水素同位体からみた中部・近畿地方の領家花崗岩類の分類と特徴 (予報)

黒田吉益¹⁾・山田哲雄¹⁾・藤本勝彦²⁾・大橋宏之³⁾・高橋恵子⁴⁾
岡野 修⁵⁾・望月康年⁶⁾・山名 智⁵⁾・大友幸子⁷⁾

A proposal for classification of the granitic rocks of the Ryoke Belt in the Chubu and Kinki Districts in view of hydrogen isotope study

Y. KURODA, T. YAMADA, K. FUJIMOTO, H. O'HASHI, K. TAKAHASHI,
O. OKANO, Y. MOCHIZUKI, S. YAMANA and Y. OHTOMO

Abstract The granitic rocks of the Ryoke belt in the Chubu and Kinki districts are divided into three groups based on the geological situation and $\delta D-X_{Fe}$ relationship of coexisting biotite and hornblende: 1) gneissose granitic rocks such as the Hiji, Tenryukyo types, 2) the Inagawa granitic rocks, and 3) discordant granitic rocks such as the Shinshiro, Hissori and Kisokoma types. The gneissose granitic rocks are closely associated with the Ryoke metamorphic rocks, and constituted the original Ryoke plutono-metamorphic belt together with the metamorphic rocks. They have recrystallized to some extent by the younger granitic intrusions. Therefore, their $\delta D-X_{Fe}$ relationship shows a complicated pattern. After the formation of the Ryoke plutono-metamorphic belt, the Nohi rhyolites erupted. Then the Inagawa granitic rocks were intruded. They show a disequilibrium situation on $\delta D-X_{Fe}$ diagram. Although the difference of δD values of each pair of biotite and hornblende is not large, the difference of δD values of the whole mass is more than 100‰. Their X_{Fe} values of biotite and hornblende is about 0.7 and the partition between them is close to unity. The discordant granitic rocks are younger than the Inagawa granitic rocks. They show an equilibrium situation on $\delta D-X_{Fe}$ diagram and the δD value of the ambient water of the masses can be estimated to be about -30‰.

The Ryoke metamorphic rocks show an equilibrium situation on $\delta D-X_{Fe}$ diagram when biotite and hornblende coexist. Muscovite in the metamorphic rocks seems to be also in equilibrium with coexisting biotite in regard to hydrogen isotope. δD value of the water incorporated in the metamorphic rocks is also estimated to be about -30‰.

Granitic rocks of the Naegi type are distinctly different from the Ryoke granitic rocks mentioned above with respect to the $\delta D-X_{Fe}$ relationship.

1981 年 7 月 3 日受理

- 1) 信州大学理学部地質学教室. Department of Geology, Shinshu University, Matsumoto, 390 Japan.
- 2) 千葉県立柏稜高校. Hakuryo Senior High School, Kashiwa, 277 Japan.
- 3) 岐阜県笠松町立下羽栗小学校. Shimohaguri Elementary School, Kasamatsu, Gifu Pref., 504 Japan.
- 4) 群馬県藤岡市上戸塚 365-16. Kamitotsuka, 365-16, Fujioka, 375 Japan.
- 5) 岡山大学温泉研究所. Institute for Thermal Spring Research, Okayama University, Misasa-cho, 682-02 Japan.
- 6) 静岡県清水市山原 36. Yamahara 36, Shimizu, 424 Japan.
- 7) 一橋大学経済学部経済地理共同研究室. Library of Economic Geography, Hitotsubashi University, Kunitachi, 184 Japan.

は じ め に

花崗岩類はその中に共存する黒雲母・角閃石の化学組成(とくに $Fe/(Fe+Mg)$, 以後 X_{Fe} と表わす)と結晶構造中の水の D/H^* の関係から平衡型と非平衡型に分けられる (KURODA *et al.* 1974, 黒田吉益他 1979 等)**.

* D/H は $\delta D(‰) = \left[\frac{(D/H)_{\text{sample}} - (D/H)_{\text{SMOW}}}{(D/H)_{\text{SMOW}}} \right] \times 1000$ で表わしてある. SMOW は Standard Mean Ocean Water の略.

** 花崗岩ばかりでなく, どんな岩石でも黒雲母と角閃石が共存すれば, 平衡型と非平衡型に分けることができる.

第1図 中部地方領家帯の花崗岩類の区分と分布

第2図 近畿地方領家帯の花崗岩類の区分と分布

苗木花崗岩類	接触変成作用	上松・広島
非調和花崗岩類		新城・清崎・三都橋・日曾利・市田 清内路・木曾駒・門島・高遠・美杉・葛城
伊奈川花崗岩類	領家変成作用	伊奈川・澄川・生田・柳生
濃飛流紋岩類		泉南酸性岩類
片麻状花崗岩類		非持・神原・天竜峡・南向・狭川・畑井 竜門岳・龍畑・横野・君ヶ野・城立

第1表 中部・近畿地方領家帯の花崗岩類の分類

平衡型では黒雲母と角閃石を $\delta D-X_{Fe}$ 図にプロットすると、それらが共に SUZUOKI & EPSTEIN (1976) の実験式に合致し、非平衡型ではそれらが合致しない。言いかえると、平衡型の黒雲母と角閃石は SUZUOKI & EPSTEIN の実験式からもとめられた両者の D/H の平衡な分配率にしたがっており、非平衡型はそれからはずれている*。

この平衡型、非平衡型の成因については、今までも若干の議論をしてきた(黒田吉益他 1979, KURODA *et al.* 印刷中)。その中で、平衡型は free の水が存在する条件下で形成され、非平衡型は free の水が存在しない条件下で形成されると論じてきた。前者の点についてはその後訂正を要することが判明した。すなわち、free の水の存在が平衡型形成の必要条件ではないということである。この点は花崗岩形成と水の関係として別途議論をする予定であるので、ここではそれ以上ふれないことにする。ただ、指摘しておきたいことは、平衡型では黒雲母、角閃石の晶出温度(正確には水素同位体的に平衡に達し、それが凍結されたときの温度)と両者の X_{Fe} が判明すれば、その時両者と共存していた水(マグマ中にとけこんでいた水か、花崗岩体周辺の地層水であるかを問わず)の D/H を推定できるということである。

