

米国での自然再生事業の順応的管理の 実践と評価

IMPLEMENTATION AND EVALUATION OF ADAPTIVE MANAGEMENT IN ENVIRONMENTAL RESTORATION PROJECTS IN US.

善見政和¹・細川恭史²・大島 巖³・松田 修⁴・佐藤 隆⁵・鈴木秀男⁶
Masakazu YOSHIMI, Yasushi HOSOKAWA, Iwao OSHIMA, Osamu MATSUDA, Takashi
SATOU and Hideo SUZUKI

¹正会員 工修 (財) 港湾空間高度化環境研究センター (〒108-0022 東京都港区海岸3-26-1パーク芝浦6階)

²正会員 工博 (独) 港湾空港技術研究所 (〒239-0826 神奈川県横須賀市長瀬3-1-1)

³水修 (財) 港湾空間高度化環境研究センター (〒108-0022 東京都港区海岸3-26-1パーク芝浦6階)

⁴(財) 港湾空間高度化環境研究センター (〒108-0022 東京都港区海岸3-26-1パーク芝浦6階)

⁵国土環境 (株) (〒154-8585 東京都世田谷区駒沢3-15-1)

⁶東亜建設工業 (株) 技術研究開発センター (〒230-0035 神奈川県横浜市鶴見区安善町1-3)

How is the adaptive management applied to the implementation of an environmental restoration project and how can the succession/evolution of the project be evaluated? To get the clues of the answer to these questions, the US experiences have been studied. In Poplar Island in Chesapeake Bay and Sonoma Baylands in San Francisco Bay, the large scale environmental restoration projects are carried out by beneficial use of dredged material from harbor development works. An iterative process, where the initial management tools and plans are periodically reviewed through the monitoring, is applied as the management in these projects. The review process is facilitated by concrete success criteria.

Key Words : Environmental restoration, adaptive management, Sonoma Baylands, Poplar Island

1. はじめに

平成15年に策定された社会資本整備重点計画では、昭和50年代以降に喪失した干潟約4,000haのうち約1,500haを回復することを目標としている。これまで、国土交通省港湾局では、港湾環境の保全・再生・創出を図るために、航路浚渫等の港湾工事から発生した浚渫土砂等を活用して、干潟・藻場等の自然環境の保全・再生・創出に積極的に取り組んできた。しかし、海における自然再生においては、自然環境や生態系の変動により当初の計画では想定していなかった事態が生じる可能性がある。また、自然再生の目標の設定や事業の評価は、人々の価値観によっても異なるため、事業を進めるにあたっては、多様な主体の参加による合意形成に基づいた柔軟な対応が必要となってきた。

このような情勢のもと、港湾局では、今後の海の自然再生を推進するにあたっては、順応的管理手法を導入した取り組みが不可欠と考え、海の自然再生における順応

的管理の考え方や手順を整理したハンドブック（仮称：順応的管理のための実践手法ハンドブック、以下に順応的管理ハンドブックと略称する）の作成に取り組んでいる。

順応的管理手法を導入した自然再生の取り組みは、欧米諸国で先進的に進められており、特に米国においては順応的管理手法を前提として事業を実施するシステムが定着している。本稿は、順応的管理ハンドブックの作成にあたり、細川団長・善見副団長以下、専門家11名からなる調査団を組織し、2005年11月に米国調査を実施した。ここでは、その際に収集した順応的管理に係る事業実施手法、評価手法を中心に紹介する。

2. 順応的管理のあり方

順応的管理は、わが国では比較的新しい概念であるが、ラムサール会議やPIANC（国際航路協会）での湿地保全に関するガイドライン^{1),2),3)}では、順応的管理の必要性

が示され、順応的管理に基づく湿地の保全の考え方や手法が解説されている。また、米国の沿岸生態系の再生手法においても順応的管理が基本的な要素として位置付けられている⁴⁾。ラムサール会議のガイドラインでは、順応的管理の重要事項として、下記の事項をあげている。

- ・ 明確な目的(Goal)を設定すること
- ・ 設定した目的に対して行動計画(Objective)を設定すること
- ・ 行動計画に対して目標達成基準 (Success Criteria)を設定し、モニタリングにより評価しながら行動計画を達成するよう管理を行うこと。

