北上山地、金華山花崗岩質岩体の岩石学

PETROLOGY OF THE KINKASAN GRANITIC BODY, KITAKAMI MOUNTAINS

加 藤 祐 三 (Yuzo Kato)*
田 中 久 雄 (Hisao Tanaka)**

The Kinkasan granitic body, Kitakami mountains, was studied from the petrochemical and mineralogical point of view. From field and microscopic observation, this body is divided into four rock types of A, B, C and D, whose modal compositions are shown in Table 1 and Figure 3. A and D types are schistose and protoclastic.

Variation trends on the SiO_2 -oxides diagrams are generally smooth (Figure 4). Mineral chemistry of biotites, hornblendes and magnetites in all rock types shows approximately similar characteristics, suggesting they are co-magmatic. But in the strict sense, petrochemistry and mineralogy of B and C types are very similar, while those of A type are different from B and C types, and moreover those of D type lie between A and B-C types though its SiO_2 content is the highest of the four types.

Judging from these petrochemical and mineralogical evidences, D type was not differentiated from C type (*i.e.* in order of A-B-C-D), but from A type directly. The rock types A, B and C were differentiated in a magma chamber located at about 15 km in depth. At the upper part of the chamber, about 10 km in depth, C type magma was generated by differentiation. At first A type has uprisen to the present place, located at about 3.5 to 5 km in depth, and differentiated D type *in situ*. After these two types were deformed by tectonic movement, B and C types were intruded into A type rocks successively.

Cr_2O_3 content in minerals is controlled by that in bulk rocks, while it is more concentrated in magnetites. Behavior of Zn in mafic silicate minerals agrees with the conclusion of Kato (1970), and Zn content in magnetites is roughly proportional to that in the associating biotites (Figure 7) and hornblendes.

1. はじめに

北上山地には白亜紀に貫入した花崗岩質岩体が多数分布している。金華山花崗岩質岩体はその一つで、北上山地の最南東端に位置し、少量の変成岩類と共に東西 4 km, 南北 5 km の島を形づくっている。

金華山花崗岩質岩体の岩石学的研究については、Sendo and Ueda (1963) が野外調査、鏡下での観察をもとに詳しい記載を行い、さらに岩石の化学分析値 (8 個) を公表している。また最近、猪木、滝沢、片田 (1972) は野外調査、鏡下での観察を行い、Sendo and Ueda (1963) に新しい調査研究の結果を加えて報告しているが、花崗岩質岩の岩石学的研究については Sendo and Ueda の結果と大筋において差はない。

これらの従来の報告では造岩鉱物に関する研究は全く行われていない。著者等はこの点に注目し、主として造岩鉱物の化学的性質を調べ、それをもとに成因的考察を行う目的で本研究を行った。また著者の一人 (Y.K.) は北上山地の白亜紀花崗岩質岩についての一連の研究を行っているが、本研究はその一環をなすものである。

発表に当たり、現地調査の御便宜を頂いた地質調査所の片田正人技官に謝意を表す。

2. 野外および鏡下での観察

Sendo and Ueda (1963) は本岩体の岩石を 3 つに分類している。本報文では、A, B, C, D の 4 岩型に分けることにする。岩石名で呼ばずに岩型名で呼ぶ理由は、一

* 東北大学理学部岩石鉱物鉱床学教室

** 山形大学理学部地学教室

つには呼び易さのためであり、一つには岩石名で呼んだ場合、部分的にその岩石名と異った岩石が含まれるという不都合が生じ得るからである。著者等の岩型と Sendo and Ueda (1963) との対比は次の通りである。

本報文 Sendo and Ueda (1963)

A 型 片状正長石含有普通角閃石黒雲母
石英閃緑岩

B 型 普通角閃石含有黒雲母花崗閃緑岩

C 型 黒雲母花崗閃緑岩

以上の他に、脈状細～中粒白質花崗岩質岩を D 型と総称する。亀石で不規則な形で貫く岩脈(試料名 K 3A)と、亀石南々東 1 km で貫く巾約 100 m の岩脈(試料名 K 4)がこれであり、両者の岩相には差がある。なお、アプライト脈はこれら 4 岩型のいずれにも含めない。

次に、これら 4 岩型の野外および鏡下での観察結果について簡単に述べる。なお、Sendo and Ueda (1963) と猪木他(1972)によって詳しく記載されている部分は本文中に省略し、後の議論に直接関係ある部分のみ述べる。

片状構造 A 型に顕著に発達し、B, C 型には認められない(Sendo and Ueda, 1963)。また、D 型にも明瞭な片状構造が発達している。D 型の片理の方向は A 型のそれに一致し、D 型の貫入方向には支配されていない(2 岩脈共)。第 1 図には亀石における露頭のスケッチを示す。

前後関係 A 型を B 型または C 型が貫き、B 型と C 型とは互に漸移する(Sendo and Ueda, 1963; 猪木他, 1972)。D 型は A 型を貫いて分布し、量的には極めて少く、A 型の 1% に満たない。

構成する岩石

A 型 黒雲母普通角閃石花崗閃緑岩

普通角閃石黒雲母花崗閃緑岩

Fig. 1. Sketch of an outcrop at Kameishi showing the relation between A and D types.

