

南九州とスマトラの火山活動と火山

西 村 進

VOLCANOES AND VOLCANIC ROCKS IN SOUTHERN PART OF KYUSHU, JAPAN AND SUMATRA, INDONESIA

By *Susumu NISHIMURA*

Synopsis

The magma of ignimbrite and welded tuff ("Sirasu") might be originated from the remelt of oceanic plate, when the front of plate is subducted to nearly 100 km in depth. The volcanism of these ignimbrite and Sirasu is so violent as to make a big caldera, of which Bouguer anomalies are about 50 mgal lower than those of the surrounding area, and the big caldera has the diameter of 15–20 km which is distributed along the big faults.

After these activity, the dacite and andesite volcanisms occur, which make the central cone of volcanoes. The magma of this volcanoes is quite different from that of ignimbrite and Sirasu in the genesis. This magma must be originated from the partial melt of the upper mantle under the volcanic belts of Island arc.

1. はじめに

桜島火山と始良カルデラ周辺に、重力や重力鉛直勾配の経年変化の測定に参加して、訪れだしてから、十数年になる。その間に、二度の活発な活動時期があり、火山岩の採集、噴出物の採集なども行ない、そのウラン系列の放射非平衡を論じたり¹⁾、放射化分析も行なった。

一方、1975年8月、スマトラ島中央部にあるムラビ、タラクマラ両火山峰をはじめて見、また、インドネシア科学局地質学鉱山学研究所 HEHUWAT 所長から1974年ムラビ火山の熱雲噴火の写真をを見せていただいて非常に興味をもった。鹿児島市街から眺める桜島火山、プキテンギー市街からみるムラビ火山の雄姿に何か同じような親しい感情をいだいたものだった。以後、1979年7月までに5回にわたり試料採集や重力測定のためにこの地域を訪れた。

これらの研究の結果、両者に非常に類似性のあることがわかり、ここにその概略をのべることにする。

この研究には、京都大学防災研究所 桜島火山観測所 故吉川圭三教授、加茂幸介教授、江頭庸夫氏、理学部 初田甚一郎名誉教授、笹嶋貞雄教授、インドネシア科学局地質学鉱山学研究所 F. HEHUWAT 所長、バンドン工科大学 M. T. ZEN 教授には種々の御教示と議論に加わっていただいた。また、理学部 阿部悦夫氏、京都女子大学 桂京造氏、同志社大学 横山卓雄氏、インドネシア科学局地質学鉱山学研究所 S. SUPARKA 氏、A. DHARMA 氏には行動をともし、種々議論していただいた。更に、東京大学地震研究所 荒牧重雄教授には貴重な試料をいただいた。放射化分析では、京都大学原子炉実験所 岩田志郎教授、小山睦夫助教授、教養部 池田隆氏にお世話になった。ここに感謝する。

2. テクトニクスの類似性

宇津²⁾、吉井³⁾によると、南九州の和達・ベニオフ・ゾーンの深さは150～200 kmであり、プレートの動きの方向と海溝ののびの方向は斜交する (Fig. 1)。そのうえ、地溝帯が海溝とほぼ平行にのび、その方向が

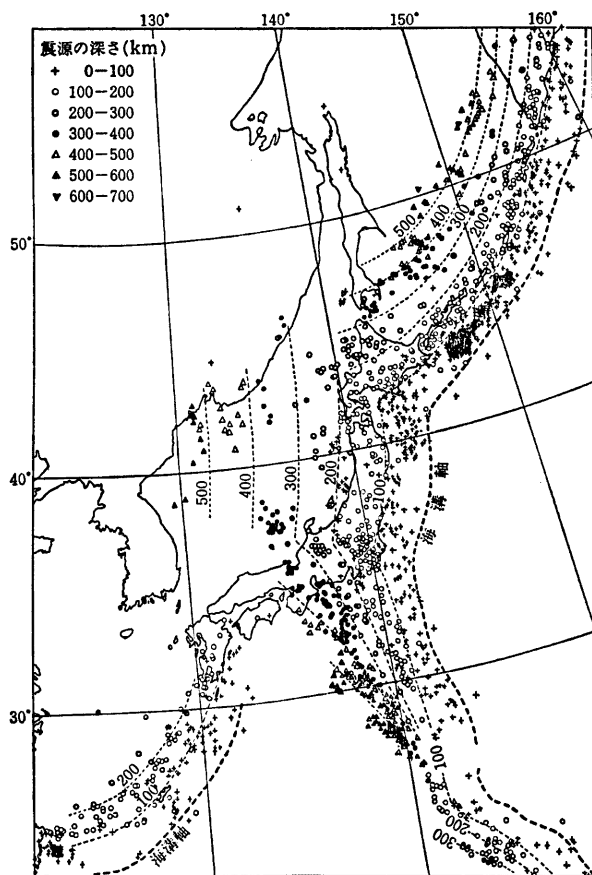


Fig. 1. Earthquake epicenters in Japan and map of isodepth lines which define a seismic surface or zone.

少し変化する所にカルデラがみられる (Fig. 2)⁴⁾。

始良カルデラ付近の重力測定によるとカルデラの内と外とでは、その差約 50 mgal のブーグ異常があり、カルデラの直径は、ほぼ 20 km である (Fig. 3)⁵⁾。

一方、スマトラでは HAMILTON⁶⁾ によると、和達・ベニオフ・ゾーンの深さが、北スマトラでは100~150 km, 南スマトラでは少し深く、150~200 km で、その勾配が小さい (Fig. 4, 5)。また、プレートの動きの方向と海溝ののびの方向が非常に斜交する。その海溝ののびの方向に平行に、スマトラ断層がのび、ほぼ、15~16 km で雁行するが、その雁行する所に、カルデラや火山活動がおこっている (Fig. 6)⁷⁾。南九州との違いは、その断層の雁行するところ、そののびの方向に、一カ所に数個のカルデラが並んでいることが多いことである (例えば、トバ湖周辺やマニンジョウ湖)。これは、プレートの動きの速さと、その海溝との斜交す

