東北日本弧, 那須火山群の形成史

Evolutionary history of the Nasu volcano group,
Northeast Japan arc

伴 雅 雄 (Masao BAN)*
高 岡 宣 雄 (Nobuo TAKAOKA)*,**

The Nasu volcano group is composed of six volcanic edifices, Kasshiasahidake, Sanbon-yaridake, Asahidake, Minamigassan, Futamatayama, and Chausudake, located in the volcanic front of the Northeast Japan arc.

Kasshiasahidake (ca. 0.54-0.42 Ma), Sanbon-yaridake (ca. 0.36-0.27 Ma), Minamigassan (ca. 0.21-0.03 Ma) have similar geological sequences. Alternation of thin basaltic andesite lava flows and associated pyroclastics developed in the lower part, whereas thick andesitic or dacitic lava flows and minor pyroclastic flows developed in the upper part. Between these two stages, caldera collapse sometimes occurred. On the other hand, Asahidake (ca. 0.21-0.06 Ma), Futamatayama (ca. 0.14 Ma), and Chausudake (ca. 0.04-0 Ma) are composed of andesitic lavas, lava domes, and pyroclastic flows, lacking thin basaltic andesite sequences. From evolutionary historical point of view, Kasshiasahidake, Sanbon-yaridake, and Minamigassan (including Asahidake and Chausudake edifices) edifices construct individual stratovolcanoes, which have similar evolutionary histories. Futamatayama is distinct from these.

Volume and eruption duration of the three stratovolcanoes are as follows; ca. 200 k.y., 16.2 km³ for Kasshiasahidake, ca. 150 k.y., 7.2 km³ for Sanbon-yaridake, ca. 200 k.y., 17.8 km³ for Minamigassan (including Asahidake and Chausudake). These volumes and eruption rates are less than those of large stratovolcanoes (Akagi, Haruna, Hakone volcanoes etc.) in near the triple junction of plate boundary, but are comparable to those of small stratovolcanoes (Quaternary volcanoes in Shin-etsu Highland).

Keywords: Nasu volcano group, Evolutionary history, Stratovolcanoes, K-Ar age, Northeast Japan arc, Volcanic edifice, Eruption rates

I. はじめに

那須火山群は、東北日本弧第四紀火山フロント南部に位置し、南北に約 25 km にわたり 1,000 m 級の山体が連なる火山群である (Figs. 1, 2)。その南部に位置する最高峰茶臼岳は、現在も活発な噴気活動を続けている。最初に本火山群の地質学的な調査を行った松田 (1901) は、南は那珂川、北は鶴沼川に挟まれるほぼ連続して分布する火山群を那須火山群と呼んだ。本論文

でもこの範囲を那須火山群とする。

那須火山群全体にわたる地質の研究には、松田 (1901) と NEDO (1990) がある。三本槍岳以南については加藤 (1964) がある。松田 (1901) は正確な地形図のない時代のもので、地質の概略が述べられているに過ぎない。加藤 (1964) は岩質と分布から噴出物を分類した。NEDO (1990) は岩質と K-Ar 年代値から噴出物を分類しているが、三本槍岳以南は一部を除いて加藤 (1964) の分類を踏襲している。これらの研究

(平成 6 年 9 月 13 日受付, 平成 7 年 4 月 26 日受理)

* 山形大学理学部地球環境学科, 〒990 山形市小白川町 1-4-12

** 現在: 九州大学理学部地球惑星科学科, 〒812 福岡市東区箱崎 6-10-1

* Department of Earth Sciences, Faculty of Science, Yamagata University, Yamagata 990, Japan

** Present address: Department of Earth and Planetary Sciences, Faculty of Science, Kyushu University, Hakozaki, Fukuoka 812, Japan

Fig. 1. Index map of the Nasu volcano group. The depth data (deep seismic foci plane of Pacific plate) are from Hagiwara (1986) and those of Philippine Sea plate are from Ishida (1989). The plate boundaries are from Nakamura (1989). Circles are Quaternary volcanoes.

は必ずしも、火山の発達史的な観点が十分考慮されていない。

守屋 (1983) は日本の第四紀の 161 火山を、火山地形に基づいて、発達史の観点から類型化した。それによれば日本の第四紀火山は、ABC の 3 つの型に分類されている。A 型は円錐火山、B 型は大カルデラ火山、C 型は一輪廻火山である。那須火山群については、守屋 (1983) の分類では、甲子旭岳以南を円錐火山の那須火山、大白森を特殊な円錐火山、二岐山を円錐火山とされている。

このような研究史を踏まえ、本研究では那須火山群噴出物について地質記載を独自に行い、それを元に噴出様式と火山地形の変遷を時間軸に沿って記述し、さらに発達史的立場から形成史を考察することを目的とする。

山麓に分布する火山灰層序については最近鈴木 (1992) によって仕上げられ、本火山の過去 60 万年間の爆発的噴火史が明らかにされている。現在も噴気活動を続けている茶臼岳については、その噴火過程が藤田 (1988) によって詳しく報告されている。さらに那須火山群周辺の平地には岩屑なだれ堆積物が分布して

おり、それらの分布と層序について岩崎ら (1984) と堀ら (1991) の報告がある。本研究では、山麓に分布する堆積物と山体本体との対応も考える。

II. 地形および山体区分

Fig. 2 に那須火山群とその周辺の地形、断層、カルデラおよび主な地名を示す。主な山頂は北から南へ、二岐山 (1,554 m)、下岳 (1,313 m)、上岳 (1,329 m)、高倉山 (1,284 m)、小白森 (1,563 m)、足倉山 (1,373 m)、大白森 (1,642 m)、釜房山 (1,510 m)、観音山 (1,640 m)、甲子山 (1,549 m)、甲子旭岳 (1,835 m)、須立山 (1,870 m)、三本槍岳 (1,917 m)、赤面山 (1,701 m)、前岳 (1,702 m)、熊見曾根東方の無名峰 (1,900 m)、東大倉 (1,462 m)、隠居倉 (1,819 m)、朝日岳 (1,896 m)、剣が峰 (1,790 m)、鬼面山 (1,618 m)、飯盛山 (1,364 m)、茶臼岳 (1,934 m)、日の出平 (1,786 m)、南月山 (1,776 m)、白笹山 (1,719 m)、黒尾谷岳 (1,589 m) と連なっている。

那須火山群周辺には、南北方向に走る断層がいくつか見られる。そのうち大きなものは、噴出物分布域の西縁を走る関谷断層 (新野, 1933)、東部を走る江花一虫笠断層 (松田ら, 1991)、那須湯本北断層 (松田ら, 1991)、那須湯本北東断層 (松田ら, 1991) である。これらの断層は高角、東落ちの逆断層と考えられる。北部には白河火砕流の噴出源とされている長径約 20 km の楕円形をした羽鳥カルデラ (守屋, 1983, P. 78-83) がある。那須火山群本体の山頂も南北方向に配列している。火山フロントに沿ったこの方向は現在の東北日本の東西性の最大圧縮応力軸の方向 (たとえば, Nakamura and Uyeda, 1980) とほぼ直交している。

那須火山群では、山頂付近に小～中規模のカルデラ地形が随所に認められ (Fig. 2)、山体の破壊が度々起こった可能性を示唆している。南東および北西の扇状地には新旧の流れ山地形が認められる (岩崎ら, 1984)。

那須火山群は多くの山体から構成されているが、噴出物は、分布と火山地形の新旧から便宜的に、二岐山、甲子旭岳、三本槍岳、朝日岳、茶臼岳および南月山の 6 つの山体に分類できる。各噴出物の分布を Fig. 3 に示し、Fig. 4 に活動順序を示す。Fig. 3 では噴出物を各山体ごとに分け、岩屑なだれ堆積物はユニットごとに分離して示した。火山麓扇状地を形成しているものは扇状地堆積物とした。基盤岩類は一括している。Fig. 4 には後に述べる各山体の形成年代も示した。岩屑なだれ堆積物の分布は広範囲に及ぶため、Fig. 5 にそれらの分布全体を表す図を示した。

Fig. 2. Topography map of the Nasu volcano group. Names of locality used in the text and figures are shown in this figure. Lines are contours. Abbreviations; a, Hatori caldera; b, Kasshiasahidake east caldera; c, Kan-nonsan north caldera; d, Kan-nonsan west caldera; e, Minamigassan caldera; f, Chausudake west caldera; g, Chausudake east caldera.

Fig. 3. Geological map of Nasu volcano group. The unit names shown in this figure are as follows. CD, Chausudake lava dome; CC, Chausudake cinder cone; CL, Chausudake lava; CW, Chausudake west lava; OM, Ohmaru pyroclastic flows; OS, Ohsawa pyroclastic flow deposit; FC, Futamatayama cone; FL, Futamatayama lava; FP, Futamatayama pyroclastic flow deposit; AD, Asahidake lavas; SM, Shimizudaira lava; MD, Maedake lava; KM, Kimenzan lava; HO, Higashiohkura lavas; BZ, Bakuhanzaka lavas; KO, Kuro-oyadake lava; YO, Osoyama lavas; HD, Hinodedaira lavas; MG, Minamigassan lavas; SY, Sanbon-yaridake lavas; KS, Kasshiasahidake lavas; AI, Akaiwasawa lavas; KY, Kamafusayama pyroclastic flow and fall deposit; OJ, Ohsiromori lava domes; KA, Kasshiasahidake lavas; KN, Kan-nongawa debris avalanche deposit; OF, Ofujisan debris avalanche deposit; NG, Nakagawa debris avalanche deposit; TU, Tsurugaike debris avalanche deposit; KI, Kuroiso debris avalanche deposit. Abbreviations; det., detritus; base, basement rocks; a, Hatori caldera; b, Kasshiasahidake east caldera; c, Kan-nonsan north caldera; d, Kan-nonsan west caldera; e, Minamigassan caldera; f, Chausudake west caldera; g, Chausudake east caldera; h, Nasuyumotokita fault; i, Nasuyumotohokutou fault; j, Sekiya fault.

Fig. 4. Volcanic sequence of the Nasu volcano group. Bold numbers represent K-Ar ages ($\times 10,000$ years). Plain numbers represent carbon fourteen ages by Fujita (1988). Errors for the data are not presented. The unit names are same as in figure 3.