A type rock is intruded by D type. Schistose structure of D type is parallel to that of A type being independent of intrusive direction.

普通角閃石黒雲母石英閃緑岩

B 型 普通角閃石含有黒雲母花崗閃緑岩

C 型 黒雲母花崗閃緑岩

(一部pegmatite 質ざくろ石含有黒雲母花崗閃緑岩)

D 型 黒雲母アダムロ岩

アプライト アダムロ岩、花崗閃緑岩(ざくろ石が含有されることがある)

プロトクラスティック組織 A 型にはプロトクラスティック組織がみられる(猪木他, 1972)が、D 型にも認められる。

次に、これらの岩石のモード組成を示す(第 1 表)。岩石の採取地点は第 2 図に示した。表にみる通り、A 型では相対的に色指数が大きく、また、B 型で石英が乏し

Table 1. Modal compositions of the Kinkasan granitic body.

Rock Type	A				B				C								D		Apl
Sample Name	K 1	K 2	K 3B	K 17	K 10	K 13	K 11	K 9	K 6	K 8	K 5	K 14	K 12	K 7	K 15	K 3A	K 4	K 16	
Quartz	25.8	28.3	21.2	26.0	19.9	32.5	23.5	19.5	25.0	25.7	29.2	31.4	27.2	35.9	25.6	28.9	34.4	30.7	
K-feldspar	8.7	4.6	4.1	2.8	11.2	12.6	6.0	6.8	12.6	14.5	20.0	13.6	9.8	10.8	15.6	31.7	25.0	21.9	
Plagioclase	50.4	52.1	62.4	59.7	62.8	49.4	65.7	70.6	53.7	56.2	47.2	51.7	60.5	51.4	57.0	36.2	39.4	47.0	
Biotite	6.5	8.2	6.0	6.3	4.9	4.6	3.7	2.5	7.3	3.2	3.0	2.6	2.1	1.8	1.6	2.6	1.0		
Hornblende	7.9	5.9	5.4	5.2	0.5	0.2	tr	tr											
Sphene	0.1	0.3	0.3	tr	0.1	tr	0.5	tr	0.1						tr				
Magnetite	0.4	0.3	0.6	tr	0.6	0.5	0.6	0.6	1.2	0.4	0.5	0.7	0.3	0.1	0.2	0.6	0.2	0.2	
Apatite	0.2	0.3	tr	tr	tr	0.2	tr		0.1		0.1	tr			tr				
C. I.	15.1	15.0	12.3	11.5	6.1	5.5	4.8	3.1	8.7	3.6	3.6	3.3	2.5	1.9	1.8	3.2	1.2	0.4	
Rock Name	GD	GD	GD	QD	GD	GD	GD	GD	GD	GD	GD	GD	GD	GD	GD	Adm	Adm	GD	

Epidote K 17 tr, K 4 tr; Allanite K 12 0.1%, K 7 tr; Garnet K 16 2.4%

GD=Granodiorite, QD=Quartz Diorite, Adm=Adamellite, Apl=Aplite, C.I.=Color Index
Analyst H. Tanaka

Fig. 2. Locality map of samples. Geologic boundaries are cited from Sendo and Ueda (1963). A, B and C are rock types.

Fig. 3. Modal Quartz-K-feldspar-Plagioclase triangular diagram.

い傾向がある。また、D型とアプライトではカリ長石が多い。以上の傾向はモード石英-カリ長石-斜長石三角図に点示すると、一層明かである(第3図)。

Table 2. Chemical compositions of rocks from the Kinkasan granitic body.