典型的な平衡型の例は南部北上山地から阿武隈山地にかけての白亜紀花崗岩類で、これらは δD が -30‰ 前後の水**と同位体平衡に達したものと考えられている(KURODA *et al.*, 1980a)。典型的な非平衡型の例はフィンランドのラパキビ花崗岩類であり、水に乏しいマグマから高温で角閃石が、おくれで黒雲母が晶出し、マグマの水がこれら2種の含水珪酸塩によって消費しつくされた結果形成されたと解釈された(KURODA *et al.*, 1978a 等)。

今まで測定したかぎりでは、典型的な平衡型花崗岩の例では X_{Fe} が $0.4\sim 0.6$ で、黒雲母の方が角閃石よりも X_{Fe} が大きく、その差が 0.1 ぐらいのものがふつう

* その際、両者の X_{Fe} の分配については平衡とか非平衡という議論はしていない。

** どのような水であるかは今のところ特定できないが、地層水であった可能性も大きい。

である。また、典型的な非平衡型のラパキビ花崗岩では X_{Fe} が大きく ($0.8\sim 0.9$)、黒雲母と角閃石の X_{Fe} の差が小さい。もちろん、そうでないものも沢山存在している。

この黒雲母と角閃石の X_{Fe} の分配はもちろん形成条件(温度・圧力等)に関係しているであろうし(例えば PERCHUK, 1970)、あるいは KATO *et al.* (1977) のいうように組成にも関係しているかも知れない。しかし、黒雲母と角閃石の X_{Fe} の分配をきめる要素やその規則性は、今のところ判然としていないと言え難い。この問題と D/H の分配との関係は、マグマからの鉱物晶出時期の差、その温度差、鉱物組成の累帯性、分配が凍結された時期等が複雑に関係しており、大変むずかしい問題で

第3図 中部地方領家変成岩類の白雲母、黒雲母、角閃石の $\delta D-X_{Fe}$ 図

S-E Line は SUZUOKI & EPSTEIN (1976) の実験式にもとづく黒雲母と角閃石の $\delta D-X_{Fe}$ 相関関係の傾斜を示す。以下の $\delta D-X_{Fe}$ 図すべてに適用される傾斜である。

第2表 中部地方, 領家変成岩類の黒雲母, 角閃石, 白雲母の含水量, δD , X_{Fe}

Sample No.	Biotite			Hornblend			Muscovite		*
	H ₂ O(wt%)	$\delta D(\text{‰})$	X_{Fe}	H ₂ O(wt%)	$\delta D(\text{‰})$	X_{Fe}	H ₂ O(wt%)	$\delta D(\text{‰})$	
1 (79051507C)	3.64	-50.6	0.24	2.20	-42.8	0.18			C
2 (79051507D)	3.88	-49.6	0.25	2.13	-45.4	0.18			C
3 (79101107)	3.60	-78.6	0.51						C
4 (79110710)	3.38	-77.7	0.56						C
5 (79110807)	3.23	-67.9	0.59						C
6 (79110701)	3.32	-66.7	0.58						S
7 (79110715)	3.27	-77.0	0.56				4.41	-54.2	S
8 (8071804)	3.08	-110.1	0.70	1.87	-109.4	0.71			S
9 (8071803)	4.13	-82.6	0.68	2.02	-84.2	0.62			S
10 (8071802)	3.93	-75.7	0.65	1.90	-73.1	0.61			S
11 (79072308)	3.37	-85.6	0.66	1.88	-82.4	0.57			S
12 (79072309)	3.52	-86.9	0.62	1.78	-81.8	0.59			S
13 (79110307)	3.48	-67.2	0.54	1.80	-62.4	0.49			S
14 (78081203)	3.97	-67.5	0.58				3.47	-47.5	C
15 (78081204)	3.68	-81.8	0.59				3.24	-56.4	C
16 (38)	3.95	-79.2	0.54				3.89	-51.2	C
17 (65)	3.46	-73.8	0.57				3.56	-51.4	C
18 (116)	3.38	-75.8	0.58				3.98	-36.1	C
19 (YH54081411)	3.79	-85.1	0.56						B
20 (YH54072106)	3.82	-89.5	0.56						C
21 (YH54072102)	3.56	-74.6	0.59						C
22 (78081402)	3.47	-80.1	0.62				3.72	-50.6	S
23 (78081403)	3.55	-88.0	0.58				3.44	-45.9	S
24 (78081407)	3.43	-75.4	0.59				3.74	-48.8	S
25 (78081404)	3.18	-69.3	0.63						S
26 (YH54073002)	3.61	-74.5	0.50						S
27 (YH54072504)	3.51	-63.5	0.58						S
28 (YH54072505)	3.61	-72.7	0.60						S
29 (800901-26)	3.74	-88.3	0.43						C

* B: Biotite zone, C: Cordierite zone, S: Sillimanite zone.

第3表 近畿地方領家変成岩類の黒雲母, 角閃石の含水量, δD , X_{Fe}

Sample No.	Biotite			Hornblende			*
	H ₂ O(wt%)	$\delta D(\text{‰})$	X_{Fe}	H ₂ O(wt%)	$\delta D(\text{‰})$	X_{Fe}	
1 (75051601)	3.67	-82.1	0.54				B
2 (75053101)	3.41	-75.9	0.45				B
3 (76051102)	3.83	-113.0	0.64				B
4 (75050507)	3.53	-78.0	0.50				C
5 (75042815)	3.50	-61.4	0.59				C
6 (75050808)	3.64	-97.1	0.50				C
7 (75042914)	3.59	-114.8	0.51				S
8 (75051214)	3.55	-104.0	0.48				S
9 (75052330)	3.69	-66.2	0.42				S
10 (75052920)	3.69	-113.6	0.49				S
11 (7502925)	3.10	-109.1	0.58				S
12 (75052101)	3.69	-78.9	0.49	2.07	-70.9	0.33	S
13 (75051516)	3.70	-59.1	0.46	2.12	-52.0	0.36	S
14 (75051502)	3.73	-53.7	0.45	2.12	-54.8	0.35	S
15 (78011920)	3.18	-56.3	0.41	2.11	-67.6	0.45	S
16 (75052907)	3.73	-91.1	0.28	2.04	-90.1	0.34	S

* B: Biotite zone, C: Cordierite zone, S: Sillimanite zone.

