御前崎地域の石油地質

—フォアアークベースンでの炭化水素ポテンシャル—*

加 藤 進**

(平成 3 年 10 月 21 日受付, 3 年 11 月 28 日受理)

Petroleum Geology of the Omaezaki District, Shizuoka Prefecture —Hydrocarbon Potential in Fore-arc Basins—

By

Susumu KATO

Abstract: A thick sedimentary sequence of Tertiary and Quaternary ages, which chiefly consists of turbidites, is developed in the Omaezaki district, Shizuoka Prefecture.

Structural traps such as anticlinal, fault and combination traps are found in this area. Fine-grained sandstones in the Sagara and Kurami Groups of Miocene age are considered to be main reservoirs. The source rocks are argillaceous sediments in the lower Miocene as indicated by total organic carbon content, type of organic matter and its maturity. However, the potential for yielding hydrocarbons is relatively low in comparison with the potential of source rocks in the Niigata district. Geochemical data of source rocks and of oil and gas in reservoirs suggest that the B Formation in the MITI Sagara well is the possible source rock for the oil and gas which are produced from the Sagara oil field and also from this well.

In the offshore area, several structures remain undrilled, and there is a possibility that hydrocarbon pools (mainly gas) may be discovered.

1. はじめに

新第三紀から第四紀の前弧盆地 (fore-arc basin) の堆積物が、広くかつ厚く発達している静岡県の相良・掛川地域およびその沖合海域をあわせて、本稿では御前崎地域と呼ぶことにする。この地域の陸域には明治末期が最盛期であった相良油田 (累計生産量: 約 4,500kl) が在り、南側にはフィリピン海プレートがユーラシアプレートの下に沈み込むプレート境界と考えられている南海トラフが位置しており (図 1), その陸側斜面には地

震探鉱記録によってガスハイドレートの存在が推定されている (佐藤ら, 1987)。陸域では、昭和 20 年代から 30 年代初めにかけて、石油探鉱に主眼を置いた地表地質調査が行われ、層序試錐も掘削された (菊池・堤, 1961)。第 6 次 5 ヶ年計画において 2 班 (測線長: 計約 80km) の基礎物理探査が実施され、昭和 63 年度には基礎試錐「相良」(掘止深度: 3,320m) が掘削された (石油公団, 1989)。

海域では、地表地質データや重力データから第三系の発達が予測されていたが、本格的な探鉱は昭和 46 年度の基礎物理探査「東海」によって始まった。それ以降現在までに基礎物理探査 5 班、企業の地震探鉱 7 班 (測線長: 計約 3,230km) が実施され、昭和 58 年度には基礎試錐「御前崎沖」(掘止深度: 3,505.5m) が掘削されて (石油公団, 1984), この海域での初期の探鉱は終了している。

* 平成 3 年 5 月 29 日第 56 回石油技術協会定時総会地質・探鉱部門シンポジウム「第 6 次国内石油および可燃性天然ガス資源開発五ヶ年計画の成果」—最近の石油地質学的新知見とそれに基づく評価—にて講演

** 石油資源開発(株)探鉱部

図1 位置図および地質概略図(土編, 1986を簡略化)

本稿では、これまでの探鉱作業で得られた成果を中心に、御前崎地域を本邦最大の産油・産ガス地域であり、本地域とは対照的な背弧盆地 (back-arc basin) の堆積物からなる新潟地域と比較しながら、本地域の石油地質について述べる。

2. 層 序

2.1 基礎試錐「御前崎沖」

詳細はすでに報告した(加藤ら, 1989)ので結論のみを述べる。岩相は全般に泥質岩を主体とし、下位より、古第三系のA層、下部中新統のB₁層、下部～中部中新統のB₂層、鮮新統～更新統のC層、更新統のD層に区分される(図2)。B₁層とB₂層との関係は整合であるが、それ以外の各層の関係は不整合である。

2.2 基礎試錐「相良」

岩相は主にシルト岩や極細粒砂岩を主体とするタービ

ダイトからなり、一部に泥岩や酸性凝灰岩が発達している。下位より、漸新統のA層、下部中新統のB層、下部～中部中新統のC層、中部中新統～鮮新統のD層(D₁, D₂, D₃層に細分される)に区分され、A層の見掛け上下位に下部中新統のC'層が確認された(図2)。C層とC'層はほぼ同時代の地層であるが、岩相や堆積環境が異なっている。C層とD層との間には不整合、A層とC'層の間は断層と推定されるが、A層とB層およびB層とC'層との関係はよくわからない。C'層、C層およびD層には再堆積の微化石が多く含まれている。