Rock Type	A				B				C								D	
Sample Name	K17	K3B	K 2	K 1	K10	K 9	K11	K13	K15	K 6	K12	K 7	K 8	K14	K 5	K3A	K 4	
SiO ₂	63.29	63.48	64.19	64.55	66.34	67.29	67.97	68.48	68.76	69.65	69.82	69.95	70.30	70.97	70.99	71.85	73.28	
TiO ₂	0.63	0.60	0.52	0.51	0.30	0.36	0.37	0.26	0.26	0.29	0.33	0.27	0.26	0.24	0.22	0.18	0.15	
Al ₂ O ₃	17.34	16.39	16.86	16.92	18.61	17.64	17.43	17.28	17.59	16.31	16.37	16.89	16.77	16.10	16.20	15.35	15.35	
Fe ₂ O ₃	1.25	1.86	0.94	1.21	0.76	1.03	0.83	0.81	0.78	0.68	0.66	0.58	0.33	0.88	0.82	0.47	0.43	
FeO	2.81	3.17	2.93	2.73	1.46	1.48	1.41	1.19	0.92	0.99	1.11	1.06	1.13	0.69	0.70	1.03	0.44	
MnO	0.08	0.10	0.08	0.08	0.06	0.07	0.05	0.06	0.05	0.05	0.06	0.04	0.04	0.04	0.04	0.03	0.02	
MgO	2.19	2.08	2.08	2.09	0.74	0.89	0.77	0.71	0.49	0.50	0.50	0.53	0.48	0.47	0.49	0.54	0.24	
CaO	5.11	5.50	4.53	4.27	3.06	3.07	3.48	3.20	2.74	2.76	2.84	2.65	2.52	2.37	2.49	2.03	1.49	
Na ₂ O	3.97	3.92	3.68	3.73	4.43	4.26	4.57	4.49	4.50	4.36	4.75	4.34	4.31	4.30	4.17	2.90	3.66	
K ₂ O	1.83	1.84	2.69	2.38	2.91	2.73	2.24	2.30	3.11	3.02	2.40	3.00	2.75	3.10	2.95	4.76	4.05	
H ₂ O ⁺	0.79	0.73	0.85	0.83	0.95	0.72	0.59	0.55	0.51	0.62	0.58	0.48	0.53	0.44	0.34	0.51	0.30	
H ₂ O ⁻	0.13	0.16	0.14	0.24	0.33	0.20	0.13	0.13	0.14	0.13	0.12	0.11	0.14	0.14	0.13	0.09	0.14	
P ₂ O ₅	0.13	0.18	0.17	0.18	0.15	0.10	0.18	0.11	0.15	0.07	0.11	0.12	0.09	0.09	0.10	0.12	0.06	
Total	99.55	100.01	99.66	99.72	100.10	99.84	100.02	99.57	100.00	99.43	99.65	100.02	99.65	99.83	99.64	99.86	99.61	
Q	18.19	18.67	18.38	20.50	21.47	23.83	24.11	25.46	24.23	25.90	26.04	26.61	28.21	28.46	29.53	31.42	33.02	
Or	10.80	10.85	15.92	14.08	17.20	16.14	13.24	13.58	18.36	17.86	14.19	17.75	16.25	18.31	17.42	28.10	23.93	
Ab	33.55	33.14	31.14	31.56	37.49	36.02	38.64	37.96	38.06	36.86	40.16	36.70	36.44	36.39	35.28	24.54	30.93	
An	24.11	21.72	21.36	19.97	14.16	14.57	16.08	15.13	12.57	13.21	13.32	12.32	11.93	11.21	11.71	9.23	7.04	
C			0.06	0.89	2.99	2.33	1.60	1.87	2.22	1.03	1.08	1.99	2.33	1.56	1.86	2.95	2.38	
Di { Wo	0.16	1.82																
Di { En	0.10	1.04																
Di { Fs	0.05	0.70																
Hy { En	5.35	4.14	5.18	5.20	1.85	2.22	1.92	1.77	1.22	1.24	1.24	1.33	1.19	1.17	1.22	1.35	0.60	
Hy { Fs	3.18	2.77	3.89	3.31	1.66	1.40	1.38	1.20	0.70	0.87	1.08	1.11	1.44	0.22	0.32	1.25	0.24	
Mt	1.81	2.71	1.37	1.76	1.11	1.50	1.20	1.18	1.33	1.00	0.95	0.83	0.49	1.27	1.18	0.67	0.63	
Il	1.20	1.14	0.99	0.97	0.58	0.68	0.70	0.50	0.50	0.55	0.62	0.52	0.50	0.46	0.42	0.35	0.29	
Ap	0.30	0.43	0.39	0.43	0.36	0.23	0.43	0.26	0.36	0.16	0.26	0.30	0.20	0.20	0.23	0.30	0.13	
D. I.	62.54	62.66	65.44	66.14	76.16	75.99	75.99	77.00	80.65	80.62	80.39	81.06	80.90	83.16	82.23	84.06	87.88	

Analyst Y. Kato excluding K3B. K3B H. Tanaka

3. 岩石の化学組成

本岩体を構成する代表的な岩石計 17 個について化学分析を行い、その結果を主成分元素については第 2 表に、 Cr_2O_3 と Zn については第 3 表に示した。なお、第 3 表の 2 元素についてはすべて原子吸光法で定量した。

Table 3. Cr_2O_3 and Zn contents in rocks and minerals from the Kinkasan granitic body.

Rock Type	Sample Name	Cr_2O_3 (ppm)				Zn (ppm)			
		Rock	Biot	Hor	Mt	Rock	Biot	Hor	Mt
A	K17	64	220	193	2150	61	335	234	113
	K3B	66	198	167	1430	69	331	237	198
	K 2	nd	nd	nd	2090	nd	nd	nd	144
	K 1	53	240	183	1460	64	362	240	130
B	K10	15	70	197	287	49	643	468	268
	K 9	nd	nd	nd	275	nd	nd	nd	276
	K11	18	54	nd	299	48	663	nd	220
	K13	nd	nd	nd	295	49	726	nd	274
C	K15	17	49	-	317	40	775	-	241
	K 6	nd	nd	-	276	nd	nd	-	252
	K12	13	43	-	272	46	805	-	234
	K 7	nd	nd	-	234	46	772	-	263
D	K 8	19	nd	-	274	43	784	-	217
	K3A	20	114	-	600	30	480	-	157

Analyst Y. Kato

Table 4. Chemical compositions of biotites from the Kinkasan granitic body.

