

特集 フィールドシンポジウム「海岸生物の長期変遷からみえる近年の兆候」

「番所崎貝類相調査」の概要と長期継続に伴う課題

大阪市立自然史博物館

和歌山県田辺市

和歌山県田辺市

石田 惣

米本 憲市

船山 展孝

An outline of ‘Cape Bansho Malacofauna Research’ and some issues associated with its long-term continuation. So Ishida* (*Osaka Museum of Natural History*), Kenichi Komemoto (*Tanabe, Wakayama*) and Nobutaka Funayama (*Tanabe, Wakayama*)

This paper gives the outline of ‘Cape Bansho Malacofauna Research,’ which is a long-term survey recording all the mollusks that occur in the permanent quadrates settled on the rocky seashore of Shirahama, Wakayama, Japan. This research detected an increase in the species number and the number of recorded quadrates of ‘southern species’ (the latitude of northern limit is lower than 35°N, Boso Peninsula). Results revealed the relationship between faunal transition and climate change, mainly focusing on the increase in the winter seawater temperature. Although long-term ecosystem monitoring is an effective way to detect the influence of climate change on the population, community, and biodiversity, there are some issues associated with the projects’ continuation. The four main issues of this research are: 1) research design, 2) taxonomy of target species, 3) funding, and 4) securing investigator. We have discussed the possible solutions to these problems.

Keywords: Rocky intertidal zone; Long-term ecosystem monitoring; Climate change; Global warming; Molluscs

要旨: 和歌山県白浜町の岩礁潮間帯で永久方形枠内に出現する全ての貝類を毎年記録する「番所崎貝類相調査」について概説する。この調査では1985年の開始以降、南方性種（分布北限が房総半島以南の種）の種数と出現方形枠数の増加を観測しており、冬季水温上昇を中心とする気候変動との関連を見出している。気候変動が個体群や群集、生物多様性に与える影響を検出するうえで長期生態系調査は有効であるが、その長期性ゆえに継続には課題が付きまとう。本調査の例に即して(1) 調査デザイン、(2) 対象種の分類、(3) 資金、(4) 担い手をとりあげ、その解決可能性について検討した。

キーワード: 岩礁潮間帯, 長期生態系調査, 気候変動, 地球温暖化, 軟体動物

はじめに

人間活動によってもたらされる環境や気候の変化は、生物多様性や個体群の維持に大きく影響することが懸念される (Bellard et al., 2012)。この影響と要因を検知する方法として、生態系を数十年の長期にわたり、連続して観測する調査は有用

である (Haase et al., 2016)。世界的に見ても数は少ないものの、沿岸域を対象とした事例もあり、気候変動が個体群や群集構造の変化をもたらす強い要因であることが複数のサイトで見出されている (Southward et al., 1995 ; Southward et al., 2005 ; Beukema & Dekker, 2005)。沿岸域は人間生活との接点も大きい。生態系サービスの供給源

としての視点からも、沿岸生態系の長期モニタリングは今日的意義を有している。一方で、その長期性ゆえに他の生態学調査にはない特有の課題があり (Lindenmayer & Likens, 2009), しばしばその継続に支障をきたすことがある。

本稿では、日本のみならず世界でも数少ない岩礁潮間帯での長期生態系調査の事例として、大垣俊一 (1955 - 2012) が 1985 年から開始した和歌山県白浜町の番所崎での貝類相調査について紹介する。前半では調査方法の概要と、大垣が見出した貝類相の変化と気候変動との関係について概説する。後半では大垣の調査の事例に即して、長期生態系調査に伴う課題を挙げる。その解決可能性について考え、今後の継続への展望につなげてみたい。

大垣は、在野にあって地道に多くの業績を築いた海洋生態学者である。京都大学瀬戸臨海実験所 (白浜町) の大学院生として研究活動をスタートし、その後仕事の関係で県外に住むが、1991 年からは和歌山県田辺市に居を構え、以降は一貫して田辺湾をメインフィールドとした。学位論文はアラレタマキビの垂直移動に着目した種生態の研究だったが、当初から環境変動に伴う生物相の変化にも高い関心を持っていた。実験所の位置する田辺湾では 1970 年代からの富栄養化とそれに伴う底層の溶存酸素の減少や赤潮の発生増加が起きており、瀬戸臨海実験所の教員は生物相・個体群への影響を指摘していた (時岡, 1982; 山本, 1982)。この問題は当時の実験所内でも大きな議論になっていたと思われる。大垣は実際に田辺湾の島島の潮間帯生物相について、利用可能な過去のデータ (例えば実習時の磯観察の記録) と現在とを比較するというを試み、特に軟体動物での種数の減少の可能性を見いだしている (大垣・田名瀬, 1984a, 1984b; 大垣, 1984, 1987)。以来、沿岸海洋生物の長期変動とその要因解析は、