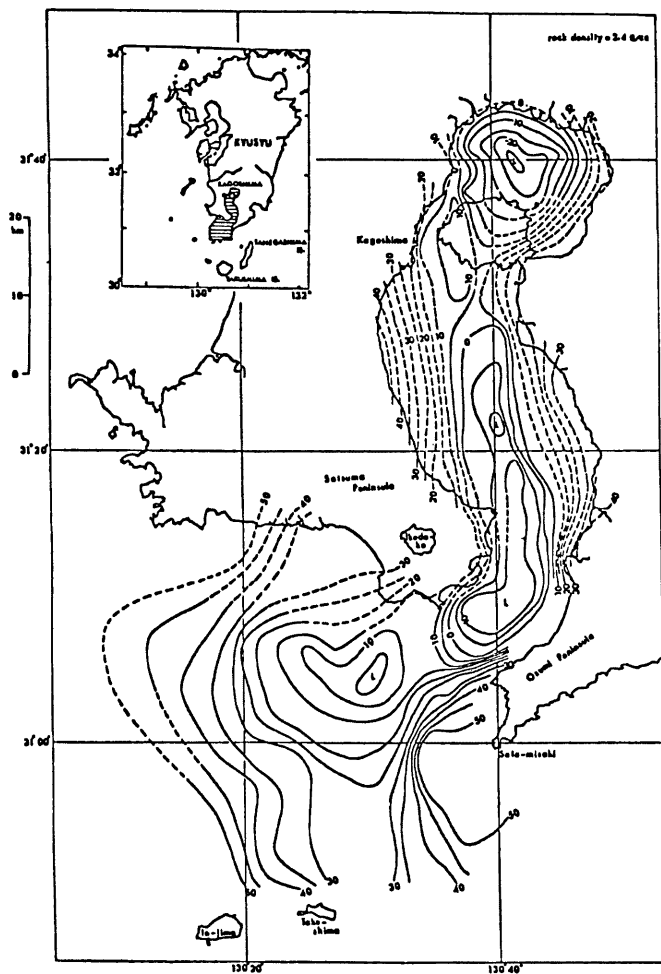


Fig. 2. Bouguer anomaly of Kagoshima Bay (Chujo and Murakami, 1976).

る角度の違いによるのかもしれない。

マニンジョウ湖を横切ると、トバ湖周辺で重力測定を行なって、Fig. 7, Fig. 8 に示すような結果を得た。トバ湖は今までにカルデラとかコルデロンといわれていた⁸⁾が、Fig. 8 や Fig. 9 に示すように、トバ湖は構造湖であり、その東南隅のボルセアの町に直径 20~25 km、-50 mgal のブーグ異常がみつきり、若い堆積物で埋った、二、三のカルデラの並びがあることがわかった^{9), 10)}。

これらのことから、南九州のテクトニクスとスマトラ島のテクトニクスの類似性がみとめられる。

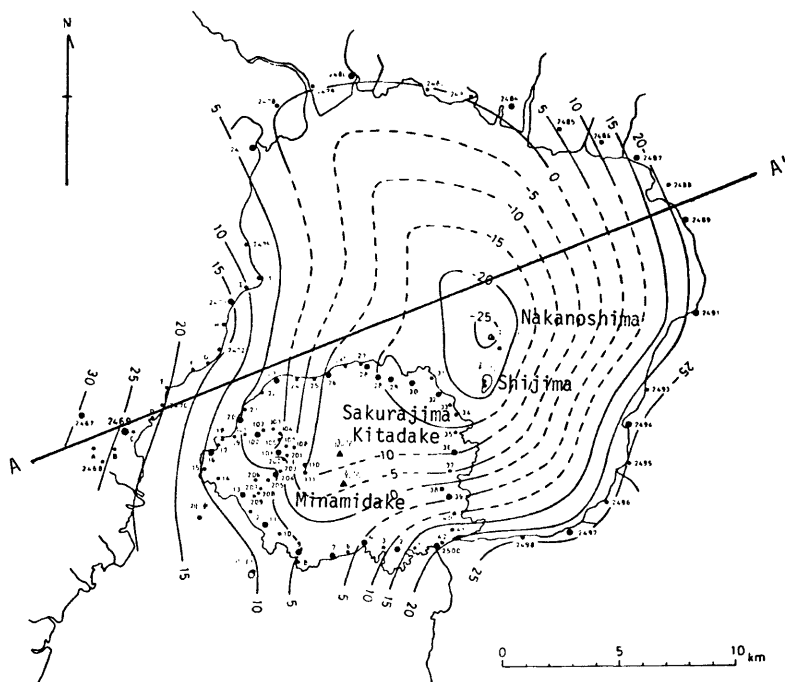


Fig. 3. Map of simple Bouguer anomalies (mgal). (Abe et al., 1975).

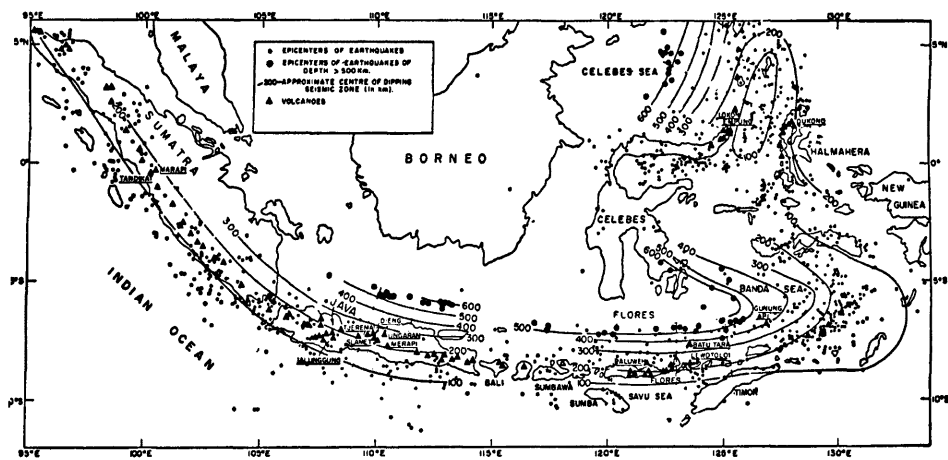


Fig. 4. Seismic isobaths and volcanoes in Indonesian region with epicenters on which isobaths.

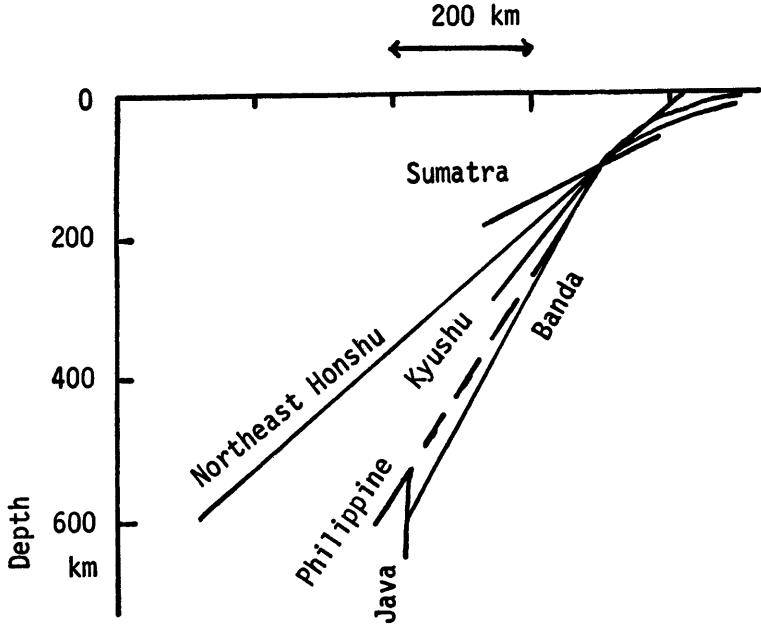


Fig. 5. Wadachi-Benioff zones of island arcs.

