

全世界
「サンゴ礁の環境配慮ハンドブック」
作成調査

ファイナル・レポート

平成28年1月

独立行政法人 国際協力機構

国際航業株式会社
株式会社 ふたば

【目次】

Chapter 1.	本書の目的	1
Chapter 2.	サンゴ礁及びサンゴとは	2
2.1	サンゴ礁の定義.....	2
2.2	サンゴ礁の機能.....	3
2.3	サンゴの分類.....	6
2.4	造礁サンゴの生態と生活史.....	7
2.5	サンゴ礁と環境条件.....	9
2.6	サンゴ礁保全のための目標設定.....	13
Chapter 3.	サンゴ礁におけるEIAの手順	16
Chapter 4.	サンゴ礁におけるベースライン調査	20
4.1	水環境に関する事項.....	21
4.2	動物（サンゴ）に関する事項.....	32
Chapter 5.	サンゴ礁における影響評価手法	44
5.1	直接的な影響に対する予測評価手法.....	45
5.2	間接的な影響に対する予測評価手法.....	47
Chapter 6.	サンゴ礁における緩和策	60
6.1	緩和策の種類.....	60
6.2	個別の緩和策概要.....	61
6.2.1	定期的な事後モニタリングに基づく順応的管理.....	61
6.2.2	生物生息場所の維持.....	62
6.2.3	避難措置.....	67
6.2.4	再生措置.....	75
Chapter 7.	サンゴ礁におけるモニタリング手法	79
7.1	水環境に関する事項.....	80
7.2	動物（サンゴ）に関する事項.....	88
	【引用文献一覧】	94

巻末資料

資料1 ベースライン調査、影響評価、緩和策、モニタリング調査チェックリスト

Chapter 1. 本書の目的

本「サンゴ礁の環境配慮ハンドブック」は、JICA 事業の審査及び実施監理において、JICA ガイドラインを満たすサンゴ礁のベースライン調査、影響予測、緩和策、モニタリング方法について整理することを目的としたものである。

「サンゴ礁の環境配慮ハンドブック」作成調査では、マダガスカル国のトアマシナ港拡張事業（以下、対象事業）を具体的な一事例として取り上げるとともに、他の案件の審査・実施監理にも資するべく、幅広い観点から情報を収集するとともに、対象事業に関わる既存 EIA 調査を行ったトアマシナ港周辺海域において現地調査を行い、これらの現地調査結果をハンドブックに反映させるものとする。なお、本「サンゴ礁の環境配慮ハンドブック」は、港湾事業を含め、海域のサンゴ礁の改変に関する事業で広く活用できる資料として取りまとめた。

Chapter 2. サンゴ礁及びサンゴとは

2.1 サンゴ礁の定義

サンゴ礁とは、Figure 2-1 に示すように、サンゴを主体とする造礁生物によって形成される地形を指し、サンゴ等の生物そのもの、あるいは生物の集合（群集）を指す言葉ではない。サンゴ礁には、一般に「サンゴ」と呼ばれる動物群が生育する場所や、海藻・海草等が生育する場所、サンゴがあまり生息できないような砂地や泥地も含まれる。

なお、造礁生物には造礁サンゴの他に、貝類、有孔虫、石灰藻等も含まれ、これらの生物が関与して岩礁（サンゴ礁）が形成される。

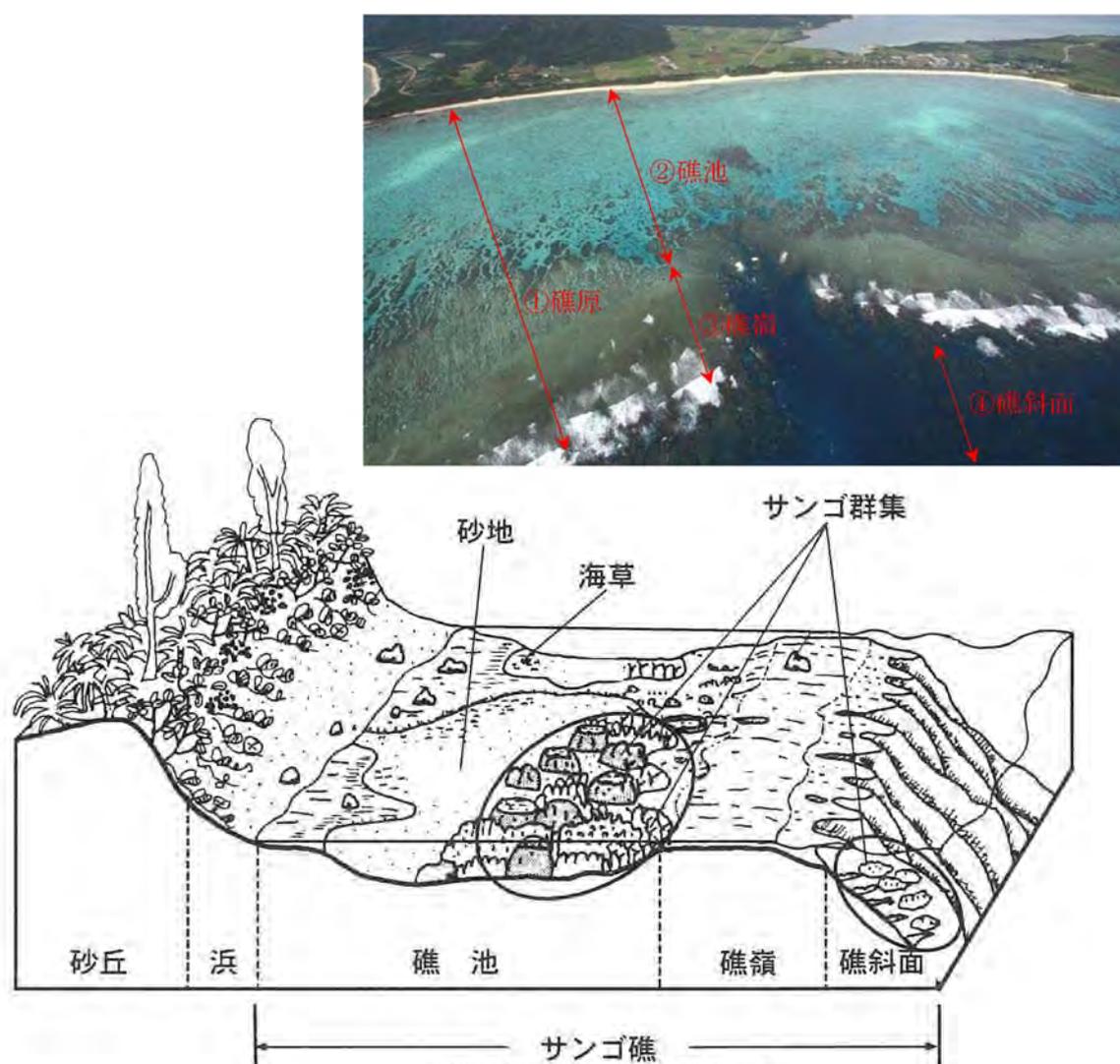


Figure 2-1 サンゴ礁の立体模式図
(沖縄では数百m～数km)

出典：海の自然再生ハンドブック第4巻サンゴ礁編、海の自然再生ワーキンググループ、2003年
出典：有性生殖によるサンゴ増殖の手引き、水産庁漁港漁場整備部、2009年

2.2 サンゴ礁の機能

サンゴ礁は生物生産力の高い場所であることが非常に重要な機能である。それに加え、生態系形成機能、環境の浄化、景観形成・親水、防災等多くの面で重要な役割を果たしている。



Figure 2-2 サンゴ礁の主な機能^{※1}

(1) 生物生産機能

全海水魚類の約4分の1の4000種がサンゴ礁魚類であり、サンゴ礁は、生物種の最も豊富な生態系の一つである。サンゴ礁域は貧栄養塩濃度の海域であるが、サンゴの体内に共生する褐虫藻によって基礎生産が行われ、サンゴから放出される粘液が多く魚類の餌になり、複雑な食物連鎖が形成される。また、海中のカルシウム分を蓄積した骨格による立体構造は、多種多様な生物の生息場所を提供する。

サンゴ礁の生物生産量は亜熱雨林と同程度かそれ以上とされ、極めて高いことが知られている。

Table 2-1 主な生態系の純一次生産量^{※1}

生態系のタイプ	面積 10 ⁶ km ²	単位面積あたりの純一次生産 g/m ² /年		世界の純一次生産 10 ⁹ t/年	単位面積あたりの生物量 kg/m ²		世界の生物量 10 ³ t
		範囲	平均		範囲	平均	
熱帯多雨林	17.0	1000~3500	2200	37.4	6~80	45	765
熱帯季節林	7.5	1000~2500	1600	12.0	6~60	35	260
外洋	332.0	2~400	125	41.5	0~0.005	0.003	1.0
湧昇流海域	0.4	400~1000	500	0.2	0.005~0.1	0.02	0.008
大陸棚	26.6	200~600	360	9.6	0.001~0.04	0.01	0.27
藻場とサンゴ礁	0.6	500~4000	2500	1.6	0.040~4	2	1.2
入江	1.4	200~3500	1500	2.1	0.010~6	1	1.4
海洋合計	361.0		152	55.0		0.01	3.9

※1 出典：有性生殖によるサンゴ増殖の手引き、水産庁漁港漁場整備部、2009年

(2) 水産機能

サンゴ礁は、さまざまな生きものの格好の生息地になっている。サンゴ礁は海洋生物の繁殖・成育・採餌場の機能を持つので、資源涵養の場であり、好漁場としての機能を持つ。沖縄では、典型的なサンゴ漁業において、魚類だけで 100 種以上が漁獲されており、温帯域に比べ漁獲対象種が多い。サンゴ礁で漁獲される主要な魚種は、ブダイ類、アイゴ類、タカサゴ類、その他のフエフキダイ類、ハタ類、イセエビ類、タコ類、ウニ類、シャコ貝などの貝類、モズクやヒトエグサなどの海藻類である。沖縄県においては、これらの漁獲量が経年的に低下しており、サンゴ礁の荒廃が危惧されている。

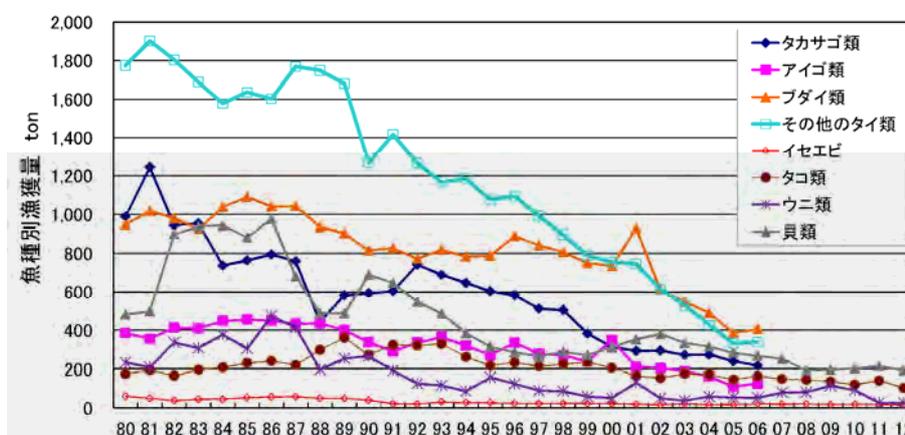


Figure 2-3 サンゴ礁で漁獲される魚種とその漁獲高の推移

出典：サンゴ礁保全活動の手引き、水産庁、2015年

(3) 観光・景観機能

美しいサンゴ礁域の海岸は、海水浴、マリンレジャーの場として利用される。また、伝統行事やイベントなども開催され、地域における交流の場として活用されている。

(4) 防災機能

海岸線がサンゴ礁に取り囲まれていることで、津波や台風などの高波浪を砕波し、背後集落の人命・財産を海岸災害から保護している。この場合のサンゴ礁は、自然の防波堤と言える。また、サンゴの骨格や有孔虫の殻はサンゴ礁内の砂となり、砂浜の形成に大きく貢献するとともに、海岸保全の重要な役割を果たしている。



サンゴ礁は大波浪から島を護る

サンゴの骨格や有孔虫の殻で砂浜が造られる

Figure 2-4 サンゴ礁の防災機能

出典：サンゴ礁保全活動の手引き、水産庁、2015年

(5) 教育、研究の場としての機能

環境教育の一環として、自然体験（エコツアー）、調査活動、自然保護活動、美化活動等があげられる。これらの活動の場として、サンゴ礁の果たす役割は大きい。

また、サンゴ礁が有する諸機能を定量的に把握するために、あるいはサンゴ礁自体の学術的重要性を研究するために、研究の場としての役割も大きい。

(6) 地球環境変動の指標としての機能

サンゴの発育は地球の環境変動の影響を受け、残された骨格を調査することで過去の環境条件が推察できる。例えば、大型のハマサンゴからコアを採取してその年輪を用いて過去数百年にわたる水温や降水量の復元を試みることができる。

(7) その他

沖縄では、古くからサンゴが岩石化した琉球石灰岩を切り出し石垣の石としたり、漆喰の材料としたりして利用されてきた。最近では、サンゴやイソギンチャク、カイメンなどのサンゴ礁域の有用生物が医薬品などとしても注目されており、他の産業にも利用可能な物質が得られる可能性もある。また、十分に解明されていないが、サンゴ礁は炭酸カルシウムの貯蔵場として、その保全が地球温暖化の対策としても期待されている。

2.3 サンゴの分類

造礁サンゴは刺胞動物門に含まれる動物群の中で石灰藻の骨格をつくり褐虫藻と共生している動物の総称である。

刺胞動物門は、ヒドロムシ綱、鉢虫綱、花虫綱に分けられ、造礁サンゴは、ヒドロムシ綱、花虫綱に属しており、その大部分は、花虫綱六放サンゴ亜綱イシサンゴ目に含まれる。

造礁サンゴは、体内に褐虫藻を共生させ、成長が速く、サンゴ礁の基盤や素材を作る役割が大きいため、造礁サンゴと呼ばれている。

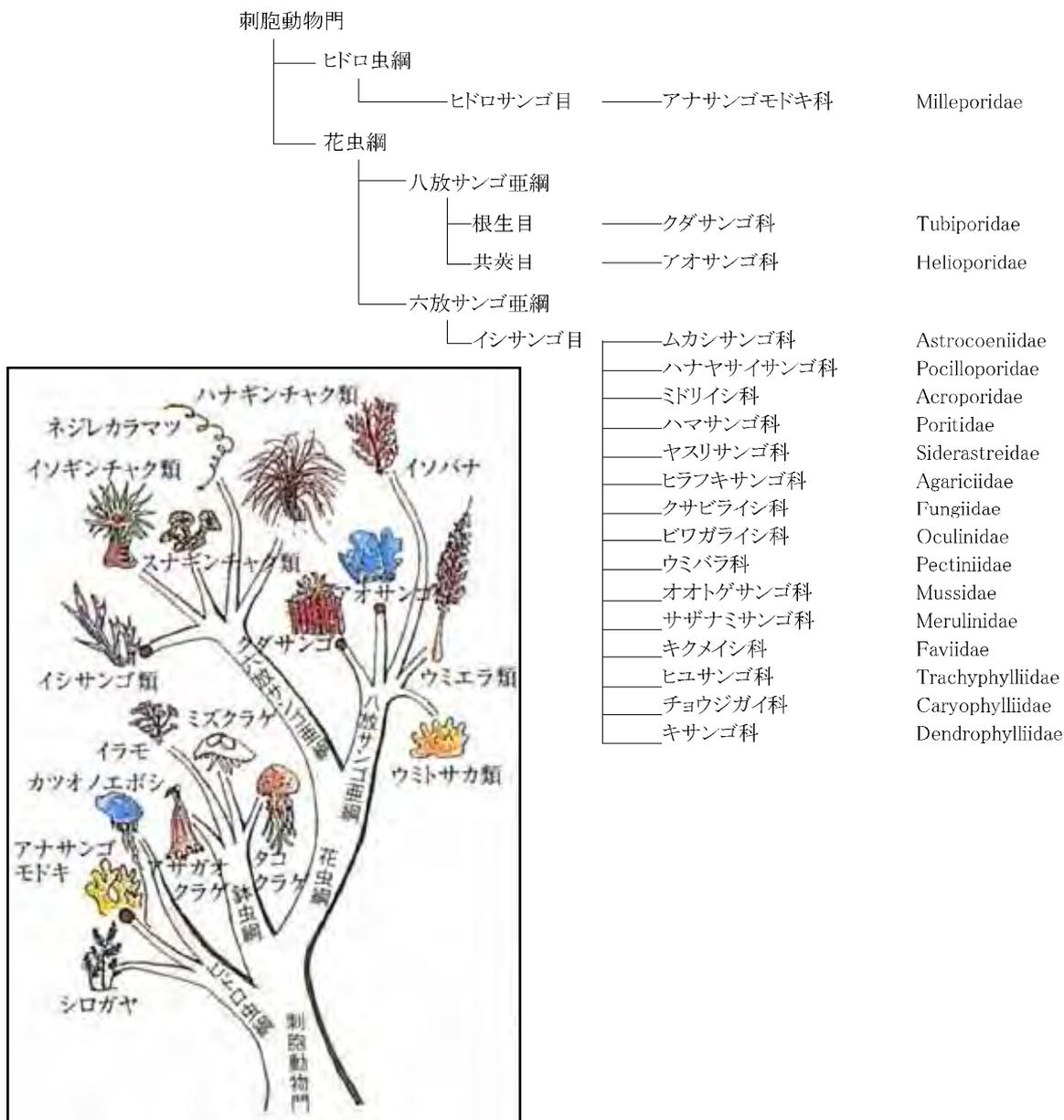


Figure 2-5 刺胞動物門の分類とサンゴの分類上の位置

出典：有性生殖によるサンゴ増殖の手引き、水産庁漁港漁場整備部、2009年
 出典：海の自然再生ハンドブック第4巻サンゴ礁編、海の自然再生ワーキンググループ、2003年

2.4 造礁サンゴの生態と生活史

造礁サンゴの形態を見ると、ポリプはサンゴを構成する基本的単位で、すべてのサンゴの体はポリプで構成されている。ポリプの中央には口があり、それを取り巻くように多数の触手が配列する。イシサンゴ目（六放サンゴ類）の触手は基本的に6の倍数であるが、八放サンゴ類の触手はすべて8本である。

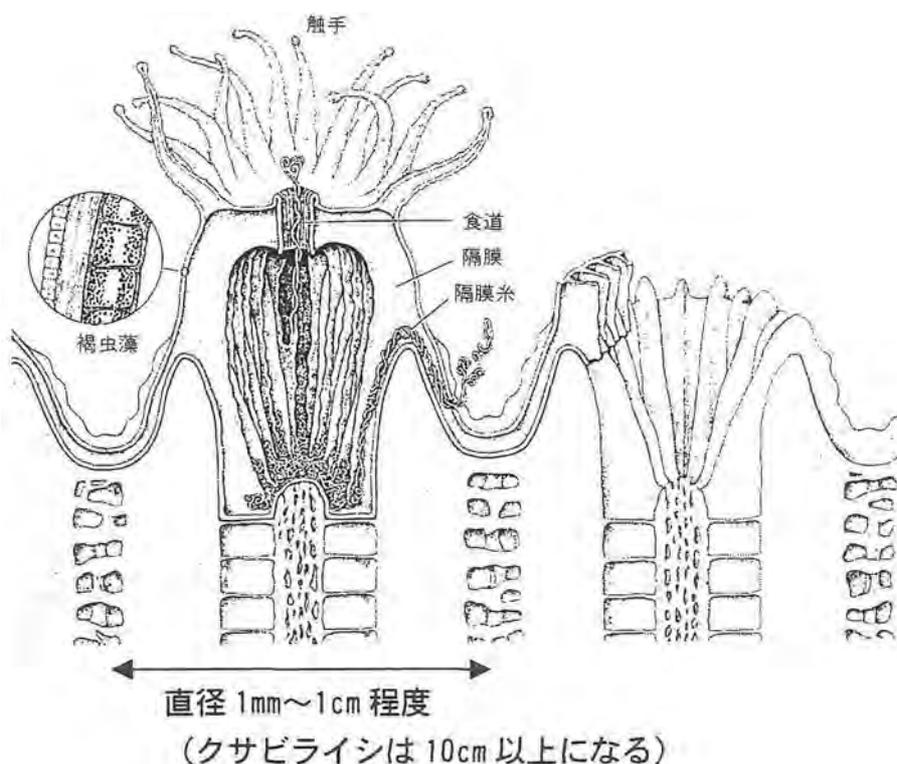


Figure 2-6 イシサンゴ類のポリプの構造

出典：海の自然再生ハンドブック第4巻サンゴ礁編、海の自然再生ワーキンググループ、2003年

造礁サンゴの増殖過程は、成熟した親サンゴが産卵し、卵と精子が受精した後にプラヌラ幼生を経て基盤に着底して一つのポリプとなる有性生殖と、ポリプが次々とクローンを作って群体を形成していく無性生殖がある。

サンゴは群体から折れた破片が海底に再固着・成長して新しい群体を形成することで、無性生殖によっても群体数を増やしたり分布域を拡大したりすることがある。

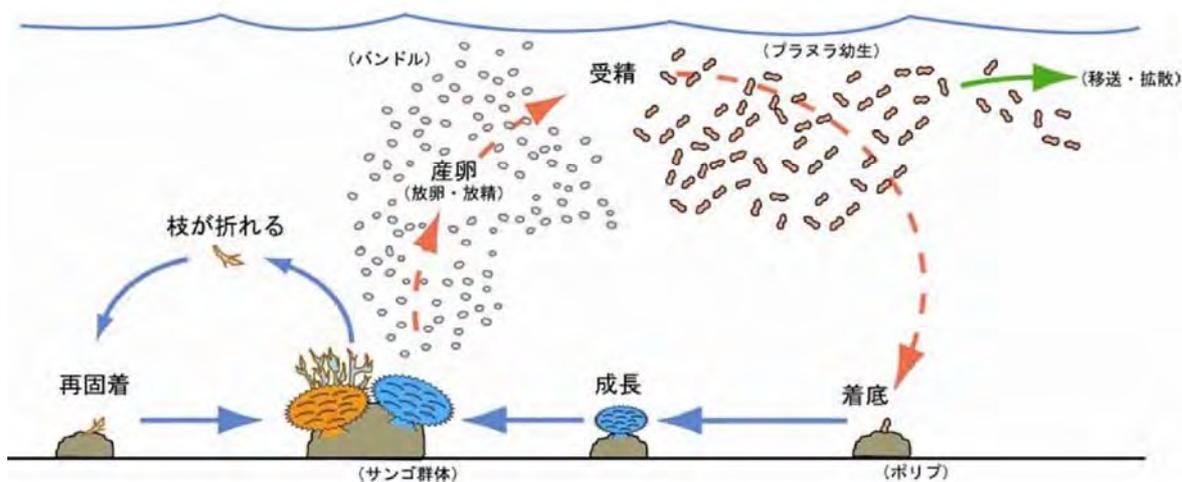


Figure 2-7 サンゴの生活史（雌雄同体の放卵放精型）

出典：有性生殖によるサンゴ増殖の手引き、水産庁漁港漁場整備部、2009年

2.5 サンゴ礁と環境条件

サンゴの成長と、それに伴うサンゴ礁の形成に影響を及ぼす要因として、物理・化学要因、地形・地質要因、生物要因、人間活動等がある。これらの要因が複雑に関与して、サンゴの成長とサンゴ礁の形成に関与している。

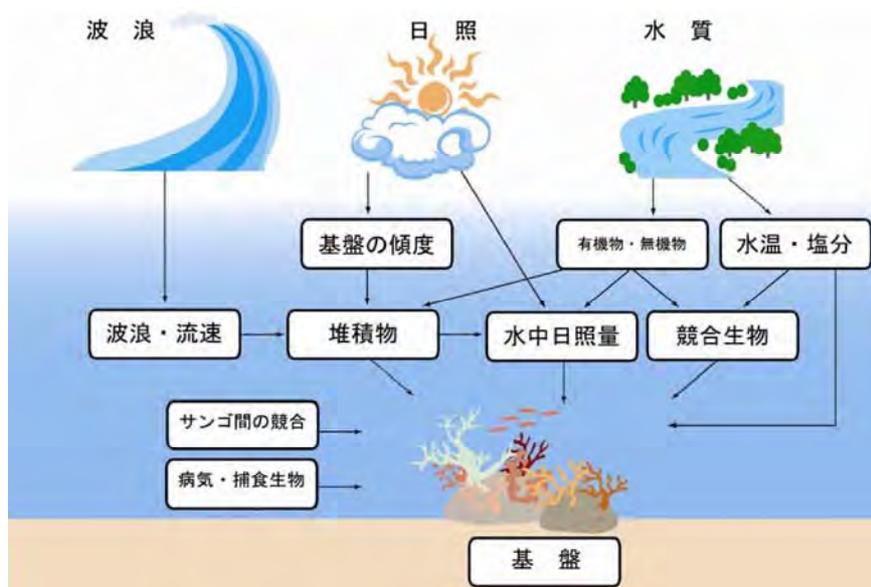
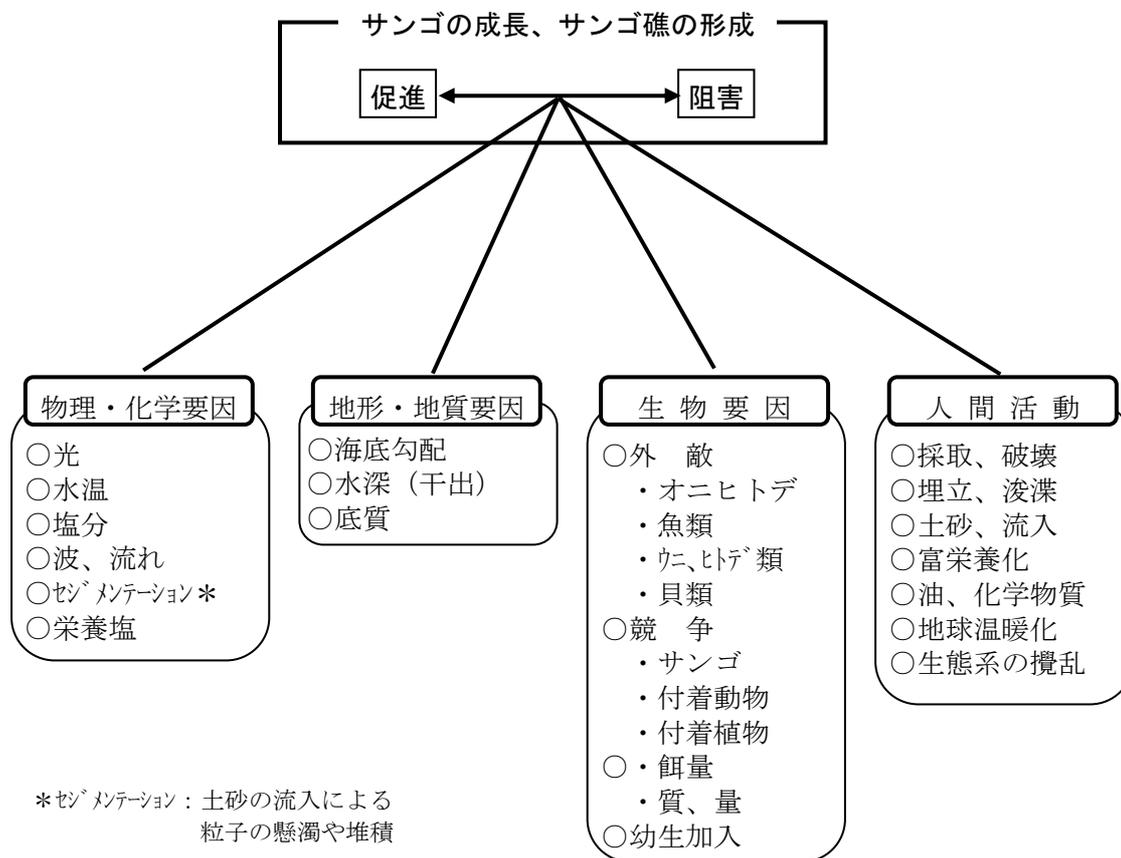


Figure 2-8 サンゴの成長、サンゴ礁の形成に影響を及ぼす要因

出典：有性生殖によるサンゴ増殖の手引き、水産庁漁港漁場整備部、2009年

(1) サンゴ礁に対する濁りの影響

浚渫による濁りや埋立等により流出した土砂や浮泥がサンゴに堆積した場合には、サンゴと共生する褐虫藻の光合成活性が低下し、サンゴの成長に影響を及ぼすとともに、サンゴは体表に付着した浮泥を取り除こうと大量の粘液を分泌し、衰弱することが報告されている。

(2) サンゴ礁に対する富栄養化の影響

工場・生活排水や農地にまかれる肥料などの流出によって、海域に流入する窒素やリンなどの栄養物質もまたサンゴに大きな影響を及ぼすことが分かってきた。ハワイのカネオヘ湾では、1960-70年代にかけて、下水を湾内に放出したために水質が悪化し、サンゴ礁群集に悪影響を及ぼした (Banner, 1974)。しかし、1978年に放水路が湾の沖 35m 深に作られ、その後水質およびサンゴ群集が回復したことが報告されている (Smith, 1981, Laws, 1993, Coles and Ruddy, 1995)。この報告以降、サンゴ礁への富栄養化の影響に関する研究が活発に行われている (Smith et al., 1981)。

一般に、貧栄養海域に分布するサンゴ礁生態系にとって、リンや窒素などを大量に含む陸水の流入による富栄養化の影響は深刻である。サンゴ礁海域の富栄養化により、大型藻類は活発に繁殖してサンゴ類の被覆度は減少し、サンゴ骨格の石灰化速度が減退するなどの現象が報告されている。また、サンゴ礁が、サンゴを中心とする群集から藻類を中心とする群集に移行する現象は「phase shift (相遷移)」と呼ばれている (例えば, Hughes, 1994)。

また、サンゴ礁における富栄養化の指標としては、グレートバリアリーフやカリブ海の研究により、海水中のクロロフィル濃度 $0.3-0.5\mu\text{g/L}$ 、溶存無機態窒素 ($\text{NH}_4 + \text{NO}_3 + \text{NO}_2$) $1\mu\text{M}$ (0.014 mg/L)、リン濃度 $0.1-0.2\mu\text{M}$ ($0.003-0.006\text{ mg/L}$) が閾値になると提案されている (Bell and Elmetri, 1995)。海水中のクロロフィル濃度は、栄養塩を吸収して増える植物プランクトンの量を示す指標であるが、Mutti and Hallock (2003) によると、主にカリブ海を対象として、 $0.1\mu\text{g/L}$ 以下でサンゴの成長が良好であり、 $0.1 \sim 0.5\mu\text{g/L}$ でサンゴと大型藻類の競争が始まり、 $1.0\mu\text{g/L}$ の濃度に達すると光が海底に届かなくなつてサンゴの生育に障害が発生するとしている (Figure 2-9)。

日本におけるサンゴ礁への富栄養化の影響に関する研究は、水産庁中央水産研究所や沖縄県衛生研究所を中心に行われている。これらの研究によると、サンゴ礁域にも適応される自然環境を保全していくための日本の水質環境基準は、全窒素 (T-N) で 0.2 mg/L 、全リンで $0.02\mu\text{gP/L}$ 以下とされているが、琉球諸島海域では、すでにこの基準値をこえている海域もあり、そこではサンゴは存在していない。また、サンゴの成育が良好な海域における最大値は、全窒素で 0.06 mg/L 、全リンで 0.007 mg/L であり、それぞれ 0.1 mg/L 、 0.01 mg/L 以上ではサンゴの成育が良好な地点は無く、サンゴ礁を保全していくためにはより厳

しい水質基準が必要であることが指摘されている（下田ら、1988）。

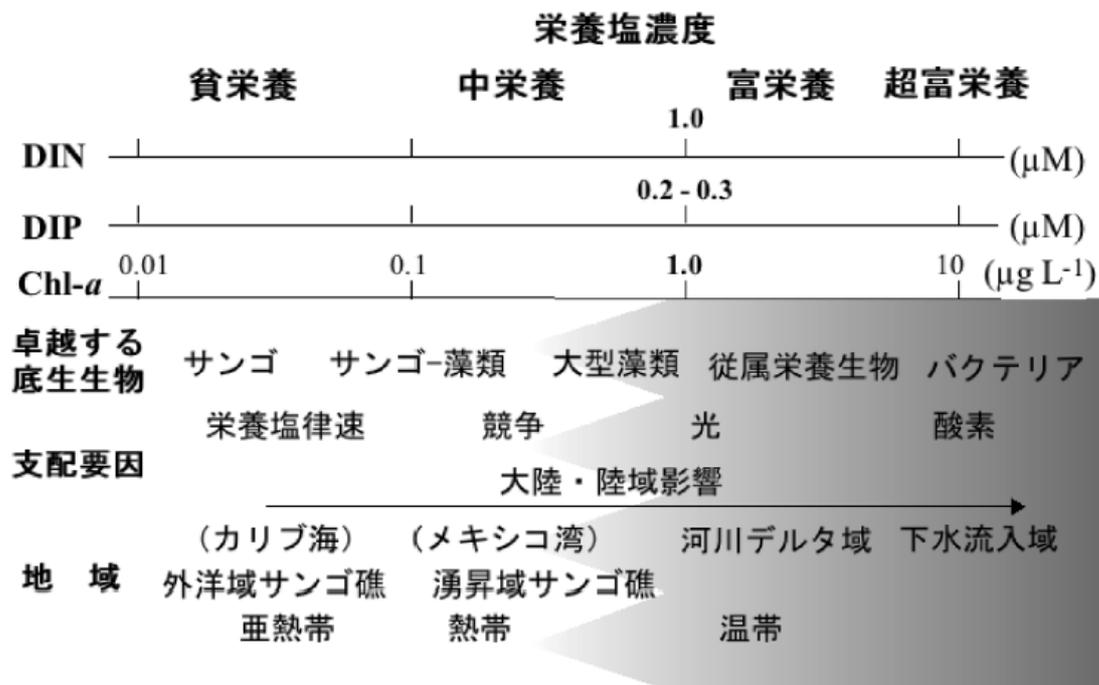


Figure 2-9 海域の水質レベルとサンゴ礁生物群集との関係

出典：Mutti and Hallock (2003年)、Bell and Elmetr (1995年) による報告を基に JICA Study Team 作成

(3) サンゴに対する外的生物の影響

造礁サンゴの卵やプラナ幼生は、魚類や大型の動物プランクトン等に捕食される。

また、群体に成長した後にも多くの外敵生物があり、ポリプをついばむものや、軟体部を対外消化して食べるもの、あるいはサンゴの骨格をかじるもの等さまざまである。

Table 2-2 サンゴの主な食害（侵食）生物

食害方法	主な生物
かじり取り (グレイジング)	魚類 (ブダイ、ハギ) ウニ (ガンガゼ)
補食	魚類 (チョウチョウオ類) ヒトデ (オニヒトデ)
穿孔	海綿 (クリオナ) 二枚貝 (シギノハシ)