大垣のライフワークと位置付けられることになった (大垣, 2010)。

長期変動を解析しようとする場合、定量性を担保した方法を反復してデータを得ることが必要である。大垣が先の島島で用いた過去のデータはある時点での生物相を示す情報ではあるが、定量反復を意識した調査方法ではない。この課題から、大垣は長期変動の検出を意識した生物相調査を立ち上げることになる (大垣・竹之内, 1986, 1987)。それが番所崎貝類相調査である。

番所崎貝類相調査

番所崎貝類相調査は 1985 年に始まった。番所崎は田辺湾の湾口部南側に位置し (図 1a), 調査地は南岸に突き出た比較的平坦な岩礁である (図 2)。この岩盤上に 8m × 8m の方形枠を 69 設置し (図 1b), 各方形枠内の貝類全種 (ただし 1993 年以前は後鰓類は対象外) を記録する調査である。調査区は潮位で +40 - +225cm の範囲にある (1985 - 2010 年の同地の大潮平均低潮線は +5cm, 大潮平均高潮線は +183cm)。調査は年に 1 回、4 - 5 月の大潮干潮時に行い、1 方形枠につき貝類を同定できる 1 - 4 名の調査者が目視で 20 - 60 分間探索する (図 3)。1993 年までは方形枠内での各種の在・不在のみを記録していたが、1994 年以降は密度評価として、各種について方形枠内の最大密度を 5 段階で評価 (方形枠内で 1 個体のみ発見; 1 - 9 個体/m²; 10 - 99 個体/m²; 100 - 999 個体/m²; 1000 - 5000 個体/m²) するようになった。1985 年から 2010 年までの全 242 種のデータは瀬戸臨海実験所研究報告の特別出版物として公開されている (Ohgaki et al., 2011)。大垣が亡くなる前年の 2011 年からは調査する方形枠を 69 から 25 に減らし (図 1c), 米本と船山によって調査は継続されている。

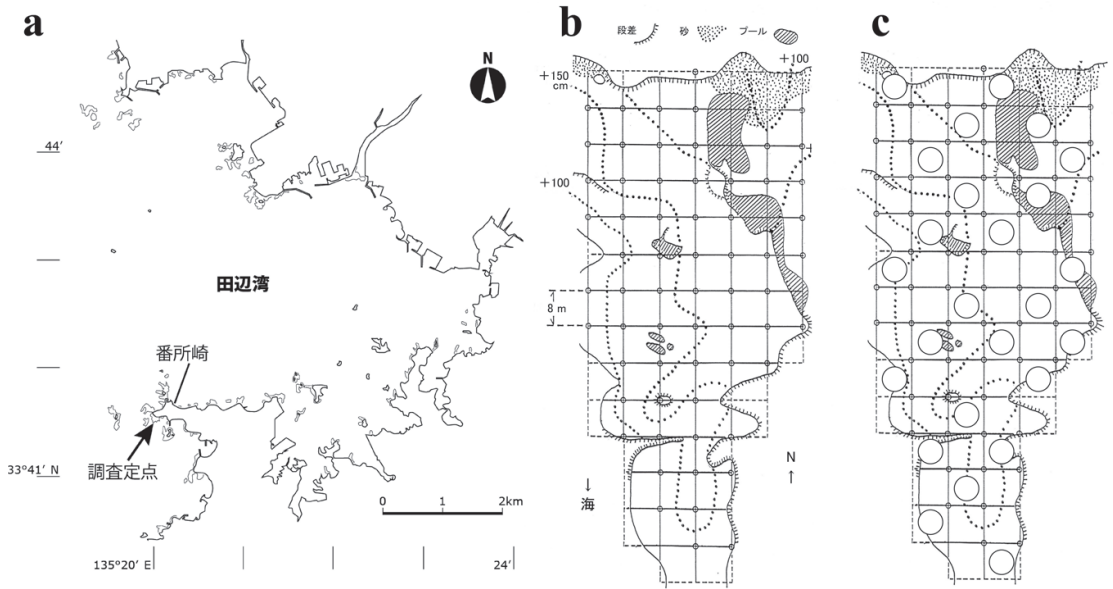


図 1. (a) 番所崎貝類相調査の定点の位置. (b) 方形枠の配置と微環境の概略. (c) 2011 年以降の調査方形枠 (○印).