Rock Type	A				B				C				D
Sample Name	K3B	K 2	K17	K 1	K11	K10	K 9	K13	K15	K12	K 7	K 8	K3A
SiO_2	36.49	36.64	36.43	36.74	36.52	36.70	37.19	36.48	36.27	35.63	36.69	35.95	36.23
TiO_2	3.09	2.83	2.88	2.86	2.86	3.00	2.99	2.94	3.56	3.21	3.45	3.50	3.25
Al_2O_3	17.01	15.42	16.16	16.57	15.39	15.24	14.40	15.57	15.13	15.97	14.85	17.02	16.67
Fe_2O_3	3.03	2.57	3.01	3.26	2.86	3.66	3.91	2.85	3.12	3.31	3.45	2.63	3.20
FeO	15.95	16.35	15.89	15.97	14.55	14.30	14.32	15.09	14.90	15.33	15.04	15.43	15.96
MnO	0.30	0.38	0.30	0.32	0.72	0.68	0.76	0.84	0.71	0.75	0.73	0.77	0.48
MgO	12.19	11.74	11.94	11.68	13.21	12.61	12.81	12.65	11.87	11.81	11.65	10.96	11.88
CaO	0.15	0.73	0.13	0.12	0.10	0.05	0.06	0.11	0.16	0.19	0.15	0.14	0.11
Na_2O	0.30	0.50	0.33	0.33	0.53	0.34	0.61	0.31	0.86	0.73	0.59	0.63	0.31
K_2O	9.00	9.26	9.10	8.94	9.03	8.82	9.35	8.90	8.96	8.44	9.41	9.34	9.05
H_2O^+	3.32	3.56	3.53	3.59	3.74	4.08	3.94	3.55	3.63	4.17	3.45	3.34	3.64
H_2O^-	0.06	0.25	0.06	0.14	0.07	0.08	0.12	0.04	0.14	0.09	0.10	0.11	0.06
Total	100.89	100.23	99.76	100.52	99.58	99.56	100.46	99.33	99.31	99.63	99.56	99.82	100.84
Si	5.470	5.558	5.527	5.515	5.510	5.508	5.572	5.534	5.519	5.368	5.591	5.462	5.428
Al ^{IV}	2.530	2.442	2.473	2.485	2.490	2.492	2.428	2.466	2.481	2.632	2.409	2.532	2.572
Al ^{VI}	0.475	0.315	0.339	0.447	0.246	0.203	0.115	0.316	0.232	0.204	0.258	0.516	0.371
Ti	0.348	0.323	0.329	0.323	0.324	0.339	0.337	0.335	0.408	0.364	0.395	0.400	0.366
Fe^{3+}	0.342	0.293	0.344	0.368	0.324	0.413	0.441	0.326	0.356	0.375	0.395	0.501	0.360
Fe^{2+}	1.998	2.073	2.015	2.004	1.835	1.795	1.793	1.914	1.896	1.931	1.916	1.960	1.999
Mn	0.038	0.049	0.107	0.041	0.092	0.087	0.096	0.108	0.091	0.096	0.094	0.099	0.061
Mg	2.721	2.653	2.698	2.612	2.968	2.819	2.859	2.858	2.691	2.650	2.644	2.480	2.651
Ca	0.024	0.118	0.021	0.020	0.016	0.008	0.010	0.018	0.027	0.031	0.025	0.023	0.018
Na	0.086	0.148	0.097	0.096	0.156	0.099	0.176	0.091	0.254	0.214	0.174	0.186	0.090
K	1.719	1.791	1.760	1.711	1.731	1.687	1.787	1.722	1.738	1.622	1.829	1.810	1.730
OH	3.318	3.600	3.570	3.594	3.762	4.083	3.936	3.591	3.683	4.190	3.505	3.384	3.637
mg	0.534	0.523	0.522	0.520	0.569	0.551	0.551	0.549	0.535	0.525	0.524	0.474	0.523

mg = $\text{Mg}/(\text{Fe}^{2+} + \text{Fe}^{3+} + \text{Mn} + \text{Mg})$

Analyst Y. Kato

Fig. 4. SiO_2 -oxides diagrams.

Symbols are the same as Figure 3. Solid lines are variation trends of average Japanese granitic rocks. Lines are drawn on the basis of Aramaki *et al.* (1972).

まず主成分元素をみると、1個の例外もなしに A, B, C, D 型の順に SiO_2 が増加している。ノルム組成をみると、A 型の 2 個を除いてすべてコランダムが算出され、その量も少くない。アルカリは D 型だけは $\text{Na}_2\text{O} < \text{K}_2\text{O}$ である。

次に、 SiO_2 に対する各酸化物の変化をみるために SiO_2 -酸化物図に分析値を点示する (第 4 図)。比較のために、日本の花崗岩質岩の平均組成 (Aramaki *et al.*, 1972) をもとに著者が求めた変化曲線を実線で示した。図にみる通り、4 岩型を通じて全般にそれぞれなめらかな一つの曲線にのる。ただし、 Al_2O_3 に関しては A 型が、 K_2O では D 型がそれぞれ少しずれる。次に「平均花崗岩」の変化曲線と比較すると、 Al_2O_3 は A 型以外では明かに大きく、 Na_2O は 4 岩型ともやや大きい。 $\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{FeO}$ は全岩型で、 MgO は A 型以外で小さい。また、 K_2O は D 型以外で、 CaO は全岩型について、はゞ等しい。

