越後平野の沖積層形成における火山性洪水イベントの影響

Influence of a volcanogenic flood event on an alluvial depositional system: the Holocene Echigo Plain of northeast Japan

Abstract

ト部厚志* 藤本裕介**,†
片岡香子*

Atsushi Urabe, Yusuke Fujimoto**,†
and Kyoko S. Kataoka**

2010年10月26日受付.

2011年6月25日受理.

* 新潟大学災害・復興科学研究所
Research Institute for Natural Hazards and
Disaster Recovery, Niigata University,
Ikarashi 2-cho 8050, Niigata 950-2181, Japan

** 新潟大学理学部地質科学科
Department of Geology, Faculty of Science,
Niigata University, Ikarashi 2-cho 8050, Ni-
igata 950-2181, Japan

† 現所属: 東日本旅客鉄道株式会社
Present address: East Japan Railway Compa-
ny

Corresponding author: A. Urabe,
urabe@gs.niigata-u.ac.jp

The Echigo Plain, which faces the Sea of Japan in northeast Japan, is a typical coastal plain with numerous sand dunes. We examined the sedimentology of pumiceous sediments (lahar deposits) in the Agano River area of the Echigo Plain, derived mainly from a large-scale dam-break flood after the Numazawako eruption (about 5 ka), using an existing borehole dataset and facies analysis of sediment cores.

The lahar deposits show different sedimentary facies in coastal areas versus the shallow marine environment. Coarse-grained pumiceous sediments (5–8 m thick) are interpreted to have been deposited under the delta front or in a delta plain environment in a coastal area. Sandy silt deposits (pro-delta facies), including pyroclastic material (horizons of concentrated volcanic glass shards and heavy minerals), are distributed in the shallow sea area.

The large volumes of volcanoclastic sediment delivered during the flood event induced the rapid progradation of the delta system in the Agano River region. The deposition of volcanoclastic sediments in the shallow sea also caused progradation of the delta system and changed the coastal landforms along the margin of the Echigo Plain.

The flood event resulted in an increase in the progradation rate of the depositional system from 0.9 to 2.5 km per 1000 years. An understanding of large-scale pyroclastic resedimentation can contribute to evaluating and predicting the volume of sediment discharge and the nature of hazards created by a volcanogenic flood and its aftermath in an alluvial plain setting.

Keywords: Numazawa volcano, ignimbrite dam, pyroclastic resedimentation, Echigo Plain, delta progradation, Holocene

はじめに

越後平野は、信濃川と阿賀野川の下流域に位置し、分布や弧状の形態の相違から新砂丘Ⅰから新砂丘Ⅲに大分される砂丘列群が発達する(新潟古砂丘グループ, 1974, 1979; 田中ほか, 1996 など: Figs. 1, 2). 越後平野の沖積層の堆積過程は、2つの河川流域において異なり、新潟市西部の信濃川流域(西蒲原地域)では、約8,000年前にバリアー・ラグーンシステムが形成されたのち、急激な沈降による堆積システムの後退と前進を繰り返しながら、全般的にはバリアー・ラグーンシステムが前進して平野を埋積している(ト部ほか, 2006a). 一方、新潟市東部の阿賀野川流域では、河川による粗粒碎屑物の供給によって最終氷期最盛期以降の海進期から河川起源の堆積物が分布し、海進のピーク時以降もバリアーシステムは形成されず、新砂丘Ⅰから新砂丘Ⅲの砂丘列はデルタシステムを基礎としていることが明らかとなっている(ト部, 2008). このように、越後平野は、海岸部に砂丘

が発達する地形環境でありながら卓越する営力の違いによって2つの異なる堆積システムを有しながら発達する. しかし、それぞれの堆積システムの前進要因について、特に、砂丘列群が前方へシフト(堆積システムが急に前進)する要因については明らかにされていない.

一般に海岸平野の沖積層は、氷河性海水準変動に加えて、構造運動や堆積物供給のバランスによって形成されたものと考えられる. このうち構造運動について、越後平野は沖積層の最大層厚が約150 mであることから、沈降運動の影響を大きく受けて形成されたものであると考えられている(鴨井ほか, 2002; ト部ほか, 2006a など). しかし、堆積物の供給は、相対的海水準変動による堆積空間の確保や堆積システムの発達による堆積物のトラップなどの影響が考えられ、堆積システムの前進や後退を堆積物供給量の変化として見積もることは難しい. この課題に対して、大規模な土砂運搬イベントを起源として沖積平野に堆積物が過剰に供給された場合の堆積作用や堆積システムの変化から、沖積層形成における堆

Fig. 1. Index map showing the location of the Numazawa Volcano upon the Echigo Plain.

Fig. 2. Location map of the KN-1, SN-1, MZ-1 and TA-1 cores, also showing the distribution of coastal sand dunes. I-1 to I-4: subdivisions of coastal sand dune I.

積物の供給と堆積の関係を明らかにできる可能性がある。

越後平野に対する大規模な土砂供給イベントとして、沼沢火山の活動があげられる。福島県只見川中流域に位置する沼沢火山は、約5,350年前に火砕流噴火（沼沢湖噴火）により只見川を一時的に堰き止め、ダム湖が決壊し大規模洪水流が只見川・阿賀野川を約150 kmにわたり流下したことが明らかになっている（Kataoka et al., 2008, 2009）。これまでの越後平野の検討からも新砂丘I-4以降の砂丘列での軽石の混入（坂井, 1980; 田中ほか, 1996 など）やボーリング試料によって、砂層中に沼沢火山起源の軽石が濃集していることが認められている（ト部・片岡, 2005; 鴨井ほか 2006; 片岡ほか, 2006）。しかし、越後平野の沖積層における大規模洪水流による砂層の分布や堆積システムに与えた影響について不明な点が残されていた。

そこで、本研究では越後平野の阿賀野川沿いにおいて採集されたボーリングコア試料を用いて、各ボーリングコア試料における堆積相と粒度分布、鉱物組成、重鉱物組成、火山ガラスの形態について分析し、沼沢火山起源の二次堆積物の認定や二次堆積作用の影響の開始・終焉時期、堆積システムへの影響（砂丘列の前進）について明らかにした。また、二次堆積した火砕物の層序対比（鍵層としての対比）の問題について指摘する。なお、ここでは、ダム湖の決壊に起因した大規模洪水流による堆積物を中心に扱うものとする。

