研究報文

岩木火山の岩石学的研究

Petrology of Iwaki volcano

河野 義礼 (Yoshinori Kawano)*

青木 謙一郎 (Ken-ichiro Aoki)*

門脇 淳 (Kiyoshi Kadowaki)**

Abstract: Iwaki volcano, 1625 m. in height, is a beautiful cone formed on the basement composed of Miocene and Pleistocene formations. In the early stage, the volcano erupted tremendous amounts of volcanic breccia of pyroxene andesite, which formed the greater part of the cone, and in the later stage, lava flows of pyroxene andesite were erupted. The central cone is composed of hornblende pyroxene andesite, which has abundant cognate xenoliths. All rocks belong to the calc-alkali rock series derived from a high-alumina basalt magma.

Nine representative rocks are chemically analysed. They are characterized by high in $\text{FeO} + \text{Fe}_2\text{O}_3$ and low in alkalis, especially K_2O than those of the other volcanoes of the Chokai volcanic zone.

1. 緒言

岩木山は弘前盆地西縁にそびえる標高 1625.2m, 東西約 12km, 南北約 13km の標式的な円錐形の鳥海火山帯に属する成層火山である。弘前方面からみた形態が富士山に似ているので一名「津軽富士」とも云われ、津軽地方の人々により古くから親しまれている。

岩木火山の地質については 1904 年、八谷¹⁾ によつて報告されたのみであり、岩石学的性質については近年勝井²⁾ 及び石川²⁾ によつて行なわれたものがある。

筆者等は 1959 年夏以降、鳥海火山帯の研究の一環として岩木火山の地質及び岩石学的研究を行なつて来たが、その結果を得たのでこゝに報告する。野外調査は主として門脇により、室内実験は主として青木によつて行なわれた。

この研究を行なうに当り野外調査に際し御援助いただいた東北大学加藤磐雄助教授、現地に於てお世話になつた弘前大学酒井教授及び宮城講師に厚く御礼申し上げる。鳥海火

* 東北大学理学部岩石鉱物鉱床学教室

** 北海道地下資源開発株式会社

山帯平均化学組成は東北大学大沼晃助氏の未発表データを加えて算出した。同氏の御好意に感謝する。

2. 基盤地質の概略

岩木火山の直接の基盤は西および南側は新第三紀中新世の堆積岩であるが、東及び北側は主として第四紀洪積世の堆積岩と局部的に中新世堆積岩からなっている。

岩木火山周縁の中新世堆積岩は下部より田の沢層(西黒沢階)、大童子層(女川階)と赤石層、舞戸層及び鳴沢層(船川階)と名づけられている。田の沢層と大童子層は不整合関係にあるが、その他の各層の間は整合である。これらの各層の岩質は次の通りである。

田の沢層は主として緑色角礫凝灰岩、一部に凝灰質頁岩、凝灰質砂岩及び砂岩を挟む。大童子層は板状層理の極めてよく発達した黒色硬質頁岩と暗灰色珪質頁岩を主体とし、青緑色の浮石質凝灰岩を介在する。赤石層は灰色硬質頁岩と黒色シルト岩の互層からなっている。舞戸層は主として黒色灰色シルト岩の互層からなり、局部的に凝灰質、泥質岩を挟む。鳴沢層は白色浮石質凝灰岩、一部にシルト岩を挟む。岩木山西麓に外見上寄生火山の様にみられる低い丘陵があり、これは白色の流紋岩から構成されている。しかしこの活動は岩木山のもの以前に行なわれ、鳴沢層堆積時に噴出したと推定される。

岩木山の東及び北麓に分布する第四紀洪積世堆積岩は鳴沢層を不整合に被う基底礫から始まる。下部より黄金山層、山田野層と名づけられている。黄金山層は基底に安山岩質の巨礫～中礫に富む凝灰質粗粒砂質礫岩層があり、砂質粘土、砂質凝灰岩及び凝灰質砂岩に移化し、層厚は5～10mである。山田野層は黄金山層から整合的に変わり、灰色～白色凝灰質砂岩、火山灰及び砂岩からなり層厚は4～7mである。

段丘堆積物は岩木火山の西麓と南西麓に局部的に露出し、厚さ0.5～1mであり、頁岩、緑色角礫凝灰岩等の礫からなり、南西麓の黒滝附近に於てはこの段丘堆積物の間に岩木火山の初期噴出物を挟んでいる。

