

火山岩類の化学組成の検討図：遺稿

富田，達
九州大学理学部

種子田，定勝
九州大学理学部

松本，徂夫
九州大学生産科学研究所

<https://doi.org/10.15017/4737387>

出版情報：九州大学理学部研究報告．地質学之部．7 (2), pp.161-180, 1966-08-31. 九州大学理学部
バージョン：
権利関係：

火山岩類の化学組成の検討図 (遺稿)

富 田 達

種子田定勝・松本 隼夫 註釈

Triangular Diagrams for Chemical Studies
of Volcanic Rocks (posthumous work)

By

Tôru TOMITA

(Explained by Sadakatu TANEDA and Yukio MATSUMOTO)

目	次
I 序 説	C ノルム Q-fo-fa 図における reaction boundary の決定
A 主 旨	D 鉄酸化度 (OI 値) 基準を定める方法
B 図示するための計算方法	E "Kuno's high alumina basalt" について
II 図 の 説 明	F Parental basalt magma 区域の決定
A 三角図におけるソレアイト・アルカリ両岩系の "discriminating"	G Segregation phase の検討
B 特に nepheline-normative volcanic series について	謝 辞
	文 献

I 序 説

「岩石学的議論をする場合、図を指し示しながら話ができるようにしたい」というのが、富田先生の持論であったようである。長年にわたって、火山岩類の化学組成について作成された多くの図表を使って、岩石の記載・成因論述をものにしようという念願を、先生はおそらくもっておられたであろうと思われるが、急激に進行した御病気による突然の御逝去のために、それを果されなかったのは、御本人にとっても御心残りであったであろう。

しかしながら、約90枚の原図を残されたのはせめてもの慰めである。これらは先生の九州大学御退官記念事業の1つとして計画されていた「先生の御執筆による論文の刊行」のために先生が用意されていたものである。これらの図は4種類に大別される。すなわちノルムに基く or-ab-an 図, wo-en-fs 図, wo-fo-Q 図, Q-fo-fa 図で、これらは既に「玄武岩類の三主要系列」(富田達, 1958) に採用されているものであるが、その後化学分析資料を補充し、また「酸化度」(後述)を考慮に入れてある。

先生は1行の文章をも残されなかったけれども、これらの図によって、先生がどんなことを考えておられたか、その概要を伺い知ることはできるように思われる。しかしながら先生が予定されていた論文の構想をそっくり具現することは先生亡き今最早不可能であり、余人の想像をもって論ずることは、途方もな

1966年5月31日受理

松本隼夫：九州大学生産科学研究所

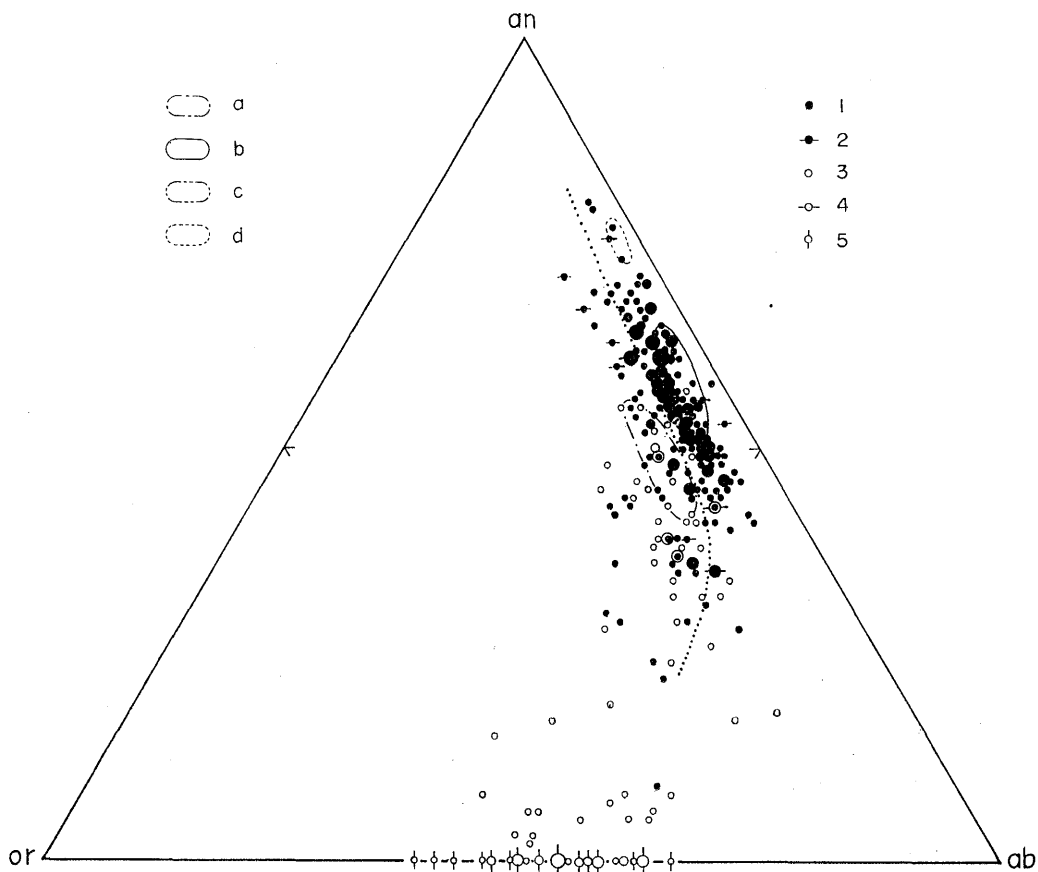


Fig. 1. Normative feldspar diagram for discriminating between Tholeiitic and Alkali Volcanic Series

1. Tholeiitic Volcanic Series ($OI \leq 36$)
 - (1) Oceanic: Hawaiian Is., Iceland, 富士火山帯南帯 (新硫黄島).
 - (2) Continental: Deccan, Western Australia, Karroo, Antrim, W.Scotland, Spitsbergen, Greenland, Quebec (Ahr Lake basalt), Palisade, Keweenawan, Oregonian basalts (Teaaway and Columbia-Snake River), 蓋馬台地
2. Picrite-basalts, etc. ($OI \leq 36$) associated with tholeiite.
 - Picrite-basalts : Mauna Loa and Kilauea (5), Deccan (2), Antrim (1)
 - Picritic basalt : Antrim, 島後
 - Picrite-dolerite : Karroo
 - Picrites : Karroo
3. Alkaline Volcanics, excluding ne-normative ones.
 - [$OI \leq 60$ (+ac, etc); < 50 (-ac)]
4. Alkaline picrite-basalt, Mauna Kea
5. Alkaline volcanics with ac, or ac and ne, or ne
 - a. Alkaline olivine basalt
 - b. Tholeiitic OB
 - c. Tholeiitic basalt
 - d. 日本 ThB

い誤りをおかすことになるおそれがあるので、私共の意見をまじえない「解説」を付けるだけにするのが良いように思われる。

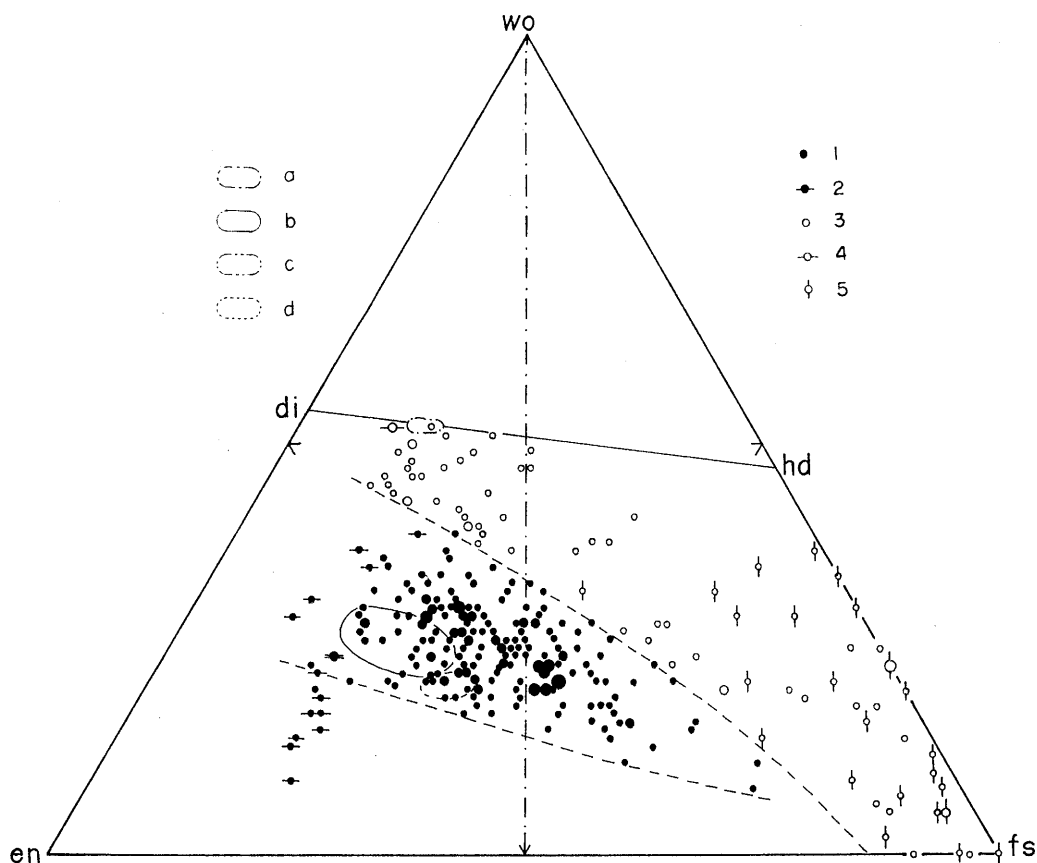


Fig. 2. Normative pyroxene diagram for discriminating between Tholeiitic and Alkali Volcanic Series

a, b, c, d, 1, 2, 3, 4, 5 は Fig. 1. 参照

約90の三角図の中から基本的ないし代表的なもの21を選んで、私共が先生から聞いていた範囲内の説明を加えて、世に出すことにした次第である。割愛した図は、ここに掲げるものと同様のもので、例題の増加という意味のものと思われる。

A 主 旨

富田先生の考えによれば「現在もなお、従来の相律岩石学 (phase petrology) においても、なお検討すべき問題が多く残っていて、この方向の発展も期待される」ので、岩石学上の重要問題を、相律岩石学的に検討することも大切であり、そのためには、岩石の化学組成を適当な図示法によって検討することが必要である。ここに留意すべきことは単に化学組成の差異が示されるだけではなくて、同時に成因考究に役立つべきであるということである。この目的にかなうものとして、ノルム計算は有効であり、特にノルムに基づいて作成した or-ab-an 図, wo-en-fs 図, wo-fo-Q 図, Q-fo-fa 図, はすぐれている。前2者については、ここに事新しく説明するまでもないであろう。

