論文・報告

背弧堆積盆地におけるシーケンス解析

—新潟県蒲原地域の例—*

荒戸 裕之**・亀尾 浩司***・保柳 康一****

(Received August 31, 1993; accepted November 24, 1993)

Sequence stratigraphic analysis of a back-arc sedimentary basin
in Kambara area, Niigata, central Japan

Hiroyuki Arato, Koji Kameo and Koichi Hoyanagi

Abstract: Sequence stratigraphy has been rapidly spreading in the world and causes various sort of debates because sequence stratigraphic interpretations related to mechanisms of deposition make possible three-dimensional estimation of facies distribution and worldwide correlation of strata. The "Exxon Model", as a basin fill model, has been paid much attention because it displays the significance in the basic concept of sequence stratigraphy and possibilities of applications. The "Exxon Model" which has been constructed as a depositional model for passive margin basins represented by gentle subsidence and relatively stable deposition, however, might not always be applicable to some sedimentary basins without careful considerations for their tectonic and depositional settings.

In the Niigata sedimentary basin, as a representative back-arc basin located on central Japan, hydrocarbon exploration for several decades has resulted in a large accumulation of subsurface geologic information. Three-dimensional studies for sequence stratigraphic framework within a back-arc tectonic setting, therefore, are available in this basin.

As a result of this study, 12 third and fourth order depositional sequences, which are interpreted to have been formed by relative change of sea level, are now recognized. These depositional sequences are superimposed on a part of a second order depositional sequence considered as a tectonically controlled sequence. The features of fifth or sixth order depositional sequences are superimposed locally in the deposits of the Niigata sedimentary basin. The depositional history of the Niigata sedimentary basin can be divided into following 5 stages, based on the disclosed sequence stratigraphic framework of this basin.

- i) stage of sedimentary basin formation
- ii) stage of turbidite deposition at basin floor
- iii) stage of slope progradation
- iv) stage of shelf extension
- v) stage of delta progradation

1. はじめに

Exxon Production Research Company (EPR)の研究者グループによって基本概念が体系化されたシー

ケンス層序学 (sequence stratigraphy: Vail, 1987) は、地層の形成機構に着目した層序学的考察により、堆積相の三次元的分布の推定 (例えば Van Wagoner *et al.*, 1988; Posamentier and Vail, 1988)、汎世界的な地層対比 (例えば Haq *et al.*, 1987; 1988) が可能になることから、近年急速に普及する一方で、様々な議論を呼び起こした。とくに Vail (1987), Posamentier *et al.* (1988) によって提唱されたいわゆる「エクソン・モデル」は、シーケンス層序学の基本概念の重要性と応用の可能性を示したことから、注目を集めた。しかしこ

* 平成5年6月11日, 平成5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「シーケンス層序学」にて講演

** 石油公団技術部 (現在, 帝国石油㈱ 技術研究所)

*** 帝国石油㈱ 技術研究所

**** 信州大学理学部

のモデルは、緩やかな沈降と広い大陸棚～堆積盆地底での安定した堆積に特徴づけられる安定縁辺盆地を前提とした堆積モデル(Posamentier *et al.*, 1988)であることから、構造地質学的、堆積学的に根本的に異なった堆積盆地においては、無条件にこれを適用することは危険である。

背弧盆地としての新潟堆積盆地には、中～上部中新統火山砕屑岩類およびこれらを覆う上部中新統以上の海成～陸成砕屑性堆積岩類が厚く分布しており、そこに胚胎する石油・天然ガスの探鉱を目的として、多数の地震探鉱記録断面や石油・天然ガス試掘井の地質資料が得られている。従って、新潟堆積盆地においては、地震探鉱記録断面と試掘井の地質資料の総合的地質解釈に基づいて、後期中新世以降のシーケンス層序学的枠組みを三次元的に把握することが可能である。さらに、地質資料に乏しい平野域でのこうした層序学的枠組みは、新潟堆積盆地の発達史解明の上でも重要な情報となる。そこで著者は、この地域を例に取り上げて、シーケンス層序学の基本概念に基づく新しい堆積モデルを構築するとともに、あわせて新潟堆積盆地の発達史を解明するために研究を進めてきた。その結果、オーダーの異なる3種類の堆積シーケンスの重複によって構成されるシーケンス層序学的枠組みを明らかにするとともに、その特徴に基づき、新潟堆積盆地の埋積過程を復元することができた。