甲子旭岳山体は二岐山南方から三本槍岳北部にかけて分布する開析の進んだ山体，その周辺に分布する円頂丘状の形態を示す小規模な6つの山体，それに伴う噴出物を総称したものである。火山原面の保存の程度は那須火山群の中で最も悪い。火山原面が保存されているのは，鏡沼の爆烈火口とその内部に流出した溶岩流程度である。三本槍岳山体は，三本槍岳西部の火山原面が保存されていない山体，三本槍岳，隠居倉，赤面山を構成する噴出物を指す。南月山山体は茶臼岳以南の南月山を中心とする円錐形の山体を指す。朝日岳山体は明礬沢と黒川の間に分布する朝日岳，清水平，鬼面山などの比較的火山原面を保存している山体を指す。南月山と朝日岳では，溶岩流の溶岩末端崖の地形は比較的保存されている。二岐山山体は二岐山とその下位の溶岩流を指す。下位の溶岩流には溶岩じわや溶岩堤防が保存されている。茶臼岳山体は茶臼岳およびその東西に分布する溶岩流，火砕流堆積物で構成されている山体を指す。茶臼岳には舌状溶岩流，火口，円

錐丘の地形が明瞭に保存されている。また山体上部では植生が未発達である。このように，甲子旭岳と三本槍岳は那須火山群を構成する他の噴出物よりも火山原面の保存が悪く，二岐山と茶臼岳は保存がよい。南月山と朝日岳は両者の中間である。

甲子旭岳，三本槍岳および南月山の3山体は，およそつぎのような層序の特徴が見られる。下位には玄武岩質の比較的薄い溶岩流とそれに伴う火砕岩が卓越する。上位では安山岩～デイサイト質の溶岩流，溶岩円頂丘，および火砕流堆積物が主に認められる。但し三本槍岳火山では，活動の初期に安山岩質の溶岩流の活動が認められる。また各山体には，径約2～4 kmの中規模のカルデラ地形が認められる。南月山カルデラでは形成された時期は岩質が大きく変化する時期に対応している。

朝日岳，二岐山および茶臼岳の3山体では，安山岩質の噴出物が卓越する。朝日岳と茶臼岳では安山岩質であっても比較的薄い溶岩流や岩滓集塊岩が卓越している。

Fig. 5. Distribution map of debris avalanche deposits of the Nasu volcano group. Map also shows the distribution of products from six volcanic edifices of Nasu volcano group.

上部は厚い溶岩流や溶岩円頂丘で構成されている。

III. 地質各論

1. 基盤岩類

那須火山群の基盤は先第三紀の花崗岩類と堆積岩類、第三紀の堆積岩類と変質した溶岩と火砕岩、後期中新世から更新世の火砕流堆積物および第四紀の礫岩層である。

先第三紀の花崗岩類は流石山等の西部の山地に広く分布し、また南西部の沢名川と阿武隈川上流に小規模に分布する。主に花崗閃緑岩からなる。堆積岩類は大戸層（鈴木, 1964）と命名されているもので、羽鳥カルデラの北壁や阿武隈川上流に分布している。主に砂岩や頁岩からなり、礫岩やチャートを含む。

第三紀層としては福渡層、関谷層、鹿股澤層（新野, 1933）が見られる。関谷層、鹿股澤層は主に凝灰岩、礫岩、砂岩、頁岩からなり、福渡層はそれに加え凝灰角礫岩や変質した溶岩流を含む（新野, 1933）。このうち層理が発達した部分が、南西部の那珂川上流に分布している。走向はほぼ南北方向で、傾斜は10°内外の東落ちである。関谷断層付近でのみ傾斜がほぼ垂直になっている（桜井編, 1971）。緑色に変質した安山岩質溶岩流や火砕岩類が沼原西部から湯川一御沢にかけて、阿武隈川上流および小白森周辺に広く分布している。従来これらは第四紀火山噴出物とされてきた。しかし、岩相から上記の福渡層や周辺に分布する第三紀の大岩層ないし三喰沢層（増田ら, 1974）に相当するものと考えられる。

会津地域には後期中新世から更新世にかけて、カルデラ火山が群をなして活動しており（山元, 1992）、それに関連する堆積物の一部が羽鳥カルデラの中に分布している。増田ら（1974）による城ノ入沢層、湯野上層、塔ノ弗層がそれに対応すると考えられている（山元, 1992）。羽鳥カルデラに関連する大規模な珪長質火砕流堆積物は第四紀初頭に噴出したもので、白河火砕流と命名されている（真鍋ら, 1968；吉田・高橋, 1991など）。その層序や分布は吉田・高橋（1991）や山元（1992）に詳しく述べられている。

第四紀の礫岩層は野際新田層（増田ら, 1974）と命名されており、甲子旭岳西麓部に分布している。

2. 甲子旭岳噴出物

本噴出物の分布範囲を Fig. 3 に示す。本山体是那須火山群の中で最も侵食が進んでいる。甲子旭岳周辺から三本槍岳下部を構成する噴出物は主に玄武岩～玄武岩質安山岩溶岩と同質の火砕岩よりなり、その周辺に

分布する溶岩円頂丘および溶岩類は安山岩～デイサイトからなる。前者を甲子旭岳溶岩類、後者を大白森溶岩円頂丘群として以下に特徴を記述する。甲子旭岳溶岩類は、NEDO（1990）の甲子山下部火山噴出物の一部と甲子山上部火山噴出物、旭岳火山噴出物に対応する。大白森溶岩円頂丘群は、おおそ NEDO（1990）の大白森火山噴出物に対応する。大白森東方の釜房山は岩質と分布域が大白森溶岩円頂丘群に近いが、火砕流・降下火砕物よりなっており、吉田・高橋（1991）によって白河火砕流の最も新しい噴出物とされている。これについても後に簡単に触れる。

(1) 甲子旭岳溶岩類

甲子旭岳周辺から三本槍岳下部に分布する主に玄武岩～玄武岩質安山岩溶岩と同質の火砕岩。甲子旭岳北壁、甲子旭岳西方1 km の沢、観音山北の沢に良好に露出が認められる。溶岩流の厚さは1～10 m が多いが、部分的に30 m 以上の厚さになることもある。たとえば三ノ輪滝では30 m の厚さの溶岩流が認められる。溶岩流の厚さは側方変化が激しく、途中で尖滅するものも多く認められる。溶岩流の総枚数は定かでないが、甲子旭岳の北崖では20枚、甲子旭岳の西方では15枚連続して積み重なっている様子が観察できる。火砕岩は、溶岩流と互層している場合は、その溶岩流と同質の発泡した岩片と赤～赤褐色の火山灰の基質からなる。ヨロイ沢上流や観音沢上流では下部に主に10～100 cm 程度の大きさの岩片からなる火砕岩が認められる。また甲子旭岳北崖では傾斜不整合が認められ、その境界部分には、径1～10 cm 程度の角ばった岩片の集合からなる転動堆積物が認められる。この上下で溶岩流の重なり傾斜方向が東傾斜から西傾斜へと変化している。南部の須立山付近では最大径2 cm に及ぶ斜長石斑晶が認められる。甲子峠一帯では変質が著しく、露出は全面白色や緑色になっている部分が多い。ヨロイ沢上流で野際新田層を、観音沢で白河火砕流堆積物を覆う。岩石は主に単斜輝石一斜方輝石一玄武岩質安山岩とカンラン石一単斜輝石一斜方輝石一玄武岩である。

(2) 大白森溶岩円頂丘群

安山岩～デイサイト質溶岩が須立山、大白森とその西方へ連続する尾根、小白森、高倉山、下岳、上岳および下岳東方1 km の1,266 m ピークに分布している。また、国道289号線の1,210 m 付近では、甲子旭岳溶岩類の玄武岩質安山岩溶岩を貫いている安山岩ないしデイサイト質の岩脈が認められる。これらとそれに伴う噴出物を総称して大白森溶岩円頂丘群と呼ぶ。

須立山, 小白森, 高倉山, 下岳, 上岳, 1,266 m ピークは斜面の形状が上に凸であることから溶岩円頂丘と考えられる。比高/底径比はそれぞれ 0.20, 0.24-0.40, 0.35, 0.23, 0.23, 0.16 である。高倉山西方の林道では高倉山を構成する溶岩と同質の中間型火砕流堆積物が認められる。

大白森は比較的厚い溶岩流からなる。山頂と、その西側で露出が認められる。また、大白森から西方へ連続する尾根には、溶岩や火砕岩とみられる安山岩〜デイサイト質の噴出物が分布している。変質が進んでおり、詳細は不明である。

岩脈は走向 N20~25°E, 傾斜は 75°E 前後で、甲子旭岳溶岩類の火砕岩を貫いている。貫入方向と垂直な方向に、間隔 2~5 cm 程度の節理が明瞭に認められる。甲子旭岳溶岩類との直接の新旧関係が見られるのはこの部分のみである。これらの岩石は、石英斑晶が含まれる場合がある両輝石-安山岩〜デイサイトである。

(3) 釜房山火砕流・降下火砕堆積物

釜房山は火砕流堆積物と降下火砕堆積物で構成されている。この噴出物の特徴は、吉田・高橋 (1991) に釜房山火砕流・降下火砕堆積物として詳しく述べられている。それによれば、層厚、最大約 300 m, 弱溶結から強溶結した 5 枚以上の火砕流堆積物およびそれに伴う降下火砕物からなる。強溶結部は最大で 80 m に達する。大白森溶岩円頂丘群と分布が近く、岩質が似ている。岩石は、石英斑晶が含まれる場合がある両輝石-安山岩である。

(4) 甲子旭岳山体に形成された火山性凹地形

甲子旭岳東部凹地

阿武隈川上流、鎌房山から甲子岳、前岳にかかる東に開いた径約 5 km の凹地。鎌房山から凹地の底の甲子温泉までは比高 560 m, 甲子旭岳から甲子温泉までは比高 885 m と深くえぐられている。鎌房山を構成する地形面は北東方向になだらかに低くなっており、その方向の逆を辿ると凹地の内部に入る。また甲子旭岳溶岩類の上部は西方向の傾斜を持ち、逆の方向を辿ると凹地の内部に入る。凹地の生成機構は不明だが、凹地の一部は甲子旭岳、鎌房山の山体の一部の崩壊に関与していると考えられる。

観音山北部カルデラ

観音山の北部に存在する、北西に開く馬蹄形の直径約 2 km の凹地。

観音山西部カルデラ

観音山の西部 1 km に存在する扇状に西に開いた凹地。堀ら (1991) によってこの西方に分布する岩屑な

だれの発生源と考えられている。

鏡沼火口

鏡沼の直径約 0.5 km の西側に開口した馬蹄形の火口。火口壁は須立山の山体を切って形成されている。火口底には現在、直径約 0.2 km の沼が形成されている。

観音川岩屑なだれ堆積物

岩崎ら (1984) による観音山西方に分布する岩屑なだれ堆積物。岩崎ら (1984) は観音川ドライアバランシュとしているが、岩屑なだれの名が一般的なので、観音川岩屑なだれ堆積物と改称する。岩崎ら (1984) はこの堆積物を始良 Tn 火山灰 (町田・新井, 1976) の上位に位置づけ、形成時期は数千年前と推測している。堀ら (1991) は地質記載と電気探査を行い、堆積物は軽石流堆積物の再堆積物を基質とし、長径 200~600 m の安山岩〜火砕岩からなるメガブロックを有する岩屑なだれ堆積物であるとしている。

3. 三本槍岳噴出物

三本槍岳, 三本槍岳西部, 隠居倉, 赤面山および毘沙門沢と明礬沢の沢底に露出する噴出物を総称する。噴出物は岩相と岩質から大きくつぎの 3 つに分類できる。三本槍岳西部に分布する主に安山岩質の溶岩流, 毘沙門沢と明礬沢の沢底に分布する玄武岩〜玄武岩質安山岩の薄い溶岩流と同質の火砕岩の重なり, および三本槍岳, 隠居倉, 赤面山に分布する安山岩〜デイサイト質の厚い溶岩である。それぞれ赤岩沢溶岩類, 熊見曾根溶岩類, 三本槍岳溶岩類として以下に特徴を記述する。赤岩沢溶岩類は NEDO (1990) の三本槍岳下部火山噴出物に、熊見曾根溶岩類は加藤 (1964) の那珂川溶岩類の一部と熊見曾根溶岩類の一部に、三本槍岳溶岩類は加藤 (1964) の三本槍岳溶岩類, 隠居倉溶岩類, および NEDO (1990) の赤面山火山噴出物に対応する。

