

中国東部の中生代火山岩類の岩石化学とその地質学的意義\*

陸 志剛\*\*

佐藤岱生\*\*\* 石原舜三\*\*\*訳

訳者前書: この翻訳は 国際産業技術協力事業 (ITIT) に基づき, 1982年2-3月に地質調査所に滞在された陸志剛氏の鉱床部談話会における講演の要旨である。全文は現在, 中国地質部の定期刊行物に投稿中である。日本人読者は地域名になじみがない点を考慮し, 第1図を演者にお問い合わせして追加した。このほか若干の訳者註を入れ, 読者が理解しやすいようにつとめた。

中国大陸の地質学的特徴のひとつは, その東部に中生代火山岩類が広く分布していることである。北は黒龍江省から南は浙江省一福建省の海岸地域まで, 長さ3,000 km, 幅300-800 km の地域に中生代火山岩類は少なくとも280,000 km<sup>2</sup> をおおい, これは露出岩石の約14%にあたる。火山岩類は主として中性一酸性である。ここでは, 主に岩石化学的性質について概観する。

1. 時代論と火成輪廻

中国東部の中生代火山岩類は, 層序学的に主として後期ジュラ紀で, 一部が前期白亜紀に属する。中一後期ジュラ紀火山岩類は, 局部的に河北省北部, 遼寧省東部, 広東省東部に分布する(第1図)。後期ジュラ紀火山岩類の一部の時代論については異論もある。220の地質断面の統計処理によると, その68.5%は後期ジュラ紀層, わずかに11.4%が前期白亜紀層, 残り(20.1%)は中一後期ジュラ紀層に属する。

しかしながら, 126個の K-Ar 放射年代は, その28%が130 Ma 以上, 44%が110-130 Ma, 28%が110 Ma 以下の年代を示す。すなわち, K-Ar 年代が上記の年代より若干若く, この層位古生物学的年代と同位体年代の不一致は, 今後の研究課題である。

中生代火山岩類は, 中国東北部の一部で海成相の珪質火山岩層が発達しているほかは, 陸上噴火によって特徴づけられる。

一般には, 同一の構造一火成輪廻の産物は, 塩基性から中性を経て酸性に至るマグマの進化経路を示すはずであるが, 中国東部の中生代火山岩類の岩石化学は, そのようなパターンを示さない。例えば, 中国の南東海岸地

域では, 火山岩類の組成は主として酸性で, 中性火山岩類はまれである。廬江一南京火山帯では, ほとんどが安山岩と粗面安山岩であり, 大興安嶺地域では, 火山岩層の下部は中性一酸性火山岩からなるのに対して, 上部は中性一塩基性火山岩からなる。北京東方の燕山地域では, 火山岩類は順に塩基性, 中性, 酸性となった後, 再び塩基性となることが識別しうる。

これらの事実は, 中生代火山岩類が単一の玄武岩マグマの分別作用の産物ではないことを示しており, それ故に, 単一組成マグマ分化作用の観点は捨てられるべきである。

2. 空間分布と噴火の型

中国東部の中生代火山岩類は, 空間的に3つの北東-南西方向の帯に分けることができる(第1図)。それらは,

- I 内帯: 大興安嶺, 陰山(内蒙古)の東部, 燕山。
- II 中間帯: 張廣才嶺, 老爺嶺(以上ハルピン周辺) 鄭城一廬江深部断層の両側の地域, 揚子江の中一下流域地域。
- III 外帯: 浙江一福建, 広東, 海南島と続く南東海岸地域。

