

磐梯山の岩石について

青木謙一郎* 中村洋一**

Petrography and Geochemistry of Bandai Volcano

Ken-ichiro AOKI and Yoichi NAKAMURA

I. はじめに

1888年7月15日におきた磐梯山の活動は爆発によって山体の上部約3分の1 (1.5km³) が瞬時に破壊されて、そこには径1.5kmの北に開いた馬蹄形火口が形成され、流れ下った山体崩壊物は山麓の村落に大災害を引き起こしたことは世界的に著名である。一方、今世紀の始め頃欧米の地質学者は磐梯山を含む日本の多くの火山を構成している火山岩は輝石・安山岩—石英安山岩類であるが、それらの岩石学的性質を見ると珪酸に過飽和であって、ノルム石英が多いにもかかわらずアルカリが少なく、CaOが多い、また斜長石はラブラドライトであり、鉄苦土鉱物も多いことに気づいた。このような性質のものは火成岩全体から見ると特異であり、そこで IDDINGS (1913) は磐梯山にちなみ “bandaite (磐梯岩)” と命名した。しかし磐梯岩という岩石名は現在用いられておらず、地質学者でも多くの人はそのような名前は知らないようである。なお、この外日本の地名が岩石名に用いられたものとしては boninite (無人岩), miharite (三原岩), miyakite (三宅岩) や sanukite (讃岐岩) などが挙げられる。これらのうち現在も用いられているのは boninite と sanukite のみである。しかし80年も前に IDDINGS などが島弧や活動的な大陸縁の火山岩の岩石学的特徴が大陸や海洋島のものとは異なることに気がついていたことは注目に値すると言えよう。

磐梯山溶岩類の岩石学的性質については隣接する猫魔岳のものと共に最近 NAKAMURA (1978) によって始めて詳しく記載された。続いて周藤ら (1983) により溶岩中の輝石の化学組成が示された。ここではそれらの記載と新しく行った溶岩類の化学分析の結果を基にして磐梯山の岩石の性質について述べる。

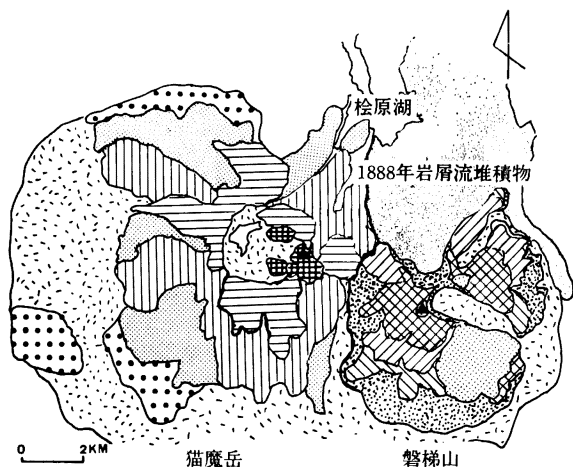
II. 地質概略

東北地方において第四紀に活動した火山 (火山群) は日本海溝と太平洋沿岸に平行に大まかに2列に帯状配列しているが、太平洋側のものを那須火山帯、日本海側のものを鳥海火山帯と呼んでいる。福島市の西から会津若松市の東までの一帯は那須火山帯のうちでも最も火山活動の活発な地域の一つであり、東から安達太良、吾妻、磐梯と猫魔の4火山が分布している。これらのうち、猫魔を除く、3火山はいずれも日本の代表的な活火山に挙げられている (KAWANO *et al.* 1961)。

磐梯山地域の基盤は先第三紀の变成岩・花崗岩類、新第三紀堆積岩類と珪長質火山岩類である。更新世になると、磐梯山に先立ち猫魔山が活動を始めた。猫魔山の活動のほとんど終わったころその東側山麓において磐梯山の活動が始まった。その時期は C¹⁴ 年代によると、34000年前よりは古い。これら両火山の上下関係はゴールド・ラインの中の湯温泉近くにおいて見られる。第1図には磐梯・猫魔両火山の地質概略図を示した (NAKAMURA 1978)。

