

田辺湾周辺の地質、地形と海岸生物

大垣俊一

海岸生態学の教科書類では、冒頭に、海岸環境の特徴として潮汐、波浪、温度、塩分、棲息基盤などの無機的環境条件に触れるのが一般的な構成である。そこでは一応、礫サイズや砂の粒度、波浪露出度などと生物との関係などにも言及されるが、その扱いは、生物の棲息環境としての概観という域を出ない。これは潮間帯生態学の研究自体にも言えることで、タイドプールや crevice (岩盤上の溝や穴など) と生物との関係といった視点で若干の業績はあるものの、特に岩礁潮間帯では、基盤の性質をあまり問題にすることなく研究が行われることのほうが普通である。教科書類の構成も、このような現実を反映したものであろう。

一方、海岸の地質や地形それ自体は、もっぱら地質学、地形学の面から研究されてきた。これら相互の間には密接なつながりが認められるが、そこでは生物の棲息環境という面からの議論は行われない。地質、地形学と生態学の間には、以上のように一種の断絶があるわけだが、海岸生態学がこれらの分野に学ぶ点は、現状のような一般的認識以上には、もうないのだろうか。そのような問題意識のもとに、紀州田辺湾周辺に例をとり、この一帯に関する地質、地形学の業績を以下で検討してみる。これらの分野には、それぞれ独自の方針(地質学では古環境の復元、地形学では地形の成因論)があり、それらは基本的に生物現象にかかわるものではない。しかしここではあえてこれらの分野固有の問題意識にも虚心に耳を傾けながら、そこから逆に海岸生態学を照射するものがないかどうか、探っていきたい。

田辺湾周辺では、主として 1930 年代以降、化石や地質構造について研究が行われ、ある程度の知見が得られていたが、1980 年代以降、和歌山大学を中心とする田辺団体研究グループの精力的な調査によって、地質構造と地史の概要が明らかになってきた。一方、地形学の面では 1960 年代の、東北大学の三位秀夫の報告があり、田辺湾とその周辺の海岸地形が詳細に記述、議論されている。本稿は、先に田辺湾周辺の海況について紹介した¹⁾に続く、この地域の海岸生物を取り巻く環境を大づかみに把握するための試みの一環である。

著者は地質学や地形学の専門家ではなく、以下の論述において文献を読みまちがったり、素人的な恣意的解釈をしている部分があるかもしれない。また、古い文献に依っている場合、今はそのように考えられていないというたぐいの、新しい情報のフォロー不足の恐れもある。しかしそうしたことを気にしていたのでは、境界分野に踏み込んでゆくことはできない。もしまちがいがあれば今後に生かしてゆきたいと考えるので、指摘していただければ幸いである。本稿をまとめるにあたり、文献についての情報や様々な教示を与えられた白浜町の鈴木昌氏、田辺市の舩山展孝氏に感謝を申し上げます。

1. 地質構造

a. 紀伊半島南部

地域の地層は、陸上ではふつう土壌や植性に覆われ、崖や川沿いといった限られた場所にしか露出しない。そのため生物に対する影響は、主に土壌の化学的性質などを通じた間接的なものになると思われる。それに対し、海岸では波の作用によって必ず露頭が現れるので、地層の性質は棲息基盤を規定し、生物に対する影響は、陸上よりもはるかに直接的である。

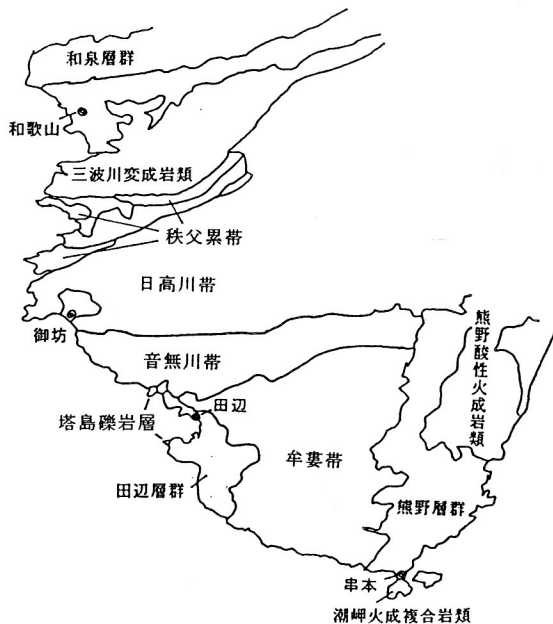


図 1. 紀伊半島南部の地質構造。
文献 (3) により描く。

図 1 に、紀伊半島南西部の地質構造を示した。この一帯は、秩父累帯や田辺層群などを除いて化石が少なく、長く「時代未詳層」として年代決定が進まなかった。しかし近年、放散虫など微細化石の分析によって次第に堆積年代が明らかになってきた^{2,3)}。これらの成果に従い、海岸部に着目して北から概観する。まず、由良以北の比較的狭い範囲に、秩父累帯が分布する。古生代～中生代、3 億～1.4 億年前に堆積した石灰岩質の地層で、ウミユリや有孔虫の化石を多く含み、温暖期のサンゴ礁性堆積物と考えられている。景勝地として有名な白崎海岸は、この地層帯に含まれる。その南、由良から御坊を経て日高川河口のやや南までは日高川帯で、約 1 億年前、中生代の海底に堆積した地層とされ、礫岩、砂岩、泥岩、砂泥互層（砂岩と泥岩が交互に積み重なった地層）より成る。さらに南、南部町目津崎のやや北側までが音無川帯で、堆積年代は約 6000 万年前の新生代初期とされ、礫岩、砂岩、泥岩、砂泥互層などより成る。南部町から田辺を経て日置（日置川河口）までは田辺層群で、堆積年代は 1500 万年前の第三紀中新世。岩質は礫岩、砂岩、泥岩や、砂泥互層を中心とする。田辺層群の西端、白浜の番所崎と、田辺湾をはさんで北の目津崎周辺には、塔島礫岩層（目津礫

層)が分布する。礫岩を中心に砂岩、泥岩を伴い、化石を産しないために年代は不明であるが、田辺層群を不整合に覆うので、中新世以降、第四紀までの堆積層であることは確実である。7-800 万年前(第三紀鮮新世)の形成としている文献もある³⁾。日置から串本の西、田並までは牟婁帯で、5000~2000 万年前の第三紀初~中期に堆積した、礫岩、砂岩、泥岩、砂泥互層から成る。田辺層群に比べ、北隣の音無川帯、南隣の牟婁帯の地層は褶曲などの変形が著しく、前者の切目崎周辺では、砂泥互層がほとんど垂直に立って、せんたく板状の地形になっている。牟婁帯では、和深付近に見られる「フェニックスの褶曲」が有名である。田並の東は熊野層群で、岩相は田辺層群にほぼ等しく、同年代の形成と考えられている。潮岬周辺には潮岬火成複合岩体(1500 万年前)が分布するが、熊野層群はこの一帯をまたいで宇久井近くまで続く。そこから北には、熊野酸性火成岩類が分布し、形成年代は熊野層群の堆積後、1400 万年前頃と考えられている。以上のうち秩父累帯から熊野層群まではすべて海底に堆積した堆積岩であり、その形成年代は、全体に南に行くほど新しいという傾向がある。