3. 岩木火山の活動

岩木火山の活動開始時期は初期噴出物と段丘堆積物との関係及び山体の開析が殆んど進んでいない事から判断して洪積世末葉と推定される。当時の地形は周囲の地質構造及び現地形から、盆状地構造をなし噴火地点は海拔200m以下であつたと考えられる。現在の岩木火山の標高は1625.2mであるから火山体の高さは1400m以上であり、東北地方の火山に於てはその噴出物の厚さは最も厚いものの一つである。しかしながら基底から海拔900mまでは火山角礫岩であり、熔岩類累積の厚さは700m以下である。

岩木火山の活動は火山角礫岩の噴出によつて始まっているが、活動様式から3期に大別することが出来る。火山噴出物の噴出口は殆んど全部現在の山頂外輪火口から溢流し、典型的な中心噴火を行なっている。

第1期 岩木火山の初期には莫大量の火山角礫岩を噴出、周囲に流出し、山体の大部分を形成した。この噴出物は山体の南半分の開析の進んだ溪谷にのみ露出し、海拔900mの位置まで認められるが、北側半分は開析が殆んど進んでいないので露出が認められない。

第1図 岩木火山地質図

第2期 第1期に続いて行なわれた活動は、主として熔岩の流出であり、スコリアや火山角礫岩を殆んど伴っていない。この時期の活動で現在みられる様な火山形体をほぼ完成した。続いて山頂には火口の崩壊が起り径 800m の円形火口（外輪山）を形成した。現在この外輪壁は東と西側は崩壊しているが、南と北側に於ては明瞭に外輪地形が保存せられている。この時期に山頂の西、約 3.2km の地点に寄生火山を生じた。その後山頂の北西、南西及び南東外輪外側から熔岩を流出している。

第3期 外輪山形成後、最後の活動として中央火口丘の噴出が行なわれた。これは前後2回の噴出によって生じたものであり、最後のものは径 300m、高さ約 70m のドームを形成している。この中央火口丘は岩木火山中最も酸性のもので多量の同源捕獲岩を含んでいるのが特徴である。

外輪東南の尾根沿いに厚さ 1m の降下軽石が長さ 2.5km、巾 0.3km に亘って分布している。その範囲は比較的狭く、その他の場所には認められない。噴出口及び噴出時期

はつまびらかではないが、中央火口丘の噴出と略前後して外輪側壁から拋出されたものと思われる。鳥海火山帯火山中、沼沢火山を除くニセコ⁴⁾、寒風⁵⁾、鳥海⁶⁾及び月山⁵⁾の諸火山には軽石の拋出或は流出は認められない。岩木火山における軽石の噴出はその量は少ないが、噴火型式として重要である。

爆裂火口 外輪南西外側壁に美しい円錐形の径 100m 以下の爆裂火口が4つ存在している。これらは爆発のみで熔岩の流出は伴っていない。その他外輪外側斜面に9個以上の火口地形が認められる。しかしこれらはいずれも爆発のみである。

有史活動 記録によれば岩木火山の有史時代の活動は1597年以降少なくとも6回以上行なわれているが、いずれも爆発のみでマグマの噴出は行なわれていない。爆発の規模の顕著なものは次の通りである。1597年、外輪南側（南側中腹火口と推定される）で爆発し、山崩れを伴って山麓へ流出した。1604、1672、1783、1845年にも爆発し、1863、年2月15日には山上の2ヶ所で爆発し、大石を飛散している。その後休止して現在に及んでいる。

4. 熔岩の顕微鏡観察

鳥海火山帯に属する諸火山は角閃石安山岩と輝石安山岩からなることが1つの特徴であるとされている。しかしこの火山帯に属する東北地方の火山は主として石英安山岩から成る沼沢火山を除き、角閃石安山岩の量は非常に少なく、主として輝石安山岩から構成されている。岩木火山に於ても1期及び2期の噴出物中に角閃石斑晶を含むものはむしろ稀であり、中央火口丘熔岩に少量含まれているに過ぎず、殆んど全部は輝石安山岩から成っている。

