

猪苗代地域の後期中新世-鮮新世カルデラ火山群

山元孝広*

YAMAMOTO Takahiro (1994) Structural development and eruptive history of late Miocene to Pliocene caldera volcanoes in the Inawashiro district, NE Japan. *Bull. Geol. Surv. Japan*, vol. 45 (3), p. 135-155, 11figs., 3tables.

Abstract: Within the Inawashiro volcanic field of 60 by 30 km area in the southern Northeast Honshu arc, six caldera volcanoes, Kijigoya, Takatama, Itaya, Otoge, Yokomuki, and Joko calderas in ascending order from late Miocene to Pliocene, form a prominent cluster. This caldera cluster is overlaid with Quaternary andesitic stratovolcanoes; Bandai, Azuma, and Adataro volcanoes. Previous and new radiometric ages suggest that these caldera-forming eruptions occurred at about 10, 9-8, 8-7, 7-6, 5.3-5.0, and 4.1 Ma, respectively; the average interval was just 1×10^6 years. Kijigoya, Otoge, and Yokomuki calderas are 10 to 13 km in diameter, and are filled by voluminous caldera-forming pyroclastic flow deposits ($>100 \text{ km}^3$), including intercalated debris avalanche deposits shed from caldera scarps. No caldera floor is exposed in this field, however subsurface data from existing deep geothermal wells has revealed that the floor of Yokomuki caldera is segmented into a number of discrete fault blocks deepening toward the caldera center. Caldera resurgence and ring fracture volcanism during the post-caldera stage are not strongly developed in all calderas. This feature indicates a low accumulation rate of magma beneath the Inawashiro volcanic field.

要 旨

東北本州弧南部の猪苗代地域には、磐梯・吾妻・安達太良の第四紀火山に不整合で覆われる後期中新世-鮮新世のカルデラ火山群が分布する。このカルデラ火山群は脊梁山地内の60×30 km内の範囲に集中し、木地小屋(10 Ma 前後)・高玉(9-8 Ma)・板谷(8-7 Ma)・大峠(7-6 Ma)・横向(5.3-5.0 Ma)・上戸(4.1 Ma)の6つのカルデラ火山からなる。カルデラの形成間隔はほぼ100万年である。地質調査を行った木地小屋・大峠・横向カルデラは径が10-13 km程度で、体積100 km³以上のカルデラ充填火砕流堆積物とカルデラ壁からの斜面崩壊堆積物で埋積されている。カルデラ底の構成物はいずれのカルデラでも露出していないが、NEDOによる試錐資料の豊富な横向カルデラではブロック化したカルデラ底がカルデラ中央に向かって順次深くなる構造が見いだされている。再生ドームの形成や噴出中心の環状配列といった大型陥没カルデラを特徴付ける後カルデラ期の火成

活動は、当地域のカルデラ火山群において顕著でない。これは火山群下でのマグマの集積率の低さの現れであろう。

1. はじめに

代表的島弧とされる東北本州弧の第四紀成層火山下には、後期中新世から更新世の大型カルデラ火山群が存在することが近年明らかになってきた(須藤, 1987; 伊藤ほか, 1989; 村岡ほか, 1991; 山元, 1992)。各カルデラ火山群の総噴出量は1000 km³を越え、その規模と内容は合衆国西部やアンデス山脈の新生代カルデラ火山群(Lipman, 1984; de Silva, 1989)に匹敵するものである。にもかかわらず、その存在がこれまで認識されなかったのは、これらの火山噴出物がしばしば前期-中期中新世の火山岩に含まれてきたこと、及び噴出物のカル

Keywords: Miocene, Pliocene, caldera, pyroclastic flow deposit, Kijigoya Formation, Otoge Formation, Yokomuki Formation, Joko Formation, Inawashiro, Fukushima, Fission track dating, K-Ar dating

* 地質部

デラ充填火砕流堆積物 (intracaldera pyroclastic flow deposit; Lipman, 1984) としての特徴が正しく把握されなかったことによる。巨大噴火で生じたカルデラ湖の堆積物からは植物化石が豊富に産出するため、後期中新世-鮮新世に陥没性の凹地が出現したことは、従来から知られていた (例えば藤田ほか, 1974; 小室, 1984)。しかし、これらの研究では陥没をもたらした噴火現象そのものが見落とされていたため、陥没凹地が大規模火砕流給源のカルデラ火山として認知されることはなかった。

本報では東北本州弧南部の猪苗代地域 (Fig. 1) に後期中新世-鮮新世のカルデラ火山群が存在することを明らかにする。当地域の地質層序は福島県5万分の1地質図幅「会津地方」・「猪苗代東方地域」によりその大枠が明らかにされている (鈴木, 1964; 北村ほか, 1965)。その後、全国地熱基礎調査「吾妻南部」・地熱開発促進調査「猪苗代」・全国地熱資源総合調査「磐梯」が実施され放射年代値・試錐・重力等の各種地質情報が蓄積されてきた (地質調査所, 1975; NEDO〔新エネルギー・産業技術総合開発機構〕, 1990; 1991)。しかし、従来の調査においては後期中新世-鮮新世の火山岩が主な研究対象ではないため、これがカルデラ形成に関与した噴出物であるとの見解は提出されていない。本報では後期中新世-鮮新世の木地小屋・大峠・横向・上戸層を、これらが個々のカルデラ形成に関与した堆積物であるとの観点から再定義する。また、今回新たに得られた4つの放射年代値と既存の年代値から、当地域のカルデラ火山の形成史について考察する。

2. 地質概略

当地域の先後期中新世は、角閃石黒雲母花崗閃緑岩を主とする白亜紀深成岩とこれを不整合に覆う前期-中期中新世からなる。磐梯・猫魔火山北麓の前期-中期中新世は、下位から礫岩・砂岩・安山岩溶岩からなる檜原層、流紋岩火砕岩からなる五枚沢川凝灰岩、砂岩・シルト岩からなる二の沢層の順で構成されている (鈴木, 1964)。これに対し川桁断層以東の脊梁山地内では、二の沢層相当の砂岩・シルト岩からなる土湯峠層 (北村ほか, 1965) 及び堀口層 (小泉, 1963) が下位層を欠いて直接、白亜紀深成岩を不整合に覆う。

本報で記載する後期中新世-鮮新世 (木地小屋・大峠・横向・上戸層) は、いずれも急崖に取り囲まれた凹地を埋積するかたちで上記の基盤を不整合に覆っている。各層の大部分は塊状で厚い (数100 m 以上) 火砕流堆積物とこれに指交する基盤由来のシルト岩を主とする角礫岩からなり、各種火山岩の貫入を受け一部で湖成堆積物に

覆われている。従来の研究では、これらの火砕流堆積物は中期中新世の海成シルト岩と同時異相の関係にあるものと見なされていた (例えば鈴木, 1964; 北村ほか, 1965)。しかし、1) 火砕流堆積物の多くは溶結しており、陸成であること、2) 指交するシルト岩角礫には斜面崩壊堆積物を特徴付ける堆積構造が認められること、3) 火砕流堆積物の放射年代が挟在されるシルト岩の化石年代よりも有意に若いことが明らかになり、従来の層序に関する見解は否定される。当地域の各凹地を埋積した火砕流堆積物の岩相は、東北本州弧の他の地域で伊藤ほか (1989) や山元 (1991) が示した後期中新世以降のカルデラ充填火砕流堆積物のそれと基本的に共通するものである。

3. 木地小屋層

本層は、磐梯火山東方の楕円形大型カルデラ (径13×7 km; Fig. 1) をほぼ水平に埋積するカルデラ充填火砕流堆積物・岩屑なだれ堆積物とこれらを通る後カルデラ期の貫入岩からなる (Fig. 2)。模式地は福島県北塩原村の秋本湖北岸及びレークライン有料道路沿いである。本層は鈴木 (1964) の木地小屋層、及び北村ほか (1965) の千貫凝灰岩・木地小屋凝灰岩の西半分に相当する。また、北村ほか (1965) の千貫凝灰岩は異質角礫の卓越する岩相をさしており、本報の岩屑なだれ堆積物にはほぼ相当する。本層の年代は凝灰岩に包み込まれるシルト岩・泥岩中の化石から中期中新世とこれまで見なされていたが (鈴木ほか, 1986)、これらの化石は岩屑なだれ堆積物中の岩塊から得られており本層の堆積年代を示すものではない。

岩相

本層のカルデラ充填火砕流堆積物とこれに指交する岩屑なだれ堆積物は、地表に露出する限りで (下限上限不明) 約600 m の層厚を持つ (Fig. 2)。カルデラ充填火砕流堆積物は斜方輝石単斜輝石デイサイト質の軽石火山礫凝灰岩・凝灰角礫岩からなり、分布縁部と岩屑なだれ堆積物周辺以外では強溶結している。この堆積物は肉眼で石英の結晶片が目立ち、特に層的に上部のもの粒径は3-4 mm である。ただし、溶結構造は肉眼で余り明瞭ではなく、本質レンズも露頭ではほとんど認めることができない。含まれる異質岩片は花崗閃緑岩・シルト岩が多く、一部で安山岩・流紋岩を伴う。その含有量は場所により様々に異質岩片を全く欠くものから、径5m 以上の岩塊に富むものまで様々である (Fig. 3)。堆積物中のフローユニット境界は不明瞭で、火砕サージや降下堆積物の挟みは確認していない。本堆積物は全体にある