図 2. 田辺湾周辺図。本稿に登場する地名を付す。



図 3. 田辺層群の地質構造。点刻部は朝来累層、斜線部は白浜累層のおよその分布範囲。文献(5)より描く。

紀伊半島南部では、古第三紀以前の地層に属する日高川帯、音無川帯、牟婁帯の地層は、断層、褶曲、節理などが発達して構造が複雑であり、またよく固結して硬い岩盤を形成する。これに対し、新第三紀以降の地層である田辺層群、熊野層群などは、地層の変形の度合いが少なく地質構造は単純、かつ固結は前者ほど進まず、岩質は比較的軟らかい²⁾。地層の古さと硬さの関係は、一応、長い固結期間が与えられたとい

うことで、また地質構造の複雑さとの相関は、古いほど長い間の地殻変動の影響を受けてきたということで説明されるだろう。

b. 田辺湾周辺

田辺湾周辺、南部町から日置川まで分布する田辺層群は、古くから産出化石により第三紀中新世の形成であることが推測されていたが、1930年代に地質学的調査が行われてこのことが再確認されるとともに、下部の田辺統と、上部の鉛山統に区分された⁴⁾。のち、前者は朝来累層、後者は白浜累層と改名され、朝来累層はさらに3部層、白浜累層は5部層に分割された⁵⁾。その後、朝来累層は検討の結果4部層に再編成されて⁷⁾現在に至っている。朝来累層と白浜累層は整合の関係にあり、このことは両者の堆積が一連のもので、間に陸化、侵食などの大きな構造的変化を経ていないことを物語っている。

白浜累層は朝来累層の西に分布し(図3)、この二層間でも、各累層内の部層においても、全体に東から西に向けて地層が新しくなる。田辺層群は、北部では音無川帯の地層を、南部では牟婁帯を不整合に覆い、西端で塔島礫岩層に不整合に覆われる。田辺層群は化石が豊富で、田辺湾南岸の藤島などに分布するキリガイダマシの一種 *Turritella kiiensis* はよく知られ、また湾奥、滝内などの砂岩上には、アナジャコ類の生痕化石 *Ophiomorpha* を普通に見ることができる。田辺湾の海岸部に限ると、北岸は朝来累層、南岸から東岸はやや新しい白浜累層、白浜の番所崎は、最も新しい塔島礫岩層の地層から成る。朝来累層も白浜累層も、基本的には礫岩、砂岩、泥岩と砂泥互層から成るが、天神崎、元島に分布する朝来累層は、礫岩または砂岩を中心として砂泥互層はあまり見られないのに対し、田辺湾南部の海岸線に広く分布する白浜累層には、砂泥互層が普通に現れる⁵⁾。田辺層群の地層の傾きは、層群分布地域の中心部から遠い、堆積の基底にあたる部分では20-40°で比較的強く、中心域近くでは0-10°と、次第にゆるやかになる。このことを反映して、海岸部に限ると、田辺湾南岸などでは傾斜はゆるく、南に離れた椿付近などでは傾斜がきつい⁶⁾。地層の走向は、白浜半島と田辺湾を取り巻くような形態で、湾北岸で西北-東南向、南岸では北東-西南向となる⁷⁾(図4)。

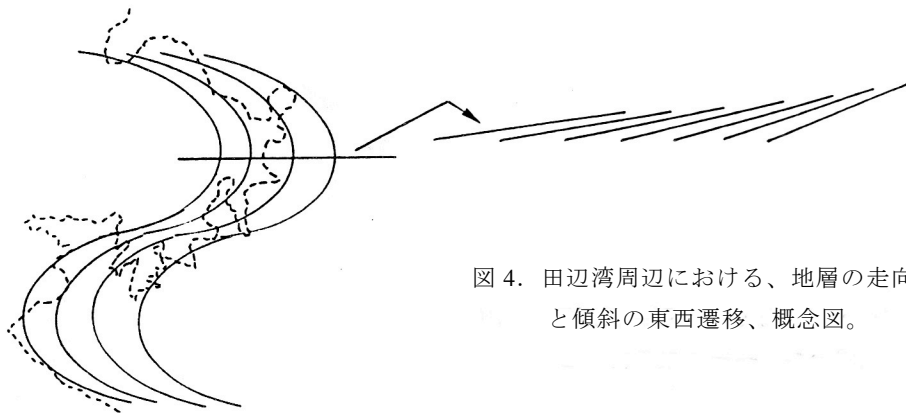


図4. 田辺湾周辺における、地層の走向と傾斜の東西遷移、概念図。

白浜累層には、まれに泥岩岩脈が貫入しているのが見られる。これは同累層の形成後、砂岩の節理面など構造的に弱い部分に、大地震などの地殻変動の際、下層から液状化した泥質物が吹き上がって固まったもので、島島、古賀浦、権現崎のものは天然記念物に指定されている。また、坂田や鳥の巣海岸には同じく天然記念物の化石漣痕が見られる。これは海底の砂に刻まれた波の跡が、その上に泥が降り積もって保存されて固結し、のちに上部の泥岩が侵食されて現れたものとされている^{3,8)}。

塔島礫岩層は、その名の通り礫岩を中心とした地層で、田辺層群との不整合境界面は、白浜番所崎の京大水族館下の崖面で、明瞭に見ることができる。岩質は石英を多く含んで白っぽい。また岩は固結が不十分で半凝固状態であるため、崖崩れが頻繁に起こり、地形変化が著しい。一例として、地層の名称の元になった塔島と呼ばれる孤立岩塊は、江戸時代末まで番所崎の基部からひとつながりの岬の先端に位置し、岬の2ヶ所にトンネルが空いた状態だったという⁹⁾。番所崎によく似た地層は南部町の日津崎周辺にも分布し、塔島礫岩層は、こちらの名前を取って目津礫層と呼ばれることもある。目津崎の地層も半凝固状態で崖崩れが頻発し、海岸地形は番所崎と極めてよく似ている。田辺層群の侵食はこれほど激しくはないが、それでも時おり崖崩れは起こっている。たとえば、島島の属島として現在小丸島と呼ばれている岩塊は、もとは島島本島部と陸続きの岬だったものが、基部が侵食されて先端部が孤立し、現在のような状態になったと言われている¹⁰⁾。田辺湾内の島々や岬は、歴史時代に入ってからこうした浸食を受けて、面積の縮小や形状変化を経てきたと推測される。

