山形県余目油田における放散虫および渦鞭毛藻化石層序

加藤 進¹⁾•小布施明子²⁾

¹⁾ ㈱地球科学総合研究所 〒 112-0012 東京都文京区大塚 1-5-21 ²⁾ 石油資源開発㈱技術本部技術研究所 〒 261-0025 千葉市美浜区浜田 1-2-1

Radiolarian and dinoflagellate cyst biostratigraphy of the Amarume oil field, Yamagata Prefecture, Japan

Susumu Kato¹⁾ and Akiko Obuse²⁾

¹⁾JGI, Inc.

²⁾JAPEX Technical Division Research Center

Abstract

Radiolarian fossils and dinoflagellate cysts in cuttings and cores from the TRC-AMR 1 and SK-74D wells, Amarume oil field, Yamagata Prefecture, were examined in order to correlate old and new radiolarian zones, and to establish the stratigraphy of the field.

Four Late Miocene to Pliocene radiolarian zones, as proposed by Motoyama *et al.* (2004), are recognized in the two wells. These zones (i.e., the *Lychnocanoma magnacornuta* Zone, the *Lipmanella redondoensis* Zone, the *Lithelius barbatus* Zone, and the *Spongurus pylomaticus* Zone in ascending order) are correlated with the *Cyrtocapsella japonica* Zone, the *Stichocorys delmontensis* Zone, the *Sethocyrtis japonica* Zone, and the *Thecosphaera japonica* Zone of Nakaseko and Sugano (1972), respectively. This correlation is supported by analyses of dinoflagellate cyst assemblages in the SK-74D well.

These results show that the three oil reservoirs in the field are all located in the lower part of the Kitamata Formation; the Maruyama and Tateyama formations are not present. These observations suggest the presence of an unconformity within the Kitamata Formation, given the absence of the *L. barbatus* Zone in the SK-74D well.

Beds containing abundant *S. delmontensis* are recognized not only in the Amarume field, but also in the Yurihara oil and gas field and at Ushigoe. These beds may mark the boundary between the Kitamata and Kusanagi formations.

The present results show that dinoflagellate cysts are abundant and useful for age determinations and well correlation in the Amarume oil field.

Key words: radiolarian, dinoflagellate cyst, biostratigraphy, Amarume oil field, Late Miocene, Kitamata Formation

1. はじめに

余目油田は山形県庄内平野の中央部,東田川郡余目町(現庄内 町)に位置しており(第1図),石油資源開発㈱が昭和35(1960) 年に掘削した試掘井余目SK-1(第2図)によって発見された. 本油田は放散虫化石が坑井対比に利用され,成功した油田とし て有名であり(中世古・菅野,1972),古い上昇帯に形成された 特異な貯留岩分布を示す石油地質学的に興味深いフィールドで もある(鬼塚,1964).昭和55(1980)年以降,石油公団石油開 発センター(現独立行政法人石油天然ガス・金属鉱物資源機構: JOGMEC)の物理探査手法に関する共同研究の実験場として本油 田が活用された.昭和62(1987)年には三次元地震探鉱が実施 され,翌年には研究井TRC-AMR1(第2図)が掘削され,コア および物理検層データが取得されている(石油公団石油開発技術 センター,1989). 残存する原油の早期回収を目的として,探掘 井余目 SK-74D(第2図)が平成15(2003)年に掘削され(石油 資源開発㈱,2006),物理検層が実施されると共に,各種の微化 石調査が行なわれた.

本邦の新第三紀放散虫化石層序は中世古・菅野(1973)によっ て確立されたが、その後深海掘削計画による海域における放散虫 化石の研究が大幅に進展し、中期中新世以降について新しい化石 帯(例えば、本山・丸山、1998)が提案された(本山、1999). 石油資源開発㈱は余目油田における層序・地質年代や中世古・ 菅野(1972)と新しい化石帯との関係を明確にするため、TRC-AMR 1 や SK-74Dのカッティングスやコア試料の放散虫化石調 査を筑波大学の本山 功講師(現山形大学准教授)に外注した.



第1図. 余目油田, 鮎川-由利原油・ガス田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 locations of the Amarume oil field, the Ayukawa – Yurihara oil and gas field, and Ushigoe, as well as the distribution of the Kusanagi (Onnagawa) and Furukuchi formations.

本稿では、それらの結果を述べるとともに、渦鞭毛藻化石の調査 結果についても述べ、余目油田の坑井層序と坑井対比におけるマ ーカーとしての放散虫化石の有効性について検討する.

2. 地質概説

秋田・山形地域の坑井層序は佐賀・加藤(1992)によって整理 されており,庄内平野では下位から,青沢層,草薙層,北俣層, 楯山層,丸山層が整合で重なり,さらに不整合で観音寺層が覆っ ている.これらは浮遊性有孔虫化石や底生有孔虫化石に基づいて 確立されたものである(第3図).

余目油田では、有孔虫化石の産出が乏しため、主に岩相や電気

検層に基づいて坑井対比が行われていた.しかしながら,凝灰岩 や凝灰質砂岩からなる貯留層はレンズ状を呈し,横への連続性に 乏しく,坑井間の対比は困難であった(鵜飼,1973).当初は北 俣層が欠如していると解釈されたり(燃料部石油課,1960),丸 山層基底に不整合を推定したり(鬼塚,1964),楯山層と北俣層 が薄いために区別されなかったため,主要油層は楯山層〜北俣層 と考えられていた(鵜飼,1973).

昭和 38 (1963) 年頃に中世古により,余目油田坑井のカッ ティングス試料を用いた放散虫化石調査が行なわれた.その結 果,放散虫化石は一般に多産し,その保存状態は極めて良好であ り, Stichocorys delmontensisの多産層準や Thecosphaera japonica の出現が対比の鍵になることが明らかとなった(中世古・菅野,



第2図. 余目油田の坑井位置図. Fig. 2. Locations of wells in the Amarume oil field.

1972;第3図). この結果を用いて,内山(1965)は観音寺層基 底に不整合が存在することを明らかにすると共に,余目油田本体 では丸山層は削剥欠如し,楯山層もその大部分が削剥されてお り,主要油層はすべて北俣層に含まれると考えた. この考えは社 内で必ずしも受け入れられた訳ではないようであり,その後に公 表された本油田の層序や地質断面図に反映されていない(鵜飼, 1973;池辺ほか,1979).

