



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3回 全岩化学組成と 主要な造岩鉦物



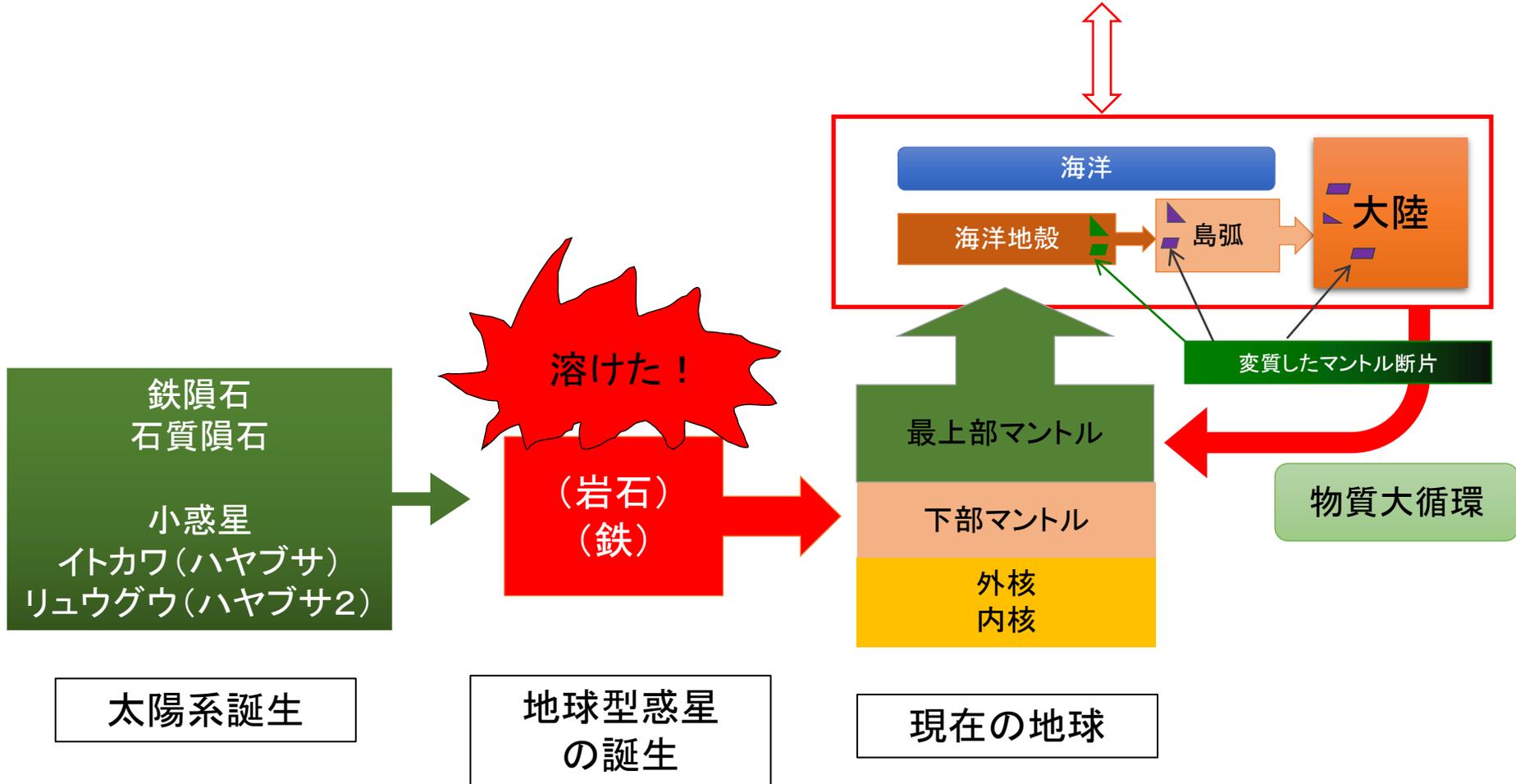
名古屋大学  
NAGOYA UNIVERSITY



**MANTLE BOY**  
マントル君

# 火成岩と地球物質大循環

地球史=熱史(冷却史)=火成岩の歴史



# 地球の層構造と元素分布

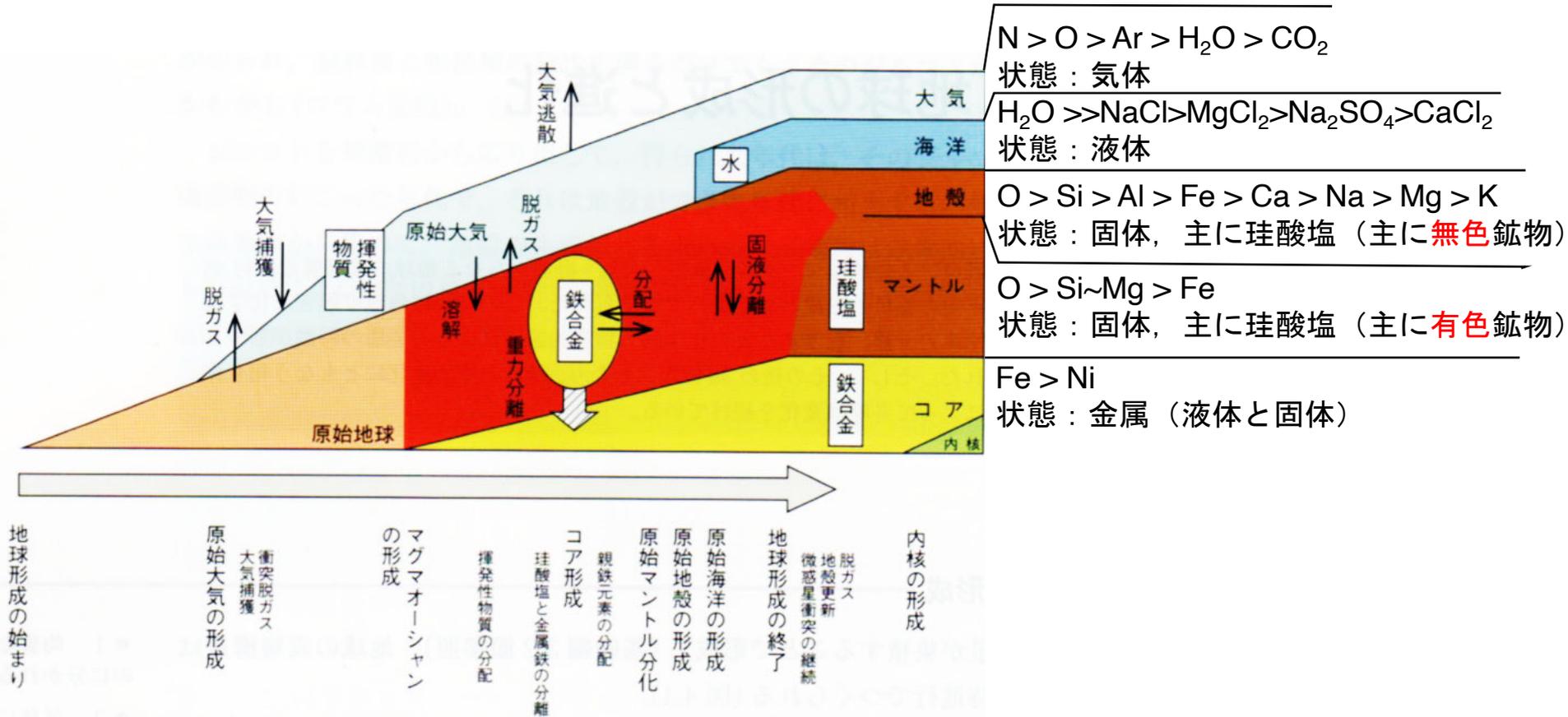


図 4.1 地球とその成層構造の形成の概念図 (阿部 1998 を改変)。地球断面の時間変化を模式的に表している。

西山忠男・吉田茂生 (2019) 「新しい地球惑星科学」, 培風館

# 地球を構成する元素の重量%

表 1.2 地球を構成する元素の重量 %

Mason の推定値を Washington, Niggli および Ganapathy と Anders の推定値と比較する。  
(Mason, 1966; Mason & Moore, 1982)

元 素	原子番号	Mason の推定値	Washington の推定値*	Niggli の推定値**	Ganapathy らの推定値***
Fe	26	34.63	39.76	36.9	35.98
O	8	29.53	27.71	29.3	28.65
Si	14	15.20	14.53	14.9	14.76
Mg	12	12.70	8.69	6.73	13.56
Ni	28	2.39	3.16	2.94	2.02
S	16	1.93	0.64	0.73	1.66
Ca	20	1.13	2.52	2.99	1.67
Al	13	1.09	1.79	3.01	1.32
Na	11	0.57	0.39	0.90	0.143
Cr	24	0.26	0.20	0.13	0.472
Co	27	0.13	0.23	0.18	0.093
P	15	0.10	0.11	0.15	0.213
K	19	0.07	0.14	0.29	0.017
Ti	22	0.05	0.02	0.54	0.077
Mn	25	0.22	0.07	0.14	0.053

\* *Am. J. Sci.* (5) 9, 361, 1925.

\*\* *Fennia* 50, No. 6, 1928.

\*\*\* *Lunar Science* 5, 256, 1974.