ある。この点も前述の通り花崗岩形成と水の関係として別の機会に議論することとする。

さて、次第にデータがふえるにつれて、典型的な平衡型, 非平衡型の他にいろいろのタイプのものがあることが判明してきた。すなわち, 平衡型, 非平衡型とも正・

第4図 近畿地方領家変成岩類の黒雲母, 角閃石の δD - X_{Fe} 図

逆2通りのものがあること*, 平衡型とも非平衡型ともいえない中間的なものもあること, また, 同一岩体の中でも各種の型のものがまじって複雑な様相を示すものがあること, などである。

領家帯の花崗岩類の水素同位体的研究は, 1974 年以來つづけてきたが, 最初の段階では単純にそれらはすべて非平衡型であって, 阿武隈・北上山地のものとはちがうという結論を出していた(KURODA *et al.*, 1974, 1975). しかし, それは大変な間ちがいであって, きわめて複雑なものであることが判明してきた. 現在のところ, 研究はまだ不十分であって, 中部地方だけでも未研究の岩体が多いし, 近畿地方以西ではほとんど手がつけられていない. しかし, 此度, 端山好和氏の総研で, 領家帯の花崗岩類を総括するに当たって, 現時点でのまとめをしておくことも有意義であろうと考え, 予報として報告する次第である。

本研究は黒田が行なっている東工大松尾禎士博士, 気象庁鈴置哲朗博士, 東北大蟹沢聡史博士, 北大針谷 宥博士らとの共同による「花崗岩と水」の研究の一環をなすものであることをお断わりしておくとともに, 上記の方々の御援助, 共同研究に心からの感謝の意を表わすものである. なお, 領家帯の本研究には直接参加されなか

ったが, 水素同位体を用いての研究において, 多くの援助をして下さった信州大学ならびに東京工大の多数の学生, 院生諸君がおられたことも記して謝意を表わしたい. さらに, 本研究に要した研究費は黒田に交付された文部省科学研究費(一般 A 242017, 総研 A 134073, 234056, 338042, 特定研究 I 311510, 410910, 510108)に負うところが大きかったことも記して謝意を表わしたい。

中部地方・近畿地方の領家帯の花崗岩類の分類

中部地方領家帯の花崗岩体の前後関係については, 領家研究グループ(1972)をはじめいくつかのまとめが行なわれている. また, 放射性年代の測定も KAGAMI(1973)をはじめいくつかの報告がなされている. 近畿地方の領家帯は全体としては中部地方ほど研究がすすんでいないようではあるが, それでもかなりの報告があるし, 本特

第4表 中部地方片麻状花崗岩類中の黒雲母, 角閃石の含水量, δD , X_{Fe}

Sample(No)	Biotite			Hornblende		
	H ₂ O(wt%)	$\delta D(\text{‰})$	X_{Fe}	H ₂ O(%)	$\delta D(\text{‰})$	X_{Fe}
1 (79110606)	4.66	-75.3	0.75	2.08	-80.3	0.64
2 (79110613)	3.74	-83.6	0.57	1.88	-78.5	0.51
3 (79050504)	3.60	-70.3	0.53	1.85	-70.7	0.46
4 (80071603)	3.94	-59.5	0.38	2.65	-51.0	0.41
5 (71081401)	4.13	-67.1	0.51	2.15	-67.6	0.52
6 (71081405)	5.33	-64.0	0.55	2.37	-70.4	0.53
7 (71081407)	4.35	-78.2	0.51	2.07	-87.0	0.49
8 (71081408)	4.86	-85.7	0.50	2.05	-100.8	0.54
9 (79031606)	3.24	-86.1	0.69	1.66	-78.7	0.71
10 (79051809)	3.43	-70.8	0.73	1.68	-65.2	0.74
11 (73081204)	3.67	-124.3	0.70	1.68	-121.4	0.68
12 (72N-26)	3.07	-72.1	0.66	1.78	-56.9	0.61
13 (71081410)	4.01	-64.7	0.76	1.94	-60.0	0.74
14 (71081411)	3.88	-86.1	0.62	2.07	-80.6	0.58
15 (71081412)	4.35	-74.8	0.69	1.89	-70.9	0.69
16 (71081404)	5.48	-65.2	0.76	1.73	-74.9	0.76
17 (72060201)	3.48	-88.0	0.72	1.67	-85.6	0.73
18 (67102003)	3.41	-88.2	0.65	1.64	-80.0	0.65
19 (42904)	3.50	-73.1	0.62	1.81	-71.7	0.61
20 (7052105)	2.88	-60.6	0.60			
21 (67102101)	3.31	-106.0	0.68			

1~8: 非持岩体, 9~21: 南向および天竜峡岩体。

第5図 中部地方の片麻状花崗岩類の黒雲母, 角閃石の δD - X_{Fe} 図

1: 非持岩体, 2: 南向および天竜峡岩体, 丸印は角閃石, 十字印は黒雲母。

* 平衡型では角閃石の方が X_{Fe} が小さく, δD が高い場合を正 (normal) とし, 逆の場合を逆 (reverse) とする. 非平衡型では角閃石の方が δD が低い場合を正とし, 逆の場合を逆とする. 何故, このような正逆の型ができるかは今のところ不明である。

集号にもそのまとめが発表されている。

しかし、ここではそれらのデータをあまり考慮に入れず、もっぱら $\delta D-X_{Fe}$ の関係、顕微鏡下の特徴、野外における若干の観察などから、一つの作業仮説として、中部地方・近畿地方の領家花崗岩類を第1表のように区分した。その区分による分布図を第1図、第2図に示した。

古い方から片麻状花崗岩類、伊奈川花崗岩類、非調和花崗岩類 (discordant granites) に分ける。片麻状花崗岩類は領家変成作用に伴うもので、中部地方では非持、天竜峡などの岩体、近畿地方では畑井、横野、君ヶ野、城立などの岩体 (端山ほか, 1982) が含まれる。広域変成作用の産物である領家変成岩類と密接に伴ない、部分的にミグマタイト様になるところもあり、変成岩と区別するのがむずかしいようなところもある。さらに、より後期の伊奈川花崗岩類や非調和花崗岩類によって再結晶作用をうけていることもある。

