

論 文

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－

ト部 厚志*・安井 賢**・稲葉 充***・片岡 香子*
高濱 信行*・満田 信一****

(Received March 9, 2006 ; accepted July 13, 2006)

Upper Pleistocene to Holocene stratigraphy in the Higashi-Niigata gas field, central Japan
－ The characteristics and sources of maker pumice beds －

Atushi Urabe, Satoshi Yasui, Mitsuru Inaba, Kyoko Kataoka,
Nobuyuki Takahama and Shinichi Mitsuda

Abstract : The Higashi-Niigata gas field is located in the coast to offshore area in the northern part of Niigata City, Niigata Prefecture, central Japan. The stratigraphy of the middle Pleistocene to Holocene strata is reexamined by the borehole data above 600 m depth. The strata are divided into the Shirone Formation and the Kanbara Group in descending order. The Kanbara Group is composed of alternation of conglomerate, sandstone and mudstone with diagnostic four pumice beds. These pumice beds are newly named as the Higashi-Niigata first pumice bed (HN-P1), the Higashi-Niigata second pumice bed (HN-P2), the Higashi-Niigata third pumice bed (HN-P3) and the Higashi-Niigata forth pumice bed (HN-P4) in descending order. These pumice are probably reworked sediments derived from pyroclastic flow deposits which flowed in the Agano River. The HN-P1, HN-P2, HN-P3 and HN-P4 are respectively correlated to the Numazawako pyroclastic flow about 5ka, the Tagashira tephra about 130 ka, the Sunagohara-Kubota pyroclastic flow (Sn-KB) about 220 ka, the Sunagohara-Sakasegawa pyroclastic flow (Sn-SK) about 290 ka. As the result, the upper part of the Kanbara Group including the G4-layer which is the influential natural gas layer dissolved in water is estimated with the sediment about 18 ka to 300 ka.

Key words : stratigraphy, Upper Pleistocene, Holocene, pumiceous beds, Higashi-niigata gas fields, FMI

1. はじめに

東新潟ガス田は、阿賀野川右岸河口付近から日本海沿岸～沖合海域に位置し、三菱瓦斯化学㈱と石油資源開発㈱との共同開発により石油天然ガスを生産している国内有数の油ガス田である(図1)。筆者らは、本ガス田の第三系から第四系の層序を新潟県北部の平野～海域の地下層序の模式地とすべく、坑井の物理検層データ、カッティングス中の火山灰分析・化石分析結果などをもとに

層序を再検討してきた。

その結果、深度約 600 m 以浅の本ガス田浅層部に分布する砂礫・砂・シルト互層中に、4 層準の軽石層が連続して分布することや、特定の層準に火山ガラスの濃集部が含まれていることが明らかとなった。特に連続性のよい軽石層は、東新潟ガス田における浅層部の良好な時間軸となり、ガス田の地質構造やその発達史を解明する上で重要な意義を持つといえる。そこで本報告では浅層部の層序区分を行い、層相や産出化石の記載を行うとともに、軽石層中の火山ガラスの屈折率測定や化学組成から、その起源や時代について検討する。

なお、さらに深い深度での層序の再検討結果については次報にて報告する。

* 新潟大学災害復興科学センター Research Center for Natural Hazards and Disaster Recovery, Niigata University

** (南)新潟基礎工学研究 所 Niigata Foundation Engineering Research Office

*** 石油資源開発㈱ Japan Petroleum Exploration Co., Ltd.

**** 三菱瓦斯化学㈱ Mitsubishi Gas Chemical Company, Inc.

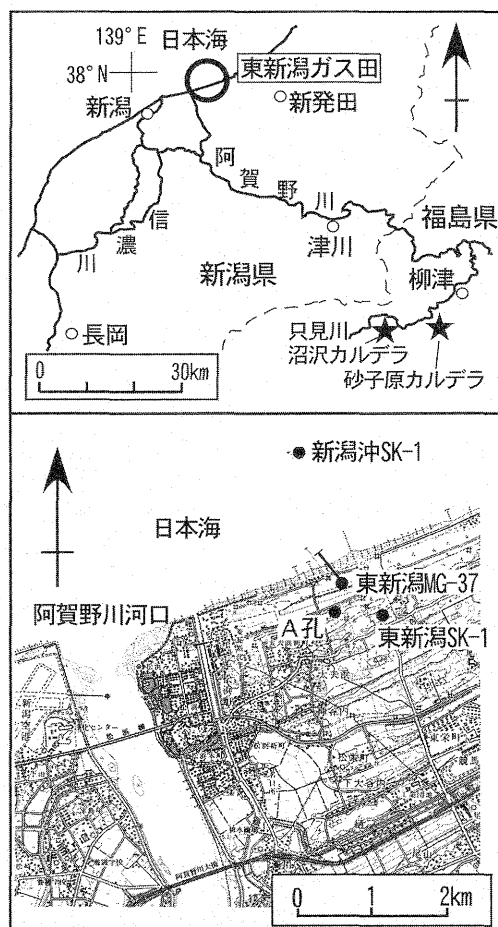


図1 位置図

(国土地理院発行、50,000分の1地形図「新潟」を使用)

2. 浅層部の層序区分に関する研究の概要

東新潟ガス田の層序は、西に隣接する新潟ガス田での昭和20年代の水溶性ガス層の開発に伴う層序の設定に始まる。坑井の掘削手が同様の深度で似たような砂礫層に逢着する経験をもとに、砂礫層が地下で横方向に連続した地層として認識され、何番目の砂礫層かということでG₀・G₁層（一番層）からG₅層（五番層）までの6層の水溶性ガス層が名付けられた（伊田、1955）。その後、各G層は現在の東新潟ガス田まで連続していること、東新潟ガス田付近で水溶性ガス層そのものがカルミネーションを形成していることが判明し、さらに、G₅層の下に新たにG₆層、G₇層およびG₈層の水溶性ガス層が発見されるに至った（牧山、1963a）。

伊田（1955）はG₀層以上を沼垂層、G₀層下限からG₂層下限までを蒲原層、G₂層下限以深を上位から“魚沼層群”、“和南津層”および“灰爪層”に区分した（図2）。

地質時代	伊田 (1955)	牧山 (1963a)	Minato et al. (1967)	本報告
完新世	沼垂層 G ₀	沖積層 G ₁	白根累層	白根層
更新世	蒲原層 G ₁	蒲原層群 G ₂	西蒲原累層 G ₁	G ₁
	層 G ₂			
	“魚沼層群” G ₃			
	層 G ₄	和南津層 G ₅	G ₂	蒲原層群 G ₄
	“和南津層” G ₅			
	“灰爪層” G ₆			G ₅
中期				G ₆

図2 東新潟ガス田周辺の層序比較

牧山（1963a）はG₁層下限から上位を沖積層、G₁層下限からG₅層下限までを蒲原層群とし、G₂層およびG₃層は阿賀野川周辺では欠如しているとした。また、蒲原層群の堆積環境は砂礫主体の層相と泥主体の層相が交互に重なっており、泥相には海生貝化石が含まれ、珪藻化石はほとんどが淡水生種であることなどから、沖浜堆の出現や消失に伴う湾や潟湖でのデルタ堆積物と推定した。さらに、牧山（1963b）によると、G₄層は鉱業的に開発された最初のガス層で、上部に厚い泥炭層が発達すると述べている。

その後、沖積層の研究は1960年代に生じた地盤沈下の原因究明のためのボーリング調査に基づく研究（Minato *et al.*, 1967 など）、1980年代以降の土木調査用ボーリング資料に基づく研究など（建設省北陸地方建設局・北陸技術事務所編、1981：鴨井ほか、2002 など）によって進展し、層序、年代および堆積環境変化などについて多くの知見が得られている。しかし、多くの水溶性ガス層を挟む蒲原層群については、わずかに軟体動物化石や有孔虫化石の報告はあるものの、層序、堆積環境、形成時代など不明な点が多く残されている（小林、1996）。

