

”Pyroxene-Feldspar関係” の検討 : マグマの生成・固結における蒸気圧の重要性(S. TANEDA, 1966) 補遺

種子田, 定勝
九州大学理学部

<https://doi.org/10.15017/4737365>

出版情報 : 九州大学理学部研究報告. 地質学之部. 9 (1), pp.219-225, 1969-03-15. 九州大学理学部
バージョン :
権利関係 :



“Pyroxene-Feldspar 関係”の検討

—マグマの生成・固結における蒸気圧の重要性 (S. TANEDA, 1966) 補遺—

種子田 定 勝

On the “Pyroxene-Feldspar relation”

—Contributions to “the petrogenetic significance of the vapour pressure in magmas (S. TANEDA, 1966)”—

By

Sadakatu TANEDA

(Abstract)

The writer (S. TANEDA, 1966) pointed out the “petrogenetic significance of the vapour pressure in magmas”, and concluded that under the higher vapour pressure (mainly PH_2O) and lower temperature, the alkalic magmas were produced by partial or almost complete melting of the “gabbroic rocks” at shallower depth than the tholeiitic magmas which were produced under the lower vapour pressure and higher temperature. One of the important bases of such a consideration is that the rocks of A Type (Table 1, Pyroxene-Feldspar Type or PF Type) are derived by some way where crystallization starts and/or predominates in the pyroxene field of the “system Pyroxene-Feldspar”, and the rocks of C Type largely in the feldspar field of the same system. It is circiticated by the inspection of the relationships between the PF Type and the PFI (“Pyroxene-Feldspar Index”) that is an index proposed by the present writer for the sum $ab' + 2di' + 2.3 hy'$ after T.F.W. BARTH (1936), and by the “dry melt experiment” of tholeiitic basalts.

The value of PFI: C Type $< 123 \pm$, B Type ≈ 123 , A Type $> 123 \pm$. Dry melt of C Type basalt: plagioclase crystallizes out prior to pyroxene. Dry melt of A Type basalt: pyroxene crystallizes out prior to plagioclase. (Ref. to Tables 3, 4 and 5, Figs. 2, 3 and 4.)

I. は じ め に

筆者は先にマグマの生成・固結において、蒸気圧特に水蒸気圧が重要な役割りを演ずることを指摘し、これを全く考慮に入れていない従来の岩石成因論・マグマの成因論は改変されなければならないことを強調した(種子田, 1966; TANEDA, 1966)。その場合、まずトレイ岩・カルクアルカリ岩・アルカリ岩の “Pyro-

xene-Feldspar” 関係”における特徴を明らかにし、それと他のいろいろの岩石学的事実や相図を総括的に検討して結論(「たとえば、アルカリ岩マグマの生成・固結はトレイ岩マグマに較べて、高水蒸気圧・低温のもとで、比較的浅い所で行なわれうる」など)を導き出したので、特に “Pyroxene-Feldspar” 関係”ならびにこれに直接関係ある事柄については、更に慎重な検討を続けている次第である。本編はこれに関して、二、三の点を述べるものである。

II. 「マグマの生成・固結における 蒸気圧の重要性」の要点

はじめに「マグマの生成・固結における蒸気圧の重要性」を強調する筆者の論旨を要約しておく必要がある。その要点は次の通りである。

1. 一般に火成岩はノルム鉱物の Di, Hy, An, Ab + Or (Ab・Or とも書く) の量関係 (Pyroxene-Feldspar 関係, 略称 PF 関係) において3つの型 (Pyroxene-Feldspar Type 略称 PF Type, PF 型) に分けられる (Table 1)。

Table 1. Classification of the Pyroxene-Feldspar relations or PF Types.

A Type	Di and/or Ab+Or predominate
B Type	Di/An $\approx$ Hy/(Ab+Or) Di/Hy $\approx$ An/(Ab+Or)
C Type	An and/or Hy predominate

各型とアルカリ岩類, トレイ岩・カルクアルカリ岩類の間には Table 2 のような関係がある。

Table 2. PF Type of igneous rocks

A Type	Almost all alkalic rocks A part of tholeiitic and calc-alkalic rocks
B Type	A part of alkalic, tholeiitic and calc-alkalic rocks
C Type	Almost all tholeiitic and calc-alkalic rocks A part of alkalic rocks.