図 2. 北から南に向かって見た調査定点の景観 (2011 年 4 月 20 日, 大垣撮影).



図 3. 調査時の様子 (2004 年 5 月 5 日, 米本撮影).

本調査で大垣が主眼に置いたのは、気候変動に伴う生物相変化である。大垣はそれぞれの種の生物地理分布に注目し、分布する緯度範囲を、その種の生息に適した温度の指標とみなして、気候変動が生物の生存（ひいては生物相）に与える影響を検討しようとした（大垣，2008a）。海産、特に沿岸性の貝類はベントスの中でも地理的分布の情

報が比較的網羅されている分類群であり（例えば肥後・後藤，1993），このような解析に向いていると言える。大垣は北限が房総半島（北緯 35 度）より低緯度にある種を「南方性種」、北限が房総半島より高緯度にある種を「非南方性種」と定義し、1985 年から 1994 年までの 10 年間で記録された 183 種（南方性種 56%，非南方性種 44%）

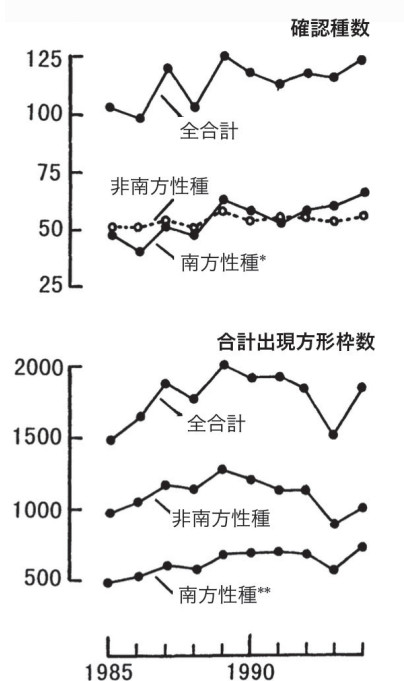


図 4. 南方性種と非南方性種の確認種数と、合計出現方形枠数の推移 (1985 - 1994 年). *: $p < 0.05$, **: $p < 0.01$ (Kendall rank correlation test による). Ohgaki et al. (1999) の Figure 3a および 3b より, 発行者の許可を得て一部改変して転載.

についてそれぞれの動態を解析した。その結果、南方性種の確認種数と合計出現方形枠数が 10 年間で有意に増加していたという (図 4)。この間、冬季の気温と海水温は有意に上昇 (番所崎の冬季沿岸平均水温は 1980 年代前半から 90 年代前半にかけて 1.9°C 上昇) し、紀伊半島と黒潮流路との年平均距離は有意に縮小傾向にあった。このことから、冬季温暖化による死亡率減少と黒潮による幼生供給の増加が、番所崎での南方性貝類の増加を引き起こした主因であると結論づけている (Ohgaki et al., 1999)。岩礁潮間帯での生物相の変化を検出し、かつ気候変動と結びつけた研究例は世界的にも少なく、これはひとえに大垣の慧眼と執念の成果と言えるだろう。調査開始時に大垣の



図 5. 番所崎のヒバリガイモドキのベッド上で穿孔捕食するシマレイシガイダマシと、その匂いを探知して寄ってきたウネレイシガイダマシ. 石田撮影.

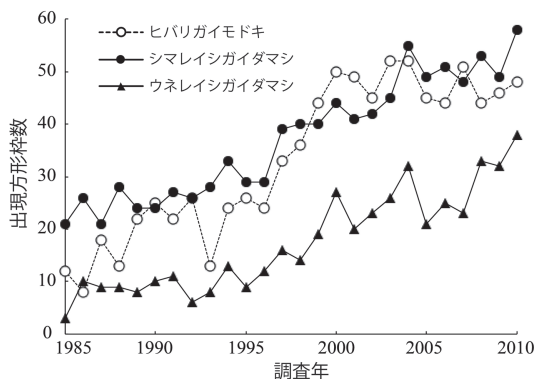


図 6. ヒバリガイモドキ, シマレイシガイダマシ, ウネレイシガイダマシの出現方形枠数の推移 (1985 - 2010 年). Ohgaki et al. (2011) のデータより作成.