出典：海の自然再生ハンドブック第4巻サンゴ礁編、海の自然再生ワーキンググループ、2003年

①オニヒトデ

オニヒトデの小型個体はサンゴモ（石灰藻）を食べるが、直径1 cm程になるとサンゴ食になり、急速に成長する

オニヒトデは夜行性で、日中はサンゴの下などに隠れているが、大発生時には昼でも表に出てサンゴを捕食する。

オニヒトデの捕食方法は、サンゴの上に乗る、胃を対外に反転して消化液を分泌し、造礁サンゴの軟体部を消化して吸収する。



サンゴを捕食するオニヒトデ
出典：サンゴ礁保全活動の手引き、水産庁、2015年

②シロレイシガイダマシ

巻貝のシロレイシガイダマシおよびその仲間のレイシガイダマシ類もサンゴを捕食する。軟体部を溶かしてかじり取る捕食方法を取り、沖縄でも普通に見られるが、大発生して問題になった例はない。

九州周辺や伊豆の三宅島では、シロレイシガイダマシの大発生によるサンゴへの被害が報告されている。



サンゴを捕食するシロレイシガイダマシ
出典：海の自然再生ハンドブック第4巻サンゴ礁編、海の自然再生ワーキンググループ、2003年

③魚類、ウニ類

サンゴ礁域に生息する魚類の中には、サンゴをかじり取ったり、骨格をかみ砕いたり、ポリプをはぎ取るように口や歯を適応させているものもいる。また、食植性のウニ（ガンガゼ、ナガウニ）もサンゴをかじることが知られている。

④穿孔動物

二枚貝（シギノハシ類）、多毛類（ゴカイ）、海綿（クリオネ）等の穿孔動物が多数サンゴの骨格の中に入り込んだ場合、骨格がもろくなり、波浪で倒壊したり基盤から剥離しやすくなる。

2.6 サンゴ礁保全のための目標設定

EIA で行うサンゴ礁への保全措置の目標は、選定した対象への影響を回避、低減もしくは代償のための措置を検討するに当たっての目指すべき目標である。目標設定は、事後調査による効果の確認ができる具体的な目標として、保全措置の検討対象ごとに調査や予測結果を活用して出来るだけ数値などによる定量的な目標を設定することが望ましい。しかしながら、サンゴ礁保全のための定量的な目標設定は容易でない。特に目標水質は、以下に述べるとおり明確な基準は定められていない。

サンゴの生息状況と水質との関係に関する調査・研究は、これまで日本はじめ各国で幾つか行われているが、これらのデータを基にサンゴ礁保全のための水質のガイドラインや国家としての環境基準は定められていない。日本では、海域の自然環境保全のための環境基準として、T-N（全窒素）で 0.2mg/L 以下、T-P（全リン）で 0.02mg/L が定められている。しかし、沖縄での調査結果によると、T-N や T-P については、これら基準比べり低い濃度でサンゴは影響を受けており（Figure 2-10 参照）、サンゴ礁を保全していくためにはより厳しい水質基準が必要であることが指摘されている（下田ら 1998、金城 2013）。

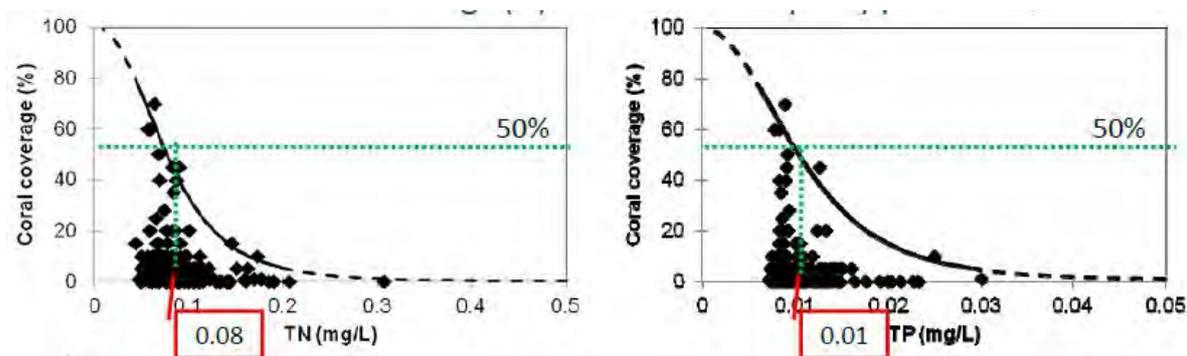


Figure 2-10 沖縄沿岸におけるサンゴ被度と水質（T-N、T-P）との関係

出典：沖縄県衛生環境研究所報告書、金城、2013

なお、Table 2-3 には、これまで報告されているサンゴ礁保全のための水質ガイドライン（案）について、日本の自然環境保全のための環境基準と併せてとりまとめている。

Table 2-3 サンゴ礁保全の水質ガイドライン(案)の報告値

Water Quality Parameters	Unit	Location of Coral Reefs				参考
		Okinawa	Caribbean	Great Barrier	Mauritius	日本環境基準
		(1)*	(2)#	(3)@	(4)*	(5)
Chlorophyll-a	ug/L	-	<0.1-0.5	<0.45	<0.2	
Turbidity	NTU	<0.11	-	-	<0.5	
Transpirancy	m	>14	-	>10	-	
T-N (mg/L)	mg/L	<0.08	-	-	-	<0.2
T-P (mg/L)	mg/L	<0.01	-	-	-	<0.02
NO ₃ -N+NO ₂ -N+NH ₄ -N	mg/L	<0.01	<0.014	-	<0.012	
PO ₄ -P	mg/L	<0.006	<0.006-0.009	-	<0.007	

*: サンゴ被度を 50%維持するのに必要な水質をガイドライン値としている

#: サンゴと藻類の競合が始まる水質（富栄養化の閾値）をガイドライン値としている

@: サンゴの種類数が急激に減少し始める水質値をガイドライン値としている

(1): Kinjyo et al. (2011): 礁池内の栄養塩および濁りの現状とこれらがサンゴの生息状況に及ぼす影響. 日本サンゴ礁学会第 14 回大会講演要旨集.

(2): Mutti and Hallock(2003): Carbonate systems along nutrient and temperature gradients; some sedimentological and geochemical constraints. Int. J. Earth Sci. 92, 465-475

(3): Glenn De'ath and Katharina Fabricius (2008): Water Quality of the Great Barrier reef : Distributions, Effects on Reef Biota and Trigger Values for the Protection of Ecosystem Health, Research Publication No.89, Great Barrier Reef Marine Park Authority

(4): JICA 「モーリシャス国海岸保全・再生に関する能力向上プロジェクト」, Volume1, 2015 年

(5): 日本国環境基準 (海域類型 I、水域の利用目的 ; 自然環境保全)

水質ガイドラインは、一般的に「維持されることが望ましい基準」であり、行政上の政策目標である。これは、維持するための最低限度としてではなく、より積極的に維持されることが望ましい目標として、その確保を図っていくとするものである。汚染が現在進行していない水域については、少なくとも現状より悪化することとならないように適切な水質ガイドラインを設定することが必要である。また、サンゴ等の自然環境の保全を重視する水域とリクレーションや漁業利用を重視する水域を明確にし、それぞれの用途にあった適切な水質ガイドライン値を設定することが望ましい。

サンゴ礁のモニタリングにおける、目標及び基準設定の既往事例を Table 2-4 に示した。ここに示すように、サンゴについては、明確な基準はほとんど無い。工事中及び工事後の基準としては、「工事等の影響が生じる前のサンゴ被度等の変動幅を考慮し、その変動範囲の被度を基準として、それを下回らないこと」とすることが案として考えられる。移植サンゴのモニタリング基準としては、「移植サンゴの顕著な減少がみられないこと」とすることが案として考えられる。いずれの基準も、事業や地域の特性を踏まえ、適切な目標及び基準を設定することが必要である。

Table 2-4 サンゴ礁モニタリングにおける既往評価目標及び基準事例

知見	事業概要	サンゴのモニタリング評価方法
①	沖縄県那覇港拡張工事における工事中、工事後のサンゴ礁モニタリング	モニタリング調査(定点): 調査結果の変動幅を考慮し、その変動範囲を基準に設定する。 モニタリング調査(全域調査): サンゴ面積とその変動幅を考慮し、その変動範囲を基準に設定する。
②	沖縄県那覇空港拡張工事における工事中、工事後のサンゴ礁モニタリング、移植サンゴモニタリング	工事周辺箇所のサンゴ礁: 基準無し。 移植サンゴ: 基準無し。
③	普天間飛行場代替施設建設事業	モニタリング調査: 事業実施前における各種調査データの変動範囲 移植サンゴ: 移植サンゴの顕著な減少
④	東京都沖ノ鳥島における有性生殖によるサンゴ移植	移植サンゴ: 短期基準は、移植サンゴが成長後産卵し、再生産に寄与すること。 長期的目標は、経年的に低下したサンゴ面積分を回復すること。
⑤	バヌアツ国ポートビラ港の整備における工事中、工事後のサンゴ礁モニタリング、移植サンゴモニタリング	工事箇所周辺のサンゴ礁: 工事前と同程度であること。 移植サンゴ: 基準なし。
⑥	マダガスカル国トアマシナ港拡張における工事中、工事後のサンゴ礁モニタリング、移植サンゴモニタリング	対照地点のサンゴ礁: 工事前に比べて急激に減少傾向の場合。(スポットチェック法の被度ランクが2ランク低下) 移植サンゴ: 基準なし。
⑦	高知県竜串湾におけるサンゴ再生	移植サンゴ: 明確な基準無し。
⑧	沖縄県石西礁湖におけるサンゴ再生	モニタリング調査: 明確な基準無し。(推移確認) 移植サンゴ: 明確な基準無し。(成長確認)
⑨	サンゴ移植	移植サンゴ: 長期的基準は、改変前のサンゴ礁と同等の状態とすること。短期的基準は、移植サンゴが成長後産卵し、再生産に寄与すること。

① 那覇港(浦添ふ頭地区)港湾整備に伴う海域環境保全マニュアル, 那覇港管理組合, 2006年

② 那覇空港滑走路増設事業に係る環境影響評価書, 内閣府沖縄総合事務局, 国土交通省大阪航空局, 2013年

③ 普天間飛行場代替施設建設事業に係る環境影響評価書, 沖縄防衛局, 2011年

④ 平成26年度厳しい環境条件下におけるサンゴ増殖技術開発実証委託事業報告書, 水産庁, 2015年

⑤ バヌアツ国ポートビラ港国際多目的埠頭整備事業準備調査(その2 環境調査)報告書, JICA, 2012年

⑥ Procedure Manual on Countermeasure of Coral Reef at Toamasina Port Development Project, KOKUSAI KOGYO CO., LTD., 2015年

⑦ 竜串自然再生事業実施計画, 環境省, 2010年

⑧ 石西礁湖自然再生事業環境省事業実施計画, 環境相, 2008年

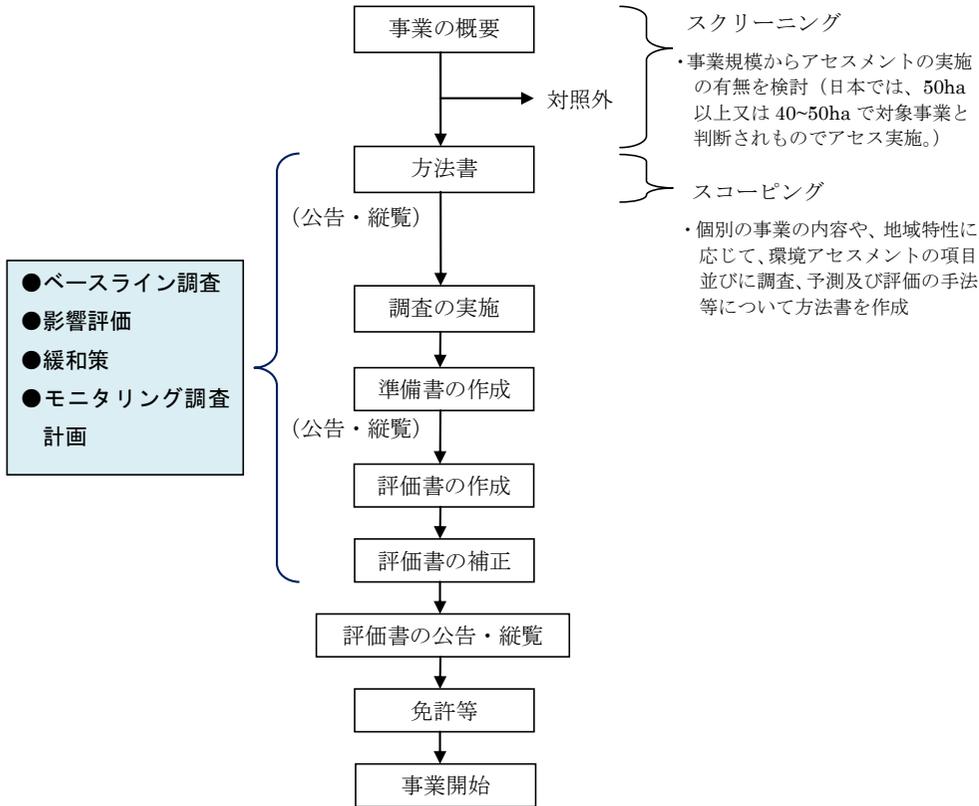
⑨ 沖縄県サンゴ移植マニュアル, 沖縄県文化環境部, 2008年

Chapter 3. サンゴ礁におけるEIAの手順

(1) 環境影響評価手順

日本国や海外諸国の環境影響評価の手順は、Figure 3-1に示すとおりである。環境影響評価の手順は、各国ともに基本的には、環境影響評価の実施の可否を検討するスクリーニング、個別の事業の内容や地域特性に応じて、調査・評価の項目や手法を選定するスコーピングの後、環境影響評価を実施する。この環境影響評価を実施する過程において、ベースライン調査、環境影響評価、緩和策、モニタリング調査計画を検討することとなる。

【日本国】



【アメリカ合衆国】

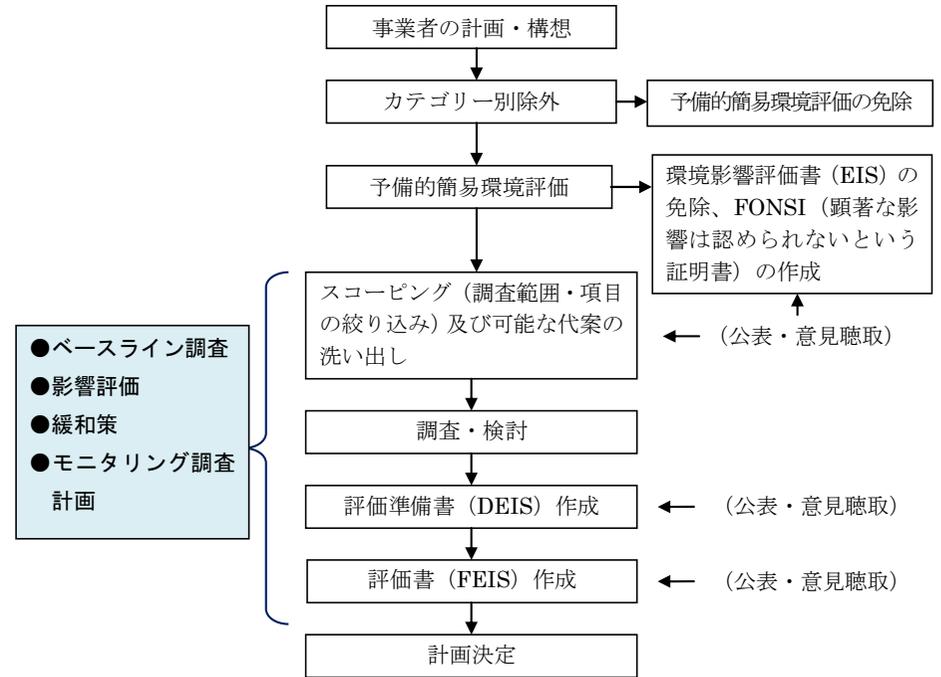


Figure 3-1 (1) 環境影響評価の手順事例

出典：港湾分野の環境影響評価ガイドブック (財) 港湾空間高度化センター 1999年 及び RIVER FRONT (財) リバーフロント研究所 2001年 Vol. 40 を基に JICA Study Team 作成

【ツバル国】

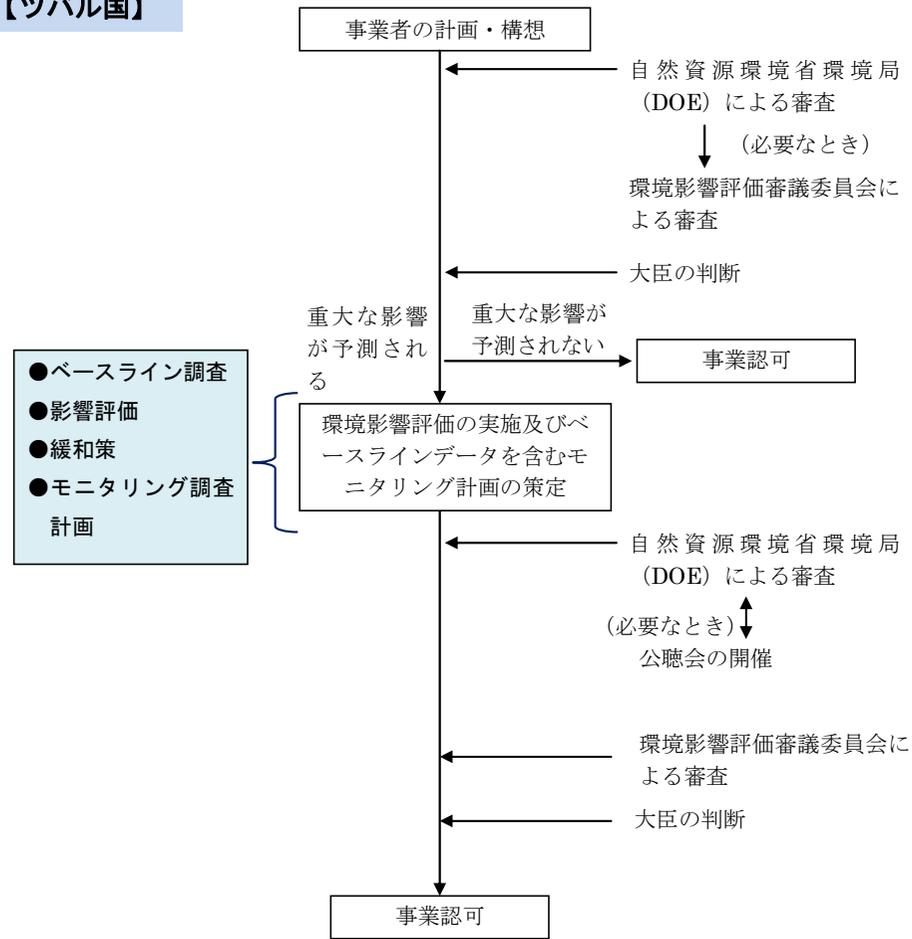


Figure 3-1 (2) 環境影響評価の手順事例

出典：ツバル国におけるエコシステム評価及び海岸防護・再生計画調査 国際航空（株）他 2001年を基に JICA Study Team 作成

(2) 環境影響評価で対象とする環境要素と影響要因区分

環境影響評価において一般的に対象とする影響要素の区分及び影響要因の区分は、Table 3-1 に示す項目が挙げられる。その中で、サンゴへの影響と関連性が強い項目は、

- 水の汚れ、水の濁りに関する水環境
- サンゴやそれらに影響を及ぼす動物

と考えられる。

サンゴへの影響と関連性が強い環境要素及び影響要因に関する事項に対し実施する「ベースライン調査」、「環境影響評価」、「緩和策」、「モニタリング調査計画」について、次章以降に説明する。

なお、海域における事業は、サンゴ以外の環境要素に対しても影響を及ぼすことが想定されるため、環境影響評価を実施する際は、大気、土壌等その他の環境要素についてもスクーピングをとおして、調査・評価の実施の可否を検討する必要がある。

Table 3-1 環境要素及び影響要因の区分

環境要素の区分				影響要因の区分		サンゴとの 関連性	
				工事の実施	供用		
環境の自然的 構成要素の良 好な状態の保 持	大気環境	大気質	窒素酸化物	●	●	-	
		騒音	騒音	●	●	-	
		振動	振動	●	●	-	
	水環境	水質	水の汚れ			●	●
			土砂による水の濁り	●		●	●
土壌に係る環境そ 他の環境	地形及び 地質	重要な地形及び地質		●	△		
生物の多様性 の確保及び自 然環境の体系 的保全	動物	重要な種及び注目す べき生息地	●	●	●		
	植物	重要な種及び群落	●	●	△		
	生態系	地域を特徴づける生態系	●	●	△		
人と自然との 豊かな触れ合 い	景観	主要な眺望点及び景観資 源並びに主要な眺望景観		●	△		
	人と自然との触れ合い活動の 場	主要な人と自然との触れ 合い活動の場	●	●	-		
環境への負荷	廃棄物等	建設工事に伴う副産物	●		△		

出典：港湾分野の環境影響評価ガイドブック（財）港湾空間高度化センター 1999年を基に JICA Study Team 作成
 サンゴとの関連性 ●：サンゴへの影響と関連性が強い項目
 △：サンゴへの影響と関連性が関節的に考えられる項目
 -：サンゴへの影響と関連性がほとんど無い項目

Chapter 4. サンゴ礁におけるベースライン調査

ベースライン調査の目的は、

- 環境の現況を把握する事
- 影響要素の予測及び緩和策検討の基礎資料を得る事

と考えられる。

前章の Table 3-1 で整理した、サンゴ礁に関する環境要素「水の汚れ、水の濁りといった水環境」、「サンゴやそれらに影響を及ぼす動物」について、上記の「環境の現況を把握する事」、「影響要素の予測及び緩和策検討の基礎資料を得る事」を満足するベースライン調査の項目、地点、調査時期の考え方について以下に整理する。

4.1 水環境に関する事項

(1) 調査項目の考え方

サンゴ礁海域で実施が望ましい調査項目の検討結果は、Table 4-1 に示すとおりである。

基本的に実施することが望ましい水質項目は、海域の基本的情報となる水温、塩分、pH、溶存酸素（DO）、透明度又は透視度、工事实施前の濁りの状況を表すSS、濁度、工事实施前の水の汚れ（富栄養化）の指標となるT-N、T-Pである。また、水質予測を実施する上で必要な流況調査も必須項目として抽出する。なお、日本国における水の汚れの指標として一般的なCODは、これまでの海外におけるEIAの実施事例がほとんど見られない。国毎に採用されている水質の基準項目は異なることから、その他の項目については、地域の基準、現地の海域特性を踏まえ、適宜追加を検討する必要がある。

Table 4-1 (1) サンゴ礁海域で実施が望ましい調査項目検討結果

環境要素		影響要因		項目の内容と必要性	調査の必要性	ベースライン調査 既往実施事例
水環境	水質	基本項目	水温	海域の基礎的情報。生物生息の適正、予測の基礎情報として使用される。定期的な観測と設置機器による通年の連続観測手法がある。白化現象との関連性が強い。種や生息場所により白化する水温は変化するが、25～28℃程度が適水温とされている。	●	②③④⑤⑥⑦⑨⑪⑫
			塩分	海域の基礎的情報。生物生息の適正、予測の基礎情報として使用される。サンゴの最適範囲は34～37‰程度とされている。	●	②③④⑤⑦⑨⑪⑫
			pH	海域の基礎的情報。概要水は8.3～8.4程度の弱いアルカリ性。光合成により上昇する。日本国の環境基準A類型は、7.8以上8.3以下。	●	②③④⑤⑨⑪⑫
			溶存酸素量 (DO)	海域の基礎的情報。水中に含まれる酸素量。生物生息の適正の基礎情報として使用される。日本国の環境基準A類型は、7.5mg/l以上。	●	③④⑦⑨⑪⑫
			透視度・透明度	海域の基礎的情報。水の清濁の程度を表す指標。	●	③④⑤⑨⑪⑫
			大腸菌数	家庭や畜産排水、野生動物の排泄物の影響を確認する指標。日本国の環境基準A類型は、1000MPN/100ml以下。	●	③④⑨⑪⑫
			油分 (n-Hexane抽出物質)	油分の有無を確認する指標。日本国の環境基準A類型は、検出されないこと。	●	③④⑪
			光量子量	水中の光量子量。サンゴの成長に関する基礎情報。年平均光量子量110 μmol/sec/m ² 以上でサンゴ被度が高いとされている。	△	⑥⑦
			健康項目	人の健康の保護に関する項目。日本国では、水銀、カドミウム等27項目が該当する。	●	③④⑤
		土砂による水の濁り	SS	濁りの影響を確認する指標。事業の一般的内容から、構造物の基礎工事 (浚渫、床掘、捨石等) や埋立 (余水吐きからの排水) に伴って濁りの発生が想定される。日本国では、環境影響評価の標準項目とされている。濁りは、サンゴの生息阻害一要因である。	●	③④⑤⑨⑪⑫
			濁度	濁りの影響を確認する指標。SSが室内分析を要するのに対し、濁度は現地観測機器により現地確認が可能。SSを代用する指標として使用されることが多い。	●	⑤⑧⑨⑪⑫
		水の汚れ	COD	埋立地の出現によって潮流が変化し、水質に影響を及ぼすことが想定されることから、水の汚れとして一般的な有機汚濁の指標として日本ではCOD _{Mn} が設定されている。しかし、海外ではCODは一般的でなく、実施例は少ない。	△	①②③④⑤
			全窒素・全リン (T-N, T-P)	窒素及びリンは植物の成長に欠かせない物質であるが、それらが水中に過剰に存在すると、植物プランクトン量が増加し、二次的な汚濁が進行する主な原因となる。日本国の例では、T-N<0.1mg/l、T-P<0.01mg/lでサンゴ礁の生育が良いとされている。	●	①②③④⑤⑦⑨⑪⑫
			無機態窒素・無機態リン (NH ₄ -N, NO ₂ -N, NO ₃ -N, PO ₄ -P)	全窒素・全リンの中の無機態成分。植物プランクトンや海藻はこれら無機態を摂取し成長する。	△	③④⑤⑦⑫
			クロロフィルa	植物プランクトン量の指標。赤潮の状況、富栄養化の状況を確認することができる。	△	③④⑤⑪⑫

凡例：●基本的には実施が望ましい項目 △：必要に応じて実施を判断することが望ましい項目

(未記入)：調査目的との関連性は低い項目

- ① 港湾分野の環境影響評価ガイドブック、(財) 港湾空間高度化センター 港湾・海域環境研究所、1999年
 - ② 那覇港(浦添ふ頭地区) 港湾整備に伴う海域環境保全マニュアル、那覇港管理組合、2006年
 - ③ 那覇空港滑走路増設事業に係る環境影響評価書、内閣府沖縄総合事務局、国土交通省大阪航空局、2013年
 - ④ 普天間飛行場代替施設建設事業に係る環境影響評価書、沖縄防衛局、2011年
 - ⑤ 沖縄の港湾におけるサンゴ礁調査の手引き、沖縄総合事務局 開発建設部、(財) 港湾空間高度化環境研究センター、2007年
 - ⑥ 有性生殖によるサンゴ増殖の手引きー生育環境が厳しい沖ノ島におけるサンゴ増殖ー、水産庁漁港漁場整備部、2009年
 - ⑦ 平成26年度厳しい環境条件下におけるサンゴ増殖技術開発実証委託事業報告書、水産庁、2015年
 - ⑧ PIANC REPORT N° 108 [Dredging and port construction around coral reefs], PIANC Secrétariat Général, Belgique, 2010年
 - ⑨ パナマツ国ポートピラ港国際多目的埠頭整備事業準備調査 (その2 環境調査) 報告書、JICA, 2012年
 - ⑩ モーリシャス国海岸保全・再生に関する能力向上プロジェクト リーフ環境保全ガイドライン
 - ⑪ Toamasina Port Project Environmental Impact Assessment, SPAT, 2010年
 - ⑫ Procedure Manual on Countermeasure of Coral Reef at Toamasina Port Development Project, KOKUSAI KOGYO CO., LTD., 2015年
- ※1：①のガイドブックにおいては、動物・生態系の調査を標準項目として挙げているが、手法までは特定していない。

Table 4-1 (2) サンゴ礁海域で実施が望ましい調査項目検討結果

環境要素		影響要因		項目の内容と必要性	調査の必要性	ベースライン調査 既往実施事例
水環境	底質	底質	化学的酸素要求量(COD)	底質中の化学的酸素要求量の指標。富栄養化すると濃度が上昇する。	△	②③④
			全硫化物(T-S)	底質中の全硫化物量の指標。富栄養化すると濃度が上昇する。	●	②③④⑪
			強熱減量	底質中の有機物量の指標。富栄養化すると濃度が上昇する。	△	③④
			含水比	底質中の有機物量の指標。富栄養化すると濃度が上昇する。		③④
			比重	底質の比重。		③④
			全窒素・全リン(T-N, T-P)	底質中の窒素及びリン量の指標。富栄養化すると濃度が上昇する。	●	③④⑪
			粒度組成	底質の粒度の指標。富栄養化すると細粒化しシルト粘土分が増加し、サンゴの生息条件としては不適切な環境となる。	△	②③④
			底質区分	海底の底質の指標。岩盤、転石、礫、砂、泥、人工構造物等の区分を目視判断する。サンゴは岩盤、転石、人工構造物等硬い基質に生息できる。	●	③④⑤⑦⑪⑫
			底質中懸濁物質含量(SPSS)	サンゴの生息阻害要因である土砂の堆積状況を示す指標。30kg/m ³ 以上でミドリイシ属の出現が減少するとされている。	△	④⑤⑧
		重金属等	人の健康を保護し、生活環境を保全するうえで維持することが望ましい項目。日本国の環境基準では、水銀等27項目、海洋汚染防止法では、33項目が該当する。		③④	
	潮流	潮流	潮流	埋立地の存在により潮流が変化する可能性がある。水質の予測の際に潮流の変化を前提として流況予測を実施する際に使用する。	●	①③④⑥⑦⑧⑨
波浪	波浪	波浪	波浪	埋立地の存在により波浪が変化する可能性がある。	△	③④⑦⑧

凡例：●基本的に実施が望ましい項目 △：必要に応じて実施を判断することが望ましい項目
(未記入)：調査目的との関連性は低い項目

- ① 港湾分野の環境影響評価ガイドブック、(財)港湾空間高度化センター 港湾・海域環境研究所、1999年
 ② 那覇港(浦添ふ頭地区)港湾整備に伴う海域環境保全マニュアル、那覇港管理組合、2006年
 ③ 那覇空港滑走路増設事業に係る環境影響評価書、内閣府沖縄総合事務局、国土交通省大阪航空局、2013年
 ④ 普天間飛行場代替施設建設事業に係る環境影響評価書、沖縄防衛局、2011年
 ⑤ 沖縄の港湾におけるサンゴ礁調査の手引き、沖縄総合事務局 開発建設部、(財)港湾空間高度化環境研究センター、2007年
 ⑥ 有性生殖によるサンゴ増殖の手引きー生育環境が厳しい沖ノ島島におけるサンゴ増殖ー、水産庁漁港漁場整備部、2009年
 ⑦ 平成26年度厳しい環境条件下におけるサンゴ増殖技術開発実証委託事業報告書、水産庁、2015年
 ⑧ PIANC REPORT N° 108 [Dredging and port construction around coral reefs], PIANC Secrétariat Général, Belgique, 2010年
 ⑨ パヌアツ国ポートピラ港国際多目的埠頭整備事業準備調査(その2 環境調査)報告書、JICA、2012年
 ⑩ モーリシャス国海岸保全・再生に関する能力向上プロジェクト リーフ環境保全ガイドライン
 ⑪ Toamasina Port Project Environmental Impact Assessment, SPAT, 2010年
 ⑫ Procedure Manual on Countermeasure of Coral Reef at Toamasina Port Development Project, KOKUSAI KOGYO CO., LTD., 2015年
 ※1：①のガイドブックにおいては、動物・生態系の調査を標準項目として挙げているが、手法までは特定していない。

(2) 調査位置の考え方

水質・底質の調査位置は、

- ・地形の改変、濁りや排水等の影響を受ける地点付近
- ・海域の水底質を代表する地点（湾外、湾内中央等）
- ・流入河川等陸水流入点
- ・代表的なサンゴ礁域

が一般的に選定される。地点の選定は現地の特性を踏まえ選定する必要がある。

水質の調査水深は、表層 1 層もしくは、表層・底層 2 層において、採水分析及び機器観測もしくは、鉛直的に 0.1～数 m の多層での機器観測が一般的である。

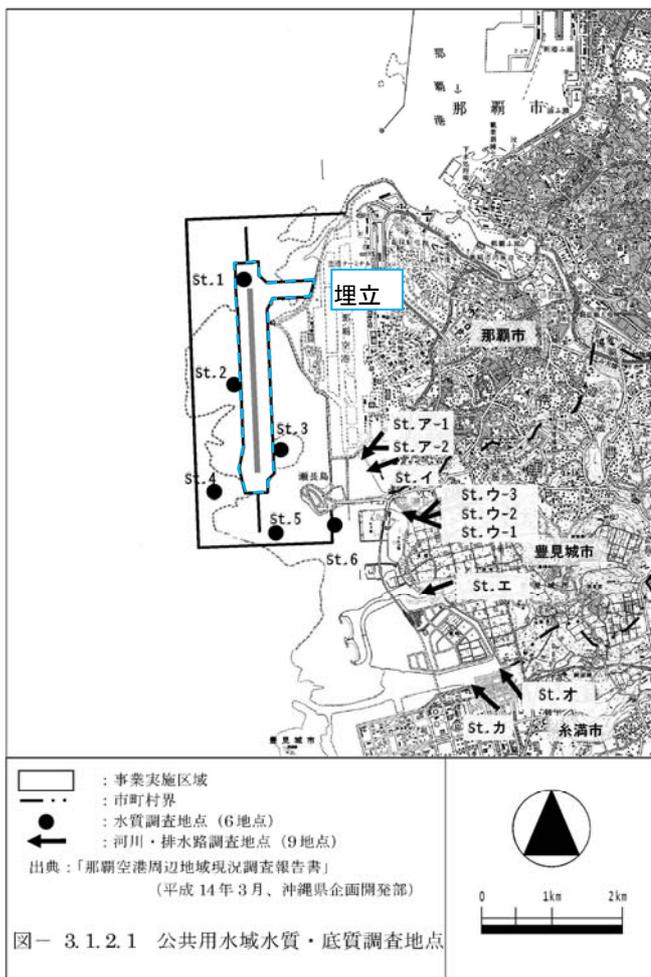
流況の調査は、予測の現況再現のために用いられるため、

- ・海域の流れを代表する地点（湾口、湾内中央等）
- ・地形の改変、濁りや排水等の影響を受ける地点付近

が一般的に選定される。地点の選定は現地の特性を踏まえ選定する必要がある。

流況の調査水深は、表層 1 層、中層 1 層、表層・底層 2 層等現地の特性を踏まえ選定する必要がある。

既往の調査地点例を Figure 4-1 に示す。

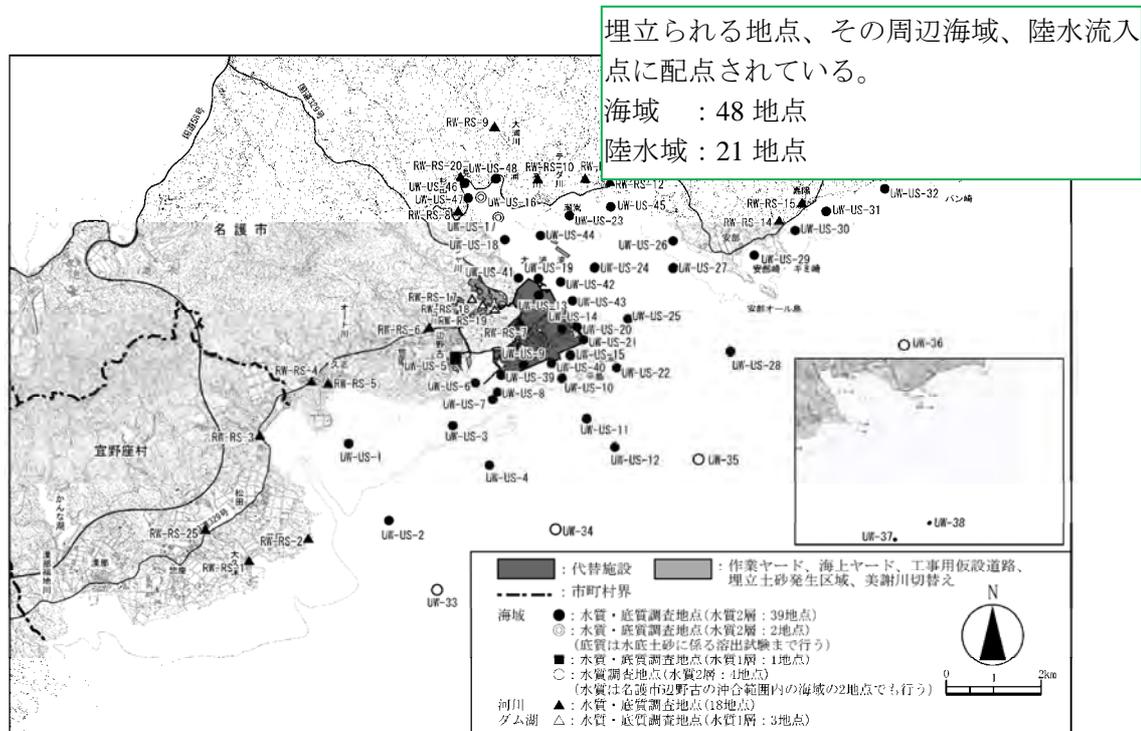


埋立られる地点、その周辺海域、
陸水流入点に配点されている。
海域：6 地点
陸水：9 地点

(日本国沖縄県)
(水質)