2.3 地表地質との対比

本地域の地表には広義の四万十帯を構成する三倉層群、瀬戸川層群および大井川層群、下部中新統の倉真・西郷層群(一括して三笠層群とも呼ばれる)や女神層、その上位に中部中新統～鮮新統の相良層群、鮮新統～更新統の掛川層群などが分布している(図1)。

図2 層序対比図

「御前崎沖」の地質状況は掛川市北部に大変似ており、岩相および微化石からA層は三倉層群に、B₁層は倉真層群に、B₂層下部は西郷層群に、C層は掛川層群上部に対比され、D層は小笠層群の沖合相と推定される(加藤ら、1989)。一方、「相良」のD層は相良層群に対比されるが、それより下位については地表とはかなり異なっている。すなわち、「相良」ではD層の直下には岩相および微化石上女神層に対比される地層は確認されず、むしろ大井川層群に対比される可能性があるC層～A層が発達している。C'層はC層とほぼ同時代であるが、N8を示す浮遊性有孔虫化石や大型有孔虫化石が産し、焼津地域で大井川層群の東側に分布している竜爪層群に対比されるかもしれない。

3. 地質構造

3.1 地表でみられる地質構造

三倉層群、瀬戸川層群および大井川層群の分布地域の地質構造についてはいくつかの見解があり、まだ統一されていない。ここでは代表的な見解を述べる。大井川下

流域に分布する三倉層群は少なくともその南端部では軸面が北西に傾斜する等斜褶曲を形成している(木村、1967)。瀬戸川層群と大井川層群は覆瓦構造をなすと解釈されている(例えば、遅沢、1986)が、島田市北部に分布する大井川層群は大部分が北西に傾斜する同斜構造であり、北西端部のみが衝上断層によって地層が一部逆転し、軸面が北西に傾斜している(杉山、1980)。倉真・西郷層群は南西に開く半盆地構造を呈している(猪間、1982)。相良層群および掛川層群も南西に開く大きな半盆地構造を形成しているが、東部の仁田・女神背斜は女神層が地塁状に突出して核部をなす、断層を伴う急した複雑な構造である(猪間、1982)。

3.2 基礎試錐「相良」

相良層群に対比されるD層までは信頼性のある地層傾斜が得られ、逆断層を伴う背斜構造(浜岡背斜)が明らかとなった。深部については信頼にたる地層傾斜がほとんど得られなかったが、コア観察結果やA層(漸新統)の見掛け上下位にC'層(下部中新統)が存在することなどを考慮すると複雑に変形していると推定される。

海岸線に沿って、海域で実施された地震探鉱の記録断面（以下震探断面）には浜岡背斜の南延長部が認められ、この断面では断層によって少なくとも2つの背斜に分かれることが読み取れるが、深部については記録の質が悪く、明らかなではない。

3.3 基礎試錐「御前崎沖」

地層傾斜や震探断面により、B₁層からC層までは背斜構造を形成していることが判明している。A層については信頼できる地層傾斜が得られておらず、震探断面も記録の質が悪く、詳細な地質構造は明らかなではないが、断層を伴って複雑に変形していると推定される。

4. 石油地質

4.1 トラップ（図3）

相良油田は女神背斜の急立した北西翼部における断層トラップに成立している（猪間，1982）。「相良」では逆断層の上盤側に形成された背斜構造において実施したDSTにより産ガスが確認されており、「相良」は断層＋背斜トラップである。「御前崎沖」は中央隆起帯（猪間・佐々木，1979）上の背斜構造で掘削されており、前述したようにB₁層からC層までは背斜構造を形成していることから、背斜トラップと考えられる。