である。

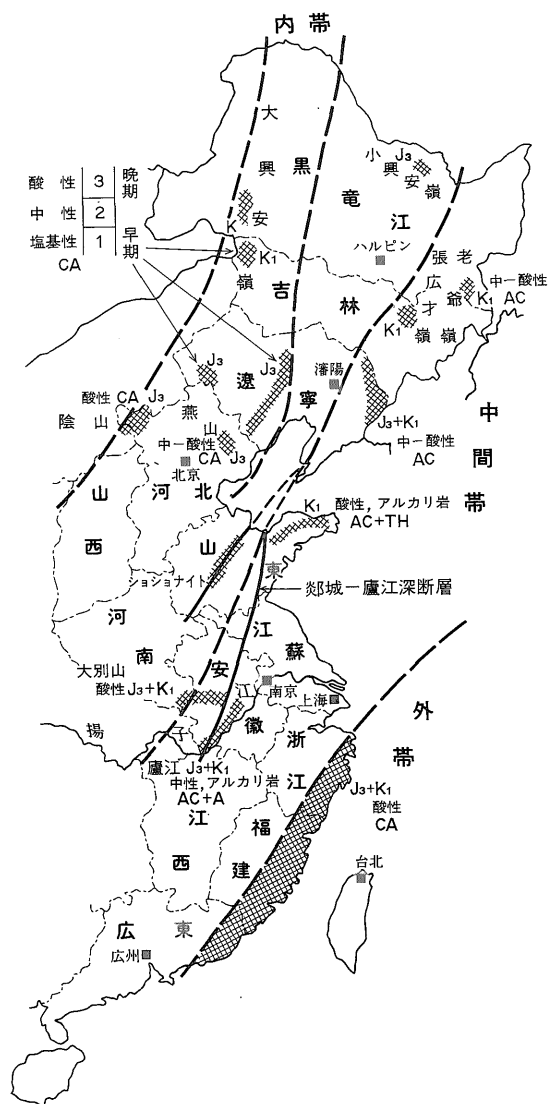
これらの帯の中生代火山岩類は, 褶曲した複合基盤岩類とその上の種々の構造を持つ古生代諸岩石上に分布する。火山作用は, 構造盆地の中に発達し, 明らかに北東又は北北東の広域断層による規制をうける。火山岩類は, 多くの場合, 下にたわんでおり, 陥没盆地に生じたことが明らかである。火山岩類は, ほとんどの場合に基盤を不整合に覆う。

中生代火山岩類は, 広域的断層にそう分布, 周期的な噴出, 巨大量の火砕岩の産出, 岩相と厚さの激しい変

\* The petrochemistry of Mesozoic volcanic rocks of East China and its geological significance.

\*\* Lu Zhi-gang 南京市中山東路534号, 南京地質鉱産研究所

\*\*\* 鉱床部



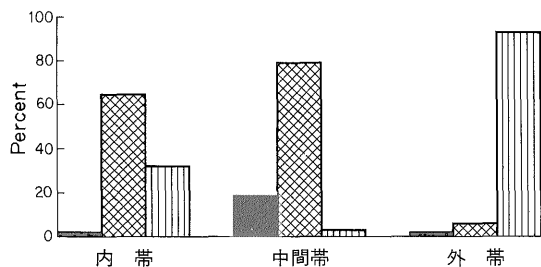
第1図 中国東部の中生代火山岩類の分帯図

J<sub>1</sub>, J<sub>2</sub>, J<sub>3</sub> はジュラ紀前・中・後期, K<sub>1</sub>, K<sub>2</sub> は白亜紀前・後期。両者の境界は 140 Ma。大興安嶺などの1-3 (図左上) は早期(塩基性)→晩期(酸性)の組成変化を示す。

化、そして上部層と下部層の間の傾斜不整合などで特徴づけられる。これら火山岩類は、割れ目噴火の生成物は別として、広域的断層規制による中心噴火の生成物と考えられる。

火山の噴出量は、内帯で小さく外帯ほど大きい。火山噴出物中の火砕岩の量比によって求められる爆発指数は、地域全体で22-69%に変化し、平均40%である。

近年、研究の発展にともなって、たとえば娘娘山カルデラのように、環状構造やクレーターが多くの地域で認



第2図 中国東部における地帯別の岩種比(%)