ラムサール会議での順応的管理の手順について、古川(2005)⁵⁾は、図-1に示すような3つのレベルの階層構造に整理し、3層構造の順応的管理を適用することで「目的」、「行動計画」、「その評価」の区分が明確になり、順応的管理が無制限に目的を変更する手段となることが抑制されると同時に、目的達成のための行動計画、管理手法への最新の科学技術、社会状況の反映が可能になるとしている。現在、順応的管理ハンドブックでも、この考え方に基づいて、原稿の作成を進めているところである。

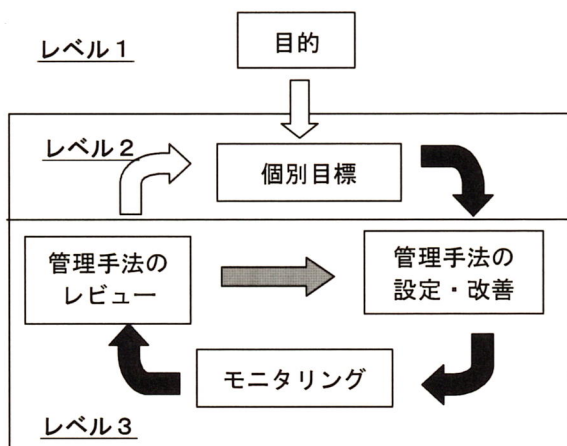


図-1 3層構造に整理したラムサール会議での順応的管理の手順

3. 米国での自然再生事業における順応的管理の事例

米国では、自然再生事業の主な事業主体である陸軍工兵隊 (U. S. Army Corps of Engineers)が、1995年に順応的管理の考え方に基づいて自然再生事業を実施する方針⁶⁾を示して以来、多くの事業が順応的管理手法を導入して実施されている。

米国における順応的管理手法を導入した自然再生事業の事例として、日本ではサンフランシスコ湾北部(サンパブロ湾)の「ソノマ・ベイランズ湿地実証事業 (Sonoma Baylands Wetland Demonstration Project)」が順応的管理手法を先進的に導入した事業の代表例として紹介されている⁷⁾ (図-2)。

また、米国東部のチェサピーク湾において、侵食で面

積が大きく減少した島をボルチモア港等から発生する浚渫土砂を用いて元の地形に復元し、合わせて自然再生を目的とした「ポプラー島環境再生事業 (Poplar Island Environmental Restoration)」が現在行われている。本事業は460haの広大な面積の自然再生を目的としたものであり、その実施にあたっては、詳細な計画策定のもとに、順応的管理の実施体制が構築され実行されている。

そこで、工事完了後10年経過した現状や目標達成基準に基づく具体的な管理の状況についての情報が得られると考えられたソノマ・ベイランズ湿地実証事業と、現在実施中の大規模事業で、順応的管理の実施システムに関して最新の情報が得られると考えられたポプラー島環境再生事業を主対象として米国調査を実施した。入手した情報は、今後のわが国における自然再生事業の取り組みを考える上で有益なものになると考えられる。