次に Cr_2O_3 と Zn についてみると SiO_2 の増加に伴って 2 元素共減少する傾向が認められるが、 Cr_2O_3 については A 型と B, C 型との差が著しく、D 型は SiO_2 が大きいにも拘らず B 型よりも A 型に近い量を含有している。

4. 黒雲母

黒雲母は全岩型に含まれる重要な造岩鉱物である。各岩型の黒雲母計 13 個を分離して化学分析を行った (主成分元素は第 4 表、 Cr_2O_3 と Zn は第 3 表)。

第 4 表にみる通り、 TiO_2 、 Al_2O_3 の量は普通程度であるが、C 型では TiO_2 がやや多い傾向がある。他方、 MnO をみると A 型では普通であるが、B, C 型では FeO の量に比して不釣り合いに大きく、A 型の約 2 倍含まれている。次に、岩型別の Mg-Fe の成分変化をみると、B 型は他の岩型より Mg に富み、他の 3 岩型の間では

大差ない。

次に第 3 表をみると、 Cr_2O_3 については、A 型では B, C 型より明瞭に含有量が多いが、Zn については逆に B, C 型は A 型よりも明かに含有量が多い。また、 Cr_2O_3 、Zn の 2 元素に共通して、D 型は A 型と B, C 型の中間の含有量を有している。

5. 普通角閃石

普通角閃石は A 型では重要な造岩鉱物であるが、B

Table 5. Chemical compositions of hornblendes from the Kinkasan granitoid body.

Rock Type	A				B	
Sample Name	K3B	K17	K 1	K 2	K10	K 9
SiO_2	44.71	45.03	44.62	45.07	46.57	45.97
TiO_2	1.08	1.15	1.02	1.02	1.05	1.67
Al_2O_3	9.16	7.53	8.16	9.12	7.20	6.06
Fe_2O_3	5.35	6.61	5.95	5.95	15.04	16.03
FeO	11.98	11.25	12.44	12.16		
MnO	0.47	0.46	0.50	0.53	0.96	0.95
MgO	11.64	11.66	11.12	9.53	12.14	12.17
CaO	11.44	11.77	11.57	11.42	10.93	11.01
Na_2O	1.25	1.80	1.38	1.09	1.80	1.67
K_2O	0.95	0.90	0.92	0.85	1.01	0.78
H_2O^+	2.13	2.46	2.10	2.11	2.75	2.68
H_2O^-	0.11	0.15	0.09	0.35	0.33	0.47
Total	100.27	100.77	99.87	99.20	99.73	99.46
Si	6.615	6.636	6.666	6.752		
Al^{IV}	1.385	1.308	1.334	1.248		
Al^{VI}	0.213		0.103	0.363		
Ti	0.120	0.127	0.115	0.115		
Fe^{3+}	0.595	0.733	0.669	0.671		
Fe^{2+}	1.482	1.386	1.554	1.523		
Mn	0.059	0.058	0.064	0.067		
Mg	2.566	2.560	2.475	2.127		
Ca	1.813	1.858	1.851	1.832		
Na	0.359	0.513	0.400	0.317		
K	0.180	0.170	0.176	0.162		
OH	2.101	2.418	2.092	2.107		
mg	0.546	0.540	0.520	0.485	0.575	0.561

$\text{mg} = \text{Mg} / (\text{Fe}^{3+} + \text{Fe}^{2+} + \text{Mn} + \text{Mg})$ Analyst Y. Kato

Fig. 5. Composition of hornblendes from A type rocks.

型では量が乏しく、C、D型では認められない。A型4個、B型2個について普通角閃石を分離して化学分析を行った（主成分元素は第5表、 Cr_2O_3 とZnは第3表）。第5表にみる通り、 TiO_2 の量は普通程度であるが、アルカリはやゝ多く、 $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ 比も大きい。またMnOはA型では普通程度であるが、B型ではFeOの量に比して多く、A型の約2倍含まれている。 Al_2O_3 についてはB型の方が少ない。また、 $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{FeO}$ 比はA型でやゝ大きい。この点B型については不明であるが、黒雲母の $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{FeO}$ 比がB型A型であることから判断して、恐らくA型と大差ないか、あるいはやゝ大きいものと思われる。

次に、角閃石の組成をみるために $\text{Al}^{\text{IV}}-\text{Na}+\text{K}$ 、 $-\text{Al}^{\text{VI}}+\text{Fe}^{2+}+\text{Ti}$ 図に点示する（第5図）。図にみる通り本岩体の普通角閃石は Al^{IV} が多く、やゝパーガス閃石側に寄っている傾向がある。Leake (1968) の分類に従えば、K3BとK1はmagnesian hornblende, K2はferrohornblende, K17はebenitic hornblendeである。

次に、 Cr_2O_3 についてみると、A型、B型間には差が認められない。他方、Znは明かにA型よりB型の方が含有量が多く、B型はA型の約2倍ある。

6. 磁鉄鉱

磁鉄鉱は量は少ないが全ての岩石に含まれ、その意味で重要な鉱物である。各岩型の磁鉄鉱を分離して化学分析を行った（ Cr_2O_3 とZnについては第3表、他の元素については第6表）。なお、第6表のうち SiO_2 と TiO_2 の定量は湿式で行ったが、他の酸化物の定量は原子吸光法によった。

Table 6. Partial analyses of magnetites from the Kinkasan granitic body.

