

論文

新潟県新発田市～岩船郡関川村に分布する  
中部中新統七谷層・寺泊層黒色泥岩の炭化水素ポテンシャル

三瓶 良和\*・笹川 優\*\*

Hydrocarbon potential of Middle Miocene black mudstones of Nanatani  
and Teradomari Formations from Shibata city  
and Sekikawa village, Iwafune-gun, Niigata prefecture, Japan

Yoshikazu Sampei\* and Yu Sasagawa\*\*

Abstract

Shibata and Iwafune district of northeastern Niigata prefecture is one of the main Japanese oil/gas fields. However, the source rock distribution and hydrocarbon generation potential are not necessarily known, because this field is located at marginal area of the Niigata oil/gas fields. We performed geological route-map survey and collected 21 argillaceous black color rock samples from the Middle Miocene Nanatani and Teradomari Formations deposited in the northeastern Niigata basins. CHNS elemental and Rock-Eval analyses were performed on these black mudstones. The Teradomari Formation showed high potential of hydrocarbon generation (TOC=0.65-3.4%, S<sub>2</sub>=0.2-5.8 mgHC/g) and planktonic origin with some inputs of land plant fragments. On the other hand, the Nanatani Formation showed medium to low potential of hydrocarbon generation (TOC=0.3-3.2%, S<sub>2</sub>=0.3-1.4 mgHC/g) and planktonic origin with abundant higher plants. HI values have a correlation with TOC in the Teradomari Formation. C/S ratio showed that the Teradomari Formation deposited in anoxic to oxygen poor environment and the Nanatani Formation deposited in freshwater to suboxic seawater. All samples except for the lower most one mudstone in Nanatani Formation showed immature zone for oil/gas generation.

**Key words:** Niigata oil field, Nanatani and Teradomari Formations, black mudstone, TOC, S<sub>2</sub>, HI

はじめに

新潟地域では全域で油ガス田が多く分布し、その根源岩は中部中新統の七谷層と下部寺泊層の層準に堆積したことが知られている。新潟油田地域北東部の沖合では、岩船沖油田のガスコンデンセート貯留層が油層に比べ浅い層準の鮮新統西山層に存在することが知られており、その要因は油貯留層の沈降ではなくガスコンデンセートが深部から直接移動しトラップされたものと解釈されている(加藤, 1993; 金子, 1994)。また同地域では陸域でも油ガスが産出しており、中蒲原郡中条地域一帯は日本でも有数の油田地帯となっている(金子, 1994)。しかしながら、中蒲原郡は新潟油田地帯の北縁部に位置しているため、根源岩層の炭化水素ポテンシャルとその層位変化は必ずしも明らかにされていない。新潟油田地域の油・コンデンセートについては、鈴木ほか(1987)がバイオマーカーを用いて熟成度と一次移動の時期を明らかにしており、ま

た、新潟地域の広域的なポテンシャル根源岩の石油地質学的特質については、鈴木ほか(1995)が石油生成活性化エネルギー等を用いて明らかにしているが、新発田市～岩船郡におけるポテンシャル根源岩のRock Eval分析は行われていない。

したがって、本研究では新潟地域北東部新発田市～岩船郡関川村に分布する七谷層と寺泊層に対比される泥質岩について、代表的な2ルートを選定して岩相分布を明らかにしたうえで、根源岩ポテンシャルの層位変化を明らかにした。

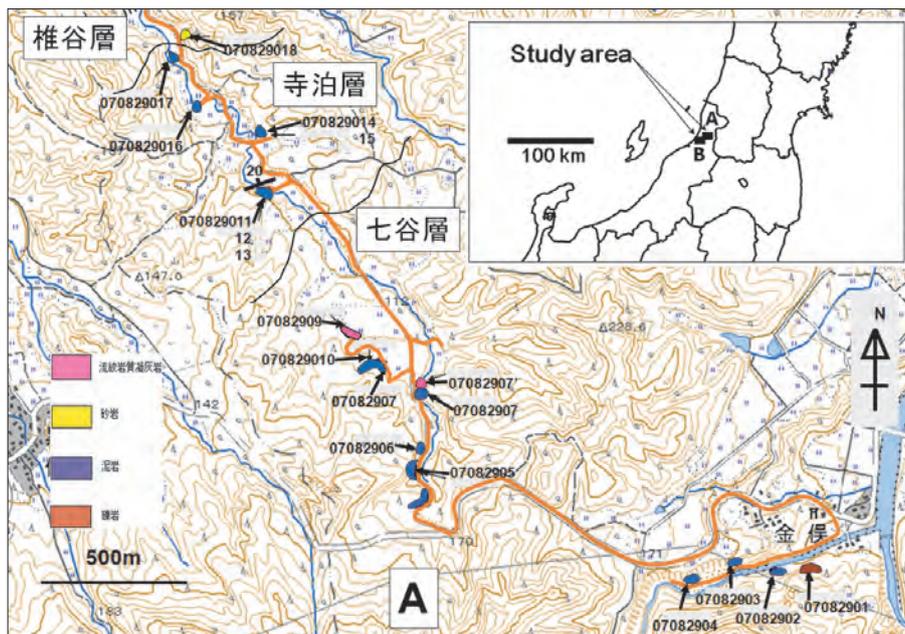
地質概説

1 七谷層

七谷層は、新潟油田地域中央部の七谷-五十嵐川地域の中中部中新統の下部層に命名されたものであり、本研究地域周辺では岩船地域の日倉山層、津川-三川地域の天満層および櫛形山地地域の下関層に対比されるが(小林・立石, 1992)、新潟油田地域根源岩の層準名として、ここでは七谷層と呼ぶ(土谷ほか(1999)に従った)。層理の発達した海成の暗灰色泥岩や黒色硬質泥岩からなり、酸性および塩基性の火砕岩類を挟む。下部浅海から半深海の堆積物であり、海域は暖流の影響を受けていたと考えられている(米谷・井上, 1981)。堆積時代は約16-14 Maとされている(小林・立石, 1992)。

\* 島根大学大学院総合理工学研究科  
Interdisciplinary Graduate School of Science and Engineering, Shimane University, 1060, Nishikawatsu, Matsue, Shimane 690-8504, Japan

\*\* 島根大学総合理工学部(現在の所属 JA 新潟)  
Interdisciplinary Faculty of Science and Engineering, Shimane University, 1060, Nishikawatsu, Matsue, Shimane 690-8504, Japan



第1図 東部ルート（新潟県岩船郡関川村幾地川）の地質ルートマップ（国土地理院2万5千分の一地形図を使用）。  
 黒色の細い実線は地層境界線（土谷ほか，1999に基づく）。

## 2 寺泊層

寺泊層は、新潟油田地域中南部の西山地域の中部中新統の中～上部層に命名されたものであり、本研究地域周辺では津川－三川地域の野村層および櫛形山地地域の内須川層の中～下部に対比されるが（津川グリーンタフ団体研究グループ，1979；小林・立石，1992），新潟油田地域新生界時階区分によりここでは寺泊層と呼ぶ（土谷ほか（1999）に従った）。海成の暗灰色泥岩や黒色硬質泥岩からなり、一部に酸性および塩基性の火砕岩類のほか安山岩質火砕岩を伴う。海域は広くCCD以下の深海になったとされる（小林・立石，1992）。寺泊層は、下部が14-10 Ma頃、上部が10-7 Ma頃としてまとめられている（小林・立石，1992）。

## 3 椎谷層

椎谷層は、新潟油田地域柏崎市椎谷岬付近の上部中新統に命名されたものであり、一般に下位の寺泊層を整合に覆うが、新潟油田地域の東縁部では不整合関係にあるとされ（小林・立石，1992），北蒲原郡中条町平木田ガス田で不整合が確認されている（加藤・片平，1968）。主に砂岩泥岩互層からなるタービダイト性の半深海～深海成層である。堆積年代は、加藤ほか（2009）では珪藻化石によって6.4-5.5 Maとしている。本調査地域では第1図の07082918地点において、土谷ほか（1999）の地質境界線および低い固結度に基づいて椎谷層と判断し、分析対象から除いている。

