色及び緑色のものと深く関連するが, 褐色のものとは無縁である。

HF 5.: ガーネットの桃色及び電気石の褐色のものが主となっている。

第2表 主成分についての因子分析の出力結果. (a) 使用変数(VARIABLE), (b) 固有値(EIGENVALUE)と累積分散比率(CUMPCT)など, (c) 初期因子行列, 及び(d) 回転後最終因子行列.

SANDSTONE ANALYSIS OF THE GOSHONOURA AND HIMENOURA GROUP JUN. 7, 1975 PAGE 4
FILE GOHIME (CREATION DATE = MAY 12, 1975) SST DATA OF GOSHONOURA AND HIMENOURA GROUP

1.VARIABLE LIST

VARIABLES..	LABELS..
QZIG	IGNEOUS QUARTZ
QZMETA	METAMORPHIC QUARTZ
QZ	TOTAL QUARTZ
CHERT	
FORTHO	ORTHOCLASE
FPLAG	PLAGIOCLASE S.S.
FPERTH	PERTHITE
FMICRO	MICROCLINE
FMYRME	MYRMEKITE
TF	TOTAL FELDSPAR
AMAT	MATRIX S.S.
ROCK	ROCK FRAGMENT EXCLUDING CHERT
CAL	CALCITE

SANDSTONE ANALYSIS OF THE GOSHONOURA AND HIMENOURA GROUP JUN. 7, 1975 PAGE 7
FILE GOHIME (CREATION DATE = MAY 12, 1975) SST DATA OF GOSHONOURA AND HIMENOURA GROUP
SUBFILE GOSHO GOH1 HIME

VARIABLE	EST COMMUNALITY	FACTOR	EIGENVALUE	PCT OF VAR	CUM PCT
QZIG	0.51123	1	4.27471	32.9	32.9
QZMETA	0.49289	2	2.11867	16.3	49.2
QZ	0.49289	3	1.67927	12.9	62.1
CHERT	0.42389	4	1.29960	10.0	72.1
FORTHO	0.92057	5	1.07240	8.2	80.3
FPLAG	0.76368	6	0.88585	6.8	87.2
FPERTH	0.46876	7	0.67169	5.2	92.3
FMICRO	0.79737	8	0.53514	4.1	96.4
FMYRME	0.79737	9	0.28726	2.2	98.7
TF	0.92057	10	0.17071	1.3	100.0
AMAT	0.05765	11	0.00062	0.0	100.0
ROCK	0.42389	12	0.00007	0.0	100.0
CAL	0.15431	13	0.00000	0.0	100.0

AFTER 2 ITERATIONS COMMUNALITY OF ONE OR MORE VARIABLES EXCEEDED 1.0, PA2 FACTORING TERMINATED AT ITERATION # 1

SANDSTONE ANALYSIS OF THE GOSHONOURA AND HIMENOURA GROUP JUN. 7, 1975 PAGE 8
FILE GOHIME (CREATION DATE = MAY 12, 1975) SST DATA OF GOSHONOURA AND HIMENOURA GROUP
SUBFILE GOSHO GOH1 HIME

FACTOR MATRIX USING PRINCIPAL FACTOR WITH ITERATIONS

	FACTOR 1	FACTOR 2	FACTOR 3	FACTOR 4	FACTOR 5
QZIG	-0.67156	0.03264	-0.01158	0.00249	-0.48910
QZMETA	0.48767	0.28445	-0.55083	-0.03338	0.27159
QZ	-0.16278	0.38760	-0.69206	-0.03849	-0.21436
CHERT	0.69620	-0.10401	0.11801	-0.10354	-0.05075
FORTHO	-0.87000	0.00737	-0.04986	0.21394	0.36111
FPLAG	-0.69637	0.29071	0.20576	-0.42047	-0.06132
FPERTH	-0.43961	-0.19274	-0.28166	0.45220	-0.05728
FMICRO	-0.25481	-0.78421	-0.23436	-0.20769	0.00458
FMYRME	-0.18902	-0.81655	-0.25571	-0.21435	0.02161
TF	-0.95124	0.09925	0.05633	-0.08034	0.22398
AMAT	0.18047	-0.29271	0.33456	0.33309	-0.02382
ROCK	0.53539	-0.08810	-0.09305	-0.17303	0.05449
CAL	-0.12118	0.10799	0.14260	-0.24352	0.16187

