新潟堆積盆地，加茂地域における下部～中部中新統の 年代層序と堆積盆発達史

工 藤 崇* 柳 沢 幸 夫*
岩 野 英 樹** 檀 原 徹**

Chronostratigraphy of the Lower to Middle Miocene Successions and Basin Development in the Kamo Area, Niigata Sedimentary Basin, Northeast Japan Arc

Takashi KUDO*, Yukio YANAGISAWA*,
Hideki IWANO** and Tohru DANHARA**

Abstract

The Kamo area is situated in the eastern margin of the Niigata sedimentary basin, Northeast Japan Arc. The Lower to Middle Miocene successions in the Kamo area are divided into the Tonoiri, Otani, and Nanatani Formations in ascending order. In this study, we show newly determined fission-track ages, chronostratigraphy, and regional stratigraphic correlations of the Lower to Middle Miocene successions, and discuss basin development and tectonics in the Kamo area. The age of each formation is as follows—approximately 18–17 Ma, 17–15.2 Ma and 15.2–12.3 Ma for the Tonoiri, Otani, and Nanatani Formations, respectively. On the basis of the age framework of the successions studied, we can correlate the successions with stratigraphic successions in other areas of the northern Niigata sedimentary basin. In particular, a glauconite sandstone bed in the uppermost part of the Nanatani Formation can be correlated to that intercalated in the boundary horizon between the Nanatani and Teradomari Stages in the Niigata sedimentary basin and that in the boundary horizon between the Nishikurosawa and Onnagawa Stages in the Akita region. Lithofacies and paleobathymetrical data show rapid subsidence and transgressions during the deposition of the Tonoiri and Otani Formations. Furthermore, the Tonoiri and Otani Formations show abrupt lateral changes in lithologies and thickness, which suggests that differential subsidence occurred in the basin, probably in response to rifting of the Eastern Japan Sea Rift System during the Early Miocene between 18 and 15.2 Ma. In contrast, the overlying Nanatani Formation has almost a uniform lithology with minor lateral changes in thickness. This suggests that the rifting may have ceased at around 15.2 Ma and subsequent uniform subsidence seems to have occurred between 15.2 and 12.3 Ma. Consequently, the syn-rift stage sediments can be assigned to the Tonoiri and Otani Formations and the post-rift stage sediments can be assigned to the Nanatani Formation.

Key words : Lower to Middle Miocene, Nanatani Formation, chronostratigraphy, fission-track age, basin development, tectonics, Kamo area, Niigata sedimentary basin, North-

* (独) 産業技術総合研究所地質情報研究部門

** (株) 京都フィッション・トラック

* AIST, Institute of Geology and Geoinformation, Geological Survey of Japan, Tsukuba, 305-8567, Japan

** Kyoto Fission-Track Co., Ltd., Kyoto, 603-8832, Japan

キーワード：下部～中部中新統，七谷層，年代層序，フィッシュン・トラック年代，堆積盆発達史，テクトニクス，加茂地域，新潟堆積盆地，東北日本弧

I. はじめに

新生代後期の新潟堆積盆地には，石油・天然ガスを胚胎する厚さ 6000 m を超える厚い新第三系～第四系が堆積している。新潟堆積盆地の東縁にあたる加茂地域（図 1）は，新潟地域坑井層序の 1 つである中部中新統「七谷層」の模式地として知られている（なお，本論では従来「新潟標準層序」と呼ばれてきたものを，工藤ほか（印刷中 a）に従い「新潟地域坑井層序」と呼ぶことにする）。そのため，加茂地域の下部～中部中新統については，これまでに多くの層序学的研究が行われてきた（大村，1928；橋本，1941；茅原ほか，1967；三梨・宮下，1970，1974；片平，1974；米谷，1978，1988；佐藤，1982；津田ほか，1984；島津・高野，1986；佐藤ほか，1991；柳沢，1993；平松ほか，1997；工藤ほか，2011 など）。しかし，これまでおもな研究対象とされてきたのは微化石を多産する七谷層上部であり，七谷層下部以下の層準については層序や年代に不明確な点が多く残されていた。

著者のうち工藤と柳沢は，産業技術総合研究所の 5 万分の 1 地質図幅「加茂」（工藤ほか，印刷中 a）の作成のため，この地域の地質調査と層序学的検討を行ない，下部～中部中新統の新たな層序の枠組みを提示した。しかし，工藤ほか（印刷中 a）では地質図幅という性格上，近隣地域との層序対比や堆積盆発達史等に関する詳しい考察を行っていない。そこで，本論ではこれらの下部～中部中新統について，新たにフィッシュン・トラック（FT）年代測定の結果を報告するとともに，年代層序を構築して近隣地域との対比を行ない，堆積盆発達史とテクトニクスの位置付けについて考察を行なう。

II. 地質概説

調査地域における下部～中部中新統の層序を図 2 に，地質図を図 3 に，地質断面図を図 4 に示す。以下に工藤ほか（印刷中 a）に基づき，本地域の地質概説について述べる。本地域は，東側の蒲原山地と西側の丘陵地帯にまたがる地域である（図 1）。東部の蒲原山地には，ジュラ系および白亜系が分布し，これらを新第三系が不整合に覆う（図 3）。新第三系は下部～上部中新統からなり，下位より戸ノ入層，大谷層，七谷層，南五百川層（図 2）の順に東から西に向かって累重し，おおよそ南北～北東走向で，西～北西に 10～40°で傾斜する（図 3 および図 4）。

戸ノ入層は，先新第三系を不整合に覆い，おもに陸成（一部海成の可能性あり）の礫岩，砂岩および泥岩からなる。大谷層は，戸ノ入層を整合に覆う暗青灰色～暗紫灰色の硬質成層泥岩を主とする海成層で，厚い火山碎屑岩を挟む。七谷層は，大谷層を整合に覆う明灰色塊状泥岩を主体とする海成層で，中部～上部に厚い火山碎屑岩を挟み，最上部に海緑石砂岩層が発達する。

戸ノ入層，大谷層，七谷層中には，前期～中期中新世のドレライトおよび玄武岩～安山岩貫入岩（Do），流紋岩溶岩および貫入岩（Ry）が認められる。Do は岩脈または岩床として，Ry は岩脈，ラコリスまたは溶岩ドームとして産する。これらは大谷層～七谷層堆積期の火山活動によるものである。

南五百川層は，七谷層を整合に覆う黒灰色～暗灰色塊状珪質泥岩あるいは暗緑灰色珪藻質塊状泥岩を主体とする海成層で，玄武岩質安山岩～流紋岩の溶岩・火山碎屑岩・貫入岩を挟在する。

III. 下部～中部中新統の層序

下部～中部中新統の地質柱状図を図 5 に，模

図1 調査地域の位置図。図5に示した柱状図の作成ルートを示す。

Fig. 1 Locality map of the study area showing the routes of columnar sections in Fig. 5.

式層相断面図を図6に示す。以下では、本論での考察に必要な情報を中心に、下部～中部中新統の地質記載を行う。より詳細な定義や記載につい

図2 加茂地域における下部～中部中新統の層序。

Fig. 2 Stratigraphy of Lower to Middle Miocene successions in the Kamo area.

ては、工藤ほか(印刷中 a) を参照されたい。

1) 戸ノ入層

地層名：工藤ほか(印刷中 a) による。橋本(1941)の「戸ノ入礫岩層」、三梨・宮下(1970, 1974)による大谷川層の一部層「戸ノ入礫岩層」に由来する。

模式地：五泉市上戸倉の能代川上流域(三梨・宮下, 1974; 図1)。

分布：本地域東部の先新第三系分布域およびその縁辺部に分布する(図3)。

層序関係：先新第三系を不整合に覆い、大谷層に整合に覆われるか、またはオンラップされる(図5および図6)。

加茂市高柳川ルート(ルート No.13; 図1)では、本層の礫岩(T₁)が大谷層の泥岩(O₁)に整合に覆われる関係が観察される(図5)。この泥岩は、大谷層火山砕屑岩相(Ov)と本層の間

の大谷層基底部にみられるもので、北方の能代川ルート（ルート No.15；図 1）へと追跡することが可能である（図 5）。よって、少なくとも高柳川～能代川地域では、戸ノ入層と大谷層は整合関係にあると考えられる。

一方、大谷層・七谷層境界より 22～6 m 下位にあたる大谷層最上部の泥岩中には、海緑石濃集帯が認められる。この海緑石濃集帯は、上戸倉西方ルート（ルート No. 18；図 1）では本層の直上付近の層準に認められる（図 5 および図 6）。この関係は、少なくとも五泉市上戸倉付近において、戸ノ入層が大谷層にオンラップされる関係を示唆する。

層厚：地域的变化が大きい。加茂市高柳川流域では 30～40 m と薄く、その北方および南方で 150～400 m と厚くなる（図 5 および図 6）。

岩相：礫岩・砂岩相（ T_1 ）と礫岩・砂岩・泥岩相（ T_2 ）に区分される。両者とも礫岩および砂岩を主要な構成物とするが、後者では泥岩もおもな構成物に加わる。両者の岩相境界は漸移し、地層の走向と斜交することから、両者は指交関係にあると判断される（図 6）。

（1）礫岩・砂岩相（ T_1 ）

本岩相はおもに礫岩と砂岩の互層から構成される。礫岩は層厚 10 数 m～数 10 cm 程度のものが多く、砂岩は層厚数 m～数 10 cm 程度のものが多く、礫岩と砂岩の割合や礫径は場所により変化する。礫岩は礫支持のものと基質支持のものがある。礫支持礫岩は、しばしば不明瞭な級化構造をもち、微弱な礫のインプリケーションが認められる。また、しばしばレンズ状の砂岩と互層して下に凸のレンズ状層形態を示す。基質支持礫岩は、塊状もしくは逆級化構造を示し、淘汰が悪く、礫のインプリケーションが認められない。両礫岩ともに、礫の円磨度は亜円礫～角礫である。礫種はジュラ系由来のチャート、砂岩、泥岩が多い。砂岩は、塊状あるいは成層構造を示し、しばしば植物片を含む。高柳川上流の一部の砂岩には生痕化石が認められる。