2. PF 関係を図示するには四辺形 Di-Hy-An-Ab・Or 図* を用いる。この四辺形内の点は (Di+An): (Hy+Ab・Or) ならびに (Di+Hy): (An+Ab・Or) によって決まり, Di, Hy, An, Ab 相互間の関係 (Table 1 に示した PF 関係または PF 型) は, PF 型別に異なる記号を用いることによって示すことができる。この図を PF 図と呼ぶことにする。

3. アルカリ岩類, トレイ岩・カルクアルカリ岩類について, PF 関係を PF 図でいろいろと検討し, ま

た (Ca+Al)-Mg-Fe, FeO/Fe₂O₃-SiO₂, FeO/Fe₂O₃-H₂O(+), T. FeO/MgO, T. FeO-MgO-Alk, An-Ab-Or, (FeO+Fe₂O₃)-S. I. (久野の Solidification index), SiO₂-S.I. の関係を検討し, 更に, き石の化学組成の検討を加え, Di-An 系, An-Ab 系, Di-Ne-SiO₂ 系, Ab-*proto* En-Di 系, Di-Lc-SiO₂ 系, Fo-Lc-SiO₂ 系, An-Fo-SiO₂ 系, An-En-Di 系, などの相図と合せ考えて, Pyroxene-Feldspar 系 (PF 系) の dry~hydrous 条件下の相図を組み立てうる (Fig. 4 参照)。

4. 結論として「アルカリ岩類はトレイ岩・カルクアルカリ岩類に比較して, マグマの水蒸気圧 PH₂O の高い状態で結晶固結したものである」ということと, 「マグマの生成について, アルカリ岩マグマはトレイ岩マグマより高蒸気圧・低温のもとで, ある種の斑縞岩類から, 部分~全体熔融によって生じうる」ことが分る。マグマの生ずる深さは, いろいろであるが, 玄武岩マグマは約 40~80km の深さで生じ, 一般にその範囲内でアルカリ岩マグマは比較的浅い所で低温・高蒸気圧のもとに生じ, トレイ岩マグマは比較的深い所で高温・低蒸気圧のもとで生ずると考えられる。

なお酸性岩マグマは更に浅い, 地下約 35km 以内の花こう岩質地殻の熔融によっても生じうる。(種子田, 1966; TANEDA, 1966 参照。)

III. き石・長石の晶出と PF 型

および PFI**

上述の岩石成因論の展開の拠点の一つであり, 成因論を更に進展させる上での作業仮説とも言うべき役割りをもったものは「マグマから“長石”と“き石”のどちらが先に晶出するか, または/および, 優勢であるかによって PF 型はきまり, き石の晶出が早期・優勢である場合には A 型, 長石の晶出が早期・優勢である場合には C 型であり, Cotectic line 付近で結晶作用がはじまり, 両鉱物が略々平行に晶出した場合 B 型となる」という命題である。

これを更に裏づけるために T. F. W. BARTH (1936) の $ab' + 2di' + 2.3hy'$ の値 (ノルム) と PF 型 (TANEDA, 1966) との関係を検討する。BARTH によると,

$ab' + 2di' + 2.3hy' < 123$ の場合に長石が先に晶出を

* (Di+An): (Hy+Ab・Or) 比を縦座標にとり, (Di+Hy): (An+Ab・Or) 比を横座標にとる。

** 筆者は BARTH (1936) の $ab' + 2di' + 2.3hy'$ の数値を “Pyroxene-Feldspar Index” と呼び略号 PFI を用いることにしている。

Table 3. The "Pyroxene-Feldspar Type*" and "Pyroxene-Feldspar Index**" of the tholeiitic basalts and parental magmas.