SANDSTONE ANALYSIS OF THE GOSHONOURA AND HIMENOURA GROUP JUN. 7, 1975 PAGE 9
FILE GOHIME (CREATION DATE = MAY 12, 1975) SST DATA OF GOSHONOURA AND HIMENOURA GROUP
SUBFILE GOSHO GOH1 HIME

VARIMAX ROTATED FACTOR MATRIX

	FACTOR 1	FACTOR 2	FACTOR 3	FACTOR 4	FACTOR 5
QZIG	0.37975	0.07695	0.17983	0.71198	-0.04520
QZMETA	-0.25203	-0.14165	0.48458	-0.60460	-0.11435
QZ	-0.12392	-0.08661	0.80057	0.05871	-0.18945
CHERT	-0.65636	-0.04202	-0.17668	-0.23378	-0.06556
FORTHO	0.94840	0.11288	0.01033	0.06262	0.13517
FPLAG	0.39585	-0.05056	0.17939	0.49440	0.59705
FPERTH	0.51433	0.17863	0.05825	0.09636	-0.43725
FMICRO	0.09455	-0.87101	-0.05401	0.07021	-0.05045
FMYRME	0.04295	0.89665	-0.05857	0.02008	-0.06808
TF	0.84699	0.10754	0.08964	0.28576	0.39476
AMAT	-0.07653	0.00362	-0.52291	-0.01490	-0.24933
ROCK	-0.49206	0.08791	0.02302	-0.29751	-0.01235
CAL	0.06222	-0.02758	-0.00602	-0.00113	0.35709

SANDSTONE ANALYSIS OF THE GOSHONOURA AND HIMENOURA GROUP JUN. 7, 1975 PAGE 10
 FILE GOHIME (CREATION DATE = MAY 12, 1975) SST DATA OF GOSHONOURA AND HIMENOURA GROUP
 SUBFILE GOSHO GOMI HIME

SANDSTONE ANALYSIS OF THE GOSHONOURA AND HIMENOURA GROUP JUN. 7, 1975 PAGE 11
 FILE GOHIME (CREATION DATE = MAY 12, 1975) SST DATA OF GOSHONOURA AND HIMENOURA GROUP
 SUBFILE GOSHO GOMI HIME

第12図 主成分に関する因子分析における変数と回転後因子軸の関係。(a) 第1因子 (MF 1) と第2因子 (MF 2) 及び (b) 第1因子 (MF 1) と第3因子。各因子に関連する変数及び各変数間の類似性が分る。

これらのうち HF 1 については当然考えられるもので、言わば供給源の性格を示す因子とみて良からう。HF 3 については今の所どのような性格のものか決定しかねるが、HF 2, HF 4, HF 5 については、それぞれ特定の重鉱物が一因子をなしている。一般に重鉱物分析の結果を三角ダイアグラムにプロットする時には、ガーネット、電気石、ジルコンの三つを成分としている。上記因子分析の結果からすれば、これは2—4—5の因子とほぼ対応しており、妥当なものと言える。ここで、HF 5 が桃色ガーネットと褐色電気石の二つに支配されていることは、両者に一定の類似があることを示す。電気石の色はその組成によつて多様であるが、そのうち褐色のものが一体どんな特性を持っているのかは大きな問題である。

C. 主成分鉱物と重鉱物の両方について

この場合変数の数が38となり(第4 a 表)、第4 b 表に示す様に初期因子5個で全分散の50%、10個でも70%しか説明できていない。バリマックス回転後の最終因子構造(第4 c 表)についてみてみると次のようになる。

第3表 重鉱物についての因子分析の出力結果. (a) 使用変数 (VARIABLE), (b) 固有値 (EIGENVALUE) と累積分散比率 (CUMPCT) など, 及び (c) 回転後最終因子行列.