久野は鳥海火山帯の火山の本源マグマは勝井によつて行なわれた月山の熔岩の化学分析から高アルミナ玄武岩であることを示唆した⁷⁾。

最近大沼⁸⁾によつて鳥海火山は高アルミナ玄武岩系列の玄武岩—安山岩が噴出しているのが確認され、北海道ニセコ火山の初期噴出物も高アルミナ玄武岩系安山岩であることがわかった⁸⁾。しかし岩木火山噴出物の代表的な薄片約80枚について検鏡したが、すべてカルク・アルカリ岩系安山岩類であり、高アルミナ玄武岩類のものは認められなかった。またしばしば発見される同源捕獲岩もカルク・アルカリ岩系のものである。従つて岩木火山に於ては高アルミナ玄武岩系火山岩類の噴出はなかつたと推定される。

岩木火山の噴出物はその構成鉱物と化学組成から第1期及び2期に噴出した輝石安山岩と第3期に中央火口丘を形成した角閃石輝石安山岩の2つに大別される。第1期及び2期噴出物中には角閃石斑晶を含む輝石安山岩も認められるが、その量は非常に少なく、これを含まないものと本質的な差異はない。また軽石は輝石安山岩と角閃石輝石安山岩の中間的性質を示している。岩木火山熔岩の顕微鏡観察についてはすでに石川³⁾によつて記載されているので、輝石安山岩、角閃石輝石安山岩、軽石及び同源捕獲岩について簡単に記述する。

輝石安山岩 第1期及び2期に噴出した輝石安山岩類（含角閃石・輝石安山岩類を含む）は肉眼的に暗灰色～灰色を呈し、多量の斜長石及び少量の輝石斑晶が認められ、緻密堅硬である。鏡下に観察すると斑晶として多量の斜長石及び少量の紫蘇輝石、普通輝石及び磁鉄鉱、時に橄欖石、稀に角閃石が認められる。石基は細粒であり、半晶質のものが多く、

完晶質のものは比較的小さい。石基構成鉱物は半晶質岩では斜長石、紫蘇輝石、普通輝石、鉄鉱、クリストバライト、燐灰石及びガラスであるが、結晶度が高くなるにつれてガラスの量が減少し上記鉱物の他にアノソクレスが現われ初め、クリストバライトの量が多くなり、石英も時に認められる。

斑晶斜長石は長さ 4mm 以下の長柱状～柱状自形を呈し、すべて聚片双晶をなしている。累帯構造の発達著しく、特に外縁部に於て顕著であり、中心部より外縁に向つて規則正しく oscillatory zoning をなしているものもある。しばしば内核がガラス化され、その周囲を新鮮な結晶が厚く包んでおり、また結晶の内帯との中間部が結晶外形に沿つてガラス化され、チリ状包有物が多量に存在するものもある。この内帯は外帯に比し An% が 20% 前後低く、捕獲結晶と推定れる。包有物として普通輝石、紫蘇輝石、磁鉄鉱が少量認められる。時々斜長石、紫蘇輝石、普通輝石及び磁鉄鉱の大きな斑晶からなる glomeroporphyritic aggregate が存在する。斜長石の An% は 90～60 である。

斑晶橄欖石は時々認められ、0.5mm 以下の自形～半自形をなす。ピコタイト包有物を含んでいることがある。時々紫蘇輝石によって取囲まれていることがある。

斑晶紫蘇輝石は長さ 3mm 以下の長柱状自形、結晶縁が僅かに丸味を帯びていることがある。多色性は一般に強く、X=淡褐色、Z=淡緑色、累帯構造の発達の著しいものが存在する。稀に (100) に平行な普通輝石の exsolution lamellae が認められる。包有物として少量の磁鉄鉱、斜長石がある。2V_α=75°～56°, γ_{max}=1.710, Fs 22～41。

斑晶普通輝石は 3.5mm 以下の短柱状自形～半自形を呈し、しばしば結晶輪廓がやや丸味を帯びている。(100) を接合面とする双晶は普通にみられ、反覆していることがある。普通輝石と紫蘇輝石との平行連晶をなすものがあり、常に後者が内側にあり、前者が後者を完全に包んでいるものも稀にみとめられる。包有物として少量の斜長石、磁鉄鉱が認められる。β=1.692～1.702, 2V_γ=55°～47°, c∧Z=45°, Wo 44 En 39 Fs 17～Wo 42 Fn 33 Fs 25。

