

平成 21 年 4 月 20 日現在

研究種目：基盤研究（C）
 研究期間：2007～2008
 課題番号：19540481
 研究課題名（和文） 巨大天然ガス生成システムとしての沈み込み帯での発生炭化水素量評価と熱履歴
 研究課題名（英文） Hydrocarbon potential and thermal history of accretional prism as a huge system for hydrocarbon generation
 研究代表者
 三瓶 良和（SAMPEI YOSHIKAZU）
 島根大学・総合理工学部・教授
 研究者番号：00226086

研究成果の概要：

白亜系～新第三系の日本の代表的な付加体（四国南部・長野県南部・静岡県・千葉県房総半島）において、泥岩有機物の濃度・起源，最大古地温および堆積環境等の復元・検討を行った。その結果，有機炭素濃度が最大 11%までの泥岩層が確認され，最大古地温は全域で 60～270℃と推定され，100km 幅で 1000 年間に約 1 ギガトンの炭化水素が発生していることが分かった。この値は，世界最大のガワール油田（サウジアラビア）の約 10 分の 1 弱の規模に相当する。付加体が「大規模な長期継続型炭化水素生成システム」として成り立つことが示唆された。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	3,300,000	990,000	4,290,000
2008年度	500,000	150,000	650,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,800,000	1,140,000	4,940,000

研究分野：数物系科学

科研費の分科・細目：地球惑星科学・地質学（4404）

キーワード：(1)最大古地温，(2)ビトリナイト反射率，(3)Tmax，(4)有機炭素濃度，(5)炭化水素ポテンシャル，(6)バイオマーカー

1. 研究開始当初の背景

これまで，沈み込み帯の前弧側は主要な炭化水素生成場として認識されてこなかった。従来，前縁・前弧域での石油・天然ガス鉱床形成は堆積盆地の枠組みの中で議論され，そのポテンシャルはかなり低いと考えられてきた。しかし，海溝付近での有機物に富んだ泥質堆積物の堆積は稀ではなく，かつ，付加すれば必ず炭化水素を生成するシステムであれば，沈み込み帯では膨大な天然ガスが極めて長期間にわたって継続して形成されているものと考えられる。

また，付加体の地質構造を考えれば，大多数の断層群を通して油ガスは逸散してしまうものと考えられてきたが，それらが発散せず集積するカギは前弧海盆堆積物の泥岩シールやメタンハイドレート層の形成である。メタンハイドレートは，前弧海盆域や passive margin 域で広く分布が確認されており，日本では南海トラフに多いことが知られている（例えば金子，2005 など）。現在のところその起源は浅いところであるメタン細菌起源が多いと認識されているが，沈み込み帯の炭素収支を考えれば熱分解起源のメ

タンがトラップされている可能性は高い。起伏地形下などでは、メタンハイドレート層がトラップシールになって、その下に多量の天然ガスが湛えられている例は、カナダ北極域マッケンジー川デルタ永久凍土層下などに認められている（石炭起源の熱分解メタン：Medioli, et al., 2005）。

2. 研究の目的

炭化水素形成場としての沈み込み帯を評価するために、最大古地温を実際の地質試料から復元し（炭化水素生成ステージのどのレベルにあるか）、かつ、炭化水素発生量を検討する（日本の付加体全域での見積もり）ことを目的とした。そのために、ビトリナイト反射率（または、ロックエバル分析の Tmax 値をビトリナイト反射率に換算）、バイオマーカーの立体構造異性体比等を測定する。また、根源岩の評価を行うために有機物濃度および有機物のタイプ（起源）を併せて明らかにする。

研究対象は、有機熟成度のかかなり高い四国南部四万十帯（主に白亜系～古第三系）から、低～高熟成度までの連続的検討が可能である中部～東関東の四万十帯（長野県、静岡県および千葉房総半島に分布する白亜系～新第三系）とした。

3. 研究の方法

(1)熱履歴（温度-時間の関係：地層年代と最大古地温）：Tmax・ビトリナイト反射率、バイオマーカー（ステラン-ホパン）によるエピ化クロスプロット（Suzuki, 1984）の測定・解析による。

(2)根源岩ポテンシャルの復元：Total organic carbon (TOC)濃度、バイオマーカー（C29-C27 ステラン、オレアナン、プリスタン/フィタン比等）からケロジェンタイプを特定して復元する。

(3)総天然ガス量の見積り：本研究と文献により、付加体の平均的有機物濃度および泥岩の厚さを概算し、有機物タイプから炭化水素発生量をあてはめて、単位時間あたりの炭化水素量のオーダーを求める。

