

論文内容の要旨

論文題目

Late Cretaceous marine chemosynthetic paleoecosystem
in northern Hokkaido, Japan,
reconstructed from paleontological, stable isotopic and
organic geochemical analyses

(古生物学・同位体地球化学・有機地球化学的手法に基づく

北部北海道の後期白亜紀化学合成古生態系の復元)

氏名 ロバート・ジェンキンス

1. 研究の背景

化学合成群集はメタンや硫化水素からエネルギーを得る化学合成細菌を一次生産者とする生物群集であり、光合成生態系とは一線を画す化学合成生態系を構築している。それらはメタンや硫化水素を含む熱水や冷水が噴出する海嶺や海溝斜面域に多く見いだされている。また、確実な化石化学合成生物群集はシルル紀以降の海成層から数多く報告されている。しかしながら、これまでの化石化学合成群集の研究は、産出する化石の記載や化学合成群集の認定に主眼が置かれており、化石化学合成群集を支える化学的環境や一次生産者である微生物を含めた生態系全体の復元には至っていなかった。

2. 目的

そこで、申請者は、北海道北部中川町の上部白亜系中に確認された化学合成群集を伴う炭酸塩岩体を素材に、地質学、古生物学、地球化学を統合した多面的なアプローチにより、湧水や微生物活動の広がりを明らかにし、大型生物と湧水の性質や強度、微生物相との関連性など、化石化学合成生態系の全体像を復元することを目的として研究を行った。

3. 手法

本研究では、北海道中川町安部志内川沿いの長径 50 cm を超える炭酸塩岩体が確認される 2カ所の露頭（安川サイトと大曲サイト：大曲サイトは Hikida *et al.*, 2003 によって報告されている）を精査し、炭酸塩岩と周囲の碎屑岩相との関係や炭酸塩岩の岩相・生物相を明らかにした。また、室内では採集した岩石試料の薄片観察、X線粉末回折法（XRD）、X線マイクロアナライザー分析（EPMA）、炭酸塩岩の炭素・酸素同位体比分析、炭酸塩岩中の有機物の炭素同位体比分析、炭酸塩岩中の有機物のバイオマーカー分析などを行った。

4. 結果

【周辺の地質】

北海道中川町安部志内川下流域には、海成上部白亜系の中・上部蝦夷層群が露出する。調査対象とした露頭のうち、安川サイトは上部蝦夷層群大曲層最上部に位置し、大曲サイトは大曲層中に位置しているが、その詳細な層位は不明である。大曲層は、タービダイトや土石流堆積物からなる砂岩・礫岩と、泥岩との互層によって構成されており、岩相や含有化石などから陸棚縁辺から大陸斜面上部にかけての堆積物であると考えられる。

【炭酸塩岩と産出化石】

安川サイトには長径 50cm 以上の 4つの炭酸塩岩体（炭酸塩岩 A～D）が露出している。このうちの 3つについては層位が確認できた。このうちの 1つ（炭酸塩岩 A）では側方数 m に渡り豆粒～こぶしサイズの小さな炭酸塩コンクリーションが多数観察された。また、メタン湧水の経路であったと考えられる長さ 40 cm に達する層理面に垂直なパイプ状構造も観察された。安川サイトの炭酸塩岩中および直上の泥岩からは、provannid 科巻貝と殻長 5cm 以下の *Miltha* sp.（ツキガイ科二枚貝）の化石が産出した。また、炭酸塩岩側方 5 m の直上泥岩からは殻長 10cm 以下の *Acharax yessoensis*（キヌタレガイ科二枚貝）が散在的に産出した。各岩体のスラブ・薄片を観察した結果、灰黒色ミクライト部とより明色の

