

【論 文】

# 五浦海岸六角堂の海食地形と 炭酸塩コンクリーション

—天心や大観が見た風景の地質学的背景—

安 藤 寿 男

## は じ め に

茨城大学五浦美術文化研究所内にある六角堂は、五浦海岸<sup>いづら</sup>の5つの小さな入り江（南から小五浦、大五浦、椿磯、中磯、端磯）のうち大五浦の南岸の小さな半島の先にあつて、大五浦とその南方の小五浦が作る入り江を3/4周にわたつて眺望できる絶景の位置にある（図1）。太平洋から寄せる波浪や風を真正面から受ける、海食崖上の段丘斜面突端にあつて、南北性の海岸線から東方に突き出ているため、水平線からの日の出が一望できる。

本論では、この六角堂のある五浦海岸や周辺地域の地質学的背景を解説し、岡倉天心や横山大観が眺めていた海岸風景の地質学的背景を考えてみたい。最初に常磐堆積盆、次に北茨城市周辺、五浦海岸、六角堂前というように、広域な背景から順次地域を絞りこみながら、六角堂前の風景の意義に迫っていく。そして、六角堂周辺の地質の理解を通して、茨城県北太平洋岸地域の自然遺産や地質遺産の保全や利用への視点に結び付けていきたい。



図1 五浦海岸の地形図。北茨城市 1:2,500 都市計画図より編集。

## 1. 常磐地域南部の地質概要

北茨城市の太平洋岸地域は、福島県から茨城県日立市南部にかけて続く常磐地域南部に位置する。地質学的に常磐地域は、阿武隈山地の麓の低い山地や丘陵とその太平洋（常磐）沖の陸棚や大陸斜面上部の海底下までを含んでおり、一連の共通する特徴を持っている（須貝ほか、1957；安藤、2002、2005；須藤ほか、2005；久保ほか、2007；高橋・柳沢、2008；安藤ほか、2011 など）。

### 1-1. 常磐地域の基盤をなす阿武隈山地

阿武隈山地をなす硬い岩石は、前期白亜紀以前の古期岩類である阿武隈変成岩類やその源岩となる古生代の堆積岩類、そしてそれらに貫入する白亜紀前期の阿武隈花崗岩類である。これらが南北に延びる阿武隈山地を構成しており、常磐地域の基盤岩となっている。阿武隈山地は、日本を代表する古い山地として、比較的なだらかな山が連なる隆起準平原地形で知られている。おそらく古第三紀後半のある時期から古アジア大陸の東縁に山地として隆起し、長い間の浸食を受けてきたものと考えられている。

### 1-2. 常磐堆積盆

これらの固い基盤岩類の上に、白亜紀後期以降の堆積岩が南北に分布し、大局的に東（太平洋）側に緩く（ $30 \sim 10^\circ$ ）傾いた比較的単純な地質構造をなしており、西から東側に向かって古い地層から新しい地層が順次露出している（図 2、3）。その構造は太平洋沖合海底下にも広く連続しており、これらの地層を形成した場合は全体として常磐堆積盆と呼ばれている（例えば、Ando, 2003；安藤、2002、2005 など）。常磐堆積盆は、弧状列島をなす本州と太平洋プレートの沈み込み帯の前面にあるので、前弧堆積盆に位置付けられている。常磐地域に分布する堆積岩は、太平洋岸に南北に伸びた一連の常磐堆積盆の西縁部が、新第三紀後期以降（1,000 万年前以降）の構造運動によって陸上に露出したものである。

常磐地域のように、白亜紀後期から新第三紀にいたる地層が比較的単純な構造で累重した地域は、変動帯の日本としては稀であり、陸域と海域の地質学的情報を高精度で統合することができる点は特筆できる。このことから常磐地域は東北日本太平洋側の白亜紀—新第三紀層の重要な模式地の一つとなっている。また、この地域は地温勾配が日本の中では非常に小さく、堆積物が受けた続成作用や変質作用が軽微で、多くの堆積岩は日本の他地域の同時代層と比べるとはるかに軟らかい。したがって、阿武隈山地の麓から太平洋岸の間の常磐地域は、比較的なだらかな丘陵や低い山地が続いている。

常磐堆積盆沖は、1970 年代以降、石油・天然ガスを目的とした海底探鉱が、政府の行う基礎試錐や基礎物理探査、あるいは石油企業の調査によって行われ、古第三紀の石炭層が天然ガスの根源岩の一つとして現在でも注目されている（岩田ほか、2002 など）。数年前まで楢葉町の沖合の陸棚で磐城沖ガス田が操業していたが、現在は廃坑となっている。

なお、常磐地域の古第三紀—新第三紀層からなる丘陵地帯の間には、第四紀の最終氷期（約 2 ～ 1.8 万年前）に海水準が今より 100m 以上下降した際に侵食された谷を、その後の縄文海進によって埋積された沖積平野が発達している。

