

岩石の平均化学成分とその図示

2. 堆積岩類

丹治 耕吉* 小野 千恵子** 安藤 直行* 片田 正人**

Average Chemical Compositions of Rocks and Their Graphic Representation

2. Sedimentary Rocks

Kōkichi TANJI, Chieko ONO, Naoyuki ANDO and Masato KATADA

Abstract

In order to calculate, tabulate and plot the results of chemical analyses of sedimentary rocks, computer programs were made. The analytical data are recalculated excepting carbonates, ignition losses and minor elements, as shown in a flow chart (Fig. 1). ACF and AKF triangular diagrams, and $\text{Na}_2\text{O}-\text{K}_2\text{O}$ rectangular one can be put out from the curve plotter. Using the programs, average compositions of sandstone, mudstone, limestone and chert were examined.

要 旨

堆積岩類の化学成分を整理する表と図を作成した。そしてこれらを利用して堆積岩類の平均化学成分を検討した。計算には電子計算機 TOSBAC-3400 を使用した。

1. 緒 言

この報文は、前回報告した、岩石の平均化学成分とその図示—1. 火成岩類 (丹治ほか, 1974) に引き続くものである。

まず電子計算機 TOSBAC-3400を利用して堆積岩類の主要化学成分のいくつかの計算をし、印刷し、計算結果の一部をカーブプロッターで図示した。そしてそれにもとづいて若干の堆積岩類の平均値の検討をした。

これをまとめるにあたっては、技術部大森貞子技官から多くの援助をうけた。ここに深く感謝の意を表する。

2. 分析値の計算・印刷および図示

2.1 データカード

データカードは2枚用いる。最初の1枚には、

 SiO_2
 TiO_2
 Al_2O_3
 Fe_2O_3
 FeO
 MnO
 MgO
 CaO
 Na_2O
 P_2O_5
 $\text{H}_2\text{O}+$
 $\text{H}_2\text{O}-$
 CO_2

の値を打ちこむ。これは前回の火成岩類のノルム計算などの場合とほぼ同様である。今回の堆積岩の場合は、さらに2枚目のカードに、

 C
 S
 Ig.L.
 Others

を打ちこむ。

このプログラムは、前回の火成岩のノルム計算の場合とちがって、全成分について欠測データがあってもさしつかえない。欠測データに対しては、その位置に負の値 (絶対値はどんなものでもよい) を打ちこんでおく。

2.2 分析値の計算

分析値の計算に際し、もし火成岩類と比較するためのノルム計算などをするときには、1枚目のデータカードに欠測データがなければそのまま用いて前回作成したプ

* 技術部
** 地質部

ログラム NORM-103, 103-2, 103-3 を利用すればよい。ただし CO_2 の値を入れて計算すると、堆積岩の場合、種類によっては ap 値がマイナスになることがあるから注意を要する。

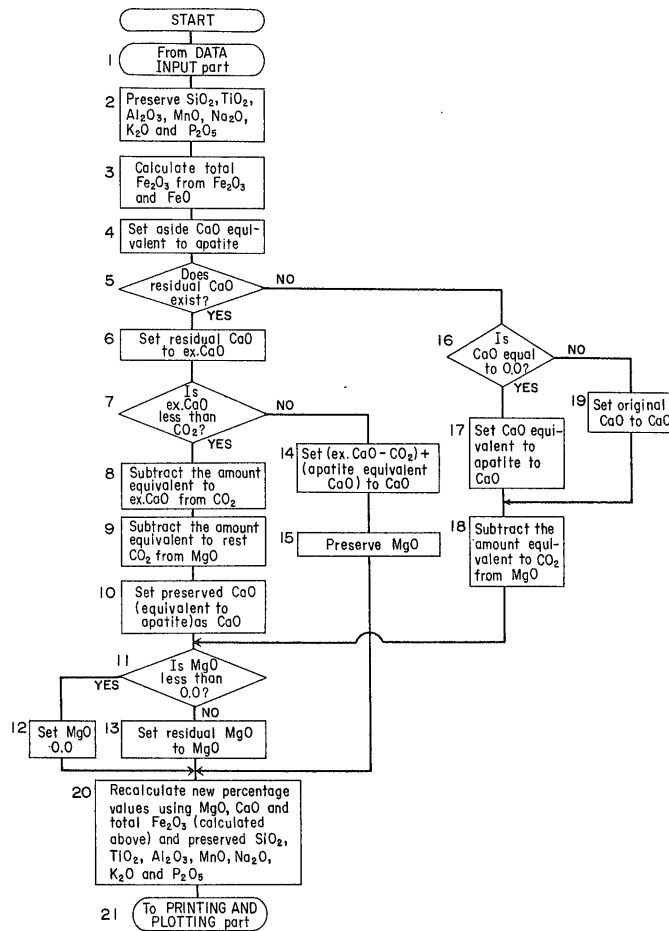
堆積岩用のノルム計算も考案されているが (IMBRIE et al., 1959; NICHOLLS, 1962), 一般的にあまり利用されていないため、以下のような計算を行った。