Figure 4-1 (1) 地点図例

出典：那覇空港滑走路増設事業に係る環境影響
評価書 内閣府沖縄総合事務局他 2013
年を基に JICA Study Team 作成



埋立られる地点、その周辺海域、陸水流入
点に配点されている。
海域：48 地点
陸水域：21 地点

Figure 4-1 (2) 地点図例 (日本国沖縄県) (水質)

出典：普天間飛行場代替施設建設事業に係る環境影響評価書 沖縄防衛局 2011 年



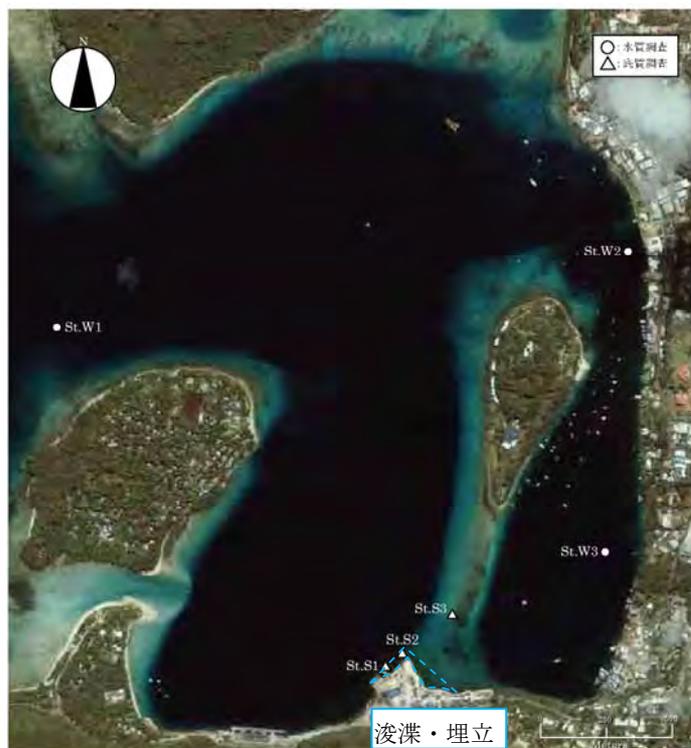
埋立られる地点、湾内、湾外、サンゴ礁域、陸水流入点に配点されている。

- 埋立等 : 5 地点 (F1、F2、F4、F5、F6)
- 内湾 : 5 地点 (F3、W1、W2、W3、W4)
- 港内 : 1 地点 (W6)
- 陸水 : 1 地点 (W7)
- 湾外 : 3 地点 (W8、6、10)
- サンゴ礁域 : 8 地点 (1、2、3、4、5、7、8、9)

(マダガスカル国トアマシナ)
(水質)

Figure 4-1 (3) 地点図例

出典 : Procedure Manual on Countermeasure of Coral Reef at Toamasina Port development Project 2015年を基に JICA Study Team 作成



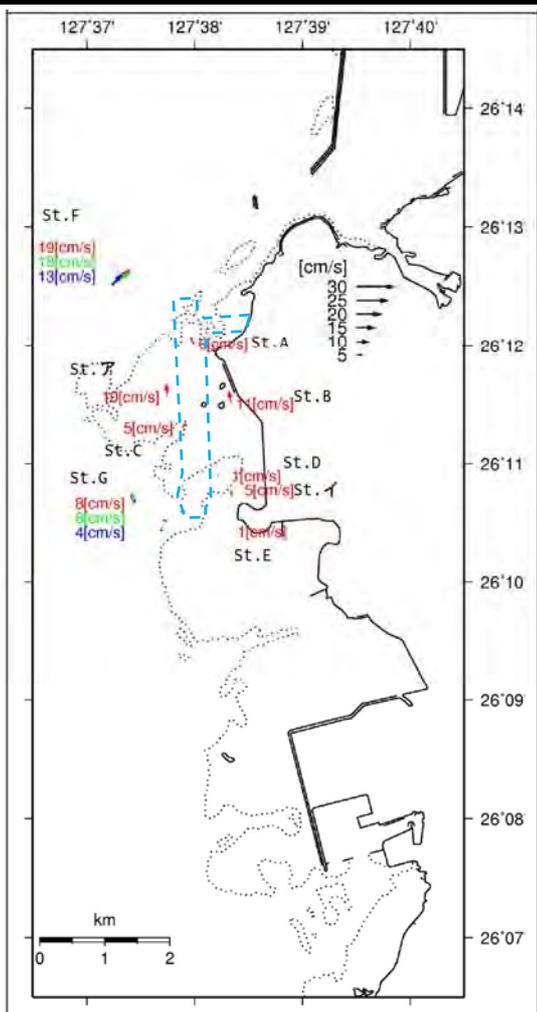
埋立られる地点、湾内、湾口、サンゴ礁域、陸水流入点に配点されている。

- 埋立等 : 2 地点 (St.S1、S2)
- 内湾 : 3 地点 (St.S3、W2、W3)
- 港口 : 1 地点 (St.W1)

(バヌアツ国ポートビラ)
(水質・底質)

Figure 4-1 (4) 地点図例

出典 : バヌアツ国ポートビラ港国際多目的ふ頭整備事業準備調査 (その2 環境調査) 2012年を基に JICA Study Team 作成

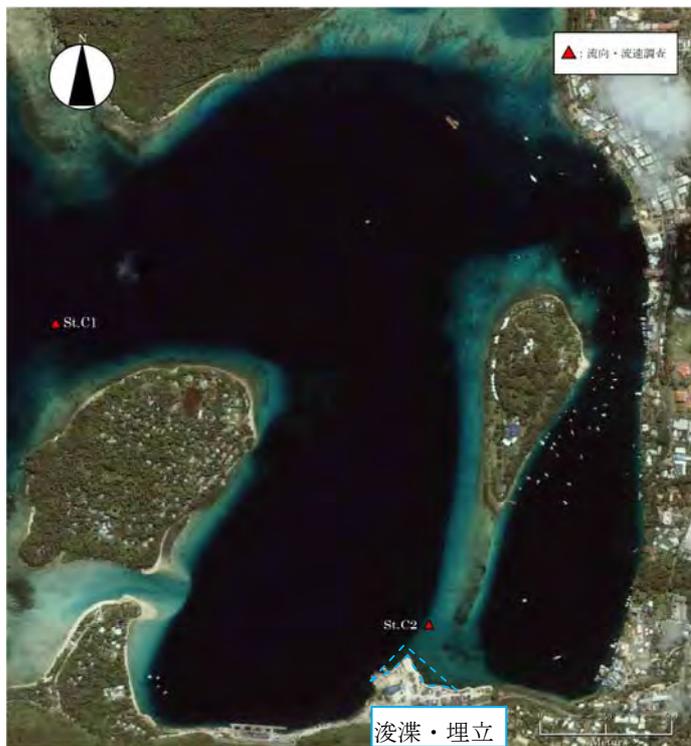


予測の現況再現用として、海域の流れを代表する沖合いと埋立地付近に配点されている。
 埋立付近：7地点（St.A、B、C、D、E、ア、イ）
 沖合い：2地点（St.F、G）

（日本国沖縄県）
 （流況）

Figure 4-1 (5) 地点図例

出典：那覇空港滑走路増設事業に係る環境影響評価書 内閣府沖縄総合事務局他 2013年を基に JICA Study Team 作成



予測の現況再現用として、湾の流れを代表する湾口、埋立地付近に配点されている。
 埋立付近：1地点（St.C2）
 湾口：1地点（St.C1）

（バヌアツ国ポートビラ）
 （流況）

Figure 4-1 (6) 地点図例

出典：バヌアツ国ポートビラ港国際多目的ふ頭整備事業準備調査（その2 環境調査） 2012年を基に JICA Study Team 作成

(3) 調査頻度

水質の調査頻度は、事業実施前の季節別を基本とする（四季が存在する日本国では各季 1 回ずつの 4 季調査を基本とし、雨季、乾季の 2 季の地域では、2 季）。これは、夏季はプランクトンと等の内部生産が高まったり、白化のリスクを超える水温となったり、冬季は、内部生産の低下や、サンゴの生息下限値の水温を下回るなど、1 時季の水質データのみでは、情報が不足し評価が困難なためである。

よって、調査頻度は各地域の、地域特性を踏まえ、調査時期を選定する必要がある。

サンゴの白化の監視として水温の連続観測等を実施する場合は、通年観測等目的に合わせて、調査期間を選定する必要がある。

底質の調査頻度は、事業実施前の季節別を基本とする。これは、水質同様、夏季は泥温の上昇や水質の変化に伴い底質が有機汚濁化したり、冬季は夏季の有機汚濁が解消されるなど、1 時季の底質データのみでは、情報が不足し評価が困難なためである。

各地域の、地域特性を踏まえ、調査時期を選定する必要がある。

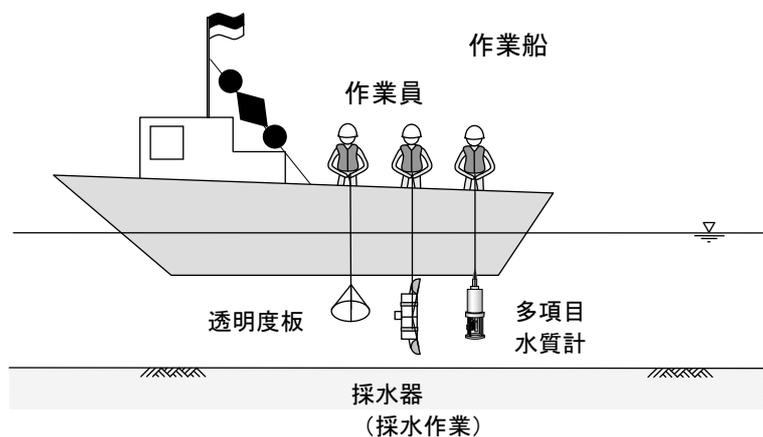
流況の調査は、一般的な海域であれば、月や太陽の引力による起潮力に伴う潮流が卓越し、これは、季節性がほぼ無いことから、季節にかかわらず 1 回の実施を基本とする。調査は、大潮を挟む 15 日間の調査が基本となる。

潮流の影響が小さく海流等の他の流れが強い海域では、各地域の、地域特性を踏まえ、適宜調査頻度や調査日数を変化させる必要がある。

(4) 一般的な調査イメージ

1) 水質調査

一般的に水質調査は、各調査地点に船舶により移動し、以下に示すような採水器、多項目水質計、透明度板等を用いて調査を実施する。使用機器については、多種存在するため、適宜現地に応じて選択していくことが望ましい。



Van Dorn Water Sampler



Multi-parameter sonde



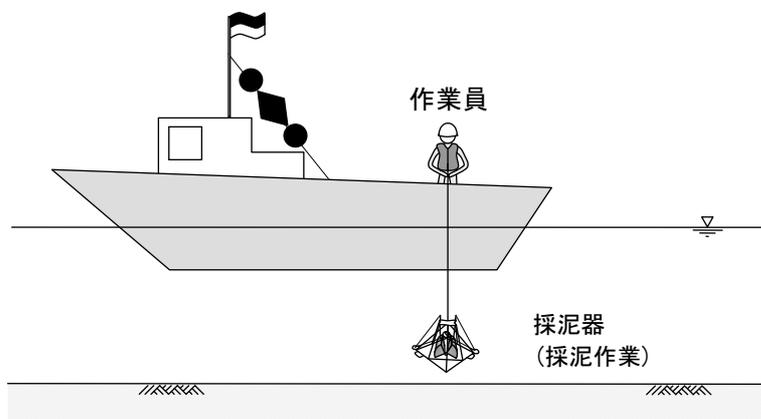
設置型水温計例

Figure 4-2 調査概念図 (水質調査)

出典：JICA Study Team

2) 底質調査

一般的に底質調査は、各調査地点に船舶により移動し、以下に示すような採泥器で採取する手法、または、潜水士により採取する手法で実施する。使用機器については、多種存在するため、適宜現地に応じて選択していくことが望ましい。



スミスマッキンタイヤー型採泥器



エクマンバーヂ採泥器

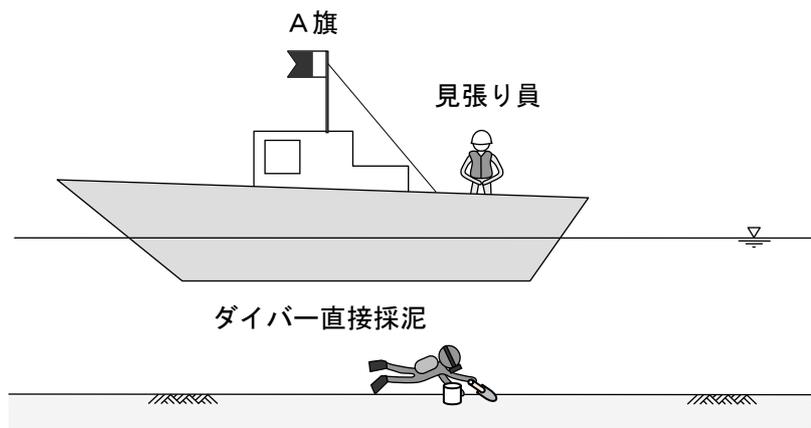


Figure 4-3 調査概念図(底質調査)

3) 流況調査

一般的に流況調査は、各調査地点に船舶により移動し、以下に示すような流速計を設置する。係留方法や使用機器については、多種存在するため、適宜現地に応じて選択していくことが望ましい。

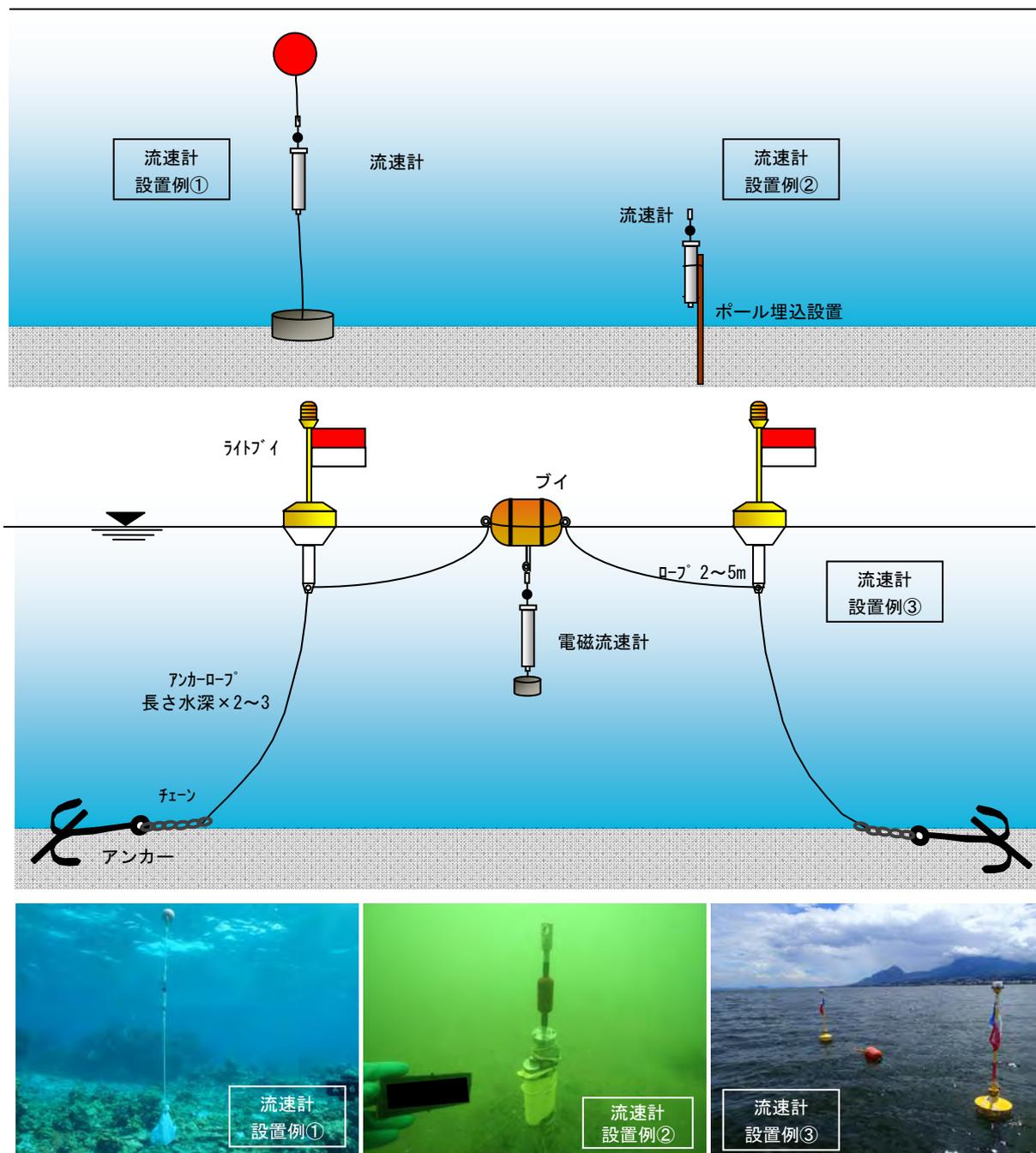


Figure 4-4 調査概念図(流況調査)

4.2 動物（サンゴ）に関する事項

(1) 調査項目の考え方

サンゴ礁海域で実施が望ましい調査項目の検討結果は、Table 4-2 に示すとおりである。

調査を必要とする項目は、面的なサンゴ等の分布や被度を判断する「画像判読調査」、「ベルトトランセクト法やマンタ法」、定点のサンゴの分布、種、被度、稚サンゴ密度、食害生物調査が挙げられる。これらの調査により、サンゴやその他生物の現状把握、移植の必要性検討、影響評価の基礎資料が把握可能となる。

これらの項目は、現地の海域特性を踏まえ、適宜手法を選定するものとする。

Table 4-2 サンゴ礁海域で実施が望ましい調査項目検討結果

環境要素		影響要因		項目の内容と必要性	調査の必要性	ベースライン調査 既往実施事例
生物	動物	サンゴ類 (定点調査)	定点調査	一定面積で調査を行うコドラート法(0.5×0.5m、1×1m、2×2m、10×10m、50×50mなど)や一定時間の遊泳の間で確認するスポットチェック法により、種類、被度等を判別する。	●	①※1②③④⑤⑥ ⑦⑧⑨⑩⑪⑫
			稚サンゴ密度	稚サンゴ密度量。環境がサンゴの再生産ポテンシャルを有しているかを確認する指標	●	⑧⑫
			食害生物調査	サンゴの食害生物であるオニヒトデやシロレイシガイダマシ等の巻き貝の生息密度。サンゴの維持の可能性を判別する。	●	⑧⑫
	サンゴ類 (全域調査)	ベルトトランセクト法、水面遊泳法、マンタ法、ROV	数十～数千mの測線や範囲を遊泳もしくはボートに曳航させるマンタ法、ROV調査により、総被度、種類別被度を判別し、広域のサンゴ分布を判断する。	●	①※1②③④⑤⑥ ⑦⑧⑨⑩	
		画像判読	衛星画像、航空写真、水中ビデオ画像を目視判読もしくは自動判読し、広範囲の総被度、概ねの種類別被度を把握する。マンタ法等と比較し、不測領域のない解析が可能となる。一方、目視判断では無いため、精度検証を十分行う必要がある。	●	①※1③⑤⑦⑨	

- ① 港湾分野の環境影響評価ガイドブック、(財)港湾空間高度化センター 港湾・海域環境研究所、1999年
 ② 那覇港(浦添ふ頭地区)港湾整備に伴う海域環境保全マニュアル、那覇港管理組合、2006年
 ③ 那覇空港滑走路増設事業に係る環境影響評価書、内閣府沖縄総合事務局、国土交通省大阪航空局、2013年
 ④ 普天間飛行場代替施設建設事業に係る環境影響評価書、沖縄防衛局、2011年
 ⑤ 沖縄の港湾におけるサンゴ礁調査の手引き、沖縄総合事務局 開発建設部、(財)港湾空間高度化環境研究センター、2007年
 ⑥ 有性生殖によるサンゴ増殖の手引き—生育環境が厳しい沖ノ島におけるサンゴ増殖—、水産庁漁港漁場整備部、2009年
 ⑦ 平成26年度厳しい環境条件下におけるサンゴ増殖技術開発実証委託事業報告書、水産庁、2015年
 ⑧ PIANC REPORT N° 108 [Dredging and port construction around coral reefs], PIANC Secrétariat Général, Belgique, 2010年
 ⑨ パヌアツ国ポートピラ港国際多目的埠頭整備事業準備調査(その2 環境調査)報告書、JICA、2012年
 ⑩ モーリシャス国海岸保全・再生に関する能力向上プロジェクト リーフ環境保全ガイドライン
 ⑪ Toamasina Port Project Environmental Impact Assessment, SPAT, 2010年
 ⑫ Procedure Manual on Countermeasure of Coral Reef at Toamasina Port Development Project, KOKUSAI KOGYO CO., LTD., 2015年
 ※1: ①のガイドブックにおいては、動物・生態系の調査を標準項目として挙げているが、手法までは特定していない。

凡例：●基本的な実施が望ましい項目 △：必要に応じて実施を判断することが望ましい項目
 (未記入)：調査目的との関連性は低い項目

(2) 調査位置の考え方

動物（サンゴ）の調査位置は、

全域調査については、事業計画範囲全体を網羅できるものが望ましい。

定点調査については、

- ・埋立等の改変により直接影響を受ける地点
- ・施工時・施行後に濁りや排水等の間接影響を受ける地点
- ・影響を受けない対照地点

が一般的に選定される。地点の選定は現地の特性を踏まえ選定する必要がある。既往調査の調査位置図例を Figure 4 - 5 に示す。

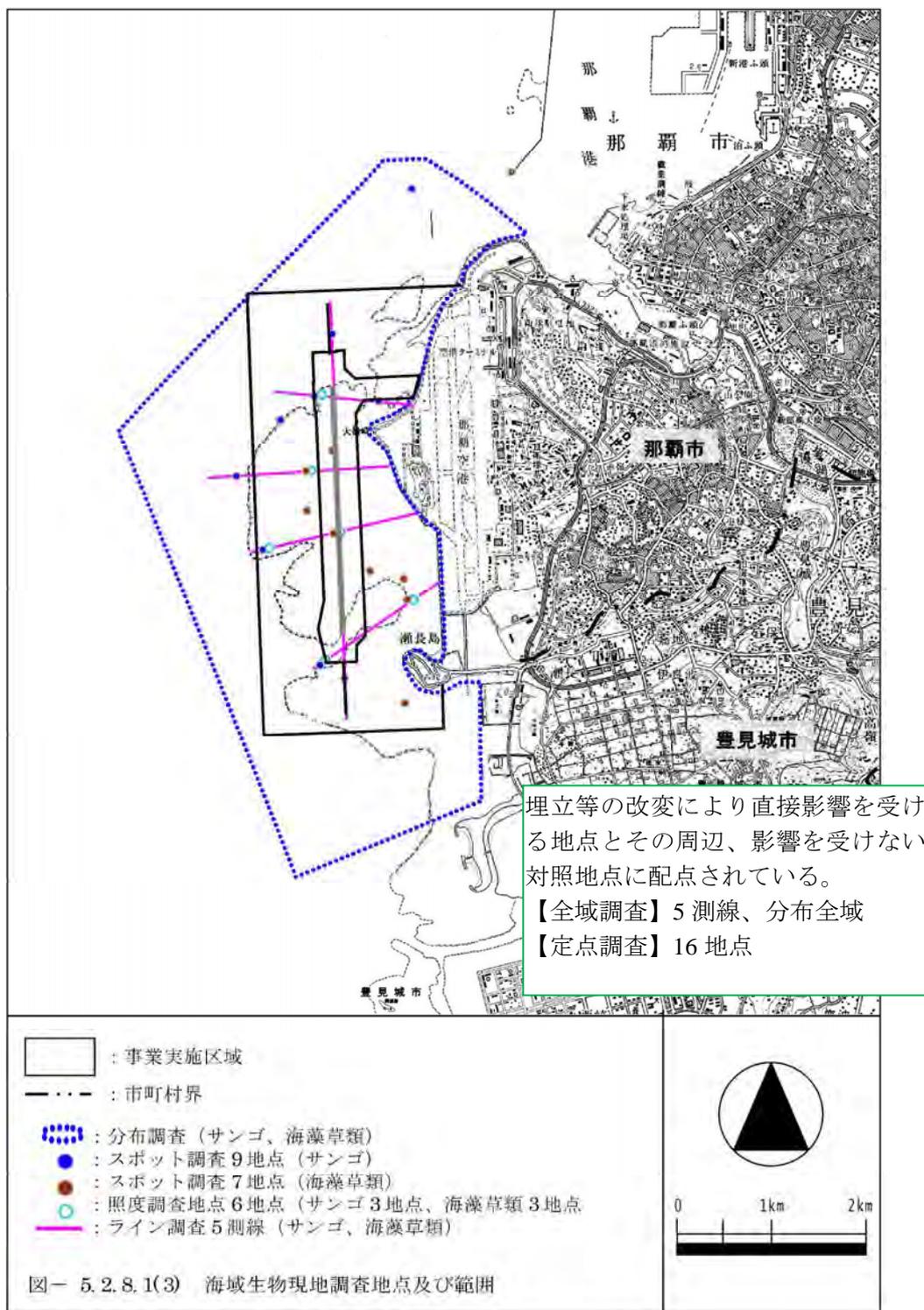


Figure 4-5 (1) 地点図例 (日本国沖縄県) (サンゴ礁)

出典：那覇空港滑走路増設事業に係る環境影響評価書 内閣府沖縄総合事務局他 2013 年を基に JICA Study Team 作成

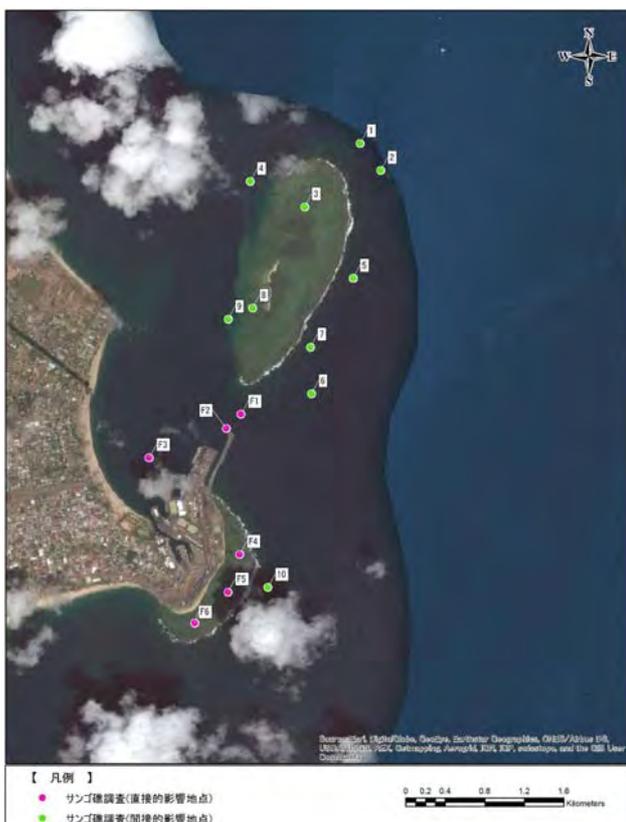


【全域調査】

事業実施区域や付近のサンゴが多く分布する地域（Grand reefを網羅するエリア）

地形改変域：2 測線

その他地域：25 測線



【定点調査】

埋立等地形改変域、サンゴが多く分布する地域

地形改変域：6 地点（F1～F6）

関節的な影響が懸念される地域

：3 地点（8～10）

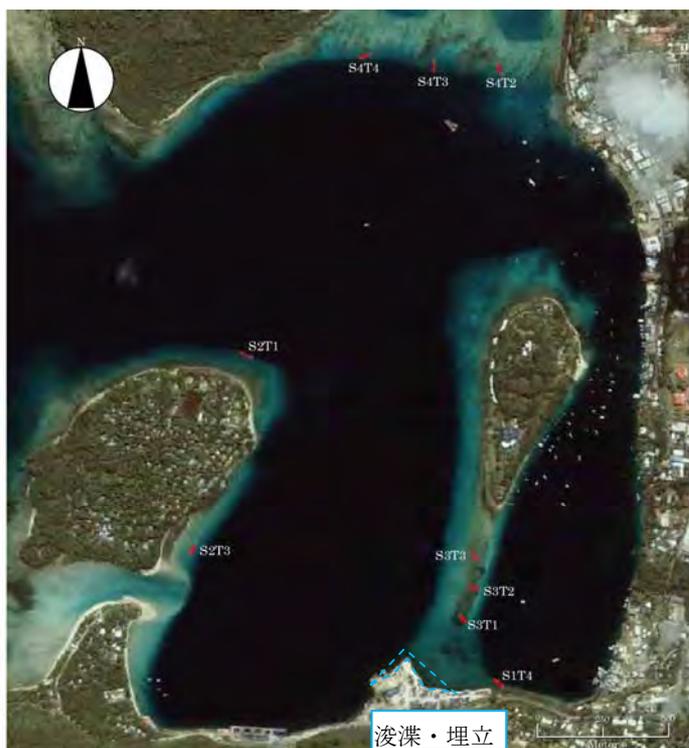
サンゴ礁域：7 地点（1～7）

（マダガスカル国トアマシナ）

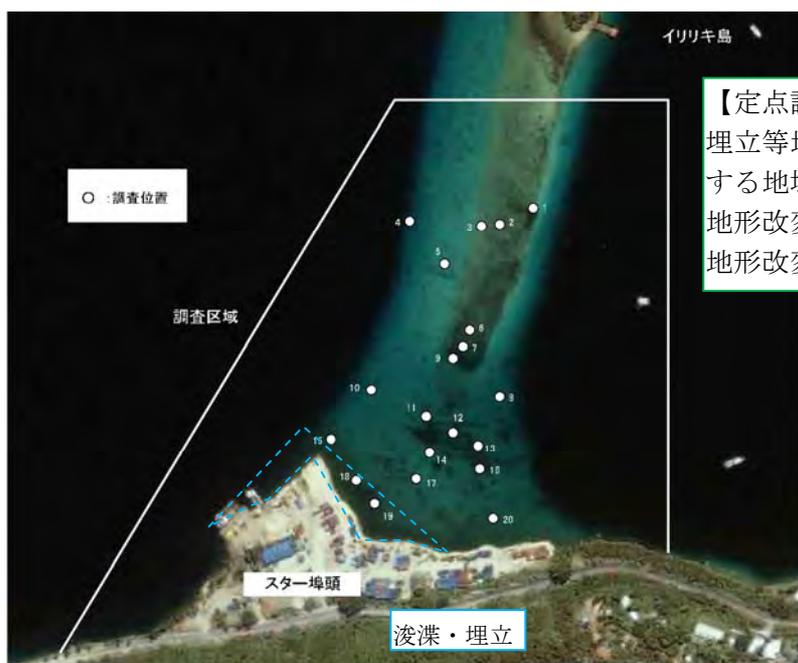
（サンゴ調査）

Figure 4-5 (2) 地点図例

出典：Procedure Manual on Countermeasure of Coral Reef at Toamasina Port envelopment Project 2015年を基に JICA Study Team 作成



【全域調査】
 事業実施区域や付近のサンゴが多く分布する地域
 サンゴが多く分布する：9 測線



【定点調査】
 埋立等地形改変域、サンゴが多く分布する地域
 地形改変域：2 地点（18～19）
 地形改変域周辺：17 地点（1～17）

（バヌアツ国ポートビラ）
 （サンゴ調査）

Figure 4-5 (3) 地点図例

出典：バヌアツ国ポートビラ港国際多目的ふ頭整備事業準備調査（その2 環境調査） 2012年を基に JICA Study Team 作成

(3) 調査頻度

動物調査の調査頻度は、事業実施前の季節別を基本とする（四季が存在する日本国では4季調査、雨季、乾季の2季の地域では、2季調査）。サンゴのみであれば、事業実施前の1回でも良い。

各地域の、地域特性を踏まえ、調査時期を選定する必要がある。

(4) 一般的な調査イメージ

1) サンゴ類（定点調査）

一般的にサンゴ類の定点調査は、各調査地点において、コドラート法やスポットチェック法により調査する。コドラート法では、 $0.5 \times 0.5\text{m}$ 、 $1 \times 1\text{m}$ 、 $2 \times 2\text{m}$ 、 $10 \times 10\text{m}$ 、 $50 \times 50\text{m}$ 等の一定面積について、種類、被度、稚サンゴ密度量、食害生物密度、底質区分等について確認する。