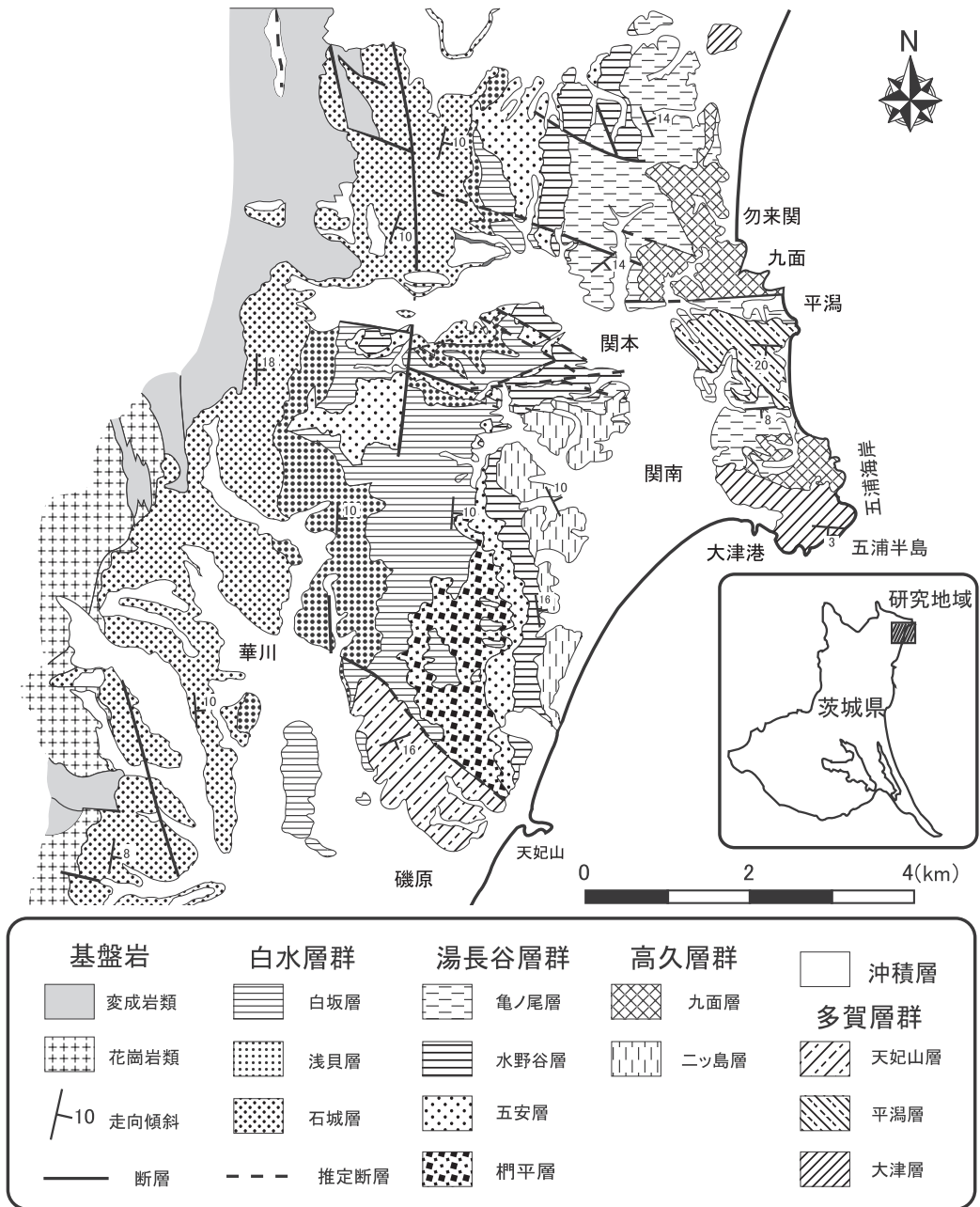


図2 北茨城地域の地質図。須貝ほか（1957）、上田ほか（2003）を一部改編。

年代 (万年前)	地質時代		地層名・岩石名		特 徴	
1.1	新 生 代	第四紀	完新世		沖 積 層	未固結の砂や泥が谷や平野を埋積
			更新世			
			鮮新世			
600		新第三紀	中新世	多賀層群	天妃山層	海成沖合の灰色塊状砂質泥岩、泥質砂岩
1000					大 津 層	海成沖合の暗灰～灰色珪藻質成層泥岩、細粒砂岩
1100					平 潟 層	海成沖合の泥岩・凝灰質砂岩互層、泥質細粒砂岩
1500			高久層群	九 面 層	内側陸棚の生物擾乱塊状泥質極細粒砂岩	
1550				二 っ 島 層	海成沖合の灰色塊状凝灰質細粒砂岩、砂質泥岩	
1600						
1650			湯長谷層群	亀ノ尾層	半深海成の灰色薄葉理珪藻質泥岩、砂岩薄層含む	
1800				水野谷層	外側陸棚の灰色均質塊状泥岩、砂岩薄層含む	
				五 安 層	浅海成の灰色細粒砂岩、粗粒～礫質砂岩	
2100				櫛 平 層	河川成～汽水成の砂岩・泥岩互層	
3100		白垩紀	漸新世	白水層群	白 坂 層	海成沖合の灰色均質単調な無層理泥岩
					浅 貝 層	分級のよい塊状無層理の細粒砂岩、浅海生の浅貝型貝類動物群化石をしばしば含む。
3500					石 城 層	主に河川成砂岩・泥岩からなり石炭層や礫岩を含む塊状泥質砂岩に汽水生カキ化石礁を含む
6500		中生代	白 垩 紀	前世		
10000	阿武隈花崗岩類				黒雲母花崗岩～角閃石・黒雲母花崗閃緑岩	
	阿武隈変成岩類				緑色～灰色の珪質・砂質・苦鉄質片岩、原岩はジュラ紀の堆積岩	
			竹貫変成岩	緑色～灰色の苦鉄質・泥質片岩、原岩はジュラ紀の堆積岩		
14500	中生代	ジュラ紀				
20000						

図 3 北茨城地域に見られる地層とその特徴および形成年代。

1-3. 北茨城地域の地質概要

北茨城市周辺には白亜紀層は分布せず、古第三紀始新世後期（3,500 万年前）以降、中新世後期（1,000 万年前）までの地層が見られる。西から白水層群、湯長谷層群、高久層群、多賀層群の 4 つの層群が分布し、前二者はほぼ南北に分布し、後二者は大津から平潟の海岸と二ッ島にかけて分布する（図 2、3）。

1-3-1 石炭を産する古第三紀層

白水層群は古第三紀始新世後期～漸新世前期（3,500 ～ 3,100 万年前）の地層で、下部の石城層と呼ばれる地層からは石炭を産出するため、常磐炭田として炭坑開発・採鉱のための地質調査に始まり、数多くの地質学的研究がなされてきた。北茨城市周辺にも幾つかの炭鉱（例えば、重

内、関本炭鉱など）が昭和 40 年代に入るまで操業していた。

石城層は、汽水生二枚貝のカキや一部海生の貝化石を含んでいることから、河川から内湾で形成された地層である。石城層の上位には、浅貝層という浅海の砂岩、白坂層という沖合の泥岩からなる地層がある。特に浅貝層は海生貝類の化石を含み、日本の漸新世前期の化石動物群を代表する「浅貝型貝類動物群」として知られている。

### 1-3-2 河川から深海におよぶ新第三紀中新世前期の地層

常磐地域中部のいわきから北茨城にかけて広く分布する湯長谷層群は、新第三紀中新世前期のおよそ 1,900 ～ 1,650 万年前の地層である。下位より河川～浅海～沖合～大陸斜面上部へと陸から海へ堆積環境が変化しながら堆積した地層群である。北茨城地域では分布の南限にあたり、河川成の砂岩を主体とするくぬぎだいら櫛平層から浅海成砂岩のこやす五安層、陸棚沖合成泥岩のみずのや水野谷層、大陸斜面のやや深い海で堆積した珪藻質泥岩のかめの亀ノ尾層が分布している。亀ノ尾層は五浦海岸でも数カ所に露出しているので間近で見ることができる。