斑晶角閃石は稀に存在し、通常著しいオバサイト化を蒙っている。

角閃石輝石安山岩 中央火口丘を形成している角閃石輝石安山岩は肉眼的に灰色を呈しているが、酸化によつて赤味を帯びたものもある。一般に粗鬆であり、多量の斜長石と少量の輝石斑晶が認められる。鏡下に於て観察すると斑晶として斜長石、普通輝石、紫蘇輝石、橄欖石、磁鉄鉱、酸化角閃石、燐灰石及び石英が認められる。石基は細粒半晶質であり、構成鉱物は斜長石、普通輝石、紫蘇輝石、鉄鉱、燐灰石、アノソクレス及びクリストバライトである。斑晶斜長石は長さ 5mm 以下自形～半自形を呈す。その性質は輝石安山岩中のものに良く似ているがやや酸性であり、その組成は An80～53、チリ状包有物を包むものは後者よりも少ない。

斑晶橄欖石は 0.6mm 以下の自形～半自形をなす。結晶縁或は割目に沿つて一部赤鉄鉱化しているものがある。

斑晶紫蘇輝石は長柱状自形、1.5mm 以下、γ=1.707～1.711, Fs=35～38。斑晶普通輝石は 1mm 以下の短柱状自形～半自形、しばしば著しい累帯構造を示すものがある。稀に紫蘇輝石と平行連晶をなす。β=1.695～1.703, 2V_γ=56°～47°, c∧Z=45°, Wo 43 En 38 Fs 19～Wo 42 En 32 Fs 26。

酸化角閃石斑晶は 2mm 以下の半自形を呈す。一般に著しいオバサイト化作用を蒙り、

結晶の外縁部は磁鉄鉄に变质し、小型結晶では完全に变质しているものもある。新鮮な結晶は著しい多色性を示す、X=淡褐色、Y=赤褐色、Z=濃赤褐色、 $c \wedge Z = 0^\circ$, $\alpha_{\min} = 1.704$.

斑晶石英は径 0.5mm 以下の融蝕を受けて丸味を帯びた結晶であり、捕獲結晶の可能性もあるが、普通輝石の反応縁は全く認められないので確言出来ない。

軽石 軽石は淡黄褐色の極めて空隙に富む粗鬆の岩石であり、少量の斜長石と輝石斑晶が認められる。鏡下に観察すると、斑晶として斜長石 (An 68~48), 橄欖石 ($\alpha_{\min} = 1.658$, $\beta_{\max} = 1.693$, Fa 12~21), 紫蘇輝石 ($\gamma = 1.707 \sim 1.711$, Fs 35~38), 普通輝石 ($2V\gamma = 57^\circ \sim 55^\circ$, $\beta = 1.695 \sim 1.702$, Wo 46 En 36 Fs 18~Wo45 En31 Fs24), 酸化角閃石, 磁鉄鉄が存在する。石基は主としてガラスより成るが、軽石としては比較的結晶度が高く、石基鉄物として斜長石, 普通輝石, 紫蘇輝石及び磁鉄鉄の微晶が認められる。

時々石英の捕獲結晶が存在し、柱状の普通輝石反応縁によつて包まれている。

捕獲岩 岩木火山熔岩中には捕獲岩は非常に多く殆どのものに含まれている。特に中央火口丘熔岩中には非常に多い。その径は稀に 1m にも達するが 10-20cm 位のものが

第 1 表 化 学

	1	2	3	4	5
	Vd	Vd	VId	VId	Vd
SiO ₂	56.08	56.35	55.75	56.90	60.31
TiO ₂	1.18	1.25	1.10	0.87	1.02
Al ₂ O ₃	17.35	17.70	17.85	17.61	17.53
Fe ₂ O ₃	5.27	4.34	4.40	4.16	3.30
FeO	4.12	4.42	4.54	4.77	3.85
MnO	0.16	0.16	0.14	0.19	0.16
MgO	3.43	3.51	3.41	3.00	2.59
CaO	7.07	6.87	7.09	6.64	5.97
Na ₂ O	3.25	2.90	3.11	3.29	3.20
K ₂ O	1.00	1.08	1.05	0.93	1.20
H ₂ O+	0.91	0.73	0.67	0.85	0.70
H ₂ O-	0.42	0.28	0.28	0.50	0.20
P ₂ O ₅	0.19	0.18	0.17	0.21	0.14
Total	100.43	99.77	99.56	99.91	100.17

分析者, Nos. 1~8, 10, 青木⁵⁾, No. 9, 勝井²⁾

1. Hypersthene augite andesite, 火山角礫岩中の礫, 湯殿沢上流
2. Augite hypersthene andesite, 毒蛇沢
3. Augite hypersthene andesite, 赤倉沢
4. Hornblende bearing augite hypersthene andesite, 岩木山頂の南東 1.5km の尾根
5. Augite hypersthene andesite, 寄生火山, 黒森山