(1) 赤岩沢溶岩類

三本槍岳と隠居倉の西部に分布している溶岩類である。中ノ沢, 赤岩沢に露出する。主に溶岩流からなる。溶岩流の厚さは 10 m 以上のものが多い。岩石はカンラン石と石英斑晶を含む両輝石-安山岩である。カンラン石斑晶量は 2~3% に達する場合もある。分布から甲子旭岳溶岩類の上位, 三本槍岳溶岩類の下位に位置すると考えられる。

(2) 熊見曾根溶岩類

隠居倉下部, 毘沙門沢と明礬沢の沢底および飯盛山下部に露出する玄武岩〜玄武岩質安山岩の薄い溶岩流と同質の火砕岩。溶岩流の厚さは 1~5 m 程度のものが多い。厚さは側方変化が激しく、途中で尖滅するも

のも見られる。飯盛山下部では3~8 mの厚さの溶岩流と同質の火砕岩の互層が10枚認められる。ここでの見かけの走向傾斜はN50°E30°Nである。飯盛山東崖の露頭では7 m程の厚さの二次堆積物を介して、本溶岩流の上位に朝日岳火山噴出物の溶岩が重なっている。他の露頭は沢底に見られるものが多く、断片的にしか見られない。分布から朝日岳火山噴出物の下位に位置すると考えられる。岩石は単斜輝石—斜方輝石—玄武岩質安山岩が主体である。斜長石斑晶量が多く、苦鉄質斑晶量が少ない。

(3) 三本槍岳溶岩類

三本槍岳、隠居倉および赤面山に分布する厚い溶岩流と溶岩円頂丘である。三本槍岳南西壁、隠居倉北壁と南壁で柱状節理を示す露出が認められる。また谷津田川上流、黒川的那須甲子有料道路付近、赤面山山頂に露出が認められる。三本槍岳は比高/底径=0.06、底径=1 kmである。守屋(1978)によれば日本の第四紀に形成された溶岩円頂丘の比高/底径は大半が0.15以上である。三本槍岳の形態が噴出時の形態をほぼ保存していると考ええると、溶岩円頂丘であるとは考えにくく、溶岩流あるいは溶岩平頂丘と判断される。隠居倉は比高/底径=0.22、底径=0.5 kmであることから溶岩円頂丘と考えて矛盾はない。赤面山は少なくとも2枚以上の厚い溶岩流で構成されている。溶岩流は赤面山付近を流出し北東へ流下している。溶岩末端崖が認められる。溶岩側端崖は認められない。隠居倉の北壁ではデイサイト質溶岩が下位の玄武岩質溶岩と同質の火砕岩の層を貫く形で分布しているのが認められる。岩石は石英斑晶を含むことがある両輝石—安山岩〜デイサイトである。

(4) 三本槍岳山体に形成された火山性凹地形

三本槍岳山体は後の朝日岳噴出物に覆われた部分が多く、際だった凹地形は認められない。三本槍岳北東部と南西部、隠居倉南部に小規模な凹地形が認められる。これらの小規模な凹地は地滑りによって形成されたと考えられる。火山性の凹地は存在したとしても、既に隠されてしまっている可能性がある。

4. 南月山噴出物

南月山を中心とした円錐形の山体である。山頂部と北東部で侵食が進んでいる。山頂部で開析が進んでいるのに対し、それを環状に取り巻く黒尾谷岳、高尾山、日の出平、白笹山の各山体の開析の程度は弱い。特に黒尾谷岳と高尾山では舌状の溶岩流の表面地形が観察できる。南月山の南部には、南方に開いた直径2 kmの小規模の馬蹄形カルデラが存在する。これは白笹山と

高尾山の山体を切っている。伴(1991)は本山体の地質をカルデラ形成期を境に前期と後期に分け、さらに各活動期の噴出物を地形の保存状況から新旧が判定できるユニットに分類している。ここではそのユニット毎に地質を述べる。南月山溶岩類、日の出平溶岩類、遅山溶岩類、黒尾谷溶岩類、麦飯坂溶岩類はそれぞれ加藤(1964)の南月山下部溶岩類の下部、姥ヶ平溶岩類の下部と白笹溶岩類、黒尾谷溶岩類の下部、黒尾谷溶岩類の上部、姥ヶ平溶岩類の上部と南月山上部溶岩類に対応する。

(1) 南月山前期噴出物

これは分布域と火山原面の保存程度の違いから、南月山溶岩類と日の出平溶岩類に細分できる。

南月山溶岩類

南月山下部に分布する玄武岩〜玄武岩質安山岩溶岩流および同質の火砕岩の総称(伴, 1991のE-1)。主に厚さ10 m以下の溶岩流よりなる。高尾股川上流では3 m程度の厚さの溶岩流と同質の火砕岩の互層、高尾股川中流では厚さ7 m程度のスコリア流堆積物、そして不動沢上流では厚さ1~3 m程度の溶岩流と火砕岩の互層が認められる。この部分の岩石には径1~2 cm程度の斜長石斑晶が目立つ。岩石はカンラン石—単斜輝石—斜方輝石—玄武岩から両輝石—安山岩である。

日の出平溶岩類

日の出平および白笹山を構成する、主に玄武岩質の溶岩流からなる噴出物(伴, 1991のE-2)。噴出口は、地形から日の出平東方と白笹山山頂付近と考えられる。溶岩流の厚さは5~10 m程度のものが多い。麦飯坂東方の沢では溶岩流が少なくとも5枚重なっている。岩石は多孔質のカンラン石—単斜輝石—斜方輝石—玄武岩である。苦鉄質斑晶量は少ない。

(2) 南月山後期噴出物

後期噴出物は分布と岩質の相違から、遅山溶岩類、黒尾谷溶岩流、麦飯坂溶岩類に細分できる。

遅山溶岩類

黒尾谷岳下部に分布する溶岩流(伴, 1991のL-1)。遅山町から黒尾谷岳に至る沢で、厚さ10 m以上の溶岩流の2枚の重なりが観察できる。地形から流下方向は3方向認められる。一枚の溶岩流の厚さはおよそ10 m以上であり、末端部では30 m以上に達する。黒尾谷岳付近から流出したと考えると流下距離は1~3 kmである。岩石は石英およびカンラン石斑晶を含むことがある両輝石—安山岩〜デイサイトである。

黒尾谷岳溶岩流

黒尾谷岳および白笹山の山頂から南にかけて分布す

る溶岩流(伴, 1991 の L-2)。流下距離は黒尾谷岳より流れ下った溶岩流で最長 2 km, 白笹山より流れ下った溶岩流で最長 3 km である。岩石は両輝石-安山岩である。白笹山より流れ下った溶岩流は多孔質であり, 斑晶量が少ない。

麦飯坂溶岩類

日の出平, 麦飯坂および南月山山頂付近にはカンラン石を多く含む溶岩流や集塊岩が分布する。これらを総称する(伴, 1991 の L-3)。麦飯坂付近で前期噴出物を覆うほかは, 上下関係を判定するのは困難である。本山体の表層付近に分布しているので最も新しい噴出物と考える。岩石は, 石英およびカンラン石斑晶を含む両輝石-安山岩である。カンラン石斑晶は 4% 程含まれるものもある。

(3) 南月山山体に形成された火山性凹地形と岩屑なだれ堆積物

本山体には, 南月山南部と日の出平北部, 北東部に中規模の火山性凹地形が認められる。南月山南部のものを南月山カルデラとする。日の出平北部のカルデラ壁は茶臼岳を挟んで熊見曾根南壁に連続している。また日の出平北東部のカルデラ壁は茶臼岳を挟んで朝日岳南壁に連続している。この二つのカルデラは各々, 古茶臼岳西カルデラ, 古茶臼岳東カルデラとし, 説明は朝日岳火山噴出物の章で述べる。

南月山カルデラ

南月山南部に見られる直径約 2 km の南に開いた馬蹄形カルデラである。地質調査所 (1981) の重力異常図では黒尾谷岳付近に負の重力異常が認められ, その位置は上記の馬蹄形カルデラの位置に対応している(伴, 1991)。

那珂川岩屑なだれ堆積物

南月山南方を東西に流れる那珂川の両岸に分布する岩屑なだれ堆積物。白～褐色の火山灰の基質に, 角張った岩片が多数含まれる均質な岩相が上流部では多い。岩片は 20～100 cm 程度が多い。油井から黒磯にかけての露出では, 色や含まれる岩片の種類や酸化の程度が異なる不均質な基質や, 壊れかかった溶岩岩片が随所に認められる。また, 径 50 m に及ぶ溶岩からなるメガブロックも認められる。この岩屑なだれ堆積物中に含まれる岩片の多くは玄武岩質であり, 南月山前期噴出物と同種である。

5. 朝日岳噴出物

朝日岳付近に分布する火山原地形を良く保存している噴出物を一括して朝日岳噴出物と呼ぶ。噴出口の相違から朝日岳溶岩類, 清水平溶岩, 前岳溶岩, 鬼面山

溶岩および東大倉溶岩類の各ユニットに分類して述べる。朝日岳溶岩類, 清水平溶岩類, 前岳溶岩類, 鬼面山溶岩類, 東大倉溶岩類はそれぞれ加藤 (1964) の朝日下部溶岩類の一部と熊見曾根溶岩類の一部, 熊見曾根溶岩類の一部, 天狗馬乗溶岩類と北溶岩類の一部, 朝日下部溶岩類の一部, 北溶岩類の一部に対応する。

(1) 朝日岳噴出物

朝日岳溶岩類

朝日岳付近に分布する溶岩流およびそれに伴う火砕岩の総称。朝日岳南部の崖では, 噴出物の重なりが高さ約 150 m にわたり観察できる。これらの噴出物は流下方向の違いにより二分できる。下部 100 m は東方に流下しており, 上部は北東方向へ流下している。下部は厚さ 10 m 程度の溶岩流とそれに伴う火砕岩からなる。これらは流下方向から推定して現在の剣が峰付近から流出したと考えられる。剣が峰は主に溶岩からなるが周縁部には溶結した火砕岩が認められる。この火砕岩は径 1～10 cm 程度の角張った岩片を多数含む。岩片は水平方向に伸長している傾向が認められる。基質は同質の細粒物である。岩石は両輝石-安山岩である。

上部は主に厚い溶岩流からなり, まれに火砕岩が認められる。厚さは朝日岳南部の崖で 30 m のものが観察される。岩石は石英斑晶を含む両輝石-安山岩である。

清水平溶岩

清水平付近に露出している溶岩。厚さ 20 m 程度の溶岩流が清水平東部に見られる。清水平南部の 1,900 m ピーク付近から東方に流下している。溶岩流の枚数は定かでない。地形から, 清水平溶岩は朝日岳溶岩類の下部および前岳溶岩よりも新しいと考えられる。岩石は主に単斜輝石-斜方輝石-安山岩である。

前岳溶岩

前岳付近に分布している溶岩。前岳の東ではブロック状溶岩流となっている。岩石は石英斑晶と普通角閃石斑晶を含む両輝石-安山岩である。

鬼面山溶岩

鬼面山を構成する溶岩類。露出が悪く詳細は不明である。山頂に小規模な露出がある。これらは赤色に酸化した溶岩である。地形から, 鬼面山は朝日岳の上部よりも古いと考えられる。岩石は石英斑晶を含む両輝石-安山岩である。

