

バヌアツにおける親貝移植によるヤコウガイの資源増殖

鹿熊 信一郎*・寺島 裕晃**

Green Snail Resource Enhancement through Spawner Restocking in Vanuatu

KAKUMA Shinichiro, TERASHIMA Hiroaki

要旨

バヌアツのエファテ島でヤコウガイ資源が増加しているのは、10年前にJICAプロジェクトで実施した天然親貝の移植が寄与していることが、移植海域の生息数と殻高を調査した結果確認された。また、ウリピブ島で資源が増加しているのは、種苗生産・育成した成貝の移植が寄与していることが、調査の結果確認された。

要約

減少した資源を回復させるため、2007年にバヌアツのアネイチュム島からエファテ島にヤコウガイ親貝が輸送され、467個体がマンガリリウに、195個体がエファテ島北部沿岸に位置するレレバ島に移植された。2017年の調査では、親貝移植海域のヤコウガイ分布密度が周辺海域と比較してきわめて高く、親貝移植が当海域における資源の増加に寄与したと判断された。また、卓越する流れの下流部でヤコウガイ資源が増えているのは、移植海域からの幼生供給があったためと考えられる。分布していた貝の殻高組成とヤコウガイの成長速度から、2012-13年頃に卓越年級群が発生したものと考えられ、その群を発生させたのは、移植貝だけでなく、第二世代、第三世代の親貝も産卵に加わったと考えられる。

エファテ島で種苗生産したヤコウガイの小型成貝299個体が、2012年にウリピブ島に移植された。当海域でも、移植海域の分布密度が周辺海域よりきわめて高く、成貝移植が資源の増加に寄与したと判断された。殻高組成から、高密度に分布していた貝は移植貝と天然貝の両方の由来であると考えられる。

ヤコウガイ資源の増加は、親貝移植の効果だけでなく、地域のコミュニティがその海域をMPA（海洋保護区）に設定し管理したことも影響している。今後、JICAなどのプロジェクトでヤコウガイや他の定着性資源の親を移植する際は、MPA管理の支援とセットにするとともに、地域の人びとが管理に密接に関わる里海概念を導入するべきだろう。

キーワード：ヤコウガイ、バヌアツ、親貝移植、MPA、JICA

* 佐賀大学海洋エネルギー研究センター

** アイ・シー・ネット株式会社

Abstract

To recover the diminished resources, in 2007, green snails were transplanted from Aneityum Island to Efate Island in Vanuatu, i.e., 467 individuals and 203 individuals were transplanted in Mangaliliu and Leleta Island respectively. In the 2017 survey, the density of green snails in the transplanted area was extremely high compared to the surrounding area, indicating the transplantation of green snails contributed to the increase of resources in this area. The increase of green snail abundance in the downstream area of prevailing current is considered as due to the supply of larvae from the transplanted area. Based on the shell height composition and the growth rate of the green snail, dominant year classes occurred around 2012-13. It is probable that not only the transplanted snails but also the second- and third-generation green snails joined spawning.

A total of 299 small adult green snails produced in the hatchery of Efate Island were transplanted to Uripiv Island in 2012. The density of green snails in the transplanted area was much higher than that of the surrounding area in 2017, suggesting that the transplantation of adult shells contributed to the increase of the resource. Based on the shell height composition, the densely distributed green snails may have based on both transplanted and natural individuals.

The increase of the green snail abundance was not only due to the transplantation of the spawners, but also due to the resource management in MPA (Marine Protected Area) established by the local community. In the future, when JICA and other projects transplant green snails or other sedentary resources, they should be combined with support for MPA management and introduce the concept of Satoumi, where local people are closely involved in management.

1. はじめに

ヤコウガイ (*Turbo marmoratus*, 図1) は、成長すると殻高が20cmを超える大型の巻貝で、身は食用に、殻は螺鈿などの材料として利用され、奄美・沖縄を含む太平洋島嶼国の重要な水産資源となっている。しかし、近年、太平洋全域で乱獲により資源が減少している。

図2に、1950～2004年のバヌアツにおけるヤコウガイ殻の輸出量推移を示した。乱獲により資源がほぼ崩壊状態になり、1995年以降、輸出が成立しなくなった (Pakoa et al. 2014)。このため、2005年から2020年まで、ヤコウガイは全面禁漁になった。2021年現在、漁業を再開するか検討中である。1990年代における加工前のヤコウガイ殻の価格は、キロあたり1,700～2,000円なので (Pakoa et al. 2014)、50トンなら8千5百万円～1億円に



図1 ヤコウガイ

なり、重要な輸出商品だったことがわかる。

JICA（国際協力機構）は、バヌアツにおいて2006年～2009年に技術協力プロジェクト「豊かな前浜プロジェクト・フェーズ1」により、バヌアツ政府水産局（以後、水産局）の貝類増養殖技術の向上およびエファテ島の村落を対象とした住民参加型資源管理に関する技術支援を実施した。

2011年～2014年にはフェーズ2のプロジェクトとして、エファテ島北西部、マラクラ島、アネイチウム島においてフェーズ1を発展させたプロジェクトを実施した（図3）。2017年からは、主な対象地域をサント島南部、タンナ島のワイシシ、エマエ島に替えてフェーズ3が開始された。

筆者（鹿熊）は2013年に、フェーズ2プロジェクトの中間評価、後半の活動に対する技術的指導などを目的とする運営指導調査に参加した。また、2016年にフェーズ3プロジェクトの詳細設計を行うための調査団に加わった（鹿熊 2017）。これらの調査の際、資源が枯渇し

