

5. 評価手法検討を進める上での課題

5.1 事業評価に向けての今後の展開について

本年度は過年度事業データの収集整理、事例収集を行ったが、今後は同時に動いている他の石西礁湖プロジェクト等を反映させて、科学的な評価手法を検討していくことが望まれる。また、評価を検討するのみならず、膨大かつ有用なデータについて、石西礁湖及び国内外の研究・事業に活用できるように、公表することも視野に入れて、検討を進めていくことが望まれる。

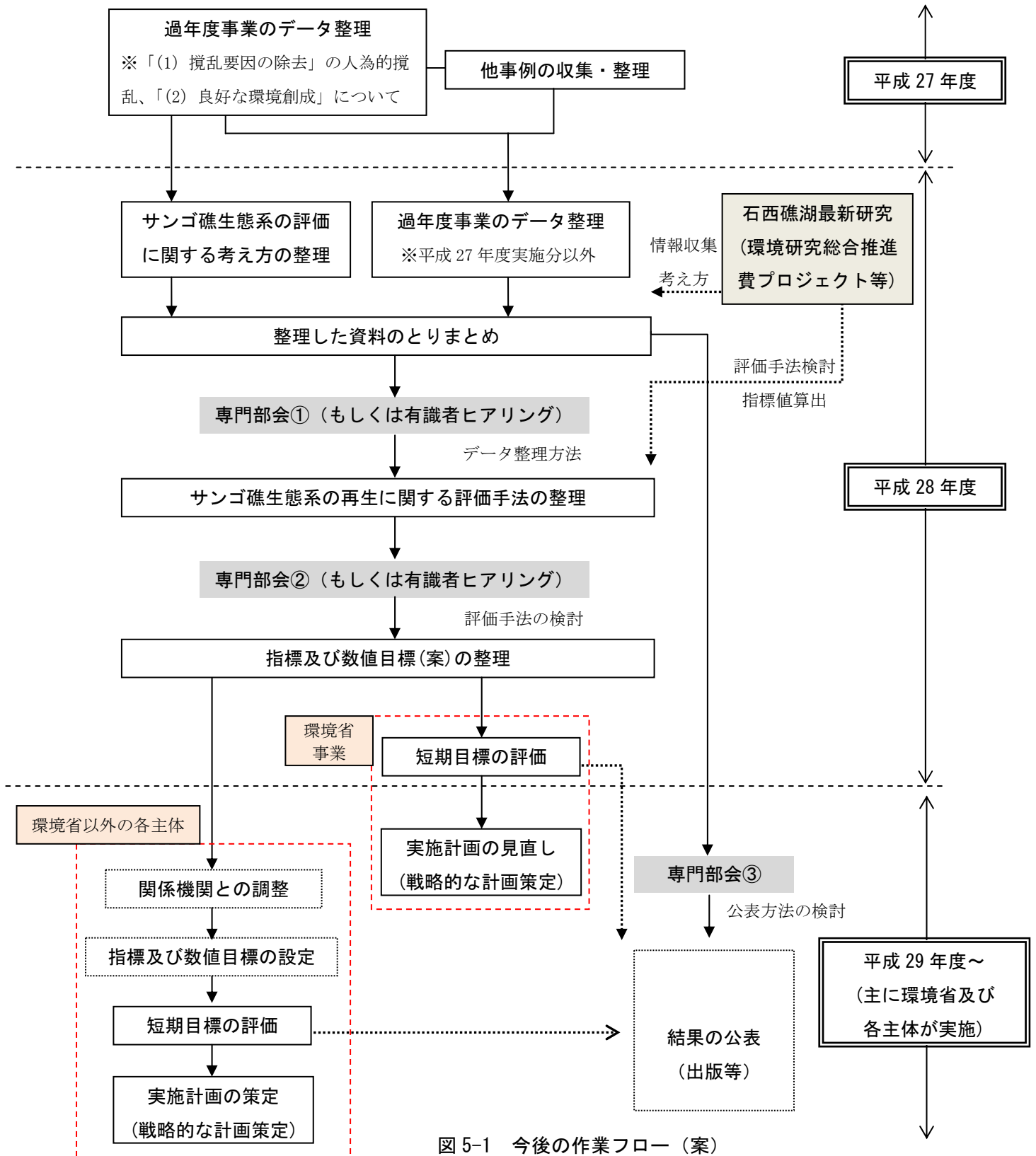


図 5-1 今後の作業フロー (案)