この片麻状花崗岩類と領家変成岩類がせまい意味での領家深成変成帯を形成するわけであるが、そのあと、不連続的に濃飛流紋岩類の活動で始まる、この地域としては第2番目の酸性火成活動のサイクルがある。流紋岩質の火山活動のあと、多分そのマグマの深成相としての伊奈川花崗岩類の底盤が形成された。また、この活動のあと、ところどころに比較的小規模に残っていたマグマが独立した深成岩体として、それまでの構造に対して非調和的に貫入してきた。それらが中部地方では新城、日曾

利、木曾駒などとよばれる岩体であり、近畿地方では葛城 (政岡, 1982)、美杉 (端山ほか, 1982) などとよばれる岩体である。これらの岩体の貫入時期がすべて同じであったかどうかは確定しているわけではないが、その形成機構は同じであったらう。

これら一連の火成活動のあと、その地域の北方に別のサイクルとして苗木花崗岩類 (広島花崗岩類) の活動がおこった。

領家深成変成帯の形成、濃飛流紋岩類—伊奈川花崗岩類—非調和花崗岩類の活動、苗木花崗岩類の形成は、それぞれ時期を異にし、また場所も少しづつ北方へ移動した3つの異なった火成活動のサイクルであろうと推定する。

次にそれら各岩類の含水珪酸塩の D/H , X_{Fe} の特徴を説明し、このような区分の1つの手掛りを示すことにするが、その最初に領家変成岩類のデータも示して参考に供することとした。

領家変成岩類

中部地方の主として高遠南方の領家変成岩類の黒雲

第5表 近畿地方片麻状花崗岩類の黒雲母、角閃石の含水量, δD , X_{Fe}

Sample (No)	Biotite			Hornblende		
	H ₂ O (wt%)	δD (‰)	X_{Fe}	H ₂ O (wt%)	δD (‰)	X_{Fe}
1 (111104)	3.15	-72.5	0.58	2.46	-86.7	0.38
2 (012004)	3.62	-70.0	0.45	2.02	-67.5	0.42
3 (TY32403)	3.58	-67.5	0.63	2.35	-58.7	0.51
4 (110407)	3.30	-63.1	0.58	1.87	-58.6	0.56
5 (12007)	3.62	-70.8	0.45	2.03	-68.0	0.45
6 (N2601)	3.38	-59.5	0.52	1.91	-56.4	0.43
7 (61308)	3.87	-97.3	0.54	1.92	-93.2	0.48
8 (42510)	3.44	-67.1	0.61	1.92	-64.5	0.53
9 (52912)				2.06	-51.8	0.46
10 (51602)	4.11	-71.8	0.58			
11 (51601)				2.27	-63.7	0.32
12 (614L)	3.49	-72.1	0.56	1.82	-62.2	0.53
13 (52096)				2.01	-72.0	0.46
14 (77051703)	4.50	-75.5	0.68	1.74	-75.6	0.70
15 (75010604)	3.65	-97.9	0.59	1.81	-102.8	0.59
16 (75082810)	3.73	-55.7	0.58	1.73	-55.6	0.60
17 (75082811)	4.80	-102.4	0.59	1.65	-110.4	0.60

1~8: 君ヶ野岩体, 9~13: 畑井岩体, 14: 横野岩体, 15~17: 城立岩体。

第6図 近畿地方の片麻状花崗岩類の黒雲母、角閃石の $\delta D-X_{Fe}$ 図

1: 君ヶ野岩体, 2: 畑井岩体, 3: 城立岩体, 4: 横野岩体, 丸印は角閃石, 十字印は黒雲母。

母、角閃石、白雲母の含水量、 δD , X_{Fe} のデータを第2表*にあげ、その δD - X_{Fe} 図を第3図**に示してある。

これら変成岩類の変成度は黒雲母帯から珪線石帯までおよんでいるが、変成度と黒雲母の δD の間には相関関係はない。全体として X_{Fe} も δD もまとまった値を示している。すなわち、 X_{Fe} では 0.5~0.6, δD は -55~-88‰ である。変成岩類の場合、黒雲母と角閃石が共存するものがそれほど多くないので、ペアの数はかぎられているが、測定したかぎりでは、ほぼ平衡の関係を示していることがわかる。

そこで、これら変成岩類が水素同位体的に凍結されたときの温度が 600~350°C ぐらいであったとして、 δD のばらつきがそのような温度差によるものとすれば、これら黒雲母、角閃石(おそらく白雲母も)と平衡にあった水の δD は -30‰ ぐらいとなる。この値は、阿武隈・北上山地の白亜紀花崗岩類から推定されたその相手の水(地層水かもしれない)の δD 値と一致する。このことは偶然かも知れないが、あるいは何か本質的な意味をもっていることかも知れない。例えば、白亜紀頃の日本列島付近の上部地殻の地層水の一般的性質という可能性も一概には否定できない。

近畿地方、とくに伊賀上野南方の変成岩類中の黒雲母、角閃石の含水量、 δD , X_{Fe} の分析結果を第3表にあげてある。この場合も、堇青石帯、珪線石帯のものが含まれているが、変成度と δD 値の間に相関関係はみられない。その δD - X_{Fe} 図を第4図に示した。この場合は、 δD 値が中部地方の場合より広いはんにばらついている(-50~-115‰)。このような広いばらつきは平衡温度の差だけでは説明できないから、水の起源が一つだけではなかったと考えざるをえない。たとえば、中部地方と同じく -30‰ の水と、それより軽い水(-70~-80‰)とが適宜混合したと考えてもよいが、後者が当時の天水であったのかどうかについては今のところ推定は不可能である。

