

## 岩石の平均化学成分とその図示

## 6. 第三紀泥岩

片田 正人\* 丹治 耕吉\*\* 小野 千恵子\* 寺岡 易司\*

## Average Chemical Compositions of Rocks and Their Graphic Representation

## 6. Tertiary mudstone

Masato KATADA, Kokichi TANJI, Chieko ONO and Yoji TERAOKA

## Abstract

Compiled chemical analyses on Tertiary mudstone that have been published are discussed here from geological point of view. They are classified into the following four; 1. Paleogene mudstone of the Shimanto Belt, 2. Paleogene mudstone of coalfields, 3. Neogene mudstone of the "Non-Green Tuff Region", and 4. Neogene mudstone of the "Green Tuff Region".

1. The Paleogene mudstone is mostly high in chemical maturity, resulted from humid and warm climate and low topographic relief.

2. The Paleogene mudstone of the coalfields was deposited under wide chemical circumstances, ranging from oxidized to reduced conditions.

3. The Neogene mudstone of the "Green Tuff Region" is to some extent over 70 percent in silica content. The surplus silica does not depend on clastic quartz, but seems to be mostly of siliceous biological origin.

4. Mafic minerals and plagioclase in tuff of the "Green Tuff Region" seem to have been partly altered in the course of diagenesis.

5. Average chemical compositions of mudstone of the Paleozoic and Mesozoic geosynclines are shown for comparison.

## 要 旨

公表されている第三紀泥岩の主化学成分分析値を集録し、平均値などを計算・図示し、その地質学的意義を述べた。すなわち、第三紀泥岩を、四万十帯古第三紀層・炭田地域古第三紀層・非グリーンタフ地域新第三紀層・グリーンタフ地域新第三紀層の各泥岩に大別し、それぞれの化学成分平均値を求め、 $\text{Na}_2\text{O}-\text{K}_2\text{O}$  図、 $\text{MgO}-\text{Na}_2\text{O}-\text{K}_2\text{O}$  図その他を作り、これらの比較検討を行った。

地質学的には以下の諸点が指摘された。

- a. 古第三紀泥岩には、化学的成熟度の高いものが多く、これは、気候・地形的条件などの影響による。
- b. 炭田地域古第三紀泥岩は、酸化性から還元性まで広範囲の化学的条件下で堆積している。

c. グリーンタフ地域新第三紀泥岩には、 $\text{SiO}_2$  が異常に多いものがある。この“余分”の  $\text{SiO}_2$  は碎屑性石英以外の  $\text{SiO}_2$  であろう。

d. グリーンタフ地域の凝灰岩は、主として続成作用の際に、一部の鉱物が変質作用をうけているらしい。

e. 比較のため、古・中生代泥岩の平均化学成分を算出した。それらは本州（秩父）地向斜のものと、四万十和泉+田老帯のものに分けて計算した。本州（秩父）地向斜の場合は、各地質区の面積を考慮した重みつき平均値である。

f. 古・中生代泥岩に比べ、第三紀泥岩は  $\text{H}_2\text{O}$  ± が多く、 $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{FeO}$  比が大きい。また  $\text{MgO}$ 、 $\text{K}_2\text{O}$  が少ない傾向を示す。

g. 新たに作成された  $\text{MgO}-\text{CaO}-\text{Na}_2\text{O}$ 、 $\text{MgO}-\text{Na}_2\text{O}-\text{K}_2\text{O}$ 、 $\text{CaO}-\text{Na}_2\text{O}-\text{K}_2\text{O}$  など3成分の三角図を計算・印刷する、プログラム NORM-201 に関して付記した。

\* 地質部

\*\* 物理探査部

## 1. はじめに

第三紀泥岩<sup>1)</sup>の主化学成分分析値で、学術雑誌に公表されたものは250個に達する。そのうちから、部分分析値などを除外した180個余を選んでその特徴を予察的に報告する。

第三紀泥岩には、石油・石炭・粘土の鉱床と関連させて研究されたものが多い。堆積性鉱床との関連であるから、堆積岩や堆積作用そのものの研究を目的に分析された例が大半である。この点が、変成作用の議論のための分析例が多い古・中生代泥岩とは異なっている。したがって第三紀泥岩に関しては、分析物質や分析方法の精密な報告がみられ、特殊な泥岩の分析値も少なくない。しかしこの報文では、有機物質や粘土鉱物の多いもの、明瞭に凝灰岩質のものなどを除き、一般的な泥岩の主成分分析値だけをとりあげる。

第三紀泥岩の主化学成分の研究は、1920年代から行われている。まず高橋および協同研究者による一連の研究があり (TAKAHASHI, 1924; 高橋・他, 1930, 1934a, b, 1939), その後、本島・他 (1960), ABE (1962), 原村 (1963), 狛・佐川 (1970), 稲積 (1971), 狛 (1974), 狛・他 (1974), 三木・松枝 (1974), 上村・阿部 (1971, 1975) などの研究が続いている。

今回の報告の大綱は以上の諸論文にもとづいて記述するが、主化学成分と鉱物組成との関連性に関しては、重要な事実であるにもかかわらずデータが少なく、総括することができない。また、1堆積盆内での化学成分と層序との関連性も、局所的な議論はあってもデータが散点しすぎていて、あまりよい例をあげることができない。

この報告では、分析値のある第三紀泥岩を以下のように分類して解析をすすめる。

1. 四万十帯の古第三紀 (-中新世前期) 泥岩。
2. 炭田地域の古第三紀泥岩。
3. 非グリーンタフ地域の新第三紀泥岩。
4. グリーンタフ地域の新第三紀泥岩。比較のため、同地域の凝灰岩もとりあつかう。

謝辞: この論文をまとめるに際し、地質に関しては地質部秦光男・大沢穠両技官および元所員太田良平博士、分析値に関しては技術部狛武技官、コンピュータープログラムに関しては技術部安藤直行技官から、それぞれ多くの御教示をいただいた。以上の方々に深く謝意を表す。

1) 泥質岩命名の慣習は多岐にわたっているが、ここでは砂岩より細粒の碎屑岩を、砂岩 (sandstone) に対応させて、すべて泥岩 (mudstone) と一括してとり扱おう。そして互いに移行する一連の細粒碎屑岩、つまり粘土岩 (claystone)・シルト岩はもちろん泥岩に含め、場合によっては細粒砂岩もこの中に含めてある。また頁岩やスレートも泥岩と呼ぶ。

## 2. 地質

分析値の考察に必要な事項を中心に、第三紀層の概要を述べる。以下の記述は、とくにことわらない限り、おもに市川・他 (1970) にもとづくものである。

## 2.1 古第三紀層

古第三紀層は堆積相の上から、四万十帯の古第三紀層と炭田地域のそれとに2大別することができる。

四万十帯には、白亜紀から第三紀中頃にかけての地向斜堆積物が発達しており、四万十帯層群と呼ばれ、関東地方から九州にかけての太平洋側に広く分布する。この累層群の上部を構成する第三紀層は、泥岩・砂岩を主とし、場所によっては玄武岩質火山岩類を伴う。この第三紀層の上限は中新世前期におよぶ (ここでは記載の便宜上すべて古第三紀層として扱うことにする)。

九州や四国西部の四万十帯では、古第三紀砂岩は下位の白亜紀砂岩と組成が著しく異なり、白亜紀末 - 古第三紀初頭における古地理的变化が推定される (寺岡・他, 1974; 寺岡・田中, 1975)。古第三紀砂岩は白亜紀砂岩に比べ、概して粒度が細かく、石英・白雲母に富み、長石・火山岩片に乏しく、少量の海緑石がみられる。この古第三紀堆積物は、火山岩 (おもに珪長質)・花崗岩・変成岩・堆積岩から由来したものであるが、白亜紀層の場合より変成岩・堆積岩起源の物質が多いようである。

炭田地域の古第三紀層は、天草・北九州・中国西部・常磐・久慈・石狩・留萌・天北・釧路などの諸地域に発達する。泥岩・砂岩を主とし、炭層を挟む浅海 - 非海成層で、火山岩層は少ない。供給源岩の種類は地域により様々であり、砂岩・泥岩の鉱物組成、とくに重鉱物からの研究が進められている。たとえば天草・北九州では結晶片岩や花崗岩が (三木・松枝, 1974; SATO, 1969 など)、北海道では珪長質 - 中性火山岩・花崗岩・超苦鉄質岩・結晶片岩が (IJIMA, 1959, 1964) 供給源岩として推定されている。総じてその種類は、火山岩類を除くと、現在その地域に露出している古・中生代岩層とほぼ同種のものであろう。