黒: 塩基性岩, 斜線: 中性岩, 縦線: 酸性岩

められている。この様な発見は、火山岩に関連した鉱物資源の探査ばかりでなく、火山地域の層位学的対比にとっても重要な意義を持つものと考えられる。

### 3. 火山岩岩系

中国東部の中生代火山岩類全体は、次のような岩石種の比率を示す。

塩基性岩 (玄武岩, 安山岩一玄武岩)	6.5%
中性岩 (安山岩, 粗面岩, 粗面安山岩)	44.2%
酸性岩 (流紋岩, デイサイト)	49.3%

地域的には第2図のような特徴があり、海岸部ほど酸性岩が卓越する。

火山岩系による区分に、2つの観点がある。ひとつは、火山岩類を2つの岩系、すなわちソレイト系とアルカリ玄武岩系に分ける方法であり、他方は、3つの岩系、すなわち大陸と海洋島のアルカリ玄武岩系、海嶺・海盆・海溝に近い島弧のソレイト系、そして島弧のカルクアルカリ岩系を認める方法である。

中国東部における観察に基づき、我々は中生代火山岩類を2つの岩類に分け、更にそれぞれを2つの岩系に分ける。

- カルクアルカリ岩類
  - 1. ソレイト系 (TH)
  - 2. カルクアルカリ岩系 (CA)
- アルカリ岩類
  - 3. アルカリカルク岩系 (AC)
  - 4. アルカリ岩系 (A)

中国東部は、CA, AC, A岩系の発達によって特徴づけられ、TH系は山東省の東部に局所的に産する。

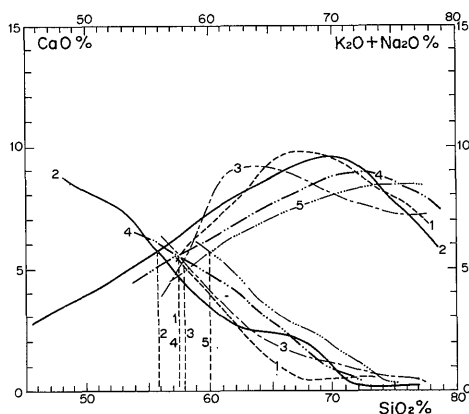
### 4. 岩石化学的性質

火山岩類の化学組成の特徴を分類するために、異なる火山帯の溶岩の化学分析値を約500個集めた。世界の玄武岩, 安山岩, 粗面安山岩, 粗面岩の平均値とあわせて検討した。これらすべてのデータから、ピーコックのアル

中国東部の中生代火山岩類の岩石化学とその地質学的意義 (佐藤岱生・石原舜三訳)

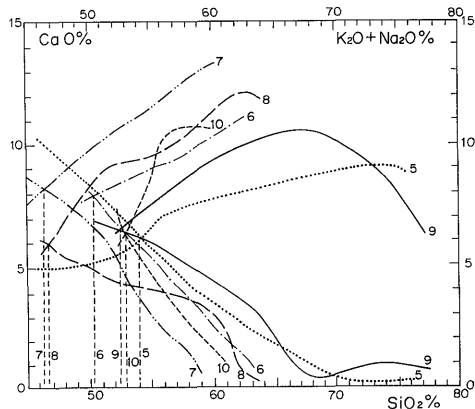
第1表 中国東部, 外帯の代表的岩石の分析値と CIPW ノルム

	1	2	3	4	5	6	7
SiO <sub>2</sub>	77.84	75.77	73.19	70.15	69.49	57.05	51.64
TiO <sub>2</sub>	0.12	0.15	0.27	0.42	0.45	1.08	1.58
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	11.25	12.49	14.30	14.41	15.22	16.93	16.67
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1.00	1.12	0.97	1.68	2.46	3.19	3.51
FeO	0.55	1.16	1.18	1.55	0.41	4.97	5.51
MnO	0.04	0.04	0.08	0.06	0.05	0.13	0.13
MgO	0.21	0.14	0.64	0.63	0.58	2.99	4.27
CaO	0.69	0.20	0.18	2.15	1.60	6.39	7.90
Na <sub>2</sub> O	1.40	3.21	3.68	3.65	4.24	2.76	1.69
K <sub>2</sub> O	5.32	4.95	4.31	4.50	4.24	2.26	2.94
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.03	0.02	0.05	0.12	0.13	0.38	0.51
H <sub>2</sub> O <sup>+</sup>	—	—	—	0.68	—	—	—
Q	47.9	37.1	33.8	26.1	24.8	10.2	6.0
or	31.2	29.5	25.6	26.7	25.0	20.9	10.0
ab	12.1	27.3	30.9	30.9	35.7	33.6	24.6
an	3.3	0.9	0.6	9.5	7.1	22.5	27.5
C	2.0	1.4	3.4	—	1.2	—	—
di	wo	—	—	0.2	—	2.7	3.3
	en	0.5	0.4	1.6	1.6	7.3	10.7
	fs	0.2	0.8	1.1	0.8	—	4.4
mt	1.4	1.6	0.9	2.5	2.6	4.6	5.1
il	0.2	0.5	0.6	0.8	0.8	2.1	3.0
ap	0.1	0.1	0.2	0.3	0.3	1.0	1.4