5.2 評価指標の検討を進めていく上での情報の不足

「平成 19 年度石西礁湖におけるサンゴ礁攪乱要因に関する調査及び自然再生の評価手法検討業務」(環境省、平成 20 年 3 月)の対応に関する目標、評価指標の例をもとに、評価を進めていくことを想定した場合、以下の情報不足が把握された。今後は、情報不足への対応を検討していく必要がある。

表 5-1(1) 評価の検討を進めていく上での情報不足とその対応

カテゴリー	サブカテゴリー	現状・課題	対応案		
			評価の見直し	学術 WG での対応	新たな調査の提案
1. 攪乱要因の除去	1.1 オニヒトデ等による食害及び病気への対応	<ul style="list-style-type: none"> ●科学的な根拠に基づいたオニヒトデ駆除の実施 ※オニヒトデ重点駆除海域が設定され、計画的に駆除が行われているものの、科学的な根拠を基にした駆除数等の設定がなされていない。 	—	<ul style="list-style-type: none"> ●沖縄県環境部自然保護・緑化推進課がオニヒトデに関する調査研究を進めており(非公表)、その成果も踏まえ検討 	—
	1.2 赤土等流出防止対策	<ul style="list-style-type: none"> ●各主体の流出対策(営農対策、土木対策)の実施状況が網羅的、一元的に整理されていない。 	—	—	<ul style="list-style-type: none"> ●流出対策の一元管理 ●各主体の連携
		<ul style="list-style-type: none"> ●これまでも赤土の流出量は把握されているが、対象範囲や手法等が異なり、流出量を一律に比較できない(増減を評価できない)。 	—	—	<ul style="list-style-type: none"> ●沖縄県システムの有効活用 ※平成 25 年以降は、沖縄県が同一の場所、手法で赤土流出量を推定している
		<ul style="list-style-type: none"> ●SPSS の値を海域のどの地点で評価するかが決められていない。 	—	<ul style="list-style-type: none"> ●海域の平均値での評価、代表地点での評価など、適切な手法を検討する。 	—
	1.3 排水等対策	<ul style="list-style-type: none"> ●浄化槽の設置基数は分かるものの、単独・合併浄化槽を合算して整理しており、単独→合併の推移は把握できない。 	<ul style="list-style-type: none"> ●指標として把握困難であり、検討・見直しが必要 	—	—
		<ul style="list-style-type: none"> ●直接的に農地からの N,P 負荷を測定したデータがなく、N,P 負荷の削減から、「環境にやさしい農業を評価」するのは困難である。 	<ul style="list-style-type: none"> ●化学肥料の使用回数及び使用量を低減する等により認証される「沖縄県特別栽培農産物認証制度」及び「沖縄県のエコファーマー認証制度」の活用 	—	—

表 5-1(2) 評価の検討を進めていく上での情報不足とその対応

カテゴリー	サブカテゴリー	現状・課題	対応案		
			評価の見直し	学術 WG での対応	新たな調査の提案
1. 攪乱要因の除去	1.3 排水等対策	●畜産排泄物の再利用率に関するデータが、平成23年度は存在するが、その前後は存在しない(石垣市)。竹富町ではデータがとられていない。	—	—	●石垣市、竹富町と連携し、データの取得を検討
		●直接的に都市部からの N,P 負荷を測定したデータがなく、N,P 負荷の削減から、生活における環境配慮を評価するのは困難である。	●都市部における公共下水道の供用範囲を新たな評価指標として採用 ※供用範囲が増加すれば、都市部からの N,P 負荷が削減	—	—
		●直接的に陸域からの N,P 負荷を測定したデータがなく、N,P 負荷の削減から、各種取組を評価するのは困難である。	—	—	●海域の N,P 濃度のモニタリング ●沖縄県調査の有効活用 ※陸域からの N,P 負荷削減は、海域における N,P の測定値に反映される。 ※平成 24 年以降は、沖縄県が同一の場所、手法で海域の N,P を測定している。
		●河川で栄養塩類濃度が測定されていない。	—	—	●河川における N,P 濃度のモニタリング
2. 良好な環境創成	2.1 サンゴ礁生態系の再生	●費用対効果が明らかでない(サンゴ回復力に関する)。	—	—	●移植事業の効果把握 ●移植事業のコスト整理
		●自力回復の見込めない箇所の特定ができていない。	—	—	●自力回復の見込めない箇所の特定
		●移植の長期計画が策定されていない。	—	—	●長期計画の策定

