

福島-栃木地域に分布する30-10万年前のプリニー式降下火砕物： 沼沢・燧ヶ岳・鬼怒沼・砂子原火山を給源とするテフラ群の層序

山元孝広*

Takahiro YAMAMOTO (1999) Plinian fall deposits in the Fukushima-Tochigi area during 0.3-0.1 Ma: stratigraphy of marker tephra layers erupting from Numazawa, Hiuchigatake, Kinunuma, and Sunagohara volcanoes. *Bull. Geol. Surv. Japan*, vol. 50 (12), p.743-767, 15 figs., 4 tables.

Abstract: This paper presents the stratigraphy, characteristics, distributions, and eruptive ages of marker tephra layers in the Fukushima-Tochigi area from 0.3 till 0.1 Ma. The Nikkō-Mamiana tephra consists of scoria fall deposits (ca. 9 km³ in volume), erupting from the Nikkō volcano group at about 0.10 Ma. The Numazawa-Shibahara tephra is made up of pumice fall deposits (ca. 4 km³ in volume), erupting from Numazawa volcano at about 0.11 Ma. The Hiuchigatake-Nanairi tephra is composed of pumice fall deposits (ca. 7 km³ in volume) and pyroclastic flow deposits (ca. 1 km³ in volume), erupting from Hiuchigatake volcano at 0.16-0.17 Ma. The Kinunuma-Kurodahara tephra consists of pumice fall deposits (ca. 5 km³ in volume) and mostly-welded pyroclastic flow deposits (less than 1 km³ in volume), erupting from Kinunuma monogenetic volcano at 0.20-0.24 Ma. The Sunagohara-Kubota tephra is made up of pumice fall deposits (ca. 4 km³ in volume) and pyroclastic flow deposits (more than 2 km³ in volume), erupting from Sunagohara caldera at about 0.22 Ma. Synchronized occurrences of Numazawa volcano and Sunagohara caldera in the Aizu district and Hiuchigatake and Kinunuma volcanoes in the Oze region suggest the volcanic fields in the southern part of the NE Honshu arc have expanded toward the back-arc side simultaneously since 0.30 Ma.

要 旨

本報告では、東北本州弧南部の福島-栃木県に分布する約30-10万年前のテフラ、すなわち日光-満美穴テフラ・沼沢-芝原テフラ・燧ヶ岳-七入テフラ・鬼怒沼-黒田原テフラ・砂子原-久保田テフラ・高杖テフラの層序学的位置と記載岩石学的な特徴を新たに記載するとともに、これらの噴火年代を再検討した。日光-満美穴テフラは約10万年前に日光火山群から噴出した体積約9 km³の降下火砕堆積物、沼沢-芝原テフラは約11万年前に沼沢火山から噴出した体積約4 km³の降下火砕堆積物、燧ヶ岳-七入テフラは約16-17万年前に燧ヶ岳火山から噴出した体積約7 km³の降下火砕堆積物と約1 km³の火砕流堆積物、鬼怒沼-黒田原テフラは約20-24万年前に鬼怒沼火山から噴出した体積約5 km³の降下火砕堆積物と約1 km³の火砕流堆積物、砂子原-久保田テフラは約22万年前に砂子原カルデラから噴出した体積約4 km³の降下火砕堆積物と約2 km³以上の火砕流堆積物からなる。会津地域での沼沢火山・砂子原カルデラと尾瀬地域での鬼怒沼・燧ヶ岳火山の出現は、約30万年前以降に両地域で相前後しながら火山活動域が背弧側に拡大したことを示している。

1. はじめに

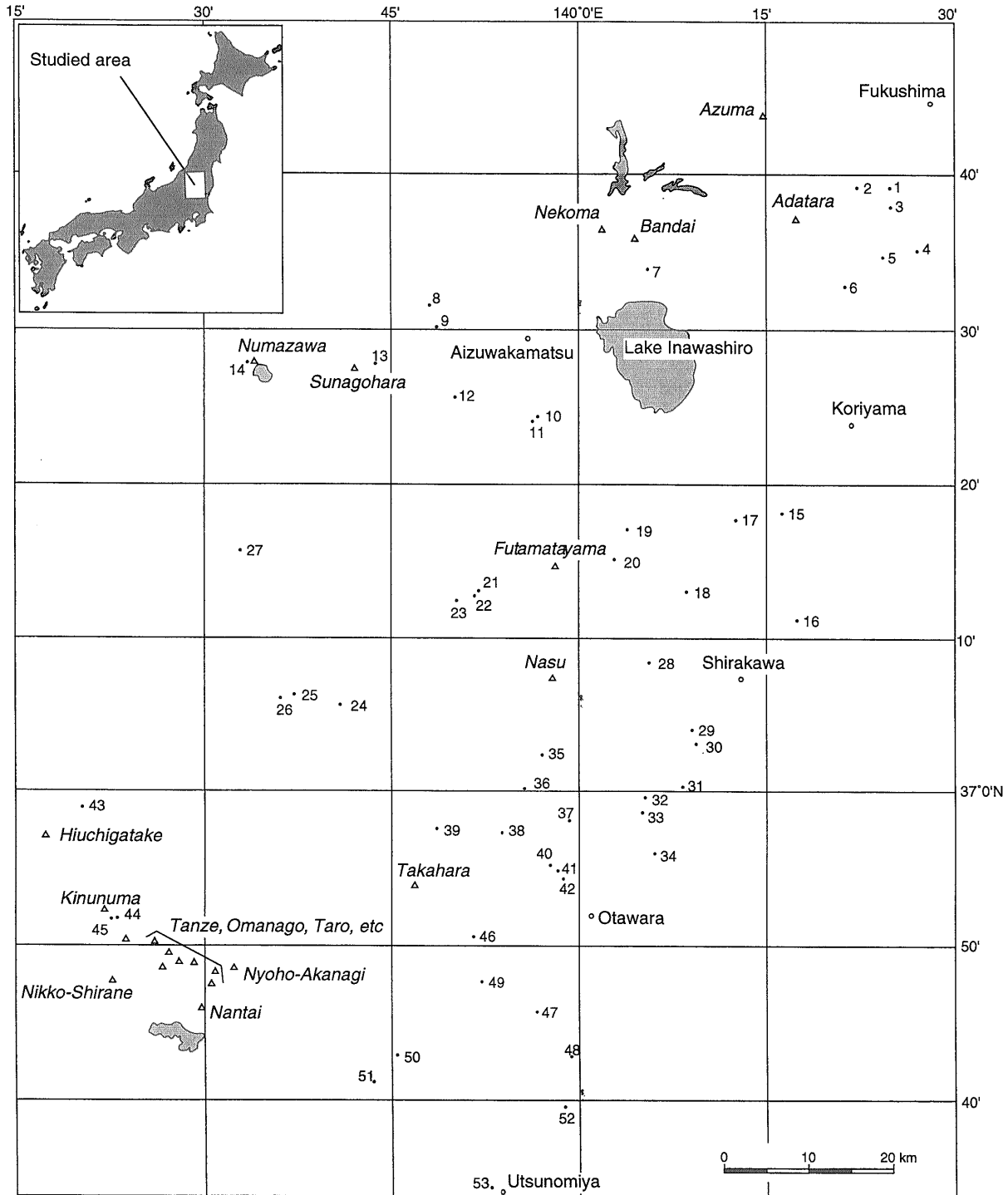
爆発的噴火で生産された火砕物 (=テフラ) の層序学的研究は、火山の噴火史や噴火様式を解明する上で有効であるだけではなく、日本列島の各地に分布する第四系の編年に重要な指標を与えてきた。これまでに記載されたテフラの数は膨大で、完新世-後期更新世のテフラについてはかなりのものが既に明らかにされている (例えば町田・新井, 1992)。一方、中期更新世以前のテフラについては、堆積物の分布に限られることもあり、まだまだ資料に乏しいのが現状である。特に、東北地方では火山の南北配列と卓越する西風のため、個々のテフラの分布が重ならないことが多く、地域毎に独立したテフラ層序を確立する必要がある。中期更新世以前のテフラの研究は一部地域を除くとあまり進んでいない。しかし、中期更新世まで遡ったテフラ層序の研究は、活動期間が数万年から数十万年にわたる火山の噴火史の全貌を効率よく復元する方法である。さらに、研究地域を広く設定すれば、地域全体の火山活動場の変遷状況がこれまで以上に明らかになると期待される。

Keywords: tephrostratigraphy, Numazawa volcano, Hiuchigatake volcano, Kinunuma volcano, Sunagohara caldera, Pleistocene

*地質部 (Geology Department, GSJ)

本報告は東北本州弧南部の福島-栃木県 (Fig. 1, Table 1) に分布する約30-10万年前の間に噴出したテフラの層序に関する研究を取りまとめたものである。福島県白河市-栃木県宇都宮市間に分布するテフラ群については村本 (1992), 鈴木 (1992; 1993) の詳細な層序学的研究があり (Table 2), 火山フロント沿いの那須火山群・

高原火山・日光火山群起源のテフラについてはその分布・体積が明らかにされている。本研究では調査対象地域を従来の研究よりもさらに広げることにより, これら3火山以外の背弧側火山から噴出し, これまで給源不明とされていたいくつかのプリニー式降下テフラを記載する。卓越風の風上側にある背弧側火山のテフラ層序を確立し



第1図 露頭位置図。

数字は露頭番号を, 三角形は第四紀火山の山頂位置を示す。

Fig. 1. Index map of outcrops. Numerals are locality numbers for outcrops. Triangles are the summits of the Quarternary volcanoes.

第1表 露頭の位置.

Table 1. List of positions for outcrops.

No.		Longitude, E	Latitude, N	No.		Longitude, E	Latitude, N
1	福島市水原	140° 24' 5"	37° 39' 13"	28	西郷村真船	140° 5' 37"	37° 8' 28"
2	福島市笹平	140° 22' 39"	37° 39' 16"	29	那須町矢の目ダム	140° 9' 4"	37° 4' 9"
3	安達町山入ダム	140° 24' 14"	37° 37' 36"	30	那須町豊原	140° 9' 24"	37° 3' 11"
4	二本松市上竹	140° 27' 15"	37° 35' 7"	31	那須町塩阿久津	140° 8' 20"	37° 0' 25"
5	二本松市原七笠張	140° 23' 23"	37° 34' 28"	32	那須町高久	140° 5' 21"	36° 59' 41"
6	大玉村中谷地	140° 21' 35"	37° 32' 47"	33	那須町芦の又	140° 4' 58"	36° 58' 41"
7	猪苗代町諏訪前	140° 5' 46"	37° 33' 44"	34	黒磯市樋沢	140° 5' 58"	36° 56' 3"
8	新鶴村田沢	139° 47' 54"	37° 31' 30"	35	黒磯市油井	139° 56' 44"	37° 2' 36"
9	新鶴村佐賀瀬川	139° 48' 46"	37° 30' 9"	36	黒磯市鳴内	139° 55' 40"	37° 0' 12"
10	会津若松市南原	139° 56' 32"	37° 24' 17"	37	黒磯市戸室山	139° 59' 19"	36° 57' 51"
11	会津若松市南原	139° 56' 12"	37° 24' 9"	38	塩原町京町	139° 53' 48"	36° 57' 3"
12	会津高田町旭三寄	139° 50' 8"	37° 25' 43"	39	塩原町上の原	139° 48' 35"	36° 57' 32"
13	柳津町松が下	139° 43' 40"	37° 27' 49"	40	塩原町接骨木	139° 57' 42"	36° 55' 8"
14	金山町木冷沢	139° 33' 2"	37° 27' 51"	41	塩原町接骨木	139° 58' 10"	36° 54' 50"
15	岩瀬村深渡戸	140° 16' 3"	37° 18' 10"	42	西那須野町東赤田	139° 58' 32"	36° 54' 27"
16	泉崎村踏瀬	140° 17' 22"	37° 11' 7"	43	松枝岐村七入	139° 20' 25"	36° 58' 55"
17	長沼町長沼	140° 12' 26"	37° 17' 50"	44	栗山村ヒナタオソロシノ滝	139° 22' 58"	36° 51' 40"
18	大信村大信牧場	140° 8' 39"	37° 13' 9"	45	栗山村鬼怒沼	139° 22' 37"	36° 51' 37"
19	天栄村羽鳥	140° 3' 55"	37° 17' 6"	46	矢板市弓張	139° 51' 17"	36° 50' 40"
20	天栄村白河布引山	140° 2' 48"	37° 15' 1"	47	矢板市片岡	139° 57' 25"	36° 45' 18"
21	下郷町鶴ヶ池	139° 52' 3"	37° 13' 2"	48	喜連川市早乙女	139° 58' 41"	36° 43' 18"
22	下郷町山崎	139° 51' 43"	37° 12' 40"	49	塩谷町高原牧場	139° 52' 10"	36° 47' 43"
23	田島町長野	139° 50' 0"	37° 12' 40"	50	今市市薄井沢	139° 45' 18"	36° 42' 55"
24	田島町中山峠	139° 40' 51"	37° 5' 37"	51	今市市明神	139° 42' 32"	36° 41' 21"
25	舘岩村高杖スキー場	139° 37' 18"	37° 6' 16"	52	氏家町上阿久津	139° 58' 8"	36° 39' 6"
26	舘岩村白樺牧場	139° 36' 6"	37° 5' 56"	53	宇都宮市中戸祭町	139° 52' 45"	36° 34' 48"
27	南郷村南郷スキー場	139° 33' 12"	37° 15' 33"				

ておくことは、研究の効率からみてもまず最初に行われるべきことであろう。また、当地域のテフラ群の噴出年代については、鈴木ほか (1998) の放射年代値測定により、従来の研究を大きく見直す必要があることが示されている。本報告でもこれまで年代が明らかではなかった2つの岩体の放射年代測定を行い、この点を再検討する。

本研究で記載する主なテフラは、日光-満美穴テフラ・沼沢-芝原テフラ・燧ヶ岳-七入テフラ・鬼怒沼-黒田原テフラ・砂子原-久保田テフラ・高杖テフラの6つである。これらのテフラの存在自体は以前から知られていたものであるが、今回の研究により更に詳細な分布・層準・岩質が明らかになり (Fig. 2, Table 3), 高杖テフラを除くものの給源・体積・噴火年代を決めることが出来るようになった。また、対比のもとになった御岳第1テフラと阿蘇4テフラの記載については付録に示した。本報で用いるテフラの略号は、Table 2 に示している。プリニー式降下堆積物の体積については、堆積物の層厚と等層厚線が囲む面積の関係から決まる Hayakawa (1985) の経験式を用いた。降下堆積物の分布状況からその体積を見積もるためには、堆積物の粒度特性や薄化の程度の違いも考慮に入れる必要があり、この点を考慮しない Hayakawa (1985) の方法には問題がある (Pyle, 1989)。しかし、本報で取り扱う中期更新世のテフラは露頭が限られ決定される等層厚線が少ないこと、見つかった露頭

も堆積物の粗粒部分に限られ細粒部分の分布が決まらないこと、堆積物中の火山ガラスは一部粘土化しており粒度組成が正しく測定できないことなど、厳密な体積見積もりを適用するには無理が多い。簡便に体積の目安を与えるのであれば、Hayakawa (1985) の経験式でも十分であろう。

2. 日光-満美穴テフラ (Nk-MA)

2.1 給源火山の概略

日光火山群は、日光市付近の栃木県北西部から栃木-群馬県境付近にかけての地域に分布する第四紀火山群の総称である (山崎, 1958; 佐々木, 1994)。日光火山群は、まず東部で50万年前頃から女峰赤薙成層火山の活動が始まり、次に噴出中心が西方に移動して丹勢・大真名子・小真名子・太郎・山王帽子などの溶岩ドーム群が形成され、その後の約2.5万年前以降に男体・三ツ岳・日光白根の諸火山が噴出した (佐々木, 1994)。女峰赤薙火山に続く溶岩ドーム群の活動時期は特定されていないものの、日光火山群の東山麓には約8万年前よりも古い多数の降下火砕堆積物が分布することがこれまでの研究で明らかにされている (村本, 1992; 鈴木, 1993; 鈴木ほか, 1994)。

第2表 調査地域におけるテフラの一覧。

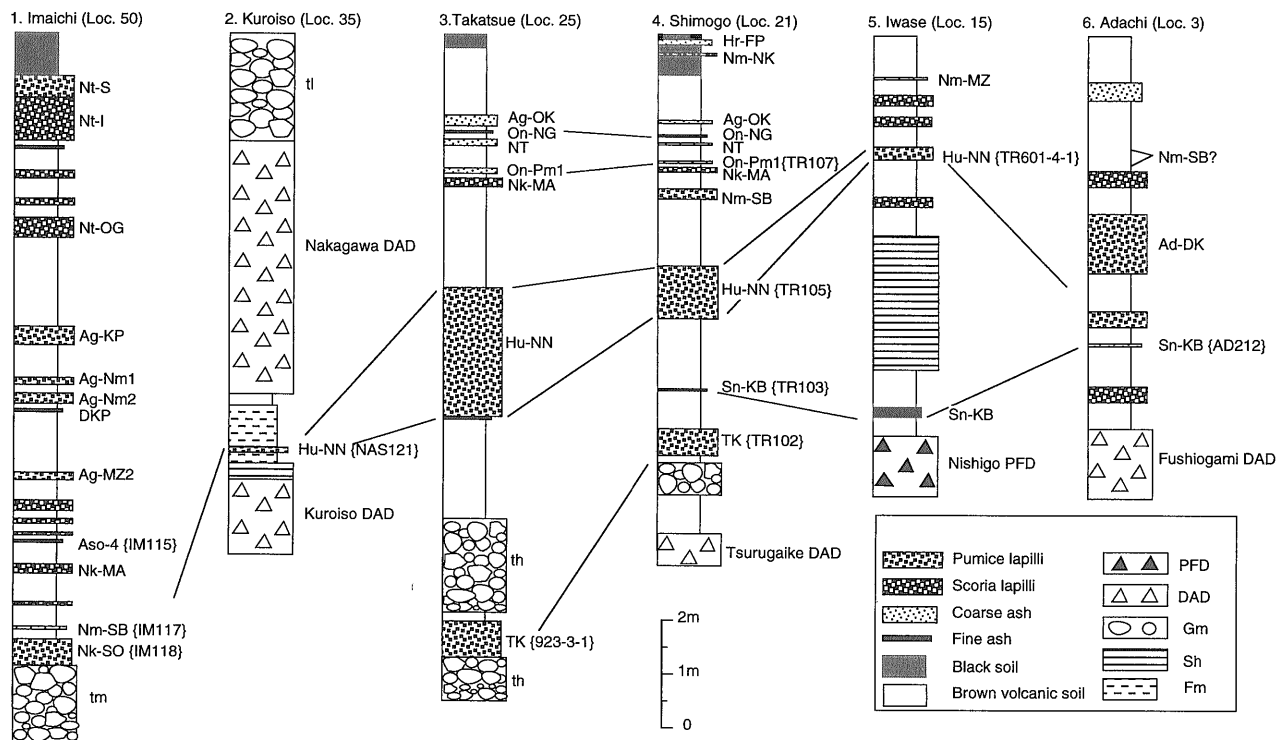
Table 2. List of Middle Pleistocene to Holocene tephra layers in the studied area.