第3図 中国東部, 外帯の中生代火山岩類のアルカリ-石灰指数

1:安徽省南東部, 2:浙江省, 3:福建省西部, 4:福建省東部, 5:広東省



第4図 中国東部, 中間帯の中生代火山岩類のアルカリ-石灰指数変化図

5:山東省, 6:廬江-樞陽, 7:安徽省, 8:銅陵, 9:南京-蕪湖南部, 10:娘娘山

第2表 中国東部, 中間帯(廬江)の代表的な溶岩の分析値

Stage	I	I	II	IIIa	IIIb	
SiO <sub>2</sub>	49.26	51.74	53.10	57.18	60.38	
TiO <sub>2</sub>	0.73	0.84	0.80	0.81	0.64	
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	17.76	16.83	15.79	17.84	18.24	
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	7.51	5.72	7.26	5.11	2.07	
FeO	0.40	2.01	0.48	1.11	0.82	
MnO	0.12	0.34	0.21	0.12	0.10	
MgO	2.00	2.63	1.63	2.34	0.58	
CaO	5.59	3.37	5.23	3.15	1.01	
Na <sub>2</sub> O	1.95	5.06	5.34	5.55	3.89	
K <sub>2</sub> O	6.25	4.80	3.80	4.08	9.71	
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.45	0.49	0.39	0.36	0.15	
H <sub>2</sub> O <sup>+</sup>	3.09	1.83	1.54	0.70	0.74	
or	24.25	29.93	23.88	40.77	57.77	
ab	49.89	38.11	43.74	19.31	30.85	
an	11.71	9.54	8.40	23.23	3.65	
di	wo	1.21	0.93	3.31	0.86	0.09
	en	1.99	1.39	4.27	1.09	0.11
	fs	0.43	0.47	2.35	0.62	0.08
hy	en	0.41	—	—	3.09	—
	fs	0.09	—	—	1.76	—
fo	3.05	4.68	0.33	1.64	1.01	
fa	0.66	1.58	0.18	0.84	0.86	
ne	—	5.83	4.18	—	2.69	
mt	3.26	4.23	4.07	3.96	1.85	
il	1.11	1.29	1.18	1.10	0.90	
ap	0.74	1.09	0.79	0.98	0.30	

5時期の火山活動のうち, I-III 期のものを示す。

カリ石灰指数 (CA), リットマン指数 ( $\delta$ ; RITTMANN's\*1 index), CIPW ノルム, 分化指数 (D. I. differentiation index), 固化指数 (S. I. \*2; solidification index), K<sub>2</sub>O/Na<sub>2</sub>O, K<sub>2</sub>O/SiO<sub>2</sub>値などを求め, 各種の成分変化図にプロットした。

中国東部の火山岩類は, 次のような性質がある。

**A) CA 岩系** 中国東部の最も重要な岩系で, 主として外帯と内帯に分布する。南東海岸地域では, この岩系の火山岩類は爆発型の噴火の発達によって特徴づけられ

(訳者註)

$$*1 \delta = \frac{(K_2O + Na_2O)^2}{SiO_2 - 43} \text{ (モル比)}$$

$$\text{GOTTINI 指数 } \tau = \frac{Al_2O_3 - Na_2O}{TiO_2} \text{ (モル比)}$$

$$*2 MgO \times 100 / (MgO + FeO + Fe_2O_3 + Na_2O + K_2O)$$

る。爆発指数は56-69である。爆発型の火山岩類は, ほとんど爆発角礫岩と爆発性碎斑晶溶岩\*3 からなる。大きなカルデラ陥没とドームを伴う特徴がある。

この岩系は, 流紋岩 (60%), デイサイト (20-30%), 安山岩 (10%) と少量の高アルミナ玄武岩からなっており, その岩石組合せは, 標準的な島弧の CA 岩系とは異なる。