3. 研究方法

重点を置いて検討した坑井は新潟沖SK-1号井（1964年掘削、掘削長2,263.8 m）、東新潟MG-37号井（1999年掘削、掘削長1,600 m）および新たに掘削したA孔で

ある(図1)。A孔は地表から深度97mまでオールコアボーリングを実施したものである。この深度以深ではコア採取は極めて限られた箇所でのみ実施されておらず、層相を肉眼で直接的に、かつ連続的に把握することは困難である。

そこで、模式坑井はFMI(Fullbore Formation Micro Imager)検層が実施されている東新潟MG-37号井とした。FMI検層では堆積物の粒度や重なり方などが詳細に把握できるため、層相の記載は主としてFMI検層による坑壁画像に基づいて行い、カッティングスや物理検層のデータはこれらの補助とした。カッティングスの観察は、原則として10m間隔で採取されている新潟沖SK-1号井および東新潟MG-37号井において実施した。カッティングスでは火山ガラスや軽石の含有状況、礫種などを観察するとともに、火山ガラスや化石分析に供する試料を採取した。

軟体動物化石および有孔虫化石の分析は、東新潟MG-37号井(軟体動物化石は10m間隔、有孔虫化石は20m間隔)および新潟沖SK-1号井(原則として10m間隔)で実施した。また、軟体動物化石の分析はA孔においても行った。軟体動物化石はカッティングス中に含まれている個体をすべて抽出した。有孔虫化石は個体数が少ない場合にはすべてのカッティングスについて、多い場合には分割して抽出した。

一方、珪藻化石は東新潟MG-37号井において20m間隔で実施し、秋葉ほか(1982)に基づいて処理を行った。なお、有孔虫や珪藻化石の含有量を大局的に示すために、以下に示すような量比の判断基準を設けた。すなわち、有孔虫化石は10個体以上含まれている場合を「普産」、10個体未満の場合を「希産」、「産出なし」とし、珪藻化石は1枚のプレパラートに含まれる殻片数が100殻片以上のものを「普産」、100殻片未満のものを「希産」とした。なお、火山ガラスの抽出・分析方法については後述する。

4. 層序記載

東新潟ガス田の浅層部の地層は、上位から白根層および蒲原層群に区分される。各層についての定義、模式坑井と分布深度、層相および含有化石について記述する。

4.1 白根層(Shirone Formation): Minato *et al.* (1967)

模式坑井と分布深度: 東新潟MG-37坑井の深度0~109mを模式とする。

定義: 越後平野の沖積層は、Minato *et al.* (1967)によって白根層と命名されている。鴨井ほか(2002)は越後平野の臨海部において、多くの¹⁴C年代値に基づい

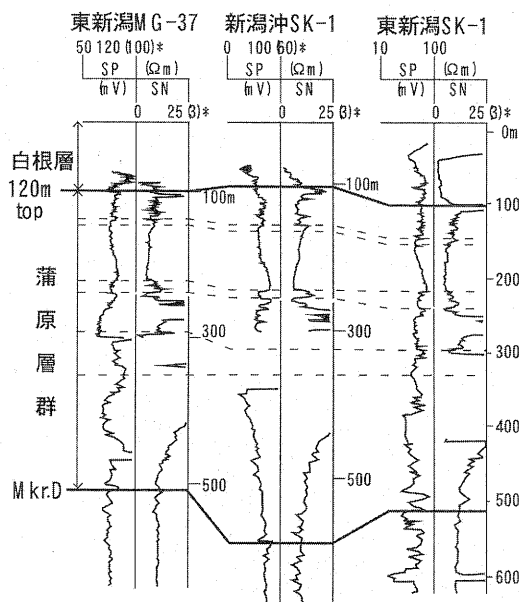


図3 3坑井の電気検層対比図

層相の区分と検層記録との関係を明瞭にするため、図中の東新潟MG-37号井の深度300m以浅ではSPのレンジを50-120、SNのレンジを0-25とし、深度300m以深ではSPのレンジを50-100、SNのレンジを0-3とした。また、新潟沖SK-1号井の深度300m以浅ではSPのレンジを0-100、SNのレンジを0-25とし、深度300m以深ではSPのレンジを0-80、SNのレンジを0-3とした。東新潟SK-1号井では、深度300m以浅のSNのレンジを0-25とし、深度300m以深では0-3とした。

て、白根層の基底をG₁層上位に分布する数枚の泥炭層の直上に置いた。本研究では白根層の下限を、鴨井ほか(2002)に従って決定する。東新潟ガス田ではG₁層に達するオールコアリングが実施されていないため、東新潟MG-37号井において、カッティングスで礫や泥炭層が出現する深度の上限を白根層の下限と定義する。ただ、他坑井では物理検層で泥炭層を識別できないため、G₁層上限に設定される高比抵抗を示す物理検層対比マーカー(120m top)を、便宜上白根層の基底とみなす(図3)。

層相: 東新潟MG-37号井において、深度50m以浅では褐色を呈する中~粗粒砂が、深度50~100mでは灰~暗オリーブ色を呈する砂質シルトが卓越する。深度20m付近には軽石を多く含む粗粒砂が挟在する(東新潟第1軽石層(HN-P1: 新称))。また、オールコアで掘削したA孔の層相と堆積相の概要は以下のとおりである(図4)。

深度1~11mは、全体に淘汰のよい中粒~粗粒砂からなり、上方に向かってやや淘汰が悪くなる。これらは粒度や堆積構造から、上部外浜~後浜の堆積環境が推定される。深度11~20mは全体に中粒~極粗粒砂からな

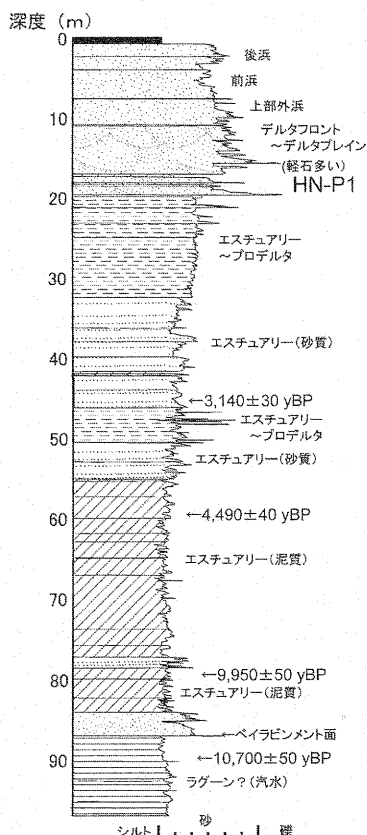


図4 A孔の白根層の柱状図と堆積相

り、シルトや有機物を含むシルトを挟在する。砂層にはトラフ型斜交層理が見られ、粗粒の軽石片を多く含む(東新潟 MG-37 号井の HN-P1 に対応)。砂層の淘汰と層相から、河川の影響を受けた堆積環境が示唆され、デルタフロントからデルタプレーンの堆積環境であると考えられる。深度 20～55 m は、全体に極細粒～細粒砂からなる。含まれる貝化石、生痕化石や層相から、砂質なエスチュアリーの堆積環境が推定される。本層準のうち深度 20～33 m 層準や深度約 47～51 m 層準はエスチュアリー内部ではあるがより粗粒で河川の影響を受けたプロデルタの要素が強い堆積物であると考えられる。深度 55～84 m は、全体に砂質シルト～泥質な極細粒砂からなる。含まれる貝化石、生痕化石や層相から、エスチュアリーの堆積環境が推定される。

