



岩鉦教授

岩石学 担当：道林克禎

春学期

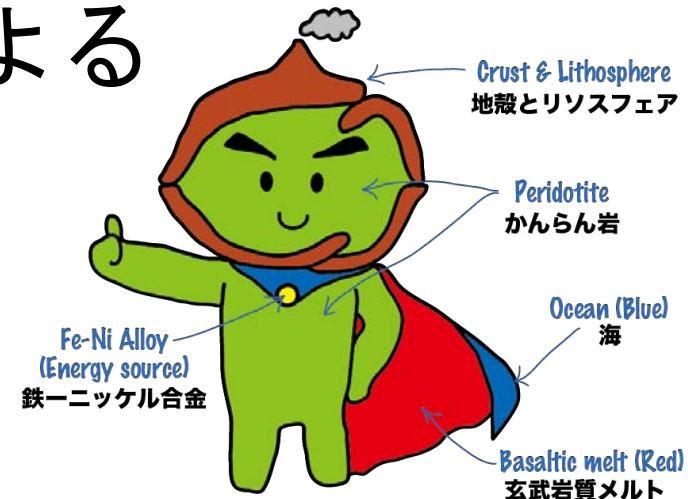
月曜日 3 時限 13:00-14:30



第5回 火山岩の分類と 全岩化学組成による マグマ系列



名古屋大学
NAGOYA UNIVERSITY



MANTLE BOY
マントル君

造岩鉱物と火成岩の分類

輝石は普通輝石, 角閃石は普通角閃石

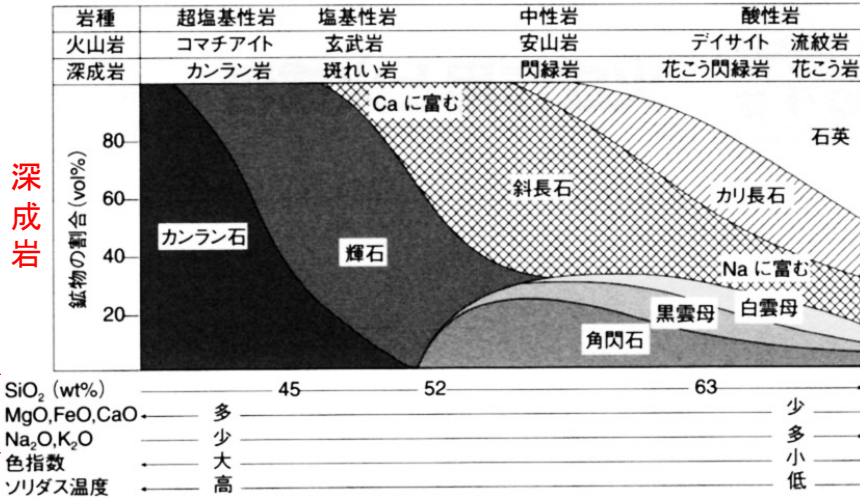


図 4.1 火成岩の分類

(http://en.wikipedia.org/wiki/Igneous_rock: 2013/01/08 閲覧)

玄武岩 (basalt), デイサイト (dacite), 斑れい岩 (gabbro), 流紋岩 (rhyolite).

岩石学 (榎並, 2013, 共立出版)

輝石は普通輝石, 角閃石は普通角閃石

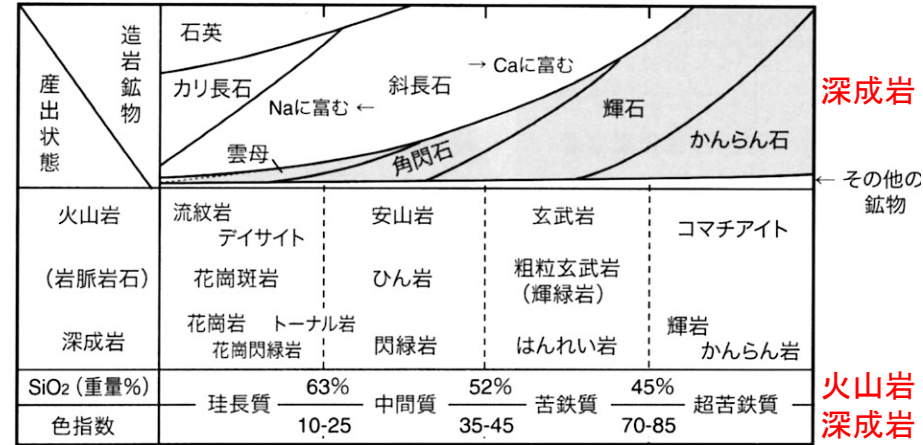


図 2.13 非アルカリ岩系列火成岩の分類

網掛けの部分は有色鉱物 (苦鉄質鉱物), 色指数の境界値は大まかな目安.

地球・環境・資源 (高木ほか, 2019, 共立出版)

深成岩は主に鉱物の集合体
→ 造岩**鉱物**の種類と量で分類

火山岩は冷却によって鉱物とガラスが混在する集合体

→ (1) **全岩化学組成**で分類

→ (2) **全岩化学組成からノルム鉱物組成**を計算して分類

(1) 全岩化学組成による

火山岩の分類

[参考] 火山岩の分類と特徴

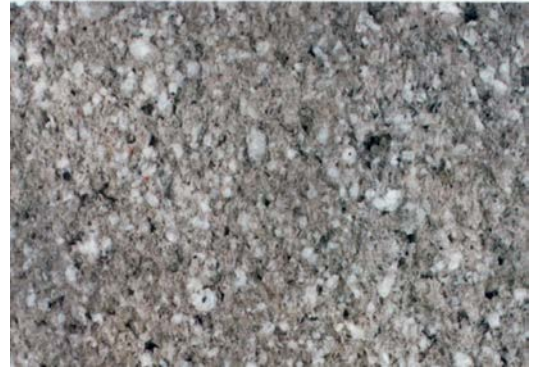
安山岩 Andesite



デイサイト Dacite



流紋岩 Rhyolite



玄武岩 Basalt



バイサニトイド Basanitoid



表 2.3 火山岩の分類 (都城・久城, 1975)

	苦鉄質火山岩	中間質火山岩	珪長質火山岩	
苦鉄質鉱物の容積%	70	40	20	
長石	Caに富む斜長石	中性の斜長石	Naに富む斜長石, カリ長石 斜長石 > カリ長石	斜長石 < カリ長石
長石とシリカ鉱物を含む	玄武岩	安山岩	デイサイト	流紋岩
長石	Caに富む斜長石	中性—Naに富む斜長石, カリ長石	Naに富む斜長石, カリ長石	
長石に富むがシリカ鉱物も準長石も含まない	玄武岩	粗面安山岩 ミュージアライト	粗面岩	
準長石を含む	バイサニトイド カンラン石ネフェリナイト カンラン石リューシタイト メリリタイト	テフライト ネフェリナイト リューシタイト	フォノライト	

