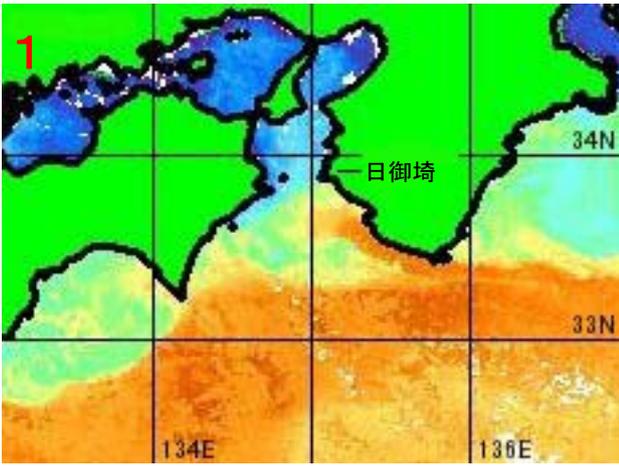


# 浅海生物相の長期変動

## — 紀州田辺湾の自然史

大垣俊一





## 写真説明

1. 紀伊半島周辺の表面海水温分布。2005年11月27日。三重県水産研究所受信、NOAA衛星画像。潮岬から北上する暖水(黒潮紀南分枝流)が、紀伊半島南西岸を洗って日御埼付近に達している(p2)。
2. 番所崎海岸(白浜町)。石英質に富む白っぽい礫岩の岩礁と、水平な波蝕棚(p10, 33)。
3. 枯木灘海岸(周参見町、見老津)。泥岩に富む黒っぽい岩礁と、起伏のある海岸地形(p10)。
4. 白浜町番所崎沿岸に発生したヤコウチュウ(*Noctiluca scintillans*)の赤潮。1982年11月3日(p48, 66)。
- 5-8. 畠島南岸調査区、定点写真記録(p70)。  
5) 1969年3月, 6) 1984年5月, 7) 1993年6月, 8) 2008年5月。

表紙写真： 白浜平草原から見た田辺湾。海面中央やや右に畠島が見える。1986年10月撮影。

# 目次

## はじめに

### 1章 紀州の海

- 1. 海と海岸の姿 … 1  
3つの海域／ 躍動する海／ 海岸の環境
- 2. 生きものたちのダイナミズム … 13  
生物地理の視点から／ 隣接海域との比較／ 和歌山沿海の生物相／ サザエ型分布／  
偽個体群と低温死／ 湧昇と熊野灘／ 黒潮の蛇行と生物／ 海岸の地質と生物
- 3. 日御埼と潮岬 … 29  
岬と生物地理／ 生物相差の要因／ 海区とその特徴

コラム1 堺漁港とオゴクダ浜 … 19

コラム2 1963年の厳冬 … 26

### 2章 田辺湾

- 1. 黒潮流域の小内湾 … 32  
地質と地形／ 気象と海象
- 2. 湾内生物のバラエティ … 41  
海岸生物／ 潮下帯ベントス／ 海草藻場／ プランクトン／ 魚類／ 限られた区域内の分布
- 3. 畠島－神島線の意味 … 56  
生物相差の要因／ 海区とその特徴

コラム3 海岸地形と生物 … 36

コラム4 京都大学畠島実験地 … 53

コラム5 南方熊楠と神島の森 … 58

### 3章 生物変動

- 1. 地質時代 … 60  
田辺湾の成立／ 化石貝類相
- 2. 歴史時代： 1900年代以前 … 64  
江戸期まで／ 外国船の採集記録
- 3. 1920年代以後の変化 … 65  
1920年代の生物記録／ 1930年代のベントス記録／ 1940年代以後の貝類相／ 畠島のウニ類  
畠島の海岸生物／ 番所崎の貝類／ 漁獲量の分析／ その他の変動情報
- 4. 田辺湾の環境変化 … 83  
地形／ 気象と海象／ 水質と底質
- 5. 生物相の変動要因 … 86  
地形要因－内湾縮小／ 温度／ 黒潮／ 水質／ 種間関係／ 採捕／ 温暖化と田辺湾

コラム 6	高山寺貝塚と瀬戸遺跡	… 62
コラム 7	昔日の内湾漁業	… 80
コラム 8	田辺湾の有機スズ	… 90
コラム 9	田辺湾の 1990 年問題	… 94

#### 4章 世界の海では

1.	世界の長期ベントス研究	… 96
	岩礁海岸／ 干潟／ サンゴ礁／ 潮下帯砂泥底／ 世界の海と田辺湾	
2.	方法論の諸問題	… 97
	企画型と再調査型／ 定性・半定量・定量／ 相対値の利用／ 相関と因果 ／ 要因分析の論証—帰納と操作実験	

コラム 10	世界の海洋保護区	… 102
--------	----------	-------

コラム 11	「擬似反復」をめぐる論争	… 111
--------	--------------	-------

あとがき	… 113
------	-------

文献	… 114
----	-------

索引	… 131
----	-------

## はじめに

本書は、海岸から近海の海の生物が、長い目で見てどのように変化しているかをテーマとしている。メインタイトルは「浅海生物相の長期変動」とし、広く世界の浅海域を視野に入れているが、具体例の多くは副題に示すように、主に紀州、つまり紀伊半島西南部の田辺湾を中心とする地域からとった。

紀州は、北海道から沖縄までの日本のほぼ中央、黒潮の洗う南日本太平洋岸のただ中にある。私は大学院に入るとともに、和歌山県の田辺湾のほとりの臨海実験所に籍を置き、海岸の貝の研究を始めたが、次第に自然の移り変わり、変化、変動に興味を引かれるようになった。海岸に下りるたびに、自然は少しずつその姿を変えている。まず気がつくのは季節変化である。紀州の海岸に春が訪れると、冬の間には茂ったホンダワラ類や、アオノリ、アオサなどの海藻の間に、小型の巻貝やアメフラシ、ヨコエビなど、さまざまな生物が見られるようになる。海藻は夏にかけて次第に姿を消し、岩場は地肌を多くさらすようになるが、この間も、動物たちは餌をとって生長し、交尾、産卵して、次の世代を残す営みを続けている。浅場のホンダワラには、沖からアオリイカも卵を産みつけにやってくる。盛夏のころから、南方の台風の影響で海にはうねりが目立ち始め、一年生の生物は繁殖を終えて死んでゆくが、このころには早くも次世代を担う小さな生き物たちが、石の下や割れ目の奥に現れるようになる。そして秋をすぎると、枯れて根株だけになっていたヒジキなど多年生の海藻が芽を伸ばし、冬にかけて再び繁茂の季節を迎えるのである。

海に限らず生態学者は、こうした季節サイクル、季節変動を強く意識して研究を行っている。私もまだ駆け出しの大学院生のころ、先輩研究者から、「1年回す。そして最後の1、2ヶ月は前の年と重なるように。」とアドバイスされたものだった。重ねて、前の年と同じになることを確かめてしめくくるということであり、その言葉の裏には、毎年同じ季節には同じ状態が再現されるはずだという予測ないし思い込みがある。しかしやがて私は、その重ねた期間に、しばしば前の年との無視できない差が現れることに気づくようになった。これを年変化とか経年変動という。

生態学者は、年変動を無視してきたわけではない。海の場合なら、たとえば水産関係では、魚類などの漁獲変動について数十年にもわたるデータの蓄積がある。海岸生物についても、世界各地で十年程度の毎年の観察や、数十年の間を置いた同じ場所の比較などが行われている。しかし季節変化に比べれば、精度の高い情報はまだはるかに少ないと言わねばならない。長期変動の研究は、海に限らず生態学の中で、残された数少ないフロンティアの一つなのである。フロンティアとはまだ研究が進んでいない分野ということだが、それには二つのパターンがあるように見える。

一つは、それまでなかった技術や機材ができたことによって研究が進む、いわば方法によって開かれる分野である。顕微鏡の発明で細胞生物学が始まり、近ごろではDNAの分析技術が確立して、系統分類学や生物地理学に新しい局面が生まれつつある。もう一つは、技術的には可能だが、それにかかわる研究者にある種のためらい、心理的抑制があつて研究が進まないケースである。長期変動論はこちらのパターンだろう。長期の調査は、成果が出るまでに最低でも10年、場合によって

は何十年もかかる。そのため若手研究者がメインテーマにするのは就職などの点で不利であり、リスクが大きい。とって年配になってから始めたのでは、引退前に結果を見られないということにもなりかねない。また、プロジェクトを組んで行えば何がしかの資金が必要だが、何十年にもわたって予算が取れる保証がない。このような困難なテーマにかかわる気にならないというのが、普通の研究者の心理である。しかし何らかの方法によってこの障害が取り除かれれば、長期生物変動論は未成熟であるがゆえに発展性があり、手のつけられていないテーマがそこかしこに転がっている、有望な分野なのである。

その、長期研究のメリットを一言でいえば、短期ではわからない生物現象が見出されるということになる。1900年代初め、カナダのホッキョクギツネと、その餌であるタビネズミが交互に増減することを100年に及ぶデータから示したエルトンの業績は、個体群生態学の古典として名高い。日本の海でも、イワシ類についてこれに似た興味深い現象が示されている。本書の3章でも、田辺湾の長期調査によって始めてわかったことのいくつかを紹介することができるだろう。また、何かの生物現象の原因をさぐるのに、長年のデータがあることは有利である。たとえばある海域で、水質汚濁が進むとともに生物相が変わったが、同時に温度も下がっていて、どちらが原因かはっきりしない。しかし長く調査を続けていると、汚染はそのままだが温度が上がってきた、というような場面に行き当たるかもしれない。そのとき生物相に何が起こるのか。それを知ることによって、この二つの要因を区別する可能性が生まれる。あるいは寒波や台風などの突発的な自然現象が生物に与える影響は、1回だけの事例では、本当にそれが原因であったのかよくわからない。しかし長く調べてくり返し同じことが示されると、推論の信頼度は高まるだろう。このような長期研究の理論的側面については、4章で扱う。

本書は、次の3つの層の読者を想定して書かれている。一つは紀州の海に興味を持つ、広く一般の人々。和歌山県は豊かな自然を背景として、地元生物同好会の活動が活発である。貝類などのコレクターのメッカであり、ダイビングスポットが多くダイバーにも人気がある。生物愛好家たちが、域外からも多く訪れる。そのような方々に、日ごろ見なれた海の風景とはまた違った姿を示すことができればよいと思う。1章と2章は、そうしたことも意識しつつ書いた。ここではまた、サンゴ礁魚や、食用種としておなじみのサザエ、イセエビ、ワカメなどの特異な分布、生態も紹介する。またあまり楽しい話題ではないが、ご他聞にもれず紀州の海も水質汚濁、海岸改変など、人間活動の負の影響を受けている。多くの人々にかかわりを持つこれら環境問題については3章で触れるだろう。

想定する第二の読者は、紀州や田辺湾をフィールドとする海洋研究者である。本書では紀州の海の生物について、その一般的特徴を探ると共に、辿れる限り古いところから、2000年代初めまでの情報をまとめた。また、海岸の地形や地質、沖合いの水塊構造などについても言及している。海の生物研究者はこれまで、こうしたことが重要であることを認めながら、学問の境界を越える困難さから、あえて自らの研究に組み入れることを避けてきたように見える。筆者もまた地質や水理の門外漢ではあるが、ここではあえて踏み込み、海の生物を取り巻く環境を総合的にとらえることを試みた。この海域の環境と生物相を総括したテキストとして、長く通用するものをめざしたつもりである。

そして第三は、紀州や海に限らず、長期生物変動に関心を持つ専門研究者。近年、地球温暖化などとの関連でこの分野が注目され、日本や世界でさまざまな長期研究のプロジェクトが進みつつある。田辺湾では 1920 年代以降、生物の分布記録があり、1960 年代には湾内の畠島で「海岸生物 1 世紀調査」が始まった。ここは日本で最も古くから生態学的な情報が蓄えられ、長期を意識した調査が続けられている地域のひとつとして、関係者の間に認められている。紀伊半島においても温暖化の影響を指摘する声は多々あるが、田辺湾数十年の成果は、この問題についても何かを語るだろうか。また本書では田辺湾だけでなく、世界の海の長期研究を紹介し、そこで気づかれた研究上の問題点についてもふれることになるだろう。これらの方々には、生物変動を扱う 3 章と方法論を論じた 4 章が、参考になることと思う。

それではまず、田辺湾がその中に位置する紀州、紀伊半島西南部沿岸とはどういうところか、その環境と生物相の特徴から見て行くことにしたい。

# 1章 紀州の海

## 1. 海と海岸の姿

黒潮洗う紀の国の…と謳われる紀伊半島西南部<sup>\*</sup>の海は、フィリピンの東から流れてくる黒潮の、強い影響のもとにある。ただしその度合いやパターンは、流れをまともに受ける半島の西と、陰になる東では違いがある。また、北には播磨灘、大阪湾を控え、紀州<sup>\*</sup>北部の海は内海水的な色合いが強い。一方陸上部を見ると、北部の和歌山市の北に東西に伸びる大断層、中央構造線があり、その周辺を含めて和歌山県全体に、性質の違う地層が北から南まで、帯状に積み重なるように並んでいる。こちらは各地域の海岸部の地質や地形に反映する。このような立地条件が、バラエティに富んだ紀州の海と海岸の姿を生み出しているのである。

<sup>\*</sup>注) 本書では、行政区分上和歌山県に当る地域を「紀伊半島西南部」「紀州」と呼ぶ。

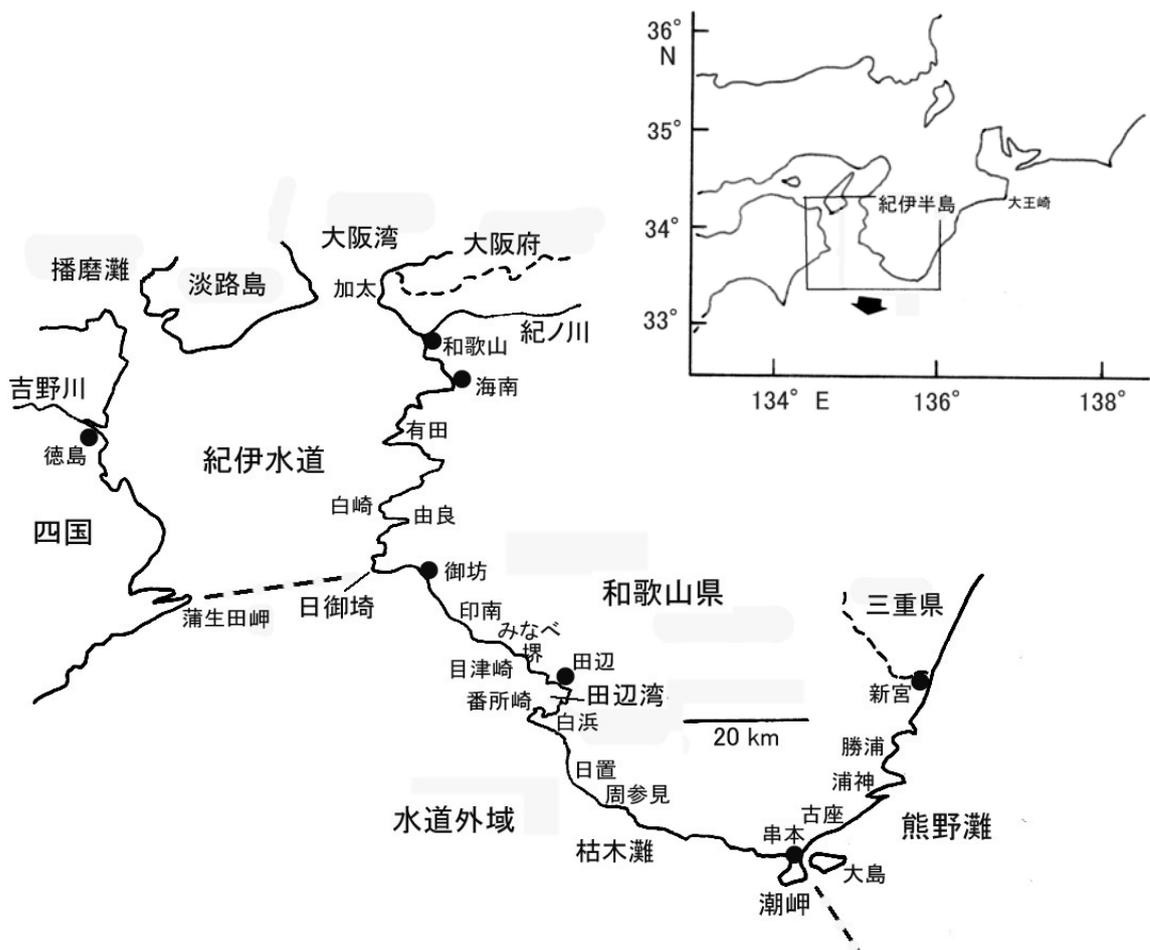


図 1-1. 紀伊半島西南部地図。本文に登場する地名を付す。海上の破線は3海区の境界。

### 3つの海域

和歌山県の沿岸では、これまで多くの水理的調査、研究が行われてきたが、それらの報告類では、慣例的にこの水域を大きく3つに分けて考えている。まず、和歌山県の日御崎と徳島県の蒲生田岬を結ぶ線から北、大阪湾入口の友ヶ島水道と、播磨灘入口の鳴門海峡までを「紀伊水道」、その南、太平洋に入って潮岬までの沿海を「紀伊水道外域」（本書では以下「水道外域」と呼ぶ。潮岬を越えてその東北側、三重県志摩半島の大王崎付近までが「熊野灘」である。この3つを、地形その他の面からマクロに眺めてみる。まず紀伊水道は、北を淡路島、東西を四国と紀伊半島に囲まれた幅 30–50 km の閉鎖的な水域である。日本の領海法、瀬戸内法、漁業法などで、公式には瀬戸内海の一部と定められている。水深は平均 44 m と浅く、気温の影響を受けやすい。鳴門海峡を通じて播磨灘、友ヶ島水道を通じて大阪湾と交流する。また四国、紀伊半島最大の河川である吉野川、紀ノ川が流入し、東岸に和歌山、海南、西岸に徳島など大都市圏を控えてその排水を受けている。これらすべては、紀伊水道に内海水的なさまざまな特徴を与えるが、一方で南に広く開口するため、大阪湾や播磨灘に比べれば外洋的な性質を示す。日御崎を越えれば太平洋である。ここすなわち水道外域は、特にその南部が黒潮の強い影響を受け（口絵写真1）、高温水が沿岸を洗う。水質は強く外洋的だが、中部の田辺湾だけがその直接の影響を免れ、黒潮流域下の小内湾として、特異な位置を占めている。潮岬を越えて東北の熊野灘も太平洋に面し、海底地形が急峻なため外洋的である。しかし黒潮が潮岬—大島の陸塊によって遮られるため、その影響は半島西側の水道外域よりも少ない。この一帯で注目すべきは、紀伊半島の東岸、ほぼ一直線に南北に伸びる海岸線の方向である。このことは強い冬の北西風が山塊によって遮られると共に、夏には南風が海岸に平行に吹き、特異な海洋現象、「湧昇」を発生させることを予想させる。これについてはのちに述べよう。

3海区のおよその特徴は以上の通りだが、水質の面からもう少し詳しく検討してみる。ベースとするのは、和歌山県水産試験場の沿岸定線調査のデータである。同水産試験場は、和歌山県沿岸 30–40 地点で毎月、気象海象の一般的な項目と各水深の水温、塩分の観測を続けていて、統一された形になってからでも既に 40 年以上の記録がある。他にも潮岬沖百数十キロまでの沖合定線観測というのがあり、このような地道な努力によって、この本がテーマとする生物変動やその他さまざまな分野に、貴重な情報が提供され続けている。このデータをもとに、主成分分析（PCA）によって各点をグループ分けしてみた（図 1–2）。主成分分析とは、いくつかの変数（この場合は 2, 8 月の水温、塩分と透明度、計 6 項目）をまとめた指数を 2 種類（第 1、第 2 主成分）作り、各地点が示すこれらの指数の値を、2つの軸から成る平面に配置したものである。簡単に言えば、6つの水質項目を使って各地点を分類しているわけで、図中でまとまっている点は、互いに似た水質であることを示している。

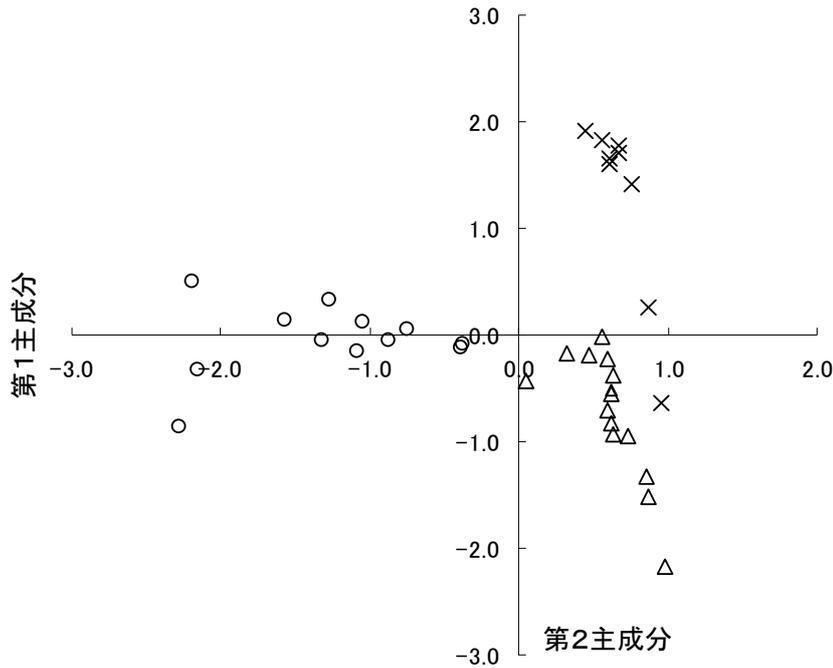


図 1-2. 和歌山県沿岸の水塊、主成分分析によるグループ化（1985–2005 年の 2, 8 月の透明度と 50 m 深水温、塩分にもとづく）。紀伊水道（○）、水道外域（△）、熊野灘（×）の各点がそれぞれまとめて独自の領域を占めている。和歌山県水産試験場沿岸定線観測データ（文献 310）による。

図では紀伊水道（図中の○印）、水道外域（△）、熊野灘（×）が重なりなく 3 つに分かれ、これまでの調査で慣例的に使われてきた紀伊水道、水道外域、熊野灘という区分が適切なものであることを示している。特に熊野灘（×印）の各点は他から離れて狭い範囲に集中しているが、これは水質が他と明らかに異なり、かつ均質であることをあらわす。なお×印が 2 つ、他と離れて水道外域の各点（△）近くにある。これらの地点は海域区分では熊野灘になるが潮岬の沖で、黒潮本流のただ中にある。そのため水道外域との共通性が高いのだろう。ただし主成分分析は複数の項目をまとめた総合的な分類なので、図の 2 つの軸（第 1、第 2 主成分）が具体的に何を示しているのかわかりにくい。そこで 6 つの指標それぞれについて、海区どうしを比べると、次ページ表 1-1 のようになる。ほとんどの項目について、紀伊水道と他の 2 つの水域の間に有意な差<sup>\*)</sup>がみられる。紀伊水道では、他と比べて水温が冬に低く夏に高いが、これは水深が浅く気温の影響を受けやすいためと考えられる。塩分と透明度は冬も夏も低い。塩分濃度が低いのは、川などから淡水が流入している影響、透明度の低さは、やはり陸から懸濁物が流れ込み、同時に養分が与えられてプランクトンが発生しやすいためだろう。実際リンや窒素などの栄養塩類の濃度は、全季節を通じて、北から大阪湾→紀伊水道→水道外域と減少して行くことがわかっている<sup>147, 173)</sup>。ただし水道外域の深いところでは栄養塩濃度が高く、これが水道部に進入して、紀伊水道の生産を高める役割を果たしているという。外洋、黒潮といえば、清澄で貧栄養、というイメージがあるが、深い所では必ずしもそうっていない。

\*注)「有意差」は統計学の用語で、偶然そのような差が生じたとすると、ごくまれにしか起こらないほど大きな差であることを意味している。20 回に 1 回以下しか起こらないほどまれなら  $P < 0.05$  (確率 5%以下)、100 回に 1 回以下なら  $P < 0.01$  (確率 1%以下) という形で、差があるかどうかの判定の目安とする。

	紀伊水道		水道外域		熊野灘
1985—2005 (直進期)					
水温 2 月	13.2	≪	17.0	>	15.5
水温 8 月	22.3	≒	22.1	≫	19.2
塩分 2 月	33.9	≪	34.7	≒	34.7
塩分 8 月	34.0	≪	34.4	≒	34.5
透明度 2 月	10.0	≪	21.2	≒	17.6
透明度 8 月	9.7	≪	21.2	>	18.8
-----					
1976—1979 (大蛇行期)					
水温 2 月	12.9	≪	16.3	≒	17.1
水温 8 月	20.3	≒	20.2	≒	19.9

表 1-1. 和歌山沿岸 3 海区の水温、水質。1985—2005 年 (黒潮直進時) と 1976—1979 年 (黒潮大蛇行時) の平均値。海域区分は図 1-1 参照。単位は水温 °C、塩分 ‰、透明度は m。水温、塩分は水深 50 m の値。和歌山県水産試験場沿岸定線観測データによる。≫≪,  $P < 0.01$  の有意差。>,  $P < 0.05$  の有意差。≒, 有意差なし。

水道外域と熊野灘の比較では、夏、冬の水温と夏の透明度が、水道外域で有意に高い。黒潮水は透明度が高く、沿岸水より高温なので、その影響が水道外域に強く及んでいるのである。一方、熊野灘の特徴は何と云っても、夏の水温の低さである。これは海底地形が急深で、夏の高い気温の影響を受けにくいことに加え、湧昇 (p7) によって水温が下がりやすいためと考えられる。これは黒潮が直進して流れているときの傾向だが、水道外域と熊野灘の海の状態は、黒潮の岸からの距離によって変る。黒潮が大蛇行していた 1976—1979 年 (図 1-7) には、直進期に比べて熊野灘の水温が上がり、水道外域と熊野灘の差ははっきりしなくなった (表 1-1)。有意ではないものの、冬については熊野灘のほうが高いようにみえる。

冬の水温は紀伊水道より水道外域の方が高いから、大ざっぱに言って、西岸部では南の方が水温が高いことになる。これをもう少し詳しく調べてみる。水道域から熊野灘にかけての冬の沿岸水温を、北から順に並べると図 1-3 上のようなになる。和歌山市の北 (側線 0) から南下して潮岬沖 (側線 7) まで水温が上がり、熊野灘に入ると再び下がる。沖だけでなく海岸水温も、日御埼 (側線 2) より田辺湾 (側線 4) は 1.0 °C 高く、田辺湾より潮岬はさらに 1.6 °C 高い。西岸における水温の南北勾配は明らかである。一方夏の水温は、沖については紀伊水道と水道外域で大差なく、熊野灘に入ると急に下がる。海岸水温は水道外域が最も高く、28 °C 前後に達している。

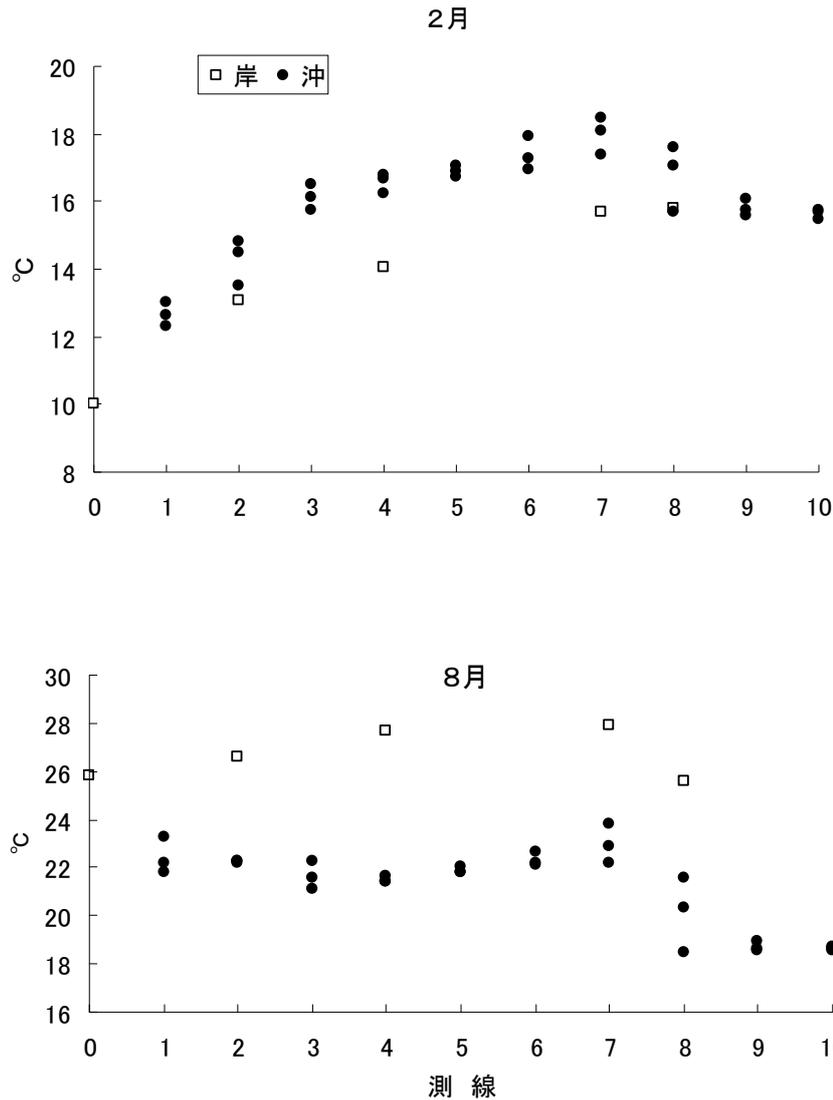


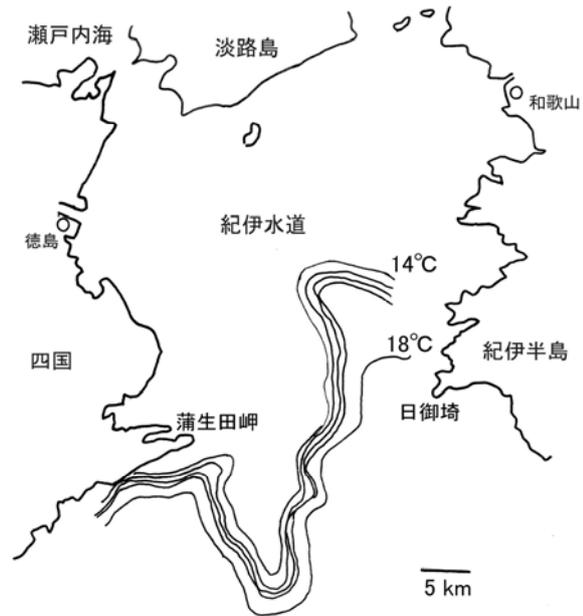
図 1-3. 和歌山沿岸の水温勾配（1985–2005 年，沖は水深 50 m）。測線は加太（0）から南下し、日御埼（2）、潮岬（7–8 間）を経て勝浦沖（10）まで。測線 1–2 は紀伊水道、3–7 は水道外域、8–10 が熊野灘にある。和歌山県水産試験場、大阪府水産試験場の沿岸定線、定置水温観測データによる。

### 躍動する海

海岸の高台に立って見渡すと、同じ色、同じ波立ちの海面が果てしなく続き、海や海水の性質はどこまでも同じであるかのような感覚にとらわれる。しかし海を活動の場とする漁師や海洋研究者は、この一見なめらかに見える海に、いろいろな動きや変化があることを知っている。海にも流れがあり、異なる水塊のぶつかり合いがあり、沈み込みも湧き上がりもある。紀州の沿岸もその例外ではない。この節では、一見一様な表情の下にある、紀州の海の活動的な側面を見て行くことにしたい。

**フロントと振り分け潮：** 紀伊水道と水道外域では、冬から春にかけて南北方向に水温、塩分が急変する帯状の区域が現れ、これを海洋フロント（oceanic front）あるいは単にフロントと呼んでいる<sup>206, 207</sup>（図 1-4）。フロントとは「前線」「先端」という意味だが、この場合は太平洋から高温、高塩分の黒潮系外洋水が進入し、もともと紀伊水道にあった低温、低塩分の内海水との間に作る境界を示している。両者はこのあたりで混じりあい、深みに沈みこんでいるらしい。この境界は最も発達した状態で、幅約 1 km、その間の水温差は 5 °C にもなる。フロントは 11 月ごろ現れ、蛇行や細かな南北移動、発達と衰退をくり返しながらだんだんと北上し、1-3 月に発達のピークを迎えたあと、5 月ごろに消える。

図 1-4. 紀伊水道に冬季発達するフロント。  
1 °C 刻みの等水温線で示す。高水温の黒潮系外洋水が、紀伊半島沿いに北に張り出している。1972 年 1 月の例。  
文献 207 をもとに描く。



互いに異なる性質を持ち、その内部は比較的均質な水の集まりを「水塊」という。海の状態をこの水塊の面から見るとフロントのようなとらえ方になるが、古典的な海流の視点からの研究もある。もともと、和歌山沿岸の海流としては、潮岬沖を西から東に流れる黒潮の本流と、そこから分かれて北に向かう流れがあることが知られていた。あとの方を「黒潮分枝」または「紀南分枝流」といい、本流と分枝流が分かれて流れる状態を、漁師たちは「振り分け潮」と呼んでいた<sup>103, 128</sup>。数十年にわたる水流データを分析した結果によると、この振り分け潮は、黒潮が潮岬沖に接するように流れる直進期に、枯木灘沖に発生しやすい<sup>122, 344</sup>（図 1-5）。このあたりの流れの状態はさまざま、もっぱら北向き、南向きであったり、一定の方向性が見られないこともある。しかし振り分け潮型は全観察例の 70% 近くを占め、最も一般的な水流パターンであることがわかっている。では、振り分け潮によって生まれた北へ向かう分枝流は、その後どうなるのか。紀伊水道外域には、特に黒潮が近いとき、反時計回りの流れが発達する（図 1-17）。枯木灘から北に向かう流れは、日御埼あたりに達して一部は西向きを変えるが、これが水道外域の渦流につながっているかどうかは、まだよくわかっていないらしい。しかし表面水温の衛星画像では、しばしば水道外域を左回りに渦を巻く、高温水の流れがとらえられている。一方、分枝流が日御埼を越え、紀伊水道に暖水を送り込む例も知られている<sup>122</sup>。

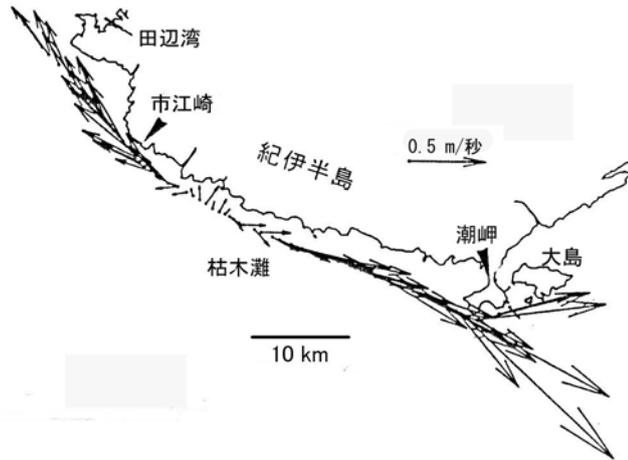


図 1-5. 枯木灘の振り分け潮（1991 年 6 月、5 m 深の流速分布）。黒潮が枯木灘沿岸に当たったあと、北西（紀南分枝流）と東南（黒潮本流）に分かれて流れている。文献 344 による。

**湧昇：** 沖の深みの海水が沿岸の表層に上がってくることを、海洋学では「湧昇」といっているが、熊野灘ではしばしばこれが起こる<sup>118)</sup>。湧昇が起こるしくみは、次のようなものである（図 1-6）。熊野灘の海岸線は、ほぼ南北に伸びている。ここに春～夏、低気圧が通って南風が吹くと、その力で表層水が北に引きずられる。北への流れはコリオリ力によって右に曲げられ、結果的に東向き、つまり沖向きに流出する。コリオリ力は地球の自転によって生ずる見かけの力で、地上を移動する物体に対し、北半球では進行方向を右にそらせるように働く。海流の場合、これをエクマン流といっている。このようにして表層水が流出してしまうと、それを補うために沖の深みから海水が上がってくる。これが湧昇である。この水は深層の栄養塩を含んでおり、また特に夏は表層水より冷たいので、海岸部に養分が与えられるとともに、水温が下がる。他の海域ではどうだろうか。潮岬の西、水道外域では、海岸線は北西～南東向きである。この一帯は、冬に強い北西風にさらされる。このため、海岸沿いを南東に向かって吹く風によって、その方向に海岸流が発生し、さらにこれがコリオリ力で右に曲げられて、表層水は南西方向、つまり沖向きに流出するという理屈になる。そして失われた表層水を補うため、沖の深みから海水が上がってくるはずである。しかし、冬には海水が垂直方向によくまじり合っており、上下で水温や塩分にあまり差がない。このため湧昇が起こっても、水質調査からこれをとらえることは難しい。ただ、水温に上下差のある夏、台風が通ったあと強い北西風が吹くことがあり、このときには深みから冷水が上昇することが確かめられている<sup>113)</sup>。

図 1-6. 熊野灘のエクマン流と湧昇（概念図）。南風（点線矢印）によって表層水が沖に流出し（実線矢印）、沖合中層から湧昇（破線矢印）が起こる。



**黒潮の直進と蛇行：** フロントや振り分け潮に見るように、紀伊半島西南部の海は黒潮の強い影響を受けている。黒潮の流路には、直進型と蛇行型がある（図 1-7）。直進期には黒潮が潮岬をかすめるように東に流れるが、蛇行期には紀伊半島の西から南下して陸側に冷水塊を抱えるように回りこみ、東海地方に接岸するという形をとる。一般に直進型がふつうで、蛇行型は例外と考えられがちだが、蛇行は意外に頻繁に起こっていて、1895–1978 年の 83 年間で 6 期間、30 年余りに及ぶという<sup>56)</sup>。そのうち特に、図に示した 1976–1979 年の大蛇行が有名である。そして黒潮の岸からの距離によって、紀伊半島沿岸の海況も変化する。

まず水温から。黒潮水は高温なので、流れが岸に近いほど海岸部の水温は上がると予想されるが、実際はそう単純ではない<sup>119, 123)</sup>。潮岬の西側、紀伊水道と水道外域では、潮岬から黒潮までの距離（正確には潮岬から黒潮の中心軸までの最短距離）がある程度までは、黒潮が近いほど沿岸部の水温が高いという関係が、たしかに成り立っている。しかし 50–60 km を境に傾向は逆転し、今度は黒潮が離れるほど温度が上がる。これは黒潮の周囲に深みから冷水が上昇する区域があり、ちょうどこの距離のあたりが低温のピークになるためと説明されている。一方東側の熊野灘では、黒潮が潮岬から遠いほど水温が高いという、一見意外だが単純な関係がある。熊野灘では、黒潮が蛇行状態になっているときは、東海沖から回りこんできた黒潮の本流や分枝流が到達して（図 1-7 右）、水温が上がるというのがその理由である。その結果、直進期には潮岬の西側で水温が高く（口絵 1）、蛇行一離岸期には東側でむしろ水温が高くなる（表 1-1）。紀伊半島周辺では熊野灘のパターンが例外的に見えるが、南日本沿岸に視野を広げると、四国沖から房総までの範囲で紀伊水道一水道外域型の変化を示すのは、他に房総東岸しかない。この一帯では東海地方を中心に、むしろ黒潮が離れるほど水温の上がる、熊野灘型が一般的なのである<sup>172)</sup>。



図 1-7. 黒潮の直進と蛇行。左) 直進流路、1995 年 1 月。右) 蛇行流路、1977 年 1 月。「冷」は冷水塊。海上保安庁、海洋速報による。

黒潮の直進、蛇行にかかわるもう一つの側面として、水位差の問題がある。潮岬の西側にある串本の潮位観測点と、東側の浦神検潮所の水位を比べると、一般に串本の方が高い。その差が黒潮の直進期には大きく、10–20 cm ほどなのに対し、蛇行期には小さくなる。直進期つまり黒潮が潮岬に近いときは、西側では黒潮から与えられる熱で沿岸水が膨張し、水位が上がる。一方、東側は潮

岬の陰になるため冷水に覆われ、あまり膨張しない。このため直進期には潮岬の西の水位が上がる。しかし黒潮の蛇行期には、先に述べたように東側の水温が高く、海水が膨張して水位が上がるため、水位の東西差は縮まる。これを利用すると、潮岬東西の水位差のデータから、過去の黒潮流路を推定することができるはずである。日本の太平洋沿岸で調査船による海洋観測が始められたのは1930年代、海軍水路部の調査以降である。実はこのとき初めて黒潮の蛇行現象がとらえられたのだが<sup>209)</sup>、それ以前の状態を水理データから知ることはできない。しかし日本沿岸の潮位は明治時代から記録されているので、それを調べれば、もっとさかのぼって黒潮の流路を推定できる可能性がある。実際に試みたところ、潮岬東西の潮位差から、黒潮が1890年以降6回大蛇行したことが推定された。このうち後の方の4回は海洋観測の結果とも一致し、この方法の信頼性を裏づけた<sup>55,337)</sup>。先にふれた1890年代以降の蛇行回数と継続年は、こうして得られたものである。

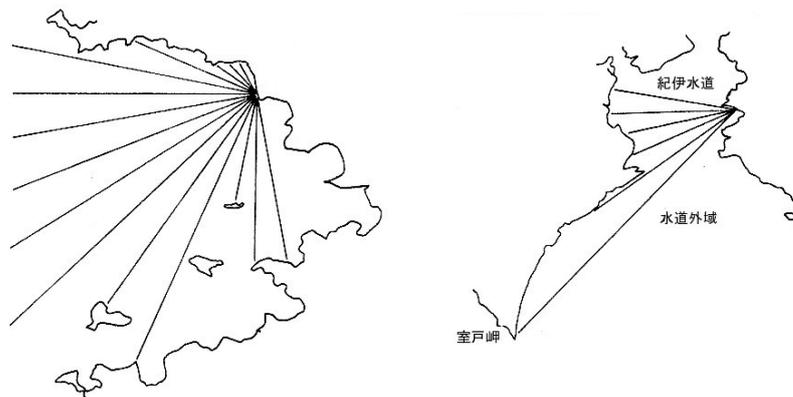
### 海岸の環境

ここまで沿岸の海の状態について紹介してきたが、本書でしばしば取り上げることになる海岸の生物にとっては、それ以外に海岸特有の環境が問題になる。波当りの強さと基盤の地質がその主なもので、ここでは両者の視点から紀州の海岸を眺めてみる。

**地形と波当り：** 海岸に当る波の強さがそこに住む生物に影響することは、海岸生態学の初期からよく知られ、多くの研究がある<sup>292)</sup>。波当りについては機械的に測定するやり方も多く試みられているが、ここでは「地形的開放度」を基にした結果を紹介する<sup>46)</sup>。開放度あるいは露出度 (*exposure*) とは、簡単にいえば海岸のある地点が海に向かってどれくらい開けているかの指標で、一般にこれが大きいほど、その地点は強い波を受ける。岬の先端は開放度が大きく強い波を受け、湾の奥の方は開放度が小さく波あたりが弱い。ほかに対岸までの距離も関係する。岬の先であっても、すぐ沖に大きな島があればそれに遮られて波は弱くなる。これを定量化するために、吹送距離というものがある(図1-8)。海の波の性質として、遮るもののない海上を長く風が吹くほど波は高くなる。そこで海岸のある地点からあらゆる方向に放射線を伸ばし、対岸にぶつかるまでの距離を全方位について合計ないし平均したものを、その地点の波当りの強さの指標とすることができる。これにさらに風の情報を加えることもある。たとえば北からの風が強く吹く地域では、南向きより北向きの海岸のほうが強い波を受ける。そこで1年を通じた風向と風速のデータを集め、これを各方位の吹送距離にかけ算して和を求め、波浪指標 (*wave exposure index*) とする。

図1-8. 吹送距離の考え方。

実線がその方向における吹送距離で、それをたし合わせて合計吹送距離とする。



和歌山沿岸の合計吹送距離と波浪指標の分布は図 1-9 のようになる。加太から新宮までほぼ 30 km おきに 22 地点をとり、各地点での両者の値を、地図と気象データから求めた。グラフはでこぼこして地点ごとの変化が大きいですが、平均値としては大きい方から水道外域、熊野灘、紀伊水道の順になる。つまり水道外域は最も強い波を受け、紀伊水道は最も波が弱いと予想される。その理由はおそらく、紀伊水道の場合対岸に四国があり、これに遮られて吹送距離が伸びないためだろう。水道外域と熊野灘は、共に太平洋に向かって開けているため吹送距離が大きいですが、熊野灘の海岸は地形が複雑なため、太平洋に出る前に周囲の地形によって遮られて吹送距離が短くなりやすい。なお、テレビなどで発表される気象庁の波の高さの予想は、さらに精密な理論と豊富な気象データをもとに計算されているが、そこでも紀伊水道と水道外域-熊野灘では、ほぼ必ず紀伊水道の方が低い値になっている。日常の実感としても、たとえば台風が接近しつつあるときに電車で紀伊半島の西岸を北上すると、紀伊水道に入るにつれて、海岸に寄せる波が目立って弱まるのを感じることができる。

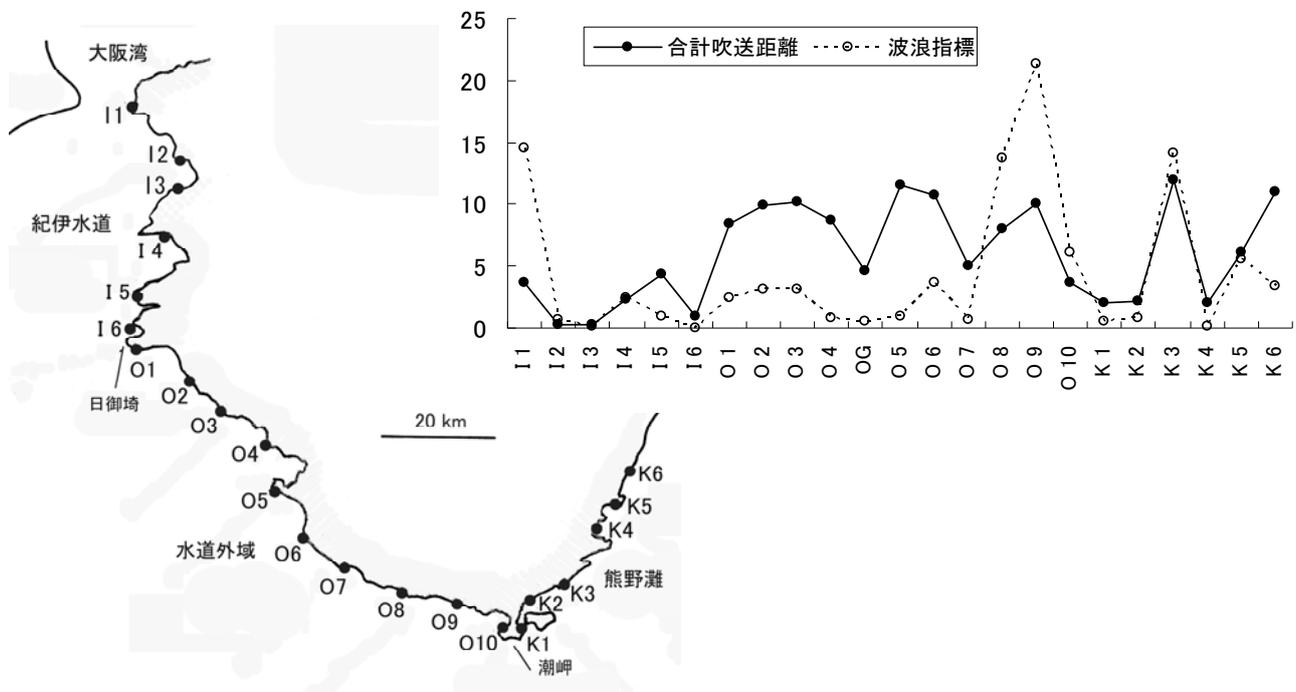


図 1-9. 右上) 和歌山沿岸全域、加太 (I1) から新宮 (K6) までの、海岸での波の強さ。縦軸はそれぞれの指標についての相対値。横軸の地点位置は左図を参照。文献 46 による。

**南の黒い岩 — 海岸の地質：** 地層や、地層の示すさまざまな特徴は、陸上ではふつう土壌や植物に覆われていて限られた場所にしか現れない。そのため地質の生物に対する影響は、土壌の化学的性質などを通じた間接的なものになりやすい。しかし海岸部では波の働きで岩盤が露出するので、生物はじかにそれにふれ、また地層の性質は地形にも反映し、海岸や海底の生物の分布に影響することになる。

私が大学院生として、和歌山県白浜の京都大学瀬戸臨海実験所で学び始めたころ、実験所の原田英司教授 (当時) から、「田辺湾から南の方へ行くと、岩が黒く、付着性の海岸生物の種類も貧弱に見える」という話を聞いた。臨海実験所が立地する田辺湾周辺の海岸しか見ていなかった私は、

そんなことがあるのかと意外に思った。その後、南の日置から周参見方面に遠出してみると、そのあたりの海岸は「枯木灘」という名前通りに荒涼として、ごつごつとした岩に荒波が打ち寄せ、たしかに海岸線全体が暗く、黒っぽい印象を受ける（口絵3）。フジツボや付着性のゴカイなどが岩の割れ目にだけ、へばりつくように集合する様も見られた。ではこの黒い岩とは何で、また田辺湾周辺との地質の違いはどうなっているのだろうか。



図 1-10. 紀伊半島西南部の地層分布の概略。

文献 144, 167 にもとづく。

紀伊半島西南部の地質は、これまでの研究でつぎのように明らかにされている<sup>134, 144, 167</sup>。図 1-10)。海岸部に注目すると、紀伊水道と大阪湾の境界、加太周辺は、7000 万年前ごろ堆積した和泉層群から成る。砂岩と泥岩の交互層を中心とし、一部に火山灰の層を含む。その南は紀ノ川の作った砂浜が中心で、岩礁と言えるものは少ない。和歌山市あたりから有田までには、三波川変成岩類がある。約 2 億年前、砂岩、泥岩、火成岩などが熱と圧力によって変化して作られたという。由良から北のやや狭い範囲は、秩父累帯になっている。3~1.4 億年前の温暖期のサンゴ礁性堆積物を含む、石灰岩を交えた地層で、この一帯では最も古い。これより南は、潮岬周辺など一部を除き、礫岩、砂岩、泥岩などの堆積岩が中心である。由良から御坊のやや南までは日高川帯で、約 1 億年前に作られた地層と考えられている。その南、みなべ町付近までが音無川帯で、年代は約 6000 万年前。みなべ町から田辺湾を経て日置までは、比較的新しい、1500 万年前ごろできた田辺層群になっている。そのごく一部、みなべ町の目津崎と白浜の番所崎の先端に、それぞれ目津層、塔島層と呼ばれる礫岩の地層があり、年代は他の田辺層群より新しい。日置から潮岬のやや西まで、枯木灘と呼ばれるあたりは牟婁帯で、5000-2000 万年前の形成。そこから潮岬を回って熊野灘沿岸には、性質も年代も田辺層群とよく似た熊野層群が分布している。熊野灘の海岸には、それ以外に潮岬火成複合岩類、熊野酸性岩類など、1400-1500 万年前にできた火成岩が露出している。以上のように、和歌山県一帯の地層は全体に南に行くほど新しく、その上にはほぼ同年代の、西の田辺層群、東の熊野層群が載る形になっている。

これらの地層の成り方には、二つのパターンがある。一つは太平洋を南から陸塊が移動してきて南海トラフに沈み込み、再び上昇して日本列島に付け加わったもの。付加体と呼び、秩父帯と日高川帯の大部分がこれに当る。一方、紀伊半島の骨格ができた後、そこから地先の海に川などを通じて土砂が流れ込み、ふり積もってできた地層もある。ここでは「地先堆積型」と呼んでおく。こちらの方は音無川帯の大部分と、牟婁帯、および田辺層群と熊野層群が該当する。これらのうち秩父、日高川帯や、音無川帯、牟婁帯の地層は、折れ曲がり、また割れ目やひびが入ったりと、状態が複雑である。これを反映して、海岸部はごつごつとして起伏に富み、巨大な転石が連なったり、砂岩と泥岩の交互層が垂直に近く立って「鬼のせんたく岩」と呼ばれる地形が見られることもある（図1-11左）。これは秩父、日高川帯の場合、いったん深海に沈みこんで上昇するというすさまじい経歴を経ているため、また地先堆積型でも古い歴史を持つ音無川、牟婁帯では、長い間の地殻変動で変形されて、このようになっているのだろう。一方、地先堆積でも年代の新しい田辺層群や熊野層群の海岸部は、地層が水平に近い傾斜で見られ、それがそのまま削られて平坦な岩盤になっていたりする（図1-11右）。



図1-11. 左) 印南町切目崎（音無川帯）、右) みなべ町森の鼻（田辺層群）

「黒い岩」の話に戻ろう。以上から南の黒い岩とは、一応、牟婁帯の泥岩と考えられる。泥岩は黒い。また、瀬戸実験所が位置する番所崎の先端は塔島層の範囲内であり、この一帯の岩は石英を多く含んで白いため、牟婁帯の海岸を見るといっそう黒っぽい印象を受ける（口絵2,3）。ちなみに田辺湾を取り囲む田辺層群の色の印象は、「茶色」である。これに加えて、牟婁帯の地層は複雑で、海岸がごつごつして荒涼とした印象を与えることも、暗い、黒っぽいイメージを強めたのかもしれない。泥岩は柔らかいので波の浸食を受けて削られやすく、その一種の頁岩はもろくて表面がはがれやすい。私が大学院生のころ、ある先輩が枯木灘の岩質と生物相の関係を調べようと、岩を取ってきて白浜の海岸に固定する実験を行ったが、早期に侵食されてなくなってしまい、うまく行かなかった。つまり失敗したわけだが、しかし「岩が侵食されてなくなった」という事実は、生物相を考える場合、案外重要な意味を持っているのかもしれない。この問題については後にふれる（p29）。

## 2. 生きものたちのダイナミズム

これまで見てきたような、さまざまな特徴を示す紀州の沿岸環境の中に、海の生物の生活がある。そこにはどのような生物が見られ、どんな生態を示すのだろうか。これまで多くの種類について調べられた成果のすべてを紹介することはできないが、まとまった生物群についての情報をできるだけ取り上げ、環境条件と関連づけながら、紀州域内での分布パターンさらに生物相の動的な側面についても考えてみる。

### 生物地理の視点から

生物地理学では、温度条件などの気候と生物相をもとに、生物地理区を設けている。陸上では年平均気温 24 °C 以上ないし最寒月の気温 20 °C 以上を熱帯、年平均気温 17–18 °C 以下を温帯とし、その間を亜熱帯とする区分がある<sup>198)</sup>。和歌山市、白浜、潮岬の年平均気温は、それぞれ 16.4, 16.8, 17.0 °C (1971–2000 年) だから、和歌山県の海岸部はほぼ温帯で、最南端の潮岬付近だけ、かろうじて亜熱帯にかかるかどうか、といったところである。ただ海の場合、これとは別に海中気候の影響を受ける。日本周辺では、南から大量の暖水をもたらす黒潮の存在により、海の中は陸上にくらべて温暖域が北にずれている。日本の文献では、紀伊半島を含む本州中～南部を「亜熱帯～暖温帯」<sup>201)</sup> としたり、和歌山県潮岬や四国の足摺、室戸岬周辺など、西日本の南端部だけを「亜熱帯」、その北側を「暖温帯」とする区分<sup>156)</sup> が行われている。グローバルな海洋生物地理を扱ったテキスト<sup>231)</sup> では、最寒期の水温 12–20 °C の範囲を「暖温帯 (warm-temperate)」とし、日本では奄美大島の北から房総半島までが含まれている。和歌山沿岸の冬の水温は、12–19 °C (図 1–3 上) なので、この基準によれば確かに暖温帯である。ちなみにその北の隣接域は「冷温帯 (cold-temperate)」南が「熱帯 (tropical)」で、奄美、沖縄は海洋生物地理区分上の「熱帯」に含まれる。なおここでは「亜熱帯 (sub-tropical)」という用語は使われていない。以上をまとめると、紀伊半島西南部の海は、温帯～暖温帯に属し、南部に、より温暖性の強い区域があるとみてよいだろう。

### 隣接海域との比較

和歌山県沿岸の生物相の特徴については、これまでいろいろな分類群で論じられてきた。魚類については、水道外域に位置する田辺湾の岩礁魚の種類相を、瀬戸内海の笠岡湾、ミクロネシアのマーシャル群島と比較した例がある<sup>60)</sup>。笠岡湾では出現種数が田辺湾に比べて少なく、スズキ目が減って北方系のカジカ目が多くなる。これに比べてマーシャル群島と田辺湾は、分類群の構成が共にスズキ目を中心とし、科のレベルでもよく一致する。つまり田辺湾の岩礁魚は、地理的に近い瀬戸内海より、むしろ遠い熱帯サンゴ礁とよく似ている。貝類については、潮岬周辺と瀬戸内海の比較がある<sup>8, 9, 10)</sup>。潮岬は瀬戸内海にくらべて二枚貝類に対する腹足類 (巻貝類) の比率が高く、これはアキガイ科、イモガイ科など暖流系巻貝類が多いことによる。また瀬戸内海では、東北、北海道よりも北に分布する北日本系の種が数%存在し、浅い内海のため、深海性、外洋浮遊性の貝類がみられない。逆に内湾砂泥底の種類は多いという特徴がある。海藻について、隣接海域と数値的に比較した例は見当たらないが、1920 年代の報告では、田辺湾の海藻は三重県沿岸よりも暖海性の種が多いものの全体の種類相は貧弱、と述べられている<sup>97)</sup>。

和歌山沿岸と、となりの瀬戸内海 (紀伊水道を含まない)、三重県沿岸の生物相を、各地域の生物リストをもとに比較してみた (表 1–2)。本州太平洋岸での分布北限が房総半島ないし本州中部

を越えず、かつ南限が奄美より南にある種を「南方性種」\*)、分布北限が北海道を越えて北(千島列島、サハリン、カラフト方面)に広がっているものを「北方伸展種」とし、各地域での割合を求めた。南方性種の割合は分類群によってちがひ、全体に硬骨魚では二枚貝、海藻より高い。海域ごとでは、各分類群とも和歌山が最も高く、次いで三重、瀬戸内の順となる。北方伸展種は少ないが、傾向は南方性種と逆で、瀬戸内海>三重>和歌山の順である。この数字からもわかるように、紀州にはオホーツク、ベーリング海方面にも分布するような純北方系といえる種はごく少ない。硬骨魚ではヒラメ、サヨリ、貝類でアサリ、ケショウシラトリ、アヤボラ、海藻のピリヒバ、フクロフノリなどが挙げられるくらいである。以上を総合して和歌山沿岸の生物相は、検討した3海域の中で最も温暖性に富み、瀬戸内海は最も寒冷要素が強いと言えるだろう。

