

徳島県海陽町竹ヶ島の地質と地形

地質班（地学団体研究会徳島支部）

西山 賢一^{1*} 中尾 賢一² 辻野 泰之² 石田 啓祐³

要旨：徳島県海陽町南部に位置する竹ヶ島およびその周辺の地質と地形について調査し、その地質学的な意義についてまとめた。竹ヶ島周辺には、付加体である四万十帯の地層（古第三系）が広く分布しており、四万十帯の形成過程を推定するための重要な堆積構造や生痕化石が観察できるほか、風化による特異な海岸地形も認められる。また、竹ヶ島に分布する砂岩は石材としても多用されてきた。竹ヶ島の地質・地形は、近隣の国指定天然記念物「穴喰浦の化石漣痕」とともに、長期的な視野で保存と活用がなされていくことが必要と考えられる。

キーワード：竹ヶ島、四万十帯、化石漣痕、堆積構造、生痕化石

1. はじめに

海陽町南端に位置する竹ヶ島には、西南日本を構成する代表的な付加体堆積岩である四万十帯に属する地層のうち、古第三紀に堆積した一連の砂岩・泥岩およびそれらの互層が広く分布しており、竹ヶ島の近傍には、国指定天然記念物の「穴喰浦の化石漣痕」も存在する。四万十帯の堆積岩類は、現在の南海トラフのようなプレートの沈み込み境界付近の深海底に堆積した地層であり、過去の高溝・トラフ付近における巨大地震発生帯を構成していた地層が、その後の隆起によって地表に現れたものである。地質班は、竹ヶ島に分布する四万十帯の地質と地形の特徴について整理した。

2. 海陽町の地質・地形概要

徳島県南部に位置する海陽町周辺には、西南日本外帯に広く分布する付加体堆積岩類からなる四万十帯の地層が広く分布している。このうち、海陽町の中～北部は白亜紀に形成された四万十帯北帯、海陽

町南部には古第三紀に形成された四万十帯南帯が、それぞれ分布する（日本の地質「四国地方」編集委員会，1991；石田，1998；四国地方土木地質図編集委員会，1999；石田，2002；日本の地質増補版編集委員会編，2005；日本地質学会編，2016）。四万十帯を構成する地層は深海底に堆積した砂岩・泥岩とそれらの互層を主体とし、海陽町北部～牟岐にかけてはメランジュ（混在岩）が広く分布する。地層の配列方向は主として東北東—西南西走向であり、北西に急傾斜することが多い。四万十帯の地層中には、しばしば金属鉱床が含まれており、このうち、旧海南町の含銅硫化鉄鉱床については、石田ほか（1992）の報告がある。

海陽町周辺の地形は、上記の四万十帯の大局的な配列を反映して、山地内には北東—南西方向に延びる稜線とそれに平行な谷地形とが発達している（地学団体研究会吉野川グループ，1974；太田ほか，2004）。四国山地内には一般に多数の地すべり地形が分布しているが、四万十帯では地すべり地形が少ない傾向にあり、海陽町周辺でも同様の傾向を示す

¹ 徳島大学大学院社会産業理工学研究部

* 〒770-8506 徳島市南常三島町2-1

² 徳島県立博物館

徳島大学大学院社会産業理工学研究部

³ 徳島大学名誉教授

(寺戸, 1986)。このうち、海陽町の大木屋地すべりの発生年代を推定した研究によると、約3万年前に発生した南九州・始良カルデラの巨大噴火でもたらされたAT火山灰(始良Tn)に地すべり移動体が覆われていることから、地すべりの発生はそれ以前と推定されている(植木, 2013)。

海陽町を南に流下する海部川は、北東—南西方向に配列する稜線を切断するかたちで流れる横谷地形を呈するとともに、河口域に、四国南東部では珍しい沖積低地を形成している(古田, 2005)。海部川上流の保瀬では、1892年の記録的豪雨で深層崩壊が発生し、海部川のせき止めと決壊が生じたことが知られている(山下, 1992; 井上ほか, 2005; 井上, 2018)。海陽町の海岸域には海成段丘は認められず、大局的には地質構造を反映した北東—南西に延びる形状をなすが、海陽町穴喰南部から高知県東洋町との境界付近では、海岸線の凹凸が激しいリアス式海岸状を呈する。