3. 火山活動の類似性

鹿児島湾沿岸地域の火砕流堆積物は研究者により少し差異はあるが、荒牧・宇井¹¹⁾によると Fig. 10 のようにその活動史がまとめられている。この地域では、酸性の火砕流の活動が70万年ほど前から始まり、始良カルデラはとくに入戸火砕流の噴出と関係が深いとされている¹²⁾。すなわち、Sato et al.¹³⁾によると約2万年前ということになる。その時に非常に厚い火砕流を堆積し一部溶結している。その後、始良カルデラ丘に桜島火山を噴火した。その時期は約1万3千年ほど前とみられている¹²⁾。これらの火砕流のうちで、もっとも広い範囲に降下したのは入戸火砕流 (Fig. 11) と同時期のもので、¹⁴C 年代が2万から2万1千年ほど前のことであった¹⁴⁾。

スマトラでは、南端のタンジュンカラング地域、中央部のブキテンギ地域、北のトバ湖周辺に厚いイグニンプライトが堆積している。それらのフィッション・トラック年代を Table 1 に示す。タンジュンカラングでは100万年ほど前のものとラノウ湖 (カルデラ) の近くの10万年ほど前のものがみられる。ブキテンギでは7～8万年ほど前のイグニンプライトが厚く堆積している。すなわち、ラノウ湖やマニンジョウ湖のカルデラは約10万年昔に出来、その後に、それらの周辺で安山岩の活動が始まったことがわかる。

トバ湖周辺では、我々の研究により、かなり詳しい活動史が組むことが出来た¹⁰⁾。トバ湖の造構造運動は、サムシル島東部湖岸とトバ湖の西湖岸に露出する石英安山岩 (1.9 my: K-Ar 年代)¹⁵⁾ が明らかにトバ湖を作る大きな断層で切られているので、この年より後におこっているらしい。すなわち、この岩石は Nincovich¹⁵⁾ がのべているようにトバ湖の最初のイグニンプライトではなく、プレ・トバのものである。

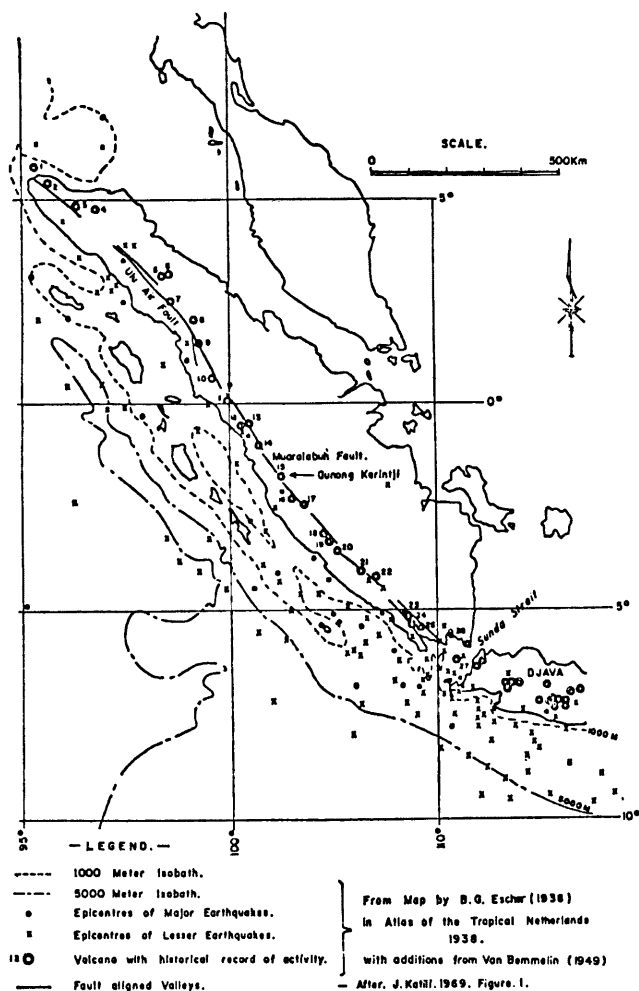


Fig. 6. Plan of Sumatra showing faults of the Semangko System, active volcanoes, earthquake epicenters and bathymetry (after Posavec et al., 1973).

後120万年ほど前、10万年ほど前のイグニブライトがみつかり、この前者はトバ湖の北側で厚く、10万年ほど前のイグニブライト (K-Ar 年代では7万5千年前) は南側で厚く、とくにアサハン河では400mをこす。その後広く、うすく約3万年前に火山灰がおおっている。重力測定の結果から前述のとおり、トバ湖の南東ボルセアの付近で、すでに若い堆積物でうまっているカルデラがみつかったが、イグニブライトの分布からみて、このカルデラは約10万年ほど前に出来たとみられる。その活動は大きく、火山灰は広くイン

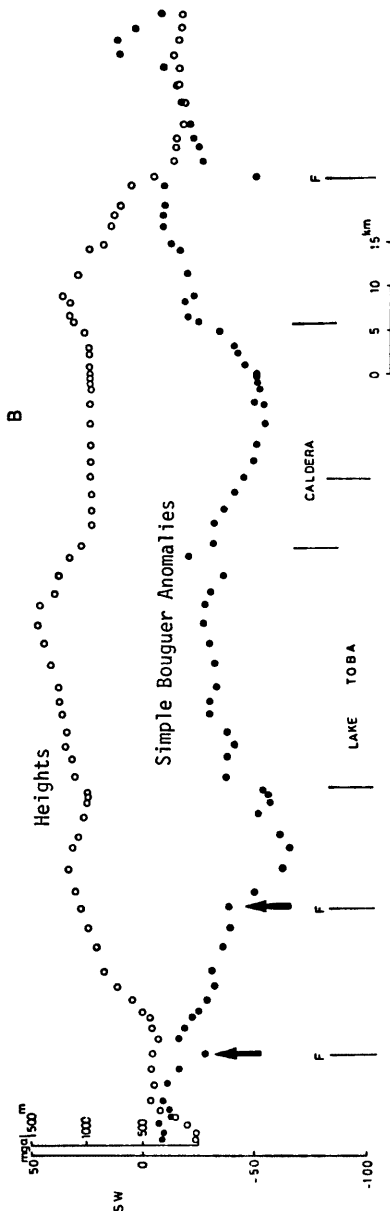


Fig. 7. Gravity profile along the observed line B.