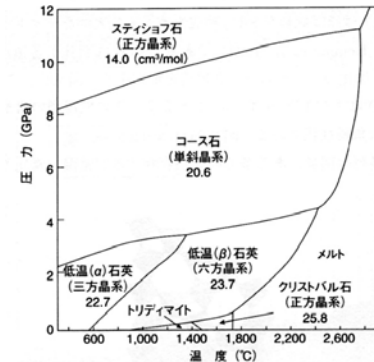


図 2.3 SiO₂ 鉱物の相図 (Swamy et al. (1994) に加筆)

シリカ鉱物の相図

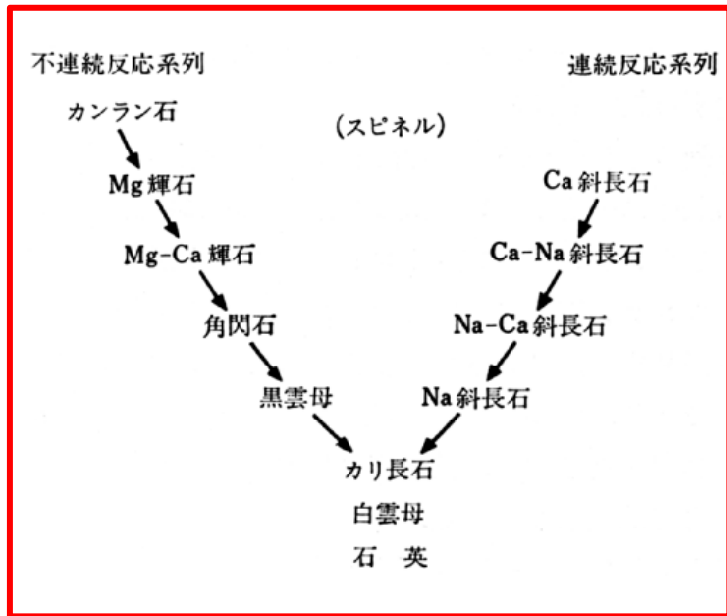
岩石学

(榎並正樹, 共立出版, 2013)

色指数で、苦鉄質火山岩、中間質火山岩、珪長質火山岩に三分されるおのおのの群は、さらに珪長質鉱物の種類によって、長石とシリカ鉱物を含む場合 (ソレアイト系列、カルクアルカリ系列)、長石に富むがシリカ鉱物も準長石も含まない場合 (ソレアイト系列やアルカリ系列の一部)、そして準長石を含む場合 (アルカリ系列) に、三分される。

火山学 (吉田ほか, 共立出版, 2017)

反応原理(Reaction Principle)と結晶分化作用



Bowenの反応原理 (1928)

火山および火山岩 (久野久, 岩波全書, 1954)

初生的に存在していたマグマが上昇冷却する過程で晶出する鉱物と残液の間に起こる分離の程度がさまざまであるために、両相が起こす反応の程度に差異が生じ、分化作用の過程で多様な化学組成のメルトができること「岩石学」(榎並正樹, 2013)からの引用

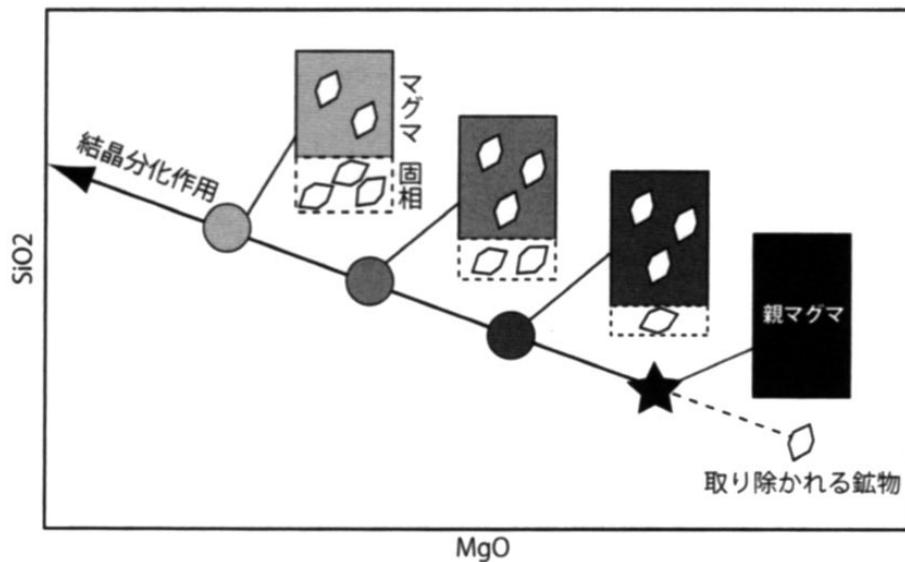


図 4-5 結晶分化作用の模式図

ある組成の鉱物がマグマから出して、取り去られることでマグマの化学組成はその鉱物の成分に関して薄まっていく。実際には、同時に複数の鉱物が晶出することもあるので、結晶分化作用のトレンドはより複雑になる。

地球の科学 (佐藤暢, 2013, 北樹出版)

マグマから造岩鉱物が生成する温度と それらの密度の違い

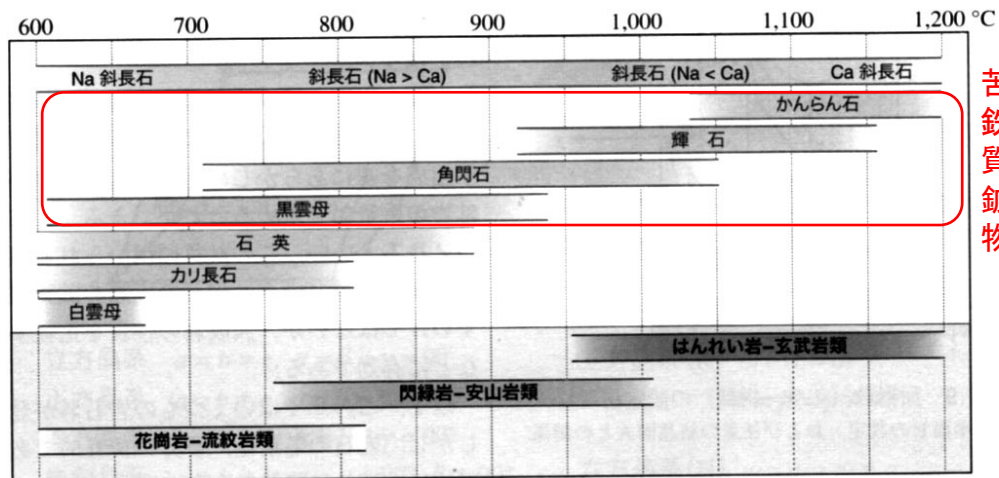


図 2.10 マグマから造岩鉱物が生成する順序

各データは実験によって得られたものであるが、実験条件により、温度範囲の両端にはある程度の変化幅がある。

地球・環境・資源 (高木ほか, 共立出版, 2019)