深度 84～87 m は、淘汰の悪い細～極粗粒砂からなることから、海進に伴うラグの堆積物であると考えられ、基底の浸食面は、ベイラビンメント面であると考えられる。深度 87～97 m は、全体に砂質シルト～泥質な極細粒砂からなる。含まれる貝化石や層相から、汽水の堆積環境が推定される。なお、A 孔の 4 深度で ^{14}C 年代値の

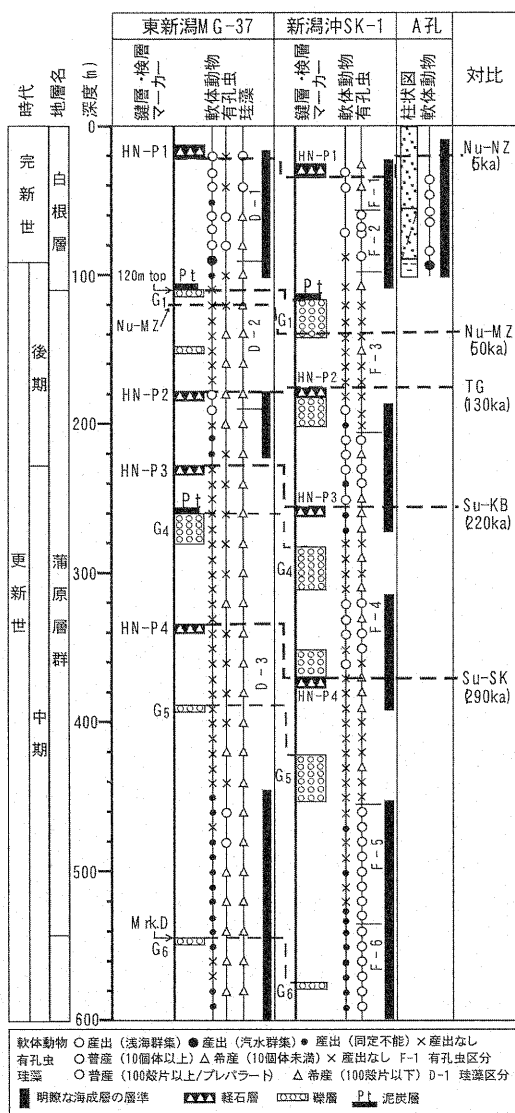


図5 東新潟ガス田の浅層部の層序と化石の産出状況

測定を実施した。その BP 年代を図 4 に併せて示す。

化石：軟体動物化石、有孔虫化石および珪藻化石を産する(図 5)。

＜軟体動物化石＞

東新潟 MG-37 坑井では深度 20～80 m の中～粗粒砂や砂質シルト中から多産し、*Homalopoma amussitatum*, *Umbonium costatum*, *Mitrella yabei*, *Oliva mustenerina*, *Olivella japonica*, *Mangilia tabatensis*, *Turbonilla tokunagai*, *Ringicula doralis*, *Rhizorus aculaeformis*, *Acteocina insignis*, *Acteocina koyasensis*, *Saccella cf. sematensis*, *Macoma preaetexta*, *Callista chinensis*, *Macoma preaetexta* などの浅海種が産する。また、深

度 90 m の砂質シルトからは *Potamocorbula amurensis*, *Fluviocingula nipponica* などの汽水種が産する。新潟沖 SK-1 号井では深度 30, 40, 70.5 m の中～粗粒砂から, *Ringicula doralis*, *Rhizorus aculaeformis*, *Acteocina insignis*, *Acteocina koyasensis*, *Wallucina lamyi*, *Macoma preatexta*, *Veremolpha micra* などの浅海種が産する。また, A 孔の深度 37～62 m に *Mitrella yabei*, *Callista chinensis*, *Macoma preatexta* などの浅海種が, 深度 87～91 m に *Ringicula doralis*, *Acteocina koyasensis* の浅海種と *Fluviocingula nipponica*, *Potamocorbula amurensis* の汽水種が産する。

＜有孔虫化石＞

東新潟 MG-37 号井では深度 60, 80 m に, 浅海性の *Pseudorotalia gaimardii* や *Ammonia japonica* などが産出する。新潟沖 SK-1 号井では深度 30, 40 m が「希産」(F-1 区分), 深度 58, 69, 70.5, 83 m が「普産」(F-2 区分)で, 内部浅海帯の *Ammonia japonica*, *Buccella frigida callida*, *Buccella aculeata*, *Cribronion clavatum*, *Cribronion subgranulosum*, *Nonion manpukujiense*, *Pseudorotalia gaimardii*, *Siphogenerina raphanus* などが産出する。両坑井から産出する種は, 内部浅海帯に生息するものが多い。

＜珪藻化石＞

東新潟 MG-37 号井の 20～80 m に見られ(D-1 区分), 20 m と 40 m で殻含有数が多い。海生種と淡水生種が混合していることが特徴である。海生種は浮遊生種の *Thalassiosira* spp. *Thalassionema nitzschioides* および着生種の *Delphineis surirella* が優占する。淡水生種は *Cymbella* spp. や *Fragilaria* spp. などである。

下位層との関係: 鴨井ほか (2002) によれば, 越後平野臨海部において白根層は下位層に不整合で重なりとされる。本地域の坑井では下位層との関係は不明であるため, 鴨井ほか (2002) の見解に従い, 白根層と蒲原層群とは不整合関係にあるものと判断した。

4.2 蒲原層群 (Kanbara Group): 牧山 (1963a) の蒲原層群を再定義

模式坑井と分布深度: 東新潟 MG-37 号井の深度 109～525 m を模式とする。

定義: 牧山 (1963a) は G_5 層を蒲原層群の基底とした。しかし, 礫層や粗粒砂層を頻りに挟む岩相は G_6 層の層準から認められる。また, 検層結果では, G_6 層上限の検層対比マーカー D (Mkr.D) を境に比抵抗値が急に増加する特徴を示す (図 3)。これは堆積物の粒度がここを境として粗粒化していくことを示している。また, 東新潟地域のガス田全体を見ると必ずしも G_6 層が発達しない場合や G_6 層の下限が不明瞭な場合もあり, ここで設定した特徴を持つ Mkr. D が唯一の検層上の有効な指

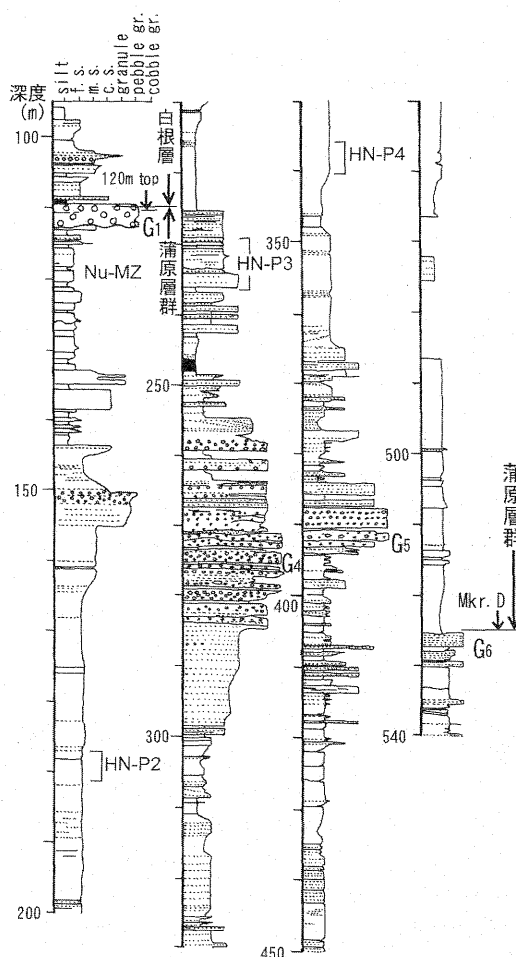


図 6 蒲原層群の層序と層相 (東新潟 MG-37 号井)
軽石層の分布深度はカッティング調査からの推定

標となっている。したがって, 本報では, 容易に地層境界を設定する坑井作業上の実践的要求から Mkr.D に本層群基底を設定する。

層相: 東新潟 MG-37 号井の層相を, FMI イメージを判読し記載するとともに (図 6), 電気検層による 3 坑井の対比図を図 3 に示す。以下に, 東新潟 MG-37 号井でのカッティング調査結果, および FMI 検層イメージ判読結果に基づいて記載する。

