論文・報告

石狩平野北部地域新第三系のシーケンス層序*

斉 藤 雄 一**・小 椋 伸 幸**

(Received September 30, 1993; accepted November 24, 1993)

Neogene sequence stratigraphy in the subsurface of the northern part
of the Ishikari Plain, Hokkaido

Yuichi Saito and Nobuyuki Ogura

Abstract: A sequence stratigraphic study in conjunction with a quantitative basin subsidence analysis was undertaken in the northern part of Ishikari plain of Hokkaido to clarify the depositional history, recognize the tectonic influences and predict the sandstone reservoir distribution.

An interpretation based on seismic data, well logs and biostratigraphic data indicates that the Miocene strata in the basin are composed of eight 3rd order depositional sequences which can be further subdivided into component systems tracts. In the Miocene depositional history of the basin, three stages of sedimentation are recognized by variations in the development of systems tracts and basin architecture.

A quantitative basin subsidence analysis from well data indicates that each sequence boundary was resulted from a relative sea level fall and the stages of sedimentation were strongly influenced by the rate of total basin subsidence.

Tectonic activity influenced the development of sequences and their component systems tracts by masking the sea level fall with periods of rapid subsidence, by exaggerating relative sea level fall and by shifts in sediment source direction as well as sediment accumulation rate as a result of regional uplift.

This study indicates potentials of new stratigraphic types of plays in the basin by predicting sandstone reservoirs basinward, although the previous exploration activities have been focused on anticline-structural traps.

1. はじめに

本論での石狩平野北部地域とは、札幌の約 20~30km 北東方に位置し、江別から美唄に至る石狩川流域をさす(図 1)。

本地域は、“苫小牧リッジ”と呼ばれる先第三系基盤上昇帯(正谷, 1979)上に位置し、保柳ら(1986)による中新統地帯区分では礼文一樺戸帯に属している。本

地域の新第三系中新統では、一般に泥質岩が卓越するが、しばしば挟在する砂岩が、南金沢ガス田(昭和 60 年発見)、および峰延ガス田(昭和 62 年発見)での主要なガスリザーバーとなっている(重川ら, 1990)ことから、著者らは、本論におけるシーケンス層序学的堆積盆解析の対象層準として特に中新統を取りあげた。

2. 地質概要

本地域北方の樺戸山地には、基盤としての前期白亜紀限根尻層群、古第三紀樺戸(夾炭)層、新第三系(中新統、鮮新統)および第四系が分布する。

本地域において、昭和 58 年度以降、集中的な探鉱が行

* 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

** 石油資源開発(株) 探鉱部

図1 位置図

坑井名	1; 峰延 SK-1	2; 北村 SK-1
	3; 篠津 SK-1 D	4; 南金沢 SK-1
	5; 新金沢 SK-1	6; 当別 SK-1 D

ざいもくざわ 材木沢層	第四紀
どうべつ 当別層	鮮新世
もうらい 望来層	中新世
ばんざわ 盤の沢層	
あつた 厚田層	
ほんすべつ 奔須部都層	
かばと 樺戸層	古第三紀
くまねしり 隈根尻層群	白亜紀

図2 石狩平野北部地域の地質層序

われ、その坑井データに基づき地下に発達する地層は下位より、隈根尻層群、樺戸層、中新統(奔須部都層、厚田層、盤の沢層、望来層)、鮮新世当別層ならびに第四紀材木沢層に区分される(図2)。新第三系は、主としてシルト岩～泥岩から成り、ときに砂岩を夾む岩相である。各坑井間において岩相の水平方向の変化が認められ、砂岩貯留岩の分布は局所的であることが知られてい

る(重川ら、1990)。

3. 使用データと堆積盆解析手法

今回使用したデータは、記録の質が比較的良好と判断された地震探鉱記録断面(時間マイグレーション)約213kmと、峰延SK-1、北村SK-1、南金沢SK-1、新金沢SK-1の4坑井の物理検層ならびに微化石分析結果である(図1)。

解析手順としてまず初めに物理検層、微化石、震探記録の3種類のデータを総合的に用いたシーケンス層序学的バックワード手法により、シーケンスの認定ならびにシステムズトラクト区分を行った^{*1}。さらに、認定されたシーケンスおよびシステムズトラクトの特徴、堆積盆形態の時代的変遷を考慮して、堆積盆埋積史(発達史)の解明を試みた。