\*注) 以下本書では「南方性種」を、この意味で用いる。

	瀬戸内	和歌山	三重
<b>南方性種 %</b>			
硬骨魚	47 (272)	76 (288)	63 (331)
二枚貝	38 (291)	48 (617)	45 (412)
海藻	24 (213)	43 (99)	27 (239)
<b>北方伸展種 %</b>			
硬骨魚	2.2 (272)	1.0 (288)	2.1 (331)
二枚貝	3.5 (291)	2.3 (617)	2.7 (412)
海藻	4.7 (213)	2.0 (99)	2.9 (239)

表 1-2. 和歌山沿岸と隣接海域の生物相。( )内は検討種数。南方性種：分布北限が房総以南で、南限が奄美以南の種。北方伸展種：北限が北海道より北にある種。「瀬戸内」には紀伊水道を含まない。文献 4, 8, 112, 114, 183, 202, 291 をもとに算出。

### 和歌山沿海の生物相

**海区間差と南北勾配：**では和歌山沿岸に限ると、海の生物の分布はどうなっているのだろうか。これまで言われてきたのは次のようなことである。まず海藻だが、海藻学には、C/P値という指標がある。これはその地域の緑藻の種数(C)を褐藻の種数(P)で割ったもので、緑藻は熱帯・暖流域、褐藻が温帯・寒流域に多いことから、C/P値が高いほど、その地域は温暖性が強いとみなされる。この値が水道外域で高く、紀伊水道、熊野灘で低い<sup>202)</sup>。熱帯性\*)生物の代表格であるサンゴの場合、被度は潮岬西の水道外域南部で最も高く、東西に向かって減少し、西岸では田辺湾付近、東岸では古座付近で1%以下となる<sup>23)</sup>。被度だけでなく、種数や群体の発達度合いも、水道外域の潮岬や田辺湾に比べ、紀伊水道の由良湾ではより貧弱である<sup>111)</sup>。熱帯・サンゴ礁性の魚類もサンゴの分布と似たパターンを示し、潮岬から西岸を北上するにつれて種数を減らす。浅海魚全体としては、潮岬を境に西の水道外域は熱帯性要素が強く、東の熊野灘はむしろ温帯内湾的。しか

し紀伊水道は熊野灘より、さらに寒冷的であるという<sup>4)</sup>。貝類でも、日御埼と潮岬を境に種類相が変わると指摘されている<sup>291)</sup>。カニ類も、潮岬の西にサンゴ礁性、東に内湾性の種が多く見られる<sup>143)</sup>。プランクトンの場合、紀伊水道は存在量（沈殿量）が水道外域、熊野灘に比べてはるかに大きく、年変動や季節変動も激しい<sup>87, 179)</sup>。赤潮の発生件数は紀伊水道が最も多く、熊野灘がこれに次ぎ、水道外域は最も少ない（田辺湾をのぞく）。赤潮を構成する種類も3海域で違いが見られる<sup>14, 124)</sup>。以上をまとめると大体、熱帯・温暖性の要素は、水道外域が紀伊水道、熊野灘にまさり、また西岸を潮岬まで南に下るほど強くなる。また日御埼と潮岬の境界としての重要性も、いくつかの報告で指摘されている。

一方、以上とやや違う傾向を示す例もある。ホヤ類については、水道外域の周参見と熊野灘の勝浦を境に、西部、南部、東部の区分が行われ、種数で見ると南方性要素は南部に最も多いが、西部と東部はほとんど差がないとした<sup>151)</sup>。ウミユリ類では、水道外域と熊野灘の両方に黒潮の影響が見られ、あまり差はないが、種数で見るとわずかに暖水性種が熊野灘に、冷水性種が水道外域に多い傾向があるという<sup>90)</sup>。ホヤ類の場合は区分が他と異なり、水道外域が分割されて南半分が熊野灘とまとめられているため、潮岬の東西差が出にくかったのかもしれない。またウミユリ類では東西のパターンが他と逆転しているようにみえるが、このグループは深いところに棲むものが多いため、浅海とはまた違った環境の影響を受けている可能性がある。以上の報告からうかがわれる3海区の差と、西岸における南北勾配について、次にくわしく検討してみよう。

\*注) 紀伊半島の生物相を扱ったこれまでの文献類では、「熱帯、亜熱帯系（性）」「南方系（性）」など様々な表現がみられる。もともと「系」はその地域に進化的な起源を持つという系統分類学的、「性」はその地域に適応した性質を持つという生態学的ニュアンスを持つ。しかしこれらの用語は必ずしもそのような厳密な意味ではなく、問題とする地点よりも南、ないし熱帯（亜熱帯）地域に多く見られるという、ゆるやかな意味で使われてきた。そこで本書でも「南方系、熱帯系（性）、暖水性」などの用語はこれまでの用法に従い、先の「南方性」（p14）と、のちに登場する「北方性」（p17）のみ、本書で定義する意味に従って使うことにする。

表1-3に、硬骨魚、二枚貝、海藻、3つの分類群について、紀伊水道、水道外域、熊野灘の3海区の南方性種の割合、隣接域である瀬戸内海、三重県沿岸との共通種の割合を示した。硬骨魚と海藻では南方性種の割合は水道外域が最も高く、熊野灘がこれに次ぎ、紀伊水道は最も低い。二枚貝だけは熊野灘が水道外域を上回っているが、二枚貝における「熊野灘」には、原資料にしたがって潮岬以西が含まれており、他と同じに評価できない。瀬戸内、三重との共通種については、全体に三重県沿岸種の割合が瀬戸内海種より大きい。これは三重のリストが最も多くの種を含むことによるもので、表の縦方向の比較にはあまり意味がないといえる。そこで横方向（海区間）を比較すると、3海区中、瀬戸内との共通性が最も高いのは、どの分類群でも紀伊水道である。瀬戸内海の影響は、最も近い紀伊水道に強く及んでいるらしい。その次に高いのは、二枚貝を除くと、距離的に近い水道外域よりもむしろ熊野灘となる。三重県沿岸種については、隣接する熊野灘との共通性も低くはないが、離れた位置にある紀伊水道の方によく似ている。これは地理的な近さよりも温度条件が、この周辺の海産生物相に影響していることを物語っている。つまり三重沿岸の生物相は、黒潮の影響を受けやすく温暖な熊野灘や水道外域を飛び越えて、冬季寒冷な紀伊水道と、むしろよく似ているのである。

	紀伊水道	水道外域	熊野灘
<b>南方性種 %</b>			
硬骨魚	51 ( 39)	82 (109)	70 ( 50)
二枚貝	46 (247)	50 (437)	54 (550)
海藻	33 ( 57)	44 ( 99)	43 ( 84)
<b>瀬戸内海共通種 %</b>			
硬骨魚	92 ( 39)	30 (112)	52 ( 52)
二枚貝	80 (248)	53 (438)	43 (555)
海藻	75 ( 57)	60 (104)	62 ( 90)
<b>三重県共通種 %</b>			
硬骨魚	97 ( 39)	63 (112)	94 ( 52)
二枚貝	88 (248)	73 (438)	67 (550)
海藻	93 ( 57)	78 (104)	84 (90)

表 1-3. 和歌山沿岸 3 海区の生物相。海域の区分は図 1-1 参照（ただし二枚貝のみ、紀伊水道と水道外域の境界は由良白崎、水道外域と熊野灘の境界は白浜番所崎）。「瀬戸内海」には紀伊水道を含まない。（ ）内は検討種数。出典は表 1-2 に同じ。

次に 3 海域の差と、西岸での南北差について、海岸貝類に限って調べた結果を見てみる。紀伊水道、水道外域、熊野灘の合計 22 地点で、貝の種類構成を調べ、MDS という方法で各地点を分類したところ、図 1-12 のようになった。MDS（多次元尺度構成法）は、主成分分析（PCA, p2-3）の生物版ともいえるもので、近ごろの生物群集の研究でよく使われる。図 1-2 で水質によって地点を分類したように、種類相によって各地点を分類するので、この場合は近いところにある点ほど、種類構成が似通っていることを示している。図を見ると、3 海区の各点はかなり入り混じっているが、よく見ると紀伊水道（S）と水道外域（O）にはほとんど重なりがない。一方、紀伊水道と熊野灘（K）は重なりが大きく、種類構成が似ている。地理的に見ると、比較的近い紀伊水道と熊野灘の貝類相の間に、異質な水道外域の貝類相が割り込んでいるという格好である。個々の地点に注目すると、右下の S 点は水道外域や熊野灘はもちろん、自らが属する紀伊水道の各点からもかけ離れた種類相を示している。ここは大阪湾の出口にあたるので、大阪湾の影響を受けているのだろう。

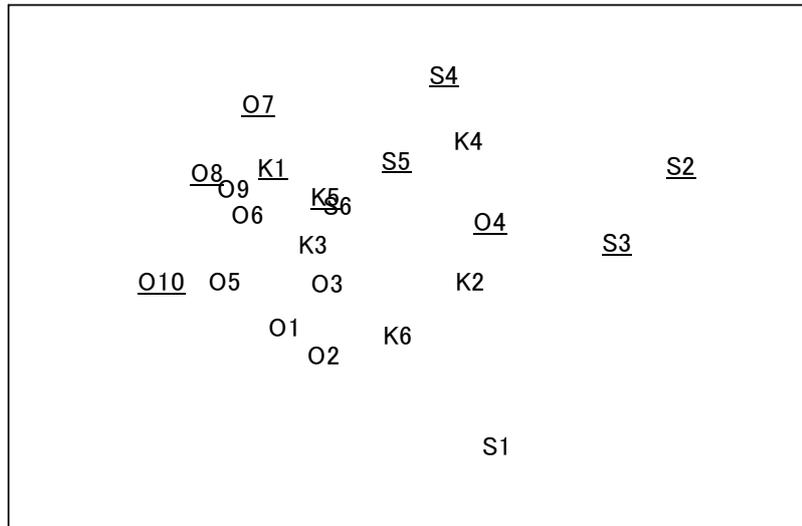


図 1-12. 和歌山沿岸 22 地点の海岸貝類相の類似性、MDS（多次元尺度構成法）による分析。互いに近い点どうしは種組成が似ていることを示す。地点位置は図 1-9 左図参照。泥岩の少ない地点（面積で 25%以下）に下線を付した。2007-2008 年調査。文献 310 より作図。

水道外域の貝類相がほかの 2 水域と際立ってちがうのは、ここに南方性の種が多く、北方性の種が少ないという点である。和歌山県沿岸で、南方性種と北方性種<sup>\*</sup>の種数における割合の変化を見ると、このことがよくわかる（図 1-13）。

\*注）日本の太平洋岸での分布の南限が九州より北、北限が房総半島を越えて北にある種を、本書では「北方性種」と呼ぶ。表 1-2 の「北方伸展種」とは異なることに注意。

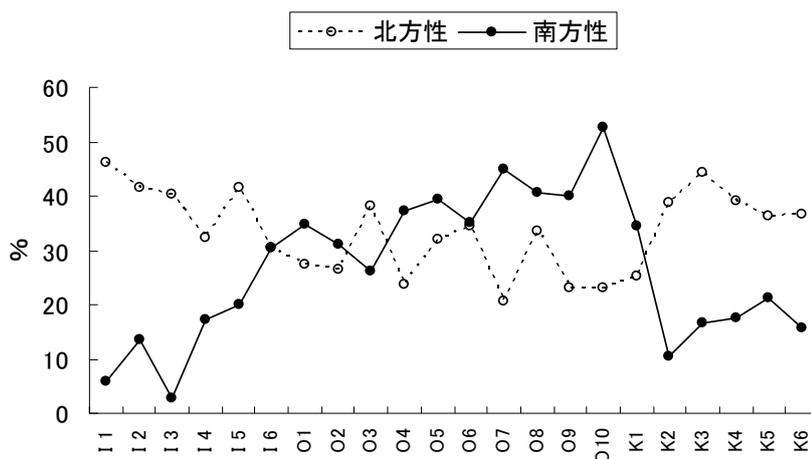


図 1-13. 加太 (I1) から新宮 (K6) まで、紀伊半島西南岸 22 地点の南方性種（分布北限房総以南）、北方性種（分布南限九州以北）の割合の変化。横軸の地点位置は図 1-9 左図を参照。文献 310 より作図。

個々の種について、たとえば典型的な南方性・熱帯性種であるオハグログキと、北方性種のレイシガイの分布を見ると図 1-14 のようになる。オハグログキがはっきりと水道外域を中心に分布するのに対し、レイシガイは外域を避けて紀伊水道に集中している。貝類愛好家の間では、枯木灘を下り、潮岬に近づくほど、タカラガイ類やイモガイ類などの珍しい熱帯性の種が多く見られるようになるという印象があるが、南方性種の分布パターンはこの実感によく合っている。つまり海岸貝類の検討では、これまでいろいろな生物グループで言われてきた、「日御崎と潮岬を境に生物相が変わる」「西岸では、南に下るほど温暖性が強まる」という見方が支持される。これは水質指標による検討（図 1-2）で、紀伊水道、水道外域、熊野灘がはっきり分かれたことや、西岸部では南ほど水温が高いこと（図 1-3）と一致し、水質や水温が生物の分布の背景にあることを推測させる。しかし 3 海域の生物相の分かれ方は、水質による区分よりもあいまいで、日御崎と潮岬のあたりでゆるやかに移り変わっているとみるのが正確だろう。

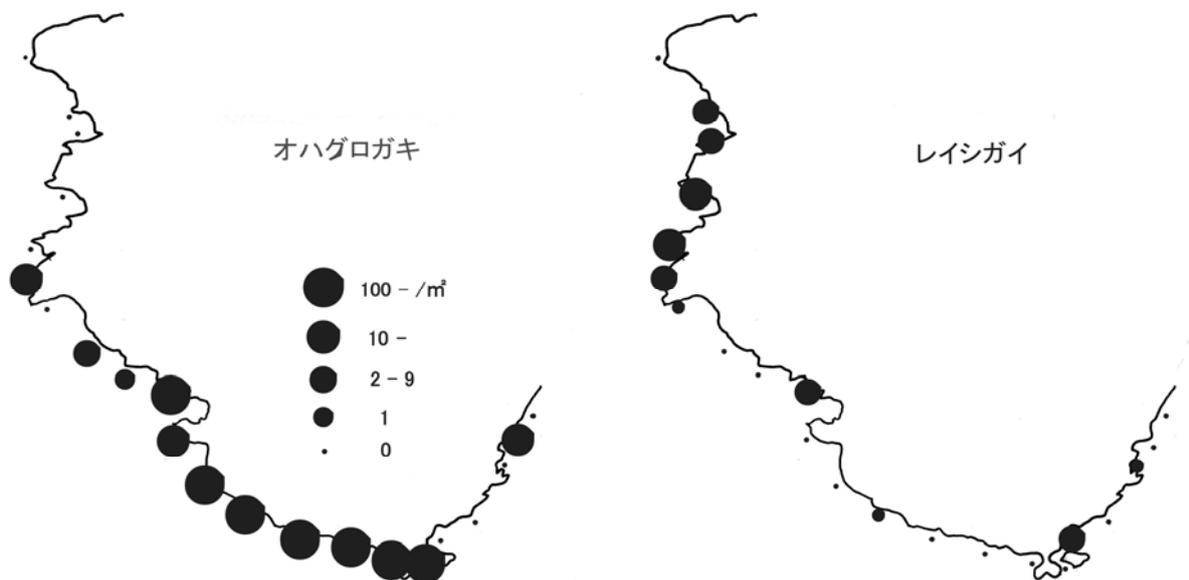


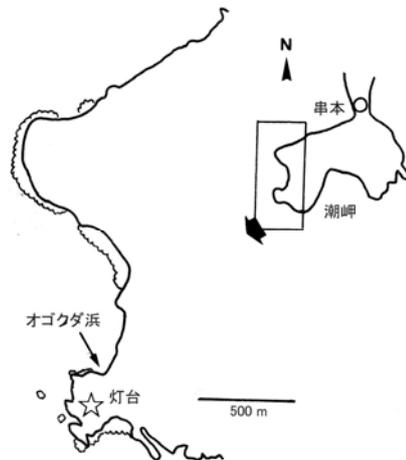
図 1-14. 紀伊半島西南岸でのオハグログキとレイシガイの分布。黒丸の大きさは、最大密度のランクを示す。2007-2008 年調査。文献 310 より作図。

## コラム1 堺漁港とオゴクダ浜

紀州の堺とオゴクダといえば、貝類愛好家なら知らぬ者はないというほどの、コレクターのメッカである。堺とは、南部町の堺漁港のこと。ここでは秋から春にかけて、刺網を使ってイセエビやヒラメをとっている（図A）。堺の漁師の操業範囲は、北は日御埼から南は市江崎に及ぶが、およそみなべ町から白浜沖にその中心がある。イセエビは海底の岩場に住み、夜行性である。漁師は夕方、船で出て岩場のまわりに網を仕掛け、夜の間に動き回って網にかかったイセエビを、朝引き上げに行く。その時、イセエビ以外に魚、貝、カニ、海藻、海綿などいろいろな生物がいっしょに網にかかって上がってくる。自ら動いて網にかかるものもあるし、網が動いて海底を引きずり、からめ取ることもある。それらのいわゆる「ごみ」を、漁師が沖で処理して捨てる地域もあるが、堺の場合は港まで持って帰ってくるから、コンテナに入った漁屑が港でたくさん見られる（図A）。そこで貝のコレクターや生物研究者たちは、シーズンになるとそれらの中から目当てのものを探し出そうと、港をうろつくことになる。研究者の場合、海底の生物を採集しようとする、研究用のドレッジやスキューバなど、特別の装備をしなければならない。当然、情報は海岸部に比べて少なくなる。しかしここでは期間中であればしょっちゅうドレッジをやってくれているようなものだから、研究者らにとってこんなにありがたいことはないのである。ただこの堺も、黒潮の接岸が続くようになってからは沖の流れ（黒潮分枝）が強く、網の操作に支障をきたしているらしい。出漁の回数が減り、「ごみ」の上がり方も今ひとつという。



図A. 堺漁港。1991年12月。イセエビ刺網の近くに、漁屑用のコンテナが見える。



図B. 潮岬とオゴクダ浜。

一方のオゴクダは、もっぱら打上げ貝の採集ポイントとして有名である。オゴクダの浜は潮岬の西、灯台下の北向きの入江にあり（図B）、台風の通過後などに海岸、海底や浮遊性の貝類が打ち上がる。ここに南方性の貝が多く上がることについては、二つの理由が考えられる。打ち上げは強い風に伴う波やうねりによって起こる。紀伊半島西南部で最も風が強いのは台風と冬の季節風だが、これらは共に北西風である。オゴクダ浜は北～北西に面しており、しかもポケット状の地形だから、北西風によって起こされた強い波を真っ向から受ける形になる。ただ、波を受ける地形でも、周辺に貝が多くな

ければ打上げも多くなならない。オゴクダはこの点からも有利な条件を備えている。先に紀伊水道外域では南に下るほど紀州北限種が増え、水温は潮岬をピークとして熊野灘側で減少することを示した(図 1-13)。この点からすると潮岬周辺は、南方性種の割合が紀伊半島で最も多いところといつてよい。オゴクダの浜は、豊富な南方性貝類を擁する湾入部をさらえるように進む波が、行き止まって打ちつける、絶好の位置にあることになる。

堺もオゴクダも、興味深い採集ポイントではあるが、しかし生態学のフィールドには、なかなかりにくい。たとえばこれらの地点での、ある種の時期的な出現状況を調べるようなことが考えられるが、漁屑も打上げも、そこに至るまでに、人間の採集努力や波の作用が関わっている。出現のパターンがそのまま自然の生物の状態を反映せず、実際の生息地点もはっきりしない。それらを何かの方法でクリアしない限り、生態学のデータとしては使えないのである。しかし一方、分類学や自然史的研究の面では、これらの場所から数々の熱帯性稀少種が採集され、種の地理分布をぬりかえるなど、多くの貢献をしてきた。たとえば近年田辺湾で広がりつつあるミドリイガイ(3章図 3-17)は、1980年代に、この周辺では初めて堺漁港で発見されたのである<sup>7)</sup>。ただし、漁港は漁業者の仕事場であり、よそ者にうろつかれるのは基本的に漁師の方々には迷惑であるに違いない。採集や観察に行くときには十分に気をつけ、マナーを守って控えめな態度を心がけたい。

### サザエ型分布

これまで示してきたような海区間の差を、端的に示す種としてサザエがある。分布の要因にまで踏み込んだ研究がなされている数少ない例でもあるので、特にくわしく見てみよう。サザエは奄美大島から北海道南部までの日本沿岸に広くみられるが、なぜか紀伊半島の西南岸には産しない<sup>59)</sup>。このことは古くから知られ、一つの謎とされてきた。1930年代、全国的にサザエを調べた結果の報告には、紀伊半島での分布にふれて次のようにある。「特殊な分布状況としては、和歌山県日御埼以南、串本に至る沿岸で、当然棲息し得べき海岸の状態にかかわらず、その生息きわめてまれで、潜水によるこれら地方のいさり漁業者すら、採集するは極めて例外…しかしてこの状態も串本以東の海区に入つては、一変して濃厚な分布を見るのみならず…」<sup>182)</sup>。和歌山県の漁獲統計にも、この傾向ははっきり現れている(図 1-15)。ただし、水道外域に全くいないのではなく、日御埼からみなべ町付近までは漁獲があり、また田辺湾、南白浜、日置川河口などからも少数の採集例がある<sup>81, 140, 191)</sup>。いずれにしても、田辺湾から枯木灘にかけてはサザエが目立って少なく、安定した個体群としては存在していない。この一帯では、水産試験場が稚貝の放流を行ったが、定着は見られなかったという<sup>191)</sup>。つまり和歌山県では、サザエの分布が日御埼以北の紀伊水道と、潮岬以東の熊野灘に分断されていることになるが、この2つの海域のサザエの漁獲パターンには、黒潮との関係で興味深いちがいがあつた(図 1-16)。紀伊水道では黒潮との関係ははっきりしないが、熊野灘では、1970年代に増加した漁獲が、黒潮の蛇行とともに激減し、その後回復していない。

水理のところで見つたように、水道外域には黒潮がまともに当つており、和歌山沿岸の3海区の中で最も水温が高い。熊野灘は夏の水温が低いことが特徴だが、黒潮が蛇行すると、黒潮本流や分枝流が北から流れ込んで水温が上がる(図 1-7)。高水温の水道外域に分布せず、熊野灘でも水温が上がると漁獲が落ちることから、高水温がサザエの分布を制限しているという推論が成り立つ<sup>180)</sup>。一方サザエは食用種のため、水産上の重要性から繁殖や成長についてもよく調べられている。和歌

山県水産試験場の研究によると、サザエは夏に産卵するが、26–27 °C以上ではメスの放卵が抑えられたり、オスの精巣の発達が悪くなり、また幼生の死滅や稚貝の大量死が起こりやすくなる<sup>57, 191, 192</sup>。この26 °Cという水温は、夏の水道外域の海岸部で実際に見られるレベルである（図1-3）。水温のほか、エサや捕食者が関係している可能性もあるが、高水温が繁殖や初期発生を妨げるということだけでも、サザエの特異な分布をある程度説明できそうである。

図1-15. 和歌山県下におけるサザエの漁獲量の分布（1970–1999年の合計）。田辺湾から潮岬の西まで、ほとんど漁獲がないことがわかる。和歌山水産累年統計、和歌山県漁業地区別統計表をもとに作図。

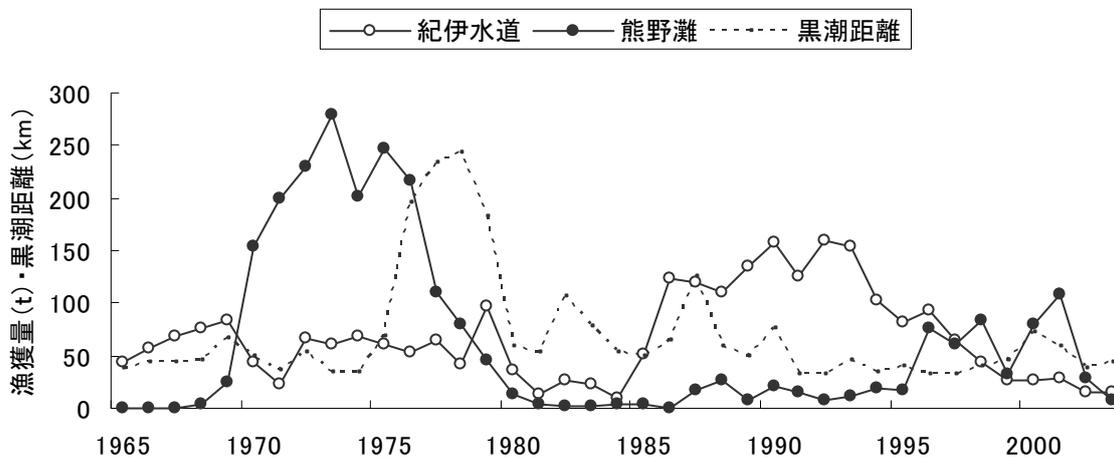
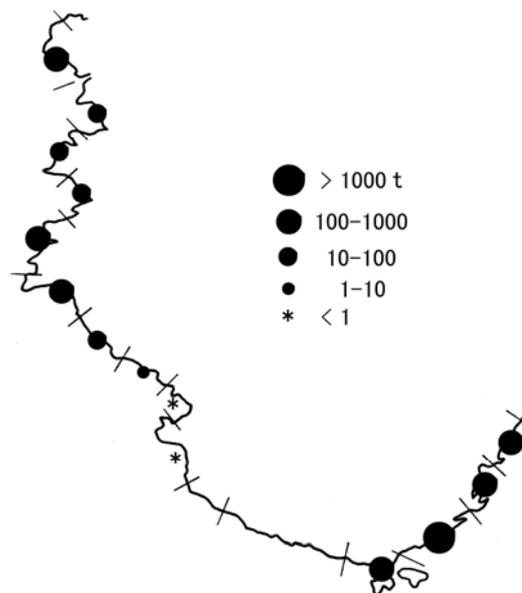


図1-16 サザエの漁獲量と黒潮距離（潮岬から黒潮流軸までの最短距離）の変動。熊野灘では、黒潮の潮岬からの離岸（熊野灘には接岸）とともに漁獲が急減した。漁獲量は和歌山水産累年統計と和歌山県漁業地区別統計表、黒潮距離は海上保安庁海洋速報により作図。

サザエと似た傾向を示す種は他にもある。サザエほどはっきりしていないが、イボニシ、ヒザラガイ、レイシガイ（図1-14左）などの貝類は、水道外域で数を減らす種である。魚の例ではウミタナゴとネンブツダイが、やはり水道外域にほとんど現れず、紀伊水道と熊野灘には普通である<sup>4</sup>。

150)。海藻ではワカメとヒロメが有名で、ワカメは紀伊水道に多く、日御埼から南、熊野灘までは主に近縁種のヒロメとなる<sup>109, 203)</sup>。これらはネンブツダイを除けば、北海道まで分布する寒冷適応の種で、やはり何らかの形で水温の影響を受けている可能性がある。このような「サザエ型分布」は、南方-熱帯系種に多くみられる「水道外域分布型」(図 1-14 左)の裏返しと見ることができる。つまり黒潮の強く当る水道外域は、多くの南方性種にとっては高温で住みやすい環境である反面、少数の北方性種にとっては逆に厳しい条件になっているのだろう。しかしどちらのパターンにしても、サザエのように分布の決定要因にふみ込んで調べた例は少なく、今後の研究の進展が待たれる。

### 偽個体群と低温死—海洋生物群集の動的平衡

海域ごとの生物の特徴について述べてきたが、紀伊半島西南岸の海の生物には、ほかにもいくつかの際立った特徴がある。その一つはいわゆる「偽個体群」と、厳冬期に起こる熱帯性種の大量死である。かつて京大瀬戸臨海実験所の教官(のち京都大学教養部教授)でもあった、西村三郎博士は、日本の海洋生物には、親や稚仔が南方から海流で運ばれてきて生物相の一部を構成しながら、自らは再生産に加わずに死滅するものがあるとし、その現象を「無効分散」と呼んだ<sup>154)</sup>。他に「死滅回遊」ということばもある\*)。またそれによって維持されている個体群を、その場で繁殖、定着しているものと区別して「偽集団」「偽個体群」(pseudopopulation)と称している。博士の具体的な研究は日本海のハリセンボンや、日本周辺のウミガメ類について行われたが、実は紀州こそ以下に示すように、この現象の研究に豊富な事例を与える地域だったといえる。

\*注) これらの用語については、ある地域で1年を通じて見られるが、繁殖していないものを「無効分散」、新たな個体が供給されては死滅している場合を「死滅回遊」として区別する見解もある<sup>2)</sup>。しかしこれらは必ずしも対立的な概念ではなく、同じ現象に対して、流れ着いた個体の運命に注目する見方が「死滅回遊」、繁殖可能性を重視した呼び名が「無効分散」と見ることができる。初めのうち無効分散という用語は、この両方の意味を含めて使われていたので、ここでもそれに従う。

余談になるが、西村三郎さんについてはいくつかの思い出がある。大学3年生くらいの時、初めてその著書「日本海の成立」を読み、こんなにロマンに満ちた研究スタイルがあるものかと一驚した。その後、臨海実習などで何度か指導を受ける機会があったが、教養部に移られてからは「生物地理学」の講義を聞きに行っていた。ある時の授業後に質問に行くと話が私の進路のことに及び、臨海実験所の大学院を受けるつもりですと話すと、「瀬戸に挑戦されますか。がんばってください。」と言われ、大いに励まされた。講義、研究内容のおもしろさも含めてのことだが、当時の学生仲間では、「西村さんと話すと元気が出る。」と言われていた。

和歌山県沿岸では、ふだんこのあたりで見かけない南方-熱帯系の種類が少数個体発見されるということがよくある。田辺湾周辺に限っても、1970-2009年の約40年間に地元の生物同好会誌に報告された、これらいわゆる「熱帯系稀少種」は、貝類、甲殻類、魚類、棘皮動物など88種にのぼる。田辺湾口の番所崎で筆者らが続けている貝類相調査では、1985-2004年の20年間に記録された236種のうち、1年度だけしか現れなかったものが全体の1/5ほどあり、このうち2/3は太平洋岸での分布が房総半島以南に限られる南方性種だった。これらいわゆる「熱帯系稀少種」の中には、近くに繁殖個体群があってそこから幼生が供給されているものもあるかもしれないが、海岸の種など、よく調べられているものについては、そのように考えるには無理があるというケースも多

い。1, 2 個体が採集されてその後消息を絶つという以外にも、それまで記録がないか稀だった南方系の種がまとまった数で現われ、数年間存続することもある。カノコガイ、オハグロガキモドキ、アシベマスオなどの貝類にその例がある<sup>29, 92, 158</sup>)。サンゴを食害することで有名なオニヒトデの場合、潮岬周辺では黒潮が接近すると増えることから、黒潮によって幼生が供給されていると考えられている<sup>357</sup>)。オカヤドカリ類については、秋に定着する小型個体に対して、越冬大型個体の数をはるかに少なく、幼体の大部分は冬の間に死ぬらしい<sup>5)</sup>。ヒメカクオサガニ、ハシリイワガニモドキ、ツノメガニは、1年を通じてサイズ組成を調べると、夏に現れて初冬まで成長、生存するもののその後姿を消し、次の年にまた小型のものが現れる<sup>211, 213</sup>)。このことから、これらのヤドカリ、カニ類では幼生が黒潮に乗って域外から運び込まれ、成長しては冬の低水温で死ぬということをくり返しているらしい。

一方、浅海魚はこの問題の分析が最も進んだグループである。紀州の沿岸では、夏から秋に最も魚の種類、個体数が多く、海の中はにぎやかで、冬は魚影が薄いという季節的な傾向がある。これについては、サンゴ礁性の魚類を中心に冬の低温に耐えられずに死ぬ<sup>4)</sup>、あるいは冬には水温の高い沖の深みに移動して越冬する<sup>61)</sup>などと説明されていた。白浜の岩礁帯での調査<sup>84)</sup>によると、一年を通じた観察で記録された92種のうち32種が、冬になると姿を消す季節的なパターンを示した。翌年夏になるとこのうち27種は幼魚だけ、残り5種は幼魚、成魚ともに見られる。前の27種はほとんどがサンゴ礁性魚類で、幼魚が黒潮に乗って流れ着き、秋まで成長して死ぬらしい。後の5種は大型で遊泳力も大きいので、沖の深みに移動して越冬している可能性がある。このほか串本の海中展望塔では、1970年代の後半から、周囲に集まる魚の種類が記録されている<sup>170)</sup>。ここに出現する種には、年間を通じて見られるものと、水温の高い時期に一時的に姿を見せるものと、2つのグループがある。種数は3-4月が最低で、夏以降、チョウチョウオ類やスズメダイ類などのサンゴ礁性魚類の幼魚が見られるようになり、10月前後にピークに達して、その後冬にかけて減少する。長年にわたる観察の結果から、このような季節変化の原因として、黒潮による熱帯性魚類の加入と、冬の低水温によるそれらの死滅の二つが考えられている。

ただしこうしたいわゆる「無効分散」「偽個体群」の仮説を裏づけるには、生殖腺調査など、より詳しい検討が必要になる。先のヒメカクオサガニでは、秋に抱卵メスが見られるものの、次の稚ガニの出現まで期間が長すぎるので、紀州での再生産は起こっていないと考えられている。オカヤドカリ類でも、抱卵個体はごく稀にしか見つからない<sup>5)</sup>。一方代表的なサンゴ礁魚であるチョウチョウオ類、キンチャクダイ類では、串本で一年中見られた7種のうち6種で抱卵が確認されており、現地での再生産の可能性がある。チョウチョウオについては、田辺湾で抱卵するという記述もあるが<sup>60)</sup>、より南の串本では一年中生殖腺の成熟が見られなかったという<sup>188)</sup>。調べた年による差かもしれない。偽個体群か否かの判定は、姿を消した個体群が移動したのか死に絶えたのか、調査地以外に本当に越冬個体群、繁殖個体群が存在しないのか、ある年に繁殖していないとしても毎年そうなのか、など難しい問題をはらむ。小型種や深海性の種では、「いない」ということの証明が事実上不可能な場合もある。

この点に関していえば、再生産個体群と非再生産個体群（偽個体群）の区別は、おそらくそれほどはっきりしたものではないだろう。海産種に限らずほとんどすべての生物個体群は、自己繁殖による再生産と他からの移入によるバランスの上に成り立っている。このどちらに傾くかで、個体群の維持に様々なパターンが見られ、後者だけに頼るものが偽個体群と呼ばれることになる<sup>261)</sup>。数十年に一度しか現れないような純粋に偶発的な種もあれば、時おりまとまった数で現れ、ある程度

の期間存続するものもある。その中には暖冬の年であれば越年し、繁殖するものもあるかもしれない。これでほぼ毎年、産卵と稚仔の成長が可能であれば、その種は定着種として認められることになる。紀州の海には、こうした様々な段階の生物が、混じり合って生活していると見るべきだろう。

散発的に紀州に現れる種はほとんどが南方・熱帯系で、北方・冷水性の種はごく少ない。しかし全くないことはない。イシイルカ<sup>132)</sup>、サケ類のシロザケ<sup>199)</sup>、マスノスケ<sup>200)</sup>、三重県沿岸ではセイウチ、スケトウダラ<sup>152)</sup>が記録されている。これらはイシイルカを除き、すべて1980年代半ばの低温期、熊野灘からの報告である。熊野灘は水道外域より低温であり、北太平洋方面と連続している。哺乳類や魚類は移動力が大きいので、寒冷期に南下するチャンスがあるのだろう。一方、これらとは別のパターンで紀州に現れる北方系の生物がある。熊野灘南部では、プランクトンとして冷水性のカイアシ類、ヤムシ類、魚類の稚魚が採集されたことがあり、いわゆる「親潮潜流」との関係が指摘された<sup>93)</sup>。これは北海道沖を南下する寒流の親潮が、東北沖で黒潮とぶつかり、その下に潜り込んで南下する流れ<sup>317)</sup>のことだが、今では「親潮中層水」「北太平洋中層水」と呼ばれる<sup>338, 339)</sup>。これまでの研究によると、親潮（北太平洋）中層水は、親潮と黒潮の混合域で潜り込んだあと、伊豆海嶺の切れ目を通して南日本の沖合いに流出する。これはふだんは黒潮の外側、水深数百mの中層に止まっているが、黒潮の流れが乱れると、黒潮本流を横切って紀伊半島沿岸に到達することがあるらしい。親潮中層水の中には冷水性のカイアシ類、ヤムシ類などがみられるが、これらは餌を取らず、繁殖も行わず、無効分散的な様相を示す<sup>82)</sup>。先の報告では、親潮中層水が熊野灘南部に達することがプランクトンの面から確かめられたことになる。ところで先に、紀州の生物相の中に純粋に北方系のもはごく少なく、貝類でも数種に限られると述べたが（p14）、このうちケショウシラトリとアヤボラは、おもに串本沖数百m深の底引き網の混獲物として採集される。ここは親潮系プランクトンが確認された海域にも近く、これらの種も親潮中層水の影響を受けているのかもしれない。

ところで、偽個体群の問題は、紀州をはじめ日本では特異な現象として生物研究者の注目を集めているが、海外ではどうなのだろうか。北米東岸は、黒潮に匹敵する強暖流、メキシコ湾流に洗われているが、これに乗ってフロリダ半島からの熱帯性種が流れ着き、岸に打ち上げられたり、海の中は夏の間だけ、これらの種でにぎわうという<sup>231)</sup>。しかしそれを、突っ込んで調べた例はまだ目にしない。無効分散や偽個体群というのは、日本人の心に訴える何かがあるのだろうか。国によって関心を集めるテーマが異なるというのも、おもしろいことである。

偽個体群とも密接に関係するが、和歌山県沿岸では、冬に寒波などで特に低温になったとき、熱帯・南方系生物が大量死することがある。最近の紀州は暖冬続きで、今ではこうした状況を想像することすら難しくなっているが、かつては身近な問題だったのである。1963年の冬の寒波時には、海岸生物の大量死についてくわしく調べられた。このとき田辺湾の白浜周辺では、15種の海岸生物が目立って減りあるいは消えたと報じられたが、そのうち14種までが、ナガウニ、オハグロガキなど熱帯・亜熱帯性の種だった<sup>346)</sup>（コラム2）。その後1976年にも、白浜の海岸で冬の低温時に、代表的な熱帯性貝類であるタカラガイ類が大量死する現象が見られた<sup>86)</sup>。その中にはふだんめったに見られないような稀少種も含め、28種の死亡個体が確認されている。致死水温は、この時の水温データから10-12℃と推定された。サンゴは代表的な熱帯性の生物だが、低温になると共生藻を失って白くなり、これが長く続くと死ぬ。紀州沿岸では1980, 82, 84年に串本で、1984年に田辺湾の天神崎で、冬にサンゴの白化死亡が記録されている。1984年には串本で特にくわしく調べられたが、被害が目立ったのはクシハダミドリイシ、ハナヤサイサンゴなどで、浅瀬や入り江

の奥など、気温の影響を受けやすいところで著しかった。死亡限界水温は 15 °C と推定されている (169, 189)。

寒い冬には、魚が浮き上がって岸に寄せられるいわゆる「浮漂死」が、たびたび報告されている (103, 130, 218, 345)。私は 1970 年代の末に、大学の実習や課題研究 (卒業研究に相当) で白浜の臨海実験所にしばしば滞在したが、そのころも冬になると実験所の北の砂浜に、たくさんの魚が打ち上がった。ハタテダイやチョウチョウオなど、温暖性の魚が多かったと思うが、中にはアカヤガラ、アオチビキ、アイゴなど、食べてもおいしい魚が多く含まれていた。私は同じ課研生の橋本有祐、榊原一弥君と共に、朝になると浜に行き、打ち上がった魚をたくさん拾ってきては実習室の冷蔵庫に入れておく。夜になると皆で熱心に図鑑で名前を調べ、しかし名前は実はどうでもよく、食べてどうなのかが問題なのである。図鑑をのぞき込んでいた橋本君が「美味っ！」と叫ぶと、一同しばしの高笑いののち料理に取りかかり、酒盛りが始まるのであった。海をテーマにしたからこそその「貴重な体験」だった。

魚類の浮漂死について、1968 年冬の田辺湾の例<sup>218)</sup>では、166 種が打ち上がり、全個体数の 93% がチョウチョウオ科、スズメダイ科など熱帯サンゴ礁性だった。この年は死亡魚のうちの熱帯性種の比率が特に高く、その原因として、この冬の低温とその前の数年間黒潮が接岸状態にあったことが挙げられている。つまり、黒潮によって南から稚魚が運び込まれ、しかも水温が高いために生き残りやすく、こうして熱帯性種の比率が高まったところに、寒波のダメージが加わったという構図である。このときは海岸水温が 10–12 °C に下がった時点で浮漂死が始まったが、水槽内で低温死が起こるのは 13–14 °C という報告もある<sup>135)</sup>。浮漂死は紀伊水道、水道外域の和歌山県側でよく知られているが、対岸の徳島県や、潮岬を越えた熊野灘側では少ない。このことから、冷たい北西風がまともに吹きつける西向きの海岸で水温が下がることが、一つの原因と考えられている。紀伊水道については、もともと水深が浅く、気温の影響を受けて水温が下がりやすい上、1984 年には、瀬戸内海の低温水が紀伊水道に南下した影響もあったらしい<sup>117)</sup>。一方熊野灘は海底地形が急深で水温が下がりにくいことが、浮漂死を生じにくい理由とされている<sup>103)</sup>。東向きの海岸では、浮漂死が起こっても北西風で沖に流され、気づかれにくいということもあるかもしれない。

先に和歌山の海と隣接海域の差や、紀州内部の海区間差について述べたときには、読者は各海域の生物がそのような形で安定的に存在しているという印象を持たれたかもしれない。たしかに長期的、平均的にはそのようなパターンが成り立っている。しかしよりくわしく検討すると、ここは温度条件に対する反応の異なる生物、また南方からの幼生供給をさまざまな程度に受ける種を含んでいる。それらは黒潮や機構の変動の影響を受けて増減し、あるものは毎年のように偽個体群を形成しながら、寒い冬には減ったり消えたりし、また回復するということをくり返している。これを生物相の動的平衡と表現することもできるだろう。こうしたことは程度の差はあれ、どのような環境でも起こっているだろうが、とりわけ紀州の海の顕著な特徴であるように思われる。

## コラム 2 1963年の厳冬

1963年の冬は、世界的に記録的な寒冬となった。北極を取り巻いて流れる偏西風が平年より南下し、ヨーロッパ、アメリカを寒波が襲って吹雪が吹き荒れ、パリのセーヌ川は凍りついた。日本付近も、強大に発達した東の低気圧と西のシベリア高気圧の生み出す北風によって寒気が続々と送り込まれ、日本海側は「三八豪雪」（昭和38年から）と呼ばれる大雪になった。西日本も異常な低温になり、宍道湖や琵琶湖の一部も凍結したという<sup>74)</sup>。

この1963年寒波の田辺湾への影響については本文でもふれたが、ここでもう少しくわしく見てみよう。次ページ図(上)に、番所崎での2月の平均水温の年変化を示した。期間中最大の寒冷期は1980年代初めにあり、平均12℃前後の値が頻発した。しかし1963年もこれに匹敵する第3位(12.1℃)の低温で、1970年代まででは最も低かった。図(下)は1963年冬の、日々の水温変化である。その後10年の平均を平年値として比較すると、1963年は1-2月にかけて常に平年を下回り、10℃を切った日も3日ある。気温も1月下旬には、3日連続でこの地方にはめずらしい氷点下になった。

このとき京大瀬戸臨海実験所の時岡隆助教授(当時)は、田辺湾での生物変化を記録し、報告している<sup>346)</sup>。それによれば、消滅に近いダメージを受けたのは、ナガウニ、オハグログキ、ベニヒモイソギンチャクなど5種、明らかな減少が認められたのはタワシウニ、シラヒゲウニ、ニセクロナマコ、ゴマフニナ、マガキガイなど10種で、ほとんどが房総以南に分布する南方性種である。特にナガウニ、オハグログキ、ゴマフニナなどは代表的な熱帯性種とあってよい。この冬の終り、番所崎の浜にはナガウニの白い殻が大量に打ち上がったという<sup>139)</sup>。一方、ムラサキウニやバフンウニなど温帯性の種については、目立った変化はみられなかった。これらの原因としては、1月下旬の大潮に氷点下の気温が重なり、夜の干潮時、低温に弱い温暖種がダメージを受けたと推測されている。

1966年には田辺湾周辺の広い範囲でイシサンゴ類の死群体が観察され、その上に付いていた若令コロニーの大きさと成長速度から、1963年の低温によって死亡したと推定された<sup>142)</sup>。1963年の冬には九州地方一帯でも、広範囲に底魚を中心とする魚の浮漂死が起こった<sup>100)</sup>。ここでも特に大きな影響を受けたのは、九州付近を北限とする温暖種だった。また内湾や、北西の季節風を直接に受ける海岸での斃死が最も著しい。

寒波が世界的なものだったことを反映し、地球の反対側のイギリスでも、海産種に対する低温被害が報告されている<sup>240)</sup>。影響は沖合の魚から海岸生物まで、ほぼイギリス本島とアイルランドの全域に及んだが、ここにはいくつかの興味深いパターンがみられた。まず地理的には、大西洋側(西側)より大陸側(南～東側)で低水温になり、被害も多かった。大陸側は冷たい陸上気団に近く、水深も浅いので、気温の影響を受けやすかったためらしい。同じ地域でも、内湾部で影響が大きく、北～東の卓越風の吹きつける海岸で死亡例が多いことは、日本の紀州や九州と共通している。海岸では低い所より高い所のダメージが大きく、気温の影響を思わせる。特に死亡率の高かった生物は、ルシタニアンと呼ばれる、イベリア半島ポルトガル周辺に多い南方系の種だった。ケルティックと称される、イギリス本島中心に分布する種がこれに次ぎ、極圏-寒帯性で、イギリスまで南下分布する種では、最もダメージが少ない。これも日本の傾向と同じである。

田辺湾では1963年の寒波を端緒に、時岡博士によって畠島のウニ調査の第1回目が行われ、「畠島1世紀調査」が実質的にスタートした(2章コラム4)。既に今を遡る半世紀前、寒波による熱帯性種の大量死に紀州の海洋生物変動の本質を見た時岡博士の慧眼は、さすがだったと言えよう。

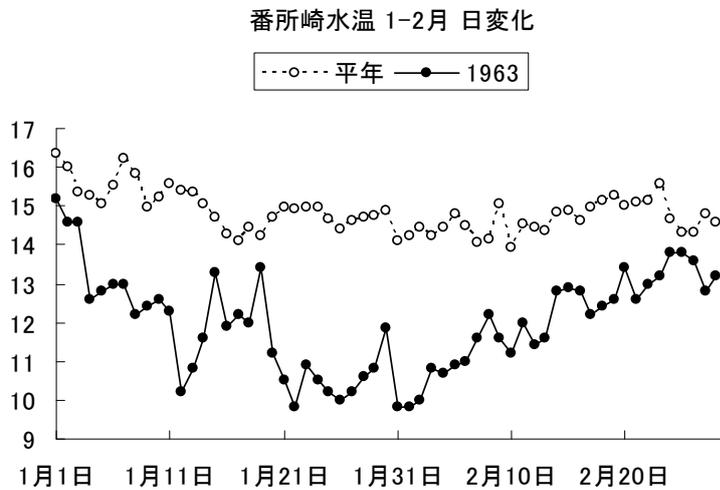
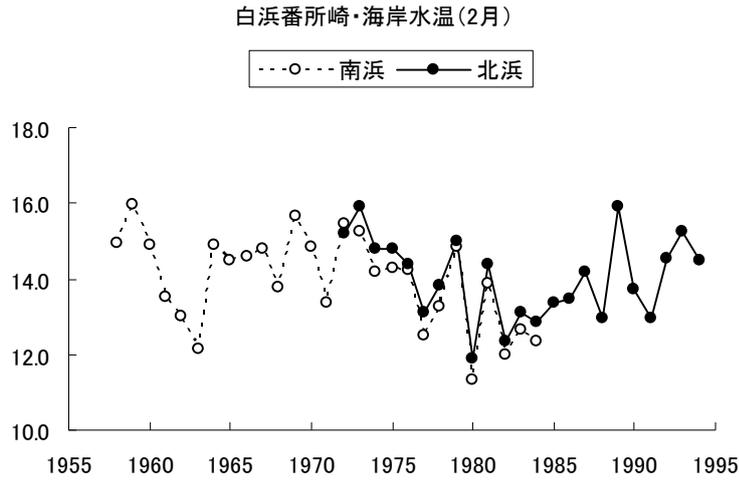


図.上) 白浜番所崎での、2月の海岸水温平均値の年変化。1963年は1980, 1982年に次ぐ低水温を記録した。下) 1963年1,2月の番所崎水温の日変化、平年値(1965-1974年)との比較。1月23-25日には、気温氷点下を記録している。京都大学フィールド科学教育研究センター瀬戸臨海実験所観測資料をもとに作図。

### 湧昇と熊野灘

潮岬より西の水道外域を特徴づけるのが偽個体群と低温死なら、東の熊野灘の生物相をめぐる一つのキーワードは湧昇である。黒潮が岸に近づくと、その周囲にある深層水の上昇域が熊野灘にかかる。また毎年の春～秋の南風によっても、熊野灘沿岸に沖の深みから海水が上がってくる(図1-6)。この現象は沿岸生物相に様々な影響を与える<sup>80, 118, 122)</sup>。深部の水は栄養塩類を多く含むため、湧昇が起こるとプランクトンが増え、それを餌とする浮魚類の漁獲も増える。しかし一方、湧昇水は低温なので、沿岸生物に負の影響を与えることもある。浦神湾では、夏に南寄りの強い風が吹くと、冷水が上がってきて急に水温が下がり、養殖魚が餌を食べなくなる。その後風が止むと揺り戻しが起こって水温は急上昇するが<sup>349)</sup>、こうした水温ショックが、他の沿岸生物にも影響を与えているかもしれない。湧昇を境に、漁獲される魚種が変わる例もある。熊野灘では、湧昇前は表層暖水性

のマルソウダが多く、湧昇が起こるとマサバ、マイワシに交代するという。また、湧昇の前段階として沿岸の表層水が沖へ流出するが、それによって沿岸生物の幼生や魚卵、稚仔などが沖に運ばれ、餌の少ない外洋水の中で沿岸に戻れず死滅する可能性もある。熊野灘では、放流したブリの稚魚が湧昇とともに消え、その後も再捕獲されなかった。この、湧昇と幼生回帰の問題は世界的にも注目されている。北米太平洋岸のカリフォルニアでは、春～夏に北からの風が卓越する。これによって引き起こされた流れは、南北に走るカリフォルニアの海岸沿いを南に流れ、コリオリ力で右に曲げられて、表層水は西、つまり沖に流出する。このため北風が吹いている間、フジツボ、カニ、ウニ類などの海岸生物の幼生が沖に運ばれて戻れず、海岸への定着は、北風が止んだ弛緩期 (relaxation event) に集中的に起こる<sup>252, 333, 356</sup>)。一方、湧昇によって沿岸部にリンや窒素など栄養塩が供給されることによる海岸生物への影響も、北米西岸を中心によく調べられている<sup>295, 296</sup>)。大まかにいえば、湧昇によって沿岸部の栄養塩濃度が高くなって植物プランクトンが増え、海岸ではそれをろ過して食べる付着性二枚貝の成長が良くなる。これがさらに、二枚貝をエサとするヒトデなど肉食種に影響し、群集構造がちがってくるという。熊野灘の場合、カリフォルニアとは海と陸の位置関係が逆で、沿岸水は南寄りの風で東向きに流出するという形になるが、基本的なメカニズムは同じである。他にも伊豆や北海道南部の東岸で、夏に南風が吹くと表層水が東向き (沖向き) に流れ、湧昇が発生するという報告がある<sup>51, 283</sup>)。南風が吹きやすい春から夏は多くの海岸生物の繁殖期でもある。このため日本でも東向きの海岸では、カリフォルニアのように湧昇が発生した時に幼生が沖に流出している可能性がある。日本では具体的な研究はまだ目にしないが、一般に沿岸生物の研究では、一つの注意すべき視点といえるだろう。

### 黒潮の蛇行と生物

黒潮の流れ方 (直進と蛇行, 図 1-7) が紀伊半島沿岸の水温や水質に影響を与えることはすでに述べたが、生物に対してはどうだろうか。この面での情報は、今のところ漁業関係が中心である。1976-1979年の大蛇行の時、紀伊水道と水道外域では、直進期に比べて冬の水温が低くなった (表 1-1)。当時この一帯では、タチウオ、マサバ、マアジなどの漁獲が減り、マルアジは増えた<sup>105, 106</sup>)。ただし水温の低下で南方性種が減ったという単純なものではなく、同じ南日本分布の種でもタチウオは減り、マルアジは増えている。紀伊水道ではそれほどでもなかったことに加え、浮魚類は移動力が大きく、回遊などの影響が加わるので、水温に直接対応する変化は出にくいのかもしれない。しかし潮岬付近では黒潮が直進して接岸すると、沿岸水との潮境の周辺に暖水性のトビウオ類の漁場が形成されたり<sup>122</sup>)、逆に蛇行時に水温が上がる熊野灘では、そういう時に暖水種のカツオが来遊し<sup>22</sup>)、逆に高温をきらうカタクチイワシ、マイワシ、マアジ、サバ類などが不漁になる<sup>80</sup>)。同時に貧栄養状態になるので、プランクトン量が減ってプランクトン食性魚類のエサ環境が悪化するとされている。一方、底生種への影響はもっとはっきりしている。水道外域に位置する田辺湾では、1975年ごろの蛇行開始とともに南方性のミナミアカエビの漁獲が減ってほとんどゼロになり、北海道まで分布するサルエビなどに置きかわった<sup>104</sup>)。

イセエビは水産上重要な種で高級食材として名が通っているが、いまだに生活史によくわからないところがあり、謎の多い生物である。イセエビは産卵後、プランクトン幼生期を経て2~3年で漁獲可能になる。紀伊半島では、潮岬周辺と三重県の志摩半島周辺という、ともに太平洋に向かって突出したところで特に多く水揚げされているが、両者の漁獲の経年パターンには違いがある<sup>71, 120, 121</sup>)。潮岬付近では、イセエビの漁獲は黒潮が接岸した約2年後に高くなる。一方、志摩半島では、

むしろ黒潮が潮岬から離岸、蛇行したあとで漁獲が増える。紀伊半島の東側では、蛇行期にむしろ黒潮が近くなることはすでに見た。したがって、イセエビの幼生が黒潮に乗って南からやってきて、潮岬付近では直進期に、志摩では蛇行期に岸近くに到達するため、その後それぞれの地域で親エビが増えると考えればよく説明できる。一方不思議なことに、潮岬の西側の枯木灘では、イセエビの漁獲と黒潮の流路に強い関係は見られない。ここは黒潮の接岸期にはまともに流れが岸に当たるため、潮岬の陰になる熊野灘南部と違って、幼生が黒潮によって供給されても‘溜まり場’がなく、散らばってしてしまうのかもしれない。このほか、先に紹介したサザエも、黒潮の影響を受けて資源変動を示す例である（図 1-16）。

### 海岸の地質と生物

一方、この章の始めで登場した「黒い岩」など地質と、海岸貝類の関係はどうだろうか。紀伊半島の西岸部は、堆積岩、火成岩、変成岩などからできているが、これらと貝類の種類構成との関係は、特に見られない。その一方、「黒い岩」の正体と目される泥岩が多い海岸と、少ない海岸では違いが現れる。図 1-12 の MDS 配置を見ると、泥岩の多い海岸と少ない海岸では、地点記号が上下に分かれており、貝類相が異なることを示している。内訳を見ると、泥岩性の海岸では岩の表面の藻類などをかじりとして食べる藻類食者が多く、二枚貝など水中のプランクトンなどをこしとして食べる懸濁物食者が目立って少ない。この理由は何だろうか。泥岩はきめが細かく、たいてい表面がツルツルになっている。このため藻類食種が満潮時に摂食のため這い回ったり、干潮時に殻を岩に密着させて乾燥を防ぐのに都合なのかもしれない。一方、懸濁物食者は、すべて固着性、付着性の種である。泥岩は柔らかく、波や、波の運ぶ砂粒などによってつねに削られている。そのため付着性の種は長く定着していることができず、種類相が貧困になるのだと考えられる。また、図 1-12 のデータをもとに検討すると、海岸に平坦面が広く発達する海岸とそうでないところでも、貝類相がちがう。先に、田辺層群や熊野層群のように地層が水平に近いところではこのような地形になりやすいと述べた。つまり、地層の歴史や性質が、海岸地形を通じてその場の生物相に反映していることになる。ただしこの場合、両者の海岸の貝類相がなぜちがうのか、合理的に説明することは難しく、それは今後の課題と言うしかない（2章コラム3も参照）。ともあれ、黒い岩についてかつて臨海実験所で言われていたこと（p10）は、やはりある程度当たっていたと言えるだろう。

## 3. 日御埼と潮岬

紀伊半島西南部の海は、水質と生物の特徴から、紀伊水道、水道外域、熊野灘がそれぞれまとまりをもち、また互いに区別される。これらの境界になるのが、北の日御埼と南の潮岬である。本章で述べてきたことをもとに、紀州沿海の水理と生物についてまとめてみる。

### 岬と生物地理

水質も生物も、日御埼と潮岬を境に様相が変わる。水質に比べると生物の場合はややあいまいで、グループによっては例外もあるが、全体的に見てこのあたりで変化することは疑えない。岬を境に海の生物相が変わることは世界にも例があり、北アメリカ東岸のハッテラス岬と、西岸のコンセプション岬が有名である。北米東岸では、黒潮に匹敵する強力な暖流、メキシコ湾流が南から岸沿い

に流れ、ハッテラス岬で東向きに大西洋に流出する。西岸の場合は逆に、北から沿岸を洗って南に向かう寒流のカリフォルニア海流が、コンセプション岬に遮られて沖に離れる。このためどちらの場合も、北の冷水と南の暖水が岬を境に接することになる。多くの生物がこのあたりに分布限界を持ち、共に北米東西岸の冷温帯区と暖温帯区の境界として認められている<sup>231)</sup>。紀州の場合、西から流れてくる黒潮は枯木灘に当たり、東に進む本流と北に向かう分枝流に分かれる（図1-5, 17）。本流は潮岬をかすめて沖に離れるので、陰になった熊野灘が冷水に覆われる。この関係は、メキシコ湾流とハッテラス岬の関係によく似ている。一方分枝流は岸沿いに北上するが、日御埼に遮られて勢いを弱めるため、ここから北側は瀬戸内海系の水塊が温存されることになる。大づかみにいえばこのような海況の差が、生物にも反映していると考えられる。



図1-17. 紀伊水道周辺の水塊概念図。点刻帯は黒潮の流路、水道入口の斜線帯は冬～春に形成される海洋フロント。熊野灘の反転する点線は、主に夏季の沿岸湧昇を示す。

### 生物相差の要因

では、紀伊水道、水道外域、熊野灘の3区域の生物相の差を生み出す具体的な要因は何だろうか。第一に考えられるのは水温条件である。水道外域の冬の水温は、両隣りの紀伊水道、熊野灘に比べて明らかに高く、このことが南方性種を生き残りやすくして、その豊富さをもたらしていると考えられる。逆に高水温に弱い種にとっては、水道外域の夏の高温条件が障害になりうる。第2に、黒潮による幼生供給の差がある。黒潮は接岸すると水道外域に当たるように流れるので、ここは黒潮の影響を最も強く受け、サンゴ礁魚をはじめとする南方、熱帯系種の幼生、稚魚が豊富に供給される。第3に栄養塩濃度がある。紀伊水道は人口の多い地域に囲まれて大河川が流入し、熊野灘は湧昇によって栄養塩が沿岸部に供給されるのに対し、水道外域の特に表層は、一般に貧栄養な黒潮系外洋水に覆われている。このことが、たとえば水道外域よりも紀伊水道、熊野灘で赤潮が発生しやすいことの原因になっているだろう。一方、底生生物の生息基盤を支配する地質については、生物