### 1-3-3 新第三紀中新世前期 / 中期境界付近の高久層群

前述の湯長谷層群に侵食性の不整合（地層記録の欠如があること）をもって重なる地層として、中新世前期～中期境界付近（およそ 1,650 ～ 1,600 万年前）の短期間に堆積した高久層群がある。北茨城市二ッ島～関本に分布する二ッ島層と五浦海岸と平潟海岸に分布するここづら九面層があり、いずれも下位層に対しては侵食性の不整合関係にあるが、両者間の関係は分布が離れているためよくわかっていない。どちらも凝灰質細粒砂岩を主体とする塊状の地層である。

### 1-3-4 茨城県北地域に多い新第三紀中新世中後期の多賀層群

たが多賀層群は北茨城市以南の常磐地域南部に広く分布する、やや深い沖合で堆積した均質な細粒砂岩や泥岩からなる海成層で、中新世中期～後期（1,600 ～ 600 万年前）の間に 10 回近くも海が侵入（海進）したり、退いたり（海退）することで形成された地層と推測されている（須藤ほか、2005；高橋・柳沢、2008；安藤ほか、2011）。分布が途切れているので地域ごとに異なる名前と呼ばれている。北茨城では古い方から大津層、平潟層、天妃山層が識別されている。

## 2. 五浦海岸の地形

五浦海岸は北茨城市大津町にあって、五浦岬公園から茨城県天心記念五浦美術館北方にかけての 1.5km にわたって続く岩礁海岸である（図 1）。南の大津海岸から連続し、北は砂浜が平潟まで続く長浜海岸に接している。大津港から東方に延びる大津海岸と北北西～南南東に延びる五浦海岸とを合わせて、太平洋側に突き出た半島状地形をなしている。この一帯は、標高が最高 54.7m に達する平均標高 35 ～ 25m の海岸段丘地形をなしているが、標高 30 ～ 40m、20 ～ 25m、10 ～ 15m の数段の段丘面と、それらの間の斜面や谷地形が入り組んでいるため、五浦半島の地形は凹凸が少なくない。さらに五浦海岸の海岸線は、地名の由来のように南から小五浦、大五浦、椿磯、中磯、端磯の五つの入り江が続いており、かなり入り組んでいる。これは分布する地層やその岩相の海食に対する抵抗性の違いによってできた複雑な侵食地形である。つまり、



侵食に弱いところが入り江となり、強いところが突き出ているのである。例えば、小五浦は六角堂から北方に分布する地層とその南方に分布する地層との境界にあり、堆積岩の硬さが急に变化することに由来すると思われる。また、椿磯と仲磯の湾奥には東西性の断層があって、そこを境に分布する地層が異なっている。椿磯と仲磯の間には古い（下位）地層が断層に沿って持ちあがるような地質構造（地塁）をなしている。このように、五浦の海岸線の凹凸は海食崖を構成する地質を反映している。

一方、五浦海岸の北側には主に砂浜からなり、一部に海食崖と岩礁が突出する長浜海岸がある。ここが砂浜になった要因としては、五浦海岸の地層よりやや軟らかい均質な泥質細粒砂岩の地層が分布していることによると考えられる。

### 3. 五浦海岸の地質

五浦海岸周辺には、図3、4のように古い方から、湯長谷層群<sup>ゆながや</sup>亀ノ尾層<sup>かめのお</sup>、高久層群<sup>こうくう</sup>九面層<sup>こくめん</sup>、多賀層群<sup>たが</sup>大津層<sup>おおつ</sup>の3層が分布している。それぞれ、前期中新世の後期（1,800～1,700万年前）、中新世前期／中期境界付近（1,650～1,600万年前）、後期中新世（1,000万年前頃）と推定されており（柳沢、1996；安藤ほか、2011）、さらに六角堂の南側の小五浦では、九面層と大津層の間に、地質図では示せない程度に薄く挟まれた多賀層群<sup>ひらかた</sup>平潟層<sup>ひらかた</sup>（中期中新世の前期：1,550～1,500

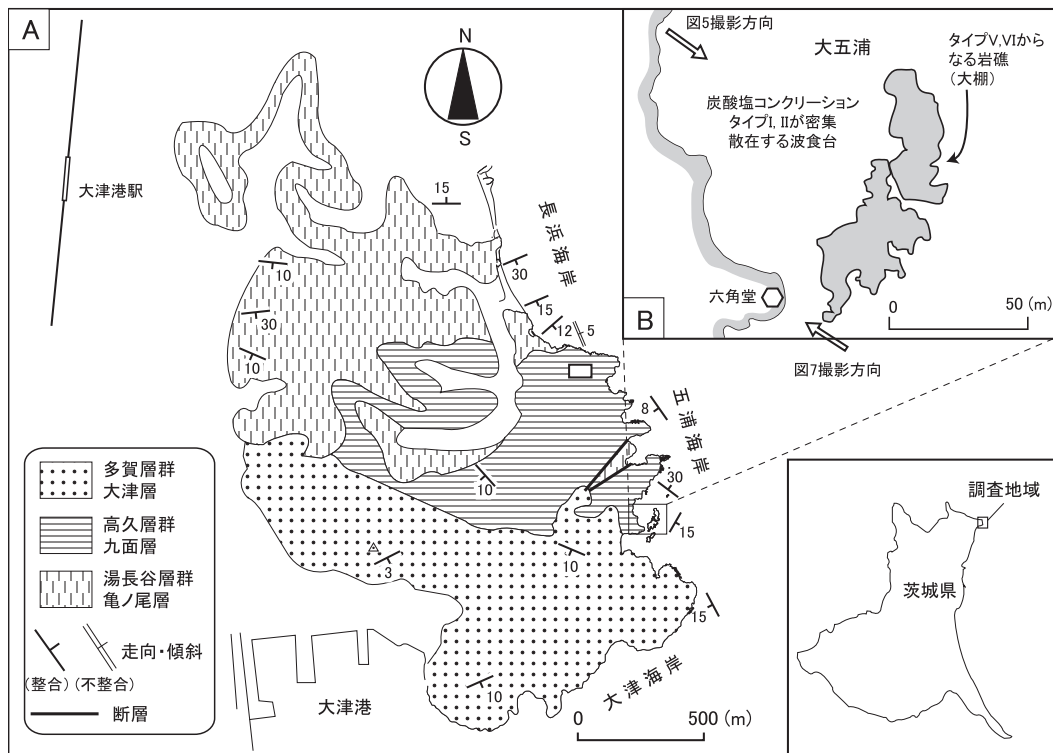


図4 北茨城市五浦海岸の地質図および大五浦の地形略図。上田ほか（2005）を改編。A中での横長□は茨城県天心記念五浦美術館。△マークは五浦半島で最高標高（54.7m）の三角点。