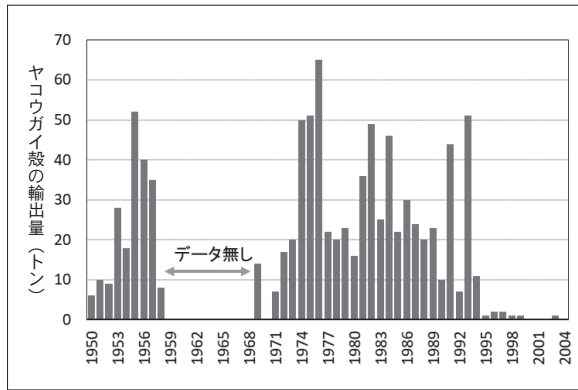


図2 ヤコウガイ殻の輸出量。
Pakoa et al. 2014の図を元に著者ら作成

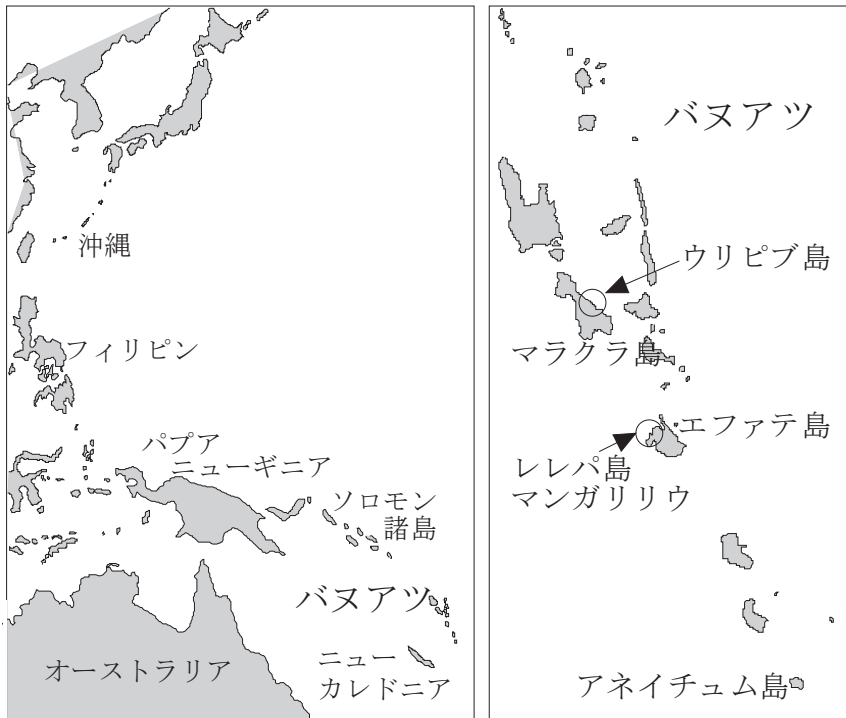


図3 バヌアツの位置とフェーズ2の対象地区

たと言われていたエファテ島でヤコウガイ資源が増えていると水産局から報告された。このプロジェクト・フェーズ1では、2007年にアネイチュムから輸送したヤコウガイ親貝662個体を、エファテ島北西部の3地区に移植している(Terashima et al. 2018)。水産局は、エファテ島でヤコウガイ資源が増えたのは、この親貝移植が原因ではないかと考えていた。

沖縄でも、減少したヤコウガイ資源を回復させるため、陸上施設で生産した人工種苗(稚貝)を放流する試みが長期間実施された。しかし、稚貝の放流では、生残率・回収率がとても低く、比較的大型の殻高50mmの稚貝の放流では、回収率は2~5%、殻高25~30mmでは回収率は0だった(久保・太田 2006)。放流した稚貝が成長し十分な量を産卵することで資源が回復することは期待できなかった。このため、沖縄県はヤコウガイの種苗放流事業を中止した。

これに対し親貝の移植では、移植したその年にも産卵することが期待できる。しかも、親貝を密に配置することで、受精率を天然のものより飛躍的に高められる可能性もある。エファテ島のヤコウガイが増えたのは、この移植親貝の産卵が原因と想定する根拠はある。しかし、これを科学的に示すデータはなかった。

また、水産局は、2007年にアネイチュムから輸送した親貝を用いて種苗生産した稚貝を陸上水槽で飼育していた。餌料不足で成長は遅く、2012年時点(5歳)で平均殻経56mm(殻高58mm)だった。この299個体を、マラクラ島北東部のウリピブ島東に移植した。ここでもヤコウガイが増えていると報告があったが、やはりこれを科学的に示すデータはなかった。

このため、フェーズ3では、プロジェクトの一環としてヤコウガイ資源増加の科学的調査が実施された。調査は2017年5月~6月に、水産局と本プロジェクトを受託したアイ・シー・ネット株式会社、および現地コミュニティの調査協力者により実施された。調査海域は、エファテ島北西部のマンガリリウ、レレバ島、モソ島、ハット島、トゥクトゥク、マラクラ島北東部のウリピブ島、ウリ島の7地区である。調査海域は、移植海域とヤコウガイの幼生が流れて運ばれる可能性の高い卓越する流れの下流海域を選定した。

本稿は、この調査結果の考察を中心に、親貝移植によってヤコウガイ資源を回復させることが可能か検討する。

2. 調査方法

各調査地区に3~5の調査サイトを計26サイト設定した。サイトは、移植地点のほか、その地区の漁業者からの聞取で過去にヤコウガイの生息域だった場所を選んだ。各サイトで、岸から50m以上離れた水深0.5~6mの海底に、岸と平行に50mのトランセクトラインを50m間隔で5本ひいた。このラインに沿って、2人のダイバーがラインの両側2mに出現したヤコウガイの数と殻高をスキンドIVINGにより測定した。同時に、ライン直下の底質を岩盤、サンゴ、レキなど7種類に分類し記録した。

3. 調査結果

1) マングリリウ

エファテ島北西部の調査サイトを図4に示した。また、100m²あたりのヤコウガイ発見数を図5に示した。

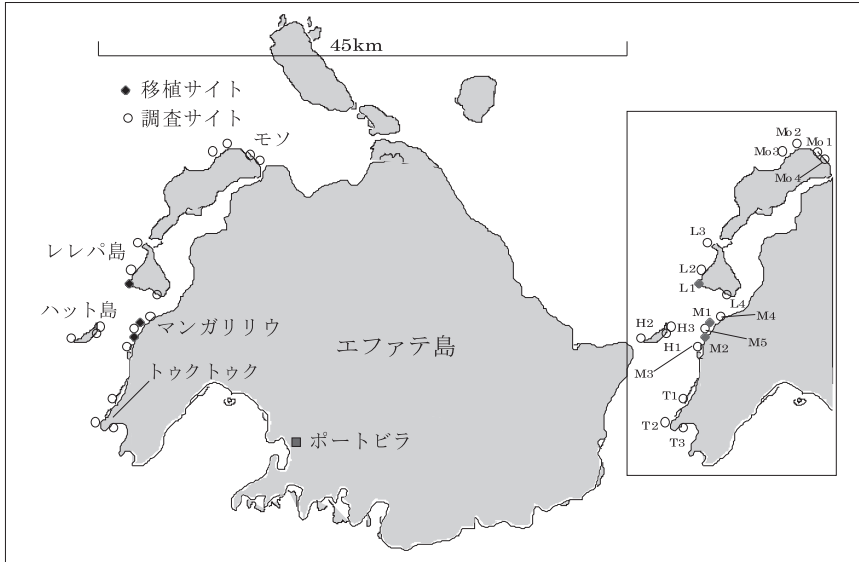


図4 エファテ島北西部の調査サイト

マングリリウでは、2007年にアネイチウムから運ばれた親のヤコウガイ467個体が、集落前 (M1) に262、その約1 km南西のカトア (M2) に205移植された (Terashima et al. 2018)。2017年5月15日の調査では、移植海域の2つのサイトでそれぞれ1.6、1.3個体/100m²でヤコウガイが分布していた。周辺3海域のサイト (M3、M4、M5) にはヤコウガイは分布していなかった。この分布量は、フランスのIRD (Institut de recherche pour le développement : 国立開発研究所) が2011-12年にほぼ同じ海域、同じ方法で実施した調査結果 (Dumas et al. 2012) の0.2個体/100m²よりかなり多い。5～6年間で資源が約3倍に増えた計算になる。地元の漁業者によれば、親貝移植の前にヤコウガイはこの海域に分布していなかった。また、太平洋でさまざまな調査を実施している国際機関SPC (Pacific Community) が2003年にエファテ島

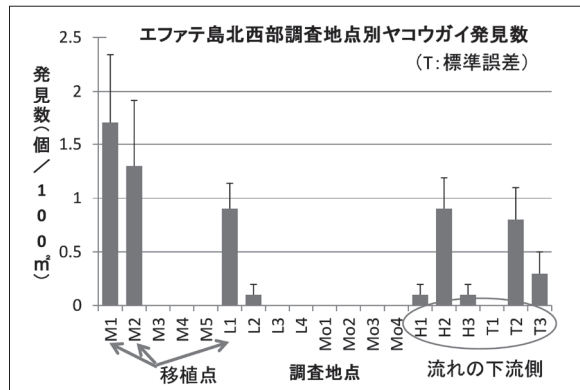


図5 エファテ島北西部のヤコウガイ発見数

北西部で行った調査では、ヤコウガイは分布していなかった。2013年の調査では38個体を発見した（密度は不明）。

2017年の調査で確認された計29個体の殻高組成を図6に示す。平均殻高はM1が187mm、M2が195mmだったが、90～230mmと組成の幅は広く、複数の年級群が存在していた。特に200～210mmの個体が多かった。

