

長野県中部中新統別所層に挟在する 穴沢石灰岩の地質年代と堆積環境

加藤 進¹⁾・平松 力²⁾・三輪美智子²⁾・延原尊美³⁾

¹⁾ (株)地球科学総合研究所 〒112-0012 東京都文京区大塚 1-5-21 茗溪ビル

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

³⁾ 静岡大学教育学部地学教室 〒422-8529 静岡市駿河区大谷 836

Geological age and sedimentary environment of the Anazawa Limestone in the Middle Miocene Bessho Formation, Nagano Prefecture, central Japan

Susumu Kato¹⁾, Chikara Hiramatsu²⁾, Michiko Miwa²⁾ and Takami Nobuhara³⁾

¹⁾JGI, Inc.

²⁾JAPEX Research Center

³⁾Geological Institute, Faculty of Education, Shizuoka University

Abstract

We have examined microfossils (foraminifers and calcareous nannofossils) and measured strontium isotope ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$) ratios for boring-core samples from the Anazawa Limestone and siltstone below it. The results are summarized as follows.

1) The planktonic foraminiferal and calcareous nannofossil assemblages are assigned to the PF2 /PF3 of Maiya (1978) and the CN5a of Bukry and Okada (1980) respectively. Their geological age is Middle Miocene and is confined to 13.1 to 13.6Ma. The Sr isotope age (about 15Ma) in micrite is slightly older than it probably due to diagenetic alterations.

2) Although the calcareous nannofossil assemblage shows a mixed composition in which cold-water species are dominant over warm-water species, the benthonic foraminiferal assemblage indicates that the sedimentary environment ranges from upper to upper middle bathyal under warm current.

3) The Bessho Formation distributed in the northern part of Matumoto City (The Tazawa black mudstone member) including the Anazawa Limestone can not be correlated with the Bessho Formation in the type locality, whose planktonic foraminifers are assigned to the PF4.

Key words: geological age, sedimentary environment, Anazawa Limestone, Bessho Formation, planktonic foraminifera, calcareous nannofossil, Sr isotope age, Middle Miocene

1. はじめに

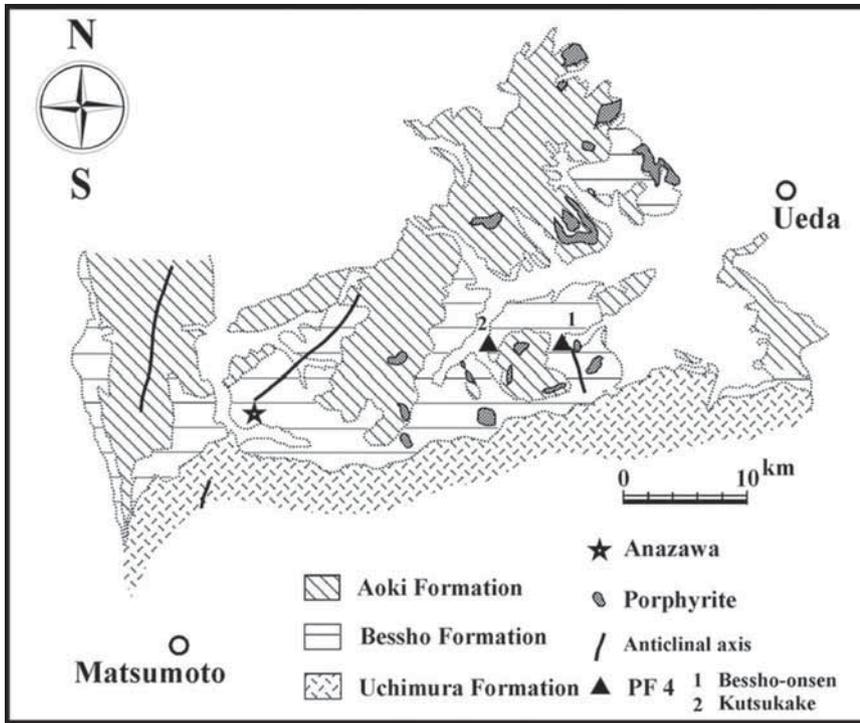
北部フォッサマグナ地域に分布する別所層は、裂開によって生じた深海域に堆積した黒色泥岩を主とする中部中新統と考えられており(原山, 2006), 暖流支配下にあったことを示すタコブネなどの動植物化石を産出する(糸魚川・柳澤, 2002; 川瀬・小池, 2003 など)。別所層は松本市北部では石灰岩体を複数挟在しており, 長径 20 m 以上に及ぶ巨大なものは赤怒田石灰岩, 穴沢石灰岩と呼ばれている。これらの石灰岩はシロウリガイ類を多産し, メタン湧水に伴って形成されたと考えられている(Kanno *et al.*, 1998)。

穴沢石灰岩において, その地下構造を明らかにする目的で

ボーリングコア調査が 2007 年 8 月に実施され, 50.5 m のコアが採取された(延原・大捕, 2009)。そのコアを用いて, 微化石(有孔虫化石と石灰質ナノ化石)の調査を行うと共に, 石灰岩のストロンチウム同位体比($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 比)を測定し, 地質年代と堆積環境について検討したので, 本稿で報告する。

2. 地質概説

松本市北部から上田市にかけての地域には別所層が広く分布している(第 1 図)。別所層は, 本間(1927)により小県郡別所村(現在の松本市別所)付近を模式地とする, 主に灰黒色の泥質頁岩からなる地層に命名された(日本地質学会,



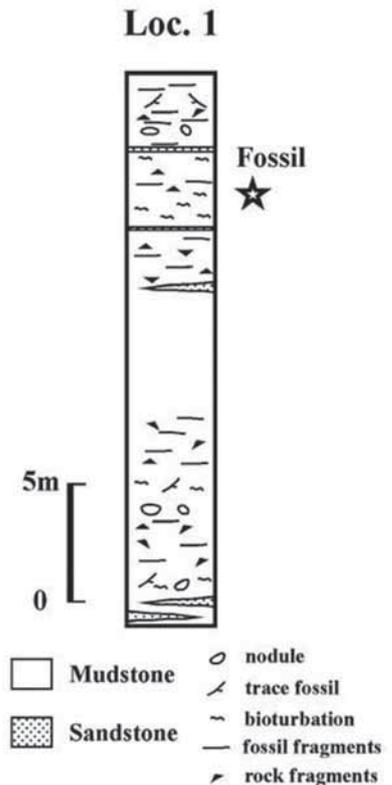
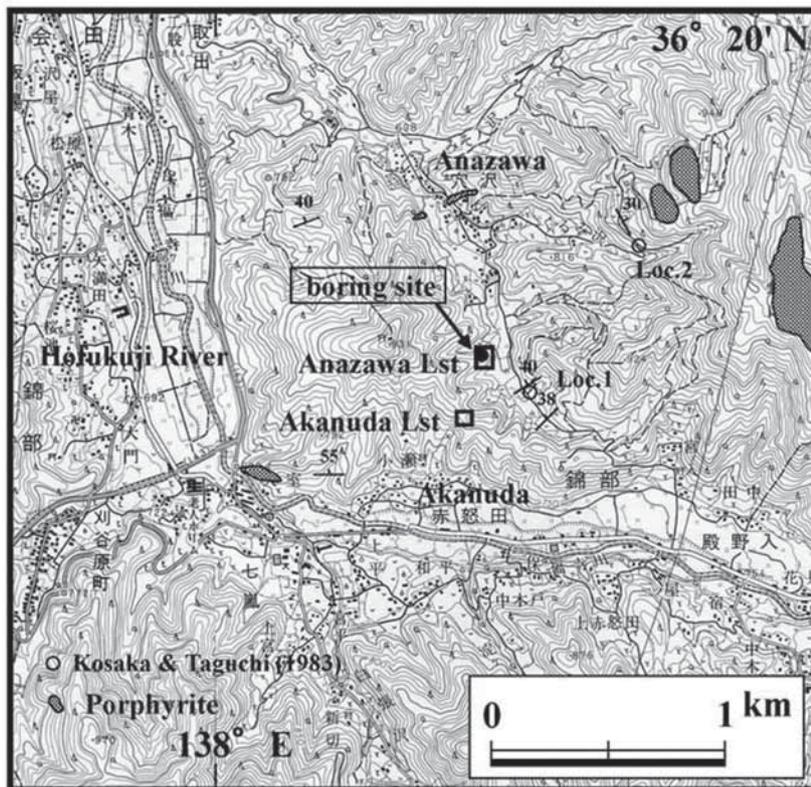
第1図. 松本市北部から上田市にかけての地質概略図.