沼沢火山の噴火活動と二次堆積作用の概要

福島県只見川流域に位置する沼沢火山（Fig. 1）は、直径2 km程度の小型のカルデラを有する火山で、約5,350年前（cal BP）に火砕流噴火（沼沢湖噴火）を起こしている（山元, 1995, 2003; 沼沢団体研究グループ, 1999; 山元・駒沢, 2004）。沼沢湖噴火は、火砕流噴火→プリニアン噴火→マグマ水蒸気爆発→プリニアン噴火の4つの噴火ステージからなる（山元, 1995, 2003）。最初の火砕流噴火は、最も規模が大きく谷埋めタイプの塊状軽石流相により、カルデラ周辺の只見川とその支流の谷地形を埋積し、只見川に貯水量約 1.7 km^3 と推定されるダム湖を形成した。このダムは只見川の流入量を現在と同じとした場合約40～200日後に決壊し、決壊による洪水ピーク流量は約 $30,000 \sim 50,000 \text{ m}^3/\text{s}$ 以上と推定されている（Kataoka et al., 2008）。また、沼沢火山より下流の只見川流域（約35 km）と只見川合流部から約20 km下流までの阿賀野川流域では、土石流堆積物やハイパーコンセントレイティッド流堆積物による比高20 m以上の堆積性の段丘を形成し、洪水由来の堆積物は噴出源から約150 km下流の越後平野にまで到達する（Kataoka et al., 2008, 2009）。これらの堆積物は、只見川や阿賀野川流域の河成段丘では、軽石片を多く含む火山灰や火山灰質砂層として認定でき、構成粒子としては自形の角閃石や扁平型（Hb）・中間型（Ca, Cb）の火山ガラス（吉川, 1976）を多く含むことで特徴づけられる。

コア試料の掘削と分析方法

本研究では、新潟市内の阿賀野川沿いの2箇所において

Table 1. Calibrated ^{14}C ages of wood, peaty sediment, peaty fragments, and shells from the cores. All samples were analyzed at the Institute of Accelerator Analysis Limited, Kawasaki, Japan. Age data of the KN-1, SN-1, MZ-1, and TA-1 cores were recalculated using Calib 6.0.1 (Stuiver and Reimer, 1993). The calibration database was sourced from Intcal 09 and Marine 09 (Reimer et al., 2009). Corrections for the ages of shell samples assumed $\Delta R = 133$, where the ΔR uncertainty = 41.

Core No.	Depth in core (m)	Elevation (m)	Material	Method	$\delta^{13}\text{C}$ (‰)	Measured ^{14}C age (yrs BP)	Conventional ^{14}C age (yrs BP)	Calibrated ^{14}C age (2 σ) (cal BP)	Sample code	Calibration database	Reference
TA-1	12.78	-8.78	peaty sediment	AMS	-26.47	270 $\pm$ 30	250 $\pm$ 30	325-270	IAAA-81003	IntCal09	This study
TA-1	24.55	-20.55	shell	AMS	2.72	1190 $\pm$ 30	1640 $\pm$ 40	1191-925	IAAA-81004	Marine09	This study
TA-1	46.35	-42.35	wood	AMS	-24.43	3130 $\pm$ 30	3140 $\pm$ 30	3444-3326	IAAA-41011	IntCal09	Urabe et al.(2006b)
TA-1	60.12	-56.12	shell	AMS	-0.45	4100 $\pm$ 40	4490 $\pm$ 40	4701-4336	IAAA-41009	Marine09	Urabe et al.(2006b)
TA-1	88.49	-84.49	shell	AMS	-4.18	9610 $\pm$ 50	9950 $\pm$ 50	10949-10538	IAAA-41014	Marine09	Urabe et al.(2006b)
TA-1	91.06	-87.06	shell	AMS	-4.15	10360 $\pm$ 50	10700 $\pm$ 50	12061-11547	IAAA-41013	Marine09	Urabe et al.(2006b)
MZ-1	18.38	-17.68	wood	AMS	-31.52	2900 $\pm$ 40	2800 $\pm$ 40	3000-2788	IAAA-60083	IntCal09	This study
MZ-1	29.90	-29.20	shell	AMS	-0.37	3120 $\pm$ 40	3520 $\pm$ 40	3390-3091	IAAA-60084	Marine09	This study
SN-1	4.40	-3.40	wood	β	-27.70	2070 $\pm$ 100	2030 $\pm$ 110	2211-1736	IAA-959	IntCal09	Urabe(2008)
SN-1	21.20	-20.20	peaty fragment	AMS	-11.55	3920 $\pm$ 40	4140 $\pm$ 40	4825-4568	IAAA-60087	IntCal09	Urabe(2008)
SN-1	28.74	-27.74	peaty fragment	AMS	-25.46	4460 $\pm$ 40	4450 $\pm$ 40	5144-4957	IAAA-60088	IntCal09	Urabe(2008)
KN-1	6.27	-5.47	wood	AMS	-27.80	2960 $\pm$ 30	2910 $\pm$ 30	3162-2967	IAAA-81001	IntCal09	This study
KN-1	19.52	-18.72	peaty fragment	AMS	-27.50	4930 $\pm$ 30	4890 $\pm$ 40	5718-5584	IAAA-81002	IntCal09	This study

新たに掘削したコア試料とト部ほか (2006b) やト部 (2008) による 2 箇所のコア試料を用いた。新規に掘削したコア試料は、新潟市江南区早苗の新潟市立亀田西中学校敷地内 (N37°52'11", E139°5'36", 標高 0.8 m; 以下 KN-1 コア) と新潟市東区松崎 (N37°55'53", E139°7'1", 標高 0.7 m; 以下 MZ-1 コア) であり、再検討したコア試料は、新潟市江南区中野山の SN-1 コア (ト部, 2008) と新潟市東区太夫浜の TA-1 コア (ト部ほか, 2006b; ト部, 2008) である (Fig. 2)。新規に掘削したコア試料は、半割し層相や堆積構造などの記載を行った。その後、新規掘削コアと再検討コアの SN-1 は、50 cm ごとに分析用試料を採取し、再検討コアの TA-1 は 100 cm ごとに分析用試料を採取した。

各試料は、80°C で乾燥させたのち、試料全体の重量を測定してから 60, 120, 250 メッシュの篩で水洗した。その後、それぞれの篩に残ったものを乾燥させ試料の重量を測定し、各試料の粒度分布を求めた。

これらの試料のうち、偏光顕微鏡によって粒径 1/8~1/16 mm の鉱物組成、重鉱物組成、火山ガラスの形態を計数した。火山ガラスの形態は、吉川 (1976) の区分に従った。また、軽石片はコア試料の記載をする上で火砕物の指標となり、粒径 1/4 mm 以上の試料に多く含まれることから、実体顕微鏡によって粒径 1/4 mm 以上の試料中の軽石片の含有率を計数した。

年代測定は、すべて加速器分析研究所において AMS 法や β 線法を用いて測定した。TA-1 コアの一部と SN-1 コアの年代測定値は、すでにそれぞれト部ほか (2006b)、ト部 (2008) で示している。今回、これらと TA-1 コアで追加分析した試料や MZ-1 コアと KN-1 コアで新たに測定した試料を含めて、Calib 6.0.1 (Stuiver and Reimer, 1993) の年代較正プログラムを用い、炭質物試料は IntCal 09 (Re-

Table 2. Facies description and interpretation of cores, modified from Urabe (2008).