## 4 調査ルートの岩相記載

本研究では、東側ルートを新潟県北蒲原郡黒川村から岩船郡関川村へ流れる幾地川沿いとし、西側ルートを新発田市小国

谷および胎内市関沢としてルート地質調査を行った。地層区分は20万分の1の地質図「村上」（土谷ほか，1999）に従った。

東ルートでは、地点07082901～07082910は七谷層、地点07082911～070829017は寺泊層の分布域である（第1図）。地点07082901～07082904（金保地域の大石川流域）の泥質岩は塊状無層理で暗灰色～黒色を呈し、地点07082910の地点まで岩相変化はほとんどない。一方、寺泊層の地点07082911～07082917の露頭では、粘土質岩とシルト質岩の互層であり、全般に多孔質の珪藻質泥岩である。この岩相の境界線と土谷ほか（1999）の地質図の地質境界線は一致した。

西部ルートは、東部ルートから西へおよそ10 km離れたカーディナルゴルフ場周辺の関沢～小国谷地域である。全般に暗灰色泥岩が卓越し、07090302地点の七谷層の泥岩では微かな油臭を確認した。以下に第1図の露頭番号（試料番号）地点の露頭状況と岩相等を略記する。各露頭番号地点では、分析用の泥岩試料を1～2試料採取した。採取にあたっては表面約5～10 cmの風化部を取り除いた。

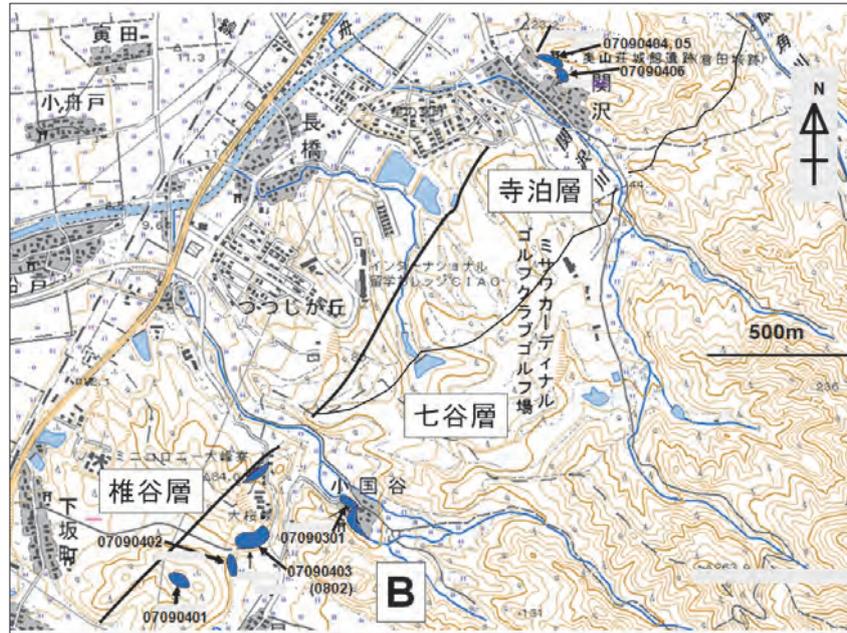
### (1) 七谷層

（東部ルートの試料番号と岩相等の記載）

07082901：本調査地域の最下部であり、茶褐色の礫岩からなる。礫径は10 cm程度の亜角礫。層厚約3～4 mである。

07082902：暗灰色シルト質泥岩。川の対岸縁から川底にかけて露出している。

07082903：黒色度の高い暗灰色シルト質泥岩で、細かい炭質物が含まれる。風化度の低い露頭である。層厚3 m以上で、他の露頭に比べて著しく硬質であり、貫入岩による影響が推察される。



第2図 西部ルート（新潟県新発田市関沢）の地質ルートマップ（国土地理院2万5千分の一地形図を使用）。

黒色の細い実線は地層境界線，太い実線は断層（土谷ほか，1999に基づく）。

07082904：黒色泥岩。層厚は約5m以上である。

07082905：暗灰色シルト岩質泥岩。茶褐色に変色し非常に風化している。道沿いに20mほど連続する露頭であり，均質な泥岩が続く。

07082906：暗灰色凝灰質泥岩。層厚は8m以上である。

07082907：暗灰色シルト質泥岩。細かい炭質物が認められる。川の縁に露出しており，5mほど離れたところに流紋岩質凝灰岩が認められた。

07082908：暗灰色の塊状シルト質泥岩。鱗片状風化が顕著である。層厚は1m以上である。上下に凝灰質泥岩の薄い層を挟む。

07082909：流紋岩質凝灰岩。白色を呈し，層厚は2m以上である。

07082910：暗灰色シルト質泥岩。

(西部ルートの試料番号と岩相等の記載)

07090301：川底に黒色頁岩が露出。

07090302-2,3：灰色泥岩であり，表面は風化が進んでいる。新鮮な岩石部分は微かに油臭を発した。層厚は1m以上である。

07090401：暗灰色泥岩。表面の風化は著しく，土壤粘土化が進んでいる。

07090402：灰色泥岩。表面の風化は著しく，土壤粘土化が進んでいる。

07090403-1,2：暗灰色泥岩（第4図）。層厚は1m以上である。表面の風化は著しく，土壤粘土化が進んでいる。

(2) 寺泊層

(東部ルートの試料番号と岩相等の記載)

07082911-07082913. 暗灰色塊状泥岩（第3図）。07082912の15cmほどは粘土質であり，やや黒色度が高かった。

07082912：07082911と07082913に挟まれた黒色頁岩。層厚は薄く15cm程度である。

07082913：暗灰色泥岩。塊状無層理。層厚は6m以上である。

07082914：暗灰色珪藻質泥岩（第3図）。層厚は8m以上である。風化した部分は白色で比重が非常に小さい。乾燥した灰色～白色の岩片を舐めると舌が吸い付き，多孔質である。

07082915：暗灰色珪藻質泥岩。風化した部分は白色で比重が非常に小さい。舐めると舌が吸い付き，多孔質である。

07082916：黒色泥岩。塊状無層理。風化が進んでおり表面は白色化。

07082917：黒色泥岩。風化した部分は白色で比重が小さく，板状にはがれ易い。舐めると舌が吸い付き，多孔質である。層厚は1.5m以上である。

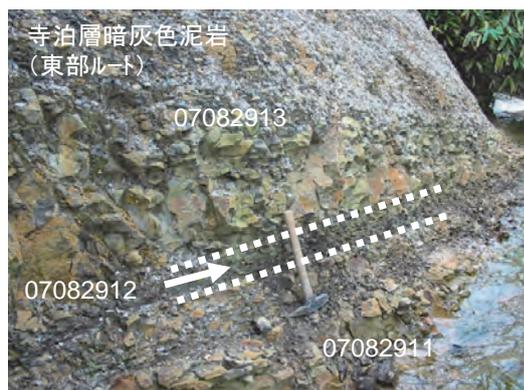
07082918：白色の細粒～中粒砂岩である。20万分の1の地質図幅「村上」(土谷ほか，1999)および卓越した砂岩層が厚く継続することから，本層は椎谷層と判断した。

(西部ルートの試料番号と岩相等の記載)

