

児島港海岸エコ・コースト事業における アマモ場再生の順応的管理

EELGRASS BED RESTORATION WITH ADAPTIVE MANAGEMENT FOR KOJIMA PORT ECO-COAST PROJECT

田多一史¹・宮本浩司²・奥田節夫³・常森通浩⁴・首藤啓⁵

Kazufumi TADA, Koji MIYAMOTO, Setsuo OKUDA,
Michihiro TSUNEMORI, Akira SUTO

¹正会員 工修 中電技術コンサルタント(株) 臨海・都市部 (〒734-8510 広島市南区出汐2-3-30)

²中電技術コンサルタント(株) 臨海・都市部 (〒734-8510 広島市南区出汐2-3-30)

³理博 京都大学名誉教授 (〒700-0983 岡山市北区東島田町2-7-20-501)

⁴岡山県 備中県民局 水島港湾事務所 (〒712-8056 岡山県倉敷市水島福崎町1-12)

⁵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)

The transplantation of eelgrass at the same place of beach nourishment were performed from 1999 in order to restore vanished eelgrass bed and keep a balance among disaster prevention, environment conservation and use of Kojima Port (Karakoto-area, Kurasiki City, Okayama). In this paper, the restoration technology of eelgrass bed at each stage of the beach nourishment was investigated through the project. The effective restoration methods for eelgrass transplantation were established by taking the oceanographic condition of the construction site and growth speed of eelgrass into consideration. The beach nourishment and restoration of eelgrass bed were successfully conducted by the objective setting based on adaptive management in the present situation.

Key Words : Eelgrass bed, zostera marina, restoration technology, adaptive management

1. はじめに

岡山県倉敷市の児島港海岸(唐琴地区)では、防災・環境・利用の調和した海岸整備事業を行うため、平成10年度にエコ・コースト計画策定検討委員会を実施した¹⁾。そこで、養浜による面的防護工法を採用し、養浜工事で消滅する天然アマモ場を新たに造成される養浜部に再生(移植)する計画を策定した。

当該地区におけるアマモ場再生では、アマモの仮移植に伴う歩留まりのリスクを低減するため、平成11年度より同一工区内で養浜工事とアマモ場移植を実施している。その間、養浜工事の各段階でアマモ場再生手法について検討を行い、事業を進めてきた結果、当該地区における効率的なアマモ場再生手法を確立した。併せて、順応的管理に基づいた目標設定とその達成状況の評価を行った。

本研究の目的は、児島港海岸におけるアマモ場の再生状況を踏まえ、アマモ場の再生手法と順応的管理に関する技術的知見をとりまとめたものである。

2. エコ・コースト事業の概要

(1) 事業の概要

児島港唐琴地区(図-1 参照)は、瀬戸内海国立公園内に位置し、岡山県の自然海浜保全地区にも指定されている。また、当海浜には天然のアマモが生育し、藻場が形成されている。藻場は、生物の生息場所、魚介類の産卵場・保育場、漁場²⁾等として利用されている水産上重要な空間である。

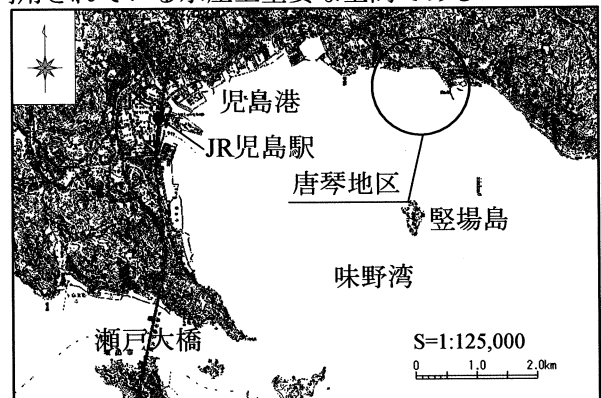


図-1 位置図

しかし、当海岸においては既設護岸の老朽化が著しい上、大型台風時には背後の民家への越波被害が生じているため、防災上の問題により早急な対策が必要であった。

以上のような状況を踏まえ、当海岸では、アマモ場をはじめとする豊かな自然の保全を図り、海岸保全施設の整備を行う必要があったため、平成10年度の「エコ・コースト」の指定を受け、藻場を中心とした自然環境と共生した海岸整備を実施した。