古第三紀の日本の気候は湿潤温暖で、西南日本は時代によっては亜熱帯性気候に近いものであったらしい。そして炭層の発達からわかるように、堆積盆周辺での植生は豊かであった。またこの時期は構造運動が比較的静穏であり、地形の起伏は小さかったと推察される。

## 2.2 新第三紀層

新第三紀層は古第三紀層より広く分布している。小野・磯見 (1967) の計算値に若干の補正を加えると、古第三紀層の露出面積は、日本列島全体の5-6%を占めるにす

ぎないけれども、新第三紀層は火山岩類も含めると13%に達する。これは本州(秩父)地向斜堆積層の12%に匹敵する。

新第三紀層は、グリーンタフ地域と非グリーンタフ地域のものに大別され、前者はおもに日本列島大陸側に、後者は太平洋側に発達する。

非グリーンタフ地域の新第三紀層は、西南日本各地・関東地方・北海道などに分布する。一部をのぞき主に浅海成層からなり、層厚は比較的薄く、一部に粘土層や炭層を挟むことがあり、火山物質を含む場合もある。炭層を伴う新第三紀層には、非海成層も発達する。供給源地の地質は一般に、古第三紀と似ていたと推定される。

グリーンタフ地域の新第三紀層には、砕屑岩類とともに多量の火山岩類が発達している。北村(1959)・大沢(1967)によると東北地方のグリーンタフ地域では、中新世前期には現在の脊梁地帯に、古生層を基盤として南北に長い堆積盆が生じた。火山活動は地層堆積の初期から激しかった。中新世中期から後期にかけて堆積盆は西方に拡がり、海盆の深度は増大し、泥岩の発達が顕著になった。この時期の泥岩はしばしば、珪質頁岩または硬質

頁岩と呼ばれている。中新世後期から鮮新世にかけては、現在の秋田・新潟平野部に砕屑岩類を主とする地層が堆積し、含油層が生じた。この時期の泥岩は黒色頁岩などと呼ばれている。

グリーンタフ地域泥岩の供給源岩としては、初期には古生代など古期の岩層が多かったかも知れないが、大半の時期には中新世になってから活動した火山岩類であったと思われる。この報文で扱った分析値は、中新世初期のものは少数にすぎないから、ほぼ全体が火山岩起源の物質からなる泥岩と考えてよいであろう。

新第三紀の古気候は、古第三紀に引き続いて比較的温暖であった。しかし全体的にみると、比較的温暖な気候と冷涼な気候をくり返しながら、次第に冷涼化に向かったらしい(天然ガス工業会, 1965, など)。また変動期に入ったため、地形の起伏は古第三紀より大きかったにちがいない。

### 3. データソースおよび試料採取位置

分析値を集録した文献を、著者・公表年・表番号・頁を付記して第1表に示す。

試料採取位置は第1図に示す。

第1表 データソース  
Date source.

第1図の番号	著者	年号	頁	表番号	分析値番号	地域
1	ABE, M.	1962	358	3	1-4	グ
2	"	"	"	"	5-7	"
3	"	"	"	"	8	"
4	"	"	"	"	9	"
5	"	"	"	"	10	"
6	"	"	359	3	11-13, 16-18	"
7	"	"	"	"	14, 15	"
8	"	"	360	3	22-25	"
9	"	"	"	"	27-30	"
10	"	"	"	"	32-34	"
11	"	"	361	3	35, 36	"
12	"	"	"	"	37	"
13	"	"	"	"	38	"
14	"	"	"	"	39, 40	"
15	"	"	"	"	42	"
16	千谷好之助	1926	109	—	—	"
17	"	"	"	—	—	"
18	"	"	"	—	—	"
19	原村寛	1963	202	1	1-7, 10	"
20	"	"	"	"	8	"

地質調査所月報 (第 28 卷 第 5 号)

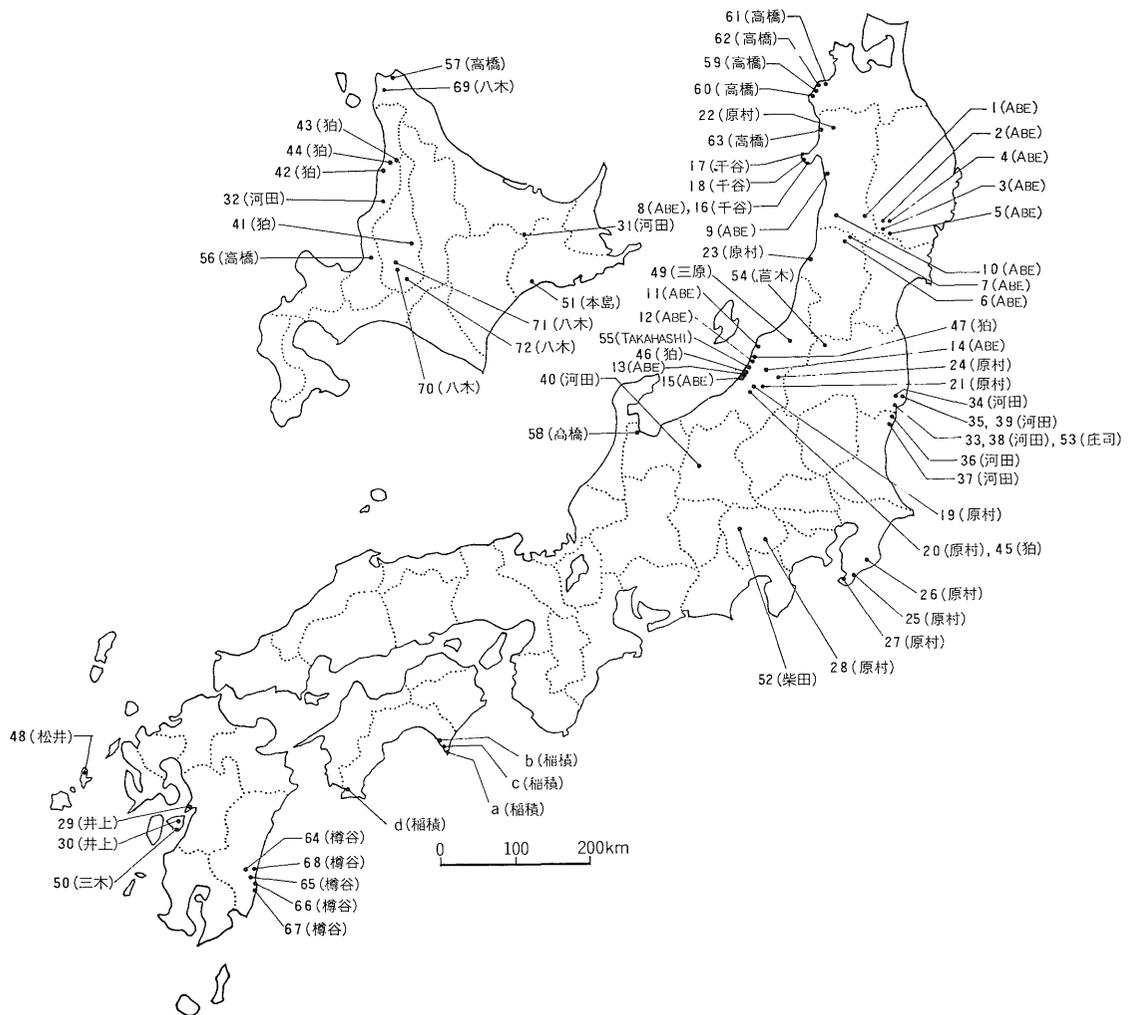
第 1 表 (つづき)