相の海区間差や南北勾配に影響を与えているという証拠は、今のところない。この要因は、海岸地形や表面の性質を通じて、より細かいスケールで生物の分布に影響しているように見える。

### 海区とその特徴

以上をふまえ、紀伊半島西南部の海の環境と生物の特徴を以下のようにまとめることができるだろう。

**紀伊水道区：** 大阪湾の出口に位置する加太から、日御埼まで。

紀伊水道は四国と紀伊半島の間、幅 40–50 km の海峡で、太平洋への開口は、西の蒲生田岬–伊島、東の日御埼の張り出しで狭められ、水深の浅い半閉鎖的水域である。海水は大阪湾、播磨灘と交流し、紀ノ川、吉野川の淡水に加え和歌山、徳島市域の排水を受けて内海水的。気温の影響を受けやすく、外洋水にくらべて、水温は冬により低く、夏にはより高くなる。水質は栄養塩に富んでプランクトン量が多く、赤潮が発生しやすい。海岸部は紀伊半島西南部一帯で最も古い堆積岩層を主とし、北端域を除き、変形を反映して複雑な海岸地形を示す。生物相の面では、3海区の中で瀬戸内海分布種の比率が最も高く、温暖要素は最も少ない。冬季低温時に、しばしば魚の浮漂死が発生する。

**水道外域区：** 日御埼から田辺湾、枯木灘を経て潮岬まで。

水道外域は太平洋に向かって開けた水域で、枯木灘に当って二手に分かれる黒潮の、強い影響下にある。冬季水温、塩分濃度、透明度が高い。田辺湾を除いてプランクトン量や赤潮の発生が少なく、表層水は貧栄養な外洋水的性質を示す。田辺湾周辺の海岸は、比較的新しい堆積岩層から成り、地層は水平に近く堆積して海岸部に平坦面を形成しやすいが、その南北は地層の変形が進んで複雑な海岸地形となる。生物相は3海区の中で最も温暖要素が強く、瀬戸内、三重との共通種を多く含む紀伊水道、熊野灘に対して、独自の位置を占める。熱帯・サンゴ礁性種の偽個体群や冬季低温時の大量死がみられる。域内では南ほど水温が高く、南方性種がよく見られるようになる。

**熊野灘区：** 潮岬の東、新宮まで。

水道外域同様、太平洋に向かって開けた海域で、かつ海底地形が急峻なため、海水は外洋水的性格が強い。一方潮岬の陰になって黒潮の影響を受けにくく、蛇行期を除いて冷水に覆われる。海底地形と海岸線の向きの関係から湧昇が起こりやすく、夏の水温は3海区の中で最も低い。水質は紀伊水道と水道外域の中間的。海岸部は、潮岬、新宮周辺の海岸は火成岩が中心だが、それ以外は年代の比較的新しい堆積岩層から成り、海岸部に平坦面を形成しやすい。海底地形が急深なため水温が下がりにくく、魚類や海岸生物の低温死は報告されていない。水質と同じく、生物の種類組成や温暖性の強さもまた、紀伊水道と水道外域の中間的様相を示す。

## 2章 田辺湾

### 1. 黒潮流域の小内湾

田辺湾\*)は紀伊水道外域の中央付近にあり、間口4 km、奥行きは4 kmほどである(図2-1)。規模は決して大きい方ではないが、紀伊半島西南部で最もはっきりした湾入地形といってよい。その田辺湾の環境、生物の特徴をひとこと言え、**「黒潮流域にある小内湾」**ということになるだろう。黒潮は九州から紀伊半島の南日本沿岸を流れ、紀伊半島西南部の海況や生物にも強い影響を及ぼしている。そのことは第1章で見た。また一般に湾入地形があると、その中(内湾)には外洋や湾口部とは異なる環境、生物がみられるようになる<sup>196)</sup>。ではその黒潮と湾入地形は、どのように田辺湾の生物に反映しているのだろうか。

\*注)「田辺湾」の範囲について、海図では北の斎田崎(天神崎)と南の番所崎を結ぶ線を田辺湾の「湾界」としているので本書もそれに従い、この線から東を「湾内」、西を「湾外」とする。また、湾内を、地形によって「南部」(畠島、神島より奥)、「北部」(神島、天神崎を結ぶ線より北)、「中央」(それ以外、20 m等深線で囲まれる部分とその周辺)の3区域に分け(図2-1)、この用語を使って話を進めて行くことにする。

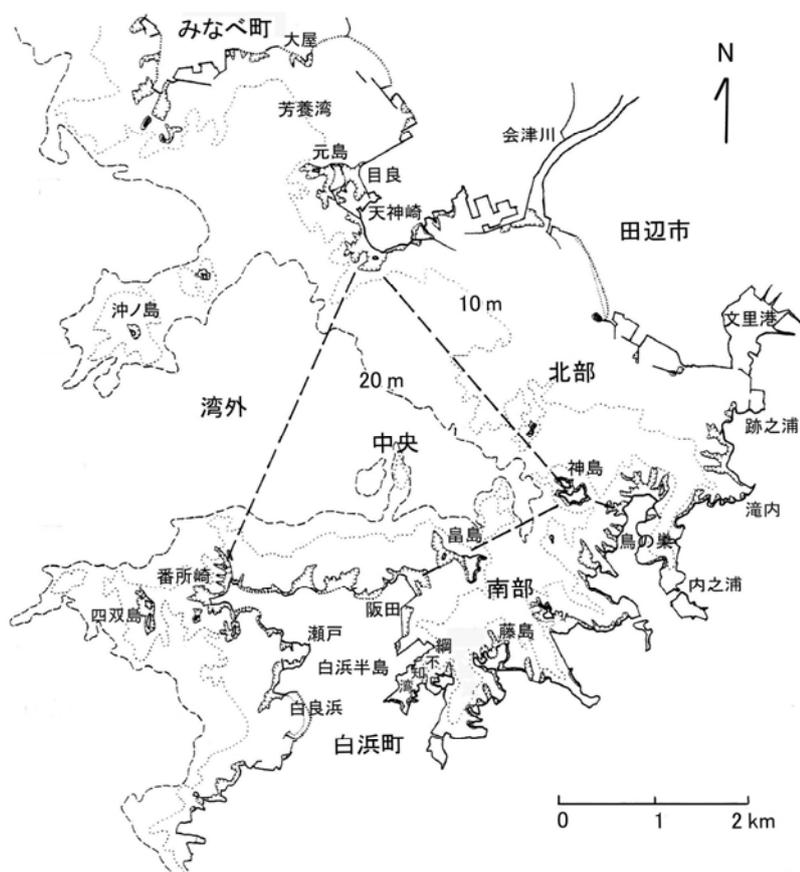
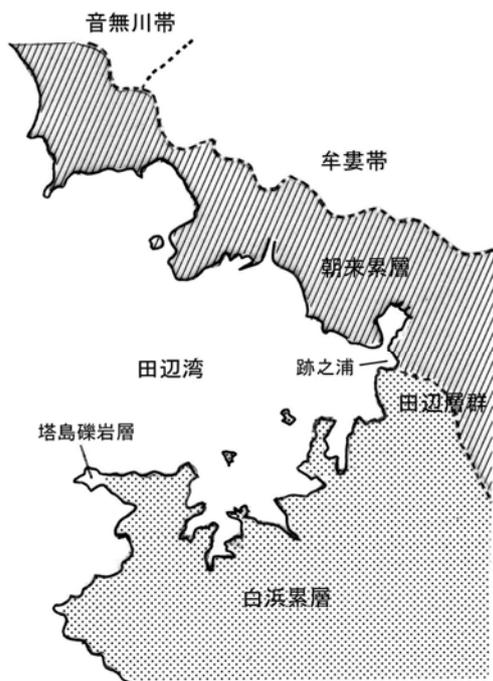


図2-1. 田辺湾。湾内点線は10 m、破線は20 m等深線。田辺港海図(海上保安庁2000)をもとに描く。

## 地質と地形

田辺湾周辺の地層は第三紀中新世の田辺層群で（1章図 1-10）、海岸の岩礁は礫岩、砂岩、泥岩などの堆積岩でできている。田辺層群は朝来累層と白浜累層に分けられ、前者のほうが年代的には古い<sup>133)</sup>（図 2-2）。これらは連続的に堆積していて、間に陸化、侵食などの大きな変化を経ていないことを物語っている。白浜累層には、砂岩と泥岩の交互層が多く見られる。朝来累層は全体的に陸側にあるが、湾内に限って見ると南岸が白浜累層、北岸が朝来累層で、その境は田辺市の跡之浦あたりになる。一方、田辺湾の湾口南側、番所崎の周辺には、田辺層群より新しく、性質の異なる塔島礫岩層がある。白浜層との境は不連続的（不整合）で、形成された時期の間に断絶があることを示している。年代は鮮新世～更新世と報告されている<sup>190)</sup>。白浜層との不整合面は番所崎の付け根で見ることができる（図 2-3）。塔島層は礫岩を主とし、石英を多く含んで白っぽい（口絵 2）。年代的に新しく、まだ岩が十分に固まっていないので侵食されやすい。そのため今でもしばしば崖崩れを起こして、少しずつ地形が変わりつつある（図 2-5）。以上をまとめると、田辺湾沿岸の地層のほとんどは第三紀中新世田辺層群の堆積岩であり、湾内では北岸が朝来累層、東～南岸が白浜累層から成るが、番所崎周辺にだけ年代の新しい塔島礫岩層があるということになる。



左) 図 2-2. 田辺湾周辺の地層分布の概略。文献 133 をもとに描く。

右) 図 2-3. 田辺層群（白浜累層、下のきめ細かな岩体）と、塔島礫岩層（上の粗い岩体）。

矢印は境界（不整合面）を示す。白浜町番所崎の京都大学水族館下で。

田辺湾の深度分布を見ると、20 m等深線が湾口から畠島と神島のあたりに達している（図 2-1）。20 mより深い部分は湾の南寄りにあり、最大水深は湾口部の 31 mである。仮に海面が 20 m下がれば、田辺湾は入り口を北側の天神崎—沖ノ島間の岩礁と南の番所崎に絞られ、南西方向に開い

て、そこから畠島一神島あたりまでの小さな湾となる格好である。湾内の海底は、大部分が泥質になっている（図 2-4）。一般に、海底や海岸の底質は、波や水流の強い方から、岩礁、転石、砂底、泥底と移り変わる。田辺湾でも泥底は水の動きの少ないところにあり、湾央一湾口の深い部分から最湾奥部へと続き、水面に現れて干潟となる。砂底は会津川の河口付近の浅いところや、湾口周辺の岩礁の周囲など波や水流の影響を受けやすいところにみられ、岩質底は湾内の島や礁、岬などの周囲にあって、広い泥底の中に散在する。

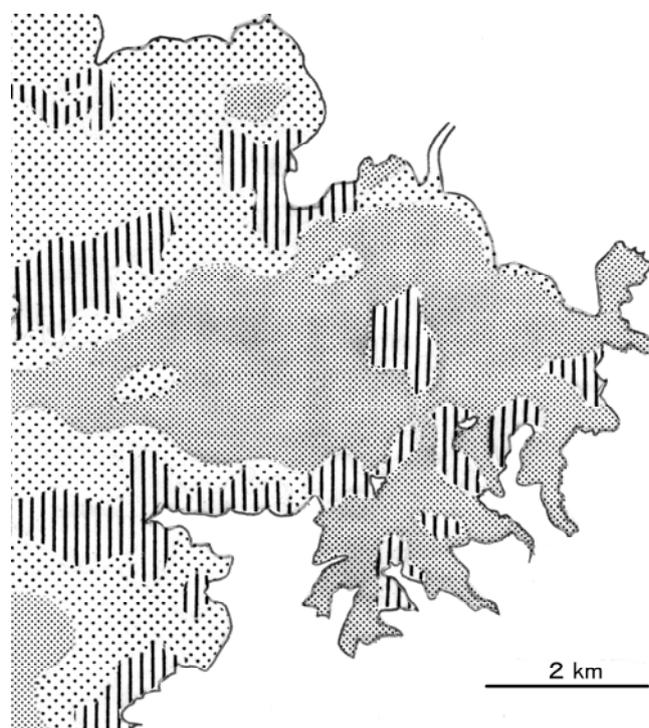


図 2-4. 田辺湾の底質分布の概略。  
縦線は岩礁、粗い点刻は砂地、  
細かい点刻は泥底。文献 297 に  
もとづく。

田辺湾周辺の海岸線は、湾外より湾内が、また湾内では北岸より南岸のほうが複雑である。北岸には湾岸最大の河川、会津川があるために川から流れ出した土砂で砂浜が作られ、遠浅で、海岸線は直線的である。田辺湾の深い部分が南寄りにあるのも、長い時間をかけて北から会津川による埋立てが進んだことによるのだろう。湾の南部には畠島、神島をはじめとする小島、暗礁、岬が多く、最も奥は枝湾と呼ばれる小さな入江になり、そこに干潟が発達する。南部は複雑な地形にさえぎられて、外海からの強い波や水流にさらされにくく、そのため海岸部は湾口部の岩礁から、内に入るにつれ、転石、砂浜、さらに泥浜の多い環境へと移り変わる。湾奥部では海岸の谷が海底の谷地形に、岬の尾根が背後の山の稜線につながっていることから、海水面が上がって陸上の谷が水没し、入江になったと考えられる（溺れ谷地形）。小島や礁は、かつての山の頂上の水没して陸から離れたもので、いわゆるリアス式海岸である。南部は波静かで侵食が進まず、また大きな川がないことから埋立てを免れて、これらの地形が保存された。これに対し湾外では、波によってかつての溺れ谷地形が削られてはっきりしなくなっている<sup>54, 297</sup>。

田辺湾周辺には、陸上から海底まで、何段階かの海岸段丘がある。これはかつてその高さで海面がある期間止まり、風化と波による浸食で平坦面ができたあと、海水位が下がるか陸が持ち上がって、その地形が残ったものである。海岸部では今まさにその過程が進みつつあり、それによってできた平坦面を波蝕棚（shore platform、以下単にプラットフォーム；図 1-11 右）という。これは地

層が水平に近かったり、岩質が柔らかい海岸にできやすい。1章で見たように、田辺湾周辺に分布する田辺層群は、北の音無川帯や南の牟婁帯より年代が新しいことを反映して、地層が水平に近く配列している。これはプラットフォームの形成には有利な条件である。南の牟婁帯などでもところどころにみられるが、田辺湾周辺に比べるとまれである。特に南岸の白浜累層は砂岩と泥岩の交互層が多く、比較的硬い砂岩が残って緩やかに立ち上がり、小さな崖（ノッチ）を作って落ち込み、また緩やかに立ち上がる、いわゆるケスタ地形が見られる。北岸は朝来累層だが、会津川周辺は砂浜が主であり、田辺市側の湾奥は護岸化されているため自然岩礁が少ない。しかし湾口の天神崎、元島に広い岩礁域があり、ここでは水平なプラットフォームが幅広く発達している。一方、番所崎周辺の塔島礫岩層は十分に固まっていないため削られやすく、ここにも幅広のプラットフォームが発達して、その上に、いろいろな形、大きさのタイドプール（潮だまり）が散在している（口絵2）。さらに岩盤は侵食されて指状に入り組み、湾口部でありながら、比較的波から守られた小さな入江があちらこちらに見られる。このような地形は、後に述べるように海岸生物相にも反映する。

ところで、白浜番所崎の南側に円月島という島があり、観光地白浜のシンボリック的存在になっている。これは塔島層に含まれ、やわらかい礫岩でできている。そのため時々崩落を起こし、地元の新聞でもそれが報じられて、観光スポットがそのうちなくなるのではないかと心配されている。塔島層の崩落については私も強く印象に残っていることがある。私は大学院の研究テーマとして、アラレタマキビという巻貝の行動を調べたが、調査場所は番所崎の洞門という岩礁だった。梅雨期のある晩、研究室にいと、洞門の方角から「ドーン」というすさまじい音が聞こえ、さっそく行ってみると、大きな崩落が起こって、あたりに落ちてきたばかりの大きな岩がごろごろ転がっている（図2-5）。雨が降り続いて岩盤が水分を含み、崩れたらしい。調査ポイントは埋められずに残っていたが、このあたりをうろうろしているときに崖くずれに出会っていたらと思うと背筋が寒くなった。その後はヘルメットをつけて調査を続けたが、岩面にへばりついて貝を数えていると、上のほうでカラカラと音が聞こえ、直後に石ころがヘルメットに当たって「カーン」とはじけたりする。このような崩落をくり返しながら、番所崎で今見られるような幅広いプラットフォームが作られていったと考えられる。どこの海岸でも、波と風の働きで徐々に侵食が進んでいくが、番所崎ではそのプロセスをリアルタイムで目にする事ができる。



図 2-5. 左) 塔島礫岩層（白浜番所崎）の崩落、1982年7月。右) 2009年7月。

### コラム 3 海岸地形と生物

海岸の地質や地形は、そこに棲む生物にいろいろな面で影響を与えている<sup>44)</sup>。そのいくつかを紹介しよう。アメリカのカリフォルニアで、火山岩と砂岩上の笠貝の生理を比較した例では、火山岩では砂岩よりも表面温度が5℃も高く、笠貝が水分を失う率も、火山岩の方が大きかった<sup>336)</sup>。また別の研究者が太平洋のパラオ諸島で、火山岩と石灰岩上の貝類相を比較したところ、石灰岩の方が種数が多かったという<sup>352)</sup>。特に、タマキビガイ科など高い位置に住むもの、笠貝類のように軟体部を広く岩に接触させる種は石灰岩にだけ現れた。火山岩は黒く、白い石灰岩よりも高温になる。また表面が粗いため、軟体部と岩の間に隙間を生じて貝が水分を失いやすく不利な環境であるため、このような結果になったと推測されている。一方、岩の表面の割れ目、細かな凹凸など(クレビス)と生物の関係についても調べられている。はじめにこれに注目したのはイギリスの研究者で、タマキビガイ科の巻貝の住む岩の上に、貝が入ることのできるくらい小さな穴をドリルでたくさん開けたところ、貝の密度が飛躍的に増え、穴のサイズを大きくすると貝のサイズも大きくなった。クレビスへの依存度は波あたりの強いところで大きい。岩の割れ目に入ることで、貝は強い波に持ち去られることを免れ、穴の多さが貝の密度の制限要因になると考えられている<sup>249, 330)</sup>。これらの研究以来、海岸生物にとって岩表面の微小地形が重要であることは常識となった。しかし否定的な情報もある。南アフリカの喜望峰で、花崗岩、砂岩、頁岩上の海岸生物相を比較したところ、岩質によると考えられる、はっきりした種類構成の違いは見られなかった<sup>294)</sup>。



図. 白浜番所崎のプラットフォームに見られる、ノッチ(小崖)とタイドプールの組合せ。ノッチには特徴的な生物相が見られる。

田辺湾や紀州の場合、気になるのは波蝕棚(プラットフォーム)の存在である。プラットフォームがあると、潮間帯の面積が増えて海岸生物が豊富になる。さらに、岩面にタイドプールがしやすいことから、プールを好む種や、もともとは深みに住む種がその中に現れ<sup>26)</sup>、その意味でも生物相が多様になる。田辺湾周辺のように、地層が水平に近い海岸では、平坦面がゆるやかに立ち上がって小さな崖(ノッチ)になって落ち込む地形となる。このときノッチが波の陰になる形で陸側にあると、ここにクジャクガイ、イソニナ、ヤッコカンザシなどの独特な生物相がみられる。ノッチの下は低いいため、プールが形成されることも多い。このようなところでは、イソニナが昼はノッチに潜み、夜に

なるとプールに出て笠貝などを捕食し、地形の組合せを巧みに利用して生活を成り立たせている（前ページ図）。また、南側湾口の番所崎は塔島層から成るが、これは粗い礫岩を中心とし、石英を多く含んで白っぽい。南の牟婁帯の泥岩は黒っぽいが、先の石灰岩と火山岩の例のように、白い岩は黒い岩より夏の日射で高温になりやすく、生物にとってより温和な条件になっているかもしれない。泥岩は柔らかいので、付着生物にとっては基盤ごと削られてしまい、好ましい生活場所とはいえないが、一方岩に穴を掘って住む生物には適しており、田辺湾でも島島や元島の泥岩の中に、イシマテ、ニオガイ、カモメガイなど穿孔性二枚貝が住んでいる。また、藻食性の巻貝類が泥岩上に多いことは1章でも述べた。

泥岩については1章でみたように、それ以外の岩質との間に貝類相の違いがあるが、礫岩（塔島層）では、他と比べてはっきりした違いはない<sup>308)</sup>。ノッチやプラットフォームの生物相についても、くわしい研究はまだである。海岸の岩質、地形と生物については海岸生態学の初期、イギリスでいろいろな面から議論されたが<sup>292)</sup>、その後研究の中心は帯状分布や種間関係に移り、この問題はどちらかといえば日陰に置かれたまま、今に至っている。肯定、否定両方の報告があり、また全体的に情報が少ない。一見調べ尽くされたかに見える海岸生物の生態にも、まだよくわからないことが多く残されている。

## 気象と海象

**気温と水温：** 田辺湾岸の気温は1月に最低（7.3℃, 1985–2005）、8月に最高（27.4℃）だが、水温は気温よりほぼ1ヶ月遅れで変化し、2月に最低（15.7℃）、9月に最高（27.0℃）になる（図2-6）。これは気温の影響が時間をかけて水温に及ぶためである。冬は明らかに気温より水温のほうが高いが、8–9月の最高時の値はほとんど変わらない。水温と気温の時間的ズレや、夏より冬で両者の差が出るのは、だいたい日本沿岸のどこでも見られる傾向である。図の水温は湾中央部のものだが、海岸近くや湾奥部では気温の影響により、約1.0℃、冬は低く、夏は高くなる<sup>42, 308)</sup>。雨量は梅雨期に入る6月から台風シーズンの10月ごろまで多く、この時期に湾内の塩分濃度が下がる。透明度は春から夏にかけて増殖するプランクトンの影響が大きく、4–10月に低くなる。風速はなだらかなカーブを描いて季節変化し、冬に強く夏は弱い。風向きは冬は圧倒的に北西方向、夏は南西方向が多い。また、各月内で最大風速を与える風の向きを調べると、全季節で北西方向（北北西、西北西を含む）が最も多く、11–4月は100%、夏でも2/3を下らない。つまり田辺湾では、冬にはもっぱら風が北西方向から強く吹き、夏は南西方向からが多いが、夏でも強い風（主に台風時）は北西から吹くということである。田辺湾は西～北西向きに開く湾であるため、湾内の水塊は、一年中吹くこの北西風の影響を強く受けることになる。

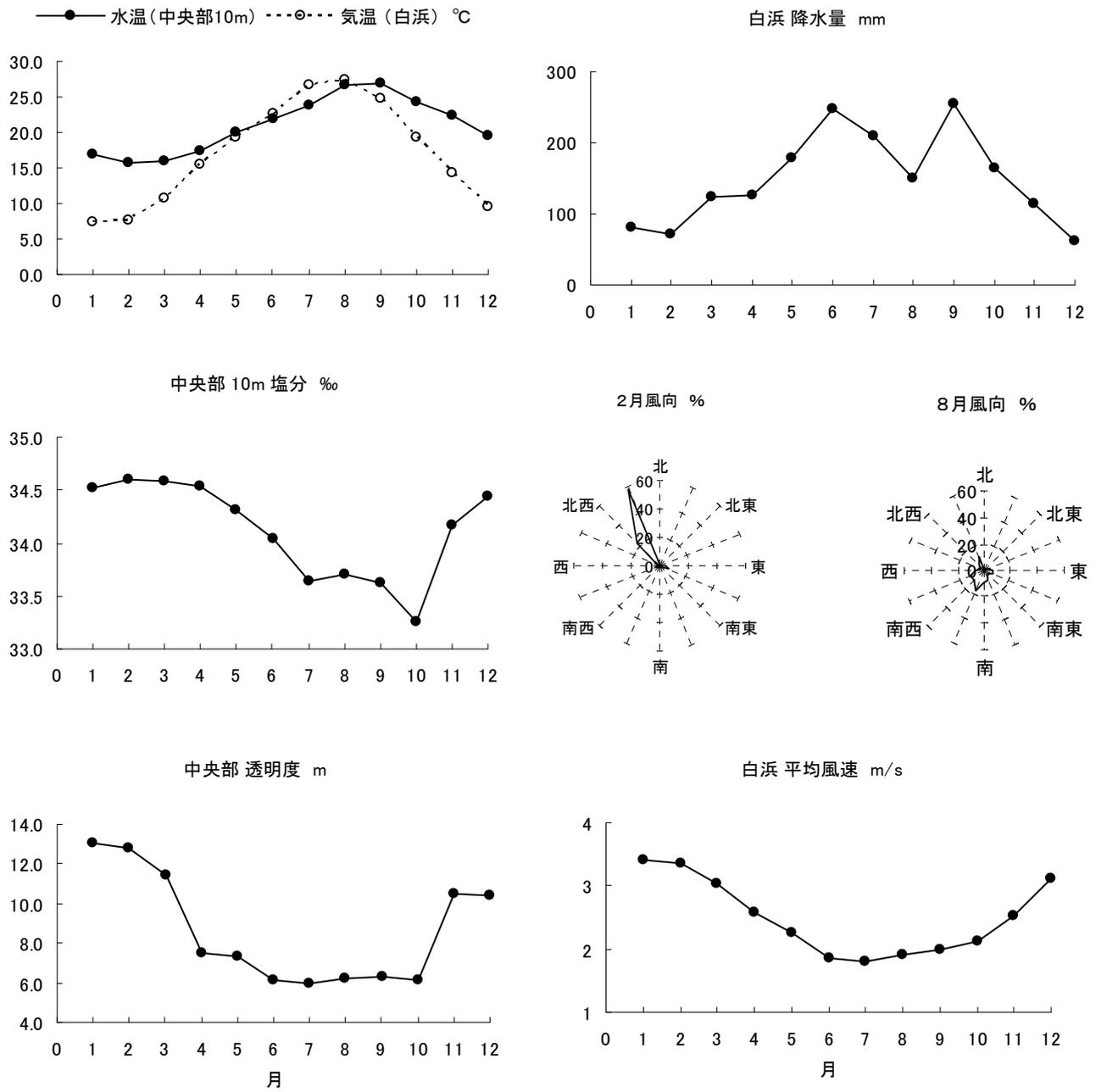


図 2-6. 田辺湾の気象と海象の季節変化 (1985-2005 年の平均)。気象庁気象観測データ (白浜アメダス)、和歌山県水産試験場沿岸定線観測資料による。

**湾内の水の流れ：** 沿岸部の流れというと、まず満潮と干潮のくり返しによって生まれる潮汐流が思い浮かぶ。田辺湾でも、基本的には上げ潮時には湾内向き、下げ潮時には湾外向きの流れが強まる<sup>304)</sup>。しかし実際には風による吹送流などがからんで単純ではなく、湾内の流れにどのような要因が関わっているかは、水流のスペクトル分析によらねばならない<sup>65, 208)</sup>。これは湾内の水位をあちこちで記録し、その変動の中にいくつかの周期を見出して、それぞれの周期の原因を調べるという方法である。それによると上げ潮時、湾口付近では、南西方向から湾内への潮汐流が起こり、下げ潮時には逆に南西向きに流出する。この流れは、湾の南寄りの深い部分に沿っている。湾口では満干に伴う水流の向きの切り替えがはっきりしているが、湾奥では時間によっていろいろな方向へ

の流れが見られる。潮汐流の速さは数  $\text{cm}/\text{秒}$  ほどという。このほか副振動といわれるものもある。これは湖や内湾で観測される、特定の周期を持った水面の上下動で、田辺湾の場合は周期約 40 分である。この揺れに伴って東西方向の流れも発生する。副振動の原因については、湾内の海水が外部から強い力を受け、その力が消えた後も、湾の地形により固有の周期で水面のゆれが残る、と説明されている。たとえば水の入ったおわんを一度傾けると、その後しばらく水面が揺れているようなものである。しかし田辺湾の場合に、外からの強い力とは何なのか、台風、季節風、あるいはあとでふれる外洋水の貫入なのか、詳しいことはわかっていない。ただ、副振動によって発生する流れは潮汐流を上回り、最大で  $10 \text{ cm}/\text{秒}$  に達して、湾内の水流や物質の拡散にとって重要と考えられている。さらに潮汐流や副振動を除いたあとも残る、恒流と呼ばれる流れの成分がある。田辺湾の恒流は速さ数  $\text{cm}/\text{秒}$ 、夏は時計回り、冬は反時計回りで、冬の恒流は北西からの季節風によって強められる。

一方、田辺湾で行われてきた水質調査を総合して、湾内の水流を推定した例もある<sup>67)</sup>。それによると湾内の流れは、湾口南側から畠島-神島の外側を通って、天神崎沖を北西方向に流出するものを主流とし、それ以外に湾口北側から北東部湾奥への流れ込みもある。これらは文里港沖で合流して、このあたりに湧昇や渦流を起こすという。これらが先のスペクトル分析の結果とどういう関係にあるのかははっきりしない。時間、季節的な変化もあり、田辺湾程度の小区域でも、水流系の全体像を描くのはなかなかむずかしいようだ。

**貫入と湧昇：** このほか特筆すべきものに、黒潮系外洋水の貫入がある。田辺湾でこれまで行われてきた水質調査では、南側湾口から湾内の畠島、神島にかけてしばしば、透明度が高く、高塩分、高温で外洋水的な水塊が確認されている<sup>78, 127, 257)</sup> (図 2-7)。一方それとは別に、南岸の江津良沖にある海象観測塔の水温が、数日から数十日の間隔で急上昇することがわかっていた<sup>163)</sup>。その後、紀伊水道での観測の結果なども加え、これらについては次のように説明されている<sup>79, 207, 208)</sup>。1章でみたように、紀伊水道、水道外域には、秋から春にかけて黒潮系外洋水の前線であるフロントが発達する(1章図 1-4)。このフロントが田辺湾の沖を北上するとき、南寄りの水深の大きい部分を伝って湾内に黒潮系外洋水が流入し、中央部の水温が上がる。貫入水はすぐに全湾表層に広がり。主に北側湾口から湾外に流出する。これによる湾内水の交換は、潮流によるものをはるかに上回るという。

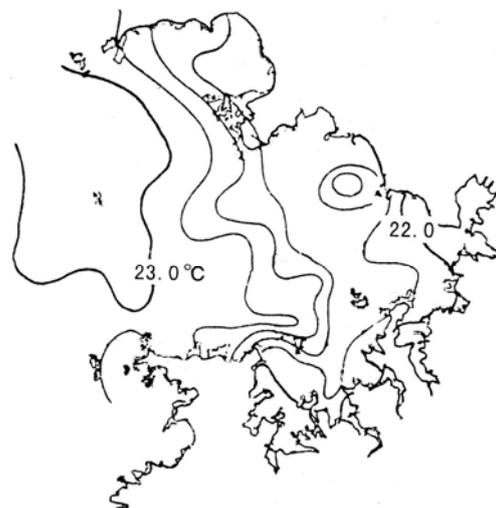


図 2-7. 田辺湾の水温分布 (水深 5 m 層、1956 年 11 月)。等温線の間隔は  $0.2 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 。高温水が南側から湾内に侵入している。文献 257 による。

一方、1章で見た風による湧昇は、田辺湾周辺でも起こっている<sup>113, 208</sup>。このあたりは海岸線がほぼ南北方向なので、表層水が北からの風を受けて沖向きに流出し（エクマン流、1章図1-6）、深層から沖合水が上昇する形になる。そこで夏に台風が通ったあとなどに強い北風が吹くと、沖の深い部分の水が湾内に流れ込み、水温が下がる。湾奥で赤潮が発生している場合には、このときの水交換で赤潮が消えることもある。一方冬場は北西風が強く、この時期こそ湧昇が活発に起こっているはずだが、冬は海水が上下によく混じり合っているので、水質調査でこの現象を捉えることはむずかしい。しかし状況証拠はある。先に見たように冬には田辺湾沖にフロントがあり、暖かい外洋水が表層からしばしば湾内に進入する。しかしこれは北風の強い時には起こらず、決まって風の止んだ小春日和の日にみられる。つまり北風が吹くと湧昇が起こり、沖の深みからの海水が湾内を満たすとともに、表層で湾外への流出が起こり、フロント系暖水の貫入を阻止しているらしい。風が止むとこの抑制が解かれ、暖水が湾内に流れ込むという仕組みである。

**水質と底質：** こうして湾内の流れを見てくると、田辺湾の海水は常によく混じりあっているかのような印象を受けるが、全域が均質というわけではない。これまでの報告では、だいたい次のように、場所による違いが示されている<sup>42, 127, 166, 175, 257</sup>。まず中央部は、沖合水がしばしば流れ込んで透明度が高く、高温高塩分である。一方南部の畠島―神島より奥は、地形のせいで水がよどみやすく、透明度が低く、夏場の底層は無酸素的になり、リン、チッソなど栄養塩の濃度が高い。植物プランクトンが増殖してクロロフィルが多く、赤潮もよく発生する。北部は会津川が流入して透明度、塩分濃度がやや低く、全体的には沖合水的な中央部と、内湾水的な南部との中間的な性質を示すが、どちらかといえば内湾的要素が強い。

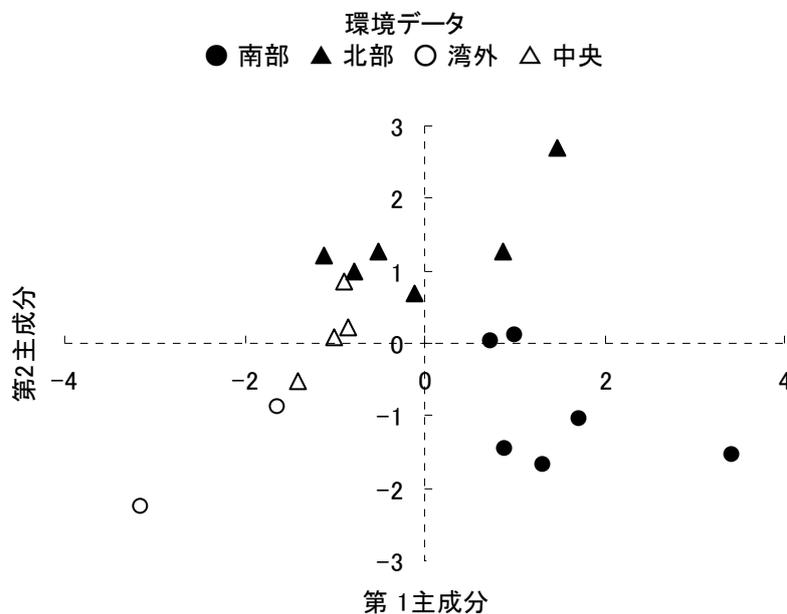
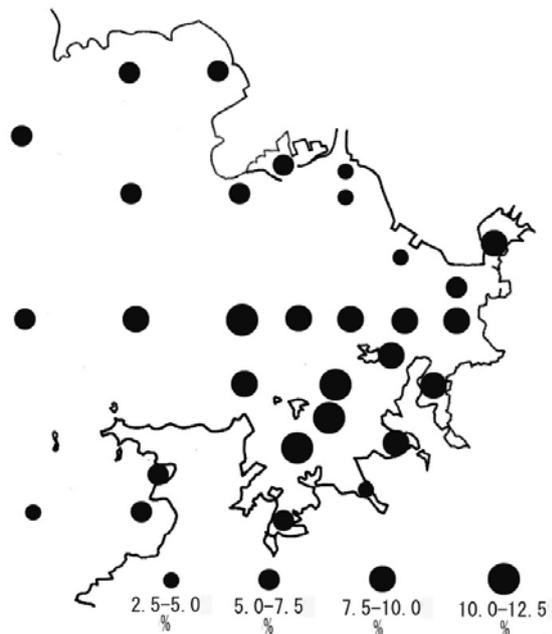


図 2-8. 主成分分析による、田辺湾内の水塊の区別。湾内 18 地点、1977 年 10 月の 5m 層の透明度、水温、塩素量、PH、溶存酸素、5つの指標を用いた。文献 43 をもとに作図。

こうした水塊の違いは、水質データによって裏づけられるだろうか。主成分分析によって検討してみる（図 2-8）。田辺湾内の場合、多数の定点で長期にわたり取られたデータがないので、ここでは 1977 年 10 月の水平分布の結果による。図では湾外、中央部、北部、南部の各地点はそれぞれまとまり、かつ異なる範囲に位置している。湾外と中央、中央と北部は接近していて、湾外水が中央部に進入し、さらに北部に拡散する傾向を反映しているように見える。一方南部は、この系列から離れて独自の水塊を形成しているようだ。

底質についてもいろいろな項目が調べられてきたが<sup>58, 88, 166, 212</sup>、ここではその中から、COD、強熱減量、硫化物量を取り上げる。どれも底泥中の有機物が多いほど大きな値をとり、その意味で、有機汚染、富栄養化の指標と考えてよいものである。これらの値の分布パターンは、各調査でほぼ一致し、常に南部が最も高く、北部と湾口に向けて徐々に減少する（図 2-9）。北部よりもむしろ湾口周辺の方が値は大きい。南部の閉鎖水域にたまった有機物が、西と北向きに広がっているようにも見える。一方会津川や田辺市域からの汚濁負荷の影響はそれほど目立たない。これはこのあたりの地形が開放的で南部より水流が強く、有機物がたまりにくいせいかもしれない。このように、水質の点で外洋水的と評価された中央部は、底質の性質からは必ずしも北部に比べて貧栄養的とはいえず、水質と底質の傾向に食い違いがある。

図 2-9. 田辺湾における底泥強熱減量の分布。底質中の有機物量を表わす。1994 年 8 月と 1995 年 2 月の平均値。文献 58 をもとに描く。



## 2. 湾内生物のバラエティ

田辺湾のような限られた海域でも、以上のように環境は場所によりさまざまである。特に、湾外から湾奥に向かう変化は明らかだ。こうした環境の多様性や勾配は、そこに住む生物にも影響を与えずにはおかない。田辺湾では、特定の種やグループについて、これまで内外の研究者が数多くの生物学的研究を行ってきた。そのすべてを紹介することはできないが、ある程度大きな分類群について、湾内の広い範囲で調べた例を取り上げ、田辺湾の生物相の特徴や分布についてまとめてみる。

## 海岸生物

潮間帯\*)の生物相は、1950年代に湾内の広い範囲で調べられている<sup>265, 351)</sup>(表 2-1)。岩礁については、湾外～湾口の最も波当りの強いところには、固着性のオオアカフジツボ、オオイワフジツボ、オハグログキなどが多い。やや内に入り湾口～畠島には、高い位置から順にタマキビガイ類－イワフジツボ・クログチ－ケガキ－クロフジツボ・ムラサキインコという帯状分布構造がみられる。このうちタマキビ類は上からイボタマキビ、アラレタマキビ、タマキビ、コビトウラウズの4種である。畠島より東の湾奥部では、タマキビ帯からイボタマキビとコビトウラウズが抜け、クロフジツボ・ムラサキインコ帯は消えて、この高さにはヒバリガイモドキが現れる。イワフジツボ帯には内湾性のシロスジフジツボが加わり、分布帯は上からタマキビ－イワフジツボ・シロスジフジツボ－ケガキとなる。さらに奥の湾奥部では、タマキビ帯はタマキビ1種となり、その下にシロスジフジツボ、さらに下にケガキから置きかわったマガキがみられる。海藻類では、湾口部で上位に紅藻のフノリ類、アマノリ類が、その下に褐藻のヒジキとウミトラノオが優占する。これに対し、湾奥では緑藻のヒトエグサ、ウスバアオノリが目立つようになる。

\*注) 満潮線と干潮線の間、つまり満ち潮で隠れ引き潮に現れる帯状の範囲を潮間帯という。本書ではほぼ「海岸」と同じ意味で用いる。その下は「潮下帯」である。

			湾口	湾央	湾奥
↑ 上位           ↓ 下位	タマキビ帯	イボタマキビ	○		
		アラレタマキビ	○	○	
		タイワンタマキビ	○		
		タマキビ	○	○	○
		ウズラタマキビ*			○
		コビトウラウズ	○		
	イワフジツボ ／クログチ帯	イワフジツボ	○	○	
		シロスジフジツボ		○	○
		クログチ	○	○	○
		オハグログキ	○		
	ケガキ帯	ケガキ	○	○	
		マガキ		○	○
下位	クロフジツボ	○	○		
	／ムラサキインコ帯	○			

表 2-1. 田辺湾における主要海岸動物の水平、垂直分布。文献 265 による。\*) 正確にはヒメウズラタマキビ (波部忠重博士私信)。

岩礁以外では、まず湾口部に砂浜があるが、ここは強い波とそれによる砂の動きで住み場が安定しないため、大型の生物はほとんどみられない。ヒメスナホリムシ、チドリマスオなど移動力の大きい種だけが低い位置に住み、その下にスナガニの穴が散在する。湾奥寄りの砂浜では上からコメツキガニ・イソハマグリ・ウミニナ・アサリ・コアマモの帯状分布となり、コアマモ帯にはテッポウエビ類、シロマスオ、ウメノハナガイなどが住む。最湾奥の枝湾内では高い方からアシ帯群集（アシ、カワザンショウ、フトヘナタリ）－泥底動物群集（チゴガニ、ヘナタリ、オキシジミ）－コアマモ群集（コアマモ、イボウミニナ、ウミヒメカノコ）－アマモ群集（アマモ、ヒメアカガイ、コゲツノブエ）といった配置である。

以上をまとめて、海岸生物相の水平区分は図 2-10 のように示されている。番所崎周辺と沖の小岩礁を外域、その内側、畠島－神島－天神崎を結ぶ線までを中間域、その奥を内域とする。湾北部は生物相的に内域に含まれているが、これは湾の北側の水質は、外洋水の貫入する南側よりも内湾的であることと符合している。1950 年代に調べられたこれらの分布パターンは、1990 年代以後の状態と比べると基本的には同じだが、湾奥部でアマモ場が衰退し、干潟の生物の中にも失われたものがいくつかある。また、個々の種では、ムラサキインコよりヒバリガイモドキのほうが今では多いし、ケガキ、マガキの分布も最近まで、1950 年代のパターンとは異なっていた。これら生物相の変化については 3 章で述べる。



図 2-10. 海岸生物相の水平区分。  
文献 351 にもとづく。

限られた分類群について、よりくわしく調べた例もある。特に貝類（多板、腹足、二枚貝の 3 綱）の情報が多し。これは貝が、田辺湾の海岸では大型底生動物の 40-60% を占める大きなグループであること<sup>308)</sup>に加え、分類が進んで種の同定が確実にでき、地理的分布もよくわかっているなど研究に有利な条件がそろっていることにもよるだろう。また石灰質の殻を持つので、死後も打上げや化石などの状態で残りやすく、それらの情報も加わってくる。田辺湾の南岸で、海岸貝類の分布を調べた例を見る<sup>308)</sup>。9 地点に現れた貝の種とそれぞれの密度に基づいて MDS 分析を行うと、図 2-11 (左) のようになる。図で近いところに位置する地点は、互いに種類組成が似ていることを示

している。湾外、湾口、湾奥の3つの区域が区別され、これは図 2-10 の、海岸動物相の外、中、内域の区分にもほぼ一致する。それぞれの区域の代表的な種は、湾外がアマオブネ、ヒザラガイ、湾口-中央部がヒバリガイモドキ、ケガキ、湾奥部がスガイ、マガキなどである。湾奥に向かうにつれ、地理分布で見ると南方性種の割合が減る。食性の面では、他の貝やフジツボ類などをエサとする肉食性の種が減る一方、水中のプランクトンなどをこし取って食べる懸濁物食の種の比率が高まる（図 2-11 右）。南方性種の中には紀伊半島が北限とされるオハグログキ、ゴマフニナなどが、懸濁物食種には、イガイ類、カキ類などの付着、固着性の二枚貝や、巻貝のオオヘビガイなどが含まれる。これらのグループの割合は、畠島周辺を境に変わる。南方性種が外側、北方性種が内側に多いことは、湾奥部で冬の水温が下がることと対応している。また湾奥部は透明度が低く、植物プランクトンの量を示すクロロフィルも多いので、懸濁物食の種にとってはエサが多く、有利な環境と考えられる。肉食者が外側で多くなることの直接的な理由は見当たらないが、肉食種は同時に南方性のもので多いため、湾口方面で南方性種が多いことの付随的な結果かもしれない。湾奥部で北方性種が多いことについては、別の視点から考えることもできる。これらの種の 90%以上は、日本、朝鮮半島から中国沿岸を中心に分布し、海洋生物地理学で「東亜固有要素」と呼ばれる種群である。このグループは過去の氷河期に、東シナ海に存在した大きな入り江で進化、成立したとする考え方があり<sup>155)</sup>、そのため今でも河口、内湾的環境に多くみられるのかもしれない。

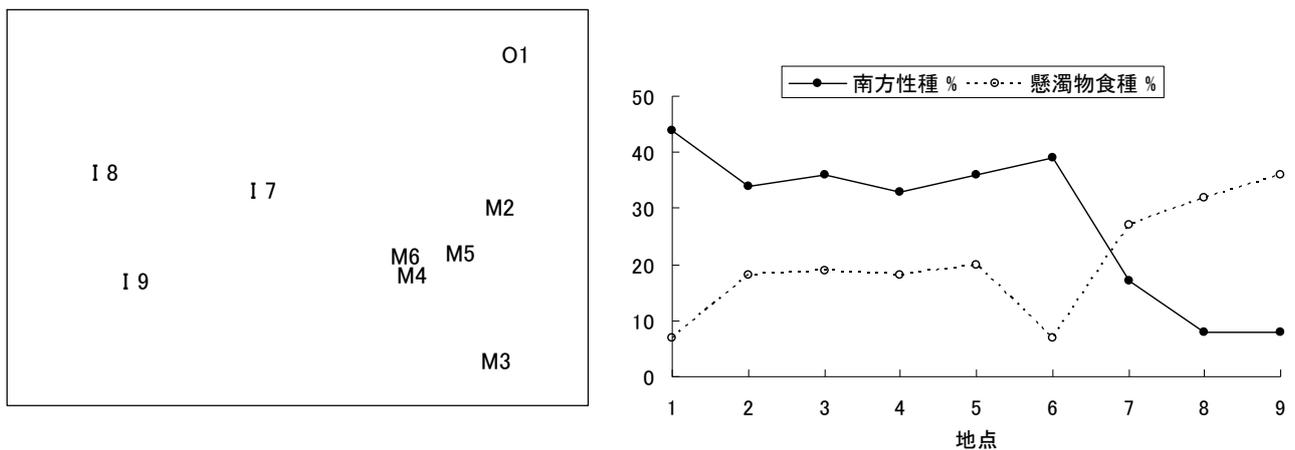


図 2-11. 左) 田辺湾周辺海岸 9 地点の、貝の種類相による分類 (種リストに基づく MDS 分析)。

数字は地点番号。1→9 に向けて湾外から湾奥に並び、O は湾外、M は湾口～中央部、I は南部湾奥を示す。右) 南方性種と懸濁物食種の割合。地点番号は左図と同じ。1→9 と湾外から湾奥に並び、6 と 7 の間に畠島-神島の線がある。2004 年 6 月調査。文献 309 をもとに作図。

貝類以外の情報もある。カニ・ヤドカリ類では岩上で発見される種数が湾奥ほど少なく、逆に転石下の種は奥ほど増えてくる<sup>171)</sup>。これは転石帯そのものが湾奥に多いことも関係しているだろう。フジツボ類については 1950 年代の海岸生物相のところでも部分的に紹介したが、1970 年代にも主要種についてくわしく調べられた<sup>6)</sup>。オオアカフジツボ (図 1-12) は波浪の強い岩礁海岸を中心とし、湾口から湾奥に向けて減少するのに対し、近縁のアカフジツボは湾内や、湾口部でも波の弱いところで主にイカダなど浮遊物に付着している。クロフジツボ類として、田辺湾には日本周辺に分布するクロフジツボ、南方系のミナミクロフジツボ、タイワンクロフジツボの 3 種があり、いず

れも潮間帯の岩礁につく。このうちクロフジツボは、湾外から湾奥に幅広くみられるのに対し、あとの2種は湾奥にはなく、特にタイワクロフジツボは最も波当りの強い湾口部や、沖合いの岩礁に限られる。海藻については、番所崎を境に南側（湾外）で暖海系種が多いのに対し、北側（湾内）では、より寒冷性の海藻が目立つと指摘されている<sup>3)</sup>。



図 2-12. 田辺湾の代表的なフジツボ類 3 種。左からオオアカフジツボ（番所崎）、クロフジツボ（田辺市大屋）、シロスジフジツボ（鳥の巣）。

#### 潮下帯ベントス<sup>\*)</sup>

海底の大型底生動物（マクロベントス）は、1930–50年代にくわしく調べられた<sup>160, 162, 194, 195, 266, 300, 301)</sup>。古い情報のため、その後の田辺湾の環境変化に伴い今では様子が変わっているが、この時期の調査が今のところ最もくわしい。ここでは田辺湾海底ベントスの、いわば原形という位置づけで紹介してみる。このときの結果によると、ほぼ 20 m 等深線を境に沖側に *Maldane* 群集、湾奥側に *Cerithium* 群集が区別される（図 2-13）。前者は多毛類（ゴカイ類）のホソタケフシ *Maldane sarsii* を優占種とし、同じく多毛類のモロテゴカイ、端脚類のスガメソコエビの 1 種、二枚貝のアデヤカヒメカノコアサリなどを伴う。*Cerithium* 群集は巻貝ヒメカニモリ *Cerithium phefferi* を圧倒的な優占種とし、これに多毛類のタマグシフサゴカイ、ダルマゴカイ、二枚貝のシズクガイなどが加わる。しかしのちに、このヒメカニモリはほとんどが死殻で、中にホシムシ類 (*Aspidosiphon* sp. タテホシムシの 1 種) が入っていたことがわかり、*Cerithium* 群集は *Aspidosiphon-Theora* 群集 (*Theora* はシズクガイの属名) と呼びかえられた。2つの群集は、初めはほぼ 20 m 等深線付近に境界があると考えられていたが、のちにかなり重なっていることがわかった。この *Maldane* 群集と *Cerithium* (*Aspidosiphon*) 群集の組み合わせは、勝浦湾、串本大島周辺など紀伊半島の他の内湾でも知られている。一方、湾奥の枝湾内は原則として *Cerithium* (*Aspidosiphon*) 群集の範囲内だが、シズクガイなど二枚貝類が多くなる。個々の枝湾についてみると、水交換がより悪く、貧酸素的などところでは生物体量が少ない傾向がある。

\*注) 海岸も含め、海の底の上や中にもぐって生活する生物をベントスという。海辺の貝やフジツボ、海底の砂や泥の中のゴカイや二枚貝もベントスである。

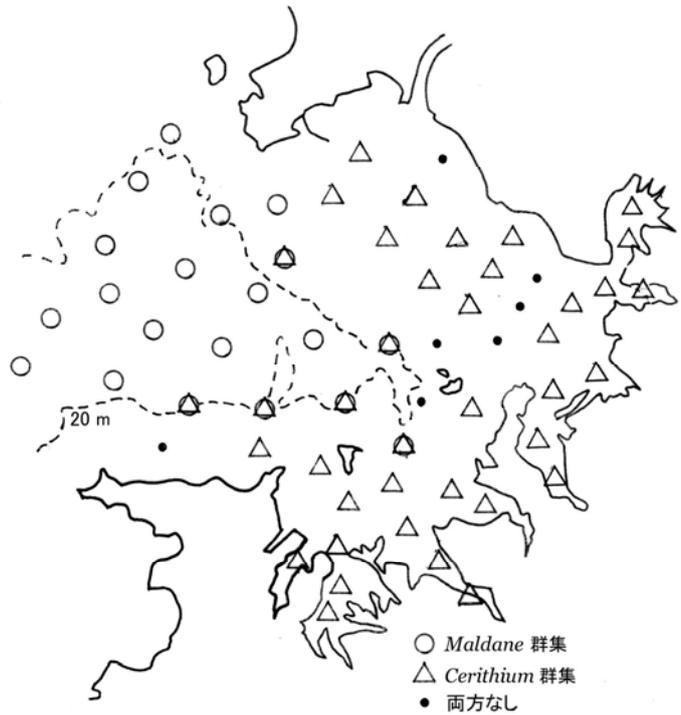


図 2-13. 1930 年代の田辺湾海底ベントスの分布。文献 300 にもとづく。

底質中の有孔虫類についても 1960 年代に調べられている<sup>235)</sup>。全体の種類相は、他の西南日本の湾と同じく黒潮の影響を受け、熱帯・亜熱帯系とみなせる多くの種を含む。死殻を含めた種組成から、「湾外」「湾内」「枝湾」「港内（文里）」の 4 群集が区別されたが、先の大規模ベントスの群集区分とは必ずしも一致しない。生个体数で見ると湾口と湾奥の二山形を示し、湾奥では少数種が大きい割合を占めて、種類相が単純になっている。

### 海草藻場

田辺湾の湾奥部には、アマモ、コアマモ、ウミヒルモなどの海草が生え、しばしば密生してアマモ場と呼ばれる群落を作っている。これらはヒジキやテングサ類などのいわゆる「海藻」とはちがいが、分類学的には多くの陸上植物と同じ維管束植物である。アマモ場は生産力が高く、他の生物に付着する場所を与え、また魚の稚魚の生育場になるなど、浅海の生態系で重要な意味を持っている<sup>174, 178)</sup>。アマモ場については多くの研究が行われているが、田辺湾でも 2000 年代に入って、湾奥の内之浦や滝内のコアマモ群落について調べられるようになった<sup>16, 17, 20, 21)</sup>。その結果によると、群落内では外より炭素、窒素、リンなどの養分が豊富である。二枚貝のウメノハナガイや、多毛類のミズヒキゴカイ、スナタバムシなどが多く、底生動物の種数、個体数、生体重量などがコアマモの生えていない裸地を上回る。一方、裸地に見られる種のほとんどはアマモ場にもいる。藻場ができることによって豊富な養分が蓄えられ、生物相も豊かになっている様子がうかがわれる。

### プランクトン

プランクトンについては 1950 年代に、ネットにかかる比較的大型の種（ネットプランクトン）の分布がくわしく調べられた。植物は珪藻を中心に 176 種、動物は甲殻類のカイアシ類、原生動物、刺胞動物（クラゲ類）など 598 種がリストされている<sup>358)</sup>。湾内の分布パターン<sup>359)</sup>については、プランクトンを自生的（内湾性）と他生的（外洋性）に分け、両者の優占度と種構成を湾の内から

外まで評価した結果、次の3つの群集が区別された（図2-14）。I群：枝湾部から湾口付近まで。内湾性カイアシ類の *Oithona nana* を優占種とし、ミジンヤムシ、ワカレオタマボヤ、貝類のベリジャー幼生などを伴う。II群：湾中央～湾口まで。内湾性カイアシ類の *Oithona nana*, *Oithona similis*, *Paracalanus parvus* と、外洋性のカイアシ類、オタマボヤ類、ヤムシ類、珪藻 *Coscinodiscus* などが混在する。III群：湾口～湾外。外洋性のカイアシ類、ヤムシ類、オタマボヤ類等を中心とし、これに内湾性の *Oithona nana*, *Paracalanus parvus* などが混入することがある。



図2-14. ネットプランクトンの分布。  
I、II、III はそれぞれの水域に特徴的な種のグループを示す（くわしくは本文参照）。文献359をもとに描く。

ところで筆者は大学4回生の卒業研究（課題研究）で、田辺湾のプランクトン分布をテーマとした。この時は湾奥～湾外の18地点で、プランクトンのネット採集と水質測定を行ったが、特に波の荒い湾外、湾口の調査が大変だった。調査のため停止した船がうねりを受けてエレベーターのように上下し、完全に船酔い状態なのだが、それでも調査項目はこなさねばならない。嘔吐しながら必死でネットを引き、帰って来たときには半死半生。船に弱いことがよくわかったので、これ以後私は、船上作業の必要なテーマは選ぶまいと心に決めた。

この時の私自身の調査結果を示す<sup>43)</sup>（図2-15）。図では湾内外の18地点を、動物プランクトンの種類相をもとに、MDS平面上に位置づけてある。湾外～中央、北部、南部の各点はそれぞれまとまりつつ、一部を除いて重なりなく分かれ、それぞれ独自の種類相を持つことを示している。これに植物プランクトンを加えても基本的なパターンは変わらない。各水域の代表的な種は、中央～湾外は *Corycaeus*（カイアシ類）、*Chaetoceros pendulus*（珪藻）、南部は *Skeletonema costatum*（珪藻）、北部は *Euterpina acutifrons*（カイアシ類）と *Nitzschia seriata*（珪藻）など。図2-14のパターンとは必ずしも一致しないが、一方で、水質によって示される南部、北部、中央の水塊構造（図2-8）をよく反映している。

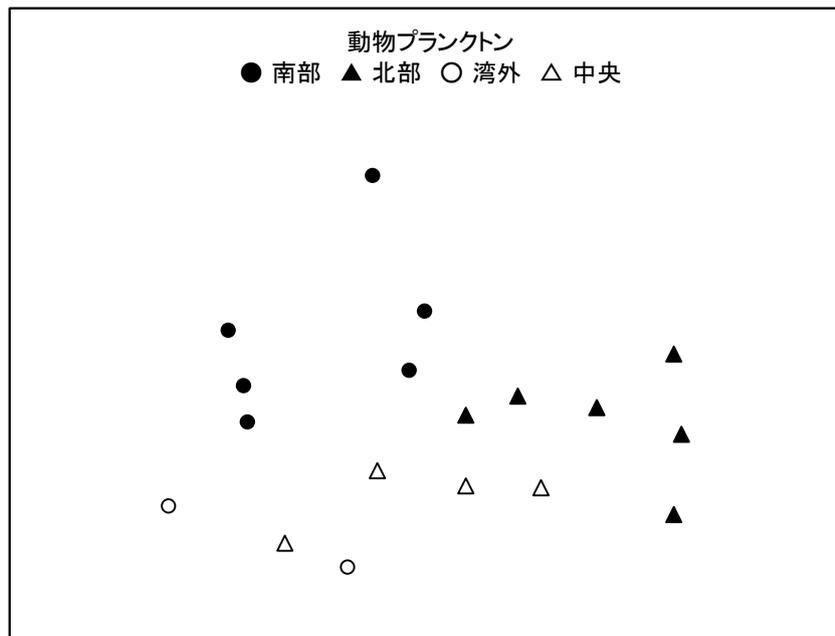


図 2-15. MDS による、田辺湾の動物プランクトン群集の地点差。1977 年 10 月、表層 5 m のネット採集の結果。文献 43 をもとに作図。

その後採水方式による調査が行われ、ネットにかからない微小植物プランクトンも含めて分布が調べられた<sup>126, 128)</sup>。採水プランクトンの種類組成に基づくクラスター分析では、湾内のプランクトン群集は南部、北部湾奥、北部湾口でそれぞれ異なる（中央部には測点がない）。南部は珪藻の *Skeletonema costatum* を優占種とし、*Gymnodinium* などの鞭毛藻も多い。全プランクトン密度は 3 海域中最も多いが、ネットプランクトンに限ると最も少なく、小型プランクトンが主体であることを示している。北部湾奥は *S. costatum* が少なく、しばしば鞭毛藻が優占する。北部湾口では *S. costatum* が優占する一方、鞭毛藻は少ない。全プランクトン密度は 3 海域中最も小さいが、ネットプランクトンに限ると最も多い。一方、植物プランクトンの存在量と生産力の指標であるクロロフィル a は、南部 > 北部湾奥 > 北部湾口の順に多い。やはり南部はプランクトンから見ても、最も富栄養的といえるようだ。