（2）礫岩・砂岩・泥岩相（ T_2 ）

本岩相は礫岩、砂岩、泥岩および流紋岩火山碎

屑岩の互層からなり、 T_1 よりも砂岩、泥岩および流紋岩火山碎屑岩が多く含まれる岩相である。礫岩は T_1 の礫岩と同様の岩相を示す。礫岩は層厚数 m～数 10 cm 程度のものが多く、砂岩は層厚数 10 cm 以下のものが多く、しばしば下に凸のレンズ状層形態の礫支持礫岩と互層する。泥岩は、層厚数 10 cm 程度のものが多く、灰色～明灰色を呈し、塊状あるいは平行層理～葉理を示し、植物片を多く含み、亜炭層を伴う。泥岩は、礫、砂、植物片混じりで淘汰が悪いものが多く、層厚数 10 cm 程度の塊状あるいは平行層理～葉理を示す砂岩としばしば互層する。

流紋岩火山碎屑岩は複数の層準で確認される。構成粒子は細礫サイズ以下で、層厚は数 m～数 cm であることが多い。このうち、五泉市阿弥陀瀬付近に分布するものは、阿弥陀瀬火砕流堆積物（Amd；工藤ほか、印刷中 a）と命名されている。Amd は、層厚 10 m 程度、塊状で基質支持であり、基質の赤褐色～ピンク色を呈する細粒～粗粒火山灰と長径 7 cm 以下の無斑晶質白色軽石、暗灰色スコリアおよび石質岩片で構成される。高温酸化の特徴が認められることから、陸上に堆積した火砕流堆積物であると判断される。

化石： T_1 および T_2 の泥岩、砂質泥岩および砂岩から植物化石を多産するが、同定は行われていない。

堆積環境：礫支持礫岩とそれと互層する砂岩は、級化構造や礫のインプリケーションが認められ、しばしば下に凸のレンズ状層形態を示すことから、おもに網状河川堆積物から構成されることが考えられる。一方、基質支持礫岩は、塊状もしくは逆級化構造を示し、淘汰が悪く、礫のインプリケーションが認められない特徴から、おもに土石流堆積物からなると考えられる。また、 T_2 で特徴的に認められる泥岩とそれに挟在する砂岩は、塊状もしくは平行層理～葉理を示し、泥質で腐植質物質に富む特徴から、おもに氾濫原堆積物からなると考えられる。

T_1 は、網状河川堆積物および土石流堆積物を主体とし、植物化石を多く含むことから、おもに陸成層からなると判断され、堆積環境としては網

図 4 加茂地域の地質断面図. 各断面の位置および凡例は図 3 を参照.

Fig. 4 Geological cross-sections of the eastern area of the Kamo area. Legend and cross-section lines are shown in Fig. 3.

状河川を伴う扇状地が想定される。一方、 T_1 の一部の砂岩からは生痕化石が産する。この生痕化石が淡水性か海水性なのかは不明である。しかし、この生痕化石を含む砂岩が海成の大谷層との境界付近の層準に産すること、大谷層が戸ノ入層を整合に覆うことから、少なくとも戸ノ入層最上部の一部については海成の可能性がある。

T_2 は網状河川堆積物あるいは土石流堆積物の特徴を示す礫岩に加え、泥質な氾濫原堆積物を多く含み、陸上堆積の火砕流堆積物を挟む。よって、 T_2 は陸成層であり、堆積環境としては氾濫原が発達する網状河川末端部もしくは扇状地末端部のような環境が想定される。

大局的にみると、より粗粒な T_1 の周囲をより細粒な T_2 がとり巻いて分布することから、前者が碎屑物の供給源近傍相、後者がその周縁相に相当するものと考えられる。

2) 大谷層

地層名：工藤ほか（印刷中 a）による。橋本（1941）による「大谷硬質頁岩層」に由来する。

模式地：加茂市上高柳より東方の高柳川沿い（工藤ほか、印刷中 a）。

分布：五泉市上戸倉南東～三条市笠堀湖にかけて分布する（図 3）。

層序関係：戸ノ入層を整合に覆うか、もしくはオンラップし（詳細は戸ノ入層の項で記載）、七谷層に整合で覆われる。

層厚：地域的な層厚変化が著しく、上戸倉以北では尖滅するが、南方に向かうにつれ層厚が増加し、親沢付近では 1400 m 以上となる（図 5 およ

び図 6）。

岩相：泥岩相 (O_1)、火山碎屑岩相 (O_v) および泥岩・流紋岩火山碎屑岩相 (O_2) からなる。これらは互いに指交関係にある（図 6）。

(1) 泥岩相 (O_1)

やや青色を帯びた暗灰色～灰色を呈する硬質の成層泥岩からなり、まれに層厚数 10 cm 以下の流紋岩火山碎屑岩および海緑石濃集帯を挟在する。層厚は最大で 250 m 程度である。泥岩は、上位の七谷層の泥岩と比較して暗色かつ硬質で、平行層理を示し、層理面に沿って平板状に割れる。流紋岩火山碎屑岩は火山礫凝灰岩および細粒～粗粒凝灰岩からなる。大谷層・七谷層境界から 22～6 m 下位の本岩相中には、厚さ 20 cm 程度の海緑石濃集帯が認められる（図 6）。

(2) 火山碎屑岩相 (O_v)

火山角礫岩、凝灰角礫岩、火山礫凝灰岩および凝灰岩を主体とし、泥岩および砂岩を伴う。大部分が流紋岩質で、ごく一部で玄武岩～安山岩質のものを伴う。いずれも強度の緑色変質を受けている。層厚は、本地域南東部では 1400 m 以上で、北方へと減じ、 O_1 中に尖滅する（図 6）。流紋岩火山碎屑岩は、変質した軽石礫や緻密な流紋岩礫から構成され、泥岩偽礫を伴う。玄武岩～安山岩火山碎屑岩はおもに無斑晶質なスコリア礫から構成される。泥岩は、 O_1 の泥岩に類似するものや砂・礫混じりで淘汰の悪いものなど多様である。砂岩は凝灰質なものも多く、一部で生痕化石を含む。

(3) 泥岩・流紋岩火山碎屑岩相 (O_2)

暗青灰色～暗紫灰色を呈する泥岩と流紋岩火山

図 5 下部～中部中新統の地質柱状図. 柱状図作成ルートは図 1 を参照. 工藤ほか (印刷中 a) を一部改変.
 Fig. 5 Columnar sections of the Lower to Middle successions Miocene, partly modified from Kudo *et al.* (in press a). Localities of the routes of columnar sections are shown in Fig. 1.

図 6 下部～中部中新統の模式層相断面図. 簡略化のため貫入岩を省略した.

Fig. 6 Schematic geological cross-section of the Lower to Middle Miocene successions. Intrusive rocks are omitted for simplicity.

碎屑岩の互層からなる。泥岩は O₁ の泥岩と類似するが、やや紫がかかった色を示すことで識別される。流紋岩火山碎屑岩は、凝灰角礫岩、火山礫凝灰岩および凝灰岩からなり、変質した軽石礫や緻密な流紋岩礫から構成され、泥岩偽礫をしばしば含む。

化石: 茅原ほか (1967) は、本地域南隣の守門岳地域において、Ov に挟在する泥岩より *Haprophragmoides compressum*, *Martinottiella communis*, *Spirosigmoilinella compressa* などの底生有孔虫化石を報告している。また、三梨・宮下 (1970, 1974) は、三条市駒出川の O₂ の泥岩より *M. communis*, *Pullenia bulloides*, *Sigmoilopsis schlumbergeri*, *S. compressa* などの底生有孔虫化石を報告している。

堆積環境: 本層は岩相および産出化石から海成層と判断される。産出する底生有孔虫化石群集から、長谷川ほか (1989) の指標に基づき判断す

ると、本層は中部漸深海帯下部～上部漸深海帯で堆積したと考えられる。

3) 七谷層

地層名: 大村 (1928) による。Watanabe (1926) の七谷頁岩に由来する。工藤ほか (印刷中 a) により再定義された。

模式地: 三条市北五百川の駒出川および祓川流域 (工藤ほか, 印刷中 a)。

分布: 五泉市上戸倉西方～三条市塩野淵にかけて、南北に帯状に分布する (図 3)。

層序関係: 大谷層を整合に覆い、南五百川層に整合で覆われる。上戸倉西方では、戸ノ入層を直接覆うと考えられる (図 5 および 図 6)。

層厚: 加茂市大谷付近では約 340 m, 本地域南端部付近では約 530 m である。南方に向かって層厚がやや厚くなるが、これは本層の火山碎屑岩相 (Nv) が南方ほど層厚を増すことによる (図 6)。

岩相：泥岩相 (N) および火山碎屑岩相 (Nv) から構成される。両者は指交関係にある (図 5 および図 6)。

(1) 泥岩相 (N)

明灰色～灰色泥岩を主体とし、一部で厚さ数 m 以下の流紋岩火山碎屑岩を挟在する。層厚は 340 m 程度で、場所によらずほぼ一定である (図 6)。泥岩は石灰質で、塊状のことが多いが、しばしば軟質な凝灰質泥岩薄層と硬軟互層をなす。本岩相には少なくとも 3 層準に海緑石濃集帯・海緑石砂岩層が認められる (図 6)。これらのうち、七谷層最上部を構成する海緑石砂岩層は、層厚および海緑石密度の点で最も顕著なものであり、最大層厚 4 m に達する。流紋岩火山碎屑岩は火山礫凝灰岩および細粒～粗粒凝灰岩からなる。層厚は数 10 cm 以下のことが多い。これらのうち、駒出川ルート (ルート No.7) でみられる Kbi テフラ (図 5) は、紀伊半島の熊野酸性岩の形成に関連した広域テフラの可能性が指摘されている (工藤ほか, 2011)。

(2) 火山碎屑岩相 (Nv)

火山角礫岩、凝灰角礫岩、火山礫凝灰岩および凝灰岩を主体とし、N と同様な岩相の泥岩薄層を挟在する。大部分が流紋岩質で、ごく一部で玄武岩～安山岩質のものを伴う。層厚は本地域南部では 650 m と厚く、北方へと尖滅する (図 5 および図 6)。流紋岩火山碎屑岩は、変質した軽石礫や緻密な流紋岩礫から構成され、しばしば泥岩偽礫を含む。玄武岩～安山岩火山碎屑岩はおもに無斑晶質な黒色スコリア礫で構成される。

化石：泥岩相 (N) の泥岩から以下のような化石が産出する。祓川ルート (図 1 のルート No.8) では *Gyroidina orbicularis*, *Martinottiella communis*, *Pullenia bulloides*, *Sigmoilopsis schlumbergeri*, *Spirosigmoilinella compressa* などの底生有孔虫化石 (Matsunaga, 1963; 米谷, 1988), Blow (1969) の N.8 ～ 10 帯に相当する浮遊性有孔虫化石 (米谷, 1978; 佐藤, 1982), Okada and Bukry (1980) の CN3 ～ 5a 帯に相当する石灰質ナノ化石 (佐藤, 1982; 佐藤ほか, 1991; 平松ほか, 1997) が報告されている (図 7)。

