報 告

北西九州の含炭堆積盆地における花粉・孢子化石層序
および東シナ海堆積盆地との層序対比

岩田 尊夫*・大嶋 秀明**

(Received July 14, 2000 ; accepted November 17, 2000)

Stratigraphic correlation between coal-bearing sedimentary basins in northwest
Kyushu and East China Sea basin based on spore-pollen fossils

Takao Iwata and Hideaki Oshima

Abstract: This paper describes pollen assemblage zones of the Paleogene to Quaternary in northwest Kyushu based on the result of pollen fossil analysis of samples from offshore wells and surface outcrops. And then regional stratigraphic correlation between the East China Sea and northwest Kyushu is discussed.

Eight pollen assemblage zones (*Pinus*, *Alnus-Ulmus-Zelkova*, *Pinus-Taxodiaceae*, *Taxodiaceae-Alnus*, *Pinus-Gramineae*, *Quercus-Fagus*, *Pinus-Picea*, and *Pinus-Alnus* Zones in ascending order) were defined in the late Middle Eocene to Quaternary sequences in northwest Kyushu. Based on the co-occurrences of marine microfossils and other published dating data, these zones are dated as latest Middle to Late Eocene, latest Eocene to earliest Oligocene, Early Oligocene, Late Oligocene to earliest Miocene, Early Miocene, Pliocene, Quaternary, and Quaternary, respectively.

The pollen assemblage zones in eastern East China Sea described by Hu and Sarjeant (1992) are correlative well with the zones in northwest Kyushu. This study reveals that palynology is a very useful tool for regional correlation of Cenozoic strata in the area between East China Sea and northwest Kyushu where non-marine deposits are dominant.

Key words: northwest Kyushu, East China Sea, pollen assemblage zone, Cenozoic, Paleogene, Neogene, Quaternary

1. はじめに

東シナ海大陸棚から九州北西部にかけての海域には夾炭層を伴う古第三系を中心とした堆積盆地が広がり (Fig. 1), 重要な炭化水素の探鉱対象域となっている。九州北西部および東シナ海北部ではこれまでに数坑の試掘がなされたが、商業量の炭化水素発見には至っていない。一方、東シナ海東部では中国によって多数の試掘がなされ、油・ガス田が発見されている。しかしながら、この海域では日本企業による試掘は行われておらず、層

序・岩相・構造発達史などに関して不明な点が多い。これに対し、同様に含炭古第三系が広く分布する九州北西部では、古第三系に関する層序資料や構造発達史を検討するための地質資料が比較的整っている。したがって、九州北西部と東シナ海との間で古第三系の層序を比較検討することにより、東シナ海の広域的な構造発達史を探る上で有益な情報が得られるものと考えられる。

これまで東シナ海東部においては Liu (1989) が生層序の総括を行っており、それに基づく、一部の層準を除いて年代決定に有効な海棲微化石の産出に乏しく、その年代層序に関しては不明な点が多い。一方、植物化石群の変遷から求められた古気候変化が海棲微化石の産出しない陸成層の地質年代決定や広域対比に有効な指標になるといわれている (尾崎, 1992)。本論では花粉化石

* 帝国石油株式会社探鉱部 Exploration Department,
Teikoku Oil Co., Ltd.

** バリノ・サーヴェイ株式会社 Palynosurvey Co., Ltd.

Fig. 1 Index map showing study area, sedimentary basins, and wells in East China Sea and northwest Kyushu. Basins and major faults are compiled from Aiba and Sekiya (1979), Exxon Production Research Company (1985), and Zhou *et al.* (1989). Names and locations of wells in East China Sea after Hu and Sarjeant (1992).

の群集組成とそれから解釈される古気候変化に基づいて、九州北西部（五島灘および天草灘周辺）と東シナ海との間で第三系の層序対比を試みた。

本論では、九州北西部 (Fig. 1) に関しては天草灘に掘削された天草沖 1X 号井と五島灘周辺地域の地表試料の花粉分析結果を新たに提示するとともに、基礎試錐「五島灘」の花粉分析結果 (石油公団, 1998) ならびに既存文献の花粉群集資料 (Takahashi, 1961; 徳永・尾上, 1965) を用い、東シナ海東部に関しては既存文献の花粉群集資料 (Hu and Sarjeant, 1992) を用いて、相互の対比を行った。

2. 層序の概要と年代論

九州北西部に発達する第三系の層序区分は Fig. 2 のようにまとめられる。本論では、佐世保地域の層序区分は松井ほか (1989) に、西彼杵半島沿岸部の崎戸から松島地域の層序区分は長浜・松井 (1958) および服部ほか (1993) に、基礎試錐「五島灘」および天草沖 1X 号井の層序区分は石油公団 (1998) に、それぞれ従った。

松井ほか (1989) に基づく、佐世保地域では杵島層群の上位を相浦層群が不整合に覆い、さらにその上位に

佐世保層群、野島層群、平戸層および北松浦玄武岩類が累重する。西彼杵 (にしそのぎ) 半島沿岸部の崎戸 (さきと) から松島ではそれぞれ、長浜・松井 (1958) および服部ほか (1993) によって調査がなされた。それらに基づくと本地域では下位より、赤崎層群 (赤崎層)、寺島層群 (寺島層)、松島層群 (母島 (いちごしま) 層および崎戸層)、西彼杵層群、および相浦層群が分布する。

五島灘で掘削された基礎試錐「五島灘」では、古第三系は下位の B 層と上位の C 層に区分され、産出石灰質ナノ化石に基づいて前者は上部始新統、後者は下部漸新統とされている (石油公団, 1998)。さらに、鮮新～更新統の D 層が顕著な傾斜不整合で古第三系を覆う (石油公団, 1998)。天草灘で掘削された天草沖 1X 号井においては、古第三系は下位の II 層と上位の III 層に区分され、産出石灰質ナノ化石に基づいて前者は上部始新統、後者は下部漸新統とされている (石油公団, 1998)。さらに、鮮新～更新統の IV 層が不整合で古第三系を覆う (石油公団, 1998)。

岩田・亀尾 (2001) はこれらの地域の古第三系～第四系のシーケンス層序解析を行い、地域間の対比と年代論の整理を行った。本論では、既存の層序区分とシーケン

Fig. 2 Stratigraphic summary of Paleogene to Quaternary sequences in northwest Kyushu. Geological ages of the Akasaki and Terashima formations are adapted from Iwata and Kameo (2001).