以上をまとめて、田辺湾周辺の地層は、ほぼすべてが第三紀中新世の堆積岩であり、湾内では、北岸より南岸に、より新しい時代の岩石が分布していることになる。とはいえ、両者は既に見たように成因的には一連の堆積層である。これに対し番所崎周辺に限って分布する礫岩層は、年代的にも岩相上もこれらと明らかに異なり、田辺湾岸でも特異な位置を占めていると言えよう。

2. 海岸地形

既に述べたように、田辺湾周辺の海岸地形については、1960年代の三位秀夫の詳細な調査、分析がある¹¹⁾。これは海岸地質学の教科書にも引用される有名な業績であるが、海岸生物研究者には、分野ちがいであることと英文で大部にわたるせいもあってか、案外読まれていないようである。ここでは主としてこの報告に従い、田辺湾周辺の地形の概略を紹介する。

田辺湾周辺の海岸線の輪郭は、地図を見れば明らかなように、湾口～湾外では比較的単純である。しかし湾内とくに南側湾奥部では複雑で、島、礁が散在し、岬の間に枝湾と呼ばれる入り江が刻まれる。入り江の谷地形が海底に、岬の尾根は背後の陸地に連続することや、入り江の奥に小河川が流入することなどは、かつての谷間が海水準の上昇によって水没して入り江になったことを物語る（溺れ谷地形）。島や礁は、かつての山の頂上が水没して、陸から分離したものと解釈される。つまりリアス式海

岸であり、湾奥の波静かな環境が、これらの地形を保存した。これに対し湾外の地形が単調なのは、強い波浪で、かつての陸地的地形の痕跡が削られて不明瞭になったためであろう。

田辺湾の周辺には、大別して6種類の階段状地形が発達する。これらを高いほうから50m海岸段丘、30m海岸段丘、coast platform、raised beach、shore platform（波食棚）、offshore platform（海食台）と呼ぶ。50m、30m海岸段丘は、ほぼこの高さに形成された台地状地形で、印南町の切目崎付近で典型的なものを見ることができるが、田辺湾岸にも分布する。南部（みなべ）の堺と白浜の安久川付近の段丘堆積物からは貝化石が発見されている^{12,13}。種組成は主として現生種との共通種から成り、カモノアシガキやハイガイなど、内湾性、暖海性と見られるものが含まれている。一方、有孔虫化石の分析から、堺はやや内湾的、安久川はやや湾口的な、ともに温暖な環境だったと推定されている^{14,15}。これらの情報から、段丘堆積物の堆積年代は後期更新世と考えられている²。coast platformは、海岸近く、現在の波食の作用が及ばない高さに形成された平坦岩面で、成因は様々だが、その一部は第四紀完新世の海水準上昇時（縄文海進、約6000年前）の海食によると推測されている。raised beachも、現在の海面より上にある砂浜地形で、+2mと+6mの2種がある。いずれも海進時の痕跡を示す地形とされているが、+6m beachの分布は湾口～湾外に限られている。このため、これを形成した時の海水準は長く続かなかったか、または形成後に湾奥部が沈降し、そこでは後の+2m beachの形成により消滅した可能性が考えられている。これらのraised beachからは、貝殻、サンゴ片、弥生時代の土器片などが見つかるという。shore platformについては後述するとして、次のoffshore platform（海食台）は、海面下に形成される岩盤平坦面で、岬、島、礁の周辺0-10mの水深に発達する。これらは、表面に岩盤が露出して、現在侵食の過程にあると考えられること、波の作用の及ぶ水深に形成され、波当りの強い開放海岸ではより深いところに形成されるなどのことから、波とそれによって動かされる礫や砂による削磨作用の結果できると考えられている。

海岸地形を論ずる際に最も重要なshore platform（波食棚）は、潮間帯に発達する岩盤平坦面で、三位は田辺湾一帯のshore platformの高さを測定し、高さ分布に4つのピークが認められることから、上からupper、upper mid、lower mid、lowerの4つのplatformを区別した。これらのshore platform上には、溝、ノッチ、様々な大きさのhole（幅<深さの凹地形）、pool（幅>深さ）が発達して地形が複雑化している。溝は断層や節理など、構造的に弱い面に沿って刻まれることが多い。ノッチは、地層の傾きを反映して、ある程度持ち上がっては小さな崖を形成してまた次の持ち上がりが始まる、いわゆるケスタ地形の崖状部によく見られる（図5）。崖が海側にあるものをwave front notch、陸側にあるものをwave shadow notchと言うが、田辺湾では後者が多い。これは一帯の地層が、田辺湾を取り巻くように配列して海側に傾斜していることの反映である。



図 5. 緩傾斜の砂泥互層が作る、ケスタ状 platform。斜線部は侵食を受けやすい泥岩層。

hole と pool の形成要因としては、物理的、化学的、生物的なものが考えられている。物理的要因とは、波や風と、それによって動かされる礫や砂の削磨作用をさす。岩盤の凹地に礫がはまり、波でかきまわされて岩盤を削り込んだ結果できる甌穴 (pothole) は、その典型である。化学的侵食は、主に雨水による。砂岩などは、構成要素である砂粒を、結着物質の CaCO_3 などが結びつけてできているが、雨水は CaCO_3 に不飽和であるため、これを溶解して砂粒を分離し、岩質を弱める。他に、これは生物化学的と言うべきだが、プール内植物の光合成が停止する夜間にプールの CO_2 濃度が増して海水が酸性になり、アルカリ塩である CaCO_3 を溶かす作用も考えられている。生物要因の主体は、ウニ、笠貝、ヒザラガイなどの grazing である。shore platform の成因は諸説あってまだ決着していないようだが、波など海側の要因よりも、雨や風などによる風化作用を侵食の主力とし、波は風化によって弱まった岩石を取り除くという考え方が主流のようである¹⁶⁾。三位は、潮間帯において潮汐に伴う水浸時間が急変するレベルが、ちょうど upper mid と lower platform の位置に相当していることから、風化と波による持ち去りの働きがこのレベルでピークに達し、これらの platform が形成されると考えている。4 段階の shore platform というのは田辺湾周辺に固有の現象らしく、三位は上記以外の upper と lower mid の platform は、はじめ upper mid と lower の位置に形成されたものが、のちに地盤の隆起によって持ち上がったものと見ている。

shore platform の高さは、岩質によっても影響を受け、弱い岩質の海岸の platform は低くなるとされている。これは、硬い岩では空気中での風食が水中での波食を上回って、侵食面が高くなるのに対し、軟らかい岩では逆に波食が風食を上回るので、侵食面がより低くなるためと説明されている。同じ田辺湾の湾口部で、北の天神崎と南の番所崎を比べると、前者は田辺層群朝来累層の地層、後者はより新しく軟らかい塔島礫岩層から成る。これに対応して、天神崎の shore platform は upper と upper mid を主体とするのに対し、番所崎、特にその南側は upper mid と lower mid から成り、1 ランク低い。高さ以外の特徴として、天神崎の platform は起伏に乏しく、深い hole や pool を欠いて明瞭な水平面を形成するが、番所崎の platform は起伏が激しく、hole や pool に富み、高低差が目立つ。これも、塔島礫岩層の岩質が弱く、侵食されやすいことの反映であろう。