森本信男 (1989) 「造岩鉱物学」 東大出版会

地球は  $\text{MgSiO}_3$  の化学組成の輝石をつくる量の Si をもつ。しかし, Mg に加えた  $(\text{Mg,Fe})\text{SiO}_3$  珪酸塩をつくる場合は Si が不足してしまう。

実際には  $(\text{Mg,Fe})_2\text{SiO}_4$  の化学組成のカンラン石と輝石の2つの珪酸塩が形成されることでうまく調整されている。

$(\text{Mg,Fe})\text{SiO}_3$  (輝石) における陽イオンの比は1:1

$(\text{Mg,Fe})_2\text{SiO}_4$  (カンラン石) における陽イオンの比は2:1

地球を構成する元素の90% : Fe, O, Si, Mg (ほとんど核とマントル)

1%以上の存在度をもつ元素 : Ni, S, Ca, Al

0.1~1%の存在度をもつ元素 : Na, Cr, Co, P, K, Ti, Mn

その他のあるゆる元素の存在量は極少量, 全体の0.1%もしくはそれ以下。

地球はほぼ15種の元素で構成

地球の成層構造 (質量比) 地殻(0.4), マントル(68.1), 核 (31.5)

# 地球の地殻を構成する主要元素と主要造岩鉱物

表1 Mason(1966)による地球の地殻を構成する主要な元素の相対的な量比.

元素	重量比%	原子数比%	体積比%	イオン半径
O	46.6	62.6	93.8	1.40
Si	27.7	21.2	0.9	0.42
Al	8.1	6.5	0.5	0.51
Fe	5.0	1.9	0.4	0.74
Mg	2.1	1.8	0.3	0.66
Ca	3.6	1.9	1.0	0.99
Na	2.8	2.6	1.3	0.97
K	2.1	1.4	1.8	1.33
合計	98.5	99.9	100.0	

表2 重要な鉱物の地殻での存在度. (Wedepohl, 1971)

鉱物	化学式 (カッコ内は存在可能な元素群)	体積%
斜長石 Plagioclase	$(Ca^{2+}, Na^+)(Al^{3+}, Si^{4+})Al^{3+}Si^{4+}_2O^{2-}_8$ 無色鉱物	42
カリ長石 K-Feldspar	$(K^+, Na^+)Al^{3+}Si^{4+}_3O^{2-}_8$ 無色鉱物	22
石英 Quartz	$Si^{4+}O^{2-}_2$ 無色鉱物	18
角閃石 Amphibole	$(Na^+, \square)(Mg^{2+}, Ca^{2+}, Na^+)_2(Mg^{2+}, Al^{3+}, Fe^{2+}, Fe^{3+})_5(Al^{3+}, Si^{4+})_8O^{2-}_{22}(OH, F)_2$ 有色鉱物 (この化学式で表される角閃石は存在しない)	5
輝石 Pyroxene	$(Mg^{2+}, Fe^{2+})Si^{4+}O^{2-}_3, Ca^{2+}(Mg^{2+}, Fe^{2+})Si^{4+}_2O^{2-}_6$ 有色鉱物	4
黒雲母 Biotite	$K^+_2(Mg^{2+}, Fe^{2+})_{6-4}(Fe^{3+}, Al^{3+}, Ti^{4+})_{0-2}[Si^{4+}_{6-5}Al^{3+}_{2-3}O^{2-}_{20}](OH, F)_4$ 有色鉱物	4
マグネタイト Magnetite	$Fe_3O_4 (=Fe^{2+}O Fe^{3+}_2O_3)$ 不透明鉱物	2
イルメナイト Ilmenite	$FeTiO_3 (=Fe^{2+}O TiO_2)$ 不透明鉱物	
カンラン石 Olivine	$(Mg^{2+}, Fe^{2+})_2Si^{4+}O^{2-}_4$ 有色鉱物	1.5
アパタイト Apatite	$Ca^{2+}_5(P^{5+}O^{2-}_4)_3(OH, F, Cl)$	0.5

佐藤文衛・綱川秀夫(2018)「宇宙地球科学」講談社

## 有色鉱物と無色鉱物

苦鉄質(マフィック)鉱物

Mafic mineral

と

珧長質(フェルシク)鉱物

Felsic mineral

鉱物と体積%は森本信男(1989)「造岩鉱物学」(東大出版会), 道林が価数付き化学式を加筆.