震探記録断面からは、オンラップ、ダウンラップの認定により、シーケンス境界ならびにダウンラップ面の抽出と震探相解釈を行い、物理検層カーブからは垂直方向の岩相変化の3つの基本パターン、すなわち

PPSS^{*2} (progradational parasequence set)

RPSS (retrogradational parasequence set) および

APSS (aggradational parasequence set) の識別

(Van Wagoner *et al.*, 1987), そして微化石データ(有孔虫と石灰質ナノ化石)からは、産出個体数ならびに種数ピークより推定されるコンデンスセクションの抽出を行った。

4. 中新統で認められたシーケンスの特徴と堆積盆埋積ステージ区分

結論から述べると、シーケンス層序学的バックワード手法を用いた堆積盆解析により、本地域の中新統において8つのシーケンスが認定され、それらのシーケンスの特徴および堆積盆形態の時代的変遷から、本地域の堆積盆埋積ステージを3つに区分することができる(小椋ら、1992)(図3)。以下に各々の埋積ステージごとのシーケンスの特徴について述べる。

4.1 堆積盆埋積ステージI

本ステージは、シーケンス1(奔須部都層に相当)を含む。峰延SK-1のシーケンス1^{*3}を例にとれば、下位よりPPSSを示し潟(内湾)成～前浜成堆積物(砂岩、泥岩)から成るLST (lowstand systems tract)のPW (prograding wedge), RPSSを示し主として泥

*1 シーケンス認定方法ならびにシステムズトラクト区分の方法については、Vail and Wornardt (1991) 参照。

*2 略号については本文最後にまとめている。

*3 下位よりシーケンスに番号を付した。また、堆積体とその境界にも同じ番号を付した。

図3 3坑井におけるシーケンスおよびシステムズトラクト区分と堆積盆埋積ステージ区分

岩の外洋性浅海～中部半深海成堆積物から成る TST (transgressive systems tract), および PPSS を示し中部半深海成堆積物 (主に泥岩) から成る HST (highstand systems tract) に区分される (図4)。海進面 (TS1) は、パラシーケンスセットの境界 (すなわち PPSS と RPSS の境界) ならびに潟 (内湾) 成～前浜成の砂岩上限として認識される。最大氾濫面

(MFS1) は、パラシーケンスセットの境界, 高ガンマ線値, 海緑石含有率の高い粘土質堆積物および底生有孔虫化石の種数ピーク, 浮遊性有孔虫化石の種数ピークおよび総個体数ピーク, 石灰質ナノ化石の総個体数および種数ピークとして認識される (図4)。

本ステージでは, 潟 (内湾) から中部半深海まで古水深の急激な増加を示しており, 非常に厚い TST が発達することを特徴としている。

ステージ I での古地理を考えるためにシーケンス1基底 (シーケンス境界1) での地下構造図上に, オンラップ, ダウンラップ状況および堆積物供給方向を示す (図8)。シーケンス内には, オンラップが顕著に認められ, それらの方向は現在の地下構造において構造高部に向かっている。従って, 本地域の鮮新統以浅の地層が, 金沢周辺地域を除き褶曲運動を被っていないこともあわせて考慮すれば, この地下構造図は当時の古地理を反映したものと考えることができる (重川ら, 1990)。

本ステージでは, 正断層に伴う急傾斜帯 (南東傾斜の急斜面) が存在し海底地形起伏の大きい北東-南西ないし東西トレンドの堆積盆形態を呈している。また, LST (PW) のダウンラップが堆積盆縁辺でわずかに認められ, その方向は概して北方からの堆積物供給を示唆している。

峰延SK-1を通る震探記録断面図 (Line A-A') 上では (図9), シーケンス1の LST (PW) 最上部の砂岩が1枚の連続性の良い強振幅反射波, また, TST は

図4 峰延SK-1のシーケンスの特徴

図5 北村SK-1のシーケンスの特徴

図6 南金沢SK-1のシーケンスの特徴

図7 新金沢 SK-1 のシーケンスの特徴

無反射記録 (transparent) ないし連続性に乏しい弱振幅反射波群として認識される。HST は、薄すぎて震探記録の分解能では、その特徴を捉えることができない。また物理検層および微化石データから認定された最大氾濫面 (MFS 1) は、震探記録断面においてダウンラップ面としては認識できない。