ド洋に堆積した¹⁶⁾ (Fig. 12)。120万年ほど前のイグニンプライトの活動をおこしたカルデラはまだみつかっていないが、その年代のイグニンプライトの分布の仕方と重力測定の結果からみてトバ湖北西部のところに位置するのかもしれない。これらのイグニンプライトの活動の後、トバ湖東部にマールを作る火山活動（例えばハラングウル）があり、それとはほぼ同時期に石英安山岩の中心噴火（有珠火山群とよく似た噴火）がトバ湖の北東の地域でとくに活発におこり、このフィッシュン・トラック年代がほぼ3万年前であるので、この火山活動のとき、火山灰が季節風により、マレー半島にまで堆積した (Fig. 12)¹⁶⁾。その後、安山岩の活火山の活動が始まった。

これらの安山岩の活動は、カルデラの周縁でおこっていることが多いのかかわらず、直接的にカルデラとは関係がない。とくに、カルデラ壁にのっているようにみられる桜島火山でさえ、その火山性の地震はカルデラ壁とはなれる南南西の方向からおこってくることからもわかる (Fig. 13)¹⁷⁾¹⁸⁾。もう少し詳しくのべると、山頂噴火の大活動前、いわゆるA型火山地震とよばれるやや深い地震が噴火活動の進展を示すとされている。すなわち、Fig. 13には1975年から1977年の間におこった地震で、精度よく震源の決まったA型地震をみると、はじめ深い地震が発生し、次第に浅部に移動して山頂噴火がおこっているのので、溶岩の上昇経路を示しているようである。この経路はカルデラ壁とは無関係であることは明白である。スマトラ島では、カルデラ壁から、活火山は少しはなれていることが多いことからみても直接的には関係がみつめられない。

4. 火山噴出物や溶岩の化学的類似性

始良カルデラの噴出物とそれに続く火山の岩石の化学分析は早くからおこなわれていて、まとめられている¹⁹⁾。また、スマトラ島の火山岩についても多くの分析がなされている²⁰⁾。今回はその後の噴出物や、代表的な岩石の分析を行なった。その結果から、興味ある面白いことがみつかったので、そのことを中心にまとめてみよう。

F-A-M系

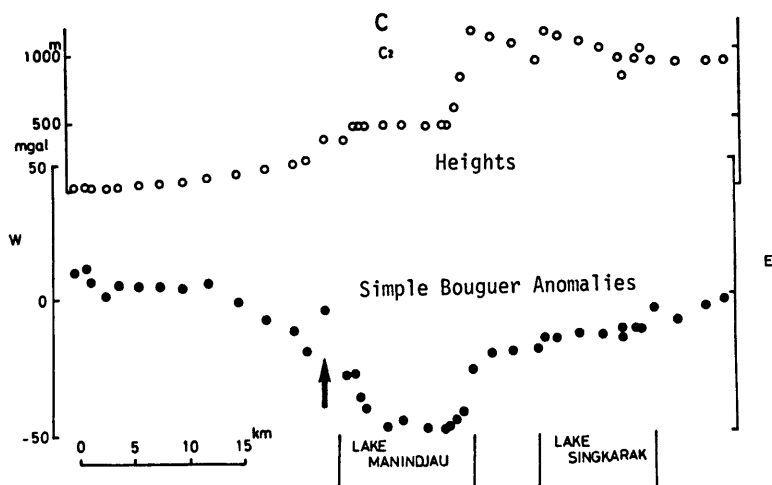


Fig. 8. Gravity profile along the observed line C.

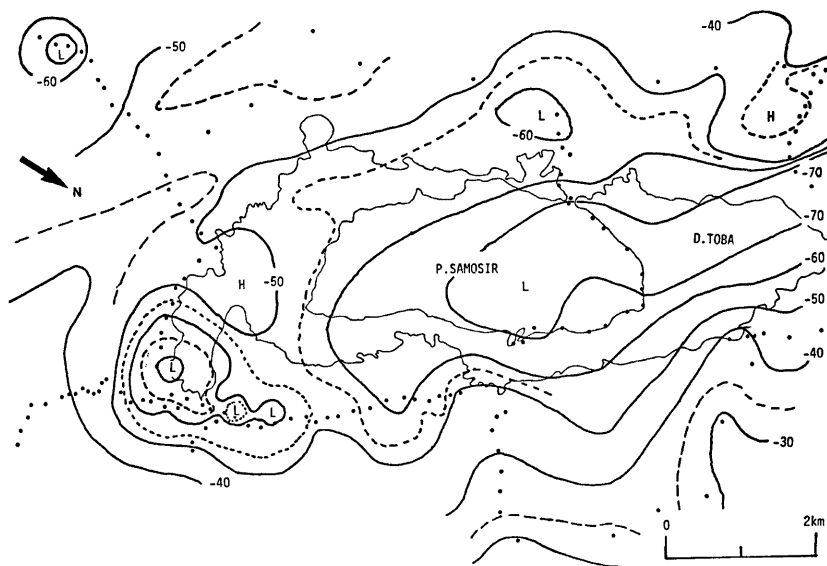


Fig. 9. Map of simple Bouguer anomalies (mgal) around Lake Toba, Sumatra.

(FeO+Fe₂O₃)-(Na₂O+K₂O)-(MgO) 系図すなわち F-A-M 系を Fig. 14, 15 に示す。始良カルデラを

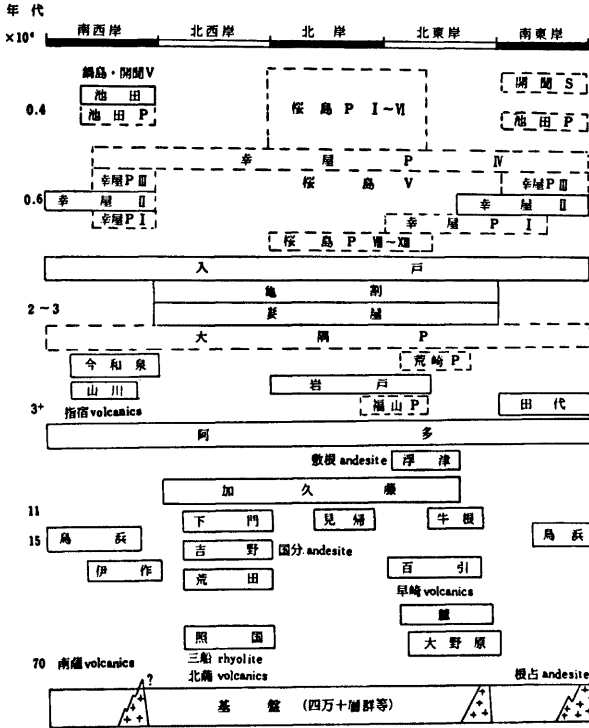


Fig. 10.
Volcano-stratigraph of
pyroclastic flow around
Kagoshima Bay.
Pyroclastic flow
Fall

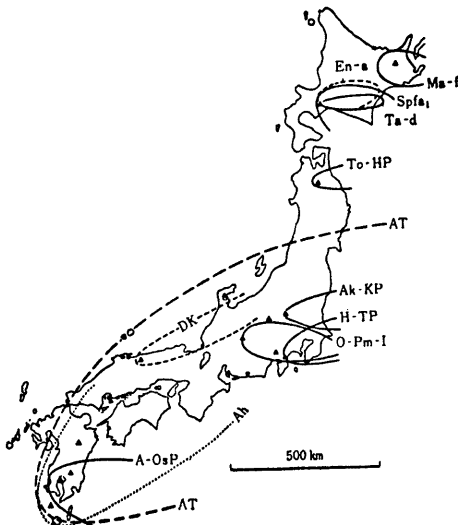


Fig. 11. The distribution of the typical
tephra.
AT: Aira Tn volcanic ash.
Ah: "Akahoya" tuff.
A-Os-P: Ohsumi pumice tuff.