田辺湾の沿岸部では、地質の項で述べたように、東部に比べて地層の傾斜がゆるく、また、北の音無川帯や南の牟婁帯に比べて、はるかに褶曲などの変形を受けることが少ない。このことが、田辺湾沿岸に shore platform が発達する基本的な要因になっていると考えられる。実際、音無川帯や牟婁帯の海岸では、田辺湾内のような、広く一様な platform を見ることはまれである。

3. 田辺湾の成立

紀伊半島の形成史を考える場合、秩父累帯以南の紀伊半島の地層帯が、原則として南に行くほど新しくなることは重要である。こうした配列をもたらすメカニズムをめぐっては、大きく分けて、古典的な地向斜造山論的な解釈と、近年優勢になってきたプレートテクトニクスの解釈とがある。前者によれば、堆積盆が徐々に南に移動しつつ、北から次第に陸化して日高川帯、音無川帯、牟婁帯を形成していったと考える。この時、地層に刻印された古流向や、牟婁帯にオーソクオートサイトという、大陸起源の岩石が見られることなどから、北側だけでなく南側にも大きな陸塊があり、両者からの土砂流入によって地層形成が行われたとする。この南側の陸地は「黒潮古陸」と仮称され、その存在を証明するべく紀伊半島南海域でボーリング調査も行われたが、まだ実証されるに至っていない^{17,18)}。一方のプレートテクトニクスの解釈を単純化して言えば、日本列島の骨格となる陸塊に、フィリピン海プレートを北上してきた陸塊が次々に衝突、付加して新たな地層を形成していったということになる。オーソクオートサイトの存在も、大陸の「切れはし」がのせて運んできたと考えれば説明は容易である。これらの他にも中間的な仮説などバリエーションがあり、どの程度プレート的な考えを取り入れるか、また黒潮古陸の位置づけについても、研究者によって差があるようだ²⁾。なお先に、田辺層群に比べて音無川帯や牟婁帯の地層の変形が著しく、地質構造が複雑であることに言及したが、プレート的な考えに立つなら、海洋底に堆積した後、海溝に沈み込んで日本列島に付加するというすさまじい経歴を経た音無川、牟婁帯と、後述するように、両地層帯形成後に陸地付近の浅海に堆積した田辺層群の間に、変形の度合いの差があることは当然ということになる。単に年代が古いから変形のチャンスが多かったというのみならず、成因の点で両者は全く異なると考えられるのである。日高川、音無川、牟婁帯がどのように形成されたにしろ、これら地層帯が陸化した後、第三紀中新世に、古紀伊半島の両側に堆積盆が形成され、半島の西に田辺層群、東に熊野層群を堆積した¹⁹⁾ (図6) とする点では、研究者の間に大きな意見の相違はないようだ。

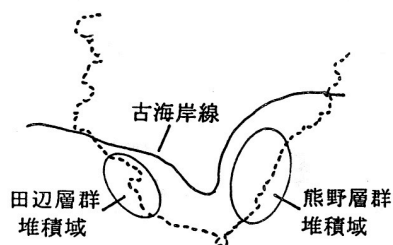


図6. 第三紀中新世における、古紀伊半島と田辺層群、熊野層群の堆積盆、概念図。文献(19)をもとに描く。

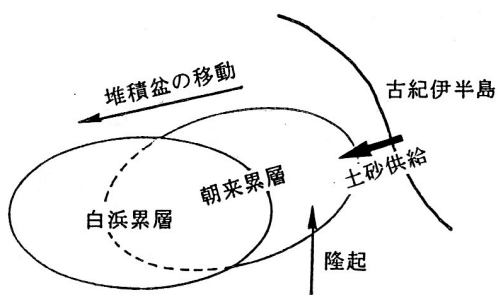


図7. 田辺層群、朝来累層から白浜累層への堆積盆の移動と隆起、概念図。文献(11)の記述をもとに描く。

田辺層群の場合、陸地からの土砂を受け入れる堆積盆は、徐々に西に移動しつつまず朝来累層を、次いで白浜累層の各部層を堆積してゆき、のちに東側が隆起したと考えれば、西に行くほど新しく、傾斜の緩い地層配列を説明できる¹¹⁾(図4,7)。これらの地層は、のちに全体的に隆起して浸食を受け、第四紀更新世までには白浜半島域は上昇、田辺湾付近は沈降して、現在の田辺湾周辺の祖形が形造られたと考えられる。更新世には氷期、間氷期のくり返しに伴って海水位が変動し、その後期には海底段丘や海底谷、+30m、+50mの海岸段丘など、今に残る地形の輪郭が形成された。この、更新世を通じた海面の上下動の過程で、今の田辺湾周辺を海面が通過する際、「古田辺湾」と言うべき地形が現れ、一時的に(といっても今とそれほど変わらぬタイムスパンで)維持されていた可能性はある。しかし、最終氷期のウルム氷期最盛期(約25000年前)の海水準は約-100mと推定されているので²⁰⁾、この段階では田辺湾周辺は、海岸線から離れた陸地の奥にあったことになる。その後、海水位は上昇して約7000年前以降に現在の水準に至り、6000年前頃に最高位に達した(縄文海進)。この時の水位は、日本周辺では現在より+2~3mとするのが一般的のようである²¹⁾。この頃、田辺湾周辺には、今に残る coast platform の一部や、+2m、+6m raised beach が形成された。その後、海面は徐々に低下して現在の位置に至った。つまり、現在の田辺湾の輪郭はほぼ7000~6000年前頃に定まったのであり、現海面での波食による地形変化は、この年代をさかのぼらないことになる。ただ、数mの差とはいえ、縄文海進時と現在では、田辺湾の形状はかなり異なったものだったと考えられる。ウルム氷期以降の田辺湾の地理的変化については、北岸湾口部の高山寺貝塚周辺の地形変遷を、遺跡分布や地形の読み取り、ボーリングによるコアサンプル調査などによって復元した研究がある²²⁾。それによれば、縄文海進最盛期には、海が現会津川沿いに深く入り込み、奥深い内湾水域を形成していた(図8)。高山寺貝塚からは、有明海のような広大な干潟に分布し、現在の田辺湾に産しないハイガイが大量に出土する²³⁾。事情は芳養川、文里湾奥などについても同様であったと考えられ、当時の田辺湾は、今よりもはるかに内湾環境の卓越する状態だったであろう。その後河川による埋め立て、また、昭和以降は人為的な埋め立ても加わり、内湾環境は縮小の一途をたどって現在の状態に至ったと考えられる。