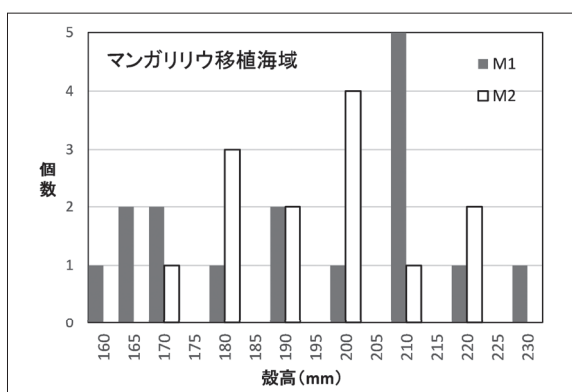


図6 マングリリウの移植海域における殻高組成（殻高90mmの1個体を除く）

2) レレバ島

レレバ島では、2007年にアネイチユムから輸送された親貝195個体が西側の海域(L1)に移植された(Terashima et al. 2018)。2017年5月12日の調査では、移植海域で0.9個体/100㎡、その北側海域(L2)で0.1個体/100㎡分布し、他の周辺2海域にはヤコウガイは分布していなかった。地元の漁業者によれば、親貝移植の前にヤコウガイはこの海域に分布していなかった。

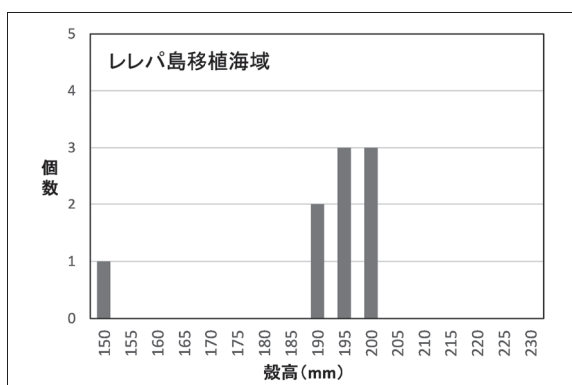


図7 レレバ島におけるヤコウガイの殻高組成（殻高100mmの1個体を除く）

確認された計10個体の殻高組成を図7に示す。平均殻高は181mmだったが、190～200mmの個体がほとんどだった。

3) モソ島

モソ島の4調査サイトにはヤコウガイは分布していなかった。この主因は、モソ島では他の移植地点のように親貝をスキンドビングで海底の岩の割れ目などに設置するのではなく、船上から海に投入したため、正確な移植地点が不明だったためだと考えられる。

4) ハット島とトゥクトゥク

移植海域からの卓越する流れの下流側に位置するハット島とトゥクトゥクでは、ハット島の西岸のH2で0.9個体/100㎡、トゥクトゥクのT2で0.8個体/100㎡と高い密度でヤコウガイが分布していた。流れにより移植海域で生まれたヤコウガイの幼生が輸送され、当海域で着底したものと考えられる。水産局によれば、2012年の調査の際に当海域でヤコウガイは発

見されていない。

5) ウリピブ島とウリ島

ウリピブ島とウリ島の調査サイトを図8に示した。また、100㎡あたりのヤコウガイ発見数を図9に示した。2012年に小型成貝299個体を移植したウリピブ島東岸のサイト(U1)で、ヤコウガイは1.4個体/100㎡と高い密度で分布していた。ウリピブ島北岸のサイト(U2)では、ヤコウガイは0.4個体/100㎡分布していた。ウリピブ島の他の2つのサイトでは、ヤコウガイは分布していなかった。移植を行う前に調べたときは、当海域にはヤコウガイは分布していなかった。ウリピブ島の漁業者や水産局の話でも、成貝移植を実施する前にはウリピブ島周辺にヤコウガイはほとんどいなかった。

マラクラ島側でウリピブ島から約1.5km離れたウリ島北東部のサイト(U5)では、ヤコウガイは0.5個体/100㎡分布していた。ウリ島の他の2つのサイトではヤコウガイは分布していなかった。

平均殻高は、ウリピブ島が157mm、ウリ島が128mmだった。ウリピブ島で確認された計18個体の殻高組成を図10に示す。マンガリリウやレレバ島と比べて小さく110-180mmだった。

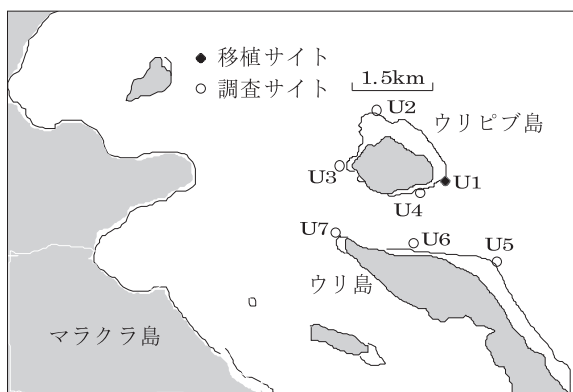


図8 ウリピブ島とウリ島の調査サイト

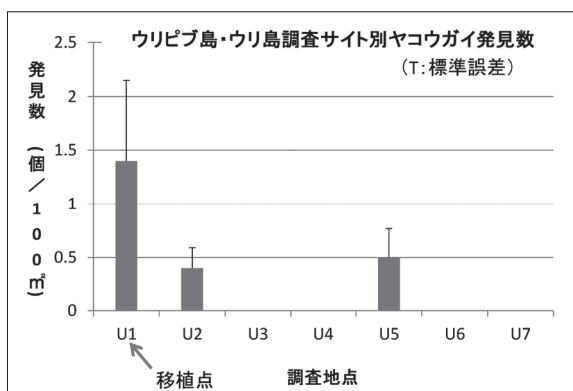


図9 ウリピブ島とウリ島のヤコウガイ発見数

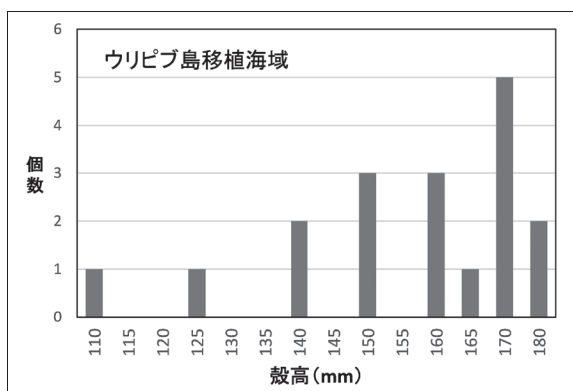


図10 ウリピブ島調査サイトにおける殻高組成

6) 調査サイトの底質とヤコウガイの分布

エファテ島北西部の底質は、平らな岩盤が多く55-90%、次いで造礁サンゴが10-40%、レキ場は少なく、砂地はなかった。ウリピブ島とウリ島も同様に、平らな岩盤が55-95%、造