(2) 唐琴地区における整備方針

唐琴地区における整備の基本的な考え方は、大別して図-2に示す3点が挙げられる。

a) 市民生活の安全確保

本地区の背後地は、海岸線からの高潮による浸水の危険区域にあたり、地域住民の生命や財産が危険にさらされる場所であるため、防災機能の強化が必要である。

b) 海岸線へのアクセスと利用

本地区の海岸線は、近年の砂浜の後退等により利用者が激減しているため、誰もが近づけるような生活空間と海岸線のパブリックアクセスの確保や快適で親しめる海岸空間の確保が必要である。

c) 重要な藻場の保全と共生

海岸域に生育する「アマモ場」は、水産資源、水質浄化等の機能を確保する上で重要な役割を果たしているため、本地域における「アマモ場」が継続して生育できる生態系の保全と海岸線の環境の回復を図ることが必要である。

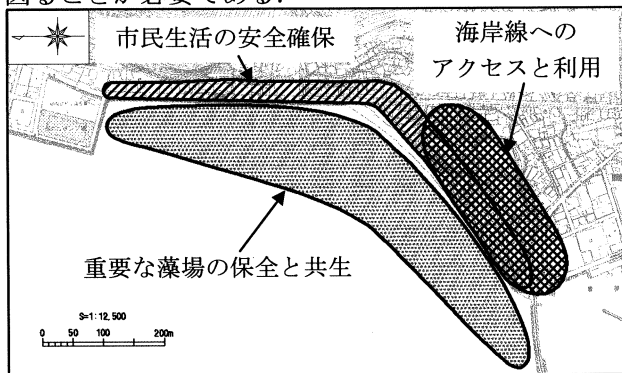


図-2 唐琴地区における整備方針イメージ図

(3) 整備に係る基本的な考え方

海岸の整備は、高潮、浸食等の災害から国土を守る要衝であるとともに、陸域と水域の調和した利用を図りうる貴重な国土空間であることを考え、防災面、利用面及び環境面で優れた特性を有する防護方式により、海岸の整備を積極的に進めていく必要がある。

唐琴地区は、岡山県の自然海滨保全地区に指定され、海滨の維持保全や地域のレクリエーションの場としての機能が求められている。これらの機能を考慮した場合、防護方式としては「線的防護方式」よりも、図-3に示す「面的防護方式」の方が、砂浜の機能を十分活用出来ると考えられる。

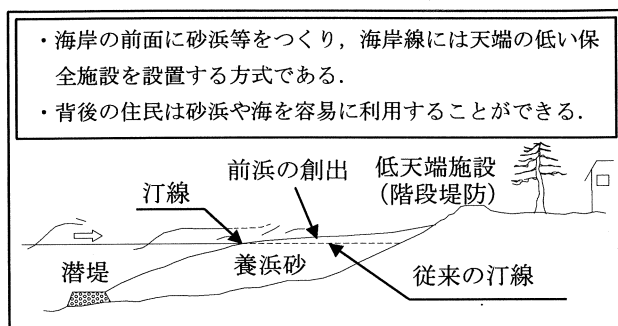


図-3 面的防護方式

しかし、「面的防護方式」による海滨の沖出しは、本海岸線に分布する天然アマモ場を消滅させることになる。したがって、重要な藻場の保全と共生を図るために、アマモ場再生を実施することとした。

3. アマモ場再生手法の確立

(1) アマモ場再生場所の配置計画

アマモ場の再生場所となる養浜の安定性は、表-1に示すとおり、砂浜の勾配、汀線の移動、砕波による影響から検討を行った。

アマモ場再生場所の地盤高は、既存の天然アマモ場の分布域(C.D.L.±0.0m~-2.0m)を参考にした。さらに、アマモの生育条件(水温、塩分、光量、底質等)、海域の物理環境条件(潮流、波浪等)を考慮し、アマモ場再生場所の配置計画(断面図)は、図-4に示すとおりとなった。