SANDSTONE ANALYSIS OF THE GOSHONOURA AND HIMENOURA GROUP JUN. 7. 1975 PAGE 21
FILE GOHIME (CREATION DATE = MAY 12. 1975) SST DATA OF GOSHONOURA AND HIMENOURA GROUP

1.VARIABLE LIST

VARIABLES,.	LABELS,.
ZIRECL	ZIRCON EUHEDRAL COLORLESS
ZIREPK	ZIRCON EUHEDRAL PALE PINK
ZIREYL	ZIRCON EUHEDRAL YELLOW
ZIRRCL	ZIRCON ROUNDED COLORLESS
ZIRRPK	ZIRCON ROUNDED PALE PINK
ZIRRYL	ZIRCON ROUNDED YELLOW
ZIRRPL	ZIRCON ROUNDED PURPLE
GARNCL	GARNET COLORLESS
GARNPK	GARNET PALE PINK
GARNOR	GARNET ORANGE
EPI	EPIDOTE
TOURL	TOURMARINE BLUE
TOURBR	TOURMARINE BROWN
TOURGR	TOURMARINE GREEN
HOGREEN	HORNBLende GREEN
AU	AUGITE
HY	HYPERSTHENE
APA	APATITE
RUT	RUTILE
SPI	SPINEL
GLAUCO	GLAUCONITE
CHL	CHLORITE
BIO	BIOTITE
MUSCO	MUSCOVITE
IROPAQ	IRON OPAQUES

SANDSTONE ANALYSIS OF THE GOSHONOURA AND HIMENOURA GROUP JUN. 7. 1975 PAGE 27
FILE GOHIME (CREATION DATE = MAY 12. 1975) SST DATA OF GOSHONOURA AND HIMENOURA GROUP
SUBFILE GOSHO GOH! HIME

VARIABLE	EST COMMUNALITY	FACTOR	EIGENVALUE	PCT OF VAR	CUM PCT
ZIRECL	0.74278	1	4.01939	16.1	16.1
ZIREPK	0.74468	2	2.48245	9.9	26.0
ZIREYL	0.97856	3	2.29707	9.2	35.2
ZIRRCL	0.51766	4	1.98506	7.9	43.1
ZIRRPK	0.75719	5	1.68505	6.7	49.9
ZIRRYL	0.97723	6	1.44733	5.8	55.7
ZIRRPL	0.52777	7	1.31466	5.3	60.9
GARNCL	0.50337	8	1.27776	5.1	66.0
GARNPK	0.72423	9	1.16940	4.7	70.7
GARNOR	0.61727	10	1.11580	4.5	75.2
EPI	0.49635	11	0.94510	3.8	79.0
TOURL	0.67051	12	0.81036	3.2	82.2
TOURBR	0.62760	13	0.67502	2.7	84.9
TOURGR	0.66067	14	0.57816	2.3	87.2
HOGREEN	0.51272	15	0.54874	2.2	89.4
AU	0.42633	16	0.50875	2.0	91.4
HY	0.38101	17	0.44521	1.9	93.0
APA	0.46729	18	0.42254	1.7	95.0
RUT	0.43826	19	0.34544	1.4	96.4
SPI	0.30440	20	0.27877	1.1	97.5
GLAUCO	0.10393	21	0.20105	0.8	98.3
CHL	0.56996	22	0.18754	0.8	99.0
BIO	0.43463	23	0.13109	0.5	99.6
MUSCO	0.52172	24	0.09725	0.4	100.0
IROPAQ	0.51057	25	0.01102	0.0	100.0

CONVERGENCE REQUIRED 23 ITERATIONS

SANDSTONE ANALYSIS OF THE GOSHONOURA AND HIMENOURA GROUP JUN. 7. 1975 PAGE 30
FILE GOHIME (CREATION DATE = MAY 12. 1975) SST DATA OF GOSHONOURA AND HIMENOURA GROUP
SUBFILE GOSHO GOH! HIME