苦鉄質鉱物

火山学
(吉田ほか, 共立出版, 2017)

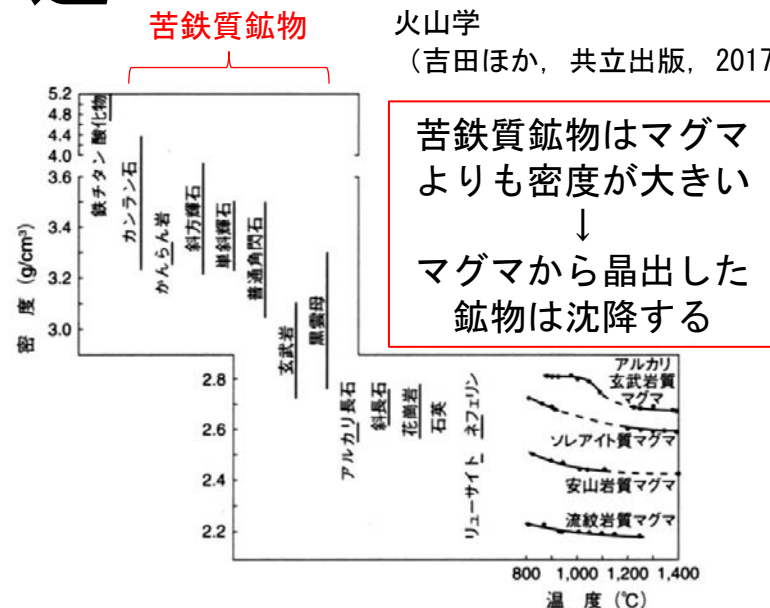
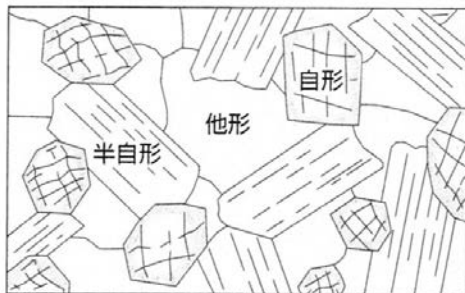
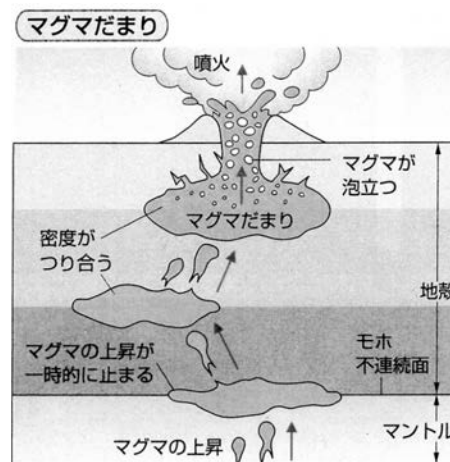


図 2.17 マグマと主要鉱物の密度とその温度変化 (Murase and McBirney, 1973; Best, 2003)

晶出順序



鉱物の本来の結晶の形(自形)をしているものが早期に晶出したと考えられる。早期に晶出する場合は周囲が固化していないため自由に結晶が成長できるからである。晩期に晶出するものほど周囲の鉱物のすき間を埋める形でしか成長できず、不規則な外形(他形)を示す。鉱物は晶出順序が決まっているため石英などは自形をとりにくい。(結晶分化作用 ▶ P.26)

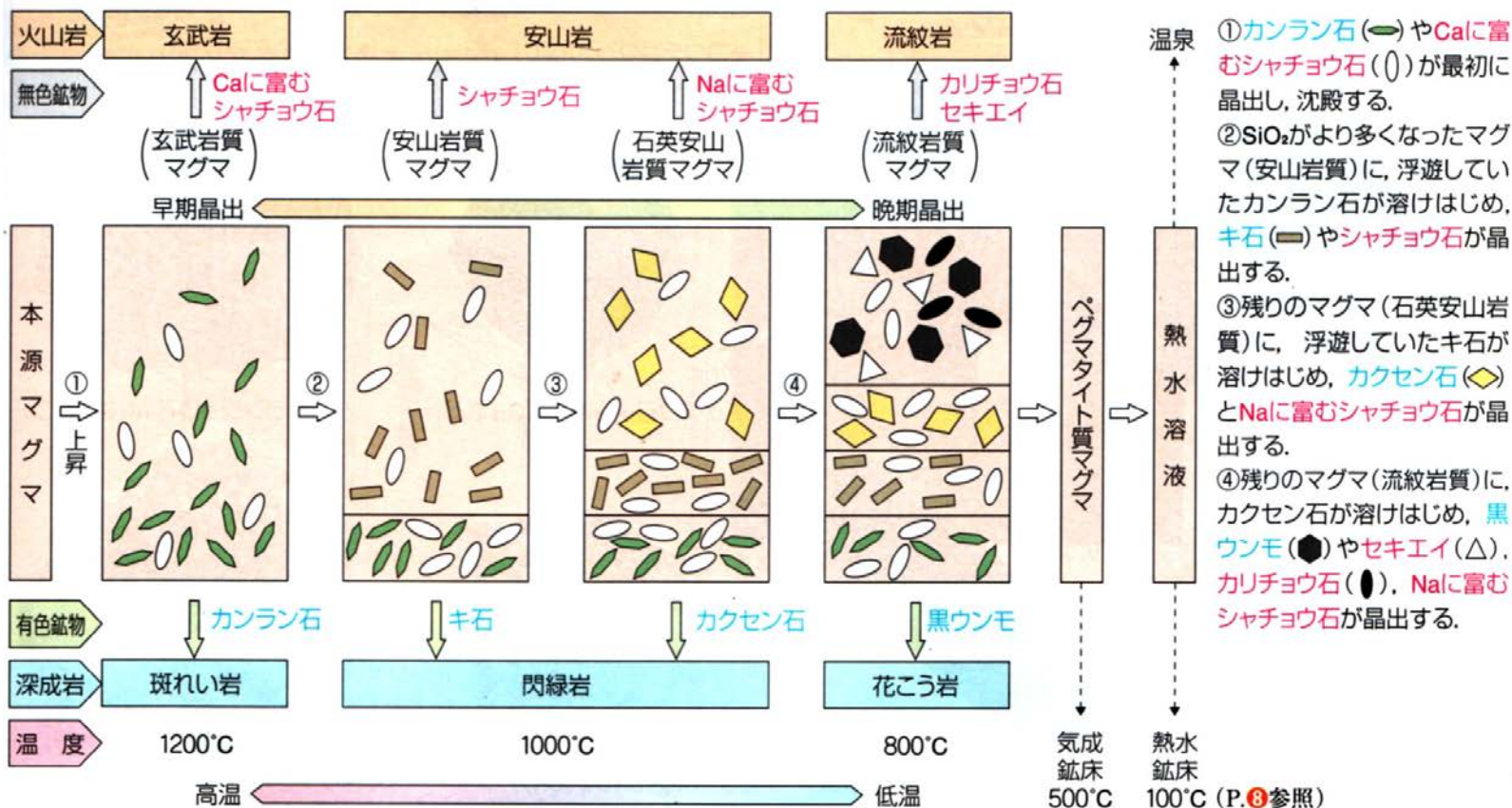


浜島書店編集部 (2015) 「ニューステージ新地学図表」 浜島書店

マグマの化学組成の変化：結晶分化作用

マグマが固化するときは、特定の順に鉱物が晶出する（前のスライド）ため残液のマグマの化学組成は変化していく。これを結晶分化作用という。（ただし、結晶分化作用とは別の機構も存在する）