また、アマモの生育基質として使用される養浜砂は、粒径0.5mm程度の砂分を20~60%含んでおり、アマモの生育条件は満足すると考えられた。

表-1 養浜の安定性の検討

検討項目	計画値	検討結果	アマモ場への影響
砂浜の勾配	1:10 (前浜勾配) 1:30 (外浜勾配)	概ね安定	既存海滨の勾配とほぼ一致しており、安定形状であれば影響は無い。
汀線の移動	—	潮間帯付近において堆積・侵食が予想されるが、年間50cm程度と狭い範囲にとどまる。	既存アマモ場の分布域はC.D.L.±0.0m~-2.0mと比較的汀線より深い位置に分布するため、大きな影響は無い。
砕波による影響	—	・常時 C.D.L.±0.0m まで砕波による影響を受ける。 ・異常時 C.D.L.-1.2m まで砕波による影響を受ける。	常時(年数回程度)においては、C.D.L.±0.0m以上の養浜で砕波するためアマモ場の分布域には大きな影響は無い。 異常時には、C.D.L.-1.2m以上の養浜で砕波するためアマモ場の分布域の概ね半数に影響が想定される。

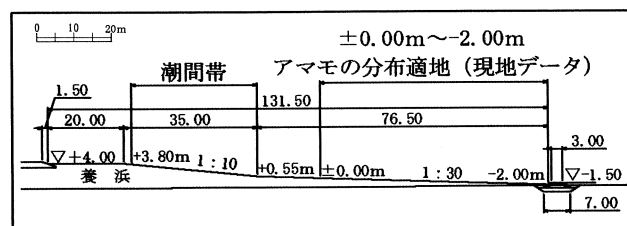
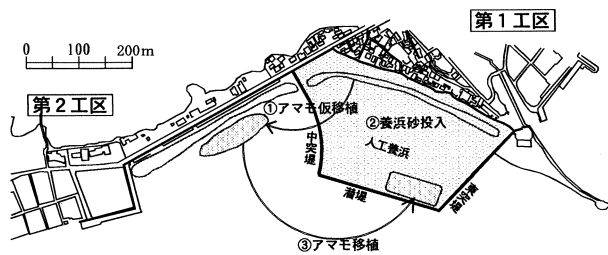
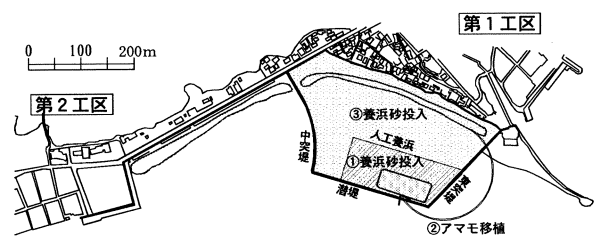


図-4 アマモ場再生場所の配置計画(断面図)



(a) 仮移植のケース（当初計画）



(b) 同一工区内でのアマモ場再生のケース（採用）

図-5 同一工区内でのアマモ場再生イメージ図

(2) 同一工区内で養浜工事とアマモ場再生の実施

当初、天然アマモ場を他工区へ仮移植し、養浜工事を実施した後に、再度、移植等のアマモ場再生を実施する計画であった。しかし、アマモ場の仮移植による歩留まりのリスク（歩留まり：約7割/回×2回（移植回数）＝約5割）が懸念されるため、図-5に示すように同一工区内での養浜工事とアマモ場再生を実施した。このため、図-6に示すように、前面の養浜工事を終了した後に、アマモ場再生を実施し、背面の養浜工事を行った。

同一工区内での実施にあたっては、アマモの生長期（4月～7月）を極力避けた短期間の養浜工事を実施した。また、養浜工事直後の砂面安定前の造成養浜へのアマモ場再生を行う場合には、海底地形の凹凸（不陸）の均し（通常養浜：±50cm→アマモ場：±15cm）を行った。さらに、養浜工事によるリスク（濁りや砂面の不安定等）に対する継続的な監視・モニタリングを実施することにより、適正な管理を実施した。