Tephra	Name		Age	Reference
Hr-FP	Haruna-Futatudake Ikaho	榛名-二ツ岳伊香保	1.4 ka	Machida & Arai (1992)
Nm-NK	Numazawa-Numazawako	沼沢-沼沢湖	5.0 ka	Yamamoto (1995)
Nt-S	Nantai-Shichihonzakura	男体-七本桜	12-13 ka	Machida & Arai (1992)
Nt-I	Nantai-Imaichi	男体-今市	12-13 ka	Machida & Arai (1992)
Nt-OG	Nantai-Ogawa	男体-小川		Machida & Arai (1992)
Ag-KP	Akagi-Kanuma	赤城-鹿沼	31-32ka	Suzuki (1990)
Ag-NM1	Akagi-Namekawa 1	赤城-行川第1		Suzuki (1990)
Ag-NM2	Akagi-Namekawa 2	赤城-行川第2		Suzuki (1990)
DKP	Disen-Kurayoshi	大山-倉吉	ca. 50 ka	Machida & Arai (1992)
Nm-MZ	Numazawa-Mizunuma	沼沢-水沼	51±14 ka	Yamamoto (1995)
Ag-MZ2	Akagi-Mizunuma 2	赤城-水沼第2		Suzuki (1990)
Ag-OK	Akagi-Okkai	赤城-追貝		Suzuki et al (1995)
On-NG	Ontake-Nagawa	御岳-奈川		Suzuki et al (1995)
NT	Nakayamatoge	中山峠		Yamamoto (1999)
Aso4	Aso 4	阿蘇4	ca. 90 ka	Machida & Arai (1992)
On-Pm1	Ontake 1	御岳第1		Machida & Arai (1992)
Nk-MA	Nikko-Mamiana	日光-満美穴		Suzuki (1993)
Nm-SB	Numazawa-Shibahara	沼沢-芝原	110±20 ka	Suzuki (1992), Suzuki et al (1998)
Nk-SO	Nikko-So-otome	日光-早乙女		Suzuki (1993)
Kt	Kita-akata	北赤田		Suzuki (1992)
Ad-DK	Adatara-dake	安達太良-岳		Machida & Arai (1992)
TgP	Tagashira	田頭	135-125 ka	Suzuki (1992), Suzuki (1999)
NsP	Nasuno	那須野		Suzuki (1992)
Ns-SR3	Nasu-Shirakawa 3	那須-白河第3		Suzuki (1992)
Ub	Ubasawakita	伯母沢北		Suzuki (1992)
Ns-SR6	Nasu-Shirakawa 6	那須-白河第6		Suzuki (1992)
Ns-SR7	Nasu-Shirakawa 7	那須-白河第7		Suzuki (1992)
Si1	Shiobara 1	塩原第1		Suzuki (1993)
OrP	Origuchihara	折口原		Suzuki (1992)
Ns-SR8	Nasu-Shirakawa 8	那須-白河第8		Suzuki (1992)
Ns-SR9	Nasu-Shirakawa 9	那須-白河第9		Suzuki (1992)
Ns-SR10	Nasu-Shirakawa 10	那須-白河第10		Suzuki (1992)
Si2	Shiobara 2	塩原第2		Suzuki (1993)
Si3	Shiobara 3	塩原第3		Suzuki (1993)
Hu-NN	Hiuchi-Nanairi	燧ヶ岳-七入		Watanabe (1989), Yamamoto (1999)
Ns-SR11	Nasu-Shirakawa 11	那須-白河第11		Suzuki (1992)
Ns-SR12	Nasu-Shirakawa 12	那須-白河第12		Suzuki (1992)
Sn-KB	Sunagohara-Kubota	砂子原-久保田	0.22±0.05 Ma	Yamamoto & Suto (1996)
Kn-KD	Kinunuma-Kurodahara	鬼怒沼-黒田原	0.20-0.24 Ma	Suzuki (1993), this study
TK	Takatsue	高杖		Yamamoto (1999)
Sn-SK	Sunagohara-Sakasegawa	砂子原-佐賀瀬川	0.29±0.06Ma	Yamamoto & Suto (1996)

2.2 テフラの岩相と分布

本テフラは、阿久津(1957)・村本(1992)・鈴木(1993)の満美穴スコリアで、これまでに見つかった日光-火山群起源のテフラの中で最大規模のものである。従来は宇都宮市から白河市にかけての地域で分布が記載されていたが、今回の調査では本テフラとみられる降下堆積物が福島県南会津地域の山間部にも広く分布することが明らか

になった(Fig. 3)。本テフラは降下火砕堆積物からなり、この噴火に伴う火砕流堆積物や溶岩の存在は確認されていない。鏡下では、斑晶鉱物として斜長石・斜方輝石・単斜輝石・鉄鉱が認められる(Table 3)。分布主軸に近い塩野町高原牧場(Loc. 49)では、全層厚78cmで複数のユニットから構成されている。ユニット毎に下位から、厚さ17cmで最大平均粒径2.3cmの発泡の良いオレ



第2図 調査地域における露頭柱状図。

PFD=火砕流堆積物；DAD=岩屑なだれ堆積物；Gm=塊状礫；Sh=平行層理を持つ砂；Fm=塊状泥；tl=低位段丘堆積物；tm=中位段丘堆積物；{ }=試料番号。

Fig. 2. Tephrostratigraphic sections through the studied area. PFD=pyroclastic flow deposits; DAD=debris avalanche deposits; Gm=massive gravel; Sh=horizontal-bedded sand; Fm=massive mud; tl=lower terrace deposits; tm=middle terrace deposits; { }=sample number.

ンジ色スコリア火山礫, 層厚25cm でやや発泡の良い赤褐色スコリア火山礫, 層厚21cm で発泡のやや悪い暗褐色スコリア細粒火山礫, 層厚15cm の成層した極粗粒一中粒砂サイズの火山灰からなる。一方, 分布の北限に近い館岩村高杖スキー場 (Loc. 25; Fig. 2) では全層厚16cm で, 発泡の良いオレンジ色スコリア火山礫からなる下部 (層厚5cm) と, 最大平均粒径1.4cm で発泡のやや良い赤褐色スコリア火山礫からなる上部 (層厚11cm) からなる。また, 天栄村羽鳥 (Loc. 19) では, 全層厚10cm で, 最大平均粒径1.5cm で発泡のやや良い赤褐色スコリア火山礫からなる下部 (層厚6cm) と, 粒径4-5mm で発泡のやや悪い暗褐色スコリア細粒火山礫からなる上部 (層厚4cm) からなる。これらの降下スコリア堆積物が同一層準にあることは, 間に数cm から約20cm 厚の火山灰土を挟んでその上位に御岳第1テフラが見つかること, 本テフラの下位には沼沢-芝原テフラがあることから確実である。

2.3 テフラの体積

降下堆積物の128-64-32-16cm 等層厚線と面積の関係 (Fig. 4) から見積もった見かけ体積は, 約9 km³である。これまで村本 (1992)・鈴木 (1993) は同じ手法で本降下

堆積物の見かけ体積を約5 km³としていた。この値の違いは, 今回の調査によってテフラの分布範囲が福島県会津地方側に大きく広がったことによるものである。本テフラの見かけ体積は, 日光火山群起源の主要なテフラである1.2-1.3万年前の男体-七本桜・今市テフラ (約6 km³), 約12万年前の日光-早乙女テフラ (約3 km³; Fig. 2 のNk-SO) を越えており (村本, 1992; 鈴木, 1993), 本火山群では最大規模のものである。

2.4 テフラの層序関係と噴火年代

本テフラからは放射年代値が報告されていないものの, 御岳第1テフラ (約11-9万年前; 松本・宇井, 1998) と近い位置にあり, これとほぼ同時期に噴火したことは確実である。本テフラの給源火山は, 阿久津 (1957) によりその分布から女峰赤燄火山とされて以降, この考えは村本 (1992)・鈴木 (1993) でも踏襲されていた。しかし, 佐々木 (1994) も指摘したように50-40万年前を示す女峰赤燄火山噴出物の放射年代値と満美穴テフラの層序学的な噴火年代とは大きく食い違っており, このテフラが女峰赤燄火山起源であるとする考えには疑問がある。一方, 本テフラの給源が日光火山群の中にあることは降下火砕堆積物の等層厚線図から確実であるが (Fig. 3), その中

第3表 指標テフラの特徴。

Cpx=単斜輝石; *Opx*=斜方輝石, *Hb*=普通角閃石; *Bt*=黒雲母; *Cum*=カミングトン閃石; *Qz*=石英; []=微量成分; *a*=山元・須藤(1996); *b*=山元(1999)。

Table 3. Characteristics of Middle to Late Pleistocene marker tephra layers in the studied area. *Cpx*=clinopyroxene; *Opx*=orthopyroxene, *Hb*=hornblende; *Bt*=biotite; *Cum*=cummingtonite; *Qz*=quartz; []=minor component; *a*=Yamamoto & Suto (1996); *b*=Yamamoto (1999).

Unit	Sample	Loc.	Mineral composition	Refractive index mode				Ref.
				Glass (n)	Opx (γ)	Hb (n2)	Cum (n2)	
Aso4	IM115	50	Opx, Hb > Cpx	1.505-1.509 (100%)	1.698-1.702 (70%)	1.689-1.694 (60%)		
On-Pm1	TR107	21	Bt > Hb, Opx, Cpx; [Qz]	1.498-1.501 (60%)	1.701-1.708 (70%)	1.683-1.689 (60%)	b	
On-Pm1	NAS107	30	Bt > Opx, Hb, Cpx	1.501-1.502 (80%)	1.704-1.710 (70%)	1.681-1.689 (80%)		
Nk-MA	NAS108	30	Opx > Cpx		1.702-1.707 (60%)			
Nm-SB	AM102	12	Hb > Bt, [Cum]; Qz	1.496-1.498 (90%)		1.681-1.687 (70%) 1.674-1.676 (10%)		
Nm-SB	KM101	11	Bt > Hb, [Cum]; Qz	1.496-1.497 (70%)		1.682-1.685 (30%) 1.673-1.675 (20%)	[1.661-1.665 (70%)]	
Nm-SB	Ht106	19	Bt > Hb; Qz	1.497-1.498 (60%)		1.680-1.689 (60%) 1.673-1.676 (30%)	b	
Nm-SB	NAS105	31	Hb > Bt, [Cum, Opx, Cpx]; Qz	1.496-1.498 (70%)	[1.703-1.708 (70%)]	1.675-1.687 (100%)		
Nm-SB	IM117	50	Hb > Bt, [Opx, Cpx]; Qz	1.499-1.502 (100%)	[1.708-1.711 (70%)]	1.678-1.692 (90%)		
Nk-SO	IM118	50	Opx > Hb	1.502, 1.511	1.706-1.709 (70%)	1.677-1.681 (40%)		
TgP	NAS104	31	Opx > Bt, Cpx, [Hb]; Qz	1.496-1.499 (90%)	1.710-1.715 (60%)	[1.675-1.682 (80%)]		
NsP	NAS103	31	Hb > Opx, [Bt, Cum]; Qz	1.499-1.501 (80%)	1.710-1.713 (90%)	1.675-1.677 (60%)		
OrP	604-2-1	31	Opx > Cpx, [Hb]		1.702-1.708 (90%)			
Hu-NN	HwNN	43	Opx	1.504-1.505 (95%)	1.707-1.708 (40%)			
Hu-NN	Ng104	23	Opx > Cpx, [Hb]	1.504-1.505 (80%)	1.706-1.708 (50%)		b	
Hu-NN	TR105	21	Opx > Cpx, [Hb, Bt]	1.503-1.504 (65%)			b	
Hu-NN	Ht109	19	Opx > Cpx, [Hb]	1.504-1.505 (80%)	1.706-1.707 (40%)	[1.682-1.685 (50%)]	b	
Hu-NN	601-4-4	15	Opx > Cpx	1.503-1.505 (95%)	1.703-1.706 (70%)			
Hu-NN	NAS115	37	Opx > Cpx	1.503-1.504 (60%)	1.704-1.708 (90%)			
Hu-NN	NAS121	35	Opx > Cpx, [Hb]; [Qz]		1.705-1.709 (80%)	[1.686-1.690 (70%)]		
Kn-KD	Or-PF	44	Hb > Opx; Qz	1.497-1.498 (60%)	1.711-1.713 (70%)	1.677-1.680 (50%)		
Kn-KD	NAS116	37	Hb, [Opx]; Qz		[1.710-1.712 (50%)]	1.676-1.680 (70%)		
Sn-KB	KB-PF	13	Bt, [Cum, Opx]; Qz	1.4968-1.4970 (80%)			[1.670-1.673 (50%)] a	
Sn-KB	BAN103	7	Bt, [Cum]; Qz	1.496-1.499 (100%)			a	
Sn-KB	TR103	21	Bt; Qz	1.496-1.498 (100%)			b	
Sn-KB	601-2-2	17	Bt, [Hb, Opx]; Qz	1.496-1.498 (90%)				
Sn-KB	AD308	6	Bt, [Hb, Cum, Opx]; Qz	1.496-1.498 (80%)		[1.666-1.683 (100%)]		
Sn-KB	AD212	3	Bt, [Hb, Cum]; Qz	1.496-1.499 (80%)		[1.668-1.683 (100%)] [1.657-1.659 (60%)] [1.666-1.669 (40%)]		
TK	923-3-1	25	Hb > Cum, [Bt]			1.673-1.675 (60%)	1.664-1.666 (60%)	
TK	TR102	21	Hb > Cum; Qz			1.672-1.675 (80%)	1.663-1.665 (90%) b	
Sn-SK	SK-PF	9	Bt; [Qz]	1.497-1.498 (100%)			a	