礁サンゴが5-40%、レキ場や砂地はほとんどなかった。底質とヤコウガイの分布量に明瞭な関係はなかったが、岩盤が多いとヤコウガイの分布量が少なく、サンゴが多いとヤコウガイの分布量が多くなる傾向が認められた。

4. 考察

1) エファテ島のヤコウガイ資源の状況

IRDが2011-12年に実施した調査では、エファテ島のヤコウガイの分布密度はMPA (Marine Protected Area: 海洋保護区) 内で0.15個体/100㎡、MPA外で0.04個体/100㎡と低かった (Dumas et al. 2012)。2007年に親貝移植を行ったときは、さらに低かったと考えられる。全面禁漁であるのにMPA内でヤコウガイの分布密度が高いのは、MPAは地元のコミュニティが監視を行うことが多いのに対し、MPAでない海域は、密漁が頻繁に起こったためと考えられる。また、MPAに設定した海域は、過去に好漁場だった海域が多く、ヤコウガイの生息に適していることも影響しているだろう。

図11は、水産資源の親の量とそれ由来の子の量の関係を示した再生産曲線である。親の量がある程度あれば、子の量は親の量に関わらず安定している。しかし、親の量がある限界を超えて減ってしまうと、子の量は急激に少なくなって資源も急減してしまう (加入乱獲、Gulland 1983)。定着性資源では、親の量が減ると親間の距離が大きくなり、放卵放精しても受精できない可能性が高くなる。その結果、加入量が減って資源 (親の量) も減るという悪循環に陥る。2007年頃のエファテ島のヤコウガイ資源の状態は、そのようなものだったと考えられる (鹿熊 2017)。

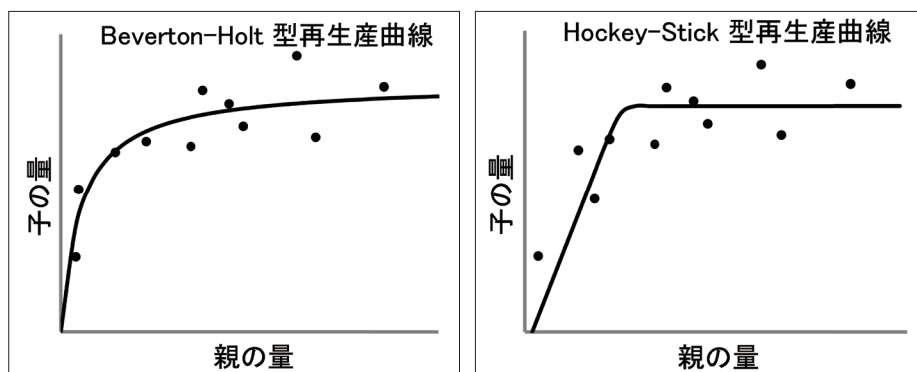


図11 水産資源の再生産曲線

2) ヤコウガイの成長速度

マンガリリウでは、殻高210mm程度のヤコウガイが多かった。これらの貝は何年頃生まれたのだろうか。貝の年齢は、標識放流貝であれば判断できることが多い⁽¹⁾。しかし、ヤコウガイは波の荒い海域で岩の隙間などに生息するため、標識を残すことは困難である。沖縄県は10年近く効果的な標識の開発に努めたが、脱落率の低い標識はなかなか見つからな

かった。事業の最終段階で、ようやく殻を削り樹脂で保護する方法が最も標識が残ることがわかった（沖縄県 1994-98; 1999-2004）。鹿児島県は、配合餌料を食べさせることで殻を白い色に標識する方法を開発している（鹿児島県水産技術開発センター 2010）。

バナアツでは、親貝移植の場合、蓋に2Bの鉛筆で年月日や個体番号などを書き込む方法を用いており、有効であることが確認されている。鹿熊は、2016年にマンガリリウのMPAを潜水（スキューバダイビング）調査した（鹿熊 2017）。その際、貝殻の蓋に鉛筆で「A----」という文字が書き込まれた貝を発見した。これは、親貝移植の翌年（2008年）に水産局がカトアを調査した際、4つのゾーンのうちゾーンAで再捕された貝に書き込んだものである（Jimmy et al. n.d.）。カトア から約1 km離れた集落前に移動したことになる。2016年時点で8年間は鉛筆の跡が残ったことになり、貝の年齢は、その時点で移植時の年齢+9歳ということになる。また寺島も、2017年の調査時に、移植時に書き込まれたと考えられる番号が付いたヤコウガイを3個体見つけた。

マンガリリウで2017年に見つかったヤコウガイの大部分には標識がなく、移植後新規に当海域に加入したものと考えられる。新規加入し成長した標識のないヤコウガイの年齢は、成長曲線（年齢とサイズの関係）がわかれば貝の大きさから推定できるが、バナアツを含む太平洋島嶼国ではこの情報は存在しない。このため、沖縄と奄美で再捕された標識貝の成長から導き出した成長曲線（図12、鹿児島県水産技術開発センター2010; n.d.等）を使い、貝の年齢を推定する。後から種苗生産・放流を始めた奄美の成長が速い。再捕数は奄美が圧倒的に多いため、こちらがより実態に近いと考えられる。

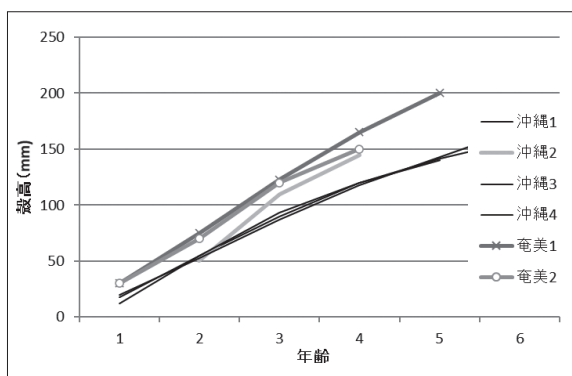


図12 沖縄・奄美におけるヤコウガイの成長曲線

成長から導き出した成長曲線（図12、鹿児島県水産技術開発センター2010; n.d.等）を使い、貝の年齢を推定する。後から種苗生産・放流を始めた奄美の成長が速い。再捕数は奄美が圧倒的に多いため、こちらがより実態に近いと考えられる。

この奄美の成長曲線では、マンガリリウで多かった210mmの貝は5歳になる。しかし冬のないバナアツでは、水温が奄美より安定して高いため、ヤコウガイの成長は奄美より少し速いと考えられる。このため、210mmは4-5歳で、180-220mmの貝を含めて2012-13年頃に卓越年級群が発生した可能性が高い。2012-13年産卵であれば、ヤコウガイは3歳で産卵可能になると考えられるので、移植貝が2007-09年に産卵しその後加入した第二世代、そして第三世代の貝も産卵に加わった可能性が高い。

3) エファテ島北西部でヤコウガイ資源が増えた理由

(1) マンガリリウとレレパ島

マンガリリウとレレパ島で高密度に分布するヤコウガイのうち、2007年の移植時から

生き残っているものは少ないと考えられるが、新規に加入したものは移植貝由来なのだろうか。それとも、もともと周辺にいた貝や別海域の天然貝由来なのだろうか。これを定量的に分けることは、今ある情報だけでは困難である。しかし、マンガリリウの移植海域の2つのサイトで、それぞれ1.6、1.3個体/100㎡と高密度でヤコウガイが分布しており、周辺3海域のサイトにはヤコウガイは分布していなかった。レレパ島でも、移植海域で0.9個体/100㎡と高密度でヤコウガイが分布しており、その北側海域で0.1個体/100㎡、他の周辺2海域にはヤコウガイは分布していなかった。移植前にはヤコウガイはほとんど分布していなかったと考えられるため、親貝移植が当海域のヤコウガイ資源の増加に寄与したと判断してよいと思われる。

