

ISSN 2186-490X
CODEN : CCKHA7

地質調査研究報告

BULLETIN OF THE GEOLOGICAL SURVEY OF JAPAN

Vol. 63 No. 3/4 2012



独立行政法人
産業技術総合研究所
地質調査総合センター



平成24年

概報

長福島一栃木地域における過去約 30 万年間のテフラの再記載と定量化
山元孝広 35

論文

産総研ボアホール歪計で計測された歪変動と GPS 観測との比較
大谷 竜・松本則夫・名和一成・板場智史 93

エアロゾルにより輸送された放射性核種の観測 (2011)

—福島第一原子力発電所事故に関連して—
金井 豊 107

概報

秩父盆地尾田蒔丘陵にみられる中期更新世テフラの記載岩石学的特徴
坂田健太郎・中澤 努・中里裕臣 119

表紙の写真

安達太良山山頂の安達太良岳テフラ

安達太良岳テフラは、安達太良火山で約 12 万年前に起きた大規模なプリニー式噴火の堆積物で、その総噴出量は約 2×10^3 km³ DRE に達する。写真基部の赤褐色部が噴火前の地表で、これを覆う白色部が非溶結のデイサイト軽石降下堆積物、上部の暗灰色が溶結した安山岩スコリア降下堆積物からなる。

(写真・文：山元孝広)

Cover page

Adataro-Dake tephra at the summit of Mt. Adataro.

Adataro-Dake tephra is the 120-ka large Plinian ejecta of Adataro volcano, and its total volume is about 2×10^3 km³ DRE. The middle white and upper parts consist of non-welded dacite pumice and welded andesite scoria fall deposits, respectively; the basal reddish brown part is the pre-eruption ground surface.

(Photograph and Caption by Takahiro Yamamoto)

福島—栃木地域における過去約 30 万年間のテフラの再記載と定量化

山元孝広

Takahiro Yamamoto (2012) Quantitative re-description of tephra units since 0.3 Ma in the Fukushima-Tochigi region, NE Japan. *Bull. Geol. Surv. Japan*, vol. 63(3/4), p. 35-91, 49 figs, 4 tables, 2 appendixes.

Abstract: Tephra units since 0.3 Ma in the Fukushima-Tochigi region have been re-described with regard to their stratigraphy, compositions, ages and volumes, adding unpublished data. They were erupted from Azuma volcano, Adataro volcano, Bandai volcano, Sunagohara caldera, Numazawa volcano, Futamatayama volcano, Nasu volcanoes, Takahara volcano, Hiuchigatake volcano, Kinunuma volcano, Nikko volcanoes, Iiji volcano and Akagi volcano. The erupted ages of some tephra units should be revised, because several previous studies included miscorrelations of tephra units. This study have listed up all tephra units, more than 0.1 km³ DRE in volume, from these volcanoes, and established the eruption histories on magma volume for these volcanoes, except for Nikko and Akagi.

Keywords: tephra, tephrochronology, Late Pleistocene, Middle Pleistocene, Fukushima, Tochigi

要 旨

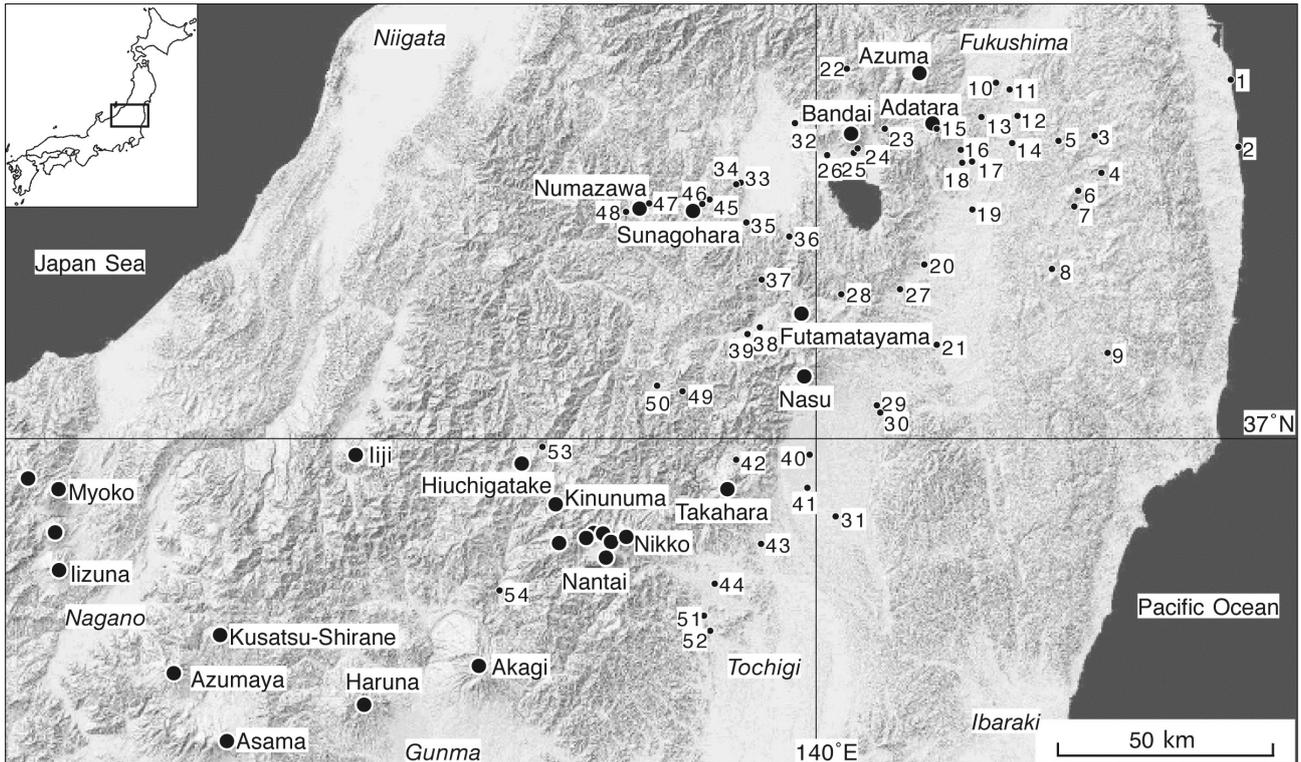
福島—栃木地域に分布する過去約 30 万年間のテフラを、未公表資料を追加して層序・分布・構成物・噴火年代・マグマ体積について再記載した。これらのテフラは吾妻火山、安達太良火山、磐梯火山、砂子原カルデラ、沼沢火山、二岐山火山、那須火山群、高原火山、燧ヶ岳火山、鬼怒沼火山、日光火山群、飯土火山、赤城火山から噴出したものである。既報のいくつかのテフラ噴出年代には修正の必要なものがあるほか、一部のこれまでの研究には明らかなテフラ対比上の問題が含まれている。

1. はじめに

テフラと呼ばれる火砕物は、爆発的噴火により破碎されたマグマが火口から放出され地表に定置したものである。地層として保存されたテフラは過去に起きた爆発的噴火の証拠であるだけでなく、広域に分布するものは地層中の同一時間面を示す鍵層であることから、多くのテフラが記載されてきた(町田・新井, 1992; 2003)。特に列島規模の分布を持つ始良 Tn テフラ(AT: 町田・新井, 1976)、大山倉吉テフラ(DKP: 町田・新井, 1979)、阿蘇 4 テフラ(Aso4: 町田ほか, 1985)、御岳第 1 テフラ(On-Pm1: 町田・鈴木, 1971)は後期更新世の時間指標面として重要性が高く、多くの地域でそれらの層準が確認されている。更に、これらの指標テフラとの層序的位置関係を明らかにすることにより、年代の確定していないロー

カルなテフラに相対的な噴火年代を与えることも可能となる(早川, 1995)。当然ながら、噴火層序の時間軸決定は火山活動の定量的な評価に不可欠の作業であり、テフラ層序学的手法を駆使した火山活動史の編年は、これまでも多くの火山で実施されてきている(例えば伊豆大島火山: Nakamura, 1964; 富士火山: 宮地, 1988 など)。

本報告では、東北日本南部の福島—栃木地域(Fig. 1)に分布する過去約 30 万年間のテフラの再記載を行い、当地域の地質環境の長期評価に必要な爆発的噴火の履歴データを整備する。約 30 万年前で区切ったのは、この前後で火山の分布状況に顕著な違いが認められ火山活動場の変化があったこと(Yamamoto, 2007)、当地域では 30 万年前よりも古いテフラは露出が限られ個々の分布を押さえることが困難なことが理由である。対象とするテフラの給源火山は吾妻火山、安達太良火山、磐梯火山、砂子原カルデラ、沼沢火山、二岐山火山、那須火山群、高原火山、燧ヶ岳火山、鬼怒沼火山、日光火山群、飯土火山、赤城火山で(Fig. 1)、そのテフラ層序は鈴木(1992)、鈴木ほか(1998)、山元(1999b)、Yamamoto(2005)などにより記載され、その大枠が確立されている。しかしながら、その後の調査・研究の結果、テフラの対比に修正の必要があるものや、噴出年代の見直しの必要のあるものがあることが明らかになってきている。そこで、多くの未公表データを加え、個々のテフラを再記載するとともに、各テフラの分布図を再作成し、各火山噴出量の定量化を行うことにする。



第1図 福島－栃木地域周辺の第四紀火山の分布と露頭位置。

地形陰影図は、国土地理院の50 mメッシュ数値地図による。露頭位置の緯度・経度は表3に示した。

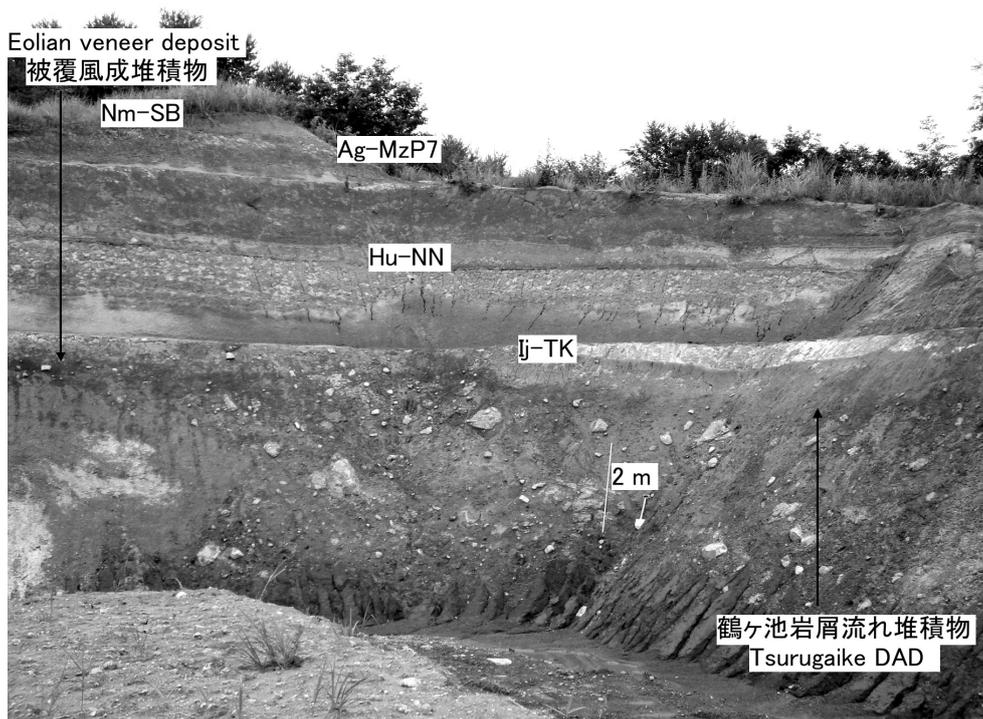
Fig. 1 Index map of Quaternary volcanoes (black circles) and outcrops around the Fukushima-Tochigi region.

The topographic image has been made using the digital map 50m grid (elevation), from the Geographical Survey Institute, Japan. See Table 3 for the latitude and longitude positions of the outcrops.

2. 露頭柱状図と分析結果

福島—栃木地域に分布するテフラの多くは、火山体斜面・岩屑なだれ堆積物・段丘化した河川堆積物を覆う褐色火山灰土を主体とした風成堆積物中に挟まれている (Fig. 2)。地域内の代表的な露頭 (Loc. 1～Loc. 54) については、Fig. 3～Fig. 11にその柱状図を示した。柱状図中の *Gms* や *St* は、Miall (1978) の堆積相コードである。また、柱状図中のテフラの略号 (Ad-DK など) については Table 1 に、柱状図中の試料番号 (Hm102 など) のついたテフラの分析結果は Table 2 に、露頭位置は Table 3 に示している。更に、各露頭に対する既報との対応関係や対比の修正などの注釈を付録1に列記している。テフラの名称については、町田・新井 (1992; 2003) に従い、沼沢沼沢湖テフラ (Nm-NK) のように給源火山名の後に個別テフラ名を付けている。一方、姥沢北テフラ (Ub) のように個別テフラ名単独のものは、給源火山が未確定であることを意味している。テフラの分析は (株) 京都フィッシュン・トラックに依頼しており、洗浄・篩別された 120-250 mesh 粒径試料について、全鉱物組成分析、重鉱物分析、火山ガラスの屈折率測定、鉱物の屈折率測定が行われている。

テフラのうちの降下火砕物堆積物の体積については、各等層厚線と等層厚線が囲む面積の関係から見積もっている。火口近傍の堆積物層厚が測定できたテフラの場合は、各層厚と面積の相関から遠方部の層厚分布をグラフ上で作図・外挿し、各層厚毎の体積を積算して計測している。一方、火口近傍の堆積物層厚が測定できていないテフラの場合は、Legros (2000) の簡便法を用いて体積を見積もっている。この方法は一つの等層厚線の面積から全体積の最小値を与えるもので、降下火砕堆積物全体の等層厚分布が把握できていない場合にも用いることが可能である。また、真の体積は Legros (2000) の最小値の数倍以内であることが多い。この Legros (2000) の簡便法は、Pyle (1989) の手法を拡張したものであるが、信頼性の高い結晶法適用例の平均値を用いる Hayakawa (1985) の経験則と結果的に算術式の形は同じであり、Legros 法最小体積は Hayakawa 法体積の約 1/3 となる。このことは第一次近似として Hayakawa (1985) の経験則は有効であり、既存文献にある彼の手法で決められた値もその意味を理解していれば十分使えるものであることを意味している。



第 2 図 鶴ヶ池岩屑なだれ堆積物を覆う風成堆積物の露頭写真。

Ag-MzP7 = 赤城水沼 7 テフラ；Hu-NN = 燧ヶ岳七入テフラ；Ij-TK = 飯土高杖テフラ；Nm-SB = 沼沢芝原テフラ。福島県下郷町鶴ヶ池 (Loc. 38)。

Fig. 2 Outcrop photograph of eolian veneer deposits overlying the Tsurugaiké debris avalanche deposit (DAD). Ag-MzP7 = Akagi-Mizunuma 7 tephra; Hu-NN = Hiuchigateke-Nanairi tephra; Ij-TK = Iiji-Takatsue tephra; Nm-SB = Numazawa-Shibahara tephra. Tsurugaiké, Shimogo Town, Fukushima (Loc. 38).

3. 吾妻火山

吾妻火山は、福島市西方の火山フロント上に位置する成層火山である (Fig. 1)。その山体は西吾妻、中吾妻、東吾妻、一切経、高山などの底径 1- 数 km、比高 200-500 m の安山岩質の火山錐や、これらに覆われる初生的な火山地形を失ったより古い安山岩質の山体が重なり合っている (藤縄・鴨志田, 1999)。NEDO (1991) の放射年代測定によると吾妻火山の活動は百数十万年前から始まり、約 30 万年前までにはほとんどの山体が形成されたことになる。ただし、個々の山体の層序関係や形成時期の詳細は不明な点が多い。山体東部にある完新世の吾妻小富士や五色沼などの火口群を形成した吾妻浄土平火山の活動は 6.7 ka から始まり、その総噴出量はブルカノ式噴火降下火砕物と溶岩流を合わせて約 5×10^{11} DRE km^3 である (山元, 2005)。またこれらとは別に吾妻火山を起源とするプリニー式噴火によるテフラ層が Yamamoto (2005) により山麓部で記載され、以下の吾妻佐久間テフラと吾妻福島テフラが定義されている。

3.1 吾妻佐久間テフラ (Az-SK)

Yamamoto (2005) 命名。模式地は、福島県福島市松川

町佐久間の国道 4 号線東脇の露頭 (Loc. 12 ; Fig. 5)。吾妻火山で約 13 万年前に発生したプリニー式噴火の産物で、東へ向かう降下火砕堆積物からなる (Fig. 12 ; Yamamoto, 2005)。福島市から大玉村にかけての山崎岩屑なだれ堆積物の上位 (Locs. 17 & 18 ; Fig. 6) や、阿武隈山地内の高位段丘の厚い被覆風成火山灰土 (Locs. 3, 5, 6, 10 & 12 ; Figs. 3, 4 & 5) 中において、Hu-TG・Az-FK 間の層準に挟まれている。本テフラの岩質は斜方輝石単斜輝石デイサイトで、基質に斜長石・斜方輝石・単斜輝石の結晶質粗粒火山灰を伴う軽石火山礫からなる。また、本テフラの火山ガラスの屈折率は 1.510-1.512 と、後述する直下の Az-FK よりも有意に高い (Table 2)。模式地での層厚は 20 cm で、給源位置を吾妻火山東部の浄土平付近とすると、16-32 cm 等層厚線が囲む面積 (Table 4) を用いた降下火砕堆積物の最小体積は約 4×10^{11} km^3 (堆積物の平均密度を 800 kg/m^3 として岩石換算最小体積は約 2×10^{11} km^3 DRE, 最小質量は約 3×10^{11} kg) である。

3.2 吾妻福島テフラ (Az-FK)

山元・阪口 (2000), Yamamoto (2005) 命名。模式地は、福島県福島市蓬萊町二丁目の宅地開発地 (Loc. 11 ; Fig. 5)。吾妻火山で約 14 万年前に発生したプリニー式噴火

第1表 テフラ一覧.

Bt = 黒雲母; *Cpx* = 単斜輝石; *Cum* = カミングトン閃石; *Hb* = 普通角閃石; *Opx* = 斜方輝石. a) 青木ほか (2008); b) 松本ほか (1989).

Table 1. List of tephra units in this study.

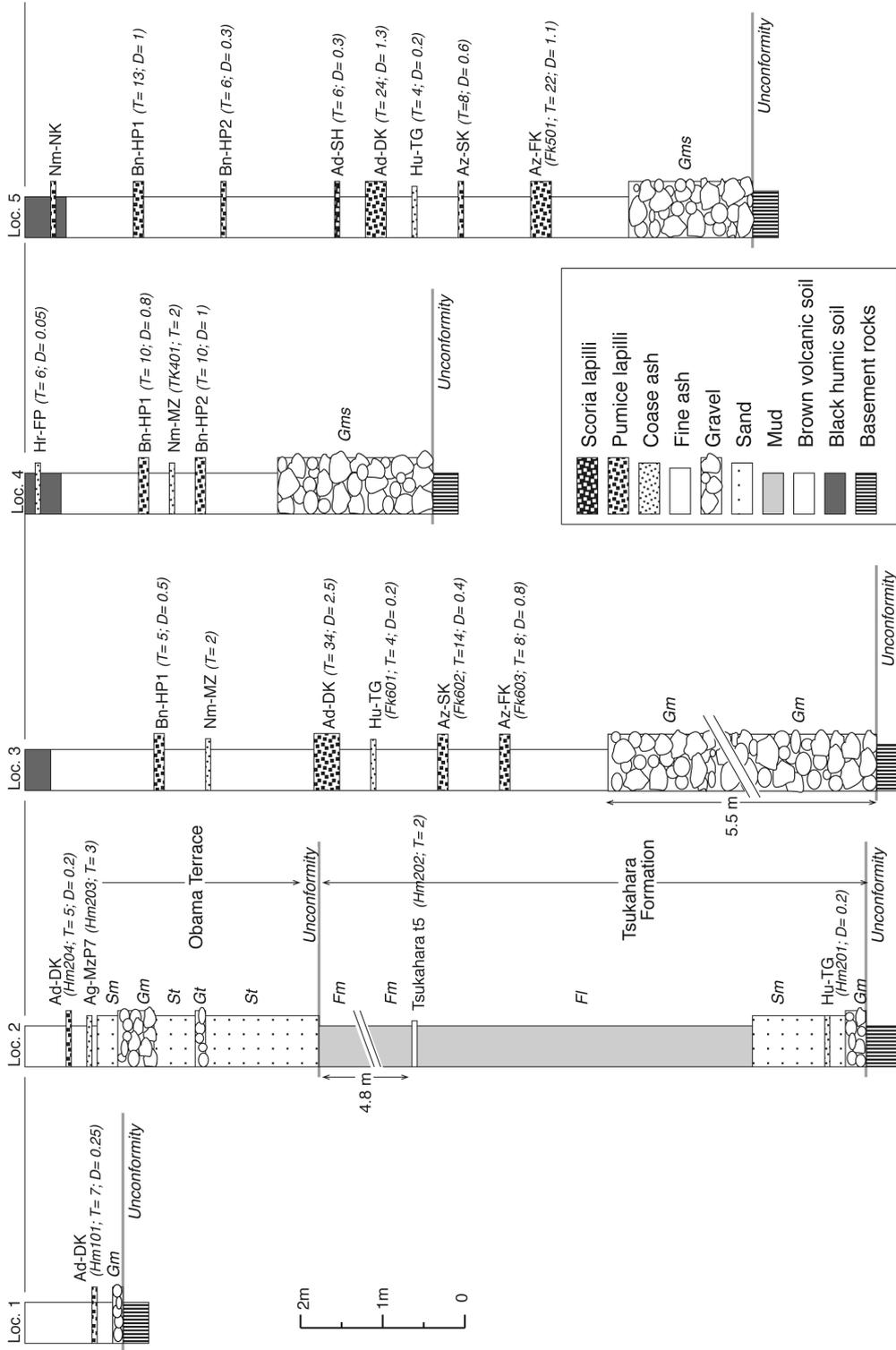
Bt = biotite; *Cpx* = clinopyroxene; *Cum* = cummingtonite; *Hb* = hornblende; *Opx* = orthopyroxene. a) Aoki *et al.* (2008); b) Matsumoto *et al.* (1989).

Tephra	Name		Age	Rock type	Reference
Hr-FP	Haruna-Futatsudake-Ikaho	榛名ニツ岳伊香保	1.5 ka	Opx Hb dacite	Arai (1962)
Nm-NK	Numazawa-Numazawako	沼沢沼沢湖	5.4 ka	Opx Hb dacite	Yamamoto (1995; 2003)
Tk-UH	Takahara-Uenohara	高原上の原	6.5 ka	Opx Hb dacite	Okuno <i>et al.</i> (1997)
Nt-S	Nantai-Shichihonzakura	男体七本桜	17 ka	Hb-bear Opx Cpx dacite	Akutsu (1955)
Nt-I	Nantai-Imaichi	男体今市	17 ka	Opx Cpx dacite	Akutsu (1955)
As-YP	Asama-Itahana-Yellow	浅間板鼻黄色	17 ka	Hb-bear Opx Cpx dacite	Arai (1962)
Nt-KU4	Nantai-Kutsukake 4	男体沓掛4	ca 19 ka	Basalt	Suzuki (1993)
Nt-KU3	Nantai-Kutsukake 3	男体沓掛3	ca 20 ka	Basalt	Suzuki (1993)
Nt-KU1	Nantai-Kutsukake 1	男体沓掛1	ca 22 ka	Basalt	Suzuki (1993)
Nt-OG	Nantai-Ogawa	男体小川	ca 23 ka	Basalt	Suzuki (1993)
As-BP	Asama-Itahana-Brown	浅間板鼻褐色	ca 23 ka	Opx Cpx dacite	Arai (1962)
AT	Aira-Tn	始良Tn	29 ka ^{a)}	Opx Cpx rhyolite	Machida & Arai (1976)
Tk-KD	Takahara-Kashiwaidaira	高原柏木平	ca 30 ka	Opx Hb dacite	This study
Ad-NH	Adatara-Nihonmatsu	安達太良二本松	ca 40 ka	Hb-bear Opx Cpx dacite	Yamamoto & Sakaguchi (2000)
Ag-KP	Akagi-Kanuma	赤城鹿沼	44 ka ^{a)}	Hb-bear Opx Cpx dacite	Akutsu (1955)
Bn-HP1	Bandai-Hayama 1	磐梯葉山1	46 ka	Opx Cpx dacite	Yamamoto & Suto (1996)
Hr-HP	Haruna-Hassaki	榛名八崎	ca 47 ka	Cum-bear Cpx Hb Opx dacite	Arai (1962)
Ad-EB4	Adatara-Ebisu 4	安達太良えびす4	ca 48 ka	Opx Cpx andesite	Yamamoto & Sakaguchi (2000)
Ag-NM1	Akagi-Namekawa 1	赤城行川1	ca 50 ka	Hb Opx Cpx dacite	Suzuki (1990)
Ag-NM2	Akagi-Namekawa 2	赤城行川2	ca 50 ka	Hb Opx Cpx dacite	Suzuki (1990)
DKP	Daisen-Kurayoshi	大山倉吉	ca 50 ka	Bt-bear Opx Hb dacite	Machida & Arai (1979)
Nm-MZ	Numazawa-Mizunuma	沼沢水沼	ca 50 ka	Bt Cum Hb dacite	Yamamoto (1995; 2003)
Ag-MzP1	Akagi-Mizunuma 1	赤城水沼1	56-59 ka	Hb-bear Opx Cpx dacite	Moriya (1968); Suzuki (1990)
Ag-MzP2	Akagi-Mizunuma 2	赤城水沼2	ca 60 ka	Hb Opx Cpx dacite	Moriya (1968); Suzuki (1990)
Ad-EB3	Adatara-Ebisu 3	安達太良えびす3	ca 60 ka	Opx Cpx andesite	Yamamoto & Sakaguchi (2000)
Ag-OK	Akagi-Okkai	赤城追貝	ca 70 ka	Hb-bear Opx Cpx dacite	Arai (1962)
Bn-HP2	Bandai-Hayama 2	磐梯葉山2	ca 80 ka	Opx Cpx dacite	Yamamoto & Suto (1996)
On-NG	Ontake-Nagawa	御岳奈川	ca 80 ka	Hb Opx Cpx dacite	Takemoto <i>et al.</i> (1987a)
Ag-MzP5	Akagi-Mizunuma 5	赤城水沼5	ca 90 ka	Hb-bear Opx Cpx dacite	Moriya (1968); Suzuki (1990)
Ad-EB2	Adatara-Ebisu 2	安達太良えびす2	ca 90 ka	Opx Cpx andesite	Yamamoto & Sakaguchi (2000)
Nk-HG	Nikko-Higashiakata	日光東赤田	ca 90 ka	Opx Cpx andesite	Suzuki (1993)
Aso4	Aso 4	阿蘇4	89 ka ^{b)}	Opx Cpx Hb dacite	Machida <i>et al.</i> (1985)
Ft-HT5	Futamatayama-Hatori 5	二岐山羽鳥5	ca 90 ka	Opx Cpx andesite	Yamamoto (1999a)
Ft-HT4	Futamatayama-Hatori 4	二岐山羽鳥4	ca 90 ka	Opx Cpx andesite	Yamamoto (1999a)
On-Pm1	Ontake-1	御岳第1	96 ka ^{a)}	Opx-bear Bt Hb dacite	Machida & Suzuki (1971); Machida & Arai (1992)
Ag-MzP6	Akagi-Mizunuma 6	赤城水沼6	ca 0.10 Ma	Hb Opx dacite	Moriya (1968); Suzuki (1990)
Nk-MA	Nikko-Mamiana	日光満美穴	ca 0.10 Ma	Opx Cpx andesite	Akutsu (1957)
Ad-SH	Adatara-Sahara	安達太良佐原	ca 0.10 Ma	Hb-bear Opx Cpx dacite	Yamamoto & Sakaguchi (2000)
Nk-OK	Nikko-Ogikubo	日光荻久保	ca 0.10 Ma	Opx Cpx andesite	Suzuki (1993)
Nm-SB	Numazawa-Shibahara	沼沢芝原	0.11 Ma	Cum-bear Hb Bt rhyolite	Suzuki (1992); Yamamoto (2003)
Ad-MT	Adatara-Matsukawa	安達太良松川	ca 0.11 Ma	Opx Cpx andesite	Yamamoto & Sakaguchi (2000)
Ad-DK	Adatara-Dake	安達太良岳	ca 0.12 Ma	Opx Cpx dacite	Yamamoto & Sakaguchi (2000)

福島—栃木地域における過去約 30 万年間のテフラの再記載と定量化 (山元)

第 1 表 (続き)
Table 1. Continued.

Tephra	Name	Age	Rock type	Reference
Ag-MzP7	Akagi-Mizunuma 7 赤城水沼7	ca 0.12 Ma	Hb Opx dacite	Moriya (1968); Suzuki (1990)
Ft-HT3	Futamatayama-Hatori 3 二岐山羽鳥3	ca 0.12 Ma	Opx Cpx andesite	Yamamoto (1999a)
Ns-SR1	Nasu-Shirakawa 1 那須白河1	ca 0.12 Ma	Andesite	Suzuki (1992)
t5	Tsukahara t5 塚原t5	ca 0.12 Ma	Hb-bear Opx Cpx dacite	Kubo <i>et al.</i> (1990)
Ag-MzP8	Akagi-Mizunuma 8 赤城水沼8	0.125 Ma	Hb-bear Opx Cpx dacite	Moriya (1968); Suzuki (1990)
Hu-TG	Hiuchigatake-Tagashira 燧ヶ岳田頭	0.129 Ma ^{a)}	Bt Hb Opx Cpx dacite	Suzuki (1993; 1999)
Ag-MzP9-10	Akagi-Mizunuma 9-10 赤城水沼9-10	ca 0.13 Ma	Hb-bear Opx Cpx dacite	Moriya (1968); Suzuki (1990)
Ft-HT2	Futamata-Hatori 2 二岐山羽鳥2	ca 0.13 Ma	Opx Cpx andesite	Yamamoto (1999a)
Az-SK	Azuma-Sakuma 吾妻佐久間	ca 0.13 Ma	Opx Cpx dacite	Yamamoto (2005)
Nk-SO	Nikko-So-otome 日光早乙女	ca 0.13 Ma	Hb-bear Opx Cpx andesite	Muramoto (1992); Suzuki (1993)
Nk-NM	Nikko-Namekawa 日光行川	ca 0.14 Ma	Hb-bear Opx Cpx andesite	Suzuki (1993)
Nk-YT	Nikko-Yaita 日光矢板	ca 0.14 Ma	Hb-bear Opx Cpx andesite	Suzuki (1993)
Az-FK	Azuma-Fukushima 吾妻福島	ca 0.14 Ma	Opx Cpx dacite	Yamamoto & Sakaguchi (2000); Yamamoto (2005)
Iz-Kta	Iizuna-Kamitaru a 飯縄上榑a	ca 0.14 Ma	Bt-Cum-bear Opx Hb dacite	Suzuki (2001)
Ns-SR3	Nasu-Shirakawa 3 那須白河3	ca 0.14 Ma	Andesite	Suzuki (1992)
Ub	Ubasawakita 姥沢北	ca 0.15 Ma	Opx Cpx dacite	Suzuki (1992)
Ns-SR6	Nasu-Shirakawa 6 那須白河6	ca 0.15 Ma	Andesite	Suzuki (1992)
Ns-SR7	Nasu-Shirakawa 7 那須白河7	ca 0.15 Ma	Andesite	Suzuki (1992)
OrP	Origuchihara 折口原	ca 0.15 Ma	Hb-bear Opx Cpx dacite	Suzuki (1992)
Ns-SR8	Nasu-Shirakawa 8 那須白河8	ca 0.15 Ma	Andesite - dacite	Suzuki (1992)
Ns-SR9	Nasu-Shirakawa 9 那須白河9	ca 0.15 Ma	Andesite	Suzuki (1992)
SI2	Siobara 2 塩原2	ca 0.15 Ma	Opx Cpx andesite	Suzuki (1993)
SI3	Siobara 3 塩原3	ca 0.16 Ma	Hb-bear Opx Cpx andesite	Suzuki (1993)
SI4	Siobara 4 塩原4	ca 0.16 Ma	Hb-bear Opx Cpx andesite	Suzuki (1993)
Ns-SR10	Nasu-Shirakawa 10 那須白河10	ca 0.16 Ma	Andesite	Suzuki (1992)
Yum	Yumihari 弓張	ca 0.16 Ma	Bt Cpx Opx Hb dacite	Suzuki <i>et al.</i> (2004)
Hu-NN	Hiuchigatake-Nanairi 燧ヶ岳七入	0.16-0.17 Ma	Opx Cpx dacite	Watanabe (1989a); Yamamoto (1999b)
YG	Yaguchi 矢口	ca 0.20 Ma	Andesite	Suzuki (1993)
Ns-SR11	Nasu-Shirakawa 11 那須白河11	ca 0.20 Ma	Andesite	Suzuki (1992)
Ns-SR12	Nasu-Shirakawa 12 那須白河12	ca 0.20 Ma	Andesite	Suzuki (1992)
Ad-MH6	Adatara-Mizuhara 7 安達太良水原7	ca 0.20 Ma	Andesite	Yamamoto & Sakaguchi (2000)
Ad-MH5	Adatara-Mizuhara 6 安達太良水原6	ca 0.21 Ma	Andesite	Yamamoto & Sakaguchi (2000)
Sn-KB	Sunagohara-Kubota 砂子原久保田	0.22 Ma	Cum-bear Bt rhyolite	Yamamoto (1999b)
Ij-MO	Iiji-Moka 飯土真岡	ca 0.22 Ma	Cum-bear Opx Hb dacite	Yamamoto (2007)
Kn-KD	Kinunuma-Kurodahara 鬼怒沼黒田原	ca 0.23 Ma	Opx Hb dacite	Suzuki (1992; 1993); Yamamoto (1999b)
Ad-MH4	Adatara-Mizuhara 4 安達太良水原4	ca 0.23 Ma	Andesite	Yamamoto & Sakaguchi (2000)
Ad-MH3	Adatara-Mizuhara 3 安達太良水原3	ca 0.24 Ma	Andesite	Yamamoto & Sakaguchi (2000)
TM01	Tomuroyama 1 戸室山1	ca 0.24 Ma	Opx Hb dacite	Yamamoto (1999b)
TM02	Tomuroyama 2 戸室山2	ca 0.24 Ma	Bt rhyolite	Yamamoto (1999b)
Ad-MH2	Adatara-Mizuhara 2 安達太良水原2	ca 0.25 Ma	Andesite	Yamamoto & Sakaguchi (2000)
Ad-MH1	Adatara-Mizuhara 1 安達太良水原1	ca 0.25 Ma	Andesite	Yamamoto & Sakaguchi (2000)
TM03	Tomuroyama 3 戸室山3	ca 0.25 Ma	Cpx Opx dacite	Yamamoto (1999b)
Ij-TK	Iiji-Takatsue 飯土高杖	0.25-0.28 Ma	Cum Hb dacite	Yamamoto (1999b; 2007)
Sn-SK	Sunagohara-Sakasegawa 砂子原佐賀瀬川	0.29 Ma	Bt rhyolite	Yamamoto & Suto (1996); Yamamoto <i>et al.</i> (2006)
Sb-OT	Shiobara-Otawara 塩原大田原	ca 0.30 Ma	Opx Cpx dacite	Sasaki <i>et al.</i> (1958)

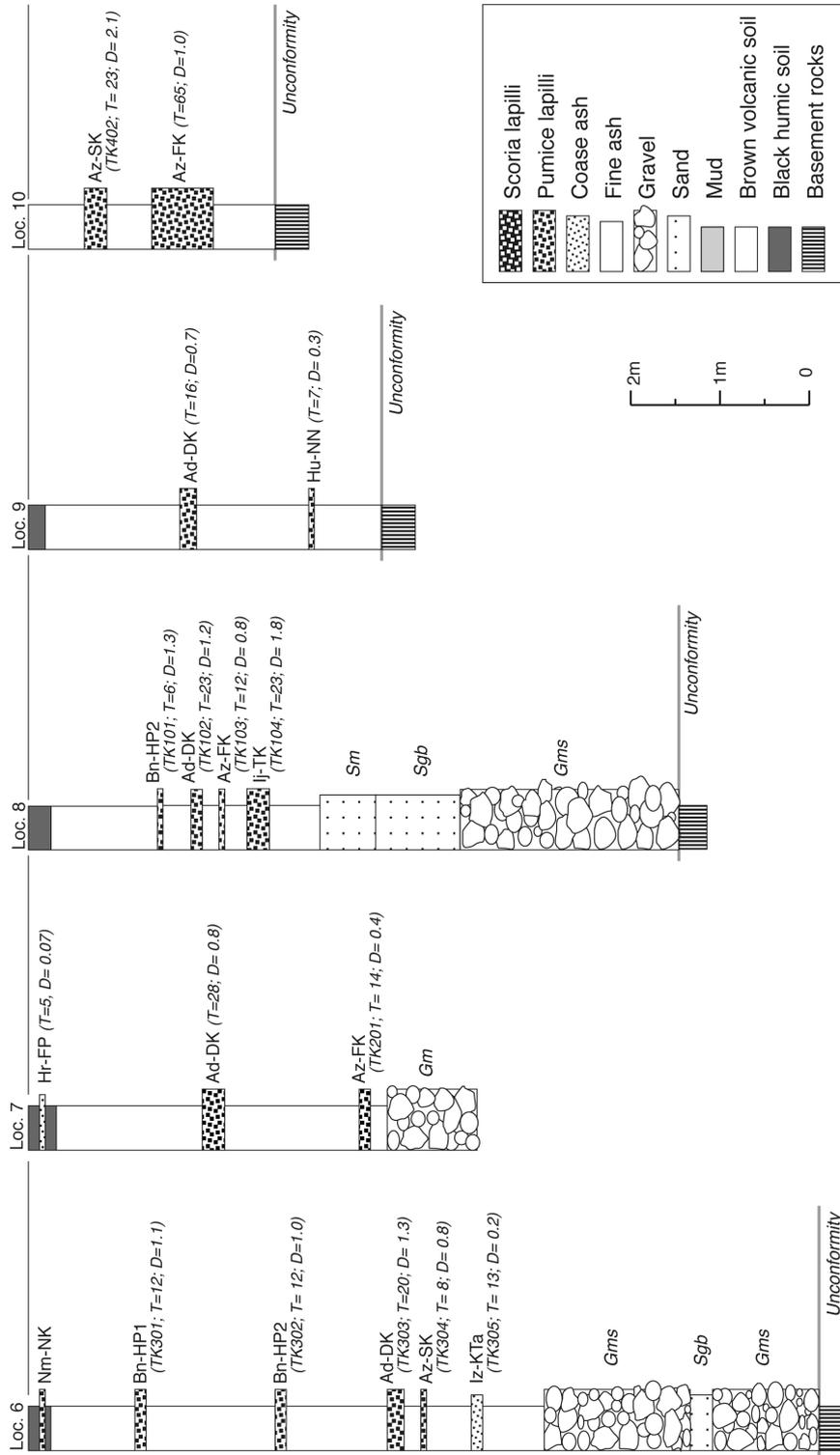


第3図 Loc. 1, 2, 3, 4及び5における露頭柱状図。

テフラの名称とその特徴は表1・2を参照のこと。Gms = 基質支持で無級化の礫；Gm = 岩片支持で塊状の礫；Gt = トラフ型斜交層理を持つ礫；Sm = 塊状で淘汰の悪い～中程度の中～極粗粒砂；St = 細かな葉理を持つ極細粒砂及び泥；Fm = 塊状の泥。Hm101, Hm203などは表2の試料番号。T = テフラ層の厚さ。D = テフラの平均最大粒径。

Fig. 3 Stratigraphic columns at Locs. 1, 2, 3, 4 and 5.

See Tables 1 and 2 for the tephra names and its compositions. Gms = matrix-supported, ungraded, massive gravel; Gm = clast-supported, massive gravel; Gt = trough-crossbedded gravel; Sm = massive, poorly to moderately sorted medium-very coarse sand; St = trough-crossbedded sand; Fl = Finely laminated very fine sand and mud; Fm = massive mud. Hm101, Hm203, etc. are the sample number in Table 2. T = thickness of the tephra unit. D = averaged maximum diameter of grains in the tephra unit.

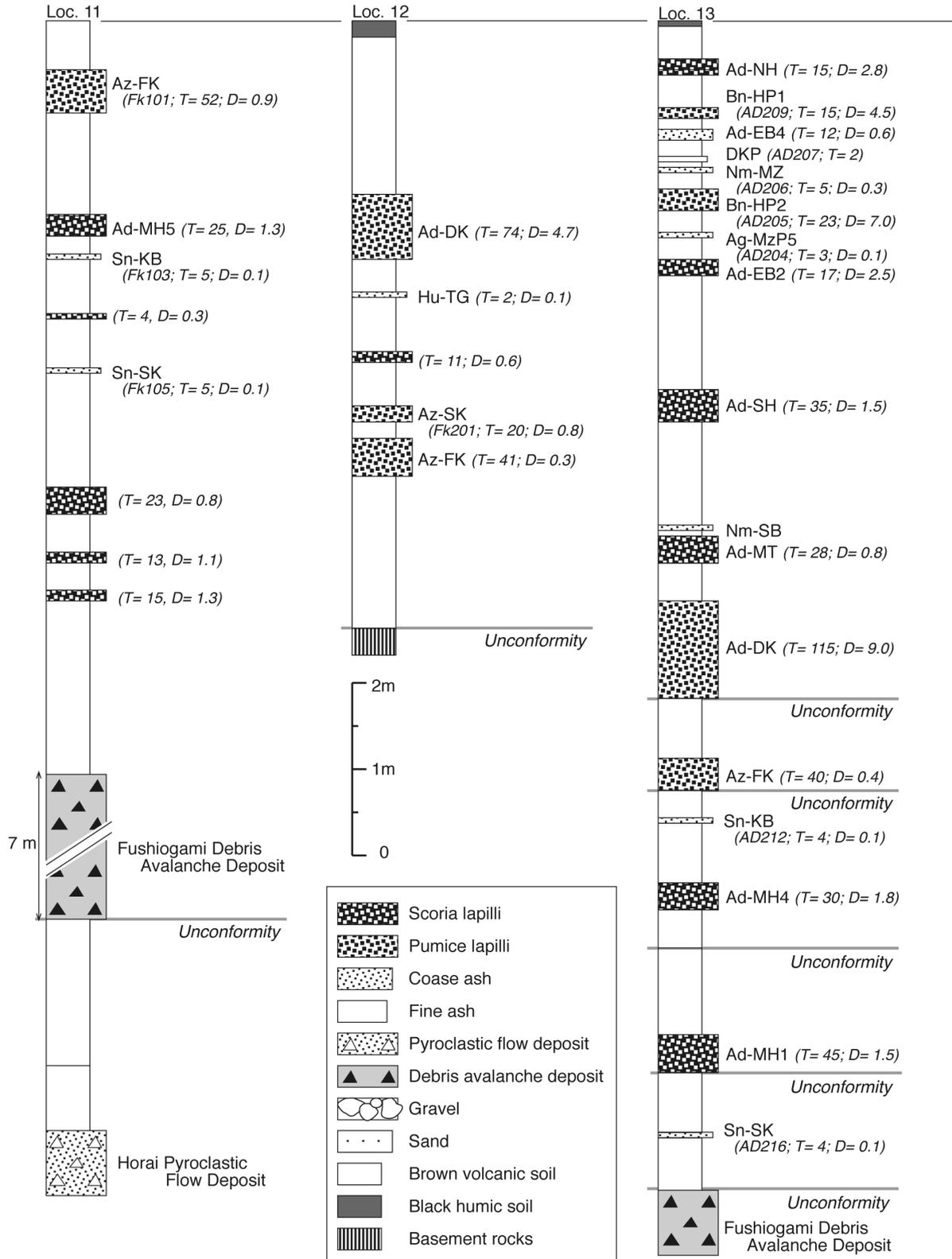


第 4 図 Loc. 6, 7, 8, 9 及び 10 における露頭柱状図。

テフラの名称とその特徴は表 1・2 を参照のこと。Gms = 基質支持で無級化の礫; Gm = 岩片支持で塊状の礫; Sgb = 連続性の悪い平行層理を持つ淘汰が中程度～悪い砂・細礫・中礫; Sm = 塊状で淘汰の悪い～中程度の中～極粗粒砂。TK301, TK201 などは表 2 の試料番号。T = テフラ層の厚さ。D = テフラの平均最大粒径。

Fig. 4 Stratigraphic columns at Locs. 6, 7, 8, 9 and 10.

See Tables 1 and 2 for the tephra names and its compositions. Gms = matrix-supported, ungraded, massive gravel; Gm = clast-supported, massive gravel; Sgb = horizontal but discontinuous bedded, moderately to poorly sorted sand, granules, and pebbles; Sm = massive, poorly to moderately sorted medium-very coarse sand. TK301, TK201, etc. are the sample number in Table 2. T = thickness of the tephra unit. D = averaged maximum diameter of grains in the tephra unit.

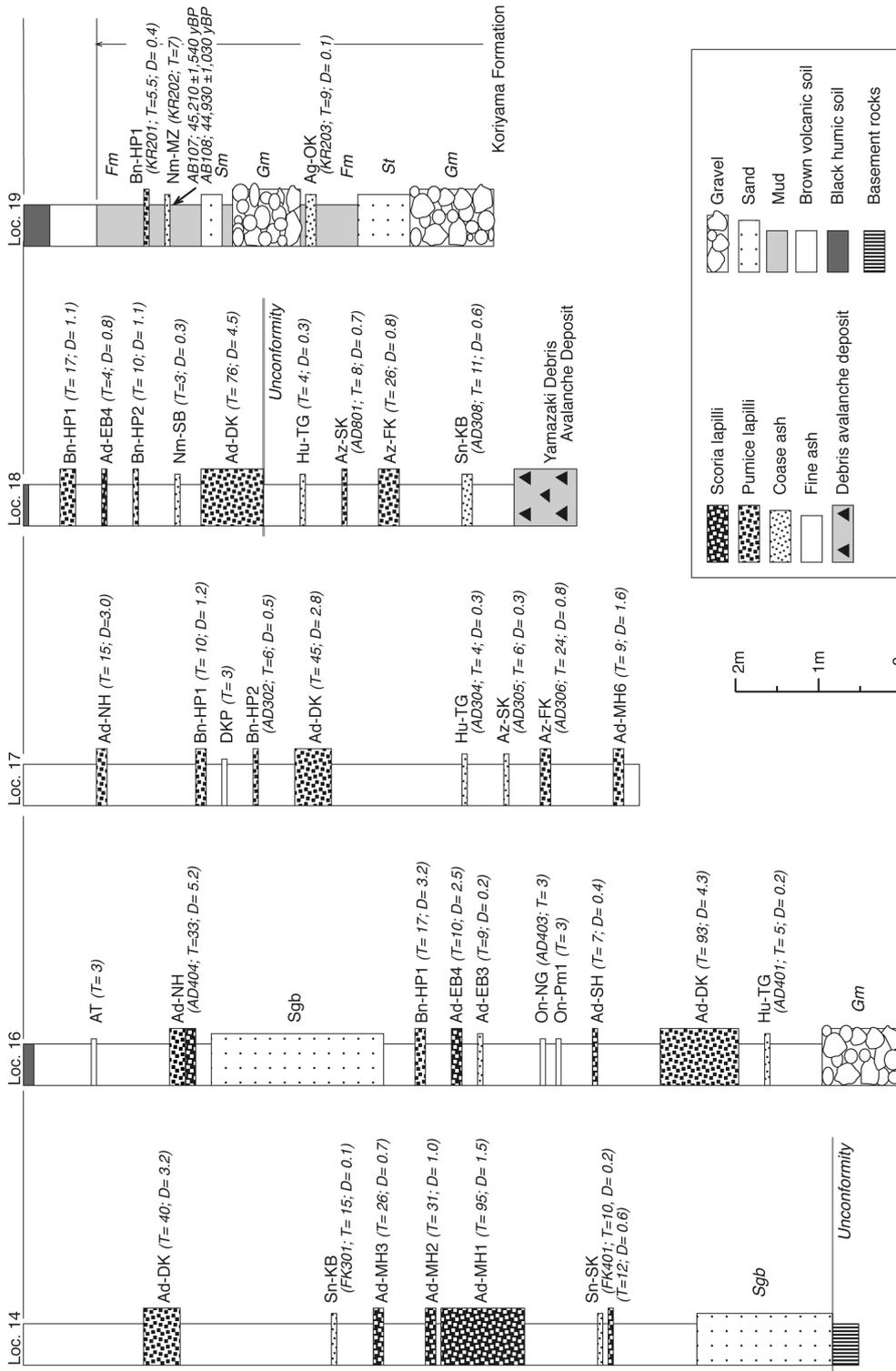


第5図 Loc. 11, 12 及び 13 における露頭柱状図。

テフラの名称とその特徴は表1・2を参照のこと。Fk103, Fk201などは表2の試料番号。T=テフラ層の厚さ、D=テフラの平均最大粒径。

Fig. 5 Stratigraphic columns at Locs. 11, 12 and 13.

See Tables 1 and 2 for the tephra names and its compositions. Fk103, Fk201, etc. are the sample number in Table 2. T = thickness of the tephra unit. D = averaged maximum diameter of grains in the tephra unit.

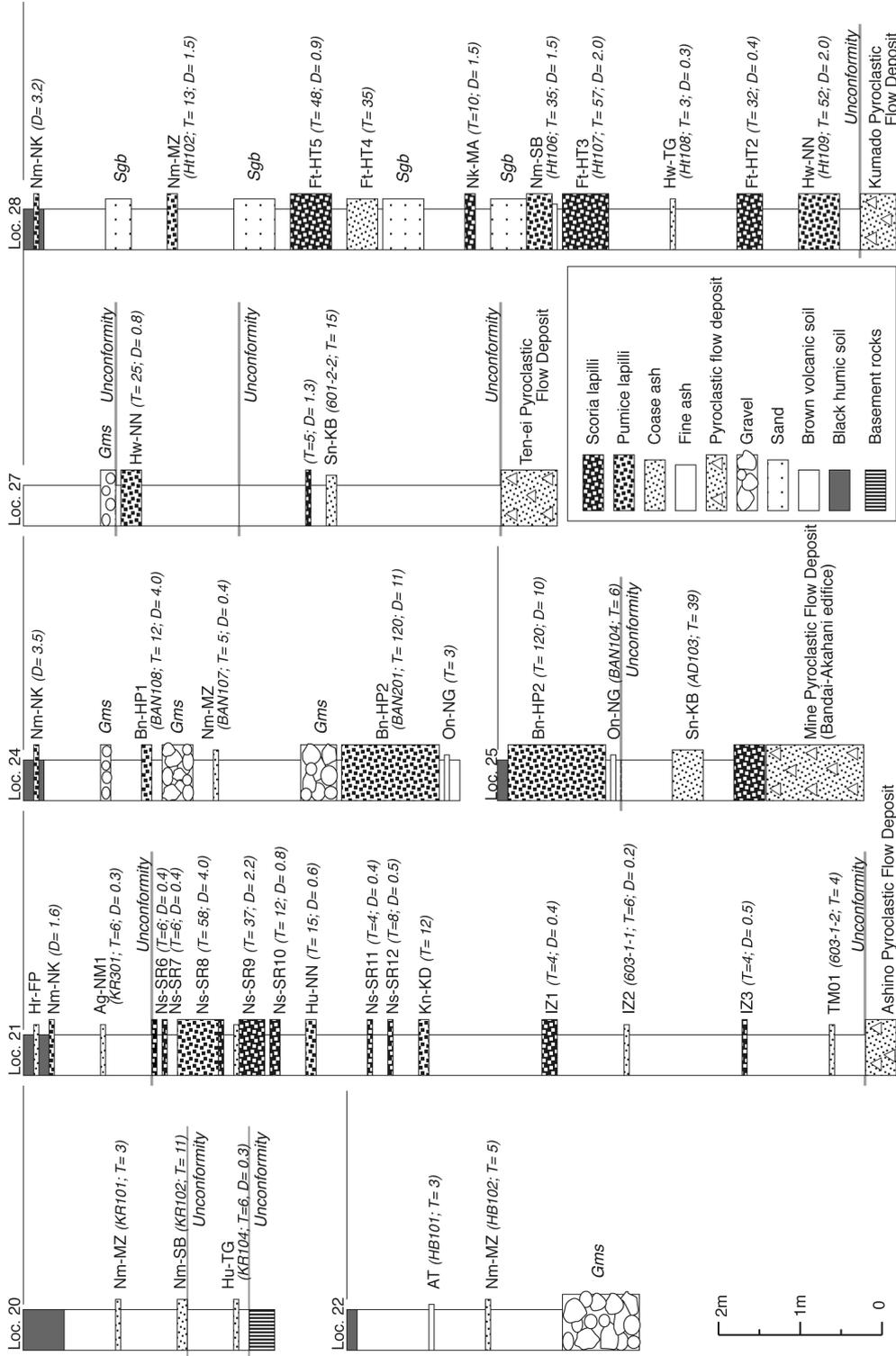


第6図 Loc. 14, 16, 17, 18 及び 19 における露頭柱状図。

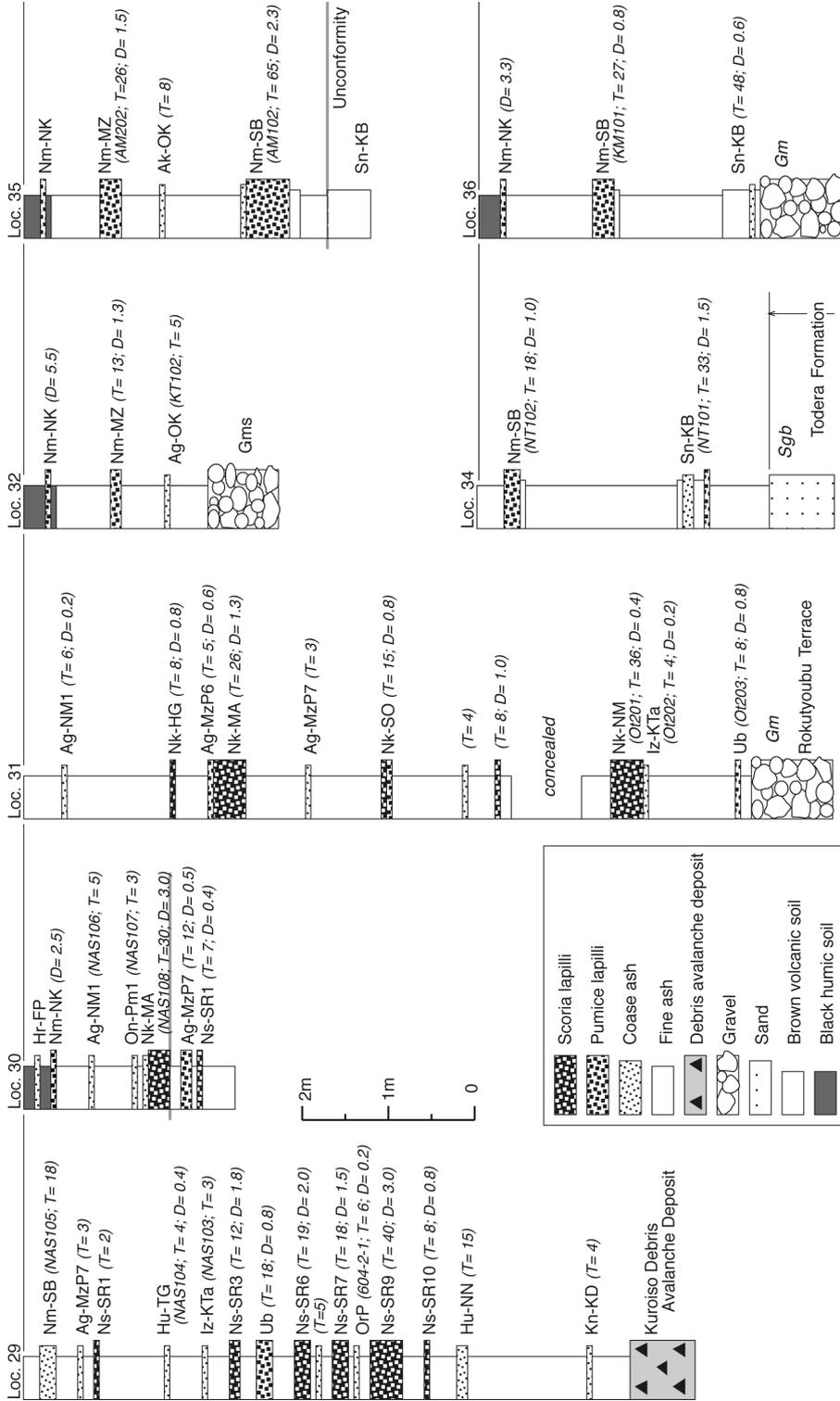
テフラの名称とその特徴は表1・2を参照のこと。Gm = 岩片支持で塊状の礫；Sgb = 連続性の悪い、平行層理を持つ淘汰が中程度～悪い砂・細礫・中礫；Sm = 塊状で淘汰の悪い～中程度の中～極粗粒砂；St = トラフ型斜交層理を持つ砂。FK301, AD404などは表2の試料番号。T = テフラ層の厚さ。D = テフラの平均最大粒径。

Fig. 6 Stratigraphic columns at Locs. 14, 16, 17, 18 and 19.

See Tables 1 and 2 for the tephra names and its compositions. Gm = clast-supported, massive gravel; Sgb = horizontal but discontinuous bedded, moderately to poorly sorted sand, granules, and pebbles; Sm = massive, poorly to moderately sorted medium-very coarse sand; St = trough-crossbedded sand. FK301, AD404, etc. are the sample number in Table 2. T = thickness of the tephra unit. D = averaged maximum diameter of grains in the tephra unit.



第7図 Loc. 20, 21, 22, 24, 25, 27 及び 28 における露頭柱状図。
 テフラの名称とその特徴は表1・2を参照のこと。Gms = 基質支持で無級化の礫。KR101, KR301 などは表2の試料番号。T = テフラ層の厚さ。
 D = テフラの平均最大粒径。
 Fig. 7 Stratigraphic columns at Locs. 20, 21, 22, 24, 25, 27 and 28.
 See Tables 1 and 2 for the tephra names and its compositions. Gms = matrix-supported, ungraded, massive gravel. KR101, KR301, etc. are the sample number in Table 2. T = thickness of the tephra unit. D = averaged maximum diameter of grains in the tephra unit.

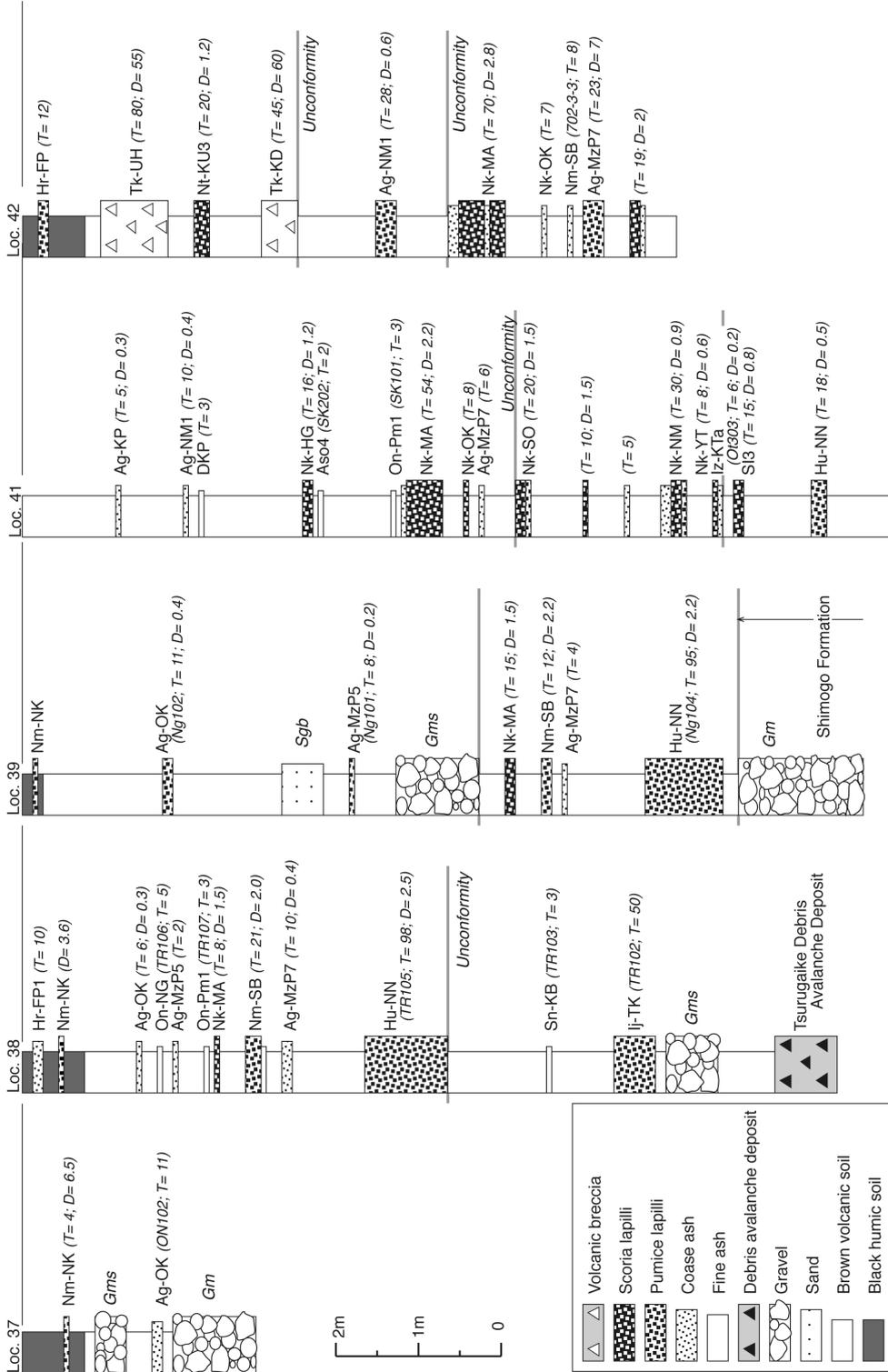


第8図 Loc. 29, 30, 31, 32, 34, 35 及び36 における露頭柱状図。

テフラの名称とその特徴は表1・2を参照のこと。Gms = 基質支持で無級化の礫；Gm = 岩片支持で塊状の礫；Sgb = 連続性の悪い平行層理を持つ淘汰が中程度～悪い砂・細礫・中礫。NAS105, NAS106 などは表2の試料番号。T = テフラ層の厚さ。D = テフラの平均最大粒径。

Fig. 8 Stratigraphic columns at Locs. 29, 30, 31, 32, 34, 35 and 36.

See Tables 1 and 2 for the tephra names and its compositions. Gms = matrix-supported, ungraded, massive gravel; Gm = clast-supported, massive gravel; Sgb = horizontal but discontinuous bedded, moderately to poorly sorted sand, granules, and pebbles. NAS105, NAS106, etc. are the sample number in Table 2. T = thickness of the tephra unit. D = averaged maximum diameter of grains in the tephra unit.