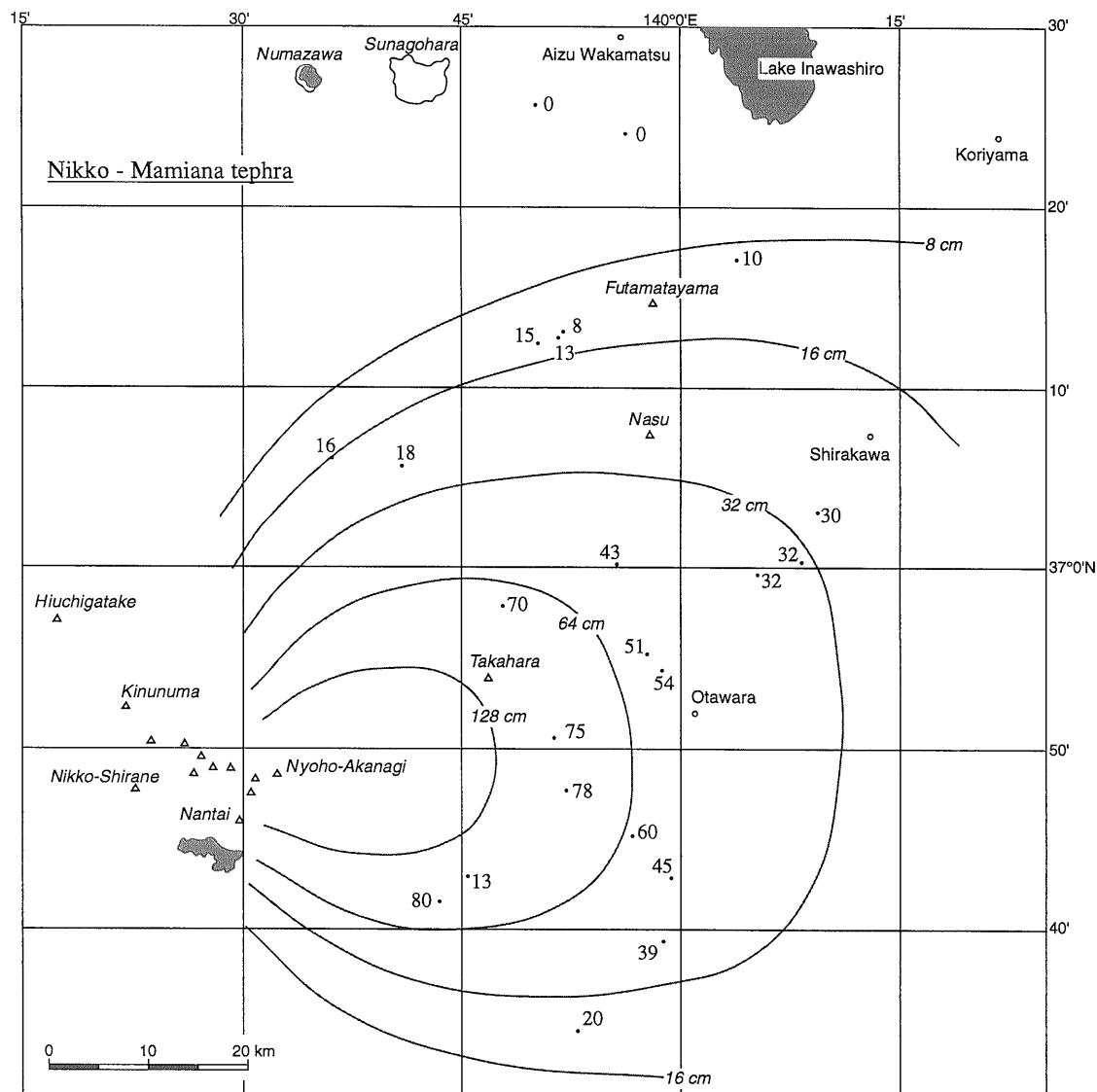
のどの火山が給源であるのかを特定するだけの地質学的証拠はあまりにも不足している。今後は、女峰赤薙火山の西にある溶岩ドーム群の個々の岩体の噴火時期を特定する必要がある。

3. 沼沢-芝原テフラ (Nm-SB)

3.1 給源火山の概略

沼沢火山は会津盆地の南西山地にあるデイサイト質の小型のカルデラ火山で、その中央には約5千年前の噴火

福島-栃木地域に分布する30-10万年前のプリニー式降下火砕物 (山元)



第3図 日光-満美穴テフラの分布。

数字は降下火砕堆積物の層厚で、単位は cm。

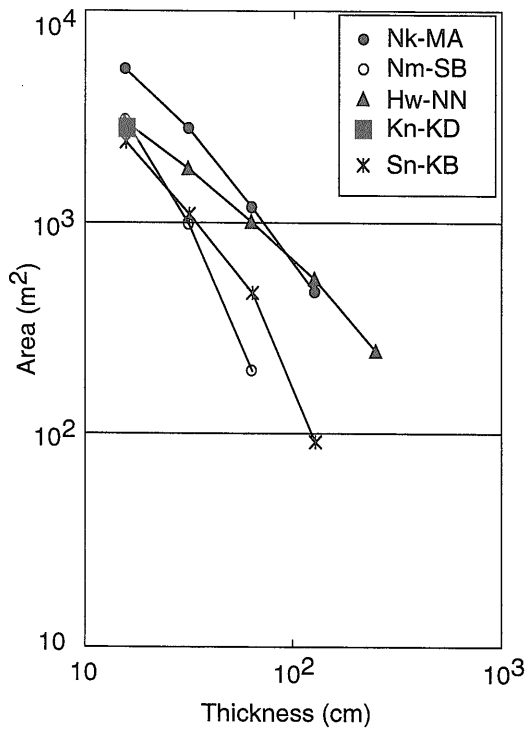
Fig. 3. Distributions of the Nikkō-Mamiana tephra. Numerals are measured thickness of pyroclastic fall deposits in centimeters.

で形成された沼沢湖がある。現在、地表に露出する山体は水冷沼溶岩ドームとこれを覆う惣山溶岩ドーム群からなり、その周囲を約5万年前に噴出した水沼火砕流堆積物と約5千年前に噴出した沼沢湖火砕流堆積物が取り巻いている(山元, 1995)。今回、新たに測定した水冷沼溶岩のジルコンのフィッション・トラック年代は、 71 ± 16 kaであった(Table 4)。この値は上位の水沼火砕流堆積物の噴火年代よりも有意に古く、層序とは矛盾していない。

3.2 テフラの岩相と分布

本テフラは那須火山の東山麓で最初に記載された芝原軽石(鈴木, 1992)で、その分布から沼沢火山ないしはその周辺を給源とすると考えられている(鈴木ほか, 1998)。

今回の調査では、このテフラが会津盆地の周辺から福島市-栃木県今市市にかけての広い範囲において、日光-満美穴テフラの下位で燧ヶ岳-七入テフラの上位の層準に位置する降下火砕堆積物として分布することが新たに明らかになった(Fig. 2)。本テフラの本質物は白-薄黄色のデイサイト質軽石で、鏡下では斜長石・石英や普通角閃石・黒雲母・鉄鉱のほか少量のカミングトン閃石の結晶片が含まれている(Table 3)。火山ガラスの屈折率は1.496-1.499に良く集中し、逆に普通角閃石の屈折率は1.673-1.689に広く分散する傾向がある。これまで確認されている中で、最も層厚の大きい地点は会津高田町旭三寄(Loc. 12)で、下位から層厚12cmの連続性の悪い平行葉理を持つ白色細粒-粗粒砂サイズの火山灰、層厚46cmで平均最大粒径2.6cmの塊状軽石火山礫、層厚7cm



第4図 降下火砕堆積物の層厚と等層厚線が囲む面積の関係。
Fig. 4. Relationships between the area enclosed by isopachs and thickness for pyroclastic fall deposits.

の粗粒-極粗粒砂サイズで軽石片に富む火山灰の順で重なっている。下郷町山崎 (Loc. 22) での層厚は21cmで、最下部2cmがベージュ色の中粒-細粒砂サイズの火山灰からなり、その上位19cmは極粗粒砂サイズの結晶片に富む基質を持つ平均最大径2.0cmの薄黄色軽石火山礫からなる。最も分布の遠い今市市薄井沢 (Loc. 50; Fig. 2) では層厚6cmで、軽石片に富む粗粒砂サイズの薄黄色火山灰からなる下部と中粒砂サイズの薄灰色火山灰からなる上部で構成されている。薄井沢の堆積物は他のものよりも火山ガラスの屈折率が若干高いものの、その層準と鉱物組み合わせからは本テフラ以外に対比可能なものはない。安達太良火山の東山麓では、既に鈴木 (1999) が指摘しているように安達太良一岳テフラの上位の火山灰土中に本テフラに由来するとみられる石英・普通角閃石・黒雲母の濃集帯が存在する (安達町山入ダム; Loc. 3; Fig. 2)。含まれる火山ガラスや普通角閃石の屈折率は測定していないが、分布と層準からみて対比に問題はなからう。

本テフラの等層厚線の分布は (Fig. 5), その給源が沼沢火山ないしはその周辺であるとする鈴木ほか (1998) の考えに矛盾がないことを示していよう。しかし、本テフラは給源の周辺では分布が確認できず、積極的に本テフラが沼沢火山起源であるとする証拠があるわけではない。東隣の砂子原カルデラ起源でないことは、このカルデラ内に分布する後カルデラ期の溶岩・火砕流堆積物(後

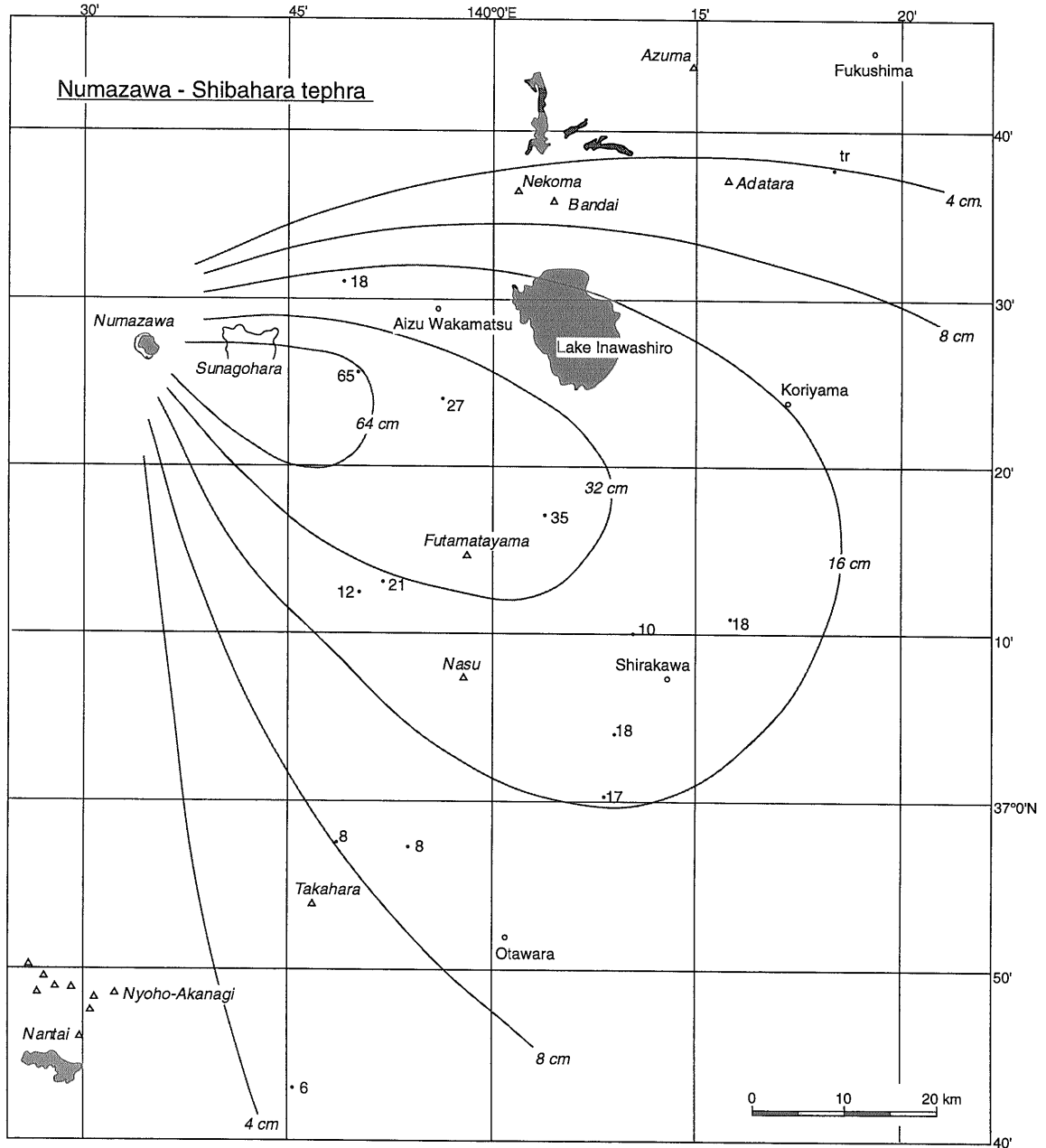
第4表 ジルコン・フィッシュオントラック年代測定結果。
Table 4. Results of fission track dating on zircon.

Sample	Number of grain	Spontaneous		Induced		Dosimeter ρ_d [Nd] (10 ⁴ /cm ²)	r	U (ppm)	Age $\pm 1\sigma$ (Ma)	P(χ^2) (%)
		ρ_s (10 ⁴ /cm ²)	[Ns] (10 ⁴)	ρ_i (10 ⁶ /cm ²)	[Ni] (10 ⁶)					
Kinunuma lava flow (Loc. 45) Orthopyroxene-hornblende dacite										
GSJ R68573	30	1.96	[20]	2.36	[2407]	7.692 [2368]	0.334	250	0.24 \pm 0.05	87
Mukuresawa lava flow (Loc. 14) Biotite-hornblende dacite										
GSJ R68574	81	4.78	[7]	2.27	[3329]	8.150 [1256]	-0.069	220	64 \pm 24	0
GSJ R68574	102	6.95	[12]	2.79	[4817]	8.142 [2501]	0.397	270	75 \pm 22	99
Overall weighted mean 71 \pm 16										

Note:

- (1) ρ and N are density and total number of fission tracks counted, respectively.
- (2) All analyses by external detector method using ED2.
- (3) P(χ^2) is the upper χ^2 tail probability corresponding to the observed χ^2 -statistics.
- (4) Age calculated using dosimeter glass SRM612 and $\zeta = 372 \pm 5$ (Danbara et al., 1991).
- (5) r is correlation coefficient between ρ_s and ρ_i .
- (6) U is uranium content.
- (7) the total decay rate for ²³⁸U: $\lambda_D = 1.480 \times 10^{-10}$ / yr.

福島-栃木地域に分布する30-10万年前のプリニー式降下火砕物 (山元)



第5図 沼沢-芝原テフラの分布。

数字は降下火砕堆積物の層厚で、単位は cm。

Fig. 5. Distributions of the Numazawa-Shibahara tephra. Numerals are measured thickness of pyroclastic fall deposits in centimeters.

述する砂子原-久保田テフラ) の放射年代値がいずれも20万年前よりも古く (NEDO, 1985; 水垣, 1993), 本テフラの年代とはかけ離れていることから間接的に支持されるだけである。沼沢火山で地表に露出する最下位の噴出物は約7万年前の水冷沢溶岩で、もしあるとすれば本テフラの給源近傍は火山体の地下に埋もれている可能性が大きい。

3.3 テフラの体積

降下堆積物の64-32-16cm等層厚線と面積の関係 (Fig.

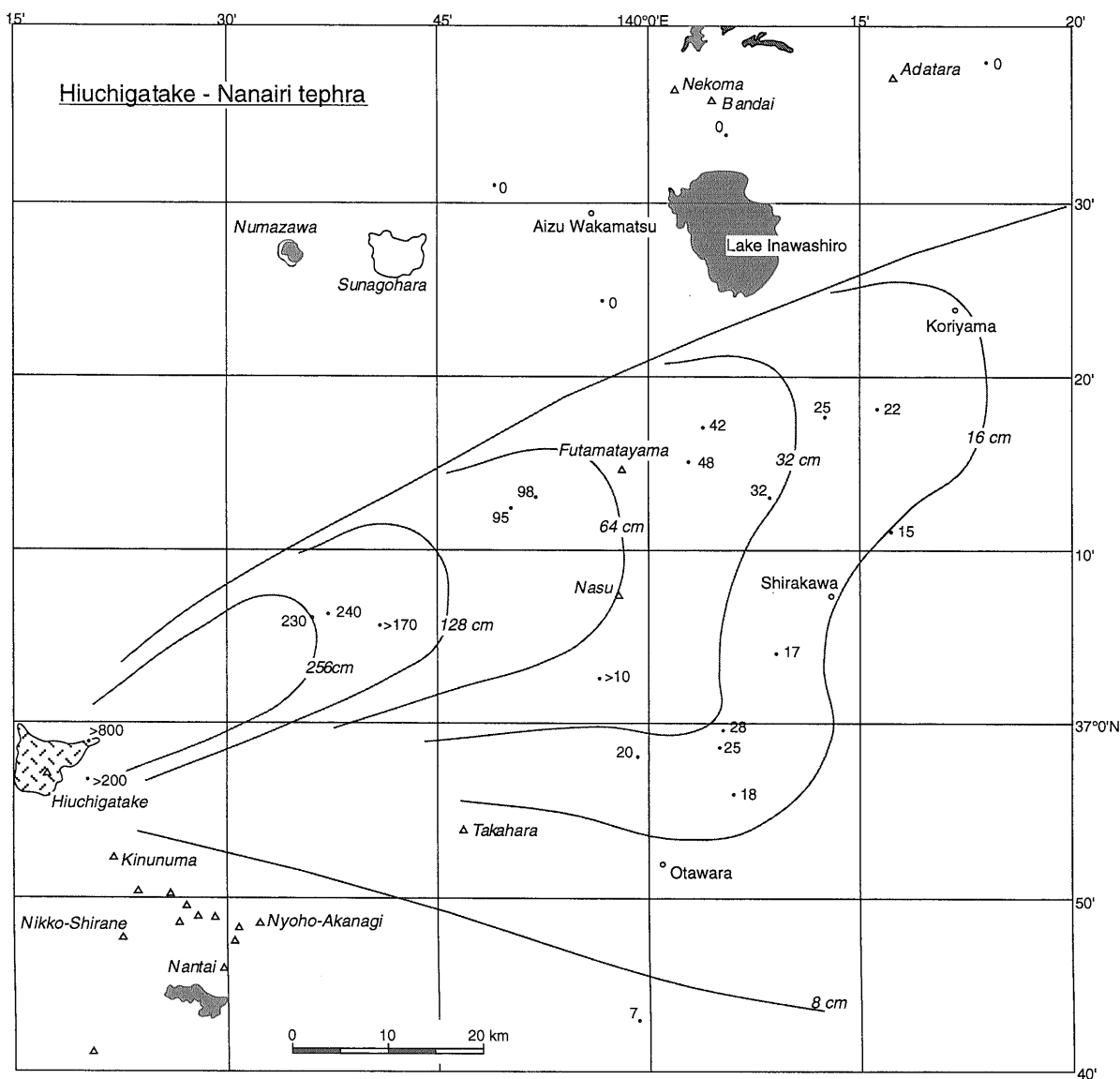
4) から見積もった見かけ体積は、約4 km³である。約5万年前の沼沢-水沼テフラと約5千年前の沼沢-沼沢湖テフラの降下堆積物の見かけ体積は1 km³前後であり (鈴木・早田, 1994; 山元, 1995), 本降下堆積物のそれはこれらよりも大きい。ただし、火砕流堆積物も含めると両テフラの岩石換算体積 (密度2.5g/cm³) は2-3 km³程度となり、その大小は逆転する。沼沢-芝原テフラに伴ったかもしれない火砕流堆積物や溶岩流は伏在している可能性もあり、その噴出総量がどの程度であったのかは不明である。

