

香川県アマモ場造成指針

平成19年3月

香川県水産課

はじめに

広大な干潟やアマモ場に支えられた高い生産性を誇ってきた瀬戸内海も、干拓や埋立事業等の影響により、干潟やアマモ場が大幅に減少した結果、多くの魚介類の漁獲量が減少し、漁業関係者からアマモ場再生の要望が強い。

香川県においては、アマモ場の再生を目指して昭和 58 年度からアマモ場造成のための試験・研究を実施してきているが、主に冬季の季節風による波浪の影響などによりアマモが枯死・消失してしまうことから、平成 8 年度から離岸堤の背後や礁を配置した増殖場内部といった静穏域において播種・株移植による試験を行い、小規模ながらアマモの生育が長期間継続している状況を確認できた。

アマモ場造成に関しては、平成 13 年にマリノフォーラム 21 により「アマモ場造成技術指針」（以下、技術指針という）がとりまとめられた。これによると、アマモ場造成においてはアマモ場の生育を抑制している環境要因（制限要因）を明らかにし、これを受けて制限要因の緩和対策（人為的にアマモの生育が可能な条件に変えること）を実施するという手順を踏むことが最も重要であるとされている。

香川県では、この技術指針に基づき、平成 16 年度から 3 カ年にわたって、これまで得られた知見と現地観測をもとに統計モデルを採用してアマモ場造成の適地を抽出するとともに、アマモの生育の制限要因を推定し、その緩和対策について検討を行った。

今後のアマモ場造成事業を効率的に推進するために、その成果を県内のアマモ場造成事業の立案・実施に携わる事業者に対する手引きとして「香川県アマモ場造成指針」としてとりまとめた。

目 次

1. アマモの生物学的特性	1
1-1 アマモについて.....	1
1-2 アマモ場の機能と役割.....	2
2. 香川県におけるアマモ場分布の推移	3
2-1 アマモ場面積の経年変化.....	3
2-2 漁獲量の変化	4
3. アマモ場造成事業の流れ	5
4. 適地評価	7
4-1 造成候補エリアの環境要因調査.....	8
4-2 適地の抽出.....	8
4-3 分布制限要因の推定	11
4-4 対策の検討.....	12
5. 整備方針の策定	12
5-1 アマモ場分布・現存量調査.....	13
5-2 アマモ場造成試験.....	13
5-3 アマモ場の整備方針の策定	14
6. 事前評価	16
6-1 アマモ場の効果の算定.....	17
7. 施設の設計・施工（種苗供給）	20
8. 事後評価	21
8-1 モニタリング調査.....	22
8-2 生育目標の達成度評価と維持管理	22
9. モデル事例	23
9-1 対象海域.....	23
9-2 適地評価.....	23
9-3 整備方針の策定.....	28
9-4 事前評価.....	32

1. アマモの生物学的特性

1-1 アマモについて

アマモは、陸上の高等植物と同様に花を咲かせ種子をつくって繁殖する顕花植物で、世界中で50種ほど知られる海草の一種である。アマモは北半球を中心に広く分布する共通種で、日本沿岸では北海道から九州にかけての内海・内湾の砂泥域にアマモの群落（アマモ場）が形成されている。

アマモは一般に3月頃より種子をつけ、6月中旬～下旬には種子が熟して花穂から脱落し、冬まで海底の砂に埋まっている。1月頃発芽し、6月頃まで草丈が伸びるとともに、分枝しながら増える。春から夏には主に有性生殖のための花枝の生長と種子の生産が行われ、秋から冬にかけては栄養生殖のための株の分枝が行われる（図1-1）。

香川県海域においては、衰退期が8月から11月ごろまで継続し、この頃に株密度、草丈等の現存量が最小となる。栄養生殖のための分枝は、種子からの発芽（12～1月頃）と同時期か、それ以降でよく観察される。

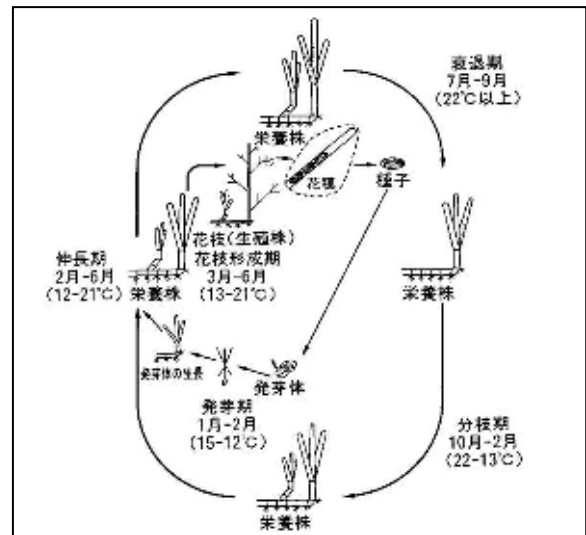
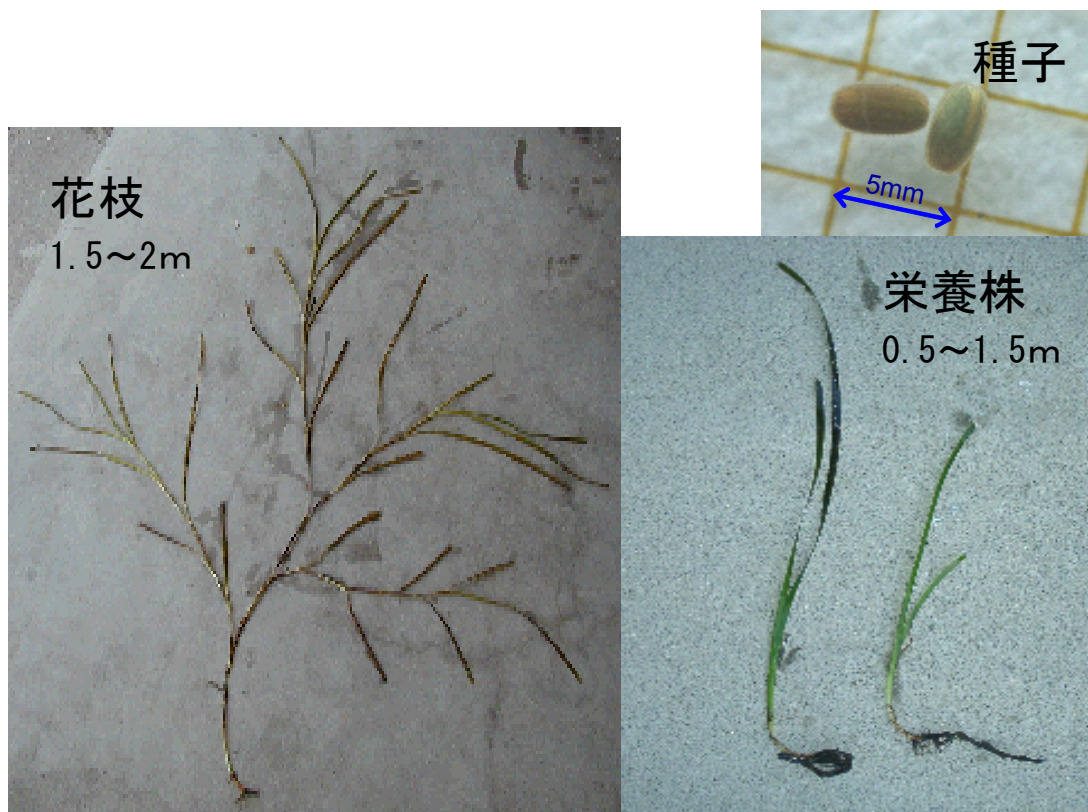


図1-1 アマモの生活史 (川崎, 1987)



1-2 アマモ場の機能と役割

①有用魚介類の幼稚仔の成育の場

アマモ場は、外敵からの絶好の隠れ場となり、魚類などの産卵場や仔稚魚の成育場所として貴重な静穏水域を提供する。

②漁業資源のストックの場

漁場としての生産性が一般海面よりも高く、特に夏季の浅海域における漁業資源のストックの場としての役割を果たしている。

③溶存酸素の供給源

アマモは炭酸同化作用を通じて溶存酸素を生産し、周辺海域の貧酸素水塊や還元層の発達が抑制され、CODの軽減など水質・底質環境の改善に寄与している。

④栄養塩類の吸着

アマモ場は、海中から17~67tN/100ha/年もの窒素を除去していると推定され、春から夏に繁茂するため赤潮抑制にも効果がある。

⑤栄養分のストックと再配分

アマモ場は、繁茂期と衰退期を繰り返すことにより、無機塩類等を春から夏にかけて生物体としてストック(吸収)し、秋以降は枯死して堆積し、餌料供給源として再配分する。



2. 香川県におけるアマモ場分布の推移

2-1 アマモ場面積の経年変化

香川県海域におけるアマモ場面積は戦前には10,000ha程度あったとされるが、本土側の沿岸部では工業用地としての埋立が進み、多くのアマモ場が消失した。昭和20年に8,940haあったアマモ場は昭和40年には4,190haと半減し、平成8年では891haまで減少した(図2-1)。現存するアマモ場の大部分は香川県中央部の備讃瀬戸海域に分布している(図2-2)。

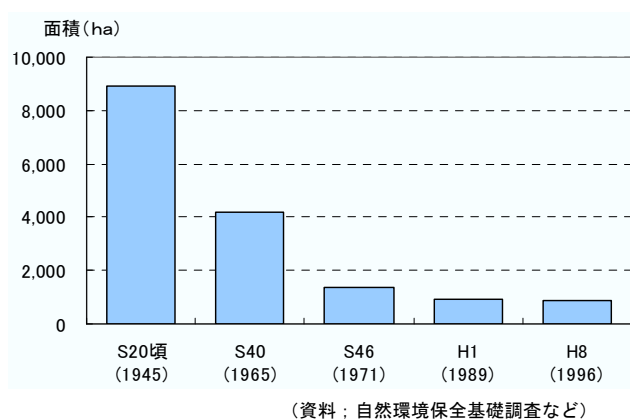


図2-1 香川県海域におけるアマモ場面積の推移

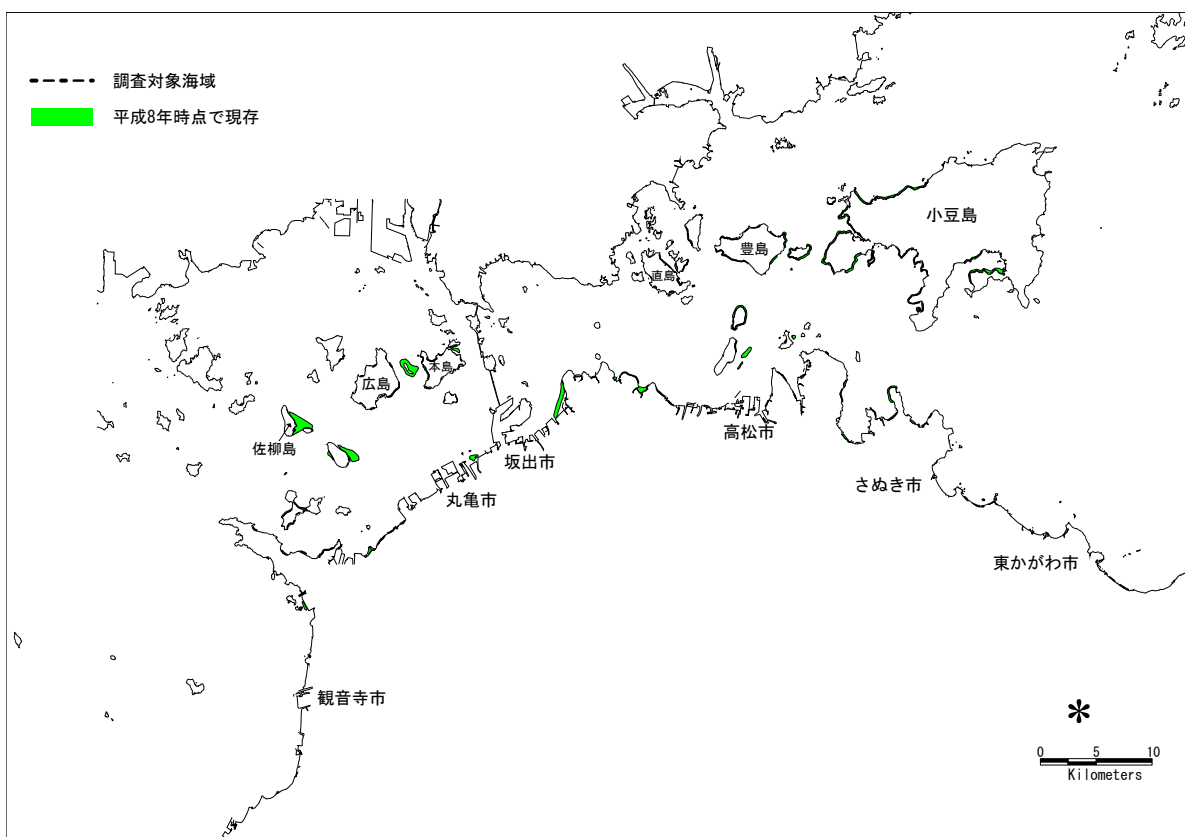


図2-2 香川県海域におけるアマモ場の分布(平成8年)