まず鉄は total Fe_2O_3 に換算する。

つぎに $\text{H}_2\text{O}+$, $\text{H}_2\text{O}-$, CO_2 , C, S, つまり Ig.L. と、その他の微量成分はすべてはぶくことにする。また CO_2 は炭酸塩鉱物中に入っているから、 CO_2 と結合しているとみなされる CaO と MgO を、もとの分析値から引き去ることにする。

そしてこの残りの成分の合計が 100 になるように再計算する。

CO_2 , CaO, MgO に関する実際の計算プロセスは次



1. データ入力部から
2. SiO_2 , TiO_2 , Al_2O_3 , MnO , Na_2O , K_2O , P_2O_5 はそのまま
3. Fe_2O_3 , FeO から total Fe_2O_3 を計算
4. CaO の総量から apatite の分をとり分ける
5. CaO に残があるか?
6. 残を ex. CaO とする
7. ex. CaO は CO_2 より少ないか?
8. CO_2 から ex. CaO 当量分を引く
9. 残った CO_2 の当量を MgO から引く
10. apatite 分としてとり分けたものを CaO とする
11. MgO は 0.0 より少ないか?
12. MgO を 0.0 とする
13. 残りの MgO を MgO とする
14. ex. CaO から CO_2 の当量を引いたもの、プラス先にとり分けた apatite 当量の CaO を CaO とする
15. MgO はそのまま
16. CaO は 0.0 に等しいか?
17. apatite と当量の CaO を CaO とする
18. MgO から CO_2 の当量を引く
19. もとの CaO をそのまま CaO とする
20. MgO, CaO の新しい値と、 SiO_2 , TiO_2 , Al_2O_3 , total Fe_2O_3 , MnO , Na_2O , K_2O , P_2O_5 の成分を用いて百分率を再計算する
21. 印刷・作図部へ

第1図 プログラム NORM-104 の、炭酸塩と水など灼熱減量分を除く計算部分のフローチャート

Flow chart of calculation to exclude carbonates, ignition losses and minor elements in program NORM-104.

第1表 南部北上山地登米相および薄衣相砂岩の化学成分

SAMPLE NO.	1	2	3	4
SiO ₂	43.86	61.64	54.88	63.49
TiO ₂	1.01	0.42	0.73	0.65
AL ₂ O ₃	12.57	17.42	13.54	13.72
FE ₂ O ₃	0.91	1.30	0.44	1.94
FE ₀	4.17	3.53	3.70	4.37
MNO	0.60	0.05	0.12	0.11
MGO	1.53	1.97	1.50	2.63
CAO	15.42	3.15	10.38	3.29
NA ₂ O	2.89	4.57	3.75	4.35
K ₂ O	1.05	1.38	0.87	1.03
P ₂ O ₅	0.22	0.13	0.15	0.10
H ₂ O+	2.57	2.58	2.23	2.45
H ₂ O-	0.30	0.56	0.24	0.54
CO ₂	11.68	1.05	6.84	1.14
C	0.21	0.	0.27	0.
S	0.33	0.	-	0.
IG.L.	-	-	-	-
OTHERS	0.29	0.	-	0.
TOTAL	99.61	99.75	99.64	99.81
RECALCULATED PERCENTAGE				
SiO ₂	62.83	65.15	67.13	67.03
TiO ₂	1.45	0.44	0.89	0.69
AL ₂ O ₃	18.01	18.41	16.56	14.49
FE ₂ O ₃ *	7.94	5.52	5.57	7.18
MNO	0.86	0.05	0.15	0.12
MGO*	2.19	2.08	1.83	2.78
CAO*	0.77	1.92	2.04	1.94
NA ₂ O	4.14	4.83	4.59	4.59
K ₂ O	1.50	1.46	1.06	1.09
P ₂ O ₅	0.32	0.14	0.18	0.11