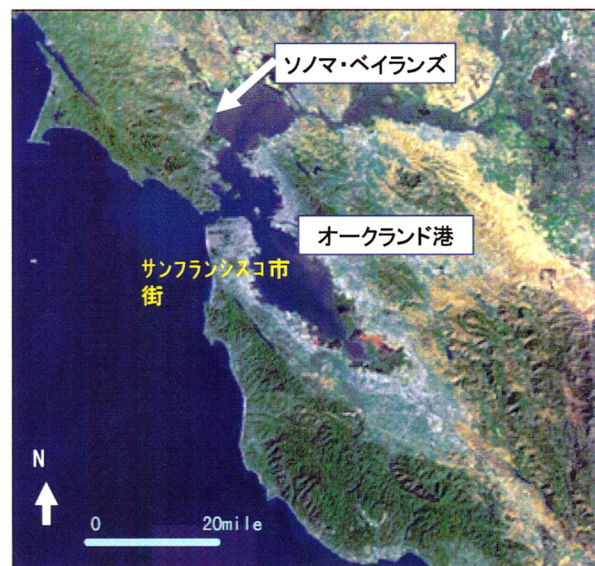


図-2 ソノマ・ベイランズの位置

(1) ソノマ・ベイランズ湿地実証事業 (Sonoma Baylands Wetland Demonstration Project)^{8), 9)}

a) 事業の背景と目的

サンフランシスコ湾北部(サンパブロ湾)沿岸では、約100年前に湿地を干拓して農地に転用する事業が行われたが、その後の地盤沈下(約1.8m)によって農地として機能しなくなり、そこを湿地に再生させようという運動がNP0に広がっていた。また、港湾整備を担当している陸軍工兵隊は、浚渫土砂の湾内投棄が禁止されたことを受けて、浚渫土砂の長期管理戦略 (LTMS: Long Term Management Strategy) を立て、浚渫土砂の有効利用を目標とした土砂管理とこれを生物生息地の再生に当てる計画を策定した。このような状況下で、オークランド港を-15mへ増深することによって発生する大量の浚渫土砂1400万³mを湿地再生に活用することが検討され、そのうちの一部を活用して先駆的に本事業が行われることとなった。

本事業は「20年以内に塩性湿地生態系の再生」と「希少生物2種の生息地の復元」を目的としており、ここで

希少生物は、サンフランシスコ湾の湿地を代表するオニクイナ (California clapper rail) とカヤネズミ (Salt marsh harvest mouse) である。事業の計画立案をカリフォルニア州沿岸管理委員会 (California Coastal Conservancy) が行い、事業実施は、陸軍工兵隊とカリフォルニア州が行っている。事業の費用負担は、前者が65%、後者が35%である。

b) 事業の概要

事業は139haの土地を対象とし、パイロットユニット (11.6ha) とメインユニット (104ha) に区分して湿地の再生が行われた (図-3)。パイロットユニットには周辺のペタルマ川での浚渫土砂が用いられ、メインユニットにはオークランド港の浚渫土砂158万m³が活用された。主な工事の内容は、周辺堤防の改良、湿地内での半島状の堤防 (wave breaker peninsula) の造成、浚渫土砂の投入、潮汐を導入するための干拓堤防の一部撤去である。ここで、湿地内堤防は波の発達を抑制し、静穏化を図り、地形の安定化を意図したものである。浚渫土砂の投入工事は、パイロットユニットでは1994年11月、メインユニットでは1996年早々に完了した。それぞれ1996年1月、1996年10月に潮汐を導入し、現在に至る。

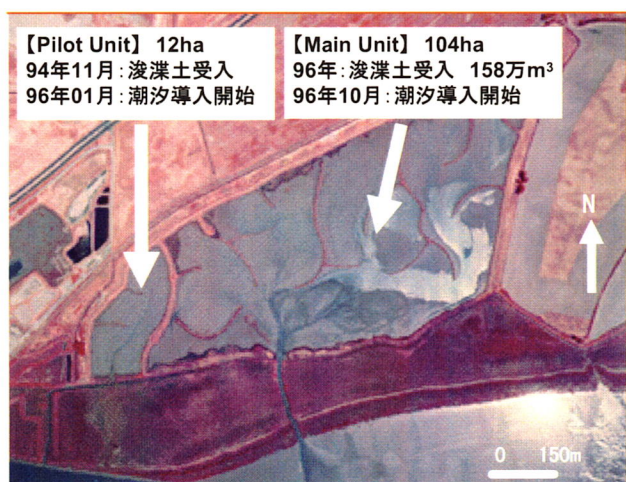


図-3 ソノマ・ベイランズの事業の概要

本事業では、目的を達成するために12項目の目標達成基準 (Success Criteria) を設定してモニタリングを行い (表-1, 表-2), モニタリング結果が目標達成基準を満たしていない場合は管理手法の修正を行うという「順応的管理」を導入して進めており、当時としても先進的な取り組みであった。

