

Windows 版の GENMIX プログラム (岩石モデル解析)

亀谷 敦¹⁾・今岡照喜²⁾・西川裕輔³⁾

The GENMIX program of Windows version (GENMIX = Generalized Mixing Model)

Atsushi KAMEYA, Teruyoshi IMAOKA and Yusuke NISHIKAWA

Abstract

GENMIX is a FORTRAN program composed by Le Maitre (1979, 1981), and Kameya et al. (2001) rewrote this program for Macintosh version. In this paper, the GENMIX program was compiled again to run on both Windows machines (Windows Vista) and Macintosh ones (Mac OS X10.5 Leopard). This program was set up in the homepage of Yamaguchi Museum that was the publisher of this report (<http://www.yamahaku.pref.yamaguchi.lg.jp/genmix/>).

Using this GENMIX program, model calculations of fractional crystallization were examined for two igneous complexes in SW Japan. Both results are consistent with a concept that the each constituent plutonic rocks were formed by fractional crystallization of a magma.

Key words: GENMIX, Mass balance calculation, Fractional crystallization, Windows, Mac OS X

1 はじめに

亀谷ほか (2001) は, Le Maitre (1981) によって開発された FORTRAN 言語によるマスバランス計算プログラムである GENMIX を, BASIC 言語を用いて Macintosh 上で動くものに再開発した。しかし, 日進月歩を続ける新たなコンピュータに対応できなくなり多くのユーザーが使用できない状況となった。そのような中で津根 (2005) は, マスバランス計算で結晶分化作用を検証するソフトウェアを OS に依存しない Java で開発している。筆者らも進化し続ける OS に対応させる必要性を感じ, 今回 GENMIX プログラムを再コンパイルし, 最新の Windows Vista と Mac OS X10.5 (Leopard) の両 OS に対応させることとした。本プログラムは, 多くのユーザーが利用できるように本報告書の発行元である山口県立山口博物館のホームページに設置した。

本報告では GENMIX の利用法を解説するとともに, 実際にこのプログラムを使用して分別結晶作用を定量的に検討した火成岩体の例を示す。

1) 山口県立山口博物館 (地学) 2) 山口大学大学院理工学研究科 3) (株)日さく事業本部調査部地盤調査課

2 GENMIX とは

GENMIX については、原理から活用までを亀谷ほか（2001）で詳述した。そこで、本稿ではごく簡単に GENMIX について解説する。

GENMIX は、Le Maitre（1979）により開発され、“Generalized Mixing Model”の略称として名付けられた、重回帰分析によるマスバランス計算の手法とそのコンピュータプログラムの名称である。重回帰分析は統計学で言う多変量解析の一種で、火成岩岩石学の分野では、例えば、次のように玄武岩マグマからかんらん石、輝石および斜長石が分別する場合のマスバランスを計算により検証するために古くから使用され、一定の成果を収めている（Bryan, 1969）。

$$\text{玄武岩} = a \cdot \text{安山岩} + b \cdot \text{かんらん石} + c \cdot \text{輝石} + d \cdot \text{斜長石}$$

ここで、係数 $a \sim d$ は、それぞれの相の割合（重量%）である。GENMIX は、これらの相に含まれる全ての成分（ SiO_2 , TiO_2 , $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \dots$ ）について、式の両辺で過不足を生じないような（あるいは、無視できる程度の誤差に収まるような）係数が存在するかどうかを多変量の最小二乗近似により求めるプログラムである。このような計算機能を持つソフトは、いわゆる統計ソフトとして広く知られている。しかし、次のようなモデルでは対応できるだろうか。

$$a \cdot \text{黒雲母} + b \cdot \text{珪線石} + c \cdot \text{石英} + d \cdot \text{斜長石} + e \cdot \text{磁鉄鉱} =$$

$$f \cdot \text{ざくろ石} + g \cdot \text{カリ長石} + h \cdot \text{水} + i \cdot \text{イルメナイト}$$

このモデルは、複雑な固溶体鉱物の変成反応を天然に実在する鉱物の組成を使った計算から検証しようとするものである。この例のように、両辺に複数の相を置くような重回帰分析の計算は、上記の手法では不可能であった。その理由は、これを普通に解こうとすると、係数 $a \sim i$ の全てをゼロと置くことで式が成り立ってしまうからである。

GENMIX では、 $a+b+c+d+e=1$, $f+g+h+i=1$, すなわち、相の割合を合計すると両辺とも100%になると拘束することでこの計算を可能にしている（Le Maitre, 1979・1981）。GENMIX は閉鎖系を扱う岩石学のマスバランス計算に、大変有効なプログラムである。