2 マグマの結晶分化作用と火成岩のできる過程



総アルカリ量($\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$)と総 SiO_2 量に基づく火山岩の分類

もっとも基本的な方法でTAS(Total Alkali Silica)法という

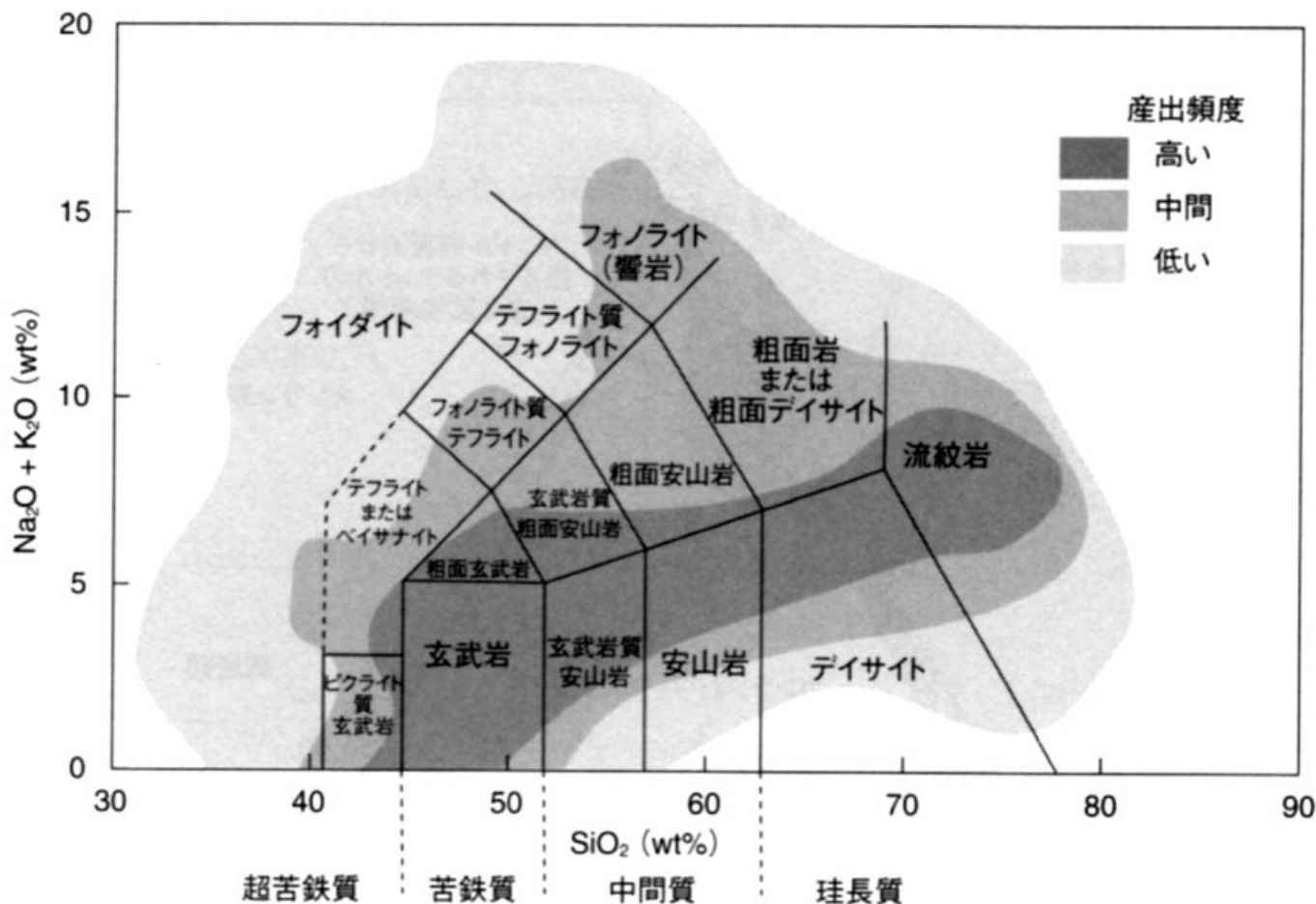


図 4.3 SiO₂-(Na₂O+K₂O) 図における火山岩の分類 (Le Bas and Streckeis, 1991)

火山岩の組成と産出頻度の関係は、Le Maitre (1976) のデータをもとに Middlemost (1997) が描いたものを引用。

火山岩のマグマ(岩石)系列

アルカリ岩系と非アルカリ岩系

ソレイト(岩)系(TH)とカルクアルカリ(岩)系(CA)

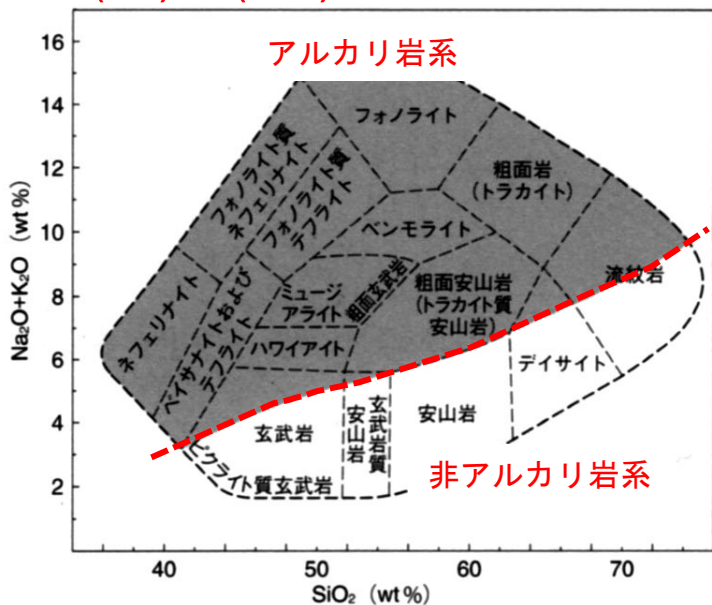


図 2.12 火山岩の分類 (Cox et al., 1979; 藤井, 2003)

点線内の火山岩の組成領域のうち、網かけ部分がアルカリ岩系の領域で、かけていない部分が非アルカリ岩系の領域である。

(TH) ソレイト(岩)系: マグマの結晶分化作用において SiO_2 はあまり増加しないが $\text{FeO} + \text{Fe}_2\text{O}_3$ が増加する系列

