

山形県新庄盆地北西部における草薙層および古口層の地質年代

井上洋子¹⁾・加藤 進²⁾・三輪美智子³⁾

¹⁾ 井上パレオ・ラボ 〒168-0065 東京都杉並区浜田山 4-6-6

²⁾ 地球科学総合研究所 〒112-0012 東京都文京区大塚 1-5-21

³⁾ 石油資源開発(株)技術本部技術研究所 〒261-0025 千葉県美浜区浜田 1-2-1

Geological age of the Kusanagi and Furukuchi formations in the northwestern part of the Shinjo Basin, Yamagata Prefecture, Japan

Yoko Inoue¹⁾, Susumu Kato²⁾ and Michiko Miwa³⁾

¹⁾Inoue Paleo-lab

²⁾JGI, Inc.

³⁾JAPEX Research Center

Abstract

Three planktonic foraminiferal assemblages are described from the Kusanagi and Furukuchi formations in the northwest part of the Shinjo Basin, Yamagata Prefecture, Japan. The assemblage from the lower part of the Kusanagi Formation, which is characterized by abundant dextral-coiling *Neogloboquadrina* species such as *N. pseudopachyderma* and *N. continuosa* along with warm-water species of *Globigerinoides* and *Globorotalia*, corresponds to the lower assemblage of the *Globorotalia pseudopachyderma* / *Globigerina woodi* (s. l.) Zone (PF 4) of Maiya (1978) and is assigned to the N13/N14 zone of Blow (1969) and the O-3 assemblage of the Ayukawa–Yurihara district.

The assemblage from the upper part of the Kusanagi Formation, which is dominated by *Globigerina* species such as *G. bulloides* with rare occurrence of *Globorotalia miozea*, belongs to the upper assemblage of the PF 4. This assemblage is correlated with the O-1 assemblage, based on the occurrence of *Nodosaria raphana*. Its geological age is estimated to be around 8.2 Ma by Kato *et al.* (2008).

The assemblage from the upper part of the Furukuchi Formation is characterized by the common occurrence of *G. bulloides* and *Neogloboquadrina pachyderma* (sinistral) with *Orbulina sturalis*. This assemblage is the same as that from the middle part of the Noguchi Formation (Aita *et al.*, 1999) and is similar to that from the lowermost part of the Shiiya Formation along the Gomoto River (Miwa and Ichinoseki, 1997), which yields a geological age of 4.7–5.2 Ma.

The planktonic foraminiferal assemblage from SK 6 is probably assigned to the upper N16/N17a and corresponds to the O-1 assemblage, based on the occurrence of *N. raphana*. Therefore, the Kamabuchi Formation exposed around SK 6 is correlated with the Kusanagi Formation.

Three benthonic foraminiferal assemblages (calcareous, arenaceous and mixed) are recognized in the Kusanagi and Furukuchi formations. The arenaceous assemblage indicates a stagnant environment and the calcareous assemblage shows evidence for the initiation of climatic warmings.

The Kusanagi Formation was probably deposited in the upper bathyal zone to the upper part of the middle bathyal zone, with eastward shallowing. The depositional environment of the Furukuchi Formation is estimated to have been the upper bathyal zone to the lower part of the middle bathyal zone, with southward deepening.

Key words: foraminifera, Kusanagi Formation, Furukuchi Formation, Shinjo Basin, O-1 assemblage

1. はじめに

山形県新庄盆地は東北日本の日本海側に発達する油田地帯の一部を構成しており、古くから油田調査が実施されている(飯塚, 1924)。この地域の新第三系は、下位から青沢層、草薙層、古口層、羽根沢層(野口層)、芦沢層および鮭川層に分けられている(大沢ほか, 1986)。草薙層や古口層は油母岩(石油根源岩)と考えられており(池辺, 1954)、秋田地域の女川層と船川層にそれ

ぞれ対比されている(猪俣, 1962)。

米谷(1978)による浮遊性有孔虫化石層序によれば、女川層は *Globorotalia pseudopachyderma* / *Globigerina woodi* Zone (PF 4) に、船川層下部は Barren planktonic foraminifera Zone (PF 5) に、船川層上部は *Globorotalia ikebei* / *Orbulina universa* Zone (PF6) にそれぞれ対比されているが、女川層や船川層、およびそれらの相当層は一般に浮遊性有孔虫化石の産出が乏しく、詳しい地質年代はまだ確立されていない。

平成 10 年に真室川地域の古口層相当層(釜淵層)から鯨類の

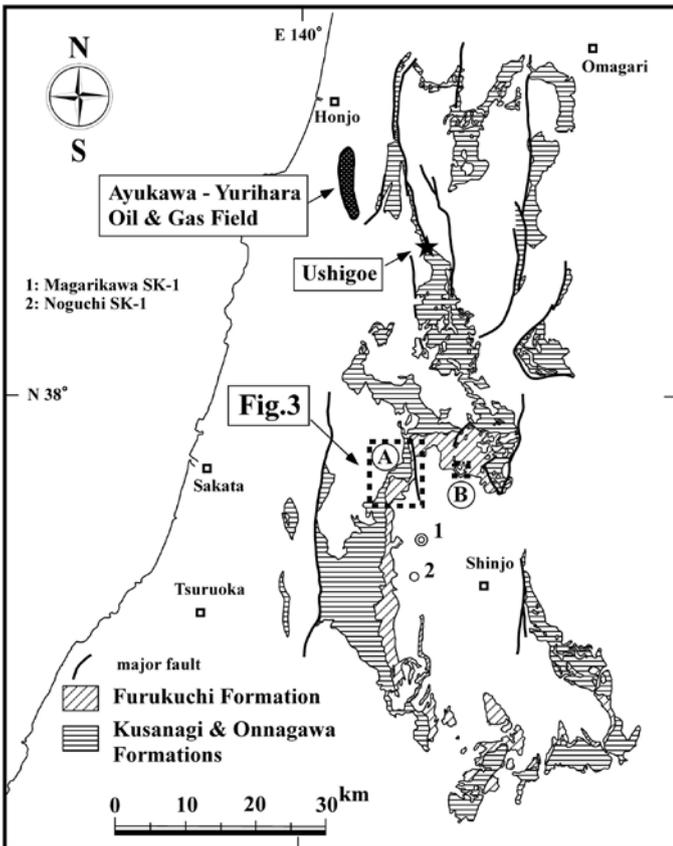
化石が発見され、これを契機に化石産出層準の年代や堆積環境について総合的な調査が行なわれた（山形県立博物館，1999）。微化石はいずれの分類群（有孔虫，放散虫，石灰質ナノ，珪藻）も産出頻度が低く，年代決定には課題が残された（相田ほか，1999）。しかしながら，幾つかの地点では浮遊性有孔虫化石が比較的多産していたので，それらの試料の一部を提供して頂き，有孔虫化石の調査を行なうとともに，有孔虫殻のストロンチウム同位体比（ $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 比）を測定した。

また，石油資源開発㈱が昭和57年度に実施した地表地質調査で採取した試料には，草薙層および古口層中に僅かであるが浮遊性有孔虫化石を含む試料があり，地質年代を検討する上で有効と考えられる。

本稿では，これらの結果を報告し，主に草薙層と古口層の地質年代について考察し，併せて対比や堆積環境についても言及する。

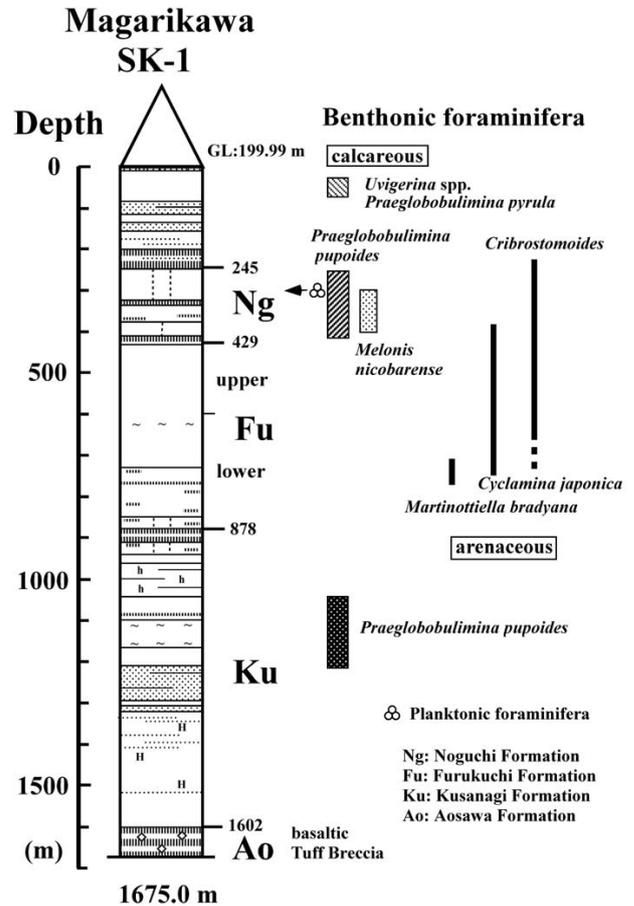
2. 地質概説

新庄盆地西部には草薙層および古口層が広く分布している（第1図）。草薙層の模式地は最上郡戸沢村草薙附近一帯である（飯塚，1924）。大沢ほか（1986）によれば，本層は主として硬質泥岩からなり，一部で酸性凝灰岩や砂岩を挟み，硬質泥岩と互層をなす。層厚は250～500mである。硬質泥岩は珪質であり，数cm単位



第1図. 調査地域，鮎川-由利原油・ガス田，坑井および牛越の位置図と草薙層（女川層）および古口層の分布。

Fig. 1. Index map showing the studied areas and the locations of the Ayukawa-Yurihara oil and gas field, two wells, Ushigoe, and the distribution of the Kusanagi (Onnagawa) and Furukuchi formations.