岩石化学的性質は次の様にまとめられる。

- a) SiO<sub>2</sub> 含量は45-80%, 平均63% (分析数56個)。
- b) アルカリ (Na<sub>2</sub>O + K<sub>2</sub>O) は平均6%, K<sub>2</sub>O/Na<sub>2</sub>O は0.7-1.8。
- c) M/F\*4 は1.2-6.8, 全鉄と MgO の量は, SiO<sub>2</sub>量の増加に従って減少する。
- d) ピーコックのアルカリ-石灰指数は55-60で, リットマン指数は1.8-3.0 (第3, 4図) である。
- e) CIPW ノルムでは C, hy が一般に生じ, di は稀である。

**B) AC 岩系** これは主に中間帯 (山東省東部, 揚子江中一下流域, 郟城-廬江深部断層の両側) に産出する。この岩系の火山岩類は, 爆発と噴出の交互活動によって特徴づけられる。爆発指数は50より小さい。

この岩系はアルカリ玄武岩, 玄武岩-粗面安山岩, 粗面安山岩と安山岩からなる。この火山活動は, 大きな火山性凹地を形成する特徴がある。

その岩石化学的性質は,

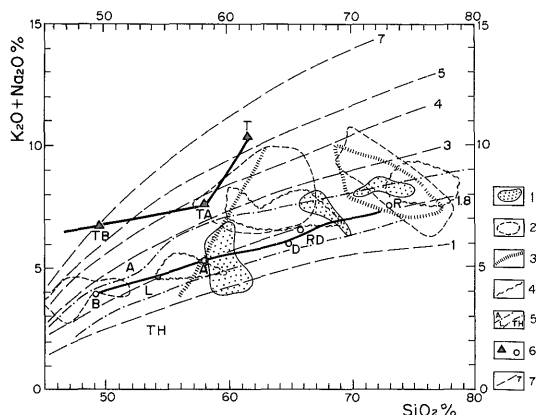
- a) SiO<sub>2</sub> 含量は45-69%。
- b) アルカリ (Na<sub>2</sub>O + K<sub>2</sub>O) は8-13%, K<sub>2</sub>O 含量は非常に高く, 2.8-5.2%を示す (一般の安山岩では K<sub>2</sub>O は1.5-2%)。
- c) ピーコックのアルカリ石灰指数の範囲は46-54であり, リットマン指数は3.7-9.1 (第5, 6図) である。
- d) CIPW ノルムでは di, ne, hy, ol は普通に算出され, Qはまれである。

この岩系の岩石組合せは, 島弧やハワイのかんらん石粗面安山岩に対比でき, 特に全アルカリ量は互いに似ている。しかし, SiO<sub>2</sub> と K<sub>2</sub>O 含量は, 中国東部の AC 岩系でやや高い。

**C) A 岩系** この岩系は, 揚子江の中一下流域地域に限定的に産し, 成因的には AC 岩系と密接に関連している。一般に, この岩系は AC 岩系の最上部に見られ, その火山輪廻の後期における進化生成物と考えられている。マグマは高ナトリウムから高カリウムへ変化し, 最