Rock Type	Sample Name	TiO_2	Al_2O_3	MnO	SiO_2	CaO	MgO
A	K17	0.99	2.55	0.14	1.66	0.39	0.28
	K1	0.82	3.29	0.13	1.72	0.48	0.14
	K3B	0.75	3.25	0.11	2.44	0.80	0.35
	K2	0.74	2.89	0.12	0.99	0.26	0.08
B	K9	0.88	3.00	0.28	0.90	0.24	0.11
	K10	0.76	2.73	0.29	0.80	0.19	0.10
	K13	0.68	2.13	0.38	1.19	0.20	0.06
	K11	0.54	3.21	0.22	1.40	0.22	0.07
C	K7	1.02	3.12	0.28	1.43	0.16	0.06
	K15	0.84	2.46	0.25	1.17	0.09	0.10
	K8	0.79	2.91	0.23	1.06	0.14	0.08
	K6	0.75	2.64	0.23	0.81	0.13	0.04
D	K12	0.61	2.23	0.22	0.62	0.10	0.06
	K3A	1.07	3.09	0.16	1.01	0.34	0.08

Analyst Y. Kato

第6表にみる通り、 SiO_2 は0.8~1.7%（1個2.4%）含まれているが、多分これは分離しきれなかった不純物に由来するものであろう。 CaO 、 MgO についても含有量の変化傾向が SiO_2 に類似していること、および絶対量が少いことから判断して、 SiO_2 と同様に主として不純物に由来していると考えられる。しかしながら他の元素については含有量の変化傾向と絶対量から判断して、不純物の影響は十分に小さいと考えられる。

TiO_2 、 Al_2O_3 についてみると、4岩型を通じて有意の差は認められない。次にMnOについてはA型と他の岩型の間には明瞭な差があり、平均値でB、C型の約1/2である。D型はA型に近い傾向がある。

次に第3表をみると、 Cr_2O_3 についてはA型ではB、C型より明瞭に多い。しかし、Znについては逆にA型ではB、C型より明かに少ない。さらにD型についてみると、 Cr_2O_3 はA型とB、C型の間組成を有し、ZnはA型の変化範囲内に入る。

7. 考 察

以上述べてきたことに関連して、2・3の考察を試みたい。

Znの挙動について 加藤 (1970) は甲府深成岩体（加藤, 1968）を対象に、花崗岩質岩中のZnの挙動について研究を行い、①有色珪酸塩鉱物が複数種共生する岩石

Fig. 6. FeO-Zn diagram.

Abscissa of rocks alone is not FeO but $\text{FeO} + \text{Fe}_2\text{O}_3$. Symbols are the same as Figure 3.

では、FeO-Zn 図* において、岩石、造岩鉱物のいずれも原点を通る、一つの直線の近傍に点示されるが、②有色珪酸塩鉱物が1種の場合では FeO-Zn 図での上述直線より Zn の多い方に大きくはずれる、と指摘している。

本岩体の分析値を FeO-Zn 図に点示した (第6図)。図にみる通り、岩石と A 型の黒雲母、普通角閃石は1つの直線の近傍に集るが、B, C, D 型の黒雲母はこの直線より Zn の多い方にはずれている。以上の結果は、上記の加藤 (1970) の指摘とよく一致している。ただし、B 型の黒雲母は角閃石と共生しているにも拘らず直線より Zn の多い方にはずれている。これは共生している角閃石の量が微量であるため、その影響が小さく、黒雲母1種だけの C 型と同様な傾向を示したものと考えられる。このことは次に述べる MnO の場合と全く同様である。また、B 型の普通角閃石については FeO の定量を行っていないので図に点示してないが、予想される FeO 含有量 (10% 前後) を図に点示したとすると、明かに直線の上方にはずれる。これは普通角閃石の量がわずかなため、Zn が濃集しやすかったことが考えられる。

FeO-Zn 図における直線の方程式は

$$\text{Zn (ppm)} = 21 \cdot \text{FeO} (\%)$$

で、甲府深成岩体での同じ図 (加藤, 1970, 第6図) での直線の勾配 13 より大きい。これは加藤 (1970) の結論している通り、岩体によって Zn 含有量に差があるため、金華山岩体の方が甲府岩体よりも Zn に富んでいると考えられる。

Fig. 7. Zn biotite-Zn magnetite diagram. Symbols are the same as Figure 3.