穴沢石灰岩と PF4 帯の浮遊性有孔虫化石を産出する化石産地の位置を併せて示す.

地質概略図は 1/20 万地質図「高山」(山田ほか, 1989), 「長野」(中野ほか, 1998) および 1/5 万地質図「松本」(原山ほか, 2009) から編集.

Fig. 1. Geological sketch map showing locations of the Anazawa limestone and the fossil localities bearing planktonic foraminiferal assemblage assigned to the PF 4 zone.

The geological sketch map is compiled from 1:200,000 scale geological maps “Takayama” (Yamada *et al.*, 1998) and “Nagano” (Nakano *et al.*, 1989), and 1:50,000 scale geological map “Matsumoto” (Harayama *et al.*, 2009).



第2図. 穴沢石灰岩および小坂・田口 (1983) のタコブネ類化石産地と Loc. 1 における岩相柱状図.

ひん岩の分布は斎藤ほか (1989) に基づく.

国土地理院発行 1/2.5 万地形図「豊科」, 「三才山」を使用.

Fig. 2. Location map of the boring site and two fossil localities of Kosaka and Taguchi (1983) with distribution of porphyrite based on Saito *et al.* (1989), and lithological column in Loc. 1.

1:25,000 scale topographic maps “Toyoshina” and “Misayama”, published by GSI are used.

1954). 別所層は地域ごとに異なった地層名が与えられていることが多い(原山ほか, 2009).

穴沢周辺に分布する別所層は, 田沢付近を模式地とする田沢黒色泥岩層(Tazawa black mudstone member)とも呼称され, 主に黒色泥岩からなり, 最上部は砂質泥岩と砂岩の互層部を経て青木層の白牧砂岩礫岩層に漸移している(田中・関, 1966).

小坂・田口(1983)は別所層の3ヶ所からタコブネ類化石の産出を報告しており, そのうちの1ヶ所(Loc. 1)では柱状図(第2図)と共に詳細な岩相を記述している. 彼らによれば, Loc. 1の層準は別所層中部に位置し, 主に砂質泥岩からなり, 一部で細粒砂岩を挟む泥岩優勢の互層となっている. 互層部の砂質泥岩にはレンズ状石灰質砂岩や石灰質ノジュールを含み, 安山岩・玄武岩の岩片や化石片が密集している部分がある. 周辺にはひん岩の貫入が所々に認められる(第2図).

穴沢集落一帯には石灰岩の露頭が点在しており, これらの露頭群はまとめて「穴沢石灰岩」と呼称されている(延原・大浦, 2009). コア掘削は穴沢石灰岩の中で最大規模(高さ, 幅とも10mを超える)の露頭の基部で行なわれた(第3図). 石灰岩は露頭東縁部では周囲の灰色塊状シルト岩と不規則な境界で接しており, その境界部には石灰質シルト岩がしばしば発達し, 両者の岩相変化は漸移的である(延原・大浦, 2009). 露頭東縁部において石灰岩と隣接するシルト岩の走向・傾斜はN33°E, 55°Nである. コア掘削はこの層理面に対して垂直に, 深度50.5 mまで行った. なお, コア径は86 mmである.

3. 試料

コアの岩相柱状図(延原・大浦, 2009)を簡略化したものを第4図に示す. 穴沢石灰岩は一部でシルト岩や石灰質シルト岩を挟在しているが深度20.8 mまで連続しており, その下位には塊状シルト岩が発達している.

このコアから採取した8試料を用いて, 調査・測定を行った(第4図). それらの試料のコア深度および岩相を第1表に示す. 微化石調査は8試料すべてについて実施し, ストロンチウム同位体比は上位5試料について測定した.

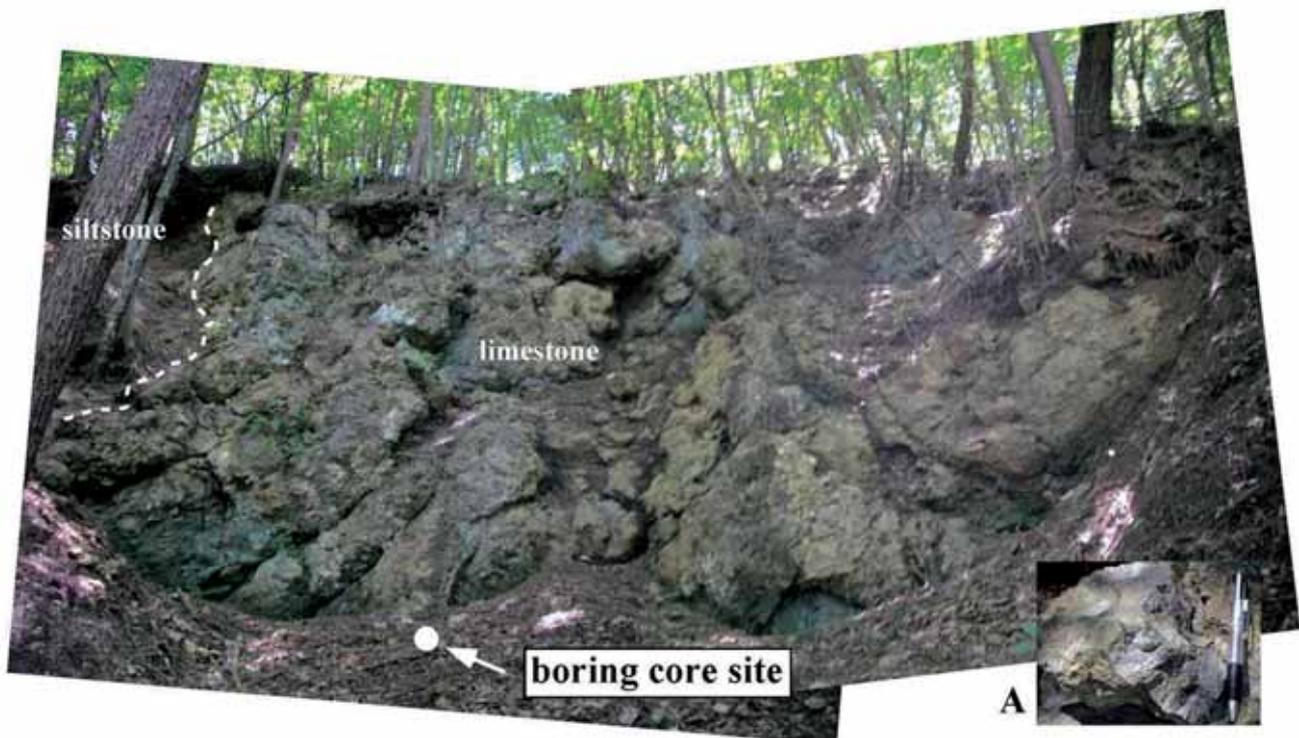
4. 調査・測定方法

4.1 有孔虫化石

試料を乾燥機で十分に乾燥後, 1 cm程度に粉碎し, 更に乾燥後100 gを秤量した. これを無水硫酸ナトリウム法(米谷・井上, 1973)により泥化させた後, 30, 120, 200メッシュの篩を用いて水洗した. 30および120メッシュ上の残渣を乾燥後, その中に含まれる浮遊性有孔虫化石および底生有孔虫化石を調査対象とした. 浮遊性有孔虫化石帯は米谷(1978)を簡略化した新潟県(2000)および三輪ほか(2004)に従った.