2-2 漁獲量の変化

香川県における海面漁業の漁獲量は、昭和 47 年の 71,321 トンをピークに減少傾向を示していたが、平成 7 年以後は約 20,000 トンで横ばいが続いている（図 2-3）。

近年の漁業種類別漁獲量の割合は、船びき網が全体の 38%を占めて最も高く、以下、小型底びき網、敷網、刺網、定置網の順となっている（図 2-4）。主要魚種別漁獲量は、かたくちいわしの占める割合が最も高く、以下、たこ類、しらす、かれい類の順となっている。

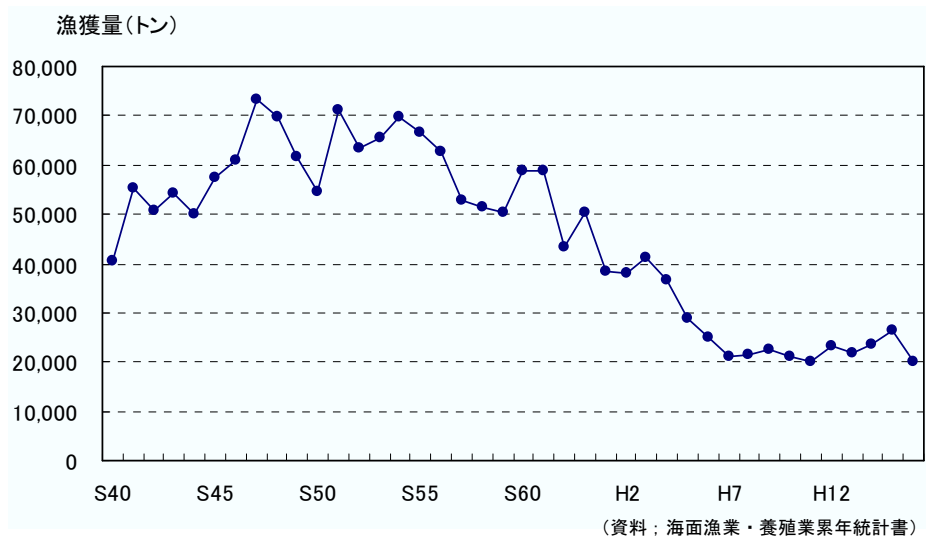


図 2-3 香川県における海面漁業漁獲量の推移（昭和 40 年～平成 16 年）

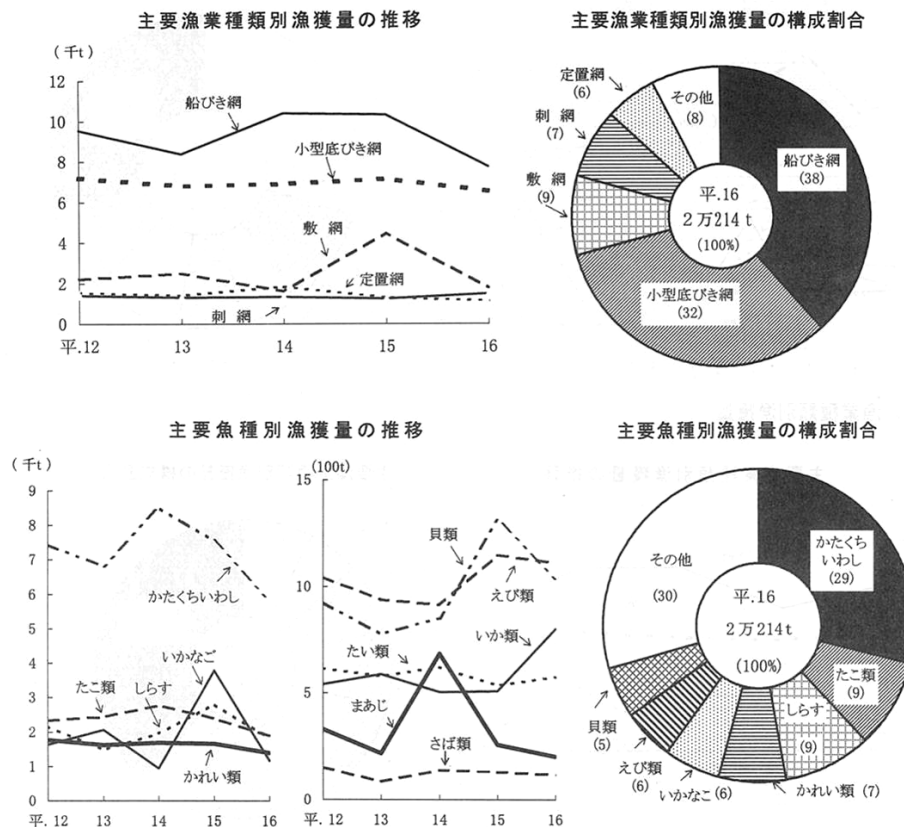


図 2-4 漁業種類別漁獲量および魚種別漁獲量の推移（平成 12 年～平成 16 年）

3. アマモ場造成事業の流れ

アマモ場造成事業の流れは以下のフロー（図 3-1）のとおりである。

長期間安定したアマモ場を造成するためには、造成候補地におけるアマモ場の生育を抑制している環境要因（制限要因）を明らかにし、これを受けて制限要因の緩和対策（人為的にアマモの生育が可能な条件に変えること）を実施することが必要である。したがって、アマモ場造成では、適地評価、整備方針の設定から事前評価までの事業計画策定段階における検討が非常に重要となる。

また、各検討段階において、適地整備が困難であり現実的でないと判断される場合や経済性が極端に低い場合など、アマモ場造成事業が適当でないと判断された場合は事業を再検討すべきである。

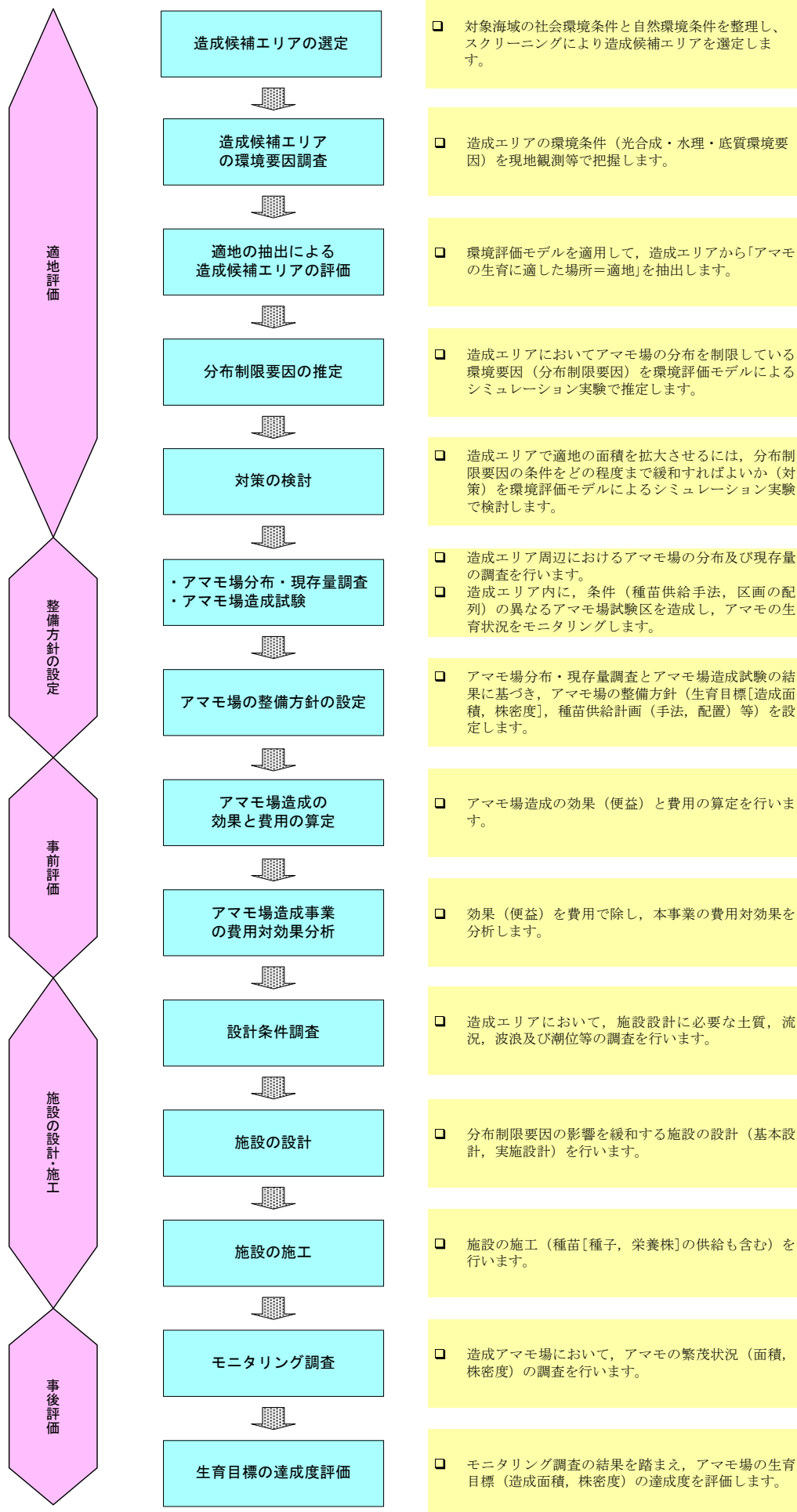


図 3-1 アマモ場造成事業の進め方

4. 適地評価

適地評価では、まず対象とする海域からスクリーニングによりアマモ場の造成候補エリアを選定する。この造成候補エリアを対象として環境評価モデルにより「アマモの生育に適した場所＝適地」を抽出し、造成エリアを選定する。

4-1 造成候補エリアの選定

対象海域の現況を把握する目的で、既往知見を収集し、対象海域の自然環境条件(アマモ場の分布、海底地形、水質、底質、気象等)および社会環境条件(産業、漁業権、航路、埋設物、港湾、漁港区域等)を整理する。

続いて対象とする海域から、「①社会的制約がない」、「②アマモの生育限界値(表 4-1)を満足する」の二つの条件をフィルターとしたスクリーニングを行い、対象海域からアマモに好適条件が多い場所を造成候補エリアとして選定する(図 4-1)。

表 4-1 アマモの生育条件の例(田中, 1998; 森田・竹下, 2003 など)

項目	生育条件
海底勾配	1/50 未満
純光合成光量(月別平均値)の最低値	$0E \cdot m^2 \cdot day^{-1}$ 以上
塩分	17‰以上
底質	シルト分 30%以下 強熱減量 5%以下 COD $10mg \cdot g^{-1}$ 以下