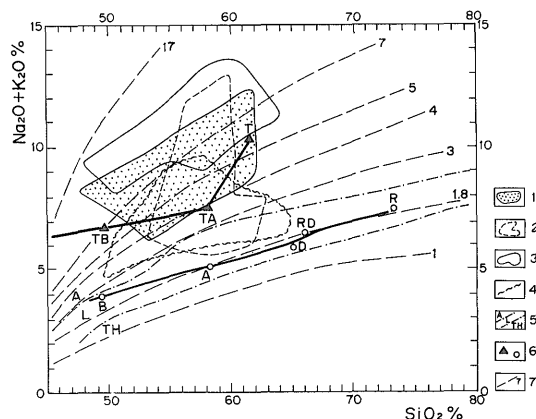
\*3 explosion porphyroclastic lava

\*4 MgO/ΣFe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>



第5図 中国東部, 外帯の中生代火山岩類の SiO<sub>2</sub>—全アルカリ図

1: 広東省, 2: 浙江省, 3: 福建省西部, 4: 福建省東部, 5: ソレアイト系・高アルミナ玄武岩系・アルカリかんらん石玄武岩系の境界, 6: 世界の火山岩の平均組成(B: 玄武岩, A: 安山岩, R: 流紋岩, TB: 粗面玄武岩, TA: 粗面安山岩, T: 粗面岩), 7: リットマン指数( $\theta$ ).



第6図 中国東部, 中間帯の中生代火山岩類の SiO<sub>2</sub>—全アルカリ図

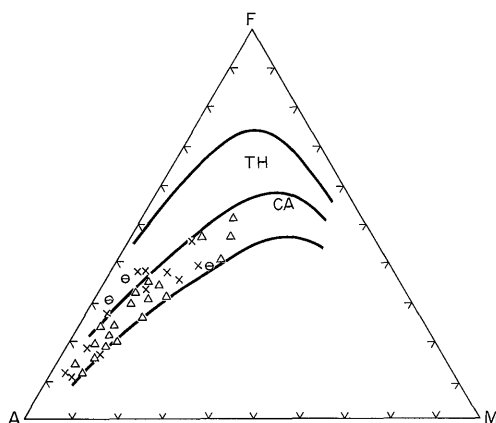
1: 廬江—樅陽, 2: 南京—蕪湖, 3: 銅陵及び娘娘山, 4: 山東省, 5-7: 第5図と同じ.

終的には酸性度の高い, カリウム含量の特別に高いアルカリ質マグマに変化する. そのためにほとんどの岩石はカリウムに富み, 過アルカリとなる.

粗面岩とフォノライトは常に火山岩類複合体の最上部に産出する. 対応する火砕岩は主に溶結凝灰岩を構成し, これは噴火源の近くに分布する.

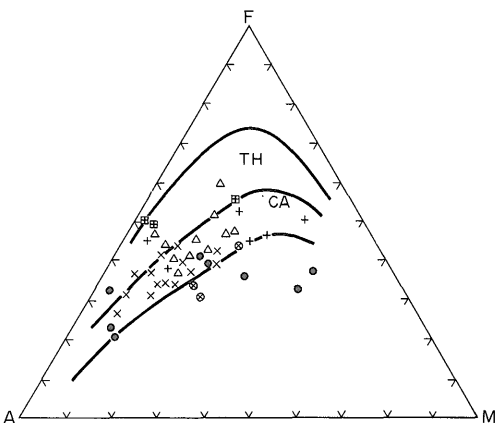
岩石化学的に,

- a) SiO<sub>2</sub> 含量は57-60%
- b) アルカリ (Na<sub>2</sub>O + K<sub>2</sub>O) は特に高く, 8.8-12.9%の範囲にあり, K<sub>2</sub>O/Na<sub>2</sub>O は2-8である. したが



第7図 中国東部, 外帯の中生代火山岩類の AFM 図

⊖: 広東省東部, ×: 浙江省東部と福建省東部, △: 浙江省西部と江西東北部.