TRC-AMR 1 掘削時に実施された放散虫化石に基づく本油田の 坑井対比では, 油層は上位から, B-1 層, B-2 層, B-3 層に細分され, B-1 層は北俣層上部に, B-2 層および B-3 層は北俣層下部に帰属 されている(第4図).

3. 試料および前処理

TRC-AMR 1 では, 掘削時に深度 790m ~ 1,100m 間で 10m 毎 に採取されたカッティングス (cuttings:掘り屑) 32 試料について, 放散虫化石調査が行なわれた (石油公団, 1989). この調査では, 試料 50g をビーカーに取り入れ,約 20%の過酸化水素を注ぎ入 れ分散させた後,200mesh の篩を用いて水洗した. 乾燥させた残 渣を双眼実体顕微鏡下で検鏡し,個体を拾い上げ,プレパラート を作成した.光学顕微鏡下で種の同定およびその産出頻度を調べ, スピーシスチャートを作成した.

保管されていた TRC-AMR 1 のプレパラートのうち,深度 800m ~ 980m 間の比較的保存状態が良好な 12 枚について,平成 17 (2005) 年度に放散虫化石の調査を筑波大学本山講師に依頼し た.さらに,平成 18 (2006) 年度には 3 枚を追加すると共に,深 度 874.7m ~ 984.5m 間で新たに採取したコア 10 試料について, 放散虫化石の調査を本山講師に依頼した.

一方, 平成 16 (2004) 年度には余目 SK-74D の掘削時に採取し た深度 860m ~ 1,200m 間のカッティングス 17 試料について, 放 散虫化石の調査を本山講師に依頼した.また, カッティングス 16 試料について渦鞭毛藻化石の調査を実施した. 試料の前処理 および調査方法は次の通りである.

乾燥試料 20g を秤量し,塩酸とフッ化水素酸によって石英,炭酸塩鉱物,その他の無機物を溶解除去した後,臭化亜鉛重液(比重 2.0)処理によって有機物を浮選・濃縮した.この有機質残渣を, 目開き 20µm の篩にかけ,その上に残った粒子をスライドグラス に封入してプレパラートを作製した.残渣量が多かった試料については,さらにシュルツ氏液処理およびアンモニア液処理を行なって渦鞭毛藻化石の濃縮度を向上させた上で,再び目開き 20µm の篩にかけ,追加のプレパラートを作製した.封入剤にはポリビ ニールアルコールを用いた.

渦鞭毛藻化石の検鏡は、微分干渉照明下の生物顕微鏡を用い, 倍率 160 倍にてプレパラートの短辺方向にプレパラート 1 枚あた り数測線について走査し、その間に検出した渦鞭毛藻化石および その他の藻類化石などを倍率 640 倍で観察して種の同定を行い, スピーシスチャートを作成した. 渦鞭毛藻化石種の属レベルの帰 属については Fensome and Williams (2004) に従った. 試料ごと の渦鞭毛藻化石全体の見かけの産出頻度は,次のように表現した.

VA (very abundant)	: プレパラート1 測線	(短辺方向)	あたり平均個体数 61 個以上
A (abundant)	: プレパラート1 測線	(短辺方向)	あたり平均個体数 21 個~ 60 個
C (common)	: プレパラート1 測線	(短辺方向)	あたり平均個体数 11 個~ 20 個

4. 調査結果

1) 放散虫化石

掘削直後に行なわれた TRC-AMR1 の放散虫化石調査は中世古・ 菅野(1972)に準じて行なわれた(石油公団, 1989). スピーシ スチャートに基づいて作成した種の産出状況を第5図に示す.

深度 790m ~ 840m 間には, Thecosphaera japonica と Spireuma? circularis が産出し, Thecosphaera dedoensis, Cromyodruppa concentrica, Spongodiscus spp., Perichlamydium? sp. などが随伴する.

深度 850m ~ 980m 間は比較的保存良好な放散虫化石が多産 し, Lychnocanium nipponicum や Flustrella cf. flustrella が最も連続 多産し、3つの subzonule に細分される. 深度 850m ~ 900m 間 は Lychnocanium nipponica と Perichlamydium? sp. が極めて多量 に産出する. 深度 910m ~ 920m 間は Stichocorys delmontensis の 多産で特徴づけられる. 深度 930m ~ 980m 間は Lychnocanium nipponicum と Theocyrtis redondoensis (= Lipmanella redondoensis) が比較的産出する.

深度 990m ~ 1,100m 間は放散虫化石の産出が極めて少な く,保存も悪い. Spongodiscus spp.のみが連続的に産出し, Cromyodruppa concentica が僅かに産出する.また,深度 1,100m の試料には Cyrtocapsella japonica が僅かに産出し,Ommatodiscus 属と推定されるものが含まれる.

本山講師による放散虫化石の調査結果を第1表に示す. 鍵種の 産出状況を第5図に示す.使用した放散虫化石帯と鍵種のレンジ および一部の種の細分を第6図に示す.

深度 800m ~ 820m 間 は放散虫化石の産出が少なく, 化石帯の 指標となる種が認められない. Lithocarpium polyacanthum を含む



/G. miozea (s.l.) Zone

第3図. 庄内平野標準坑井層序と余目油田における放散虫化石層序.

Fig. 3. Subsurface stratigraphy of the Shonai Plain and radiolarian biostratigraphy of the Amarume oil field.

が、この種は中期~後期中新世の多産種であり、産出する個体は 全般的にやや汚損を受けており、群集全体が再堆積した可能性が 高い.

深度 830m ~ 840m 間は放散虫化石の産出が少ないが, Spongurus pylomaticus が産出することから, Spongurus pylomaticus 帯かそれより上位と推定される. 深度 840m には Thecosphaera japonica が産出する.

深度 850m ~ 890m 間は放散虫化石の産出が少量~普通であり, Lithocarpium polyacanthum の産出とともに, Lithelius barbatus (お よび L. cf. barbatus) が多産することから, Lithelius barbatus 帯に 認定される.

深度 900m ~ 980m 間は放散虫化石の産出が少量~普通であり, Lychnocanoma parallelipes の産出が認められ, Lithelius barbatus が 産出しないことから, Lychnocanoma parallelipes 帯に認定される. しかしながら, コア試料では Lychnocanoma parallelipes の産出が 認められないこと, 深度 910m には Stichocorys delmontensis や S. peregrina が産出していることから, Lipmanella redondoensis 帯の 可能性もある.