深度 109～112 m は中～細礫を主体とする礫支持礫層で, 牧山 (1963a) の G_1 層に相当する。深度 110 m のカッティングスには泥炭の破片が多数含まれる。深度 112～144 m はシルト～細粒砂が優勢で, 中粒砂や細礫層を挟む。このうち, 深度 120 m のカッティングスは, 細礫混じりの砂質シルトで軽石片を比較的多く含んでいる。深度 144～155 m は中粒砂～中礫が優勢で, 砂層中には平行葉理が発達する。深度 155～225 m は細粒砂～シルト

からなり、全般に上方に細粒化する。深度 190 m 付近に軽石を多く含む細粒砂層を挟み、本層を東新潟第 2 軽石層 (HN-P2: 新称) と呼ぶ。深度 225 ~ 247 m は平行葉理が発達した中粒砂が主体で、シルトの薄層を挟む。この層準には多くの軽石が含まれる。本層準を東新潟第 3 軽石層 (HN-P3: 新称) と呼ぶ。深度 247 ~ 255 m は細粒砂、粗粒砂の互層からなり、カッティングスに多くの泥炭片が含まれることから、深度 247 ~ 249 m は泥炭と判断される。深度 255 ~ 283 m は粗粒砂やシルトの薄層を挟む中礫～大礫からなり、牧山 (1963a) の G₄ 層に相当する。深度 283 ~ 300 m は平行葉理の発達した中～粗粒砂で、上方に細粒化する。深度 300 ~ 367 m は細粒砂が主体で、深度 338 m 付近は軽石を多く挟む。本層を東新潟第 4 軽石層 (HN-P4: 新称) と呼ぶ。深度 367 ~ 385 m は細～粗粒砂、シルトの細互層からなる。深度 385 ~ 395 m は細～中礫を主体とし、牧山 (1963a) の G₅ 層に相当する。深度 395 ~ 413 m はシルトや細～粗粒砂の細互層からなる。深度 413 ~ 525 m は細粒砂～シルトが主体で、一般に無層理の部分が多い。深度 525 ~ 530 m は G₆ 層で、礫混じり中粒砂からなる。

新潟沖 SK-1 号井では東新潟 MG-37 号井よりも礫層の挟在数が多く、G₁ 層と G₄ 層の間および G₄ 層と G₅ 層の間にそれぞれ 1 層の礫層を挟む (図 5)。礫種はいずれも流紋岩が 30 ~ 60% と卓越し、花崗岩、安山岩がこれに次ぎ、そのほかチャート、砂岩、粘板岩が含まれる。礫層の基質は粗粒砂で石英粒に富み、一般的に花崗岩岩片を多量に含む。FMI 画像では、礫層の基底部には削り込み構造が見られる。砂は全般に石英粒に富み、緑色に変質した花崗岩や火砕岩の岩片を伴う。

4 層の軽石層 (HN-P1, HN-P2, HN-P3 および HN-P4) は、新潟沖 SK-1 号井のみならず東新潟ガス田の他坑井にも連続し良好な鍵層となっている。

化石: 軟体動物化石、有孔虫化石および珪藻化石を産する (図 5)。

<軟体動物化石>

東新潟 MG-37 号井では深度 180, 190 m から *Saccella* cf. *sematensis*, *Veremolpha micra* などを産する。新潟沖 SK-1 号井では 190 ~ 250 m および 320 ~ 360 m から、*Saccella* cf. *sematensis*, *Glycymeris* sp. などを産する。両坑井から産出する種は、いずれも上部浅海 (水深 50 m 以浅) に生息する種である。

<有孔虫化石>

東新潟 MG-37 号井の深度 100 ~ 440 m はほとんど産出がない。深度 460, 480 m は「普産」で、*Pseudorotalia gaimardii* が多く含まれ、*Ammonia japonica* を伴う。深度 500 ~ 600 m は「希産」で、*Pseudorotalia gaimardii*,

Siphogenerina raphanus などの底生種や *Globigerina buloides* などの浮遊生種をわずかに産する。内部浅海帯に生息する種が多い。新潟沖 SK-1 号井では東新潟 MG-37 号井に比較して産出量は多い。深度 110 ~ 200 m (F-3 区分) はほとんどの深度で「産出なし」である。深度 210 ~ 450 m (F-4 区分) は「普産」～「希産」の試料が多く、*Ammonia japonica*, *Bolivina robusta*, *Nonion manpukujiense*, *Pseudorotalia gaimardii*, *Siphogenerina raphanus* などが産する。深度 460 ~ 530 m (F-5 区分) は産出量が多く、*Buccella frigida callida*, *Epistominella tamana*, *Cribrononion clavatum*, *Cribrononion subgranulosum*, *Pseudononion japonicum* などの底生種のほか、*Globigerina buloides*, *Neoglobobulimina pachyderma* などの浮遊生種もかなり含まれる。F-3 区分～F-5 区分では、内部浅海帯に生息する底生種が多い。深度 540 ~ 600 m (F-6 区分) も産出量が多く、F-5 区分の種に加えて、*Cassadulina norcrossi*, *Globobulimina auriculata*, *Siphogenerina raphanus*, *Uvigerina yabei* などが産する。沖合域に分布する *Cassadulina norcrossi* の産出から、F-6 区分は外部浅海帯の環境と考えられる。

<珪藻化石>

東新潟 MG-37 号井の深度 100 ~ 180 m (D-2 区分) では「普産」で、そのほとんどが淡水生種からなる。浮遊生種の *Aulacoseira granulata* や *Cyclotella radiosa*, 着生・底生種の *Eunotia* spp., *Epithemia* spp., *Pinnularia* spp. が多いほか、陸生珪藻種である *Hantzschia amphioxys* も 5% 程度含まれる。また、深度 180 ~ 580 m (D-3 区分) は含まれる殻数が非常に少なく、わずかに *Aulacoseira granulata*, *Cyclotella radiosa* や海水浮遊生種の *Thalassionema nitzschioides* などが認められるにすぎない。

5. 軽石層の対比

5.1 中期更新世以降の火山灰層の概要と比較標準試料の選定

新潟地域の中期更新世以降の火山灰層は、主として信濃川流域に広く分布する河成段丘面に重なるローム層中から発見されてきた (早津・新井, 1981, 1982; 新潟火山灰グループ, 1995; 渡辺, 2000; 渡辺・ト部, 2003)。これらは、中部日本やより西方を給源とする火山灰層が大部分で、始良-Tn テフラ (AT), 大山倉吉テフラ (DKP) (町田・新井, 1979) などの広域テフラも含まれる。しかし、越後平野地下の東新潟ガス田においては、西方から供給される火山灰層も分布する可能性があるものの、現在の阿賀野川水系に相当する水系による東方 (福島県方向) からの火山灰層の供給についても検討する必要がある。