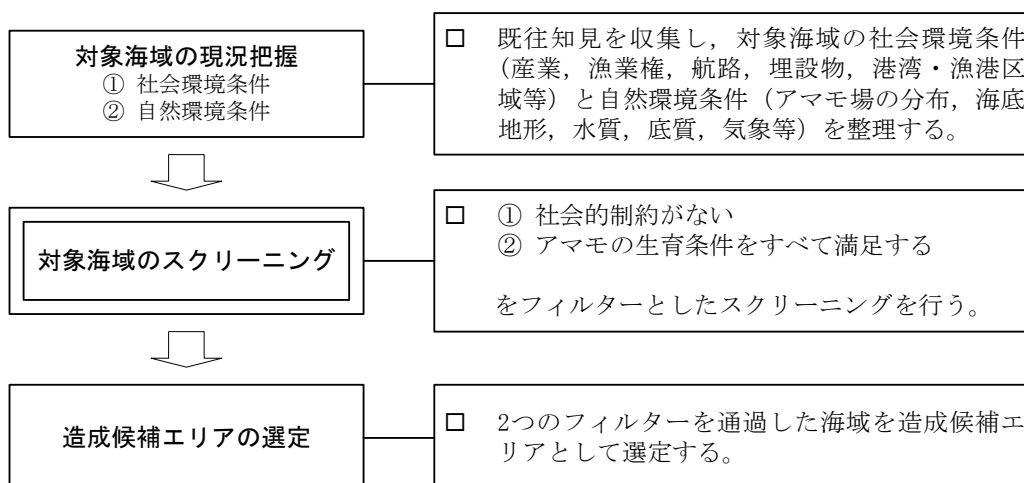


図 4-1 アマモ場造成候補エリアの選定手順(技術指針を一部改変)

4-2 造成候補エリアの環境要因調査

環境要因調査は、選定された造成候補エリアの環境条件を詳細に把握し、造成候補エリアの評価を行うことを目的としてアマモの生育を制限する環境要因の調査を実施する。

調査項目は、アマモの生育を抑制すると考えられる環境要因として、以下に示す環境要因を参考として選定する。このとき、適地選定に使用する統計モデル(環境評価モデル)で採用する環境要因を調査項目に含めるものとする。

表 4-2 調査項目決定の参考となる環境要因

環境要因	
光合成環境要因	・ 光量 (光合成速度) ・ 水温 (呼吸速度)
水理環境要因	・ 地形 ・ 波浪・航跡波 ・ 潮流・潮位 (干出) ・ 砂面変動
底質環境要因	・ 粒度組成・密度 ・ 酸化還元電位 ・ 一般項目 (COD, IL, 全硫化物) ・ 健康項目 (有害物質) ・ 地盤支持強度 (ペーンせん断強度)
その他環境要因	・ 食害・競合生物

調査地点は、適地を抽出するうえで局所的な環境条件の差異を明らかにする必要があることから、造成候補エリア内に網羅的に配置する。

調査を行う時期は、アマモ場が群落を維持するうえで環境条件が厳しくなると考えられる衰退期 (香川県では8~11月頃) を含む時期に重点を置いて設定する。

4-3 適地の抽出による造成候補エリアの評価

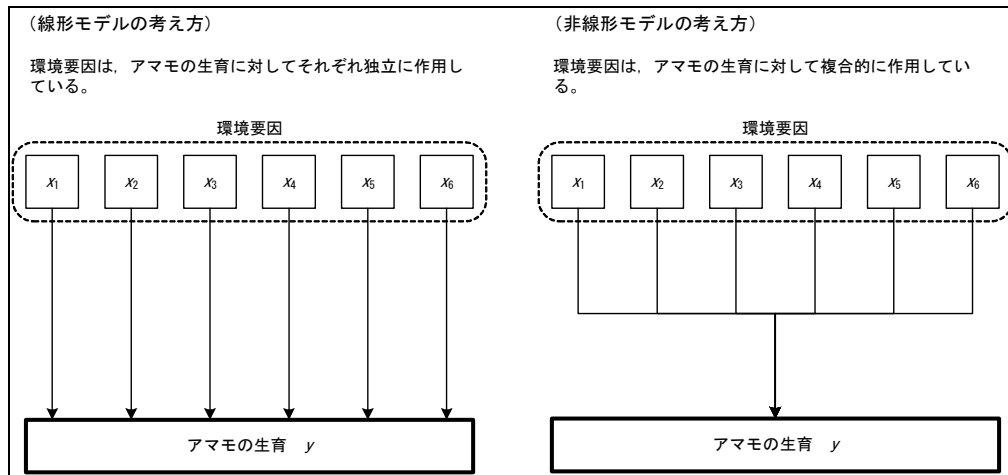
環境要因調査によって得られた造成候補エリアの環境条件をもとに造成候補エリア内におけるアマモ場造成の適地を抽出する。

適地の抽出方法は、これまでは、造成候補地の環境条件をアマモが生育可能な環境条件の範囲 (生育限界値) と対比させて、これをすべて満足する場所を選定する方法が多く用いられている。これに対し、本指針では以下の理由によりニューラルネットワーク等の統計モデル (非線形モデル) を用いた適地評価を原則として採用することとした。

- アマモの生育には水温や光量、底質など多数の環境要因が関与しており、これらはアマモの生育に対して複合的に作用している場合が一般的であることから、複数の環境要因の相互関係を同時に分析可能な統計モデル (非線形モデル) が有効である。
- アマモ場の分布を制限する環境要因 (制限要因) を緩和する (= 造成適地の面積を拡大する) ための環境整備が必要な場合には、整備規模や手法を検討するうえで、環境条件の差異によるアマモ生育の可否を定量的に予測することが可能である。

■ 線形モデルと非線形モデル

前述のとおりアマモの生育には、多数の環境要因が複合的に作用している。このため、各環境要因がアマモの動態に対して独立に作用していると仮定した線形モデルでは、予測結果の精度が実用化に耐えられるほどには高くないことが予想される。したがって、アマモの生育の可否を正確に予測するには、多くの環境要因の相互関係を同時に分析可能な非線形モデルを採用することが不可欠である。



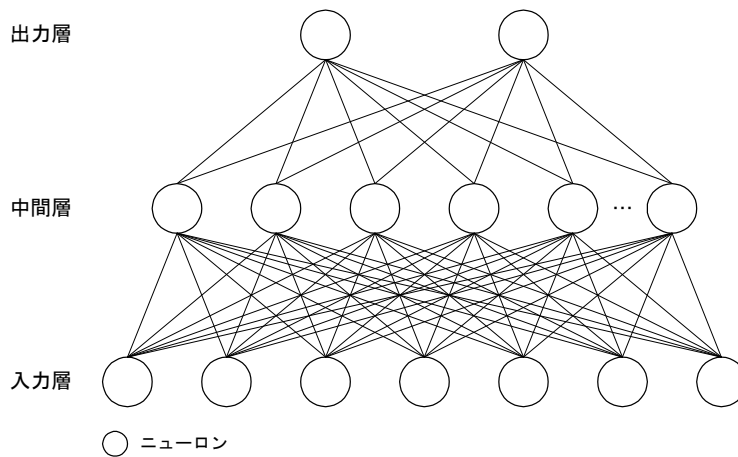
非線形モデルの概念模式図

代表的な非線形モデルとしては、スプライン回帰を改良した MARS (Multivariate Adaptive Regression Splines) やニューラルネットワークがある。

MARS は、現段階では基礎研究の域を脱しておらず、経済的に成功した適用事例は少ない。これに対してニューラルネットワークは、1990 年以降その実用化が一気に加速し、工業・経済分野ではこれを応用した技術が既に確立されている。水産分野でもこれまでに、小型漁船の船体横揺れ運動の予測やカツオ・マグロ類の漁獲量予測、アオコの発生予測及びアマモ場の分布制限要因の推定などで適用されている。

■ ニューラルネットワークとは

ニューラルネットワークは、「きれいである」などの感覚的な判断や「どちらかというとき美しくない」といったあいまいな判断を行うことのできる人間の脳の構造や機能をモデル化し、ランダム問題（感覚的な判断やあいまいな判断を取り扱う問題）を比較的簡単に処理できる解析手法である。ニューラルネットワークのアルゴリズムでは、神経細胞や脳細胞を数学的にモデル化したものをいろいろな形に多数組み合わせ使用して使用する。このモデル化した細胞を一般にニューロンあるいはユニットと呼ぶ。



ニューラルネットワークの構造模式図

ニューラルネットワークでは関数関係（入力データから必要とする答えを導き出すための理論）をあらかじめ仮定する必要がなく、目的変数（アマモの生育）に対して説明変数（環境要因）がどのように複雑な関係であっても関係式を見つけることができる。

なお、ニューラルネットの構築には、モデルの学習に適切なデータ数（環境要因データと株密度データ）が必要となるため、環境要因調査の実施に当たっては、モデル構築に必要なデータ収集を意識して調査計画を立案することが重要である。

適地の抽出は、ニューラルネットワーク等の統計モデルを用いて、環境要因の違いによるアマモの生育の可否を定量的に予測する。ここで採用する統計モデルは、環境要因調査等により得られた現地観測データを用いて検証を行い、当該海域における有効性が十分確認されたモデルを採用する。このモデルによりアマモ場造成適地として抽出されたアマモ生育可能エリアが最も広い順番に造成候補エリアをランク付けし、最も優れた造成候補エリアをアマモ場造成エリアとして選定する（図 4-1）。

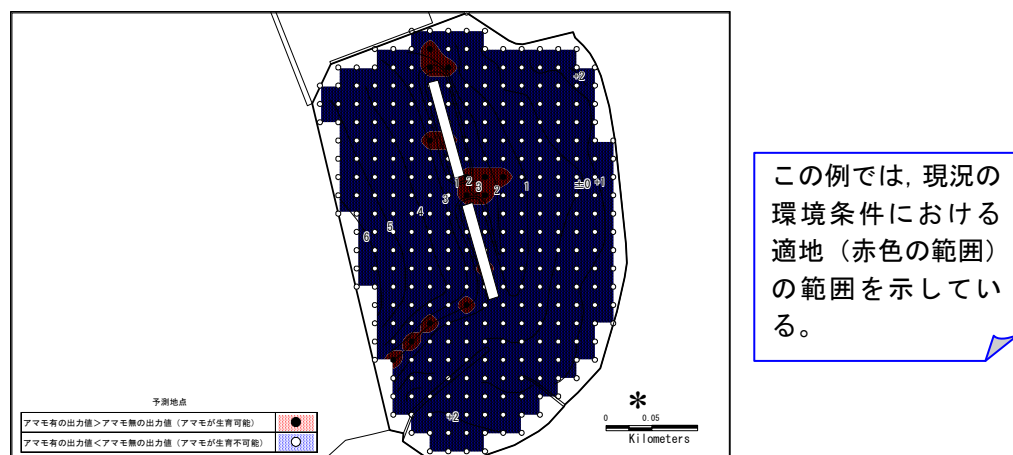


図 4-1 統計モデルを用いた適地評価結果の出力例

4-4 分布制限要因の推定

適地の抽出結果において、十分な規模の適地が抽出された場合には、その範囲を対象とした造成計画の検討を進める。しかし、アマモ場の造成規模として十分な適地の範囲が抽出できなかった場合には、環境条件を緩和するための対策（環境整備）を検討する。ここでは、検討対象となる緩和すべき環境要因（分布制限要因）を統計モデルによるシミュレーション実験により推定する（図 4-2）。

シミュレーション実験は、対象海域内における制限要因となる環境要因を想定し、配置した各予測地点の環境条件を変化（現況より緩和）させたときに適地面積がどのように変化するかを予測することにより行い、適地面積の増加割合が大きくなる環境要因を制限要因とする。対象とする環境条件としては、水深、純光合成光量、波高、底土の粒度組成、底土の酸化還元電位などが想定される。