問題意識の一つにあったと思われる栄養塩濃度については、本調査では要因としては検出されていない。番所崎は田辺湾の外に位置しており、湾内での富栄養化の影響は受けにくいと大垣は推察している (Ohgaki et al., 1999)。

この傾向はその後どうなったのだろうか。試みに、公開された 2010 年までのデータを見てみることにする。大垣が定義した南方性種のうち、番所崎で比較的良好に見られるイガイ科の二枚貝ヒバリガイモドキ *Hormonya mutabilis*, アッキガイ科

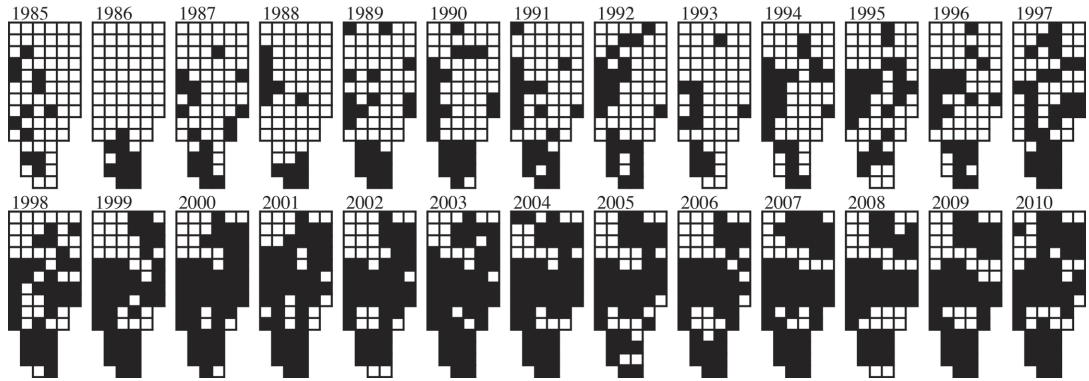


図 7. ヒバリガイモドキが出現した各調査年の方形枠（黒色）. Ohgaki et al. (2011) のデータより作成.

の巻き貝シマレイシガイダマシ *Tenguella musiva*, ウネレイシガイダマシ *Drupella margariticola* (図 5) の出現方形枠数を図 6 に、一例としてヒバリガイモドキが出現した各調査年の方形枠を図 7 に示す。1985 - 2005 年の 3 種の推移は大垣 (2010) でもすでに示されているが、ここでは 2006 - 2010 年を追加したうえで解析をしてみる。ヒバリガイモドキとシマレイシガイダマシは 1985 - 1994 年の間ですでに有意な増加傾向を示していたが (Ohgaki et al., 1999), ウネレイシガイダマシではこの間には有意な傾向ではなかった (Kendall rank correlation, $\tau = 0.23$, $p = 0.37$)。1995 年以降, 3 種の出現方形枠数の増加が見てとれる。1985 - 2010 年でのそれらの傾向はいずれも有意である (Kendall rank correlation, ヒバリガイモドキ: $\tau = 0.71$; シマレイシガイダマシ: $\tau = 0.86$; ウネレイシガイダマシ: $\tau = 0.76$, いずれも $p < 0.001$)。田辺湾沿岸の冬季平均 (毎 2 月の月平均) 水温は, 1981 - 2005 年の間で見てても有意な上昇を示しているという (大垣, 2008b)。少なくとも, 冬季海水の温暖傾向と南方性種の増加については大垣の推論が継続しているのかもしれない。ただし, 種間関係がもたらす影響についての検討も必要であろう。ここで例に挙げた 3 種には, 実は強い種間関係が存在する。シマレイシガイダマシはヒバリ

ガイモドキの主要な捕食者であり, ウネレイシガイダマシはシマレイシガイダマシが穿孔して捕食した餌を横取りする「盗み寄生」の習性 (図 5) が強い (Ishida, 2001, 2004)。捕食 - 被食や寄生関係が相互の個体群動態に大きく影響することは言うまでもない。大垣もこの要因を無視していたわけではないが (Ohgaki et al., 1999), 番所崎で観測されている貝類相の長期変動は, 種間関係にも着目した解析と議論が求められるだろう。

長期生態系調査に伴う課題

このように, 長期生態系調査は文字通り, 長期間観測を続けて初めて成果が得られるが, 先述のように遂行には課題がある。過去の指摘と重複はするが, 番所崎貝類相調査を中心に具体例に即して挙げてみることにする。