07090404：灰色泥岩。表面の風化が著しい。

07090405-light：明灰色で，表面の乾燥部は比重が小さい（第4図）。

07090405-gray：暗灰色で柔らかく，層厚は1.5m以上である（第4図）。



第3図 東部ルート（新潟県岩船郡関川村幾地川）の代表的露頭の泥岩相。



第4図 西部ルート（新潟県新発田市関沢）の代表的露頭の泥岩相。

07090405-black：乱堆積状の黑色泥岩。層厚は数 cm～10 cm 程度で 07090405-light と 07090405-gray に挟まれている（第4図）。

07090406：暗灰色泥岩。川底に露出しており，風化が進んでいる。

## 分析方法

### 1 岩石試料の粉末化

分析試料は，七谷層泥質岩 11 試料，寺泊層泥質岩 10 試料の計 21 試料である。

岩石試料を 1 週間以上室温下で風燥させた後に，各試料から直径 5 cm 程度の岩石を 3 個程度分取し，金ブラシを用いて岩石表面に付着している風化部分，苔などを取り除いた。これをエタノール約 200 ml 中で濯ぎ岩石表面のフタル酸エステル等（ビニール袋等からの汚染物）を除去した。乾燥後，ジョークラッシャーを用いて粗粉砕し，16 メッシュ以下の約 20 g を測り取り，自動メノウ乳鉢を用いて約 45 分間すりつぶし，約 200 メッシュ以下の均質な粉末試料とした。

### 2 CHNS 元素分析

粉末試料の約 10 mg を銀コンテナに秤量し，1M 塩酸をスポイトで 2～3 滴滴下し，含まれている炭酸塩を除去した。110℃ホットプレート上で約 45 分乾燥させた後，スズコンテナに入れて封入して丸め，FISON EA1108 で分析した。標準

試料には BBOT を用い，5 点検量線法を用いた。

### 3 Rock-Eval 分析

標準試料 Standard (160000) と粉末試料を各々約 100 mg ずつ専用のステンレスコンテナに秤量し，Rock-Eval II を用いて He 雰囲気下で熱分解分析を行った。分析は Standard, Blank, 試料の順で行った。最初の 300℃一定加熱で生じる炭化水素ピーク S1 (mgHC/g) はビチューメン（フリーの炭化水素類）起源であり，続いて 25℃/min. で 600℃まで昇温加熱して得られる炭化水素ピーク S2 (mgHC/g) はケロジェンからの熱分解生成炭化水素類起源である。Tmax (℃) は S2 がピークとなる加熱温度を示す。水素指数 HI (mgHC/gC) は，S2 を TOC で除して計算した。

## 分析結果

### 1 CHNS 元素分析

#### (1) TOC 濃度 (%)

TOC 濃度 (Total Organic Carbon content：岩石乾燥試料中の全有機炭素の重量%) は一般に最も基礎的かつ重要な石油根源岩指標および古環境指標である (Peters, 1986; Peters and Moldwan, 1993)。七谷層では 0.26～3.2%，寺泊層では 0.65～3.4% の幅広い値を示した (第1表)。七谷層の平均値は 0.91%，寺泊層の平均値は 1.7% である。地域別に見ると，東部ルート七谷層は 0.26～3.2% (平均 1.1%)，西部ルート七

第1表 東部ルート（新潟県岩船郡関川村幾地川）および西部ルート（新潟県新発田市関沢）における七谷層および寺泊層の有機炭素、全窒素、全イオウ濃度および Rock Eval 分析結果。

$$HI^* = ((S1+S2)/TOC) \times 100$$

| No.             | Sample Name   | 地層名           | TOC (%) | TN (%) | TS (%) | C/N (wt ratio) | C/S (wt ratio) | S1 (mgHC/gRock) | S2 (mgHC/gRock) | S1+S2 (mgHC/gRock) | HI (mgHC/gTOC) | HI* (mgHC/gTOC) | Tmax (°C) | 各ルートでの層位位置(m) |
|-----------------|---------------|---------------|---------|--------|--------|----------------|----------------|-----------------|-----------------|--------------------|----------------|-----------------|-----------|---------------|
| (東部ルート(幾地川ルート)) |               |               |         |        |        |                |                |                 |                 |                    |                |                 |           |               |
| 1               | 07082917      | Teradomari F. | 2.43    | 0.156  | 1.51   | 15.6           | 1.6            | 1.25            | 5.79            | 7.04               | 238            | 290             | 386       | 825           |
| 2               | 07082915      | Teradomari F. | 1.91    | 0.170  | 1.58   | 11.2           | 1.2            | 1.46            | 4.17            | 5.63               | 219            | 295             | 383       | 705           |
| 3               | 07082914      | Teradomari F. | 1.87    | 0.127  | 1.49   | 14.7           | 1.2            | 1.39            | 3.64            | 5.03               | 195            | 269             | 379       | 702           |
| 4               | 07082913      | Teradomari F. | 1.43    | 0.113  | 1.46   | 12.7           | 1.0            | 0.54            | 1.93            | 2.47               | 135            | 172             | 382       | 633           |
| 5               | 07082912      | Teradomari F. | 2.14    | 0.141  | 1.02   | 15.2           | 2.1            | 0.52            | 3.02            | 3.54               | 141            | 165             | 388       | 633           |
| 6               | 07082911      | Teradomari F. | 1.41    | 0.122  | 1.17   | 11.6           | 1.2            | 0.61            | 2.34            | 2.95               | 166            | 209             | 383       | 633           |
| 7               | 07082910      | Nanatani F.   | 0.79    | 0.093  | 2.04   | 8.5            | 0.4            | 0.16            | 0.71            | 0.87               | 90             | 110             | 399       | 363           |
| 8               | 07082908      | Nanatani F.   | 0.74    | 0.083  | 1.92   | 8.9            | 0.4            | 0.23            | 0.67            | 0.9                | 91             | 122             | 396       | 357           |
| 9               | 07082907      | Nanatani F.   | 3.19    | 0.051  | 0.72   | 62.4           | 4.4            | 0.06            | 0.37            | 0.43               | 12             | 13              | 407       | 323           |
| 10              | 07082906      | Nanatani F.   | 0.51    | 0.066  | 0.38   | 7.6            | 1.3            | 0.07            | 0.4             | 0.47               | 79             | 93              | 417       | 217           |
| 11              | 07082905      | Nanatani F.   | 0.26    | 0.046  | 0.00   | 5.6            | -              | 0.09            | 0.05            | 0.14               | 19             | 54              | 420       | 189           |
| 12              | 07082904      | Nanatani F.   | 0.56    | 0.021  | 0.04   | 27.3           | 15.3           | 0.06            | 0.03            | 0.09               | 5              | 16              | 368       | 37            |
| 13              | 07082903      | Nanatani F.   | 1.35    | 0.034  | 0.02   | 39.7           | 76.6           | 0.06            | 0.02            | 0.08               | 1              | 6               | 480       | 20            |
| (西部ルート(関沢ルート))  |               |               |         |        |        |                |                |                 |                 |                    |                |                 |           |               |
| 14              | 07090405black | Teradomari F. | 3.43    | 0.271  | 1.41   | 12.7           | 2.4            | 1.96            | 5.81            | 7.77               | 169            | 226             | 400       | 715           |
| 15              | 07090405gray  | Teradomari F. | 0.71    | 0.075  | 0.47   | 9.5            | 1.5            | 0.31            | 0.27            | 0.58               | 38             | 82              | 410       | 715           |
| 16              | 07090405light | Teradomari F. | 0.65    | 0.084  | 0.08   | 7.8            | 8.5            | 0.22            | 0.22            | 0.44               | 34             | 67              | 410       | 715           |
| 17              | 07090404      | Teradomari F. | 0.68    | 0.078  | 0.38   | 8.7            | 1.8            | 0.3             | 0.25            | 0.55               | 37             | 81              | 400       | 725           |
| 18              | 07090403-2    | Nanatani F.   | 0.70    | 0.075  | 0.82   | 9.4            | 0.9            | 0.07            | 1.1             | 1.17               | 157            | 167             | 420       | 481           |
| 19              | 07090403-1    | Nanatani F.   | 0.71    | 0.071  | 0.87   | 10.0           | 0.8            | 0.07            | 1.11            | 1.18               | 157            | 167             | 422       | 481           |
| 20              | 07090302-3    | Nanatani F.   | 0.55    | 0.102  | 0.58   | 5.3            | 0.9            | 0.09            | 0.74            | 0.83               | 135            | 152             | 419       | 465           |
| 21              | 07090302-2    | Nanatani F.   | 0.63    | 0.112  | 0.65   | 5.6            | 1.0            | 0.08            | 0.83            | 0.91               | 131            | 144             | 418       | 465           |
| 平均値             | 東部ルート寺泊層      |               | 1.86    | 0.138  | 1.37   | 13.5           | 1.4            | 0.96            | 3.48            | 4.44               | 182            | 234             | 384       |               |
|                 | 東部ルート七谷層      |               | 1.06    | 0.056  | 0.73   | 22.9           | -              | 0.10            | 0.32            | 0.43               | 42             | 59              | 412       |               |
|                 | 西部ルート寺泊層      |               | 1.37    | 0.127  | 0.58   | 9.7            | 3.6            | 0.70            | 1.64            | 2.34               | 69             | 114             | 405       |               |
|                 | 西部ルート七谷層      |               | 0.65    | 0.090  | 0.73   | 7.6            | 0.9            | 0.08            | 0.95            | 1.02               | 145            | 157             | 420       |               |
|                 | 全寺泊層          |               | 1.67    | 0.134  | 1.06   | 12.0           | 2.3            | 0.86            | 2.74            | 3.60               | 137            | 174             | 392       |               |
|                 | 全七谷層          |               | 0.91    | 0.069  | 0.73   | 17.3           | -              | 0.09            | 0.55            | 0.64               | 80             | 95              | 415       |               |
|                 | 東部寺泊max       |               | 2.43    | 0.170  | 1.58   | 15.6           | 2.1            | 1.46            | 5.79            | 7.04               | 238            | 295             | 388       |               |
|                 | 東部寺泊min       |               | 1.41    | 0.113  | 1.02   | 11.2           | 1.0            | 0.52            | 1.93            | 2.47               | 135            | 165             | 379       |               |
|                 | 西部寺泊max       |               | 3.43    | 0.271  | 1.41   | 12.7           | 8.5            | 1.96            | 5.81            | 7.77               | 169            | 226             | 410       |               |
|                 | 西部寺泊min       |               | 0.65    | 0.075  | 0.08   | 7.8            | 1.5            | 0.22            | 0.22            | 0.44               | 34             | 67              | 400       |               |
|                 | 寺泊max         |               | 3.43    | 0.271  | 1.58   | 15.6           | 8.5            | 1.96            | 5.81            | 7.77               | 238            | 295             | 410       |               |
|                 | 寺泊min         |               | 0.65    | 0.075  | 0.08   | 7.8            | 1.0            | 0.22            | 0.22            | 0.44               | 34             | 67              | 379       |               |
|                 | 東部七谷max       |               | 3.19    | 0.093  | 2.04   | 62.4           | 76.6           | 0.23            | 0.71            | 0.90               | 91             | 122             | 480       |               |
|                 | 東部七谷min       |               | 0.26    | 0.021  | 0.00   | 5.6            | 0.4            | 0.06            | 0.02            | 0.08               | 1              | 6               | 368       |               |
|                 | 西部七谷max       |               | 0.71    | 0.112  | 0.87   | 10.0           | 1.0            | 0.09            | 1.11            | 1.18               | 157            | 167             | 422       |               |
|                 | 西部七谷min       |               | 0.55    | 0.071  | 0.58   | 5.3            | 0.8            | 0.07            | 0.74            | 0.83               | 131            | 144             | 418       |               |
|                 | 七谷max         |               | 3.19    | 0.112  | 2.04   | 62.4           | 76.6           | 0.23            | 1.11            | 1.18               | 157            | 167             | 480       |               |
|                 | 七谷min         |               | 0.26    | 0.021  | 0.00   | 5.3            | 0.4            | 0.06            | 0.02            | 0.08               | 1              | 6               | 368       |               |