# 宇宙存在度と岩石の全岩化学組成（主要元素組成）

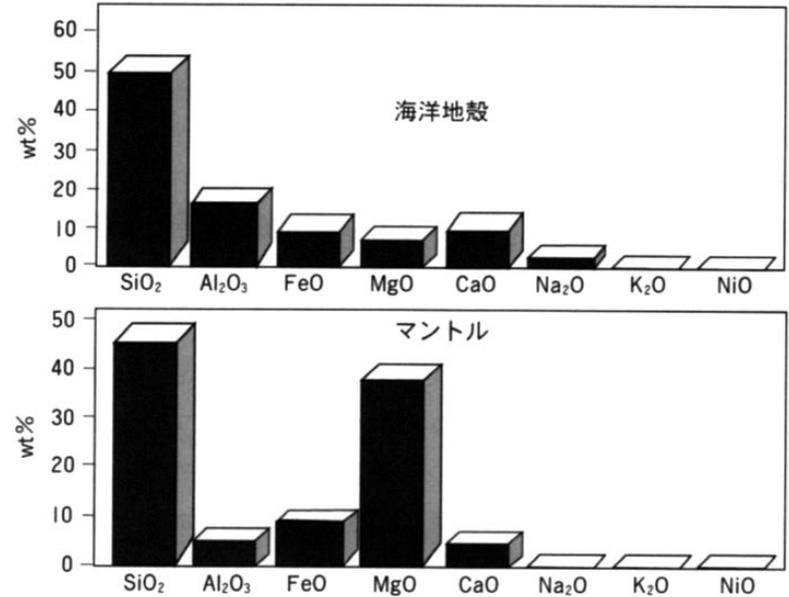
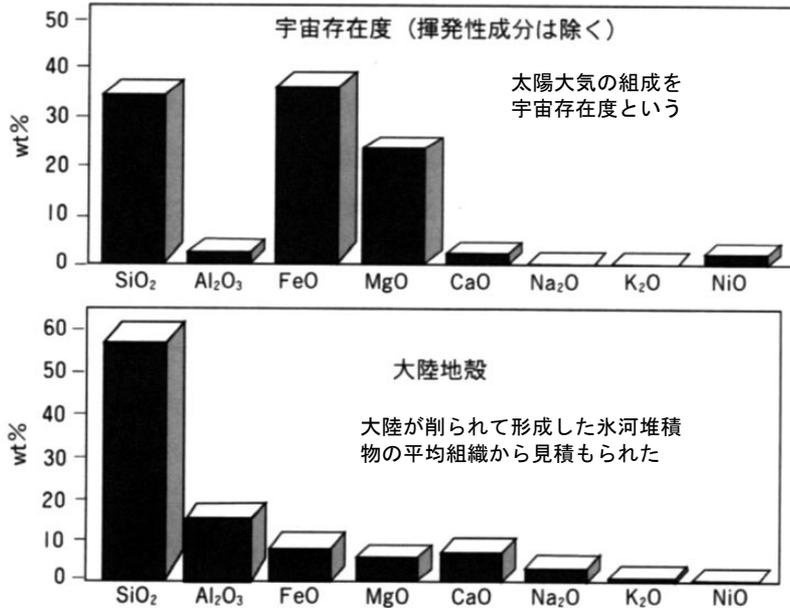


図 25 宇宙存在度と地殻・マントルの組成

表 9 上部マントルの化学組成

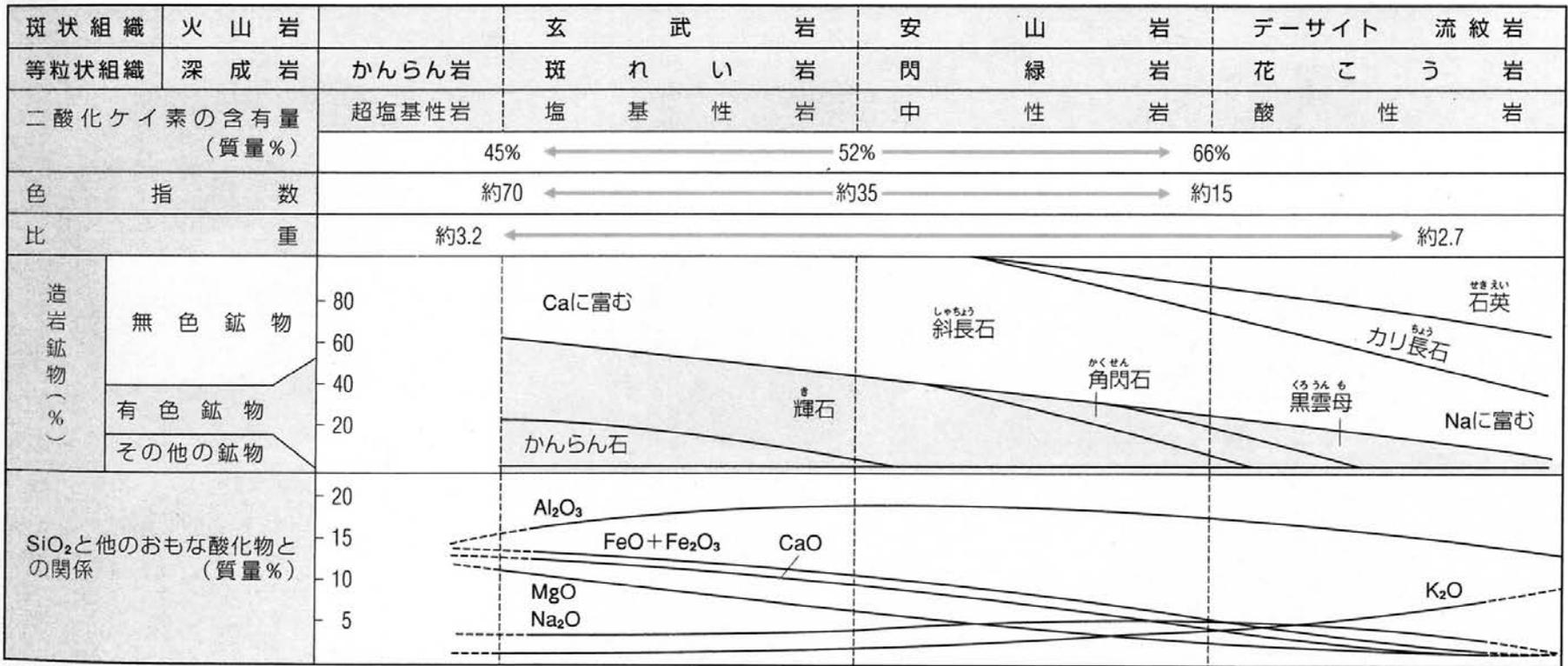
成分	大陸上部地殻	海洋地殻	マントル	石質隕石
SiO <sub>2</sub>	63.9	49.6	48.1	30.1
TiO <sub>2</sub>	0.6	1.5	0.1	0.2
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	15.2	17.1	3.0	2.9
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2.0	2.0	—	5.8
FeO	2.9	6.8	12.7	19.0
MnO	0.1	0.2	0.4	0.3
MgO	2.2	7.2	31.2	21.6
CaO	4.0	11.6	2.3	2.0
Na <sub>2</sub> O	3.1	2.8	1.1	0.4
K <sub>2</sub> O	3.3	0.2	0.1	0.1