2. 研究地域および使用データ

研究地域は、東を新津丘陵に、西を角田～弥彦山塊に

区切られ、北は新潟市および日本海岸、南は見附市に及ぶ東西約20km、南北約40kmの蒲原地域である。この地域は、海拔約10m以下の非常に平坦な沖積平野の一部であるが、その地下には七谷・寺泊期火山岩類を覆う上部中新統以上の砕屑岩類が4,000mを超える層厚を持って厚く分布している。またこの地域では、不規則ながら約2～5km間隔の格子状に地震探鉱記録が収録されている(Fig. 1)。これらは、帝国石油株式会社が保有する蒲原平野地域の地震探鉱記録のなかで、1983年から1985年にかけて収録され、1991年から1992年にかけて再処理された東西6測線、南北8測線、合計14測線の記録の良好な長測線であり、その総測線長は240kmに及ぶ。また、この研究に供した坑井は、1960年以降1991年までに掘削された帝国石油株式会社並びに石油資源開発株式会社の試掘井、および通産省の基礎試錐、あわせて22坑(Fig. 1)であり、その多くは深度数1,000mまで掘削された坑井である。使用した坑井地質資料は、おもに物理検層、泥水検層(カッティングス記録)および微化石検討資料であるが、このほかに基礎試錐「新潟平野」については、11層準で採取されたコア試料の堆積相解析結果もあわせて使用した。

3. 研究方法

この研究は、シーケンス解析の手順(Vail *et al.*, 1991)を参考にして進められた(Fig. 2)。第1の作業は、地震探鉱記録断面のシーケンス解析(seismic sequence analysis: Vail and Mitchum, 1977; Vail,

Fig. 1 Location map of study area, seismic lines and exploratory wells.

Fig. 2 Sequence stratigraphic interpretation procedure. Modified from and added to Vail *et al.* (1991).

1987)である。この解析により、シーケンス層序学の層序区分単位 (stratigraphic unit) である堆積シーケンス (depositional sequence: Mitchum, Vail and Thompson, III., 1977; Van Wagoner *et al.*, 1987) あるいは堆積体 (systems tract: Brown and Fisher, 1977; Van Wagoner *et al.*, 1987) を認定する。第2の作業は、坑井—地震探鉱対比 (well-to-seismic tie: Vail, 1987) である。これによって、坑井地質資料から得られた岩相、堆積環境、年代に関する資料と地震探鉱記録断面のシーケンス解析結果が対比され、総合的な地質解釈が可能になる。この一連の作業によって、シーケンス層序学の基本概念に基づく層序学的枠組みを構築し、その上で、堆積シーケンス、堆積体を構成する堆積システムや堆積相についての議論を行う。第3の作業は、このシーケンス層序学的、堆積学的議論に基づいた堆積モデルの構築と堆積盆地の埋積過程についての考察である。この論文では、第1, 第2の作業から構築した蒲原地域のシーケンス層序学的枠組みと、その枠組みに基づく新潟堆積盆地の埋積過程についての若干の考察結果を

述べる。第3の作業により構築した堆積モデルについての議論は、改めて別の機会に報告したい。

4. 地震探鉱記録断面のシーケンス解析

4.1 反射波列端と不連続面の認定

地震探鉱記録断面上で、複数の反射波列が収束する部分を反射波列端 (reflection termination: Mitchum, Vail and Sangree, 1977) と呼ぶ。反射波列端は、それ自身の収束様式や他の反射波列端との配列関係によって、ベースラップ (baselap), トップラップ (toplap), トランケーション (truncation) に区分される。さらに、ベースラップは、初生的な傾斜方向と収束方向の関係からオンラップ (onlap) とダウンラップ (downlap) に区分される (Mitchum, Vail and Sangree, 1977)。これらの反射波列端は、この研究で使用した地震探鉱記録断面の全測線に、普遍的かつ明瞭に認められる。例えば、基礎試錐「新潟平野」を通る南北測線 (測線 A: Fig. 1) の記録断面 (Fig. 3(a)) においては、同断面のスケッチ (Fig. 3(b)) 上に示すとおり、オンラップ、ダウンラップ、トップラップ、トランケーションがそれぞれ識別される。単一の反射波列端ないし複数の反射波列端の配列が示す面、例えばオンラップ面 (onlap surface) やダウンラップ面 (downlap surface) は、不連続面 (discontinuity: Mitchum and Vail, 1977) と呼ばれる。反射波列は、地質学的な同時堆積面を示している (Vail *et al.*, 1977) ので、反射波列端によって認識される不連続面は、堆積現象に関連して形成された地質学上有意な面である。