4.2 貯留岩（図3）

相良油田および「相良」の産油あるいは産ガス層準は相良層群であり、比較的細粒のタービダイト砂岩が貯留岩となっている。コア分析では孔隙率20%以上、空気浸透率10md前後の値が得られている（図4）が、「相良」におけるDSTの圧力解析によれば、産ガス層は有効浸透率が 10^{-3} mdオーダーであり、低浸透層と考えられる。「相良」ではC層下部やC'層に油・ガス徴が認められ、DSTを実施したが、低浸透性の水層であった。「御前崎沖」ではB₁層最下部の細粒砂岩において

図4 孔隙率－浸透率プロット

DSTを実施し、若干の油・ガスを回収している。この層準の砂岩のコア分析による孔隙率は8～10%であり、空気浸透率は平均0.7mdである（図4）。また、DSTの圧力解析から求めたテスト層の有効浸透率は0.04mdである。

4.3 根源岩

泥質岩の有機炭素量は0.5～0.7%程度と根源岩としては限界に近い値である（表1）が、「御前崎沖」のB₁層下部や「相良」のB層など一部に比較的良好な値を示す層準が認められる。有機物のタイプはタイプⅢあるいはタイプⅢに近いタイプⅡとタイプⅢの混合型であり、

	相良油田	「相良」	「御前崎沖」
トラップ	相良層群 女神層 断層トラップ	断層＋ 背斜トラップ	C層 B ₂ 層 B ₁ 層 A層 背斜トラップ
貯留岩	相良層群	D層(相良層群) (油徴:C層)	B ₂ 層(倉真層群)
根源岩	女神層?	A, B層(大井川層群)?	A層(三倉層群)? B ₁ 層(倉真層群)?

図3 御前崎地域のトラップ、貯留岩および根源岩

表1 有機炭素量(Co)の平均値(%)

層準	地表	「御前崎」	「相良」
掛川層群	0.58(22)	C層 0.47(20)	
相良層群	0.56(41)		D層 0.54(27)
西郷層群	0.67(2)	B ₂ 層 0.58(10)	C+C'層 0.60(18)
倉真層群	0.50(8)	B ₁ 層 0.67(19)	B層 0.64(8)
大井川層群	0.53(37)		A層 0.72(7)
瀬戸川層群	0.34(1)		
三倉層群	0.64(1)	A層 0.40(10)	

( ) は分析数

図5 層準別のビトリナイト反射率

水素指数も 200mg/g 以下とガス指向型である。

ビトリナイト反射率 (R_o) が 0.5% を超えるのは下部中新統以下の地層であり (図5), 深度的には「御前崎沖」では約 3,000m 以深, 「相良」で 2,200m 以深である。

4.4 油・ガスの性状

相良油田の油, 「御前崎沖」で回収した油 (コンデンセート)・ガスおよび「相良」で産出したガスの性状を表2に示す。相良油田の油は中間基の軽質油であるが, 125℃ 以下の軽質留分がほとんど含まれていない。 C_{29} ステランの $20S/(20S+20R)$ 比は 0.26 であり, 新潟地域の油・コンデンセートの値 (0.42~0.52: 鈴木ら, 1987) に比べ小さく, 熟成度の低い油と考えられる。

表2 油・ガスの性状

産出層準	相良油田	「御前崎沖」	「相良」	
	相良層群	B ₁ 層	C'層	D層
(油)				
API比重 (度)	41.5	39.4		
$\delta^{13}C$ (‰)	-24.5	-26.9		
C_{29} ステラン $20S/(20S+20R)$	0.26			
進化度指数		4.65		
環境指数		0.02		
(ガス)				
$C_2/\Sigma C_n$ (%)		7.9	4.4	0.78
iC_4/nC_4		0.68	0.86	0.83
$\delta^{13}C_1$ (‰)		-32.8	-53.7	-52.0
$\delta^{13}C_2$ (‰)		-29.0	-30.0	-35.7
$\delta^{13}C_3$ (‰)			-25.9	-28.7

油の炭素同位体組成 ($\delta^{13}C$) は相良油田が -24.5‰, 「御前崎沖」が -26.9‰ であり, これらは新潟地域の油・コンデンセートの $\delta^{13}C$ 値 (-21~-23‰: 重川, 1985; 岡田ら, 1989) に比べ軽く, 根源岩のケロジェンの $\delta^{13}C$ を反映したものと考えられる。