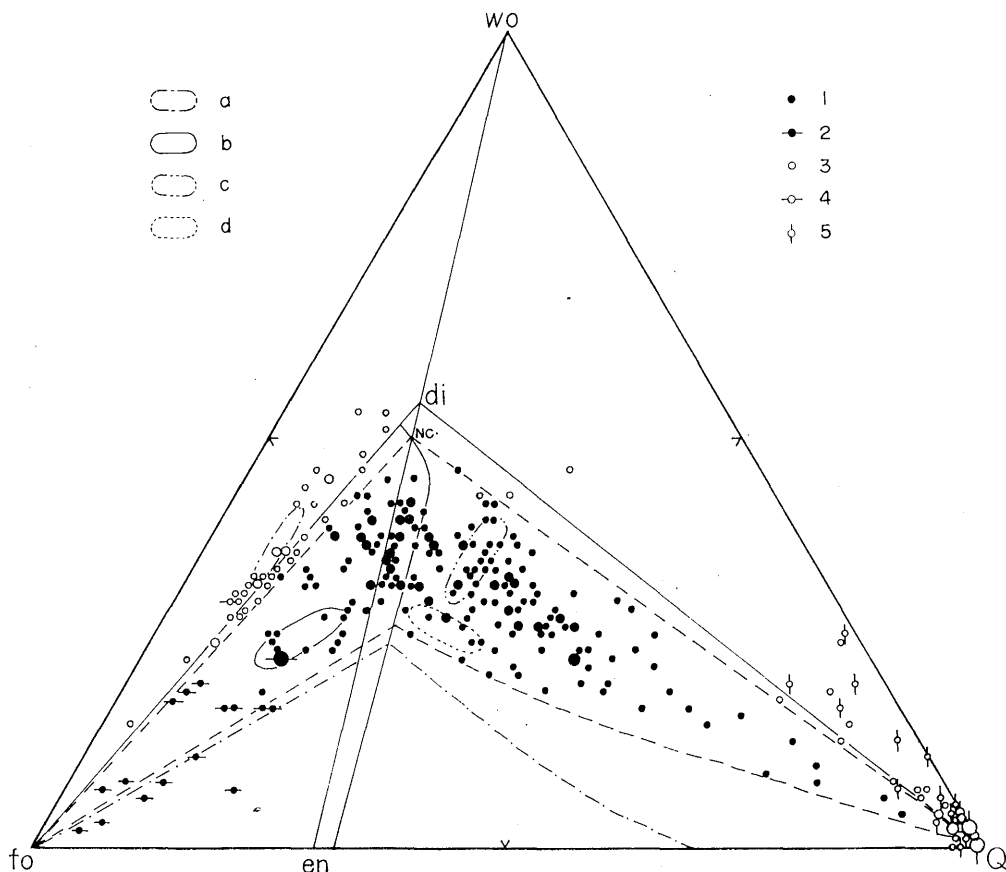


Fig. 3. Normative wo-fs-Q diagram for discriminating between Tholeiitic and Alkali Volcanic Series

a, b, c, d, 1, 2, 3, 4, 5 は Fig. 1. 参照

ノルム wo-fs-Q 図：この図の中には、三角形 di-fs-Q が含まれ、これは実験的に状態図ができています (BOWEN, 1914)。この系における「苦土かんらん石区」と「き石区」との境異線は、ここに説明を新しくするまでもなく、その大部分が反応線であるのに対して、diに近い僅かの部分が共融線である。

ソレイアイト質玄武岩類の系列（「苦土かんらん石」と「き石」との間に反応縁あり）と、アルカリ玄武岩類の系列（「反応関係」が認められない）の、wo-fs-Q 図におけるそれぞれの分布範囲と、実験平衡系との比較検討をなすことは一応有意義であろう。

ノルム Q-fs-fa 図：この図は主としてマグマの珪酸飽和度を知るために考案したものであるが、この図によって Mg-Fe 関係（但し、鉄鉱類を考慮外とする）が知られ、なお実験的に求められている平衡系 $Mg_2SiO_4-Fe_2SiO_4-SiO_2$ (BOWEN and SCHAIRER, 1953) で知られる理論が天然の場合に適用されるか否かの検討がなされる。

このような立場で、各地の各種・各型の火山岩類を比較検討しようというわけである。

B 図示するための計算方法

ノルム or-ab-an, wo-en-fs, wo-fs-Q, Q-fs-fa の各三角図に点示するための百分比を出す計算は、

Table 1. Calculation of Norm on rocks undersaturated in SiO₂

	wt%	Mol. Pr	ap	il	mt	or	ab	an	wo	en	fs	fo	fa	ne
SiO ₂	48.42	807				42	291 (318)	104	146	(197) 111	35	52	17	(18) 9
Al ₂ O ₃	11.43	112				7	48.5 (53)	52						45
Fe ₂ O ₃	3.42	21			21									
FeO	8.67	(120)		33	21						(69) 35		34	
MgO	8.60	215								111		104		
CaO	11.64	208	10					152	146					
Na ₂ O	3.31	53					48.5 (53)							45
K ₂ O	0.72	7				7								
TiO ₂	2.64	33		33					A		B			
P ₂ O ₅	0.36	3		3					197		69			
MnO	0.21	(3)							-146		+215			
									51		284			
H ₂ O+	0.54										-146			
H ₂ O-	0.44										2	138		
												69		
Total	100.40													

	Mol. Pr	wt%			Mol. Pr	wt%	
or	7	3.89	9	}	wo	146	16.93 48
ab	48.5	25.41	58		fo	107.5	15.05 43
an	52	14.46	33		Q	55.5	3.33 9
ne	4.5	1.28		}	Q	73	4.38 16
wo	146	16.93	52		fo	107.5	15.05 57
en	111	11.10	34		fa	34.5	7.04 27
fs	35	4.62	14				
fo	52	7.28					
fa	17	3.47					
mt	21	4.87					
il	33	5.02					
ap	3	1.01					

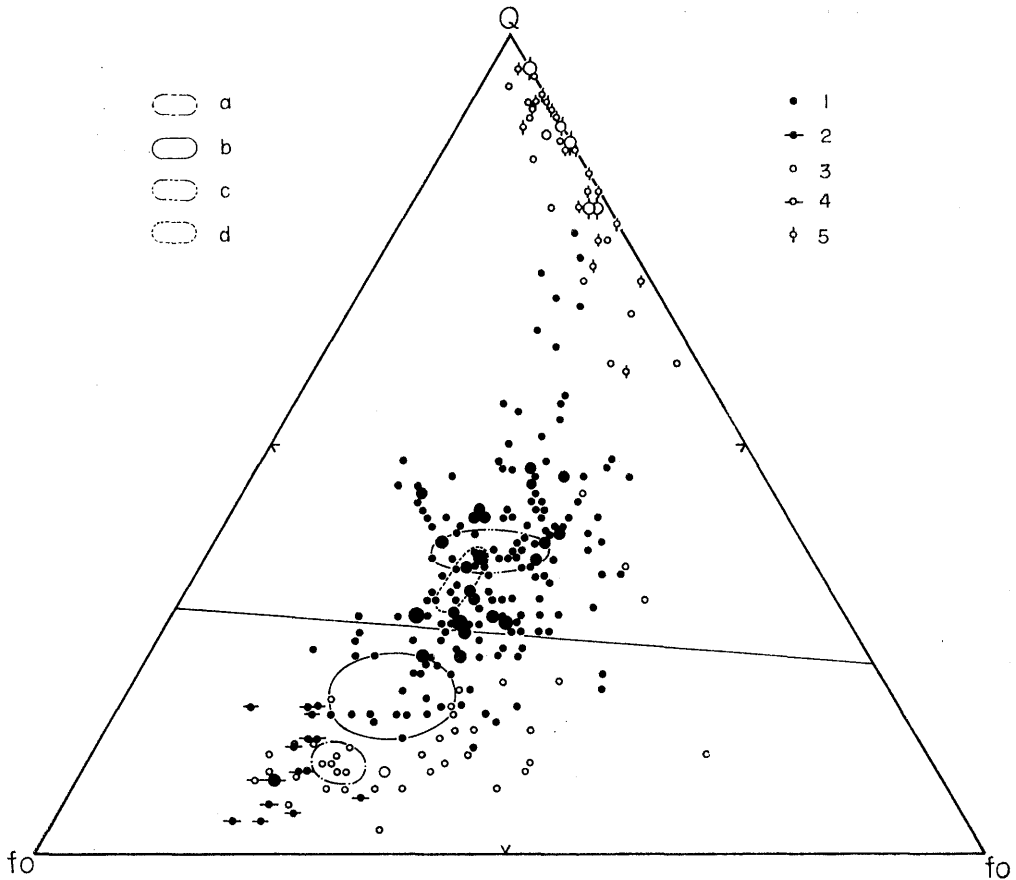


Fig. 4. Normative Q-fa diagram for discriminating between Tholeiitic and Alkali Volcanic Series
a, b, c, d, 1, 2, 3, 4, 5 は Fig. 1. 参照

次のような方法で行なう。

B 1 不飽和岩

B 1 a) ノルム計算

- 1) 第1表に示すように、普通のノルム計算と同じく、重量比から分子比を計算する。
- 2) 分子比から、普通のノルム計算と同じように、ap, il, mt, or, ab, an, wo を順次作る。
- 3) woまで計算した後、SiO₂の残り(197)からwo(146)を差し引いた数値(51)(これをAとする)と、FeO(残り69)とMgO(残り215)の和からwo(146)を差し引いた値(138)を2で割ったもの(69)(これをBとする)を比べる。

4 a) A > Bの時

wo=en+fs {ただし en と fs の比は MgO (215) : FeO (69)} になるように en, fs をつくる。すなわち、en=111, fs=35 となる。MgO, FeO の残りを fo, fa にする。

4 b) A < Bの時

SiO₂ が丁度なくなるように en, fs, fo, fa を計算する。その時 en : fs = fo : fa = MgO (残り) : FeO

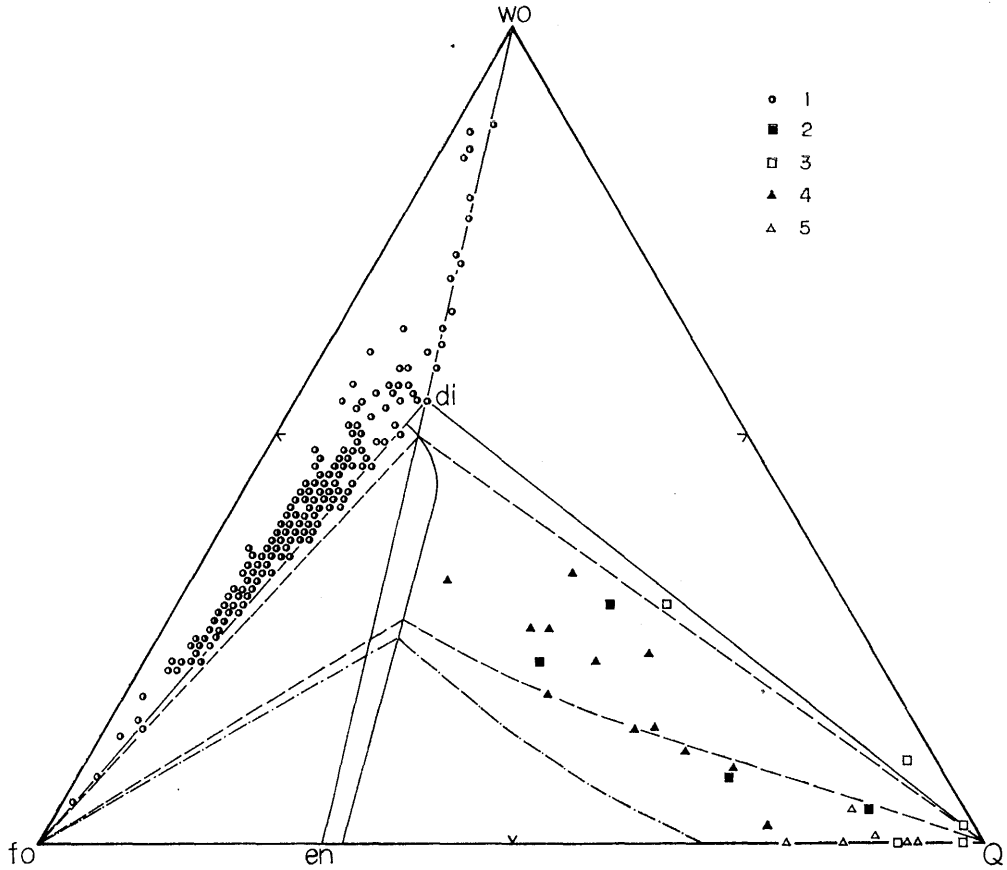


Fig. 5. Nepheline-normative Volcanic Series

Aikali oliv. basalt→hawaiiite→mugearite→oliv. trachyandesite→oliv. trachyte→phonolite:

Phonolite trend. [Chem. distribution だけを示す図]

- A. { 点示 data 数: 153 { Far East, 93 (内, 日本, 52) } (1) 重なるもの: 146 { Far East, 68 (内, 日本, 25) }
 { 点示しない data の数: 154 } (2) Segregation phases: 8 { 外国, 78 }
- B. 最多 frequency: wo : fo : Q = 37:56 : 7...12 (内 Far East, 11)

W > 60% Trachybasalt (tephritic), 焼津市虚空蔵山 S 海岸; Oliv. bear. trachyte, Kivu Lake area, E. Africa; Trach-obsidian [hm 1.28], Ischia I, off Napoli; Hauyme-nosean trach, Laachersee arda; Sodalite trach, [hm 1.60], Phlegren Field; Sodalite trach, Phlegren Field, near Napoli; Phonolite, Dunedin, New Zealand; Hauyne trach. [hm 2.08], Laachersee; Trachytic phono., Saint Helena; Sanidine phono., Kerguelen I; Aegirine-aug. phonolitic trach., ウツリヨ一島 (Dagelet I.); Phonolite, ウツリヨ一島; Phonolite, Sardinia;