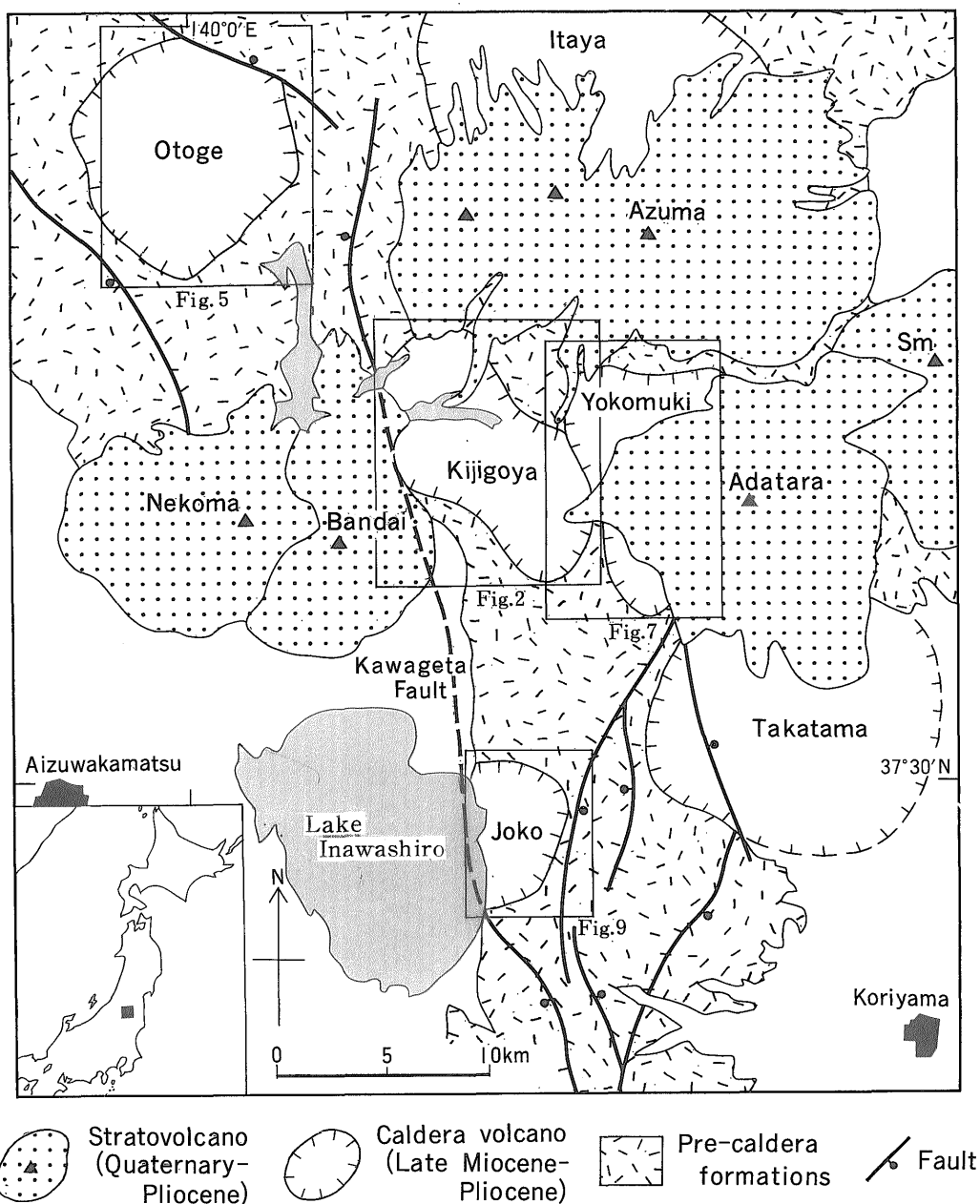


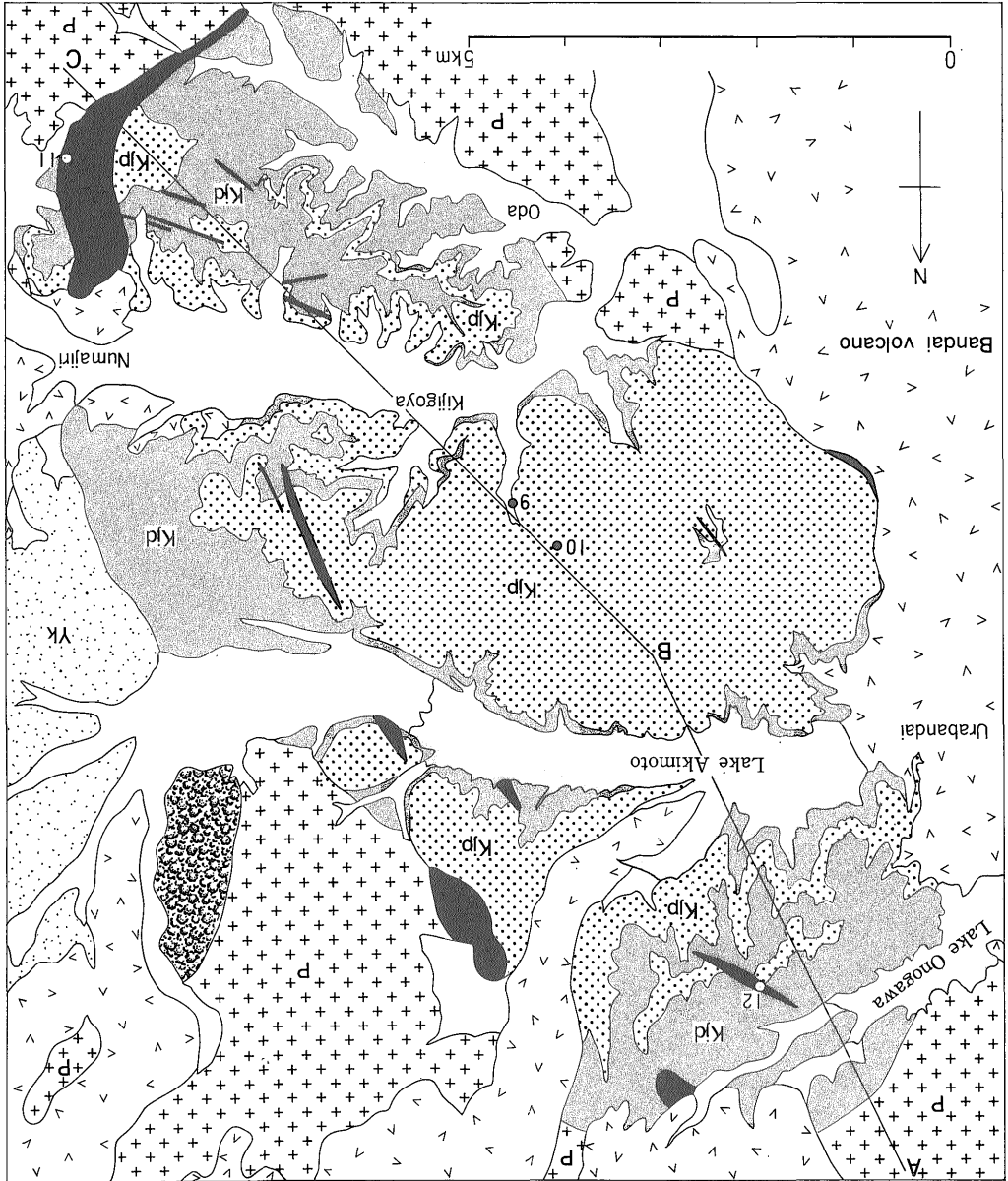
Fig. 1 Location map of late Miocene to Recent volcanoes in the Inawashiro district. Sm=Sasamoriyama volcano.

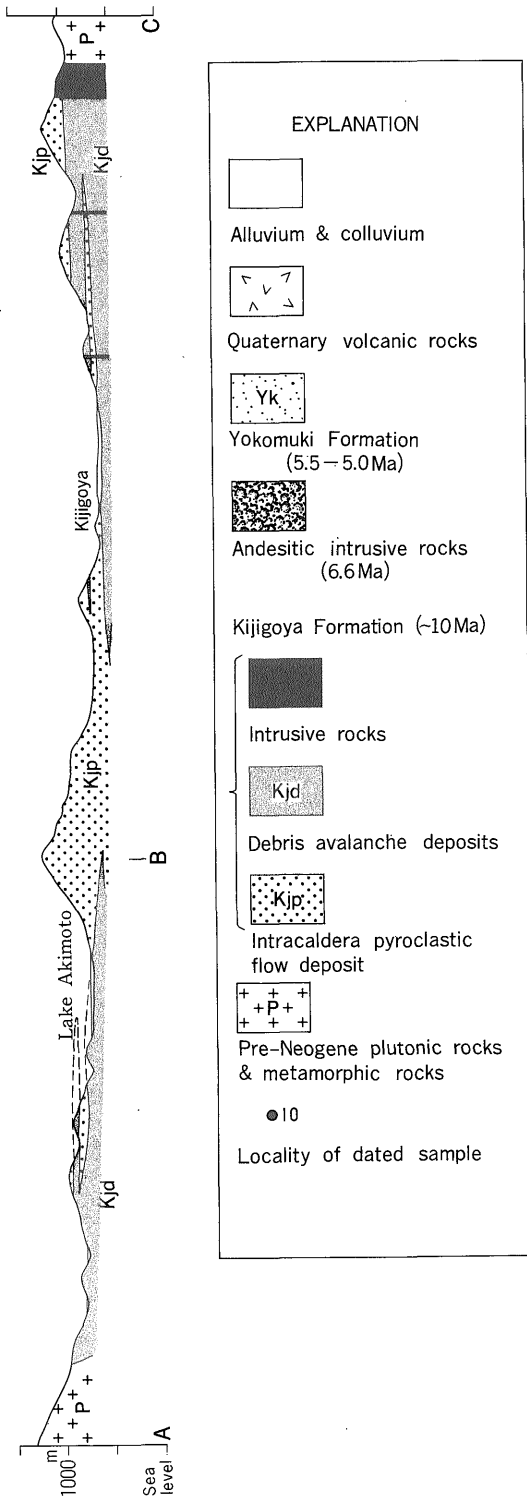
程度の変質を被っており、輝石結晶片のほとんどは緑泥石で置換されている。また、基質の火山ガラス片も再結晶しており、細粒部には針状の緑泥石を生じている。ただし、その程度は低く、多くの試料で基質のヴィトロク

ラスティック組織が残存している。

岩屑なだれ堆積物は基盤由来の岩片および破碎された岩塊からなる無淘汰の角礫岩からなり、厚さ数m~200m以上のシート状の形態を持つ。堆積物はカルデラの

Fig. 2 Geologic map and geologic cross section of Kijigoya caldera. See Fig. 1 for location of this map. No vertical exaggeration in the cross section. The K-Ar age of 6.6 Ma has been reported for andesitic intrusive rocks northeast of this caldera (NEDO, 1991).





縁辺部で厚く、中央部に向かって尖滅する (Fig. 2). 構成物は黒色シルト岩がもっとも卓越し、花崗岩・流紋岩・変成岩がこれに次ぐ。この堆積物の最大の特徴は、角礫岩中の岩塊が破碎後も基盤の初生的な層序関係を保持している点にある (Fig. 4). このような部分では各角礫の面角は、あたかも3次元のジグゾーパズルのように、互いに緩く接しており、破碎岩片相互の変位量がごく小さい。また、破碎が進み基質支持 (matrix-supported) の淘汰の悪い角礫岩部でも、特定の岩種が局所的に濃集したり、母材の異なる細粒物がつくる縞状構造が認められる。すなわち、これらの堆積構造は、火砕流堆積物に包有される基盤由来の角礫岩がコヒーレント (coherent) な岩塊の分離・移動で始まり、物質の攪拌の乏しい状態で運搬・堆積したことを示唆している。従って、この堆積物は Lipman (1976) の caldera-collapse breccia と同等のものであり、大規模火砕流の近傍に伴われる異質岩片に富むラグ堆積物 (例えば Walker, 1985) とは異なるものである。本堆積物中の岩塊の破碎の程度は多様であり、初生的な成層構造を保った未破碎の巨大な (径50 m 以上) シルト岩岩塊もしばしば含まれている。秋元湖北西岸のこの様なシルト岩岩塊は、露頭で見ると連続性を持つ正規の地層のように見え、従来の地質図では秋元層 (鈴木, 1964)・土湯峠層 (北村ほか, 1965) が分布するように表現されている。はたしてこのような部分が破碎されたカルデラ底が頭を覗かせているのか、底があつてくさび状に火砕流堆積物と指交するのかは、試錐等のデータのない現時点では判断できない。

本層中には大小様々な後カルデラ期の貫入岩体が分布している。岩質は斜方輝石単斜輝石安山岩で、一部の岩体は融食を受けた石英斑晶を伴っている。比較的大きなストック状の岩体がカルデラの南東縁に沿って弧状に貫入するほかは (Fig. 2), 全て岩脈からなる。岩体の配列には特に規則性はなく、カルデラ内に一様に分布している。岩脈の卓越方位は北西-南東でカルデラの伸張方位と一致している。

形成年代

本層のカルデラ充填火砕流堆積物中のジルコンからは、後期中新世を示す 5.5 ± 0.7 Ma のフィッシュン・トラック年代値が得られた (GSJ R60142). この年代値は当火砕流堆積物中の異質岩塊の中期中新世を示す化石年代 (CN4 帯の石灰質ナノ化石; 鈴木ほか, 1986) よりも明らかに古いものの、これまでに本層から報告された年代値 (NEDO, 1991) よりは有意に新しい (Table 1). NEDO (1991) の3つの報告値はいずれも測定誤差が大きいものの10-9 Ma によくまとまっており、これらを