数値は質量%，岩石の化学組成は酸化物の形で表されることが多い。

**全岩化学組成（主要元素組成）**  
SiO<sub>2</sub>, TiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, FeO,  
MnO, MgO, CaO, Na<sub>2</sub>O, K<sub>2</sub>O,  
P<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, H<sub>2</sub>O, CO<sub>2</sub>

# 火成岩の分類と 造岩鉱物および酸化物の変化

## ④ 火成岩の分類



かんらん石:  $(\text{Mg, Fe})_2\text{SiO}_4$  輝石:  $(\text{Ca, Mg, Fe, Al, Ti})_2(\text{Si, Al})_2\text{O}_6$  角閃石:  $\text{Ca}_2(\text{Mg, Fe})_4\text{Al}(\text{AlSi}_7\text{O}_{22})(\text{OH})_2$   
 黒雲母:  $\text{K}_2(\text{Fe, Mg})_6(\text{Al}_2\text{Si}_6)\text{O}_{20}(\text{OH})_4$  斜長石:  $m\text{NaAlSi}_3\text{O}_8 + (1-m)\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$  カリ長石:  $\text{KAISi}_3\text{O}_8$  石英:  $\text{SiO}_2$

# 改めて， 鉱物とは何か？

Pauling 「一般化学」 第3版(1970)

**鉱物**とは化学元素・化合物・その他の均一な材料（溶液や結晶性溶液体）で無機化学的な過程の産物として天然でできたものである。

**ほとんどの鉱物は固体**である。しかし水や**水銀**は液体の鉱物の例である。また空気やヘリウム（岩石やヘリウム井戸からとれる）は気体の鉱物の例である。（関・千原・桐山訳）

一般的には，大まかに次の3つの条件を満たした物質

1. 均質で，その**化学組成**は一定の化学式で表現される
2. 一定の**結晶構造**をもっている
3. 生物の関係しない**自然過程**によってできた**無機物**

# 鉱物種 (Mineral Species) の定義

(森本信男 (1989) 「造岩鉱物学」 東大出版会より抜粋)

一般的には、**鉱物種**は一定の化学式と結晶構造で定義され、一つの**鉱物名**が与えられる。もしこの両方、または一方が根本的に違う場合は、違う鉱物とされて違う名前が与えられる。

化学組成が違ってても、同じ結晶構造をもち**固溶体**を形成する場合は、違う鉱物とはみなされず、固溶体の命名法に従う。

化学組成が同じで**多形**関係にある鉱物は、その構造タイプが全く違っている場合は、別の鉱物として取り扱われ別の名前が与えられる。

# 主要な造岩鉱物と 1つの鉱物の鉱物名いろいろ

鉱物名	英語名	漢字	カタカナ	カタカナ漢字
斜長石	Plagioclase	斜長石	プラジオクレース	
カリ長石	K-Feldspar	加里長石	ケイフェルスパー	カリ長石
石英	Quartz	石英	クオーツ	
角閃石	Amphibole	角閃石	アンフィボール	
輝石	Pyroxene	輝石	パイロキシン	
黒雲母	Biotite	黒雲母	バイオタイト	
マグネタイト イルメナイト	Magnetite Ilmenite	磁鉄鉱 鉄鉄鉱	マグネタイト イルメナイト	チタン鉄鉱
カンラン石	Olivine	橄欖石	オリビン	カンラン石
アパタイト	Apatite	燐灰石	アパタイト	リン灰石