近年の田辺湾周辺の地殻変動として顕著なものに、1946年の南海大地震がある。地震以前、田辺湾周辺は約50年間に8cm程度の地盤の上昇を記録していたが、南海地震前後では、海図水深の比較から、数十cm程度の沈降が確認された。¹¹⁾(図10)。図では-30cmの値が異常に多いのが気になるが、広い範囲で沈降が見られている。天神崎から文里にかけての北岸部の値は特に大きく、最大値は-120cmである。紀伊半島南部を襲った大地震としては、これ以前にも1854年の安政地震、1707年の宝永地震、1605年の慶長地震などが知られている。串本周辺では、このような地震のたびにトータルでの地盤の隆起が生じ、現在の海岸段丘を形成したと考えられている。一方田辺湾周辺では地震前の隆起と地震時の沈降が相殺されて差し引きほぼゼロとなり、地殻変動においては地震時の急激な変化より、平常時の慢性的変化が重要であると推測されている。⁴⁵⁾

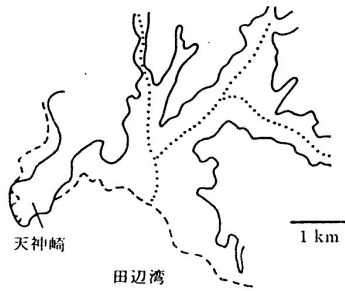


図 8. 縄文海進（約 6000 年前）当時の、田辺湾北西部の古海岸線（実線）。破線は現海岸線、点線は現会津川の流路。文献（22）をもとに描く。

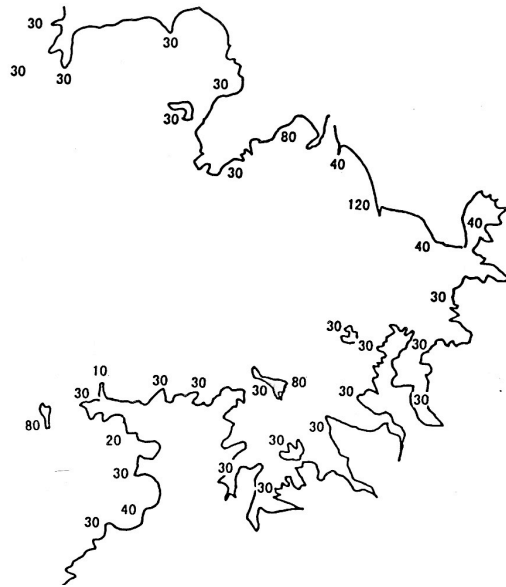


図 9. 田辺湾周辺の、南海地震前後の地盤変動。数字は沈降量を示す。文献（11）より描く。

4. 海岸の地質、地形と生物

地質構造や、一部それによって規定された大小の規模の海岸地形は、そこに棲息する生物の分布にどのような影響を及ぼすのか。これまで見てきた地質学、地形学の成果に筆者の見解を交えて、田辺湾周辺の、主として岩礁海岸について検討してみる。

まず、大づかみに見ると田辺湾の存在そのものが、紀伊半島南部において特異である。田辺湾に匹敵する規模の内湾環境は、加太以南の紀伊半島西岸には他になく、串本から東岸を北上すると、志摩半島周辺に至ってようやく現れる。田辺湾は、黒潮流域下の内湾として、紀伊半島で独特の位置を占めているのである。田辺湾外の周辺海岸は、入り江はあっても小規模で、波浪に対する露出度が高い。ワダツミギボシムシ、ヒバリガイモドキ、シオヤガイなど、内湾型生物の中に、紀伊半島南部で田辺湾にのみ普通に見られる種類があるのは、これに対応する事実である。特に、湾南東部はリアス式地形で湾内湾ともいふべき入江（枝湾）が形成されている。こうした二段階の内湾構造によって、これら枝湾内には強い内湾度の環境が実現し、他地域では主として大きな規模の干潟に分布するヘナタリ、イボウミニナ、オキシジミなどが見られ、あるいはかつて見られた。また、田辺湾に産する、内湾性とか中内湾性と呼ばれる種の中には、ヒバリガイモドキのように湾口から離れるにつれて密度が減少したり、マ

ガキのように湾外にはごくまれに発生するにすぎない種もある。きちんと調べられていないが、こうした事実は、田辺湾の存在が周辺海域の生物多様度の増加に寄与している可能性を示すものである。

もう少しミクロなスケールでは、潮間帯における platform と生物相の関係が注目される。波食棚 shore platform は、水平に近い地層面に風化と海食の相互作用によって生ずるため、地質構造が単純で、岩質の軟らかい海岸に形成されやすい。この点、年代が新しい田辺湾周辺の海岸は、platform 形成に好適な条件を備えていると言える。platform の存在は、第一に潮間帯の面積そのものを拡大するという点で、潮間帯生物の abundance に影響する。また、platform 上には hole や pool が発達し、これらに特有でないし、これらをよく利用する生物に生息場所を提供する。本来潮下帯に分布する生物が、プールがあるために潮間帯に現れるという側面もあり²⁴⁾、潮間帯生物相の多様化に寄与する。また platform が指状に入組んだ地形になると、その間に小規模な内湾環境を作り出し、また奥行きのあるものでは、先端部に比べて基部は波が弱められて露出度の勾配を生ずる。これらに応じて、波浪要求の異なる生物の共存が可能になる。

platform については、その高さも生物相にとって重要な意味を持つ。番所崎南岸の platform における貝類調査では、潮位基準面+60~160cm の幅をもつ調査区内で、低い地点ほど単位面積当りの出現種数が増えるという結果が得られている²⁵⁾。敷衍すれば、低い位置の platform の方が、貝類相は多様になると予想される。これに関連して興味深いのは、ともに田辺湾湾口に位置する天神崎と番所崎の海岸群集の相観の差である。両者共に幅広い platform が発達するが、岩質の差を反映してか、前者のほうが全体に高い所に形成されている。このため、天神崎の platform 上は、高所に分布するアラレタマキビが優占種で、岩盤の露出が目立ち、ヒバリガイモドキ、ケガキ、クロフジツボ、海藻類などの付着、固着生物は、主として platform が海に落ち込む斜面上に、細長い分布を成して見られるにすぎない。これに対し、番所崎の platform の高さは、これら付着生物の分布高度と重なっており、これらの種が平坦面上の広い範囲に分散して存在する。当然、これらの種を摂食し、またその群落を住み場所とする生物も、後者に豊富となるだろう。この点から言えば、南海地震での地盤変動数十 cm というのは、案外大きな意味を持っているかもしれない。もしも地震以前の番所崎の platform がこの分だけ高かったとすると、現在の天神崎の状態に近く、生物相がもっと貧困になっていたとも考えられる。しかし、南海地震以前の番所崎の地形と生物相を定量的に調べた研究は見当たらない。