4.2 ユニット区分

上述の手法に基づき、地震探鉱記録断面上で識別した多数の不連続面のうち、12の不連続面が研究地域内のほぼ全域にわたって三次元的に追跡される。これらの広く追跡される12の不連続面によって、研究地域の堆積物を13ユニット (下位からユニット A~ユニット N) に区分した。一般に、広域に追跡される主要な不連続面は、これを示す反射波列端の種類と組み合わせによって2つのタイプ、すなわちシーケンス境界 (sequence boundary) と最大海成氾濫面 (maximum flooding surface) に分類され、そのうち上面へのオンラップと下面でのトランケーションに特徴づけられる不連続面がシーケンス境界、ダウンラップによって特徴づけられる不連続面が最大海成氾濫面である (Vail, 1987)。研究地域における不連続面の大部分は、明瞭なオンラップとトランケーションによって特徴づけられる不連続面であることからシーケンス境界である。ただし、ユニット J とユニット K の間の不連続面は、ダウンラップ面で特徴

Fig. 3 (a) Segment of N-S oriented seismic profile A. (b) Line drawing of seismic profile A showing interpreted third- and fourth-order depositional sequences.

Fig. 4 (a) E-W oriented seismic profile. B. (b) Line drawing of seismic section B showing interpreted third- and fourth-order depositional sequences.

づけられることから最大海成氾濫面である。従って、それぞれ上下をシーケンス境界によって区切られるユニット A~H およびユニット L~N は、それぞれが堆積シーケンスである。また、ユニット J とユニット K は、単一の堆積シーケンスである。この論文では、便宜的に上述のユニット区分を用いてシーケンス層序学的な特徴を述べる。

5. 基礎試錐「新潟平野」の堆積相と堆積環境

研究地域中央部に位置する基礎試錐「新潟平野」は、新潟堆積盆地深部まで掘削され、カッティングス、コア、物理検層データなどが得られていることから、研究地域の鍵坑井として重要である。同井においては、中期中新世の火山岩類を覆う上部中新統以上の砂岩、泥岩が約 4,500m にわたって確認され、ユニット A~G の合計 11 層準でコア試料が採取された (Fig. 5)。時代はおもに石灰質ナノ化石および有孔虫化石によって、堆積環境はおもに有孔虫化石の群集組成によって推定されている (石油公団, 1991)。以下に、同井における各ユニットの記載を述べる。

5.1 ユニット A

ユニット A (深度 3,782m~4,568m) は、中期中新世の火山岩類を直接覆って分布する。本ユニットは、最上部に認められる No. 3 *Globorotalia inflata* bed に基づき、最上部中新統~下部鮮新統に対比されている。有孔虫化石の群集組成からは、下部~中部半深海帯の堆

積物であることが判明している。物理検層とカッティングスによる岩相解釈によれば、塊状の砂岩ないし凝灰質砂岩優勢のインターバルと砂岩の薄層を挟在する泥質岩優勢のインターバルを数 10m~100m 間隔で繰り返す岩相からなる。本ユニットの 3 つのコア試料 (コア No. 9, 10, 11) のうち、ユニット中部の砂質岩優勢インターバルから採取されたコア No. 10 は、中粒~細粒砂岩を主体とするタービダイトからなる。これに対し、ユニット上部および下部の泥質岩優勢インターバルから採取された 2 つのコア No. 9, 11 は、懸濁により運搬され堆積した黒色泥岩と細粒~中粒の薄層タービダイト砂岩で構成される。以上のことから、本ユニットは、頻発する乱泥流による堆積で特徴づけられる砂岩優勢インターバルと、懸濁からの堆積によって特徴づけられる泥質岩優勢インターバルの繰り返しによって形成された下部~中部半深海帯の堆積物である。本ユニットの堆積期間は 300 万年を超えると推定される。

5.2 ユニット B およびユニット C

ユニット B (深度 2,957m~3,782m) とユニット C (深度 2,540m~2,957m) は、最下部が No. 3 *Globorotalia inflata* bed に、最上部が No. 2 *Globorotalia inflata* bed にほぼ一致することから、上部鮮新統~下部更新統に対比されている。堆積環境および岩相解釈は、ほぼユニット A と同様であり、下部~中部半深海帯で堆積した砂質岩優勢インターバルと泥質岩優勢インターバルの繰り返りで構成されている (Fig. 6)。両ユ

Fig. 5 Well data summary of the MITI "Niigata-Heiya" well. Modified from Sekiyukodan (1991).

Fig. 6 Interpreted lithologic column of Unit B in the the MITI "Niigata-Heiya" well.