Table 1. Fission-track ages of zircons

Sample No. : C-130; 7608064

Locality : Parapat Pass (Lower tuff), Toba

Neutron flux : $\phi=0.50 \times 10^{15} \text{cm}^{-2}$

No. of grain	Spontaneous fission-track		Induced fission-track		Fission-track age
	N_s	$\rho_s (\text{cm}^{-2})$	N_t	$\rho_t (\text{cm}^{-2})$	T (my)
1	25	1.2×10^6	1094	5.25×10^7	1.0
2	27	1.8	912	6.08	1.3
3	15	1.9	571	7.23	1.1
4	22	1.7	1038	8.02	0.9
5	18	2.0	592	6.58	1.2
6	15	2.2	488	7.15	1.3
7	13	2.1	451	7.28	1.2
8	23	2.6	703	7.95	1.4
Total	158	1.80×10^6	5849	6.65×10^7	

Fission-track age calculated
from total number of counting $1.1 \pm 7.5\%$ (1 σ)
tracks.

Mean of fission-
track age of grain
 1.2 ± 0.16 (1 σ)

Sample No. : C-130; 7608065

Locality : Parapat Pass (Upper tuff), Toba

Neutron flux : $\phi=0.50 \times 10^{15} \text{cm}^{-2}$

No. of grain	Spontaneous fission-track		Induced fission-track		Fission-track age
	N_s	$\rho_s (\text{cm}^{-2})$	N_t	$\rho_t (\text{cm}^{-2})$	T (my)
1	9	2.7×10^5	2750	8.25×10^7	0.10
2	7	1.6	2660	6.08	0.08
3	11	2.4	3676	8.02	0.09
4	6	3.0	1516	7.58	0.12
5	8	3.1	1866	7.23	0.13
6	7	1.9	2708	7.35	0.08
Total	48	2.3×10^5	15176	7.38×10^7	

Fission-track age calculated
from total number of counting $0.09 \pm 14.3\%$ (1 σ)
tracks.

Mean of fission-
track age of grain
 0.10 ± 0.02 (1 σ)

始めとする南九州のものが **Fig. 14** で、スマトラ島のものが **Fig. 15** である。何れの火山岩も、カルク・アルカリ岩系に属するが、“シラス”とイグニンプライトは同じ系列変化にのるが、その後に噴出した安山岩類はことなつた系列変化にのる。とくに注目されるのは、トバ湖東北の石英安山岩類(中心噴火3万年ほど前のもの)はイグニンプライトの分化系列上にはのらず、安山岩類の分化系列上にのることである。

K₂O-MgO 系

一連のマグマが結晶分離により分化する場合、K を主成分とする鉱物を晶出しない範囲では、K の分配係

Table 1-2

Sample No. : C-201; 7608150

Locality : Tandjung Karang

Neutron flux : $\phi=0.98 \times 10^{15} \text{ cm}^{-2}$

No. of grain	Spontaneous fission-track		Induced fission-track		Fission-track age
	N_s	$\rho_s (\text{cm}^{-2})$	N_t	$\rho_t (\text{cm}^{-2})$	T (my)
1	22	1.3×10^6	1224	7.23×10^7	1.1
2	18	2.0	736	8.18	1.5
3	15	1.0	1131	7.54	0.8
4	17	1.1	1086	7.03	0.9
5	23	1.5	1240	8.09	1.1
6	30	1.4	1751	8.17	1.0
7	25	1.0	1870	7.48	0.8
Total	150	1.3×10^6	9038	7.7×10^7	

Fission-track age calculated
from total number of counting tracks. $1.0 \pm 8.2\% (1\sigma)$

Mean of fission-track age of grain $1.0 \pm 0.22 (1\sigma)$

Sample No. : C-220; 7708001

Locality : East part of Manindjau (Tuff)

Neutron flux : $\phi=0.50 \times 10^{15} \text{ cm}^{-2}$

No. of grain	Spontaneous fission-track		Induced fission-track		Fission-track age
	N_s	$\rho_s (\text{cm}^{-2})$	N_t	$\rho_t (\text{cm}^{-2})$	T (my)
1	12	1.5×10^5	4712	5.89×10^7	0.08
2	15	1.8	5200	6.24	0.09
3	13	1.8	5814	8.05	0.07
4	14	2.6	4227	7.85	0.10
5	14	2.6	3898	7.24	0.11
6	11	1.6	5521	8.03	0.06
7	9	2.4	3090	8.24	0.09
8	7	1.9	3003	8.15	0.07
Total	95	2.0×10^5	35465	7.29×10^7	

Fission-track age calculated
from total number of counting tracks. $0.08 \pm 10.2\% (1\sigma)$

Mean of fission-track age of grain $0.08 \pm 0.02 (1\sigma)$

数は極めて小さいので、結晶に入りにくく残液にのこる元素である。これに反して、 Mg は分配係数が大きく、鉱物に入る元素である。一般にマグマが結晶分離をして分化をする場合、残液は K_2O-MgO 系図で、一つの分化系列の変化を行ない直線状に変化する。**Fig. 16** に桜島溶岩と“シラス”について示してみた。安山岩類は、高アルカリ・ソレイアイトの分化系列上にのるが²¹⁾、“シラス”は全くそのような分化系列上に

Table 1—3

Sample No. : C-160; 7608095
 Locality : Aekgadang (Crystal tuff)
 Neutron flux : $\phi=0.98 \times 10^{15} \text{ cm}^{-2}$

No. of grain	Spontaneous fission-track		Induced fission-track		Fission-track age
	N_s	$\rho_s (\text{cm}^{-2})$	N_t	$\rho_t (\text{cm}^{-2})$	T (my)
1	43	4.4×10^6	711	7.28×10^7	3.6
2	28	4.8	446	7.65	3.8
3	75	4.5	1335	8.01	3.4
4	52	4.5	941	8.14	3.3
5	49	4.4	844	7.58	3.5
Total	247	4.5×10^6	4277	7.78×10^7	

Fission-track age calculated
 from total number of counting $3.4 \pm 7.3\%$ (1σ)
 tracks.