1. 宮城県登米町北沢, 登米相砂岩
2. 同県気仙沼北西方, 登米相砂岩
3. 岩手県住田町姥石峠東方, 登米相砂岩
4. 同上, 薄衣相砂岩

第1~3表は NORM-104 そのものであるが, 原著で Tr としてあるものは 0 としてある

のようである。

a) まず燐灰石 $ap = 3 (CaO) \cdot P_2O_5 \cdot CaO$ を作るべき CaO をとっておく。

b) CO₂ と CaO で方解石 $CCD = CaO \cdot CO_2$ を作る。

c) もし CaO が足りない場合は, 余った CO₂ でマグネサイト (MgO · CO₂) を作る。実際の多くの堆積岩中では, 炭酸塩鉱物は方解石とドロマイト (CaO · MgO · 2CO₂) として存在しているが, ここでは計算を簡単にするために CaCO₃ と MgCO₃ という分子で計算した。

以上の分析値の再計算の方法の詳細は第1図のフローチャートに示される。

このような再計算をすると, 供給源地から運搬されてきた物質の化学成分をよく示すことになり, 砂岩や泥質岩, とくに前者の比較検討には便利であろうと思われる。

その1例として, 南部北上山地二疊紀登米層 (登米相) および薄衣礫岩層 (薄衣相) 砂岩の例を示す (第1表)。これらの砂岩は, しばしば石灰質で, 石灰質の程度

1) CCは炭酸カルシウム。

はさまざまである。炭酸塩鉱物のほとんどが方解石であり, この方解石は生物起源であろうと思われる。分析値をみると, たとえば SiO₂ = 43.86 ~ 63.49 % のように値がばらついて比較しにくいけれども, 再計算してみると, 互いに比較しやすくなる。これによると, 全体的によく似た成分をもっていることがわかる。とくに興味深いのは, 1~3の砂岩と4の砂岩とは後背地の地質も堆積環境も異なっていると考えられていたにもかかわらず再計算値が似ている事実である。これは予想外の結果であった。しかし現在では, この再計算値は, 地質学的にも妥当な結果であって, 後背地や堆積環境を再検討する主要な資料であると考えられている (片田正人・大森江い未公表資料)。

つぎに Fe₂O₃/total Fe₂O₃ 比を計算する。堆積岩中の鉄は, 供給源地から運搬され, 沈積するまでは大半は3価の鉄であろう。しかし沈殿・固結・続成作用・変成作用の過程を経ると, 還元されて次第に2価の鉄が多くなるのが常である。したがって Fe₂O₃/total Fe₂O₃ 比の大小は, それらの過程の進行程度を示す1つのパラメーターとなる。つぎに Na₂O/K₂O 比を計算する。Na₂O の大半は碎屑岩中では, 斜長石碎屑粒に含まれる。K₂O はカリ長石碎屑粒とマトリックスの粘土鉱物に含まれる (雲母碎屑粒にも, この鉱物が新鮮な場合には含まれる)。したがって Na₂O/K₂O 比は, 泥質岩の場合には, 斜長石碎屑粒の量, 粘土鉱物の種類, 碎屑粒とマトリックスの量比などを示す値になる。

最後に ACF 値, AKF 値を計算する。これは変成岩を記載する際の計算値であるが, 堆積岩の分類の場合にも便利な値である。

$$\begin{cases} A = Al_2O_3 + Fe_2O_3 - (Na_2O + K_2O) \\ C = CaO \\ F = FeO + MgO + MnO \end{cases}$$

$$\begin{cases} A = Al_2O_3 + Fe_2O_3 - (Na_2O + K_2O + CaO) \\ K = K_2O \\ F = FeO + MgO + MnO \end{cases}$$

として計算した。この計算にはいくつかの補正が必要であるが, ここでは補正は行っていない。ただし問題は方解石である。方解石は変成度の低い変成帯では, 脈になって鉱物のまま移動することがあるし, 存在していても新しい変成鉱物の形成に加わっていないように思われる場合もある。したがって方解石をこれらの計算から除外すると, 上記の計算ともよく調和して, 堆積岩の議論には便利ことが多い。しかし大方の変成岩研究者の習慣にしたがって, ここでも方解石を ACF 値の計算に加えることにする。