余目 SK-74D では、放散虫化石の産出は全般に少量~極少量で

あるが,深度 860m ~ 1,100m 間の保存は概ね良好である.前期 ~中期中新世の指標種である Cyrtocapsella tetrapera の産出で示 される再堆積に注意しながら,カッティングス試料に特有な上位 層からの落ち込みを考慮して,化石帯の指標となる種の産出上限 に注目して,化石帯を認定した(第7図).

深度 900m は Spongurus pylomaticus の 産 出 に よ り, Spongurus pylomaticus 帯かそれより上位と推定される.

深度 920m は Thecosphaera japonica と Lychnocanoma cf. parallelipes が産出している. Lithelium barbatus が産出していないので, Lychnocanoma cf. parallelipes は再堆積の可能性があり, 化石帯を 推定することができない.

深度 1,000m は Stichocorys delmontensis と Lipmanella redondoensis の産出から, Lychnocanoma parallelipes 帯~ Lipmanella redondoensis 帯と推定される.

Cyrtocapsella japonica は深度 1,140m と 1,180m に産出し,深 度 1,180m には *Lychnocanoma* cf. *magnacornuta* も産出すること から, これらは *Lychnocanoma magnacornuta* 帯と推定される. *Cyrtocapsella japonica* は深度 960m と 1,020m にも産出するが, こ れらの深度には *Cyrtocapsella tetrapera* が産出することから, 再



第4図.余目油田の坑井対比図.

Fig. 4. Stratigraphic correlation among wells in the Amarume oil field.

堆積と解釈される.

2) 渦鞭毛藻化石

余目 SK-74D の調査結果を第2表に示す. 渦鞭毛藻化石はやや 貧産の深度 880m を除いて普通~極めて豊富に産出した. 化石の 保存状態は全体に良~普通程度である. 渦鞭毛藻化石帯区分は小 布施・栗田 (1999) を改定した小布施ほか (2004) を用いた. 化 石帯の認定に際しては指標種の産状だけでなく群集全体の特徴も 加味した. 渦鞭毛藻化石帯の年代および珪藻化石帯や有孔虫化石 帯との関係については, 上記のほか Kurita and Obuse (2003), 小 布施 (2005; 2006; 2007), 小布施ほか (2005) を参考とした. 渦鞭毛藻化石帯区分と本井で主に認められる代表種の産状, およ び珪藻化石帯区分 (Yanagisawa and Akiba, 1998) との対応関係を 第8 図に示す.

本井では産出年代の異なるタクサが共産している. 例えば, "Protoceratium reticulatum" Cyst は深度 900m および 960m で顕著 に多産し,それより下位でも少数ながら掘り止め深度の1,200m まで産出している(第2表).本種の産出下限は"*Protoceratium reticulatum*" Cyst 帯(5帯)下限を規定する(第8図)が,渦鞭 毛藻化石の群集内容から深度980m以深は下位の化石帯に認定さ れることから,深度980m以深における同種の産出は上位層から の落ち込みと解釈した.

余目 SK-74D の渦鞭毛藻化石の群集は以下の4つに区分され,2 化石帯3 亜帯が認定される.

(1) 深度 860 ~ 900m: "Protoceratium reticulatum" Cyst 带 (5 带)

"Protoceratium reticulatum" Cyst と Melitasphaeridium choanophorum が 共 産 し, Impagidinium japonicum と Corrudinium harlandii を欠くことから, "P. reticulatum" Cyst 帯 a 亜帯(5a 亜 帯)に相当する可能性が考えられる. 深度 900m で認められる Hystrichokolpoma spp. の多 産 は, 5a 亜帯上部と 5b 亜帯下部で 知られている. また, "P. reticulatum" Cyst の顕著な多産は, 両 亜帯の境界前後で知られている. しかし, 5a 亜帯上部を特徴づ



第5図. TRC-AMR1における放散虫化石の産状と化石帯.

Fig. 5. Stratigraphic distribution of selected radiolarian species in the TRC-AMR 1 well, and fossil zones.

Table 1. Species chart for radiolarian fossils in the TRC-AMR 1 and SK-74D wells, Amarume oil field.