表 5-1 (3) 評価の検討を進めていく上での情報不足とその対応

カテゴリー	サブカテゴリー	現状・課題	対応		
			評価の見直し	学術 WG での対応	新たな調査の提案
2. 良好な環境創成	2.2 沿岸域の生態系の再生	●砂浜の延長距離 (km) が把握されていない。	—	—	●最新の空中写真からの判読
		●マングローブの面積が把握されていない。	—	—	●最新の空中写真からの判読
		●海岸林の延長距離 (km) が把握されていない。	—	—	●最新の空中写真からの判読

5.3 評価指標の考え方について

「石西礁湖自然再生事業」では2007年に事業開始から10年後と30年後を見据えた長期目標と短期目標を策定し、展開すべき取り組みとして6項目を掲げている。

【長期目標】

人と自然との健全な関わりを実現し、1972年の国立公園指定当時の豊かなサンゴ礁の姿を取り戻す。

【短期目標】

サンゴ礁生態系の回復のきざしが見られるようにする。そのために環境負荷を積極的に軽減する。

展開すべき取組

1. 攪乱要因の除去
2. 良好な環境創成
3. 持続可能な利用
4. 意識の後方・広報啓発
5. 調査研究・モニタリング
6. 活動の継続

今後、評価指標を検討するにあたっては、以下の方針及び方向性が考えられる。

<評価手法の設定方針>

- ・ 評価指標については、短期目標および長期目標共通で使えるものとする。
- ・ 評価指標については、客観性があり、可能な限り数値化できるものとする。
- ・ 既存の指標による評価が困難な目標については、新たに指標設定に必要な調査を検討する。

<評価手法の方向性>

- ①生態的健全性の評価指標：「豊かなサンゴ礁の姿」「サンゴ礁生態系の回復」を評価するための指標
- ②物理化学環境の健全性の評価指標：「環境負荷の積極的な軽減」を評価するための指標
- ③社会的健全性の評価指標：「人と自然との健全な関わり」を評価するための指標

①生態的健全性の評価指標

石西礁湖におけるサンゴ礁は、過去よりコドラート法、スポットチェック法、リーフチェックの方法などの手法によるモニタリングが行われてきているほか、航空写真によるサンゴ礁の分布把握調査などが実施され、被度を代表とするいくつかの指標化がなされている。これらの手法の多くは、ある調査地点におけるサンゴ礁（あるいはサンゴ礁生態系）の調査手法や、生物としてのサンゴの分布状況調査であり、いわゆる「生態系評価」ではないことに加え、自然再生の目標に掲げられているような、石西礁湖のサンゴ礁生態系全体を評価する指標ではない。石西礁湖の範囲は極めて広く、全域を対象に詳細な調査を行うことは非現実的であるとともに、目標達成度の評価を著しく困難とする。このため、広域のサンゴ礁の生態的健全性評価指標が必要である。

陸域や河川域、湿地の生態系の評価ではこれまで様々な手法が提案されてきたが、サンゴ礁生態系への適用を前提とした手法は見られない。さらにこれらの手法による評価は、ある調査地点の評価であるため、面的な評価を行うためには植生や土地利用、景相などを用いた展開を行う必要があるが、サンゴ礁生態系ではこのような環境の面的分布の調査手法も確立されていない。以上から、全体目標における生態系の健全性を適切に評価するためには、新たな評価指標を構築する必要がある。

これまでの石西礁湖自然再生事業では、「サンゴ礁攪乱要因モニタリング調査業務」で対象とされた31地点において、2010-15年に出現したサンゴと魚類の種と個体数データを継続して調査している。これまでの業務報告書ではこれらのデータについて、年度ごとに Shannon-Wiener の多様性指数 (H') で整理されてきた (環境省 2010; 2011; 2012; 2013; 2014; 2015)。一方で、これまでに多様性指数は複数考案されているが (たとえば Simpson の多様性指数 λ , 森下の β 指数, McIntosh の均衡度指数 (Evenness Index), McNaughton の優占度指数 DI など)、多様性指数の算出についてもどの種が出現したかは無関係で種構成の情報を切り捨てているという問題も指摘されている。そのため、多様性指数のみに頼ることなく複数の尺度を用いて評価する必要がある。たとえば、複数地点の種構成がどれだけ似ているかを測る尺度として類似度指数が考案されている (たとえば Jaccard, Bray-Curtis, 木元の CII など)。これらの指数の特徴・問題点については大垣 (2008)にまとめられている。