調査デザイン

長期生態系調査を始める際, その目的に合わせた調査デザインを設計することになる。その際, 定量反復を行う以上, 途中での変更は難しいことに留意しなければならない。これはサンプリングを数年程度で完結することを目論んだ生態学研究でももちろん同様ののだが, 長期生態系調査は

データの取り直しができないという抗えぬ前提がある。

しかし、その時点でベストな方法を取ったとしても問題は起こりうる。番所崎貝類調査の場合、図 1b のように 69 の方形枠は格子状に隣接して設置された。均質に見える磯でも、細かく見ると潮位や勾配の差異があるとともに、段差やタイドプールがパッチ状に存在し、それら微環境はベントスの種構成を大きく左右する。大垣はそれらのバリエーションが変動傾向の検出に影響するのを避けるため、一定範囲の岩礁を網羅するように方形枠を設定したのである（大垣，2000）。当時、このデザインに異を唱える生態学者は（少なくとも国内には）ほとんどいなかったはずである。ところがこの頃、接着する方形枠は互いに独立でない（偽反復）恐れがあることから、生態調査のデザインとしては避けるべきという意見（Hurlbert, 1984）が現れていた。その後、1990 年代に潮間帯群集生態学で操作実験と分散分析により要因検出をする手法が隆盛となり（Underwood, 1997）、その前提として独立性を担保しえないとする接着方形枠の忌避は決定的となった（大垣，2000）。実際、大垣は番所崎貝類相調査の 10 年分のデータを当初は海外誌に投稿したが、この方形枠配置が問題とされて受理に至らず、査読者の一人は「sample design is poor and not in keeping with modern approaches」と述べたという（大垣，2000）。定量反復を旨とする長期調査をして「調査方法が時代遅れ」と言うのは、もはやその調査を続ける意味はないという宣告に等しい。番所崎貝類相調査に対する偽反復という指摘はある意味で正論である。一方、解析については近年の生態学で統計モデリングが普及するようになり、例えばこの調査ではサンプル（＝方形枠）間の非独立性を加味するモデリング（例えば空間相関を考慮した階層ベイズモデル：久保，2012）を用いることも選択

肢になるだろう。いずれにしても、調査の設計段階では可能な限り統計解析に堪えるデザインを慎重に検討する必要がある（Lindenmayer & Likens, 2009）。

調査開始の時点では想定されなかった事態が生じる、という問題は、調査に特定の機材を用いる場合でも起こりうる。例えばイギリス海峡で 1924 年から行われている動物プランクトンの長期調査の場合、途中でプランクトンネットの目合いや口径などの仕様の変更を複数回余儀なくされている（Southward et al., 2005）。調査者としては方法が変わるのは当然避けたいはずであるが、これは機材の廃番などでやむを得なかったのだらうと思われる。この場合は、調査努力量の操作や補正によって時系列解析を実現する工夫が必要になる。

調査の継続途上で調査デザインを変えざるを得なくなった場合には、新旧のデザインに基づくデータの特性を比べたうえで、両者のデータを相互に変換できるようにしておくことは有益であろう。

対象種の分類

従来は 1 種とされていても、詳細に見ると複数種に分かれるということがある。近年の遺伝子解析の普及により、このような隠蔽種が見つかるケースは増えている。長期生態系調査で対象種に隠蔽種が存在が判明した場合、それ以前のデータで種を分離するのは難しい。例えば田辺湾の島島で 1963 年から毎年行われているウニの長期密度調査では複数種のナガウニ属（*Echinometra*）が出現するが、調査開始当初、出現種は *E. mathaei*（現在の和名はホンナガウニ）1 種と見なされていた。そのため、調査開始から 45 年間の変動要因解析（Ohgaki et al., 2019）では「*Echinometra* spp.」という種群にまとめて密度評価がなされた。

この解析ではナガウニ属については生物地理的分布傾向 (Ohgaki et al. (1999) の定義による南方性種にあたる) に着目しているが、同属内でこの傾向に大きな差異がないため種群という単位で扱うことができた。もし着目する生態に種間差があるとしたら、解析は制約を受けるだろう。番所崎貝類相調査の対象種でも、例えばイボニシ *Reishia clavigera* にはサイズや食性の異なる二型の存在が指摘されている (Abe, 1985, 1989, 1994)。これも本来なら分けて扱われてしかるべきだが、番所崎貝類相調査の開始時には生態の差異が明らかでなかったためか、大垣は1種とみなし、その扱いは継続させている。データから二型を分離するのは残念ながら困難である。