3.4 テフラの層序関係と噴火年代

会津高田町旭三寄 (Loc. 12) の本テフラのジルコンからは, 110±20ka のフィッシュン・トラック年代値が報告されている(鈴木ほか, 1998)。本テフラの上位には, 下郷町鶴ヶ池 (Loc. 21; Fig. 2) では間に厚さ34cm の火山灰土を挟んで約11-9 万年前の御岳第1テフラ(松本・宇井, 1997)が見つかった。また, 今市市薄井沢 (Loc. 50; Fig. 2) では間に厚さ90cm の火山灰土を挟んで御岳第1テフラの直下にある日光-満美穴テフラ, 厚さ120cm の火山灰土を挟んで約9 万年前の阿蘇4テフラ (Matsumoto et al., 1989) が本テフラの上位にある。従って, 本テフラの噴火時期はこれら広域テフラの噴火年代よりも十分古いことが指摘できよう。さらに, 鈴木 (1999)

は本テフラの下位にある田頭テフラ (Fig. 9 の Tgp) が最終間氷期の最大海進時に降下したものであることから, その年代を13.5-12.5万年前と考えている。本テフラの噴火年代は, 放射年代値の約11万年前として問題ないであろう。

今回の調査では本テフラが, 今市市薄井沢 (Loc. 50; Fig. 2) で鬼怒川沿いに広がる河川段丘 [酒井 (1985) のL3に覆われる段丘砂礫層] を, 間に厚さ35cm の日光-早乙女テフラ・厚さ20cm の赤褐色火山灰土を挟んで覆うことが確認できた。また, 会津若松市南原 (Loc. 11) でも間に厚さ100cm の火山灰土を挟んで河川段丘堆積物を本テフラが覆っている。これらの段丘は本テフラの年代から, 最終間氷期の最大海進時直後の海面低下期に形成されたものと判断できよう。山元・吉岡 (1992) では会



第6図 燧ヶ岳一七入テフラの分布。
数字は降下火砕堆積物の層厚で, 単位は cm。

Fig. 6. Distributions of Hiuchigatake-Nanairi tephra. Numerals are measured thickness of pyroclastic fall deposits in centimeters.

津若松市南原の段丘堆積物を高位II段丘堆積物としたがこの対比は間違いで、この段丘は中位段丘に位置づけられるべきものである。

4. 燧ヶ岳-七入テフラ (Hu-NN)

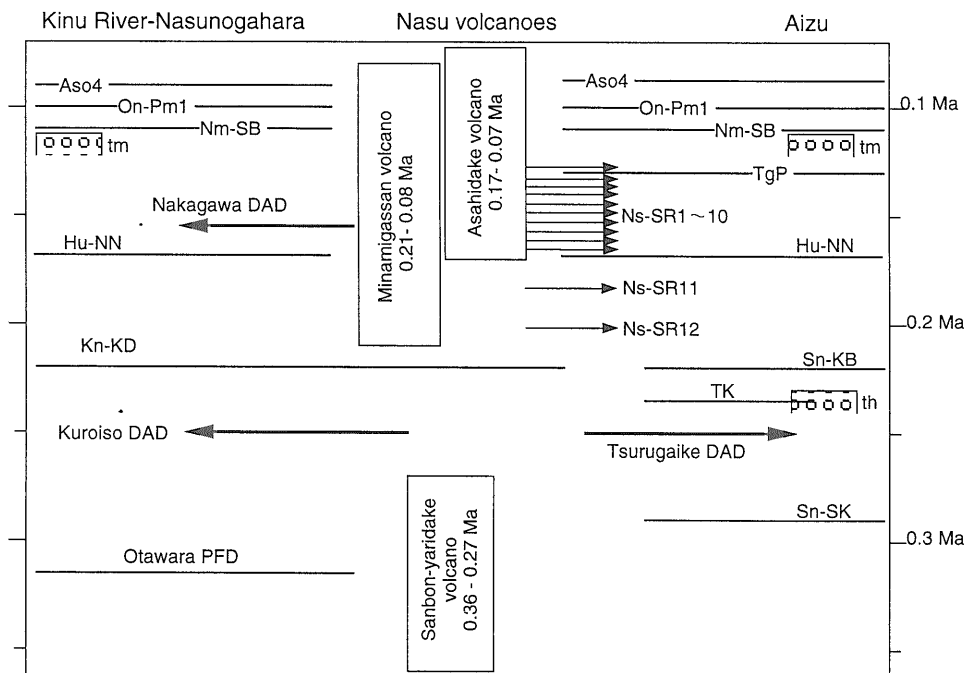
4.1 給源火山の概略

燧ヶ岳火山は、福島県南西縁の尾瀬沼の北にある小型の成層火山である(渡邊, 1989a)。その活動の最初期に斜方輝石単斜輝石デイサイトの七入軽石・モーカケ火砕流堆積物を噴出した後、安山岩-デイサイトの厚い舌状溶岩からなる比高約1000m, 底部が8×6 kmの山体が形成されている(渡邊, 1989a)。モーカケ沢火砕流堆積物は一部弱溶結し、最大層厚120mで旧谷地形を埋積して、上面の標高が1200-1300mの火砕流台地を構成していた(渡邊, 1989a)。七入軽石・モーカケ沢火砕流の噴火は、燧ヶ岳火山で最大級のものであった。本報告では両者を合わせて燧ヶ岳-七入テフラと呼ぶことにする。燧ヶ岳火山噴出物からは放射年代値が報告されておらず、年代尺度の入った噴火史は組み立てられていない。ただし、堆積物で確認されている最後の噴火は約500年前に起き、この時の噴火は水蒸気爆発であったことがテフラ層序学的研究により明らかにされている(早川, 1994)。

4.2 テフラの岩相と分布

燧ヶ岳北東山麓の模式地に分布する渡邊(1989a)の七

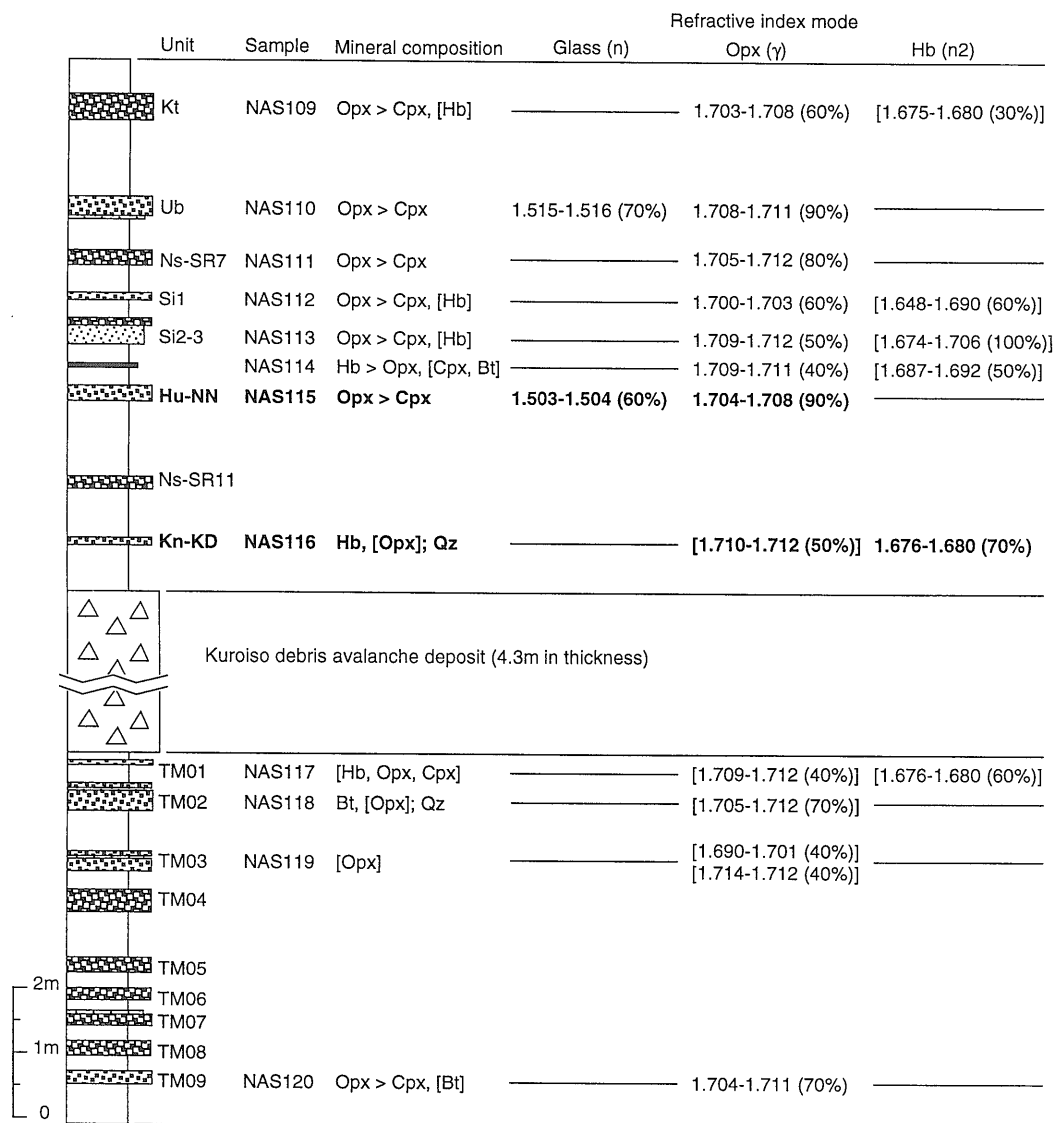
入軽石(Loc. 43)は、平均最大粒径20cmで径7-8cmの白色軽石に富む層厚が8mを越える降下火砕堆積物で、上位のモーカケ火砕流堆積物とは指交している。含まれる石質岩片は灰色の安山岩岩片と少量の砂岩・頁岩で、その平均最大粒径は9.2cmである。この軽石と記載岩石学的特徴が良く合う降下軽石堆積物は、福島県の館岩村高杖スキー場(Loc. 25)・下郷町鶴ヶ池(Loc. 21)・天栄村羽鳥(Loc. 19)・岩瀬村深渡戸(Loc. 15)に分布している(Fig. 2)。いずれの堆積物も斜長石・斜方輝石・単斜輝石・鉄鉱の結晶片を含み、火山ガラス片の屈折率は1.503-1.505に、斜方輝石の屈折率も1.706-1.708に良く集中している(Table 3)。一部の堆積物は普通角閃石の結晶片を含むがその量は微量である。また、これらの堆積物の層位はいずれの地点でも沼沢-芝原テフラの下位で砂子原-久保田テフラの上位にほぼ位置している(Fig. 2)。降下軽石堆積物の4地点の層厚は240-98-42-22cm、軽石平均最大粒径は7.2-2.5-2.0-1.2cmと燧ヶ岳火山から遠ざかるに従い単純に減少する。分布からみてこれらの堆積物が七入軽石と同一のテフラであることはほぼ確実であろう(Fig. 6)。高杖スキー場(Loc. 25; Fig. 2)では、軽石降下堆積物の下位に層厚5cmで、単層厚0.4-1.0cmの平行層理を持った粘土質基質に長径1-2mmの結晶片を含む淘汰の悪い降下火山灰を伴っている。この火山灰は、高杖スキー場よりも遠方の地点では確認できない。この火山灰の存在は、破局的な軽石噴火に先行してより規模の小さい噴火が起きていたことを示している。



第7図 指標テフラと那須火山噴出物の層序関係。

那須火山噴出物の年代は、伴・高岡(1995)による。m=中位段丘堆積物; th=高位段丘堆積物。

Fig. 7. Stratigraphic relationships between the marker tephra layers and the products of the Nasu volcano group. Ages of the Nasu volcano group are based on Ban and Takaoka (1995); tm=middle terrace deposits; th=higher terrace deposits.



第8図 戸室山 (Loc. 37) における露頭柱状図。

戸室山第1-第9テフラの記載は、付録2を参照のこと。柱状図の様子は第2図と、略号は第3表と同じ。

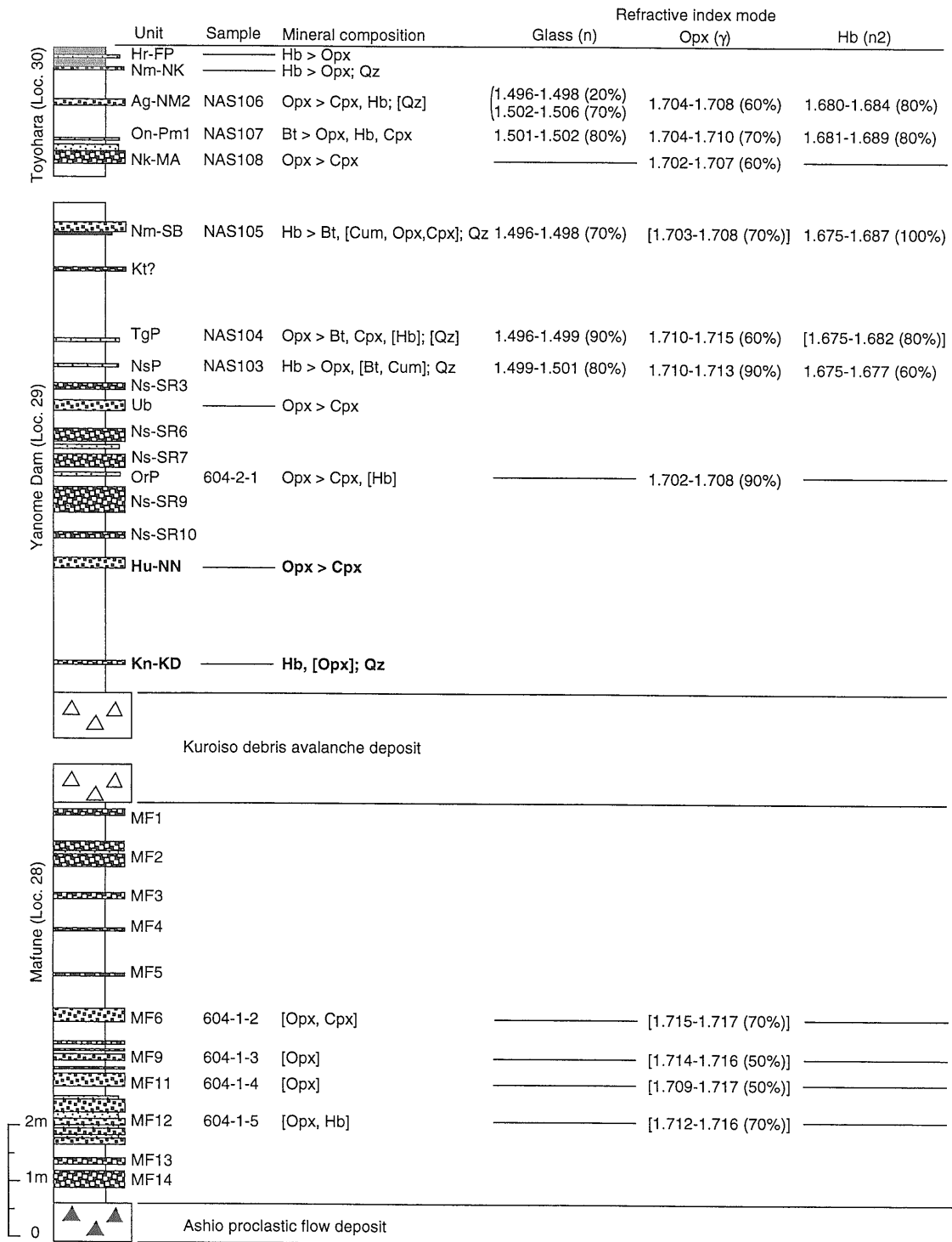
Fig. 8. Tephrostratigraphic section at Tomuroyama (Loc. 37). See appendix 2 for the details of TM01 to TM09. Patterns and abbreviations are same in Figure 2 and Table 3, respectively.