PF Type	PFI	
B (A)	135	Basalt lava flow of 1859, Mauna Loa (G. A. Macdonald, 1949)
A	129	Olivine basalt flow of 1919, Mauna Loa (Do.)
B (A)	127	Hypersthene-bearing basalt flow of 1881, Mauna Loa (Do.)
C	109	Olivine basalt, Waianae volcano, Ohau (Macdonald & T. Katsura, 1964)
C	112	Tholeiite, Waianae volcano, Hawaii (Do.)
C	110	Tholeiite, Kohala volcano, Hawaii (Do.)
C	101	Tholeiite, Kohala volcano, Hawaii (Do.)
B (A)	127	Olivine tholeiite 1921 flow of Kilauea (H. S. Yoder & C. E. Tilley, 1962)
B (C)	126	Tholeiite magma: Average of 32 analyses of tholeiites of Hawaii (H. Kuno, et al., 1957)
B (A)	115	Dolerites of Whin sill and adjacent dykes average (A. Holmes & H. P. Harwood, 1928)
B (A)	118	Tholeiites, North of England (Do.)
B (C)	124	Oregonian basalts average (H. S. Washington, 1922)
C	124	Karoo dolerites average, South Africa (R. A. Daly & T. F. W. Barth, 1930)
B (A)	122	Decan traps average (G. W. Tyrrel & K. S. Sanford, 1933)
C	106	Skaergaard original magma (L. R. Wager & W. A. Deer, 1939)
C	108	Basaltic andesites average of pigeonitic rock series from Izu and Hakone district (H. Kuno, 1954)
C	107	Original magma of pigeonitic rock series (Do.)
C	117	Original magma of hypersthene rock series*** (Do.)
C	94	Olivine-augite basalt from Hiranoyama, Sendai, Japan. (Olivine-bytownite basalt in the previous paper (S. Taneda, 1966)).
C	87	Ditto., groundmass (S. Taneda, 1966).
C	115	Parental tholeiite of Japan and Korea (H. Kuno, et al., 1960)
A	130	Olivine tholeiite dyke, Kap. Daussy, east Greenland (E. A. Vincent, 1950)
B (A)	132	World average of Oceanites (G. W. Tyrell, 1926)

* Taneda's "Pyroxene-Feldspar Type" (PF Type) (S. Taneda, 1966). Ref. to Table 1.

** The sum $ab' + 2di' + 2.3hy'$ of T. F. W. Barth (1936). The term "Pyroxene-Feldspar Index" (PFI) is proposed here by the present writer.

*** Belonging to the "calc-alkaline rock suite".

はじめ、

$ab' + 2di' + 2.3hy' > 123$ の場合に輝石が先に晶出をはじめめる。

そして $ab' + 2di' + 2.3hy' = 123$ がその境界を示すことになる。筆者は $ab' + 2di' + 2.3hy'$ の値を Pyroxene-Feldspar Index (略称 PF Index または PFI) と呼ぶことにしている (新提案)。

さて、日本、Hawaii その他世界各地のトレイ岩質ないし少数のカルクアルカリ岩質の玄武岩または玄武岩マグマの PF 型と PFI とを表示すると Table 3 (Fig. 1) の通りである。

C型の PFI は 87, 94, 101, 101, 106, 108, 109,

110, 112, 115, 117, 124, 131 で 12個中11個が 123 より小さく、他の 1 個も 123 に近い。これに対して B 型* の PFI は 115, 118, 122, 124, 126, 127, 127, 132, 135 で 123 ± 5 の範囲に 6 個、これよりやや小さいものの 1 個、大きいもの 2 個である。2 個の A 型の PFI は 129 と 130 で、上記の B 型の PFI の範囲内にはあるが何れも 123 より (更に $123 + 5$) よりも大きい。

それ故、大局的に、C 型の $PFI < 123 \pm$ 、B 型の $PFI \approx 123 \pm$ であり、更に A 型の $PFI > 123 \pm$ であるとみることができるわけで、Barth の方法によっても、"C 型は「長石が先に晶出をはじめめる型、B 型は「長石」と「き石」が略々同時に晶出する型で、A 型は