VARIMAX ROTATED FACTOR MATRIX

	FACTOR 1	FACTOR 2	FACTOR 3	FACTOR 4	FACTOR 5
ZIRECL	-0.05279	0.46180	0.45161	0.42708	0.08267
ZIREPK	-0.08925	0.63228	0.20445	0.16178	0.13203
ZIREYL	0.01729	0.95367	-0.20727	-0.03387	-0.08670
ZIRRCL	-0.09255	0.14286	0.19017	-0.04119	-0.03326
ZIRRPK	-0.09463	0.60724	0.26222	0.26625	0.23048
ZIRRYL	0.02691	0.87755	-0.21020	-0.01162	-0.07772
ZIRRPL	-0.04943	0.09036	0.37088	0.02279	0.13209
GARNCL	0.00856	0.00841	0.57258	0.14878	-0.01444
GARNPK	-0.00414	-0.01435	-0.19530	0.02496	0.90699
GARNOR	0.00670	0.03647	0.38137	0.10950	0.18213
EPI	0.09845	-0.03059	0.33044	-0.06296	-0.22326
TOURL	-0.03716	-0.00275	-0.09273	0.83525	-0.00999
TOURBR	-0.08994	0.24653	0.30719	0.06200	0.62011
TOURGR	0.03494	0.17573	-0.02715	0.79403	-0.01861
HOGREEN	0.72302	0.00205	-0.09691	-0.03612	-0.02305
AU	0.12782	0.07932	0.00176	-0.02694	-0.08564
HY	-0.03874	-0.03277	0.22713	-0.02887	0.00806
APA	0.61434	-0.06762	0.02176	0.10693	0.05085
RUT	-0.02279	-0.08081	-0.15814	-0.09301	0.35465
SPI	-0.00877	-0.05272	0.24943	-0.01172	-0.08736
GLAUCO	-0.03293	0.01284	0.09564	-0.03254	-0.02285
CHL	0.80801	-0.03438	0.02352	-0.06845	-0.02198
BIO	0.60407	-0.05963	-0.08864	0.03837	-0.03478
MUSCO	0.10183	0.05018	0.18500	0.28998	0.35183
IROPAQ	0.06554	0.33322	0.42434	0.23764	0.17527

第4表 全成分についての因子分析の出力結果. (a) 使用変数 (VARIABLE), (b) 固有値 (EIGENVALUE) と累積分散比率 (CUMPCT) など, 及び (c) 回転後最終因子行列.

SANDSTONE ANALYSIS OF THE GOSHONOURA AND HIMENOURA GROUP JUN. 7, 1975 PAGE 44
FILE GOHIME (CREATION DATE = MAY 12, 1975) SST DATA OF GOSHONOURA AND HIMENOURA GROUP

1. VARIABLE LIST

VARIABLES..	LABELS..
QZIG	IGNEOUS QUARTZ
QZMETA	METAMORPHIC QUARTZ
QZ	TOTAL QUARTZ
CHERT	
FORTHO	ORTHOCLASE
FPLAG	PLAGIOCLASE S.S.
FPERTH	PERTHITE
FMICRO	MICROCLINE
FMYRME	MYRMKITE
TF	TOTAL FELDSPAR
AMAT	MATRIX S.S.
ROCK	ROCK FRAGMENT EXCLUDING CHERT
CAL	CALCITE
ZIRECL	ZIRCON EUHEDRAL COLORLESS
ZIREPK	ZIRCON EUHEDRAL PALE PINK
ZIREYL	ZIRCON EUHEDRAL YELLOW
ZIRRL	ZIRCON ROUNDED COLORLESS
ZIRRPK	ZIRCON ROUNDED PALE PINK
ZIRRYL	ZIRCON ROUNDED YELLOW
ZIRRP	ZIRCON ROUNDED PURPLE
GARNCL	GARNET COLORLESS
GARNPK	GARNET PALE PINK
GARNOR	GARNET ORANGE
EPI	EPIDOTE
TOURBL	TOURMARINE BLUE
TOURBR	TOURMARINE BROWN
TOURGR	TOURMARINE GREEN
HOGREEN	HORNBLende GREEN
AU	AUGITE
HY	HYPERSTHENE
APA	APATITE
RUT	RUTILE
SPI	SPINEL
GLAUO	GLAUCONITE
CHL	CHLORITE
BIO	BIOTITE
MUSCO	MUSCOVITE
IROPAQ	IRON OPAQUES