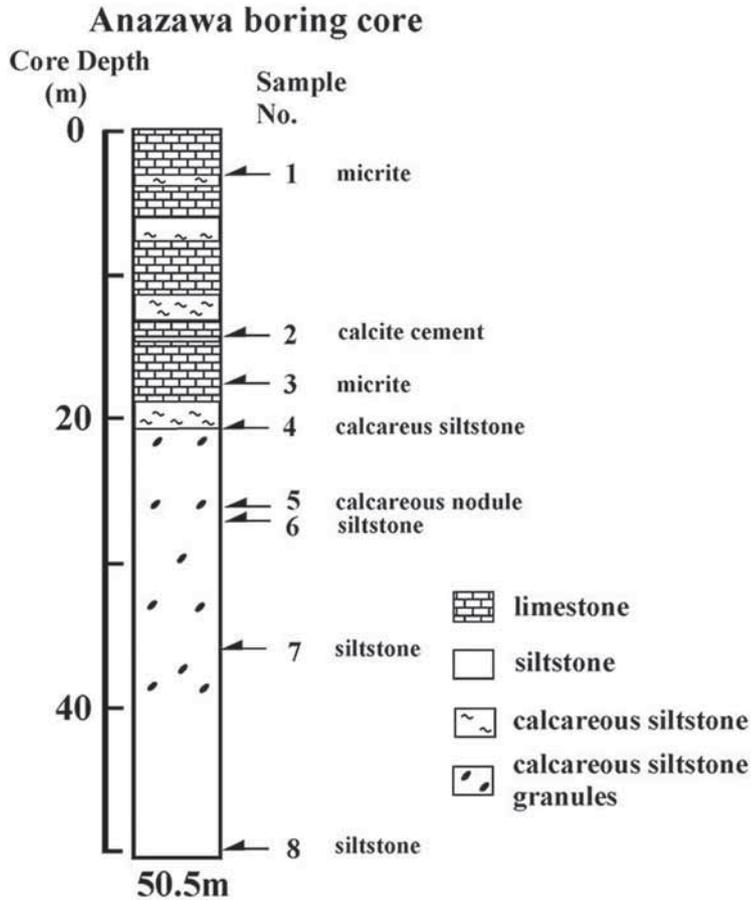
4.2 石灰質ナノ化石

石灰質ナノ化石調査用スライドの作成については高山(1978)に従った. 偏光顕微鏡下, 倍率1600倍の条件で, 単ニコルと直交ニコルの双方でスライドを観察し, 石灰質ナノ化石の検出と同定を行なった. 石灰質ナノ化石帯区分の



第3図. 穴沢石灰岩の露頭写真とシロウリガイ類化石の産状の写真(A).

Fig. 3. Outcrop photograph of the Anazawa Limestone showing boring site. Enlarged photograph (A) show the fossil occurrences of *Adulomya uchimuraensis*.



第4図. コアの岩相柱状図および試料採取層準.

Fig. 4. Lithological column of the boring core samples of the Anazawa Limestone showing the sampling horizons.

定義に関しては Okada and Bukry (1980) に、化石基準面の年代値に関しては斎藤 (1999) にそれぞれ従った。

試料あたりの産出頻度については、スライドの単位面積当たりに検出された個体数に応じて R(rare), F(few), C(common), A(abundant) の4段階で評価した。化石の保存状態については、破損状態、溶解度、再結晶度の程度に基づき P(poor), M(moderate), G(good) の3段階で評価した。

第1表. コア試料一覧と調査・分析項目.

Table 1. List of core samples and analytical items.

Sample No.	Depth (m)	Lithology	Weight (gr)	Microfossil		$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$
				Foram.	Nanno	
1	3.00-3.13	light grey micrite	540	○	○	○
2	14.30-14.40	calcite cement in micrite breccia	180	○	○	○
3	17.65-17.75	grey micrite	420	○	○	○
4	20.73-20.78	light grey calcareous siltstone	240	○	○	○
5	26.00-26.12	grain-type calcareous nodule	500	○	○	○
6	26.90-27.00	blueish grey massive siltstone	860	○	○	
7	36.04-36.10	blueish grey massive siltstone	520	○	○	
8	49.89-50.00	blueish grey massive siltstone	740	○	○	

Foram.: Foraminifera

Nanno: Calcareous Nannofossil

4.3 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 比

石灰岩試料を粉状に粉碎し、超音波で水洗した後、10%の酢酸を用いて溶解させた。Srの抽出には陽イオン交換樹脂を用いた (Hamamoto *et al.*, 2000)。 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 比は新潟大学理学部に設置されている MAT-262 型質量分析計を用いて測定し、測定方法は Miyazaki and Shuto (1998) に従った。

5. 調査・測定結果

5.1 有孔虫化石

スピーシスチャートを第2表に示す。産出個体数は、試料1～試料4では100未満と貧化石であるが、下位の試料5～試料8では200以上である。ほとんどの有孔虫殻は褐色に変色しており、一部に変形を受けている個体も認められ、保存状況はあまり良くない。

浮遊性有孔虫化石は試料2と試料3では検出されなかったが、その他の6試料には5個体～153個体が含まれていた。それらの群集内容はほぼ同じであり、*Globigerina bulloides* もしくは *Globigerina praebulloides* を主体とし、*Globigerinita glutinata* や *Globorotalia quinifalcata* を共産することで特徴づけられる。*Globorotalia quinifalcata* を産出すること、僅かながら *Orbulina suturalis* などの *Orbulina* 属や *Globorotalia peripheroronda* が産出すること、米谷 (1978) の *Globigerinoides sicanus* / *Praeorbulina glomerosa curva* Zone (PF1 帯) を特徴づける *Praeorbulina* 属や *Globigerinodes sicanus* が検出されないことから、*Globorotalia peripheroronda* / *Globorotalia quinifalcata* Zone (PF2 帯) ～ *Globorotalia peripheroacuta* / *Globorotalia miozea* (s.l.) Zone (PF3 帯) に対比される。試料8に認められた *Globorotalia cf. peripheroacuta* が真の種であれば、PF3 帯の可能性はある。

底生有孔虫化石は試料2～試料4では個体数が20未満と少ない。石灰種と砂質種の比率は上位の試料では石灰種に富み、下位の2試料は砂質種が優勢となる (第2表)。試料5～試料8の底生有孔虫化石群集は、*Hopkinsina shinboi*, *Fursenkoina rotundata*, “*Cribrostomoides*” sp. の連産と、

Amphycoryina cf. fukushimaensis, *Chilostomella ovoidea*, *Valvulineria sadonica*, *Globobulimina auriculata*, *Nonionella* sp. を伴うことで特徴づけられる。また、僅かであるが *Ammonia* sp. や *Elphidium advenum* の浅海種を含む。試料1や試料4の底生有孔虫化石群集は個体数が少ないものの、下位の試料と同様な種が産出しており、*Amphycoryina cf. fukushimaensis* と *Furusekoina rotunda* の産出で特徴づけられる。

5.2 石灰質ナノ化石

スピーシスチャートを第3表に示す。調査した8試料のうち、6試料から石灰質ナノ化石が検出された。そのうち、採取深度の深い3試料については石灰質ナノ化石帯の認定が可能であったが、残りの3試料については貧化石であり、化石帯認定はできない。産出頻度は低く、化石個体の溶解および再結晶が進行しており、すべての試料について保存状態は極めて悪い傾向にある。

群集内容は、*Coccolithus pelagicus*, *Reticulofenestra gelida*, *Reticulofenestra haqii*, *Reticulofenestra pseudumbilicus*, *Sphenolithus morphormis* を主体とし、*R. pseudumbilicus* や *R. gelida* の大型個体（長径7 μ m以上）を伴う。

化石帯認定に有効な種である *Cyclicargolithus floridanus* が産出頻度は低いものの深部の3試料（試料3～試料5）で認められる。これに対し、CN3-4帯を特徴付ける *Sphenolithus heteromorphus* はまったく検出されない。また、CN5a帯基底から上位で産出する大型 *Reticulofenestra* 属（Young, 1998）を比較的高い頻度で伴う。したがって、これらの試料は Okada and Bukry (1980) の CN5a帯に認定され、その地質年代は中期中新世後期と考えられる（第5図）。斎藤（1999）によると、*C. floridanus* および *S. heteromorphus* の消滅層準の地質年代はそれぞれ13.1Maと13.6Maであり、今回石灰質ナノ化石帯が認定された3試料ともこの年代区間（13.1～13.6Ma）の地質年代が推定される。

5.3 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 比

測定結果を第4表に示す。2回の標準試料（NBS987）の測定値の平均は0.710220であった。岩相が同じミクライトである試料1と試料3は誤差の範囲で同じ $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 比である。続成過程で生成されたセメント（試料2）やノジュール（試料5）は明らかに低い $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 比を示す。

Sr年代は伊藤（1993）の回帰式およびMcArthur and Howarth (2004)の表から求めた（第4表）。そのために、NBS987=0.710240 および NBS=0.710248 でそれぞれ規格化した。ミクライトのSr年代は約15Ma（14.4～15.2Ma）であり、測定誤差から計算した年代誤差は最大 ± 0.6 Maである。ミクライト以外のSr年代は約18Maと約30Maであり、これまでに推定されている別所層の年代（中期中新世）よりも明らかに古い。

6. 考察

6.1 穴沢石灰岩の地質年代と堆積環境

穴沢石灰岩あるいは直下の泥岩から産出する浮遊性有孔虫

第2表. コア試料の有孔虫化石（スピーシスチャート）.