* Table 1 の B(A) は B 型であるが、A 型の傾向を示すもので、B (C) は B 型であるが C 型の傾向を示すものの意味である。

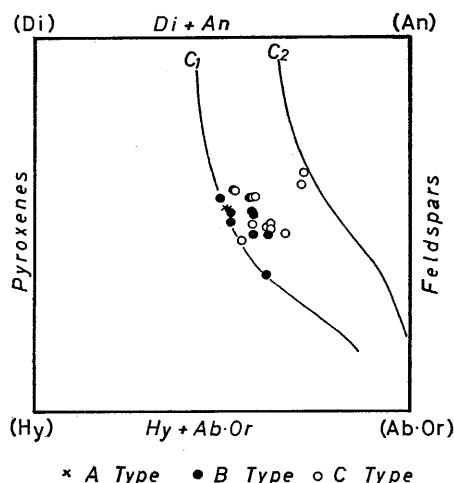


Fig. 1. Showing the PF relations (PF Types) of basalts listed in Table 3. The curves c_1 and c_2 are the boundary of the “tholeiitic and calc-alkaline rocks’ area” (Ref. to S. TANEDA, 1966).

「き石」が先に晶出をはじめる型である”といえるわけで、筆者の考えは妥当であることが分る。PFIの境界値が123を中心として若干の巾をもつのは、天然の岩石の組成・生成条件は複雑であり、特に生成条件が或る範囲をもっているためであって、主に水蒸気圧の範囲に対応するであろう。それ故筆者の成因論（アルカリ岩マグマの生成・固結はトレイ岩マグマに較べて高水蒸気圧・低温で行われる）によれば、アルカリ岩類の生成については、PFIの境界値を簡単に123前

後と考えることが許されないし、PFIそのものの意義の考察が必要であることになる（本篇では立入って述べない）。

IV. 玄武岩の熔融実験

更に玄武岩について熔融実験により、PF型と、マグマから先に晶出をはじめる鉱物（長石であるか、き石であるか）との関係を明らかにすることが望ましいが、試料は上述の理由から、トレイ岩質玄武岩を用いることにする。この目的をもって、鹿児島県川内市平の山の斑晶の少い玄武岩*（ SiO_2 48.54, Al_2O_3 19.85, Fe_2O_3 4.38, FeO 4.80, MnO 0.35, MgO 7.08, CaO 12.28, Na_2O 1.26, K_2O 0.96, H_2O (+) & (-) 0.28, Total 99.92: 種子田, 1966; TANEDA, 1966)の加熱融解実験を行った。

1. 検鏡用薄片の加熱融解

検鏡用薄片をスライドガラスから剥ぎとって、これを試料とし、白金電気炉で $1080^\circ \sim 1155^\circ \text{C}$ ($\pm 20^\circ$) に加熱した。試料を白金線に吊して炉内で加熱し、一定温度で一定時間保った後、炉外に出して放冷する方法を採った。結果は (Table 4) のとおりである。

2. 粉末の加熱融解

岩片を 200 メッシュ以下の粉末にし、更にメノウ乳鉢で摺りつぶして、これを加熱融解した。白金電気炉を用い、試料 holder としては磁性ルツボまたは銀・パラジウム箔を用いた (Table 5)。

Table 4. Heating of thin section of Hiranoyama basalt (PF Type C, PFI 94~87)

1080°C	22 hours	Plagioclase no change Pyroxene grains → orange~darkbrown in colour, partly adhere to each other. Iron ore minerals → increase in number of crystal grains and grain size.
1120°C	18 hours	
1155°C ($\pm 20^\circ$)	18 hours	Whole part of section → melt, slightly brownish *glass with scattered plagioclase needles and iron ore granules.
*Colour in thin section under the microscope		