加入群が移植親貝由来であるとすれば、セルフシーディング（ある海域で生まれた幼生が、その海域に着底すること）が起こったことになる。セルフシーディングが起こるかどうかは、幼生の浮遊期間とその海域の流れが重要な条件になる。

ヤコウガイ幼生の浮遊期間は約2.5日と短く、タカセガイは約2日、ヒメジャコ（シャコガイの1種）は6-7日、ミドリイシ属サンゴは4-5日⁽²⁾、オニヒトデは餌の条件によって2-4週間、シラヒゲウニは20-30日、イセエビ類は半年-1年である（鹿熊1989）。ヤコウガイは流れで大きく分散しないで繁殖する戦略をとっており、セルフシーディングは比較的起こりやすいと考えられる。

サンゴ礁海域の流れは、流れの速さでは潮汐流の成分が大きい、潮汐流は基本的に往復流で幼生の輸送にはあまり関与しない。リーフ内では、礁嶺での碎波で生じる波浪流やチャンネルを通してリーフ外へ流出する流れなど、地形に関係した一方向への流れが生じることがある（白木ら2014）。リーフ外では、風に起因する吹送流が大きく影響すると考えられる（鹿熊2002）。当海域は貿易風（東風）や地形の影響で、南西に向かう流れが卓越する。セルフシーディングが起きるには、産卵期⁽³⁾のある時期に、この南西流が弱いことが条件になる。当海域でヤコウガイの卓越年級群が発生したと考えられる2012-13年は、この条件に合っていたのだろう。

移植直後の2008年でなく、2012-13年頃に大きな群が加入した理由は、第二世代、第三世代が産卵に加わった可能性とともに、卓越年級群の発生は、親の量だけでなく流れなどの偶然の条件に左右されることが多いためである。前後数年間の何倍もの卓越年級群が発生することは、サンゴやシラヒゲウニでも起きている。沖縄島北部では、2001年にその前後数年よりはるかに多いミドリイシ属サンゴが加入した。シラヒゲウニも、2006~2007年に沖縄島北部で大きな卓越年級群が加入した。

(2) ハット島とトゥクトゥク（卓越する流れの下流域）

サンゴでは、沖縄島北部西岸から50km以上離れた慶良間諸島が、同海域へのサンゴ幼生の供給源であることが確認された。GPS漂流ブイ、海洋レーダ、係留系観測による

流れの調査と数値計算、および海域でのサンゴ幼生の分布密度調査、ミドリイシ属サンゴ幼生の着底行動の観察から、サンゴの産卵期に、幼生が着底場所の探索行動を開始する受精後4～5日間で、慶良間海域から沖縄島北部西岸に到達する流れの存在が立証された（灘岡ら 2006）。

ヤコウガイの親貝移植には、セルフシーディングだけでなく、流れの下流海域へ幼生を供給する機能もあると考えられる。マンガリリウやレレバ島の移植海域から西～南西に約5 km離れたハット島のあるサイトでは、ヤコウガイが0.9個体/100m²と高密度で分布していた。南西に7 km離れたトゥクトゥクのあるサイトでは0.8個体/100m²だった。また、両海域でのヤコウガイの殻高組成はマンガリリウやレレバ島と似ていて、同じ期間（2012-13年頃）に、同じ貝由来の卓越年級群が加入したものと考えられる。マンガリリウやレレバ島の移植親貝とその第二世代、第三世代が、流れの下流海域へ幼生を供給した可能性が高い⁽⁴⁾。

(3) マンガリリウの2つの移植海域の中間点でヤコウガイがいなかった理由

卓越する流れの5～7 km下流海域のハット島とトゥクトゥクにヤコウガイの幼生が到達したと考えられるのに、マンガリリウの2つの移植海域（M1、M2）の中間点M5にはヤコウガイは分布していなかった。M5は、M1、M2からそれぞれ約500mしか離れていない⁽⁵⁾。

この理由は、ヤコウガイは限られた好適生息域に集中して分布する傾向があるためだと考えられる。本調査でも、各調査サイトの5本の調査ラインにおいて、ヤコウガイ分布数の標準偏差、標準誤差は大きかった（図5、図9）。

205個体を移植したマンガリリウのカトア（M2）では、約1年後にモニタリングが実施され、70個体が再捕されている。4つに分けたゾーンのうち、最も浅く海底地形が複雑で貝が隠れる場所の多いゾーンでは、ヤコウガイの密度は他のゾーンの平均より7倍高かった（7.4個体/100m², Jimmy et al. n.d.）。浅い海域は、海底に届く日射量が多く、小型海藻は食べられても短時間で再生する。ヤコウガイが餌料海藻を求めて浅い海域に移動した可能性もある。鹿熊が2013年にアネイチュム、2016年にマンガリリウの集落前（M1）を調査したときも、水深1-2 mの浅い海域にヤコウガイは高密度で分布していた。

好適生息域の条件の一つは、ヤコウガイの稚貝や成貝が隠れることができる岩のくぼみ、割れ目、穴など複雑な構造が多いことだと考えられる。7つに分類した底質では、M5はM1、M2と比べてやや平らな岩盤が多いものの大きな違いはなかった。しかし、微細地形は大きく異なっている可能性がある。もう一つの条件は餌料藻類の有無である。特に稚貝が食べる微細藻類の有無が重要である（鹿児島県水産技術開発センター 2010; Terashima et al. 2018）。調査サイトを決める際は、時間の関係でこのような微細地形や微細藻類の有無を調べる余裕はなかったが、移植サイトを決める際は、これらを十分調べて決定している（Jimmy et al. n.d.）。

4) ウリピブ島でヤコウガイ資源が増えた理由

(1) 移植貝の移動

移植貝の蓋には鉛筆で標識を行っている。水産局が移植海域に50mの調査線を設定し、その内側と外側10m幅のヤコウガイを移植翌日、1ヶ月後、3ヶ月後、6ヶ月後、1年後に調査している。その結果、1ヶ月後には調査区域内外の移植ヤコウガイは155、3ヶ月後には45、6ヶ月後には0に減少した。標識のない野生のヤコウガイは、6ヶ月後に3、1年後に2個体確認されている。食害による死貝の発見数も多くないことから、移植貝の多くは移植海域の外、特に波が荒く調査ができなかった浅い海域に移動したのではないかと推定されている (William and Sone 2013)。

2017年6月8日に調査し発見したヤコウガイには、蓋に「JICA2017」と記入している。1週間後の6月15日にほぼ同じ海域で6個体をボート上に揚げたが、そのうち1個体のみJICA2017と記入されていた。このことは、この海域のヤコウガイの移動混合が大きいことを示している。

(2) ヤコウガイの分布量と殻高組成

小型成貝移植を行ったウリピブ島東海域にヤコウガイは1.4個体/100m²の高密度で分布していた。周辺3海域では、それぞれ0.4、0、0個体/100m²の密度だった。このことから、マンガリリウやレレパ島と同じように、移植貝の産卵とセルフシーディングにより、当海域のヤコウガイ資源の増加に成貝移植が寄与したと判断してよいと思われる。