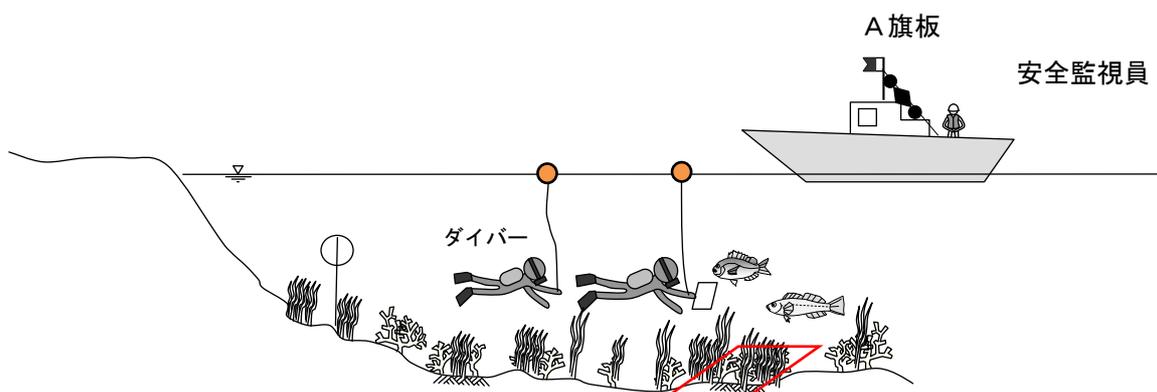
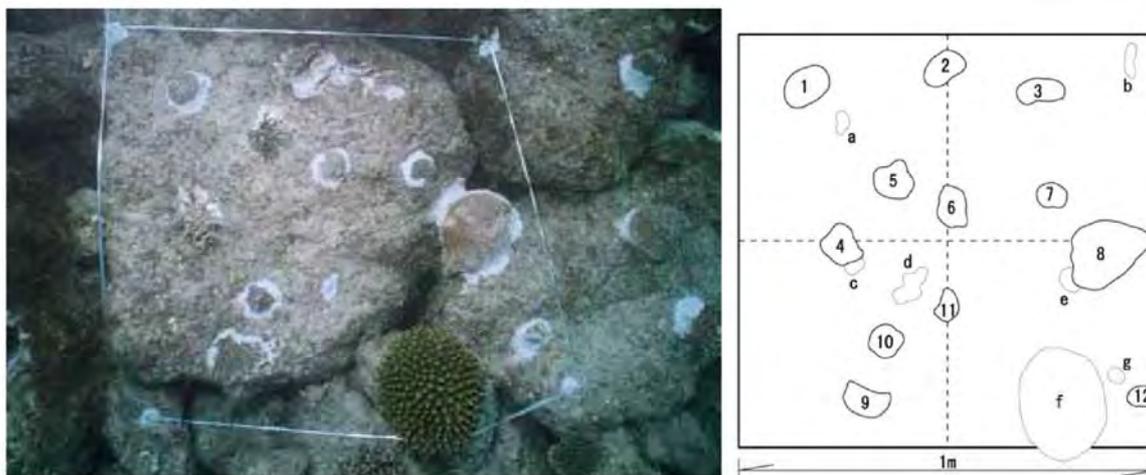


Figure 4-6 調査概念図（コドラート法）



Figure 4-7 調査状況写真例（コドラート法）



※図中の番号は表 3-52(2)の番号に対応している。

Figure 4-8 コドラート法の実施事例

スポットチェック法は、比較的簡便であり、海外での適用しやすい手法と考えられる。以下にスポットチェック法の概要について報告する。スポットチェック法は、サンゴ被度やサンゴの再生産のポテンシャル、サンゴに影響する白化や捕食者の状況等を把握することができ、事後調査の比較用のデータ、移植適地の判断等に有効である。一方、重要種を判断するための種の判断はできないため、ベースライン調査時には、同時に生息するサンゴ種の同定や確認種の写真撮影も実施する必要がある。なお、観察は、可能であれば同じ観察者による実施により観察精度を同程度以上に保つことが望ましい。

●概要

スポットチェック法（以下 SC 法）は環境省の「モニタリングサイト 1000」プロジェクトで採用されている手法である（第 4 版、環境省 2009）。本手法の長所として、

少人数体制（3名）、

少労力（1地点の観察時間は 15 分、調査後の被度等の集計は簡単）、

特殊能力の不要（SCUBA 技術やサンゴの専門的知識を必要としない）、

幅広い観察域（1地点の観察範囲はおよそ 50m 四方、約 2,500 m²）幅広い情報収集力（サンゴのみならず、様々なサンゴ礁の情報を幅広く収集できる）が挙げられる。

逆に短所は、情報の認識が目視観察という主観的な方法によるため、ベルトランセクト方など、他の客観的手法に比べるとデータの精度はやや粗い。したがって、本手法には長短あるものの、簡便性や幅広い情報収集性から広域なサンゴ礁のモニタリングには最適であると考えられている。

●手法

SC 法の主な目的は、現時点での生きたサンゴの被度（観察した海底の面積に対する生き

たサンゴの面積の百分率)を測定することである。同時にサンゴの白化現象、オニヒトデやサンゴ食巻貝の有無、台風や人の踏みつけ等による破壊状況、サンゴの病気等の死亡要因についてもその都度記録する。

●調査範囲

SC法は基本的にはスノーケリングにより15分間調査海域を遊泳し、サンゴの被度について直接観察する方法である。これまでの経験により、15分間の遊泳でほぼ50m x 50mの範囲、面積的には約2,500m²に相当することがわかっている。

調査に際しては、使用可能な船舶があれば船舶を利用し、GPSを用いて調査地点の正確な位置を記録する。船舶が無い場合は、近くのビーチからのエントリーとし、GPSを用いてその場所の緯度経度を記録する。

●現場作業

Table 4-3 SC法の調査結果を記入するためのチェックシート

スポットチェック法サンゴ礁モニタリング野帳

海域名: ① _____ 2000. ____ - _____ 調査者: _____

調査地点			④ 調査日時 観察時間	⑤ 手段	サンゴ					オニヒトデ		サンゴ食巻貝		⑮ 30cm以上のハタ類、フダイ類、ペラ類	
No.	① 地名 緯度経度	② 地形 底質			③ 観察範囲 水深範囲	⑥ 被度	⑦ 白化率 (⑮ 死亡率)	⑧ 生育型	⑩ ミドリ 加入数	⑪ 卓ミド (大5群体)	⑫ 15分換算 観察数	⑬ 優占サイズ サイズ範囲	被食率		⑭ 食害階級
1			m		Skin SCUBA	全体 () ミドリ ()	テーブル状、 被覆状、 塊状	/m ²			<20 20-30 30< 範囲	%	1:食無 2:食少 3:食大 4:集団	%	特記事項参 照
特記事項															

記入例

調査地点			④ 調査日時 観察時間	⑤ 手段	サンゴ					オニヒトデ		サンゴ食巻貝		30cm以上のハタ類、フダイ類、ペラ類	
No.	地名 緯度経度	地形 底質			③ 観察範囲 水深範囲	被度	白化率 (死亡率)	生育型	ミドリ 加入数	卓ミド (大5群体)	⑫ 15分換算 観察数	⑬ 優占サイズ サイズ範囲	被食率		⑭ 食害階級
1	St.1	リーフ	5m	2015/11/5 10:00	Skin SCUBA	20.0% 全体 (0) ミドリ (0)	テーブル状、 被覆状、 塊状	1.5/m ²	20, 24, 12, 24, 25	1	<20 20-30 30< 範囲	3%	1:食無	0	特記事項参 照
特記事項 ハナヤサイサンゴの稚サンゴ多し。Acroporaの稚サンゴ0、シロレイシガイダマンがPoritesの群体に3匹。Goniastrea aspera。テーブルサンゴ見られず。西側の段落ちのところにサンゴ被度Miliepora、ハマサンゴを中心に40%。Acropora tenuisをみる。DC															

出典: JICA Study Team

SC法は非常に簡単で、観察者は水中ノート (Table 4-3) 上の各項目を記録するのみである。現場で調査を開始する前に、その海域名、調査年度、観察者の名前をチェックシートの上部に記す。次いで調査地点名を①に書いて、同じくGPSにより測定した緯度経度をこの欄に記入する。

以降は観察をしながら記入して行く。②は海底の底質、例えばサンゴ礁（前礁、背礁、岸礁）、岩礁、砂、砂泥等を記入する。③は観察した海域の水深（3m、2～5m等）、④は調査した日時、⑤にはスノーケリングか SCUBA かを記す。⑥には最も重要な項目である生きたサンゴの被度を記入する。

⑦、⑧はサンゴの白化に関する項目で、白化の結果サンゴ全体の何%が死んだか、またミドリイシ属のサンゴは何%が死滅したかを記入する。⑨は優占するサンゴの生育型を記録するものである。卓状、枝状、塊状、芝草状等と記入する。⑩には直径5cm以下の稚サンゴの密度を記入する。できれば1x1mの方形枠を用い、10回測定することが望ましい。⑪にはテーブル状サンゴの最大直径を測定し上位から5群体の直径を記す。⑫には15分間の遊泳中に観察したオニヒトデの個体数を記入する。オニヒトデは夜行性で、調査を行う昼間はサンゴの陰に隠れていることが多く、正確な値を得るにはある程度の経験を要する。その横の欄には観察されたオニヒトデの直径を20cm以下、20～30cm、30cm以上のサイズクラスに分けて、その観察数を記入する。⑬にはオニヒトデに被食されたと思われるサンゴの%を記入する。オニヒトデにより補食されたサンゴは白い骨格がむき出しとなるため、ホワイト・シンドローム (WS) 等サンゴの病気と良く似ているので注意を要する。⑭はすぐ前の欄に示された、サンゴ食巻貝に捕食されたサンゴの%、⑮には体長が30cm以上の魚類について、その数を記録する。⑯の備考欄には、海草や大型海藻等のほかに、サンゴの病気や、サイクロンや波浪、ダイバーに破壊されたサンゴの状況を記す。さらに、透視度や海底へのシルト分の堆積状況もこの欄に記録する。

●サンゴの被度

このモニタリング調査の結果得られる最も重要な指標は、生きたサンゴの被度である。この被度を指標にしてサンゴ礁の健康度が評価されるが、最新の評価基準は以下のようになっている（Table 4-4）。観察者の経験や細かいコース取りの違いによって、被度の値が大きく異なる場合があるが、解析には個々の観察者の平均値を用いることが重要である。

Table 4-4 被度ランクによるサンゴ礁健康度の評価目安

被度 (%)	評価
0% 以上 10% 未満	極めて不良
11% 以上 30% 未満	不良
31% 以上 50% 未満	やや不良
51% 以上 80% 未満	良
80% 以上	優良

出典：環境省、2009年

●サンゴの白化、オニヒトデ、サンゴ食巻貝

サンゴの白化、オニヒトデ、サンゴ食巻貝はいずれもサンゴの死亡要因であり、サンゴの被度が年によって減少した場合に、その原因を解析する際の重要事項となる。

サンゴの白化は地球温暖化がその背後にあると言われている。高水温が続くとサンゴの体内から褐虫藻が逃げ出すため、透明なサンゴの個虫から、背後の白色の炭酸カルシウムよりなる外骨格が見えるためサンゴ全体が白く見える。この状態ではサンゴはまだ死んでおらず、数週間この状態が続くと、褐虫藻からの栄養補給が途絶え、やがて死に至る。海水温と密接な関係があるため、夏期には継続的に海水温を測定する必要がある。

Table 4-5 オニヒトデの発生状況の評価基準

SC 法 15 分間の観察数	オニヒトデ発生状態
0-1	通常分布
2-4	多い（要注意）
5-9	準大発生
10以上	大発生

出典：環境省、2009年

Table 4-5 にサンゴを食害するオニヒトデの評価基準を示す。15 分間の調査で、2 匹以上を目撃した場合、早急にその対策を講じる必要がある。オニヒトデは通常初夏に産卵をするため、駆除等の対策を講じた場合は産卵期の前に実施することが重要である。

●サイクロン、人的影響

チェックシートに特に項目を設けていないが、サイクロンが到来した場合。サイクロンの直後に、調査実施地点での状況を調査することが必要である。通常はサンゴの群体が倒壊したり、バラバラになったりしているなのでその詳しい状況について記述する。

人的影響は、マリンスポーツや漁業が行われている海域では特に重要である。該当する海域において、船舶のアンカリング、ダイビングや浅場での漁実施時の踏み壊し、ダイナマイト漁によるサンゴ礁の破壊等がみられないかどうかを精査する必要がある。この項目は、マリンスポーツや漁業への適正な指導、制限を設ける時の根拠として特に重要である。

2) サンゴ類（広域調査）

一般的にサンゴ類の広域調査は、数十～数千 m の測線を、潜水士によりベルトトランセクト法、水面遊泳法、マンタ法で調査したり、ROV（水中 TV カメラロボット Remotely Operated Vehicle）により調査する。

調査においては、総被度、概ねの種類別被度、白化の状況、オニヒトデの個体数、底質区分、水深等を確認する。

また、さらに広域分布を定量的に把握する手法として、衛星画像や航空写真、水中ビデオ画像等から目視もしくは自動判読を行い、広範囲の総被度、概ねの種類別被度を把握する。衛星画像等の判読に際しては、数点のベルトトランセクト法等による現地調査結果によりチューニングを行い精度を確保する必要がある。

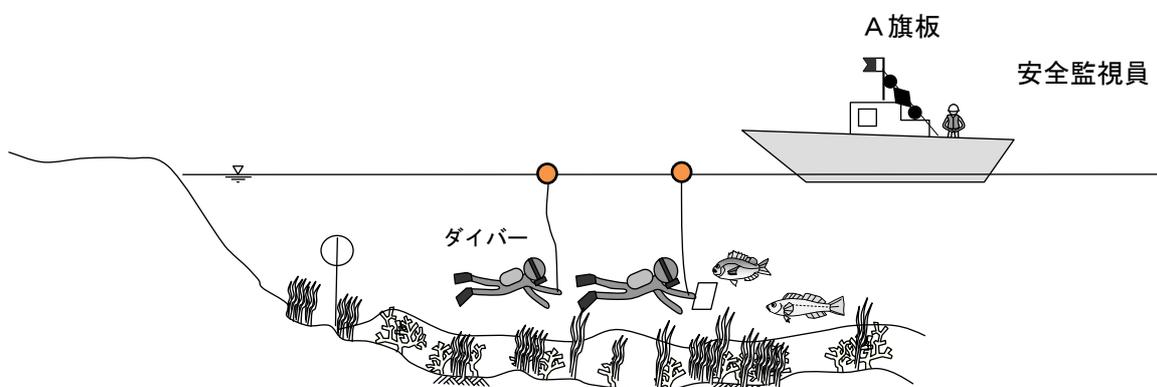


Figure 4-9 調査概念図（ベルトトランセクト法）



Figure 4-10 調査状況写真（ベルトトランセクト法）

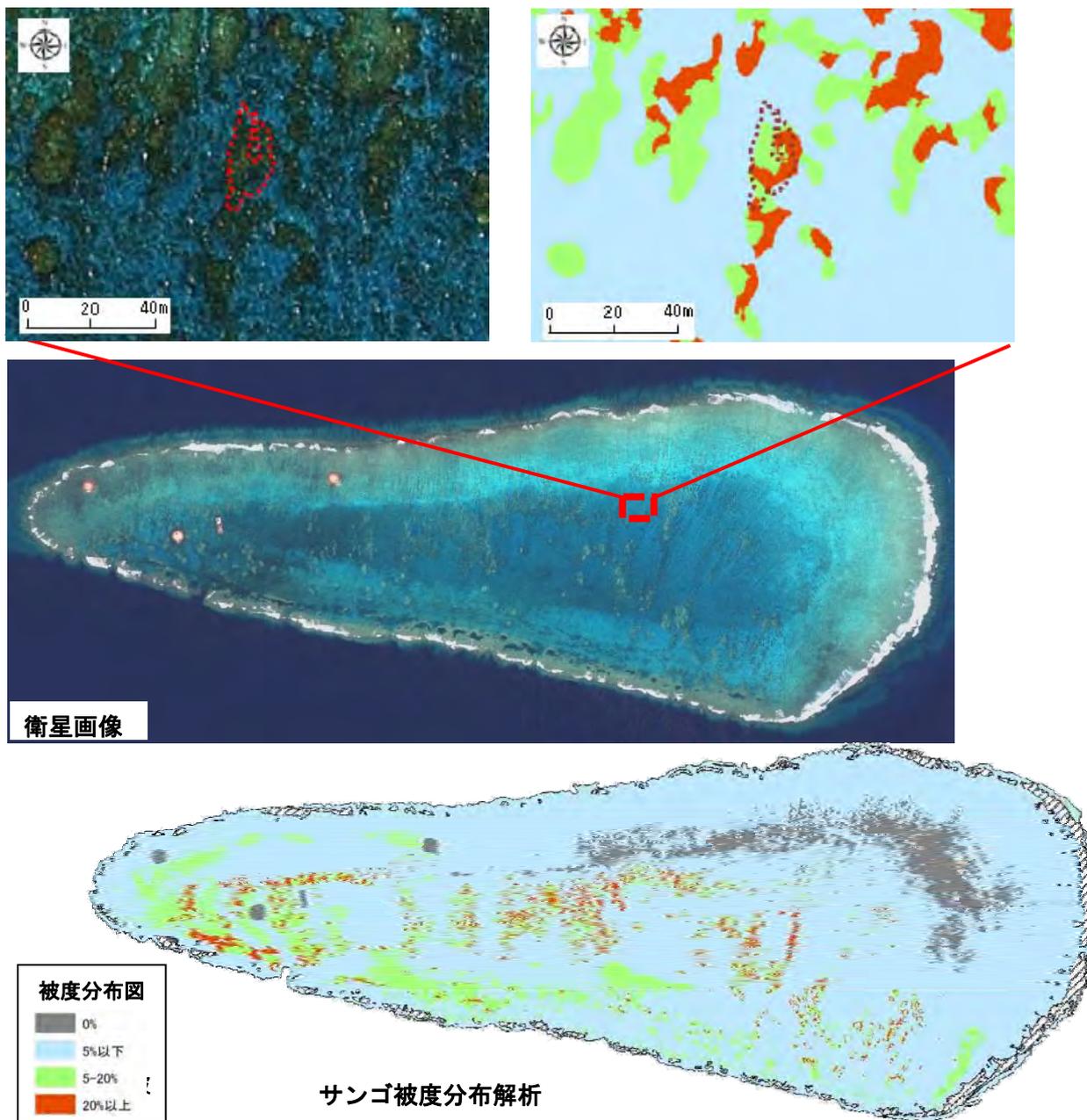


Figure 4-11 衛星画像によるサンゴ被度解析事例^{※1}

※1：平成 26 年度厳しい環境条件下におけるサンゴ増殖技術開発実証委託事業報告書、水産庁、2015 年

Chapter 5. サンゴ礁における影響評価手法

各種事業等に伴いサンゴ礁に及ぼす影響は、直接的な影響と間接的な影響に分かれる。それぞれ影響に対する予測評価のアプローチは Table 5-1 に示す。

Table 5-1 港湾事業等に伴うサンゴ礁への影響・予測評価のアプローチ

サンゴ礁の影響	予測評価のアプローチ
1. 直接的な影響	①浚渫・埋立等によるサンゴの消滅 ベースライン調査により、消失するサンゴについて、周辺海域に一般的に生息する種か、希少種かを確認し、 <u>工事による消滅の有無や面積等を検討し、評価する。</u>
2. 間接的な影響	②流況変化によるサンゴへの影響 <u>流動モデル</u> により、港湾整備後の流況を予測し、現況に対する流況変化の範囲や程度を把握し、評価する。
	③河川からの淡水流入に塩分低下や火力発電所による高水温化に伴う影響 ^{※1} <u>保存系モデル</u> により、洪水による塩分低下や温排水による高水温の範囲（塩分・水温分布）を予測し、これらの影響がサンゴに及ぼす影響を検討する。
	④浚渫等の濁り（SS）による影響 ^{※1} <u>単純非保存系モデル</u> により、工事中の SS 濃度分布を予測し、これらの影響が最小限となる対策方法やサンゴの影響について検討する。
	⑤埋立や構造物の設置に伴う海域の地形変化により、海水の停滞化や陸域からの汚濁負荷（窒素、リン）の流出増加に伴う海域の富栄養化に伴う影響 <u>富栄養化モデル</u> や <u>保存系モデル</u> により、サンゴの生息に影響を及ぼす水質指標である T-N、T-P、クロロフィル a 等の水質変化を予測し、当該海域の富栄養化の現状を把握するとともに、富栄養化がサンゴに及ぼす影響について予測する。

※1：サンゴの成長に関する環境因子としては、光条件の他に波浪、セディメンテーション、水温、塩分、栄養塩等があるが、造礁サンゴの成長にとって光が重要な環境因子となっている。また、低塩分化がサンゴに与える影響としては、高水温化とともにサンゴの「白化現象」が知られている。

出典：JICA Study Team

5.1 直接的な影響に対する予測評価手法

(1) 埋立等によるサンゴの消滅に対する予測評価

1) 消失面積による評価

直接的な影響を予測する手法としては、消滅が予想されるサンゴ礁が主要構成種（希少種を除く）の場合には、ベースライン調査結果（生物調査；サンゴ、藻類、ベントス、その他海洋生物）を基に、サンゴの分布特性（主要サンゴの被度別の分布面積）や消失面積を把握し、工事の影響を検討する手法が基本となる。

以下には、埋立によるサンゴ礁への直接影響に関する評価事例を示す。

一般的に、工事により消滅するサンゴ礁面積が、対象海域周辺のサンゴ礁面積と比較小さい場合に、サンゴ礁に及ぼす影響は軽微と評価されている。

Table 5-2 埋立工事によるサンゴ礁の直接影響に関する評価事例

(A 案)

生態系区分	生態系毎の面積	消失面積	消失率
サンゴ礁	680ha	45ha	7%
礁池	530ha	105ha	20%
砂質干潟	90ha	1ha	1%

※生態系の消失面積は、数値を丸めている関係上、埋立面積とは一致していません。

(B 案)

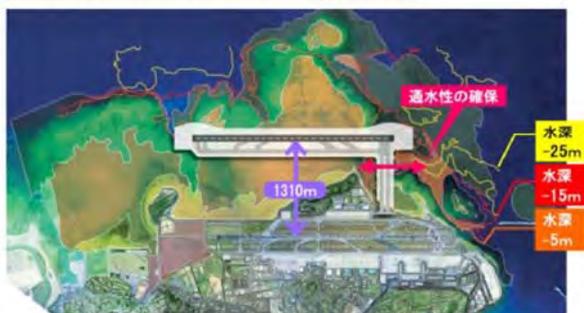
生態系区分	生態系毎の面積	消失面積	消失率
サンゴ礁	680ha	20ha	3%
礁池	530ha	95ha	18%
砂質干潟	90ha	15ha	17%

※生態系の消失面積は、数値を丸めている関係上、埋立面積とは一致していません。

- ・サンゴへの直接的影響はB案より大きい。
- ・礁池生態系への直接的影響は、大きい。
- ・規模の小さい砂質干潟生態系への直接的影響は全体の1% (1ha) と小さい
- ・サンゴへの影響低減としては、サンゴ着生促進等他事例で実績にある方策を保全対策として導入することは可能である。

- ・サンゴや藻場への直接的影響は比較的小さい。
- ・礁池生態系への直接的変化はA案と同様に大きい。
- ・規模の小さい砂質干潟生態系への直接的影響は全体の17% (15ha) と大きい。
- ・砂質干潟生態系への影響低減として大規模な干潟造成は難しく、保全対策の実施は困難である。

増設A案(滑走路間隔1310m)



増設B案(滑走路間隔850m)



出典：那覇空港構想段階PIのためのレポート詳細版、那覇空港構想・施設計画検討協議会、2008年より一部抜粋
 出典：那覇空港滑走路増設事業に係る環境影響評価書、内閣府沖縄総合事務局他、2013年より一部抜粋

2) 希少種による評価

工事により消滅が予想されるサンゴ礁が希少種を含む場合、世界的には国際自然保護連合 (IUCN) が作成したレッドリストや各国のレッドリストを用いて、工事により影響を受ける希少種の保護 (移植等) に関する有無について検討される。IUCN のカテゴリーは、以下のとおりである。

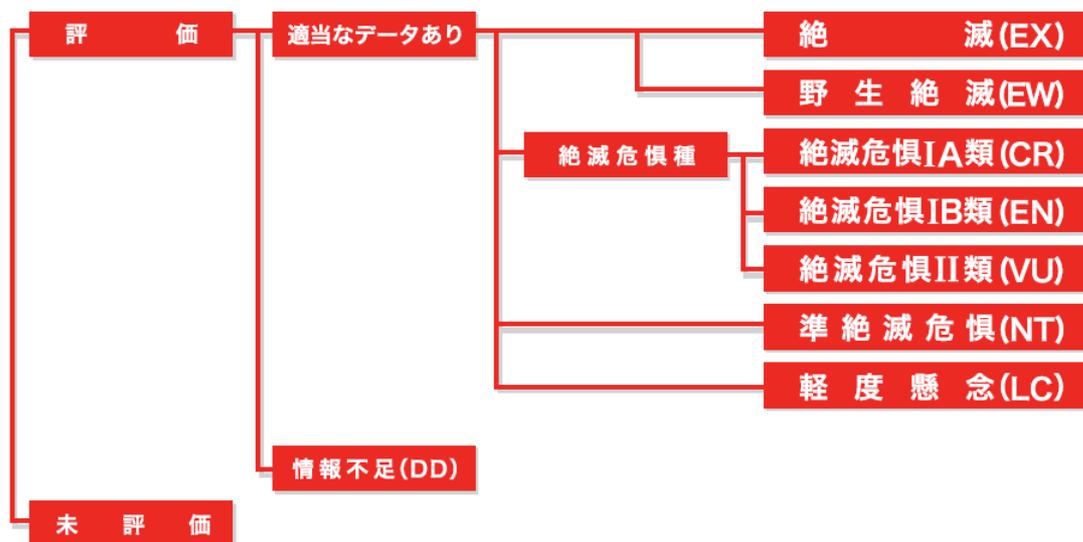


Figure 5-1 IUCN レッドリストのカテゴリー構造

出典：IUCN レッドリスト、カテゴリーと基準 3.1 版、2000 年 2 月 9 日

保護対象種は、絶滅危惧のカテゴリーに属する CR (Critically Endangered ; 深刻な危機)、EN (Endangered ; 危機)、VU (Vulnerable ; 危急) とすることが多いが、記載種全てを対象とする例もある。個別の事業や地域特性に合わせて、判断していくことが望ましい。以下に既往の事例を示す。

●マダガスカル国トアマシナ港の事例

全 16 地点でサンゴ種の確認を行った結果、合計 123 種のサンゴが確認された。この中で以下の 2 条件に該当する種を保全のための移植対象として抽出した。

- ①絶滅危惧 II 類 (Vulnerable) 以上の種で、埋立等直接改変地域において確認され、かつ、それ以外の地域で確認されなかった種。
- ②絶滅危惧 II 類 (Vulnerable) 以上の種で、埋立等直接改変地域とそれ以外の地域で確認されるが、生息地域がマダガスカル周辺に限定される種。

その結果 4 種の移植を実施することが計画された。具体的には、*Pavona decussata* (VU)、*Porites horizontalata* (VU)、*Turbinaria reniformis* (VU) が①の条件に該当し、*Acanthastrea brevis* (VU かつ分布マダガスカル) が②の条件に該当した。

5.2 間接的な影響に対する予測評価手法

サンゴ海域は、サンゴ礁や島々で囲まれた比較的变化に富んだ地形を呈し、海域の流況も潮位とともに時々刻々と変化する。各種開発事業による流動や水質が及ぼすサンゴへの影響を予測・評価するには、最近では数値モデルを用いるのが一般的である。

数値モデルは、埋立や海岸構造物の設置など、海域地形の変化に伴う流れの変化を評価する「流動モデル」と、その流れの場における水温、塩分、濁り（SS）、富栄養化物質（窒素、リン）等の拡散・堆積及びサンゴ分布域への影響を評価する「水質モデル」で構成される。

(1) 予測手順

1) 流動予測

海域の流動予測は、以下に示すように、潮流の現況再現を確認後に、将来地形や将来河川流量等の条件設定を行い、事業あり及び事業なしの潮流計算を行う。

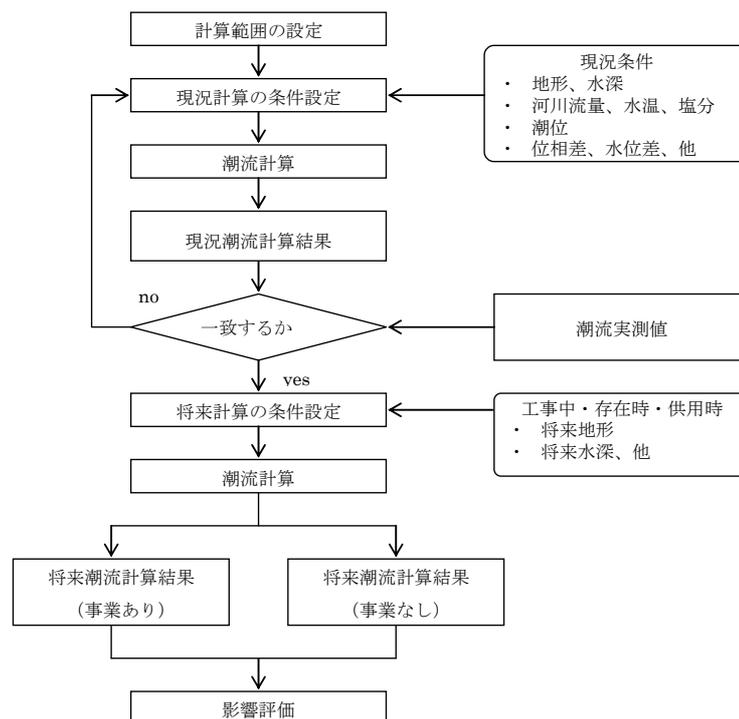
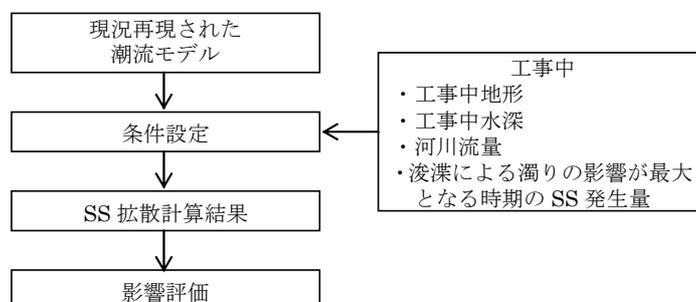


Figure 5-2 海域の流動予測手順

出典：JICA Study Team

2) 工事中の濁り (SS) 予測

工事中の濁り (SS) の予測は、以下に示すように、潮流の現況再現を確認後に、工事計画に基づいて濁り (SS) の発生量を算出し、濁りの予測時期の流れの場を用いて濁り (SS) の拡散計算を行う。

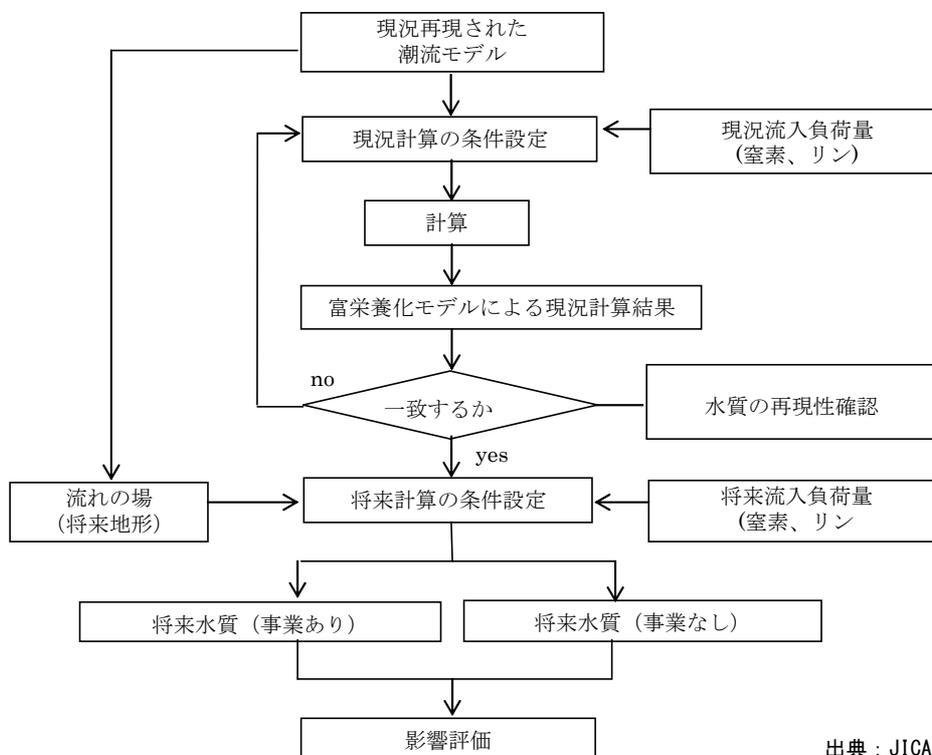


出典：JICA Study Team

Figure 5-3 工事中の濁り (SS) 予測手順

3) 供用時の富栄養化物質 (窒素、リン) の予測

供用時の水質予測は、現況再現を確認した潮流予測モデルを用い、供用時の地形を考慮した潮流計算を行い、水質予測に使用する流れの場とする。水質予測計算は、保存系モデルや富栄養化モデル等の水質予測モデルの現況水質の再現を行い、水質モデルの各種パラメータを設定する。予測計算は、事業ありと事業なしのケースを行い、その差を算出する。



出典：JICA Study Team

Figure 5-4 供用時の富栄養化物質 (窒素、リン) の予測手順

(2) 流動モデル

流動モデルの基礎方程式は、一般的に運動方程式、連続の式、水温・塩分の保存式、状態方程式で構成される。これらの基礎方程式を差分化することにより、数値モデルとなる。

流動モデルは、海域の空間表現として、平面 2 次元単層モデルと平面 2 次元多層モデル (3 次元モデル) がある。平面 2 次元単層モデルは、流れが水深方向に一様と仮定されたモデルであり、以前はこのモデルが多く用いられていた。これは、コンピューターの能力が小さく、取り扱いの範囲を平面的な流れに限定せざるを得なかったことによる。最近は、コンピューターの発達により、流れの 3 次元性を考慮できる平面 2 次元多層モデルが用いられるようになってきている。平面 2 次元多層モデルは、Figure 5-5 に示すような水深を幾つかの層に分割して流れを計算するモデルである。