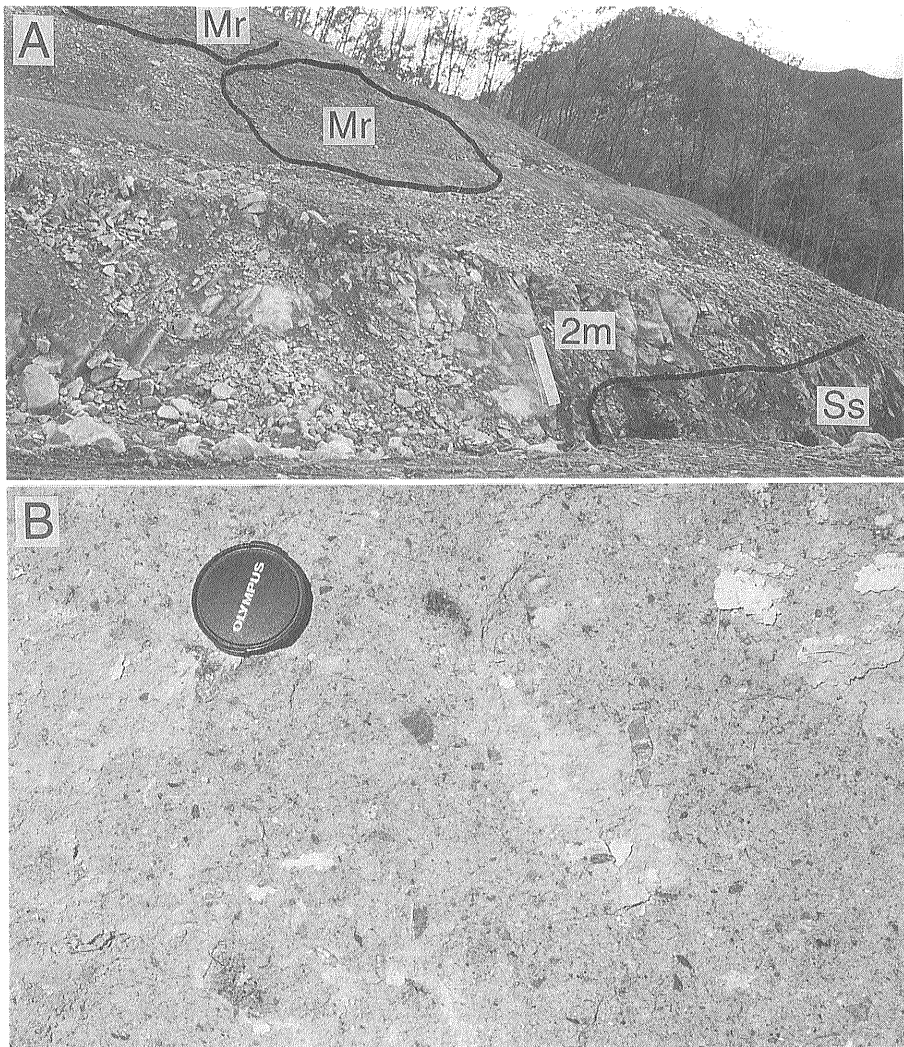


Fig. 3 Outcrop photographs of an intracaldera pyroclastic flow deposit within the Kijigoya Formation. (a) The weakly welded pyroclastic flow deposit containing meter size blocks of metamorphic rocks (Mr) and siltstone (Ss) at Ohara, Inawashiro Town. The scale is 2 m. (b) The non-welded pyroclastic flow deposit including abundant millimeter size fragments of siltstone and granitic rocks at 'Lake Line', Kitashiobara Village.

異常値と見なすことは困難である。今回の分析試料も含めた本層の岩石はほとんど全て変質を被っており、得られた年代値はなんらかの若返りを示しているとみて良いであろう。下位層の化石年代と NEDO (1991) の報告値から考えると、本カルデラの形成年代は後期中新世最初期の10 Ma 前後と見なせる。

4. 大 峠 層

本層は、吾妻火山西方の大型カルデラ(径約10 km ; Fig. 1)をほぼ水平に埋積するカルデラ充填火砕流堆積物・岩屑なだれ堆積物とこれらを貫く後カルデラ期の貫入岩からなる(Fig. 5)。模式地は山形県米沢市の小樽川上流部から大峠にかけての国道121号沿いである。本層は鈴木(1964)の大峠凝灰岩、谷口(1969)の八谷層・大

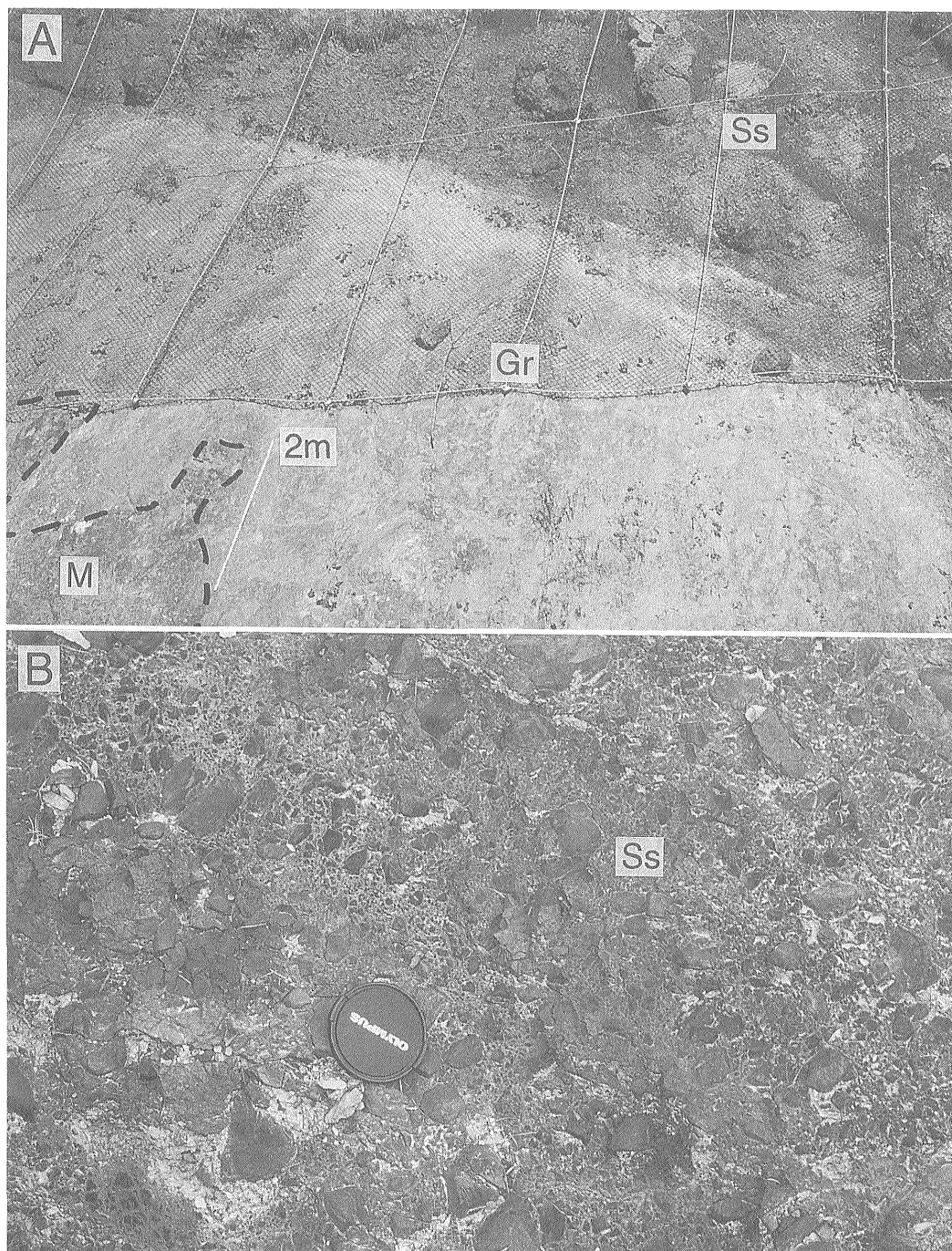


Fig. 4 Outcrop photographs of debris avalanche deposits within the Kijigoya Formation at 'Lake Line', Kitashiobara Village. (a) A coherent block of brecciated siltstone (Ss) and cataclastic granitic rocks (Gr) enveloped by polyolithic breccia matrix. Stratified structure within the block has preserved the original unconformable relationship between siltstone and granitic rocks after the pulverization. The scale is 2 m. (b) Close-up view of brecciated siltstone (Ss) in which polyhedral clasts loosely fit together as in a tree-dimensional jigsaw puzzle. White part is calcite sealing interparticle pores.

Table 1 Radiogenic ages from intracaldera formations in the Inawashiro district

Unit/Sample [Site]	Age±error (Ma)	Method [Material]	Reference
Joko Formation			
Intracaldera PFD			
: GSJ R60140 [1]	4.1 ±0.5	Ft [Zr]	This paper
Yokomuki Formation			
Intracaldera PFD			
: GSJ R60141 [2]	5.0 ±0.5	Ft [Zr]	This paper
Postcaldera lava: No.1 [3]	5.30±0.42	K-Ar [gm]	NEDO (1990)
Otoge Formation			
Intracaldera PFD			Nishizaka &
: No.1 [4]	7.41±0.45	Ft [Zr]	Yoshimura (1988)
: No.2 [5]	6.64±0.52	Ft [Zr]	ditto
: GSJ R60261 [6]	3.3 ±0.2	K-Ar [gm]	This paper
Ore deposits: Y-1 [7]	3.25±0.26	K-Ar [Ad]	Shikazono (1985)
: Y-2 [7]	3.37±0.13	K-Ar [Ad]	ditto
: Y-3 [7]	3.61±0.27	K-Ar [Ad]	ditto
Sericitized rock:			
: 8307203 [8]	5.16±1.95	K-Ar [wr]	ditto
Kijigoya Formation			
Intracaldera PFD			
: R-31 [9]	10.0±1.1	Ft [Zr]	NEDO (1991)
: GSJ R60142 [10]	5.5 ±0.7	Ft [Zr]	This paper
Postcaldera intrusions			
: R-40 [11]	8.8 ±1.4	K-Ar [wr]	NEDO (1991)
: R-23 [12]	9.8 ±1.0	Ft [Zr]	ditto

PFD: pyroclastic flow deposit; Ft: fission track age; Zr: zircon; wr: whole rock; gm: groundmass; Ad: adularia.