「御前崎沖」で回収した油は飽和炭化水素成分中でのステラン化合物およびトルテルパン化合物の割合が少なく, 進化度指数も高いことから, 熟成の進んだ油と推定される。このことはメタンの炭素同位体組成 ($\delta^{13}C_1$) が -32.8‰ と重いことから支持される。

「相良」の D 層から産出したガスはメタンが 99% 以上を占めているが, 微量ながら C_6 の成分までが含まれており, iC_4/nC_4 は 1 より小さい。 $\delta^{13}C_1$ は -50‰ より軽い, このガスは熱分解ガスが主体と推定される。

4.5 油・ガスの根源岩と移動・集積

油・ガス性状からみると, 相良油田や「相良」の油・ガスは比較的熟成度の低い根源岩から生成されたと推測されるのに対し, 「御前崎沖」の油・ガスは十分に熟成した根源岩から生成されたと考えられる。

ケロジェンの炭素同位体組成からみると, 相良油田の油の根源岩としては「相良」の B 層の可能性が高い。一方, 「御前崎沖」の油の根源岩としては「御前崎沖」の A 層や B 層, 大井川層群などいろいろな層準が可能性として考えられるが, 油の熟成度が高いことを考慮すると三倉層群 (「御前崎沖」の A 層) の可能性が最も高い。

「相良」のヘッドスペースガスのガス組成や $\delta^{13}C_1$ は, 深部で生成されたガスが上方に移動してきていることを示唆しており, 地層温度や地層圧力が浅部で高いこと, 断層を伴う複雑な構造であることを考えあわせると, 「相良」や相良油田では油・ガスは深部から断層沿いに移動してきたと推測される。

「御前崎沖」では直下の A 層で生成されたガスが B₁ 層基底部の砂岩に集積したと推測される。

5. 新潟地域との比較

新潟地域では, 前期-中期中新世に活発な火成活動と堆積盆の急激な深海化が起り, グリーンタフと厚い泥質岩が堆積した。鮮新世になると, 造構造運動が始まり, 火成活動が活発化し, 堆積盆の分化と浅海化が起り, 粗粒堆積物が堆積した。これに対し, 御前崎地域では中期中新世に中断はあるものの, 前期中新世以降タービダイトを主体とする碎屑物が堆積している (図6)。このような堆積盆の発達史の違いが, 根源岩や貯留岩の発達や性状に大きな影響を及ぼしている。

新潟地域の主要根源岩である七谷層および下部寺泊層

図6 新潟地域と御前崎地域の比較

図7 水素指数 (H.I.)—酸素指数 (O.I.) プロット
(寺泊層、七谷層のデータは関口ら, 1984 から引用)

図8 深度—地層温度プロット

図9 砂岩の深度-孔隙率プロット

の泥質岩は平均の有機炭素量が1%以上であり、有機物タイプもタイプIIあるいはタイプIIとタイプIIIの混合型(図7)で、タイプIIIを主体とする御前崎地域の泥質岩の根源岩性状は明らかに新潟地域よりも劣っている。地温勾配は両地域でかなり異なっている(図8)が、御前崎地域では下部中新統は深度3,000mで確実に熟成帯に入っており、根源岩の熟成という点では新潟地域に対し遜色がない。

貯留岩についてみると、新潟地域では砂岩に加え、火山岩類も主要貯留岩になっており、七谷層から西山層までのいろいろな層準が油・ガスの産出層準となっている(図6)。御前崎地域では相良層群、倉真層群および大井川層群の砂岩が貯留岩となりうると判断されるが、深度2,000mを超えると砂岩の孔隙率は10%程度に減少し(図9)、空気浸透率も大部分が1md以下となる(図4)。新潟地域では地温勾配が高いにもかかわらず、砂岩の孔隙率は深度3,500m付近でも20%程度と高く(図9)、一部には長石の溶脱による二次孔隙も認められる。御前崎地域の砂岩は細粒～極細粒であり、基質の多いワッケであること、その地質時代が新潟よりも古いことなどがこのような貯留岩性状の違いの原因になっていると考えられる。