ニットの合計4層準から採取された4つのコア試料（コアNo. 5, 6, 7, 8）のうち、ユニットB上部の砂質岩優勢インターバルから採取されたコアNo. 6, 7は、しばしば泥岩片を含有し上方細粒化傾向を有する粗粒～細粒の厚層タービダイト砂岩を主体とする。ユニットC中部およびユニットB下部の泥質岩優勢インターバルから採取されたコアNo. 5, 8は、シルト岩ないし細粒砂岩の薄層を頻繁に挟在し顕著な平行葉理を有する暗灰色泥岩を主体とする。従って両ユニットは、ユニットAと同様に、乱泥流の頻発に伴う堆積と、懸濁からの堆積の繰り返しのによって形成された堆積盆地底の半深海成堆積物である。ユニットBの堆積期間は約150万年、ユニットCの堆積期間は約50万年と推定される。

5.3 ユニットD, ユニットEおよびユニットF

下部更新統に対比されるユニットD（深度2,227m～2,540m）、ユニットE（深度1,997m～2,227m）およびユニットF（深度1,814m～1,997m）は、有孔虫化石の群集組成から中部～上部半深海帯の堆積物と推定されている。岩相解釈によれば、ユニットD下部およびユニッ

Fig. 7 Interpreted lithologic column of Unit G in the MITI "Niigata-Heiya" well.

トFでは砂質岩が優勢であるのに対し、ユニットD上部およびユニットEでは泥質岩が優勢である。ユニットEおよびユニットDの泥質岩優勢インターバルから採取されたコア試料（コアNo. 3, 4a）は、レンズ状ないし不規則な形状を有するシルト岩、砂岩の葉理を含む灰色～暗灰色泥岩からなっている。従って、これらのユニットは、下部陸棚斜面の環境下で、デブリフローなどの堆積物重力流（sediment gravity flows）によって形成された堆積物である。これらのユニットの堆積期間は、それぞれ約10万年～10数万年と推定される。

5.4 ユニットG

中部更新統に対比されるユニットG（深度1,303m～1,814m）は、有孔虫化石の群集組成から中部～上部半深海帯の堆積物と推定されている。岩相解釈によれば、本ユニットは、3層準に砂岩層を挟在する灰色～暗灰色のシルト岩、泥岩で構成される（Fig. 7）。本ユニット基底で採取されたコアNo. 2は、一部で泥質岩と互層し不規則な形状の泥質岩片を含有する粗粒～中粒の厚層砂岩であり、明瞭な上方細粒化傾向を有するタービダイトである。一方、本ユニット上部で採取されたコアNo. 1は、非常に不規則な形状の泥岩片、砂岩片ないし変形した葉理状の砂岩、泥岩を含むとともに、それ自身も変形した葉理を有するシルト岩で構成され、スランブないしデブリフローによって形成された堆積物である。従って本ユニットは、上部陸棚斜面の環境下で、堆積物重力流によって形成された堆積物である。本ユニット

の堆積期間は、約50万年と推定される。

5.5 ユニットH, ユニットJ, ユニットK およびユニットL

中部更新統に対比されるユニットH(深度1,157m~1,303m), ユニットJ(深度857m~1,157m), ユニットK(深度717m~857m)およびユニットL(深度577m~717m)は、有孔虫化石の群集組成から上部半深海帯~亜沿岸帯の堆積物と推定される。これらのユニットでは、コア試料は採取されていないが、物理検層とカッティングスの岩相解釈によれば、中粒~細粒の砂岩と淡灰色~灰色シルト質泥岩の互層からなっており、一部に細粒礫岩を挟在する(Fig. 8)。おもに上方粗粒化サクセッションの繰り返しで構成され、デルタ前置斜面~陸棚上での、デルタの前進にともなう堆積物である。これらのユニットの堆積期間は、それぞれ約10万年~10数万年である。

5.6 ユニットMおよびユニットN

ユニットM(深度344m~577m)およびユニットN(深度0m~344m)は、中部更新統~完新統と推定される。淡灰色泥岩、砂岩、礫岩、炭質物で構成され、海棲

化石を含まない河川成ないし湖沼成堆積物である。両ユニットの堆積期間は、それぞれ10数万年と推定される。

6. 新潟堆積盆地のシーケンス層序学的枠組み

6.1 構造運動と埋積過程

研究地域においては、東部の新津丘陵、西部の角田~弥彦山塊山麓域で、構造的隆起に起因する地層の変形が、地震探鉱記録断面上に認められる。この現象は記録断面スケッチ(Fig. 4(b))に示すとおり、東西測線B(Fig. 1)に明瞭に認められる。これほど明瞭ではないものの、研究地域南部においても、類似した現象が認められる。しかし、こうした構造運動の影響は、この研究における地震探鉱記録断面の観察に基づく限り、一部の地域に認められる局所的な現象であり、大部分の地域において、堆積物の形態的特徴は堆積当時以来ほとんど失われていない。大局的には、地震探鉱記録断面には、中期中新世に形成された堆積盆地の埋積過程が表れている。研究地域では、南北方向の地震探鉱記録断面における北向きの前進埋積型反射波列形状(progradational reflection configuration)が認められることから、南から北へ順次埋積されたことがわかる。