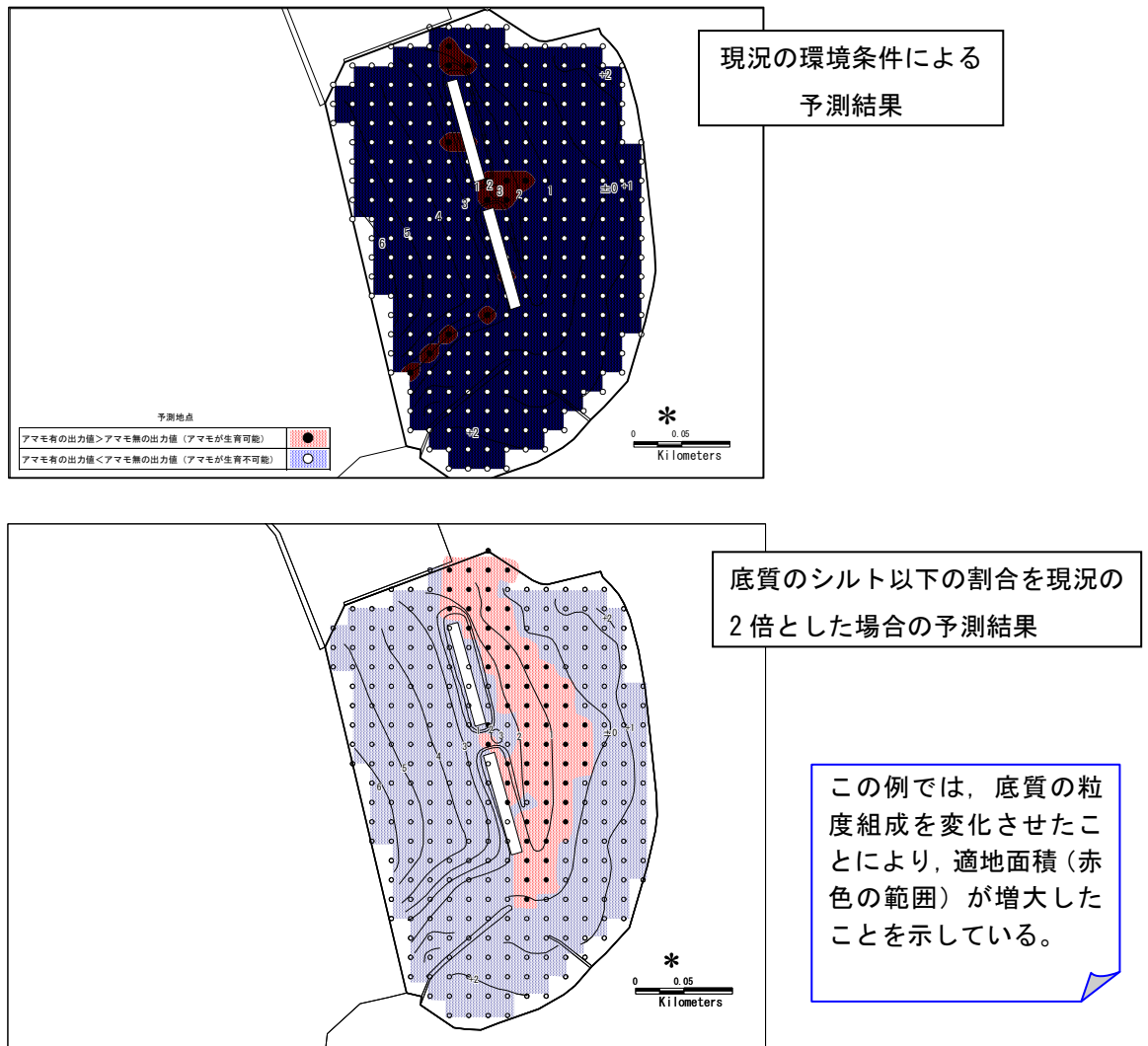
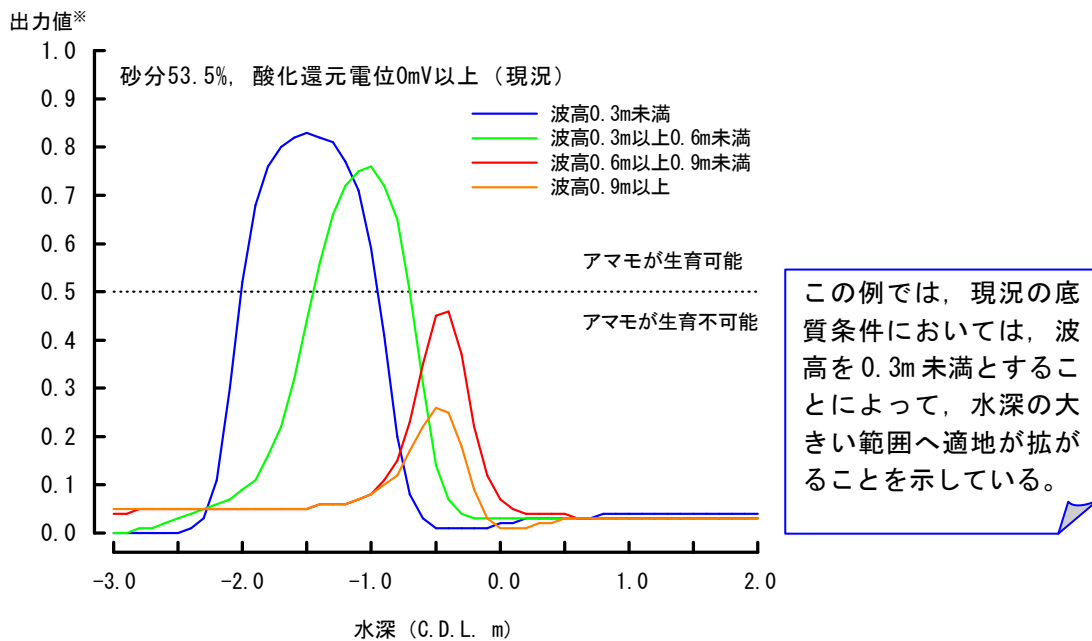


図 4-2 分布制限要因の推定に関するシミュレーション結果出力例

4-5 対策の検討

適地の抽出結果において、アマモ場の造成規模として十分な適地の範囲が抽出できなかった場合には、統計モデルによるシミュレーション実験により分布制限要因の限界値を推定し、現況の環境条件を緩和するための対策（環境整備手法）を検討する。

造成候補エリアにおけるアマモ場造成の適地面積を拡大させるには、前項において推定された分布制限要因をアマモが生育可能なレベル（分布制限要因の限界値）にまで緩和することが必要となる。そこで、造成候補エリアの分布制限要因の限界値を推定し、環境整備の具体的な内容（対策）を検討するために、分布制限要因を変化させたときにアマモ生育の可能性がどのように変化するかについて統計モデルによるシミュレーション実験で検討する（図4-3）。



※縦軸の数値は、アマモの生育の可能性を判断する出力値で、0.5以上で生育可能とした。

図 4-3 分布制限要因の限界値推定に関するシミュレーション結果出力例

5. 整備方針の策定

5-1 アマモ場分布・現存量調査

後述するアマモ場の造成目標を設定するための基礎資料を得ることを目的として、造成エリア周辺における天然アマモ場におけるアマモの分布および現存量を調査する。

調査の項目は、被度、株密度、草丈、花枝割合などであり、繁茂期と衰退期を含む時期について調査を実施する。

5-2 アマモ場造成試験

造成エリアに適した「種苗の供給手法」と「種苗供給区画の配列」を検討することを目的として、試験区の造成とモニタリング調査を実施する。

①アマモ場試験区造成

試験区は、造成エリアのアマモ造成適地として抽出された区域内に、比較対象となる種苗供給方法および区画配列について複数造成する（図5-1）。

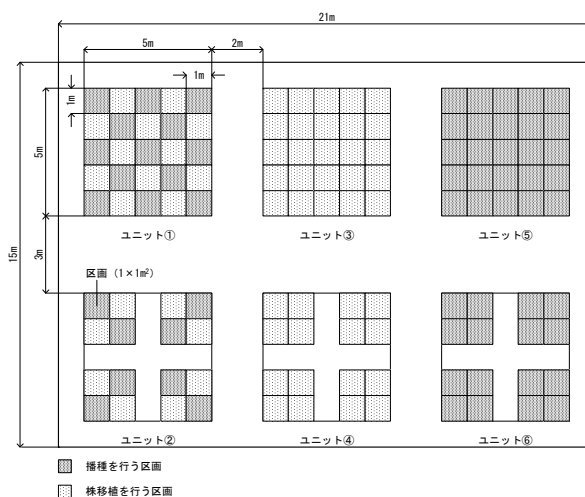
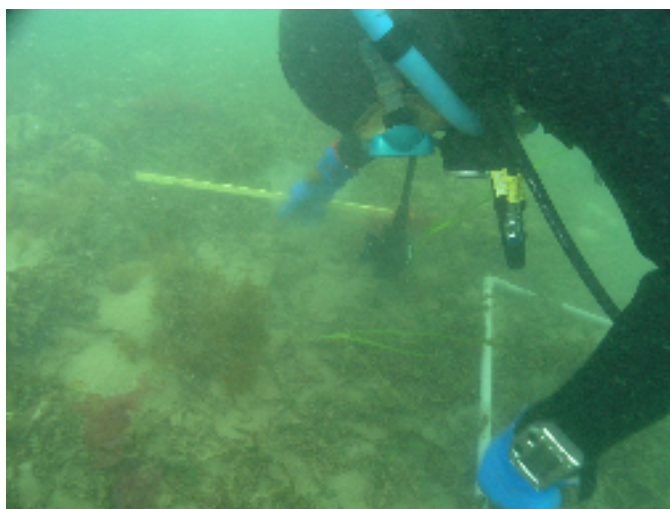


図 5-1 アマモ場試験区の例

②モニタリング調査

試験区内におけるアマモの繁茂状況を確認するために、モニタリング調査を実施する。調査の項目は、**アマモの株数と最大草丈**とし、それぞれの経時変化と種苗の供給手法や種苗供給区画の配列による違いを把握する。アマモの現存量は季節によって大きく変動することから、モニタリング調査は原則として、2ヶ月に1回以上の頻度で実施する。



なお、近隣に天然アマモ場が存在する場合には、あわせてモニタリングを実施することが望ましい。

5-3 アマモ場の整備方針の策定

アマモ場分布・現存量調査とアマモ場造成試験の結果に基づき、アマモ場の整備方針（生育目標[造成面積，株密度]，種苗供給計画（手法，配置）等）を設定する。

①造成目標の設定

造成後におけるアマモの生育状況を継続的に評価し、施設の維持管理を行うための基準を設定することが必要であり、その根拠となる造成目標を設定する。

造成目標は、造成したアマモ場の広がり进行评估するための量的目標（分布面積）と造成したアマモ場の生育状況を質的に評価するための質的目標（株密度）を設定する。目標値は、周辺の天然アマモ場や既存の知見をもとに設定することとするが、一般に、天然アマモ場の分布範囲や株密度は季節的・経年的に変動することから、ゆとりのある目標とすべきである。

②種苗供給計画の検討

アマモ場造成試験の結果およびこれまでに得られた知見を踏まえて、種苗供給計画を検討・立案する。種苗供給計画では、具体的には種苗供給方法、種苗供給区画の配列を選定する。

種苗供給方法は、株移植法と播種法に大別される。株移植法は定着率が高いとされるが、既存のアマモ場に及ぼすダメージが大きく、造成エリア周辺に供給量が確保できるだけの規模を有するアマモ場が存在する場合に適用される。播種法は、既存のアマモ場に与えるダメージが少なく、大規模造成に適しているとされるが、海域によっては発芽・定着率が一定しない欠点がある。

③環境整備計画（構造物の種類，基本配置）

前章の「4-4 対策の検討」の項で検討した現況の環境条件を緩和するための対策（環境整備）について、具体的な施設計画を策定する。

環境整備の方法としては、水中光量が不足する海域では海底面の嵩上げ（図 5-2）、波浪環境が厳しい海域では消波施設の設置などが挙げられる（表 5-1）。

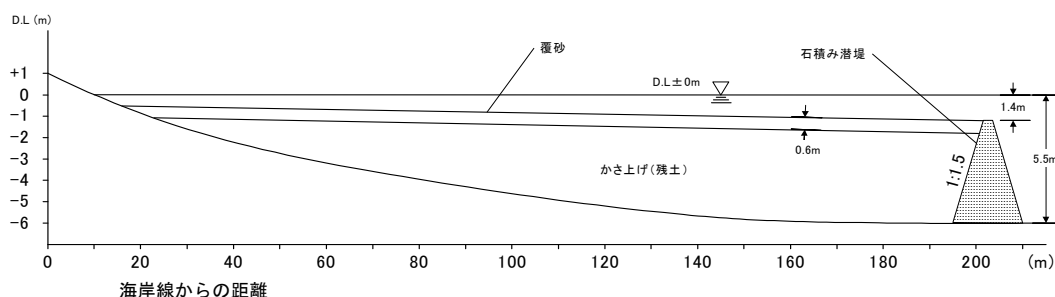


図 5-2 環境改善対策に係る施設配置のイメージ図

表 5-1 波浪条件を緩和することを目的とした施設

関連要素技術 (施設)	消波効果	海水交換	地盤 支持力	波浪軽減以外に考えられる用途 等
重力式消波堤	特に制限無く有効	阻害の可能性	大	漁港・港湾との連携 ガラモ増殖機能 レクリエーション機能(釣り公園等)
潜堤	大きな波に対し 有効	阻害しにくい	大	干潟, 藻場と一体整備 ガラモ増殖機能
カーテンウォール 消波堤	水深波長比 0.2以上で効果	水深波長比で判別	大	洗掘防止対策が必要
多孔式消波堤	特に制限無く有効	重力式を向上	大	漁港・港湾との連携 ガラモ増殖機能 レクリエーション機能(釣り公園等)
浮消波堤	短波長に対し 有効	阻害しない	若干	漁港・港湾との連携 浮魚礁としての機能 ガラモ増殖機能 レクリエーション機能(釣り公園等)
防波柵	本数・列数で効果 率が左右される	阻害しにくい	若干	漁連単位での事業化
流体式消波工	風波・短周期波に 有効	阻害しない	若干	—