第2図. 曲川 SK-1 の層序，岩相および有孔虫化石。

Fig. 2. Stratigraphy, lithology and foraminifera of the Magarikawa SK-1 well.

で繰り返す白黒の縞状構造による非常に明瞭な板状層理を示す。酸性凝灰岩は灰白色～白色，軟弱，軽石質ときに砂質で，3～15mの層厚を有し，2～3層準に挟在しており，鍵層として追跡できる。有孔虫化石の産出は乏しく，*Martinottiella communis*，*Cyclammina japonica*，*Cribristomoides renzi*，*Spirosigmoilinella compressa*などの砂質底生有孔虫化石が稀に産出する。

古口層は最上郡古口村（現戸沢村古口）を模式地として，飯塚（1924）により命名された。大沢ほか（1986）によれば，古口層は下位の草薙層を整合で覆い，下部は暗灰色泥岩を主とし，硬質泥岩を伴い，酸性凝灰岩・砂質凝灰岩や砂岩を挟む。層厚は200～500mである。上部は主として暗灰色泥岩からなり，酸性凝灰岩・砂質凝灰岩や砂岩を挟む。層厚は400～700mである。下部からは *Spirosigmoilinella compressa*，*Martinottiella communis*，*Cyclammina japonica*などを産し，秋田標準層序の船川層下部に対比されている。上部からは *Cribristomoides* spp.，*Cribristomoides subglobosum*，*Martinottiella communis*，*Cyclammina cancellata*，*Cyclammina pusilla*，*Cyclammina japonica*を多産し，秋田標準層序の船川層上部に対比されている。

土谷（1989）は，大沢ほか（1986）の古口層下部を以下の理由から，下位の草薙層上部とした。

- 1) 岩相的に女川層上部のいわゆる硬軟互層に類似している。
- 2) Taguchi（1962）以来，草薙層に含まれている。

3) 大沢・須田 (1988) の 20 万分の 1「新庄」地域の地質図において草薙層に含まれている。

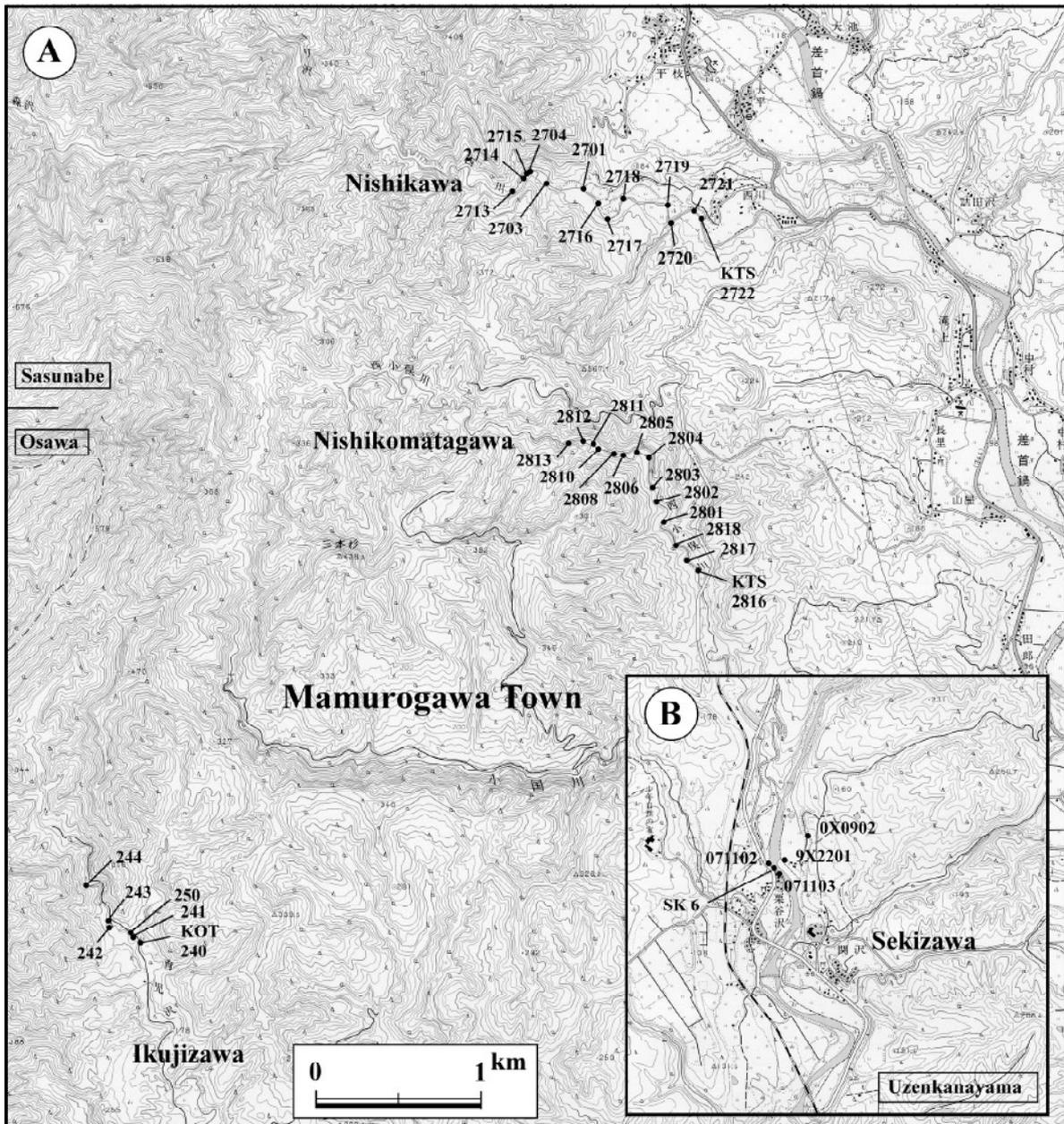
しかしながら、石油開発企業では従来から大沢ほか (1986) と同じ考え方で地表および坑井の地層区分を行っており (例えば、猪俣, 1962), 本稿では、大沢ほか (1986) に従う。

古口層は主としてシルト岩からなる上位の羽根沢層に整合で漸移している。羽根沢層は半沢ほか (1958) の野口層に相当しており、最近の文献 (例えば、守屋ほか, 2008 など) では野口層が用いられていることから、以下本稿でも野口層を用いる。

坑井では連続的な岩相把握が可能であり、昭和 38 年に掘削された曲川 SK-1 (掘止深度 1,675.0 m; 第 1 図) では草薙層および古口層を掘り抜いている (第 2 図)。草薙層の見掛けの厚さは約 700 m であり、中部には 100 m 程度の砂岩が卓越する層準があり、

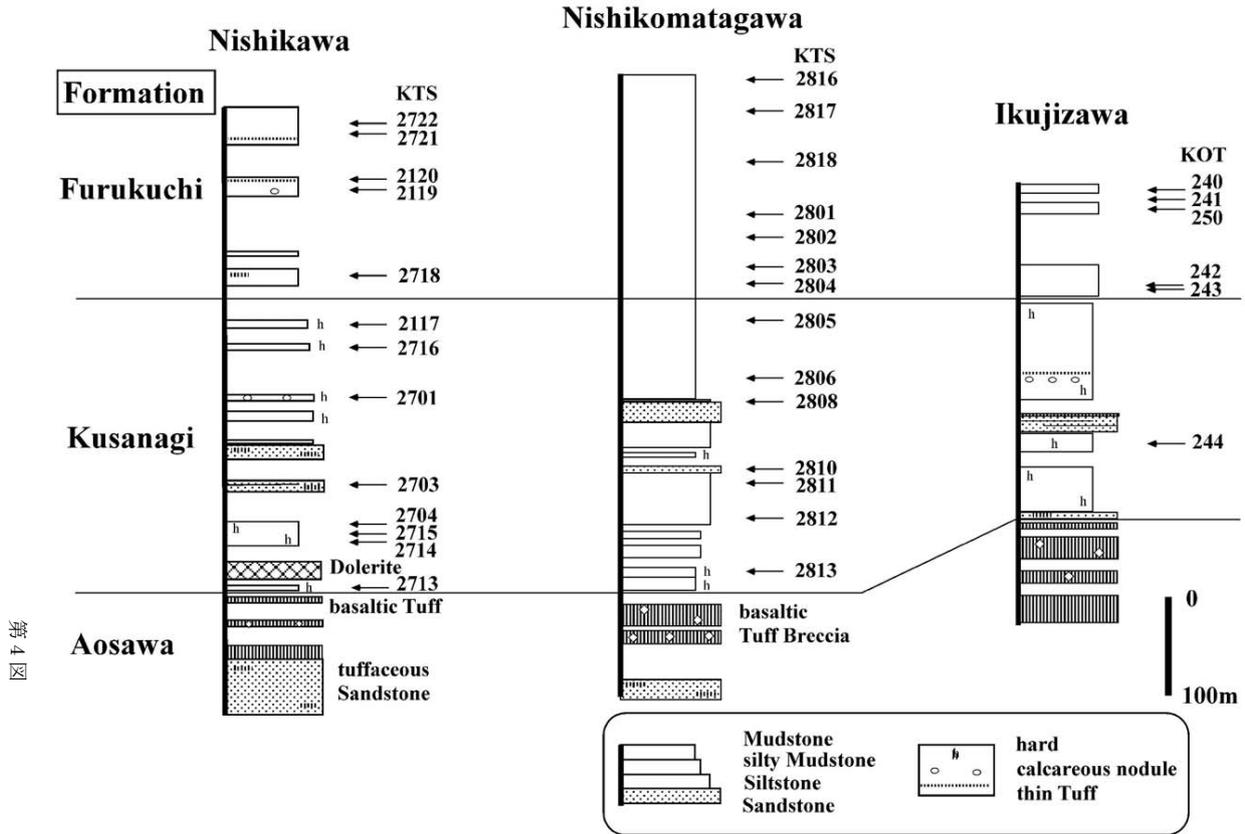
その上位には泥灰岩が発達している。古口層との境界は凝灰岩 (一部に油徴が認められた) の上限に設定されている。古口層の見掛けの層厚は約 450 m であり、深度 600 m 付近を境に比抵抗検層カーブのパターンや比抵抗値に違いが認められ、古口層は上部と下部に細分できる。野口層との境界は凝灰岩の下限に設定されている。地層の傾斜角は、古口層では 15 度程度であるが、草薙層では上部は 25 ~ 30 度であるが、下部は 40 度程度である。曲川 SK-1 の南方で昭和 34 年に掘削された野口 SK-1 (掘止深度 1,208.5 m; 第 1 図) とは比抵抗検層カーブおよび自然電位検層カーブでよく対比でき、野口 SK-1 の掘止層準は草薙層下部である。