以上のような管理の下、養浜工事で消滅する天然アマモ場を前面養浜部に随時再生を行い、養浜工事とアマモ場再生を同一工区内で実施した。

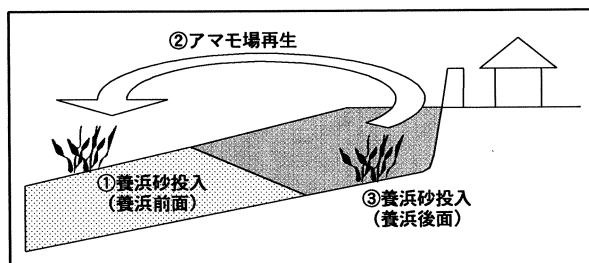


図-6 アマモ場再生イメージ図

表-2 アマモ場の移植面積・再生面積の内訳

再生年度	再生区画	アマモ場再生面積	
		移植部分	移植＋未移植部分
平成11年度	試験区〔株移植〕	16㎡（2m×2m×4区画）	
平成13年度	試験区〔播種〕※)	72㎡	144㎡（4m×6m×6区画） （1m四方の千鳥区画）
	試験区〔株移植〕※)	24㎡	48㎡（4m×4m×3区画） （1m四方の千鳥区画）
	株移植区※)	1,000㎡	1,800㎡（コノ字区画）
平成14年度	株移植区	400㎡	
平成15年度	株移植区※)	870㎡	1,740㎡（1m四方の千鳥区画）
平成18年度	播種区※)	504㎡	2,100㎡ （1m四方の千鳥区画＋帯状区画）
合計		2,886㎡	6,248㎡

※) アマモの分枝・拡大のスピードに注目した効率的な再生区画（未移植部分を設置）

(3) 効率的なアマモ場再生手法の検討・実施

アマモ場の移植による歩留まりの低下に伴い、通常、アマモ場の再生面積が消滅面積を大きく下回ることが想定される。アマモ場の消滅面積と同等の再生面積を確保するには、効率的な再生手法を確立することが必要となる。そこで、平成11～13年度に小規模試験（株移植、播種）、平成13～15、18年度に本移植、播種を実施し、各段階で得られた知見をもとに、効率的なアマモ場再生手法を確立した。

アマモ場の移植面積・再生面積の内訳は表-2、移植・再生箇所は図-7に示すとおりである。

a) 株移植の小規模試験（平成11、13年度）

初めに、平成11年度に株移植の小規模試験（C.D.L.-1.0m付近）を実施した。株移植手法は、竹串法と粘土法を用いた。試験の結果、移植後約2年で天然アマモ場と同等の株密度になることを確認した。また、潜堤（C.D.L. -2.0m）及び東突堤付近までの分枝・拡大が図られたことから、当該アマモは一定方向に分枝し、地下茎の伸長速度は約0.5m/年であると推定された。なお、手法（竹串法、粘土法）による著しい違いは見られなかった。

次に平成13年度に1.0m×1.0mの千鳥状（左右交互）に配置した区画で試験を実施した。試験の結果、移植後2年で移植区画と未移植区画のアマモ株密度が同程度となったことから、移植アマモが周辺の未移植区画に分枝・拡大したと考えられる。

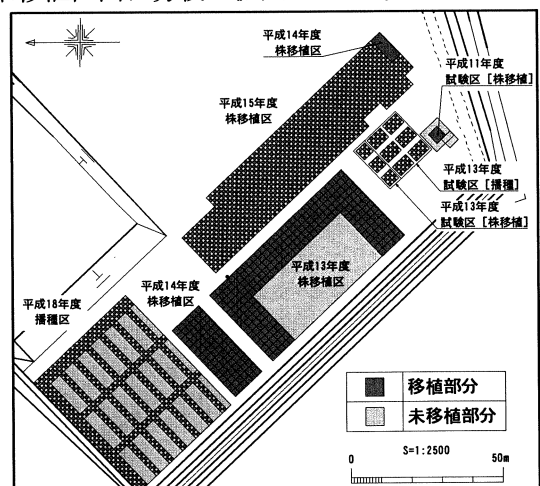


図-7 アマモ場の移植・再生箇所（第1工区）

b) 播種の小規模試験（平成 13 年度）

平成 13 年度に播種の小規模試験を実施した。播種手法は、粘土法、コロイダルシリカ法、マット法を用いた。試験の結果、播種後約 2 年で発芽率が高かった区画（コロイダルシリカ法、マット法）は、天然アマモ場と同程度になった。また、発芽率が比較的低い区画（粘土法）も約 3 年で同程度になった。

さらに、播種に用いるアマモ種子（平成 12・13 年度種子）の違いによるアマモ場の再生状況の検証を行った。室内で 1 年間保管した平成 12 年度種子は、当年度種子（平成 13 年度）に比べて、播種後 2 年経過時まで約半分程度であったが、3 年経過時には同程度の再生状況となった。

株移植試験と同様に播種試験においても、千鳥状の配置区画が有効であることを確認した。

c) 株移植の実施（平成 13～15 年度）

株移植の小規模試験を踏まえ、平成 13～15 年度に 3,940 m²規模の本移植を実施した。なお、本移植にあたっては、効率的な再生手法（千鳥状の配置等）を採用し、移植部分は 2,270 m²（再生面積の約 1/2）に低減できた。