プランクトンによる赤潮についてもよく調べられている<sup>18, 126, 127)</sup>。田辺湾の赤潮は、*Gymnodinium*, *Prorocentrum* などの鞭毛藻によるものが多い。田辺湾を除く水道外域では、珪藻類の赤潮が多いことを考えると、これは異色で、むしろ紀伊水道と共通する (p15)。発生件数が水道外域の中ではずばぬけて高いことと合わせ、これらは田辺湾の富栄養化の進行を示している。田辺湾での発生パターンは、まず南部の入江に現れ、梶島、神島の線まで拡大して消滅するというのが大部分 (70%) を占める。一方、北部湾奥を発生源とするケースもあり、こちらには、貝類に取り込まれて毒化させる *Alexandrium catenella* も含まれる。また、黒潮系の藍藻プランクトン *Trichodesmium* が湾口部で高い密度で見られることがあるが、これは田辺湾が外洋水の影響を受けていることの現れだろう。ヤコウチュウの大発生もしばしばあり、これは毒々しい赤色をしているので、文字通りの「赤潮」となる (口絵 4)。

## 魚類

田辺湾の魚については1960年代に299種を含むリストがまとめられ、そのうち61%が「サンゴ礁魚類」とされた<sup>4)</sup>。他に南岸沿いに、湾外～湾内の種類の変化が調べられている<sup>314)</sup>。このとき観察された魚類は、分布パターンから4グループに分けられた。第1は湾奥に限定されるアミメハギ、クロダイの2種。第2は湾奥～湾外にかけて広く見られるものでササノハベラ、カサゴなど6種。第3は湾中央から湾外に分布するスズメダイ、チョウチョウウオ、ブダイなどで、最も多い15種が含まれる。第4は湾口～湾外に限られる種で、コロダイ、アオブダイなど7種ある。湾奥から湾外に向かうにつれ、広く分布する種に、より湾外的な種がつけ加わって行くという形で種数が増える。サイズの的には、一般に大型になる種ほど、また同種内ではより大型の個体ほど湾外方面に限られ、小型は湾奥～湾外に広くみられる。

このように魚類相も湾奥から湾外へと移り変わるが、海岸生物や潮下帯ベントスのような、畠島一神島付近を境とするはっきりした差はみられない。魚類は移動力が大きく、季節や成長段階で住み場所を変えていることが考えられる。ベントスとは異なるこのような性質が、湾内外の変化をよりゆるやかなものになっているのだろう。

## 限られた区域内の分布

それぞれの分類群で全湾的な分布のパターンを見てきたが、ここでは湾内のいくつかの区域に絞って、生物の分布と環境の関係をよりくわしく見る。とり上げるのは湾口の元島、湾中央近くの畠島、湾奥の内之浦の海岸動物である。

**元島：** 元島(図2-16, 17)は、北側湾口の天神崎のやや北西にあり、海図の定義では湾外になる。主に田辺層群朝来累層の礫岩、砂岩から成り、一部に泥岩の層がある。面積6.0 haの小島で、堤防によって陸と結ばれ、その内側(東側)は波静かで、水がよどみやすい。ただし堤防による遮断は完全ではなく、陸側の付け根付近に水路があって、いくらか水交換が行われている。島は西に開けた馬蹄形で、西側の岩礁先端部は沖からの強い波を受ける。透明度は島の東側～堤防の内側の水域で低く、懸濁物が多いことを示している。水温は、島の東側(陸側)では、西側(沖側)に比べて夏は約0.6℃高く、冬は約1.1℃低い<sup>312)</sup>。海岸部は、潮間帯のやや高い位置に広いプラットフォームがあり、その上はアラレタマキビヤイワフジツボなど限られた種がみられるだけだが、海側の斜面には生物が多い。このパターンは、隣の天神崎でも同じである。

図2-16. 田辺湾の北湾口。手前が天神崎、堤防をはさんで元島が見える。奥の海面は芳養湾。天神崎の手前が湾内である(田辺市「太郎の店写真館」提供)。次頁図2-17右上も参照。



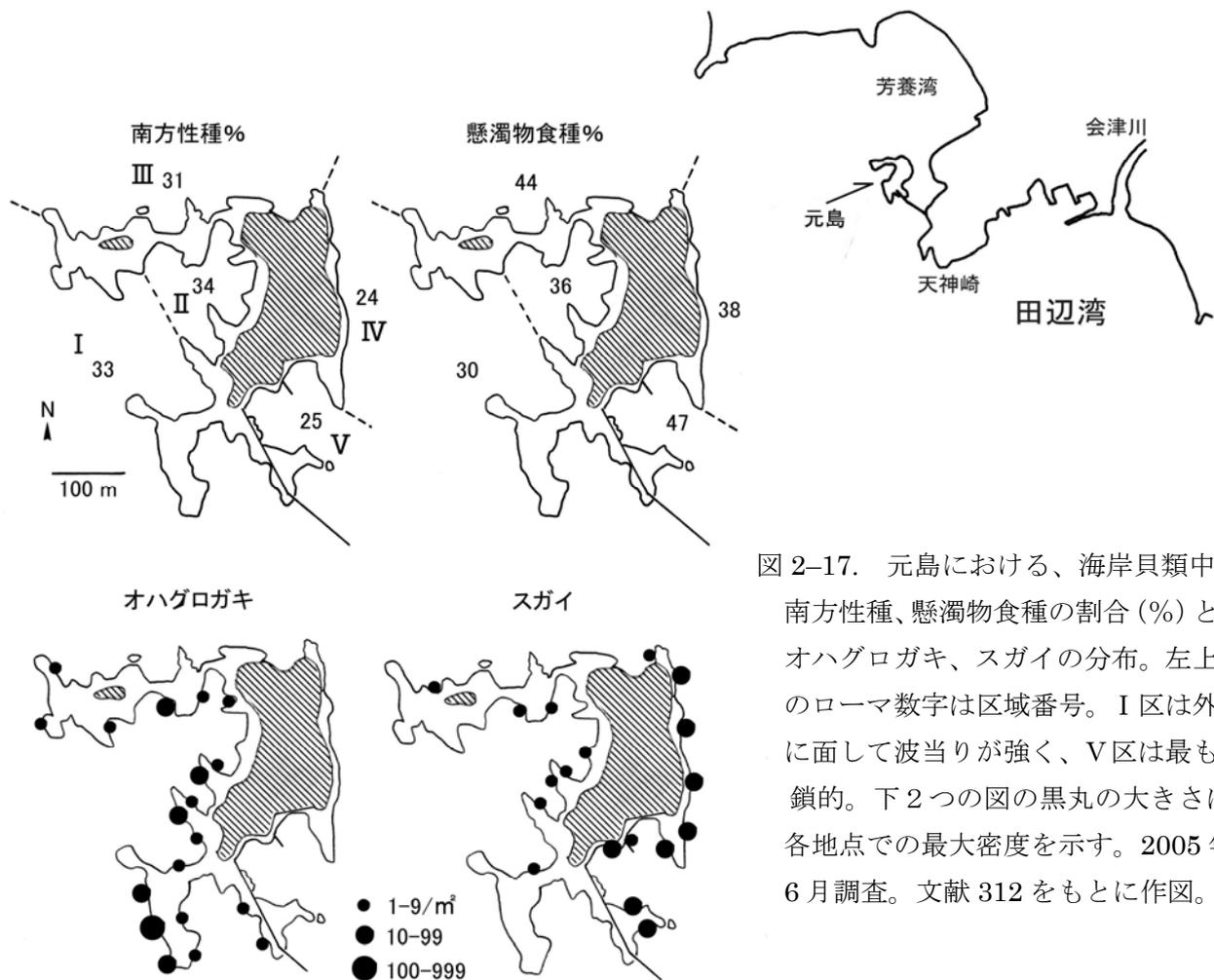


図 2-17. 元島における、海岸貝類中の南方性種、懸濁物食種の割合 (%) と、オハグログガキ、スガイの分布。左上図のローマ数字は区域番号。I 区は外海に面して波当たりが強く、V 区は最も閉鎖的。下 2 つの図の黒丸の大きさは、各地点での最大密度を示す。2005 年 6 月調査。文献 312 をもとに作図。

元島では海岸貝類の分布が調べられている<sup>312)</sup> (図 2-17)。種ごとに見ると、島の外側 (I 区) に分布の中心を持つもの (図のオハグログガキのほか、アマオブネ、ベッコウガサなど)、内側 (IV, V) に多く見られるもの (図のスガイのほか、イシダタミ、ホソウミニナ、マガキなど)、全島的にほぼ均等に分布するもの (アラレタマキビ、ケガキ、ヒバリガイモドキなど)、の 3 グループに分けられる。また特定の基盤との関係では、II 区や IV 区の砂浜にはチドリマスオ、シロマスオなどの砂地性二枚貝が、また II 区北側にある泥岩の転石の中には、ニオガイ、カモメガイ、マツカゼなど泥岩に穿孔する二枚貝類の集合がみられる。

貝類の種数は外側 (I, II 区) で多く、内側 (III~V 区) で少ない。アマオブネ、メクラガイなどで代表される南方性の種類は外側、イシダタミ、スガイなどの北方性の種は内側に多い。一方マガキ、オオヘビガイなどの懸濁物食種は内側で多いのに対し、シマレイシダマシやイボニシなどの肉食性貝類は外側中心に分布する。これらは前に見た、湾全体の内~外のパターン (図 2-11) と同じで、原因についても同じように考えることができる。湾口から湾奥の広い範囲で見られた変化が、湾口部の限られた範囲でも凝縮した形で実現していると言えるだろう。

**島島:** 田辺湾の中央~湾奥寄りに位置する島島 (図 2-18,19) は、田辺層群白浜累層の礫岩、砂岩と一部泥岩からなる島で、陸上部分は東の本島部 (以下、島島本島) と西の小部分 (小丸島) の

2ヶ所ある。陸上面積は合せて約 2.7 ha だが、干潮時には周囲にその約 1.5 倍の、転石や砂浜の潮間帯が現れる。島の西側と北側は湾口方向に面して波当たりが強く、主に岩礁からなる。東側と南側は湾奥に面し、波は静かで、岩礁のほか転石帯や砂・砂泥浜が発達している。畠島の底質の配置は一見複雑に見えるが、海岸地形学の「トンボロ」の考え方で説明できる。これは陸と、沖にある島の間、沖側から波が二手に分かれて回り込む結果、合流したところに礫や砂がたまり、島が陸とつながる現象である。海岸ではしばしば見られるが、紀州では周参見の黒島に典型的なものがあり、「夫婦波」として観光スポットにもなっている。畠島の場合、陸のかわりに畠島本島、沖にある島として小丸島と西部岩礁があると考えればよい。これらで作る二つの隙間に、湾口方面からの波が回り込んで礫浜や砂浜を作っている。湾奥に向かって波が弱まるにつれ、間にたまるものは大礫→小礫→砂→砂泥と次第に細くなる。

図 2-18. 阪田から見た畠島。右に畠島本島、左に小さく小丸島の陸塊が見える。

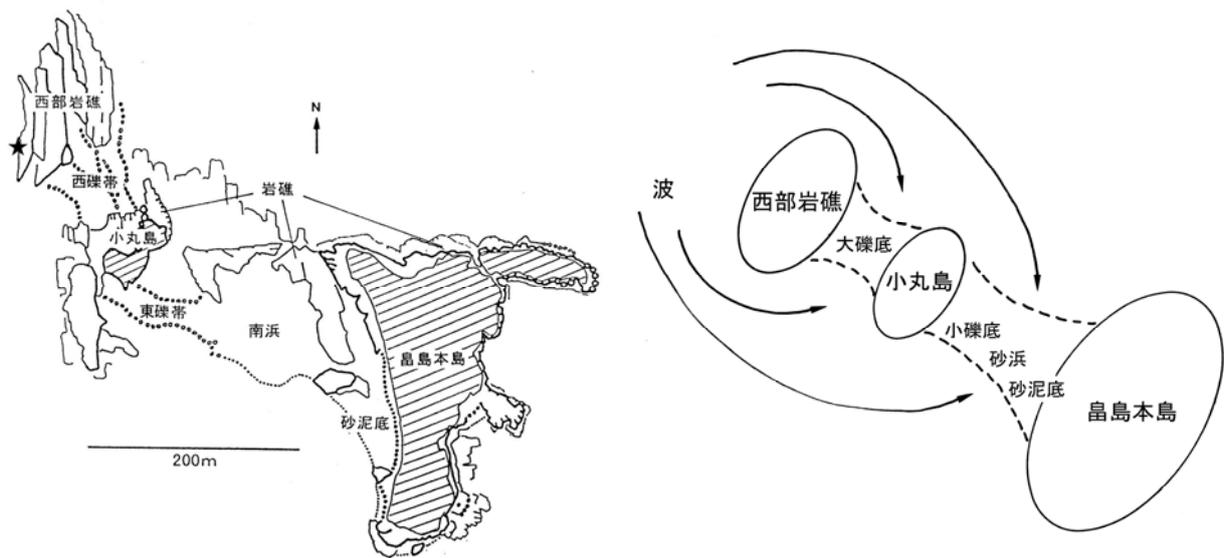


図 2-19. 左) 畠島の地形。斜線は陸上部。西礫帯は大礫、東礫帯は小礫からなる。南浜は砂質底。★印はウニ類密度調査 (p69) の定点。右) 畠島の地形模式図。

環境のところで見たように、島島の西側には外洋水の貫入が及ぶため、透明度が高く貧栄養的だが、湾奥側は透明度が低く富栄養的な水質を示す。これにさらに上で見た基盤の多様性が加わり、島島の海岸部には、波当り、基盤、直面する水塊の差に応じていろいろな生物が見られる。

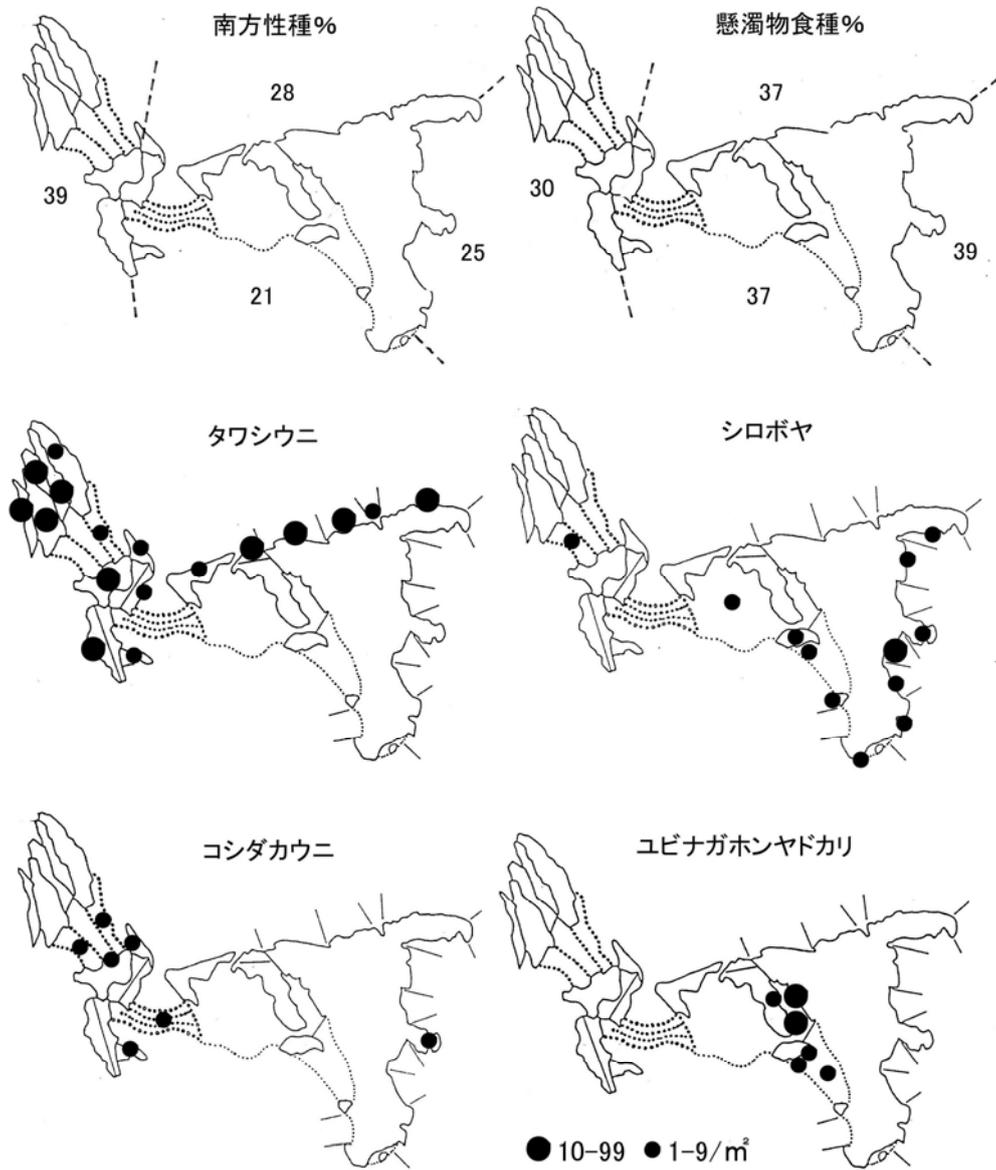


図 2-20. 島島の無脊椎動物の分布。南方性種、懸濁物食種の割合と、特定種の分布。タワシウニ（外型）、シロボヤ（内型）、コシダカウニ（転石型）、ユビナガホンヤドカリ（砂泥型）。2003年5月調査。下4つの図で、黒丸の大きさは各区域内の最大密度。文献 307 をもとに作図。

京都大学瀬戸臨海実験所の実験地として、畠島では数多くの研究が行われてきた（コラム4）。1949–1983年の間に畠島で行われた大学実習の磯観察では、無脊椎動物468種、海藻114種、魚類39種が記録されている<sup>48)</sup>。定期調査としては全無脊椎動物と海藻についての南岸調査と、特定無脊椎動物の全島調査がある<sup>314)</sup>。ここでは2003年の全島分布調査の結果から、生物相の特徴を見る<sup>307)</sup>。畠島の場合、岩礁性種の中に外型、内型、全島型が区別されることは元島と同じだが、内湾寄りであることを反映して、転石型と砂-砂泥型が加わる（図2-20）。外型としてはムラサキウニ、タワシウニなどのウニ類、ムラサキインコ、キクノハナガイなどの貝類、オオアカフジツボ、クロフジツボなどのフジツボ類があり、内型にはイソガニ、シロスジフジツボなど甲殻類のほか、チゴケムシやシロボヤといった種が含まれる。全島型にはスガイ、イシダタミなど貝類と、イソヨコバサミ、オウギガニ、カメノテなどの甲殻類がある。転石に多い種の代表はイソナマコ、ムラサキグミモドキなどのナマコ類やコシダカウニで、砂～泥浜に限られる種としては、ワダツミギボシムシ、ツバサゴカイ、コメツキガニ、ユビナガホンヤドカリなどが主なものである。また、一部に露出する泥岩層には、穿孔性二枚貝のイシマテが入っている。元島との共通種を見ると、オハグロガキ、イボタマキビ、メクラガイのように元島では外側に限定されていた種が畠島では少なく、図2-17に示したスガイのほか、イシダタミ、シロカラマツガイのように、元島では内側中心に見られた種が畠島では全島に分布を広げている例がある。元島と畠島の、田辺湾内での位置の違いを反映して、同じ種でも波浪に対応する分布が一段階外にずれているという印象である。これに対してアラレタマキビ、ケガキ、ヒバリガイモドキのように、両地点で全島的に分布する種もあるが、これらは元島-畠島の位置の差程度で分布を変化させることのない、広い環境に適応した種なのだろう。一方、海岸部を4区域に分け、南方性種と懸濁物食種の比率を調べると、元島の場合と同じく、湾口に面した西、北域では、湾奥に面した東、南域に比べて南方性種の割合が高く、懸濁物食種の割合が低いという傾向がある（図2-20）。

#### コラム 4 京都大学畠島実験地

第2,3章の記述にしばしば登場する畠島は、隣の神島と共に田辺湾内では最も大きな島で、陸上部は白浜町番所崎にある京都大学瀬戸臨海実験所が管理する国有地である。研究施設が島をまるごと管理するというのは、全国的に見てもめずらしい。島の地勢や生物については本文中にくわしく述べているので、ここではこの島の独特の社会的位置と、そこに至った歴史を中心に紹介しよう<sup>32)</sup>。

畠島の語源は、その昔、熊野水軍が出陣の前に集結した「旗揚げ島」にちなむとも、またかつて桑畑があったことによるともいう。この島の所有権は大正時代まで白浜町の前身、旧瀬戸鉛山村にあり、のち寄贈により紀州徳川家、さらに紀陽銀行、和歌山県内の個人、と移り変わった。本文で述べたような生物相の豊かさから、この島は早くから京都大学などの研究者に注目され、研究、教育の場として、また地元の人々の磯物取りの場として利用されていた。それに転機が訪れるのは1960年代、所有権を得た神戸の観光会社が開発に乗り出した時である。1966年に発表された「白浜ハワイアイランド」なる構想では、対岸の阪田からバスも往来できる橋をかけ、島にはホテルをはじめ娯楽施設、ヨットハーバーを作り、陸上部のほとんどはコンクリート化されるという大規模なものだった。これに対して、島を研究、教育の場としてきた京大臨海実験所は反対を表明し、大学本部や全国臨海実験

所会議のバックアップも得ながら、島を研究地として買い取るための運動に乗り出した。その結果と  
りあえず計画の凍結にこぎつけたが、このときには、京大や観光会社といった当事者だけでなく、地  
元住民や観光業界を巻き込んだ論争に発展した。当時の新聞記事から、京大の買取り運動に対する賛  
否両論を紹介しておこう。まず賛成論から。

「生物の宝庫、島島保全を喜ぶ：海洋生物の宝庫と言われる南紀白浜沖の島島は、神戸の観光会社に  
買収されて観光地化で死滅のピンチにさらされていたが、瀬戸臨海実験所を持つ京都大学が島ぐるみ  
買い取る方針を決め、文部省と交渉することになった。約1億円でこの島を買い上げ、観光の島にし  
ようと計画しながら、生物の宝庫だと知って中止した観光会社も立派だが、島ぐるみ1億円で買い取  
り、観光俗化を防ごうとする京大もまた立派なものである…」<sup>204)</sup>

しかし、強硬な反対論もあった。

「とっておきの島島を京大の手に渡すな—2万町民の奮起を！…白浜は今、将来必ずドル箱になる  
島島を、京大の臨海実験所に買い上げられようとしている。…島島をこのままむざむざ臨海実験所に  
渡してしまったら、我々の貴重な観光圏を、実験の名の下に凍結されてしまうことになる。…そもそ  
も臨海実験所は開設以来50年、県および地元の特例の支援を受けながらあの膨大な一等地（＝番所  
崎）に幡居して、今日まで学術的に何をしたか。観光的にどれほど寄与したと言えるか。…臨海実験  
所はもはや白浜の場ふさぎになっており、発展をそれだけ遅らしたともいえそうである。…それなの  
に瀬戸（＝番所崎）だけで足りるとせず、また新しく白浜の数少ない観光ポイント島島を、その夢  
の場にして我々の税金を使おうとしているのである。かくの如き不合理が、四苦八苦にあえいでいる  
白浜の観光業界を尻目にしたり顔でまかり通られては、2万町民の立つ瀬がなくなる…」<sup>107)</sup>



図 島島の京都大学実験所標識。看板には  
1世紀調査と採捕制限の内容が書かれている。  
1983年8月撮影。

当事者間の長い議論と交渉の末、ついに計画は白紙に戻された。1969年、島は京大臨海実験所管理下の、研究用国有地となる。買い取り直後、実験所は当時世界でも例を見ない、「海岸生物1世紀調査」を宣言し、島の各所に標識が立てられた（前ページ写真）。一方で、地元の白浜漁協と協議して、島周辺の海岸生物採捕の制限について取り決めを交わした。その後、周辺を海中公園に指定して海域の保全を徹底するため運動したが、これは実現していない。臨海実験所など地域の研究施設、研究者は、ふだん地元と距離を置いてつき合う間には、お互いそれなりに尊重し合って平和裏に共存するかに見える。しかしいったん土地の買い取り、採捕、水質汚染といったような利害関係のからむ問題が持上がると、相互に激しい反応を引き起こすことがある。研究者として、また人としての信念が問われるのは、そういう時であろう。

研究者と地域社会との接点に位置する島実験地の歴史が、そのことを物語っている。

**内之浦：** 田辺湾の奥、枝湾の一つに内之浦がある。奥が道路で仕切られ、その陸側は干潟になっている（図2-21, 22）。ここでは、道路の外側の水域を内之浦湾、陸側を内之浦干潟と呼んで区別する。内之浦干潟は、田辺湾の内湾部が次々に埋め立てられて縮小、消滅する中で、まとまった面積で干潟が残されている唯一の場所である。内之浦干潟は面積約5.6ha。道路による仕切りの北端に狭い水路があって海水が流通するので、満潮時には干潟のほぼ全体が水没し干潮時に露出する。陸側から3本の小さな川が流れ込み、中央の川の岸にはアシが茂っている。内之浦干潟周辺の生物相について、2001年の調査結果から紹介する<sup>49)</sup>。まず陸側河川部分に限られる種として、アシハラガニ、ハマガニといったアシ帯に多いカニ類、汽水性のイシマキガイ、トビハゼなどがある。干潟内には、泥に潜るオキシジミ、フタバカクガニや、泥の表面を這うフトヘナタリなど巻貝類がいる。内之浦湾と結ぶ水路の周辺には、強い水流を好むイソカイメン類、チゴケムシのような懸濁物食種が多い。また本来はもっと湾口寄りに見られるコシダカガンガラ、オオアカフジツボなどが、ここに限ってみられる。水路の外側に小さな岩礁があり、ここにはヒザラガイ、イシダタミ、ヒライソガニなど、田辺湾の湾口から湾奥まで分布する普通種が現れる。一方、マガキのように河川部から水路外まで、広く分布する種もある。

図2-21. 内之浦干潟。上流側の橋から海方向を見たところ。



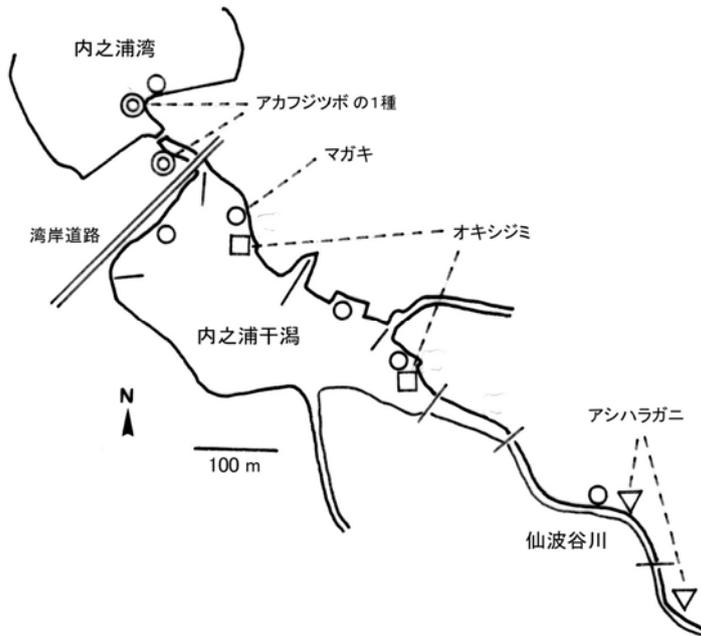


図 2-22. 内之浦の地形と 4 種の生物の出現。2001 年 3 月。文献 49 をもとに描く。

### 3. 畠島—神島線の意味

田辺湾内の水域は、ここで見てきた水質、底質の特徴から、大まかに南部、北部、中央部の 3 つに分けられ (図 2-1)、生物の分布も移動力の大きい魚類などを別として、およそこの区分に従う。3 区域のうちでは特に、南部の水質、生物相の特異性が際立っているが、この南部水域の独自性は、鳥の巣—神島—畠島—阪田と並ぶ岩礁、暗礁によって保たれていると考えられる。これより外側は黒潮系水が流入して外洋水的なのに対し、内側はこの障壁に守られて外洋水の影響が少ない。畠島—神島ライン付近の生物相の移り変わりの中に、「黒潮流域の内湾」としての、田辺湾の特徴が集約されているといえるだろう。このような差をもたらす要因を具体的に考えながら、湾内の生物配置についてまとめてみる。

#### 生物相差の要因

湾内の場所による生物相の違いは、各水域の環境条件の差がその背景にある。まず水質だが、畠島—神島より奥の南部は、リン、窒素などの栄養塩の濃度が高い。このことを反映して、プランクトンの量が多く、富栄養水域を好む内湾性の珪藻 *Skeletonema costatum* などが優占する。一方湾口—中央には貧栄養な外洋水に多いカイアシ類の *Corycaeus*<sup>210)</sup> などが現れる。海岸の貝類でも、湾奥ほど懸濁物食種の割合が高まり、このことは湾奥部で透明度が低く、クロロフィル量が多く、従ってこれらの種の餌となる植物プランクトンなどが豊富に存在することに対応している。個々の種の例では二枚貝のムラサキガイは通常湾奥に限られ、外洋水の影響を受ける南岸の湾口付近では、まれに幼貝が見つかるにすぎない<sup>30)</sup>。ムラサキガイも富栄養水域を好み<sup>210)</sup>、湾口～中央部は貧栄養なので、この種の増殖に向かないのだろう。また、1990 年代後半のマクロベントス調査の結果によると<sup>19)</sup>、南部湾奥は、有機汚濁に耐えるイトゴカイ類 (*Capitella*) の優占域となっている。

底生生物にとっては、底質も大切である。海岸部を見ると湾口付近は岩礁が中心だが、湾奥に進むほど転石、砂浜、泥浜 (干潟) が多くなり、転石、砂泥底性の種が増えてくる。潮下帯について

は、中央部の深い泥底から、ゴカイの *Maldane* (ホソタケフシ) を中心とする群集が報告されている。泥底そのものは湾奥の浅い水域にもあるが、この種は大型の泥の巣を作って底質に埋もれているため、波によるかく乱が及びにくい、水深の大きいところを好むとされている<sup>300)</sup>。

熱帯・温暖性種が多く住む田辺湾では、水温も重要である。湾奥部は浅く、水がよどみやすいため、冬には気温の影響を受けて水温が下がる。田辺湾の海岸貝類では、湾奥ほど南方性種の比率が下がり、しかも湾口部、湾奥部ともに、その値が年々、冬の水温と平行して変化することが確かめられている<sup>308)</sup>。田辺湾を含めた紀州沿岸では、厳冬の年に熱帯性種の大量死が起こることは1章で見た通りで (p24)、冬の水温は重要である。

波や水流の影響もある。湾口から湾奥にかけては波が次第に弱まるが、これを反映して湾奥に行くほど、海岸生物の分布帯が上下に狭くなる。最も湾奥の内之浦では、強い水流のある水路の部分にだけ、本来なら湾口部に限られる種がいるが、これも水流が生物の分布を支配している一例といえるだろう。

### 海区とその特徴

本章で述べてきたことをふまえ、田辺湾内の水塊と生物相について、以下のようにまとめることができる。

**南部：** 南部は地形によって他と隔てられ、閉鎖的な水域である。冬の水温は、気温の影響を受けて中央部より低くなる。水質、底質ともに湾内で最も富栄養的で、赤潮が発生しやすい。内湾性のプランクトンや海岸動物が見られ、海藻は緑藻類が優占する。海岸での生物の垂直分布は、波当りの弱さを反映して幅が狭い。貝類の種類構成は、他と比べて南方性種が少なく、懸濁物食種が多い。砂泥底群集は、水交換の悪さと有機汚濁の進行を反映して、イトゴカイ類を中心とする単調な生物相を示す。しかし畠島の南岸などやや開放的なところには、比較的多様な生物相が存在している。

**中央部：** 湾の南寄り、20 mより深い部分周辺の中央部水域は、湾外水の流入を受けて、冬の水温、夏の塩分濃度が高い。この水塊は、海洋フロント (1章図 1-4) が田辺湾沖を通過するときには黒潮系外洋水の性質を帯びる。外洋性プランクトンが現れ、水質は最も貧栄養的である。底質中の有機物量は南部より少ないが、北部よりはむしろ多い。岩礁海岸では、波当りの強さを反映して分布帯が上下に幅広く、開放海岸性の種が現れる。貝類では南方性種や肉食種が多い。海藻は紅藻、褐藻類が優占する。海岸部には砂浜もあるが、その生物相は貧弱である。

**北部：** 北岸沿い、湾口から湾奥までの北部水域は、水質、生物相の面から南部と中央部の中間的性質を示す。内湾性のプランクトンが見られ、湾奥部では赤潮もしばしば発生するが、底質中の有機物量は南部より少ない。湾口部の岩礁は波当たりが強く、動物、海藻の種類相は南側湾口部と似ている。

## コラム 5 南方熊楠と神島の森

紀州の生んだ博物学・民俗学者、南方熊楠に、「紀州田辺湾の生物」<sup>193)</sup> という一文がある。南方の生物関連の著作には海の記述は少なく、陸上の粘菌、植物が中心だが、この記事も田辺湾内、神島の樹木についてのものである。いささか本書と私の守備範囲を越えるが、「田辺湾の生物」に含まれるので、神島の森について、文献にもとづき紹介したい<sup>50, 184)</sup>。

神島は田辺湾の奥、畠島の北東にある。基盤は第三紀中新世に堆積した、田辺層群白浜累層の地層である。陸上部は二つに分かれ(図)、北西の小さいほうの陸塊を「こやま」、大きいほうを「おやま」と呼んでいる。合せて面積約 3.0 ha と、畠島とあまり変わらないが、最高点は 38 m で、畠島の 13 m に比べると約 3 倍の高さがある。島は海岸から高く盛り上がるような形で、海岸部の面積は狭い。このため、潮間帯が広く海の生物の観察地として知られた畠島に対し、神島はその陸上生物相、特に植生が注目されてきた。いわば、「海の畠島」に対する「陸の神島」である。南方の「紀州田辺湾の生物」でも、神島に特徴的な生物としてワンジュ(ハカマカズラ)、キシウスゲ(キノクニスゲ)、バクチの木(バクチノキ)、タブ(タブノキ)、オウチ(センダン)、タイトゴメ(タイトゴメ)など(カッコ内は現在の標準和名)の名がある。特にハカマカズラは木質のツル植物で、「林中の幹から幹に伸び渡った姿、大蛇のごとし」と、その特異な姿が紹介されている。ハカマカズラ、バクチノキ、タブノキは、南日本～沖縄、台湾に分布する暖地性植物で、ハカマカズラはかつて神島が北限分布地とされていた(実際の北限は由良の黒島)。キノクニスゲもその名の通り、紀伊半島を中心に分布する。神島の森には、南国紀州を特徴づける植生が発達しているといえよう。



図. 上空から見た神島。右下部分が「おやま」左上が「こやま」。文献 184 より、田辺市教育委員会の許可を得て転載。

しかしこの神島の森の辿った歴史は、平坦なものではなかった。ここにはもと神島神社があつて海の安全を祈願する地元民に敬われ、森は神域として保護されていた。しかし 1906 年、有名な「悪法」神社合祀令によって事態は一変する。この時、神島の神体も新庄の大湊神社に移され、神社のなくなった神島は、たちまち人手が入って伐採が進み、荒廃した。これに危機感をいだいた南方熊楠らが運動し、新庄村長に説いて伐採を止めることに成功した。南方らは以後も粘り強く運動を続け、神島は魚付保安林、県指定天然記念物を経て 1936 年、国指定天然記念物となる。「紀州田辺湾の生物」は、神社合祀令の混乱以後 20 年を経た、神島の森の回復状況を含めて記述したものである。

神島の森については、1934年の状態が、南方らにより、「田辺湾神嶋頭著樹木所在図」として記録された。これは等高線の入った島の地図の上に、樹木の種と位置が記された詳細なものである。これを元に1986年、地元の生物研究者らが再調査し、50年前との比較が行われた。神島の森は昭和初期はタブ林だったが、1986年には島の中央部はホルトノキ、周縁の海岸近くはウバメガシの林に変わった。1930年代と比べて目立って減ったのはタブノキ、アキニレ、クロマツ、逆に増えたのはホルトノキ、イヌマキなどであった。タブノキが減った直接の原因は台風とされるが、台風の襲来は常の事であり、調査者らは、人手が入ったことが大木を倒壊させやすくしたと推測している。アキニレは海岸近くにあるため、南海地震による地盤沈下で塩害を受けて枯死。クロマツは1960年代以降、全国的に問題になった松枯れの影響を受けた。一方タブノキが減ったため、その下に抑えられていたホルトノキが勢いを得、環境汚染に強いとされるイヌマキが増えたと考えられている。ホルトノキの下では既にタブノキの幼木が優勢になりつつあり、往古のタブ林復活の兆しも現れている一方で、カワウの糞害を受けたり、外来植物が侵入したりと、神島の植生については前途多難を思わせる面もある。

南方熊楠は神島についても海の生物にはほとんどふれていないが、一つだけ、海藻の「珍種」についての興味深い記述がある。「これより仰天すべきは、神島に藻が蘚苔類に進化した実証に立つべき大珍品あって…」つまり海産の藻類と、陸上植物であるコケ類の中間形態のものということだが、のちの推測では、ハネモまたはイワヅタ類ではないかともいう<sup>76)</sup>。だとすれば緑藻の普通種だが、標本が残されていないので本当のところはわからない。

### 3章 生物変動

#### 1. 地質時代

前章では田辺湾の環境と生物について、最近数十年の情報をもとに、ほぼ平均的と思われる姿を描いてきた。しかし実際には環境も生物も変わってきたし、今でも変わっている。ここでは田辺湾の海の生物の変動に注目し、その原因について考えてみる。生物相の変化をできるだけ古い時代にさかのぼって知ろうとすると、そもそも田辺湾はいつごろできあがったのかという問題に行き当たる。地質学、地形学の成果をもとに、まずこの点から始めたい。

#### 田辺湾の成立

田辺湾周辺を形づくる田辺層群の性質については1, 2章でもふれたが、地層の情報から、田辺層群の成り立ちについては次のように考えられている<sup>133, 144, 297</sup>。第三紀中新世の中頃(約1450–1650万年前)、今の紀伊半島南部にあった陸地の沿岸に土砂が流れ込み、西に田辺層群、東に熊野層群の地層が作られた。二つの層群の年代と性質が似ているのはこのためである。田辺層群の場合、まず朝来累層ができ、引き続き白浜累層が堆積した。その後陸側が持ち上がり、表面が侵食された結果、表層では陸側に古い朝来累層、海側にそれより新しい白浜累層という並び方になったと考えられる。その後第四紀更新世までに、今の白浜半島周辺は持ち上がり、田辺湾のあたりは沈んで田辺湾の輪郭が作られた。更新世はいわゆる氷河時代で、氷期、間氷期の交代とともに海岸線は紀伊水道側に遠ざかったり、紀伊半島側に進入したりをくり返した。その過程で、いま田辺湾の背後に見られる高さ30~50mの段丘や、紀伊水道の海底段丘、海底谷と呼ばれる地形が作られた。段丘は海水面がそのあたりでしばらく止まっていたことを示し、海底谷はかつての川の流れの跡である。海岸線が今の田辺湾のあたりを通過するとき、「古田辺湾」ともいえる地形が、ある程度の期間維持されることもあったかもしれない。しかし最終氷期のウルム氷期最盛期(約2万5千年前)の海水位は今より-100m程度という推定もあるから<sup>176</sup>、このころ今の田辺湾あたりは、海からはるかに離れた陸地の中だったろう。そして最終氷期が終ると海水位は上がり始め、6500–6000年前にピークに達した(縄文海進)。その時の水位は今より2~3m高かったとされている<sup>66</sup>。ただしこれは日本全体の平均的な話で、最高水位の年代やその高さは地域ごとの地盤の上下動がからんでさまざまになる。田辺湾の場合、周辺の陸地に刻まれた最高水位の痕跡は4–5000年前のもので、高さはほぼ+6mである<sup>146, 181</sup>。ともあれ、縄文海進前後に現在の田辺湾に近い姿が現れたはずで、これが「田辺湾の年令」ということになる。つまりせいぜい7–8000年、古くとも1万年は下らない。

4–5000年前とされる最高水位の時の田辺湾の海岸線は、そのころ作られたとされる+6m段丘の分布から、大まかに推定することができる<sup>297</sup>(図3-1)。図からこのころには、今の会津川、芳養川河口の周辺の平野部に広い干潟、内湾があり、田辺湾東南部の各枝湾の、陸側への切れ込みも、今より深かったことがわかる。湾北岸の会津川の河口周辺は、遺跡の分布やボーリングコアの分析で特にくわしく調べられているが、その結果もこれとほぼ同じである(コラム6, 図)<sup>145</sup>。その後だんだんと海水位が下がり、地盤の上昇や川からの土砂による埋立ても加わって、湾奥の浅い部分は減り続け、田辺湾は今の姿になったと考えられる。

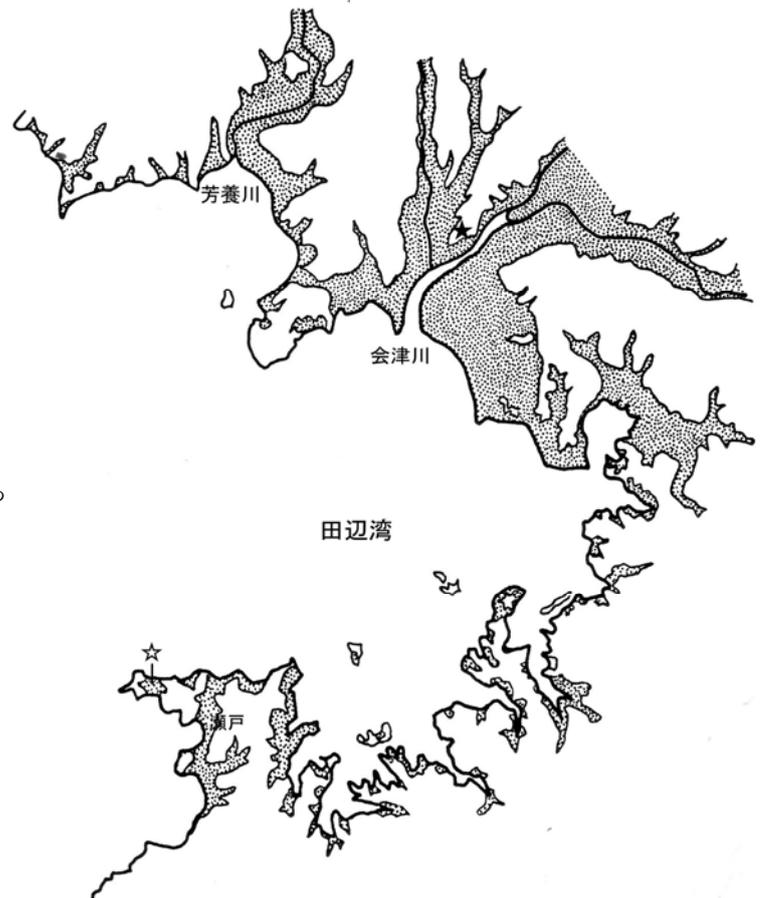


図 3-1. 田辺湾岸の 6 m 段丘の分布から推定した、縄文海進時のおよその海水進入範囲（点刻部）。文献 297 をもとに描く。上部★は高山寺貝塚、下部☆は瀬戸遺跡の位置。

### 化石貝類相

田辺層群は貝などの化石が多く含まれることで知られ、有孔虫化石の分析から、化石の年代は 1500–1600 万年前ごろの第三紀中新世である。海岸部では地層中に巻貝のキリガイダマシ (*Turritella*) や、アナジャコ類の巣穴 (*Ophiomorpha*) の化石 (図 3-2 左) が普通に見られる。当時の環境は、主に化石の産状をもとに次のように描かれている<sup>62)</sup>。朝来累層ができたあと、白浜累層期のはじめにかけて海が浅くなり、そのあと潮間帯的な環境になった。しかし白浜累層期の末には海水位が下がり、開放的な浅い海になったという。田辺層群の化石貝類群集は、「熱帯、亜熱帯系」とみられている。中新世期の日本は、特に前半に温暖な時期があり、今では主に奄美以南にしかないマングローブ林が、本州地域にも広がっていたと考えられている。白浜町富田では白浜累層の地層から、ピカリアやセンニンガイの 1 種など、マングローブ性の貝の化石が見つまっている<sup>63, 64)</sup>。情報が断片的で、田辺湾周辺の全体的な地形変化などははっきりしないが、田辺層群の化石は、現在知ることのできる最も古いこの一帯の生物相を、垣間見せてくれている。

田辺湾周辺で知られているそれ以後の化石記録は、更新世後期まで下る。更新世はいわゆる氷河時代で、寒冷で海水位の低い氷期と、温暖で海水位の高い間氷期がくり返されたが、最も新しい氷期の直前の間氷期、つまり更新世後期の最終間氷期 (7–13 万年前) の化石が、みなべ町・堺や白浜町・富田で見られる。当時は今より高い位置に海面があり、そのころ作られた海食台が段丘となって当時の姿を留めている。その段丘堆積物の化石を調べた結果<sup>129, 149, 289, 290)</sup>によると、堺の貝化石は、田辺湾の奥に今もみられるか最近まで存在した種を中心とし、全体に湾奥部の干潟～浅海砂泥底の貝類である。一方、ハイガイ、カモノアシガキ (図 3-2 右) など、今は田辺湾周辺にいない熱帯性の種を含み、そのことから、今より温暖だったと推定されている。有孔虫化石も熱帯～亜熱

帯性であるという。安久川の化石貝類は、浅海砂泥底の種を中心とし、水深的には堺よりやや深い傾向がある。有孔虫化石も、堺よりは外海寄りの、湾央～湾口、熱帯～亜熱帯性の種類相とされる。

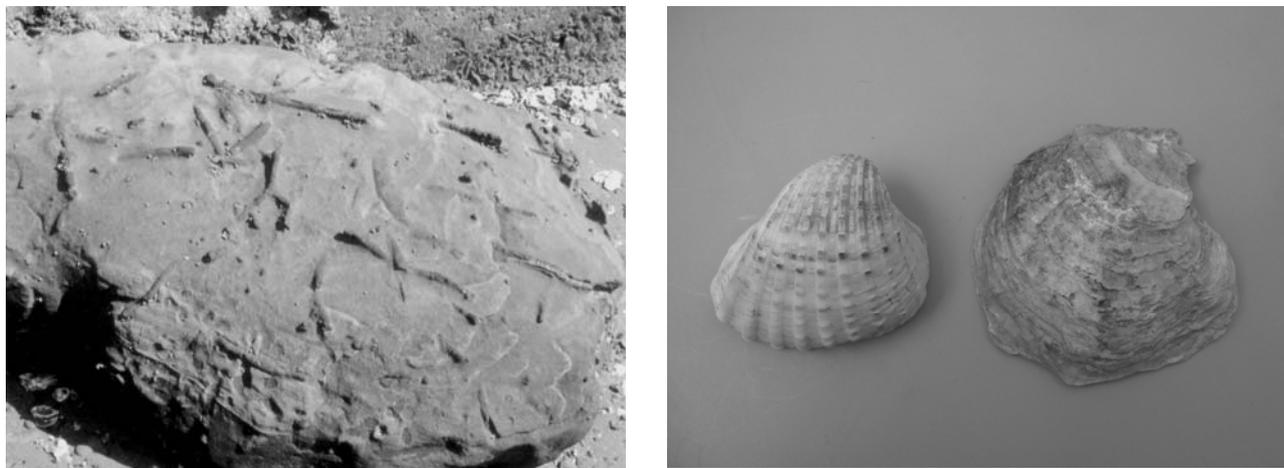


図 3-2. 左) *Ophiomorpha* (アナジャコ類の巣穴化石、岩上の筒状の盛り上がり)、田辺湾内の滝内で。右) ハイガイ [左] とカモノアシガキ [右]、内之浦産化石。

最終氷期が終り、完新世（約 1 万年前～）に入ると、自然堆積や貝塚の貝化石の情報が増えてくる。登場種の中にすでに絶滅した、純粋な化石種はほとんどなく、また田辺湾も今とほぼ同じ位置、形になっていたと考えられるので、ややくわしい分析ができる<sup>36)</sup>。田辺湾周辺の完新世の地層、貝塚から出土するものの、現在この一帯で見られない種として、サザエ、ハマグリ、ハイガイ、スタレハマグリ、タイワンシラトリなどがあるが、これらはサザエを除き内湾性の貝類である。ハイガイ以下 3 種は現在の田辺湾には見られない熱帯性の種だが、貝類相全体の南方性種の割合は、今よりはっきり高いとはいえない。

## コラム 6 高山寺貝塚と瀬戸遺跡

田辺湾周辺には多くの貝塚があるが、くわしく調査された有名なものとして、田辺の高山寺貝塚と白浜の瀬戸遺跡がある（位置は図 3-1）。前者は田辺湾の北岸、会津川を海から少し遡った丘の上、高山寺の境内にあり、1938 年に初めて発掘された。貝塚の断面のレプリカは、田辺市の歴史民俗資料館で見ることができる。出土した土器は「高山寺式土器」と呼ばれ、近畿地方の遺跡の年代を知る上で基準となる土器である。高山寺貝塚は縄文早期中頃（7-8000 年前）にできたとされるが<sup>52)</sup>、出土した獣骨の<sup>14</sup>C年代は 8800-9000 年前と、それよりやや古い<sup>153)</sup>。貝塚に見られる貝は、ハイガイ、ハマグリ、ウミノナ、オキシジミなど、内湾砂泥底、干潟に住む種が中心で、これらは今の会津川周辺にはいない。当時の地形の推定（図）によれば、貝塚のある台地の付け根付近まで浅い海だったらしい。この時代は縄文海進期よりも前で、海面は今より必ずしも高かったわけではないが、会津川によ

る埋立てが進んでいなかった分、海が陸側に入り込んでいたのだろう。貝塚の貝類相も、このような周辺の環境を反映している。

図 田辺湾北岸湾口付近の地形変化。実線は現在の海岸線。横線部は高山寺貝塚形成当時（約 8000 年前）の推定海面域。★は高山寺貝塚の位置。文献 145 より描く。



瀬戸遺跡は白浜町番所崎の、京都大学臨海実験所の敷地にある。縄文中期から平安時代まで長く続いた製塩地の跡で、貝塚は縄文晩期中頃（2200–3000 年前）に作られたとされる<sup>157)</sup>。出土する貝類は開放的な岩礁の種を中心とし、そのほとんどは今も近くで見られる<sup>36)</sup>。ところで白浜半島の付け根のあたりを現在「瀬戸」と呼び、これが遺跡の名称になっている。遺跡の時代は今より海水面が約 2 m 高かったとされ<sup>146)</sup>、また江戸時代の文献には、かつて番所崎の手前は水路でその先は島だったという、当時の伝承が記されている<sup>110)</sup>（図 3-1 の海進図も参照）。してみると、そのころここは文字通りの「瀬戸」であり、縄文人は塩作りのため、引き潮のときに浅い海を渡って行き来していたかもしれない。

これらの貝塚に含まれるが、現在田辺湾にほとんど見られない種として、ハマグリとサザエがある。ハマグリは高山寺貝塚では、ハイガイ、マガキに次いで多い。かつて養殖用として田辺湾に持ち込まれ、白良浜にもいたという情報があるが<sup>187)</sup>、少なくとも安定的な個体群としては、今の田辺湾周辺に存在していない。ハマグリはハイガイなどと共に内湾砂泥底の貝であり、これらの種の衰退は、田辺湾の内湾環境の縮小を物語る。一方サザエは、2つの貝塚からそれぞれ数～十数個体出ている。1章で、サザエが現在田辺湾周辺にいない原因の一つとして、高温で繁殖が抑制される可能性をあげたが、当時は今より寒冷だったのだろうか。酸素同位体比から古水温を推定し、黒潮の流路を復元した研究<sup>53)</sup>によれば、高山寺貝塚が作られたころ、黒潮の勢いは今よりやや強かったとされるから、そのころサザエがいたというのは不思議な感じもする。ただ、これらの貝塚の形成時期の幅は、千年近くになる可能性もあるから、その間には何がしかの気候変動もあり、サザエが分布できる環境が一時的に存在したのかもしれない。現在田辺湾周辺にサザエがいないといっても、証拠があるのは 1940 年ごろからで、せいぜい 70 年ほどのこと。数十年見た程度では、もっと長い時間スケールで起こる変化の一断面しか捉えたことにはならないだろう。数千年昔の貝塚の出土貝類は、そんなことも私たちに語りかけているかのようだ。

## 2. 歴史時代：1900年代以前

貝塚の時代を下って歴史時代に入ると、文献記録の中に田辺湾やその生物が現れるようになる。情報が多いのは江戸期以降だが、それ以前にも散見される。これらは必ずしも生態学的な分析の対象になるというものではないが、当時の人々の自然観をうかがう上で興味深い。古代の人々の目に、田辺湾の生物はどのように映っていたのだろうか。

### 江戸期まで

田辺湾の生物についての最も古い記述の一つとして、万葉集（奈良時代成立）の次の歌がある。

紀伊の国の 室の江の辺に… 出で立ちの 清き渚に 朝なぎに 来寄る深海松（ふかみる）  
夕なぎに 来寄る縄海苔（なわのり）…（万葉集 卷第十三）

「室（むろ）の江」とは田辺湾のことらしい。今でもこの一帯を牟婁（むろ）といい、西牟婁、東牟婁などの地名が残っている。「出で立ち」については、現在の田辺市、江川付近に出立という地名がある。深海松はミル類、縄海苔はツルモ、ウミゾウメンなど、縄状の海藻をいう<sup>91)</sup>。

また、平安期末（1174年ごろ）成立とされる、歌人西行の山家集には、

波寄する 白良の浜の鳥貝 拾いやすくも おもほゆるかな

とある<sup>68)</sup>。白良の浜は、白浜町白良浜。鳥貝（からすがい）はイガイと注釈されている。それもあろうが今は周辺にまれで、同じイガイ科のムラサキインコが普通である。しかしこれらは種名が不確実で情報も少なく、また文学作品だから、すべて事実の通りとも限らない。

一方、江戸期まで下ると、当時盛んだった本草学（博物学）の文献が多く現れ、田辺湾を含む紀州の海産生物の情報も増えてくる。<sup>69, 70, 115, 164)</sup>。いくつか挙げると、発明家として有名な平賀源内（1762）の「紀伊物産誌」（500種の貝の種名と図）、1813年に田辺で著された「紀州貝品書上」（317種の貝の目録）、同じく田辺で1814年に作られた「田辺貝価録」（288種の貝の名称と当時の値段）、紀州の博物学者畔田翠山（伴存）の「介志」（1830–43年、2233種の貝の名称と図）、「水族志」（1849年、魚類その他海産生物の名称と図）、「熊野物産初志」（1849年、魚類、カニ、貝などの名称と図）など。これらの文献に現れる種名は、たとえば「紀州貝品書上」では、「シユロ介、マツ葉介、龍介、アサリ介、潮吹介…」などとなっており、現在使われている種名と同じものもあるが、実体として同じかどうかの保証はない。図がついていても、あまり正確なものといえない。「子安介」（タカラガイ類）のように、グループとしての名称も含まれている。またタイトルに紀州、田辺とあっても、それ以外のものが混じっている可能性もある。分量が多いので、時間をかけて考証すれば有効な情報を引き出せるかもしれないが、相当の困難が予想される。

### 外国船の採集記録

江戸末から明治期にかけては、外国船が日本に寄航したとき紀州を含む各地で採集を行い、それがのちに海外の専門家によって研究、報告された例がある。貝類についてはドゥンカーやピルスブリの、日本産貝類のリストがある。これらはほとんどが、1860年頃に日本に来たアーサー・アダムズの採集品に基づき<sup>70, 83)</sup>、その中に産地 Tanabe となっているものが十数種含まれている<sup>326)</sup>。これらは学名で記されているので、今の種名と照合しやすい。内訳はすべて巻貝で、ニシキウズガイ科（1種）、タカラガイ科（3種）、モツボ科（2種）、トウガタガイ科（5種）、ハナゴウナ科（1種）などである。寄生種、微小貝が多いことから、砂を取り、あとで中の死殻を選別したのかもし

れない。一応今の種名がわかるもののうち、チビアシヤ、キイロダカラ、クチグロキヌタ、コモンダカラ、コキザミハマツボ、ククリクチキレの6種は、その後に田辺湾での記録がある。しかし種数が少なく分類群も偏っているので、当時の貝類相の全体像や、その後の変化といったことまではわからない。

明治期には日本の採集家も活動した。平瀬与一郎は1890年代以降、紀州に住む採集者たちに依頼して多くの貝標本を集め、京都にある私設の貝類館に展示した<sup>83)</sup>。しかしそれらの採集品について、産地と採集時期を特定できるリストは発表されていない。

### 3. 1920年代以後の変化

1920年代に入ると、京都大学の臨海実験所が湾岸に設置され、分類学、のちに生態学的な研究も行われるようになった。当時の記録から、生物相の様子をかなりくわしく知ることができる。ここではまず田辺湾生物研究の黎明期、1920年代の生物記録を紹介し、これ以後の成果から、時間的变化に注目したもの、ないし読み取ることのできるものについて検討して行く。情報が増えてくるため、変化の原因について推測できるケースもあるが、本格的な分析は環境変化について述べた後に回し、まずは変動のありさまを見て行くことにしよう。

#### 1920年代の生物記録

白浜町番所崎に京都大学の瀬戸臨海実験所が設けられたのは大正期の1922年で、これ以後田辺湾周辺の海の生物の研究が本格的に始まった。翌1923年には田辺市目良に和歌山県水産試験場が移転し、漁業、水産分野の報告が出されるようになった。民間でも宇井縫蔵の「紀州魚譜」<sup>13)</sup>が1924年に出版されている。以下、1920年代に京大実験所の研究者たちが著した、周辺海産生物相の紹介<sup>97, 98, 99, 287, 288)</sup>を中心として、当時の生物相を振り返ってみる。これらの報告では、範囲が田辺湾周辺であることが明らかな上、種の標準和名、学名が出ているので、その後の名称の変更など困難な問題はあるが、ある程度正確な評価ができる<sup>38)</sup>。まず、全体的な海岸の相観や生物の種は今と共通するものも多く、80年前とはいえ、全く異なる生物相が存在したわけではないことがわかる。たとえば海岸の岩にクロフジツボ、シロスジフジツボ、カメノテなど蔓脚類が多いのは今と同じで、ヒザラガイなど、普通種として挙げられている貝類も現在と大して違わない。海岸の海藻で多いものは褐藻類のヒジキ、ウミウチワ、緑藻ではアオサ類、ヒトエグサ、紅藻は石灰藻類など、これらも共通である。