天神崎と番所崎については、地形の項で述べたように、platform 上の地形にも目立った差があるが、これは先に述べた、両地点の岩質の硬度差を反映している可能性がある。天神崎の方が明らかに平坦であり、番所崎では起伏に富み、pool や hole もよく発達する。こうしたことによって番所崎の場合、platform 上に様々な高度や水没条件をを嗜好する生物を棲息させる条件を備えていると言えよう。

田辺層群の地層は、緩傾斜した砂泥互層を多く含むため、しばしばケスタ形の階段状 platform を形成する。この際、地層の勾配の向き (図 4) から、ケスタ地形の崖面はほとんどが陸側に面し、wave shadow notch となる。ノッチに固有の生物相があるか

どうか調べた例を知らないが、田辺湾ではノッチ下にヤッコカンザシやクジャクガイのコロニーを見ることがあり、大型のマツバガイなども多い。ノッチ、とりわけ wave shadow notch の選好種があったとすると、それらの種にとって、田辺湾は地質構造上、生息場所を豊富に提供していると言えそうである。

shore platform は、多くの場合、陸側が崖になって終わっているが、この崖上にはしばしばアラレタマキビ、イボタマキビなど、タマキビ類が分布する。アラレタマキビの場合、これらの個体は主として降雨時に基盤からはがれて落下し、落下個体は下位の platform に止まった後、再び崖面に這い上がることがわかっている²⁶⁾。従って、もし崖下に平坦面がなければ、落下個体は本来の棲息場所を回復できず、個体群の存続が困難になると考えられる。

さらにミクロな視点から見ると、岩質そのものの問題がある。一般的に海岸の岩質と生物の関係が論じられる時は、泥岩とそれに穿孔する二枚貝の例がよくあげられる。田辺湾においても、泥岩の岩塊に、イシマテ、ニオガイ、カモメガイなどの二枚貝が穿孔していることがあり、これらの種にとって、適当な高さに泥岩が存在することは棲息のための必須条件である。また岩質を堆積岩に限って、礫岩、砂岩、泥岩を比較した場合、まず礫岩は表面が複雑で水分保持の効率がよく、その意味で付着生物にとって好適な棲息基盤を与えるであろう。砂岩は平滑で岩面が乾きやすく、固着生物にとっては礫岩に比べて固着の手がかりが少ない点で、より不適と言えるかもしれない。しかしトコブシやニシキウズガイ類の一部など、平滑岩面上を急速に移動する種にとっては、好ましい棲息基盤と言え、また、表面に節理などで、溝や割れ目 (crevice) が生ずると、そうしたところは多くの潮間帯生物にとって好適な住み場所となる。イギリスでは、crevice の存在が、タマキビ類のサイズや密度に影響を与えているという研究がなされている^{27,28)}。泥岩は軟らかく、先に述べたように穿孔性二枚貝類には必須の棲息基盤であるが、侵食や剥離が著しく、付着生物の棲息には適さない。この他、番所崎の塔島礫岩層や由良白崎の秩父古生層の岩は、前者は石英、後者は石灰岩に富むため、褐色系の田辺層、牟婁層の岩石などに比べるとはるかに白っぽい。白い岩は、熱反射のため夏季など高温になりにくいはずであり、生物にとって温和な環境を提供すると考えられる。また、田辺湾周辺には存在しないが、火山岩性の海岸では、別のパターンの生物と基盤との関係が実現している可能性がある。一例として、鹿児島湾の安山岩質溶岩の海岸では、多孔質の岩質が二枚貝幼貝の着底に好適である反面、その後の成長において制限的要素となる可能性が示唆されている²⁹⁾。

なお、ここでは地層との関連を主眼として記述を岩礁海岸に限ったが、転石や砂浜の海岸にも論ずべきことは多い。一例として、転石では、波当りの差によって、基底が岩盤になる「浮石型」と、下部が砂地の「はまり石型」があり、両者で生物相に差が見られることはよく知られている。砂浜もその立地条件によって生物相が異なり、開放海岸のポケットビーチと内湾の砂浜、また、同じ砂浜でも、岬の近くと浜の中央など、場所によって生物の分布が異なることは、海岸研究者が実感として知るところであるが、案外きちんと調べられていないのではないだろうか。

5. ヒバリガイモドキの個体群動態をめぐる一試論

ヒバリガイモドキは、イガイ科の附着性二枚貝で、日本では房総半島以南に分布し、岩礁潮間帯の中位～下位に、しばしばマット状のコロニーを成して分布する。本種は基本的に湾内型の生物で、波当りの強い開放海岸での出現はまれである。湾内では、急な崖面や斜面よりも、shore platform の平坦面に多く見られる。これらの事実は、同属のムラサキイノコなどに比べた、本種の波浪耐性の弱さを示唆している。ヒバリガイモドキは増殖すると海岸における占有面積が広く、アクキガイ科肉食性巻貝類の餌となり、またそのコロニー内にゴカイ等、他種生物を共存させるなど、潮間帯生物群集の構造に大きな影響を与える。本種の個体群動態をめぐる仮説については以前にも述べたことがあるが³⁰⁾、地形と海岸生物分布の関係を論ずる際の好例であると考えられるので、今回の田辺湾の地質、地形についての要約をふまえ、さらに整理、発展させる形で再論する。

ヒバリガイモドキは、田辺湾では 1950 年代以降記録されている。1970 年半ば以前の記録は多くないが、この期間、湾内数ヶ所で種の分布や群落の存在状態についての記述がなされ、「多い」としているものもあることから、少なくとも普通に見られる種であったと考えられる^{31,32,33,34)}。しかし 1976 年に島島での激減が報じられた³⁵⁾のち、ヒバリガイモドキは 1980 年代を通じて湾内での記録を断つ。しかしこの期間にも、湾口部の番所崎周辺には、マット状コロニーが存在していたことがわかっている^{25,36)}。ここで注意すべきは、同じ湾口でも、北の天神崎ではヒバリガイモドキはこの時期ほとんどいなかったと考えられることである。1975-79 年の調査に基づくリストには一応名前が載せられているが、岩礁ごとの詳しい分布記述の中に本種は現れず³⁷⁾、また 80 年代を通じて、潮間帯には見られなかったという情報もある³⁸⁾。こうした状態に劇的変化が現れるのは 1990 年で、この年、島島³⁹⁾や天神崎⁴⁰⁾で記録されたのを皮切りに、ヒバリガイモドキは急速に湾内に広がり、ほぼ全域の岩礁にマット状コロニーが見られるようになった。湾内海岸の景観は一変し、この状態は 2002 年現在に至るまで継続している。