Table 2. Species chart for foraminifera in the core samples from the Anazawa Limestone and siltstone below it.

Species	Sample No. Top Depth (m)	1	2	3	4	5	6	7	8
		3.00	14.30	17.65	20.73	26.00	26.90	36.04	49.89
	split number	1/1	1/1	1/1	1/1	1/2	1/1	1/1	1/2
Planktonic		14	0	0	5	122	34	104	153
<i>Globigerina angustumbilicata</i> Bolli					1	4	1	2	
<i>Globigerina bulloides</i> d'Orbigny (<i>probulloides</i> Blow)		4			1	44	9	29	44
<i>Globigerina falconensis</i> Blow		1						2	4
<i>Globigerina pseudociperoensis</i> Blow							2	1	
<i>Globigerina woodi</i> Jenkins								1	1
<i>Globigerina</i> sp. indet.		3			2	2	4		
<i>Globigerinella obesa</i> (Bolli)						1			
<i>Globigerinita glutinata</i> (Egger)		2				3	4	10	21
<i>Globigerinita?</i> sp. indet.		1			1				
<i>Globigerinoides immaturus</i> LeRoy								1	
<i>Globigerinoides obliquus</i> Bolli						1		3	6
<i>Globigerinoides ruber</i> (d'Orbigny)						1	1	1	2
<i>Globigerinoides trilobus</i> (Reuss)						2	1		2
<i>Globigerinoides</i> sp. indet.						3			6
<i>Globoquadrina altispira</i> (Cushman & Jarvis)						1			2
<i>Globoquadrina debicensis</i> (Chapman, Parr & Collins)						1			1
<i>Globoquadrina venezuelana</i> (Hedberg)						3	1	2	2
<i>Globoquadrina</i> sp. indet.						2			2
<i>Globorotalia birnagoe</i> Blow						3			
<i>Globorotalia cf. peripherocuta</i> Blow & Banner									1
<i>Globorotalia peripherocuta</i> Blow & Banner						2			1
<i>Globorotalia praecutata</i> Blow						4	1	3	3
<i>Globorotalia quinifalcata</i> Saito & Maiya		1				15	2	3	5
<i>Globorotalia siakensis</i> LeRoy						1			1
<i>Globorotalia</i> sp. indet.		1				12	1	11	5
<i>Neoglobobulimina continua</i> (s) (Blow)									1
<i>Orbulina suturalis</i> Bronnmann						2	1		
<i>Orbulina</i> sp. indet.		1				1			
<i>Sphaeroidinellopsis seminulina</i> (Schwager)								3	3
<i>Sphaeroidinellopsis</i> sp. indet.								1	
Planktonic miscellaneous genus						15	4	31	41
Benthonic calcareous		46	1	2	17	217	178	67	49
<i>Ammonia</i> sp. indet.								3	
<i>Ammonia?</i> sp. indet.						1			
<i>Amphicyornis cf. fukushimaensis</i> (Asano) fragment		22	1	2	4	44	10	9	
<i>Angulogerina cf. lasiocurvis</i> (Asano)						4	4	4	4
<i>Anomalina glabrata</i> (Cushman)								1	
<i>Astronnia</i> sp.									1
<i>Bolivina robusta</i> Brady								2	1
<i>Buccella inusitata</i> Andersen							1		
<i>Buccella?</i> spp.							1	3	2
<i>Bulimina striata</i> d'Orbigny						5			2
<i>Bulimina cf. striata</i> d'Orbigny					1	2			
<i>Bulimina</i> sp. indet.									1
<i>Chilostomella ovoidea</i> Reuss						47	8		
<i>Chilostomella?</i> sp. indet.						42			
<i>Cibicides malloryi</i> Matsunaga							2		
<i>Cibicides pseudoungerianus</i> (Cushman)		1						1	
<i>Cibicides</i> spp.						2	4	3	3
<i>Cribronionia?</i> spp.						2			
<i>Dentalina filiformis</i> (d'Orbigny)						3			
<i>Elphidium advenum</i> (Cushman)								1	
<i>Fissurina</i> spp.						1	1		
<i>Furusekoina rotundata</i> (Parr)		7			7	37	4	1	12
<i>Furusekoina cf. complanata</i> (Egger)						1			
<i>Globobulimina auriculata</i> (Bailey)		4				3	13		4
<i>Globobulimina cf. auriculata</i> (Bailey)		2							
<i>Globobulimina</i> sp. indet.		2							
<i>Gyroidina nipponica</i> (Ishizaki)							1		
<i>Gyroidina cf. orbicularis</i> d'Orbigny						1			
<i>Gyroidina cf. soldanii</i> (d'Orbigny)		1						1	2
<i>Globocassidulina subglobosa</i> (Brady)							1		
<i>Hanzawaia nipponica</i> Asano									2
<i>Hopkinsina morimachiensis</i> Matsunaga								1	
<i>Hopkinsina shinboi</i> Matsunaga						7	21	17	5
<i>Lagera apiolepta</i> Loeblich and Tappan									1
<i>Leontulina</i> spp.							2	1	
<i>Melonis pomplinooides</i> (Fichtel and Moll)						7	36	3	
<i>Melonis</i> sp. indet.		1							
<i>Melonis?</i> sp. indet.						1		1	
<i>Noddsaria cf. vertebralis</i> (Batsch)		5					1		
<i>Nonionella globosa</i> Ishiwada						1	1	1	
<i>Nonionella stella</i> Cushman and Moyer						1	1	2	1
<i>Nonionella</i> sp. indet.		1				1	1		
<i>Nonionellina labradorica</i> (Dawson)						1		1	
<i>Nonionellina</i> sp. indet.						1			
<i>Oridorsalis umbonatus</i> (Reuss)							7	1	
<i>Planularia plumulata</i> (Galloway and Wissler)									1
<i>Pullenia bulloides</i> (d'Orbigny)							2		
<i>Pullenia cf. subcarinata</i> (d'Orbigny)							2		
<i>Pullenia</i> sp. indet.								1	
<i>Quinqueloculina</i> sp. indet.						2		2	
<i>Silostomella</i> sp. indet.							1		
<i>Valvulineria sadonica</i> Asano						2	7	39	6
<i>Uvulineria?</i> sp. indet.								2	
Calcareous miscellaneous						2	6		9
Benthonic arenaceous		2			2	1	37	107	50
<i>Bathysiphon</i> sp. (fragment)		2					8	44	5
" <i>Cribrostomoides</i> " <i>eraximargo</i> (Norman)									3
" <i>Cribrostomoides</i> " spp.						2	1	23	43
<i>Cyclammina cf. pusilla</i> Brady									1
<i>Goesella?</i> sp. indet.									1
<i>Plectina</i> sp. indet.							4	20	1
<i>Mortiniella communis</i> (d'Orbigny)							1		1
<i>Trochammina</i> sp.									2
Arenaceous miscellaneous								1	1
Total Foraminifera		62	1	2	24	340	249	278	252
Total Benthonic		48	1	2	19	218	215	174	99
Planktonic/(Planktonic + Benthonic) (%)		23			21	36	14	37	61
Arenaceous/Total Benthonic (%)		4			11	0.5	17	61	51

化石群集はPF2～PF3帯に対比される可能性が高く、石灰質ナノ化石群集もCN5a帯に対比されることから、両者は整合的であり、その地質年代は中中新世である(第5図)。しかしながら、ミクライトのSr年代は約15Maであり、誤差を考慮しても石灰質ナノ化石から推定される年代(13.1～13.6Ma)よりも明らかに古い。ミクライト以外の試料のSr年代はさらに古いことを考慮すると、ミクライトの $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 比は変質(続成)の影響を少し受けていると推測される。