一方、今とは違った状況を推測させる記述もある。たとえば腕足類の‘シャミセンガイ’ (=ミドリシャミセンガイ、図3-3)が畠島の泥底にいとされているが、今は見られない。同じく畠島で、ムラサキハナギンチャクに共棲するホウキムシのことが書かれているが、これも今ではごくまれである。半索動物のギボシムシ (=ワダツミギボシムシ) や、海草のアマモは、畠島のほか‘綱不知湾’ (南部湾奥一帯を指すらしい) にも多いとされているが、大きく環境の変った今では、畠島のワダツミギボシムシを除いてほとんど見ることはできない。実験所周辺でシリソ科のゴカイが、6月下旬の夜に発光群泳する幻想的な光景が描写されているが、これも今はない。イシサンゴ類の各種が番所崎の周辺に多いとくり返し述べられているが、その内容から、今より豊富だったことがうかがわれる。プランクトンでは、藍藻の *Trichodesmium* やヤコウチュウ *Noctiluca* が時々大発

生するのは今と同じだが(口絵4)、1970年代以降に赤潮を形成した *Gymnodinium* や *Peridinium* などの渦鞭藻<sup>14, 124)</sup> は、属名はあげられているものの、特に多いとか被害をもたらすという記述はない。一方、魚類についても多くの種が出ているが、目を引きそうな熱帯性、サンゴ礁性の種がリスト中に案外少ないのは意外な感じがする。1章でふれたように、これらは冬の寒波で打ち上げられやすい。1920年代の文献でも、冬の荒天時に魚の打上げがあるとしているが、種類はタツノオトシゴ、ヨウジウオ、ショウサイフグ、ハコフグなどで、必ずしも熱帯、サンゴ礁性とはいえない。一方、ウメボシイソギンチャクが非常に多いと記されているが、この種は温帯性で、今の田辺湾では北向きの海岸の転石の間などに、まれに見つかるにすぎない。

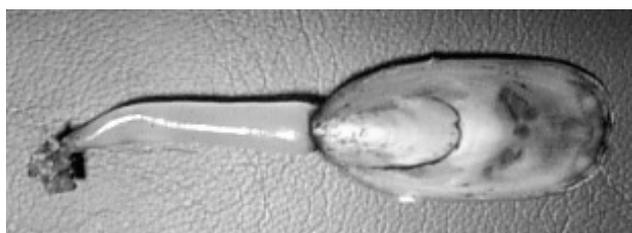


図 3-3. ミドリシャミセンガイ、芳養湾 2007 年 7 月産。船山展孝氏撮影。

これらの記述から印象づけられるのは、まず内湾の生物相の多様さである。当時の田辺湾奥部は自然の形状をよく保ち、水も清澄であったことをうかがわせる。次いで、熱帯性に対する温帯性要素の優占傾向が感じられ、当時は今より寒冷的であったかもしれない。宇井の「紀州魚譜」には、当時和歌山県で知られていた 617 種(海産は 579 種)の魚類を含むが、そのうち南方性種は 57% で、1960 年代の 76%<sup>4)</sup> と比べて明らかに少ない。両者はデータの収集方法や調査域が同じではないので単純な比較はできないが、当時の温暖要素の少なさを推測させる一つの傍証といえる。気象データによると、当時の気温は今より低めで、黒潮は 1917-1922 年ごろ蛇行して紀伊半島から離岸していたと推定されている<sup>56)</sup>。こうしたことが、このころの田辺湾の生物相に反映していた可能性もある。

ところで宇井の業績をめぐっては、南方熊楠と京大実験所の確執が知られている。南方が田辺に居を定めたのが 1904 年。その 18 年後に、京大実験所ができて活動を始めた。1929 年に昭和天皇の田辺湾行幸があり、南方が神島で進講するとともに、京大実験所も天皇を迎えた。このとき、開設間もない実験所は標本類も少なく、当時田辺高等女学校の教師で、魚類や植物の研究で知られた宇井縫蔵から数多くの魚類標本を譲り受けて陳列した。これについて南方は、民間研究者の長年の業績を京大が掠め取って自らの手柄にしたと、くり返し批判している<sup>193)</sup>。当時の実験所長、駒井卓はこれにこりたらしく、その後の田辺湾生物相の紹介記事類では、魚類の項で宇井の名を挙げることを忘れていない。駒井卓は東京帝大卒。欧米に留学し、ノーベル賞受賞者モルガンのもとでも学んだ遺伝学の専門家で、海の刺胞動物の分類の業績もある。東京・京都両帝大の教授を兼任し、文字通り当時の生物学の権威であった。宇井の標本をめぐると一件は、在野の研究者として通じた南方熊楠の、大学アカデミズムへの反発を示すエピソードといえるだろう。

### 1930年代のベントス記録

2章で紹介したように、1930年代には田辺湾全域で海底の底生動物の分布調査が行われた。1939年の3回の平均値として、個体数で多毛類(ゴカイ類)が50%、軟体動物(貝類)36%、甲殻類7%、棘皮動物6%(主にウニ類)と報告されている<sup>300)</sup>。密度は枝湾内でやや高いが、どの場所でも、大阪湾のような汚濁水域に特徴的な種は見られなかった。一方、1990年代から、田辺湾内で海底ベントスの調査が行われている<sup>212)</sup>。1993–1999年の14回のデータをもとに計算すると、平均値として、個体数で多毛類85%、軟体動物5%、甲殻類8%、棘皮動物1%以下となる。全体の密度は、1930年代と逆に、枝湾内は外より少ない。比較すると、両年代間で多毛類が目立って増え、軟体動物、棘皮動物は減っている。湾奥部の養殖漁場を中心に、1996–2001年の結果をまとめた報告もある<sup>19)</sup>。それによると、個体数の面で優占していたのは1地点を除きすべて多毛類で、イトゴカイ類、ギボシイソメ、ミズヒキゴカイなどだった。これらはすべて、有機物が多く流れ込む過栄養域に多い種である<sup>136, 210)</sup>。1940年代の報告には、このうちイトゴカイ類とギボシイソメは名前が出てこない。ミズヒキゴカイはあるが、優占種の扱いはない。一方、1940年代に、湾奥部を中心に優占したホソタケフシは、1990年代のリストには現れない。

サンゴについても、1930年代に造礁サンゴ類の分布が調べられている<sup>111)</sup>、(図3-4)。当時サンゴは田辺湾内外に広く見られ、湾口の波の荒いところでは、直径2mを越えるエダミドリイシのテーブル状群体などが記録されている。また湾奥でも黒崎西、鳥の巣～神島、畠島東方に、「大塊をなし、密集して海底を蔽う」「殊に饒多」「著しく蕃殖」と表現されるような大群落が見られた。その後正確な分布調査は行われていないが、1960年代までにはサンゴ類は湾内外で衰退し、特に湾奥部ではほとんど姿を消したとされる<sup>25, 142)</sup>。現在造礁サンゴの顕著な群落が見られるのは、湾口部の沖ノ島、灘島、四双島などに限られ、他は番所崎～江津良周辺に小群体が散在する程度となっている。

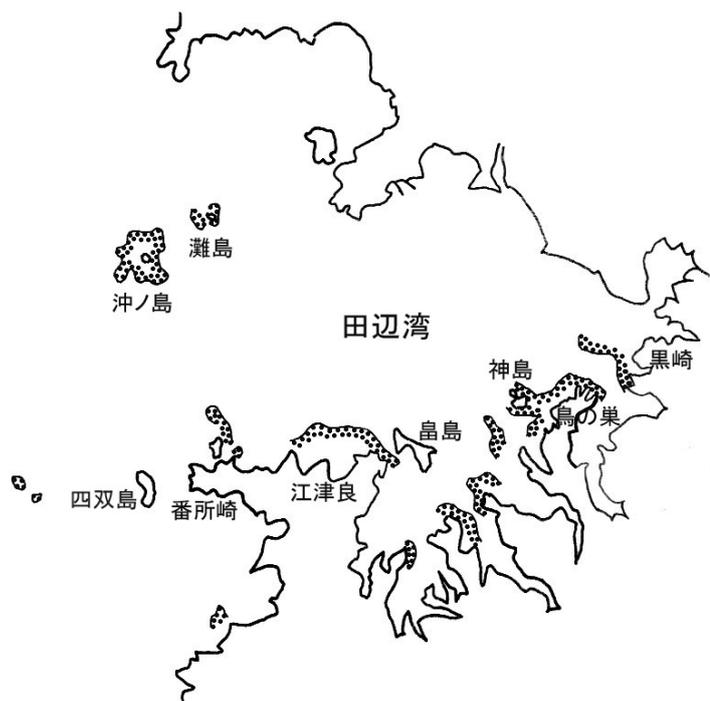


図3-4. 1931–32年の造礁サンゴの分布。点刻部がサンゴ群落の範囲を示す。文献111をもとに描く。

### 1940年代以後の貝類相

1940年代の田辺湾の海岸貝類については比較的くわしい報告が出ているが<sup>161)</sup>、そこに登場する37種の海岸貝類(巻貝18種、二枚貝19種)について、その後の変化を追跡した例がある<sup>34)</sup>(表3-1)。表では各種を生息基盤、湾内分布、地理的分布の点からグループ分けし、それぞれの変動傾向を示した。これを見ると、増加を示すものはほとんどなく、ほとんどが不顕著か減少となっている。減少傾向を示すものうちでは、砂・泥底性の方が岩礁・砂地性より多く、湾奥の種の方が湾口-全湾に分布するものより多い。湾口付近には岩礁が、湾奥は砂浜、泥底が多いので、2つの要因は重なっている。一方、地理分布(南方性)で比較してもあまり差はない。この結果から、1940年代以後、湾奥部の砂泥底で貝類相が貧弱になったとみてよいだろう。

	分布	変動傾向		
		増加	不顕著	減少
生息基盤	砂・泥底	0	0	13
	岩礁・礫地	0	14	2
湾内分布	湾奥	0	0	13
	湾口-全湾	1	14	2
地理分布	南方性	0	4	5
	非南方性	1	10	10

表 3-1. 1940年代に存在した貝類の、その後2001年までの性質別の変化傾向。数字は種数を表す。  
文献 34 による。

### 島島のウニ類

1章コラム2でも紹介した1963年の寒波のとき熱帯性のウニが大量死したことをきっかけとして、島島の西岸でウニの調査が始められた。田辺湾で定量的な枠組みで続けられている調査としては、最も古く遡るものである。ウニの調査点は湾口に面する岩礁にあり(2章 図2-19)、7.5 m<sup>2</sup>の方形区を田の字型に4つに仕切った永久コドラートが設けられている。1963年から毎年1度、春~夏の大潮時にこの中のすべてのウニの個体数をかぞえている。2005年まで、42年間の種ごとの個体数の変化を図3-5に示した。南方性のナガウニ<sup>\*</sup>、コシダカウニは1963年の寒波でほぼ全滅したが、1年後には小型個体が多く現れ、2年後には大型のものも見られるようになった<sup>346, 347)</sup>。以後、短期の急変はあるが、全体としてはなだらかなカーブを描いて変化しているように見える。この地点のウニ類は1963年の寒波からの回復後、1970年代には種数、個体数ともピークに達した。しかし1970年代後半から減り始め、1990年前後に最低となる。その後少しずつ増えているものの、かつての水準には戻っていない。この他、全体のウニ密度が高かった1960-70年代には、ムラサキウニが増えるとタワシウニが減り、またその逆も起こるといった傾向があるように見える。一方1977, 1983, 2001年には、突発的に密度が下がった。1977年にはムラサキウニ、1983年にはタワシウニが目立って減り、2001年はそれより程度は小さいが、両種に加えてナガウニも減っているのが特徴的である。このうち1977年については、食用種であるムラサキウニが調査前に取られたことが影響しているようだが<sup>277)</sup>、それ以外については、今のところ原因はよくわからない。

\*注) ナガウニ *Echinometra* には数種類あるとされ、田辺湾周辺ではこのうち、ツマジロナガウニ、ホンナガウニと仮称されているタイプがみられる。しかし調査を始めた時にはこれらを区別していなかったため、以下ではナガウニで一括する。

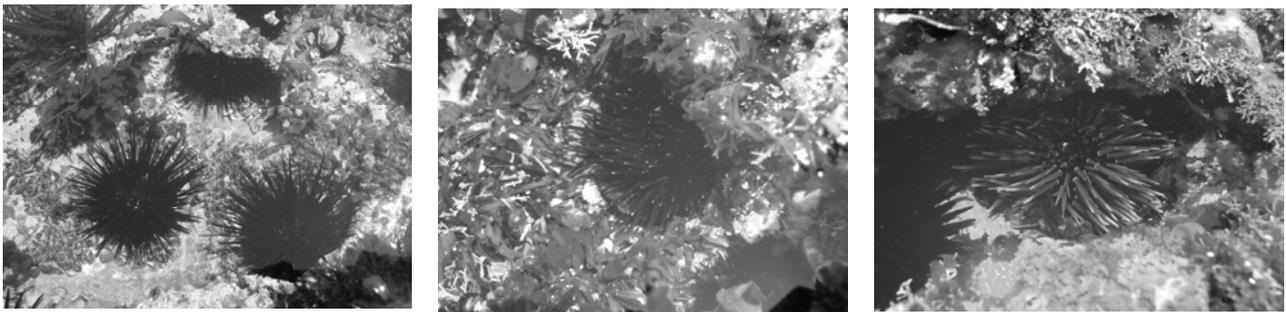
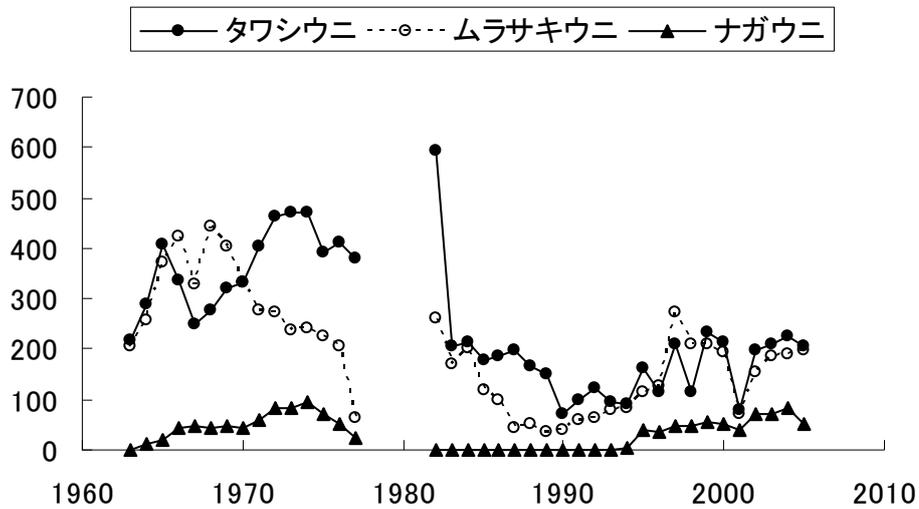


図 3-5. 島西岸定点でのウニ類の密度変化。7.5 m<sup>2</sup> 中の個体数で示す。文献 89 による。図中の 3 種で、この地点のウニ類総個体数の 99 % を占める。写真は左からムラサキウニ、タワシウニ、ナガウニ。

### 島の海岸生物

2 章で一部紹介したように、島では南岸部と全島を対象に 2 種類の調査が続けられている。南岸調査は 1969 年に始まり 2008 年時点で 6 回、全島調査は 1983 年に始まって 5 回の記録がある。南岸調査では延長約 300 m の海岸を 16 区に分け、原則としてその中のすべての海岸生物を記録する。これは調査範囲内のいろいろな性質の種群の増減をとらえることを目的にしている。ここでは地理分布と有機汚濁への反応という二つの側面から見る (図 3-6)。無脊椎動物と海藻中の南方性種の割合は、1980-90 年代に低く、その前後で高い。また出現種の中には、これまで日本各地の調査で、有機汚濁の進んだ富栄養水域に多いとか、汚濁の少ない貧栄養水域を好むと認められた種が含まれる。そこで前者の累積区数を後者で割った値 (E/O 比) を求め、傾向を見ると、1980-90 年代に高くなっている。つまりこの時期に富栄養水域を好む種が増えた。分類群別に見ても目立つ

た変動を示すグループがある。肉食性巻貝のアクキガイ科がその例で、1980年代には、前後の時期に比べて著しく減っていた。

これについては一つ思い出すことがある。1983-4年、瀬戸臨海実験所の教官、院生から成るグループは、1969年以来15年ぶりとなる調査を畠島で実施した。直後の研究室のゼミで私が結果を総括したが、この時、上記のアクキガイ科の激減が問題になった。なぜ減っているのかという質問が出たので、私は、それらの餌になる藻食性巻貝が減ったからではないか、と当て推量を述べた。しかしアクキガイ科の摂食生態を調べていた先輩院生の阿部直哉氏から、巻貝を食うのはレイシダマシモドキだけで、それ以外は主に付着生物を餌にしているというコメントがあり、結局原因不明のままとなった。あとで触れるが、アクキガイ科は、船底塗料や漁網防汚剤として使われる有機スズ系化合物の影響を、最も受けやすいグループである（コラム8）。しかし、のちに大きな問題となるこの化合物についての認識は、当時まだ広まっていなかった。わかっていればこの時さらに、湾内での詳しい分布や影響状態などの追加調査が行われていたかもしれない。

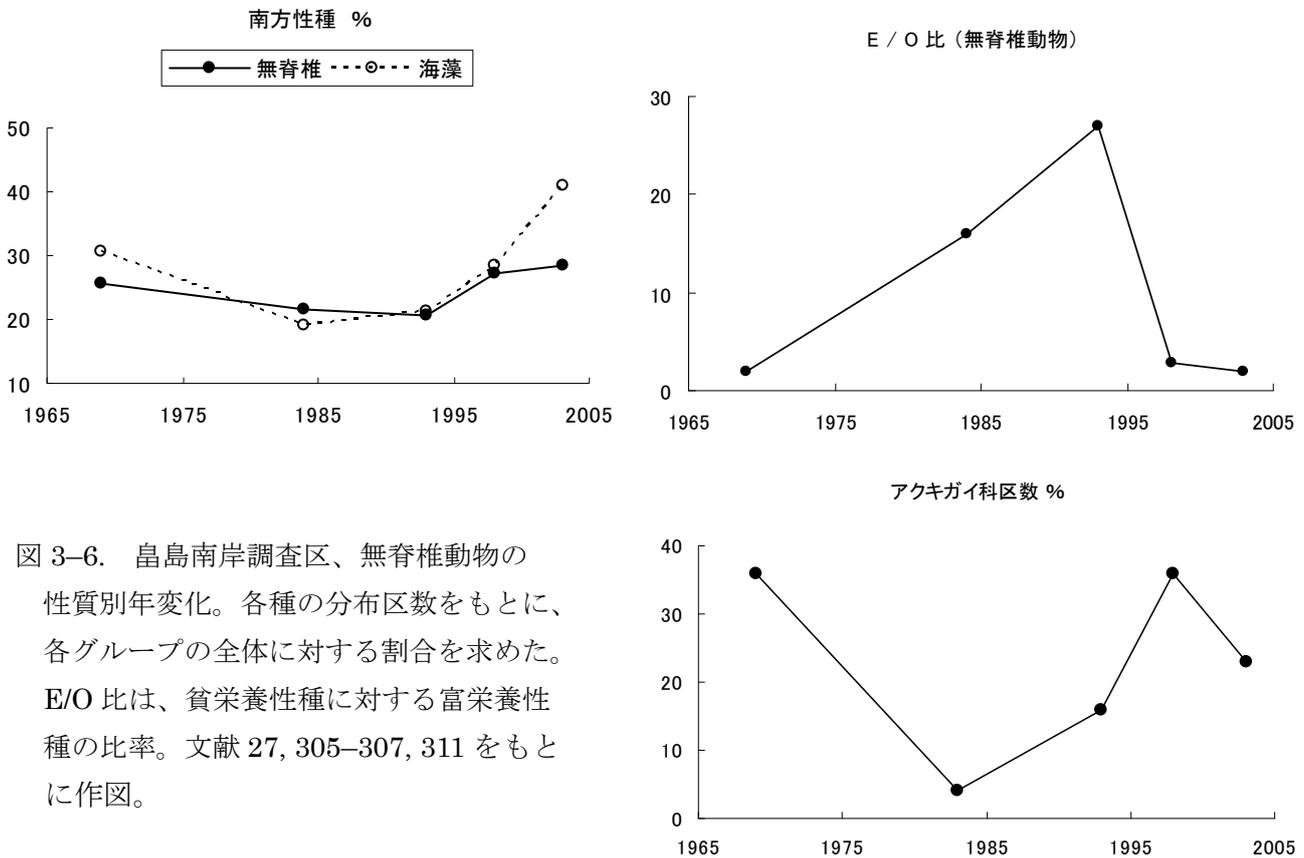


図 3-6. 畠島南岸調査区、無脊椎動物の性質別年変化。各種の分布区数をもとに、各グループの全体に対する割合を求めた。E/O 比は、貧栄養性種に対する富栄養性種の比率。文献 27, 305-307, 311 をもとに作図。

もう一方の全島調査は、特定の種について、畠島全体の分布パターンとその変化をとらえることが目的である。全島の海岸を 43 区に分け、各区内で、あらかじめ選んだ 86 種の海岸生物の密度を記録している。図 3-7, 8 にその例を示した。ケガキは 1993 年にはいなかったが、1998 年までに現れ、2003 年まで全島で増えつつある。逆にマガキは 1993 年には島内全域に多かったが、2003 年まで、とくに西側の湾口寄りでは減った。畠島本島の西側では、各回の調査の時に写真を撮っているが、これを見るとカキ類の変化は明らかだ（口絵 5~8）。1969 年にはケガキが目立つが、1983 年にはわずかな死殻を残して一掃された。1993 年にはやや大きめの白い殻がまばらに見えるが、

これは当時の記録によるとマガキで、種の交代が起こっている。その後、マガキの間に小型のケガキが混じる状態を経て、2008年の写真ではほとんどケガキになった。つまりこの岩礁では40年間に、ケガキ→カキ類なし→マガキ→ケガキと、1サイクル回る変化が起こったことになる。全島的な傾向を見ると（図3-7）、1990年代以降、ケガキは増加、マガキは減少傾向であり、写真記録に見る1993年以後の変化とよく合っている。

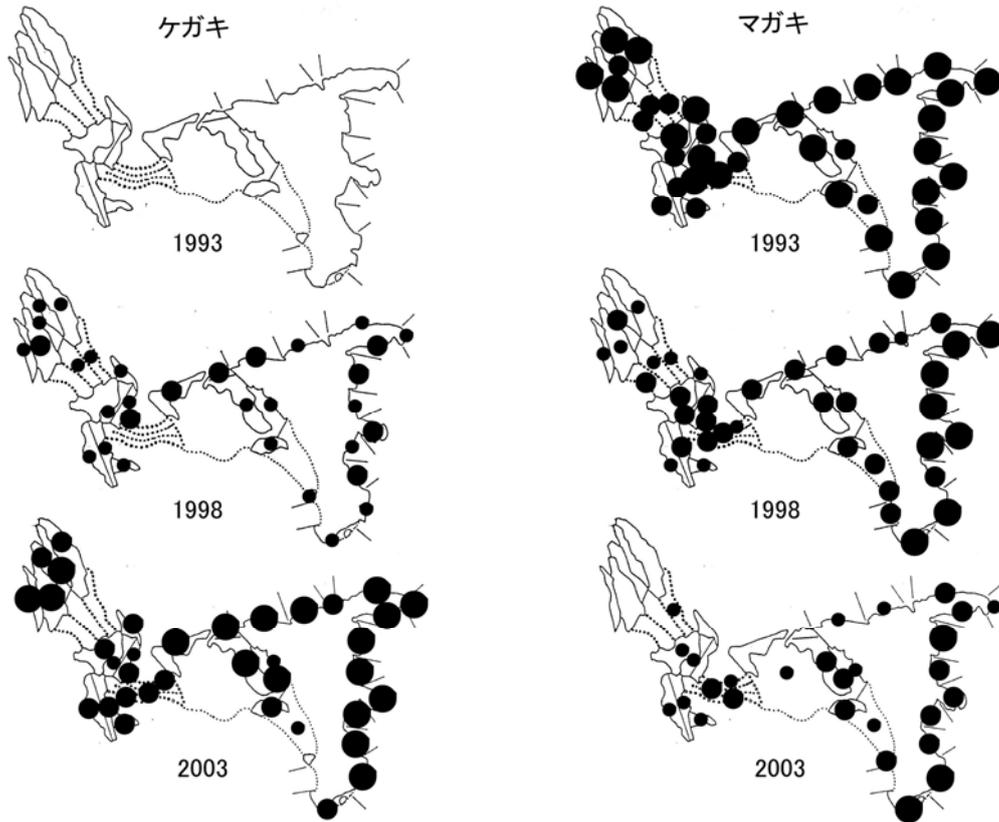


図3-7. 島島でのカキ類の分布変化。黒丸は各区画での最大密度を表す（小, 1-9; 中, 10-99; 大, 100-999/m<sup>2</sup>）。1993年より前はデータなし。文献305-307をもとに作図。

一方、ウニ類については1975年からの記録がある（図3-8）。ムラサキウニは、1975年には島島本島の南端部を除き、ほぼ全島に見られたが、1983年には南、東岸から消え、1993年には西岸に限られるようになった。しかし1998年以後回復し、2003年にはかつて以上に広く分布している。タワシウニ、ナガウニもムラサキウニと大体同じだが、タワシウニの回復はムラサキウニよりやや遅れた。また、ナガウニの1980-90年代のダメージは大きく、1983年には全島から姿を消した。1970年代に多く、1980-90年代に衰退し、その後回復するというこのパターンは、図3-5の、島島西岸の密度調査の結果とも合っている。カキ類の写真評価もウニ類のコードラート調査も、1点のみの記録とはいえ、島島全島の傾向をよく反映していることがわかる。1980-90年代を境とするこの変化は、他の分類群でも確認されている。島島南岸では、1969年から1984年にかけて、10種の貝類の普通種が姿を消したが<sup>27)</sup>、それらのうち4種は、1983年以降の全島的分布が追跡できる。

4種のうち、ケガキは1998年、ゴマフニナは2003年、アマオブネは2008年までに、普通に見られるといえるほどに回復した。あと1種のアマガイは、2008年になってもまだ現われていない。

南岸の砂泥浜には、半索動物のワダツミギボシムシが砂に潜って住んでおり、巣穴から吐き出した糞塊がたくさん見られる。これを数えた調査によると、1981-1988年の間、糞塊の最大密度は低下を続け、特に1986年以後は目立って減少していた<sup>214)</sup>。1980年代の生息環境の悪化を支持するもう一つの例といえる。

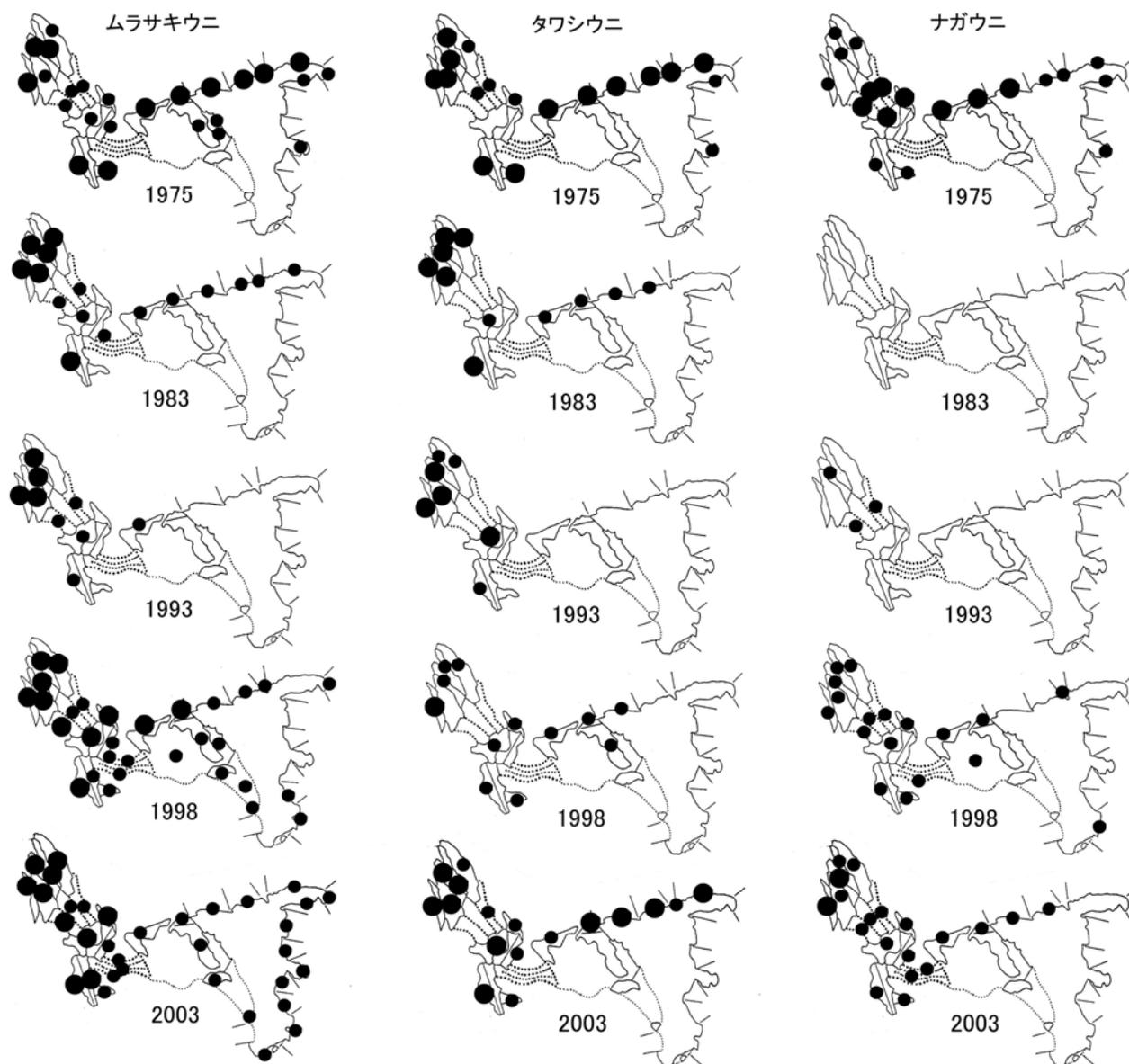


図 3-8. 島島でのウニ類の分布変化。黒丸は各区画での最大密度 (小, 1-9; 大, 10-99/m<sup>2</sup>)。1975, 1983 年は定性評価 (小, 少ない; 大, 多い)。文献 116, 305-307, 311 をもとに描く。

海岸生物の種類相が、波当たりの強い湾外、湾口部から湾奥に向けて次第に変化することは古くから知られ<sup>292)</sup>、生物の垂直分布や波への抵抗性との関係で多くの研究がある。しかしそのパター

ンが時間的に変化するかどうか、またどのように変化するかについては、よくわかっていない。畠島での結果によれば、ある種の密度が増すときは、もともとの生息地とは違った環境（外側→内側、転石→岩礁、など）に広がり、減少するときはその逆が起こる。これに対し、分布の中心を外側から内側、岩礁から転石など、異なる環境にシフトさせる種というのは知られていない。わずかにイガイ科のクログチが、1975年に畠島でほとんど消えたあと、翌年別の場所に再出現したという観察があるだけである<sup>348)</sup>。

### 番所崎の貝類

田辺湾南湾口の番所崎では、著者らが1985年から年1回、潮間帯の貝類の分布を調べている。岬から南に張り出した岩盤の上に、69の正方形調査区があり（図3-9）、この中のすべての貝類種（軟体動物）を記録する<sup>168, 313)</sup>。区域内は西北から東南（図の左上から右下）にかけて高台になっていて、その西南側（海側）は波当たりが強い。東北側（陸側）は波から保護されて砂地が目立ち、タイドプールが広がっている。海側にはヒジキ、ウミトラノオなど褐藻類が多く、陸側にはアオサ類、ヒトエグサなど緑藻が優占する。このような環境条件に応じて、高台部分、その周囲の陸側、海側、さらに岩礁南端の最も低く波あたりの強いところ、という4区域に、それぞれ特徴的な貝類相がみられる。

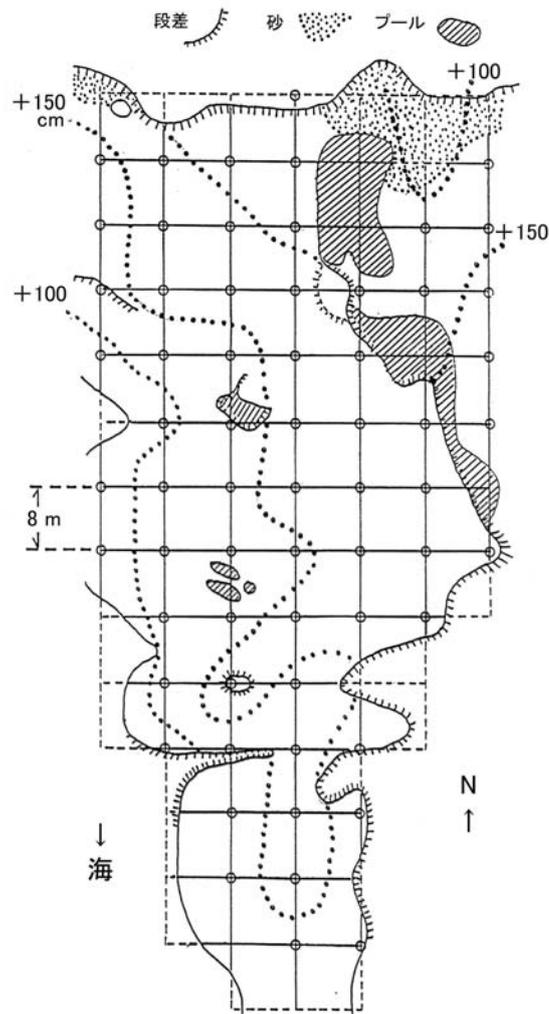
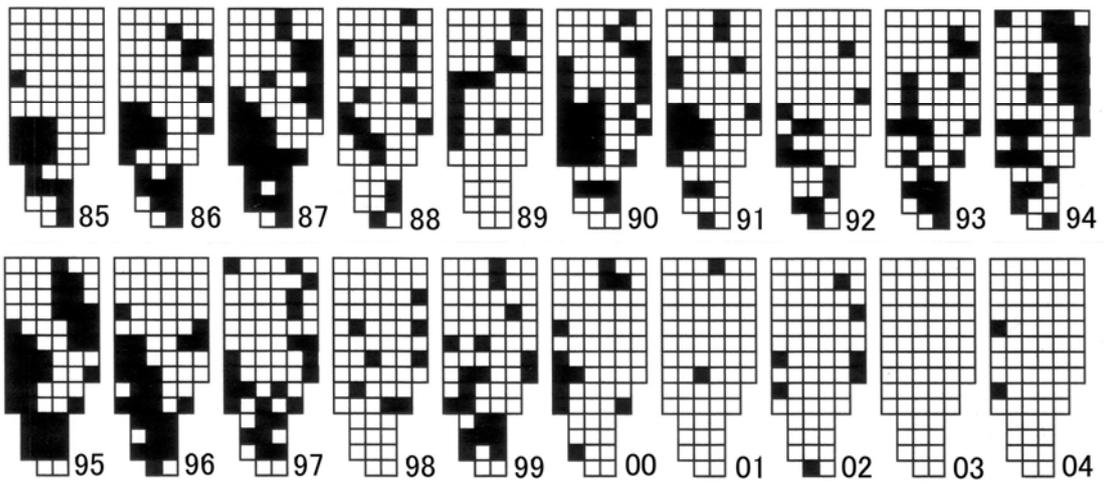


図3-9. 番所崎調査区。8 m×8 mの  
方形区画69から成る。

アコヤガイ



ベッコウガサ

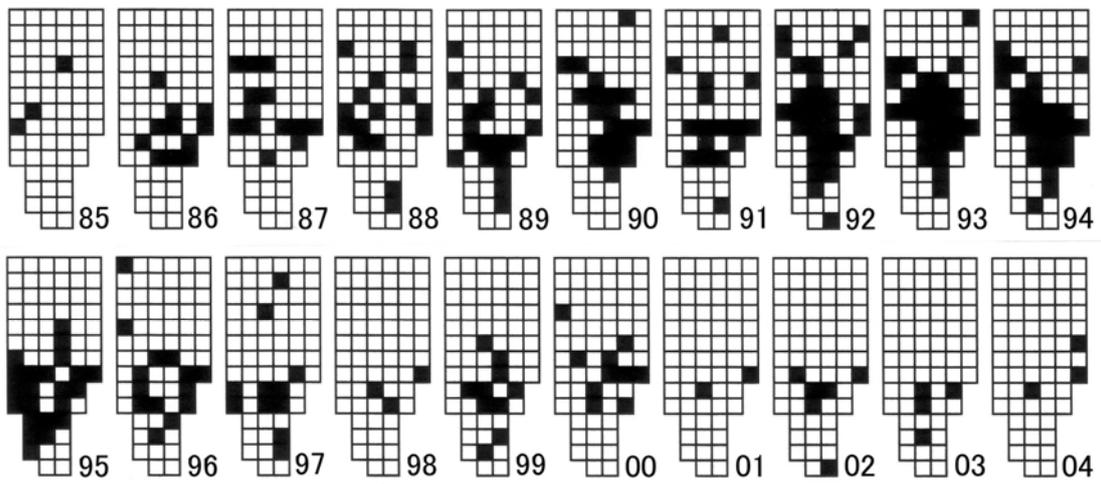


図 3-10. 番所崎調査区でのアコヤガイ（写真左）とベッコウガサ（写真右）の分布変動<sup>47,168</sup>。1985年から2004年まで。数字は西暦年の下二ケタ。

この調査区での、1985年から2005年まで20年間の種ごとの分布変化は、たとえば図3-10のようになる。二枚貝のアコヤガイは調査を始めたころ、図で左下や右上の、低い位置やプール内の普通種であった。しかし1995-96年あたりをピークに区数を減らし、2004年までには稀な種になった。ベッコウガサは笠形の巻貝で、図の左上から右下に伸びる隆起部か、そのやや海側の高い位置に多い。1993-94年ごろまで増えたが、その後減っている。

ところで多くの海岸で、生物各種が上から下まで、帯状に並んで分布する様が見られる。これを帯状分布構造 (zonation) と呼び、海岸生態学の重要なテーマの一つとして、多くの研究が行われてきた<sup>292, 329)</sup>。番所崎の場合、先に述べた4区域が、高さの違う帯状区に相当する。これまでの研究では、帯状構造は暗黙のうちに安定なものとなされ、パターンの自然変動の情報はほとんどない。しかし番所崎では、図3-10からもわかるように、各種はおよその位置を維持しながらも、分布の伸縮、消長をくり返し、年ごとに変動している。上下が逆転するような形の変化は起こらないが、相当に柔軟である。

次に近縁種内で、種ごとの分布区数の変化を見よう。付着性二枚貝のカキ類 (図3-11)、イガイ類 (図3-12) とアクキガイ科巻貝 (図3-13) について示す。前2者は海岸での占有面積が広く、群落の中に多くの種を住まわせる一方、肉食種のエサにもなる<sup>279, 293)</sup>。またアクキガイ科巻貝は肉食者の代表で、これも付着性種とはまた別の意味で全体の生物群集に与える影響が大きい<sup>215)</sup>。

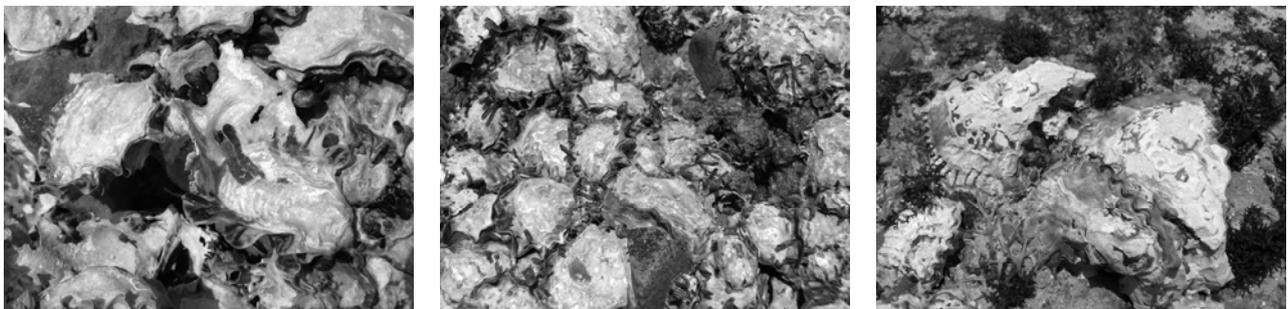
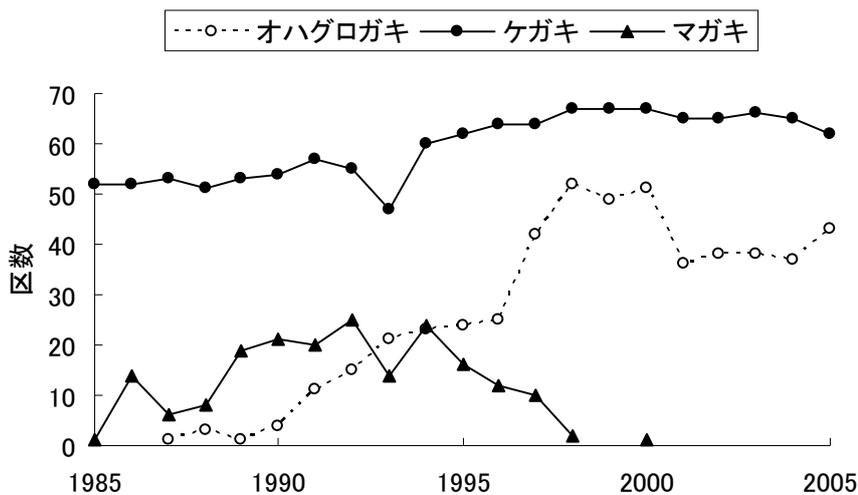


図3-11. 番所崎調査区での、主要カキ類3種の増減<sup>47, 168)</sup>。出現した区数 (全69区) で示す。写真は左からマガキ、ケガキ、オハグログキ。

カキ類（図 3-11）ではケガキが最も多く、期間中ゆるやかに増えて、区数的にはほぼ飽和に達した。一方オハグロガキは全く見られない状態から急増し、2000 年以後はやや区数を減らしたものの、1990 年代半ばからは、ケガキに次ぐ広い分布を保っている。マガキは 1990 年代前半に一時的に増えたが、その後は減り続けてとうとう消えてしまった。

イガイ類（図 3-12）の場合、調査を始めたころはムラサキインコが優勢だった。特に岩礁南端部には大小の個体が密なマット状のコロニーを作り、陸側の岩礁付け根付近にまでみられた。しかし 1990 年代後半から衰え、南端部でもコロニーがまばらになってきている。ヒバリガイモドキは、1980 年代には西南部の低い位置にほぼ限られていたが、1990 年代半ばから増えて全域に広がった。その後分布区数でムラサキインコを上回り、優占種が交代した。

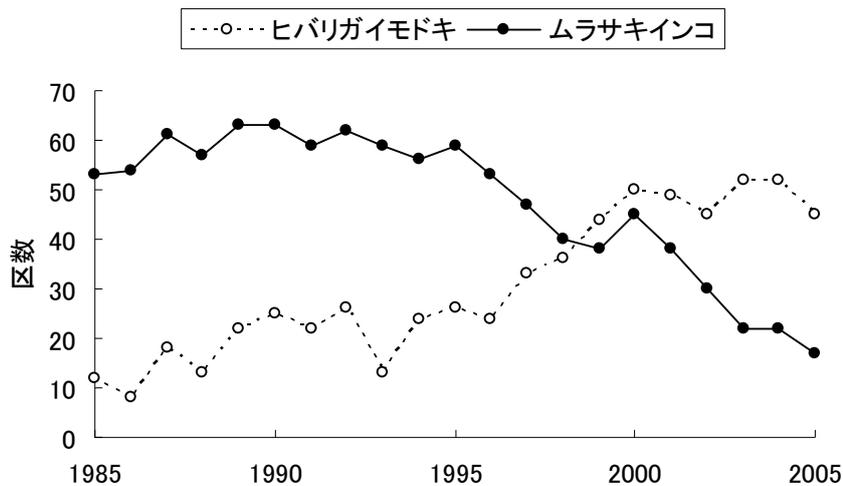


図 3-12. 番所崎調査区での、主要イガイ科 2 種の増減<sup>47, 168</sup>。写真はムラサキインコ（左、カメノテと混在）とヒバリガイモドキ（右）。

アキガイ科巻貝（図 3-13）では、主な 4 種のうち、イボニシとレイシダマシモドキはほぼ横ばいだが、シマレイシダマシとウネレイシダマシは増え続けた。初めシマレイシダマシの範囲はイボニシの半分ほどであったのが、2000 年代に入ってからイボニシを越えるまでになっている。

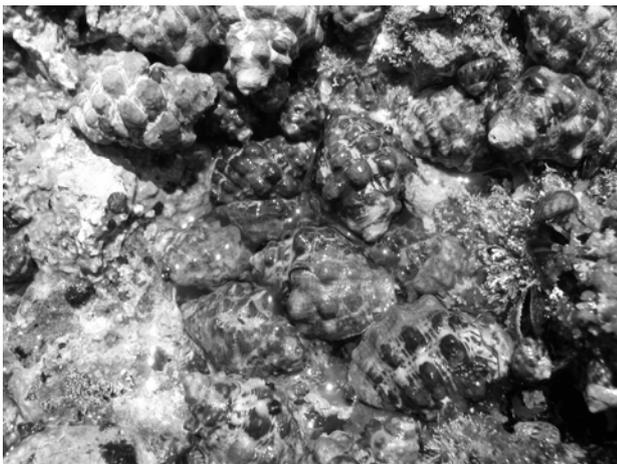
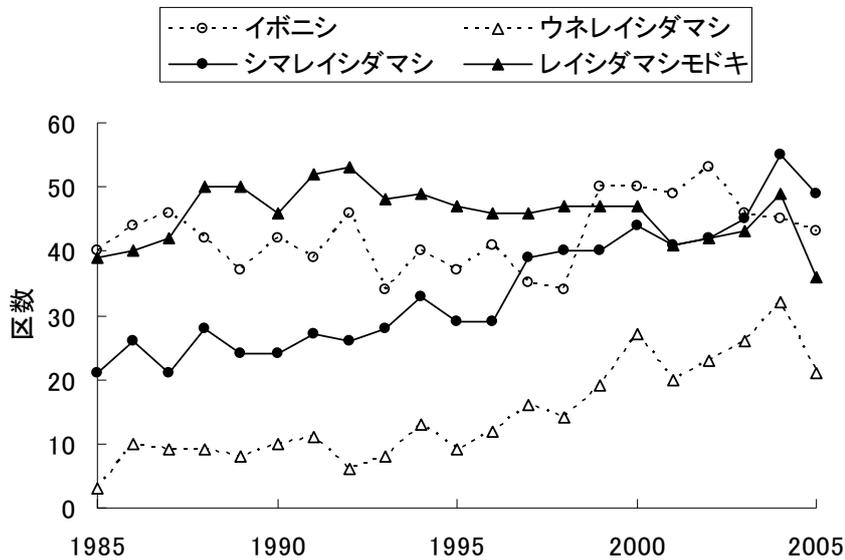


図 3-13. 番所崎調査区での、主要アキガイ科巻貝の増減<sup>47, 168)</sup>。写真はイボニシ（左）とシマレイシダマシ（右）。

次に出現種を性質別にまとめて、それらの変動傾向を見てみる（図 3-14）。まず、本書でくり返し取り上げている、南方性種の全体に対する割合を見ると、明快な傾向が現れる。1985 年から 2000 年にかけて右肩上がりに上昇し、その後頭打ちになった。全体の中の南方性種の割合は、この 20 年で 25% から 40% 近くまで、15% も増えている。実は先に見た種別変化で、増えているオハグロガキ、ヒバリガイモドキ、シマレイシダマシ、ウネレイシダマシは、地理分布の点からは南方性、減っているムラサキインコ、横ばいのイボニシは北方性である。

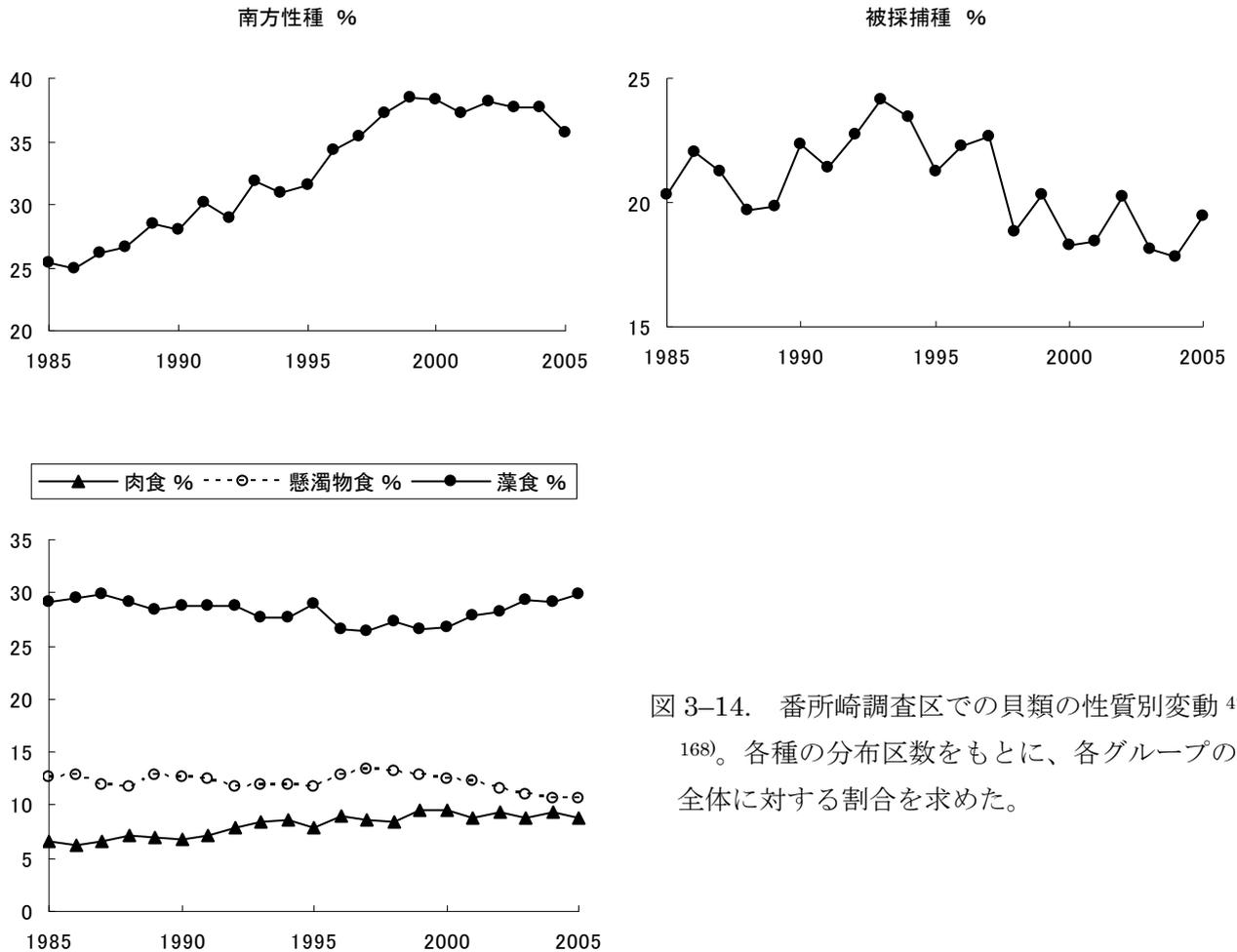


図 3-14. 番所崎調査区での貝類の性質別変動<sup>47, 168)</sup>。各種の分布区数をもとに、各グループの全体に対する割合を求めた。

次に餌による違い。貝の食性は、他の貝や、フジツボ類など付着動物を食べる肉食、海藻や岩上の付着藻類をかじりとして食べる藻食、水中のプランクトンや有機物をこし取って食べる懸濁物食、などがある。巻貝は主に肉食か藻食で、肉食の代表はイボニシ、シマレイシダマシなどのアクキガイ科、藻食には笠貝類やニシキウズガイ科が含まれる。イガイ類やカキ類など、二枚貝はほとんど懸濁物食である。巻貝でも、オオヘビガイなどは岩に固着し、水中に粘液糸を漂わせて有機物をからめ取って食べるので、このグループに入る。このほか腐肉食、寄生などがあるが、番所崎の場合、主なものは肉食、藻食、懸濁物食の3者といってよい。これらのグループの分布区数の割合をみると、まず、肉食性種がじりじりと増えている(図3-14)。他のカテゴリーでは、最近約10年間に、藻食種が増え、懸濁物食種が減っている。以上は割合で見ているが、存在量(区数×密度)の絶対値で見ても傾向は同じである。

一方、田辺湾の海岸では、地元の人々が貝や海藻を食用や加工用に採取している。番所崎も例外ではなく、調査中の観察と聞き取りによって、どのような種が取られているかわかっている。イボアナゴ、スガイ、カリガネエガイなどが代表的なものだが、それらの被採捕種とそれ以外の種の変化を比べてみた。1990年代初期から、採捕対象種の比率が減り、20年間を通じても有意な減少傾向がある。貝類群集に対する、採捕の影響が懸念される結果である。

### 漁獲量の分析

田辺湾の周辺には、田辺、湊浦、新庄、堅田、白浜の5つの漁業協同組合があり、このうち養殖を主体とする堅田以外の4漁協が、採捕型の漁業を行っている。湾内では底引き網、シラス船曳き網、イワシ、アジ等の棒受け網漁が、その他紀伊水道まで出て釣やさまざまな網漁が営まれている。これらについて、魚種ごとの漁獲量が統計資料として残されているが、これを生物変動の分析に使えないだろうか。図3-15に、4つの漁協が漁獲した海産物のうち、南方性の種が占める割合の年変化を示した。この場合南方性の種とは、南日本以南、南シナ海から熱帯インド・西太平洋に分布する種で、具体的にはカツオ、ソウダカツオ類、ムロアジ類、エソ類、タチウオ、イサキ、シイラ、トビウオ類、イセエビの8種群。それ以外として、イワシ類（シラスを含む）、マアジ、サバ類、マダイ、スルメイカの5種群を取り上げ、両者の漁獲量の和に対する前者の割合を求めた。図を見ると、南方性種の割合は1960-80年代にやや低下し、そののち2000年代に向けて上昇している。これは畠島や番所崎の南方性海岸生物の変動傾向ともよく合っている。

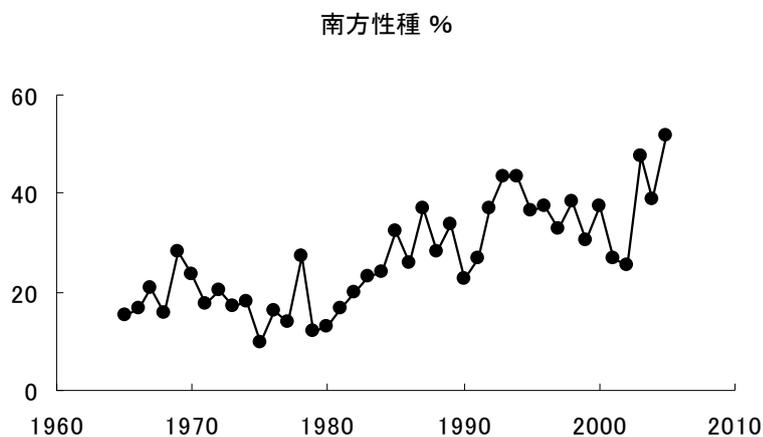


図3-15. 田辺湾周辺4漁協の漁獲量に占める、南方性種の割合の年変化。和歌山水産累年統計による。

## コラム 7 昔日の内湾漁業

漁業の話が出たところで、かつての田辺湾の内湾漁業のありさまを振り返ってみたい。もとにするのは1980年前後に湾の南岸、白浜綱不知の漁師たちが残した記録<sup>12,185)</sup>で、時代はその内容から大正～昭和初期(1910-40年代)とみられる。そのころの田辺湾は、本文にも紹介したように広い内湾部に豊かな干潟生物相があり、湾奥までサンゴの群落に覆われていた。そして漁師たちの語る当時の漁業もまた、今の田辺湾からは想像もつかぬような驚くべきものである。いくつか文章をぬき出して紹介しよう。

「春にはハマチ、ブリ、シマアジ、イワシなど、夏から秋にかけてはマグロ、カツオなど、毎年のようにやって来た」「シビ(若令のマグロ)など、数知れぬほどの群れが次々と湾内奥まで、背ビレ尾ビレを二、三十センチくらい出して泳いでいる姿は壮観」「漁師が、海の中に赤く見えるので、磯だと思って網を入れたところ、シビの大群で、網をかつぎ去られたという笑い話も」「マグロも大物になると背負いきれないので、浅いところに近づいてきたものをカギでかけ、仰向けにして岸に上げた」「どこでアイ(アイゴ)を、ここでボラを、チヌ(クロダイ)をと、至る所で思うさま自由に取ることができた。まるで置いたものを持ち帰るような…」「谷川の清流が直接海に注ぐ各川口には、無数の稚魚類が、エサの多い静かな水域で育ってだんだん外海に出て、また産卵期には内海に入ってきては、産卵して育ってゆく」。養殖も行われていたが、海を汚さないカキやアコヤガイ(真珠)で、「組合員たちが安いながらの日当でも、ほとんどその収入だけで暮らしていた」。マグロ、カツオなど暖海性の大型魚が押し寄せるこの情景は、黒潮流域内湾としての田辺湾の潜在力を見せつけている。

しかしその後、水質汚濁に護岸、埋立てによる浅瀬、藻場の消失も加わり、豊かさを誇ったかつての田辺湾の内湾漁業の面影は、今はない。1990年代以降、湾の水質は改善しつつあり(p85)、藻場の再生も試みられるなど、復活の方向も芽生えている。しかし一方、汚濁の進んだ時期にかえって漁獲の増えた一部漁業を引き合いに、赤潮がひんぱんに出るくらい汚れた海のほうが漁業にはよい、などという混乱した主張も現れている<sup>73)</sup>。ここに紹介した昭和初期の漁業の記録は、漁業を含めた田辺湾の自然はどうあるべきか、原点に戻って考える上で貴重な資料といえるだろう。



図 昭和初期の綱不知湾。後方に  
島と小丸島が見える。文献12  
より。

### その他の変動情報

2章の潮間帯生物の項で紹介したように、1950年代に全湾的な海岸生物の分布パターンが描かれたが（2章 図 2-10）、同様の調査は1990年代にも行われている<sup>165)</sup>。フジツボ、タマキビ、カキ、イガイの各グループについては共通に調べられているのでこれらについて比較すると、全般に湾内における分布パターン（湾口型、湾奥型など）はほとんど変わっていない。ただし、マガキとヒバリガイモドキについては、1950年代に湾奥～湾中央に限られていたのが、1990年代には全湾に広がっていた。この拡大は1990年ごろ起こったと考えられ（コラム 9）、マガキについてはのちに湾奥に後退したが、ヒバリガイモドキは2010年の現在まで、湾内全域に多いままである。