* 東北大学理学部 Faculty of Science, Tohoku University

** 宇都宮大学教育学部 Faculty of Education, Utsunomiya University



第1図 磐梯山と猫魔岳の地質概略図(NAKAMURA 1978を簡略化)。

猫魔岳の火山活動の殆ど総ては中心噴火であり、活動様式の変化によって5つの時期に大別される。第1期活動は雄国中央火口からの火砕流の噴出であるが、第2、3期になると多量の火砕岩と溶岩が交互に流出し、第4期には主として溶岩が流出し、山体の大部分が構成された。続いて山頂部の崩壊部が起こり、径2.5 kmの大きさの雄国カルデラが形成された。最終期の第5期にはカルデラの東縁部分に数個の溶岩ドームが形成された。この火山には有史活動の記録は無く、また硫気孔も認められない。火山噴出物の総量は 35 km^3 と見積もられている。

磐梯山の火山活動の様式は非常に単純であり、殆ど総ての活動は沼の平山頂火口において起こった。この火山の噴出物総量は 25 km^3 と見積もられている。火山活動史は大まかに2つに分けられる。第1期活動は猫魔岳と同様、主として火砕岩の流出であり、これらの堆積物は1888年の噴火口の火口壁において良く観察され、山体の70%を構成している。これに続く第2期はさらに4つに細分されるが、主として溶岩の繰り返しの流出によって特徴づけられ、比較的短時間の間に現在見られるような山体に成長していった。この活動の最末期に小磐梯山、櫛ヶ峰、赤埴山や大磐梯山などが形成された。

III. 記載岩石学的性質

磐梯山と猫魔岳から噴出された火山岩類はすべて斑状組織の発達した安山岩であり、それらの記載岩石学的性質は那須火山帯の火山(群)に最も普遍的に認められるものと類似しているが、玄武岩とデイサイト(石英安山岩)は見いだされていない。主として磐梯山のものは石基に単斜・斜方両輝石が共存するカルクアルカリ系列、一方の猫魔岳のものは単斜輝石のみが現れるソレアイト系列に属している。

主要な斑晶鉱物は斜長石、斜方輝石、普通輝石と磁鉄鉱であり、それらの総量は通常30~40%である。斑晶のうち斜長石が最も多く、斑晶量の60~80%を占めている。それらの斑晶の外、時にかんらん石、石英や普通角閃石が含まれていることがあるが、量的には少なく、1%を越えない。

磐梯山溶岩類の斑晶斜長石の量は19~29%、まれに8%、一方猫魔岳のものは9~28%であって、後者のものの方が少ない。斜長石は自形を呈し、長さ $4 \sim 0.5 \text{ mm}$ であり、 $\text{An}_{45} \sim \text{An}_{18}$ の組成範囲を示す。また Or 成分は0.5~3.5%であって、Ab 成分の増加と共に僅かに増加する傾向を示している。しばしば大型の斜長石は著しい波動稜帯をなし、また微細な輝石や磁鉄鉱あるいはチリ状物質を包有物として含んでいる。

斜方輝石と普通輝石は通常自形を呈し、長さは 1.5 mm 以下である。一般に前者の方が後者よりも大きく、量も多い。それらの量は磐梯山のものは斜方輝石1.5~8%、普通輝石0.2~2.1%、猫魔岳のものは1.3~7.1%と0.4~1.7%であって、両火山溶岩中の輝石の量はほぼ同じ範囲にある。斜方輝石は紫蘇輝石組成であって、その組成範囲は $\text{Mg}_{50} \sim \text{Mg}_{70}$ 、 $\text{Ca}_3 \sim \text{Ca}_4$ 、一方、普通輝石の組成範囲はむしろ狭く、 $\text{Ca}_{40} \sim \text{Ca}_{45}$ 、 $\text{Fe}_{13} \sim \text{Fe}_{20}$ である。これら輝石の化学組成は那須火山帯の他の火山群に出現する安山岩類のものと極めて類似している。