万年前)が報告されている(柳沢、1996)。平潟層は北方の平潟周辺に広く分布する地層である。これらはいずれも20度以内で緩く傾いており、いずれもお互いに傾斜不整合関係にあって、上位の新しい地層が、下位の古い地層に侵食されて起伏をなして重なっている。

亀ノ尾層は灰色の珪藻質泥岩からなり、密に発達した薄い葉理が顕著である。大陸斜面のやや深い海底で堆積したものと考えられており、時々挟まれる薄い砂岩は斜面に流入した混濁流による堆積物と考えられている。泥岩自体は植物プランクトンである珪藻の遺骸が遠洋性の泥粒子とともに大量に集積したもので、沖合泥底生の貝化石や、魚類骨格、魚鱗、哺乳類の歯(デスモスチルス類)、植物の葉化石などが時々含まれる。亀ノ尾層は海生植物プランクトンの珪藻が大量に生息できるような豊富な栄養塩類が供給される海水塊が発達した時期の堆積物である。

九面層は、亀ノ尾層を傾斜不整合で覆っており、その不整合は天心記念五浦美術館北側の海食崖で見ることができる。確認できる限りで層厚約40mが露出する。九面層は主に泥質極細粒砂岩からなり、ホタテガイ、マルフミガイ、ツキガイモドキなどの浅海生軟体動物化石を散在的にもしくは一部密集して産する(上田ほか、2005)。海底に生息する生物活動による攪乱作用を受けて堆積物は塊状あるいは群雲状<sup>むらくも</sup>になっており、しばしば管状・斑状の生痕化石が密集する。含有の密度や頻度は場所によって変化するが、様々な形態・サイズの炭酸塩コンクリーションを含んでおり、周囲の地層より硬いために風化に強く地層面から突出している。九面層は産出する珪藻化石群集から、中期中新世の最初期(16.2-16.4 Ma)の堆積物と考えられている(柳沢、1996)。

これらの岩相や化石相、常磐地域の他層準における類似岩相での堆積環境復元(上田ほか、2003; 上田ほか、2005)を考慮すると、九面層は内側陸棚(水深20m前後から80m程度)の砂質堆積物と考えられる。

大津層は、九面層を傾斜不整合で覆う、厚く成層した珪藻質泥岩や細粒砂岩からなる海成層である。九面層より深い海底斜面上部で堆積したものと考えられる。九面層との不整合は小五浦の海岸でよく観察できる。大津層の分布域の西部では九面層より下位の亀ノ尾層を不整合で覆っている。大津層に含まれる火山灰層(五浦凝灰岩層: 柳沢、2000)の鉍物ジルコンの放射年代と珪藻化石の年代から、大津層は後期中新世の前期(1,100~1,000万年前)の地層とみなされている。

九面層と大津層の分布は太平洋側に開いた楔型を呈していることから、陸棚から大陸斜面にかけての海底谷を充填した堆積物である可能性が示唆されている(須藤ほか、2005)。

#### 4. 六角堂前の岩礁(大五浦~小五浦)の地質

六角堂左手(北側)の大五浦の入り江は、九面層からなる波食台が広く発達し、その海側に「大棚」と呼ばれる北北東―南南西方向に延びた大きな岩礁が六角堂の前まで続くことで特徴づけられる(図1、4)。大棚の上面は地層面をなして海に没しており、九面層が北北東走向(地層の延びの方向)で東方に約15°傾斜していることを示している。大五浦では九面層の上部に相当する層厚約20m前後が露出し、特にその下半部の10m弱を直接観察することができる。

この海岸の最大の特徴は、様々なサイズの不規則な形の硬い岩塊が、波食台や海食崖に突出していることにある。これはすべて炭酸塩コンクリーションと呼ばれる、海底中に埋没した堆積物の間隙中に炭酸カルシウム( $\text{CaCO}_3$ )が局所的に濃集して非常に硬く固結したもので、石灰質団



塊（団球）と呼ばれる場合もある。六角堂前の炭酸塩コンクリーションは、例えば、野田（1994, p.151, pl. 63）でも報告されているが、その産状の特異性や成因について考察した研究はなかった。

一方、六角堂の右手（南側）の小五浦では海面近くに九面層が露出するが、小五浦南岸の大きな海食崖は大津層からなっている。南方に  $10^\circ$  以内で傾いてはいるが傾斜方向の関係から、見かけ上ほぼ水平に近い明瞭な縞模様（層理）を示し、海食崖の表面の見かけは大五浦とはかなり異なっている。なお、小五浦の湾口にある、六角堂前右側の、表面が枕状溶岩に似た土囊を重ねたような形状の岩礁は波食防止工事による人工岩礁であり、六角堂下の海食崖の表面も人工的なコンクリート吹き付け面である。

このように六角堂の右側と左側で岩礁や海食崖をなす地層の岩相が異なるため、六角堂から見る風景も変化し、多様性を与えてくれるのである。

## 5. 大五浦の炭酸塩コンクリーション

一般にコンクリーション自体は堆積岩中では特別なものではなく、堆積後の続成過程でしばしば形成され、形状も長球状、円盤状、板状、層状など多様であるが、層理に沿った分布をすることが多い。組成的には方解石（炭酸カルシウム  $\text{CaCO}_3$ ）、シリカ（ $\text{SiO}_2$ ）、燐灰石（ $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3(\text{F,Cl,OH})$ ）などがある。しかし、大五浦での特異な点は、密集度が著しく高いこと、形が極めて不規則でサイズも多様であることにある（図 5、6、7）。

そこで、上田ほか（2005）ではこの炭酸塩コンクリーションの形成過程やその意義を明らかにするために、コンクリーションの形態分類を行い、地層中に於ける層序的な（地層の積み重なりにおける）分布を把握した。そして、代表的な層準の試料の炭素の安定同位体分析を行い、コンクリーションの成因を考察した。さらに、コンクリーション周辺に密集する軟体動物（貝）化石の産状や種類・頻度、およびコンクリーションとの位置的関係を検討した。ここでは上田ほか（2005）にその後の研究成果を加えて、大五浦の炭酸塩コンクリーションの意義について紹介する。

### 5-1. 炭酸塩コンクリーションの形態

大五浦での炭酸塩コンクリーションは形態や産状の特徴から I から IV の 6 タイプに分類できる（図 6）。

**タイプ I（大型塊状不定形型）：**長径 1 ～ 6m 程度の、表面の凹凸が著しい塊状不定形の散在的なコンクリーション（図 8-1, 2）である。殻が 2 枚揃った（合弁）、もしくは片殻の二枚貝化石を多く含み、特に合弁のツキガイモドキ（*Lucinoma acutilineatum*）が生息姿勢で産することが多い。