6. ま と め

ASAKAWA *et al.* (1981) は東北日本の前弧盆地と背弧盆地を石油地質の立場から比較し、前弧盆地である

北上盆地の短所として、有機物の保存に適さない酸素に富む堆積環境、低い熱流量などを挙げている。また、長所としては砂の含有率が高く、堆積物が厚いことに加え、構造規模が大きいことを挙げている。東北日本の前弧盆地に比べ、御前崎地域の第三系は変形が激しく、断層を伴う複雑な地質構造を呈している。堆積環境もかなり異なっているが、根源岩の性状はいずれの地域でも余り良くない。

新潟地域に比べると、御前崎地域の泥質岩の根源岩性状は明らかに劣っており、根源岩となりうる泥質岩の層厚も薄いことから、本地域で生成された炭化水素はガスを主体としており、その量は多くはないと推定される。本地域では、貯留岩となりうる層準は限られており、その性状も良好とは言えない。また、断層を伴う背斜トラップが主体であり、トラップの規模は比較的小さい。陸域には規模の大きな、未試掘の構造は残っていないが、海域には未試掘の背斜構造が幾つか確認されており(図1)、水深500m以深の海域も含め探鉱余地は十分にあると考えられる。しかし、根源岩や貯留岩の性状、断層を伴う背斜トラップが主体であることを考慮すると、期待される鉱床はガスあるいは若干の油(コンデンセート)を伴うガスからなり、余り規模が大きくないものである可能性が高い。

謝 辞

資料の公表を許可された資源エネルギー庁石油部開発課、石油公団技術部および石油資源開発㈱に深く感謝します。

本稿を草するにあたり、同社鶴飼光男取締役、荒木直也探鉱部長には粗稿を読んで頂き、ご助言を賜った。同社探鉱部および技術研究所の諸氏にはいろいろの面でご協力頂いた。特に井上洋子博士には微化石についていろいろご教示頂いた。これらの方々に厚くお礼申し上げます。

文 献

- ASAKAWA, T., SATO, S. and ISHIWADA, Y., 1981: Contrast in hydrocarbon potential between fore-arc and back-arc basins of Tohoku island arc, Japan. *AAPG Studies in Geology*, **12**, 223-228.
- 猪間明俊, 1982: 相良・掛川地域. 日本の石油・天然ガス資源, 246-276.
- 猪間明俊・佐々木栄一, 1979: 東海沖の堆積盆地の分布と性格. 石技誌, **44** (5), 272-278.
- 加藤 進・井上洋子・矢口良一, 1989: 基礎試錐「御前崎沖」の層序. 地質雑, **95** (11), 851-864.

- 菊池秀夫・堤 正俊, 1961: 静岡県掛川地区に於ける試験結果よりの地質的考察. 榎山次郎教授記念論文集, 67-81.
- 木村敏雄, 1967: 大井川地域南部の四万十層群の地質構造—小構造による構造解析の例—. 佐々保雄教授還暦記念論文集, 21-38.
- 岡田静子・手塚真知子・田中誠之, 1989: 安定同位体比 ($^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$) 質量分析法による原油の炭素同位体比測定. 石技誌, 54 (2), 107-110.
- 重川 守, 1985: 炭素同位体組成による原油と根源岩の対比—新潟平野油・ガス田地域におけるケーススタディ—. 石技誌, 50 (1), 9-16.
- 遅沢壮一, 1986: 高草山及びその西方の瀬戸川帯. 北村信教授記念論文集, 337-350.
- 佐藤 真・大川史郎・岡野 正, 1987: 日本周辺海域で見られるBSRについて その1: ガス・ハイドレートによるBSR. 石技誌, 52 (4), 343.
- 関口嘉一・重川 守・平井明夫・宮本泰行, 1984: 地化学的見地からみた長岡・柏崎地域のグリーンタフ油・ガス鉱床の形成. 石技誌, 49 (1), 56-64.
- 石油公団, 1984: 昭和58年度国内石油・天然ガス基礎調査基礎試験「御前崎沖」調査報告書. 100p.
- 石油公団, 1989: 昭和63年度国内石油・天然ガス基礎調査基礎試験「相良」調査報告書. 101p.
- 杉山雄一, 1980: 静岡県中部に分布する第三系大井川層群の海底地すべり堆積物と異地性角礫岩塊. 地質雑, 86 (10), 673-685.
- 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. 石技誌, 52 (6), 499-510.
- 土 隆一編, 1986: 静岡県地質図 1: 200,000 (改訂版). 静岡県.