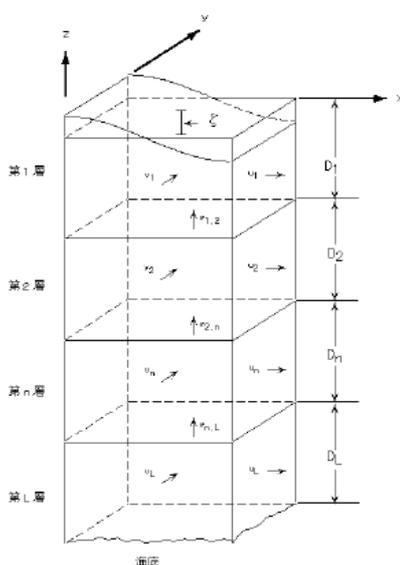


Figure 5-5 多層モデルの概念図

出典：バヌアツ国ポートビラ港多目的埠頭改善計画準備調査、JICA、2012年

流動モデルの選定に当っては、海域の水塊特性や流動特性を把握することが重要であり、対象水域が比較的水深が浅く、上層と下層の流動に大きな違いがない場合には平面 2 次元単層モデルを適用し、水深変化が複雑で上層と下層が流動が異なる場合には平面 2 次元多層モデルを適用することが適切である。

流動モデルは、現地調査（ベースライン調査）で把握した海域の流れの特徴が再現されているかについて検証を行う必要がある。再現性の検証については、潮流の場合は潮流楕円および平均流について、観測値と計算値が比較される。

また、モデルの地形表現については、従来は単一格子で表現されていたが、最近コンピューターの発達に伴い、Figure 5-6 に示すように、海域全体を粗い格子で表現し、開発事業周辺を詳細格子で表現するネスティング手法が適用されている。

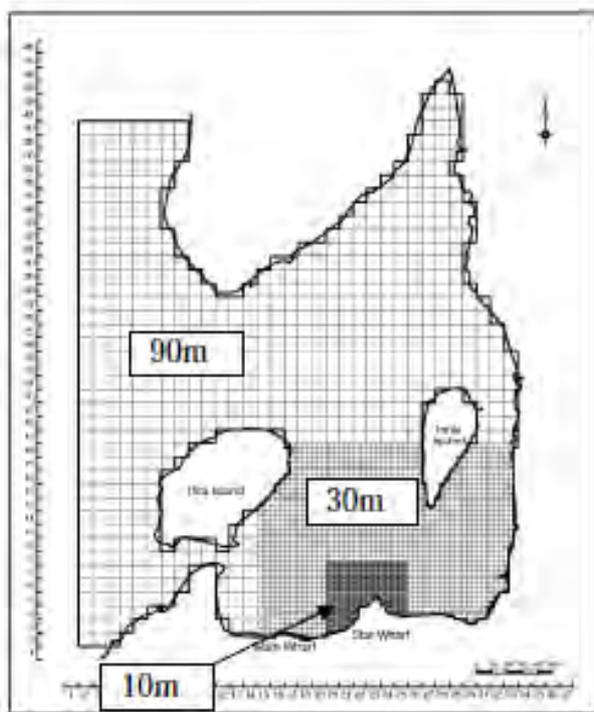


Figure 5-6 ネスティング手法による計算格子の分割

出典：バヌアツ国ポートビラ港多目的埠頭改善計画準備調査、JICA、2012年

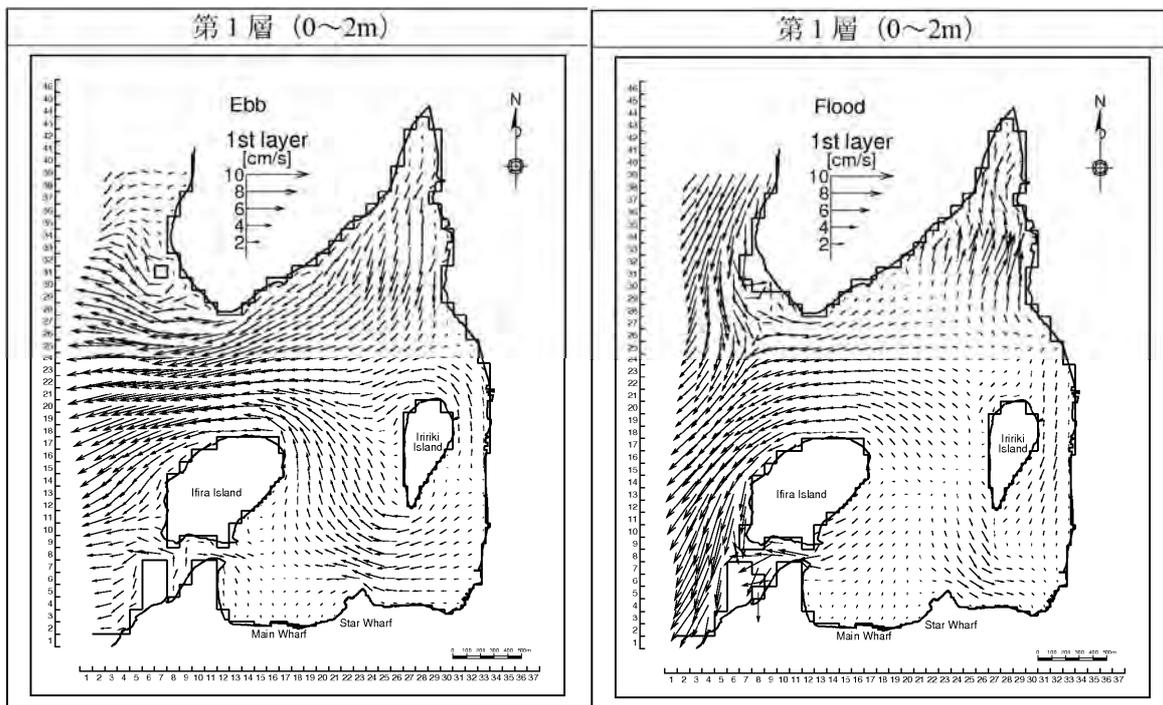


Figure 5-7 流況予測結果例

出典：バヌアツ国ポートビラ港多目的埠頭改善計画準備調査、JICA、2012年

(3) 水質モデル

サンゴ礁海域の水質予測に用いる数値モデルは、Table 5-3 に示すようなモデルがある。

Table 5-3 海域の水質予測モデルの種類と特徴

モデル名称	モデルで取り扱う項目	モデル特徴
保全系モデル	塩分のような保存系物質について移流と拡散現象により、物質濃度の挙動を追跡する。	取り扱いが容易である。 陸域からの汚濁物質が周辺海域に与える直接的な影響を予測するモデルであり、プランクトンによる内部生産や底泥からの溶出負荷は含まれていない。
単純非保存系モデル	(大腸菌濃度変化) = (移流) + (拡散) - (分解) (SS 濃度変化) = (移流) + (拡散) - (沈降) + (舞い上がり)	継続的に観測データが得られる場合は、比較的容易に精度の高い予測が可能である。 このモデルで取り扱える水質項目は限られている。
富栄養化モデル	生態系の構成要素としては栄養塩類(窒素、リン)、動植物プランクトンおよび非生物性有機物(主としてプランクトンの破砕物および河川起源の有機物)が考慮に入れている。物質の移動経路としては、植物プランクトンの増殖、呼吸、沈降、動物プランクトンの捕食、呼吸および排泄、非生物性有機物の分解および沈降、並びに底泥からの栄養塩の溶出が考慮されている。	海域における富栄養化現象をより精度良く表現することを目的としたモデルである。パラメータが非常に多いため、パラメータ設定に時間がかかるが、データの蓄積と生態系に関する素過程が十分把握できれば、精度の良い予測となる。

出典：JICA Study Team作成

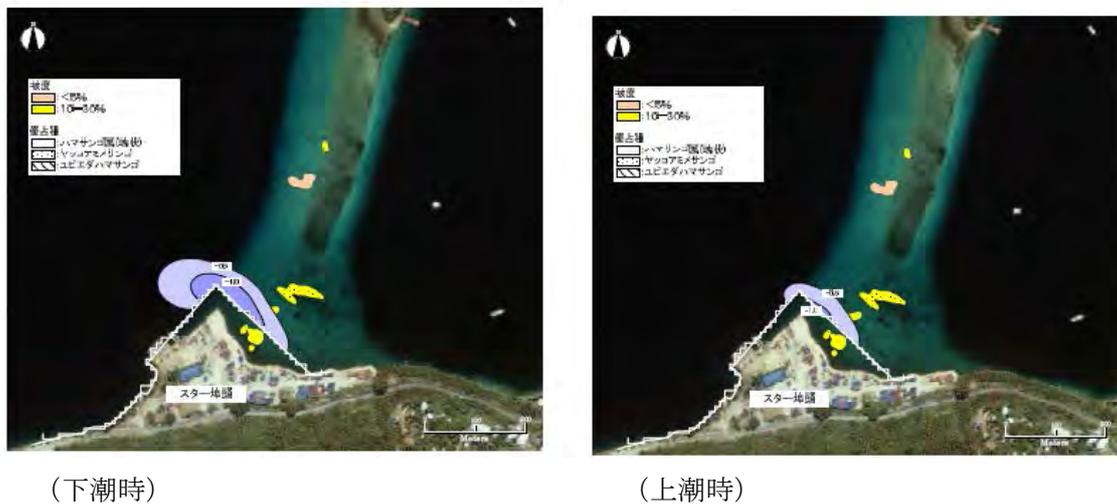
(4) 各種モデルによるサンゴ礁への影響評価の適用例

1) 流況の変化によるサンゴへの影響

多くのサンゴ類の生息環境として、ある程度の流れや波浪が必要なため、流速減少や波高減少は生息を抑制する要因になると考えられている^{※1}。

流動モデルを用いた流況変化によるサンゴへの影響を評価する方法としては、以下に示すように、サンゴの分布域と流況変化の範囲を重ね合わせ、サンゴが影響を受ける流速変化の範囲（特に、流速が現況に比べ減少する範囲）を予測し、その影響を評価するのが一般的である。

※1 出典：サンゴ礁と共生する港湾整備マニュアル案、(財)港湾空間高度化環境研究センター、1999年



出典：バヌアツ国ポートビラ港多目的埠頭改善計画準備調査、JICA、2012年

Figure 5-8 サンゴ礁分布と流速変化の重ね合わせ

2) 水温・塩分の変化によるサンゴへの影響

30℃以上の高水温、降雨による低塩分が、礁縁の基盤となるサンゴ類の白化現象を引き起こす要因になると考えられている^{※1}。また、石西礁湖では、平均気温 30℃以上が 30 日以上続き、白化気温指数（気温 30.0℃を白化差引気温とし、30℃を超えた値の合計）が 10 以上となる年に広域な白化現象が生じたことが確認されている^{※2}。

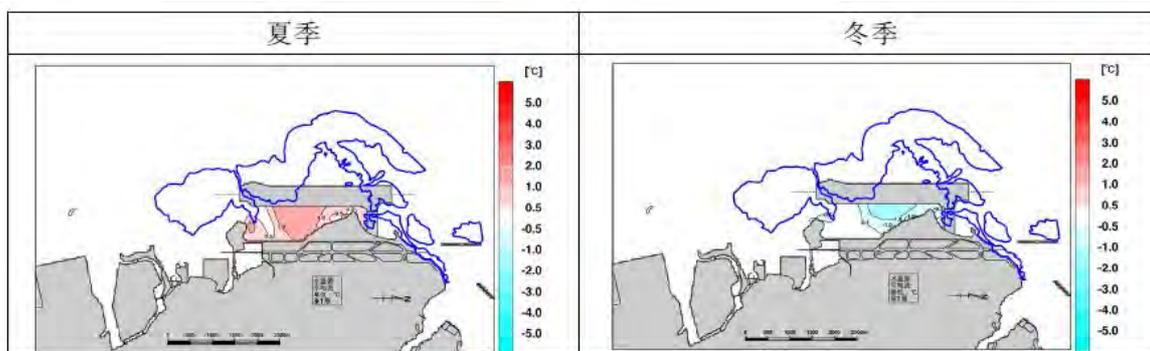
※1 出典：サンゴ礁と共生する港湾整備マニュアル案、(財)港湾空間高度化環境研究センター、1999年

※2 出典：Temperature Environments during Coral Bleaching Events in Sekisei Lagoon、岡本峰雄・野島哲・古島靖夫、2007年

保存系モデルによる水温及び塩分変化によるサンゴへの影響を評価する方法としては、上記と同様に、サンゴの分布域と水温・塩分の変化範囲を重ね合わせ、サンゴが影響を受

ける範囲を予測し、その影響を評価する方法が用いられる。

(塩分とサンゴ礁)



(水温とサンゴ礁)

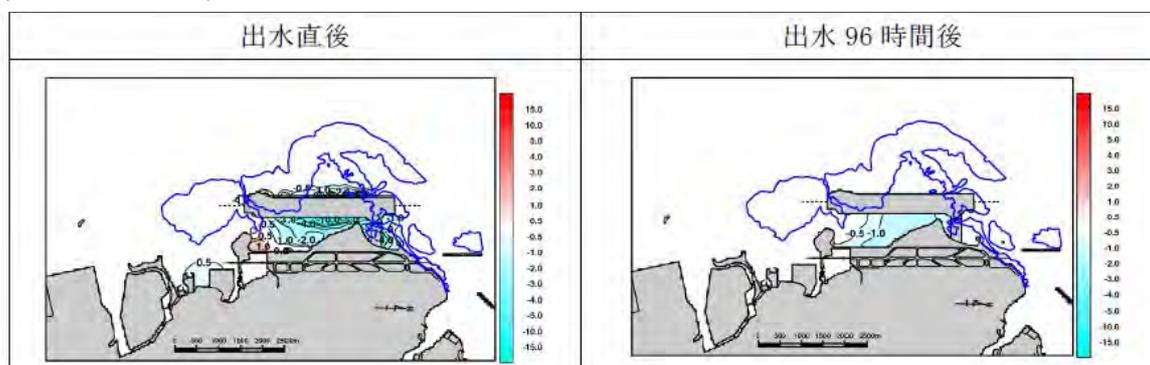


Figure 5-9 予測結果とサンゴ礁分布の重ね合わせ

出典：那覇空港滑走路増設事業に係る環境影響評価書、内閣府沖縄総合事務局他、2013年

保存系モデルによる水温及び塩分変化によるサンゴへの影響を評価する方法としては、上記と同様に、サンゴの分布域と水温・塩分の変化範囲を重ね合わせ、サンゴが影響を受ける範囲を予測し、その影響を評価する方法が用いられる。なお、出水による塩分低下によるサンゴへの影響については、出水直後及び出水 12 時間後の塩分状況を予測し、出水に伴う塩分低下によるサンゴ礁への影響を評価する方法が有効である。

3) 濁り (SS) によるサンゴへの影響

工事中の濁り (SS) の流入・拡散・堆積を予測するモデルについて以下に述べる。濁り (SS) モデルは、濁り (SS) に寄与する微細な土砂の沈降過程を考慮した移流・拡散方程式を基本式とするモデルである。基本式は次式のとおりである。

$$\frac{\partial S}{\partial t} + u \frac{\partial S}{\partial x} + v \frac{\partial S}{\partial y} + (w - W_s) \frac{\partial S}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial x} \left(K_x \frac{\partial S}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(K_y \frac{\partial S}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(K_z \frac{\partial S}{\partial z} \right) + q$$

S	: SS 濃度 (mg/L)
x, y, z	: 右手系の直角座標系、上向きを正
u, v, w	: x, y, z 方向の流速 (cm/s)
t	: 時間 (s)
K_x, K_y	: 水平渦拡散係数 (cm ² /s)
K_z	: 鉛直渦拡散係数 (cm ² /s)
q	: 負荷量 (g/s)
W_s	: 沈降速度 (cm/s)

土砂の堆積については、次式により堆積量から堆積厚へ換算した。

$$\text{堆積量 (g/cm}^2\text{)} = \sum_{i=1}^m \int_0^T W_{s_i} \cdot S_i \cdot dt$$

$$\text{堆積厚 (cm)} = \text{堆積量 (g/cm}^2\text{)} \times \left(\frac{1}{\rho_s} + \frac{1}{\rho_w} \frac{R_w}{1 - R_w} \right)$$

W_s	: 沈降速度 (cm/s)
S_i	: 計算対象粒径の i 番目の粒径による SS 濃度 (mg/L)
T	: 積分時間 (T=24 時間)
ρ_s	: 土粒子の密度 (g/cm ³)
ρ_w	: 海水の密度 (g/cm ³)
R_w	: 含水率 (%)

濁り (SS) モデルの予測に先立ち、以下の項目について、種々設定する必要がある。

1. 濁り対象土砂の粒度分布
2. 汚濁限界流速
3. 工事による濁り (SS) 発生量
4. 沈降速度の設定
5. 拡散係数
6. 汚濁防止膜による除去率

工事中の濁り (SS) 予測については、その妥当性を評価するための現地観測による検証が難しいことから、上記の設定方法の妥当性を評価することが重要である。

工事中の濁り (SS) によるサンゴへの影響を評価する方法としては、上記と同様に、サンゴの分布域と濁り (SS) の濃度や堆積量 (単位面積当たりの日堆積量) の分布範囲を重ね合わせ、サンゴが影響を受ける範囲を予測し、その影響を評価する方法が用いられる。なお、濁り (SS) モデルは、以下の事例に示すように、浚渫工法の比較を行い、サンゴ礁への影響の少ない工法を選定するために適用される場合がある。

工事中の濁り（SS）については、工事の実施に伴う影響を低減するため、環境保全措置として「監視基準」を設定する必要がある。この監視基準を超過した場合は、工事の施工を中断し、原因を究明し、事業の実施が原因となるような環境要素の変化が極力起こらないよう、工事施工方法の見直しや環境保全措置の強化など万全を期すことが求められる。

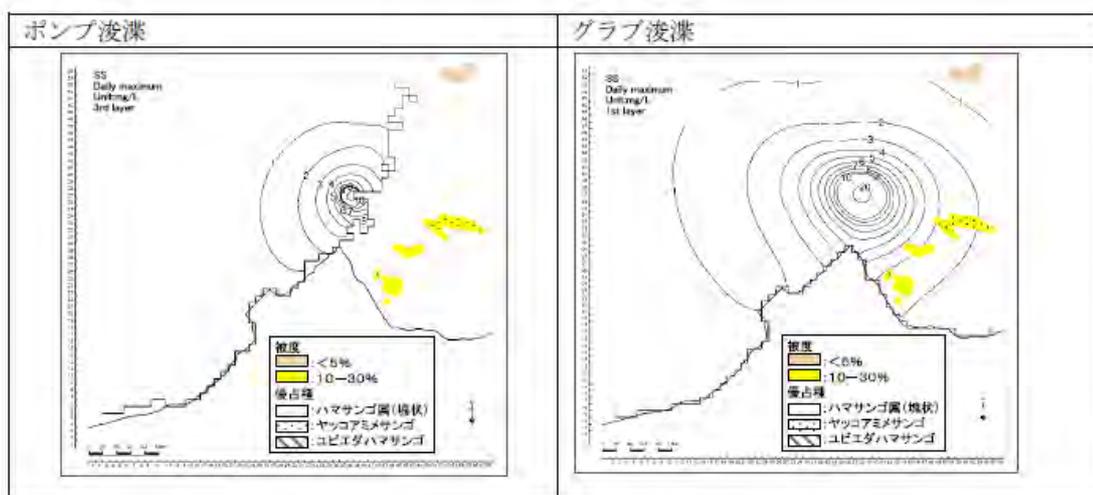
日本では、濁り（SS）の監視基準としては、海域生物への影響を考慮する場合に「水産用水基準第7版(2012年版)」(平成25年1月、社団法人日本水産資源保護協会)における「人為的に加えられる懸濁物質(SS)は2mg/L以下であること。」という基準が一般的に用いられている。なお、濁りの監視調査は、工事による濁りの負荷を把握するため、工事以外での周辺海域における濁りの状況を考慮する必要があり、監視基準を設定するにあたり、工事による影響を受けない値＝バックグラウンド値を設ける必要がある。

濁り(SS)に対する各種サンゴの許容限界値(Critical thresholds)に関しては、以下のような報告がある。

Table 5-4 Critical thresholds of corals for Total Suspended Matter (mg/l)

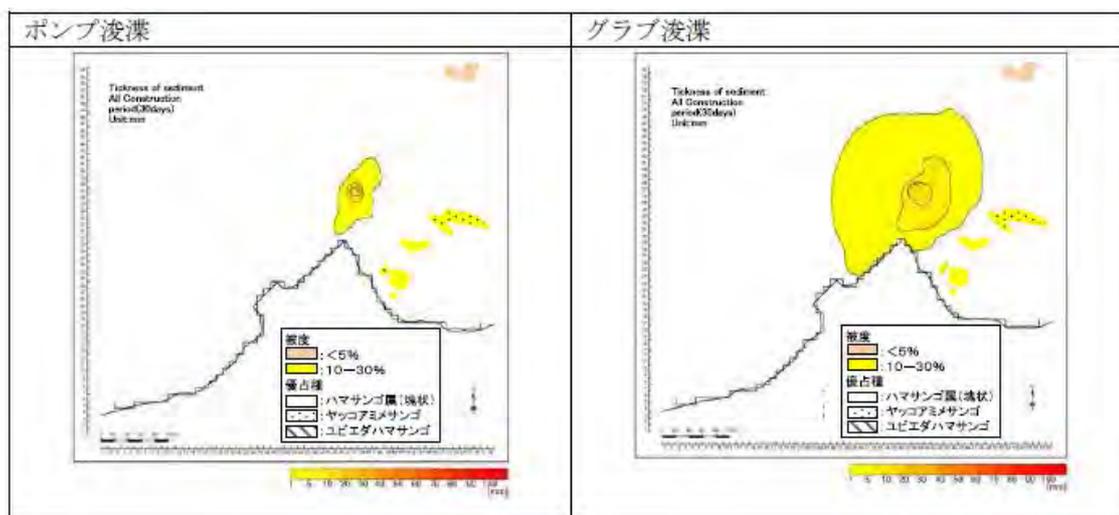
Description	Location	mg/l	Reference
Coral reefs	Great Barrier Reef, Australia	3.3	Bell 1990
Coral reefs	Fanning Lagoon, Florida, USA	10	Roy and Smith 1971
Coral reefs	Caribbean	10	Rogers 1990
Coral reefs	Papua New Guinea	15	Thomas <i>et al.</i> 2003
Coral reefs	Florida, USA	20	Bogers and Gardner 2004
Corals	Dominican Republic	20	Van der Klis and Bogers 2004
Marginal reef environments	Banten Bay, Indonesia	40	Hoitink 2003
Marginal reef environments	Paluma Shoals, Queensland, Australia	40	Larcombe <i>et al.</i> 2001
7 resistant coral species	Florida, USA	165	Rice and Hunter 1992

出典：Dredging and port construction around coral reefs Report No 108、PIANC、2010年



出典：バヌアツ国ポートビラ港多目的埠頭改善計画準備調査、JICA、2012年

Figure 5-10 SS日最大濃度の分布とサンゴ礁分布の重ね合わせ



出典：バヌアツ国ポートビラ港多目的埠頭改善計画準備調査、JICA、2012年

Figure 5-11 SS堆積分布とサンゴ礁分布の重ね合わせ

4) 富栄養化（窒素、リン等）によるサンゴへの影響

富栄養化がサンゴを死滅させた事例としては、ハワイのカネオヘ湾における下水道整備の事例がある。1960-70年代にかけて、ハワイのカネオヘ湾では下水を湾内に放出したために水質が悪化し、サンゴ礁群集に悪影響を及ぼした (Banner, 1974)。しかし、1978年に放水路が湾の沖 35m 以深に作られ、その後水質およびサンゴ群集が回復したことが報告されている (Smith et al, 1981 ; Laws, 1993; Coles and Ruddy, 1995)。

富栄養化の水質予測モデルについては、1970年代の日本のアセスメントの現場では、環境基準項目のCODを対象として、保存性物質として扱う拡散モデルが多く使われていた。最近では、窒素、リンの吸収による植物プランクトン体の有機物に由来するCOD (いわゆ

る内部生産COD)が重要視され、海域の環境基準の制定、総量規制項目への全窒素、全リンの追加等の背景のもと、CODと窒素、リンを対象とした、いわゆる富栄養化モデルがアセスメントで使われるようになった。なお、70年代に日本に紹介されていた生態系モデルが、その後のアセスメントの現場で使われてこなかった理由は、生物に関する種々のパラメータに関する基礎研究がわが国では、ほとんど行われなかったことにあると思われる。多くの生物パラメータの値が海外の研究成果に依存せざるを得ない状況下で、とにかく水質予測計算を行おうとした場合、できるだけ生物パラメータといった不確実性を排除することはしかたのないことでもあった。

サンゴ礁海域において、富栄養化の指標である栄養塩類(窒素(N)、リン(P))やあるいはサンゴと競合する植物プランクトン量(クロロフィルa)を予測項目として、水質予測モデルにより海外におけるサンゴ礁への影響が検討された事例としては、1. JBIC「ポートモレスビー下水道整備事業に係る案件形成促進調査報告書」2005、2. JICA「トアマシナ港拡張計画準備調査最終報告書」2009、3 日本国「那覇空港滑走路増設事業に係る環境影響評価書」2013年等がある。

この内、1.のポートモレスビー事例は、Figure 5-12に示すような富栄養化モデルにより、海域の窒素、リン及びCODが予測されている。また、日本の海域の環境基準として最も厳しい自然環境の保全の水質基準(T-N: 0.2mg/L以下、T-P: 0.02mg/L)及び既存資料礁を参考に、サンゴ礁保全のための水質基準((T-N: 0.1mg/L以下、T-P: 0.01mg/L)を設定し、事業が及ぼすサンゴ礁への影響について評価している(Figure 5-13)。

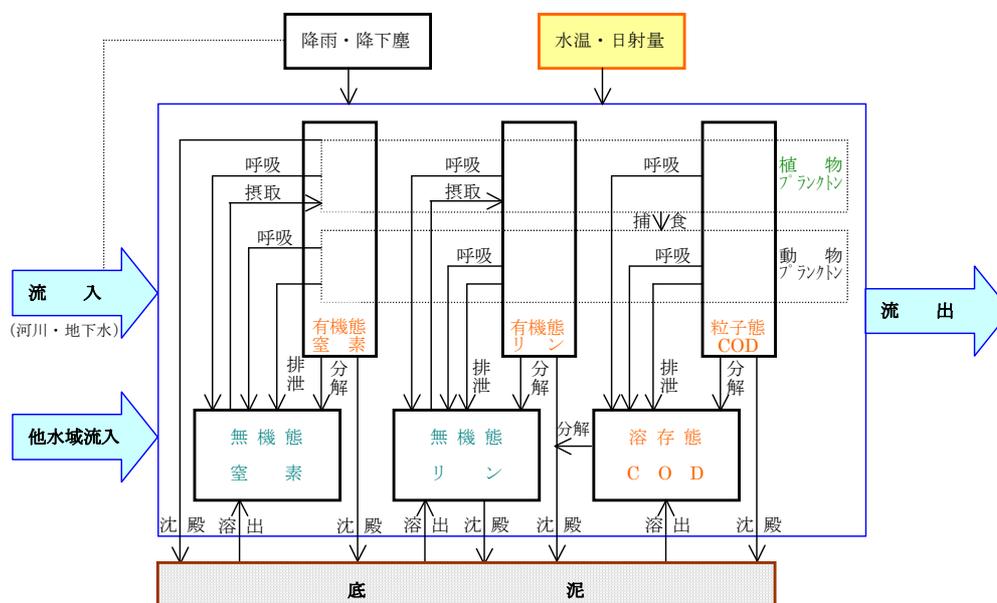


Figure 5-12 富栄養化モデルの概念図

出典：ポートモレスビー下水道整備事業に係る案件形成促進調査報告書、JBIC、2005年

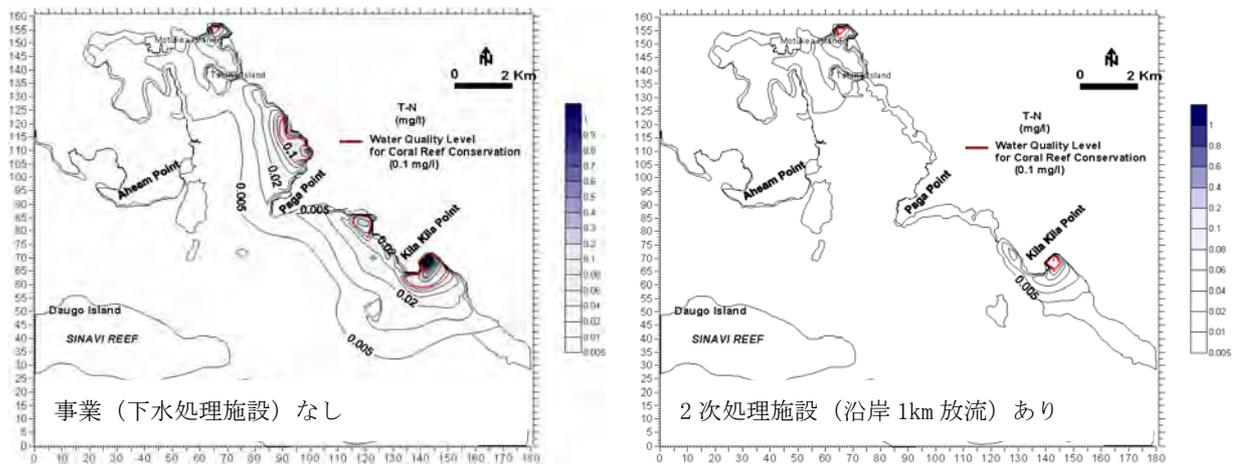


Figure 5-13 富栄養化モデルによる窒素 (T-N) の予測結果の一例

出典：ポートモレスビー下水道整備事業に係る案件形成促進調査報告書、JBIC、2005年

2. のトアマシナや、3. の那覇空港の事例は、窒素 (T-N) やリン (T-P) について、保存性物質として扱う拡散モデルにより予測・評価されている。なお、窒素、リンについて、保存系の拡散モデルで予測する場合、特に水域の停滞化が生じる場合、内部生産（植物プランクトンの増加）による窒素、リンの増加が考慮されていないため、予測結果が過小評価されることに注意する必要がある。ただし、一般的なサンゴ礁域は、貧栄養であり、底泥からの回帰やプランクトンの増殖等の影響が小さいため、保存系モデルの使用も、地域特性、事業特性から判断することが望ましい。

なお、富栄養化モデルは、パラメータが非常に多く、これらの設定に時間を要する。そのため、途上国で富栄養化モデルを適用するには、富栄養化状況を把握するためのベースライン調査（河川から栄養塩の流入負荷量調査、海域水質（窒素、リン、クロフィル a 等）、植物プランクトン調査等）を効率的に実施し、短期間で主要なパラメータ（植物プランクトンの増殖速度等）を決める必要がある。

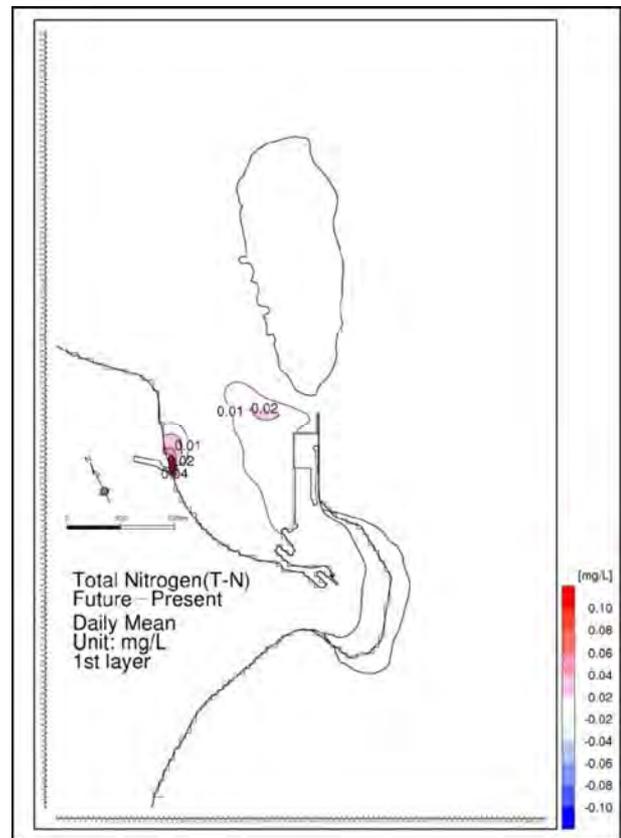


Figure 5-14 保存系モデルによる窒素 (T-N) の予測結果の一例

出典：Toamasina Port Project Environmental Impact Assessment、SPAT、2010年

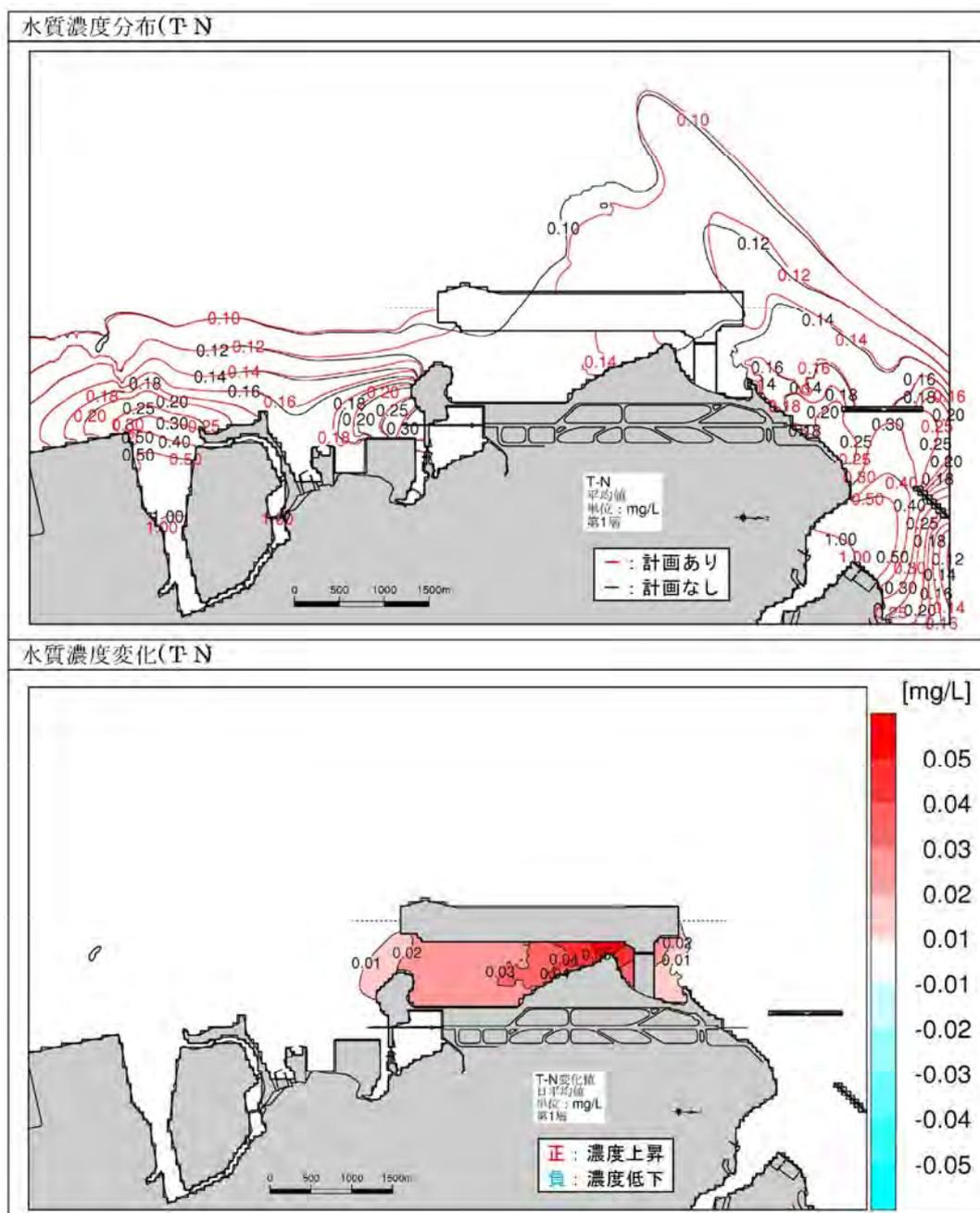


Figure 5-15 保存系モデルによる窒素 (T-N) の予測結果の一例

出典: 那覇空港滑走路増設事業に係る環境影響評価書、内閣府沖縄総合事務局他、2013年

Chapter 6. サンゴ礁における緩和策

6.1 緩和策の種類

サンゴ礁において事業を実施する際の緩和策の種類は Table 6-1 に示す項目が挙げられる。これらの具体的内容について次ページ以降に示す。

Table 6-1 緩和策の種類

項目		計画・設計時	工事中	工事後
定期的な事後モニタリングに基づく順応的管理		●	●	●
生物生息場の維持				
法線計画の配慮	サンゴ礁が存在する場所の地形改変、水質汚濁等を最小化する	●		
汚濁流入負荷の最小化	排水処理施設の設置	●	●	
	海域への影響が小さくなる施設配置	●	●	
	舗装整備による土壌表面流出抑制	●	●	
海水交換型防波堤等の採用	通水型ケーソンの使用及び、ケーソンの隙間配列	●	●	
	ケーソン間に消波ブロック堤配置	●	●	
サンゴ礁等への影響を最小限とする施工計画、施工方法	環境に集中的な負荷が生じない施工手順・手法の選択	●	●	
	サンゴの繁殖・産卵時期の工事中止等	●	●	
	汚水・濁水の発生を抑えた工法の採用	●	●	
	汚濁防止膜による浚渫や埋立工事等に対する濁り拡散防止	●	●	
	建設廃棄物の発生抑制と適正処理	●	●	
供用後の油濁汚染対策	MARPOL条約を遵守し、海底汚水、廃棄物を適正に処理			●
モニタリングの実施	工事前、中、後をとおしたサンゴ及び生息環境(水質、競合生物等)調査	●	●	●
オニヒトデ個体数管理	オニヒトデの定期監視と、排除		●	●
避難措置				
サンゴ移植・移築	サンゴ移植・移築を新設人工構造物や自然環境へ実施	●	●	●
モニタリングの実施	移植サンゴと生息環境の推移観察	●	●	●
再生措置				
新設人工構造物の表面形状を凹凸面とする	消波、根固、被服ブロック、ケーソン等直立壁面等の凹凸加工	●		
新設人工構造物における生物生息場を促進する断面形状採用	マウンド増大と適正水深域創造	●		
新設人工構造物、自然環境への稚サンゴ類の導入	稚サンゴの移植を新設構造物や自然環境へ実施		●	●
基質の投入	海底が礫や砂地でサンゴが生育できない場所に、安定した基質(石材やブロック)を投入	●	●	
モニタリングの実施	移植稚サンゴと生息環境の推移観察		●	●