ここで、目標達成基準は物理的な基準と生物学的な基準からなり、物理的な基準は、自然の作用によって湿地を再生する上で物理的な改善措置が必要かどうかを評価するために策定され、生物学的な基準は、事業の目的が達成されたかどうかを評価するために策定された。

c) 事業の目標の達成状況

本事業は、情報収集を行った2005年11月時点で工事完了後9年経過しており、地形はほぼ安定した状態にあるが、湿地内の植生の植被率は5%以下とまだ低い (図-

4)。モニタリングは、年間15万ドルかけて当初策定された計画にほぼ沿って実行されており、目標達成基準の達成状況及び順応的管理の措置については下記のとおりである。

- ・物理的基準の「再生湿地内の堤防よりの水路での平均潮差」は、5年以内にサンパブロ湾の平均潮差の90%に達しなかったが、パイロットユニットは7～8年後に大きく改善され、メインユニットは2005年で達成の見込みである。
- ・それ以外の目標達成基準については、2005年時点で評価時期を迎えた基準はいずれも達成している。
- ・2006年が評価時期にあたる物理的基準の「湿地内の半島状の堤防の標高」については、目標達成基準を達成する見込みがないため、人為的に高さを調節する可能性がある。
- ・目標達成基準の想定外のことはあるが、水路と湿地のつながりの部分で段差ができています。現時点では自然再生には問題はないと考えられているが、それを取り除く措置を講ずる可能性がある。
- ・その他、植物 (外来種の侵入) と捕食者 (オニクイナを捕食するアカギツネの侵入) の問題が発生すれば、必要に応じて何らかの措置を行う可能性がある。

表-1 物理的な目標達成基準 (Success Criteria) と達成状況

項目	項目の基準	達成状況	備考
①浚渫材を盛土した場所の標高	潮汐作用復元後、1か月後に2.9フィート(0.9m)NGVD (米国水準原点)を越えない	○達成	
②浚渫材表層の化学物質	土砂投入し、海水導入前の濃度が基準値を超えない	○達成	
③再生湿地と湾の間の主要水路の地形	堤防開削後、1年以内に安定した地形に落ち着く	○達成	
④湿地内の堤防寄りの水路での平均潮差	5年以内に、サンパブロ湾の平均潮差の90%に達する	×未達成	Pilot Unit: 7～8年後に大きく改善された。 Main Unit: 今年、達成見込
⑤湿地内の半島状堤防の標高	潮汐作用復元後、10年以内に4フィート(1.2m)NGVDとなる	今後評価	未達成の見込み掘削工事を予定
⑥湿地内に形成される水路の密度	潮汐作用復元後、20年以内に自然湿地と同等以上である	今後評価	

表-2 生物学的な目標達成基準 (Success Criteria) と達成状況

項目	項目の基準	達成状況	備考
①塩性湿地植生の定着開始	潮汐作用復元後、5年以内に定着を開始	○達成	
②湿地植生による植被率	潮汐作用復元後、20年以内に、潮汐を受けるエリアの65%	今後評価	現在、5%と低い
③鳥類の個体数	20年以内に再生湿地を利用するシギ・チドリ類、カモ類、その他の水鳥類の合計が参照地と比較して著しく低い	今後評価	
④魚類の生息密度	20年以内に、河口域を生息場とする魚類が参照地と比較して著しく低くなく、湿地内の水路を利用する	今後評価	
⑤オニクイナの生息	20年以内に、3組のつがいが生息域内で生活する	今後評価	
⑥カヤネズミの生息適地	20年以内に生息適地を11ha以上提供する	今後評価	

d) その他

本事業の目標の1つに掲げた「20年以内に塩性湿地生態系の再生」の20年間という期間については明確な科学的根拠があるということではなく、サンフランシスコ湾の希少種を含む生態系を20年位の間には回復できないといけないのではないかという考えから設定された。

また、いつまでモニタリングを継続するのかについては、通常は水資源開発法“Water Resources Development Act”で事業費の5%の支出・5年間の継続が制度化されている。本事業は特殊な事例であり、全ての目標達成基準を満たすか、全ての当事者がこれだいいと言うまで実施するとのこと。ちなみに、モニタリングについては、事業費の10%、15年間継続という上記の法案を提出中とのことである。



図-4 半島状堤防と植生分布 (2005年11月)

