

漁場の費用対効果分析基礎調査 費用対効果分析手法検討 (藻場の炭素固定効果の検討)

財団法人 漁港漁場漁村技術研究所
漁場と海業研究室 伊藤 靖・中野喜央

調査実施年度

平成 16 年度～平成 18 年度

緒言

現状の費用対効果分析では、水質浄化効果、生物多様性向上効果、大気保全効果（CO₂固定化効果）の最も便益が大きいと考えられる評価項目が貨幣化できないため、B/C が低く見積もられ、事業進行に支障をきたす恐れがある。

本調査は、藻場・干潟の造成、漁場保全（覆砂等）を対象に、大気保全効果（CO₂固定化効果）及び水質浄化効果、生物多様性向上効果を定量的（貨幣化）に算定する手法を検討することを目的とする。

特に大気保全効果については、従来の研究では現存量をベースにした基礎生産力を基に算定されており、海藻草類の流出、分解等を含めた総合的な評価は行われていない。本調査では、干潟・藻場における炭素循環のいろいろな経路を考え、効果の大きさをどの程度まで評価することができるかを検討した。

調査方法

本調査は関連する既存知見を収集・整理することにより検討した。

調査結果

既存知見を収集整理し、藻場・干潟の造成、漁場保全が大気保全効果（CO₂固定化効果）及び水質浄化効果、生物多様性向上効果に与える効果のメカニズムを整理するとともに、貨幣化を行うための定量指標を検討した。

1. 大気保全効果

1.1 海洋における大気保全効果のメカニズム

大気保全効果としては、大気中の二酸化炭素濃度の安定化によって、地球温暖化を抑制することへ、沿岸漁場整備開発事業が寄与する効果を対象とした。

二酸化炭素は、大気や海水、生物、地中等に存在する。海洋における炭素循環には、海洋表層と中・深層に4つの炭素の「プール」がある¹⁾（図1.1）。炭素が炭素循環内で、これらのプールに存在する間は大気中へ回帰せず、大気保全へ寄与すると考えられる。これら

の炭素のプールのうち、溶存無機炭素プールにある炭素は、海水と大気との間で放出や溶解による行き来があるが、生産物プールでは生存する間と枯死後の分解までの間は生物体として炭素を貯蔵する役割を果たしていると考えられる。

本調査では、漁場整備の大気保全効果について、生産物プールに着目して検討し、生物体（植物・動物）を介して、沿岸や中・深層に、炭素が固定されることにより、これに相当する炭素量が大气中から長期的に減少することへ寄与する点に着目した。