第8図 中国東部, 中間帯の中生代火山岩類の AFM 図

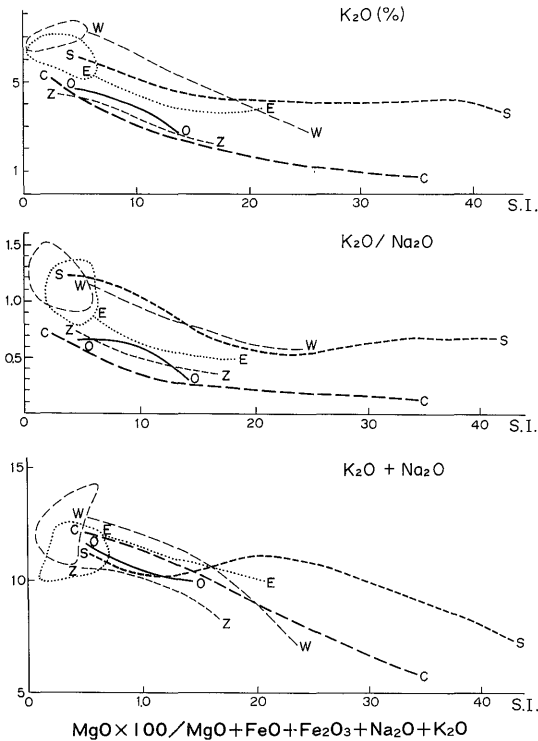
田: 山東省東部, △: 南京—蕪湖, +: 山東省南部, ×: 廬江—樅陽, ⊗: 山東省西部, ●: オーストラリアのシヨシヨナイト

って, カリウムに富んだ過アルカリ岩である.

- c) ピーコックのアルカリ—石灰指数は平均で46である. リットマン指数は9より大きい.
- d) CIPW ノルムでは, ne と ol が出現し, Qはほとんど算出されない.

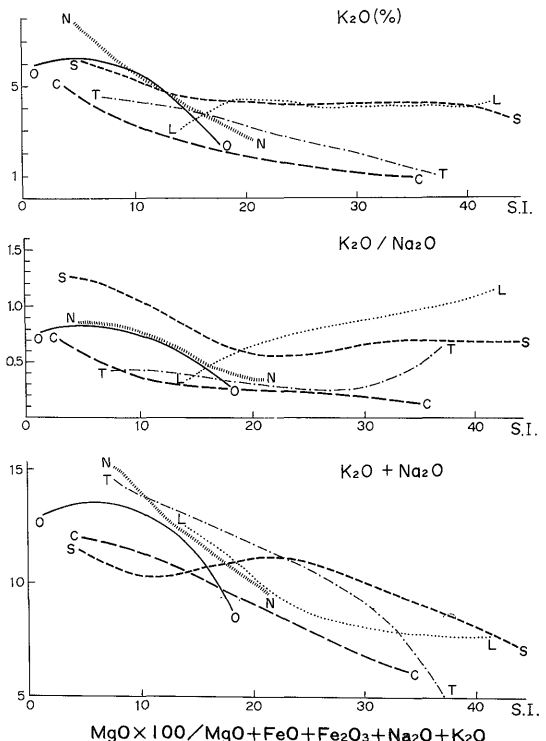
中国東部の中生代火山岩類の組成変化図 (第3-10図) から, 次の性質が明らかである.

- 1. 中国東部の中生代火山岩類は, 南京—廬江と山東省西部地域の火山岩の一部がアルカリ岩系である.
- 2. 内帯と外帯の中生代火山岩類は, カルクアルカリ岩系に属し, アルカリ—石灰指数は55-60で, リットマン



第9図 中国東部、外帯の中生代火山岩類の S.I.—アルカリ図

W—W: 浙江西部及び江西北東部, E—E: 浙江・福建・広東各省の海岸地域, S—S: ショショナイト岩系(オーストラリア, JOPLIN, 1971), C—C: カルクアルカリ岩系 (IRVINE, 1971), Z—Z: 西南日本の中生代火山岩類 (柴田秀賢, 1968), O—O: オホーツク海沿岸の中生代火山岩類



第10図 中国東部、中間帯の中生代火山岩類の S.I.—アルカリ図

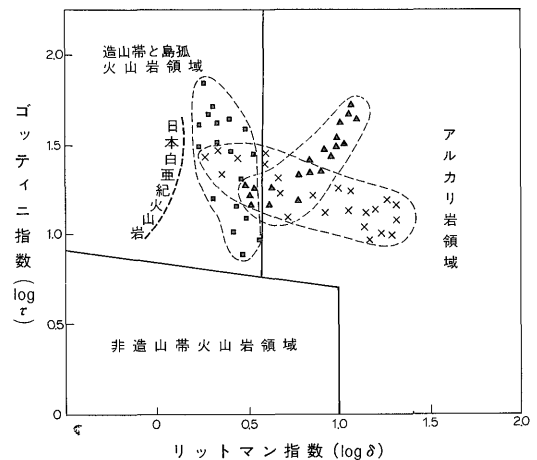
N—N: 南京—蕪湖, T—T: 山東省南部, L—L: 山東省西部, S—S: ショショナイト岩系(オーストラリア, JOPLIN, 1971), C—C: カルクアルカリ岩系 (IRVINE, 1971).