一方、福島県白河市周辺から栃木県の喜連川丘陵にかけて分布する高久軽石(鈴木, 1992; 1993)の記載岩石学的特徴も、七入テフラと一致することが早川ほか(1997)により指摘されている。那須町高久(Loc. 32)では、このテフラは層厚28cmで平均最大粒径が1.8cmの逆級化層理を持った淘汰の良い薄黄色の軽石降下火砕堆積物からなる。七入テフラの降下堆積物の分布主軸は燧ヶ岳から東北東に伸びており、那須火山群南東山麓の高久軽石の分布は明らかにこの分布主軸からはみ出している(Fig. 6)。しかし、以下に述べるように分布主軸の七入テフラと高久軽石はほぼ同じ層序学的位置にあり、両者は同一のテフラと考える。

4.3 テフラの体積

降下堆積物の256-128-64-32-16cm等層厚線と面積の関係(Fig. 4)から見積もった見かけ体積は、約7 km³である。モーカケ沢火砕流は給源から6 kmの範囲に分布し、山体の北山麓に台地状の地形を形成している(渡邊, 1989 a)。堆積物の平均層厚を100mとするとその体積は約1 km³となる。この火砕流がここから流れ出す只見川・桧枝岐川をどの程度流れ下ったのかは明らかではないが、仮に堆積物が更に4 km(給源から10km)の範囲で幅0.5 km・深さ50mのV字谷を埋めていたとしても、その体積は0.1km³程度である。降下堆積物の密度を0.8g/cm³、火砕流堆積物の密度を1.2g/cm³とすると、本テフラの岩石換算体積(密度2.5g/cm³)は約3 km³程度であったと推定される。

福島-栃木地域に分布する30-10万年前のプリニー式降下火砕物 (山元)



第9図 真船 (Loc. 28)・矢の目 (Loc. 29)・豊原 (Loc. 30) における露頭柱状図。

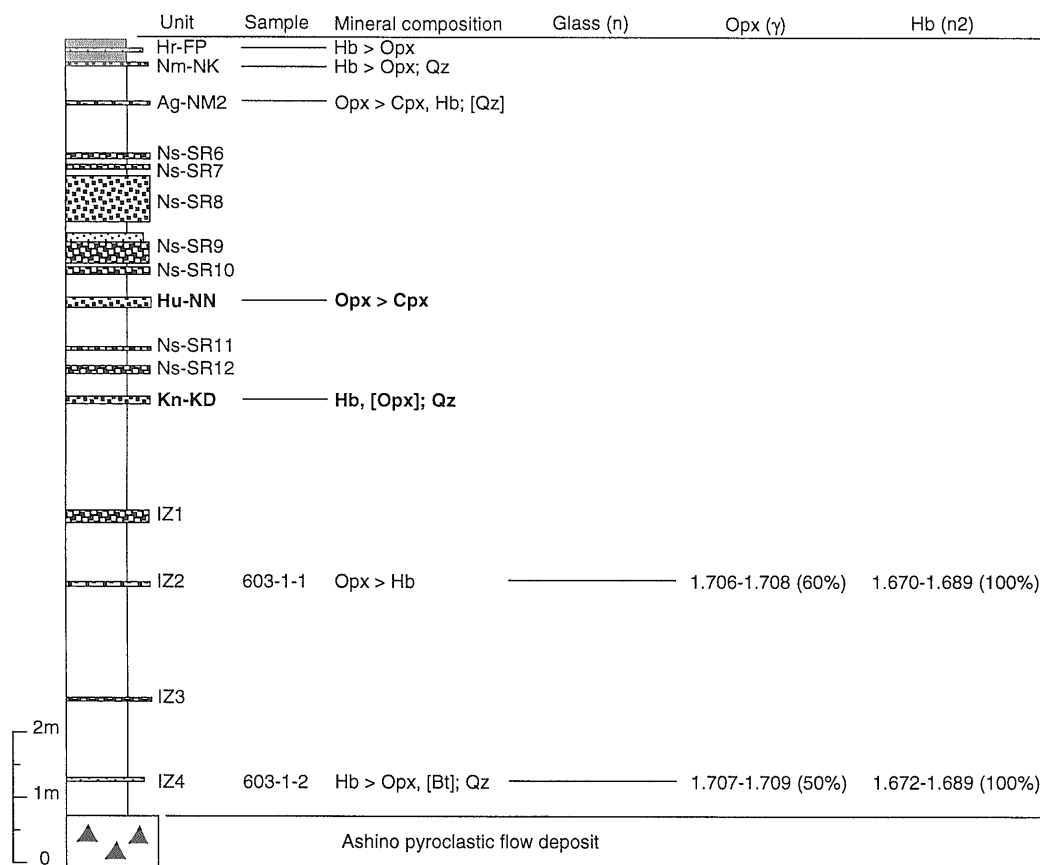
真船第1-第14テフラの記載は、付録2を参照のこと。柱状図の様子は第2図と、略号は第3表と同じ。

Fig. 9. Tephrostratigraphic sections at Mafune (Loc. 28), Yanome (Loc. 29), and Toyohara (Loc. 30). See appendix 2 for the details of MF1 to MF14. Patterns and abbreviations are same in Figure 2 and Table 3, respectively.

4.4 テフラの層序関係と噴火年代

下郷町鶴ヶ池 (Loc. 21) において本テフラは沼沢-芝原テフラと砂子原-久保田テフラのほぼ中間に位置している (Fig. 2)。沼沢-芝原テフラの噴出年代は約11万年前、砂子原-久保田テフラの噴出年代は約22万年前であ

るので、単純に内挿すると七入テフラの噴出年代は約16-17万年前となる。一方、早川ほか (1997) は、七入軽石を斜方輝石の屈折率の類似性から那須火山群東山麓の伯母沢北軽石 (鈴木, 1992)・折口原軽石 (鈴木, 1992)・高久軽石のいずれかであると考え、その年代を35万年前



第10図 踏瀬 (Loc. 16) における露頭柱状図。

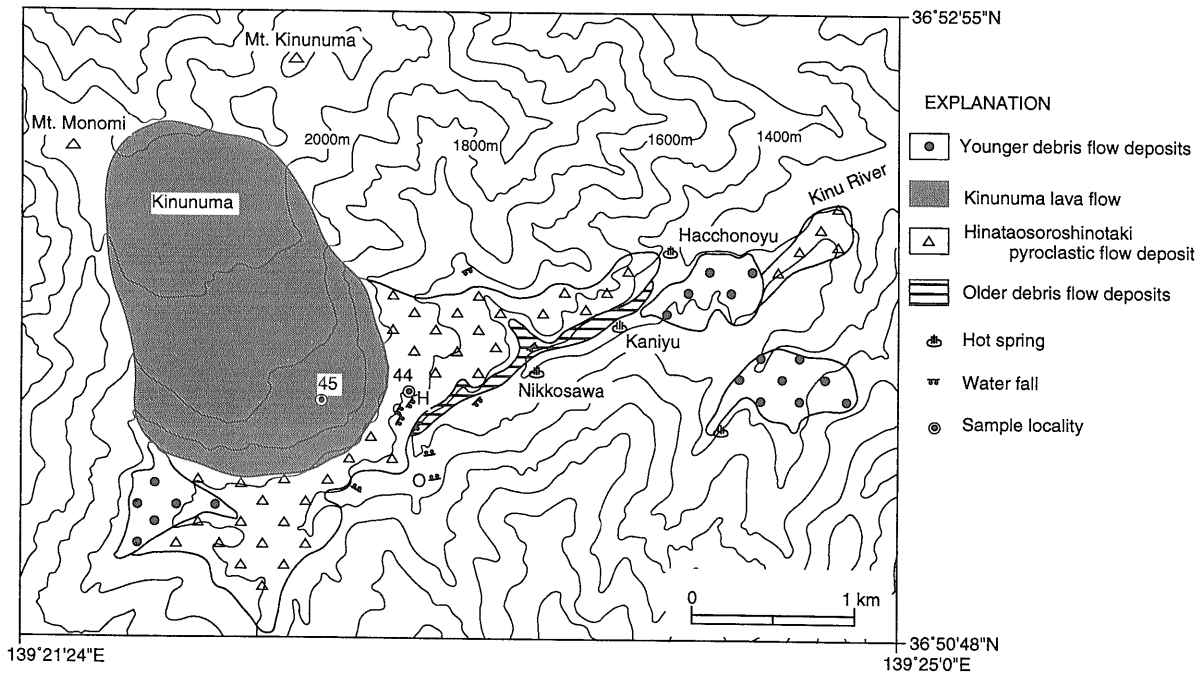
泉崎第1-第4テフラの記載は、付録2を参照のこと。柱状図の様子は第2図と、略号は第3表と同じ。

Fig. 10. Tephrostratigraphic section at Fumase (Loc. 16). See appendix 2 for the details of IZ1 to IZ4. Patterns and abbreviations are same in Figure 2 and Table 3, respectively.

としている。かれらの年代論の根拠は、高久軽石の直上に位置する細粒火山灰 (Fig. 8 の NAS114) が大町 Apm-U テフラに対比されていたことにある (鈴木・早川, 1990; 鈴木, 1992)。しかし、この細粒火山灰中のジルコンのフィッシュ・トラック年代値は 130 ± 30 ka と、大町 Apm テフラ群の噴出年代 (35-30 万年前) よりも有意に若く、かつジルコンのウラン濃度も大町 Apm テフラ群よりかなり高い (鈴木ほか, 1998)。また、高久軽石の下位にある黒礫岩屑なだれ堆積物 [渡辺ほか (1960) の黒礫火山泥流は彼らの鍋掛礫層を挟んで上下に2分され、上部のみを黒礫岩屑なだれ堆積物と呼ぶ] は、那須火山群の三本槍岳火山が山体崩壊を起こして生じたものである (山元・伴, 1997)。三本槍岳火山と上位の南月山・朝日岳火山の K-Ar 年代値 (伴・高岡, 1995) から判断すると、黒礫岩屑なだれの発生時期は約 27-21 万年前となり、高久軽石がこれよりも古くなることはない (Fig. 7)。さらに、黒礫市油井 (Loc. 35; Fig. 2) では、高久軽石の上位に 17-14 万年前に発生した那珂川岩屑なだれ堆積物 (伴・高岡, 1995) が重なっている。これらの層序関係は高久軽石と七入テフラが層位的にほとんど同じ位置にあることを示している。記載岩石学的特徴の一致から

みても、両者を対比することには無理がない。

早川ほか (1997) が燧ヶ岳火山起源の可能性を指摘した折口原軽石 (Fig. 9 の Orp) は七入テフラの上位にある層厚 5 cm 以下、軽石の平均最大粒径 0.2 cm の降下火砕堆積物である。その分布は那須火山群の東に限定されるが、層厚や粒径があまり変化しないので、その給源は那須火山群よりも遠方であると考えられている (鈴木, 1992)。その斜方輝石の屈折率の特徴は七入テフラと一致するものの、その層厚・粒径は七入テフラに対比するには小さすぎよう。しかし、折口原軽石に岩質の類似した溶岩は燧ヶ岳火山第II期 (渡邊, 1989a; b) に多数噴出しており、分布からみてこの軽石はそのうちのいずれかに伴うテフラである可能性は大きい。このほか、那須火山群の東山麓には折口原軽石と同様な給源不明の細粒火山礫-粗粒火山灰からなる那須野軽石 (Fig. 9 の NsP) と田頭軽石 (Fig. 9 の TgP) がその上位に記載されている (鈴木, 1992)。どちらのテフラとも輝石以外に普通角閃石・黒雲母・石英の結晶片を特徴的に含んでおり、分布からみて那須火山群以西に給源が求められよう。両テフラと岩質の類似した溶岩は燧ヶ岳火山第III・IV期 (渡邊, 1989a; b) に噴出しており、これらも燧ヶ岳火山起源である



第11図 鬼怒沼火山の地質図。

火山の基盤(白抜き部)は、後期中新世の溶結した火砕流堆積物(鬼怒川流紋岩類)からなる。H=ヒナタオソロシノ滝; O=オロオソロシノ滝。

Fig. 11. Geologic map of Kinunuma volcano. The basements of the volcano (white parts) is made up of Late Miocene welded pyroclastic flow deposits (Kinugawa Rhyolites). H=Hinataosoroshinotaki; O=Oro-osoroshinotaki.

可能性が大きい。一方、早川ほか(1997)が七入テフラの可能性を指摘した伯母沢北テフラ(Fig. 8のUb)については、等層厚線図から高原火山か日光火山群起源であることが指摘されており(鈴木, 1993), 火山ガラスの屈折率も七入テフラのそれとは一致しない。

5. 鬼怒沼-黒田原テフラ (Kn-KD)

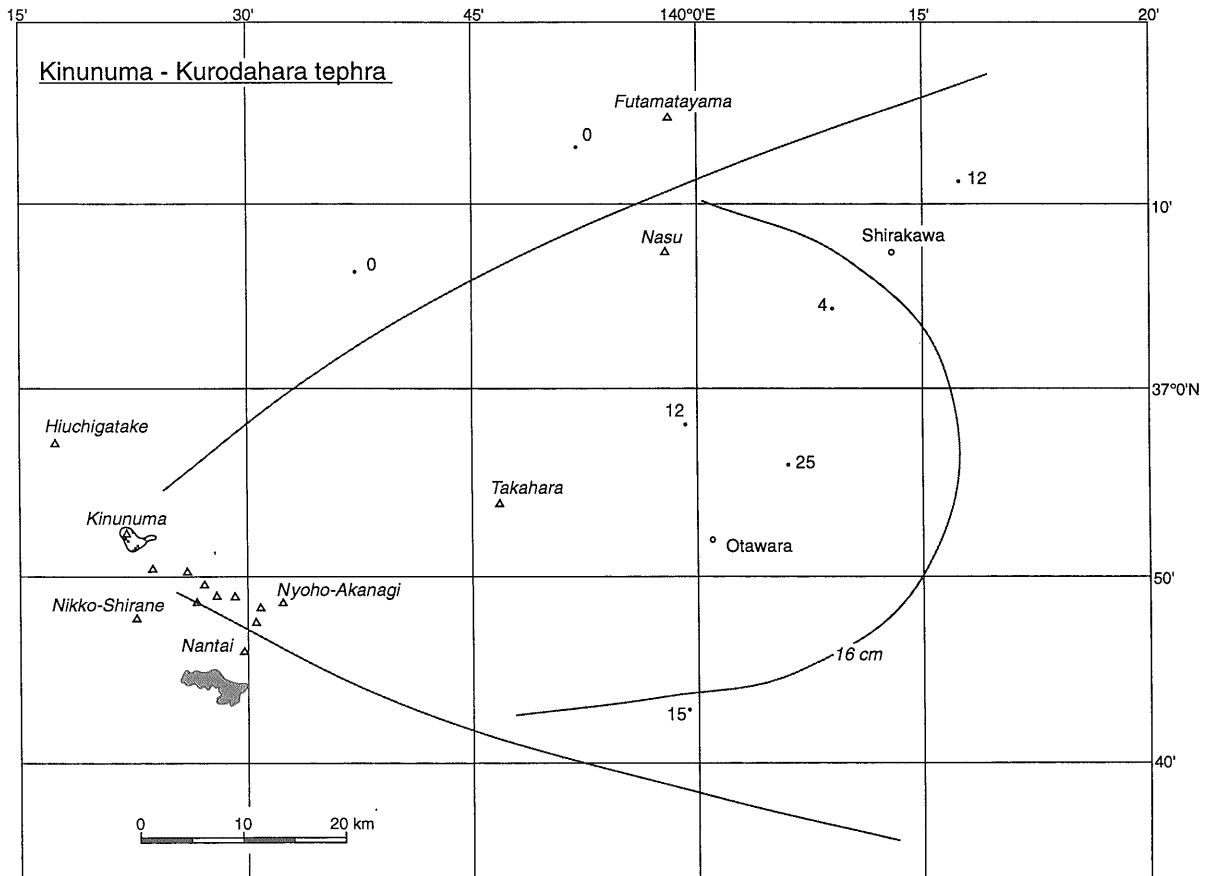
5.1 給源火山の概略

鬼怒沼火山は尾瀬沼の南東7kmの鬼怒沼付近から噴出した斜方輝石角閃石デイサイトの火砕流堆積物と溶岩流からなる火山である(Fig. 11; 中村・鈴木, 1983)。デイサイト溶岩流は幅1.4-1.6kmで、長さが2.4km、厚さが150m前後の一枚の舌状溶岩流からなる。上面の高度は標高2060-1720mと南に向かって低下し、顕著な末端崖を持っている。溶岩は流理構造を示すガラス質の石基に最大長径3mm程度の普通角閃石斑晶と最大長径2mm程度の斜長石斑晶が目立ち、少量の斜方輝石と石英の斑晶を含んでいる。火砕流堆積物は鬼怒川源頭部の沢沿いに標高1400-1600mの沢沿いに分布し、溶岩流と岩質の良く似たデイサイト軽石に富む火山礫凝灰岩-凝灰角礫岩からなり、上部を除くと溶結している。火砕流堆積物の層厚はヒナタオソロシノ滝付近で約180mと最大になる。また、火砕流堆積物の下位には中村・鈴木(1983)により日光沢層と呼ばれた土石流堆積物がある。火砕流堆積物と溶

岩流の直接の被覆関係は露頭で確認できなかったが、両者の岩質は良く似ており、一連の噴火活動で生じたものであると考える。ここでは前者をヒナタオソロシノ滝火砕流堆積物、後者を鬼怒沼溶岩流と呼ぶことにする。鬼怒沼火山の噴出物はこれら以外には見出されず、本火山は一輪廻の活動で停止した単成火山とみなせよう。鬼怒沼溶岩流中のジルコンからは、今回 0.24 ± 0.05 Maのフィックション・トラック年代値を得た(Table 4; 付録参照)。

5.2 テフラの岩相と分布

ヒナタオソロシノ滝火砕流の噴出に伴ったであろう降下火砕堆積物は、鬼怒沼火山の東方、すなわち栃木県大田原から福島県白河市にかけて堆積した公算が最も大きい。更に、鬼怒沼溶岩流の放射年代値から考えると、この地域の黒磯岩層なだれ堆積物(約27-21万年前)に近い層準にその存在が期待される。大田原-白河周辺で、普通角閃石・斜方輝石・石英を含む降下火砕堆積物は、従来記載されていたものとして那須野軽石(Fig. 9のNsP; 鈴木, 1992; 1993)と黒田原軽石(Figs. 8-10のNn-KD; 鈴木, 1992; 1993)が黒磯岩層なだれ堆積物の上位にある。また、黒磯岩層なだれ堆積物よりも下位のテフラについては、黒磯市戸室山(Loc. 37; Fig. 8)・西郷村真船(Loc. 28; Fig. 9)で観察したが、対応するテフラは見出せなかった。唯一、泉崎村踏瀬(Loc. 16; Fig. 10)で黒田原軽石の約5m下位に層厚4cmの鉱物組み合わせ



第12図 鬼怒沼-黒田原テフラの分布。

数字は降下火砕堆積物の層厚で、単位はcm。

Fig. 12. Distributions of the Kinunuma-Kurodahara tephra. Numerals are measured thickness of pyroclastic fall deposits in centimeters.