第1表 磐梯山溶岩類の主成分化学分析値

	1 P F	2 P F	3 P F	4 P S	5 P S	6 K W	7 K W	8 K W	9 O T	10 K R
SiO ₂	60.50	59.22	61.43	61.72	61.17	63.25	59.79	64.44	60.20	61.88
TiO ₂	0.90	0.59	0.78	0.94	0.83	0.89	1.19	0.92	0.85	0.90
Al ₂ O ₃	15.37	16.98	15.70	16.07	15.52	15.22	14.56	14.35	16.28	14.06
Fe ₂ O ₃	4.64	3.64					4.11	3.34		4.46
FeO	3.39	3.39	7.48	7.94	9.38	8.23	5.51	3.69	8.57	4.45
MnO	0.17	0.11	0.14	0.17	0.17	0.14	0.16	0.14	0.15	0.16
MgO	2.57	2.72	3.85	2.67	2.42	1.76	2.56	2.00	3.72	2.97
CaO	6.09	6.94	6.81	6.13	5.66	5.22	6.52	5.32	6.20	5.94
Na ₂ O	3.25	3.25	2.46	3.05	3.44	3.58	3.07	3.40	2.77	3.21
K ₂ O	1.08	1.20	1.23	1.09	1.21	1.56	1.30	1.62	1.12	1.18
P ₂ O ₅	0.21	0.12	0.12	0.21	0.21	0.16	0.19	0.16	0.12	0.13
H ₂ O+	1.37	1.37					0.70	0.36		0.54
H ₂ O-	0.47	0.47					0.34	0.25		0.13
	11 K R	12 O F	13 O F	14 A F	15 N S	16 N S	17 N S	18 T Y	19 T B	20 T B
SiO ₂	60.32	62.25	61.07	60.85	60.30	60.34	59.73	59.42	59.67	60.15
TiO ₂	0.90	0.75	0.78	0.83	0.95	0.95	0.92	0.85	0.91	0.94
Al ₂ O ₃	15.06	16.43	15.52	16.36	15.73	15.84	16.03	17.84	15.79	15.26
Fe ₂ O ₃					4.28	3.88			4.23	4.03
FeO	9.91	7.69	7.70	8.21	4.45	4.75	9.49	8.08	4.39	4.67
MnO	0.17	0.14	0.14	0.16	0.17	0.18	0.18	0.20	0.18	0.17
MgO	3.07	3.16	3.74	2.87	2.74	2.79	2.76	2.15	2.93	2.96
CaO	6.28	5.41	6.99	6.29	6.20	6.04	6.31	6.08	6.53	6.37
Na ₂ O	3.00	2.77	2.73	3.14	3.44	3.26	3.28	4.10	3.22	3.41
K ₂ O	1.16	1.31	1.22	1.17	1.02	1.07	1.09	0.94	1.03	1.02
P ₂ O ₅	0.13	0.07	0.12	0.13	0.22	0.22	0.22	0.32	0.20	0.20
H ₂ O+					0.34	0.62			0.35	0.57
H ₂ O-					0.17	0.06			0.58	0.24
	21 T B	22 T B	23 T B	24 O S	25 A S	26 G M	27 K S	28 K S	29 N K	30 K B
SiO ₂	59.57	60.68	60.92	58.55	60.03	59.60	60.96	60.70	56.54	60.99
TiO ₂	0.86	0.93	0.96	0.76	0.79	0.86	0.76	0.96	0.90	0.78
Al ₂ O ₃	16.28	15.99	15.55	16.29	15.47	16.93	17.57	15.67	16.62	16.13
Fe ₂ O ₃						4.36				
FeO	9.33	8.47	8.44	9.49	8.20	3.44	7.27	8.54	10.19	8.18
MnO	0.17	0.18	0.17	0.15	0.15	0.20	0.15	0.17	0.20	0.16
MgO	2.77	2.96	2.93	3.77	4.04	2.25	2.45	3.10	4.18	2.95
CaO	6.50	6.31	6.41	7.13	7.39	6.19	6.25	6.26	7.89	6.47
Na ₂ O	3.27	3.26	3.31	2.65	2.66	4.25	3.24	3.31	2.39	3.09
K ₂ O	1.05	1.05	1.10	1.09	1.14	0.91	1.14	1.10	0.96	1.11
P ₂ O ₅	0.20	0.18	0.20	0.12	0.12	0.32	0.20	0.19	0.14	0.15
H ₂ O+						0.57				
H ₂ O-						0.12				