ス層序区分との関係、ならびに地層の年代論については岩田・亀尾 (2001) に従う。本論では堆積シーケンスをDSと略記する。

岩田・亀尾 (2001) に基づくと、DS-P3 は中～上部始新統で、松島層群母島層およびその下位の赤崎層と寺島層に相当する。DS-P4 はほぼ下部漸新統で、杵島層群、松島層群崎戸層および西彼杵層群に相当する。DS-P5 は上部漸新統～最下部中新統で、相浦層群および佐世保層群に相当する。DS-N1 はほぼ下部中新統で、野島層群に相当する。DS-N2 は中部中新統と考えられ、平戸層に相当する。DS-N3 は海域で厚く発達する鮮新統～第四系で、陸域では局部的に分布するのみである。

3. 試料と方法

天草沖 1X 号井の花粉化石分析には、主としてカッティングス試料を用いた。本井での分析区間は深度 440～4,010 m 間であり、分析試料は合計53個である。また、五島灘周辺地域で採取した合計18個の地表試料 (主に泥岩) の花粉化石分析を行った (Fig. 4)。いずれの試料に対しても、塩酸、フッ酸、重液、シュルツェ液、および水酸化カリウム溶液による処理を行って、花粉・胞子化石を濃集した。検鏡に際しては、各試料毎に最低 200～300個の花粉・胞子化石を同定・計数し、この計数結果を基に各花粉・胞子化石毎の百分率 (基数は花粉・胞子化石の計数合計) を算出し、花粉化石ダイアグラムを作成した。図中に不明花粉 (Unknown Pollen) としてあるものは、そのほとんどが三溝孔型 (tricolporate) かあるいは三溝型 (tricolpate) の花粉である。また、2種類のタクサの計数結果を合わせて表示したものは + (プラス) で、属の特定が困難で複数の属に同定可能なものは - (ハイフオン) で属名をつないで示した。なお、基礎試錐「五島灘」の花粉化石分析 (石油公団, 1998) も、これと同じ方法で分析が行われた。

4. 花粉化石帯

4.1 天草沖 1X 号井における花粉化石帯

天草沖 1X 号井の花粉化石分析結果を Fig. 3 に示す。本井の古第三系～第四系 (深度 440～4,010 m 間) を花粉化石群集の層位変化に基づいて、下位より *Pinus-Ulmus-Zelkova* 帯, *Alnus-Ulmus-Zelkova* 帯, *Pinus-Taxodiaceae* 帯, *Quercus-Fagus* 帯, および *Pinus-Alnus-Quercus* 帯の 5 帯の群集帯に区分した。以下に、下位から順に各帯の群集の特徴を記す。なお、1,380～2,040 m 間は貧化石帯である。以下に記述する本井のシーケンス層序区分は岩田・亀尾 (2001) に基づいた。

Pinus-Ulmus-Zelkova 帯 (深度 3,740～4,010 m 間) では、*Ulmus-Zelkova*, *Alnus*, および *Pinus* が多産する。これらの花粉化石に次いで *Taxodiaceae* と *Corylus* が産出するが、*Tsuga* はほとんど産出しない。本帯の群集では花粉化石の保存が悪く、不明花粉 (三溝孔型および三溝型花粉) が非常に多い。本帯上限直下に、*Pinus* の局所的な産出ピークが出現する。本帯は DS-P3 の海進期堆積体～高海水準期堆積体最下部に相当する。

Alnus-Ulmus-Zelkova 帯 (深度 3,060～3,640 m) は、*Alnus*, *Ulmus-Zelkova*, *Pinus*, および *Taxodiaceae* の多産によって特徴づけられる。本帯はその花粉組成が下位帯の群集と類似するが、*Taxodiaceae* が下位帯より

Fig. 3 Pollen diagram of the Amakusa-oki 1X well.

も増加する。本帯の群集では全般に花粉化石の保存が悪く、不明花粉が非常に多い。不明花粉の産出ピークが本帯下限の直上に、*Ulmus-Zelkova* の産出ピークが本帯下限付近にそれぞれ位置する。本帯は、DS-P3 の高海水準期堆積体から DS-P4 の海進期堆積体最下部に相当する。

Pinus-Taxodiaceae 帯 (深度 2,660~3,039 m) の群集では、*Pinus*, *Taxodiaceae*, および *Abies* が優勢で、下位帯の群集よりも *Alnus* および *Ulmus-Zelkova* が減少する。本帯は、ほぼ DS-P4 の海進期堆積体に相当する。

Quercus-Fagus 帯 (深度 2,100~2,540 m) の群集では、*Quercus* と *Fagus* が卓越し、*Taxodiaceae*, *Pinus*, および *Ulmus-Zelkova* が高率で産出する。本帯で初めて、5%以上の頻度で草本花粉の *Gramineae* が産出する。本帯は、DS-N3 の低海水準期~海進期堆積体最下部に相当する。

Pinus-Alnus-Quercus 帯 (深度 440~1,160 m) の群集中では、*Alnus* が卓越し、*Quercus* が高率で産出する。さらに、本帯においては、*Fagus*, *Taxodiaceae*, *Abies*, および *Pinus* と草本花粉の *Gramineae* および *Artemisia* が比較的高率で認められる。本帯は DS-N3 の海進期堆積体上部から高海水準期堆積体に相当する。

4.2 五島灘周辺陸域における花粉化石群集

本論では、佐世保北西方および崎戸から松島地域の地表試料18個 (Fig. 4) について花粉化石分析を実施した。今回の分析では、地表試料中の花粉・孢子化石は全般に保存が悪く、産出量が少ない。特に佐世保群および野島群から産したものは炭化して著しく破損した個体が多く、もともとの花粉化石組成を把握するのは難しい。したがって、今回地表試料で把握された花粉化石群集の特徴は予察的なものである。以下に古第三系および新第三系において認められた花粉化石群集の特徴を下位層準から順に記す (Fig. 5)。

寺島層 (長浜・松井, 1958) の1試料から得られた花粉化石群集は、*Taxodiaceae* および *Carpinus-Ostrya* が優勢で、*Abies+Picea*, *Pinus*, および *Metasequoia* を比較的高率に伴う。