3. 試料



第 3 図. 試料採取位置図。1/2.5 万地形図「差首鍋」, 「大沢」, 「羽前金山」を使用。

Fig. 3. Locality map of samples. Base maps are the 1:25,000 “Sasunabe”, “Osawa” and “Uzenkanayama” topographic maps.



第4図. 西川, 西小俣川および育兒川ルートの地質柱状図
Fig. 4. Columnar sections of the Nisikawa, Komatagawa and Ikujizawa routes.

昭和57年の地表地質調査では、北から西川, 西小俣川および育兒川ルートにおいて、青沢層から古口層までを調査し、有孔虫化石用試料を採取した。試料の採取地点を第3図に、地質柱状図を第4図に示す。これらのルートの草薙層は岩相の類似により曲川SK-1の草薙層に容易に対比できる。

福島県立博物館の相田学芸員から提供して頂いた試料は、古口層1試料(相田ほか(1999)のSK6;第3図)と野口層3試料(NS12-1, NS12, OA14)である。SK6は釜淵層栗谷沢砂岩層(大沢・角, 1961)に属し、釜淵層は古口層相当層と考えられている(例えば, 大沢・角, 1961)。

4. 有孔虫化石調査結果

昭和57年の地表調査で採取した3ルートの試料および提供を受けた4試料の有孔虫化石調査結果を第1表および第2表に示す。

4.1 浮遊性有孔虫化石

浮遊性有孔虫化石は西川および西小俣川ルートの3層準(古口層, 草薙層上部および草薙層下部), 10試料から産出した(第1表, 第5図)。

草薙層下部(KTS2714, 2715, 2813, 2812)の群集は *Neogloboquadrina pseudopachyderma*, *Neogloboquadrina continua* を主とする右巻の *Neogloboquadrina* 属の多産で特徴づけられ、暖海種の *Globorotalia iwaiensis*, *Globorotalia rikuchensis* および

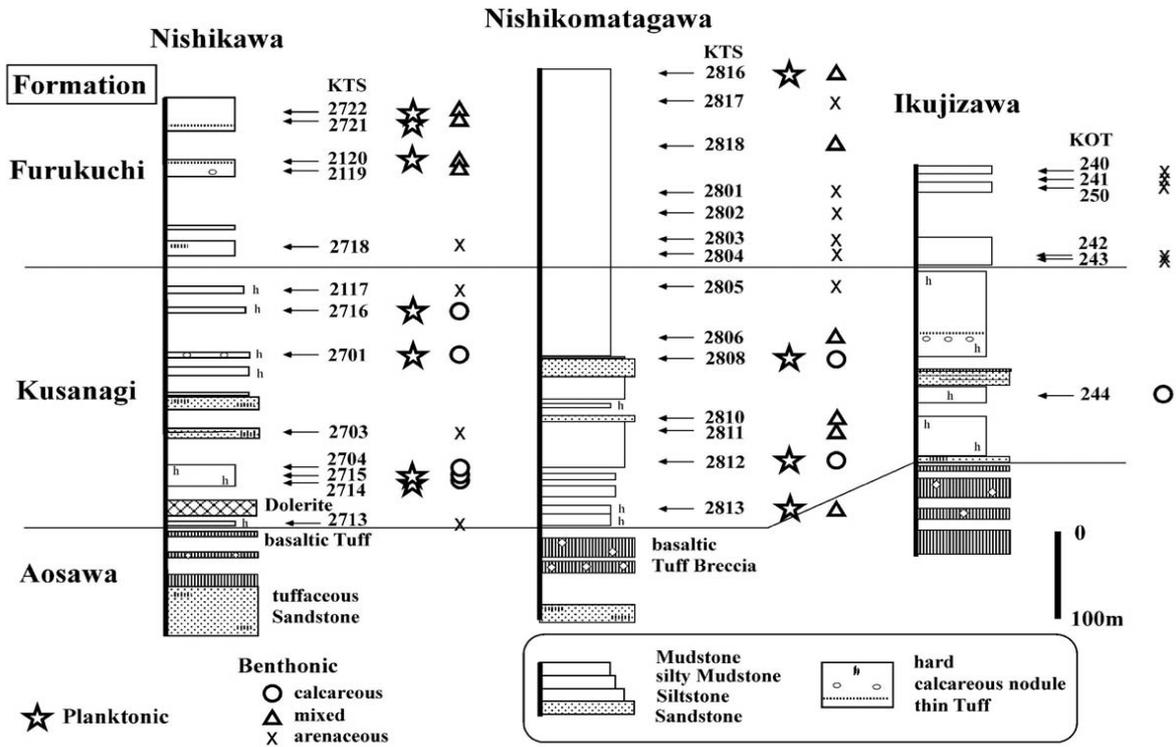
Globorotalia cf. linguaensis などが付随する。2714と2715の2試料は加藤ほか(1995)で報告したK-2とK-1にそれぞれ対応する。

西川における草薙層上部(KTS2716, 2701)の群集は *Globigerina bulloides* を主とする *Globigerina* 属の種の多産で特徴づけられ、暖海種の *Globorotalia miozea* を僅かに伴う。また、西小俣川(KTS2808)からは *Globigerina* sp. が1個体のみ産出した。

古口層上部(KTS2120, 2721, 2722, 2816)の群集は左巻の *Neogloboquadrina pachyderma* の産出で特徴づけられ、暖海種の *Orbulina suturalis* を僅かに伴う。

SK6の試料には保存良好な有孔虫化石が豊富に含まれており、有孔虫化石の産出個体数も非常に多い。浮遊性有孔虫化石群集は *Globigerina bulloides* が最多種であるが、*Globigerinoides* 属、*Globorotalia* 属、*Sphaeroidinellopsis* 属および *Orbulina* 属のような暖海種が比較的豊富に産出する。*Globorotalia miotumida* や左巻の *Neogloboquadrina acostaensis* など年代の指標となる種が含まれている。これらの群集内容は、相田ほか(1999)がSK6の試料から報告した群集や根本ほか(2002)がSK6の周辺(第3図)から報告している古口層の浮遊性有孔虫化石群集と同一のものと判断される。

野口層の3試料(NS12-1, NS12, OA14)からはいずれも浮遊性有孔虫化石が産出したが、NS12-1を除き僅かである。NS12-1の試料は *Globigerina bulloides* と左巻の *Neogloboquadrina pachyderma* の産出で特徴づけられ、相田ほか(1999)が報告した群集と同じである。曲川SK-1でも野口層中部で *Globigerina*



第5図. 浮遊性有孔虫化石の産出および底生有孔虫化石群集の分布.
 Fig. 5. Occurrence of planktonic foraminifera and distribution of benthonic foraminiferal assemblages.

表 3. 有孔虫殻の ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr比測定試料.
 Table 3. Samples for measurements of ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr ratios.

No.	Locality	Formation	Species	Presevation	Number
1	NS 12	Noguchi	<i>Uvigerina</i> sp. indet.	P D	4+
2			<i>Islandiella</i> sp. indet.	P	7
3	NS 12-1	Noguchi	<i>Uvigerina</i> sp. indet.	P D	20
4			<i>Cibicides</i> sp.	P D	30
5	OA 14	Noguchi	<i>Uvigerina</i> sp. indet.	P D	30
6			<i>Islandiella</i> sp. indet.	P D	5
7	SK 6	Kamabuchi	<i>Ammonia japonica</i>	P	30
8			<i>Hanzawaia nipponica</i>	P	30
9			<i>Globigerina bulloides</i>	P	30

P: partly broken D: dark color

表 4. 有孔虫殻の ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr比測定結果.
 Table 4. Results of measurements ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr ratios and calculated Sr ages.