すなわち、福島県西部の只見川水系には、約4,700年前と約50,000年前に火砕流噴火を伴った火山活動を起こした沼沢カルデラ(山元, 2003)と、約22万年前と約29万年前に火砕流噴火を伴った火山活動を起こした砂子原カルデラ(山元・須藤, 1996)が分布する(図1)。また、同じ只見川流域には、田頭テフラ(鈴木, 1992など)と呼ばれる約13万年前(12.5~13.5 ka: 鈴木, 1999)の火山灰層が分布している。このテフラの露頭単位での同定や供給された火山については、鈴木ほか(2004)と山元(1999)では見解の一部で相違があるが、只見川の中流域では田頭テフラの厚い二次堆積物の分布が示されている(鈴木ほか, 2004; 山元・駒沢, 2004)。

これらの只見川流域での火山活動では、火砕流に伴い大量の火砕物が噴出されたため、火砕物は只見川水系を埋積し、さらに二次堆積物として膨大な量の火砕物が下流域に運搬されたことが、火口から100 km以上も離れた阿賀野川水系の段丘堆積物から確認されている(ト部・片岡, 2003, 2005など)。したがって、複数回の火山活動による膨大な量の火砕物は、阿賀野川水系を通じて東新潟地域に直接供給されている可能性が非常に高いものと考えられる。そこで、火山灰層の同定に際しては、信濃川流域で発見されている中部日本以西の試料のほかに、只見川流域に分布する火山灰層を比較標準試料とした。

5.2 分析方法

東新潟ガス田での火山灰層は、これまで物理検層データから火山灰層として認定されてきた層準は複数あるものの、火山灰鍵層としての鉱物学的な記載は行われていない。火山灰分析を試みた試料は、10 mごとに採取されたカッティングスであり、陸上での野外調査のように火山灰層の純層のみを採取しているわけではない。このため火山灰層の対比に関する検討では、重鉱物については碎屑性粒子の混入の問題があることに留意しつつ、鉱物組成や重鉱物組成を参考に、火山ガラスの形態、屈折率、化学組成をもとに対比について検討した。

具体的な手順としては、各坑井の浅層部のカッティングスに含まれる鉱物や火山ガラスの有無、火山ガラスの形態などの概査を行い、坑井に含まれる火山灰起源の鉱物の特徴を観察した。火山ガラスの形態は、吉川(1976)の区分に従った。そして、カッティングス調査などから、mオーダーでの層厚を有すると考えられた4層準の軽石を多く含む砂層などについて、さらに詳細な検討を行った。重鉱物組成は60-120メッシュと120-250メッシュに粒度をそろえた試料について実体顕微鏡と偏光顕微鏡を用いて計数を行い、火山ガラスの屈折率と化学組成を検討した。

火山ガラスの屈折率測定は、温度を変化させて屈折率を測定する温度変化法を用いた(古澤, 1995)。測定には古澤地質研究所製の温度変化型測定装置“MAIOT”(Measuring Actual Immersion Oil Temperature)を使用した。屈折率 n_D はD線(波長589 nm)下で、120-250メッシュに粒度をそろえた試料中に含まれる火山ガラス粒子を対象とし、一試料につき25粒子を測定した。

火山ガラスの化学組成は、新潟大学のJXA8600型X線マイクロアナライザー(波長分散型; 加速電圧15 KeV, 試料電流 1.2×10^{-8} A, ビーム径10 μ m, ZAF法にて補正)を使用して、各試料について20粒子以上を測定した。火山ガラスの化学組成は100%換算とした(図7, 8)。以下に主要な軽石層の特徴と対比を示す。

5.3 軽石を多く含む層準の構成鉱物の特徴と対比

5.3.1 東新潟第1軽石層(HN-P1)

東新潟MG-37号井の深度20 m試料(カッティングス試料番号: MG37-2)は、粗粒砂サイズの軽石片を多く含む極粗粒砂として特徴的である。新潟沖SK-1号井の深度30 m(カッティングス試料番号: SK1-1)では、粗粒砂サイズの軽石片を多く含む砂質シルトとして観察できる。A孔でのオールコアボーリングでは、深度13~20 m層準に挟在する粗粒砂サイズの軽石を含むトラフ型斜交葉理の発達した中~極粗粒砂として認められる(図4)。これらに含まれる軽石は、やや発泡しており角閃石を内包していることで識別が可能である。

MG37-2やSK1-1に含まれる重鉱物は、自形の角閃石を比較的多く含む。また、これらに含まれる火山ガラスは、中間型(Cb)、扁平型(Hb)を主体とする。火山ガラスの化学組成は、MgOで0.05 wt%以下と0.2~0.25 wt%の2つの組成領域を示すものが多く含まれている(図8)。

これらの軽石について、新潟平野内陸部の沖積層上部では、阿賀野川を流下した福島県の沼沢火山の約4,700年前の沼沢湖火砕流(Nu-NZ)を起源とする大規模な洪水流による二次堆積物(層厚5~10 m程度)の分布が知られている(ト部・片岡, 2005)。本研究の各坑井で確認できる軽石を含む粗粒な砂層は、含まれる構成鉱物や火山ガラスの形態・化学組成から沼沢湖火砕流(Nu-NZ)の二次堆積物に対比できる(図8)。

5.3.2 沼沢-水沼火砕流(Nu-MZ)の二次堆積物

東新潟MG-37号井の深度120 m試料(カッティングス試料番号: MG37-12)は、細礫や火山灰を挟在する砂質シルト、軽石片からなる。MG37-12試料は、上下の層準の試料と比較して、扁平型(Hb)と中間型(Cb)の火山ガラスを多く含む特徴がある。FMIから推定した東新潟MG-37号井の深度120 m付近の層相は、細粒砂