第 1 図の番号	著 者	年 号	頁	表番号	分 析 値 番 号	地 域
21	原 村 寛	1963	202	1	9, 12, 13	グ
22	"	"	"	"	11	"
23	"	"	203	1	14, 15	"
24	"	"	"	"	16	"
25	"	"	"	"	18, 21, 23	非
26	"	"	"	"	19, 22, 24	"
27	"	"	"	"	20	"
28	"	"	"	"	25	"
29	井 上 英 二	1962	1060	1	—	炭
30	"	"	"	"	—	"
31	河 田 学 夫	1962	155	—	299	非
32	"	"	"	—	300	"
33	"	"	156	—	302	炭
34	"	"	157	—	303	"
35	"	"	"	—	304	"
36	"	"	158	—	305	"
37	"	"	"	—	306	"
38	"	"	159	—	307, 308	非
39	"	"	160	—	309	"
40	"	"	161	—	312	グ
41	粕 武・他	1970	74	2	{ 10, 17, 19, 44, 48, 52, 53, 55, 56, 76, 81, 82, 98 }	炭
42	"	1974	100	2	1	非
43	"	"	"	"	2, 3	"
44	"	"	"	"	4-6, 8	"
45	粕 武	1974	220	3	—	グ
46	"	"	"	"	—	"
47	"	"	"	"	—	"
48	松 井 和 典・他	1961	205	—	1	非
49	三 原 栄	1932	62	1	A	グ
50	三 木 孝・他	1974	34	4	4	炭
51	本 島 公 司・他	1960	300	1	1, 2, 15, 16, 18-21	"
52	柴 田 秀 賢・他	1965	71	4	—	グ
53	庄 司 力 偉	1957	55	5	II, III, V	炭
54	萱 木 浅 彦・他	1960	163	2	1	グ
55	TAKAHASHI, J.	1924	53	1	6	"
56	高 橋 純 一・他	1930	226	1	A	炭
57	"	"	"	"	B	非
58	"	1934	87	1	1, 2, 6-9	グ
59	"	"	246	6	10	"
60	"	"	"	"	13, 15	"
61	"	"	"	"	14, 16	"
62	"	"	"	"	16'	"
63	"	1939	190	1	N II	"
64	樽 谷 俊 和・他	1966	3	3	23	非

第1表 (つづき)

第1図の番号	著者	年号	頁	表番号	分析値番号	地域
65	樽谷 俊和・他	1966	3	3	24, 28, 29	非
66	〃	〃	〃	〃	25	〃
67	〃	〃	〃	〃	26	〃
68	〃	〃	〃	〃	27	〃
69	八木 次男	1929	71	—	(1)	〃
70	〃	〃	〃	—	(2)	炭
71	〃	〃	〃	—	(3)	〃
72	〃	1933	20	1	—	〃

炭: 炭田地域, 非: 非グリーンタフ地域, グ: グリーンタフ地域



第1図 分析試料採取位置図

Localities of samples analysed.

番号は第1表に同じ。a-d (稲積) は四万十帯古第三紀泥岩; 小野 (1976 b) 参照。

第2表 第三紀泥岩の平均化学成分  
Average compositions of Tertiary mudstone.

	1	2	3	4	5	6
	古第三紀 (Paleogene)		新第三紀 (Neogene)			
	四万十帯 Shimanto Belt	炭田地域 Coalfields	非グリーン タフ地域 “Non-Green Tuff Region”	グリーンタフ地域 “Green Tuff Region”		5の再計算値 (Recalculation of no. 5)
				SiO <sub>2</sub> , <70%	SiO <sub>2</sub> , >70%	
SiO <sub>2</sub>	66.68 (10)	61.52 (37)	63.43 (30)	62.25 (67)	75.44 (31)	62.25
TiO <sub>2</sub>	0.55 (10)	0.76 (37)	0.58 (30)	0.61 (66)	0.34 (27)	0.54
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	16.88 (10)	16.10 (37)	14.86 (30)	14.74 (67)	8.92 (31)	14.10
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2.10 (10)	2.34 (33)	2.46 (28)	2.32 (16)	2.64 (4)	4.17
FeO	2.22 (10)	3.33 (33)	2.18 (28)	2.18 (16)	1.23 (4)	1.94
MnO	0.06 (10)	0.11 (32)	0.06 (27)	0.06 (67)	0.02 (30)	0.03
MgO	1.67 (10)	1.83 (37)	1.55 (30)	2.11 (67)	1.18 (31)	1.86
CaO	0.41 (10)	1.22 (37)	1.68 (30)	1.63 (67)	1.01 (31)	1.60
Na <sub>2</sub> O	1.67 (10)	1.80 (37)	1.91 (30)	2.02 (67)	1.35 (31)	2.13
K <sub>2</sub> O	3.40 (10)	2.14 (37)	2.16 (30)	2.33 (67)	1.47 (31)	2.32
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.11 (10)	0.11 (31)	0.08 (26)	0.10 (64)	0.11 (23)	0.17
H <sub>2</sub> O+		4.47 (15)	3.94 (11)	4.53 (16)	3.64 (4)	5.75
H <sub>2</sub> O-		2.52 (15)	3.61 (11)	5.33 (16)	2.12 (4)	3.35
Ig. L.	4.03 (10)	8.51 (22)	9.75 (19)	8.29 (51)	6.59 (26)	

カッコ内の数字は分析値数, 以下同様 (Figures in parentheses are numbers of analyses.).

#### 4. 分析値

分析値の集録に際しては, 学術雑誌に公表されたもの  
のうち, 以下の基準で選択した。

1) SiO<sub>2</sub> <50%, total Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> >10%, MgO >4%,  
CaO >5% の値の分析値は除外した。

2) SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, FeO, CaO, MgO, Na<sub>2</sub>O, K<sub>2</sub>O  
のうち, どの1成分でも分析されていないものは除外した。  
ただし Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> と FeO が分けてなくて total Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>  
として示してあるものは除外していない。

3) TiO<sub>2</sub>, MnO, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> の分析値が示されていなくて  
も, total >98% のものは除外してない。

4) Total >101% および <98% のものはすべて除  
外した。

5) 再計算してあるものは除外した。

著しく凝灰岩質のもの, 変質作用を強くうけているもの,  
窯業用原料などに利用されるものなどのような特殊  
な泥岩は, わかっている限り最初から除外したが, それ  
に近い岩質のものも上記のような基準を通すと大半は除  
外されるであろう。

こうして集録した分析値を, 2項で示した区分に従っ  
て平均したのが第2表である。ただしグリーンタフ地域  
の泥岩は SiO<sub>2</sub> 70% を境に2分し, <70% のものに関  
しては再計算値 (5.2.2 項参照) もあげてある。

また比較のために, 古・中生代泥岩の平均値を第3表  
に示す。中生代泥岩は, 四万十帯泥岩 41 個, 和泉帯 10  
個, 田老帯 7 個 (小野, 1976 b) の算術平均値である<sup>2)</sup>。  
分析個数の少ない地域があるので算術平均値しか求めて  
ないけれども, 上記3帯の分布面積の重みつき平均値に  
近い値と思われる。

本州 (秩父) 地向斜泥岩は, 古生代後期 - 中生代前期  
のもので, この平均値は, 三郡・領家・三波川・阿武隈  
広域変成帯を除く各地質区の面積を考慮した重みつき平  
均値である<sup>3)</sup>。算定の基礎となった各地質区の面積 (km<sup>2</sup>)  
は以下のようなものである。

2) 日高帯泥岩の分析値も8個知られているが (小野, 1976 b), すべて  
変成岩で, その上 Na<sub>2</sub>O が多く K<sub>2</sub>O の少ない特異な成分をもっ  
ている。したがって今回は一応計算から除外した。

3) データソースは小野 (1976 a) にあげてあるが, ここではそのうち  
から小貫 (1969) の引用している分析値を除外し, 新たに東元 (1967)  
の9分析値を加えた。なお算術平均値と地質区に関しても小野 (1976  
a) を参照されたい。

第3表 古生代・中生代泥岩の平均化学成分  
Average compositions of Paleozoic and Mesozoic mudstone.