東大倉溶岩類

東大倉を構成する溶岩類。毘沙門沢沿いに点々と露出が見られる。厚さ 10 m 以上の溶岩流および火砕岩からなる。枚数は定かでない。東大倉のピークから東方と南東方向へ分岐して流下している。飯盛山東壁の

露出では二次堆積物を介して三本槍岳噴出物を覆っている。岩石は石英斑晶を含む両輝石—安山岩である。

(2) 朝日岳山体に形成された火山性凹地形と岩屑なだれ堆積物

中小規模の凹地形が山体随所に認められる。主なものは、朝日岳の南壁、熊見曾根の南壁、鬼面山の東壁、清水平南方の1900 m ピークの南東壁に見られる。鬼面山の東壁は700 m にわたって扇状に東に開いている。その東側は低地になっており、流れ山のような凹凸の激しい地形が認められる。清水平南方の1,900 m ピークの南東壁は径約500 m、南東方向に開口している。その東方の毘沙門沢上流では土石流堆積物が見られる。朝日岳の南壁、熊見曾根の南壁は、南月山火山噴出物の章で述べた古茶臼岳東カルデラ、古茶臼岳西カルデラの一部である。

古茶臼岳東カルデラ

鬼面山、朝日岳南部から剣が峰を経て、日の出平東部に至る直径約2.5 kmの東に開口した馬蹄形のカルデラ。藤田(1988)によって馬蹄形カルデラとして記述されている。ここで古茶臼岳東カルデラと命名する。カルデラ壁の一部は温泉変質作用が進んでいたり、河川によって侵食され易い状況におかれていることから、形成当時は現在よりも小規模であったと推測されている(藤田, 1988)。朝日岳噴出物の一部と見られる変質した火砕岩が苦戸川上流の1,550 m 付近に見られる。形成当時のカルデラの深さは300~500 m 程度、崩壊によって失われた部分の体積は1 km³ を越えないと考えられている(藤田, 1988)。

御富士山岩屑なだれ堆積物

藤田(1988)によって命名された、りんどう湖周辺~黒田原に分布する岩屑なだれ堆積物。大小数100個余りの流山が認められる。堆積物中の岩片の岩質はカンラン石斑晶を含む場合がある普通輝石—斜方輝石—安山岩が主体である。上述の古茶臼岳東カルデラが発生源と考えられている。藤田(1988)は那珂川流域に分布する岩屑なだれ堆積物の一部も本堆積物に含めている。しかし、それらは、鳥の目で、下末吉ロームの下位に位置すると考えられる(阿久津, 1962)鳥の目礫層(渡辺ら, 1960)に覆われている。鳥の目礫層は阿久津(1962)の金丸原礫層に相当し、金丸原礫層は下末吉ロームに対比される宝積寺ローム(阿久津, 1962)に覆われている。したがって、那珂川流域に分布する岩屑なだれ堆積物は下末吉ロームの時代より古い堆積物であると考えられる。本論文では那珂川流域に分布する岩屑なだれ堆積物を南月山カルデラ形成に

伴い生じたものであると考え、那珂川岩屑なだれ堆積物として、南月山噴出物の章で既に記述した。

古茶臼岳西カルデラ

熊見曾根から剣が峰を経て、日の出平東部に至る直径約2.5 kmの西に開口した馬蹄形のカルデラ。下流部は御沢の1,350 m 付近で狭くなっている。熊見曾根南部の崖に露出する岩石は変質が進んでいるものが多く、カルデラ壁は現在も後退しつつあると考えられる。朝日岳西方250 m 付近と日の出平北方250 m 付近で古茶臼岳西カルデラの縁が古茶臼岳東カルデラに切られていることから、前者は後者より先に形成されたと考えられる。御沢上流の沢底には朝日岳噴出物の溶岩流や基盤の火砕流堆積物が露出している。したがってカルデラの深さは300 m 程度と考えられる。山体崩壊を伴ったものなのか、火口などの脆弱な部分が拡大して形成されたのかどうかは不明である。

6. 二岐山噴出物

二岐山は羽鳥カルデラ(守屋, 1983)のほぼ中心から噴出した火山体である。中心部分では円錐形の2つの山体が南北方向に連なっている。北部には長さ最大5 km、厚さ最大100 m に及ぶ溶岩流を流出している。ここでは、初期に噴出した火砕流堆積物、溶岩流、円錐形山体を構成する噴出物を順に、二岐山火砕流堆積物、二岐山溶岩流、二岐山火口丘としその特徴を記す。

二岐山火砕流堆積物

二岐川上流、御鍋神社付近に分布する中間型火砕流堆積物。灰色から赤灰色の火山灰の基質中に30 cm程度の最大1 m程の岩片が多数含まれる。岩石は角閃石、石英斑晶を含む単斜輝石—斜方輝石—安山岩である。

二岐山溶岩流

二岐山下部のテーブル状の地形を構成している溶岩流と二岐山北方に流下している溶岩流。北方に流下しているものは流下距離5 km、表面には溶岩じわ、溶岩末端崖が明瞭に認められる。岩石は主に、カンラン石、石英斑晶を含む単斜輝石—斜方輝石—安山岩である。

二岐山火口丘

二岐山を構成する底径1~1.3 km、比高250~300 mの南北に重なり合っている二つの火山錐。斜面の角度は最大で約30°の安定角である。一体に赤色に酸化した岩片が認められる。岩石はカンラン石、角閃石、石英斑晶を含む単斜輝石—斜方輝石—安山岩である。

7. 茶臼岳噴出物

茶臼岳は朝日岳と日の出平の間に形成された長径2 kmの馬蹄形カルデラ内に分布する山体である。東部と西部に火砕流、溶岩流を流出し、山頂部に溶岩円頂

丘が形成されている。

(1) 茶臼岳火山噴出物

茶臼岳の地質は藤田 (1988) により報告されている。藤田は噴出物を大沢火砕流堆積物、大丸火砕流堆積物、茶臼溶岩流および茶臼溶岩円頂丘に分け記述している。以下その要約に岩質を加えて述べる。茶臼岳の活動に先立って形成された御富士山岩屑なだれ堆積物の上位に始良 Tn 火山灰が藤田 (1988) によって、下位に大山倉吉軽石が岩崎ら (1984) によって見いだされており、形成時期は 3 ないし 4 万年前と考えられている (藤田, 1988)。

大沢火砕流堆積物

大沢から西方 5 km の白戸川と苦戸川沿いおよび湯本から広谷地に渡って分布する火砕流堆積物。藤田 (1988) は曽根 (1981) に従って、大沢火砕流堆積物と呼んでいる。大沢付近で良好な露出が見られる。本体は黒色の火山灰を基質とし、やや発泡した黒色ないし一部赤色に酸化した直径 50 cm 以下のやや発泡し丸みのある岩片を含む無層理で淘汰の悪い火砕流堆積物 (藤田, 1988) である。本体には今回このほかに、灰色の岩片、灰色と黒色両者が縞状に入り交じった岩片も認められた。大沢で御富士山岩屑なだれ堆積物を覆う。本火砕流堆積物中に含まれる炭化木片について 15770 ± 130 yBP の ^{14}C 年代が得られている (曽根, 1981)。岩石はカンラン石、石英斑晶を含む場合がある斜方輝石—単斜輝石—安山岩である。黒色と灰色の岩片の岩型は同じである。

大丸火砕流群堆積物

大丸温泉付近に分布する 4 枚以上の火砕流堆積物の総称 (藤田, 1988)。灰色の火山灰の基質の中に、最大 1 m 程の灰色の角張った岩片を多数含むものが主で、表面が赤色に酸化した安山岩質角礫を主体とするものが下位にみられ、最上位の火砕流について $5,810 \pm 290$ yBP、その直下の腐植層について $5,770 \pm 200$ yBP の ^{14}C 年代が得られている (藤田, 1988)。

北温泉付近に大丸火砕流堆積物と同様の堆積物が認められる。藤田 (1988) はこの地域は大丸火砕流堆積物分布域に含めていない。岩相は、基質が灰色から赤灰色の火山灰で、径 100 cm 程度以下の同質の岩片を多量に含む。旭温泉旅館の裏の露出では厚さ 5 m 程度の火砕流堆積物が 2 枚以上重なっているのが認められる。また北温泉に至る道沿いでは径 50 cm 程度以下の岩片が相互に膠着しているものが認められる。本研究ではこの堆積物も大丸火砕流堆積物に加える。

大丸火砕流堆積物は、火砕丘・溶岩円頂丘の形成後

の崩壊によって形成されたと考えられている (藤田, 1988)。岩質はカンラン石、石英斑晶を含む場合がある両輝石—安山岩である。

茶臼溶岩流

茶臼岳から東へ 5 枚、西へ 1 枚流下している合計 6 枚の溶岩流の総称。藤田 (1988) はこれらの溶岩流が作る地形面を茶臼溶岩流原面とし、地質ユニットとして用いるときはこれらの溶岩流を茶臼溶岩流としている。岩石はいずれも石英とカンラン石斑晶を含む両輝石—安山岩である。

茶臼岳火砕丘

茶臼岳山頂の北東部に形を留めている火砕丘。比高約 150 m、直径約 500 m、火山礫で構成されている (藤田, 1988)。岩石は石英とカンラン石斑晶を含む斜方輝石—単斜輝石—安山岩である。

茶臼岳溶岩円頂丘

茶臼岳山頂部を構成している溶岩円頂丘。底径 700 m、比高 150 m 程である (藤田, 1988)。岩石は石英とカンラン石斑晶を含む場合がある両輝石—安山岩である。

今回、これらの他に茶臼岳西部に分布する溶岩流を識別した。それを茶臼岳西部溶岩流として以下に記述する。

茶臼岳西部溶岩流

御沢に沿って点々と分布する溶岩流。複数枚が同時に見られることはない。最大で厚さ 20 m の露出が観察できる。岩石は石基がガラス質の石英、カンラン石斑晶を含む両輝石—安山岩である。

(2) 茶臼岳山体に形成された火山性凹地形と噴火の古記録

茶臼岳火口群と噴火の古記録

茶臼岳溶岩円頂丘の頂上や側面に大小 10 個余りの火口が形成されている。これらを藤田 (1988) は茶臼岳火口群と呼んだ。火口の直径は最大で約 200 m である。

那須火山群の噴火の古記録は茶臼岳に限られている。これらの噴火は茶臼岳火口群を形成する噴火であったと考えられている。理科年表によると 1397 年、1408～1410 年、1846 年、1881 年、1953 年、1960 年、1963 年に噴火の古記録は認められている。そのうち 1408～1410 年の噴火では埋没によって 180 名の死者が出た。このことから火砕流または火山泥流が発生したものと考えられている (守屋, 1989)。その他の噴火は水蒸気爆発あるいはブルカノ式の噴火であると考えられている (守屋, 1989)。1881 年と 1408～1410 年の噴火で放出された火山灰、火山礫は地層として高橋・藤縄

