論文・報告

微化石層序からみた新潟地域における石油根源岩の時空分布*

佐藤 時幸**・工藤 哲朗***・亀尾 浩司***

(Received August 26, 1994; accepted November 9, 1994)

On the distribution of source rocks in the Niigata oil field based
on the microfossil biostratigraphy

Tokiyuki Sato, Tetsuro Kudo and Koji Kameo

Abstract: We describe in detail the paleoenvironment of the Niigata sedimentary basin related to the distribution of the petroleum source rocks based on the analysis of the foraminiferal assemblages in the latest Nanatani, Teradomari, Shiiya and early Nishiyama ages. The Teradomari stage is divided into five zones named LT 1 to LT 4 and UT based on the characteristics of the foraminiferal assemblages. These are:

LT 1: mixed assemblage of calcareous benthic foraminifera (*Globobulimina* spp. and *Uvigerina* spp.) and arenaceous foraminifera (*Haplophragmoides* spp.)

LT 2: arenaceous foraminifera assemblage characterized by the abundant occurrences of *Dorothia* spp. and *Haplophragmoides* spp.

LT 3: *Cassidulina-Gyroidinoides* assemblage mixed with arenaceous foraminifera (*Haplophragmoides* spp.)

LT 4: *Dorothia* spp.-*Haplophragmoides* spp. assemblage

UT: *Spirosigmoinella compressa*, *Haplophragmoides* spp., and *Martinottiella communis* assemblage.

Both LT 1 and LT 3 zones are also characterized by the relatively abundant planktonic foraminifera. The assemblages of LT 2 and LT 4 zones, in which arenaceous foraminifera occur abundantly, indicate that the paleosea of the Early Teradomari age was anoxic environment. Furthermore, on the basis of distribution pattern of Nanatani stage, LT 1 to LT 4 zones, and Upper Teradomari stage, the paleogeographies of the sedimentary basin of the Niigata area in the middle to late Miocene are reconstructed as follows. The paleo-ocean in the Nanatani age was widely present in the Niigata area. The sedimentary basin of the earliest Teradomari age (LT 1-2) was shifted to the limited area in the western part of the Niigata area, such as Kubiki, Nishiyama-Chuo oil field, Minami-Nagaoka, and Minami-Aga areas, in contrast with both the Naka-Kanbara and eastern part of the Niigata areas where no sediment was deposited. On the basis of the paleogeography in the earliest Teradomari age, it is inferred that the organic rich sediments were deposited in the Nishiyama-Chuo oil field to Minami-Nagaoka areas near the edge of sedimentary basin trending northwest to southeast where productivity of phytoplankton was high due to upwelling.

* 平成 6 年 6 月 9 日, 平成 6 年度石油技術協会春季講演会地質・探鉱部門シンポジウム「我が国における石油根源岩の堆積環境」にて講演

This paper was presented at the 1994 JAPT Geology and Exploration Symposium entitled "Depositional

environments of petroleum source rocks in Japan", held in Nagaoka, Niigata, Japan, June 9, 1994,

** 秋田大学鉱山学部 Mining College, Akita University

*** 帝国石油(株)技術研究所 Technical Research Center, Teikoku Oil Co., Ltd.

1. はじめに

近年積極的に進められてきた日本海側地域の石油根源岩評価では、中部中新統の寺泊階や女川階が根源岩として最も良好であることが明らかにされつつあるほか、同じ時階の中でも層準によって根源岩の能力に差があることも指摘されている（平井・宮本，1992）。これらの根源岩がどのような環境下で堆積したかについては、これまで堆積学や堆積岩石学，古生物学など，様々な見地から検討されてきた（例えば，米谷ら，1980；Matoba, 1984；Tada, 1991 など）。しかし，根源岩の詳細な時空分布の点では，珪藻化石によって新潟地域，秋田地域などで地表層序の時代と対比が進められている（佐藤雅之，1985 MS；的場，1992；柳沢ら，1986 など）のに対し，石油根源岩の検討が行われている坑井では，続成作

用による珪藻殻の消失のため詳細な時代と対比が不明のまま底生有孔虫に基づいた大まかな対比になっている。本稿で対象とする新潟地域でも，中新世寺泊期は，前期および後期寺泊期，もしくは単に寺泊期のオーダーで論じられてきた。このことは，寺泊期における古環境の変遷が不明瞭となるばかりでなく，寺泊階に含まれる石油根源岩の分布様式とそれを規制した要因を推測する上で大きな問題となる。

今回，筆者らは新潟堆積盆地の石油根源岩の時空分布を明かにすべく，有孔虫化石から改めて地層の詳細な対比と古環境の変遷の解明を試み，堆積盆地の枠組みと堆積体の発達様式について新たな知見を得た。本論では，最初に寺泊期を中心とした有孔虫化石群集の変化を改めて詳述し，その水平・垂直変化の詳細を明らかにしたうえで，群集変化の持つ意義について述べる。次に，その