**タイプ II（小型塊状不定形型）：**直径数 10cm 程度の、タイプ I より小さな塊状不定形なコンクリーション（図 8-2）で、多くはタイプ I の周辺に散在もしくはいくらか密集する（図 8-3）が、泥質極細粒砂岩中に単独で存在することもある。また、二枚貝化石などを散在的に含有することがある。

**タイプ III（パイプ型）：**直径 20 ～ 30cm 程度のパイプ状のコンクリーション（図 8-3）で、中央に直径 5cm 以内の空洞状の基質部（コンクリーションとなっていない部分）が垂直方向に連続



図5 北茨城市五浦海岸大五浦全景写真（上）とスケッチ（下）。2006年6月16日の大潮干潮時。Bは炭酸塩コンクリーションタイプI密集部で、巨大サメ歯化石産地で発掘作業中。スケッチの明灰色部は中下部の炭酸塩コンクリーション。暗灰色部は上部の炭酸塩コンクリーション・タイプV～VI。






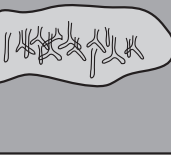
タイプ		模式図	形態と産状	形成過程
I	大型塊状不定形型		長径1〜6m程度の塊状不定形で表面は不規則な凹凸が著しい。合併、離弁、破片の二枚貝が散在もしくは一部やや密集。	メタン湧水の上昇とそれに伴うメタン酸化により、周囲の堆積物が炭酸塩で膠結されて形成。堆積物中の貝類も取り込まれる。
II	小型不定形型		形態はタイプIと類似して塊状不定形だが長径は数10cm程度。タイプIの周辺に散在するが、やや密集することもある。一部は単独で母岩中に点在する。貝化石は周囲に散在。	タイプIと同様に湧水の上昇によって周囲の堆積物が膠結されて形成するが、湧水の供給量やや滞留時間が少なく、タイプIほど大きくならない。
III	パイプ型		直径20〜30cm程度のパイプ状(最長で2mを確認)を呈し、中央の空洞は母岩の基質で充填。露頭下部に散在。貝殻片を含むことがある。	メタン湧水が巣穴痕などを選択的に通過し空洞を形成。湧水の継続的な通過によって空洞が保持され、その周囲が膠結。
IV	薄層型		層厚10〜20cm、水平方向へ数m連続するレンズ〜シート状細粒砂層が膠結。露頭下部と中部に。数層準認められる。貝化石は産しない。	上昇してきたメタン湧水が、シート状の細粒砂層中にトラップされて滞留し、そこに炭酸塩が沈殿して形成。
V	密集生痕膠結型		複雑な網目状に密集した垂直性の管状生痕化を充填する複雑な形態を呈し、厚さ数10cm〜1m生痕は上位の中粒砂岩由来の堆積物で充填され母岩より粗粒。上方にタイプVIに漸移。貝化石はまったく産しない。	密集した巣穴を充填埋積した母岩より粗い細〜中粒砂に浸透した軽い炭素同位体比を持つ間隙水が海水と混合して形成。
VI	密集生痕膠結層状型		タイプVと同様に垂直性管状生痕化石が密集。層厚2〜3mの細粒〜中粒砂層が全体として層状に膠結された形態を呈する。貝化石はまったく産しない。	細粒〜中粒砂層に浸透した軽い炭素同位体比を持つ間隙水が海水と混合して形成。

図6 北茨城市五浦海岸大五浦に見られる炭酸塩コンクリーションの形態分類。

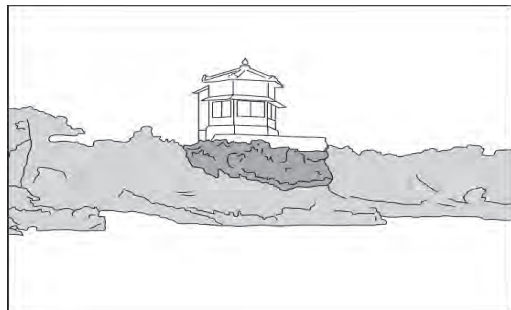


図7 防波工事前の六角堂の写真(1989年4月撮影)とスケッチ。六角堂下の暗灰色部は炭酸塩コンクリーションタイプV、VI濃集部。写真は五浦観光ホテル山下昭良氏の提供。





図8 炭酸塩コンクリーションの産状写真。ハンマー：長さ 35cm。1：タイプ I の炭酸塩コンクリーション。2：タイプ I とその周囲のタイプ II の密集。露頭下部の代表的産状。3：タイプ III。円筒パイプ状を示し中央に空洞があるのが分かる。ハンマーのピック長：10cm。4：タイプ V から VI への漸移。大棚の断面。5：タイプ VI。大棚の上部では層状にタイプ VI が発達し、上面が岩礁面をなして広がり、向こう側は海中に没している。層厚約 2m。

するが、途中で細くなったり、もしくは途切れたりすることが多い。タイプ III は両端が両方露出することが稀なため、パイプの全長を把握することは難しいが、最長で 2m に達するのを確認した。

**タイプⅣ（薄層型）：**厚さ約 数～20cm で水平方向に数 m 程度の広がりを持つレンズ状～シート状のコンクリーションである。周囲よりやや粒度が粗い細粒砂岩で構成されることで特徴付けられる。また、砂岩のチャネル状堆積構造を反映した下に凸の形態を示す場合もある。

**タイプⅤ（密集生痕膠結型）：**本タイプは、底生生物が海底下に形成した管状の巣穴（生痕）を、生物の死後に充填した周囲よりやや粗い砂（細粒～中粒）が固結されてできたコンクリーションである（図 8-4, 5）。生痕の大半は直径が 3cm 以下で長さは数 cm から数 10cm に達し、分岐が頻繁で複雑な網目状をなす部分が卓越し、それらが厚さ数 10cm から 1m の範囲に層状に広く発達する。この層状のタイプⅤの上部はタイプⅥに漸移する。生痕化石の周囲にはコンクリーションはほとんど発達しないし、軟体動物化石も認められない。

**タイプⅥ（密集生痕膠結層状型）：**タイプⅤと同様、垂直性の管状生痕密集部が厚く発達し、管状生痕の部分だけではなくその周囲の砂岩も全体として層状に石灰化している（図 8-5）。厚さ 1～3m 程度で 100m 弱×50m 弱の範囲に平板状のコンクリーションとなっている。波食によって大棚と呼ばれる大きな岩礁をなしている。タイプⅥと上位の地層との境界は露出がないため直接観察できないが、上面はかなり不規則な凹凸がある。タイプⅤと同様に軟体動物化石を見いだすことができなかった。