が一致する粗粒火山灰 (IZ 4) があるだけである。これら3つの降下火砕堆積物の中で、ヒナタオソロシノ滝火砕流堆積物の非溶結部から採取した軽石の火山ガラスの屈折率1.497-1.498, 斜方輝石の屈折率1.711-1.713, 普通角閃石の屈折率1.677-1.680と一致するものは、今のところ黒田原軽石だけである (Table 3)。本報では黒田原軽石を鬼怒沼火山起源と考え、火砕流堆積物と合わせて鬼怒沼-黒田原テフラと呼ぶことにする。

黒田原テフラは模式地の黒磯市樋沢 (Loc. 34) で層厚25cm, 平均最大粒径1cmの降下軽石堆積物として分布する。基質には分離した結晶片が多く、普通角閃石や石英が目立つので野外での認定は容易である。北の泉崎村踏瀬 (Loc. 16) や南の喜連川町早乙女 (Loc. 47) では層厚が15cm以下と薄くなるので、降下火砕堆積物の分布主軸は給源から東に伸びるものとみられる (Fig. 12)。

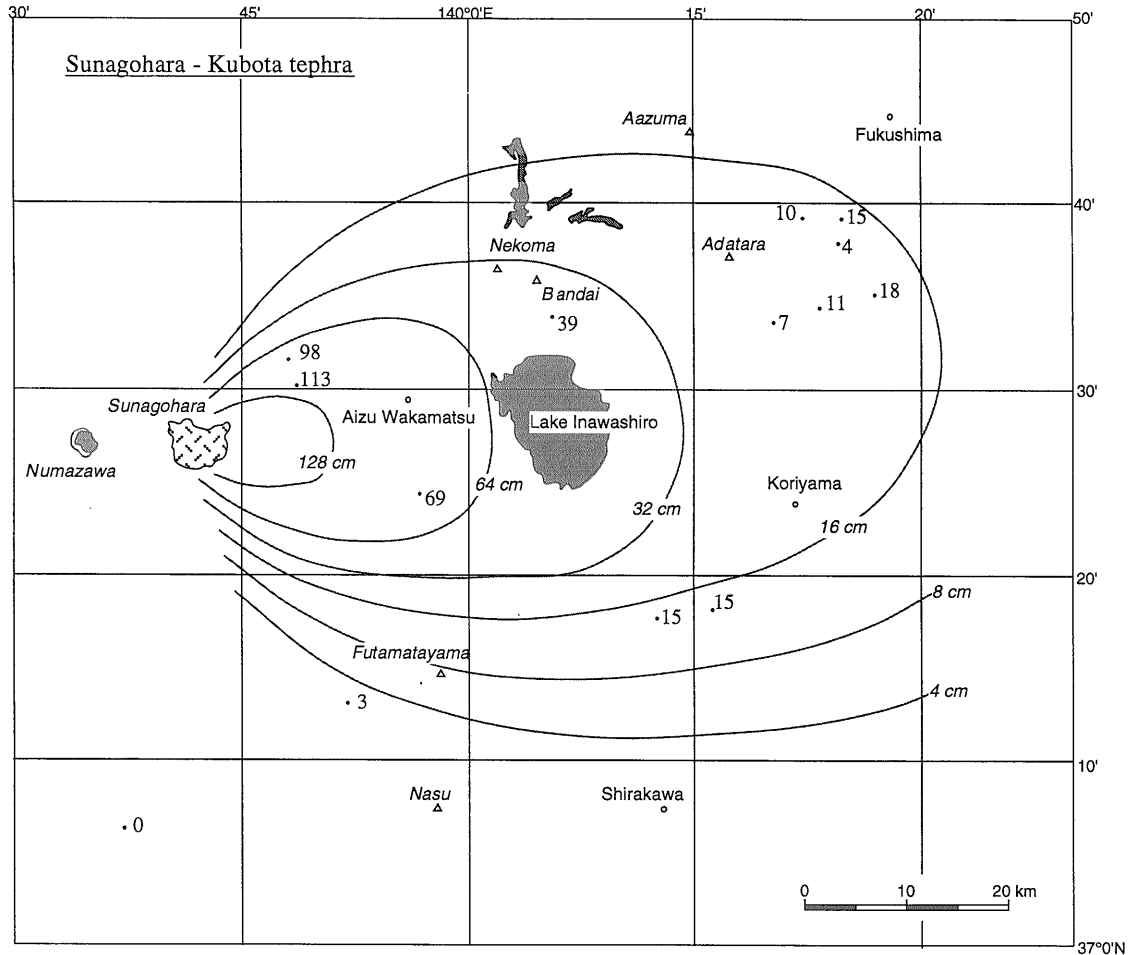
5.3 テフラの体積

降下堆積物の16cm等層厚線と面積の関係 (Fig. 4) から見積もった見かけ体積は、約5 km³である。ヒナタオソロシノ滝火砕流は給源から4 kmの範囲に分布し、鬼怒川

の源頭部に台地状の地形を形成している (Fig. 11)。堆積物は層厚150mで源頭部を一様に埋めていたとするとその体積は約0.6 km³となる。この火砕流がどの程度鬼怒川を流れ下ったのかは明らかではないが、仮に堆積物が更に6 km (給源から10 km) の範囲で幅0.5 km・深さ50 mのV字谷を埋めていたとしても、その体積は0.1 km³を越えない。谷を埋めた火砕流の体積は、1 km³弱であった公算が大きい。降下堆積物の密度を0.8 g/cm³, 大半が溶結した火砕流堆積物の密度を2.2 g/cm³とすると、本テフラの岩石換算体積 (密度2.5 g/cm³) は約2 km³程度であったと推定される。また、鬼怒沼溶岩流の体積はその分布面積と層厚から約0.5 km³と見積もられる。

5.4 テフラの層序関係と噴火年代

既に記述したように、鬼怒沼溶岩流中のジルコンからは、0.24±0.05 Maのフィッション・トラック年代値を得ている (Table 4)。一方、鈴木ほか (1998) は黒磯市樋沢 (Loc. 33) の本テフラから、200±30 kaのジルコン・フィッション・トラック年代値を報告している。両者の値は誤差の範囲で一致し、しかもジルコンのウラン濃度



第13図 砂子原-久保田テフラの分布。
数字は降下火砕堆積物の層厚で、単位は cm。

Fig. 13. Distributions of the Sunagohara-Kubota tephra. Numerals are measured thickness of pyroclastic fall deposits in centimeters.

が両試料とも250ppm と完全に一致している。これらのことは、黒田原テフラ・鬼怒沼溶岩流の噴火が一連の噴火の産物であるとの考えに矛盾しない。黒田原テフラは七入テフラの1-1.5m 下位にあること、南月山・朝日岳火山起源とみられる那須-白河テフラ群の下位にあること、そして、黒磯岩屑なだれ堆積物の直上にあることからすると、黒田原テフラの噴火年代は約24-20万年前とみて問題ないであろう (Fig. 7)。約22万年前の砂子原-久保田テフラとは近い層準にあるものと判断されるものの、両者の層序関係は露頭で確認していない。

6. 砂子原-久保田テフラ (Sn-KB)

6.1 給源火山の概略

砂子原カルデラは、会津盆地の南西山地にある直径約6 km の中期更新世カルデラ火山で、カルデラを満たした湖成堆積物・流紋岩溶岩・火砕流堆積物から構成されている (水垣, 1993)。カルデラの形成は約29万年前の砂子

原-佐賀瀬川テフラ (Sn-SK) の噴出時と考えられており、黒雲母流紋岩質の降下火砕堆積物・火砕流堆積物からなるこのテフラ (Table 3) は会津盆地の塔寺層の上部を構成している (山元, 1992b; 山元・須藤, 1996)。本カルデラの後カルデラ期火山活動は溶岩ドームの形成が中心であったが、その末期には砂子原-久保田テフラの噴出があり、カルデラ内には火砕流堆積物が、東方の会津盆地周辺には降下火砕物が堆積した (山元・須藤, 1996)。この火砕流堆積物からは、 $0.22 \pm 0.05\text{Ma}$ のジルコン・フィッション・トラック年代値が報告されている (NEDO, 1985)。

6.2 テフラの岩相と分布

本テフラは、本質物としてカミングトン閃石含有黒雲母流紋岩質で、繊維状に良く発泡した～やや発泡の悪い白色軽石を含んでいる。給源に最も近い降下堆積物の模式地である会津坂下町勝方 (Loc. 8) では、繊維状軽石と流紋岩石質岩片の細粒火山礫とガラス質火山灰の互層

からなる下部(層厚20cm, 平均最大粒径3.0cm)と不明瞭な平行層理が認められる風化の進んだ白色火山灰からなる上部(層厚78cm)で構成されている(山元・須藤, 1996)。このテフラと共通した記載岩石学的特徴をもつ降下堆積物, すなわち火山ガラスの屈折率が1.497前後に集中し, 黒雲母・石英の結晶片に富むものは(Table 3), 福島県中通り地方の岩瀬村深渡戸(Loc. 15)や安達町入山ダム(Loc. 3)においても, 沼沢-芝原テフラ・燧ヶ岳-七入テフラ・安達太良-岳テフラの下位に分布することが, 今回確認できた(Fig. 2)。二本松市上松(Loc. 4)のものは層厚18cmと中通り地方では最も厚く, 白色粘土質の基質を持つ塊状の粗粒火山灰で, 斜長石・石英・黒雲母の結晶片が目立ち, 径1mm前後の軽石や石質岩片を含んでいる。本テフラの降下火砕堆積物の分布主軸は給源から東に伸びるものとみられる(Fig. 13)。

6.3 テフラの体積

降下堆積物の64-32-16cm等層厚線と面積の関係(Fig. 4)から見積もった見かけ体積は, 約4 km³である。火砕流堆積物は非溶結で砂子原カルデラ内に分布しており, 現在の最大層厚(約100m)とカルデラの面積(約20km²)から, 少なくともその見かけ体積は2 km³はあったものと推定できる。カルデラ外の只見川沿いには本テフラを母材とするラハール堆積物が段丘をつくっており, カルデラ外にも相当の火砕流堆積物が堆積していたことは間違

いないが, その見積もりは出来ていない。降下堆積物の密度を0.8g/cm³, 火砕流堆積物の密度を1.2g/cm³とすると, 本テフラの岩石換算体積(密度2.5g/cm³)は2 km³以上あったことは確実である。

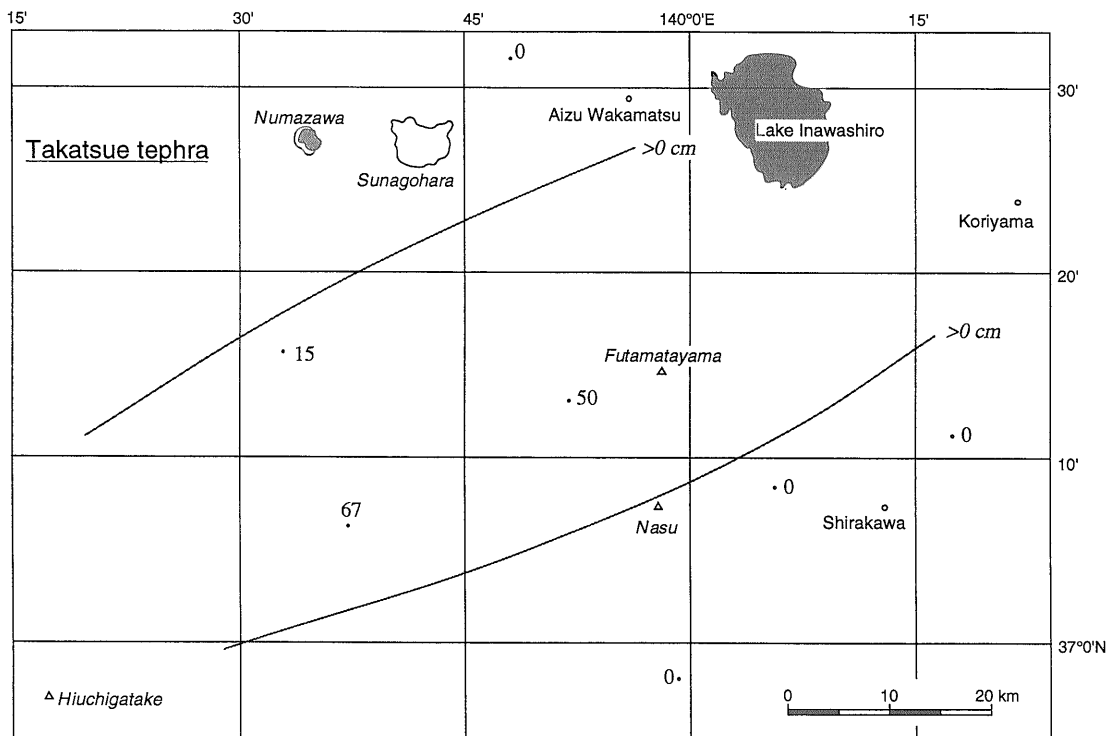
6.4 テフラの層序関係と噴火年代

既に記述したように本テフラからは0.22±0.05Maの放射年代値が報告されており, この年代は他の砂子原カルデラの噴出物の放射年代値とも矛盾しない(水垣, 1993)。従って, 本テフラの噴出年代は, この値をもとに約22万年前と考えられよう。他の堆積物との層序関係では, 本テフラが会津若松市南原(Loc. 10)において間に厚さ90cmの赤褐色火山灰土を挟んで高位段丘堆積物[山元・吉岡(1992)の高位I段丘堆積物]を覆うことが確認できた。

7. 高杖テフラ(TK)

7.1 テフラの岩相と分布

本テフラは, 山元(1999)が命名した南会津の山間部に分布する給源不明の降下堆積物である。模式地の館岩村高杖スキー場(Loc. 25; Fig. 2)では, 燧ヶ岳-七入テフラの下位に層厚67cmで平均最大粒径8mmの白色軽石や長径5mmの針状普通角閃石結晶片を含む淘汰の良い降下火砕堆積物として分布する。また, 下郷町鶴ヶ池(Loc. 21; Fig. 2)では, 鶴ヶ池岩屑なだれ堆積物と砂



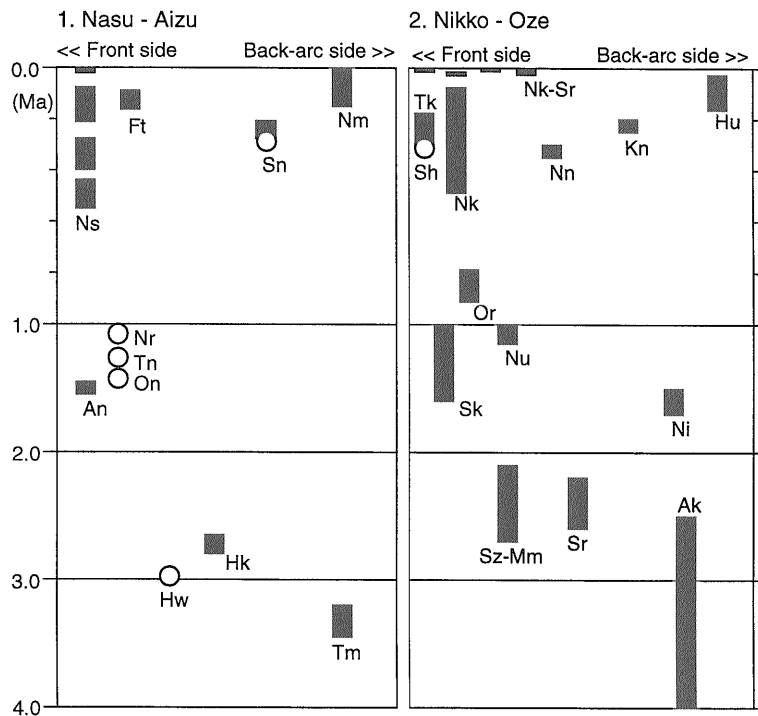
第14図 高杖テフラの分布。

数字は降下火砕堆積物の層厚で, 単位はcm。

Fig. 14. Distributions of the Takatsue tephra. Numerals are measured thickness of pyroclastic fall deposits in centimeters.