図1 調査坑井位置図（黒丸の坑井は図5，図6の断面に位置する坑井）

結果に基づき寺泊期を中心に新潟堆積盆地の古地形と堆積様式を復元し、新潟堆積盆地の枠組みを総括する。明かになった新第三系の堆積様式、古地形の変遷、および底生有孔虫から推定される水質の変化から寺泊期の海洋環境を推定する。最後に海洋環境から推定される生物生産量とその保存環境から、新潟堆積盆地の石油根源岩の分布域を考察する。

2. 調査地域

本稿で研究の対象としたのは、北は紫雲寺から南は松之山に至る、頸城地域西縁を除いた新潟地域一帯である。新潟県下にはこれまで数多くの坑井が掘削されているが、その内、寺泊階を掘り抜いた坑井は限定される。さらに、微化石資料を用いて古環境を解析する場合、それぞれの坑井が同一の精度で調査されている必要があるが、その条件を満たす坑井は100坑井に満たない。今回筆者らは、新潟地域に掘削された坑井から上記条件を満たす68坑井を選び出し(図1)、各坑井の底生有孔虫群集変化について改めて層位学的検討を行った。なお、本論中で坑井名の後の括弧内に記す数字は、図1の坑井番号に対応する。

3. 微化石層序

3.1 寺泊階の有孔虫群集、朝日原1号井を例として

新第三紀新潟堆積盆地には七谷階から寺泊階、椎谷階、西山階および灰爪階が分布する。一般に、各時階との対比は、浮遊性微化石の出現・絶滅に基づき行われるが、新潟地域では浮遊性微化石の産出が稀であることもあいまって、多くは底生有孔虫の群集変化に基づいている。また、浮遊性有孔虫から対比が行われている西山階、灰爪階や、七谷階でも、その基準は特定種の発生や絶滅ではなく、暖海性種などの特定区間での産出や多産といった群集変化(例えば亜熱帯性種の産出上限を基準にした七谷階上限や、No.3 *Globorotalia inflata* bed の下限に基づく西山階基底など)に基づいている。この中で、特に底生有孔虫の対比基準は環境変化と密接しており、その対比が時間面と斜交する場合も少なくない(例えば佐藤ら(1988)が指摘した Matsunaga (1963) の *Uvigerina subperegrina* Zone/*Criboelphidium yabei* Zone 境界)。しかし、一方で新潟地域の中新統から下部鮮新統では、底生有孔虫による対比が凝灰岩鍵層の対比と調和的であることも事実である(渡辺, 1985 など)。

図2 朝日原1号井の七谷階最上部から上部寺泊階までの有孔虫化石群集変化

ここで、新潟油田地域の代表的な底生有孔虫群集の変化の例として、南長岡ガス田に位置する朝日原1号井(50)の例を見てみる。図2に、七谷階上部から上部寺泊階までの代表的な底生有孔虫の層位分布と、100 gあたりの浮遊性有孔虫化石産出個体数の層位変化を示した。これまで、下部寺泊階は *Dorothia* spp. や *Haplophragmoides* spp. が、上部寺泊階は *Spirosigmoinella compressa* や *Martinottiella communis* などの砂質有孔虫が卓越すると考えられてきた。しかし、図2に示したごとく、寺泊階の有孔虫群集変化を詳細に見ると、下部寺泊階は下位より(1)砂質有孔虫を伴う石灰質有孔虫の *Uvigerina-Globobulimina* 群集、(2) *Dorothia-Haplophragmoides* よりなる砂質有孔虫群集、(3)砂質有孔虫と石灰質有孔虫の *Cassidulina-Gyroidinoides* との混合群集、そして(4) *Dorothia-Haplophragmoides* よりなる砂質有孔虫群集を経て *Spirosigmoinella compressa* や *Martinottiella communis* を伴う砂質有孔虫を主体とした上部寺泊階の群集へと変化する(図2)。同様に浮遊性有孔虫の産出量を見ると、石灰質有孔虫が増加する層準では浮遊性有孔虫の産出個体数も増える。すなわち、寺泊階においても石灰質有孔虫が多産する層準が存在し、そこでは浮遊性有孔虫も増加するという関係が認められる。

このような下部寺泊階の群集変化は、後述するごとく新津市の北方から信濃川沖合、長岡、西山—中央油帯、そして頸城に至る広い地域で認められる。ここで、七谷階に特徴的な群集で特徴づけられる層準を Nt、寺泊階の(1)から(4)の群集で特徴づけられる層準をそれぞれ LT 1, LT 2, LT 3, LT 4, 上部寺泊階を UT, そして椎谷階の *Miliammina-Martinottiella* を主体とする砂質有孔虫群集で特徴づけられる層準を SY, 西山階の No. 3 *Globorotalia inflata* bed 層準を NY と呼ぶことにし、新潟堆積盆地における環境変動を考えてみる。

3.2 底生有孔虫化石による対比基準面は時間面か？

底生有孔虫は環境に左右されるため、底生有孔虫に基づく対比基準面は時間面と一致しない場合が多い。したがって、各化石帯の分布様式の変化は必ずしも時間面と直接関係するわけではない。しかし新潟地域の中新統から鮮新統下部では、浮遊性有孔虫化石や石灰質ナンノ化石はほとんど産出しないものの、下部寺泊階の S-tuff と呼ばれる鍵層と底生有孔虫の群集変化面との関係が整合的である例から見ても、底生有孔虫の基準面が同一時間面として扱えることが明かになっている(例えば渡辺, 1985)。この事実、朝日原1号井(50)の例で示した底生有孔虫群集の変化が、新潟堆積盆地内ではほぼ同時に発生したことを示している。ではなぜこれらが時間