Table 1. K-Ar ages of lavas from the Nasu volcano group

Sample No.	K(wt. %)	$^{36}\text{Ar}(10^{-10} \text{ cc/g})$	$^{38}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$	$^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$	$\text{rad}^{40}\text{Ar}(10^{-8} \text{ cc/g})$	Age (Ma)	A.C.
Futamatayama							
60701	1.17 ± 0.06	3.40 ± 0.12	0.189 ± 0.001	314.5 ± 2.7	0.65 ± 0.09	0.14 ± 0.02	94.0
Asahidake							
101016	0.85 ± 0.04	1.06 ± 0.07	0.188 ± 0.004	316.3 ± 3.4	0.22 ± 0.04	0.07 ± 0.01	93.4
101626	0.98 ± 0.05	2.17 ± 0.08	0.188 ± 0.002	309.0 ± 2.5	0.29 ± 0.06	0.08 ± 0.02	95.6
50511	1.01 ± 0.05	2.34 ± 0.09	0.188 ± 0.003	314.2 ± 2.1	0.44 ± 0.05	0.11 ± 0.01	94.0
102611	0.81 ± 0.04	2.00 ± 0.12	0.190 ± 0.003	306.0 ± 3.0	0.21 ± 0.06	0.07 ± 0.02	96.6
100801	1.25 ± 0.06	2.45 ± 0.07	0.186 ± 0.003	329.7 ± 2.1	0.84 ± 0.06	0.17 ± 0.01	89.6
Minamigassan							
80922(1)	0.63 ± 0.03	9.96 ± 0.21	0.187 ± 0.001	297.0 ± 1.2	0.15 ± 0.12	0.06 ± 0.05	99.5
80922(2)	0.63 ± 0.03	6.27 ± 0.14	0.186 ± 0.002	298.8 ± 2.2	0.21 ± 0.14	0.08 ± 0.06	98.9
80922(3)	0.41 ± 0.02	4.27 ± 0.07	0.186 ± 0.003	298.4 ± 2.3	0.12 ± 0.10	0.08 ± 0.06	99.0
80401	0.77 ± 0.04	1.21 ± 0.08	0.187 ± 0.004	322.1 ± 2.6	0.32 ± 0.04	0.11 ± 0.01	91.7
72603	1.15 ± 0.06	1.55 ± 0.10	0.189 ± 0.005	329.6 ± 3.7	0.53 ± 0.07	0.12 ± 0.02	89.6
72907	1.22 ± 0.06	14.96 ± 0.37	0.188 ± 0.002	300.0 ± 1.5	0.68 ± 0.23	0.14 ± 0.05	98.5
101410	2.12 ± 0.11	4.04 ± 0.10	0.187 ± 0.002	329.6 ± 2.1	1.38 ± 0.09	0.17 ± 0.01	89.7
50413(1)	0.39 ± 0.02	6.61 ± 0.24	0.188 ± 0.002	299.6 ± 1.7	0.27 ± 0.11	0.18 ± 0.07	98.6
50413(2)	0.39 ± 0.02	5.91 ± 0.23	0.188 ± 0.001	301.0 ± 2.2	0.33 ± 0.13	0.21 ± 0.09	98.2
80120(1)	0.69 ± 0.03	2.61 ± 0.15	0.185 ± 0.003	306.0 ± 5.5	0.27 ± 0.14	0.10 ± 0.05	96.6
80120(2)	0.69 ± 0.03	2.91 ± 0.03	0.185 ± 0.004	311.6 ± 2.9	0.47 ± 0.08	0.18 ± 0.03	94.8
80107	1.10 ± 0.06	3.42 ± 0.08	0.189 ± 0.002	318.5 ± 1.8	0.79 ± 0.06	0.18 ± 0.02	92.8
Sanbon-yaridake							
72415(1)	1.31 ± 0.07	1.19 ± 0.04	0.182 ± 0.006	430.1 ± 8.1	1.59 ± 0.11	0.31 ± 0.03	68.7
72415(2)	1.31 ± 0.07	1.20 ± 0.06	0.188 ± 0.003	443.2 ± 3.2	1.77 ± 0.10	0.35 ± 0.03	66.7
90601	1.38 ± 0.07	1.98 ± 0.07	0.189 ± 0.002	369.3 ± 2.5	1.46 ± 0.07	0.27 ± 0.02	80.0
90605	0.20 ± 0.01	3.45 ± 0.04	0.184 ± 0.004	297.9 ± 2.0	0.08 ± 0.07	0.30 ± 0.09	99.2
92729	0.54 ± 0.03	4.59 ± 0.17	0.188 ± 0.002	311.9 ± 1.5	0.75 ± 0.07	0.36 ± 0.04	94.7
102703(1)	0.80 ± 0.04	2.77 ± 0.07	0.185 ± 0.003	302.9 ± 1.5	0.20 ± 0.04	0.07 ± 0.01	97.6
102703(2)	0.68 ± 0.03	2.27 ± 0.02	0.187 ± 0.004	302.1 ± 3.7	0.15 ± 0.08	0.06 ± 0.03	97.8
72412	0.69 ± 0.03	3.80 ± 0.15	0.187 ± 0.002	310.4 ± 3.3	0.57 ± 0.13	0.21 ± 0.05	95.2
Kassiasahidake							
60303	1.10 ± 0.06	1.90 ± 0.08	0.188 ± 0.003	392.0 ± 2.0	1.84 ± 0.09	0.43 ± 0.03	75.4
81517	1.06 ± 0.05	1.58 ± 0.06	0.186 ± 0.003	417.5 ± 2.9	1.93 ± 0.09	0.47 ± 0.03	70.8
82115	1.18 ± 0.06	3.93 ± 0.14	0.188 ± 0.003	356.5 ± 3.1	2.40 ± 0.15	0.52 ± 0.04	82.9
60214	0.30 ± 0.02	4.02 ± 0.06	0.189 ± 0.003	307.9 ± 2.0	0.50 ± 0.08	0.43 ± 0.07	96.0
82404	0.45 ± 0.02	3.17 ± 0.07	0.186 ± 0.003	332.2 ± 1.9	1.16 ± 0.07	0.54 ± 0.05	89.0
80823	0.55 ± 0.03	3.42 ± 0.08	0.188 ± 0.002	320.8 ± 2.0	0.86 ± 0.07	0.42 ± 0.04	92.1
81021	0.36 ± 0.02	8.42 ± 0.19	0.188 ± 0.002	308.2 ± 1.6	1.07 ± 0.14	0.51 ± 0.10	95.9
60927-6	0.77 ± 0.04	3.35 ± 0.08	0.189 ± 0.003	341.7 ± 2.0	1.55 ± 0.08	0.52 ± 0.04	86.5
92711	0.67 ± 0.03	2.35 ± 0.06	0.185 ± 0.003	350.3 ± 3.2	1.29 ± 0.08	0.49 ± 0.04	84.4

A.C., air contamination; rad^{40}Ar , radiogenic ^{40}Ar ; working standard, lava from Zao Ichimaisawa.

(1988), 藤田 (1988) によって確認されている。

IV. 那須火山群噴出物の K-Ar 年代

形成史に時間軸を入れるため，形成過程全般にわたった試料 29 個を選び，K-Ar 年代測定を山形大学において行なった。但し，茶臼岳は ^{14}C 法によって若い年代値が得られている（藤田，1988）ため，測定から除外した。

(1) K-Ar 年代測定方法

カリウムの測定には日立 208 型原子吸光度計を，アルゴンの測定には，軌道半径 20 cm，偏光角 90 度，単収束のステンレス鋼製の高感度・低バックグラウンド質量分析計（Takaoka, 1976）を用いた。

試料の調整方法および測定は高岡ら（1989）におよそ従い次のように行なった。試料数 10 g をステンレス鉢を用いて粉碎し，ふるいを用いて 42～60 メッシュに粒径をそろえた。細粒物はアセトンで濯ぎ除去した。次に電磁セパレーターを用い，斑晶鉱物を可能な限り除

去した。残った石基濃集物のうち 0.5～1.5 g を秤量し，アルミホイルに包み，アルゴン抽出ラインに導入し，アルゴン測定に供した。測定方法は高岡ら（1989）に従い，ピーク値比較法により行なった。

上に記した石基濃集物から，別に 1 g 秤量し，メノウ乳鉢ですり潰し，そのうち 100 mg を秤量し，フッ化水素酸と過塩素酸を用いて分解し，塩化セシウムを緩衝剤として加えた塩酸酸性溶液にした後，原子吸光度計へ導入し，カリウム含有量を測定した。カリウムは 2 回以上測定した。繰り返し誤差は 5% 以内である。

年代値の算出には Steiger and Jäger (1977) の壊変定数 $\lambda(^{40}\text{K}) = 5.543 \times 10^{-10} \text{ yr}^{-1}$ ， $\lambda e(^{40}\text{K}) = 0.581 \times 10^{-10} \text{ yr}^{-1}$ ，および ^{40}K の存在度， $^{40}\text{K}/\text{K} = 0.01167 \text{ atom \%}$ を用いた。誤差はいずれも 2σ で与えた。カリウムの誤差は 5% として計算した。

(2) K-Ar 年代測定結果

測定結果を Table 1 に，測定試料の記載を付録に示す。複数回測定を行なったものは，その平均値を年代

Fig. 6. K-Ar age data of rocks from Nasu volcano group. (a) This study. (b) NEDO (1990). The data are arranged in order of geological succession, obtained by this study, from lower to upper. Bars represent errors.

値とした。測定値は約 60 万年前から約 7 万年前までが得られた。 $^{38}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$ は全ての試料について、大気値 0.188 をその誤差範囲内に含むので顕著な同位体比分別は受けていないと考えられる。試料 80922 で 3 回、試料 102703, 50413, 80120, 72415 で各 2 回繰り返し測定を行い、いずれも誤差の範囲で一致した年代値を得た。尚、80922 (3), 102703 (2) は斑晶鉱物の除去を行わなかった。

得られた年代値を層序図の各ユニットの欄に付した (Fig. 5)。南月山、朝日岳内の各ユニット間ではおおよそ層序の上下関係と、年代値の新旧関係が一致する値が得られた。甲子旭岳では、年代値が古いため、誤差が大きく、確実なことは不明であるが、層序と矛盾のない年代値が得られた。三本槍岳に属する試料 102703 について一部層序と明らかに矛盾のある若い年代値 (6~7 万年前) が得られた。この試料の溶岩は分布と岩石の特徴から赤岩沢溶岩類に含めたものである。同溶岩類の他の試料 72412 からはそれよりも古い年代値が得られており、また層序の上で同溶岩類の上位に位置するユニットからは約 30 万年前の年代値が得られている。この不一致の原因は特定できていない。試料 102703 の岩質は東大倉溶岩類の一部に類似している。両者の年代測定値は類似しており、試料 102703 は朝日岳の噴出時期に、側噴火によって形成された可能性も考えられる。しかしそのような地質学的証拠は認められていない。

このように本研究のデータは一部を除き、層序と矛盾のないデータが得られている。

地質の章で示した各山体毎にまとめると、甲子旭岳について 0.54~0.42 Ma、三本槍岳について 0.36~0.27 Ma、朝日岳について 0.21~0.06 Ma、南月山について

0.21~0.08 Ma、二岐山について 0.14 Ma の結果を得た。

(3) 過去の測定結果との比較

NEDO (1990) は那須火山群噴出物のうち、44 個の試料について K-Ar 年代測定値を報告している。Fig. 6 に、今回得られた年代値と NEDO (1990) による年代値を今回確立した層序の順に示した。今回のデータは NEDO (1990) のデータに比べ格段に誤差が小さくなっている。これまでのデータでは不明瞭であった、各山体毎の形成年代を限定できるようになったと見られる。NEDO (1990) の U-224 (2.00 ± 0.44 Ma) は他の試料に比べてび抜けて古い年代値を示している。試料採取地点が示されていないので岩質の詳しい比較による検討はできないが、本論文で述べている甲子旭岳火山活動以前の噴出物である可能性がある。また、NEDO (1990) の U-24 (1.02 ± 0.83 Ma) は他の甲子旭岳火山噴出物に比べ、古い値を示しているが、誤差が大きく、誤差の範囲で本論文で報告した値を含んでいる。