Facies code	Facies	Sedimentary environment
DL1	Cross-bedded very coarse sand to granule-grained gravel, or medium to very coarse sand. Alternation of silt and thin fine sand with thin peaty fragment bed or rootlet.	Fluvial channel and flood plain (delta plain)
DL2	Medium to very coarse sand interbedded very fine sand to muddy sand with small leben and bioturbation.	Delta front
DL3	Muddy sand interbedded fine to very fine sand with small leben and bioturbation.	Prodelta
SF1	Parallel-laminated fine to medium sand. Muddy fine sand with mud drape.	Backshore
SF2	Well-sorted medium to coarse sand with parallel lamination.	Foreshore
SF3	Well-sorted medium to coarse sand with trough cross-lamination.	Upper shoreface
ES1	Alternation of cross-bedded coarse to very coarse sand and silt to sandy silt. Silty deposit include peaty fragments. Bioturbation.	Bay - head delta
ES2	Sandy silt with thin fine to medium sand bed. Bioturbation. Shells (brackish water)	Estuary (inner bay)
ES3	Fine to very fine sand with thin muddy very fine sand. Bioturbation. Shell fragment.	Estuary (offshore side of prodelta)
ES4	Muddy fine to very fine sand with thin muddy sand. Bioturbation. Shell fragment.	Estuary (sandy environment)
ES5	Alternation of sandy silt and muddy fine-to very fine sand. Bioturbation. Shells (brackish water)	Estuary (muddy environment)
ES6	Poor-sorted medium to coarse sand with gravel and shell fragments. Erosion surface.	Estuary (erosional shore -face retreat)

imer et al., 2009), 貝片は Marine 09 (Reimer et al., 2009) の較正曲線を使用して較正年代を求めた (Table 1)。なお、貝片の年代較正では、Shishikura et al. (2007) に示された 7 試料の ΔR と ΔR 誤差を平均し、それぞれの値を 133 と 41 に仮定して用いた。

ボーリングコア試料の層相および堆積環境

越後平野の阿賀野川流域の沖積層の堆積システムは、下位よりエスチュアリーシステムからデルタシステムに変化することが明らかにされている (ト部, 2008)。ここでのデルタシステム相は、堆積相 DL1 (デルタプレーン堆積物)、堆積相 DL2 (デルタフロント堆積物) および堆積相 DL3 (プロデルタ堆積物) からなり、デルタ前面域に発達する堆積相 SF3 (上部外浜堆積物)、堆積相 SF2 (前浜堆積物) と堆積

Fig. 3. Summary stratigraphic column of the KN-1 core showing the facies, sedimentary facies codes, age in calibrated ^{14}C years (cal B.P.), grain size, pumice content, mineral composition, heavy mineral composition, and shape of volcanic glass. For detailed facies codes, see Table 2. FI: feldspar; GI: volcanic glass; HM: heavy minerals; Bi: biotite; Amp: amphibole; Opx: orthopyroxene; Cpx: clinopyroxene; Zr: zircon; Io: iron minerals; Ha, Hb, Ca, Cb, Ta, Tb: shape code of volcanic glass, after Yoshikawa (1976).

相 SF1 (後浜堆積物) も含めている (Table 2). また, エスチュアリーシステム相は, 堆積相 ES1 (湾頭デルタ堆積物), 堆積相 ES2 (湾頭エスチュアリー堆積物), 堆積相 ES3 (砂質エスチュアリー堆積物), 堆積相 ES4 (エスチュアリー堆積物) と堆積相 ES5 (泥質エスチュアリー堆積物) から構成されている (Table 2).

本論では, ト部 (2008) により SN-1 コアと TA-1 コアの堆積相と堆積環境の変遷は明らかにされているため, 新規に掘削した KN-1 と MZ-1 コアの記載を行い堆積環境や堆積システムを認定した. なお, 新規のコア掘削は, ト部 (2008) と同一地域内で行っているため, 堆積相の区分番号 (Table 2) は, ト部 (2008) と同じものを用いた. この結果, 新規掘削のコアの層相は, おもにデルタシステム相とエスチュアリーシステム相から構成されることが明らかとなった.

1. KN-1 コア

KN-1 コアは, 掘進長 30 m, 口径 66 mm でコアの回収率はほぼ 100% であった (Figs. 2, 3). 深度 30.00~22.19 m は, 主にやや淘汰の悪い細粒~中粒の砂層からなる. 多くの生物擾乱や生痕化石が認められ, 炭質物片を一部に挟在する. 層相や生物擾乱から判断して, 堆積相 ES3 (砂

質エスチュアリー) に相当する. 深度 22.19~19.55 m は, 主にやや淘汰の悪い細粒~中粒の砂層からなり, 層厚数 cm~15 cm 程度の泥質砂層を挟在する. 細粒~中粒の砂層には斜交葉理がみられることがある. 泥質砂層には生物擾乱や生痕化石が認められ, 下位層とは漸移的に重なる. やや淘汰の悪い砂層は河川起源を示唆し, 挟在される泥質砂層は浅海での堆積環境を示す. これらは堆積相 DL2 (デルタフロント)~堆積相 DL3 (プロデルタ堆積物) に相当する. 深度 19.55~12.89 m は, 主に淘汰の悪い中粒~極粗粒の砂層からなり, 淘汰のよい細粒~中粒の礫層を挟在する. 全体に中粒~細粒のサイズの軽石が含まれており, 軽石が濃集した層も確認できる. 斜交葉理が発達する層準も挟在する. 礫の形状は垂円~円礫で, 礫層の基質は中~粗粒砂であり生物擾乱は認められない. 下位層とは漸移的に重なる. 層相や他の堆積相との累重関係から, これらは堆積相 DL2 (デルタフロント)~堆積相 DL1 (デルタプレーン) に相当する.

深度 12.89~5.92 m は, 主にやや塊状な細粒~中粒の砂層からなり炭質物片を含むことがある. このうち深度 12.89~12.17 m と深度 11.0~10.0 m は, 淘汰がよく平行葉理が認められる細粒~中粒の砂層を挟在する. やや塊状な細粒~中粒の砂層は, 炭質物片を含むことから堆積相 DL1 (デ

Fig. 4. Summary stratigraphic column of the MZ-1 core showing the facies, sedimentary facies codes, age in calibrated ^{14}C years (cal B.P.), grain size, pumice content, mineral composition, heavy mineral composition, and shape of volcanic glass. For detailed facies codes, see Table 2. As for Fig. 3, but for the MZ-1 core.