片麻状花崗岩類

これに属する岩体としては、中部地方では非持、神原、天竜峡、南向が、近畿地方では竜門岳、滝畑(領家研究グループ, 1974)、畑井、横野、君ヶ野、城立、狭川(Hara, 1962)があげられる。いずれも領家片麻岩類に対して調和的に進入し、一部でミグマタイト様になったりする。全体として領家変成岩類の高変成度相の部分に伴って分布しており、それらの形成に密接な関係をもっていたと思われる。一般には普通の花崗岩様組織を示すが、部分的には再結晶した片麻岩様の組織を示すこともある。

中部地方のものの黒雲母、角閃石の含水量、 δD , X_{Fe} の分析結果を第4表にあげ、その δD - X_{Fe} 図を第5図に示した。

花崗岩類は、まとまった地域の、一定の時代の、単純な岩体では、その δD - X_{Fe} の関係は比較的一定したパターンを示している(KURODA *et al.*, 1974, 1980a等)。すなわち、平衡型は平衡型なりに、非平衡型は非平衡型なりに黒雲母一角閃石の δD - X_{Fe} 図上の tie-line はまとまっているのがふつうである。しかし、第5図に示した中部地方の片麻状花崗岩類の場合は、 X_{Fe} は 0.38 から 0.76 まで、 δD は -50‰ から -120‰ までと大変ばらついており、黒雲母一角閃石の tie-line は平衡型の関係を示すものもあれば、非平衡型の関係を示すものもある。さらに両者の中間的なものも認められる。

このことは、これらの花崗岩類が単純な1回の結晶作用で生成されたと考えることを不可能にし、複雑な形成条件を考えるか、あるいは複雑な形成史を考えざるを得なくするものである。今のところ、具体的な形成過程をたどることはできないが、おそらくは複数の結晶作用ないしは再結晶作用の結果であろうと推定している。

近畿地方のものでは、君ヶ野、城立、畑井、横野の諸岩体についてしらべたが、その結果を第5表、第6図に示した。この場合も、中部地方のものと同様に、一定のまとまった傾向を示さない。その形成過程が中部地方と同様に複雑であったと考えざるをえない。

伊奈川花崗岩類

伊奈川花崗岩類は中部地方、近畿地方にもっとも広く分布する見掛け上均質な底盤である。澄川、生田、柳生などとよばれている岩体もこのグループに入るものと考えられる。近畿地方の柳生岩体については未研究であるが、中部地方のものについてはある程度詳細に水素同位体的

* これ以降の表には、一部 KURODA *et al.* 1974, 1975, 1977 のデータも入れてある。その他のものは含水量、 X_{Fe} に関しては著者、 δD に関しては著者と松尾禎士によって分析されたものである。

** 白雲母は完全分析をすることなしに、 $X_{Fe}=0$ へプロットすることはできないが、KURODA *et al.* (1978b) のデータからも分るとおり、多少の誤差を大目にみるならば、 $X_{Fe}=0$ の位置へプロットしても第1近似的には許されるだろう。しかし、正しいものではない。変成岩からの分離にいろいろの問題があるので、ここではまだ完全分析がすんでいない。したがって大変粗っぽい近似であること、黒雲母との tie-line も黒雲母一角閃石の場合とちがうこと、などを承知しておいて頂きたい。

研究を行なった。その結果を第6表、第7図に示した。

その性質はきわめて異常なものである。まず測定された δD の値が -40‰ から -150‰ にまでおよび、非常にばらついている。黒雲母—角閃石のペアは正の非平衡型を示すものがふつうであるが、平衡型を示すものがわずかに存在する。非平衡型のものにあっても、ラパキビ花崗岩類(KURODA *et al.* 1978a)のように、黒雲母と角閃石の δD の差が大きくはない。また、黒雲母、角閃石の X_{Fe} はいずれも 0.7 前後で、 δD の値とは無関係にほぼ一定である。さらに、それらの含水量は非調和花崗岩類中のものより明らかに少ない。

これらの性質から伊奈川花崗岩類の形成過程を論ずることは甚だ困難である。たとえば、このように広いはんいの δD の値からは、これらの黒雲母、角閃石の水の起

源がすべて同一であったとはとても考えられない。そこで試料採集地点と δD の値をしらべてみたところ、まだ十分なデータとはいえないが、 $-40\sim -70\text{‰}$ 、 $-70\sim -95\text{‰}$ 、 $-100\sim -130\text{‰}$ 、 -130‰ 以下の4つのグループごとにその分布地域が分かっているようである。しかし、その理由は不明である。何故、伊奈川花崗岩類のみが δD - X_{Fe} 図上でこのようなパターンを示すかは今のところ全く不明である。