今回の計算は以上であるが、計算の際の原子量は、1971年のものに基づいた。

2.3 分析値・計算値の印刷と図示

以上の堆積岩類の分析値・計算値は、前回報告したプログラム NORM-103-3 と類似した様式で印刷する²⁾。各コラムの上からの順序は、試料 no, 分析値を印字し、ついで、再計算値などが以下のように印刷される。

- SiO₂
- TiO₂
- Al₂O₃
- Fe₂O₃
- MnO
- MgO
- CaO
- Na₂O
- K₂O
- P₂O₅
- Fe₂O₃/total Fe₂O₃
- Na₂O/K₂O
- A
- C
- F
- A
- K
- F

ただし、欠測データに対しては、数値を印刷せず(-ハイフン)を印刷し、ACF, AKF 値の一部がマイナスになったときにも、その値は印刷しない(第3表参照)。

カーブプロッターによって画かれる図は Na₂O-K₂O 図, ACF 図, AKF 図である。

3. 堆積岩類の平均化学成分

火成岩類と異なって、堆積岩類各種の真の平均値の算出はむずかしい。というのは、堆積岩類の化学成分には地域性があるからである。たとえば砕屑岩類の場合、供給源地の岩石の種類、露出面積、風化の程度などが化学成分に大きく影響するし、堆積盆の地質学的条件や生物学的条件も無視できない。

2) 前回のプログラム NORM-103-3 は、その後筆者の一人安藤によって改訂されて、以下のように印刷される。各コラムは、上から、試料 no., 分析値 (SiO~H₂O-CO₂), ノルム値(Q, C, or, ab, an, ne, wo, wo-di, en-di, fs-di, en-hy, fs-hy, fo-ol, fa-ol, mt, hm, il, ap, others), salic total, femic total, DI, total FeO-MgO-(Na₂O + K₂O) 比, Q-or-ab 比, Q-or-(ab + an) 比。

そして上記を印刷したあと、最後から3番目のコラムに各行の数値の合計、最後から2番目のコラムにそれらの平均値が、最後のコラムに和と平均の計算に用いられたデータの数が印刷される。したがってこの NORM-103-3 と、今回作成した104は化学成分の平均値の計算だけに利用しても便利である。

第2表 CLARKE (1924) による砂岩の平均値

SAMPLE NO.	5	6
SiO ₂	78.66	84.86
TiO ₂	0.25	0.41
AL2O3	4.78	5.96
FE2O3	1.08	1.39
FeO	0.30	0.84
MNO	0.	0.
MGO	1.17	0.52
CAO	5.52	1.05
NA2O	0.45	0.76
K2O	1.32	1.16
P2O5	0.08	0.06
H2O+	1.33	1.47
H2O-	0.31	0.27
CO2	5.04	1.01
C	-	-
S	-	-
IG.L.	-	-
OTHERS	0.12	0.10
TOTAL	100.41	99.86

RECALCULATED PERCENTAGE

SiO ₂	89.89	88.48
TiO ₂	0.29	0.43
AL2O3	5.46	6.21
FE2O3*	1.62	2.42
MNO	0.	0.
MGO*	0.51	0.31
CAO*	0.12	0.08
NA2O	0.51	0.79
K2O	1.51	1.21
P2O5	0.09	0.06

5. 砂岩253個の composite analysis.

6. Building purposes の砂岩371個の composite analysis.

H₂O+ は organic matter を含んでいる

また経済的に有用な岩石の分析値は他よりも多いであろうし、採石場がある場合には、どうしても採石場で、経済的に有用な、おそらく特定の岩質の試料を多く採取しがちである。いま平均値が一定しない例を1つ示すと、有名な CLARKE (1924) の The data of geochemistry にあげられた砂岩の平均値の場合で(第2表), no. 5 が253コの砂岩の平均値, no. 6 は371コの建築用 (building purposes) の砂岩の平均値である。このように多くの試料の平均値であるにもかかわらず、SiO₂ が6%以上異なっている(そのおもな理由は CO₂ の量の多少であり、再計算値は Fe₂O₃ をのぞき似ている)。

しかしながら、以上のような不確かさはあるにしても、平均値は、大体の目安として、または共通の物指しとしての意義もっている。したがって、われわれになじみの深い、砂岩・泥岩・石灰岩・チャートの平均値を