駒出川ルート (図 1 のルート No.7) では *G. orbicularis*, *M. communis*, *P. bulloides*, *S. schlumbergeri*, *S. compressa* などの底生有孔虫化石 (三梨・宮下, 1970, 1974), Akiba (1986) および Yanagisawa and Akiba (1998) の NPD-4Bb 帯に相当する珪藻化石 (柳沢, 1993), N.9 帯に相当する浮遊性有孔虫化石と CN3 ～ 4 帯に相当する石灰質ナノ化石 (工藤ほか, 2011) が報告されている。そのほか、三条市塩野淵付近から *M. communis*, *Nodosaria longiscata*, *S. compressa* などの底生有孔虫化石 (茅原ほか, 1967), 加茂市大谷付近から N.9 ～ N.10 帯に相当する浮遊性有孔虫化石 (米谷, 1978) と CN4 帯に相当する石灰質ナノ化石 (平松ほか, 1997) が報告されている。本層最上部の海緑石砂岩からは NPD4Bb ～ 5B 帯下部に相当する珪藻化石が報告されている (柳沢・工藤, 2011; 工藤ほか, 印刷中 a)。

堆積環境：本層は岩相と産出化石より、海成層と判断される。産出する底生有孔虫化石群集から、長谷川ほか (1989) の指標に基づき判断すると、本層は中部漸深海帯下部～上部漸深海帯で堆積したと考えられる。

4) 南五百川層

地層名：津田ほか (1984) による。工藤ほか (印刷中 a) により再定義された。

模式地：三条市南五百川、五十嵐川沿いの守門川入口から五十嵐川左岸にかけてのルート (津田ほか, 1984)。

分布：五泉市新屋～三条市早水にかけて、南北に帯状に分布する (図 3)。

層序関係：七谷層を整合に覆い (図 5 および図 6), 鹿熊層および皆川層に不整合で覆われる (工藤ほか, 印刷中 a)。

層厚：加茂市大古原山付近で 700 m 程度。

岩相：泥岩相 (M) を主体とし、玄武岩質安山岩～流紋岩の溶岩・火山碎屑岩・貫入岩 (Mb, Mbi, Mr) を伴う (図 3)。本論では、中部中新統に含まれる泥岩相 (M) のみを記載する。

泥岩相 (M)

本岩相は黒灰色～暗灰色泥岩からなり、ごくま

図 7 祓川ルートにおける七谷層の微化石層序と堆積速度曲線。ルートの位置は図 1 を参照。岩相記号は地質図凡例 (図 3) を参照。微化石層序データ: (1) 佐藤 (1982), 佐藤ほか (1991) および平松ほか (1997); (2) 米谷 (1978) および佐藤 (1982)。化石帯境界の年代は Gradstein *et al.* (2004) による。工藤ほか (印刷中 a) を一部改変。

Fig. 7 Sediment accumulation rate curve and biostratigraphy of the Nanatani Formation in the Haraigawa section, partly modified from Kudo *et al.* (in press a). Locality of this section is shown in Fig. 1. Symbols of lithology are shown in the geological map (Fig. 3). Biostratigraphic data: (1) Sato (1982), Sato *et al.* (1991) and Hiramatsu *et al.* (1997), (2) Maiya (1978) and Sato (1982). Time scales are from Gradstein *et al.* (2004).

れに厚さ数 10 cm 以下の流紋岩火山碎屑岩を挟在する。レンズ状の石灰質コンクリーションを含むことがある。泥岩は珪質であり、塊状のものが多く、風化表面はしばしば赤褐色を呈する。流紋岩火山碎屑岩は、細粒～粗粒凝灰岩からなる。

化石: 泥岩相 (M) の泥岩より, *Haprophragmoides* cf. *emaciatum*, *Martinottiella commu-*

nis, *Spirosigmoilinella compressa* などの底生有孔虫化石が報告されている (Matsunaga, 1963)。また, Akiba (1986) および Yanagisawa and Akiba (1998) の NPD5B 帯上部～7A 帯下部に相当する珪藻化石が報告されている (Koizumi, 1977; 小林・渡辺, 1985; 柳沢, 1993; 柳沢・須藤, 2002; 平中ほか, 2009; 柳沢・工藤,

2011; 工藤ほか, 印刷中 a)。

堆積環境：本層は岩相と産出化石より、海成層と判断される。産出する底生有孔虫化石群集から、長谷川ほか(1989)の指標に基づき判断すると、本層は中部漸深海帯下部～上部漸深海帯で堆積したと考えられる。

IV. フィッション・トラック (FT) 年代

1) 試料

下部～中部中新統の年代層序の確立のため、戸ノ入層および大谷層から採取した火山砕屑岩 3 試料について、FT 年代測定を行なった。

試料 TN2：戸ノ入層の T₂ に挟在する Amd の全岩試料である。五泉市阿弥陀瀬のルート No.21 で採取した (図 1, 図 5 および表 1)。層厚 6 m 以上の赤褐色～ピンク色を呈する塊状の流紋岩軽石火山礫凝灰岩で、4 cm 以下の無斑晶質白色軽石、暗灰色スコリアおよび石質岩片と基質の細粒～粗粒火山灰で構成される。本試料に含まれるジルコンは、赤色を呈する自形結晶 (約 95% 含有) のほかに、褐色を呈するものが混在する。

試料 TN1：戸ノ入層の T₂ に挟在する流紋岩軽石火山礫凝灰岩の全岩試料である。五泉市山谷のルート No.20 で採取した (図 1, 図 5 および表 1)。層厚 2.3 m の灰白色を呈する軽石火山礫凝灰岩で、不明瞭な平行層理をもち、下部で細礫サイズ、上部で粗粒砂サイズへと正級化する。本試料に含まれるジルコンは、赤色透明の自形結晶と褐色のやや濁った結晶がそれぞれ約 50% ずつ混在する。

試料 OT1：大谷層の O_v に挟在する凝灰角礫岩中の流紋岩本質岩塊試料である。加茂市小俣川のルート No.10 で採取した (図 1, 図 5 および表 1)。凝灰角礫岩は、層厚 5 m 以上で、不明瞭な平行層理をもち、冷却節理をもつ多角形状の本質岩塊 (長径 60 cm 以下) をまばらに含む。本試料に含まれるジルコンは、桃色を呈する均質な結晶群であるが、外部表面に融蝕跡を、結晶内部に多数のインクルージョンをもつ特徴がある。

2) 測定手法

ジルコンを測定対象とし、外部ディテクター法

(Gleadow, 1981) を採用した。また、結晶を研磨して露出させた結晶内部面を測定する ED1 法を採用した。この方法では、外部効果の影響を考慮する必要がなく、コンファインド FT 長を測定することで、再加熱の影響の有無を評価できる。

年代測定手順は Danhara *et al.* (1991, 2003) に、FT 長測定は Iwano *et al.* (1996) に準拠した。ジルコン中の自発トラックのエッチングは、KOH-NaOH 共融液 (225℃) で 28 ～ 31 時間行なった。誘導トラックの外部ディテクターには DAP (diallyl phthalate) 樹脂を用いた。熱中性子照射は日本原子力研究開発機構の JRR-3 号炉気送管 (Au に対する Cd 比は 24) で行なった。その際、熱中性子線量測定用の標準ガラスは NIST-SRM612 を用いた。年代較正はゼータ法 (Hurfurd and Green, 1983) で行ない、ゼータ値は 414 ± 3 である (Danhara and Iwano, 2009)。FT 長の測定システムは Iwano *et al.* (1996) を利用した。

3) 測定結果

試料 TN2：本試料に含まれるジルコンのうち、大部分を占める赤色結晶を対象に測定を行なった。その結果、FT 年代データはカイ二乗検定に失格した。検定失格の原因となる非ポアソン変動要素は、①外来結晶の混入と、②ジルコン内部面でのウラン濃度分布のばらつき (累帯構造の影響) がおもに考えられる。②の場合には、安易な粒子除外は本来のデータをゆがめることになる。測定した粒子は色調や結晶形などの形態的特徴が均質な結晶群であることから、①の可能性は低いと考えられる。そこで本報告では、ランダムに選んだ全粒子がウラン濃度のばらつきの影響を相殺していると仮定し、全粒子からの年代値として 18.0 ± 0.5 Ma を得た (表 1)。

コンファインド FT 長分布は 10 ～ 12 μm に 1 つのピークをもち、有意な短縮化は認められない。よって、本試料は二次的な再加熱を受けていないと判断される。以上のことから、得られた FT 年代は本試料の噴出・定置年代を示していると考えられる。

試料 TN1：本試料に約 50% の割合で含まれる

表 1 フィッション・トラック年代測定結果.

Table 1 Results of zircon fission-track dating.

試料名	地質区分	産状	採取地点 (緯度経度)	結晶数 (個)	自発核分裂飛跡 ρ_s (cm^{-2})	N_s
OT1	大谷層	流紋岩凝灰角礫 岩中の本質岩塊	加茂市小俣川 (37°34'10"N, 139°8'27"E)	30	4.84×10^6	1896
TN1	戸ノ入層	流紋岩軽石火山 礫凝灰岩	五泉市山谷 (37°38'41"N, 139°10'14"E)	27	3.81×10^6	2021
TN2	戸ノ入層 (阿弥陀瀬火砕流堆積物)	流紋岩軽石火山 礫凝灰岩	五泉市阿弥陀瀬 (37°39'52"N, 139°11'44"E)	28	4.48×10^6	2952

試料名	誘発核分裂飛跡		(1), (2) 熱中性子線量		(3) 相関 係数	(4) χ^2 検定 Pr(χ^2)	ウラン 濃度 (ppm)	(5), (6), (7), (8) 年代値(Ma)
	ρ_i (cm^{-2})	N_i	ρ_d ($\times 10^5 \text{cm}^{-2}$)	N_d	r	(%)		Age $\pm 1\sigma$
OT1	7.49×10^6	2935	1.242	4470	0.896	8	570	16.6 ± 0.6
TN1	6.72×10^6	3561	1.430	3432	0.686	0	440	16.8 ± 0.6
TN2	7.35×10^6	4842	1.430	3432	0.862	0	480	18.0 ± 0.5

- (1) 熱中性子線量ガラス：NIST-SRM612.
(2) 照射場所：日本原子力研究開発機構原子力研究所 JRR-3 号炉気送管.
(3) r: ρ_s と ρ_i の相関係数.
(4) Pr(χ^2): χ^2 値の自由度 (結晶数-1) の χ^2 分布における上側確率 (Galbraith, 1981).
(5) 年代値: $T = (1/\lambda_D) \cdot \ln[1 + \lambda_D \cdot \zeta \cdot (g \cdot \rho_s / \rho_i) \cdot \rho_d]$ ($g = 0.5$).
(6) 誤差: $\sigma_T = T \times [1/\Sigma N_s + 1/\Sigma N_i + 1/\Sigma N_d + (\sigma_\zeta / \zeta)^2]^{1/2}$, σ_ζ は ζ 値の誤差.
(7) ^{238}U の全壊変定数: $\lambda_D = 1.55125 \times 10^{-10} \text{yr}^{-1}$.
(8) $\zeta_{\text{ED1}} = 414 \pm 3$ (Danbara and Iwano, 2009).