ルタブレーン)に相当する。また、挟在する淘汰がよく平行葉理が認められる砂層は、波浪の営力をうけているものと推定できることから堆積相 SF2 に相当する。全体ではデルタの堆積環境が推定される。深度 5.92~1.29 m は、主に淘汰のよいシルト~シルト質極細粒砂層からなり、中粒~粗粒砂層を挟在する。散在的に炭質物片を含み生物擾乱は見られない。炭質物片を含有することと層相から判断して、これらは堆積相 DL1 (デルタブレーン) に相当し、河川の泥質な氾濫原の堆積環境が推定される。深度 1.29~0.00 m は盛土である。

年代値は、深度 6.27 m で 3162~2967 cal BP、深度 19.52 m で 5718~5584 cal BP を示す (Table 1)。

2. MZ-1 コア

MZ-1 コアは、掘進長 30 m、口径 66 mm でコアの回収率はほぼ 100% であった (Figs. 2, 4)。深度 30.00~20.51 m は、主にやや淘汰の悪い細粒~中粒の砂層で、シルト層や中~粗粒サイズの軽石が濃集した薄層を挟在する。生物擾乱、生痕化石が認められ、貝化石を含む。全体的に炭質物片が散在する。層相や生物擾乱、貝化石の含有から判断して、これらは堆積相 ES3 (砂質エスチュアリー) に相当する。深度 20.51~16.47 m は、主に淘汰の悪い細粒~中粒の砂層で、中粒~粗粒砂層や生物擾乱を受けた砂質シルト

層を挟在する。砂層には斜交葉理がみられることもある。淘汰の悪い砂層は河川の影響が強いことを示唆し、挟在される生物擾乱を受けた砂質シルトは浅海の堆積環境を示唆する。よって、これらは堆積相 DL3 (プロデルタ)~堆積相 DL2 (デルタフロント) に相当する。深度 16.47~8.54 m は、主に淘汰の悪い粗粒~極粗粒の砂層で細~中礫層を挟在する。砂層には、平行葉理が認められることがある。細粒~中礫層の礫の形状は亜円~円礫で下位層とは漸移的に重なる。層相から堆積相 DL2 (デルタフロント)~堆積相 DL1 (デルタブレーン) に相当し、下位層準よりも全体に粗粒化していることから、河川要素の強い堆積環境が推定される。深度 8.54~1.11 m は、主に淘汰の悪い中粒~粗粒の砂層である。極粗粒砂~細礫層、砂質シルト層を挟在する。砂層は逆級化を示すことがある。逆級化を示す砂層は、自然堤防などの河川氾濫原の堆積環境が推定される (伊勢屋, 1982)。全体の層相から堆積相 DL1 (デルタブレーン) に相当する。深度 1.11~0.00 m は盛土である。

年代値は、深度 18.38 m で 3000~2788 cal BP、深度 29.90 m で 3390~3091 cal BP を示す (Table 1)。

各コア試料の粒度・構成鉱物の特徴

新たに掘削した KN-1 コア、MZ-1 コアとト部 (2008)

Fig. 5. Summary stratigraphic column of the SN-1 core showing the facies, sedimentary facies codes, age in calibrated ^{14}C years (cal B.P.), grain size, pumice content, mineral composition, heavy mineral composition, and shape of volcanic glass. For detailed facies codes, see Table 2. As for Fig. 3, but for the SN-1 core.

による SN-1 コア, TA-1 コアにおける粒度組成, 粒径 1/4 mm 以上での軽石の含有率, 粒径 1/8~1/16 mm の粒子での鉱物組成, 重鉱物組成と火山ガラスの形態の特徴について, 平野中央部から KN-1 コア, SN-1 コア, MZ-1 コア, TA-1 コアの順に述べる。

1. KN-1 コア

深度 30.00~24.75 m では, 粒径 1/8~1/16 mm の粒子が 20~30% 程度含まれる。深度 24.75~19.80 m では粒径 1/4~1/8 mm の粒子の割合が多い。深度 19.80~10.00 m では粒径 1/4 mm 以上の粒子の割合が概ね約 20~40% 以上となる。深度 10.00~3.20 m では, 粒径 1/4~1/8 mm の粒子が約 60~70% 含まれる。粒径 1/4 mm 以上での軽石の含有率は, 深度 19.80~10.00 m で約 10~80% と多く含まれ, 粒径 1/4 mm 以上の粒子を多く含む層準と一致する (Fig. 3)。

鉱物組成は, 全体的に長石が約 10~35% 含まれる。重鉱物は, 軽石が多く含まれる深度 19.80~10.00 m で約 10~30% 含まれ, それ以外の層準では約 5~15% 含まれる。火山ガラスは, 深度 10.00 m 以浅では約 5~20% 含まれ, 深度 19.80~10.00 m の中で特に軽石が多く含まれる層準では, 約 10~45% を占める。

重鉱物組成は, 角閃石の含まれる割合の変化に特徴があ

る。角閃石は, 深度 30.00~18.83 m では約 2~15% 含まれるが, 深度 18.83~3.15 m では約 10~55% 含まれ, 特に深度 18.83~14.00 m では約 40~55% 含まれる。黒雲母や鉄鉱物は, それぞれ全体の約 30~45% を占める。斜方輝石は, 深度 22.20 m 以深では全体の約 5~30% を占めその上位の層準では約 1~13% 含まれる。また, 単斜輝石は, 全体に約 1~5% 含まれている。

火山ガラスが多く含まれる深度 19.80~10.00 m における火山ガラスの形態は, 主に中間型であり約 20~60% 含まれる。

全体としては, 深度 19.80~10.00 m の層準で粒径 1/4 mm 以上の粒子が多く含まれ, これらは主に軽石から構成されている。また, この層準では, 火山ガラスと重鉱物のうち角閃石の含まれる割合が高い特徴がある。

2. SN-1

深度 30.00~23.33 m では, 粒径 1/4~1/8 mm の粒子が約 30~60% 含まれる。深度 23.33~4.95 m では, 粒径 1/4 mm 以上の粒子が多く含まれ, 深度 23.33~14.83 m では約 50~80%, 深度 14.83 m より上位では約 80% 以上含まれている (Fig. 5)。

粒径 1/4 mm 以上での軽石の含有率は, 深度 29.00~16.00 m で全体として約 15% 以上となっており, 約 40~

Fig. 6. Photograph of very coarse-grained pumice deposits with cross-laminations in the SN-1 core (depth range, 16.57–16.92 m). The pumice grains were derived from the Numazawako eruption (~5 ka).