海陽町穴喰浦には、国指定天然記念物(1979年11月26日指定)となっている「穴喰浦の化石漣痕」が存在する(石田, 1993)。この化石漣痕は、砂岩層の表面に形成された波長30～40cm、波高数cmのリップルマークの一種であり、その断面形態が非対称であることから、一方向の流れで形成された水流漣痕に該当する(図1)。この漣痕をもたらしただ時の水流は、露頭面に向かって左下方から右上方と推定され、70°ほどに傾斜した現在の地層を堆積時の水平に戻すと、東北東から西南西に向かう流れと推定されている(石田, 1993)。



図1 穴喰浦の化石漣痕

3. 竹ヶ島の海岸地形の特徴

海陽町竹ヶ島の海岸に分布する露頭では、特徴的な形態を持つ風化・侵食地形が観察できる。徳島県内においては、アクセスが容易な海岸で、この種の風化・侵食地形を観察できる場所は珍しく、大変貴重なフィールドである。以下に、今回の調査で確認した竹ヶ島の風化・侵食地形について記述する(図2)。



図2 竹ヶ島周辺の調査位置図

竹ヶ島の海岸地形は岩石海岸であり、急峻な海食崖と、その前面に広がる波食棚から構成されている。竹ヶ島北部(A～B地点付近)における海食崖の比高は10～20m、波食棚の水平距離は10～100mである。波食棚の陸側(海食崖の基部)には、砂岩の巨礫からなる礫浜が形成されていることがある。竹ヶ島北部の海食崖の基部に海食によるノッチ・海食洞は形成されていない。海食崖と波食棚には砂岩泥岩互層が露出しており、そのうちの波食棚では、砂岩が突出し、泥岩が凹んだ洗濯板状の起伏が発達している。砂岩のほうが泥岩より突出した形状をなし、最大で比高1～2mの段差が認められる(図3)。この種の洗濯板状の凹凸地形は「波状岩」と呼ばれており、その形成メカニズムは次のように考えられている(松倉, 2008)。波状岩は、潮間帯に形成される微地形であり、かつ、凹部が泥岩



図3 A地点付近でみられる波状岩（砂岩泥岩互層）

からなることが一般的である。潮間帯に露出する泥岩は、潮の干満の繰り返しにより乾燥と湿潤を繰り返すため、乾湿風化（スレーキング）を受けやすい。乾湿風化により碎片化した岩塊は、波によって運搬・除去されるため、泥岩は低潮位のレベルまで削剥されることになる。ただし、泥岩でも、低潮位以下では常時海水に浸っているため、乾湿の繰り返しが起こらず、風化による碎片化が生じない。一方、砂岩は乾湿風化による強度低下が生じにくいいため、砂岩層が突出したまま残存する。すなわち、波状岩の形成に大きく影響するのは、岩石の強度の違いではなく、乾湿風化に対する抵抗力の違いといえる。

竹ヶ島の砂岩泥岩互層では、砂岩層が大きくうねったような変形構造が観察されることがあり、その代表的なものが、堆積直後の砂層からの脱水などで形成されたコンボリュート葉理である。このコンボリュート葉理が上に凸をなす部分や、開口した節理の部分で、特に砂岩が突出した形状を呈する露頭がある。節理などに沿った部分が突出した微地形をリムと呼び、節理や断層が発達した波食棚でしばしば観察される。宮崎県日南海岸・青島のリムの強度・水分測定結果によれば、リムの形成は、酸化鉄などの沈着による硬化ではなく、節理間隙に保持される水分により乾湿風化が妨げられたため、侵食に対する抵抗力が相対的に高まった結果、突出したリムが形成されたと見なされている（青木・松倉, 2008）。

竹ヶ島北部の波食棚では、満潮位でも海水面より上方に露出する砂岩の表面には、径数cmの孔が多数開口している様子が観察され、常時海水面以下と



図4 葉理に規制された蜂の巣構造（A地点付近）

なる部分には形成されていない。この種の小孔の集団は「蜂の巣構造」と呼ばれている（図4）。砂岩や石灰岩などの塊状の岩石でよく見出される微地形であり、海岸や砂漠に多い。孔の形状は、層理面・片理面などの面構造に規制された形状をなすことが多い。密集した多数の孔の集団が形成される理由は明確ではないが、孔の周囲の突出部には水酸化鉄が濃集した例があることから、鉄分による固化部分が侵食を受けずに突出し、固化されなかった部分が侵食される差別侵食が影響するとの指摘がある（Ollier, 1971）。