赤色ジルコンを測定対象とした。褐色結晶は、予察的な年代測定により約 90 Ma の年代を示したことから、外来結晶と判断される。年代測定を行った 27 粒子の FT 年代データは、カイ二乗検定に失格した。しかし、試料 TN2 と同様に、今回対象とした測定粒子は色調や結晶形などの形態的特徴が均質な結晶群であることから、外来結晶混入の可能性は低いと考えられる。そこで本報告では、ランダムに選んだ全粒子がウラン濃度のばらつきの影響を相殺していると仮定し、全測定粒子からの年代値として $16.8 \pm 0.6 \text{ Ma}$ を得た (表 1)。

コンファインド FT 長分布は 10 ~ 12 μm に 1

つのピークをもち、有意な短縮化は認められない。よって、本試料は二次的な再加熱を受けていないと判断される。以上のことから、得られた FT 年代は本試料の噴出・定置年代を示していると考えられる。

試料 OT1: 本試料には均質なジルコン結晶群が含まれるが、結晶内部面には累帯構造および多数のインクルージョンが認められたため、比較的 FT 計数条件のよい 30 粒子を選別して測定を行った。その結果、FT 年代データはカイ二乗検定に合格し、 $16.6 \pm 0.6 \text{ Ma}$ の年代を得た (表 1)。なお、本試料のコンファインド FT 長測定は行っていない。

V. 堆積年代

1) 戸ノ入層

戸ノ入層の流紋岩火山碎屑岩より 18.0 ± 0.5 Ma (TN2) および 16.8 ± 0.6 Ma (TN1) のジルコン FT 年代が得られた (表 1)。TN2 が戸ノ入層の相対的下部, TN1 が相対的上部から得られた試料であり, 両者の年代値は層序と矛盾しない (図 5)。一方, 上位の大谷層下部の流紋岩火山碎屑岩からは 16.6 ± 0.6 Ma (OT1) のジルコン FT 年代が得られた (表 1)。TN1 と OT1 の年代は誤差の範囲で重複するが, 平均値では層序と矛盾しない。以上の FT 年代より, 戸ノ入層の堆積年代は前期中新世の 18 ~ 17 Ma 頃と判断される (図 8)。ただし, 戸ノ入層からはほかに年代決定に有効なデータが報告されていないので, 堆積年代については今後のさらなる検討が必要である。

2) 大谷層

大谷層下部の流紋岩火山碎屑岩より 16.6 ± 0.6 Ma (OT1) のジルコン FT 年代が得られた (表 1)。大谷層からはほかに年代決定に有効なデータは報告されていない。そのため, 大谷層の下限年代については今後検討の余地があるものの, 前述のように約 17 Ma とする (図 8)。

大谷層上限の年代は, 上位の七谷層の微化石データを用いて推定される。祓川ルートにおける七谷層は, ほぼ一様な泥岩相からなる。したがって, 本ルートにおいては堆積速度に著しい変動はなかったと推定され, 微化石データ (米谷, 1978; 佐藤, 1982; 佐藤ほか, 1991; 平松ほか, 1997) から作成した堆積速度曲線を下位側へと外挿することが可能である。その結果, 七谷層・大谷層境界の年代は約 15.2 Ma と算定される (図 7; 工藤ほか, 印刷中 a)。なおこの見積もりでは, 石灰質ナノ化石帯の CN4 と CN3 の境界層準の位置を佐藤ほか (1991) に従った。以上より, 本層の堆積年代は前期~中期中新世の 17 ~ 15.2 Ma 頃と考えられ, 新潟地域坑井層序の七谷階下部に対比される (図 8)。

3) 七谷層

七谷層下限の年代は, 前述のように微化石デー

タより約 15.2 Ma と推定される (図 7)。一方, 本層上限の年代は, 三条市早水において七谷層上限を規定する海緑石砂岩層の上限が, 珪藻化石生層準の D52 と D53 の間に存在することから (柳沢・工藤, 2011; 工藤ほか, 印刷中 a), 約 12.3 Ma と推定できる。

本層の放射年代としては, Kbi テフラから 14.6 ± 0.3 Ma (工藤ほか, 2011), 三条市塩野淵のルート No.3 に挟在する Sbi テフラから 13.8 ± 0.3 Ma (工藤ほか, 印刷中 b) のジルコン FT 年代が報告されている (図 8)。また, 火山碎屑岩相 (Nv) より, 14 Ma (片平, 1974), 12.8 ± 1.2 Ma (新潟県, 1989) の FT 年代が報告されている。これらの放射年代は微化石年代と矛盾しない。

以上の微化石年代および放射年代から, 本層の堆積年代は中期中新世の約 15.2 ~ 12.3 Ma と考えられ, 新潟地域坑井層序の七谷階上部に対比される (図 8)。

VI. 周辺地域との対比

以下では, 加茂地域と同様に新潟堆積盆地東縁帯に位置し, 年代データが比較的揃っていて対比検討可能な地域として, 津川地域, 新発田-胎内地域, 飯豊山-玉庭地域をあげ (図 1), 本地域との対比を試みる (図 9)。

戸ノ入層と同様に礫岩および砂岩を主体とし, 新第三系の基底をなす地層としては, 津川地域の鹿瀬層, 新発田-胎内地域の釜杭層, 飯豊山-玉庭地域の眼鏡橋層などがある (図 9)。これらの地層は, 陸成層あるいは浅海成層からなり (西田・津田, 1961; 津川グリーンタフ団体研究グループ, 1979, 1988; 八幡・津川グリーンタフ団体研究グループ, 1982; 柳沢・山元, 1998; 高橋ほか, 1996), 年代決定に有効な微化石をほとんど産しない。放射年代としては, 鹿瀬層の箕輪山凝灰岩部層より 17.8 Ma (村松, 1987), 釜杭層の凝灰岩より 18.4 ± 0.7 Ma (津田ほか, 1991) のジルコン FT 年代が得られており, 本研究による戸ノ入層の年代と調和的である (図 9)。

大谷層に相当する地層としては, 津川地域の津

図 8 加茂地域における下部～中部中新統の年代層序. 年代尺度(ATNTS2004)は Gradstein *et al.* (2004) による. 岩相記号は図 3 の地質図を参照. Sbi: 塩野淵バイオタイトテフラ (工藤ほか, 印刷中 b), Kbi: 駒出川バイオタイトテフラ (工藤ほか, 2011), Amd: 阿弥陀瀬火砕流堆積物 (工藤ほか, 印刷中 a). FT 年代値の引用: * 本研究, ** 工藤ほか (2011), *** 工藤ほか (印刷中 b). 化石帯区分および微化石データの引用: (1) Blow (1969), (2) Okada and Bukry (1980), (3) Akiba (1986) および Yanagisawa and Akiba (1998), (4) Maiya (1978), Sato (1982) and Kudo *et al.* (2011), (5) Sato (1982), Sato *et al.* (1991), Hiramatsu *et al.* (1997) and Kudo *et al.* (2011), (6) Yanagisawa (1993), Yanagisawa and Kudo (2011) and Kudo *et al.* (in press a).

Fig. 8 Chronostratigraphy of the Lower to Middle Miocene successions in the Kamo area, Niigata. ATNTS2004: Gradstein *et al.* (2004). FT age data: * the present study, ** Kudo *et al.* (2011), *** Kudo *et al.* (in press b). Biostratigraphic data: (1) Blow (1969), (2) Okada and Bukry (1980), (3) Akiba (1986) and Yanagisawa and Akiba (1998), (4) Maiya (1978), Sato (1982) and Kudo *et al.* (2011), (5) Sato (1982), Sato *et al.* (1991), Hiramatsu *et al.* (1997) and Kudo *et al.* (2011), (6) Yanagisawa (1993), Yanagisawa and Kudo (2011) and Kudo *et al.* (in press a).

川層福取緑色凝灰岩部層と宝川砂岩泥岩部層, 新発田-胎内地域の下関層下部, 飯豊山-玉庭地域の沼沢層下部などがある (図 9)。これらの地層は海成層からなる (西田・津田, 1961; 津川グリーンタフ団体研究グループ, 1979; 八幡・津川グリーンタフ団体研究グループ, 1982; 柳沢・山元, 1998; 高橋ほか, 1996) が, 年代決定に有効な微化石は未報告である。放射年代としては, 津川層

福取緑色凝灰岩部層から 15.9 Ma のジルコン FT 年代が得られており (村松, 1987), 本研究による大谷層の年代と調和的である。

工藤ほか (印刷中 a) は, 大谷層と七谷層を泥岩の岩相の違いを基準に区分した。すなわち, 明灰色～灰色塊状泥岩を特徴とする七谷層泥岩と, より暗色の硬質成層泥岩を特徴とする大谷層泥岩の岩相差である。この岩相差は, 飯豊山-玉庭地

図9 新潟堆積盆地北部における下部～中部中新統の層序対比. 年代尺度 (ATNTS2004) は Gradstein *et al.* (2004) による. FT: フィッション・トラック年代. 津川地域における部層名: A: 赤岩礫岩部層, M: 箕輪山凝灰岩部層, Y: 八木山砂岩礫岩部層, T: 宝川砂岩泥岩部層, F: 福取緑色凝灰岩部層, S: 品沢川砂岩泥岩部層, H: 花立凝灰岩部層. 引用文献: ¹Blow (1969), ²Okada and Bukry (1980), ³Akiba (1986) および Yanagisawa and Akiba (1998), ⁴柳沢ほか (2003a), ⁵平中ほか (2007), ⁶柳沢ほか (2010a), ⁷柳沢ほか (2010b), ⁸村松 (1987), ⁹米谷 (1978), ¹⁰金属鉱業事業団 (1979), ¹¹平松ほか (1997), ¹²柳沢ほか (2003b), ¹³平松・三輪 (1998), ¹⁴津田ほか (1991), ¹⁵柳沢・山元 (1998), ¹⁶村田 (1976), ¹⁷幡谷・大槻 (1991).