最大古地温の算出は Mattew et al.(1993) の「Ro-最大古地温」の関係に拠った。

$$\text{最大古地温 (}^{\circ}\text{C)} = 0.397830681115011 \times (\text{Ro})^5 - 6.3987084590317 \times (\text{Ro})^4 + 41.2769463920497 \times (\text{Ro})^3 - 139.36243612612 \times (\text{Ro})^2 + 283.188135271665 \times (\text{Ro}) - 21.0083581873755$$

(Tmax からビトリナイト反射率の算出は、 Tissot and Welte (1984) の Tmax-Ro 図から値を読み取り、次のように数式化した)

$$\text{Ro (\%)} = 1.06347 \times 10^{-10} \times \{\text{Tmax}^{\circ}\text{C}\}^5 - 2.41022416 \times 10^{-7} \times \{\text{Tmax}^{\circ}\text{C}\}^4 +$$

$$2.16475659528 \times 10^{-4} \times \{\text{Tmax}^{\circ}\text{C}\}^3 - 9.6260087191622 \times 10^{-2} \times \{\text{Tmax}^{\circ}\text{C}\}^2 + 2.11937772099461 \times 10 \times \{\text{Tmax}^{\circ}\text{C}\} - 1.84892968239115 \times 10^3$$

4. 研究成果

一般に前弧・前縁域の根源岩評価では、「基礎生産性が低い」、「海底が酸化的になり易い」、「地温勾配が低い」、「断層によって集積場が破壊される」等のマイナス要因が多いことが知られている。しかし、今回の調査研究において、有機炭素濃度が最大 11%までの高い泥岩層が付加体において確認された。

さらに、炭化水素の発生量を見積もったところ、日本の付加体からは、100km 幅で 1000 年間に約 1 ギガトンの炭化水素が発生していることが分かった。この値は、日本で最大の油ガス田である「吉井・東柏崎ガス田」の究極可採埋蔵量の数倍、世界最大のガワール油田（サウジアラビア）の約 10 分の 1 弱の規模に相当する。仮にこの条件を世界全体の付加体 30000km に当てはめると、1000 年で 240 ギガトンの炭化水素が生成されることになり、この値は世界の石油究極埋蔵量約 2 兆バレル（約 300 ギガトン）に近い。以上より、付加体が「大規模な長期継続型天然ガス生成システム」として成り立つ可能性が示唆された。

発生炭化水素量見積りのプロセスは以下のとおりである。

$$\text{発生炭化水素量} = (\text{泥岩厚 } m \times 100: \text{cm}) \times (\text{付加帯幅 } 100\text{km} \times 1000 \times 100: \text{cm}) \times (\text{付加帯移動速度 } \text{cm/y} \times \text{年代間隔} \cdot \text{cm}) \times \text{泥岩比重 } 2.7 \times (\text{TOC}\% / 100) \times (300\text{mgHC} / 1000) / (1000000\text{ton}: \text{g})$$

ただし、今回の広域的な調査結果から、付加体における平均値として以下の値を用いた。

沈み込み直後の泥岩の厚さ：100m

付加体泥岩の TOC(%)：0.50(%)

付加体の地温勾配：3°C/100m(橋本ほか, 2002)による四万十帯の平均地温勾配。範囲は 1-8°C/100m。よって炭化水素発生を目安である 100°C に達するのは約 3000m)

原油の重量換算：中質油の比重 0.9 を用いた。

なお、参考までに 1 年間に風化によって発生する二酸化炭素は 0.2 ギガトン C である（松久・赤木, 2005）。

付加体におけるこのような高い炭化水素生成能力は、今後、国内外でも再認識され、将来の炭化水素探鉱および地球環境シミュレーションに応用されていくことが期待される。また、本研究は今後さらに精度を高めるために他の付加体でも検証されていく必要がある。

四国南部・長野県南部・静岡県・千葉県房総半島各地域の有機物濃度・有機物タイプ・最大古地温・堆積環境等の調査結果内容は、以下のとおりである。

(1)「四国南部」

①有機物濃度と起源：付加体タービダイト層の泥岩は植物プランクトンが多い。セノマニアン～コニアシアン前期は貧酸素的であるが、TOCの高濃度層は酸化しており陸源有機物が多かった。前弧海盆和泉層群は付加体よりも陸源有機物の割合が多く、より貧酸素的で全般にTOCが高い。カンパニアン（和泉層群下部）では酸化的となるがマーストリヒチアン（中～上部）は貧酸素～還元的な環境を示し、四万十帯よりも有機物が保存されやすい環境であった。

各層準別の TOC 濃度は以下のとおりである。

（付加体）須崎層：0.44～1.12%（平均 0.87%），野々川層：0.22～1.34%（平均 0.66%），中村層：0.25～11.35%（平均 2.36%），有岡層：0.32～0.47%（平均 0.37%）。須崎層下部や野々川層の下部と上部，中村層の上部で高い値を示しており，特に中村層では 11% という付加体地域では特異な値を示している。