松島層群島層 (服部ほか, 1993) および西彼杵層群間瀬層 (長浜・松井, 1958) から得られた群集は、*Carpinus-Ostrya*, *Alnus*, *Castanea+Castanopsis*, *Quercus*, および *Ulmus-Zelkova* を比較的高率に含み、また、不明花粉 (三溝孔型および三溝型花粉が主) が多い。この群集では、下位の寺島層の群集に比べて *Taxodiaceae*, *Abies+Picea*, *Pinus*, および *Metasequoia* が少ない。

長浜・松井 (1958) の西彼杵層群徳万層および日切層から得られた群集は、*Pinus* と *Taxodiaceae* を特徴的

に多く含み, *Carpinus-Ostrya*, *Quercus*, *Alnus*, *Podocarpus*, *Abies+Picea*, および *Tsuga* を伴う。

松井ほか (1989) の佐世保層群加勢層の 2 試料から得られた群集は, *Pinus* や *Taxodiaceae* を特徴的に含むものの, 2 試料間で花粉組成のばらつきが大きい。

松井ほか (1989) の野島層群大屋層から得られた群集は, 1 試料のみであるが不明花粉が多く, *Carpinus-Ostrya*, *Alnus*, および *Ulmus-Zelkova* を伴う。また, *Pinus*, *Taxodiaceae*, *Juglans+Pterocarya*, *Fagus*, *Quercus*, および *Liquidambar* をわずかに伴う。深月層中の群集は試料ごとに花粉化石組成にばらつきがあるが, *Pinus*, *Quercus*, および *Ulmus-Zelkova* を連続的に含んでおり, 低率ながら *Carya* および *Juglans+Pterocarya* を伴う。また, 下位層において認められなかった *Gramineae* を特徴的に含む。ここではこのような特徴的な花粉化石群集に基づいて, 深月層全体を予察的に *Pinus-Gramineae* 帯として一括した。

4.3 基礎試錐「五島灘」における花粉化石帯

石油公団 (1998) に基づく, 基礎試錐「五島灘」の古第三系～第四系は, 花粉化石群集の変遷をもとに, 下位より *Pinus*, *Alnus-Ulmus-Zelkova*, *Pinus-Taxodiaceae*, *Quercus-Fagus*, *Pinus-Picea*, および *Pinus-Alnus* の 6 帯の花粉化石帯に区分されている (Fig. 6)。石油公団 (1998) に基づいて, 下位より順に各帯の特徴

を略記する。なお, 以下に記述する本井のシーケンス層序区分は岩田・亀尾 (2001) に基づいた。

Pinus 帯では, *Pinus* が多産する。本帯は DS-P3 の

Fig. 4 Map showing sample localities.

*Depositional sequence after Iwata and Kameo (2001)

Fig. 5 Pollen diagram of the surface samples. Stratigraphic division of the Terashima, Matsushima, and Nishisonogi groups after Nagahama and Matsui (1958). Stratigraphic division of the Sasebo and Nojima groups after Matsui *et al.* (1989).

ceae 帯, および *Quercus-Fagus* 帯に対比される。この対比は, 岩田・亀尾 (2001) の両坑井のシーケンス層序対比と調和的である。ただし, 天草沖 1X 号井では, *Quercus-Fagus* 帯の上位に貧化石帯が存在する。また, これらの上位層は, 天草沖 1X 号井においては *Pinus-Alnus-Quercus* 帯として一括されたが, 基礎試錐「五島灘」においては *Pinus-Picea* 帯および *Pinus-Alnus* 帯に 2 分された。これは, 天草沖 1X 号井においてはサンプル採取間隔が 60~140 m ごとであり, 基礎試錐「五島灘」の 30 m ごとに比較して粗いことが影響しているのかもしれない。

これ以降, 海域坑井の花粉化石帯の名称には, 古第三系下限以浅の全深度にわたって連続的に花粉化石が産出する基礎試錐「五島灘」の花粉化石帯区分を用いる。

前述の陸域における古第三系中の花粉化石群集の特徴は, 海域坑井の古第三系において認められた群集とよく類似しており, 寺島層の群集は *Pinus* 帯の群集に, 松島層群および西彼杵層群間瀬層の群集は *Alnus-Ulmus-Zelkova* 帯の群集に, 西彼杵層群徳万層および日切層の群集は *Pinus-Taxodiaceae* 帯の群集に, それぞれ対応する。これらの結果は, 岩田・亀尾 (2001) のシーケンス層序対比と矛盾しない。

相浦層群および佐世保層群を合わせた区間に相当する *Taxodiaceae-Alnus* 帯, およびその上位の野島層群深月層に相当する *Pinus-Gramineae* 帯は, 海域の坑井においては出現しない。

5. 九州北西部の花粉化石帯の年代と古気候変動

5.1 各花粉化石帯の年代

本論の対象とした九州北西部の第三系を構成する各堆積シーケンスの年代については, 産出する海棲微化石の年代や放射年代などに基づいて岩田・亀尾 (2001) が整理している。岩田・亀尾 (2001) に基づいて, 前述の海域坑井および陸上の花粉化石帯の年代を考察すると, 以下のとおりである (Fig. 7)。基礎試錐「五島灘」および天草沖 1X 号井の石灰質ナノ化石データは, それぞれ石油公団 (1998) および岩田・亀尾 (2001) に基づく。

ほぼ DS-P3 の低海水準期堆積体から海進期堆積体に相当する *Pinus* 帯の年代は, 基礎試錐「五島灘」および天草沖 1X 号井の石灰質ナノ化石データによると, おおむね後期始新世と考えられる。ただし, 岩田・亀尾 (2001) の広域のシーケンス層序対比に基づく DS-P3 の下限は中部始新統であることから, 本帯最下部の年代は中期始新世最晩期にわたる可能性がある。

DS-P3 の高海水準期堆積体から DS-P4 の海進期堆積体最下部に相当する *Alnus-Ulmus-Zelkova* 帯の年代

は, 基礎試錐「五島灘」および天草沖 1X 号井の石灰質ナノ化石データによると, 最晩期始新世から最前期漸新世である。

DS-P4 の海進期堆積体に相当する *Pinus-Taxodiaceae* 帯の年代は, 天草沖 1X 号井の石灰質ナノ化石データおよび崎戸・大島地域の西彼杵層群の石灰質ナノ化石データ (Okada, 1992) によると, 前期漸新世である。