谷層は0.55～0.71%（平均0.65%）、東部ルート寺泊層は1.4～2.4%（平均1.9%）、西部ルート寺泊層は0.65～3.4%（平均1.4%）である。寺泊層のほうが七谷層よりも全体的に高い値を示し、西部ルートに比べ東部ルートの方が平均的に高い値を示した。

## (2) TS濃度 (%)

TS濃度（Total Sulfur content：全イオウ重量%）は七谷層では0.00～2.04%、寺泊層では0.077～1.58%の値を示した。七谷層の平均値は0.73%、寺泊層の平均値は1.06%である。地域別に見ると、東部ルート七谷層は0.00～2.04%（平均0.73%）、西部ルート七谷層は0.58～0.87%（平均0.73%）、東部ルート寺泊層は1.02～1.58%（平均1.37%）、西部ルート寺泊層は0.077～1.41%（平均0.58%）である。TS濃度は、東部

ルートと西部ルートで異なる傾向をもつ。東部ルートでは、七谷層における差が大きく、下位から上位に向かって増加傾向が見られる。寺泊層では試料間の値の差は小さく、全般に七谷層より高い値を示す。一方、西部ルートでは、寺泊層で値の幅が大きい。

## (3) C/N比 (weight ratio)

C/N比（岩石試料中の全有機炭素と全窒素の重量比）は一般に有機物の起源指標として用いられている。植物プランクトン起源は6～9（Bordowskiy, 1965a; Prah et al., 1980; Biggs et al., 1983）、陸上高等植物起源は15以上（Bordowskiy, 1965b; Ertel and Hedges, 1984; Post et al., 1985; Ertel et al., 1986; Hedges et al., 1986; Orem et al., 1991）とされる。

七谷層では5.3～62.4、寺泊層では7.8～15.6の値を示した。

七谷層の平均値は 17.3, 寺泊層の平均値は 12.0 である。地域別に見ると, 東部ルート七谷層は 5.6~62.4 (平均 22.9), 西部ルート七谷層は 5.3~10.0 (平均 7.6), 東部ルート寺泊層は 11.2~15.6 (平均 13.5), 西部ルート寺泊層は 7.8~12.7 (平均 9.7) である。

#### (4) C/S 比 (weight ratio)

泥岩中のイオウは主に sedimentary pyrite に由来するため, C/S 比 (岩石試料中の全有機炭素と全イオウの重量比) は堆積当時の酸化還元度を示す。1 以下は還元的海底環境, 1~3 は貧酸素海底環境, 3~5 は通常の酸素レベル海底環境, 5 以上は極めて酸化された海底環境または淡水環境とされる (Berner, 1982, 1984; Sampei *et al.*, 1997)。

七谷層では 0.4~76.6, 寺泊層では 1.0~8.5 の値を示した。寺泊層全体の平均値は 2.3 で, 07082905 を除く東部ルート七谷層では 0.4~76.6, 西部ルート七谷層は 0.8~1.0 (平均 0.9), 東部ルート寺泊層は 1.0~2.1 (平均 1.4), 西部ルート寺泊層は 1.5~8.5 (平均 3.6) の値を示した。

#### (5) Rock-Eval 分析

##### S1 (mgHC/g)

七谷層では 0.06~0.23, 寺泊層では 0.22~1.96 の値を示した。七谷層の平均値は 0.09, 寺泊層の平均値は 0.86 である。地域別に見ると, 東部ルート七谷層は 0.06~0.23 (平均 0.10), 西部ルート七谷層は 0.07~0.09 (平均 0.08), 東部ルート寺泊層は 0.52~1.46 (平均 0.96), 西部ルート寺泊層は 0.22~1.96 (平均 0.70) である。