子原-久保田テフラの間に、層厚は50cm で平均最大粒径5 mm の白色軽石を含む降下堆積物として分布する。さらに南郷スキー場 (Loc. 27) では、本テフラの層厚は15cm である (Fig. 14)。本テフラの火山ガラスは完全に粘土化しており、鏡下では普通角閃石・斜長石以外にカミングトン閃石・石英・鉄鉱の結晶片が認められる (Table 3)。普通角閃石の屈折率は1.672-1.675に、カミングトン閃石の屈折率は1.663-1.666に良く集中している。これらの記載岩石学的特徴と合致するテフラは、層序的にその存在

が期待される大田原-白河周辺の鬼怒沼-黒田原テフラよりも下位の風成層 (Figs. 8-10) や、会津盆地の砂子原-久保田テフラよりも下位の風成層 (Loc. 8 ; 山元・須藤, 1996 の Fig. A-2) でも見つかっていない。テフラの分布主軸は燧ヶ岳から高杖スキー場・鶴ヶ池へ向かう北東方向であったと予想されるが、燧ヶ岳の周辺にはこのテフラの給源相とみなせるものは分布していない。調査地域内での軽石の粒径変化はあまり大きくないので、給源は燧ヶ岳よりも遠方にある可能性が大きい。



第15図 那須-会津地域 (1)・日光-尾瀬地域 (2) における火山の時空分布。

Ak=赤安山安山岩 (NEDO, 1987); An=会津布引山火山 (山元, 未公表); Ft=二岐山火山 (伴・高岡, 1995; 山元, 1999); Hk=博士山玄武岩 (NEDO, 1985; 小林・猪俣, 1986); Hw=桧和田カルデラ (山元, 1992a; 1999); Hu=燧ヶ岳火山 (本研究); Kn=鬼怒沼火山 (本研究); Ni=荷鞍火山 (野村, 1999); Nk=日光火山群 (NEDO, 1985; 佐々木, 1994); Nk-Sr=日光-白根火山 (鈴木ほか, 1994); Nm=沼沢火山 (山元, 1995; 本研究); Nn=根名草山火山 (NEDO, 1987); Nr=成岡カルデラ (山元, 1999); Ns=那須火山群 (伴・高岡, 1995); Nu=沼上火山 (中村ほか, 1993; 佐々木ほか, 1994); On=小野カルデラ (山元, 1999); Or=於呂俱羅山火山 (NEDO, 1987); Sh=塩原カルデラ (尾上, 1989); Sk=皇海火山 (中村ほか, 1993; 野村, 1999); Sn=砂子原カルデラ (NEDO, 1985; 山元, 1992b; 本研究); Sr=四郎岳安山岩 (山口, 1991; 佐々木ほか, 1994); Sz-Mn=錫ヶ岳・笠ヶ岳・三ヶ峰安山岩 (中村ほか, 1993; 佐々木ほか, 1994); Tk=高原火山 (Itaya et al., 1989); Tm=高森山安山岩 (菅原, 1991; 山元, 1995); Tn=塔のへつりカルデラ (山元, 1999)。

Fig. 15. Space and time distributions of volcanoes in the Nasu-Aizu (1) and Nikkō-Oze (2) regions.

Ak=Akayasuyama andesite (NEDO, 1987); An=Aizu-nunobikiyama volcano (Yamamoto, unpublished); Ft=Futamatayama volcano (Ban and Takaoka, 1995; Yamamoto, 1999); Hk=Hakaseyama basalt (NEDO, 1985; Kobayashi and Inomata, 1986); Hw=Hiwada caldera (Yamamoto, 1992a; 1999); Hu=Hiuchigatake volcano (this study); Kn=Kinunuma volcano (this study); Ni=Nikura volcano (Nomura, 1999); Nk=Nikkō volcano group (NEDO, 1985; Sasaki, 1994); Nk-Sr=Nikkō-shirane volcano (Suzuki et al., 1994); Nm=Numazawa volcano (Yamamoto, 1995; this study); Nn=Nenakusayama volcano (NEDO, 1987); Nr=Narioka caldera (Yamamoto, 1999); Ns=Nasu volcano group (Ban and Takaoka, 1995); Nu=Numakami volcano (Nakamura et al., 1993; Sasaki et al., 1994); On=Ono caldera (Yamamoto, 1999); Or=Orokurayama volcano (NEDO, 1987); Sh=Shiobara caldera (Onoe, 1989); Sk=Sukai volcano (Nakamura et al., 1993; Nomura, 1999); Sn=Sunagohara caldera (NEDO, 1985; Yamamoto, 1992b; this study); Sr=Shirōdake andesite (Yamaguchi, 1991; Sasaki et al., 1994); Sz-Mn=Suzugatake, Kasagatake, and Mitsugamine andesite (Nakamura et al., 1993; Sasaki et al., 1994); Tk=Takahara volcano (Itaya et al., 1989); Tm=Takamoriyama andesite (Sugawara, 1991; Yamamoto, 1995); Tn=Tōnohetsuri caldera (Yamamoto, 1999)。

7.2 テフラの層序関係と噴火年代

本テフラからは、放射年代値は得られていない。しかし、本テフラは砂子原-久保田テフラの下位にあることから、約22万年前よりも古いことは確実である。高杖スキー場 (Loc. 25; Fig. 2) では、本堆積物は高位段丘化した土石流堆積物に挟まれている。また、下郷町北方1.3 km では、高位段丘の河川堆積物中に本テフラと見られる針状普通角閃石結晶片に富むスコア・フィル斜交層理を持った軽石細粒火山礫が層厚70cmで挟まれている(山元, 1999)。

8. 議 論

東北本州弧のような弧-海溝系では、火山の分布密度が火山帯の海溝側のへりに近いほど大きくなる傾向があることを指摘し、この海溝側のへりを火山フロントと名付けたのは Sugimura (1960) であった。ここでは、本報告の結果や既存資料をもとに、東北本州弧南部での火山分布の時空変化を検討してみる (Fig. 15)。東北本州弧ではこれまで、那須火山帯や鳥海火山帯と呼ばれるような島弧に平行な火山分布が強調されてきた。しかし、火山は島弧に沿って等間隔で分布しているわけではなく、むしろ火山フロントから背弧側に広がった火山クラスターをつくって分布していることが指摘されるようになってきた (例えば吉田ほか, 1997; Kondo et al., 1998 など)。調査地域でも後期中新世まで遡った火山の分布に注目すると、分布の離れた第四紀火山の那須火山と沼沢火山の間の50×30kmの範囲には大型の陥没カルデラや成層火山体が集中し、一つの火山クラスターを構成していることが明らかである (山元, 1992a; 1999)。また、日光火山群と鬼怒沼・燧ヶ岳火山の間にも後期中新世の鬼怒川流紋岩で埋積された奥鬼怒カルデラや鮮新世の火山が集中して分布し (山口, 1991)、那須-会津地域と同様な火山クラスターが存在する。

那須-会津地域では、鮮新世の300万年前後に相次いで桧和田カルデラ (山元, 1992a; 1999)・博士山玄武岩 (博士山団体研究会, 1990)・高森山安山岩 (菅原, 1991; 山元, 1995) の活動が起き、その活動域は第四紀火山フロントから背弧側50kmの範囲に及んでいる。前期更新世に入ると火山活動の中心は火山フロント沿いの那須火山群の北に移動し、約140-100万年前には白河火砕流群を噴出して小野・塔のへつり・成岡の大型カルデラが形成された (山元, 1999)。その後、那須火山群の活動が始まり、50万年前頃に甲子旭岳火山の形成、約43万年前の鎌房山火砕流の噴出、30万年前頃に三本槍火山の形成、約20-10万年前に朝日岳・南月山火山の形成があった後 (伴・高岡, 1995)、約1.6万年前から茶臼岳火山の活動が始まった (山元, 1997)。このように、那須火山群では、中期更新世から完新世まで、噴出中心が移動することはあつて

も特定の地域で山体形成が繰り返し起きている。一方、火山フロントから約50km離れた位置にある砂子原カルデラカルデラは約29-22万年前に、砂子原カルデラの中心から更に10km背弧側に離れた沼沢火山は約11万年前から活動が始まっている。両火山と基盤の後期中新世-鮮新世火山岩の間には火山活動の痕跡は見いだせず、両火山の出現までは長期にわたる火山の空白域が生じていた (Fig. 15-1)。

日光-尾瀬地域では、地域の広い範囲に400-200万年前の安山岩を主とする火山噴出物が分布している (NEDO, 1987; 山口, 1991; 佐々木ほか, 1994)。前期更新世になると日光地域の南側で玄武岩-安山岩成層火山である皇海・庚申火山や沼上火山 (中村ほか, 1993; 佐々木ほか, 1994)、背弧側の尾瀬地域では安山岩成層火山の荷鞍火山 (野村, 1999) が形成された。中期更新世になると日光火山群では、女峰-赤薙成層火山の活動が50万年前頃から始まり、次に噴出中心が西方に移動して丹勢・大真名子-小真名子・太郎-山王帽子などの安山岩-デイサイト溶岩ドーム群が形成され、その後の約2.5万年前以降に男体・三ツ岳・日光白根の諸火山が噴出した (佐々木, 1994)。溶岩ドーム群の噴出年代は確定していないものの、日光-満美穴テフラをもたらししたような爆発的噴火が、約8万年前までこの火山群で繰り返し起きていたことが山麓のテフラから明らかにされている (村本, 1992; 鈴木, 1993; 鈴木ほか, 1994)。また、日光火山群の北東の火山フロント沿いにある高原火山は、30万年前頃に大田原火砕流を噴出して形成された塩原カルデラ内に形成された成層火山体で (尾上, 1989; 井上ほか, 1994)、約30-20万年前の K-Ar 年代値が報告されている (Itaya et al., 1989)。さらに完新世の約6.5千年前には塩原カルデラのほぼ中央部に位置する高原火山の北山腹で割れ目噴火とデイサイト溶岩ドームの噴出が起きている (奥野ほか, 1997)。一方、日光火山群の背弧側に位置する鬼怒沼火山は24-20万年前頃に出現したデイサイト単成火山で、その更に10km背弧側にある燧ヶ岳火山は16-17万年前頃に活動を開始している。両火山周辺にある鮮新世の赤安山安山岩 (NEDO, 1987) や160万年前頃に活動した荷鞍火山 (野村, 1999) との間には、やはり100万年を越える火山の空白が見出せる (Fig. 15-2)。

今回のテフラ層序学的研究で明らかにした最も重要なことは、火山フロントから離れた位置にある会津地域の砂子原カルデラ・沼沢火山や尾瀬地域の鬼怒沼・燧ヶ岳火山のようなデイサイトの爆発的噴火で特徴付けられる火山が、約30万年前以降にそれまで火山の空白域であった両地域で相次いで出現し、しかも時代とともに背弧側へ拡大したように見えることである。しかも、30万年前後に両地域で起きた大田原火砕流噴火による塩原カルデラの形成 (尾上, 1989) と佐賀瀬川火砕流噴火による砂子原カルデラの形成 (山元, 1992b; 山元・須藤, 1996)

は、中期更新世以降に発生した噴火の中では最大規模の事件である。どちらの噴出物も被覆や浸食により地表の分布が限られ正確な噴出量の見積もりは難しいものの、給源のカルデラの径が6 km 前後あることから、その噴出量は常識的にみて10km³以上はあったものと推定されよう。これらのデイサイトマグマの成因にまで言及することはできないが、時系列からはこれらのカルデラ形成噴火が火山の時空分布の転換点となったものと指摘できる。Kimura (1996) は会津地域で起きた砂子原カルデラ・沼沢火山の出現事件を、上部マントルの部分溶融域がフロント側から次第に背弧側へと拡大した結果と解釈している。その原因は不明であるものの、火山活動域の変化が日光-尾瀬地域でも同時に起きていることは、当時のマグマ発生域での場の変化が島弧下のマントルの広範囲で起きた現象であったことを示しているものと解釈できよう。

9. ま と め

本報告では、東北本州弧南部の福島-栃木県に分布する日光-満美穴テフラ・沼沢-芝原・燧ヶ岳-七入テフラ・鬼怒沼-黒田原テフラ・砂子原-久保田テフラ・高杖テフラを記載した。日光-満美穴テフラは斜方輝石・単斜輝石を含むスコリア質の降下堆積物で、約10万年前に日光火山群から噴出した。沼沢-芝原テフラは普通角閃石・黒雲母・少量のカミングトン閃石・石英を含む軽石質の降下堆積物で、約11万年前に沼沢火山から噴出した。燧ヶ岳-七入テフラは斜方輝石・単斜輝石を含む軽石質の降下・火砕流堆積物で、約16-17万年前に燧ヶ岳火山から噴出した。鬼怒沼-黒田原テフラは普通角閃石・斜方輝石・石英を含む軽石質の降下・火砕流堆積物で、約20-24万年前に鬼怒沼火山から噴出した。砂子原-久保田テフラは黒雲母・少量のカミングトン閃石・石英を含む軽石質の降下・火砕流堆積物で、約22万年前に砂子原カルデラから噴出した。高杖テフラは普通角閃石・カミングトン閃石・石英を含む軽石質の降下堆積物で、その給源は不明である。会津地域での沼沢火山・砂子原カルデラと尾瀬地域での鬼怒沼・燧ヶ岳火山の出現は、約30万年前以降に両地域で相前後しながら火山活動域が背弧側に拡大したことを示している。

謝辞 本報告は、地質図幅の研究(「田島」地域の地質図幅の研究)と地質編さんの研究(20万分の1地質図幅「日光」)の成果を別途公表したものである。山形大学理学部 伴 雅雄博士には、那須火山噴出物の調査において現地でご教示頂いた。群馬大学教育学部早川由紀夫博士には燧ヶ岳火山噴出物に関する資料をお送り頂いた。東京都立大学理学部鈴木毅彦博士には那須野が原周辺のテフラ層序についてご教示頂いた。以上の方々に謝意を表する。

文 献

- 阿久津純 (1957) 宇都宮付近の関東ローム (火山灰) 層. 地球科学, no. 33, 1-11.
- 伴 雅雄・高岡宣雄 (1995) 東北日本弧, 那須火山群の形成史. 岩鉱, **90**, 195-214.
- 博士山団体研究会 (1990) 会津盆地南西方の鮮新世博士山火山岩層. 地球科学, **44**, 113-126.
- Hayakawa, Y. (1985) Pyroclastic geology of Towada volcano. *Bull. Earthq. Res. Inst., Univ. Tokyo*, no. 60, 507-592.
- 早川由紀夫 (1994) 燧ヶ岳で見つかった約500年前の噴火堆積物. 火山, **39**, 243-246.
- 早川由紀夫・新井房夫・北爪智啓 (1997) 燧ヶ岳火山の噴火史. 地学雑, **106**, 660-664.
- 井上道則・吉田武義・藤縄宏和・伴 雅雄 (1994) 東北本州弧, 高原火山群における山体形成史とマグマの成因. 核理研究報告, **27**, 169-198.
- Itaya, T., Okada, T., Onoe, T. and Issiki, N. (1989) K-Ar ages of the Middle Pleistocene Takahara volcano, and argon release processes in cooling lava. *Mass Spectroscopy*, **37**, 365-374.
- Kimura, J. (1996) Near-synchronicity and periodicity of back-arc propagation of Quaternary explosive volcanism in the southern segment of northeastern Honshu arc: a study facilitated by tephrochronology. *Quaternary International*, **34-36**, 99-105.
- 小林昭二・猪俣桂次 (1986) 会津・博士山火山岩層の K-Ar 年代. 地球科学, **40**, 453-454.
- Kondo, H., Kaneko, K. and Tanaka, K. (1998) Characterization of spatial and temporal distribution of volcanoes since 14 Ma in the Northeast Japan arc. *Bull. Volcanol. Soc. Japan.*, **43**, 173-180.
- 町田 洋・新井房夫 (1992) 火山灰アトラス. 東京大学出版会, p. 276.
- 松本哲一・宇井忠英 (1997) 阿多火砕流堆積物の K-Ar 年代. 火山, **42**, 223-225.
- Matsumoto, A., Uto, K. and Shibata, K. (1989) K-Ar dating by peak comparison method—New technique applicable to rocks younger than 0.5 Ma. *Bull. Geol. Surv. Japan*, **40**, 565-579.
- 水垣桂子 (1993) 砂子原カルデラの構造と火山活動史. 地質雑, **99**, 721-737.
- 村本芳英 (1992) 日光火山群東方地域に分布する中・後期更新世テフラ: 日光火山群の噴火史.