3 今回使用した GENMIX プログラムについて

(1) プログラム作成の経緯

このプログラムのオリジナルは FORTRUN 言語で記述され、Le Maitre（1981）によって公開された。1986年頃、早坂康隆氏（広島大学理学部）によって、N88BASIC 言語（NEC98 シリーズ機種上で動作）で再記述が行われた。その後、亀谷ほか（2001）が REALbasic 言語（Macintosh 機種上で動作）で再々記述を行った。本稿で使用したものは、同じプログラムを REALbasic 言語（Macintosh 機種上で動作）で再コンパイルして、Windows Vista と Mac OS X10.5（Leopard）の両 OS に対応させたものである。

(2) プログラムの仕様

- ① プログラムの作成並びに動作確認を行った機種・OS 等

機 種 PowerMac G4/400 (PCImodel) 120GbHD/768Mb メモリ

O S Mac OS X10.4 ソフト REALbasic 4.02J

② 対応機種・OS

対応OS Windows XP 以上及び Mac OS X10.4以上

対応機種 上記 OS が稼働可能なパソコン

対応モニタ 17インチ以上

③ インストールの方法

GENMIX フォルダごとハードディスクにコピー

④ ソフトウェアの保管先および入手先

<http://www.yamahaku.pref.yamaguchi.lg.jp/genmix/>

4 分別結晶作用に関する応用例

この章では、一連のマグマから形成されたと考えられる火成岩体の分別結晶作用の検証を GENMIX を用いて行った例を示す。

(1) 島根県西部の大麻山深成複合岩体

田阪ほか (2007) は、島根県西部にある大麻山深成複合岩体 (図 1, 2) を調査・研究し、それを石英閃緑岩、花崗閃緑岩、花崗岩およびアプライト質花崗岩に区分するとともに、本岩体は従来古第三紀貫入岩体とされていたが、K-Ar 年代 (石英閃緑岩の黒雲母で $71.9 \pm 1.6\text{Ma}$ 、花崗閃緑岩の角閃石で $69.8 \pm 3.6\text{Ma}$ ・ $68.5 \pm 3.5\text{Ma}$) の測定結果や磁鉄鉱系に属することを考慮し、白亜紀最末期の火成活動で形成された岩体で、山陰中央部から東部バソリスに広く分布する因美期貫入岩類に属するとしている。さらに彼らはモード組成や全岩化学組成の検討から、それらが同じマグマから分別結晶作用によって形成されたものであることを明らかにした。また、GENMIX を用いたマスバランスの計算結果 (付録 表 1) から分化の早期では斜長石と単斜輝石が、より後期では斜長石と角閃石が主に分別されることによって一連の化学組成変化を説明できることを指摘している (図 3)。

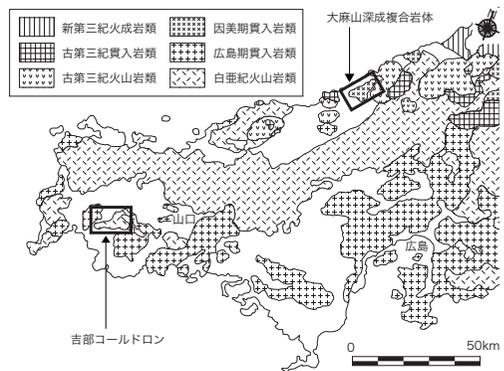


図 1 中国地方西部における白亜紀-第三紀火成岩類の分布ならびに大麻山深成複合岩体と吉部コールドロンの位置 (田阪ほか, 2007を改変)

(2) 山口県西部の天郷貫入岩類 (吉部コールドロン)

本稿では、GENMIX を用いて新たに分別結晶作用の検証を行った。検証の対象とした岩体は、山口県美祢市南東部から宇部市北部にかけて、東西約15km、南北約7kmのほぼ楕円形の形態を示す吉部コールドロンに産する天郷貫入岩類である (図 1)。吉部コールドロンは、上部白亜系周南層群禪定寺山層、岩脈、黒五郎深成岩類および天郷貫入岩類からなり、東側でより新期の広島花崗岩類に相当する岩郷山花崗岩に貫かれ、古第三系宇部層群に不整合に覆われている。