Fig. 9 Stratigraphic correlation of Lower to Middle Miocene successions in the northern part of the Niigata sedimentary basin. ATNTS2004: Gradstein *et al.* (2004). FT: fission-track age. Names of member in the Tsugawa area: A: Akaiwa Member, M: Minowasan Member, Y: Yagiyama Member, T: Takaragawa Member, F: Fukutori Member, Shinazawagawa Member, H: Hanatate Member. Reference: ¹Blow (1969), ²Okada and Bukry (1980), ³Akiba (1986) and Yanagisawa and Akiba (1998), ⁴Yanagisawa *et al.* (2003a), ⁵Hiranaka *et al.* (2007), ⁶Yanagisawa *et al.* (2010a), ⁷Yanagisawa *et al.* (2010b), ⁸Muramatsu (1987), ⁹Maiya (1978), ¹⁰Metal Mining Agency of Japan (1979), ¹¹Hiramatsu *et al.* (1997), ¹²Yanagisawa *et al.* (2003b), ¹³Hiramatsu and Miwa (1998), ¹⁴Tsuda *et al.* (1991), ¹⁵Yanagisawa and Yamamoto (1998), ¹⁶Murata (1976), ¹⁷Hataya and Otsuki (1991).

域においても認められ、沼沢層を上部と下部に区分する基準となっていることから (柳沢・山元, 1998), 新潟堆積盆地周辺域において広域に追跡できる可能性がある。ただし新発田-胎内地域においては、この岩相差はこれまでの研究では認識されていないため、今後の詳細な岩相記載報告が

望まれる。

七谷層に相当する地層としては、津川地域の天満層、新発田-胎内地域の下関層上部、飯豊山-玉庭地域の沼沢層上部が挙げられる (図9)。これらの地層はおもに石灰質泥岩からなり、浮遊性有孔虫および石灰質ナノ化石を豊富に産すること

で特徴づけられる。天満層からは N.8 ~ 9 帯および CN4 帯 (米谷, 1978; 金属鉱業事業団, 1979; 平松ほか, 1997), 下関層上部からは N.10 帯および CN4 帯 (平松ほか, 1997; 平松・三輪, 1998), 沼沢層上部からは N.9 ~ 10 帯および CN4 ~ 5a 帯 (村田, 1976; 幡谷・大槻, 1991; 柳沢・山元, 1998) の浮遊性有孔虫および石灰質ナノ化石が報告されており (図 9), 微化石層序からも七谷層に対比可能である。

七谷層の上限は、七谷層最上部の海緑石砂岩層上面で規定される (工藤ほか, 印刷中 a)。一方、天満層と下関層の上限は、以下のように異なっている。津川地域では、花立凝灰岩部層^{はなたち}が天満層の上限とされている (図 9)。花立凝灰岩部層は、13.5 Ma のジルコン FT 年代が報告されており (村松, 1987), 層準・年代から七谷層の火山砕屑岩相 (Nv) に対比される (図 9)。一方、新発田-胎内地域では、下関層の上限は下関層最上部の暗灰色珪質泥岩が珪藻質泥岩に変化する層準とされている (柳沢ほか, 2003b; 図 9)。

七谷層上限を規定する海緑石砂岩層に相当する海緑石砂岩層は、新発田-胎内地域でも確認されている (柳沢ほか, 2003b; 図 9)。一方、津川地域ではこの層準は野村層最下部の砂岩層となっている (柳沢ほか, 2010b; 図 9)。一般に、海緑石砂岩層では堆積速度が遅いことが知られているが (渡辺, 1990; 柳沢, 1999a), 野村層最下部の砂岩層も海緑石砂岩層と同程度に堆積速度が遅く (柳沢ほか, 2010a), 堆積速度が遅い点でこれらは共通する。また、この層準を挟んで泥岩の岩相に変化が認められる。すなわち、七谷層を特徴づける明灰色~灰色塊状泥岩から、南五百川層を特徴づける黒灰色~暗灰色珪質泥岩あるいは珪藻質泥岩への変化で、この岩相変化は新潟堆積盆地東縁帯で一貫している (図 9)。東北日本の日本海側地域では、秋田地域の西黒沢階と女川階の境界層準、すなわち新潟堆積盆地の七谷階と寺泊階の境界層準に、広域に海緑石砂岩層が発達することが知られている (島田, 1986; 小泉・的場, 1989; 柳沢, 1999a, b)。七谷層最上部の海緑石砂岩は、これに対比されるものである。

VII. 堆積盆発達史

1) 戸ノ入層~大谷層堆積期 (18 ~ 15.2 Ma)

戸ノ入層の堆積環境は、層相よりおもに網状河川を伴った扇状地であったと推定される。戸ノ入層の礫岩は、ジュラ系由来の堆積岩礫を豊富に含むことから、後背地にはジュラ系が露出する山地が存在したと考えられる。碎屑物の供給源は現在の能代川上流付近や大俣川上流付近にあったと推定され、供給源付近にはおもに扇状地・網状河川堆積物からなる T₁ が堆積し、その周囲には氾濫原を伴う網状河川末端部や扇状地末端部の堆積物からなる T₂ が堆積したと考えられる。

戸ノ入層と同様な礫岩主体の地層は、新潟堆積盆地東縁帯およびその周辺に広く認められる (図 9)。これらの地層の多くは、日本海拡大に伴うリフティングにより形成されたグラーベン・ハーフグラーベンを埋積した堆積物であると考えられている (山路, 1989; Yamaji, 1990; 幡谷・大槻, 1991)。ただし、現時点のデータでは、戸ノ入層自体がグラーベン・ハーフグラーベンを埋積した地層かどうかを明確に判断することは難しい。しかしながら、少なくとも本地域では、18 Ma 以降にリフティングによる差別的沈降運動により地域的な高低差が生じることによって、相対的低地に粗粒な碎屑物がもたらされ、戸ノ入層が堆積したと考えられる。

戸ノ入層の主体は、上述のように陸成層から構成されることが考えられる。しかし、戸ノ入層最上部の一部については、生痕化石の存在および漸深海成の大谷層に整合に覆われる関係から、海成の可能性もある。このことは、戸ノ入層と大谷層の一部が指交関係にある可能性を示す。しかしながら、大谷層と戸ノ入層の指交関係が露頭で確認されていないこと、大谷層中に陸から供給された粗粒堆積物の挟みが認められないことから、指交関係であったとしてもごく一部のみであり、大規模な指交関係にはないと考えられる。

大谷層の堆積環境は、底生有孔虫化石群集より中部漸深海帯下部~上部漸深海帯と推定される。このことは、戸ノ入層~大谷層堆積期にかけて、

陸上から漸深海帯への急速な沈降・海進が起こったことを示す。また、戸ノ入層と大谷層の境界付近には、明瞭な浅海相（海浜～陸棚環境の堆積相を示す堆積物）が認められない。これは、十分な厚さの浅海相が発達するよりも速いスピードで沈降が進み、漸深海環境へと移行した可能性を示す。

大谷層は層厚が0～1400 mと地域的に著しく変化する特徴を有する（図6）。この特徴は、リフティングによる差別的沈降運動が大谷層堆積期に極大を迎えたことを示唆する。また、大谷層の泥岩は本地域の北部に分布するもの（O₁）と南部に分布するもの（O₂）で岩相がやや異なるが、これは差別的沈降運動による地域的な堆積環境の差を反映している可能性がある。

大谷層堆積期には、おもに流紋岩マグマによる活発な水底火山活動が生じ、火山岩類が堆積盆地を厚く埋積した（図6）。火山活動の中心は本地域南部にあり、火山岩類の層厚は最大で1400 m以上に達する。これらの火山活動は、大谷層堆積期末期には弱まり、約15 Maにはほぼ終了した。

2) 七谷層堆積期（15.2～12.3 Ma）

七谷層の堆積環境は、底生有孔虫化石群集より大谷層と同様に中部漸深海帯下部～上部漸深海帯と推定される。七谷層の泥岩相（N）は、下位の戸ノ入層や大谷層と比較して岩相・層厚の側方変化に乏しく、ほぼ一定の厚さで下位層を覆う（図6）。このことは、七谷層堆積期には差別的沈降運動がほぼ終了し、全体で一般的な沈降域となったことを示す。

七谷層堆積期中期の約14～13 Maには、大谷層堆積期と同様な、おもに流紋岩マグマによる水底火山活動が生じ、本地域南部で火山岩類が厚く堆積した（図5および図6）。大谷層と七谷層の火山岩類（Ov, Nv および Ry）をあわせたものは、いわゆる「グリーントフ」あるいは「七谷層グリーントフ」と呼ばれているもの（天然ガス鉱業会・大陸棚石油開発協会, 1992; 加藤ほか, 2007 など）に相当する。加藤ほか（2007）は、新潟堆積盆地の地下に分布する「グリーントフ」のFT年代測定を行ない、それらの年代値が15.3～17.1 Maのグループと13.5～13.8 Maのグ

ループに二分されることを示した。これらは、前者が大谷層、後者が七谷層の火山岩類に相当する。この2層の火山岩類は本地域のみならず、津川地域や新発田-胎内地域でも認められることから（図9）、広域にわたる火山活動消長の同時性が示唆される。

七谷層の最上部は海緑石砂岩からなり、これを南五百川層の黒灰色～暗灰色珪質泥岩が整合に覆う（図9）。この海緑石砂岩付近の層準を境に、環境が変化したことが知られている。すなわち、七谷層堆積期は暖流が支配的な環境であったが、その後半から寒流の影響が強まり、南五百川層堆積期には寒流が支配的な環境に変化したと考えられている（佐藤, 1982; 米谷, 1988; 天然ガス鉱業会・大陸棚石油開発協会, 1992; 柳沢, 1993）。島田（1986）は、この層準の海緑石砂岩層が上記の環境変動に関連したものであり、暖流と寒流の合流域の形成に由来したものであると推察している。