ウリピブ島東で2012年に移植した小型成貝は、標識された貝が見つかっていないこと、当海域のヤコウガイの移動が大きいと考えられることから、5年後の2017年まで当海域に残っている可能性は低いと考えられる。したがって、当海域のヤコウガイは、新たに加入したヤコウガイということになる。ウリピブ島のヤコウガイの殻高組成は、マンガリリウやレレパ島と比べて小さく110-180mmだった。年齢は2歳半～4歳半 (2013-15年生まれ) と考えられる。

移植した小型成貝は、陸上水槽において餌不足の状態で飼育されたため、年齢は5歳でも平均殻高は58mmしかなかった (通常なら200mm以上に成長する年齢)。奄美では産卵可能サイズは殻高120mm以上とされている (鹿児島県水産技術開発センター 2010)。年齢5歳、殻高58mmのヤコウガイが産卵するかどうかは不明であるが、一般的に産卵量は体長が大きくなるにつれ指数関数的に増えるので、移植貝が本格的に産卵に参加したのは2014年以降と考えられる。したがって、2017年6月8日の調査で見つかったヤコウガイのうち、移植貝由来の加入群は比較的小型のもの (160mm・3歳半以下) が主体と考えられる。160mmより大きい貝 (14個体のうち5個体) は、もともとウリピブ島にいた天然貝か別海域の天然貝由来で加入した個体であろう。

(3) ウリ島のヤコウガイ資源

ウリピブ島南東約2 kmのウリ島の調査点で、ヤコウガイは0.5個体/100m²と比較的高密度で分布していた。この海域で見つかった貝の殻高は100, 100, 130, 150, 160と全て160mm以下なので、2017年にウリピブ島で見つかった160mmより大きい貝の幼生の供給源とは考えられない（少なくとも200mm以上でなければならない）。逆に、当海域の卓越する流れは不明だが、ウリ島の調査サイトで見つかったヤコウガイが、ウリピブ島で移植した小型成貝由来である可能性はある。

5) MPAによるヤコウガイ資源の保護

水産資源の管理ツールには、漁具・漁法制限、禁漁期、禁漁区（MPA）、サイズ制限、漁獲量制限、免許などさまざまなものがあるが、熱帯域の途上国では、MPAが最も効果的だと考えられる。その理由は、綿密な調査なしでも漁業者の知識（特に重要対象種の産卵場・産卵期）を基に設定が可能なこと、熱帯の特徴である魚種の数が温帯域よりも格段に多いことに対応していること、サンゴ礁やマングローブ等の生態系保全にも適用できること、様子をみて場所、面積、時期を順応的に変更できること、など数多くある（鹿熊 2007）。

MPAと呼ばれる保護区は非常に多様である。完全禁漁か一部利用を認めるか、全魚種禁漁か対象種を決めるか、周年・永久設定か季節・期間を限定するか、などさまざまである。面積も1ヘクタールに満たないものから数千万ヘクタールのものもある。しかし、大きく分けると、政府主体で設置するか地域コミュニティ主体で設置するかが重要な違いになる。コミュニティ主体のMPAは、法的根拠が弱いものの、地域コミュニティが監視を行うため効果的なものが多い。順応的な運営が行いやすく、運営コストも比較的小さい（鹿熊 2007）。

バヌアツのヤコウガイのMPAは、コミュニティ主体のMPAである。マンガリリウ、レレパ島、ウリピブ島でヤコウガイ資源が増えたのは、親貝・成貝移植とセルフシーディングが寄与したこととともに、移植海域が現地コミュニティのタブーエリア（MPA）に設定されており、コミュニティが監視などの管理活動をしっかり行っていたことも重要な要因となっている。他の地区では、ヤコウガイの密漁が頻繁にあったことが報告されている。2015年9月30日付けのVANUATU Daily Postには、日本の支援によりエファテ島のヤコウガイ資源が増えたこと、その資源が密漁で脅かされていることが記載されている。IRDが2011-12年に実施した調査では、エファテ島以外でも、アネイチュムでヤコウガイの分布密度は、MPA内1.5個体/100m²、MPA外0.02個体/100m²だった（Dumas et al. 2012）。

6) 定着性資源の親の密集移植

(1) ヤコウガイ・タカセガイ導入の歴史

太平洋では東へ行くほど生物多様性は低くなる。このため、ヤコウガイ・タカセガイの多い西側の島嶼国から、これらが分布していない東側の島嶼国へ親貝を輸送し、資源

として定着させる試みが数カ国で実施された。

1967年、バヌアツからそれまでヤコウガイが分布していなかったタヒチ島へ300個体のヤコウガイが輸送された。輸送技術が十分でなかったため、12日間の輸送で生き残ったのは42個体だった。ところが、この42個体の親貝をタヒチ島の東端に移植したところ、ヤコウガイ資源が定着した。13年後の1980年の調査では、タヒチ島の東岸～北岸を中心に南西部を除く全域で計499個体のヤコウガイが確認された。また、ヤコウガイの収穫も行われるようになった (Yen 1991)。この移植 (導入) は、いくつかの好条件がたまたま重なって成功したものと考えられるが、親貝移植のポテンシャルと、たった42個体の親貝でも好条件下では資源増に貢献できることを示す例である。ただし、もともといない種を他国から輸送し移植することは、外来種の導入になるため、現在は通常認められない。

2016年時点で、エファテ島南海域ではヤコウガイの密漁が頻繁に報告されている。この事実は、同海域においてヤコウガイ資源が増えていることを示す。移植海域からの距離 (数十km)、卓越する風・吹送流の向きを考慮すると、資源が増えた原因となるヤコウガイの幼生は、移植海域ではなく別海域の天然貝由来と考えるのが自然である (Pakoa et al. 2014)。しかし、IRDの2011-12年の調査では、エファテ島南東海域でヤコウガイの生息数は0、北東部のMPA内で0.09個体/100m²、MPA外で0.02個体/100m²と極端に少ない状態だった (Dumas et al. 2012)。また、エファテ島の風向は貿易風の東風が卓越するが、常に東風が吹いているわけではなく、北風や西風が吹くこともあり、移植海域で生じた多くの幼生が吹送流で南や東へ運ばれることもあったと考えられる。流れの下流側で成長した第二世代、第三世代の貝が産卵し、その結果、タヒチと同じように、徐々に資源が島の反対側まで広がった可能性は残っている。これを科学的に証明することは困難で、集団遺伝学的な調査研究が必要とされる。

タカセガイでも親貝導入の成功例がいくつもある。古くは1927-1931年に、パラオからそれまでタカセガイが分布していなかったミクロネシア連邦のトラック (現チューク) へ、計6,724個体のタカセガイが輸送・移植された。その後もコスラエやポンペイにタカセガイは輸送され、外貨を得る重要な輸出資源に成長した (Yamaguchi and Kikutani 1989)。トンガでも1994年、JICAプロジェクトによりフィジーから1,092個体のタカセガイが輸送され、種苗生産用の141個体を残し移植された。その結果、資源の定着に成功し、いくつもの地区でタカセガイの新規加入群が見られるようになった (Kikutani et al. 1995)。