	Sample	e Well Name	TRC-AMR 1	SK-74D
		Depth (m)	05'786 086 0/6 0/6 0/566 08'766 066 05'576 50'216 016 006 068 01'528 02'528 02'528 02'528 02'528 02'528 02'528 02'528 02'528 02'528 02'528 02'528 02'528 02'528 02'528 02'528 02'528 02'528 02'528 02'528 02'528 02'528 02'528 02'528 02'528 02'528 02'528 02'528 02'528 02'528 02'528 02'528 02'528 02'528 02'528 02'528 02'528 02'528 02'528 02'528 02'528 02'528 02'528 02'528 02'528 02'528 02'528 02'528 02'528 02'528 02'528 02'528 02'528 02'528 02'528 02'528 02'528 02'528 02'528 02'528 02'528 02'528 02'528 02'528 02'528 02'528 02'528 02'528 02'528 02'528 02'528 02'528 02'528 02'528 02'528 02'528 02'528 02'528 02'528 02'528 02'528 02'528 02'528 02'528 02'528 02'528 02'528 02'528 02'528 02'528 02'528 02'528 02'528 02'528 02'528 02'528 02'528 02'528 02'528 02'528 02'528 02'528 02'528 02'528 02'528 02'528 02'528 02'528 02'528 02'528 02'528 02'528 02'528 02'528 02'528 02'58 02'58 02'58 02'58 02'58 02'58 02'58 02'58 02'58 02'58 02'58 02'58 02'58 02'58 02'58 02'58 02'58 02'58 02'58 02'58 02'58 02'58 02'58 02'58 02'58 02'58 02'58 01'58 02'58 02'58 02'58 02'58 02'58 02'58 01'58 02'58 01'58 02'58 01'58 01'58 02'58 01'58 01'58 01'58 01'58 01'58 01'58 01'58 01'58 01'58 01'58 01'58 01'58 01'58 01'58 01'58 01'58 01'58 01'58 01'58 01'58 01'58 01'58 01'58 01'58 01'58 01'58 01'58 01'58 01'58 01'58 01'58 01'58 01'58 01'58 01'58 01'58 01'58 01'58 01'58 01'58 01'58 01'58 01'58 01'58 01'58 01'58 01'58 01'58 01'58 01'58 01'58 01'58 01'58 01'58 01'58 01'58 01'58 01'58 01'58 01'58 01'58 01'58 01'58 01'58 01'58 01'58 01'58 01'58 01'58 01'58 01'58 01'58 01'58 01'58 01'58 01'58 01'58 01'58 01'58 01'58 01'58 01'58 01'58 01'58 01'58 01'58 01'58 01'58 01'58 01'58 00'58 00'58 00'58 00'58 00'58 00'58 00'58 00'58 00'58 00'58 00'58 00'58 00'58 00'58 00'58 00'58 00'58 00'58 00'58 00	1500 1100 1100 1150 1150 1000 1000 1000
		Type Abundance Presevation	CTCTCTCTCTCT C C C CTCTCT C C C CTC C CTCTCTCT R R R R R C C R R C C A A C R R R C VRVR R R R VR M M M G G G G G G G G G G G G G G G G G	CT C
	Species			
Atinommidae Cycladophora C. C. Cyrtocapsella	spp. nakasekoi sakaii sp. japonica	Motoyama Motoyama (Nakaseko)	R R R R + R R + R R + R R + + + + + + +	* * *
C. Eucyrtidium Lipmanella Litheliidae Lithelius	tetrapera inflatum redondoensis Spp. barbatus	Haeckel Kling (Campbell and Clark) Motoyama	+ + R * R * R * A A A A A C A C A A A A * * A A C C A A A A	* * * * * * * * * * * * * * * * * * * *
L. Lithocarpium Lychnocanoma L. L.	cf. barbatus polyacanthum cf. magnacornuta parallelipes cf. parallelipes	Motoyama (Campbell and Clark) Sakai Motoyama Motoyama	A A A A C R R A R C R + + + C + + R + R + + + R + R R C R + C R + C * R + R	* * * * * * * * * * * * * *
L. Porodiscidae Spongodiscus Stichocorys	parallelipes? spp. spp. pylomaticus delmontensis	Motoyama Riedel (Campbell and Clark)	R R R C C R C R A + + C * C + R A A A A A A A A A A C A A A A * A A A A	
S. S. Stylochlamidiu Stylodictya Thecosphaera	peregrina spp. n venustum camerina japonica	(Riedel) (Bailey) Campbell and Clark Nakaseko	+ R + R + C C C + R + R + C C C + + + R R - I A A + + C C R + A A A A A A A A A A A A A A A A A A	* * * * * * *
	Type Abundance Preservation	C: core, CT: cuttings A>500>C>100>R>10>V G: Good, M: Moderate, P	A: Abundant, C: Common, R: Rare, +: 1, *: presence R P: Poor	



第6図. 放散虫化石帯と主要な種のレンジ.

Fig. 6. Radiolarian fossil zones and ranges of stratigraphically important species from the Middle Miocene to Pleistocene in Japan (after Motoyama, 1999). *Lychnocanium nipponicum* and "Anthocorys akitaensis" have been divided into three species and two species, respectively.

ける Tuberculodinium vancampoae の多産が認められないことから, 5b 亜帯最下部に相当する可能性もあるが,指標種である C. harlandiiが産出していないため, "P. reticulatum" Cyst 帯 (5帯)と 推定した.

(2) 深度 960m: "Protoceratium reticulatum" Cyst 带 a 亜带 (5a 亜带)

"Protoceratium reticulatum" Cystが多産し, Impagidinium japonicumを欠いてCorrudinium harlandiiが共産することから、"P. reticulatum" Cyst带b亜帯 (5b亜帯)の可能性が考えられる.しかし、 C. harlandiiの産出頻度は極めて低く,落ち込みの可能性が高い.
"P. reticulatum" Cyst の顕著な多産と、Tuberculodinium vancampoae が比較的多く産出していることから,5a亜帯と解釈した。

(3)深度980 ~ 1,100m: Operculodinium centrocarpum带b亜带(3b亜 带) Nematosphaeropsis lemniscata (large)とMelitasphaeridium choanophorumの連続多産およびAchomosphaera sp.Aの産出で特 徴づけられる.その他にAchomosphaera spongiosa, Operculodinium centrocarpum (cf. を含む), Reticulatosphaera actinocoronata, Lingulodinium machaerophorumなどが産出している.これらの群 集内容に基づいて本深度区間はOperculodinium centrocarpum帯**b** 亜帯 (3b 亜帯)に認定される.さらに同亜帯は群集内容の差から3 つに細分されており(小布施, 2005), Lingulodinium sadoenseや Achomosphaera sp. Aの産出から本区間はその上部に相当する. (4) 深度1,120 ~ 1,200m: Operculodinium centrocarpum 帯 a 亜帯 (3a 亜帯)

Spiniferites hexatypicus および *Impagidinium paradoxum* の連続多 産, 並びに protoperidinioid 類の産出頻度が高いことで特徴づけら



第7図. 余目 SK-74D における放散虫化石の産状. Fig. 7. Stratigraphic distribution of selected radiolarian species in the Amarume SK-74D well.

れる. また,最下部では *Cordosphaeridium minimum* sensu Benedek & Sargeant, 1981 が多産している. これら群集内容は,本区間が *Operculodinium centrocarpum* 帯 a 亜帯(3a 亜帯)に認定されるこ とを指示している.さらに, *Achomosphaera spongiosa*の産出が乏 しいことを考慮すると, その上部と判断される.

5. 考察

1) 放散虫化石層序と地質年代

余目油田では中世古・菅野 (1972) によって,放散虫化石層序 (第3図)が確立されたが,他の微化石や地質年代との対比は十 分ではなかった.新しい放散虫化石帯(例えば,Motoyama *et al.*, 2004)では,深海掘削の結果を踏まえて,他の微化石や地質年代 との対応が明確になっている.

TRC-AMR 1 で は, B-1 層 を 含 む 深 度 850 ~ 890m 間 に

Lithelium barbatus が多産していることから,この深度区間は Lithelium barbatus 帯に認定され,その地質年代は後期中新世で ある(第6図).このことは,B-1層直下のコアの渦鞭毛藻化 石が Melitasphaeridium choanophorum 帯(4帯)に認定されるこ とからも支持される.この深度区間は中世古・菅野(1972)の Thecosphaera japonica – Sethocyrtis japonica 帯にほぼ相当している.