VIII. テクトニクス的位置付け

戸ノ入層～七谷層に相当する地層とそれらが示す急速な沈降・海進は、東北日本の背弧側～日本海東縁部にかけての地域で広域に認められており、日本海拡大に伴うリフティングと背弧海盆の拡大によるものと考えられている（鈴木, 1989; 山路, 1989; Yamaji, 1990; 幡谷・大槻, 1991; Sato and Amano, 1991; Sato, 1994; Okamura *et al.*, 1995 など）。日本海拡大に伴うリフト系のうち、東北日本弧背弧側に南北に延びるリフト系は、日本海東部リフト系（鈴木, 1989）あるいは北部本州リフト系（佐藤ほか, 2004）と呼ばれている。加茂地域の下部～中部中新統は、このリフト系の発達に伴って形成されたものである。

前章で述べたように、本地域の下部～中部中新統からは、戸ノ入層～大谷層堆積期における差別的沈降運動、七谷層堆積期における一般的な広域的沈降運動が示唆される。この沈降運動の様式の差は、新潟堆積盆地およびその周辺地域において、これまでも指摘されてきた。

八幡・津川グリーントフ団体研究グループ

(1982) は、津川地域 (図 1) における下部～中部中新統 (図 9) の層序学的検討から、津川層以下の地層が差別的沈降運動に伴って堆積盆地を埋積した地層であり、その上位の天満層が広域的沈降運動に伴って堆積した地層であることを示した。

山路 (1989) および Yamaji (1990) は、新潟県北端～山形県西端に位置する羽越地域 (図 1) において、下部～中部中新統の層序学的検討を行ない、シンリフト期とポストリフト期の堆積物を識別するとともに、層厚・岩相変化が激しいシンリフト期の堆積物をポストリフト期の海成泥岩がほぼ一定の厚さで覆う関係を示した。また、微化石データから、リフティングの時期は 18～15 Ma であり、15 Ma には差別的沈降運動が終了し、その後は広域的沈降運動に転じたと論じた。

幡谷・大槻 (1991) は、山形県小国町地域 (図 1) における下部～中部中新統の層序学的な検討から、層厚・岩相変化の顕著なグラーベン埋積堆積物を、層厚・岩相変化が少ない泥岩層が覆うことを示し、後者は広域的沈降運動に伴って形成されたと論じた。

加茂地域の場合も、戸ノ入層～大谷層が差別的沈降運動期、七谷層が広域的沈降運動期の堆積物と考えられることから、戸ノ入層～大谷層をシンリフト期、七谷層をポストリフト期の堆積物として位置付けることが可能である (図 8)。また、大谷層・七谷層境界の年代から、本地域におけるリフティングの終了時期は約 15.2 Ma と判断される (図 8)。さらに、大谷層堆積期の活発な火山活動はこのタイミングで終息しており、火山活動とリフティングの関連性が示唆される。

リフティングの終了時期について、Yamaji (1990) は層序学的検討から、本研究と同じく約 15 Ma とした。一方、古地磁気学的検討からは、日本海拡大に伴う西南日本弧と東北日本弧の回転運動が 15～14 Ma 頃に収束したと考えられている (Otofuji *et al.*, 1985, 1994; 中島ほか, 1990; Otofuji, 1996 など)。ただし、東北日本弧の回転運動については、西南日本弧よりも先んじて 18～16 Ma に終了した可能性も指摘されており

(Yamazaki, 1989; Takahashi *et al.*, 1999 など)、今後の検討課題となっている。また最近、柳井ほか (2010) は、日本列島および日本海の地形、地質、地球物理のデータを整理・レビューし、日本海拡大の終了時期を約 15 Ma としている。加茂地域におけるリフティングは、日本海拡大に付随する日本海東部リフト系によるものであるため、日本海本体の拡大および島弧の回転運動とは完全同列に扱うことはできないものの、それらの終息時期は約 15 Ma 付近でほぼ一致する。

ところで、関東地方における下部～中部中新統には、庭谷不整合 (大石・高橋, 1990) の存在が知られている。この不整合よりも下位はハーフグラーベン埋積堆積物、上位は広域的沈降場による層厚・岩相のほぼ一定した堆積物からなる (高橋・柳沢, 2004; 高橋, 2006)。庭谷不整合の年代は、微化石層序より 15.2～15.3 Ma と見積もられている (高橋・柳沢, 2004)。この年代は、加茂地域における大谷層・七谷層の境界年代 15.2 Ma と一致する。また、不整合を挟んだ堆積盆の沈降運動様式の変化も両地域で共通する。したがって、大谷層と七谷層の境界層準は、少なくとも新潟堆積盆から関東地方にかけての広域にわたるテクトニクス転換時期として位置付けられる可能性がある。

IX. ま と め

本論では加茂地域の下部～中部中新統である戸ノ入層、大谷層および七谷層について、FT 年代を報告するとともに、年代層序を構築して近隣地域との対比を行ない、堆積盆発達史とテクトニクスの位置付けについて考察を行なった。その結果、以下のことが明らかになった。

(1) FT 年代および既存の微化石データより、各層の堆積年代は、戸ノ入層：18～17 Ma、大谷層：17～15.2 Ma、七谷層：15.2～12.3 Ma と見積もられる。

(2) 加茂地域と同様な層序は、新潟堆積盆地東縁帯で広く対比・確認される。とくに、七谷層最上部を規定する海緑石砂岩層は、秋田地域では西黒沢階と女川階の境界層準、新潟堆積盆地では

七谷階と寺泊階の境界層準に発達するものに相当し、日本海側の地域で広域に対比される。

(3) 戸ノ入層～大谷層堆積期には、リフティングによって陸上から漸深海帯への急速な沈降・海進が起こった。

(4) 戸ノ入層と大谷層は差別的沈降運動に伴って形成された堆積物、七谷層は広域的沈降運動に伴って形成された堆積物である。

(5) 日本海東部リフト系の活動において、戸ノ入層～大谷層はシンリフト期、七谷層はポストリフト期に相当する堆積物として位置付けられる。また、リフティングの終了時期は約 15.2 Ma と推定される。

(6) 大谷層と七谷層の境界層準は、少なくとも新潟堆積盆から関東地方にかけての広域にわたるテクトニクス転換時期として位置付けられる可能性がある。

謝 辞

加茂地域の野外調査および成果のとりまとめを行う上で、産業技術総合研究所地質情報研究部門の内野隆之氏、小松原 琢氏、高橋 浩氏、中江 訓氏、辻野 匠氏には諸般にわたってお世話になった。石油資源開発株式会社には、本地域の地質に関する社内資料を提供していただいた。信州大学理学部の保柳康一教授、石油資源開発株式会社の稲葉 充氏には、野外調査の際にご議論いただいた。新潟大学大学院生(当時)の小河原孝彦氏、小島 萌氏、森と水アウトドア企画の三井明高氏には、野外調査の一部を手伝っていただいた。査読者である石油資源開発株式会社の高野修氏と新潟大学理学部の栗田裕司准教授、編集委員である千葉大学理学部の伊藤 慎教授には、本論を改善する上で有益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

- Akiba, F. (1986): Middle Miocene to Quaternary diatom biostratigraphy in the Nankai Trough and Japan Trench, and modified Lower Miocene though Quaternary diatom zones for middle-to-high latitudes of the North Pacific. in *Initial Report of Deep Sea Drilling Project* edited by Kagami, H., Karig, D.E., Coulbourn, W.T. et al., **87**, 93-480.
- Blow, W.H. (1969): Late Middle Eocene to Recent planktonic foraminiferal biostratigraphy. in *Proceedings of the First International Conference on Planktonic Microfossils (Geneve, 1976)* edited by Brönnimann, P. and Renz, H.H., Leiden, **1**, 199-421.
- 茅原一也・津田禾粒・須田光治・島津光夫・吉村尚久・佐藤 彬・百武松兎・宮沢勝雄・石橋輝樹 (1967): 新潟県五十嵐川上流地域黒鉱床調査報告書. 新潟県, 26p. [Chihara, K., Tsuda, K., Suda, M., Shimazu, M., Yoshimura, N., Sato, A., Hyakutake, M., Miyazawa, K. and Ishibashi, T. (1967): *Niigataken Ikarashigawa Joryu Chiki Kuroko Kosho Chosa Hokokusho*. Niigata Prefecture, 26p.]
- Danhara, T. and Iwano, H. (2009): Determination of zeta values for fission-track age calibration using thermal neutron irradiation at the JRR-3 reactor of JAEA, Japan. *Journal of the Geological Society of Japan*, **115**, 141-145.
- Danhara, T., Kasuya, M., Iwano, H. and Yamashita, T. (1991): Fission-track age calibration using internal and external surfaces of zircon. *Journal of the Geological Society of Japan*, **97**, 977-985.
- Danhara, T., Iwano, H., Yoshioka, T. and Tsuruta, T. (2003): Zeta calibration values for fission track dating with a diallyl phthalate detector. *Journal of the Geological Society of Japan*, **109**, 665-668.
- Galbraith, R.F. (1981): On statistical models for fission track counts. *Journal of Mathematical Geology*, **13**, 471-478.
- Gleadow, A.J.W. (1981): Fission-track dating methods: What are the real alternatives?. *Nuclear Tracks*, **5**, 3-14.
- Gradstein, F., Ogg, J. and Smith, A. eds. (2004): *A Geologic Time Scale 2004*. Cambridge University Press, 589p.
- 長谷川四郎・秋元和實・北里 洋・的場保望 (1989): 底生有孔虫にもとづく日本の後期新生代古水深指標. 地質学論集, **32**, 241-253. [Hasegawa, S., Akimoto, K., Kitazato, H. and Matoba, Y. (1989): *Memoirs of the Geological Society of Japan*, **32**, 241-253.]
- 橋本克巳 (1941): 新潟県加茂・七谷地方の地質. 石油技術協会誌, **9**, 27-35. [Hashimoto, K. (1941): *Journal of the Japanese Association for Petroleum Technology*, **9**, 27-35.]
- 幡谷竜太・大槻憲四郎 (1991): 山形県小国町付近の地質—東北日本弧前期中新世ハーフ・グラーベンの例—. 地質学雑誌, **97**, 835-848. [Hataya, R. and Otsuki, K. (1991): *Journal of the Geological Society of Japan*, **97**, 835-848.]
- Hurford, A.J. and Green, P.F. (1983): The zeta age calibration of fission-track dating. *Isotope Geoscience*, **1**, 285-317.
- 平松 力・三輪美智子 (1998): 新潟県北蒲原地域の新第三系微化石層序と鉄江層基底の不整合形態. 石油技術協会誌, **63**, 301-314. [Hiramatsu, C. and Miwa, M. (1998): *Journal of the Japanese Association for Petroleum Technology*, **63**, 301-314.]
- 平松 力・三輪美智子・井上洋子・深沢和恵 (1997):