海岸に分布する蜂の巣構造の場合、特に海水の飛沫がその形成に関与していると考えられている（松倉, 2008）。すなわち、海水飛沫が岩盤表面から浸透後に乾燥する場合、浸透した海水は、岩盤表面から水分のみが蒸発し、塩類が岩盤表面に種々の蒸発岩（ハライト、エプソマイト、テナルダイトなど）として析出する。この塩類の結晶成長圧が岩石の引張強度を上回ると、岩盤表面の剥離・破壊が生じる。この一連の風化プロセスは塩類風化と呼ばれている。竹ヶ島においても、蜂の巣構造が観察されるのは満潮位の海水面よりも上方の砂岩表面に限られており、干潮位の海水面以下では認められないことは、岩盤表面における海水飛沫の乾燥に伴う塩類の結晶成長が蜂の巣構造の形成に大きく影響していることを示す。蜂の巣構造の形成速度については、建設年代が既知の石材などを用いて見積もられており、 $10^1 \sim 10^2$ 年のオーダーであることが多い（松倉, 2008）。

竹ヶ島に隣接する海陽町古目の海岸域は、金ヶ崎のような岬とそれに隣接する入江，ならびに沖合に点在する小さな島からなり，ごく小規模ながら，丘陵が沈水したリアス式海岸を呈する。この地域には比較的厚い砂岩が分布しており，E地点付近などでは，砂岩の表面には，径数mに達する楕円形の孔が多数開口しており，その内壁には入れ子状に蜂の巣構造が形成されていることが多い（地学団体研究会吉野川グループ，1974）。竹ヶ島でも，A地点付近のやや厚い砂岩などに見られる（図5）。この種の楕円形の孔はタフォニと呼ばれており，蜂の巣構造と同様に，岩盤表面で進行する塩類風化によって形成されたものと考えられている（松倉，2008）。海岸域におけるタフォニの形成速度の見積もりによれば，1 mオーダーの孔が開口するのに要する時間は， $10^2 \sim 10^4$ 年のオーダーである。



図5 砂岩表面のタフォニと蜂の巣構造（A 地点付近）

4. 竹ヶ島に分布する四万十帯の地層の特徴

四万十帯に属する竹ヶ島には，ほぼ東西走向で北に高角度で傾斜した砂岩泥岩互層が分布している。今回の調査で確認した地層の堆積構造について以下に記述する。

竹ヶ島に分布する砂岩層の上面には，「穴喰浦の化石漣痕」と同様の漣痕が認められる場所がある（図6）。このほか，砂岩層の底面に形成された底痕もしばしば認められる。底痕には，流れの作用による流痕として，水流が海底を侵食したフルートマーク，海底の礫などが流れによって運搬されたときにできる直線状のくぼみであるグループマークなどが



図6 砂岩層上面の化石漣痕（A 地点付近）

ある。また，上位の砂層が下位の泥層中に沈み込んでできる荷重痕（ロードマーク）が見られることもある。これらの底痕は，多くの場合，泥岩の上に累積した砂岩の底面に「鋳型」として形成されるため，本来の形とは凹凸が逆になることが多い。

竹ヶ島に分布する砂岩泥岩互層の地層の断面には，しばしば葉理（ラミナ）が形成されており，地層の面に対して平行な葉理や，地層の面に対して斜めに発達する葉理（斜交葉理）が観察できる（図7）。竹ヶ島周辺では，斜交層理のうち，特にリップル葉理がよく観察できる。これは，海底に堆積した砂層上面のリップル（砂漣）の形成と移動が幾重にも積み重なって形成されたものである。

竹ヶ島に露出する地層は，相対的に薄い砂岩層（層厚1 m以下）と泥岩層が規則的に繰り返す典型的な砂岩泥岩互層であり，砂岩中には，クライミングリップル斜交葉理，コンボリユートラミナ，ソー