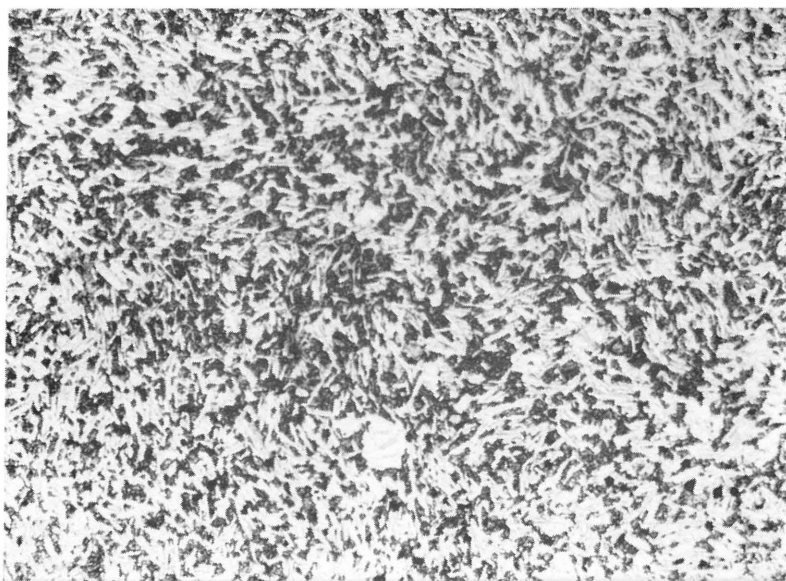
Table 5. Heating of powders of Hiranoyama basalt (PF Type C, PFI 94)

1175°C	24 hours	Whole powders → melt, slightly brownish *glass with plagioclase needles ~laths, scattered iron ore grain and many gas pores.
1200°C ($\pm 15^\circ$)	24 hours	

* Colour in thin section under the microscope.

* Olivine-augite basalt (Olivine-bytownite basalt in the previous paper (S. TANEDA, 1966)).

A



B

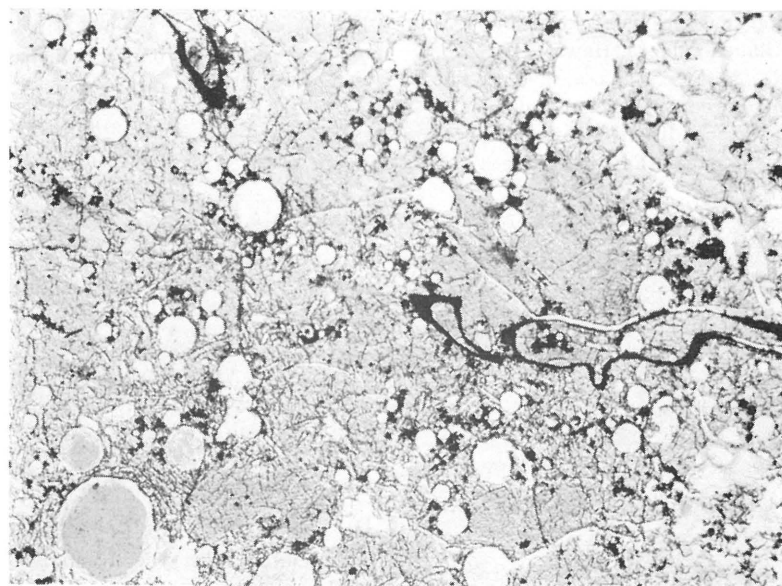


Fig. 2. Photomicrographs of thin sections. Open nicol, $\times 28$.

- A. Showing the groundmass of the basalt from Hiranoyama, mainly composed of plagioclase (laths), clino-pyroxenes and iron ore minerals. Grayish granular part is largely clino-pyroxene.
- B. Showing small~cryptocrystalline plagioclase laths or needles crystallized in the melt of the powder of the Hiranoyama basalt. The powders were heated for 24 hours at 1200°C in an electric furnace (Ref. to Table 5).

Small grains (black): iron ore minerals, matrix (gray): slightly brownish glass.

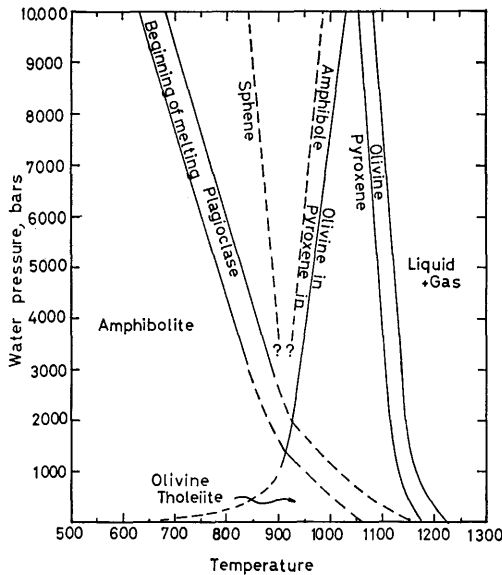


Fig. 3. Projection of the natural olivine tholeiite water system using data on 1921 lava, Kilauea caldera, Hawaii (H. S. YODER, JR., & C. E. TILLEY, 1962). The relation between pyroxene and plagioclase at dry condition is to be noted in the present paper (Ref. to Table 3)