Mean of fission-
 track age of grain
 3.5 ± 0.17 (1σ)

Sample No. : C-171; 7608111
 Locality : Bukittinggi (Tuff)
 Neutron flux : $\phi=0.50 \times 10^{15} \text{ cm}^{-2}$

No. of grain	Spontaneous fission-track		Induced fission-track		Fission-track age
	N_s	$\rho_s (\text{cm}^{-2})$	N_t	$\rho_t (\text{cm}^{-2})$	T (my)
1	12	1.4×10^5	6197	7.23×10^7	0.06
2	13	1.8	5113	7.08	0.08
3	9	2.4	3094	8.25	0.09
4	8	2.6	2471	8.03	0.10
5	11	1.5	5786	7.89	0.06
6	6	1.4	2970	6.93	0.06
7	8	1.4	4983	8.72	0.05
8	12	1.3	6018	6.52	0.06
Total	79	1.6×10^5	36632	7.45×10^7	

Fission-track age calculated
 from total number of counting $0.06 \pm 11.2\%$ (1σ)
 tracks.

Mean of fission-
 track age of grain
 0.07 ± 0.02 (1σ)

はのらず成因がことなり一つのマグマからの進化とは思われない。Fig. 17 にスマトラ島のイグニンプライトと安山岩類を示すが、これらも、安山岩は高アルカリ・ソレイアイト岩の分化系列のトレンドにのるがイグニンプライトは全くことなる。これらの議論は $Th-Cr$ 系でも議論ができる²²⁾。

Sr. 同位体比

上野²³⁾の報告によると南九州の開聞岳、大野山の安山岩、玄武岩は両者とも $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 同位体比が0.7045である。これに対して火砕流は0.7050~0.7061と高い値を示す。とくに始良カルデラが出来たとき噴出した入

Table 1-4

Sample No. : C-132; 7608067-1

Locality : 9 km south from Parapat (Uppermost part)

Neutron flux : $\phi=0.50 \times 10^{15} \text{cm}^{-2}$

No. of grain	Spontaneous fission-track		Induced fission-track		Fission-track age
	N_s	$\rho_s (\text{cm}^{-2})$	N_i	$\rho_i (\text{cm}^{-2})$	T (my)
1	9	7.9×10^4	9205	8.08×10^7	0.030
2	11	7.3	12025	7.98	0.028
3	8	6.6	9806	8.09	0.025
4	7	9.0	6471	8.32	0.033
5	10	8.7	9287	8.08	0.033
Total	45	7.8×10^4	46794	8.09×10^7	

Fission-track age calculated
from total number of counting tracks. $0.03 \pm 14.8\% (1\sigma)$

Mean of fission-track age of grain
 $0.03 \pm 0.003 (1\sigma)$

Sample No. : C-133; 7608068-1

Locality : Sigura Gura (Rhyolitic tuff)

Neutron flux : $\phi=0.50 \times 10^{15} \text{cm}^{-2}$

No. of grain	Spontaneous fission-track		Induced fission-track		Fission-track age
	N_s	$\rho_s (\text{cm}^{-2})$	N_i	$\rho_i (\text{cm}^{-2})$	T (my)
1	12	3.2×10^5	3019	8.05×10^7	0.12
2	14	3.0	3841	8.23	0.11
3	8	2.2	2756	7.58	0.09
4	9	1.4	4005	6.23	0.07
5	8	1.9	2762	6.56	0.09
6	7	3.3	1769	8.34	0.12
7	10	3.4	2376	8.08	0.13
Total	68	2.4×10^5	20528	7.39×10^7	

Fission-track age calculated
from total number of counting tracks. $0.10 \pm 12.1\% (1\sigma)$

Mean of fission-track age of grain
 $0.10 \pm 0.02 (1\sigma)$

戸火砕流は0.7061を示している。

WHITFORD²⁴⁾によると、スマトラ中部のムラピ火山の $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 比は0.7045~0.7048である。これに対して、トバのイグニンプライト(10万年前の年代を示すもの)は0.71392と極めて高い値を示す。このことは、溶岩とシラスやイグニンプライトとはことなったマグマの生成の仕方をしていることを示すと考えられる。通常の山頂噴火の火山灰は溶岩のものと同じである。

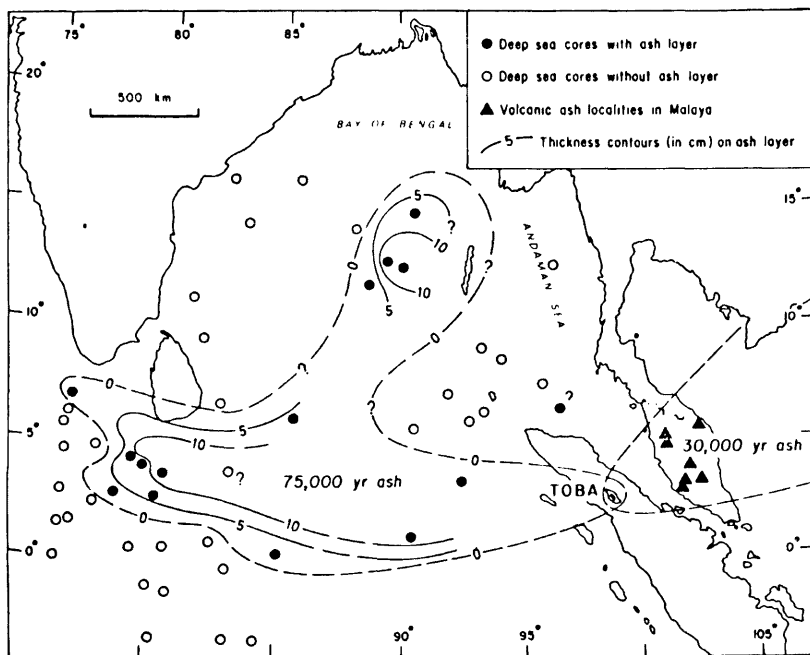


Fig. 12. Distribution of Toba ash deposits outside Sumatra.

5. ま と め

シラスやイグニブライトの特徴は次の様である。

- (i) 和達・ベニオフ・ゾーンが 100 km 程度のときにシラスやイグニブライトの噴出がみられる。
- (ii) 桜島、スマトラとも、すでに地殻の発達しているところで、大きな断層運動でできた地溝と関係があり、とくにそれらの断層の雁行しているところに、カルデラ活動や安山岩の活動がみられる。
- (iii) シラスやイグニブライトは、直径 15 km 以上、プーゲ異常がほぼ -50 mgal 程度のカルデラを生じるときに噴出している。
- (iv) シラスやイグニブライトは、その末期において広い範囲に火山灰をもたらす活動をする。その活動が終わってから通常の中心噴火の火山活動がおこる。
- (v) 中心噴火をする溶岩とシラスやイグニブライトはその組成がことなる。Sr 同位体比もことなる。またシラスやイグニブライトはそのカルデラごとに Sr 同位体比がことなる。

これらに対して、火山体を作る安山岩や溶岩に関しては

- (i) 安山岩の活動は直径 15 km、-50 mgal 程度のカルデラを生じる活動の後におこっている。また、それらの活動はカルデラと直接的に関係がない。
- (ii) 一つの火山では、出てくる溶岩が同じ結晶分化の分化トレンドにのる。Sr 同位体比は、火山体によらずにその島弧ではほぼ一定の値を示す。