峰延 SK-1 南方のより沖側 (Line B-B', 図10) では比較的連続性のよいハモック状中振幅反射波群を特徴とするウェッジ形状の LST (SF; slope fan) およびクリノフォームを形成する連続性に乏しい弱振幅反射波群から成る LST (PW) が認識され、堆積盆縁辺 (峰延 SK-1 付近) に比べて LST が厚く発達する。

4.2 堆積盆埋積ステージ II

本ステージは、シーケンス 2~5 (厚田層にほぼ相当) を含む。このステージでは、中~上部半深海の水深を示しており、LST が厚く発達し、TST および HST は存在しても薄いことを特徴とする。シーケンス 3 では、南金沢 SK-1 の物理検層カーブの特徴から、LST 内を、ブロック状~箱型のログ形状を示す LST (BFF; basin floor fan), RPSS (上方細粒化) を示す LST (SF) および弱い PPSS を示す LST (PW) に細分することが可能である (図6)。シーケンス 4 では、峰延 SK-1 の物理検層カーブにより PPSS~APSS を示しチャンネル充填堆積物から成る LST (PW), RPSS を示す TST および PPSS を示す HST に細分される (図4)。特にシーケンス 4 では、峰延、北村および南金沢の各坑井において底生有孔虫 (砂質有孔虫) 化石の総個体数および種数ピークおよび高ガンマ線値、低比抵抗値から最

図8 堆積盆埋積ステージ I の古地理

シーケンス境界 1 で描いた地下構造図上にシーケンス 1 内で見られるオンラップ、ダウンラップの方向ならびに LST (PW) 最上部の砂岩の分布が示されている。

図9 峰延SK-1を通る震探記録断面 LineA-A' での各シーケンスの特徴

図10 峰延SK-1南方のより沖側でのシーケンス1の特徴(震探記録断面 Line B-B')

大氾濫面(MFS4)が推定され、TST および HST が認識できる(図4~6)。

ステージIIでの古地理を考えるためにシーケンス3基底(シーケンス境界3)での地下構造図上にオンラップ、ダウンラップ状況および堆積物供給方向を示す(図11)。

本ステージでも、ステージI同様に、各シーケンス内にオンラップが顕著に認められ、その方向は現在の地下構造高部に向かっている。堆積盆は、依然として北東-南西ないし東西トレンドの形態を示すがステージIで存在した急傾斜帯は消失し、堆積盆全体が“碗状”を呈している。

LST(PW)の示すダウンラップは、堆積盆縁辺で認められ、その方向は概して北北東からの堆積物供給を示唆している。

南金沢SK-1を通る震探記録断面 LineC-C'(図12)ではシーケンス3のLST(BFF)は、マウンド状外部形態を呈する連続性の良い強振幅反射波群として、LST(SF)は、比較的連続性のよい(一部カオティッ

図11 堆積盆埋積ステージIIの古地理

シーケンス境界3で描いた地下構造図上に、シーケンス3内で見られるオンラップ、ダウンラップの方向ならびにLST(BFF)のアイソクロンコンターが示されている。

ク)中振幅反射波群として、またLST(PW)は無反射記録(transparent)ないし、弱振幅反射波群(ただし、一部堆積盆方向で連続性良好)として認識される。震探相解釈によりシーケンス3のLST(BFF)は、構造低部(ベースンフロア)において、東西方向に伸長したタービダイト砂岩体(少なくとも5km×15kmの分布規模)として発達していることがわかる(図11)。

峰延SK-1のシーケンス4で認められたLST(PW)は、震探記録断面 LineA-A'(図9)上で極めて連続性の良い強振幅反射波群として認識され(宇納, 1993), その分布トレンドおよび地表地質をも含めた堆積学的検討によりチャンネル充填重力流堆積物から成り、北北西から供給されたものと考えられている(辻ら, 1992)。

また物理検層および微化石データから推定された先述のシーケンス4内の最大氾濫面(MFS4)は、震探記録上ではダウンラップ面として認識することはできない(図9)。

図12 南金沢 SK-1 を通る震探記録断面 Line C-C' でのシーケンス3の特徴

4.3 堆積盆埋積ステージ III

本ステージは、シーケンス6～8(盤の沢層、望来層にはほぼ相当)を含む。本ステージになると堆積盆全体が陸棚浅海域となり、さらに上方へ向かって、水深は浅くなる。峰延 SK-1 のシーケンス6を例にとって説明すると(図4), 下位から RPSS を示す泥岩主体の LST (SF), APSS～PPSS を示す泥岩～シルト岩主体の LST (PW), RPSS を示す泥岩主体の TST, および APSS を示す HST に細分される。TST と HST の境界、すなわち最大氾濫面 (MFS6) はバラシーケンスセットの境界ならびに低比抵抗値、海緑石の濃集および有孔虫化石の総個体数および種数の増大(厳密にはピークに一致していない)から推定した(図4)。