非調和花崗岩類

非調和花崗岩類とよんでいるものは、中部地方では新城、清崎、三都橋、日曾利、市田、清内路、門島、武

第6表 伊奈川花崗岩類の黒雲母、角閃石の含水量、 δD , X_{Fe}

Sample No.	Biotite			Hornblende		
	H ₂ O(wt%)	$\delta D(\text{‰})$	X_{Fe}	H ₂ O(wt%)	$\delta D(\text{‰})$	X_{Fe}
1 (77092601)	3.75	-139.0	0.67	2.01	-143.0	0.69
2 (77092607)	3.12	-132.0	0.70	1.80	-131.3	0.70
3 (77092603)	3.46	-125.0	0.75	1.68	-133.1	0.77
4 (77051203)	3.21	-130.1	0.76			
5 (77051911)	3.92	-136.6	0.70	1.66	-141.9	0.71
6 (77051903)	3.52	-138.2	0.74	1.44	-146.6	0.73
7 (77120302)	3.46	-143.0	0.61	1.65	-135.0	0.67
8 (77051705)	3.36	-83.1	0.72	1.50	-86.3	0.69
9 (77120301)	3.76	-81.1	0.68	1.63	-87.0	0.68
10 (77051801)	3.21	-84.7	0.72	1.55	-82.2	0.71
11 (77051802)	3.34	-100.0	0.70	1.58	-106.0	0.68
12 (73081002)	3.43	-83.9	0.71	1.79	-82.7	0.68
13 (73081003)	3.06	-96.7	0.71	1.62	-112.6	0.71
14 (73081006)	2.99	-94.2	0.72	1.67	-115.3	0.73
15 (67102401)	3.37	-108.0	0.71	1.82	-106.0	0.71
16 (67102402)	3.55	-123.0	0.66	1.78	-124.0	0.66
17 (78071305)	3.21	-133.0	0.67	1.60	-143.0	0.70
18 (78071303)	3.99	-133.0	0.68	1.68	-138.0	0.76
19 (72N65)	3.23	-41.5	0.70	1.94	-61.7	0.67
20 (78071209)	3.40	-115.0	0.72	1.76	-119.0	0.76
21 (78071210)	3.19	-101.0	0.74	1.62	-107.0	0.76
22 (78071208)	3.19	-90.4	0.68			
23 (78071207)	3.03	-63.5	0.67	1.91	-66.8	0.66
24 (78071002)	3.46	-110.0	0.72	1.64	-112.0	0.72
25 (78071004)	3.24	-78.7	0.65	1.78	-82.2	0.64
26 (78071005)	3.11	-67.1	0.70	1.76	-60.2	0.71
27 (78071106)	3.34	-63.2	0.64			
28 (67101404)	2.79	-115.0	0.68	1.40	-127.0	0.70
29 (67101403)	3.53	-105.0	0.75	1.54	-98.8	0.75
30 (Y6751107)	3.84	-106.0	0.63	1.78	-127.0	0.68
31 (79072406)	3.51	-79.9	0.80	1.78	-75.6	0.75
32 (8081409)	4.67	-83.1	0.79	1.70	-82.3	0.79
33 (73081205)	3.88	-86.1	0.81	1.68	-91.2	0.80
34 (71082801)	3.43	-95.5	0.71	1.77	-105.4	0.70
35 (73081409)	3.23	-86.2	0.79	1.59	-93.9	0.81
36 (68072302)	3.47	-83.7	0.70	1.66	-91.6	0.71

1~30: 伊奈川岩体, 31~36: 生田岩体。

第7図 伊奈川花崗岩類の黒雲母、角閃石の δD - X_{Fe} 図
1: 伊奈川岩体, 2: 生田岩体, 丸印は角閃石, +字印は黒雲母。

第7表 新城, 勝間, 四徳花崗岩類の黒雲母, 角閃石の含水量, δD , X_{Fe}

Sample No.	Biotite			Hornblende		
	H ₂ O(wt%)	$\delta D(\text{‰})$	X_{Fe}	H ₂ O(wt%)	$\delta D(\text{‰})$	X_{Fe}
1 (80050907)	3.60	-66.8	0.58	2.05	-56.4	0.50
2 (80050909)	3.59	-65.2	0.58	2.01	-59.0	0.52
3 (80051808)	4.19	-103.4	0.57	2.03	-94.7	0.50
4 (80051905)	3.45	-72.7	0.57	2.21	-66.2	0.49
5 (80052210)	3.84	-97.3	0.57			
6 (80061006)	3.50	-87.2	0.56	2.07	-83.9	0.52
7 (80083016)	3.78	-83.6	0.56	2.08	-85.7	0.51
8 (80091405)	3.55	-67.7	0.57	2.01	-62.6	0.54
9 (80101117)	3.99	-61.5	0.54	2.14	-56.5	0.50
10 (80101701)	3.79	-63.2	0.54	2.03	-58.0	0.51
11 (72N-31)	3.67	-66.0	0.55	2.08	-68.8	0.50
12 (72N-33)	4.07	-61.0	0.47	2.03	-54.6	0.51
13 (78071108)	4.03	-94.3	0.59	2.06	-89.9	0.50
14 (78071104)	3.33	-60.5	0.63	1.97	-46.9	0.51
15 (78071102)	4.08	-94.7	0.59	2.06	-87.7	0.51
16 (78071111)	3.86	-50.0	0.58	2.04	-56.0	0.49
17 (78071106B)	3.92	-64.2	0.56	2.10	-70.3	0.49
18 (67101803)	4.61	-67.8	0.45	2.03	-67.8	0.43
19 (79100501)	3.66	-66.9	0.54	1.94	-60.7	0.41
20 (79100210)	3.55	-55.9	0.55	1.91	-50.9	0.52
21 (79072703)	3.44	-60.7	0.53	1.79	-61.7	0.53

1~17: 新城岩体, 18: 勝間岩体, 19~21: 四徳岩体。

第8表 日曾利, 木曾駒花崗岩の黒雲母, 角閃石の含水量, δD , X_{Fe}

Sample No.	Biotite			Hornblende		
	H ₂ O(wt%)	$\delta D(\text{‰})$	X_{Fe}	H ₂ O(wt%)	$\delta D(\text{‰})$	X_{Fe}
1 (79052004)	3.30	-74.0	0.42	1.90	-72.4	0.33
2 (79071704)	3.34	-82.2	0.41	1.85	-72.8	0.34
3 (79110713)	3.43	-67.9	0.40	1.88	-59.1	0.32
4 (79110812)	3.44	-68.3	0.42	1.88	-65.1	0.35
5 (79110802)	3.42	-78.9	0.41			
6 (79110813)	3.56	-72.5	0.46			
7	3.36	-74.0	0.55	1.90	-64.2	0.48

1~6: 日曾利岩体, 7: 木曾駒岩体。

節, 木曾駒, 高遠などとよばれている岩体で, 近畿地方では美杉, 葛城とよばれているものである。これらは径数 km~10 数 km 程度の比較的小さい岩体で, 周囲の構造に対して非調和的に貫入している。一種の流理構造と考えられる構造がドームあるいはベーズン状を示している。それらの接触部では接触変成帯が形成されていることもある。

すべての岩体について調査がすすんでいるわけではないが, しらべた限りでは δD - X_{Fe} の関係は平衡型のものである。代表的な例として新城岩体(四徳, 勝間のものも一部分含めてある)のデータを第7表, 第8図に示した。これから明らかなように, これらは X_{Fe} において

第8図 中部地方非調和花崗岩類の黒雲母, 角閃石の δD - X_{Fe} 図(1)

1: 新城岩体, 2: 勝間岩体, 3: 四徳岩体, 丸印は角閃石, +字印は黒雲母。

第9図 中部地方非調和花崗岩類の黒雲母, 角閃石の δD - X_{Fe} 図(2)