面となるのであろうか？ また、後述するごとく、堆積盆地東縁部で LT 1, LT 2, LT 3 が欠如し、上位の地層が直接下位の地層に接する原因は何であらうか？

Matoba (1984) は、日本海側堆積盆地の中新統が砂質有孔虫群集の多産で特徴づけられることを述べ、それが溶存酸素量の少ない還元環境に起因していることを指摘した。今回の朝日原1号井(50)では、石灰質有孔虫が比較的多く産出する LT 1 や LT 3 のみならず、砂質有孔虫群集が卓越する LT 2 や LT 4 でも浮遊性有孔虫は産出し、かつ、その保存状況は他の層準のものと変わらない。特に浮遊性有孔虫の保存状態が変わらない事実は、石灰質有孔虫群集の増減が CCD (炭酸カルシウム補償深度) の変化に起因するのではなく当時の底生有孔虫群の特性、すなわち、堆積盆地内の溶存酸素量の変化に関係していることを示唆する。また、石灰質底生有孔虫が多産する LT 1 と LT 3 層準で浮遊性有孔虫の産出量も同様に増加することも加味すると、新潟堆積盆地が1つの隔離された堆積盆地(silled basin)であり、外海との連絡状況(相対的な海水準の変動その他)が変化したときに、堆積盆地内の水質の変化を招き、底生有孔虫群集の広域的な変化が同時に起きたことを示している。その結果、新潟堆積盆地における中新世から初期鮮新世の間の底生有孔虫群集変化面は時間面と一致し、凝灰岩などの鍵層による対比と調和する。

4. 各堆積体の水平・垂直分布、および海底古地形

4.1 堆積体の水平分布変化

先に設定した各化石群集で特徴づけられる層準の分布が、水平・垂直的にどのように変化をするかを見てみる。図3は、七谷階の上位にくる堆積岩が前述のどの層準に対比されるかを示した。Nt はすでに明らかなように新潟県下一帯に広く分布し、その海域は太平洋側とながっていた。しかし、図3に示したように、その上位に重なる堆積岩の時代は地域によって異なり、東部地域や中蒲原中央部では、寺泊階の下部または全部を欠いて、さらに東方または中央部ほど七谷階の上に直接より上位の地層が重なる様子が分かる。そこで、改めて上述の化石群集で特徴づけられる層準の分布形態がどのように変化したかを見てみる(図4)。

Nt の堆積域は、日本海の形成と関係し、西黒沢海進に伴って新潟県下一帯から太平洋側に広がる(図4 a)。それに対し、その直上の下部寺泊階下部の LT 1 は、分布域を急激に西方へ縮小させる(図4 b)。その範囲は、長岡の西側から頸城および分水の南方に至る地域、および新潟市から新津北方の狭い区間に限定され、六日町か

図3 新潟堆積盆地、七谷階の上位に重なる堆積岩の時代と分布様式（破線は1000年あたりの堆積速度が30 cm から60 cm へと2倍以上に急変する境界を示す）。LT1, LT2, LT3, LT4: 図2参照, UT: 上部寺泊階, SY: 椎谷階, NY: 西山階下部のNo. 3 *G. inflata* bed 層準。

ら長岡、三条、角田から弥彦および中蒲原一帯、そして北蒲原の大部分では陸域、または無堆積となる（図4b）。しかし、これがその上位のLT3, LT4, UTそしてSYと、上位になるに従い堆積域は再び東方へと拡大する（図4b, c, d, e, f）。特に、その拡大は新潟市から東方山地にかけて、柏崎から長岡、小千谷東方山地に至る東西の系列で顕著に見られる。前者の新潟市から東方山地地域をみると、LT1は新潟市から新南阿賀1(14)に至る地域に分布が限定されるのに対し、上位の層準ほど東方へ分布が拡大し、LT4が新津市や中ノ目1(9)や豊浦1(10)まで、UTがその東方の東五泉SK1(23)まで、そしてSYになると聖籠10a(6)や東聖籠1(7)、NYでは最も東方まで拡大し、竹ヶ花SK1D(8)、水原2(12)そして南郷SK2(22)まで分布域を広げる。このような分布域の拡大は、三条の北方に位置する新潟平野中心部でも同様で、中心部ほど堆積体の発達が遅れる傾向にある（図3, 4）。

4.2 中央油帯—南長岡—小千谷東方の断面から見た堆積体の発達様式と海底地形

これまで、各堆積体の水平分布変化を中心に見てきた。ここで中央油帯から南長岡、そして小千谷東方の東山地域に至る東西断面で各化石帯層準の堆積様式の変化を見てみる。図5は、鯖石川1(55)、吉井SK1(56)、