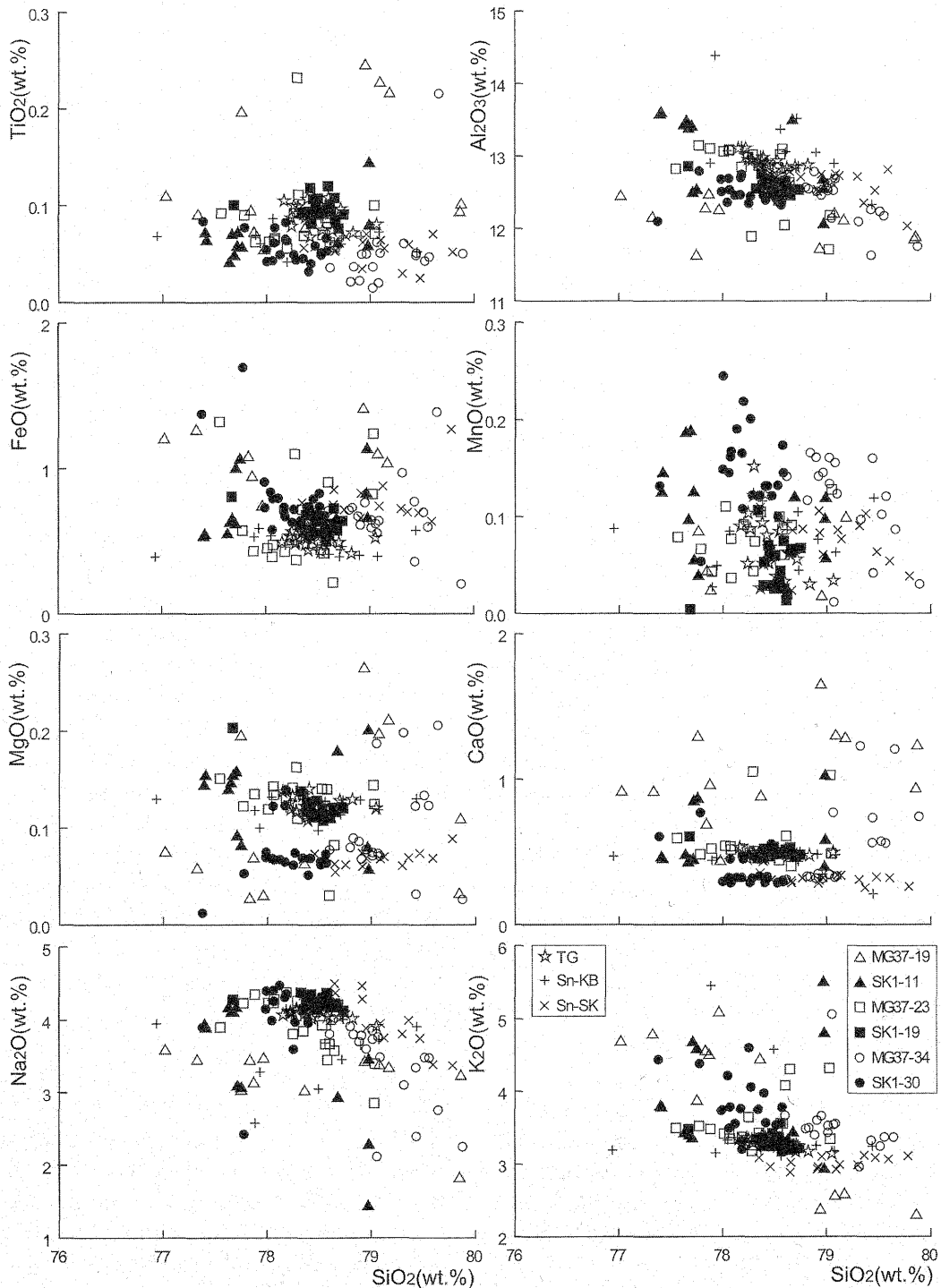


図7 東新潟 MG-37, 新潟沖 SK-1 の軽石層 (東新潟第2, 第3, 第4) に含まれる火山ガラスの化学組成

MG37-19: 東新潟 MG-37 号井の深度 190 m 試料, SK1-11: 新潟沖 SK-1 号井の深度 100m 試料, MG37-23: 東新潟 MG-37 号井の深度 230 m 試料, SK1-19: 新潟沖 SK-1 号井の深度 190 m 試料, MG37-34: 東新潟 MG-37 号井の深度 370 m 試料, SK1-30: 新潟沖 SK-1 号井の深度 300 m 試料, TG: 田頭テフラ (会津横田), Sn-KB: 砂子原-久保田火砕流, Sn-SK: 砂子原-佐賀瀬川火砕流

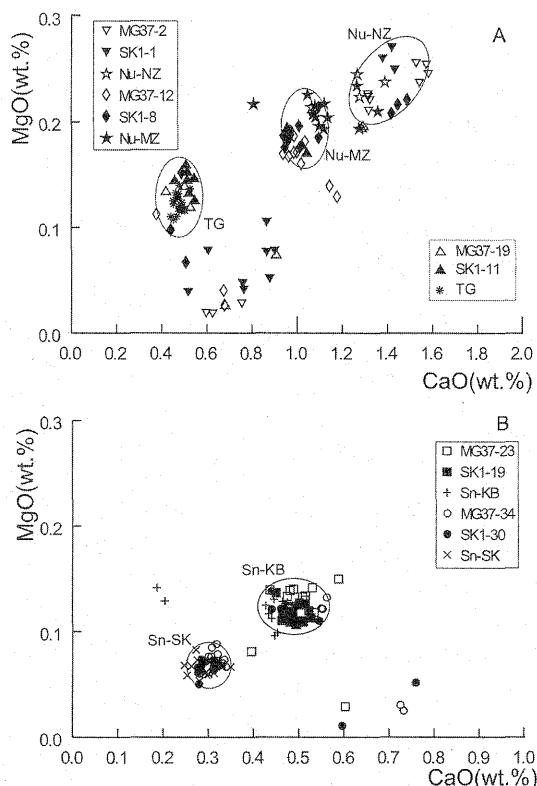


図8 東新潟 MG-37, 新潟沖 SK-1 の試料に含まれる火山ガラスの対比 (MgO-CaO 図)

A: MG37-2: 東新潟 MG-37 号井の深度 20 m 試料, SK1-1: 新潟沖 SK-1 号井の深度 30 m 試料, MG37-12: 東新潟 MG-37 号井の深度 120 m 試料, SK1-8: 新潟沖 SK-1 号井の深度 120 m 試料, MG37-19: 東新潟 MG-37 号井の深度 190 m 試料, SK1-11: 新潟沖 SK-1 号井の深度 100 m 試料, Nu-NZ: 沼沢-沼沢湖火砕流, Nu-MZ: 沼沢-水沼火砕流試料, TG: 田頭テフラ (会津横田). B の記号と番号は図 7 と同じ.

とシルトの互層と解釈でき、軽石層あるいは軽石を含む砂層として認定できない (図 6)。また、新潟沖 SK-1 号井の深度 140 m 試料 (カッティング試料番号: SK1-8) は、細礫と軽石 (繊維状のものもあり) を多く含む層相を示し、鏡下では、扁平型 (Hb) と中間型 (Cb) の火山ガラスを多く含む特徴がある。このため軽石層として定義せずに、これらの試料に多く含まれる火山砕屑物の起源を検討した。阿賀野川流域では、段丘堆積物として沼沢火山の約 5 万年前の水沼火砕流 (Nu-MZ) を起源とする数 m 以上の火砕物の二次堆積物が分布する (ト部・片岡, 2003)。また、この二次堆積物は、平野内陸部の地下でも確認できることから、水沼火砕流 (Nu-MZ) に含まれる火山ガラスの形態や化学組成との比較検討を行った。この結果、MG37-12 と SK1-8 試料に含まれる火山ガラスは、水沼火砕流 (Nu-MZ) に含ま

れる火山ガラスと同一の組成領域を示す火山ガラス粒子を多く含む (図 8)。このため、沖積層基底の砂礫層の下位あるいは下部という層序学的な根拠や、異質粒子も混入しているが水沼火砕流 (Nu-MZ) に含まれる火山ガラスと同一の組成領域を示す火山ガラス粒子を多く含むことから、両坑井のこれらの層準を水沼火砕流 (Nu-MZ) を起源とする火砕物を含む層準として対比した。

5.3.3 東新潟第 2 軽石層 (HN-P2)

東新潟 MG-37 号井の深度 190 m 試料 (カッティング試料番号: MG37-19) は、軽石を多く含み、細礫や砂質シルト片を含む特徴がある。FMI から推定した東新潟 MG-37 号井の深度 190 m 付近の層相は、厚層の平行葉理の見られる細粒砂と解釈できる。また、含まれる火山ガラスは、扁平型 (Hb) と中間型を多く含む。火山ガラスの屈折率は 1.495, 1.497-1.500 (モード 1.498) を示す。火山ガラスの化学組成は、 TiO_2 が 0.1wt% より低く、MgO が 0.02 ~ 0.15 wt% 程度、CaO が 0.5 ~ 0.9 wt% 程度の組成領域を示す (図 7)。この組成領域は、全体として下位の東新潟第 3, 第 4 軽石層における火山ガラスのそれと類似するが、ややばらつきがあり Na_2O 量や K_2O 量などで若干の違いがみられる。また、東新潟 MG-37 号井と層序的に対比される新潟沖 SK-1 号井の深度 180 m (カッティング試料番号: SK1-11) の火山ガラスの形態や火山ガラスの屈折率 (1.495-1.499 (モード 1.497)), 化学組成領域は、MG37-19 と同様な特徴を有している (図 7)。