##### S2 (mgHC/g)

七谷層では 0.02~1.11, 寺泊層では 0.22~1.96 の値を示した。七谷層の平均値は 0.55, 寺泊層の平均値は 2.74 である。東部ルート七谷層は 0.02~0.71 (平均 0.32), 西部ルート七谷層は 0.74~1.11 (平均 0.95), 東部ルート寺泊層は 1.93~5.79 (平均 3.48), 西部ルート寺泊層は 0.22~5.81 (平均 1.64) を示した。

##### HI (mgHC/gTOC)

七谷層では 1~157, 寺泊層では 34~238 の値を示した。東部ルート七谷層は 1~91, 西部ルート七谷層は 131~157, 東部ルート寺泊層は 135~238, 西部ルート寺泊層は 34~169 を示した。地域別に見ると, 東部ルートでは七谷層の値に比べ寺泊層の値が明らかに高い。西部ルートにおいては, 七谷層の値が高い傾向を示した。

##### Tmax (°C)

S2 のピーク温度 Tmax は熟成度指標として用いられ, 430-435°C 以上で熟成帯となる (Tissot and Welte, 1984: Tmax と Ro の関係図)。七谷層では 368~480°C, 寺泊層では 379~410°C を示す。七谷層の平均は 415°C, 寺泊層の平均は 392°C である。地域別に見ると, 東部ルート七谷層は 368~480°C (平均 412°C), 西部ルート七谷層は 418~422°C (平均 420°C), 東部ルート寺泊層は 379~388°C (平均 384°C), 西部ルート寺泊層は 400~410°C (平均 405°C) であった。熟成帯を示すものは七谷層最下部の 07082903 地点だけであった。

## 考 察

### 1 泥岩の岩相

新潟県新発田市~岩船郡関川村の七谷層と寺泊層の層厚はそれぞれ約 600 m および約 200 m であり, 七谷層は黒色~暗灰色泥岩, 寺泊層は暗灰色泥岩~珪藻質泥岩からなり塊状無層理であることを確認した。七谷層は, 東側ルートの岩船郡関川村大字金保~幾地の 07082901~070829010 では塊状無層理で暗灰色を呈しシルト質で岩相変化はほとんどないが, 07082903 (黒色度がやや高い) と 07082907 では細かい炭質物が肉眼でも確認された。西部ルートでも, 全般にシルト質泥岩であった。一方, 寺泊層 07082911~07082917 は, 表面の風化した部分は白色度が強く多孔質となり, 風化乾燥部分の比重は七谷層の泥岩よりも小さいのが特徴であった。ハンマーで 10 cm ほど掘ると暗灰色となり, 特に 07082912 と 07082917 は黒色度が高く板状に割れる傾向があった。西部ルートでは風化が進んでいる露頭がほとんどであったが, 07090405 では数 cm の厚さの黒色の粘土質泥岩が乱堆積状にゆるやかに波打って側方に殲滅している。その上下は風化が進んだ暗灰色泥岩である。

これらのことから, この地域では七谷層は粒度がやや粗いシルト質な堆積場であったが, 寺泊層になると粒径が細かく粘土質になり, かつ, 珪藻堆積物が卓越して陸源粘土と混じり合って堆積する沖合の深海相に変化していったものと解釈される。

### 2 有機物濃度と起源の関係

TOC 濃度は, 七谷層の上部一点 07082907 を除けば, 上位の層準に向かって増加している (第 5 図)。七谷層で TOC 濃度の高い最下部と上部では C/N 比が高いので (40-62: 第 5 図), 陸上高等植物の影響によるものと考えられる。肉眼的にもこれら 2 つの試料には細かい炭質物が認められ, これは陸源有機物に由来するものと考えられる。この 2 つの試料は第 7 図の TOC-TN クロスプロットでは下方の離れた領域にプロットされている。寺泊層では総じて TOC 濃度は高く, ほとんどが 1% を越えている。これは石油根源岩の経験的評価指標の Good 以上のレベルである (Peters, 1986; Peters and Moldwan, 1993: 0.5% 以下=poor, 0.5~1.0%=fair, 1.0~2.0%=good, 2.0% 以上=very good)。TOC 濃度の範囲 (平均値) は, 七谷層では 0.26~3.19% (Av. 0.91%), 寺泊層では 0.65~3.43% (Av. 1.67%) であった。寺泊層の TOC 濃度が高いもの (1.41~3.43%) の C/N 比は 11.2~15.6 (七谷層下部 07082907 の TOC3.19%, C/N 比 62.4 を除く) であり, 海成有機物を主体としていて, 岩相から推察された珪藻由来有機物 (C/N 比は 6 程度; Sampei and Matsumoto, 2001) が卓越しているものと思われるが, 全般に陸源有機物の影響も受けていることを示している。このことは, 沖合の堆積場では湧昇流による珪藻生産が増加しただけではなく, 陸上の河川水から陸源有機物を伴って栄養塩が供給されたことも珪藻生産の増加に寄与したことを示唆する。第 8 図の TOC-C/N プロットはこのことを示しており, 同図左上の七谷層の陸源有機物の突

出した影響の試料 07028907 を除けば、特に寺泊層では TOC 濃度の増加と共に C/N 比は徐々に増加している。

### 3 炭化水素ポテンシャルと酸化還元環境

七谷層では TOC 濃度と HI の間に関係は認められないが、寺泊層では TOC 濃度が 1% を超えるものでは TOC 濃度の増加に伴って HI 値が高くなる傾向が認められる (第 10 図: 141~238 mgHC/gC)。陸源有機物の HI 値は一般に 100 mgHC/gC 程度、一方、秋田地域に分布する珪藻起源の珪質頁岩の HI 値は 400-500 mgHC/gC 程度であるから、今回の約 250 mgHC/gC までの値は、50% 程度は陸源からの泥の混入を示している。その結果として、根源岩ポテンシャル S2 は、七谷層では 0.26~1.35 mgHC/g (Av. 0.55 mgHC/g) と低いが、寺泊層では 0.22~5.81 mgHC/g (Av. 2.74) と高く、平均値で 5 倍の差が生じている。本研究の寺泊層 S2 の 5.81 mgHC/g は極めて高い良好な根源岩ポテンシャルを示しており、新潟油田地域全域の泥質岩 S2 ヒストグラム (平井ほか, 1995) と比較しても新潟全域の上位約 1 割の中に入る。また、新潟油田地域の泥質岩 S2 値が、下部寺泊層の下部で高いのは新潟地域南西部であり、下部寺泊層の上部で高いのは同地域の北東部に分布することが知られており (平井ほか, 1995)、新潟油ガス田地域の北東縁部に位置する本研究地域において下部寺泊層の上部で高い傾向を示したことは、平井ほか (1995) と調和的である。

第 9 図は、S1 と TOC 濃度との相関を示しており、右下にはずれてプロットされる点を除けば、TOC 濃度が増加すると S1 も増加することを示している。S1 はフリーの炭化水素を表し、一般に熟成度が増加するとケロジェンから生成した炭化水素が S1 値を増加させるが、後述するように本研究地域の S1 は熟成度の影響よりは起源有機物の性質によって規制されている。また、第 9 図の S2 と TOC 濃度との相関 (右下の 2 点を除く) もまた、S2 が熟成度ではなく起源有機物の質的特徴を表していると考えられる。