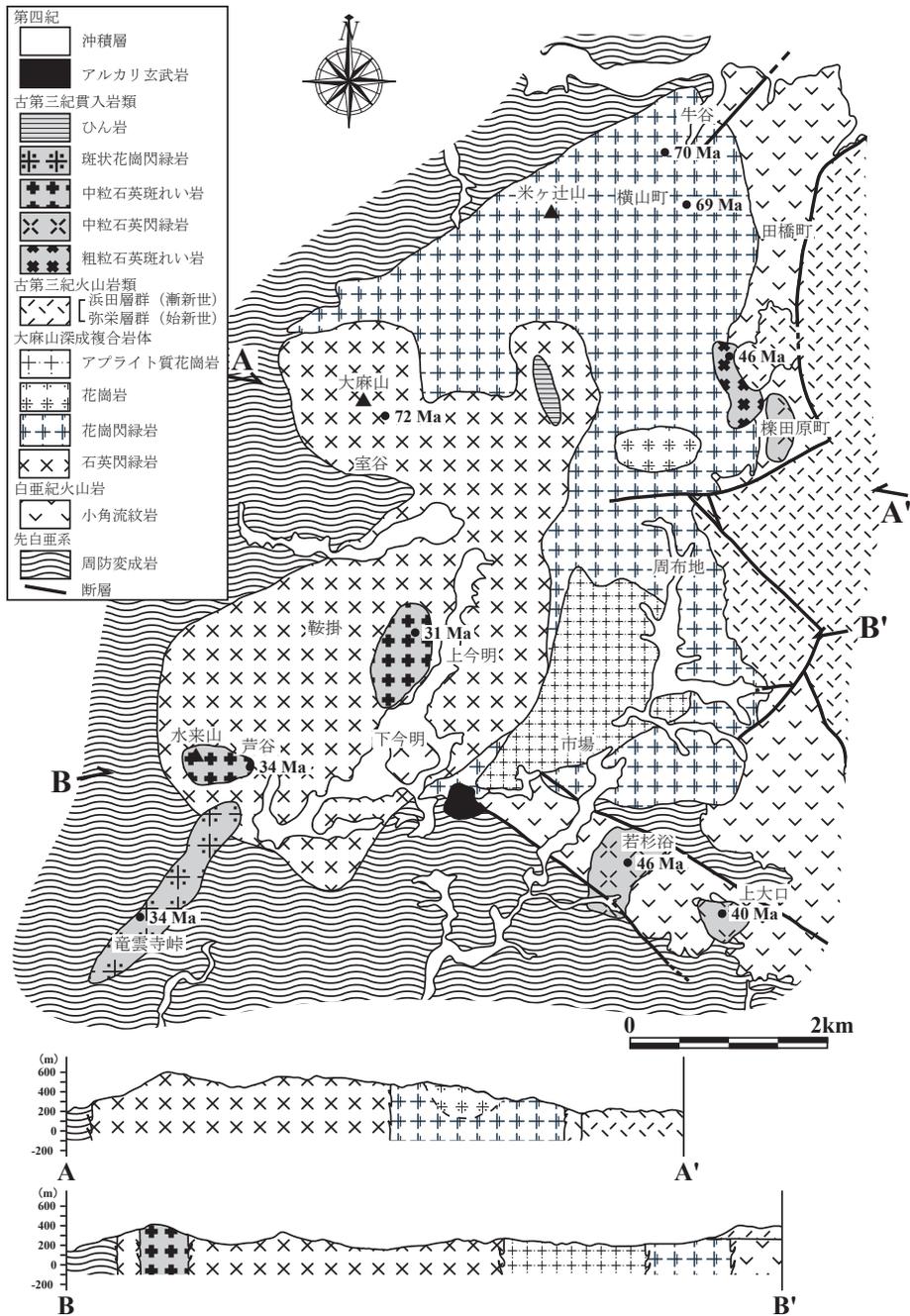


図2 島根県浜田市三隅北東部地域の地質図および地質断面図 (田阪ほか, 2007)

その中の、天郷貫入岩類はコールドロンの北西部-西部-南西部の基盤岩類と禅定寺山層の境界部にアーチ状に分布し、環状岩脈を構成する(図4)。おもに斑状組織の顕著な石英閃緑岩、石英モンゾ斑れい岩や花崗閃緑岩からなり、一部にひん岩やグラノフィアーの岩脈を伴う。