朝日原1(50)、南片貝SK3(52)、新高梨1(54)、そして荒谷N1(60)を結んだ東西断面（位置は図3のB—B'測線）で、前述の各化石帯で改めて対比したものである。七谷期火山岩類（グリーンタフ）とその上位のNt（七谷期堆積岩類）は東西に広く分布する。ところが、寺泊階下部のLT1からLT3になるとその分布域は急激に西方に移動し、南長岡地域以西に限定される。特に南長岡から鯖石川の間に注目すると、どの地域でもLT1, LT2, LT3の層準の厚さに大きな変化はない。これがLT4, UTになると、その分布域は南長岡から東へ広がり、小千谷近傍の新高梨1まで、SYではさらに小千谷東方で東山の荒谷N1まで拡大する。

ここで、図5の朝日原1(50)、南片貝SK3(52)、および新高梨1(54)に注目して見る。これら坑井を比較すると、新高梨1(54)と他の坑井ではNt, LT4, UTの層厚がほぼ同じであるものの、LT1, LT2, LT3が新高梨1(54)のみに存在しない。これは次のことを示唆している。すなわち、広域的な七谷階の堆積に対し、堆積盆地の枠組みが完成した直後の前期寺泊期初期では海域は急激に西方へ移動し、南片貝や朝日原地域およびその西方地域で一様な堆積が行われた。それに対し、東に位置する新高梨1(54)およびその東方地域は無堆積もしくは陸域であった。しかし、堆積盆地の埋積が進むにつれ、海域は徐々に拡大し、後期寺泊期になって再び、新高梨1(54)の地域にも海成層の堆積が開始したことを示唆している。この事実は、南片貝SK3(52)のLT1/LT2境界とLT3/LT4境界の層準にタービダイト性砂岩相が厚く発達することと密接に関係する（図5）。すなわち、前期寺泊期初期に、地形的に高い位置にあった東方地域からタービダイトによって運ばれた砂が、堆積盆地東縁に位置した南片貝SK3(52)付近に厚く堆積したことを示している。

4.3 中蒲原地域、北蒲原地域の海底地形と堆積様式

中蒲原地域から北蒲原地域の内、前述の頸城、南長岡および西山中央油帯と同様に、LT1以上の層準が順次堆積する地域は新潟市から南阿賀地域に限定され（図4）、多くはLT1, LT2, LT3の下部寺泊階下部を欠いている。特に、中蒲原地域の西燕1(27)や新竹野町(16)などでは七谷階の上位にくる堆積岩は、西山階下部である。このことに注目し、地震探査断面で中蒲原地域の堆積様式を見てみる。

図6は中蒲原を南北に通る地震探査記録断面である（位置は図3参照）。西燕1(27)や新竹野町(16)の地下深部には地形的な高まりが存在し、これに寺泊階上部、椎谷階、そして西山階が順次アバットしている様子が分かる。このような堆積様式は、前項で指摘した中央

図 4 七谷期以後，椎谷期までの各堆積体の発達様式．LT1, LT2, LT3, LT4：図2参照，UT：上部寺泊階，SY：椎谷階．

図 5 柏崎から南長岡，小千谷および東山間の有孔虫群集による対比（位置は図 3 参照）

図 6 中蒲原地域における南北測線の地震探査記録断面と各時階の堆積様式（位置は図 3 参照）

油帯から南長岡，東山を通る断面で示した堆積様式と共通する。ただし，長岡—東山の断面で明らかにした海底地形は，西黒沢期油田系列玄武岩（佐藤ら，1991）の活動終了に伴う堆積盆地の形成と密接に関係するのに対し，中蒲原地域の地形的な高まりは，図 7 に示した寺泊期火山岩類の主な分布域と一致する。寺泊期火山岩類は玄武岩，安山岩，流紋岩などからなり，玄武岩については荒戸・周藤（1989）や佐藤・佐藤（1992）が指摘したごとく，リフトの形成に伴った油田系列玄武岩とは異なるその後の活動である。火山岩類の分布域は中蒲原を中

心にしており，その地形的な高まりは寺泊期堆積盆地の広がり大きく規制し，寺泊期初期の海洋を新潟市から南阿賀にかけて広がる北部海域と，長岡から中央油帯，頸城に広がる南部海域とに 2 分する。すでに，長瀬ら（1992）は，角田—間瀬地域に分布する寺泊期角田山火山岩類が，一部乾陸に流出したことを指摘しており，このことは上述の堆積様式の変遷と良く一致する。

ところで，上述したごとく新潟市から南阿賀では，頸城や南長岡および西山中央油帯と同様に LT 1 と LT 2 の海域が広がるが，北蒲原地域ではやや遅れた LT 4 以