次に磁鉄鉱中の Zn についてみると、A 型では B, C 型の2倍弱含まれるが、FeO-Zn 図に点示するまでもなく、磁鉄鉱の FeO (理論値 31%) の割には明かに Zn が乏しい。このことは、Zn は酸化物鉱物では雲母、角閃石、輝石などの珪酸塩鉱物とは異った挙動をとることを示している。それではどのような動きをするのか? これを調べるために、Zn (黒雲母)-Zn (磁鉄鉱) 図に第3表の値を点示した (第7図)。図にみる通り、黒雲母と磁鉄鉱には明かに正の相関関係が認められ、(黒雲母)/(磁鉄鉱) 比の平均値は約 2.9 である。同様に、Zn (黒雲母)-Zn (普通角閃石)、Zn (普通角閃石)-Zn (磁鉄鉱) 図でも明瞭な正の相関関係が認められる。これらの共生する鉱物間の Zn 含有比を求めると、岩型の別に係わりなく、
(黒雲母) : (普通角閃石) : (磁鉄鉱) = 3 : 2 : 1
となる。また、これは第6図で直線からはずれているか否かとも無関係に成立っている。

MnO の挙動について すでに指摘した通り、黒雲母、普通角閃石、磁鉄鉱の MnO は、B, C 型 (普通角閃石は B 型のみ) では、A 型の約2倍含まれている。黒雲母でこのような岩型による差が生じたのは、MnO の濃集しやすい角閃石が A 型には共生しているが、C 型には存在しないため、そして、B 型では共生しているものの極く微量なので、黒雲母の MnO の量に影響を与えなかったためであろう。一方、普通角閃石中の MnO が B 型に多いのは、普通角閃石が僅かしかないために、MnO が十分に濃集した結果であろう。また、これと同様の考え方が磁鉄鉱についても成り立つとすれば、逆に磁鉄鉱の大部分は、黒雲母、角閃石と同時期に晶出したことが推定される。

Cr₂O₃ の挙動について 第3表に示された Cr₂O₃ の値について、まず母岩の Cr₂O₃ に対する各造岩鉱物中の Cr₂O₃ の比の岩型ごとの平均値を求めると、磁鉄鉱で最も大きく、17 (B, C 型) ~ 30 (A 型) であるのに対して、黒雲母、普通角閃石では 3.0 ~ 3.6 である。また、B, C 型に対する A 型の比を求めると、平均値で岩石 3.8、黒雲母 4.1 であるのに対して、磁鉄鉱は 6.4 と高い。つまり、A 型の磁鉄鉱には2重の意味で Cr₂O₃ が濃集している。Cr₂O₃ の造岩鉱物中の含有量を見ると、岩石中に多ければ鉱物中にも多い、という関係が存在している。ところが、B 型の普通角閃石については A 型と差はなく、母岩に対する比は 13 と高い。これは MnO の場合同様、B 型には普通角閃石がわずかに存在するのみなので、Cr₂O₃ が濃集し易かった結果であろう。

D 型については、岩石の SiO₂ % が4岩型中最大であ

* 岩石については FeO ではなく、FeO+Fe₂O₃

るにも拘らず、岩石、黒雲母、磁鉄鉱共 Cr_2O_3 が A 型と B、C 型の間である。このことについては次の項でふれる。

4 岩型の成因 すでに述べたことのうち、まず 4 岩型に共通した特徴を抜き出してみよう。野外地質学的には、同じ地質時代に、同一場所に貫入している。化学分析値をみると、岩石の SiO_2 -酸化物図では概してなめらかな曲線にのる。黒雲母についてみると TiO_2 が C 型でやや多い傾向があるが、その差はわずかであり*、 Al_2O_3 の量も岩型による差は小さい。普通角閃石については 2 岩型ともアルカリの量、 $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ 比はいずれも高い。磁鉄鉱の TiO_2 、 Al_2O_3 の量も岩型による差は認められないか、あってもわずかである。

以上のことは、4 岩型が互に co-magmatic であるという主張を支持する。

次に、4 岩型間の相違点を抜き出してみよう。最初に A、B、C 3 岩型に注目しよう。まず、モード組成のうち色指数をみると、A 型と B 型には明瞭な差があるが、B 型と C 型の差は小さい。岩石の D.I. は A、B 型の間には 10.0 の差があるが、B 型と C 型の間隔は小さい。普通角閃石は Al_2O_3 について A 型と B 型の間にわずかながら差が認められる。また、岩石、鉱物を通じて、 Cr_2O_3 では B、C 型間には差がないが、A 型との間には明瞭な差が認められる場合が多い。このように、B 型、C 型はその岩石学的、鉱物学的性質がよく類似しているのに対して、A 型と B、C 型には明かに差が存在する。

次に D 型についてみてみよう。まず、 MnO についてみると、黒雲母と磁鉄鉱で A 型と B、C 型の間になっている。また、黒雲母の Zn については角閃石が共生していないにも拘らず、 FeO-Zn 図 (第 6 図) において直線からはずれる程度は小さく、A 型と B 型の間に位置している。第 7 図でも同様なことが云える。次に Cr_2O_3 については、岩石、鉱物の全てに共通して A 型と B、C 型の間組成を有している。このように、D 型は 4 岩型中最も SiO_2 に富んでいるにも拘らず、A 型と B、C 型の間組成を有している。

これらのことは、次の 2 点を示唆している。① D 型は A 型から順に SiO_2 の増加する方向に $\text{A} \rightarrow \text{B} \rightarrow \text{C} \rightarrow \text{D}$ という経路をとって生じたのではなく、A 型から直接分化して生じた。②たとえば A 型が貫入してから、B、C 型が貫入するまでの時間的間隔が大きかった、というような、A 型と B 型の間に組成の差を生じさせるような要因が何かあった。