DS-P5 に相当する *Taxodiaceae-Alnus* 帯の年代は, 佐世保地域の相浦層群および佐世保層群中の凝灰岩におけるフィッシュントラック年代測定値 (宮地・酒井, 1991) および佐世保層群最上部の加勢層から産出した浮遊性有孔虫化石の年代 (Sakai *et al.*, 1990) によると, 後期漸新世から前期中新世最前期と考えられる。

野島層群は DS-N1 に相当し (岩田・亀尾, 2001), その中部に位置する深月層に相当する *Pinus-Gramineae* 帯の年代は, Sakai *et al.* (1990) のフィッシュントラック年代測定値に基づく前期中新世と考えられる。

DS-N3 の低海水準期堆積体から海進期堆積体上部に相当する *Quercus-Fagus* 帯中・上部の年代は, 基礎試錐「五島灘」の石灰質ナノ化石データによると, 後期鮮新世である。本帯下部においては年代決定に有効な化石が産しないが, 中部の石灰質ナノ化石産出区間との間に不整合面は認められず, 本帯は一連の地層と考えられることから, 本帯の年代は全体として鮮新世とされている (石油公団, 1998)。DS-N3 の海進期堆積体最上部から高海水準期堆積体に相当する *Pinus-Picea* 帯および *Pinus-Alnus* 帯の年代は, 基礎試錐「五島灘」の石灰質ナノ化石データによると, 第四紀である。

5.2 花粉化石群集から推定される古気候変動

海域における花粉の運搬と堆積の様式は, Traverse (1988) や山野井 (1994) に基づくと以下のようにタクサによって異なっている。形態の特徴により, 気嚢を有する有翼型の花粉 (*Pinus*, *Picea*, *Abies* など) は, 浮遊力が大きく遠くに運ばれやすい。一方, 気嚢を持たない木本および草本花粉 (*Taxodiaceae*, *Alnus*, *Quercus*, *Artemisia* など) は, 供給地近くで沈積しやすい。そして, 花粉の供給源と海域の堆積域との関係では, 内陸の高地植物の花粉ほど遠くまで散布されるのに対して, 岸に近い植物の花粉ほど遠方に運ばれず, 海岸近くに沈積する傾向を示す。また, マツ科花粉は花粉膜の耐性が高く分解されにくい。これらの点に注意し, 他の植物化石資料を加味して, 各花粉化石帯の相対的な古気候変動を次のように推定した (Fig. 7)。

後期始新世の *Pinus* 帯の堆積時には, 暖温帯から亜熱帯要素の *Podocarpus*, *Liquidambar*, および *Nyssa*

(Iwata and Kameo, 2001)			POLLEN ZONE (This Study)	PLANT FOSSILS	PALEOCLIMATE (This Study) cool	MARINE FOSSILS	OTHER DATING
Age	Gp.	Seq.					
PLEISTOCENE		DS-N3	<i>Pinus - Alnus</i>			MITI GOTOH-NADA CN13b - CN14b (JNOC*, 1998)	
			<i>Pinus - Picea</i>				
PLIOCENE			<i>Quercus - Fagus</i>			MITI GOTOH-NADA CN12 - CN13a (JNOC*, 1998)	
MIDDLE MIocene	HIRADO Fm.	DS-N2	?				Kita-Matsuura Basalts 7 ~ 10Ma K-Ar age (Matsui et al., 1989) Hirado Fm. 11.7Ma FT age (Kimura and Tsuji, 1989)
EARLY MIocene	NOJIMA Gp.	DS-N1	<i>Pinus - Gramineae</i>	(Tanai and Onoe, 1956) <i>Platycarya, Pistacia, Hovenia, Vitis</i>	?	<i>Vicarya cf. yokoyamai</i> (Kato, 1992)	Minamitabira Fm. 14.8Ma FT age (Kimura and Tsuji, 1989) Kojimazaki Tuff 18.5±2.3, 18.9±2.9Ma FT age (Sakai et al., 1990) Oya Fm. 17.6, 18.3Ma FT age (Kimura and Tsuji, 1989)
LATE OLIGOCENE - EARLY MIocene	AINOURA Gp. and SASASEBO Gp.	DS-P5	Taxodiaceae - <i>Alnus</i>	YUNOKI FLORA (Tanai and Onoe, 1956) <i>Betula, Alnus, Carpinus, Corylus, Ulmus, Zelkova</i> AINOURA FLORA (Tanai and Onoe, 1956) <i>Rosa, Sophora, Cercis, Hamamelis, Liquidambar</i>		<i>Globigerina ouachitaensis</i> (P21 - N4) (Sakai et al., 1990)	Utagaura Tuff 25.6±3, 25.7±2.3Ma Hareki Tuff 28.1±2.8, 28.3±2.7Ma Ishidake Tuff 30.7±3.7Ma
EARLY OLIGOCENE	NISHI-SONOGI Gp.	DS-P4	<i>Pinus - Taxodiaceae</i>			CP16a - CP18 (Okada, 1992) AMAKUSA-OKI 1X NP21 - NP22 (Iwata and Kameo, submitted)	Honeishi Tuff 33.9±3.3Ma Itanoura Fm. 37.8±4, 37.9±3.5Ma
MID. - LATE EOCENE	MATSU-SHIMA Gp.	DS-P3	<i>Alnus - Ulmus-Zelkova</i>	KISHIMA FLORA (Matsuo, 1971) SAKITO FLORA (Matsuo, 1970)		AMAKUSA-OKI 1X NP20 - NP21 (Iwata and Kameo, submitted)	
			<i>Pinus</i>			AMAKUSA-OKI 1X ? - NP18 - NP19 (Iwata and Kameo, submitted)	

*JNOC : Japan National Oil Corporation

Fig. 7 A summary of pollen assemblage zones in northwest Kyushu and their paleoclimatic implications.