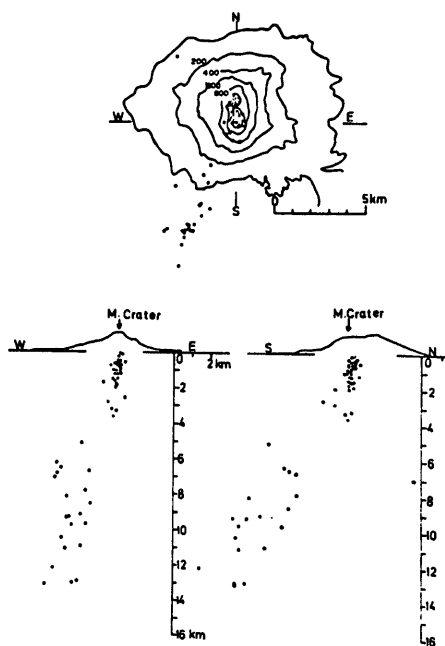


Fig. 13. The distribution of hypocenter (A type) around Sakurajima (1975-1977), (Nishi, 1978).

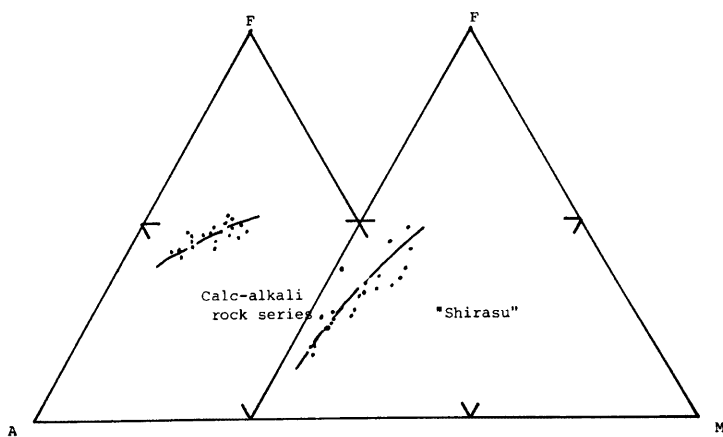


Fig. 14. The F-A-M diagram of volcanic rocks from the southern part of Kyushu.

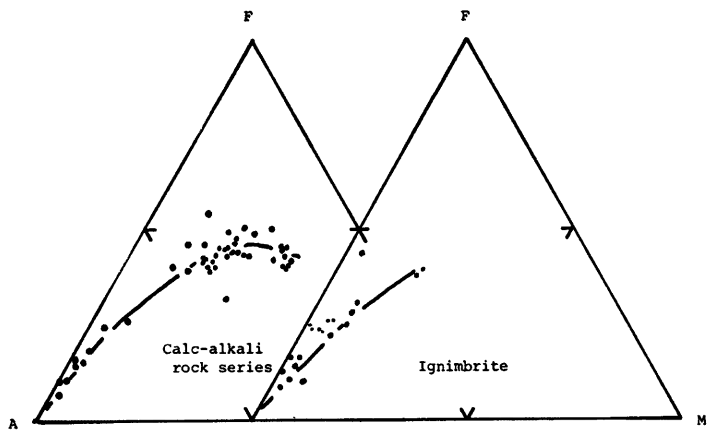


Fig. 15. The F-A-M diagram of volcanic rocks of Sumatra.

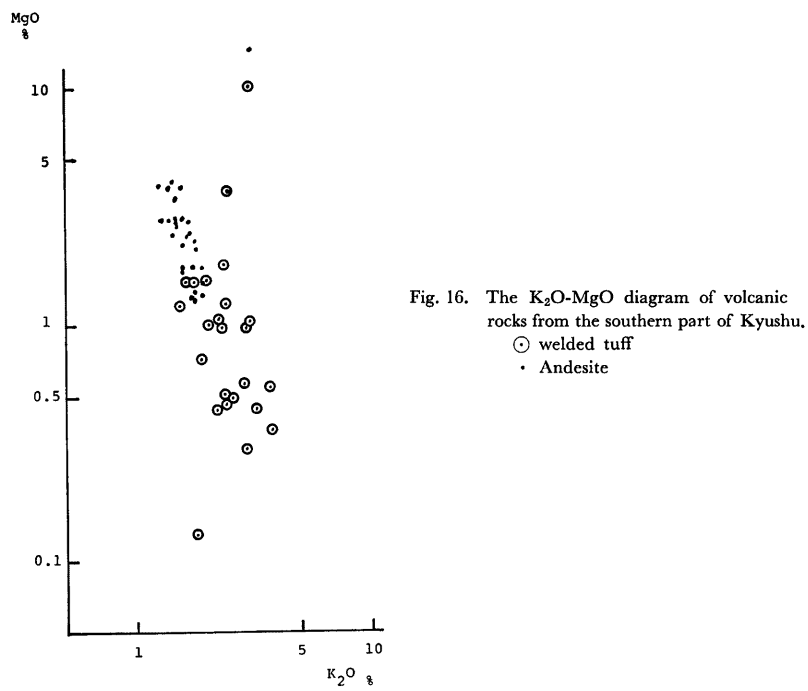


Fig. 16. The K₂O-MgO diagram of volcanic rocks from the southern part of Kyushu.
○ welded tuff
• Andesite

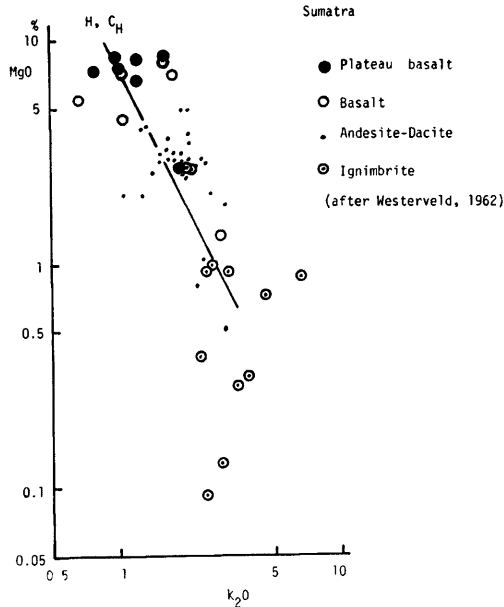


Fig. 17. The K_2O - MgO diagram of volcanic rocks of Sumatra.