サンゴ礁生態系を対象とする生態系評価事例は少ないが、サンゴ礁生態系以外の生態系を対象とした評価事例も含めていくつかを表 5-2 に紹介する。

インド洋では、物理的環境データだけでなく、生物の在・不在データや出現頻度・個体数をクラスター解析で分類し、サンゴ礁環境の類似度を評価する取り組みもなされている (McClanahan et al. 2007)。生物の在・不在データは入れ子状分布 (nestedness distribution)として表現され、環境の多様性・類似度を地理的な面からでなく、生息する生物相によって表現することができる (たとえば Kadoya et al. 2008 など)。石西礁湖で6年間に渡って収集されたサンゴ・魚類群集データにこうした解析を応用することで、生残の期待できる移植場所の指定や、重点的な保護を必要とする海域の選定などに貢献すると考えられる。

②物理化学環境の健全性の評価指標

水質や底質、人為的なインパクトなどの物理化学環境については、各項目の調査手法はほぼ確立されており、調査の対象範囲が広大であることを除けば大きな困難は見られない。しかし、目標設定と評価のためには、「健全性」の判断基準が必要となる。サンゴ礁生態系と物理化学環境(攪乱要因)の関連性を解析し、評価指標となりうる項目・値を抽出、設定することが考えられる。

また改めて、「健全」とみなされるサンゴ礁域におけるさまざまな物理環境指標の計測を行い、その値を基準値あるいは目標値として設定することも考えられる。

沖縄本島瀬底島で行われたハマサンゴの一種について酸素同位体分析では 1998 年の海水表層水温の著しい上昇が確認されており、酸素同位体を基準とした生育環境の指標として提案されている (Rosenfeld et al. 2006)。また、GBR では 1985-2012 年の 27 年間で全体の 50%ものサンゴ被度が失われているとされたが、その最も大きな要因としてハリケーンによる物理的な損傷を挙げている (De'ath et al. 2012)。石西礁湖も台風の通り道で毎年台風による影響を受けているが、これまで台風前後で調査を行った例はきわめて少ない。今後はこれまでの定期的な調査に加えて、台風の前後も対象とした調査による被害の定量化も検討していく必要があると考える。

③社会的健全性の評価指標

全体目標に掲げられた人と自然との関わりの評価は、自然再生協議会における検討を踏まえ、市民が「あるべき」と考える関わりが確保されていること、すなわち全体構想に掲げられた取組みが社会的に認知され、実施されていることの評価によって行うことができると考えられる。よって個別の取組みで掲げられた「取組みの目標」の達成度による評価が可能である。

一方で石西礁湖では、現時点で各主体が努力した成果が十分に目に見える形になっていない。目に見える形にして公表することで、取組が評価され、各主体のモチベーションが向上すると考える。