海底の酸化還元指標である C/S 比は、七谷層では高く最下部では 5 を超えて淡水環境が極めて酸化的な浅海の環境を示している (C/S 比=15.3~76.6: 第 5 図および第 7 図)。寺泊層に入ると、全般に貧酸素環境を示し、寺泊層のうち TOC 濃度 1% 以上の泥岩は主に貧酸素環境の海底に堆積したことが分かる (C/S 比=1.0~2.4: Berner, 1982, 1984; Sampei *et al.*, 1997 によれば、1~3 は貧酸素環境を示す)。ただし、東部ルートの上層部の TOC 濃度と C/S 比には正の相関が認められ (第 8 図)、珪藻有機物の生産には湧昇流に伴う海水の上下循環による海底への酸素供給、および陸源からの栄養塩の供給が関わっていたことが推察される。

### 4 熟成度と炭化水素ポテンシャル

東部ルートの上層部において不連続的に過熟成の値 (Tmax=480°C。Ro 換算値では 1.5% 程度、最大古地温にすると 190°C: Ro から最大古地温への換算式は、Barker, 1988 の  $T(°C) = 104 \times \ln(Ro) + 148$  を用いた) が検出された。この地点 07082903 と隣接する 07082904 地点では Tmax=368°C (Ro 換

算値では 0.2% 程度) であり、最大古地温は 60°C 以下である。両地点の最大古地温差は 130°C 以上あり、この周辺地域の地温勾配 3.52°C/100 m (秋山・平井, 1997: 本研究地域に最も近い基礎試錐「大淵」の地温勾配) が堆積時から変化しなかったと仮定すると埋没深度にして 3700 m ほどの深度差がなければならぬ。両地点の水平距離は 100 m ほどであり、その間に 3700 m も変化する堆積盆地斜面構造は考え難く (塊状無層理のため、この間の走向傾斜は不明)、また明瞭な断層も確認されなかった。したがって、この 07082903 の近辺には貫入岩が存在するものと考えられる。

その他の試料は全て未熟成であったが、全体の上位から下位に向かって熟成度が僅かながら増加する傾向が認められた (Tmax=368~422°C: 第 6 図)。Ro 換算値では 0.2~0.4% 程度、最大古地温にして 70°C 以下での変化である (Ro=0.5 以下 = 未熟成帯, 0.5~1.0 = オイル生成帯, 1.0~2.0 = 湿性ガス帯, 2.0~4.0 = 乾性ガス帯)。前述の地温勾配 3.52°C/100 m (秋山・平井, 1997) を用いて計算すると、この地域における七谷層下部までの埋没深度は約 2000 m であったことになる。

なお、Tmax と S1 のクロスプロット (第 10 図) では、Tmax の増加と共に S1 が減少する傾向が認められた。通常は Tmax が増加すると (すなわち熟成度が増加すると) ケロジェンから発生する炭化水素のために S1 値は増加する傾向を示すのであるが、この第 10 図の結果は逆の傾向である。すなわち本研究の S1 の変化は熟成度の影響を反映するものではなく、起源物質の炭化水素ポテンシャルの違いが反映されたためと解釈される。

## ま と め

(泥岩の岩相)

1 新潟県新発田市～岩船郡関川村の七谷層と寺泊層の層厚はそれぞれ約 600 m および約 200 m であり、七谷層は黒色～暗灰色泥岩、寺泊層は暗灰色泥岩～珪藻質泥岩からなる。

(有機物濃度)

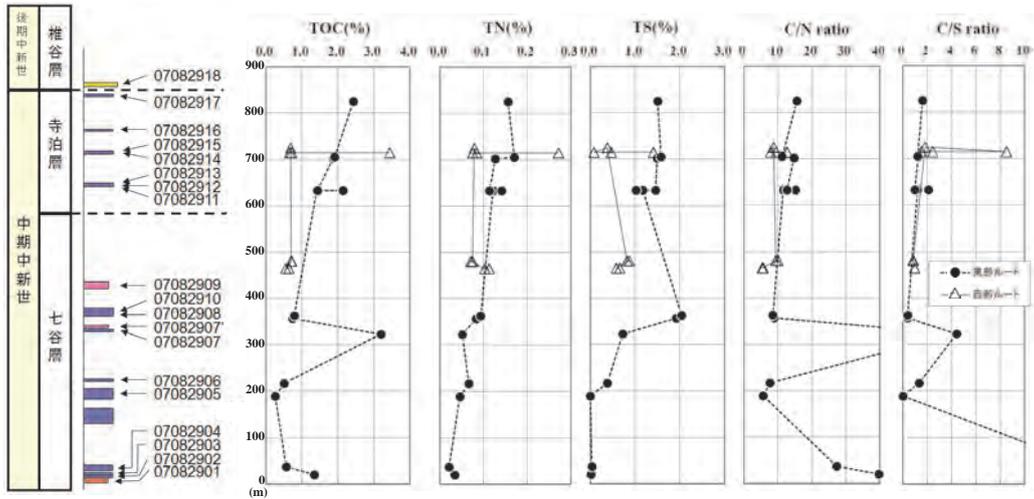
2 TOC 濃度は寺泊層で総じて高く、ほとんどが 1% を越えている。TOC 濃度の範囲と平均値は、七谷層では 0.26~3.19% (Av. 0.91%)、寺泊層では 0.65~3.43% (Av. 1.67%) であった。

(有機物の起源)

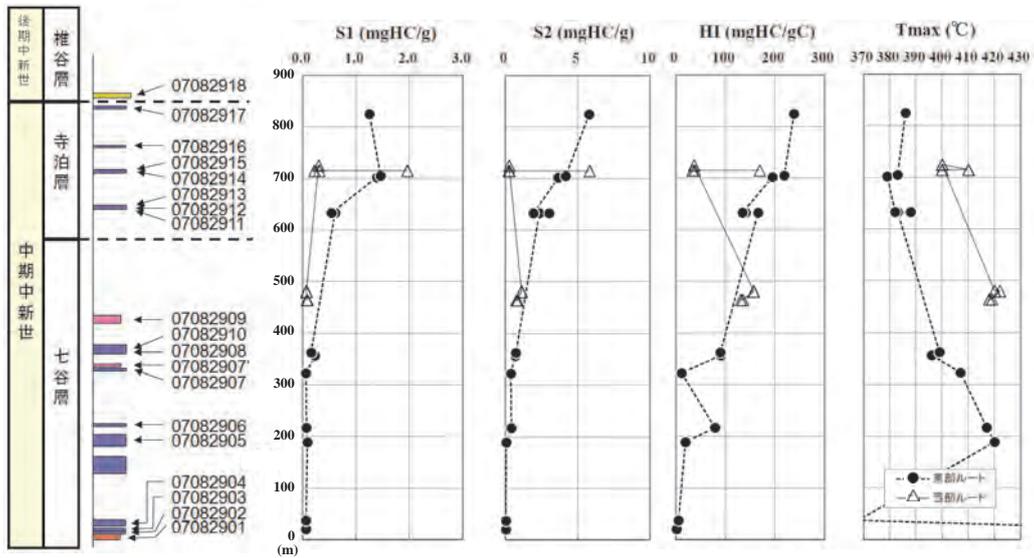
3 七谷層のうち TOC 濃度が高い泥岩 (1.35~3.19%) は陸源有機物の影響が高い (C/N=39.7~62.4) が、寺泊層の TOC 濃度が高いもの (1.41~3.43%) は海成有機物起源を主体として多少の陸源有機物の影響も受けている (C/N=11.6~15.6)。

(炭化水素ポテンシャル)