各年度の移植内容は、以下に示すとおりである。

平成 13 年度には図-8 に示すとおり、コノ字型移植（コノ字型移植部分と潜堤で囲まれた未移植部分の設置）を行い、1,000 m²の移植部分に対し、1,800 m²のアマモ場再生を図った。コノ字型移植後約 6 年で、周辺の移植区画と同等のアマモ場が形成されたことが確認されている。

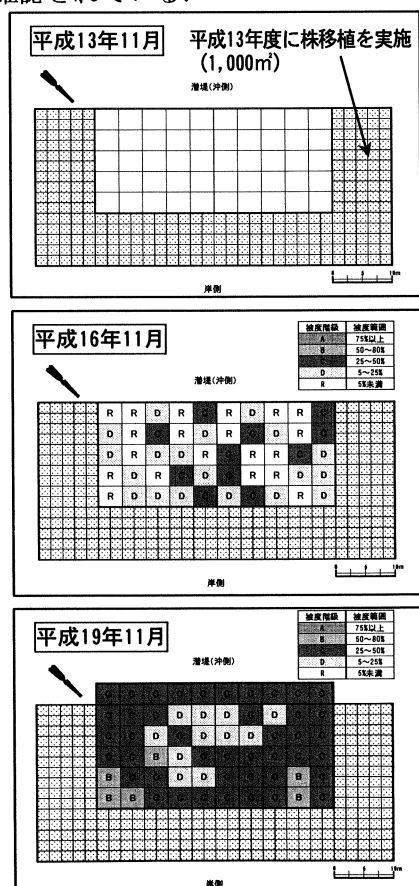


図-8 コノ字内側のアマモ再生状況の推移

また、平成 14 年度に 400 m²、平成 15 年度に 1,740 m²（移植部分は 870 m²）の移植を実施した。

d) 播種の実施（平成 18 年度）

第 2 工区における岩砕を用いた高潮対策の実施に伴い、第 2 工区に現存する天然アマモ場を第 1 工区に再生する必要性が生じた（図-9(b),(d)参照）。このため、高潮対策の工事開始時期（平成 18 年度秋季以降）を勘案し、夏季までに花枝を採取する「播種」手法を採用した。

播種の小規模試験を踏まえ、平成 18 年度に 2,100 m²規模の播種を実施した。千鳥状の配置、帯状の配置（潜堤と再生アマモ場で囲う手法）の採用により、播種部分は 504 m²（再生面積の約 1/4）に低減できた。また、当地区の流況の卓越方向が南～南東方向であることから、アマモの再生場所の北西側を重点的に播種を実施することにより、播種アマモが再生区全体として、さらに効率的・効果的に拡大を図ることが可能となった。以上の区画設定を踏まえ、本再生面積の再生年数を 4 年と設定した。

播種後約 2 年（平成 20 年度）で、再生面積のほぼ半分である約 1,000 m²が再生されており、播種アマモ場が順調に再生されている状況にある。

(4) アマモ場再生状況（平成 20 年度時点）

当該地区では、株移植・播種によるアマモ場再生手法を用いて、6,248 m²規模の効率的・効果的なアマモ場再生（そのうち移植部分は 2,886 m²）を行った。その後、移植アマモ場の分枝・拡大が図られ、平成 20 年度時点では約 12,000 m²規模の再生アマモ場が確認されている。また、本移植により、当初、検討・設定されたアマモ場再生水深 C.D.L.-2.0m～0.0mにおけるアマモ場再生の有効性が確認された。