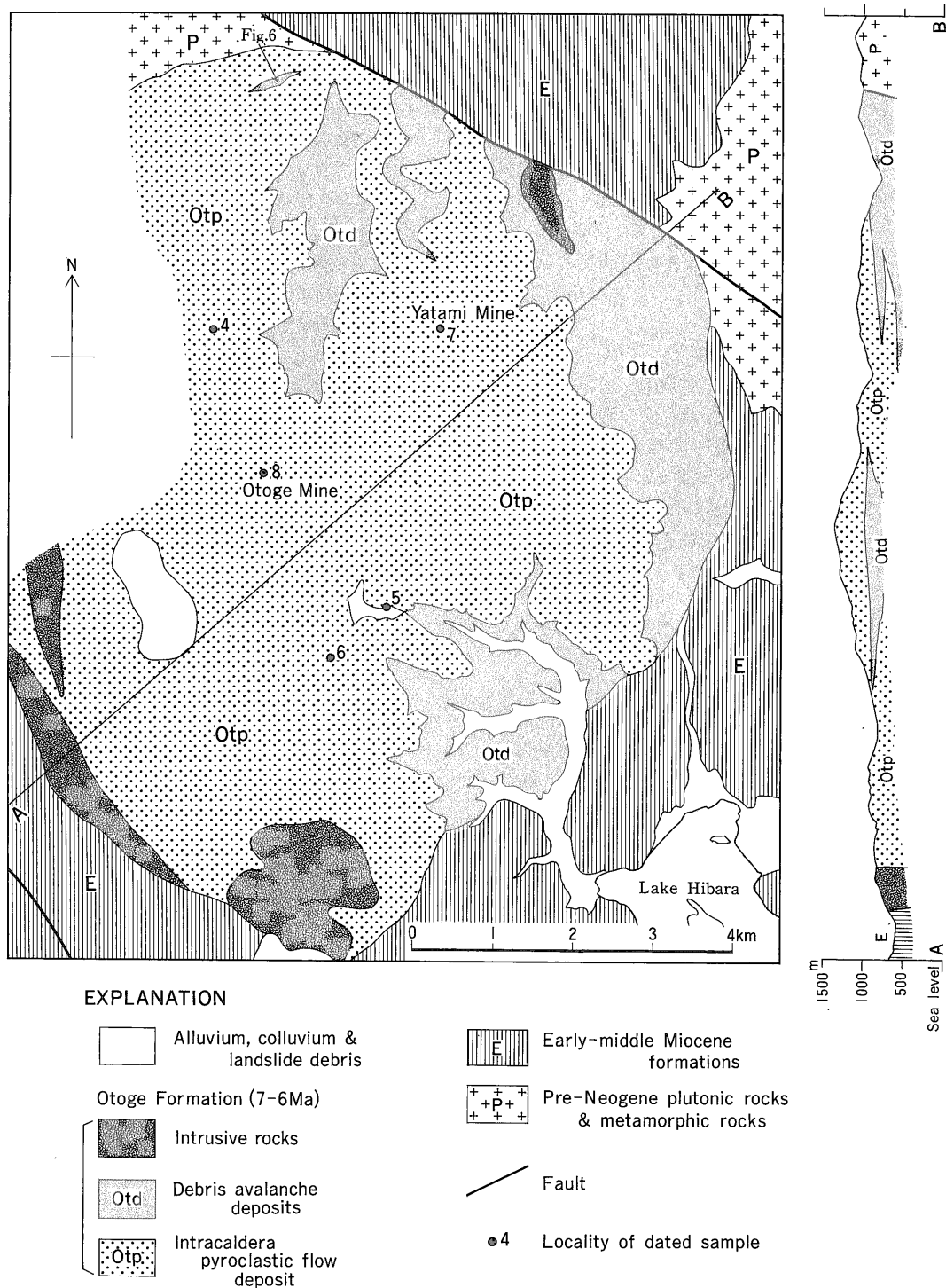


Fig. 5 Geologic map and geologic cross section of Otoge caldera. See Fig. 1 for location of this map. No vertical exaggeration in the cross section.

峠層, 佐藤ほか(1978)の八谷層・平八沢橋層, 通商産業省(1969)・田宮ほか(1970)の不動沢層・綱木川層の一部, 及び西村・吉村(1988)の大峠層・迷沢泥岩・小野川層に相当する。本層の年代はシルト岩・泥岩中の化石データから中期中新世とこれまで見なされていたが(谷口, 1969; 鈴木ほか, 1986), これらの化石は岩屑なだれ堆積物中の岩塊から得られており本層の堆積年代を示すものではない。本層中には八谷鉛・亜鉛・金・銀鉱床と大峠カオリン・パイロフィライト鉱床が胚胎している (Fig. 5)。

岩 相

本層のカルデラ充填火砕流堆積物とこれに指交する岩屑なだれ堆積物は, 地表に露出する限りで(下限上限不明)約700 mの層厚を持つ (Fig. 5)。カルデラ充填火砕流堆積物は単斜輝石角閃石黒雲母デイサイト質の軽石火山礫凝灰岩・凝灰角礫岩からなり, 大部分溶結している。また, この堆積物は肉眼で石英の結晶片が目立ち, 特に上部のもの粒径は3-4 mmである。含まれる異質岩片はシルト岩が多く, 一部で流紋岩・凝灰岩・安山岩を伴う。その含有量は場所により様々で異質岩片を全く欠くものから, 30%前後含むものまで様々である。谷口(1969)は上位のものほど結晶片に富むこととシルト岩の含有量が少ないことから, 標高900-1100 m前後を境として本堆積物を下位の八谷層とこれを整合に覆う上位の大峠層に区分しているが, 両者の変化は連続的で斑晶組合せにも変化は認められない。本堆積物は標高約1200 m以上の現存する最上部で場所により非変質のガラス質溶結凝灰岩となるが, これ以外の堆積物はなんらかの変質を被っている。すなわち, 有色鉱物片のほとんどは緑泥石で置換され, 基質も微細な石英・緑泥石・セ

リサイトで再結晶している。基質のヴィトロクラスティック組織は辛うじて認められる程度である。特に大峠付近の本堆積物は強い粘土化作用を受けている。

岩屑なだれ堆積物は基盤由来の岩片と破碎された岩塊からなる無淘汰の角礫岩で構成される。構成物は黒色シルト岩がもっとも卓越し, 流紋岩・凝灰岩・安山岩がこれに次ぐ。火砕流堆積物と指交する単源の異質角礫岩の存在は, 既に田宮ほか(1970)により記載され, 火道角礫岩及び爆発角礫岩であるとされていた。しかし, この角礫岩が火砕流噴火により爆発的に破碎されたのではないことは, この角礫岩中の岩塊が破碎後も基盤の初生的な層序関係を保持しており, 破碎岩片相互の変位量がごく小さいことから否定される。本堆積物とカルデラ充填火砕流堆積物との境界は明瞭で, 両者は漸移しない (Fig. 6)。特に本堆積物の上面は凹凸が著しく, しばしば未破碎の岩塊が上方に突き出ている。本カルデラの東縁沿いに分布する岩屑なだれ堆積物は6km以上の連続した分布を持つ破碎の程度の低い黒色シルト岩からなる。この地層はこれまで中期中新統綱木川層・迷沢層(二の沢層相当)と呼ばれ周辺の地層との連続性を欠くことから, 従来の地質図では周りを断層で断たれるように表現されている(北村ほか, 1965; 田宮ほか, 1970)。本報では, この地層がO_t1火砕流堆積物に直接覆われること(西坂・吉村, 1988), その内部が局所的に破碎されていることから, この部分を大峠層に含めた。しかしながら地表露出部での層厚が約200 mでなお下限が不明であることとその連続性を考慮すると, この部分は環状断層で陥没したカルデラ底の構成物である可能性も強い。ただし, 現段階でのカルデラ東縁部の調査は不十分で, その様な断層露頭は見いだしていない。はたして

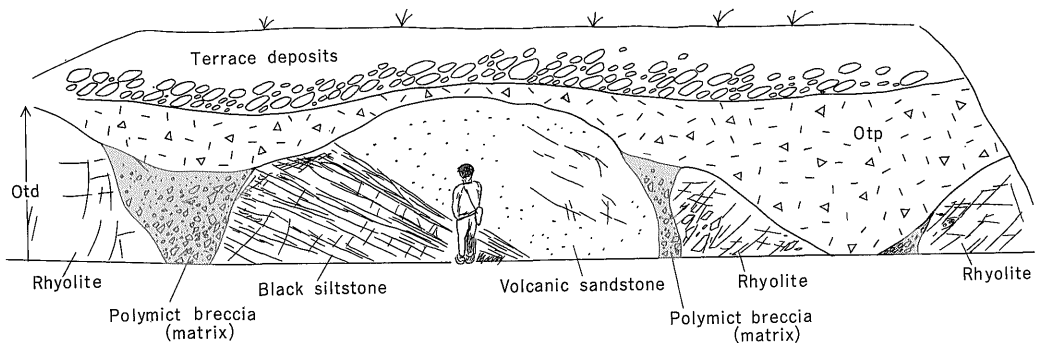


Fig. 6 Outcrop sketch showing a stratigraphic relation between an intracaldera pyroclastic flow deposit (O_{tp}) and intercalated debris avalanche deposits (O_{td}) within the Otoge Formation at Fudo-sawa, Yonezawa City. The debris avalanche deposits have a hummocky surface with protrusions of blocks of rhyolite, sandstone, and siltstone. See Fig. 5 for location of this outcrop.

この部分がカルデラ壁からの大規模斜面崩壊物であるのかカルデラ底であるのかは今後の課題である。

本層中には、角閃石黒雲母デイサイトや黒雲母含有斜方輝石単斜輝石角閃石デイサイトのストック状の岩体があるが、カルデラの南西-南縁に沿っていくつか貫入している。このほかいくつかの岩脈が認められるが、その分布に特に規則性はない。

形成年代

本層のカルデラ充填火砕流堆積物中からは、後期鮮新世を示す 3.3 ± 0.2 Maの全岩 K-Ar 年代値が得られた (GSJ R60261)。この年代値は当火砕流堆積物中の異質岩塊の中期中新世を示す化石年代 (CN6A 帯の石灰質ナノ化石; 鈴木ほか, 1986) よりも明らかに古いもの、これまでに本堆積物から報告された年代値 (西坂・吉村, 1988) よりも有意に新しい (Table 1)。一方で、この年代値は、本層に胚胎する八谷鉱床の鉱化年代値と極めて良く一致する (Table 1)。今回の分析試料には鏡下で変質は認められないもののその基質はガラスで構成されるため、鉱化作用に伴い試料から放射アルゴンが逸脱した可能性は否定できない。また、西坂・吉村 (1988) が報告したフィッシュン・トラック年代値もばらつきが大きく、本堆積物中に前期-中期中新世の異質岩片が豊富に含まれていることを考慮すると、異質ジルコンの混入により年代値が多少古めに出ているのかも知れない。西坂・吉村 (1988) も指摘したように、本堆積物のカルデラ外流出部分はカルデラの北 10 km の後期中新統才津層 (神保ほか, 1970) 中の単斜輝石角閃石黒雲母デイサイト質火砕流堆積物に岩質から対比される (この堆積物は北に向かって層厚と溶結の程度が低下し、南方から供給されたことは確実である)。才津層の火砕流からは分析精度が多少悪いものの 5.9 ± 1.2 Ma の黒雲母 K-Ar 年代値を得ており (柳沢・山元, 未公開資料)、この値も考慮に入れると本カルデラの形成年代はおよそ 7-6 Ma と見なせる。

吉村ほか (1991) は、本カルデラ南縁の後カルデラ期デイサイト貫入岩から 5.07 Ma の未公表フィッシュン・トラック年代値が得られていることを紹介している。この値がデイサイトの貫入年代を示しているとするなら、本カルデラの火山活動はカルデラ形成後も約 1 Ma は継続したことになるが、年代誤差があやふやなため詳しいことはよく分からない。また、本カルデラ内に 3.6-3.3 Ma の鉱化作用をもたらした火成作用の実体も不明である。

5. 横 向 層

本層は、安達太良火山西方の大型カルデラ (径約 12 km; Fig. 1) をほぼ水平に埋積するカルデラ充填火砕流堆積物・岩屑なだれ堆積物とこれを覆う後カルデラ期の湖成堆積物からなる (Fig. 7)。当カルデラの北部で行われた試錐データによると (NEDO, 1990)、カルデラ底の基盤は断層でステップ状に内側に向かって落ち込んでいるらしい。本層の東半分は安達太良火山噴出物に被覆される。また、本層は西隣の木地小屋層に対してアバットする。模式地は福島県猪苗代町の梵天川沿いである。本層は北村ほか (1965) の木地小屋凝灰岩の東半分に相当する。本層の年代はシルト岩・泥岩中の化石データから中期中新世とこれまで見なされていたが (鈴木ほか, 1986)、これらの化石は火砕流堆積物中の異質岩塊から得られており本層の堆積年代を示すものではない。