表 5-2 代表的な生態系評価（現状評価）手法

Shannon-Wiener の多様 度指数 Index of Biodiversity	<ul style="list-style-type: none"> ・生態学的には、多様な生物が生息するほど生態系は安定していると言える。 ・多様性について地域間の比較をする場合などの目的のためには、大小関係の明瞭な 1 次元尺度で表現できれば都合がよい。そのために考案された手法。
注目種	<p>地域を特徴付ける生態系に関して、一般的に上位・典型・特殊性の観点から注目種を選定し、生態系を評価する。また、食物連鎖の種間相互関係に注目したキーストン種やアンブレラ種等に注目する見方もある。</p> <p>学術上または希少性等の観点から重要なものを注目種として選定し、生態系を評価する。また、注目種の選定は親近性・地域代表性・生態学的重要性等の価値軸により行うこともある。</p> <p>地域や関係者の関心を喚起するようなシンボル種を選定し、生態系を評価する。また、同様の生育場所や環境条件の要求性をもつ種群を代表すると考えられる生態学的指標種を選定する手法もある。</p>
BEST Biological Evaluation Standardized Technique	<p>複数の生息種の個体数密度や餌量などを無次元化し、その総合計をその場所の生態学的価値とする。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・海域における代償措置への適用が主目的。 ・評価地域と対象地域を選び、地域間の相対的な評価を行う。
HIM 生息環境の評価の指標	<ul style="list-style-type: none"> ・「環境から見た HIM の評価値」と「魚から見た HIM の評価値」を比較することにより河川環境を考察して評価点をつけ、予め定めた行動指針に沿った施策を講じる。 ・日本で開発された手法である。
HGM Hydrogeomorphic Model	<p>Wetland のさまざまな機能について、リファレンスサイトにおける機能を 1 とした相対値で評価する。さらに Wetland の全体的な評価については、数多くの機能のうち、公衆関心の高い少数の項目を抽出し、これらに絞った総合評価を行う。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・HEP や WET など既存の手法を広範囲にリサーチし、米国の湿地評価の標準法となることを目指して開発された手法。 ・WET のように湿地帯の多様な機能に注目すると共に、数量化した評価ができるが、社会的価値の評価は省かれている。 ・今後重要性が増すであろう手法ではあるが、評価手法が煩雑であることが普及に関するマイナス要因となっている。
IBI Index of Biotic Integrity	<p>生物の種、水質、生息場の構造等について調査した指標に、リファレンスサイト（良い生息環境の生物群集）と比較して評点を与え、これらの合計値（IBI 値）を評価値とする。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・河川において、人間の活動が魚類群集に与える影響評価指数として定義される。 ・基準となるリファレンスサイトは地域によって異なるため、地域ごとの実情に合わせた「地域版」がつくられることが多い。
RHQ River Habitat Quality	<p>河川環境を簡単な調査票に基づいてチェックした結果をデータベース化し、項目ごとに与えられた点数により評価する。物理環境のみ。</p>
RIVPACS River InVertebrate Prediction And Classification System	<p>河川環境を水生昆虫を用いて評価する手法。水生昆虫群集タイプ（科数など）の観測値と環境ストレスを受けないときのそれとの比により評価される。後者は、リファレンスサイトで構築される物理・化学的特徴からの水生昆虫群集タイプの予測モデルにより推定される。</p>

(4) 自然再生事業で得られた成果の活用方法の提案

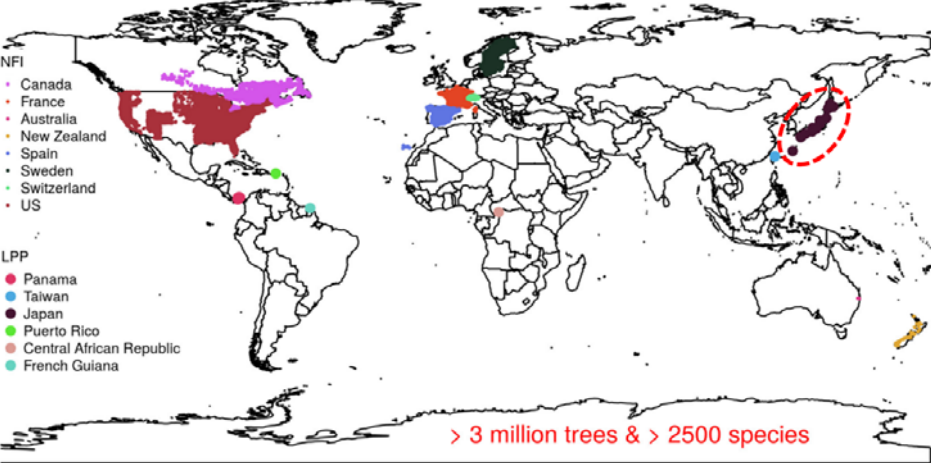
近年、公的資金が投じられた研究で得られたデータをより有効に活用しようという政府機関の考えやオープンアクセスを義務づける流れが生まれつつある (大澤ほか 2014)。もともと国土地理院による基盤地図情報や、国土交通省による国土数値情報など環境のデータが公開されているが、近年生物多様性分野においてもデータそのものを公表しようというデータペーパー出版の流れが広がりつつある (Chavan & Penev 2011)。特に注目すべき例として、動植物の分類学専門学術誌 (*ZooKeys*, *PhytoKeys*)の出版社である Pensoft による生物多様性情報のデータペーパー専門学術誌『*Biodiversity Data Journal*』の創刊がある (Smith et al. 2013)。また、Nature Publishing Group もデータペーパー専門の学術誌『*Scientific Data*』を立ち上げている (イアン・新谷 2014)。一方、国内では 2011 年に日本生態学会が英文誌『*Ecological Research*』に Data Paper セクションを設置したが、2016 年 3 月現在 13 本しか掲載例がなく、我が国ではこうした大規模データの公表は未だ根づいていないのが現状である。