第3表 砂岩・泥岩・石灰岩・チャートの平均化学成分

SAMPLE NO.	7	8	9	10	11	12	13	14	15
SI02	78.31	66.70	77.10	58.11	61.54	62.25	5.19	89.90	88.70
TI02	0.25	0.60	0.30	0.65	0.82	0.75	0.06	0.20	0.20
AL203	4.76	13.50	8.70	15.40	16.95	16.92	0.81	3.70	2.10
FE203	1.08	1.60	1.50	4.02	2.56	1.80	0.54	2.30	1.50
FE0	0.30	3.50	0.70	2.45	3.90	4.09	-	-	-
MNO	0.	0.10	0.20	0.	-	0.08	0.05	0.10	-
MGO	1.16	2.10	0.50	2.44	2.52	2.25	7.89	0.50	0.40
CA0	5.50	2.50	2.70	3.10	1.76	0.69	42.57	0.30	2.00
NA20	0.45	2.90	1.50	1.30	1.84	1.99	0.05	0.70	0.30
K20	1.32	2.00	2.80	3.24	3.45	3.51	0.33	0.70	0.50
P205	0.08	0.20	0.10	0.17	-	0.12	0.04	0.90	-
H20+	1.63	2.40	0.90	4.99	3.47	3.57	0.77	-	-
H20-	-	0.60	-	-	-	0.80	-	-	-
CO2	5.04	1.20	3.00	2.63	1.67	-	41.54	-	-
C	-	0.10	-	0.80	-	1.10	-	-	-
S	-	0.10	-	-	-	0.24	0.09	-	-
IG.L.	-	-	-	-	-	-	-	-	-
OTHERS	0.12	0.30	-	0.70	-	-	0.07	-	-
TOTAL	100.00	100.40	100.00	100.00	100.48	100.16	100.00	99.30	95.70
RECALCULATED PERCENTAGE									
SI02	89.90	70.54	82.81	66.08	65.49	65.59	68.95	90.53	92.69
TI02	0.29	0.63	0.32	0.74	0.87	0.79	0.80	0.20	0.21
AL203	5.46	14.28	9.34	17.51	18.04	17.83	10.76	3.73	2.19
FE203*	1.62	5.81	2.45	7.67	7.34	6.69	7.17	2.32	1.57
MNO	0.	0.11	0.21	0.	-	0.08	0.66	0.10	-
MGO*	0.48	2.22	0.	2.39	2.40	2.37	5.38	0.50	0.42
CA0*	0.12	1.03	0.14	0.25	0.24	0.73	0.70	0.30	2.09
NA20	0.52	3.07	1.61	1.48	1.96	2.10	0.66	0.70	0.31
K20	1.52	2.12	3.01	3.68	3.67	3.70	4.38	0.70	0.52
P205	0.09	0.21	0.11	0.19	-	0.13	0.53	0.91	-
FE203/TOT.FE203	0.78	0.31	0.68	0.62	0.40	0.31	-	-	-
NA20/K20	0.34	1.45	0.54	0.40	0.53	0.57	0.15	1.00	0.60
MOLF. PERCENTAGE									
A	19.71	33.63	35.81	44.63	-	46.08	-	-	-
C	60.09	20.15	42.27	20.42	-	5.26	-	-	-
F	20.19	46.21	21.92	34.95	-	48.66	-	-	-
A	-	19.45	-	33.69	-	38.73	-	-	-
K	-	13.85	-	17.68	-	15.11	-	-	-
F	-	66.69	-	48.63	-	46.16	-	-	-