と、熱帯から亜熱帯要素の cf. *Alchornea* の産出から、亜熱帯性の温暖な古気候が推定される。

最後期始新世から最前期漸新世の *Alnus-Ulmus-Zelkova* 帯では、*Alnus*, *Ulmus-Zelkova* などの温～暖温帯性の落葉広葉樹花粉が多産し、熱帯から亜熱帯要素の cf. *Alchornea* の連続的な産出が認められる。また、わずかに暖温帯性の *Liquidambar*, *Nyssa*, および *Podocarpus* が産出する。したがって、本帯の堆積時には、下位の *Pinus* 帯堆積時よりも気温がやや低下するものの、亜熱帯から暖温帯性の古気候が推定される。

前期漸新世の *Pinus-Taxodiaceae* 帯では、*Taxodiaceae*, *Quercus* のほか、暖温帯性の *Podocarpus*, *Liquidambar*, および *Nyssa* が産出する。下位の帯で連続的に認められた熱帯から亜熱帯要素の cf. *Alchornea* の産出は、本帯では減少する。これらの点から、本帯堆積時には下位の *Alnus-Ulmus-Zelkova* 帯堆積時よりもやや気温が低下し、暖温帯性の古気候が支配的であったと推定される。

後期漸新世から前期中新世最前期の *Taxodiaceae-Alnus* 帯の群集は、温帯の湿地に繁茂する *Alnus* を多く含み、わずかに暖温帯性の *Liquidambar* を伴う。棚井・尾上 (1956) は陸域の相浦層群から相浦植物群を、

佐世保層群から柚木 (ゆうのき) 植物群を報告し、前者から暖温～温帯性、後者から温帯性の古気候を推定している。この推定は花粉化石群集から想定される古気候と調和的であり、本帯堆積時には、下位の *Pinus-Taxodiaceae* 帯堆積時よりも気温の低い温帯から暖温帯性の古気候が推定される。また、棚井・尾上 (1956) が推定した古気候に従えば、下位の相浦層群堆積時よりも上位の佐世保層群堆積時の方が気温が低かった。

前期中新世の *Pinus-Gramineae* 帯では、*Ulmus-Zelkova* などの温～暖温帯性の落葉広葉樹花粉が連続的に産出し、わずかに暖温帯性の *Carya* が産する。棚井・尾上 (1956) は野島層群深月層下部から温暖な気候を示唆する *Pistacia* などの植物化石を報告しており、花粉化石群集から推定される古気候よりも温暖な古気候を示す印象を受ける。この不一致は、この層準から産出する花粉化石の保存が悪いことから、これらの群集が堆積当時の植生を的確に反映したものではないことによる可能性が考えられる。

後期鮮新世の *Quercus-Fagus* 帯では、*Quercus* (本帯では常緑広葉樹の *Quercus* の亜属 *Cyclobalanopsis* が多い)、*Fagus*, および *Liquidambar* が多産することから、その堆積時には暖温帯性の古気候が推定される。

第四紀の *Pinus-Picea* および *Pinus-Alnus* 帯では、冷温帯から亜寒帯性の *Picea*, *Tsuga*, および *Abies* が多産し、比較的冷涼から寒冷な古気候が推定される。

以上述べた古気候変動は、尾崎 (1992) が化石植物群の変遷から推定した日本における古第三紀の古気候変化や、棚井 (1991) が葉化石相の全縁葉率から推定した日本の第三紀の古気候変動とおおむね調和的である (Fig. 10)。

6. 東シナ海堆積盆地との対比

6.1 東シナ海堆積盆地の層序と花粉化石帯

東シナ海の第三系の層序は主に中国の研究者によって報告されているが、その地層名や地質年代に関しては研究者 (Zhou *et al.*, 1989; Liu, 1989; Yang, Q. L., 1992; Hu and Sarjeant, 1992; Yang, Z., 1992; Wu *et al.*, 1998 など) 間で必ずしも一致していない (Fig. 8)。特に東シナ海東部 (Zhou *et al.*, 1989 の 'eastern depression zone') の Pinghu 層以深の層序は統一されていない。これは、Hu and Sarjeant (1992) が花粉分析を行った坑井の到達層準と深度を考慮すると、Pinghu 層よりも下位に到達した坑井がまれであるためと推察される。これに対し、Pinghu 層以浅の層序はおおむね一致しており、同層より上位に向かって Huagang 層, Longjing 層, Yuquan 層 (あるいは Yuquan 層および Liulang 層), Santan 層, および Donghai 層群が累重する。Santan 層および Donghai 層群は、浮遊性の海棲微化石を産し、鮮新統～第四系であることが明らかであるが、その下位の Pinghu 層までの地層は非海成層を主とし、海棲微化石に乏しい (Zhou *et al.*, 1989; Liu, 1989 など) ことから詳細な年代は分かっていない。特に Pinghu 層は夾炭層であり、東シナ海東部における重要な根源岩層準であると考えられるが、同層を Hu and Sarjeant (1992) は漸新統、その他の研究者は始新統としている (Fig. 8)。また、Yuquan 層 (Liu, 1989 および Hu and Sarjeant, 1992 以外では Yuquan 層および Liulang 層) は背斜構造を形成する最上位の地層であり、その年代は東シナ海東部におけるトラップ構造の形成時期考察に重要な意味を持つが、同層を Yang, Q. L. (1992) は中部中新統、その他の研究者は中・上部中新統としている。このように、東シナ海東部においては、年代層序が確定されているとは言い難い。

Hu and Sarjeant (1992) は東シナ海東部に掘削された坑井の花粉分析を行い、Pinghu 層以浅を下位より *Alnipollenites* 帯, *Fraxinoipollenites-Quercoidites-Taxodiaceapollenites-Alnipollenites* 帯, *Sporotrapoidites minor-Graminidites* 帯, *Rutaceoipollis-Liquida-*

Fig. 8 Stratigraphic divisions in the East China Sea basin.

mbarpollenites 帯, *Liquidambarpollenites-Persicariopollis* 帯, *Graminidites-monolete spores* 帯, および *Alnipollenites-Chenopodipollis-Compositae* 帯の 7 帯の花粉化石帯に区分した (Fig. 9)。また、Hu and Sarjeant (1992) は、上記の各層の境界深度として花粉化石帯の境界深度を用いている。

ここで、Hu and Sarjeant (1992) が示した花粉化石データに基づいて、東シナ海東部の第三紀の古気候変動を筆者らが読みとると以下のとおりである。

Alnipollenites 帯は温～暖温帯性の落葉広葉樹花粉である *Alnipollenites* (本論の *Alnus* に相当) の多産によって特徴づけられる。本帯からは、その他の古気候の指標になる花粉化石の産出に乏しく、本帯堆積時の古気候は定かではない。*Fraxinoipollenites-Quercoidites-Taxodiaceapollenites-Alnipollenites* 帯からは、温～暖温帯要素の *Quercoidites* (本論の *Quercus* に相当), *Taxodiaceapollenites* (本論の *Taxodiaceae* に相当), および *Alnipollenites* が連続的に産出する。本帯においても、その他の古気候の指標になる花粉化石の産出に乏しく、本帯堆積時の古気候は定かではない。