(2) シラヒゲウニの移植と養殖

親の移植による資源再生は、貝類だけでなく他の定着性資源にも応用できる。この際、親を密に配置して受精率を高めることが重要である。定着性資源の受精率は、精

子の密度に大きく左右されるためである。ウニ類に関しては、沖縄ではシラヒゲウニ (*Tripneustes gratilla*) が重要な資源になっているが、近年、資源は激減している。2016年7月29日付の琉球新報では「シラヒゲウニは最盛期の1975年には漁獲量が2,200トンあったが、2013年には約千分の1の2トンとなっており、極端な資源の減少が進んでいる」とされている。このため、シラヒゲウニの好漁場であった沖縄島北部の5つの漁業協同組合は、2016年にシラヒゲウニを全面禁漁にした。

最も漁獲量の多かった今帰仁村では、資源が減少する前はシラヒゲウニの移植を行っていた。ウニ類は生殖腺が商品になり、生殖腺の大きさは、生息海域の海藻の繁茂状況に大きく左右される。このため、ウニは多いが海藻の少ない海域から、海藻の多い海域へのウニの移植が長年行われてきた。たとえば、1999年には2日間で46,000個体のウニが移植された (鹿熊 2006)。シラヒゲウニの移植は、生殖腺を大きくするだけでなく、資源を維持する上でも重要な役割を果たしていたと考えられる。しかし、現在は移植ができるほどの資源水準ではなくなってしまった。

フィリピン・ルソン島北部では、シラヒゲウニをケージ養殖することで周辺海域の資源を増やすことに成功している (Meñez et al. 2008)。親を密集して養殖することで、産卵時の受精率が高まったためと考えられる。移植と比べ養殖は必要な稚ウニの数は少なく、生残率も飛躍的に高くなるため、沖縄でもこの方法を試してみる価値があると考えられる。

また、Meñez et al. (2008) には、稚ウニの着底を促進する物質についても記載されている。ウニ養殖業者の話では養殖ケージの近くに局所的に稚ウニが多く、シラヒゲウニを粉砕して投入した飼育水では幼生から稚ウニへの変態が促進されている。つまり、親ウニの存在が稚ウニの着底を促進する可能性を示している。同種のウニが存在すれば、そこは隠場や餌の条件で有利な可能性が高いためだろう。シラヒゲウニだけでなく、他の定着性無脊椎動物でも、同種や餌の存在が着底を促進することが報告されている (Rodriguez et al. 1993)。このことは、マンガリリウやレレバ島で、移植海域だけにきわめて高密度でヤコウガイが分布していた理由の一つかもしれない。

(3) 造礁サンゴの移植と養殖

現在、減少してしまったサンゴ礁を再生させるため、沖縄各地で造礁サンゴの移植活動が行われている。しかし、サンゴの移植を批判する意見も多い。その一つは「失われてしまったサンゴ礁の面積に対し、移植で再生できるサンゴ礁の面積ははるかに小さい」というものである。このため、サンゴの移植は、移植によって直接サンゴを増やすのではなく、移植したサンゴが産卵し、周辺海域のサンゴを増やす方法が主流になってきた。この方法に対しても「移植後生き残り、産卵可能なサイズまで成長したサンゴより、自然に残っている産卵可能なサンゴの方がはるかに多い」という批判があった。しかし、

サンゴの数が減り親間の距離が大きくなると、自然の状態では受精がうまくいなくなる可能性がある。

ミドリイシ属のサンゴは、受精率を高めるため潮汐周期に合わせて一齐に産卵することが知られている。最近、慶良間諸島では、サンゴの減少により親サンゴ間の距離が大きくなり、一斉産卵が起きにくくなったと言われている。また、流れのない条件下では、親サンゴが数メートル離れると受精できないという実験・計算結果もある（沖縄県環境部自然保護課 2017）。沖縄島北部の恩納村で行われた調査研究では、人為的に親を集めて移植したヤングミドリイシの群は、同じ海域で自然に残っているヤングミドリイシよりも、幼生供給能力が1,400倍高いという結果になった（Zayasu and Suzuki 2018）。現在、同種で遺伝的に多様なサンゴ⁽⁶⁾を密に移植し、幼生供給基地を造成する取組が進められている（水産庁漁港部漁場整備課 2019）。

恩納村漁業協同組合は、恩納村海域において、2万本以上の鉄筋の上でサンゴを養殖している（図13）。同種で遺伝的に多様なサンゴも多く、それらを集めて養殖しているため、周辺海域に幼生を供給している可能性が指摘されていた。2020年に、集団遺伝学的な研究により、実際に養殖場のサンゴ由来のサンゴが、周辺海域で高い割合で生育していることがわかった（座安私信、未発表）。



図13 恩納村のサンゴ養殖場

(4) 里海概念の導入

里海は、現在、日本だけでなく世界中に広まっている（鹿熊 2018）。里海は、柳哲夫により「人手が加わることによって、生産性と生物多様性が高くなった海」（柳 2006）と定義された。鹿熊は、里海づくりの活動を、直接人手をかける直接的活動と間接的に人手をかける管理的活動に分けた（鹿熊 2018）。直接的活動には、サンゴ礁海域ではサンゴ移植、オニヒトデ駆除などがある。管理的活動には赤土汚染対策や水産資源管理などがある。バヌアツにおけるヤコウガイ親貝移植は、人手を直接かけて生産性を高める直接的活動であり、MPAによる資源管理は管理的活動であるので、マンガリリウ、レレバ島、ウリピブ島は里海ということが出来る。

西欧では、人と自然を分けて考え、できるだけ人を排除する環境保全・資源管理を目指す傾向があり（クロスビー 2018）、MPA管理でもこの傾向が認められるときがある。JICAのプロジェクトでは、これと対照的に、親の密集移植を含め、できるだけ地域の人が密接に関わる里海概念に基づいた活動が必要だと考えられる。

6. 結論

本調査により、エファテ島北西部やウリビブ島のヤコウガイ資源の増加には、親貝・成貝移植が寄与した可能性が高いことを科学的に確認できた。今後、バヌアツの他の地区や他の太平洋島嶼国でヤコウガイの親貝移植を実施すれば、その地域の資源の回復に寄与できると考えられる。

他の地域で親貝移植を実施する場合、移植場所の選定が重要になる。岩のくぼみや亀裂、大小の穴などヤコウガイの稚貝・成貝が隠れることのできる複雑な地形が十分にあり、ヤコウガイの餌料となる海藻、特に稚貝の餌料となる微細藻類が十分にある場所を選定する必要がある。エファテ島では、2007年にはヤコウガイ資源は枯渇状態にあり、親貝は300km以上離れたアネイチウム島から輸送する必要があったが、資源がある程度回復した現状では、長距離輸送を伴わなくても親の密集移植は可能になっている。JICAなどのプロジェクトで、MPA内外のヤコウガイをMPA内の適地に密集させて配置する方法や、現地の漁業者などがMPA外で見つけたヤコウガイを、MPA内の適地に移してもらい、管理（監視）を徹底する方法などが考えられる。

今後のヤコウガイ親貝移植の効果を評価するには、長期的な視点が必要である。親貝移植により資源が増えるまでには長期間かかると考えられるためである。エファテ島では10年近くかかったし、タヒチでも10年以上かかった⁽⁷⁾。移植貝の第二世代、第三世代が産卵に加わる必要があるのかもしれない。

親の移植による資源の再生は、ヤコウガイだけでなく、タカセガイなど他の貝類やウニ類、サンゴなどの定着性資源にも応用可能である。今後、JICAなどのプロジェクトで定着性資源の移植を試みる時は、コミュニティによるMPA管理の支援とセットで実施するべきだろう。また、日本発の環境保全・資源管理概念である里海概念を導入し、人を排除するのではなく、地域の人びとが密接に関わる資源管理を目指すべきだろう。