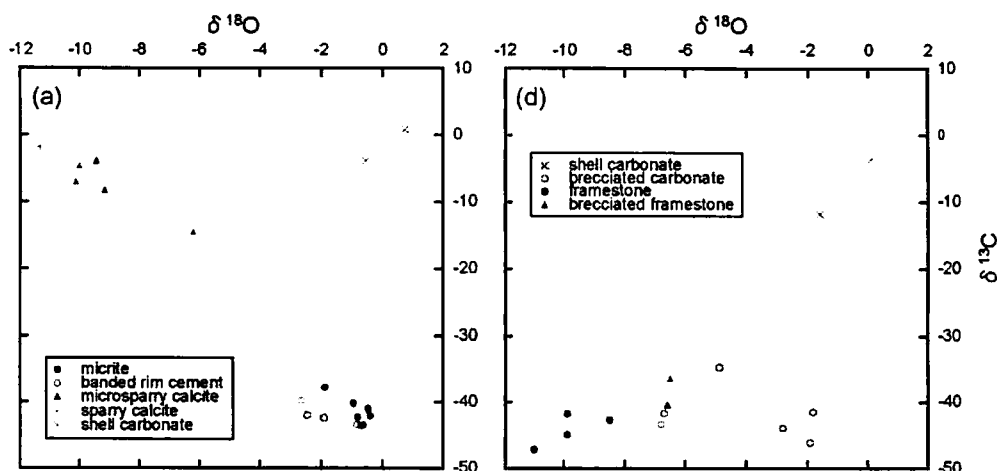


図 1. 安川(a)・大曲(b)サイトにおける炭酸塩岩と貝殻の炭素・酸素同位体比

ミクライト・スパライト部が角レキ化していることが明らかになった。3つの炭酸塩岩体のミクライト質部分の炭酸塩含有量はいずれも80%を超える。

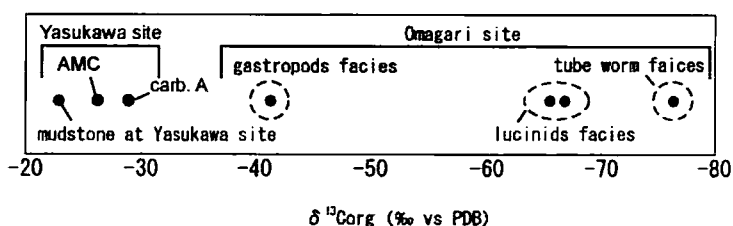


図2. 炭酸塩岩と泥岩中の全有機物の炭素同位体比

大曲サイトには、幅 10 m、高さ 5 m の炭酸塩岩体が孤立して露出している。この炭酸塩岩体からは、チューブワームやツキガイ科二枚貝、neomphalid 科巻貝、*Serradonta* 属笠型巻貝の化石を豊富に産出した。この炭酸塩岩は、スラブおよび薄片組織によって2つ (framestone facies と brecciated facies) の岩相に、含有化石によって3つ (tube worm facies と lucinids facies, gastropods facies) の生物相に区分される。各 facies の炭酸塩含有量は、いずれも80%を超え、特に大曲サイトの tube worm facies では98%に達する。光学顕微鏡による薄片観察の結果、tube worm facies ではチューブワーム化石を中心に放射状に炭酸塩が晶出し、空隙をシリカや Sparry calcite が充填していることが確認された。それ以外の facies では、ミクライト質炭酸塩が認められ、またペロイド状粒子も観察された。

【炭酸塩岩と有機物の炭素・酸素同位体比およびバイオマーカー分析】

両サイトの炭酸塩岩の炭素・酸素同位体比(vs PDB)を図1に示す。安川サイト炭酸塩岩の灰黒色ミクライト質部は $\delta^{13}\text{C} = -44.0 \sim -31.1 \text{‰}$ 、 $\delta^{18}\text{O} = -1.6 \sim -0.9 \text{‰}$ の値を示した。大曲サイトの炭酸塩岩は、 $\delta^{13}\text{C} = -47.1 \sim -41.8 \text{‰}$ 、 $\delta^{18}\text{O} = -11.0 \sim -8.5 \text{‰}$ の値を示した。

また、炭酸塩岩中の全有機炭素同位体比 ($\delta^{13}\text{C}$ vs PDB) は、大曲サイトの tube worm facies において -76.3‰ と最も低く、lucinids facies, gastropods facies, そして安川サイトの炭酸塩岩 A、炭酸塩岩 A の 5 m 側方上位 1 m までの泥岩の順で、化学合成化石群集を伴わない周辺堆積物中の有機炭素同位体比の値 (-22‰) に近づいていくことが明らかになった (図2)。両サイトの炭酸塩岩中から脂質を抽出し、GC/MS などで分析したところ、PMI および Crocetane が高濃度で検出された。これら2つの有機物の炭素同位体比は -110‰ を下回る軽い値を示すことがわかった。