酸素フガシティー(熱力学的な酸素分圧)が低く、マグマ中の鉄は2価の状態が存在し珪酸塩鉱物として SiO_2 とともに消費される

(CA)カルクアルカリ(岩)系: マグマの結晶分化作用において残液は SiO_2 や $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ に富むようになり、 $\text{FeO} + \text{Fe}_2\text{O}_3$, MgO や CaO に乏しくなる系列

酸素フガシティーが高く、マグマ中の鉄は3価の状態が多く存在し磁鉄鉱として消費(晶出)されるので残液に SiO_2 が富むようになる

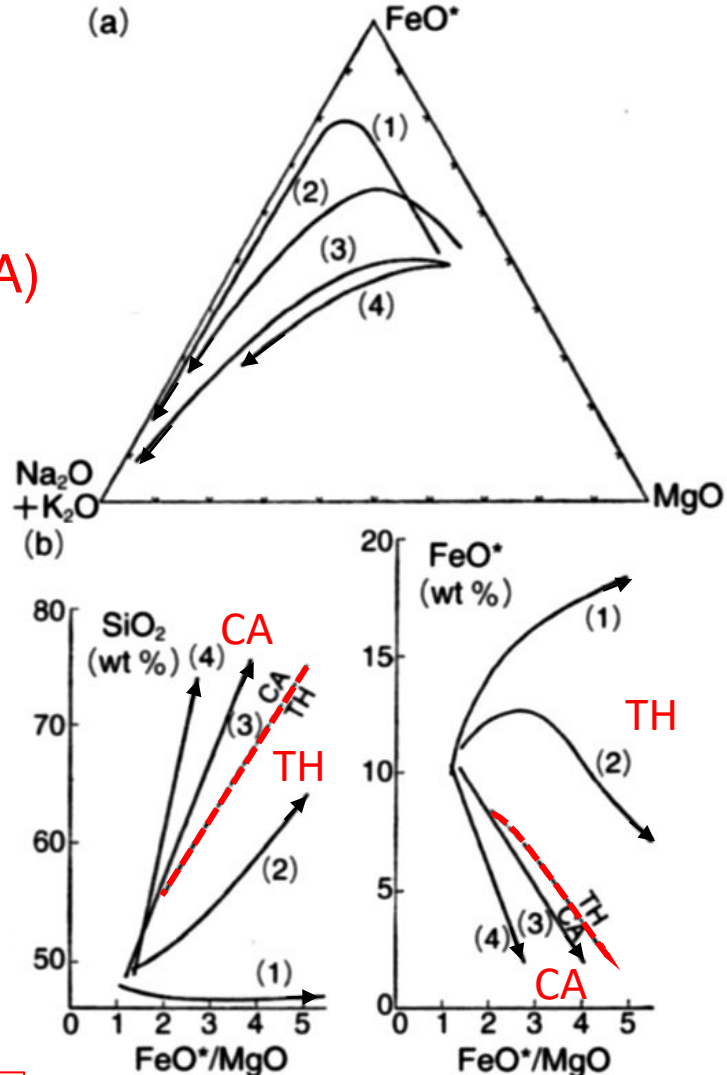
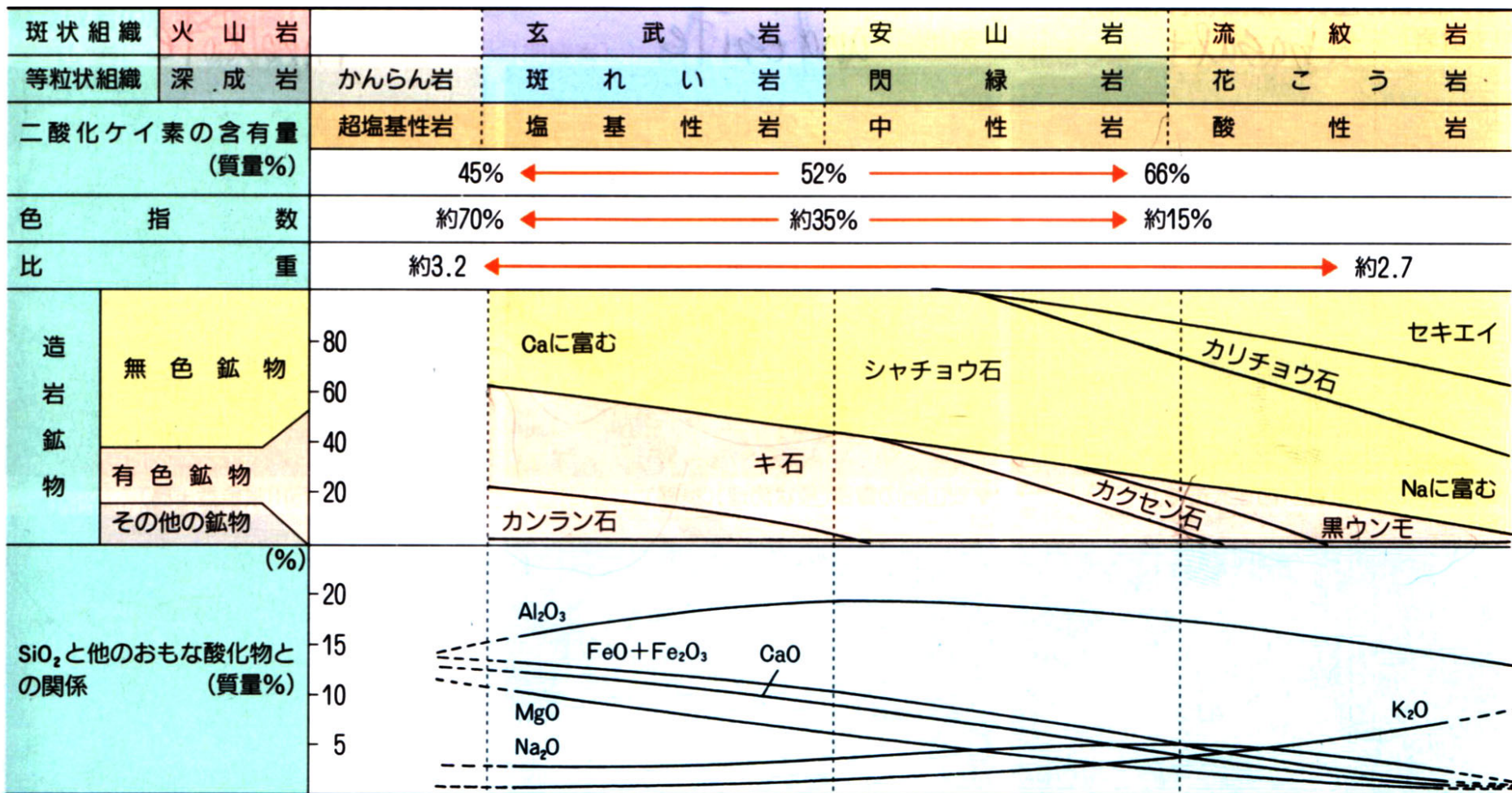


図 2.14 ソレイト(ビジョン輝石質)系列岩とカルクアルカリ(シソ輝石質)系列岩 (都城・久城, 1975)

(a) $\text{MgO}-\text{FeO}^*(\text{FeO}+0.9\text{Fe}_2\text{O}_3)-\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$ (MFA) 図。(b) ソレイト系列とカルクアルカリ系列の FeO^*/MgO の減少に伴う組成変化。(1) はスケルガード貫入岩体におけるマグマの組成変化トレンド、(2) と (3) は、それぞれ、伊豆箱根地域のビジョン輝石質(ソレイト)系列岩とシソ輝石質(カルクアルカリ)系列岩、(4) は天城山のシソ輝石質(カルクアルカリ)系列岩の組成変化トレンドを示す (Kuno, 1968). $\text{FeO}^* = \text{FeO} + 0.9\text{Fe}_2\text{O}_3$.