全岩化学分析の結果から、吉部コールドロンを構成する禅定寺層、天郷貫入岩類および黒五

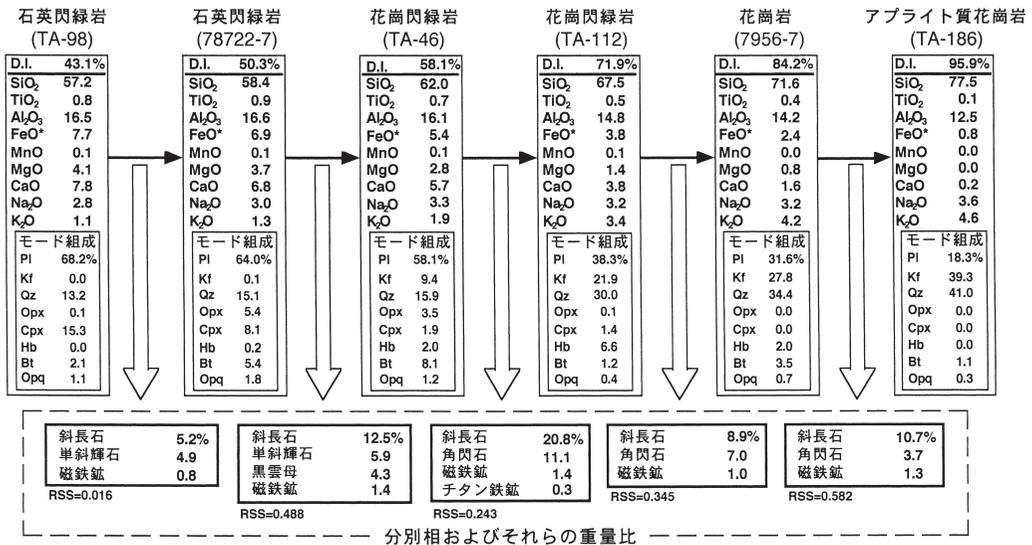


図3 大麻山深成複合岩体の分別結晶作用による分化過程図 (田阪ほか, 2007)

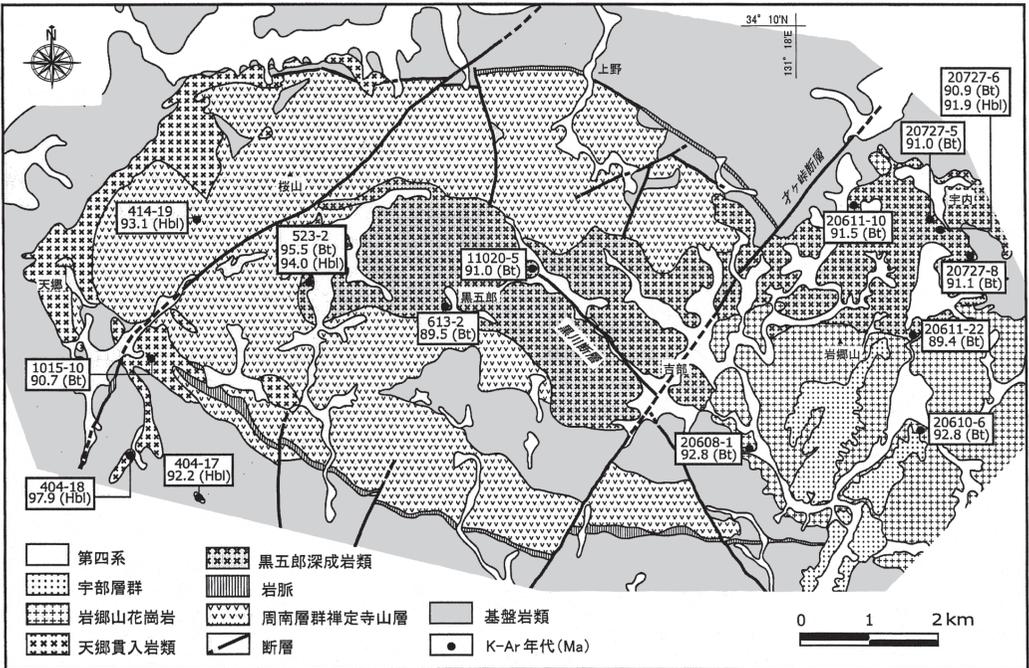


図4 吉部コールドロンの地質図と K-Ar 年代 (岸ほか, 2007) Bt = 黒雲母, Hb = 角閃石

郎深成岩類の3者は、それぞれ異なる組成変化を示し、それぞれは一連のマグマの分別結晶作用によって形成された可能性が高い。

ここでは、天郷貫入岩類の3つの岩石 (石英モンゾ斑れい岩, 石英閃緑岩および花崗閃緑岩) について GENMIX を用いて定量的検討を行うことにした。岩石学的検討から可能性のある天郷貫入岩類の分別結晶作用のモデルを作成した (図5)。左側の石英モンゾ斑れい岩 (427-