(赤字はよく使われる鉱物名)

これ以外の鉱物名も散見するので、英語名と化学組成から判断すること

# 参考：鉱物名の変化

(森本信男 (1989) 「造岩鉱物学」東大出版会より)

表 2.1 鉱物名の変化

主要な造岩鉱物や硫化鉱物の本書で用いた和名を次の文献に見られる和名と比較する(配列は英語のアルファベット順)。(族)とあるのは族名として用いられる鉱物名。

日本鉱物学会(片山信夫, 桜井欽一, 須藤俊男)鉱物学雑誌(1955-56) 2, 320-325, 426, 497-500, 同誌(1964) 6, 344-347.

『地学辞典』(1970 初版, 1979 第4版) 平凡社.

森本信男・砂川一郎・都城秋穂『鉱物学』(1975) 岩波書店.

本書	英語	漢字	鉱物学会 (1955-56), (1964)	地学辞典 (1979)	森本ら (1975)
アクチノライト	actinolite	透緑閃石(アクチノ閃石)	トウリョクセン石(アクチノセン石)	陽起石	アクチノ閃石
アデュラリア	adularia	氷長石	コウリチョウウ石	アデュラリア	アデュラリア
エジリン	aegirine	—	エジリン	エジリン輝石	エジリン
エジリン-オー ジャイト	aegirine-augite	—	エジリンオー ジャイト	エジリン輝石 質普通輝石	エジリンオー ジャイト
アルバイト	albite	曹長石 (—)	ソウチョウウ石 (アルバイト)	曹長石	アルバイト
角閃石(族)	amphibole (group)	角閃石(族)	カクセン石 (族)	角閃石	角閃石(族)
アノーサイト	anorthite	灰長石 (—)	カイチョウウ石 (アノーサイ ト)	灰長石	アノーサイト
直閃石	anthophyllite	直閃石	チョクセン石	直閃石	直閃石
オージャイト	augite	—	オージャイト	普通輝石	オージャイト
黒雲母	biotite	黒雲母	クロウンモ	黒雲母	黒雲母
ボーナイト	bornite	斑銅鉱	バンドウ鉱	斑銅鉱	斑銅鉱
輝銅鉱	chalcocite	輝銅鉱	キドウ鉱	輝銅鉱	輝銅鉱
黄銅鉱	chalcopyrite	黄銅鉱	オウドウ鉱	黄銅鉱	黄銅鉱
単斜エンスタ タイト	clinoenstatite	単斜頑火輝石	タンシャガン カキ石	単斜頑火輝石	クリノエン タイト
単斜フェロシ ライト	clinoferrosilite	単斜鉄珪輝石	タンシャテツ ケイキ石	単斜鉄珪輝石	クリノフェ ロシライト
コーサイト	coesite	—	コース石	コーサイト	コーサイト
クリストパ ライ ト	crystalite	—	クリストパ ル 石	クリストパ ル 石	クリストパ ラ イト
カミングト ナイ ト	cumingtonite	カミングト ン 閃石	カミングト ン 閃石	カミングト ン 閃石	カミングト ン 閃石
ダイジェ ナイ ト	digenite	方輝銅鉱	ホウキドウ 鉱	ダイジェ ナイ ト	ダイジェ ナイ ト
透輝石	diopside	透輝石	トウキ石	透輝石	透輝石
ドロマイ ト	dolomite	苦灰石 (—)	クカイ石 (ドロマイ ト)	苦灰石	ドロマイ ト
エデ ナイ ト	edenite	エデン閃石	エデンセン 石	エデン角 閃石	エデン閃 石
エンスタ タイト	enstatite	頑火輝石	ガンカキ 石	頑火輝石	エンスタ タイト
ファヤ ライ ト	fayalite	鉄橄欖石	テツカン ラン 石	鉄橄欖石	ファヤ ライ ト
フェロシ ラ イ ト	ferrosilite	鉄珪輝石	テツケイ キ石	鉄珪輝石	フェロシ ラ イ ト