ヒバリガイモドキの、この 1970 年代半ばの消滅と 1990 年代初頭の激増という著しい個体群変動の要因としては、これまでの田辺湾海域での生物相変動の研究を踏まえて、いくつかの可能性をあげることができる^{41,42)}。一つは黒潮の流況で、紀伊半島南部は黒潮の流域下にあるため、黒潮によって稚子が運ばれて一時的に個体群が成立する 'pseudopopulation' (偽個体群) の現象が、いくつかの種について知られている。1970 年代後半から 1980 年代は、ちょうど黒潮が紀伊半島を離れて離岸する、大蛇行ないし蛇行期に当ており、一応南方性種の範疇にあるヒバリガイモドキも、何らかの形でこの影響を受けたと考えられないことはない。しかし、ヒバリガイモドキは田辺湾周辺でも成熟、繁殖が可能な種⁴³⁾であり、典型的な pseudopopulation 形成種のように、個体群の recruit を完全に黒潮に依存しているわけでも、未成熟個体が冬季に死滅することをくり返しているわけでもない。また、この考え方では、蛇行期を通じて番所崎周辺に個体群が維持されていたことの説明がつかない。二つめの可能性は冬季の温度条件である。田辺湾では寒波の影響による熱帯系生物の死滅がくり返し報じられてお

り、ヒバリガイモドキが南方性種であることからしても無視できない要因である。湾内は湾口や湾外よりも冬季に水温が低下するので、湾内に限った消滅も説明できないことはない。しかし、著しい冬季の水温低下が生じたのは 1980 年代前半にほぼ限られており、ヒバリガイモドキの消滅期である 1970 年代や 1980 年代後半程度の温度条件は、本種の存在時期にも観測されている。また、観測データによれば、天神崎と番所崎の水温条件はほとんど同じであるにもかかわらず、前者では個体群が残らなかった。この説明も、今一つ歯切れが悪い。三つめは、湾内の水質汚濁である。様々な水質指標によるデータは、1970 年代半ばから 1980 年代末までの、田辺湾内の水質悪化をほぼ裏付けている。ただ、ひとつ気になるのは、1976 年と 1990 年には、他の海岸生物にもヒバリガイモドキと同様の急激な変化が生じたいことである。これは、栄養条件がどちらかといえばゆるやかに変化しているのとは、パターンとして一致しない。しかしこれについてはここでは踏み込むことを避け、一応水質を主因とするのが最も矛盾が少ないとして、議論を先に進めることにする（本号、例会 abstract 抜粋、2001.5.20 分も参照）。

湾内での衰退が水質汚濁によるとして、ではなぜ番所崎にだけ個体群が残ったのか。ヒバリガイモドキが、波浪耐性の弱い、湾内型の生物であるらしいことは既に述べた。ヒバリガイモドキは、田辺湾の近くの開放海岸にも現れるが、そういうところでは密度や分布パターンの変動が激しく、個体群は不安定である²⁵⁾。これらは、湾内からの継続的幼生供給なしに存続できるとは考えにくい。波浪耐性の弱さに加え、汚染にも弱いらしい。湾内には汚染があり、湾外は強い波浪にさらされることから、その間の湾口部、番所崎に残ったと、一応考えられる。しかし番所崎の有利さは、それのみに止まらない。田辺湾内の水流系は、大まかに言えば南側から黒潮系外洋水が貫入し、北側から湾内水が流出するパターンの卓越することが明らかになりつつある¹⁾。従って、番所崎は清浄な外洋水に洗われやすく水質が良好である。加えて番所崎には低位に幅広く platform が発達して、その間は指状に入組み、地形的条件もヒバリガイモドキにとって好適である。ここには、この種本来の habitat である「水のきれいな内湾」という環境が実現している。一方、北岸の天神崎も湾口にあるが、ここは二重の意味で不適當と言える。先に述べた田辺湾の流系により、汚染された内湾水が湾外に出て行く通り道に当るだけでなく、隣接する会津川から流出する汚水の影響も受ける。この周辺の水質が番所崎周辺よりも内湾的であることは、水質調査の結果からも確かめられている⁴⁴⁾。また、天神崎の platform は番所崎よりも高い位置に形成されており、ヒバリガイモドキは多くの場合斜面上に定着せざるを得ない。そのため個体群の規模は番所崎よりもかなり限定されたものとなる。

ヒバリガイモドキは、番所崎を shelter として 1970 年代半ばから 1980 年代末の厳しい時代に耐え、湾内の状況が好転するや、幼生を送り込んで個体群の爆発的増加を実現したと考えられる。本種が安定して高密度に生息するのは、紀伊半島南西部では田辺湾周辺だけである。その最大の要因は、田辺湾というこの一帯で最大の湾入が、番所崎という特異な地質、地形的特徴を備えた岬と共に存在することにあるだろう。ヒバリガイモドキ田辺湾個体群の動態は、地形とその背景となる地質構造、湾内流系な

どとの密接な関わりの上に成り立っているというのが、本稿で提起する私の仮説である。

潮間帯の環境は、岩礁海岸の棲息基盤の問題一つ取っても、極めて複雑である。微細地形から大地形まで、さまざまなスケールで検討課題があるだけでなく、地域固有の要素もからむ。それらはその時々々の生物の分布に限らず、行動、個体群動態、群集組成など多様な面に反映しているだろう。本稿で示した例の中には、これまで実際に研究対象になったものもあるが、そのほとんどは未研究の仮説段階にあると言ってよい。例外的に、プールについては以前から研究があるし、岩盤上のクレビスについては、1970年代にイギリスで巻貝のサイズや密度に及ぼす影響が報告され、その後注意が払われるようになった。しかしその扱いは、80年代以降盛んになった種間関係論とのかかわりで、種間関係に影響する一つの要因という位置が与えられたにすぎず、地形を含めた無機環境要因を総合的に捉え直すというまでには至っていない。そして具体的な現象把握が不十分なままに、地形と分布をめぐる研究は、nested ANOVA、variogram、フラクタル次元などの指標を用いた統計的抽象論に移行しつつある。

雨が降った時、磯の生物はどうしているのだろうか。堆積岩海岸と火山岩海岸の生物相の違いは。岩質や色とその上の生物との関係はどうか。プールには、ノッチには、クレビスにはどういう時期にどんな生物がいるのか。ノッチの wave front と wave shadow の差はどうか。また、いろいろな地形の組み合わせ。私の印象では、イソニナなどは wave shadow notch の前に platform が開けて浅いプールが形成されているところに多いように見える。そして彼らは昼の干潮時にノッチに潜み、夜になると前のプールに‘狩り’に出かけているらしいのだが…。そういう具体的な事例研究が、もっと多く行われてよさそうに思われる。

潮間帯生態学は、その最も基本的な部分においてなお多くの課題を残し、その面での情報の一層の充実が、様々な視点の研究に有意義な示唆と、より着実な発展をもたらすにちがいない。