注

- (1) 魚の耳石のように年齢に応じてリングができる年齢形質（木の年輪のようなもの）は、ヤコウガイでは見つかっていない。
- (2) 最近の研究では、サンゴはこれまで考えられていたよりも幼生の分散範囲は狭く、セルフシーディングが頻繁に起きている可能性が高いことがわかってきた。このため、サンゴ礁の保全には、幼生のソース（供給源）と考えられる海域だけでなく、各海域で保全対策をとる必要性が示されている（沖縄県環境部自然保護課 2017）。
- (3) 奄美におけるヤコウガイの主産卵期は秋だが（鹿児島県水産技術開発センター 2010）、熱帯域のバヌアツでは産卵期は長く、ほぼ周年産卵していると考えられる。たとえば、シラヒゲウニの産卵期は沖縄では9月～11月だが、フィリピンでは周年産卵している（Meñez et al. 2008）。
- (4) 同じ期間でも、マンガリリウやレレバ島でセルフシーディングが起きた時期は、南西流は弱く、

ハット島やトゥクトゥクに幼生が流れ着いた時期は強かったと考えられる。

- (5) マングリウの村人が、周辺海域から移植海域へヤコウガイを移した可能性も疑われたが、村人代表に聞いたところ、そのような事実はないとのことだった。
- (6) サングは、バンドルという精子と卵子が入ったカプセルを産むものが多い。バンドルは海面ではじけるが、同じ群体の精子と卵子は受精できない。このため、同じ群体から切り取ったサングを密に移植しても受精率を高めることはできない。
- (7) フィリピンのシラヒゲウニも、ケージ養殖を開始してから10年後に、突然、それ以前の20倍以上の密度でウニが生息するようになった。ウリピブ島では成貝移植から5年後に行われた調査で、ヤコウガイが高密度で発見され、資源の増加が認められたが、平均殻高は小さく、まだ十分に資源が回復したとはいえない状態である。

引用文献

- Dumas P, M Leopold, J Kaltavara, A William, R Kaku and J Ham (2012) *Efficiency of tabu areas in Vanuatu*. IRD
- Gulland J.A. (1983) *Fish Stock Assessment*. John Wiley & Sons
- Jimmy R, S Rena, J Ham, A William, R Tatuna and K Kikutani (not dated) *Establishment of spawners group of green snail/trochus for restocking of future resources*
- Kikutani K, U Fa'anunu and N Manu (1995) *The present status of introduced trochus and green snail in the Tongatapu island group*. Joint FFA/SPC workshop on the management of South Pacific inshore fisheries
- Meñez MAJ, HG Bangi, MC Malay and D Pastor (2008) "Enhancing the Recovery of Depleted *Tripneustes gratilla* Stocks Through Grow-Out Culture and Restocking", *Fisheries Science*, 16 (1-3), 35-43
- Pakoa K, A William, P Neihapi and K Kikutani (2014) *The status of green snail (Turbo marmoratus) resource in Vanuatu and recommendations for its management*. Secretariat of the Pacific Community
- Rodriguez S R, F P Ojeda and N C Inestrosa (1993) Settlement of benthic marine invertebrates. *Marine Ecological Progress Series*, 97: 193-207
- Terashima H, J Ham, R Kaku, A William, M Malisa, S R Gereva and S Kakuma (2018) "A field survey of the green snail (*Turbo marmoratus*) in Vanuatu: Density, effects of transplantation, and villagers' motives for participation in transplantation and conservation activities", *SPC Traditional Marine Resource Management and Knowledge Information Bulletin #39*. Pacific Community
- William A and S Sone (2013) Report on Trochus and Green Snail Reseeding Experiment in Uripiv Island

- Yamaguchi M and K kikutani (1989) *Feasibility Study of Green Snail Transplantation to the Federated States of Micronesia*. FAO South Pacific Aquaculture Development Project. Suva, Fiji
- Yen S (1991) “Development of the Introduced Green Snail Population in French Polinsia”, *Restoration Ecology*, 1-7
- Zayasu Y and G Suzuki (2018) “Comparisons of population density and genetic diversity in artificial and wild populations of an arborescent coral, *Acropora yongei*: implications for the efficacy of “artificial spawning hotspots””, *SPC Fisheries Newsletter* #58, 28-34
- 沖縄県(1994-1998)『昭和63～平成9年度地域特産種量産放流技術開発事業. 総括報告書巻貝類グループ』
- 沖縄県(1999-2004)『平成10～15年度資源増大技術開発事業報告書(地先型定着性暖水域グループ)』
- 沖縄県環境部自然保護課(2017)『平成28年度サンゴ礁保全再生事業 総括報告書』
- 鹿熊信一郎(1989)「Ⅱ 漁場自主管理を始めるために」『地域営漁計画の作成と漁場自主管理』, 沖縄県水産業改良普及所. 11-22
- 鹿熊信一郎(2002)「耐久性浮魚礁漁場の吹送流」『平成12年度沖縄県水産試験場事業報告書』, 78-84
- 鹿熊信一郎(2006)『アジア太平洋島嶼域における沿岸水産資源・生態系管理に関する研究－問題解決型アプローチによる共同管理・順応的管理にむけて－』東京工業大学
- 鹿熊信一郎(2007)「サンゴ礁海域における海洋保護区(MPA)の多様性と多面的機能」『Galaxea』8巻2号, 91-108
- 鹿熊信一郎(2017)「バヌアツ「豊かな前浜プロジェクト」調査報告」『国際漁業研究』15巻:79-97
- 鹿熊信一郎(2018)「序章 里海とはなにか」鹿熊信一郎・柳哲雄・佐藤哲編著『里海学のすすめ 人と海との新たな関わり』勉誠出版, 9-25
- 鹿児島県水産技術開発センター(2010)『ヤコウガイ放流の手引き』
- 鹿児島県水産技術開発センター(not dated)『ヤコウガイの放流適地と成長について』
http://kagoshima.suigi.jp/ushio/book_html/ushio293/yakougai.pdf 2021/06/0確認
- 久保弘文・太田格(2006)「ヤコウガイ放流効果調査」『事後評価調査 水産部会』
- クロスビー, マイケル(2018)「里海概念が世界に与える影響－人類と海洋生態系の調和」鹿熊信一郎・柳哲雄・佐藤哲編著『里海学のすすめ 人と海との新たな関わり』勉誠出版, 29-47
- 白木喜章・山本秀一・片山悦治郎・安藤亘・西崎孝之・小森健史(2014)「沖ノ鳥島におけるサンゴ幼生追跡シミュレーション」『平成26年度日本水産工学会学術講演論文集』, 133-136
- 水産庁漁港部漁場整備課(2019)『改訂 有性生殖によるサンゴ増殖の手引き』
- 灘岡和夫・波利井佐紀・三井順・田村仁・花田岳・E. Parangit・二瓶泰雄・藤井智史・佐藤健治・松岡建志・鹿熊信一郎・池間建晴・岩尾研二・高橋孝昭(2002)「小型漂流ブイ観測および幼生定着実験によるリーフ間広域サンゴ幼生供給過程の解明」『海岸工学論文集』49巻, 土木学会, 366-370
- 柳哲雄(2006)『里海論』, 恒星社厚生閣