SANDSTONE ANALYSIS OF THE GOSHONOURA AND HIMENOURA GROUP JUN. 7, 1975 PAGE .50
FILE GOHIME (CREATION DATE = MAY 12, 1975) SST DATA OF GOSHONOURA AND HIMENOURA GROUP
SUBFILE GOSHO GOMI HIME

VARIABLE	EST COMMUNALITY	FACTOR	EIGENVALUE	PCT OF VAR	CUM PCT
QZIG	0.51123	1	6.36630	16.8	16.8
QZMETA	0.49289	2	4.54313	12.0	28.7
QZ	0.49289	3	3.10074	8.2	36.9
CHERT	0.59718	4	2.51964	6.6	43.5
FORTHO	0.92057	5	2.35670	6.2	49.7
FPLAG	0.76388	6	1.99447	5.2	54.9
FPERTH	0.53114	7	1.94431	5.1	60.1
FMICRO	0.88738	8	1.60433	4.2	64.3
FMYRME	0.88694	9	1.44514	3.8	68.1
TF	0.92057	10	1.31185	3.5	71.5
AMAT	0.23300	11	1.20570	3.2	74.7
ROCK	0.42389	12	1.11456	2.9	77.6
CAL	0.38194	13	1.03997	2.7	80.4
ZIRECL	0.60489	14	0.91358	2.4	82.8
ZIREPK	0.63419	15	0.79676	2.1	84.9
ZIREYL	0.98019	16	0.74893	2.0	86.9
ZIRRL	0.25894	17	0.67334	1.8	88.6
ZIRRPK	0.54611	18	0.65566	1.7	90.4
ZIRRYL	0.98019	19	0.56876	1.5	91.9
ZIRRP	0.33956	20	0.51073	1.3	93.2
GARNCL	0.34640	21	0.45364	1.2	94.4
GARNPK	0.49769	22	0.39584	1.0	95.4
GARNOR	0.33956	23	0.36171	1.0	96.4
EPI	0.59718	24	0.29142	0.8	97.2
TOURBL	0.70774	25	0.24453	0.6	97.8
TOURBR	0.49753	26	0.18429	0.5	98.3
TOURGR	0.70774	27	0.16726	0.4	98.7
HOGREEN	0.64449	28	0.13114	0.3	99.1
AU	0.24753	29	0.11158	0.3	99.4
HY	0.34640	30	0.07565	0.2	99.6
APA	0.45973	31	0.06764	0.2	99.7
RUT	0.49769	32	0.05470	0.1	99.9
SPI	0.29910	33	0.03684	0.1	100.0
GLAUO	0.18318	34	0.00563	0.0	100.0
CHL	0.57328	35	0.00327	0.0	100.0
BIO	0.64449	36	0.00027	0.0	100.0
MUSCO	0.29015	37	0.00000	0.0	100.0
IROPAQ	0.23657	38	0.00000	0.0	100.0

CONVERGENCE REQUIRED 11 ITERATIONS

SANDSTONE ANALYSIS OF THE GOSHONOURA AND HIMENOURA GROUP JUN. 7, 1975 PAGE 53
 FILE GOHIME (CREATION DATE = MAY 12, 1975) SST DATA OF GOSHONOURA AND HIMENOURA GROUP
 SUBFILE GOSHO GOHI HIME
 VARIMAX ROTATED FACTOR MATRIX