(2) ポプラ島環境再生事業 (Poplar Island Environmental Restoration) ¹⁰⁾

a) 事業の背景と目的

ポプラ島は、図-5に示すようにボルチモアから63km南のチェサピーク湾中央の東岸沿いに位置する。1846年には400ha以上の面積を有して、1900年当初には100人の住民が住み、学校、教会、郵便局等があった。しかし、島は激しい波浪により侵食を受け、1931年には54haに減少し、1990年代には4haにまで減少した。島の復元が強く望まれていた。



図-5 チェサピーク湾でのポプラ島の位置 (左図) と地形の変遷 (右図)

一方、メリーランド州は、2001年からチェサピーク湾内とその支流の公共水域に浚渫土を捨てることを禁止する法律を制定した。このため、陸軍工兵隊とメリーランド州ボルチモア港湾局は、ボルチモア港および航路の整備から発生する浚渫土砂320万 m^3 /年の処分および処分先の検討に迫られていた。そこで、ボルチモア港等から発生する浚渫土砂を有効活用してポプラ島の環境再生事業が行われることとなった。

本事業は「ポプラ島を記録の残る最古の地形である1847年の大きさに戻し、島に重要な湿地等の生態学的機能を回復」させることを目的としている。事業の費用負担は、陸軍工兵隊が75%、メリーランド州が25%である。

b) 事業の概要

本事業は1996年9月に計画が承認され、1998年2月から第1期造成が開始、2001年4月から土砂の投入が進められている。事業期間は1998年～2020年までであり、浚渫土砂30百万 m^3 を用いて、図-5に示すように最も古い記録にある地形を基本にして波浪の影響を受けやすい西側に230haの陸地を、東側に230haの湿地を作ることとした。この事業では、以下に示す6種類の生息場を造成することとしている。この中で、②、③の湿地についてはポプラ島近傍に現存する湿地を参考に、高湿地 (high marsh) を20%、低湿地 (low marsh) を80%の面積割合とした。

- ①陸域、②高湿地、③低湿地、④営巣地(小島)
- ⑤岩礁・岩場、⑥浅い海域

c) 順応的管理のシステム化

本事業で作成された順応的管理計画 (Final Draft:2004) ¹⁰⁾ の中では、順応的管理計画が具備すべき要件として以下の7つが挙げられている。特に、②では評価する際の基準値を生態系の変動の大きさに配慮して、1つの値でなく範囲 (許容範囲) で設定している。また⑤、⑥、⑦では管理する上での修正行動を考え、実行し、管理の見直しへ組み入れるところまでシステム化している。

- ①事業の最終目的(Goals)と行動計画 (Objectives)
- ②進捗を評価するための計測可能な対象項目とその対象項目の許容範囲
- ③対象項目の計測手法
- ④進捗状況を計測して評価するスケジュール
- ⑤進捗が許容範囲外の時に適切な修正行動を考えるシステム
- ⑥この修正行動を実行できるシステム
- ⑦これらの評価から学んだ教訓を、最終的な目的、対象項目を再検討することを含む管理計画の見直しへ組み入れるシステム

本事業は、陸軍工兵隊とメリーランド州港湾局から構成される共同事業体により事業が進められているが、上記の要素をシステム化するために図-6に示す体制を整備している。核となるのは事業全体の運営管理を行う回復事業実施チームであり、その下に陸軍工兵隊、メリー

ランド州港湾局，メリーランド州環境局，施工業者の代表で構成される順応的管理チームがある．また，事業遂行を支援するアドバイザーとして，約100名からなるワーキンググループが組織され，科学者などの専門家，市民団体，連邦政府，州，地方自治体の代表，他の利害関係者から構成される．このグループとはメールを通じて頻繁に情報交換し，助言を得ている．この中の順応的管理チームが関連チームの報告やワーキンググループの意見をもとに順応的管理計画を1～2年毎に作成し，回復事業実施チームの承認を受けて修復事業を遂行している．