B-2 層の直上(TRC-AMR 1) あるいはその中(SK-74D)から Stichocorys delmontensis が産出しており, B-2 層は Lychnocanoma parallelipes 帯~ Lipmanella redondoensis 帯に対比される. 渦鞭毛 藻化石では, SK-74Dの深度 980m~ 1,100m 間が Operculodinium centrocarpum 帯b 亜帯(3b 亜帯)の上部に対比されることを考 慮すると, B-2 層は Lipmanella redondoensis 帯に対比でき, その 地質年代は後期中新世である. Stichocorys delmontensis の産出区 間は中世古・菅野(1972)の Stichocorys delmontensis 帯に相当して いる(例えば,第5図).

第2表.余目 SK-74D における渦鞭毛藻化石の産出リスト.

Table 2. Species chart for dinoflagellate cysts in the Amarume SK-74D well.

	-		*1=late	e E La	te Plioc	ene	*2=late	E. Plio	cene	Frequer	icy: R	rare, C	=comm	on, A=a	abunda	nt, VA=	very a	bundan
Amarume SK-74D		dinoflagellate cyst age		*1		*2		r	niddle	Late Mi	ocene	e 			early L	ate Mi	ocene	
		dinoflagellate cyst zone		5 (a-b) 5a?		5 zone)			01	Oper	culod	inium c	centroc	arpum	(3 zc	one)	-	
	F			5 (a-b)		Set ?			30	(upper)				38	a (uppe	er)	
		sample depth (m)	860	880	900	960	980	1000	1020	1040	1070	1080	1100	1120	1140	1160	1180	1200
		frequency	C	R	VA	VA	VA	VA	A	C	A	C	A	VA	VA	VA	VA	VA
		number of counted cysts	117	83	164	121	136	139	148	130	153	97	114	153	236	211	242	186
		cyst count per microscope traverse	12	8	82	61	136	70	30	13	39	12	23	77	119	106	122	187
DINOFLAGELLATE	CYSTS																	
"Protoceratium	reticulatum" Cyst	(Claparède & Lachmann) Bütschli	13	5	67	41	3	1	7	5	1	4	2	10	1		2	1
Achomosphaera	callosa	Matsuoka	1															
Achomosphaera	ramulifera	(Deflandre) Evitt Metaueke & Duiek				1	1	2							2			
Acnomosphaera	spongiosa	Matsuoka & Bujak	1			1	3	3	1	1	1		2	1	2	1		
Achomosphaera	sp.n.		1	1		4	2		2	1	2	2	1	2				
Barssidinium	sp.		1	1		4	2			1	2	-		-	1			
Batiacasphaera	cf. minuta	(Matsuoka) Matsuoka & Head													1			
Batiacasphaera	sp. (v.f.ret)		2															
Brigantedinium	spp.								1		1	2		3	15	25	3	6
Capillicysta	fusca	Matsuoka & Bujak													1	3	7	4
Cleistosphaeridium	placacanthum	(Deflandre & Cookson) Eaton et al.	4	3	1													
Cordosphaeridium	minimum	sensu Benedek & Sarjeant										1						7
Corrudinium	harlandii	Matsuoka				1												
Dapsilidinium	pastielsii	(Devey & Williams) Bujak et al.	1	1							1							
Dapsilidinium	pseudocolligerum	(Stover) Bujak et al.		1														
Dipnyes Fahini dinium 2	an (amall aning he gol w)	Matsuoka	1											2		2		
Echimulnium :	sp. (smail, spine, bi-coi.w)	Duigh	1			2								2		2	£	2
Filisphaera	sn (small)	ыцак	1			2										2	2	2
Filisphaera ?	sp. (arge)		-						1									11
Habihacvsta	Spp. (im go)						2	2	1			,	2			2	45	
Heteraulacacvsta	campanula	Drugg & Loeblich Jr	1				1	-				2	1	1	5	1	-13	
Hystrichokolnoma	ellipticum	Matsuoka										1			2			
Hystrichokolpoma	okinawaium	Matsuoka			1							·						
Hystrichokolpoma	pacificum	Matsuoka														1		
Hystrichokolpoma	spp.		3		16							1	1		1			
Impagidinium	aculeatum	(Wall) Lentin & Williams	-		-	1												
Impagidinium	paradoxum	(Wall) Stover & Evitt	3											6	43	8	10	19
Impagidinium	patulum	(Wall) Stover & Evitt	1					4										
Impagidinium	cf. patulum (smaller)	(Wall) Stover & Evitt												1			1	
Impagidinium	spp.					1		1							1	4	1	2
Labyrinthodinium	truncatum modicum	de Verteuil & Norris												1				
Lejeunecysta	convexa	Matsuoka & Bujak												10	3	1	2	
Lejeunecysta	hyalina	(Gerlach) Artzner & Dörhöfer														1		
Lejeunecysta	sp.D (large, wrinkled, gr)													1	4	3	2	1
Lejeunecysta	spp.														2	5	2	
Lejeunecysta ?	spp.															1	1	
Lingulodinium	machaerophorum	(Deflandre & Cookson) Wall	2	13	4	4	2		2	2	2	2	4	1	1	1	1	1
Lingulodinium	multivirgatum	de Verteuil & Norris			1													
Lingulodinium	sadoense	Matsuoka	5				7	2		5			1	1				
Melitasphaeridium	angustum	Matsuoka									1		2				1	
Melitasphaeridium	choanophorum	(Deflandre & Cookson) Harland & Hill	3		2		11	5	15	19	30	19	15	2			1	
Nematosphaeropsis	lemniscata (small)	Bujak	1		1	2	8	15	1	5	3	7	5	6	10	3	1	1
Nematosphaeropsis	iemniscata (large)	Bujak Matawaka & Duiak					16	15	4	4	1	3	4	2	1	1		
Operculoainium	aisium	(Deflendre & Ceeksen) Well		1														
Operculodinium	of controcarpum (small)	(Deflandre & Cookson) Wall	12	4	2	4	5		5	7	2	1	3	4	4	6	11	13
Operculodinium	ci. centrocurpum (sinan)	Wall											1		2			
Operculodinium	israalianum	(Possignal) Wall	0	4	5	-	2	2	0	11	0	~	11	1	2	4	2	1
Operculodinium	ianduchanai	Head et al	0	4	3	2	3	- 2	1	11	9	0	11	0	3	4	- 2	
Operculodinium	longisninigerum	Matsuoka	1		1	8	1	2	2					5		1	1	1
Operculodinium	of piaseckii	Srauss & Lund	1		1	0	1	2	-				1	5		1	1	1
Operculodinium	wallii	Matsuoka	11	3	1								1					
Operculodinium	sp.A			5		1												
Operculodinium	SPD.		1			1							1					
Pyxidinopsis	sp. (rug-ret)													3				1
Reticulatosphaera	actinocoronata	(Benedek) Bujak & Matsuoka	6	2	2	1	1	12	2	3	6	2	4		21	40	5	1
Selenopemphix	crenata	Matsuoka & Bujak										1		1	2	2		
Selenopemphix	dionaeacysta	Head et al.			3													
Selenopemphix	nephroides	Benedek		1													1	
Selenopemphix	sp. (wrinkly)													6				
Selenopemphix	(Multispinula) spp.			1	1						1							
Selenopemphix	spp.					1			3		1	1		15	1	3	7	2
Spiniferites	asperulus	Matsuoka							1									
Spiniferites	ettipsoideus	Matsuoka		1			2		3	1	2	1	1	1				
Spiniferites	elongatus	Keid		1														
Spiniferites	Jirmus havatamiana	IVIAISUOKA Metuselee							~	1	1				<i></i>	10	12	
Spiniferites	nexatypicus mambrana	(Possional) Sariaant	1					1	2	3	2	~	1	14	51	40	43	5
Spiniferites	memoranaceus	(Rossignor) sarjeant	-						1		1	2	1					
Spiniferites	ovalus	(Ehrenherg) Mantell	2	2			2	1	2			,	1		,	2		
Spiniferites	sp A (avoid staut long proc.)	(Linenberg) mantell	2	2	1		2	1	3	5	4	1	0		1	2	2	2
Spiniferites	sp.r. (ovoid, stout, tong proc.)				1		1	1	4	3	э	4	7		2		2	з
Spiniferites	sp.c.					1		5	4			1	1					,
Spiniferites	SDD.		20	36	52	33	48	57	-7	48	71	34	37	43	53	44	65	73
Tectatodinium ?	sp. (small, fiber)		2.7	50	54	55	-10	57	2	20	, 1	54	51	15	53	**	00	, ,
Trinovantedinium	sp.								~		1							
Tuberculodinium	vancampoae	(Rossignol) Wall	1	3	3	7	1	1	2	1	3	1	1	1		1		2
Xandarodinium	cf. variabile	Bujak		5	2		•		~	•	1		·	•		2	2	5
Xandarodinium	spp.					1	1	1			4		1	1	2	1	18	23
	***						•	· ·						-	-			
OTHER PALYNOM	ORPHS																	
Cyclopsiella	sp.																1	
Quadrina ?	condita	de Verteuil & Norris									1				1	1	1	1
Quadrina	sp.												1					
Pediastrum	sp. (freshwater algae)		1								1							
Tasmanites	spp.		4	5	6	3		1	3		5	13	4	36	71	9	25	8
Scolecodont														1	1			
microforaminifera lin	ing											1	3	5	2	1	3	
Diatom			C	С	С	С	VA	VA	С	С	С	С	С					