Sample No.	Formation	Measurement ⁸⁷ Sr/ ⁸⁶ Sr ±2σ	Corrected Sr age* (Ma)	Corrected Sr age** (Ma)	Error (±)	Ref.
1	NS12 Noguchi	0.709063 0.000033	4.8-2.1	0.709060 3.1	0.4	
2		0.709124 0.000041	1.1	0.709121 1.3	0.1	
3	NS12-1 Noguchi	0.707201 0.000021		0.707198		
4		0.707126 0.000021		0.707123		
5	OA14 Noguchi	0.708771 0.000014	14.8	0.708768 15.3	0.2	
6		0.708952 0.000041	8.9-5.2	0.708949 7.2	0.2	
7	SK6 Kamabuchi	0.708843 0.000014	11.5	0.708840 11.8	0.4	
8		0.708859 0.000014	10.8	0.708856 11.0	0.2	
9		0.708806 0.000027	13.2	0.708803 13.8	0.7	
Yurihara SK-14D						
	1160m O-1		0.708933 8.9-5.2	0.708941 7.5		1)
	O-1		0.708959 8.9-5.2	0.708967 6.6		1)
	1400m O-2		0.708886 9.0	0.708894 9.8		1)
	1500m O-3		0.708843 11.0	0.708851 11.2		1)
Nishi-Yurihara AK-1						
	1460m O-1		0.708960 8.9-5.2	0.708968 6.5		1)

NBS987 = 0.710251

NBS987 = 0.710240

NBS987 = 0.710248

* Ito (1993)

** McArthur and Howarth (2004)

1) Kato and Nakano (1999)

の誤差から Sr 年代値の誤差を求めた. 野口層の 3 地点 6 試料はほぼ同じ層準と推定されるが, Sr 年代は大きく異なっている. SK 6 の Sr 年代は約 11 Ma を示す.

6. 考察

6.1 地質年代

草薙層から産出する浮遊性有孔虫化石群集は東北日本海側地域の浮遊性有孔虫化石帯区分 (米谷, 1978)

Geologic Age (Ma)		Planktonic Foraminifera		Calcareous Nannofossil	Diatom	
		Blow (1969)	Maiya (1978)	Okada & Bukry (1980)	Yanagisawa & Akiba (1998)	
Pleistocene		N21				
	Pliocene	L				
E		N19	<i>Globorotalia ikebei</i> / <i>Orbulina universa</i> Zone	PF 6	CN 11	
Miocene	Late	N18			CN 10	
		b	Barren Planktonic Foraminifera Zone	PF 5	CN 9	
		N17				a
						NPD 6B
						NPD 6A
	Middle	10	N16	<i>Globorotalia pseudopachyderma</i> / <i>Globigerina woodi</i> (s.l.) Zone	PF 4	CN 8
						CN 7
						CN 6
						CN 5
						b
		N15				
		N14				
		N13				
		N12				
		N11				
		N10	<i>Globorotalia peripheroacuta</i> / <i>G. miozea</i> (s.l.) Zone	PF 3	a	
					NPD 5B	

図6. 微化石分帯と地質年代. 新潟県 (2000) を修正.

Fig. 6. Microfossils zones and geologic age. Modified from Niigata Pref. (2000).

の *Globorotalia pseudopachyderma* / *Globigerina woodi* (s.l.) Zone (PF 4) に対比可能である (第6図). 右巻の *Neogloboquadrina* 属の多産は PF 4 の下部群集, *Globigerina* 属の多産は PF 4 の上部群集の特徴であり (井上ほか, 2008), 草薙層下部の群集は PF 4 の下部に, 草薙層上部の群集は PF 4 の上部にそれぞれ対比される. 草薙層下部の群集は Blow (1969) の化石帯区分の N13 ~ N14 に対比され, Barron and Baldauf (1990) の Climatic Optimum 2 に相当する (加藤ほか, 1995).

草薙層上部の群集には, 一部の試料 (2716) で石灰質底生種の *Nodosaria raphana* が産出している. この種は, 鮎川-由利原油・ガス田地域 (以下鮎川-由利原地域) において女川層中の O-1 群集を特徴づける種である (加藤・井上, 1997). O-1 群集は広範囲に分布し, 新潟地域の良好な対比マーカーである “Blue Zone” とも対比可能であり, その年代は約 8.2 Ma と見積もられている (加藤ほか, 2008). “Blue Zone” は PF 4 の上部に認められ, Climatic Optimum 3 に相当する (井上ほか, 2008). 矢島の牛越ルート (第1図) では, O-1 群集を産する露頭で採取されたシロウリ貝化石 (*Calypptogena* sp.) が密集した転石から浮遊性有孔虫化石が産出しており, その群集は *Neogloboquadrina acostaensis*, *Globorotalia miotumida* の共存と *Neogloboquadrina pachyderma* の左巻優勢で特徴づけられ, N16 ~ N17a に対比される (加藤・井上, 1997). これは, 新庄盆地北縁の草薙層中部および上部から産出する石灰質ナンノ化石が CN9 であること (武部ほか, 1988; 土谷, 1989) と調和している.

浮遊性有孔虫化石が豊富に産出する SK 6 には, N16 の基底を定義する鍵種 *Neogloboquadrina acostaensis* が産し, レンジが後期中新世に限定される *Globorotalia miotumida* が産出することから, N16 ~ N17 に対比される. しかしながら, N17b に初出現す

る *Pulleniatina finalis* や *Globorotalia margaritae* が付随しないこと, N16 下部に対比される浮遊性有孔虫化石群集を産出する福島県東棚倉地域の久保田層では多くの *Neogloboquadrina* 属の種が右巻優勢である (Hayashi *et al.*, 2002) ことを考慮すると, N16 上部 ~ N17a に対比される可能性が高い. このことは, CN9 に対比される石灰質ナンノ化石が産出すること (相田, 1999) と調和している. 一方, Sr 年代は約 11 Ma を示しており, 微化石から推定される年代 (約 8 Ma) よりも明らかに古く, 凝灰質な岩質の影響 (変質) を受けていると考えられる (加藤・中野, 1999).

古口層の4試料および野口層の1試料は *Globigerina bulloides* と左巻の *Neogloboquadrina pachyderma* の産出で特徴づけられ, *Orbulina* 属を僅かに伴っていることから, 米谷 (1978) の *Globorotalia ikebei* / *Orbulina universa* Zone (PF 6) に対比される. *Globigerina bulloides* と左巻の *Neogloboquadrina pachyderma* の産出で特徴づけられる群集は新潟県の郷本川の椎谷層基底から初めて報告された (中世古ほか, 1972). 三輪・一ノ関 (1997) は郷本川ルートの有孔虫化石を詳しく調査し, 椎谷層最下部 (郷本パミス質凝灰岩 (Gtp; 黒川ほか, 1987) の直上から約 100m 間) の浮遊性有孔虫化石群集が *Globigerina bulloides*, *G. woodi* を主体とし, 左巻の *Neogloboquadrina pachyderma* や *Orbulina universa* を伴うことを確認した. さらに, 梅田 SK-1 の浮遊性有孔虫化石調査結果では, *Globorotalia ikebei* 産出層準 (*Globorotalia ikebei* bed) の下位で *Neogloboquadrina pachyderma* の巻き方向が右巻から左巻に変化していることを明らかにした. Motoyama *et al.* (2004) によれば, *Globorotalia ikebei* の初産出は 4.7-4.8 Ma である. 花方ほか (2001) はこのルートの底生有孔虫化石と放散虫化石を報告しており, Gtp 直下に *Miliammina echigoensis* の初産出があり, その年代は 5.2 Ma 以降であると述べている. これは加藤ほか (2004)