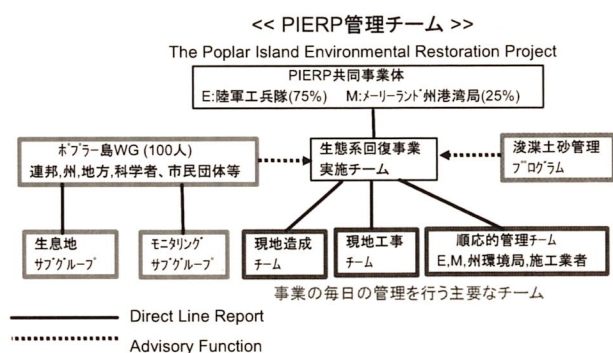


図-6 ポプラー島環境再生事業の管理体制

d) 成功判定基準の基準値の設定

本事業の最終目標は「ポプラー島を記録の残る最古の地形である1847年の大きさに戻し，島に重要な湿地等の生態学的機能を回復」である．ここでは，その最終目標を達成するために，表-3に示すように「副次目標」が設定され，さらにその下には複数の行動計画，対象項目とその目標値・許容範囲，モニタリング計画が設定されており，順応的管理計画はこれら多数の組み合わせからなっている．本計画では，7個の副次目標が設定されているが，表-4には塩性湿地の低湿地生息地の創出の行動計画に対する生息地のサイズ，植生の目標達成基準（判定基準）の設定例を示す．

e) 事業の進め方

本事業では，事業計画時に全体の計画や工程などの事業方針が設定されている．具体的な事業を実施する際には，初めに小規模実験での計画・実施・モニタリングを行い，この初期の結果を評価・見直しして次の実施段階に進む．次いで，小規模スケールでの事業の一部分について同じように実施・モニタリング・評価・見直しを行う．この行為を繰り返しながら，事業を円滑に遂行させ，最終目標である事業の完成を図る．たとえば，高湿地と低湿地の造成に当たっては，図-7に示すように，まず，1つのセル（セル3Dと呼ばれる小区画）で地形の造成と植生の定着のための実験規模の事業から着手している．埋立地は6個のセルに分けられ，さらに一つのセルは3～4個のサブセルに分けて事業が進められている．

2005年現在では，湿地域での実験規模（セル3D）

の事業が終了し，第二段階と見られる小規模のスケールでの事業が実施されている．セル3Dの塩性植物の植栽には，NPOなど市民の協力を得て実施したが，投入した土砂に多くの栄養分が含まれていることから，想定したよりも生長が早かった．

表-3 順応的管理計画に記述する階層毎の要素

最終目的(Goal)	最終的な到達目的
副次目的(Subgoal)	最終目的(Goal)を達成するための副次的な目的
目標(Objective)	実行するための具体的な行動計画
対象項目(Attribute)	目標(Objective)の達成度を評価するための対象項目(Ex.サイズ、濃度など)
判定基準(Criterion)基準値(Target)許容される基準値の範囲	各対象項目の達成度を評価する基準 ・最適な成果(Outcome) ・生態系修復事業の環境の多様性と不確実性を認め、許容できる成果の範囲
モニタリング計画方法スケジュール	目標(Objective)達成の経過を計測する計画 ・対象項目(Attribute)を計測するための具体的手法 ・計測頻度

表-4 本事業における目標達成基準の設定(例)

副次目標	行動計画・事業実施方針	対象項目	判定基準	
			目標値	許容範囲
塩性湿地生息地の創出	低湿地生息地の創出	サイズ (堤防の中央線で測定)	182ha	172-192ha (±5%)
		植生(種組成) ・ <i>Spartina alterniflora</i> ・ 他の参考種 ・ 有害生物	≥80% ≤20% 0%	20-100% 0-80% 0-10%
		植生(湿地植生による植被率) (*)泥質干潟,水路,島,池を除く	≥90%	≥85%

注) *Spartina alterniflora*: イネ科の植物

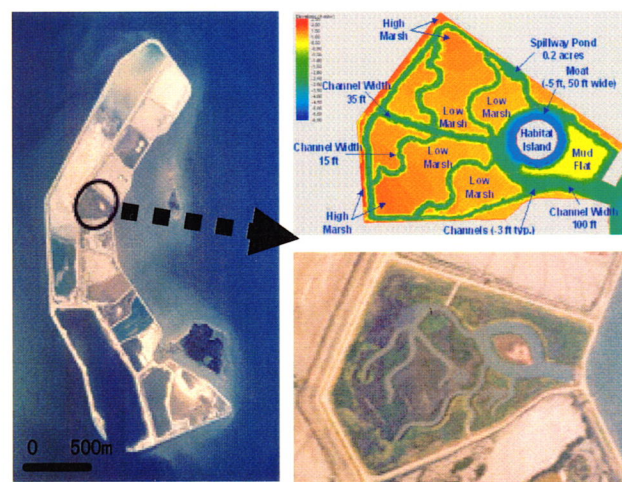


図-7 ポプラー島の航空写真(左図)とセル3Dの植生分布(右図上が計画, 右図下が施工後の写真)