出典：那覇港(浦添ふ頭地区)港湾整備に伴う海域環境保全マニュアル、那覇港管理組合、2006年

出典：沖縄の港湾におけるサンゴ礁調査の手引き、沖縄総合事務局 開発建設部、(財)港湾空間高度化環境研究センター、2007年 を基に JICA Study Team 作成

6.2 個別の緩和策概要

6.2.1 定期的な事後モニタリングに基づく順応的管理

順応的管理とは、様々な要因により、当初の計画では想定しなかった事態に陥ること等により環境保全・社会的背景が変動することを予め管理システムに組み込み、目標を設定し、計画がその目標を達成しているかをモニタリングにより検証しながら、目標を達成しない場合は、柔軟に管理手法の改善にフィードバックする手段のことを指す。

緩和策についてはモニタリングにより検証し、問題が確認された場合は、適宜改善策を検討し、順応的に管理していく必要がある。

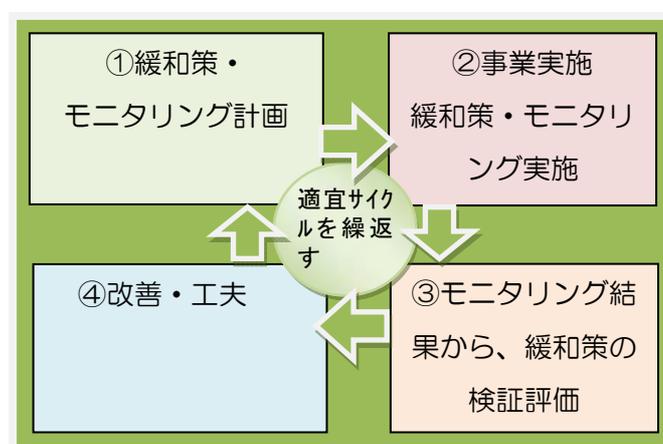


Figure 6-1 順応的管理の概念図

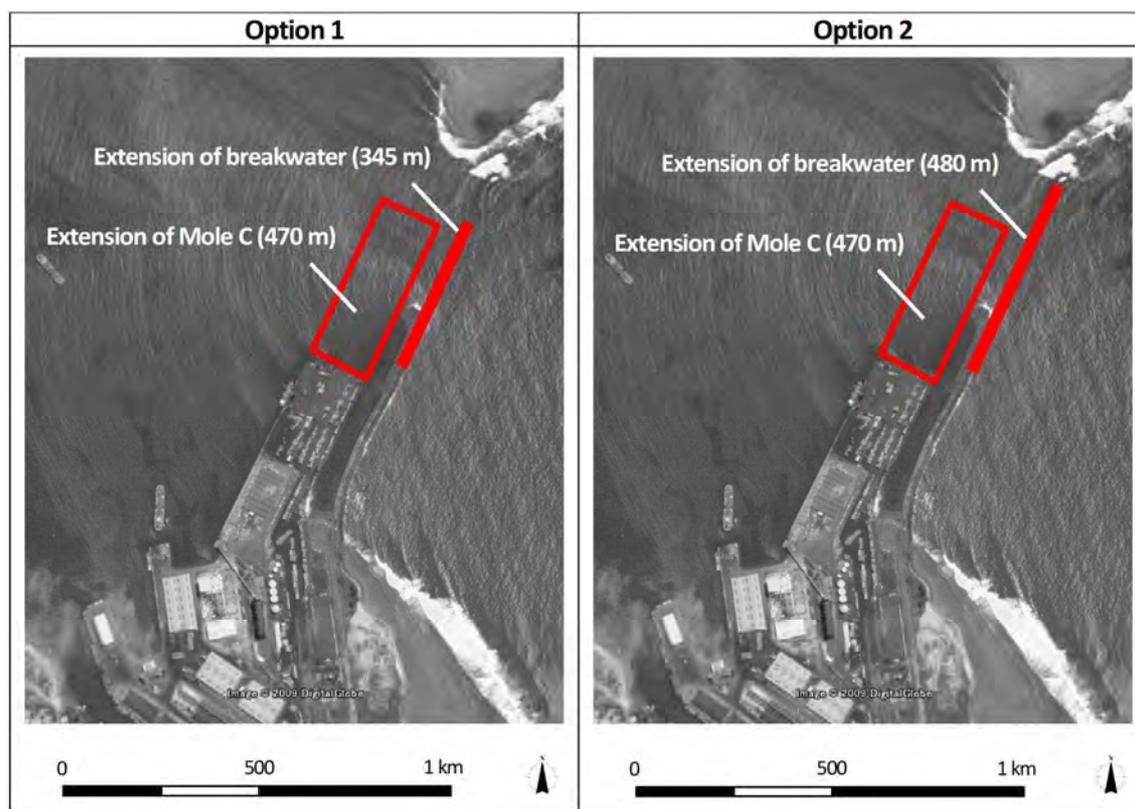
出典： JICA Study Team 作成

6.2.2 生物生息場所の維持

(1) 法線計画の配慮

事業効果等相互の関係性を勘案しながら、計画段階において、サンゴ礁が存在する場所の地形改変を最小化したり、水質汚濁等を最小化させる法線計画を検討することが重要である。

以下に、既往の配慮事例を示す。



(マダガスカル国トアマシナ港)

防波堤延長を 345m と 480m で比較検討。480m の方が港の稼働率が高まるものの、湾内の栄養塩増加や漁業者の航行障害等が生じることから、345m を選択

Figure 6-2 法線計画の配慮例

出典：Toamasina Port Project Environmental Impact Assessment、SPAT、2010年

(2) 汚濁流入負荷の最小化

事業効果等相互の関係性を勘案しながら、埋立中の余水排水濃度を低減する沈砂地もしくは処理施設を設置する。また、その排水口は影響が低減出来る位置を選定することが重要である。例えば、サンゴ高被度箇所への排水を避けたり、水が滞留し濃度が高まりやすい場所への排水を避ける等が挙げられる。また、整備後は施設を舗装整備することで、降雨時の土砂の流出を低減することが可能である。

以下に、既往の配慮事例を示す。



日本国福岡県
余水処理施設例
出典 1



日本国
沈砂地例
出典 2

Figure 6-3 排水処理施設の配慮例

出典 1：響灘東地区処分場整備事業に係る環境影響評価書、北九州市、2015年

出典 2：日本国農林水産省 HP http://www.maff.go.jp/j/nousin/mizu/agwater_antei/a_suisitu/

(3) 海水交換型防波堤等の採用

事業効果等相互の関係性を勘案しながら、可能な限り港内側と港外側の海水交換が促進されるような断面計上を採用する。既往の例では、通水型ケーソンの使用や、ケーソンの隙間配列、ケーソン間に消波ブロックを配置する等が挙げられる。

以下に、既往の配慮事例を示す。

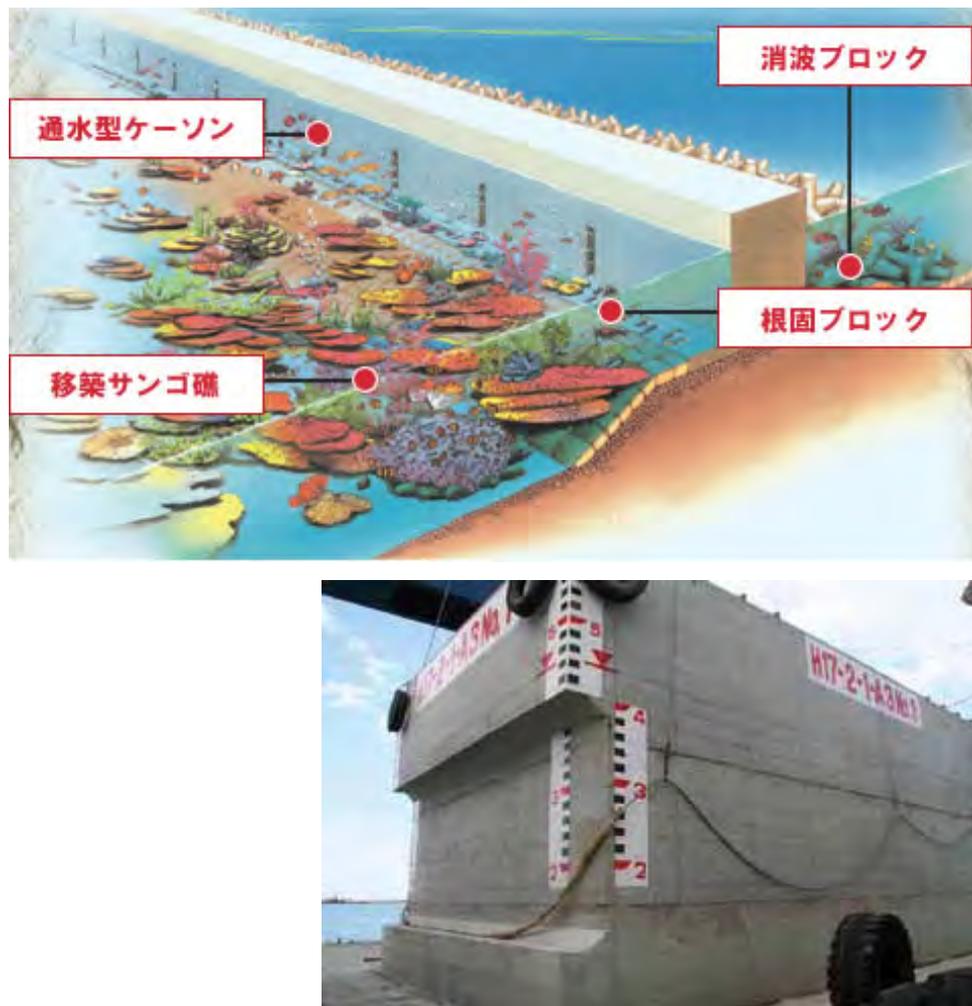


Figure 6-4 通水型ケーソンのイメージ図（平良港）

出典：平良港湾事務所 HP <http://www.dc.ogb.go.jp/hirarakou/gaiyou/kankyou/kankyou.htm>

出典：サンゴ礁と共生する港湾整備を目指して、しまたてい、(社) 沖縄建設弘済会、2010年

(4) サンゴ礁等への影響を最小限とする施工計画、施工方法

事業の計画段階、工事段階において、可能な限り以下の項目に配慮する。

- ・環境に集中的な負荷が生じない施工手順・手法の選択
- ・サンゴの繁殖・産卵時期の工事中止等
- ・汚水・濁水の発生を抑えた工法の採用
- ・汚濁防止膜による浚渫や埋立工事等に対する濁り拡散防止。濁りの低減の程度によっては、二重の展張検討する。
- ・建設廃棄物の発生抑制と適正処理

以下に、既往の配慮事例を示す。

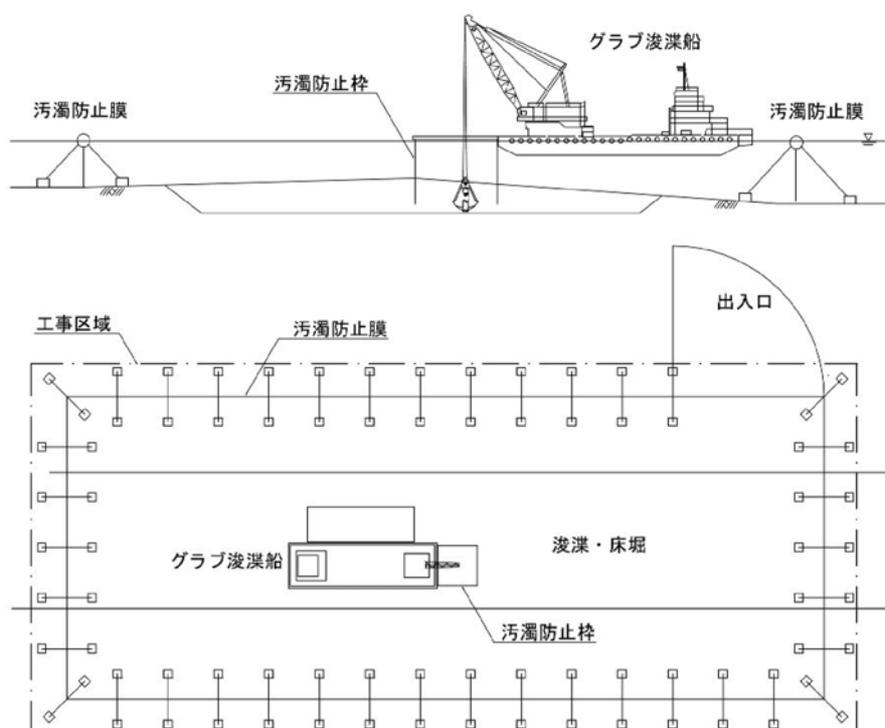


Figure 6-5 汚濁防止膜の展張事例（日本国那覇空港）

出典：那覇空港滑走路増設事業に係る環境影響評価書、内閣府沖縄総合事務局他、2013年

(5) 供用後の油濁汚染対策

港湾等船舶の往来が多い海域においては、船舶は MARPOL 条約を遵守し、海底汚水、廃棄油を適正に処理する。船舶は、汚水排水、船底汚水及びその他の汚水を沿岸に排水しない事等について、努める必要がある。

(6) オニヒトデ個体数管理

事業の実施中及び事業後のモニタリング調査から、移植サンゴや保全すべきサンゴについてオニヒトデの大発生とそれに伴うサンゴ類の大規模な食害が確認された場合には、必要に応じてオニヒトデの個体数管理を行う。

以下に、既往の配慮事例を示す。



Figure 6-6 オニヒトデの除去例

Table 6-2 参考となるガイドライン等

書名	発行機関（発行年月）
オニヒトデのはなし	沖縄県文化環境部自然保護課（2003.3） http://www.pref.okinawa.jp/site/kankyo/shizenhogo/hogo/documents/onihitodenohanasi.pdf
オニヒトデ対策ガイドライン	沖縄県文化環境部自然保護課（2007.3） http://www.pref.okinawa.jp/site/kankyo/shizenhogo/hogo/onihitode_guideline.html
オニヒトデ簡易調査マニュアル	オニヒトデ対策会議（2002.9） http://www.pref.okinawa.jp/site/kankyo/shizenhogo/hogo/onihitode_kannityousa_manual.html
オニヒトデ駆除マニュアルー酢酸の注射による駆除手法の適用ー	環境省中国四国地方環境事務所（2012.3） http://chushikoku.env.go.jp/to_2012/data/0515aa.pdf
サンゴ食巻貝駆除作業マニュアル	紀州灘環境保全の会 http://kisyunada.iinaa.net/kujyo/itaku/manyuaru.htm

出典：サンゴ礁保全活動の手引き、水産庁、2015年

6.2.3 避難措置

(1) サンゴ移植・移築

地形改変区域に成育するサンゴ類については、移植・移設技術を用いて可能な限り避難させる。サンゴ類の移植、移築を実施するに当たっては、輸送先の環境を攪乱する可能性があることから、原則として輸送先を新設の人工構造物の基質面やマウンド部分等とする。また、経年的にサンゴの被度が低下しているが回復するポテンシャルを有する場所であれば、幼生の供給源として移植することも検討する。

サンゴの移植（増殖による再生を含む）については、Table 6-3 に示すように、世界各地で様々な方法が適用されており、整理すると以下のとおりである。

1. 無性生殖法

1-1 再固定化（台風、座礁により損傷したサンゴの再固定化、人工礁への移植）

1-2 サンゴ断片や群体の移植

2. 有性生殖法（親サンゴの産卵を利用して、稚サンゴを飼育し移植）

しかし、これらのサンゴの移植方法は、一定の成果を上げつつあるが、現時点において必ずしも確立したものではない。移植技術の現状やサンゴ類への影響を移植によってすべて代替できるわけではないことを考慮する必要がある。その上で、サンゴ類の移植に当たっては、どのような手法を採るか、適切な移植先など十分に検討する必要がある。

Table 6-3 無性生殖法によるサンゴの移植方法の事例

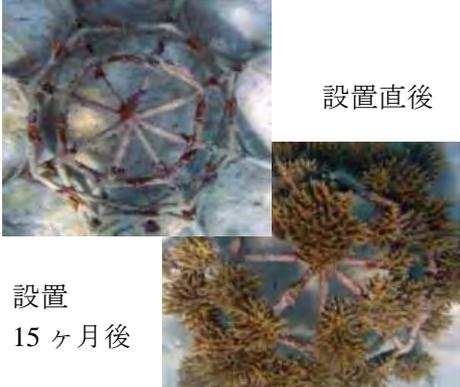
No	移植内容	実施国 実施地域	実施状況
1-1	座礁により損傷したサンゴの再固定化	Puerto Rico Mona Island (1997-2008)	 <p>座礁直後、サンゴの断片はステンレス製の釘やワイヤで固定された</p>
		出典 1	
1-2	サンゴ群集のための郡体移植	Tuvalu Funafuti Atoll (2006-2008)	 <p>移植サンゴのモニタリング状況 (移植先の Fongafale 地先は水質が悪く、サンゴの生育状況は不良；共同企業体確認)</p>
		出典 1	
1-3	リゾート海域における金属基盤へのサンゴ断片及び郡体の移植	Maidives Lnadaa Giravaaru (2005-2008)	 <p>設置直後</p> <p>設置 15ヶ月後</p>
		出典 1	
1-4	白化により影響を受けた禁漁区へのサンゴの移植	Fiji Moturiki Island (2005-2006)	 <p>1年間飼育されたサンゴ (移植前)</p> <p>基盤への移植状況</p>
		出典 1	

Table 6-4 無性生殖法によるサンゴの移植方法の事例

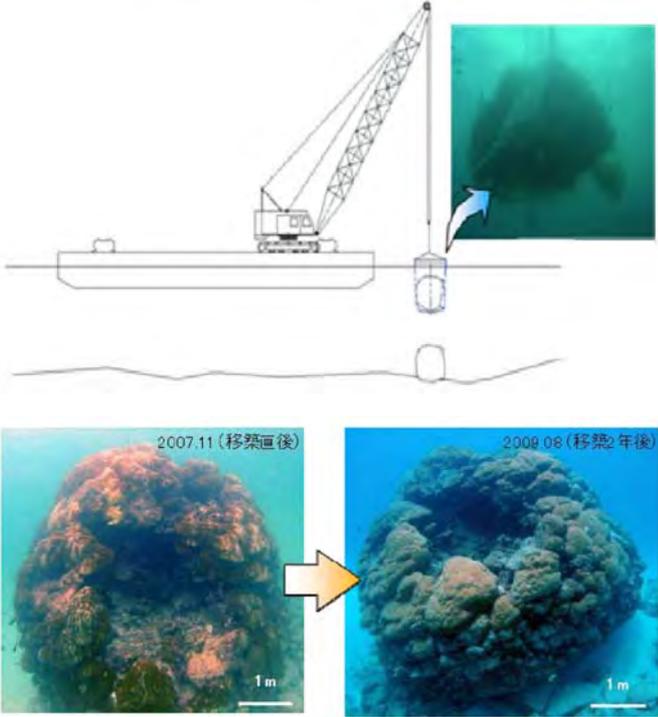
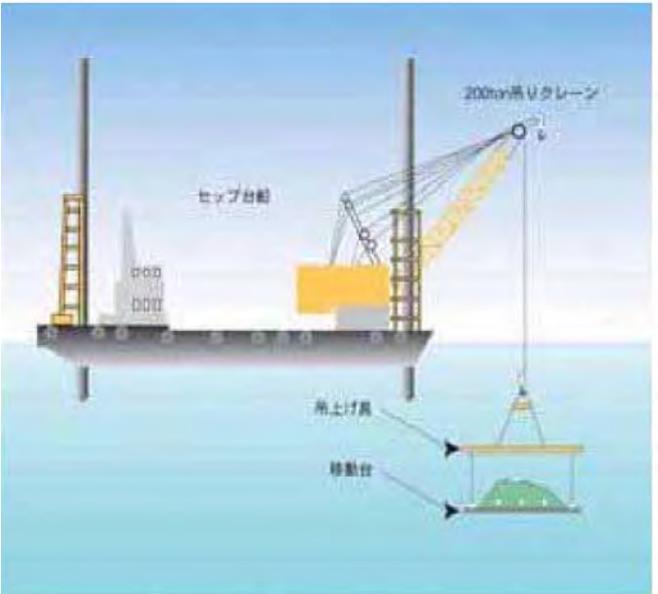
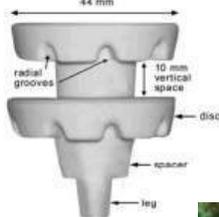
No	移植内容	実施国 実施地域	実施状況
1-5	高被度でサンゴが分布する岩塊の移築	日本国 石垣港 (2007年) 出典 3	 <p>フカアナハマサンゴの被度が高い直径約 5m の岩塊をクレーン台船により移築</p>
1-2	ハマサンゴ等大型サンゴの移築	日本国 那覇港 (施工予定) 出典 4	 <p>塊状ハマサンゴを水中バックホウやウォータージェット、ワイヤーソーで切り出し、クレーン台船により移築</p>

Table 6-5 有性生殖法によるサンゴの移植方法の事例

No	移植内容	実施国 実施地域	実施状況
2-1	衰退したサンゴ礁への養殖サンゴの移植	Israel Red Sea (2005-)	 <p>受精したカゴ幼生の採取状況 (カゴ幼生(プラヌラ)は、飼育施設で成長後移植される)</p>  <p>7ヶ月-1.5年間飼育されたサンゴの基盤(ノル)へ移植状況</p>
2-2	白化やオニヒトデにより損傷したサンゴへのセラミック着床具によるサンゴ移植	Japan South Ryukyus Sekisei Lagoon (2002-)	 <p>セラミック製着床具</p>  <p>産卵前に現地に設置した着床具に定着したサンゴ(3年経過後、直径13cm)</p>
2-3	生育環境が厳しい沖ノ鳥島におけるサンゴ増殖	Japan Okinotorisima	 <p>着床具(陶器製)に定着した稚カゴ(定着後14ヶ月後、飼育施設)</p>  <p>現地の基盤ノルへの着床具の固定状況(カゴは、稚カゴの食害防止用として設置)</p>

出典1: Reef Rehabilitation Manual、Alasdair Edwards、CRISP、2010年

出典2: 有性生殖によるサンゴ増殖の手引き、水産庁漁港漁場整備部、2009年

出典3: 港湾整備におけるサンゴ保全・再生への取り組み、前幸地他、平成22年度沖縄ブロック国土交通研究会、2010年

出典4: 那覇空港滑走路増設事業に係る環境影響評価書、内閣府沖縄総合事務局他、2013年

1) サンゴ移植方法

サンゴ移植法として、代表的な無性生殖の手法を以下に紹介する。

この手法は、2003年11月の環境省自然環境局が刊行した、大森 信・藤原秀一編著「サンゴ修復に関する技術手法—現状と展望—」より、大久保奈弥著「無性生殖を利用したサンゴ礁修復」について紹介したものである。

●ドナーサンゴの採取

ドナー群体から移植断片を採取する際、枝状サンゴの場合はニッパーや水中バサミを使ってそっと折り取り、テーブル状・コリンボース状・塊状等その他の形状にはハンマーと鑿を使って強い力でなるべく一度に割り取れば、ドナー群体や移植片を無駄に傷つけることがない。

●移植断片の大きさ

一般的には、移植断片のサイズが大きければ生残率は高いと考えられている。

これまでは、長さや直径が2~30cm程度の断片や群体（群体まるごと、即ちドナー全体）が移植されている。固着性の塊状群体である *Montastrea faveolata* の直径2.5から5.1cmの断片を移植した結果、9ヵ月後の生残率が75%であったことから、Becker and Muller (1999) はおそらく直径2.5cm未満の群体でも移植は可能だろうと考察している。

●運搬

運搬方法には研究者間であまり違いが見られない（大久保・大森 2001a）。移植場所が近い場合には、断片を水中から出さずにダイバーが容器に入れて運び（Dodge et al. 1999）、遠ければ船に吊り下げた金網やメッシュバックの中に入れて運ぶ（Dodge et al. 1999; Munoz-Chagin 1997）。

ボートに海水を入れたバケツを用意して、そこにに入れて運ぶこともある（Bowden-Kerby 1997）が、気温が高い時期には運搬中にバケツの中の海水が温まらないよう注意しなければならない。

移植断片を空気中にだして運搬できるかどうかは種によって異なる。*Acropora gemmifera* や *Favia stelligera* の断片は2時間程度であれば水から上げて運搬できるが、*Stylophora pistillata* や *Rumphella* sp. は水浸したまま運ぶ必要がある（Kaly 1995）。基本的には水から出さないで運搬するのが好ましい。

●固定方法

断片を移植する際に重要なのは、「断片の支持材（釘等）を基盤にしっかりと固定させることと」、「断片を固定する方向」、である。

予め基盤に打ち込んだ釘に断片を添え、ケーブルタイで固定した場合 (Figure 6-7-e)、断片の成長様式により基盤に固着しにくい種では、移植後の年数が経つにつれて釘が基盤から抜け落ちる可能性が高まる。ケーブルタイが切れて釘が外れることはないので、基盤と釘をエポキシ系の中水セメントでより頑丈に固定すればほぼ確実に損失は防げる。中水セメントが移植断片に与える化学的影響は正確に測定されていないので、中水セメントが確実に固まってから断片を移植する方が良い。中水セメントを使用する場合には、基盤についている藻類等をワイヤーブラシなどで取り除く必要がある。また、断片を固定する方向は垂直が良い (大久保・大森 2000; 大久保ほか 2001b, 大久保ほか 2002)。これは堆積物の影響等による。

参考までに、これまで用いられた固定方法の幾つかについて説明する (Figure 6-7)。

断片の基盤への固定はエポキシ系の中水セメントによるものが多い。まず基盤についている藻類等をワイヤーブラシなどで取り除き、断片を基盤に縦もしくは横にして中水セメントで接着する。中には、中水セメントではなく通常の産業用セメントが使われたものもあった。また、それだけでは移植したサンゴが基盤から外れ易いため、様々な方法を組み合わせて補完されている。(Figure 6-7-a)

基底のサンゴ岩に掘った穴に小さな植木鉢を入れ、その中にサンゴ断片を差し込み、あらかじめ陸上で真水と混ぜておいたセメントを流し込んで固める (Auberson 1982)。(Figure 6-7-b)

小さなポリエチレン袋にセメントと凝固遅延剤を入れ、コンクリートマットでできた枠の中にその袋を入れる。そして袋の上から断片をあるいは群体を差し込んで固定する。10cm以上の群体には支柱としてコンクリート釘を基部に打ち込んで固定する (Clark and Edwards 1995)。(Figure 6-7-c)

ナイロン袋にセメントと凝固遅延剤を入れて、断片を差し込み、袋の端には海中でその袋を固定するためのフックを付け、セメントが固まるまで水槽内に置く。セメントが固まったらフックをロープで岩盤に固定する (Clark 1997)。(Figure 6-7-d)

移植基盤に釘を打ち、針金あるいはケーブルタイでサンゴ断片を固定する (Ilf et al. 1999; 大久保・大森 2000; 大久保ほか 2001b; 大久保ほか 2002)。(Figure 6-7-e)

串刺し法：サンゴ断片中央辺りにドリルで穴を開けて竹串を刺す。移植基盤にも水中ドリルで穴を開けて、その穴に破片に刺した竹串を差し込む (西平 1994)。(Figure 6-7-f)

また、堆積物の影響等により、断片を固定する方向は垂直が良い (大久保・大森 2000; 大久保ほか 2001b; 大久保ほか 2002)。

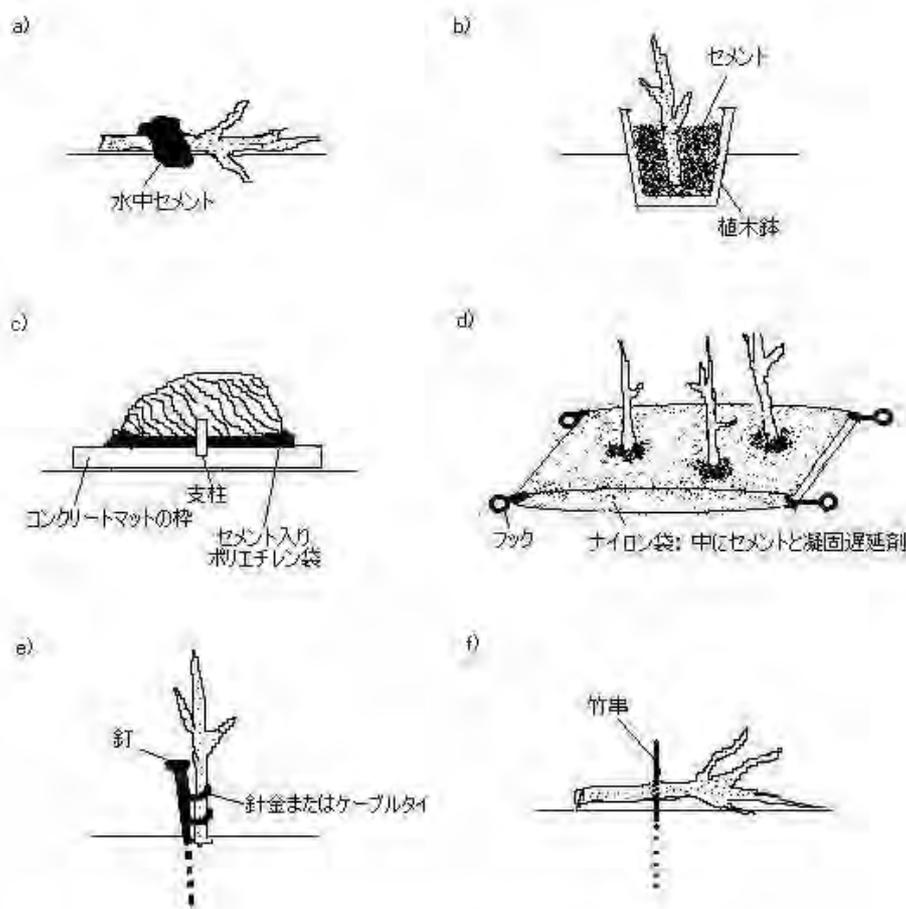


Figure 6-7 移植断片の固定方法 (大久保・大森 2001a)

●移植の適地

サンゴは種によって生育条件が異なるため、断片を採取したドナー群体が生息する場所と断片を移植する場所の物理的特性（波浪、潮流、濁度、水深、光量、堆積物量、塩分等）を移植前に調査する必要がある。その二つの場所の環境特性が類似していれば移植の成功率は高まるが、異なった環境に移植した場合の生残率はおもわしくない (Auberson 1982; 海中公園センター 1993, 1994, 1995)。

移植する場所にオニヒトデやレイシガイダマシなどのサンゴを捕食する生物が見られるかどうか調べる必要がある。高知県足摺宇和海国立公園の海中公園地区では移植場所にレイシガイダマシが大量発生したことから、過去3回の移植とも1年後の生残率は0%であった(足摺宇和海国立公園 私信)。

移植することによってその場所に経済的価値が生まれることは好ましいが、観光客の立ち入る場所では、人間のもたらす物理的影響によって新たな生息環境の攪乱が起こりうることも考慮しなければならない (Harriott and Fisk 1988)。

ミドリイシ科の3形状、*Acropora intermedia* (枝状)、*A. millepora* (コリンボース状) と *A. hyacinthus* (テーブル状) から採取した断片を、礁原と礁嶺と礁斜面に固定せずに置

いた実験がある (Smith and Hughes 1999)。生残率は、17 ヶ月後に礁原で 37%、礁嶺で 15%、礁斜面で 10%であり、基盤への固着率は、礁原で 39%、礁嶺で 31%、礁斜面で 4%であった。その理由として、礁原に置かれた断片は礁嶺と比べて周辺のテーブル状サンゴに光を遮られる事が少ないので成長速度が高く、また、礁原は底質が固いサンゴ岩なので断片が固着しやすく、礁斜面のように堆積物に埋もれて死亡する断片が少ないことが挙げられている。

