原 著 論 文

新潟県東頸城郡北部地域の椎谷期—西山期の
砂岩の発達およびその石油地質学的考察*

その 1: 砂岩体の geometry, 堆積環境およびその成因

本 座 榮 一**

(昭和 39 年 9 月 22 日受理)

Sedimentological and Oil-geological Considerations on the Sandstones
of the Shiya and the Nishiyama Stages in the Northern Part
of Higashikubiki, Niigata Prefecture

Part 1, Geometry, Depositional Conditions and Origin of the Sandstone Bodies

By

Eiichi HONZA

Abstract: From sedimentological and oil-geological view point, the writer investigated the sandstones of the Shiya and the Nishiyama stages in the northern part of Higashikubiki, Niigata Pref., Japan. The sandstones in this area are composed of material supplied from the topographical high place by mass flows such as turbidity currents and thick sandstone develops in WNW-ESE and -SE directions decreasing thickness and turbulence to the marginal area.

And in the papers of "Part II", the writer will discuss various properties as petroleum reservoir taking into these sedimentological considerations.

I. 緒 言

新潟県東頸城郡北部の大島村・安塚町・松代町を中心とする一帯には、椎谷期—西山期にかけて厚い砂岩・泥岩の互層が発達している。本地域の地質調査は昭和 22 年頃から帝国石油(株)のもとに行なわれ、昭和 28 年頃までに一応の地質図ができ上っている。***その後石油資源開発(株)により昭和 34 年頃までに微古生物学的調査が一部行なわれている。**** 本地域北西端の源背斜に源油田が、また本地域外の南方に牧油田が古くから開発さ

れたが、本地域においては貯留岩となり得る岩層が地表に露出していることなどのため、油田・ガス田は見つかっていない。しかしながら、著しい褶曲構造によって同一層位の地層が広い範囲にわたり、くり返して露出しているため、砂岩体の形態、発達状態を研究するのに適した条件をそなえている。

この研究は、厚く発達している砂岩体の geometry を調べ、その堆積環境、堆積過程およびその成因を追求し、これらの砂岩が貯留岩となったとき持つ諸性質との関連性を把握することを目的としている。今日までその他の粒子を人為的に配合し、その孔隙率・浸透率測定、その結果の自然の岩石への応用、あるいは自然の岩石の諸性質を知るための種々の実験が行なわれてはいるが、それらの諸性質と、それらをもたらしした堆積過程、砂岩

* 一部は石油技術協会総会で講演発表した¹⁰⁾ 11)

** 東京大学海洋研究所

*** 正谷 清, 樹下 愷, 吾妻 稯, 木下浩二, 鬼塚 貞, 白石辰己の石油資源 K K 社内報告

**** 岩本寿一, 新保久彌, 山田昌道の石油資源 K K 社内報告

第2図 Lithologic Map

体の地質学的 geometry との結びつきなど、地質学的諸条件との関連性について述べた報告は数少ない。これらの一片でも知る意味でこの研究を行なったのであるが、ここでは主として野外調査で判明したことおよび種々の地質学的要因について述べ、砂岩の貯留岩としての性質は次回にゆずることとする。

謝辞 本論文は東大工学部鉱山学科石油工学教室において作成した修士論文に基づいている。筆者が大学院在学中、直接御教示に預った三土知芳前教授、研究方針を直接指導していただき、本文を詳細に検討していただいた河井興三助教授、孔隙率・浸透率の実験に際し、有益な御意見を賜った平川誠一助教授をはじめとする東大工学部資源開発工学科石油工学教室の諸先生方に深く感謝致します。また種々の資料を提供して下さいました。鯨岡明探鉱第一課長をはじめとする石油資源開発（株）の方々に深甚の謝意を捧げます。

II. 地 質 概 説

1. 層序および地質構造

第1図 Geological Column

本地域には寺泊階から西山階にかけての地層が整合的に重なり広く露出している。これら各層の境界は漸移的で明確ではないが、有孔虫調査資料* を考慮して第1図に示すように定めた。これらの地層は岩相により A'~N の各部層に細分される。