第8図. 珪藻化石帯と渦鞭毛藻化石の化石帯区分および鍵種のレンジ. Fig. 8. Relationship between diatom zones and dinoflagellate cyst zones, and the stratigraphic distribution of selected species.



第9図. 余目油田における標準坑井層序と放散虫化石帯との対比. Fig. 9. Correlation chart for subsurface stratigraphy and radiolarian zones in the Amarume oil field.





SK-74D の深度 1,140m 以深は Lychnocanoma magnacornuta 帯に 認定され, 渦鞭毛藻化石では深度 1,120m 以深が Operculodinium centrocarpum 帯 a 亜帯(3a 亜帯)に認定されていることから,後 期中新世である. 深度 1,140m 以深は Cyrtocapsella japonica が産 出することから,中世古・菅野 (1972)の Cyrtocapsella japonica 帯 に相当している.

中世古・菅野 (1972)の Thecosphaera japonica 帯からは Spongurus pylomaticus と Thecosphaera japonica が産出しており, Spongurus pylomaticus 帯あるいはそれよりも上位と推定される. しかし, 上位の化石帯を特徴づける種が産出していないことや渦鞭毛藻 化石の結果("Protoceratium reticulatum" Cyst 帯 a 亜帯 (5a 亜帯) あるいは "Protoceratium reticulatum" Cyst 帯(5 帯))を考慮すると, Spongurus pylomaticus 帯付近に対比される可能性が高い. その地 質年代は前期鮮新世と推定される.

SK-74D では,深度 860m ~ 1,200m 間で有孔虫化石,石灰質ナンノ化石及び珪藻化石の調査が行われたが,地質年代を推定できる積極的なデータは得られなかった.しかしながら,深度 980m と 1,000m の 2 試料には海生種からなる珪藻化石が豊富に産出し(第 2 表), Coscinodiscus marginatus と Proboscia barboi の多

産で特徴づけられるこの群集は *Thalassionema schraderi* 帯(NPD 6B)の最下部から産出が知られている群集(Yanagisawa and Akiba, 1998)と類似している(秋葉, 私信).本帯は *Lipmanella redondoensis* 帯に対比されており(Motoyama *et al.*, 2004),放散 虫化石や渦鞭毛藻化石の結果と調和している.

以上の結果を基に庄内平野の坑井標準層序に対比すると,B-1 層とB-2層は北俣層下部に,中世古・菅野(1972)の Thecosphaera japonica 帯は北俣層上部相当する(第9図).SK-74Dには Lithelium barbatus 帯が認められないことから,Thecosphaera japonica 帯の下位において不整合による削剥が推定される.

2) 対比マーカー

TRC-AMR 1 と SK-74D における放散虫化石 7 鍵種の産出上限を第 10 図に示す. SK-74D では確認できなかった Lithelium barbatus の産出上限(③)を除き, Spongurus pylomaticus の産出上限(①) ~ Stichocorys delmontensis の産出上限(⑤)は両井においてほぼ同じ順序で出現している. 特に, Stichocorys delmontensis の産出上限(⑤)あるいは Stichocorys delmontensis の多産層準は中世古・菅野 (1972)で指摘されているように,良

Dinoflagellate cysts and microforaminifera from the Amarume SK-74D Well.