W < 20% Olivine basalt, 南満州龍湾火山; "Andesine andesite," Puu kawaiwai, Kohala volcano, Howaii; Oliv. trachyandesite [hm 0.16], Canary Is; Hawaiiite, near Nohonaohae cone, Mauna kea, Hawaii; Linburgite, Staufenberg, Oberhessen, Germany; Picrite, (in crinanite mass), Shiant Is; Picrite (in Insizwa sheet), Karroo;

- 1: Nepheline-normative Volcanic Series,
 2. 3: DALY'S avg.
 4. 5: Abnormal TA and Tr, resp. } See wo-en-fs diagram

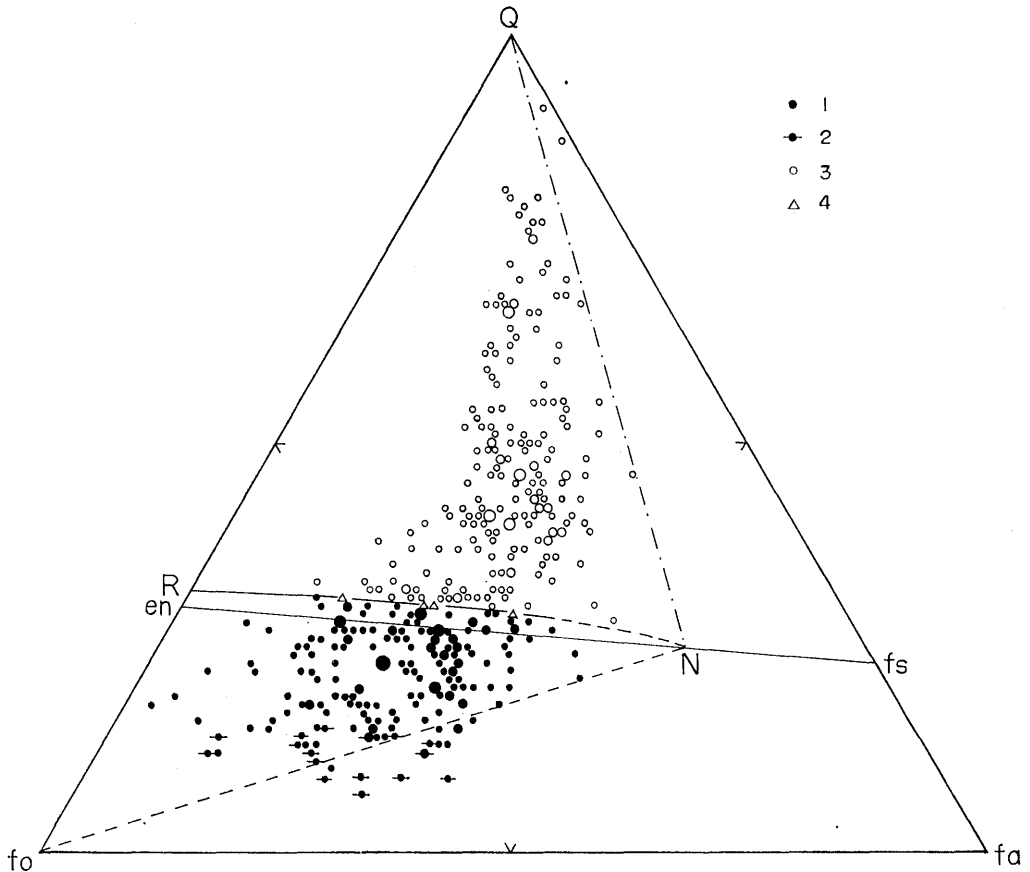


Fig. 6. Determination of the reaction boundary line

I. The Far East

[Excluding. hm-normative
rocks and Alkaline Rock Series]

1. Olivine. field (wo-fo-Q 図) 内の Th および not Th; irrespective of OI
2. Do. with norm olivine > 12.0
3. Olivine. field 外の Th で次の条件に該当するもの:
 - (a) en-fs 線に近い Th ($fa \leq 30$ で $Q \leq 33$; $fa > 30$ で $Q \leq 32$) は not Th をも含み, OI 値の制限なし
 - (b) $Q \leq 34$ の Th については OI ≤ 35 のものだけ
4. wo-fo-Q 図の reaction boundary 上の Th および not Th.

(残り)である。

5) $A < B$ の時は必ず SiO_2 が不足となる { $197 - (111 + 35 + 52 + 17) = -18$ }。不足分18は, これを4で割った値4.5だけを Ab に ne 換算すればよい。ne に使用した Na_2O , Al_2O_3 は ab から差し引く。とくに SiO_2 は不足の18とneに使用する9をabから差し引く。

6) それでも SiO_2 が不足するならば lc を計算する。

7) あとは普通ノルム計算と同じ。

B 1 b ノルム値からの百分比計算

1) 長石 (or•ab•ar) はそれぞれを重量比に計算したのち, 百分比にする。

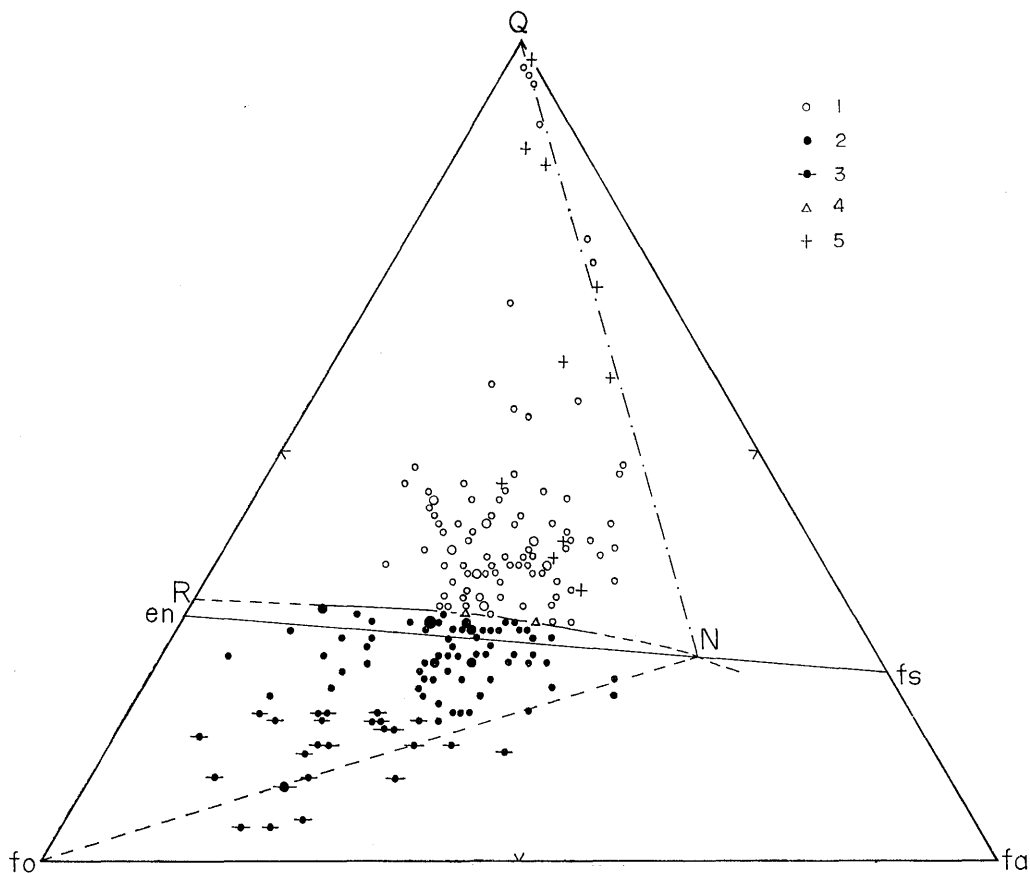


Fig. 7. Determination of the reaction boundary line.

II. Other countries

Hawaii, Deccan, Karroo, Mull, Antrim, N. England, Scotland, the Faeroes, Iceland, Greenland, Quebec, Palisade, Mt. Garibaldi map-area, "Oregonian plateau" (Teanaway, Columbia River, Snake R.), Clear Lake area, Newberry volcano (Oregon),

Mt. Outerson (Oreg.), Medicine Lake Highlands (Calif.), Mt. Shasta (Calif.), Mt. Ingalls (Calif.), Yellowstone, Nicaragua, St. Vincent, NE of Guadalupe I. [G, Moho project], Tasmania, Gisborne district (Victoria), W. Australia, Sardinia, Spitsbergen.

- 1, 2, 3, 4 は Fig.6 参照
- 5. Dolerite-pegmatites

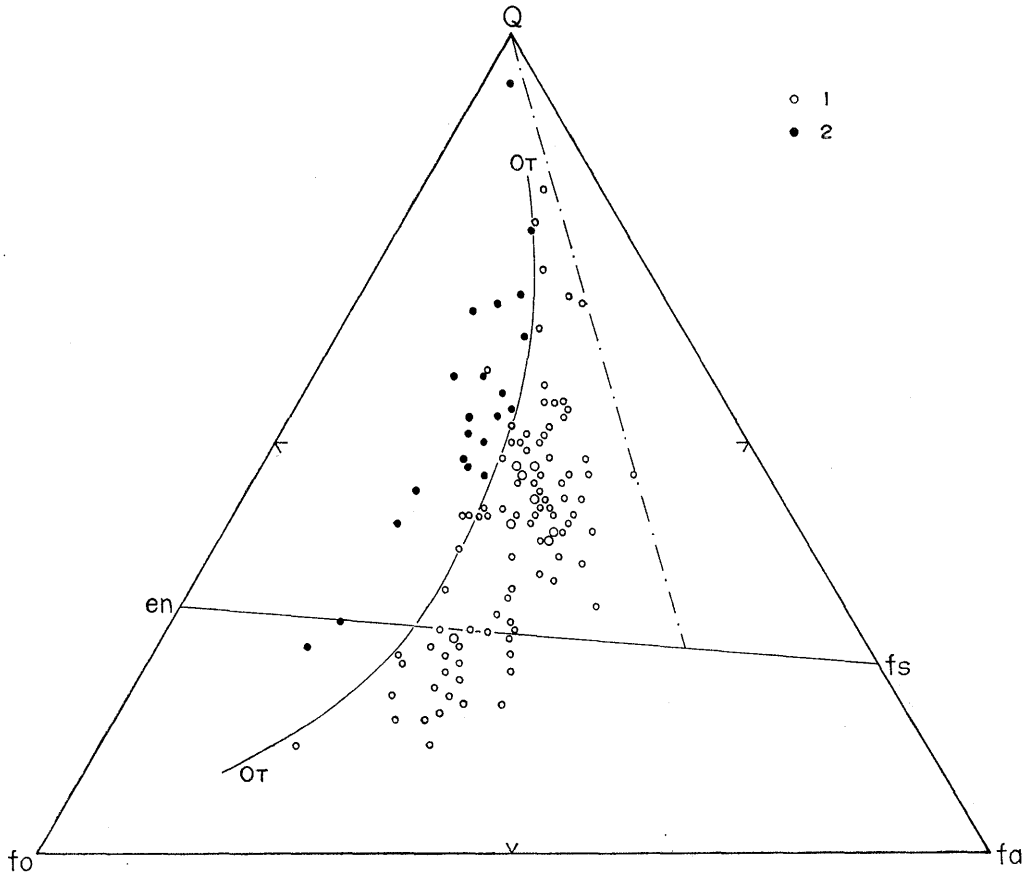


Fig. 8. Iron oxidation of the Tholeiitic Volcanic Suite from various volcanic zones and basaltic provinces in Japan

1. Oxidation index ≤ 36 (103)
2. Oxidation index ≥ 37 (22)

2) 輝石 (wo·en·fs) も上と同じ。

3) wo·fo·Q の百分比計算

3 a) wo·fo·Q の分子比を出すには次のようにする。

wo : ノルム wo 分子比

fo : en として計算した MgO (111) も fo に換算して、ノルム fo に加える。したがって (104+111) ÷ 2 = 107.5 が fo の分子比である。

Q : en として計算した MgO·SiO₂ の 111 分子を fo の 2MgO·SiO₂ = 55.5 分子に計算したために 55.5 分子の SiO₂ があまる。これを Q の分子比とする。