6.2 堆積シーケンスのオーダー

堆積シーケンスは、その堆積期間の長さによって数次のオーダーに区分され(Vail *et al.*, 1991; Miall, 1990)、堆積期間の長い低次の堆積シーケンスは、より堆積期間の短い高次の堆積シーケンスの重ね合わさりで構成される。

基礎試錐「新潟平野」の石灰質ナノ化石の検討結果(石油公団, 1991)は、ユニットAが300年以上、ユニットBが約100万年の堆積期間を有する第3オーダー堆積シーケンスであること、そのほかの10の堆積シーケンスが数万年~数10万年の堆積期間を有する第4オーダー堆積シーケンスであることを示している。基礎試錐「新潟平野」でのユニットA, Bの岩相は、砂岩優勢インターバルと泥岩優勢インターバルの繰り返しであり、砂岩優勢インターバルと泥岩優勢インターバルの対はそれぞれ第4オーダー堆積シーケンスである可能性がある。すなわち、研究地域では、地震探鉱記録断面におもに第4オーダー堆積シーケンスが表れているが、堆積盆地深部では第4オーダー堆積シーケンスは不明瞭で広く追跡することが難しく、むしろ第3オーダー堆積シーケンスが明瞭に表れている。この現象の原因としては、(1)ユニットA, B堆積当時は、それ以降に比べて堆積速度が小さく第4オーダー以上の高次堆積シーケンスが形成されなかったこと、あるいは、(2)高次堆積シーケンスは、各々の層厚が地震探鉱の分解能より小さくかつ分布が局

Fig. 8 Interpreted lithologic column and depositional environments of Unit H, J, K and L in the MITI "Niigata-Heiya" well.

であるために、地震探鉱記録に表れにくいこと、などが考えられる。これらの第3および第4オーダー堆積シーケンスの集合は、全体で数100万年の堆積期間を有することから、第2オーダー堆積シーケンスの一部を構成する。一方、第4オーダー堆積シーケンスの内部には、より短い堆積期間に対応する第5ないし第6オーダー堆積シーケンスがみられることがある。以上のとおり、新潟堆積盆地の堆積物には、堆積期間の異なる3種類のオーダーの堆積シーケンス、すなわち第2オーダー堆積シーケンス、第3および第4オーダー堆積シーケンス、第5ないし第6オーダー堆積シーケンスの特徴が、重複して認められる。

6.2.1 第2オーダー堆積シーケンス

ユニットAに始まる堆積物の基底部は、中期中新世火山岩類にオンラップする深海～半深海成の堆積物からなっており、そこには浅海成堆積物はみられない。すなわち、研究地域の堆積物の最下部には、堆積空間 (accommodation: Jervey, 1988) が沿岸で徐々に増加することにより形成される海進の堆積相変化は認められない。このことは、堆積開始前のある時期に相対海水準 (relative sea level: Vail *et al.*, 1977) の急速な上昇があり、堆積空間の大きい状態で堆積が開始されたことを示す。この急速な相対海水準の上昇は、火成活動を伴って起こった新潟堆積盆地の形成を示す事件に一致するものであり、背弧盆地の成立に起因する大規模な構造的沈降によるものと考えられる。ユニットAに始まる堆積物は、このように形成された背弧盆地の埋積過程を示しており、この第2オーダー堆積シーケンスはテクニクス起源であろう。

6.2.2 第3、第4オーダー堆積シーケンス

第3、第4オーダー堆積シーケンスは、その累重様式と堆積環境から、ユニットA～C、ユニットD～GおよびユニットH～Nの3グループに分類できる。

ユニットA～Cを区切るシーケンス境界は、基礎試錐「新潟平野」の解釈柱状では、基本的に砂岩優勢インターバルの基底として認識できる。しかし、それらは必ずしも上下と比較して最も厚層の砂岩層基底と一致しているとは限らない (Fig. 6)。すなわちこのオーダーの場合、個々の砂岩層よりも砂岩優勢インターバルの基底面が重要な意味を有する。前章で述べたとおり、ユニットA～Cにおける砂岩優勢インターバルは、下部～中部半深海帯で懸濁から堆積した泥質岩中におけるタービダイト砂岩の頻繁な挟在に特徴づけられる。一般に、陸棚斜面から盆地底におけるタービダイト発生頻度の増加は、陸棚上での堆積空間の減少を示す (Vail *et al.*, 1991) ので、砂岩優勢インターバルの基底面が示すシー