（メランジュ層）横浪メランジュ：0.27～0.44%（平均 0.35%），久礼メランジュ：0.33～0.59%（平均 0.50%），興津メランジュ：0.25～0.36%（平均 0.30%）。四万十帯メランジュ層はタービダイト層よりも全体的に値が低い，久礼メランジュはメランジュ層の中では TOC が相対的に高い。

（前弧海盆）和泉層群引田層：0.26～2.57%（平均 0.71%）。下部で 2.57% の高い値を示している。そこから上部に向かってやや減少する傾向が見られる。また，和泉層群の TOC は四万十帯に比べて全体的に高めである。

②最大古地温：最大古地温は全般に 190～240℃を示し西部付加体で高く，増温率も西部で高かった。このことは，西部付加体が東部よりも深く沈みこんだか，または，西部で地殻熱流量が高かったことを示唆する。各四万十帯タービダイト層の最大古地温は，須崎層：220～240℃（平均 230℃），野々川層：190～230℃（平均 220℃），中村層：190～240℃（平均 225℃），有岡層：220～230℃（平均 230℃），四万十帯メランジュ層の横浪メランジュ：230～240℃（平均 235℃），久礼メランジュ：220～240℃（平均 230℃），興津メランジュ：235～240℃（平均 240℃），和泉層群引田層は 180～220℃（平均 210℃）となった。和泉層群では四万十帯よりも約 20℃温度が低い傾向がある。油ガスは全域で既に排出済みである。

③増温率の地域差：Heating rate では四万

十帯西部地域および和泉層群と比べて四万十帯東部地域が Low Heating rate の位置にプロットされ，四万十帯の西部と東部では熱構造に差があることを示唆する。四万十帯西部と東部の最大古地温は約 10℃の差がある（西部で高い）。この理由は西部の層厚が厚く沈降速度が速かったためと考えられる。古海洋環境の差は堆積物の供給源や堆積速度から生じたと考えられる。寺岡ほか(1999)は，堆積物の主要な供給路は九州の西側と紀伊半島の東側にあったとしている。四万十帯の西部と東部では有機物の起源や熱構造が連動して差異を生じさせたと考えられる。

(2)「長野県南部」

①有機物濃度と起源：約 112Ma から 83Ma（赤石層群および白根層群）にかけて，Pr/Ph 比および Homohopane Index 等から全般に貧酸素～無酸素であると推察された。その中でも特に OAE2-3（93.5-83Ma）に相当する層準で貧酸素化が強化されたが，チューロニアン（90.4-88.5Ma）の間には一度酸化的な時期が訪れた。TOC 濃度は，その直後の層準で最も高い値（1.3～3.2%：白根層群中部層）となった。この時の有機物の起源は，海成プランクトンが優勢であった。チューロニアン（90.4-88.5Ma）の高 TOC の理由は，Pr/C17 比が高く陸源有機物の影響が高まったためと考えられる。すなわち，OAE2 に関連して停滞していた海洋水は生産性が低かったが，平（1991）などが指摘するエオリアンダスト活動の活発化によって，陸源有機物が供給されると共に海洋底層水の湧昇が起こりやすくなり基礎生産が高まった。そしてこの湧昇を伴う循環のために海底に酸素がもたらされ，一時的に酸化的な状況が生じた。

②最大古地温：MPI3 から推定したところ，ビトリナイト反射率に換算して 1.8～3.5%に相当した。最大古地温に換算すれば，それぞれ 200～270℃を示し，四国四万十帯と同程度の値を示し，油ガスは既に排出済みである。

(3)「静岡県」

①有機物濃度と起源：：地域的な傾向として，TOC 濃度は瀬戸川層群の東部（静岡市北西部：0.1-0.4%）で低く，次いで中央部（宇津ノ谷地域：0.55-0.7%），西部（島田地域：0.6-0.9%）の順に高くなる。東部（静岡市北西部地域）～西部（島田地域）にかけての有機物の供給源は，いずれもタービダイトに由来する陸源有機物の供給が多かったことを示しており，その中でも西部地域に被子植物の供給が多かったことを示唆している。有機物濃度が高くなった層準は，いずれも陸上植物の供給量が多かったことによる。

②最大古地温：東部（静岡市北西部）の

最大古地温は 202~243°C (平均 227°C), 中央部 (宇津ノ谷地域) は 156~199°C (平均 177°C), 西部 (島田地域) は 1 試料を除いて 120~151°C (平均 135°C) となり東の地域ほど高くなった. これらのことは, 付加体である瀬戸側層群が, 東側ほど深くまで沈み込んだことを示しているか, または, 東側で地殻熱流量が高かったことを示している. 油ガスは全域で既に排出済みである.