60%を示す層準もある。粒径 1/4 mm 以上の粒子の含有率と合わせて考えると、粒径 1/4 mm 以上の粒子の含有率の高い深度 23.33~16.00 m において軽石の含有する絶対量が多く、コア堆積物においても軽石の濃集が認められる (Fig. 6)。

鉱物組成は、全体的に長石が約 5~45% を占める。重鉱物は、全体的に約 7~25% を示す。火山ガラスは、深度 23.33 m 以深では 5~15% 程度含まれ、軽石が多く含まれる深度 23.33~16.00 m において約 5~20% 含まれる。

重鉱物組成は、KN-1 コアと同様に角閃石の含まれる割合の変化に特徴がある。角閃石は、深度 24.83 m 以浅において約 30~50% 含まれ、これ以深では約 15~25% となる。斜方輝石は、深度 24.83 m 以浅において約 2~10%、これ以深において約 10~25% 含まれる。単斜輝石は、全体的に約 10% 以下含まれる。

火山ガラスの形態は、中間型の火山ガラスの含有量に特徴があり、深度 24.83 m 以浅において約 40~60% 含まれ、これ以深では約 30% 以下となる。

全体としては、粒径 1/4 mm 以上の粒子が多く、軽石の含有量が多い層準で、中間型の火山ガラスと重鉱物のうち角閃石の含まれる割合が高い特徴がある。

3. MZ-1

深度 30.00~18.70 m では、粒径 1/4~1/8 mm の粒子が約 50~70%、粒径 1/8~1/16 mm の粒子が概ね約 10~30% 含まれる。深度 18.70~5.70 m では、粒径 1/4 mm 以上の粒子が約 60~80% 含まれる。深度 5.70~0.70 m では、粒径 1/4 mm 以上の粒子が約 30~70% 含まれる (Fig. 4)。

粒径 1/4 mm 以上での軽石の含有率は、深度 30.00~14.00 m で全体として約 10% 以上となっており、約 40~55% を示す層準もある。粒径 1/4 mm 以上の粒子の含有率と合わせて考えると、粒径 1/4 mm 以上の粒子の含有率の高い深度 17.00~14.00 m において軽石の絶対量が多い。

鉱物組成は、全体的に長石が 10~25% 含まれる。重鉱物は、全体に約 5~20% 含まれる。火山ガラスは、深度 30.0~13.00 m では約 5~20%、深度 13.00~8.70 m で 5%、深度 8.70~0.70 m で約 2~4% 含まれる。

重鉱物組成は、角閃石が深度 16.70 m 以深で約 20~40%、これ以浅では約 5~25% 含まれる。斜方輝石は、深度 18.70 m 以深では約 5~10%、深度 18.70~8.70 m では約 5% 以下となる。単斜輝石は、全体に約 5% 以下である。黒雲母は、深度 18.32 m 以深において約 20~40%、これ以浅では約 40~60% 含まれる。火山ガラスの形態は、深度 18.70 m 以深で扁平型が約 50~60% 含まれ、これ以浅では中間型が約 40~60% 以上と多く含まれる傾向がある。

前述の KN-1 コアや SN-1 コアでは、全体として粒径 1/4 mm 以上の粒子が多い層準で、軽石、火山ガラスや角閃石の含まれる割合が高い特徴があるが、MZ-1 コアでは、これらの傾向が顕著でない。

4. TA-1

深度 97.24~87.20 m では、粒径 1/16 mm 以下の粒子が約 65~95% 含まれる。深度 87.20~85.20 m では粒径 1/8~1/16 mm の粒子が約 60% を占める。深度 85.20~52.20 m では、粒径 1/16 mm 以下の粒子が約 65~95% 含まれる。深度 52.20~43.20 m では粒径 1/8~1/16 mm の粒子が約 40~55%、粒径 1/16 mm 以下の粒子が約 30~50% 含まれる。深度 43.20~20.20 m では、粒径 1/4~1/8 mm が約 40~60%、粒径 1/8~1/16 mm の粒子が約 20~40% 含まれ、粒径 1/4~1/8 mm の粒子の割合が増加する。深度 20.20~12.20 m では粒径 1/4 mm 以上の粒子が約 30~80%、粒径 1/4~1/8 mm の粒子が約 30~60% 含まれる。深度 12.20~0.20 m では粒径 1/4 mm 以上の粒子が約 60~80% 含まれる。全体的に上方粗粒化の傾向を示す (Fig. 7)。

粒径 1/4 mm 以上での軽石の含有率は、深度 58.20 m 以深では概ね約 10% 以下を示す。深度 57.24~20.20 m では、全体的に約 15~40% の値を示し、約 40~60% 以上含まれる層準もある。深度 20.20~13.20 m では約 5~15%、深度 13.20~0.20 m では約 4% 以下の割合を示す。

鉱物組成は、全体的に長石が約 10~40% 含まれる。重鉱物は、全体に約 10~20% 含まれる。火山ガラスは、深度 97.24~74.20 m では約 15% 程度、深度 74.20~55.20 m では約 20% 程度含まれる。深度 55.20~44.20 m では約 5

Fig. 7. Summary stratigraphic column of the TA-1 core showing the facies, sedimentary facies codes, age in calibrated ^{14}C years (cal B.P.), grain size, pumice content, mineral composition, heavy mineral composition, and shape of volcanic glass. For detailed facies codes, see Table 2. As for Fig. 3, but for the TA-1 core.

～10% 含まれる。深度 44.20～0.20 m では約 1～5% 含まれ、このうち深度 19.34～17.32 m では約 10% 含まれる。

重鉱物組成は、黒雲母が深度 75.20 m 以深では約 10～50%、深度 75.20～51.20 m では約 30～65% 含まれる。深度 51.20～20.20 m では約 10～20% を示す。深度 20.20 m 以浅では約 10～60% の間で変化する。角閃石は、深度 70.20 m 以深では約 5% 以下で、これ以浅では約 10～

35% 含まれ上位の層準になるに従い増加する傾向を示す。斜方輝石は、深度 44.20 m 以深では約 5% 以下、これ以浅では約 5～15% 含まれる。単斜輝石は、全体に約 5% 以下含まれる。

火山ガラスの形態は、全体的に扁平型は約 40～70%、中間型は約 20～40% 含まれる。このうち深度 60.00～70.00 m 付近の火山ガラスの多い層準や深度 19.34～

Fig. 8. Facies distribution showing delta progradation and the recognition of resedimentation of the products of the Numazawako eruption (~5 ka), for the KN-1, SN-1, MZ-1, and TA-1 cores. Pm Index: pumice index, GI: volcanic glass content (%), Amp: amphibole content (%). The pumice index is calculated as the >0.25 mm grain size fraction (%) multiplied by the pumice content (%).