東新潟第 2 軽石層は全体として火山灰起源の堆積物で、只見川流域から阿賀野川水系をへて運搬された二次堆積性の火山砕屑物である可能性が高い。阿賀野川流域の河成段丘における本層の認定は不十分な段階にあるものの、只見川流域では鈴木 (1992) などによって記載されている田頭テフラの火山ガラスの形態や火山ガラスの屈折率 (1.493-1.498 のレンジ) の特徴は、東新潟第 2 軽石層のものと類似する。また、火山ガラスの化学組成は、鈴木ほか (2004) に示された会津横田の二次堆積性の試料のものと一致する (図 8)。一方、層序的に MG37-19 の上位にある深度 140 m (カッティング試料番号: MG37-14) 試料には扁平型 (Ha, Hb), 中間型 (Ca, Cb) と褐色の火山ガラスを含み、火山ガラスの化学組成では TiO_2 が 0.4 ~ 0.45 wt% 含まれる特徴を持つ火山ガラスが多く混入している。この特徴は、8 万年前の Aso-4 (町田・新井, 2003) のそれに合致する。したがって、東新潟第 2 軽石層は、約 13 万年前の田頭テフラの二次堆積物であると判断できる。

5.3.4 東新潟第 3 軽石層 (HN-P3)

東新潟 MG-37 号井の深度 230 m 試料 (カッティング

ス試料番号：MG37-23) は、軽石や火山灰質な砂質シルトを多く含む特徴がある。FMI から推定した東新潟 MG-37 号井の深度 230 m 付近の約 10 m 間の層相は、中粒砂・粗粒砂と薄い泥層の互層で、粗粒な軽石粒子を含んでいるものと考えられる。含まれる軽石は、若干発泡し肉眼では有色鉱物が認められない。この試料に含まれる重鉱物は、HN-P1 と比較すると角閃石が少なく、単斜輝石の含まれる割合が多い。また、含まれる火山ガラスは、扁平型 (Hb) と中間型を多く含む特徴があり、火山ガラスの屈折率は 1.495-1.499 (モード 1.496) を示す。火山ガラスの化学組成は、 TiO_2 が 0.1 wt% より低く、 MgO が 0.11wt% 程度、 CaO が 0.5 wt% 程度に比較的集中した組成領域を示す (図 7)。また、東新潟 MG-37 号井と層序的に対比される新潟沖 SK-1 号井の深度 260 m 試料 (カッティングス試料番号：SK1-19) は、ほぼ最大径 15 mm、平均 5～8 mm の軽石から構成されている。これに含まれる火山ガラスの形態や火山ガラスの屈折率 (1.495-1.498 (モード 1.497))、化学組成領域は、MG37-23 と同様な特徴を有している (図 7)。

東新潟第 3 軽石層は全体が火山灰起源の堆積物で、厚層であることから二次堆積性の火山砕屑物と考えられる。本層は阿賀野川水系から運搬された可能性が高いものと推定し、只見川流域の比較試料との対比を行った。この結果、砂子原カルデラ起源の火砕流のうち、約 22 万年前に活動した砂子原-久保田火砕流 (Sn-KB) に含まれる火山ガラスの形態、火山ガラスの屈折率 (Sn-KB:1.492-1.498 (モード 1.496)) と化学組成の特徴 (図 8) が MG37-23 と SK1-19 に含まれる火山ガラスと一致することから、それぞれに含まれる火山ガラスは同一のものであると判断できる。よって、東新潟第 3 軽石層は、約 22 万年前の砂子原-久保田火砕流 (Sn-KB) の二次堆積物であると判断できる。

5.3.5 東新潟第 4 軽石層 (HN-P4)

東新潟 MG-37 号井の深度 340 m 試料 (カッティングス試料番号：MG37-34) は、粗粒な軽石から構成されている。FMI から推定した東新潟 MG-37 号井の深度 340 m 付近の約 10 m 間の層相は、細～中粒砂であると考えられる。含まれる軽石は、若干発泡し肉眼では有色鉱物が認められない。この試料に含まれる重鉱物は、HN-P1 と比較すると角閃石が少なく、単斜輝石の含まれる割合が多い。また、含まれる火山ガラスは、扁平型 (Hb) と中間型を多く含む特徴があり、火山ガラスの屈折率は 1.494, 1.496-1.500 (モード 1.497) を示す。火山ガラスの化学組成は、 TiO_2 が 0.1 wt% より低く、 MgO が 0.1 wt% 以下、 CaO が 0.3 wt% 程度と比較的集中した組成領域を示す (図 7)。また、東新潟 MG-37 号井と層序

的に対比される新潟沖 SK-1 号井の深度 370 m 試料 (カッティングス試料番号：SK1-30) は、やや円磨された極粗粒サイズの繊維状の軽石を多く含む特徴がある。これに含まれる火山ガラスの形態や火山ガラスの屈折率 (1.495-1.500 (モード 1.496))、化学組成領域は、MG37-34 と同様な特徴を有している。

東新潟第 4 軽石層も全体が火砕物起源の堆積物である可能性が高く、厚層であることから二次堆積性の火山砕屑物と考えられる。また、本層の起源も阿賀野川水系から運搬された可能性が高いものと推定し、只見川流域の比較試料との対比を行った。この結果、砂子原カルデラ起源の火砕流のうち、約 29 万年前に活動した砂子原-佐賀瀬川火砕流 (Sn-SK) に含まれる火山ガラスの形態、火山ガラスの屈折率 (Sn-SK:1.492-1.498 (モード 1.496)) と化学組成の特徴 (図 8) が MG37-34 と SK1-30 に含まれる火山ガラスと一致することから、それぞれに含まれる火山ガラスは同一のものであると判断できる。よって、東新潟第 4 軽石層は、約 29 万年前の砂子原-佐賀瀬川火砕流 (Sn-SK) の二次堆積物であると判断できる。

6. 東新潟ガス田における浅層部の地層に関する新知見

今回の検討によって、東新潟ガス田における約 600 m 以浅の層序が明らかになった。沖積層に相当する白根層の研究は、主として現在の砂丘地よりも内陸側で実施され (鴨井ほか, 2002 など)、沿岸部における研究は限られており、概略的なものであった (福田ほか, 1966; 阿久津, 1966)。東新潟ガス田における白根層の基底標高は -100 ～ -110 m で、この値は大局的に既往の研究結果 (新潟県地盤図編集委員会, 2002) とほぼ合致するものである。オールコアで実施した A 孔の堆積相から堆積環境変化を復元すると、最終氷期以降の海進に伴い、深度 87 m のペイラビンメント面を介して、約 10,000 年前に海成の環境へと変化し、層相の上では深度約 62m で縄文海進のピークをむかえ、これ以降徐々に浅海化していく過程が認められた。また、浅海化の過程のなかで河川の要素が強く、約 4,700 年前の沼沢火山の火砕流の二次堆積物である東新潟第 1 軽石層 (HN-P1) も認められた。化石相も深度 87～91 m に主として汽水種が、87 m 以浅には浅海種が主として産出し、堆積相の結果と調和的である。

一方、蒲原層群は白根層の下位に分布する礫質堆積物 (G 層) を挟む砂泥互層で特徴づけられる。同様の層相は基礎試錐「新潟平野」のカッティングスの分析や地震探鉱記録断面などによって、越後平野中央部 (新潟市～三条市) にも分布するとみられる (荒戸ほか, 1994;