田辺湾の北岸一帯では、1992年以降、潮間帯のカキ類3種、イガイ類3種の分布が調べられている。カキ類では、調査を始めた時に最外部に限られていたケガキが、次第に湾奥へ広がり、1999年以降は枝湾内に達した（図 3-16）。逆にマガキは、ケガキに押されるように湾奥に後退し、2005年までに最奥部の3点にほぼ限定された。このほか、オハグログキも湾外で増えつつあるが、2005年時点で、天神崎を越えて湾内に進入するには至っていない。イガイ科では番所崎と同じく北岸でも、ムラサキインコの衰退とヒバリガイモドキの分布拡大が目立つ。ムラサキインコはもともと湾外～湾口部の種で、そのパターンを保ったまま、全体に密度を減らしつつある。一方ヒバリガイモドキは初めほぼ湾外～湾口付近に限られていたが、その後数年で湾奥に広がり、2005年には枝湾内にも普通に見られるようになった。ムラサキイガイは1992-94年に、会津川河口周辺に突発的に高密度に現れたが、1994年の夏に大量死して以来、北岸からはほとんど姿を消している<sup>30)</sup>。

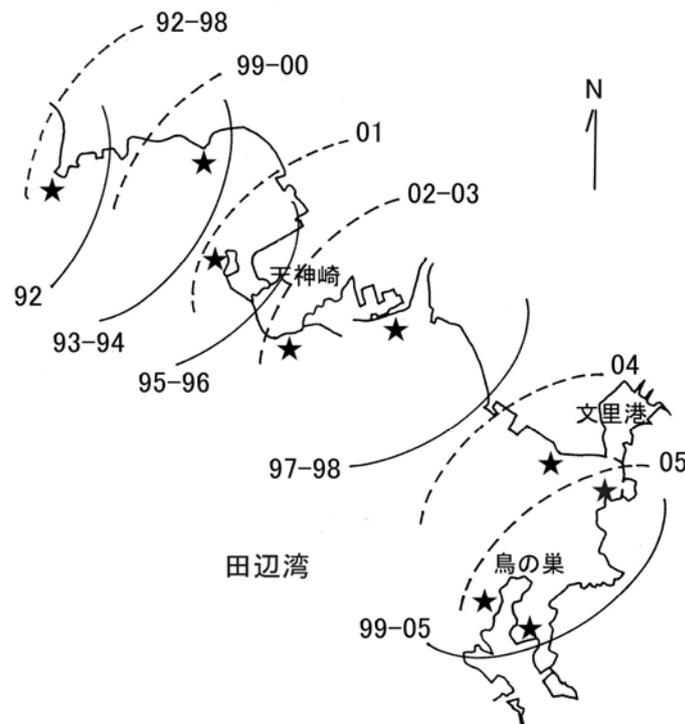


図 3-16. 田辺湾北岸の、ケガキ（実線）とマガキ（破線）の分布変化<sup>47)</sup>。ケガキでは実線の外洋側が、マガキでは破線の内湾側が、その年度の密度  $10 / 50 \times 50 \text{ cm}$  以上（200 m 海岸線での最大値）の範囲を示す。数字は西暦年号の下 2 ケタ。1992～2005 年まで、内湾に向かってケガキは伸展、マガキは後退した。★は調査定点。

湾奥部の干潟については、内之浦の1976–2001年の観察記録がまとめられている<sup>49)</sup>。この間、内湾の砂泥底種のヘナタリ、ドロアワモチやアシ原に住むカワザンショウなど7種が消えた。2001年に採集された貝類の死殻の中には、今は見られないカガミガイ、イボキサゴ、アラムシロ、ヒメカノコなどが含まれている。これらは砂質的な環境を好む種類で、この間に底質が泥っぽくなったことを示している。

魚類については、湾口部の番所崎の岩礁で、1970, 80, 90年代の浅海魚類相を比較した報告がある<sup>85, 159)</sup>。1970–80年代にかけて、場所によっては、春～秋に限って現れる暖海性の種が減った。一年中見られる種では熱帯性が減り、温帯性が増えている。一方、発見された全種数を3つの年代で比べると、前半1970～80年代までに減り、後半1990年代にかけて増えた。しかし1980～90年代の変化は1970年代の単純な復活ではなく、両年代で大きく個体数の異なる種が17%を占め、一部の種類が入れ替わっている。

潮間帯の海藻は、1977–96年までの記録から、畠島と番所崎の変化がわかっている<sup>197)</sup>。この20年間で、緑藻のスリコギツタ、アミモヨウ、キッコウグサ、褐藻のヒロメ、紅藻のカモガシラノリ、カギイバラノリなど、暖海または波当たりの強い岩礁の種が増えた。

プランクトンについては、田辺湾の赤潮発生の年変化の報告がある<sup>14, 18, 126)</sup>。赤潮の発生件数は、1970年代に増えて、1970年代後半から1980年代にピークを迎え、継続日数も長くなる傾向を示した。しかし1990年代以降は発生件数も継続日数も減り、2000年代に入ると、散発的に発生して短期間で消えるという状態になっている。赤潮を作る種としては、1980年代以降 *Heterosigma* などラフィド藻の割合が減り、*Myrionecta* (アカシオウズムシ) など繊毛虫や珪藻類が増えた。一方有毒種として知られる渦鞭藻の *Karenia mikimotoi*, *Alexandrium catenella* が大発生しなくなるなど、種類相が変わってきている。

近年国外からの生物の移入、帰化の問題が注目されているが、海産種についてもよく調べられるようになってきた。これまで日本で移入種と判定されている種<sup>11)</sup>のうち、田辺湾では10種程度が確認されており、シマメノウフネガイ、ミドリイガイ、タテジマフジツボなど8種の変遷がまとめられている<sup>39)</sup>。これらはほとんど内湾・北方性の種だが、それは移入種の一般的性格といってよい。このうち情報の豊富な種についてまとめると、ホンダワラコケムシは1960年代に田辺湾で発見されて以降増え、1980年には内湾部に高い密度で見られた。しかしその後減少し、2000年代には湾奥部にまれに見られる程度である。ムラサキイガイはヨーロッパ原産で、1930年代の初記録以来、引き続き内湾部に存在したようだ。1990年代に入って全湾に広がったが、1994年の夏に大量死して以後は、湾奥に限られるようになった。この種の密度変動は激しく、大增殖したと思うと、大量に死んで死殻が打ち上がることもある(図3-17左)。ミドリイガイは東南アジアからの移入種で、田辺湾周辺では1980年から記録があるが、その後2000年代にかけて、内湾部を中心にしばしば見られるようになってきた。はじめは筏やブイなど人工的な基盤に限られていたが、2000年代以降は自然の岩礁上でも発見されている(図3-17右)。ただしミドリイガイについては、以前から黒潮経由で幼生が流れて来ながら低温で生育できなかったものが、近年の水温上昇で田辺湾に定着できるようになったのかもしれない。タテジマフジツボは熱帯太平洋原産で、1930年代に始めて田辺湾で記録された。その後遅くとも1960年代には普通種となり、2000年代まで引き続き生息している。各移入種の田辺湾での初記録は1920～2000年代とまちまちで、その後の変動についても、初発見以来ほとんど記録がないもの(カサネカンザシ、ヨーロッパフジツボ)、内湾部に細々と生息しつつ、時に大発生するもの(ムラサキイガイ、ホンダワラコケムシ)、徐々に増加しているも

の（ミドリイガイ）、普通種として安定的に存在するもの（タテジマフジツボ）など、さまざまである。

移入種に対する一般的なイメージとして、短期に侵入して爆発的に増殖し、生物相を席卷する、というのがあり<sup>1,77)</sup>、田辺湾の場合、ムラサキイガイ、ホンダワラコケムシがこれに近い。激しい密度や分布の変化は、土着の種であるヒバリガイモドキやマガキでも起こるが（コラム9）、移入種とされるものでは、その傾向が目立つということは言えそうだ。



図 3-17. 左) 大量死して打ち上がったムラサキイガイの殻（畠島）。右) 自然岩礁のミドリイガイ（鳥の巣）。

#### 4. 田辺湾の環境変化

生物相の変化について述べたあとは、その原因論に進むのが順序である。しかし生物変動の背後には環境の変化がある。そこでまずこの点を押さえておこう。田辺湾を取り巻く環境は、良かれ悪しかれ変化してきた。そのスケールは地質時代的なものから数十年～数年、数ヶ月単位、さらに日々の変化までさまざまだが、ここでは数十年以上のスケールに注目し、田辺湾の環境がどのように変わってきたのかを見る。それをふまえて、最終項の変動要因論に進むことにしたい。

##### 地形

この章の初めに見たように、縄文海進当時、田辺湾の大体の形ができあがったころ、内湾、干潟の部分は今よりはるかに広がった。その後数千年かけて海水位が下がり、地盤が持ち上がり、川による埋立てが進んで、内湾部は次第に狭まって行ったと考えられる。それでも明治末までは湾岸に人工的な構造物はほとんどなく、最湾奥部まで自然な海岸線が保たれていたことが、当時の地図を見るとわかる。その後埋立てや護岸の建設により、湾奥部の状態は大きく変わった。1946年と2000年の海図を比較すると、この間、湾全体で約57haが埋め立てられたと推定される。このうち77%の44haは文里、綱不知などの枝湾部で、干潟を中心に浅い海域が減った<sup>34)</sup>。とくに1963年、東岸に白浜道路が貫通すると、それに伴って各枝湾は埋め立てられるか、湾本体と切り離され、周囲は護岸化された。内湾部の縮小は、縄文海進以来数千年にわたって続いてきたことだが、とりわけ

昭和期以後、急速に進んだと考えられる。

ところで、埋立て面積を計算したときには、海上保安庁発行の田辺湾海図を使った。初めは国土地理院の5万分の1地図で作業していたのだが、陸上に重点があるのか、海岸線の方はあいまいである。元となる航空写真が撮られたときの潮位の高さなどにもよるのだろう。一方、海図の海岸線は正確だった。1946年と2000年の海岸が、自然海岸の部分でびたりと一致し、どこを埋めたのかが一目でわかる。1946年の海図は、戦前の日本海軍の測量によるもので、欄外に「我が海軍ノ測量」と但し書きされている。半世紀以上前の測量が今と同じ精度とは驚きである。そういえば、黒潮の大蛇行を発見したのも海軍だった (p 9)。帝国海軍を賛美する気はないが、その技術的正確さには興味がある。「戦争が科学を進歩させる」という言葉があるが、これもその一例であろうか。

### 気象と海象

田辺湾で気象や海象、水質、底質などがひんばんに調べられるようになったのは1950年代より後である。この期間の田辺湾の環境について、いろいろな項目を評価した報告<sup>15, 42)</sup>をもとに検討してみる。まず気温は、1955年に白浜で観測が始まってから2005年まで、冬夏ともに有意な変化は見られない。ただ夏については、前半の1980年代までやや低下した。一方、南の潮岬ではさらに古くからの記録があり、1913年から2005年まで冬夏ともに1℃ほど上がっている。

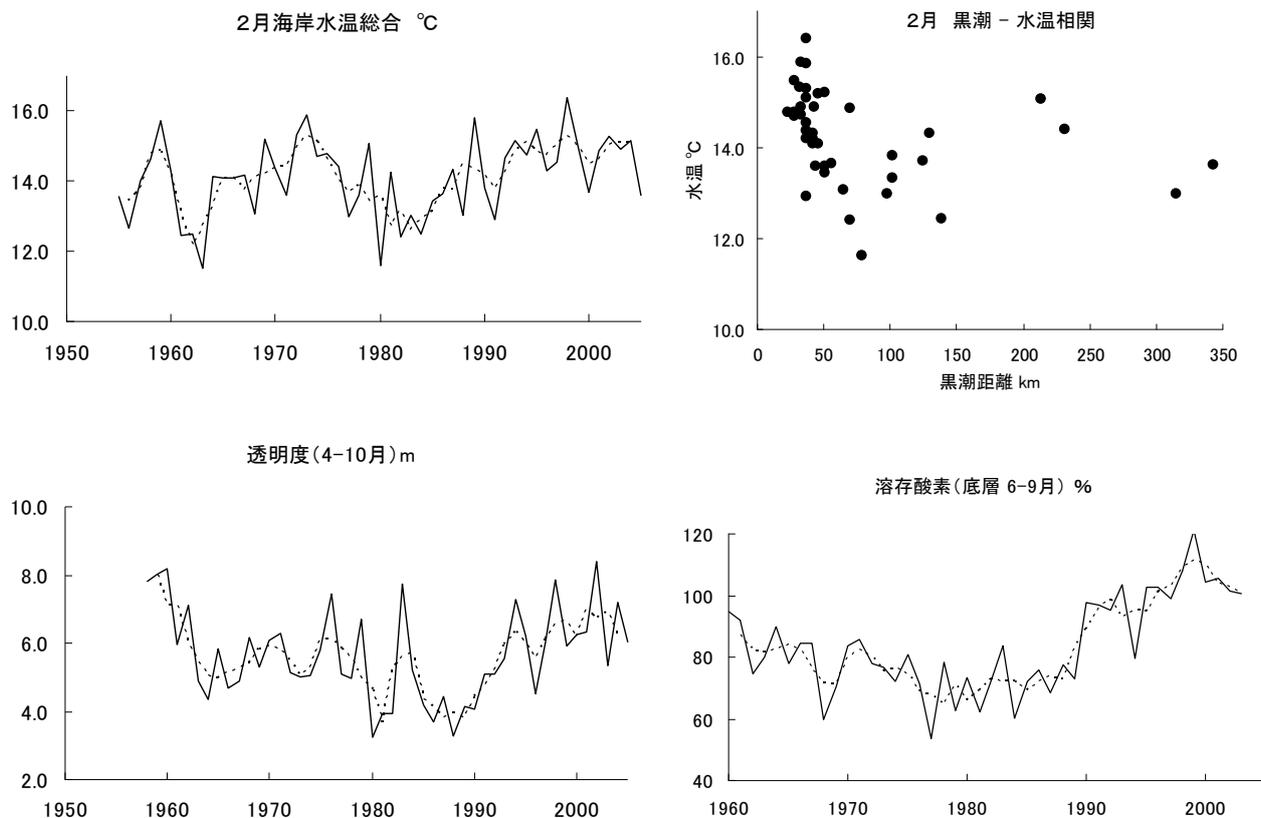


図 3-18. 田辺湾の水温、水質の年変化 (全湾平均値)。文献 42 より。点線は3点移動平均値。

田辺湾の冬の海岸水温は図 3-18 左上のように変化した。計算すると 1955-2005 年の間、平均して約 1 °C 上がっている。1960 年代と 80 年代に特に低かったが、これらの時期には田辺湾を含む紀州で、熱帯性海産生物へのダメージが報告されている<sup>103, 346)</sup>。1980 年代以後 (1981-2005 年) の上昇は明らかで、その幅は 2 °C 近い。ただし 1990 年代半ばからは頭打ちになっている。夏の変化は図に示さなかったが、冬ほどはっきりしない。ただ 1980 年代が底であることは 2 月と同じで、前半の 1955-1980 年に 1 °C ほど下がった。以上を総合して、田辺湾の温度条件は、1980 年代前半まで低下、その後上昇という大まかな傾向がある。気温と水温の間には強い相関があり、気温が水温に影響していると考えられる。

黒潮が水温や幼生の供給を通じて、紀州の生物相に影響することは 1 章でも見た。1960 年代以降の、潮岬から黒潮の流軸までの距離の変化を見ると (1 章 図 1-16)、まず 1976-79 年の、異常ともいえる離岸傾向が目をつく。いわゆる「黒潮の大蛇行」である。このとき黒潮は紀伊半島沖で大きく南にカーブして、潮岬から 200 km 以上も遠ざかり、蛇行して東海地方に接岸していた (1 章 図 1-7)。それ以外の時期は、30-50 km 前後をベースとして、時おり 100 km 程度まで離れるということをくり返している。1990 年代以降で見ると、1990 年代半ばからやや離岸しつつあるように見える。1 章で、潮岬の西側では黒潮の離岸距離 50-60 km までは黒潮が近いほど水温が高くなることを示したが、田辺湾ではどうだろうか。図 3-18 右上は、潮岬から黒潮までの距離と、田辺湾の海岸水温の関係を示している。これを見ると、距離 80 km 程度までは強い逆相関がある。1965-2005 年では、ほぼ 80% の年がこの 80 km の範囲内にあるから、田辺湾ではほぼ、「黒潮が近いと水温が上がる」という関係が成り立っていることがわかる。

### 水質と底質

水質については、透明度と底層溶存酸素の値が図 3-18 下のようなになる。透明度は文字通り海水の透明さの度合いで、プランクトンなど浮遊物質が増えると下がる。底層の溶存酸素は、底泥に有機物がたまとそれを分解するために使われて減り、はなはだしい場合は無酸素状態に近くなる。このためどちらも有機汚濁、富栄養化の指標という面を持っている。これらの変化を見ると、1950-70 年代にかけて徐々に下がり、1980 年代初めごろ最低になったあと、2000 年代にかけて上がっている。このほか水中の懸濁物量、底泥の強熱減量 (泥を高温に熱したときの減少量で、有機物が多いと高い) も似たパターンを示す。以上から 1950-60 年代以降、田辺湾の富栄養化が進み、1980 年代初めにピークに達したあと、次第に回復して今に至った、と考えることができるだろう。

ただし、いわゆる水質汚濁というのは、有機物負荷に限られるわけではない。同時に様々な化学物質が水域に出されているはずである。可能性としては洗剤に含まれる界面活性剤や、各種の重金属類などがある。ここで注目されるのは、1970 年代から続けられている、ウニ卵を用いた生物検定の結果である (図 3-19)。海産生物の卵や幼生は、親に比べて有害物質の影響を受けやすい。そこで採取した海水の中でウニ卵を発生させ、異常な発生を示した卵の割合を調べる。この率を海水の有害度とする。田辺湾では、有害度は 1970 年代から 80 年代にかけていったん下がった後、上昇して第二のピークに達し、その後下がって今に至っている。全体としては改善傾向にあるといえる。

### 湾奥部ウニ卵有害度

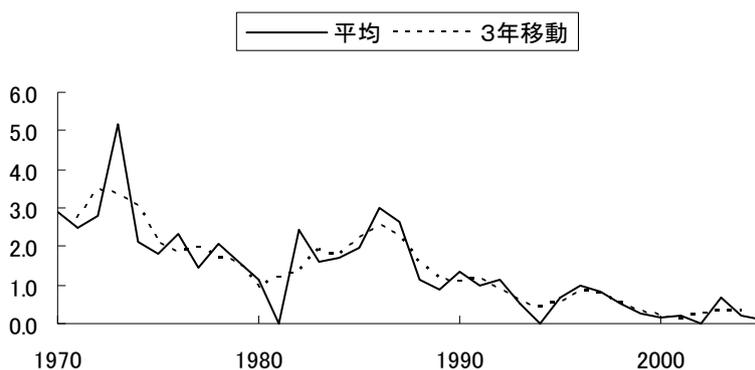


図 3-19. ウニ卵に対する田辺湾奥部の海水有害度の経年変化（点線は 3 年移動平均）。湾南部の表＋底層の平均値で示す（有害度は 1988 年以降の基準に統一）。文献 96, 284 をもとに作図。

## 5. 生物相の変動要因

生物と環境の情報をふまえて、生物変動の要因について議論する土俵がととのった。地質時代にまでさかのぼる話をしてきたので、問題とするタイムスケールは様々である。異なるスケールの話を同列に論じることには問題があるかもしれないが、一方、もしそれらに共通な要因が見出されたなら、生物変動の原動力としての、その要因の位置づけは、より重いものになるだろう。

### 地形要因－内湾縮小

縄文海進期前後に田辺湾の大体の形ができてから、海水位の低下や川による埋立てで湾奥部が縮小してきたことは既に見たが、それとともにハイガイ（図 3-2）やハマグリなど、広い内湾干潟に住む種が消えていった。さらに 1940 年代以後は、内湾部で人為的な埋立て、護岸化、閉鎖水域化が進み、さらに内湾種を衰退させたと考えられる。1920 年代に報告された畠島のシャミセンガイ（＝ミドリシャミセンガイ、図 3-3）や畠島以外の湾奥部のギボシムシ（＝ワダツミギボシムシ）がみられなくなり、1940 年代以後、カワアイ、コゲツノブエなど内湾干潟の貝類の多くが衰退した。現在瀬戸内海などの内湾干潟に限られるカブトガニが、1940 年頃まで田辺湾にいたとされるが<sup>131)</sup>、これもその後姿を消している。内之浦では泥地化が進んで、貝類が砂地性から泥地性の種に置きかわり、また湾岸道路の建設や海岸の護岸化のあと、カワザンショウやドロアワモチが消えている。アマモ、コアマモなどの藻場について年変化のデータはないが、内湾部の埋立てとともに減少してきたことは確実である。海草類はさまざまな生物の付着基盤であり、魚類の稚魚等の生育場でもあることから、その消失は湾内生物相に与える影響が大きい。京大実験所に長く勤めた布施慎一郎博士によると、細野浦など、かつては奥の方までアマモが密生し、船が進むにも差し支えるほどだったという。ここは白浜道路で分断され、奥部は埋め立てられて今はない。このあたりを通過するたびに、谷間に密集する住宅を見ながら、かつてのアマモ群落の生物相の多様さを想像するばかりとなっている（図 3-20）。田辺湾では、内湾種が数千年スケールで衰退してきたが、とりわけ近年、人間活動の影響でそのスピードを速めているようだ。

図 3-20. 細野浦奥部。埋立て前はアマモの密生する入江だったが、今は谷あいの住宅地となり、わずかに水路の部分にかつての面影を止めている。2010年4月。



### 温度

生物と環境のデータが共に充実してくる 1950 年代以降には、温度によると考えられる生物変化の例が多くある。田辺湾の水温は、1980 年代を底として V 字型に変化したが、これに合わせて南方性の種が 1980 年代にかけて減り、その後増えた。このことは畠島南岸の無脊椎動物、番所崎の海岸貝類、潮間帯の海藻類、魚類の漁獲量について示されている。

海産種に対する温度の影響としては、低温と高温の両方がありうる。低温については、1 章でふれた寒波と熱帯系種の大量死があげられる。このような突発的な現象だけでなく、畠島の無脊椎動物や番所崎の貝類では、数十年のスケールで、南方性種の割合が冬の水温と平行して変化している。低温条件は恒常的に南方性種の死亡率をコントロールして、生物群集の構成に影響しているようだ。高温の影響は、夏と冬の場合がありうる。夏については、猛暑と言われた 1994 年の 8 月にムラサキイガイが大量死し、全湾的に衰退したことがあった<sup>30)</sup>。一方、冬の高温については海藻の例がある。田辺湾では地元の漁業者が、ヒジキ、テングサ類、フノリ類 (図 3-21) を、食用や加工用に採取しているが、暖冬の年にはそれらの生育が悪いという。実際に冬の温度と海藻集荷量を調べると、ヒジキとテングサ類について逆相関があり、冬暖かい年にはその後の海藻の収量が低く、これは採取家らの印象と一致する<sup>28)</sup>。ムラサキイガイ、ヒジキは北海道まで分布し、サンゴ礁魚などに比べると北方的である。田辺湾では、南方的な種は低温、北方的な種は高温のダメージを受けやすいという、ある意味で常識的な傾向がみられる。



図 3-21. 田辺湾で採取される主要海藻類。左からヒジキ (畠島、米本憲一氏撮影)、テングサ類 (畠島)、フクロフノリ (目津崎)。

温度には気温と水温があるが、どちらが重要だろうか。まず、気温が直接に海の生物に影響するのは引き潮の潮間帯だけである。1963年の冬、干潮時に気温が下がったことで潮間帯種が多く死んだと言われている<sup>346)</sup>。しかし1963年の低温は、1955–2005年でみると水温が低さで1位(図3-18)に対して気温は5位で、むしろ水温の下がり方が著しい。また、番所崎の貝類について試みに検討した結果でも、水温は南方性種の優占度に影響するが、気温はそれほどではない<sup>40)</sup>。従って潮下帯はもちろん潮間帯でも、生物に対しては、気温より水温のほうが重要であるらしい。この理由はよくわからないが、潮間帯種は干出時に活動を停止するものが多く、代謝が低い状態にあるために、気温の低下には抵抗性があるのかもしれない。ただし環境のところで述べたように、表面近くの海水は気温の影響を受けるから、水温を通じた間接的な影響はありうる。

## 黒潮

黒潮が生物の存在状態を左右する道筋としては、黒潮によって幼生が運ばれてくるという直接的なもの、黒潮が水温や水質を変化させ、それが生物に影響するという間接的なものが考えられる。幼生、稚仔の供給については、その量や供給源を確かめた研究は見当たらないが、1章で見たような浅海魚を中心とする様々な状況証拠から、それがあつことはまず疑えない。番所崎でも、南方性貝類の変動パターンは水温だけでなく、黒潮の接近度を要因として加えることによって、よりよく説明できることが示されている<sup>40)</sup>。これらは黒潮による幼生供給が、生物相の構成に一定の役割を果たしていることを推測させる。

一方、水温を通じた間接的な作用は、黒潮が潮岬から80 km以内を流れるとき、黒潮が近いほど水温が上がるという事実(図3-18)から支持される。水温は南方性種の優占度に関係するから、黒潮が近いほど水温が上がって南方性種が増える、ということになる。

## 水質

いくつかの水質、底質の指標から、田辺湾で1960–80年代に有機汚濁が進み、そのあと2000年代にかけて軽減したことがわかるが、生物相にもこれに対応する変化が見られる。湾内の赤潮の発生は1970年代から増し、1980年代をピークとして減りつつある。1930年代と1990年代の潮下帯ベントス相の比較では、1940年代の、多毛類に軟体動物、棘皮動物、甲殻類を交えた多様な生物相から、多毛類がほとんどを占める単調な生物相に変わったが、このような現象は、これまで富栄養化した海域で広く認められてきたものである<sup>136, 321)</sup>。同時に、過栄養域に多いゴカイ類の種が湾奥部で優占するようになった。また島島の海岸生物のE/O比(貧栄養性種に対する、富栄養性種の割合)も、1980年代と1990年代には、その前後に比べて高い値を示す。1980年代の南部湾奥では、富栄養水域を好む海藻のアナアオサとホソジュズモが大発生し、大量に打ち上がる光景も見られた(図3-22)。湾北部でも1990年代以降の水質改善につれて、富栄養性のマガキが湾奥に後退し、貧栄養性のケガキが増えている。番所崎の貝類のうち、懸濁物食のグループが年々減少しているのも、周辺の水域で同期間に水中懸濁物や栄養塩の濃度が低下していることと平行している<sup>47)</sup>。以上のように有機汚濁は、最近数十年の田辺湾の生物変化に深くかかわってきた可能性がある。



図 3-22. 海岸に打ち上がったアナアオサのかたまり。1983 年 10 月、藤島。

田辺湾の水質を支配する要因は、1950–2000 年代のデータの分析から、湾外との水の交換と、周辺からの有機物流入の 2 つと考えられている<sup>42)</sup>。このうち水交換は、これまでに見てきたように、黒潮系外洋水の貫入や湧昇によって起こり、湾内の地形がこれを制約している。一方、有機物負荷の主な原因は人間活動で、これは水質以外に底質にも影響する。田辺湾の北岸には田辺市、南岸には白浜町があつてそれぞれ人口を抱え、また白浜は南紀有数の観光地として、旅館、ホテルや保養所などが多い。田辺湾への有機物負荷の内訳を検討した結果<sup>125)</sup>によると、1980 年代半ばの田辺湾の集水域の人口は、北岸の田辺市に約 61000 人、南岸の白浜町、上富田町合せて 8100 人で、田辺市側が圧倒的に多い。有機物負荷を COD に換算して内訳を見ると、家庭排水が最も多く 85% を占め、このうち田辺市の比率が 90% である。逆に観光業からの負荷は白浜町が最も多く、全体の 67% となっている。その他も合わせた全有機物負荷は、田辺市が 88% で最大である。これだけ見ると、田辺湾への有機物の流入は北岸の田辺市街からの排水が最も大きいようだが、この検討には南部湾奥の、ブリ、マダイ等の養殖漁業が含まれていない。養殖漁業では餌の食べ残しや魚の排泄などによって、有機負荷が発生する。田辺湾では評価されていないが、紀伊半島東岸の尾鷲湾では 1970 年代、その量は湾岸からの全有機物負荷の 80% 以上にもなっていたという<sup>102)</sup>。

これらの発生源からの、負荷の年変化はどうだろうか。湾岸の人口は 1947–1995 年の間に約 1.2 倍の増加で、それほど激しくはない。一方南岸の白浜町は、近畿有数の観光地で、田辺湾側にも多くの宿泊施設がある。白浜町の観光客数は、1940 年代以後急激に伸び、1942 年の 22 万人に対して 1980 年は 335 万人と約 15 倍になったあと、ほぼ横ばいの状態を続けている。また、1960 年代には湾南部でブリの養殖が始まり、のちにマダイを加えて、その水揚げは 1980 年代後半に最大となった。このあと 2000 年代にかけてほぼ半減している。観光客数と養殖魚生産量は、最も水質が悪化した 1980 年代にピークに達していることが注目される。1970–80 年代の田辺湾南部の高い栄養塩濃度や赤潮について、養殖漁業からの負荷が主な原因となった可能性が指摘されている<sup>15, 18, 124)</sup>。

ウニ卵有害度から見た水質は過去数十年、全体として改善傾向にあるが、細かく見ると有機汚濁のパターンと違いがある。1980 年にかけて有機汚濁は進んだが、逆に有害度は低下し、その後有機汚濁は改善したが、有害度は上昇している。このことは、有機物や栄養塩類以外の汚染物質が存在し、田辺湾において独自に変動している可能性を示している。ウニ卵の有害度は幼生期の死亡率をあらわし、幼生が死ぬことで親の数も減ることが考えられる。有害度を高める具体的な要因としては、洗剤に含まれる界面活性剤や各種の重金属化合物などがありうるが、有機汚濁に比べると情

報が少なく、検討が難しい。中で、船底塗料や養殖用のイケス網の防汚剤として使われる、有機スズ化合物については比較的情報が多く、1980–90年代の生物相に影響を与えた可能性がある（コラム8）。

## コラム 8 田辺湾の有機スズ

海に浮かぶ船や魚類養殖用のイケス網には、しばらくたつとさまざまな汚れがつき、船のガソリンを余分に消費したり、イケス内の水循環を悪くするなど悪影響がある。「汚れ」の実体はフジツボ、貝、海藻などの付着生物だが、これを防ぐために、数十年前から有機スズを含む塗料が使われるようになった<sup>95, 177)</sup>。有機スズ化合物には、TBT（トリブチルスズ）系とTPT（トリフェニルスズ）系があり、共にきわめて毒性が強い。このため防汚剤として特効があるが、同時に一般の海洋生物にも害がある。その一つとして、アクキガイ科（イボニシを含む）などの巻貝類に、極微量でインポセックス（メスにペニスを生じて生殖不能に至る現象）を引き起こすことが明らかになった<sup>177)</sup>。いわゆる「環境ホルモン」である。こうしたことから、1980年代以降に規制が強化され、TBT系の一部は1990年までに製造、輸入、使用が禁止、それ以外の有機スズ化合物についても、いろいろな制限が設けられるようになった。

田辺湾での状況はどうか。まず、有機スズ塗料の使用自体は、筆者の聞き取りや、かつて養殖用のイケス網が設置されていた付近の海底から高濃度のTBTとTPTが検出されている<sup>286)</sup>ことなどから確実である。使われ始めた時期については、1970年代末ごろという情報がある。田辺湾の場合、実際に使用されていた有機スズ塗料の毒性が調べられ、50tの海水にわずかさポイント1滴で、ウニの発生を妨げるという結果が出ている<sup>94)</sup>。ウニ卵に対する海水の有害度については本文中でもふれたが、1980年代前半、一般的な有機汚濁の指標が水質の改善を示しているにもかかわらず、ウニ卵有害度は逆に上昇している。実は1980年ごろを境に、有害度の出現パターンも変化し、それまでは夏の底層にやや高い値が出ていたが、これ以後きわめて毒性の強い海水が、全季節の表層にみられるようになった<sup>285)</sup>。夏の底層の水質悪化は有機負荷の多い海域の特徴であり、全季節の表層というのは船底塗料や漁網防汚剤の使用パターンと一致する。一方、畠島海岸のウニ類の密度も、1980年代初めに急激な減少を示した。有機スズに弱いとされる、アクキガイ科についての情報もある。1980年代初めに行われたイボニシの全国調査では、白浜産のサンプルに、全国で2位の高い割合でインポセックスがみられた<sup>148)</sup>。畠島のアクキガイ科は、1983年までに目立って減少し、それをめぐって調査グループ内で議論があったことは、本文で触れた通りである（p70）。しかし1990年代からはこれらと逆の変化が起こり、海水のウニ卵有害度は改善、海岸のウニ密度は反転上昇した。前半の生物衰退傾向、後半の回復が、それぞれ有機スズの使用開始、規制強化の時期と重なっていることは注目される。このような状況証拠から、有機スズは特定種だけでなく、田辺湾内湾部の海産生物に広く影響を与えた可能性がある。

TBT系の一部は使用禁止になったとはいえ、他のTBT、TPT系は、届出性、許可制などの形で使用され続けている。船底や漁網に付く生物も、海岸に住むものも、同じ付着生物である。片方だけ消えてくれとはいかないところに、この問題の難しさがある。根本的な解決には、何らかの発想の転換が必要かもしれない。

## 種間関係

種間関係は、生物の種どうしの、捕食、競争、共生などの関係のことである。「A種が増えることでB種が減る」というケースのように、それが特定の種やグループの変動の原因になることがある。ではなぜA種は増えたのか、ということになり、突きつめれば何かの環境条件に行き着くことが多いだろう。しかし種間関係は環境条件に上乘せする形で作用し、変動の要因になりうる。実際田辺湾では、生活要求の似た近縁種の間で、一方が増えると他方が減るという逆相関的な変動が起こっている例がある。たとえば畠島のムラサキウニとタワシウニ、番所崎のヒバリガイモドキとムラサキインコ、肉食性巻貝と懸濁物食の二枚貝、北岸のマガキとケガキなど。ヒバリガイモドキとムラサキインコは、共に潮間帯にマット状の群落を形成する。前者のコロニーには泥がたまり、後者の稚貝が定着できないため、ヒバリガイモドキがムラサキインコの分布を制限しているという報告がある<sup>279)</sup>。カキ類の場合、田辺湾周辺の普通種としてオハグログキ、ケガキ、マガキの3種があるが、成長速度はこの順に大きくなる<sup>47)</sup>。一般に成長が速い種は、それだけ多くのエサを必要とする。したがってこれらが混在した場合、マガキよりケガキ、ケガキよりオハグログキの方が、より少ないエサで耐えられる分、競争に有利といえる。

しかし増減における逆相関は必ずしも種間関係の証明ではなく、それぞれの種やグループが、与えられた環境条件に対して逆に反応した結果、たまたまそうなったとも考えられる。たとえば、ヒバリガイモドキは南方性、ムラサキインコは北方性種なので、それぞれが温度上昇に対して反応して、前者が増え、後者が減ったと考えても不自然ではない。マガキとケガキの交代も、栄養条件がその背景にあるだろう。もう少し可能性の高い現象もある。番所崎ではセミアサリという二枚貝が目立って減っているが、この種はヤッコカンザシという、石灰質の殻を持つゴカイの群落に埋もれるように住んでいる。ヤッコカンザシは、調査期間を通じて減りつつあり、これはセミアサリにも影響しているとみられる。サンゴもその群衆の中に甲殻類、多毛類、貝類などを住ませ、また熱帯性魚類の餌場、隠れ場にもなって、全体としてサンゴ礁群集という生物のまとまりを作っている。田辺湾ではサンゴの広範な衰退が見られているが、いろいろな種の棲息基盤となるサンゴの消滅が、その他の構成員に影響を与えることは明らかだろう。

## 採捕

田辺湾だけでなく、紀州の海岸では広く地元住民によって海岸生物が採取され、大潮の干潮時ともなれば、アクセスの容易な海岸で、磯採集の人の姿を見ないことはほとんどないといってよい。田辺湾周辺では、主に海藻と貝類が採捕の対称になっている。漁業の対象としては、海藻のヒジキ、テングサ類、フノリ類、貝ではトコブシが代表的なものである。このほか地元の人々によってよく採られているのは、イボアナゴ、ギンタカハマ、スガイ、クボガイ類、マガキ、マガキガイ、カリガネエガイなど。転石、砂地ではシオヤガイ、ハボウキガイ、またかつてはアサリ、イソハマグリ。釣り餌用にゴカイ類も対象になる。変わったところでは甲殻類のカメノテも、地元で「セイ」と称して食用になり、この採集も2000年代に入って増えてきた。

このように海の生物には、常に人による採集圧がかかっており、採集圧の変化が生物相に反映するかもしれない。畠島のウニ調査区では、食用種であるムラサキウニの密度が1977年に急減したが、これについて、調査直前に周辺でウニが取られていたことが指摘されている。番所崎の貝類調査区では日常的に採捕が行われているが、その対象種が近年減りつつある。また、イシサンゴ類についても、1920年代以降に湾内で激減したが、その原因の一つとしてみやげ物用などの採集があ

げられている<sup>141,142)</sup>。単に取られる種だけが変化するのではなく、それに関連する種も影響を受けることがある。サンゴが減ることの影響は前項で述べた。あるいはヒジキの群落(図3-21)の中や下には、海藻類につく小型の巻貝やウミウシ類などが多く、これらはヒジキが刈り取られると姿を消す。カメノテはしばしばムラサキインコと混在してコロニーを作っているが、ムラサキインコはカメノテの存在によって波や乾燥から守られ、そのためカメノテがいなくなると生残率や成長が低下するという研究例がある<sup>282)</sup>。つまり採捕は対象種だけでなく関連する種も変化させ、ひいては生物相変化の原因にもなりうる。たとえばムラサキインコが最近減っているが、これには温度条件に加えて、カメノテ採集の影響もあるかもしれない。

採捕の影響を調べるには、採捕量を記録し、保護区を設けて保護区内外の生物相を比較するなど、実験的、定量的な研究が必要だが、田辺湾ではまだ実現していない。このようなテーマは、漁業や自然保護の面からも重要な意味を持っている(4章コラム10参照)。

### 温暖化と田辺湾

最後に、温暖化と田辺湾の生物の問題にふれておきたい。いわゆる地球温暖化が注目されるようになってから、豪雨、猛暑などの気象現象や生物の変化が、しばしば温暖化と結びつけられて語られるようになってきた。しかしその中にはどれくらいの根拠があるのか疑わしい例もないわけではない。紀州の海の生物の場合も、熱帯系、南方性の種が新たに発見されると、地元の新聞などでそれが温暖化の一つの現れであるかのように報道されることがある。これについて考えてみよう。

近年、地球全体の温度が上がりつつあり、その主な原因が二酸化炭素の排出など人間活動にあることについては、今ではほとんど疑う研究者はいない。全地球平均の最近100年の気温の上昇は $0.7^{\circ}\text{C}$ 、海面水温の上昇は $0.5^{\circ}\text{C}$ とされている<sup>278)</sup>。問題は、この地球温暖化が紀州や田辺湾の生物に直接影響を与えているかどうかである。このことが言えるためにはいくつかの条件がある。

まず、全地球的はともかく、ここ紀州の気温、水温は実際に上昇しつつあるのかどうか。紀州の沖を含む四国～東海沖の表層水温は、ここ100年の間に $1.3^{\circ}\text{C}$ 上昇しているという<sup>75)</sup>。また潮岬の気温は2005年までの93年で $1.0^{\circ}\text{C}$ 前後、田辺湾の水温も1980年代以降2000年代半ばまでに $1.1^{\circ}\text{C}$ 上昇している<sup>42)</sup>。全地球の平均値より上げ幅は大きい、紀州の気候もそれに連動して上昇しつつあると考えてよいだろう。

次に、紀州の熱帯性、南方性生物は本当に増えつつあるのだろうか。はじめにふれた熱帯性種の新発見だが、こうした報告は、近代的な形でこの地域の生物の研究が始まった1930年代までさかのぼる<sup>24,101)</sup>。もともと紀州の海は黒潮の影響を受けているから、南方からの偶発的な生物の移入は自然なことである。このような発見例が近年増えつつあるかどうか調べてみた。和歌山県の生物同好会誌「南紀生物」によると、和歌山県下でのこの種の報告は、1970年代が7件、80年代24件、90年代39件と年々増加し、2000年代(2009年まで)では18件とやや下がっているが、全体としては確かに増えつつあるようにみえる。ただし生物研究者、愛好家が増えたり、温暖化が注目されるようになったことで報告が多くなったとも考えられるから、これをもって南方性種が増えつつあるとは必ずしもいえない。このように人間活動が間に入るデータの解釈はむずかしく、より客観的な証拠が必要である。これまでのところ、和歌山県下で数十年にわたり生物相の変動が追跡されている例としては、畠島の海岸生物(p70)、番所崎の貝類相(p78)、田辺湾周辺の漁獲データ(p79)、串本の浅海魚類<sup>170)</sup>の4つがある。そしてこれらのいずれでも、1980年代以降、南方性種の割合が増しつつある。結論的にはここ30年来、たしかに紀州の海洋生物相は温暖化の傾向

を強めているといえるだろう。

ではこのような南方性種の増加傾向は、温度上昇のせいなのだろうか。熱帯性、南方性種の存在量を決める要因としては、本書で見えてきたように温度と黒潮の2つが考えられる。温度、特に冬場の水温が高くなると低温に弱い種が生き残りやすくなり、黒潮は幼生を供給することで、ともに南方性種の割合を高める。また黒潮が接近すると沿岸部の水温が上昇し、この意味でも黒潮の影響は大きい。黒潮は1980年代以降紀伊半島に接岸的な状態が続いている。私は、確認されている最近30年の田辺湾および紀州の南方性海洋生物の増加傾向は、基本的には黒潮の接岸が原因であると考えている。ただ、全地球的な温度上昇の一環としての紀伊半島周辺の気、水温の上昇も、それに加わる形で働いている可能性はあるだろう。また、黒潮の流況そのものも、全地球的な気候変動となんらかの関係があるかもしれない。エル・ニーニョと黒潮の蛇行が連動しているという報告があり<sup>72)</sup>、また全地球的に温暖だったとされる約6千年前の縄文海進のころは、黒潮の勢いが今より強かったと推測されている<sup>53)</sup>。ただし黒潮と気候の関係については、まだはっきりとわかっていないようだ。

以上は紀州ないし田辺湾、つまり個別事例の検討だが、温暖化の影響というのは、本来全地球的に考えるべきものである。地球温暖化が認められるまでには、世界中から豊富なデータが集められ、平均的な気、水温の上昇が割り出された。その中には変化していなかったり、逆に下がっているところもある。生物の場合も同じで、温暖化の影響は多数の地点を平均して評価しなければならない。生物の場合も世界規模での評価が試みられているが<sup>271, 353)</sup>、まだ十分とはいえない。田辺湾のデータも、将来その一部として活用されるときが来るかもしれない。

これまで知られている生物と環境の情報を総合し、田辺湾の生物相変動メカニズムについて、今の時点で考えられることを図3-23にまとめた。「地形」とは、埋立て、護岸などによる、特に内湾部の縮小改変のことで、自然現象としては数千年、人間によるものとしては数十年のスケールで起こってきた。「水温」と「水質」は共に直接に生物相に影響し、共にここ数十年についてくわしい情報がある。水質の具体的な内容としては、有機汚濁・富栄養化が比較的是っきりしているが、ほかの化学物質や塩分(コラム9参照)なども加わる可能性がある。黒潮は南方性種の幼生を供給することで直接に影響を与える一方、湾内への外洋水の貫入を通じて水温、水質をコントロールし、間接的にも作用する。「その他」としては、種間関係、採捕などが挙げられるが、以上に比べると今のところ証拠に乏しく、今後の情報の充実が待たれる項目である。

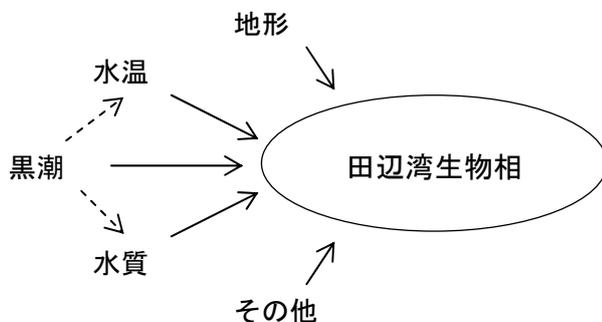


図 3-23. 田辺湾における生物変動要因のまとめ。

## コラム 9 田辺湾の 1990 年問題

1990 年ごろ、田辺湾の海岸景観を一変させる変化が起こった。ヒバリガイモドキとマガキの 2 種の二枚貝が、湾内に大増殖したのである。それまで湾口部の一部に限られていたヒバリガイモドキが、湾内の広い範囲に密なコロニーになって現れ、逆に湾奥部に限られていたマガキは、湾内一円から湾口を越えて外に広がった。このころの地元貝類同好会誌には、次のようにある。「昨年（1990 年）ごろから田辺湾全域にマガキが一面になり、カキの養殖などバカバカしい限りとなった」<sup>186)</sup>。ではなぜ、この時こんな変化が起こったのだろうか。現在得られる証拠に基づき、一つの仮説を示してみる<sup>35)</sup>。

もともとヒバリガイモドキは、田辺湾の湾奥寄りに分布する普通種だった。それが 1970 年代半ばに衰退し、湾内からほぼ一掃された。1980 年代に確実な記録があるのは、南湾口の番所崎だけである。北湾口の天神崎にも、ほとんどいなかったようだ。それが 1990 年ごろ湾中央部に激増し、数年かけて最湾奥まで進入して、現在（2010 年）に至っている。こうしたドラスティックな変化の背景には、おそらく田辺湾の水質変化がある。この章で見たように、田辺湾の水質は 1980 年代前半に最も富栄養化した。有機スズをはじめ化学物質などの負荷も、中～後半にかけて大きかったと推測される。この当時ヒバリガイモドキが生き残っていた番所崎は、2 章で見たように清澄な外洋水に洗われ、しかも地形が複雑で波浪から守られ、水のきれいな内湾を好む、この種の生存に適している。一方天神崎周辺は、南湾口にくらべて水質がよくない。この時代、番所崎がいわばシェルターになっていたのだろう。その後 1990 年前後になって湾内の水質がヒバリガイモドキの生存に耐えるレベルに戻った結果、湾口部の個体群が湾内に幼生を送り込み、爆発的な増殖が起こったと考えられる。

マガキについては、1950 年代以降湾奥部で記録があるが、1990 年ごろに突然湾外まで広がった。田辺湾のマガキは全体としてその後 7-8 年かけて湾奥部に後退し（図 3-14）、再び湾奥中心の分布に戻っている。マガキの分布拡大は、汚濁の軽減だけでは説明できない。そのあと水質の改善傾向が続いているのに、分布が縮小しているし、またもともとマガキは富栄養水域を好む種である。何か別の要因がからんでいるらしい。

マガキは低塩分を好み、幼生の発生好適濃度は 20-26 ‰<sup>217)</sup>。田辺湾の湾央-湾口の塩分濃度はふつう 33-34‰だから、これではとても耐えられない。かろうじて川の水の流れ込む湾奥で、世代をつないできたのだろう。しかし 1989 年に、湾内の塩分濃度は急低下する。マガキの産卵期は 6~9 月だが、1989 年 9 月は、月平均塩分が 1970 年以降の最低で、湾口部でも 30‰台まで下がった（次ページ図）。これは、ほぼマガキ幼生の発生限界濃度である。原因は雨と思われる。1989 年 9 月の降水量は 639 mm で、1950 年以降で 2 番目に高い。秋雨前線と台風によってもたらされた大量の雨が湾内の塩分濃度を押し下げ、低塩分を好むマガキの幼生に大量定着のチャンスが生まれた。ただ、一つ気になるのは、1982 年の夏にも、1989 年に匹敵する塩分の低下が起こっているのに、マガキの増殖は報告されていない。この頃は湾内汚染の最盛期で、さすがに富栄養性といわれるマガキも、分布を広げる力を持たなかったのであろうか。

ヒバリガイモドキの増殖は汚濁の軽減を主な要因とし、一時湾内から追い出されていた、他のケガキなど貧栄養性種の、湾内への再進入の先がけとなった。一方のマガキの分布拡大は、おそらく突発的自然現象による。これらはそれぞれ異なるメカニズムで引き起こされ、共に 1990 年の、田辺湾生物変動の一大エポックを現出させたのである。

北湾口塩分濃度 ‰

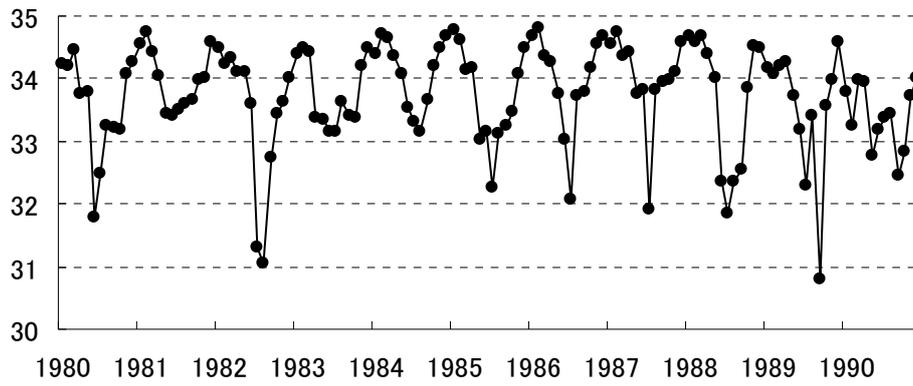


図 田辺湾北湾口部（目良）、塩分濃度の月別変化。1989年9月に30‰台を記録している。和歌山県増殖水産試験場データをもとに作図。

## 4章 世界の海では

### 1. 世界の長期ベントス研究

前章まで、田辺湾を含む紀州の海の自然と、そこでくり広げられる生物変動のありさまを見てきた。しかしそれらは、この地域に独特のものなのか、それとも、世界のほかの場所でも同じようなことが起きているのだろうか。この章では視野を広げて、世界の海の生物の長期変動について見る。海の生物といっても幅が広いので、底生生物（ベントス）に限り、潮間帯の固い基盤（岩礁）、柔らかい基盤（砂泥底、干潟）潮下帯の固い基盤（サンゴ礁）、柔らかい基盤（海底砂泥底）の4つに分けて紹介する。なお、個別の種についての情報も多いが、ここでは生物相全体の変化を視野に入れ、多くの種類を含む報告を扱う。また期間としては10年以上にわたるものに絞った。

#### 岩礁海岸

岩礁海岸の長期研究は、主に南アフリカと北米太平洋岸で成果をあげている。南アフリカでは、地元住民がイガイ類やカキ類を活発に採捕しており、その影響についてさまざまな調査が行われた。1980–90年代の14年間、延長百数十キロの範囲内にある3つの保護区域内（コラム10図参照）で、海岸生物を取除いた区画と、何もしないコントロール区をセットにして、写真撮影によって調べた報告がある<sup>247, 248</sup>。それによると除去区では、その後生物が復活したものの多様度が低く、個体数の変動は大きく、14年たってもコントロール区や除去以前と同じ状態にならなかった。人による採捕が長期的に影響を与えることを示している。一方、手を加えなかった区画では採捕区に比べて種類相は安定しているが、各種の個体数と多様度指数が約2年の周期で変動し、これは幼生がこの周期で多く加入することによると考えられている。多様度は、主に少数の普通種（笠貝、カキ類、タマキビ類）の増減に影響される。また、調査開始後6–7年目に、多くの種の密度が急変し、以前とは別の状態に移った。多変量解析（MDS）の結果からみると、種類構成には、2–3の安定状態があるらしい。また海岸の高い位置では種構成が安定している。

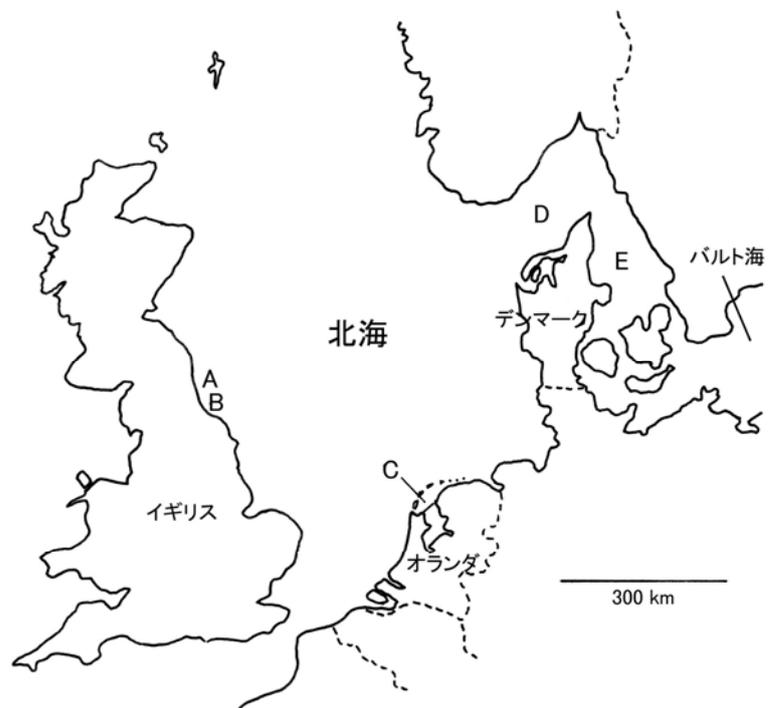
アフリカ西岸のガーナでは、延長300 kmの海岸12地点で、1950年代と1990年代の貝類、海藻相が比較されている<sup>251</sup>。1950年代には各種の存在量を、「なし」から「多い」の5段階で記録したので、1990年代もこれに合わせ、多変量解析（MDS）で両者を比較した。その結果、底質の移動が激しく、砂による摩滅や埋没が推測される地点で、種類構成の大きな変化が起こっていた。またこの一帯では、海流の流れ方に応じて生物相に東西の差が見られるが、その差は1990年代の方がはっきりしていて、沖合いの海況の変化が海岸生物相にも影響を与えている可能性がある。

北米カリフォルニアのモンテレー湾では、1930年代の海岸生物の帯状分布のくわしい記録がある。ここで1990年代、当時と同じ方法で2回の調査が行われた<sup>220, 334</sup>。著者らは出現した種を、地理分布から南方性種、北方性種、広域種に分け、年代間の変化を検討した結果、南方種は増加、北方種は減少というはっきりした傾向が現れた。一方広域種に有意な変化はない。調査地周辺の水温は、60年間で0.8℃上昇していた。温度以外に生息基盤の変化、水質汚染や採捕などの人為的な影響、種間関係、エル・ニーニョや湧昇などの海況変化、調査方法上の問題などさまざまな要因が検討されたが、その中で温度条件が最も重要と推論している。

## 干潟

潮間帯砂泥底、つまり干潟の長期研究では、北西ヨーロッパのワデン海が、量、質ともに群を抜いている。ワデン海はオランダの沖を縁取るフリージア諸島の内側の浅い水域で、潮が引くと広大な干潟が現れる（図 4-1）。その南西部、Balgzand と呼ばれる地域の約 50×50 km の範囲内に 3 つの 30×30 m の調査区があり、各区内 16 ヶ所で掘り取り採集を行う。加えて Balgzand 全域に 12 本の 1 km 固定ラインがあり、各線上 25 地点でも採集する。これを基本に、時にオランダ沿岸全域に調査範囲を拡大するという、大規模なものである<sup>221, 222)</sup>。調査は 1967 年以來 40 年にわたって続けられている。ワデン海は、水鳥の餌場や食用底生魚の生育地として水産上重要な場所である。そこで研究は初めのうち、それらの餌としての底生動物の種類相や分布を調べ、生産量を見積ることを目的としていた。しかしデータが増すにつれ、底生動物の変動パターンとその要因に重点が移ってきている。

図 4-1. ヨーロッパ北海周辺、  
本文で紹介した浅海ベントス  
長期調査の海域。A, ノーサン  
バーランド. B, ティーズ河  
河口. C, ワデン海. D, スカ  
ゲラック海峡. E, カテガット  
海峡。



その結果によると、1970–90 年の 20 年間で、底生生物の生体量は約 2 倍に増え、逆に種数はやや減少傾向にある<sup>224)</sup>。分類群別に見ると、多毛類が増える一方、軟体動物（貝類）、甲殻類は減る傾向にある。食性別では泥表面の有機物を食う種が増えて、肉食種が減っている。これらは、これまでいろいろな海域で有機汚濁の進行とともに起こってきたことである。実際この期間にはリン、チッソ、植物プランクトンが増えつつあり、富栄養化の傾向を示している。一方温度との関係では、種によって寒冬後に増えるもの、減るもの、寒冬、暖冬にかかわりなく増え続けているものなど、いろいろなパターンがある。

温度については、種間関係を含めて検討しているのが注目される<sup>228, 229, 343)</sup>。寒冬後に増えるものとして 4 種の食用二枚貝、減るものとしてそれらを捕食する 2 種の甲殻類（カニとエビジャコ）がある。長期データをベースに、野外実験を加えて調べたところ、これらの増減のメカニズムが次のように示された。低温の冬には、二枚貝の体重が増して抱卵量が多くなり、加入してくる幼生も増える。一方 2 種の甲殻類は寒さに弱く、寒冬では加入量が少ない。そのため稚貝が食われにくく、

二枚貝の密度は高くなる。逆に暖冬では二枚貝の産卵数が減る一方、甲殻類の加入量が多くなり、それが稚貝を活発に食うため、二枚貝が減るという関係である。温度条件が、種間関係を通じて群集構造を変化させている例といえるだろう。

オランダは土地が低く、海面上昇には敏感なためか、温暖化の影響も重視されている。温暖化で海面が上がると、干潟の面積や地形が変わる。これに現在の底生動物の分布を組み合わせで計算したところ、干潟の高い位置では生体量が増加、低い位置では減少すると予測された。一方、温度上昇そのものの影響については、1960年代以後3回あった暖冬のデータをもとに、これによって二枚貝が減ると予想している。そのメカニズムは、先に説明した暖冬の状況と同じである。二枚貝は重要な漁獲対象で水鳥のエサでもあるから、減少の影響は、漁業や陸上生態系にも及ぶ<sup>226, 324</sup>。このほか、漁業のドレッジ（底引き網）<sup>225, 325</sup> や、ビート工場からの排水が干潟の生物に与える影響の評価<sup>250</sup>、石灰を作るために二枚貝が取られているが、その適正な採捕量の推定<sup>227</sup>、汚濁を評価するための指標の有効性の検討<sup>223</sup> などがある。これらはそれ自体長期変動の研究ではないが、分析のベースとしてワデン海の長年のデータが生かされていて、長期研究のいろいろな発展性を示している。

日本でも有明海の干潟で、ハルマンスナモグリ（甲殻類）とイボキサゴ（巻貝）を中心に1970年代からベントスの調査が続けられ、2種をめぐる種間関係について成果がある<sup>137, 138, 253</sup>。方法は、ライン沿いの掘り取り採集と一定面積の目視調査の併用である。1990年代までの約20年の結果によると、初期にハルマンスナモグリが急激に分布を広げ、イボキサゴがいなくなった。同時にイボキサゴに寄生する貝、捕食するカニ類、殻を利用するヤドカリ類など、イボキサゴに依存する種が姿を消した。これはハルマンスナモグリが底質をかく乱することで、加入してくるイボキサゴの幼生が死に、そのためイボキサゴが消え、次いでこれに依存する種が消失したとみられる。しかし1990年代半ばからスナモグリが減り、逆にイボキサゴが増えて、期間前半とは逆の変化が起こりつつある。これはアカエイがハルマンスナモグリを活発に捕食するようになったためと考えられている。