本書	英語	漢字	鉱物学会 (1955-56)	地学辞典 (1979)	森本ら (1975)
長石(族)	feldspar (group)	長石(族)	チョウ石(族)	長石	長石(族)
フォルステ ライ ト	forsterite	苦土橄欖石	クドカン ラン 石	苦土橄欖石	フォルステ ライ ト
ザクロ石(族)	garnet (group)	柘榴石(族)	ザクロ石(族)	柘榴石	ざくろ石(族)
グロコフェ ン	glaucothane	藍閃石	ランセン石	藍閃石	藍閃石
グリユネ ライ ト	grunerite	グリユネ閃石	グリユネ セン 石	グリユネ ル 角 閃石	グリユネ 閃石
ヘデンバ ー ジャ イ ト	hedenbergite	灰鉄輝石 (ヘデン 輝 石)	カイテツ キ石 (ヘデン キ 石)	ヘデン ベル グ 輝石	ヘデン 輝石
ホルンブ レ ン ド	hornblend	—	ホルンブ レ ン ド	ホルンブ レ ン ド	ホルンブ レ ン ド
ジェイ ダ イ ト	jadeite	翡翠輝石	ヒスイキ 石	ジェード 輝石	ひすい 輝石
マグネ タイ ト	magnetite	磁鉄鉱	ジテツ 鉱	磁鉄鉱	磁鉄鉱
雲母(族)	mica (group)	雲母(族)	ウンモ(族)	雲母	雲母(族)
マイク ロ ク リ ン	microcline	微斜カリ長石	ビシヤカリ ョウ石	微斜長石	マイク ロ ク リ ン
白雲母	muscovite	白雲母	シロウン モ	白雲母	白雲母
オリビ ン(族)	olivine (group)	橄欖石(族)	カンラン 石 (族)	橄欖石	かんらん 石 (族)
オンファ サイ ト	omphacite	オンファス 輝 石	オンファ スキ 石	オンファ ス 輝 石	オンファ ス 輝 石
オパール	opal	蛋白石 (—)	タンバク 石 (オパール)	蛋白石	オパール
正長石	orthoclase	正長石	セイチョウ ウ石	正長石	正長石
ビジョ ン 輝 石	pigeonite	ビジョ ン 輝 石	ビジョ ン キ石	ビジョ ン 輝石	ビジョ ン 輝石
斜長石	plagioclase	斜長石	シヤチョウ ウ石	斜長石	斜長石
黄鉄 鉱	pyrite	黄鉄 鉱	オウテツ 鉱	黄鉄 鉱	黄鉄 鉱
パイ ロ ー プ	pyrope	苦礬柘榴石 (—)	クバン ゼ ク ロ 石 (パイ ロ ー プ)	パイ ロ ー プ	パイ ロ ー プ
輝石(族)	pyroxene (group)	輝石(族)	キ石(族)	輝石	輝石(族)
ピロー タイ ト	pyrrhotite	磁硫鉄 鉱	ジリュウ テツ 鉱	磁硫鉄 鉱	磁硫鉄 鉱
石英	quartz	石英	セキエイ	石英	石英
サニ ディ ン	sanidine	玻璃長石	ハリ チ ョウ ウ石	サニ ディ ン	サニ ディ ン
スピ ネ ル	spinel	—	スピ ネ ル	スピ ネ ル	スピ ネ ル
スティ シ ョ バ イ ト	stishovite	—	スチ シ ョ フ石	スティ シ ョ バ イ ト	スティ シ ョ バ イ ト
タルク	talc	滑石(—)	カッ石(タル ク)	滑石	滑石
透閃石	tremolite	透閃石	トウセン 石	透閃石	透閃石
トリ ディ マイ ト	tridymite	鱗珪石	リンケイ 石	鱗珪石	トリ ディ マイ ト
チェル マ カ イ ト	tschermakite	チェルマク 閃 石	チェルマ ク セ ン 石	チェルマ ク 角 閃石	ツェル マ ク 閃 石

# 固溶体の命名法：50%則

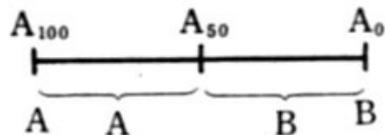


図 2.1 A と B を端成分とする 2 成分系固溶体の 50% 則による命名法  
 一般に  $A_{100}-A_{50}$  を A とよび、 $A_{50}-A_0$  を B とよぶ。

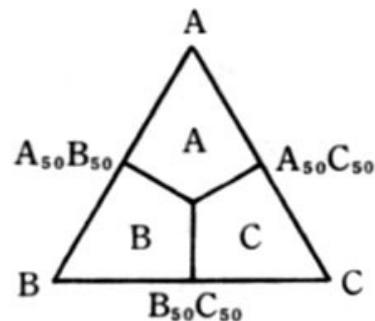


図 2.2 A, B および C を端成分とする 3 成分系固溶体の 50% 則を基本とした命名法

森本信男 (1989)  
 「造岩鉱物学」  
 東大出版会

2 成分系固溶体の 50% 則：A と B を端成分とする 2 成分固溶体を、 $A_{50}B_{50}$  に境界をおき、A 側を A とよび、B 側を B とよぶ規則(図 2.1).