- 東北地方の日本海沿岸地域における中新統の石灰質ナンノ化石層序. 瑞浪市化石博物館研究報告, **24**, 27-38. [Hiramatsu, C., Miwa, M., Inoue, Y. and Fukasawa, K. (1997): *Bulletin of the Mizunami Fossil Museum*, **24**, 27-38.]
- 平中宏典・黒川勝己・柳沢幸夫 (2007): 新潟県津川地域に分布する中新統野村層のテフラ層及び珪藻化石層序との関係. 地質調査研究報告, **58**, 133-188. [Hiranaka, H., Kurokawa, K. and Yanagisawa, Y. (2007): *Bulletin of the Geological Survey of Japan*, **58**, 133-188.]
- 平中宏典・柳沢幸夫・黒川勝己 (2009): 新潟県中部における後期中新世テフラの対比. 地質学雑誌, **115**, 177-186. [Hiranaka, H., Yanagisawa, Y. and Kurokawa, K. (2009): *Journal of the Geological Society of Japan*, **115**, 177-186.]
- Iwano, H., Yamashita, T. and Danhara, T. (1996): Three-dimensional analysis of fission track length in minerals: A measuring system and its application. *Fission Track News Letter*, **9**, 13-22.
- 片平忠実 (1974): 新潟県中部・北部地域の含油新第三系の層序—新潟県中越・下越地方の石油地質学的研究 (その I) —. 石油技術協会誌, **39**, 167-178. [Katahira, T. (1974): *Journal of the Japanese Association for Petroleum Technology*, **39**, 167-178.]
- 加藤 進・檀原 徹・松井良一・小田 浩 (2007): 新潟地域の地下に発達するグリーンタフのフィッシュン・トラック年代. 地質調査研究報告, **58**, 371-388. [Kato, S., Danhara, T., Matsui, R. and Oda, H. (2007): *Bulletin of the Geological Survey of Japan*, **58**, 371-388.]
- 金属鉱業事業団 (1979): 昭和 53 年度広域調査報告書, 蒲原地域. 通商産業省資源エネルギー庁, 90p. [Metal Mining Agency of Japan (1979): *Showa 53 Nendo Koiki Chosa Hokokusho, Kanbara Chiki*. Agency for Natural Resources and Energy, Ministry of International Trade and Industry, 90p.]
- 小林巖雄・立石雅昭 (1992): 新潟地域における新第三系の層序と新第三紀古地理. 地質学論集, **37**, 53-70. [Kobayashi, I. and Tateishi, M. (1992): *Memoirs of the Geological Society of Japan*, **37**, 53-70.]
- 小林巖雄・渡辺其久男 (1985): 新潟油田東縁帯における新第三紀の地史的事件—とくに, 中新-鮮新世の不整合について—. 新潟大学理学部地質鉱物学教室研究報告, **5**, 91-103. [Kobayashi, I. and Watanabe, I. (1985): *Contributions from the Department of Geology and Mineralogy, Niigata University*, **5**, 91-103.]
- Koizumi, I. (1977): Diatom biostratigraphy in the north Pacific region. *Proceedings of the First International Congress on Pacific Neogene Stratigraphy, Tokyo 1976*, Kaiyo Shuppan, 235-253.
- 小泉 格・的場保望 (1989): 西黒沢階の上限について. 地質学論集, **32**, 187-195. [Koizumi, I. and Matoba, Y. (1989): *Memoirs of the Geological Society of Japan*, **32**, 187-195.]
- 工藤 崇・檀原 徹・岩野英樹・山下 透・三輪美智子・平松 力・柳沢幸夫 (2011): 新潟堆積盆七谷層中に見つかった中期中新世広域テフラ: Kbi テフラと紀伊半島室生火砕流堆積物の対比. 地質学雑誌, **117**, 277-288. [Kudo, T., Danhara, T., Iwano, H., Yamashita, T., Miwa, M., Hiramatsu, C. and Yanagisawa, Y. (2011): *Journal of the Geological Society of Japan*, **117**, 277-288.]
- 工藤 崇・内野隆之・小松原 琢・高橋 浩・柳沢幸夫 (印刷中 a): 加茂地域の地質. 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. [Kudo, T., Uchino, T., Komatsubara, T., Takahashi, Y. and Yanagisawa, Y. (in press a): *Geology of the Kamo District*. Quadrangle Series, 1:50,000, Geological Survey of Japan, AIST.]
- 工藤 崇・檀原 徹・岩野英樹・山下 透・柳沢幸夫 (印刷中 b): 新潟県加茂地域, 三条市塩野淵の中部中新統七谷層中に見つかったテフラの記載岩石学的特徴とフィッシュン・トラック年代. 地質調査研究報告. [Kudo, T., Danhara, T., Iwano, H., Yamashita, T. and Yanagisawa, Y. (in press b): *Bulletin of the Geological Survey of Japan*.]
- 栗田裕司・天野和孝・河内一男・鴨井幸彦 (2002): 新潟県北部の新第三系と古生物相. 日本地質学会第 109 年学術大会見学旅行案内書, 131-143. [Kurita, H., Amano, K., Kawachi, K. and Kamoi, Y. (2002): *Journal of the Geological Society of Japan*, **109**, Supplement, 131-143.]
- 米谷盛寿郎 (1978): 東北日本油田地域における上部新生界の浮遊性有孔虫層序. 日本の新生代地質 (池田展生教授記念論文集), 35-60. [Maiya, S. (1978): *Cenozoic Geology of Japan (Professor N. Ikebe Memorial Volume)*, 35-60.]
- 米谷盛寿郎 (1988): 有孔虫化石群の変遷に見られる新第三紀イベント. 土 隆一編: 新第三紀における生物の進化・変遷とそれに関するイベント. 大阪市立自然史博物館, 31-48. [Maiya, S. (1988): *Neogene Biotic Evolution and Related Events* edited by Tsuchi, R., Osaka Museum of Natural History, 31-48.]
- Matsunaga, T. (1963): Benthic smaller Foraminifera from the oil fields of northern Japan. *Science Reports of the Tohoku University, Second Series (Geology)*, **35**, 67-122.
- 三梨 昂・宮下美智夫 (1970): 日本油田・ガス田図 no.9, 「七谷」. 地質調査所. [Minashi, T. and Miyashita, M. (1970): *Geological Maps of Oil and Gas Field of Japan, No.9, Nanatani*. Geological Survey of Japan.]
- 三梨 昂・宮下美智夫 (1974): 七谷・大谷川流域の層序及び構造. 地質調査所報告, **250-1**, 25-50. [Mitsunashi, T. and Miyashita, M. (1974): *Reports, Geological Survey of Japan*, **250-1**, 25-50.]
- 村松敏雄 (1987): 新潟県北西部の新第三系のフィッシュン・トラック年代. 日本地質学会第 94 年学術大会講演要旨, 199.
- 村田勇治郎 (1976): 山形県西置賜郡における沼沢層の層位学的研究. 技研所報 (石油資源開発株式会社),

- 19, 21-24. [Murata, Y. (1976): *Bulletin of Technical Laboratory (Japan Petroleum Exploration Co., Ltd.)*, **19**, 21-24.]
- 中島正志・沢田順弘・中川登美雄・林 昌代・板谷徹丸 (1990): 福井県北部新第三系の K-Ar 年代と古地磁気—西南日本ブロックの回転に関して—. 岩鉱, **85**, 45-59. [Nakajima, T., Sawada, Y., Nakagawa, T., Hayashi, A. and Itaya, T. (1990): *Journal of Mineralogy, Petrology and Economic Geology*, **85**, 45-59.]
- 新潟県 (1989): 新潟県地質図および同説明書. 新潟県, 128p. [Niigata Prefecture (1989): *Geological Map of Niigata Prefecture and Its Explanatory Text*. Niigata Prefecture, 128p.]
- 西田彰一・津田禾粒 (1961): 新潟県坂町附近の新第三系. 横山次郎教授記念論文集, 107-113. [Nishida, S. and Tsuda, K. (1961): *Professor Jiro Makiyama Memorial Volume*, 107-113.]
- 大石雅之・高橋雅紀 (1990): 群馬県高崎地域に分布する中新統—とくに庭谷不整合形成過程について—. 東北大学理学部地質学古生物学教室研究邦文報告, **92**, 1-17. [Oishi, M. and Takahashi, M. (1990): *Contributions from the Institute of Geology and Palaeontology, Tohoku University*, **92**, 1-17.]
- Okada, H. and Bukry, D. (1980): Supplementary modification and introduction of code numbers to the low-latitude cocolith biostratigraphic zonation. *Marine Micropaleontology*, **5**, 321-325.
- Okamura, Y., Watanabe, M., Morijiri, R. and Satoh, M. (1995): Rifting and basin inversion in the eastern margin of the Japan Sea. *Island Arc*, **4**, 166-181.
- 大村一蔵 (1928): 石油地質学概要 (十七). 地球, **9**, 215-223. [Omura, I. (1928): *The Globe (Chikyu)*, **9**, 215-223.]
- Otofuji, Y. (1996): Large tectonic movement of the Japan Arc in the late Cenozoic times inferred from paleomagnetism: Review and synthesis. *Island Arc*, **5**, 229-249.
- Otofuji, Y., Hayashida, A. and Torii, M. (1985): When was the Japan Sea opened?: Paleomagnetic evidence from southwest Japan. in *Formation of Active Ocean Margins* edited by Nasu, N., Terra Scientific Publishing Company, 551-566.
- Otofuji, Y., Kambara, A., Matsuda, T. and Nohda, S. (1994): Counterclockwise rotation of Northeast Japan: Paleomagnetic evidence for regional extent and timing of rotation. *Earth and Planetary Science Letters*, **121**, 503-518.
- Sato, H. (1994): The relationship between late Cenozoic tectonic events and stress field and basin development in northeast Japan. *Journal of Geophysical Research*, **99**, 22261-22274.
- Sato, H. and Amano, K. (1991): Relationship between tectonics, volcanism, sedimentation and basin development, Late Cenozoic, central part of Northern Honshu, Japan. *Sedimentary Geology*, **74**, 323-343.
- 佐藤比呂志・吉田武義・岩崎貴哉・佐藤時幸・池田安隆・海野徳二 (2004): 後期新生代における東北日本中部背弧域の地質構造発達—最近の地殻構造探索を中心として—. 石油技術協会誌, **69**, 145-154. [Sato, H., Yoshida, T., Iwasaki, T., Sato, T., Ikeda, Y. and Umino, N. (2004): *Journal of the Japanese Association for Petroleum Technology*, **69**, 145-154.]
- 佐藤時幸 (1982): 石灰質微化石群集に基づく七谷層と西黒沢層の生層序的考察. 石油技術協会誌, **48**, 88-92. [Sato, T. (1982): *Journal of the Japanese Association for Petroleum Technology*, **48**, 88-92.]
- 佐藤時幸・馬場 敬・大口健志・高山俊昭 (1991): 日本海側における海成下部中新統の発見と東北日本の台島期—西黒沢期における環境変動. 石油技術協会誌, **56**, 263-279. [Sato, T., Baba, K., Ohguchi, T. and Takayama, T. (1991): *Journal of the Japanese Association for Petroleum Technology*, **56**, 263-279.]
- 島田昱郎 (1986): 中新世海緑石の層準とその石油地質学的意義. 田口一雄教授退官記念論文集, 149-160. [Shimada, I. (1986): *Professor K. Taguchi Memorial Volume*, 149-160.]
- 島津光夫・高野 肇 (1986): 五十嵐川上流, 七谷層中の酸性火山岩類—グリンタフ貯留岩のガス田の坑井地質との比較—. 田口一雄教授退官記念論文集, 127-135. [Shimazu, M. and Takano, H. (1986): *Professor K. Taguchi Memorial Volume*, 127-135.]
- 鈴木宇耕 (1989): 日本海東部新第三系堆積盆地の地質. 地質学論集, **32**, 143-183. [Suzuki, U. (1989): *Memoirs of the Geological Society of Japan*, **32**, 143-183.]
- 高橋雅紀 (2006): 日本海拡大時の東北日本弧と西南日本弧の境界. 地質学雑誌, **112**, 14-32. [Takahashi, M. (2006): *Journal of the Geological Society of Japan*, **112**, 14-32.]
- 高橋雅紀・柳沢幸夫 (2004): 埼玉県比企丘陵に分布する中新統の層序—複合年代層序に基づく岩相層序の総括—. 地質学雑誌, **110**, 290-308. [Takahashi, M. and Yanagisawa, Y. (2004): *Journal of the Geological Society of Japan*, **110**, 290-308.]
- Takahashi, M., Hoshi, H. and Yamamoto, T. (1999): Miocene counterclockwise rotation of the Abukuma Mountains, Northeast Japan. *Tectonophysics*, **306**, 19-31.
- 高橋 浩・山元孝広・柳沢幸夫 (1996): 飯豊山地域の地質. 地域地質研究報告 (5 万分の 1 地質図幅), 地質調査所, 52p. [Takahashi, Y., Yamamoto, T. and Yanagisawa, Y. (1996): *Geology of the Iidesan District*. Quadrangle Series, 1:50,000, Geological Survey of Japan, 52p.]
- 天然ガス鉱業会・大陸棚石油開発協会 (1992): 改訂版 日本の石油・天然ガス資源. 天然ガス鉱業会・大陸棚石油開発協会, 520p. [Japan Natural Gas Association and Japan Offshore Petroleum Development Association (1992): *Kaiteiban Nihon No Sekiyu To Tennen Gasu Shigen*. Japan Natural Gas Association and Japan Offshore Petroleum Development Association, 520p.]
- 津田禾粒・白井健裕・長谷川美行・新川 公 (1984):