次に、これらのことと、野外での観察結果を併せて、各岩型の貫入について考えてみたい。まず、D 型は A 型のみを切っている。また、D 型は A 型に比して、量的に非常に少い。さらに粒度をみると、亀石南々東 1km の岩脈 (試料名 K4) は比較的細粒ではあるが、A 型と同程度ないしやや細かいという程度であり、亀石の岩脈 (同 K3A) は A 型よりも明かに粗粒である。このことは、A 型の温度があまり下らないうちに D 型が貫入したことを示している。これらのことは、A 型から *in situ* に分化して絞り出された液が D 型であることを示唆している。次に、A 型が B、C 型に切られ、また A 型と D 型には片状構造が発達し、しかもその方向は D 型の貫入方向とは関係なく、両岩型で共通している (第 1 図)。また、A、D 両岩型にはプロトクラスティック組織が認められる。これらのことは、A、D 型固結の際に構造運動**の影響を受け、運動が停止した後、つまり、ある一定の時間的間隔を置いて後、B、C 型が貫入したことを示している。これは既述の A 型と B、C 型間に化学組成の差が生じた理由を説明するものである。また、A、D 型にプロトクラスティック組織が認められるということは、構造運動が行われている間に両岩型の固結が進行した——つまり、D 型は一部 A 型と時間的に重複し

Fig. 8. Normative Q-Or-Ab triangular diagram. 1. Average composition of A type. 2. That of B type. 3. That of C type. Other symbols are the same as Figure 3. Quartz-feldspar boundaries of various water vapor pressures are cited from Tuttle and Bowen (1958).

* C 型の黒雲母で TiO_2 がやや多いのは、スフェンがほとんど晶出していないためであろう (第 1 表)。

** 金華山構造帯 (猪木他, 1972) の活動

て固結した、ことを示唆している。このことは、A型からD型が *in situ* に分化したという主張と調和的である。また、この構造運動はA型からD型を絞り出す働きもしたと考えられる。

次に、貫入の深さとマグマ溜りの深さを推定する目的で、Q-Or-Ab-H₂O系 (Tuttle and Bowen, 1958) に分析値を点示してみよう (第8図)。図では分かり易くするために、A, B型については平均値のみを点示し、C型は全部の値と平均値とを点示した。図にみる通り、A, B, Cの3岩型の平均値はゆるい曲線上に並ぶ。これは、これらが co-magmatic であるという主張と調和的である。次に、各点の位置をみると次の通りである。

点	D. I.	PH ₂ O (kb)	PH ₂ O=Ptotal とし たときの深さ (km)
B型平均値	76.3*	4+	14+
C型平均値	81.3	2.7	9~10
D型	84.0~87.9	1~1.5	3.5~5

これらの値を今迄述べてきた事柄と組合せると、次のような推論が成り立つ。

約15kmの深さにあったマグマ溜りからA型のマグマが上昇し、3.5~5kmの深さだった現在位置に貫入し、その場でD型の液が絞り出された。A, D型固結の間活動していた構造運動が休止するまでの時間的間隙において、A型同様、約15kmの深さにあったマグマ溜りからB型のマグマが上昇し、A型に貫入した。これに引き続いて、マグマ溜りの上部 (約10kmの深さ) を構成していたC型のマグマが貫入した。

なおざくろ石の化学組成については、著者の1人 (Y. K.) が他の花崗岩質岩体のざくろ石と併せて、別稿で報告の予定である。

引用文献

- Aramaki, S., Hirayama, K. and Nozawa, T. (1972), Chemical composition of Japanese granites. Part 2. Variation trends and average composition of 1200 analyses. *J. Geol. Soc. Japan*, **78**, 39-49.
- 猪木幸男, 滝沢文教, 片田正人 (1972), 金華山の地質構造にまつわる若干の問題. *地球科学*, 26-4, 139-148.
- 加藤祐三 (1968), 山梨県甲府盆地周縁の第三紀花崗岩類について. *岩鉱*, **43**, 21-39.
- (1970), 花崗岩質岩中の亜鉛の研究. *岩鉱*, **63**, 63-74.
- Leake, B.E. (1968), A catalog of analyzed calciferous and subcalciferous amphiboles together with their nomenclature and associated minerals. *Geol. Soc. Am. Special Paper* 98.
- Sendo, T. and Ueda, Y. (1963), Petrology of the Kinkasan Islet, Miyagi Prefecture, northeastern Japan. *Sci. Rep. Tohoku Univ., Ser. III*, **8**, 297-315.
- Tuttle, O.F. and Bowen, N.L. (1958), Origin of granite in the light of experimental studies in the system NaAlSi₃O₈-KA1Si₃O₈-SiO₂-H₂O. *Geol. Soc. Am., Memoir* 74.

* D. I. 76.3 では、Q-Or-Ab-H₂O系を用いて圧力を推定するには、やや小さい。An が加わると、石英-長石境異線はQ側に移動することを考えると、圧力は4kbよりやや大きいものと推定される。