●移植に適した基盤

採取した断片を海中構築物等に移植する必要がある場合、サンゴが固着しやすい基盤とはどのようなものが理解されていると大変役立つ。移植に適した基盤に関しては、フェライトコンクリートと素焼きのタイル、海中構築物によく利用されているコンクリートブロックと鉄、自然のサンゴ岩の 5 種類を用いて比較した実験がある (大久保 2003)。その結果、移植断片の固着率が高かったのはコンクリートとフェライトコンクリートであった。池田・岩尾 (2001) は、産業副産物である石炭灰をコンクリートに混ぜて移植基盤とし、*A. formosa* の 10cm 断片を本実験と同じ方法で移植した。その結果、固着率は通常のコンクリートに移植した断片とほとんど変わらなかった。両方の結果を合わせると、コンクリートを用いた基盤には、なんらかの理由で他の材料よりサンゴ断片が固着しやすいのではないかと考えられる。

●移植時期

移植はほとんどが月平均の気温が 24℃から 28℃の暖かい時期に行われている。しかし、これまでの移植では場所や種や固定方法等が異なるために、どの時期が移植に最も適しているのかは十分に比較検討できない。

種は異なるが、月平均気温が 26.6~28.3℃の暖かい時期に水温の変化が比較的大きい亜熱帯域で、ほぼ同じ断片サイズと固定方法で行われた 4 つの実験では、移植 3 ヶ月後の生残率が *Dichocoenia stoksii*、*Montastrea cavernosa*、*Porites astreoides* など 13 種全体で 98.5% (Dodge et al. 1999)、43 ヶ月後の生残率は *Acropora formosa* で 69% (沖縄開発庁 沖縄総合事務局 1997) であった。移植何ヶ月後かは不明だが *A. echinata* では 46% (Plucer-Rosario and Randall 1987) と結果はばらばらである。

また、移植後の生残率と温度及び日長光周期の関係を調べた結果、生残率は温度に逆相関し、日長光周期に相関する傾向が見られている (Yap and Gomez 1984; Yap et al. 1992)。移植のストレスに加え、高水温期には白化も起こりやすいので死亡率が高くなる (Yap and Gomez 1984) との考えもある。

6.2.4 再生措置

(1) 新設人工構造物の表面形状を凹凸面とする

凹凸が無い構造物に対してもサンゴは着生するが、凹凸形状があると着生を促進する効果が高まるため、構造物設置後にサンゴ礁が早く形成される効果が期待出来る。

失われるサンゴ類の代償措置、白化現象等により死滅したサンゴ類の再生措置として、新設構造物において、可能な限りサンゴ類の自然着生を促進するための凹凸表面形状を採用するのが望ましい。

以下に、既往の配慮事例を示す。以下のブロックについては、日本国沖縄県那覇港で使用実績がある。また、マダガスカル国トアマシナ港においても使用が予定されている。

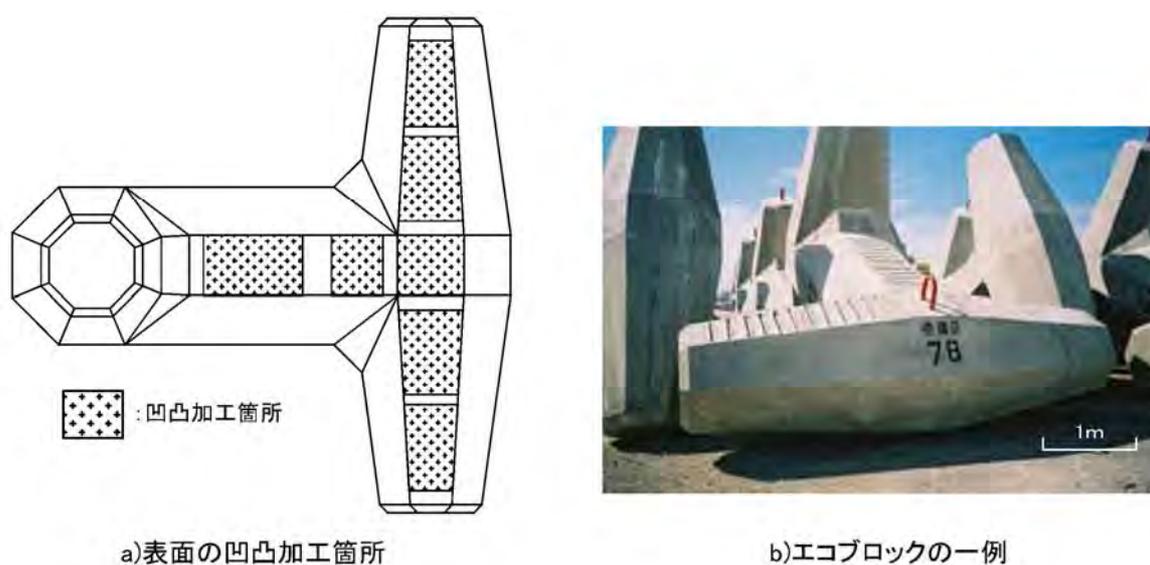


Figure 6-8 凹凸表面を採用したブロック例

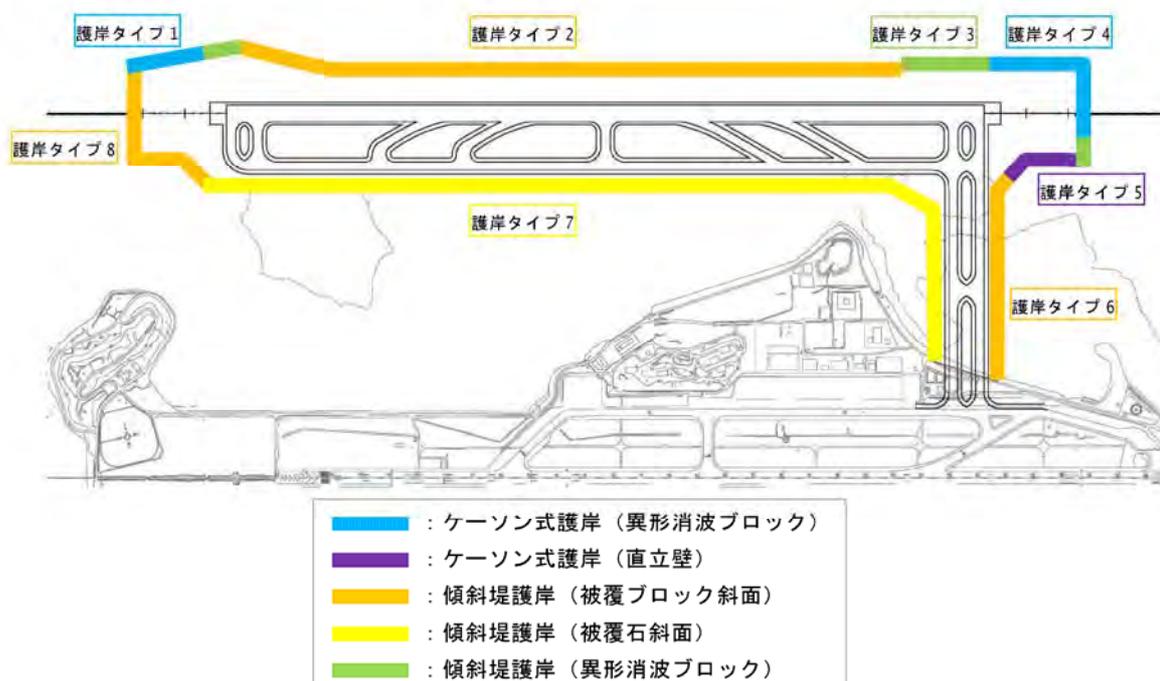
出典：出典：沖縄の港湾におけるサンゴ礁調査の手引き、沖縄総合事務局 開発建設部、(財)港湾空間高度化環境研究センター、2007年

出典：Dredging and port construction around coral reefs Report No 108、PIANC、2010年

(2) 新設人工構造物における生物生息場を促進する断面形状採用

失われるサンゴ類の代償措置、白化現象等により死滅したサンゴ類の再生措置として、新設構造物において、可能な限りサンゴ類の自然着生を促進する断面形状を採用する。なお、生物の着生のためにマウンド幅を大幅に増大させることは既存の生物環境に影響を及ぼすこととなるため、原則として実施しない。

以下に、既往の配慮事例を示す。以下のブロックについては、日本国沖縄県那覇港で採用実績がある。



【護岸タイプ6】



Figure 6-9 法線計画の配慮例

出典：出典：沖縄の港湾におけるサンゴ礁調査の手引き、沖縄総合事務局 開発建設部、(財)港湾空間高度化環境研究センター、2007年

(3) 新設人工構造物、自然環境への稚サンゴ類の導入

再生措置の一種法として、稚サンゴの移植を新設構造物や自然環境へ実施することを検討する。新規に設置する消波ブロック、根固、被覆ブロック、ケーソン等への植え付け、経年的にサンゴの被度が低下しているが回復するポテンシャルを有する場所への幼生の供給源としての植え付け等が想定される。

(4) 基質等の投入

失われるサンゴ類の代償措置、白化現象等により死滅したサンゴ類の再生措置として、海底が礫や砂地でサンゴが生育できない場所に、可能な範囲で、安定した基質（石材やブロック）を投入したり、砂礫の移動を抑制してサンゴが成長できるようにするネットを設置する。

基質等の投入に当たっては、輸送先の環境を攪乱する可能性があることから、経年的にサンゴの被度が低下しているが回復するポテンシャルを有する場所、砂礫が移動し易く、生物生息が少ない場所等を対象とする。

以下に、既往の配慮事例を示す。基質の投入やネット設置については、インドネシア国、タイ国、フィリピン国、日本国で採用実績がある。

Table 6-6 自然定着法による基質等投入事例

No	移植内容	実施地域(期間)	実施状況
1-1	ダイナマイト漁で破壊されたサンゴ礁の回復促進のための基盤の安定化	Indonesia Komodo National Park (1998-2008) 出典 1	 投入された Limestone (石灰岩)
1-2	サンゴや魚類の加入促進のため人工基盤の設置	Tai Phuket (1994-2007) 出典 1	 基盤に生育するサンゴ (設置 6 年後)
1-3	ダイナマイト漁で破壊されたサンゴ礁におけるネットによる瓦礫の安定化	Philippine Central Visayas (2003-2005) 出典 1	 敷設されたプラスチックネット (設置 6 年後)
1-4	砂礫の移動が大きい礁池内にジャカゴ礁設置	日本国沖縄県伊 江島 (2011～)	 設置時の ジャカゴ礁  4 年後 着生したサンゴ

出典 1 : Reef Rehabilitation Manual, Alasdair Edwards, CRISP, 2010 年

出典 2 : Dredging and port construction around coral reefs Report No 108, PIANC, 2010 年

出典 3 : 平成 26 年度厳しい環境条件下におけるサンゴ増殖技術開発実証委託事業報告書、水産庁他、2015 年

Chapter 7. サンゴ礁におけるモニタリング手法

モニタリング調査は、工事中及び供用時（工事後）に実施される。その目的は、

【工事中】

- 浚渫等の濁りや、埋立地からの余水が、周辺海域に影響を及ぼしていないか、タイムリーに監視する事

【供用時】

- 地形改変が行われた後、かつ、供用されている状態が、周辺環境へ及ぼす影響について、事後確認する事

と考えられる。

Chapter 3 の Table 3-1 で整理した、サンゴ礁に関する環境要素「水の汚れ、水の濁りといった水環境」、「サンゴやそれらに影響を及ぼす動物」について、上記の目的を満足するベースライン調査の項目、地点、調査時期の考え方について整理する。

7.1 水環境に関する事項

(1) 調査項目及び基準の考え方

サンゴ礁海域で実施が望ましい調査項目の検討結果は、Table 7-1 に示すとおりである。

基本的に実施することが望ましい工事中の水質項目は、海域の基本的情報となる水温、塩分、工事中の濁りの状況を表す SS、濁度である。国毎に水質の基準項目は異なることから、その他の項目については、地域の基準、事業特性、現地の海域特性を踏まえ、適宜追加を検討する必要がある。

底質区分も基本事項として記しているが、これは、後述動物調査（サンゴ）の潜水時に海底性状を確認することを意味する。

基本的に実施することが望ましい供用時の水質項目は、海域の基本的情報となる水温、塩分、pH、溶存酸素（DO）、透視度・透明度、及び供用時の水の濁りや水の汚れの状況を表す SS、濁度、全窒素、全リン等である。国毎に水質の基準項目は異なることから、その他の項目については、地域の基準、事業特性、現地の海域特性を踏まえ、適宜追加を検討する必要がある。

底質は、全硫化物、全窒素、全リン、底質区分が挙げられる。その他の項目については、地域の基準、事業特性、現地の海域特性を踏まえ、適宜追加を検討する必要がある。事業によっては、供用時の流況、波浪観測を実施するものも見られる。

Table 7-1 (1) サンゴ礁海域で実施が望ましい調査項目検討結果

環境要素	影響要因	項目の内容と必要性	調査の必要性	工事中調査既往実施事例	調査の必要性	供用時調査既往実施事例	一般的基準例	
水環境	基本項目	水温	海域の基礎的情報。生物生態の適正、予測の基礎情報として使用される。定期的な観測と設置機器による通年の連続観測手法がある。白化現象との関連性が強い。種や生息場所により白化する水温は変化するが、25～28℃程度が適水温とされている。	●	①※1② ③⑦⑩	●	①※1② ⑤※2⑦ ⑨⑩	一般的に基準は設けない。サンゴの白化等の要因検討の基礎データとして使用する。25～28℃程度が適水温とされている。
		塩分	海域の基礎的情報。生物生態の適正、予測の基礎情報として使用される。サンゴの最適範囲は34～37‰程度とされている。	●	①※1② ⑦⑩	●	①※1② ⑤※2⑦ ⑨⑩	一般的に基準は設けない。サンゴの白化等の要因検討の基礎データとして使用する。サンゴの最適範囲は34～37‰程度とされている。
		pH	海域の基礎的情報。概要水は8.3～8.4程度の弱いアルカリ性。光合成により上昇する。日本国の環境基準A類型は、7.8以上8.3以下。	△	①※1② ⑦⑩	●	①※1② ③④⑤※ ⑨⑩	一般的に基準は設けない。サンゴの育成環境把握の基礎データとして使用する。日本国の環境基準A類型は、7.8以上8.3以下。
		溶存酸素量 (DO)	海域の基礎的情報。水中に含まれる酸素量。生物生態の適正の基礎情報として使用される。日本国の環境基準A類型は、7.5mg/l以上。	△	①※1	●	①※1③ ⑤※2⑦ ⑨⑩	一般的に基準は設けない。サンゴの育成環境把握の基礎データとして使用する。日本国の環境基準A類型は、7.5mg/l以上。
		透視度・透明度	海域の基礎的情報。水の清濁の程度を表す指標。	△	①※1③	●	①※1⑤ ※2	一般的に基準は設けない。サンゴの育成環境把握の基礎データとして使用する。那覇港の知見では10m以上で被度が高い。
		大腸菌数	家庭や畜産排水、野生動物の排泄物の影響を確認する指標。日本国の環境基準A類型は、1000MPN/100ml以下。				③⑨⑩	-
		油分(n-Hexane抽出物質)	油分の有無を確認する指標。日本国の環境基準A類型は、検出されないこと。				③⑨⑩	-
		光量子量	水中の光量子量。サンゴの成長に関する基礎情報。年平均光量子量110 μmol/sec/m ² 以上でサンゴ被度が高いとされている。	△		△		一般的に基準は設けない。サンゴの育成環境把握の基礎データとして使用する。年平均光量子量110 μmol/sec/m ² 以上でサンゴ被度が高いとされている。
		健康項目	人の健康の保護に関する項目。日本国では、水銀、カドミウム等27項目が該当する。					-
		土砂による水の濁り	SS	濁りの影響を確認する指標。事業の一般的内容から、構造物の基礎工事(浚渫、床掘、捨石等)や埋立(余水吐きからの排水)に伴って濁りの発生が想定される。日本国では、環境影響評価の標準項目とされている。濁りは、サンゴの生息阻害一要因である。	●	①※1③ ④⑤⑨⑩	●	①※1③ ⑨⑩
濁度	濁りの影響を確認する指標。SSが室内分析を要するのに対し、濁度は現地観測機器により現地確認が可能。SSを代替する指標として使用されることが多い。			●	①※1③ ④⑤⑦⑩	●	①※1③ ⑦⑩	SSとの相関をとり、SS換算で対照区+2mg/L以下を基本とする。
水の汚れ	COD	埋立地の出現によって潮流が変化し、水質に影響を及ぼすことが想定されることから、水の汚れとして一般的な有機汚濁の指標として日本ではCOD _{mn} が設定されている。しかし、海外ではCODは一般的でなく、実施例は少ない。	△	①※1②		①※1② ③⑤※2	一般的に基準は設けない。サンゴの生息要因検討の基礎データとして使用する。	
		窒素及びリンは植物の成長に欠かせない物質であるが、それらが水中に過剰に存在すると、植物プランクトン量が増加し、二次的な汚濁が進行する主な原因となる。日本国の例では、T-N<0.1mg/l、T-P<0.01mg/lでサンゴ礁の生育が良いとされている。	△	①※1②		①※1② ③⑤※2 ⑨⑩	T-N0.2mg/L以下、T-P0.02mg/L(日本国 環境基準 I 類型)を基本とする。ただし、T-N0.1mg/L以下、T-P0.01mg/L以下で成育がよいとの報告もある。	
		全窒素・全リン (T-N, T-P)		△	①※1②		①※1② ③⑤※2 ⑨⑩	T-N0.2mg/L以下、T-P0.02mg/L(日本国 環境基準 I 類型)を基本とする。ただし、T-N0.1mg/L以下、T-P0.01mg/L以下で成育がよいとの報告もある。
		無機態窒素・無機態リン(NH ₄ -N、NO ₂ -N、NO ₃ -N、PO ₄ -P)	全窒素・全リンの中の無機態成分。植物プランクトンや海藻はこれら無機態を摂取し成長する。				①※1⑤ ※2	一般的に基準は設けない。サンゴの生息要因検討の基礎データとして使用する。ただし、無機態窒素合計0.01未満、無機態リン0.006～0.007未満でサンゴの成育が良いとの報告もある。(Table2-3参照)
	クロロフィルa	植物プランクトン量の指標。赤潮の状況、富栄養化の状況を確認することができる。	△		△	③⑤※2 ⑦	一般的に基準は設けない。サンゴの育成環境把握の基礎データとして使用する。適環境として0.1～0.5 μg/L未満の事例がある。	

凡例：●基本的に実施が望ましい項目 △：必要に応じて実施を判断することが望ましい項目

(未記入)：調査目的との関連性は低い項目

※1：①のガイドブックにおいては、工事中・工事後の調査の必要性について述べているが、項目・手法までは特定していない。

※2：⑤の手引きにおいては、工事中・工事後の調査の必要性について述べているが、項目・手法までは特定していない。

- ① 港湾分野の環境影響評価ガイドブック、(財)港湾空間高度化センター 港湾・海域環境研究所、1999年
- ② 那覇港(浦添ふ頭地区)港湾整備に伴う海域環境保全マニュアル、那覇港管理組合、2006年
- ③ 那覇空港滑走路増設事業に係る環境影響評価書、内閣府沖縄総合事務局、国土交通省大阪航空局、2013年
- ④ 普天間飛行場代替施設建設事業に係る環境影響評価書、沖縄防衛局、2011年
- ⑤ 沖縄の港湾におけるサンゴ礁調査の手引き、沖縄総合事務局 開発建設部、(財)港湾空間高度化環境研究センター、2007年
- ⑥ PIANC REPORT N° 108 [Dredging and port construction around coral reefs], PIANC Secrétariat Général, Belgique, 2010年
- ⑦ パヌアツ国ポートビラ港国際多目的埠頭整備事業準備調査(その2 環境調査)報告書、JICA、2012年
- ⑧ モーリシャス国海岸保全・再生に関する能力向上プロジェクト リーフ環境保全ガイドライン
- ⑨ Toamasina Port Project Environmental Impact Assessment, SPAT, 2010年
- ⑩ Procedure Manual on Countermeasure of Coral Reef at Toamasina Port Development Project, KOKUSAI KOGYO CO., LTD., 2015年

Table 7-1 (2) サンゴ礁海域で実施が望ましい調査項目検討結果

環境要素	影響要因	項目の内容と必要性	調査の必要性	工事中調査既往実施事例	調査の必要性	供用時調査既往実施事例	一般的基準例	
水環境	底質	化学的酸素要求量(COD)	底質中の化学的酸素要求量の指標。富栄養化すると濃度が上昇する。			②③	-	
		全硫化物(T-S)	底質中の全硫化物量の指標。富栄養化すると濃度が上昇する。	△		②③	一般的に基準は設けない。サンゴの成育環境把握の基礎データとして使用する。	
		強熱減量	底質中の有機物量の指標。富栄養化すると濃度が上昇する。	△	⑤	△	③	一般的に基準は設けない。サンゴの成育環境把握の基礎データとして使用する。
		含水比	底質中の有機物量の指標。富栄養化すると濃度が上昇する。				③	-
		比重	底質の比重。					-
		全窒素・全リン(T-N, T-P)	底質中の窒素及びリン量の指標。富栄養化すると濃度が上昇する。	△			●	一般的に基準は設けない。サンゴの成育環境把握の基礎データとして使用する。
		粒度組成	底質の粒度の指標。富栄養化すると細粒化しシルト粘土分が増加し、サンゴの生息条件としては不適切な環境となる。	△	②⑤	△	②③	一般的に基準は設けない。サンゴの成育環境把握の基礎データとして使用する。サンゴは岩盤、転石、人工構造物等硬い基質に生息できる。
		底質区分	海底の底質の指標。岩盤、転石、礫、砂、泥、人工構造物等の区分を視判断する。サンゴは岩盤、転石、人工構造物等硬い基質に生息できる。	●		●	⑩	
		底質中懸濁物質含量(SPSS)	サンゴの生息阻害要因である土砂の堆積状況を示す指標。30kg/m ³ 以上でミドリイシ属の出現が減少するとされている。	△	③	△	③	必要に応じて設定する。30kg/m ³ 以上でミドリイシ属の出現が減少するとされている。
		重金属等	人の健康を保護し、生活環境を保全するうえで維持することが望ましい項目。日本国の環境基準では、水銀等27項目、海洋汚染防止法では、33項目が該					-
潮流	潮流	埋立地の存在により潮流が変化する可能性がある。水質の予測の際に潮流の変化を前提として流況予測を実施する際に使用する。			△	③⑦	-	
波浪	波浪	埋立地の存在により波浪が変化する可能性がある。			△		-	

凡例：●基本的に実施が望ましい項目 △：必要に応じて実施を判断することが望ましい項目
(未記入)：調査目的との関連性は低い項目

※1：①のガイドブックにおいては、工事中・工事後の調査の必要性について述べているが、項目・手法までは特定していない。

※2：⑤の手引きにおいては、工事中・工事後の調査の必要性について述べているが、項目・手法までは特定していない。

- ① 港湾分野の環境影響評価ガイドブック、(財)港湾空間高度化センター 港湾・海域環境研究所、1999年
- ② 那覇港(浦添ふ頭地区)港湾整備に伴う海域環境保全マニュアル、那覇港管理組合、2006年
- ③ 那覇空港滑走路増設事業に係る環境影響評価書、内閣府沖縄総合事務局、国土交通省大阪航空局、2013年
- ④ 普天間飛行場代替施設建設事業に係る環境影響評価書、沖縄防衛局、2011年
- ⑤ 沖縄の港湾におけるサンゴ礁調査の手引き、沖縄総合事務局 開発建設部、(財)港湾空間高度化環境研究センター、2007年
- ⑥ PIANC REPORT N° 108 [Dredging and port construction around coral reefs], PIANC Secrétariat Général, Belgique, 2010年
- ⑦ パヌアツ国ポートピラ港国際多目的埠頭整備事業準備調査(その2 環境調査)報告書、JICA、2012年
- ⑧ モーリシャス国海岸保全・再生に関する能力向上プロジェクト リーフ環境保全ガイドライン
- ⑨ Toamasina Port Project Environmental Impact Assessment, SPAT, 2010年
- ⑩ Procedure Manual on Countermeasure of Coral Reef at Toamasina Port Development Project, KOKUSAI KOGYO CO., LTD., 2015年

(2) 調査位置の考え方

水質・底質の調査位置について、工事中は、工事の影響確認ができるように以下の点に留意した配点を考慮する。

- ・地形の改変、濁りや排水等の影響を受ける地点付近
- ・対照地点（海域の水底質を代表する湾外、湾中央等）
- ・流入河川等陸水流入点（必要に応じ実施）

供用時は、地形改変が行われ供用時されている状態が、周辺環境へ及ぼす影響について確認できるよう以下の点に留意した配点を考慮する。

- ・地形の改変、濁りや排水等の影響を受ける地点付近
- ・対照地点（海域の水底質を代表する湾外、湾中央等）
- ・流入河川等陸水流入点（必要に応じ実施）

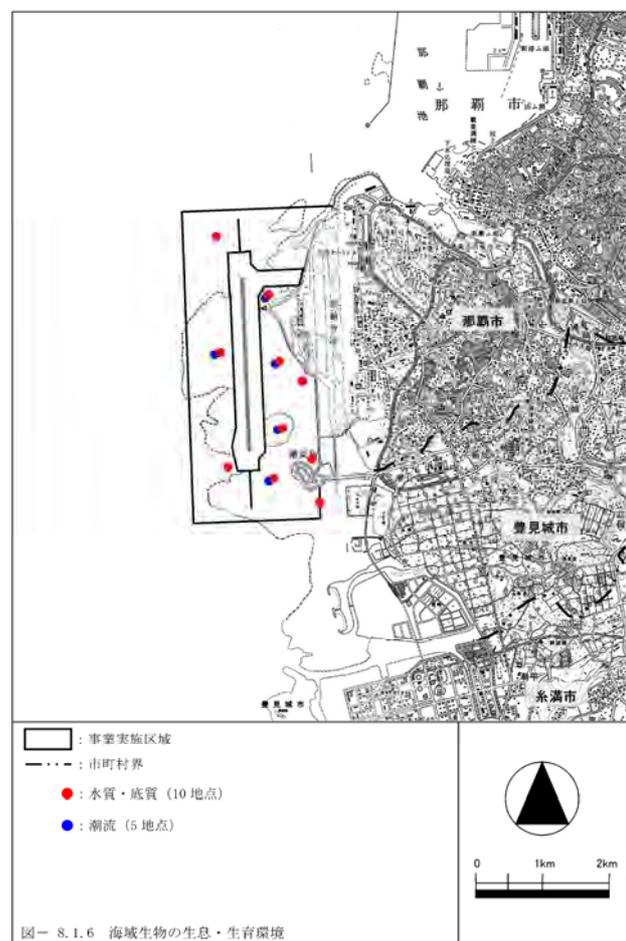
工事中、供用時ともに、地点の選定は事業特性や、現地の地域特性等を踏まえ選定する必要がある。

水質の調査水深は、表層 1 層もしくは、表層・底層 2 層において、採水分析及び機器観測もしくは、鉛直的に 0.1~数 m の多層での機器観測が一般的である。

既往の調査地点例を Figure 7-1 に示す。



【工事中】
 地形の改変、濁りや排水等の影響を受ける地点付近に配点されている。
 (水質)
 地形改変域付近：8地点



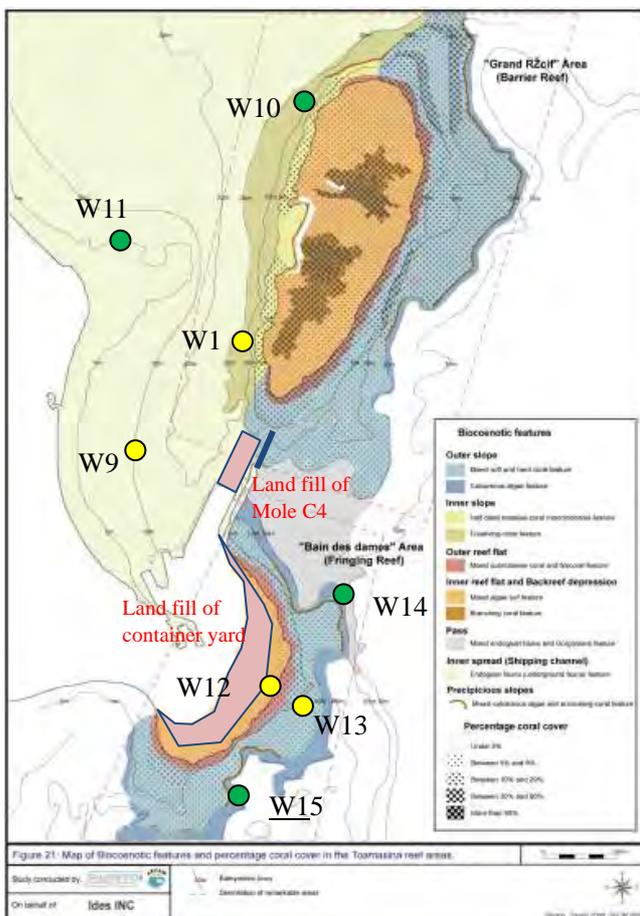
【供用時】
 地形の改変の影響を受ける地点付近に配点されている。
 (水質・底質)
 地形改変域付近：10地点

 (潮流)
 地形改変域付近：5地点

(日本国沖縄県)
 (水質、底質、潮流)

Figure 7-1 (1) 地点図例

出典：那覇空港滑走路増設事業に係る環境影響評価書 内閣府沖縄総合事務局他 2013年を基に JICA Study Team 作成



【工事中】

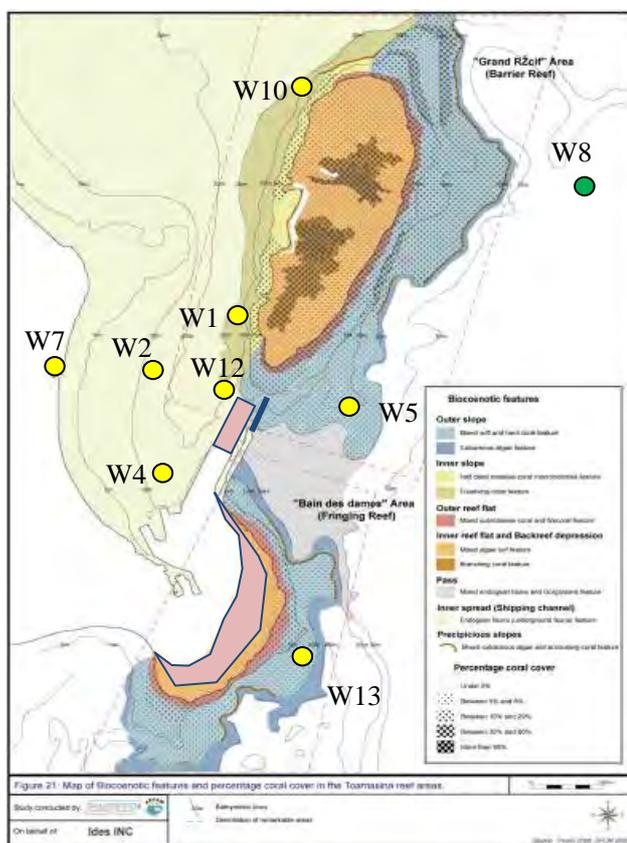
地形の改変、濁りや排水等の影響を受ける地点付近と対照地点に配点されている。

(水質)

浚渫：2 地点 (W1、W9)

排水：2 地点 (W12、W13)

対照点：4 地点 (W10、W11、W14、W15)



【供用時】

地形の改変、濁りや排水等の影響を受ける地点付近と対照地点に配点されている。

(水質)

浚渫：2 地点 (W1、W9)

排水：2 地点 (W12、W13)

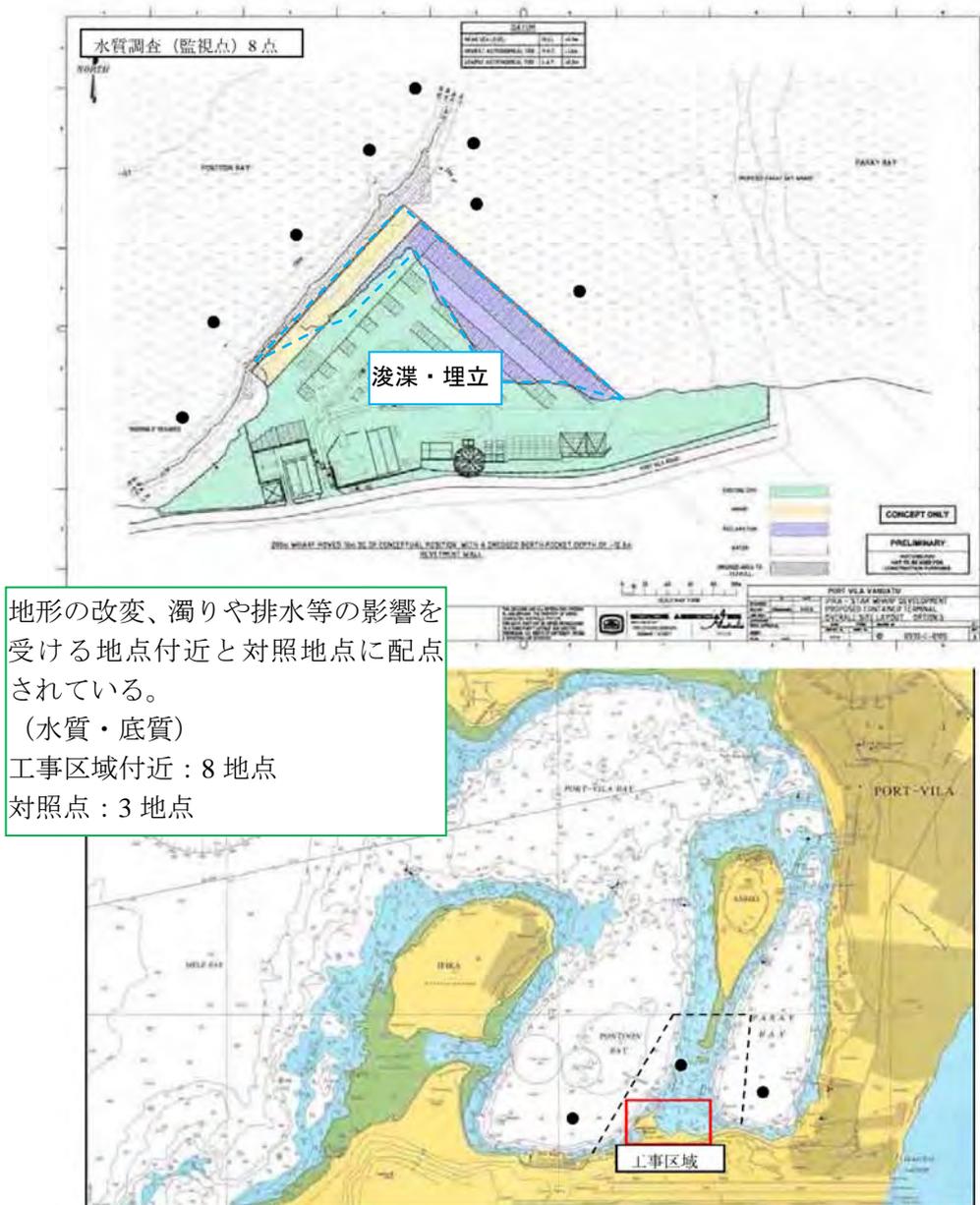
対照点：4 地点 (W10、W11、W14、W15)