5. 考察

大曲層中の炭酸塩岩の著しく低い炭素同位体比は、メタン起源の炭素が炭酸塩岩形成に寄与したことを示している。Crocetane や PMI などは古細菌のバイオマーカーであり、低い炭素同位体比からそれらは嫌気性メタン酸化古細菌に由来すると推定される。嫌気性メタン酸化古細菌は嫌氣的にメタンを酸化し、炭酸イオンと硫化水素を生成していたと考えられる。

有機物の炭素同位体比は、陸源植物と光合成プランクトンなどの表層からの有機物とメ

タン湧水周辺において生息していた生物起源の有機物の寄与率によって決定される。すなわち、本研究で示された著しく低い炭酸塩岩中有機物の炭素同位体比は、メタン起源の炭素を利用して生息していた生物が炭酸塩岩の周囲に比較して相対的に多かったことを示している。また、その同位体比分布から tube worm facies において、最もメタン起源の炭素を利用する生物が多かったことが強く示唆される。

6. まとめ

以上の観察・分析結果および考察から、後期白亜紀における北太平洋の陸棚縁辺～大陸斜面において、メタンを含む水が湧出し、このメタンを利用して嫌気性メタン酸化古細菌が繁茂していたことが明らかになった。この古細菌は嫌氣的にメタンを酸化し、炭酸イオンと硫化水素を生成していたであろう。炭酸イオンは炭酸塩岩の形成に利用され、硫化水素はチューブワームなどの共生細菌に利用され、彼らのエネルギー源になっていたことが推定される。さらに、湧水中心部からの距離に応じて、大曲サイトでは、チューブワーム、ツキガイ科大型二枚貝、neomphalid 科と *Serradonta* 属巻貝が分布し、安川サイトでは provannid 科巻貝と小型ツキガイ科二枚貝、キヌタレガイ科二枚貝が分布していた。これらの分布要因は嫌気性メタン酸化古細菌濃度や岩相変化によって推定されたメタンと硫化水素濃度に起因していたことが考えられる (図3)。すなわち、本研究によって、後期白亜系の北西太平洋前弧海盆において化学合成生態系の復元がはじめて試みられるとともに、大型化石群集の群集構造の空間的変化が硫化水素濃度によって規制されていた可能性が示唆された。

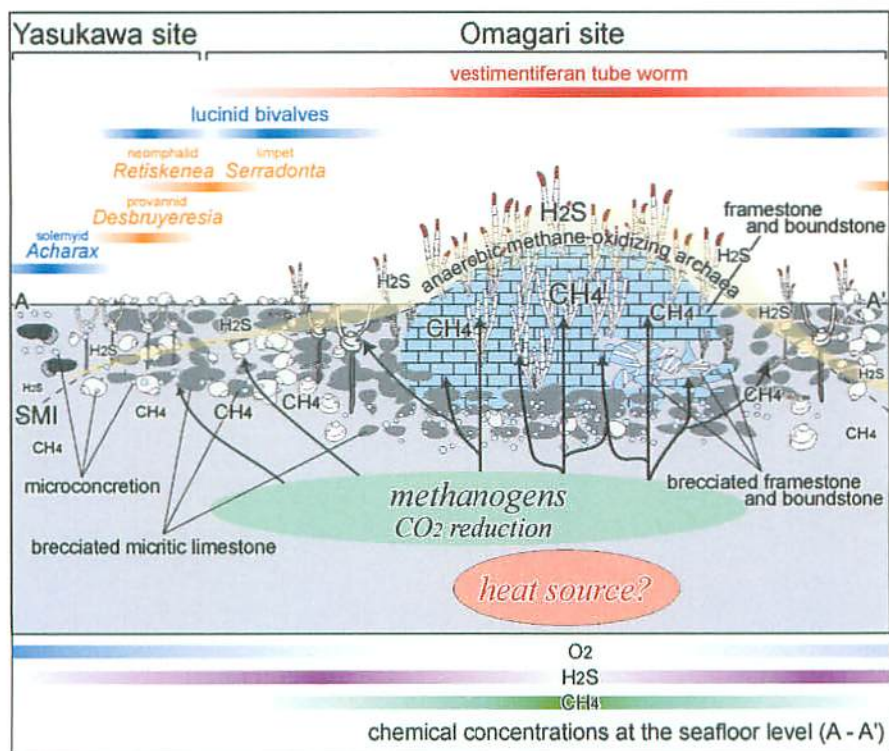


図3. 安川・大曲サイトにおける大型化石と嫌気性メタン酸化古細菌の分布と推定されたメタン・硫化水素濃度との関係