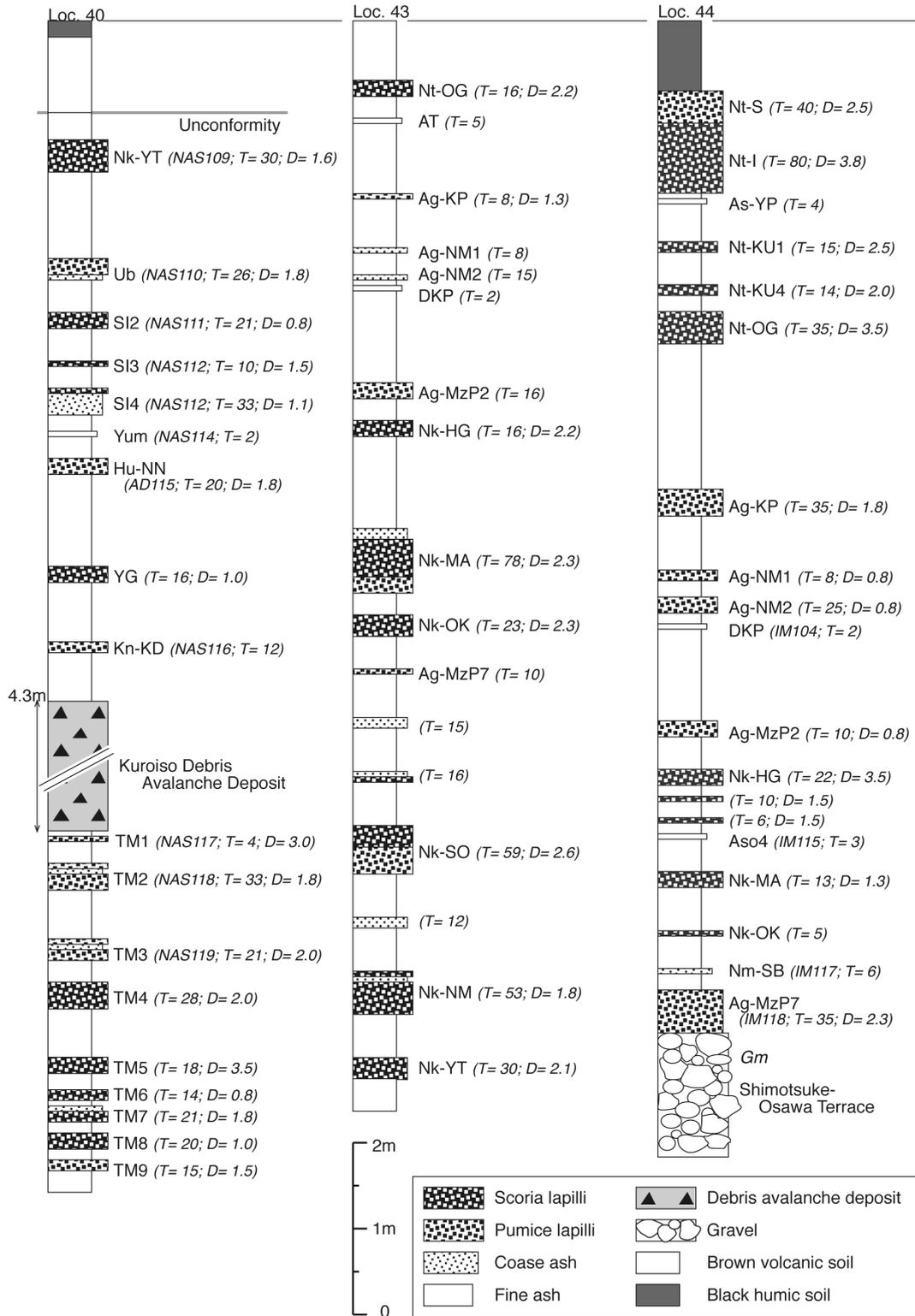


第9図 Loc. 37, 38, 39, 41及び42における露頭柱状図。

テフラの名称とその特徴は表1・2を参照のこと。Gms = 基質支持で無級化の礫；Gm = 岩片支持で塊状の礫；Sgb = 連続性の悪い平行層理を持つ淘汰が中程度～悪い砂・細礫・中礫。ON102, TR106などは表2の試料番号。T = テフラ層の厚さ。D = テフラの平均最大粒径。

Fig. 9 Stratigraphic columns at Locs. 37, 38, 39, 41 and 42.

See Tables 1 and 2 for the tephra names and its compositions. Gms = matrix-supported, ungraded, massive gravel; Gm = clast-supported, massive gravel; Sgb = horizontal but discontinuous bedded, moderately to poorly sorted sand, granules, and pebbles. ON102, TR106, etc. are the sample number in Table 2. T = thickness of the tephra unit. D = averaged maximum diameter of grains in the tephra unit.

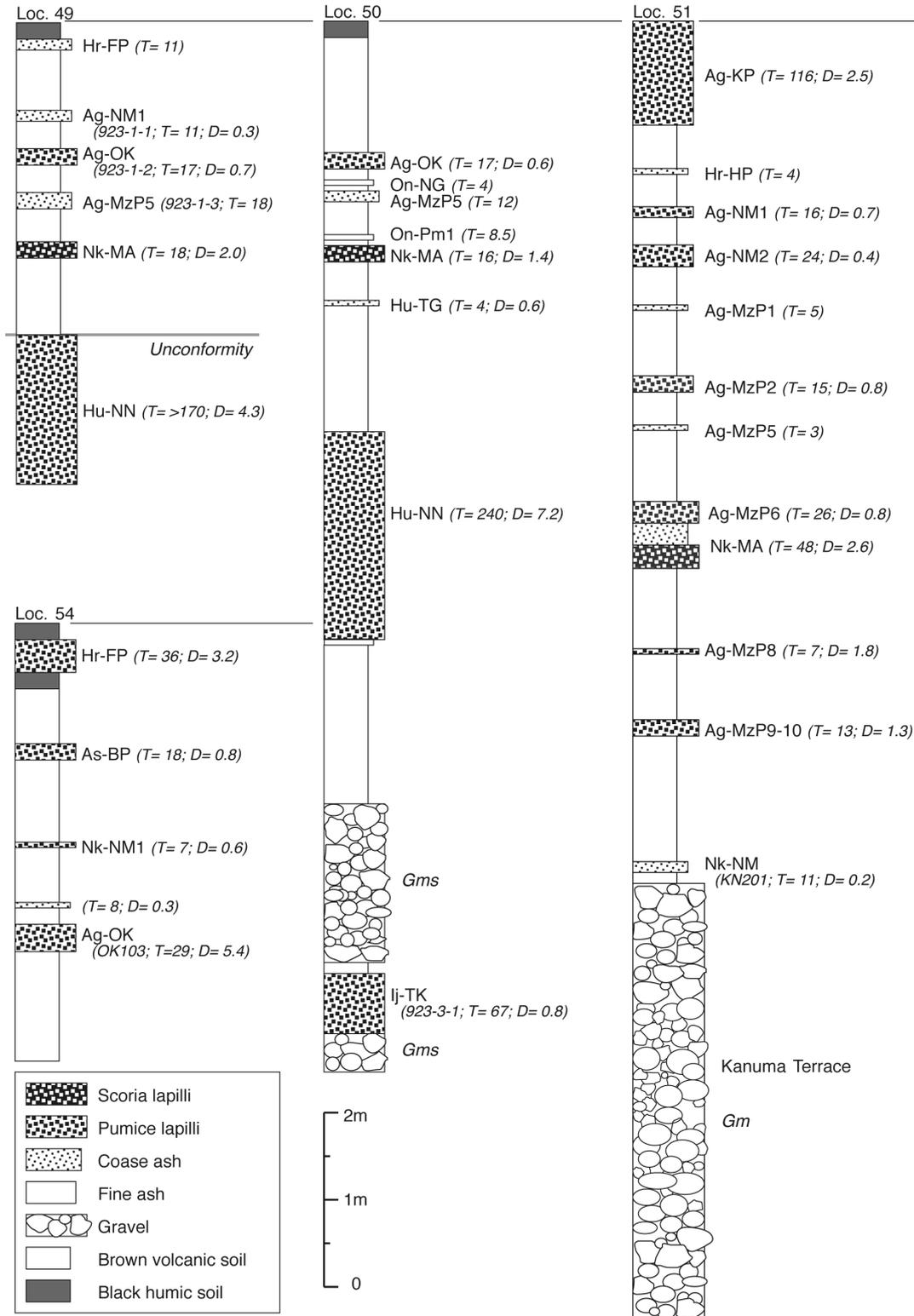


第 10 図 Loc. 40, 43 及び 44 における露頭柱状図。

テフラの名称とその特徴は表 1・2 を参照のこと。Gm = 岩片支持で塊状の礫。NAS109, IM115 など は表 2 の試料番号。T = テフラ層の厚さ。D = テフラの平均最大粒径。

Fig. 10 Stratigraphic columns at Locs. 40, 43 and 44.

See Tables 1 and 2 for the tephra names and its compositions. Gm = clast-supported, massive gravel. NAS109, IM115, etc. are the sample number in Table 2. T = thickness of the tephra unit. D = averaged maximum diameter of grains in the tephra unit.



第11図 Loc. 49, 50, 51 及び 54 における露頭柱状図。

テフラの名称とその特徴は表1・2を参照のこと。Gms = 基質支持で無級化の礫；Gm = 岩片支持で塊状の礫。923-1-1, KN201などは表2の試料番号。T = テフラ層の厚さ。D = テフラの平均最大粒径。

Fig. 11 Stratigraphic columns at Locs. 49, 50, 51 and 54.

See Tables 1 and 2 for the tephra names and its compositions. Gms = matrix-supported, ungraded, massive gravel; Gm = clast-supported, massive gravel. 923-1-1, KN201, etc. are the sample number in Table 2. T = thickness of the tephra unit. D = averaged maximum diameter of grains in the tephra unit.

福島—栃木地域における過去約 30 万年間のテフラの再記載と定量化 (山元)

第 2 表 テフラの特徴.

Bt = 黒雲母; Cpx = 単斜輝石; Cum = カミングトン閃石; Hb = 普通角閃石; Opx = 斜方輝石; Qz = 石英; [] = 微量成分.
A = 本研究, B = 山元 (1995); C = 山元・須藤 (1996); D = 山元 (1999a); E = 山元 (1999b); F = 山元・坂口 (2000); G = 山元 (2003); H = 山元・駒澤 (2004); I = 山元 (2005); J = 山元ほか (2006); K = 吉川ほか (2010).

Table 2. Characteristics of tephra units.

Bt = biotite; Cpx = clinopyroxene; Cum = cummingtonite; Hb = hornblende; Opx = orthopyroxene; Qz = quartz; [] = minor component. A = this study; B = Yamamoto (1995); C = Yamamoto and Suto (1996); D = Yamamoto (1999); E = Yamamoto (1999b); F = Yamamoto and Sakaguchi (2000); G = Yamamoto (2003); H = Yamamoto and Komazawa (2004); I = Yamamoto (2005); J = Yamamoto *et al.* (2006); K = Yoshikawa *et al.* (2010). See Figure 1 and Table 3 for outcrop localities. Stratigraphic positions of samples are shown in Figure 3 to 11.

Unit	Sample	Loc.	Mineral composition	Refractive index mode				Ref.
				Glass (n)	Opx (γ)	Hb (n2)	Cum (n2)	
AT	HB101	22	glass >> [Opx, Hb, Cpx, Bt]	1.498-1.501 (100%)	[1.730-1.734 (30%)]			A
Ad-NH	AD404	16	Opx, Cpx, [Hb]	1.509-1.511 (70%)	1.711-1.713 (70%)	[1.678-1.684 (100%)]		F
Bn-HP1	BAN108	24	Opx > Cpx, [Hb]	1.506-1.508 (80%)	1.714-1.717 (80%)			C
Bn-HP1	BAN301	26	Opx > Cpx	1.502-1.505 (90%)	1.714-1.717 (90%)			C
Bn-HP1	AD209	13	Opx > Cpx	1.507	1.714-1.717 (80%)			F
Bn-HP1	KR201	19	Opx > Cpx; [Qz]	1.503-1.506 (70%)	1.713-1.716 (100%)			J
Bn-HP1	TK301	6	Opx > Cpx; [Qz]	1.503-1.506 (70%)	1.713-1.716 (100%)			I
Ag-NM1	NAS106	30	Opx > Cpx, Hb, [Bt]; [Qz]	1.502-1.506 (70%) 1.496-1.498 (20%)	1.704-1.708 (60%)	1.680-1.684 (80%)		E
Ag-NM1	KR301	21	Opx, Hb > Cpx, [Bt]; [Qz]	1.503-1.505 (50%) 1.498-1.501 (40%)	1.703-1.709 (90%)	1.673-1.689 (100%)		A
Ag-NM1	923-1-1	49	Opx > Cpx, Hb	1.500-1.501 (35%) 1.497-1.498 (25%)	1.706-1.708 (60%)	1.680-1.687 (80%)		A
Ag-NM1	KN109	52	Opx > Cpx, Hb; Qz	1.512-1.515 (50%) 1.503-1.507 (30%) 1.496-1.499 (20%)	1.702-1.710 (90%)	1.678-1.685 (90%)		K
DKP	AD207	13	Hb > Opx, [Bt]	1.498-1.500 (50%) 1.506-1.510 (35%)	1.702-1.706 (70%)	1.678-1.681 (60%)		F
DKP	IM104	43	Hb > Opx, [Bt, Ol]	1.499, 1.506	1.702-1.706 (90%)	1.679-1.683 (80%)		K
Nm-MZ	MZ-PF	47	Hb > Cum, Bt, [Opx]; Qz	1.498-1.499 (60%)		1.670-1.673 (80%)	1.659-1.661 (60%)	B
Nm-MZ	YN101	45	Hb > Cum, Bt, [Opx]; Qz	1.499-1.500 (90%)	[1.707-1.713 (90%)]	1.672-1.678 (90%)	1.658-1.661 (90%)	G
Nm-MZ	BAN107	24	Hb > Cum, Bt, [Opx]; Qz	1.499-1.500 (80%)	[1.703-1.716 (100%)]	1.669-1.672 (70%)	1.657-1.660 (60%)	C
Nm-MZ	AM202	35	Hb > Bt, Cum, [Opx]; Qz	1.498-1.499 (60%)		1.672-1.674 (40%)	1.659-1.662 (50%)	G
Nm-MZ	Ht102	28	Bt, Opx, Hb, Cpx; Qz	1.495-1.498 (90%)	1.710-1.714 (70%)			D
Nm-MZ	HB102	22	Hb > Opx, Cum, [Cpx, Bt]; Qz	1.499-1.501 (100%)	1.702-1.714 (100%)	1.671-1.684 (90%)	1.657-1.662 (100%)	G
Nm-MZ	KR101	20	Hb > Bt, [Cum, Opx]; Qz		[1.713-1.717 (90%)]	1.671-1.686 (90%)	[1.656-1.658 (30%)] [1.660-1.665 (70%)]	G
Nm-MZ	KR202	19	Hb, [Opx, Cum]; Qz	1.495-1.498 (100%)	[1.715-1.717 (100%)]	1.670-1.689 (100%)	[1.660-1.663 (100%)]	G
Nm-MZ	AD206	13	Hb > Cum, Cpx, Opx, Bt; Qz	1.499-1.501 (60%)	1.701-1.709 (100%)	1.671-1.673 (50%)	1.659-1.662 (60%)	F
Nm-MZ	TK401	4	Hb > Opx, Bt, Cum, [Cpx]; Qz	1.498-1.500 (80%)	1.705-1.708 (70%)	1.671-1.673 (20%)	1.660-1.662 (60%) 1.679-1.682 (50%)	I
Ag-OK	OK103	54	Opx > Cpx, [Hb]	1.510-1.512 (80%)	1.706-1.708 (50%)	[1.679-1.682 (60%)]		J
Ag-OK	Ng102	39	Opx > Cpx, [Hb]	1.509-1.511 (50%)	1.705-1.709 (90%)	[1.683-1.687 (70%)]		D
Ag-OK	KT102	32	Opx > Cpx, [Hb]	1.510	1.705-1.709 (70%)	[1.680-1.687 (70%)]		J
Ag-OK	ON102	37	Opx > Cpx, [Hb]; [Qz]	1.508-1.509 (60%)	1.705-1.709 (70%)	[1.682-1.686 (60%)]		D
Ag-OK	923-1-2	49	Opx > Cpx, [Hb]	1.507-1.509 (45%)	1.707-1.711 (70%)	[1.684-1.690 (60%)]		A
Ag-OK	KR203	19	Opx > Cpx; [Qz]		1.703-1.707 (70%)			A
Bn-HP2	BAN201	24	Opx > Cpx	1.506-1.508 (80%)	1.714-1.717 (80%)			C
Bn-HP2	AD205	13	Opx > Cpx	1.507-1.511 (90%)	1.711-1.715 (90%)			F
Bn-HP2	AD302	17	Opx > Cpx, [Hb, Bt]	1.505-1.507 (80%)	1.712-1.715 (100%)	[1.682-1.687 (70%)]		F
Bn-HP2	TK101	8	Opx > Hb, Cpx; [Qz]		1.712-1.717 (90%)	[1.665-1.674 (80%)]		I
Bn-HP2	TK302	6	Opx > Cpx, [Hb]; [Qz]		1.715-1.718 (90%)	[1.668-1.671 (100%)]		I
On-NG	TR106	38	Hb > Opx, [Cpx, Bt]	1.502-1.505 (70%)	1.710-1.713 (75%)	1.680-1.684 (60%)		D
On-NG	BAN104	25	Hb > Opx, [Cpx, Bt]	1.504-1.505 (60%)	1.713-1.718 (90%)	1.679-1.682 (70%)		C
On-NG	AD403	16	Opx > Hb, Cpx, [Bt]	1.504-1.506 (60%)	1.712-1.716 (40%)	1.680-1.689 (90%)		F
					1.706-1.709 (30%)			

第2表 (続き)

Table 2. Continued.

Unit	Sample	Loc.	Mineral composition	Refractive index mode				Ref.
				Glass (n)	Opx (γ)	Hb (n2)	Cum (n2)	
Ag-MzP5	KN105	52	Opx > Cpx, [Hb, Bt]	1.503-1.507 (60%) 1.498-1.500 (30%)	1.706-1.712 (90%)	[1.673-1.684 (50%)] [1.689-1.704 (50%)]	K	
Ag-MzP5	923-1-3	49	Opx > Cpx, Hb	1.502-1.508 (70%)	1.701-1.709 (100%)	1.679-1.683 (50%)	A	
Ag-MzP5	Ng101	39	Opx > Cpx, [Hb]	1.506-1.509 (65%)	1.706-1.710 (70%)	[1.684-1.690 (80%)]	D	
Ag-MzP5	AD204	13	Opx > Cpx, [Hb, Bt]	1.502-1.509 (80%) 1.498-1.499 (30%)	1.708-1.715 (90%)	[1.679-1.685 (70%)] 1.689-1.692 (30%)	F	
Aso4	IM115	44	Opx, Hb > Cpx	1.505-1.509 (100%)	1.698-1.702 (70%)	1.689-1.694 (60%)	E	
Aso4	SK202	41	Opx > Cpx, Hb, [Ol]; [Qz]	1.506-1.508 (80%)	1.698-1.700 (80%)	1.687-1.694 (80%)	A	
On-Pm1	TR107	38	Bt > Hb, Opx, Cpx; [Qz]	1.498-1.501 (60%)	1.701-1.708 (70%)	1.683-1.689 (60%)	D	
On-Pm1	NAS107	30	Bt > Opx, Hb, Cpx	1.501-1.502 (80%)	1.704-1.710 (70%)	1.681-1.689 (80%)	E	
On-Pm1	SK201	41	Bt > Opx, Hb, [Cpx]; Qz	1.500-1.502 (100%)	1.700-1.703 (50%) 1.706-1.709 (30%)	1.675-1.699 (100%)	A	
Nk-MA	NAS108	30	Opx > Cpx		1.702-1.707 (60%)		E	
Nm-SB	Nm-SR	48	Bt > Hb, Cum; Qz	1.497-1.500 (100%)		1.671-1.692 (100%) 1.661-1.667 (100%)	G	
Nm-SB	AM102	35	Hb > Bt, [Cum]; Qz	1.496-1.498 (90%)		1.681-1.687 (70%) 1.674-1.676 (10%)	E	
Nm-SB	NT102	34	Bt, Hb, [Cum, Opx]; Qz	1.496-1.499 (60%)		1.674-1.678 (50%) [1.664-1.667 (80%)] 1.684-1.688 (40%)	G	
Nm-SB	KM101	36	Bt > Hb, [Cum]; Qz	1.496-1.497 (70%)		1.682-1.685 (30%) [1.661-1.665 (70%)] 1.673-1.675 (20%)	E	
Nm-SB	Ht106	28	Bt > Hb; Qz	1.497-1.498 (60%)		1.680-1.689 (60%) 1.673-1.676 (30%)	D	
Nm-SB	NAS105	29	Hb > Bt, [Cum, Opx, Cpx]; Qz	1.496-1.498 (70%)	[1.703-1.708 (70%)]	1.675-1.687 (100%)	E	
Nm-SB	IM117	44	Hb > Bt, [Opx, Cpx]; Qz	1.499-1.502 (100%)	[1.708-1.711 (70%)]	1.678-1.692 (90%)	E	
Nm-SB	KR102	20	Bt > Hb, [Cum]; Qz	1.497		1.673-1.688 (95%) [1.660-1.666 (100%)]	A	
Nm-SB	702-3-3	42	Hb > Bt, Opx, Cpx, [Cum]; Qz	1.498-1.500 (90%)	1.717-1.723 (80%)	1.675-1.690 (100%)	A	
Ft-HT3	Ht107	28	Opx > Cpx, [Bt]	1.504	1.705-1.710 (60%)		D	
Ad-DK	AD101	15	Opx, Cpx	1.503-1.504 (70%)	1.713-1.716 (80%)		F	
Ad-DK	AD102	13	Opx > Cpx	1.503-1.504 (80%)	1.713-1.716 (80%)		F	
Ad-DK	AD103	23	Opx > Cpx	1.503-1.505 (80%)	1.711-1.714 (70%)		F	
Ad-DK	TK102	8	Cpx > Opx, [Hb]		1.713-1.716 (90%)	[1.675-1.679 (100%)]	I	
Ad-DK	TK303	6	Cpx > Opx		1.713-1.716 (90%)		I	
Ad-DK	Hm101	1	Opx > Cpx	1.502-1.504 (90%)	1.712-1.714 (90%)		A	
Ad-DK	Hm204	2	Opx > Cpx, [Hb]	1.503-1.506 (90%)	1.714-1.718 (50%) 1.701-1.707 (40%)	[1.674-1.685 (70%)] [1.688-1.693 (20%)]	I	
Ag-MzP7	IM118	44	Opx > Hb	1.502, 1.511	1.706-1.709 (70%)	1.677-1.681 (40%)	E	
Ag-MzP7	Hm203	2	Hb > Opx, [Bt]; [Qz]	1.497-1.502 (60%) 1.504-1.508 (40%)	1.702-1.708 (100%)	1.679-1.683 (80%)	K	
t5	Hm202	2	Opx > Cpx, Hb, Bt	1.512-1.515 (80%)	1.703-1.720 (80%) 1.734-1.737 (20%)	1.681-1.694 (70%) 1.670-1.676 (30%)	A	
Hw-TG	NAS104	29	Opx > Bt, Cpx, [Hb]; Qz	1.496-1.499 (90%)	1.710-1.715 (60%)	[1.675-1.682 (80%)]	E	
Hw-TG	Ht108	28	Opx > Hb, Cpx, Bt; Qz	1.495-1.500 (100%)	1.709-1.715 (70%)		A	
Hw-TG	KR104	20	Bt, [Opx, Hb, Cum]; Qz	1.496-1.498 (60%)		[1.673-1.686 (100%)] [1.660-1.665 (100%)]	A	
Hw-TG	AD304	17	Bt > Opx, Hb, [Cum]; Qz		1.705-1.708 (60%)	1.668-1.692 (100%)	A	
Hw-TG	AD401	16	Opx > Cpx, [Hb, Bt]; Qz	1.493-1.495 (40%)	1.714-1.717 (80%)	[1.686-1.691 (50%)]	F	
Hw-TG	Fk601	3	Bt > Hb, Opx, [Cpx]; Qz	1.494-1.496 (50%) 1.497-1.498 (30%)	1.700-1.722 (100%)	1.670-1.690 (80%)	I	
Hw-TG	Hm201	2	Hb, Bt > Opx, [Cpx, Cum]; Qz	1.493-1.502 (80%)	1.698-1.742 (100%)	1.673-1.699 (100%) [1.656-1.659 (40%)] [1.663-1.667 (60%)]	H	

福島—栃木地域における過去約 30 万年間のテフラの再記載と定量化 (山元)

第 2 表 (続き)

Table 2. Continued.

Unit	Sample	Loc.	Mineral composition	Refractive index mode				Ref.
				Glass (n)	Opx (γ)	Hb (n2)	Cum (n2)	
Az-SK	Fk201	12	Opx > Cpx	1.510-1.512 (60%)	1.713-1.716 (90%)			I
Az-SK	AD305	17	Opx > Cpx, [Hb, Bt]; [Qz]		1.714-1.718 (70%)	[1.672-1.682 (55%)]		A
					1.708-1.711 (25%)	[1.686-1.692 (40%)]		
Az-SK	AD801	18	Opx > Cpx	1.509-1.513 (70%)	1.713-1.716 (100%)			A
				1.504-1.507 (30%)				
Az-SK	Fk402	10	Opx > Cpx	1.510-1.512 (80%)	1.713-1.716 (90%)			I
Az-SK	TK304	6	Opx > Cpx, [Hb, Cum]; [Qz]		1.713-1.716 (90%)	[1.671-1.702 (100%)]	[1.663-1.665 (100%)]	I
Az-SK	Fk602	3	Opx > Cpx, [Hb, Bt]	1.510-1.512 (60%)	1.706-1.718 (100%)	[1.675-1.689 (60%)]		I
				1.504-1.508 (30%)		[1.706-1.711 (20%)]		
Nk-NM	KN201	51	Opx > Cpx, [Hb]		1.704-1.713 (90%)	[1.673-1.695 (100%)]		K
Nk-NM	Ot201	31	Opx > Hb, Cpx; [Qz]		1.707-1.713 (90%)	[1.676-1.681 (80%)]		A
Nk-YT	NAS109	40	Opx > Cpx, [Hb]		1.703-1.708 (60%)	[1.675-1.680 (30%)]		E
Az-FK	Fk101	11	Opx > Cpx	1.504-1.505 (90%)	1.716-1.719 (90%)			I
Az-FK	AD306	17	Opx > Cpx		1.715-1.721 (100%)			F
Az-FK	TK103	8	Opx > Cpx; [Qz]		1.715-1.718 (70%)			I
					1.720-1.721 (30%)			
Az-FK	TK201	7	Opx > Cpx, [Hb]; [Qz]	1.502-1.504 (80%)	1.719-1.722 (90%)	[1.671-1.701 (100%)]		I
					1.713-1.714 (10%)			
Az-FK	Fk501	5	Opx > Cpx, [Ol, Hb]	1.502-1.504 (100%)	1.718-1.722 (90%)	[1.667-1.674 (100%)]		I
Az-FK	Fk603	3	Opx > Cpx, [Hb, Bt, Ol]; [Qz]	1.503-1.506 (60%)	1.714-1.719 (100%)	[1.667-1.713 (100%)]		I
Iz-Kta	Ot303	41	Hb, [Cpx, Opx]; Qz		[1.701-1.712 (50%)]	1.673-1.685 (90%)		A
					[1.717-1.721 (30%)]			
Iz-Kta	Ot202	31	Hb > Opx, [Cpx]; Qz	1.497-1.505 (90%)	1.708-1.713 (90%)	1.675-1.684 (100%)		A
Iz-Kta	NAS103	29	Hb > Opx, [Bt, Cum]; Qz	1.499-1.501 (80%)	1.710-1.713 (90%)	1.675-1.677 (60%)		E
Iz-Kta	TK305	6	Hb > Opx, [Cpx, Cum, Bt]; Qz		1.708-1.716 (90%)	1.674-1.677 (100%)	[1.663-1.664 (80%)]	I
Ub	NAS110	40	Opx > Cpx	1.515-1.516 (70%)	1.708-1.711 (90%)			E
Ub	Ot203	31	Opx > Cpx, [Bt, Hb, Ol]; [Qz]		1.706-1.712 (80%)	[1.681-1.693 (90%)]		A
OrP	604-2-1	29	Opx > Cpx, [Hb]		1.702-1.708 (90%)			E
SI2	NAS111	40	Opx > Cpx		1.705-1.712 (80%)			E
SI3	NAS112	40	Opx > Cpx, [Hb]		1.700-1.703 (60%)	[1.684-1.690 (60%)]		E
SI4	NAS113	40	Opx > Cpx, [Hb]		1.709-1.712 (50%)	[1.674-1.706 (100%)]		E
Yum	NAS114	40	Hb > Opx, [Cpx, Bt]		1.709-1.711 (40%)	1.687-1.692 (50%)		E
Hu-NN	HwNN	53	Opx	1.504-1.505 (95%)	1.707-1.708 (40%)			E
Hu-NN	Ng104	39	Opx > Cpx, [Hb]	1.504-1.505 (80%)	1.706-1.708 (50%)			D
Hu-NN	TR105	38	Opx > Cpx, [Hb, Bt]	1.503-1.504 (65%)				D
Hu-NN	Ht109	28	Opx > Cpx, [Hb]	1.504-1.505 (80%)	1.706-1.707 (40%)	[1.682-1.685 (50%)]		D
Hu-NN	NAS115	40	Opx > Cpx	1.503-1.504 (60%)	1.704-1.708 (90%)			E
Sn-KB	KB-PF	46	Bt, [Cum, Opx]; Qz	1.4968-1.4970 (80%)			[1.670-1.673 (50%)]	C
Sn-KB	NT101	34	Bt, [Hb, Opx, Cum]; Qz	1.495-1.498 (80%)	[1.708-1.710 (80%)]	[1.674-1.691 (90%)]		H
Sn-KB	TR103	38	Bt; Qz	1.496-1.498 (100%)				E
Sn-KB	601-2-2	27	Bt, [Hb, Opx]; Qz	1.496-1.498 (90%)				E
Sn-KB	BAN103	25	Bt, [Cum]; Qz	1.496-1.499 (100%)				C
Sn-KB	AD308	18	Bt, [Hb, Cum, Opx]; Qz	1.496-1.498 (80%)		[1.666-1.683 (100%)]		E
Sn-KB	AD212	13	Bt, [Hb, Cum]; Qz	1.496-1.499 (80%)		[1.668-1.683 (100%)]	[1.657-1.659 (60%)]	E
						[1.666-1.669 (40%)]		
Sn-KB	FK301	14	Bt, [Hb, Cum]; Qz	1.493-1.499 (100%)		[1.670-1.681 (70%)]	[1.663-1.667 (100%)]	A
Sn-KB	FK103	11	Bt, [Hb, Opx, Cum]; Qz	1.496		[1.675-1.681 (90%)]	[1.662-1.665 (100%)]	A

第2表 (続き)

Table 2. Continued.

Unit	Sample	Loc.	Mineral composition	Refractive index mode			Ref.
				Glass (n)	Opx (γ)	Hb (n2)	
Kn-KD	NAS116	40	Hb, [Opx]; Qz		[1.710-1.712 (50%)]	1.676-1.680 (70%)	E
IZ2	603-1-1	21	Opx > Hb		1.706-1.708 (60%)	1.670-1.689 (100%)	E
TM1	603-1-2	21	Hb > Opx, [Bt]; Qz		1.706-1.711 (90%)	1.672-1.689 (100%)	E
TM1	NAS117	40	Hb, Opx, Cpx		1.704-1.712 (90%)	1.676-1.680 (60%)	E
TM2	NAS118	40	Bt, [Opx]; Qz		[1.705-1.712 (70%)]		E
TM3	NAS119	40	Opx		1.694-1.701 (40%) 1.714-1.721 (40%)		E
Ij-TK	923-3-1	50	Hb > Cum, [Bt]			1.673-1.675 (60%) 1.664-1.666 (60%)	E
Ij-TK	TR102	38	Hb > Cum; Qz			1.672-1.675 (80%) 1.663-1.665 (90%)	E
Ij-TK	TK104	8	Hb > Cum, [Bt]; Qz	1.497-1.500 (100%)		1.672-1.678 (90%) 1.662-1.668 (90%)	I
Sn-SK	SK-PF	33	Bt; [Qz]	1.497-1.498 (100%)			C
Sn-SK	FK401	14	Bt, [Hb, Opx]; Qz	1.497-1.501 (90%)	[1.700-1.704 (40%)] [1.673-1.679 (80%)] [1.712-1.716 (40%)]		A
Sn-SK	AD216	13	Bt, [Hb]; Qz	1.497		[1.669-1.671 (30%)]	A
Sn-SK	FK105	11	Bt, [Hb]; [Qz]			[1.666-1.672 (50%)] [1.684-1.694 (50%)]	A

の産物で、東へ向かう降下火砕堆積物からなる (Fig. 13 ; Yamamoto, 2005). 福島市から大玉村にかけての伏拝・山崎岩屑なだれ堆積物の上位 (Locs. 11, 13, 17 & 18 ; Figs. 5 & 6) や、阿武隈山地内の高位段丘の厚い被覆風成火山灰土 (Locs. 3, 5, 7, 8, 10 & 12 ; Figs. 3, 4 & 5) 中において、Az-SK の下位の層準に挟まれている。本テフラの岩質は斜方輝石単斜輝石デイサイト (Table 2), 長径 1 mm 前後の斜長石・斜方輝石・単斜輝石の結晶片に富む淘汰の良い基質に径 1 cm 以下の軽石火山礫が含まれている。阿武隈山地内の Locs. 3, 5 & 7 の本テフラには普通角閃石や屈折率のやや低い (1.713-1.714) 斜方輝石が混在するが、これはほぼ同じ層準にある Iz-KTa に由来するものである可能性が大きい (Table 2)。反対に Loc. 6 の Iz-KTa (TK305) には屈折率のやや高い (1.715-1.716) 斜方輝石が混在しており、これらは本テフラに由来するものである可能性が大きい。このように両テフラは土壌化した火山灰土中のほぼ同じ層準にあるため、堆積後の擾乱により混合が進んだものとみられる。本テフラに吾妻火山東山麓での層厚は 75 cm 以上で、給源位置を吾妻火山東部の浄土平付近とすると、32-64 cm 等層厚線が囲む面積 (Table 4) を用いた降下火砕堆積物の最小体積は約 $9 \times 10^{-1} \text{ km}^3$ (堆積物の平均密度を 800 kg/m^3 として岩石換算最小体積は約 $3 \times 10^{-1} \text{ km}^3$ DRE, 最小質量は約 $7 \times 10^{11} \text{ kg}$) である。この規模の噴火では給源に何らかの地形的痕跡が残されると考えられ、浄土平の北—西縁を限る浄土平爆裂カルデラ (藤縄・鴨志田, 1999) がその候補として有力である。

3.3 吾妻火山のマグマ噴出量

吾妻火山の過去 30 万年間のマグマ噴出量時間変化を、浄土平火山噴出物 (山元, 2005), Az-SK, Az-FK のデータを元に Fig. 14 に示した。浄土平火山噴出物のほとんどは、約 1,000 年間継続した小富士ユニットのブルカノ式噴火で噴出している。また、Az-SK・Az-FK プリニー式噴火のマグマ体積の合計と、浄土平火山噴出物のマグマ体積の合計はほぼ同程度で、間には約 10 万年の休止期が存在する。ただし、前述のように個々の山体の層序関係や形成時期の詳細は不明な点が多いため、浄土平火山よりも古い噴出物の見落としの可能性もある。

4. 安達太良火山

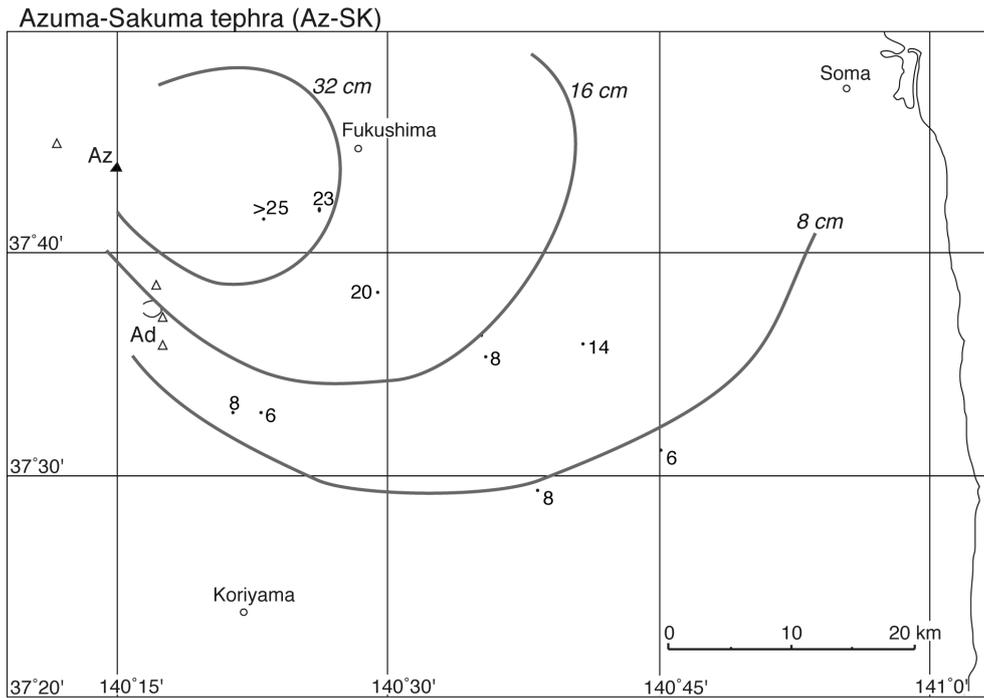
安達太良火山は、福島市南西の火山フロント上に位置する東西 12 km, 南北 15 km の成層火山である (Fig. 1)。その山体は、55 万年前や 44 万年前の先駆的活動のあと、35 万年前頃に前岳山頂部から和尚山にかけての山体が形成され、25 ~ 20 万年前には箕輪山から安達太良山の厚い安山岩溶岩流からなる主要山体が形成された (藤縄ほか, 2001 ; 藤縄・鎌田, 2005)。また後者の山体形成に伴い東山麓には安達太良水原テフラ群 (Ad-MH1 ~ 6) が堆積している (山元・阪口, 2000)。その後、休止期を挟んで約 12 万年前に山体中央部の沼ノ平火口で岳プリニー式噴火が発生し、山麓には湯川・沼尻火砕流が堆積した (山元・阪口, 2000)。岳噴火以降は沼ノ平火口からテフラ噴火が繰り返され、安達太良最新期テフラ群が噴出している。このテフラ群は下位から、約 11 万年前の

福島—栃木地域における過去約 30 万年間のテフラの再記載と定量化 (山元)

第 3 表 露頭位置一覧

Table 3. List of outcrops.

No.		1/5万図幅	Latitude	Longitude
1	福島県南相馬市鹿島区南海老	相馬中村	37° 42' 40"N	141° 00' 39"E
2	福島県南相馬市原町区塚原	原町及び大甕	37° 34' 33"N	141° 01' 33"E
3	福島県伊達郡川俣町山木屋	川俣	37° 36' 06"N	140° 40' 32"E
4	福島県田村市船引町風超峠	川俣	37° 31' 38"N	140° 41' 13"E
5	福島県二本松市針道	川俣	37° 35' 36"N	140° 35' 15"E
6	福島県田村市船引町南移	常葉	37° 29' 39"N	140° 38' 17"E
7	福島県田村市船引町西向	常葉	37° 27' 48"N	140° 37' 41"E
8	福島県田村郡小野町杉内	常葉	37° 20' 15"N	140° 34' 31"E
9	福島県いわき市差塩	小野新町	37° 10' 55"N	140° 42' 52"E
10	福島県福島市小田	福島	37° 42' 14"N	140° 26' 03"E
11	福島県福島市蓬萊町二丁目	福島	37° 41' 39"N	140° 28' 04"E
12	福島県福島市松川町佐久間	二本松	37° 38' 33"N	140° 29' 11"E
13	福島県二本松市鉄扇町山ノ入ダム	二本松	37° 37' 52"N	140° 25' 00"E
14	福島県二本松市安達ヶ原	二本松	37° 35' 18"N	140° 28' 25"E
15	福島県二本松市安達太良山山頂	二本松	37° 37' 16"N	140° 17' 17"E
16	福島県二本松市皿久保	二本松	37° 34' 30"N	140° 20' 48"E
17	福島県安達郡大玉村宮ノ前	二本松	37° 32' 57"N	140° 22' 40"E
18	福島県安達郡大玉村中谷地	二本松	37° 32' 58"N	140° 21' 13"E
19	福島県郡山市日和田町芳池	郡山	37° 27' 27"N	140° 22' 38"E
20	福島県郡山市三穂田町住ノ内	郡山	37° 20' 56"N	140° 15' 35"E
21	福島県西白河郡泉崎村踏瀬	須賀川	37° 11' 19"N	140° 17' 10"E
22	福島県耶麻郡北塩原村早稲沢	吾妻山	37° 43' 55"N	140° 04' 32"E
23	福島県耶麻郡猪苗代町大原	磐梯山	37° 37' 21"N	140° 11' 30"E
24	福島県耶麻郡猪苗代町猪苗代スキー場	磐梯山	37° 34' 37"N	140° 06' 02"E
25	福島県耶麻郡猪苗代町諏訪前	磐梯山	37° 33' 56"N	140° 05' 34"E
26	福島県耶麻郡猪苗代町更科	磐梯山	37° 33' 34"N	140° 01' 21"E
27	福島県須賀川市長沼	長沼	37° 18' 02"N	140° 12' 14"E
28	福島県岩瀬郡天栄村羽鳥	長沼	37° 17' 18"N	140° 03' 43"E
29	栃木県那須郡那須町矢の目ダム	白河	37° 04' 20"N	140° 08' 52"E
30	栃木県那須郡那須町豊原	白河	37° 03' 23"N	140° 09' 12"E
31	栃木県大田原市鹿畑	大田原	36° 50' 31"N	140° 03' 41"E
32	福島県喜多方市雄国	喜多方	37° 37' 28"N	139° 57' 01"E
33	福島県大沼郡会津美里町佐賀瀬川	喜多方	37° 30' 25"N	139° 48' 44"E
34	福島県大沼郡会津美里町佐賀瀬川	喜多方	37° 30' 18"N	139° 48' 32"E
35	福島県大沼郡会津美里町旭三寄	会津若松	37° 25' 55"N	139° 49' 56"E
36	福島県会津若松市上三寄	会津若松	37° 24' 21"N	139° 56' 00"E
37	福島県南会津郡下郷町大内	田島	37° 19' 13"N	139° 51' 59"E
38	福島県南会津郡下郷町鶴ヶ池	田島	37° 13' 14"N	139° 51' 51"E
39	福島県南会津郡南会津町長野	田島	37° 12' 52"N	139° 49' 48"E
40	栃木県那須塩原市戸室山	塩原	36° 58' 03"N	139° 59' 07"E
41	栃木県那須塩原市東赤田	塩原	36° 54' 49"N	139° 58' 20"E
42	栃木県那須塩原市上の原	塩原	36° 57' 44"N	139° 48' 23"E
43	栃木県塩谷郡塩谷町荻久保	矢板	36° 47' 55"N	139° 51' 58"E
44	栃木県日光市大室ダム	矢板	36° 43' 07"N	139° 45' 06"E
45	福島県大沼郡柳津町塩野	宮下	37° 28' 50"N	139° 44' 41"E
46	福島県大沼郡柳津町松ヶ下	宮下	37° 28' 01"N	139° 43' 28"E
47	福島県大沼郡三島町湯ノ平	宮下	37° 28' 02"N	139° 35' 38"E
48	福島県大沼郡金山町尻吹峠	宮下	37° 27' 14"N	139° 32' 17"E
49	福島県南会津郡南会津町中山峠	糸沢	37° 05' 49"N	139° 40' 39"E
50	福島県南会津郡南会津町高杖スキー場	糸沢	37° 06' 28"N	139° 37' 06"E
51	栃木県鹿沼市坂荷畑	鹿沼	36° 39' 11"N	139° 42' 35"E
52	栃木県鹿沼市富岡	鹿沼	36° 36' 35"N	139° 44' 02"E
53	福島県南会津郡檜枝岐村七入	燧ヶ岳	36° 59' 07"N	139° 20' 13"E
54	群馬県沼田市道具	片品	36° 42' 24"N	139° 13' 02"E

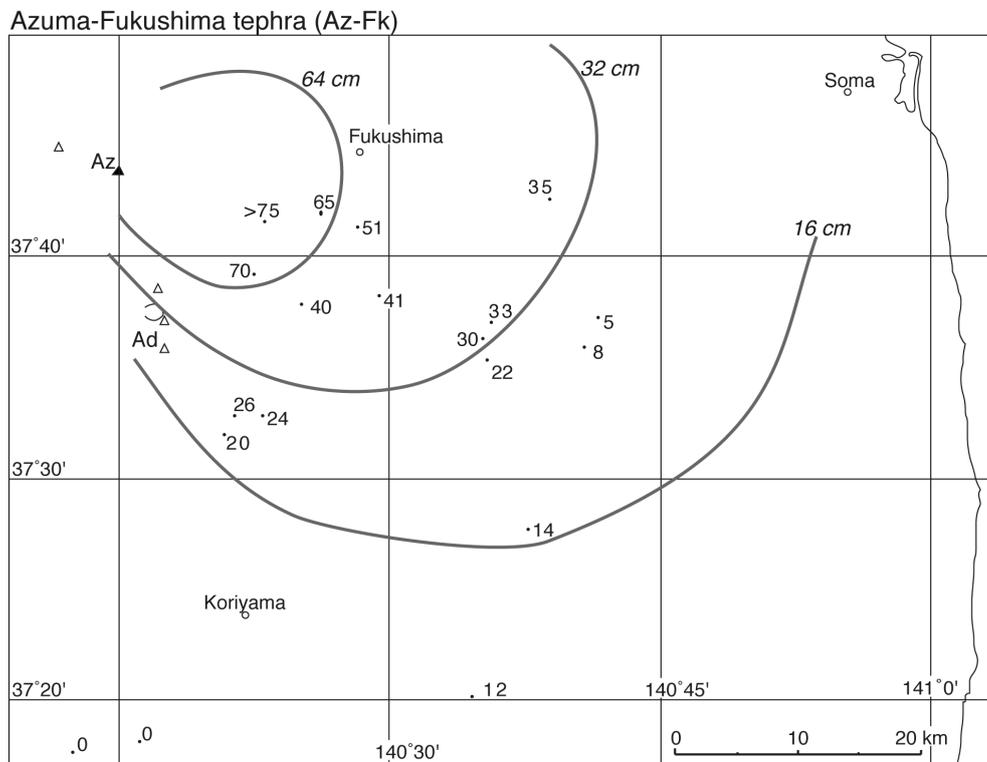


第12図 吾妻佐久間テフラ (Az-SK) の分布.

数字は降下火砕堆積物の層厚で、単位は cm. Ad = 安達太良火山; Az = 吾妻火山.

Fig. 12 Distribution of the Azuma-Sakuma tephra (Az-SK).

Numerals are measured thickness of the pyroclastic fall deposit in centimeters. Ad = Adatarata volcano; Az = Azuma volcano.

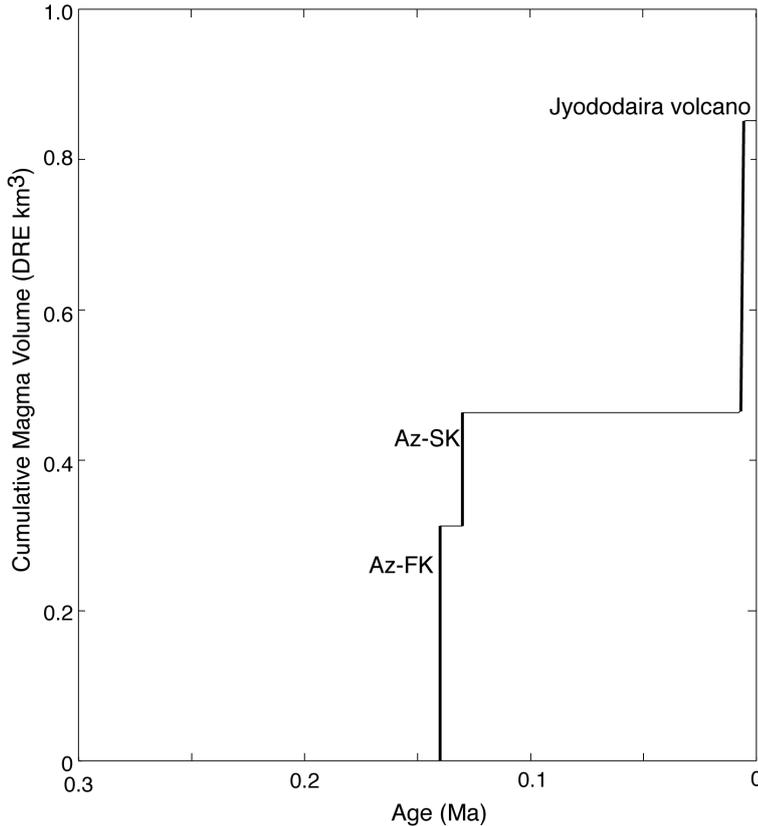


第13図 吾妻福島テフラ (Az-FK) の分布.

数字は降下火砕堆積物の層厚で、単位は cm. Ad = 安達太良火山; Az = 吾妻火山.

Fig. 13 Distribution of the Azuma-Fukushima tephra (Az-FK).

Numerals are measured thickness of the pyroclastic fall deposit in centimeters. Ad = Adatarata volcano; Az = Azuma volcano.



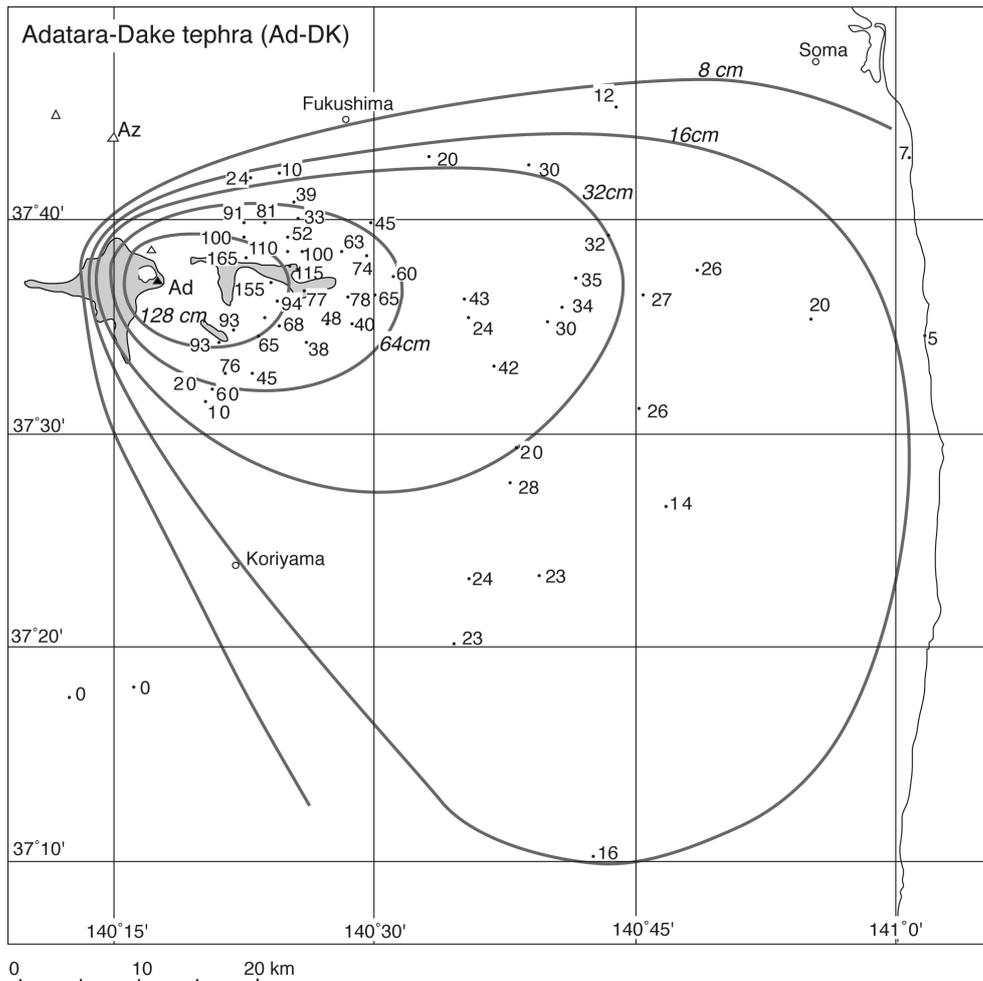
第 14 図 吾妻火山噴出物の時間積算マグマ体積。
Az-FK = 吾妻福島テフラ；*Az-SK* = 吾妻佐久間テフラ。
 Fig. 14 Cumulative magma volume versus age for the products of Azuma volcano.
Az-FK = Azuma-Fukushima tephra; *Az-SK* = Azuma-Sakuma tephra.

安達太良松川テフラ (Ad-MT), 約 10 万年前の安達太良佐原テフラ (Ad-SH), 約 9 万年前の安達太良えびす 1 テフラ (Ad-EB1), 約 8 万年前の安達太良えびす 2 テフラ (Ad-EB2), 約 6 万年前の安達太良えびす 3 テフラ (Ad-EB3), 約 4.8 万年前の安達太良えびす 4 テフラ (Ad-EB4), 約 4 万年前の安達太良二本松テフラ (Ad-NH), 約 3.5 万年前の安達太良十文字テフラ (Ad-JM), 約 1 万年前以降の安達太良沼ノ平テフラ群 (Ad-NT) からなる (山元・阪口, 2000). 今回の報告では, テフラの層序そのものには修正はないものの, 山元・阪口 (2000) が記載した二本松市皿久保 (Loc.16 ; Fig. 6) では, 皿久保テフラが御岳奈川テフラ (On-NG) に同定され直したことにより, 従来の Ad-EB1 と Ad-ED2 を, Ad-EB3 と Ad-ED4 に修正する必要がある. また, これにより山元・阪口 (2000) が見積もった Ad-EB3 と Ad-ED4 の DRE 体積を倍増する必要がある.

4.1 安達太良岳テフラ (Ad-DK)

Kimura (1996) 命名. 模式地は安達太良山山頂 (Loc. 15; 表紙写真). 安達太良火山の沼ノ平火口で約 12 万年前に起きた大規模なブリニー式噴火の産物で, 斜方輝石単斜輝石デイサイト-安山岩の降下火砕堆積物と火砕流堆積物 (湯川及び沼尻火砕流堆積物; 阪口, 1995) からなる (山元・阪口, 2000). デイサイトと安山岩は斑晶組み合わせで大きな違いはないものの, 前者は繊維状に良

く発泡したガラス質石基をもつ白-肌色の軽石, 後者はハイアロオフィティック組織の石基を持つ暗灰-黒色スコリアとして産し, 両者は時に混合して縞状軽石をつくっている. テフラの下部はデイサイトが卓越し, 中間部を境に上部で安山岩の割合が急増する. 降下火砕堆積物は山頂部の沼ノ平火口周辺 (層厚 10.5 m) から, 安達太良火山東山麓を経て, 福島県の太平洋岸までその分布が追跡でき (Fig. 15), 山麓部の伏拝・山崎岩屑なだれ堆積物の上位 (Locs. 13, 16, 17 & 18; Figs. 5 & 6) や, 阿武隈山地内の高位段丘の厚い被覆風成火山灰土 (Locs. 3, 5, 6, 7, 8, 9, 12 & 14; Figs. 3, 4, 5 & 6), MIS 5e に離水した浜通りの小浜段丘 (鈴木, 1999) の被覆風成火山灰土 (Locs. 1 & 2; Fig. 3) 中の Hu-TG・Nm-SB 間に挟まれている. 山麓から遠方に分布する降下火砕堆積物のほとんどはデイサイト軽石火山礫からなり, 極めて淘汰が良い. また, 堆積物には逆級化が認められ, 基底層は粗粒火山灰からなる. 今回データを加え再作成した降下火砕堆積物の等層厚線と面積の関係から遠方部の層厚分布を外挿して (Fig. 16), その体積を積算すると約 $2 \times 10^0 \text{ km}^3$ (堆積物の平均密度を 800 kg/m^3 として岩石換算体積は約 $7 \times 10^{11} \text{ km}^3 \text{ DRE}$, 質量は約 $2 \times 10^{12} \text{ kg}$) となった. この値は 16-32-64-128 cm 等層厚線が囲む面積 (Table 4) を用いた降下火砕堆積物の最小体積約 $1 \times 10^0 \text{ km}^3$ の倍であり, 降下堆積物の真の体積が同手法による最小体積の数倍であるとする Legros (2000) の主張とよく合う. 本テフ



第15図 安達太良岳テフラ (Ad-DK) の分布.

数字は降下火砕堆積物の層厚で、単位は cm. Ad = 安達太良火山; Az = 吾妻火山. 山元・阪口 (2000) を一部改変.

Fig. 15 Distribution of the Adataro-dake tephra (Ad-DK). Numerals are measured thickness of the pyroclastic fall deposit in centimeters. Ad = Adataro volcano; Az = Azuma volcano. Modified from Yamamoto and Sakaguchi (2000).

ラの火砕流堆積物の岩石換算体積は約 $1 \times 10^0 \text{ km}^3$ DRE (質量は約 $2 \times 10^{12} \text{ kg}$) であるので (山元・阪口, 2000), 降下火砕堆積物と合わせた総体積は約 $2 \times 10^0 \text{ km}^3$ DRE (総質量は約 $4 \times 10^{12} \text{ kg}$) となる.

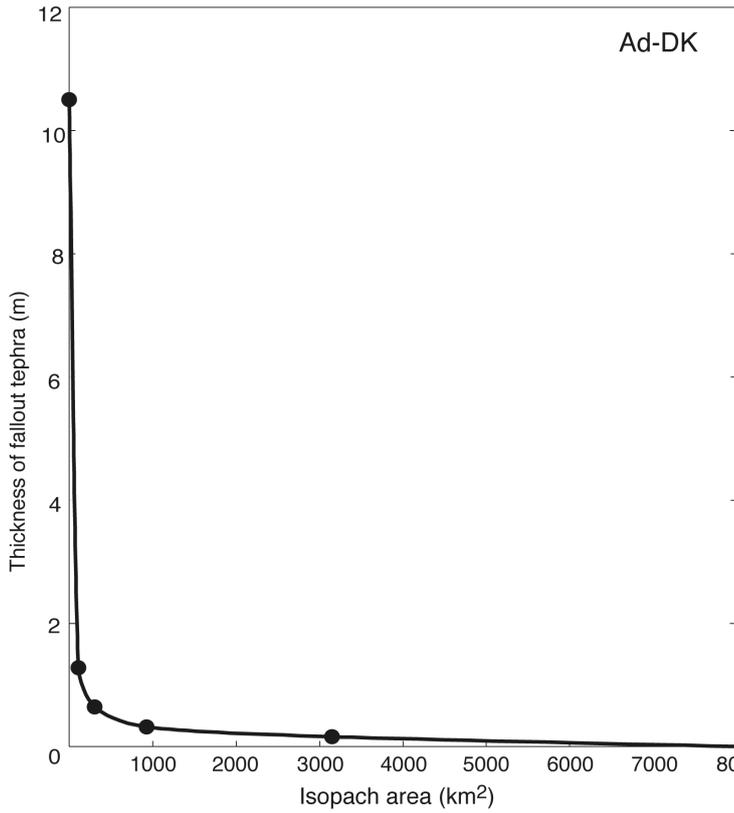
4.2 安達太良火山のマグマ噴出量

安達太良火山のマグマ噴出量の時間変化については、山元・阪口 (2000) が既に明らかにしている。しかしながら、前述のように Ad-DK・Ad-EB3・Ad-ED4 の体積見積もりに修正を加えており、その結果を Fig. 17 に反映させている。また、この時間変化図では、35 万年前頃 (ステージ 2; 藤縄・鎌田, 2005) と 25 ~ 20 万年前 (ステージ 3a; 藤縄・鎌田, 2005) の山体の体積に、梅田ほか (1999) の値 (3.4 km^3 , 7.6 km^3) を用いている。各ステージの間には明瞭な休止期が認められるほか、ステージ毎に平均的なマグマ供給率が異なっていたこともグラフからは明らかである。また、Ad-DK の噴火はステージ 3a の開始

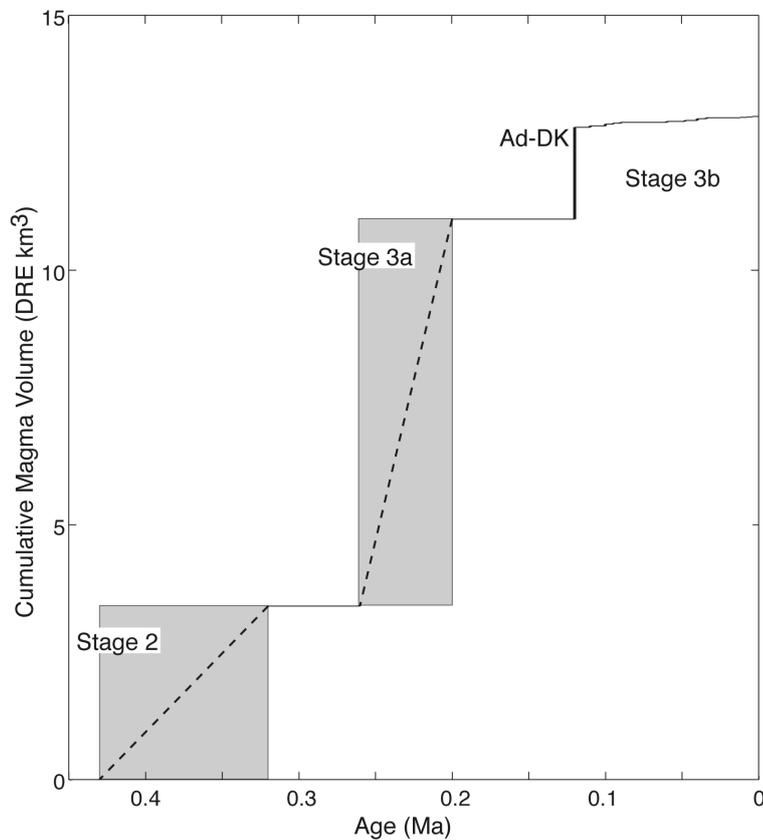
期に発生しており、本ステージの大半のマグマがこのプリニー式噴火で噴出した。Ad-DK 以降は、より規模の小さな噴火が繰り返されている。

5. 磐梯火山

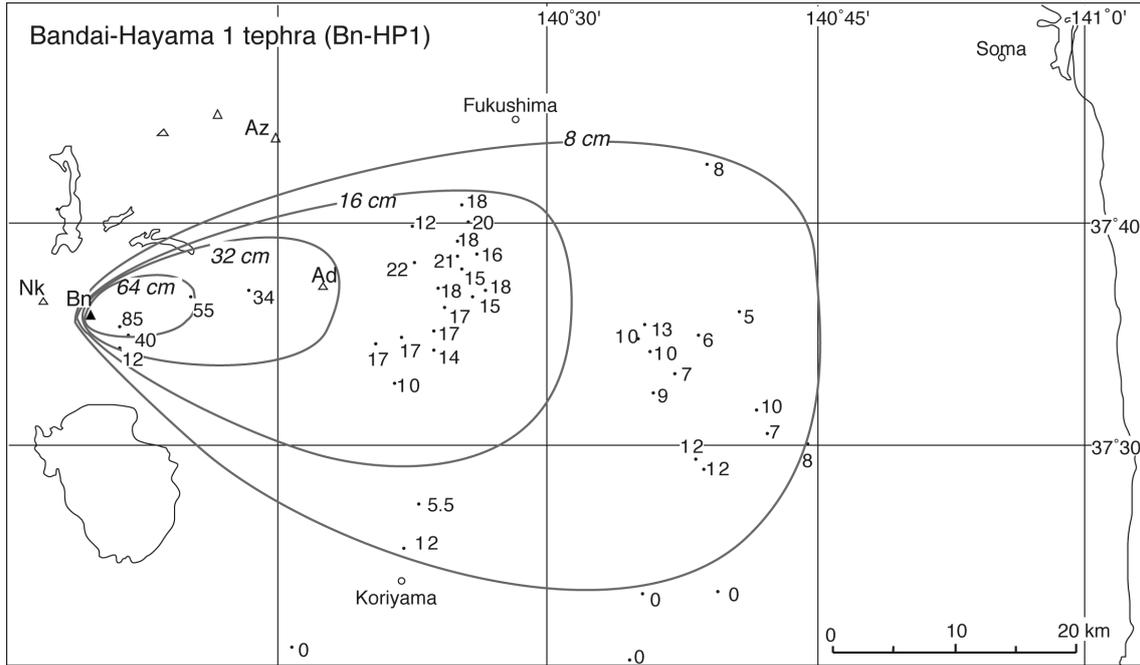
磐梯火山は、東北本州弧の南部、福島県猪苗代湖の北に位置する底径 7 ~ 10 km, 比高約 1 km の安山岩質成層火山で (Fig. 1), 大磐梯山・櫛ヶ峰・赤埴山の三峰から構成されている。北麓には 1888 年山体崩壊で発生した総量約 1.5 km^3 の岩屑なだれ堆積物が広がっている (Nakamura, 1978)。また、岩屑なだれ堆積物は南麓の丘陵地にも広く分布しており、翁島岩屑なだれ堆積物と呼ばれている (守屋, 1978)。その形成史は休止期をはさんで新旧二つの活動時期に大きく分けることができ、赤埴—櫛ヶ峰を作る山体が古く、南の大磐梯山体と噴火で大半が失われた北の小磐梯山体が新しい。山元・須藤



第 16 図 安達太良岳テフラ (*Ad-DK*) の降下火砕堆積物における層厚と等層厚線面積の関係.
 Fig. 16 Thickness versus isopach area for the pyroclastic fall deposit of the Adataro-Dake tephra (*Ad-DK*).