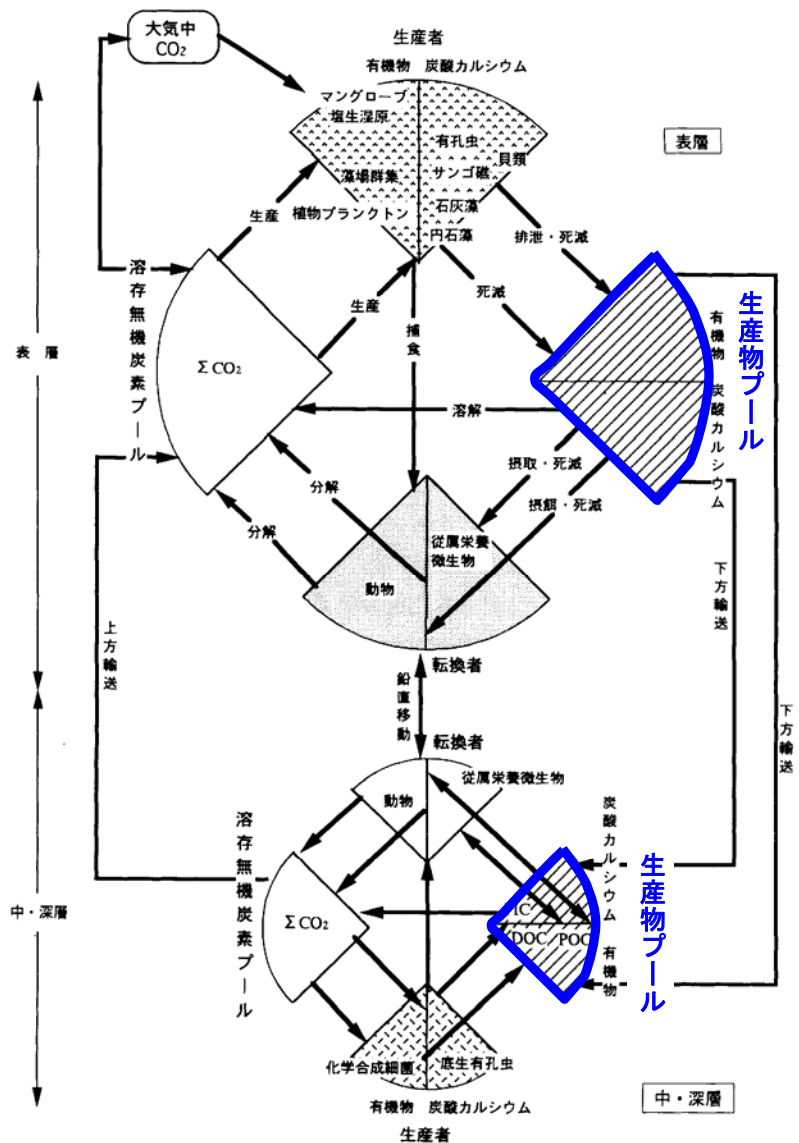


図 1.1 海洋の炭素循環¹⁾

1.2 沿岸における大気保全効果のメカニズム

漁場整備事業の対象となる沿岸域における炭素の挙動は、循環の時間的なスケールの違いから、大まかに下記の3通りの挙動に分けて考えることができる(図1.2)。

- A) 植物体に固定された炭素が、植物の呼吸や分解により海水中に回帰する循環(図1.2上段の実線)。
- B) 植物体や動物体に固定された炭素が、生物体の死亡後に堆積し、最終的には石炭化や石油化する等、地中に固定される(図1.2の点線)。
- C) 循環の規模がAとBの中間的なものとして、植物体に固定された炭素が、食物連鎖を経て、栄養段階の低次の動物から高次の動物へと移動し、最終的には呼吸・排泄物・死体の分解によって海水中へ回帰する循環(図1.2の二点鎖線)。

これらの炭素の挙動を図1.1の海洋における炭素循環に照らし合わせると、AとCは上層での生産物(生物体として)のプール、Bは中・深層での長期的なプールに該当する。

漁場整備事業による大気保全への効果は、海域内での炭素(二酸化炭素等)の固定量が、事業の実施によって増加することにより評価できる。海洋の炭素循環に従うと、沿岸で生物体としてプールされた後底質に固定される炭素の量と、沿岸の底質や中・深層へ輸送後に固定される炭素の量がこれに該当する。

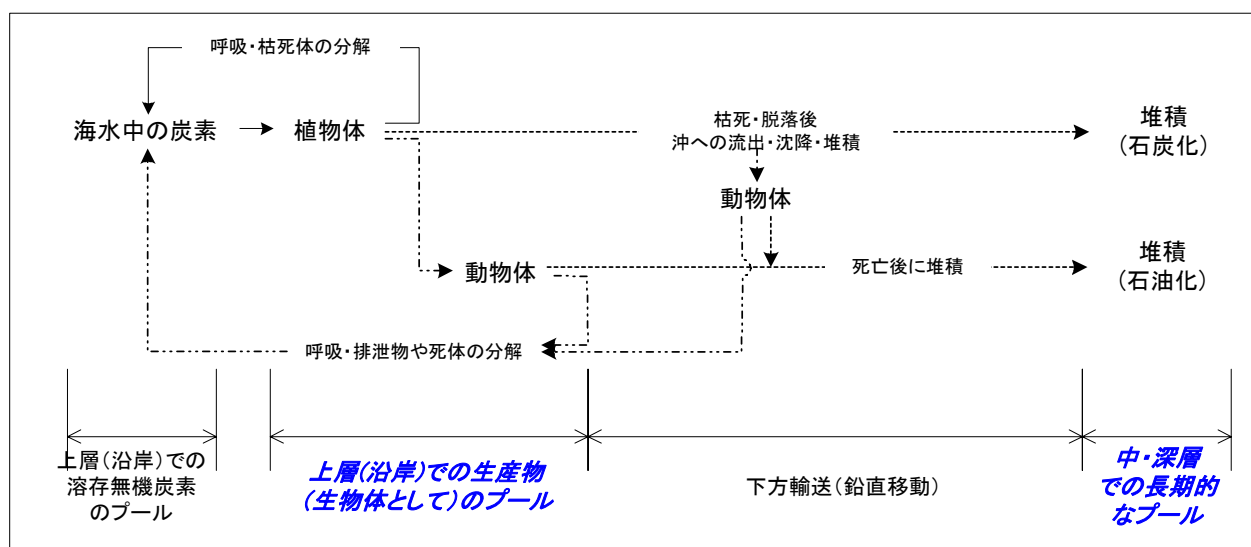


図1.2 沿岸海域での炭素の挙動と本調査で対象とする範囲

沿岸での生態系を介した炭素の循環を模式的に描くと図1.3のようになる。

炭素は、海水中では、 HCO_3^- 、 CO_3^{2-} 、 CO_2 として存在する。これらの炭素が生態系(物質循環)へ取り込まれる過程は、主として植物(プランクトン、海藻類、海草類)の光合成による。生物体内へ取り込まれた炭素は、①生物体として貯留され、その後、排泄・枯死・呼吸に伴い海水中へ回帰する以外に、②枯死後に分解されずに海底に固定され、もしくは、③対象とする海域の沖側中深層へ移送される。