19.30 m の軽石の濃集する層準では中間型が約 50~60% 含まれる。

TA-1 コアは、阿賀野川河口域での沖積層のほぼ全層準を採取しており、堆積環境の変遷に対応した粒度組成や重鉱物組成の変化を示している。

阿賀野川下流域における火砕物の二次堆積作用

阿賀野川下流域の沖積層において、沼沢火山起源の火砕物の影響は、沼沢湖噴火の火砕流堆積物を構成する粒子の特徴である軽石、角閃石、火山ガラスの含有率によって示すことができる。Fig. 8 は、4 本のボーリングコアの堆積相や軽石の含有指標、角閃石・火山ガラスの含有率の変化を示した。軽石の含まれる割合の表現方法は、Figs. 3, 4, 5, 7 の各コアでは粒径 1/4 mm 以上の試料での含有率を示したが、粒度組成で粒径 1/4 mm 以上の粒子の含有率が数 % 以下の場合、軽石の含有率が高率でも実際のコア試料にはほとんど軽石が含まれず、含有率とコアの肉眼的な層相記載に差異が生じる。このため、Fig. 8 では、コアを観察した際に軽石が多い層準（粒径 1/4 mm 以上の粒子の含有率が高く、かつ軽石の含有率も高い場合）を特徴づけるために、粒径 1/4 mm 以上の粒子の含有率と軽石の含有率の積を軽石の含有指標として設定し、軽石の含まれる割合の表現方法とした。また、火山ガラス、角閃石は、Figs. 3, 4, 5, 7 で示した粒径 1/8~1/16 mm の粒子での含有率を抜き出したものである。以下に示した各コアの軽石の含有指標、火山ガラス、角閃石の含有率（Fig. 8）から、火砕物の二次堆積作用の開始層準の同定と堆積相と構成鉱物の特徴について述べる。

1. 二次堆積作用の開始層準と堆積相

KN-1 コアでは、深度 19 m 層準の堆積相 DL2 の斜交層理を伴う粗粒砂層の基底から、軽石の含有指標、粒径 1/8~1/16 mm の火山ガラスと角閃石の含有率が増加する。この深度において二次堆積作用の影響を受けはじめたと考えられる。特に、軽石の含有指標と火山ガラスの含有率は堆積相 DL2 の層準で多い。年代値は、深度 19.52 m で 5718~5584 cal BP を示し、沼沢火山における沼沢湖噴火（5340 cal BP）による決壊洪水イベントと調和的年代を示す（Figs. 3, 8）。

SN-1 コアでは、軽石の含有指標は堆積相 DL3 の基底付近の深度約 23 m から増加する。火山ガラスの含有率は、深度約 25 m 層準から増加する傾向を示す。角閃石の含有率は、深度 30 m において 20% を超えており KN-1 コアの基底付近よりも高い傾向を示し、特に、深度約 25 m 層準から増加する。深度 28.74 m と 21.20 m の年代は、それぞれ 5144~4957 cal BP と 4825~4568 cal BP を示しており、沼沢湖噴火以降の時期を示す。深度 30 m のコアの基底から角閃石の含有率が高いことから、堆積相 ES3 のエスチュアリー堆積環境下においてすでに二次堆積作用の影響を受けはじめていると考えられる。また、洪水イベントによって浅海にもたらされた火砕物の影響が顕著になるのはデルタの前進に伴って層相がより粗粒化する層準からである（Figs. 5, 8）。

MZ-1 では、軽石の含有指標は堆積相 DL2 を示す深度約 18~14 m 層準で増加する。火山ガラスは、深度 30 m のコア基底から深度 13 m 層準まで 10% 前後の含有率を示す。角閃石は、深度 30 m のコア基底から深度 13 m 程度までが 20~30% 程度、これ以浅では 10% 前後の含有率を示す。深度 29.90 m と深度 18.38 m の年代は、それぞれ 3390~3091 cal BP と 3000~2788 cal BP を示しており、沼沢湖噴火以降の時期を示す。深度 30 m のコアの基底から角閃石の含有率が高いことから、堆積相 ES3 のエスチュアリー堆積環境下で二次堆積作用の影響を受けはじめていると考えられる（Figs. 4, 8）。

TA-1 では、軽石の含有指標は堆積相 DL2 を示す深度約 21~18 m 層準で増加し、全体としてみるとその上位の堆積相 DL1 の層準まで含有量が多い。火山ガラスの含有率は、深度約 93 m、深度約 66~60 m と堆積相 DL2 を示す深度約 21~18 m 層準で増加している。角閃石の含有率は、深度約 70 m 層準以浅で 10% 前後となり、深度約 65 m、深度約 40 m 前後、深度約 30 m 以浅の層準で 20% 程度となる。

年代は、深度 91.06 m で 12061~11547 cal BP、深度 88.49 m で 10949~10538 cal BP、深度 60.12 m で 4701~4336 cal BP、深度 46.35 m で 3444~3326 cal BP を示す。沼沢火山における沼沢湖噴火の時期は、年代値から深度約 60~88 m の間に相当する。年代値を参考として、火山ガラスの含有率の高いピークを示す深度 62.20~62.24 m 層準の火山ガラスの屈折率を温度変化型屈折率測定装置（MAIOT: 古澤地質製）によって測定したところ、1.4975~1.5062（モード 1.5015）を示した。沼沢湖噴火の火砕流堆積物に含まれる火山ガラスの屈折率は、1.5000~1.5050 を示すこと（町田・新井, 2003）から、深度 62.20~62.24 m 層準の火山ガラスの屈折率と一致する。このため、深度約 66~60 m の火山ガラスの含有率の増加層準から沼沢湖噴火の二次堆積作用の影響を受けている可能性が高い。

2. 河川による火山砕屑物の過剰供給と堆積システムの前進

二次堆積作用の開始時期の平野の古地理は、現在の新潟市亀田地域に分布する砂丘列群（新砂丘 I）の前面に海岸線が位置していたものと考えられている（Fig. 2: 田中ほか, 1996; Urabe et al., 2004; 鴨井ほか, 2006）。また、当時の阿賀野川は、現在の流路ではなく亀田地域の砂丘列群の南部に河口を有していたものと推定される（ト部, 2008）。