第 17 図 安達太良火山噴出物の時間積算マグマ体積.
Ad-DK = 安達太良岳テフラ. 山元・阪口 (2000) を一部改変.
 Fig. 17 Cumulative magma volume versus age for the products of Adataro volcano.
Ad-DK = Adataro-Dake tephra. Modified from Yamamoto and Sakaguchi (2000).



第18図 磐梯葉山1テフラ (Bn-HP1) の分布。

数字は降下火砕堆積物の層厚で、単位は cm。Ad = 安達太良火山; Az = 吾妻火山; Bn = 磐梯火山; Nk = 猫魔火山。

Fig. 18 Distribution of the Bandai-Hayama 1 tephra (Bn-HP1).

Numerals are measured thickness of the pyroclastic fall deposit in centimeters. Ad = Adataro volcano; Az = Azuma volcano; Bn = Bandai volcano; Nk = Nekoma volcano.

(1996) の層序に従うと、赤埴-櫛ヶ峰山体は約25万年前の噴火を最後に活動停止し、約8万年前の葉山2プリニー式噴火まで大きな活動休止期がある。翁島岩屑なだれ堆積物は葉山1プリニー式噴火と同時に発生しており、その年代は4.6万年前である [葉山1火砕堆積物からは42 kaの補正放射性炭素年代値が得られているが(山元, 2003), これを Fairbanks *et al.* (2005) を使い暦年補正すると46 cal kaとなる]。また、大磐梯火山はAT降下直前にはマグマ噴火を停止している。

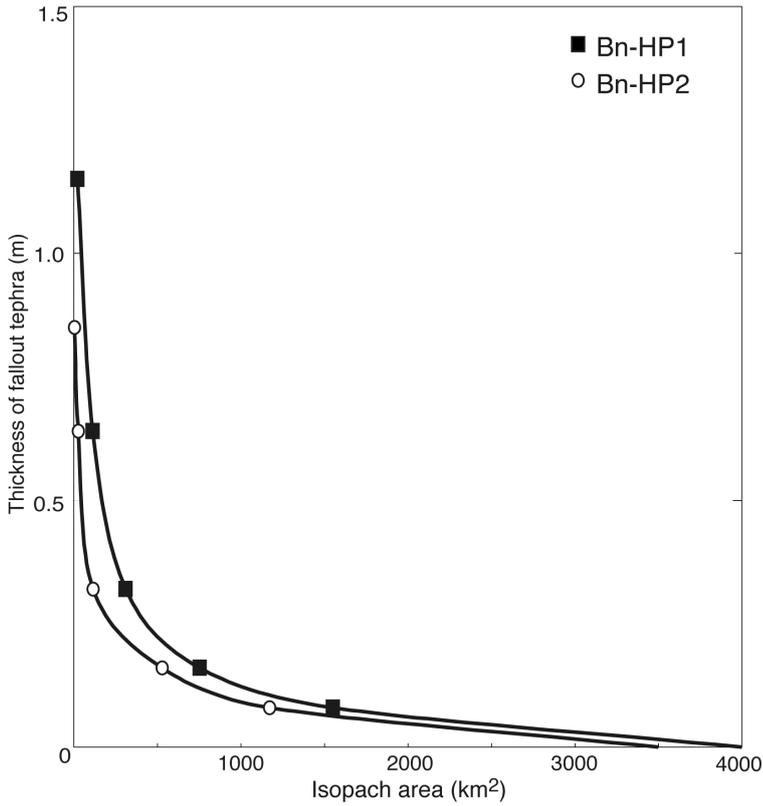
5.1 磐梯葉山1テフラ (Bn-HP1)

山元・須藤(1996)命名。本テフラは、中馬・吉田(1982)でHP1、千葉ほか(1994)で葉山1b軽石(HP1b)とされた降下火砕堆積物と同じものである。模式地は、福島県猪苗代町猪苗代スキー場(Loc. 24; Fig. 7)。磐梯火山で、4万6千年前に発生したプリニー式噴火の産物で、翁島岩屑なだれ堆積物と指交する火砕流堆積物(Loc. 26)と東へ向かう降下火砕堆積物からなる(Fig. 18; 山元・須藤, 1996)。赤埴-櫛ヶ峰山体の上位(Loc. 24; Fig. 7)、安達太良山麓の沼尻・湯川火砕流堆積物や伏拝・山崎岩屑なだれ堆積物の上位(Locs. 13, 16, 17 & 18; Figs. 5 & 6)や、阿武隈山地内の高位・中位段丘の厚い被覆風成火山灰土(Locs. 3, 4, 5 & 6; Figs. 3 & 4)中のNm-MZ・AT間に挟まれているほか、中通りの郡山層河川堆積物(Loc. 19; Fig. 6)中に挟まれている。本テフラの岩質は斜方輝石単

斜輝石デイサイトで(Table 2)、降下火砕堆積物は逆級化層理を持つ淘汰の良い軽石火山礫からなる。降下火砕堆積物の等層厚線と面積の関係から遠方部の層厚分布を外挿して(Fig. 19)、その体積を積算すると約 $3 \times 10^{11} \text{ km}^3$ (堆積物の平均密度を 800 kg/m^3 として岩石換算体積は約 $1 \times 10^{11} \text{ km}^3$ DRE, 質量は $3 \times 10^{11} \text{ kg}$)となった。この値は8-16-32-64 cm等層厚線が囲む面積(Table 4)を用いた降下火砕堆積物の最小体積約 $2 \times 10^{11} \text{ km}^3$ の1.5倍である。南山麓に分布する本テフラの火砕流堆積物は、その平均層厚を4 m、平均密度を 1200 kg/m^3 として岩石換算体積は約 $2 \times 10^{12} \text{ km}^3$ DRE程度で、降下火砕堆積物よりも一桁小さい。

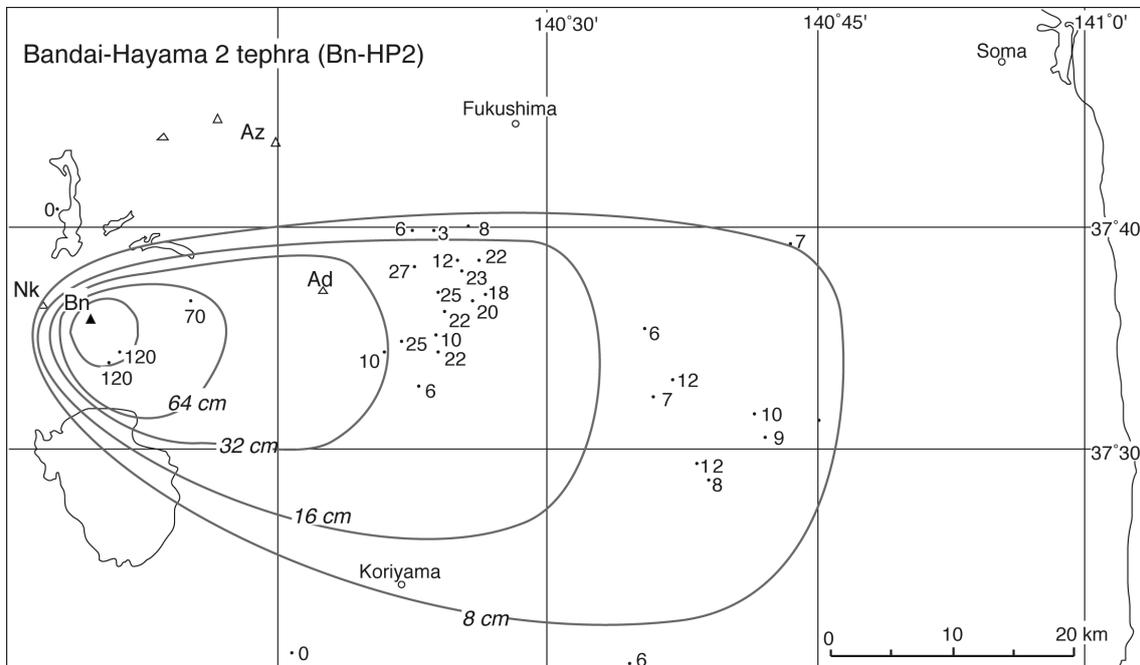
5.2 磐梯葉山2テフラ (Bn-HP2)

山元・須藤(1996)命名。本テフラは中馬・吉田(1982)でHP2、千葉ほか(1994)で葉山2b軽石(HP2b)とされた降下火砕堆積物と同じものである。模式地は、福島県猪苗代町猪苗代スキー場(Loc. 24; Fig. 7)。福島県西部の磐梯火山で、約8万年前に発生したプリニー式噴火の産物で、東へ向かう降下火砕堆積物からなる(Fig. 20; 山元・須藤, 1996)。赤埴-櫛ヶ峰山体の上位(Locs. 24 & 25; Fig. 7)、安達太良山麓の沼尻・湯川火砕流堆積物や伏拝・山崎岩屑なだれ堆積物の上位(Locs. 13, 17 & 18; Figs. 5 & 6)、阿武隈山地内の高位・中位段丘の厚い被覆風成火山灰土(Locs. 4, 5, 6 & 8; Figs. 3 & 4)中のAg-MzP5・



第 19 図 磐梯葉山 1 テフラ (*Bn-HP1*) 及び磐梯葉山 2 テフラ (*Bn-HP2*) の降下火砕堆積物における層厚と等層厚線面積の関係。

Fig. 19 Thickness versus isopach area for the pyroclastic fall deposits of the Bandai-Hayama 1 tephra (*Bn-HP1*) and Bandai-Hayama 2 tephra (*Bn-HP2*).

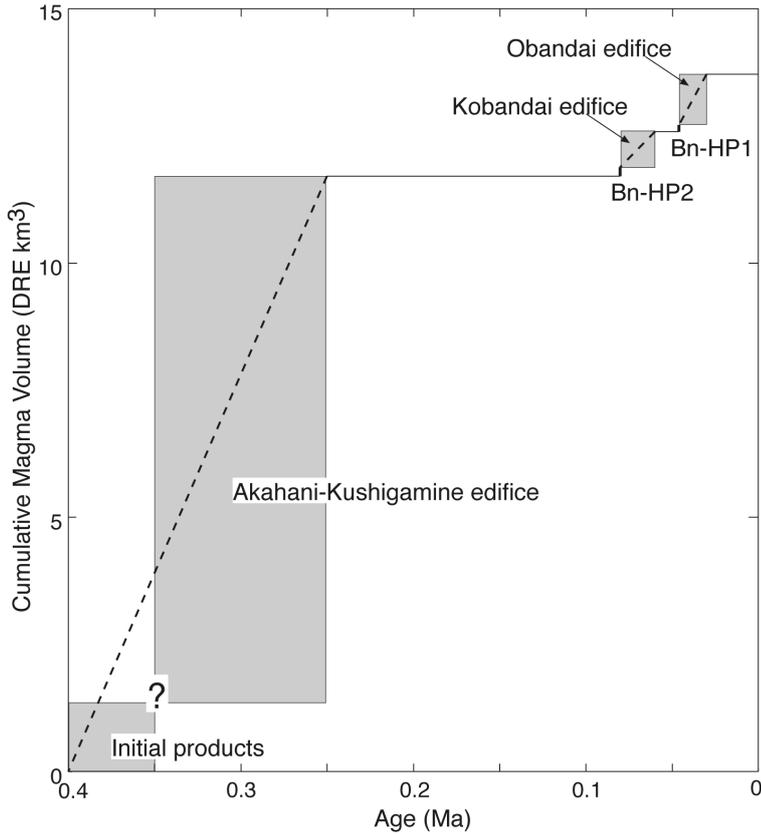


第 20 図 磐梯葉山 2 テフラ (*Bn-HP2*) の分布。

数字は降下火砕堆積物の層厚で、単位は cm。Ad = 安達太良火山; Az = 吾妻火山; Bn = 磐梯火山; Nk = 猫魔火山。

Fig. 20 Distribution of the Bandai-Hayama 2 tephra (*Bn-HP2*).

Numerals are measured thickness of the pyroclastic fall deposit in centimeters. Ad = Adataro volcano; Az = Azuma volcano; Bn = Bandai volcano; Nk = Nekoma volcano.



第 21 図 磐梯火山噴出物の時間積算マグマ体積。
Bn-HP1 = 磐梯葉山 1 テフラ ; *Bn-HP2* = 磐梯葉山 2 テフラ。

Fig. 21 Cumulative magma volume versus age for the products of Azuma volcano. *Bn-HP1* = Bandai-Hayama 1 tephra; *Bn-HP2* = Bandai-Hayama 2 tephra.

第 4 表 降下火砕堆積物の層厚と等層厚線の囲む面積
 Table 4 Area within isopachs of pyroclastic fall deposits.

Tephra	2-cm-isopach (km ²)	4-cm-isopach (km ²)	8-cm-isopach (km ²)	16-cm-isopach (km ²)	32-cm-isopach (km ²)	64-cm-isopach (km ²)	128-cm-isopach (km ²)	256-cm-isopach (km ²)
Ad-DK	n.d.	n.d.	n.d.	3.2E+03	9.3E+02	3.1E+02	1.1E+02	n.d.
Ag-MzP5	n.d.	1.5E+04	8.0E+03	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Ag-MzP7	n.d.	7.0E+03	4.2E+03	2.1E+03	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Ag-NM1	n.d.	n.d.	4.2E+03	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Ag-OK	n.d.	n.d.	4.8E+03	1.7E+03	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Az-SK	n.d.	n.d.	n.d.	9.7E+02	2.5E+02	n.d.	n.d.	n.d.
Az-FK	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	9.9E+02	2.6E+02	n.d.	n.d.
Bn-HP1	n.d.	n.d.	1.2E+03	5.3E+02	1.2E+02	2.6E+01	n.d.	n.d.
Bn-HP2	n.d.	n.d.	1.6E+03	7.6E+02	3.1E+02	1.1E+02	n.d.	n.d.
Hu-NN	n.d.	n.d.	6.2E+03	3.7E+03	2.4E+03	1.4E+03	7.7E+02	3.3E+02
Hu-TG	n.d.	6.2E+03	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Ij-TK	n.d.	n.d.	n.d.	3.6E+03	2.1E+03	6.8E+02	n.d.	n.d.
Kn-KD	n.d.	n.d.	n.d.	2.8E+03	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Nk-MA	n.d.	n.d.	n.d.	5.2E+03	2.8E+03	1.2E+03	4.6E+02	n.d.
Nk-NM	n.d.	n.d.	n.d.	1.6E+03	9.8E+02	4.1E+02	n.d.	n.d.
Nk-SO	n.d.	n.d.	n.d.	1.3E+03	6.6E+02	2.6E+02	n.d.	n.d.
Nk-YT	n.d.	n.d.	n.d.	1.5E+03	6.8E+02	n.d.	n.d.	n.d.
Nm-MZ	n.d.	4.4E+03	2.8E+03	1.5E+03	6.4E+02	1.6E+02	n.d.	n.d.
Nm-NK II	n.d.	2.6E+03	9.4E+02	2.0E+02	1.0E+02	n.d.	n.d.	n.d.
Nm-NK III	1.1E+03	6.6E+02	4.3E+02	2.7E+02	1.5E+02	6.3E+01	n.d.	n.d.
Nm-NK IV	n.d.	8.8E+02	5.1E+02	2.0E+02	4.9E+01	1.5E+01	n.d.	n.d.
Nm-SB	n.d.	n.d.	n.d.	3.0E+03	9.6E+02	n.d.	n.d.	n.d.
Sn-KB	n.d.	n.d.	n.d.	2.4E+03	1.1E+03	4.6E+02	n.d.	n.d.
Tk-KD	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	2.5E+01	7.5E+00	n.d.	n.d.

Nm-MZ 間に挟まれている。本テフラの岩質は斜方輝石単斜輝石デイサイト (Table 2), 淘汰の良い軽石火山礫からなる。降下火砕堆積物の等層厚線と面積の関係から遠方部の層厚分布を外挿して (Fig. 19), その体積を積算すると約 $5 \times 10^1 \text{ km}^3$ (堆積物の平均密度を 800 kg/m^3 として岩石換算体積は約 $2 \times 10^1 \text{ km}^3$ DRE, 質量は $4 \times 10^{11} \text{ kg}$) となった。この値は 8-16-32-64 cm 等層厚線が囲む面積 (Table 4) を用いた降下火砕堆積物の最小体積約 $4 \times 10^1 \text{ km}^3$ とほぼ同等である。

5.3 磐梯火山のマグマ噴出量

磐梯火山の活動は約 40 万年前頃に始まり, ソレイト安山岩からなる最初期山体形成後, 約 25 万年前までカルクアルカリ安山岩からなる赤埴-櫛ヶ峰山体の活動が引き続いた (山元, 2011)。両活動の間にどれくらいの休止期があったのかは明らかではないが, 両山体を合わせた全体の体積は, 梅田ほか (1999) により 11.7 km^3 と見積もられている。これに Bn-HP1・Bn-HP2 と小磐梯山体 (0.7 km^3) 及び大磐梯山体 (1 km^3) を合わせた磐梯火山のマグマ噴出量時間変化を, Fig. 21 に示している。平均的なマグマ噴出率は, 小磐梯・大磐梯山体よりも赤埴-櫛ヶ峰山体の方が大きい。また, 長い休止期の後, Bn-HP1・Bn-HP2 のようなプリニー式噴火で新たな火山活動が開始する特徴は, 前述の安達太良火山と共通している。

6. 砂子原カルデラ

本カルデラは会津盆地西縁山地内の柳津町にある最大直径約 6 km のカルデラで (Fig. 1), 中期更新世の火砕物及び湖成堆積物とこれらを貫く流紋岩溶岩 (湯の岳溶岩) で埋積されている (山元, 1992; 山元・駒澤, 2004)。本カルデラの現在の凹地状地形は不鮮明で, かつてのカルデラ壁が砂子原層と基盤との高角度の不整合面として認識できる程度である。カルデラ中央部の地熱調査井からはフォールバック起源の火砕物が見いだされ, じょうご型の地下構造が推定されている (水垣, 1993)。なお, 水垣 (1993) によると, フォールバックで充填された火道の最大径は約 2 km で, 地形的なカルデラ径よりもはるかに小さい。カルデラ形成時に噴出した火砕流堆積物は東方の会津盆地周辺の中部更新統塔寺層から見つかかり, 佐賀瀬川火砕流堆積物の名で呼ばれている (山元, 1992; 山元・須藤, 1996)。また, 後カルデラ期の末期に噴出した久保田火砕流に伴う降下堆積物は, 会津盆地から福島中通りに分布する高位段丘堆積物を覆い時間基準面として広く追跡できる (山元, 1999b)。

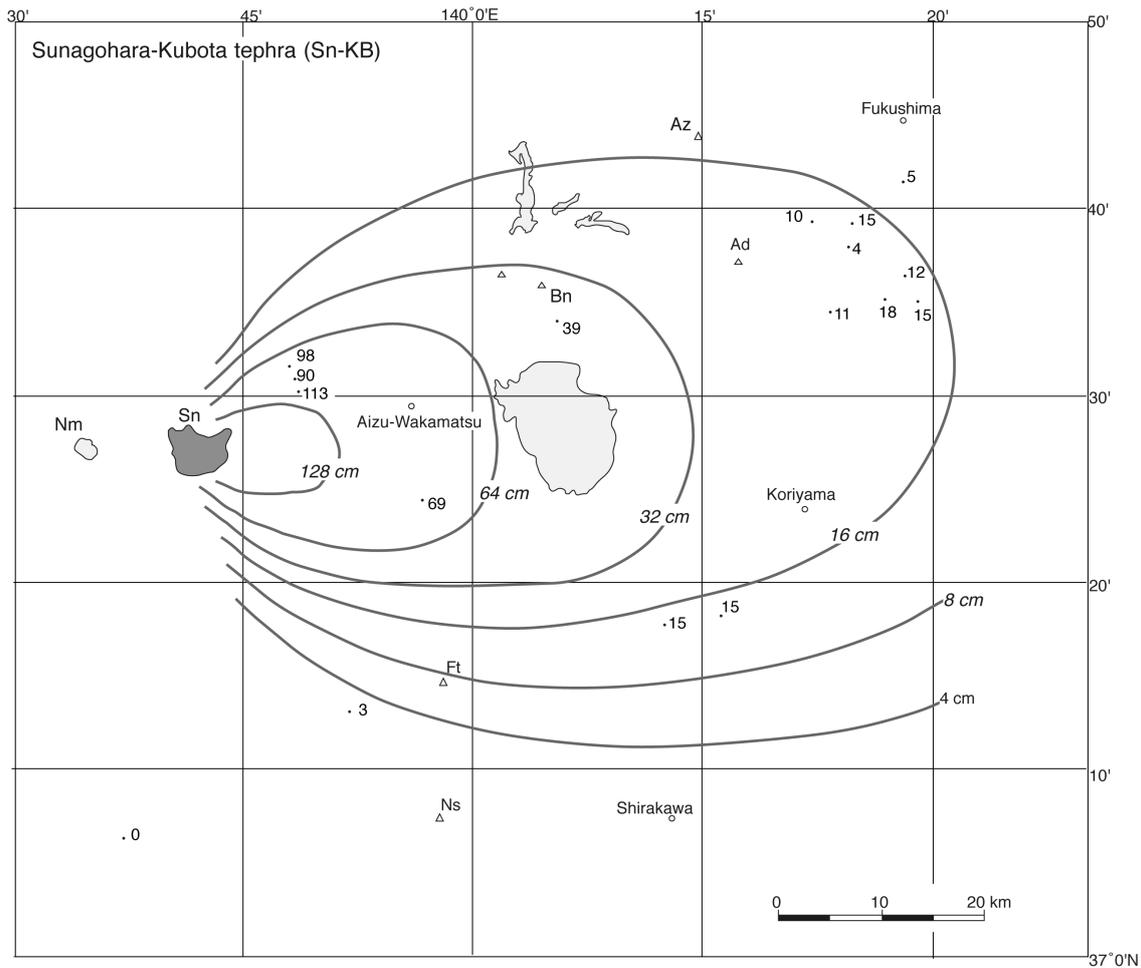
砂子原カルデラ形成期噴出物の佐賀瀬川火砕流堆積物からは $0.29 \pm 0.06 \text{ Ma}$ のジルコン・フィッシュオントラック年代値が報告されている (山元, 1992)。また, 後カルデラ期の湯の岳流紋岩からは $0.21 \pm 0.03 \text{ Ma}$, $0.5 \pm 0.1 \text{ Ma}$ の

K-Ar 年代, $0.31 \pm 0.16 \text{ Ma}$, $0.59 \pm 0.27 \text{ Ma}$, $1.23 \pm 0.40 \text{ Ma}$, のジルコン・フィッシュオントラック年代値が報告されているが (NEDO, 1985), $0.3 \sim 0.2 \text{ Ma}$ よりも古い年代値は誤差が大きく信頼性が乏しい。更に後カルデラ期の久保田火砕流堆積物の本質岩片からは $0.22 \pm 0.05 \text{ Ma}$ のジルコン・フィッシュオントラック年代値が報告されている (NEDO, 1985)。

6.1 砂子原久保田テフラ (Sn-KB)

山元 (1999b) 命名。模式地は, 福島県大沼郡柳津町松ヶ下 (Loc. 46)。砂子原カルデラの後カルデラ期末約 22 万年前に発生した火砕噴火の堆積物からなる (山元, 1999b)。模式地の久保田火砕流堆積物は, 砂子原層の最上部を占め, カルデラ内の標高 450 ~ 500 m 以上の山地頂部を構成し, 元々の層厚は少なくとも 130 m 以上であったと判断される (山元・駒澤, 2004)。本火砕流堆積物は非溶結で塊状のカミングトン閃石含有黒雲母流紋岩火山礫凝灰岩からなり, ガラス質火山灰の基質に径 12 cm 以下の白色~明灰色流紋岩軽石と新鮮な黒雲母普通角閃石流紋岩の類質岩片や変質した緑色の火山岩からなる異質岩片が含まれている。軽石の発泡度は多様で, 繊維状に良く発泡したものから, ほとんど発泡していない多面体型のものまである。どちらも径 1-3 mm の石英斑晶が肉眼で目立つ。基質を鏡下で観察すると, 繊維状軽石型の火山ガラス片に混じって, 厚めの気泡壁型~ブロック状の火山ガラス片が大量に含まれている。結晶片は斜長石・黒雲母・石英・鉄鉱以外にカミングトン閃石や斜方輝石が微量ながら含まれている。

本テフラの降下火砕堆積物は給源カルデラから東へ分布が確認できる (Fig. 22)。会津盆地周辺の塔寺層・高位段丘の被覆風成火山灰土 (Locs. 34 & 36; Fig. 8) や, 赤埴-櫛ヶ峰山体の上位 (Loc. 25; Fig. 7), 伏拝・山崎・鶴ヶ池岩屑なだれ堆積物の上位 (Locs. 11, 13, 18 & 38; Figs. 5, 6 & 9), 白河火砕流群の上位 (Locs. 27 & 35; Figs. 7 & 8), 阿武隈山地内の高位段丘の被覆風成火山灰土 (Loc. 14; Fig. 6) 中の, Sn-SK・Az-FK 間に挟まれている。会津盆地周辺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で構成されるが (Locs. 34, 35 & 36; Fig. 8), これ以外の場所では淘汰の余り良くない結晶片や流紋岩岩片を含む粘土質の白色~クリーム色火山灰として確認される。鏡下では厚めの気泡壁型~ブロック状火山ガラス片と繊維状軽石型の火山ガラス片の両者が認められ, 結晶片としては斜長石・石英・黒雲母・鉄鉱と微量のカミングトン閃石 (Table 2), 他には微結晶集合体として流紋岩の石質岩片が多量に含まれている。鈴木ほか (2004) は, Loc.34 の本テフラ (NT101) を田頭テフラ (本報告の Hu-TG) と同定しているが, その斑晶組合せは Hu-TG とは明瞭に異



第 22 図 砂小原久保田テフラ (Sn-KB) の分布.

数字は降下火砕堆積物の層厚で、単位は cm. Ad = 安達太良火山; Az = 吾妻火山; Bn = 磐梯火山; Ft = 二岐山火山; Nm = 沼沢火山; Ns = 那須火山群; Sn = 砂小原カルデラ. 山元 (1999b) を一部改変.

Fig. 22 Distribution of the Sunagohara-Kubota tephra (Sn-KB).

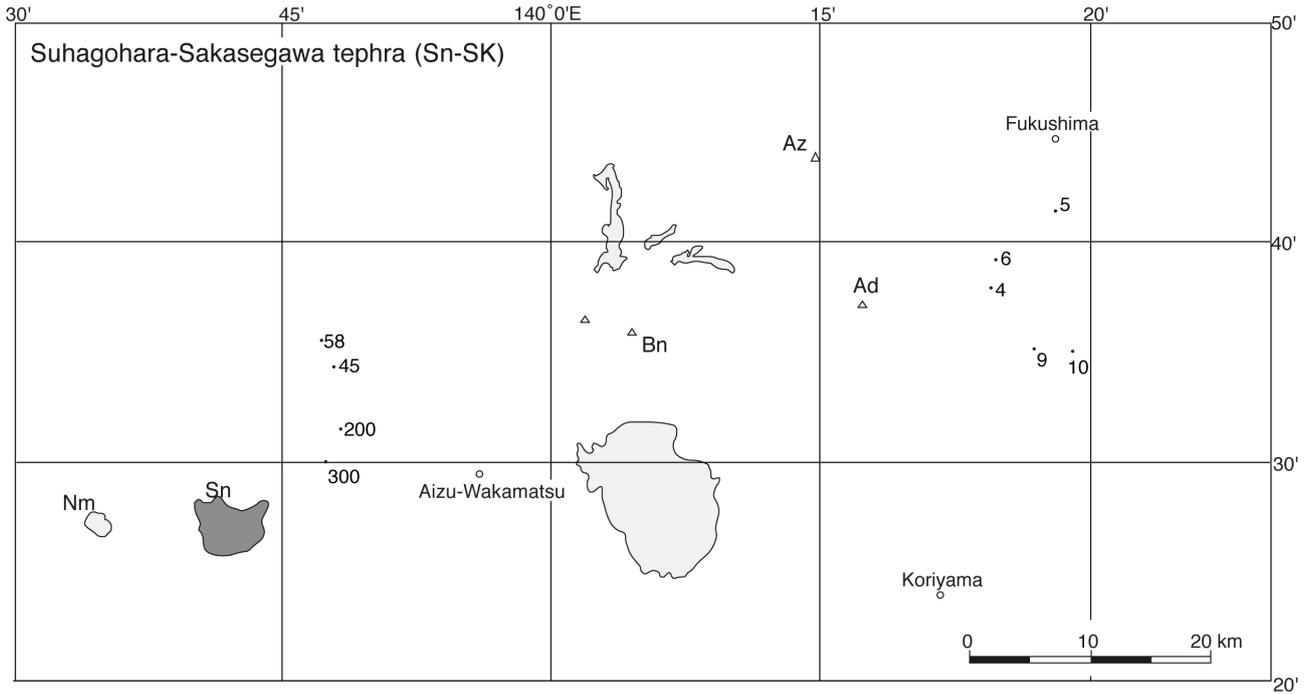
Numerals are measured thickness of the pyroclastic fall deposit in centimeters. Ad = Adataro volcano; Az = Azuma volcano; Bn = Bandai volcano; Ft = Futamatayama volcano; Nm = Numazawa volcano; Ns = Nasu volcanoes; Sn = Sunagohara caldera. Modified from Yamamoto (1999b).

なっている。給源位置をカルデラ中央部とすると、16-32-64 cm 等層厚線が囲む面積 (Table 4) を用いた降下火砕堆積物の最小体積は約 $1 \times 10^0 \text{ km}^3$ (堆積物の平均密度を 900 kg/m^3 とすると岩石換算最小体積は約 $5 \times 10^{-1} \text{ km}^3 \text{ DRE}$, 最小質量は約 $1 \times 10^{12} \text{ kg}$) である。また、火砕流堆積物の岩石換算体積はカルデラ面積 (20 km^2) と最大層厚から、堆積物の平均密度を 1200 kg/m^3 として約 $1 \times 10^0 \text{ km}^3 \text{ DRE}$ となり、テフラ全体では約 $2 \times 10^0 \text{ km}^3 \text{ DRE}$ (質量は約 $3 \times 10^{12} \text{ kg}$) と見積もられる。

6.2 砂子原佐賀瀬川テフラ (Sn-SK)

山元・須藤 (1996) 命名。模式地は、福島県大沼郡会津美里町佐賀瀬川 (Loc. 33)。砂子原カルデラ形成期の約 29 万年前に発生した火砕噴火の堆積物からなり、カルデラ内の砂子原層下部の非溶結火砕流堆積物を構成する

(山元・駒澤, 2004)。模式地の本テフラは、カルデラ外流出相からなり、層厚約 3 m で径 1 cm 以下の火山豆石を多量に含む良く成層した降下堆積物と、これを覆う非溶結でガラス質火山灰の基質に径 2 ~ 3 cm の繊維状軽石と径 3 cm 以下の石質岩片 (流紋岩・凝灰岩) をまばらに含む塊状の黒雲母流紋岩火山礫凝灰岩の火砕流堆積物で構成される。降下堆積物の基質は厚めの気泡壁型~ブロック状の火山ガラス片からなり、軽石片や石質岩片に乏しい。これを覆う火砕流本体は非溶結で塊状の火山礫凝灰岩からなり、ガラス質火山灰の基質に径 2 ~ 3 cm の繊維状軽石と径 3 cm 以下の石質岩片 (流紋岩・凝灰岩) をまばらに含んでいる。火砕物基質の火山ガラス片の形態は、繊維状軽石型のものと同様の気泡壁型~ブロック状のものが混在している。基質の結晶片には、斜長石・黒雲母・鉄鉱と微量の石英が認められる (Table 2)。降下

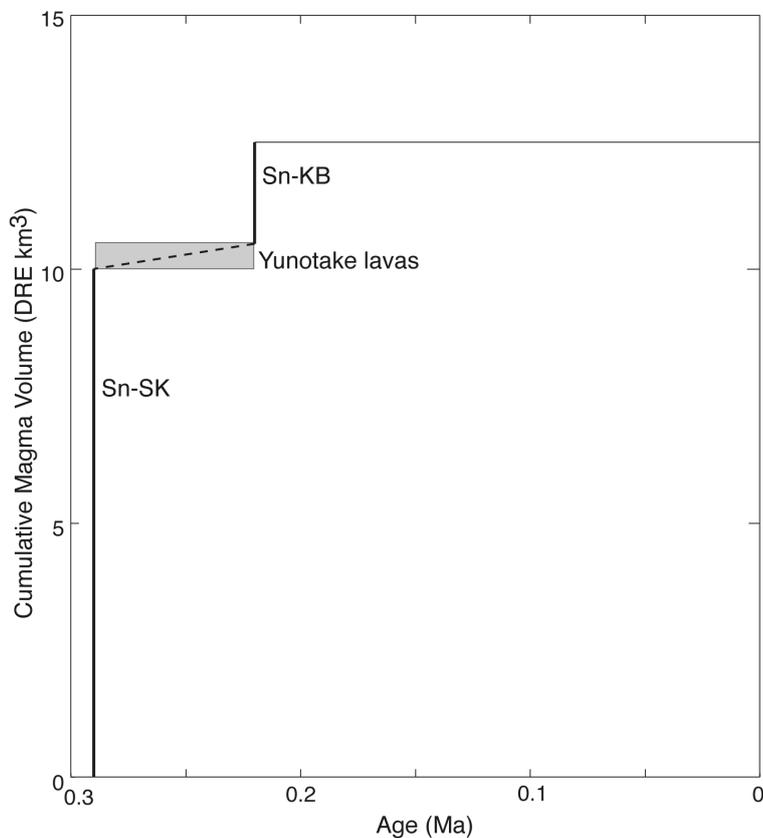


第 23 図 砂小原佐賀瀬川テフラ (Sn-SK) の分布。

数字は降下火砕堆積物の層厚で、単位は cm。Ad = 安達太良火山; Az = 吾妻火山; Bn = 磐梯火山; Ft = 二岐山火山; Nm = 沼沢火山; Ns = 那須火山群; Sn = 砂小原カルデラ。

Fig. 23 Distribution of the Sunagohara-Sakasegawa tephra (Sn-SK).

Numerals are measured thickness of the pyroclastic fall deposit in centimeters. Ad = Adataro volcano; Az = Azuma volcano; Bn = Bandai volcano; Nm = Numazawa volcano; Sn = Sunagohara caldera.

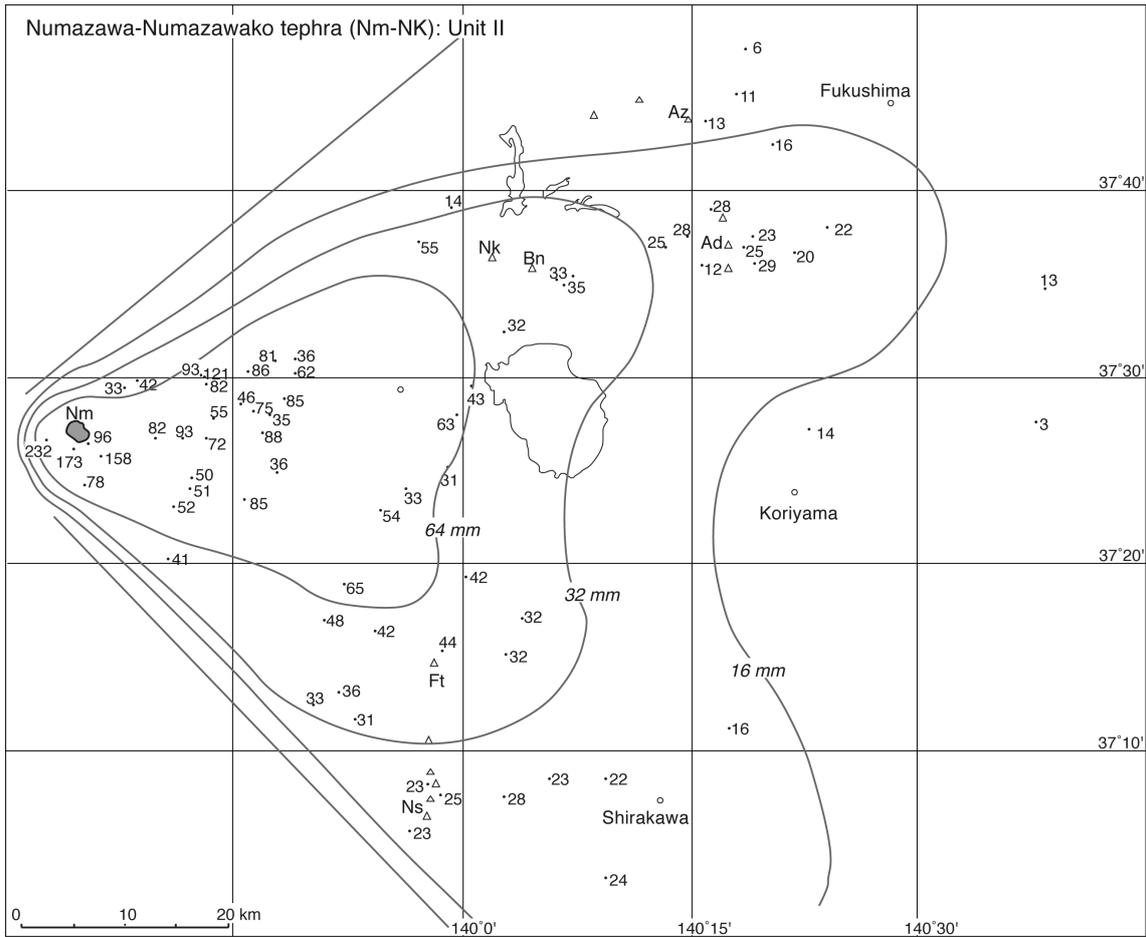


第 24 図 砂小原カルデラ噴出物の時間積算マグマ体積。

Sn-KB = 砂小原久保田テフラ; Sn-SK = 砂小原佐賀瀬川テフラ。

Fig. 24 Cumulative magma volume versus age for the products of Sunagohara caldera.

Sn-KB = Sunagohara-Kubota tephra; Sn-SK = Sunagohara-Sakasegawa tephra.



第25図 沼沢沼沢湖テフラ (Nm-NK) のユニット II の分布。
 数字は降下軽石の平均最大粒径で、単位は mm。Ad = 安達太良火山；Az = 吾妻火山；Bn = 磐梯火山；
 Ft = 二岐山火山；Nm = 沼沢火山；Ns = 那須火山群。

Fig. 25 Distribution of the Numazawa-Numazawako tephra (Nm-NK), Unit II.
 Numerals are measured maximum diameter of fallout pumice in millimeters. Ad = Adataro volcano; Az = Azuma volcano; Bn = Bandai volcano; Ft = Futamatayama volcano; Nm = Numazawa volcano; Ns = Nasu volcanoes.

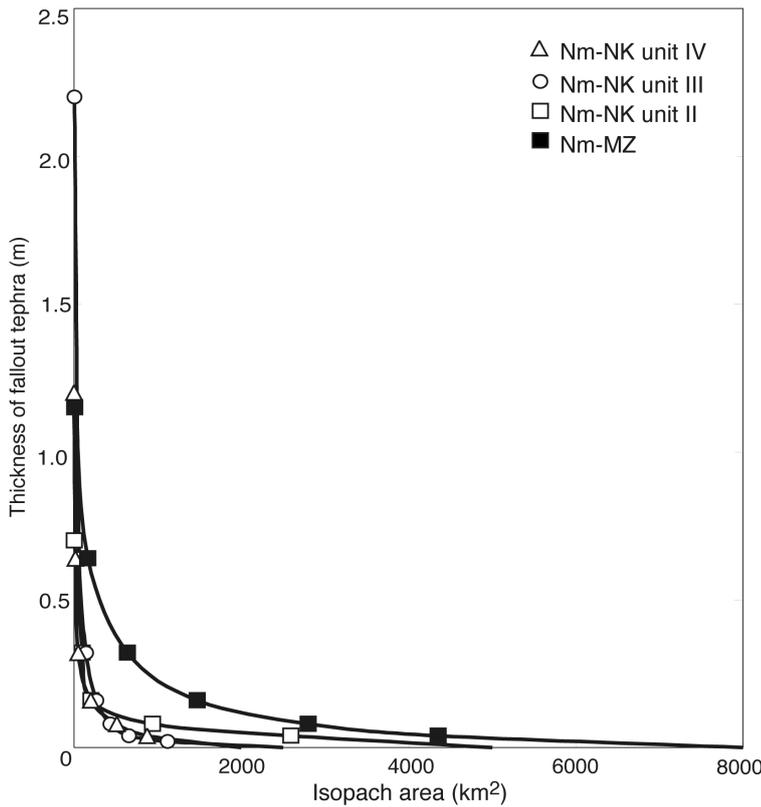
火砕堆積物は、会津盆地周辺の塔寺層中 (Loc. 33) や、伏拝岩屑なだれ堆積物の上位 (Loc. 11; Fig. 5), 阿武隈山地内の高位段丘の被覆風成火山灰土 (Loc. 14; Fig. 6) 中の, Sn-KB の下位に挟まれている。ただし、遠方の降下堆積物は淘汰の余り良くない粘土質の白色～クリーム色火山灰からなり、火山豆石は認められない。データ不足のため等層厚線が作図できないので (Fig. 23), 降下火砕堆積物の体積見積はできていないが、会津盆地西縁での層厚がより大きいので、その量は Sn-KB よりも大きいと予想される。佐賀瀬川火砕流堆積物のカルデラ外流出相はカルデラから半径 25 km 内に断片的に分布しているので (山元・須藤, 1996), 平均層厚を 5 m, 堆積物の平均密度を 1200 kg/m³ として約 5×10⁰ km³ DRE (質量は約 1×10¹³ kg) とみなせる。また、カルデラ内にも同程度の堆積物が伏在するので (山元・駒澤, 2004), その総量は約 1×10¹ km³ DRE (質量は約 2×10¹³ kg) となる。

6.3 砂子原カルデラのマグマ噴出量

砂子原カルデラのマグマ噴出量時間変化を、Fig. 24 に示した。後カルデラ期の湯ノ岳溶岩の体積は、複数の溶岩岩体を合計して約 0.5 km³ としている。全噴出量は約 13 km³ DRE となるが、Sn-SK の体積見積の誤差が相当大きく、この値は目安にすぎない。ただ、カルデラ形成期の Sn-SK が特に規模が大きかったことは確実である。

7. 沼沢火山

本火山は福島県の西部に位置する活火山で (Fig. 1), 金山町の沼沢湖及びその周辺から噴出した後期更新世～更新世の流紋岩-デイサイト溶岩・火砕物からなる。噴出物は、下位から約 11 前の芝原・尻吹峠火砕物、約 7 万年前の本冷沢溶岩、約 5 万年前の水沼火砕物、約 4 万年前の惣山溶岩、約 2.4 万年前の沼御前火砕物・前山溶岩、



第 26 図 沼沢水沼テフラ (Nm-MZ) 及び沼沢沼沢湖テフラ (Nm-NK) の降下火砕堆積物の層厚と等層厚線面積の関係。

Fig. 26 Thickness versus isopach area for the pyroclastic fall deposits of the Numazawa-Mizunuma tephra (Nm-MZ) and Numazawa-Numazawako tephra (Nm-NK).

紀元前 3400 年頃の沼沢湖火砕物である (山元, 2003)。水沼火砕物の直下から $44,930 \pm 1,030$ yBP と $45,210 \pm 1,540$ yBP (Loc. 19; Fig. 6), 沼御前火砕物からは $19,880 \pm 150$ yBP の補正放射性炭素年代を得ているが (山元, 2003), これを Fairbanks *et al.* (2005) を使い暦年校正するとそれぞれ 49 cal ka, 49 cal ka, 24 cal ka となる。噴出物の全岩化学組成変化には, 下位の流紋岩から上位のデイサイトへと年代とともに SiO_2 含有量が減少するトレンドが認められる (Yamamoto, 2007)。

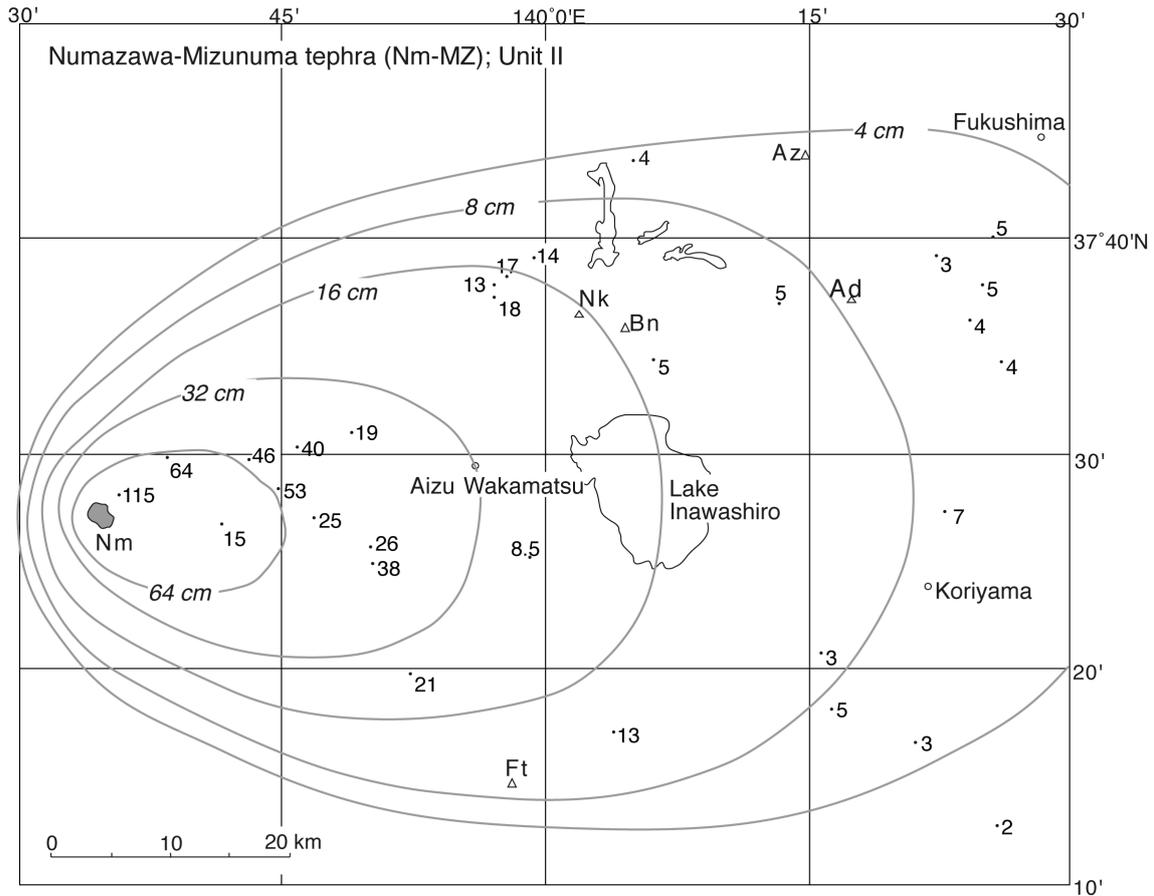
7.1 沼沢沼沢湖テフラ (Nm-NK)

山元 (1995) 命名。模式地は, 福島県大沼郡金山町大栗山, 木冷沢右岸。本テフラは沼沢火山で紀元前 3400 年頃に発生した一連の火砕流噴火・プリニー式噴火・マグマ水蒸気噴火の産物で, 山元 (1995) により下位からユニット I ~ IV に区分されている。ユニット I は, 白色デイサイト軽石と少量の灰~暗灰色安山岩軽石を含む非溶結の火砕流堆積物からなる。給源から東へ向かった火砕流はいくつかの地形障害を乗り越え 20 km 以上流走しており, 先端部が佐賀瀬川を下って会津盆地に流入した。ユニット II は白色デイサイト軽石と少量の灰~暗灰色安山岩軽石の粗粒火山礫・細粒火山礫・粗粒火山灰・ガラス質細粒火山灰からなる降下堆積物で, 上位の単層ほど粒径が小さい。本ユニットの分布が最も広く, 北は福島市周辺, 南は栃木県北部の那須町の範囲に分布する (Fig.

25)。ユニット III は灰~暗灰色安山岩軽石と白色デイサイト軽石からなる細粒火山礫・粗粒~細粒火山灰の良く成層した降下堆積物と沼沢湖東岸の狭い範囲に分布する層厚約 2 m の火砕サージ堆積物からなる。ユニット IV は逆級化構造を持つ灰~暗灰色安山岩軽石の細粒~粗粒火山礫降下堆積物とこれを覆う平行葉理を持った粗粒火山灰降下堆積物からなる。灰~暗灰色安山岩軽石は多面体状の形態を持ち, その発泡度は良~不良である。

本火砕堆積物の本質物のうち, デイサイト軽石は斑晶として斜長石, 石英, 普通角閃石, 斜方輝石, 鉄鋳と微量の普通輝石を含んでいる。その石基はガラス質で微結晶を全く含んでいない。デイサイトの SiO_2 含有量はほぼ 66 wt%, K_2O 含有量は 1.7 ~ 1.8 wt% である。一方, 安山岩軽石も斑晶として斜長石, 石英, 普通角閃石, 斜方輝石, 鉄鋳, 普通輝石を含んでいるものの, 石基はハイアロオフィティック~インターサータル組織を持ち, 斜長石, 単斜輝石, 斜方輝石, 鉄鋳, 普通角閃石の微結晶を生じている。安山岩の SiO_2 含有量は 58 ~ 60 wt%, K_2O 含有量は 0.7 ~ 0.9 wt% と, デイサイトと全く異なる低カリウム系列に属している (Yamamoto, 2007)。各ユニット毎の本質物の構成物変化は増淵・石崎 (2011) に詳しい。

ユニット I の火砕流堆積物の岩石換算体積は山元 (2003) にあるように, 堆積物の平均密度を 1200 kg/m^3 とし約 $2 \times 10^9 \text{ km}^3$ DRE (質量は約 $5 \times 10^{12} \text{ kg}$) と見積もら



第 27 図 沼沢水沼テフラ (Nm-MZ) のユニット II の分布。

数字は降下火砕堆積物の層厚で、単位は cm。Ad = 安達太良火山；Az = 吾妻火山；Bn = 磐梯火山；Ft = 二岐山火山；Nm = 沼沢火山。山元 (2003) を一部改変。

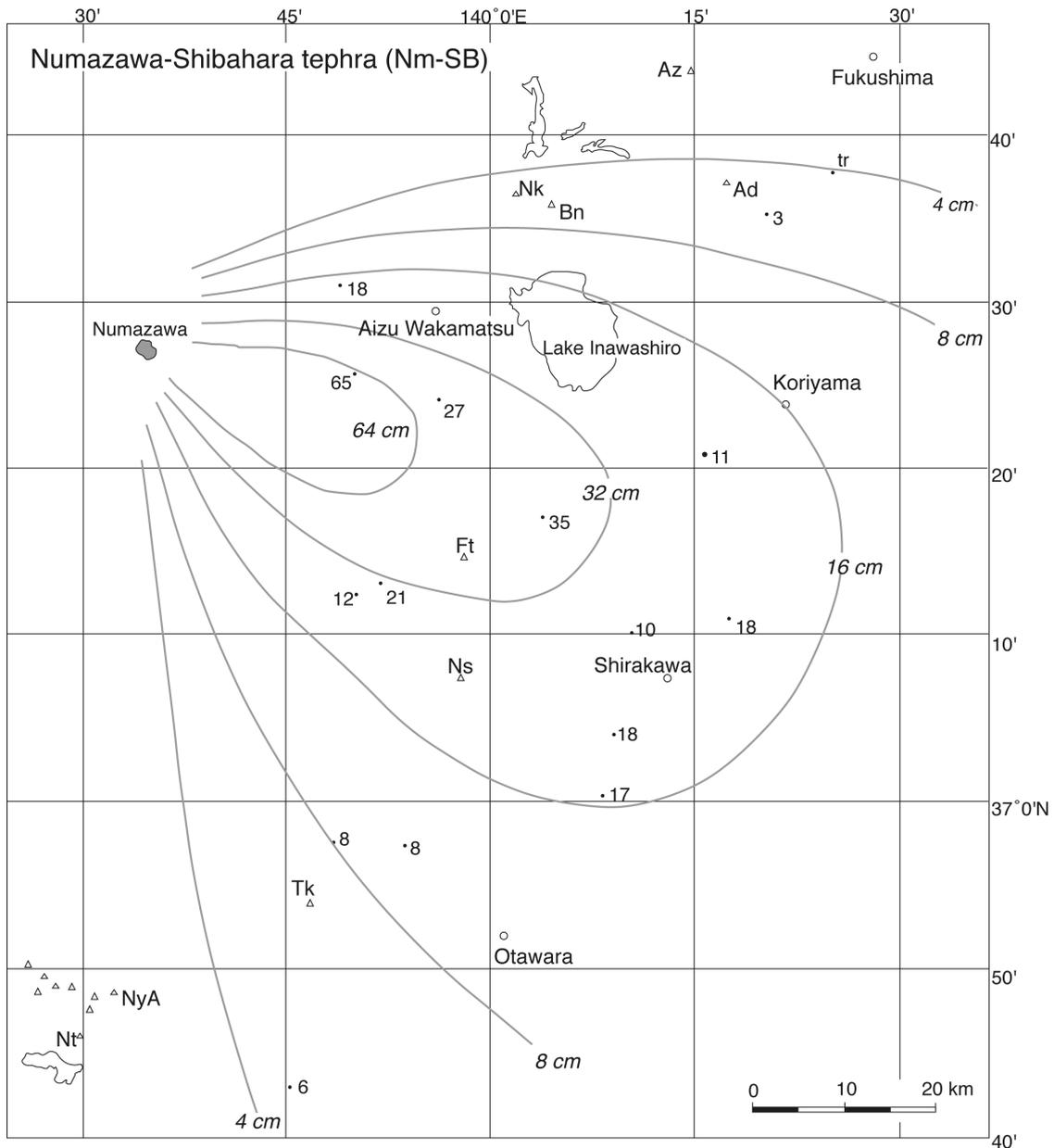
Fig. 27 Distribution of the Numazawa-Mizunuma tephra (Nm-MZ), Unit II. Numerals are measured thickness of the pyroclastic fall deposit in centimeters. Ad = Adataro volcano; Az = Azuma volcano; Bn = Bandai volcano; Ft = Futamatayama volcano; Nm = Numazawa volcano. Modified from Yamamoto (2003).

れている。ユニット II の降下火砕堆積物の等層厚線と面積の関係から遠方部の層厚分布を外挿して (Fig. 26), その体積を積算すると約 $3 \times 10^{11} \text{ km}^3$ (堆積物の平均密度を 800 kg/m^3 として岩石換算体積は約 $1 \times 10^{11} \text{ km}^3$ DRE, 質量は約 $3 \times 10^{11} \text{ kg}$) となった。この値は 4-8-16-32 cm 等層厚線が囲む面積 (Table 4) を用いた降下火砕堆積物の最小体積約 $2 \times 10^{11} \text{ km}^3$ の 1.5 倍である。同様にユニット III・IV の降下火砕堆積物の等層厚線と面積の関係から遠方部の層厚分布を外挿して (Fig. 26), その体積を積算すると約 $2 \times 10^{11} \text{ km}^3$ (堆積物の平均密度を 1300 kg/m^3 として岩石換算体積は約 $1 \times 10^{11} \text{ km}^3$ DRE, 質量は約 $3 \times 10^{11} \text{ kg}$)・約 $2 \times 10^{11} \text{ km}^3$ (堆積物の平均密度を 900 kg/m^3 として岩石換算体積は約 $6 \times 10^{10} \text{ km}^3$ DRE, 質量は約 $1 \times 10^{11} \text{ kg}$) となった。これらの値も等層厚線が囲む面積 (Table 4) を用いた降下火砕堆積物の最小体積約 $1 \times 10^{11} \text{ km}^3$ の倍である。各降下火砕堆積物の岩石換算体積は火砕流堆積物のそれよりも一桁小さく、結局、噴出量の総岩石換算体積は約 $2 \times 10^{10} \text{ km}^3$ DRE (質量は約 $6 \times 10^{12} \text{ kg}$) で山元 (2003) と同じである。

7.2 沼沢水沼テフラ (Nm-MZ)

山元 (1995) 命名。模式地は、福島県大沼郡金山町水沼の只見川右岸の岸壁。ただし同郡三島町早戸の国道 252 号線早戸トンネル側道沿いの露頭 (Loc. 47) のほうが観察は容易である。本テフラは沼沢火山で約 5 万年前に発生したプリニー式噴火・火砕流噴火の産物で、山元 (1995) により下位からユニット I ~ III に区分されている。本テフラの本質物は、斑晶として斜長石、石英、普通角閃石及びカミングトン閃石、鉄鉱、黒雲母を含み、その量比はこの順で少なくなる (Table 2)。またその SiO_2 含有量は 69 wt%, K_2O 含有量は 1.8 ~ 2.0 wt% である (Yamamoto, 2007)。鈴木・早田 (1994) の沼沢—金山テフラは、山元 (1995) や本報告の水沼火砕堆積物と基本的に同じものである。

ユニット I は、白色粘土質火山灰の基質に粗粒—細粒火山礫の異質岩片を多く含む淘汰の極めて悪い塊状の降下堆積物からなる。本堆積物からは本質物の存在が確認できず、水蒸気爆発の産物と判断できる。層厚は沼沢湖



第 28 図 沼沢芝原テフラ (*Nm-SB*) の分布.

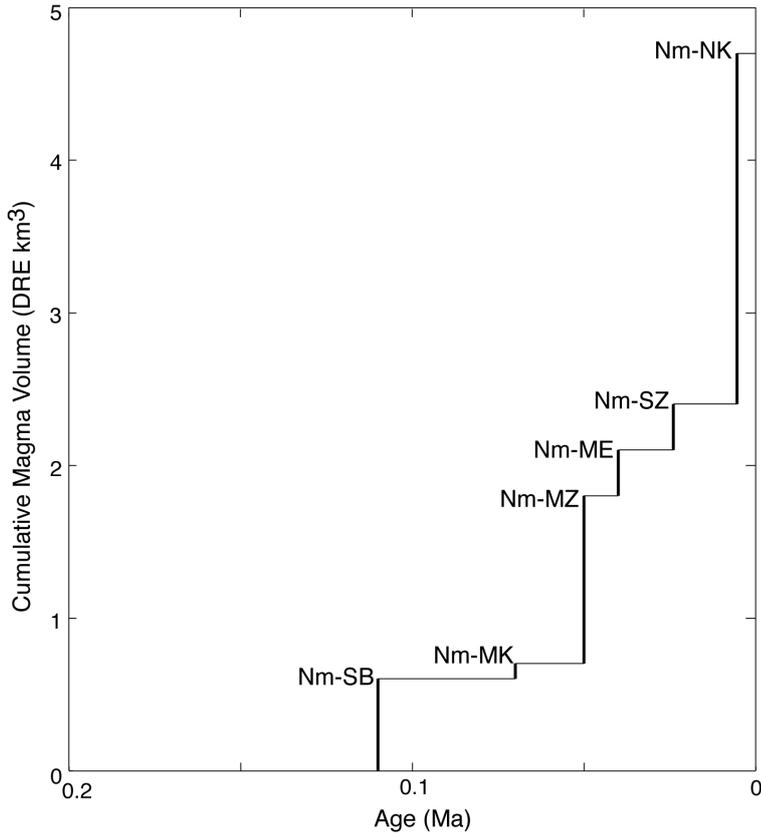
数字は降下火砕堆積物の層厚で、単位は cm. *Ad* = 安達太良火山; *Az* = 吾妻火山; *Bn* = 磐梯火山; *Ft* = 二岐山火山; *Nk* = 猫魔火山 *Nm* = 沼沢火山; *Ns* = 那須火山群; *Nt* = 男体火山; *NyA* = 女峰赤薙火山; *Tk* = 高原火山. 山元 (2003) を一部改変.

Fig. 28 Distribution of the Numazawa-Shibahara tephra (*Nm-SB*).

Numerals are measured thickness of the pyroclastic fall deposit in centimeters. *Ad* = Adataro volcano; *Az* = Azuma volcano; *Bn* = Bandai volcano; *Ft* = Futamatayama volcano; *Nk* = Nekoma volcano; *Nm* = Numazawa volcano; *Ns* = Nasu volcanoes; *Nt* = Nantai volcano; *NyA* = Nyoho-Akanagi volcano; *Tk* = Takahara volcano. Modified from Yamamoto (2003).