岩 相

本層のカルデラ充填火砕流堆積物とこれに指交する岩屑なだれ堆積物は、NEDO (1990) の試錐データによると 1500 m 以上の層厚を持つ (Fig. 7)。このうち、地表露出部の層厚は約 300 m である。カルデラ充填火砕流堆積物は黒雲母デイサイト質の塊状火山礫凝灰岩・凝灰角礫岩からなる。地表露出部は非溶結であるが、一部の岩芯で弱溶結部が認められる。この堆積物は肉眼で比較的結晶片に乏しく、径 3 cm 以下の軽石片が目立つ。含まれる異質岩片は花崗閃緑岩・シルト岩が多く、一部で安山岩・流紋岩を伴う。その含有量は地表露出部では数%程度だが、筆者による岩芯の肉眼観察によると、下部に向かって含有量が明らかに増加する。地表に露出する本堆積物の変質の程度は極めて低く、基質の火山ガラス片の多くがガラスのまま残存している。

基盤由来の角礫岩からなる岩屑なだれ堆積物は、地表ではカルデラの西縁に僅かに分布するに過ぎない。しかし、NEDO (1990) の試錐データではカルデラ充填火砕流堆積物と指交する層厚 200 m 以下の主にシルト岩で構成される岩屑なだれ堆積物が多数確認されている (Fig. 7)。筆者による主要な岩芯の肉眼観察では一部でジグソーパズル状の破碎構造が認められ、堆積物内部の母材の攪拌の程度は一般に低い。

岩芯で確認されるカルデラ底の構成物は基盤の花崗閃緑岩とこれを覆う土湯峠層相当のシルト岩・砂岩である (NEDO, 1990; Fig. 7)。また、カルデラ底の深度が坑井毎に異なることと、岩芯に鏡面や角礫部が認められることは、カルデラ底がある程度破碎されいくつかのかたまりに分かれていることを示唆している。一方で、カルデラ

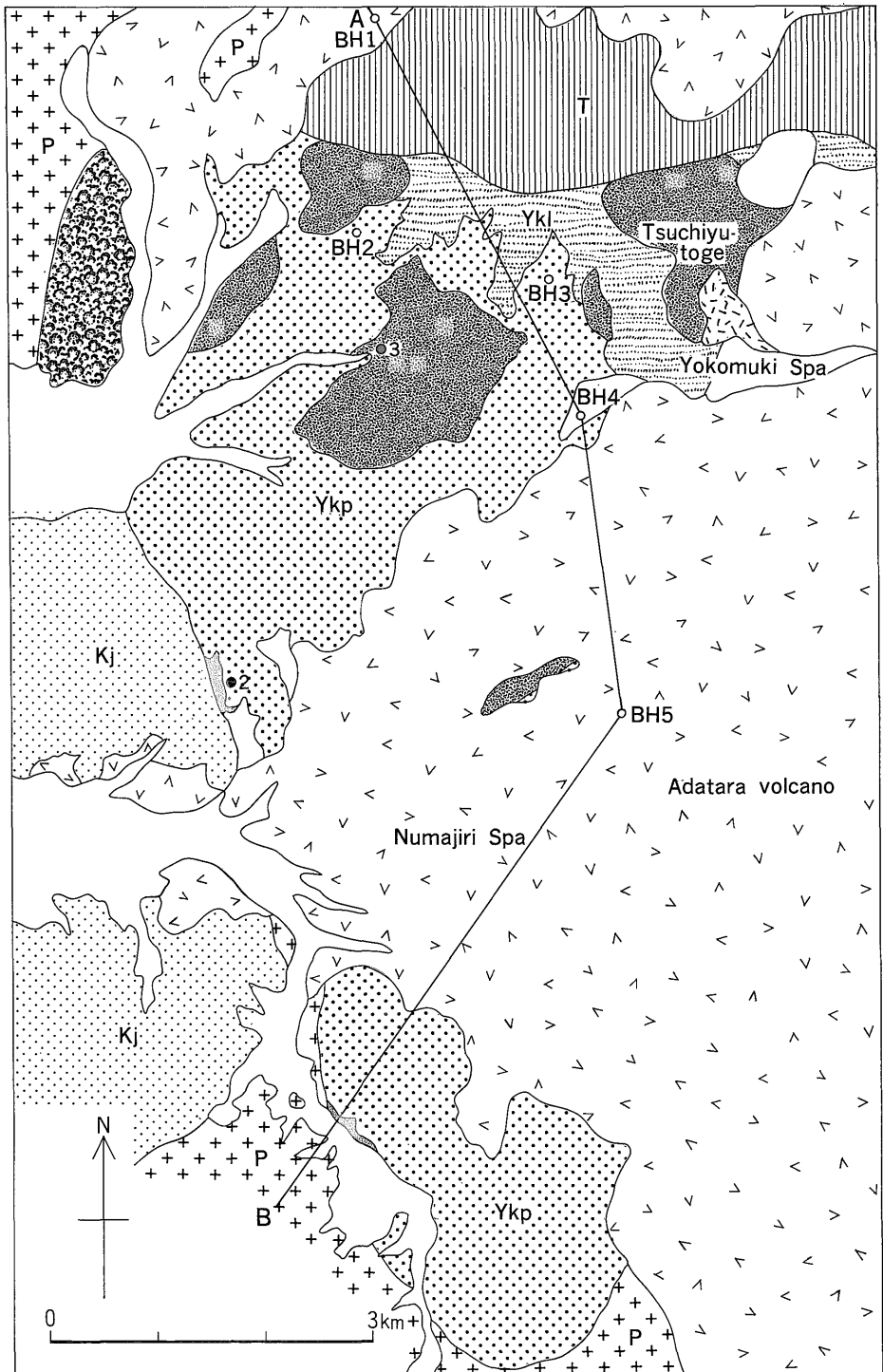
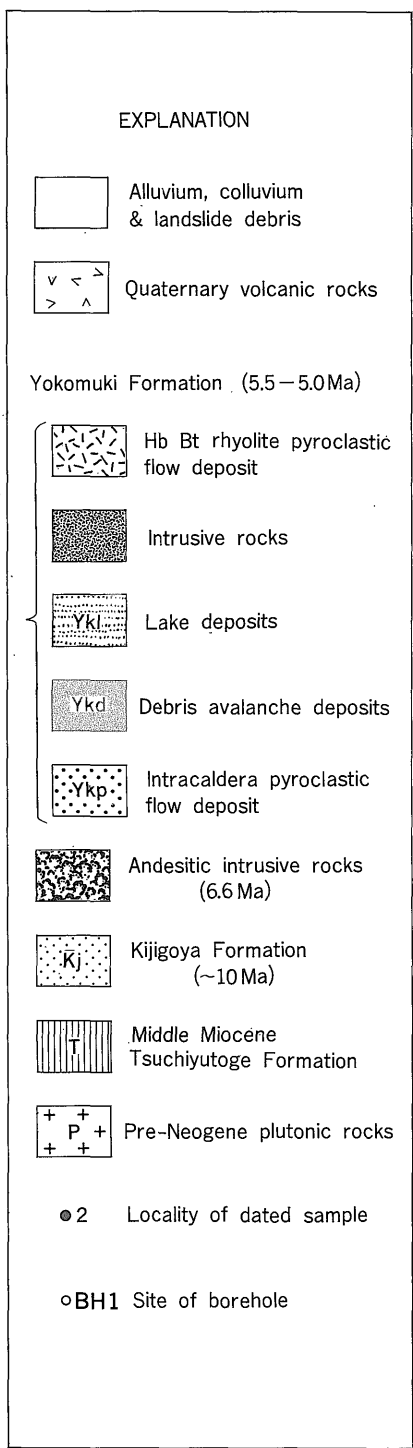
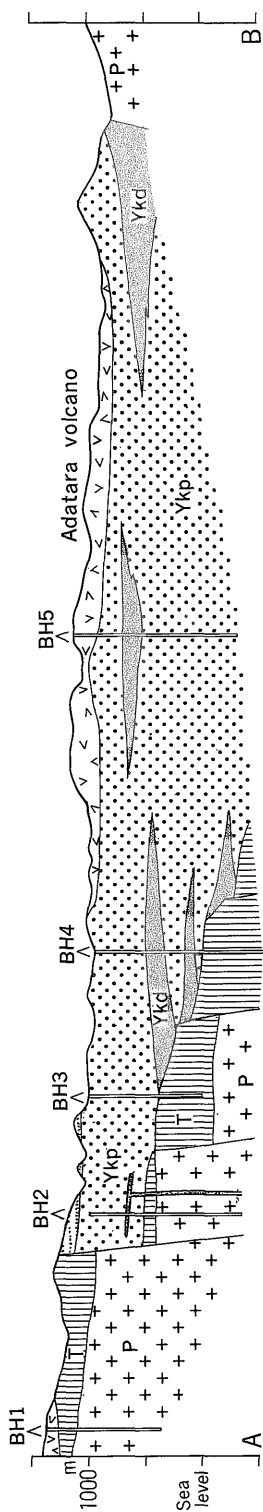


Fig. 7 Geologic map and geologic cross section of Yokomuki caldera. See Fig. 1 for location of this map. No vertical exaggeration in the cross section. Borehole data from NEDO (1990); BH1=N62-IN-5; BH2=N62-IN-4; BH3=N61-IN-1; BH4; N62-IN-3; BH5; N61-IN-2 and N63-IN-6.



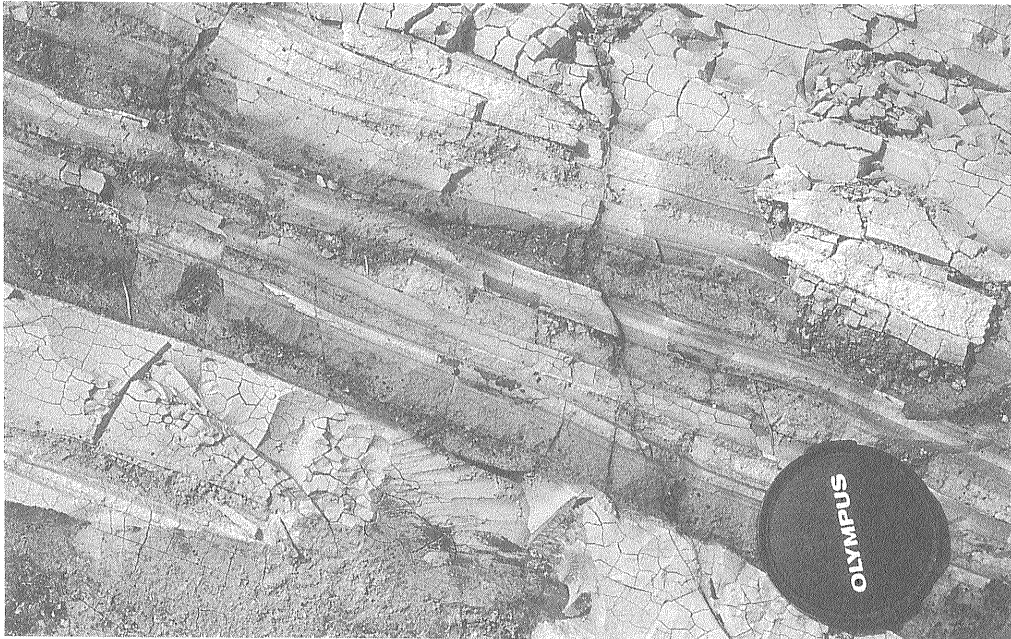


Fig. 8 Photograph of postcaldera lake deposits in the Yokomuki Formation at Yokomuki Spa, Inawashiro Town. The deposits are made up of parallel-laminated vitric siltstone and ripple-laminated volcanic sandstone.