引用文献

- 1) 大垣俊一 2002. 紀伊半島南部沿岸の海況. *Argonauta* 5: 9-21
- 2) 日本の地質「近畿地方」編集委員会 1987. 日本の地質 6 .近畿地方. 共立出版
- 3) 原田哲朗 1988. 紀の国石ころ散歩. 宇治書店.
- 4) 竹山俊雄 1930. 和歌山県田辺付近第三紀層の層序. *地球* 13: 92-106.
- 5) 田辺団体研究グループ 1984. 紀伊半島田辺層群の層序と構造. *地球科学* 38: 249-263.
- 6) 鈴木昌 1982. 第2章地質 *in* 白浜町誌自然篇. 白浜町誌編纂委員会
- 7) 田辺団体研究グループ 1992. 朝来累層の堆積相と層序. *地球科学* 46: 369-383.
- 8) 白浜町誌編纂委員会 1984. 国指定文化財 *in* 白浜町誌本篇下巻一. 白浜町

- 9) 白浜町誌編纂委員会 1984. 白浜の名勝と地名 *in* 白浜町誌本篇下巻一. 白浜町
- 10) 時岡隆 1969. 島島実験地の紹介. *Nature Study* 15: 104-106.
- 11) Mii, H. 1962. Coastal geology of Tanabe Bay. *Sci. Rep. Tohoku Univ. (Geology)* 34: 1-93.
- 12) 中村新太郎・黒田徳米 1924. 紀伊日高郡南部町堺の洪積統. *地球* 1: 57-58.
- 13) 竹山俊雄 1929. 紀伊安久川の洪積統. *地球* 11: 60-62.
- 14) Konda I. 1967. Foraminiferal faunules from the Minabe-Sakai shell bed, Kii Peninsula, central Japan. *Bull. Osaka Mus. Nat. Hist.* 20: 31-38.
- 15) Konda, I. 1969. Foraminiferal faunule from the Akugawa shell bed, Kii Peninsula, central Japan. *Bull. Osaka Mus. Nat. Hist.* 22: 85-96.
- 16) 茂木昭夫 1971. 汀線と碎波帯 *in* 浅海地質学. 東海大学出版会.
- 17) 原田哲朗・徳岡隆夫 1974. 黒潮古陸. *科学* 44: 495-502.
- 18) 紀州四万十団体研究グループ 1975. 四万十地向斜の発展史. *地団研専報* 19: 143-156.
- 19) 田辺団体研究グループ 1985. 田辺層群の地質と堆積盆の特徴. *地団研専報* 29: 41-52.
- 20) 星野通平 1971. 大陸棚. *in* 浅海地質学. 東海大学出版会
- 21) 海津正倫 1996. 沖積低地の発達と海岸環境の変遷. *in* 変化する日本の海岸. 小池一之・太田陽子編. 古今書院.
- 22) 長澤良太 1983. 紀伊田辺平野における先、原史時代の遺跡立地とその古地理. *田辺文化財* 26: 19-30.
- 23) 山本虎夫 1938. 田辺高山寺遺跡の貝塚について. *紀州貝類* 1: 22-24.
- 24) 内海富士夫・山路勇・井狩美保 1950. タイドプールの生態 III. プールの生物相の組成とその消長. *京大生理生態* 68: 15-23.
- 25) 大垣俊一 未発表
- 26) Ohgaki S. 1988. Rain and the distribution of the periwinkle, *Nodilittorina exigua* (Dunker)(Gastropoda: Littorinidae). *J. exp. mar. Biol. Ecol.* 122: 213-223.
- 27) Emson R H, Faller-Frisch R I 1976. An experimental investigation into the effect of crevice availability on abundance and size-structure in a population of *Littorina rudis* (Maton): Gastropoda: Prosobranchia. *J. exp. mar. Biol. Ecol.* 23: 285-297.
- 28) Raffaelli D G, Huges H N 1978. The effect of crevice size and availability on populations of *Littorina rudis* and *Littorina neritoides*. *J. Anim. Ecol.* 47: 71-83.
- 29) 河野舞子・玉井宏美・富山清升 2002. 溶岩質転石海岸における二枚貝3種の分布の季節変動. *Venus* 61: 77-87.
- 30) 大垣俊一 1995. 海岸地形と生物ーヒバリガイモドキの個体群動態をめぐる一試論、その2. *いそこじき* 85: 4-8.
- 31) 波部忠重 1953. 磯採集のための白浜付近産普通貝類目録, 臨海実習の葉第4輯. 京都大学瀬戸臨海実験所.
- 32) Utinomi H 1958. A study on the productivity of the Tanabe Bay (Part I) VII. Horizontal

- distribution of intertidal communities on rocky shores around the Tanabe Bay (reliminary report). Rec. Oceanogr. Works Jap. Spec. no. 2: 50-56.
- 33) 京大瀬戸臨海実験所 1969. 島島実験地. 京都大学理学部附属瀬戸臨海実験所
- 34) Senawong, C 1972. Biological studies of a littoral mussel *Hormomya mutabilis* (Gould) III. Distributions of *Hormomya* and *Modiolus* on Hatakejima Island. Publ. Seto Mar. Biol. Lab. 19: 269-291.
- 35) Tokioka T, Imafuku M 1976. Composition of the fixed sea urchin colony on Hatakejima Island, 1976. Publ. Seto Mar. Biol. Lab. 23: 425-426.
- 36) Iwasaki K. 1994. Distribution and bed structure of the two intertidal mussels, *Septifer virgatus* and *Hormomya mutabilis* (Gould). Publ. Seto Mar. Biol. lab. 36: 223-247.
- 37) 日本自然保護協会 1979. 天神崎自然観察地域設置調査報告書. 日本自然保護協会調査報告書第 59 号
- 38) 米本憲市 私信
- 39) 田名瀬英朋 私信
- 40) 米本憲市 1994. 天神崎の岩礁のムラサキイガイとヒバリガイモドキの密度増加. くろしお (南紀生物同好会会報) 13: 7.
- 41) Ohgaki S, Yamanishi R, Nabeshima Y, Wada K 1997. Distribution of intertidal macrobenthos in 1993 around Hatakejima Island, central Japan, compared with 1969 and 1983-4. Benthos Research 52: 89-102.
- 42) Ohgaki S, Takenouchi K, Hashimoto K, Nakai K 1999. Year-to-year changes in the rocky-shore malacofauna of Bansho Cape, central Japan: rising temperature and increasing abundance of southern species. Benthos Research 54: 47-58.
- 43) 大垣俊一 1996. ヒバリガイモドキとムラサキインコガイの殻長組成、生殖腺重量の季節変化と分布変動. Venus 55: 317-326.
- 44) Fuse S, Yamazi I, Harada E 1958. A study on the productivity of the Tanabe Bay (Part I) I. Oceanographic conditions of the Tanabe Bay, results of the survey in the autumn of 1956. Rec. Oceanogr. Works Jap. Spec. no. 2: 3-9.
- 45) 米倉伸之 1968. 紀伊半島南部の海岸段丘と地殻変動. 地学雑誌 77: 1-23.