内陸側の KN-1 コアは、現在の亀田地域の砂丘列群北西部に近接した地点で、当時の阿賀野川の河口に近い浅海域の位置にあると考えられる（Fig. 2）。よって、KN-1 コアでは、多量の軽石と火山ガラス、角閃石などの火砕物が、沼沢湖噴火による火砕流によって堰き止められたダム湖の決壊に起因した二次堆積物（決壊洪水堆積物）として運搬され、沿岸域でデルタを形成したものと考えられる。また、決壊洪水流が平野域や KN-1 地点におよんだ際、より海側の地域（SN-1, MZ-1, TA-1 コア）ではエスチュアリーの層相を示す浅海が広がっていた。このため、これらの地域では、浅海域に運搬された火山ガラスと角閃石などの火砕物が堆積を開

始する。

各コアの堆積相 DL2 の砂層には、沼沢湖噴火に起因した軽石が多く含まれ斜交層理を形成している特徴がある (Fig. 5)。このうち、陸地に近い KN-1 コアのデルタの堆積相 (堆積相 DL2) に含まれる軽石は、上述のように決壊起源の洪水流で運ばれたものであるが、堆積年代から考慮すると SN-1, MZ-1, TA-1 コアの堆積相 DL2 の軽石粒は、決壊洪水イベントにより浅海域にもたらされたものがデルタ前面域での波浪営力により再運搬されて堆積したものと考えられる。このように、砂層に多く含まれる軽石は、デルタの前進に伴って沖合方向に運搬されており、各地点での堆積には時間差がある。KN-1 地点を決壊洪水イベントと同時に堆積したデルタとすると、TA-1 地点までデルタが到達するには約 4000 年程度の差異がある。

このように沖積層の検討ならば時間分解能が高いことから、約 10 km 離れた KN-1 と TA-1 コアのデルタ堆積相の対比で約 4000 年程度の差異があることがわかるが、時間分解能が悪くなるより古い年代の地層では、これらの層相を「斜交層理の発達する軽石を多く含む同時間面の示標となる鍵層」として対比してしまう可能性がある。火砕物のうち特に軽石の濃集した砂層を同時間面として対比する際には、軽石を含む砂層の堆積相を検討した上で、時間分解能を考慮した対比が必要となる。

また、デルタの前進速度を、鴨井ほか (2006) などによる各砂丘列の形成年代や本研究の検討結果から推定する。決壊洪水イベント以前では、亀田地域 (Fig. 2) に分布する砂丘列群 (新砂丘 I-1 列から I-4 列) を例とすると、砂丘列が I-1 列の位置から I-4 列まで約 1400 m 前進するのに約 1500 年を有していることから、約 0.9 km/1000 年程度の前進速度が見積もれる。しかし、決壊洪水イベント後では KN-1 コアから TA-1 コアまでのデルタの前進速度を平均すると約 2.5 km/1000 年程度となる。さらに、この洪水イベントの際の砂丘列 (海岸線) の位置は亀田地域の砂丘列の北限部分であるが、イベント後は、新砂丘 I の位置から大きく海側に前進し、SN-1 コアより北側の新砂丘 II の位置に移動する (Fig. 2)。この新砂丘 I から新砂丘 II への砂丘列の急速な前進やデルタの前進速度の変化は、沼沢湖噴火による決壊洪水イベントにより多量の火砕物が河川を通じて浅海域にもたらされたことに大きな影響を受けているものと考えられる。これらは、火山起源の決壊洪水イベントが下流の平野部にもたらす地形の変化や影響の継続時間などを推定していく上で重要であり、沖積平野 (沖積層) の発達過程における土砂供給イベントという側面のみならず、平野の上流部に位置する火山において火山土砂災害が発生した際の影響範囲と被害予測を行う上でも重要となる。

ま と め

本研究では、越後平野の新潟市域の阿賀野川沿いにおいて採集されたボーリングコア試料を用いて、各ボーリングコア試料における粒度分布、鉱物組成、重鉱物組成、ガラス形態について分析し沼沢湖噴火の二次堆積作用の影響について明

らかにした。

この結果、内陸側の地域では、軽石と火山ガラス、重鉱物 (角閃石) などの火砕物が決壊イベントによる洪水流によって運搬されデルタを形成することがわかった。また、海側の地域では、決壊イベントの発生時に、沖合に運搬された大量の軽石、火山ガラス、重鉱物 (角閃石) などの火砕物が堆積し、その後、デルタの前進により軽石や火山ガラスを多く含むデルタ相を示す砂層が広く分布した。

このような軽石の濃集した砂層は、野外やコア試料の記載の際には鍵層として着目されるが、越後平野の沖積層の検討では、デルタの前進に伴い場所によって形成年代に大きな差異があることがわかった。軽石が濃集した砂層の鍵層としての対比は、砂層の形成過程を検討したうえで、時間分解能を考慮し鍵層としての同時間性を検討する必要がある。また、このような平野における火砕物の二次堆積作用の研究は、火山噴火を起因とする大規模な土砂供給イベントが下流部の平野の地形や地層の形成へ与える影響を評価するうえで重要であり、今後の火山活動による下流域での土砂災害の予測に役立つことが考えられる。

謝 辞

本研究は、日本学術振興会科学研究費補助金基盤研究 (A) (2)No.12301017 (代表:新潟大学小林昌二)、同基盤研究 (C) (2)No.15540432 (代表:新潟大学ト部厚志) と同基盤研究 (C) (2)No.17540433 (代表:新潟大学ト部厚志) の一部を使用した。ユタカボーリングの川島 豊氏にはボーリングの掘削に際しお世話になった。甲賀地質研究所の安井 賢博士には、沖積層の層序や層相、コア試料の貝化石の同定などについてご教示頂いた。これらの方々記して謝意を表します。

引 用 文 献

- 伊勢屋ふじこ (Iseya, F.), 1982, 茨城県, 桜川における逆グレーディングをした洪水堆積物の成因. 地理評 (*Geogr. Rev. Japan*), **55**, 597–613.
- 鴨井 幸彦・安井 賢・小林 巖雄 (Kamoi, Y., Yasui, S. and Kobayashi, I.), 2002, 越後平野中央部における沖積層層序の再検討. 地球科学 (*Earth Sci. (Chikyu Kagaku)*), **56**, 123–138.
- 鴨井 幸彦・田中里志・安井 賢 (Kamoi, Y., Tanaka, S. and Yasui, K.), 2006, 越後平野における砂丘列の形成年代と発達史. 第四紀研究 (*Quatern. Res.*), **45**, 67–80.
- 片岡香子・ト部厚志・梶山敦司 (Kataoka, K., Urabe, A. and Kajiyama, A.), 2006, 二次堆積した火山砕屑物と地形から読み取れる火山性大規模洪水流と火山性土砂災害. 月刊地球 (*Chikyu Monthly*), **28**, 507–511.
- Kataoka, K. S., Urabe, A., Manville, V. and Kajiyama, A., 2008, Breakout flood from an ignimbrite-dammed river after the 5 ka Numazawako eruption, northeast Japan. *Geol. Soc. Amer. Bull.*, **120**, 1233–1247.
- Kataoka, K. S., Manville, V., Nakajo, T. and Urabe, A., 2009, Impacts of explosive volcanism on distal alluvial sedimentation: Examples from the Pliocene–Holocene volcanoclastic successions of Japan. *Sediment. Geol.*, **220**, 306–317.
- 町田 洋・新井房夫 (Machida, H. and Arai, F.), 2003, 新編火山灰アトラス: 日本列島とその周辺 (*Atlas of Teptra in and around Japan: Revised Edition*). 東京大学出版会 (Univ. Tokyo Press), 336p.