	FACTOR 1	FACTOR 2	FACTOR 3	FACTOR 4	FACTOR 5
OZIG	0.65081	0.07492	0.03163	0.02460	-0.01242
OZMETA	-0.53191	-0.12273	-0.01728	0.14432	-0.53418
OZ	0.11396	-0.06977	0.01672	0.19236	-0.63439
CHEFT	-0.66814	-0.13824	-0.15151	-0.29572	0.13944
FORTH0	0.83697	0.16390	-0.04257	-0.04527	-0.12123
FPLAG	0.68547	-0.11077	0.24973	0.20780	0.05322
FFERTH	0.37544	0.32601	-0.24641	-0.20187	-0.06938
FMICRO	0.06701	0.85480	-0.01573	0.04602	0.03598
FMYRME	-0.00904	0.90253	0.11153	-0.04524	0.06359
TF	0.94593	0.10690	0.08324	0.05021	-0.05690
AMAT	-0.19021	0.11400	-0.10306	-0.14767	0.40525
ROCK	-0.52333	-0.02306	0.13609	-0.12890	0.04672
CAL	0.11201	-0.07040	0.11743	0.40192	0.05686
ZIMECL	0.18913	0.26332	-0.37863	0.16088	0.38723
ZIMEPK	0.41500	0.59209	-0.36586	-0.00998	0.26302
ZIMEYL	0.08114	0.97534	-0.02371	0.00476	0.09995
ZIMKCL	0.02670	0.06338	-0.28389	-0.19765	-0.07521
ZIRRPK	0.14272	0.44920	-0.35449	0.40340	0.17816
ZIRRYL	0.03496	0.96819	0.02298	0.05308	0.09323
ZIRHPL	-0.17867	0.00788	-0.22056	0.27683	-0.04792
GARNCL	-0.11219	-0.17043	-0.21368	-0.00922	0.13622
GARNPK	0.38447	-0.12488	0.00371	0.48208	-0.26478
GARNOR	-0.06621	-0.04859	-0.17871	0.23063	0.06763
EPI	-0.40132	-0.20121	-0.22298	-0.85820	0.10737
TOURHL	0.03413	-0.08406	0.01307	0.37017	0.56294
TOURH	0.18939	0.11348	-0.32489	0.36174	-0.07713
TOURGH	0.04103	0.11502	0.04712	0.29424	0.61434
HOGREEN	0.26888	0.00082	0.66993	-0.05212	-0.10711
AU	-0.09025	0.01381	0.23264	-0.15241	-0.04821
HY	-0.05004	-0.07206	-0.13149	-0.08689	0.03304
APA	-0.00801	-0.02638	0.60881	-0.02285	0.09922
RUT	0.19317	-0.06006	-0.00208	0.08114	-0.20482
SPI	-0.47759	-0.04562	-0.01546	0.06956	-0.04741
GLAUO	-0.14033	-0.00566	-0.06865	-0.05056	-0.02465
CHL	-0.07115	-0.04265	0.74064	-0.09393	-0.04661
BIO	0.21465	-0.05737	0.63135	0.04697	-0.03068
MUSCO	0.20412	-0.09963	-0.03424	0.24818	0.28420
IROPA0	-0.09843	0.23618	-0.13846	0.43792	0.01133

TF 1. 長石量と火山性石英に正, 岩片, チャート, 変成岩質石英に負の関連を持つ。

TF 2. ジルコン (特に黄色) と微斜長石とミルメカイトとの関連が強い。

TF 3. 緑泥石, 角閃石 (緑色) 燐灰石, 黒雲母, との関連が強い。

TF 4. 緑簾石が大きく負を示し, 正の側では, 方解石, 桃色ジルコン, 桃色ざくろ石との関連が目立つ。

TF 5. 青色と緑色の電気石及び基質量と正, 変成質石英と負の関連を持つ。

これを先の主成分 (MF) とそれぞれの場合の因子と比較すると次のようになる。

$$\begin{aligned} \text{TF 1} &= \text{MF 1} \\ \text{TF 2} &= \text{MF 2} + \text{HF 2} \\ \text{TF 3} &= \text{HF 1} \\ \text{TF 4} &= \text{HF 3} \\ \text{TF 5} &= \text{HF 4} - \text{MF 3} \end{aligned}$$