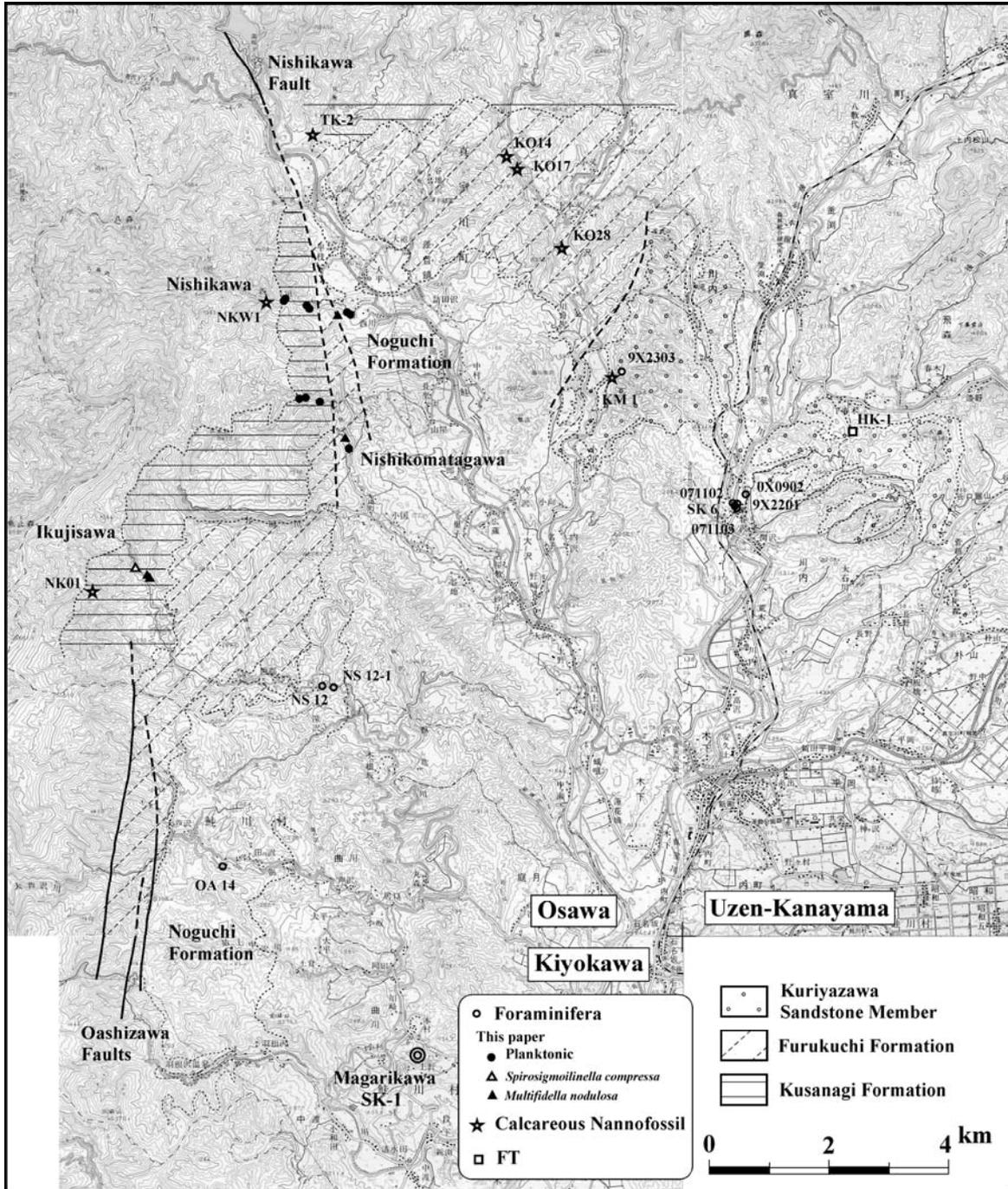


図7. 地層区分と微化石産地の関係。地質図は5万分の1地質図幅「清川」, 「大沢」, 「羽前金山」に基づく。一部相田ほか (1999) および根本ほか (2002) から引用。

Fig. 7. Relationship between stratigraphic divisions and occurrences of microfossils. The geology is based on the 1:50,000 "Kiyokawa", "Osawa" and "Uzenkanayama" geological map sheets. Derived in part from Aita *et al.* (1999) and Nemoto *et al.* (2002).

が報告した Gtp の FT 年代 (5.3 ± 0.2 Ma) と調和している。したがって、この群集の年代は $4.7 \sim 5.2$ Ma と推定される。

Spirosigmoilinella compressa の産出上限は第一級のマーカーと考えられており (的場, 1992), その年代を花方ほか (2001) は 5.4 Ma と推定している。古口層下部はこの *Spirosigmoilinella compressa* の産出で特徴づけられる (大沢ほか, 1986) が, 新庄盆地ではこの種の産出は極めて稀である。しかしながら, 育児沢ルートの古口層最下部の試料 (243) には本種が確認されている。

また, Nakaseko (1960) は羽根沢温泉附近に露出する古口層上部から放射虫化石 *Thecosphaera japonica* の産出を報告しており, この種の出現年代は 5.6 Ma である (本山, 1999)。

6.2 対比

鮎川-由利原地域の女川層では, 3層準に石灰質底生有孔虫化石群集 (上位から O-1 群集, O-2 群集, O-3 群集) が認められている (加藤・井上, 1997)。草薙層下部の浮遊性有孔虫化

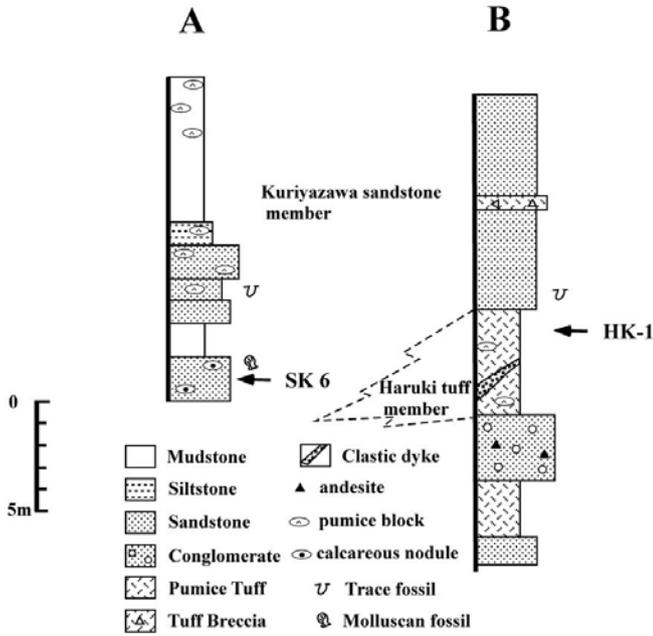


図8. 関沢付近に分布する釜淵層の地質柱状図. A: 真室川, B: 下春木南方. 本田ほか (2002) と長澤ほか (2002) から作成.
 Fig. 8. Columnar sections of the Kamabuchi Formation near Sekizawa. A: Mamurogawa, B: South of Shimoharuki. Modified from Honda *et al.* (2002) and Nagasawa *et al.* (2002).

石を産出する石灰質群集 (2714, 2715, 2813, 2812) は、右巻の *Neogloboquadrina* 属や若干の暖海種が産出することから、O-3 群集に対比される (加藤・井上, 1997). 一方、試料 2716 からは *Nodosaria raphana* が産出することから、西川の草薙層上部の石灰質群集は O-1 群集に対比できる. 西小俣川の草薙層上部の石

灰質群集 (2808) は *Fursenkoina* sp. が多産することから、O-2 群集に対比される可能性が高い (加藤・井上, 1997).

SK 6 は浮遊性有孔虫化石群集から推定される年代や *Nodosaria raphana* の産出から、O-1 群集に対比される. 本田ほか (2002) は、関沢付近に分布する釜淵層を古口層とし、栗谷沢層砂岩部層、春木凝灰岩部層および関沢凝灰岩部層に細分している. 長澤ほか (2002) は、春木凝灰岩部層最上位層準と考えられる真室川町下春木南方林道沿いの露頭から採取した軽石凝灰岩 (HK-1; 第7図) のフィッション・トラック (FT) 年代を 7.9 ± 0.8 Ma と報告している. 本田ほか (2002) によれば、HK-1 の層準は SK6 の直下に対比され (第8図)、HK-1 の FT 年代は SK 6 の浮遊性有孔虫化石から推定される年代と矛盾しない. しかしながら、この試料の粒子年代は $0.0 \sim 17.5$ Ma と比較的広い範囲に及び、ピーク年代値 (6.2 Ma) は粒子年代ヒストグラムのピークよりも若い方にシフトしている (第9図). 本地域は中期中新世後期～鮮新世の火山岩が分布する地域 (土谷 (1999) の百宅-青沢地域) に属しており、熱イベントにより FT 年代が若返っている可能性がある. そこで、 $0.0 \sim 4.0$ Ma の若い粒子年代を示す 6 粒子を除いて FT 年代を再計算すると、 8.9 ± 0.9 Ma となる (第5表). さらに、試料が凝灰岩であることからジルコン粒子の再堆積の可能性もあるので、16 Ma より古い 2 粒子を除いて FT 年代を再計算すると、 8.5 ± 0.9 Ma となる (第5表; 第9図). したがって、少なくとも関沢付近に分布する釜淵層は古口層ではなく、草薙層に対比される (第10図). このことは、釜淵層から *Coscinodiscus yabei* Zone (Yanagisawa and Akiba (1998) の *Thalassiosira yabei* Zone: NPJ 5C) に対比される珪藻化石が産出すること (武部ほか, 1988) と矛盾しない.