4. アマモ場再生の順応的管理

(1) 委員会当初のアマモ場再生目標

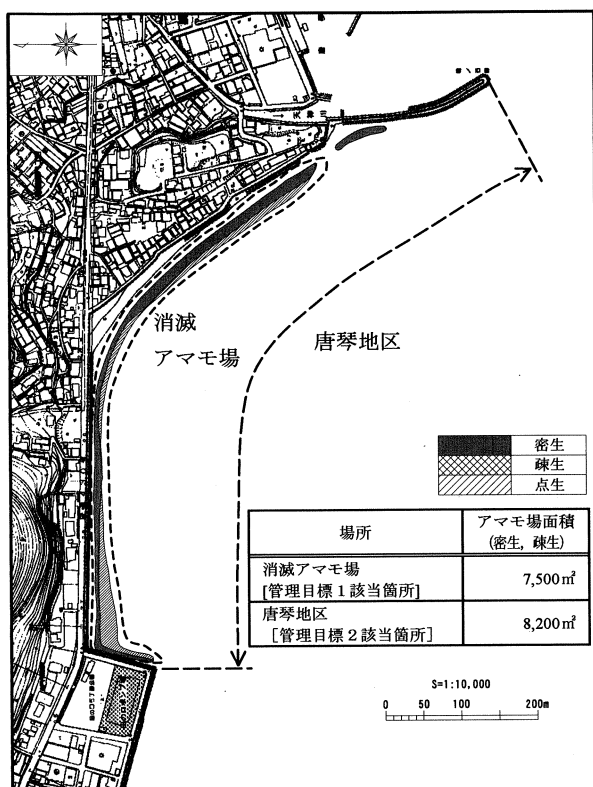
児島港海岸（唐琴地区）エコ・コースト計画策定検討委員会（平成 10 年度）におけるアマモ場再生目標は、「養浜工事で消滅する天然アマモ場を全て移植・再生すること」であった。

(2) 管理目標の設定

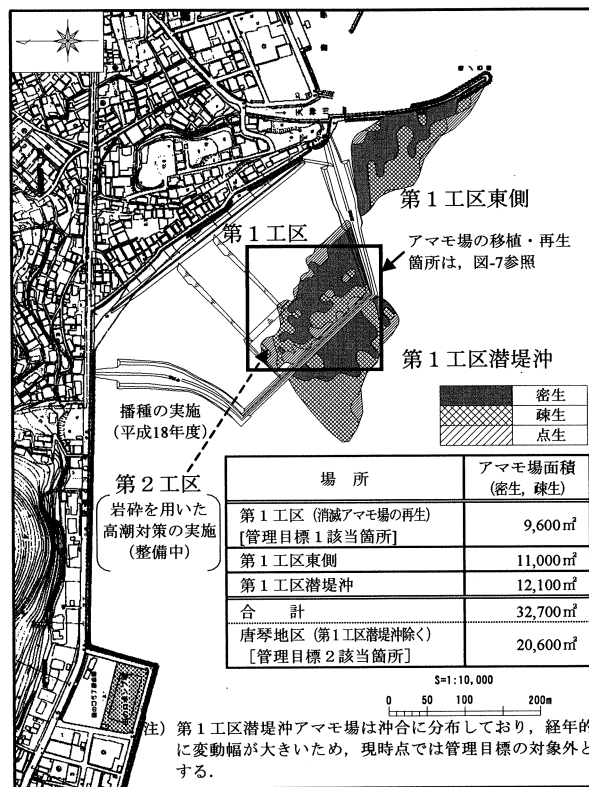
再生アマモ場の順応的管理（目標達成基準による管理）に従い、管理目標の設定を行った。

事業実施前（平成 10 年度）の天然アマモ場の状況を整理すると、繁茂期には密生の割合が多かったが、衰退期にはそのほとんどが点生に衰退していた（図-9(a),(c)参照）。また、アマモ場の群落幅は約 50m以内で、海岸線を沿う形で細く分布しており、沖合にはアオサやホトトギスガイ等が堆積していた。

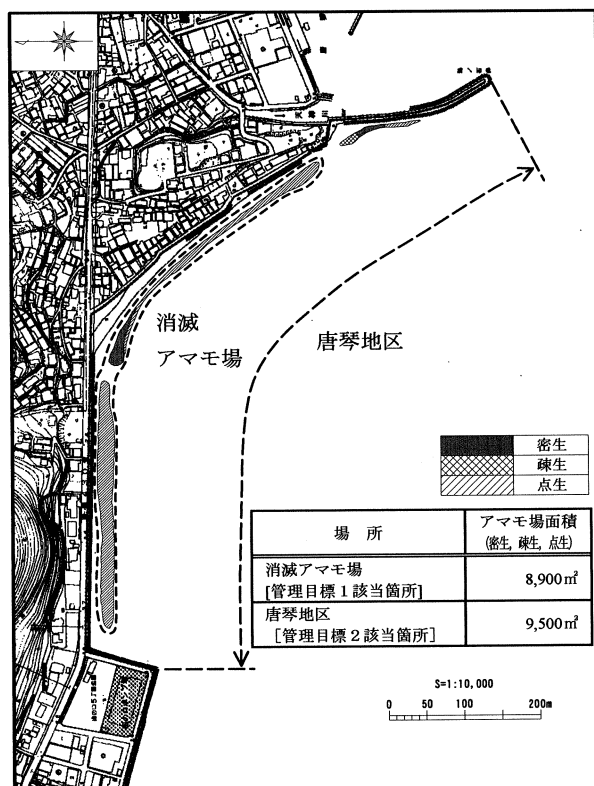
このような状況から、当該海域環境の再生目標は、既存の天然アマモ場と同規模の再生アマモ場を補完することは勿論のこと、同等以上の機能面を考慮した自然環境の場が創出されることが必要となる。