	7	8	9
	本州(秩父)地向斜, 重みつき平均値 Honshu (Chichibu) Geosyncline; weighted average	中生代四万十帯・和泉帯・田老帯 Mesozoic Shimanto, Izumi and Taro Belts	四万十帯白亜紀泥岩 Cretaceous Shimanto Belt
SiO <sub>2</sub>	64.78 (295)	65.90 (58)	65.32 (41)
TiO <sub>2</sub>	0.65 (274)	0.61 (58)	0.59 (41)
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	16.48 (295)	16.52 (58)	16.47 (41)
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1.63 (289)	1.64 (58)	1.72 (41)
FeO	3.65 (289)	2.68 (58)	3.07 (41)
MnO	0.07 (265)	0.08 (58)	0.09 (41)
MgO	2.01 (295)	1.75 (58)	1.93 (41)
CaO	0.78 (295)	0.77 (58)	0.74 (41)
Na <sub>2</sub> O	2.30 (295)	1.97 (58)	2.20 (41)
K <sub>2</sub> O	3.40 (295)	3.20 (58)	3.06 (41)
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.14 (246)	0.09 (56)	0.08 (39)
H <sub>2</sub> O+	2.77 (170)	3.08 (47)	3.14 (34)
H <sub>2</sub> O-	0.51 (170)	0.67 (47)	0.69 (34)

秩父帯 6,600, 三郡帯の非変成層分布地域 2,800, 美濃帯(丹波帯・足尾帯・領家帯低変成部を含む) 16,000, 舞鶴帯 320, 飛騨外縁帯 120, 日立帯 60, 南部北上帯石炭紀層・二疊紀下部層分布地域 1,000, 南部北上帯二疊紀中・上部層分布地域 800, 早池峰構造帯 320, 北部北上帯 2,800, 岩泉帯 1,200.

この平均値は, 泥岩分析値を慎重に集録・計算したものであるから, 利用価値が高いものと考えている.

## 5. 考 察

### 5.1 古第三紀泥岩

#### 5.1.1 四万十帯の古第三紀泥岩

四万十帯古第三紀泥岩のうち, 分析値の報告されているのは四国南部の10個である<sup>4)</sup>. 分析値数が少ないが, これらは四万十帯白亜紀泥岩(第3表 no. 9)に比べて, Na<sub>2</sub>O がやや乏しく, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/FeO 比が大きい.

Na<sub>2</sub>O の少ない原因の第1は, 前記のような古第三紀の気候・植生・地形的条件が化学的風化作用を強く進

め, 移動しやすい Na<sub>2</sub>O が溶脱したからであろう. 第2に予想される原因として, 供給源岩のちがいが影響している可能性がある. しかしこれらに関する議論は, 今後別の機会にくわしく検討したい.

Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/FeO 比の平均は, 白亜紀泥岩が 0.56, 古第三紀泥岩が 0.95 である. この比の大小は, 一般的には堆積環境と堆積後の変成作用が影響する. 両泥岩の堆積環境にそれほど大きな差があったとは考えにくいから, ちがいは主に変成作用の影響によるものであろう. 層序学的に下位の地層ほど広域的な変成作用を強く受けていることは, 九州四万十帯で明らかにされている(今井・他, 1971).

#### 5.1.2 炭田地域の古第三紀泥岩

古第三紀泥岩, とくに炭田地域のものは, 後述の新第三紀泥岩などに比べて成分値のバラツキが比較的小さい(第2図, 第3図; 第3図のコンピュータープログラムに関しては付項参照). 理由は化学的風化作用による成熟度が進んだためと考えられる. 炭田地域の堆積盆は小型で, しかも各地に散在しており, 供給源岩は変化に富んでいた. それにもかかわらず分析値のバラツキが小さいのは, 成熟度が供給源岩の不均一性を弱め, どこでも似たような泥岩が生じたからであろう.

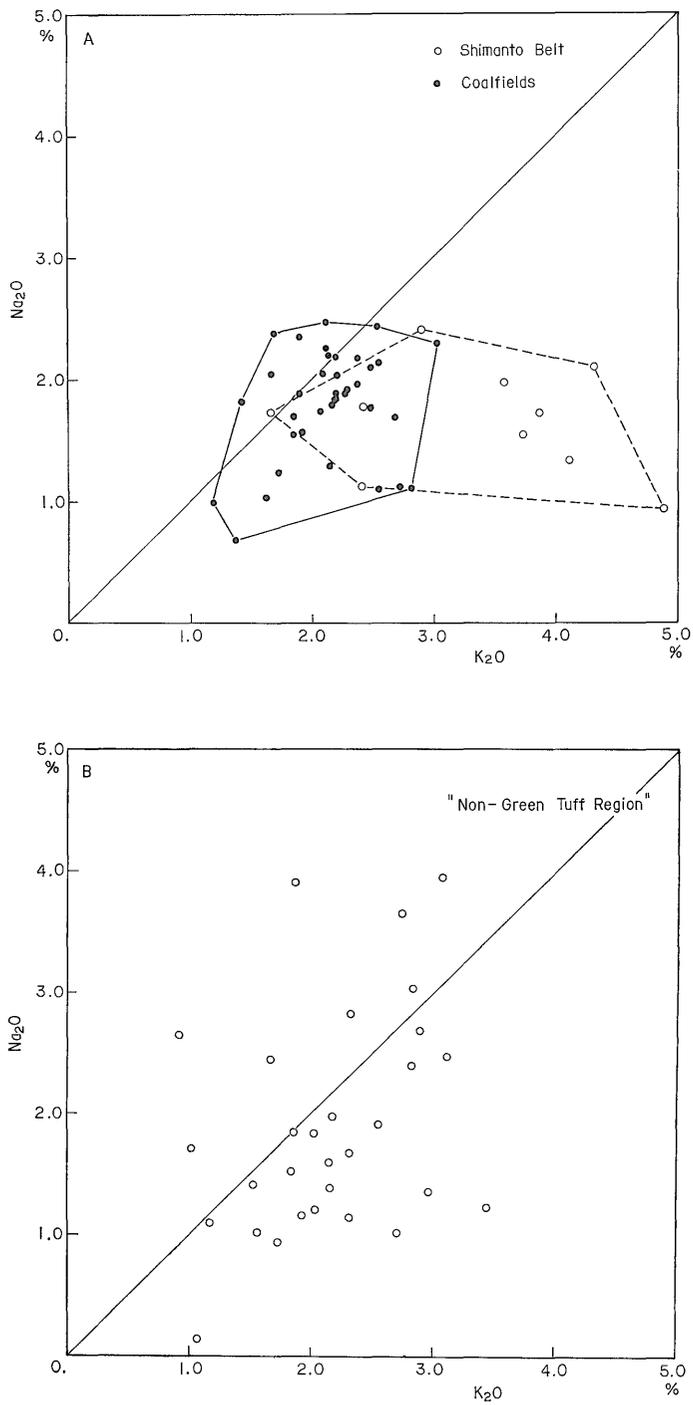
ただし Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> と FeO 値に関しては例外的にバラツキが顕著である. Total Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> のとくに多い泥岩は 10% を越している (total Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> >10% の分析値は今回は集録していない). Total Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> の多い泥岩の Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> と FeO の量的関係を見ると, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ≫ FeO のものから Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ≪ FeO のものまで様々である.

Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ≫ FeO の例として, 九州天草地域赤崎層の紫色泥岩がある(井上, 1962; 三木・松枝, 1974). 原因は微粒の赤鉄鉱・褐鉄鉱が多いためである. Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ≪ FeO の例としては石狩炭田におけるものがある(狛・佐川, 1970). この FeO は主に菱鉄鉱に含まれている. また泥岩によっては, たとえば炭層に接する泥岩が黄鉄鉱を多産する事実はよく知られている. この泥岩も Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ≪ FeO であろう. 以上の諸事実からすると, 炭田地域泥岩の堆積環境には, 酸化性から還元性まで様々の状態があった. 汽水または海浜に堆積した場合は酸化性に, 内湾中心部の澱んだ場所に堆積した場合は還元性になったのであろう. 有機物質がとくに多い場所はかなり強い還元性環境のもとにあったものと思われる.

炭田地域古第三紀泥岩を, 四万十帯古第三紀泥岩と比較すると, 炭田地域では total Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> が多く Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/FeO 比が小さい. また K<sub>2</sub>O が少ない.