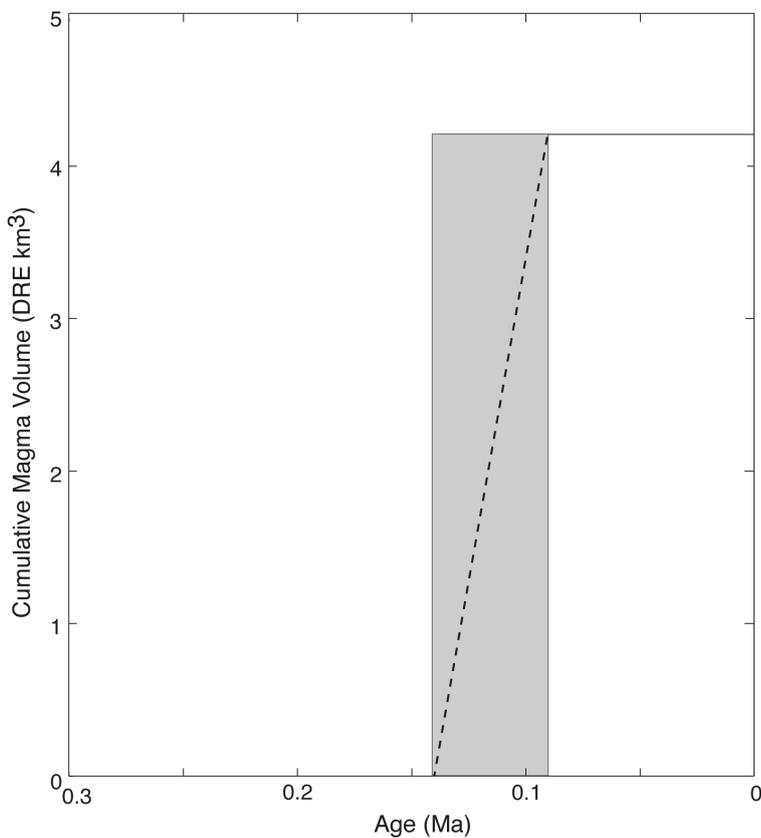
周辺で 40 cm 以上、20 km 東方の地点でも数 cm 以上である。ユニット II は、逆級化構造を持つデイサイト軽石の細粒—粗粒火山礫降下堆積物からなる。分布の主軸は沼沢湖付近から東に向き (Fig. 27), 会津盆地周辺の高位・中位段丘の被覆風成火山灰土 (Locs. 20, 22, 32 & 45;

Figs. 7 & 8) や、赤埴—櫛ヶ峰山体の上位 (Loc. 24; Fig. 7), 伏拝・山崎岩屑なだれ堆積物の上位 (Locs. 13 & 17; Figs. 5 & 6), 白河火砕流群の上位 (Locs. 28 & 35; Figs. 7 & 8), 阿武隈山地内の高位・中位段丘の被覆風成火山灰土 (Locs. 3 & 4; Fig. 3) 中の、Ag-OK・DKP 間に挟まれ



第29図 沼沢火山噴出物の時間積算マグマ体積。
Nm-ME = 沼沢前山溶岩；Nm-MK = 沼沢木冷沢溶岩；Nm-MZ = 沼沢水沼テフラ；Nm-NK = 沼沢沼沢湖テフラ。山元(2003)を一部改変。

Fig. 29 Cumulative magma volume versus age for the products of Numazawa volcano. Nm-ME = Numazawa-Maeyama lava; Nm-MK = Numazawa-Mukurezawa lava; Nm-MZ = Numazawa-Mizunuma tephra; Nm-NK = Numazawa-Numazawako tephra; Nm-SB = Numazawa-Shibahara tephra; Nm-SO = Numazawa-Sozan lava. Modified from Yamamoto (2003).



第30図 二岐山火山噴出物の時間積算マグマ体積。

Fig. 30 Cumulative magma volume versus age for the products of Futamatayama volcano.

ているほか、中通りの郡山層河川堆積物 (Loc. 19; Fig. 6) 中に挟まれている。ユニットⅢは、径 15 cm 以下のデイサイト軽石に富む火砕流堆積物からなり、火山中心から 6 km の河谷沿いに分布している。特に只見川沿いの本堆積物は基底部数 m を除き溶結しており、柱状節理の発達した岩壁を作っている (Loc. 47)。

ユニットⅡの降下火砕堆積物の等層厚線と面積の関係から遠方部の層厚分布を外挿して (Fig. 26), その体積を積算すると約 $9 \times 10^{-1} \text{ km}^3$ (堆積物の平均密度を 1100 kg/m^3 として岩石換算体積は約 $4 \times 10^{-1} \text{ km}^3$ DRE, 質量は約 $1 \times 10^{12} \text{ kg}$) となる。この値は 4-8-16-32-64 cm 等層厚線が囲む面積 (Table 4) を用いた降下火砕堆積物の最小体積約 $7 \times 10^{-1} \text{ km}^3$ とほぼ同等である。ユニットⅢの火砕流については、これが只見川本流を 10 km 程度流れ下ったとすると、谷埋め堆積は 1 km^3 強で、おそらく 2 km^3 を越えることはなかったと推定されている。火砕流堆積物の非溶結・溶結部の密度から概算するとユニットⅢの岩石換算体積は約 $7 \times 10^{-1} \text{ km}^3$ DRE (質量は約 $2 \times 10^{12} \text{ kg}$) となり、テフラ全体では約 $1 \times 10^0 \text{ km}^3$ DRE (質量は約 $3 \times 10^{12} \text{ kg}$) と見積もられる (山元, 2003)。

7.3 沼沢芝原テフラ (Nm-SB)

鈴木 (1992) 命名。模式地は福島県西白河郡西郷村大字真船芝原付近。沼沢火山で、約 11 万年前に発生したプリニー式噴火の産物で (山元, 1999b), 給源近傍の火砕サージ堆積物 (Loc. 48; 山元・駒澤, 2004) と南東へ向かう降下火砕堆積物からなる (Fig. 28)。本テフラの岩質は、カミングトン閃石含有普通角閃石黒雲母流紋岩で、石英や黒雲母の斑晶が肉眼でよく目立つ。降下火砕堆積物は会津盆地周辺の塔寺層・高位段丘の被覆風成火山灰土 (Locs. 34, 36; Fig. 8) や、下郷層・白河火砕流群の上位 (Locs. 28, 35 & 39; Figs. 7, 8 & 9), 高原火山体の上位 (Loc. 42; Fig. 9), 伏拝・山崎・鶴ヶ池・黒磯岩屑なだれ堆積物の上位 (Locs. 13, 18, 29 & 38; Figs. 5, 6, 8 & 9), 福島中通りから栃木県北部の中位段丘の厚い被覆風成火山灰土 (Locs. 20 & 44; Figs. 7 & 10) 中の Ad-DK・Nk-MA 間に挟まれている。降下火砕堆積物の 16-32 cm 等層厚線が囲む面積 (Table 4) を用いた降下火砕堆積物の最小体積は約 $2 \times 10^{-1} \text{ km}^3$ (堆積物の平均密度を 900 kg/m^3 として岩石換算最小体積は約 $6 \times 10^{-1} \text{ km}^3$ DRE, 最小質量は約 $1 \times 10^{12} \text{ kg}$) である。火口近傍の火砕サージ堆積物の推定体積は、これよりも一桁小さい (山元, 2003)。

7.4 沼沢火山のマグマ噴出量

沼沢火山のマグマ噴出量の時間変化については、山元 (2003) が既に明らかにしている。しかしながら、前述のように一部の噴出物の噴出年代には暦年校正が必要で、その結果を Fig. 29 に反映させている。ただし、前半よりも後半の噴出率が大きい特徴は山元 (2003) の指摘通り

で、これはマグマ発生域での部分溶融度の上昇の結果と考えられている (Yamamoto, 2007)。

8. 二岐山火山

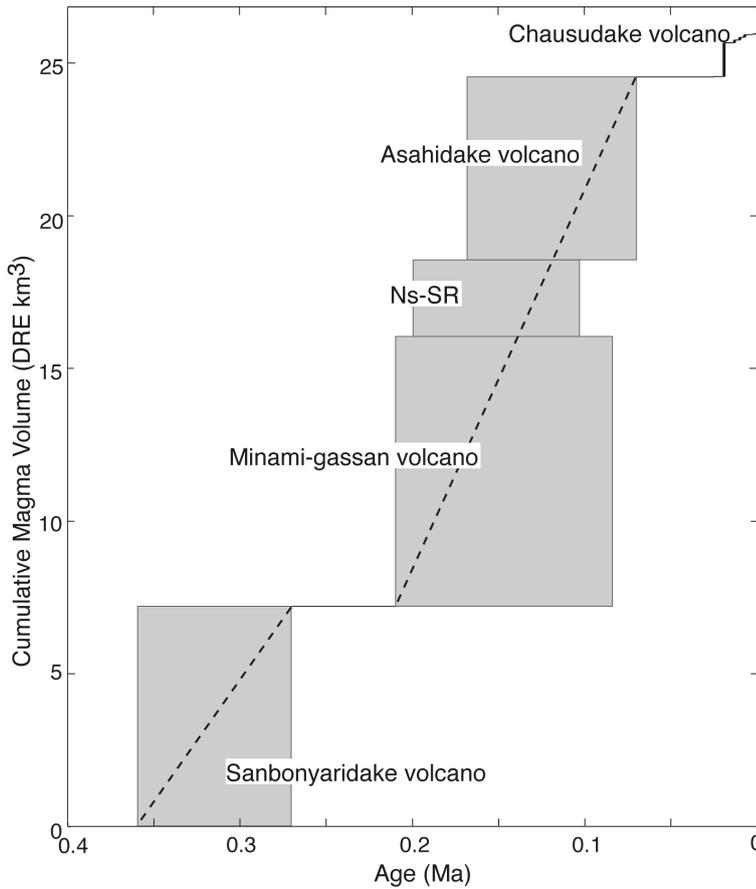
本火山は福島県南部の下郷町・天栄村境界部に位置する二岐山をピークに持つ小型の安山岩質成層火山である。噴出物は複数の安山岩溶岩流からなる岩山溶岩とこれを覆う二俣火砕流堆積物と二岐山溶岩で構成されている (山元, 1999a)。二岐山東方 1.5 km の地点の岩山溶岩からは $0.14 \pm 0.02 \text{ Ma}$ の K-Ar 年代値が報告され (伴・高岡, 1995), 二俣火砕流堆積物の直上からは約 9 万年前の Aso4 の存在が確認されている (山元, 1999a)。これらのことから本火山の活動時期は、中期更新世末から後期更新世初頭と判断されている。

本火山起源とみられる降下火砕堆積物は、東山麓の天栄村 (Loc. 28; Fig. 7) から、須賀川市にかけて少なくとも 5 層確認でき、下位から二岐山羽鳥 1-5 テフラと呼ぶ (Ft-HT1 ~ Ft-HT5)。Ft-HT1 は Hu-NN の直下に、Ft-HT2 と Ft-HT3 は Hu-NN と Nm-SB の間に、Ft-HT4 と Ft-HT5 は Nm-SB と Nm-MZ の間に位置している。いずれも発泡のあまり良くない安山岩スコリアで構成され、斜長石・斜方輝石・単斜輝石・鉄鉱を含んでいる。稀に石英の結晶片が含まれるほか、最上部のテフラは普通角閃石の結晶片を含んでいる。普通角閃石を含有する特徴は山体最上部の二俣火砕流堆積物・二岐山溶岩と共通するものであり、Ft-HT5 はこの噴火の産物である可能性が大きい。

Ft-HT1 ~ Ft-HT5 はいずれも降下火砕堆積物の等層厚線図が作図できてない。しかしながら山体中心から約 10 km 離れた天栄村羽鳥 (Loc. 28; Fig. 7) で各テフラの層厚が 30 ~ 50 cm あることから、羽鳥までのテフラ等層厚面積を 30 km^2 と仮定すれば、各テフラの概算の最小体積は約 $2 \sim 4 \times 10^{-2} \text{ km}^3$ (堆積物の平均密度を 1500 kg/m^3 として岩石換算体積は約 $2 \sim 3 \times 10^{-2} \text{ km}^3$ DRE) 程度となる。溶岩を主とする二岐山火山体の体積自体は、 4.2 km^3 と見積もられており (伴・高岡, 1995), 噴出物全体に占める降下火砕物の寄与はかなり小さい。二岐山火山のマグマ噴出量の時間変化は、Fig. 30 に示している。

9. 那須火山群

那須火山群は、栃木県と福島県の境に位置する第四紀の火山群で (Fig. 1), 南から北へ南月山・茶臼岳・朝日岳・三本槍岳・甲子旭岳の順に連なる成層火山の集合体である (伴・高岡, 1995; 山元・伴, 1997)。このうち茶臼岳火山だけが有史以来何回かの噴火記録のある活火山である。最も古い甲子旭岳火山は 50 万年前頃に活動した玄武岩-安山岩の成層火山体で、福島県内に分布の中心がある。この火山は現在著しい開析を受けており、火



第31図 那須火山群噴出物の時間積算マグマ体積。
Ns-SR = 那須白河テフラ群。
Fig. 31 Cumulative magma volume versus age for the products of Nasu volcanoes.
Ns-SR = Nasu-Shirakawa tephra group.

山の原地形をとどめていない。甲子旭岳火山のすぐ南の栃木・福島県境に位置する三本槍火山は、36～27万年前に活動した成層火山で、玄武岩－安山岩の溶岩・火砕岩からなる前期噴出物と安山岩－デイサイトの厚い溶岩からなる後期噴出物に区分される。三本槍火山はこれよりも新しい噴出物に顕著な不整合で覆われており、新期噴出物を除去すると三本槍火山には南東向きに開いた馬蹄形の大きな火口地形が復元できる。那須火山群東山麓の丘陵地から南の那須野ヶ原にかけて分布する約25万年前の黒磯岩屑なだれ堆積物は、この部分が山体崩壊を起こして発生したものと考えられている。次の朝日岳火山は17～7万年前に活動した安山岩の成層火山で、三本槍火山の崩壊地形を埋めて成長した。その南にある南月山火山も、朝日岳火山とほぼ同時期の21～8万年前に活動した成層火山であるが、朝日岳火山とは独立した山体を形成している。那須火山群で最も新しい茶臼岳火山は約1.9万年前(1.6 kaの放射性炭素年代を暦年校正した年代)から活動を開始している(山元, 1997)。

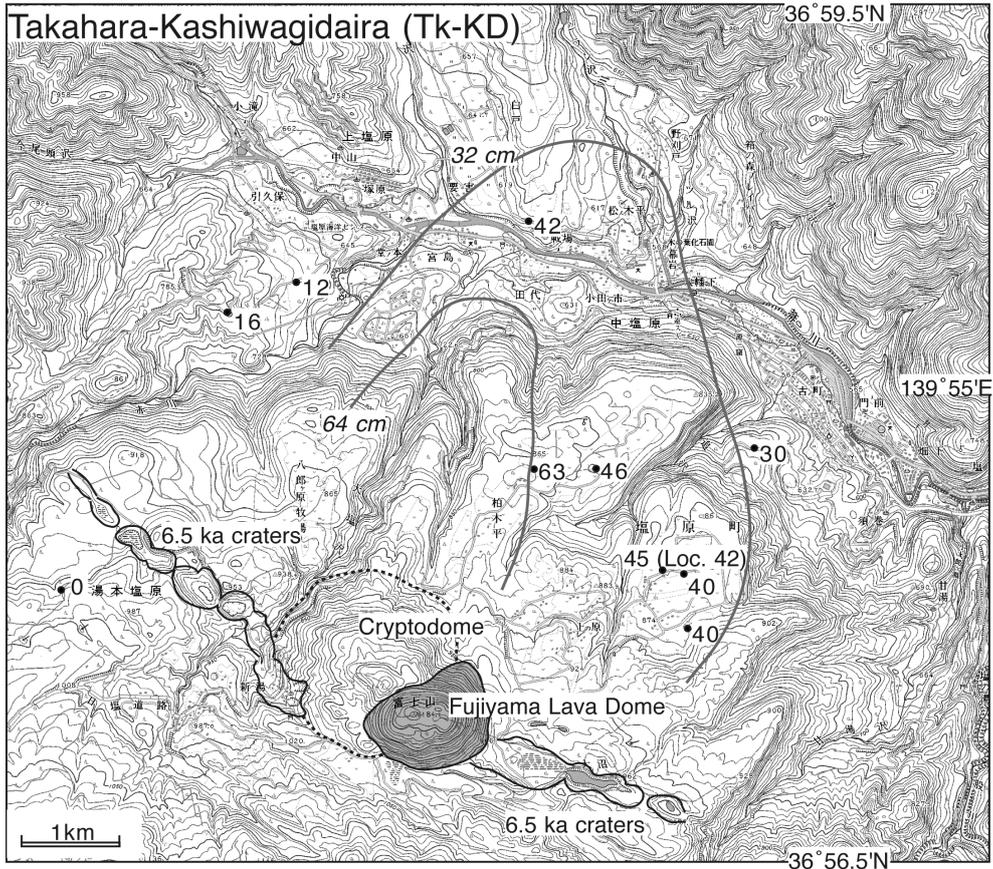
9.1 那須白河テフラ群 (Ns-SR)

那須火山群の東山麓には、見かけの体積が2.0～0.1 km³の12枚のスコリア降下火砕物からなる那須白河テフラ群 (Ns-SR1 から Ns-SR12) が分布する(鈴木, 1992)。

これらのテフラは白河市周辺の白河火砕流堆積物の上位 (Loc. 21 ; Fig. 7) や黒磯岩屑なだれ堆積物の上位 (Locs. 29 & 30 ; Fig. 8) で認められ、その層準はHu-TG直上からKn-KD直上にあり、ほぼ12万年前から20万年前にかけて噴出したものである(山元, 1999b)。この時期には朝日岳火山と南月山火山がほぼ同時に活動していたが(伴・高岡, 1995 ; 山元・伴, 1997)、火山近傍のテフラの層厚分布が不明なこと、テフラの風化が進み岩石学的検討が困難なことから、どのテフラがどちらの火山起源であるのかの判定は出来ていない。

9.2 那須火山群のマグマ噴出量

那須火山群のうち茶臼岳火山については、マグマ噴出量の時間変化が明らかにされている(山元, 1997)。ただし、山元(1997)が用いた年代値は暦年校正のされていない放射性炭素年代値であるので、若干の変更が必要である。また、各火山体の体積は、朝日岳山体が6.0 km³ DRE、南月山山体が11.4 km³ DRE、三本槍山体が7.2 km³ DREと見積もられている(伴・高岡, 1995)。更に那須白河テフラ群の総岩石換算体積は2.3 km³ DREと見積もられている(鈴木, 1992)。朝日岳山体・南月山山体・那須白河テフラ群の活動は重複しているので、これらを一連の活動期と見なし噴出率を平均化すると、火山群全



第 32 図 高原柏木平テフラ (Tk-KD) の分布.

数字は降下火砕堆積物の層厚で、単位は cm.

Fig. 32 Distribution of the Takahara-Kashiwagidaira tephra (Tk-KD).

Numerals are measured thickness of the pyroclastic fall deposit in centimeters.

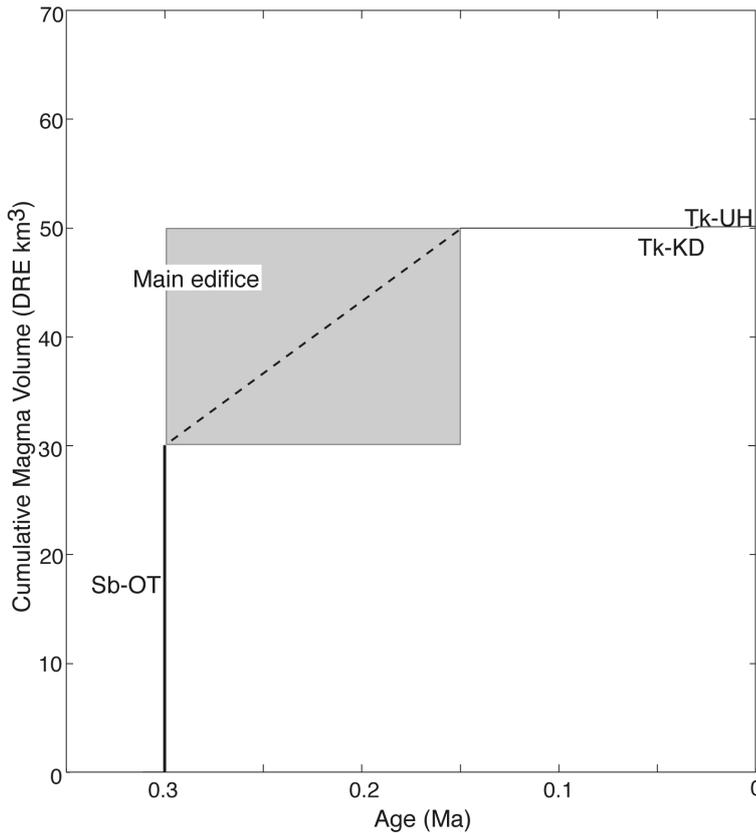
体のマグマ噴出率の時間変化は、Fig. 31 となる。ただし、各火山体の噴出率は一定ではなく、南月山山体に限ってみるとその前期 (21 ~ 18 万年前; 伴・高岡, 1995) のソレライト質マグマの活動で山体の大半が形成されており、実際には活動の強弱があったものと見られる。

10. 高原火山

高原火山は、栃木県北部の火山フロント上に位置する成層火山である。成層火山体形成に先立ち大規模な火砕流 (大田原火砕流; Sb-OT) の噴出とカルデラの形成があった (尾上, 1989; 井上ほか, 1994)。大田原火砕流は那須野ヶ原から喜連川丘陵にかけて分布し、噴出年代は層序関係から約 30 万年前と判断されている (鈴木ほか, 2004)。一方、カルデラは塩原カルデラと呼ばれ、成層火山体の北麓にあり、直径約 10 km で、カルデラ内を塩原湖成層が埋積している (尾上, 1989)。玄武岩-デイサイトの溶岩流を主とする成層火山体の形成はカルデラ形成直後から始まり、30-20 万年前の K-Ar 年代値が報告さ

れている (Itaya *et al.*, 1989)。また、この成層火山形成に伴ったとみられる降下火砕物は、那須野ヶ原の黒磯岩層なだれ堆積物の下位と上位にあり (Loc. 40; Fig. 10)、それぞれ戸室山テフラ群 (TM1-TM9; 山元, 1999b) と塩原テフラ群 (SI1-SI4; 鈴木, 1993) と呼ばれている。ただし、これらのテフラはその露出地点が限られ層厚分布を把握できていないので、全てが高原火山起源であるのかどうかは確認できていない。しかしながら、これらのテフラと後述する高原柏木平テフラとの間に明らかな高原火山起源のテフラはないので、少なくとも 15 万年前から約 3 万年の間は、火山活動の休止期間があったものと判断される。

高原火山の最新期の噴出物は、高原火山北山腹で 6.5 千年前に起きた割れ目噴火で、高原上の原テフラ (Tk-UH) と斜方輝石普通角閃石デイサイトの富士山溶岩円頂丘が形成された (Fig. 32; 奥野ほか, 1997)。割れ目噴火方向は西北西-東南東で、長さ約 3 km の火口群が形成され、富士山溶岩円頂丘はその中央に位置している。Tk-UH は石質岩片・火山灰を主体とするものの、1% 以



第33図 高原火山噴出物の時間積算マグマ体積。
Sb-OT = 塩原大田原テフラ；*Tk-KD* = 高原柏木平テフラ；*Tk-UH* = 高原上野原テフラ。
 Fig. 33 Cumulative magma volume versus age for the products of Takahara volcano.
Sb-OT = Shiobara-Otawara tephra; *Tk-KD* = Takahara-Kashiwagidaira tephra; *Tk-UH* = Takahara-Uenohara tephra.

下の微量の斜方輝石普通角閃石デイサイト軽石が含まれるので、溶岩流出に先行したマグマ水蒸気爆発の産物と判断される。Tk-UHの下位にも同様の石質岩片に富んだ粗粒の火砕物が北山腹で確認できたので、これを高原柏木平テフラと呼ぶ。

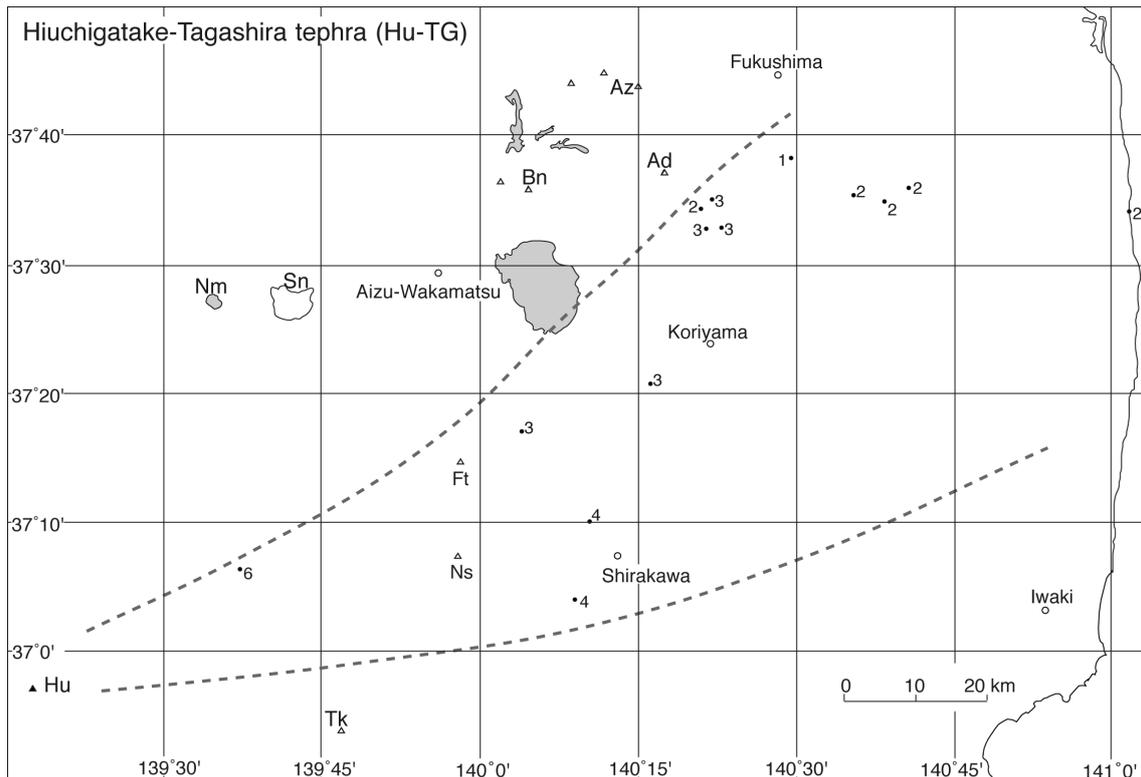
10.1 高原柏木平テフラ (Tk-KD)

新称。模式地は、栃木県那須塩原市上の原 (Loc. 42; Fig. 9)。本テフラは模式地周辺で、Nt-KU3とAg-NM1間の扶まれる、最大径60 cmの安山岩石質岩塊をまばらに含む淘汰の悪い火山礫凝灰岩からなる。粗粒岩塊はしばしば下面にインパクト構造をつくり、弾道放出されたものであることを示している。含まれる石質岩片の多くは径3-4 cmで、粗粒石質火山灰の基質を持つ。上位のTk-UHとよく似た岩相を示すものの、本テフラは最大径5 cmの斜方輝石普通角閃石デイサイトの本質岩片を約10%含み、Tk-UHよりも明らかにその含有量が多い。また、この本質岩片は多面体型の緻密なガラス質岩片からなり、形態もTk-UHの本質物とは異なっている。富士山の北にある柏木平で最も厚く、6.5千年前の割れ目火口群の北側に分布している (Fig. 32)。層厚分布から推定される給源部には、富士山溶岩円頂丘に覆われて、径約1 kmの潜在円頂丘があり、おそらく本テフラ噴火 (マグマ水蒸気噴火) に伴い形成されたものとみられる。噴

火年代はNt-KU3とAg-NM1との関係から、約3万年前と見積もられる。また、降下火砕堆積物の32-64 cm等層厚線が囲む面積 (Table 4) を用いた降下火砕堆積物の最小体積は約 $2 \times 10^{-2} \text{ km}^3$ (本質物の体積はその1/10程度) である。一方、潜在円頂丘の体積は約 $1 \times 10^{-1} \text{ km}^3$ と見積もられる。

10.2 高原火山のマグマ噴出量

大田原火砕流堆積物 (Sb-OT) の体積は、平均層厚を50 mとして約 35 km^3 と見積もられている (尾上, 1989)。その大半が中～弱溶結していることから、そのマグマ体積は約 $3 \times 10^1 \text{ km}^3 \text{ DRE}$ とする。成層火山体の体積は概算で約 $2 \times 10^1 \text{ km}^3 \text{ DRE}$ と見積もられ (伴ほか, 1992)、その活動期間はテフラ層序から30-15万年と見なされる。Tk-UHについては、テフラ中のマグマ含有量は極わずかで、そのマグマ体積を富士山溶岩円頂丘の体積約 $4 \times 10^{-2} \text{ km}^3$ で代表する。Fig. 33の高原火山におけるマグマ噴出量時間変化はこれらを合計したものである。Tk-KD・Tk-UHは、Sb-OTも含めたそれまでの高原火山噴出物とは異なる石英斑晶に富み、普通角閃石斑晶を含むデイサイトの噴出物である (伴ほか, 1992; 井上ほか, 1994)。また、Tk-UH (富士山溶岩) のRb/Zr比はそれまでの高原火山噴出物よりも有意に高く (伴ほか, 1992)、起源物質の違いを示唆している。それゆえ、約3万年前から新



第 34 図 燧ヶ岳田頭テフラ (Hu-TG) の分布。

数字は降下火砕堆積物の平均最大粒径で, 単位は mm. Ad = 安達太良火山; Az = 吾妻火山; Bn = 磐梯火山; Ft = 二岐山火山; Hu = 燧ヶ岳火山; Nm = 沼沢火山; Ns = 那須火山群; Sn = 砂子原カルデラ; Tk = 高原火山.

Fig. 34 Distribution of the Hiuchigatake-Tagashira tephra (Hu-TG).

Numerals are measured diameter of fallout pumice in millimeters. Ad = Adatarata volcano; Az = Azuma volcano; Bn = Bandai volcano; Ft = Futamatayama volcano; Hu = Hiuchigatake volcano; Nm = Numazawa volcano; Ns = Nasu volcanoes; Sn = Sunagohara caldera; Tk = Takahara volcano.

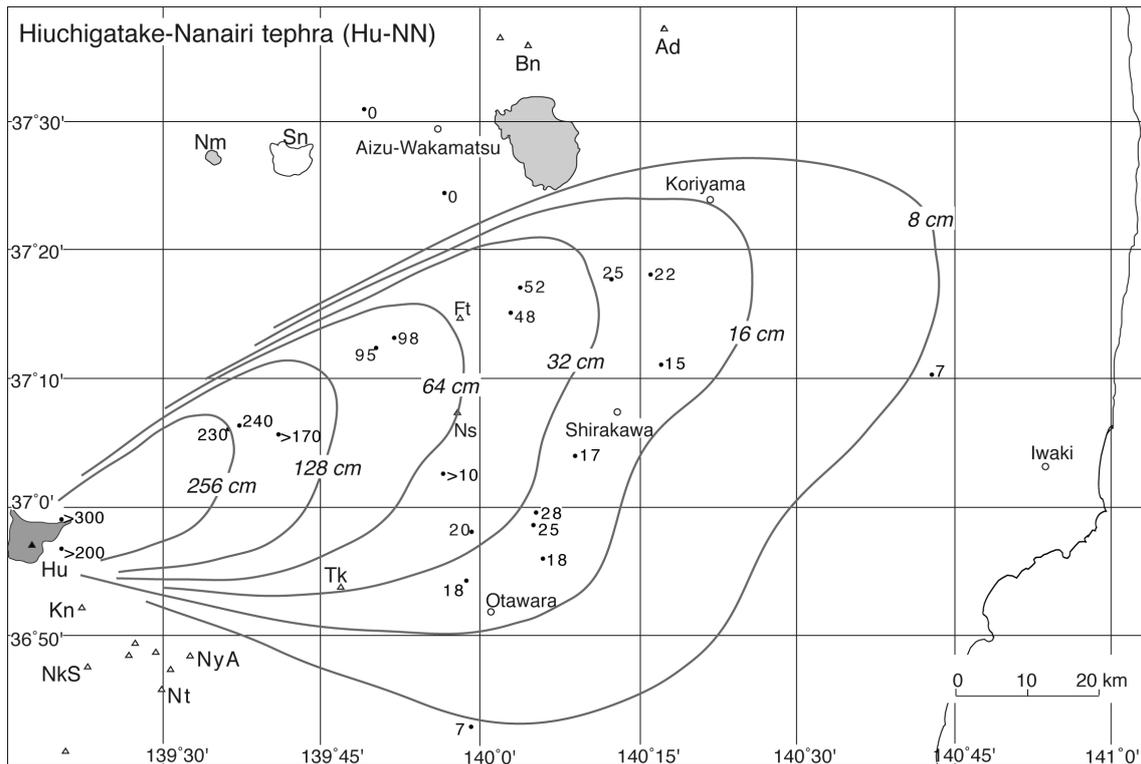
たに始まった Tk-KD・Tk-UH の活動は, それまでの高原火山のマグマ供給系とは全く別系統のマグマに由来するものとみられる。

11. 燧ヶ岳火山

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 (Fig. 1; 渡邊, 1989a). その最初期の噴出物は 16-17 万年前のデイサイト質の七入軽石・モーカケ火砕流堆積物で, その降下火砕物は栃木県北部から福島県南部に広く分布している (早川ほか, 1997; 山元, 1999a). モーカケ火砕流堆積物は一部弱溶結し, 最大層厚 150 m で旧谷地形を埋積し, 上面の標高が 1200-1300 m の火砕流台地を構成している (渡邊, 1989a). その後, 安山岩-デイサイトの厚い舌状の溶岩からなる比高約 1000 m, 底部が 8×6 km の山体が火砕流台地上に形成されている. 活動前半 (I・II 期) の噴出物は斜方輝石や単斜輝石斑晶のみからなるが, 後半 (III・IV 期) には輝石以外に普通角閃石・黒雲母・石英斑晶が出現するようになる (渡邊, 1989a; 1989b).

11.1 燧ヶ岳田頭テフラ (Hu-TG)

鈴木 (1992) 命名. 模式地は栃木県那須郡那須町矢の目ダム (Loc. 29). 燧ヶ岳火山起源と見られる 12.9 万年前 (青木ほか, 2008) のプリニー式噴火の産物で, 北東へ向かう降下火砕堆積物からなる (Fig. 34). 燧ヶ岳周辺から本テフラの給源近傍相は確認されていないが, 只見川沿いに本テフラ由来のラハール堆積物が分布するのでその上流にある本火山が給源と判断された (山元・駒澤, 2004). 本テフラの岩質は黒雲母普通角閃石斜方輝石単斜輝石デイサイトで, 肉眼では石英や有色鉱物の結晶片が目立っている. 降下火砕物は, 南会津の高位段丘の被覆風成火山灰土 (Loc. 50; Fig. 11) や, 山崎・黒磯岩屑なだれ堆積物の上位 (Locs. 16, 17, 18 & 29; Figs. 6 & 8), 白河火砕流群の上位 (Loc. 28; Fig. 7), 阿武隈山地内の高位段丘の厚い被覆風成火山灰土 (Locs. 3, 5 & 12; Figs. 3 & 5) 中の Az-SK・Ag-MzP7 間に挟まれているほか, 浜通りの MIS 5e 海成層塚原層基底部に確認できる (Loc. 2; Fig. 3). 塚原層基底部の本テフラは海進時のラグ堆積物中に円磨された軽石質の碎屑粒子として含まれ, 二次堆積物であることを示している. それゆえ, 本テフラの降下時期



第 35 図 燧ヶ岳七入テフラ (Hu-NN) の分布。

数字は降下火砕堆積物の層厚で、単位は cm。Ad = 安達太良火山；Bn = 磐梯火山；Ft = 二岐山火山；Hu = 燧ヶ岳火山；Kn = 鬼怒沼火山；NkS = 日光白根火山；Nm = 沼沢火山；Ns = 那須火山群；Nt = 男体火山；NyA = 女峰赤薙火山；Sn = 砂小原カルデラ；Tk = 高原火山。山元 (1999b) を一部改変。

Fig. 35 Distribution of the Hiuchigatake-Nanairi tephra (Hu-NN).

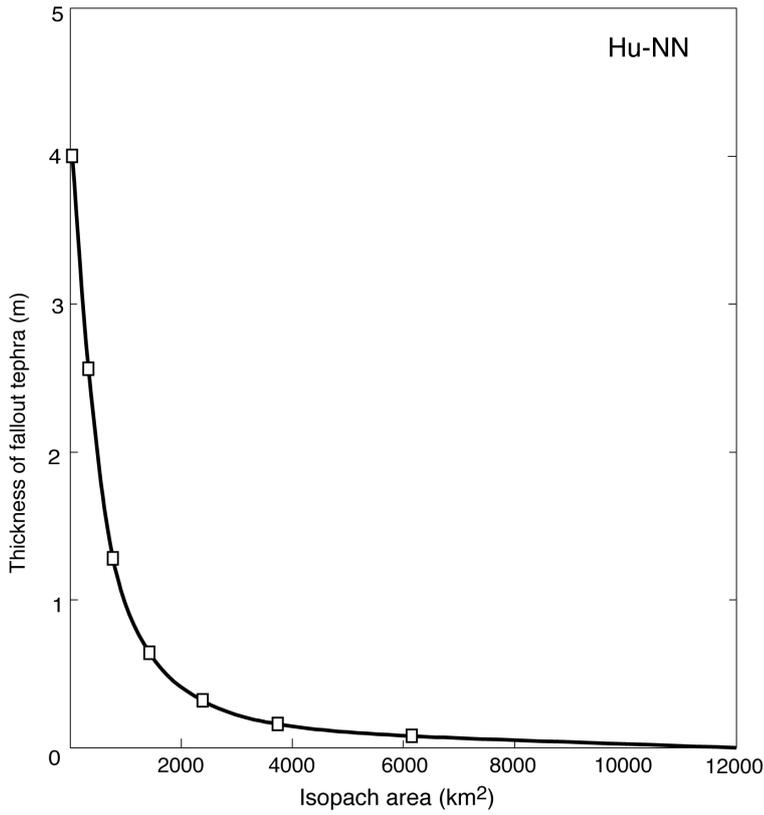
Numerals are measured thickness of the pyroclastic fall deposit in centimeters. Ad = Adataro volcano; Bn = Bandai volcano; Ft = Futamatayama volcano; Hu = Hiuchigatake volcano; Kn = Kininima volcano; NkS = Nikko-Shirane volcano; Nm = Numazawa volcano; Ns = Nasu volcanoes; Nt = Nantai volcano; NyA = Nyoho-A kanagi volcano; Sn = Sunagohara caldera; Tk = Takahara volcano. Modified from Yamamoto (1999b).

は MIS 5e の最大海進時直前で (鈴木, 1999), 茨城県鹿島沖の海底コアの酸素同位体層序から推定された噴出年代 (129.0±3.0 ka; 青木ほか, 2008) との一致が良い。一方、火山灰土中の本テフラは上下の土壌と攪拌されている地点が多く、単層として認定しづらい。それでも火山灰土中に白色軽石や石英斑晶が濃集する層準として、テフラの追跡は可能で、軽石の粒径は南西に向かって大きくなる (Fig. 34)。降下火砕堆積物の 4 cm 等層厚線が囲む面積 (Table 4) を用いた降下火砕堆積物の最小体積は約 $1 \times 10^0 \text{ km}^3$ (堆積物の平均密度を 800 kg/m^3 として岩石換算体積は約 $4 \times 10^{-1} \text{ km}^3 \text{ DRE}$, 最小質量は約 $1 \times 10^{12} \text{ kg}$) である。

11.2 燧ヶ岳七入テフラ (Hu-NN)

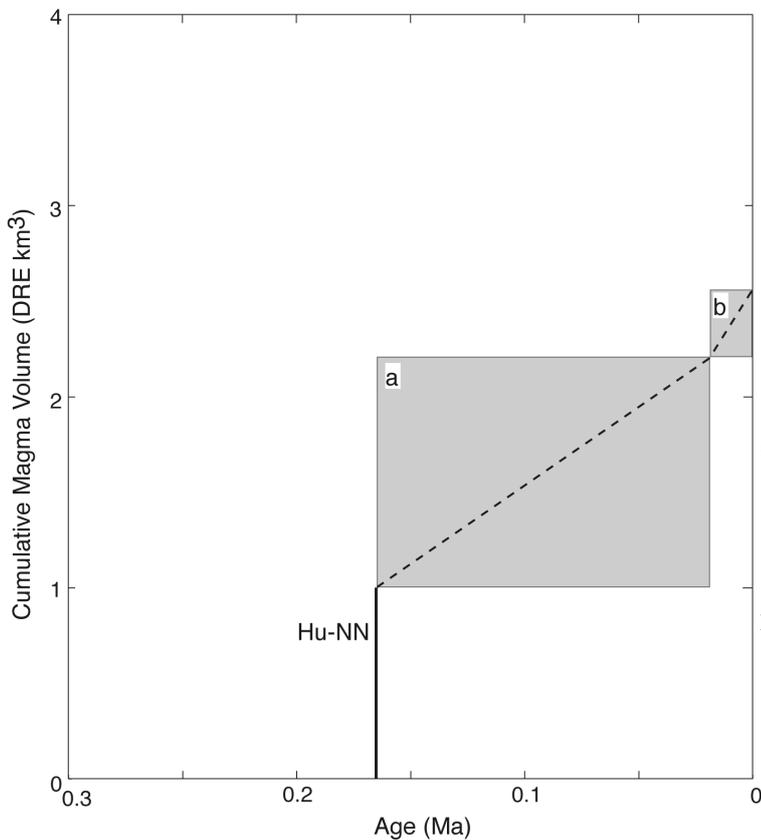
渡邊 (1989a) の七入軽石を、山元 (1999b) が再定義。模式地は福島県南会津郡檜枝岐村七入 (Loc. 57)。燧ヶ岳火山で、16-17 万年前に発生したプリニー式噴火の産物で (山元, 1999b), 給源近傍のモーカケ火砕流堆積物と東北東へ向かう降下火砕堆積物からなる (Fig. 35)。本テ

フラの岩質は、斜方輝石単斜輝石デイサイトで、火山ガラス片の屈折率は 1.503-1.505, 斜方輝石の屈折率は 1.706-1.708 に良く集中する (Table 2)。降下火砕堆積物は南会津の高位段丘の被覆風成火山灰土 (Locs. 49 & 50; Fig. 11) や、鶴ヶ池・黒磯岩層なだれ堆積物の上位 (Locs. 29, 38 & 40; Figs. 8, 9 & 10), 下郷層・白河火砕流群の上位 (Locs. 21, 27, 28 & 39; Figs. 7 & 9), 那須野ヶ原の大田原火砕流堆積物の上位 (Loc. 41; Fig. 9), 阿武隈山地の厚い被覆風成火山灰土 (Loc. 9; Fig. 4) 中の Sn-KB・Hu-TG 間、もしくは Kn-KD・SI3 間に挟まれている。降下火砕堆積物の等層厚線と面積の関係から遠方部の層厚分布を外挿して (Fig. 36), その体積を積算すると約 $4 \times 10^0 \text{ km}^3$ (堆積物の平均密度を 800 kg/m^3 として岩石換算体積は約 $1 \times 10^0 \text{ km}^3 \text{ DRE}$, 質量は約 $3 \times 10^{12} \text{ kg}$) となる。この値は 8-16-32-64-128-256 cm 等層厚線が囲む面積 (Table 4) を用いた降下火砕堆積物の最小体積約 $3 \times 10^0 \text{ km}^3$ とほぼ同等である。モーカケ火砕流堆積物については、堆積物平均密度を 1200 kg/m^3 として、その岩石換算



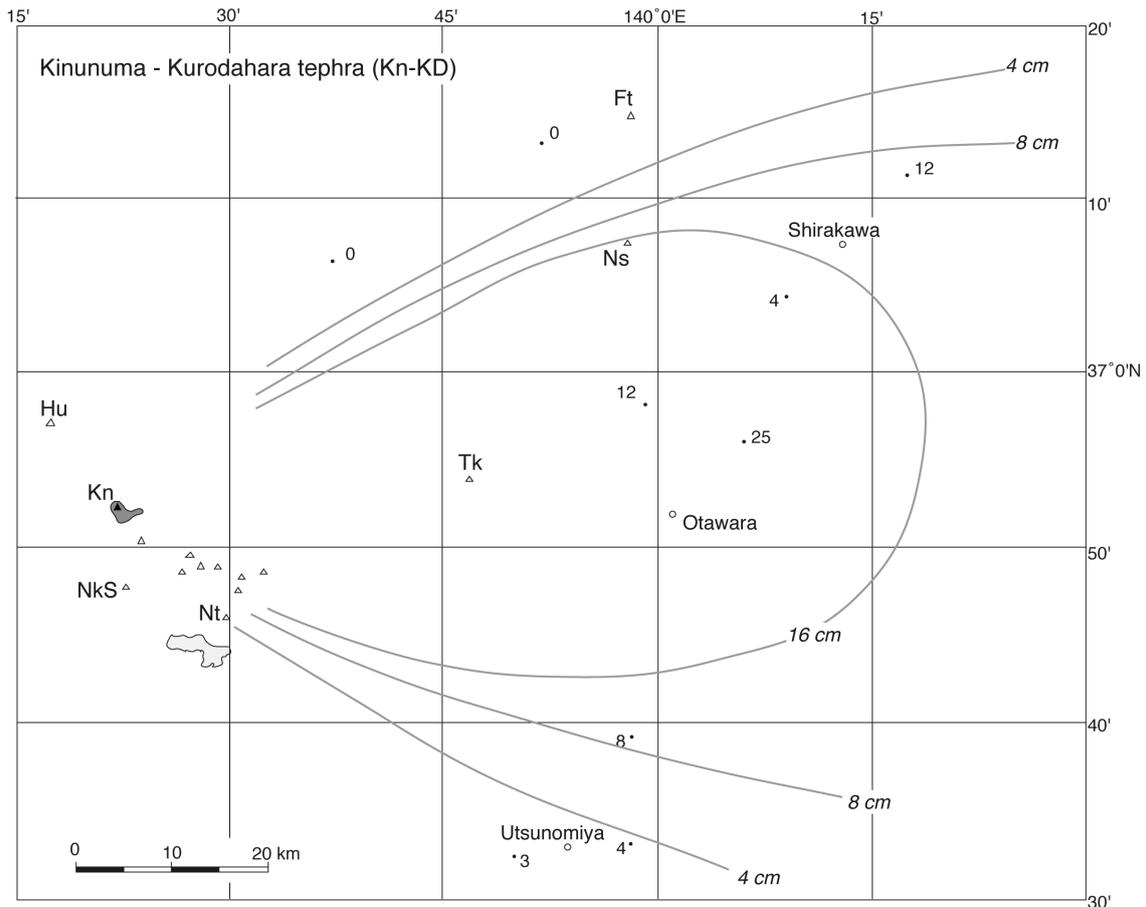
第 36 図 燧ヶ岳七入テフラ (*Hu-NN*) の降下火砕堆積物の層厚と等層厚線面積の関係。

Fig. 36 Thickness versus isopach area for the pyroclastic fall deposits of the Hiuchigatake-Nanairi tephra (*Hu-NN*).



第 37 図 燧ヶ岳火山噴出物の時間積算マグマ体積。
Hu-NN = 燧ヶ岳七入テフラ；*a* = 大櫛沢火山体 + 柴安グラ火山体 + 重兵衛池溶岩；*b* = 熊沢田代溶岩 + 三池岳溶岩 + 赤ナグレ溶岩。早川ほか (1997) を改変。

Fig. 37 Cumulative magma volume versus age for the products of Hiuchigatake volcano. *Hu-NN* = Hiuchigatake-Nanairi tephra; *a* = Oozorizawa edifice + Shibayasugura edifice + Jyubeiike lava; *b* = Kumazawatashiro lava + Miikedake lava + Akanagure lava. Modified from Hayakawa *et al.* (1997).



第 38 図 鬼怒沼黒田原テフラ (Kn-KD) の分布。

数字は降下火砕堆積物の層厚で、単位は cm. Ft = 二岐山火山; Hu = 燧ヶ岳火山; Kn = 鬼怒沼火山; NkS = 日光白根火山; Nt = 男体火山; Tk = 高原火山. 山元 (1999b) を一部改変。

Fig. 38 Distribution of the Kinunuma-Kurodahara tephra (Kn-KD).

Numerals are measured thickness of the pyroclastic fall deposit in centimeters. Ft = Futamatayama volcano; Hu = Hiuchigatake volcano; Kn = Kinunuma volcano; NkS = Nikko-Shirane volcano; Nt = Nantai volcano; Tk = Takahara volcano. Modified from Yamamoto (1999b).

体積は約 $5 \times 10^{11} \text{ km}^3$ DRE (質量は約 $1 \times 10^{12} \text{ kg}$) と見積もられ (山元, 1999b), テフラ全体では約 $2 \times 10^0 \text{ km}^3$ DRE (質量は約 $4 \times 10^{12} \text{ kg}$) となる。

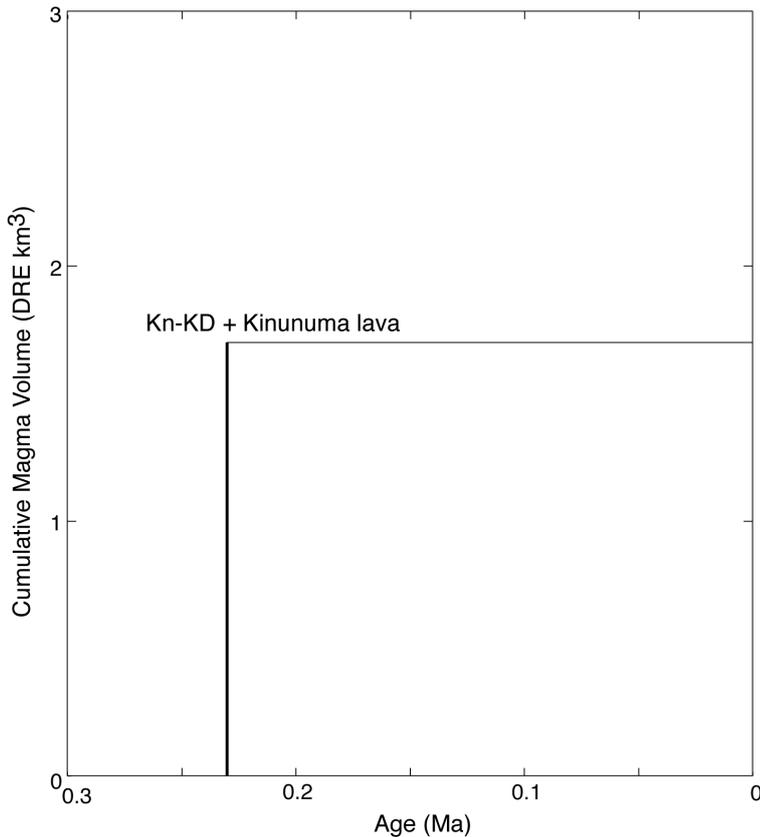
11.3 燧ヶ岳火山のマグマ噴出量

本火山のマグマ噴出量の時間変化図は早川ほか (1997) により作成されているものの, Hu-NN の噴出年代を彼らの 35 万年前から 16-17 万年前に修正する必要がある。その理由は, 彼らが 35 万年前の年代の根拠とした那須野ヶ原における大町 APm-U テフラ (鈴木, 1993) の対比が間違っていたためで, このテフラはのちに弓張テフラ (Yum) と再定義された (鈴木ほか, 1998)。早川ほか (1997) によると, Hu-NN 以降の燧ヶ岳火山体は, 大櫛沢火山体, 柴安グラ火山体, 重兵衛池溶岩, 熊沢田代溶岩, 赤ナグレ溶岩, 三池岳溶岩の順で形成され, 熊沢田代溶岩から 16 ka の放射性炭素年代が報告されている。Fig. 37

は, 早川ほか (1997) の火山体体積の見積りをそのままに, 年代を修正して作成したマグマ噴出量の時間変化図である。燧ヶ岳出現時の Hu-NN プリニー式噴火が, 単独の噴火イベントとしては最も規模が大きい。

12. 鬼怒沼火山

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ヒナタオソロシノ滝火砕流堆積物と鬼怒沼溶岩流からなる一輪廻の単成火山である (Fig. 1; 中村・鈴木, 1983; 山元, 1999b)。デイサイト溶岩流は幅 1.4-1.6 km で, 長さが 2.4 km, 厚さが 150 m 前後の一枚の舌状溶岩流からなる。火砕流堆積物は鬼怒川源頭部の沢沿い標高 1400-1600 m 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



第 39 図 鬼怒沼火山噴出物の時間積算マグマ体積.

Kn-KD = 鬼怒沼黒田原テフラ.

Fig. 39 Cumulative magma volume versus age for the products of Kuninima volcano. *Kn-KD* = Kinunuma-Kurodahara tephra.

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 180 m と最大になる。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が得られている (山元, 1999b)。

12.1 鬼怒沼黒田原テフラ (Kn-KD)

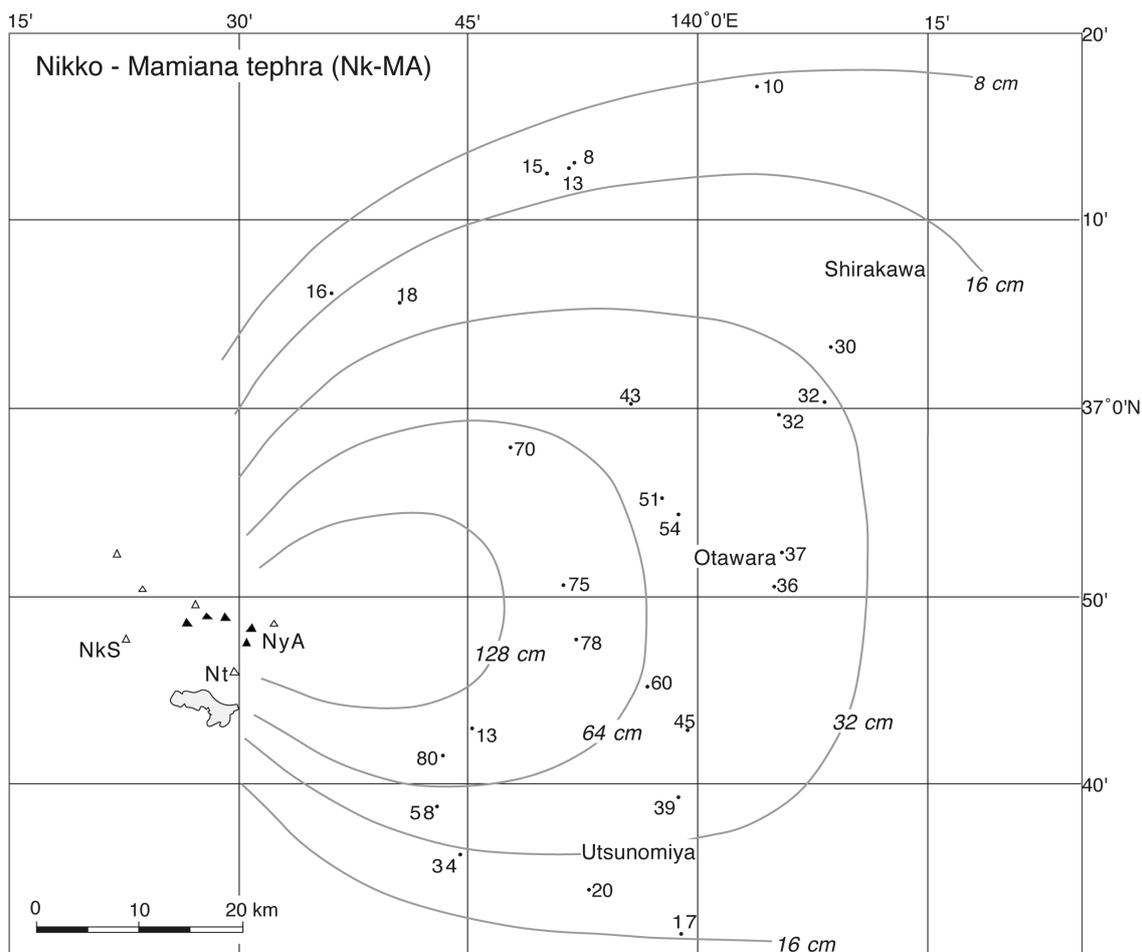
鈴木 (1992; 1993) の黒田原軽石を、山元 (1999b) が再定義。模式地は栃木県那須塩原市樋沢。鬼怒沼火山で、23-24 万年前に発生したプリニー式噴火の産物で (山元, 1999b)、給源近傍のヒナタオソロシノ滝火砕流堆積物と東へ向かう降下火砕堆積物からなる (Fig. 38)。本テフラの岩質は斜方輝石普通角閃石デイサイトで、石英と有色鉱物の斑晶が目立つ (Table 2)。降下火砕物は、黒磯岩屑なだれ堆積物の上位 (Locs. 29 & 40; Figs. 8 & 10)、白河火砕流群の上位 (Loc. 21; Fig. 7)、鬼怒川沿いの高位段丘の厚い被覆風成火山灰土中の Hr-MZ・Hu-NN 間に挟まれているほか、茨城県大洗町の MIS 7.3 層中にその再堆積物が確認できる (山元, 2007)。降下火砕堆積物の 16 cm 等層厚線が囲む面積 (Table 4) を用いた降下火砕堆積物の最小体積は約 $2 \times 10^0 \text{ km}^3$ (堆積物の平均密度を 800 kg/m^3 とし、岩石換算最小体積は約 $6 \times 10^{-1} \text{ km}^3 \text{ DRE}$ 、最小質量は約 $1 \times 10^{12} \text{ kg}$) である。大半が溶結したヒナタオソロシノ滝火砕流堆積物の体積も約 $6 \times 10^{-1} \text{ km}^3 \text{ DRE}$ (質量は約 $1 \times 10^{12} \text{ kg}$) であるので (山元, 1999b)、テフラの総体積は約 $1 \times 10^0 \text{ km}^3 \text{ DRE}$ (質量は約 $2 \times 10^{12} \text{ kg}$) となる。

12.2 鬼怒沼火山のマグマ噴出量

前述のように鬼怒沼火山は、Kn-KD のテフラ噴火とこれに連続した鬼怒沼溶岩流の流出イベントのみからなる単成火山である。鬼怒沼溶岩流の体積は、約 $5 \times 10^{-1} \text{ km}^3 \text{ DRE}$ であるので (山元, 1999b)、テフラと合わせた本火山の総マグマ噴出量は約 $2 \times 10^0 \text{ km}^3 \text{ DRE}$ となる (Fig. 39)。

13. 日光火山群

日光火山群は、栃木県北西部の日光市付近から栃木—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)。日光火山群の活動は、まず東部で 60 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円頂丘群が形成され、その後約 2 万年前以降に男体・三ッ岳・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く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)。本報告では、その中でも規模が大きく、調査地域内の複数地点で確認され分布図が作成できた日光満美穴、日光早乙女、日光行川、日光矢板の各テフラについて記載する。



第40図 日光満美穴テフラ (Nk-MA) の分布。
 数字は降下火砕堆積物の層厚で、単位は cm。NkS = 日光白根火山; Nt = 男体火山; NyA = 女峰赤薙火山。
 山元 (1999b) を一部改変。

Fig. 40 Distribution of the Nikko-Mamiana tephra (Nk-MA).
 Numerals are measured thickness of the pyroclastic fall deposit in centimeters. NkS = Nikko-Shirane volcano; Nt = Nantai volcano; NyA = Nyoho-Akanagi volcano. Modified from Yamamoto (1999b).

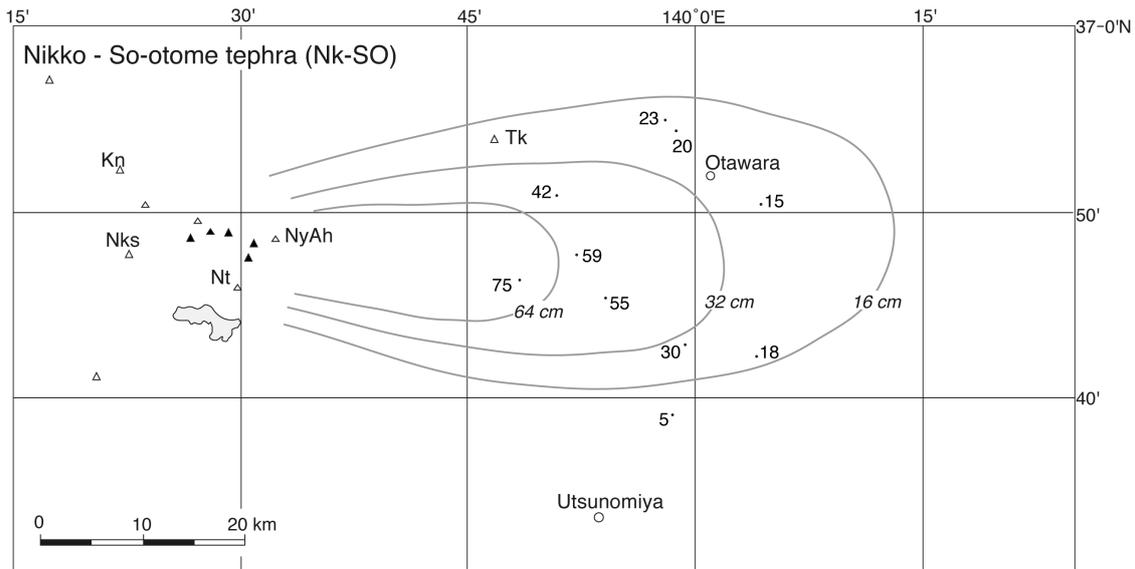
13-1. 日光満美穴テフラ (Nk-MA)

阿久津 (1957) 命名。模式地は栃木県塩谷郡塩谷町荻久保の高原牧場 (Loc. 43; Fig. 10)。日光火山群で約 10 万年前に発生したプリニー式噴火の産物で、北東から南東へ広く分布が追跡できる降下火砕堆積物からなる (Fig. 40; 山元, 1999b)。ただし、日光火山群のどの山体から噴出したのかは確定していない。本テフラの岩質は斜方輝石単斜輝石安山岩である (Table 2)。模式地での層厚は 78 cm で、粒度の異なる複数のユニットからなる。その基底部 17 cm は良く発泡したオレンジ色-赤褐色の軽石火山礫、その上位に厚さ 25 cm でやや発泡の良い赤褐色スコリア火山礫、層厚 21 cm で発泡のやや悪い暗褐色スコリア細粒火山礫、層厚 15 cm の成層した粗粒火山灰が重なっている。降下火砕物は、南会津の高位段丘の被覆風成火山灰土 (Locs. 49 & 50; Fig. 11) や、高原火山体の上位 (Loc. 42; Fig. 9)、鶴ヶ池・黒磯・尚仁沢岩屑など

れ堆積物の上位 (Locs. 30, 38 & 43; Figs. 8, 9 & 10)、下郷層・白河火砕流群の上位 (Locs. 28 & 39; Figs. 7 & 9)、大田原火砕流堆積物の上位 (Loc. 41; Fig. 9)、那珂川・鬼怒川沿いの高位・中位段丘の厚い被覆風成火山灰土中 (Locs. 31, 44 & 51; Figs. 8, 10 & 11) の Nm-SB・On-Pm1 間に挟まれている。日光火山群の中央部から噴出したと仮定して、降下火砕堆積物の 16-32-64-128 cm 等層厚線が囲む面積 (Table 4) を用いた降下火砕堆積物の最小体積は約 $3 \times 10^0 \text{ km}^3$ (堆積物の平均密度を 1000 kg/m^3 とし、岩石換算最小体積は約 $1 \times 10^0 \text{ km}^3$ DRE, 最小質量は約 $3 \times 10^{12} \text{ kg}$) である。

13.2 日光早乙女テフラ (Nk-SO)

村本 (1992)・鈴木 (1993) 命名。模式地は栃木県塩谷郡塩谷町荻久保の高原牧場 (Loc. 43; Fig. 10)。日光火山群で約 13 万年前に発生したプリニー式噴火の産物で、東



第 41 図 日光早乙女テフラ (Nk-SO) の分布。

数字は降下積物の層厚で、単位は cm。Kn = 鬼怒沼火山; NkS = 日光白根火山; Nt = 男体火山; NyAh = 女峰赤薙火山; Tk = 高原火山。

Fig. 41 Distribution of the Nikko-So-otome tephra (Nk-SO).

Numerals are measured thickness of the pyroclastic fall deposit in centimeters. Kn = Kininima volcano; NkS = Nikko-Shirane volcano; Nt = Nantai volcano; NyAh = Nyoho-Akanagi volcano; Tk = Takahara volcano.