寺泊層は本地域南方に広く分布するが、本地域にはほとんどみられない。黒色泥岩からなり、安山岩質凝灰岩薄層をところによりはさむ。稚谷層・浜忠層は全般的に分布し、稚谷層下部 (A) は寺泊階から続く一連の塊状黒灰色泥岩であり、ところによりシルト岩ないし細粒砂岩の薄層をはさむ。稚谷層上部 (B~G) と浜忠層 (H~M) とは大きくみて泥岩と砂岩・泥岩の互層であるがその互層中に厚い砂岩が発達しており、とくに D 部層および H 部層はもっとも著しいもので航空写真によりよく追跡できる。これらの砂岩については後に詳細に述べることにする。浜忠層最上部 (M) は泥岩が優勢である。浜忠層より上位の西山層 (N) は田麦・大平の盆地状構造附近では砂岩・泥岩の互層であるが、本地域の西端部では灰黒色泥岩、本地域外の東方ではシルト質の灰色泥岩である (第2図参照)。

本地域の砂岩は一般に凝灰質であるが、火砕岩層は少ない。A 部層最上部に比較的厚い安山岩質ないし流紋岩質凝灰岩があり、南東部では厚さ 10 m 程度の volcanic conglomerate (流紋岩の礫からなる) となっている。これから M 部層までは、はっきりした凝灰岩はみられない。M 部層最上部に厚さ 2 m 程度の安山岩質凝灰岩が 3 層認められる。本地域は全般的に安山岩質火山活動の影響下にあったと推定される。

本地域は構造的に活発な活動を行なった地域であり、著しい褶曲構造により、稚谷期・西山期の地層がくり返し露出し、全域にわたり分布している。本地域の中央部を通過して北東-南西方向に断層を伴った岩野背斜があり、その北西側には断層向斜をはさんで源背斜が北方向

第3図 Profile Section

に走っている。岩野背斜の南東には田麦・大平を結ぶ線附近に向斜ないし盆状構造があり、その東部は奴奈川背

* 岩本, 新保, 山田の社内報告 (前出)

斜の西翼に続いている。田麦北東方向には石黒背斜があり、その南部延長は西方に向って鼻状構造を形成している（第3図）。

2. 堆積盆地内での本地域の位置および堆積環境

鯨岡⁹⁾によれば、高田平野および牧油田から米山・中央油帯・見附油田を経て新津に至る地域、および松ノ山から松代・小千谷・東山油田を経て大浦に至る地域に寺泊期・椎谷期の隆起帯があり、これらの隆起帯の間に沈降帯が発達している。したがって本地域の中心は鯨岡のいう隆起帯にはさまれた沈降帯にあたるわけである。また鯨岡⁹⁾・相場¹⁾・帝石（株）および石資（株）の微古生物学的調査資料によれば、寺泊層は一般に砂質有孔虫のみを産するが、頸城油・ガス田においては寺泊層上部から石灰質および浮遊性有孔虫を産する。また椎谷層からは砂質・石灰質・浮遊性有孔虫、ラジオラリアなどを産する。本地域の椎谷層からも砂質・石灰質有孔虫を産するが、浮有性有孔虫・ラジオラリアなどは少ない。微化石よりみた、本地域の椎谷層上部の堆積深度は大陸斜面の上部あたり（数 100m）である。本地域の浜忠層からも砂質・石灰質・浮遊性有孔虫を産し、とくに同層上部からは暖流系浮遊性有孔虫を多量に産し、外洋性環境を示している。これら微化石よりみた、本地域浜忠層の堆積深度は椎谷層のそれより浅く、大陸棚下部あたり（100～200m）と推定される。

III. 砂岩体の発達状態

本地域の砂岩・泥岩の互層のうち大きくみて2群の砂岩の優勢な互層があり（D部層・H部層）、他にも砂岩が比較的多量に含まれる互層（B部層）もあるが、その

地域の砂岩は lithic graywacke sandstone であり、また一般に凝灰質なものも多く浮石、粘土などを含んでいる。微化石はほとんどなく浜忠層上部にわずかに浮遊性有孔虫あるいはラジオラリアと思われるものが少量ある程度である。本研究においては主にこの2群の砂岩優勢の互層の砂岩を対象とし、その発達状態、基底における current marking, grading, 乱れの状態、礫の入り方などの野外における調査、室内における試料の測定、分析を行なった。