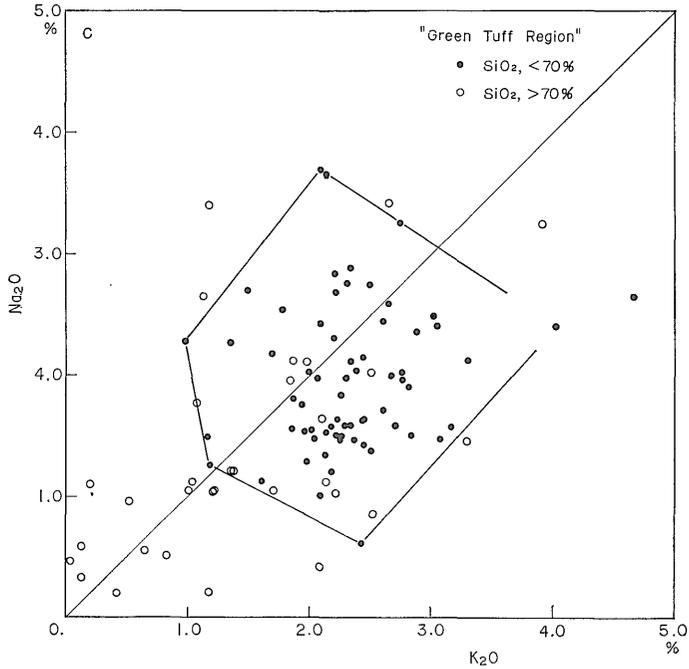
炭田地域で total Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> の平均値を大きくしている主

4) このデータは稲積(1971), p. 329, 表 3, no. 36-45 である. no. 34, 35 も原著者は第三紀泥岩としているけれども, その後の調査(寺岡・田中, 1975)によれば白亜紀層と第三紀層の境界付近の試料であり, いずれに属するのかわ確認できないので, ここでは古第三紀泥岩から除いた.



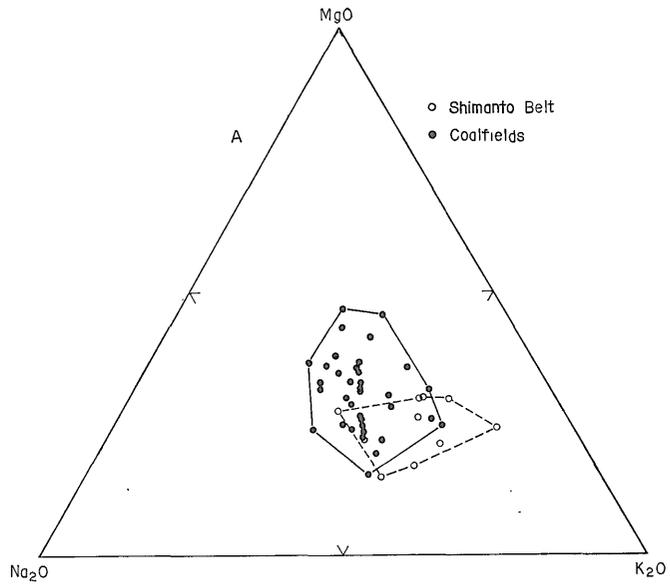
第 2 図 第三紀泥岩の  $\text{Na}_2\text{O}$  と  $\text{K}_2\text{O}$   
 $\text{Na}_2\text{O}$  and  $\text{K}_2\text{O}$  contents of Tertiary mudstone.

- A 古第三紀泥岩。  
 黒丸：炭田地域，白丸：四万十帯。  
 B 非グリーンタフ地域新第三紀泥岩。



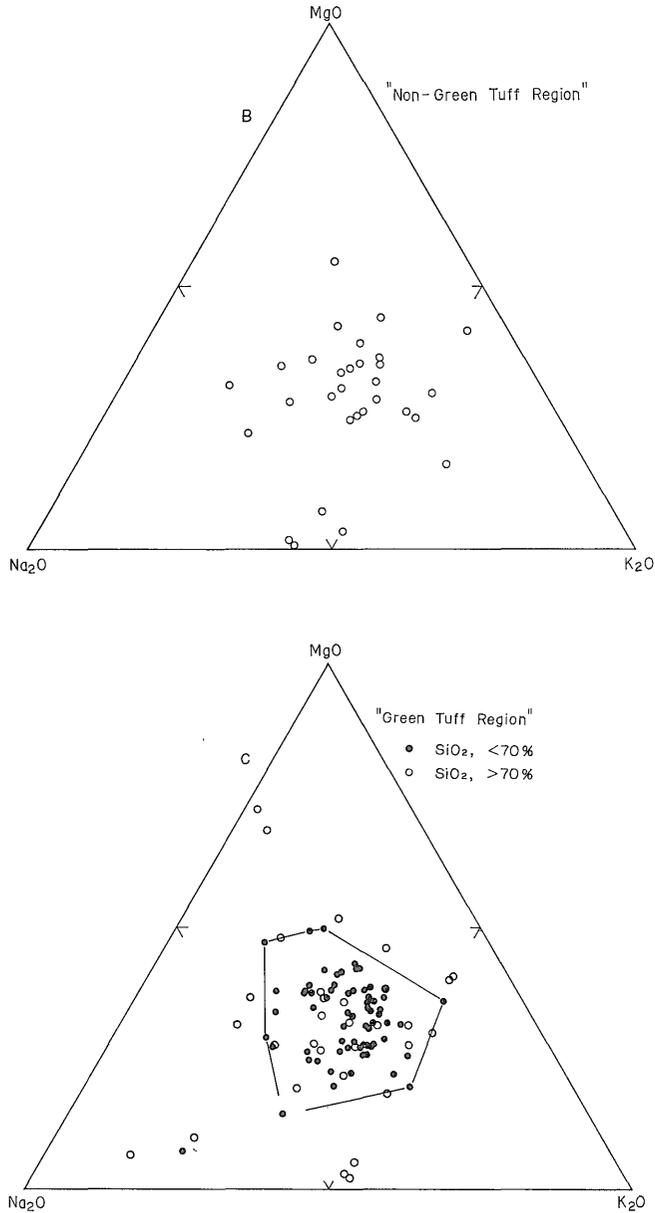
第2図 (つづき)

C グリーンタフ地域新第三紀泥岩。  
 黒丸:  $\text{SiO}_2 < 70\%$ . 白丸:  $\text{SiO}_2 > 70\%$ .



第3図 第三紀泥岩の  $\text{MgO}-\text{Na}_2\text{O}-\text{K}_2\text{O}$  三角図  
 Triangular diagram for  $\text{MgO}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$  and  $\text{K}_2\text{O}$  contents of Tertiary mudstone.

記号は第2図に同様.



第 3 図 (つづき)

な原因は、上記のような各種鉄鉱物が多いことである。鉄鉱物の成因としては、陸上から運搬された酸化鉄がそのまま堆積するか、Fe を含む可溶性イオンが逸散しないうちに鉄鉱物として固定沈積することである。鉄鉱物が濃集するに適した比較的静穏な堆積条件は、内湾性の炭田地域に多かった。そして平均的には、炭田地域の方が淀んで、しかも有機物質の多い場所が多く、 $Fe_2O_3/FeO$  比が小さくなったものと考えられる。

## 5.2 新第三紀泥岩

### 5.2.1 非グリーンタフ地域の新第三紀泥岩

非グリーンタフ地域の新第三紀泥岩の平均値を炭田地域古第三紀泥岩のそれと比較すると、両者の成分は非常に類似している。両者の供給源岩や堆積盆の規模の類似性からみて当然のことである。ただし前項の記述から予想されるように、古第三紀泥岩よりも  $Fe_2O_3/FeO$  比が大きい。新第三紀層の中でも (グリーンタフ地域における

例ではあるが), 深海堆積層から浅海堆積層へ移るにしたがって, 泥岩の  $Fe_2O_3/FeO$  比が系統的に増加している例が知られている (狛, 1974).

これも前項からわかるように, 古第三紀泥岩に比べてこの新第三紀泥岩は成分値のバラツキが大きい. 供給源岩が類似し, 成分平均値がほぼ一致しているにもかかわらずバラツキ程度が異なる第1の原因は, 成熟度のちがいである. 第2の原因として想定されていることは, 非グリーンタフ地域には凝灰質泥岩がしばしば見られるから, これが試料中にまぎっている可能性である.

### 5.2.2 グリーンタフ地域の新第三紀泥岩

グリーンタフ地域の泥岩は,  $SiO_2$  値がひどくバラツキている. 約 100 個の分析値の  $SiO_2$  は, 60% 以下から 80% 以上まで比較的均等に散在する. とくに硬質頁岩と呼ばれる泥岩の  $SiO_2$  が多い.

一般的には泥岩の  $SiO_2$  値は粒度に依存する. たとえば美濃帯木曾山地の古・中生層泥岩がそうである (KATADA *et al.*, 1963). しかし古生層でも粒度にあまり左右されない泥岩もある (たとえば南部北上帯登米層; 片田, 未公表). 第三紀泥岩研究のうち, 一連の分析値が与えられ, 泥岩の粒度が記載してある泥岩の例をみると (ABE, 1962; 狛・佐川, 1970; 狛, 1974),  $SiO_2$  値は粒度差によって一義的に決まてはいない. そして普通の粘土岩・シルト岩・細粒砂岩の  $SiO_2$  は 70% 以下である. したがって  $SiO_2$  70% 以上の値は, 粒度のちがいによるものではない. そこで  $SiO_2$  が 70% 未満と以上の泥岩に 2 分して考える.

