

茨城県五浦に幻の巨大油ガス田

～天然ガスが築いた世界最大級の層状炭酸塩コンクリーション～

ポイント

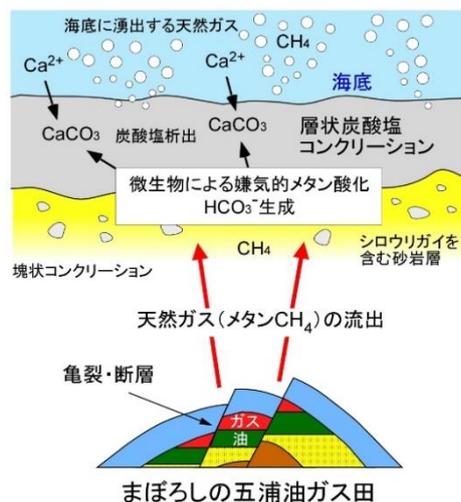
- ・世界最大級の層状炭酸塩コンクリーションの起源と成因を解明。
- ・巨大油ガス田から流出した天然ガスが莫大な炭酸塩コンクリーションを形成。
- ・まぼろしの五浦巨大油ガス田発見。茨城沖での今後の地下資源探査の進展に期待。

概要

北海道大学大学院理学研究院の鈴木德行名誉教授・学術研究員及び茨城大学大学院理工学研究科の安藤寿男教授らの研究チームは、茨城県北茨城市の五浦海岸周辺に広く分布する炭酸塩コンクリーション*1（主に方解石 CaCO_3 ）が、地下深部の油ガス田から流出した天然ガスが嫌氣的メタン酸化アーキア*2の活動によって化学変化し形成されたものであることを初めて明らかにしました。

五浦海岸は国の登録記念物に指定されており、岡倉天心が晩年に居を構え横山大観らを指導したことで知られています。日本海拡大と日本列島の移動を伴う地殻変動によって、約1,650万年前に海底深部の油ガス田に亀裂が発生しました。その結果、天然ガスの大規模な海底湧出が始まり、数万年間断続的に継続しました。五浦炭酸塩コンクリーションを構成する炭酸塩の体積は少なくとも600万 m^3 以上です。炭素同位体組成から、炭酸塩炭素のほとんどが天然ガスに由来していると考えられ、現存する炭酸塩は約73億 m^3 のメタンガスに対応しています。風化侵食されてしまった炭酸塩があり、海底に湧出した天然ガスの一部だけが炭酸塩を形成するので、実際に流失した天然ガス量ははるかに大量です。これは五浦地域に巨大ガス田（可採埋蔵量950億 m^3 以上のガス田）に匹敵する油ガス田が存在していたことを示しています。このように、五浦地域の類い稀なジオヒストリーによって世界最大級の層状炭酸塩コンクリーションが形成されました。幻の「五浦油ガス田」には原油も存在していたと考えられ、油ガスは恐らく中生代白亜紀の海洋有機物に由来しています。日本初の新しいタイプの油ガス田の存在が明らかになり茨城県沖での今後の資源探査の進展が期待されます。

なお、本研究成果は2020年5月15日（金）公開の国際学術誌 *Marine and Petroleum Geology* 誌にオンライン公開されました（紙媒体は同年7月14日（火）に発行予定）。



世界最大級の五浦炭酸塩コンクリーションの形成



岡倉天心が築いた六角堂(2015年再建)と五浦層状炭酸塩コンクリーション

【背景】

茨城県最北部の北茨城市五浦海岸には奇岩奇礁が広がり、近代日本美術の発展に多大な功績を残した岡倉天心の旧宅や庭園があることから、国の登録記念物（名勝地・遺跡関係）に指定されています。日本の音風景 100 選（環境省）や日本の渚百選（大日本水産会など）にも選定されており、景勝地として知られています。同海岸周辺の奇岩奇礁は、炭酸塩コンクリーション（主に方解石 CaCO_3 ）からなる硬い塊状や層状の堆積岩からなり、初期中新世末期の九面層（約 1,670 万年前～1,640 万年前）に含まれています（図）。五浦海岸の炭酸塩コンクリーションは、シロウリガイ、ツキガイモドキ、キヌタレガイ、オウナガイなどの化学合成細菌^{*3}と共生する二枚貝を多産し、炭酸塩の炭素同位体組成が海水に溶存する炭素と異なることから、海底の冷湧水に伴うメタンに由来するのではないかと考えられていました。しかし、メタンの起源や成因など不明な点が多くありました。