へ向かう降下火砕堆積物からなる (Fig. 41)。ただし、日光火山群のどの山体から噴出したのかは確定していない。本テフラの岩質は普通角閃石含有斜方輝石単斜輝石安山岩である (Table 2)。模式地での層厚は 59 cm で、粒度の異なる複数のユニットからなる。その基底部 32 cm は良く発泡したオレンジ色軽石火山礫、その上位に厚さ 19 cm でやや発泡の良い暗褐色スコリア火山礫、層厚 8 cm の粗粒火山灰と発泡のやや悪い暗褐色スコリア細粒火山礫が重なっている。降下火砕物は、尚仁沢岩屑なだれ堆積物の上位 (Loc. 43; Fig. 10)、大田原火砕流堆積物の上位 (Loc. 41; Fig. 9)、那珂川・鬼怒川沿いの高位・中位段丘の厚い被覆風成火山灰土中 (Loc. 31; Fig. 8) の Nk-NM・Ag-MzP9-10 間に挟まれており、層序的に約 13 万年前の噴出物と判断される。日光火山群の中央部から噴出したと仮定して、降下火砕堆積物の 16-32-64 cm 等層厚線が囲む面積 (Table 4) を用いた降下火砕堆積物の最小体積は約 $7 \times 10^{11} \text{ km}^3$ (堆積物の平均密度を 1000 kg/m^3 とし、岩石換算最小体積は約 $3 \times 10^{11} \text{ km}^3$ DRE, 最小質量は約 $7 \times 10^{11} \text{ kg}$) である。

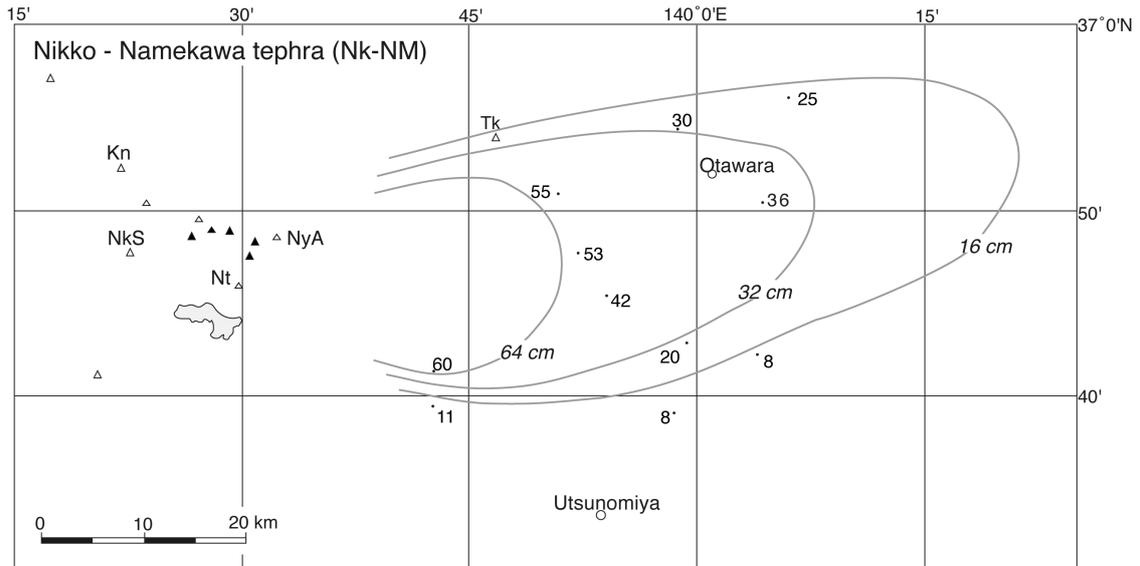
13.3 日光行川テフラ (Nk-NM)

鈴木 (1993) 命名。模式地は栃木県塩谷郡塩谷町荻久保の高原牧場 (Loc. 43; Fig. 10)。日光火山群で約 14 万年前に発生したプリニー式噴火の産物で、東へ向かう降下火砕堆積物からなる (Fig. 42)。ただし、日光火山群のどの山体から噴出したのかは確定していない。本テフラ

の岩質は普通角閃石含有斜方輝石単斜輝石安山岩である (Table 2)。模式地での層厚は 53 cm で、粒度の異なる複数のユニットからなる。その基底部 23 cm は淘汰の良い赤褐色—暗灰色スコリア火山礫、その上位に厚さ 10 cm で赤褐色スコリア細粒火山礫、層厚 10 cm の粗粒火山灰、層厚 10 cm の暗褐色スコリア火山礫混じり粗粒火山灰が重なっている。降下火砕物は、尚仁沢岩屑なだれ堆積物の上位 (Loc. 43; Fig. 10)、大田原火砕流堆積物の上位 (Loc. 41; Fig. 9)、那珂川・鬼怒川沿いの高位・中位段丘の厚い被覆風成火山灰土中 (Locs. 31 & 51; Figs. 8 & 11) の Nk-YT・Nk-SO 間に挟まれており、層序的に約 14 万年前の噴出物と判断される。日光火山群の中央部から噴出したと仮定して、降下火砕堆積物の 16-32-64 cm 等層厚線が囲む面積 (Table 4) を用いた降下火砕堆積物の最小体積は約 $1 \times 10^{12} \text{ km}^3$ (堆積物の平均密度を 1000 kg/m^3 とし、岩石換算最小体積は約 $4 \times 10^{11} \text{ km}^3$ DRE, 最小質量は約 $1 \times 10^{12} \text{ kg}$) である。

13.4 日光矢板テフラ (Nk-YT)

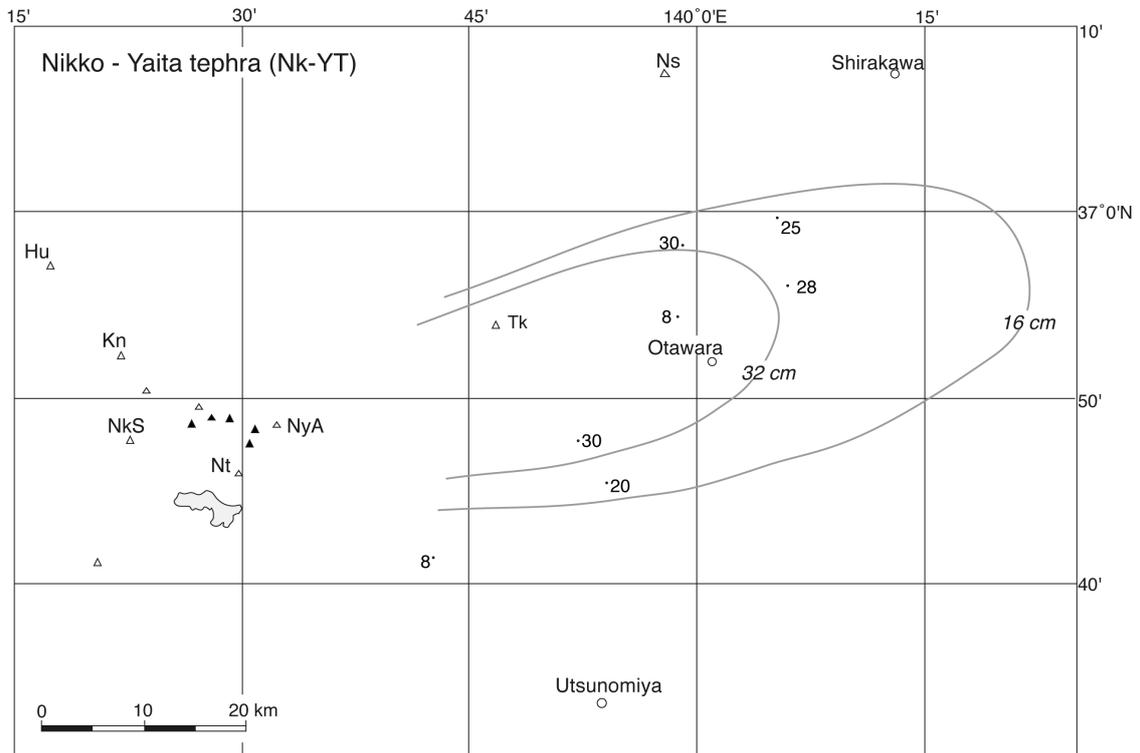
鈴木 (1993) 命名。模式地は栃木県塩谷郡塩谷町荻久保の高原牧場 (Loc. 43; Fig. 10)。日光火山群で約 14 万年前に発生したプリニー式噴火の産物で、東北東へ向かう降下火砕堆積物からなる (Fig. 43)。ただし、日光火山群のどの山体から噴出したのかは確定していない。本テフラの岩質は普通角閃石含有斜方輝石単斜輝石安山岩である (Table 2)。模式地での層厚は 21 cm で、良く発泡した



第 42 図 日光行川テフラ (Nk-NM) の分布.

数字は降下積物の層厚で、単位は cm. Kn = 鬼怒沼火山; NkS = 日光白根火山; Nt = 男体火山; NyA = 女峰赤薙火山; Tk = 高原火山.

Fig. 42 Distribution of the Nikko-Namekawa tephra (Nk-NM). Numerals are measured thickness of the pyroclastic fall deposit in centimeters. Kn = Kininima volcano; NkS = Nikko-Shirane volcano; Nt = Nantai volcano; NyA = Nyoho-Akanagi volcano; Tk = Takahara volcano.

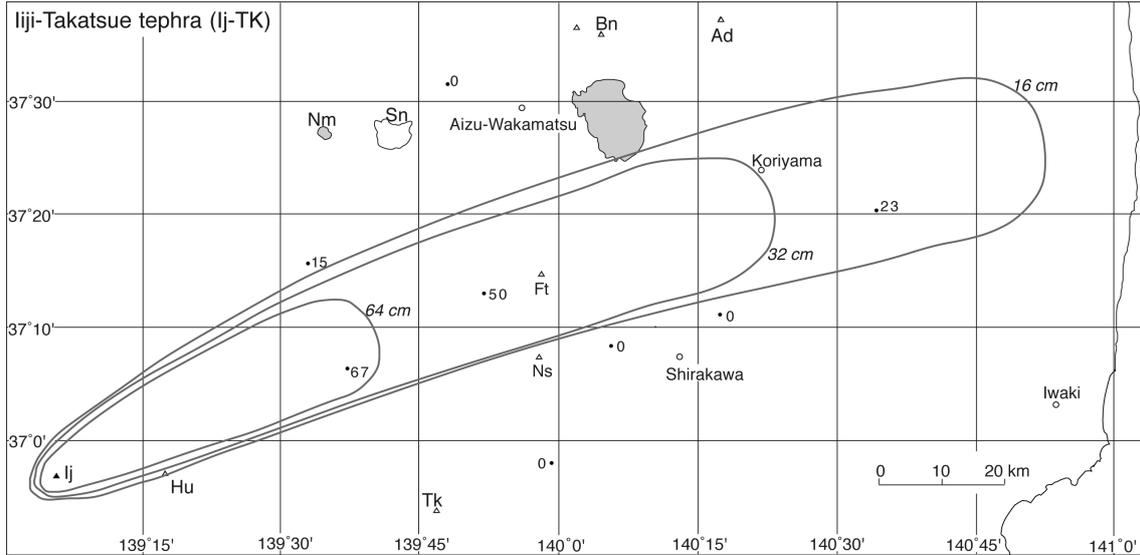


第 43 図 日光矢板テフラ (Nk-YT) の分布.

数字は、Hu = 燧ヶ岳火山; Kn = 鬼怒沼火山; NkS = 日光白根火山; Ns = 那須火山群; Nt = 男体火山; NyA = 女峰赤薙火山; Tk = 高原火山.

Fig. 43 Distribution of the Nikko-Yaita tephra (Nk-YT).

Numerals are measured thickness of the pyroclastic fall deposit in centimeters. Hu = Hiuchigatake volcano; Kn = Kininima volcano; NkS = Nikko-Shirane volcano; Ns = Nasu volcanoes; Nt = Nantai volcano; NyA = Nyoho-Akanagi volcano; Tk = Takahara volcano.

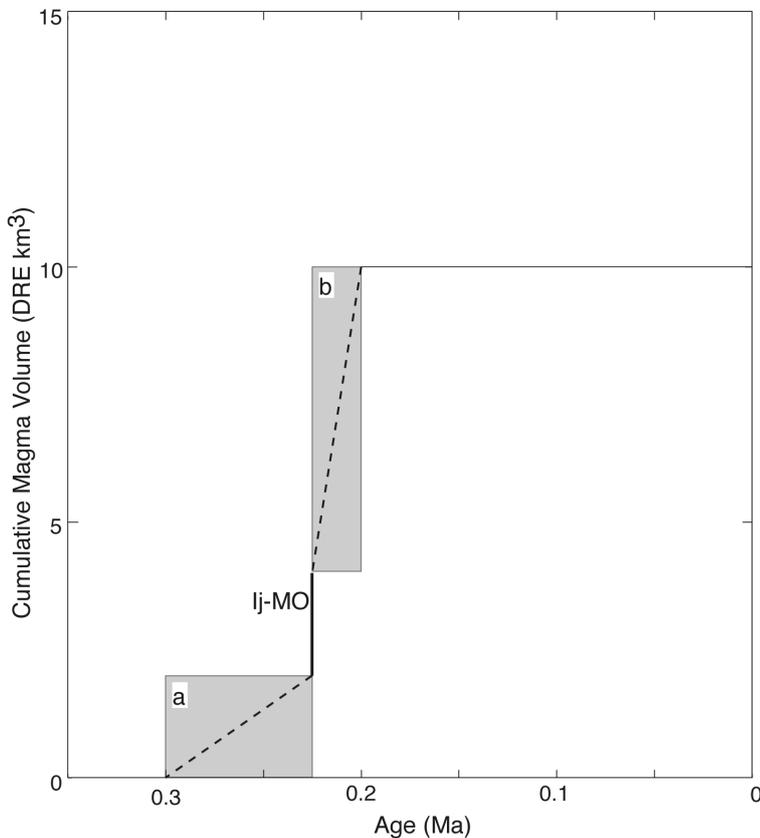


第 44 図 飯士高杖テフラ (Ij-TK) の分布.

数字は降下火砕堆積物の層厚で、単位は cm. Ad = 安達太良火山; Bn = 磐梯火山; Ft = 二岐山火山; Hu = 燧ヶ岳火山; Ij = 飯士火山; Nm = 沼沢火山; Ns = 那須火山群; Sn = 砂小原カルデラ; Tk = 高原火山. 山元 (1999b) を一部改変.

Fig. 44 Distribution of the Iji-Takatsue tephra (Ij-TK).

Numerals are measured thickness of the pyroclastic fall deposit in centimeters. Ad = Adataro volcano; Bn = Bandai volcano; Ft = Futamatayama volcano; Hu = Hiuchigatake volcano; Ij = Iji volcano; Nm = Numazawa volcano; Ns = Nasu volcanoes; Sn = Sunagohara caldera; Tk = Takahara volcano. Modified from Yamamoto (1999b).



第 45 図 飯士火山噴出物の時間積算マグマ体積.

Ij-MO = 飯士真岡テフラ; a = 前期; b = 後期.

Fig. 45 Cumulative magma volume versus age for the products of Iji volcano.

Ij-MO = Iji-Moka tephra; a = Early stage; b = Late stage.

赤褐色スコリア火山礫からなる。降下火砕物は、黒磯・尚仁沢岩層なだれ堆積物の上位 (Locs. 40 & 43; Fig. 10), 大田原火砕流堆積物の上位 (Loc. 41; Fig. 9), 那珂川・鬼怒川沿いの高位・中位段丘の厚い被覆風成火山灰土中の Iz-KTa・Nk-NM 間に挟まれており、層序的に約 14 万年前の噴出物と判断される。日光火山群の中央部から噴出したと仮定して、降下火砕堆積物の 16-32 cm 等層厚線が囲む面積 (Table 4) を用いた降下火砕堆積物の最小体積は約 8×10^{-1} km³ (堆積物の平均密度を 1000 kg/m³ として岩石換算最小体積は約 4×10^{-1} km³ DRE, 最小質量は約 8×10^{11} kg) である。

13.5 日光火山群のマグマ噴出量

日光火山群起源の降下火砕物体積の時間変化については、村本 (1992) が既に明らかにしている。ただし、村本 (1992) でも Yum (鈴木ほか, 1998) を APm と誤認しているため、10 万年前よりも古いテフラの年代を若く修正する必要がある。それでも、Nk-YT 以降テフラ噴火が繰り返され、Nk-MA が他よりも大きい傾向などは、本研究と大きく違うものではない。テフラだけでなく溶岩も含めた日光火山群のマグマ噴出量を知るためには、大真名子・小真名子・太郎などの溶岩円頂丘群の噴出年代を特定する必要があるが、その編年は進んでおらず、今後の課題として残されている。

14. 飯士火山

飯士火山は新潟県南部の魚野川右岸に位置し、火山フロントから約 60km 背弧側にある第四紀火山である (Fig. 1; 茅原ほか, 1981)。火山体はカルクアルカリ系列の安山岩-デイサイトの厚い溶岩流と溶岩ドームの集合からなり、約 30 ~ 20 万年前の K-Ar 年代値が報告されている (赤石, 1997)。山体南部の魚野川沿いに露出する越後湯沢火砕流堆積物は 22-23 万年前に起きたデイサイトの爆発的噴火の産物で、その降下火砕堆積物 (飯士真岡テフラ: Ij-MO) は給源から南東に分布している (山元, 2007)。本火山を給源とするテフラは、これ以外にも以下の飯士高杖テフラが知られている。

14.1 飯士高杖テフラ (Ij-TK)

山元 (1999b) 命名。模式地は福島県南会津郡南会津町高杖スキー場 (Loc. 50; Fig. 11)。飯士火山で 25-28 万年前に発生したプリニー式噴火の産物で、東北東に向かう降下火砕堆積物からなる (Fig. 44; 山元, 2007)。本テフラの岩質はカミングトン閃石普通角閃石デイサイトである (Table 2)。模式地での層厚は 67cm で、平均最大粒径 8 mm の白色軽石や長径 5 mm 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からなる (Loc. 50; Fig. 11)。このほか、鶴ヶ池岩層なだれ堆積物の上位 (Loc.

38; Fig. 9) や、阿武隈山地の高位段丘の厚い被覆風成火山灰土中 (Loc. 8; Fig. 4) で、Sn-KB の下位に挟まれている。降下火砕堆積物の 16-32-64 cm 等層厚線が囲む面積 (Table 4) を用いた降下火砕堆積物の最小体積は約 2×10^0 km³ (堆積物の平均密度を 800 kg/m³ として岩石換算最小体積は約 7×10^{-1} km³ DRE, 最小質量は約 2×10^{12} kg) である。

14.2 飯士火山のマグマ噴出量

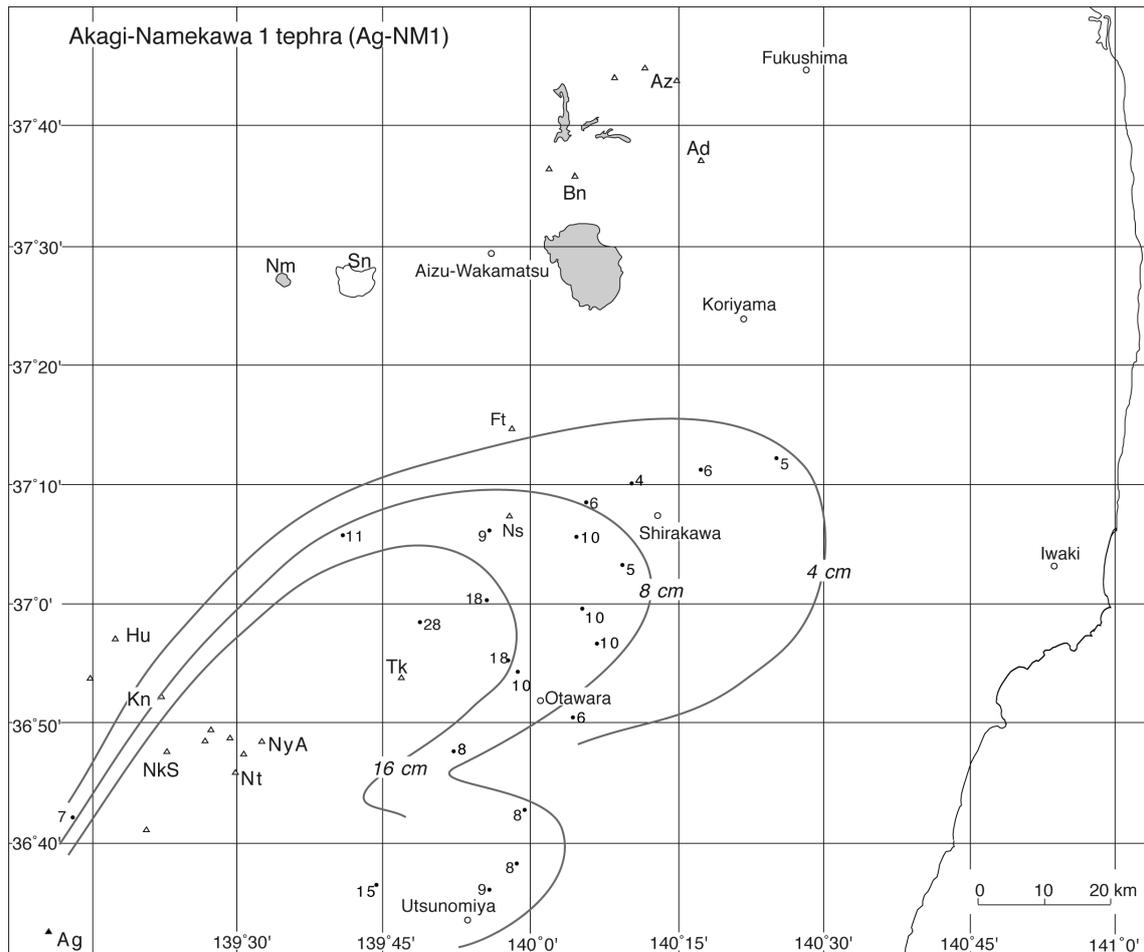
飯士火山の活動期は Ij-MO を挟んで、前期 (湯元溶岩・立柄山溶岩・Ij-TK) と後期 (主火山体溶岩群・奥添地火砕流堆積物・飯士山溶岩) に区分される (山元, 2007)。それぞれのマグマ噴出量は、前期が約 2×10^0 km³ DRE, 降下火砕物と火砕流堆積物を合わせた Ij-MO の総量が約 2×10^0 km³ DRE, 後期が約 6×10^0 km³ DRE で、その時間変化は Fig. 45 のようになる。明らかに前期よりも Ij-MO を含む後期の方が、噴出率が大きく、そのマグマ噴出量の時間変化は同じく背弧域の沼沢火山のそれ (Fig. 29) と類似している。

15. 赤城火山

赤城火山は、群馬県北東部に位置する東西 20 km, 南北 30 km におよぶ大型の成層火山である (Fig. 1)。苦鉄質の薄い溶岩流と火砕岩からなる古期成層火山体の活動は 30 万年前以前までさかのぼれる可能性が高く、その後、13-14 万年前からは珪長質の大規模な爆発的噴火が盛んになり、その活動は 4.4 万年前の赤城鹿沼テフラ (Ag-KP) まで続いている (守屋, 1968; 鈴木, 1990; 青木ほか, 2008)。赤城火山からみて北東から東北東の調査地域に主に分布するテフラは、以下の赤城行川 1・赤城追貝・赤城水沼 5・赤城水沼 7 テフラである。

15.1 赤城行川 1 (Ag-NM1)

鈴木 (1990) 命名。模式地は群馬県桐生市黒保根町水沼 (鈴木, 1990)。赤城火山で約 5 万年前に発生したプリニー式噴火の産物で、東北東に向かう降下火砕堆積物からなる (Fig. 46)。本テフラの岩質は普通角閃石斜方輝石単斜輝石デイサイトである。火山ガラスの屈折率には 1.496-1.498, 1.502-1.507, 1.512-1.517 の複数のモードが認められる (Table 2)。降下火砕堆積物は南会津の高位・中位段丘の被覆風成火山灰土 (Loc. 49; Fig. 11) や、高原火山体の上位 (Loc. 42; Fig. 9), 白河火砕流群の上位 (Loc. 21; Fig. 7), 黒磯・尚仁沢岩層なだれ堆積物の上位 (Locs. 30 & 43; Figs. 8 & 10), 大田原火砕流堆積物の上位 (Loc. 41; Fig. 9), 那珂川・鬼怒川・片品川沿いの高位・中位段丘の厚い被覆風成火山灰土中 (Locs. 31, 44, 51, 52 & 54; Figs. 8, 10 & 11) の Ag-NM2・Hr-HP 間に挟まれており、層序的に約 5 万年前の噴出物と判断される。降下火砕堆積物の 8 cm 等層厚線が囲む面積 (Table 4) を用いた降下



第 46 図 赤城行川 1 テフラ (Ag-NM1) の分布。

数字は降下火砕堆積物の層厚で、単位は cm。Ad = 安達太良火山；Ag = 赤城火山；Az = 吾妻火山；Bn = 磐梯火山；Ft = 二岐山火山；Hu = 懸ヶ岳火山；Kn = 鬼怒沼火山；NkS = 日光白根火山；Nm = 沼沢火山；Ns = 那須火山群；Nt = 男体火山；NyA = 女峰赤薙火山；Sn = 砂小原カルデラ；Tk = 高原火山。

Fig. 46 Distribution of the Akagi-Namekawa 1 tephra (Ag-NM1).

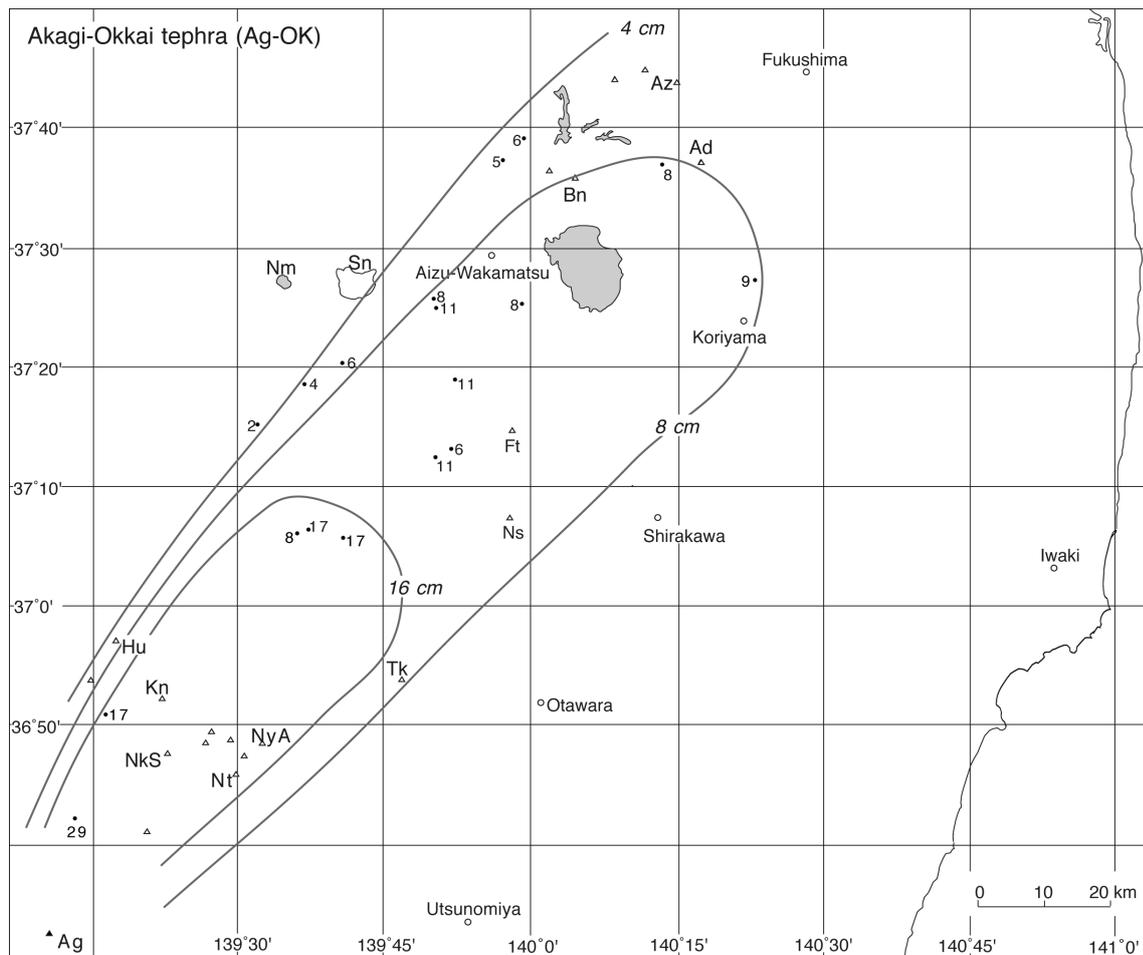
Numerals are measured thickness of the pyroclastic fall deposit in centimeters. Ad = Adatara volcano; Ag = Akagi volcano; Az = Azuma volcano; Bn = Bandai volcano; Ft = Futamatayama volcano; Hu = Hiuchigatake volcano; Kn = Kininima volcano; NkS = Nikko-Shirane volcano; Nm = Numazawa volcano; Ns = Nasu volcanoes; Nt = Nantai volcano; NyA = Nyoho-Akanagi volcano; Sn = Sunagohara caldera; Tk = Takahara volcano.

火砕堆積物の最小体積は約 $1 \times 10^0 \text{ km}^3$ (堆積物の平均密度を 800 kg/m^3 とし、岩石換算最小体積は約 $4 \times 10^{-1} \text{ km}^3$ DRE, 最小質量は約 $1 \times 10^{12} \text{ kg}$) である。

15.2 赤城追貝テフラ (Ag-OK)

新井 (1962) 命名。模式地は群馬県沼田市追貝 (Loc. 54; Fig. 11)。赤城火山で約 7 万年前に発生したプリニー式噴火の産物で、北東に向かう降下火砕堆積物からなる (Fig. 47)。本テフラの岩質は普通角閃石含有斜方輝石単斜輝石デイサイトである。火山ガラスの屈折率は、1.509-1.512 に集中する (Table 2)。模式地での層厚は 29 cm で、良く発泡した白色の軽石火山礫 (最大平均径 5.4 cm) からなる。降下火砕堆積物は南会津の高位・中位段

丘の被覆風成火山灰土 (Locs. 37 & 49; Figs. 9 & 11) や、安達太良・猫魔火山体の上位 (Loc. 32; Fig. 8)、下郷層・白河火砕流群の上位 (Locs. 35 & 39; Figs. 8 & 9)、鶴ヶ池岩屑なだれ堆積物の上位 (Loc. 38; Fig. 9)、片品川沿いの中位段丘の厚い被覆風成火山灰土中 (Loc. 54; Fig. 11) の On-NG・Nm-MZ 間に挟まれているほか、中通りの郡山層河川堆積物 (Loc. 19; Fig. 6) 中に挟まれている。これらの層序関係から約 7 万年前の噴出物と判断されよう。降下火砕堆積物の 8-16 cm 等層厚線が囲む面積 (Table 4) を用いた降下火砕堆積物の最小体積は約 $1 \times 10^0 \text{ km}^3$ (堆積物の平均密度を 800 kg/m^3 とし、岩石換算最小体積は約 $4 \times 10^{-1} \text{ km}^3$ DRE, 最小質量は約 $1 \times 10^{12} \text{ kg}$) である。



第 47 図 赤城追貝テフラ (Ag-OK) の分布.

数字は降下火砕堆積物の層厚で、単位は cm. Ad = 安達太良火山; Ag = 赤城火山; Az = 吾妻火山; Bn = 磐梯火山; Ft = 二岐山火山; Hu = 燧ヶ岳火山; Kn = 鬼怒沼火山; NkS = 日光白根火山; Nm = 沼沢火山; Ns = 那須火山群; Nt = 男体火山; NyA = 女峰赤薙火山; Sn = 砂小原カルデラ; Tk = 高原火山.

Fig. 47 Distribution of the Akagi-Okkai tephra (Ag-OK).

Numerals are measured thickness of the pyroclastic fall deposit in centimeters. Ad = Adataro volcano; Ag = Akagi volcano; Az = Azuma volcano; Bn = Bandai volcano; Ft = Futamatayama volcano; Hu = Hiuchigatake volcano; Kn = Kininima volcano; NkS = Nikko-Shirane volcano; Nm = Numazawa volcano; Ns = Nasu volcanoes; Nt = Nantai volcano; NyA = Nyoho-Akanagi volcano; Sn = Sunagohara caldera; Tk = Takahara volcano.

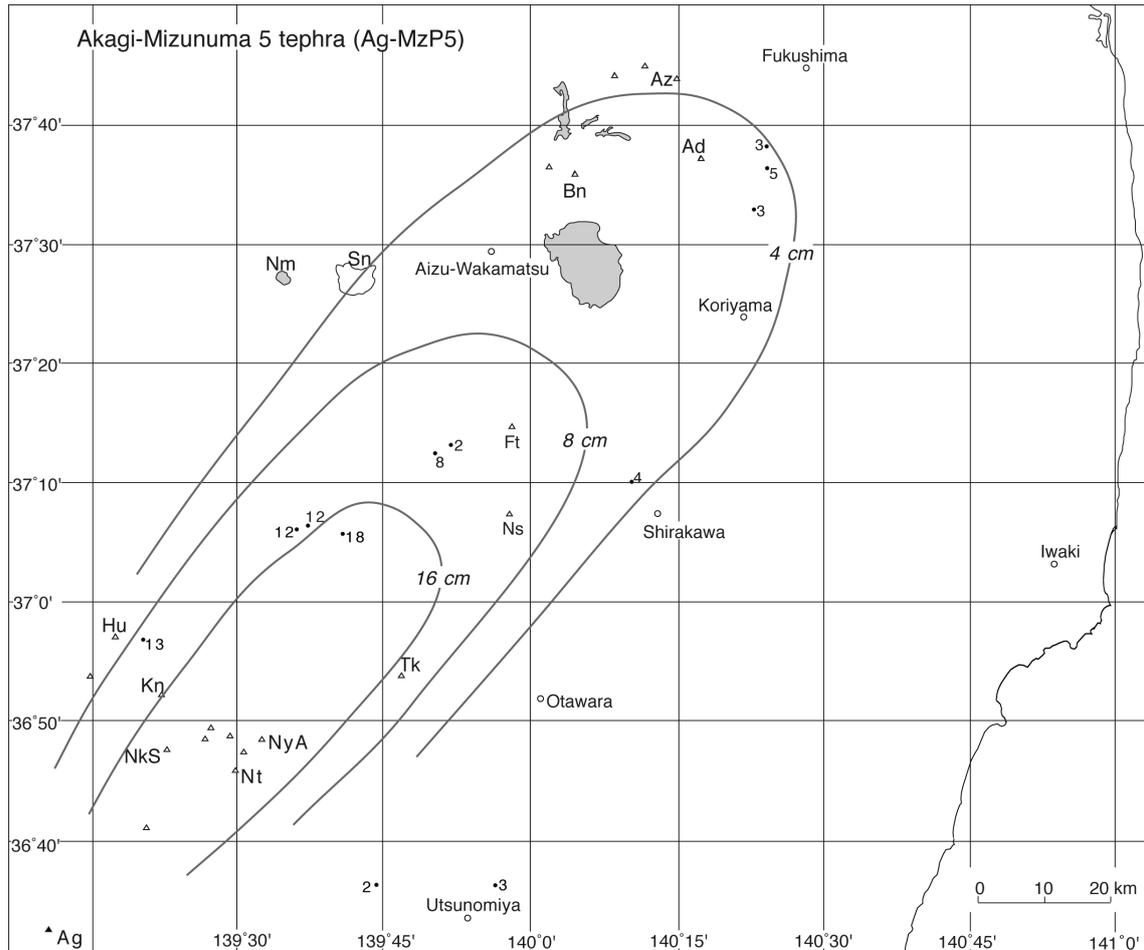
15.3 赤城水沼 5 テフラ (Ag-MzP5)

守屋 (1968) の P5 を鈴木 (1990) が再定義. 山元 (1999a) が会津地域で「中山峠テフラ」と呼んでいたものと同一のテフラである (吉川ほか, 2010). 模式地は群馬県桐生市黒保根町水沼 (鈴木, 1990). 赤城火山で約 9 万年前に発生したプリニー式噴火の産物で、北東に向かう降下火砕堆積物からなる (Fig. 48). 本テフラの岩質は普通角閃石含有斜方輝石単斜輝石デイサイトである. 火山ガラスの屈折率は、1.498-1.508 に分散する (Table 2). しばしば、褐色の気泡壁型火山ガラスが混在するが、これは直下にある Aso4 に由来するものである. 降下火砕堆積物は南会津の高位・中位段丘の被覆風成火山灰土 (Locs. 49 & 50; Fig. 11) や、伏拝・鶴ヶ池岩屑なだれ堆積物の上

位 (Locs. 13 & 38; Figs. 5 & 9), 鬼怒川沿いの高位・中位段丘の厚い被覆風成火山灰土中 (Locs. 51 & 52; Fig. 11) の Aso4・On-NG 間に挟まれており、層序的に約 9 万年前の噴出物と判断される. 降下火砕堆積物の 4-8 cm 等層厚線が囲む面積 (Table 4) を用いた降下火砕堆積物の最小体積は約 $2 \times 10^0 \text{ km}^3$ (堆積物の平均密度を 800 kg/m^3 としして岩石換算最小体積は約 $8 \times 10^{-1} \text{ km}^3$ DRE, 最小質量は約 $2 \times 10^{12} \text{ kg}$) である.

15.4 赤城水沼 7 テフラ (Ag-MzP7)

鈴木 (1990) 命名. 模式地は群馬県桐生市黒保根町水沼 (鈴木, 1990). 赤城火山で約 12 万年前に発生したプリニー式噴火の産物で、北東に向かう降下火砕堆積物から



第 48 図 赤城水沼 5 テフラ (Ag-NM5) の分布。

数字は降下火砕堆積物の層厚で、単位は cm。Ad = 安達太良火山；Ag = 赤城火山；Az = 吾妻火山；Bn = 磐梯火山；Ft = 二岐山火山；Hu = 懸ヶ岳火山；Kn = 鬼怒沼火山；NkS = 日光白根火山；Nm = 沼沢火山；Ns = 那須火山群；Nt = 男体火山；NyA = 女峰赤薙火山；Sn = 砂小原カルデラ；Tk = 高原火山。

Fig. 48 Distribution of the Akagi-Mizunuma 5 tephra (Ag-MzP5).

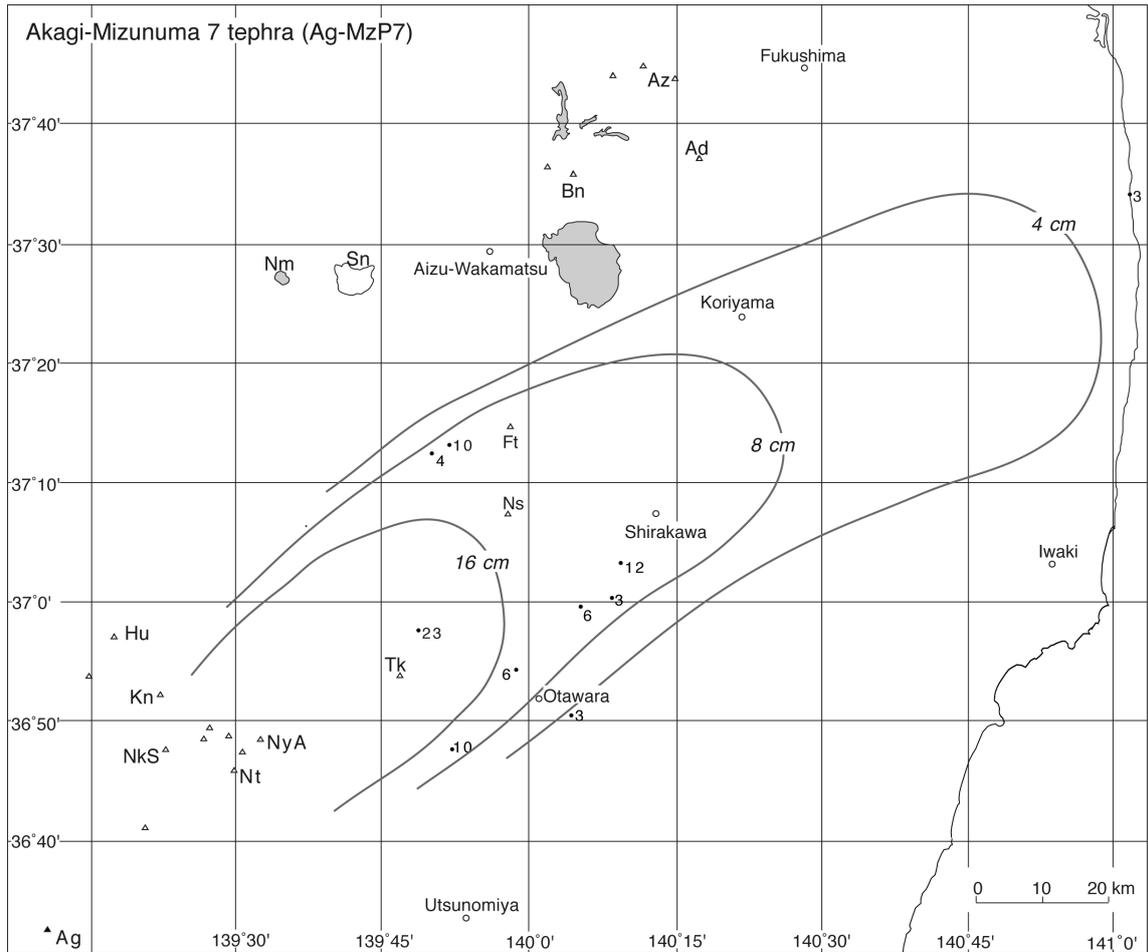
Numerals are measured thickness of the pyroclastic fall deposit in centimeters. Ad = Adataro volcano; Ag = Akagi volcano; Az = Azuma volcano; Bn = Bandai volcano; Ft = Futamatayama volcano; Hu = Hiuchigatake volcano; Kn = Kininima volcano; NkS = Nikko-Shirane volcano; Nm = Numazawa volcano; Ns = Nasu volcanoes; Nt = Nantai volcano; NyA = Nyoho-Akanagi volcano; Sn = Sunagohara caldera; Tk = Takahara volcano.

なる (Fig. 49)。本テフラの岩質は普通角閃石斜方輝石デイサイトである (Table 2)。降下火砕堆積物は高原火山体の上位 (Locs. 42 & 43; Figs. 9 & 10) や、下郷層の上位 (Loc. 39; Fig. 9)、鶴ヶ池・黒磯・尚仁沢岩屑なだれ堆積物の上位 (Locs. 29, 30 & 38; Figs. 8 & 9)、大田原火砕流堆積物の上位 (Loc. 41; Fig. 9)、那珂川沿いの中位段丘の厚い被覆風成火山灰土中 (Loc. 31; Fig. 8)、MIS 5e 末に離水した浜通りの小浜段丘 (鈴木, 1999) の被覆風成火山灰土 (Loc. 2; Fig. 3) 中の Hu-TG・Ad-DK 間に挟まれており、層的に約 12 万年前の噴出物と判断される。また、鬼怒川沿いの下野大沢段丘の河川堆積物直上には、本テフラ由来のラハール堆積物が重なっている (Loc. 44; Fig. 10)。降下火砕堆積物の 4-8-16 cm 等層厚線が囲む面積

(Table 4) を用いた降下火砕堆積物の最小体積は約 1×10^0 km³ (堆積物の平均密度を 800 kg/m³ とし、岩石換算最小体積は約 4×10^{-1} km³ DRE, 最小質量は約 1×10^{12} kg) である。

15.5 赤城火山のマグマ噴出量

赤城火山群起源の 13-14 万年前以降の降下火砕物堆積の時間変化については、鈴木 (1990) が既に明らかにしている。今回明らかにした Ag-NM1・Ag-OK・Ag-MzP5・Ag-MzP7 の層厚分布と体積は鈴木 (1990) の成果を補足するものであり、これと大きな矛盾はない。赤城火山のマグマ噴出量時間変化を明らかにするためには、山体を構成する溶岩や火砕流堆積物 (竹本, 1998) の体積も見積もる必要があるが、これは今後の課題である。



第 49 図 赤城水沼 7 テフラ (Ag-NM7) の分布。

数字は降下火砕堆積物の層厚で、単位は cm。Ad = 安達太良火山；Ag = 赤城火山；Az = 吾妻火山；Bn = 磐梯火山；Ft = 二岐山火山；Hu = 燧ヶ岳火山；Kn = 鬼怒沼火山；NkS = 日光白根火山；Nm = 沼沢火山；Ns = 那須火山群；Nt = 男体火山；NyA = 女峰赤薙火山；Sn = 砂小原カルデラ；Tk = 高原火山。

Fig. 49 Distribution of the Akagi-Mizunuma 7 tephra (Ag-MzP7).

Numerals are measured thickness of the pyroclastic fall deposit in centimeters. Ad = Adataara volcano; Ag = Akagi volcano; Az = Azuma volcano; Bn = Bandai volcano; Ft = Futamatayama volcano; Hu = Hiuchigatake volcano; Kn = Kininima volcano; NkS = Nikko-Shirane volcano; Nm = Numazawa volcano; Ns = Nasu volcanoes; Nt = Nantai volcano; NyA = Nyoho-Akanagi volcano; Sn = Sunagohara caldera; Tk = Takahara volcano.

16. まとめ

福島—栃木地域の 54 露頭で確認された吾妻火山、安達太良火山、磐梯火山、砂子原カルデラ、沼沢火山、二岐山火山、那須火山群、高原火山、燧ヶ岳火山、鬼怒沼火山、日光火山群、飯士火山、赤城火山起源の 30 万年前以降のテフラについて、その層序・分布・構成物・噴火年代・マグマ体積の再記載を行った。その結果、調査地域内のマグマ体積が約 $1 \times 10^{11} \text{ km}^3$ DRE 以上のテフラについては全てリストアップすることが出来た。また、吾妻火山、安達太良火山、磐梯火山、砂子原カルデラ、沼沢火山、二岐山火山、那須火山群、高原火山、燧ヶ岳火山、

鬼怒沼火山、飯士火山については、マグマ噴出量の時間変化を明らかにしている。残る日光火山群と赤城火山については、テフラ層と山体を構成する溶岩・火砕岩との対応が十分に解明されていないため、マグマ噴出量の時間変化を示していない。この点は、今後の課題である。

謝辞：本研究は、これまでの地質図幅の調査研究で得られた成果を取りまとめ直したものである。歴代の地質図幅研究の責任者の方々には、様々な便宜を図って頂き、感謝いたします。

文 献

- 赤石和幸 (1997) 東北日本弧南部背弧域四火山 (守門火山, 浅草火山, 枳形火山, 飯士火山) の年代学的・岩石学的研究, および東北日本弧第四紀火山の時空分布についての考察. 東北大学博士論文, 154p.
- 阿久津 純 (1955) 宇都宮周辺の関東火山灰層と河成段丘. 宇都宮大学学芸学部研究論集, vol.4, p.33-46.
- 阿久津 純 (1957) 宇都宮付近の関東ローム (火山灰) 層. 地球科学, vol.33, p.1-11.
- 青木かおり・入野智久・大場忠道 (2008) 鹿島沖海底コア MD01-2421 の後期更新世テフラ層序. 第四紀研究, vol.47, p.391-407.
- 新井房夫 (1962) 関東盆地北西部地域の第四紀編年. 群馬大学紀要自然科学編, no.10, p.1-79.
- 伴 雅雄・高岡宣雄 (1995) 東北日本弧, 那須火山群の形成史. 岩鉱, vol.90, p.195-214.
- 伴 雅雄・山中孝之・井上道則・吉田武義・林 信太郎・青木謙一郎 (1992) 東北本州弧, 高原火山噴出物の地球化学. 核理研研究報告, vol.25, p.199-226.
- 茅原一也・小松正幸・島津光夫・久保田喜裕・塩川 智, 1981, 越後湯沢地域の地質. 地域地質研究報告 (5 万分の 1 図幅), 地質調査所, 108p.
- 中馬教允・吉田 義 (1982) 磐梯山南麓の地質について. 福島大特定研, 猪苗代湖の自然, 研究報告, no.3, p.21-32.
- 千葉茂樹・木村純一・佐藤美穂子・富塚玲子 (1994) 福島県磐梯火山のテフラ-ローム層序と火山活動史. 地球科学, vol.48, p.223 - 240.
- Fairbanks, R.G., Mortlock, R.A., Chiu, T.-C., Cao, L., Kaplan, A., Guilderson, T.P., Fairbanks, T.W., Bloom, A.L., Grootes, P.M. and Nadeau, M.-J. (2005) Radiocarbon calibration curve spanning 0 to 50,000 years BP based on paired $^{230}\text{Th}/^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ and ^{14}C dates on pristine corals. *Quaternary Sci. Rev.*, vol.24, p.1781-1796.
- 藤縄明彦・鎌田光春 (2005) 安達太良火山の最近 25 万年間における山体形成史とマグマ供給系の変遷. 岩石鉱物科学, vol.34, p.35-58.
- 藤縄明彦・鴨志田 毅 (1999) 吾妻火山. フィールドガイド日本の火山 4 東北の火山, 築地書館, p.89-104.
- 藤縄 明彦・林 信太郎・梅田 浩司 (2001) 安達太良火山の K-Ar 年代: 安達太良火山形成史の再検討. 火山, vol.46, p.95-106.
- Hayakawa, Y. (1985) Pyroclastic geology of Towada volcano. *Bull. Earthq. Res. Inst., Univ. Tokyo*, no.60, p.507-592.
- 早川由紀夫 (1995) マスターテフラによる日本の 100 万年噴火史編年. 火山, vol. 40, p.S1-S15.
- 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, vol.106, p.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. 核理研研究報告, vol.27, p.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*, vol.37, p.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*, vol.34-36, p.99-105.
- 久保和也・柳沢幸夫・吉岡敏和・山元孝広・滝沢文教 (1990) 原町及び大甕地域の地質. 地域地質研究報告 (5 万分の 1 地質図幅), 地質調査所, 155p.
- Legros, F. (2000) Minimum volume of tephra fallout deposit estimated from a single isopach. *Jour. Volcanol. Geotherm. Res.*, vol.96, p.25-32.
- 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, vol.46, p.339-347.
- 町田 洋・新井房夫 (1979) 大山倉吉軽石層 - 分布の広域性と第四紀編年上の意義. 地学雑, vol.88, p.313-330.
- 町田 洋・新井房夫 (1992) 火山灰アトラス. 東京大学出版会, 276p.
- 町田 洋・新井房夫 (2003) 新編火山灰アトラス - 日本列島とその周辺. 東京大学出版会, 336p.
- 町田 洋・鈴木正男 (1971) 火山灰の絶対年代と第四紀後期の編年 - フィッション・トラック法による試み -. 科学, vol.41, p.263-270.
- 町田 洋・新井房夫・百瀬 貢 (1985) 阿蘇 4 火山灰 - 分布の広域性と後期更新世指標層としての意義 -. 火山, vol.30, p.49-70.
- 増淵佳子・石崎泰男 (2011) 噴出物の構成物組成と本質物質の全岩及び鉱物組成から見た沼沢火山の BC3400 カルデラ形成噴火 (沼沢湖噴火) のマグマ供給系. 地質雑, vol.117, p.357-376.
- 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. Jpn.*, vol.40, p.534-564.
- Miall, A.D. (1978) Lithofacies types and vertical profiles models in braided river deposits: a summary. In Miall, A.D., ed., *Fluvial Sedimentology. Can. Soc. Petrol. Geol. Mem.*, no.5, 597-604.
- 宮地直道 (1988) 新富士火山の地質. 地質雑, vol.94, p.433-452.
- 水垣桂子 (1993) 砂子原カルデラの構造と火山活動史. 地質雑, vol.99, p.721-737.
- 守屋以智雄 (1968) 赤城火山の地形と地質. 前橋営林局,

- 64p.
- 守屋以智雄 (1978) 空中写真による火山の地形判読. 火山, vol.23, p.199-214.
- 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, p.59-91.
- Nakamura, K. (1964) Volcano-Stratigraphic Study of Oshima Volcano, Izu. *Bull. Earthq. Res. Inst., Univ. Tokyo*, vol.42, p.649-728
- Nakamura, Y. (1978) Geology and petrology of Bandai and Nekoma volcanoes. *Sci. Rept. Tohoku Univ., Ser. III*, vol.14, p.67-119.
- 中村洋一・鈴木陽雄 (1983) 奥鬼怒の地質と岩石. 宇都宮大境界学部紀要, no. 34, p. 63-77.
- 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] (1991) 磐梯山地域火山地質図及び磐梯山地域地熱地質編図, 同説明書.
- 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, vol.42, p.393-402.
- 尾上 亨 (1989) 栃木県塩原産更新世植物化石群による古環境解析. 地質調査所報告, no.269, p.1-207.
- Pyle, D. M. (1989) The thickness, volume and grain size of tephra fall deposits. *Bull. Volcanol.*, vol.51, p.1-51.
- 阪口圭一 (1995) 二本松地域の地質. 地域地質研究報告 (5 万分の 1 地質図幅), 地質調査所, 79p.
- 佐々木 実 (1994) 日光火山群の岩石学. 月刊地球, vol. 16, p. 221-230.
- 佐々木 実・鱈坂富夫・岡本 昭 (1958) 那須野原の地質と地下水. 地学雑, vol.67, p.59-73.
- 鈴木毅彦 (1990) テフロクロノロジーからみた赤城火山最近 20 万年間の噴火史. 地学雑, vol.99, 2, p.60-75.
- 鈴木毅彦 (1992) 那須火山のテフロクロノロジー. 火山, vol.37, p.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, vol.102, p.73-90.
- 鈴木毅彦 (1996) 栃木県那須野原に分布する後期更新世テフラ-日光, 赤城火山起源のテフラと広域テフラ. 日本第四紀学会第四紀露頭編集委員会編, 第四紀露頭集-日本のテフラ. 日本第四紀学会, p.169-169.
- 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, vol.108, p.216-230.
- 鈴木毅彦 (2001) 海洋酸素同位体ステージ 5-6 境界に降下した飯綱上樽テフラ群とその編年学的意義. 第四紀研究, vol.40, p.29-41.
- 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-金山テフラ. 第四紀研究, vol.33, p.233-242.
- 鈴木毅彦・藤原 治・檀原 徹 (1998) 関東北部から東北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, vol.37, 95-106.
- 鈴木毅彦・藤原 治・檀原 徹 (2004) 東北南部, 会津地域周辺における中期更新世テフラの層序と編年. 地学雑, vol.113, p.38-61.
- 竹本弘幸 (1998) 赤城火山. フィールドガイド日本の火山 1 関東・甲信越の火山 I, 築地書館, p.52-73.
- 竹本弘幸・百瀬 貢・平林 潔・小林武彦 (1987a) 新期御岳テフラ層の層序と年代-中部日本における編年上の意義-. 第四紀研究, vol.25, p.337-352.
- 梅田浩司・林 信太郎・伴 雅雄・佐々木 実・大場 司・赤石和幸 (1999) 東北日本, 火山フロント付近の 2.0 Ma 以降の火山活動とテクトニクスの推移. 火山, vol.44, p.233-249.
- 渡邊久芳 (1989a) 尾瀬燧ヶ岳火山の地質. 岩鉱, vol.84, p.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, vol.84, p.301-320.
- 山元孝広 (1992) 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, vol.98, p.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, vol.40, p.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, vol.103, p.676-691.
- 山元孝広 (1999a) 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 (1999b) 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. 地調月報, vol.50, p.743-767.
- 山元孝広 (2003) 東北日本, 沼沢火山の形成史: 噴出物層序, 噴出年代及びマグマ噴出量の再検討. 地質調査研究報告, vol.54, p.323-340.
- 山元孝広 (2005) 福島県, 吾妻火山の最近 7 千年間の噴火史: 吾妻-浄土平火山噴出物の層序とマグマ供給系. 地質雑, vol.111, p.94-110.
- Yamamoto, T. (2005) The rate of fluvial incision during the Late Quaternary period in the Abukuma Mountains, northeast Japan, deduced from tephrochronology. *Island Arc*, vol.14, p.199-212.
- 山元孝広 (2006) 宇都宮市宝積寺段丘を貫く UT05 コアの層序記載と鬼怒川の堆積侵食履歴. 地質調査研究報告, vol.57, p.217-228.
- Yamamoto, T. (2007) A rhyolite to dacite sequence of volcanism directly from the heated lower crust: Late

- Pleistocene to Holocene Numazawa volcano, NE Japan.
Jour. Volcanol. Geotherm. Res., vol.167, p.119-133.
- 山元孝広 (2007) テフラ層序からみた新潟県中期更新世飯
士火山の形成史：関東北部での飯士真岡テフラと
MIS7 海面変動の関係. 地質調査研究報告, vol.58,
p.117-132.
- 山元孝広 (2011) 磐梯火山最初期噴出物におけるマグマ
組成の時間変化：裏磐梯高原コアの化学分析結果.
火山, vol. 56, p.189 -200.
- 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, 8p.
- 山元孝広・駒澤正夫 (2004) 宮下地域の地質. 地域地質研
究報告 (5 万分の 1 地質図幅), 産総研地質調査総合
センター, 71p.
- 山元孝広・阪口圭一 (2000) テフラ層序からみた安達
太良火山, 最近約 25 万年間の噴火活動. 地質雑,
vol.106, no.12, p.865-882.
- 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, vol.47, p.335-359.
- 山元孝広・吉岡敏和・牧野雅彦・住田達哉 (2006) 喜多方
地域の地質. 地域地質研究報告 (5 万分の 1 地質図
幅), 産総研地質調査総合センター, 63p.
- 山崎正男 (1958) 日光火山群. 地球科学, vol.36, p. 28-
35.
- 柳沢幸夫・山元孝広・坂野靖行・田沢純一・吉岡敏和・
久保和也・滝沢文教 (1996) 相馬中村地域の地質.
地域地質研究報告 (5 万分の 1 地質図幅), 地質調査
所, 144p.
- 吉田 義・伊藤七郎・鈴木敬治 (1968) 福島 - 郡山間の第
四系. 第四紀, no.13, p.10-29.
- 吉川敏之・山元孝広・中江 訓 (2010) 「宇都宮」地域の
地質. 地域地質研究報告 (5 万分の 1 地質図幅), 産
総研地質調査総合センター, 79p.

(受付：2011 年 12 月 20 日；受理：2012 年 7 月 25 日)

付録1：各露頭の注釈

- Loc. 1. 柳沢ほか (1996) の第 53 図と同一露頭。2010 年 3 月時点で露頭は観察可能。
- Loc. 2. 久保ほか (1990) の第 85 ~ 87 図と同一露頭。Hu-TG と塚原 t5 は久保ほか (1990) の t1 と t5 に、それぞれ対応する。塚原 t5 の火山ガラス主成分化学組成の分析結果は、付録 2 に示している。2010 年 3 月時点で露頭は観察可能。
- Loc. 3. Yamamoto (2005) の Loc. 2 と同一露頭。2010 年 3 月時点で露頭は観察可能。
- Loc. 4. Yamamoto (2005) の Loc. 15 と同一露頭。2010 年 3 月時点で露頭は観察可能。
- Loc. 5. Yamamoto (2005) の Loc. 3 と同一露頭。2010 年 3 月時点で露頭は観察可能。
- Loc. 6. Yamamoto (2005) の Loc. 21 と同一露頭。2010 年 3 月時点で露頭は観察可能。
- Loc. 7. Yamamoto (2005) の Loc. 29 と同一露頭。露頭は植生に覆われ観察不能。
- Loc. 8. Yamamoto (2005) の Loc. 57 と同一露頭。Yamamoto (2005) では TK104 を Iz-KTa に対比したが、構成物の特徴から Ij-TK に対比を修正した。2010 年 3 月時点で露頭は観察可能。
- Loc. 9. 初出。露頭は植生に覆われ観察不能。
- Loc. 10. Yamamoto (2005) の Loc. P5 と同一露頭。露頭は植生に覆われ観察不能。
- Loc. 11. 初出。宅地化により露頭は消失。吉田ほか (1968) で伏拝火砕流堆積物とされていたものは、阪口 (1995) の伏拝岩屑なだれ堆積物と本報告の蓬莱火砕流堆積物に分けられる。この蓬莱火砕流堆積物は逆帯磁しており、 1.8 ± 0.3 Ma のジルコン・フィッシュオントラック年代値を得ている (山元, 未公表)。
- Loc. 12. Yamamoto (2005) の Loc. P3 と同一露頭。2010 年 3 月時点で露頭は観察可能。
- Loc. 13. 山元・阪口 (2000) の Loc. 27 と同一露頭。Ag-MzP5 は山元・阪口 (2000) の NT に対応する。露頭は水没し、観察不能。
- Loc. 14. 初出。2010 年 3 月時点で露頭は観察可能。
- Loc. 15. 山元・阪口 (2000) の Loc. 9 と同一露頭。2009 年 10 月時点で露頭は観察可能。
- Loc. 16. 山元・阪口 (2000) の Loc. 34 と同一露頭。On-NG は山元・阪口 (2000) の SK に対応する。この対比の結果、山元・阪口 (2000) の Bn-HP2, Ad-EB2, Ad-EB1 を、本報告で Bn-HP2, Ad-EB2, Ad-EB1 に修正した。2009 年 10 月時点で露頭は観察可能。
- Loc. 17. 山元・阪口 (2000) の Loc. 40, Yamamoto (2005) の Loc. P7 と同一露頭。2009 年 10 月時点で露頭は部分的に観察可能。
- Loc. 18. 山元・阪口 (2000) の Loc. 39 と同一露頭。2009 年 10 月時点で露頭は観察可能。
- Loc. 19. 山元 (2003) の Loc. 22 と同一露頭。露頭は植生に覆われ観察不能。
- Loc. 20. 山元 (2003) の Loc. 24 と同一露頭。現在の露頭状況は不明。
- Loc. 21. 山元 (1999b) の Loc. 16 と同一露頭。当初、Iz4 としていたテフラ (603-1-2) を、山元 (2006) は斑晶組成と屈折率の類似から榛名宮沢テフラに対比した。しかし、対比の元になった榛名火山における火砕流堆積物認定に間違いがあったことがその後判明している。本報告では、このテフラを戸室山第 1 テフラ (TM1; 山元, 1999b) に対比し直した。また、山元 (1999b) の Ag-NM2 は、その後のテフラ分析により Ag-NM1 に修正した。現在の露頭状況は不明。
- Loc. 22. 初出。現在の露頭状況は不明。
- Loc. 23. 山元・阪口 (2000) の Loc. 1 と同一露頭。2009 年 10 月時点で露頭は観察可能。
- Loc. 24. 山元・須藤 (1996) の Loc. 7 と同一露頭。露頭は植生に覆われ観察不能。
- Loc. 25. 山元・須藤 (1996) の Loc. 8 と同一露頭。露頭は植生に覆われ観察不能。
- Loc. 26. 山元・須藤 (1996) の Loc. 10 と同一露頭。露頭は植生に覆われ観察不能。
- Loc. 27. 山元 (1999b) の Loc. 17 と同一露頭。現在の露頭状況は不明。
- Loc. 28. 山元 (1999a) の第 35 図地点 7, 山元 (1999b) の Loc. 17 と同一露頭。露頭は植生に覆われ観察不能。
- Loc. 29. 山元 (1999b) の Loc. 29 と同一露頭。山元 (1999b) の Kt? は、その後の対比により Ns-SR1 に修正した。現在の露頭状況は不明。
- Loc. 30. 山元 (1999b) の Loc. 30 と同一露頭。山元 (1999b) の Ag-NM2 は、その後のテフラ分析により Ag-NM1 に修正した。現在の露頭状況は不明。
- Loc. 31. 初出。2006 年 10 月時点で露頭は観察可能。
- Loc. 32. 初出。2009 年 5 月時点で露頭は観察可能。
- Loc. 33. 山元 (1992) の地点 F と同一露頭。2009 年 5 月時点で露頭は観察可能。
- Loc. 34. 山元 (2003) の Loc. 14 と同一露頭。2009 年 5 月時点で露頭は観察可能。
- Loc. 35. 山元 (2003) の Loc. 15 と同一露頭。2009 年 5 月時点で露頭は観察可能。
- Loc. 36. 山元 (2003) の Loc. 16 と同一露頭。現在の露頭状況は不明。
- Loc. 37. 山元 (1999a) の第 35 図地点 5 と同一露頭。現在の露頭状況は不明。
- Loc. 38. 山元 (1999a) の第 35 図地点 2, 山元 (1999b) の Loc. 21 と同一露頭。Ag-MzP5 は山元 (1999a) ・山元 (1999b) の NT に対応する。2011 年 7 月時点で露頭は観察可能であるが、露頭面が更に大きく掘削されたため (Fig. 2), 当初記載時とは若干異なる岩相が露頭に現れている。例えば Ij-TK と鶴ヶ池岩屑なだれ堆積物間の礫層はもはや観察できない。
- Loc. 39. 山元 (1999a) の第 35 図地点 1 と同一露頭。Ag-MzP5 は山元 (1999a) の NT に対応する。現在の露頭状況は不明。
- Loc. 40. 山元 (1999b) の Loc. 37 と同一露頭。山元 (1999b) の Kt, Ns-SR7, Si1, Si2-3, Ns-SR7 は、その後の対比により Nk-YT, Si2, Si3, Si4, YG に、それぞれ

修正した。露頭は消失。

- Loc. 41. 初出。地点は那須塩原市の国際医療福祉大学病院で、Nk-MA よりも上位については病院建屋南側の露頭、Nk-MA よりも下位については病院建屋東側の露頭を接合している。建屋南側の露頭は鈴木 (1996) の写真の露頭と同一。2006 年 10 月時点で露頭は観察可能。
- Loc. 42. 初出。露頭は植生に覆われ観察不能。
- Loc. 43. 初出。現在の露頭状況は不明。
- Loc. 44. 吉川ほか (2010) の第 6.8 図 Loc. 1 と同一露頭。露頭は水没し観察不能。
- Loc. 45. 山元 (2003) の Loc. 12 と同一露頭。露頭は植生に覆われ観察不能。
- Loc. 46. 山元 (1999b) の Loc. 13 と同一露頭。2009 年 5 月時点で露頭は観察可能。
- Loc. 47. 山元 (2003) の Loc. 9 と同一露頭。露頭はコンクリートに覆われ観察不能。
- Loc. 48. 山元 (2003) の Loc. 1 と同一露頭。露頭は植生に覆われ観察不能。
- Loc. 49. 初出。現在の露頭状況は不明。
- Loc. 50. 山元 (1999b) の Loc. 25 と同一露頭。Ag-MzP5 は山元 (1999b) の NT に対応する。2011 年 7 月時点で露頭は観察可能。

- Loc. 51. 吉川ほか (2010) の第 6.8 図 Loc. 3 と同一露頭。2011 年 7 月時点で露頭は観察可能。
- Loc. 52. 吉川ほか (2010) の第 6.8 図 Loc. 4 と同一露頭。2011 年 7 月時点で露頭は観察可能。
- Loc. 53. 山元 (1999b) の Loc. 43 と同一露頭。2011 年 7 月時点で露頭は観察可能。
- Loc. 54. 初出。現在の露頭状況は不明。

付録 2 : 塚原 t5 の火山ガラス主成分化学分析結果

塚原 t5 テフラについては、エネルギー分散型 X 線マイクロアナライザー (EDX) を用いた火山ガラスの主成分分析を行っている。分析は、(株)古澤地質に依頼した。EDX 測定では、4 μm 四方の範囲を約 150 nm のビーム径にて走査させている。結果を Table A に示している。分析結果のまともは良く、純度の高いテフラ試料であったことを示している。この主成分化学組成と一致し、対比可能なテフラは、これまで確認していない。しかしながら多くの広域テフラと比較して、塚原 t5 テフラの K₂O 濃度は明らかに低いので、その給源はおそらく火山フロント沿いの火山であると予想されよう。

第 A 表 塚原 t5 テフラ中の火山ガラスの EDX による主成分分析結果。

Ave. = 平均; S.D. = 標準偏差。

Table A. Major element contents of volcanic glass shards in the Tsukahara t5 tephra by EDX measurements.