同じくシーケンス6について、本堆積盆西端の新金沢 SK-1 では(図7), 下位より APSS～PPSS を示す砂岩主体の LST (PW), RPSS を示す砂岩～シルト岩主体の TST, APSS～RPSS を示すシルト岩主体の HST に区分される。TST と HST の境界、すなわち最大氾濫面 (MFS6) は、有孔虫化石総個体数および種数ピークから推定した。

ステージIIIでの古地理を考えるためにシーケンス6基底(シーケンス境界6)の地下構造図上に、オンラップ、ダウンラップ状況および堆積物供給方向を示す(図13)。本ステージでは各シーケンス内にオンラップとダウンラップの両者が顕著に認められるようになる。オンラップはステージI～IIと同様、現在の地下構造高部に向かう方向を示している。堆積盆は、前ステージまで顕著であった北東～南西ないし東西トレンドのトラフが消失し、南～南西に開いた形態を呈している。特に本堆積盆西端では、北東方向への系統的なオンラップが顕著であり、南西方へ傾斜する古斜面の存在が推定される。

図13に示されたダウンラップは、LST (PW) および HST に属するものであり、本ステージになって初めて、HST のダウンラップが認められるようになる。これら

図13 堆積盆埋積ステージIIIの古地理

シーケンス境界6で描いた地下構造図上にシーケンス6内で見られるオンラップ、ダウンラップの方向ならびに LST (PW) および TST の砂岩の分布が示されている。

図14 南金沢 SK-1 を通る震探記録断面 Line D-D' でのシーケンス6の特徴

新金沢 SK-1 および南金沢 SK-1 で確認された盤の沢層砂岩はシーケンス6の LST (PW) および TST に属し北東方向へオンラップする強振幅反射波群として認識される。

のダウンラップ方向は、ステージⅠ～Ⅱ同様の北北東からの堆積物供給以外に、東からの供給を示唆し、堆積物搬入経路が多岐にわたっていた（マルチソース化）ことを示している。

峰延 SK-1 を通る震探記録断面 Line A-A' (図9) 上では、シーケンス6のLST (SF) は、無反射記録～連続性に乏しい弱振幅反射波群として、LST (PW) はクリノフォームを形成する比較的連続性の良好な中振幅反射波群として、またHSTは、同じくクリノフォームを形成する連続性の良い中振幅反射波群として認識される。また、峰延 SK-1 の坑井データから推定された最大氾濫面 (MFS6) は、同震探記録上 (図9) でダウンラップ面に一致していることがわかる。

本堆積盆西部地域にのみ発達する外側陸棚の砂岩 (西村ら, 1993) はシーケンス6のLST (PW) およびTSTに属し、北東方向へオンラップする強振幅反射波群として認識される (図14)。

5. 本地域のシーケンス形成要因

以上述べてきたように、物理検層、微化石および震探記録断面の3種類のデータを用いたシーケンス層序学的バックワードの手法により堆積盆解析を行った結果、導かれた結論は、以下の2つに要約される。

① 中新統において8つのシーケンス (シーケンスのサイクルは約1.4Ma, 3rd オーダーである) を認定し、堆積盆形態および各シーケンスの特徴 (システムズトラクトの発達様式) の時代的変遷から堆積盆埋積ステージを3つに区分することができる。

② 各々のシーケンスの境界は、オンラップの位置が一度、堆積盆方向へ急激に移動 (堆積の場が堆積盆方向へ急激に移動) し、その後順次、堆積盆縁辺へ移動していく現象として認識され (図15), その形成は、堆積盆縁辺域での相対海水準の低下によってもたらされたもの

図15 オンラップ面 (=シーケンス境界) と各シーケンスの形成

図16 峰延 SK-1 における堆積盆全沈降曲線 (total subsidence), ユースタシ変動および相対海水準変動の関係

Po: 奔須部都層, At: 厚田層, Ba+Mo: 盤の沢層 + 望来層, To+Qt: 当別層 + 第四系, SB 1~9: シーケンス境界形成時期 (降下変曲点)