【研究手法】

五浦海岸周辺に広く分布している炭酸塩コンクリーションから多数の試料を採取し、野外観察や光学顕微鏡観察によって試料の特徴を明らかにしました。プラズマ放電ヘリウムイオン化検出器を用いた高感度分析法によって、炭酸塩コンクリーション中に存在している微量なガス成分（水素、メタン、エタン、二酸化炭素など）の測定に世界で初めて成功しました。また、気体同位体比質量分析計により残留ガスの炭素・水素同位体組成や炭酸塩の炭素・酸素同位体組成を測定しました。さらに、嫌氣的メタン酸化アーキアを検出するため、アーキアの分子化石^{*4}とそれらの炭素同位体組成を測定しました。

【研究成果】

以上の分析結果から、炭酸塩コンクリーションを構成するほとんどの炭素が、地下深部の熱によって生成した天然ガスに由来していることが初めて明らかになりました。嫌氣的メタン酸化アーキアの分子化石も十分に検出され、天然ガスに含まれるメタンから生成した重炭酸イオン (HCO_3^-) が海水中のカルシウムイオン (Ca^{2+}) と結びついて炭酸塩コンクリーションを形成したことも確認できました。最初に形成された炭酸塩コンクリーションは塊状のものが多く、化学合成細菌と共生する二枚貝を多産します。これは天然ガス流出量が比較的小さく、海底でのメタン湧出が場所によって異なっていたためで、その後、層状のものが広大に形成されます。これは天然ガスの流出量が大きくなり、大規模な天然ガスの海底湧出があったことを示し、その後突然のように炭酸塩コンクリーションの形成が終了しました。五浦炭酸塩コンクリーションが形成された約 1,650 万年前は、ユーラシア大陸から日本列島が分離され日本海が拡大する地質時代（約 2,000 万年前～1,500 万年前）に対応しています。また、五浦海岸の約 30km 西方内陸部には、日本海拡大に伴って形成された日本有数の大断層である棚倉破碎帯が位置しています。五浦炭酸塩コンクリーションは、日本海拡大に伴う激しい地殻変動によって地下の油ガス田に亀裂が生じて天然ガスの流出が開始し、次第に激しくなり、やがて急激に終了したことを物語っています。九面層の地質年代と層厚から、天然ガスの海底湧出は数万年間以上にわたって断続的に継続したと考えられます。メタン、エタン、プロパンの炭素・水素同位体組成から、天然ガスは海洋の動植物プランクトンに由来するケロジェン（石油天然ガスの先駆有機物）が地下深部で熱分解し生成したものであることや、原油も存在していた可能性が高いことがわかりました。茨城県沖海底下の地質情報から、油ガスを生成した石油根源岩は中生代白亜紀の海成堆積岩だと予想されます。

なお、本研究で炭酸塩コンクリーションと共存する二酸化炭素の炭素同位体組成が世界で初めて測定され、自然界での炭酸塩析出に伴う炭素同位体分別^{*5}が初めて解明されたことも特筆すべき点です。

【今後への期待】

現存する五浦炭酸塩コンクリーションを形成する炭酸塩の体積は少なくとも600万m³以上あります。この炭酸塩炭素のほとんどが天然ガスに由来しており、約73億m³以上のメタンガスが変化して形成されたものです。風化侵食によって既に消失した炭酸塩が大量にあるので、実際にはさらに多くの炭酸塩コンクリーションが形成されており、また、海底に湧出した天然ガスの一部だけが炭酸塩を形成するので、実際に油ガス田から流失した天然ガス量は73億m³よりもはるかに大量であったと考えられます。これは五浦地域に巨大ガス田に匹敵する大規模な油ガス田が存在していたことを示しています。このように長期間にわたる天然ガスの海底湧出によって形成された大規模な炭酸塩コンクリーションはこれまで報告されておらず、五浦炭酸塩コンクリーションは世界最大級のものです。幻の「五浦油ガス田」は日本ではこれまで知られていなかった新しいタイプのもののため、茨城県沖の石油天然ガス資源ポテンシャルが一挙に高まりました。2019年度より日本の新しい三次元物理探査船「たんさ」（石油天然ガス・金属鉱物資源機構）が日本周辺海域の地下資源探査に携わっています。茨城県沖も重要な調査対象海域とされており、今後の進展が期待されます。