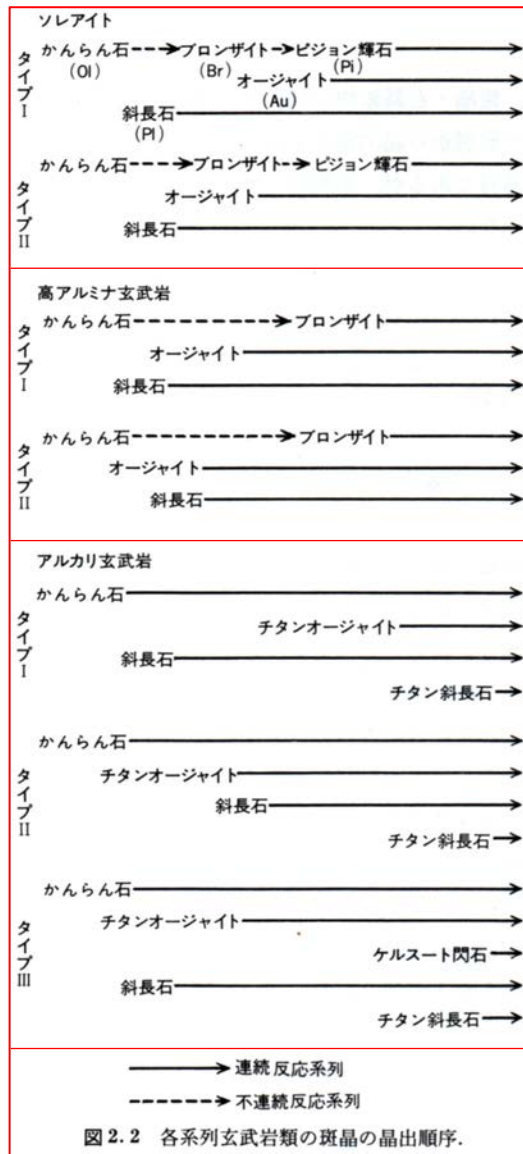
玄武岩類の主要鉱物組み合わせと各系列玄武岩類の晶出順序

表2.2 玄武岩類の主要鉱物組合せ.

	低アルカリソレアイト	高アルミナ玄武岩 高アルカリソレアイト	アルカリ玄武岩	カルクアルカリ玄武岩
斑 晶	アノーサイト ～バイトゥナイト かんらん石 (ビジョン輝石の反応縁) オージャイト 斜方輝石 (ビジョン輝石の反応縁) ビジョン輝石 ピコタイト	バイトゥナイト かんらん石 (ビジョン輝石の反応縁土) オージャイト 斜方輝石 (ビジョン輝石の反応縁土) ピコタイト	ラブラドライト かんらん石 オージャイト チタン磁鉄鉱, ケルスート閃石 ピコタイト	アノーサイト ～バイトゥナイト かんらん石 (斜方輝石, ビジョン輝石反応縁土) オージャイト 斜方輝石 ピコタイト
石 基	バイトゥナイト ～ラブラドライト オージャイト ビジョン輝石 シリカ鉱物	バイトゥナイト ～ラブラドライト かんらん石 (ビジョン輝石の反応縁土) オージャイト ビジョン輝石土 シリカ鉱物 アルカリ長石	ラブラドライト ～アンデシン かんらん石 オージャイト アルカリ長石 りん灰石, 沸石土 フロゴバイト土	バイトゥナイト ～ラブラドライト かんらん石 (斜方輝石反応縁土) オージャイト 斜方輝石 シリカ鉱物土 アルカリ長石
高 圧 メ ガ ト		ディオプサイド, かんらん石	かんらん石, ディオプサイド ～オージャイト, ケルスート閃石, チタン磁鉄鉱, スピネル, りん灰 石, アンデシン	
捕 獲 岩	はんれい岩, ドレライト	かんらん岩, 輝岩, はんれい 岩, 角閃岩	かんらん岩, 輝岩, はんれい岩, グラニュライト, 角閃岩, ホルン ブレンダイト	

斑晶はいずれも土(含まれる場合と含まれない場合がある)

日本の火成岩 (久城ほか, 岩波書店, 1989)



火山岩(噴出岩)

マグマが地表に噴出したり, 地表に近いところで急激に冷えて固まってできたもので, 鉱物粒は一般に小さく, ガラス質を含んでいたりする. 微晶質やガラス質を**石基**とよぶ. 火山ガスのぬけた穴があったり, 流状構造を示したりする. 地下の深部で晶出した大きな鉱物粒(**斑晶**)を含有していることが多い.