と解釈される。

これらの結論に対し、本地域での堆積盆埋積ステージ区分の意義および相対海水準変動 (相対海水準が本地域で低下し得るか否か?) について、バックワードの手法とは異なった観点から定量的な考察を行ってみる。

図16は峰延 SK-1 の坑井データから求めた堆積盆全沈降曲線とある仮定に基づき設定されたユースタシ変動曲線を用いて相対海水準変動曲線を描いたものである。本地域内で最も堆積盆縁辺に位置する峰延 SK-1 の坑井データ (古水深、地層層厚、および年代) から求めた堆積盆全沈降曲線は Nakayama (1987) の手法により圧密補正されたものが示されている。また、図16のユースタシ変動曲線は、次の3つの仮定、①3rd オーダーのユースタシの存在、②3rd オーダーのユースタシ変動曲線は正弦カーブの連なりで近似、③3rd オーダーのユースタシ変動の振幅は、Haq *et al.*, (1987) のユースタシ変動曲線より見積って50m とする、に基づいて設定されている。従ってユースタシ変動曲線から堆積盆全沈降曲線を差し引いて得られた相対海水準変動曲線は、シーケンス1 (奔須部都層) 基底を基準面とした場合の相対海水準変動を表していることになる。図16から明らかなように、3つの堆積盆埋積ステージ区分 (Ⅰ～Ⅲ) は、堆積盆全沈降曲線の変化率の差を反映したもので、すなわち埋積ステージⅠは堆積盆の急激沈降期、

埋積ステージⅡは堆積盆の微沈降期、埋積ステージⅢは堆積盆の緩沈降期にそれぞれ対応していることがわかる。換言すれば、アコモデーション規制要因の1つである沈降様式（ここでは変化率）の時代的变化が、各ステージ特有のシーケンスの発達（システムズトラクトの発達）をもたらしたと言える。また、ユースタシ変動の降下時（降下変曲点）では、埋積ステージⅠの堆積盆急激沈降期を除いて、相対海水準が低下していることが読みとれる。従って、以上述べたような定量的な考察からも、本地域で認定されたシーケンス境界は、本堆積盆縁辺域での相対海水準が低下することにより形成されたと考えることができる。

6. テクトニック変動が本地域のシーケンスにおよぼした影響

6.1 沈降による影響

堆積盆が急激に沈降する時期（沈降速度が極めて速い時期）には、ユースタシが低下しても相対海水準が低下することなく、海成氾濫面（marine flooding surface）を形成しながら上昇していく現象、すなわち“海水準低下のマスキング現象”が生じることが想定される。

図17は Van Wagoner *et al.*, (1990) に示された概念を簡略かつ定量化したものであり、ユースタシ降下変曲点での変化率（降下速度）と堆積盆全沈降曲線における変化率（沈降速度）とが等しくなるときのユースタシ変動の振幅 A (m)、ユースタシ変動サイクルの周期 T (Ma) および堆積盆沈降速度 a (mm/1000年) の関係を示したものである。ただしユースタシ変動は正弦カーブ、堆積盆沈降は直線で近似し、相対海水準変動はユースタシ変動から堆積盆全沈降曲線を差し引いたものとする。ユースタシ変動の振幅 A を一定としたとき、ユースタシ変動周期が長周期（1st～2nd オーダー）の場合には海水準低下のマスキングが生じやすく、短周期（4th～6th オーダーあるいはそれ以上）の場合には、極めて急速に堆積盆が沈降しない限り、海水準低下のマスキングが生じにくいことがわかる。

ここで、本地域のシーケンス形成周期を約1.4Ma（17Ma～6Maの間に8つのシーケンスが存在）、3rd オーダーユースタシ変動の振幅を Haq *et al.* (1987) のユースタシ変動曲線から見積り、約50m とすれば、「ユースタシ降下変曲点での降下速度＝堆積盆沈降速度」となる堆積盆沈降速度 a は、約200 (mm/1000年) と計算される。つまり、本地域では約200 (mm/1000年) 以上の変化率で堆積盆沈降が起こった場合のみ海水準低下のマスキングが生じることになる。峰延 SK-1 で