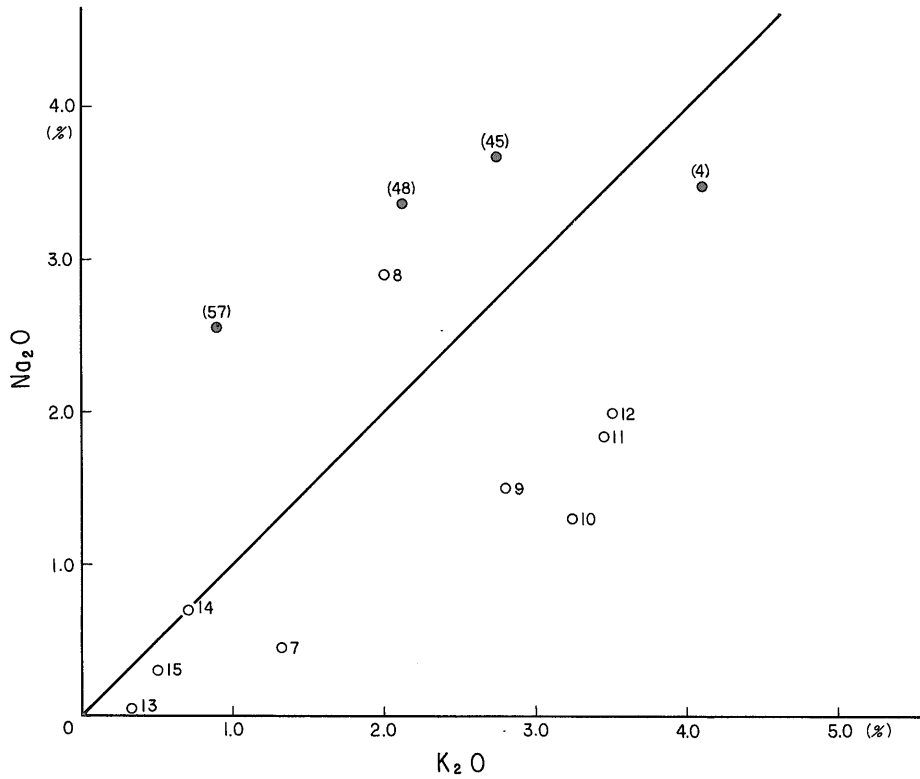
7. 砂岩253個の composite analysis, total を100に計算しなおしてある (CLARKE and WASHINGTON, 1924).
 8. グレイワック61分析値の平均値 (PETTIJOHN, 1963).
 9. アルコース32分析値の平均値 (PETTIJOHN, 1963).
 10. 頁岩78個の composite analysis, total = 100 (CLARKE and WASHINGTON, 1924).
 11. 泥質岩155分析値の平均値 (SHAW, 1956).
 12. 非変成粘板岩151分析値の平均値 (岩崎ほか, 1965; および岩崎氏私信), CはCO₂を含んでいる.
 13. 石灰岩345個の composite analysis, total = 100 (CLARKE and WASHINGTON, 1924).
 14. ラヂオラリアチャート11分析値の平均値 (PETTIJOHN, 1962).
 15. スピキュラーチャート8分析値の平均値 (PETTIJOHN, 1962).
- なお, no. 8, 9, 14, 15 は, 原著では小数以下1桁までしか示されていない.

第3表にあげる. CLARKE and WASHINGTON(1924), SHAW (1956), CRESSMAN (1962), PETTIJOHN (1963), 岩崎ほか (1965) の論文から引用したものである. 第2~4図がそれらをプロットした図である. また火成岩類との比較をする意味で, 前回の報文で示した DALY による granite, granodiorite, diorite, gabbro の平均値も第2~4図に同時にプロットした.

なおこの報文で印刷した表は, すべて計算機が印刷し

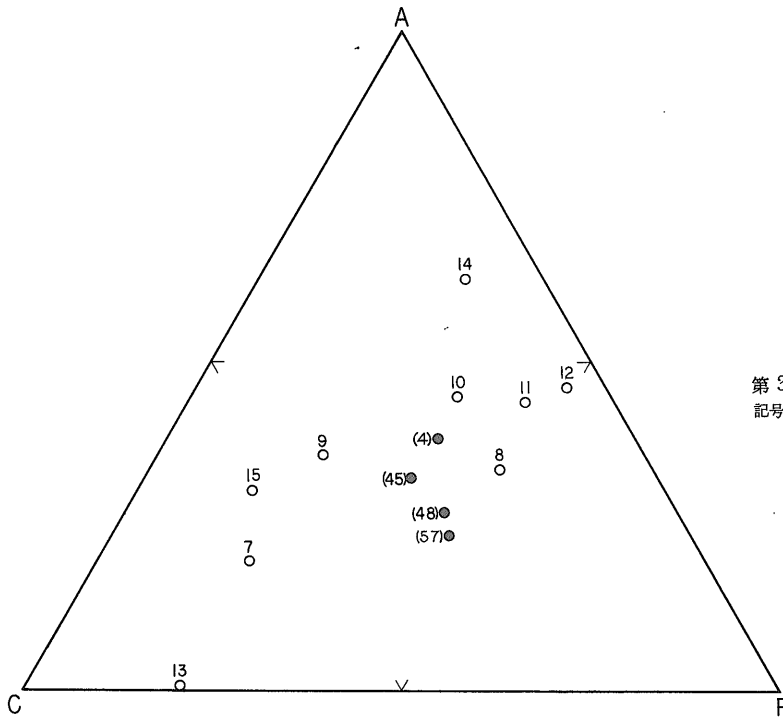
たものを写真製版したものである. したがって, 各記号はすべて大文字になっている.