ケンス境界およびこれらによって区切られるユニットA～Cの堆積シーケンスの形成は、後背陸棚域での相対海水準の周期的変化に起因するものと推論される。

ユニットD～Gを区分するシーケンス境界は、ユニットA～Cの場合と同様に、砂岩優勢インターバルの基底と一致する。堆積相の検討からは、これらのユニット全体は堆積物重力流にともなう堆積物で構成され、ユニットA～Cの場合と異なって、泥岩優勢インターバルもデブリフローなどからの堆積を示し、懸濁による運搬からの堆積物をほとんど含まない。砂岩優勢インターバルは、ユニットG下部のコアNo. 2が示すように、ユニットA～Cの場合と同様、おもにタービダイトで構成される。以上のことは、ユニットD～Gが、陸棚域での周期的相対海水準変化の影響を受けて陸棚斜面上に形成された堆積シーケンスであることを示唆する。

ユニットH～Nは、陸棚～河川・湖沼成堆積物で構成される。これらのユニットを区分するシーケンス境界は、おもに海岸オンラップによって認定される不連続面である。このことは、これらのユニットが当時陸棚に位置していた研究地域での相対海水準の周期的変化によって形成されたものであることを示している。

6.2.3 第5、第6オーダー堆積シーケンス

第4オーダー堆積シーケンス内部には、より高次の第5、第6オーダー堆積シーケンスがみられることがある (Fig. 3(b), 4(b))。これらの堆積シーケンスは、地震探鉱記録断面上は、第3ないし第4オーダー堆積シーケンスを区分する不連続面以外の不連続面によって認定されるが、これらを研究地域の全地震探鉱記録断面上で広く追跡することは難しい。また、基礎試錐「新潟平野」の岩相解釈からは、これらの堆積シーケンスはおもに砂岩優勢インターバルと泥岩優勢インターバルの繰り返りで構成されるが、近傍試掘井との岩相対比はかなり困難で、岩相の側方変化が顕著である。以上のことは、これらの堆積シーケンスが、堆積物の供給経路の変化やこれにともなう堆積域の移動など、局所的な堆積現象を反映したものであることを示唆する。

7. 新潟堆積盆地の埋積過程

研究地域で組み立てられたシーケンス層序学的枠組みに基づいて、新潟堆積盆地の埋積過程を堆積盆地形成期 (基礎試錐「新潟平野」の位置ではほとんど無堆積)、海盆底タービダイト堆積期 (ユニットA～C)、陸棚斜面前進期 (ユニットD～F)、陸棚斜面拡大期 (ユニットG)、デルタ前進期 (ユニットH～N) に区分した。

7.1 堆積盆地形成期 (Fig. 9(1))

新潟堆積盆地は、中期中新世前期 (約15Ma) までに

Fig. 9 Depositional history of the Niigata sedimentary basin.

日本海の拡大に伴って形成された (Otofuji *et al.*, 1985; Tamaki, 1988 など)。その構造形態は、堆積盆地成立当初の構造地形、火山岩地形を反映して、狭い陸棚、急な斜面、大きい水深などによって特徴づけられる。新潟堆積盆地は、原地形の高まりや斜面によって複数の亜堆積盆地ないしトラフに区分される (鈴木, 1989; 高野, 1990 など)。中期～後期中新世には、東頸城および小谷地域などさらに南西のより後背地に近い上部亜堆積盆地において、膨大な堆積物の供給を受けて堆積物重力流による堆積が進行し、順次埋積されていく (日本の地質『中部地方 I』編集委員会編, 1988)。さらに後背地に近い長野県北部地域では、浅海成相の堆積と顕著な海退が認められる (西村・保柳, 1992)。これに対して、

研究地域の位置する沖側の下部亜堆積盆地にはわずかの陸源堆積物しか到達せず、この時期の堆積物は薄いあるいは地形的低所に分布する。

7.2 海盆地タービダイト堆積期 (Fig. 9(2))

後期中新世後期～鮮新世になると、上部亜堆積盆地ではタービダイトの堆積に伴う浅海化がすすみ (新潟大学東頸城地域地質調査グループ, 1987; 立石ら, 1992)、これに伴って堆積物の多くが下部亜堆積盆地まで運搬されるようになる。このような堆積物は、おもに下部亜堆積盆地南部に堆積するが、第3、第4オーダーの相対海水準低下期には、上部亜堆積盆地陸棚上での堆積空間の減少に伴う削剥やバイパスが起こり、研究地域付近の下部亜堆積盆地底まで運搬されてタービダイトとして堆積する。この堆積物が、ユニット A～C の砂岩優勢インターバルに相当する。量的に多くないが、懸濁により運搬された細粒堆積物も薄く堆積する。これはユニット A～C の泥岩優勢インターバルに相当する。新潟堆積盆地南部は、鮮新世末までに多くの地域が陸化し堆積盆地は消滅する (立石ら, 1992)。