同様の問題をもたらすケースとして、外見で在来種と区別のつきにくい移入種が侵入していて気づくまで時間がかかった、ということもあるかもしれない (例えば栗原, 1993)。手間とコストとの兼ね合いにはなるが、調査の都度に少数でも証拠標本を残しておけば、遡及解析の助けになる可能性はある。

なお、環境変化に対する群集の組成の変化を、種レベルではなく属レベルや科レベルで解析するというアプローチもある (Clarke, 1993)。解析に際して分類の解像度を敢えて粗くすることは、目的によっては有効な一法である。

資金

資金を確保することは、長期生態系調査を継続するうえで重要な要素である。資金の途絶が調査の中断につながったケースも多い (Duarte et al., 1992)。多くの研究助成は1-数年程度の研究期間を想定しており、長期生態系調査を意識した制度設計にはなっていない。助成を渡り歩くような資金調達に陥りがちであるが、もともと短期間で成果が出にくいことから、競争上不利な立場に

置かれる (Duarte et al., 1992) ことも多いと思われる。国際的な長期生態系調査のネットワークである「LTER Network」(URL : <https://lternet.edu/> 2018.12 参照) や、国内向けの「日本長期生態学研究ネットワーク (JaLTER)」(URL : <http://www.jalter.org/> 2018.12 参照) など、研究者間で協力して調査のプレゼンスを高める取り組みは重要である。また、政治や世論の動向に左右されるリスクはつきまとうものの、国や自治体の事業として位置づけるような働きかけも必要だと考えられる。例えば環境省が全国1000カ所程度で生物多様性に関する基礎情報を継続収集する「モニタリングサイト1000」(URL : <http://www.biodic.go.jp/moni1000/index.html> 2018.12 参照) は、2003年の事業開始から予算確保して続けられており、今後も維持が望まれる事例である。

番所崎貝類相調査の場合、調査用具や方形枠の維持にかかる消耗品を除き、ほとんど資金はかかっていない。大垣は「もともとこの種の研究に継続的な資金の供給を期待するのは無理である」とし、資金に頼らない形で進めるのが望ましいという考えを持っていた (大垣, 2003)。これは遠視ではあるが、資金をかけずに済んだのは大垣を中心として調査地の近くに居住するメンバーが関わっていたということもあるだろう。後に述べるように、この調査を今後も継続させるには、広範囲に人材を集める必要も出てくるかもしれない。資金の後ろ盾がそのハードルを下げる助けとなることは、やはり認めざるを得ないのである。

担い手

長期生態系調査の場合、対象とする生物種を見つけ、正確に同定できる人が調査に携わる必要がある。サンプルを確保して後日同定するのであればその人はフィールドにいなくても構わないが、番所崎貝類相調査の場合は現場でそれをこなす必

要がある。200種以上の貝類を同定できる人を集めるのは容易なことではない。番所崎貝類相調査が続けて来られたのは、瀬戸臨海実験所の教員や学生がその時々で手伝っていたことも大きいと思われる。担い手の確保は、石田が関わる環境省モニタリングサイト1000沿岸域調査でも課題として認識されている（石田ほか，2013；寺田ほか，2013）。例えば同調査の磯環境の場合，国内6サイトに永久方形枠を設置し，枠内に出現する生物の種と密度評価を行っており，調査に必要な能力は番所崎貝類相調査と類似する。実際の調査ではサイトの近辺で要員を確保できないことがあり，同定能力を買われて複数のサイトを渡り歩いて手伝う人もいる。研究者ポストが漸減傾向にあることも，担い手確保の負の要素である。このような調査活動において，職業研究者のみならず地域の市民科学者との連携を積極的に進めること（石田ほか，2013）は，その解決策の一つかもしれない。

同定については，DNAバーコーディングといった職人的能力に依らない手法も視野に入ってくるだろう。さらに，環境DNAから同時に多種のバーコーディングを行い近傍の生息種を推定する方法も近年めざましく発展しており（Stat et al., 2017；Yamamoto et al., 2017），今後生物相調査の大きな助けとなるかもしれない。また，機械学習による画像認識技術を用いた生物種の同定も開発が進められている（例えば「The Cornell Lab Merlin – About Merlin Bird Photo ID」，URL：<http://merlin.allaboutbirds.org/about-merlin-photo-id/> 2018.12参照）。本稿の執筆時点で生物相調査に使えるレベルの認識精度を持つものはまだないようだが，今後の技術開発の進展や普及によっては，調査をサポートするツールになるかもしれない。