自然再生の目標を設定するにはかつてあった生態系のありようを把握し、生物多様性の現状を正確に把握することが必要である。そのため、石西礁湖自然再生事業においても短期目標と長期目標を設定し、継続的な調査が行われてきたが、これまでにこの事業で得られた成果は報告書として出版されたのみでデータの公表は進んでいない。

本項では、大規模調査データの公表の一つの例として環境省「モニタリングサイト 1000」で扱われている森林草原調査コアサイトの事例を紹介する (Ishihara et al. 2011)。このデータは、本邦 34 地点に設置されたコアサイトにおける毎木調査データを研究・教育・保全政策に広く用いることができるよう公開されたもので (表 5-3)、既に 17 編もの研究で解析に用いられている。最近の例では、植物形質が種間競争にも深く関わっていることを北米、中米、南米、ヨーロッパ、アフリカ、オセアニアにモニタリング 1000 のデータを加えてグローバルスケールで比較したもので、生態学分野において大きな貢献をしている (Kunstler et al. 2016)。

この事例のように、データオーナーである環境省が中心となってステークホルダー間の調整をとり、これらのデータを公表することで、石西礁湖内だけでなく、GBR や東南アジア、インド洋をはじめとした世界でも有数のサンゴ礁海域と比較・検討することが可能になる。本事業では、その準備段階として先述の環境省自然再生事業の一環である「サンゴ礁攪乱要因モニタリング調査業務」で集められた石西礁湖 31 地点における 2010-2015 年のサンゴと魚類の出現種リストを統一した様式で整理し直した [表 2.3.3-3(1-20), 表 2.3.3-4(1-9)]。データペーパーのメタデータ作成に関しては真板 (2013)に具体的な解説がある。本リストにデータの取り扱いに関して適切な注釈を加え、データペーパーとして公開することは、生物多様性問題に関して国際的に評価される取り組みとなる。

表 5-3 モニタリングサイト 1000 に関する文献

<p>文献情報</p>	<p>Ishihara M, Suzuki S, Nakamura M, Enoki T, Fujiwara A, Hiura T, Homma K, Hoshino D, Hoshizaki K, Ida H, Ishida K, Itoh A, Kaneko T, Kubota K, Kuraji K, Kuramoto S, Makita A, Masaki T, Namikawa K, Niiyama K, Noguchi M, Nomiya H, Ohkubo T, Saito S, Sakai T, Sakimoto M, Sakio H, Shibano H, Sugita H, Suzuki M, Takashima A, Tanaka N, Tashiro N, Tokuchi N, Yakushima Forest Environment Conservation Center, Yoshida T, Yoshida Y (2011) Forest stand structure, composition, and dynamics in 34 sites over Japan. Ecological Research, 26, 1007-1008</p>
<p>概要</p>	<p>モニタリングサイト 1000 森林・草原調査コアサイト・準コアサイトの毎木調査データ</p>
<p>対象地域</p>	<p>日本全国</p>
<p>概要</p>	<p>環境省「モニタリングサイト 1000」による森林調査コアサイト 34 地点の毎木調査データを研究・教育・保全政策に広く活用できるよう、データの形式を整理しまとめて公開されたデータペーパーである。大規模に行われた長期間のデータを、調査した研究者・事業者だけで共有するのではなく、だれでもアクセスできる情報として公開している。このデータは既に 17 編もの研究に用いられ、最近の例ではグローバルスケールでの比較研究に充実したデータを提供している。このように、地域で得られた記録を積極的に公開していくことで、国内のみならず海外の事例とも比較できるように情報基盤が整理されつつある。石西礁湖自然再生事業で数十年に渡って丁寧に集められたデータも、オープンデータとして公開することで国内だけでなく海外の保全事業にも貢献しうると考えられる。</p>  <p>図 : Kunstler et al. (2016) より引用・改変。</p>