ラ底の破碎されたシルト岩とカルデラ充填火砕流堆積物に包有されるシルト岩岩屑なだれ堆積物の区別は岩芯の肉眼観察だけでは困難な場合がある。しかし前者は500 m以上の層厚を持ち、かつCN4からCN5b帯へのナノ化石層序を保持しており(NEDO, 1990)、マグマ溜りの天井が層序関係を保ったまま沈降したものと判断される。

後カルデラ期の堆積物は、厚さ数cm～数mで正(及び逆-正)級化構造の発達した中-粗粒砂岩・礫岩、カレントリップル葉理の発達した中-細粒砂岩、と植物化石に富む平行葉理の発達したシルト岩の互層からなる(Fig. 8)。砂岩・礫岩の単層の多くは下位層を削り込み、シルト岩の同時侵食礫を含んでいる。また、砂岩・シルト岩のほとんどは軽石片・火山ガラス片・結晶片で構成されている。この湖成堆積物の層厚は約100 mで、カルデラ充填火砕流堆積物を直接覆っている。さらにこの堆積物の上位の土湯峠の南には、層厚50 m以上の非溶結の火砕流堆積物が分布する。この火砕流は径5-8 mmの石英結晶に富む角閃石黒雲母流紋岩質で、岩質から吾妻火山北麓の鉢森山層(田宮ほか, 1970)の溶結した火砕流堆積物に対比される。この火砕流堆積物と横向層の湖成堆積物との被覆関係は露頭で確認できなかった

ので、両者の間に堆積間隙があるのかどうかはよく分からない。

本層には6個以上のドーム状の貫入岩体と小規模な岩脈が分布する。ドーム状の貫入岩体は斜方輝石単斜輝石デイサイトや斜方輝石単斜輝石安山岩からなり、岩体の最大径は約2 kmである。また、これらの岩体はカルデラの北西-北縁の内側に沿って分布している。カルデラの南部では無斑晶質安山岩の岩脈が数本カルデラ充填火砕流堆積物に貫入している。

形成年代

本層のカルデラ充填火砕流堆積物中のジルコンからは、後期中新世最末期-前期鮮新世最前期を示す 5.0 ± 0.5 Maのフィッシュン・トラック年代値が得られた(GSJ R60141)。この年代値は、当堆積物中の異質岩塊から得られた中期中新世を示す化石年代(CN5B帯の石灰質ナノ化石とN10-12帯の有孔虫化石; 鈴木ほか, 1986)よりも明らかに新しく、かつ、後カルデラ期のデイサイト貫入岩のK-Ar年代値(5.30 ± 0.42 Ma; NEDO, 1990; Table 1)とは誤差の範囲で一致する。火砕流堆積物と貫入岩の変質の程度は極めて低く、これら2つの値から本カルデラは後期中新世最末期の5.3-5.0 Maに形成されたものと判断される。また、横向層最上

部の火砕流堆積物に対比される鉢森山層の火砕流堆積物からは4.9-4.3 Maの黒雲母K-Ar年代値が報告されている(NEDO, 1987)。これらの値も基本的には横向層の形成年代と矛盾せず、後カルデラ期湖成堆積物の堆積直後に脊梁山地内のどこかで火砕流噴火が起きたことを示している。土湯峠付近の横向層からは2.67 Maや1.95 Maのフィッシュン・トラック年代値が報告されている(NEDO, 1990)、当地の岩石は温泉変質による粘土化を被っており、報告された値は若返り年代である公算が強い。

6. 上戸層

本層は、猪苗代東岸の中型カルデラ(径6.5 km以上; Fig. 1)を埋積するカルデラ充填火砕流堆積物とこれに貫入する後カルデラ期の貫入岩体からなる(Fig. 9)。当カルデラは川桁断層による変位を受け、その西半分が猪苗代湖に没している。模式地は福島県猪苗代町の上戸付近である。本層は北村ほか(1965)の上戸層に相当する。ただし、彼らの層序では上戸層が堀口層に整合で覆われることになっているが、本層はその東縁で、正断層によりカルデラ内に落ち込んだ堀口層の砂岩を不整合に覆っている(Fig. 10)。

岩相

本層のカルデラ充填火砕流堆積物は変質した輝石(?)デイサイト質の塊状火山礫凝灰岩・凝灰角礫岩からなり、地表に露出する限りで(下限上限不明)約250 mの層厚を持つ。この堆積物は大部分溶結しており、肉眼では径3-4 mmの石英結晶片が目立つ。含まれる異質岩片はシルト岩・花崗閃緑岩が多く、一部で流紋岩・凝灰岩・安山岩を伴う。その含有量は場所により様々で異質岩片をほとんど欠くものから、径10 m以上のシルト岩岩塊(堀口層由来)を含むものまで様々である。有色鉱物片は全て緑泥石で置換され、基質も再結晶し、緑泥石や緑れん石を生じている。本堆積物中には、輝石(?)デイサイトの岩脈が、カルデラの北-北東縁の内側数100 mに沿っていくつか貫入している。

形成年代

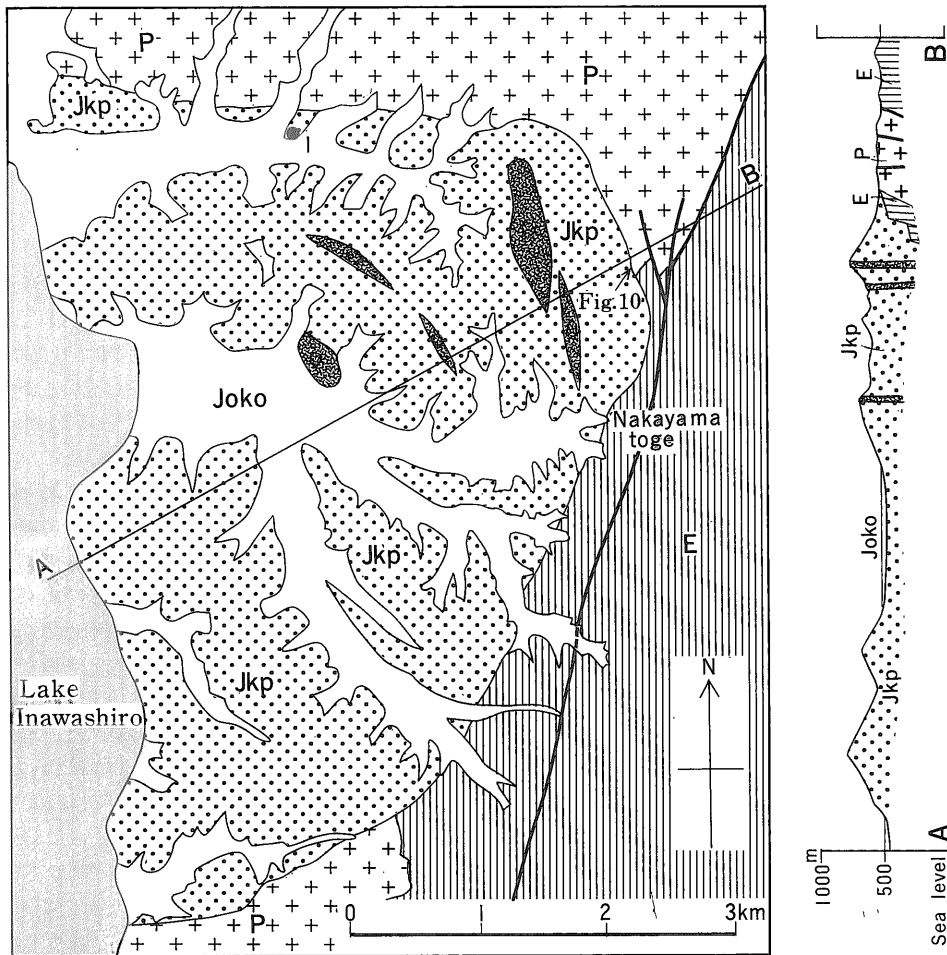
本層のカルデラ充填火砕流堆積物中のジルコンからは、前期鮮新世を示す 4.1 ± 0.5 Maのフィッシュン・トラック年代値が得られた(GSJ R60141; Table 1)。少なくともこの年代値は、本層が中期中新世の堀口層を不整合に覆う層序関係とは矛盾しない。ただし、分析試料は変質作用を被っており、得られた値がそのまま噴出年代を与えるわけではない。しかしながら、本層から他に有効な年代資料が得られていないので、今のと

ころこの値をもって本層の年代としておく。

7. 考察

猪苗代地域の後期中新世-鮮新世カルデラ火山は第四紀の吾妻・安達太良・磐梯・猫魔火山の間を埋めるように脊梁山地内の50×30 kmの範囲に密集して分布する(Fig. 1)。本報で記載した以外のものとしては、安達太良火山南麓の高玉カルデラ(阪口・関, 1990)と吾妻火山北麓の板谷カルデラ(仮称)がある。高玉カルデラは、カルデラ充填火砕流堆積物(深沢凝灰岩)とこれを覆う後カルデラ期湖成堆積物でほぼ水平に埋積された径12-13 kmの大型カルデラで、その形成時期は後カルデラ期溶岩の放射年代から9-8 Maとされている(Seki, 印刷中)。また、板谷カルデラは径が15 km以上で、基盤由来の岩塊に富む層厚400 m以上の珪長質凝灰角礫岩からなる大平層とこれを覆う湖成の板谷層により埋積されている(田宮ほか, 1970; 山形新生代研究グループ, 1979)。板谷層が陥没凹地を埋積したものであることは従来から指摘されており、岩相から大平層はカルデラ充填堆積物、板谷層は後カルデラ期堆積物と判断される。板谷層の放射年代値は8-7 Maである(NEDO, 1987)。

当地域の後期中新世-完新世火山の層序は、本報及び既報の放射年代値を基にFig. 11のようにまとめられる。カルデラ火山は10 Ma以降4 Maまで、ほぼ100万年間隔で6個が形成されている。カルデラ形成以前の中期中新世に当地域が海域であったことは、カルデラ内の岩屑なだれ堆積物中のシルト岩の存在が示唆している。木地小屋カルデラの形成年代10 Maは、これまでに東北本州弧から報告された中期中新世以降のカルデラの中で最も古い年代である(例えば伊藤ほか, 1989)。しかし、この年代は西方の会津盆地の海退期の堆積物塩坪層(鈴木, 1951)の堆積年代10-9 Maと重複しており、当時既に脊梁地域が陸化していたとして問題はない(山元, 1992)。猪苗代地域ではカルデラ火山群の活動は4 Maには終息し、3 Ma以降は後期鮮新世の笹森山安山岩(八島, 1990)や前期更新世の吾妻火山基底火山岩類(NEDO, 1991)のような輝石安山岩溶岩の卓越する活動が新たに始まった様に見える。ところが、猪苗代湖の南の会津カルデラ火山群では第四紀に入ってもその活動は活発で、七折坂層や白河層の前期更新世火砕流群をもたらしている(吉田・高橋, 1991; 山元, 1992)。従って、カルデラ火山活動の消長は火山群毎に異っており、島弧全体に認められるような広域的なイベントに対応しているわけではない。それぞれの地域での噴火史はローカルなマグマ供給サイクルの現れであろう。



EXPLANATION








- | | | | |
|---|---------------------------------------|---|--|
|  | Alluvium & colluvium |  | Early-middle Miocene formations |
| Joko Formation (~4.1 Ma) | |  | Pre-Neogene plutonic rocks & metamorphic rocks |
|  | Intrusive rocks |  | Fault |
|  | Intracaldera pyroclastic flow deposit |  | Locality of dated sample |

Fig. 9 Geologic map and geologic cross section of Joko caldera. See Fig. 1 for location of this map. No vertical exaggeration in the cross section.