斑状組織

斑晶 石基

SiO₂-K₂O含有量に基づく沈み込み帯火山岩の分類

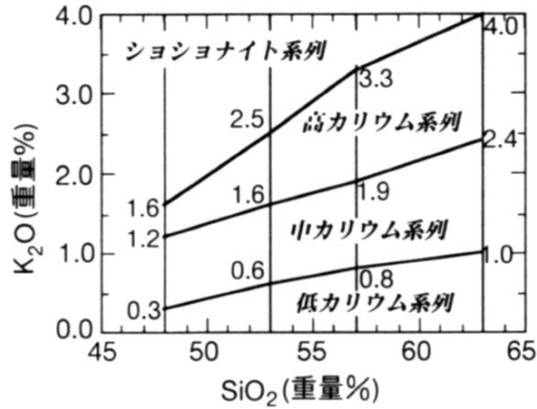


図 2.4 K₂O 含有量に基づく沈み込み帯火山岩の分類
図中の数字は境界の K₂O 量を表す。

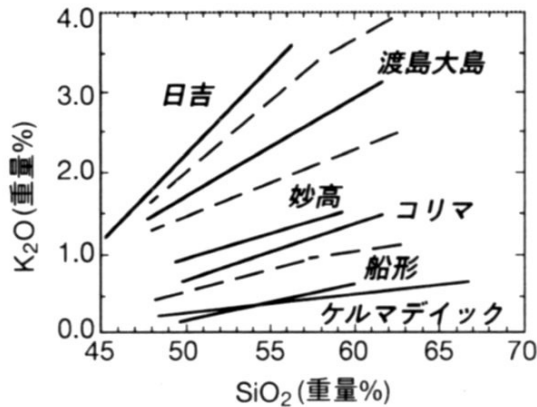
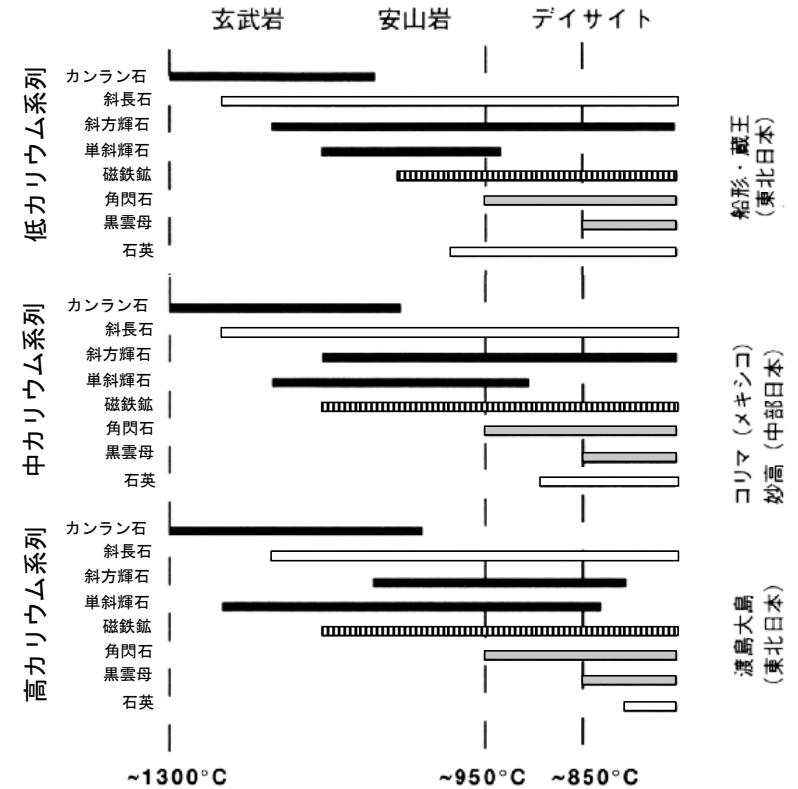
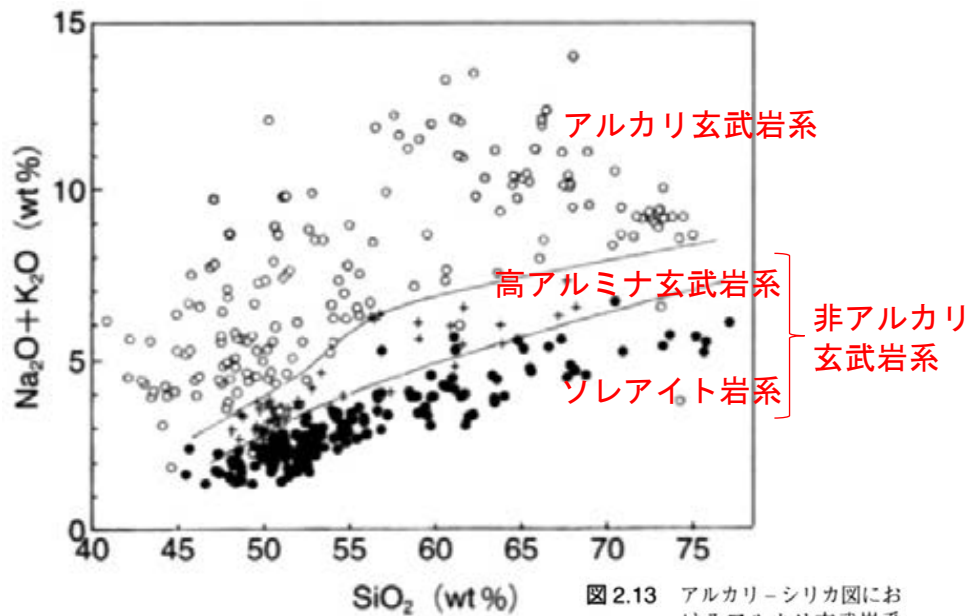


図 2.5 本書の分類法による、典型的な分化トレンド
破線は図 2.4 の各系列の境界を示す。



沈み込みのマグマ学 (巽好幸, 東京大学出版会, 1995)

[参考]日本列島およびその周辺地域における玄武岩質マグマの組成変化とその生成モデル (Kuno, 1966) (プレートテクトニクス以前の説)



白丸: アルカリ玄武岩系列岩, +: 高アルミナ玄武岩系列岩, 黒丸: ソレアイト系列岩.

白丸: アルカリ玄武岩系列岩, +: 高アルミナ玄武岩系列岩, 黒丸: ソレアイト系列岩.

火山学 (吉田ほか, 共立出版, 2017)

火山岩の化学組成は生成条件を反映している

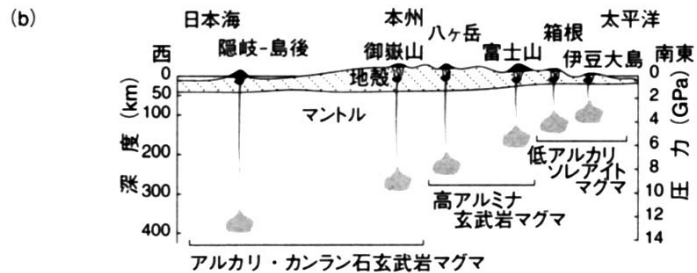


図 6.7 日本列島およびその周辺地域における玄武岩質マグマの組成変化とその生成モデル

(a) 低アルカリソレアイト, 高アルミナ玄武岩とアルカリカンラン石玄武岩の分布. (Kuno (1966) および Miyashiro (1974) をもとに編図) 実線 A-B および C-D は火山フロント (volcanic front) を示す.

(b) Kuno (1966) による第四紀島弧玄武岩マグマの生成モデル (一部加筆). このモデルでは, 海溝から大陸側へと斜めにのびる深発地震面にそって, 初生マグマが生成すると考えられている.