図7 リップル葉理（A 地点付近）

ルマークなどの堆積構造が観察された。これらの堆積構造は、混濁流によって形成されたタービダイトでしばしば見られる特徴である。乱泥流による典型的なタービダイトには、ブーマシーケンスと呼ばれる一連の堆積構造（基底より級化層理部→下部平行葉理部→斜交葉理部→上部平行葉理部→泥岩部へ変化）が見られるが、ブーマシーケンスのすべての部分が観察されるのは稀である。竹ヶ島においても、ブーマシーケンスのすべての部分が観察できる典型的なタービダイトを見つけることはできなかった。特に底部の級化層理部が欠如している。ただし、竹ヶ島のタービダイトにクライミングリップル斜交葉理および、コンボリュートラミナが顕著に見られることは、混濁流として運ばれた砂の供給量が多く、また、それが急速に堆積したことを示している (Walker, 1985, 1992)。クライミングリップル斜交葉理やコンボリュートラミナを顕著に発達させる比較的層厚の薄いタービダイトは、混濁流が流れ下る流路（チャネル）の境界や、流路からあふれた自然堤防（レビー）で堆積したものの特徴である (Walker, 1985, 1992)。

このような堆積物の特徴から推測される竹ヶ島や穴喰浦の水流漣痕の堆積当時の古流向は、東北東から西南西であり、クライミングリップル斜交葉理や底面の流痕（フルートキャスト）から求められる古流向と調和的であり、地層が堆積した新生代始新世当時（日本海形成以前）の海溝軸の延びの方向と一致している。したがって、タービダイトを堆積させた混濁流は、陸側斜面を海溝（北北東から南南西）へと直接流れ下っていたのではなく、海溝軸に沿って東北東から西南西へと流れていた軸流であったことを物語る。

竹ヶ島の砂岩泥岩互層には、ある部分だけ顕著に地層の乱れや小断層が発達するものの、その上下位では地層の乱れが認められない場所があり、スランブ堆積物と考えられる（図8）。スランブ堆積物にはしばしば小断層が形成されているが、断層面には断層破碎帯を伴わず、断層面そのものもごく局所的であり、地質図スケールで連続するものではない。この種のスランブ堆積物は、砂岩泥岩互層が海底に堆積した直後、海底地すべりなどが発生し、地層が

塊として二次的に移動した結果生じるものと考えられている。



図8 砂岩泥岩互層に見られるスランブ堆積物，C地点付近

5. 竹ヶ島およびその対岸で観察できる生痕化石

四万十帯の地層で観察できる化石は一般にまれであるが、竹ヶ島（B地点周辺）およびその対岸（D地点）では、さまざまな生痕化石などを観察することができる。生痕化石は多くの場合、砂岩層の下面に見られ、フルートマークや荷重痕など底痕を伴って産出することも多い。以下に、筆者らが竹ヶ島周辺で確認した生痕化石について記述する。

プロトバーギュラリア (*Protovirgularia* isp.) は太く長いひも状の生痕化石で、中央に溝状のうねがあり、その周囲をハの字状の突起が規則的に並ぶ。二枚貝の一グループである原鰓類の移動痕と考えられている（碓・奈良，2006）。竹ヶ島北東端のプロトバーギュラリアは「竹ヶ島生痕化石」として、海陽町の天然記念物に指定されている。指定地であるB地点周辺ではよく見られるが、他の場所には少ない（図9）。なお、プロトバーギュラリアは、以前はネレイテス (*Nereites*) とよばれ、多毛類の生痕化石や体化石と考えられていた（甲藤・田中，1973）。

ヘルミントプシス (*Helminthopsis* isp.) は、蛇



図9 プロトバーギュラリア (*Protovirgularia*), B 地点付近



図11 パレオディクチオン (*Paleodictyon* isp.), D 地点付近



図10 ヘルミントプシス (*Helminthopsis* isp.), D 地点付近



図12 マキヤマ (*Makiyama* sp.), D 地点付近

行する細長いひも状の生痕化石で、海底に住む小動物が堆積物を食べ歩いた痕跡と考えられている。この生痕化石は、竹ヶ島やその対岸ではあまり多くないが、四万十帯の地層中には一般に少ないので貴重である（図10）。