底生有孔虫化石群集では、*Amphycoryna* cf. *fukushimaensis*, *Chilostomella ovoidea*, *Furusenkoina rotundata*, *Hopkinsina shinboi*, *Melonis pompilioides*, *Valvulineria sadonica*の石灰質種と*Bathysiphon* sp. や“*Cribrostomoides*” spp.の砂質種が比較

的多産している。これらの種の上限深度帯(長谷川ほか, 1989)や、深海種とされる*Spirosigmoinella compressa*や*Uvigerina proboscidea*が産出していないことから、上部漸深海(upper bathyal)～中部漸深海(middle bathyal)上部の堆積環境が推定される。試料1や試料5で多産している*Amphycoryna*属の現世での生息水深は仙台沖では表層水の下部(150～300m:上部漸深海)であり(Inoue, 1989)、上位に向かって浅海化の傾向が読み取れる。

的場・中川(2009)は、上越沖のメタン湧出地点ではメタンおよび硫化水素の存在と関連する表層の間隙水中の貧酸素状態により有孔虫の生息が不適切な環境となり、有孔虫生体が著しく少なく、石灰質有孔虫の割合が高く、浮遊性有孔虫が卓越することを指摘している。穴沢石灰岩(試料1～試料

第3表. コア試料の石灰質ナノ化石(スピーシスチャート)。

Table 3. Species chart for calcareous nannofossils in the core samples from the Anazawa Limestone and siltstone below it.

Species	Sample No.	1	2	3	4	5	6	7	8
	Top Depth (m)	3.00	14.30	17.65	20.73	26.00	26.90	36.04	49.89
	Nannofossil Zone (CN-)	not zoned					5a	5a	5a
ABUNDANCE		R	B	B	R	R	F	F	F
PRESERVATION		P			P	P	P	P	P
<i>Calcidiscus leptoporus</i> (Murray & Blackman) Loeblich & Tappai									1
<i>C. macintyreii</i> (Bukry & Bramlette) Loeblich & Tappai							1		1
<i>Coccolithus pelagicus</i> (Wallich) Schille							31	14	19
<i>Cyclicargolithus floridanus</i> (Roth & Hay) Bukry							1	1	1
<i>Dictyococcites antarcticus</i> Haq		2			2	1	6	11	7
<i>D. productus</i> (Kamptner) Backman							1	5	6
<i>Discoaster deflandrei</i> Bramlette & Riede							1		
<i>D. variabilis</i> Martini & Bramlette							3	1	
<i>D.</i> spp.							2	1	
<i>Helicosphaera carteri</i> (Wallich) Kamptner							1	2	
<i>Reticulofenestra gelida</i> (Geitzenauer) Backman							21	21	23
<i>R. gelida</i> (Geitzenauer) Backman (>7.0 μm)						1	17	10	8
<i>R. haqii</i> Backman						1	18	18	22
<i>R. minuta</i> Roth							4	5	6
<i>R. minutula</i> (Gartner) Haq & Berggren							1	5	4
<i>R. pseudumbilicus</i> (Gartner) Gartner							6	4	2
<i>R. pseudumbilicus</i> (Gartner) Gartner (>7.0 μm)						1	12	4	4
<i>Sphenolithus compactus</i> Backman								6	5
<i>S. moriformis</i> (Bronnimann & Stradner) Bramlette & Wilcoxon							14	13	3
Miscellaneous elliptic paolitchi							1	2	
Total nannofossils counted		2	0	0	2	4	141	123	112

Abundance

A: Abundant, C: Common, F: Few, R: Rare, B: Barren

Preservation

G: Good, M: Moderate, P: Poor

第4表. 穴沢石灰岩コア試料の $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 比とSr年代。

Table 4. $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ratios and calculate Sr isotope ages for the core samples from the Anazawa Limestone.

No.	Depth (m)	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$	2 σ	Normalized $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$	Sr age* (Ma)	Error (Ma)	Normalized $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$	Sr age** (Ma)	Error (Ma)
1	3.00	0.708750	0.000013	0.708770	14.4	-0.6 +0.6	0.708778	15.1	-0.6 +0.3
2	14.30	0.707927	0.000014	0.707947	33.1		0.707955	30.8	
3	17.65	0.708743	0.000013	0.708763	14.7	-0.5 +0.6	0.708771	15.2	-0.4 +0.3
4	20.73	0.708589	0.000013	0.708609	18.0	-0.3 +0.2	0.708617	17.7	-0.3 +0.1
5	26.00	0.707977	0.000014	0.707997	31.5		0.708005	29.4	

*伊藤(1993) Ave. NBS987=0.710220

NBS 987 =0.710240

NBS 987 =0.710248

** McArthur and Howarth (2004)

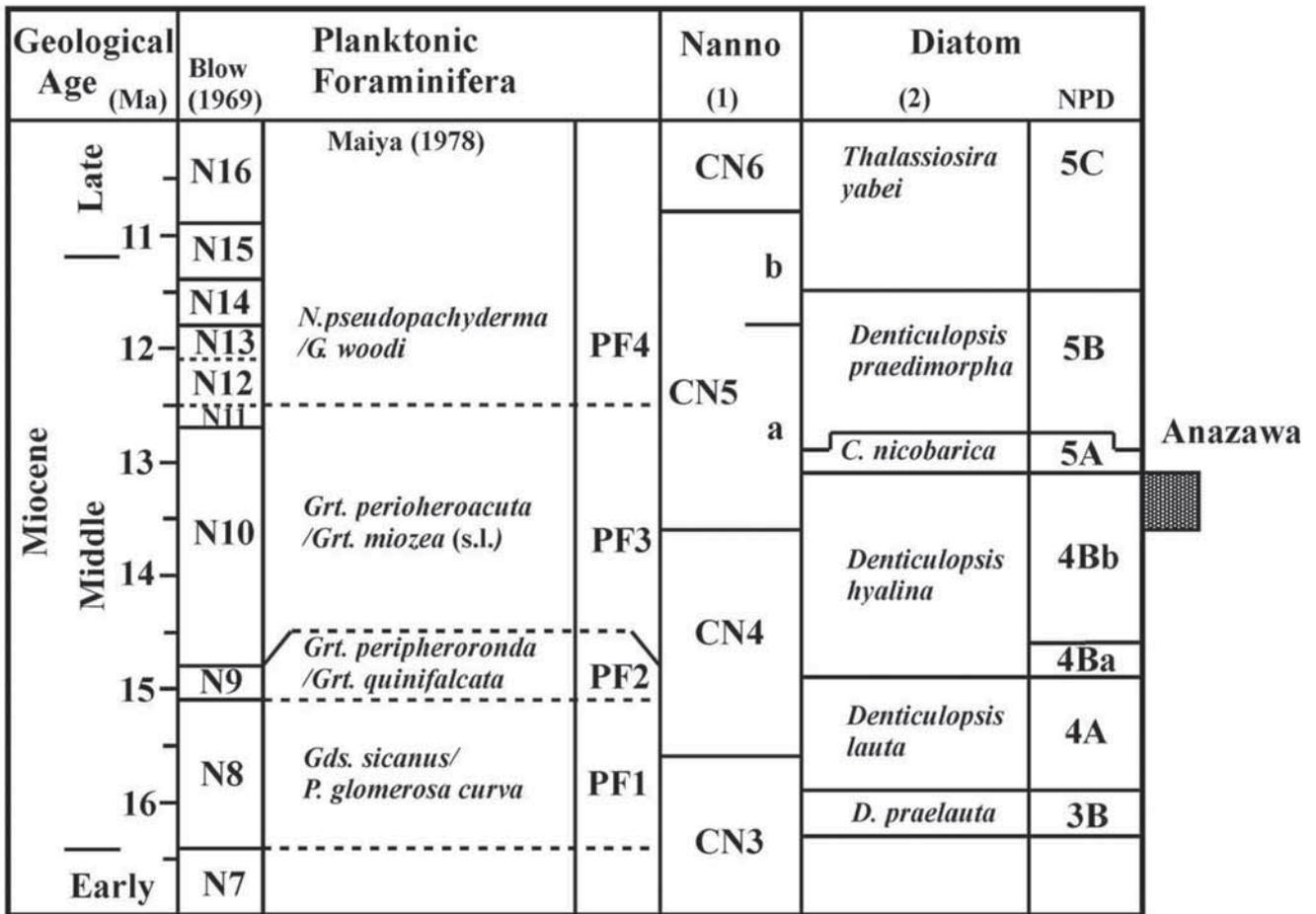
4) では個体数は少なく、試料1と試料4では石灰質種が卓越しているが、浮遊性種は2割程度を占めるだけである。また、下北半島沖のコアで観察された底生有孔虫群集の中で、*Fursenkoina rotundata* は低酸素種群に、*Globobulimina* 属や *Nonionella stella* は貧酸素種群に分類されている(芝原ほか, 2006)が、試料1と試料4では *Fursenkoina rotundata* が比較的多く産出するのみである。秋田県矢島地域の女川層で採取されたシロウリガイ類化石(*Calyptogena* sp.)が密集する転石の有孔虫化石群集は *Chilostomella* 属や *Fursenkoina* 属が著しく多産し、種の多様性は極めて低い特徴を示していた(辻ほか, 1991)。北里(1996)は冷湧水に伴う底生有孔虫の特徴として、一般に分布する有孔虫群の中の幾つかの種が卓越していることと種数が少ないことを挙げている。試料1の有孔虫化石群集は比較的高い多様性を持っており、特にメタン湧出を示唆するような証拠は認められない。