4. おわりに

米国での大規模な自然再生事業においては，州と連邦政府が事業費を分担し，目的の達成のための具体的な目標達成基準の設定がなされ，事後のモニタリングについても制度化が進んでいる．またこうした取り組みを推進

するために順応的管理の専門チームが構成され、科学的知見に基づいて多様な主体との合意形成を図るためのシステムづくりが進められているケースもあった。

これらの取り組みはわが国の自然再生事業において、大いに参考になるものであるが、今後わが国において順応的管理手法を定着させるためには、順応的管理手法を導入した事業の実績を重ね、経験と情報を蓄積していくことが重要と考えられる。それと併せて事業実施後の長期間のモニタリングが重要であることから、その制度面の検討を早急に進める必要がある。

本研究の実施にあたっては、独立行政法人港湾空港技術研究所海洋・水工部沿岸領域の中村由行領域長、及び国土技術政策総合研究所沿岸海洋研究部海洋環境研究室の古川恵太室長より多大な情報と貴重なアドバイスをいただいた。また、米国陸軍工兵隊のMr. Scott D. Johnson, Mr. Philip T. Feir, チェサピーク湾プログラム・オフィスのMs. Carin Bisland, メリーランド州立大学のDr. Michael R. Roman, サンフランシスコ保全開発委員会のMr. Jonathan T. Smith氏を始め、米国の担当者の方々のご協力を頂いた。さらに米国調査には、著者以外にも日本海洋コンサルタント(株)の今村均氏、五洋建設(株)の中瀬浩太氏、(株)東京久栄の二宮早由子氏、(株)エコーの田村圭一氏にも参加いただき、多くの情報の収集整理にご協力をいただいた。ここに記して感謝の意を表します。

参考文献

- 1) Ramsar Convention on Wetland : Principles and guidelines for wetland restoration, 2002.
- 2) Ramsar Convention on Wetlands : New Guidelines for management planning for Ramsar sites and other wetlands (resolution VIII.14), 2002.
- 3) International Navigation Association : Ecological and Engineering Guidelines for Wetlands Restoration in Relation to the Development, Operation and Maintenance of Navigation Infrastructures, PIANC, 2003.
- 4) NOAA Coastal Services Center : Coastal Ecosystem Restoration. URL: <http://www.csn.noaa.gov/coasta>. (Site updated October 2005), 2005.
- 5) 古川恵太 : 港湾環境施策における順応的管理の適用性について, 港湾, Vol.82, pp.12-15, 2005.
- 6) U.S. Army Corps of Engineers: Ecosystem Restoration in the Civil Works Program. U. S. Army Corps of Engineers, Headquarters, Washington, D.C. Circular No.1105-2-210, 1995.
- 7) 国土交通省港湾局監修・海の自然再生ワーキンググループ著 : 海の自然再生ハンドブックスその計画・技術・実践一, 第1巻 総論編, ぎょうせい, 2003.
- 8) Laurel Marcus : Restoring tidal wetlands at Sonoma Baylands, San Francisco Bay, California. Ecological Engineering, 15, pp.373-383, 2000.
- 9) San Francisco District U.S. Army Corps of Engineers・California Coastal Conservancy : Sonoma Baylands Wetland Demonstration Project Monitoring Plan, 1996.
- 10) U.S. Army Corps of Engineers Baltimore District・Maryland Port Administration Harbor Development: Final General Reevaluation Report(GRR) and Supplemental Environmental Impact Statement (SEIS) for Poplar Island Environmental Restoration Project, Chesapeake Bay, Talbot County, Maryland, 2005.