3 b) 上記の分子比を重量比になおして百分比にする。

4) Q·fo·fa の百分比計算

4 a) Q·fo·fa の分子比を出すのに次のようにする。

fo : wo·fo·Q で説明したのと全く同じ。

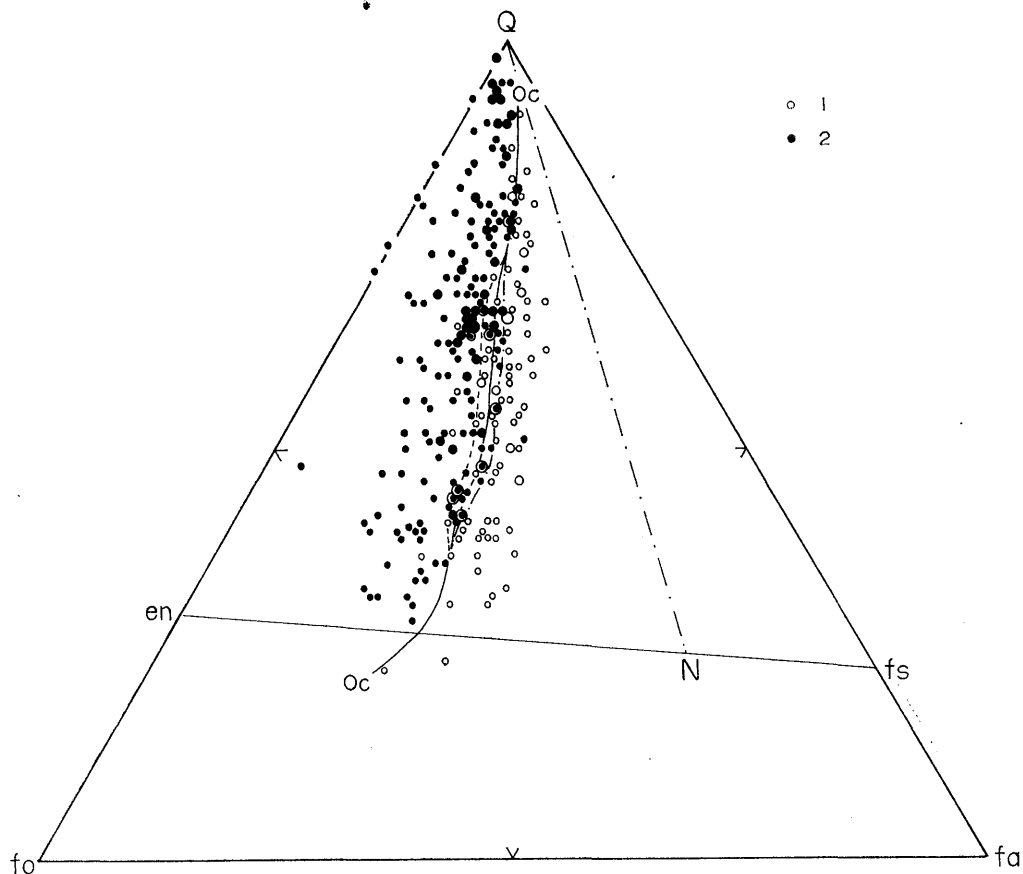


Fig. 9. Iron oxidation of the Calc-alkali Volcanic Rock-series from the Outer Volcanic Zone in Japan

- 1. Oxidation index < 35 (99)
 - 2. Oxidation index > 36 (202)
- } 301

fa : fs として計算した FeO (35) も fa に換算して fa に加える。したがって $(35+34) \div 2 = 34.5$ が fa の分子比

Q : en・fs をそれぞれ fo・fa として計算したためにあまる SiO₂ 分子, すなわち $(111+35) \div 2 = 73$ が Q 分子比。

4 b) 上記の分子比を重量比になおして百分比にする。

B 2 飽和岩

B 2 a) ノルム計算

普通のノルム計算をする。この計算では fo・fa は算出されない。

B 2 b) ノルム値からの百分比計算

- 1) 長石 (or・ab・an) は前例と同じ。
- 2) 輝石 (wo・en・fs) も前例と同じ。
- 3) wo・fo・Q の百分比計算

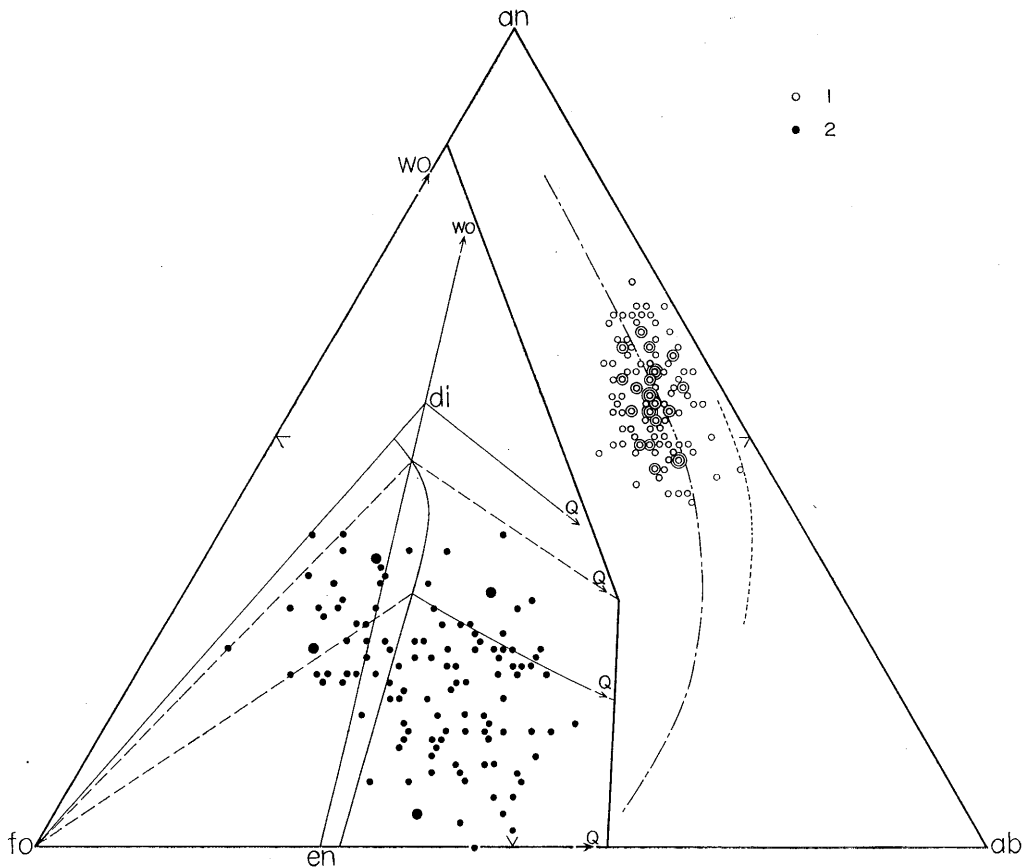


Fig. 11. KUNO's high-alumina basalts in Japan

($Al_2O_3 > 17.00$; norm $Q < 6.00$)

1: for an-ab-or, 2: for wo-fo-Q

3 a) wo•fo•Q の分子比を出すのに次のようにする。

wo : ノルムで計算した wo そのままの分子比。

fo : en として計算したものを fo に換算する。したがって en 分子比 ÷ 2 が fo の分子比。

Q : en として計算した $MgO \cdot SiO_2$ 分子を fo ($2MgO \cdot SiO_2$) に換算したため、en 分子比 ÷ 2 と同じ SiO_2 分子があまる。これを普通計算のノルム Q 分子に加えて、Q 分子比とする。

3 b) 上記の分子比を重量比になおして百分比にする。

4) Q•fo•fa の百分比計算

4 a) Q•fo•fa の分子比を出すのに次のようにする。

fo : wo•fo•Q で説明したのと全く同じ。

fa : fs として計算したものを fa に換算する。したがって fa 分子比 ÷ 2 が fs の分子比。

Q : en•fs をそれぞれ fo•fa として計算したために、(en 分子比 + fs 分子比) ÷ 2 と同じ SiO_2 分子があまる。これを普通計算のノルム Q 分子に加えて、Q 分子比とする。

4 b) 上記の分子比を重量比になおして百分比にする。

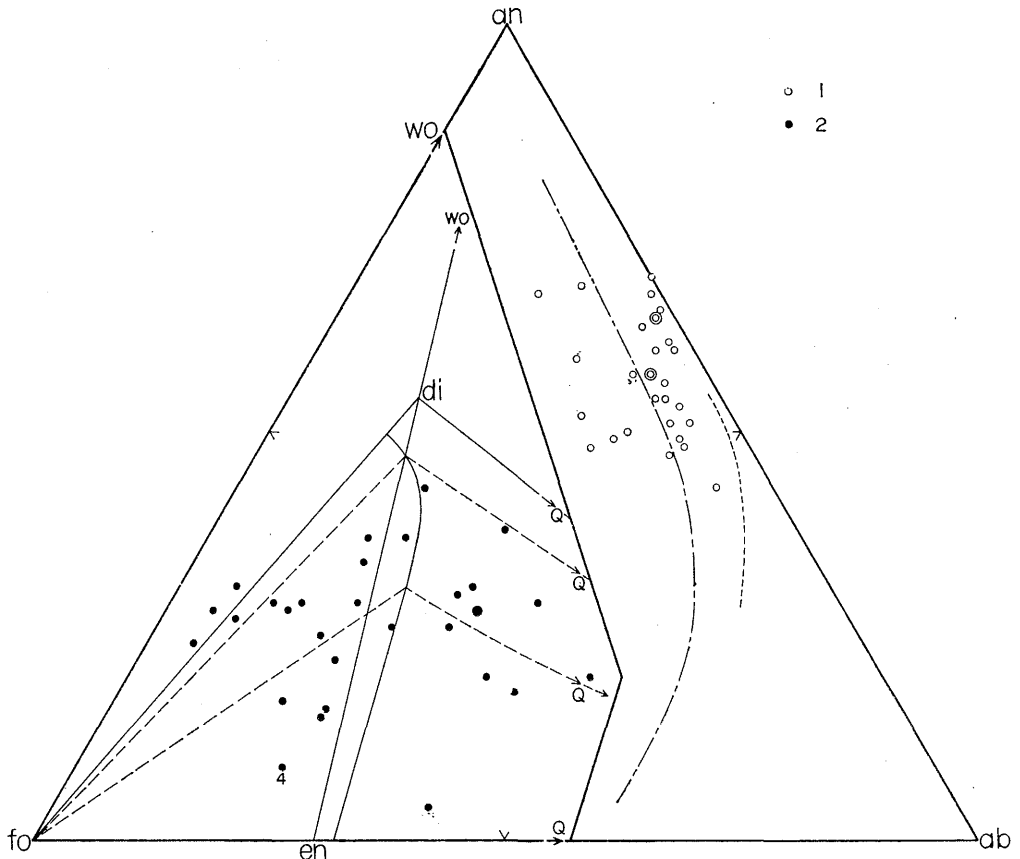


Fig. 12. KUNO's high-alumina basalts in foreign lands

(Al₂O₃ > 17.00; norm Q < 6.00)

1, 2 は第11図を参照

II 図 の 説 明

A 三角図におけるソレイアイト・アルカリ両岩系の“discriminating” (Figs. 1~4)

ソレイアイト質岩系では olivine と液相マグマとの反応によって、pigeonite または subcalcic augite が生ずるが、アルカリ岩系では共存する olivine と pyroxene (diopsidic augite または augite) との間に反応関係がない。

この olivine と pyroxene 間の反応関係の有無を、岩石学的記載から判断して、従来のソレイアイト質岩系、アルカリ岩系の火山岩を再吟味して点示しある。

ここに、鉄酸化度 ($\text{Fe}_2\text{O}_3/(\text{FeO}+\text{Fe}_2\text{O}_3) \times 100$) (oxidation index; 略号 OI, 後述) の高いものは除外してある。OI が高くなると、ノルム計算方法から magnetite を計算した残余の FeO が少く、従って fa または fs が小さい値になる。二次的酸化によって OI が高くなったものまでを一緒に取扱うことは好ましくないわけである。そこで、これを除外するため OI がある値より大きいものはすべて除外するのであるという (富田談)。