砂岩群全体の厚さは D 部層は最大 70 m、H 部層は最大 50～80 m におよぶ。第4図に、褶曲した地層を水平にのばし、堆積時の状態に復元して描いた両部層の等層厚線を示してあるが、この図によって明らかなように両部層とも西北西—東南東ないし南東方向に厚く堆積し、南西部、北東および北部の周辺地域にいくにしたがい薄くなる傾向がある。ただ、大平東方で厚い H 部層が急激に消滅しているが、これは当時の海底地形上に障害となるものがあり、厚い堆積をもたらしたものと思われる。両部層とももっとも厚く堆積しているところでは砂岩自体も大きく乱れ、sorting も悪く、硬い円礫、泥岩の角礫などを伴ない、層間異常現象が多くみられる。第4図に示されるように硬い円礫の最大礫径は砂岩層のもっとも厚いところで大きく、周辺部にいくにしたがい礫も存在しない傾向がある*。周辺部においては両部層を構成する砂岩の単層自体も薄く、リズムカルな sorting のよい互層へと変化している。砂岩の単層の厚さは数 cm から数 m であり、砂岩体が厚く堆積しているところでは泥岩は少なく、砂岩が泥岩の 5～10 倍の厚さがあるが、周辺部では泥岩と同じ位の厚さか、せいぜい 2, 3 倍

第4図 Map showing Isopach of the Sandstone, Current Direction and Maximum Diameter of Pebbles

他は一般に砂岩が部分的に発達している砂岩・泥岩の互層および塊状泥岩である。Pettijohn¹⁴⁾の分類によると本

* Pettijohn¹⁵⁾ は最大礫径の分布状態より流れの方向を推定している。

第 5 図 Directional Distribution of Sole Markings

The lower rank (Thickness of Beds) shows the distribution of the thickness of beds of which directions are shown by sole markings indicated in the upper rank.

の厚さである。

また砂岩単層の泥岩中への消滅にはつぎの3通りがある。

- 単層が泥岩と明らかな境界を保ちつつ徐々に薄くなり、消滅する。
- もぎとられたように突然消滅する。
- 細粒部が増加し、泥岩に漸移し、同時異相的に消滅する。

このうち、a) と c) の複合体がもっとも多く、全体的に層厚も減少し、細粒となり消滅していく。しかしながら、砂岩が厚く発達し、乱れを伴ない堆積したところでは、b) の型も存在する。

IV. 砂岩体の堆積構造

1. 砂岩単層の grading および層間異常

個々の砂岩層は多少とも grading しており、部分的に何回もくり返して grading している単層もある。この場合、凝灰質な部分が基底にあり、くり返して行なわれた火山活動に伴ない、砂が運ばれてきた可能性も考えられる。また、泥岩角礫、sorting の悪いシルト岩、成層したシルト岩、硬い円礫、亜炭などのとりこみ、円礫岩のレンズなどがみられ、時に厚さ数 mm の波うった亜炭層が単層の上部にみられる。

2. Current Marking

砂岩の単層は下位の泥岩とはすべてはっきりした境界

で区別され、境界は一般に平面的であるが、砂岩が厚いところでは基底が少し波状をなすところもみられる。

一般に、砂の堆積時に流れがあり、その流れにより砂の粒が運ばれてきて堆積したとき、その流れの方向を示す current marking が砂層にしばしば発達することが知られている。^{3), 7), 13), 15)}

本地域に発達している砂岩単層の基底には current marking のうちとくに sole marking が比較的良好に発達しており、そのうち主として flute marking, groove cast, striation などの linear marking がみられる(第4図, 5図)。それによると両砂岩体とも、その最大層厚附近では南東—南—南西方向への流れが主流となっている。中間層厚部についてみると、D 部層では東ないし南東方向、H 部層では東方向の流れが認められる。周辺部へいくと流れの方向は種々変化している。一般に厚い堆積をもたらしした中心の主流から離れるにしたがい、砂岩の薄い方向へと流れた傾向がみられる。D, H 部層以外の砂岩については、特に B 部層では、北西方向への流れが顕著であり、その他の砂岩では北東方向と西方向への流れがみられる。

なお以上に述べた流れの方向は堆積時の砂の運搬方向を示すものである。しかし単層の下部は一般にそれと同一方向の流れにより堆積したと推定されるが、単層の上部において、とくに泥岩へと漸移する部分では、かならずしも最初の方角の運搬により供給されたとは限らない

かもしれないという疑問がある。これについては、それが一連の堆積作用であれば、同一方向の運搬による堆積とみなせると考えるが、このことについては次章で述べる。

V. 砂岩粒子の配列方向

砂の堆積時に流れがあると、砂の粒子の配列状態にも規則性を生ずることが知られている。¹²⁾¹³⁾ 流れの方向を砂岩基底にみられる sole marking によって求め、それと成層面とに基づいて第6図に示す A, B, H 面を定め、

第6図 Relation between Current Direction and A, B and H Sections. (x, y and z axes are Directions of Permeability Measurement)