熱帯から亜熱帯要素の *Rutaceae* (ミカン科), 暖温帯要素の *Liquidambar* (フウ属) および *Carya* (ペカン属), 冷温帯から亜寒帯要素の *Abies* (モミ属) などの花粉化石の消長に着目すると、Longjing 層以浅の後背地における古気候は、*Sporotrapoidites minor-Graminidites* 帯堆積時には温～暖温帯, *Rutaceoipollis-Liquidambarpollenites* 帯堆積時には下位帯の堆積時よりも暖かい暖温～亜熱帯, *Liquidambarpollenites-Persicariopollis* 帯堆積時には下位帯の堆積時よりもやや冷涼化した暖温帯, *Graminidites-monolete spores* 帯堆積時には下位帯の堆積時よりもやや気温の低下した温～暖温帯, さらに *Alnipollenites-Chenopodipollis-Compositae*

(Hu and Sarjeant, 1992)			PALEOCLIMATE (This Study)		MARINE FOSSILS		
AGE	FORMATION	POLLEN ZONE	Cenozoic		Foraminifers	Calc. Nannofossils	Dinoflagellates
Pleistocene - Holocene	Donghai Gp.	<i>Alnipollenites</i> - <i>Chenopodiipollis</i> - Compositae			(Liu, 1989) <i>Pseudorotalia indopacifica</i> , <i>Asterorotalia multispinosa</i>	(Liu, 1989) <i>Gephyrocapsa oceanica</i> <i>Pseudoemiliania lacunosa</i>	(Hu and Sarjeant, 1992) <i>Spiniferites bentorii</i> etc.
Pliocene	Santan	<i>Graminidites</i> - monolet spores			(Liu, 1989) <i>Pseudorotalia yabei</i> - <i>Asterorotalia multispinosa</i>	(Liu, 1989) <i>Gephyrocapsa oceanica</i> <i>Discoaster surculus</i> NN15,16,18	
Late Miocene	Yuquan	<i>Liquidambarpollenites</i> - <i>Persicariopollis</i>			(Liu, 1989) Benthonic Foraminifera <i>Spirogoniella compressa</i> etc.		(Liu, 1989) <i>Operculodinium wallii</i> , <i>O. centrocarpum</i> , <i>Polysphaeridium</i> sp., <i>Batiacasphaera</i> sp.
Middle Miocene		<i>Rutaceipollis</i> - <i>Liquidambarpollenites</i>					
Early Miocene	Longjing	<i>Sporotrapoidites minor</i> - <i>Graminidites</i>					
Oligocene	Huagang	<i>Fraxinipollenites</i> - <i>Quercoidites</i> - <i>Taxodiaceapollenites</i> - <i>Alnipollenites</i>		?	(Liu, 1989) Benthonic Foraminifera		
	Pinghu	<i>Alnipollenites</i>		?	(Hu and Sarjeant, 1992) <i>Globigerina gortani</i> , <i>G. officinalis</i> , <i>G. praebuloides</i> P11 - P16		(Liu, 1989) <i>Cordosphaeridium fibrospinosum</i> , <i>Achilleodinium biformoides</i> , <i>Phthanoperidinium tritonium</i> , <i>P. multispinum</i>

Fig. 9 A summary of spore-pollen assemblage zones in the East China Sea basin.

tae 帯堆積時には下位帯の堆積時よりも冷涼化した温～冷温帯の範囲にあったものと推定される (Fig. 9)。

6.2 花粉化石帯に基づいた対比と年代の考察

以上述べた九州北西部と東シナ海東部の花粉化石帯群集およびそれらから考察される古気候変動に基づいて両地域の層序対比を試みた (Fig. 10)。

花粉化石組成が類似していることから、東シナ海の *Alnipollenites* 帯, *Fraxinipollenites* - *Quercoidites* - *Taxodiaceapollenites* - *Alnipollenites* 帯下部, および同帯上部は、九州北西部の *Alnus* - *Ulmus* - *Zelkova* 帯, *Pinus* - *Taxodiaceae* 帯, および *Taxodiaceae* - *Alnus* 帯にそれぞれ対比される。ただし, Hu and Sarjeant (1992) は TT 1 坑井の *Alnipollenites* 帯最下部から Blow (1969) の P11～P16 帯 (中部始新統中部～上部始新統中部) のいずれかに対比される浮遊性有孔虫化石を報告していることから、彼らの *Alnipollenites* 帯の最下部が九州北西部の *Pinus* 帯にかかる可能性がある。

東シナ海の *Sporotrapoidites minor* - *Graminidites* 帯の群集はその組成が九州北西部の *Pinus* - *Gramineae* 帯の群集に類似しており、ほぼ両者が対比されるものと考えられる。ただし、後者に産出する花粉化石群集は現時点では充分把握されておらず、検討の余地がある。

東シナ海の *Rutaceipollis* - *Liquidambarpollenites* 帯および *Liquidambarpollenites* - *Persicariopollis* 帯に関しては、両帯を特徴づける花粉化石群集と類似の群集は九州北西部では見いだされていない。

東シナ海の *Graminidites* - monolet spores 帯および *Alnipollenites* - *Chenopodiipollis* - *Compositae* 帯は、九州北西部の *Quercus* - *Fagus* 帯および *Pinus* - *Picea* 帯・*Pinus* - *Alnus* 帯にそれぞれ対比される。この対比は海

棲微化石の産出状況とも矛盾しない。

以上の結果に基づき、東シナ海東部の第三系と九州北西部で区分された堆積シーケンス (岩田・亀尾, 2001) との対比を試みると、Pinghu 層はほぼ DS-P3 の高海水準期堆積体から DS-P4 の低海水準期堆積体 (松島層群の上半部) に、Huagang 層は DS-P4 の海進期堆積体より上部 (西彼杵層群) および DS-P5 (相浦層群および佐世保層群) に、Longjing 層は DS-N1 (野島層群) に、Santan 層および Donghai 層群は DS-N3 にそれぞれ対比される。