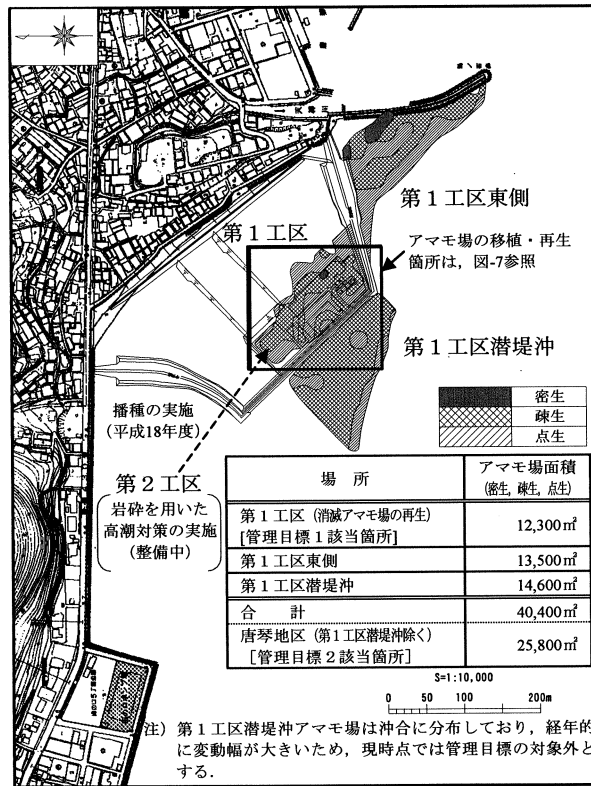
(a) 平成10年8月 (事業実施前：繁茂期)



(b) 平成20年9月 (繁茂期)



(c) 平成10年11月 (事業実施前：衰退期)



(d) 平成20年11月 (衰退期)

図-9 唐琴地区アマモ場分布の推移 (繁茂期, 衰退期)

また、既存のアマモ場は、工事の該当箇所と該当外箇所を含めて一連で存在しており、評価軸としては、①養浜工事により消滅するアマモ場面積の確保、②唐琴地区全体の既存アマモ場面積の確保という2段階の目標が必要である。加えて、季節的な変動

(繁茂期, 衰退期)の視点も入れる必要がある。

以上を踏まえ、管理目標値は、エコ・コスト事業実施前の天然アマモ場面積 (平成10年度事前調査結果) とし、「養浜工事により消滅する天然アマモ場面積 (管理目標1)」と「養浜工事箇所以外の

周辺も含めた唐琴地区の天然アマモ場面積（管理目標2）」の2段階で設定を行った。

また、アマモの季節的な変動も考慮し、生活史（繁茂期、衰退期）毎に目標値を設定した。なお、経年的なアマモ場分布・機能を形成するためには、繁茂期に高密度分布（密生、疎生）が必要であると考えられるため、繁茂期の目標は密生＋疎生面積を目標値とした。一方、衰退期に確認される点生は、分枝期～繁茂期に分枝・拡大の核となるため、衰退期の目標には点生を含めた面積を目標値とした。ちなみに当該地区では、密生はアマモ被度50%以上、疎生は25～50%、点生は25%未満と定義している。