※その他の関連技術として、人工リーフ（アマモ生育環境に関連）、防砂導流堤（浮泥の制御）等が挙げられる

6. 事前評価

アマモ場造成事業の経済性を評価し、効率的かつ効果的な事業計画を策定することを目的として費用対効果分析を行う。

事業の費用対効果評価は、一般的に「事業の総便益／事業の総費用」で評価することとし、直接貨幣化される効果と貨幣換算が可能な効果便益として計測・算定する（図 6-1）。

●事業の費用対効果の算定式

$$\text{事業の費用対効果 (B/C)} = \text{事業の総便益 (B)} / \text{事業の総費用 (C)}$$

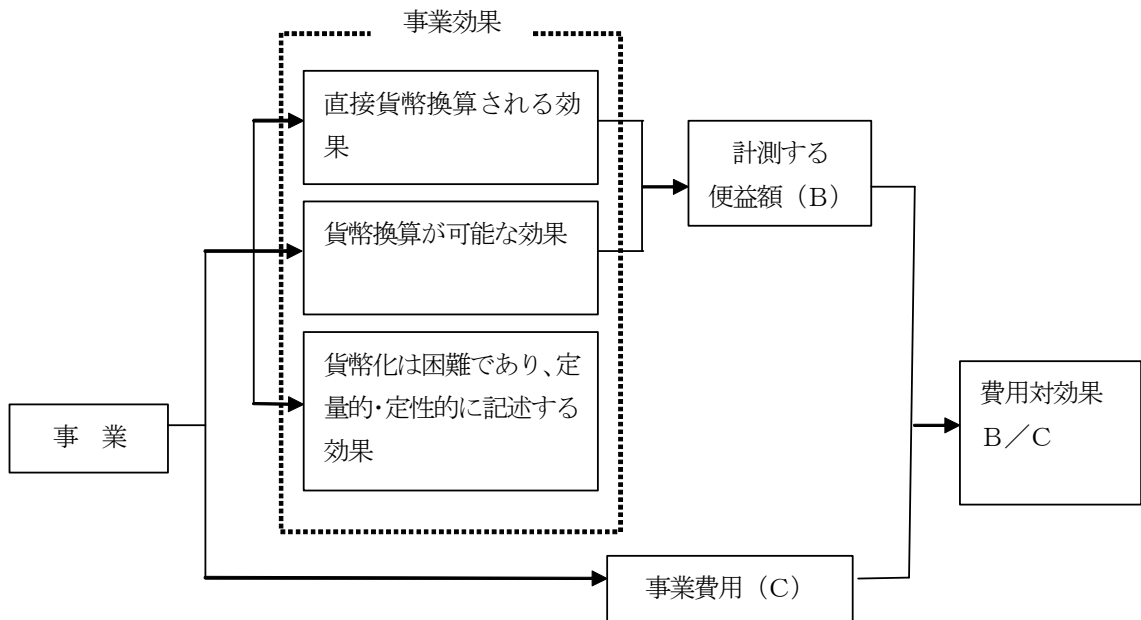


図 6-1 事業の費用対効果の考え方

6-1 アマモ場の効果の算定

主要な便益項目について、計測方法の概要を示す。

① 漁業生産効果の算定

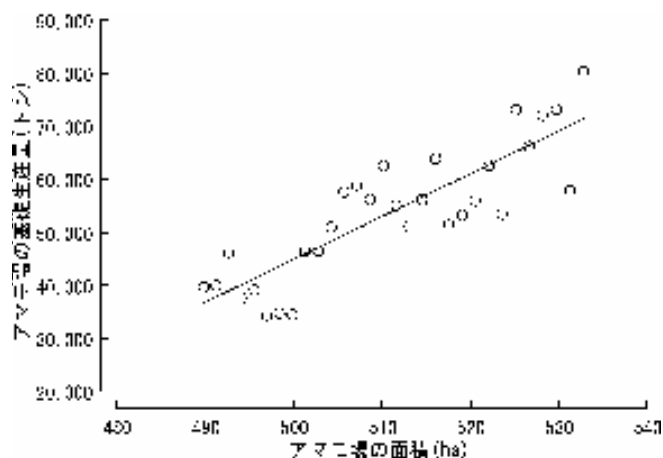
アマモ場造成によって発現する生物生産効果（造成アマモ場による有用魚介類の増加漁獲量）は、多々良拡張モデルでアマモ場 1ha 当たりの増加漁獲量を推定し、これに造成面積を乗じて算定する。

$$\begin{aligned} & \text{生物生産効果（造成アマモ場による有用魚介類の増加漁獲量）} \\ & = \text{アマモ場 1ha 当たりの増加漁獲量} \times \text{造成面積} \end{aligned}$$

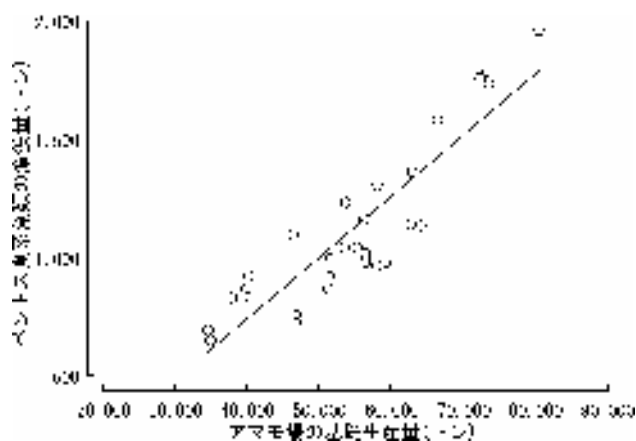
■ 多々良拡張モデル

多々良拡張モデルは、①アマモ場の面積とアマモ場の基礎生産量との関係、②アマモ場の基礎生産量と有用魚介類の漁獲量との関係を明らかにして、アマモ場 1ha 当たりの増加漁獲量を算出する（図 6-2）。

アマモの基礎生産は腐食食物連鎖を経て魚類等とつながっていることから、多々良拡張モデルでは、ベントス食系の魚類に着目している。



アマモ場の面積とアマモ場の基礎生産量との関係



アマモ場の基礎生産量とベントス食系魚類の漁獲量との関係

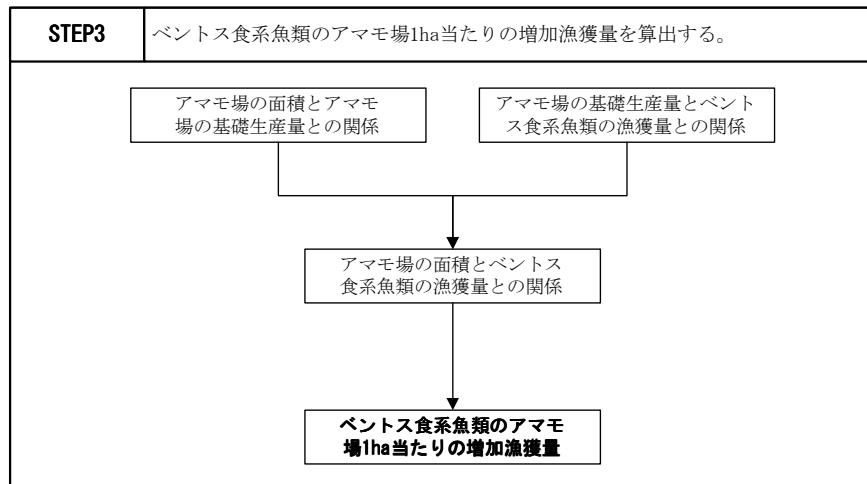
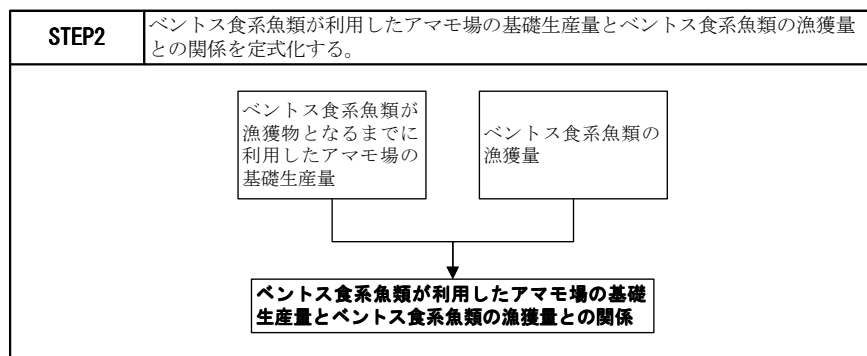
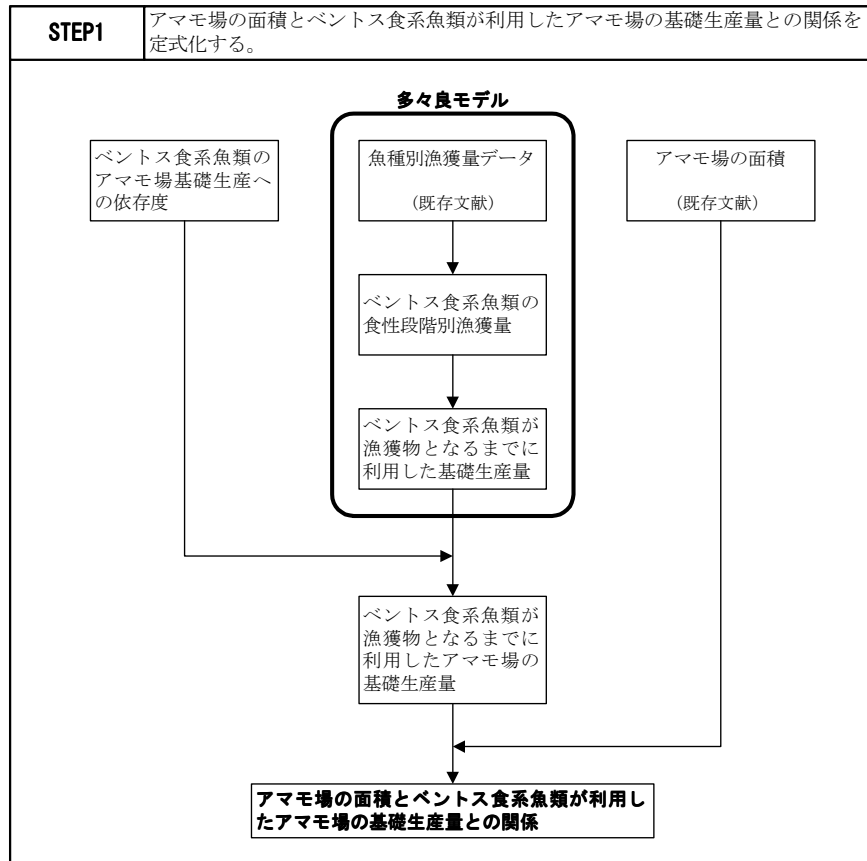


図 6-2 多々良拡張モデルによるアマモ場 1ha 当たりの増加漁獲量の推定手順

②水質浄化効果の算定

アマモ場造成によって発現する水質浄化効果（造成アマモ場による窒素固定量）は，造成アマモ場の年間最大現存量（整備方針で定めた造成目標値）から造成アマモ場の増加生産量を推定し，これに草体の窒素含有率（3%）を乗じて算定する。