多く、又数 mm 程度のものも多い。捕獲岩はその構成鉱物から同源のものと他源のものの2種に大別されるが、殆んど全部は同源捕獲岩であり、他源性のものは極めて稀であり、これは水成岩起源のものである。

同源捕獲岩はいづれもカルク・アルカリ岩系の比較的基性の安山岩類であり、鳥海山や月山等の同源捕獲岩に認められる様な高アルミナ岩系玄武岩安山岩は認められない。同源捕獲岩の鉱物組合せの種類については石川³⁾によつて記載されているのでこゝでは省略する。

5. 化 学 組 成

岩木火山の代表的な熔岩8個と中央火口丘熔岩中の同源捕獲岩1個について化学分析を行なつた⁵⁾。第1表にはそれらの結果を噴出順序に並べて示した。また勝井²⁾によつて行なわれた中央火口丘熔岩の分析値を加えた。岩木火山熔岩のSiO₂%は56.1~63.8であり、この火山の殆んど全部を構成している1期及び2期の噴出物は56.1~60.5%であつてそのSiO₂範囲は比較的狭い。同源捕獲岩は約55%であり、この火山のもの

組 成				
6	7	8	9	10
Vd	VI	VId	VId	Vd
60.50	57.92	62.20	63.74	54.93
0.68	0.89	0.53	0.34	0.87
16.99	17.08	16.76	15.63	17.86
3.34	2.49	4.29	3.58	4.56
3.52	4.33	2.49	2.97	4.84
0.13	0.13	0.15	0.09	0.17
2.89	3.94	2.66	2.55	4.34
7.31	6.85	6.09	5.40	8.59
2.97	2.93	3.28	3.79	2.77
1.06	1.05	1.03	1.59	0.83
0.30	1.69	0.57	0.34	0.47
0.20	0.45	0.18	0.35	0.04
0.12	0.04	0.07	0.20	0.09
100.01	99.79	100.30	100.57	100.36

- Olivine bearing augite hypersthene andesite, 岩木外輪南
- Hornblende bearing olivine augite hypersthene andesite, 降下軽石中の軽石, 山頂と百沢の間
- Olivine hornblende quartz hypersthene andesite, 中央火口丘下部
- Quartz olivine hornblende bearing augite hypersthene andesite, 中央火口丘山頂
- Olivine hypersthene augite andesite, 同源捕獲岩, 岩木山頂

としては最も基性である。鳥海山、月山等にみられる様な基性の熔岩は岩木山からは産出せず、北海道ニセコ火山のものと類似している。

第2図に酸化物一珪酸変化図を示した。比較のために最近化学分析の行なわれた鳥海火山帯熔岩55個の平均組成を求め(第2表), その変化曲線を示した。最も興味あることは岩木山熔岩のアルカリ, 特に K_2O は鳥海火山帯平均に比して非常に少ないことである。その他の酸化物は SiO_2 の乏しいものに於ては Al_2O_3 , MgO と CaO が平均よりやや少なく, $FeO+Fe_2O_3$ は多い傾向があり, 酸性のものに於ては特に大きな差はみられない。

第2図 酸化物一珪酸変化図

変化図には示さなかつたが, 岩木火山熔岩は FeO に対して Fe_2O_3 が多く, 従つて Fe_2O_3/FeO 比が高く, 0.8~1.2である。 Fe_2O_3/FeO 比が高いのは岩木山熔岩のみで

第2表 鳥海火山帯熔岩の平均化学組成

	1	2	3	4
SiO_2 範囲	<55	55-60	60-65	65<
SiO_2	53.4	57.4	61.6	65.6
TiO_2	0.8	0.8	0.7	0.7
Al_2O_3	18.8	17.6	16.4	15.8
Fe_2O_3	3.2	3.4	3.7	2.4
FeO	4.9	4.1	3.1	2.2
MnO	0.1	0.1	0.1	0.1
MgO	5.0	3.6	2.7	1.6
CaO	8.4	6.7	5.9	4.2
Na_2O	3.0	3.3	3.4	3.8
K_2O	1.3	1.6	1.5	1.7
H_2O+	0.7	0.8	0.5	1.3
H_2O-	0.4	0.4	0.2	0.4
P_2O_5	0.2	0.2	0.2	0.1
Total	100.2	100.0	100.0	99.9
平均個数	19	26	8	2