論文情報

論文名	Residual gas in extensive stratified Miocene Izura carbonate concretions exhibiting thermogenic origin and isotopic fractionation associated with carbonate precipitation (広大で層状の中新世五浦炭酸塩コンクリーション中の残留ガスが示す熱分解起源と炭酸塩析出に伴う同位体分別)
著者名	前山大地 ¹ ，鈴木德行 ^{1,2} ，數川恵輔 ¹ ，安藤寿男 ³ （ ¹ 北海道大学大学院理学院， ² 北海道大学大学院理学研究院， ³ 茨城大学大学院理工学研究科）
雑誌名	<i>Marine and Petroleum Geology</i> (Elsevier社の海洋石油地質学の国際専門誌)
DOI	10.1016/j.marpetgeo.2020.104466
公表日	2020年5月15日（金）（オンライン公開）※紙媒体は同年7月14日（火）に発行予定

【参考図】

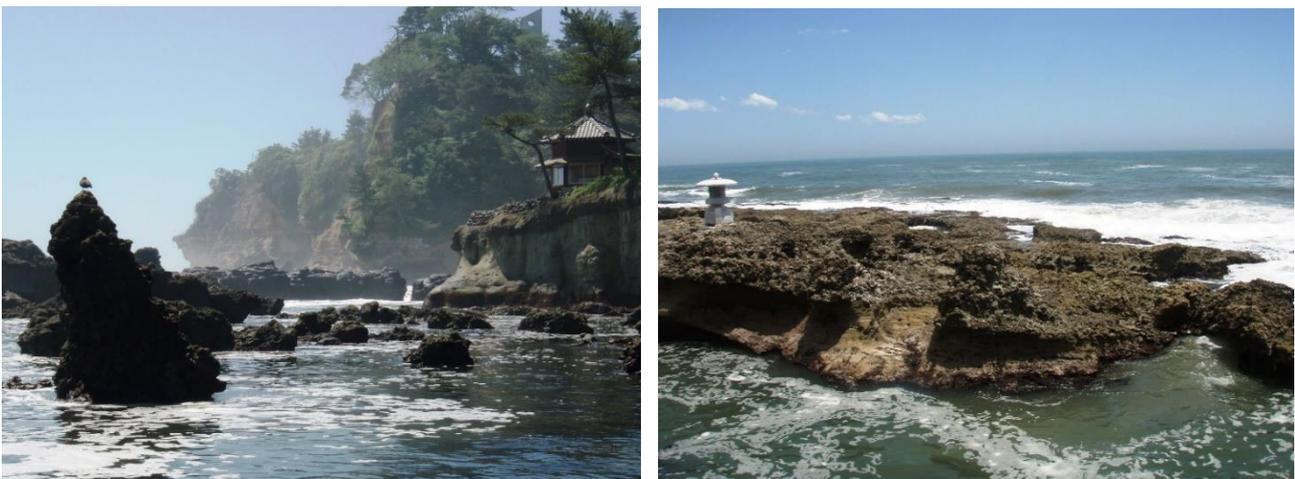


図. (左) 六角堂と五浦海岸の層状炭酸塩コンクリーション
(右) 五浦海岸に広がる層状炭酸塩コンクリーション

【用語解説】

- *1 炭酸塩コンクリーション … 炭酸カルシウム (CaCO_3) (コンクリート成分) が凝結してできた岩塊。なお, 炭酸塩コンクリーションの形成は全体として下記のようになり, 2分子の CH_4 から CaCO_3 と CO_2 それぞれ1分子が生成する。これからメタン量を求めることができる。



- *2 嫌氣的メタン酸化アーキア … 無酸素環境で CH_4 が酸化される化学変化を促しエネルギーを得て増殖しているアーキア (古細菌とも呼ばれる)。
- *3 化学合成細菌 … 太陽光のエネルギーを利用せず, 周辺の化学変化からエネルギーを得て活動する細菌。
- *4 分子化石 … アーキアの細胞膜に含まれるエーテル脂質に由来する有機分子の化石。
- *5 炭素同位体分別 … 自然界で CaCO_3 と CO_2 が生成するときの ^{12}C と ^{13}C の利用される程度の違い。