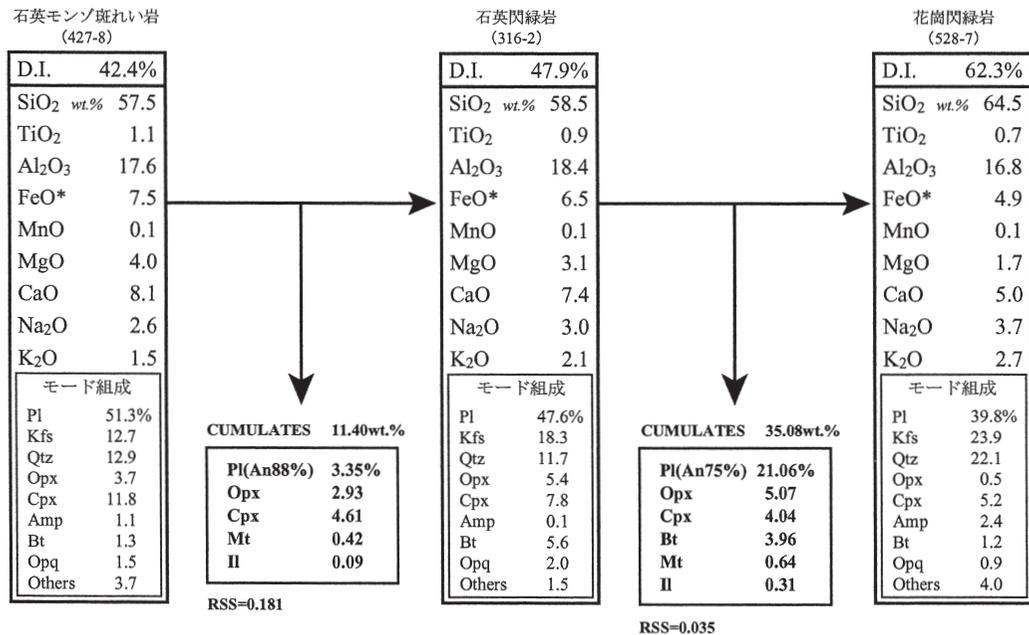


図5 天郷貫入岩類の分別結晶作用による分化過程図

8) から右側の花崗閃緑岩 (528-7) に向かって2段階の分別結晶作用が起こったとする。その場合、鏡下の観察より分別鉱物を推定して下記のような式を作成した。このようなモデルが正しいかどうか GENMIX を用いて定量的に検討を行った。推定が正しいければ、反応物と生成物の各成分の組成差はほとんどないはずである。ここで斜長石は端成分の組成を使用し、その他の鉱物は EPMA によって分析した鉱物の値を用いている (付録 表2)。

第1段階の分別結晶作用のモデルは、

親マグマ (石英モンゾ斑れい岩) = 娘マグマ (石英閃緑岩) + 分別された鉱物 (アルバイト + アノーサイト + 斜方輝石 + 単斜輝石 + 磁鉄鉱 + チタン鉄鉱)

である。GENMIX にデータを入力、計算を行った (付録 表2)。その結果構成比は、

$$100.00 = 88.60 + 0.39 + 2.96 + 2.93 + 4.61 + 0.42 + 0.09$$

となり、それから計算される反応物と生成物の各成分の組成差は小さいことがわかる。RSS は0.181 (1よりも小さい) でモデルの適合度が非常に高い。

同様に、第2段階の分別結晶作用のモデルは、

親マグマ (石英閃緑岩) = 娘マグマ (花崗閃緑岩) + 分別された鉱物 (アルバイト + アノーサイト + 斜方輝石 + 単斜輝石 + 黒雲母 + 磁鉄鉱 + チタン鉄鉱)

として、GENMIX にデータを入力、計算を行った (付録 表2)。その結果構成比は、

$$100.00 = 64.92 + 5.23 + 15.83 + 5.07 + 4.04 + 3.96 + 0.64 + 0.31$$

となり、上記と同様に計算される反応物と生成物の各成分の組成差はほとんどない。RSS も0.035 (1よりも小さい) でモデルの適合度が高い。

さらにデータの解析をすると、天郷貫入岩類における一連の分化過程では、早期の分化過程は斜長石 (3.4%) と輝石類 (2.9-4.6%) が主要な分別相であり、後期ではさらに黒雲母 (4.0%) が分別相として現われたことが読み取れる (図5)。

以上のように、野外調査、顕微鏡観察や岩石の化学組成から定性的に推定された分別結晶作用を、GENMIXを使用したマスバランス計算によって定量的に検証することができる。

引用文献

Bryan, W. B., 1969, Materials balance in igneous rock suites. Carnegie Inst. Washington Yearb., 67, 241-243.

亀谷 敦・早坂康隆・今岡照喜, 2001, GENMIXプログラム (岩石モデル解析) の再開発. 山口県立山口博物館研究報告, no.27, 21-34.

岸 司・今岡照喜・東風平 宏・西村祐二郎・板谷徹丸, 2007, 山口県における白亜紀吉部コールドロンおよび関連岩類のK-Ar年代: 西中国地域における白亜紀火山-深成活動の時空変遷. 地質雑, 113, 479-491.