大垣は長期生態系調査の必要性和有効性への信念から番所崎貝類相調査を立ち上げたわけである

が，継続に伴う上述の課題についても大垣は認識していた。2011年からの調査方形枠の抽出削減は大垣の意向によるものだが，これは方形枠間の独立性を保ちつつ，将来的に持続できる条件を整えるために労力低減を図ったものと思われる。それでも1人で調査を行う場合，干潮時に合わせて25方形枠を終えるのに5日程度を要する作業である。複数人が同時並行で行えばそれだけ日数は短縮するが，人材の確保が課題となってくる。さらに，長期生態系調査に必要なのは現場作業だけではない。繰り返しになるが，その遂行の過程で同定や解析，方法の検証を行い，方向性を見定めていく必要があり，各々の局面で多くの人の支えが必要となる。番所崎貝類相調査が将来も続き，今後懸念される海洋環境の変化を検知していくためには，調査の成果と意義を広く伝える必要がある。本稿が少しでもその橋渡しになればと考えている。

謝辞

奈良女子大学名誉教授の和田恵次博士と西海区水産研究所の栗原健夫博士には，初稿に対して有益なコメントを頂いた。また，日本ベントス学会事務局にはBenthos Research誌掲載論文の図版の転載について許諾を頂いた。記してお礼申し上げる。本稿では大垣俊一博士の意図や思考を推し量って議論を進めた。本来なら博士に斧正を請うべきものだが，残念ながら叶わない。全体を含めて内容に不備があるとすれば，その責任は当然筆者に帰すべきものであり，読者と博士にご理解を願うものである。

引用文献

Abe, N. 1985. Two forms of *Thais clavigera* (Küster,

- 1858). *Venus*, 44 : 15-26.
- . 1989. Prey value to the carnivorous gastropods *Morula musiva* (Kiener) and the two forms of *Thais clavigera* (Küster): effect of foraging duration and abandonment of prey. *Malacologia*, 30 : 373-395.
- . 1994. Growth and prey preference of the two forms in *Thais clavigera* (Küster) under rearing. *Venus*, 53 : 113-118.
- Bellard, C., C. Bertelsmeier, P. Leadley, W. Thuiller & F. Courchamp. 2012. Impacts of climate change on the future of biodiversity. *Ecology Letters*, 15 : 365-377.
- Beukema, J. J. & R. Dekker. 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.
- Clarke, K. R. 1993. Non-parametric multivariate analyses of changes in community structure. *Australian Journal of Ecology*, 18 : 117-143.
- Duarte, C. M., J. Cebrián & N. Marbà. 1992. Uncertainty of detecting sea change. *Nature*, 356 : 190.
- Haase, P., M. Frenzel, S. Klotz, M. Musche & S. Stoll. 2016. The long-term ecological research (LTER) network: Relevance, current status, future perspective and examples from marine, freshwater and terrestrial long-term observation. *Ecological Indicators*, 65 : 1-3.
- 肥後俊一・後藤芳央. 1993. 日本及び周辺地域産軟体動物総目録. 3+22+693+13+148pp. エル貝類出版局, 八尾.
- Hurlbert, S. H. 1984. Pseudoreplication and the design of ecological field experiments. *Ecological Monographs*, 54 : 187-211.
- Ishida, S. 2001. An analysis of feeding aggregations in intertidal muricids: species-specific modes of foraging - initial predation and parasitism. *Asian Marine Biology*, 18 : 1-13.
- . 2004. Initial predation and parasitism by muricid whelks demonstrated by the correspondence between drilled holes and their apparent enveloper. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 305 : 233-245.
- 石田 惣・栗原健夫・飯島明子・野田隆史・山本智子・村田明久・森 敬介. 2013. 磯生態系. 「モニタリングサイト 1000 沿岸域調査 (磯・干潟・アマモ場・藻場) 2008 - 2012 年度とりまとめ報告書」, pp. 9 - 18. 環境省自然環境局 生物多様性センター, 山梨.
- 久保拓弥. 2012. データ解析のための統計モデリング入門 —一般化線形モデル・階層ベイズモデル・MCMC. 14+267pp. 岩波書店, 東京.
- 栗原康裕. 1993. ムラサキイガイの正体. *北水試だより*, 21 : 14 - 18.
- Lindenmayer, D. B. & G. E. Likens. 2009. Adaptive monitoring: a new paradigm for long-term research and monitoring. *Trends in Ecology and Evolution*, 24 : 482-486.
- 大垣俊一. 1984. 島島本島西岸の海岸生物相, 1969 年と 1984 年. *南紀生物*, 26 : 77 - 85.
- . 1987. 近年における島島海岸無脊椎動物相の変化について. *関西自然保護機構会報*, 14 : 3 - 5.
- . 2000. 'Pseudoreplication' problem - 接着したコドラートは何が悪いのか. *Argonauta*, 2 : 21 - 32.
- . 2003. 巻頭言 研究と金. *Argonauta*, 8:1 - 2.
- . 2008a. 指標生物の論理. *日本ベントス学会誌*, 63 : 56 - 63.
- . 2008b. 田辺湾の環境, 1955 - 2005 年. *南紀生物*, 50 : 15 - 26.
- . 2010. 浅海生物相の長期変動—紀州田辺湾の自然史. 136pp. 南紀沿岸生態研究室, 田辺.