V. 山体近傍に分布する噴出物と山麓に分布するテフラ、岩屑なだれ堆積物との関係

鈴木 (1992) は那須山麓に分布するテフラを調査し、35~20 万年前に 12 枚、DRE 換算で合計 2.42 km^3 と、3 万年前以降に 4 枚、DRE 換算で合計 0.08 km^3 弱のテフラが噴出していることを明らかにした。35~20 万年前は三本槍岳の活動期に対応し、3 万年前以降は茶臼岳山体の活動期に対応すると考えられる。既に鈴木 (1992) が指摘しているようにこれらのテフラは同時期あるいはそれに先行する溶岩を主体とする噴出物に比し、テフラの体積は小さい。また、吉田・高橋 (1991) によれば、鎌房山は火砕流堆積物と降下火山灰で構成されている。火砕流堆積物の年代値が約 40 万年前と測

定されたので、それに伴う降下火山灰もそれと同時期であり、鈴木 (1992) が記載したテフラより古いものであると考えられる。

岩屑なだれ堆積物について、堆積物と、その発生源が推定できる、御富士山岩屑なだれ堆積物 (曾根, 1981), 那珂川岩屑なだれ堆積物, 観音川岩屑なだれ堆積物 (岩崎ら, 1984) については既に述べた。那須火山群ではこのほかにも岩屑なだれ堆積物の存在が南東部と北西部の平地に推定されており、それぞれ鶴ヶ池岩屑なだれ堆積物, 黒磯岩屑なだれ堆積物と呼ばれている (岩崎ら, 1984)。これらあわせて5つの岩屑なだれ堆積物の分布は Fig. 5 に示した。供給源と形成年代はつぎのように推定されている。観音川岩屑なだれ堆積物は観音山西部 (堀ら, 1984) で数千年前 (岩崎ら, 1984), 御富士山岩屑なだれ堆積物は現在の茶臼岳付近 (曾根, 1981) で3~4 万年前 (藤田, 1988) と推定される。那珂川岩屑なだれ堆積物は、南月山カルデラ形成直前の噴出物が18~21 万年前、形成直後の噴出物が14~17 万年前の年代値が得られたことから、約17 万年前と推定できる。鶴ヶ池と黒磯岩屑なだれ堆積物は岩崎ら (1984) によって地形観察からその分布が推定されているのみである。さらに両者共に、流れ山地形が不明瞭なことから、比較的古い時期 (中期更新世) に形成されたものとされている。分布から、鶴ヶ池岩屑なだれ堆積物については甲子旭岳山体西部のどこかと推定できる。黒磯岩屑なだれ堆積物については分布範囲が広大であることと那須火山群の山体東部にはいくつかカルデラ地形 (甲子旭岳東部, 清水平東部など) が見られることから給源の特定は難しい。複数の岩屑なだれの集合体である可能性もある。

各岩屑なだれ堆積物の流走距離は観音川岩屑なだれ堆積物で8 km, 御富士山岩屑なだれ堆積物で20 km, 那珂川岩屑なだれ堆積物で15 km 程度, 鶴ヶ池岩屑なだれ堆積物で10 km 程度であり、最大崩落高度/最大流走距離はいずれも0.1 程度である。黒磯岩屑なだれ堆積物は茶臼岳付近を給源とすると流走距離30 km, 甲子旭岳付近を給源とすると流走距離35 km となる。

カルデラ発生の層位的位置がはっきりしているのは、南月山カルデラと古茶臼岳カルデラのみである。南月山カルデラは南月山の岩質が急変する直前に発生している。

VI. 那須火山群の形成史

これまでのデータから那須火山群の形成史を考察する。基盤の構造, 形成史, 噴出物の性質の変化, 噴出

期間の順に記述する。

(1) 基盤の構造

基盤岩の分布高度は本火山群を境にして西部で高く東部で低くなっている。茶臼岳を通る東西断面で見ると、基盤岩が認められるのは、茶臼岳西方の流石山で標高1,812.6 m であるのに対し、隠居倉南東部では標高約1,700 m までである (Fig. 2)。また、那須湯本では標高にして1,000 m で第三系が現われることがボーリングの結果わかっている (阿久津, 1968)。従って先に述べた南北方向の断層によって基盤岩は段階的に東側に著しく落ち込んでいると考えられる。関谷断層付近で第三紀層の傾斜が垂直に近くなっていることから、これらの断層は東西方向の圧縮応力場で形成されたと考えられる。即ち、 σ_1 が東西方向、 σ_3 が垂直方向に向いていると考えられる。このような応力場にマグマが上がってきた場合、マグマは地表に平行に近い方向性を持つ岩床状に貫入し易く、地表まで噴出しにくいと考えられる (Cas and Wright, 1988, p. 462-465)。

(2) 那須火山群の形成史

那須火山群を構成する山体は南北方向に並んでいる。広域応力場から考えると、マグマが噴出しにくい場ではあるが、マグマは地表の断層に見られるような南北性の断層に規制されて上昇してきたと考えられる。

約60 万年前、甲子旭岳の玄武岩~玄武岩質安山岩の活動が始まった。山体は南北に6 km にわたり分布している。噴出口は観音山と甲子旭岳の中間、甲子旭岳の東方、鏡沼付近などと南北に点在していたと考えられる。噴出物は主に薄い溶岩流と同質の火砕岩の互層であり、ストロンボリ式の噴火が卓越していたと考えられる (Cas and Wright, 1988, p. 133-140)。その活動の後安山岩~デイサイト質の活動が起こった。山体は主に溶岩円頂丘、一部火砕岩として噴出した。これらが須立山, 大白森, 小白森, 高倉山, 下岳, 上岳および下岳東方1 km の1,266 m ピークである。一部は南北走向の岩脈として直前に活動した甲子旭岳溶岩類を貫いている。鎌房山火砕流・降下火山灰も岩質, 分布域, 活動年代から見て同時期に活動したと考えられる。甲子旭岳の活動期間は約20 万年間であった。

次に活動位置が南へ移動し、約30~40 万年前に三本槍岳の活動が行われた。活動は安山岩質の溶岩流の流出に始まる。この溶岩流は山体の西部に流出した。その後、熊見曾根から飯盛山にかけて玄武岩質~玄武岩質安山岩の薄い溶岩流と同質の火砕岩を噴出する活動が起こった。山体は東西方向に伸張していたと考えられる。さらに、隠居倉, 三本槍岳, 赤面山で安山岩~デ

イサイト質の溶岩円頂丘や厚い溶岩流を流出する活動が起こった。それらの一部は直前に活動した三本槍岳溶岩類を直接貫いている。三本槍岳の活動期間は約15万年間であった。

さらに活動位置が南下し、約20万年前に南月山で活動が開始された。まず、南月山付近を中心とする玄武岩～玄武岩質安山岩の薄い溶岩流と同質の火砕岩よりなる山体が形成された。つぎに噴出口が白笹山と日の出平東方に移動し、玄武岩質の比較的厚い溶岩流が流出した。南月山南部が崩壊し、カルデラが形成された後、主にその内部などから厚い溶岩流が流出した。南月山の活動期間は約15万年間であった。

南月山活動の中頃から、その北方、現在の朝日岳、前岳、剣が峰付近でも活動が開始した。噴出口は少なくとも、剣が峰付近、朝日岳付近、清水平南部1,900 mピーク、前岳、鬼面山、東大倉の6箇所が推定される。この時期に、北方の羽鳥カルデラ中心部でも活動が起こり、二岐山が形成された。3～4万年前に現在の茶臼岳付近で山体崩壊が起こり、それ以降の活動はそのカルデラ内部に限られ、そこに茶臼岳が形成された。朝日岳の活動期間は約15万年間、茶臼岳の活動期間は約4万年間であった。

尚、甲子旭岳、三本槍岳、南月山の各山体は初期に玄武岩～玄武岩質安山岩の薄い溶岩流と同質の火砕岩よりなる山体が形成され後に安山岩～デイサイト質の溶岩円頂丘や厚い溶岩流を流出する活動が起こっている。これに対して、朝日岳、二岐山、茶臼岳の各山体では、はじめから安山岩質の活動が卓越している。噴出物はアグルチネート、厚い溶岩流、溶岩円頂丘が卓越し、付随する火砕流堆積物も認められる。

噴出位置は、大きく見ると、北部から南部へ移動した。最後の活動は最南端よりやや北部の茶臼岳と、北部の羽鳥カルデラ中心部の二岐山に見られる。

(3) 噴出物の性質の変化

守屋(1983)は空中写真を用いて火山地形を調べることにより、日本の第四紀火山を類型化し、各々の型についてその成長史を一般化した。那須火山群はそのうちのA型火山(円錐火山)の集合体である。A型火山に属する火山はつぎのような4つの活動期を経ると考えられている。第1期には薄い溶岩流の積み重なりからなる円錐形成層火山体が形成される。第2期には厚い溶岩流が流出され、鐘状火山体が形成される。第1期の終わり、あるいは第2期に、馬蹄形カルデラを形成する大規模な山体崩壊が起こる。長い侵食期を挟んで、第3期には火砕丘が形成され、火砕流も生じる。山

頂で小カルデラが形成された後、第4期にカルデラ内部に溶岩円頂丘が形成される。Fig. 7に今回の調査で得られた噴出様式を、薄い溶岩流の積み重なり、厚い溶岩流、火砕丘、火砕流、溶岩円頂丘に分け、各山体毎に示した。図には、火山性凹地形(馬蹄形カルデラ、山頂小カルデラ)、岩屑なだれ堆積物、テフラの層準も示した。この図から那須火山群は全体として単純に上に述べたA型火山の成長史を辿ったわけではないと考えられる。系統立った噴出過程として認識できるのは、薄い溶岩流の重なり→厚い溶岩流、火砕丘、火砕流、溶岩円頂丘というものである。この過程はつぎの層準で認められる。甲子旭岳山体では薄い溶岩流→火砕流、溶岩円頂丘という層序がみられる。馬蹄形カルデラは認められる(甲子旭岳東部凹地)がその形成時期ははっきりしない。また、溶岩円頂丘と火砕流の前後関係もはっきりしない。三本槍岳山体では、やはり薄い溶岩流→厚い溶岩流、溶岩円頂丘という層序がみられる。南月山山体では、薄い溶岩流→馬蹄形カルデラの形成→厚い溶岩流という層序がみられる。火砕流、溶岩円頂丘は認められない。このような層序は守屋(1983)のA型火山の成長史の一部である。他の部分が欠落しているのか、見落とされているのかは不明である。

時間空間的に近接する噴出物も含めて考えるならば、つぎのような成長史が考えられる。朝日岳山体は、薄い溶岩流→厚い溶岩流。茶臼岳山体は、火砕流→薄い溶岩流、火砕流、溶岩円頂丘という層序が認められる。朝日岳山体は南月山と活動時期が重なることから、その一部と考えることができる。そうすると、茶臼岳は、南月山および朝日岳の活動に連続する第3,4期噴出物と考えることができる。

このように考えると、那須火山群は、少なくとも3つのA型円錐火山の集合と考えることができる。それらは、甲子旭岳を主部とする、薄い溶岩流→火砕流、溶岩円頂丘という形成過程を辿った火山、三本槍岳を主部とする薄い溶岩流→厚い溶岩流、溶岩円頂丘という形成過程を辿った火山、南月山から茶臼岳および朝日岳にかけての薄い溶岩流→馬蹄形カルデラの形成→厚い溶岩流→馬蹄形カルデラ→火砕流→薄い溶岩流、火砕流、溶岩円頂丘という形成過程を辿った火山である。これに対し、二岐山は分布がこれらの山体とは独立しており、層序の一般性は認められない。早津(1985)は妙高火山を火山層序学的に調査し、妙高火山では守屋(1983)によって示されたA型火山の成長史が4回繰り返されていることを示している。妙高火山では噴出口はほぼ一定しているが、那須火山群では繰り返す毎

Fig. 7. Simplified lithological sequence of the Nasu volcano group. Activities derived debris avalanche and tephra deposits are also represented. Bars represent main activity. D.A. represents debris avalanche deposit. The age of Chausudake is from carbon fourteen data of Fujita (1988) and Sone (1981). The ages of Kan-nongawa, Tsurugaike, and Kuroiso debris avalanche deposits are from Iwasaki *et al.* (1984). The age of Ofujisan debris avalanche deposit is from Fujita (1988). Tephra data are quoted to Suzuki (1992) and Yoshida and Takahashi (1991).