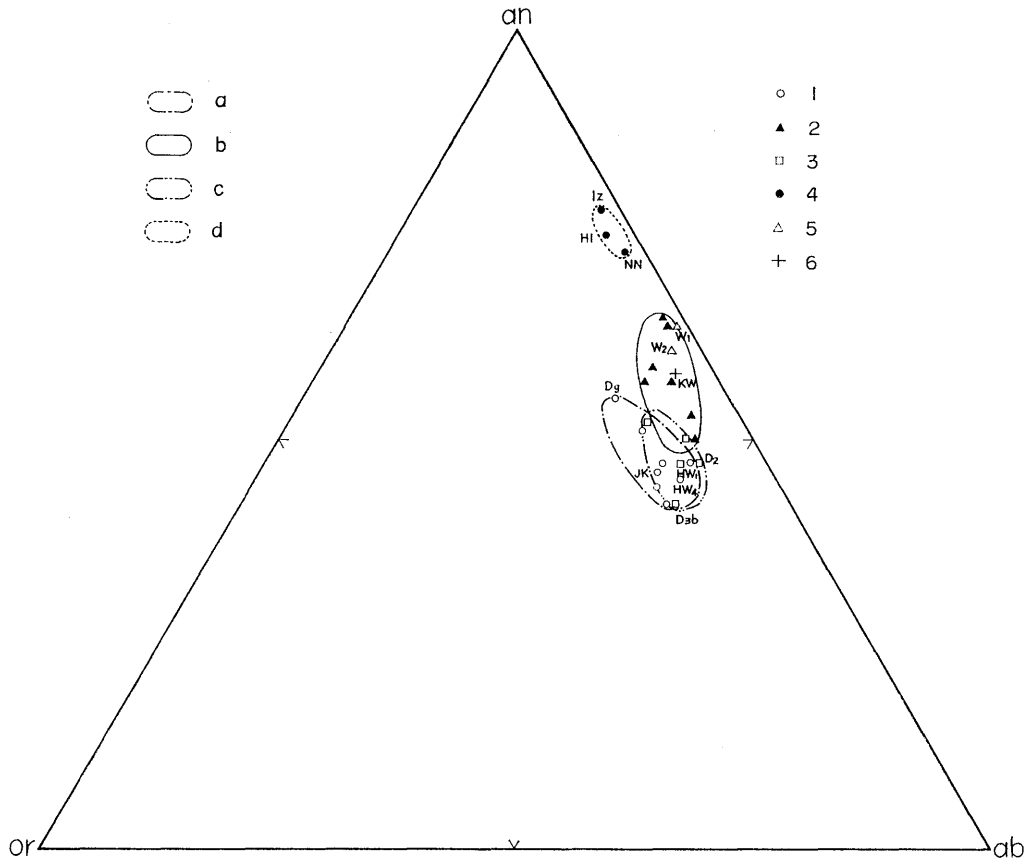


Fig. 13. Parental basaltic magmas

- a, 1. Alk. olivine basalt
- b, 2. Tholeiitic OB
- c, 3. Tholeiitic basalt
- d, 4. 日本 ThB
- 5. W₁, W₂: Warner High-alumina basalt
- 6. Kuno's high-alumina basalt

Iz, HI……などについては Table 2 を参照のこと。

OI 値の規準は明確には定めがたいが、後述 (Figs 8, 9) のような方法によって次の値を採択してある。

Tholeiitic volcanite OI ≥ 36

Alkali volcanite

{	ノルムで acmite が出るもの	OI ≥ 60
}	" " 出ないもの	OI ≥ 50

OI がこれらの値より大きいものは除外した縮図(ノルム or-ab-an, wo-en-fs, wo-fa-Q, fo-fa-Q 三角図)における, ソレイアイト質岩系の分布範囲を区画し, なお wo-fo-Q 三角図において, ソレイアイト質岩系区域よりある程度下の部分 (wo の少ない区域) にカルク・アルカリ岩類は点示される。

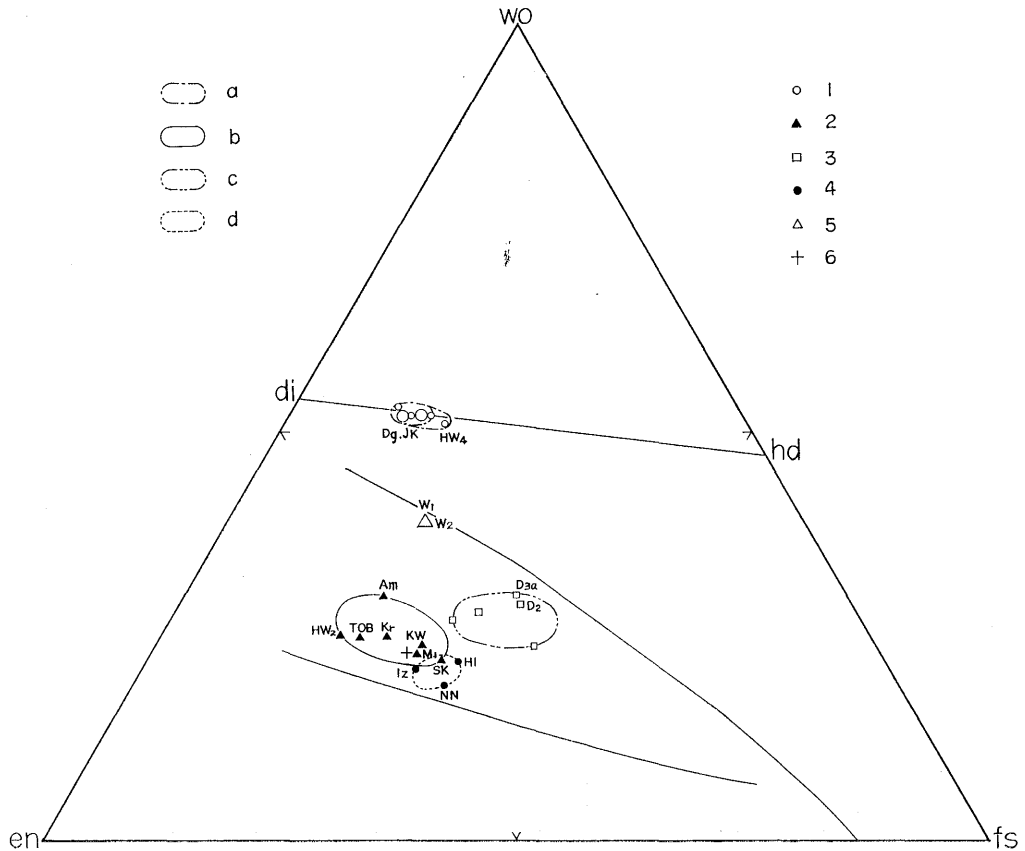


Fig. 14.

a, b, c, d, 1, 2, 3, 4, 5, 6などは Fig. 13 参照

B 特に Nepheline-normative Volcanic Series について

アルカリ岩系には次の2通りがある。

(A) Alkali olivine basalt → hawaiite → mugearite → olivine trachy andesite → olivine trachyte → phonolite

(B) Alkali olivine basalt → trachy andesite → trachyte → alkali rhyolite

B系列のノルム wo-fo-Q 図における点示は Fig. 3 に示してある。A系列のノルム wo-fo-Q 図を Fig. 5 に示してある。すなわち、A系列に属する岩石は、acid rock であっても、SiO₂ に対して不飽和岩であるので、fo-di-wo の区域に点示される。

ソレイアイト質岩系区域、あるいはそれより wo 値の小さい区域に点示される trachy andesite や trachyte は、異常であると考えられる (富田談)。

なお、参考のために DALY による平均化学組成も同時に点示してある。

C ノルム Q-fo-fa 図における reaction boundary の決定 (Figs. 6, 7)

ノルム Q-fo-fa 図における olivine-pyroxene の reaction boundary は次の方法によって定められる。

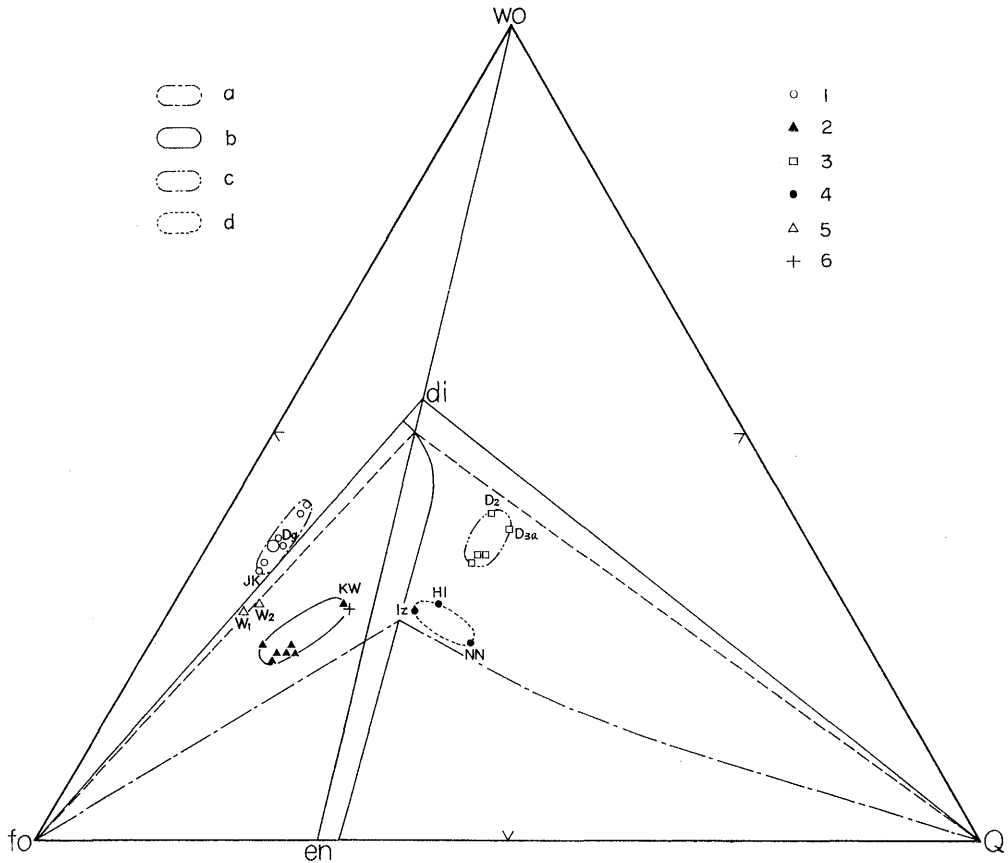


Fig. 15.

a, b, c, d, 1, 2, 3, 4, 5, 6 などは Fig. 13 参照

olivine field : ノルム wo-fo-Q 図において olivine field に点示されるものの分布区域 (OI 値に無関係に, またソレイアイト質岩系も, これに属さないものも一緒に取扱う)。

non olivine field : ノルム wo-fo-Q 図において, olivine field 外に点示されるもので次の条件を満たすものの分布区域。

a) en-fs 線に近いもの, すなわち $fa \leq 30$ で $Q \leq 33$; $fa > 30$ で $Q \geq 32$ のものは岩系および OI 値に無関係に採用。

b) $Q \leq 34$ のものは, $OIQ \geq 35$ のソレイアイト質岩系のみ採用。

上記の a), b) 両区域の境界を天然岩石における reaction boundary と考えてこれを図示してある。したがって, ノルム wo-fo-Q 図で reaction boundary 上に点示されるものは, ノルム Q-fo-fa 図においても, 当然 reaction boundary 上に点示される。

Fig. 6 で示された岩石の産地は “Far East” 地域で, Fig. 7 はそれ以外の地域のものである。

D “Oxidation index” (鉄酸化度 OI 値) 基準を定める方法 (Figs. 8~10)

前述の如く $\{Fe_2O_3 / (FeO + Fe_2O_3)\} \times 100$ を鉄酸化度 (oxidation index; 略称 OI 値) と呼ぶ。Q-fo-