③堆積環境等: 漸新世においては, 東部 (静岡市北西部地域) で貧酸素的海底であり, 中央部 (宇津ノ谷地域) ~西部 (島田地域) では酸化のようになった. 前期中新世には, 東部 (静岡市北西部地域) ~中央部 (宇津ノ谷地域) は酸化のようになったが, 西部 (島田地域) においては貧酸素的環境に変化した.

(4) 「千葉県房総半島」

①有機物濃度と起源: 新第三系の付加体 (安房層群) と前弧海盆 (安房層群) を比較すると, 有機物濃度は付加体で低く (0.056~0.814%, 平均 0.27%), 陸上植物の割合が高かった. 一方, 前弧海盆では高く (0.244~0.967%, 平均 0.69%), 植物プランクトンの割合が高かった. 付加体の中では, 古第三系で低く (0.038~0.462%, 平均 0.16%), 植物プランクトンの割合が高い. 新第三系ではやや高く (0.056~0.814%, 平均 0.27%), 陸上植物の割合が高かった.

②最大古地温: 最大古地温は, 古第三系付加体 (嶺岡層群) で 99~212°C, 新第三系付加体 (安房層群) で 68~125°C, 前弧海盆 (安房層群) で 57~81°C を示した. MPI3 と Ro との関係に基づけば, 古第三系付加体 (嶺岡層群) は増温率も高く, 新第三系付加体は増温率が低くなる. これらのことは, 古第三系から新第三系にかけて, この地域の地殻熱流量が減少してきたことを示唆する. 有機熟成度については, 付加体の中では, 古第三系で高く (Ro:0.5~1.7, 平均 0.9%), 石油生成帯からガス帯の末期を示す. 新第三系では低く (Ro:0.3~0.6, 平均 0.4%), 下部の波太層の一部を除いては未熟成であった.

③堆積環境等: 新第三系の海底環境は, 付加体では酸化の環境であり, 前弧海盆では還元環境であった. 付加体の中では, 古第三系で還元環境~やや酸化の環境, 新第三系では一時的な還元環境を伴った酸化の~強酸化の環境を示した. 前弧海盆では, 閉じた海域のため還元環境となり, 高い有機物濃度を残したものと考えられる.

5. 主な発表論文等

(研究代表者, 研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 0 件)

(1 編を国際誌 Organic Geochemistry に投稿中)

[学会発表] (計 6 件)

①三瓶良和・米倉優太(島根大学総理工)・稲場土誌典(帝国石油技術評価部)・永松健(帝国石油大陸棚事業部), 基礎試錐「常磐沖」白亜系の有機地球化学的特徴, 第 26 回日本有機地球化学会シンポジウム, 2008.7.24-25, 名古屋大学 (ポスター発表)

②三瓶良和(島根大学総理工)・稲場土誌典(帝国石油技術評価部)・永松健(帝国石油大陸棚事業部), 常磐沖白亜系堆積盆地の根源岩評価—基礎試錐「常磐沖」の高分解能分析による検討, 平成 20 年度石油技術協会春季講演会, 2008.6.11-12, 新潟コンベンションセンター朱鷺メッセ (口頭発表)

③三瓶良和, 沢田順弘, 井手尾寛子, 佐藤直彦, 羽田治 (島根大・総理工), 西南日本の花崗岩中に含まれる炭質物と炭化水素の特徴, 2007 年度日本地球化学会第 54 回年会, 2007.9.19-21, 岡山大 (口頭発表)

④田中孝典・三瓶良和 (島根大総理工), 四国中南部地域に分布する白亜系~古第三系付加体堆積物の有機地球化学的研究, 第 25 回日本有機地球化学会シンポジウム, 2007.7.26-27, 金沢大学 (ポスター発表)

⑤三瓶良和 (島根大総理工)・稲場土誌典 (帝国石油(株)), 東北~関東太平洋側に分布する上部白亜系宮古層群・双葉層群・那珂湊層群・銚子層群泥質岩の有機地球化学的特徴と鹿島沖堆積盆地における石油の生成・排出シミュレーション, 第 25 回日本有機地球化学会シンポジウム, 2007.7.26-27, 金沢大学 (ポスター発表)

⑥三瓶良和(島根大学総理工)・稲場土誌典(帝国石油技術評価部)・永松健(帝国石油大陸棚事業部), 東北~関東太平洋側における白亜紀前弧域の根源岩形成条件 — 宮古層群, 那珂湊層群および銚子層群を例として, —平成 19 年度石油技術協会春季講演会, 2007.6.5-7, 国立オリンピック記念青少年総合センター (東京) (口頭発表)

[図書] (計 0 件)

[その他] なし

6. 研究組織

(1) 研究代表者

三瓶 良和 (SAMPEI YOSHIKAZU)

島根大学・総理工工学部・教授

研究者番号: 00226086

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

なし