(例) カンラン石  $Mg_2SiO_4$  と  $Fe_2SiO_4$  の連続固溶体 一般式は  $(Mg,Fe)_2SiO_4$

$Mg_2SiO_4$  の鉱物名はフォレストライト (Forsterite, 略号 Fo)

$Fe_2SiO_4$  の鉱物名はファイアライト (Fayalite, 略号 Fa)

カンラン石の連続固溶体は  $(Mg_2SiO_4)_{50}(Fe_2SiO_4)_{50}$  で二つ分けられ、 $Mg_2SiO_4$  側をフォレストライト、 $Fe_2SiO_4$  側をファイアライトとよぶ。正確に固溶体組成を表す場合は、例えば  $Fo_{62}Fa_{38}$ 、もしくは単に  $Fo_{62}$  や  $Fa_{38}$  を用いる。

# 鉱物の分類

化学組成を基礎にして結晶化学的な立場から鉱物を分類する方法が一般的である。この方法に従うと

類： **珪酸塩鉱物**，酸化鉱物，硫化鉱物，元素鉱物など

亜類： **ネソ珪酸塩**，ソロ珪酸塩，サイクロ珪酸塩，  
イノ珪酸塩（単鎖），イノ珪酸塩（複鎖），  
フィロ珪酸塩，テクト珪酸塩

族： **カンラン石族**，ヒューマイト族，ざくろ石族，ジルコン，  
スフェーン，ダトーライト，アルミナ鉱物，トパーズ，  
十字石，クロリトイド

系列または種：

**Fe-Mgカンラン石系列**

(Mg-Fe olivine, 単に**カンラン石**という)

# [保存版] 代表的な造岩鉱物（固溶体）の化学組成

鉱物名	化学組成
カンラン石 フォルステライト(Fo) ファヤライト(Fa)	$(\text{Mg, Fe})_2\text{SiO}_4$ $\text{Mg}_2\text{SiO}_4$ $\text{Fe}_2\text{SiO}_4$
直方(斜方)輝石 エンスタタイト(En) フェロシライト(Fs)	$(\text{Mg, Fe})\text{SiO}_3$ $\text{MgSiO}_3$ $\text{FeSiO}_3$
普通輝石（オーグサイト） ディオプサイト(Di) ヘデン輝石(Hd)	$\text{Ca}(\text{Mg, Fe})\text{Si}_2\text{O}_6$ $\text{CaMgSi}_2\text{O}_6$ $\text{CaFeSi}_2\text{O}_6$
普通角閃石（ホルンブレンド） エデン閃石 (Ed) パーガス閃石 (Prg) アクチノ閃石 (Act) チェルマック閃石 (Ts)	$(\text{Ca, Na})_{2-3}(\text{Mg, Fe, Al})_5\text{Si}_6(\text{Si, Al})_2\text{O}_{22}(\text{OH})_2$ $(\text{Na, K})\text{Ca}_2(\text{Mg, Fe})_5(\text{Si}_7\text{Al})\text{O}_{22}(\text{OH})_2$ $(\text{Na, K})\text{Ca}_2(\text{Mg, Fe})_4(\text{Si}_6\text{Al}_2)\text{O}_{22}(\text{OH})_2$ $\square\text{Ca}_2(\text{Mg, Fe})_5\text{Si}_6\text{O}_{22}(\text{OH})_2$ $\square\text{Ca}_2(\text{Mg, Fe})_3\text{Al}_2(\text{Si}_6\text{Al}_2)\text{O}_{22}(\text{OH})_2$
ザクロ石（ガーネット） パイロプ(Pyr) アルマンディン(Alm)	$(\text{Mg, Fe})_3\text{Al}_2\text{Si}_3\text{O}_{12}$ $\text{Mg}_3\text{Al}_2\text{Si}_3\text{O}_{12}$ $\text{Fe}_3\text{Al}_2\text{Si}_3\text{O}_{12}$
石英	$\text{SiO}_2$
カリ長石	$\text{KAlSi}_3\text{O}_8$
斜長石 灰長石（アノーサイト）(An) 曹長石（アルバイト）(Ab)	$(\text{Ca, Na})(\text{Al, Si})\text{AlSi}_2\text{O}_8$ $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$ $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$
白雲母	$\text{KAl}_2(\text{AlSi}_3\text{O}_{10})(\text{OH})_2$
黒雲母 フロゴパイト（金雲母） アナイト	$\text{K}(\text{Mg, Fe})_3(\text{AlSi}_3\text{O}_{10})(\text{OH})_2$ $\text{KMg}_3\text{AlSi}_3\text{O}_{10}(\text{OH})_2$ $\text{KFe}_3\text{AlSi}_3\text{O}_{10}(\text{OH})_2$
磁鉄鉱（マグネタイト）	$\text{Fe}_3\text{O}_4$
スピネル（尖晶石）	$\text{MgAl}_2\text{O}_4$
チタン鉄鉱	$\text{FeTiO}_3$
燐灰石（アパタイト）	$\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3(\text{F, Cl, OH})$

吉田武義・西村太志・中村美千彦（2017）「火山学」共立出版. の表2. 1を元に固溶体について端成分を追記した