Le Maitre, R. W., 1979, A new generalised petrological mixing model. Contrib. Mineral. Petrol., 71, 133-137.

Le Maitre, R. W., 1981, GENMIX - A generalized petrological mixing model program. Comput. Geosci., 7, 229-247.

田阪紘史・今岡照喜・板谷徹丸, 2007, 島根県西部, 大麻山深成複合岩体の地質・岩石記載とK-Ar年代. 地球科学, 61, 433-452.

津根 明, 2005, Javaで作成したマスバランス計算機. 情報地質, 16, 235-241.

付 録

表 1 大麻山深成複合岩類のマスバランス計算結果

親マグマ		娘マグマ		石英閃緑岩① (TA-98) → 石英閃緑岩② (78722-7)						分 別 鉱 物			反応物※1 生成物※2 組成差		
TA-98	78722-7	アルバイト	アノーサイト	単斜輝石	角閃石	黒雲母	磁鉄鉱	チタン鉄鉱							
SiO ₂	57.22	58.36	68.74	43.19	52.69	-	-	0.08	-	58.418	58.394	0.024			
TiO ₂	0.82	0.86	0.00	0.00	0.18	-	-	4.67	-	0.837	0.833	0.004			
Al ₂ O ₃	16.54	16.62	19.44	36.65	0.93	-	-	1.01	-	16.886	16.856	0.030			
FeO*	7.48	6.98	0.00	0.00	10.31	-	-	85.71	-	7.637	7.615	0.021			
MnO	0.14	0.13	0.00	0.00	0.34	-	-	0.37	-	0.143	0.139	0.004			
MgO	4.05	3.74	0.00	0.00	13.73	-	-	0.05	-	4.135	4.089	0.046			
CaO	7.77	6.75	0.00	20.16	20.68	-	-	0.15	-	7.933	7.938	-0.005			
Na ₂ O	2.84	3.00	11.82	0.00	0.25	-	-	0.01	-	2.899	2.916	-0.017			
K ₂ O	1.09	1.34	0.00	0.00	0.02	-	-	0.01	-	1.113	1.221	-0.108			
P ₂ O ₅	0.09	0.08	0.00	0.00	0.00	-	-	0.00	-						
合計	98.04	97.86	100.00	100.00	99.13	-	-	92.06	-	100.00	100.00	0.00			
構成比	100.00	89.04	1.45	3.78	4.93	-	-	0.80	-						

RSS = 0.01615

親マグマ		娘マグマ		石英閃緑岩② (78722-7) → 花崗閃緑岩① (TA-46)						分 別 鉱 物			反応物※1 生成物※2 組成差		
78722-7	TA-46	アルバイト	アノーサイト	単斜輝石	角閃石	黒雲母	磁鉄鉱	チタン鉄鉱							
SiO ₂	58.36	62.02	68.74	43.19	53.58	-	37.88	0.08	-	59.685	59.593	0.092			
TiO ₂	0.86	0.66	0.00	0.00	0.32	-	4.27	4.67	-	0.880	0.790	0.089			
Al ₂ O ₃	16.62	16.14	19.44	36.65	0.91	-	12.74	1.01	-	16.997	16.815	0.182			
FeO*	6.98	5.40	0.00	0.00	11.60	-	20.83	85.71	-	7.138	7.061	0.078			
MnO	0.13	0.10	0.00	0.00	0.40	-	0.13	0.37	-	0.133	0.112	0.021			
MgO	3.74	2.77	0.00	0.00	13.15	-	12.30	0.05	-	3.825	3.475	0.350			
CaO	6.75	5.69	0.00	20.16	19.72	-	0.04	0.15	-	6.903	7.038	-0.135			
Na ₂ O	3.00	3.34	11.82	0.00	0.26	-	0.23	0.01	-	3.068	3.230	-0.162			
K ₂ O	1.34	1.94	0.00	0.00	0.01	-	8.52	0.01	-	1.370	1.885	-0.515			
P ₂ O ₅	0.08	0.09	0.00	0.00	0.00	-	0.00	0.00	-						
合計	97.86	98.15	100.00	100.00	99.95	-	96.94	92.06	-	100.00	100.00	0.00			
構成比	100.00	75.82	5.26	7.28	5.91	-	4.37	1.35	-						

RSS = 0.48783

磁鉄鉱はTA-98の分析結果を使用。

花崗閃緑岩① (TA-46) → 花崗閃緑岩② (TA-112)