目標達成基準による管理フローは図-10に示すとおりであり、目標未達成の場合は、原因究明・必要に応じた補足調査を実施し、対策の検討を行うことにした。

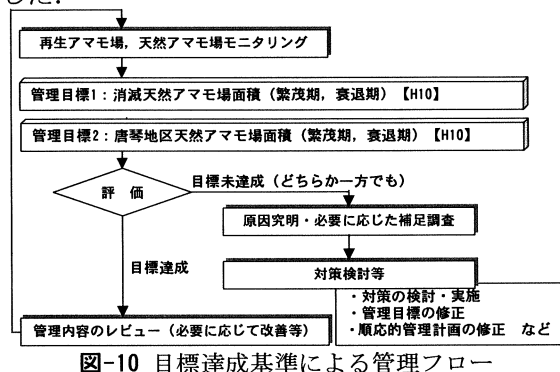


図-10 目標達成基準による管理フロー

(3) 管理目標の達成状況

平成20年繁茂期において、図-9(b)に示すとおり、第1工区内で9,600㎡の疎生以上の再生アマモ場（管理目標1該当箇所）、唐琴地区全体で20,600㎡の疎生以上のアマモ場（管理目標2該当箇所）が確認された。これは、繁茂期の管理目標1（目標値：7,500㎡）及び管理目標2（目標値：8,200㎡）とも、目標値を上回る状況である。

また、平成20年衰退期においても、図-9(d)に示すとおり、第1工区内で12,300㎡の再生アマモ場（管理目標1該当箇所）、唐琴地区全体で25,800㎡のアマモ場（管理目標2該当箇所）が確認された。これは、衰退期の管理目標1（目標値：8,900㎡）及び管理目標2（目標値：9,500㎡）とも、目標値を上回る状況である。

繁茂期及び衰退期の結果を整理すると、管理目標1と管理目標2は、表-3に示すとおり共に満足されており、平成20年度時点では消滅したアマモ場を補完している状況にある。

表-3 管理目標の達成状況評価

項目	時期	目標値 (H10)	H20 調査結果	評価	備考
管理目標1	繁茂期	7,500 ㎡	9,600 ㎡	○	消滅天然アマモ場面積 (密生＋疎生面積)
	衰退期	8,900 ㎡	12,300 ㎡	○	消滅天然アマモ場面積 (密生＋疎生＋点生面積)
管理目標2	繁茂期	8,200 ㎡	20,600 ㎡	○	唐琴地区天然アマモ場面積 (密生＋疎生面積)
	衰退期	9,500 ㎡	25,800 ㎡	○	唐琴地区天然アマモ場面積 (密生＋疎生＋点生面積)

(4) 再生状況評価

多年生のアマモ類の生育が安定するまで、一般的に3年以上の年月が必要である³⁾とされているが、当該再生アマモ場の核となる移植は平成15年度までに終了しており、平成20年度で概ね5年が経過している。このような状況の中で、当該地区の再生アマモ場は経年的に安定しており、管理目標を満足していることから、良好なアマモ場が形成されたと考えられる。さらに、当該地区ではアマモ場に加え、潜堤周辺にガラモ場やワカメ等の藻場が形成されている。これらを含めると、複合的な藻場群落が存在していることから、既存の藻場（平成10年度）と同等以上の機能面を有した自然環境の場が創出されていると考えられる。

5. おわりに

本研究では、児島港海岸（唐琴地区）エコ・コースト事業における整備方針に基づき、アマモ場再生に係る技術検討、及び順応的管理による目標設定とその評価を行った。主要な結論は、以下に示すとおりである。

(1) 同一工区内における養浜工事とアマモ場再生の実施

段階的な養浜施工・モニタリング・フィードバックといった管理の下、同一工区内において養浜工事とアマモ場再生を同時に進めることを可能にした。

(2) 効率的なアマモ場再生手法の確立

当該地区における海象条件やアマモの分枝・拡大のスピードに注目することにより、効率的なアマモ場再生手法を確立することができた。

(3) 順応的管理によるアマモ場再生状況評価

目標達成基準による管理を行った結果、現時点では目標値を上回る状況であり、順調に再生アマモ場が形成されていると考えられる。

謝辞：本検討にあたり、「児島港（唐琴地区）エコ・コースト計画策定検討委員会」の委員を始め、アドバイザーである岡山県水産課の田中丈裕氏、鳥井正也氏に貴重なご助言を頂いた。また、本事業は、国土交通省中国地方整備局の補助事業により岡山県港湾課が実施したものである。ここに記し、関係者各位に対し感謝の意を表す。

参考文献

- 岡山県、(財)港湾空間高度化センター 港湾・海域環境研究所：児島港海岸（唐琴地区）エコ・コースト計画策定検討委員会 報告書、1999。
- 水産庁、マリノフォーラム 21：アマモ類の自然再生ガイドライン、pp.序8-10、2007。
- マリノフォーラム 21：アマモ場造成技術指針、pp.57、2001。