水質浄化効果（造成アマモ場による窒素固定量）＝造成アマモ場の増加生産量×窒素含有率

造成アマモ場の増加生産量＝年間最大現存量（乾重量 t）×年間生産量／最大現存量比率

※1 年間最大現存量＝整備方針で定めた目標値

※2 年間生産量／最大現存量比率＝1.2（水産庁漁港漁場整備部，2002）

なお，水質浄化効果の貨幣換算は，造成アマモ場による窒素の固定量に下水道の窒素除去量当たりの年間経費（表 6-1）を乗じて行う。

表 6-1 窒素除去量当たりの年間経費（水産庁漁港漁場整備部，2002）

項 目	除去量当たりの年間経費 (円/kg・年)
全窒素	25,984

7. 施設の設計・施工（種苗供給）

種苗供給方法には、播種法と株移植法があり、造成規模や環境条件により適していると考えられる手法を用いて施設の施工（種苗の供給）を行う（表 7-1）。

表 7-1 アマモ場の造成手法(田中, 1998)

造 成 法			内 容
株移植法	土なし法	非固定法	1株または数株のアマモを田植えのようにして移植する。鉄筋棒や釘、石、竹箒などにゴムバンドでアマモを固定したり、網にアマモの地下茎を縫うようにして固定した後移植する。あるいは移植後地下茎部を竹のピンセットで押さえつけたりする。栄養株の地下茎に1株ずつ油粘土を巻き付け、海底に固定した後5 cm 程度覆砂する。
		固定法	
	土付き法	プラグ法	
		芝生法	
実生苗移植法			水稻用のペーパーポットを使用して陸上水槽で育苗した実生苗を、そのまま移植する。
播種法	花枝投入法		建材用ブロックなどに花枝の束を縛り付けて投入する。花枝の束を網袋に収容し、支柱等に縛り付けて垂下しておく。船上から直接播種したり、潜水して海底に溝を掘り播種後覆土する。あるいは和紙等の袋に種子と砂を入れ投入する。コロイダルシリカ(二酸化珪素のコロイド溶液)に海水を混ぜてゲル化した溶液に砂等を練り合わせて粘土状にしたものの中にアマモ種子を入れて播種する。難腐食性繊維と腐食性繊維を混紡した袋体に、砂泥等の詰め材とアマモ種子を混合して注入し海底に設置する。
	花枝垂下法		
	種蒔き法		
	コロイダルシリカ法		
	土のう式播種法		



株移植（船上作業）

また、香川県では過去の藻場造成試験・研究において以下のガーゼ法が採用されている。

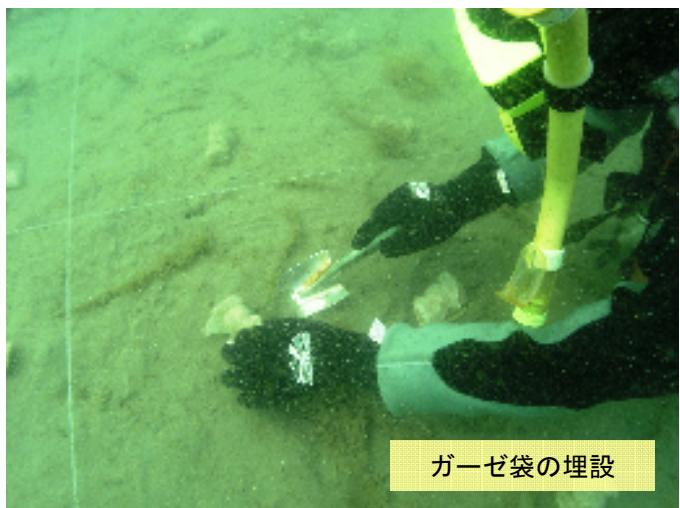
【ガーゼ法】

基本的には、アマモ種子約 100 粒と砂 100cc をよく混合し、15×13cm のガーゼ袋に詰めて種子入りガーゼ袋を作成し、海底面に埋設する。

播種は、天然域のアマモ種子の発芽（12-1 月頃）とあわせた時期に行う。ガーゼ袋は、2~6 ヶ月でほぼ完全に分解されてしまうので、アマモの生長に伴う地下茎の発達を阻害しない。ガーゼ袋に入れる種子の量は、保管している種子の状態に合わせて調節をする。種子の健全度が良いと発芽率もよいと考えられ、発芽率、発芽後の減耗を考慮に入れて、発芽後 20~30 株／ガーゼ袋程度発芽する量で十分であると考えられる。そのため、状況に応じて 50~100 粒／ガーゼ袋、4~10 袋／㎡、400~1000 粒／㎡で十分と考えられる。



種子を詰めたガーゼ袋



ガーゼ袋の埋設



ガーゼ袋から発芽したアマモ

8. 事後評価

8-1 モニタリング調査

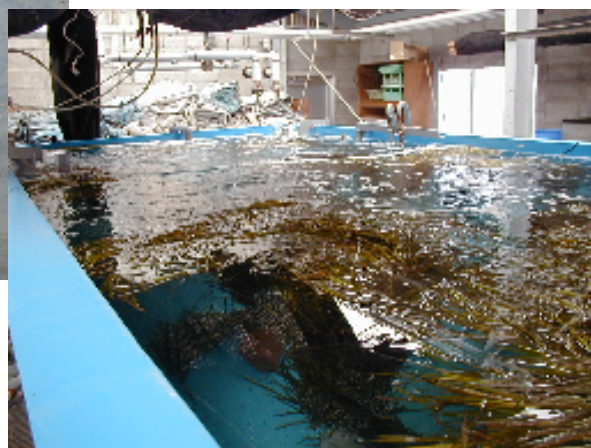
アマモ場造成後におけるアマモの生育状況を継続的に評価し、造成目標の達成度を検証するとともに、施設の維持・管理に反映させるための基礎データを収集することを目的として、モニタリング調査を実施する。

モニタリング調査の項目は、造成目標の評価のために必要となるアマモ場の被度および分布面積とする。調査は、造成アマモ場と近隣の天然アマモ場を対象とし、各対象海域内に定点を設定して実施する。調査時期は、原則として衰退期（10・11月頃）と繁茂期（5・6月頃）とし、参考として四半期調査となる2月頃、8月頃にも実施することが望ましい。

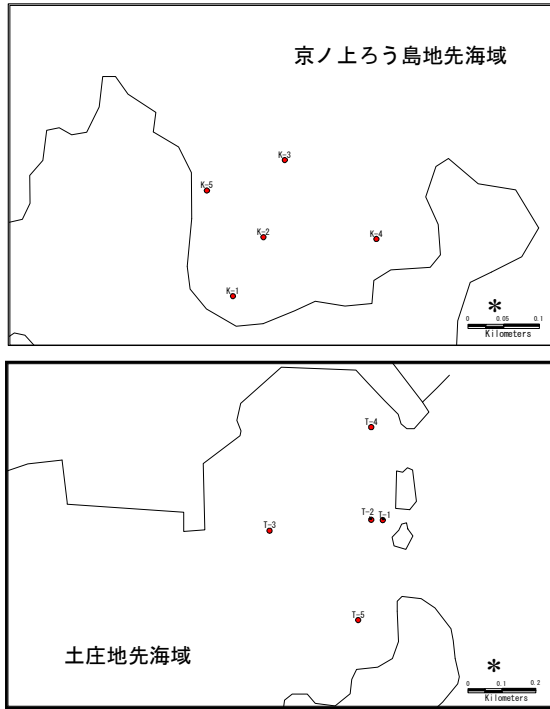
また、補足的に事業効果の把握と事業における維持・管理上の問題点を把握（アマモの流失など）することを目的として、アマモ場周辺における生物調査（プランクトン、底生生物、卵稚仔など）等を実施することがある。

8-2 生育目標の達成度評価と維持管理

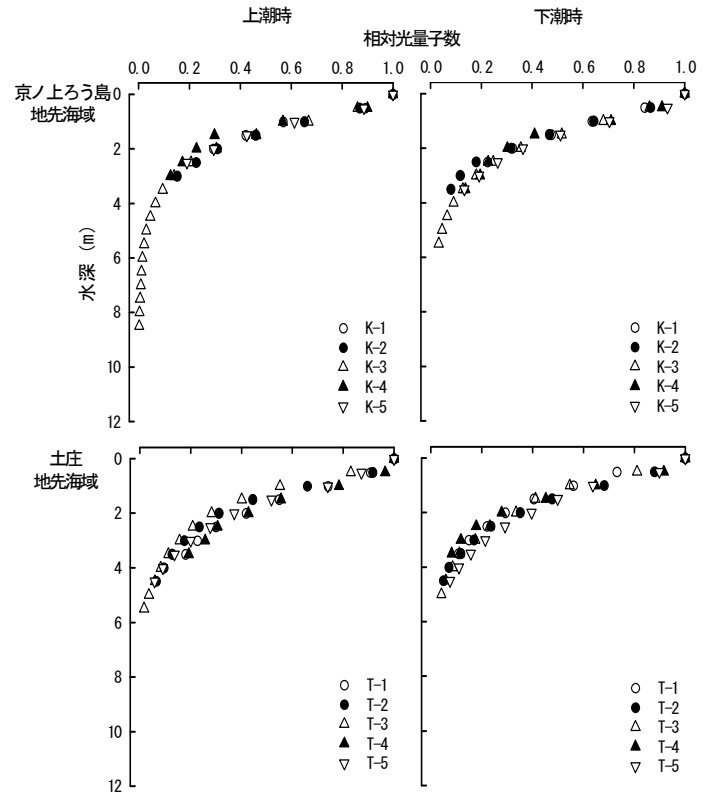
モニタリング調査の結果を踏まえて、アマモ場の生育目標（造成面積、株密度）の達成度を評価する。達成度の評価は、モニタリング結果と造成目標値を比較することにより行う。評価の結果、アマモの生育状況が目標値を下回った場合には、改善のための対策として種苗の補給等の措置を実施することとし、アマモがすべて消失してしまった場合には、その要因を特定するための調査を実施し、改善のための対策方法を検討する。



【光合成・底質環境要因の調査】



【光量子数測定結果】



【波高分布計算結果】

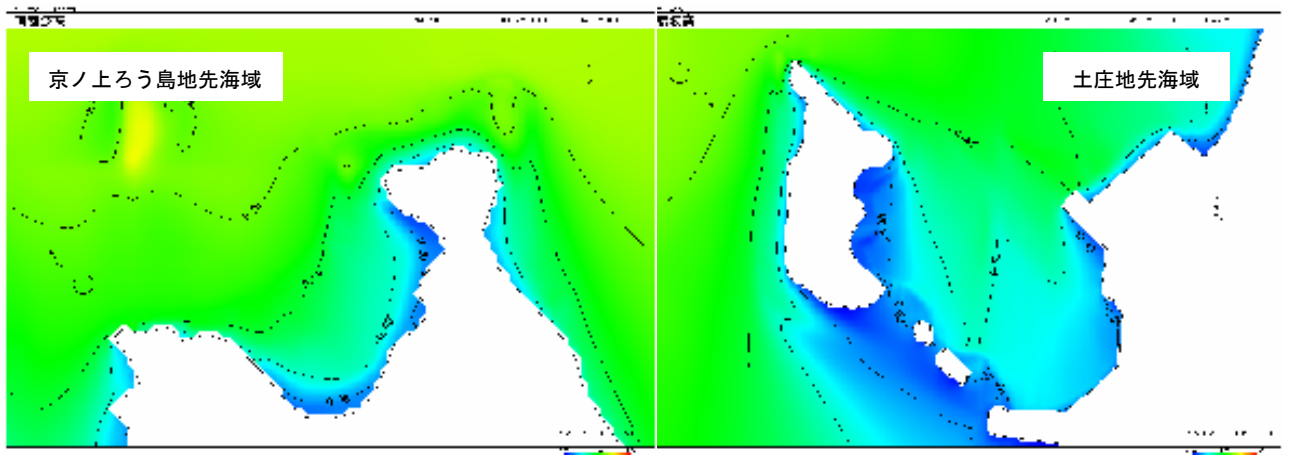


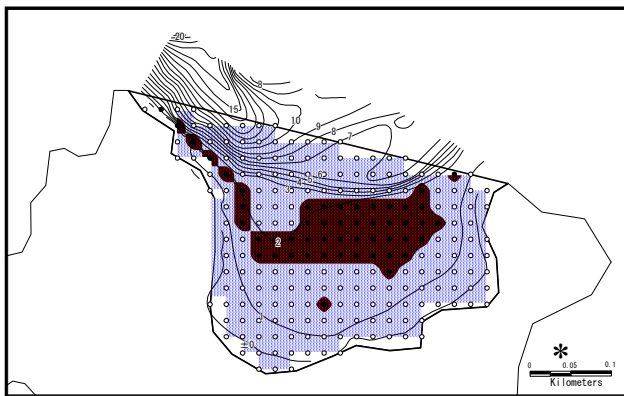
図 9-2 環境要因調査の結果例

(2) 適地評価

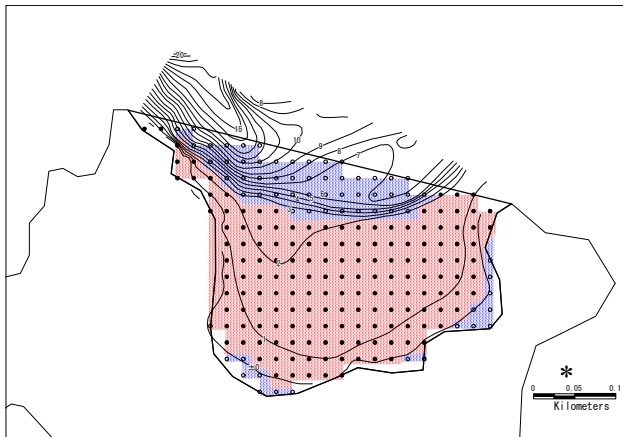
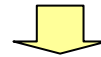
① 適地の抽出と分布制限要因の推定