図 7 寺泊期火山岩類の主な分布域

降に海域が広がり始める。その分布域の発達様式を図3と図4で改めて見てみると、北北西—南南東と西北西—東南東のトレンドで規制された分布形態があることに気づく。すでに、米谷ら(1980)は寺泊期の古生物相の解析から北蒲原地域に4本の深海チャンネルが存在したことを指摘している。今回の調査範囲には彼らの指摘した4本のチャンネルのうち大中島チャンネルのみが含まれるが、それは紫雲寺 SK 21 (1) に位置する南東方向の LT 4 の切れ込みに対応する。しかし、さらに詳しく見ると、より明瞭なチャンネルは LT 4 の前期寺泊期後期に中ノ目 1 (9)、豊浦 1 (10) の地域に、LT 1 の前期寺泊期初期の段階で新南阿賀 1 (14) の地域に大きなチャンネルが発達していたことが分かる。特に後者は、後に南阿賀砂礫層を発達させたタービダイトの流路(阿部, 1978)に相当する。したがって、前期寺泊期初期には、すでに南阿賀地域に北北西—南南東と西北西—東南東のトレンドで規制された海底地形が発達していたことが示唆される。これは、南阿賀砂礫層の流路を規制する構造が、油田系玄武岩の活動終了に伴う堆積盆形成(日本海形成)の終了(馬場ら, 1994 の 2nd rifting)時に形成されたことを示している。

5. 新潟堆積盆地の古地理の変遷

近年の微化石層位学の進展から、日本海側油田堆積盆地の枠組みは、西黒沢期油田系玄武岩の活動が終了する西黒沢期後期に完成したことが明らかにされており(佐藤ら, 1991)、それ以後、椎谷期末までは堆積盆地は相対的に安定して推移した(馬場ら, 1994; Sato, H., in

press)。これらの事実と上述の結果から、改めて新潟堆積盆地の堆積様式とその古環境の変遷を考察すると以下のようなになる。

七谷期には新潟県下から太平洋側地域まで通じる広大な海域が広がる。七谷期後期になって、油田系玄武岩の活動が終了するとともに日本海側油田地域堆積盆地の枠組みが形作られた。それは、柏崎から東頸城を通るライン以西では難波山相(タービダイト相)を堆積させた深い堆積盆を(図3, 4の破線より西側地域)、西山—中央油帯から南長岡を中心とした地域では、一段浅い形態で泥岩相を貯める堆積盆(図4bに示した破線と実線の間の地域)を形作った。これが寺泊期になると、気候の寒冷化ともあいまって、堆積場は西方へ大きく移動した。その堆積域は、長岡の西側から西山—中央油帯、および頸城に至る地域と、新潟市から南阿賀に至る区間に限定され、六日町から長岡、三条、北蒲原、および角田—弥彦から中蒲原一帯の大部分は無堆積もしくは陸域へ変化した(図1, 4)。このことは広大な広がりをもっていた七谷期の堆積盆に対して、前期寺泊期初期には堆積盆地の水平的広がりが西方へ急激に縮小したことを示している。特に堆積盆地の東縁にあたる南片貝 SK 3 (52) では、Nt から LT 1 への変化層準、LT 1 から LT 2 への変化層準、LT 3 から LT 4 への変化層準のような石灰質底生有孔虫が急減する層準でタービダイトによる砂岩層が発達した。この砂岩層の発達は、寺泊期初期の堆積盆地の形態と密接に関係していたことを示唆する。堆積盆地の埋積が進み、寺泊階上部の LT 4 になると、堆積域は東方の新高梨 1 (54) まで、椎谷期ではさらに東方の荒谷 N 1 (60) まで広がるというような堆積域の東方への拡大が顕著となる(図3, 4, 5)。最も海域が拡大するのは No. 3 *Globorotalia inflata* bed 層準の西山期初期で、七谷期以後堆積岩の無堆積が続いていた西燕 1 (27) や新竹野町 (16) などの中蒲原中央部や、新道島 SK 1 D (61)、南郷 SK 2 (22)、水原 2 (12)、竹ヶ花 SK 1 D (8) といった最も東方に位置する地域でも、西山階下部が堆積するようになる(図3)。

以上の結果は次のようなことを示唆している。すなわち、これまで七谷期に始まる海進で、最大海進時期は寺泊期と考えられてきた。しかし、七谷期に大きな広がりを持っていた海域は、寺泊期初期になるとむしろ西方へ移動し、最も狭まる(図4)。これが堆積物の埋積とともに再び東方へ徐々に拡大し始め、西山期初期に至って東方山地まで拡大した(図3, 4)。

ところで、鈴木(1979, 1989)、Iijima and Tada(1990)、および小林・立石(1992)は新潟堆積盆地の古環境を還元し、いずれも三条から弥彦、および弥彦の沖

合に連なる構造的な高まりを指摘し、鈴木（1979）はこれをグリンタフプラットホームと呼んだ。同じく、米谷ら（1980）は新潟堆積盆地の有孔虫化石を検討し、寺泊期有孔虫群集が石灰質有孔虫群集を伴う西山中央油帯・頸城地域の南部地域と、それらが認められない新潟平野、新津および北蒲原東縁部の北部地域とに生物地理区上2分されることを述べ、北部地域の寺泊層に石灰質有孔虫の多産層準が認められない理由を、CCDに近い深い環境にあったためと推定した。

今回の検討結果は、次のようなことを示唆する。中蒲原から北蒲原地域の場合、七谷階の上位に再び海成層が堆積し始めるのは前期寺泊期の後期（LT 4）で、LT 1より順次連続で堆積する長岡西方地域や頸城地域に比べて対照的である。一方、グリンタフプラットフォームが存在する中蒲原中央では、堆積の開始がさらに遅れ後期寺泊期、または椎谷期、場所によっては西山期に始まることを示している（図3、4）。これは、鈴木（1979）が指摘したグリンタフプラットフォームの構造がかなり大きな規模を有していたことを示唆する。