## 5-2. 炭酸塩コンクリーションの分布

大五浦で直接観察できる層厚約 10m 弱の地層の中では、下部の約 5-6m の範囲にタイプⅠ～Ⅱが密集し、ⅢやⅣをいくらか局所的に伴う。中部の 2m は頻度が低くⅡが主体となる。上部の 2m はその下部 1m がⅤでⅥに漸移している。上部の 2m はその下位とは産状が異なっており、独立した岩体をなしているように見える。そして、波食防止工事前の六角堂の下には、タイプⅤ～Ⅵの延長部とその尖滅部があったことが確認できる（図 5、7）。

平面的にみると図 5 のように下部はタイプⅠが波食台の上に不規則に密集しており、いくつかの密集部を作っている（図 5A～C）。波食台中央の岩礁（図 5B）では長径 10m 弱のタイプⅠが露出し、地球史上最大の魚類とされる巨大サメ（ムカシオオホホジロザメ *Carcharodon megalodon*）の歯化石が多数産出しており、一部は顎の噛み合わせを示す歯群も見つかっている（国府田ほか、2007）。炭酸塩コンクリーションの形成が、恐らく 1 体のサメに由来する、多数の歯化石の保存を可能にしたのであろう。

## 5-3. 炭酸塩コンクリーションに伴う化学合成軟体動物群集

常磐地域の中新世の浅海成層からは浅海に生息する軟体動物（貝）化石をしばしば産しており、日本の同時期の海洋古生物地理の上では重要な群集として知られている。

大五浦では、下部・中部の泥質極細粒砂岩やタイプⅠもしくはタイプⅡの炭酸塩コンクリーションの内部、あるいはその周囲から海生軟体動物化石を産出する。散在的に産することが多いが、一部は密集したレンズやパッチ状の産状を示す。二枚貝化石のうち、二枚の殻が保存された（合弁）個体は散在的な産状や不定形の密集パッチをなすが、片殻（離弁）の二枚貝殻や破片は厚さ

10cm 程度以下で幅数 10cm 以下の小規模なレンズ状・パッチ状の密集部を形成することが多い。離弁殻や殻破片の密集部は初生的にはストーム（嵐）などの営力で運搬集積したものであろうが、堆積後の生物活動によって攪乱され堆積構造は不明瞭になっている。また、大型の管状生痕を充填した殻破片密集パッチも見られる。これは生痕の空洞に落ち込んでしまったものであろう。なお、露頭上部の大棚からは軟体動物化石をまったく産せず、鯨類の耳骨片を見出しただけである。

大五浦階段下の海食崖の層理面に垂直な露頭面（縦 5m 横 10m）で、貝化石の産状と産出個体数を調べてみると、ツキガイモドキ（*Lucinoma acutilineatum*）を優占種とし、ソデガイ（*Yoldia laudabilis*）、コビヤマホタテガイ（*Mizuhopecten kobyami*）、シオガママルフミガイ（*Cyclocardia siogamensis*）、フスマガイ（*Clementia* sp.）、ツノガイ（*Dentalium* sp.）などを伴う軟体動物化石群集が確認できた（上田ほか、2005）。特にツキガイモドキは離弁を含めた全個体数の半数近くを占め、合弁二枚貝中では 6 割、生息姿勢を示す合弁二枚貝では 8 割を超えている。

この範囲を含めた調査した地層下部から多産するツキガイモドキは、合弁でかつ殻の頂部を上にした生息姿勢の個体が多い。特にタイプ I、II の炭酸塩コンクリーション中およびその周囲に多く産し、炭酸塩コンクリーション密集部から数 10cm ～ 1m 以上離れると産出頻度は急に減少する。

ツキガイモドキを含むツキガイ科二枚貝は、鰐に化学合成細菌を共生する化学合成二枚貝の代表的分類群の一つであり、シルル紀以降の化学合成群集の一員として知られている（間嶋、1999）。日本では白亜紀以降の地層から産出する化学合成群集において認められており（Hikida *et al.*, 2003；間嶋、1999 など）、特に関東周辺の新第三紀鮮新世以降の地層から見出された化石化学合成群集の主要構成種として報告されている（舘・間嶋、1998 など）。また、駿河湾金洲ノ瀬からは、ツキガイモドキ類とオウナガイ類が優占する現生の化学合成群集が得られている（橋本ほか、1995）。

一方、五浦観光ホテル別館大観荘建設時の基盤から掘削された炭酸塩コンクリーションのブロックには、多量のシロウリガイ、オウナガイが密集し、付随的にツキガイモドキが伴われていることが、安藤の最近の調査で明らかになっており、現在その群集組成の検討を進めている。上述のツキガイモドキの優占する群集より、はるかに化石密度が高く、産状の類似性からこれまで報告されている、シロウリガイ類を優占種とする化学合成群集に比較されるものである（間嶋、1999 参照）。この群集は大五浦の海岸露頭では確認されていないが、異なる化学合成群集が地層形成時の同じ海底に存在していたことが確実である。

これらのことから、大五浦で現在でも確認できるツキガイモドキ群集や、かつて産出したシロウリガイ群集は、メタン湧水に依存した化学合成群集であったと考えられる。

#### 5-4. 炭酸塩コンクリーションの炭素安定同位体比

これまで報告してきた、化学構成群集を伴う大規模な炭酸塩コンクリーションの成因としては、海底下から湧出するメタン冷湧水が注目されている（柴崎・間嶋、1997；間嶋、1999 など）。海底下の堆積物中にメタン（ $\text{CH}_4$ ）が溶けた海水がもたらされると、間隙水中に生息する硫酸還元菌と嫌気性メタン酸化古細菌類の働きによって炭酸イオンが作られる。過剰となった炭酸イオンは海水に多量に含まれるカルシウムイオンと結合して炭酸カルシウム（ $\text{CaCO}_3$ ）となって沈殿することでコンクリートのように固結すると考えられている。



コンクリーションの成因がメタン湧水であるかの判断には、通常の炭素 ( $^{12}\text{C}$ ) より重い安定同位体である  $^{13}\text{C}$  の量がどの位含まれているかの指標 (炭素安定同位体比) が用いられている。生物は軽い炭素の  $^{12}\text{C}$  の方を多く取り込むため、有機物起源のメタンに由来する炭素を含む炭酸塩コンクリーションには、 $^{13}\text{C}$  が相対的に少なくなって軽くなる。つまり、ある基準以上の軽い炭素安定同位体比を持つ炭素であることが判断の根拠になる。実際には炭酸塩コンクリーション中の炭素安定同位体比の値は、さらにメタンが硫酸還元菌などによって酸化されて生成された溶存無機炭素と、もともと海水中に存在する無機炭素との混合によって決まる。