Magnifications are the same for all figures and the scale bar indicates $30\mu m$. Figs.8 & 9 in phase contrast while the rest in interference contrast.

- Fig. 1. Achomosphaera sp. A. 980m, Slide dn-2, 107.2x12. Lower Kitamata Fm.
- Fig. 2. Barssidinium sp. A. 1140m, Slide B, 103x6.1, Kusanagi Fm.
- Fig. 3. Capillicysta fusca Matsuoka & Bujak. 1160m, Slide B, 109.1x15.2, Kusanagi Fm.
- Fig. 4. Corrudinium harlandii Matsuoka. 960m, Slide dn-1, 100x21.1, Upper Kitamata Fm.
- Fig. 5. Impagidinium paradoxum (Wall) Stover & Evitt. 1140m, Slide dn-1, 98.8x17.2, Kusanagi Fm.
- Fig. 6. Lingulodinium sadoense Matsuoka. 980m, Slide dn-2, 98.1x5.1, Lower Kitamata Fm.
- Fig. 7. Melitasphaeridium choanophorum (Deflandre & Cookson) Harland & Hill. 980m, Slide dn-1, 117x13, Lower Kitamata Fm.
- Fig. 8. Nematosphaeropsis lemniscata (small) Bujak. 1000m, Slide dn-1, 89.5x20, Lower Kitamata Fm.
- Fig. 9. Nematosphaeropsis lemniscata (large) Bujak. 980m, Slide dn-1, 117.2x15, Lower Kitamata Fm.
- Fig. 10. Operculodinium centrocarpum (Deflandre & Cookson) Wall. 980m, Slide dn-1, 92.5x20.9, Lower Kitamata Fm.
- Fig. 11. Operculodinium longispinigerum Matsuoka. 1140m, Slide dn-1, 97.2x14, Kusanagi Fm.
- Fig. 12. "Protoceratium reticulatum" Cyst (Claparède & Lachmann) Bütschli. 960m, Slide dn-1, 109.9x7, Upper Kitamata Fm.
- Fig. 13. Reticulatosphaera actinocoronata (Benedek) Bujak & Matsuoka. 1000m, Slide dn-1, 101x17.5, Lower Kitamata Fm.
- Fig. 14. Spiniferites hexatypicus Matsuoka. 1140m, Slide dn-1, 101x22, Kusanagi Fm.
- Fig. 15. Tuberculodinium vancampoae (Rossignol) Wall. 960m, Slide dn-1, 100x20.2, Upper Kitamata Fm.
- Fig. 16. microforaminifera. 1180m, Slide B, 114x3.2, Kusanagi Fm.

Plate





第11図. 由利原油・ガス田における坑井層序と Stichocorys delmontensis の多産層準.

Fig. 11. Subsurface stratigraphy and distribution of beds containing abundant *Stichocorys delmontensis* in the Yurihara oil and gas field.

第3表. 余目油田における新旧2つの放散虫かせきたいの対比. Fig. 3. Correlation between old and new radiolarian zones in the Amarue oil field.

Geologic	Radiolarian Zones							
age	Motoyama et al. (2004)	Nakaseko and Sugano (1972)						
Early Pliocene	Spongurus pylomatius	Thecosphaera japonica						
Late Miocene	Lithelius barbatus	Thecosphaera japonica - Sethocyrtis japonica						
Late Miocene	Lipmanella redondoensis	Stichocorys delmontensis						
Late Miocene	Lychnocanoma magnacornuta	Cyrtocapsella japonica						

好な対比マーカーとなる可能性がある.

鮎川-由利原地域の一部の坑井では放散虫化石調査が行われて おり,Stichocorys delmontensisの多産層準が認められている(長 田,1979).由利原AK-1では,Stichocorys delmontensisの多産が 2層準で認められるが,随伴する群集が異なっている(第11図). 上位の層準はSpongurus inoueiを伴うのに対し,下位の層準は Sethocyrtis japonicaを伴っていることから,中世古・菅野(1972) を参考にすれば下位の層準が余目油田のStichocorys delmontensis の多産層準に対比される.本井では有孔虫化石のマーカーが確認 されており、下位の層準は Spirosigmoilinella compressa の産出上 限よりも下位に、女川層の石灰質底生有孔虫化石群集である O-1 群集(加藤・井上, 1997)と同層準あるいはやや上位に位置して いる(第11図).

由利原 SK-14D でも深度 1,120m ~ 1,160m 間で Stichocorys delmontensis が多産しており, Cycladophora akitaensis (= C. nakasekoi)を伴い, Lychnocanoma magnacornuta が産出しないこと, Stichocorys delmontensis が Stichocorys peregrina よりも多いことから, この層 準は Lipmanella redondoensis 帯に対比される. また, この深度区 地表の牛越ルートの女川層上部にも Stichocorys delmontensis の 多産層準が認められ(辻ほか, 1991),随伴する群集からこの層 準は Lipmanella redondoensis 帯に対比される.

北俣層/草薙層境界(あるいは船川層/女川層境界)は従来浮 遊性有孔虫化石などの微化石が産出しないため,主に岩相に基づ いて設定されている.坑井においても地域によって,その境界の 地質年代がかなり異なっていることが明らかになりつつある.余 目地域や鮎川-由利原地域における Stichocorys delmontensis の多 産層準は北俣層/草薙層境界のひとつの目安として利用できる可 能性がある.

6. まとめ

余目油田の2坑井(TRC-ANR 1 および SK-74D)において放 散虫化石調査を行い,さらに渦鞭毛藻化石の調査を加えて,最 近の放散虫化石帯(Motoyama et al., 2004)に基づく化石帯を 認定し,中世古・菅野(1972)の放散虫化石層序との対比を行 った.その結果,後期中新世〜鮮新世の4つの化石帯(下位か ら,Lychnocanoma magnacornuta帯,Lipmanella redondoensis帯, Lithelium barbatus帯,Spongurus pylomaticus帯)が認定され,中 世古・菅野(1972)との対応関係が明らかとなった(第3表).