(5) 評価に関する文献

- Chavan V, Penev L (2011) The data paper: a mechanism to incentivize data publishing in biodiversity science. *BMC Bioinformatics*, 12(Suppl. 15), S2. DOI: 10.1186/1471-2105-12-S15-S2.
- De'ath G, Fabricius KE, Sweatman H, Puotinen M (2012) The 27-year decline of coral cover on the Great Barrier Reef and its causes. *Proceedings of the National Academy of Science of the United States of America*, 109, 17995–17999.
- イアン・ヒリナスキエヴィッチ, 新谷洋子 (2014) Scientific Data データの再利用を促進するオープンアクセス・オープンデータジャーナル. *情報管理*, 57(9), 629-640.
- Ishihara M, Suzuki S, Nakamura M, Enoki T, Fujiwara A, Hiura T, Homma K, Hoshino D, Hoshizaki K, Ida H, Ishida K, Itoh A, Kaneko T, Kubota K, Kuraji K, Kuramoto S, Makita A, Masaki T, Namikawa K, Niiyama K, Noguchi M, Nomiya H, Ohkubo T, Saito S, Sakai T, Sakimoto M, Sakio H, Shibano H, Sugita H, Suzuki M, Takashima A, Tanaka N, Tashiro N, Tokuchi N, Yakushima Forest Environment Conservation Center, Yoshida T, Yoshida Y (2011) Forest stand structure, composition, and dynamics in 34 sites over Japan. *Ecological Research*, 26, 1007-1008.
- Kadoya T, Suda S, Nishihiro J, Washitani I (2008) Procedure for predicting the trajectory of species recovery based on the nested species pool information: dragonflies in a wetland restoration site as a case study. *Restoration Ecology*, 16, 397-406.
- 環境省 (2011) 平成 22 年度 石西礁湖サンゴ礁保全総合調査業務報告書. いであ株式会社編
- 環境省 (2012) 平成 23 年度 石西礁湖サンゴ群集モニタリング調査業務報告書. いであ株式会社編
- 環境省 (2013) 平成 24 年度 石西礁湖サンゴ群集モニタリング調査等業務報告書. いであ株式会社編
- 環境省 (2014) 平成 24 年度 (繰越) 石西礁湖サンゴ群集モニタリング調査等業務報告書. いであ株式会社編
- 環境省 (2015) 平成 26 年度 石西礁湖サンゴ群集モニタリング調査業務報告書. 株式会社東京久栄編
- Kunstler G, Falster D, Coomes DA, Hui F, Kooyman RM, Laughlin DC, Poorter L, Vanderwel M, Vieilledent G, Wright SJ, Aiba M, Baraloto C, Caspersen J, Cornelissen JHC, Gourlet-Fleury S, Hanewinkel M, Herault B, Kattge J, Kurokawa H, Onoda, Peñuelas J, Poorter H, Uriarte M, Richardson S, Ruiz-Benito P, Sun I-F, Ståhl G, Swenson NG, Thompson J, Westerlund B, Wirth C, Zavala MA, Zeng H, Zimmerman JK, Zimmermann NE, Westoby M (2016) Plant functional traits have globally consistent effects on competition. *Nature*, 529, 204–207.
- 真板英一 (2013) データペーパー投稿者のためのメタデータ作成ガイド. *日本生態学会誌*, 63(2), 275-281,
- McClanahan TR, Ateweberhan M, Graham NAJ, Wilson SK, Sebastián CR, Guillaume MMM, Bruggemann JH (2007) Western Indian Ocean coral communities: bleaching responses and susceptibility to extinction. *Marine Ecology Progress Series*, 337, 1-13.
- 大垣俊一 (2008) 多様度と類似度、分類学的新指標. *Argonauta*, 15, 10-22.
- 大澤剛士, 神保宇嗣, 岩崎亘典 (2014) 「オープンデータ」という考え方と、生物多様性分野への適用に向けた課題. *日本生態学会誌*, 64, 153-162.
- Rosenfeld M, Shemesh A, Yam R, Sakai K, Loya Y (2006) Impact of the 1998 bleaching event on $\delta^{18}\text{O}$ records of Okinawa corals. *Marine Ecology Progress Series*, 314, 127-133.
- Smith V, Georgiev T, Stoev P, Biserkov J, Miller J, Livermore L, Baker E, Mietchen D, Couvreur T, Mueller G, Dikow T, Helgen K, Frank J, Agosti D, Roberts D, Penev L (2013) Beyond dead trees: integrating the scientific process in the Biodiversity Data Journal. *Biodiversity Data Journal*, 1, e995. doi: 10.3897/BDJ.1.e995