パレオディクチオン (*Paleodictyon* isp.) は六角形の網目状の生痕化石である。何らかの生痕化石であることは間違いないが、その正体に関しては不明の点が多い。海底面またはその直下に形成された原生生物クセノフィオフォラ (*Xenophyophore* sp.) のネットワーク状の棲管化石とする説がある。この生痕化石は、竹ヶ島対岸でごく小さなものが稀に見られる程度である（図11）。

マキヤマ (*Makiyama* sp.) はマカロニ状の形をした珪質の化石である。海底にすむ有孔虫の殻の化

石と解釈されており（長谷・近藤，1999）、生痕化石ではない。以前はテレベリナ (*Terebellina* isp.) とよばれ、多毛類の棲管化石と解釈されていた（藤山，1982）。竹ヶ島周辺ではよく目にする化石で、しばしばフルートマークなどに伴って密集して産出する（図12）。

6. 竹ヶ島石の採掘跡

竹ヶ島を含む旧穴喰町には、多数の石仏・石造文化財が残されている（岡田，1974）。石造文化財の石材として利用されてきたものの代表例として、竹ヶ島に分布する砂岩「竹ヶ島石」が知られており、江戸時代に石材として採掘されていたことが伝えられている。竹ヶ島の東海岸には、砂岩を切り出す際についた鑿の跡が現在も確認することができ、この



図13 竹ヶ島石（砂岩）の石材切り出し跡（A地点付近）

地点から石材の採掘が行われていたことを示す物証である（図13）。鑿跡が残っているのは、砂岩泥岩互層の中に挟在するやや厚めの砂岩層（厚さ数10cm程度の中粒砂岩）であり、これが石材として用いられているようである。石材採掘地点近傍の砂岩には、しばしば塩類風化によるタフォニが形成されている。

竹ヶ島石が石材として使用されている例について検討する。徳島市にある国指定名勝「旧徳島表御殿庭園」では、タフォニが形成されている砂岩石材が、特に庭園左手の居間に面した築山泉水庭付近に用いられている（図14）。タフォニが海水飛沫を受ける海岸域の砂岩に形成されやすいことから、この石材産地は竹ヶ島の可能性が高いと推定されている（石田, 2014）。竹ヶ島石は、これ以外にも石材として広く利用されてきたと考えられることから、石材産地の同定を進めていく必要がある。特に、タフォニや蜂の巣構造は、海水飛沫を強く受ける竹ヶ島石の特徴を持つ風化による表面組織であり、産地不明の石材表面に、この種の風化現象が認められるかどうかの観察が、産地同定の手掛かりのひとつとなりうる。

7. まとめ

本稿では、竹ヶ島に分布する四万十帯の地層と地形の特徴について整理した。竹ヶ島では、四国南部を構成する付加体堆積岩類からなる四万十帯の地層の形成過程を学ぶことができ、近隣の「穴喰浦の化石



図14 国指定名勝「旧徳島表御殿庭園」にあるタフォニとその内部の蜂の巣構造が観察される砂岩石材

石漣痕」や、高知県室戸市の「室戸世界ジオパーク」とともに、地質学的に重要な場所といえる。「穴喰浦の化石漣痕」は、国天然記念物指定後の約40年にわたって、良好な状態で地層を観察することができしており、2019年には新しい解説看板が設置されるなど、長期にわたる保存と活用がなされてきている。一方、竹ヶ島にも同じ四万十帯の地層が分布し、多様な堆積構造や生痕化石などが観察できるものの、現在のところ、生痕化石を除くと文化財指定を受けておらず、また、解説看板なども設置されていない。竹ヶ島の地質・地形を観察できる海岸の露頭に関しても、地域の自然資源や理科の教材として、長期的な視野で保存と活用がなされていくことが必要と考えられる。