## サンゴ礁

サンゴ礁は社会的な注目度が高く、長期的な変化についても世界中で、とくに1960年代から調べられている。方法はほとんどの場合、サンゴ礁上に固定調査線を複数設け、その周囲をベルト状に調べるか、線上の複数カ所に方形区画を設置し、その中のサンゴの種数、コロニー数、コロニーサイズ、被度などを測るというものである。過去と比較する場合は、できるだけ正確に同じ位置で調べるよう配慮されている。カリブ海とオーストラリアのグレートバリアリーフで特にくわしいが、ハワイ、ポリネシア、東太平洋、紅海など幅広い情報がある。

カリブ海では、ジャマイカを中心に、サンゴ礁の衰退の報告が多い<sup>260, 272, 273</sup>。ジャマイカでは1950–2000年の間、サンゴの種数と被度、コロニー数、サイズ、加入量などが減りつつある。カリブ海全体としても1970年以来30年間、サンゴの被度は全体的に減り続け、平均して初めのころの50%から10%になった<sup>258</sup>。この傾向は各海区に共通し、カリブ海の広い範囲に働く要因が関係しているとみられる。

グレートバリアリーフでも衰退の報告はあるが<sup>245</sup>、それほど目立たず、ここでは群集生態学的視点の研究が中心である。生態学には、生物の種多様度は、かく乱が激しすぎても少なすぎても低く、中間のところでも最も高くなるという、「中規模かく乱説」の考え方が<sup>236</sup>。研究の舞台とな

ったヘロン島のサンゴ礁では、かく乱要因としてはハリケーンが主なもので、そのダメージとその後の回復の状況がくわしく調べられた。それによると、かく乱の影響は場所ごとに様々なパターンがあって単純ではないが、安定な環境ではサンゴの被度が大きくなると種間に競争が起こり、優勢な種が劣勢な種を覆って死滅させ、種類相が単純化する。これは、かく乱が小さいと種多様度が低くなるという、この仮説の予測に沿う結果といえる<sup>238, 239)</sup>。中規模かく乱説については、ハワイでも支持する結果が得られている<sup>244, 263)</sup>。

その他、太平洋中～東部のハワイ諸島やココス島では、いったん衰退したサンゴ礁の回復がみられた<sup>263, 264, 274)</sup>。ハワイでは溶岩の噴出や下水流入、ココスではエル・ニーニョによる高温がダメージの原因だったが、どちらも十分な復活には数十年かかった。一方1960–1980年代に世界各地のサンゴ礁でオニヒトデが大発生し、サンゴを食害して大問題になったが、その後の回復を追跡した研究もある<sup>319)</sup>。食害後だいたい数年でかなり回復することがわかっているが、もとに戻るには数十年かかるという見方もある。汚染など、人間活動の影響が加わるとさらに長引くようだ。世界のサンゴ礁について、1960–90年代の長期的調査をまとめた報告<sup>237)</sup>によると、全体の71%で衰退傾向が認められた。ハワイやココスのように、いったん減ったあと増加したのは、そのうちの4割である。地域的には、インド・太平洋域よりも、西大西洋（カリブ海）で衰退の報告が多い。

サンゴが一時的または長期的に減少する原因としては、自然要因と人為要因が考えられる。自然要因の中で最も報告が多いのはハリケーン、サイクロンなどによる強い波である<sup>238, 239, 244, 259)</sup>。このほか低水温<sup>189, 242)</sup>、高水温<sup>245, 264)</sup>、異常な低潮位による干出死<sup>355)</sup>、溶岩の流出<sup>263)</sup>など。人為的な影響としては、下水流入による富栄養化<sup>219, 274)</sup>や開発工事による土砂流出<sup>260)</sup>があげられる。水温上昇も、近ごろの温暖化の論議をふまえれば人為的な影響に入るかもしれない。また、オニヒトデの食害自体は自然要因だが、大発生の原因については、土砂流入など人間活動の影響も指摘されていて単純ではない<sup>230, 327)</sup>。変動要因の中には、種間関係を通じて間接的に働くものもある。藻食魚を漁獲したため、それまで食われていた藻類が繁茂し、サンゴを覆って死滅させる<sup>260, 272)</sup>。あるいは魚→ウニ→藻類という捕食関係の中で、魚の漁獲によってウニが異常に増え、それが病気で大量死したあと、それまでウニに食われていた藻類が短期的に大增殖してサンゴを死滅させた例も知られている<sup>272)</sup>。人間活動が自然のバランスを崩した結果といえよう。いったん衰退したあと回復した例では、衰退要因のうち7割が自然条件による急性のもので、人為的要因については3割にすぎなかった。人為的要因はしばしば半永久的、慢性的であり、そのような変化に対してはサンゴが適応できず、回復しにくいことを示している<sup>237)</sup>。

### 潮下帯砂泥底

軟質の海底では、ヨーロッパの北海、特にバルト海入口のスカゲラック・カテガット海峡周辺と、イギリス北東岸沖がよく調べられている。北海では1910年代、デンマークのピーターセンやボイセン・イェンセンが精力的に調査を行ったが、それらと比較し、またその後に新たな調査を加えることで長期的な研究が行われている。ピーターセンらは困難な潜水作業を避けるため、船上で操作できる独自のつかみ取り型採泥器を考案し、船の上から砂泥ごと底生生物を採集するという画期的な方法を採用した。これはその後の海底ベントス調査のスタンダードになり、改良を加えながら今でも基本的に同じやり方で調査が続けられている。過去の調査と比較する場合には、同じ水域の大体同じ場所から採集している。

スカゲラック・カテガットの、1910と1980年代の間の底生動物の個体数、生体重量の変化は、

海峡本体と沿岸の湾入部（フィヨルド）ではパターンが違う。海峡では深い所で増え、浅い所は減っている<sup>320)</sup>。フィヨルド内では増加<sup>331, 332)</sup>、減少<sup>320)</sup> どちらの報告もあるが、減った地点では有機負荷が大きくなりすぎ、底質が無酸素化しているケースが多い。1970年代初めから約20年の、海峡部とフィヨルドを総合した検討では、全体を平均して約2倍の生体量増加となっている<sup>280)</sup>。種類相も大きく変り、多毛類とクモヒトデ類が増え、貝類と甲殻類が減った<sup>233, 280, 281)</sup>。

このような変化の原因として、まず沿岸部から汚水が流入したことによる富栄養化が考えられる<sup>233, 280, 281)</sup>。根拠としては、実際に栄養塩類の濃度が増し、有機負荷の増加と平行して生物相が変わっていること、またその変化が、これまで一般に海域で富栄養化が進行したときのパターンと一致していることである。一方、漁業が影響したという見方もある。カテガットの隣のバルト海では、底生動物の生体量の増減パターンが有機汚濁と一致せず、底魚の漁獲量とはよく合っている。つまり底生魚が漁獲されて減ったことで、それに食われていた底生動物が増えたというのである<sup>322, 323)</sup>。また北海全域では、富栄養化が始まる以前から底生動物の種類相が貧困化していたことから、既に始まっていたトロール漁業による底質のかく乱を重視する見方もある<sup>234)</sup>。さらに、広域的な気候変動が影響したかもしれない<sup>262, 350)</sup>。北大西洋では、NAO（北大西洋振動）という気候の周期がある。これは直接には気圧の変動だが、風系、気温、降水などを通じて、海流や水温、水質にも影響を与える。NAOはいくつかの周期を持つが、その中の7-8年の周期が、スカゲラック・カテガットを含む北海の底生動物の変動に一致するという。つまり広い範囲の気候変化が、プランクトンの生産量を変え、底質に降り積もるプランクトンの死骸の量が変わる。底生動物の中には海底表面の有機物をエサにするものも多いから、それによって底生動物の存在量が変動するという関係である。この考え方によれば、富栄養化の影響は1980年代、この周期に上乗せされる形で起こったということになる。

イギリス北東部、ノーサンバーランドの北海沿岸では、1971年から水深の異なる2つの水域でベントスが調べられ、1997年までの結果がまとめられた<sup>232, 255, 256)</sup>。多様度、類似度指数や多変量解析を使った分析から、この海域のベントス群集には、比較的安定している時期と個体数や優占種が入り替わるなど不安定な時期が、交代する現象が見られる。これを環境条件に照らし合わせ、種類構成を左右するいくつかの要因が推測された。有機負荷については、初期には個体数や生体量を増加させる有力な要因と考えられたが、その後の検討では支持されていない。ただその場合も、群集を不安定化させる要因としては認められている。冬季の水温も、短期的には影響する。プランクトン量も関係しているかもしれない。ベントスの存在量は、植物プランクトンの増減を1年遅れで追跡する傾向がある。従って先のスカゲラック・カテガット海域と同じように、植物プランクトンが増え、その死骸が海底に沈んでベントスを増加させている可能性がある。漁業についても検討された。調査地点のうち1カ所はエビ類漁業の操業範囲、もう一方はそれをはずれているが、操業域の底質は底引き網によってかく乱されている。それを反映するように、操業域では底質のかく乱に強い移動性のゴカイやヒトデ類が増え、逆に弱い定住性のゴカイや二枚貝が減った。ノーサンバーランドのやや南、ティーズ川河口周辺でも、長期のベントス調査が行われている。1973-1996年の、河口から外海にかけての調査結果を、多様度指数や多変量解析で分析すると、外海部のベントス相に、河口からの影響が見られる。ここでは1987年ごろに大きな変化が起こり、群集が不安定化した。これは先に紹介した、北海における広い範囲の気候変動（NAO）の影響を受けたとみられる。河口域では1994年に種類構成が急変したが、これは上流に堰が建設され、塩分濃度が高まるとともに、汚濁が減少したことによるらしい<sup>354)</sup>。一方、ティーズ川河口で、1930, 70, 90年代の

海藻の分布を比較したところ、1930–70年代には褐藻、紅藻の種数が減って緑藻、藍藻が増え、1970–90年代には逆の変化が起こった。前者は水質の悪化、後者は水質の改善によると考えられている<sup>267)</sup>。

日本の例では、三重県の五ヶ所湾で、1940年代と1990年代のベントス相を比較した研究がある<sup>205)</sup>。両年代間に湾奥部の生物相が変化し、有機汚染の少ないところにすむ棘皮動物などが消滅する一方、汚濁に強いゴカイや二枚貝の種が増え、また湾口に向けて分布を広げる傾向が見られた。しかし湾口–湾中央部では生物相に明らかな変化は認められない。増えた種の中には、養殖漁場周辺に集中的に分布するものも見られたことなどから、著者らは、この間に盛んになったブリやマダイの養殖による有機汚染を、変化の主な原因と考えている。1930–40年代には、日本の各地で精力的に内湾ベントスの調査が行われた。この他の場所でも同じように再調査して比較すると、変化の様子が明らかになるだろう。

### 世界の海と田辺湾

世界各地のベントス長期研究の成果を紹介してきたが、これら世界の情報からわかることは何だろうか。まずこれは、もはやあたりまえの感もあるが、海の生物には確かに年による変化があるということである。決して、どこでも毎年同じ季節に、同じ状態で生物がそこにいるわけではない。極圏や深海については今回の検討外だが、少なくとも温帯～熱帯の沿岸域では、年変動は常態といってよいだろう。変化のパターンとしては、種類相、存在量の周期的変化と、一方向的な変化に分けられるが、周期的変化を指摘した例は多くない。南アフリカの海岸で2年周期、北海のベントスでNAOに伴う7–8年の周期が見出されている程度である。方向的变化は例が多く、サンゴ礁の衰退、北海の富栄養性種の増加、北米岩礁の温暖種の増加などがある。長期的変化の要因として想定されているものはさまざまだが、大きくは自然要因と人為要因に分けられる。自然要因としては温度、それも上昇傾向の指摘が目立つ。ワデン海、カリフォルニア、東太平洋などに例がある。北海ベントスやカリフォルニアの岩礁種、ココス島のサンゴ礁では、NAOやエル・ニーニョなど、広域の気候変動との関連が論じられている。このほかサンゴ礁では、ハリケーンや、自然要因に入れるとすればオニヒトデの食害も重要な変動要因である。人為要因としては、まず富栄養化などの水質汚濁がある。これは北海、ワデン海、一部サンゴ礁で、1980年代までの生物相変化を引き起こした主な要因とみなされている。このほか北海では漁業活動、南アフリカの海岸では地元民の採捕活動の影響が指摘されている。

3章で見た田辺湾の生物変動のパターンとその推定される要因は、このような世界の浅海ベントスの情報ともよく合っている。田辺湾では1980年代まで富栄養性種が増加、南方性種は減り、その後この傾向が逆転した。変動の人為要因としての水質汚濁、自然要因としての温度、またそのターニングポイントとなった年代まで一致しており、田辺湾の変動が、単に北西太平洋の一小湾に特有のものではなく、広く地球規模で起こった変化に連動しているという印象を受ける。その一方、地域固有の要素というものもある。その代表的なものは、変動要因としての黒潮の存在だろう。黒潮による幼生供給と偽個体群、またその流路の変動が水理環境を通じて生物相の変化をもたらすという視点と似たものは、これまでのところ世界の他の地域には見当たらない。紀州田辺湾の生物は、このように世界共通の要素と地域固有の要素を共にはらみながら、変動を続けているのである。

## コラム 10 世界の海洋保護区

日本にも禁漁区や海中公園のような、海の生物の保護区域があるが、同様のものは世界中にあり、海洋保護区 (marine reserve, marine protected area = MPA) と呼ばれている。これらは最近数十年の間に急増し、その特徴を生かして多くの研究が行われてきた<sup>33, 216, 318</sup>。規模はさまざまだが、南アフリカの Dwesa は延長 20 km の海岸線を取り込み、北米フロリダの Everglades などは 1150 km<sup>2</sup> の海面をカバーするという広大なものである。南アフリカの保護区での長期研究の成果は本文で紹介した。Dwesa のあるトランスカイ地方では、保護区は海岸線数十 km に及ぶ (図)。南アフリカ全体としても海岸線の 17% は保護区に指定され、そのうち 1/3 は完全禁漁である。このほかにも、カリブ海のバミューダやバリーズといった島国では、周囲の約 20% が保護区に指定されているという。

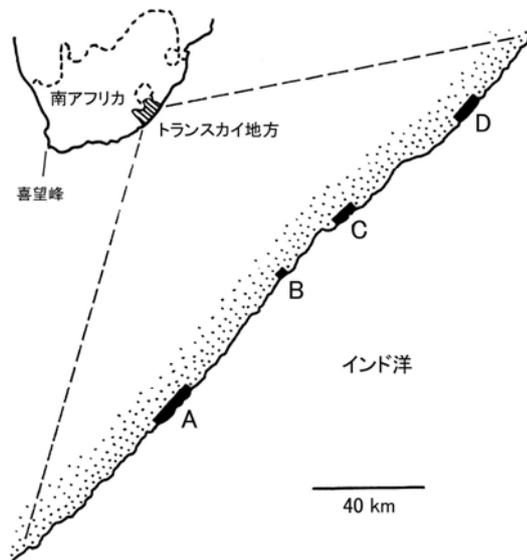


図 南アフリカ、トランスカイ地方の海岸保護区。A, Dwesa. B, Huleka. C, Isi Laka. D, Mkamabati. 文献 270 をもとに描く。

このような海洋保護区の役割としては、絶滅危惧種や希少種を含む、生物多様性の維持、教育、観光面での効果、漁業への寄与など、いろいろあげられている。同時に研究上の価値も大きいものがあり、そのことが、保護区から優れた業績が数多く生み出される背景になっている。よく保護された区域内では、調査対象種を人に取られたり、はぎ取りで群集が変わることなく、精度の高い研究ができる。また、汚染や採捕など、人間活動の影響を調べるためには、そのようなかく乱を受けている場所と、受けていない場所を比べなければならないが、保護区は後者、つまりコントロールの場を提供する。また進化的な視点からの位置づけもある<sup>268</sup>。いまや世界の浅海で、人間活動の影響を受けない場所はほとんどないと言ってよいが、そのことによって長い進化の歴史を背負う、生物の生態や行動が覆い隠されている可能性がある。手つかずの豊かな自然の中でこそ、初めて現れてくる種間関係や、生物の環境への反応があるかもしれない。このことで思い出すのは、私が八重山諸島の石垣島に住んでいたときに聞いた話である。奄美大島より南の海岸にオオベッコウガサという大型の笠貝がいて、食用にもされる。この貝の行動を沖縄本島の人里近くで調べた例があり、夜行性であるとされた。しかし西表島の南岸の、めったに人の行かない岩礁地帯を踏破した知人の話によると、「オオベ

ッコウガサが、昼間から岩の上にゾロゾロ出ている」というのである。人がいないところで長い時間たつと、こういうことになるのであろうか。われわれは日ごろいったい何を見ているのかと、考えさせられた。

保護区で行われている研究のうち、漁業にも関係する「種場効果」について紹介する。「種場」(fishing refugia) は、いわゆる禁漁区の根拠となる考え方である。保護区を設けて採捕がなくなると、それまで取られていた種の数が増え、また大型化する。大型個体は産卵数が多いから、親の数の増加と相まって卵や稚仔が多く生み出され、それが周囲に広がる。一方、親個体も保護区から外に移動し、これらによって周辺全体の生産量を高める、という主張である。では実際にはどうだろうか。第一段階の、保護されると、それまで取られていた種の数が増えて大型化するという点については、各地の保護区での研究でよく確かめられている。それが保護区の周辺の生物の増加にも結びつくという点についても、多くの肯定的な報告が出されるようになった<sup>254, 342)</sup>。

日本でも、人手の入っていない海岸というのは事実上存在しないといってよい。逆に言えば、私たちは人間によってかく乱された姿しか知らないということである。手つかずの自然の中で研究することは生態学者のひとつの夢だが、研究者の立場を離れても、ありのままに近い自然の姿には特別な価値があると私は思っている。石垣島には、かなり厳密に保護された禁漁区があり、私はしばしばそこを訪れた。八重山諸島でも、一般の海岸は土砂流出や採捕でかなり荒れているが、ここはまさに生物があふれ、私は初めて、八重山の磯の本来の姿にふれた思いがした。都会から来た友人の家族を案内したことがあるが、彼らもその豊かさに驚嘆し、一生の思い出になったと言っていた。保護区の効果は漁業、観光、教育…と言ってしまうと何やら無味乾燥だが、その豊かな自然は、そういう理屈を越えて人間の情感に訴え、自然観をも変える力を持っている。またそれが保護区というものの、最大の効果なのかもしれない。

## 2. 方法論の諸問題

前節で見てきたように海洋ベントスの長期研究は、いろいろなフィールドで様々な成果をあげている。そこで最後に、それらの成果を生み出した研究方法の問題に光を当てたい。方法というのは重要なもので、まちがったやり方をすれば、結果も信用できなくなる。長期研究はこれまでどのように行われ、そこにはどんな問題が含まれているのだろうか。以下の検討では、具体例は海のベントスから取るが、考え方としては生物の長期研究一般にも通じるはずである。

### 企画型と再調査型

これまで行われてきた長期研究には、大きく分けて二つのパターンがある。一つは、新たに場所や調査項目を決め、初めの枠組みに原則として従いながら、毎年ないし一定の期間をおいて調査をくり返す。ここでは「企画型」と呼ぶ。もう一つは、過去の研究者による調査をもとに、時間を隔てて同じ場所、項目で調べ、両者を比較する。これを「再調査型」とする。田辺湾の例では、番所崎貝類調査は企画型であり、畠島の南岸調査は再調査型から始まっている。

企画型の研究は、常識的であり正確でもあるが、いったん始めると容易にやり方を変えるわけにはいかないという長期調査の宿命で、後にいろいろと問題が起こることがある。たとえば、対象生

物の分類が変り、1種だったものが数種に分けられると、その分類群についての評価が難しくなる。予想外の変化ということもある。はなはだしい場合は、調査地が埋め立てられてなくなる。そこまで行かなくとも、干潟であれば土砂が流入して底質や河口の状態が変り、マングローブならヒルギ類が進出して開放面が狭まるなどのこともありうる。ある時点から海藻が繁茂し始めたり、逆に磯焼けが起こって消失し、これが動物相に影響しているらしい、など。このような場合、あらかじめ地形や底質粒度、周辺植生、海藻分布などのデータを取ってあればよいが、なかったとすると、変動要因の分析に困ることになる。また人による採捕の問題も、研究者にとっては頭が痛い。調査している種を直接取られることも問題だが、直接取られていない種だから影響がないともいえない。ある種がいなくなると、関連する別の種の密度が変わるという報告もあるからだ<sup>302)</sup>。田辺湾の場合も、3章変動要因論のところでもその可能性にふれた。付着性種のはぎ取りなどは、その場の群集をまるごと変えることがあり、先に南アフリカの例で見たように、その影響は十年以上続くとも言われている。調査の枠組み、デザインの問題としては、初めに調査対象種として現に存在するものに限定したり、高い密度や被度のところを永久調査区したときの問題がある。このような枠組みの調査では、初めとは種類相が交代しつつ全体としては同じ種数にとどまっているという場合、対象としたグループだけから見ると「減少」ということになりがちである。また、高い密度の場所を選ぶのは、生物の少ないところで始める気はしないから当然のようでもあるが、これにも落とし穴がある。年月を経て高密度域が移動した場合、調査区に限るとこれも「減少、消滅」となる。これらはいずれも、全体の生物相の状態を正しく反映しているとはいえない。

再調査型の研究は、過去の調査を生かしつつ幅広い情報を得ることができる。しかしこのタイプでは、企画型の問題がほとんどあてはまる上に、このパターンに特有の問題も加わってくる。たとえば年代の古い調査を再現しようとしても、過去の方法がはっきりしないことがある。潮下帯ベントスの調査では、採泥器の性能や、生物を選別するフルイの網目の大きさによって、採集される種類が変わってくる。北海のベントス調査では、過去に用いられた機材の詳細が当時の論文に書かれていなかったため、ある程度想像で採集具を再現せざるをえなかった<sup>320)</sup>。このほか、過去と現在、2時点の調査結果を比較する場合の問題もある。それらが共に1回ないし1年のデータだと、短期的な変動の影響を受けやすくなる。もしも過去、現在それぞれの期間内で極端な値を捉えると、変化が実際以上に強調されたり、逆に検出されなくなるかもしれない(図4-2)。

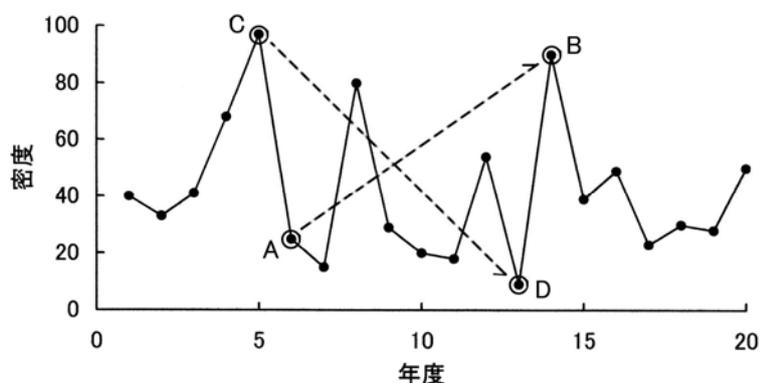


図4-2. 長期調査における、単年度比較の問題。全体として傾向的な変化はないが、A→Bは増加、C→Dは減少しているように見える。

これらの問題については、いろいろな対策が考えられ、また実行されている。種名の変更については、過去の標本があれば検討し、なければ上位の分類群に含めて評価する。採捕の影響は、これを完全に除去するには、厳密な禁漁区、保護区を設置して、その中で調査を行うしかないと思われる。実際に南アフリカなど、保護区内で行って成果をあげている例もある（コラム 10）。調査開始後に生じた予想外の変化には対応の難しいものもあるが、しかし見方を変えて、起こった変化を研究対象にしてしまうという考え方もある。ワデン海の干潟の研究は、初めのうち底生動物の生産量の季節、経年的変化を明らかにすることが目的だったが、その後ドレッジ、産業排水、漁業や石灰産業による貝類採捕など、いろいろな問題が発生した。しかしそのつど、定例の調査に別枠の調査や実験を加えてそれらの問題を分析し、一定の成果を挙げている。

調査を開始した時に存在した種や、被度や密度が高い場所に範囲を限定した調査による結果の偏りについては、種数や被度の変化を評価するのなら、別のデザインによらねばならない。具体的には、種類を限定せず、ある分類群（軟体動物、節足動物、無脊椎動物など）をすべて記録する。ある範囲を決めてすべて調べるか、十分な数のコドラートをランダムに配置し、コドラート内がたとえゼロでもすべて記録に止め、統計的手法によって全体を推定する、などである。

再調査によって過去と現在を比較するときには、できれば両方とも複数年のデータをそろえ、平均値を比較することが望ましい。しかし過去の 1 時点のデータしか得られなくても、後に行った 1 時点との比較に全く意味がないわけではない。別の地点で行われた調査や、今後行われるかもしれない調査と総合して、意味のある全体像が描かれる可能性があるからである。このようなやり方は、一つの調査グループでは完結しにくい、大スケールや長期のテーマでは有力な研究方針といえる（コラム 11）。

### **定性・半定量・定量**

長期的な調査を続け、また過去のデータと比較する場合、特に問題になるのは、調査を行う人数や、かける時間など「調査努力」を一定にしにくいことである。長い年月の間には調査担当者が入れ替わり、また同じメンバーでも調査への熟練度が変化する。各人の主観が入ることもある。それが結果に影響し、本当に自然の中で起こった変化が見分けにくくなる。わかりやすい例を出すと、ある場所で記録される種数が次第に増えているとしても、それは調査者の数や熟練度も同時に増した結果、見つかる種類が増えたのであって、実際には増えていないのかもしれない。そこで調査努力の変動をできるだけ少なくするため、方法をなるべく一定にして、誰がやっても大きな差が出ないようにする試みがなされてきた。これを方法の標準化といっている。ここでは、海の生態研究で最も方法論の議論が活発な岩礁海岸の場合について、その過程を、田辺湾の事例を含めながら紹介する。

海岸の生物を記録する最も単純なやり方は、そこにいる種のリストを作ることである。それを時間をおいてくり返すと、種数の変化を追うことができる。田辺湾の例では、1940 年代以降島で行われた学生実習の、磯観察で記録された種がまとめられている<sup>48)</sup>。しかしこのやり方では、調査努力の影響を受ける上、種ごとの多い少いの情報も得られない。たった 1 個体でも千個体でも、1 種は 1 種である。そこで種リストに加えて各種の多さを大ざっぱに記録する、定性評価と呼ばれるやり方が行われるようになった。これはある範囲や時間、時には調査者の人数を決めて、各種に「発見せず」「少ない」「普通」「多い」などのランクをつけて記録する。島での 1980 年代までの調査や、世界の研究例で紹介したガーナの岩礁の研究はこの方法による。しかしこれにも問題がある。

多い少ないは観察者の主観である。その人がこれまで見てきたいろいろな海岸での、その種の存在状態に照らして判断することになるので、同じ種と同じ状態を見ても、人によって評価が違ってもいいかもしれない。はなはだしきは、同一人物でも島を一周するうちに評価が変わっていたということになりかねない。そのため、場所間、年度間の比較が難しくなる。

これについては、一つ思い出すことがある。1980年代の畠島の調査は、この定性評価によった。それを論文にまとめて臨海実験所の定期刊行物に投稿したところ、編集担当の伊藤立則助教授（当時）から、掲載不可として返却された。「評価基準があいまいで、結果が信用できない」というのである。「cc（多い）とc（普通）は、何が違うのか」と聞かれて、私は答えに困った。それでも、「種類によってはそういうこともあるでしょう。しかしアラレタマキビのccとイボタマキビのr（まれ）を見て、イボタマキビのほうが多いという人はいません。この評価に、全く有効な情報が含まれていないわけではない。」と反論したものの、どうも旗色がよくない。何よりも、それが長く行われてきた方法であることにあぐらをかいて、本質的な問題を踏み込んで考えなかった自分の甘さが悔やまれた。私はこの問題を十年近く考え続け、そして畠島の調査は、次の「半定量法」に移行する。

半定量評価とは、定性評価での各密度段階に、客観的な基準を与えるものである。具体的には、決められた範囲を歩いて、その種が最も密集しているところを探し、そこに1×1mの枠を置く（あるいは置いたと仮定する）。そしてその中の個体数を、0, 1-9, 10-99, 100-999, 1000以上、など、対数的な階級でランク付けして記録する。対数をとるのは、一部の極端に密度の高い種に全体の傾向が引きずられるのを防ぐためである。これによって、個人の主観による偏りは、相当程度に除かれることになる。後で知ったが、この最大密度や対数階級による半定量評価は、海外に先例がある<sup>241, 269</sup>。どこでも考えることは大体同じということだろうか。

定量評価にはいろいろなタイプがあるが、基本的にはコドラート法とトランセクト法の2つである。コドラート法では、海岸のいろいろな場所に方形区を置き、その中の各種の個体数を数えたり、被度を求める。トランセクト法は、波打ち際から陸に向けてラインを引き、横切る生物の被度を測る、あるいはライン沿いのベルト内の数を数える。トランセクト法では、線上にコドラートを並べたり、間隔を置いて設置することもある。そうして得られた結果をもとに、統計的な計算を行って全体の密度を推定するというものである。コドラートとトランセクトの比較、またそれぞれの方法のバリエーションについて、多くの議論が行われている<sup>45</sup>。海岸は岩盤、礫、プールなどさまざまな底質を含むため、ここにコドラートを置く場合の配置も問題になる。くっつけて置いてはならないとか<sup>31, 275</sup>、高さごとに層別し、それぞれのレベルでまんべんなく取る、あるいは、個体数の分散が大きい層ほど多くのコドラートを置いた方がよい、などである（コラム11）。コドラートの中の調べ方もいろいろある。最も精度の高い計数法は「ポイントコンタクト」といって、コドラートの中やライン上に高密度にピンを落とし、当たった生物を記録するというものである。そしてこのピンをランダムに落とすか、等間隔にするか、またその数がどれくらいあれば正確な推定になるか、などがコンピュータ上に構成した仮想生物群集をもとに、シミュレーションによって調べられている<sup>243, 299, 303</sup>。今のところこれが、調査努力の変動をぎりぎりにおさえた、最も標準化された方法とされている。

以上の3方式、定性、半定量、定量を比較すると、まず定性調査は、上でも述べたように、今の生態学の状況からすると精度が粗すぎる感は否めない。簡単な予備調査程度には利用できるだろうが、調査の主軸とするには無理のようだ。半定量法と定量法の優劣については、一般的には次のよ

うに言われている<sup>303, 329)</sup>。半定量法は、調査者がアクセスできる限りさまざまな環境を調べられるので、個体数の少ない種も発見しやすい。かかる労力が少なく、短時間で広い面積をカバーする。しかし、調査者により、また同一人でも経験により、熟練度が変化して結果が不安定になりやすい。また、1ヶ所について一つのデータしかないから、統計処理には不向きである\*)。定量法は、方法が標準化されているので調査者による結果の変動が少なく、複数のコドラートから、統計処理によって客観的に全体像を推定できる。一方、コドラートやトランセクトを設置しにくい、崖や大転石といった場所を調べられず、種のリストの完成度が低くなる傾向がある。

\*注) 年度間、地点間の差の有意差を検定するためには、比較する2者それぞれの分散が必要になる。分散は複数のサンプルがなければ計算できない。

以上の論点のうち労力の問題は、短期的な調査では「ならばもっとがんばればよい」ということで軽視されがちだが、長期研究では意外に重要な意味を持つ。ヨーロッパで行われた長期調査の経過を調べた結果によると<sup>246)</sup>、1940年代以降にはじめられたプロジェクトのうち、半数以上が1980年代末までに停止した。その主な原因は、期間途中で資金が打ち切られたことだった。大きなマンパワーを必要とする調査は、それだけ金もかかる。しかしそのような場合でも、少ない労力で済むなら続けて行けるかもしれない。いくら大がかりで精度が高くても、生き残れなければ「長期研究」にならない。こうした側面は「兵站的」(logistic)といわれ、調査方法のマニュアル類でも重視されている。半定量法と定量法では、精度や客観性の点で定量法が上回ることは疑いない。一方、長期的な実行可能性では半定量法に分があるように見える。調査の目的や、調査グループの性格といった現実的要素も加味しながら、どちらの方法をどの程度取り入れるか、判断すべきだろう。

### 相対値の利用

先に半定量法と定量法の比較で、半定量法は調査者によって、また同一人でも機会ごとに結果が変動しやすい、つまり調査努力の影響を受けやすいと述べた。これはこの方法の最大の問題点ともいえ、これを解決するために定量法という、より厳密な方法が考案されてきたといってもよい。

調査努力の変動は、海岸調査だけの問題ではない。たとえば漁獲量の分析は水産学の主要なテーマで本書でもしばしば引用したが、これには実際の資源量のほか、人間による漁獲努力が介在している。早い話、魚がいなければ漁獲はゼロだが、取る船がなくてもゼロである。そこで漁獲量を出漁した船の数で割り、一船当り漁獲量(CPUE, catch per unit effort)を計算して、資源量の指標とするということが行われている。しかし漁獲に影響するのは船の数だけではない。最近では漁業者の高齢化が進んでいるからその年齢構成や、魚群探知機の導入、網の改良、船の性能向上などの技術的な変化もある。これらは特に、長年にわたるデータを分析する場合に注意しなければならない。

こうした問題を緩和するための一つの有力な方法は、記録された各種の絶対数(量)ではなく、あるグループの全体に対する割合を調べることである<sup>37)</sup>。本書でも、南方性種、北方性種といった地理分布群、肉食者、藻食者などの食性群や、採捕される種が全体に占める割合などを使って話を進めてきた。海藻のC/P値、海岸動物のE/O比などもこれに類する指標である。これらの値がすぐれているのは、次のような点である。たとえば年ごとに調査を行う人数が増えていたというような場合、努力量が増すので、その影響で発見種数や個体数が増えるかもしれない。つまり各種の

ナマの個体数というものは、自然状態の反映であると同時に調査努力の関数でもある。しかしあるグループの相対値 (%) は、発見された個体数を全体数で割って求めるので、調査努力の変動による全体数の増減に影響されない。そのため当のグループの、他のグループに対する優占度を正しく反映する可能性がある。実際、絶対数で見ると値がばらついているが、比率を取ると何らかの傾向が現れるということが、しばしばある。

ただし、比率指標を使う場合に注意しなければならないことは、第一に、それが示すのは全体の中での当のグループの優占度であって、絶対的な量ではないということである。これは当然のことだが案外混同しやすい。たとえば自然界での南方性種群の個体数が減ったとしても、全体の生物密度も下がっていれば、割合としては南方性種が増加するということが起こりうる。第二に、同じジャンルのいくつかのグループの割合を比較する場合、一方の変動が、直に他方の変動に響く。わかりやすい例では、全体を南方性種と北方性種に分けたとすると、前者の増加は必然的に後者の減少をもたらす、またその逆も起こる。その結果、南方性種の増加原因の推定に、北方性種の減少原因が絡むという、複雑なことになってくる。このように、比率指標には分析上すぐれた点はあるが、一方で扱いに注意が必要であり、可能ならば絶対数と合わせて判断することが望ましい。

### 相関と因果

長期的な研究では、変動のパターンを示したあと、それをもたらした要因の分析に進むのがふつうである。その一つのやり方として、原因であるらしい要因と見出された生物変化の平行現象、つまり相関を確認するというものがある。本書の3章でもこれを多用して議論した。相関分析は、十分なデータをもとに適切に使えば、自然現象の中の隠れた因果関係にかなりの程度迫ることができる。たとえば田辺湾では過去50年間の水質データから、気温と表層水温の間に強い相関が見られるが、気温と中層水温の関係はそれほどでもない。このことから、気温の影響は表層にだけ及んで、中層には届いていないという推論が成り立つ。これは実際には、大気と海水の熱交換や水中での上下の熱の移流などを測定して確かめるのが本筋だろう。しかし相関を見るだけである程度のことはわかるし、ほとんどそれ以上の検証を必要としないほど、問題を絞り込むことができる場合もある。

ただし、相関を因果関係の推論に使う場合には、いくつか注意しなければならないことがある<sup>40, 108, 340</sup>。一つ目は、示された相関ないし平行現象が、たまたまそうになっているにすぎない、いわば偶然の産物という可能性である。これに対しては相関係数の有意性を求め、偶然そうだったとすると20回とか100回に1度以下しか起こらないほどまれである、という形で、条件つきで排除することができる。有意性は検討事例が多いほど検出しやすい。たとえば寒波のときに南方性種が減少するということが1回や2回起こったとしても、それだけで寒波が原因と推論するのは無理があるが、5回、6回とくり返されると確度は高くなる。二つ目として、2つの出来事の相関が有意だったとしても、それだけではどちらがどちらに影響しているのか、方向性まではわからない。この場合は状況から判断することになる。わかりやすいケースでは、AのあとでBが起こるならば、A→Bの方向しかありえない。気温が上がったあとで水温が上がっているから、気温が水温に影響していると考え、といったケースである。また、原理的に一方しか考えられない、ということもある。黒潮と沿岸水温の関係では、黒潮が接近して水温が上がるということはあるにしても、上昇した水温が黒潮を引き寄せるとは考えにくい。三つ目に、最もやっかいなケースとして、相関の見られたAとBに実質的な関係がないにもかかわらず、その背後にあるCが実質的にA、Bと関係して、見かけ上AとBに相関が現れる、というものがある。ここではCを「背後要因」と呼んでおく。

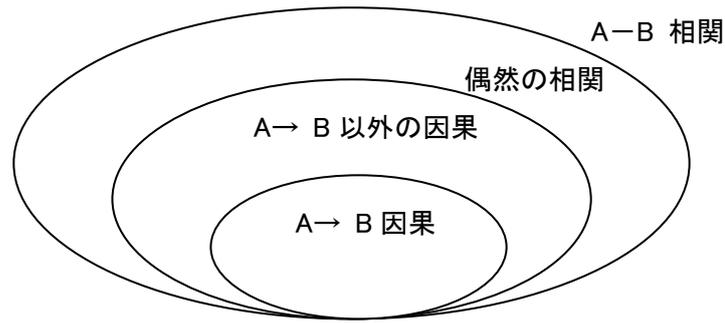


図 4-3. 相関と因果についてのまとめ、「A → B 以外の因果」には、A ← B 因果と背後要因の関与が含まれる。

3章の田辺湾の例で見ると、背後要因が問題になるケースとして、たとえば次のようなことがある。湾口部の番所崎では、貝類の南方性種の比率は水温と相関しており、このことから水温が上がることで南方性種の存在量が増す、と考えてよさそうに思われる。実際低温の冬にはこれらの種の大量死がしばしば報告されている。しかしこの二つの背後には黒潮の存在がある。もしかすると黒潮は幼生を供給して南方性種の比率を上げる一方、水温を上昇させ、その結果として水温と南方性種の間のみかけの相関が現れるのかもしれない（図 4-4 左）。

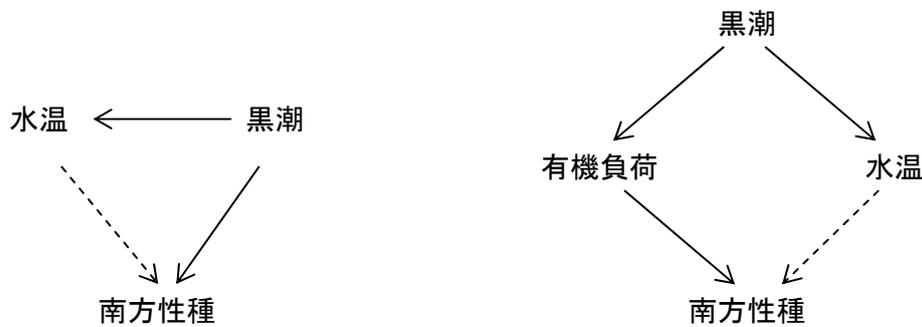


図 4-4. 背後要因の説明。実線は実際の関係、点線は見かけの関係。一応、左は田辺湾番所崎、右は島島での関係を想定しているが、連関を説明するための図なので、実態を反映しているとは限らない。

これが内湾部になると、汚濁負荷が要因に加わってくるのもっと複雑になる。島島では 1980 年代まで、水温は低下して南方性種が減少、その後は水温が上昇して南方性種が増加と、両者は平行して変化している。そのため、やはり水温が南方性種の存在を支配していると考えたところだ。しかし一方で、内湾部の有機物負荷も 1980 年代を境に増加から減少に転じている。もともと南方性の種は清水性の種を多く含み、そのため結果的に南方性種が増えてきたという可能性も否定できない。そして水温と有機汚濁の背後には、黒潮の存在がある。黒潮の勢いが強いときは、湾

奥まで外洋水が進入しやすく、それによって水温が上昇すると共に水質も改善する。つまり、両者は黒潮を介して連動している（図 4-4 右）。このため、南方性種の増加に対し、有機負荷と水温のどちらがどの程度関与したのか見極めにくい。こういう場合、データが豊富にあれば、環境要因の変動や生物の反応のズレを捉えてそれぞれの要因の重みを判定する可能性も生まれてくる。偏相関やパス解析という統計的手法がそれにあたるが<sup>40)</sup>、その意味でも調査は長く続けることが有利である。

### 要因分析の論証—帰納と操作実験

変動の要因を追及する方法は相関だけではない。いろいろな論証のパターンがあり、それらは「帰納」と「操作実験」の二つに大別することができる。帰納による方法とは、簡単にいうと現象に手を加えず、多数の事例を観察してその中から原因と見られるものを引き出してくるというものである。19世紀イギリスの哲学者 JS ミルは、観察された事実から原因を抽出する方法を、「帰納の5つの規準」として示した<sup>41, 298)</sup>。時代はやや古いが、今でも多くの研究者が（意識するしないは別として）実質的にこれに従って研究を行い、科学一般の論証に欠くことのできない要素になっている。重要なものを3つに絞って紹介すると、まず「一致法」と呼ばれるものがある。ある現象を示すいくつかの事例が共通して備えている一つの特徴を見つけ出し、それが当の現象の原因であると推定する。何ヶ所かで食中毒が発生したが、そのどこでも、同時期に同じ産地から出荷された食材を使っていた、などである。「差異法」は、ある現象が起こっているケースと起こっていないケースを比較し、両者がある点を除いてほとんど同じ条件下にあったとき、その異なる点が現象の原因と推定する。海岸の小さな入り江の中と外で生物相が違うのは、波当りの差が原因ではないか、といった例が考えられる。「共变法」とは、ある現象が変化するとき、別の現象がそれとともに変化するなら、両者の間に因果関係があると推定する。これが相関分析に相当する。

これに対し操作実験は20世紀の初めごろ、統計学の進歩とともに RA フィッシャーらによって発展させられた。問題とする現象に対して、ある条件が含まれるケースと含まれないケースを人為的に作り出し、他は等しくなるようにデザインして、当の現象が発生するかどうか両者の結果をくらべる。条件を加えた方だけ現象が見られれば、その条件が原因と結論するというものである。たとえば小麦の農場で、肥料を加えた区画と加えない区画を互いに入り乱れるように配置し、その後の成長を見る。与えた方が小麦の収量が有意に多ければ、その肥料に収量を増加させる効果ありと判定する。これはミルの「差異法」の状況を、人為的に厳密に作り出しているともできる。

操作実験を重視する立場からは、帰納的方法は原因を推測できるだけで確実な結論に至らず、論理的な妥当性も怪しいという批判がある<sup>335)</sup>。前節で見たように、相関が認められても直ちに原因がわかるわけではない。そこにはいろいろな可能性があるから、どこまで行っても推論の域を出ないといえ、そうも言える。これに対し操作実験は、いろいろな可能性が配置のランダム化によって解消されており、厳密さの点で勝っている。たとえば小麦の例では、日当たりの良さなども収量に関係するかもしれないが、肥料区と非肥料区を入り乱れて配置しているので、平均すれば日当たりその他は両者で同じとみなされ、原因として考える必要はなくなっている。しかし操作実験にも欠点がある。それは、実験を組むことが事実上不可能な場合があることである。このことは、大スケール、長期の研究で深刻だ。長期変動の要因として想定されるのは、しばしば海流、温度の変化や NAO、エルニーニョなど広域の要因であり、それらの条件を人為的にコントロールすることは、

事実上不可能である。これらはどうしても、相関など帰納的方法によらざるを得ない。

帰納を厳密さを欠く劣った方法とみなす研究者は、操作実験のできない分野を避け、厳密な方法が適用できる、狭い範囲の短期間の種間関係研究などに集中する傾向がある。しかしこれは生態学の視野を狭めることにつながる。海岸生態学では1980–90年代にこの風潮が強まり、ともすれば帰納的方法を軸とする長期研究が劣った分野とみなされる傾向があった。そのため長年続いた研究の資金が打ち切られて調査が途絶えるというような不幸な事態を招いた<sup>341)</sup>。

帰納的方法と操作実験は、ともに有力な生態学の研究手段であり、両者を適切に組み合わせることによって、よりよい成果を得る可能性がある。長期研究においても操作実験を取り入れることができる場合はあり、南アフリカの海岸生物の例では、採捕区とコントロールの非採捕区が長期にわたって維持された。ワデン海のベントス研究では、大枠は帰納的に詰めながら、要所で短期の実験を組み、より厳密な結論を得るというスタイルがとられている。異なる手法、思想は互いの欠点を批判してつぶしあうのではなく、長所を生かし合い、不足を補って共存するべきだろう。そのことが長期研究のみならず生態学の視野を広げ、多様な成果をもたらすに違いない。

## コラム 11 「擬似反復」をめぐる論争

統計学には、限られた情報から全体の状態を推定する、「推測統計」という分野がある。推測統計は、今では生態学の重要な方法の一つである。たとえば、干潟に潜っている二枚貝の平均のサイズを調べるのに、干潟全体を掘り返すわけにもいかない。そこで一部を掘り取って、その中の貝のサイズ分布から、全体の平均値を推定することになる。ただしそれが正確に行われるための前提があり、複数のサンプル（レプリケート）が、現場からランダムに取られていなければならない。

1980年代の半ば、湖沼生態学者のハールバートは、推測統計を使う研究で、サンプルが複数あるように見えて実は1つしかない、つまりレプリケートを取っているように見えてそうっていないケースが、実験生態学の中によくみられると指摘し、これを「擬似反復」(pseudoreplication)と呼んだ<sup>275)</sup>。たとえばコドラートが接着している場合である。これはその1ヵ所だけの情報しかないから、推定しようとする範囲に散らばっていないなければならないというのである。彼が「擬似反復」と呼んだものにはこの他にも様々なタイプがあるが、この間違いを犯しているとして特に強く批判されたのは、海の生態研究者だった。

ハールバートの主張そのものは正当なものだったが、論文が難解だったこともあり、それが生態学に浸透するにつれて、マイナスの影響も見られるようになってきた。一つには、興味深いレプリケートを取ることが難しい、たとえば大きなスケールの研究（1つの富栄養湖と1つの貧栄養湖を比較するなど）が敬遠されて、研究のデザインとしては厳密だが、生物学的な価値の乏しい研究がふえてきたことである。これに対して群集生態学者のオクサネンは、大スケールの研究をはじめとして、レプリケートにこだわる必要はないと主張した<sup>315)</sup>。1ヵ所でしか調べていなくても、多数地点の結果をまとめて評価することで、分析の信頼度は高まる（メタ解析）。また、何らかの仮説を反証する場合には、1例であっても、「そうっていない」という事実が意味を持つが、この場合にもレプリケートは必要ない。ハールバートはこれに対し、レプリケートのない研究は一つ一つが信頼性に乏しいものであり、それを寄せ集めても、全体として信頼度の高い結果は得られないと反論している<sup>276)</sup>。

もう一つの弊害は、研究の目的を無視し、表面的なデザインだけを見て「擬似反復」の批判が行われるようになってきたことである。これについては3章で紹介した、番所崎貝類相調査の例（3章図3-9）がわかりやすい。私たちは、一部見るよりもすべて見る方が正確であるという単純な理由から全面調査を行ったが、このデザインは海外では評判がよくない。その理由として持ち出されるのが、「擬似反復」である。確かにコドラートは接着しているが（間をあけたら全面調査にならない）、そもそも推測統計を使っていないのだから、この批判は当たっていない。また、経年的な調査の場合、同じ場所で調べるのも「時間的擬似反復」として批判する人もある。しかしこれを避けようとするとも毎年調査場所を変える必要があり、既に調査したところで行えないのであれば、ランダムサンプリングにならない。実験計画法もここまで来ると机上の空論の感がある。実際にはこの章で紹介した世界の例のように、ほとんどの長期研究では毎回同じ所で調査が行われており、それで特に問題は生じていない。

現在の生態学の研究は、その圧倒的多数が推測統計を使っている。その結果、研究者が統計的厳密さを気にするあまり、調査に支障をきたしかねない事態になっているように見受けられる。統計はしよせん、生物学的に重要な事実を見出すための道具にすぎない。手段が目的を食いつぶすような事態だけは、避けなければならないだろう。

## あとがき

スペインのバルセロナに、聖家族教会（サグラダ・ファミリア）という有名な建造物がある。大学4年の春、ヨーロッパ旅行の途中でバルセロナに立寄った私は、予備知識もなく、ただ観光スポットになっているというだけの理由でここを訪れた。意外にも、そこは工事現場さながらであった。聞けば着工から百年も作り続けられていて、なお未完成。設計者もとうに亡くなっているという。自分が生きているうちに完成しないとわかっているものを、作り始める人の気持とは…。そのときの私はいぶかしく思うしかなかったが、それでもなんとなく、このことは心に残った。

その後、海の生態の研究を志し、学生実習で田辺湾の畠島に上陸したとき、私は再び同じような光景を目にすることになった。「海岸生物1世紀調査」の看板がそれである（p54）。ここでもまた私は、自ら生きて結果を見ることのない仕事を始めた人に出会ったのである。美しい島の浜に立つ、どっしりとした白いポールと長期調査の宣言文に、このときの私は鮮烈な印象を受けた。そして、サグラダ・ファミリアを作り始めたガウディの気持ちが、少しわかったような気がした。この二つのできごとが、その後の私の研究を含めた人生を方向づけたように思われる。畠島上陸からほどなくして、私は紀州海洋生物の長期変動という困難なテーマを、ライフワークにすることを決めた。

本書は以来30年間の、私の調査と考察の結果である。しかし同時に、これまで紀州ないし田辺湾で営々と行われてきた調査、研究の成果に基いており、その意味では紀州の海の生物についての総説に近い。ここに引用させていただいた数多くの報告の著者の方々の御努力に、感謝と敬意を表すものである。また本稿が成るまでには、学生時代から今日まで、京都大学瀬戸臨海実験所の関係者や地元和歌山の人々をはじめとして、たくさんの方々からさまざまな形で援助を受けた。一々の名は記さないが、そのすべての人々にお礼を申し上げる。

私は、紀州という豊かなフィールドで縁あって研究を始められたことを、望外の幸運と考えている。改変が進みつつあるとはいえ、ここはいまだ興味深い現象に満ちたフィールドであることに変わりはない。本書がいささかの存在価値と説得力を持つとすればそれはひとえに、研究者に刺激を与えて止まない、この紀州の海の豊かさによるのである。

つたなき点前を、この里の香りに免じて御賞味願わしう （「春の坂道」山岡荘八）

2010年9月1日  
紀伊田辺にて 著者

## 文献（和文）

※アイウエオ順

- 1) 朝倉彰（1992）「東京湾の帰化動物—都市生態系における侵入の過程と定着成功の要因に関する考察」千葉中央博自然誌研究報告, 1, 1–14.
- 2) 朝倉彰（2003）「生物地理」in 海洋ベントスの生態学, 303–367. 東海大学出版会.
- 3) 鯨坂哲朗・大和茂之（1999）「藻類採集地案内, 南紀白浜（和歌山県西牟婁郡白浜町）」藻類, 47, 135–138.
- 4) 荒賀忠一・田名瀬英朋（1966）「和歌山県の浅海魚類」in 和歌山県海中公園学術調査報告書, 81–95. 日本自然保護協会.
- 5) 池田久和・今福道夫（1987）「白浜におけるオカヤドカリの越冬」南紀生物, 29, 84–88.
- 6) 池谷仙之・山口寿之（1993）進化古生物学入門, 甲殻類の進化を追う. UPバイオロジー, 東京大学出版会.
- 7) 石川裕（1980）「南部町堺でとれたミドリイガイ」南紀生物, 22, p7.
- 8) 稲葉明彦（編）（1963）瀬戸内海の生物相. 広島大学理学部付属向島臨海実験所.
- 9) 稲葉明彦（1983）増補改訂 瀬戸内海の生物相 I. 軟体動物. 広島大学理学部付属向島臨海実験所.
- 10) 稲葉明彦（2000）「瀬戸内海の軟体動物相」月刊海洋, 32, 701–710.
- 11) 岩崎敬二ほか（2004）「日本における海産生物の人為的移入と分散：日本ベントス学会自然環境保全委員会によるアンケート調査の結果から」日本ベントス学会誌, 59, 22–44.
- 12) 岩城惣八（1979）「昔は魚や貝がいたるところで思うさま取れた」ホルトノキ（白浜の自然を守る会会報）, 2, 11–12.
- 13) 宇井縫蔵（1924）紀州魚譜. 東海堂.
- 14) 上出貴士（2003）「和歌山沿岸における 1981 年から 2000 年までの赤潮発生状況」和歌山県農林水産技術センター研究報告, 5, 107–116.
- 15) 上出貴士（2003）「田辺湾における養殖漁場環境の変動について」和歌山県農林水産総合技術センター研究報告, 5, 117–124.
- 16) 上出貴士（2007）和歌山県田辺湾瀧内および内之浦の潮間帯に生育するコアマモ *Zostera japonica* の季節的消長. 日本水産学会誌, 73, 478–486.
- 17) 上出貴士（2007）「和歌山県田辺湾瀧内および内之浦の潮間帯に生育するコアマモ *Zostera japonica* の年間純生産量と C, N, P の年間蓄積量」日本水産学会誌, 73, 851–858.
- 18) 上出貴士（2008）「和歌山県田辺湾における 1971 年から 2006 年までの赤潮発生とその特性について」南紀生物, 50, 38–45.
- 19) 上出貴士（2008）「和歌山県の養殖漁場における春季の海底堆積物の化学的特性と優占するマクロベントス種との関係」日本水産学会誌, 74, 832–840.
- 20) 上出貴士・高橋芳明（2008）「和歌山県田辺湾瀧内および内之浦の潮間帯のコアマモ群落におけるベントス群集」日本ベントス学会誌, 63, 42–55.
- 21) 上出貴士・山内信・高橋芳明（2007）「和歌山県田辺湾内之浦のコアマモ *Zostera japonica* Ascherson et Graebner 群落と底質環境の関係」藻類, 55, 159–166.

- 22) 宇田道隆 (1937) 「最近における紀南沖合黒潮の変調補遺」 科学, 7, 7-8.
- 23) 内田紘臣 (1990) 「和歌山県の沿岸海洋環境とイシサンゴ類の分布調査」 遺伝, 44, 72-75.
- 24) 内海富士夫 (1962) 「熱帯性棘皮動物の最近における北上例」 動物学雑誌, 71, 102-108.
- 25) 内海富士夫 (1973) 「京都大学瀬戸臨海実験所」 海洋科学 5 (2), 61-66.
- 26) 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.
- 27) 大垣俊一 (1984) 「島島本東西岸の海岸生物相, 1969年と1984年」 南紀生物, 26, 77-85.
- 28) 大垣俊一 (1992) 「暖冬と海藻-白浜における海藻集荷量と冬期温度条件の関係」 南紀生物, 34, 117-119.
- 29) 大垣俊一 (199a) 「白浜町富田川河口のカキの一種 *Saccostrea glomerata* (Gould)」 南紀生物, 39, p94.
- 30) 大垣俊一 (1997) 「田辺湾におけるムラサキイガイの消長, およびオオシロピンノとの関係」 南紀生物, 39, 1-8.
- 31) 大垣俊一 (2000) Pseudoreplication problem-接着したコドラートは何が悪いのか. *Argonauta*, 2, 21-32.
- 32) 大垣俊一 (2001) 「島島実験地の位置 第2部」 *Argonauta*, 4, 28-37.
- 33) 大垣俊一 (2001) 「海岸生物に対する人間活動の影響」 *Argonauta*, 4, 3-17.
- 34) 大垣俊一 (2002) 「1940年代以降の田辺湾海岸貝類記録」 ちりぼたん, 33, 59-71.
- 35) 大垣俊一 (2002) 「田辺湾周辺の地質、地形と海岸生物」 *Argonauta*, 7, 3-19.
- 36) 大垣俊一 (2003) 「田辺湾周辺, 更新世後期以降の自然貝層と貝塚の貝類相」 南紀生物, 45, 97-106.
- 37) 大垣俊一 (2004) 「長期変動論における妥当な論証形式について」 in 2004年日本ベントス学会・日本プランクトン学会合同大会講演要旨集, p67.
- 38) 大垣俊一 (2007) 「1920年代の田辺湾生物相」 *Argonauta*, 14, 10-13.
- 39) 大垣俊一 (2007) 「田辺湾周辺における移入海産生物の出現傾向」 南紀生物, 49, 16-23.
- 40) 大垣俊一 (2007) 「重回帰、偏相関、パス解析」 *Argonauta*, 13, 3-23.
- 41) 大垣俊一 (2007) 「ミル型論証と生態学」 *Argonauta*, 14, 3-9.
- 42) 大垣俊一 (2008) 「田辺湾の環境, 1955-2005年」 南紀生物, 50, 15-26.
- 43) 大垣俊一 (2008) 「田辺湾周辺, 1977年10月のプランクトン分布」 *Argonauta*, 15, 32-37.
- 44) 大垣俊一 (2008) 「海岸生物と岩礁基盤」 *Argonauta*, 15, 23-30.
- 45) 大垣俊一 (2009) 「コドラートとトランセクト: 海岸調査の精度論」 *Artonauta*, 16, 16-24.
- 46) 大垣俊一 (2009) 「開放度測定の地形法」 *Argonauta*, 16, 25-28.
- 47) 大垣俊一 未発表.
- 48) 大垣俊一・田名瀬 (1984) 島島磯観察記録, 1949-1983. 南紀生物, 26, 56-61, 105-111.
- 49) 大垣俊一・田名瀬英朋・和田恵次 (2001) 「和歌山県田辺湾内之浦の海岸生物記録種」 南紀生物, 43, 102-108.
- 50) 大田耕二郎 (1957) 「神島の生物について」 田辺文化財, 1, 2-35.
- 51) 大谷清隆・出口良二 (1981) 「渡島半島東岸の沿岸湧昇 I」 北大水産彙報, 32, 77-96.
- 52) 大野嶺夫・藤井保夫 (1992) 日本の古代遺跡 46 和歌山. 保育社.