1: 日曾利岩体, 2: 木曾駒岩体, 丸印は角閃石, +字印は黒雲母。

0.5~0.6 のほぼ一定した値を示している。 δD の差は約 50‰ に達し, 平衡温度の差だけで説明するには大きすぎるように思われる。重い方の水については相手の水が -30‰ という事で問題はないようであるが, 軽い

第9表 美杉, 葛城岩体の黒雲母, 角閃石の含水量, δD , X_{Fe}

Sample No.	Biotite			Hornblende		
	H ₂ O(wt%)	$\delta D(\text{‰})$	X_{Fe}	H ₂ O(wt%)	$\delta D(\text{‰})$	X_{Fe}
1 (61207)	3.68	-59.2	0.47	1.98	-45.7	0.42
2 (52607)	3.40	-64.6	0.53	1.99	-58.4	0.48
3 (52604)				1.91	-64.5	0.52
4 (12211)	3.71	-75.7	0.47	2.03	-65.4	0.43
5 (51705)	3.55	-71.4	0.58	1.80	-61.5	0.47
6 (12213)	3.53	-90.5	0.44	2.09	-71.7	0.44
7 (12215)	3.67	-64.2	0.48	1.93	-57.6	0.40
8 (12219A)	3.31	-66.1	0.50	1.91	-59.4	0.49
9 (41401)	3.61	-68.5	0.48	1.88	-69.1	0.47
10 (111302A)	3.27	-82.0	0.53	1.88	-71.5	0.48
11 (52911)	4.89	-83.7	0.49	2.03	-80.5	0.42
12 (012309)	4.14	-74.0	0.44	2.03	-74.2	0.41
13 (53109)	4.03	-64.4	0.53	2.29	-58.7	0.46
14 (110503)	3.78	-64.6	0.50	1.96	-63.2	0.47
15 (110608)	3.45	-74.1	0.55	1.93	-74.5	0.55
16 (M1706)	3.67	-77.2	0.49	2.00	-65.7	0.45
17 (110707)	3.32	-66.0	0.49	2.04	-52.2	0.42
18 (7360507)	3.51	-75.0	0.54	1.96	-72.9	0.51
19 (77042205)	3.72	-70.2	0.52	2.07	-65.7	0.45

1~17: 美杉岩体, 18~19: 葛城岩体.

方のものについてはその起源を推定することはかんたんではない。

日曾利岩体の例を第8表, 第9図に示した. 木曾駒岩体の1例も加えてある. これらも明らかに平衡型を示している. 日曾利岩体のものは X_{Fe} の値がやや低いが, 相手の水の δD としてはやはり -30‰ が考えられる.

次に近畿地方の美杉岩体(葛城岩体の一部も加えてある)の例を第9表, 第10図にあげてある. この場合も明らかな平衡型であり, X_{Fe} は 0.5 ぐらい, 相手の水は -30‰ となる.

領家帯には両雲母花崗岩とよばれるものが分布するが, それも非調和花崗岩類のグループに属すると考えている. そのうち, 中部地方の武節, 近畿地方の阿保の両岩体の黒雲母と白雲母の例を第10表と第11図に示した. 白雲母については変成岩類のところに註で述べているように, X_{Fe} については問題がある. また, データが少ないので, 全体的な傾向をいうには早すぎると思うが, 非調和花崗岩類のメンバーとして, とくに都合が悪いことはなさそうである. 相手の水の δD も -30‰ として不都合とは思われない.

苗木花崗岩類

一般に優白質花崗岩類の肉眼による区分はかんたんではない. 苗木花崗岩類の場合も領家帯の優白質花崗岩類と区別することが困難なときがある. しかし, 顕微鏡下

第10図 近畿地方非調和花崗岩類の黒雲母, 角閃石の δD - X_{Fe} 図

1: 美杉岩体, 2: 葛城岩体.

の特徴, 含水珪酸塩の D/H , X_{Fe} などを総合するとかなり明瞭に区別できる. 苗木花崗岩類は角閃石を含むものが少ないので, 黒雲母-角閃石のペアをとり出すことが困難である. 中部地方の南木曾付近に分布する苗木花崗岩類についてしらべた例を第11表, 第12図に示した. これからも分るように, 黒雲母の X_{Fe} がほぼ 0.8 の大きな値を示すこと, 僅か2組のペアについてみると逆の平衡型を示すこと, δD の値はかなりばらついているが, 推定される相手の水の δD は -30‰ とは考えられないこと, 等の点で今までの領家帯のものとははっきりと異なった性質を示している.

まとめ

以上のような中部地方, 近畿地方領家帯の花崗岩類の黒雲母, 角閃石の δD - X_{Fe} の関係から, 次のようなことが結論される.

1 片麻状花崗岩類は平衡型, 非平衡型が混じっており, δD も X_{Fe} も大変ばらついている. これは複数の同位体平衡過程を経過したせいであろう.

2 伊奈川花崗岩類は非平衡型の特徴を示すが, X_{Fe} は 0.7 前後の一定した値を示すのに対し, その δD のばらつきは 100‰ 以上にもおよぶ特異なものである. その形成条件は今のところ不明である.

3 非調和花崗岩類は平衡型の特徴を示し, 推定される相手の水(おそらく地層水)の δD は約 -30‰ である.

第11図 両雲母花崗岩類の白雲母(×印),
黒雲母(+印)の δD - X_{Fe} 図
1: 武節岩体, 2: 阿保岩体.

第10表 両雲母花崗岩の黒雲母, 白雲母の含水量,
 δD , X_{Fe}

Sample No.	Biotite			Muscovite		
	H ₂ O(wt%)	δD (‰)	X_{Fe}	H ₂ O(wt%)	δD (‰)	
1 (51)	6.29	-72.9	0.81	4.14	-51.5	
2 (72N-38)				4.53	-32.8	
3 (72N-54)				3.89	-34.7	
4 (72N-59)				4.41	-47.7	
5 (75051503)	4.14	-80.2	0.66	2.01	-58.0	
6 (75082807)				4.24	-46.2	

1~4: 武節岩体, 5~6: 阿保岩体.