- 静岡大地球科学研究報告, no. 18, 59-91.
- 中村洋一・鈴木陽雄(1983) 奥鬼怒地域の地質と岩石. 宇都宮大教育学部紀要, no. 34, 63-77.
- 中村洋一・緒方和徳・緒方誓也(1993) 日光錫ヶ岳, 笠ヶ岳, 三ヶ岳, 沼上火山の地質と岩石. 宇都宮大教育学部紀要, no. 45, 73-93.
- NEDO [新エネルギー総合開発機構] (1985) 地熱開発促進調査報告書, no. 8, 奥会津地域. 811p.
- NEDO [新エネルギー総合開発機構] (1987) 昭和59年度全国地熱資源総合調査(第2次)高温可能性地域(南会津地域)調査, 火山岩分布年代調査報告書, 要旨. 64p.
- 野村正弘(1999) 群馬県内火成岩のK-Ar年代. 群馬県自然史博物館報告, 3, 45-50.
- 奥野 充・守屋以智雄・田中耕平・中村俊夫(1997) 北関東, 高原火山の約6500 cal yr BPの噴火. 火山, 42, 393-402.
- 尾上 亨(1989) 栃木県塩原産更新世植物群による古環境解析. 地調報告, no. 269, 207p.
- Pyle, D. M. (1989) The thickness, volume and grain size of tephra fall deposits. *Bull. Volcanol.*, 51, 1-51.
- 酒井富三郎(1985) 5万分の1表層地質図「矢板」及び同説明書. 栃木県, 41p.
- 佐々木 実(1994) 日光火山群の岩石学. 月刊地球, 16, 221-230.
- 佐々木 実・山田結城・影沼澤 稔・中村洋一・緒方和徳・板谷徹丸(1994) 日光火山群西部のK-Ar年代. 日本火山学会講演予稿集1995年度秋季大会, p. 142.
- 菅原 宏(1991) 福島県沼沢火山のK-Ar年代. 火山, 36, 443-445.
- Sugimura, A. (1960) Zonal arrangement of some geophysical and petrological features in Japan and its environs. *Jour. Fac. Sci., Univ. Tokyo, Sec II*, 12, 133-153.
- 鈴木毅彦(1992) 那須火山のテフロクロノロジー. 火山, 37, 251-263.
- 鈴木毅彦(1993) 北関東那須野原周辺に分布する指標テフラ層. 地学雑, 102, 73-90.
- 鈴木毅彦(1999) 福島県太平洋岸, 塚原海岸における最終間氷期最盛期の海進海退過程とその時期降下したテフラについて. 地学雑, 108, 216-230.
- 鈴木毅彦・早川由紀夫(1990) 中期更新世に噴出した大町 Apm テフラ群の層位と年代. 第四紀研究, 29, 105-120.
- 鈴木毅彦・早田 勉(1994) 奥会津沼沢火山から約5万年前に噴出した沼沢一金山テフラ. 第四紀研究, 33, 233-242.
- 鈴木毅彦・奥野 充・早川由紀夫(1994) テフラからみた日光火山群の噴火史. 月刊地球, 16, 215-221.
- 鈴木毅彦・藤原 治・檀原 徹(1998) 関東北部から東北南部に分布する第四紀テフラのフィッシュ・トラック年代. 第四紀研究, 37, 95-106.
- 鈴木毅彦・木村純一・早田 勉・千葉茂樹・小荒井衛・新井房夫・吉永秀一郎・高田将志(1995) 磐梯火山周辺に分布する広域テフラ. 地学雑誌, 104, 551-560.
- 渡邊久芳(1989a) 尾瀬燧ヶ岳火山の地質. 岩鉱, 84, 55-69.
- 渡邊久芳(1989b) 尾瀬燧ヶ岳火山の岩石記載及び全岩化学組成. 岩鉱, 84, 301-320.
- 渡辺景隆・提橋 昇・新藤静夫(1960) 那須野草原の地質構造, 特に那珂川旧河道の変遷について. 地質雑, 66, 113-122.
- 山口 靖(1991) 南会津地域の地熱系モデルと地熱資源量評価. 地調報告, no. 275, 199-227.
- 山元孝広(1992a) 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.
- 山元孝広(1992b) 会津盆地, 塔寺層の火山性碎屑物堆積相から見た砂子原カルデラ火山の中期更新世火山活動. 地質雑, 98, 855-866.
- 山元孝広(1995) 沼沢火山における火砕流噴火の多様性: 沼沢湖および水沼火砕堆積物の層序. 火山, 40, 67-81.
- 山元孝広(1997) テフラ層序からみた那須茶臼岳火山の噴火史. 地質雑, 103, 676-691.
- 山元孝広(1999) 田島地域の地質. 地域地質研究報告(5万分の1地質図幅), , 地質調査所, 85p.
- 山元孝広・伴 雅雄(1997) 那須火山地質図. 火山地質図, 9, 地質調査所.
- 山元孝広・須藤 茂(1996) テフラ層序からみた磐梯火山の噴火活動史. 地調月報, 47, 335-359.
- 山元孝広・吉岡敏和(1992) 若松地域の地質. 地域地質研究報告(5万分の1地質図幅), 地質調査所, 73p.
- 山崎正男(1958) 日光火山群. 地球科学, 36, 28-35.
- 吉田武義・木村純一・大口健志・佐藤比呂志(1997) 島弧マグマ供給系の構造と進化. 火山, 42, 「マグマ」特別号, S189-S207.

(受付:1999年9月2日;受理:1999年10月6日)

付録1: 広域テフラの記載

A1.1 御岳第1テフラ (On-Pm1)

本テフラは館岩村高杖スキー場 (Loc. 25; Fig. 2)・下郷町鶴ヶ池 (Loc. 21; Fig. 2)・那須町豊原 (Fig. 30)・那須町高久 (Fig. 32) で、日光-満美穴テフラの直上に見出される。このうち高久では本テフラと日光-満美穴テフラの間に厚さ約20cmの火山灰土があり最も層準が離れるが、他の地点では間に数cm厚の火山灰土が挟まれる程度である。本テフラの層厚は高杖スキー場で最も厚く、全層厚は8.5cmで、下位から厚さ2cmの軽石片・結晶片に富む粗粒砂サイズの火山灰、厚さ5mmの細粒砂サイズの火山灰、厚さ1.5cmの軽石片・結晶片に富む粗粒砂サイズの火山灰、厚さ4.5cmの平行葉理を持った細粒-極細粒砂サイズの火山灰からなる。これ以外の地点では厚さ数cmのレンズ状団塊として火山灰土に挟まれ、成層構造は全く確認できない。鏡下では斜長石・黒雲母・普通角閃石・斜方輝石・単斜輝石・鉄鉱の結晶片が含まれ、火山ガラスや有色鉱物の屈折率は御岳第1テフラとして報告されている値 (町田・新井, 1992) と良く一致する (Table 3)。

A1.2 阿蘇4テフラ (Aso4)

本テフラは今市市薄井沢 (Loc. 50; Fig. 2) で間に厚さ35cmの火山灰土を挟んで日光-満美穴テフラの上位に見いだされる最大層厚3cmの黄色レンズ状火山灰層である。鏡下では無色-淡褐色の泡壁型火山ガラス片・斜長石・斜方輝石・単斜輝石・普通角閃石・鉄鉱の結晶片が認められ、大型の緑色普通角閃石が特徴的である。火山ガラスや有色鉱物の屈折率は、阿蘇4として報告されている値 (町田・新井, 1992) と良く一致する (Table 3)。

付録2: 鬼怒沼-黒田原テフラよりも下位のテフラの記載

A2.1 戸室山テフラ群 (Loc. 37; Fig. 8)

戸室山第1テフラ (TM1)

黒礫岩屑なだれ堆積物の6cm下位に位置する層厚4cmの降下火砕堆積物。径3cm以下の粘土化した白色軽石と径1cm以下の灰色石質安山岩火山礫からなる。有色鉱物の多くも粘土化しており鉄鉱以外に、普通角閃石・斜方輝石・単斜輝石の結晶片が鏡下で僅かに観察された。斜方輝石と普通角閃石の屈折率は、Fig. 8に示した。

戸室山第2テフラ (TM2)

TM1の22cm下位に位置する全層厚33cmの降下火砕堆積物で3層に区分できる。下部は層厚34cmで径1.8cm以下の粘土化した橙色軽石と少量の石質安山岩火山礫からなり、基底部には逆級化が顕著に認められる。中部は

層厚3cmで、灰色の粗粒火山灰からなる。上部は層厚6cmで、径1.5cm以下の粘土化した橙色軽石からなる。鏡下では斜長石・石英・黒雲母・鉄鉱と微量の斜方輝石の結晶片が認められる。斜方輝石の屈折率は、Fig. 8に示した。

戸室山第3テフラ (TM3)

TM2の60cm下位に位置する全層厚21cmの降下火砕堆積物で5層に区分できる。下位から層厚12cmで径1.5cm以下の粘土化した橙-白色軽石、層厚0.5cmの肌色細粒火山灰、層厚3.5cmで径2cm以下の粘土化した白色軽石、層厚2cmの灰色石質粗粒火山灰、層厚3cmで径1.5cm以下の粘土化した橙色軽石からなる。有色鉱物の多くも粘土化しており鉄鉱以外に、斜方輝石の結晶片が鏡下で僅かに観察された。斜方輝石の屈折率は、Fig. 8に示した。

戸室山第4テフラ (TM4)

TM3の25cm下位に位置する層厚28cmの降下火砕堆積物。径2cm以下の粘土化した赤褐-暗褐色スコリアからなり、淘汰がよい。

戸室山第5テフラ (TM5)

TM4の53cm下位に位置する層厚18cmの降下火砕堆積物。径3.5cm以下の粘土化した赤褐-暗褐色スコリアからなり、淘汰がよい。

戸室山第6テフラ (TM6)

TM5の20cm下位に位置する層厚14cmの降下火砕堆積物。径0.8cm以下の粘土化した赤褐-橙色スコリアからなり、淘汰がよい。

戸室山第7テフラ (TM7)

TM6の7cm下位に位置する全層厚21cmの降下火砕堆積物で上下2層からなる。下部は層厚15cmで径1.8cm以下の粘土化した赤色と灰色のスコリアからなり、淘汰がよい。上部は層厚6cmで暗灰色の粗粒火山灰からなる。

戸室山第8テフラ (TM8)

TM6の19cm下位に位置する層厚20cmの降下火砕堆積物。径1cm以下の粘土化した赤色と灰色のスコリアからなり、淘汰がよい。

戸室山第9テフラ (TM9)

TM8の21cm下位に位置する層厚15cmの降下火砕堆積物。径1.5cm以下の粘土化した白色軽石からなる。鏡下では斜長石・石英・斜方輝石・単斜輝石・鉄鉱と微量の黒雲母の結晶片が認められる。斜方輝石の屈折率は、Fig. 8に示した。

A2.2 真船テフラ群 (Loc. 28 ; Fig. 9)

真船第1テフラ (MF1)

黒礫岩屑なだれ堆積物の7cm下位に位置する層厚8cmの降下火砕堆積物。径1cm以下の粘土化した暗褐色スコリアからなる。

真船第2テフラ (MF2)

TM1の40cm下位に位置する全層厚40cmの降下火砕堆積物で3層からなる。下部は層厚22cmで径1.5cm以下の粘土化した赤褐色スコリアからなり、淘汰がよい。中部は層厚4cmの暗褐色粗粒火山灰からなる。上部は層厚14cmで径1.5cm以下の粘土化した暗褐色スコリアからなる。

真船第3テフラ (MF3)

TM2の44cm下位に位置する全層厚8cmの降下火砕堆積物。径1cm以下の粘土化した褐色スコリアからなる。

真船第4テフラ (MF4)

TM3の44cm下位に位置する層厚4cmの降下火砕堆積物。径1.5cm以下の粘土化した褐色スコリアからなる。

真船第5テフラ (MF5)

TM4の67cm下位に位置する層厚4cmの降下火砕堆積物。径2.5cm以下の粘土化した暗褐色スコリアからなる。

真船第6テフラ (MF6)

TM5の48cm下位に位置する層厚20cmの降下火砕堆積物。径3cm以下の粘土化した橙色軽石からなり、細粒火山灰の薄層を数枚挟む。有色鉱物の多くも粘土化しており鉄鉱以外に、斜方輝石・単斜輝石の結晶片が鏡下で僅かに観察された。斜方輝石の屈折率は、Fig. 9に示した。

真船第7テフラ (MF7)

TM6の30cm下位に位置する層厚5cmの降下火砕堆積物。径3cm以下の粘土化した赤褐色スコリアからなる。

真船第8テフラ (MF8)

TM7の5cm下位に位置する層厚2cmの降下火砕堆積物。径0.8cm以下の粘土化した赤褐色スコリアからなる。

真船第9テフラ (MF9)

TM8の2cm下位に位置する層厚12cmの降下火砕堆積物。径2.5cm以下の粘土化した白色軽石と火山灰の互層からなる。有色鉱物の多くも粘土化しており鉄鉱以外に、斜方輝石の結晶片が鏡下で僅かに観察された。斜方

輝石の屈折率は、Fig. 9に示した。

真船第10テフラ (MF10)

TM9の11cm下位に位置する層厚2cmの降下火砕堆積物。径1.5cm以下の粘土化した赤褐色スコリアからなる。

真船第11テフラ (MF11)

TM10の11cm下位に位置する層厚22cmの降下火砕堆積物で5層からなる。下位から層厚4cmで径2.5cm以下の粘土化した桃色軽石、層厚2cmの暗褐色粗粒火山灰、層厚8cmで径2.5cm以下の粘土化した桃色軽石、層厚4cmの暗褐色粗粒火山灰、層厚4cmで径2cm以下の桃色軽石からなる。有色鉱物の多くも粘土化しており鉄鉱以外に、斜方輝石の結晶片が鏡下で僅かに観察された。斜方輝石の屈折率は、Fig. 9に示した。

真船第12テフラ (MF12)

TM11の11cm下位に位置する全層厚74cmの降下火砕堆積物で8層からなる。下位から層厚7cmで径2cm以下の粘土化した桃色軽石、層厚3cmの暗褐色細粒火山礫、層厚12cmで径5cm以下の粘土化した桃色軽石、層厚6cmの肌色粗粒火山灰、層厚10cmで径0.6cm以下の桃色軽石、層厚10cmで成層した暗褐色粗粒火山灰、層厚20cmで径3cm以下の粘土化した桃色軽石、層厚6cmで成層した暗褐色粗粒火山灰からなる。有色鉱物の多くも粘土化しており鉄鉱以外に、斜方輝石・普通角閃石の結晶片が鏡下で僅かに観察された。斜方輝石の屈折率は、Fig. 9に示した。

真船第13テフラ (MF13)

TM12の20cm下位に位置する層厚11cmの降下火砕堆積物。径2.5cm以下の粘土化した褐色スコリアからなる。

真船第14テフラ (MF14)

TM13の10cm下位に位置する層厚26cmの降下火砕堆積物。径1.5cm以下の粘土化した赤褐色スコリアからなる。

A2.3 泉崎テフラ群 (Loc. 16 ; Fig. 10)

泉崎第1テフラ (IZ1)

Kn-KDの140cm下位に位置する層厚16cmの降下火砕堆積物。径2cm以下の粘土化した赤褐色スコリアからなる。

泉崎第2テフラ (IZ2)

IZ1の80cm下位に位置する層厚6cmの降下火砕堆積物。径0.2cm以下の白色軽石からなる。鏡下では、斜長石・斜方輝石・普通角閃石・鉄鉱の結晶片が認められる。

斜方輝石・普通角閃石の屈折率は、Fig. 10 に示した。

泉崎第3テフラ（IZ3）

IZ2 の140cm 下位に位置する層厚 4 cm の降下火砕堆積物。径0.5cm 以下の粘土化した褐色スコリアからなる。

泉崎第4テフラ（IZ4）

IZ3 の100cm 下位に位置する層厚 4 cm の降下火砕堆積物。白色軽石片・結晶片に富む粗粒火山灰からなる。鏡下では、斜長石・石英・斜方輝石・普通角閃石・鉄鉱と微量の黒雲母の結晶片が認められる。斜方輝石・普通角閃石の屈折率は、Fig. 10 に示した。