また、底生有孔虫の生物地理区は次のようにまとめられる。堆積盆地の中心部である南部地域の頸城—長岡—中央油帯地域では石灰質有孔虫のCCDによる溶解は認められず、むしろ石灰質底生有孔虫が多産するLT 1やLT 3は明瞭に追跡できる。一方、中蒲原から北蒲原の北部地域は、石灰質有孔虫の多産層準（LT 1、LT 3）が認められなかったことから、米谷ら（1980）はCCDに近い深い環境であったと考え、南部地域とは異なる生物地理区を設定した。これに対し、今回の資料の新しい検討結果は、北部地域でも堆積盆地中心部側の信濃川沖SI 1（4）や新南阿賀1（14）で石灰質底生有孔虫が多産するLT 1やLT 3が分布することを示している。このように、堆積盆地中心部側においてLT 1、LT 3が認められたことは、このような群集の差がCCDに起因するものではなく、むしろ地形的な高まりの存在から、その層準（LT 1～LT 3）が堆積しなかったことを示す。すなわち、米谷（1980）の指適した群集組成の違いは、すでに述べた東西方向の断面（図5）などで見られる寺泊期堆積体の発達様式を反映しているにすぎない。

6. 考察—古海洋と微化石群集からみた石油根源岩の時空分布—

これまで、主に底生有孔虫群集から新潟堆積盆地がどのような構造発達を経てきたかについて述べた。次に、明らかになった古地理から、石油根源岩がどのように分布するかについて考察する。

日本海側堆積盆地の石油根源岩は、珪藻を主とした植

物プランクトンの遺骸が保存されたことによって形成されたと考えられてきた。このような石油根源岩が形成されるのに必要な条件の内、最も大きなものは、これら植物プランクトンの生産性が高いことと、それらが死後、分解されずに保存され熟成することである。一般に、海水中の溶存酸素量が高いと生物活動が活発となり、その結果として堆積した遺骸が分解される。したがって、生物遺骸がそのまま保存されるには溶存酸素量の少ない還元環境であることが望ましい。この点から、新潟堆積盆地の根源岩分布を考察する。

先に記した朝日原1号井（50）の底生有孔虫群集は、寺泊期、椎谷期を通して様々な変化を示す。その中でもLT 2とLT 4は石灰質底生有孔虫が極めて少ない砂質有孔虫の多産で特徴づけられる。すでに述べたようにMatoba（1984）は砂質有孔虫の多産が還元環境に起因したことを指摘した。また、浮遊性有孔虫の産出量の変化から見ても、これらの時期には海外との連絡性が低いSilled basinであったと考えられる。このことからすると、最も還元環境であったのは石灰質有孔虫が稀か産出しない下部寺泊階のLT 2とLT 4層準であり、これらが有機物の保存に最も適していた時期であったといえよう。

次に、有機物の保存に最も適していたのがLT 2とLT 4層準であることから、これらの時期の古海洋とそれに基づく植物プランクトンなどの生産量を考察する。ここで、先に述べた各化石群集で特徴づけられる層準の水平分布変化を見てみる。図3で示したごとく、七谷期以後、LT 1の時期になると堆積域は急激に西方へ縮小し、堆積物をトラップする器も限定される。その後、時代とともに再び東方へ拡大し、西山期初期に最大の広がりとなる。このうち、有機物の保存に最も適したLT 2、LT 4の前期寺泊期堆積盆地は、北蒲原地域と、長岡から西山—中央油帯—頸城に至る地域の2ヶ所に大きく分かれ、その間に中蒲原の中央隆起帯が張り出す。この張り出しは、寺泊期角田山火山岩類の一部が乾陸に流出していた事実（長瀬ら、1992）から見ても、地形的な高まりを当時形成していたことが明らかである。このとき、佐渡の西部域は浅海（Iijima and Tada, 1990）、または一部陸域（鈴木、1979）であった。これらの事実、前期寺泊期の海底地形が、中蒲原に隆起域、そして中蒲原と佐渡との間に水道を形成していたことを示している。

ここで復元された海底地形から珪藻などの植物プランクトンの生産性について見てみる。一般に、珪藻は高緯度地域または、湧昇流などによって栄養塩類が海洋の表層にもたらされるような地域に多く生息する。インド洋を例に見ても、それまで珪藻がほとんど見られなかった

同海域で、中期中新世の中頃にモンスーン気候が成立してアラビア半島の東側に湧昇流が発生し始めると、珪藻が豊富に産出し始める（高山ら，1990）。すなわち，湧昇流の発生は栄養塩を表層に供給し，珪藻などの植物プランクトンを大量に発生させる。したがって，石油根源岩の分布域の推定には，溶存酸素量の少ない LT 2，4 の時期に，湧昇流が発生した地域を明らかにする必要がある。