第11表 苗木花崗岩類の黒雲母, 角閃石の含水量,
 δD , X_{Fe}

Sample No.	Biotite			Hornblende		
	H ₂ O(wt%)	δD (‰)	X_{Fe}	H ₂ O(wt%)	δD (‰)	X_{Fe}
1 (77120307)	2.90	-96.7	0.79	1.64	-98.7	0.80
2 (120103)	3.53	-110.0	0.66	1.91	-114.0	0.72
3 (120304)	2.77	-97.5	0.78			
4 (92504)	4.18	-133.0	0.82			
5 (Y3)	2.92	-109.0	0.79			
6 (52204)	3.39	-111.0	0.78			
7 (51603)	3.43	-119.0	0.91			
8 (50904)	3.00	-125.0	0.87			
9 (520112)	2.95	-116.0	0.84			
10 (92606)	3.57	-140.0	0.73			
11 (52410)	2.77	-152.0	0.81			

その値は領家変成岩類の変成作用時の水の δD と一致している.

4 これら3つのグループの花崗岩類の角閃石の X_{Fe} と含水量の関係を第13, 第14図に示した. . 伊奈川花

第12図 苗木花崗岩類の黒雲母(+印)と角閃石
(○印)の δD - X_{Fe} 図

崗岩類と非調和花崗岩類には, X_{Fe} , 含水量ともにはっきりとした区別がある. 前者は X_{Fe} が大きく, 含水量が少ない. 後者は X_{Fe} が小さく含水量が多い. 含水量を重量%で表わすと, X_{Fe} の大きさによって理想式中の含水量の%が異なってくるが(黒田吉益他 1980b), それを考慮しても伊奈川花崗岩類の角閃石含水量は少ない. 黒雲母の含水量はばらつきが多いが, それでも傾向とし

第13図 伊奈川花崗岩類(1)と非調和花崗岩類(2)の角閃石の含水量と X_{Fe} の関係
2本の直線は理想的な角閃石の含水量のほいを示す。

ては角閃石と同じである。一方、片麻状花崗岩類中のはその関係がばらついており、伊奈川花崗岩類から非調和花崗岩類にわたる広い範囲にわたっている。このことは $\delta D-X_{Fe}$ 図から推定された複雑な歴史をへたという解釈と矛盾しないようである。

文 献

- Hara, I., 1962: Studies on the structure of the Ryo-ke metamorphic rocks of the Kasagi district, Southwest Japan. *Jour. Sci., Hiroshima Univ., Ser. C*, **4**, no. 2, 163—224.
- 端山好和・山田哲雄・伊藤 誠・沓掛俊夫・政岡邦夫・宮川邦彦・望月康年・仲井 豊・田結庄良昭・吉田勝・河原林育朗・津村善博, 1982: 近畿地方 東部の領家帯の地質——特に花崗岩の岩体区分と相互関係——. *地質雑*, **88**, 451—466.
- Kagami, H., 1973: A Rb-Sr geochronological study of the Ryo-ke granites in Chubu district, central Japan. *Jour. Geol. Soc. Japan*, **79**, 1—10.
- Kato, Y., Onuki, H. and Tanaka, H., 1977: Compositional dependence of the Mg/Fe distribution coefficient between biotite-hornblende pairs from calc-alkaline granitic rocks. *Jour. Assoc. Min. Pet. Econ. Geol.*, **72**, 252—258.
- Kuroda, Y., Suzuoki, T., Matsuo S. and Kanisawa,

第14図 片麻状花崗岩類の角閃石の含水量と X_{Fe} の関係

1: 中部地方のもの, 2: 近畿地方のもの,
I は伊奈川花崗岩類のはい, D: は非調和花崗岩類のはい, 2本の線は第13図と同じ。

S., 1974: D/H fractionation of coexisting biotite and hornblende in some granitic masses. *Jour. Japan Assoc. Min. Pet. Econ. Geol.*, **69**, 95—102.

——, 1975: D/H fractionation of coexisting biotite and hornblende in some granitic masses —A supplement. *ibid.* **70**, 352—362.

Kuroda, Y., Fujimoto, K., Suzuoki, T. and Matsuo, S., 1977: D/H ratio of hydrous silicates from the metamorphic and granitic rocks in the Iga-Ueno and Komagane districts of the Ryo-ke belt. *Jour. Geol. Soc. Japan*, **83**, 353—357.

Kuroda, Y., Yamada, T., Fujimoto, K., Suzuoki, T. and Matsuo, S., 1978a: Hydrogen isotope study on biotite and hornblende from Finnish granitic rocks. *Geoch. Jour.* **12**, 259—263.

Kuroda, Y., Suzuoki, T., Matsuo, S., Onuki, H., Murakami, N. and Kinugawa, K., 1978b: D/H ratios of hornblende, epidote and white mica from some mafic metamorphic rocks in Japan., *Geoch. Jour.*, **12**, 213—221.

黒田吉益・山田哲雄・鈴置哲朗・松尾禎士, 1979: 花崗岩マグマと水. *月刊地球*, 1.

Kuroda, Y., Arai, T., Maruyama, T., Tanaka, H., Suzuoki, T. and Matsuo, S. 1980a: Hydrogen isotope ratios of biotite and hornblende from some granitic masses in the Abukuma plateau, Japan.

- Jour. Assoc. Min. Pet. Econ. Geol., Special Iss. no. 2*, 235—242.
- 黒田吉益・鈴置哲朗・松尾禎士, 1980b : 角閃石の含水量, X_{Fe} , D/H. 九大研究報告, **13**, 191—200.
- 政岡邦夫, 1982 : 近畿地方金剛山地およびその周辺の領家花崗岩類, 地質雑, **88**, 483—497.
- Perchuk, L. L., 1970 : *Equilibrium of rock-forming minerals*. Nauka, Moscow (in Russian).
- 領家研究グループ, 1972 : 中部地方領家帯の花崗岩類の相互関係, 地球科学, **26**, 205—216.
- 領家研究グループ, 1974 : 奈良県桜井市南方の領家帯の地質, 地球科学, **28**, 103—114.
- Suzuoki T. and Epstein, S., 1976 : Hydrogen fractionation between OH-bearing silicate minerals and water. *Geochim. Cosmochim. Acta*, **40**, 1229—1240.
-