指数  $\delta$  は1.8-3.0となる。一方、中間帯では個々の場所で異なる。揚子江中一一流のいくつかの地域では、アルカリカルク岩系とアルカリ岩系があらわれ、山東省東部ではソレイト系が多い。中間帯の火山岩類のアルカリ—石灰指数は46-54を示し、 $\delta$  指数は2.5-3.0である。

3. 外帯と内帯がカルクアルカリ岩系に属するとはいえ、岩石組合せは互いに異なっている。内帯は、玄武岩、安山岩、デイサイト質安山岩、流紋岩の組合せで特徴づけられ、その中で安山岩が支配的である。一方、外帯は酸性火山岩類、特に流紋岩とデイサイトの組合せによって特徴づけられる。内帯の94個のデータでは、 $SiO_2$ の平均は63%であり、一方外帯では56個のデータで70%である。

4. AFM 図では、外帯はほとんど久野の紫蘇輝石質岩系におちる(第7, 8図)。

5. 中国東部の中生代火山岩類の  $(K_2O + Na_2O)$  と



第11図 中国東部、中生代火山岩類の GOTTINI—RITTMANN 図

■: 福建, ▲: 南京—蕪湖, ×: 蕪江—榕陽。訳者註: 福建省のものが日本の西南日本内帯の火山岩類に最も近い。

$K_2O/Na_2O$ は、世界の標準的なカルクアルカリ岩よりも高い。

6. オホーツク海沿岸と西南日本の組成変化図と比較すれば、オホーツク沿岸から大興安嶺へ向って、また、西南日本から中国南東海岸の方向へ、中生代火山岩のアルカリ度と  $K_2O/Na_2O$  比の増加する傾向がわかる。

7. GOTTINI—RITTMANN 図では、外帯の火山岩はB領域(造山帯と島弧の火山岩)にプロットされ、中間帯の火山岩はC領域(アルカリ岩)にプロットされる(第11図)

### 5. マグマの起源

中国東部の中生代火山岩類は、東西方向に変化する帯状配列を示し、化学組成は海洋から内陸へと規則的に変化することから、マグマ発生のメカニズムは次のように考えられる。

後期ジュラ紀と前期白亜紀には、太平洋プレートは中国プレートの下にもぐりこんでいた。それらの相対的な動きは上部マントルのP/T条件を変化させ、地温異常は上部マントルにおける脱水と部分熔融を引き起こし

た。最初に発生したマグマは安山岩だった。中国東部の深成—火山岩の帯状配列と化学組成の規則的变化は、もぐりこみ帯の傾斜角度に関係しているものと考えられる。

他の可能性として、より注目されるべきは深部断層がマグマ発生にあたる影響である。地質学的、地球物理学的データによれば、鄭城—廬江深部断層は70 km以上の深さをもつ。したがって、この断層に沿う上部マントルの温度異常と部分熔融は十分に考えられる。鄭城—廬江深部断層によって引き起こされた部分熔融と上部マントルの上昇は、おそらく内陸部の安山岩マグマの発生の最も重要な要素であり、そこでは太平洋プレートのもぐりこみは恐らく副次的であった。

中国南東部海岸地域の東縁の中生代火山岩類は、主に珪質火山岩類よりなり、 $Sr^{87}/Sr^{86}$  初生値の平均は0.704—0.709であり、それは大洋性火山岩類よりも明らかに高い。このことは、大洋プレートの部分熔融によって形成されたマグマが大陸地殻物質を同化した、あるいは、大陸プレートの部分熔融、アナテキシスなどの生成物であることを示している。