Ave. = average; S.D. = standard deviation.

point No.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	Ave.	S.D.
SiO ₂	72.20	71.12	71.87	72.18	72.78	71.53	72.07	72.94	72.04	72.99	73.02	71.81	71.07	71.47	71.02	72.01	0.69
TiO ₂	0.29	0.36	0.35	0.29	0.36	0.37	0.42	0.38	0.32	0.20	0.40	0.38	0.32	0.40	0.48	0.35	0.07
Al ₂ O ₃	13.05	12.93	13.10	12.99	12.81	12.73	12.93	12.95	13.16	13.06	12.86	13.07	12.86	12.86	13.48	12.99	0.18
FeO	2.34	2.21	2.02	2.05	1.90	2.13	2.05	1.87	2.04	2.04	2.20	2.14	2.36	1.98	2.53	2.12	0.18
MnO	0.07	0.05	0.11	0.19	0.18	0.00	0.27	0.03	0.03	0.06	0.17	0.00	0.00	0.22	0.04	0.09	0.09
MgO	0.61	0.59	0.44	0.50	0.60	0.64	0.60	0.61	0.65	0.53	0.60	0.56	0.48	0.62	0.82	0.59	0.09
CaO	2.79	2.81	2.86	2.79	2.81	2.91	2.87	2.81	2.82	2.82	2.73	2.85	2.62	2.71	3.20	2.83	0.13
Na ₂ O	3.69	3.82	3.62	3.84	3.87	3.98	3.73	3.74	3.82	3.90	3.77	3.73	3.70	3.76	3.84	3.79	0.09
K ₂ O	1.51	1.50	1.64	1.63	1.59	1.55	1.62	1.61	1.48	1.65	1.59	1.70	1.59	1.57	1.48	1.58	0.07
Total	96.55	95.39	96.01	96.46	96.90	95.84	96.56	96.94	96.36	97.25	97.34	96.24	95.00	95.59	96.89	96.35	

point No.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	Ave.	S.D.
SiO ₂	74.78	74.56	74.86	74.83	75.11	74.63	74.64	75.24	74.76	75.05	75.02	74.62	74.81	74.77	73.30	74.73	0.44
TiO ₂	0.30	0.38	0.36	0.30	0.37	0.39	0.43	0.39	0.33	0.21	0.41	0.39	0.34	0.42	0.50	0.37	0.07
Al ₂ O ₃	13.52	13.55	13.64	13.47	13.22	13.28	13.39	13.36	13.66	13.43	13.21	13.58	13.54	13.45	13.91	13.48	0.18
FeO	2.42	2.32	2.10	2.13	1.96	2.22	2.12	1.93	2.12	2.10	2.26	2.22	2.48	2.07	2.61	2.20	0.19
MnO	0.07	0.05	0.11	0.20	0.19	0.00	0.28	0.03	0.03	0.06	0.17	0.00	0.00	0.23	0.04	0.10	0.09
MgO	0.63	0.62	0.46	0.52	0.62	0.67	0.62	0.63	0.67	0.54	0.62	0.58	0.51	0.65	0.85	0.61	0.09
CaO	2.89	2.95	2.98	2.89	2.90	3.04	2.97	2.90	2.93	2.90	2.80	2.96	2.76	2.84	3.30	2.93	0.12
Na ₂ O	3.82	4.00	3.77	3.98	3.99	4.15	3.86	3.86	3.96	4.01	3.87	3.88	3.89	3.93	3.96	3.93	0.09
K ₂ O	1.56	1.57	1.71	1.69	1.64	1.62	1.68	1.66	1.54	1.70	1.63	1.77	1.67	1.64	1.53	1.64	0.07
Total	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	

産総研ボアホール歪計で計測された歪変動と GPS 観測との比較

大谷 竜^{1,*}・松本則夫²・名和一成¹・板場智史²

Ryu Ohtani, Norio Matsumoto, Kazunari Nawa, Satoshi Itaba (2012) Comparison of borehole strainmeter measurements with GPS: A case study at the stations of the Geological Survey of Japan, AIST. *Bull. Geol. Surv. Japan*, vol. 63(3/4), p. 93-105, 11 figs.

Abstract: We carry out comparison of strain variations measured by borehole strainmeters with GPS-derived strain to investigate the characteristics of the long-term (over the time scale of several months) measurement of strainmeter. We compare the line strain data observed at 7 stations of the AIST with the equivalent strain calculated using the observations of displacement data at the GPS sites surrounding the strainmeter stations. The result shows that there are seasonal variations both in strainmeter and GPS where the amplitudes are consistent each other at some stations, but they are not always in phase. In addition, many stations do not show good agreement between GPS and strainmeter. It is suggested that the strainmeter measurements do not reflect regional crustal deformation but are rather affected by unknown site-specific sources.

Keywords: borehole strainmeter, GPS, line strain, long-term stability

要 旨

数ヶ月程度のタイムスケールでの歪計の測定の特性を調べるために、産総研のボアホール歪計観測点 7 点における、水平面内の 3 方向の線歪の観測値と、歪計観測点を取り囲む周囲の国土地理院の GPS 連続観測点から計算された値との比較を行った。多くの観測点で、数ヶ月程度の変動として季節変動的な成分が、歪計と GPS 共に認められた。しかしながら、両者の間には必ずしも整合的な対応が見られなかった。その原因として、歪計に含まれる、単純なモデリングでは除去できないドリフト等、観測点固有の起源が考えられる。

1. はじめに

過去 10 年以上にわたり、通常の地震時の破壊 (数十秒) に比べ、地震断層面がゆっくり (数日~数年) とすべる「ゆっくり地震」と呼ばれる地殻変動が多数見つかった (Schwartz and Rokosky, 2007)。一般にこうしたゆっくり地震の検出には、ボアホール歪計 (以下、歪計) や GPS 連続観測網が使われている。歪計による観測では、筐体に収納した歪センサーを地下深くに埋設して地中の歪を観測する。その計測分解能は非常に高く、東海地方から四国で見つかったような、ゆっくり地震に伴う

微小な地殻変動の検出に威力を発揮している (小林ほか, 2006; Itaba *et al.*, 2010)。しかしながら、歪計設置後のドリフトの影響等もあり、地球潮汐など数日程度の比較的短期的な地殻変動現象については検出能力が高いものと考えられているが、それより長い、数週間から数ヶ月以上といったタイムスケールを持つ信号に対する歪計の計測特性がよく分かっていないため、その分解能の高さにも関わらず、現在のところは、数日~1 週間程度のタイムスケールの信号の検出に限定された使われ方に留まっている (小林ほか, 2006)。また、ボアホール歪計による観測は、観測機器の設置した近傍の歪を計測していると考えられているが、これがどの程度の拡がりの歪場を代表しているのか不明な点が多い。

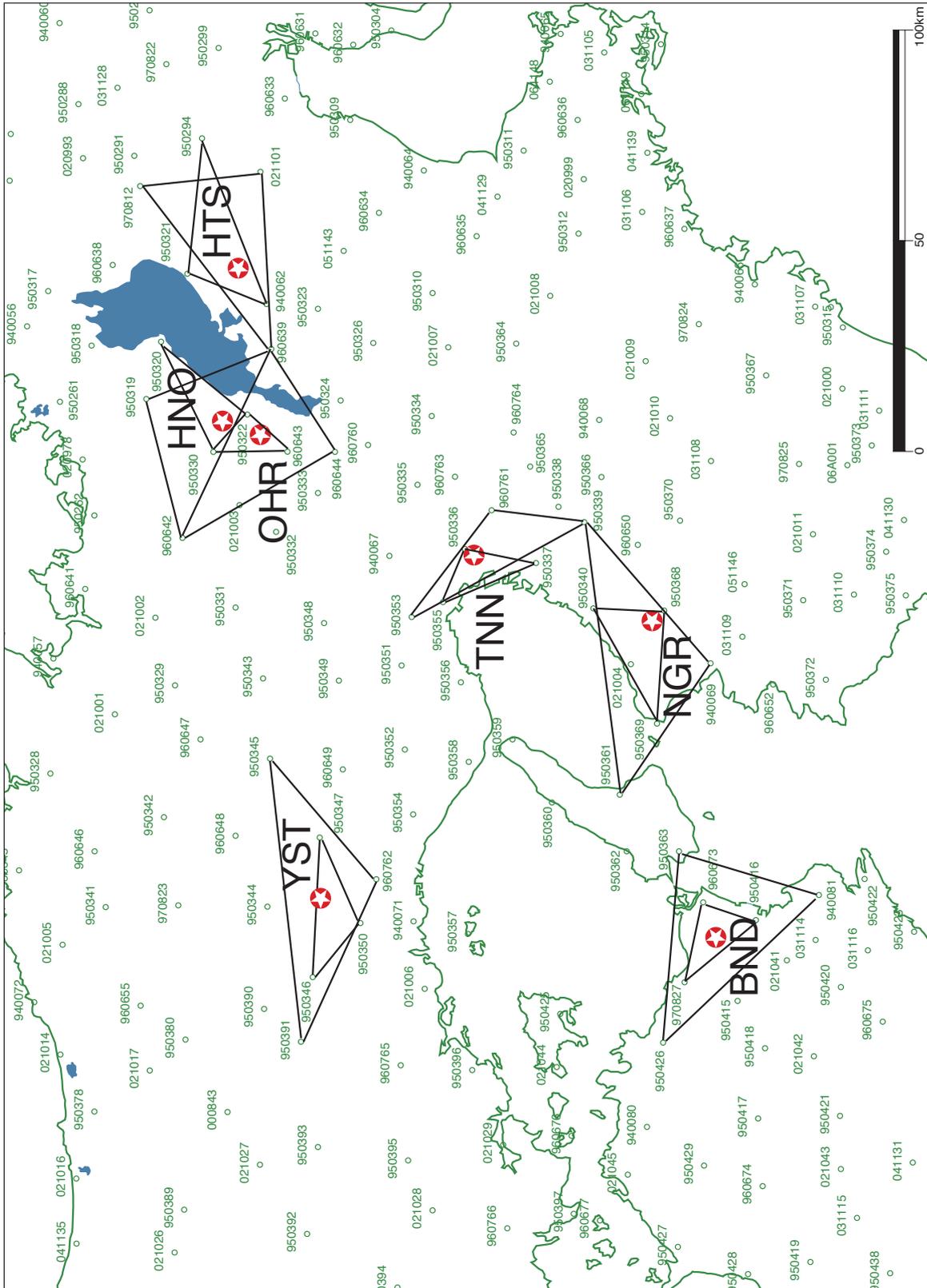
一方 GPS 観測では、衛星から発射された電波を地上に設置した GPS で受信してその変位を測定している。そのため、複数の GPS 観測点から算出される変位場は、その分布に応じた、比較的広域的な地殻変動を反映するものと考えられる (吉川, 2003)。この 15 年の GPS 測地技術の発展、とりわけ、国土地理院によって全国に展開された 1200 点にも及ぶ GPS 連続観測網 (GEONET) によって、地殻変動を連続して高い時空間分解能で捉えられるようになってきた (Sagiya, 2004)。

本報告では、これまで余り系統的な報告がなされていなかった、特に数ヶ月程度のタイムスケールにおける歪

¹ 地質情報研究部門 (AIST, Geological Survey of Japan, Institute of Geology and Geoinformation)

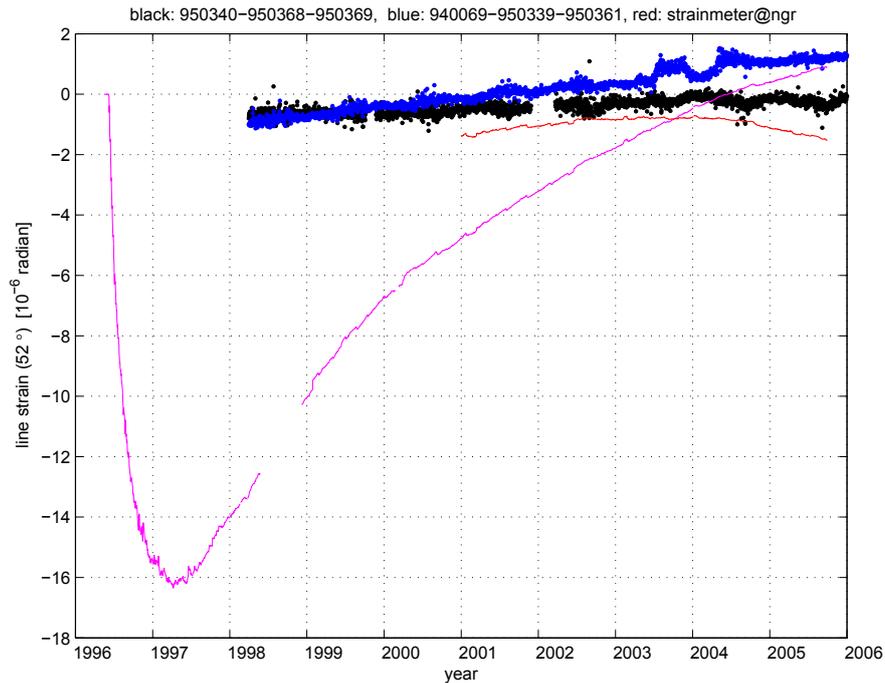
² 活断層・地震研究センター (AIST, Geological Survey of Japan, Active Fault and Earthquake Research Center)

* Corresponding author: R. OHTANI, Central 7, 1-1-1 Higashi, Tsukuba, Ibaraki 305-8567, Japan. Email: ohtani-ryu@aist.go.jp



第1図 産総研の歪観測点及びGEONETのGPS観測点の分布。歪比較に使用した産総研観測点を星印で、比較に用いたGPS観測点を3点を三角形で囲ってある。

Fig. 1 Distribution of AIST strainmeter (stars) and GEONET GPS stations (open circles with triangles) used in the comparison.



第2図 根来での線歪の時系列処理の例. 線歪の方向はN52°E. 黒点がGPS1の, 青点がGPS2の線歪, 紫線がポアホール歪計によるドリフト成分を取り除く前の相対的な計測値, 赤線がドリフト成分(指数関数と直線)をフィットして取り除いた後の相対的な残差線歪.

Fig. 2 An example of pre-processing of line strain time series at the Negoro station. The observation direction of line strain of the strainmeter is N52°E. Black and blue dots are GPS1 and GPS2 line strain, respectively. Purple line shows the strainmeter-measured relative line strain before removing exponential and linear drift components. Red line indicates the relative residual line strain after removing the drift components.

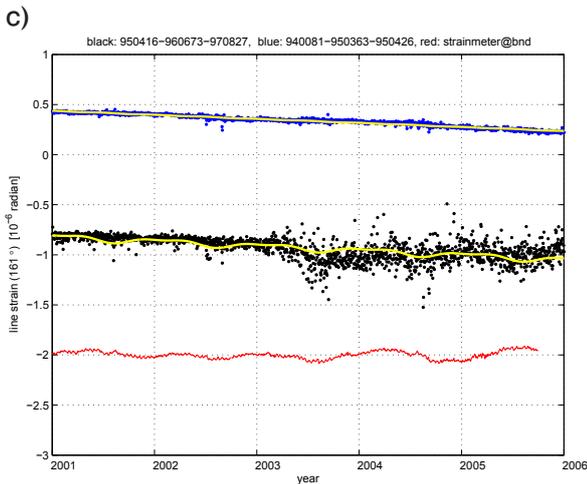
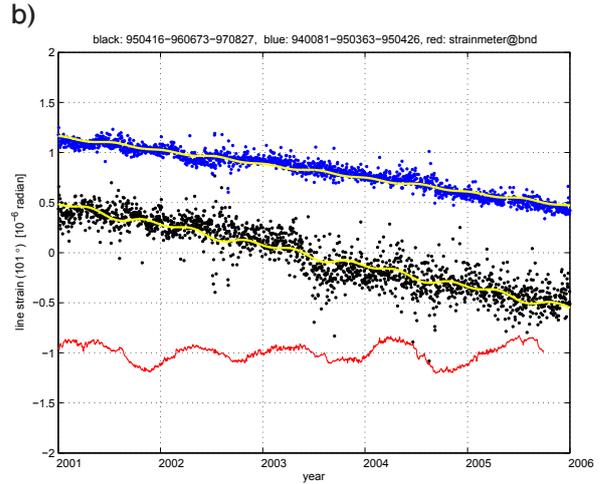
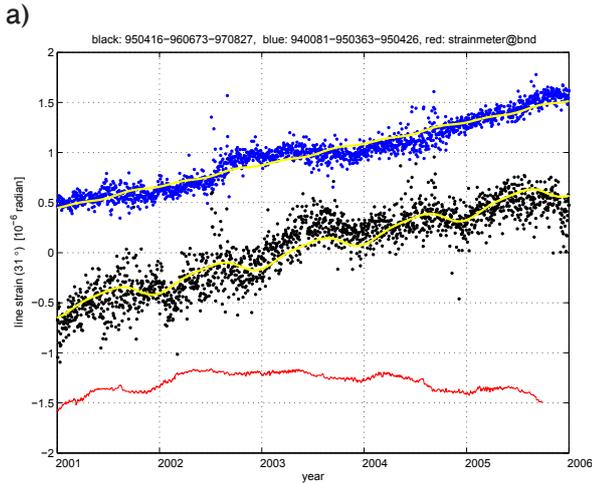
計の特性がどういったものなのかについて記載し, 評価するための調査を行った. 従来, 歪計による計測と, GPSから求められる歪とを比較した例は多くなかった. こうした調査がこれまで余り行われていなかった一因として, 歪計の設置は高価で手間がかかるために展開できる数が少なく, 系統的な調査が難しかったことによる. 例えば, 吉川(2003)は, 東海地方のGEONETのデータから面積歪を求め, 同地域に設置した気象庁の歪計との比較を行った結果, 相関は見られなかったことを報告している. しかしこれは一つの観測点でしか比較を行って

いなく, 系統的な調査としては十分であるとは言えない. そうした中, 産業技術総合研究所(以下, 産総研)では, 阪神大震災以来, 複数の歪計観測点を展開し, 連続観測を継続しており(佃, 1998), 歪計の連続観測網の先駆けとして貴重なデータを蓄積してきた. このデータを使うことで, ある程度の数の観測点で, 比較的長い期間に渡った記録を使って, 歪計とGPSとの比較ができるようになってきた. そこで本報告では, 近畿地方を中心とする産総研の複数の歪計の記録を, 歪計観測点の周囲のGEONET観測点から求められたGPS歪と比較するこ

とで, 特に数ヶ月程度のタイムスケールでの歪計の特性についての情報を得ることを試みた. 同地方では, 1996年以来複数の歪計による観測を継続していることに加え, ゆっくり地震による大きな影響を受けていないため, 間欠的な地殻変動の影響を受けていない平穏時での記録を調べることができるという利点があり, 中長期での歪計の特性を調べるのに適していると考えられる. 本報告ではこうした調査により, 歪計測における基礎的・基盤的な情報を得ることを目的とする.

2. 方法

ポアホール歪計による歪データは, 産業技術総合研究所(2006)による日値の解析結果を使用した(観測点は第1図の★印). このデータは, 毎日午前6時における観測が日値として使われている. 一般に, ポアホール歪計は設置後, 埋設後の緩和による大きなドリフトが顕著である(第2図参照). そこで, 時系列全体に卓越するこうしたドリフトを取り除くために, 産業技術総合研究所(2006)は以下のデータ処理を行っている. まず, 観測開



第3図 a) 板東での線歪の時系列。線歪の方向はN31°E。黒点がGPS1の、青点がGPS2の線歪、黄色線がGPS歪をフィットした結果推定された直線トレンド、年周・半年周成分、及び補正されたステップ成分の和、赤線がドリフト成分を取り除いた後のボアホール歪計による相対的な残差線歪。

第3図 b) 上と同じ、但し方向はN101°E。

第3図 c) 上と同じ、但し方向はN161°E。

Fig. 3a) Line strain time series at the Bando station with the direction of N31°E. Black and blue dots are GPS1 and GPS2 line strain, respectively. Yellow line shows the sum of estimated linear trend, annual and semiannual components, and corrected steps. Red line shows the strainmeter-measured line strain after removing the drift components.

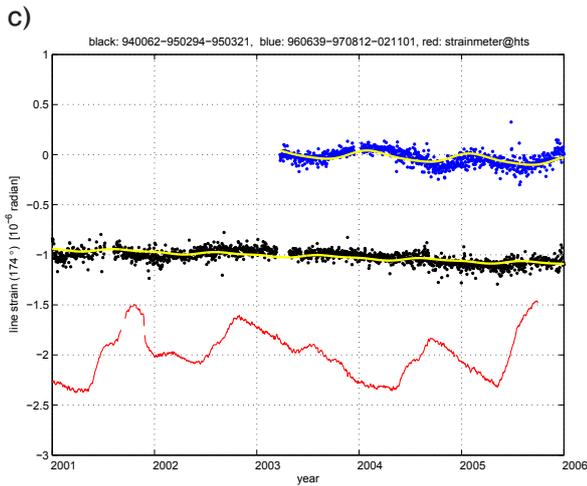
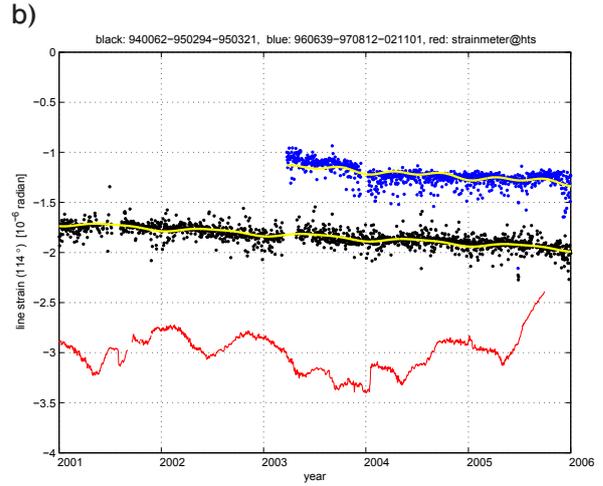
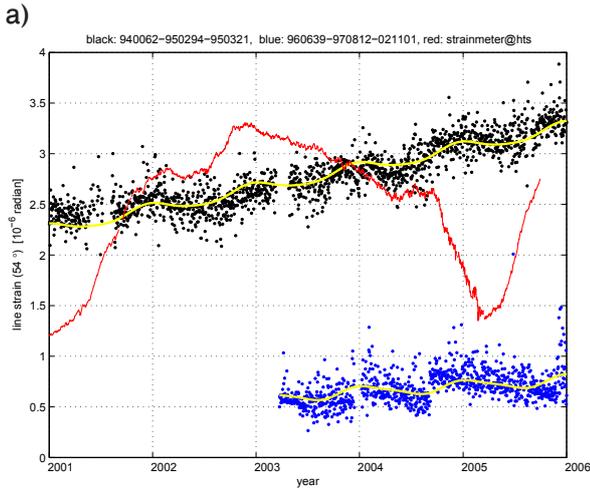
Fig. 3b) Same as above but the direction of N101°E.

Fig. 3c) Same as above but the direction of N161°E.

始直後の急激な変化が落ち着いた後の時系列に対して指数関数をフィッティングし、大きな変動成分を取り除く。しかし指数関数だけでは表しきれないドリフト成分が残るため、これらを取り除くため、更に直線をフィットし、残差時系列が求められる。その際、観測開始直後の初期データには、原因不明の不安定な挙動を示すことがあることが多いため、直線フィットする期間としては、観測開始数年後の、ある程度初期緩和が落ち着いてからのものに限定している。このような処理により、数年といったタイムスケールの信号も同時に取り除かれてしまう恐れがあるが、数ヶ月程度の現象は大きな影響を受けずに保存されると考えられる。第2図は根来観測点での例を示したものである。桃色の線が元々の歪計の日値データ

であり、これに指数関数のフィットと直線フィットをして、残差を計算したものが赤色の線である。GPSから計算された歪は黒丸と青丸の点で示している(後述)。こうして得られた残差時系列の内、数ヶ月程度の変動成分に着目して評価を行った。

GPSによる歪は、GEONETの最新の解析結果であるF3解(中川ほか, 2009)と呼ばれる、24時間の平均的な座標値である日値8年分(1998/4/1 - 2006/3/31)を使用して計算した。まず、F3解の3次元座標から水平面投影成分を計算し、歪計を囲む近傍の3点のGPS点間の地表での基線長を求めた。次に、ある時点での基線長の水平成分を基準として歪値を計算し、主歪計算を行った後、歪計の設置方向に対応する線歪を求めた。今回使用



第4図 a) 秦荘での線歪の時系列. 線歪の方向は N54°E. 黒点が GPS1 の, 青点が GPS2 の線歪, 赤線がドリフト成分を取り除いた後のポアホール歪計による相対的な残差線歪.

第4図 b) 上と同じ, 但し方向は N114°E.

第4図 c) 上と同じ, 但し方向は N174°E.

Fig. 4a) Same as Fig. 3a) but at the Hatasho station with the direction of N54°E.

Fig. 4b) Same as above but the direction of N114°E.

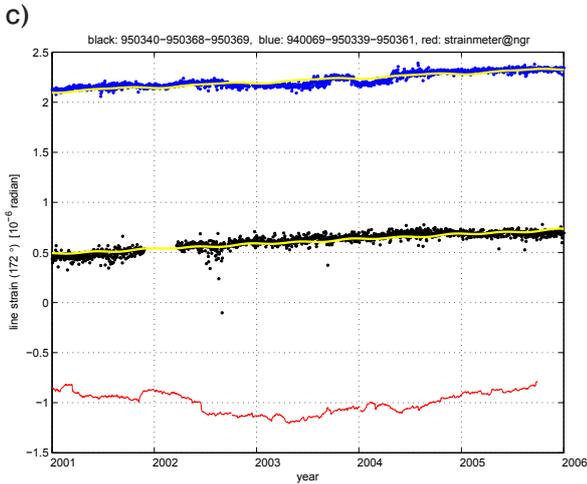
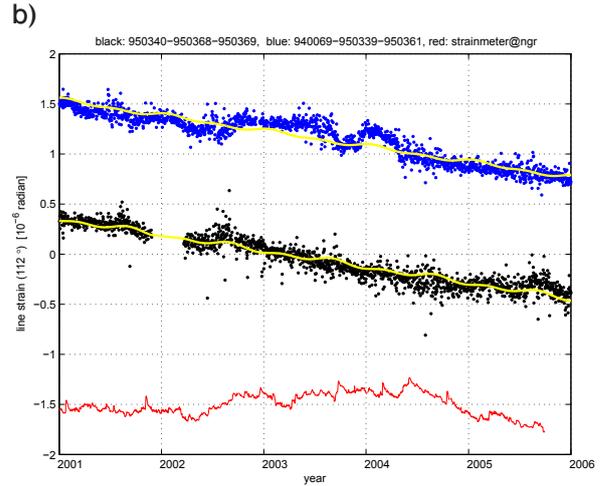
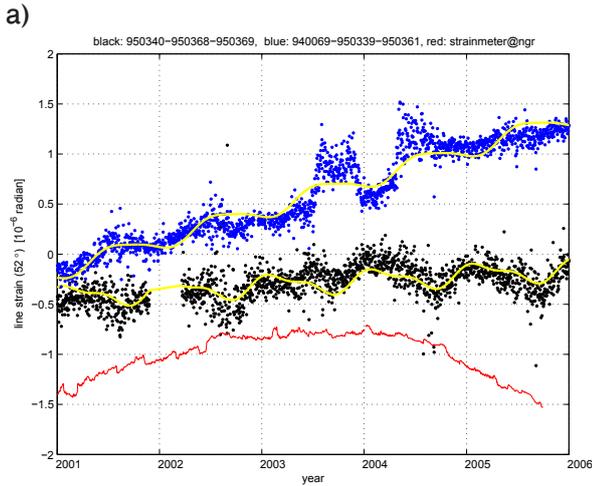
Fig. 4c) Same as above but the direction of N174°E.

する歪計の観測点では三成分を測定しているので, 一つの観測点について, 3つの比較の図ができることになる.

GPSの線歪に含まれている後述するような季節変動成分の傾向を見るために, 直線トレンド成分, 年周・半年周成分を最小自乗法でフィッティングした. その際, GPSデータには, アンテナの交換等による人工的なステップが存在するため, 岩下ほか(2009)の方法にしたがって, ステップ前後の50日以内の10日分のデータのそれぞれの平均の差を求め, その大きさを計算してステップを補正した. こうした補正の上で, 直線トレンド成分, 年周・半年周成分を最小自乗法でフィットしたものを推定した.

これに加え, 歪計による観測値を, 異なる空間スケ-

ルでのGPS歪と比較するために, 歪計の直近のGPS観測点3点のデータを使ったものの他に, 別の観測点3点を使ってもGPS歪を計算した. この3点を選ぶ際, 最初の3点と違う観測点でかつ, 最初の3点をなるべく囲むような位置にあるGPS観測点をできるだけ選んだ(前者の3点の観測点から求めた歪をGPS1, 後者のものをGPS2と本報告では呼ぶ). これにより, 歪計による観測値がどの程度の空間スケールを代表するのか調査した. GPS1はおおよそ一辺が20 km程度の三角形の範囲を, GPS2はそれよりも一回り大きい30~50 km程度の三角形の範囲を覆っている. 使用したGPSの観測点を第1図に示す.



第5図 a) 根来での線歪の時系列。線歪の方向はN52°E。黒点がGPS1の、青点がGPS2の線歪、赤線がドリフト成分を取り除いた後のポアホール歪計による相対的な残差線歪。

第5図 b) 上と同じ、但し方向はN112°E。

第5図 c) 上と同じ、但し方向はN172°E。

Fig. 5a) Same as Fig. 3a) but at the Negoro station with the direction of N52°E.

Fig. 5b) Same as above but the direction of N112°E.

Fig. 5c) Same as above but the direction of N172°E.

3. 結果

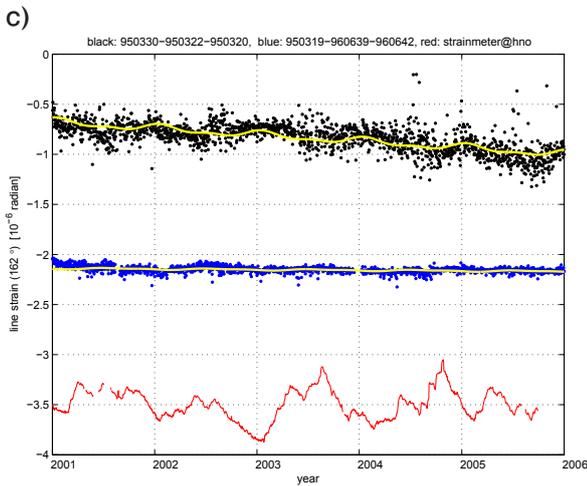
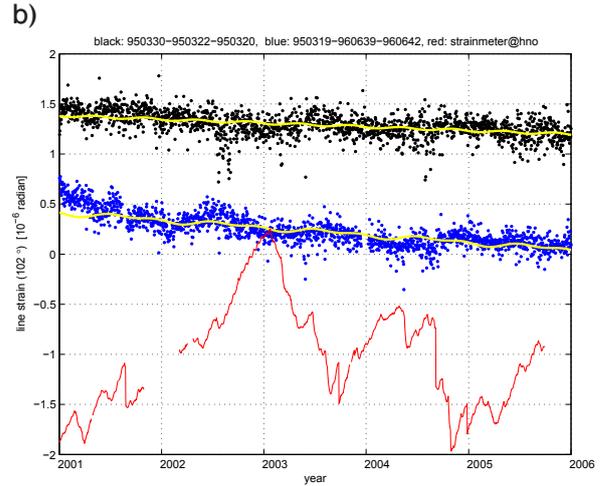
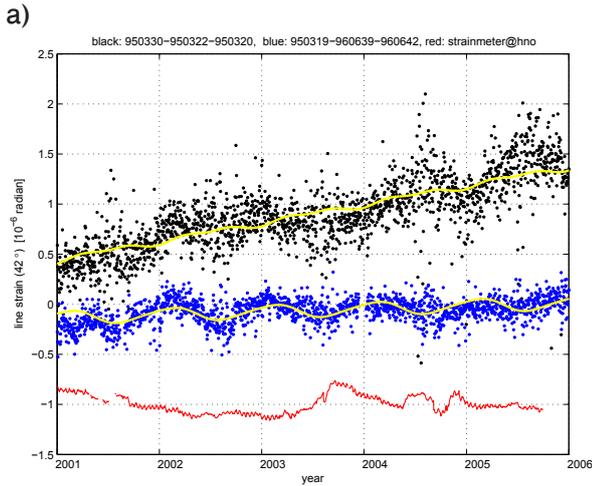
以上から得られた歪の時系列を第3図～第9図に示す。相互に比較ができるよう、スケールは全て同一のものにしてある。

黒点がGPS1、青点がGPS2の線歪、黄色線がそれぞれのGPS歪をフィットした結果推定された直線トレンド、年周・半年周成分、及び補正されたステップ成分の和である。一方赤線は、産業技術総合研究所(2006)による処理が行われた後のポアホール歪計の残差線歪である。それぞれの時系列は見やすいように、適時オフセットを加えた相対的な値である。前述のように、歪計での観測においては観測開始後の初期のデータは不安定であり、指数関数や直線フィットでは大きな変動が取れきれ

ないことから、ここでは比較的初期緩和が安定したと考えられる2001年以降の結果を示してある。

各観測点に見られる変動の特徴を簡単に説明すると、以下ようになる。

○板東(BND, 第3図): 歪計, GPSともに顕著に大きな変動がみられず安定しており、数ヶ月程度のタイムスケールとしては季節変動が認められる。季節変動については、a), c)においてGPS1との位相の対応が良いようにも見え、比較を行った観測点の中では両者の相関が良い観測点である(後述)。なおc)のGPS1では2003年を境に、日値の顕著なばらつきが増大や季節変動の振幅の増大が見られる。丁度この時期に、全国のGEONETの観測点で大規模なアンテナ交換が行われている(国土地理院, 2004)ことから、これはアンテナ交換に伴う観測



第 6 図 a) 花折での線歪の時系列。線歪の方向は N42°E。黒点が GPS1 の、青点が GPS2 の線歪、赤線がドリフト成分を取り除いた後のポアホール歪計による相対的な残差線歪。

第 6 図 b) 上と同じ、但し方向は N102°E。

第 6 図 c) 上と同じ、但し方向は N162°E。

Fig. 6a) Same as Fig. 3a) but at the Hanaore station with the direction of N42°E.

Fig. 6b) Same as above but the direction of N102°E.

Fig. 6c) Same as above but the direction of N162°E.

環境の変化に起因する可能性が高い。

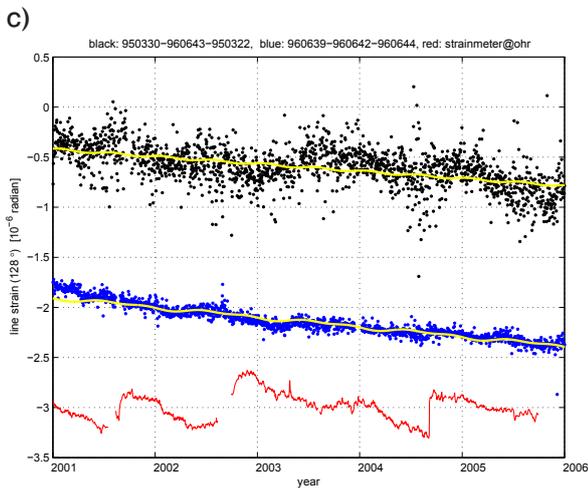
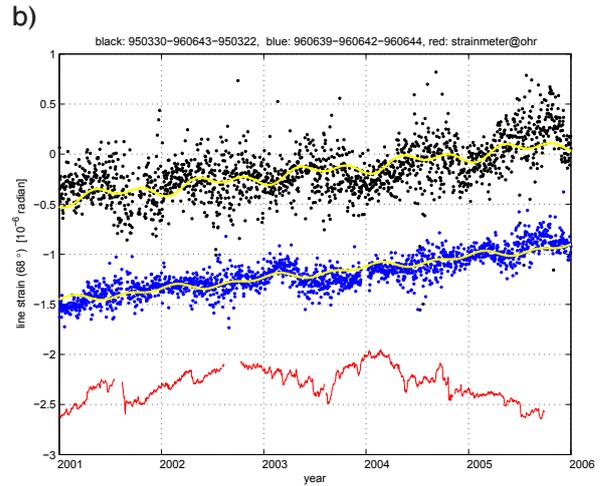
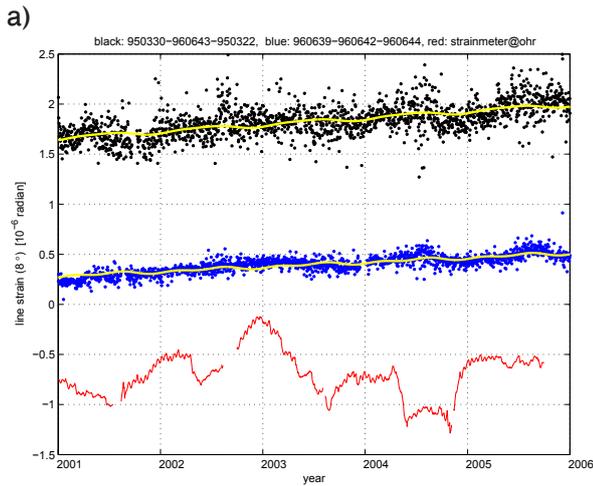
○ 秦荘 (HTS, 第 4 図) : 板東とは違って、歪計による計測の安定性が良くなく、a), b), c) 共に全体的に緩やかではあるが他の観測点と比べて大きな変動を示しており、その上に数ヶ月程度の変動として、季節変動的な成分が乗っているように見える。一方、GPS ではそうした大きな変動は見られなく、GPS 歪との対応は良くない。なお a) の GPS2 について、2004 年後半にステップがあるように見えるが、対応するアンテナ交換の記録がないため、ステップ補正は実施していない。他の成分ではこうしたステップは明瞭でなく、原因は不明である。

○ 根来 (NGR, 第 5 図) : a) にある上向きの凸の変動はドリフトの取れ残りだと考えられる。一見、歪計の測定は比較的安定しているように見えるが、他の観測点で見ら

れる季節変動状の変化がここでは明瞭ではない。これは、時折見られる歪の急激な変化が、季節変動を分かりにくくしていることが原因であると考えられる。しかしながら、このような急変は GPS 歪には見られず、両者の相関はよくない。

○ 花折 (HNO, 第 6 図) : b) では、歪計による計測が安定していない。また、比較的安定しているように見える a) においても、GPS1 に見られる季節変動は歪計の計測値には見られず、両者の対応は良くない。更に c) においては、両者に季節変動が見られるものの、歪計の季節変動の位相と GPS1 とは逆相関を持っているように見え、前者の振幅も後者に比べて有意に大きい等、歪計と GPS の季節変動は整合的な対応が見られない。

○ 大原 (OHR, 第 7 図) : 花折と同様、歪計に 0.5×10^{-6} 程



第7図 a) 大原での線歪の時系列。線歪の方向はN8°E。黒点がGPS1の、青点がGPS2の線歪、赤線がドリフト成分を取り除いた後のボアホール歪計による相対的な残差線歪。

第7図 b) 上と同じ、但し方向はN68°E。

第7図 c) 上と同じ、但し方向はN128°E。

Fig. 7a) Same as Fig. 3a) but at the Ohhara station with the direction of N8°E.

Fig. 7b) Same as above but the direction of N68°E.

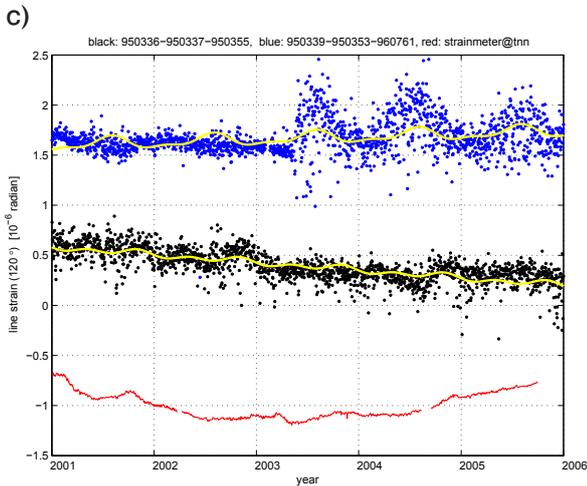
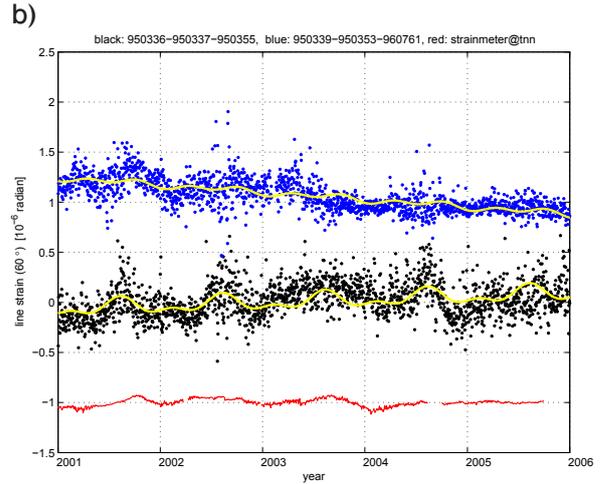
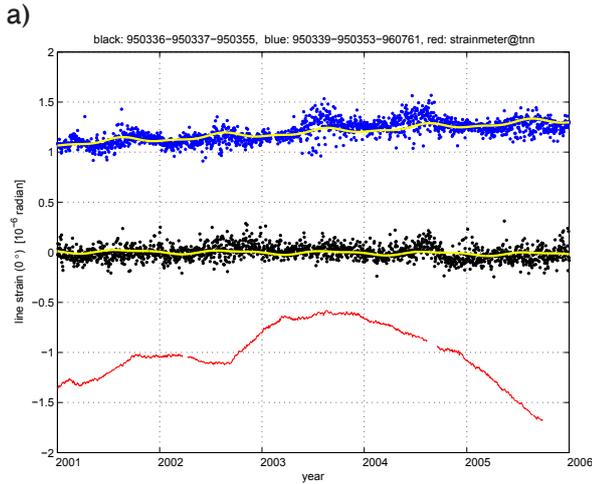
Fig. 7c) Same as above but the direction of N128°E.

度の大きな緩やかな変動が卓越している。それに乗るように、数ヶ月程度のタイムスケールを持つ変動が見られるが、花折とは違い、必ずしも季節変動的な変化とはいえない。b)の2003年前半には、時折2ヶ月程度の繰り返しの明瞭な変動が見られるが、原因は不明である。こうした変化に対応する明確なGPS歪の変動は見られない。

○天王寺(TNN, 第8図): 歪計による計測値は比較的安定しているが、a)やc)のように数年スケールの緩やかな変動が見られる。これは、指数関数と直線近似では取れきれなかったドリフトである可能性がある。そうした緩やかな変動の上に小さいながらも季節変動が見られ、その振幅はGPS1のそれとオーダー的には整合的であり、かつ位相の対応も良いように見える。このことから、歪計とGPSの対応がある程度認められる観測点であると

言える。なお、GPS2が2003年を境に、ノイズや季節変動のパターンに変化が見られるのは、前述のアンテナ交換によるものと考えられる。

○安富(YST, 第9図): 歪計による計測は比較的安定している。2002年6月より、a)、c)に数ヶ月程度の顕著な変動が見られるが、これは山崎断層で生じたと考えられるゆっくり地震に伴う地殻変動を捉えているものと考えられる(北川ほか, 2003; 大谷ほか, 2003; Kitagawa *et al.*, 2006)。しかしながら、GPS歪にはこれに対応する変動は見られない。こうした地殻変動によって擾乱を受けた期間を除くと、歪計には季節変動的な成分が認められる。特にb)においては、歪計とGPS1の季節変動の振幅は同じくらい大きさである。しかし、位相が反転しているようにも見える(後述)。



第 8 図 a) 天王寺での線歪の時系列。線歪の方向は N0°E。黒点が GPS1 の、青点が GPS2 の線歪、赤線がドリフト成分を取り除いた後のポアホール歪計による相対的な残差線歪。

第 8 図 b) 上と同じ、但し方向は N60°E。

第 8 図 c) 上と同じ、但し方向は N120°E。

Fig. 8a) Same as Fig. 3a) but at the Tennoji station with the direction of N0°E.

Fig. 8b) Same as above but the direction of N60°E.

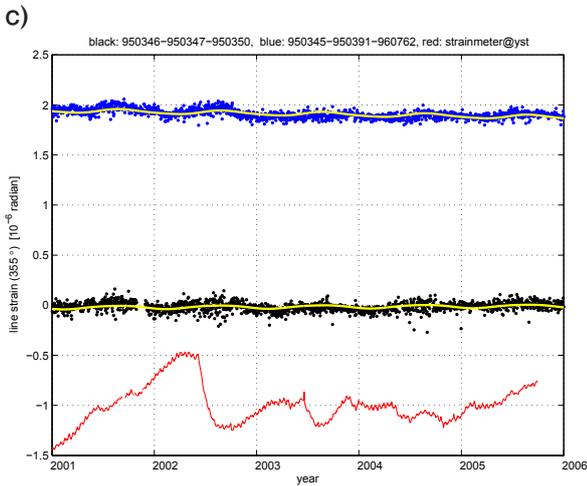
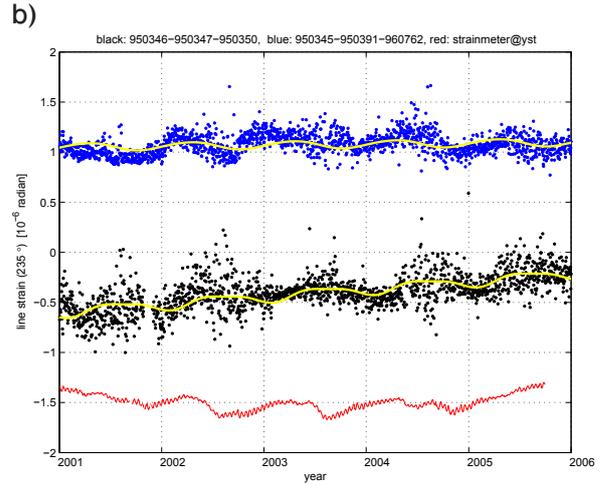
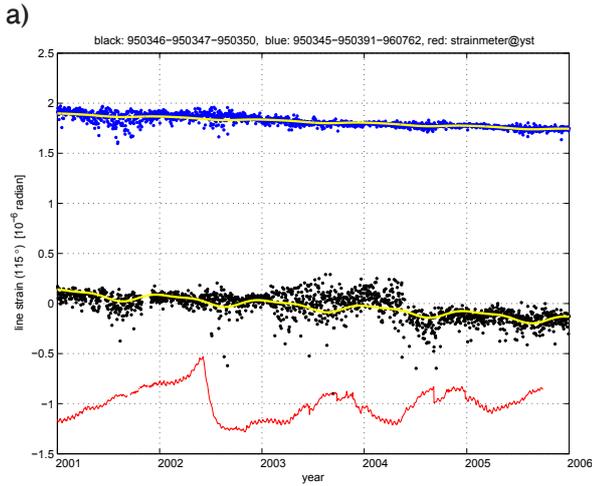
Fig. 8c) Same as above but the direction of N120°E.

4. 考察

全体に共通する特徴として以下のことがあげられる。まず、歪計による計測値(日値)は、GPSの日値のばらつきに比べると格段に小さく、歪計による計測分解能の高さが分かる。一方、歪計では大きな変動が見られるケースがしばしば見られる。即ち、GPSでは経年的な直線トレンドを基準としてそこからのずれた分の変動は、 $0.2 \sim 0.3 \times 10^{-6}$ 程度に収まっているのに対して、歪計の場合は、秦荘(第4図a)や花折(第6図b)のように最大で 2×10^{-6} にも及ぶ大きな変動が見られる。これらは、指数関数や線形では近似しきれなかった、その観測点固有のドリフトの取れきれていない成分を反映していることが考えられる。なお多くの歪計観測点で見られる、約半

月周期の細かいぎざぎざは、13.66日周期のMf分潮や27.32日周期のMm分潮等の地球潮汐の影響であると考えられる。

多くの歪計の記録には、数ヶ月スケールの変動として、季節変動的な成分が認められる。これはGPS歪にも存在する。後者は、黄色線で表されたフィティングの結果から、振幅でおおよそ $0.05 \times 10^{-6} \sim 0.3 \times 10^{-6}$ 程度の範囲に収まっている季節変動であるのに対して、前者はGPSよりも大きな振幅を示すものがあり、かつ季節変動の繰り返しもGPSほど周期的ではない。こうした歪計の季節変動の多くは、GPS1、GPS2の季節変動いずれとの対応もよくなく、両者の相関は低い。その中で、板東(第10回)や安富(第11回)のように比較的歪計の変動が安定している観測点においては、その季節変動の振幅



第9図 a) 安富での線歪の時系列。線歪の方向はN115°E。黒点がGPS1の、青点がGPS2の線歪、赤線がドリフト成分を取り除いた後のボアホール歪計による相対的な残差線歪。

第9図 b) 上と同じ、但し方向はN235°E。

第9図 c) 上と同じ、但し方向はN355°E。

Fig. 9a) Same as Fig. 3a) but at the Yasutomi station with the direction of N115°E.

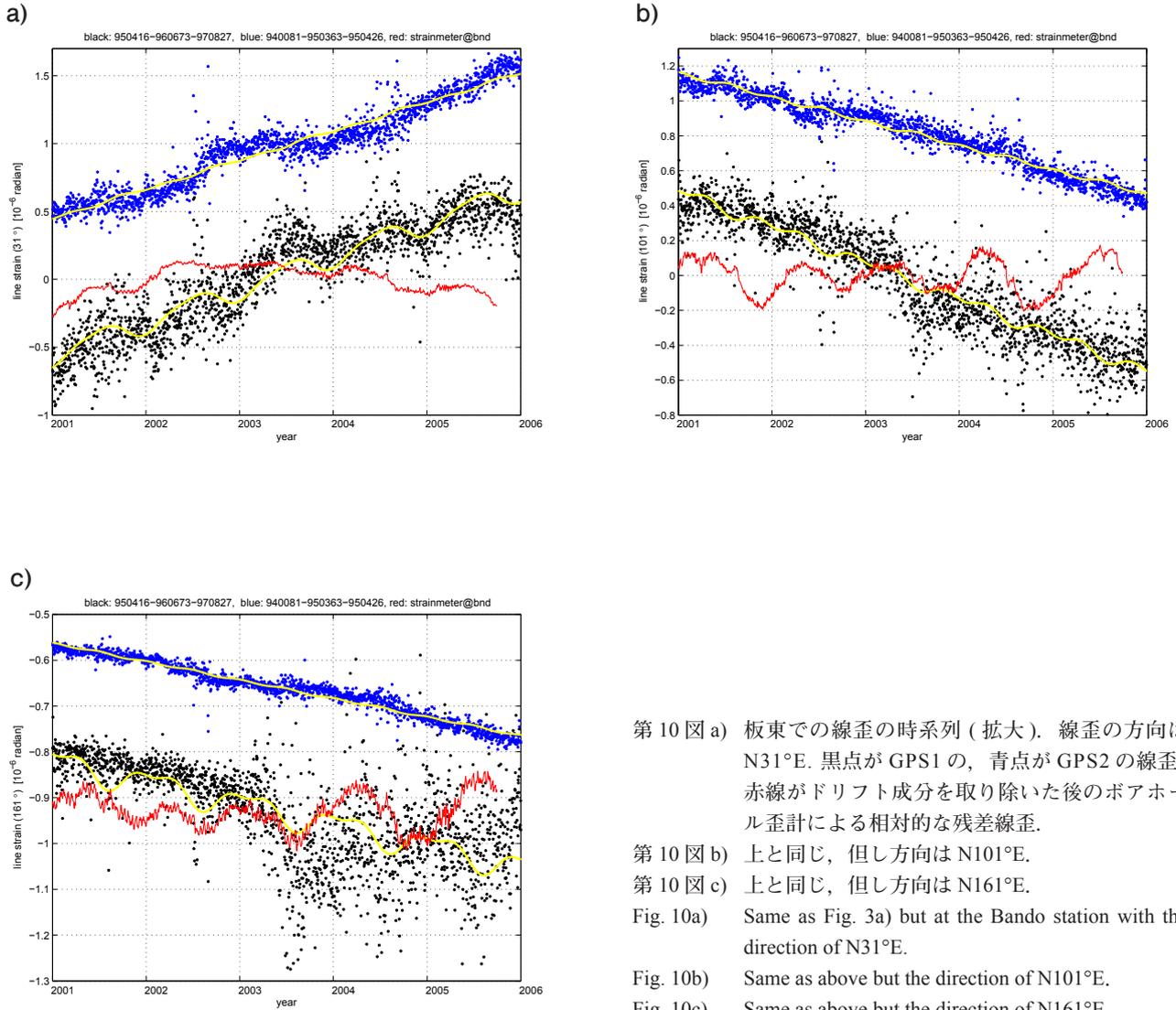
Fig. 9b) Same as above but the direction of N235°E.

Fig. 9c) Same as above but the direction of N355°E.

がGPSのそれと大きくは異なることは注目に値する。即ち、板東では第10図a)、第10図c)の成分で、歪計(赤線)とGPS1との季節成分の振幅(黒点と黄色線)が同じ程度の大きさになっており、位相の相関も前述のGPSアンテナの交換前に当たる期間では比較的良好(第10図)。また安富においても、ゆっくり地震の影響が余り見られない歪計の成分では、季節変動の振幅はGPS1のそれとほぼ同じような大きさになっている(第11図b))。即ち、こうした観測点の成分では一方が一方に対して極端に大きくなく、歪計、GPSともに最大でも全振幅で 0.2×10^{-6} 程度の大きさに収まっている。しかしながら、板東のもう一つの成分(第10図b))では季節変動の大きさは異なり、位相も対応しているようには見えない。また安富においても、他の成分では季節変動の振幅は両者

で異なり、また位相は全ての成分でむしろ逆相関しているようにも見え、両者に良い対応があるとは言い難い。

これらのことから、少なくとも解析に使用した7点の歪計からは、数ヶ月スケールの地殻変動を捉えることは現状では困難であると結論づけられる。特に、相互に離れた7点もの異なる観測点での比較において、歪計による変動とGPS歪との相関が良いケースがほとんど無かったことは、歪計による計測が、観測点固有のローカルな影響(例えばセンサー周辺の間隙水圧変化や、歪計設置時のセメンティングによる岩盤とのカップリングの状態等)を強く受けていることを示唆する。こうした影響は、単純な指数関数や直線のフィッティングでは十分に取り除けないと考えられるため、歪計によって数ヶ月程度のタイムスケールを持つ地殻変動による信号を分離すること



第 10 図 a) 板東での線歪の時系列 (拡大). 線歪の方向は N31°E. 黒点が GPS1 の, 青点が GPS2 の線歪, 赤線がドリフト成分を取り除いた後のポアホール歪計による相対的な残差線歪.

第 10 図 b) 上と同じ, 但し方向は N101°E.

第 10 図 c) 上と同じ, 但し方向は N161°E.

Fig. 10a) Same as Fig. 3a) but at the Bando station with the direction of N31°E.

Fig. 10b) Same as above but the direction of N101°E.

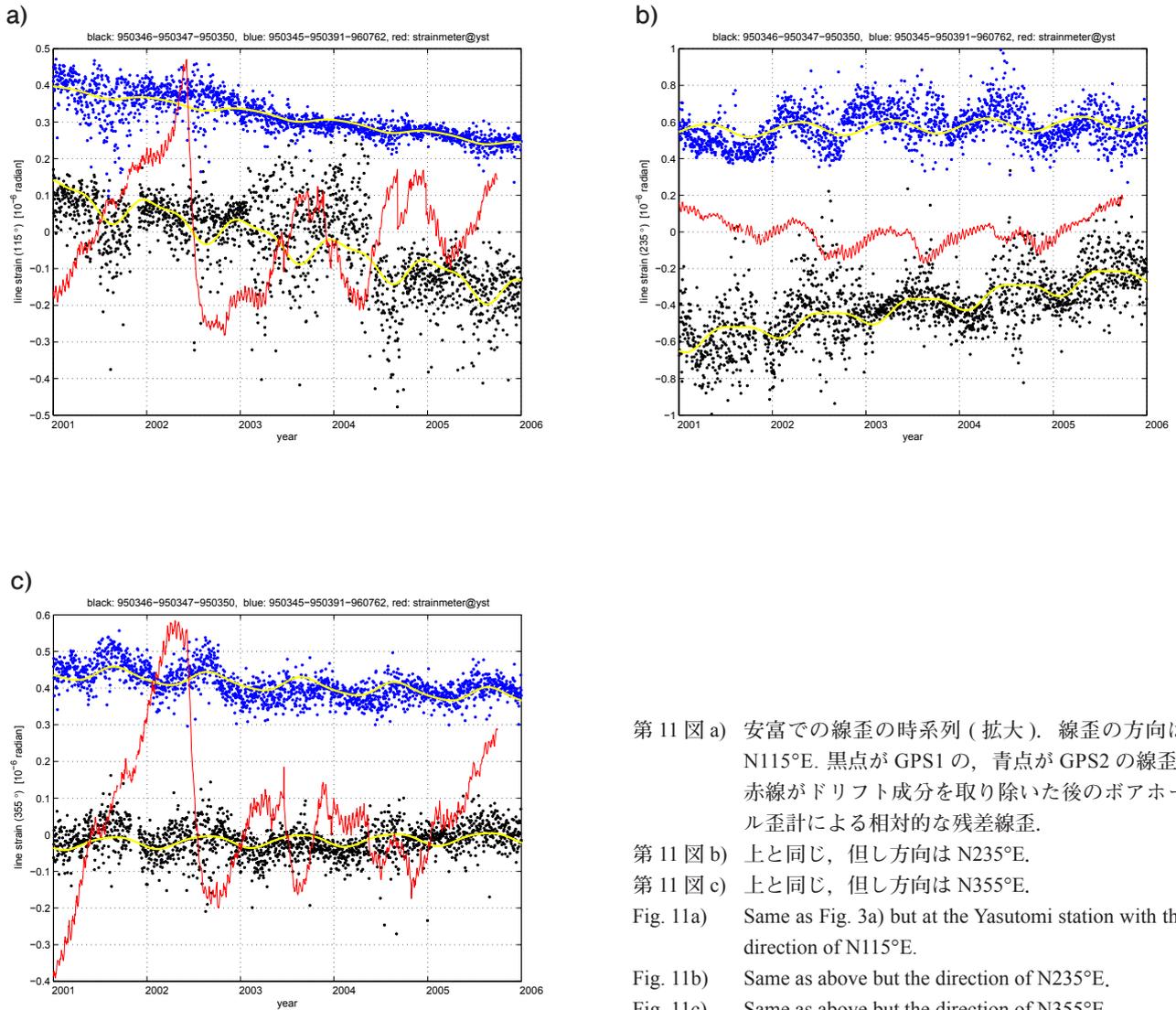
Fig. 10c) Same as above but the direction of N161°E.

は現状の方法では困難である.

今後, 歪計データを用いた数ヶ月スケールの地殻変動検出のためには, こうしたノイズの低減が必要である. これまで見て来たように, 時間的に単調に変化する初期緩和のドリフトとは別に, 数年 (天王寺) から 2 ヶ月 (大原) までの様々なタイムスケールで変動するような成分が見つかった. また, 今回天王寺などでも見られたように, 時間的に単調に変化する初期緩和とは別なドリフトが存在している可能性も示唆される. 今後真の地殻変動を抽出するためには, こうした変動の要因の特定や誤差を補正する技術を開発していくとともに, そもそも歪計設置時に, ローカルな影響を受けないような工夫が不可欠である.