本地域からはその他にも幾つかの放射年代が報告されている (大木ほか, 1995; 土谷, 1999 など). 釜淵層では、春木火砕岩

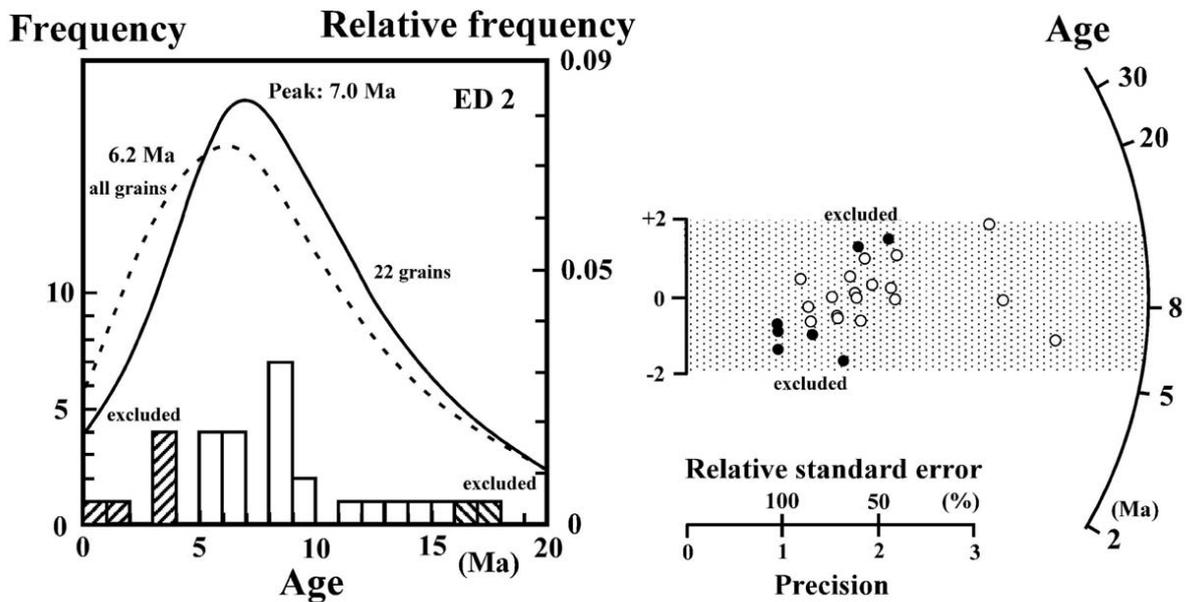


図9. 試料 HK-1 の粒子年代ヒストグラム、年代スペクトルおよびラディアルプロット.
 Fig. 9. Age histogram, age spectra and radial plot of the HK-1 sample.

表5. ジルコンのフィッション・トラック (FT) 年代.

Table 5. Zircon fission-track (FT) ages.

Sample	n	Spontaneous ρ_s (cm^{-2}) (Ns)	Induced ρ_i (cm^{-2}) (Ni)	Dosimeter ρ_d (cm^{-2}) (Nd)	$P(\chi^2)$ (%)	r	U (ppm)	Age \pm (1σ) (Ma)
HK-1	30	2.61 \times 10 ⁵ (140)	1.034 \times 10 ⁶ (555)	8.471 \times 10 ⁴ (2602)	73	0.621	100	7.9 \pm 0.8
	24	2.97 \times 10 ⁵ (132)	1.053 \times 10 ⁶ (468)	8.471 \times 10 ⁴ (2602)	94	0.683	100	8.9 \pm 0.9
	22	2.8611 \times 10 ⁵ (120)	1.053 \times 10 ⁶ (446)	8.471 \times 10 ⁴ (2602)	98	0.830	100	8.5 \pm 0.9

n, number of grains; ρ and N, density and total number of counted tracks, respectively; Analyses were made by using the external detector method that applied to external surface of zircon (ED 2: Danhara *et al.*, 1991); NIST-SRM612 standard glasses were used as a dosimeter; $P(\chi^2)$, probability of obtaining the χ^2 value for ν degrees of freedom ($\nu =$ number of crystals - 1) (Galbraith, 1981); r , correlation coefficient between ρ_s and ρ_i ; U, uranium content calculated based on the induced track densities (Iwano *et al.*, 2000); Zircon grains were irradiated using TRIGA MARK II nuclear reactor of St. Paul's University (Rikkyo Daigaku), Japan; Ages were calculated by using a zeta calibration factor of $\zeta_{ED2} = 372 \pm 5$ (Danhara *et al.*, 1991).

中のデイサイト岩片の K-Ar 年代 (10.8 \pm 1.3 Ma) と俎板山安山岩の K-Ar 年代 (9.6 \pm 0.2Ma) がある (土谷, 1999). また, 北方に分布する日正花崗岩類の花崗閃緑岩の FT 年代 (10.7 \pm 1.4 Ma) や高坂酸性火山岩 (流紋岩) の FT 年代 (7.5 \pm 0.6 Ma) も報告されている (土谷, 1999). 大木ほか (1995) は高坂ダム北方に分布する草薙層の硬質泥岩を貫く貫入岩 (安山岩) の K-Ar 年代として 11.3 \pm 0.4 Ma と 10.3 \pm 0.4 Ma を報告している. これらの年代値は, 有孔虫化石や石灰質ナンノ化石から推定される草薙層の年代と矛

盾しない.

相田ほか (1999) が野口層中部 (NS 12-1, NS 12, OA 14) から報告した浮遊性有孔虫化石群集は古口層上部の浮遊性有孔虫化石群集と同一である.

5 万分の 1 地質図幅に基づく地層区分と, 浮遊性有孔虫や石灰質ナンノ化石の産出地点および底生有孔虫の *Spirosigmoilinella compressa* や *Multifidella nodulosa* の産出地点の関係をみると (第 7 図), 「大沢」図幅内での草薙層と古口層は再検討が必要である.

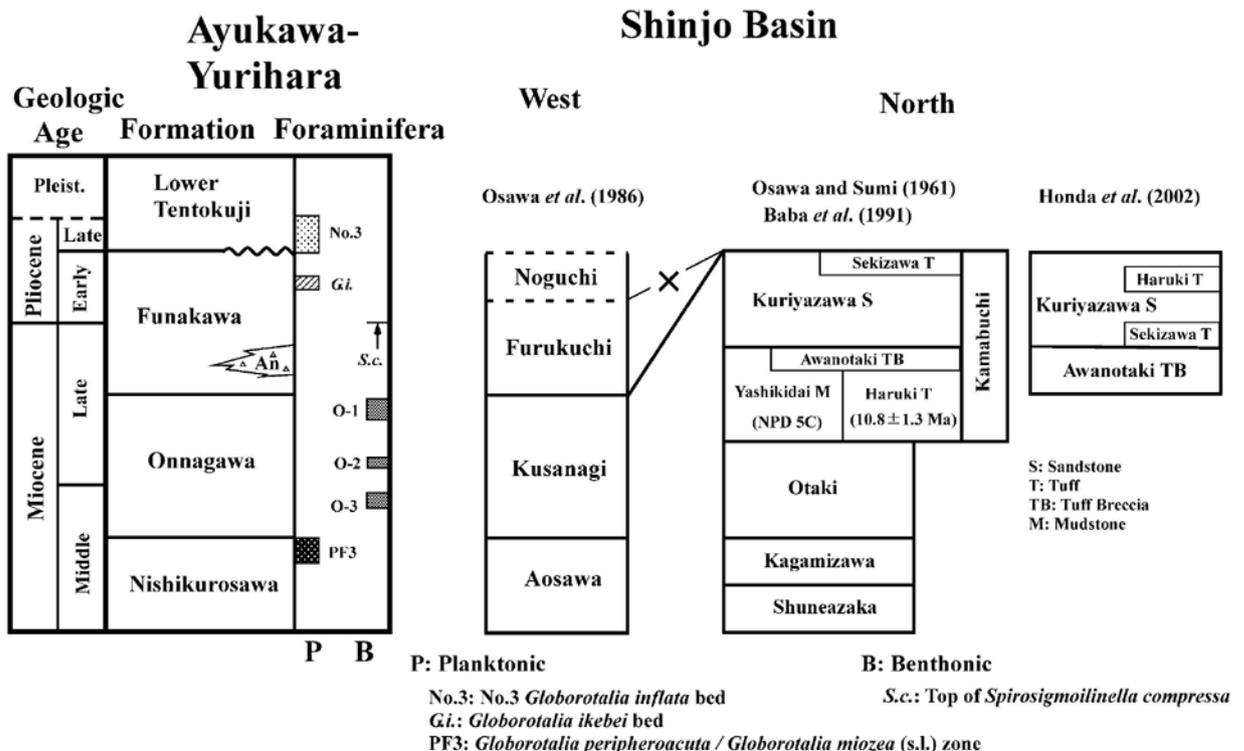


図 10. 鮎川—由利原地域との対比図.

Fig. 10. Correlation chart between the Ayukawa-Yurihara district and the Shinjo Basin.

6.3 堆積環境

日本海地域の中新統～下部鮮新統は産油・産ガス層準であり、有孔虫群集は砂質群集で特徴づけられる(米谷, 1978)。砂質群集が卓越する堆積環境については幾つかの見解がある。例えば、砂質群集の形成は溶解躍層(lysocline)もしくは炭酸塩補償深度(carbonate compensation depth: CCD)の分布によって規制される(米谷ほか, 1980)はその代表的なもののひとつであり、この見解に従えば砂質有孔虫の卓越は深い古水深を示唆する。一方、活発な火山活動によるガスや海底堆積物の生物学的な分解により海底のpHが低くなり、石灰質有孔虫の殻が保存され難い環境が形成されたとの見解(Kitazato, 1979; 野村, 1986)もある。また、Matoba (1984)は *Cyclammina* spp., “*Haplophragmoides*” spp., *Martinottiella communis*, *Spirosigmoilinella compressa* のような深海性の砂質有孔虫から構成される女川階や船川階の群集は底層水の停滞した環境(停滞底層水)を指示すると解釈している。石灰質有孔虫の殻の構築には炭酸塩が必要であり、炭酸塩の豊富な環境では石灰質群集が、炭酸塩が減少した環境では砂質有孔虫が豊富になるとする Greiner (1970) のメキシコ湾での現世有孔虫分布の研究結果に基づいて、Hanagata (2003) は日本海地域の後期中新世～前期鮮新世の堆積環境を推定した。すなわち、この時期の日本海は、南方は大陸と繋がり、北方に開いた大きな湾状の縁辺海(古日本湾)であり(浅野・高柳, 1966; Asano *et al.*, 1969)、砂質有孔虫群集の発生はこの縁辺海への河川水の流入とそれによる炭酸塩の不飽和を指示すると推定している。