	31 K B	32 K B	33 K B	34 K B	35 B N	36 B N	37 K G	38 A T	39 A T
SiO ₂	60.62	60.18	59.97	59.93	60.17	58.79	59.80	60.58	60.84
TiO ₂	0.78	0.74	0.77	0.82	0.75	0.73	0.83	0.64	0.77
Al ₂ O ₃	15.70	16.17	15.48	16.83	15.53	16.33	17.47	17.77	15.52
Fe ₂ O ₃			5.18		4.04				
FeO	8.32	8.55	3.04	9.19	3.96	9.12	7.96	6.72	7.89
MnO	0.16	0.15	0.16	0.15	0.14	0.15	0.16	0.12	0.14
MgO	3.29	3.13	3.36	3.10	3.89	3.83	2.67	3.15	3.76
CaO	6.85	6.79	6.76	5.88	6.88	7.05	6.61	6.99	6.98
Na ₂ O	3.03	3.05	3.13	2.91	2.85	2.78	3.27	2.78	2.78
K ₂ O	1.10	1.08	1.03	1.08	1.08	1.12	1.02	1.12	1.19
P ₂ O ₅	0.15	0.15	0.14	0.11	0.11	0.11	0.21	0.12	0.11
H ₂ O+			0.61		0.35				
H ₂ O-			0.37		0.26				

Nos. 1~5 : 第1期活動噴出物, Nos. 6~11 : 第2-1期活動噴出物, Nos. 12~23 : 第2-2期噴出物,
Nos. 24~34 : 第2-3期噴出物, Nos. 35~39 : 第2-4期噴出物。省略記号 NAKAMURA (1978) による。

第2表 磐梯山溶岩類の微量成分化学分析値

	2 P F	3 P F	5 P S	6 K W	9 O T	11 K R	12 O F	17 N S	18 T Y	23 T B
ppm										
Ba	300	271	248	357	289	298	382	250	374	285
Ce	38	37	35	51	36	39	46	34	46	40
Cr	26	56	3	3	33	9	21	4	6	6
Cu	31	21	9	6	16	10	11	9	5	9
Ni	14	27	11	8	21	10	16	10	7	9
Nb	7	8	9	10	7	10	9	9	7	9
Rb	33	40	35	40	38	32	44	31	22	29
Sr	263	271	311	260	236	239	213	321	463	293
V	102	171	81	84	131	158	101	93	62	124
Y	24	28	34	36	25	30	30	31	30	31
Zn	56	80	71	74	67	77	58	71	72	73
Zr	118	126	154	147	127	133	148	141	159	142
	24 O S	29 N K	31 K B	34 K S	35 B N	38 A T				
ppm										
Ba	213	188	300	282	271	297				
Ce	31	23	39	34	38	37				
Cr	49	43	17	17	39	38				
Cu	15	11	15	16	19	14				
Ni	25	20	12	10	21	17				
Nb	8	7	7	9	7	7				
Rb	34	30	31	33	34	31				
Sr	262	272	271	235	259	236				
V	133	197	122	162	144	148				
Y	24	25	27	39	24	24				
Zn	67	81	64	82	63	67				
Zr	112	104	114	125	113	115				

Nos. 1~5 : 第1期活動噴出物, Nos. 6~11 : 第2-1期活動噴出物, Nos. 12~23 : 第2-2期噴出物, Nos.
24~34 : 第2-3期噴出物, Nos. 35~39 : 第2-4期噴出物。省略記号は NAKAMURA (1978) による。