参考文献

- 青木 久・松倉公憲（2008）：波食棚上の節理沿いに発達するリムの形成プロセス．地形，Vol. 29，387-397ページ．
- 地学団体研究会吉野川グループ（1974）：穴喰町およびその周辺の構造地形発達史．総合学術調査報告・穴喰町及びその周辺，阿波学会・徳島県立図書館，55-71ページ．
- 藤山家徳（1982）：古生代～新生代 多毛類．藤山家徳・浜田隆士・山際延夫（監修），学生版 日本古生物図鑑，北隆館，364-365ページ．
- 古田昇（2005）：平野の環境歴史学．古今書院，187-207ページ．
- 長谷宏司・近藤康生（1999）：Makiyama の分類場の位置：元素マッピングと骨針の形態分析に基づく再検討．日本古生物学会1999年年会（仙台）講演予稿集，102ページ．
- 碓 雄太・奈良正和（2006）：古第三系室戸半島層群に見られる生痕化石 *Protovirgularia* 類の分岐とその古生態：二枚貝類の海底ハイウェイ．日本地質学会第113年学術大会講演要旨，225ページ．
- 井上公夫・森 俊勇・伊藤達平・我部山佳久（2005）：1892年に四国東部で発生した高磯山と保勢の天然ダムの決壊と災

- 害. 砂防学会誌, Vol. 58, 3-12ページ.
- 井上公夫 (2018) : 歴史的な大規模土砂災害地点を歩く. 丸源書店, 224-236ページ.
- 石田啓佑・村田明広・橋本寿夫 (1992) : 海南町の地質. 海南町総合学術調査報告書第二編, 1-3ページ.
- 石田啓佑 (1993) : 四国四万十帯「穴喰浦の化石漣痕」. 地質ニュース, No. 464, 26-29ページ.
- 石田啓佑 (1998) : 四国東部, 四万十累層群の岩相層序と放散虫年代. 大阪微化石研究会誌, 特別号, No. 11, 189-209ページ.
- 石田啓佑 (2002) : 徳島県の地盤. 地質と調査, 2002年第3号, 28-35ページ.
- 石田啓佑 (2014) : 旧徳島城表御殿庭園と「竹ヶ島石」. 発見! 徳島の自然と文化. 阿波学会, 14ページ.
- 甲藤次郎・田中啓策 (1973) : 白亜紀・古第三紀の生痕化石 (日本化石集23). 築地書館.
- 松倉公憲 (2008) : 地形変化の科学—風化と侵食—. 朝倉書店.
- 日本の地質「四国地方」編集委員会編 (1991) : 日本の地質8 四国地方. 共立出版.
- 日本の地質増補版編集委員会編 (2005) : 日本の地質増補版. 共立出版, 283-313ページ.
- 日本地質学会編 (2016) : 日本地方地質誌7 四国地方. 朝倉書店.
- 太田陽子・成瀬敏郎・田中眞吾・岡田篤正 (2004) : 日本の地形6 近畿・中国・四国. 東京大学出版会.
- C. Ollier (1971) : 風化—その理論と実態, ラテイス.
- 岡田一郎 (1974) : 穴喰町の寺社・石仏・遺跡の実態調査. 総合学術調査報告・穴喰町及びその周辺, 阿波学会・徳島県立図書館, 129-136ページ.
- 四国地方土木地質図編纂委員会 (1999) : 四国地方土木地質図解説書. 国土開発技術センター.
- 寺戸恒夫 (1986) : 四国島における大規模崩壊地形の分布と地域特性. 地質学論集, No. 28, 221-232ページ.
- 植木岳雪 (2013) : 徳島県南部, 大木屋崩壊地の地形・堆積物の特徴と形成時期の推定. 地質調査研究報告, No. 64, 213-219ページ.
- Walker, R. G. (1985) : Mudstones and thin-bedded turbidites associated with the Upper Cretaceous Wheeler Gorge conglomerates, California: a possible channel-levee complex. *Journal of Sedimentary Petrology*, Vol.55, pp. 279-290.
- Walker, R. G. (1992) : Turbidites and submarine fans. In: Walker, R. G., James, N. P. (Eds.), *Facies models, response to sea level change* Geological Association of Canada, Geological Association of Canada, St. Johns, pp. 239-263.
- 山下 勇 (1992) : 保瀬の崩壊. 海南町総合学術調査報告書第二編, 7-15ページ.

Geology and geomorphology of Takegashima in Kaiyo Town

NISHIYAMA Ken-ichi, NAKAO Ken-ichi, TSUJINO Yasuyuki and ISHIDA Keisuke

* 2-1, Minamijosanjima-cho, Tokushima 770-8506, JAPAN

Proceedings of Awagakkai, No. 63 (2021), pp. 87-94.