本報で記載したカルデラ火山は、上戸カルデラを除き、現在堆積物で埋積された部分の水平径が10 km を越えている。従って、形成当時のカルデラの地形的な輪郭は、これよりも一回り大きかったことが予想される。カルデラの垂直陥没量は、試錐により地下構造がある程度明かな横向カルデラで2 km 程度である。また、木地小屋・大峠カルデラの場合も、地表露出部の層厚が600~700 m に達することから、これらの陥没量は1 km 程度以上はあったものと推定される。地表に露出する木地小屋層・大峠層のカルデラ充填火砕流の体積は60 km³ 程度であるが、削剝分と伏在分を考慮に入れると元のカルデラ充填部の体積は横向層のカルデラ充填火砕流と同様に100 km³ を越えていた公算が強い。上戸層についてはその西半分が猪苗代湖に没しているため、及び地表露出部の層厚が比較的薄いため、カルデラのサイズや火砕流の体積はよく分からない。

本地域でみられる径10 km 以上の大型カルデラは、そのサイズやカルデラ充填火砕流の体積の点で、いわゆるバイアス型の陥没カルデラ(例えば荒牧, 1983)に匹敵する。ただし、典型的なバイアス型カルデラを特徴付ける後カルデラ期の再生ドームや噴出中心の環状配列と言ったものは(たとえば Smith and Bailey, 1968), 本地域のカルデラ火山からは明瞭な形で見いだされていない。しかし、いずれのカルデラ火山でも後カルデラ期の貫入岩体のいくつかはカルデラ縁に沿って貫入しており、地下のマグマ供給火道群は地表のカルデラのサイズと同程度の水平的な広がりを持っていたことを示唆している。従って、火道群が地表のカルデラ形よりもかなり狭いダイアトリーム様の地下構造は考えにくい。また、カルデ

ラ底の基盤は、横向カルデラの場合、断層で階段状に内側に向かって落ち込んでおり、バイアス型の特徴とされるピストンシリンダー状の陥没とはやや異なるようにも見える。ところがバイアス型の代表とされる USA の Long Valley カルデラ (Bailey *et al.*, 1976) においても、最近の試錐データではカルデラ底が平坦ではなくかなり断層でブロック化していることが明らかにされており (Suemnicht and Varga, 1988), 未変形のカルデラ底の存在はかなり疑わしくなってきた。本地域のカルデラ火山同様の内部構造を持つカルデラ火山としては古第三紀の Bennet Lake カルデラ (Lambert, 1974)・Toquima カルデラ (Borden, 1986) 等が挙げられる。いずれのカルデラ火山も、カルデラ形成期の膨大な火砕流堆積物とカルデラ壁からの大規模な斜面崩壊堆積物で埋積されるものの、典型的なバイアス型カルデラの特徴を欠いている。

バイアス型の特徴とされた後カルデラ期の噴出中心の環状配列や再生ドームが明瞭に出現するためには、カルデラ形成後も相当量のマグマがカルデラ火山内に供給され続けなければならない。逆に言えば当地域のカルデラ火山群では、各カルデラ形成噴火後も十分な後カルデラ期火山活動を行えるだけの継続的なマグマの供給がなかったことを示しているのであろう。また、当地域でのカルデラの形成間隔がほぼ100万年とバイアス型が卓越する USA の San Juan カルデラ火山群 (Lipman, 1984) や Yellowstone カルデラ (Christiansen, 1983) のカルデラ形成噴火間隔よりも一桁長いことも、それだけ地殻内での珪長質マグマの生産率が低かったことを示している。ただし、高生産率下でバイアス型カルデラが形成される

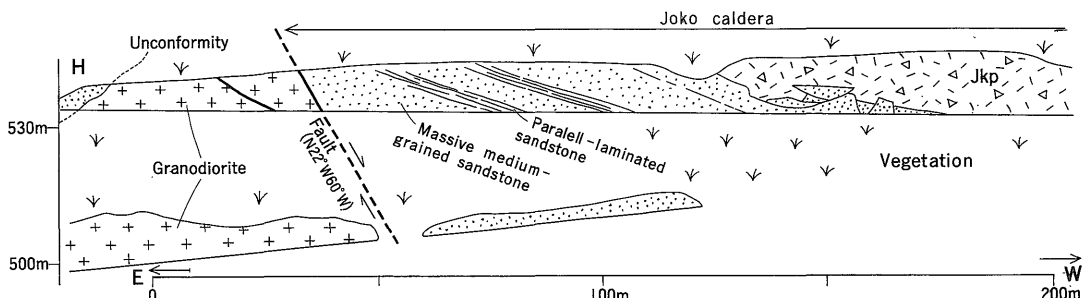


Fig. 10 Outcrop diagram showing collapse of a coherent sandstone mass of the middle Miocene Horiguchi Formation at the eastern margin of Joko caldera at Kurate, Koriyama City. This mass is directly covered by an intracaldera pyroclastic flow deposit (Jkp). Cretaceous granodiorite is unconformably overlaid with the Horiguchi Formation (H). Trend of the outcrop is east-west. See Fig. 9 for location of this outcrop.

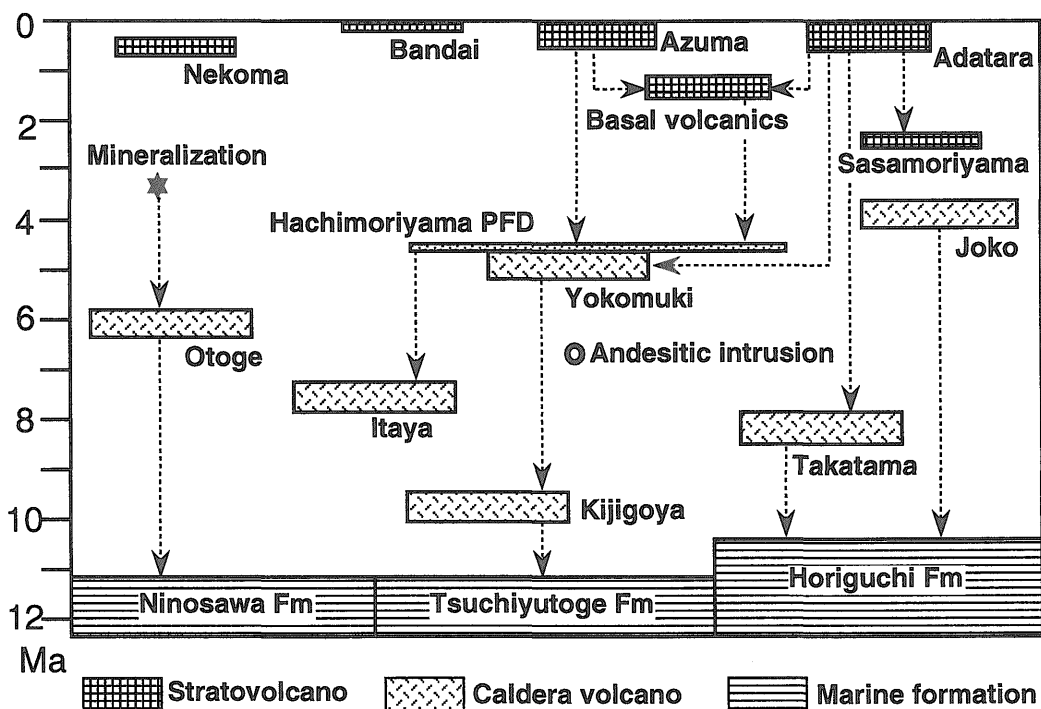


Fig. 11 Schematic representation of the stratigraphy of late Miocene to recent volcanoes in the Inawashiro volcanic field. Arrows indicate the confirmed stratigraphic relations in the field. Azuma basal volcanics: NEDO (1991); Sasamoriyama volcano: Yashima (1990); Hachimoriyama PFD (pyroclastic flow deposit): Tamiya *et al.* (1970) and NEDO (1987); andesitic intrusion: NEDO (1991); Itaya caldera: Tamiya *et al.* (1970) and NEDO (1987); Takatama caldera: Seki (in press).

かどうかには、地殻の破壊強度との関係も深くかかわっている。例えば、New Zealand の Taupo 火山群では地殻の薄化による破壊強度の低下のため、生産された珪長質マグマは直ちに噴出してしまい再生ドームは形成されない (Wilson *et al.*, 1984)。結局、Smith and Bailey (1968) が示したバイアス型カルデラの噴火・発達過程は、上部地殻のストーピングから密度の均衡による浅所マグマ溜りの形成へと推移する大規模珪長質マグマの上昇過程の地表表現そのものであり (Whitney and Stormer, 1986)、生産されたマグマと地殻の相互作用いかんで様々なパターンがあり得よう。大規模火砕流給源の陥没カルデラの分類にじょうご型・バイアス型といった二分法がどこまで有効かは、今後さらに事例を検討した上で再考される必要がある。

8. ま と め

東北本州弧南部の猪苗代地域には10-4 Ma の6つのカルデラ火山が存在する(古い順に木地小屋・高玉・板

谷・大峠・横向・上戸カルデラ火山)。各カルデラはカルデラ形成期の膨大な火砕流堆積物とカルデラ壁からの斜面崩壊堆積物で埋積されている。しかし、後カルデラ期の再生ドームや噴出中心の環状配列は顕著には認められない。カルデラ形成間隔は100万年と比較的長く、それだけ火山群下のマグマの供給率が低かったと考えられる。

謝辞：本報は5万分の1地質図幅「磐梯山」, 「喜多方」, 「玉庭」地域の調査研究の成果を取りまとめたものである。野外調査では地質部の三村弘二, 柳沢幸夫, 鉱物資源部の関陽児の各氏に御世話になった。また、地熱開発促進調査「猪苗代」で掘削された岩芯の観察では環境地質部(当時地殻熱部)の須藤茂氏に御世話になった。三村弘二氏と地殻熱部の阪口圭一氏には粗稿の不備を指摘して頂いた。以上の方々に感謝致します。