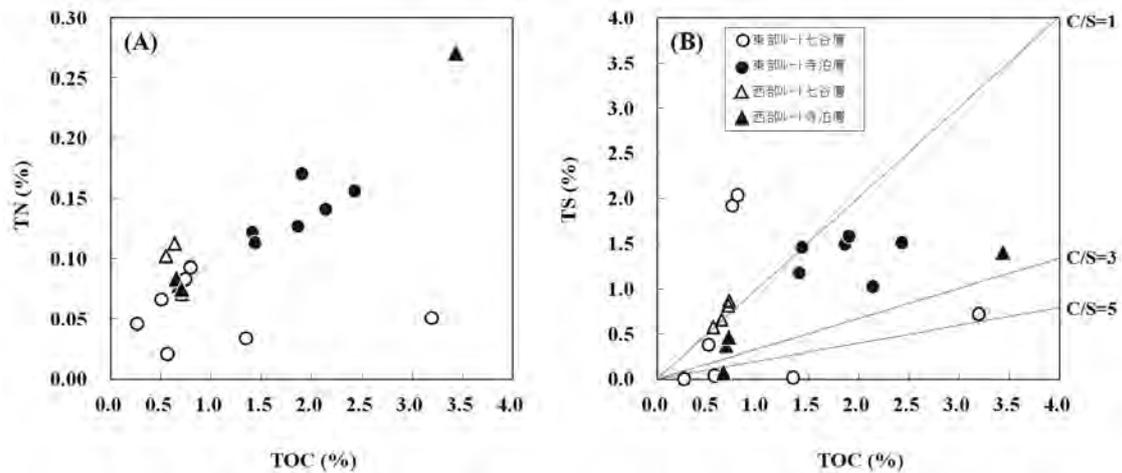
4 七谷層では TOC 濃度と HI の間に関係は認められないが、寺泊層では TOC 濃度が 1% を超えるものでは TOC 濃度の増加に伴って HI 値が高くなる傾向が認められる (141~238 mgHC/gC)。その結果として、根源岩ポテンシャル S2 は、七谷層では 0.26~1.35 mgHC/g (Av. 0.55 mgHC/g)



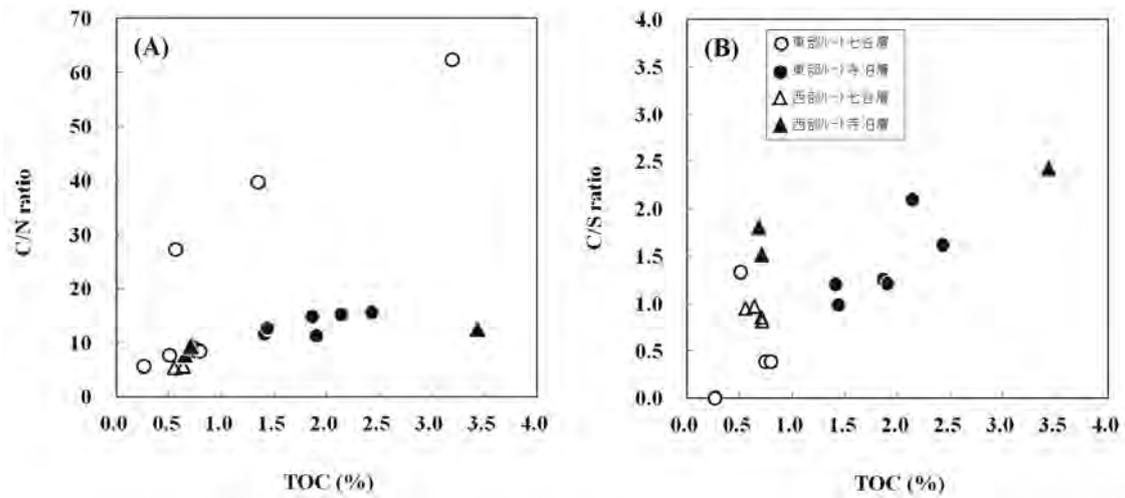
第5図 東部および西部の両ルートにおける TOC (%), TN (%), TS (%), C/N 比および C/S 比の層位変化。



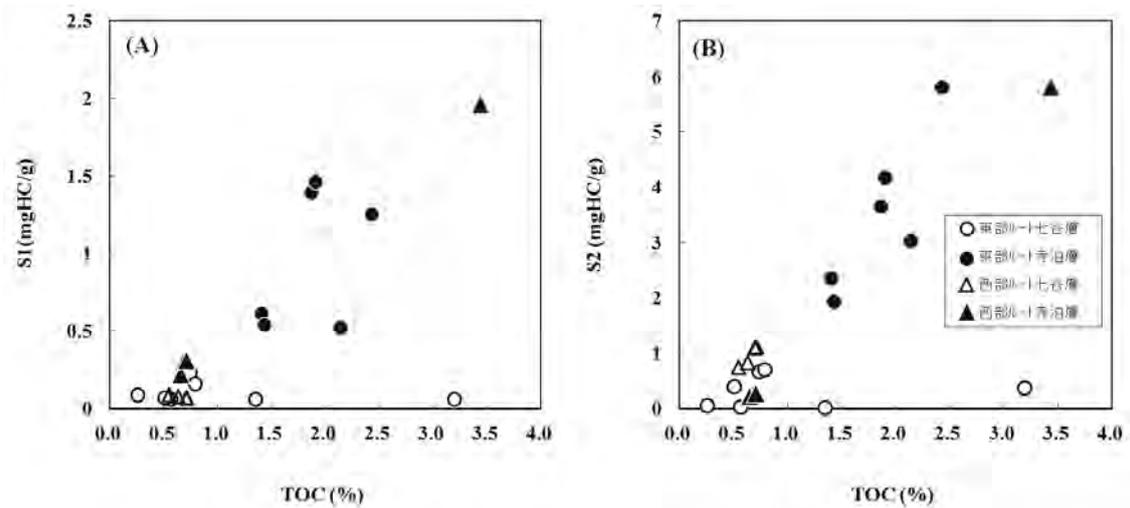
第6図 東部および西部の両ルートにおける S1 (mgHC/g), S2 (mgHC/g), HI (mgHC/gC) および Tmax (°C) の層位変化。



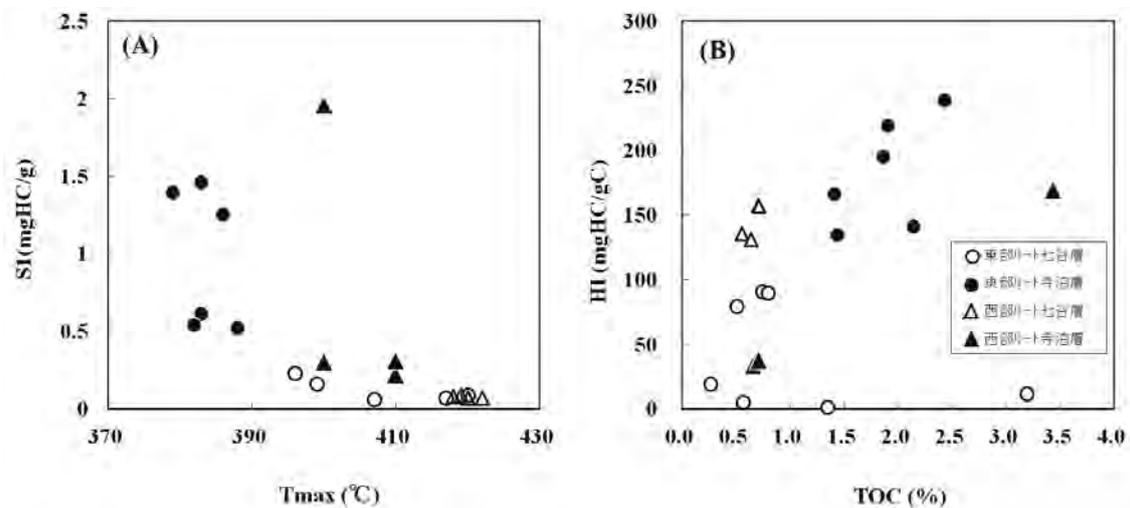
第7図 東部および西部の両ルートにおける七谷層および寺泊層の TOC-TN および TOC-TS クロスプロット。