パイロット事業的な性格のあった, 近畿地方の歪計の

連続観測網におけるこうした結果を踏まえ, 産総研では 2007 年から, 南海~東南海地域の周辺に新たな歪観測点を設置しており, 現在までに 14 点で観測を開始している. これらの観測網では, より情報量の多い, 水平 4 成分や上下方向の線歪を測定できるポアホール歪計を始め, 異なる深度での地下水位観測や地震観測等も同時に行っている (小泉ほか, 2009). またローカルな影響を極力排除するために, 歪計の設置位置 (深度) についてクラックが少ない場所を注意深く選定した上で, センサー周辺の水みちを塞いで間隙水圧変化による影響を受けにくくしたり, 計器と岩盤とのカップリングをよくするためのセメント配合比の選定等, 多くの改良を施しており, 従来傾斜計ではその存在を確認出来なかった, 奈良県南部におけるゆっくり地震の複数観測点での検出に成功す



第 11 図 a) 安富での線歪の時系列 (拡大). 線歪の方向は N115°E. 黒点が GPS1 の, 青点が GPS2 の線歪, 赤線がドリフト成分を取り除いた後のボアホール歪計による相対的な残差線歪.

第 11 図 b) 上と同じ, 但し方向は N235°E.

第 11 図 c) 上と同じ, 但し方向は N355°E.

Fig. 11a) Same as Fig. 3a) but at the Yasutomi station with the direction of N115°E.

Fig. 11b) Same as above but the direction of N235°E.

Fig. 11c) Same as above but the direction of N355°E.

る (Itaba *et al.*, 2010) 等, 高い観測性能を示している. これらの地域では GEONET の GPS 観測点も充実しており, 地下水変動の影響や地殻変動との関係を調べる絶好のデータが得られることが期待される. 今後, 設置後の初期緩和が落ち着いた後, こうしたデータを使って, 地下水等による誤差の影響等も評価しつつ, ボアホール歪に見られる変動の総合的な要因調査を行うことが必要である.

謝辞: 歪計観測点の整備では産総研, 地方自治体を始め多くの関係者の協力を得ています. また, 活断層・地震研究センターの北川有一氏・高橋誠氏・小泉尚嗣氏, 地質情報研究部門の佐藤努氏の貢献なくしては, 本論は完成することはありませんでした. ここに記して深く感謝します.

文 献

Itaba, S., N. Koizumi, N. Matsumoto, and R. Ohtani (2010) Continuous Observation of Groundwater and Crustal Deformation for Forecasting Tonankai and Nankai Earthquakes in Japan, *Pure Appli. Geophys.*, **167**, 1105-1114.

岩下知真子・梅沢武・川元智司・野神憩・畑中雄樹・石倉信広 (2009) GPS 連続観測システム (GEONET) 解析結果に生じる人為的要因によるオフセットの補正手法について, 国土地理院時報, **118**, 23-30.

北川有一・小泉尚嗣・大谷竜・渡辺邦彦・板場智史 (2003) 山崎断層沿いの産業技術総合研究所安富観測点で観測された顕著な地殻歪変化, 地震 2, **56**, 245-254.

- Kitagawa, Y., N. Koizumi, R. Ohtani, K. Watanabe, and S. Itaba (2006) Detection of aseismic slip on an inland fault by crustal movement and groundwater observations: A case study on the Yamasaki fault, Japan, *Pure Appl. Geophys.*, **163**, 657-673.
- 小林昭夫・山本剛靖・中村浩二・木村一洋 (2006) 歪計により観測された東海地域の短期的スロースリップ (1984～2005年), *地震*, **59**, 19-27.
- 小泉尚嗣・高橋誠・松本則夫・佐藤努・大谷竜・北川有一・板場智史・梅田康弘・武田直人・重松紀生・桑原保人・佐藤隆司・今西和俊・木口努・関陽児・塚本斉・山口和雄・加野直巳・住田達哉, 風早康平・高橋正明・高橋浩・森川徳敏・角井朝昭・下司信夫・中島隆・中江訓・大坪誠・及川輝樹・干野真 (2009) 東南海・南海地震予測のための地下水等総合観測点整備について, *地質ニュース*, **662**, 6-10.
- 国土地理院 (2004) 電子基準点 1,200 点の全国整備について, *国土地理院時報*, **103**, 2-51.
- 中川弘之・豊福隆史・小谷京湖・宮原伐折羅・岩下知真子・川元智司・畑中雄樹・宗包浩志・石本正芳・湯通堂亨・石倉信広・菅原安宏 (2009) GPS 連続観測システム (GEONET) の新しい解析戦略 (第 4 版) によるルーチン解析システムの構築について, *国土地理院時報*, **118**, 1-8.
- 大谷竜・北川有一・小泉尚嗣・高橋誠・松本則夫 (2003) ボアホール歪計で観測された非定常的变化の GPS による検証: 産業技術総合研究所地質調査総合センター安富観測点での事例, *地質調査研究報告*, **54**, 213-220.
- Schwartz, S., and J. Rokosky (2007) Slow slip events and seismic tremor at circum-Pacific subduction zones, *Reviews of Geophysics*, **45**(3), doi:10.1029/2006RG000208.
- Sagiya, T. (2004) A decade of GEONET: 1994-2003—The continuous GPS observation in Japan and its impact on earthquake studies—, *Earth Planets Space*, **56**, pp. xxix-xli.
- 産業技術総合研究所 (2006) 産総研のボアホール歪計による近畿地方の地殻歪観測結果 (1997 年 1 月～2005 年 9 月), *地震予知研究連絡会報*, **75**, 487-494.
- 佃栄吉 (1998) 変動解析研究室の現在の研究内容と今後の展望, *地質ニュース*, **523**, 29-34.
- 吉川澄夫 (2003) 歪変化に見られる東海スロースリップの影響, *月刊地球号外*, **41**, 35-41.
- (受付: 2011 年 10 月 11 日; 受理: 2012 年 7 月 25 日)

エアロゾルにより輸送された放射性核種の観測 (2011) —福島第一原子力発電所事故に関連して—

金井 豊

Yutaka Kanai (2012) Observation of radionuclides transported with aerosols at the GSJ in 2011: in relation to the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant accident. *Bull. Geol. Surv. Japan*, vol. 63(3/4), p. 107-118, 10 figs, 1 table.

Abstract: In order to obtain the geochemical knowledge of material cycle as a tracer and to contribute the safety of inhabitant, the aerosol observation data at the GSJ from the end of March to December 2011 were discussed after the establishment of observation and quantification methods for artificial radionuclides.

The detector efficiency was obtained by the standard ore radiation source and the sum effect of Cs-134 was corrected by using of Cs-134/Cs-137 activity ratio. Most of the artificial radionuclides except Cs-134 and Cs-137 in aerosol became below the detection limit at the end of June. The observed concentrations are estimated to be harmless to health. The meteorological effect on Cs-137 concentration such as rainfall and wind direction was not so clearly shown, partly because the time resolution of observation was low and the long time elapsed after the accident.

Keywords: artificial radionuclides, aerosol, Cs-134, Cs-137, Pb-210, Be-7, Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant accident, Geological Survey of Japan, 2011

要 旨

物質循環のトレーサーとしての地球科学的知見を得ると同時に地域住民の不安感の払拭にも貢献するため、人工放射性核種の観測・定量手法を検討し、福島第一原子力発電所事故後のエアロゾル観測を行い、2011年3月末から12月までの観測データを検討した。

鉱石等の標準線源試料を用いて検出効率を求め、カスケード崩壊するCs-134の定量にはCs-134 / Cs-137比の変化からサム効果の補正法を確立した。3月末のエアロゾル観測開始時から検出された種々の人工放射性核種は、Cs-134とCs-137を除いて6月末にはほとんどが検出限界以下となった。観測期間中の放射性核種の濃度は、いずれも健康を害するレベルではなかった。観測の時間分解能が低いことや事故後の時間が経過していたことから、エアロゾル中のCs-137濃度に対する気象の影響は不明瞭ながらも、サンプリング期間中の雨量や風向が影響している傾向が認められた。

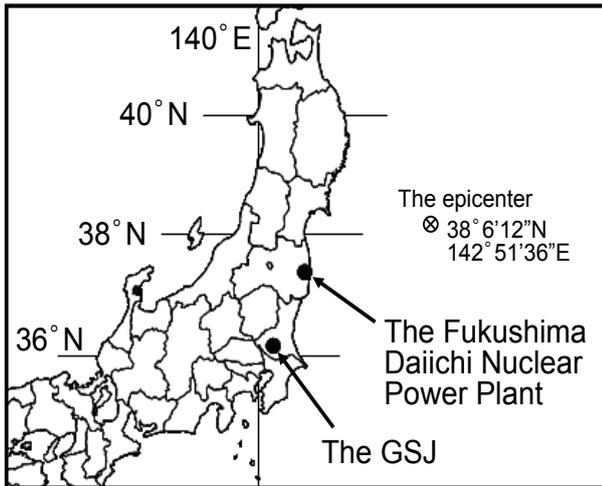
1. はじめに

土壌や湖底の堆積物を構成する要素として大気降下物

があり、また、底質では更に河川を經由する後背地からの二次的供給物がある。湖底に溜まった堆積物などはこうした過去の大気環境や後背地における環境履歴を反映するものとして、良い研究対象となっている。また、大気中のエアロゾルは、現在においても様々な物質の移動・循環の一端を担っており、非常に興味深い対象の一つである。このため、著者らはこれまでに中国大陸を含む東アジア地域における風送ダストの現状把握と地球環境への影響評価等の地球化学的研究を行ってきた(金井, 2001; 上岡・金井, 2002; Kanai *et al.*, 2005; Ohta *et al.*, 2005)。

また、環境中には様々な放射性核種が存在しているが、天然放射性核種の鉛-210 (Pb-210) や人工放射性核種のセシウム-137 (Cs-137) などは大気循環のトレーサー利用の他に堆積速度の算出に有用な核種であり、これまでも多くの研究者により堆積年代学に利用されてきた (Krishnaswami *et al.*, 1971; Koide *et al.*, 1972; Appleby and Oldfield, 1978; 金井ほか, 1995; 1997; 2002; Cochran *et al.*, 1998)。これらは、大気からの降下物として地表面や堆積物中に移動・蓄積したものである。

一方、2011年3月11日に発生した宮城県沖を震源地とする東北地方太平洋沖地震 (M 9.0) とその後におそ



第1図 試料採取地点 (the GSJ) と福島第一原子力発電所の位置関係。

Fig. 1 Location map of sampling station (the GSJ) and the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant.

た大津波は、東日本の各地に大災害をもたらした。中でも東京電力(株)福島第一原子力発電所においては、非常用電源の全喪失によって原子炉の冷却機能が失われ、その後格納容器からのベント、水素爆発、圧力抑制プールの損傷などにより、大気中にヨウ素-131 (I-131) や Cs-137 などの大量の放射性核種が放出され、建造物の倒壊等とは異なる別の大災害となった。更に、建屋の高濃度汚染水が亀裂を通じて海洋に流出し、また、集中廃棄物処理施設にあった低レベル放射能汚染水等を海洋に放出したことなどにより海洋中にも大量の放射性核種が放出され、以前に比べ環境中の放射能レベルはかなり増大した。

産業技術総合研究所地質調査総合センター第7事業所においても震災による被害を受け、施設や実験機器の被害などが生じた。また、当所は福島第一原子力発電所から南南西方向に約170 km 離れているが(第1図)、極微量放射性核種の測定装置においては、原発事故に起因する放射性核種による汚染が観測され、装置の除染作業がなされた(金井・斎藤, 2011a)。

著者らは、環境中の放射性核種の動態を解明する研究の一環として、また、堆積物の構成物質として風送ダストの環境中での動態・影響を明らかにするため、これまでも風送ダストの研究を行い、エアロゾル中の鉛-210 について報告もしたが(Kanai and Yanagisawa, 2002 ; Kotani *et al.*, 2012), 人工放射性核種を中心とした研究は行っていない。しかし、事故後の放射性核種のモニタリングは、地域住民の放射線被ばくに対する不安感を払拭するのに寄与するばかりでなく、万が一の場合の線量評価にも貢献する。また、地球科学的にも大気による物質移動や堆積物への物質移動のトレーサーとして有用であ

るため、新たに人工放射性核種の定量をめざした観測・定量手法を検討し、事故後20日経過した3月末から大気中のエアロゾルの放射性核種の観測を開始した(金井, 2012 ; Kanai, 2012)。本研究では、手法の確立と観測結果について検討した事項を報告する。

2. 試料と実験装置

2.1 試料採取

試料採取は、風送ダストの研究(金井, 2001 ; Kanai *et al.*, 2005)で使用した装置を利用して行った。産業技術総合研究所地質調査総合センター第7事業所C-8棟の屋上(地上14 m, 第1図参照)に設置されたハイボリュームエアサンプラー(HV-1000F, Shibata Scientific Co., Ltd.)に、ポリフロンフィルター(PF040, Advantec Co., Ltd., 約25 cm × 20 cm × 0.95 mm 厚)を取り付けて、毎分1000 lの吸引速度で空気中のエアロゾルを採取した。原発事故の緊急時における試料採取では活性炭のフィルターを併用するが(文部科学省, 1992a), 本研究ではガス状ではなくエアロゾルを研究対象としたため、活性炭フィルターは使用していない。使用したポリフロンフィルターは、0.3 μm 粒子に対する捕集効率は95%とされている(Advantec, 2001)。

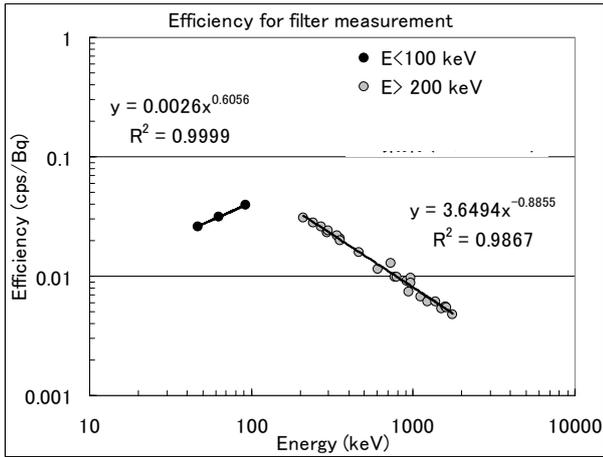
試料採取時間は、初期は6時間程度であったが、その後は3-4日、状況に応じて7日以上に及ぶこともあった。各試料の採取開始時間・終了時間・採取空気量は第1表に示してある。エアロゾルを採取したフィルターは、1/16のサイズに折りたたみ、ポリエチレン袋に封入し、更にポリエチレン容器に入れて測定用試料とした。

2.2 測定装置

放射能測定装置には、井戸型Ge半導体検出器(GWL-120-16-LB-AWT-HJ-S, SEIKO EG&G ORTEC)を備えたMCA7600システムを使用した(金井・斎藤, 2011a, b)。測定は、Ge検出器の上に試料を入れたポリエチレン容器を載せて、おおむね1日間計測した。放射性核種の濃度の定量には、得られたスペクトルを「ガンマスタジオ」ソフトウェア(DS-P240/W32, SEIKO EG&G)を使用して解析し、崩壊補正してサンプリングの開始時間における核種濃度として求めた。

2.3 標準線源試料

ガンマ線スペクトルから核種を定量するには検出効率が必要であるが、これまでは鉱石や環境標準試料から自作した標準線源試料との放射線強度の比較で定量してきた(金井, 1993 ; 金井ほか, 1995, 1997 ; 金井・斎藤, 2011a)。しかし、本研究で対象とする人工放射性核種は天然試料には存在せず、比較法では定量できない。そこで、人工放射性核種まで拡張するために検出効率-エネ



第2図 ウラン・トリウム鉱石から調製した標準線源試料を用いて作成した検出効率-エネルギーの関係曲線。

Fig. 2 Correlation curve between detection efficiency and gamma energy obtained by standard sources made of U and Th ores.

ルギーの関係曲線を作成して、求める核種の検出効率を算出した (金井, 2012)。

検出効率を算出するための標準線源試料は、一般には人工放射性核種の線源を使用するが (文部科学省, 1992b), 著者らはこれまでウラン鉱石やトリウム鉱石を利用していた経験から、これらを用いて自作した。NBL (New Brunswick Laboratory) の標準試料である analyzed sample No.79 (1% Th 鉱石) や counter calibration sample (1% U 鉱石) から新たに測定試料と形状を同じにした標準線源試料を調製した。ウラン系列では娘核種間で放射平衡になっていることが必要であるが、系列途中で気体のラドン (Rn-222) があるので、counter calibration sample (1% U 鉱石) を SiO₂ と 5% Fe₂O₃ で希釈した 0.5% U の粉末 1 g を、気体が逃げないようにポリビニールアルコール (液状糊) で練ってフィルターに塗りつけ固定した。それを試料同様に 1/16 のサイズに折りたたんでポリエチレン袋に封入し、更にポリエチレン容器に入れて標準線源試料とした。

3. 結果と考察

3.1 自作標準線源試料による検出効率の決定

ある核種 i のガンマ線スペクトルにおけるピークの放射線強度 B_i (Bq / g) は、ピーク強度 P_i (cps / g) と装置の検出効率 ϵ_i 、種々の補正項 f_i とで次式のように表される。

$$B_i = P_i / (\epsilon_i \cdot f_i) \quad \text{式 (1)}$$

検出効率 ϵ_i は試料と検出器との幾何学的配置やエネルギーに依存する係数であり、補正項 f_i は試料の自己吸収

や空気・容器等による吸収・散乱, サム効果等, 様々な要因の補正項である。標準線源試料でも同じであるから、それに s をつけて示すと、

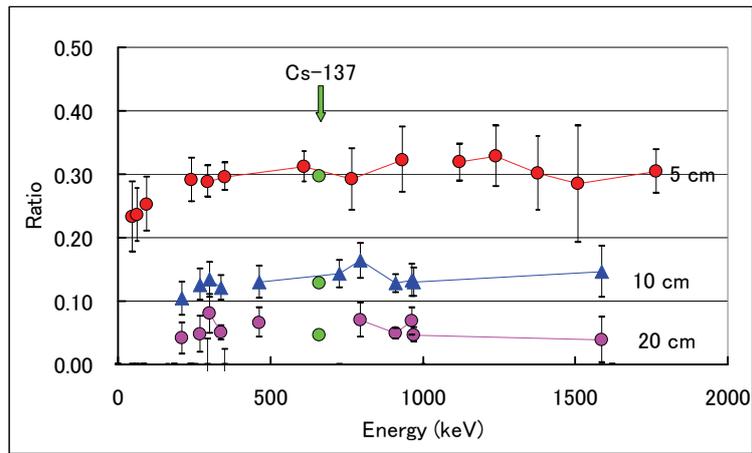
$$B_i = B_{s_i} \cdot (P_i / P_{s_i}) / [(\epsilon_i / \epsilon_{s_i}) \cdot (f_i / f_{s_i})] \quad \text{式 (2)}$$

となる。標準線源試料と試料とを同様な形態で計測すれば補正項 f_i , f_{s_i} の影響はなくなり、更に測定対象とする核種のピークが同じであれば検出効率 ϵ_i , ϵ_{s_i} も同じであるので、標準線源試料と試料との強度の比 (P_i / P_{s_i}) から式 (2) を用いて未知試料の濃度が定量できる。これまではその手法で定量を行ってきた (金井, 1993; 金井ほか, 1995, 1997; 金井・齋藤, 2011a)。しかし、測定対象とする核種の標準線源試料がない場合には P_{s_i} がないので式 (2) を利用できず、検出効率 ϵ_i のエネルギー依存性から ϵ_i を求め (実際には補正項を含む ($\epsilon_i \cdot f_i$))、真の放射線強度 B_i (Bq / g) を式 (1) から算出する。

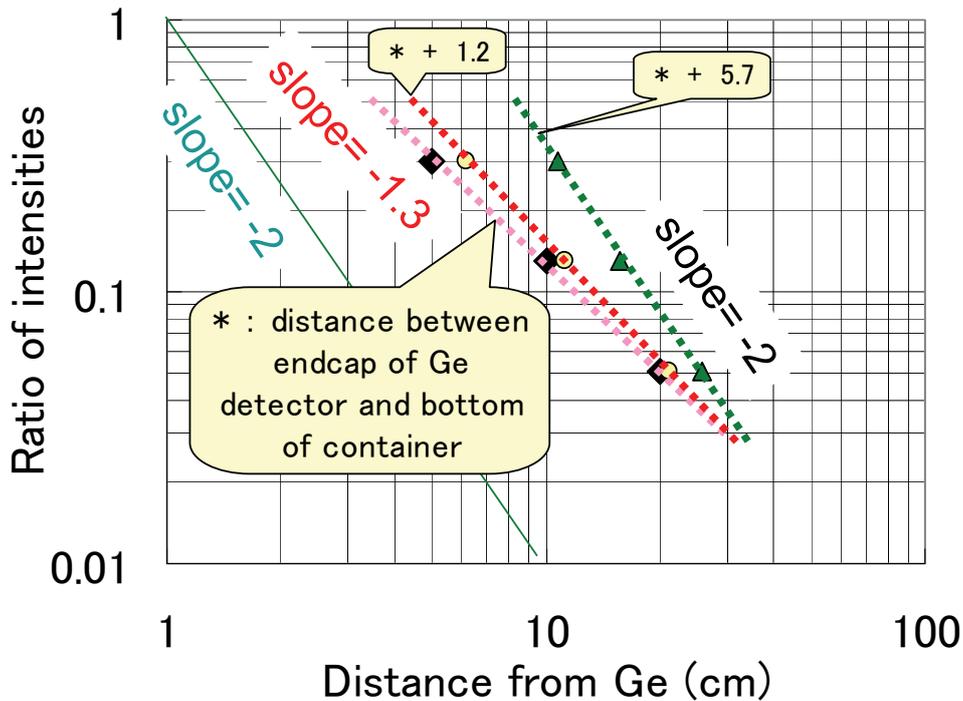
ウラン・トリウム鉱石から調製した標準線源試料を用いて作成した検出効率-エネルギーの関係曲線を、第2図に示した。ピーク強度の算出には、ウラン系列の Pb-210 (46.5 keV), Th-234 (63.29 keV, 92.8 keV), Pb-214 (241.92 keV, 295.22 keV, 351.99 keV), Bi-214 (609.31 keV, 768.36 keV, 934.06 keV, 1120.29 keV, 1238.11 keV, 1377.67 keV, 1509.23 keV, 1764.5 keV) やトリウム系列の Ac-228 (209.5 keV, 270.2 keV, 338.7 keV, 463.3 keV, 795 keV, 911.2 keV, 964.4 keV, 968.8 keV, 1588.3 keV), Pb-212 (300.11 keV), Bi-212 (727.27 keV, 1620.62 keV) 等のピークを使用している。どれも 100 keV までと 200 keV 以上とで両対数上で直線関係が見られている。この直線関係から、任意のエネルギーを持つ核種の検出効率を得て、真の放射線濃度を式 (1) から算出した。

本検出器は井戸型の Ge 半導体検出器であり、その絶対検出率は試料を井戸の中に挿入して計測した場合には、ガンマ線のエネルギーがおおむね 50 keV あたりで 0.6-0.7, 200 keV あたりで 0.5, 1MeV で 0.08-0.1 程度であったが (金井・齋藤, 2011a), 本研究のように Ge 検出器の上部に試料を載せた場合には、50 keV や 200 keV あたりで 0.03, 1 MeV で 0.008 程度と、1/10 以下の検出効率に低下しており (第2図参照), 検出器と試料との位置関係がかなり重要であることが示された。また、井戸の中に線源を入れて検出した場合の Bi-214 の 609.31 keV, 1120.29 keV のピークでは直線から外れており (金井・齋藤, 2011a の第5図), サム効果で見かけ上の効率が低下していた。

一方、井戸の中でなく検出器の上に置いて測定した場合でも、Cs-134 のように複数の放射線を放出する核種は、サム効果により見かけ上の検出効率が低下する。サム効果の補正方法には、全てのエネルギー準位の遷移パターンを拾い出し複雑な計算をしなければならず、そう



第3図 検出器から離れた場合 (x cm) と置いて測定した場合 (0 cm) の放射線強度の比.
 Fig. 3 Ratio of radiation intensity of source measured above the detector (x cm) to that on the detector (0 cm).

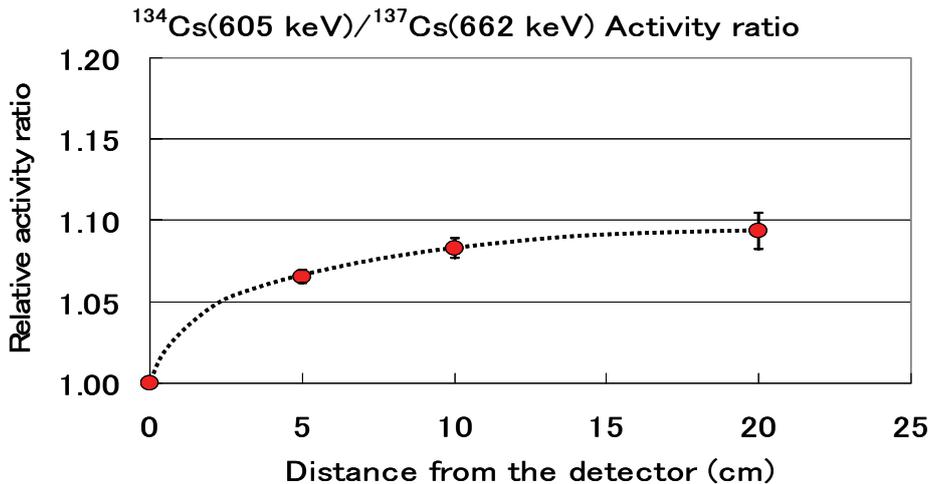


第4図 検出器からの距離と放射線強度の関係.
 Fig. 4 Correlation between radiation intensity and distance from detector to source.

したプログラム化もされているが (文部科学省, 1992b ; セイコー・イージーアンドジー, 2009), 井戸型検出器に適用できるものはない (小村, 2006). 線源を検出器から離すことによりサム効果の影響を減少することができるが, 同時に検出効率も低下する. 検出器から常時離して検出効率の低い状態で試料測定することは, 測定時間がかかると同時に測定誤差も大きいため効率的ではない. そこで, Cs-134の定量のためにサム効果のないCs-

137のピークを利用し, Cs-134/Cs-137ピーク強度比を用いて補正することにした.

検出器から距離を離れたときの放射線強度は, 点線源の場合には検出器からの距離のマイナス2乗に比例して変化する. 線源試料のピークではおおむね各ピークは離れた距離に応じて一定の比で減少し (第3図), その比の平均値はエンドキャップから容器の底面までの距離のマイナス2乗ではなく, マイナス1.3乗に比例した (第



第5図 検出器からの距離と Cs-134/Cs-137 ピーク強度比の関係。

Fig. 5 Correlation between Cs-134/Cs-137 intensity ratio and distance from detector to source.

4 図). 本装置の Ge 結晶の長さは 7.1 cm, エンドキャップから実際の Ge 結晶までが 1.2 cm, ポリエチレン容器の底面の厚みが 0.2 cm, また試料の厚みも 1.5 cm なので, これから計算すると Ge 結晶と試料の仮想的な中心間の距離は 5.7 cm 加えた距離となる. そこで, Ge 結晶と試料の仮想的な中心間の距離として 5.7 cm を加えた距離を用いると, 放射線強度はちょうどマイナス 2.0 乗に比例した (第 4 図). この結果, 放射線強度と検出器からの距離との間に一定の関係があることが確認され, ピーク強度比を利用する妥当性が評価できた.

検出器からの距離に対する Cs-134 / Cs-137 ピーク強度比の変化を第 5 図に示した. 検出器から離すにしたがって Cs-134 / Cs-137 ピーク強度比は増加し, 10 cm から 20 cm 程度離すとおおよそ 8-9 % 増大することが判明した. そこでサム効果の影響が無視できると考えられる 10 cm 及び 20 cm の値について誤差による荷重平均をとって, サムピークを補正した Cs-134 ピーク強度として, 直接測定した Cs-137 ピーク強度の 1.085 倍したものをを用いた.

3.2 エアロゾル観測開始前の放射性核種

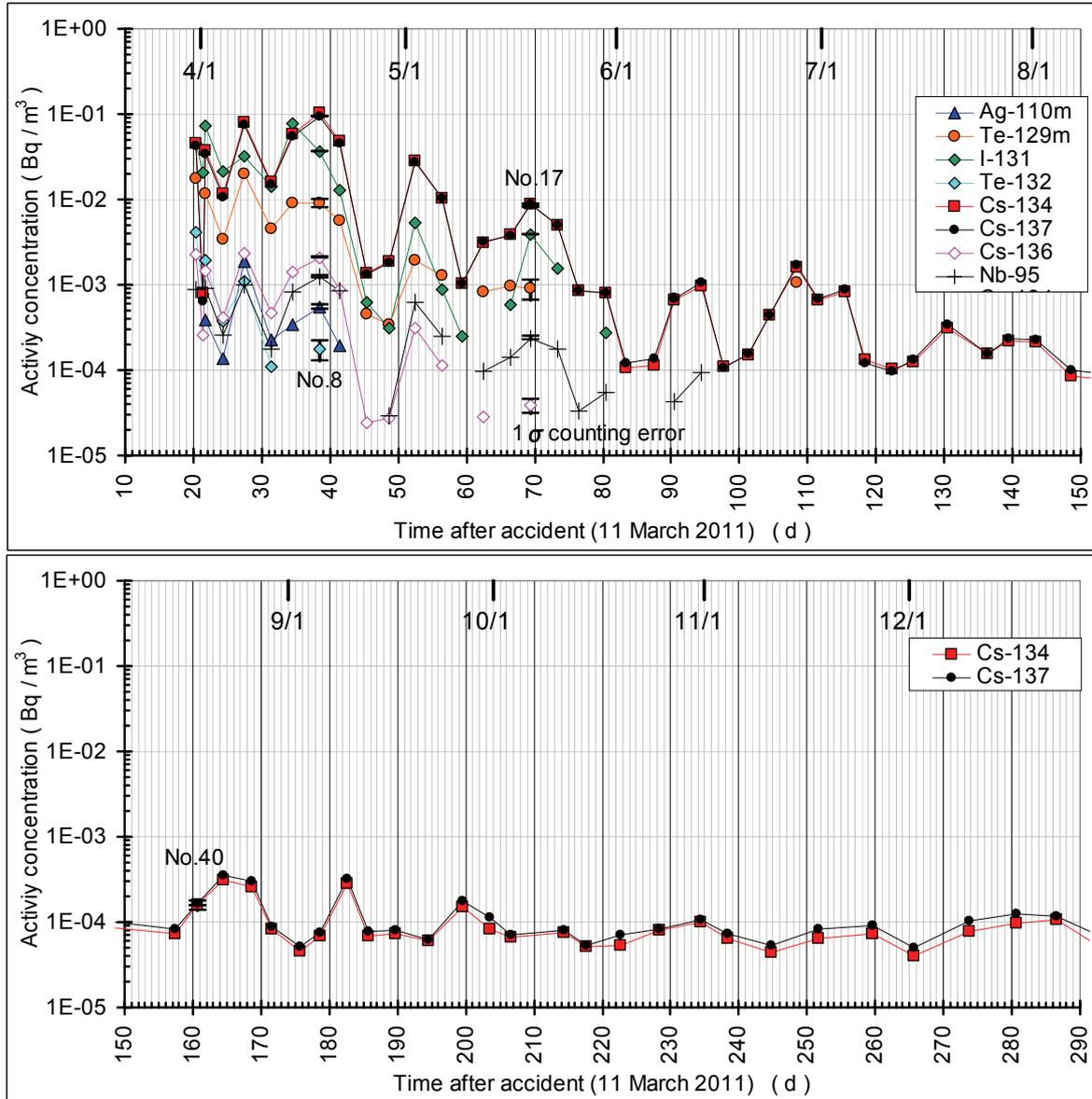
2011 年 3 月 11 日の大災害以降, 測定装置において原発事故に起因する放射性核種による汚染が観測された (金井・齋藤, 2011). 初期の汚染状況から, 3 月 17 日の時点におけるエアロゾル由来核種として, Xe-133 (81 keV のピークで 1.4×10^2 cps), Te-132 / I-132 (主なピークの和で 7.4×10^3 cps), I-131 (主なピークの和で 3.7×10^2 cps), Cs-137 (662 keV のピークで 1.0×10^3 cps), Cs-134 (主なピークの和で 1.9×10^3 cps) が検出されている. その後 Xe-133 は検出限界以下となったが, 代わりに Tc-99m (6.02 時間), Cs-134 (2.062 年), Cs-136 (13.16 日), Te-129m (33.5 日) / Te-129 (69 分) などが現れている. 産総研でも地表面に降下した人工放射性核種とし

て, 3 月 15 日に Xe-133, Te-132 / I-132, I-131, I-133, Cs-134, Cs-137 などが検出されている (産業技術総合研究所, 2011).

当所における事故直後の大気中エアロゾル濃度は観測前であり不明であるが, 3 月 15 日のつくばにおける I-131 と Te-132 の観測値がそれぞれ 3.0×10^5 Bq/cm³, 2.0×10^5 Bq/cm³ と報告されている (高エネルギー加速器研究機構, 2012). これらの値は, 当所での観測が開始した 3 月 31 日の濃度よりも $10^3 - 10^4$ 倍高濃度であった.

3.3 エアロゾル中の人工放射性核種の濃度変化

東京電力 (株) 福島第一原子力発電所の事故から 20 日経過した 2011 年 3 月 31 日から, エアロゾルの採取と観測を開始した. 2011 年 12 月末までの観測結果を第 1 表及び第 6 図に示す. 測定開始直後には, Tc-99m (半減期: 6.02 時間, 以下同様), Cs-134 (2.062 年), Cs-136 (13.16 日), Te-129m (33.5 日) / Te-129 (69 分), I-131 (8.04 日), Te-132 (78 時間) / I-132 (2.28 時間), Cs-137 (30.17 年) などが継続的に観測されていたが, 半減期の短い核種は 5 月中にほとんどが本装置の測定検出限界以下となり, 6 月 27 日の Te-129m / Te-129 を最後に Cs-134 と Cs-137 のみが検出されるようになった. その後, 両セシウム同位体は 10^{-4} Bq/m³ のレベルで漸減している. これらの濃度は, Cs-137 の濃度に関していえば, 事故前の大気中平均濃度レベル 10^{-6} Bq/m³ (日本分析センター, 2012) と比べればおおよそ 100 倍程度高い値となっているが, チェルノブイリ原発事故後の約 10 倍程度, 1970 年代にも同程度の濃度が観測されている. また, 放射性同位元素利用施設の排気中の濃度限度 30 Bq/m³ と比較すると, その濃度は 10 万分の 1 以下である. いずれにせよ, 観測期間中の放射性核種の濃度は, いずれも健康を害するレベルではなかった.



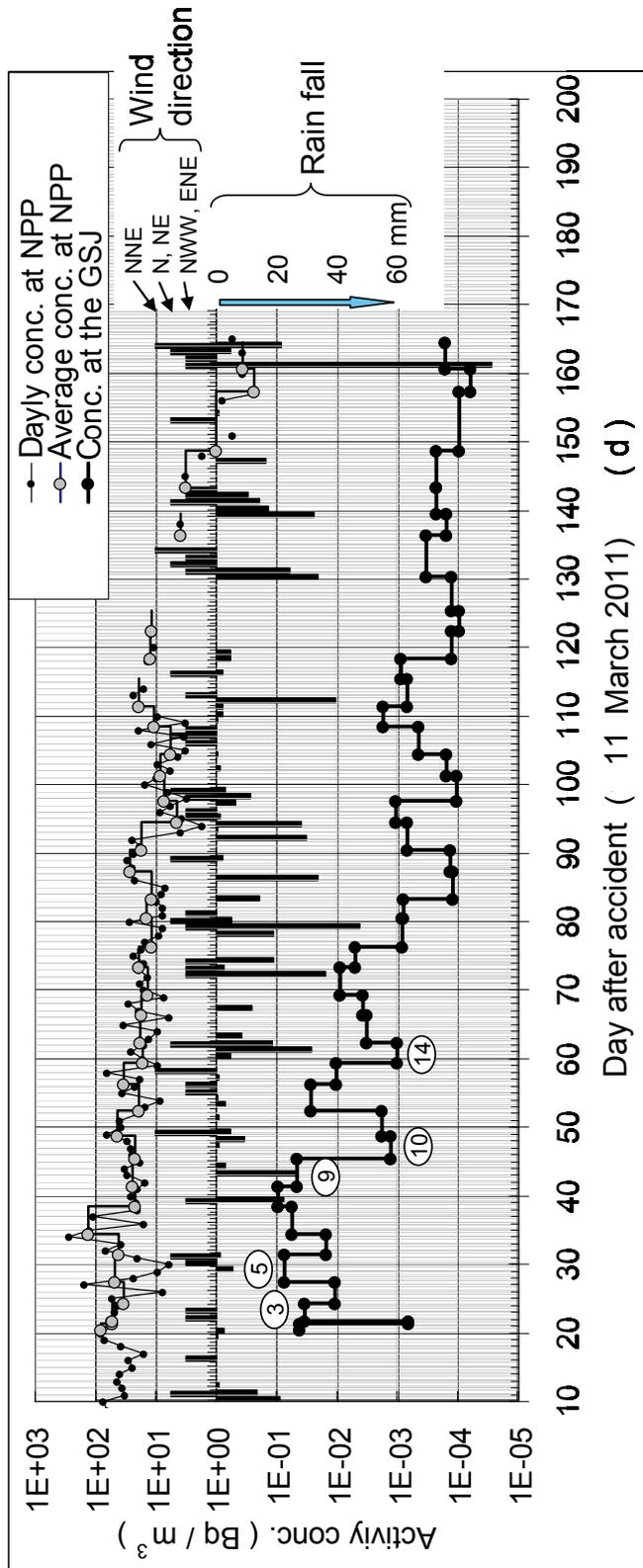
第6図 GSJにおけるエアロゾル中の人工放射性核種の濃度変化。No.8, 17, 40 に計数誤差 (1σ) を示してある。
 Fig. 6 Activities of artificial radionuclides in aerosols obtained at the GSJ. Counting statistic errors for No.8, 17 and 40 are shown.

本研究では事故後の途中からの観測であり、総フラックスを見積もることは困難であるが、原子炉1-3号機の放射性物質の総量は、I-131については 6.1×10^{18} Bq, Cs-137については 7.1×10^{17} Bqと見積もられ、また、使用済み燃料プールではI-131が 1.1×10^{16} Bq, Cs-137が 2.3×10^{18} Bqと見積もられている。これらのうち、3月11日から4月5日までに大気に放出された総量は、I-131が 1.5×10^{17} Bq, Cs-137が 1.2×10^{16} Bqと推定されており(内閣官房内閣広報室, 2011), 数%とはいえ総量としては膨大な量である。2011年10月末には一部の建屋の覆いながされ、放出量は以前と比べてかなり減少したものの未だに放出が継続しており(経済産業省, 2012), 今後継続する量と既に放出された莫大な総量の除染・回収な

どは大きな課題である。放出が継続している間や、また、放出が停止した後も汚染土壌の再巻き上げによる飛散等に注目する必要があるため、安全確保の点からも観測と監視を継続していくことは重要であろう。

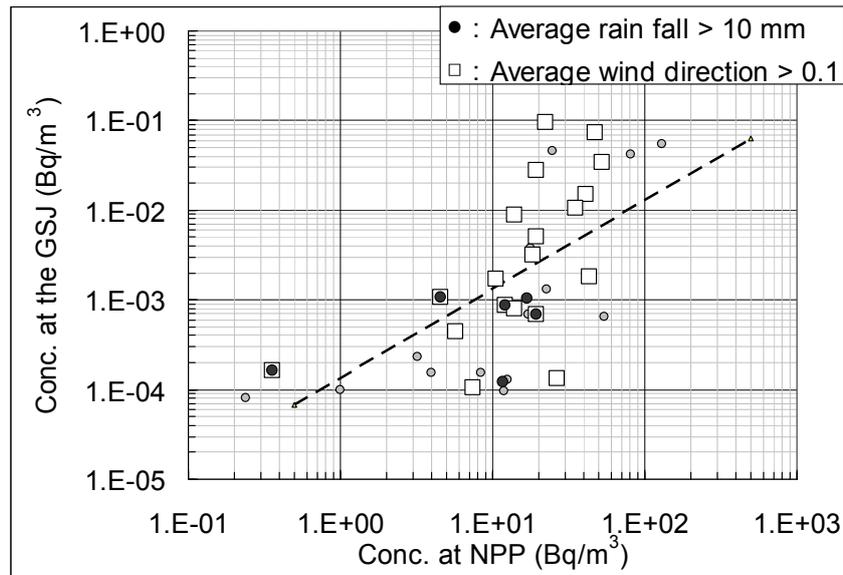
3.4 エアロゾル中の人工放射性核種への影響因子

地質調査総合センター(以下、GSJとする)で観測されるエアロゾルは、原子力発電所のエアロゾルを含む気団やプルームとして移動・拡散してくると考えられるため、観測される人工放射性核種の濃度は、放出源の濃度、風向・風速・降雨などの気象条件に依存して変動すると考えられる。そこで、8月までのデータに関して、GSJでのCs-137観測値と原子力発電所における観測値(毎日



第7図 GSJ と福島第一原子力発電所における Cs-137 の変動と降雨・風向の気象条件. 丸の数字は、試料番号を示す.

Fig. 7 Variations of Cs-137 concentrations at the GSJ and the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant and climate conditions such as rain fall and wind direction. The number in circle indicates sample number.



第8図 GSJでのCs-137観測値と福島第一原子力発電所におけるCs-137報告値の関係。
 Fig. 8 Correlation between Cs-137 concentrations at the GSJ and those at the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant.

の値と各サンプリング期間の平均)の変化を、つくばにおける降雨量・風向とあわせて第7図に示した。福島第一原子力発電所がGSJの北北東(NNE)の方向にあるので、風向はNNEが1、北(N)と北東(NE)は0.75、西北西(WNW)と東北東(ENE)は0.5として定量化した。

原子力発電所でのCs-137濃度はGSJでの濃度より約3000-4000倍高く、後者は前者によって著しく影響を受けると推定される。観測の時間分解能が低いため細かな変動は観測できないが、GSJにおける観測濃度が上昇している時にはサンプリング期間中に北よりの風が吹き、逆に濃度が低下している時には期間中に降雨がある傾向が定性的・部分的には確認できる。例えば、No.3, No.5, No.12等の高濃度時に北よりの風が卓越しているし、No.9, No.10, No.14, No.19, No.21等の低濃度時には降雨があった。一方、No.8, No.11等では北よりの風と降雨が重なり、大きな濃度変化は示していない。

放出源での濃度変動の影響と気象条件による影響を区別するために、GSJでの観測期間中の放出源での平均濃度を計算し、両者の濃度の関係を第8図に示した。両者は概して正相関を示しているが、詳しくみると、サンプリング期間中の平均雨量が10mm以上の場合には、一般的濃度傾向のラインよりも低下する傾向がみられる。降雨によるウォッシュアウト効果で低下しているのであろう。一方、北よりの風は、一般的濃度傾向のラインよりも増加している傾向が強く、高濃度のエアロゾルが運搬・拡散してきているように思われる。このように、エアロゾル濃度に対する気象の影響が弱いながらも示唆される。詳細な検討には気象データを用いたモデル解析(気象研究所, 2012)などが必要で、それに関しては今後の

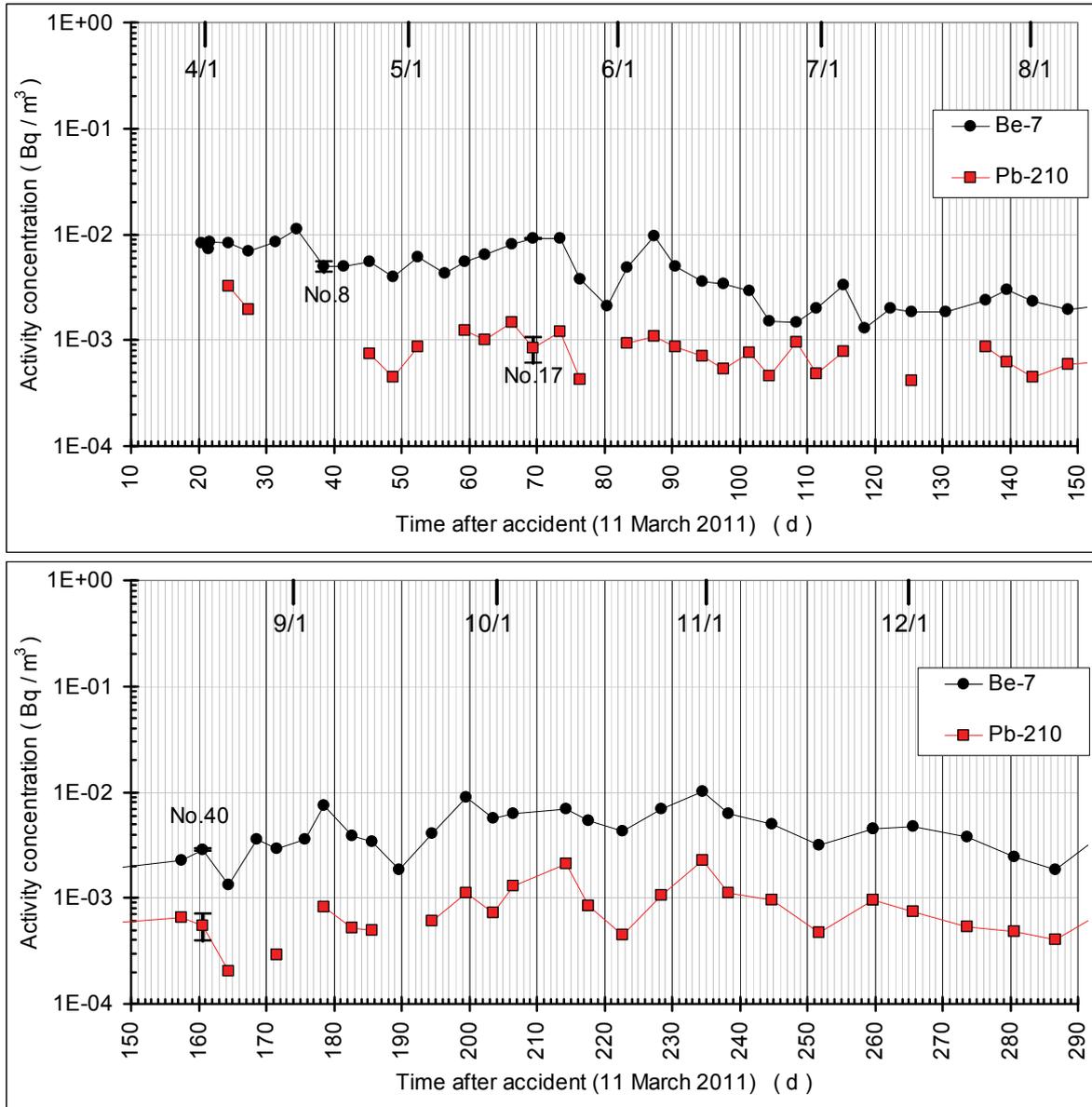
課題である。

しかしながら、事故で放出された高濃度プルームは世界中を回っており、事故後約1週間以内にアメリカに(Leon *et al.*, 2011), 2週以内にギリシアに(Manolopoulou *et al.*, 2011)到着し検出されている。Cs-137は既に地球の対流圏に拡散し、ある程度の濃度で存在している。したがって、事故後1ヶ月ほど経過した時点では、観測された濃度に対する気象の影響は事故後の初期段階における影響よりもはるかに小さくなっていることも、不明瞭となった一因と考えられる。

3.5 エアロゾル中の天然放射性核種の観測

エアロゾル中には、天然起源の核種としてウラン系列・トリウム系列の核種が観測される。それは系列途中の気体核種であるラドン(Rn-222)やトロン(Rn-220)に由来するもので、Pb-214, Bi-214, Pb-210やPb-212, Bi-212, Tl-208などである。これらは観測されるものの半減期が比較的短いために、サンプリング・測定中における減衰と娘核種の成長などが複雑であり、半減期の長いPb-210を除いて定量計算が困難である。また、エアロゾルの試料中には、大気上層部において宇宙線による酸素・窒素の核破砕反応によって生じるベリリウム-7(Be-7)も観測されるので、ここではPb-210とBe-7について結果を報告する。

第9図及び第1表に、Pb-210とBe-7の観測結果を示す。Pb-210は0.2-3.2 mBq/m³、Be-7は1.3-11 mBq/m³と変動はあるものの、おおむね一定の範囲内である。3月から5月までを春季、6月から8月までを夏季、9月から11月までを秋季、12月を冬季として2011年の測定結果



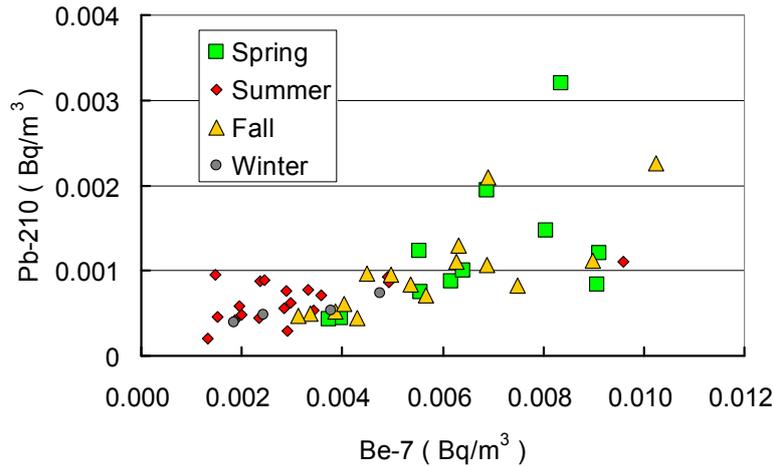
第9図 GSJにおけるエアロゾル中のPb-210とBe-7の濃度変化。No.8, 17, 40に計数誤差(1 σ)を示してある。
 Fig. 9 Activities of Pb-210 and Be-7 in aerosols obtained at the GSJ. Counting statistic errors for No.8, 17 and 40 are shown.

を分類して図示すると、第10図に示されるように両者とも春季と秋季に高く夏季と冬季に低くなるパターンが認められる。また、全体でも両者の間に1%の危険率で有意な相関が認められた(相関係数 $R=0.69$)。山形県でのPb-210の観測結果では春季に(Kanai and Yanagisawa, 2002), また、1987年~1992年におけるつくばでの観測結果でも春と秋に高く夏に低くなるパターンが報告されている(土井, 2008; 土井・佐藤, 2004)。Pb-210の月平均大気中濃度は $0.2 - 0.8 \text{ mBq/m}^3$ と土井・佐藤(2004)は報告しているが、本研究での季節毎の平均は $0.5 - 1.2 \text{ mBq/m}^3$ で、それよりも幾分高めであった(観測データ全体の平均値は 0.9 mBq/m^3)。

一方、Be-7も春季の圏界面の破れと春季・秋季の移動

性高気圧による下降気流が、成層圏から対流圏への増大をもたらすとされており、つくばでのBe-7の月平均濃度は $1 - 7 \text{ mBq/m}^3$ で、Pb-210と同様に二山のパターンを報告している(土井・佐藤, 2004; 土井ほか, 1993)。本研究では、季節毎の平均は $2.9 - 6.9 \text{ mBq/m}^3$ 、全体での平均は 4.8 mBq/m^3 であり、ほぼ一致する濃度範囲であった。

このように、GSJで観測されたエアロゾル中の天然放射性核種であるPb-210とBe-7は、原発事故とは関係なくこれまでに報告されているのと同様の季節変動パターンを示していることが確認された。



第10図 エアロゾル中のPb-210とBe-7の季節変動。

Fig. 10 Seasonal variation of Pb-210 and Be-7 in aerosols.

4. まとめ

2011年3月11日の巨大地震に起因する福島第一原子力発電所の事故後の放射性核種のモニタリングは、物質循環や堆積物への物質移動のトレーサーとして地球科学的に有用であるばかりでなく、地域住民の放射線被ばくに対する不安感の払拭、万が一の場合の線量評価にも貢献する。このため、著者らは新たに人工放射性核種の定量をめざした観測・定量手法を検討して、事故後20日経過した3月末から大気中のエアロゾルの放射性核種の観測を開始した。

鉍石等を使用した自作の標準線源試料を用いて作成した検出器の効率-エネルギー関係曲線を利用して検出効率を求め、原発事故で環境中に放出された人工放射性核種の定量を行った。カスケード崩壊するCs-134の定量にはCs-134/Cs-137比の変化からサム効果の補正法を確立した。このように、低濃度ウラン鉍石等を利用することで、法規制を受ける人工的な放射線源を使用せずに放射性同位元素の管理区域外での効率算出や計測が可能であることが示された。

原発事故によって当所の測定システムは汚染されたが、繰り返し洗浄によって汚染を低減して測定を行った。3月末のエアロゾル観測開始時から検出された種々の人工放射性核種は、Cs-134とCs-137を除いて6月末にはほとんどが検出限界以下となった。観測の時間分解能が低いことや事故後の時間が経過していたことから、エアロゾル中のCs-137濃度に対する気象の影響は不明瞭ながらも、サンプリング期間中の雨量や風向が影響している傾向が認められた。

観測期間中の放射性核種の濃度はいずれも健康を害するレベルではなかったが、未だに原子力発電所からの放出が継続して、現在も採取されるエアロゾルにCs-137などが検出されており、今後継続する量と既に放出さ

れた莫大な総量の除染・回収などは喫緊の大課題であろう。

謝辞: 本研究において、研究環境安全本部環境安全管理部の上岡 晃氏からは原稿をとりまとめるにあたり貴重なコメントをいただいた。ここに記して深く感謝申し上げます。

文献

- Advantec (2001) 24 ポリフロンフィルター. Advantec 総合カタログ 2001-2002, p.709.
- Appleby, P.G. and Oldfield, F. (1978) The calculation of lead-210 dates assuming a constant rate of supply of unsupported ²¹⁰Pb to the sediment. *Catena*, **5**, 1-8.
- Cochran, J.K., Frignani, M., Salamanca, M., Bellucci, L.G. and Guerzoni, S. (1998) Lead-210 as a tracer of atmospheric input of heavy metals in the northern Venice Lagoon. *Mar. Chem.*, **62**, 15-29.
- 土井妙子 (2008) 「大気中の放射性核種濃度モニタリングデータ集」(国立環境研究所 1987-1999). 国立環境研究所研究報告 第198号 (R-198-2008), 105p.
- 土井妙子・佐藤 純 (2004) つくばにおける大気中 ²¹⁰Pb, ²¹²Pb, ⁷Be 濃度. 第48回放射化学討論会, 東京, p.118.
- 土井妙子・細見正明・溝口次夫・佐藤 純 (1993) つくばにおける大気中のオゾンとベリリウム-7の濃度変化. *天気*, **40**, 827-834.
- 上岡 晃・金井 豊 (2002) つくば市において粒径別に採取された風送塵中の水溶性成分の化学組成. 第49回日本地球化学会年会, 要旨集 p.136.
- 金井 豊 (1993) 微量環境試料測定用井戸型 Ge 検出器の効率特性, *Radioisotopes*, **42**, 169-172 (1993).
- 金井 豊 (2001) 風送ダストプロジェクトの概要と地質・

- 地球化学におけるエアロゾル研究. 地質ニュース, **565**, 11-23.
- Kanai, Y. (2012) Monitoring of aerosols in Tsukuba after Fukushima Nuclear Power Plant incident in 2011. *J. Environ. Radioact.*, **111**, 33-37. doi:10.1016/j.jenvrad.2011.10.011.
- 金井 豊 (2012) エアロゾル中の人工放射性核種に関する観測・測定を試み. 第13回「環境放射能」研究会要旨論文集, P-15.
- 金井 豊・齋藤文紀 (2011a) 環境ガンマ放射線測定用井戸型ゲルマニウム検出器の特性と原発事故によるバックグラウンド汚染 —地質調査総合センターに設置されたシステムを例に—, 地質調査研究報告, **62**, 357-369.
- 金井 豊・齋藤文紀 (2011b) 地質調査総合センターの堆積年代測定システムとその検出特性. *Proceedings of the 12th Workshop on Environmental Radioactivity*, KEK Proceedings **2011-7**, 141-146.
- Kanai, Y. and Yanagisawa, F. (2002) Seasonal variation of lead-210 in aerosol in Yamagata Prefecture. *J. Arid Land Studies*, **11**, 301-306.
- 金井 豊・井内美郎・片山 肇・齋藤文紀 (1995) ^{210}Pb , ^{137}Cs 法による長野県諏訪湖底質の堆積速度の見積り, 地調月報, **46**, 225-238.
- 金井 豊・井内美郎・片山 肇・齋藤文紀 (1997) 低バックグラウンド放射能測定システムによる長野県諏訪湖底質の放射能測定と堆積速度の見積り, 地調月報, **48**, 277-295.
- 金井 豊・山室 真澄・井内美郎・徳岡隆夫 (2002) 島根・鳥取県中海における堆積速度と堆積環境. 地球化学, **36**, 161-178.
- Kanai, Y., Ohta, A., Kamioka, H., Terashima, S., Imai, N., Kanai, M., Shimizu, H., Takahashi, Y., Kai, K., Hayashi, M., Zhang, R. and Sheng, L. (2005) Characterization of Aeolian dust in east China and Japan from 2001 to 2003. *J. Meteorological Soc. Japan*, **83A**, 73-106.
- 経済産業省 (2012) 添付2 福島第一原子力発電所における現状の放射性物質の放出量評価及び敷地境界における被ばく線量評価について, <http://www.meti.go.jp/earthquake/nuclear/pdf/111216e.pdf> (2012/5/2)
- 気象研究所 (2012) 東京電力福島第一原子力発電所事故に伴う放射性物質の移流拡散について, http://www.mri-jma.go.jp/Topics/H23_tohoku-taiheiyo-okieq/1107fukushima.html (2012/5/2)
- Koide, M., Soutar, A. and Goldberg, E.D. (1972) Marine geochronology with Pb-210. *Earth Planet. Sci. Lett.*, **14**, 442-446.
- 小村和久 (2006) 「超低レベル放射能測定の現状と展望」まとめ. *Radioisotopes*, **55**, 691-697.
- Kotani, T., Yanagisawa, F., Kanai, Y., Miyaoka, A. and Akata, N. (2012) Combination of sulfur isotope ratio of non-sea salt sulfate and lead-210 concentration in aerosols as an index of long-range transported aerosols. *Radioisotopes*, **61**, 65-70.
- 高エネルギー加速器研究機構 (2012) 環境放射線の測定結果, <http://www.kek.jp/ja/Research/ARL/RSC/Radmonitor/> (2012/5/2)
- Krishnaswami, S., Lal, D., Martin, J.M. and Mrybeck, M. (1971) Geochronology of lake sediments. *Earth Planet. Sci. Lett.*, **11**, 407-414.
- Leon, J.D., Jaffe, D.A., Kasper, J., Knecht, A., Miller, M.L., Robertson, R.G.H. and Schubert, A.G. (2011) Arrival time and magnitude of airborne fission products from the Fukushima, Japan, reactor incident as measured in Seattle, WA, USA. *J. Environ. Radioact.* **102**, 1032-1038.
- Manolopoulou, M., Vagena, E., Stoulos, S., Ioannidou, A. and Papastefanou, C. (2011) Radioiodine and radiocesium in Thessaloniki, Northern Greece due to Fukushima nuclear accident. *J. Environ. Radioact.* **102**, 796-797.
- 文部科学省 (1992a) 放射能測定法シリーズ 24 緊急時におけるガンマ線スペクトロメトリーのための試料前処理法. 文部科学省科学技術・学術政策局 原子力安全課防災環境対策室, 平成4年.
- 文部科学省 (1992b) 放射能測定法シリーズ 7 ゲルマニウム半導体検出器によるガンマ線スペクトロメトリー. 文部科学省科学技術・学術政策局 原子力安全課防災環境対策室, 平成4年改訂.
- 内閣官房内閣広報室 (2011) VI. 放射性物質の環境への放出. 内閣官房内閣広報室, <http://www.kantei.go.jp/jp/topics/2011/pdf/06-kankyo.pdf> (2012/5/2)
- 日本分析センター (2012) 大気浮遊じん中のCs-137の経年変化, <http://www.kankyo-hoshano.go.jp/01/0101flash/01010121.htm> (2012/5/2)
- Ohta, A., Terashima, S., Kanai, Y., Kamioka, H., Imai, N., Matsuhisa, Y., Shimizu, H., Takahashi, Y., Kai, K., Hayashi, M. and Zhang, R. (2005) Grain-size distribution and chemical composition of water-insoluble components in aeolian dust collected in China in spring 2002. *Bull. Geol. Surv. Japan*, **56**, 259-272.
- 産業技術総合研究所 (2011) つくばセンター放射線測定結果, 産総研, <http://www.aist.go.jp/taisaku/ja/measurement/index.html> (2012/5/2)
- セイコー・イージーアンドジー (2009) Gamma Studio. DS-P240/W32.

(受付: 2012年5月18日; 受理: 2012年7月25日)

第1表 GSJにおけるエアロゾル採取日とエアロゾル中の放射性核種の濃度.

Table 1. Aerosol sampling date and radioactive nuclides concentration in aerosols taken at the GSJ.