なく、鳥海火山帯他の火山、例えば月山、鳥海山、寒風山及びニセコ火山に於てもそうである。一方那須火山帯ソーライト岩系火山岩のこの比は0.2~0.7であり、 $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{FeO}$ 比の高いのは鳥海火山帯熔岩の1つの大きな特徴である。

岩木火山熔岩及び鳥海火山帯に属するその他の火山の熔岩の組成を $\text{MgO}-\text{FeO}+\text{Fe}_2\text{O}_3-\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$ 三角形図に点示し、那須火山帯ソーライト岩系とカルク・アルカリ岩系の境界線を第3図に示した。第3図から明らかな様に鳥海火山帯のものはマグマの分化の中期に於ける鉄の濃集は認められず、分化の中期に鉄の濃集が行なわれた那須火山帯ソーライト岩系の分布地域に点示されるものは全く存在せず、すべて同帯カルク・アルカリ岩系の区域に入る。しかし岩木火山のものは鳥海火山帯火山のものの中で最も鉄に富む区域に示される。

第3図 $\text{MgO}-\text{FeO}+\text{Fe}_2\text{O}_3-\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$ 図

勝井²⁾と杉村⁸⁾は鳥海火山帯の火山岩是那須火山帯のものよりもアルカリが多いが、環日本海アルカリ岩区のものよりも少なく、東北地方に於ては東(太平洋側)から西(日本海側)にゆくにつれて火山岩中のアルカリが増加することを示し、更に最近河野、八木及び青木⁵⁾は東北地方の諸火山の詳細な岩石学的研究から、勝井及び杉村と同じ結論に達した。

岩木火山は東北地方の日本海沿岸に平行に南北に走る鳥海火山帯の中に於ては最も太平洋側、即ち那須火山帯に近い位置にある。すでに述べた様に岩木山は鳥海火山帯火山中

最もアルカリ，特に K_2O が少ないのが特徴であつて，その量は那須火山帯カルク・アルカリ岩系のもものと著しい差は認められない。これは地理的分布と熔岩の化学組成との関係が良く一致し，非常に興味ある事実である。那須火山帯中，最も鳥海火山帯に近い位置にある森吉火山熔岩⁹⁾ が那須火山帯火山中最もアルカリが多いことゝ対称的である。しかしながら岩木火山熔岩の構成鉱物及び化学組成は鳥海火山帯他火山のものと同様，那須火山帯のものとは本質的に異なっている。

岩木火山にはマグマの分化の早期を代表する熔岩は全く認められず，カルク・アルカリ岩系安山岩のみであるが，今まで述べてきた岩石学的諸性質から，本源マグマは久野の高アルミナ玄武岩であつたと考えられる。しかし，この高アルミナ玄武岩マグマは月山や鳥海山のものよりもやゝアルカリに乏しいソレーアイトマグマに近い性質のものであつたと推定される。この本源マグマの花崗岩質岩類或は珪質岩類の混成作用によつて生じたカルク・アルカリ岩系安山岩質マグマの噴火によつて岩木山は形成されたと考えられる。

引用文献

- 1) 八谷彪一，岩木火山，震災予防報告，48号，1905.
- 2) 勝井義雄，鳥海火山帯熔岩の化学成分，地質，60，185~191，1954.
- 3) 石川俊夫，鳥海及び乗鞍火山帯の岩石学的特性，鈴木醇教授還歴記念論文集，263~277，1958.
- 4) 大場与志男，ニセコ火山群の岩石について，地質，66，788~799，1960.
- 5) Kawano, Y., Yagi, K. and Aoki, K., Petrography and petrochemistry of the volcanic rocks of Quaternary volcanoes of northeastern Japan, Sci. Rep. Tohoku Univ., Ser. 3, 7, 1~46, 1961.
- 6) 大沼晃助，鳥海火山の岩石学，東北大修士論文，1961.
- 7) Kuno, G. H., High-alumina basalt, Jour. Petr., 1, 121~145, 1960.
- 8) Sugimura, A., Zonal arrangement of some geophysical and petrological feature in Japan and its environs, Jour. Fac. Sci. Tokyo Univ., Sec. II, 7, 133~153, 1960.
- 9) 河野義礼，青木謙一郎，八幡平およびその周縁火山群の岩石，火山，2集，4，61~76，1959.