図17 ユースタシ変動の降下変曲点における変化率（降下速度）と堆積盆全沈降曲線における変化率（沈降速度）とが等しくなるときのユースタシ変動振幅 A (m)、ユースタシ変動サイクルの周期 T (Ma) および堆積盆沈降速度 a (mm/1000年) の関係

の堆積盆全沈降曲線（図16）は、埋積ステージⅠでの堆積盆沈降速度が平均550 (mm/1000年)、埋積ステージⅡでの堆積盆沈降速度が約38～25 (mm/1000年)、埋積ステージⅢでの堆積盆沈降速度が平均56 (mm/1000年) を示しており、埋積ステージⅠにおいてのみ堆積盆沈降速度が先述の200 (mm/1000年) をはるかに上回っている（海水準低下のマスキングが起こっている）ことがわかる。埋積ステージⅠのシーケンスの特徴である非常に厚いTSTは海成氾濫面で境された厚さ約30～70mのパラシーケンスの重なりから成っており（図4），“海水準低下のマスキング現象”を反映したものと考えることができる。この急激な堆積盆沈降（ステージⅠに相当）は、その年代および本堆積盆がグリーンタフ分布の北方延長縁辺部に位置することを考慮すると、グリー

図18 3坑井における堆積盆全沈降曲線および堆積累積曲線

堆積累積曲線は、圧密補正された堆積盆全沈降曲線から古水深を差し引いたものである。
Po: 奔須部都層, At: 厚田層, Ba+Mo: 盤の沢層+望来層, To+Qt: 当別層+第四系, SB: シーケンス境界

ンタフ活動に伴うリフトベースン形成に関連したテクトニックイベントと解釈される。

6.2 隆起による影響

峰延、北村および南金沢の3坑井のデータから求めた各々の堆積盆全沈降曲線(図18)において、ステージⅡからⅢへの変遷期での隆起現象が認められ、実際に埋積ステージⅡとⅢの境界(すなわちシーケンス境界6)は、坑井ディップメーターによる地層傾斜変換点に一致しており、上下の地層で明らかに構造差が認められている。

ステージⅡとⅢの境界付近、すなわち約10Maに起こったと考えられる隆起運動は、千島弧の西進・衝突(Kimura, 1983)によって、本地域および東方の日高帯が圧縮応力場におかれることにより生じたテクトニック変動の一部と解釈される。以下に、その隆起がもたらした影響について述べる。

① 堆積速度の増大

図18に示された各坑井での堆積累積曲線(各坑井での

図19 ステージⅡとⅢにおける古地理と堆積物供給方向

堆積盆全沈降曲線から古水深を差し引いたもの)を見ると、シーケンス境界6(約10Ma)形成直後に、堆積速度(堆積累積曲線の傾き)の増大が認められる。

堆積盆の比較的縁辺に位置する峰延、北村の坑井のみならず、より沖側に位置する南金沢の坑井においても堆積速度の増大が認められるということは、本堆積盆全域にわたり堆積速度が増大したことを意味している。

② 堆積物供給方向の変化

本地域での隆起運動のみならず、広域的には東方日高帯の急激な上昇に伴う隆起運動に起因した影響として、ステージⅡでは、北～北北東からのポイントソースであったものがステージⅢでは東からの堆積物供給も加わりマルチソースに変化したことが考えられる(図19)。

③ 相対海水準低下の強調

これは、先述の急激な堆積盆沈降期における海水準低下のマスクングとは全く逆の影響である。ステージⅡとⅢの境界すなわちシーケンス境界6の形成時に、沿岸性オンラップの沖側へのシフト量が最大になる現象として認識され、隆起によって相対海水準の低下が強調されたものと考えられる(図15)。