これらの特徴から、南九州、スマトラの安山岩の噴出のときのマグマは高アルカリ・ソレイアイトに伴なうカルク・アルカリ岩の分化系列のものがほとんどであり、和達・ベニオフ・ゾーンの 100 km より深い所の上部のマントルの部分溶融のマグマから分化したものと考えられる^{25), 21)}。これに対して、シラスやイグニンプライトは和達・ベニオフ・ゾーンが 100 km 程度のときに発生する。その化学組成が、非常にまちまちで、その分化系列にのらない。Sr 同位体比が高くてその変化が大きい。以上のことから、海洋地殻の沈み込みの部分が石英・エクログナイト相に転移して後、約 30 kbar 程度のとき部分溶融して石英安山岩質²⁶⁾のイグニンプライトやシラスが生じるものと考えられる。

ジャワ島や東北日本の火山岩のソレイアイト岩系とそれに伴なうカルク・アルカリ岩、高アルカリ・ソレイアイト岩系とそれに伴なうカルク・アルカリ岩、アルカリ岩系とそれに伴なうカルク・アルカリ岩が帯状分布しているが、これらの火山帯でも中新世の時代に、現在の火山活動に先立って、現在の火山フロントより海溝寄りに大量の火砕流の噴出があった^{27) 28)}。しかし、東北日本のようにすでに地殻が発達していたところと、ジャワ島のように発達していないところとでは差があるかは残された問題である。

現在よりもかなり以前の火山活動、例えば、瀬戸内火山の活動でも、まず室生火山群のような火砕流の堆積があり、後、安山岩の活動がある²⁹⁾。しかし、この火山活動は外帯の花崗岩の併入で終わっている。このように花崗岩の併入は一つの火山活動の節目にあたるのではなかろうか。花崗岩の併入と島弧の火山活動の関係をしらべることも必要であろう。火砕流の Sr 同位体比がまちまちであることはサブダクトする地殻の出来た年数によるものかもしれない。これらが残された問題である。

参 考 文 献

- 1) Nishimura, S.: Disequilibrium of the ^{238}U series in recent volcanic rocks, *Earth Planet. Sci. Lett.*, Vol. 8, 1970, pp. 293-300.
- 2) 宇津徳治: 日本周辺の震源分布, *科学*, Vol. 44, 1974, pp. 736-746.
- 3) 吉井敏尅: 日本列島附近の基礎的な地球物理データ, *科学*, Vol. 48, 1978, pp. 482-488.
- 4) Chujo, J. and F. Murakami: Geophysical Preliminary Survey of Kagoshima Bay, *Geol. Surv. Jap., Cruis Rept.*, Vol. 6, 1976, pp. 66-73.
- 5) 阿部悦夫, 桂 京造, 西村 進, 江頭庸夫: 始良カルデラ附近の重力異常と重力変化について, 桜島火山の総合調査報告, 加茂幸介編, 1975, pp. 58-61.
- 6) Hamilton, W.: *Earthquake Map of the Indonesian Region*, 1:5,000,000, U.S.G.S., Map I-875-C, 1974.
- 7) Posavec, M.D., D. Taylor, Th. VanLeeuwen and A. Spertor: Tectonic Contoroles of Volcanism and Complex Movements along Sumatra Faults System, *Geol. Soc. Malaysian, Bull.*, Vol. 6, 1973, pp. 43-60.
- 8) Zen, M.T.: Personal Communication, 1976.
- 9) Nishimura, S., E. Abe, T. Yokoyama, Sugiarta and Dharma: Danan Toba—The outline of Lake Toba, Indonesia, *Paleolim. Lake Biwa Jap. Pleist.*, Vol. 5, 1977, pp. 313-332.
- 10) Yokoyama, T., S. Nishimura, E. Abe, Y. Otofujii, T. Ikeda, Suparka and A. Dharma: Volcano-, Magneto- and Chrono-stratigraphy and Geologic Structure of Danan Toba, Sumatra, Island, *Physical Geology of Indonesian Island Arcs*, ed. S. Nishimura, 1980, pp. 122-143.
- 11) 荒牧重雄, 宇井忠英: 鹿児島湾沿岸の火砕流の層序, 地質学会81年会要旨, 1975, p. 193.
- 12) 荒牧重雄: 地質・噴出物, 桜島火山の総合調査報告, 加茂幸介編, 1975, pp. 79-88.
- 13) Sato, K., S. Aramaki and J. Sato: Discrepant results of C-14 and fission-track dating for some volcanic products in southern Kyrshu, *Geoch. J.*, Vol. 6, 1972, pp. 11-16.
- 14) 町田洋, 新井房夫: 広域に分布する火山灰—始良 Tn 火山灰の発見とその意義—, *科学*, Vol. 46, 1976, pp. 339-347.
- 15) Ninkovich, D.: Late Cenozoic Clockwise Rotation of Sumatra, *Earth Planet. Sci. Lett.*, Vol. 29, 1976, pp. 269-275.
- 16) Stauffer, P.H., S. Nishimura and B.C. Batchelor: Volcanic ash in Malaya from a catastrophic eruption of Toba, Sumatra, 30,000 years ago, 1980, in printing.
- 17) 西 潔: 桜島火山に発生するやや深い地震の発震機構, 京大防災研年報, Vol. 21, B-1, 1978, pp. 145-152.
- 18) 加茂幸介: 桜島における噴火の前駆現象の予知, 火山, 第2集, Vol. 23, 1978, pp. 53-61.
- 19) 石川秀雄: 霧島火山帯, 日本岩石誌Ⅲ, 柴田秀賢編, 1968, pp. 216-255.
- 20) Westerveld, J.: Quaternary Volcanism on Sumatra, *Bull. Geol. Soc. Am.*, Vol. 63, 1962, pp. 561-594.
- 21) 西村 進: インドネシアの火山 (2), 一火山岩の地球化学と帯状分布—, 九十九地学, Vol. 13, 1978, pp. 1-9.
- 22) Masuda, Y. and K. Aoki: Trace element variations in the volcanic rocks from Nasu Zone, North-east Japan, *Earth Planet. Sci. Lett.*, Vol. 44, 1979, pp. 139-149.
- 23) 上野直子: 南九州の火砕岩及び基盤の Sr 同位体比, 日本の新生代中生代の火成岩類の Sr 同位体比

に関する討論会要旨集, 1976, pp. 10-11.

- 24) Whitford, D.J.: Strontium Isotopic studies of the Volcanic Rocks of the Sunda Arc, Indonesia and Their Petrogenetic Implications, *Geochem. Cosmochem. Acta*, Vol. 39, 1975, pp. 1287-1302.
- 25) 西村 進：インドネシアの火山 (1), 九十九地学, Vol. 11, 1976, pp. 19-24.
- 26) Ringwood, A.E.: The petrological evolution of island arc system, *J. Geol. Soc. London*, Vol. 130, 1974, pp. 183-204.
- 27) 西村 進：主として東北地方の Fission-track age, マグマ発生の時間的空間的分布, Vol. 3, 1975 a, pp. 15-16.
- 28) 西村 進：ジャワ島火山とプレート・テクトニクス, 九十九地学, Vol. 10, 1975 b, pp. 9-17.
- 29) 巽 好幸, 石坂恭一：香川県屋島産 Sanukitoid の K-Ar 年代—瀬戸内火山岩類の年代測定, その 2—, 岩鉱, Vol. 73, 1978, pp. 355-388.