湧昇流の発生メカニズムは様々であるが，先に記した LT 2 と LT 4 の前期寺泊期の古地形を加味すると以下のような発生メカニズムが考えられる。すなわち，（1）北西の季節風に伴って表層水がエクマン輸送により南西方向へ運び去られ，湧昇流が発生，（2）北半球で海底に浅海域があると，海流は浅所を左に見て迂回，その迂回の際に湧昇流が発生する，（3）津軽海峡のように浅所を海流が通過後に湧昇流が発生，（4）海流の流路が狭まり，水道が形成されていると海流は加速され通過後に渦流が発生，湧昇流が形成される，などである（和達，1960）。

ところで，福沢（1992）は，北海道中部に分布する上部中新統の生物源珪質岩の形成過程を，季節風に伴うエクマン輸送流で解釈した。本地域の場合，LT 2 と LT 4 の時期に堆積盆地東縁の地形は北西—南東と北北東—南南西のトレンドで支配されている（図 3，4）。当時，現在の東北日本と同様に冬季に北西の季節風が発生していたとするならば，北西—南東のトレンドをもつ西山—中央油帯東縁および朝日原 1（50）が位置する南長岡周辺域でエクマン輸送に伴う湧昇流が発生していたであろう。しかし，インド洋の石灰質ナノ化石を調査した Sato *et al.*（1991）によると，広域的な気候変動に大きな影響を与えるモンスーン気候は，石灰質ナノ化石帯の NN 8，約 10 Ma 以降になって成立した。このことからすると，LT 2 と LT 4 の時期に現在と同じ北西の季節風が冬季に発生していたかは不明である。

しかし，当時の微化石群集が寒流系種であることに基づき北からの海流を推定した場合，中蒲原地域の地形的な高まりは上述の（2），（3），（4）と密接に関係する。すなわち，中蒲原の地形の高まりは北蒲原と西山—長岡以南の堆積盆地を規制し，佐渡西方と中蒲原の間で極端に狭い水道を形成している。このような海底地形では，北からの海流が水道を通過する際に海流は佐渡方向へ迂回し，結果的に南阿賀地域や西山—長岡地域の表層水は佐渡方向へ移動し湧昇流が発生する。また，水深が浅い水道では流速が増し，その下流側の西山—長岡地域の深層水が表層に上昇し湧昇流となる。さらに海流が水道を通過後，西山—長岡の広い堆積盆地内に流入すると，渦

流が形成され，湧昇流の形成へと発展する。特に，この渦流が収束した場合には表層のプランクトンの高密度化へとつながり，有機物の濃集が起きる。

以上の結果から根源岩の分布を考察すると次のようになる。生物の生産性の点で，中蒲原と佐渡の間の水道地形が寺泊期の有機物の堆積に大きな位置を占めていることが明らかである。すなわち，前期寺泊期に北西の季節風が形成されていた場合はもちろん，あるいはそのような季節風がまだ成立していなかったとしても，この地形によって湧昇流が発生し，西山—中央油帯から南長岡地域，および南阿賀地域で植物プランクトンが多量に埋積したことが推定される。より西方の頸城地域でも植物プランクトンの生産性が高かった可能性が高いが，この地域の場合，堆積速度が前者の 2 倍以上であることから，有機物が結果的に希釈されていたであろう。

以上の結果から見ると，石油の根源となりうる多量の有機物は，前期寺泊期の LT 2，LT 4 の時期に西山—中央油帯から南長岡地域，南阿賀地域で堆積したと推定される。また，その堆積環境が還元環境であったことから，有機物は大きく分解消失されずに熟成したと考えられ，これらの地域が石油生成能力が高い泥質岩の分布域となったことが示唆される。この推定は，平井ら（1995）による根源岩分析に基づく考察とよく一致する。なお平井ら（1995）によると，南阿賀から新津周辺，および北蒲原東方地域の LT 4 の石油生成能力が高いが，これは当時の堆積盆地縁辺が入り組んでいた地形を有していた結果かもしれない。

7. おわりに

本稿では，寺泊階を中心に有孔虫化石から復元した新潟堆積盆地の地史の変遷について述べた。石油根源岩の分布予測では，その海洋環境を詳細に復元することが必要であり，それには多くの問題が伴う。本稿でも堆積盆地の構造発達史と堆積様式に関する復元は成功したものの，古海洋という観点からは復元がまだ十分とはいえない。したがって，生物生産量から始まり，有機物の保存に至るメカニズムの詳細を，今後さらに古海洋学の観点から検討を続けていく必要があり，それによって，根源岩の分布の予測，さらには石油鉱床の成立までを総合的に解明できると考える。

謝 辞

本研究に要した費用の一部に文部省科学研究費補助金（06640594）を使用した。本研究をまとめるにあたり，坑井資料，地震探査資料を提供していただいた石油公団，石油資源開発株式会社，出光石油開発株式会社，帝国石

油株式会社に深甚なる謝意を表する。東京大学地震研究所佐藤比呂志博士、および石油資源開発株式会社の馬場敬博士には日本海の構造発達史について貴重なご助言をいただいた。また、秋田大学鉱山学部の的場保望教授には有孔虫化石層序全般について、同学部の大口健志教授には火山岩層序についてご助言をいただいた。ここに記して感謝の意を表する。