- 53) 大場忠道 (1993) 「日本列島周辺の海流変遷—海底コアから見た過去三万年間の海流分布」 in 変化する日本の海岸, 小池一之・太田陽子(編), 57–68. 古今書院.
- 54) 大平勝次 (1991) 「田辺湾の地質と地形」 in 田辺市史第十卷自然編, 田辺市史編纂委員会 (編), 7–24. 田辺市.
- 55) 岡田正実 (1977) 「東海道沖大冷水塊と沿岸潮位」 海洋科学, 9, 264–269.
- 56) 岡田正実・西本和義 (1978) 「1925年以前の黒潮大蛇行と日本南岸の潮位」 海と空, 54, 91–97.
- 57) 小川満也・難波武雄・木村創 (1994) 「地域特産種量産放流技術開発事業」 和歌山県水産増殖試験場報告, 26, 34–43.
- 58) 興田喜久男・原田英司・山本善馬 (1995) 「田辺湾の海況・水質と底泥灼熱減量—1994年4月から1995年5月までの調査結果」 瀬戸臨海実験所年報, 8, 35–53.
- 59) 奥谷喬(編) (1986) 決定版貝類大図鑑, 貝類. 世界文化社.
- 60) 奥野良之助 (1964) 「田辺湾の岩礁性魚類」 生理生態, 12, 272–285.
- 61) 奥野良之助 (1971) 磯魚の生態学. 創元社.
- 62) 奥村清・十河崇 (1998) 「和歌山県田辺層群産軟体動物化石」 鳴門教育大学研究紀要 (自然科学編), 13, 23–37.
- 63) 小原正顕 (2010) 「和歌山県白浜町の中新世統田辺層群から産出した *Telescopium*」 日本古生物学会第179回例会予講集.
- 64) 小原正顕・佐向幸雄 (2006) 「和歌山県白浜町の田辺層群から *Vicarya* の発見」 和歌山県立自然博物館館報, 24, 35–38.
- 65) 海象観測グループ (1984) 「田辺湾における流れの長期連続観測」 京大防災研究所年報 26(B-2), 637–672.
- 66) 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), 1–21. 古今書院.
- 67) 加来靖弘ほか (1975) 「新川改修事業に係る漁場の実態調査—II. 田辺湾海洋環境の概要」 昭和49年度和歌山県水産試験場事業報告, 179–192.
- 68) 風巻景次郎・小島吉雄 (校注) (1961) 「山家集・金塊和歌集」 日本古典文学大系 29. 岩波書店.
- 69) 金丸但馬 (1929) 「本邦貝類書解題」 貝類学雑誌, 1, 82–83.
- 70) 金丸但馬 (1950) 「紀州貝類採集史」 貝類学雑誌 16, 18–25.
- 71) 金盛浩吉 (1988) 「和歌山県紀南海域におけるイセエビの資源生態と漁業管理の研究」 昭和61年度和歌山県水産試験場事業報告, 109–209.
- 72) 加納裕二 (1988) 「北太平洋の海況とその黒潮、エル・ニーニョとの関係」 海と空, 4, 159–174.
- 73) 紀伊民報 (2010) 「美しくなって減る漁獲量—栄養成分減る田辺湾」 2010年1月15日付.
- 74) 気象庁 (1964) 気象要覧第761号, 昭和38年1月.
- 75) 気象庁 (2010) 気象統計情報. 海洋の健康診断表. 気象庁ホームページ.
- 76) 北川尚志 (1974) 「南方熊楠とコケ」 南紀生物, 16, 29–30.
- 77) 木村妙子 (2000) 「人間に翻弄される貝たち」 月刊海洋号外, 20, 66–73.
- 78) 国司秀明・西勝也・鈴木徹 (1967) 「田辺湾における海況変動の観測」 京都大学防災研究所年報, 10(B), 305–311.

- 79) 国司秀明・西勝也・鈴木徹 (1968)「田辺湾における海況変動の観測 (第2報)」京都大学防災研究所年報, 11(B), 327-335.
- 80) 久野正博・山田浩且 (2006)「黒潮大蛇行と熊野灘における漁海況変動」月刊海洋, 38, 52-57.
- 81) 久保田信・田名瀬英朋 (1995)「和歌山県白浜で採集されたサザエ」南紀生物, 37, 135-136.
- 82) 黒田一紀 (1980)「黒潮海域における動物プランクトン—主に毛顎動物の分布と親潮系冷水性動物プランクトンの出現について」月刊海洋科学, 12, 695-716.
- 83) 黒田徳米 (1929)「紀伊の貝類」貝類学雑誌, 1, 123-127.
- 84) 桑村哲生 (1980)「南紀白浜の沿岸岩礁地帯における魚類の出現季節」魚類学雑誌, 27, 243-248.
- 85) 桑村哲生 (1987)「田辺湾湾口部の沿岸魚類相—1974・75年と1985・86年の比較」南紀生物, 29, 113-120.
- 86) 桑村哲生・樫山嘉郎 (1976)「寒波によるタカラガイ類の死亡」南紀生物, 18, 46-48.
- 87) 小久保友義・竹内照文 (1987)「紀伊水道における小型種プランクトンの年変動と季節変動について」昭和60年度和歌山県水産試験場事業報告, 133-139.
- 88) 小久保友義・芳養晴雄・竹内照文・山内信 (1990-1994)「田辺湾環境把握調査」和歌山県水産試験場事業報告昭和63~平成4年度.
- 89) 国立天文台 (2006) 理科年表第2版, 環境編, p166. 丸善.
- 90) 小郷一三 (1991)「紀伊半島沿岸のウミユリ類」南紀生物, 33, 61-66.
- 91) 小島憲之・木下正俊・佐竹昭広 (1973) 万葉集3, 日本古典文学全集. 小学館.
- 92) 小菅丈治・野田圭典 (2000)「カノコガイの生息環境Ⅱ, 和歌山県紀ノ川からの産出と異なる地域間での生息場所の比較」南紀生物, 42, 105-108.
- 93) 児玉公成・磯竹正道・梶原弘子・山田琢也・久保田正 (1986)「1983年3月及び5月、熊野灘における北方性動物プランクトンの出現について」日本生物地理学会報, 41, 71-77.
- 94) 小林直正 (1983)「ウニ卵による海水汚染の生物検定Ⅱ 田辺湾, 補遺」南紀生物, 25, 181-182.
- 95) 小林直正 (1995) 水汚染の生物検定, 増補版. サイエンティスト社.
- 96) 小林直正 (2007)「ウニ卵とともに海水汚染を調べる」環境毒性学会誌, 10, 5-9.
- 97) 駒井卓 (1923)「京都大学瀬戸臨海研究所」動物学雑誌, 35, 258-267.
- 98) 駒井卓 (1928)「京都大学理学部附属瀬戸臨海研究所」理科教育, 11, 1-10.
- 99) 駒井卓 (1929)「京都帝国大学理学部瀬戸臨海研究所」京都帝国大学理学部瀬戸臨海研究所.
- 100) 近藤正人 (1963)「西日本海域における今冬(1963)年の異常海況による魚類のへい死現象について」西海区水産研究所報告, 29, 97-107.
- 101) 坂口総一郎 (1935)「和歌山県産海胆目録」紀州動植物, 2, 13-16.
- 102) 坂本市太郎 (1982)「魚類養殖による負荷の見積り」in 浅海養殖と自家汚染, 水産学シリーズ, 21, 119-129.
- 103) 阪本俊雄 (1984)「1984年冬春季の紀伊水道における魚介類浮漂斃死と異常漁況」水産海洋研究会報, 46, 115-125.
- 104) 阪本俊雄 (1987)「熊野灘・紀伊水道周辺域の中長期の漁海況変動」月刊海洋科学, 19, 456-462.
- 105) 阪本俊雄 (1991)「和歌山沿岸域の漁海況」海と空, 66 特別号, 347-366.

- 106) 阪本俊雄 (1991) 「中、長期的に見た海況変動と資源の変動」水産海洋研究, 55, 238–244.
- 107) 桜田三郎 (1968) 「とっておきの畠島を京大に渡すな」白浜新聞 1968年8月29日, 9月4日付.
- 108) 重松逸造 (1977) 「疫学とは何か—原因を追究する科学」講談社ブルーバックス.
- 109) 清水昭治 (1975) 「磯やけ現象について (2)」和歌山県水産試験場, 水試だより, 48号, p6.
- 110) 白浜町誌編纂委員会 (1974) 「白浜の名勝と地名」 in 白浜町誌本編下巻一, 287–293.
- 111) 杉山敏郎 (1937) 「本邦沿岸産現生造礁サンゴに就きて」東北帝国大学理学部地質学古生物学教室研究邦文報告, 26, 1–60.
- 112) 鈴木清・片岡照男 (1997) 「三重の海産魚類」鳥羽水族館.
- 113) 諏訪剛 (2003) 「2002年8月に観測された紀伊半島西岸の沿岸湧昇」和歌山県農林水産技術センター研究報告, 5, 101–106.
- 114) 瀬木紀男 (1951) 「海藻」 in 三重県産生物目録, 三重県生物調査委員会 (編), 340–352.
- 115) 銭谷武平 (1998) 「畔田翠山伝」東方出版.
- 116) 高畑由紀夫・木村恵春・本庄弘文・山本章嗣 (1984) 「畠島におけるウニ類の分布」南紀生物, 26, 25–29.
- 117) 竹内淳一 (1985) 「1984年冬・春季の紀伊水道における異常冷水現象について」南西海区ブロック海洋研究会報告, 2, 9–26.
- 118) 竹内淳一 (1987) 「熊野灘南部海域における暖水舌と沿岸湧昇」月刊海洋科学 19, 447–455.
- 119) 竹内淳一 (1998) 「黒潮の離岸距離に伴う沿岸水温の変化」平成8年度和歌山県水産試験場事業報告, 171–184.
- 120) 竹内淳一 (2003) 「黒潮変動と紀伊半島周辺のイセエビ資源の変動」平成13年度和歌山県水産試験場事業報告, 199–203.
- 121) 竹内淳一 (2003) 「黒潮変動と紀伊半島周辺のイセエビ資源の変動」水産海洋研究, 67, 124–127.
- 122) 竹内淳一 (2005) 「紀伊半島の海洋構造と変動および漁業への影響」和歌山県農林水産総合技術センター特別研究報告, 8, 1–123.
- 123) 竹内淳一・中地良樹・小久保友義 (1997) 「紀伊水道に進入する表層暖水と底層冷水」海と空, 73, 81–92.
- 124) 竹内照文 (1980) 「和歌山県沿岸域の赤潮」昭和54年度和歌山県水産試験場事業報告, 186–199.
- 125) 竹内照文 (1990) 「田辺湾における汚染負荷量調査」和歌山県水産試験場事業報告, 63, 48–49.
- 126) 竹内照文 (1994) 「和歌山県田辺湾における赤潮渦鞭毛藻 *Alexandrium catenella* の生態に関する研究」和歌山県水産試験場特別研究報告第2号, 1–88. 和歌山県水産試験場.
- 127) 竹内照文・芳養晴雄 (1980) 「田辺湾の赤潮 I, 発生傾向と環境について」昭和54年度和歌山県水産試験場事業報告, 200–215.
- 128) 竹内照文・芳養晴雄・中西一 (1983) 「赤潮多発期の湾内におけるプランクトン相について」昭和56年度赤潮予察調査報告書 (瀬戸内海ブロック), 水産庁.
- 129) 竹山俊雄 (1929) 「紀伊安久川の洪積統」地球, 11, 222–224.
- 130) 辰喜洸 (1966) 「南紀州沿海の海況および沿岸(海岸)漁業の概況」 in 和歌山県海中公園学術

- 調査報告書, 109–126. 日本自然保護協会.
- 131) 田名瀬英朋 (1977) 「和歌山県・白浜町でカブトガニ採取される」南紀生物, 19, p58.
- 132) 田名瀬英朋・池田久和 (1986) 「白浜町に打ち上げられたイシイルカ」南紀生物, 28, p16.
- 133) 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.
- 134) 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.
- 135) 田名瀬英朋・荒賀忠一・太田満・山本泰二 (1992) 「海水魚数種の低温致死限界について」瀬戸臨海実験所年報, 5, 49–54.
- 136) 玉井恭一 (1990) 「底生生物」 in 海面養殖と養殖場環境, 水産学シリーズ 82, 69–78. 恒星社厚生閣.
- 137) 玉置昭夫 (1995) 「スナモグリ類による住み場所の性状改変とベントス群集への影響」 in 棲み場所の生態学, 129–273. 竹門康弘・谷田一三・玉置昭夫・向井宏・川端善一郎(編). 平凡社.
- 138) 玉置昭夫 (2001) 「メタ群集の構築過程と時空間スケールの重要性—砂質干潟ベントス群集」 in 群集生態学の現在, 301–325. 佐藤弘明・山本智子・安田弘法(編). 京都大学学術出版会.
- 139) 時岡隆 (1979) 「南紀生物について」南紀生物, 21, 1–5.
- 140) 時岡隆・原田英司・布施慎一郎 (1975) 和歌山県神島より番所岬をへて権現崎にいたる沿岸海域の学術調査. 京都大学理学部付属瀬戸臨海実験所.
- 141) 時岡隆・布施慎一郎・荒賀忠一 (1968) 「造礁サンゴ移植実験経過報告」海中公園情報, 1, 4–6.
- 142) 時岡隆・布施慎一郎・荒賀忠一・波部忠重 (1966) 「田辺湾より潮岬に至る海中景観のあらまし」和歌山県海中公園学術調査報告書, 41–73. 日本自然保護協会.
- 143) 永井誠二 (1989) 「和歌山県沿岸のカニ類相」南紀生物, 31, 39–44.
- 144) 中沢圭二・市川浩一郎・市原実 (1987) 「日本の地質 6 近畿地方」共立出版.
- 145) 長澤良太 (1982) 「紀伊田辺平野における先・原始時代の遺跡立地とその古地理」人文地理, 34, 276–287.
- 146) 長澤良太 (1983) 「田辺湾沿岸の海岸地形の形成過程と後期完新世海面変化」東北地理, 35, 11–19.
- 147) 中館昭・高谷祐吉・椿修二 (1996) 「大阪湾、紀伊水道および黒潮域における化学成分の分布」神戸海洋気象台彙報, 215, 9–20.
- 148) 中野大三郎・西脇三郎 (1992) 「イボニシにおける imposex の地方変異」貝類学雑誌, 51, 79–87.
- 149) 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, 169–171.
- 150) 南紀生物同好会(編) (1979) 和歌山の生物. 帯伊書店.
- 151) 西川輝昭 (1988) 「ホヤ類からみた紀伊半島の海」南紀生物, 30, 7–13.
- 152) 西村昭史 (1984) 「1984年冬季の熊野灘における北方生物の出現」水産海洋研究会報, 46, 126–127.
- 153) 西村鋼児 (2003) 「縄文時代の田辺」 in 田辺市史, 第1巻, 104–125. 田辺市史編纂委員会.
- 154) 西村三郎 (1973) 「海流と生物の長距離分散」海洋科学 5 (6), 61–68.
- 155) 西村三郎 (1981) 地球の海と生命. 海鳴社.
- 156) 西村三郎 (1992) 日本海岸動物図鑑 [I]. 保育社.

- 157) 丹羽祐一 (1977) 「和歌山県瀬戸遺跡の発掘調査」 京都大学埋蔵文化財研究センター・京都大学構内遺跡調査研究年報, 昭和 52 年度, 21-31.
- 158) 野田圭典 (2001) 「アシベマスオガイ (新称) の日本における生息分布記録」 ちりぼたん, 31, 91-97.
- 159) 服部昭尚 (1993) 「田辺湾湾口部における魚類の種構成と個体数の変化—6・7 年前および 17・18 年前との比較」 関西自然保護機構会報, 15, 25-45.
- 160) 波部忠重 (1949) 「田辺湾の底生動物群集と貝類遺骸の堆積」 日本水産学会誌, 15, 238-244.
- 161) 波部忠重 (1950) 「田辺湾における貝類の生態的分布」 貝類学雑誌, 16, 13-18.
- 162) 波部忠重 (1956) 「内湾の貝類遺骸の研究」 生理生態学研究業績, 77, 1-31.
- 163) 速水頌一郎・国司秀明・西勝也 「白浜海洋観測塔の設備と二、三の観測記録について」 京都大学防災研究所年報, 7, 434-453.
- 164) 原田一夫 (1982) 「紀州介品諸録」 田辺文化財, 25, 38-47.
- 165) 原田英司・小松結 (1995) 「田辺湾域における潮間帯岩礁性動物の分布」 瀬戸臨海実験所年報, 8, 24-34.
- 166) 原田英司・吉村克生・今岡亨・和田恵次 (1982) 「田辺湾の海況—1981 年 9 月と 1982 年 2 月」 南紀生物, 24, 77-83.
- 167) 原田哲朗 (1988) 「紀の国石ころ散歩」 宇治書店.
- 168) 番所崎調査グループ (1995) 番所崎貝類相調査.
- 169) 福田照雄 (1984) 「寒波に耐えた天神崎のエダミドリイシ」 マリンパビリオン, 13, 2-3.
- 170) 福田照雄 (1977-2003) 「海中展望塔に集まる魚 1-26」 マリンパビリオン, vol 6-32.
- 171) 福井康雄・和田恵次 (1985) 「田辺湾南岸の異尾類・短尾類とその分布」 南紀生物, 25, 159-167.
- 172) 藤本実・友定彰 (1980) 「黒潮大蛇行期・非蛇行期からみた本州南東沿岸域の平均水温分布について」 東海区水産研究所研究報告 103, 17-30.
- 173) 藤原建紀・宇野奈津子・多田光男・中辻啓二・笠井亮秀・坂本亘 (1997) 「紀伊水道の流れと栄養塩輸送」 海と空, 73, 63-72.
- 174) 布施慎一郎 (1962) 「アマモ場における動物群集」 生理生態, 11, 1-45.
- 175) 布施慎一郎 (1989) 「田辺湾夏季海象の年次変化」 瀬戸臨海実験所年報, 3, 35-46.
- 176) 星野通平 (1971) 「大陸棚」 in 浅海地質学 (海洋科学基礎講座 7), 253-422. 東海大学出版会.
- 177) 堀口敏宏 (1997) 「インポセックスによる貝類絶滅の危機」 in 貝のミラクル, 奥谷喬編, 169-193. 東海大学出版会.
- 178) 堀越増興・菊池泰二 (1976) 「藻場のベントス群集」 in 海藻・ベントス (海洋科学基礎講座 5), 308-325. 東海大学出版会.
- 179) 堀木信男 (1976) 「和歌山沿岸海域におけるプランクトン沈殿量について」 昭和 50 年度和歌山県水産試験場事業報告, 131-138.
- 180) 堀木信男 (2005) 「サザエの分布と水温および黒潮流軸変動」 南紀生物, 47, 145-149.
- 181) 前杵英明・坪野賢一郎 (1990) 「紀伊半島南部の完新世地殻変動」 地学雑誌, 99, 349-369.
- 182) 松井佳一・内橋潔 (1940) 「日本産サザエの棘の変異に就て」 日本水産学会誌 8, 349-354.
- 183) 松本幸雄 (1979) 「三重の貝類」 鳥羽水族館.

- 184) 真砂久哉・後藤伸・玉井済夫(編)「神島の生物」田辺市教育委員会.
- 185) 真鍋伊右衛門 (1981)「陳情書 (白浜町長宛)」昭和 56 年 1 月.
- 186) 真鍋巖 (1991)「いそもんの大発生」本覚寺杼貝, 4, p20.
- 187) 真鍋巖 (1992)「白良浜のハマグリとバカガイ」本覚寺杼貝, 7, p22.
- 188) 御前洋 (1984)「産卵期は何日？」マリンパビリオン, 13, 28–29.
- 189) 御前洋 (1985)「寒波によるイシサンゴ類の生存限界について」海中公園情報, 68, 15–19.
- 190) 満塩大洗・欽崎智弘・栗林知史 (1998)「紀伊半島における前期更新世の塔島層」高知大学  
学術研究報告 (自然科学), 47, 49–56.
- 191) 翠川忠康・木村創 (1990)「地域特産種増殖技術開発事業」和歌山県水産増殖試験場報告, 21,  
33–36.
- 192) 翠川忠康・藤井久之 (1987)「サザエの成熟・産卵に関する研究Ⅱ」和歌山県水産増殖試験  
場報告, 18, 57–65.
- 193) 南方熊楠 (1929)「紀州田辺湾の生物」in 南方熊楠全集 6, 276–294. 平凡社 (1973).
- 194) 宮地伝三郎 (1938)「田辺湾の底生群集の予察研究」日本水産学会誌, 7, 176–178.
- 195) 宮地伝三郎 (1940)「田辺湾軟底部の群集」植物及動物, 8, 377–383.
- 196) 宮地伝三郎・増井哲夫・波部忠重 (1944)「内湾度と内湾の生物群集型について」生理生態  
業績, 3, 1–20.
- 197) 宮本典子・広瀬正紀・高須秀樹 (1997)「臨海実習で観察された加太と白浜の海藻相とその  
変遷」和歌山大学教育学部紀要 (自然科学), 47, 45–56.
- 198) 八杉龍一・小関治男・古谷雅樹・日高敏隆 (編) (1996) 生物学辞典第 4 版. 岩波書店.
- 199) 柳沢踐夫 (1986)「熊野灘におけるサケ *Oncorhynchus keta* (Walbaum) の捕獲例」南紀生  
物, 28, 55–58.
- 200) 柳沢踐夫 (1992)「熊野灘におけるマスノスケ *Oncorhynchus tshawytscha* (Walbaum) の  
捕獲例」南紀生物, 34, 16–19.
- 201) 山田常雄ほか (編) (1977)「海洋動物地理学」in 生物学辞典第 2 版. 岩波書店, 159–161.
- 202) 山本虎夫 (1966)「紀南沿岸における藻類相の概況」in 和歌山県海中公園学術調査報告書,  
103–108. 日本自然保護協会.
- 203) 山本虎夫 (1982)「白浜海域産藻類」白浜町誌, 自然編.
- 204) 夕刊和歌山時事 (1968)「生物の宝庫島保存を喜ぶ」1968 年 8 月 8 日付.
- 205) 横山寿・杜多哲・阿保勝之・山本茂也 (1996)「五ヶ所湾のマクロベントス相: 1993 年と  
1941 年の比較」養殖研報, 25, 23–42.
- 206) 吉岡洋 (1971)「冬季紀伊水道に発生する Oceanic front について (1)」海と空, 46, 31–44.
- 207) 吉岡洋 (1988)「冬季紀伊水道に発生する沿岸フロント」海と空, 64, 79–111.
- 208) 吉岡洋 (2001)「田辺湾の海水交流や赤潮に対する海上風の影響について。」海と空, 77, 83–90.
- 209) 吉田昭三 (1961)「遠州灘沖冷水塊と黒潮の変動について (その 1)」水路要報, 67, 54–57.
- 210) 吉田陽一 (1983)「生物指標法」in 漁業環境アセスメント (水産学シリーズ 48), 吉田多  
摩夫(編), 25–46. 恒星社厚生閣.
- 211) 淀真理ほか (2006)「南方系種を含むスナガニ属 3 種の和歌山市における生息状況:  
2000–2003 年」日本ベントス学会誌, 61, 2–7.

- 212) 和歌山県水産増殖試験場 (1994–2006) 「漁場保全対策事業, 生物モニタリング調査」和歌山県水産増殖試験場報告, 26~37号.
- 213) 和田恵次 (1985) 「白浜沿岸におけるヒメカクオサガニの季節的消長」南紀生物, 27, 27–29.
- 214) 和田恵次・山本善馬 (1989) 「ワダツミギボシムシ糞塊についての予備的観察」南紀生物, 26, 51–52.

## 文献 (英文)

※アルファベット順

- 215) Abe N (1989) Interactions between carnivorous gastropods and their sessile animal prey at a rocky intertidal shore. *Physiology and Ecology Japan*, 26, 1–38.
- 216) Allison G W, Lubchenco J, Carr M H (1998) Marine reserves are necessary but not sufficient for marine conservation. *Ecological Applications*, 8 (supplement), 579–592.
- 217) Amemiya I (1928) Ecological studies of Japanese oysters, with special reference to the salinity of their habitats. *Journal of the College of Agriculture, Imperial University of Tokyo*, 9, 333–382.
- 218) Araga C & Tanase H (1968) Further record of winter fish stranding in the vicinity of Seto. *Publications of the Seto Marine Biological Laboratory*, 16, 207–218.
- 219) Bak R P M & Newland G (1995) Long-term change in coral communities along depth gradients over leeward reefs in the Netherlands Antilles. *Bulletin of Marine Science*, 56, 609–619.
- 220) Barry J P, Baxter C H, Sagarin R D, Gilman S E (1995) Climate-related, long-term faunal changes in a California rocky intertidal community. *Science*, 267, 672–675.
- 221) Beukema J J (1974) Seasonal changes in the biomass of the macro-benthos of a tidal flat area in the Dutch Wadden Sea. *Netherlands Journal of Sea Research*, 8, 94–107.
- 222) Beukema J J (1976) Biomass and species richness of the macro-benthic animals living on the tidal flats of the Dutch Wadden Sea. *Netherlands Journal of Sea Research*, 10, 236–261.
- 223) Beukema J J (1988) An evaluation of the ABC-method (abundance/biomass comparison) as applied to macrozoobenthic communities living on tidal flats in the Dutch Wadden Sea. *Marine Biology*, 99, 425–433.
- 224) Beukema J J (1991) Changes in composition of bottom fauna of a tidal-flat area during a period of eutrophication. *Marine Biology*, 111, 293–301.
- 225) Beukema J J (1995) Long-term effects of mechanical harvesting of lugworms *Arenicola marina* on the zoobenthic community of a tidal flat in the Wadden Sea. *Netherlands Journal of Sea Research*, 33, 219–227.
- 226) Beukema J J (2002) Expected changes in the benthic fauna of Wadden Sea tidal flats as a result of sea-level rise or bottom subsidence. *Journal of Sea Research*, 47, 25–39.
- 227) Beukema J J & Cadee G C (1999) An estimate of the sustainable rate of shell extraction

- from the Dutch Wadden Sea. *Journal of Applied Ecology*, 36, 49–58.
- 228) Beukema J J & Dekker R (2005) Decline of recruitment success in cockles and other bivalves in the Wadden Sea: possible role of climate change, predation on postlarvae and fisheries. *Marine Ecology Progress Series*, 287, 149–167.
- 229) Beukema J J, Essink, K and Dekker, R (2000) Long-term observations on the dynamics of three species of polychaetes living on tidal flats of the Wadden Sea: the role of weather and predator-prey interactions. *Journal of Animal Ecology*, 69, 31–44.
- 230) Birkeland C (1982) Terrestrial runoff as a cause of outbreaks of *Acanthaster planci* (Echinodermata: Asteroidea). *Marine Biology*, 69, 175–185.
- 231) Briggs J C (1995) Global biogeography. Elsevier.
- 232) Buchanan J B (1993) Evidence of benthic pelagic coupling at a station off the Northumberland coast. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 172, 1–10.
- 233) Buhl-Jensen L & Fosså J H (1991) Hyperbenthic crustacean fauna of the Guilmarfjord area (western Sweden): species richness, seasonal variation and long-term changes. *Marine Biology*, 109, 245–258.
- 234) Callaway R, Engelhard G H, Dann J, Cotter J, Rumohr H (2007) A century of North Sea epibenthos and trawling: comparison between 1902–1912, 1982–1985 and 2000. *Marine Ecology Progress Series*, 346, 27–43.
- 235) Chiji M & Lopez S M (1968) Regional foraminiferal assemblages in Tanabe Bay, Kii Peninsula, central Japan. *Publications of the Seto Marine Biological Laboratory*, 16, 85–125.
- 236) Connell J H (1978) Diversity in tropical rain forests and coral reefs. *Science*, 199, 1302–1311.
- 237) Connell J H (1997) Disturbance and recovery of coral assemblages. *Coral Reefs*, 16, S101–S113.
- 238) Connell J H, Hughes T P, Wallace C C (1997) A 30-year study of coral abundance, recruitment, and disturbance at several scales in space and time. *Ecological Monographs*, 67, 461–488.
- 239) Connell J H et al. (2004) A long-term study of competition and diversity of corals. *Ecological Monographs*, 74, 179–210.
- 240) Crisp D J (ed.) (1964) The effects of the severe winter of 1962–63 on marine life in Britain. *Journal of Animal Ecology*, 33, 165–210.
- 241) Crisp D J & Southward A J (1958) The distribution of intertidal organisms along the coasts of the English Channel. *Journal of the marine biological Association of the United Kingdom*, 37, 157–208.
- 242) Davis G E (1982) A century of natural change on coral disturbance at the Dry Tortugas: a comparison of reef maps from 1881 and 1976. *Bulletin of Marine Science*, 32, 608–623.
- 243) Dethier M N, Graham E S, Cohen S, Tear L M (1993) Visual versus random-point percent cover estimations: 'objective' is not always better. *Marine Ecology Progress Series*, 96,

- 93–100.
- 244) Doller S J & Tribble G W (1993) Recurrent storm disturbance and recovery: a long-term study of coral communities in Hawaii. *Coral Reefs*, 12, 223–233.
- 245) Done T (1992) Constancy and change in some Great Barrier Reef coral communities: 1980–1990. *American Zoologist*, 32, 655–662.
- 246) Duarte C M, Cebrián J, Marbà N (1992) Uncertainty of detecting sea change. *Nature*, 356, p190.
- 247) Dye A H (1998) Dynamics of rocky intertidal communities: analyses of time series from South African shores. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 46, 297–305.
- 248) Dye A H (1998) Community level analyses of long-term changes in rocky littoral fauna from South Africa. *Marine Ecology Progress Series*, 164, 47–57.
- 249) Emson R H & Faller-Fritsch R J (1976) An experimental investigation into the effect of crevice availability on abundance and size-structure in a population of *Littorina rudis* (Maton): Gastropoda: Prosobranchia. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 23, 285–297.
- 250) Essink K & Beukema J J (1986) Long-term changes in intertidal flat macrozoobenthos as an indicator of stress by organic pollution. *Hydrobiologia*, 142, 209–215.
- 251) Evans S M, Gill M E, Hardy F G, Seku F O K (1993) Evidence of change in some rocky shore communities on the coast of Ghana. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 172, 129–141.
- 252) Farrell T M, Bracher D, Roughgarden J (1991) Cross-shelf transport causes recruitment to intertidal populations in central California. *Limnology and Oceanography*, 36, 279–288.
- 253) Flach E & Tamaki A (2001) Competitive bioturbation on intertidal sand flats in the European Wadden Sea and Ariake Sound in Japan. *Ecological Studies*, 151, 149–171.
- 254) Forcada A et al. (2009) Effects of habitat on spillover from marine protected areas to artisanal fisheries. *Marine Ecology Progress Series*, 379, 197–211.
- 255) Frid C L J, Buchanan J B, Garwood P R (1996) Variability and stability in benthos: twenty-two years of monitoring off Northumberland. *ICES Journal of Marine Science*, 53, 978–980.
- 256) Frid C L J, Clark R A, Hall J A (1999) Long-term changes in the benthos on a heavily fished ground off the NE coast of England. *Marine Ecology Progress Series*, 188, 13–20.
- 257) 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. *Records of Oceanographic Works in Japan*, Special Number 2, 3–9.
- 258) Gardner T A, Côte E M, Gill J A, Grant A, Watkinson A R (2003) Long-term region-wide declines in Caribbean corals. *Science*, 301, 958–960.
- 259) Gardner T A, Côte E M, Gill J A, Grant A, Watkinson A R (2005) Hurricanes and Caribbean coral reefs: impacts, recovery patterns, and role in long-term decline. *Ecology*, 86, 174–184.

- 260) Goreau T J (1992) Bleaching and reef community change in Jamaica: 1951–1991. *American Zoologist*, 32, 683–695.
- 261) Granovitch A I (1999) Parasitic systems and the structure of parasite populations. *Helgoländer Marine Research*, 53, 9–18.
- 262) Gray J S & Christie H (1983) Predicting long-term changes in marine benthic communities. *Marine Ecology Progress Series*, 13, 87–94.
- 263) Grigg R W & Maragos J E (1974) Recolonization of hermatypic corals on submerged lava flows in Hawaii. *Ecology*, 55, 387–395.
- 264) Guzman H M & Cortéz J (2007) Reef recovery 20 years after the 1982–1983 El Niño massive mortality. *Marine Biology*, 151, 401–411.
- 265) Habe T (1958) A study on the productivity of the Tanabe Bay (Part I) VI. Zonal arrangement of intertidal benthic animals in the Tanabe Bay. *Records of Oceanographic Works in Japan*, Special Number 2, 43–49.
- 266) Habe T (1960) Pelecypod shell remains in Tanabe Bay, Wakayama Prefecture. *Record of Oceanographic Works in Japan*, Special Number 4, 39–51.
- 267) Hardy F G, Evans S M, Tremayne M A (1993) Long-term changes in the marine macroalgae of three polluted estuaries in north-east England. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 172, 81–92.
- 268) Hay M E (1984) Patterns of fish and urchin grazing on Caribbean coral reefs: are previous results typical? *Ecology*, 65, 446–454.
- 269) Hiscock K (1981) The rocky shore ecology of Sullom Voe. *Proceedings of the Royal Society of Edinburgh*, 80B, 219–240.
- 270) Hockey P A R, Bosman A L, Siegfried W R (1988) Patterns and correlates of shellfish exploitation by coastal people in Transkei: an enigma of protein production. *Journal of Applied Ecology*, 25, 353–363.
- 271) Hughes L (2000) Biological consequences of global warming: is the signal already apparent? *Trends in Ecology and Evolution*, 15, 56–61.
- 272) Huges T P (1994) Catastrophes, phase shifts, and large-scale degradation of a Caribbean coral reef. *Science*, 265, 1547–1551.
- 273) Hughes T P & Tanner J E (2000) Recruitment failure, life histories, and long-term decline of Caribbean corals. *Ecology*, 81, 2250–2263.
- 274) Hunter C L & Evans C W (1995) Coral reefs in Kaneohe Bay, Hawaii: two centuries of western influence and two decades of data. *Bulletin of Marine Science*, 57, 501–515.
- 275) Hurlbert S H (1984) Pseudoreplication and the design of ecological field experiments. *Ecological Monographs*, 54, 187–211.
- 276) Hurlbert S H (2004) On misinterpretations of pseudoreplication and related matters: a reply to Oksanen. *Oikos*, 104, 591–597.
- 277) Imafuku M & Imaoka T (1983) Composition of the fixed sea urchin colony on Hatakejima Island, 1977 and 1982. *Publications of the Seto Marine Biological Laboratory*, 28, 445–446.

- 278) IPCC (2007) Climate Change 2007: Impacts, adaptation and vulnerability. Contribution of Working Group II to the fourth assessment report of the intergovernmental panel on climate change.
- 279) Iwasaki K (1995) Comparison of mussel bed community between two intertidal mytilids *Septifer virgatus* and *Hormomya mutabilis*. *Marine Biology*, 123, 109–119.
- 280) Josefson A B (1990) Increase of benthic biomass in the Skagerrak-Kattegat during the 1970s and 1980s—effects of organic enrichment? *Marine Ecology Progress Series*, 66, 117–130.
- 281) Josefson A B & Rosenberg R (1988) Long-term soft-bottom faunal changes in three shallow fjords, west Sweden. *Netherlands Journal of Sea Research*, 22, 149–159.
- 282) Kawai T & Tokeshi M (2004) Variable modes of facilitation in the upper intertidal: goose barnacles and mussels. *Marine Ecology Progress Series*, 272, 203–213.
- 283) Kishi M (1977) Upwelling along the east coast of the Izu Peninsula. *Umi to Sora*, 52, 59–66.
- 284) Kobayashi N (1971–1992) Bioassay data for marine pollution using sea urchin eggs. *Publications of the Seto Marine Biological Laboratory*, vol. 18~35.
- 285) Kobayashi N (1991) Marine pollution bioassay by using sea urchin eggs in the Tanabe Bay, Wakayama Prefecture, Japan, 1970–1987. *Marine Pollution Bulletin*, 23, 709–713.
- 286) Kobayashi N, Yamato S, Harino H, Kitano M (2008) A bioassay using sea urchin egg development to identify organotin pollution in sea water. *Coastal Marine Science*, 32, 77–81.
- 287) Komai T, Akatsuka K, Ikari J (1927) The Seto Marine Biological Laboratory of the Kyoto Imperial University, its equipment and activities, with remarks on the fauna and flora of the environs. *Memoirs of the College of Sciences, Kyoto Imperial University, Series B*, 3, 281–304.
- 288) Komai T & Ikari J (1928) The Seto Marine Biological Laboratory of the Kyoto Imperial University: Its equipment and activities, with remarks on the fauna and flora of the environs. *Records of Oceanographic Works in Japan*, 1, 113–129.
- 289) Konda I (1967) Foraminiferal faunules from the Minabe-Sakai shell bed, Kii Peninsula, central Japan. *Bulletin of the Osaka Museum of Natural History*, 20, 31–38.
- 290) Konda I (1969) Foraminiferal faunule from the Akugawa shell bed, Kii Peninsula, central Japan. *Bulletin of the Osaka Museum of Natural History*, 22, 85–96.
- 291) Koyama Y, Yamamoto T, Toki Y, Minato H (ed.) (1981) A catalogue of molluscs of Wakayama Prefecture, the province of Kii. *Publications of the Seto Marine Biological Laboratory*, Special Publication Series 7(1).
- 292) Lewis J R (1964) *The Ecology of Rocky Shores*. The English University Press Ltd, London.
- 293) Matsumasa M (1994) Effect of secondary substrate on associated small crustaceans in a brackish lagoon. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 176, 245–256.

- 294) McQuaid C D & Branch G M (1984) Influence of sea temperature, substratum and wave exposure on rocky intertidal communities: an analysis of faunal and floral biomass. *Marine Ecology Progress Series*, 19, 145–151.
- 295) Menge B A (2000) Top-down and bottom-up community regulation in marine rocky intertidal habitats. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 250, 257–289.
- 296) Menge B A et al. (1997) Benthic-pelagic links and rocky intertidal communities: bottom-up effects on top-down control? *Proceedings of the National Academy of Science USA*, 94, 14530–14535.
- 297) Mii H (1962) Coastal Geology of Tanabe Bay. *Scientific Reports of the Tohoku University, 2nd Series (Geology)*, 34, 1–93.
- 298) Mill J S (1891) A System of Logic. University Press of the Pacific, Honolulu, 2002.
- 299) Miller A W & Ambrose R F (2000) Sampling patchy distributions: comparison of sampling designs in rocky intertidal habitats. *Marine Ecology Progress Series*, 196, 1–14.
- 300) Miyadi D (1940) Marine benthic communities of the Tanabe Wan. *Annotationes Zoologicae Japonenses*, 19, 136–148.
- 301) Miyadi D (1941) Indentation individuality in the Tanabe-wan. *Memoirs of the Imperial Marine Observatory*, 7, 471–482.
- 302) Moreno C A, Sutherland J P, Jara H F (1984) Man as a predator in the intertidal zone of southern Chile. *Oikos* 42, 155–160.
- 303) Murray S N, Ambrose R E, Dethier M N (2006) Monitoring rocky shores. University of California Press.
- 304) Nakamura A (1958) A study on the productivity of the Tanabe Bay (Part I), II, Tidal currents in the Tanabe Bay. *Records of Oceanographic Works in Japan*, Special Number 2, 10–22.
- 305) Ohgaki S (2001) Distribution of intertidal macrobenthos around Hatakejima Island, 1993. *Argonauta*, 5, 32–47.
- 306) Ohgaki S (2002) Distribution of intertidal macrobenthos around Hatakejima Island, 1998. *Argonauta*, 6, 15–31.
- 307) Ohgaki S (2003) Distribution of intertidal macrobenthos around Hatakejima island, 2003. *Argonauta*, 9, 21–34.
- 308) Ohgaki S (2007) Molluscan assemblages along a bay coastline: gradients related to geographical distribution and feeding habits of species. *Plankton & Benthos Research*, 2, 28–37.
- 309) Ohgaki S (2007) List of intertidal molluscan species around Tanabe Bay, 2004. *Argonauta*, 14, 14–19.
- 310) Ohgaki S (2010) List of shore molluscs along the south-west coast of the Kii Peninsula, 2007–2008. *Argonauta*, 18, 31–49.
- 311) Ohgaki S, Abe N, Takegami T, Wada K (1985) Spacial occurrence of 91 intertidal animal species on Hatakejima Island, 1983. *Publications of the Seto Marine Biological Laboratory*,

- 30, 325–332.
- 312) Ohgaki S, Komemoto K, Funayama N (2007) Distribution of intertidal molluscan species around Motoshima Island, 2005. *Argonauta*, 13, 26–28.
- 313) Ohgaki S, Takenouchi K, Hashimoto T, 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.
- 314) Ohgaki S, Yamanishi R, Nabeshima Y, Wada K (1997) Distribution of intertidal macrobenthos in 1993 around Hatakejima Island, central Japan, compared with 1969 and 1983–84. *Benthos Research*, 52, 89–102.
- 315) Oksanen L (2001) Logic of experiments in ecology: is pseudoreplication a pseudoissue? *Oikos*, 94, 27–38.
- 316) Okuno R, Fuse S, Harada E (1958) A study on the productivity of the Tanabe Bay V. Distribution and abundance of rocky reef fishes in the Tanabe Bay. *Records of Oceanographic Works in Japan*, Special Number 2, 36–42.
- 317) Omori M (1967) *Calanus cristatus* and submergence of the Oyashio water. *Deep-sea Research*, 14, 525–532.
- 318) Palumbi S R (2000) The ecology of marine protected areas. *in* Marine Community Ecology. Bertness D, Gaines S D, Hay M E (eds), 509–530. Sinauer Associates.
- 319) Pearson R G (1981) Recovery and recolonization of coral reefs. *Marine Ecology Progress Series*, 4, 105–122.
- 320) Pearson T H, Josefson A B, Rosenberg R (1985) Petersen's benthic stations revisited. I. Is the Kattegatt becoming eutrophic? *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 92, 157–206.
- 321) Pearson T H, Rosenberg R (1978) Macrobenthic succession in relation to organic enrichment and pollution of the marine environment. *Oceanography and Marine Biology Annual Review*, 16, 229–311.
- 322) Persson E (1981) Were macrobenthic changes induced by thinning out of flatfish stocks in the Baltic proper? *Ophelia*, 20, 137–152.
- 323) Persson E (1987) Baltic eutrophication: a contribution to the discussion. *Ophelia*, 27, 31–42.
- 324) Philippart C J M et al. (2003) Climate-related changes in recruitment of the bivalve *Macoma balthica*. *Limnology and Oceanography*, 48, 2171–2185.
- 325) Piersma T et al. (2001) Long-term indirect effects of mechanical cockle dredging on intertidal bivalve stocks in the Wadden Sea. *Journal of Applied Ecology*, 38, 976–990.
- 326) Pilsbry H A (1895) Catalogue of the marine molluscs of Japan. Published by F Stearns, Detroit.
- 327) Potts D C (1981) Crown-of-thorns starfish – man-induced pest or natural phenomenon? *in* The Ecology of Pests, Kitching R L & Jones R E (eds), 55–86. CSIRO.
- 328) Quinn J F & Dunham A E (1983) On hypothesis testing in ecology and evolution. *The*

- American Naturalist*, 122, 583–601.
- 329) Raffaeri D & Hawkins S (1999) Intertidal ecology, 2nd ed. Kruwer Academic Publishers
- 330) Raffaeri D G & Hughes R N (1978) The effects of crevice size and availability on populations of *Littorina rudis* and *Littorina neritoides*. *Journal of Animal Ecology*, 47, 71–83.
- 331) Rosenberg R, Gray J S, Josefson A B, Pearson T H (1987) Petersen's benthic stations revisited. II. Is the Oslofjord and eastern Skagerrak enriched? *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 105, 219–251.
- 332) Rosenberg R & Möller P (1979) Salinity stratified benthic macrofaunal communities and long-term monitoring along the west coast of Sweden. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 37, 175–203.
- 333) Roughgarden J, Gaines S, Possingham H (1988) Recruitment dynamics in complex life cycles. *Science*, 241, 1460–1466.
- 334) Sagarin R D, Barry J P, Gilman S E, Baxter C H (1999) Climate-related change in an intertidal community over short and long time scales. *Ecological Monographs*, 69, 465–490.
- 335) Schrader-Frechette K S & McCoy E D (1992) Statistics, costs and rationality in ecological inference. *Trends in Ecology and Evolution*, 7, 96–99.
- 336) Segal E & Danel P A (1962) Osmotic behavior in an intertidal limpet *Acmaea limatula*. *Biological Bulletin*, 122, 417–430.
- 337) Sekine Y & Fujita K (1999) Why does the sea level difference between Kushimoto and Uragami show periods of large meander and non-large meander paths of the Kuroshio south of Japan. *Journal of Oceanography*, 55, 43–51.
- 338) Sekine Y, Miyamoto S (2002) Influence of Kuroshio flow on the horizontal distribution of North Pacific Intermediate Water in the Shikoku Basin. *Journal of Oceanography*, 58, 611–616.
- 339) Sekine Y, Uchiyama K (2002) Outflow of the Intermediate Oyashio Water from Sagami Bay to the Shikoku Basin. *Journal of Oceanography*, 58, 531–537.
- 340) Shipley B (2000) Cause and correlation in biology. Cambridge University Press.
- 341) Southward et al. (2005) Long-term oceanographic and ecological research in the western English Channel. *Advances in Marine Ecology*, 47, 1–105.
- 342) Stobart B et al. (2009) Long-term and spillover effects of a marine protected area on an exploited fish community. *Marine Ecology Progress Series*, 384, 47–60.
- 343) Strasser M & Günther C-P (2001) Larval supply of predator and prey: temporal mismatch between crabs and bivalves after a severe winter in the Wadden Sea. *Journal of Sea Research*, 46, 57–67.
- 344) Takeuchi J, Honda N, Morikawa Y, Koike T, Nagata Y. (1998) Bifurcation current along the southwest coast of the Kii Peninsula. *Journal of Oceanography*, 54, 45–52.
- 345) Tokioka T (1961) Record of an unusual fish stranding in winter, with the list of stranded fishes identified by Prof. K. Matsubara. *Publications of the Seto Marine Biological*

- Laboratory*, 9, 201–204.
- 346) Tokioka T (1963) Supposed effects of the cold weather of the winter 1962–63 upon the intertidal fauna in the vicinity of Seto. *Publications of the Seto Marine Biological Laboratory*, 11, 245–254.
- 347) Tokioka T (1966) Recovery of the Echinometra population in the intertidal zone in the vicinity of Seto, with a preliminary note on the mass mortality of some sea urchins in the summer season. *Publications of the Seto Marine Biological Laboratory*, 14, 7–16.
- 348) Tokioka T & Imafuku M (1977) Composition of the fixed sea urchin colony on Hatakejima Island, 1976. *Publications of the Seto Marine Biological Laboratory*, 23, 425–426.
- 349) Tsuda R, Kumai H, Nakamura M (1988) Rapid water temperature descent observed during the season of overall warming trends at Uragami Bay. *Nippon Suisan Gakkaishi*, 54, 419–428.
- 350) Tunberg B G & Nelson W G (1998) Do climatic oscillations influence cyclical patterns of soft bottom macrobenthic communities on the Swedish west coast? *Marine Ecology Progress Series*, 170, 85–94.
- 351) 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 (Preliminary Report). *Records of Oceanographic Works in Japan*, Special Number 2, 50–56.
- 352) Vermeij G J (1971) Substratum relationships of some tropical Pacific intertidal gastropods. *Marine Biology*, 10, 315–320.
- 353) Walther G-R et al. (2002) Ecological responses to recent climate change. *Nature*, 416, 389–395.
- 354) Warwick et al. (2002) Inter-annual changes in the biodiversity and community structure of the macrobenthos in Tees Bay and the Tees estuary, UK, associated with local and regional environmental events. *Marine Ecology Progress Series*, 234, 1–13.
- 355) Wielgus J, Glassom D, Fishelson L (2003) Long-term persistence of low coral cover and abundance on a disturbed coral reef flat in the northern Red Sea. *Journal of Experimental Marine biology and Ecology*, 297, 31–41.
- 356) Wing S R, Bostford L W, Largier J L, Morgan L E (1995) Spatial structure of relaxation events and crab settlement in the northern California upwelling system. *Marine Ecology Progress Series*, 128, 199–211.
- 357) Yamaguchi M (1986) *Acanthaster planci* infestations of reefs and coral assemblages in Japan: a retrospective analysis of control efforts. *Coral Reefs*, 5, 23–30.
- 358) Yamazi I (1958) Preliminary check list of plankton organisms found in Tanabe Bay. *Publications of the Seto Marine Biological Laboratory*, 7, 111–163
- 359) Yamazi I (1958) A study on the productivity of the Tanabe Bay (Part I) IV. On some plankton indicating the water exchange in the Tanabe Bay. *Records of Oceanographic Works in Japan*, Special Number 2, 25–35.

## 索引

※アイウエオ順

### 種名

- アイゴ 25, 80  
アオチビキ 25  
アオブダイ 49  
アカエイ 99  
アカシオウズムシ 82  
アカフジツボ 44  
アカヤガラ 25  
アキニレ 59  
アコヤガイ 74, 80  
アサリ 14, 43, 91  
アシ 43, 55, 82  
アシハラガニ 55  
アシベマスオ 23  
アデヤカヒメカノコアサリ 45  
アナアオサ 88  
アマオブネ 44, 50, 72  
アマモ 43, 46, 65, 86  
アミメハギ 49  
アミモヨウ 82  
アヤボラ 14, 24  
アラムシロ 82  
アラレタマキビ 42, 49, 50, 53, 106  
イガイ 64  
イサキ 79  
イシイルカ 24  
イシダタミ 50, 53, 55  
イシマキガイ 55  
イシマテ 37, 53  
イセエビ 19, 28, 29, 79  
イソガニ 53  
イソナマコ 53  
イソニナ 36  
イソハマグリ 43, 91  
イソヨコバサミ 53  
イヌマキ 59  
イボウミニナ 43  
イボキサゴ 82, 99  
イボタマキビ 42, 53, 106  
イボニシ 21, 50, 77, 78, 90  
イワフジツボ 42, 49  
ウスバアオノリ 42  
ウネレイシダマシ 77  
ウミウチワ 65  
ウミゾウメン 64  
ウミタナゴ 21  
ウミトラノオ 42, 73  
ウミニナ 43, 62  
ウミヒメカノコ 43  
ウミヒルモ 46  
ウメノハナガイ 43, 46  
ウメボシイソギンチャク 66  
オウギガニ 53  
オオアカフジツボ 42, 44, 45, 53, 55  
オオイワフジツボ 42  
オオベッコウガサ 102  
オオヘビガイ 44, 50, 78  
オキシジミ 43, 55, 62  
オニヒトデ 100  
オハグログキ 18, 24, 26, 42, 44, 50, 53,  
75, 77, 81, 91  
オハグログキモドキ 23  
カガミガイ 82  
カギイバラノリ 82  
カサゴ 49  
カサネカンザシ 82  
カタクチイワシ 28  
カツオ 28, 79, 80  
カノコガイ 23  
カブトガニ 86  
カメノテ 53, 65, 76, 91, 92

カモガシラノリ 82  
カモノアシガキ 61, 93  
カモメガイ 37, 50  
カリガネエガイ 78, 91  
カワアイ 86  
カワウ 59  
カワザンショウ 43, 82, 86  
キイロダカラ 65  
キクノハナガイ 53  
キッコウグサ 82  
キノクニスゲ 58  
ギボシイソメ 67  
キリガイダマシ 61  
ギンタカハマ 91  
ククリクチキレ 65  
クシハダミドリイシ 24  
クジャクガイ 36  
クチグロキヌタ 65  
クログチ 42, 73  
クロダイ 49, 80  
クロフジツボ 42, 44, 45, 53, 65  
クロマツ 59  
ケガキ 42, 44, 50, 53, 71, 72, 75, 81, 88, 91  
ケショウシラトリ 14, 24  
コアマモ 43, 46, 86  
コキザミハマツボ 65  
コゲツノブエ 43, 86  
コシダカウニ 52, 68  
コシダカガンガラ 55  
コビトウラウズ 42  
ゴマフニナ 26, 44, 72  
コメツキガニ 43, 53  
コモンダカラ 65  
コロダイ 49  
サザエ 20, 21, 29, 62, 63  
ササノハベラ 49  
サヨリ 14  
サルエビ 28  
シイラ 79  
シオヤガイ 91  
シズクガイ 45  
シマアジ 80  
シマメノウフネガイ 82  
シマレイシダマシ 50, 77, 78  
ショウサイフグ 66  
シラヒゲウニ 26  
シロカラマツガイ 53  
シロザケ 24  
シロスジフジツボ 42, 45, 53, 65  
シロボヤ 53  
シロマスオ 43, 50  
スガイ 44, 50, 53, 78, 91  
スケトウダラ 24  
スズメダイ 49  
スダレハマグリ 62  
スナガニ 43  
スナタバムシ 46  
スリコギツタ 82  
スルメイカ 79  
セイウチ 24  
セミアサリ 91  
センダン 58  
センニンガイ 61  
タイトゴメ 58  
タイワンクロフジツボ 44, 45  
タイワンシラトリ 62  
タイワンのタマキビ 42  
タチウオ 28, 79  
タツノオトシゴ 66  
タテジマフジツボ 82  
タブノキ 58  
タマキビ 42  
タマグシフサゴカイ 45  
ダルマゴカイ 45  
タワシウニ 26, 53, 68, 72, 91  
チゴガニ 43  
チゴケムシ 53, 55  
チドリマスオ 43, 50

チビアシヤ 65  
 チョウチョウウオ 23, 25, 49  
 ツノメガニ 23  
 ツバサゴカイ 53  
 ツマジロナガウニ 69  
 ツルモ 64  
 トコブシ 91  
 トビハゼ 55  
 ドロアワモチ 82, 86  
 ナガウニ 24, 26, 68, 72  
 ニオガイ 37, 50  
 ニセクロナマコ 26  
 ネンブツダイ 21  
 ハイガイ 61, 62, 86, 93  
 ハカマカズラ 58  
 バクチノキ 58  
 ハコフグ 66  
 ハシリイワガニモドキ 23  
 ハタタテダイ 25  
 ハナヤサイサンゴ 24  
 ハネモ 59  
 バフンウニ 26  
 ハボウキガイ 91  
 ハマガニ 55  
 ハマグリ 62, 63, 86  
 ハリセンボン 22  
 ハルマンズナモグリ 99  
 ビカリア 61  
 ヒザラガイ 21, 44, 55, 65  
 ヒジキ 42, 65, 73, 87, 92  
 ヒトエグサ 42, 65, 73  
 ヒバリガイモドキ 42-44, 50, 53, 76, 77,  
     81, 91, 94  
 ヒメアカガイ 43  
 ヒメウズラタマキビ 42  
 ヒメカクオサガニ 23  
 ヒメカニモリ 45  
 ヒメカノコ 82  
 ヒメスナホリムシ 43  
 ヒライソガニ 55  
 ヒラメ 14, 19  
 ピリヒバ 14  
 ヒロメ 22, 82  
 フクロフノリ 14, 87  
 ブダイ 49  
 フタバカクガニ 55  
 フトヘナタリ 43, 55  
 ブリ 28, 80, 89  
 ベッコウガサ 50, 74  
 ヘナタリ 43, 82  
 ベニヒモイソギンチャク 26  
 ホウキムシ 65  
 ホソウミニナ 50  
 ホソジュズモ 88  
 ホソタケフシ 45, 57, 67  
 ホルトノキ 59  
 ホンダワラコケムシ 82  
 ホンナガウニ 69  
 マアジ 28, 79  
 マイワシ 28  
 マガキ 42, 44, 50, 55, 63, 71, 75, 81, 88, 91, 94  
 マガキガイ 26, 91  
 マサバ 28  
 マスノスケ 24  
 マダイ 79, 89  
 マツカゼ 50  
 マルアジ 28  
 マルソウダ 28  
 ミジンヤムシ 47  
 ミズヒキゴカイ 46, 67  
 ミドリイガイ 20, 82  
 ミドリシャミセンガイ 65, 86  
 ミナミアカエビ 28  
 ミナミクロフジツボ 44  
 ムラサキイガイ 56, 81, 82, 87  
 ムラサキインコ 42, 43, 53, 64, 76, 77,  
     81, 91, 92  
 ムラサキウニ 26, 53, 68, 72, 91

ムラサキグミモドキ 53  
ムラサキハナギンチャク 65  
メクラガイ 50, 53  
モロテゴカイ 45  
ヤコウチュウ 48, 65  
ヤッコカンザシ 36, 91  
ユビナガホンヤドカリ 53  
ヨウジウオ 66  
ヨーロッパフジツボ 82  
レイシガイ 18, 21  
レイシダマシモドキ 70, 77  
ワカメ 22  
ワカレオタマボヤ 47  
ワダツミギボシムシ 53, 65, 72, 86

*Alexandrium catenella* 48, 82  
*Chaetoceros pendulus* 47  
*Euterpina acutifrons* 47  
*Karenia mikimotoi* 82  
*Nitschia seriata* 47  
*Oithona nana* 47  
*Oithona similis* 47  
*Paracalanus parvus* 47  
*Skeletonema costatum* 47, 48, 56

## 事項

赤潮 15, 31, 40, 48, 57, 66, 82, 88, 89  
移入種 82, 83  
インポセックス 90  
エクマン流 7, 40  
エル・ニーニョ 93, 96, 99, 101, 110  
溺れ谷地形 34  
親潮潜流 24  
親潮中層水 24  
温暖化 92, 94  
海底谷 60  
開放度 9  
海洋保護区 103  
環境ホルモン 90  
貫入 39  
偽個体群 22–25, 31  
擬似反復 111  
北太平洋中層水 24  
紀南分枝流（黒潮の）6  
クレビス 36  
ケスタ地形 35  
コドラート法 106  
死滅回遊 22  
主成分分析（PCA）2, 40  
縄文海進 60, 62, 83, 92  
吹送距離 9  
帯状分布構造 42, 75  
タイドプール 35, 36, 73  
蛇行（黒潮の）4, 8, 28, 31, 85  
段丘 34, 60  
中規模かく乱説 99  
潮汐流 38  
恒流 39  
定性評価 105  
定量評価 106  
トランセクト法 106  
トンボロ 51  
南方性種（定義）14  
ノッチ 35–37  
波蝕棚（プラットフォーム）34–37, 49  
波浪指標 9  
半定量評価 106  
付加体 12

副振動 39  
浮漂死 25  
プラットフォーム 35, 36, 49  
振り分け潮 6  
フロント 6, 30, 39, 57  
北方性種 (定義) 17  
無効分散 22, 23, 24  
メタ解析 111  
有意差 4  
湧昇 4, 7, 27, 30, 40, 96  
リアス式海岸 34  
C/P 値 14, 107  
E/O 比 69, 88, 107  
MDS (多次元尺度構成法) 16, 44, 48  
NAO (北大西洋振動) 100, 101, 110

## 人名

アーサー・アダムズ 64  
畔田翠山 64  
阿部直哉 70  
伊藤立則 106  
宇井縫蔵 65  
オクサネン 111  
駒井卓 66  
西行 64  
ドゥンカー 64  
時岡隆 26  
西村三郎 22  
ハールバート 111  
原田英司 10  
ピーターセン 99  
平賀源内 64  
平瀬与一郎 65  
ピルスブリ 64  
フィッシャーRA 110  
布施慎一郎 86  
ボイセン・イェンセン 99  
南方熊楠 58, 66  
ミルJS 110  
モルガン 66

著者略歴

大垣俊一（おおがきしゅんいち）

専門 海洋生態学

東京都生まれ

京都大学理学部卒業

京都大学理学研究科動物学専攻博士課程修了・理学博士

1991年より和歌山県田辺市在住

---

浅海生物相の長期変動－ 紀州田辺湾の自然史

初版 2010年9月

電子版 2011年5月

著者 大垣俊一

発行 南紀沿岸生態研究室

〒646-0032 和歌山県田辺市下屋敷町129 第2中央ビル

印刷 光楽堂（株）京都市左京区北白川西町82

Long-term dynamics of coastal marine biota: a scientific natural history of Tanabe Bay

Published by the Nanki Laboratory of Coastal Marine Ecology, Tanabe, Japan

© Shun-ichi Ohgaki 2011