親マグマ TA-46	娘マグマ TA-112	分別鉱物							反応物※1	生成物※2	組成差	
		アルバイト	アノーサイト	単斜輝石	角閃石	黒雲母	磁鉄鉱	チタン鉄鉱				
SiO ₂	62.02	67.53	68.74	43.19	-	49.76	-	0.03	0.05	63.195	63.064	0.131
TiO ₂	0.66	0.47	0.00	0.00	-	0.82	-	0.89	47.05	0.673	0.564	0.109
Al ₂ O ₃	16.14	14.77	19.44	36.65	-	5.12	-	0.34	0.04	16.446	16.303	0.143
FeO*	5.40	3.80	0.00	0.00	-	12.43	-	91.20	46.77	5.584	5.487	0.097
MnO	0.10	0.07	0.00	0.00	-	0.35	-	0.12	5.28	0.102	0.105	-0.003
MgO	2.77	1.42	0.00	0.00	-	15.19	-	0.01	0.18	2.822	2.697	0.126
CaO	5.69	3.79	0.00	20.16	-	11.46	-	0.02	0.08	5.798	5.858	-0.060
Na ₂ O	3.34	3.18	11.82	0.00	-	1.24	-	0.00	0.00	3.403	3.582	-0.178
K ₂ O	1.94	3.39	0.00	0.00	-	0.46	-	0.00	0.00	1.977	2.342	-0.365
P ₂ O ₅	0.09	0.07	0.00	0.00	-	0.00	-	0.00	0.00			
合計	98.15	98.49	100.00	100.00	-	96.83	-	92.61	99.45	100.00	100.00	0.00
構成比	100.00	66.46	10.93	9.86	-	11.07	-	1.38	0.29			

RSS = 0.24326 チタン鉄鉱は77718-11 (3-1 SG) を使用。

花崗閃緑岩② (TA-112) → 花崗岩 (7956-7)

親マグマ TA-112	娘マグマ 7956-7	分別鉱物							反応物※1	生成物※2	組成差	
		アルバイト	アノーサイト	単斜輝石	角閃石	黒雲母	磁鉄鉱	チタン鉄鉱				
SiO ₂	67.53	71.55	68.74	43.19	-	49.76	-	0.03	-	68.614	68.562	0.052
TiO ₂	0.47	0.35	0.00	0.00	-	0.82	-	0.89	-	0.478	0.364	0.113
Al ₂ O ₃	14.77	14.19	19.44	36.65	-	5.12	-	0.34	-	15.007	15.244	-0.237
FeO*	3.80	2.36	0.00	0.00	-	12.43	-	91.20	-	3.861	3.854	0.007
MnO	0.07	0.04	0.00	0.00	-	0.35	-	0.12	-	0.071	0.060	0.011
MgO	1.42	0.81	0.00	0.00	-	15.19	-	0.01	-	1.443	1.777	-0.334
CaO	3.79	1.59	0.00	20.16	-	11.46	-	0.02	-	3.851	3.495	0.356
Na ₂ O	3.18	3.21	11.82	0.00	-	1.24	-	0.00	-	3.231	3.083	0.148
K ₂ O	3.39	4.17	0.00	0.00	-	0.46	-	0.00	-	3.444	3.560	-0.116
P ₂ O ₅	0.07	0.04	0.00	0.00	-	0.00	-	0.00	-			
合計	98.49	98.31	100.00	100.00	-	96.83	-	92.61	-	100.00	100.00	0.00
構成比	100.00	83.13	2.36	6.58	-	6.96	-	0.98	-			

RSS = 0.34548 角閃石、磁鉄鉱はTA-46の分析結果を使用。

花崗岩 (7956-7) → アブライト質花崗岩 (TA-186)

親マグマ 7956-7	娘マグマ TA-186	分別された鉱物							反応物※1	生成物※2	組成差	
		アルバイト	アノーサイト	単斜輝石	角閃石	黒雲母	磁鉄鉱	チタン鉄鉱				
SiO ₂	71.55	77.46	68.74	43.19	-	48.82	-	0.11	-	72.810	72.998	-0.188
TiO ₂	0.35	0.08	0.00	0.00	-	1.07	-	0.82	-	0.356	0.120	0.236
Al ₂ O ₃	14.19	12.53	19.44	36.65	-	5.97	-	0.90	-	14.440	14.272	0.167
FeO*	2.36	0.82	0.00	0.00	-	14.54	-	89.06	-	2.402	2.527	-0.125
MnO	0.04	0.01	0.00	0.00	-	0.38	-	0.12	-	0.041	0.024	0.016
MgO	0.81	0.04	0.00	0.00	-	14.42	-	0.03	-	0.824	0.572	0.252
CaO	1.59	0.18	0.00	20.16	-	11.10	-	0.04	-	1.618	2.110	-0.492
Na ₂ O	3.21	3.55	11.82	0.00	-	2.20	-	0.02	-	3.267	3.456	-0.189
K ₂ O	4.17	4.59	0.00	0.00	-	0.59	-	0.01	-	4.243	3.920	0.323
P ₂ O ₅	0.04	0.00	0.00	0.00	-	0.00	-	0.00	-			
合計	98.31	99.26	100.00	100.00	-	99.09	-	91.11	-	100.00	100.00	0.00
構成比	100.00	84.30	3.04	7.66	-	3.70	-	1.32	-			