文 献

- 荒牧重雄(1983) 概説: カルデラ. 月刊地球, vol. 5, 64-72.
- Bailey, R. A., Dalrymple, G. B. and Lanphere, M. A. (1976) Volcanism, structure, and geochronology of Long Valley caldera, Mono Country, California. *J. Geophys. Res.*, vol. 81, p. 725-744.
- Boden, D. R. (1986) Eruptive history and structural development of the Toquima caldera complex, central Nevada. *Geol. Soc. Am. Bull.*, vol. 97, p. 61-74.
- Christiansen, R. L. (1983) Yellowstone magmatic evolution: Its bearing on understanding large-volume explosive volcanism. In *Explosive Volcanism: Inception, Evolution, and Hazard*. National Academy Press, Washington D. C., p. 84-95.
- 地質調査所(1975) 全国地熱基礎調査報告書, no. 13, 吾妻南部. 64p.
- Danhara, T., Kasuya, M., Iwano, H. and Yamashita, T. (1991) Fission-track age calibration using internal and external surfaces of zircon. *J. Geol. Soc. Jpn.*, vol. 97, p. 977-985.
- de Silva, S. L. (1989) Geochronology and stratigraphy of the ignimbrites from the 21°30'S to 23°30'S portion of the Central Andes of northern Chile. *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, vol. 37, p. 93-131.
- 藤田至則・萩原 茂・鈴木敬治・八島隆一・真鍋健一(1974) 新生代後期の造構力の場の復元. *海洋科学*, vol. 6, p. 24-29.
- 伊藤谷生・歌田 実・奥山俊一(1989) 東北日本脊梁地域に分布する中新世後期~鮮新世のカルデラ群について. *地質学論集*, no. 32, p. 409-429.
- 北村 信・鈴木敬治・小泉 格・小林良明・和久紀生・大山広喜・新妻信明・白田雅朗・小原繁夫(1965) 福島県5万分の1地質図幅, 猪苗代湖東方地域. 66p., 福島県.
- 小泉 格(1963) 猪苗代湖東南部地域の第三系. *地質雑*, vol. 69, p. 489-501.
- 小室裕明(1984) 福島県会津宮下地域における中~後期中新世の隆起運動と陥没構造. *地質雑*, vol. 90, p. 441-454.
- Lambert, M. B. (1974) The Bennet Lake Cauldron subsidence complex, British Columbia and Yukon Territory. *Geol. Surv. Can. Bull.*, no. 227, 213p.
- Lipman, P. W. (1976) Caldera-collapse breccias in the western San Juan Mountains, Colorado. *Geol. Soc. Am. Bull.*, vol. 87, p. 1397-1410.
- (1984) The roots of ash flow calderas in western North America: windows into the tops of granitic batholiths. *J. Geophys. Res.*, vol. 89, p. 8801-8841.
- 村岡洋文・山口 靖・長谷紘和(1991) 八甲田地熱地域で見出されたカルデラ群. *地調報告*, no. 275, p. 97-111.
- NEDO[新エネルギー・産業技術総合開発機構](1987) 地熱開発促進調査報告書, No.10, 吾妻北部地域. 846p.
- (1990) 地熱開発促進調査報告書, No. 21, 猪苗代地域. 1012p.
- (1991) 磐梯山地域火山地質図及び磐梯地域地熱地質編図, 同説明書.
- 西坂昌美・吉村尚久(1988) 米沢市南西部に分布する中新統大峠層のフィッシュントラック年代について. *地球科学*, vol. 42, p. 100-103.
- 岡田尚武(1981) 福島県北塩原地域. 土 隆一編: 日本の新第三系の生層序及び年代層序に関する基礎資料(続編), p. 76-77.
- 阪口圭一・関 陽児(1990) 郡山市北方, 高玉カルデラの地質. 地球惑星科学関連学会合同大会, 日本火山学会固有セッション講演予稿集, 1990年度春季大会, p. 72.
- 佐藤憲隆・高橋薫朗・柳沢昭二(1978) 八谷鉱山の地質鉱床および探鉱指針. *鉱山地質*, vol. 28, p. 177-190.
- Seki, Y.(印刷中) Geologic setting of the Takatama gold deposit, Japan: An example of caldera-related epithermal gold mineralization. *J. Soc. Resource Geol.*
- 鹿園直津(1985) 山形県八谷・大峠鉱床のK-Ar年代. *鉱山地質*, vol. 35, p. 205-209.
- Smith, R. L. and Bailey, R. A. (1968) Resurgent

- cauldrons. *Geol. Soc. Am. Mem.*, no. 116, p. 613-662. 80p.
- Suemnicht, G. A. and Varga, R. J. (1988) Basement structure and implications for hydrothermal circulation patterns in the western moat of Long Valley caldera, California. *J. Geophys. Res.*, vol. 93 (B11), p. 13191-13207.
- 須藤 茂(1987) 仙岩地熱地域の珪長質大規模火砕流堆積物—玉川溶結凝灰岩と古玉川溶結凝灰岩. 地調報告, no. 266, p. 77-142.
- 鈴木敬治(1951) 会津盆地西方地域の地質(I中央地区). 地質雑, vol. 57, p. 379-386, p. 449-456.
- (1964) 福島県5万分の1地質図幅会津地方, 会津地方. 57p., 福島県.
- ・吉村尚久・島津光夫・岡田尚武(1986) 北村 信編「新生代東北本州弧地質資料集」第3巻, 島弧横断ルートno. 27(佐渡・弥彦・津川-喜多方-吾妻山-福島), 地質図・地質横断図及び同説明書, 宝文堂.
- 田宮良一・伸保 恵・北 卓治・本田泰夫・加藤啓・佐藤康次郎・鈴木雅宏・高橋静夫・山田国洋・渡辺則道(1970) 5万分の1地質図幅「吾妻山-福島」, 山形県, 44p.
- 谷口洋文(1969) 八谷鉾山の地質鉾床, とくに金銀脈について. 鉾山地質, vol. 19, p. 113-121.
- 通商産業省(1969) 昭和42年度広域調査報告書. 山形吉野地域. 21p.
- Walker, G. P. L. (1985) Origin of coarse lithic breccias near ignimbrite source vents. *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, vol. 25, p. 157-171.
- Whitney, J. A. and Stormer, J. C., Jr. (1986) Model for the intrusion of batholiths associated with the eruption of large-volume ash-flow tuffs. *Science*, vol. 231, p. 483-485.
- Wilson, C. J. N., Rogan, A. M., Smith, I. E. M., Northey, D. J., Nairn, I. A., Houghton, B. F. (1984) Caldera volcanoes of the Taupo volcanic zone, New Zealand. *J. Geophys. Res.*, vol. 89(B10), p. 8463-8484.
- 山形新生代研究グループ(1979) 米沢盆地南西部における後期中新世板谷火山活動. 地質学論集, no. 16, p. 115-126.
- 山元孝広(1991) カルデラ陥没に伴う大規模斜面崩壊: 会津若松南方の後期中新世高川カルデラの内部構造. 火山, vol. 36, p. 1-10.
- (1992) 会津地域の後期中新世-更新世カルデラ火山群. 地質雑, vol. 98, p. 21-38.
- 八島隆一(1990) 東日本弧における鮮新世火山岩のK-Ar年代: 阿闍羅山安山岩, セッ森デイサイト, 笹森山安山岩. 地球化学, vol. 44, p. 150-153.
- 吉田英人・高橋正樹(1991) 白河火砕流東部地域の地質. 地質雑, vol. 97, p. 231-249.
- 吉村尚久・足立久男・小坂共栄・中村庄八・野村哲(1991) フォッサマグナ地域の新第三紀後期の火山活動. 地研専報, no. 38, p. 149-158.
- 伸保 恵・田宮良一・鈴木雅宏・北 卓治・大丸広一郎・本田泰夫・加藤 啓・北崎 明・清水貞雄・佐藤康次郎・玉ノ井正俊・高橋静夫・山田国洋・渡辺則道(1970) 5万分の1地質図幅「米沢-関」, 山形県, 39p.

(受付: 1993年9月3日; 受理: 1993年12月22日)

付 録: 測年試料と測年結果

GSJ R60140: 福島県猪苗代町壺揚. 37°30'8"N, 140°10'18"E, 560 m (Fig. 9の1).

デイサイト質溶結凝灰岩(上戸層カルデラ充填火砕流堆積物). 斜長石(<2.0 mm)・石英(<4.0 mm)・苦鉄質鉍物(<0.6 mm)の結晶片と軽石片からなる. 基質及び軽石片は完全に再結晶しており, 緑泥石と方解石を生じている. 苦鉄質鉍物は全て緑

泥石で置換されている.

GSJ R60141: 福島県猪苗代町沼尻駅前. 37°37'41"N, 140°12'26"E, 800 m (Fig. 7の2).

デイサイト質火山礫凝灰岩(横間層カルデラ充填火砕流堆積物). 斜長石(<1.2 mm)・石英(<1.0 mm)・鉄鉍の結晶片と火山ガラス・軽石片からな

り, ごく少量の黒雲母結晶片を含む。薄片内には異質岩片は存在しない。変質の程度は極めて弱く, 基質の火山ガラス片の一部が沸石化しているのみである。

GSJ R60142 : 福島県猪苗代町田茂沢.
37°37'59"N, 140°8'56"E, 710 m (Fig. 2 の10).

デイサイト質溶結凝灰岩(木地小屋層カルデラ充填火砕流堆積物)。斜長石(<2.0 mm)・石英(<3.5 mm)・輝石(<1.6 mm)・鉄鉱の結晶片と火山ガラス・軽石片からなる。ユータキシティック組織を示し, 脱ガラス化作用を受けている。花崗岩の異質岩片をわずかに含む。輝石のほとんどが緑泥石で置換されている。

GSJ R60261 : 福島県北塩原村松原。

37°44'32"N, 140°0'2"E, 1110 m (Fig. 5 の6)。

デイサイト質溶結凝灰岩(大峠層カルデラ充填火砕流堆積物)。斜長石(<3.4 mm)・石英(<4.0 mm)・黒雲母(<1.2 mm)・角閃石(<0.8 mm)・斜方輝石(<0.5 mm)・鉄鉱の結晶片と火山ガラス・軽石片からなる。ユータキシティック組織を示し, わずかに脱ガラス化作用を受けている。鏡下での変質は認められない。

ジルコンのフィッシュントラック年代(Table A1)は京都フィッシュントラック社に依頼し, ED2法(Danhara *et al.*, 1991)により測定された。K-Ar 測年試料は, #32-60サイズに粉碎後, 可能な限り粗粒結晶(主に石英と斜長石)を除去したものを分析に用いた。K-Ar 年代(Table A2)の測定は Teledyne Isotopes 社に依頼した。

Table A1 Result of fission track ages

Unit/ [Site] Sample	Mineral/ Number of grains	Spontaneous ρ_s ($10^5/cm^2$)	Induced ρ_i ($10^6/cm^2$)	Dosimeter ρ_d ($10^4/cm^2$)	Φ_{th} ($10^{14}/cm^2$)	r	U (ppm)	Age $\pm 1\sigma$ (Ma)
Joko Formation [1]								
Intracaldera pyroclastic flow deposit								
GSJ R60140	zircon 30	1.70 [81]	1.29 [615]	8.47 [1254]	5.27	0.221	123	4.1 \pm 0.5
Yokomuki Formation [2]								
Intracaldera pyroclastic flow deposit								
GSJ R60141	zircon 30	2.11 [110]	1.34 [697]	8.49 [1256]	5.28	0.411	126	5.0 \pm 0.5
Kijigoya Formation [10]								
Intracaldera pyroclastic flow deposit								
GSJ R60142	zircon 30	1.06 [74]	6.04 [420]	8.50 [1258]	5.29	0.500	57	5.5 \pm 0.7

- (1) ρ and N are density and total number of fission tracks counted respectively.
- (2) All analyses by external detector method using 0.5 for $2\pi/4\pi$ and 1 for $2\pi/4\pi$ geometry correlation factor.
- (3) Φ_{th} is thermal neutron dose.
- (4) Age calculated using dosimeter glass SRM612 and $\zeta = 371\pm 6$.
- (5) r is correlation coefficient between ρ_s and ρ_i .
- (6) U is uranium content.

Table A2 Result of K-Ar age

Unit/ [Site] Sample	Rock	Material	Age (Ma)	$^{40}Ar^*$ ($10^{-5}cc/gm$)	$^{40}Ar^*$ (%)	K (%)
Otoge Formation [6]						
Intracaldera pyroclastic flow deposit						
			Av. 3.3 \pm 0.7			
GSJ R60261	Cpx-Hb-Bt	gm	3.3 \pm 0.9	0.020	9.6	1.55
	ryholite welded tuff		3.3 \pm 1.1	0.020	8.4	1.55

$$\lambda\beta=4.962\times 10^{-10}/y, \lambda\epsilon=0.581\times 10^{-10}/y, ^{40}K/K=1.167\times 10^{-2}atm\%$$