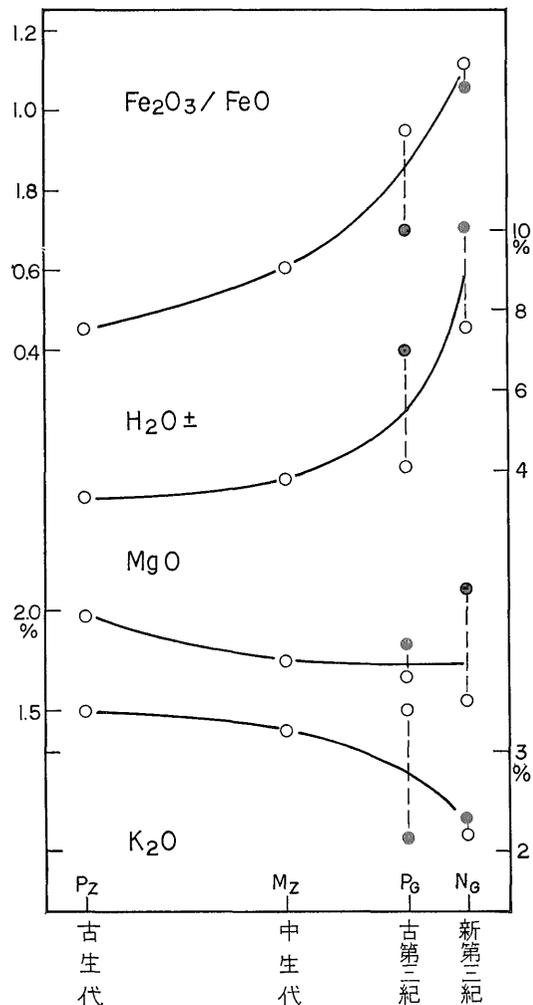
70% 未満の泥岩の  $SiO_2$  平均値は 62.25% (第 2 表 no. 4), 70% 以上のものは 75.44% (no. 5) である. いま no. 5 の  $SiO_2$  も 62.25% に減らし, 両者の total が等しくなるように他成分を比例配分し (no. 6), no. 4 と 6 を比較する. 分析値数の少ない  $Fe_2O_3$ ,  $FeO$ ,  $H_2O \pm$  を考慮外としてみると, 両平均値はほとんど一致している. しかし分析値のバラツキには差があり, no. 5, 6 の分析値のバラツキが大きい (第 3 図 C).

これからわかるように, 70% 以上の泥岩の“余分な  $SiO_2$ ”は,  $SiO_2$  だけがなくて他成分には平均的には無関係であるから, 碎屑粒以外のものと考えた方が都合がよい. 大半は珪質生物の遺骸であろう. また 70% 以上の泥岩のバラツキが第 2, 3 図で大きな原因の 1 つには分析誤差があろう. この泥岩の  $MgO$ ,  $Na_2O$ ,  $K_2O$  値の平均はいずれも 1.5% 以下である. そのためわずかの誤差がこれらの図では大きく表現される. もう 1 つの原因として珪長質凝灰岩が混じている可能性がある. 次項の資料からわかるが (第 5 図),  $SiO_2$  が似た値の泥岩と凝

灰岩の化学成分値は,  $CaO$ ,  $Na_2O$  以外はあまりくちがっていない. したがってこの“泥岩”中には凝灰岩質のものがまぎれこんでいる可能性がある.

$SiO_2$  が 70% 未満の泥質岩を, 非グリーンタフ地域のものに比較すると, 両者はよく似ているけれども, グリーンタフ地域のものは  $MgO$  に富んでいる. 火山岩起源だからであろう. 値のバラツキは非グリーンタフ地域のものが若干大きい.

おしまいにここで第三紀泥岩全体を, 古・中生代泥岩



第 4 図 古生代・中生代・第三紀泥岩の  $Fe_2O_3/FeO$  および  $H_2O \pm$ ,  $MgO$ ,  $K_2O$

$Fe_2O_3/FeO$  ratio, and  $H_2O \pm$ ,  $MgO$  and  $K_2O$  contents of Paleozoic (Pz), Mesozoic (Mz) and Tertiary (PG & NG) mudstone.

古第三紀の白丸: 四万十帯 ( $H_2O \pm$  の代わりに Ig. L. の値をプロット), 黒丸: 炭田地域. 新第三紀の白丸: 非グリーンタフ地域, 黒丸: グリーンタフ地域.

(第 3 表 no. 7, 8) と比較する。この比較は原村 (1936) がすでに行っているが、まず第三紀泥岩の方が  $H_2O\pm$  が多い。また  $Fe_2O_3/FeO$  比が大きい。これらの理由は、古期泥岩が埋没変成作用・熱変成作用・広域変成作用の影響を受けているためである (第 4 図)。

これ以外の特徴として、第三紀泥岩は古期泥岩より、グリーンタフ地域泥岩を除けば  $MgO$  が少なく、四万十帯古第三紀泥岩を除けば  $K_2O$  が少ない (第 4 図)。先カンブリア以降の泥岩の若干の成分値が、時代とともに増減するらしいことは、しばしば指摘されている。最近では MOORT (1972) がこの問題を取りあげ、 $MgO$ ,  $K_2O$  が時代とともに減少することを認め、ほぼ同時期に堆積した砂岩・火山岩層からの物質移動を考えている。

また MOORT (1972) は、オーストラリアでは、陸棚堆積相よりも東部の地向斜堆積層の方が泥岩の  $K_2O$  が多いことをも見出している。同じ関係が、炭田地域と四万十帯の泥岩の間にも認められる。

5.2.3 グリーンタフ地域の凝灰岩

グリーンタフ地域には火山物質が多量に堆積している。その中には凝灰岩、いわゆる“グリーンタフ”が多いし、泥岩の大半は火山物質が風化再堆積したものらしい。また単純に泥岩とされているものの中にも凝灰岩質のものがまざっているかも知れない。その意味で、火山岩・凝灰岩・泥岩の比較は有意義である。

凝灰岩は、TAKAHASHI (1924)、高橋または高橋・他 (1934, 1936, 1939, 1940)、三原 (1932)、ABE (1962)、

入江 (1962) によるものを利用した<sup>5)</sup>。集録に際しては、泥岩集録の際の基準 2)-5) (4 項) をそのまま生かし、1) の基準の代りに、 $SiO_2 < 40\%$  のものすべてと、 $SiO_2 40-60\%$  で  $K_2O > 5\%$  のものを除外することにした。そして全体を  $SiO_2 40-50, 50-60, 60-65, 65-70, >70\%$  の 5 グループに分類して平均値を求めた (第 4 表)。火山岩 (溶岩) の成分は、TANEDA (1962, p. 249) および AOKI and OJI (1966, p. 6132) の平均値を利用する。

まず凝灰岩と火山岩の比較であるが、これに関しては入江 (1962) が統計学的な議論をしている。それによると、凝灰岩は、安山岩・流紋岩マグマからもたらされたものが多いと見なされる。そして凝灰岩は火山岩に比較して  $H_2O\pm$  が増加していることが非常に顕著で、他の成分は全体としてみるとあまり変化していないという。