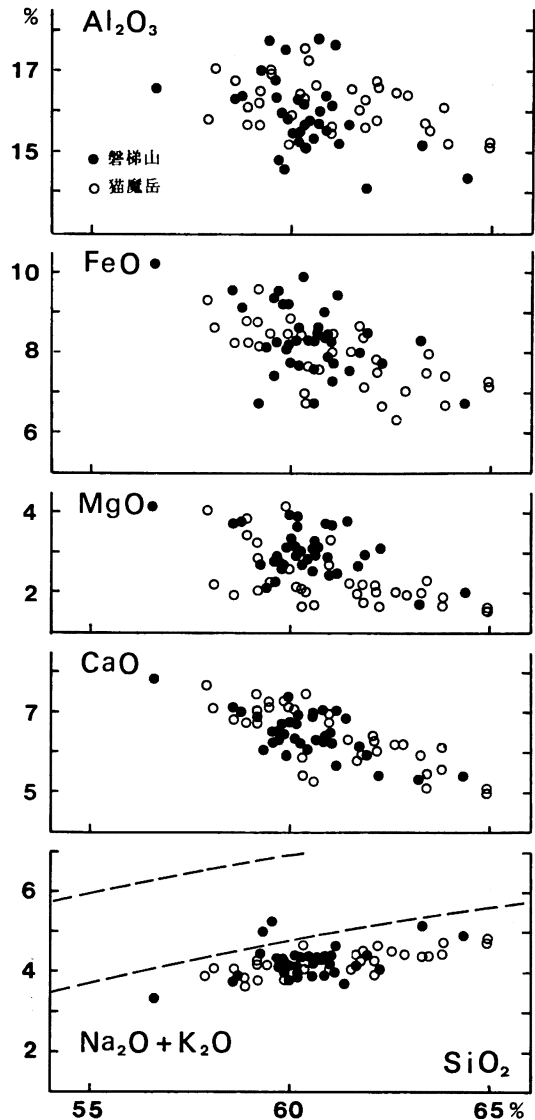
鉄鉱物は殆ど全て磁鉄鉱であり、径0.3~0.7mm 程度の大きさで、0.5~1.5% 含まれている。かんらん石はまれに0.4% 位認められることがあり、しばしば厚い微細な紫蘇輝石の集合物から成る反応縁によって包まれている。石英もまれに存在するが、いずれの場合もマグマ融食を受け、丸味を帯びている。その大きさはせいぜい0.5mm 位までである。普通角閃石は古くから指摘されているように、那須火山帯の火山岩にはまれにしか出現しないことが特徴の一つであるが、磐梯・猫魔両火山のものも例外ではなくて、極めてまれに一部の溶岩に認められるに過ぎず、その含有量も0.0~0.7%の範囲である。

安山岩類の石基は細粒完晶質からガラス質まで変化するが、通常間粒組織~ハイアロピリティック組織を呈している。磐梯山のものの構成鉱物は斜長石、紫蘇輝石、普通輝石、酸化鉄鉱物（磁鉄鉱+チタン鉄鉱）、珪酸鉱物、アルカリ長石や燐灰石などであり、この外一部のものはピジョン輝石を伴うことがある。しかし初期に噴出した溶岩類の中には輝石類は紫蘇輝石を欠き、単斜輝石（普通輝石+ピジョン輝石）のみから成るものもある（ソレイト系列の鉱物組合せ）。一方、猫魔岳のものは斜長石、ピジョン輝石、酸化鉄鉱物、珪酸鉱物、アルカリ長石や燐灰石などから成るものが殆どであり、ピジョン輝石の代わりに紫蘇輝石が出現するものはまれにしか認められない。なおいずれの火山岩類も多から少なかれ褐色ガラスを含んでいる。