別所層からはタコブネ類(Argonautidae)の化石が報告されている(小坂・田口, 1983; Noda *et al.*, 1986; 糸魚川・柳澤, 2002など)。産出層準は穴沢石灰岩とほぼ同層準の別所層中部(小坂・田口, 1983; Noda *et al.*, 1986)あるいは上部(糸魚川・柳澤, 2002)である。北陸地域におけるタコブネ類化石の産出地点の珪藻化石が柳沢(1990)により検討され

ており、少なくとも2地点はAkiba(1986)の *Denticulopsis hyaline* Zone (NPD 4B)であり、この年代は穴沢石灰岩の年代と一致している(第5図)。この層準は、米谷・井上(1981)が Planktonic Foram Sharp Line (PFSS) と呼んだ、暖海性の *Globorotalia* 属などの浮遊性種が完全に消滅し、*Neogloboquadrina pseudopachyderma*, *Globigerina bulloides*, *G. woodi* などの単調な寒流系浮遊性種が卓越する層準よりも下位に位置づけられる。石灰質ナンノ化石群集は、寒流系種である *Reticulofenestra pseudoumbilicus* や *R. gelida* の産出頻度が高いことで特徴でられるが、暖流系種である *Discoaster* 属や *Sphenolithus* 属の産出も認められることから、寒流系種優位な寒暖混合群集である。

6.2 別所層の地質年代

松本市北部に分布する別所層(田沢黒色泥岩層)や下位の内村層からは浮遊性有孔虫化石の産出が報告されている(渡辺, 1986; 小坂ほか, 1989; 生路・花方, 1997; Kosaka *et al.*, 1998)。これらの報告を整理したのが第6図である。すべての地点が保福寺川よりも南西の地域に位置しており、穴沢石灰岩の浮遊性有孔虫化石の産出は保福寺川の北東地域からは初めての報告である。また、別所層からの石灰質ナンノ化

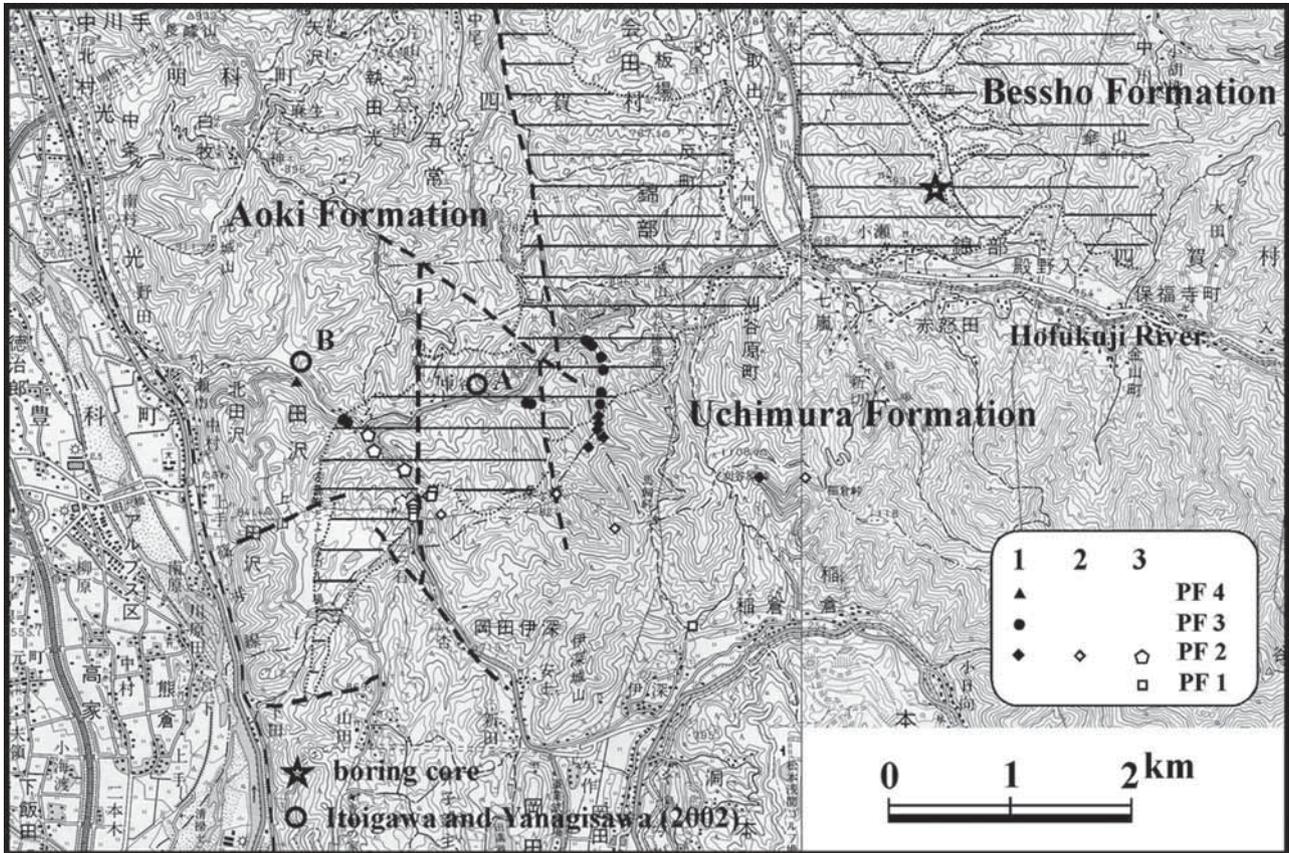


第5図. 穴沢石灰岩の浮遊性有孔虫化石帯と石灰質ナンノ化石帯および新潟県(2000)に基づく年代。

(1): Okada and Bukry (1980), (2): Akiba (1986), Yanagisawa and Akiba (1998).

Fig. 5. Planktonic foraminiferal and calcareous nannofossil zones of the Anazawa Limestone, and its geological age based on Niigata Prefecture (2000).

(1): Okada and Bukry (1980), (2): Akiba (1986), Yanagisawa and Akiba (1998).



第6図. 松本市北部における浮遊性有孔虫化石の産出状況.

1: 生路・花方 (1997), 2: 小坂ほか (1989), 3: Kosaka et al. (1998)

国土地理院発行 1/5万地形図「松本」、「和田」を使用.

Fig. 6. Occurrence of planktonic foraminifera in the northern part of Matsumoto city.

1: Ikuji and Hanagata (1997), 2: Kosaka et al. (1989), 3: Kosaka et al. (1998)

1:50,000 scale topographical maps "Matsumoto" and "Wada", published by GSI are used.