上田ほか (2005) で測定した、タイプ I の 3 試料、III の 1 試料、VI の 6 試料の合計 10 試料の結果からは、I と III、および VI とでかなり異なることがわかり、成因的な多様性が予測されている。タイプ I と III の結果は、通常の海洋の有機炭素よりやや軽い、メタン生成菌起源のメタンの炭素にしてはかなり重い。今のところタイプ I の形成に関与したメタンの起源が、有機物の熱分解であるか、メタン生成菌であるかを定める証拠はない。

一方、タイプ VI は、タイプ I や III とは異なって、やや高い値を示し、炭素の起源がメタンであるという考えを必ずしも支持していない。タイプ V、VI は六角堂前の大棚において他のタイプよりはるかに広範囲に連続的に発達するが、周囲からは独立した岩体をなしている。これほど大規模な炭酸塩コンクリーションが局所的に産することを、広域的に均一に起こる続成 (堆積物の岩石化) 過程による炭酸塩沈殿の結果で説明するのは難しい。したがって、比較的高い炭素安定同位体比の原因として、メタン湧水と通常の海水との混合を考えざるをえない。タイプ VI はタイプ I より粗粒な細粒～中粒砂岩で構成されており、堆積直後は間隙率が大きいために湧水と海水が混合しやすい条件にあった。そのため、炭素安定同位体比は海水中のそれに近づくことで値が高くなったのであろう。

## 6. 海底の堆積作用の歴史を記録する五浦海岸の意義

### 6-1. 陸棚域のメタン冷湧水噴出場の地層モデル

沖縄県石垣島沖の水深 600-700m の黒島海丘では、メタン湧水周辺から貝殻密集状、生痕状、パイプ状などの各種の形態を持つ炭酸塩岩が、深海底探査船で観察・撮影され試料採取も行われている (Takeuchi *et al.*, 2001 など)。その炭酸塩岩の産状は五浦海岸のコンクリーションと似ている。大五浦の炭酸塩コンクリーションは、陸上に露出するものとしてはその規模が日本でも有数であるばかりでなく、海岸侵食によってコンクリーションの平面分布や立体構造がよく観察できることに特徴がある。常磐堆積盆という太平洋に面した海域の堆積場が、その後の構造運動によって陸化しているために、海底下の未固結の堆積物中で生じた堆積作用の産物が、陸上で間近に細かく観察できるのである。

炭素安定同位体比測定からは、大五浦の炭酸塩コンクリーションがメタン冷湧水起源である決定的証拠は得られなかった。しかし、コンクリーションの産状や形態、そしてそれに伴う化学合成群集の産状や分布を、日本で報告された研究例と比較すると、メタン冷湧水に起因する炭酸塩コンクリーションであると考えざるをえない (上田ほか, 2005)。

ところで、このメタン冷湧水がどこから由来したのかは、まだよくわかっていない。九面層の基底は、茨城県天心記念五浦美術館北側の海食崖に露出しており、湯長谷層群亀ノ尾層に傾斜不

整合で接している。下位の亀ノ尾層には炭酸塩コンクリーションは全く見られないため、亀ノ尾層にその起源を求めることはできない。また、常磐地域の亀ノ尾層でメタン由来の炭酸塩コンクリーションが報告された例はない。

一方、不整合の直上数 m の位置にあたる、美術館の敷地北西端の崖には幅 15m、高さ 10 数 m に達する炭酸塩コンクリーションが露出しており、九面層で最大のコンクリーションである。基質は生物擾乱を受けた塊状細粒～中粒砂岩で大五浦より粒度が粗く泥質分は少ない。二枚貝化石密集部がレンズ状層理をなしており、浅海のストム波浪で集積再堆積したことを示唆している。また、大五浦北方から美術館北側にかけての海食崖の九面層にも多くの炭酸塩コンクリーションが含まれているのが確認できる。したがって、現在露出する九面層には、頻度や密集度は変化するが、全体に炭酸塩コンクリーションが含まれている。

九面層の分布は地質図でみると海側に開いたくさび状を示しており、太平洋に向かった浅い海底谷地形を充填した地層である可能性が指摘できる。したがってこの海底谷地形に沿ったメタン冷湧水の湧出経路が示唆される。いずれにしても、陸棚～浅海におけるメタン由来の大規模炭酸塩コンクリーションの成因にヒントを与える実例として注目される。さらに、近年、石炭・石油・天然ガスに続く第四のエネルギー資源として注目されているメタンハイドレートの分解にも関連する問題としても重要である。

## 6-2. 太平洋の陸棚域～大陸斜面上部の堆積作用の記録

大五浦では直接観察できる九面層の厚さとしては 10m 弱であるが、およそ 1,650 万年前の堆積時とその後の様々な化学作用や続成作用などが記録されている。また、含まれる化石記録を通して、底生生態系や海洋生態系の一端を見ることができ、当時の海底が多くの生物で満ちていたことがわかる。

一方、小五浦では、高久層群九面層（1,650 万年前）、多賀層群平潟層（1,550 万年前）、多賀層群大津層（1,100-1,000 万年前）という異なる時代の地層が重なりあう関係が確認できる。そして、かつての海底谷の基底やその断面を陸上で見ることを通して、500～600 万年間の堆積史を復元することが可能である（安藤ほか、2011）。

平潟層や大津層を含む多賀層群は、日立市南部の多賀地域に広く分布する泥岩を主体とする、比較的均質な地層である。柳沢（2000）、須藤ほか（2005）などにより、多賀層群が中新世中期～後期（1,600～600 万年前）の間の 10 回もの堆積サイクル（海の侵入（海進）と後退（海退））によってできた地層の集合であることが明らかとなっている。現在陸上に孤立して分布する地層は、下位の地層を侵食するかつての海底谷を埋めた堆積物記録と考えられる。五浦海岸は多賀層群の異なる時代の堆積サイクルの関係がよく観察できる絶好の場所である。

五浦半島の地層は、こうした太平洋の海底下で生じた地質時代の長期にわたる複雑な堆積作用の歴史を記録した貴重な地質遺産とも言える。

## お わ り に

言うまでもなく五浦は、岡倉天心や横山大観らが活躍した日本美術院の研究所があった場所で、現在は茨城大学五浦美術文化研究所としてその文化遺産の一部が保存されている。明治後期

から大正期、昭和初期に活躍した日本画家が太平洋を背景に眺めていた海岸風景が、炭酸塩コンクリーションと海食がもたらした自然美であったことが、小論で解っていただけただろう。