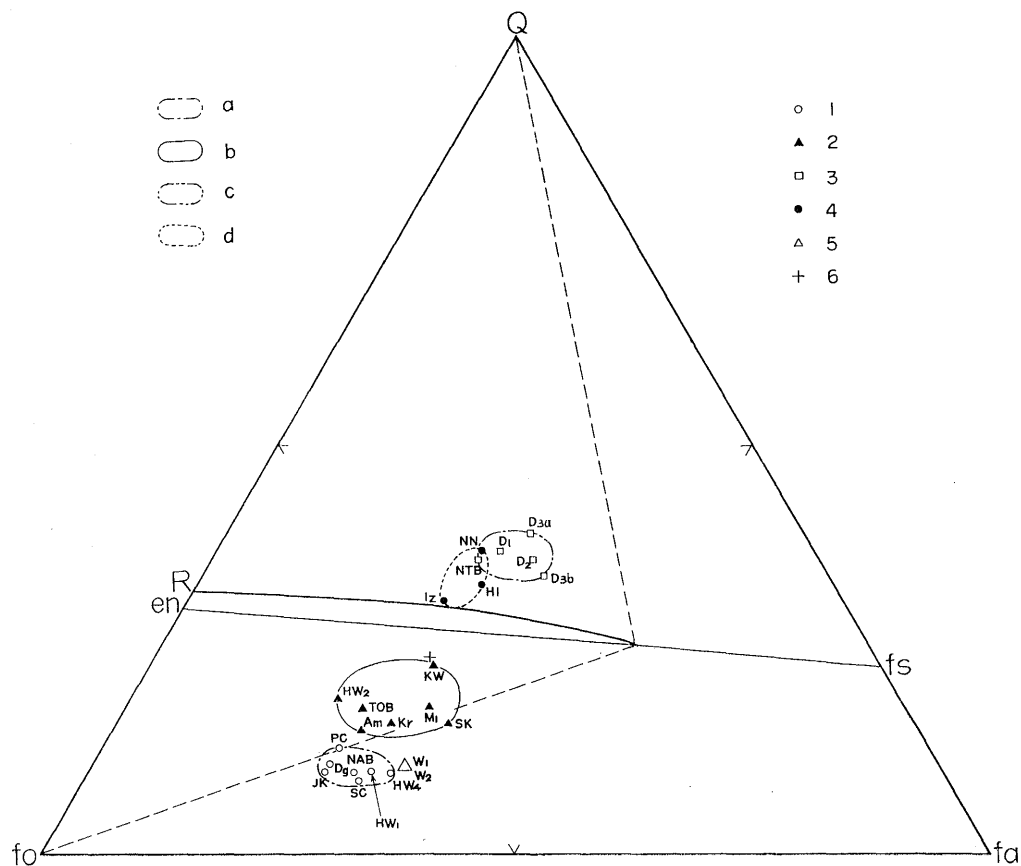


Fig. 16.

a, b, c, d, 1, 2, 3, 4, 5, 6などは Fig. 13 参照

fa 図において、 $OI > n$ のものの分布区域と $OI < n-1$ のものの分布区域とが重なり合う面積を n の各値について求め、その重複面積の最も少ない場合の、 n および $n-1$ をその岩系（岩石型）の OI 値基準とする（これより大きい OI 値を示す岩石は除外して考察する）。なお Q -fo-fa 図には重複範囲の中央線を記入する。

上記の方法で、tholeiitic volcanic suite, calc-alkali volcanic rock series および hornblende volcanic rocks について OI 基準値を求めると、それぞれ 37, 36, 34 を得る。重複面積の中央線にそれぞれ OT , OC , OH の記号を付けてある (Figs. 8~10)。

E “KUNO's high alumina basalt” について (Figs. 11, 12)

KUNO (1960) によって提唱された高アルミナ玄武岩類を、ノルム or-ab-an, ノルム wo-fo-Q の両三角図に点示してある。点示されたものは、 $Al_2O_3 > 17.00\%$; ノルム $Q < 6.00\%$ であり、Fig. 11 には日本産 118 個、Fig. 12 には外国産 28 個が点示してある。両図から、KUNO's high alumina basalt はソレイアイト質岩系区域に点示されるものもあるが、カルクアルカリ岩系区域に点示されるものが多数あることを明らかにしている。

Table 2. (1) Parental alkali olivine-basalt magmas

No.	1 Sc ₁ (1937)	2 Dg (1951)	3 NAB (1954)	4 Pc (1955)	5 HW ₁ (1957)	6 JK (1960)	7 HW ₄ (1964)
SiO ₂	47.0	47.87	46.13	47.1	46.84	48.11	46.61
Al ₂ O ₃	15.7	17.18	14.75	15.1	13.97	15.55	13.56
Fe ₂ O ₃	4.1	2.65	3.19	3.7	2.61	2.99	2.63
FeO	8.4	6.06	8.80	8.1	9.59	7.19	10.11
MgO	7.4	8.45	9.46	7.9	9.82	9.31	10.11
CaO	9.4	12.30	10.82	10.9	10.46	10.43	10.25
Na ₂ O	3.1	2.34	2.65	2.7	2.84	2.85	3.15
K ₂ O	1.3	1.20	0.96	1.0	0.68	1.13	0.75
TiO ₂	2.9	0.92	2.65	3.0	2.72	1.72	2.31
P ₂ O ₅	0.5	0.86	0.39	0.3	0.35	0.56	0.39
MnO	0.2	0.17	0.20	0.2	0.12	0.16	0.13
or	13	12	11	11	8	12	10
ab	45	33	38	42	45	42	45
an	42	55	51	47	47	46	45
wo	52	52	52	52	52	52	51
en	34	36	34	35	33	36	32
fs	14	12	14	13	15	12	17
wo	34	36	36	41	36	33	37
fo	59	56	57	51	57	60	56
Q	7	8	7	8	7	7	7
Q	9	11	10	13	10	10	10
fo	62	64	62	62	60	65	58
fa	29	25	28	25	30	25	32
M	31	41.5	38	34	39	40	38
F	51	41.5	47	50	47	43	47
A	18	17	15	16	14	17	15
an	49	62	55	53	50	52	
ne	28	21	26	26	28	26	
Q	23	17	19	21	22	22	
OI	34	31	27	32	22	30	21

1: Carboniferous OB of Scotland (27) [TOMKIEFF, 1937]

2: 島後 Parental magma (1) [富田, 1951, p.86, Table 6, No. 2]

3: Normal alkali basalt (dolerite) (96) [NOCKOLDS, 1954, p.1051]

4: Pacific [GREEN and POLDERVAART, 1955, Table 4, No.14]

5: Parental alkali OB magma of Hawaii (7) [KUNO et al., 1957, p.213, Table.10, No.2]

6: Parental AOB magma of Japan and Korea (7) [KUNO, 1960, p.141, Table 6]

7: Parental alkali OB magma of Hawaii (4) [富田, 1964]

Table 2. (2) Parental tholeiitic olivine-basalt magmas

No.	1 M ₁ (1924)	2 SK (1939)	3 Kr (1949)	4 KW (1951)	5 TOB (1954)	6 Am (1955)	7 HW ₂ (1960)
SiO ₂	46.54	48.35	48.94	48.99	48.18	47.3	48.65
Al ₂ O ₃	15.39	19.04	13.62	17.39	11.91	15.2	10.76
Fe ₂ O ₃	3.56	1.19	1.22	3.26	2.33	2.7	2.18
FeO	10.62	8.73	9.68	8.11	9.86	8.9	9.75
MgO	8.31	7.89	13.01	6.89	14.15	11.9	14.75
CaO	8.83	10.55	9.75	10.25	9.35	10.4	8.98
Na ₂ O	2.65	2.46	1.94	2.69	1.67	2.0	1.95
K ₂ O	0.46	0.20	0.47	0.49	0.55	0.2	0.41
TiO ₂	3.13	1.41	0.95	1.57	1.66	1.0	2.18
P ₂ O ₅	0.27	0.07	0.24	0.19	0.19	0.2	0.28
MnO	0.24	0.11	0.18	0.17	0.15	0.2	0.14
or	5	2	6	5	8	2	6
ab	42	33	35	38	35	34	44
an	53	65	59	57	57	64	50
wo	23	22	25	24	25	30	25
en	49	47	51	48	54	49	56
fs	28	31	24	28	21	21	19
wo	24	22	23	29	23	24	23
fo	61	64	63	53	62	64	61
Q	15	14	14	18	15	12	16
Q	18	16	16	23	18	15	19
fo	50	49	55	47	57	58	59
fa	32	35	29	30	25	27	22
M	33	39	50	33	50	47	51
F	55	48	41	53	42	44	41
A	12	13	9	14	8	9	8
an	56	66	63	59	62	65	53
ne	24	18	20	22	21	19	25
Q	20	16	17	19	17	16	22
OI	26	12	11	30	19	24	19
oliv.	10.2	11.2	16.6	4.2	15.6	17.1	14.3

1: Mull plateau-basalt (3) ["Mull Mem.", BAILEY et al., 1924, p.15]

2: Skaergaard olivine-gabbro of the chilled marginal facies (2) [WAGER and DEER, 1939]

3: Karroo chilled basalt (No.56) [WALKER and POLDERVAART, 1949]

4: Keweenaw Liquid 1 [CORNWALL, 1951, p.156, Table 1; p.162, Table 5]

5: Tholeiitic olivine-basalt [NOCKOLDS, 1954]

6: Antrim plateau OB (6) [PATTERSON and SWAINE, 1955, p.175, Table 1]

7: Tholeiitic OB, Kilauea and Mauna Loa (17) [富田, 1960]

Table 2. (3) Parental tholeiitic basalt magmas

No.	1 D ₁ (1944)	2 NTB (1954)	3 D ₂ (1958)	4 D _{2a} (1958)	5 D _{2D} (1958)
SiO ₂	50.67	51.30	50.56	50.51	52.65
Al ₂ O ₃	13.30	14.20	12.79	12.65	14.42
Fe ₂ O ₃	3.52	2.91	3.23	3.12	2.76
FeO	10.34	9.14	11.28	11.23	10.02
MgO	6.00	6.40	5.40	5.45	4.98
CaO	10.15	10.52	10.29	10.57	8.96
Na ₂ O	2.40	2.25	2.55	2.43	3.01
K ₂ O	0.60	0.82	0.59	0.61	1.08
TiO ₂	2.52	2.05	2.78	2.85	1.70
P ₂ O ₅	0.31	0.23	0.31	0.35	0.28
MnO	0.19	0.18	0.22	0.23	0.14
or	7	10	7	9	12
ab	43	38	46	44	46
an	50	52	47	47	42
wo	28	27	29	30	24
en	40	43	35	35	36
fs	32	30	36	35	40
wo	35	34	40	38	35
fo	35	37	32	31	36
Q	30	29	28	31	29
Q	37	36	36	39	34
fo	33	36	30	29	30
fa	30	28	34	32	36
M	27	30	24	24	23
F	60	55	62	62	58
A	13	15	14	14	19
an	49	53	46	46	44
ne	23	21	25	23	27
Q	28	26	29	31	29
OI	26	25	23	22	22

1: Deccan plateau basalt [DALY, 1944]

2: Normal tholeiitic basalt and dolerite (137) [NOCKOLDS, 1954]

3: Deccan basalt, class A analyses (10) [SUKHESWALA and POLCERVAART, 1958]

4: Basalt of Lower Deccan traps (8) [SUKHESWALA and POLDERVAART, 1958]

5: Basalt of Upper Deccan traps (8) [SUKHESWALA and POLDERVAART, 1958]

Table 2. (4) Parental magmas in Japan and adjacent Regions

No.	1 Iz (1954)	2 HI (1960)	3 NN (1961)	4 W ₁	5 W ₂
SiO ₂	48.71	49.92	51.0	48.5	48.4
Al ₂ O ₃	16.53	15.73	16.5	18.7	19.2
Fe ₂ O ₃	3.37	2.74	2.8	0.8	1.8
FeO	8.44	9.23	8.7	7.9	7.3
MgO	8.24	7.81	7.2	9.2	8.0
CaO	12.25	11.96	11.3	11.3	11.2
Na ₂ O	1.21	1.22	1.5	2.5	2.7
K ₂ O	0.23	0.29	0.2	0.2	0.3
TiO ₂	0.63	0.68	0.6	0.9	0.9
P ₂ O ₅	0.10	0.07	0.1	—	0.1
MnO	0.29	0.35	0.1	—	0.1
Total				100.0	100.0
SI				44.9	40.2
or	2	3	2	2	3
ab	20	22	25	34	36
an	78	75	73	64	61
wo	21	22	19	39	39
en	50	45	48	40	40
fs	29	33	33	21	21
wo	28	29	24	28	29
fo	46	43	42	64	62
Q	26	28	34	8	9
Q	31	33	37	11	11
fo	42	37	35	56	56
fa	27	30	28	33	33
M	39	37	36	45	40
F	54	56	56	42	45
A	7	7	8	13	15
an	77	73	68	65	63
ne	11	11	12	19	20
Q	12	16	20	16	17
OI	29	23	25	9	20

1: 伊豆箱根地方 parental magma (2) [久野, 1954]

2: 本州中部・伊豆諸島 parental tholeiite (3) [KUNO, 1960, p.141, Tab.6, No. 1]

3: 那須北帯 Tholeiitic parent magma (4) [青木, 1961] "Typical tholeiite"

4: Avg. of subophitic basalts (3). Medicine Lake Highland, California. [TILLEY, C.E. (1950) Some aspects of magmatic evolution. Q.J.G.S., Vol.CVI, pp.37-61; p.55, Table II, No. 1; data from ANDERSON, 1941, p.387.]