それぞれの面における砂岩薄片をつくり、顕微鏡下で粒子の短径・長径の比が 1:1.5 以上のものを測定して、粒子配列の方向性を求めた。このようにして6個の試料について調べた結果を第7図に示す。これからつぎのことがいえる。

1) 成層面に平行な面 (A面) では流れの方向と砂岩粒子の長軸の方向が平行になる傾向があり、試料全体の中間値をとってみても 2° 以内のずれしかない。

2) 流れに平行で成層面に直角な面 (B面) では流れの上流に向い積み重なる (imbricate する) 傾向があり、その成層面となす角は平均すると 8° 程度である。

3) 成層面、流れの方向の双方に直角な面 (H面) では成層面に平行に並ぶ傾向がある (第7図 にその 1 例を示してある)。

ここに掲げた試料は 1~5m の厚さの 4 枚の砂岩単層から採集したものであり、試料 I, II はそれぞれその中央部から、III, IV と V, IV はそれぞれ同一

単層を3分の1等分した部分から採集した試料である (III, V は単層の上部, IV, VI は下部)。試料 III の A 面は幅の広い分布を示しているが、B 面は一般的な規則性に従っている。

一般に水流の存在下で運搬・堆積が行なわれるとき、礫は長軸が流れに直角になるように堆積する。これは礫が rolling により移動を行うためと解される。また流れの存在下での粒の径とその初動速度の関係については、 2ϕ あたりの粒がもっとも動きやすく、それより粗くなくても、細くなくても運きにくなる傾向がある。⁶⁾ したがって砂の粒子は一般に流れのもとで他の粒子より動きやすく、跳動によって移動を行ない、流れの抵抗を最小にするような配列をとる。このため上述の如き規則性が生ずると解される。

以上のことから砂岩の基底にみられる sole marking により示される方向の流れは、単層の上部にいっくにしたいがいその影響は弱まるが、その砂岩の単層全体の粒子の配列状態に影響を与えていることがわかる。すなわち、1つの砂岩単層は上部も下部も同一方向からの供給物であるといえる。

第7図 Sand Shape Fabrics
(N: Number of total grains observed)

VI. 重鉱物および粒度分布

1. 重 鉱 物

砂岩の重鉱物含有量は全体的に少ないが、D部層・H部層ともに似た組成であり、magnetite, ilmenite, hematite, pyroxene, hornblend, epidote, mica などを含んでいる。したがって大体同一の供給源から運ばれてきたものと推定される。比較的多量に mica が含まれているが、mica は薄片状であり、供給源から遠方まで広く分布することが考えられるので除外し、他の重鉱物の含有量についてみると、一般に砂が厚く堆積している岩体中央部で多く、周辺部にいくにしたがい少なくなる傾向がある（第8図）。したがって中央部の主流が一種の over-flow となって周辺部に広がっていった可能性が強いわけである。

第8図 Relation between Relative Number of Heavy Minerals (per gram) and Sand Body Thickness.

2. 層厚と中央粒径および sorting の関係

粒度分析は主として砂岩単層の中央部より採集した試料について行なったが、一部に単層を縦に数等分してそれぞれの点より採集したものと、横の変化をみるため同一層準より数点採集したのものについても行なわれた。分析にはエメリー管を用い、⁴⁾¹⁶⁾ 4ϕ 以下の値を分析した。また粒度の細かい砂岩には一部ピベット法も用いた。その結果によれば、砂岩は概して細粒であり、sorting は大体良いが、厚い砂岩単層には非常に sorting が悪いものもみられる。一般に砂岩単層の厚さが増加すると、その対数に比例して中央粒径も大きくなる傾向がある。したがって層厚が増大すると、粗いものが増えるという傾向があるといえる（第9図）。また、sorting の尺度として Inman⁵⁾ が定めた $\sigma_\phi = (\phi_{16} + \phi_{84})/2$ を採用すると一般に砂岩単層の厚さが増加するにつれて、その対数に比例して sorting が悪くなる傾向がある。とくに層厚が1 mを越すと、非常に sorting の悪い砂岩が出現する。このことは厚い砂岩単層に、堆積時に大きな乱れを伴った

第9図 Relation between Bed Thickness and Median Diameter (Md)

第10図 Relation between Bed Thickness and Standard Deviation (σ_ϕ)