第 8 図 東部および西部の両ルートにおける七谷層および寺泊層の TOC-C/N および TOC-C/S クロスプロット。



第 9 図 東部および西部の両ルートにおける七谷層および寺泊層の TOC-S1 および TOC-S2 クロスプロット。



第 10 図 東部および西部の両ルートにおける七谷層および寺泊層の Tmax-S1 および TOC-HI クロスプロット。

と低いが、寺泊層では0.22~5.81 mgHC/g (Av. 2.74) と高く、平均値で5倍の差が生じている。

(海底の酸化還元強度と炭化水素ポテンシャル)

5 寺泊層のうち TOC 濃度が1%以上の泥岩は、主に貧酸素環境の海底に堆積した (C/S 比=1.0~2.4)。ただし、寺泊層の TOC 濃度と C/S 比には正の相関が認められ、珪藻有機物の生産には湧昇流に伴う海水の上下循環による海底への酸素供給、および陸源からの栄養塩の供給が関わっていたことが推察された。一方、七谷層では、淡水成から無酸素海成の変化に富んだ環境下で堆積したことが示唆された (C/S 比=0.4~76.6)。

(熟成度と炭化水素ポテンシャル)

6 東部ルート (岩船郡関川村) の最下部において不連続的に過熟成の値 (Tmax=480°C, Ro 換算値では1.5%程度) が検出されたため、ここでは貫入岩の影響があったことが示唆された。その他の試料は全て未熟成であった (Tmax=368~422°C, Ro 換算値では0.2~0.4%程度)。この未熟成帯では、Tmax の増加と共に S1 が減少した。これは通常とは逆の傾向である。すなわち S1 の変化は熟成度の影響ではなく起源物質の炭化水素ポテンシャルの違いが反映されたためと解釈された。

## 謝 辞

本特集号「赤坂正秀教授退職記念号」の刊行に際して、赤坂教授の長年の学科へのご貢献に感謝の意を表します。本論文筆頭著者の三瓶は、専門分野は異なるものの同じ地球物質システム学セミナー (旧講座) に所属し、鉱物科学的な物質論と地質学の基礎に関する有益な幅広い知見を赤坂教授から享受した。それは堆積有機物に普遍的に付随する無機鉱物の関係とその効果を理解するために大変に有益であった。この場を借りて、赤坂教授の長年のご貢献と御恩に対して心より感謝申し上げます。

## 文 献

- 秋山雅彦・平井明夫, 1997, 基礎試錐のビトリナイト反射率から算定される最高古地温勾配の検討. 石油技術協会誌, **62**, 69-79.
- Barker, C. E., 1988, Geothermics of petroleum systems: Implications for stabilization of kerogen maturation after a geologically brief heating duration at peak temperature. In: Petroleum Systems of the United States (Ed. L. Magoon), *U. S. Geol. Surv. Bull.*, **1870**, 26-29.
- Berner, R. A., 1982, Burial of organic carbon and pyrite sulfur in the modern ocean: Its geochemical and environmental significance. *Am. Jour. Sci.*, **282**, 451-473.
- Berner, R. A., 1984, Sedimentary pyrite formation: An update. *Geochim. Cosmochim. Acta*, **48**, 605-615.
- Biggs, R. B., Sharp, J. H., Church, T. M. and Tramontano, J. M., 1983, Optical properties, suspended sediments, and chemistry associated with the turbidity maxima of the Delaware Estuary. *Canadian J. Fisheries and Aquatic Sci.*, **40**, 172-179.
- Bordowsky, O. K., 1965a, Source of organic matter in marine basins. *Mar.*

*Geol.*, **3**, 5-31.

- Bordowsky, O. K., 1965b, Accumulation of organic matter in bottom sediments. *Mar. Geol.*, **3**, 33-82.
- Ertel, J. R. and Hedges, J. I., 1984, The lignin component of humic substances: Distribution among soil and sedimentary humic, fulvic, and base-insoluble fractions. *Geochim. Cosmochim. Acta*, **48**, 2065-2074.
- Ertel, J. R. and Hedges, J. I., Devol, A. H. and Richey, J. E., 1986, Dissolved humic substances of the Amazon River system. *Limnol. Oceanogr.*, **31**, 739-754.
- Hedges, J. I., Clark, W. A., Quay, P. D., Richey, J. E., Devol, A. H. and Santos, U de M., 1986, Compositions and fluxes of particulate organic material in the Amazon River. *Limnol. Oceanogr.*, **31**, 717-738.
- 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原油とその根源岩の関係. 石油技術協会誌, **60**, 87-97.
- 金子信行, 1994, 岩船沖油田産原油・コンデンセートの有機地球化学的研究. *Res. Org. Geochem.*, **9**, 49-52.
- 加藤 進, 1993, 本邦の油・コンデンセートの軽質炭化水素組成. 石油技術協会誌, **58**, 209-219.
- 加藤 進・秋葉文雄・平松 力・岩野英樹, 2009, 新潟県新津丘陵における金津層の珪藻化石と地質年代. *Bulletin of the Mizunami Fossil Museum*, **35**, 111-125.
- 加藤正和・片平忠実 (1968) 平木田ガス田における層位トラップについて. 石油技術協会誌, **33**, 91-96.
- 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, 1981, 新潟堆積盆地における中新統中下部の有孔虫群集と古地理の変遷. *化石*, **30**, 73-78.
- Orem, W. H., Burnett, W. C., Landing, W. M., Lyons, W. B. and Showers, W., 1991, Jellyfish Lake, Palau: Early diagenesis of organic matter in sediments of an anoxic marine lake. *Limnol. Oceanogr.*, **36**, 526-543.
- Peters, K. E., 1986, Guidelines for evaluating petroleum source rock using programmed pyrolysis. *American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, **70**, 318-329.
- Peters, K. E. and Moldowan, J. M., 1993, The Biomarker Guide - interpreting molecular fossils in petroleum and ancient sediments-, Prentice Hall, New Jersey, 363 p.
- Prahl, F. G., Bennett, J. T. and Carpenter, R., 1980, The early diagenesis of aliphatic hydrocarbons and organic matter in sedimentary particulates from Dabob Bay, Washington. *Geochim. Cosmochim. Acta*, **44**, 1967-1976.
- Sampei, Y., Matsumoto, E., Kamei, T. and Tokuoka, T., 1997, Sulfur and organic carbon relationship in sediments from coastal brackish lakes in the Shimane peninsula district, southwest Japan. *Geochem. Jour.*, **31**, 245-262.
- Sampei, Y. and Matsumoto, E., 2001, C/N ratios in a sediment core from Nakaumi lagoon, southwest Japan - usefulness as an organic source indicator -. *Geochem. Jour.*, **35**, 189-205.
- 鈴木徳行・坂田 将・金子信行, 1987, バイオマーカー組成からみた新潟堆積盆地新第三系原油, コンデンセート油の熟成度と一次移動の時期. 石油技術協会誌, **52**, 499-510.
- 鈴木徳行・三瓶良和・松林英樹, 1995, 秋田、新潟地域における根源岩の有機地化学的相違. 石油技術協会誌, **60**, 62-75.
- Tissot, B. P. and Welte, D. K., 1984, Petroleum formation and occurrence -second revised and enlarged edition-. 699 p, Springer-Verlag.
- 津川グリーンタフ団体研究グループ, 1979, 新潟県三川-津川地域におけるグリーンタフ盆地発生期の造構運動, 地質学論集, **16**, 1-22.
- 土谷信之・高橋 浩・柳沢幸夫・山本孝広・久保和也・駒澤正夫・広島俊男・内藤一樹, 1999, 20 万の 1 地質図「村上」, 地質調査所.

(受付: 2015 年 11 月 10 日, 受理: 2015 年 12 月 28 日)