- Ohgaki, S., T. Kato, N. Kobayashi, H. Tanase, H. N. Kumagai, S. Ishida, T. Nakano, Y. Wada & Y. Yusa. 2019. Effects of temperature and red tides on sea urchin abundance and species richness over 45 years in Southern Japan. *Ecological Indicators*, 96 : 684-693.
- , K. Komemoto & N. Funayama. 2011. A Record of the Intertidal Malacofauna of Cape Bansho, Wakayama, Japan, from 1985 to 2010. *Publications of the Seto Marine Biological Laboratory, Special Publication Series*, 11 : 1-198.
- 大垣俊一・竹之内孝一. 1986. 白浜番所崎貝類相, 1985年と1986年 その1. *南紀生物*, 28 : 135 - 141.
- ・——. 1987. 白浜番所崎貝類相, 1985年と1986年 その2. *南紀生物*, 29 : 37 - 41.
- Ohgaki, S., K. Takenouchi, T. Hashimoto & K. Nakai. 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.
- 大垣俊一・田名瀬英朋. 1984a. 島島磯観察記録, 1949 - 1983 その1. *南紀生物*, 26 : 56 - 61.
- ・——. 1984b. 島島磯観察記録, 1949 - 1983 その2. *南紀生物*, 26 : 105 - 111.
- Southward, A. J., S. J. Hawkins & M. T. Burrows. 1995. Seventy year's observations of changes in distribution and abundance of zooplankton and intertidal organisms in the western English Channel in relation to rising sea temperature. *Journal of Thermal Biology*, 20:127-155.
- , O. Langmead, N. J. Hardman-Mountford, J. Aiken, G. T. Boalch, P. R. Dando, M. J. Genner, I. Joint, M. A. Kendall, N. C. Halliday, R. P. Harris, R. Leaper, N. Mieszkowska, R. D. Pingree, A. J. Richardson, D. W. Sims, T. Smith, A. W. Walne & S. J. Hawkins. 2005. Long-term oceanographic and ecological research in the Western English Channel. *Advances in Marine Biology*, 47:1-105.
- Stat, M., M. J. Huggett, R. Bernasconi, J. D. DiBattista, T. E. Berry, S. J. Newman, E. S. Harvey & M. Bunce. 2017. Ecosystem biomonitoring with eDNA: metabarcoding across the tree of life in a tropical marine environment. *Scientific Reports*, 7:12240.
- 寺田竜太・川井浩史・倉島 彰・坂西芳彦・田中次郎・村瀬 昇・吉田吾郎・青木優和・太齋彰浩・本村泰三. 2013. 藻場生態系. 「モニタリングサイト1000 沿岸域調査(磯・干潟・アマモ場・藻場)2008 - 2012年度とりまとめ報告書」, pp. 48 - 55. 環境省自然環境局 生物多様性センター, 山梨.
- 時岡 隆. 1982. 白浜海域の生物相・白浜海域の変貌と自然保護. 「白浜町誌自然編」, pp. 169 - 233. 白浜町, 白浜.
- Underwood, A. J. 1997. *Experiments in ecology: Their logical design and interpretation using analysis of variance*. 18+504pp. Cambridge University Press, UK.
- Yamamoto, S., R. Masuda, Y. Sato, T. Sado, H. Araki, M. Kondoh, T. Minamoto & M. Miya. 2017. Environmental DNA metabarcoding reveals local fish communities in a species-rich coastal sea. *Scientific Reports*, 7 : 40368.
- 山本虎夫. 1982. 白浜海域産貝類・白浜海域産藻類. 「白浜町誌自然編」, pp. 234 - 272, 白浜町, 白浜.