とりわけ六角堂は、九面層の炭酸塩コンクリーションのなかでも、大棚と呼ばれる上田（2005）の上部ユニットの陸側延長部の上にある。炭酸塩コンクリーションが発達して堅固な抵抗地形として海側に突き出た岬状の土地に建てられた「観瀾亭」（大波を見る東屋）が六角堂なのである。波浪が強い時には、波の上に浮かんでいるような絶景を醸し出す。また、研究所に保存されている天心邸も炭酸塩コンクリーションの硬い土台の上に建っている。

2009 年来、茨城大学ではジオパーク構想を提案し、北茨城市をはじめとする地元自治体と協力して「茨城県北ジオパーク推進協議会」を 2010 年 2 月に設立したばかりである。県北地域の地質遺産を含む自然を活かした地域社会の活性化を目指す茨城県北ジオパークにおいて、ジオサイトの目玉として五浦海岸を宣揚していくことになっている。地質学からその重要性が裏付けられた地域の自然を、地質観光サイトとして取り上げていくことで、北茨城の自然の素晴らしさを改めて認識し、五浦の自然景観の捉え方を大きく広げていけるきっかけになれば幸いである。

**謝 辞：**小論の執筆にあたって、その機会を与えてくださった五浦美術文化研究所の小泉晋弥教授に厚くお礼申し上げる。挿図作成に助力してくれた茨城大学理工学研究科博士後期課程園田哲平氏、巨大サメ化石発掘や地質見学に際して協力いただいた五浦観光ホテルの村田 章取締役、山下昭良支配人に感謝申し上げたい。小論の内容の一部は、茨城大学平成 21 年度政策配分経費「五浦総博物館計画：五浦の自然総合研究およびその成果の教育的活用に関する研究（代表 伊藤孝教育学部准教授）、巨大サメ化石発掘調査（茨城県自然博物館国府田良樹資料課長ほかの共同発掘）、茨城県自然博物館総合調査研究によって進められたものである。また、炭酸塩コンクリーションの研究は茨城大学理工学研究科博士前期課程修了の上田庸平氏によるところが多い。以上の方々に深謝したい。

## 引用文献

- Ando, H., 2003, Stratigraphic correlation of Upper Cretaceous to Paleocene forearc basin sediments in Northeast Japan: cyclic sedimentation and basin evolution. *Journal of Asian Earth Science*, **21**, 919-933.
- 安藤寿男, 2002, 茨城県北部～福島県南部太平洋岸地域における常磐堆積盆の地質学的研究－文献リストと研究概観. 茨城県自然博物館研究報告, (5), 81-97.
- 安藤寿男, 2005, 東北日本の白亜系－古第三系蝦夷前弧堆積盆の地質学的位置づけと層序対比. 石油技術協会誌, **70**, 24-36.
- 安藤寿男・柳沢幸夫・小松原純子, 2011, 常磐地域の白亜系から新第三系と前弧盆堆積作用. 地質学雑誌, **117**, 補遺（日本地質学会第 118 年学術大会 見学旅行案内書）.
- 橋本 惇・藤倉克則・藤原義弘・谷島恵美・太田 秀・小島茂明・葉 信明, 1995, 遠州灘金洲ノ瀬におけるオオツキガイモドキとハオリムシ類を共優占種とする冷水湧出帯生物群集の観察. *JAMSTEC 深海研究*, **11**, 211-217.
- Hikida, Y., Suzuki, S., Togo, Y. and Ijiri, A., 2003. An exceptionally well-preserved fossil seep community from the Cretaceous Yezo Group in the Nakagawa area, Hokkaido. *Paleontological Research*, **7**, 329-342.
- 岩田尊夫・平井明夫・稲場土誌典・平野真史, 2002: 常磐沖堆積盆における石油システム. 石油技術協会誌, **67**, 62-71.
- 国府田良樹・小池 渉・安藤寿男・上野輝彌・碓井和幸, 2007, 茨城県北茨城市の中新統高久層群九面層の炭酸塩コンクリーションより産出した *Carcharodon megalodon* 歯群. 化石, (81), 1-2.
- 久保和也・柳沢幸夫・山元孝広・中江 訓・高橋 浩・利光誠一・坂野靖行・宮地良典・高橋雅紀・駒澤正夫・大野哲二, 2007, 20 万分の 1 地質図幅「白河」. 産業技術総合研究所地質調査総合センター.

- 間嶋隆一, 1999, 日本の新生代化学合成群集の産状. 地質学論集, (58), 117-129.
- 野田浩司, 1994, 日本生痕化石研究への序説. 294p., 洛思社, 東京.
- 柴崎啄自・間嶋隆一, 1997, 中部更新統上総層群柿ノ木台層外側陸棚相の化学合成化石群集. 地質学雑誌, **103**, 1065-1080.
- 須藤 斉・柳沢幸夫・小笠原憲四郎, 2005, 常磐地域及びその周辺の第三系の地質と年代層序. 地質調査研究報告, **56**, 375-409.
- 須貝貫二・松井 寛・佐藤 茂・喜多河庸二・佐々木実・宮下美智夫・河内英幸, 1957, 日本炭田地質図 I, 常磐炭田地質図及び説明書. 143 pp., 地質調査所.
- 舘由紀子・間嶋隆一, 1998, 外側陸棚相の冷湧水性化学合成化石群集—下部更新統上総層群小柴層の例—. 地質学雑誌, **104**, 24-41.
- 高橋雅紀・柳沢幸夫, 2008, 常磐地域. 日本地質学会編, 日本地方地質誌 3 関東地方, pp.196-206, 朝倉書店.
- Takeuchi, R., Machiyama, H. and Matsumoto, R., 2001, The formation process of the cold seep carbonates at the Kuroshima Knoll. *JAMSTEC Journal of Deepsea Research*, **19**, 61-75.
- 上田庸平・安藤寿男・篠崎将俊, 2003, 茨城県北部の古第三系下部漸新統白水層群石城層から浅貝層にかけての堆積相と古地理的意義. 茨城県自然博物館研究報告, (6), 1-17.
- 上田庸平・ジェンキンス, ロバート・G・安藤寿男・横山芳春, 2005, 常磐堆積盆外側陸棚におけるメタン起源の炭酸塩コンクリーションと化学合成群集: 茨城県北部中新統高久層群九面層の例. 化石, (78), 47-58.
- 柳沢幸夫, 1996, 茨城県北茨城市大津地区に分布する新第三系多賀層群の珪藻化石層序. 国立科学博物館専報, **29**, 41-59.
- 柳沢幸夫, 2000, 珪藻 *Denticulopsis hustedii* のアクメ・終多産出イベントの生層序学的有効性—常磐地域中新統多賀層群の対比への適用—. 地球科学, **54**, 167-183.

〔あんど う ひさお／本学理学部教授〕