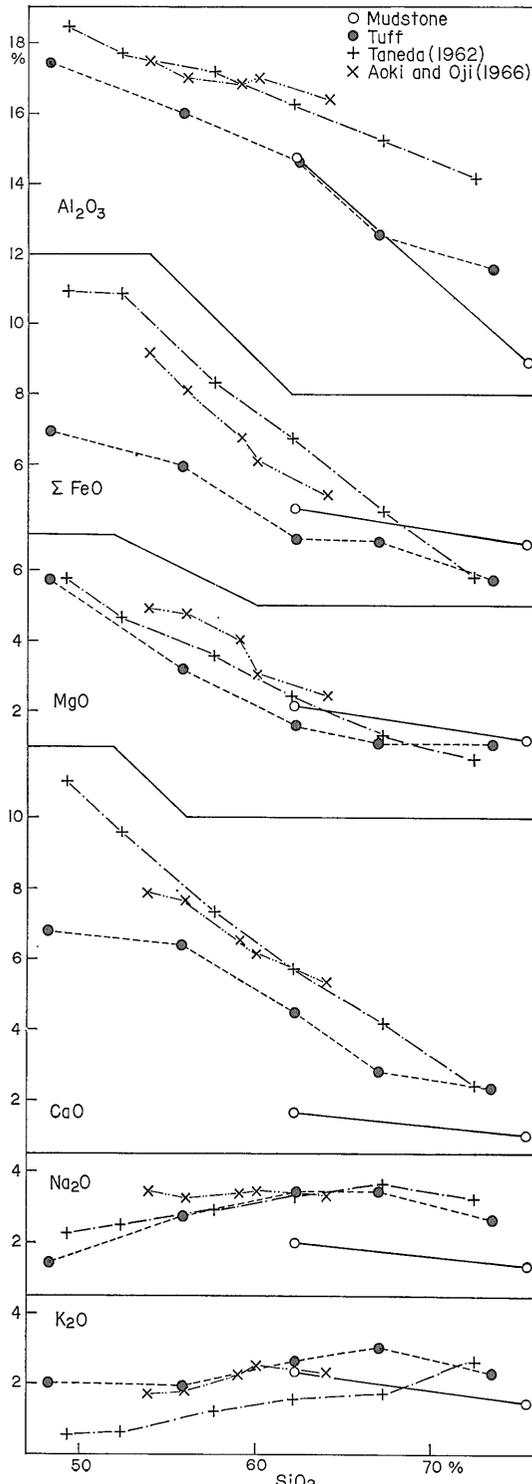
そこで次に、各酸化物の増減が斉一的であるかどうか、成分変化図 (第 5 図) を作ってしらべてみよう。これは多くの制約のため、ごく大ざっぱな議論にすぎないが、1 つの試みとして以下の推定が可能であろう。

いま入江 (1962) が  $H_2O\pm$  とした値は平均約 7% である。火山岩の  $H_2O\pm$  は 1% 内外である。そこで、凝灰岩は火山岩より  $H_2O\pm$  が増加することにより各成分が相対的に 6% 減少していると仮定する。そして第 5 図の火山岩の各成分値を相対的に 6% 程減らして凝灰岩と比較してみる。こうすると、 $SiO_2$  の少ない所では、凝灰岩の total  $FeO$ ,  $CaO$  と、おそらく  $Na_2O$  が減少して

5) まとまった公表値のある報文から集録したもので、網羅してあるわけではない。

第 4 表 グリーンタフ地域凝灰岩の平均化学成分  
Average compositions of tuff in the "Green Tuff Region".

	10	11	12	13	14
$SiO_2$ range	40-50%	50-60%	60-65%	65-70%	>70%
$SiO_2$	48.24 (6)	55.88 (14)	62.33 (17)	67.18 (22)	73.95 (25)
$TiO_2$	0.72 (6)	0.80 (14)	0.48 (17)	0.26 (22)	0.33 (23)
$Al_2O_3$	17.43 (6)	16.00 (14)	14.67 (17)	12.48 (22)	11.63 (25)
$Fe_2O_3$	1.95 (6)	3.15 (14)	1.93 (16)	1.74 (22)	1.44 (21)
$FeO$	4.80 (6)	2.48 (14)	1.77 (16)	1.37 (22)	1.12 (21)
$MnO$		tr. (3)	tr. (2)	0.01 (4)	0.01 (12)
$MgO$	5.73 (6)	3.17 (14)	1.59 (17)	1.09 (22)	1.07 (25)
$CaO$	6.79 (6)	6.39 (14)	4.46 (17)	2.76 (22)	2.26 (25)
$Na_2O$	1.43 (6)	2.75 (14)	3.44 (17)	3.44 (22)	2.63 (25)
$K_2O$	2.02 (6)	1.94 (14)	2.66 (17)	3.02 (22)	2.23 (25)
$P_2O_5$		0.11 (3)	0.10 (2)	0.19 (4)	0.15 (9)
$H_2O+$	7.78 (6)	4.62 (11)	4.45 (15)	3.44 (17)	1.56 (9)
$H_2O-$	2.61 (6)	4.06 (11)	3.07 (15)	3.10 (17)	0.40 (9)



いるらしいことがわかる。CaO, Na<sub>2</sub>O は溶脱されやすく再び固定されにくい成分だからであろう。MgO も溶脱されやすい成分であるが、粘土鉱物中に固定されやすいから差がみられないのかも知れない。K<sub>2</sub>O が増加傾向にあるのも同じ理由からであろう。これらから察すると、凝灰岩が堆積して続成作用を受ける間に、石灰質斜長石や苦鉄質鉱物の一部は変質しているらしい。Total FeO 減少の理由の一つとして、鉄鉱物が、比重が大きいため、堆積時の淘汰作用によって別の場所に堆積した可能性もあげられよう。

なお UTADA (1968) は、凝灰岩が続成作用の際に、Na<sub>2</sub>O, K<sub>2</sub>O が移動することを別の観点からすでに論じている。

最後に凝灰岩と泥岩の成分を第5図から直接比較すると、凝灰岩のほうが CaO, Na<sub>2</sub>O が多い。この理由は上記と同様である。

#### 付. 三成分系の計算と図化プログラム

化学分析値のうちから、次の3種類の組み合わせによる三成分系の計算と三角図への図化を行った。

- 1) MgO-CaO-Na<sub>2</sub>O
- 2) MgO-Na<sub>2</sub>O-K<sub>2</sub>O (第3図)
- 3) CaO-Na<sub>2</sub>O-K<sub>2</sub>O

これらの作業を電算機を用いて行うために NORM-201 と名付けたプログラムを作成した。

このプログラムではノルム計算を行うための入力カード(丹治・他, 1974, 1975)をそのまま入力として利用できるようにした。三成分系の計算は、入力した化学分析値(火成岩の場合は14種、堆積岩の場合は17種)の任意の3種類を指定して実行できるようになっており、ここでは上記の3組の組み合わせをえらんでいる。

プログラム作成にあたっては、地質調査所電算機利用グループによって開発され、ライブラリーとして登録されているサブルーチン群の中から、タイトル出力のために「IDENT ルーチン」(中塚, 1976 b)を、カード入力のために「CARDIN ルーチン」・「ATYPE ルーチン」。

第5図 日本の火山岩およびグリーンタフ地域凝灰岩・泥岩の SiO<sub>2</sub> と他成分との関係

Relationship between SiO<sub>2</sub> and other oxides of volcanic rocks in Japan, and tuff and mudstone in the "Green Tuff Region".

黒丸: 凝灰岩, 白丸: 泥岩, クロス: 火山岩。

「FTYPE ルーチン」(中塚, 1976 a) を, 三角図出力のために「TRIPLT ルーチン」(安藤, 1976) をそれぞれ利用した。

MgO, CaO, Na<sub>2</sub>O, K<sub>2</sub>O は風化作用の際に移動しやすい成分であり, MgO, K<sub>2</sub>O は粘土鉱物として再び固定する成分である。したがってこの三角図は, 風化・堆積作用の議論の際に利用されることが多いであろう。ただし, CaO は, 貝殻などの“余分の”CaCO<sub>3</sub>として堆積岩に混入することがある。第三紀泥岩は, 試料によってはその可能性が考えられるのでここには CaO を含む図は示してない。