草薙層および古口層の底生有孔虫化石群集には砂質群集と石灰質群集が繰り返し認められる。これは堆積の場に繰り返し類似の変化が起こったことを反映している。後期中新世～前期鮮新世の日本海は、上述したように北方が開いた大きな湾状の海であり、北方から太平洋の深層水が入り、寒流も流入していた。このような海では河川水の流入はあるが、海流の出口が無いため、海底には停滞環境が生じて、砂質有孔虫群集が発生し易い。しかし、海水の出入り口があれば、海水の循環は大きく変化すると推定される。

草薙層には暖海性浮遊性有孔虫化石が産出する層準があり、これは新庄盆地に外洋水が流入していた証拠であり、その層準が汎世界的温暖期であった証拠でもある。温暖期の海水準上昇により、堆積盆に流入する炭酸塩に富む暖流は勢いを増し、周辺陸域では降水量が増大したであろう。大量の降雨は大地を削削し、タービダイトとして海底に豊富な酸素を送り込んだ。この海域で寒流と流入した暖流はぶつかり、寒流は暖流の下層へ潜り込む。その流れに乗じて下層の水は湧き上り、上下の海水の混合が生じ、海底には豊かな酸素と炭酸塩が送り込まれた。そして、海底の停滞環境が解除され、石灰質有孔虫の生息環境ができる。したがって、石灰質群集の発生は温暖化が始まった証拠でもともとと考えられる。

草薙層の砂質群集の主要構成種は一貫して *Cribratomoides* spp. および *Martinottiella communis* であり、一方、石灰質群集は *Epistominella* cf. *pulchella*, *Praeglobobulimina pupoides*, *Uvigerina proboscidea*, *Islandiella helenae*, *Melonis pompilioides* などが主要構成種である。*Martinottiella communis* や *Epistominella pulchella* の中期中新世の生息上限深度帯は上部漸深海帯であり、*Uvigerina* 属の種や *Islandiella helenae* と強く関連する *Islandiella norcrossi* および *Melonis pompilioides* なども中期中新世の後期には生息上限

深度帯が上部漸深海帯と推定されている(長谷川ほか, 1989)。草薙層下部の試料(西小俣川の 2812, 2813 および西川の 2715, 2714)には *Buccella* spp. や *Cribronionion* spp. などの浅海種が比較的多く混在しているので、堆積の初期には若干浅かった(上部漸深海帯)が、草薙層の古水深は上部漸深海帯～中部漸深海帯上部と推定される。

古口層の堆積環境は調査ルートによって若干異なる。西川では、底生有孔虫化石群集は砂質種 *Cribratomoides* spp. の著しい多産と砂質種 *Veleroninoides* spp. と *Glaphyrammina americana* および石灰質種の *Epistominella* cf. *pulchella*, *Islandiella norcrossi*, *Uvigerina yabei*, *Sphaeroidina* spp. の比較的豊富な付随が特徴である。試料 2722 からは暖海性浮遊性有孔虫の *Orbulina sutularis* が産出し、温暖化があったことを示唆しており、石灰質種が増加して好気性環境に変化した。この群集の堆積環境は下位の砂質群集と同様、上部漸深海帯～中部漸深海帯上部と推定される。

西小股川では、底生有孔虫化石群集は西川の群集に比べ砂質種の占める比率が高い。下部の群集は *Cribratomoides* spp. と *Martinottiella communis* を主とする砂質群集で、堆積環境は上部漸深海帯・中部漸深海帯上部と推定される。上部の群集は *Cribratomoides* spp. を主とし、最上部の試料(2816)は混合群集であり、*Martinottiella communis* が付随しない。堆積環境は下部群集と同様上部漸深海帯～中部漸深海帯上部と推定される。

育児沢では、底生有孔虫化石群集は *Martinottiella communis* と *Cribratomoides* spp. から主に構成される砂質群集であり、最下部(243)からは *Spirosigmoilinella compressa* が産出する。これらの種の後期中新世～初期鮮新世での生息上限深度帯は中部漸深海帯下部と推定されている(長谷川ほか, 1989)。根本(1999)が報告している古口層の底生有孔虫化石群集も同様な砂質群集であり、中部漸深海帯下部以深の古水深が推定されている。

草薙層の堆積の場合は、西川、西小俣川および育児沢では中期中新世の後期～後期中新世を通して上部漸深海帯～中部漸深海帯上部にあったと推定される。しかし、東部の SK6 の堆積環境は外浅海帯～上部漸深海帯と推定されるので、草薙層の堆積盆は東部が浅く、西に向かって深くなっていったと推定される。

古口層の堆積の場合は、育児沢では中部漸深海帯下部、西川と西小股川では上部漸深海帯～中部漸深海帯上部と推定される。西川では石灰質種の含有率が高く若干浅い位置にあった可能性がある。すなわち、古口層の堆積盆は南部ではより深い水深にあったと推定される。

7. まとめ

新庄盆地北西部に位置する西川および西小俣川に分布する草薙層の2層準(下部と上部)と古口層の1層準(上部)から浮遊性有孔虫化石が産出した。草薙層下部の群集は *Neogloboquadrina pseudopachyderma* や *N. continuosa* を主とする右巻の *Neogloboquadrina* 属の多産で特徴づけられ、*Globigerinoides* 属や *Globorotalia* 属などの暖海種を伴う。この群集は PF 4 の下部群集(井上ほか, 2008)に相当しており、鮎川-由利原地域の O-3 群集や Blow (1969) の N 13 ~ N 14 に対比される。

草薙層上部の群集は *Globigerina bulloides* を主とする *Globigerina* 属の多産で特徴づけられ、*Globorotalia miozea* を僅か

に伴う。この群集はPF4の上部群集(井上ほか, 2008)に相当している。石灰質底生有孔虫化石の *Nodosaria raphana* が産出することから、鮎川-由利原地域のO-1群集に対比される。O-1群集は新潟地域の“Blue Zone”に対比され、その年代は約8.2Maと見積もられている(加藤ほか, 2008)。

古口層上部の群集は *Globigerina bulloides* と左巻の *Neogloboquadrina pachyderma* の産出で特徴づけられ、*Orbulina* 属を僅かに伴っている。この群集は野口層中部から産出する浮遊性有孔虫化石群集と同一であり、新潟県の郷本川の椎谷層最下部で確認されている浮遊性有孔虫化石群集(三輪・一ノ関, 1997)に対比され、その年代は4.7~5.2Maと推定される。

SK6の浮遊性有孔虫化石群集はN16上部~N17aに対比される可能性が高く、石灰質底生有孔虫化石の *Nodosaria raphana* が産出することから、鮎川-由利原地域のO-1群集に対比される。したがって、SK6周辺に分布する釜淵層は古口層ではなく、草薙層に対比される。

草薙層および古口層の底生有孔虫化石群集には砂質群集と石灰質群集が繰り返し認められ、堆積の場に繰り返し類似の変化が起こったと推定される。砂質有孔虫群集は停滞環境を指示し、石灰質群集の発生は温暖化が始まった証拠であると考えられる。

草薙層の堆積の場は上部漸深海帯~中部漸深海帯上部と推定されるが、東部のSK6の堆積環境は外浅海帯~上部漸深海帯と推定され、堆積盆は東部が浅く、西に向かって深くなっていったと推定される。

古口層の堆積の場は上部漸深海帯~中部漸深海帯下部と推定され、堆積盆は南に深くなっていったと推定される。

有孔虫殻を用いたSr年代は、保存良好な試料(SK6)においても微化石から推定される年代よりも明らかに古く、凝灰質な地層での適用は非常に限定されたものになる。

謝 辞

本稿の公表を許可された石油資源開発(株)に深謝します。福島県立博物館の相田 優博士には試料を提供して頂いた。茨城大学理学部安藤寿男教授、山形県立霞城学園高等学校の長澤一雄博士および弘前大学理工学部根本直樹博士には文献のコピーでお世話になった。石油資源開発(株)技術本部技術研究所古田土俊夫社員は著者のひとり加藤とともに昭和57年度の地表地質調査を行い、同社元社員の一ノ関鉄郎氏は地表調査で採取した試料の有孔虫化石調査を行なった。以上の方々に厚くお礼申し上げます。

引用文献

- 相田 優・竹谷陽二郎・丸山俊明・田中裕一郎・小笠原憲四郎(1999), 山形県真室川における新第三紀鯨類化石産出層の微化石年代。山形県真室川町産鯨類化石調査報告書, 69-106。
- 浅野 清・高柳洋吉(1966), 化石有孔虫からみた日本海域の古地理。日本海域の地学的諸問題(日本地質学会連合学術大会(金沢大学)総合討論会資料), 29-35。
- Asano, K., Ingle, J. C. and Takayanagi, Y. (1969), Neogene planktonic foraminiferal sequence in northeastern Japan. Proc. First Intern. Conf. Plankt. Microfossil, Geneva 1967, Leiden, 1, 14-25.
- 馬場 敬・越川憲一・金子光好・佐藤時幸・大口健志・田口一雄(1991), 新庄盆地北縁部及位地域のグリーン・タフ層序に関する新知