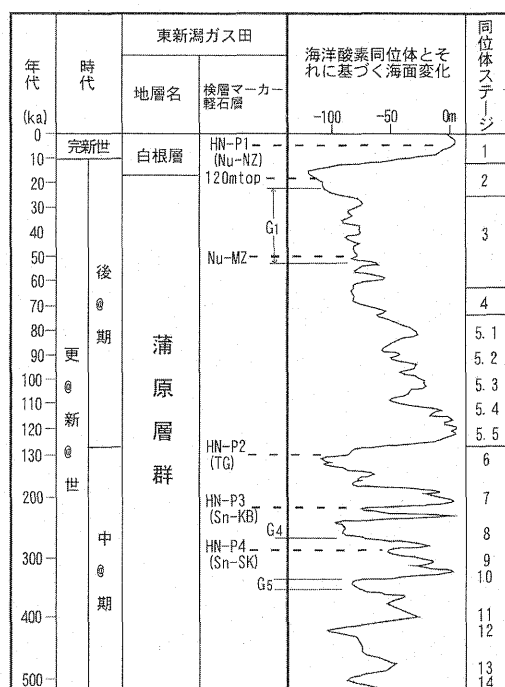


図9 東新潟ガス田の浅層部の層序と海洋酸素同位体層序編年との比較
海洋酸素同位体層序編年は町田・新井 (2003) による。

Arato, 1997)。しかし、蒲原層群およびその相当層の形成年代などについてはほとんど未解明であった。ただ、西田 (1969) は G_4 層直上の泥炭層が花粉化石から亜高山帯の気候下で堆積したものと推定し、 G_4 層の堆積期をリス氷期と推定している。

今回の検討によって、蒲原層群中には連続性の良い 3 層準の軽石層（上位から東新潟第 2 軽石層、東新潟第 3 軽石層および東新潟第 4 軽石層）が確認され、これらは阿賀野川を流下した火砕流の二次堆積物であり、約 13 万年前の田頭テフラ、約 22 万年前の砂子原－久保田火砕流 (Sn-KB)、約 29 万年前の砂子原－佐賀瀬川火砕流 (Sn-SK) にそれぞれ対比される可能性が高いことが明らかになった。これらの火砕流の年代はフィッシュントラック法に基づくものであるが、この年代値に従うと、 G_4 層を含む蒲原層群の上部層準は、約 30 万年前から最終氷期最寒冷期である約 1.8 万年前の堆積物と考えられる (図 9)。また、化石相の検討によって、明瞭な海成層の層準が深度 190 ～ 270 m、および深度 320 ～ 390 m に分布することが明らかになった (図 5)。蒲原層群が氷河性海面変動に支配された地層の複合体という観点にたてば、フィッシュントラック年代値との対応から、深度 190 ～ 270 m の海成層準が海洋酸素同位体ステージ

MIS 7 に、 G_4 層層準が MIS 8 に、深度 320 ～ 390 m の海成層準が MIS 9 にそれぞれ相当する可能性がある (図 9)。

今後は、東新潟ガス田において多数掘削された坑井について、4 層準の軽石層や海成層の追跡を行い、より詳細な層序や地質構造の解明に努めていきたい。

謝 辞

本研究は、平成 16 年度に三菱瓦斯化学㈱－石油資源開発㈱－新潟大学の共同研究として実施されたものである。共同研究の実施にあたり、三菱瓦斯化学㈱の大牟田秀文エネルギー資源部長、石油資源開発㈱の佐藤 徹貯留層開発部長に多大なご指導を賜った。三菱瓦斯化学㈱、石油資源開発㈱には本論の公表を許可いただいた。有限会社珪藻ミナラボの秋葉文雄氏、井上パレオラボの井上洋子博士、新潟大学黒川勝己教授には有益な助言をいただいた。また、三菱瓦斯化学㈱エネルギー資源部大竹正巳課長には、粗稿を読んでいただき貴重なご指摘を頂戴した。これらの方々記して感謝いたします。

引用文献

- 秋葉文雄・柳沢幸夫・石井武政, 1982: 宮城県松島周辺に分布する新第三系の珪藻化石層序。地質調査所月報, (33), 215-239.
- 阿久津 純, 1966: 新潟平野の沖積層について。宇都宮大学教育学部紀要, (16), 62-68.
- 荒戸裕之・亀尾浩司・保柳康一, 1994: 背弧堆積盆地におけるシーケンス解析—新潟県蒲原平野の例—。石技誌, 59 (1), 18-29.
- Arato, H., 1997: The Plio-Pleistocene stratigraphy of the Kanbara Plain, Niigata Prefecture, central Japan and its sequence stratigraphic correlation with the Uonuma Group. *Earth Science (Chikyū Kagaku)*, 51, 233-244.
- 福田 理・阿久津 純・徳永重元, 1966: 新潟深層試験井の坑井地質。地調特別報告, (3), 76-83.
- 古澤 明, 1995: 火山ガラスの屈折率測定・形態分類とその統計的な解析。地質学雑誌, 101, 123-133.
- 早津賢二・新井房夫, 1981: 信濃川中流域におけるテフラ層と段丘形成年代。地質学雑誌, 87, 791-805.
- 早津賢二・新井房夫, 1982: 妙高火山群テフラ地域南部の最新世テフラ層—示標テフラ層の記載とそれに関連した 2・3 の諸問題—。第四紀研究, 21, 1-13.
- 伊田一善, 1955: 新潟ガス田の地質。地質調査所月報, (6), 327-342.
- 鴨井幸彦・安井 賢・小林巖雄, 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, 56, 123-138.

- 建設省北陸地方建設局・北陸技術事務所編, 1981: 新潟県平野部の地盤図集 (新潟平野編). 北陸建設弘済会.
- 小林巖雄, 1996: 越後平野地下の第四系. 第四紀研究, 35, 191-205.
- 町田 洋・新井房夫, 1979: 大山倉吉軽石層一分布の広域性と第四紀編年上の意義一. 地学雑誌, 88, 313-330.
- 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・大場忠道・小野 昭・山崎春雄・河村善也・百原 新, 2003: 第四紀学. 朝倉書店, 325p.
- 牧山鶴彦, 1963a: 新潟ガス田の層序および地質構造について. 石油学会誌, 6 (9), 684-687.
- 牧山鶴彦, 1963b: 新潟ガス田の開発. 石油学会誌, 6 (11), 851-857.
- Minato, M., Suyama K., Hasegawa, K., Oya, S., Takahashi, Y., Nakagawa, K., Wada, A. and Shibazaki, T., 1967: Absolute age of subsurface late Quaternary deposits in the Niigata lowland. *Jour. Fac. Sci., Hokkaido Univ., Ser. IV, Geol. & Miner.*, 12, 401-406.
- 新潟火山灰グループ, 1995: 新潟県下のローム層について そのII - 信濃川ローム層の層序-. 地球科学, 49, 188-202.
- 新潟県地盤図編集委員会, 2002: 新潟県地盤図および新潟県地盤図説明書. (社)新潟県地質調査業協会.
- 西田彰一, 1969: 新潟平野の形成過程とその問題点. 日本地質学会第76年学術大会シンポジウム「海岸平野」資料集, 53-58.
- 鈴木毅彦, 1992: 那須火山のテフロクロロジー. 火山, 37, 251-263.
- 鈴木毅彦, 1999: 福島県太平洋岸, 塚原海岸における最終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. 地学雑誌, 108, 216-230.
- 鈴木毅彦・藤原 治・壇原 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. 地学雑誌, 113, 38-61.
- ト部厚志・片岡香子, 2003: 沼沢火山 5Ka 噴火後の只見川・阿賀野川流域における火砕物の二次堆積過程と地形形成. 日本地質学会第110年学術大会講演要旨, 152.
- ト部厚志・片岡香子, 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, 107.
- 渡辺秀男, 2000: 新潟県十日町盆地の津南段丘の形成について. 地球科学, 54, 310-327.
- 渡辺秀男・ト部厚志, 2003: 十日町盆地北西部の河成段丘の編年と隆起運動. 地球科学, 57, 173-191.
- 山元孝広, 1999: 福島一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・砂原火山を給源とするテフラ群の層序. 地質調査所月報, (50), 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, (54), 323-340.
- 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. 地質調査所月報, (47), 335-359.
- 山元孝広・駒沢正夫, 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), 71p.
- 吉川周作, 1976: 大阪層群の火山灰層について. 地質学雑誌, 82, 479-515.