これらの結果を踏まえて, 庄内平野の坑井標準層序と対比する と, 1) 余目油田の油層(B-1 層, B-2 層, B-3 層) はいずれも北 俣層下部に対比される, 2) 余目油田において従来丸山層および 楯山層に対比されていた地層は北俣層上部に対比され, その下位 には不整合が推定される.

Stichocorys delmontensis の多産層準は余目油田だけでなく,由 利原油・ガス田の坑井や牛越付近に分布する女川層にも認められ る.この多産層準は複数認められる場合があるが,随伴する群集 から区別が可能であり,北俣層/草薙層(あるいは船川層/女川 層)境界の設定においての目安のひとつとして利用できる可能性 がある.

また,余目油田においても,渦鞭毛藻化石は坑井対比や地質年 代の推定に有効であることが明らかになった.今後,種の細分が 進めば,より精度の高い化石帯が確立される可能性がある.

謝辞

本稿の公表を許可された石油資源開発㈱および試料の提供と報 告書の引用を許可された独立行政法人石油天然ガス・金属鉱物資 源機構 (JOGMEC) に深謝します.放散虫化石の鑑定をお願いし, 結果についてコメントを頂いた山形大学理学部本山 功准教授, TRC-AMR 1 のコア試料の提供でお骨折り頂いた JOGMEC 理事 辻 喜弘博士,およびコア試料のサンプリングで協力して頂いた 石油資源開発㈱国内事業本部井嶋伸治社員に厚くお礼申し上げま す.

引用文献

- Fensome, R.A. and Williams, G.L. (2004), The Lentin and Williams index of fossil dinoflagellates 2004 edition. American Association of Stratigraphic Palynologists Contributions Series, no. 42, 909 p.
- 池辺 穣・大沢 穠・井上寛生(1979),酒田地域の地質.地域地質研 究報告(5万分の1図幅),地質調査所,42 p.
- Kamikuri, S., Nishi, H., Motoyama, I. and Saito, S. (2004), Middle Miocene

to Pleistocene radiolarian biostratigraphy in the Northwest Pacific Ocean, ODP 186. The Island Arc, **13**, 191–226.

- Kamikuri, S., Nishi, H. and Motoyama, I. (2007), Effects of late Neogene climatic cooling on North Pacific radiolarian assemblages and oceanographic conditions. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, 249, 370–392.
- 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.
- Kurita, H. and Obuse, A. (2003), Middle Miocene-uppermost lower Pliocene dinoflagellate cyst biostratigraphy, ODP Leg 186 Hole 1151A, off Sanriku Coast of northern Japan, northwestern Pacific. In Suyehiro, K., Sacks, I.S., Acton, G.D. and Oda, M. (eds.), Proc. ODP, Sci. Results, **186** [Online].
- 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-化石帯区間の進歩-.石油技術協会誌,64,28-39.
- 本山 功・丸山俊明(1998),中・高緯度北西太平洋地域における新第 三紀珪藻・放散虫化石年代尺度:地磁気極性年代尺度 CK92 および CK95 への適合.地質雑,104,171–183.
- 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 Sites 1150 and 1151, Northwest Pacific: Sedimentation rate and updated regional geological timescale. The Island Arc, 13, 289–305.
- 中世古幸次郎・菅野耕三(1972),裏日本油田地域における放散虫層序 (油田坑井対比への適用を中心として).石油技術協会誌,37,375-384.
- 中世古幸次郎・菅野耕三(1973),日本新第三紀の化石放散虫分帯.地 質学論集,第8号,23-33.
- 長田享一(1979),秋田県由利原地区における Thecosphaera japonica
 Zone の細分について.石油資源開発(株)会社技術研究所技研所報,
 22, 213–231.
- 燃料部 石油課(1960), 最近発見された日本の新油田. 新ガス田(その3). 地質ニュース, No.74, 6-10.
- 小布施明子(2005),北日本における中部中新統上部〜上部中新統下 部の渦鞭毛藻化石群集.日本古生物学会第154回例会講演予稿集, 37.
- 小布施明子(2006),新潟陸海域坑井における椎谷層(下部鮮新統)の 渦鞭毛藻化石群集.日本古生物学会2006年年会講演予稿集,36.
- 小布施明子(2007),新潟県東頸城地域須川層の渦鞭毛藻化石層序. 平 成19年度石油技術協会春季講演会特別講演・シンポジウム・個人 講演要旨集,44.
- 小布施明子・秋葉文雄・佐々木榮一(2004), 青森県五所川原市東部お よび浪岡町に分布する中〜上部中新統の渦鞭毛藻化石・珪藻化石層 序. 日本地質学会第111年学術大会講演要旨, 66.
- 小布施明子・栗田裕司(1999),北日本新第三系の渦鞭毛藻化石層序. 日本古生物学会1999年年会講演予稿集,95.
- 小布施明子・村本宏司・石山義明・三石裕之・門澤伸昭・江波戸俊和 (2005),基礎試錐「佐渡南西沖」における鮮新統渦鞭毛藻化石層序 - 西山層最下部~椎谷層層準の生層序イベント-.平成17年度石油 技術協会春季講演会要旨集,20.
- 鬼塚 貞(1964), 庄内地域油・ガス田の鉱床生成の時期. 石油技術協 会誌, 29, 341–349.
- 佐賀 肇・加藤 進(1992),第**I**編 B.2.秋田・山形地域. 改訂版日本の石油・天然ガス資源, 53-80.
- 石油公団 (1989), 余目油田研究井 (TRC-AMR 1) コア分析報告書(放 散虫分析). 8 p.
- 石油公団石油開発技術センター(1989),石油開発技術センター年報 昭和 63 年度, 339 p.
- 石油資源開発㈱(2006),余目油田・東余目ガス田.石油資源開発株式 会社 50 年史 技術編, 82-84.
- 辻 隆司・増井泰裕・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と堆積環境. 石油資源開発株式会

社技術研究所研究報告, 第7号, 45-99.

- 内山靖敏(1965), 庄内平野の観音寺層基底の不整合について(要旨). 石油技術協会誌, **30**, 206.
- 鵜飼光男(1973), 4.3 余目油田・東余目ガス田. 日本の石油鉱業と 技術(石油技術協会 40 周年記念), 32-34.
- 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. Jour. Geol. Soc. Japan, **104**, 395 -414.

2012年9月24日原稿受理