即ち MF 2 と HF 2 は同一の因子であり, HF 4 と MF 3 は反対の性格の因子であることが示されたのである。

4. データ構造について

以上のように, それぞれの因子分析の結果は, データの構造をかなり解明してくれる。

これまで経験的に特徴ある成分を用いて行なっていた分類法に対して, 重鉱物の場合のようにある面ではその根拠を与え, また, 石英の細分, ミルメカイトや微斜長石の特異性のようにある面ではこれに疑問を投げかける。

もちろん, これらの結果をそのまま完全に受け取ることは妥当ではない。何故なら, これらの因子の中のあるもの (たとえば微斜長石やミルメカイト) は絶対量も分散値も小さいため, 測定誤差の範囲に入るような小さな変動が過大評価されている可能性があるし, また最初の相関行列の中には, 全長石量と正長石量のように当然相関の高い変数が含まれていて, さらに変数の選択に考慮の余地があるからである。

しかし, ここに示されたようなデータの構造を念頭にいった上でサンプルの分類を行えば, より適切な

分類ができるであろう。又、データの採取に当つても、例えば石英については火山性のものと変成岩性のものを区別しておくことが有意義であるように、より効率良い作業が行なえるのではなかろうか。筆者の一人西脇はかつて多量のサンプルを前にしてデータを採取する際にこのような構造についての検討を行わずに、旧来の手法をそのまま適用したため、せつかく長時間かつ多大な労力を費したデータが後日その価値を半減してしまつた経験を持つている。因子分析は SPSS により手軽に簡単に行なえるようになった現在、この利点を活用すべきであろう。

V. 利用のための手続きと参考文献

1. 利用のための手続き

実際に BMD や SPSS を利用するには、これを所有する大型計算機センターに課題申請をし、利用者としての資格を得る必要がある。

その方法は各センターで多少異なるので、各センター又は各地区の協議会や連絡所へ問い合わせると良い。実際の使用に当つては、各センターに置かれているプログラム相談室を利用したり各センター発行のニュースなどを参考にすると良い。

現在 BMD と SPSS は京都大学、北海道大学、名古屋大学の大型計算センターにある（ただし名大は SPSS のみ）。また、東京大学には近く SPSS が入る予定であり、利用者の希望があればその他の大型計算機センターにも導入できる。

2. 参考文献

SPSS のプログラム仕様書 (Manual) は Nie *et al.* (1973) があるが、国内の利用者向きに三宅 (1973) が出版されている。京都大学大型計算機センター公報 (vol. 5, no. 10~12, vol. 6, no. 2, 3, 5, 7, 8) 及び北海道大学大型計算機センター・ニュース (Supplement no. 7) も便利である。

BMD のプログラム仕様書は DIXON (1973) であるが、京都大学大型計算機センター公報でも各プログラムごとに紹介されている。これらのプログラムの使用に当つては（特に BMD では）FORTRAN に関する知識が多少あつた方が良い。これには、使用する電算機に応じてその電算機メーカー発行の入門書を参照すると良い。一般的なものとしては森口 (1968) などがある。

統計処理を行なう場合統計学についての知識はある程度必要である。SPSS や BMD で使用されている統計処理に関して全般的に述べたものとしては、肥田ら (1961) や奥野ら (1971) などがあり、地質学との関連については HARBOUGH and MERRIAM (1968) が良い。統計学の入門書としては国沢 (1974) などが手頃である。それぞれの分析法についての解説書も最近かなり出ており、たとえば、ハナン (1974)、スミス (1967)、ローリィ (1970) などがある。「数理科学」の特集にもかなり入っている（たとえば、71年4月号因子分析、73年3月多変量解析）。地質学における応用については水谷 (1974) で詳しく紹介されている。