IV. 化学組成

磐梯山と猫魔岳の代表的な火山岩類約70個について主成分を、29個について微量成分を蛍光X線分析装置によって定量した。なお、 Na_2O と K_2O は炎光法により、また一部のものについては FeO を容量法、 $\text{H}_2\text{O} \pm$ を重量法により求めた。それらの分析結果を第1, 2表に、また第2図には珪酸-主要酸化物変化図を示した（分析個数が多いため、猫魔岳のものは図にのみ示した）。

磐梯山の岩石の SiO_2 量は56.5~64.4%, 猫魔岳のものは57.9~65.0%であって両火山の組成範囲はほぼ同じである。しかしながら、磐梯山のものはその殆どは58~62%の狭い範囲に値に集中するのに対し、



第2図 磐梯山と猫魔岳溶岩類の珪酸-主要酸化物変化図。

$\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ 図の点線はソレイト系列、高アルミナ玄武岩系列とアルカリ系列の境界線

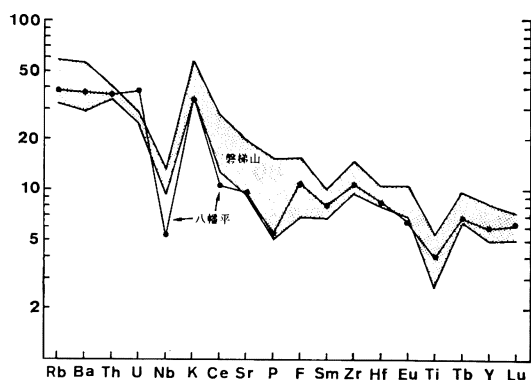
猫魔岳のものはそのような傾向を示さない。これら両火山のように、本邦の第四紀火山としては規模が比較的大きいにもかかわらず、中間組成～珪長質安山岩のみの活動に終始し、玄武岩や苦鉄質安山岩あるいはデイサイトや流紋岩を全く伴わなかった火山は非常に数少ない。この性質は両火山の1つの特徴として挙げる事ができよう。主要酸化物についてみると、 SiO_2 の増加と共に Al_2O_3 、 FeO^* ($\text{FeO} + 0.9\text{Fe}_2\text{O}_3$)、 MgO や CaO は徐々に減少するが、 Na_2O と K_2O は共に増加し、那須火山帯の一般的傾向と一致する (KAWANO *et al.* 1961)。

磐梯山の初期に噴出した安山岩類の一部は鉄苦土鉱物組み合わせからはソレアイト系列に相当するものが認められることはすでに述べたが、その化学組成はカルクアルカリ系列のものと一致し、ここではカルクアルカリ系列として扱った。一方猫魔岳のものでは那須火山帯の火山群で特徴的に認められると同様に、ソレアイト系列のものはカルクアルカリ系列のものよりも明らかに K_2O が多い。

微量元素についてみると、LIL 元素である Rb, Ba や Ce は SiO_2 の増加と共に増加し、 K_2O と互いに類似した傾向を示し、磐梯山と猫魔岳のものを比較すると、前者の方が量が明らかに多く、かつ高い増加率を示す。HFS 元素は量が少なく、それらの量の変化の傾向はあまり明瞭ではないが、Zr についてみると、 SiO_2 の増加と共に増加し、また磐梯の方が猫魔のものよりやや多い。

近年、火山岩中の微量元素の組成を調べてみると、その特徴はそれらの火山岩が出現する地域のテクトニクスによって大きく変化し、主成分はほぼ同じであっても、噴出している地域により微量元素、特に非調和元素 (incompatible element, インコンパティブル元素) の濃度が大きく異なっている。そこで微量元素の濃度の特徴を比較検討する場合、仮定された初生上部マントルの非調和元素濃度で規格化した値を用いて考察することが多い (青木・吉田 1987)。第3図には磐梯山の安山岩類の非調和元素規格化パターンを、比較のため那須火山帯の代表的な火山でありかつ火山岩の化学的性質も最も良く調べられている八幡平のカルクアルカリ系列安山岩の平均のもの (YOSHIDA and AOKI 1984) と共に示した。なお猫魔岳の安山岩類は Rb, Th, U と K は磐梯山のものよりも明らかに少ないが、その他の元素の濃度は後者のものとほぼ同じであり、また非調和元素規格化パターンは本質的には磐梯山のものと同じ性質を示すので割愛した。