Liu (1989) は、東シナ海大陸棚に発達する第三系の花粉・渦鞭毛藻・石灰質ナノ化石・有孔虫などの微化石層序を総括し、Pinghu 層を始新統、Huagang 層を漸新統、Hailongjing 層 (他の研究者の Longjing 層) を下部中新統とした。この総括のもとになった微化石のうち、渦鞭毛藻化石は Yu (1989) によって詳細に報告されている。Yu (1989) は、Pinghu 層から *Cordosphaeridium fibrospinosum*, *Achilleodinium* cf. *biformoides*, *Phthanoperidinium tritonium*, *P. multispinum* などを報告し、同層を始新統とした。また、Huagang 層および Longjing 層からは渦鞭毛藻化石の報告がない。一方、Hu and Sarjeant (1992) は、主に中国本土および南シナ海から東シナ海南部の第三系の花粉化石帯との対比に基づいて Pinghu 層～Longjing 層の年代を考察し、Pinghu 層を漸新統とした。しかし、前述した九州北西部の花粉化石帯の年代が東シナ海東部における対比先の化石帯にも適用できるとすれば、Pinghu 層は最上部始新統から最下部漸新統であろう。Pinghu 層は非海成層を主体としており、海成層の挟みが下部に存在する (Hu and Sarjeant, 1992) 点を考慮すると、前述の Yu

Fig. 10 Stratigraphic correlation between the East China Sea and northwest Kyushu based on spore-pollen assemblage zones.

(1989) による年代とは矛盾しない。Huagang 層および Longjing 層は、Liu (1989) や Hu and Sarjeant (1992) の考察と同様に、それぞれほぼ漸新統および下部中新統であると考えられる。

Yuquan 層 (Liu, 1989 ; Hu and Sarjeant, 1992) に関しては、同層に相当する花粉化石帯と対比可能な花粉化石帯が九州北西部で見いだされていない。Yu (1989) は、東シナ海東部において掘削された玉泉 1 号井の Yuquan 層から渦鞭毛藻化石 (*Operculodinium wallii*, *O. centrocarpum*, *Polysphaeridium* sp., *Batiacasphaera* sp. など) を、また東シナ海西部において掘削された霊峰 1 号井の Yuquan 層から、日本の下~中部中新統に見いだされる渦鞭毛藻化石群集と類似の *Operculodinium echigoensis*-*Spiniferites ovatus* 群集を報告し、同層を下~中部中新統とした。一方、Hu and Sarjeant (1992) は、汎世界的な古気候変動を考慮して、Yuquan 層下部 (*Rutaceipollis*-*Liquidambarpollenites* 帯) および上部 (*Liquidambarpollenites*-*Persicariopollis* 帯) の年代を、それぞれ中中新世および後期中中新世としている。筆者らが東シナ海東部において推定した古気候変動の温暖なピークが *Rutaceipollis*-*Liqui-*

dambarpollenites 帯堆積時に認められることから、日本の古気候変動 (棚井, 1991) との比較に基づくと、同帯の下限の年代は前期中中新世の最後期までさかのぼる可能性が考えられる。Yuquan 層の年代に関しては、九州北西部の中新統である野島層群および平戸層の詳細な花粉化石層序を検討して、東シナ海との対比を行うことにより、もっと精度の高い年代論が考察できるであろう。

本研究により、九州北西部と東シナ海東部との間で第三系の花化石帯に基づいた対比が可能であることが判明した。この対比に基づけば、これまで不明確であった Pinghu 層の年代は最後期始新世から最前期漸新世である。一方、Yuquan 層の年代に関しては今後の検討を要し、野島層群および平戸層の詳細な花粉化石層序に基づいた対比によってより精度の良い年代論が展開できるであろう。

東シナ海から九州北西部にかけての海域には、非海成層を主とした第三系が厚く発達しており、花粉化石層序は、この海域における構造発達史の考察や炭化水素の探鉱に欠かせない広域の層序対比を行うための有力なツールとなるであろう。

7. ま と め

天草沖 1X 号井および五島灘周辺陸域の地表試料の花粉化石分析結果を新たに提示し、さらに基礎試錐「五島灘」の花粉化石分析結果(石油公団, 1998)や既存文献に基づいて、九州北西部の第三系の花粉化石帯区分を行うとともに、それらの地質年代を考察した。また、花粉化石帯に基づいて東シナ海東部と九州北西部の層序対比を行った。その結果は以下のとおりである。

- (1) 九州北西部(五島灘および天草灘周辺)の古第三系～第四系は、下位より *Pinus* 帯, *Alnus-Ulmus-Zelkova* 帯, *Pinus-Taxodiaceae* 帯, *Taxodiaceae-Alnus* 帯, *Pinus-Gramineae* 帯, *Quercus-Fagus* 帯, *Pinus-Picea* 帯, および *Pinus-Alnus* 帯の8帯の花粉化石帯に区分される。
- (2) 共産する海棲微化石およびその他の年代資料に基づく、*Pinus* 帯はほぼ上部始新統, *Alnus-Ulmus-Zelkova* 帯は最上部始新統から最下部漸新統, *Pinus-Taxodiaceae* 帯は下部漸新統, *Taxodiaceae-Alnus* 帯は上部漸新統から最下部中新統, *Pinus-Gramineae* 帯は下部中新統, *Quercus-Fagus* 帯は鮮新統, *Pinus-Picea* 帯および *Pinus-Alnus* 帯は第四系と判断される。
- (3) 東シナ海東部で設定された第三系の花粉化石帯は、その群集組成と推定される古気候変動に基づいて、上記の九州北西部で設定された花粉化石帯と対比可能であることが判明した。
- (4) 東シナ海から九州北西部にかけての海域には、非海成層を主とした第三系が厚く発達しており、花粉化石層序は、この海域における構造発達史の考察や炭化水素の探鉱に欠かせない広域の層序対比を行うための有力なツールとなるであろう。

謝 辞

著者の一人岩田は山口大学理学部君波和雄教授にご指導いただいた。経済産業省資源エネルギー庁および石油公団には基礎試錐資料の公表を、帝国石油株式会社には坑井資料の公表を許可していただいた。投稿にあたって帝国石油株式会社 OB の工藤哲朗氏、パリノ・サーヴェイ株式会社顧問徳永重元博士および興津昌宏氏にはご教示いただいた。長崎大学の松岡数充教授ならびに石油資源開発株式会社の栗田裕司氏には、渦鞭毛藻化石に関してご教示いただいた。査読者には貴重なご助言をいただいた。試料採取に際しては、佐々木一彦、亀尾浩司、平野真史、および小平千尋の各氏の応援をいただいた。以上の機関・方々に深謝いたします。