No.	Sample collection					Ag-110m	Te-129m	I-131	Te-132	Cs-134	Cs-137	Cs-136	Nb-95	Be-7	Pb-210
	Start		Stop		Volume (m ³)	885 keV	696 keV	364 keV	228 keV	605 keV	662 keV	819 keV	766 keV	478 keV	46.5 keV
	M/D	H:M	M/D	H:M		(Bq/m ³)									
1	3/31	9:30	3/31	15:30	360	< 7.0E-05	1.8E-02	4.5E-02	4.1E-03	4.6E-02	4.2E-02	2.3E-03	8.8E-04	8.2E-03	< 2.4E-03
2	4/1	9:32	4/1	15:59	387	< 4.1E-05	< 1.2E-03	2.0E-02	7.9E-04	8.1E-04	6.5E-04	2.6E-04	< 5.9E-05	7.4E-03	< 1.4E-03
3	4/1	16:03	4/4	9:44	3941	3.9E-04	1.2E-02	7.3E-02	1.9E-03	3.7E-02	3.4E-02	1.5E-03	9.0E-04	8.5E-03	< 1.9E-03
4	4/4	9:46	4/7	9:48	4322	1.4E-04	3.4E-03	2.2E-02	3.8E-04	1.2E-02	1.1E-02	4.1E-04	2.6E-04	8.4E-03	3.2E-03
5	4/7	9:50	4/11	9:50	5760	1.9E-03	2.0E-02	3.2E-02	1.1E-03	8.1E-02	7.4E-02	2.4E-03	1.0E-03	6.9E-03	1.9E-03
6	4/11	9:52	4/14	10:55	4383	2.3E-04	4.5E-03	1.4E-02	1.1E-04	1.6E-02	1.5E-02	4.6E-04	1.7E-04	8.5E-03	< 2.4E-03
7	4/14	10:58	4/18	10:30	5732	3.4E-04	9.1E-03	7.9E-02	< 9.4E-05	5.9E-02	5.5E-02	1.4E-03	8.2E-04	1.1E-02	< 1.3E-03
8	4/18	10:31	4/21	10:32	4321	5.5E-04	9.0E-03	3.7E-02	1.8E-04	1.0E-01	9.5E-02	2.1E-03	1.3E-03	5.0E-03	< 2.4E-04
9	4/21	10:35	4/25	9:12	5677	1.9E-04	5.6E-03	1.3E-02	< 1.8E-05	4.8E-02	4.6E-02	8.8E-04	8.5E-04	5.0E-03	< 2.2E-04
10	4/25	9:14	4/28	16:54	4780	< 3.5E-05	4.5E-04	6.3E-04	< 5.3E-05	1.4E-03	1.3E-03	2.4E-05	< 2.2E-05	5.6E-03	7.4E-04
11	4/28	17:00	5/2	11:40	5440	< 3.6E-05	3.5E-04	3.1E-04	< 5.6E-05	1.9E-03	1.8E-03	2.7E-05	2.9E-05	4.0E-03	4.4E-04
12	5/2	11:42	5/6	9:20	5618	< 2.1E-05	2.0E-03	5.4E-03	< 2.7E-05	2.8E-02	2.7E-02	3.1E-04	6.3E-04	4.2E-03	8.7E-04
13	5/6	9:22	5/9	10:27	4385	< 2.8E-05	1.3E-03	8.8E-04	< 3.2E-05	1.0E-02	1.0E-02	1.1E-04	2.5E-04	6.3E-03	< 5.4E-04
14	5/9	10:35	5/12	10:06	4291	< 2.7E-05	< 7.9E-04	2.5E-04	< 4.4E-05	1.0E-03	1.0E-03	< 3.4E-05	< 3.2E-05	5.5E-03	1.2E-03
15	5/12	10:08	5/16	10:02	5754	< 3.5E-05	8.3E-04	< 4.9E-05	< 4.3E-05	3.1E-03	3.2E-03	2.8E-05	9.7E-05	6.4E-03	1.0E-03
16	5/16	10:05	5/19	10:25	4340	< 2.4E-05	9.8E-04	5.9E-04	< 3.9E-05	3.8E-03	3.8E-03	< 3.0E-05	1.4E-04	8.1E-03	1.5E-03
17	5/19	10:27	5/23	10:07	5740	< 1.3E-05	9.0E-04	3.9E-03	< 2.1E-05	8.8E-03	8.9E-03	3.8E-05	2.4E-04	9.1E-03	8.4E-04
18	5/23	10:09	5/26	9:59	4310	< 2.0E-05	< 5.5E-04	1.6E-03	< 2.5E-05	4.9E-03	5.0E-03	< 1.7E-05	1.7E-04	9.1E-03	1.2E-03
19	5/26	10:00	5/30	11:31	5851	< 1.6E-05	< 4.3E-04	< 2.6E-05	< 2.0E-05	8.6E-04	8.6E-04	< 1.3E-05	3.4E-05	3.7E-03	4.3E-04
20	5/30	11:35	6/2	9:25	4190	< 2.0E-05	5.2E-04	2.7E-04	< 2.6E-05	8.1E-04	8.0E-04	< 1.6E-05	5.5E-05	2.1E-03	< 5.2E-04
21	6/2	9:26	6/6	10:26	5820	< 1.7E-05	4.3E-04	< 3.2E-05	< 3.2E-05	1.1E-04	1.2E-04	< 1.3E-05	< 1.8E-05	4.9E-03	9.3E-04
22	6/6	10:28	6/9	10:58	4350	< 2.1E-05	< 6.0E-04	< 4.2E-05	< 2.8E-05	1.1E-04	1.4E-04	< 1.7E-05	< 2.5E-05	9.6E-03	1.1E-03
23	6/9	11:00	6/13	10:30	5730	< 1.8E-05	6.9E-04	< 1.8E-05	< 2.1E-05	6.6E-04	6.9E-04	< 1.3E-05	4.2E-05	4.9E-03	8.7E-04
24	6/13	10:39	6/16	16:19	4660	< 1.9E-05	4.9E-04	< 2.3E-05	< 2.8E-05	9.7E-04	1.1E-03	< 1.6E-05	9.3E-05	3.6E-03	7.1E-04
25	6/16	16:21	6/20	9:23	5342	< 1.7E-05	4.1E-04	< 2.1E-05	< 2.2E-05	1.1E-04	1.0E-04	< 1.3E-05	< 2.5E-05	3.4E-03	5.4E-04
26	6/20	9:25	6/23	11:02	4417	< 2.6E-05	< 6.7E-04	< 3.5E-05	< 3.7E-05	1.5E-04	1.5E-04	< 2.0E-05	< 4.3E-05	2.9E-03	7.6E-04
27	6/23	11:04	6/27	10:01	5697	< 1.5E-05	< 4.2E-04	< 2.0E-05	< 2.1E-05	4.4E-04	4.4E-04	< 1.3E-05	< 1.7E-05	1.5E-03	4.6E-04
28	6/27	10:02	6/30	10:34	4352	< 2.4E-05	1.1E-03	< 3.0E-05	< 3.0E-05	1.6E-03	1.7E-03	< 1.7E-05	< 3.5E-05	1.5E-03	9.5E-04
29	6/30	10:36	7/4	10:11	5735	< 1.7E-05	4.6E-04	< 2.0E-05	< 2.7E-05	6.6E-04	6.9E-04	< 1.4E-05	< 2.7E-05	2.0E-03	4.9E-04
30	7/4	10:13	7/7	10:45	4352	< 2.0E-05	4.8E-04	< 2.2E-05	< 2.4E-05	8.3E-04	8.9E-04	< 1.5E-05	< 2.8E-05	3.3E-03	7.8E-04
31	7/7	10:47	7/11	9:21	5674	< 1.1E-05	< 3.0E-04	< 1.5E-05	< 1.7E-05	1.3E-04	1.2E-04	< 9.5E-06	< 1.8E-05	1.3E-03	< 3.0E-04
32	7/11	9:22	7/14	10:37	4395	< 1.2E-05	3.2E-04	< 1.6E-05	< 1.9E-05	1.0E-04	9.8E-05	< 9.9E-06	< 1.8E-05	2.0E-03	< 3.2E-04
33	7/14	10:39	7/19	10:45	7206	< 2.3E-05	5.9E-04	< 2.6E-05	< 2.8E-05	1.3E-04	1.3E-04	< 1.8E-05	< 3.5E-05	1.9E-03	4.2E-04
34	7/19	10:47	7/25	10:22	8615	< 1.3E-05	3.4E-04	< 1.6E-05	< 1.8E-05	3.1E-04	3.5E-04	< 1.1E-05	< 1.5E-05	1.9E-03	< 3.0E-04
35	7/25	10:24	7/28	11:36	4392	< 1.7E-05	< 4.3E-04	< 2.0E-05	< 2.3E-05	1.6E-04	1.5E-04	< 1.3E-05	< 2.0E-05	2.4E-03	8.7E-04
36	7/28	11:38	8/1	10:00	5662	< 9.5E-06	2.6E-04	< 1.4E-05	< 2.1E-05	2.2E-04	2.4E-04	< 8.7E-06	< 1.5E-05	3.0E-03	6.3E-04
37	8/1	10:02	8/6	15:42	7540	< 2.8E-05	7.4E-04	< 3.3E-05	< 3.5E-05	2.1E-04	2.3E-04	< 2.2E-05	< 4.2E-05	2.3E-03	4.4E-04
38	8/6	15:45	8/15	10:02	12617	< 1.9E-05	4.9E-04	< 2.2E-05	< 2.5E-05	8.6E-05	9.9E-05	< 1.6E-05	< 2.8E-05	2.0E-03	5.9E-04
39	8/15	10:03	8/18	15:57	4674	< 2.8E-05	7.4E-04	< 3.2E-05	< 3.5E-05	8.4E-05	6.4E-05	< 2.2E-05	< 4.2E-05	2.5E-03	8.8E-04
40	8/18	16:00	8/22	11:56	5516	< 1.9E-05	4.9E-04	2.2E-05	< 2.5E-05	1.6E-04	1.7E-04	< 1.6E-05	< 2.8E-05	2.8E-03	5.5E-04
41	8/22	11:58	8/26	15:12	5954	< 8.2E-06	2.3E-04	< 1.2E-05	< 1.4E-05	3.1E-04	3.5E-04	< 6.8E-06	< 8.7E-06	1.3E-03	2.1E-04
42	8/26	15:14	8/29	14:54	4300	< 2.1E-05	5.4E-04	< 2.5E-05	< 2.8E-05	2.6E-04	3.1E-04	< 1.6E-05	< 3.0E-05	3.6E-03	< 5.3E-04
43	8/29	14:56	9/2	16:43	5867	< 8.5E-06	2.2E-04	< 1.0E-05	< 1.3E-05	8.2E-05	8.7E-05	< 7.0E-06	< 8.9E-06	2.9E-03	2.9E-04
44	9/2	16:45	9/5	14:34	4189	< 2.6E-05	6.7E-04	2.8E-05	< 3.0E-05	4.5E-05	5.2E-05	< 1.9E-05	< 2.6E-05	3.6E-03	< 1.8E-04
45	9/5	14:36	9/9	15:08	5792	< 8.7E-06	2.3E-04	< 1.2E-05	< 1.5E-05	6.9E-05	7.5E-05	< 7.3E-06	< 1.3E-05	7.5E-03	8.3E-04
46	9/9	15:09	9/12	17:19	4450	< 1.6E-05	4.4E-04	< 2.0E-05	< 2.2E-05	2.8E-04	3.2E-04	< 1.3E-05	< 2.3E-05	3.9E-03	5.2E-04
47	9/12	17:21	9/16	16:24	5703	< 7.9E-06	2.0E-04	< 1.0E-05	< 1.3E-05	6.9E-05	7.9E-05	< 6.4E-06	< 1.2E-05	3.4E-03	4.9E-04
48	9/16	16:29	9/21	11:22	6893	< 1.2E-05	< 3.3E-04	< 1.5E-05	< 1.7E-05	7.2E-05	7.9E-05	< 1.0E-05	< 1.7E-05	1.9E-03	< 2.6E-04
49	9/21	11:24	9/26	13:12	7308	< 1.4E-05	3.6E-04	< 1.7E-05	< 2.0E-05	6.1E-05	6.2E-05	< 1.1E-05	< 2.1E-05	4.0E-03	6.1E-04
50	9/26	13:13	9/30	13:28	5775.1	< 1.3E-05	3.3E-04	< 1.4E-05	< 1.5E-05	1.5E-04	1.8E-04	< 9.6E-06	< 1.8E-05	9.0E-03	1.1E-03
51	9/30	13:31	10/3	13:18	4307	< 2.3E-05	5.8E-04	< 2.7E-05	< 2.9E-05	8.3E-05	1.1E-04	< 1.9E-05	< 3.3E-05	5.7E-03	7.2E-04
52	10/3	13:21	10/11	9:59	10781	*1 < 7.4E-06	< 2.0E-04	< 1.1E-05	< 1.7E-05	6.7E-05	7.2E-05	< 6.4E-06	< 1.1E-05	6.3E-03	1.3E-03
53	10/11	10:01	10/14	16:32	4711	< 1.2E-05	3.3E-04	< 1.6E-05	< 2.0E-05	7.6E-05	8.1E-05	< 1.0E-05	< 2.0E-05	6.9E-03	2.1E-03
54	10/14	16:33	10/19	16:31	7198	< 8.9E-06	2.3E-04	< 1.1E-05	< 1.5E-05	5.1E-05	5.3E-05	< 7.5E-06	< 1.3E-05	5.4E-03	8.4E-04
55	10/19	16:32	10/25	9:42	8230	< 5.4E-06	1.5E-04	< 7.7E-06	< 1.1E-05	5.3E-05	7.0E-05	< 5.1E-06	< 7.4E-06	4.3E-03	4.5E-04
56	10/25	9:46	10/31	11:06	8210	*2 < 8.9E-06	< 2.4E-04	< 1.3E-05	< 1.8E-05	7.9E-05	8.3E-05	< 8.0E-06	< 1.4E-05	6.9E-03	1.1E-03
57	10/31	11:08	11/4	10:10	5702	< 1.3E-05	3.5E-04	< 2.0E-05	< 2.7E-05	9.9E-05	1.1E-04	< 1.1E-05	< 2.2E-05	1.0E-02	2.3E-03
58	11/4	10:12	11/10	16:54	9042	< 4.8E-06	1.4E-04	< 7.9E-06	< 1.7E-05	6.5E-05	7.2E-05	< 4.7E-06	< 5.5E-06	6.3E-03	1.1E-03
59	11/10	16:56	11/17	16:30	10054	< 7.9E-06	2.3E-04	< 1.4E-05	< 3.0E-05	4.4E-05	5.3E-05	< 7.6E-06	< 8.0E-06	5.0E-03	9.6E-04
60	11/17	16:32	11/25	16:25	11513	< 6.8E-06	< 1.9E-04	< 1.2E-05	< 2.2E-05	6.4E-05	8.3E-05	< 7.5E-06	< 7.6E-06	3.1E-03	4.7E-04
61	11/25	16:27	12/1	15:49	8602	< 8.4E-06	2.4E-04	< 1.5E-05	< 3.0E-05	7.4E-05	9.2E-05	< 8.7E-06	< 8.4E-06	4.5E-03	9.6E-04
62	12/1	15:52	12/9	16:36	11564	< 6.9E-06	< 1.9E-04	< 1.1E-05	< 2.3E-05	4.0E-05	5.1E-				

秩父盆地尾田蒔丘陵にみられる中期更新世テフラの記載岩石学的特徴

坂田健太郎^{1,*}・中澤 努¹・中里裕臣²

Kentaro Sakata, Tsutomu Nakazawa and Hiroomi Nakazato (2012) Petrographic properties of Middle Pleistocene tephra layers on the Odamaki Hills, Chichibu, Saitama Prefecture, central Japan. *Bull. Geol. Surv. Japan*, vol. 63 (3/4), p. 119-127, 2 figs, 1 table.

Abstract: Petrographic properties of Middle Pleistocene tephra layers on the Odamaki Hills, Chichibu, Saitama Prefecture, central Japan are described. Examined tephra layers are similar to each other in containing abundant hornblende phenocrysts, but represent a variety of heavy mineral composition including cummingtonite, oxyhornblende, and biotite. Of them, biotite-rich tephra layers are correlatable with the APms known as Middle Pleistocene widespread marker tephra layers in central Japan. Refractive indices (n_2) of cummingtonite in pumiceous tephra layers generally represent low values ranging from 1.657 to 1.661. Hornblende phenocrysts in most pumiceous tephra layers range in refractive index (n_2) from 1.665 to 1.672. Those of the lowermost tephra layer (OD1), however, exhibit a characteristically higher value of 1.672–1.681.

Keywords: Chichibu Basin, Middle Pleistocene, tephra, petrographic property, refractive index

1. はじめに

尾田蒔丘陵は埼玉県西部, 秩父盆地の荒川と赤平川に挟まれた地域に細長く分布する丘陵である (第 1 図). 尾田蒔丘陵には風化の進んだ河成礫の上に層厚約 15 m の火山灰土層がみられ, 火山灰土層には 20 層近くの中期更新世のテフラが挟在することが知られている (鈴木, 2000, 2008). 尾田蒔丘陵のテフラは更に東の関東平野にも分布している可能性が高く, これらのテフラを詳細に記載することは関東平野を構成する中部更新統のテフロクロノロジーを確立するうえでも極めて重要と考えられる.

尾田蒔丘陵のテフラはこれまで多くの研究者により検討されてきた (皆川・町田, 1971; 町田・磯田, 1983; 鈴木・早川, 1990; 清水・堀口, 1994; 鈴木, 2000, 2008; 関東火山灰グループ, 2001 など). このうち関東火山灰グループ (2001) は尾田蒔丘陵及び関東平野西縁の丘陵に分布する中期更新世のテフラについて, 各丘陵ごとに層相, 鉱物組成, 屈折率などを示し, 対比を試みている. また, 鈴木 (2008) は尾田蒔丘陵南部の露頭にみられる火山灰土層及びテフラの柱状図を示し, 関東火山灰グループ (2001) が報告した尾田蒔丘陵のテフラ及びその他の広域テフラとの対比を行っている. しかし, 既往の研究の中では最も詳細にテフラの記載をしている

関東火山灰グループ (2001) も尾田蒔丘陵に見られる主要なテフラ全てについて屈折率を測定しているわけではなく, またカミングトン閃石の屈折率については未記載である. そこで本稿では鈴木 (2000, 2008) が報告した尾田蒔丘陵南部の露頭に見られるテフラについて, 層相及び記載岩石学的特徴を改めて系統的に記載する. あわせて既往の報告との比較も行う.

2. 試料採取地点の層序概要及びテフラの記載・屈折率測定方法

2.1 試料採取地点の層序概要

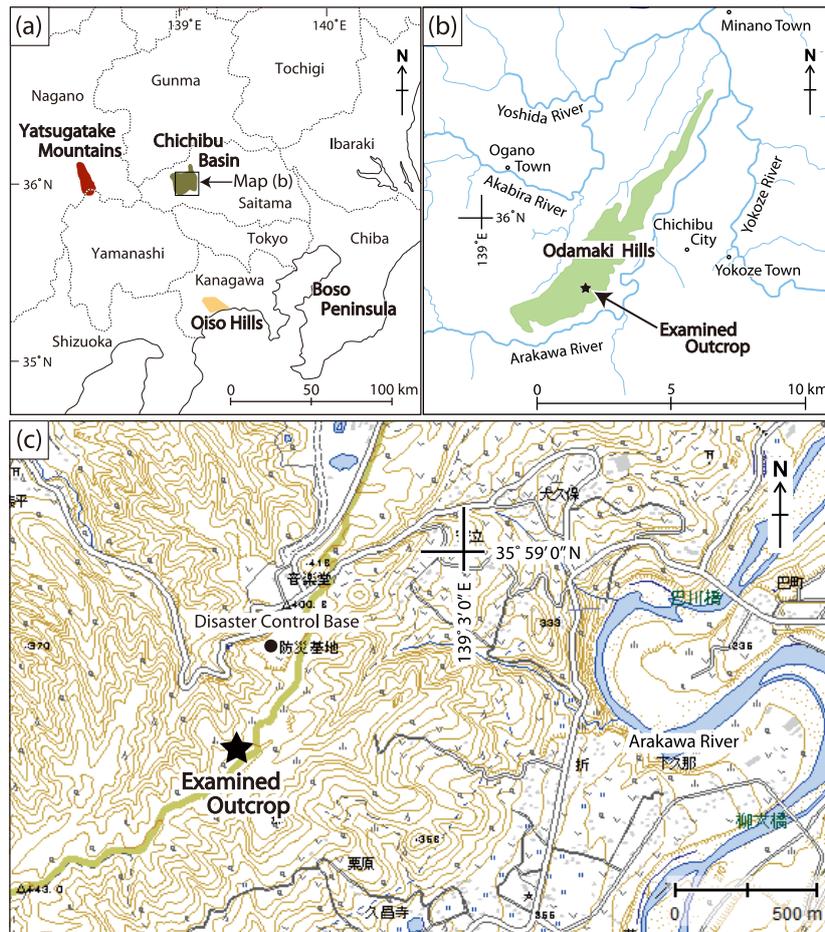
本研究では, 鈴木 (2000, 2008) が報告した, 尾田蒔丘陵南部, 埼玉県秩父郡小鹿野町長留の防災基地南方の粘土採掘場の露頭 (北緯 35° 58' 37.0", 東経 139° 02' 29.0") においてテフラの観察及び試料の採取を行った (第 1 図). 本露頭は丘陵頂部に残丘状に残された狭い平坦面の縁辺部付近に位置する. 鈴木 (2008) は本露頭にみられる 17 層のテフラを柱状図に示し, これらのテフラを下位より OD1 ~ OD17 と命名した. 本研究においてもテフラの名称は鈴木 (2008) に従う.

本露頭の最下部には尾田蒔礫層 (埼玉県, 1954) が観察される. 尾田蒔礫層は全体が風化し褐色を呈した “く

¹ 地質標本館 (AIST, Geological Survey of Japan, Geological Museum)

² 独立行政法人 農業・食品産業技術総合研究機構 農村工学研究所 (National Institute for Rural Engineering, NARO, 2-1-6 Kannondai, Tsukuba, Ibaraki 305-8609, Japan)

* Corresponding author: K. SAKATA, Central 7, 1-1-1 Higashi, Tsukuba, Ibaraki 305-8567, Japan. E-mail: sakata-ke@aist.go.jp



第1図 検討した露頭の位置図 (a) 秩父盆地の位置 (b) 尾田蒔丘陵及び露頭の位置 (c) 露頭周辺の詳細図 (国土地理院電子国土 Web システムの電子国土基本図を使用)。

Fig. 1 Index maps showing the location of the examined outcrop. (a): Map showing the location of the Chichibu Basin. (b) Map showing the distribution of the Odamaki Hills and the location of the examined outcrop. (c): Detailed map around the examined outcrop. Base map from Digital Japan Web System by Geospatial Information Authority of Japan.

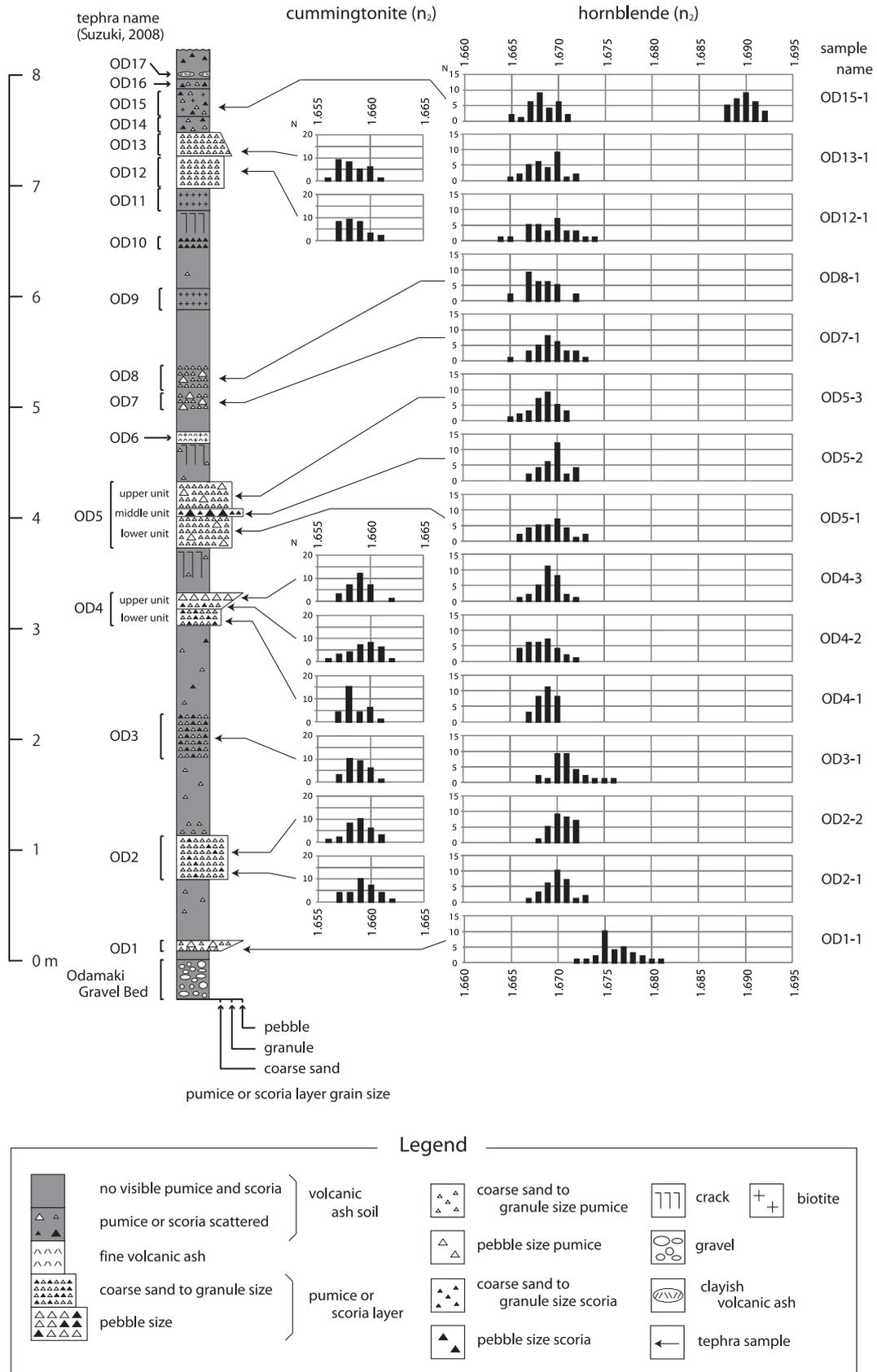
さり礫”状の円礫～亜円礫層である。本露頭でみることができるのは尾田蒔礫層の最上部の数 10 cm 程度であるが、この層準は基質が火山灰土（ローム）からなることを特徴とする（第2図）。また本露頭では礫層の上位に約 10 m の火山灰土層（ローム層）が観察される（第2図）。この火山灰土層の基底から約 4 m 上位までの間には、層厚が大きく粗粒な軽石層が 5 層（OD1～OD5）挟まる（第2図）。その上位（火山灰土層基底より約 7 m 上位までの範囲）には粗粒な軽石質のテフラのほか黒雲母を含有するテフラが目立ち（OD6～OD11）、更に上位（火山灰土層基底より約 8 m 上位までの範囲）には、軽石層やスコリア層、粘土化したテフラなど（OD12～OD17）がみられる（第2図）。このうち鈴木（2000, 2008）は OD6 を大町 APm テフラ群（鈴木・早川, 1990）の A₁Pm、鈴木・早川（1990）及び鈴木（2000, 2008）は OD17 を加久藤テフラ（Kkt: 町田・新井, 2003; 新井・町田, 1980; 鈴木・早津, 1991）に対比した。この対比

に基づく、A₁Pm の降灰年代は海洋酸素同位体ステージ (MIS: Marine isotope stage) 11 のピーク付近 (中澤ほか, 2009)、Kkt は MIS 10～9 (町田・新井, 2003) とされるため、尾田蒔丘陵のテフラはおよそ MIS 11～9 頃を中心とした時期に降灰したテフラ群であると考えられる。

2.2 テフラの記載・屈折率測定方法

挟在するテフラについて、まず野外で層相の特徴（層厚、構成粒子、粒径、色調など）の詳細な観察を行い、次にこれらの中で軽石を主体とする 10 層準（OD1, OD2, OD3, OD4, OD5, OD7, OD8, OD12, OD13, OD15）及び細粒火山灰からなる OD6 より室内分析用の試料を採取した。

採取した試料は室内において、篩目 0.063 mm のメッシュクロス上で水洗し泥分を除去した後、乾燥させ、鏡下の観察により、重鉱物組成を定性的に把握した。普通角閃石あるいはカミングトン閃石が含まれる場合はそれ



第2図 検討した露頭の柱状図とテフラに含まれる普通角閃石・カミングトン閃石の屈折率のヒストグラム。

Fig. 2 Columnar section of the examined outcrop and histograms of refractive indices of hornblende and cummingtonite phenocrysts in the intercalated tephra layers.

らの屈折率を測定した。

屈折率の測定には、株式会社古澤地質製の温度変化型屈折率測定装置 MAIOT (古澤, 1995) を使用した。測定は普通角閃石及びカミングトン閃石をスライドグラスで挟んで潰し、劈開面を出した状態でそれぞれ30点程度行い、屈折率のレンジとモード値を把握した。なお本稿中の普通角閃石、カミングトン閃石の屈折率は n_2 の値として示す。また、本稿では普通角閃石の屈折率について本研究の測定値と関東火山灰グループ (2001) の記載との比較を行うが、関東火山灰グループ (2001) は、屈折率を分散法 (Yoshikawa, 1984) で測定し、木村 (1994) の方法により測定値を得ており、本研究とは測定方法が異なることに留意されたい。

3. テフラの記載

以下に本露頭で観察されたテフラを下位のものから順に記載する。露頭の柱状図及び角閃石類の屈折率のヒストグラムは第2図に、層厚や粒径、粒子組成、屈折率などは第1表にまとめた。なお風化が著しいため、火山ガラスはどのテフラからも検出することはできなかった。

OD1

層厚約 10 cm。粒径が粗粒砂サイズから 5 mm 程度の淡黄色から灰色の軽石よりなり、上方に粗粒化する。ほぼ中央の層準から試料 (OD 1-1 試料) を採取した。重鉍物は普通角閃石を含み、他には磁鉄鉱が観察された。普通角閃石の屈折率は 1.672 ~ 1.681 (1.675, 括弧内はモード値, 以下同じ)。

対比: 関東火山灰グループ (2001) の Tama105 に対比されている (鈴木, 2008)。

OD2

層厚約 40 cm。粒径が粗粒砂から細礫サイズの淡黄色の軽石からなり、同サイズのスコリアが散在する。基底から上方に 10 cm 及び 25 cm の 2 層準からそれぞれ 1 試料ずつ (下位より OD 2-1, OD 2-2) 採取した。2 試料とも含有する重鉍物は普通角閃石が多く、また比較的少量のカミングトン閃石を含む。また、磁鉄鉱がみられる。普通角閃石の屈折率はおおむね 1.667 ~ 1.673 (1.670 ~ 1.672)。カミングトン閃石の屈折率はおおむね 1.656 ~ 1.662 (1.658 ~ 1.660)。

対比: 程久保第 2 テフラ (Hd-2: 町田・新井, 2003; 皆川・町田, 1971) 及び関東火山灰グループ (2001) の Tama106 に対比されている (鈴木, 2008)。

OD3

層厚約 40 cm。火山灰土層中に粒径が粗粒砂から細礫

サイズの白色の軽石及び灰色のスコリアが多く散在する。ほぼ中央の層準から試料 (OD 3-1 試料) を採取した。重鉍物は普通角閃石がみられ、他に比較的少量の酸化角閃石、カミングトン閃石を含む。また、磁鉄鉱が含まれる。普通角閃石の屈折率は 1.668 ~ 1.676 (1.670 ~ 1.671)。カミングトン閃石の屈折率は 1.657 ~ 1.661 (1.658 ~ 1.659)。

対比: 関東火山灰グループ (2001) の Tama109 に対比されている (鈴木, 2008)。

OD4

層厚約 25 cm。下部、上部の 2 つのユニットに分けられ、全体的に上方へ粗粒化する。

下部ユニットは層厚約 12 cm で粗粒砂から極粗粒砂サイズの淡黄色の軽石及びスコリアよりなる。上部ユニットは層厚約 13 cm で、粗粒砂から細礫サイズの白色軽石・スコリア層から粒径 5 ~ 20 mm の白色軽石層へと上方へ顕著に粗粒化する。最上部の粗粒部には岩片を含む。下部ユニットのほぼ中央の層準から 1 試料 (OD 4-1 試料)、上部ユニットの下部及び上部よりそれぞれ 1 試料ずつ (OD 4-2 試料, OD 4-3 試料) の合計 3 試料を採取した。

採取した 3 試料全てで重鉍物組成、屈折率に大きな差異はみられない。重鉍物は普通角閃石が多く、他に少量のカミングトン閃石、黒雲母が含まれる。また、磁鉄鉱が観察される。普通角閃石の屈折率はおおむね 1.666 ~ 1.672 (1.667 ~ 1.670)。カミングトン閃石の屈折率はおおむね 1.656 ~ 1.662 (1.658 ~ 1.661)。

対比: 関東火山灰グループ (2001) の Tama113 に対比されている (鈴木, 2008)。

OD5

層厚約 60 cm。下部、中部、上部の 3 ユニットに区分される。

下部ユニットは層厚約 28 cm で粒径が極粗粒砂サイズから 10 mm の淡黄色の軽石よりなる。中部ユニットは層厚約 5 cm で粒径 3 ~ 10 mm の橙色のスコリアよりなる。上部ユニットは層厚約 28 cm で粒径が極粗粒砂サイズから 10 mm の淡黄色の軽石よりなる。下部、中部、上部の各ユニットのほぼ中央の層準からそれぞれ 1 試料ずつ (OD 5-1 試料, OD 5-2 試料, OD 5-3 試料) の合計 3 試料を採取した。

重鉍物組成は 3 試料全てで普通角閃石が多く、他に比較的少量の黒雲母を含む。また、磁鉄鉱が含まれる。普通角閃石の屈折率は下部 (5-1 試料)、中部 (5-2 試料) がおおむね 1.666 ~ 1.673 (1.670)、上部 (5-3 試料) が 1.665 ~ 1.671 (1.668 ~ 1.669) であり、上部が若干低い値を示す。対比: 関東火山灰グループ (2001) の Tama114 に対比されている (鈴木, 2008)。

OD6

層厚約 8 cm. 細粒火山灰起源と思われる灰白色のシルトからなり、黒雲母が散在する。ほぼ中央の層準から試料 (OD 6-1) を採取した。重鉱物は黒雲母に富み、他に極少量の普通角閃石を含む。また、磁鉄鉱がみられる。普通角閃石は微量のため屈折率の測定はできなかった。対比：鈴木 (2000, 2008) は黒雲母に富む特徴やチタン磁鉄鉱の主成分化学組成から OD6, OD9, OD11, OD15 を大町 APm テフラ群に対比し、更にそれらのテフラと後述する OD13, OD17 との層位関係から、それぞれを A₁Pm, A₂Pm, A₃Pm, A₄Pm とした。また、OD6 は関東火山灰グループ (2001) の Tama116 に対比される (鈴木, 2008)。なお A₁Pm は大磯丘陵の TE-5a (町田ほか, 1974; 町田・新井, 2003) 及び房総半島下総層群地藏堂層の J4 (徳橋・遠藤, 1984) に対比され (町田・新井, 2003)、関東平野の地下にも広く分布することが知られている (中澤・中里, 2005; 中里ほか, 2006; 中澤ほか, 2009)。

OD7

層厚約 15 cm. 火山灰土層中に粒径が 2~7 mm の淡黄色から灰色の軽石が多く散在する。ほぼ中央の層準から試料 (OD 7-1) を採取した。重鉱物は普通角閃石、黒雲母が多く、他に比較的少量の酸化角閃石がみられる。また、磁鉄鉱が観察される。普通角閃石の屈折率は 1.665~1.673 (1.669~1.670)。対比：他地域のテフラとの対比は行われていない。

OD8

層厚約 25 cm. 火山灰土層中に粒径が粗粒砂サイズから 5 mm の黄色から灰色の軽石が多く散在する。ほぼ中央の層準から試料 (OD 8-1) を採取した。重鉱物は普通角閃石が多く、他に少量の酸化角閃石がみられる。また、磁鉄鉱が観察される。普通角閃石の屈折率は 1.665~1.672 (1.667~1.669)。対比：関東火山灰グループ (2001) の Tama118 に対比されている (鈴木, 2008)。

OD9

層厚約 20 cm. 火山灰土層中に黒雲母が多く散在する。試料は採取していない。対比：鈴木 (2000, 2008) により黒雲母に富む特徴やチタン磁鉄鉱の主成分化学組成及び OD6, OD11, OD13, OD15, OD17 との層位関係から、大町 APm テフラ群の A₂Pm に対比されている。また、関東火山灰グループ (2001) の Tama119 に対比される (鈴木, 2008)。

OD10

層厚約 20 cm. 火山灰土層中に細礫サイズのスコリア

が散在する。試料は採取していない。

OD11

層厚約 20 cm. 火山灰土層中に黒雲母が多く散在する。試料は採取していない。対比：鈴木 (2000, 2008) により黒雲母に富む特徴やチタン磁鉄鉱の主成分化学組成及び OD6, OD9, OD13, OD15, OD17 との層位関係から大町 APm テフラ群の A₃Pm に対比されている。

OD12

層厚約 30 cm. 主に粒径が粗粒砂から極粗粒砂サイズの軽石からなり、一部には細礫サイズのものも混じる。ほぼ中央の層準から試料 (OD 12-1) を採取した。重鉱物は黒雲母が多く、次いで普通角閃石、カミングトン閃石がみられる。また、磁鉄鉱が観察される。普通角閃石の屈折率は 1.664~1.674 (1.670)。カミングトン閃石の屈折率は 1.657~1.661 (1.657~1.659)。対比：他地域のテフラとの対比は行われていない。

OD13

層厚約 20 cm. 粒径が粗粒砂から細礫サイズの淡黄色から灰色の軽石よりなり、上方に細粒化する。下部より試料 (OD 13-1) を採取した。重鉱物は普通角閃石が多く、次いでカミングトン閃石、更に少量の黒雲母がみられる。また、磁鉄鉱が観察される。普通角閃石の屈折率は 1.665~1.672 (1.670)。カミングトン閃石の屈折率は 1.656~1.661 (1.657~1.658)。対比：関東火山灰グループ (2001) の Tama120 への対比の可能性が示唆されている (鈴木, 2008)。また、角閃石含有白色軽石 (Yt-hop: 町田・新井, 2003; Ho. 白 Pm: ハヶ岳団体研究グループ, 1988) に対比されているが (鈴木・早川, 1990; 鈴木, 2000, 2008)、次章で述べるように対比には疑問が残る。

OD14

層厚約 15 cm. 火山灰土層中に粗粒砂から細礫サイズの軽石及びスコリアが散在する。試料は採取していない。

OD15

層厚約 25 cm. 火山灰土層中に粒径が粗粒砂から細礫サイズの軽石とスコリア及び黒雲母が多く散在する。ほぼ中央の層準から試料 (OD 15-1) を採取した。重鉱物は黒雲母が最も多く、更に比較的少量の普通角閃石を含んでいる。他に磁鉄鉱がみられる。普通角閃石の屈折率はバイモーダルを示し、1.665~1.671 (1.668) 及び 1.688~1.692 (1.690)。対比：鈴木 (2000, 2008) により黒雲母に富むこと及びチタン磁鉄鉱の主成分化学組成及び OD6, OD9, OD11,

OD13, OD17との層位関係から大町 APm テフラ群の A₄Pm に対比されている。また、関東火山灰グループ (2001) の Tama122 に対比される (鈴木, 2008)。

OD16

層厚約 10 cm. 火山灰土層中に粗粒砂から細礫サイズの軽石及びスコリアが多く散在する。試料は採取していない。

対比: 関東火山灰グループ (2001) の Tama123 に対比されている (鈴木, 2008)。

OD17

火山灰土層中に淡黄色の粘土化したテフラがパッチ状にみられる。試料は採取していない。

対比: Kkt 及び関東火山灰グループ (2001) の Tama124 に対比されている (鈴木, 2008)。

4. 指標となりうるテフラの特徴及び これまでの研究との比較

4.1 指標として有用なテフラの特徴

今回検討したテフラは主に普通角閃石に富む軽石質テフラが多く、互いに似たような性質を持つが、特徴的な重鉱物組成、屈折率特性を持つテフラも存在する。重鉱物組成では OD6, OD7, OD9, OD11, OD12, OD15 は多量の黒雲母, OD2, OD3, OD4, OD12, OD13 はカミングトン閃石, OD3, OD7, OD8 は酸化角閃石を含むことで特徴づけられる (第 1 表)。

普通角閃石の屈折率は、ほとんどのテフラでレンジが 1.665 ~ 1.672, モードが 1.670 前後にあるが、OD1 のみ 1.672 ~ 1.681 (1.675) と有意に高い値を示す (第 2 図及び第 1 表)。この特徴は OD1 と他地域のテフラを対比する場合に有効である。したがって、今後 OD1 は広域的な地層の対比に重要な指標テフラになりうる。

また、その他のテフラも鉱物組成の変化を利用した複数のテフラの組み合わせにより広域的な地層の対比の指標として活用できる可能性がある。

4.2 これまでの研究との比較

鈴木 (2008) の対比に基づき、本研究と関東火山灰グループ (2001) などが記載する尾田蒔丘陵のテフラ及びその他広域テフラについて比較検討を行った。以下に比較により明らかになった相違点及び新知見を記す。なお普通角閃石の屈折率については、関東火山灰グループの測定値は本研究の測定値よりも若干ではあるが低いことが多いようである (第 1 表)。前述のように、この差は本研究と関東火山灰グループとで測定法が異なることに起因する可能性がある。

OD1

鈴木 (2008) によれば OD1 は関東火山灰グループ (2001) の Tama105 に相当するが、本研究での普通角閃石の屈折率は 1.672 ~ 1.681 (1.675), 関東火山灰グループ (2001) が示した尾田蒔丘陵の Tama105 の普通角閃石の屈折率は 1.665 ~ 1.670 であり (第 1 表), 両者は大きく異なる。今回検討した OD1 は関東火山灰グループ (2001) の Tama105 とは異なる可能性も否定できないが、少なくとも今回検討した OD1 は本露頭にみられる他のテフラよりも明らかに高い値を示し、今後、秩父盆地のみならず東方の関東平野の更新統の指標テフラとしても期待できる。

OD5

OD5 は関東火山灰グループ (2001) の Tama114 に相当する (鈴木, 2008)。普通角閃石の屈折率は下, 中部がおおむね 1.666 ~ 1.673 (1.670), 上部が 1.665 ~ 1.671 (1.668 ~ 1.669) であり, 上部がやや低い値を示すことを特徴とする (第 2 図及び第 1 表)。関東火山灰グループ (2001) は Tama114 をユニット区分せず, 普通角閃石の屈折率を 1.666 ~ 1.670 としているが (第 1 表), この値は本研究の上部の値に近い。

OD13

OD13 は関東火山灰グループ (2001) の Tama120 に相当し (鈴木, 2008), ハヶ岳周辺から報告される Yt-hop に対比されている (鈴木・早川, 1990; 鈴木, 2000, 2008)。鈴木・早川 (1990) は OD13 (埼玉県秩父市安立の wh. Pm: 鈴木・早川, 1990) に含まれる普通角閃石の屈折率を 1.666 ~ 1.674, 長野県南牧村川平の Yt-hop に含まれる普通角閃石の屈折率を 1.666 ~ 1.676 とし, 両者を対比した (第 1 表)。しかし, 重鉱物組成については, 鈴木・早川 (1990) は, Yt-hop には普通角閃石の他に斜方輝石, 単斜輝石などが含まれるとしているが, OD13 には普通角閃石のみ含まれるとしている (第 1 表)。本研究においても OD13 には普通角閃石, カミングトン閃石はみられたが, 斜方輝石, 単斜輝石はみられなかった (第 1 表)。また, 本研究及び関東火山灰グループ (2001) の OD13 の普通角閃石の屈折率はそれぞれ 1.665 ~ 1.672 (1.670), 1.665 ~ 1.671 であり (第 1 表), 鈴木・早川 (1990) の OD13 の値にはおおむね近いが, 鈴木・早川 (1990) の Yt-hop の値と比べると高屈折率側のレンジが狭い。一方, 長野県南牧村川平の Yt-hop は町田・新井 (2003) によっても記載されている。町田・新井 (2003) は鈴木・早川 (1990) と同様に Yt-hop には普通角閃石, 斜方輝石, 単斜輝石が含まれるとしており (第 1 表), 本研究の OD13 とは異なる。また町田・新井 (2003) は Yt-hop の普通角閃石の屈折率を 1.669 ~ 1.674 としているが (第 1 表), この値は本研究の OD13 の値よりも

第1表 検討したテフラの記載岩石学的特徴及びこれまでに報告されたテフラの普通角閃石の屈折率との比較.
Table 1. Petrographic properties of the examined tephra layers and comparison of refractive indices of hornblende phenocrysts measured by this study with those reported by the previous study.

Tephra name	Unit division	Thickness (cm)	Grain size	Particle component	Sample name	Heavy mineral composition	This study				Correlation by Suzuki (2008)			
							Refractive index of cummingtonite (n _z)	Refractive index of hornblende (n _z)	Tephra name	Refractive index of hornblende (n _z)	Tephra name	Refractive index of cummingtonite (n _z)	Refractive index of hornblende (n _z)	Heavy mineral composition
OD17	-	-	-	lyw clayish volcanic ash	-	-	-	-	Tama124	-	-	-	-	-
OD16	-	10	c - gr	pm, sco	-	-	-	-	Tama123	-	-	-	-	-
OD15	-	25	c - gr	pm, sco	OD15-1	bi >> ho; mt	1.665-1.671 (1.668), 1.668-1.692 (1.690)	-	Tama122	-	-	-	1.650-1.698 (1.690-1.695) 1.685-1.695	bi, ho, opx mt, ho, bi
OD14	-	15	c - gr	pm, sco	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
OD13	-	20	c - gr	lyw - gy pm	OD13-1	ho > cum >> (bi); mt	1.656-1.661 (1.657-1.656)	1.665-1.672 (1.670)	Tama120	1.665-1.671	-	-	1.669-1.674 1.666-1.676 1.666-1.674	ho, opx, cpx ho, opx, cpx > mt ho
OD12	-	30	c - gr	pm	OD12-1	bi > ho, cum; mt	1.657-1.661 (1.657-1.659)	1.664-1.674 (1.670)	-	-	-	-	-	-
OD11	-	20	-	-	-	bi	-	-	-	-	-	-	1.688-1.693	bi, ho, opx
OD10	-	20	gr	sco	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
OD9	-	20	-	-	-	bi	-	-	Tama119	-	-	-	-	-
OD8	-	25	c - 5 mm	yw - gy pm	OD8-1	ho >> oxho; mt	1.665-1.672 (1.667-1.669)	1.665-1.672 (1.670)	Tama118	1.666-1.672	-	-	1.667-1.693	bi, ho, opx
OD7	-	15	2 - 7 mm	lyw - gy pm	OD7-1	ho, bi >> oxho; mt	1.665-1.673 (1.669-1.670)	-	-	-	-	-	-	-
OD6	-	8	-	gywh, fine volcanic ash	OD6-1	bi >> (ho); mt	-	-	Tama116	1.685-1.696	-	-	1.667-1.694 (1.668-1.693)	bi, ho, opx
OD5	upper	28	v.c - 10 mm	lyw pm	OD5-3	ho >> bi; mt	1.665-1.671 (1.668-1.669)	1.667-1.672 (1.670)	-	-	-	-	-	-
	middle	5	3 - 10 mm	or sco	OD5-2	ho >> bi; mt	-	1.667-1.672 (1.670)	Tama114	1.666-1.670	-	-	-	-
	lower	28	v.c - 10 mm	lyw pm	OD5-1	ho >> bi; mt	-	1.666-1.673 (1.670)	-	-	-	-	-	-
OD4	u, upper	10	5 - 20 mm	wh pm, lithic frag.	OD4-3	ho >> (cum); (bi); mt	1.657-1.662 (1.659)	1.666-1.672 (1.669-1.670)	-	-	-	-	-	-
	l, upper	3	c - gr	wh pm, sco	OD4-2	ho >> (cum); (bi); mt	1.656-1.662 (1.659-1.661)	1.666-1.672 (1.667-1.669)	Tama113	1.665-1.669	-	-	-	-
	lower	12	c - v.c	lyw pm, sco	OD4-1	ho >> (cum); (bi); mt	1.657-1.661 (1.658)	1.667-1.670 (1.668-1.670)	-	-	-	-	-	-
OD3	-	40	c - gr	wh pm, gy sco	OD3-1	ho >> oxho > cum; mt	1.657-1.661 (1.658-1.659)	1.669-1.676 (1.670-1.671)	Tama109	-	-	-	-	-
	-	40	c - gr	lyw pm, sco (25 cm above base)	OD2-2	ho >> cum; mt	1.656-1.661 (1.659-1.659)	1.668-1.672 (1.670-1.672)	-	-	-	-	-	-
	-	40	c - gr	lyw pm, sco (10 cm above base)	OD2-1	ho >> cum; mt	1.657-1.662 (1.659-1.660)	1.667-1.673 (1.670-1.671)	Tama106	1.666-1.669	1.658-1.661 (1.659)	1.667-1.671 (1.670)	1.667-1.694 (1.668-1.693)	ho, cum; (bi)
OD1	-	10	c - 5 mm	lyw - gy pm	OD1-1	ho; mt	1.672-1.681 (1.675)	1.672-1.681 (1.675)	Tama105	1.665-1.670	-	-	-	-

Grain size c: coarse sand, v.c: very coarse sand, gr: granule
 Particle component pm: pumice, sco: scoria, frag: fragment, lyw: light yellow, gy: gray, wh: white, or: orange, gywh: grayish white, yw: yellow
 Heavy mineral composition ho: hornblende, oxho: oxyhornblende, bi: biotite, opx: orthopyroxene, cpx: clinopyroxene, (): mode value
 Refractive index (): mode value

有意に高い。以上のように OD13 と Yt-hop の対比には疑問が多く、さらなる検討を要する。

OD15

OD15 は大町 APm テフラ群の A₄Pm に対比され (鈴木, 2000, 2008), 関東火山灰グループ (2001) の Tama122 に相当する (鈴木, 2008)。関東火山灰グループ (2001) は Tama122 の普通角閃石の屈折率を示していないが, 鈴木・早川 (1990) は埼玉県秩父市安立の OD15 (ただし, 鈴木・早川 (1990) は OD15 を A₃Pm と対比している; 鈴木 (2000) はこの対比を修正し, OD15 を A₄Pm と対比した) の普通角閃石の屈折率を 1.685 ~ 1.695 と記載している (第 1 表)。本研究の OD15 の普通角閃石の屈折率は 1.665 ~ 1.671 (1.668) 及び 1.688 ~ 1.692 (1.690) を示す (第 2 図及び第 1 表)。このうち高屈折率の値は鈴木・早川 (1990) の示す OD15 の普通角閃石の屈折率のレンジ内に収まり, A₄Pm の普通角閃石の屈折率 1.690 ~ 1.698 (1.690 ~ 1.695) (第 1 表; 町田・新井, 2003) と比べやや低いものの, 大町 APm テフラ群に特有の高い値である。また, 黒雲母に富むこと (第 1 表) も大町 APm テフラ群の特徴 (第 1 表; 町田・新井, 2003) と一致する。OD15 は火山灰土層中に散在する産状を示し, 今回試料は火山灰土ごと採取していることから, 検討した試料には A₄Pm 以外のテフラを起源とする低屈折率の普通角閃石が混在しているものと考えられる。

5. まとめ

尾田蒨丘陵南部の露頭にみられる中期更新世テフラについて記載岩石学的特徴を検討した。検討したテフラは鈴木 (2000, 2008) により報告された OD1 ~ OD17 である。各テフラの層相記載を行い, 更に主に軽石を主体とするテフラの重鉱物組成及び普通角閃石, カミングトン閃石の屈折率を調べた。また, 鈴木 (2008) の対比に基づき, 既往の報告との比較検討を行った。

今回検討したテフラの多くは重鉱物組成において普通角閃石に富む性質を持ち, 一見識別が困難であるが, OD2, OD3, OD4, OD12, OD13 はカミングトン閃石を含むこと, OD3, OD7, OD8 は酸化角閃石を含むこと, OD6, OD7, OD9, OD11, OD12, OD15 は多量の黒雲母を含むことで特徴づけられる。また, カミングトン閃石の屈折率はおおむね 1.657 ~ 1.661 の範囲で 1.658 ~ 1.659 付近にモード値を示す。一方, 普通角閃石の屈折率はおおむね 1.665 ~ 1.672 の範囲で 1.670 前後にモード値を示すものが多いが, OD1 のみ普通角閃石の屈折率が 1.672 ~ 1.681 (1.675) と有意に高い値を示す。このほか既往の報告との比較から, 鈴木 (2008) が Tama114 に対比する OD5 は下部と上部で普通角閃石の屈折率が異なる

こと, 鈴木・早川 (1990) や鈴木 (2000, 2008) による OD13 と Yt-hop の対比には疑問が残ることが明らかになった。また, 鈴木 (2000, 2008) により大町 APm テフラ群の A₄Pm に対比される OD15 の普通角閃石の屈折率は, バイモーダルを呈するものの, そのうちの一方は 1.688 ~ 1.692 (1.690) と, 大町 APm テフラ群に特有の高い値を示す。今後 OD1 をはじめとしたこれらのテフラが関東平野の中期更新世テフロクロロジーの確立に貢献する可能性がある。

謝辞: 担当編集委員の吉川敏之氏 (地質情報研究部門) 及び査読者の植木岳雪氏 (地質情報研究部門) からは査読を通じてたいへん有益なコメントを頂いた。御二方に厚く御礼申し上げる。

文 献

- 新井房夫・町田 洋 (1980) 日本のテフラ・カタログ I - 西日本~東北地方の第四紀後期示標テフラの岩石記載的性質 -。軽石学雑誌, **6**, 65-76.
- 古澤 明 (1995) 火山ガラスの屈折率測定および形態分類とその統計的な解析に基づくテフラの識別。地質学雑誌, **101**, 123-133.
- 関東火山灰グループ (2001) 多摩 1 ローム層の鉱物組成とテフラの対比。地球科学, **55**, 23-36.
- 木村純一 (1994) 光学的分散法による屈折率測定法: パーソナルコンピュータを用いた迅速測定法。福島大学理科報告, **53**, 13-22.
- 町田瑞男・磯田亮洋 (1983) 関東平野西縁, 秩父盆地の第四紀地史。埼玉県立自然史博物館研究報告, **1**, 51-66.
- 町田 洋・新井房夫・村田明美・袴田和夫 (1974) 南関東における第四紀中期のテフラ対比とそれに基づく編年。地学雑誌, **83**, 302-338.
- 町田 洋・新井房夫 (2003) 新編 - 火山灰アトラス - 日本列島とその周辺。東京大学出版会, 336p.
- 皆川絃一・町田瑞男 (1971) 南関東の多摩ローム層層序。地球科学, **25**, 164-176.
- 中里裕臣・中澤 努・水野清秀 (2006) 関東平野中部~東部の中・上部更新統の編年。月刊地球, **28**, 17-23.
- 中澤 努・中里裕臣 (2005) 関東平野中央部に分布する更新統下総層群の堆積サイクルとテフロクロロジー。地質学雑誌, **111**, 87-93.
- 中澤 努・中里裕臣・大嶋秀明・堀内誠示 (2009) 関東平野中央部における上総 - 下総層群境界: 越谷 GS-KS-1 コアでの MIS12 層準の特定。地質学雑誌, **115**, 49-63.
- 埼玉県 (1954) 20 万分の 1 埼玉県地質図及び説明書, 埼

- 玉県, 44p.
- 清水康守・堀口万吉 (1994) 関東平野西部の多摩ローム層について. 埼玉大学紀要 自然科学篇, **29**, 107-119.
- 鈴木毅彦 (2000) 埼玉県秩父盆地に分布するテフラとその考古編年上の意義. 月刊地球, **22**, 687-692.
- 鈴木毅彦 (2008) 秩父盆地. 日本地質学会 (編), 日本地方地質誌 3 関東地方, 朝倉書店, pp. 365-367.
- 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・早津賢二 (1991) 関東 - 中部地方の第四紀テフラ研究 - とくに中期更新世テフラの重要性 -. 第四紀研究, **30**, 361-368.
- 徳橋秀一・遠藤秀典 (1984) 姉崎地域の地質. 地域地質研究報告 (5 万分の 1 図幅), 地質調査所, 136p.
- 八ヶ岳団体研究グループ (1988) 八ヶ岳山麓の中部更新統. 地団研専報, **34**, 53-89.
- Yoshikawa, S (1984) Volcanic Ash Layers in the Osaka and Kobiwako Group, Kinki District, Japan. Journal of Geosciences, Osaka City University, **27**, 1-40.

(受付 : 2011 年 12 月 20 日 ; 受理 : 2012 年 7 月 25 日)

地質調査総合センター研究資料集

- | | | |
|-----|---|---|
| 539 | 沖積層の三次元グリッドモデルとその作成手法（概要）－東京低地北部から中川低地南部の例－ | 木村克己・石原与四郎・花島裕樹・根本達也 |
| 540 | 日本及び周辺地域の泥火山データベース | 高橋正明・切田 司・大丸 純・風早康平 |
| 541 | 世界石紀行 | 加藤碩一・青木正博・須田郡司・芝原暁彦 |
| 542 | 桜島昭和火口の噴煙の時間的変化の観察 | 西来邦章・宮城磯治 |
| 543 | 日本の大規模マスムーブメントデータベース | 塚本 斉 |
| 544 | 3D 絵葉書 | 岸本清行・河村幸男・川畑 晶・中島 礼 |
| 545 | 筑波山・霞ヶ浦地質見学ガイド | 中島 礼・西岡芳晴・宮地良典 |
| 546 | 石川県珠洲市（能登半島）の中新統飯塚層から産出した鱈脚類及び鯨類化石の珪藻年代 | 柳沢幸夫・小西健二・甲能直樹 |
| 547 | 房総半島南部下部～中部中新統産の珪質鞭毛藻化石 | 沢村孝之助・柳沢幸夫 |
| 548 | 地質情報展 2011 みと 未来に活かそう 大地の鳴動 | 川畑 晶・中島和敏・大熊洋子・百目鬼洋平 |
| 549 | 新潟県津川地域音無川沿いに露出する野村層（中部～上部中新統）のテフラ層 | 平中宏典・柳沢幸夫・黒川勝己 |
| 551 | 地質調査総合センター第 18 回シンポジウム地質学で読み解く巨大地震と将来の予測 ーどこまでわかったかー | 地質調査総合センター編 |
| 552 | 地質調査総合センター第 19 回シンポジウム社会ニーズに応える地質地盤情報 ー都市平野部の地質地盤情報をめぐる最新の動向ー | 地質調査総合センター編 |
| 553 | 釧路炭田地域石炭資源探査坑井（北陽・留真・釧路沖）のコア試料の観察結果 | 佐脇貴幸・中嶋 健・小笠原正継・鈴木祐一郎 |
| 554 | イーハトーブの地質ジオ | 加藤碩一・青木正博・長森英明 |
| 555 | 産総研におけるベントナイトのメチレンブルー吸着量測定方法 | 堀内悠・高木哲一 |
| 556 | 概要調査の調査・評価項目に関する技術資料 ー立地要件への適合性とその根拠となる調査結果の妥当性ー | 深部地質環境研究コア編 |
| 557 | 第 1 回アジア太平洋大規模地震・火山噴火リスク対策ワークショップ講演要旨集 | 佃 栄吉・高橋 浩・宝田晋治・高田 亮・桑原保人・吾妻 崇・小泉尚嗣・石川有三 |
| 558 | 2011 年の霧島山噴火映像 | 宮城磯治 |
| 559 | 砂漠を歩いてマントルへ ー中東オマーンの地質探訪ー | 小笠原正継・青木正博・芝原暁彦・澤田結基 |
| 560 | 概要調査の調査・評価項目に関する技術資料 ー立地要件への適合性とその根拠となる調査結果の妥当性ー | 深部地質環境研究コア編 |
| 561 | 一般向けウェブページ用地質用語の解説 | 吉川敏之・井川敏恵・西岡芳晴 |
| 562 | 茨城県瓜連丘陵に分布する引田層のフィッシュン・トラック年代 | 山元孝広 |
| 563 | 仙山線沿線の地質ガイド | 高橋裕平 |
| 564 | 日本列島における地下水賦存量の試算に用いた堆積物の地層境界面と層厚の三次元モデル（第一版） | 越谷 賢・丸井敦尚 |
| 566 | 2011 年 9 月紀伊半島台風 12 号による災害緊急調査報告 | 川畑大作・斎藤 眞 |

地質調査総合センターの最新出版物

200 万分の 1 地質編集図	No. 4	日本地質図第 5 版
20 万分の 1 地質図幅		伊勢・静岡及び御前崎 (第 2 版)・与論島及び那覇・八代及び野母崎の一部・新潟 (第 2 版)
5 万分の 1 地質図幅		佐賀・宇都宮・小滝・西郷・延岡・野田・加茂・戸賀及び船川 (第 2 版)・熱海・榛名山
海外地球科学図		アジア地質図 (1:500 万)
		中央アジア鉱物資源図 (1:300 万)
海洋地質図	No. 73	釧路沖海底地質図 (1:20 万)
	No. 74	落石岬沖海底地質図 (1:20 万)
	No. 75	天売島周辺海底地質図 (1:20 万)
	No. 76	積丹半島付近表層堆積図 (1:20 万)
構造図	No. 14	全国主要活断層活動確率地図
火山地質図	No.15	樽前火山地質図 (1:3 万)
	No.16	十勝岳火山地質図 (1:3 万)
鉱物資源図	No. 7	南西諸島 (1:50 万)
特殊地質図	No. 39	千葉県清和県民の森周辺の地質図
水文環境図	No. 6	山形盆地 (1:20 万) CD-ROM
重力図	No. 27	岡山地域重力図 (ブーゲー異常)
	No. 28	高知地域重力図 (ブーゲー異常)
	S3	甲府地域重力構造図 (ブーゲー異常)
空中磁気図	No. 44	岩手火山地域高分解能空中磁気異常図
	No. 45	福井平野地域高分解能空中磁気異常図
数値地質図	G-16	20 万分の 1 日本シームレス地質図 DVD 版
	G-17	九州地質ガイド
	FR-2	燃料資源地質図「東部南海トラフ」
	GT-4	全国地熱ポテンシャルマップ
	S-1	海陸シームレス地質情報集「能登半島北部沿岸域」DVD 版
	S-2	海陸シームレス地質情報集「新潟沿岸域」DVD 版
	V-3	口永良部島火山地質データベース
	P-7	有珠火山地域地球物理総合図」
	G20-1	20 万分の 1 数値地質図幅集「北海道北部」第 2 版
	G20-2	20 万分の 1 数値地質図幅集「北海道南部」第 2 版
	E-5	表層土壌評価基本図 ～富山県地域～
その他		日本の熱水系アトラス
		海と陸の地球化学図

地質調査研究報告編集委員会

委員長	森下祐一
副委員長	佐脇貴幸
委員	大谷竜
	川敏之
	長森英明
	鈴木淳
	片山肇
	澤井祐紀
	月村勝宏
	川邊禎久
	神宮司元治
	内野隆之
	森尻理恵
	中野俊

事務局

独立行政法人 産業技術総合研究所
地質調査情報センター
地質・衛星情報サービス室
Tel : 029-861-3601
<http://www.gsj.jp/inquiries.html>

地質調査研究報告 第63巻 第3/4号
平成24年10月1日 発行

独立行政法人 産業技術総合研究所
地質調査総合センター
〒305-8567 茨城県つくば市東1-1-1
つくば中央第7

本誌掲載記事の無断転載を禁じます。

©2012 Geological Survey of Japan, AIST
<http://www.gsj.jp/>

Bulletin of the Geological Survey of Japan Editorial Board

Chief Editor: Yuichi Morishita
Deputy Chief Editor: Takayuki Sawaki
Editors: Ryu Ohtani
Toshiyuki Yoshikawa
Hideaki Nagamori
Atsushi Suzuki
Hajime Katayama
Yuki Sawai
Katsuhiko Tsukimura
Yoshihisa Kawanabe
Jinguuji Motoharu
Takayuki Uchino
Rie Morijiri
Shun Nakano

Secretariat

National Institute of Advanced Industrial
Science and Technology
Geological Survey of Japan
Geo-information Center Geoinformation Service Office
Tel: +81-29-861-3601
<http://www.gsj.jp/inquiries.html>

Bulletin of the Geological Survey of Japan
Vol.63 No.3/4 Issue October 01, 2012

National Institute of Advanced Industrial
Science and Technology
Geological Survey of Japan
AIST Tsukuba Central 7, 1-1, Higashi 1-chome,
Tsukuba, Ibaraki 305-8567 Japan

All rights reserved.

©2012 Geological Survey of Japan, AIST
<http://www.gsj.jp/>

BULLETIN
OF THE
GEOLOGICAL SURVEY OF JAPAN

Vol. 63 No. 3/4 2012

CONTENTS

- Quantitative re-description of tephra units since 0.3 Ma in the Fukushima-Tochigi region, NE Japan
Takahiro Yamamoto.....35
- Comparison of borehole strainmeter measurements with GPS: A case study at the stations of the
Geological Survey of Japan, AIST
Ryu Ohtani, Norio Matsumoto, Kazunari Nawa, Satoshi Itaba.....93
- Observation of radionuclides transported with aerosols at the GSJ in 2011: in relation to the Fukushima
Daiichi Nuclear Power Plant accident
Yutaka Kanai.....107
- Petrographic properties of Middle Pleistocene tephra layers on the Odamaki Hills, Chichibu, Saitama
Prefecture, central Japan
Kentaro Sakata, Tsutomu Nakazawa and Hiroomi Nakazato.....119

GEOLOGICAL SURVEY OF JAPAN
National Institute of Advanced Industrial Science and Technology

1-1, Higashi 1-chome, Tsukuba, Ibaraki, 305-8567 Japan

地 調 研 報
Bull. Geol. Surv. Japan
Vol. 63, No. 3/4, 2012