ステージ	I (急激沈降ステージ)	II (微沈降ステージ)	III (緩沈降ステージ)
シーケンス	シーケンス 1 (奔須部都層)	シーケンス 2~5 (厚田層)	シーケンス 6~8 (盤の沢層)
古水深	transition→neritic→up. ~mid. bathyal	mid. bathyal→up. bathyal	outer neritic→inner neritic
堆積環境	潟成 (内湾成) →外浜 →外側陸棚~陸棚斜面	陸棚斜面	外側陸棚→内側陸棚
堆積盆形態	古地形起伏大きい 急峻な斜面存在 NE-SWトレンドのベーズン形態	起伏小さい "桶状"形態 NE-SWトレンドのベーズン形態	最西端に西傾斜の斜面形成 南 (南西) へ開いたベーズン形態
堆積物供給方向	北から	北~北東から	北~北東および東から
シーケンスの特徴	オンラップ顕著 厚いTST、薄いHST LSTはベーズン方向で厚い	オンラップ顕著 厚いLSTの発達、TST、HSTは存在しても薄い。 MFSはダウンラップ面として認識不可 LST(B.F.F.) が存在	オンラップ、ダウンラップの両者が顕著 MFSはダウンラップ面に一致 ベーズン縁辺でTST/HST発達
貯留岩	潟成 (→海浜成) LST(P.W) 陸棚斜面 LST(S.F)	陸棚斜面~Basin floor LST(B.F.F.) LST(S.F) 陸棚斜面 LST(P.W) チャネル充填堆積物	陸棚 LST(P.W) TST, HSTの一部
堆積盆沈降速度とユースタシー低下速度の関係	堆積盆沈降>ユースタシー	堆積盆沈降<ユースタシー	堆積盆沈降<ユースタシー

図20 各々の堆積盆埋積ステージの特徴 (まとめ)

7. シーケンス層序学と貯留岩分布予測

シーケンス層序学的“バックワード”手法を用いた堆積盆解析によると、本地域の貯留岩は、一部 TST (ステージⅢのシーケンス6内) に属するものを除き、大部分が LST に属している (図20)。特に、背斜構造に掘削された坑井で確認されなかった LST の砂岩体が震探記録上でいくつか認識されたことは、構造的な高まりに対して砂岩体が尖滅していることを意味する。このことは相対海水準が低下したとき、シーケンス境界の形成とともに、より沖側へ供給された粗粒堆積物が、構造的な高まりに対して層位トラップを形成している可能性を示唆する。

シーケンス層序学の概念を用いることにより、例えば、堆積盆縁辺域でのデータからシーケンス境界が認定されれば、それらを堆積盆方向へ追跡し、その直上の震探相に着目して LST (BFF) や LST (SF) などの砂岩体分布を直接的に予測することが可能であり、沖側での砂岩尖滅トラップ探鉱などのリスク軽減を図ることができる (図21)。

8. ま と め

石狩平野北部地域において震探データと坑井データ (物理検層と微化石データ) を用いたシーケンス層序学

砂岩尖滅トラップ 探鉱のリスク軽減

図21 シーケンス層序学の探鉱への適用
(堆積盆方向での貯留岩分布予測に応用)

的堆積盆解析を行った結果、以下の結論を得た (図20)。

① 中新統 (奔須部都層, 厚田層, 盤の沢層および望来層) において8つの堆積シーケンスを認め、各シーケンス内をシステムズトラクトに区分した。

② 上記8つの堆積シーケンスは、約17~6Ma 間に形成されたものであり、シーケンスの形成サイクルは約1.4Ma (3rd オーダー) である。

③ 各シーケンス境界はオンラップ面として認識される。これらのシーケンス境界上でのオンラップ現象は、堆積の場が一度、ベーズン側へ急激に移動したことを示すものと解釈され、堆積盆縁辺域における海水準の相対的低下がシーケンス境界の形成をもたらしたものと推定される。

④ 8つのシーケンスの特徴および堆積盆形態の時代

的変遷から、本地域の堆積盆埋積ステージを3つに区分した。そして、このステージ区分が、主に堆積盆沈降速度(変化率)の差(つまりアコモデーション変化率の時代的变化)を反映したものであることを明らかにした。

⑤ テクトニック変動(沈降と隆起)が本地域のシーケンスに及ぼした影響は以下のとおりである。

ア) 急激な堆積盆沈降期における海水準低下のマスキング

イ) 隆起による相対海水準低下の強調および堆積物供給方向・堆積速度の変化

⑥ シーケンス層序学の概念を用いることによって沖側での砂岩体の分布を直接予測することが可能となり、砂岩尖滅トラップ探鉱におけるリスク軽減を図ることが期待される。

謝 辞

本稿の公表を許可して頂いた石油資源開発株式会社片平忠實専務取締役、同社猪間明俊取締役に深く感謝する。粗稿を査読され、ご助言をいただいた同社探鉱部長田中一郎、森田謙宏次長、地下構造解釈について協力していただいた同社物理探鉱部八子勇治氏、日ごろの討論を通じて多くの適切な助言をいただいた同社探鉱部、技術研究所ならびに札幌探鉱所探鉱課の方々には心からお礼申し上げます。また、坑井地質報告、地表調査報告、分析報告など石油資源開発株式会社がこれまで行ってきた探鉱作業の多くの未発表資料を参考にさせていただいた。これらの作業に関わった多くの方々に厚く感謝の意を表す。