(受付: 1975.1.8日; 受理: 1975.1.30日)

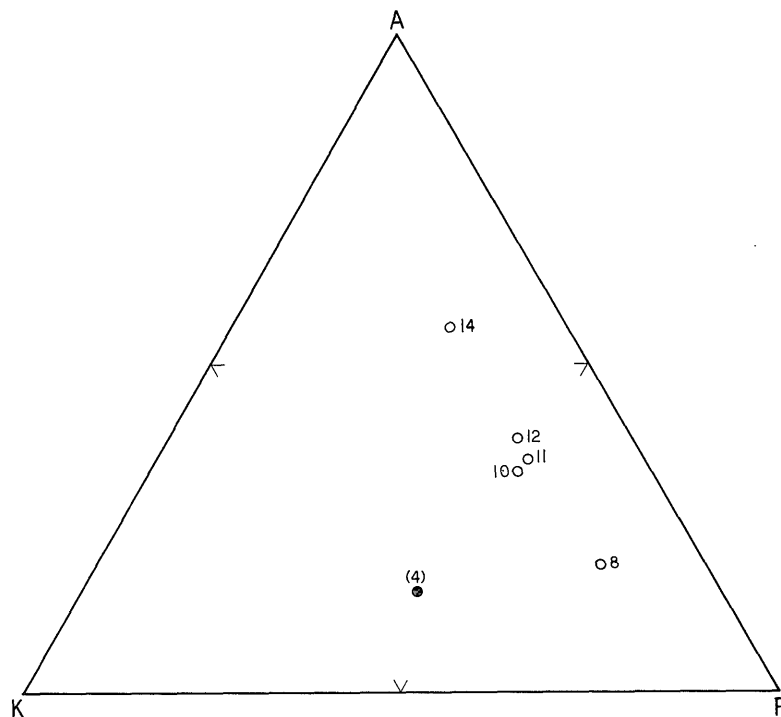


第 2 図 $\text{Na}_2\text{O}-\text{K}_2\text{O}$ 図

白丸は第 3 表に表示した分析値. 黒丸は DALY の granite (4), granodiorite (45), diorite (48), gabbro (57) の平均値 (丹治ほか, 1947)



第 3 図 ACF 図
記号は第 2 図に同じ



第4図 AKF図

記号は第2図に同じ

文 献

CLARKE, F. W. (1924) *The data of geochemistry* (5th ed.). Bull. U. S. Geol. Survey, 770, 841p.

—— and WASHINGTON, H. S. (1924) The composition of the earth's crust. *U. S. Geol. Survey Prof. Paper* 127, 117p.

CRESSMAN, E. R. (1962) Nondetrital siliceous sediments, in Fleisher, M., ed., *Data of geochemistry* (6th ed.). *U. S. Geol. Survey Prof. Paper* 440-T, 23p.

IMBRIE, J. and POLDERVAART, A (1959) Mineral compositions calculated from chemical analyses of sedimentary rocks. *Jour. Sed. Petr.*, vol. 29, p.588-595.

岩崎文嗣・桂 敬 (1965) 粘板岩の化学組成. 日

本地球化学会ニュース, no. 30, p. 6-8.

NICHOLLS, G. D. (1962) A scheme for recalculating the chemical analyses of argillaceous rocks for comparative purposes. *Am. Mineral.*, vol. 47, p.34-46.

PETTIJOHN, F. J. (1963) Chemical composition of sandstones—excluding carbonate and volcanic sands, in Fleisher, M., ed., *Data of geochemistry* (6th ed.). *U. S. Geol. Survey Prof. Paper* 440-S, 19p.

SHAW, D. M. (1956) Geochemistry of pelitic rocks. Part III: Major elements and general geochemistry. *Bull. Geol. Soc. America*, vol. 67, p. 919-934.

丹治耕吉・片田正人・大森貞子 (1974) 岩石の平均化学成分とその図示. 1. 火成岩類. *地質調月*, vol. 25, p. 581-592.