引 用 文 献

- 相場惇一・関谷英一, 1979: 南西諸島周辺海域の堆積盆地の分布と性格. 石技誌, 44 (5), 97-108.
- Blow, W. H., 1969: Late Middle Eocene to recent planktonic foraminiferal biostratigraphy. *Int. Conf. Planktonic Microfossils, 1st, Geneva 1967, Proc. I*, 199-422.
- Exxon Production Research Company, 1985: *Tectonic map of the world*, Panel 12. American Association of Petroleum Geologists.
- Hag, B. U., Hardenbol, J. and Vail, P. R., 1988: Mesozoic and Cenozoic chronostratigraphy and eustatic cycles. In Wilgus, C. K., Hastings, B. S., Kendall, C. G. St. C., Posamentier, H. W., Ross, C. A. and Van Wagoner, J. C., eds: *Sea-level changes: An integrated approach*. Spec. Publ. Soc. Econ. Paleont. Miner., no. 42, 71-108.
- 服部 仁・井上英二・松井和典, 1993: 神浦地域の地質. 地域地質研究報告(5万分の1地質図幅), 地質調査所, 126 p.
- Hu, Z. and Sarjeant, W. A. S., 1992: Cenozoic spore-pollen assemblage zones from the shelf of the East China Sea. *Review of Paleobotany and Palynology*, 72, 103-118.
- 岩田尊夫・亀尾浩司, 2001: 北西九州の含炭堆積盆地におけるシーケンス層序と堆積過程. 石技誌, 66 (3), 278-291.
- 加藤敬史, 1992: 野島層群の地質年代. 日本地質学会西日本支部会報, 101, 20.
- 木村勝弘・辻 喜弘, 1989: 堆積盆の生成発展過程の研究. 昭和63年度石油開発技術センター年報, 10-13, 石油公団.
- Liu, Z., 1989: Stratigraphy. In Ministry of geology and mineral resources and Chinese academy of geological sciences eds.: *Cenozoic Paleobiota of the Continental Shelf of East China Sea (Donghai)*, 1-5, Geological Publishing House.
- Martini, E., 1971: Standard Tertiary and Quaternary calcareous nannoplankton zonation. In Farinacci, A., ed.: *Plank. conf. Rome, 1970 Proc.*, 2, 738-785, Tecnoscienza.
- 松井和典・古川俊太郎・沢村孝之助, 1989: 佐世保地域の地質. 地域地質研究報告(5万分の1地質図幅), 地質調査所, 92 p.
- Matsuo, H., 1970: Paleogene flora of northwestern Kyushu, Pt. II: The Sakito flora. *Ann. Sci. Coll. Liberal Arts, Kanazawa Univ. (Nat. Sci.)*, 4, 15-88.
- Matsuo, H., 1971: Paleogene flora of northwestern Kyushu, Pt. III: The Kishima flora. *Ann. Sci. Coll. Liberal Arts, Kanazawa Univ. (Nat. Sci.)*, 8, 21-47.
- 宮地六実・酒井治孝, 1991: 北西九州, 第三紀中火砕岩類のフィッシュントラック年代. 地質雑, 97 (8), 671-674.

- 長浜春夫・松井和典, 1958 : 5 万分の 1 地質図幅「蛸浦」および同説明書. 地質調査所, 66 p.
- Okada, H., 1992 : Calcareous nannofossils and biostratigraphy of the Paleogene sequences of the northern Kyushu, Japan. *Jour. Geol. Soc. Japan*, **98** (6), 509-528.
- Okada, H. and Bukry, D., 1980 : Supplementary modification and introduction of code numbers to the low-latitude coccolith biostratigraphic zonation (Bukry, 1973 ; 1975). *Mar. Micropaleont.*, **5**, 321-325.
- 尾崎正紀, 1992 : 日本における古第三紀植物群の変遷と古気候変化. 地調月報, **43** (1/2), 69-85.
- Sakai, H., Nishi, H. and Miyachi, M., 1990 : Geologic age of the unconformity between the Sasebo and the Nojima Groups, northwest Kyushu and its tectonic significances. *Jour. Geol. Soc. Japan*, **96** (4), 327-330.
- 石油公団, 1998 : 平成 8 年度国内石油・天然ガス基礎調査 基礎試錐「五島灘」調査報告書. 60 p.
- Takahashi, K., 1961 : Pollen und sporen des west-japanischen Alttertiärs und Miozäns (I. Teil). *Mem. Fac. Sci., Kyushu Univ., Ser. D, Geol.*, **9** (2), 151-255.
- 棚井敏雅, 1991 : 北半球における第三紀の気候変動と植生の変化. 地学雑, **100** (6), 951-966.
- 棚井敏雅・尾上 亨, 1956 : 佐世保炭田産の化石植物群について (予報). 地調月報, **7** (2), 69-74.
- 徳永重元・尾上 亨, 1965 : 北西九州主要炭田炭田における炭層の花粉分析研究. 地調月報, **16** (10), 564-572.
- Traverse, A., 1988 : *Paleopalynology*. Unwin Hyman, 600 p.
- 山野井徹, 1994 : 新第三紀における日本列島の古植生. 月刊地球, **16** (3), 180-185.
- Yang, Q. L., 1992 : Geotectonic framework of the East China Sea. In Watkins, J. S., Feng, Z. and McMillen, K. J. ed. : *Geology and Geophysics of Continental Margins*, AAPG Memoir 53, 17-26, Am. Assoc. of Petrol. Geol.
- Yang, Z., 1992 : The types and basining period of Cenozoic sedimentary basins in East China Sea. *Mar. Geol. and Quat. Geol.*, **12** (2), 1-11.
- Yu, J., 1989 : Dinoflagellates. In Ministry of geology and mineral resources and Chinese academy of geological sciences eds. : *Cenozoic Paleobiota of the Continental Shelf of East China Sea (Donghai)*, 112-159, Geological Publishing House.
- Wu, F., Lu, Y., Li, S., Xie, X. and Li, P., 1998 : Tertiary sequence stratigraphic framework and sea-level changes in the East China Sea shelf basin. *Earth Sci.-Jour. of China Univ. of Geosci.*, **23** (1), 13-20.
- Zhou, Z., Zhao, J. and Yin, P., 1989 : Characteristics and tectonic evolution of the East China Sea. In Zhu, X., ed. : *Sedimentary Basins of the World, 1 Chinese Sedimentary Basins*, 165-179, Elsevier.