5: Medicine Lake basalt, California (7) [GREEN, J. and POLDERVAART, A. (1955) Geochim. Cosmochim. Acta, Vol.7, Table 4, No.12.]

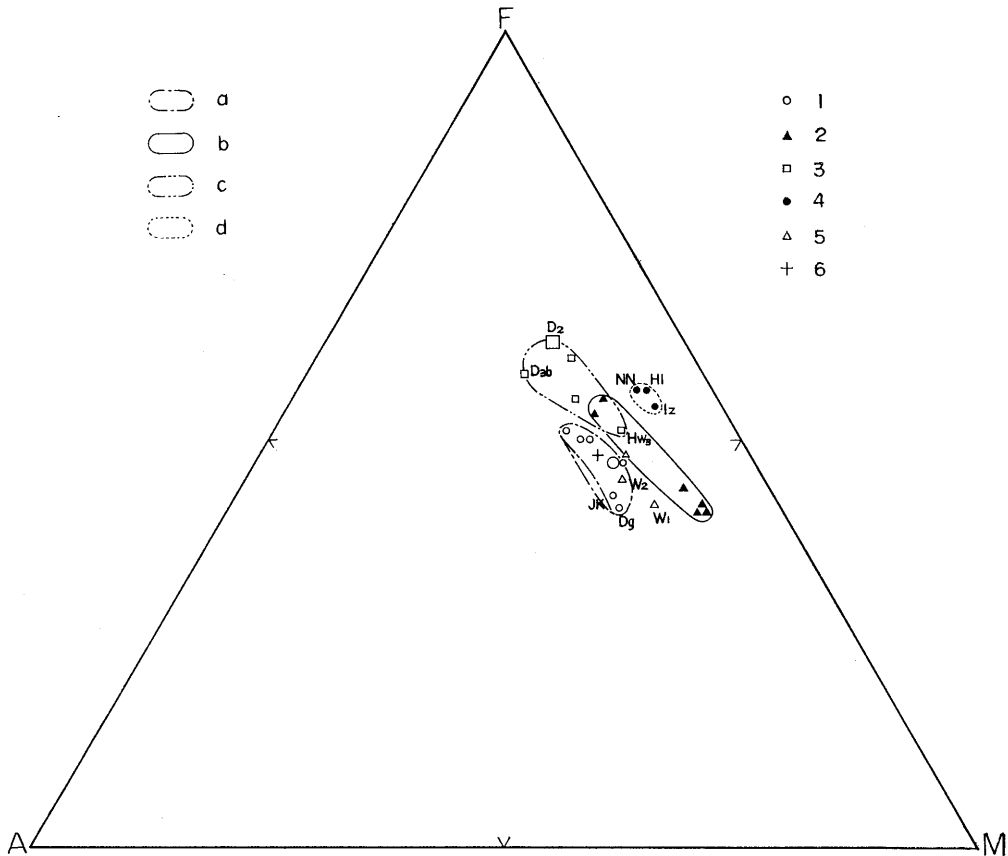


Fig. 17.

a, b, c, d, 1, 2, 3, 4, 5, 6 などは Fig. 13 参照

富田先生は parental magma として上記の 5 種類を考慮しておられたようである。

Alkali olivine basalt magma, tholeiitic olivine basalt magma, tholeiitic basalt magma, warner basalt magma の 4 種類は wo-en-fs, wo-fo-Q, Q-fo-fa の各三角図によって明瞭に識別される。

また、日本の “tholeiitic basalt magma” と、他の 4 種類の magma との差異は、or-ab-an, wo-en-fs, wo-fo-Q, Q-fo-fa の三角図をそれぞれ比較することによって、明らかにされる。特に、日本の “tholeiitic basalt magma” の特徴は or-ab-an 図において顕著に示される。なお、日本の “tholeiitic basalt magma” の DI 値 (differentiation index) は、他の 4 種の magma に比して著しく低く、化学組成の上で著しく差があり、日本産の “tholeiitic basalt magma” と外国の tholeiitic basalt magma は別種と考えざるを得ない。

このように、火山岩の化学組成の差を論ずる時は、多くの図によって比較検討すべきで、しばしば使われる A-F-M 三角図のみによって議論するのは適当でない(富田談)。

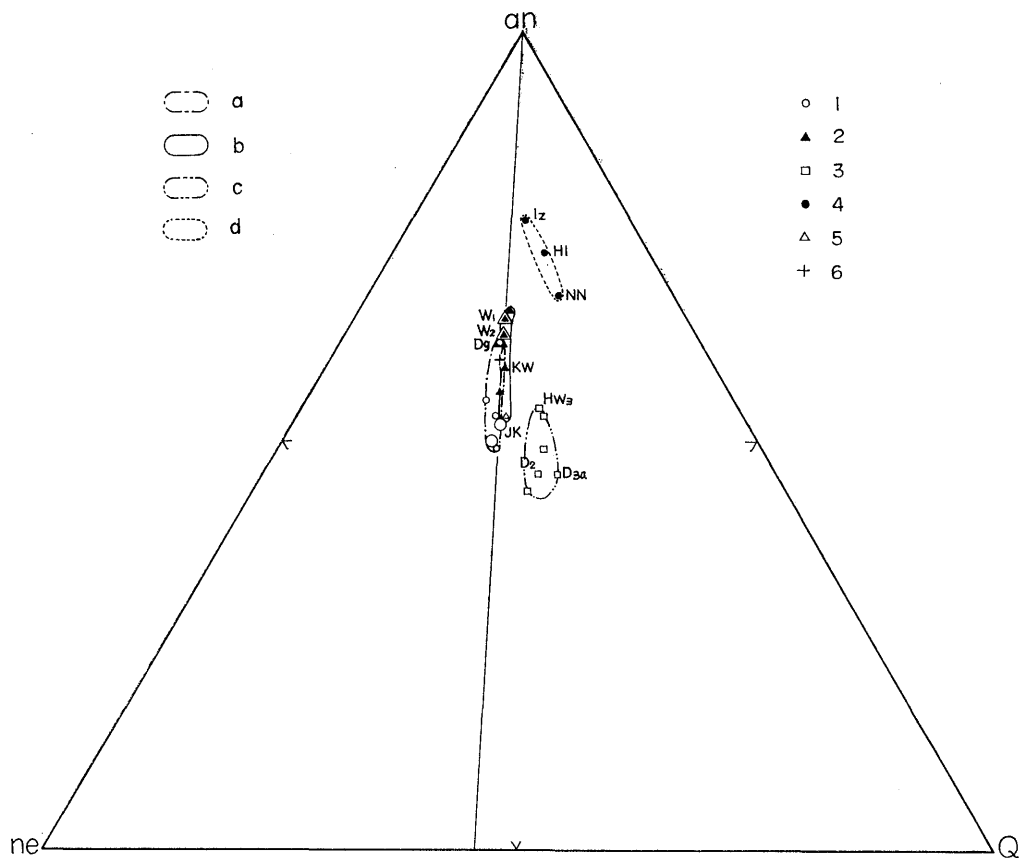


Fig. 18.

a, b, c, d, e, 1, 2, 3, 4, 5, 6などは Fig. 13 参照

F Parental basaltic magma 区域の決定 (Figs. 13~18)

Alkali olivine basalt magma, tholeiitic olivine basalt magma, tholeiitic basalt magma, 日本の "tholeiitic basalt magma" を再吟味し, Warner basalt と共に諸図に点示し, それぞれの分布区域を示す。

Table 3.

Host body	Pegmatitoid, schlieren, vein, etc.	Alkali Rock Series				Tholeiitic, Calc-alkali, Unusual R. S.		
		Trachy-basaltic	Trachyandesitic, syeno-gabbro	Alkali syenite	Alk. syenite-aplite	Sodalite pegmatite	Quartz dolerite	Dolerite-pegmatite
Alkali Rock Series	Olivine basalt (dolerite)	Bora-Bora (pmd)	Beaulieu (pmd)	Wei-t'chang (pmd)		Antrim (vein)		
		Stoffel, Germany (vein)	Nemuro (layer)		Nemuro (vein)			
	Trachy-dolerite			Kengan (layer)	Kengan (vein)			
	Crina-nite			Shiant Isles (vein)				
Tholeiitic Rock Series	Olivine basalt						Kilauea	
	Olivine dolerite						Karoo	
	Basalt					Palolo	Palolo	Palolo, Oahu I.
	Dolerite						Karoo Dewa Hills Otaki	Goose Creek, Virg., U. S. A.
	Tholeiite						Karoo	Dalmeny, South Scotland
	Quartz dolerite							N. Queensferry, S. Scot. Inverkeithing, S. Scot. Linlithgow, S. Scot.
CA	Quartz dolerite							Kabe-shima I.
UU	"Tholeiitic oliv. basalt"						Senryû-Shiratake	

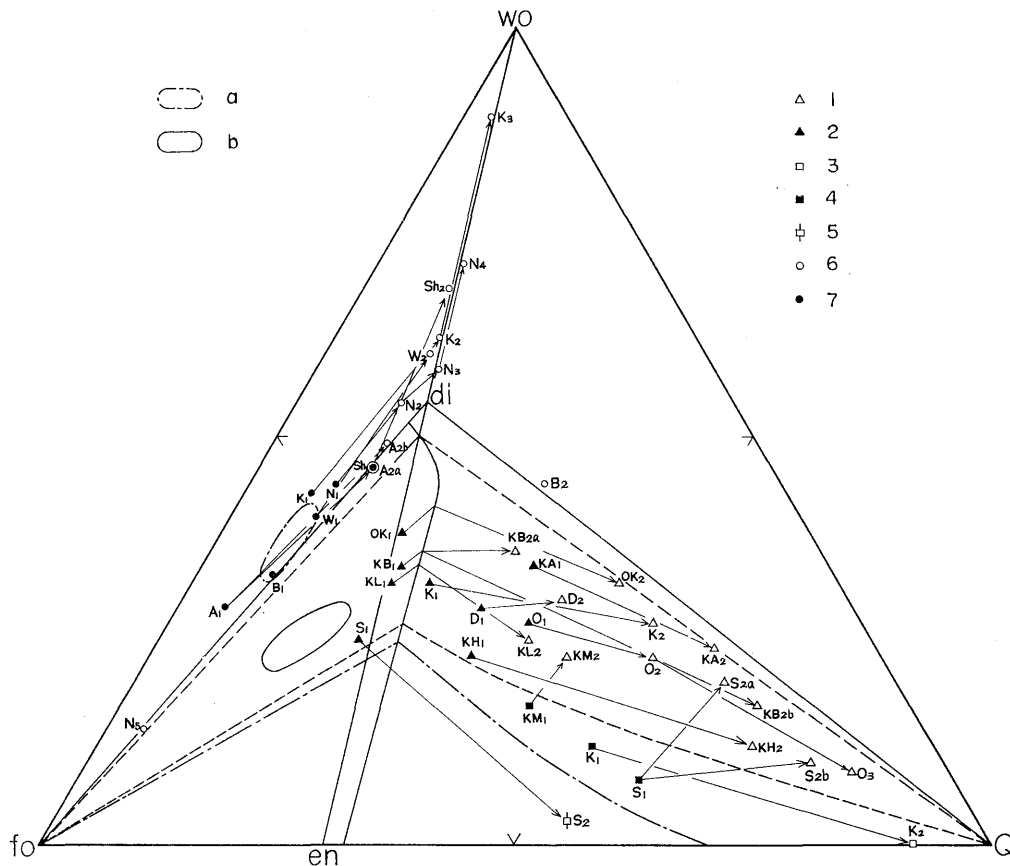


Fig. 19. Segregation phases within basaltic bodies

a, b は Fig. 1, Fig. 13 参照

7→6 Alkali rock series

- A: Antrim, Northern Ireland [WALKER, 1959]
- B: Beaulieu, Bouches-du-Rhone, S. France [LACROIX, 1928]
- K: Kengan sill, N. Korea [ITO, 1937]
- N: Nemuro Peninsula, Hokkaido, Japan [YAGI, 1958]
- Sh: Shiant Isles, N. Scotland [WALKER, 1930]
- W: Hoa-ou-Kéou, Wei-t'chang, Jehol [LACROIX, 1928; 1929]

2→1 Tholeiitic Rock series

- D: Dewa Hills, Akita Pref., Japan [KONDA, 1959]
- K: Kilauea (caldera wall) [KUNO et al., 1957]
- KA, KB, KH, KL: Karroo [WALKER-POLDERVAART, 1949]
- O: Oahu I. (Koolau basalt series) [KUNO et al., 1957]
- OK: Okada, Ô-shima I., Izu [IWASAKI, 1935; TILLEY et al., 1963]