石の報告も最初である。今回の結果は渡辺 (1986), 小坂ほか (1989), 小坂ほか (1992), 生路・花方 (1997) と調和しているが, 別所層下部を PF1 帯, 中部を PF2 帯に対比している Kosaka et al. (1998) とは矛盾している。原山ほか (2009) に報告されている別所層の底生有孔虫化石群集は, *Ammonia*, *Amphicoryna*, *Buccella*, *Elphidium*, *Hanzawaia*, *Quinqueloculina* など典型的な浅海種や, *Bulimina*, *Cassidulina*, *Cibicides*, *Globobulimina* のような浅海～上部漸深海の種, さらに *Stilostomella* や *Uvigerina* のような上部漸深海～中部漸深海上部の種も含んでいる。内村層最上部の刈谷原砂岩泥岩部層からも PF1 帯の浮遊性有孔虫化石が産出している (Kosaka et al., 1998) が, それらの底生有孔虫化石群集は別所層のそれと類似しており, 山田ほか (2004) は浅海域からの再堆積による浅海種の混入を考えている。今回の試料にも僅かではあるが浅海種が認められ, 生路・花方 (1997) の試料にも浅海種が認められている。また, 渡辺 (1986), 小坂ほか (1989), 生路・花方 (1997) では, かなりの地点で浮遊性有孔虫を検出しているが (第6図), PF1 帯を特徴づける *Globigerinoides sicanus* や *Praeorbulina* 属を認めていない。さらに, *Orbulina* 属と *Praeorbulina* 属が同じ試料から産出している場合 (例えば, Kosaka et al. (1998) の B-OK06 や Noda et al. (1986)) がある。以上のことから, Kosaka et al. (1998) が報告している

PF1 帯を特徴付ける浮遊性有孔虫化石は二次化石である可能性があり, 松本市北部に分布する別所層 (田沢黒色泥岩層) のほとんどは PF3 帯に対比されると推定される。

一方, 模式地である別所温泉付近に分布する別所層からは *Neogloboquadrina pseudopachyderma*, *Globigerina bulloides*, *G. woodi* などの単調な寒流系浮遊性種が卓越する *Neogloboquadrina pseudopachyderma* / *Globigerina woodi* Zone (PF4 帯) に対比される浮遊性有孔虫化石が産出している (渡辺, 1986; 生路・花方, 1997; 第1図)。同様な浮遊性有孔虫群集は沓掛温泉の別所層や松本市北部に分布する北山砂質泥岩砂岩互層 (田中・関, 1966: 青木層の最下部) からも報告されている (生路・花方, 1997)。このことは, これまで岩相対比されていた模式地の別所層と松本市北部に分布する田沢黒色泥岩層は年代的に異なる層準であることを示す (第7図)。小坂ほか (1982) や渡辺 (1986) が指摘しているように, 別所層と下位の内村層は珩岩類の貫入が発達する三才山峠一保福寺峠付近を境に岩相的に東西に区分されるので, 岩相対比と年代の矛盾を解決するためには, これらの地域を種々の微化石を用いて詳細に検討することが必要である。

7. まとめ

穴沢石灰岩で採取されたコアを用いて微化石（有孔虫化石および石灰質ナノ化石）を調査し、石灰岩の $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 比を測定した。結果は次のように要約される。

1) 浮遊性有孔虫化石群集は PF2 ~ PF3 帯に、石灰質ナノ化石群集は CN5a 亜帯に対比され、地質年代は中期中新世である。石灰質ナノ化石から推定される年代は 13.1 ~ 13.6Ma であり、ミクライトの $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 比から計算した Sr 年代は約 15Ma とその年代よりも若干古く、変質の影響を受けている可能性がある。

穴沢石灰岩とほぼ同層準からタコブネ類化石が産出しているが（小坂・田口, 1983）、穴沢石灰岩の年代は北陸産タコブネ類化石の産出層準の珪藻化石年代（柳沢, 1990）と一致している。

2) 底生有孔虫化石群集から推定される堆積環境は上部漸深海~中部漸深海上部であり、上方に向かって浅海化の傾向が読み取れる。暖海性浮遊種の *Globorotalia* 属や *Orbulina* 属が産出することから、暖流の影響下にあったと推定される。一方、石灰質ナノ化石群集は寒流系種が優位な寒暖混合群集

である。

3) 今回の結果は、松本市北部に分布する田沢黒色泥岩層の浮遊性有孔虫化石群集は PF3 帯に対比されるとする生路・花方 (1997) の見解を支持している。一方、模式地の別所層の浮遊性有孔虫化石群集は PF4 帯に対比され（渡辺, 1986; 生路・花方, 1997）、北山砂質泥岩砂岩互層からも PF4 帯に対比される浮遊性有孔虫化石群集が報告されている（生路・花方, 1997）。したがって、生路・花方 (1997) が指摘しているように、田沢黒色泥岩層は模式地の別所層には対比できない。

謝辞

資料の公表を許可された石油資源開発株式会社に深謝します。別所層の有孔虫化石について、いろいろご教授頂いた同社元社員渡辺其久男氏、井上洋子博士および地表試料の調査結果を引用させて頂いた同社生路幸生氏に厚くお礼申し上げます。また、 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 比の測定をお願いした新潟大学周藤賢治名誉教授に感謝致します。

コア掘削にあたっては、坪田静雄氏および坪田順一氏を

Geological Age (Ma)	Blow (1969)	Planktonic Foraminifera		Norther part of Matsumoto	Type locality				
Miocene	Late	N16	Maiya (1978) <i>N.pseudopachyderma</i> <i>/G. woodi</i>	PF4	Aoki Formation (Kitayama member)				
		11				N15			
	12	N14							
		N13							
		N12							
		N11							
	Middle	13				<i>Grt. perioheroacuta</i> <i>/Grt. miozea (s.l.)</i>	PF3	Tazawa black shale	
		N10							
		15	N9	<i>Grt. peripheroronda</i> <i>/Grt. quinifalcata</i>	PF2				Uchimura Formation
			N8						
16	<i>Gds. sicanus</i> <i>P. glomerosa curva</i>	PF1							
Early				N7					

第7図. 浮遊性有孔虫化石に基づく対比.

Fig. 7. Correlation based on planktonic foraminifera.

じめ穴沢地区住民の方々には山林立ち入り等の作業においてご理解を賜った。コア掘削作業に関しては、株式会社明治コンサルタントの谷口正人氏および赤松 太氏（現アイ・エス・ソリューション株式会社）にお世話になった。現地での調査にあたっては、信州新町化石博物館の小池伯一氏および成田健氏に、室内におけるコア資料の整理やデータベース化については、静岡大学教育学部大捕由貴氏にお世話になった。なお、著者の一人延原は本研究を進めるに当たり、日本学術振興会科学研究費補助金基盤（B）（課題番号18340165：白亜紀以降に起きた化学合成群集の進化の解明－メタン湧水場の地下構造に照らして）を使用した。記して感謝の意を表する。