ニューラルネットワークによるシミュレーション実験により、対象海域におけるアマモ場造成適地を抽出し、アマモ場の分布制限要因を推定した。

造成適地は、現況の環境条件では、京ノ上ろう島では対象エリアの中央部に分布し、土庄では北側と南側にわずかに分布すると予測された。ここで、京ノ上ろう島では底質のシルト以下の割合を現況の 1/2 とし、土庄では波浪条件を緩和する(波高を現況の 1/2)ことによりそれぞれ適地面積が増加すると予測された。このことから、京ノ上ろう島では底質(粒度組成)が、土庄では波浪がアマモ場の分布を制限していると推定された (図 9-3)。



京ノ上ろう島地先海域
【現況の環境条件による予測】
・対象エリアの中央部が適地(赤色)と予測された。

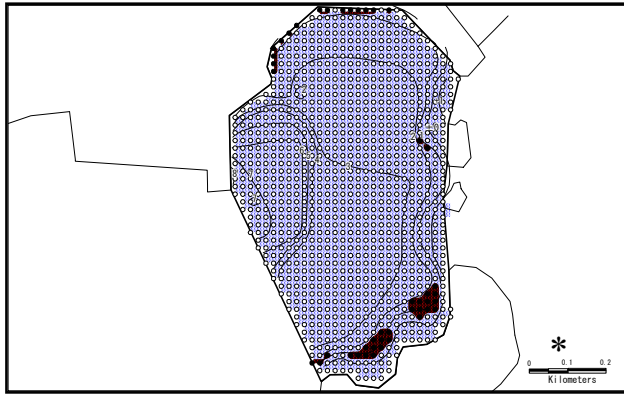


京ノ上ろう島地先海域
【底質のシルト以下の割合を現況の 1/2 とした場合】
・適地面積(赤色)が増加した。浅海部への拡大が著しく、-2m 以深も適地となった。

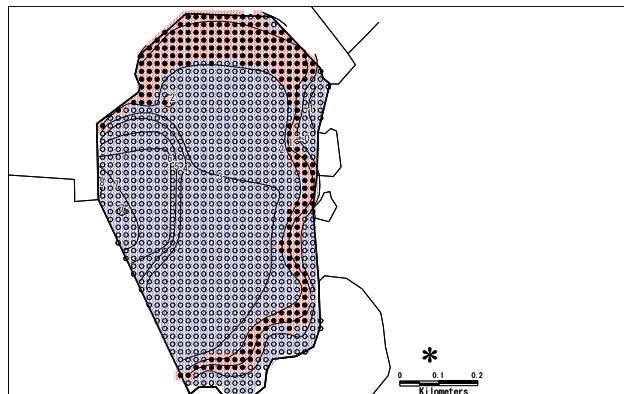
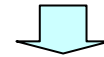
予測地点

アマモ有の出力値 > アマモ無の出力値 (アマモが生育可能)	●
アマモ有の出力値 < アマモ無の出力値 (アマモが生育不可能)	○

図 9-3(1) シュミレーション実験による適地の抽出と分布制限要因の推定 (京ノ上ろう島)



土庄地先海域
 【現況の環境条件による予測】
 ・対象エリアの北側と南側が適地（赤色）と予測された。



土庄地先海域
 【波高を現況の1/2とした場合】
 ・適地面積（赤色）が増加した。特に北側の適地が沖側へ広がった。

予測地点

アマモ有の出力値>アマモ無の出力値（アマモが生育可能）	●
アマモ有の出力値<アマモ無の出力値（アマモが生育不可能）	○

図 9-3(2) シミュレーション実験による適地の抽出と分布制限要因の推定（土庄）

②対策の検討

これまでの検討で京ノ上ろう島地先海域では底質が、土庄地先海域では波浪がアマモ場の分布を制限していることが判明したことから、十分な造成面積を確保する(=適地を拡大させる)にはそれぞれの分布制限要因をアマモが生育可能なレベル(=限界値)にまで緩和することが必要となる。

ここでは、分布制限要因を変化させたときに「アマモ有の出力値」(0.5以上でアマモ生育可能とした)がどのように変化するかについて、ニューラルネットワークでシミュレーション実験を行った。その結果、京ノ上ろう島地先海域については、底質のシルト以下の割合を30%とすると現況の適地よりも広い水深帯が適地となることが予測された。同様に、土庄地先海域について、波高を0.3m未満に軽減すると現況の適地よりも深い場所に適地が広がることが予測された(図9-4)。

以上のことから、各海域における環境整備としては、京ノ上ろう島地先海域では底質のシルト以下の割合を30%とし、土庄地先海域では波高を0.3m未満に低減させる波浪緩和対策を講じることが有効であると考えられた。

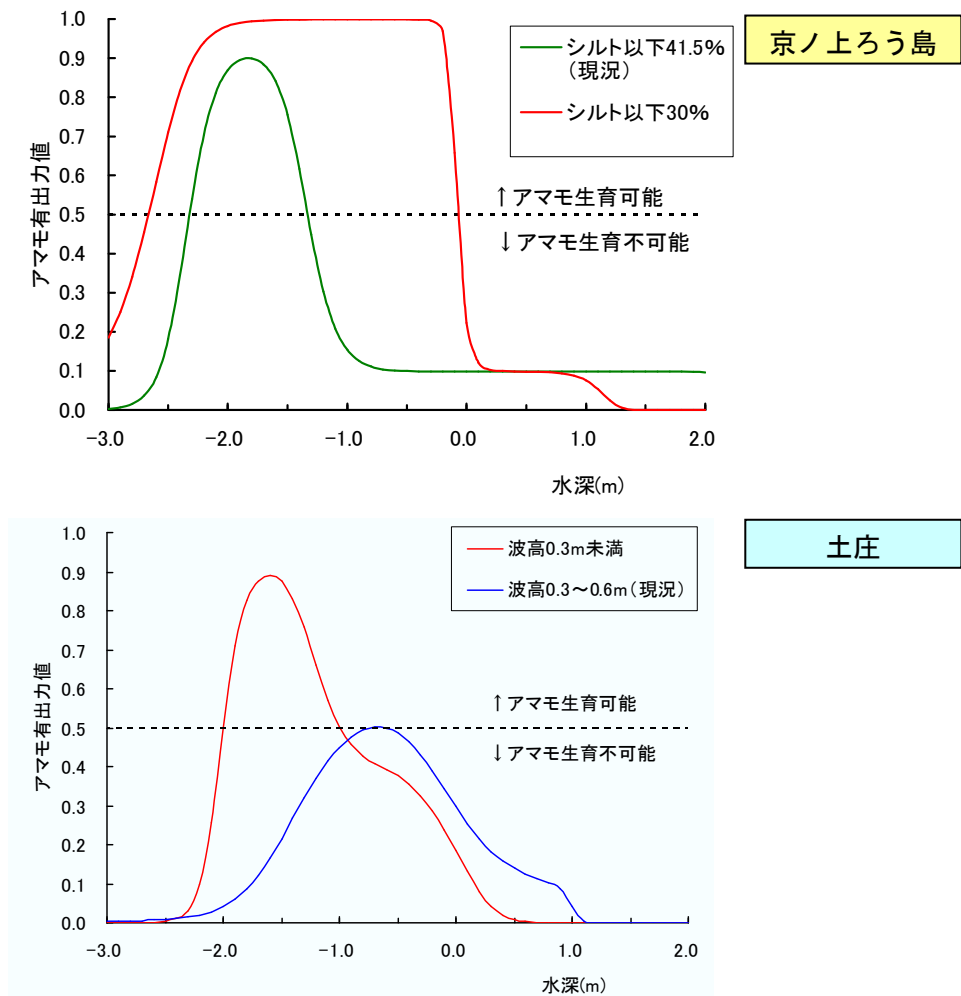


図9-4 分布制限要因を変化させた場合におけるシミュレーション実験結果

9-3 整備方針の策定

(1) アマモ場造成試験（モニタリング）

造成アマモ場の種苗供給方法と区画配置を検討するための基礎データを取得することを目的として、京ノ上ろう島地先海域と土庄地先海域の適地内に平成18年1月にアマモ場試験区(図9-5)をそれぞれ造成し、1年間モニタリングを実施した。

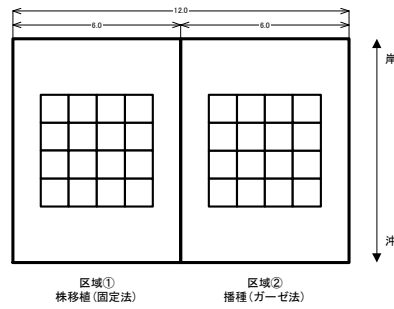


図9-5 (1) 試験区の区画配列模式図（京ノ上ろう島試験区）

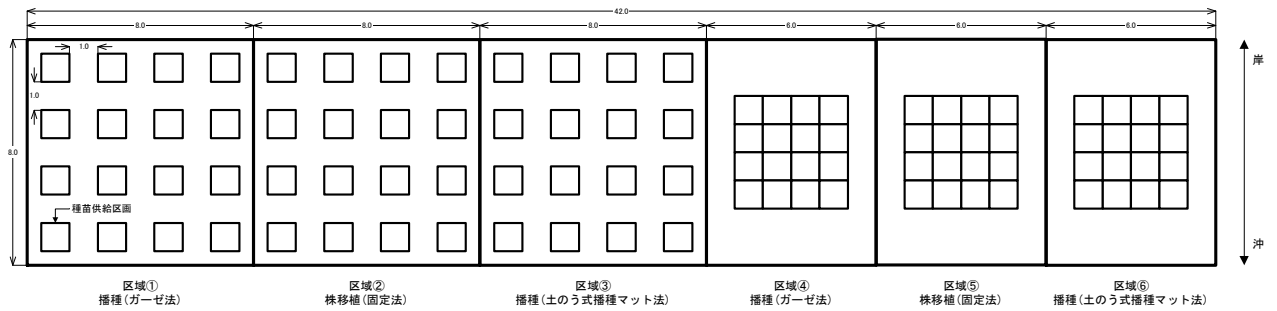


図9-5 (2) 試験区の区画配列模式図（土庄試験区）



播種状況（ガーゼ法）



株移植状況



播種状況（土のう式マット法）

衰退期におけるアマモの平均株数は、両試験区とも株移植の区域が播種区域よりも高く、土庄試験区では播種方法による生残率の差はほとんどみられなかった。

また、土庄試験区における生残率は、株移植では連結しない区域(区域②)が連結した区域(区域⑤)よりも生残率が高く、播種区域では、配置による生残率の差はみられないが、生残株数が0となった区画は連結した区域の方が少なかった(図9-6)。