7.3 陸棚斜面前進期 (Fig. 9(3))

前期更新世になって研究地域に陸源堆積物が到達するようになると、下部亜堆積盆地の急速な埋積が進行する。供給される大量の堆積物の大部分がこの亜堆積盆地南部に堆積するため、陸棚斜面が次第に沖側に前進する。この斜面での堆積物は、ユニット D～F に相当する。

7.4 陸棚拡大期 (Fig. 9(4))

ここまでの堆積で、堆積盆地成立当初の水深の大きい下部亜堆積盆地は、かなり埋め立てられて浅くなり、構造地形、火山岩地形は失われて、堆積地形の支配する比較的均一な堆積盆地となる。中期更新世になると、研究地域周辺は南から前進してきた陸棚斜面の上部に位置するようになる。この斜面での堆積物は、ユニット G に相当する。ユニット G の堆積により、研究地域周辺に陸棚が形成される。

7.5 デルタ前進期 (Fig. 9(5))

後期更新世～完新世になると、供給される堆積物の大部分が研究地域内に堆積することによって、陸棚拡大期に形成された陸棚上にデルタが前進してくる。研究地域南方はすでに陸化しており、研究地域も南部から順次陸化し、河川、湖沼の堆積環境となる。

8. ま と め

(1) 地震探鉱記録断面のシーケンス解析で認定された不連続面により、新潟堆積盆地の堆積物を 13 のユニットに区分し、さらに 12 の第3および第4オーダー堆積シーケンスを識別した。

- (2) 研究地域の堆積物には、オーダーの異なる3種類の堆積シーケンスの特徴が重複して記録されていることが判明した。
- (3) 第3および第4オーダー堆積シーケンスは、第2オーダー堆積シーケンスの一部を構成する。この第2オーダー堆積シーケンスは、新潟堆積盆地の成立に関連して形成されたテクトニクス起源の堆積シーケンスと推定される。
- (4) 第3オーダーおよび第4オーダー堆積シーケンスは、相対海水準の周期的変化によって形成されたと解釈される。
- (5) 第4オーダー堆積シーケンス内部には、第5ないし第6オーダー堆積シーケンスがみられることがある。これらは、新潟堆積盆地内の局所的な地質現象を反映して形成されたと推定される。
- (6) シーケンス層序学的枠組みから明らかになった各層準での堆積機構の特徴に基づき、蒲原地域の堆積盆地埋積過程は、①堆積盆地形成期、②海盆底タービダイト堆積期、③陸棚斜面前進期、④陸棚拡大期、⑤デルタ前進期の5段階に区分される。
- (7) シーケンス層序学的手法による堆積機構および堆積システムの分布様式の考察は、研究地域における上部中新統～更新統の残存石油・天然ガス探鉱ポテンシャル把握の一助となるだけでなく、将来的には世界各地の背弧堆積盆地あるいは変動帯に属する堆積盆地におけるシーケンス層序学的手法による石油・天然ガス探鉱に波及効果を及ぼすであろう。

謝 辞

この論文をまとめるにあたり、新潟大学理学部立石雅昭助教授にはご指導いただくとともに粗稿を読んでもいただいた。Texas大学のBill Galloway教授、Old Dominion大学のDon Swift教授およびWoodward-Clyde Consultants社のAlan Niedoroda博士には、コアの堆積相解析についてご指導いただいた。資源エネルギー庁石油部開発課、石油公団技術部、帝国石油株式会社常務取締役岩橋弘氏並びに取締役探鉱部長福島賢一氏には、貴重な探鉱資料の公表を許可していただいた。石油資源開発株式会社専務取締役片平忠實博士並びに取締役猪間俊博博士には、貴重な試掘資料の使用を許可していただいた。以上の方々に心からお礼を申し上げます。また、発表の機会を与えて下さった地質調査所の徳橋秀一博士をはじめシンポジウム世話人の方々には、心から感謝申し上げます。なお、著者の一人、保柳は研究費の一部に文部省科学研究費奨励研究A（課題番号04740436, 05740315）を使用した。