磐梯山の非調和元素規格化パターンは八幡平のものと本質的には全く一致している (U と Nb は多少異なっているように見えるが、微量のため誤差が大きく大体同じとみて差し支えない)。両者のパターンは共に島弧の火山フロント上に噴出した典型的な島弧安山岩類の性質を示している。即ち Lu から Rb へと



第3図 磐梯山溶岩類の始源マントルによる非調和元素規格化パターン。縦軸：岩石／始源マントル (青木ほか 1987)、八幡平のパターン：YOSHIDA and AOKI (1984)。

緩い左上がりの経路をたどりながら、非調和度の高い Rb, Ba, Th, U と K において急にピークが高くなる正の異常と、その傾向を示さない Nb の負の異常が認められる顕著な特徴を示す。なお島弧玄武岩ではその他 Sr の正異常も著しいが、安山岩においてはマグマ生成後地表に到達するまでの間に斜長石の分別により Sr は選択的に取り去られるので正の異常は認められなくなる (YOSHIDA and AOKI 1984)。

V. K_2O の水平的変化

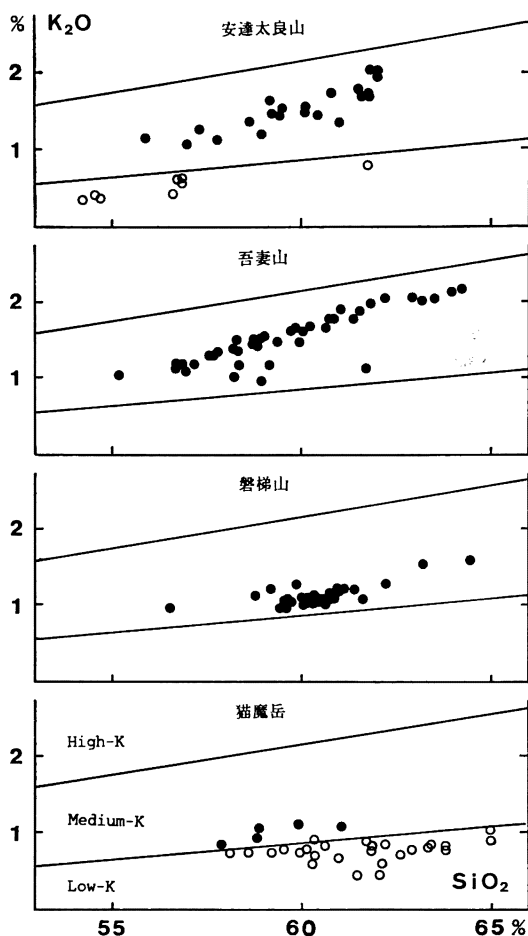
これまで述べてきたように磐梯山と猫魔岳を構成している火山岩類そのものの岩石学的・地球化学的性質は那須火山帯に属する他

の火山のものと一致する。しかしながら磐梯山と猫魔岳の東に横わたる安達太良山と吾妻山の4火山全体について比較してみるとこの地域の火山群の際立った特徴が浮かび上がってくる。