に噴出口は南北に移動している。また、一回の成長史を辿るにもその中で噴出口の移動が見られる。この移動によって、複雑な山体形成史を辿っているようにみえると考えられる。

(4) 噴出期間と噴出率について

A 型火山の成長期間は、赤城山、榛名山、箱根で約 16~39 万年 (守屋, 1983), 妙高山で約 3 万年 (早津, 1985) と考えられている。那須火山群では約 15 ないし 20 万年である。

各山体の現在残っている山体の体積と活動期間はつぎのようである。体積は現在山体主要部分に分布しているものを地形図を用いて簡略化し算出した。那須火山群全体では 45.4 km³, はじめに述べた噴出物の時空分布を元に分類した山体毎にまとめると、甲子旭岳は 16.2 km³, 三本槍岳は 7.2 km³, 南月山は 11.4 km³, 朝日岳は 6.0 km³, 二岐山は 4.2 km³, 茶臼岳は 0.4 km³ となる。噴出期間は既に示したように、那須火山全体で約 60 万年, 甲子旭岳は約 20 万年, 三本槍岳は約 15

万年, 朝日岳は約 15 万年, 南月山は約 15 万年, 茶臼岳は約 4 万年となる。二岐山については少量の測定結果しか得ておらず不明である。また、前章で示した形成史的に分類した成層火山体毎にまとめると、甲子旭岳を主部とする火山は 16.2 km³, 約 20 万年, 三本槍岳を主部とする火山は 7.2 km³, 約 15 万年, 南月山から朝日岳に渡る火山は 17.8 km³, 約 20 万年と考えられる。噴出率は全体では 0.07~0.08 km³/1000 年, 上の 3 つの火山では各々, 約 0.08, 0.05, 0.09 km³/1000 年となる。

守屋 (1983) は, A 型火山の平均体積を 37 km³, 噴出率を 0.2~0.7 km³/1000 年と見積っている。那須火山群全体の体積はこの平均値よりもわずかに大きく, 噴出率は小さい。各火山に分解すると体積は上記平均値の 3 分の 1 程度, 噴出率は全体と変わらずやはり小さい。噴出率が小さいことは, 東西性圧縮によりマグマが噴出しにくいため, と理解される。

Fig. 8 に守屋 (1983) と金子ら (1989) に体積と噴出期間が載っている火山と那須火山群の両者の相関を見た図を示す。この図から, 浅間, 榛名, 赤城, 北八が岳, 箱根というような大噴出率の火山と, その他の小噴出率の火山に大別できる。前者に属するものは, フィリピン海, ユーラシア, 太平洋の 3 プレートとの会合部近くに分布する特徴がある。那須火山群の噴出量は全体で見たときは東北日本弧火山フロント南部に位置する火山に匹敵するが, 構成する個々の火山では信越地域に卓越して分布する小型の成層火山と等しい。守屋 (1990) は日本以外の島弧の火山の型を調べた。その結果, 日本で行なった類型化がそのまま適用できないことを示している。日本での類型化にも A 型火山は噴出量から見て大小 2 種類のものがあり, 小さいものは集まって大きいものに匹敵する噴出量をもつ場合があると考えられる。

これまで見てきた, 噴出物の性質の系統的な変化, 活動位置の移動, 噴出率を元に那須火山群をもたらしただマグマについて考える。

沈み込み帯では, 地温勾配から考えると上部マントルはカンラン岩のソリダス温度よりも低温であることや, 火山毎に化学組成に独自性があることなどを基に, Sakuyama (1983) は, マントル内でマグマが定常的に発生できると考えるよりも, 深所のより高温なマントルが局部的に断熱上昇 (マントルダイアピル) してマグマが発生していると考えた。これまでに考えてきたように, 那須火山群は, 3 つの A 型円錐火山と二岐山からなると考えられ, 各火山は詳しく見た結果, 噴出場所と活動時期のいずれかが独立しており, 前 3 者は

Fig. 8. Eruption duration and volume of Quaternary volcanoes around Shin-etsu area, cross, Kaneko *et al.* (1989), Akagi, Haruna, Yatsugatake, Hakone, and Kusatsushirane volcanoes, filled square, Moriya (1983), and open circle, Nasu volcano group, this study.

各々同様の発達史を辿っている。那須火山群をもたらししたマグマがマントルダイアピルによってもたらされたと考えると、少なくとも上記3つのA型円錐火山は非常に近接し、まとまって火山群を形成しているが、上記の各火山が同一のマントルダイアピルから派生したと考えるよりも、各々異なるマントルダイアピルを起源としていると考えるのが妥当である。このことは、Sr同位体比が各火山毎に異なっていること(伴・藤巻, 1992)からも示唆される。

東宮(1991)は、円柱状の部分溶融した1,350°Cのマントルダイアピルがモホ面直下に置かれ、それが熱伝導によって1,200°Cに冷えるまでを一つの火山の寿命と仮定し、そのダイアピルの大きさと寿命の関係を計算した。それによれば、円柱状(アスペクト比=2)のマントルダイアピルを仮定した場合、15~20万年の火山の寿命を保つようなマントルダイアピルの大きさは直径約11~14 km、体積は約500~1,000 km³と算出できる。その5%がこのダイアピルから得られるマグマとすると、その量は25~50 km³となる。その約半分が地表に噴出したと考えれば、各噴出物が異なるダイアピルに由来すると考えて矛盾はない。今回得られた

ひとつの火山のマグマがひとつのダイアピルに由来する考えると、これは那須火山群の各火山の噴出物の分布域の約2倍程度の広がりであり、空間的にも妥当である。

VII. ま と め

1. 那須火山群は、噴出物の時空分布を元にする、6つの山体から構成され、それらは北から、二岐山(0.14 Ma)、甲子旭岳(0.54~0.42 Ma)、三本槍岳(0.36~0.27 Ma)、朝日岳(0.17~0.07 Ma)、茶臼岳(3~4万年前から現在(藤田, 1988))、南月山(0.21~0.08 Ma)である。甲子旭岳、三本槍岳、南月山の3山体は、初期に玄武岩質の比較的薄い溶岩流とそれに伴う火砕岩の噴出が卓越し(前期活動期)、そののち山体崩壊を伴う活動によりカルデラが形成され、カルデラ内で安山岩~デイサイト質の溶岩流、溶岩円頂丘、火砕流を流出する活動に推移する(後期活動期)。二岐山、朝日岳、茶臼岳では前期活動がみられない。

2. 守屋(1983)による成層火山形成史に基づくと、上記6山体のうち、朝日岳、茶臼岳は南月山の活動から一連のものであり、合わせて1つの成層火山を構成する。すなわち、形成史的には那須火山群は甲子旭岳、三本槍岳、南月山(朝日岳、茶臼岳を含む)という3つの成層火山から構成されたと考えられる。尚、二岐山はこれらとは独立に形成された。

3. 時間空間分布、形成史の系統性および噴出量と活動期間を考えると、甲子旭岳、三本槍岳、南月山(広義)の各成層火山は径12 km程度の各々異なるマントルダイアピルを元にしてしている。それらは北から南へ位置を移動させながら、20万年程度の間隔を置いて上昇したと考えられる。

4. 守屋(1983)のA型火山は噴出量から見て大小2種類のものがあり、小さいものは集まって大きいものに匹敵する噴出量をもつ場合があると考えられる。

謝 辞 本研究の一部は、著者の一人(M.B.)が東北大学理学部に在籍に行なったものである。研究を進めるにあたり東北大学理学部の青木謙一郎名誉教授・大沼晃助教授・藤巻宏和教授・長谷中利昭博士には諸般にわたりご援助頂いた。吉田武義助教授には野外調査の指導および原稿の添削をしていただいた。山形大学理学部の大場与志男教授・田中久雄助教授には日頃から有益なご助言を頂いた。茨城大学理学部の高橋正樹助教授と藤縄明彦博士には地質の一部についてご助言を頂いた。また宇都宮大学の中村洋一助教授、北

海道大学の中川光弘博士, 秋田大学の林信太郎助教授, 小野田セメントの井須紀文氏, 弘前大学の佐々木実博士には火山地質全般に渡りご助言いただいた。匿名の2名の査読者の方々からは, 論文を改善する上で非常に有益なコメントを頂いた。これらの方々に深く感謝する。本研究に, 文部省科学研究費, 重点領域研究自然災害 (課題番号 03201112, 代表 荒牧重雄教授) を使用した。