文 献

- ABE, M. (1962) Studies on the source rocks of petroleum in northeastern Honshu, Japan. *Sci. Rept. Tohoku Univ.*, ser. 3, vol. 7, p. 343-404.
- 安藤直行 (1976) TRIPLT ルーチン・TOSBAC 3400/51 ユーザーズ・プログラム使用説明書 第1集。ライブラリー・サブプログラム篇, p. 20-23, 地質調査所。
- AOKI, K. and OJI, Y. (1966) Calc-alkaline volcanic rock series derived from alkali-olivine basalt magma. *Jour. Geophys. Res.*, vol. 71, p. 6127-6135.
- 千谷好之助 (1926) 男鹿半島第三紀頁岩分析。地質雑, vol. 38, p. 109.
- 原村 寛 (1963) 古生層の粘板岩の化学組成 V。古生層と第三紀層の比較。地質雑, vol. 69, p. 201-206.
- 東元定雄・大森江い・後藤隼次 (1976) 山口県玖珂地区の堆積岩および花崗岩の化学組成。地質調月, vol. 27, p. 471-481.
- 市川浩一郎・藤田至則・島津光夫 (編, 1970) 「日本列島」地質構造発達史。築地書館, 232 p.
- IIJIMA, A. (1959) On relationship between the provenances and the depositional basins, considered from the heavy mineral associations of the Upper Cretaceous and Tertiary formations in central and southeastern Hokkaido, Japan. *Jour. Fac. Sci., Univ. Tokyo*, sec. 2, vol. 11, p. 339-385.
- (1964) The Paleogene paleogeology and paleogeography of Hokkaido. *Japan. Jour. Geol. Geogr.*, vol. 35, p. 43-55.
- 今井 功・寺岡易司・奥村公男 (1971) 九州四万十帯北東部の地質構造と変成分帯。地質雑, vol. 77, p. 207-220.
- ・————・———— (1975) 九州四万十帯の構造区分。地函研専報, no. 19, p. 179-189.
- 稲積章生 (1971) 四国地方頁岩および粘板岩の化学組成。日本化学雑誌, vol. 92, p. 326-334.
- 井上英二 (1962) 熊本県宇土半島三角周辺の古第三系。地質調月, vol. 13, p. 1053-1067.
- 入江敏勝 (1962) 緑色凝灰岩の地球化学的研究。山形大紀要 (自然科学), vol. 5, p. 711-740.
- KATADA, M., ISOMI, H., OMORI, E. and YAMADA, T. (1963) Chemical composition of Paleozoic rocks from northern Kiso district and of Toyoma clayslates in Kitakami Mountainland: II. Chemical composition of psammitic rocks and basalts. *Jour. Japan. Assoc. Min. Petr. Econ. Geol.*, vol. 50, p. 151-162.
- 河田学夫 (1962) 地質調査所化学分析成果表 I (岩石・鉱物 1954~1960)。地質調報, no. 195, 176 p.
- 北村 信 (1959) 東北地方における第三紀造山運動について——(奥羽脊梁山脈を中心として)——。東北大地質古生物研邦報, no. 49, p. 1-98.
- 猪 武 (1974) 油田第三系における泥質岩の化学組成。地質調報, no. 250-2 (新潟第三系堆積盆地の形成と発展 構造地質・地球化学編), p. 211-227.
- ・伊藤 聡・横田節哉・上島 宏 (1974) 北西北海道築別付近における新第三系泥質岩類の化学組成。石油技誌, vol. 39, p. 95-105.
- ・佐川 昭 (1970) 北海道古第三系泥質岩の化学組成——石狩原料炭 34 号試すいにおける一例——。地質調月, vol. 21, p. 67-79.
- 松井和典・今井 功・片田正人 (1961) 五島列島中通島および相ノ島でみいだされた変成岩類 (予報)。地質調月, vol. 12, p. 201-206.
- 三原 栄 (1932) 化学成分より見たる「魚岩」と緑色凝灰岩。岩鉱, vol. 7, p. 61-67.
- 三木 孝・松枝大治 (1974) 西九州天草の赤崎層に

- ついて. 九大理研報 (地質), vol. 12, p. 27-40.
- MOORT, J. C. Van (1972) The  $K_2O$ ,  $CaO$ ,  $MgO$  and  $CO_2$  contents of shales and related rocks and their implications for sedimentary evolution since the Proterozoic. *Rept. 24th IGC, Sect. 10*, p. 427-439.
- 本島公司・安藤 厚・川野昌樹 (1960) 水成岩の研究について——化学組成と堆積環境——. 石油技誌, vol. 25, p. 298-303.
- 中塚 正 (1976a) CARDIN ルーチン・ATYPE ルーチン・FTYPE ルーチン・TOSBAC 3400/51 ユーザース・プログラム使用説明書 第1集. ライブラリーサブプログラム篇, p. 3, 地質調査所.
- (1976b) IDENT ルーチン・TOSBAC 3400/51 ユーザース・プログラム使用説明書 第1集. ライブラリー・サブプログラム篇, p. 13, 地質調査所.
- 小野千恵子 (1976a) 岩石の平均化学成分とその図示 4. 本州 (秩父) 地向斜の泥岩. 地質調月, vol. 27, p. 519-533.
- (1976b) 岩石の平均化学成分とその図示 5. 中生代, 四万十・和泉・田老・日高地向斜の泥岩. 地質調月, vol. 27, p. 783-788.
- ・磯見 博 (1967) 日本列島におけるいろいろの岩石のしめる面積の比較および考察. 地質調月, vol. 18, p. 467-476.
- 小貫義男 (1969) 北上山地地質誌. 東北大地質古生物研報, no. 99, p. 1-239.
- 大沢 穰 (1967) グリーン・タフ. 地下の科学シリーズ 14, ラテイス社, 231 p.
- SATO, Y. (1969) Geological significance of zircon-garnet-tourmaline ratio of the Paleogene sandstones of northwestern Kyushu, Japan. *Rept., Geol. Surv. Japan*, no. 235, 46 p.
- 柴田秀賢・小林福造 (1965) 山梨県早川・釜無川流域の地質. 地質雑, vol. 71, p. 66-75.
- 庄司力偉 (1957) 常磐炭田における潜丘の推定に関する研究 (2) 潜丘のまわりに発達する緑色泥質岩帯の意義. 鉱山地質, vol. 7, p. 49-58.
- 荻木浅彦・鈴木喜義 (1960) 福島県与内畑鉱山の石膏鉱床について. 鉱山地質, vol. 10, p. 26-41.
- TAKAHASHI, J. (1924) On the so-called contact phenomena of the Tertiary Oil Measure caused by rhyolite in Kugami-Sarugababa region, province of Echigo, Japan. *Sci. Rept. Tohoku Imp. Univ.*, ser. 3, vol. 2, p. 39-58.
- 高橋純一 (1940) 男鹿統の堆積輪廻 (I). 岩鉱, vol. 23, p. 70-88.
- ・八木次男 (1930) 増幌及石狩黒色頁岩の化学成分. 岩鉱, vol. 4, p. 225-227.
- ・———— (1936) 東部津軽油田の石油母層. 岩鉱, vol. 16, p. 1-10.
- ・———— (1939) 北能代油田 (I). 岩鉱, vol. 22, p. 185-194.
- ・————・野田真三郎・青木良一 (1934a) 富山県氷見地方の新推定油田 (概報). 石油技誌, vol. 2, p. 79-94.
- ・————・柴田荘三 (1934b) 西津軽の新推定油田 (概報). 石油技誌, vol. 2, p. 235-255.
- TANEDA, S. (1962) Frequency distribution and average chemical composition of the volcanic rocks in Japan. *Mem. Fac. Sci., Kyushu Univ.*, ser. D, vol. 12, p. 237-255.
- 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.
- ・小野千恵子・安藤直行・片田正人 (1975) 岩石の平均化学成分とその図示 2. 堆積岩類. 地質調月, vol. 26, p. 179-189.
- 樽谷俊和・小倉次利 (1966) 九州地方の堆積岩の化学組成 I. 九大島原温泉研報, no. 2, p. 1-4.
- 天然ガス鉱業会 (1965) 日本の石油・天然ガス資源, 238 p.
- 寺岡易司・奥村公男・今井 功 (1974) 九州耳川地域の四万十累層群砂岩——四万十帯の構造区分に関連して——. 楠見久先生退官記念文集「地球と人と教育」, p. 133-151.
- ・田中啓策 (1975) 四国西部の四万十帯 (演旨). 地質学会 82 年大会講演要旨, p. 225.
- 上村不二雄・阿部智彦 (1971) 津軽地方の新第三紀堆積岩類について (演旨). 5 学会連合大会

講演要旨, p. 126.

———・——— (1975) 津軽地方の新第三系と泥質堆積岩類について(演旨). 地質学会 82 年大会講演要旨, p. 286.

UTADA, M. (1968) Migration of chemical components related to zeolitization zoning of Tertiary sediments in the Kanto Basin, Japan. *Sci. Paper Coll. Gen. Educ.*,

*Univ. Tokyo*, vol. 18, p. 279-306.

八木次男 (1929) 幌内頁岩の化学成分. 岩鉱, vol. 2, p. 70-71.

——— (1933) 北海道海成頁岩の化学的諸性質並に海底風化作用の特異性に就て. 岩鉱, vol. 10, p. 17-29.

(受付: 1976年5月24日; 受理: 1976年10月25日)