良く知られているように (KUNO 1960), 東北日本の第四紀玄武岩類は海溝側 (太平洋側) から大陸側 (日本海側) に向かってソレアイト, 高アルミナ玄武岩, アルカリ玄武岩へと帯状配列し, アルカリが増加し, ノルム計算を行うと珪酸飽和度は過飽和から不飽和への変化する。那須火山帯がソレアイト帯に, 鳥海火山帯が高アルミナ玄武岩帯に対応するが, これらの火山帯に出現する安山岩類も玄武岩と同様な傾向を示す。特に同じ SiO_2 含有量の場合, 大洋側から大陸側へ横切って進むとき K_2O は直線的に増加する。このような組成変化は東北日本のみならず環太平洋の島弧や大陸縁の火山岩類に一般的に認められる。安達太良, 吾妻, 磐梯と猫魔の安山岩類の SiO_2 - K_2O 変化図を第4図に示した。比較のため図には GILL (1981) によって区分された造山帯の安山岩類の Low-K, Medium-K と High-K 領域の間の境界線を示した。この地域の安山岩類は那須火山帯の他の火山のものと全く同様に例外なしにソレアイト系列のものは Low-K 領域に, カルクアルカリ系列のものは Medium-K 領域に点示される。しかし図から明らかなように安山岩類は東にある火山フロント上の安達太良・吾妻から西にある猫魔にゆくにつれて SiO_2 含有量が同じ場合, K_2O の増加は認め

られず逆に減少している。即ち東北日本弧においてはこの地域のみが一般則が成立しない例外地域である。安達太良と吾妻のカルクアルカリ安山岩類は Medium-K 域の中央部分に点示され, SiO_2 の増加と共に K_2O はより高い増加を示し, さらにこれらは那須火山帯北帯火山群のカルクアルカリ安山岩のうちでは最も K_2O が多いのが一つの特徴である。一方磐梯と猫魔のものは Low-K 領域との境界線に近いところに点示され, 那須北帯の他の火山群のものとほぼ一致する。何故この地域のカルクアルカリ安山岩類が例外的な性質を示すかは分からない。その原因については今後の岩石学の一つの難しい課題である。

結論として端的に述べると, 磐梯山の溶岩類はすべて典型的な島弧カルクアルカリ系列安山岩の岩石学的・地球化学的性質を示し, 東北地方の八甲田, 八幡平, 焼山, 栗駒, 蔵王などの火山のカルクアルカリ系列安山岩と本質的には同じである。一方猫魔岳のものの大部分は島弧ソレアイト質玄武岩マグマの結晶分化作用によって生成された安山岩の性質を示し, 磐梯山のものとは隣接しているにもかかわらず異なっ



第4図 安達太良山, 吾妻山, 磐梯山と猫魔岳溶岩類の珪酸- K_2O 変化図. High-K, Medium-K と Low-K 領域: GILL (1981).

●: カルクアルカリ系列, ○: ソレアイト系列

た系列の岩石から構成され極めて対照的である。

引用文献

- 青木謙一郎・吉田武義・石川賢一 (1987) : 伊豆半島, 南崎火山ベイサナイトのインコンパティブル元素含有量, 岩鉱, **82**, 119-122.
- GILL, J. B (1981) : Orogenic andesite and plate tectonics. Springer-Verlag, 390p.
- IDDINGS, J. P. (1913) : Igneous rocks. Vol. II. John Wiley & Sons, Inc., 685p.
- KAWANO, Y., YAGI, K. and AOKI, K. (1961) : Petrography and petrochemistry of the volcanic rocks of Quaternary volcanoes of northeastern Japan. *Sci. Rep. Tohoku Univ.*, Ser. III, **7**, 1-46.
- KUNO, H. (1960) : High-alumina basalt. *J. Petrol.*, **1**, 121-145.
- MASUDA, Y. and AOKI, K. (1979) : Trace element variations in the volcanic rocks from the Nasu zone, Northeast Japan. *Earth Planet. Sci. Letters*, **44**, 139-149.
- NAKAMURA, Y. (1978) : Geology and petrology of Bandai and Nekoma Volcanoes. *Sci. Rep. Tohoku Univ.*, Ser. III, **14**, 67-119.
- 周藤賢治・八島隆一・千葉茂樹・中馬敦允 (1983) : 磐梯山安山岩中の輝石, *MAGMA*, No. 68, 9-20.
- YOSHIDA, T. and AOKI, K. (1984) : Geochemistry of major and trace elements in the Quaternary volcanic rocks from Northeast Honshuu, Japan. *Sci. Rep. Tohoku Univ.*, Ser. III, **16**, 1-34.