本文および図中の略語凡例

SB	(sequence boundary); シーケンス境界
MFS	(maximum flooding surface); 最大氾濫面
TS	(transgressive surface); 海進面
LST	(lowstand systems tract); 低海水準期堆積体
BFF	(basin floor fan); ベーズンフロアファン
SF	(slope fan); スロープファン
PW	(prograding wedge); プログレーディングウェッジ
TST	(transgressive systems tract); 海進期堆積体
HST	(highstand systems tract); 高海水準期堆積体
RPSS	(retrogradational parasequence set); 後退型パラシーケンスセット
APSS	(aggradational parasequence set); 積み重なり型パラシーケンスセット
PPSS	(progradational parasequence set); 前進型パラシーケンスセット

文 献

- Haq, B. U., Hardenbol, J. and Vail, P. R., 1987: Chronology of fluctuating sea levels since the Triassic. *Science*, **235**, 1156-1167.
- 秦 光男・垣見俊弘・佐藤博之・松井 寛, 1974: 20万分の1地質図幅「留萌」, 地質調査所.
- 東 将士・辻 隆司, 1990: 平成元年度北海道樺戸郡「月形総合'89」班地表地質調査報告書. 石油資源開発(株)社内資料(未公表).
- 保柳康一・宮坂省吾・渡辺 寧・木村 学・松井 愈, 1986: “衝突帯”のタービダイト相形成とテクトニクス—中新世・中央北海道の例—. 地団研専報, **31**, 265-284.
- 石田正夫・曾屋龍典, 1980: 20万分の1地質図幅「札幌」, 地質調査所.
- Kimura, G., Miyashita, S., Miyasaka, S., 1983: Collision tectonics in Hokkaido and Sakhalin. In Hashimoto, M. and Uyeda, K., *Accretion tectonics in the circum-Pacific Regions*, 123-134.
- 正谷 清, 1979: 北海道海域の堆積盆の分布と性格. 石枝誌, **44** (5), 254-259.
- Nakayama, K., 1987: Hydrocarbon-expulsion model and its application to Niigata area, Japan. *AAPG Bull.*, **71**, No. 7, 810-821.
- 西村瑞恵・一ノ関鉄郎・守屋成博, 1993: 中新統盤の沢層の堆積環境—北海道石狩平野, 新金沢 SK-1 コアの堆積相解析. 石枝誌, **58** (4), 311.
- 小椋伸幸・齊藤雄一・辻 隆司, 1992: 石狩平野北部地域中新世のシーケンス層序. 日本地質学会第99回学術大会講演要旨, 174.
- 重川 守・近藤和也・早稲田 周, 1990: 北海道石狩北部地域の油・ガス田—その地球化学と地質的背景—. 石枝誌, **55** (1), 23-36.
- 辻 隆司・齊藤雄一・生路幸夫・一ノ関鉄郎・小布施明子・甲斐邦男・柳本 裕, 1992: 石狩平野北部地域の峰延ガス田における奔須部都層と須部都層の堆積環境と堆積シーケンス. 石油資源開発(株)技術研究所研究報告, 第8号, 1-26.
- 宇納貞男, 1993: 砂岩貯留層分布予測に関するサイスミック・ストラティグラフィ—北海道石狩平野峰延構造を例として—. 石枝誌, **58** (1), 58-66.
- Vail, P. R., and Wornardt W. W., 1991: An integrated approach to exploration and development in the 90s: Well log seismic sequence stratigraphy analysis. *Gulf Coast Assoc. of Geol. Soc., Transactions*, **41**, 630-650.
- 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, Atlas of seismic stratigraphy 1. *AAPG Studies in Geology*, **27**, 11-14.
Van Wagoner, J. C. V., Mitchum, R. M., Campion, K. M. and Rahmanian, V. D., 1990:

Siliciclastic sequence stratigraphy in well logs, cores, and outcrops: Concepts for high-resolution correlation of time and facies. *AAPG, Methods in Expl.*, Sers. 7, 55p.