引用文献

- Akiba, F. (1986), Middle Miocene to Quaternary diatom biostratigraphy for Deep Sea Drilling Project Leg 87 in the Nankai Trough and Japan Trench, and modified Lower Miocene through Quaternary diatom zones for middle-to-high latitudes of the North Pacific. *Init. Repts. DSDP*, **87**, 393–481.
- Blow, W. H. (1969), Late Middle Eocene to Recent planktonic foraminiferal biostratigraphy. *Proc. First Intern. Conf. Plankt. Microfossils*, Geneva 1967, Leiden, **1**, 199–421.
- Hamamoto, T., Yuhara, M., Miyazaki, T., Fukase, M., Kondo, H., Ishioka, J., Kagami, H. and Shuto, K. (2000), Rb, Sr, Sm and Nd separation from rocks, minerals and natural water using ion-exchange resin. *Sci. Rep., Niigata Univ. Ser. E (Geology)*, **15**, 23–34.
- 原山 智(2006), 北部フォッサマグナ～飛騨山脈 アジア大陸の裂開と島弧テクトニクス. 日本地方地質誌4, 中部地方(日本地質学会編), 朝倉書店, 東京, 316–317.
- 原山 智・大塚 勉・酒井潤一・小坂共栄・駒澤正夫(2009), 松本地域の地質. 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, 63 p.
- 長谷川四郎・秋元和實・北里 洋・的場保望(1989), 底生有孔虫に基づく日本の後期新生代古水深指標. 地質学論集, **32**, 241–253.
- 本間不二男(1927), 長野県中部地方の地質構造(概報). 地質雑, **34**(403), 132–153.
- 生路幸生・花方 聡(1997), 北部フォッサマグナ地域の第三系青木層・別所層・内村層の有孔虫化石層序. 日本古生物学会第146例会(豊橋)講演予稿集, 55.
- 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. 地質雑, **99**(9), 739–753.
- 糸魚川淳二・柳澤忠雄(2002), 長野県豊科町中谷・大口沢の中新世頭足類化石. 豊橋市自然史博研報, **12**, 29–35.
- Kanno, S., Tanaka, K., Koike, H., Narita, K. And Endo, T. (1998), *Adulomya uchimuraensis* Kuroda (Bivalvia) from the Miocene Bessho Formation in Shiga-mura, Nagano Prefecture, Japan. *Res. Rep. Shinshushinmachi Fos. Mus.*, **1**, 17–28.
- 川瀬弘基・小池伯一(2003), 長野県南安曇郡豊科町中谷に分布する中新統別所層最上部の大型植物化石(第三報). 信州新町化石博研報, **6**, 1–6.
- 北里 洋(1996), 冷湧水に伴う底生有孔虫－特徴と適応機構についての考察－. 化石, **60**, 48–52.
- 小坂共栄・備前信之・島本敏充・武田尚幸・村松俊夫(1982), 北部フォッサ・マグナにおける西黒沢期前後の堆積作用と構造運動. 日本地質学会討論会「西黒沢期に関する諸問題」資料集, 45–50.
- 小坂共栄・久保田正史・大塚 繁・備前信之(1989), 北部フォッサマグナの新第三系内村層から産出した浮遊性有孔虫化石. 信州大学理学部紀要, **24**(2), 27–34.
- 小坂共栄・緑 鉄洋・保柳康一・久保田正史・安東靖浩(1992), 北部フォッサマグナ後期新生代層の層序と古地理の変遷. 地質学論集, **37**, 71–83.
- Kosaka, T., Nakayama, C., Koshimizu, S., Shiba, M., Bizen, N. and Isomura, T. (1998), The geological age of the middle Miocene formations in the Northern Fossa Magna region, central Japan – The foraminiferal and fission-track ages of the Uchimura and Bessho Formations –. *Earth Science (Chikyu Kagaku)*, **52**(6), 502–507.
- 小坂共栄・田口泰雄(1983), 北部フォッサ・マグナ地域, 別所層からのArgonautinae化石の発見とその地史的意義. 地球科学, **37**(4), 187–193.
- 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. 「日本の新生代地質」(池辺展生教授記念論文集), 35–60.
- 米谷盛壽郎・井上洋子(1973), 微化石研究のための効果的岩石処理法について. 化石, **25/26**, 87–96.
- 米谷盛壽郎・井上洋子(1981), 新潟堆積盆地における中新統下部の有孔虫化石群集と古地理の変遷. 化石, **30**, 73–78.
- 的場保望・中川 洋(2009), 上越沖メタン湧出地域の現世底生有孔虫群集. 地学雑, **118**(1), 136–155.
- McArthur, J. M. and Howarth, R. J. (2004), Strontium isotope stratigraphy. In Gradstein, F. M., Ogg, J. G. and Smith, A. G. (eds.), *A Geologic Times Scale 2004*, 96–105.
- 三輪美智子・山田 桂・入月俊明・田中裕一郎・庄司真弓・渡辺真人・柳沢幸夫. (2004), 新潟県胎内川における鮮新統鱈江層の浮遊性有孔虫化石層序－とくにNo. 3 *Globorotalia inflata* bedの下限について－. 石技誌, **69**(3), 272–283.
- Miyazaki, T. and Shuto, K. (1998), Sr and Nd isotope of twelve GSJ rock reference samples using MAT 262 mass spectrometer. *Geochem. Jour.*, **32**, 345–350.
- 中野 俊・竹内圭史・加藤碩一・酒井 彰・濱崎聡志・広島俊男・駒澤正夫(1998), 20万分の1地質図幅「長野」. 地質調査所. 日本地質学会編(1954), 地層名辞典 日本新生界ノ部 A-1. 73–74.
- 新潟県 (2000), 新潟県地質図説明書. 200 p.
- 延原尊美・大捕由貴 (2009), 長野県の中部中新統下部別所層に挟在するメタン湧水性石灰岩(穴沢石灰岩)のボーリングコア試料の岩相記載. 静岡大地球科学研報, **36**, 9–26.
- Noda, H., Ogasawara, K. and Nomura, R. (1986), Systematic and paleobiogeographic studies on the Japanese Miocene argonautid “*Nautilus izumoensis*”. *Sci. Rep. Inst. Geosci. Univ. Tsukuba, Sec. B*, **7**, 15–42.
- Okada, H. & 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.
- 斎藤常正 (1999), 最近の古地磁気層序の改訂と日本の標準微化石層序. 石技誌, **64**(1), 2–15.
- 斎藤 豊・熊井久雄・小坂共栄・赤羽貞彦(1989), 犀川砂防事務所管内の地形・地質及び地質図. 長野県犀川砂防事務所・長野県治水砂防協会犀川支部, 43 p.
- 芝原暁彦・荒山恵里・大串健一・青木かおり・伊藤 孝(2006), 下北半島沖の海底コアにおける底生有孔虫群集の高解像

- 度解析から判明した融水期における100年～200年周期の貧酸素化現象. 地質学雑, **112**(2), 166-169.
- 高山俊昭(1978), 石灰質ナンノプランクトン. 高柳洋吉(編), 微化石研究マニュアル, 朝倉書店, 東京, 51-59.
- 田中邦雄・関 全寿(1966), 松本市北方の第三紀層. 信州大学教育学部研究論集, **18**, 139-163.
- 辻 隆司・増井康裕・早稲田 周・井上洋子・栗田裕司・甲斐邦男(1991), 秋田県矢島町周辺の女川層の岩相区分と堆積環境, およびその根源岩特性. 石油資源開発(株)技術研究所研報, **7**, 45-99.
- 渡辺其久男(1986), 内村-別所層の有孔虫化石の産状について. 日本地質学会第93年学術大会講演要旨, 329.
- 山田伊久子・備前信之・小坂共栄・磯村智香子(2004), 北部フォッサマグナ、下部～中部中新統内村層の地質学的研究. 地球科学, **58**(1), 1-16.
- 山田直利・野沢 保・原山 智・滝沢文教・加藤碩一・広島俊男・駒澤正夫(1989), 20万分の1地質図「高山」. 地質調査所.
- 柳沢幸夫(1990), 珪藻化石からみた北陸産タコブネ類化石の地質時代. 地調月報, **41**(3), 115-127.
- Yanagisawa, Y. and Akiba, F. (1998), Refined Neogene diatom biostratigraphy for the northwest Pacific around Japan, with an introduction of codenumbers for selected biozones. *Jour. Geol. Soc. Japan*, **104**(6), 395-414.
- Young, J. (1998), Neogene. In Bown P. R. (ed.), *British Micropaleontological Society Publications Series, Calcareous Nannofossil Biostratigraphy*, The University Press, Cambridge. 225-282.

2010年9月1日原稿受理

Plate 1

Selected planktonic and benthic foraminiferal species from the Anazawa boring core samples.

Figs. 1–3. *Globorotalia quinifalcata* Saito and Maiya, core sample of 26.00–26.12 m depth.

Figs. 4–6. *Globigerina praebulloides* Blow, core sample of 26.90–27.00 m depth.

Figs. 7–9. *Globorotalia* cf. *peripheroacuta* Blow and Banner, core sample of 49.89–50.00 m depth.

Fig. 10. *Orbulina suturalis* Bronniman, core sample of 26.00–26.12 m depth.

Figs. 11–13. *Fursenkoina rotundata* (Parr), core sample of 26.00–26.12 m depth.

Figs. 14–16. *Hopkinsina shinboi* Matsunaga, core sample of 26.00–26.12 m depth.

Figs. 17–18. *Chilostomella ovoidea* Reuss, core sample of 26.00–26.12 m depth.

Scale bar=200 μ m.

Plate 1