たものが多いことを示している（第10図）。

VII. 結 論

以上述べてきた砂岩体の堆積環境, geometry, 堆積構造その他の観察を要約してその堆積機構を述べると、つぎのようである。本地域は椎谷期より徐々に浅くなってきたが、大きくみて、北北東-南南西にのびる当時の2帯の隆起帯にはさまれた沈降帯に位置していた。椎谷層上部、浜忠層の堆積時にはそこに厚い砂岩・泥岩の互層が発達したが、とくに、西方の隆起帯からの砂の供給が卓越し、地形的に高所より低所へ turbidity current などの1種の mass flow²⁾⁸⁾ により砂が供給され、西北西-東南東ないし南東方向を中心として、厚い砂岩の堆積をみた。grading, 層間異常などの発達は mass flow によって砂が堆積したことを示すものであり、また current marking や砂粒配列の方位性はその流れの方向を示して

おり、これらは重鉱物、粒度分布と層厚の関係などの結果を照合しても矛盾をきたさない。その流れの主流において、砂の堆積は厚く、かつ大きく乱れ、その拡がりとして周辺部においては、比較的穏やかに堆積している。また北東方向への小さな支流もみられ、海底面における障害により異常に厚く堆積し、急激に消滅しているところもみられる。要するに、岩体の geometry、堆積構造などは堆積時の流れにより決定的に支配されたものであり、その流れの方向は大きくみて当時の海底地形に左右されたと考えられる。これらの mass flow の起因となった営力はよくわからないが、砂岩の堆積深度、古地理および凝灰質な砂岩が多く、凝灰質な部分をほとんど grading のくり返しがみられる砂岩の存在などから判断して、河川からの流入および潮流の季節的变化といったものの他に、火山活動も大きな1因として考えられる。

引用文献

- 1) 相場博一 (1963): 頸城ガス田の地質と鉱床, 石技誌, Vol. 28, No. 2, pp. 43~53.
- 2) Dott Jr., R. H. (1963): Dynamics of Subaqueous Gravity Depositional Process, *A. A. P. G. Bull.*, Vol. 47, NO. 1, pp. 104~128.
- 3) Gleunie, K. W. (1963): An Interpretation of turbidites whose Sole Markings show Multiple Directional Trends, *Jour. Geol.* Vol. 71, No. 4, p.p. 525~528.
- 4) Hulsey, J. D. (1960): Relations of Settling Velocity and Sand Sized Spheres and Sample Weight, *Jour. Sed. Pet.*, Vol. 30, No. 1, p.p. 101~112.
- 5) Inman, D. L. (1950): Measures for Describing the Size Distribution of Sediments, *Jour. Sed. Pet.*, Vol. 22, No. 3, p.p. 125~145.
- 6) ——— (1963): Physical Properties and Mechanics of Sedimentation, *Submarine Geology* (F. Shapard, Editor) Harper & Row p.p. 101~151.
- 7) Johnson, K. E. (1962): Paleocurrent Study of the Tesnus Formation, Marathon Basin, Texas, *Jour. Sed. Pet.*, Vol. 32, No. 4, P.P. 781~792.
- 8) Kuenen, Ph. H. (1951): Properties of Turbidity Currents of High Density, *A. A. P. G. Bull.*, Symposium—Turbidity Current and the Transportation of Coarse Sediments to Deep Water, p.p. 14~33.
- 9) 鯨岡 明 (1963): 荒谷相の意味するもの, 石技誌, Vol. 27, No. 6, pp. 5.9~556.
- 10) 本座栄一 (1963): 新潟県東頸城郡北部地域の椎谷期—西山期の砂岩の発達について (予報), (演旨), 石技誌, Vol. 28, No. 4, p.p. 152.
- 11) 本座栄一 (1964): Turbidity Current Deposit の砂岩における滲透率の方位性 (演旨), 石技誌, Vol. 29, No. 4, p. 195.
- 12) Mast, R. F. and Potter, D. E. (1963): Sedimentary Structure, Sand Shape Fabrics and Permeability, Part I, *Jour. Geol.*, Vol. 71, No. 4, p.p. 441~471.
- 13) McBride, E. F. (1962): Flysh and Associated Beds of the Martinsburg Formation (Ordovician), Central Appalachians, *Jour. Sed. Pet.*, Vol. 32, No. 1, p.p. 39~91.
- 14) Pettijohn, F. J. (1957): Sedimentary Rocks, Harper & Brothers, p.p. 283~339.
- 15) ——— (1962): Paleocurrents and Paleogeography, *A. A. P. G. Bull.*, Vol. 46, No. 8, p.p. 1468~1493.
- 16) 佐藤任弘, 他 (1957): 砂質の粒度分析 (特にエメリー管の分析について), 水路要報 No. 54, p.p. 1~7.