RSS = 0.58177

※1 反応物：親マグマの化学組成。ただし、P₂O₅を除いた各成分 (wt%) の合計が100%となるよう補正した値。
 ※2 生成物：(娘マグマ×構成比) と (分別された各鉱物×構成比) の和により求められる化学組成。
 反応物と同様、P₂O₅を除いた各成分 (wt%) の合計が100%となるよう補正した値。

表2 天郷貫入岩類のマスバランス計算結果

石英モンズ斑れい岩 (427-8) → 石英閃緑岩 (316-2)

親マグマ 427-8	娘マグマ 316-2	分別された鉱物							反応物	生成物	組成差	
		アルバイト	アノーサイト	斜方輝石	単斜輝石	角閃石	黒雲母	磁鉄鉱				チタン鉄鉱
SiO ₂	57.46	58.52	68.74	43.19	52.81	51.29	-	0.07	0.00	57.454	57.302	0.152
TiO ₂	1.05	0.93	0.00	0.00	0.28	0.41	-	10.76	50.73	1.050	0.944	0.106
Al ₂ O ₃	17.62	18.38	19.44	36.65	1.10	1.52	-	0.44	0.01	17.618	17.549	0.069
FeO*	7.52	6.49	0.00	0.00	21.72	13.47	-	88.05	47.09	7.519	7.417	0.102
MnO	0.14	0.12	0.00	0.00	0.50	0.39	-	0.61	2.11	0.140	0.143	-0.003
MgO	3.98	3.10	0.00	0.00	22.01	13.02	-	0.03	0.06	3.980	3.991	-0.011
CaO	8.12	7.36	0.00	20.16	1.54	19.60	-	0.03	0.00	8.119	8.066	0.053
Na ₂ O	2.60	3.02	11.82	0.00	0.04	0.29	-	0.00	0.00	2.600	2.736	-0.137
K ₂ O	1.52	2.09	0.00	0.00	0.00	0.00	-	0.00	0.00	1.520	1.852	-0.332
構成比	100.00	88.60	0.39	2.96	2.93	4.61	-	0.42	0.09			

RSS = 0.18130 斜方輝石、単斜輝石、磁鉄鉱、チタン鉄鉱は1015-9の分析結果を使用。

石英閃緑岩 (316-2) → 花崗閃緑岩 (528-7)

親マグマ 316-2	娘マグマ 528-7	分別された鉱物							反応物	生成物	組成差		
		アルバイト	アノーサイト	斜方輝石	単斜輝石	角閃石	黒雲母	磁鉄鉱				チタン鉄鉱	
SiO ₂	58.52	64.46	68.74	43.19	52.28	50.80	-	36.60	0.07	0.03	58.514	58.510	0.004
TiO ₂	0.93	0.65	0.00	0.00	0.29	0.50	-	2.85	10.76	51.84	0.930	0.804	0.126
Al ₂ O ₃	18.38	16.84	19.44	36.65	1.03	1.82	-	11.88	0.44	0.01	18.378	18.371	0.007
FeO*	6.49	4.86	0.00	0.00	23.23	11.59	-	27.62	88.05	0.09	6.489	6.499	-0.010
MnO	0.12	0.10	0.00	0.00	0.55	0.31	-	0.11	0.61	45.71	0.120	0.256	-0.136
MgO	3.10	1.71	0.00	0.00	21.04	13.90	-	8.03	0.03	2.00	3.100	3.078	0.021
CaO	7.36	5.03	0.00	20.16	1.60	20.11	-	0.07	0.03	0.05	7.359	7.361	-0.001
Na ₂ O	3.02	3.67	11.82	0.00	0.03	0.29	-	0.15	0.00	0.05	3.020	3.021	-0.001
K ₂ O	2.09	2.66	0.00	0.00	0.00	0.00	-	9.06	0.00	0.00	2.090	2.099	-0.010
構成比	100.00	64.92	5.23	15.83	5.07	4.04	-	3.96	0.64	0.31			

RSS = 0.03510 磁鉄鉱は1015-9の分析結果を使用。