1, 2 の実験は何れも長石が、き石よりも高温迄熔け残り、また熔融体から先に晶出しはじめることを示していると考えられる。この加熱融解実験に用いた試料(平の山玄武岩)は PF 型が C 型(PFI は 94~78)であるので、前述(Ⅲ)の筆者の考えが成立つことを 1 部実証したことになる。

3. YODER および TILLEY の実験

玄武岩類の熔融実験として注目されるのは YODER および TILLEY の dry~hydrous な条件(0~10Kb の水蒸気圧)のもとでの実験結果である(Fig.3)。これは岩石学上示唆を与えるところが多いが、今特に注意を向けたいのは、dry の場合、トレイ岩質玄武岩のき石が長石よりも僅かながら先に晶出をはじめる場合である。この実験に用いた試料は Kilauea の 1921 年熔岩で、PF 型は B(A) 型(PFI は 127)であるので、これもまさに前項(Ⅲ)で述べたことを裏付ける事実であると考えられる。

V. ま と め

火成岩の Pyroxene と Feldspar の関係、特に “PF

型”と “PFI”(新語提唱)との関係を検討することの意義と、それによって、先に筆者が組立てた “PF 系”の相図(Fig. 4; 種子田, 1966; TANEDA, 1966)が、玄武岩質岩石・マグマの成因考察に有効であることを明らかにし、更に玄武岩の加熱熔融実験を行った結果、一応このことが実証された。少くとも、このことに関する限り、YODER および TILLEY (1964) の実験も全く筆者の論を支えるものであるといえる。

本篇が、筆者の「マグマの生成、固結における蒸気圧の重要性」に関する論述; アルカリ岩—高水蒸気圧説など(種子田, 1966; TANEDA, 1966)を理解する一助となれば幸である。最近ようやく、この方面に研究者の関心が向いて来たことは喜びとするところである。

最近の久城・庄野・秋本の実験(演旨, 1968)によると、Lherzolite の融解が、hydrous な条件のもとでは anyhydrous な条件の場合にくらべて著しく低い温度で起るという。これは十分に推察されていたところで、筆者の「Pyroxene-Feldspar 関係の検討結果を根拠の一つとして出発・発展したところの“水蒸気圧重視の岩石成因論”」の展開領域に包含される問題として考察されるべき課題の一つであろう。

吉村豊文教授記念のために謹んでこの小論を公にする次第である。

1968-7-9 済州島へ発つ日。

引 用 文 献

- T. F. W. BARTH (1936): The crystallization process of basalt. *Amer. Jour. Sci.*, **31**, 321-351.
 DALY, R. A. & BARTH, T. F. W. (1930): Dolerites associated with the Karroo system, South Africa. *Geol. Mag.*, **67**, 97-110.
 HOLMES, A. & HARWOOD, H. F. (1929): The tholeiite dikes of the north of England. *Min. Mag.*, **22**, 1-52.
 久野久 (1954): 火山及び火山岩. 岩波.
 KUNO, H., Yamasaki, K., Iida, C. and Nagashima, K. (1957): Differentiation of Hawaiian magmas. *Jap. Jour. Geol. Geog.*, **28**, 179-218.
 KUNO, H. (1960): High alumina basalt. *Jour. Petr.*, **1**, 121-145.
 久城育夫・庄野彦彦・秋本俊一 (1968): 高圧下にお