- 見。石油技術協会誌, 56, 135-147。
- Barron, J. A. and Baldauf, J. G. (1990), Development of biosiliceous sedimentation in the North Pacific during the Miocene and Early Pliocene. In Tsuchi, R. (ed.), Pacific Neogene Event, their Rimming, Nature and Interrelationship, 43-63.
- Blow, W. H. (1969), Late Middle Eocene to Recent planktonic foraminiferal biostratigraphy. Proc. First Intern. Conf. Plankt. Microfossil, Geneva 1967, Leiden, 1, 199-421.
- Danhara, T., Yamashita, T., Iwana, H., Kasuya, M. (1991), Fission-track age calibration using internal and external surfaces of zircon. Jour. Geol. Soc. Japan, 97, 977-985.
- Galbraith, R. F. (1981), On statistical models for fission track counts. Jour. Math. Geol., 13, 471-478.
- Greiner, G. O. G. (1970), Distribution of major benthonic foraminiferal groups on the Gulf of Mexico continental shelf. Micropaleontology, 16, 83-101.
- Hanagata, S. (2003), Miocene-Pleistocene foraminifera from the Niigata oil-fields region, northeastern Japan. Micropaleontology, 49, 293-340.
- 花方 聡・本山 功・平松 力・渡邊和恵・辻 隆司(2001), 新潟県上越~中越地域における中新統・鮮新統境界部の微化石層序。地質学雑誌, 107, 565-584。
- 半沢正四郎・田口一雄・青田俊寿・玉の井正俊・金子恒夫(1958), 新庄周辺天然ガス調査報告。東北地方天然ガス開発利用調査報告書, 179-223。
- 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。
- Hayashi, H., Yamaguchi, T., Takahashi, M. and Yanagisawa, Y. (2002), Planktonic foraminiferal biostratigraphy of the upper Miocene Kubota Formation in the eastern Tanagura area, Northeast Japan. Bull. Geol. Surv. Japan, 53, 409-420.
- 本田康夫・川辺孝幸・田宮良一・長澤一雄・大場 總・神保 功・鎌田 徹(2002), 山形県真室川町関沢附近の地質と層序。山形県真室川町産マッコウクジラ類化石調査報告書, 7-24。
- 飯塚安五郎(1924), 山形県新庄油田地形及地質図, 同説明書。地質調査所。
- 池辺 穰(1954), 山形の油田地質について。地質学雑誌, 60, 286-287。
- 猪俣虎彦(1962), 山形県北西部中新統上部の Biofacies の研究。石油技術協会誌, 27, 465-502。
- 井上洋子・加藤 進・三輪美智子(2008), 新潟地域の寺泊層下部の有孔虫化石群集。瑞浪市化石博研報, 34, 99-110。
- 伊藤 孝(1993), 新生代海水Sr同位体組成データの評価とSr同位体層序。地質学雑誌, 99, 739-753。
- 岩野秀樹・吉岡 哲・檀原 徹(2000), フィッション・トラック法による年代およびウラン濃度算出式の再検討: 次世代年代測定システムに向けて。フィッション・トラックニュースレター, 13, 1-10。
- 加藤 進・檀原 徹・小田 浩(2008), 秋田県鮎川-由利原地域の中新統のフィッション・トラック年代。石油技術協会誌, 73, 397-406。
- 加藤 進・小田 浩・檀原 徹(2004), 寺泊層底生有孔虫化石マーカーの年代。石油技術協会誌, 69, 385-394。
- 加藤 進・井上洋子(1997), 秋田県鮎川-由利原地域の女川層の有孔虫化石。瑞浪市化石博研報, 24, 39-49。
- 加藤 進・井上洋子・一ノ関鉄郎(1995), 山形県新庄盆地の中部中新統からの浮遊性有孔虫化石の産出とそれらの年代および古環境。瑞浪市化石博研報, 22, 9-18。
- 加藤 進・中野孝教(1999), 石油探鉱におけるストロンチウム同位体層序。石油技術協会誌, 64, 72-79。
- Kitazato, H. (1979), Marine paleobathymetry and paleotopography of the

- Hokuroku district during the time of the Kuroko deposition, based on foraminiferal assemblages. *Marine Geology*, **29**, 207–216.
- 黒川勝己・高橋浩代・青野直子・阿部祐子・飯塚絹子・菅原直美・地野加津子 (1987), 新潟県西山油帯北部における椎谷層・西山層中の水底堆積テフラ. 新潟大学教育学部紀要, **29**, 1–14.
- 米谷盛壽郎 (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. 池辺展生教授記念論文集「日本の新生代地質」, 35–60.
- 米谷盛壽郎・井上洋子・尾形英雄 (1980), 古環境と有機物 その1 新第三紀新潟堆積盆地における古環境と古地理の変遷. 石油技術協会誌, **45**, 323–336.
- Matoba, Y. (1984), Paleoenvironment of the Sea of Japan. *Proc. Benthos* **83**, 409–414.
- 的場保望 (1992), 東北本州日本海の後期新生代底生有孔虫群集の変遷. 地質学論集, **37**, 125–138.
- McArthur, J. M. and Howarth, R. J. (2004), Strontium isotope stratigraphy. In Gradstein, F. M., Ogg, J. M. and Smith, A. G. (eds), *A Geologic Time Scale 2004*, 96–105.
- 三輪美智子・一ノ関鉄郎 (1997), 新潟県寺泊町郷本川椎谷層の浮遊性有孔虫化石群集. 平成9年度石油技術協会春季講演会シンポジウム・個人講演要旨集, 44.
- 守屋俊治・檀原 徹・岩野英樹・山下 透・中嶋 健・鎮西清高 (2008), 山形県新庄盆地鮮新統のフィッシュン・トラック年代. 地質学雑誌, **114**, 1–15.
- 本山 功 (1999), 本邦含油新第三系をめぐる放散虫化石層序の進歩—化石帯区分の進歩—. 石油技術協会誌, **64**, 28–39.
- Motoyama, I., Niitsuma, N., Maruyama, T., Hayashi, H., Kamikuri, S., Shiono, M., Kanamatsu, T., Aoki, K., Morishita, C., Hagino, K., Nishi, H. and Oda, M. (2004), Middle Miocene to Pleistocene magneto-biostratigraphy of ODP Site 1150 and 1151, northwest Pacific: Sedimentation rate and updated regional geological timescale. *The Island Arc*, **13**, 289–305.
- 長澤一雄・大場 總・本田康夫 (2002), 山形県新庄盆地北部の新第三系の年代について. 山形県真室川町産マッコウクジラ類化石調査報告書, 75–82.
- Nakaseko, K. (1960), Applied micropaleontological research by means of radiolarian fossil in the oil bearing Tertiary, Japan. *Sci. Rept. Coll. General Education Osaka Univ.*, **9**, 149–185.
- 中世古幸次郎・菅野耕三・家田享一 (1972), 新潟堆積盆地の化石放散虫層序に関する2, 3の問題 (新潟県新第三系の化石放散虫層序の研究 その4). 石油技術協会誌, **37**, 55–70.
- 根本直樹 (1999), 山形県真室川地域に分布する新第三系の底生有孔虫化石と古環境. 山形県真室川町産鯨類化石調査報告書, 123–135.
- 根本直樹・塩澤靖広・相田 優 (2002), 山形県真室川地域に分布する古口層 (上部中新統) の有孔虫化石と古環境. 山形県真室川町産マッコウクジラ類化石調査報告書, 55–74.
- 新潟県 (2000), 新潟県地質図説明書, 200 p.
- 野村律夫 (1986), 島根半島中央部中新統の地質—その2 底生有孔虫化石群集について—. 地質学雑誌, **92**, 461–475.
- 大木淳一・周藤賢治・板谷徹丸 (1995), 山形県出羽丘陵の中新統青沢層に産する火山岩類のK-Ar年代. 地質学論集, **44**, 55–63.
- 大沢 穠・片平忠実・土谷信之 (1986), 清川地域の地質. 地域地質研究報告 (5万分の1地質図幅), 地質調査所, 61 p.
- 大沢 穠・須田芳郎 (1988), 20万分の1地質図幅「新庄及び酒田」. 地質調査所.
- 大沢 穠・角 清愛 (1961), 5万分の1地質図幅「羽前金山」. 地質調査所, 66 p.
- Okada, H. and Bukry, D. (1980), Supplementary modification and introduction of code numbers to the low-latitude coccolith biostratigraphic zonation (Bukry, 1973:1975). *Marine Micropaleontology*, **5**, 321–325.
- Taguchi, K. (1962), Basin architecture and its relation to the petroleum source rocks development in the region bordering Akita and Yamagata Prefectures and adjoining areas, with special reference to the depositional environment of the petroleum source rocks in Japan. *Sci. Rep. Tohoku Univ.*, ser. 3, 7, 293–324.
- 武部晃充・佐藤比呂志・岡田尚武・尾田太良・小笠原憲四郎 (1988), 山形県新庄盆地北縁の新第三系の層序. 地質学会第95年学術大会講演要旨, 142.
- 土谷信之 (1989), 大沢地域の地質. 地域地質研究報告 (5万分の1地質図幅), 地質調査所, 85 p.
- 土谷信之 (1999), 秋田—山形油田地帯の後期中新世—鮮新世火山岩の火山活動と貯留岩の形成. 地質調査所月報, **50**, 17–25.
- Yanagisawa, Y. and Akiba, F. (1998), Refined Neogene diatom biostratigraphy for the northwest Pacific around Japan, with introduction of code numbers for selected biozones. *Jour. Geol. Soc. Japan*, **104**, 395–414.

2011年10月31日原稿受理