引用文献

- 阿久津純 (1962), 那須野が原の第四系について, 宇都宮大学研究論集, **12**, 73-92.
- 阿久津純 (1968), 栃木県北部の第四系, 第四紀総研連絡会誌, **13**, 40-45.
- 伴 雅雄 (1991), 那須火山群, 南月山火山の岩石学的モデル, 火山, **36**, 255-267.
- 伴 雅雄, 藤巻宏和 (1992), 東北日本弧, 那須火山群噴出物の岩石学, 日本火山学会 講演予稿集, 95.
- Cas, R.A.F. and Wright, J.V. (1988), Volcanic successions, modern and ancient. UNWIN HYman. London. p. 487.
- 地質調査所 (1981), 栃木県那須地域等重力線図, 1: 50,000 地熱地域等重力線図, 3. 地質調査所.
- 藤田和久 (1988), 那須火山最近 4 万年間の地形発達, 金沢大学文学部地理学報告, **4**, 111-123.
- 萩原尊禮 (1986), 日本列島の地震—地震工学と地震地体構造—, 鹿島出版会, 215 p.
- 早津賢二 (1985), 妙高火山群—その地質と活動史—, 第一法規, 344 p.
- 堀伸三郎, 川村幸二, 畠山秀喜, 小野晃司, 山口 靖 (1991), 那須火山北西麓の岩屑なだれ堆積物とその比抵抗断面, 日本火山学会講演予稿集, 44.
- Ishida, M. (1989), The configuration of the Philippine Sea plate beneath the Kanto-Tokai district, Japan. Abstract the 25th IASPEI.
- 岩崎孝明, 小池一之, 百瀬 貢, 中村拓道 (1984), 那須火山周辺における地形環境の変化, 日本地理学会講演予稿集, 62-63.
- 金子隆之, 清水 智, 板谷徹丸 (1989), K-Ar 年代から見た信越高原地域の火山活動, 岩鉱, **84**, 211-225.
- 加藤祐三 (1964), 那須火山の岩石学的研究, 岩鉱, **51**, 233-243.
- 真鍋健一, 吉田 義, 伊藤七郎, 小河靖男, 堀内俊秀, 白瀬美智男, 生出慶司, 阿久津純, 八島隆一, 鈴木敬治 (1968), 須賀川~白河付近の第四系, 第四紀総研連絡会誌, **13**, 30-39.
- 町田 洋, 新井房夫 (1976), 広域に分布する火山灰—始良 Tn 火山灰の発見とその意義—, 科学, **46**, 339-347.
- 増田孝一郎, 柴田豊吉, 阿久津純, 中川義二郎 (1974), 福島県地質調査報告書「田島地域の地質」, 福島県, 33 p.
- 松田 繁 (1901), 那須火山地質調査報文, 震災予防調査会報告, **36**, 1-68.
- 松田時彦, 今泉俊文, 渡辺満久 (1991), 白河, 藤田和夫, 今泉俊文, 貝塚爽平, 松田時彦, 中田 高, 岡田篤正, 太田陽子, 宇津徳治, 米倉伸助, 吉井敏尅 (編) “日本の活断層”, 東京大学出版会.
- 守屋以智雄 (1978), 溶岩円頂丘の地形, 駒沢地理, **14**, 55-69.
- 守屋以智雄 (1983), 日本の火山地形, 東京大学出版会, 135 p.
- 守屋以智雄 (1989), 那須山, 荒牧重雄・白尾元理・長岡正利 (編) “空からみる日本の火山”, 91-93, 丸善, 東京.
- 守屋以智雄 (1990), 火山の地形・構造・発達に関する問題点, 火山, **34**, 145-156.
- 中村一明 (1989), 火山とプレートテクトニクス, 東京大学出版会, 123 p.
- Nakamura, K. and Uyeda, S. (1980), Strass gradient in arc-backarc regions and plate subduction. *J. Geophys. Res.*, **85**, 6419-6428.
- NEDO (新エネルギー総合開発機構) (1990), 那須地域火山地質図及び那須地域地熱地質編図説明書, 68 p.
- 桜井宏編 (1971), 栃木県の温泉地質(上巻), 栃木県, 140 p.
- Sakuyama, M. (1983), Petrology of arc volcanic rocks and their origin by mantle diapirs. *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, **18**, 297-320.
- 新野 弘 (1933), 下野山地東北部の地質(2), 地質学雑誌, **40**, 578-585.
- 曾根敏雄 (1981), 那須東麓のテフラ, 東北大学理学部地理学科卒業論文 (手記).
- Steiger, R. and Jäger, E. (1977), Subcommission on geochronology: Convention on the use of decay constants in geo- and cosmo-chronology. *Earth Planet. Sci. Lett.*, **36**, 359-362.
- 鈴木敬治 (1964), 福島県 5 万分の 1 地質図幅「会津地方」・同説明書, 福島県, 157 p.
- 鈴木毅彦 (1992), 那須火山のテフロクロノロジー, 火山, **37**, 251-263.
- 高橋正樹, 藤縄明彦 (1989), 那須茶臼岳火砕丘の形成史, 日本火山学会講演予稿集, **96**.
- Takaoka, N. (1976), A low-blank, metal system for rare gas analysis. *Mass Spectr.*, **24**, 73-86.
- 高岡宣雄, 今野幸一, 大場与志男, 今田 正 (1989), 蔵王火山溶岩の K-Ar 年代測定, 地質雑, **95**, 157-170.
- 東宮昭彦 (1991), 島弧火山の寿命に対応するマンタルダイアピールの大きさ, 火山, **36**, 211-222.
- 渡辺影隆, 堤橋 昇, 新藤静夫 (1960), 那須野が原の地質構造, 特に那珂川旧河道の変遷について (那

須野が原の水理地質・2). 地質雑, 66, 113-122.
山元孝広 (1992), 会津地域の後期中新世—更新世カ
ルデラ火山群. 地質雑, 98, 21-38.
吉田英人, 高橋正樹 (1991), 白河火砕流東部地域の地
質. 地質雑, 97, 231-249.

付録: 測年試料の採取位置と簡単な記載

本研究に用いた K-Ar 年代測定試料の採取地点と簡単な
記載を記す。試料は変質の認められないものを選んだ。

- (1) 60701: 二岐山噴出物。二岐山溶岩流。福島県岩瀬郡
天栄村二岐山東方 1.5 km。139°59'08"E, 37°15'01"N。カン
ラン石単斜輝石斜方輝石安山岩。
- (2) 101016: 朝日岳噴出物。東大倉溶岩類。栃木県那須郡
那須町飯盛山東部。139°59'50"E, 37°07'37"N。カンラン石単
斜輝石斜方輝石安山岩。
- (3) 101626: 朝日岳噴出物。清水溶岩。栃木県那須郡那
須町清水東方 350 m。139°58'28"E, 37°08'24"N。カンラン
石単斜輝石斜方輝石安山岩。
- (4) 50511: 朝日岳噴出物。朝日岳溶岩類。栃木県那須郡
那須町剣が峰。139°58'03"E, 37°07'48"N。単斜輝石斜方輝石
安山岩。
- (5) 102611: 朝日岳噴出物。清水溶岩。栃木県那須郡那
須町清水西方 580 m。139°57'50"E, 37°08'28"N。カンラン
石単斜輝石斜方輝石安山岩。
- (6) 100801: 朝日岳噴出物。東大倉溶岩類。栃木県那須郡
那須町北温泉北東方 200 m。139°59'57"E, 37°07'23"N。斜方
輝石単斜輝石安山岩。
- (7) 80922: 南月山噴出物。麦飯坂溶岩。栃木県黒磯市麦
飯坂南東方 750 m。139°56'06"E, 37°06'54"N。石英斑晶を含
む単斜輝石斜方輝石カンラン石安山岩。
- (8) 80401: 南月山噴出物。黒尾谷溶岩。栃木県那須郡
那須町沢名川沿い。139°56'23"E, 37°04'49"N。斜方輝石単斜
輝石安山岩。
- (9) 702603: 南月山噴出物。黒尾谷溶岩。栃木県那須郡
那須町日の出平。139°57'35"E, 37°07'05"N。斜方輝石単斜輝
石安山岩。
- (10) 72907: 南月山噴出物。黒尾谷溶岩。栃木県那須郡
那須町黒尾谷岳南東 800 m。139°58'22"E, 37°05'32"N。カン
ラン石単斜輝石斜方輝石安山岩。
- (11) 101410: 南月山噴出物。遅山溶岩。栃木県那須郡那須
町南月山東南方 750 m。139°57'07"E, 37°06'11"N。斜方輝石
単斜輝石デイサイト。
- (12) 50413: 南月山噴出物。日の出平溶岩。栃木県黒磯市
沼原池南方 120 m。139°55'58"E, 37°05'59"N。カンラン石斜
方輝石単斜輝石玄武岩。
- (13) 80120: 南月山噴出物。南月山溶岩類。栃木県那須郡
那須町黒尾谷岳西方 650 m。139°57'26"E, 37°05'44"N。斜方
輝石単斜輝石安山岩。

- (14) 80107: 南月山噴出物。南月山溶岩類。栃木県那須郡
那須町黒尾谷岳南西方 1250 m。139°57'21"E, 37°05'15"N。斜
方輝石単斜輝石安山岩。
- (15) 72415: 三本槍岳噴出物。三本槍岳溶岩類。栃木県那
須郡那須町隠居倉北壁。139°57'33"E, 37°08'03"N。単斜輝石
斜方輝石デイサイト。
- (16) 90601: 三本槍岳噴出物。三本槍岳溶岩類。栃木県那
須郡那須町赤面山東南方 2.25 km。140°00'48"E, 37°08'18"
N。斜方輝石単斜輝石カンラン石安山岩。
- (17) 90605: 三本槍岳噴出物。熊見曾根溶岩類。栃木県那
須郡那須町赤面山東南方 1.5 km。140°00'12"E, 37°08'24"N。
斜方輝石単斜輝石玄武岩。
- (18) 92729: 三本槍岳噴出物。熊見曾根溶岩類。栃木県那
須郡那須町熊見曾根西方 500 m。139°57'33"E, 37°08'10"N。
斜方輝石単斜輝石玄武岩。
- (19) 102703: 三本槍岳噴出物。赤岩沢溶岩類。栃木県黒磯
市三斗小屋宿北東方 650 m。139°56'02"E, 37°08'11"N。カン
ラン石単斜輝石斜方輝石安山岩。
- (20) 72412: 三本槍岳噴出物。赤岩沢溶岩類。栃木県黒磯
市三斗小屋宿東方 1 km。139°56'29"E, 37°08'00"N。カンラン
石単斜輝石斜方輝石安山岩。
- (21) 60303: 甲子旭岳噴出物。大白森溶岩円頂丘群。福島
県岩瀬郡天栄村鎌房山東方 700 m。140°00'46"E, 37°11'39"
N。単斜輝石斜方輝石安山岩。
- (22) 81517: 甲子旭岳噴出物。大白森溶岩円頂丘群。福島
県南会津郡下郷町高倉山西壁。139°55'41"E, 37°13'08"N。斜
方輝石単斜輝石カンラン石デイサイト。
- (23) 82115: 甲子旭岳噴出物。大白森溶岩円頂丘群。福島
県南会津郡下郷町上岳東壁。139°56'48"E, 37°13'37"N。単斜
輝石斜方輝石デイサイト。
- (24) 60214: 甲子旭岳噴出物。甲子旭岳溶岩類。福島県南
会津郡下郷町旭岳東壁。139°57'51"E, 37°10'37"N。カンラン
石斜方輝石単斜輝石玄武岩。
- (25) 82404: 甲子旭岳噴出物。甲子旭岳溶岩類。福島県南
会津郡下郷町観音山西北方 1.35 km。139°56'23"E, 37°11'38"
N。斜方輝石単斜輝石玄武岩質安山岩。
- (26) 80823: 甲子旭岳噴出物。甲子旭岳溶岩類。福島県南
会津郡下郷町観音山南西方 1.1 km。139°56'39"E, 37°10'49"
N。斜方輝石単斜輝石玄武岩質安山岩。
- (27) 81021: 甲子旭岳噴出物。甲子旭岳溶岩類。福島県南
会津郡下郷町観音山北方 450 m。139°57'11"E, 37°11'30"N。
斜方輝石単斜輝石玄武岩質安山岩。
- (28) 60927-6: 甲子旭岳噴出物。甲子旭岳溶岩類。福島県
南会津郡下郷町金山南方 750 m。139°56'53"E, 37°10'03"N。
斜方輝石単斜輝石安山岩。
- (29) 92711: 甲子旭岳噴出物。甲子旭岳溶岩類。栃木県黒
磯市赤岩沢。139°57'06"E, 37°08'20"N。斜方輝石単斜輝石カ
ンラン石安山岩。