文 献

- 阿部正名, 1978: 南阿賀油層砂岩の堆積機構について. 石技誌, **43** (6), 398-406.
- 荒戸裕之・周藤賢治, 1989: 新潟油ガス田地域の地下に分布する中期中新世玄武岩の化学組成 (要旨). 石技誌, **54** (4), 314.
- 馬場 敬・峰崎智成・佐藤時幸, 1994: 海水準変動に起因した海底扇状地の発達様式—新潟県北蒲原郡, 中蒲原郡, 西蒲原郡および阿賀沖海域の椎谷期を例として— (その1). 石技誌, **59** (1), 43-53.
- 福沢仁之, 1992: 新第三紀生物源珪質頁岩の堆積作用と古海洋環境の関係について (予報). 地質学論集, (37), 219-226.
- 平井明夫・宮本泰行, 1992: 新潟地域寺泊階泥質岩について, その2: 石油生成ポテンシャルの水平的・垂直的变化 (要旨). 石技誌, **57** (4), 366.
- 平井明夫・岡田静子・若松屋伸一・宮本泰行・八戸和巳, 1995: 有機地球化学的にみた新潟地域における石油鉱床の成立. 石技誌, **60** (1), 87-97.
- Iijima, A. and Tada, R., 1990: Evolution of Tertiary sedimentary basins of Japan in reference to opening of the Japan Sea. *J. Fac. Sci. Univ. Tokyo, Sec. II*, **22**, 121-171.
- 小林巖雄・立石雅昭, 1992: 新潟地域における新第三系の層序と新第三紀古地理. 地質学論集, (37), 53-70.
- 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. 石技誌, **45** (6), 323-336.
- Matoba, Y., 1984: Paleoenvironment of the Sea of Japan. *Benthos '83; 2nd Int. Symp. Benthic Foraminifera* (Pau, April 1983), 409-415.
- 的場保望, 1992: 秋田油田新第三系・第四系層序に関する最近の変革. 石技誌, **57** (4), 315-333.
- Matsunaga, T., 1963: Benthonic smaller foraminifera from the oil fields of northern Japan. *Tohoku Univ. Sci. Rep. 2nd ser. (Geol.)*, **35**, 67-122.
- 長瀬克也・黒川勝己・本間博昭・阿部 豊・杉野 栄, 1992: 新潟県角田山—間瀬地域の第三紀火山層序と火山活動史—とくに角田山火山岩類と間瀬火山岩類の層序関係について. 新潟大理地鉱研究報告, (7), 41-55.
- Sato, H., in press: The relationship between Late Cenozoic tectonic events and stress field and basin development in NE Japan. *J. Geophys. Res.*
- 佐藤雅之, 1985 MS: 秋田油田女川層およびその相当層の珪藻化石層序. 秋田大学鉱山地質修士論文.
- 佐藤 修・佐藤時幸, 1992: 秋田および新潟油田地域に発達する西黒沢期玄武岩—基礎試錐「仁賀保」・「新潟平野」で認められた玄武岩のもつ意義—. 石技誌, **57** (1), 91-102.
- 佐藤時幸・馬場 敬・大口健志・高山俊昭, 1991: 日本海側における海成下部中新統の発見と東北日本の台島期—西黒沢期における環境変動. 石技誌, **56** (3), 263-279.
- Sato, T., Kameo, K. and Takayama, T., 1991: Coccolith biostratigraphy of the Arabian Sea. *Prell, W. L., Niitsuma, N. et al., 1991. Proc. ODP. Sci. Results*, 117: College Station, TX (Ocean Drilling Program), 117, 37-54.
- 佐藤時幸・高山俊昭・加藤道雄・工藤哲朗・亀尾浩司, 1988: 日本海側に発達する最上部新生界の石灰質微化石層序, その4: 総括—太平洋側および鮮新統/更新統境界の模式地との対比. 石技誌, **53** (6), 475-491.
- 鈴木宇耕, 1979: 東北裏日本海域の石油地質. 石技誌, **44** (4), 291-307.
- 鈴木宇耕, 1989: 日本海東部新第三系堆積盆地の地質. 地質学論集, (32), 143-183.
- Tada, R., 1991: Origin of rhythmical bedding in middle Miocene siliceous rocks of the Onnagawa Formation, northern Japan. *J. Sed. Petrol.*, **61** (7), 1123-1145.
- 高山俊昭・佐藤時幸・Spaulding, S. A., ODP Leg 117 乗船者, 1990: 微化石から見たアラビア海の堆積物. 海洋, **22** (6), 343-348.
- 和達清夫, 1960 監修: 海洋の事典. 東京堂出版, 671 p.
- 渡辺其久男, 1985: 新潟油・ガス田の微化石層序からみた鍵層の層位的位位置 (要旨). 石技誌, **50** (4), 264-265.
- 柳沢幸夫・小林巖雄・竹内圭史・立石雅昭・茅原一也・加藤碩一, 1986: 小千谷地域の地質. 地域地質研究報告 (5 万分の1 地質図幅), 地質調査所, 177 p.