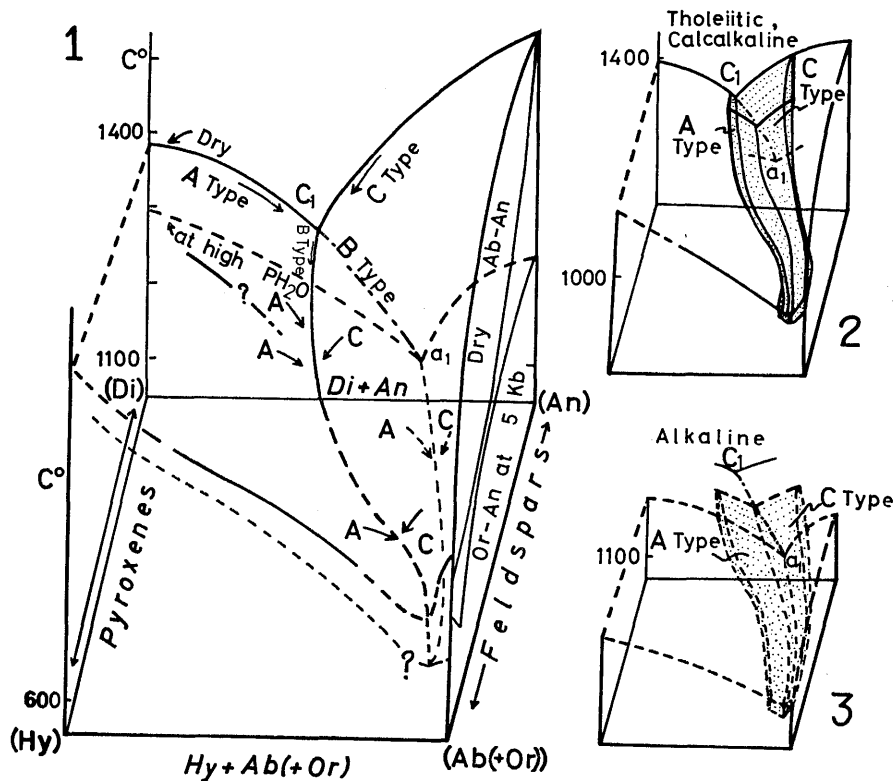


Fig. 4. Schematic diagram showing the genetical relations between three PF types (A, B and C).

c_1 "Cotectic-like line" at low vapour pressure.

a_1 "Cotectic-like line" at high vapour pressure (corresponding to 5 K bars approx. in the Di-An system).

In this diagram the vapour pressure relation between "Alkaline rocks" and "Tholeiitic-Calcalcaline rocks" is also shown. Alkaline rocks crystallize at the higher vapour pressures and tholeiitic-Calcalcaline rocks at the lower vapour pressures. After S. TANEDA, 1966.

ける Peridotite nodule の融解 (演旨). 火山, 第 2 集, 13, 53.

MACDONALD, G. A. (1949): Hawaiian petrographic province. *Bull. Geol. Soc. Amer.*, **60**, 1541-96.

and Katsura, T. (1964): Chemical composition of Hawaiian lavas, *Jour. Petr.*, **5**, 82-96.

種子田定勝 (1966): マグマの生成・固結における蒸気圧の重要性. 岩鉱, **56**, 1-20.

TANEDA, S. (1966): The petrogenetic Significance of the vapour pressure in magmas. *Mem. Fac. Sci., Kyushu Univ.*, [D], **17**, 311-330.

TYRELL, G. W. (1926): *The principles of petrology*.

—— and SANDFORD (1933): *Proc. Roy. Soc.*

Edin., **53**, 312.

VINCENT, E. A. (1950): The chemical composition and physical properties of the residual glass of the Kap Daussey tholeiite dike, east Greenland. *Min. Mag.*, **29**, 46-62.

WAGER, L. R. and DEER, W. A. (1939): Geological investigations in East Greenland (III). *Med. on Grönland*, **105**, 1-352.

WASHINGTON, H. S. (1922): Decan traps and other plateau basalts. *Bull. Geol. Soc. Amer.*, **33**, 797.

YODER, H. S. and TILLEY, C. E. (1962): Origin of basaltic magmas. *Jour. Petr.*, **3**, 342-532.