- 表層地質図「加茂」, 土地分類基本調査説明書. 新潟県, 27-43. [Tsuda, K., Shirai, T., Hasegawa, Y. and Niikawa, I. (1984): *Subsurface Geological Map "Kamo", Explanatory Text of the Fundamental Land Classification Survey*. Niigata Prefecture, 27-43.]
- 津田禾粒・白井健裕・長谷川美行・新川 公・鈴木孝幸・若狭陽一・森田健一・安藤 浩・佐藤知幸・渡辺智宏・三浦照博・丸山隆史・田中義成・川筋有子・小林信史 (1991): 表層地質図「塩野町」, 土地分類基本調査説明書. 新潟県, 26-50. [Tsuda, K., Shirai, T., Hasegawa, Y., Niikawa, I., Suzuki, T., Wakasa, Y., Morita, K., Ando, H., Sato, T., Watanabe, T., Miura, A., Maruyama, T., Tanaka, Y., Kawasuji, Y. and Kobayashi, N. (1991): *Subsurface Geological Map "Shionomachi", Explanatory Text of the Fundamental Land Classification Survey*. Niigata Prefecture, 26-50.]
- 津川グリーンタフ団体研究グループ (1979): 新潟県三川-津川地域におけるグリーンタフ盆地発生期の造構運動. 地質学論集, **16**, 1-22. [Research Group for Tsugawa Green Tuff (1979): *Memoirs of the Geological Society of Japan*, **16**, 1-22.]
- 津川グリーンタフ団体研究グループ (1988): 新潟県津川地域における鹿瀬層堆積時の造構運動. 地球科学, **42**, 241-256. [Research Group for Tsugawa Green Tuff (1979): *Earth Science (Chikyu Kagaku)*, **42**, 241-256.]
- 八幡正弘・津川グリーンタフ団体研究グループ (1982): 津川-会津区におけるグリーンタフ変動と西黒沢海進に関する諸問題. 地球科学, **36**, 321-332. [Yahata, M. and Research Group of Tsugawa Green Tuff (1982): *Earth Science (Chikyu Kagaku)*, **36**, 321-332.]
- 山路 敦 (1989): 温海附近の地質と羽越地域における前期中新世のリフティング. 地質学論集, **32**, 305-320. [Yamaji, A. (1989): *Memoirs of the Geological Society of Japan*, **32**, 305-320.]
- Yamaji, A. (1990): Rapid intra-arc rifting in Miocene Northeast Japan. *Tectonics*, **9**, 365-378.
- Yamazaki, T. (1989): Paleomagnetism of Miocene sedimentary rocks around Matsushima Bay, Northeast Japan and its implication for the time of the rotation of Northeast Japan. *Journal of Geomagnetism and Geoelectricity*, **41**, 533-548.
- 柳沢幸夫 (1993): 新潟堆積盆地の七谷層および寺泊層相当層の炭酸塩団塊から産出した中期中新世珪藻化石群. 日本珪藻学会誌, **8**, 51-62. [Yanagisawa, Y. (1993): *Diatom*, **8**, 51-62.]
- 柳沢幸夫 (1999a): 能登半島珠洲地域の中新統の珪藻化石層序. 地質調査所月報, **50**, 167-213. [Yanagisawa, Y. (1999a): *Bulletin of the Geological Survey of Japan*, **50**, 167-213.]
- 柳沢幸夫 (1999b): 仙台市西部に分布する中部中新統旗立層の珪藻化石層序. 地質調査所月報, **50**, 269-277. [Yanagisawa, Y. (1999b): *Bulletin of the Geological Survey of Japan*, **50**, 269-277.]
- Yanagisawa, Y. and Akiba, F. (1998): Refined Neogene diatom biostratigraphy for the northwest Pacific around Japan, with an introduction of code numbers for selected diatom biohorizons. *Journal of the Geological Society of Japan*, **104**, 395-414.
- 柳沢幸夫・工藤 崇 (2011): 5 万分の 1 地質図幅「加茂」地域 (新潟県) の新第三紀及び第四紀の珪藻化石層序資料. 地質調査総合センター資料集, **537**, 59p. [Yanagisawa, Y. and Kudo, T. (2011): *Report of the Geological Survey of Japan, AIST*, **537**, 59p.]
- 柳沢幸夫・須藤 斎 (2002): 新潟県中部下田地域の上部中新統-鮮新統の珪藻化石層序と年代層序. 石油技術協会誌, **67**, 359-368. [Yanagisawa, Y. and Suto, I. (2002): *Journal of the Japanese Association for Petroleum Technology*, **67**, 359-368.]
- 柳沢幸夫・山元孝広 (1998): 玉庭地域の地質. 地域地質研究報告 (5 万分の 1 地質図幅), 地質調査所, 94p. [Yanagisawa, Y. and Yamamoto, T. (1998): *Geology of the Tamaniwa District. Quadrangle Series*, 1:50,000, Geological Survey of Japan, 94p.]
- 柳沢幸夫・平中宏典・黒川勝己 (2003a): 新潟県津川地域の中部～上部中新統の珪藻化石層序およびテフラ層序に基づく年代層序. 地球科学, **57**, 205-220. [Yanagisawa, Y., Hiranaka, H. and Kurokawa, K. (2003a): *Earth Science (Chikyu Kagaku)*, **57**, 205-220.]
- 柳沢幸夫・平中宏典・黒川勝己 (2003b): 新潟県新発田市北東部の中新統の珪藻化石層序とテフラ層序の対応関係. 地球科学, **57**, 299-313. [Yanagisawa, Y., Hiranaka, H. and Kurokawa, K. (2003a): *Earth Science (Chikyu Kagaku)*, **57**, 299-313.]
- 柳沢幸夫・平中宏典・黒川勝己 (2010a): 新潟県津川地域音無川ルートに分布する中部～上部中新統野村層の珪藻化石層序. 地質調査研究報告, **61**, 147-160. [Yanagisawa, Y., Hiranaka, H. and Kurokawa, K. (2010a): *Bulletin of the Geological Survey of Japan*, **61**, 147-160.]
- 柳沢幸夫・平中宏典・黒川勝己 (2010b): 新潟県津川地域の中部～上部中新統野村層と常浪層の珪藻化石層序. 地質調査研究報告, **61**, 417-443. [Yanagisawa, Y., Hiranaka, H. and Kurokawa, K. (2010b): *Bulletin of the Geological Survey of Japan*, **61**, 417-443.]
- 柳井修一・青木一勝・赤堀良光 (2010): 日本海の拡大と構造線—MTL, TTLそしてフォッサマグナ—. 地学雑誌, **119**, 1079-1124. [Yanai, S., Aoki, K. and Akahori, Y. (2010): *Journal of Geography (Chigaku Zasshi)*, **119**, 1079-1124.]
- Watanabe, K. (1926): Tertiary system. *Geology and Mineral Resources of the Japan Empire*, Geological Survey of Japan, 34-67.
- 渡辺真人 (1990): 富山県氷見・灘浦地域の新第三系の層序—とくに姿累層とその上位層との間の時間間隙について—. 地質学雑誌, **96**, 915-936. [Watanabe, M. (1990): *Journal of the Geological Society of Japan*, **96**, 915-936.]

(2011 年 4 月 11 日受付, 2011 年 7 月 25 日受理)