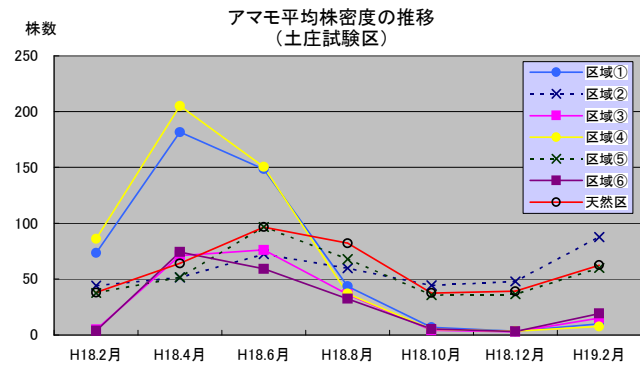
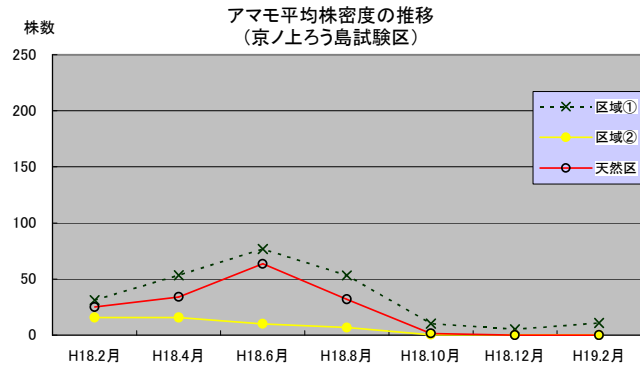
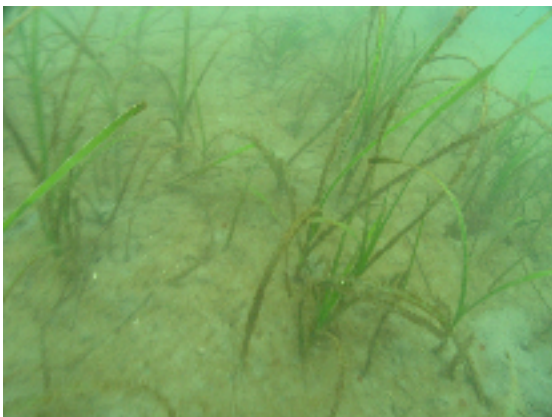


図9-6 アマモ平均株密度の推移



株移植直後 (H18.1月)



株移植 11 ヶ月後 (H18.12月)



ガーゼ法発芽体 (H18.4月)

(2) アマモ場整備方針の策定

①造成目標の設定

● 量的目標

量的目標は、造成したアマモ場の広がりをも分布面積により評価する。

【量的目標】

造成10年後における造成アマモ場の分布面積は造成エリア（種苗供給エリア）の80%を確保する

● 質的目標

質的目標は、造成したアマモ場の生育状況を株密度により評価する。

【質的目標】

造成10年後における造成アマモ場の株密度は天然アマモ場の1/2を確保する

②種苗供給方法の検討

● 種苗の供給方法

造成試験結果によると、株移植が播種2法よりも生残率が高い結果となったが、播種についても、衰退期(10, 12月)に株が生残しており、2月に増加傾向を示したことから、供給方法として採用できる。

よって、種苗供給方法は、播種法と株移植法を併用することとし、アマモ場造成時点における種苗および株の確保可能量を踏まえて、その比率を決定することとする。

● 播種区域の配置

モニタリング調査結果によると、種苗の供給方法によって効果的な区域の配置方法は異なる結果となった。すなわち、株移植の場合は連結しない配置、播種の場合は連結した配置が効果的であると考えられた。津田湾における造成試験によると、アマモ生育域の広がりには播種区域から外側へはほとんど広がらなかったことが報告されているが、今回実施した土庄試験区（株移植）では、年間約0.26m拡大した。岡山県の事例でも、造成アマモ場の拡大速度は約0.25m/年とされていることから、区画の間隔は、造成規模に応じて最大5m程度(0.25m×2方向×10年：目標年次)とする

③環境改善計画

適地評価で推定されたアマモ場の分布制限要因となっている環境条件を改善するための方策を検討する。京ノ上ろう島地先海域では、底質のシルト以下の割合を低減することにより造成適地が拡大することから、覆砂による底質改善を行う。また、土庄地先海域では、波浪条件の緩和により造成適地が拡大し、適当な造成規模を確

保できることから、消波施設（石積式潜堤）を採用する。

④造成規模と配置計画案

京ノ上ろう島地先海域と土庄地先海域におけるアマモ場造成区域配置(案)は図9-7に示すとおりである。

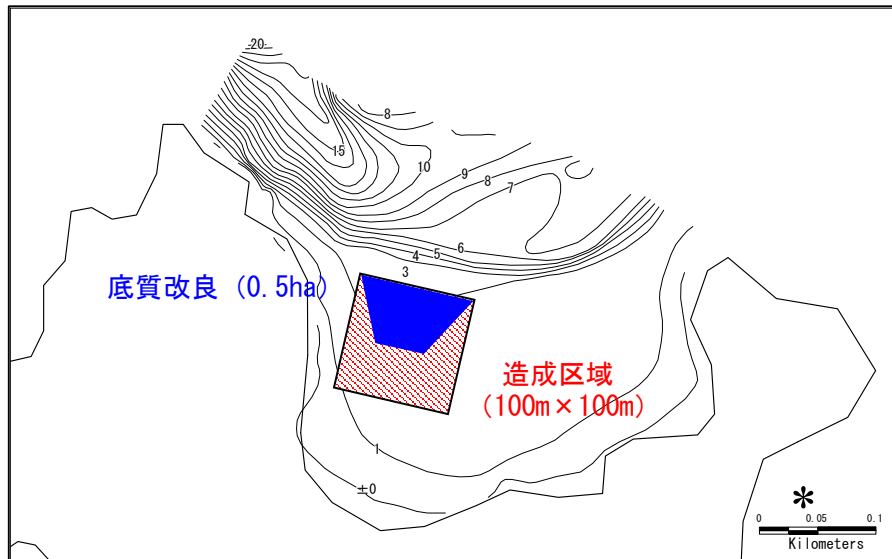


図9-7 (1) アマモ場造成区域配置案 (京ノ上ろう島地先海域)

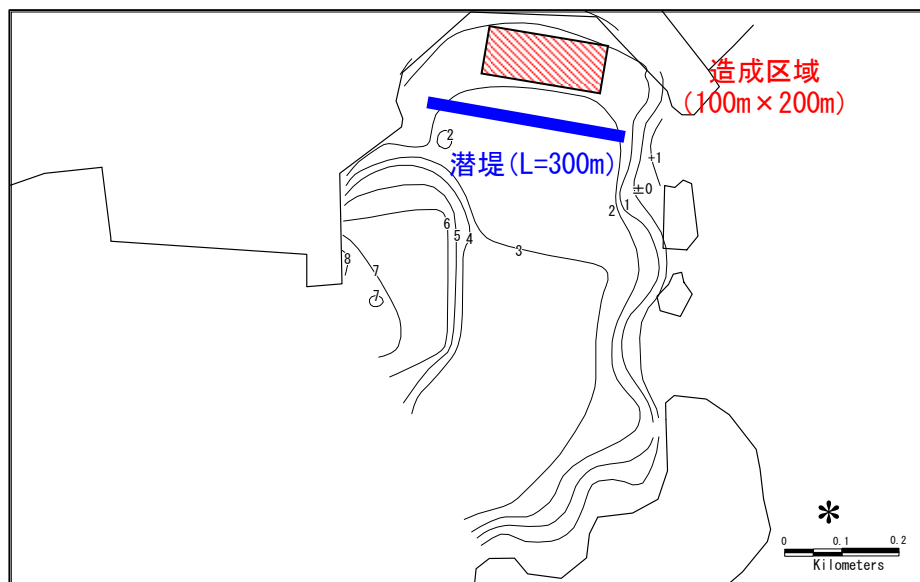


図9-7 (2) アマモ場造成区域配置案 (土庄地先海域)

9-4 事前評価

(1) アマモ場造成効果の算定（漁業生産効果）

香川県海域における平成元年～16年の魚種別漁獲量と平成元年と8年のアマモ場の面積のデータを用いて、多々良拡張モデルを適用し「アマモ場の面積とアマモ場の基礎生産量との関係」、「アマモ場の基礎生産量と有用魚介類の漁獲量との関係」を定式化することにより、アマモ場1ha当たりの増加漁獲量を算定した。

算定手順は前出 P17 図 6-2 に示すとおりであり、アマモ場面積と有用魚介類の漁獲量(ベントス食系魚類)として以下の関係式を求めた。

$$C_t = 16.25A_t - 4422.56 \quad (\text{ここで、アマモ場の面積 } A_t, \text{ ベントス食系魚類の漁獲量 } C_t)$$

これより、 A_t の増加量に対する C_t の増加量を表す 16.25 トン/年がベントス食系魚類のアマモ場1ha当たりの増加漁獲量となる。

さらに、この増加漁獲量に魚価（413.8円/kg＝平成16年の海面漁業生産額836,484万円/同生産量20,214トン）を乗じて、アマモ場1ha当たりの増加漁獲金額 672万円/年を算定した。

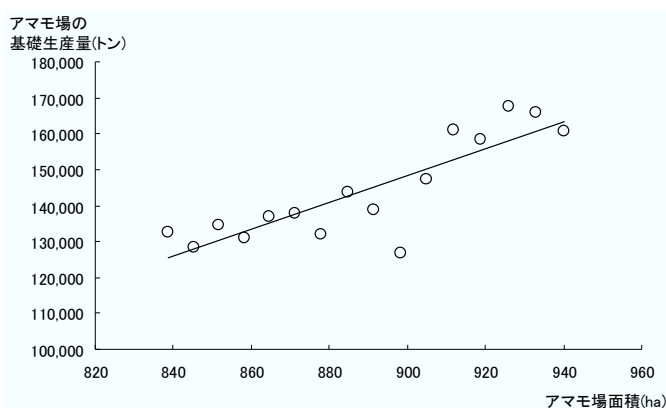


図 9-8 アマモ場の面積とベントス食系魚類が利用した基礎生産量との関係

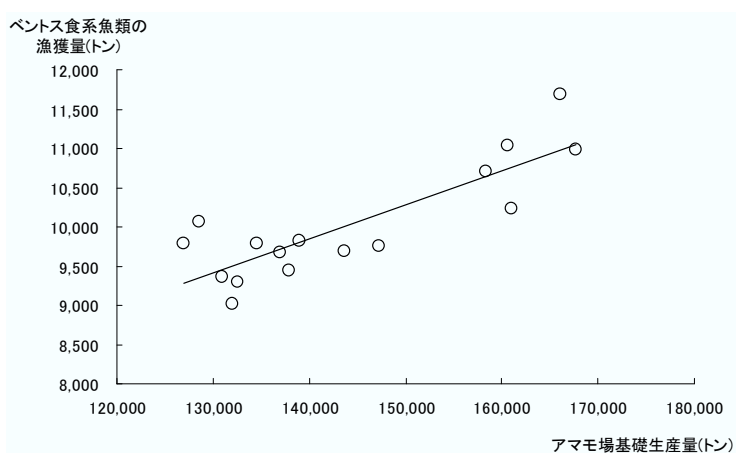


図 9-9 ベントス食系魚類が利用したアマモ場の基礎生産量とベントス食系魚類の漁獲量との関係

(2) アマモ場造成費用

アマモ場造成候補海域におけるアマモ場造成費用(概算)は、表 9-2 のとおりである。

表 9-2 アマモ場造成費用 (概算)

海域	施設	規模	単価	金額	備考
京ノ上ろう島	アマモ場造成	1ha	5 千円/m ²	50,000 千円	
	底質改善	0.5ha		30,000 千円	覆砂
	計			80,000 千円	
土 庄	アマモ場造成	2ha	5 千円/m ²	100,000 千円	
	消波施設	300m	386 千円/m	115,800 千円	石積式潜堤
	計			215,800 千円	

※アマモ場の種苗供給方式は、今回造成試験で採用したガーゼ法と土のう式マット法のうち造成単価が高いと想定される土のう式マット法として算定した(1m²あたりマット数は約0.2枚とした)。

(3) 費用対効果分析

アマモ場造成事業の経済性を費用対効果分析により評価した。

事業の費用対効果評価は、一般的に費用便益比率(事業の総便益/事業の総費用)で評価することとし、算定した費用便益比率(B/C)は、京ノ上ろう島地先海域で1.45、土庄地先海域で1.08となった(ここでは、水質浄化効果(便益)と管理費(費用)は考慮していない)。