(マダガスカル国トアマシナ)

(水質)

Figure 7-1 (2) 地点図例

出典：JICA 全世界サンゴ礁ハンドブック作成調査 Procedure Manual on Countermeasure of Coral Reef at Toamasina Port development Project 2015 年



地形の改変、濁りや排水等の影響を受ける地点付近と対照地点に配点されている。
 (水質・底質)
 工事区域付近：8 地点
 対照点：3 地点

(バヌアツ国ポートビラ) (水質・底質)

Figure 7-1 (3) 地点図例

出典：バヌアツ国ポートビラ港国際多目的ふ頭整備事業準備調査 (その2 環境調査) 2012 年を基に JICA Study Team 作成

(3) 調査頻度

水質の調査頻度は、工事中は、工事実施時毎日1回以上を基本とする。

供用時は、完成後の季節別を基本とする。これは、夏季はプランクトン等の内部生産が高まったり、白化のリスクを超える水温となったり、冬季は、内部生産の低下や、サンゴの生息下限値の水温を下回るなど、1時季の水質データのみでは、情報が不足し評価が困難なためである。

これら調査は、各事業特性、地域特性を踏まえ、適宜、調査時期を選定する必要がある。

サンゴの白化の監視として水温の連続観測等を実施する場合は、通年観測等目的に合わせて、調査期間を選定する必要がある。

底質の調査頻度は、工事中は、工事期間中数週間～数ヶ月に1回の頻度の定期的調査を基本とする。サンゴ調査と同時に実施する底質区分のみであれば、後述するサンゴ調査と同日実施とする。

供用時は、完成後の季節別を基本とする。これは、水質同様、夏季は泥温の上昇や水質の変化に伴い底質が有機汚濁化したり、冬季は夏季の有機汚濁が解消されるなど、1時季の底質データのみでは、情報が不足し評価が困難なためである。

これら調査は、各事業特性、地域特性を踏まえ、適宜、調査時期を選定する必要がある。

(4) 一般的な調査イメージ

一般的調査方法は、ベースライン調査と同様である (Chapter 4 参照)。

7.2 動物（サンゴ）に関する事項

(1) 調査項目及び基準の考え方

サンゴ礁海域で実施が望ましい調査項目の検討結果は、Table 7-2 に示すとおりである。

基本的に実施することが望ましい項目は、工事の影響の有無を確認すること、保全措置として実施した移植等の推移を確認するための、定点サンゴの分布、種、被度、稚サンゴ密度、食害生物調査が挙げられる。

その他の項目については、地域の基準、事業特性、現地の海域特性を踏まえ、適宜追加を検討する必要がある。

Table 7-2 サンゴ礁海域で実施が望ましい調査項目検討結果

環境要素	影響要因	項目の内容と必要性	調査の必要性	工事中調査既往実施事例	調査の必要性	供用時調査既往実施事例	一般的基準例	
生物	サンゴ類 (定点調査)	定点調査	一定面積で調査を行うコドラート法(0.5×0.5m、1×1m、2×2m、10×10m、50×50mなど)や一定時間の遊泳の間で確認するスポットチェック法により、種類、被度等を判別する。	●	①※1② ③④⑤⑦ ⑨⑩	●	①※1② ③④⑤※ 2⑨⑩	モニタリングでは、「工事等の影響が生じる前のサンゴ被度等の変動幅を考慮し、その変動範囲の被度を基準として、それを下回らないこと」を基本とする。移植サンゴは、「移植サンゴの顕著な減少がみられないこと」を基本とする。
		稚サンゴ密度	稚サンゴ密度量。環境がサンゴの再生産ポテンシャルを有しているかを確認する指標	●	⑩	●	⑩	一般的に基準は設けない。サンゴの再生産の可能性判断の基礎データとして使用する。
		食害生物調査	サンゴの食害生物であるオニヒトデやシロレインガイダマン等の巻き貝の生息密度。サンゴの維持の可能性を判別する。	●	⑩	●	⑩	一般的に基準は設けない。サンゴの生息環境把握の基礎データとして使用する。
サンゴ類 (全域調査)	ベルトトランセクト法、水面遊泳法、マンタ法、ROV	数十～数千mの測線や範囲を遊泳もしくはボートに曳航させるマンタ法、ROV調査により、総被度、種類別被度を判別し、広域のサンゴ分布を判断する。	△	①※1② ③④	●	①※1② ③④⑤※ 2⑦	モニタリングでは、「工事等の影響が生じる前のサンゴ被度等の変動幅を考慮し、その変動範囲の被度を基準として、それを下回らないこと」を基本とする。	
		衛星画像、航空写真、水中ビデオ画像を目視判読もしくは自動判読し、広範囲の総被度、概ねの種類別被度を把握する。マンタ法等と比較し、不測領域のない解析が可能となる。一方、目視判断では無いため、精度検証を十分行う必要がある。	△	①※1	△	①※1⑤ ※2		

凡例：●基本的に実施が望ましい項目 △：必要に応じて実施を判断することが望ましい項目
(未記入)：調査目的との関連性は低い項目

- ① 港湾分野の環境影響評価ガイドブック、(財)港湾空間高度化センター 港湾・海域環境研究所、1999年
- ② 那覇港(浦添ふ頭地区)港湾整備に伴う海域環境保全マニュアル、那覇港管理組合、2006年
- ③ 那覇空港滑走路増設事業に係る環境影響評価書、内閣府沖縄総合事務局、国土交通省大阪航空局、2013年
- ④ 普天間飛行場代替施設建設事業に係る環境影響評価書、沖縄防衛局、2011年
- ⑤ 沖縄の港湾におけるサンゴ礁調査の手引き、沖縄総合事務局 開発建設部、(財)港湾空間高度化環境研究センター、2007年
- ⑥ PIANC REPORT N° 108 [Dredging and port construction around coral reefs], PIANC Secrétariat Général, Belgique, 2010年
- ⑦ バヌアツ国ポートビラ港国際多目的埠頭整備事業準備調査(その2 環境調査)報告書、JICA、2012年
- ⑧ モーリシャス国海岸保全・再生に関する能力向上プロジェクト リーフ環境保全ガイドライン
- ⑨ Toamasina Port Project Environmental Impact Assessment, SPAT, 2010年
- ⑩ Procedure Manual on Countermeasure of Coral Reef at Toamasina Port Development Project, KOKUSAI KOGYO CO., LTD., 2015年

(2) 調査位置の考え方

動物（サンゴ）の調査位置について、工事中は、工事の影響、移植等保全措置の経過確認ができるように以下の点に留意した配点を考慮する。

- ・ 地形の改変、濁りや排水等の影響を受ける地点付近
- ・ 移植等保全措置を実施した地点
- ・ 影響を受けない対照地点

供用時は、地形改変が行われ供用されている状態が、周辺環境へ及ぼす影響について確認できるように以下の点に留意した配点を考慮する。

- ・ 供用時に濁りや排水等の間接影響を受ける地点、地形改変により環境が変化した可能性のある地点
- ・ 移植等保全措置を実施した地点
- ・ 影響を受けない対照地点

地点の選定は現地の特性を踏まえ選定する必要がある。既往調査の調査位置図例を Figure 7-2 に示す。

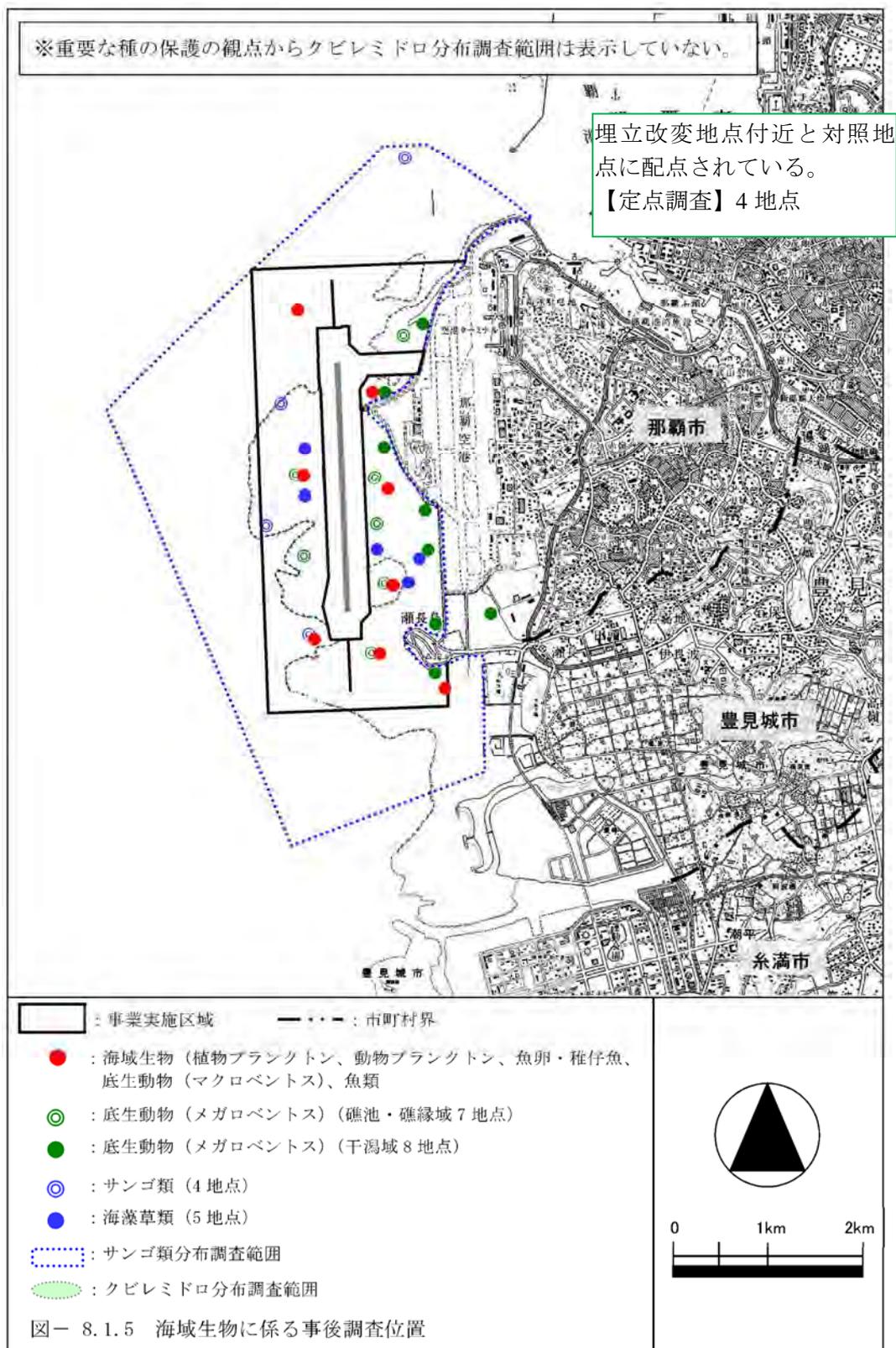
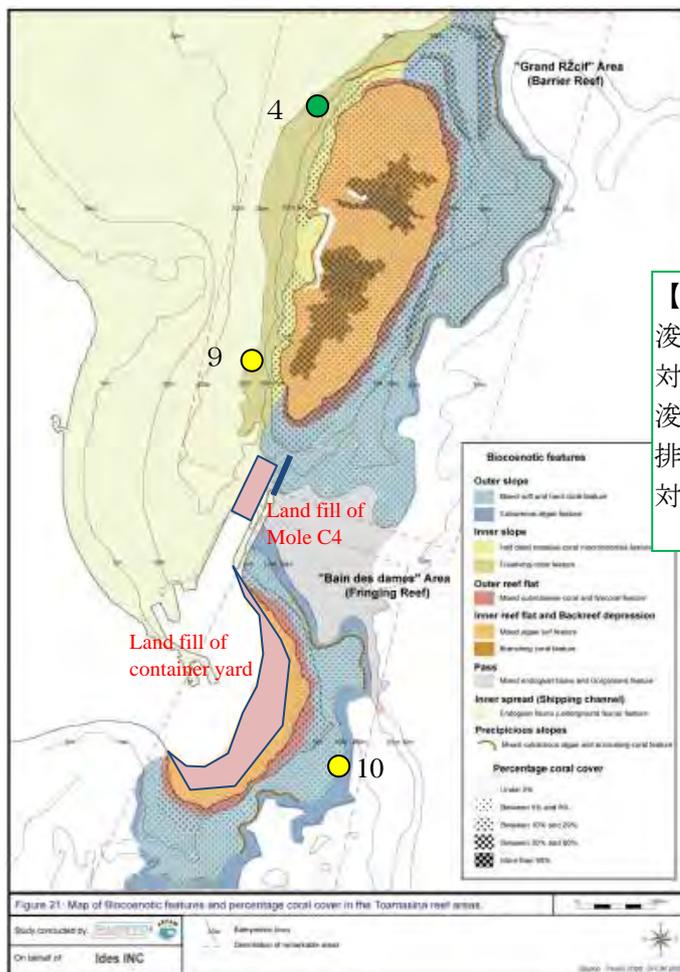
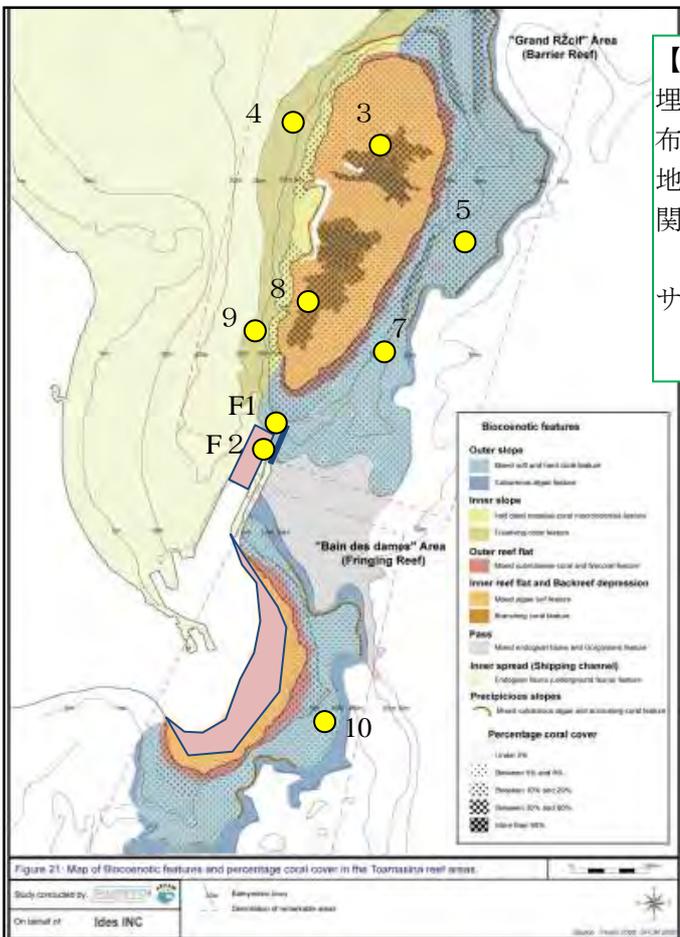


Figure 7-2 (1) 地点図例 (日本国沖縄県) (サンゴ礁)

出典：那覇空港滑走路増設事業に係る環境影響評価書 内閣府沖縄総合事務局他 2013年を基に JICA Study Team 作成



【工事中 : 定点調査】
 浚渫地点付近、余水排水地点付近と
 対照地点に配点されている。
 浚渫地点付近 : 1 地点 (9)
 排水地点付近 : 1 地点 (10)
 対照地点 : 1 地点 (4)



【供用時 : 定点調査】
 埋立等地形改変域、サンゴが多く分
 布する地域
 地形改変域 : 2 地点 (F1~F2)
 関節的な影響が懸念される地域
 : 3 地点 (8~10)
 サンゴ礁域 : 7 地点 (1~7)
 (かつ、地点 4 は移植地点)

(マダガスカル国トアマシナ)
 (サンゴ調査)

Figure 7-2 (2) 地点図例

出典 : JICA 全世界サンゴ礁ハンドブック作
 成調査 Procedure Manual on
 Countermeasure of Coral Reef at Toamasina
 Port evolution Project 2015 年



(バヌアツ国ポートビラ) (サンゴ調査)

Figure 7-2 (3) 地点図例

出典：バヌアツ国ポートビラ港国際多目的ふ頭整備事業準備調査（その2 環境調査） 2012年を基に JICA Study Team 作成

(3) 調査頻度

サンゴの調査頻度は、工事期間については、工事期間中数週間～数ヶ月に 1 回の頻度の定期的調査を基本とする。

供用時については、完成後の季節別を基本とする（四季が存在する日本国では 4 季調査、雨季、乾季の 2 季の地域では、2 季調査）。サンゴのみであれば、事業実施前の 1 回でも良い。

これら調査は、各事業特性、地域特性を踏まえ、適宜、調査時期を選定する必要がある。

(4) 一般的な調査イメージ

一般的調査方法は、ベースライン調査と同様である（Chapter 4 参照）。

【引用文献一覧】

- 1) 港湾分野の環境影響評価ガイドブック、(財) 港湾空間高度化センター 港湾・海域環境研究所、1999 年
- 2) 那覇港(浦添ふ頭地区)港湾整備に伴う海域環境保全マニュアル、那覇港管理組合、2006 年
- 3) サンゴ礁と共生する港湾整備マニュアル案、(財)港湾空間高度化環境研究センター、1999 年
- 4) 海の自然再生ハンドブック第 4 巻サンゴ礁編、海の自然再生ワーキンググループ、2003 年
- 5) サンゴ礁保全活動の手引き、水産庁、2015 年
- 6) 沖縄の港湾におけるサンゴ礁調査の手引き、沖縄総合事務局 開発建設部、(財)港湾空間高度化環境研究センター、2007 年
- 7) 有性生殖によるサンゴ増殖の手引き、水産庁漁港漁場整備部、2009 年
- 8) PIANC REPORT N° 108 [Dredging and port construction around coral reefs]、PIANC Secrétariat Général、Belgique、2010 年
- 9) 平成 26 年度厳しい環境条件下におけるサンゴ増殖技術開発実証委託事業報告書、水産庁、2015 年
- 10) Toamasina Port Project Environmental Impact Assessment、SPAT、2010 年
- 11) Procedure Manual on Countermeasure of Coral Reef at Toamasina Port Development Project、KOKUSAI KOGYO CO., LTD., 2015 年
- 12) モーリシャス国海岸保全・再生に関する能力向上プロジェクト リーフ環境保全ガイドライン、JICA、2015 年
- 13) Reef Rehabilitation Manual、Alasdair Edwards、CRISP、2010 年
- 14) 響灘東地区処分場整備事業に係る環境影響評価書、北九州市、2015 年
- 15) 那覇空港滑走路増設事業に係る環境影響評価書、内閣府沖縄総合事務局他、2013 年
- 16) IUCN レッドリスト、カテゴリーと基準 3.1 版、2000 年 2 月 9 日
- 17) バヌアツ国ポートビラ港多目的埠頭改善計画準備調査、JICA、2012 年
- 18) Temperature Environments during Coral Bleaching Events in Sekisei Lagoon、岡本峰雄・野島哲・古島靖夫、2007 年
- 19) Mutti and Hallock (2003 年)、Bell and Elmetr、1995 年
- 20) 平良港湾事務所 HP <http://www.dc.ogb.go.jp/hirarakou/gaiyou/kankyoku/kankyoku.htm>
- 21) サンゴ礁と共生する港湾整備を目指して、しまたてい、(社) 沖縄建設弘済会、2010 年
- 22) 日本国農林水産省 HP http://www.maff.go.jp/j/nousin/mizu/agwater_antei/a_suisitu/

- 23) 普天間飛行場代替施設建設事業に係る環境影響評価書、沖縄防衛局、2011年
- 24) 沖縄県衛生環境研究所報告書、金城、2013年
- 25) ツバル国におけるエコシステム評価及び海岸防護・再生計画調査 国際航業（株）他
2001年
- 26) Temperature Environments during Coral Bleaching Events in Sekisei Lagoon、岡本峰雄・野島
哲・古島靖夫、2007年
- 27) ポートモレスビー下水道整備事業に係る案件形成促進調査報告書、JBIC、2005年
- 28) 沖縄県サンゴ移植マニュアル、沖縄県文化環境部、2008年

【ベースライン調査、影響評価、緩和策、モニタリング調査 チェックリスト】

①調査チェックリスト (水環境) 1/3

環境要素	影響要因	項目の内容	調査の必要性	調査の必要性	調査の必要性	一般的基準例	実施チェック判断			
							ベースライン調査時	モニタリング調査		
								工事中	供用時	
水環境	基本項目	水温	海域の基礎的情報。生物生息の適正、予測の基礎情報として使用される。定期的な観測と設置機器による通年の連続観測手法がある。白化現象との関連性が強い。種や生息場所により白化する水温は変化するが、25～28℃程度が適水温とされている。	●	●	●	一般的に基準は設けない。サンゴの白化等の要因検討の基礎データとして使用する。25～28℃程度が適水温とされている。			
		塩分	海域の基礎的情報。生物生息の適正、予測の基礎情報として使用される。サンゴの最適範囲は34～37‰程度とされている。	●	●	●	一般的に基準は設けない。サンゴの白化等の要因検討の基礎データとして使用する。サンゴの最適範囲は34～37‰程度とされている。			
		pH	海域の基礎的情報。外洋水は8.3～8.4程度の弱いアルカリ性。光合成により上昇する。日本国の環境基準A類型は、7.8以上8.3以下。	●	△	●	一般的に基準は設けない。サンゴの成育環境把握の基礎データとして使用する。日本国の環境基準A類型は、7.8以上8.3以下。			
		溶存酸素量(DO)	海域の基礎的情報。水中に含まれる酸素量。生物生息の適正の基礎情報として使用される。日本国の環境基準A類型は、7.5mg/l以上。	●	△	●	一般的に基準は設けない。サンゴの成育環境把握の基礎データとして使用する。日本国の環境基準A類型は、7.5mg/l以上。			
		透視度・透明度	海域の基礎的情報。水の清濁の程度を表す指標。	●	△	●	一般的に基準は設けない。サンゴの成育環境把握の基礎データとして使用する。那覇港の知見では10m以上で被度が高い。			
		大腸菌郡数	家庭や畜産排水、野生動物の排泄物の影響を確認する指標。日本国の環境基準A類型は、1000MPN/100ml以下。				-			
		油分(n-Hexane抽出物質)	油分の有無を確認する指標。日本国の環境基準A類型は、検出されないこと。				-			
		光量子量	水中の光量子量。サンゴの成長に関する基礎情報。年平均光量子量110 μmol/sec/m ² 以上でサンゴ被度が高いとされている。	△	△	△	一般的に基準は設けない。サンゴの成育環境把握の基礎データとして使用する。年平均光量子量110 μmol/sec/m ² 以上でサンゴ被度が高いとされている。			
		健康項目	人の健康の保護に関する項目。日本国では、水銀、カドミウム等27項目が該当する。				-			
	土砂による水の濁り	SS	濁りの影響を確認する指標。事業の一般的な内容から、構造物の基礎工事(浚渫、床掘、捨石等)や埋立(余水吐きからの排水)に伴って濁りの発生が想定される。日本国では、環境影響評価の標準項目とされている。濁りは、サンゴの生息阻害一要因である。	●	●	●	対照区+2mg/L以下を基本とする。			
濁度		濁りの影響を確認する指標。SSが室内分析を要するのに対し、濁度は現地観測機器により現地確認が可能。SSを代用する指標として使用されることが多い。	●	●	●	SSとの相関をとり、SS換算で対照区+2mg/L以下を基本とする。				

凡例：●基本的な実施が望ましい項目 △：必要に応じて実施を判断することが望ましい項目

※：実施項目は、地域の基準、事業特性、現地の海域特性を踏まえ、適宜選定する必要がある。

①調査チェックリスト (水環境) 2/3

環境要素	影響要因	項目の内容	調査の必要性	調査の必要性	調査の必要性	一般的基準例	実施チェック判断				
							ベースライン調査時	モニタリング調査			
								工事中	供用時		
水環境	水の汚れ	COD	埋立地の出現によって潮流が変化し、水質に影響を及ぼすことが想定されることから、水の汚れとして一般的な有機汚濁の指標として日本ではCOD _{Mn} が設定されている。しかし、海外ではCODは一般的でなく、実施例は少ない。	△	△	△	一般的に基準は設けない。サンゴの生息要因検討の基礎データとして使用する。				
		全窒素・全リン (T-N, T-P)	窒素及びリンは植物の成長に欠かせない物質であるが、それらが水中に過剰に存在すると、植物プランクトン量が増加し、二次的な汚濁が進行する主な原因となる。 日本国の例では、T-N<0.1mg/l、T-P<0.01mg/lでサンゴ礁の生育が良いとされている。	●	△	△	T-N0.2mg/L以下、T-P0.02mg/L(日本国 環境基準 I 類型)を基本とする。 ただし、T-N0.1mg/L以下、T-P0.01mg/L以下で成育がよいとの報告もある。				
		無機態窒素・無機態リン(NH ₄ -N、NO ₂ -N、NO ₃ -N、PO ₄ -P)	全窒素・全リンの中の無機態成分。植物プランクトンや海藻はこれら無機態を摂取し成長する。	△		△	一般的に基準は設けない。サンゴの生息要因検討の基礎データとして使用する。ただし、無機態窒素合計0.01未満、無機態リン0.006~0.007未満でサンゴの成育が良いとの報告もある。(Table2-3参照)				
		クロロフィルa	植物プランクトン量の指標。赤潮の状況、富栄養化の状況を確認することができる。	△	△	△	一般的に基準は設けない。サンゴの成育環境把握の基礎データとして使用する。適環境として0.1~0.5 μg/L未満の事例がある。				
	底質	底質	化学的酸素要求量(COD)	底質中の化学的酸素要求量の指標。富栄養化すると濃度が上昇する。	△			-			
			全硫化物(T-S)	底質中の全硫化物量の指標。富栄養化すると濃度が上昇する。	●	△	●	一般的に基準は設けない。サンゴの成育環境把握の基礎データとして使用する。			
			強熱減量	底質中の有機物量の指標。富栄養化すると濃度が上昇する。	△	△	△	一般的に基準は設けない。サンゴの成育環境把握の基礎データとして使用する。			
			含水比	底質中の有機物量の指標。富栄養化すると濃度が上昇する。				-			
			比重	底質の比重。				-			
			全窒素・全リン (T-N, T-P)	底質中の窒素及びリン量の指標。富栄養化すると濃度が上昇する。	●	△	●	一般的に基準は設けない。サンゴの成育環境把握の基礎データとして使用する。			
粒度組成			底質の粒度の指標。富栄養化すると細粒化しシルト粘土分が増加し、サンゴの生息条件としては不適切な環境となる。	△	△	△	一般的に基準は設けない。サンゴの成育環境把握の基礎データとして使用する。サンゴは岩盤、転石、人工構造物等硬い基質に生息できる。				
底質区分	海底の底質の指標。岩盤、転石、礫、砂、泥、人工構造物等の区分を目視判断する。サンゴは岩盤、転石、人工構造物等硬い基質に生息できる。	●	●	●							

凡例：●基本的に実施が望ましい項目 △：必要に応じて実施を判断することが望ましい項目
※：実施項目は、地域の基準、事業特性、現地の海域特性を踏まえ、適宜選定する必要がある。

①調査チェックリスト (水環境) 3/3

環境要素	影響要因		項目の内容	調査の必要性	調査の必要性	調査の必要性	一般的基準例	実施チェック判断		
								ベースライン調査時	モニタリング調査	
									工事中	供用時
水環境	底質	底質中懸濁物質含量 (SPSS)	サンゴの生息阻害要因である土砂の堆積状況を示す指標。30kg/m ³ 以上でミドリイシ属の出現が減少するとされている。	△	△	△	必要に応じて設定する。30kg/m ³ 以上でミドリイシ属の出現が減少するとされている。			
		重金属等	人の健康を保護し、生活環境を保全するうえで維持することが望ましい項目。日本国の環境基準では、水銀等27項目、海洋汚染防止法では、33項目が該				-			
	潮流	潮流	埋立地の存在により潮流が変化する可能性がある。水質の予測の際に潮流の変化を前提として流況予測を実施する際に使用する。	●		△	-			
波浪	波浪	波浪	埋立地の存在により波浪が変化する可能性がある。	△		△	-			

②調査チェックリスト (生物) 1/1

環境要素	影響要因		項目の内容	調査の必要性	調査の必要性	調査の必要性	一般的基準例	実施チェック判断		
								ベースライン調査時	モニタリング調査	
									工事中	供用時
生物	サンゴ類 (定点調査)	定点調査	一定面積で調査を行うコドラート法(0.5×0.5m、1×1m、2×2m、10×10m、50×50mなど)や一定時間の遊泳の間で確認するスポットチェック法により、種類、被度等を判別する。	●	●	●	モニタリングでは、「工事等の影響が生じる前のサンゴ被度等の変動幅を考慮し、その変動範囲の被度を基準として、それを下回らないこと」を基本とする。移植サンゴは、「移植サンゴの顕著な減少がみられないこと」を基本とする。			
		稚サンゴ密度	稚サンゴ密度量。環境がサンゴの再生産ポテンシャルを有しているかを確認する指標	●	●	●	一般的に基準は設けない。サンゴの再生産の可能性判断の基礎データとして使用する。			
		食害生物調査	サンゴの食害生物であるオニヒトデやシロレイシガイダマシ等の巻き貝の生息密度。サンゴの維持の可能性を判別する。	●	●	●	一般的に基準は設けない。サンゴの生息環境把握の基礎データとして使用する。			
	サンゴ類 (全域調査)	ベルトトランセクト法、水面遊泳法、マンタ法、ROV	数十～数千mの測線や範囲を遊泳もしくはボートに曳航させるマンタ法、ROV調査により、総被度、種類別被度を判別し、広域のサンゴ分布を判断する。	●	△	●	モニタリングでは、「工事等の影響が生じる前のサンゴ被度等の変動幅を考慮し、その変動範囲の被度を基準として、それを下回らないこと」を基本とする。			
		画像判読	衛星画像、航空写真、水中ビデオ画像を目視判読もしくは自動判読し、広範囲の総被度、概ねの種類別被度を把握する。マンタ法等と比較し、不測領域のない解析が可能となる。一方、目視判断では無いため、精度検証を十分行う必要がある。	●	△	△				

凡例：●基本的に実施が望ましい項目 △：必要に応じて実施を判断することが望ましい項目
 ※：実施項目は、地域の基準、事業特性、現地の海域特性を踏まえ、適宜選定する必要がある。

④サンゴ礁における影響評価実施チェックリスト 1/1

サンゴ礁の影響		予測評価のアプローチ	実施 チェック 判断
1. 直接的な影響	①浚渫・埋立等によるサンゴの消滅	<u>ベースライン調査</u> により、消失するサンゴについて、周辺海域に一般的に生息する種か、希少種かを確認し、 <u>工事による消滅の有無や面積等を検討</u> し、評価する。	
2. 間接的な影響	②流況変化によるサンゴへの影響	<u>流動モデル</u> により、港湾整備後の流況を予測し、現況に対する流況変化の範囲や程度を把握し、評価する。	
	③河川からの淡水流入に塩分低下や火力発電所による高水温化に伴う影響	<u>保存系モデル</u> により、洪水による塩分低下や温排水による高水温の範囲（塩分・水温分布）を予測し、これらの影響がサンゴに及ぼす影響を検討する。	
	④浚渫等の濁り（SS）による影響	<u>単純非保存系モデル</u> により、工事中のSS濃度分布を予測し、これらの影響が最小限となる対策方法やサンゴの影響について検討する。	
	⑤埋立や構造物の設置に伴う海域の地形変化により、海水の停滞化や陸域からの汚濁負荷（窒素、リン）の流出増加に伴う海域の富栄養化に伴う影響	<u>富栄養化モデル</u> や <u>保存系モデル</u> により、サンゴの生息に影響を及ぼす水質指標である T-N、T-P、クロロフィル a 等の水質変化を予測し、当該海域の富栄養化の現状を把握するとともに、富栄養化がサンゴに及ぼす影響について予測する。	

※：実施項目は、地域の基準、事業特性、現地の海域特性を踏まえ、適宜選定する必要がある。

⑤緩和策チェックリスト (生物) 1/1

項目		検討・実施のタイミング			実施 チェック判断
		計画・ 設計時	工事中	工事後	
定期的な事後モニタリングに基づく順応的管理		●	●	●	
生物生息場の維持					
法線計画の配慮	サンゴ礁が存在する場所の地形改変、 水質汚濁等を最小化する	●			
汚濁流入負荷の最小化	排水処理施設や沈殿池の設置	●	●		
	海域への影響が小さくなる施設配置	●	●		
	舗装整備による土壌表面流出抑制	●	●		
海水交換型防波堤等の採用	通水型ケーソンの使用及び、ケーソンの 隙間配列	●	●		
	ケーソン間に消波ブロック堤配置	●	●		
サンゴ礁等への影響を最小限とする 施工計画、施工方法	環境に集中的な負荷が生じない施工手 順・手法の選択	●	●		
	サンゴの繁殖・産卵時期の工事中止等	●	●		
	汚水・濁水の発生を抑えた工法の採用	●	●		
	汚濁防止膜による浚渫や埋立工事等 に対する濁り拡散防止	●	●		
	建設廃棄物の発生抑制と適正処理	●	●		
供用後の油濁汚染対策	MARPOL条約を遵守し、海底汚水、廃 棄油を適正に処理			●	
モニタリングの実施	工事前、中、後をとおしたサンゴ及び生 息環境(水質、競合生物等)調査	●	●	●	
オニヒトデ個体数管理	オニヒトデの定期監視と、排除		●	●	
避難措置					
サンゴ移植・移築	サンゴ移植・移築を新設人工構造物や 自然環境へ実施	●	●	●	
モニタリングの実施	移植サンゴと生息環境の推移観察	●	●	●	
再生措置					
新設人工構造物の表面形状を凹凸面とする	消波、根固、被服ブロック、ケーソン等 直立壁面等の凹凸加工	●			
新設人工構造物における生物生 息場を促進する断面形状採用	マウンド増大と適正水深域創造	●			
新設人工構造物、自然環境への 稚サンゴ類の導入	稚サンゴの移植を新設構造物や自然 環境へ実施		●	●	
基質の投入	海底が礫や砂地でサンゴが生育できな い場所に、安定した基質(石材やブロッ ク)を投入	●	●		
モニタリングの実施	移植稚サンゴと生息環境の推移観察		●	●	

※：実施項目は、事業特性、現地の海域特性を踏まえ、適宜選定する必要がある。