岩石学 (榎並正樹, 2013, 共立出版)

(2) 全岩化学組成から求められる

ノルム鉱物組成による

火山岩の分類

ノルム鉱物による火山岩の分類

CIPWノルム(CIPW norm)

火成岩の化学組成を、無水のマグマから低圧条件下で結晶化する代表的な鉱物種の量比で表したもの。この鉱物をノルム鉱物(または標準鉱物)とよび、実際の火成岩を構成する鉱物とは区別される。マグマ系列の議論などに有用。

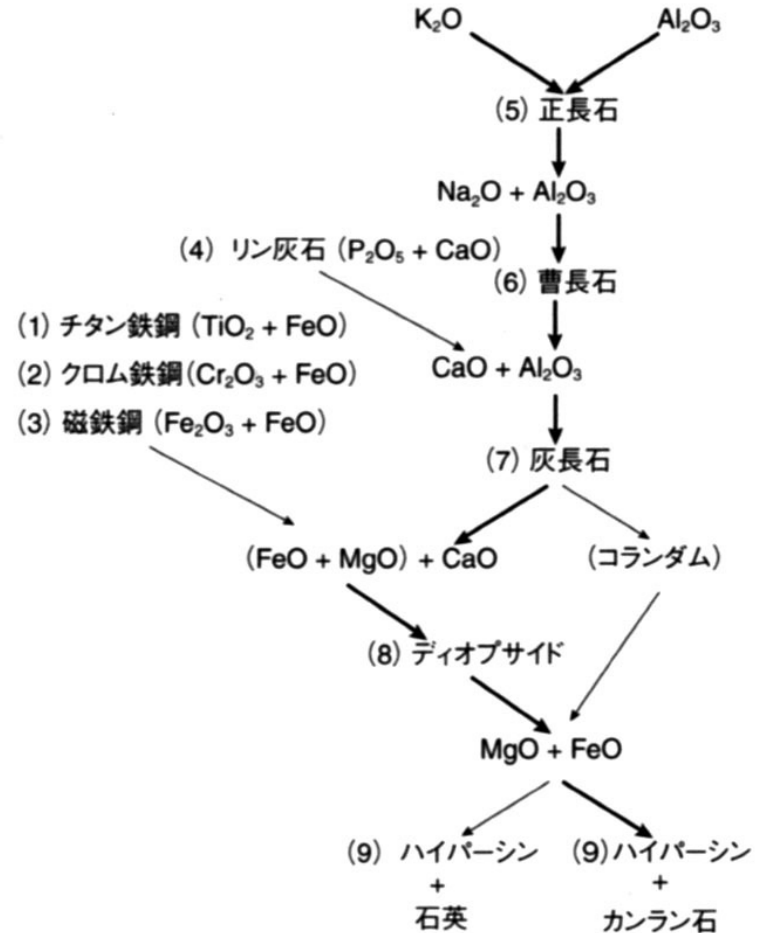
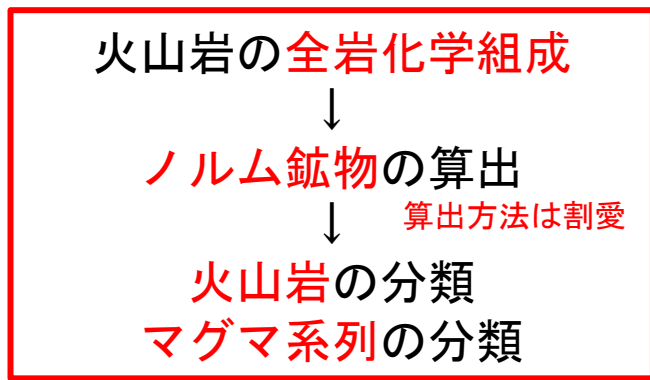
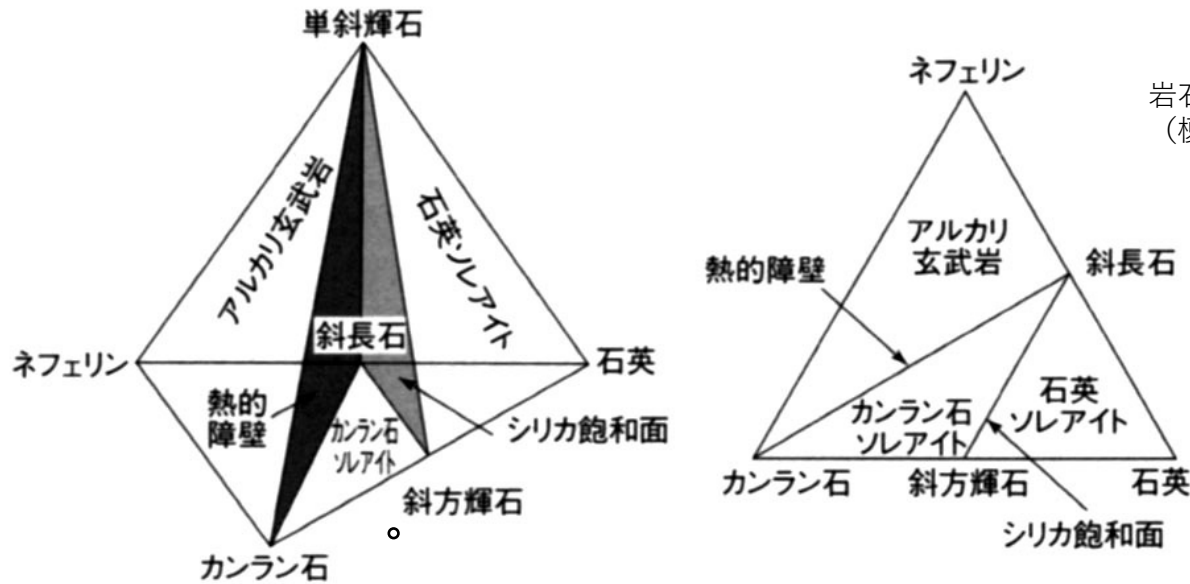


図 14.1 CIPW ノルムの主要成分計算の例

岩石学 (榎並正樹, 2013, 共立出版)

CIPWはノルム計算の方法を提案した4名の研究者の頭文字をつた表記である。
(Cross, W., Iddings, J.P., Pirsson, L.V., Washington, H.S.)

ノルム鉱物による玄武岩の分類



岩石学
(榎並正樹, 2013, 共立出版)

図 6.6 ノルム組成による玄武岩の分類 (Yoder and Tilley (1962) をもとに編図)

5種類 (ネフェリン, カンラン石, 斜方輝石, 単斜輝石, 石英) のノルム鉱物による玄武岩マグマの3つの系列

アルカリ玄武岩マグマ	=	カンラン石	+	単斜輝石	+	斜長石	+	ネフェリン
カンラン石ソレアイトマグマ	=	カンラン石	+	斜方輝石	+	単斜輝石	+	斜長石
石英ソレアイトマグマ	=			斜方輝石	+	単斜輝石	+	石英

カンラン石ソレアイトマグマからカンラン石・単斜輝石・斜長石を結晶分化させると残液の化学組成は石英ソレアイト領域に導かれる。石英が晶出しはじめる単斜輝石-斜方輝石-斜長石の平面をシリカ飽和面という。

カンラン石ソレアイトマグマとアルカリ玄武岩マグマは、カンラン石などが結晶分化しても互いのマグマ組成にはならない。従って、単斜輝石-カンラン石-斜長石の平面は2つの異なる本源マグマの境界であり、これを「臨界面」または「熱的境界」とよぶ。この境界面が、アルカリ岩と非アルカリ岩の境界となっている。