- 新潟古砂丘グループ(Niigata Ancient Dune Research Group), 1974, 新潟砂丘と人類遺跡: 新潟砂丘の形成史 I. 第四紀研究(*Quatern. Res.*), **13**, 57–65.
- 新潟古砂丘グループ(Niigata Ancient Dune Research Group), 1979, 砂丘と平野. アーバンクボタ(*Urban Kubota*), **17**, 12–15.
- 沼沢団体研究グループ(Numazawa Collaborative Research Group), 1999, 沼沢火山の地質と岩石. 地球科学(*Earth Sci. (Chikyu Kagaku)*), **53**, 53–70.
- Reimer, P. J., Baillie, M. G. L., Bard, E., Bayliss, A., Beck, J. W., Blackwell, P. G., Bronk Ramsey, C., Buck, C. E., Burr, G. S., Edwards, R. L., Friedrich, M., Grootes, P. M., Guilderson, T. P., Hajdas, I., Heaton, T. J., Hogg, A. G., Hughen, K. A., Kaiser, K. F., Kromer, B., McCormac, F. G., Manning, S. W., Reimer, R. W., Richards, D. A., Southon, J. R., Talamo, S., Turney, C. S. M., van der Plicht, J. and Weyhenmeyer, C. E., 2009, IntCal09 and Marine09 radiocarbon age calibration curves, 0–50,000 years cal BP. *Radiocarbon*, **51**, 1111–1150.
- Shishikura, M., Echigo, T. and Kaneda, H., 2007, Marine reservoir correction for the central coast of Japan using ^{14}C ages of marine mollusks uplifted during historical earthquakes. *Quatern. Res.*, **67**, 286–291.
- Stuiver, M. and Reimer, P. J., 1993, Extended C-14 data-base and revised CALIB 3.0 C-14 age calibration program. *Radiocarbon*, **35**, 215–230.
- 田中久夫・長谷川 正・木村澄枝・岡本郁栄・坂井陽一(Tanaka, H., Hasegawa, T., Kimura, S., Okamoto, I. and Sakai, Y.), 1996, 新潟砂丘の形成史. 第四紀研究(*Quatern. Res.*), **35**, 207–218.
- 坂井陽一(Sakai, Y.), 1980, 新潟砂丘における腐植層と砂丘砂の鉱物組成: 新潟砂丘の形成について(その 1). 新潟県立教育センター研究報告(*Bull. Niigata Pref. Educ. Center.*), **49**, 91–96.
- ト部厚志(Urabe, A.), 2008, 越後平野の阿賀野川沿いにおける沖積層の堆積システム, 第四紀研究(*Quatern. Res.*), **47**, 191–201.
- ト部厚志・片岡香子(Urabe, A. and Kataoka, K.), 2005, 新潟平野におけるイベント性堆積作用における堆積システムの変化. 日本地質学会第 112 年学術大会講演要旨(112th Ann. Meet. Geol. Soc. Japan, Abstr.), 107.
- Urabe, A., Takahama, N. and Yabe, H., 2004, Identification and characterization of a subsided barrier island in the Holocene alluvial plain, Niigata, central Japan. *Quatern. Intl.*, **115–116**, 93–104.
- ト部厚志・吉田真見子・高濱信行(Urabe, A., Yoshida, M. and Takahama, N.), 2006a, 越後平野の沖積層におけるバリアー: ラグーンシステムの発達様式. 地質論集(*Mem. Geol. Soc. Japan*), **59**, 111–127.
- ト部厚志・安井 賢・稲葉 充・片岡香子・高濱信行・満田信一(Urabe, A., Yasui, S., Inaba, M., Kataoka, K., Takahama, N. and Mitsuda, S.), 2006b, 東新潟ガス田の中部更新統～完新統の層序: 特に軽石層の特徴とその給源. 石技誌(*Jour. Japan. Assoc. Petrol. Tech.*), **71**, 337–348.
- 山元孝広(Yamamoto, T.), 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(*Bull. Volcanol. Soc. Japan*), **40**, 67–81.
- 山元孝広(Yamamoto, T.), 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. 地調研究報告(*Bull. Geol. Surv. Japan*), **54**, 323–340.
- 山元孝広・駒沢正夫(Yamamoto, T. and Komazawa, T.), 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)(*Geology of the Miyashita District. Quadrangle Series, 1: 50,000*). 産総研地質調査総合センター (Geol. Surv. Japan, AIST), 71p.
- 吉川周作(Yoshikawa, S.), 1976, 大阪層群の火山灰層について. 地質雑(*Jour. Geol. Soc. Japan*), **82**, 479–515.

(要 旨)

ト部厚志・藤本裕介・片岡香子, 2011, 越後平野の沖積層形成における火山性洪水イベントの影響. 地質雑, **117**, 483–494. (Urabe, A., Fujimoto, Y. and Kataoka, S. K., 2011, Influence of a volcanogenic flood event on an alluvial depositional system: the Holocene Echigo Plain of northeast Japan. *Jour. Geol. Soc. Japan*, **117**, 483–494.)

越後平野は, 日本海に面した沖積低地で複数の砂丘列が発達している. 平野部の阿賀野川流域の沖積層において, 複数のボーリング試料の堆積相や構成鉱物の特徴から, 約 5000 年前の沼沢湖噴火によるラハール堆積物の堆積過程を検討した.

ラハールによる堆積物は, 当時の海岸部では層厚 5～8 m 程度の軽石質なデルタを形成した. また, 決壊洪水イベントによる膨大な量の火砕物は, デルタシステムを急速に前進させ海岸地形を変化させた. このような大規模な火砕物の再堆積作用の解明は, 平野の形成過程における影響だけでなく, 下流域での火山土砂災害としての予測につながる課題となるものである.