文 献

- Brown, Jr., L. F. and Fisher, W. L., 1977: Seismic-stratigraphic interpretation of depositional systems: Examples from Brazilian Rift and pull-apart basins. *AAPG Memoir*, **26**, 213-248.
- Haq, B. U., Hardenbol, J. and Vail, P. R., 1987: Chronology of fluctuating sea levels since the Triassic. *Science*, **235**, 1156-1167.
- Haq, B. U., Hardenbol, J. and Vail, P. R., 1988: Mesozoic and Cenozoic chronostratigraphy and cycles of sea-level change. *SEPM Special Pub.*, **42**, 71-108.
- Jervey, M. T., 1988: Quantitative geological modeling of siliciclastic rock sequences and their seismic expression. *SEPM Special Pub.*, **42**, 47-69.
- Miall, A. D., 1990: Principles of sedimentary basin analysis, 2nd edition. Springer-Verlag, 668p., New York.
- Mitchum, Jr., R. M. and Vail, P. R., 1977: Seismic stratigraphy and global changes of sea level, Part 7: Seismic stratigraphic interpretation procedure. *AAPG Memoir*, **26**, 135-143.
- Mitchum, Jr., R. M., Vail, P. R. and Sangree, J. B., 1977: Seismic stratigraphy and global changes of sea level, Part 6: Stratigraphic interpretation of seismic reflection patterns in depositional sequences. *AAPG Memoir*, **26**, 117-133.
- Mitchum, Jr., R. M., Vail, P. R. and Thompson, III, S., 1977: Seismic stratigraphy and global changes of sea level, Part 2: Depositional sequence as a basic unit for stratigraphic analysis. *AAPG Memoir*, **26**, 53-62.
- 日本の地質『中部地方I』編集委員会編, 1988: 日本の地質4, 中部地方I. 共立出版, 332p., 東京.
- 新潟大学東頸城地域地質調査グループ, 1987: 新潟県東頸城地域の中新—鮮新統の層序. 地球科学, **41**, 165-181.
- 西村瑞恵・保柳康一, 1992: 陸棚斜面—陸棚—沿岸の堆積システムの変遷と相対海水準変動—北部フォッサマグナ地域中新統青木層・小川層のシーケンス層序学—. 地質雑, **98**, 337-354.
- Otofufu, Y., Hayashida, A. and Torii, M., 1985: When was the Japan Sea opened?: Paleomagnetic evidence from Southwest Japan. Nasu, N. et al., eds.: *Formation of Active Ocean Margins*, 551-566, Terrapub., Tokyo.
- Posamentier, H. W., Jervey, M. T. and Vail, P. R., 1988: Eustatic controls on clastic deposition I-Conceptual framework. *SEPM Special Pub.*, **42**, 109-124.
- Posamentier, H. W. and Vail, P. R., 1988: Eusta-

- tic controls on clastic deposition II-Sequence and systems tract models. *SEPM Special Pub.*, **42**, 125-154.
- 石油公団, 1991: 平成元年度国内石油・天然ガス基礎調査基礎試錐「新潟平野」調査報告書. 132p.
- 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.
- Tamaki, K., 1988: Geological structure of the Japan Sea and its tectonic implications. *Bull. Geol. Surv. Japan*, **39**, 269-365.
- 高野 修, 1990: 北部フォッサマグナ新第三系田麦川累層のトラフ充填タービダイトの形成過程. 地質雑, **96**, 1-17.
- 立石雅昭・柿崎 聡・高野 修・東 将士・杉山和稔・遠藤正孝, 1992: 堆積相と構造運動ー北部フォッサマグナ頸城ー小谷地域のタービダイト堆積盆ー. 地質学論集, **37**, 249-259.
- Vail, P.R., 1987: Seismic stratigraphy interpretation using sequence stratigraphy, Part 1: Seismic stratigraphy interpretation procedure. *AAPG Studies in Geology*, **27**, 1, 1-10.
- Vail, P. R., Audemard, F., Bowman, S. A., Eisner, P. N. and Perez-Cruz, C., 1991: The stratigraphic signatures of tectonics, eustasy and sedimentology-an overview. In Einsele, G. et al., eds.: *Cycles and Events in Stratigraphy*, 617-659, Springer.
- Vail, P. R. and Mitchum, Jr., R. M., 1977: Seismic stratigraphy and global changes of sea level, Part 1: overview. *AAPG Memoir*, **26**, 51-52.
- Vail, P. R., Todd, R. G. and Sangree, J. B., 1977: Seismic stratigraphy and global changes of sea level, Part 5: Chronostratigraphic significance of seismic reflections. *AAPG Memoir*, **26**, 99-116.
- Van Wagoner, J. C., Mitchum, Jr., R. M., Posamentier, H. W. and Vail, P. R., 1987: Seismic stratigraphy interpretation using sequence stratigraphy, Part 2: Key definitions of sequence stratigraphy. *AAPG Studies in Geology*, **27**, 1, 11-12.
- Van Wagoner, J.C., Posamentier, H.W., Mitchum, R. M., Vail, P. R., Sarg, J. F., Loutit, T. S. and Hardenbol, J., 1988: An overview of the fundamentals of sequence stratigraphy and key definitions. *SEPM Special Pub.*, **42**, 39-45.