4→1

- KM: Karroo [WALKER-POLDERVAART, 1949]
- S: Ôtaki sill, Shinjo area, Yamagata Pref., Japan [AOKI, 1959]

4→3 Calc-alkali Rock Series

- K: Kabe-shima I., off Yobuko, Saga Pref., Japan [AOKI, 1960]

2→5 Unusual Rock series

- S: Shiratake, Senryu area, Nagasaki Pref., Japan [FUKUYAMA, 1960]

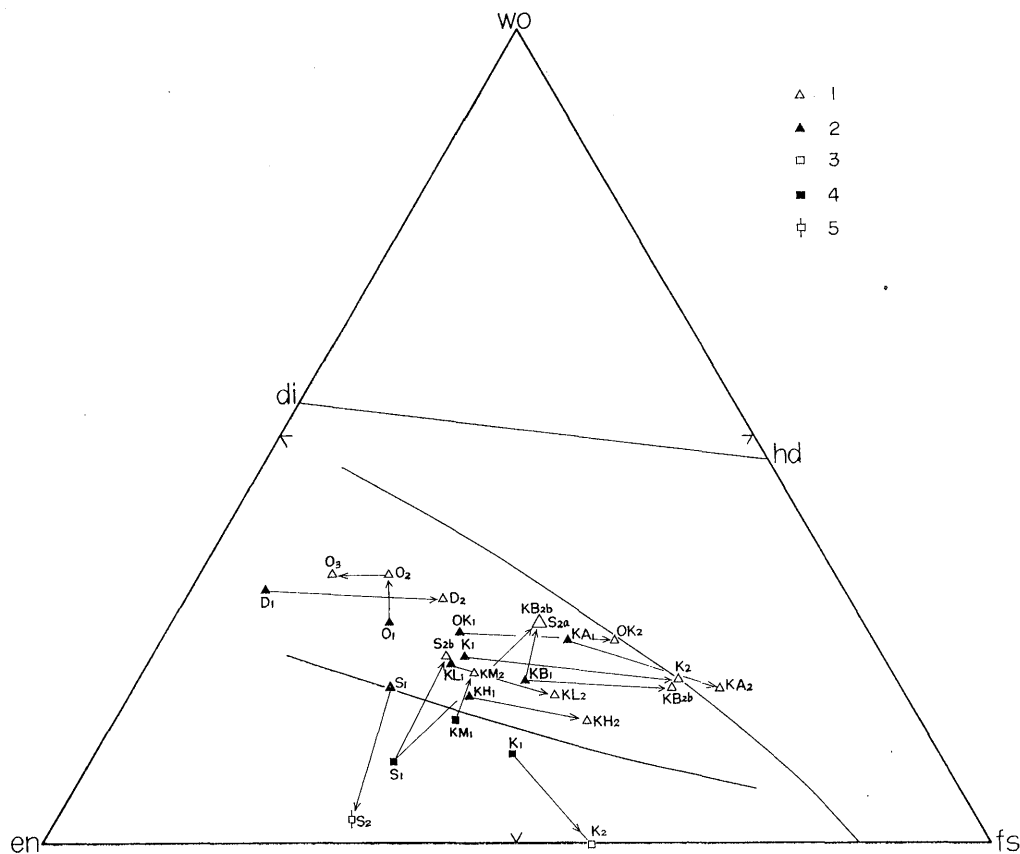


Fig. 20. Segregation phases within basaltic bodies
 1, 2, 3, 4, 5 は Fig. 19 参照

G Segregation phase の検討 (Figs. 15~21)

Segregation phases とその host basaltic body の化学組成が明らかにされているもの (第3表) について、ノルム wo-fo-Q, wo-en-fs および $MgO-(FeO+Fe_2O_3)-(Na_2O+K_2O)$ の三角図をつくと Figs. 19~21 のようになる。

(これらを吟味することによって、各 series の進化コースを詳らかにすることを試みておられた。)

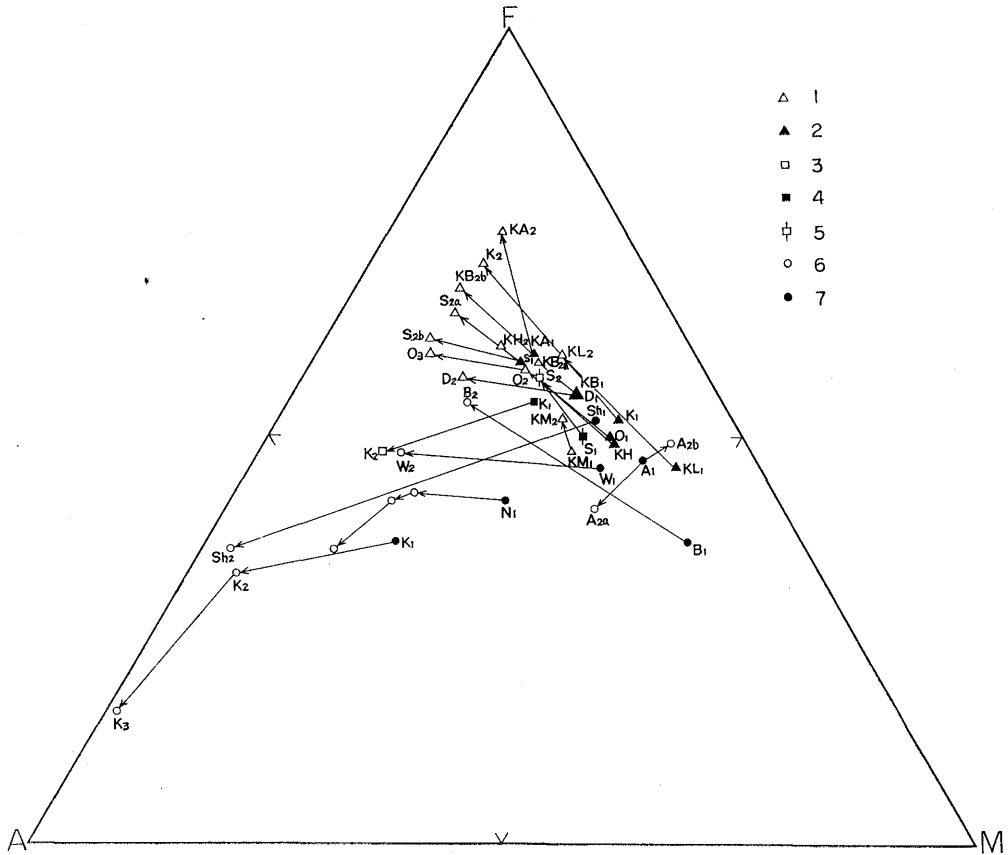


Fig. 21. Segregation phases within basaltic bodies

1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 は Fig. 19 参照

謝 辞 御遺稿ともいふべき、三角図を整理して、まがりなりにもこのような形にまとめるまでには、九大地質学教室の教授はじめ多くの方々の熱心な御支援があった。特に西南学院大学唐木田芳文氏には終始熱意ある御協力を辱けなくし、桃井齊氏をはじめ、宮地貞憲、石橋澄らの諸氏もまた絶大なる助言助力を惜まれなかった。なお、三角図の整図には一部城戸みさ子嬢の御協力を得た。これらの方々に対して、深い感謝の意を表して本稿を終る。

最後に、(1) 原図は三角座標に色鉛筆やインクを使ったさまざまな記号で書いてあること、(2) 図の説明文・略号・型式はできるだけ原図のとおりにしたことを付記しておく。

文 献

- AOKI, K. (1959): Petrology of alkali rocks of the Iki Islands and Higashi-matsura district, Japan. *Sci. Rept. Tohoku Univ.*, (3) 6, 261~310.
- 青木謙一郎 (1960): 佐賀県加部島紫蘇輝石質岩系石英粗粒玄武岩岩脈の分化. 岩鉱, 44, 47~53.
- (1961): 那須火山帯の早期玄武岩類. 同上, 45, 54~65.
- BAILEY, E. B., H. H. THOMAS and others (1924): Tertiary and Post-Tertiary geology of Mull, Loch Aline, and Oban. *Mem. Geol. Surv. Scot.*, 1~445.
- BOWEN, N. L. (1914): The ternary system: Diopside-Forsterite-silica. *Amer. Jour. Sci.*, 38, 207~264.
- BOWEN, N. L. and SCHAIERER, J. F. (1953): The system, MgO-FeO-SiO₂. *Amer. Jour. Sci.*, (5) 29, 151~217.
- CORNWALL, H. R. (1951): Differentiation in magmas of the Keweenaw Series. *Jour. Geol.*, 59, 151~172.
- DALY, R. A. (1944): *Igneous rocks and the depth of the earth*. 598pp. New York.
- FUKUYAMA, K. (1960, 1961): Abnormal olivine basalts in the Senryu area of northern Kyushu, Japan (1), (2). *Fac. Sci., Kumamoto Univ.*, (1) Geol. 4, 30~72, 73~89.
- GREEN, J. and POLDERVAART, A. (1955): Some basaltic provinces. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 7, 177~188.
- ITO, T. (1937): Beitrage zur Mineralogie von Japan. Neue Folge, II. 147~155, Tokyo.
- 岩崎 岩次 (1935): 本邦火山の地球化学的研究. 日化会誌.
- 久野 久 (1954a): 火山及び火山岩. (岩波全書 196), 255pp.
- KUNO, H. (1954b): Geology and petrology of Omuro-yama volcano group, North Izu. *Jour. Fac. Sci., Univ. Tokyo*, (II), 9, (2), 241~65.
- , K. YAMASAKI, C. IIDA and K. NAGASHIMA (1957): Differentiation of Hawaiian magmas. *Jap. Jour. Geol. Geog.*, 28, 179~218.
- (1960): High-alumina basalt. *Jour. Petrology*, 1, 121~145.
- KONDA, T. (1959): On the rock-types of the Tertiary dolerite of the Dewa hilly land, northeast Japan. *Bull. Yamagata Univ., Natural Sci.*, 4, (4), 509~530.
- LACROIX, A. (1928): *Acad. Sci. Paris Mem.*, 59, p. 20; Ref. TURNER VERHOOGEN (19): La composition mineralogique et Chimique des roches éruptives et particulièrement des lavas mesozoique et plus récent de la Chine orientale. *Bull. Geol. Soc. China*, 7, 13~59.
- (1929a): Les pegmatitoides des roches volcaniques à facies basaltique, à props de celles du Wai-t'chang. *Ibid.*, 8, 45.
- (1929b): Observations sur la laves de Mandchourie et de la Mongolie orientales. *Ibid.*, 8, 51~58.
- NOCKOLDS, S. R. (1954): Average chemical composition of some igneous rocks. *Bull. Geol. Soc. Amer.*, 65, 1007~1032.
- SUKHESWALA, R. N. and POLDERVAART, A. (1958): Deccan basalts of the Bombay area, India. *Bull. Geol. Soc. Amer.*, 69, 1475~1494.
- SWAINE, D. J. and PATTERSON, E. M. (1955): A petrochemical study of Tertiary tholeiitic basalts — The Middle Lavas of the Antrim Plateau. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 8, 173~181.
- TILLEY, C. E. (1950): Some aspects of magmatic evolution. *Quart. Jour. Geol. Soc. London*, 106, 37~61.
- 富田 達 (1951a): 岩漿進化の諸型式. 九州大学理学部研究報告, 地質学之部, 3, 77~104.
- (1951b): 東亜新生代アルカリ岩石区の対比表. 九州大学理学部地質学教室刊行. (1960,
- (1964): 日本地質学会西日本支部例会講演.
- (1958): 玄武岩類の三主要系列. 鈴木醇教授還暦記念論文集, 193~211.
- TOMKIEFF, S. I. (1937): Petrochemistry of the Scottish Carboniferous-Permian igneous rocks, *Bull. Volcan.*, (2), 1, 50~87.
- WAGER, L. R. and DEER W. A. (1939): The petrology of the Skaergaard intrusion, Kangerdlugssuak, East Greenland. *Meddelelser om Grønland*, 105, (4), 352pp.
- WALKER, F. (1930): The geology of the Shiant Isles (Hebrides). *Quart. Jour. Geol. Soc. London*, 86, 355~398.
- and A. POLDERVAART (1949): Karroo dolerites of the Union of South Africa. *Bull. Bull. Geol. Soc. Amer.*, 60, 591~706.
- YAGI, K. (1953): Petrochemical studies on the alkalic rocks of the Morotu district, Sakhalin. *Geo. Soc. Amer.* 64, 769~810.