謝 辞

本稿を草するに当たり、当研究に深い御理解を示され有益な御助言を戴いている京都大学中沢圭二教授及び姫路工業大学弘原海清助教授、BMD と SPSS に関連して御指導戴いた同志社大学三宅一郎教授、データの使用を快諾された鹿児島大学岡田博有教授、および発表に当つて多大の便宜をはかつて戴いた東京都立大学矢沢大二教授に厚くお礼申し上げます。

本研究中の計算は京都大学及び名古屋大学の両大型計算機センターで行なつた。

文 献

- 浅野長一郎 (1971) : 因子分析法通論. 481 pp., 東京, 共立出版社.
DAVIS, J. C. (1970) : Information contained in sediment-size analysis. *Mathematical Geol.*,

- 2, No. 2, pp. 105-112.
- DIXON, W. J. (1973) : BMD Biomedical Computer Programs, Univ. California Press, 773 pp.
- ハナン, E. J. (細谷訳) (1974) : 時系列解析. 161 pp., 東京, 培風館.
- HARBOUGH, J. W. and MERRIAM, D. F. (1968) : Computer Applications in Stratigraphic Analysis, John Wiley and Sons, Inc., New York, 282 pp.
- HARMAN, H. H. (1967) : Modern Factor Analysis, second edition, The University of Chicago Press, Chicago and London, 474 pp.
- 肥田野直, 瀬谷正敏, 大川信明 (1973) : 心理教育統計学. 346 pp., 東京, 培風館.
- IMBRIE, J., and Van ANDEL, T. H. (1964) : Vector analysis of heavy mineral data. *Geol. Soc. Am., Bull.*, **75**, No. 11, pp. 1131-1156.
- KLOVAN, J. E. (1966) : The use of factor analysis in determining depositional environments from grain-size distributions. *Jour. Sed. Petr.*, **36**, No. 1, pp., 115-125.
- 国沢清典 (1974) : 統計学初歩, 数学セミナーリーディングス, 数学セミナー増刊, 160 pp., 東京, 日本評論社.
- 水谷伸治郎 (1974) : 数理地質学. 地球科学, **28**, 4号, pp. 128-149.
- 森口繁一 (1968) : JIS フォートラン入門, 上. 東京, 東京大学出版会.
- 中村 孝 (編集) (1974) : SPSS 使用の手引. 北海道大学大型計算機センター・ニュース, Supplement 7, 105 pp.
- NIE, N., BENT, D. H., and HULL, C. H. (1970) : SPSS Statistical Package for the Social Sciences, McGraw-Hill Book Co., New York, 343 pp.
- OKADA, H. (1961) : Cretaceous sandstone of Goshonoura Island, Kyushu. *Mem. Fac. Sci., Kyushu Univ., Ser. D, Geology*, **11**, No. 1, pp. 1-48.
- 奥野忠一, 久米 均, 芳賀敏郎, 吉沢 正 (1971) : 多変量解析法, 430 pp., 東京, 日科技連.
- PETTIJOHN, F. J. (1957) : Sedimentary Rocks, second ed., Harper and Row, New York, 718 pp.
- ローリイ, D. N., マックスウェル, A. E. (丘本訳) (1970) : 因子分析法, 163 pp., 東京, 日科技連.
- スミス, D. (中村訳) (1967) : 応用回帰分析. 東京, 森北出版.
- UJIE, H. (1962) : Introduction to statistical foraminiferal zonation. *Jour. Geol. Soc. Japan*, **68**, No. 803, pp. 431-450.
- 山本嘉一郎 (1974) : 因子分析法の堆積環境解析への応用. 地質学雑誌, **80**, 4号, pp. 165-177.
- 山本嘉一郎 (1974) : BMD P-series プログラム概説 (1), 京都大学大型計算機センター公報, **7**, No. 4, pp. 186-193.
- 山本嘉一郎 (1975) : BMD P-series プログラム概説 (2). 京都大学大型計算機センター公報, **8**, No. 1, pp. 9-11.

(1975年8月13日受理)