生物体へ貯留する炭素(①)は、物質循環の過程で比較的短期間で海水中へ回帰する(貝類の貝殻を形成する炭酸カルシウムを含む)が、炭素固定に常時寄与する生物量、すなわち、海藻草類の年間最小現存量による生産量(炭素固定量)は、長期間の固定とみなすことができる。沿岸域での海底への堆積(②)は、主にアマモやヨシ等の地下茎や草体によ

るものであり、沖合域（海洋中深層）での生物体としての固定は、アマモやガラモ等の流失・沈降した草体（藻体）によるものであり、これらの過程では炭素は長期間固定され、大気を含む循環の系外へ除去されることから、大気の保全に寄与するものである。

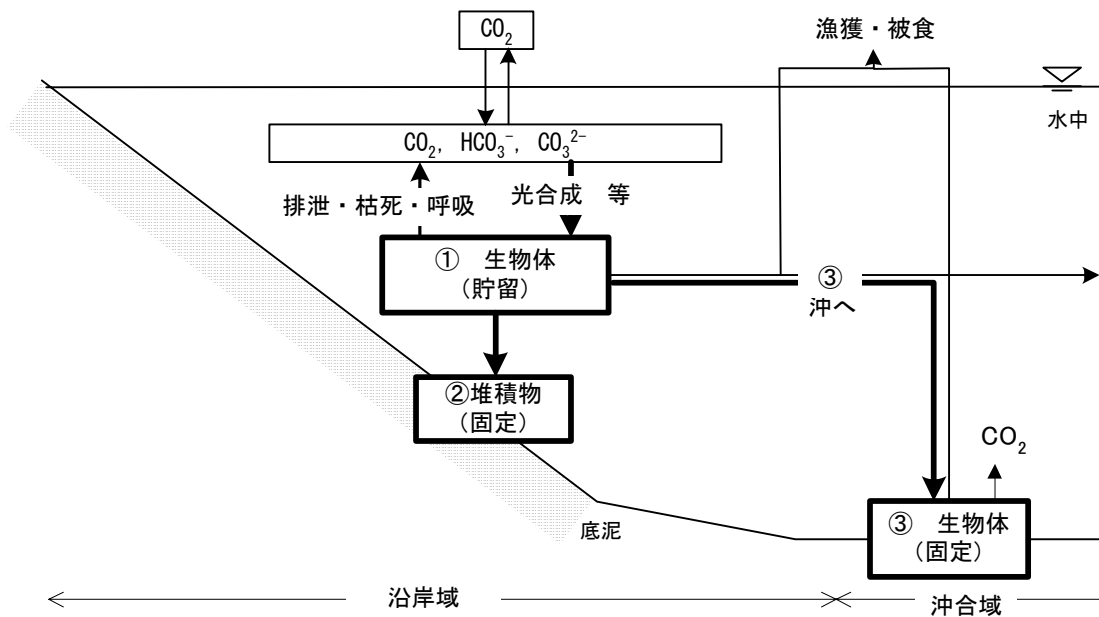


図 1.3 沿岸域での炭素の循環過程

海域での炭素固定量については、従来から、海草・海藻類の現存量や基礎生産力に基づいて定量化されている。この方法で得られる炭素固定量はその場に現存する海草・海藻類の作用によるものであり、呼吸等比較的短時間で海水へ回帰する量を含む一方、植物群落が成長する過程で枯死・消失した植物体に固定され長期間海水へ回帰しない量は含まれていない。

本調査では、長期間海水へ回帰しない炭素の固定量を検討した。

藻場における炭素固定の主な過程は、海藻草類が光合成により二酸化炭素を吸収・同化し、藻体（草体）を形成することであり、藻体（草体）の現存量として把握できる。ただし、葉体は生長に伴い枯死・脱落していることから、長期的な炭素固定として有効な過程には、常時現存する生物量すなわち年間の最小現存量による固定が該当する。

また、海藻草類は、生産物の相当量を分泌物（有機物）として海中に出しており、その一部は難分解化し海水中等に長期間残留することから、炭素固定に寄与すると考えられている。

この他の過程については、主な構成種が海草類の場合と海藻類の場合とでは異なる。

海草類では、葉部分については枯死・脱落后、分解されて無機炭素になり海水中へ回帰するほか、分解されにくい部分は堆積する。長期的な炭素固定としては、未分解の状態で堆積若しくは流失し海洋中深層に長期間存在する過程が該当する。また、地下茎部分は、地上部の枯死後も堆積層に残り、葉部にも分解し難い成分があることから、長期的に炭素を固定すると考えられている。

岩礁性海藻類の藻場では、藻体の光合成によって固定された炭素は、枯死・脱落后に分

解されて無機炭素になり海水中へ回帰する場合のほか、長期的な炭素固定としては、未分解の状態で流失し海洋中深層に長期間固定される過程が該当する。ガラモは、脱落・漂流時にも生長しており、脱落后も炭素固定に寄与する。

藻場における炭素循環の主な過程について、アマモ場の例を以下に示す。

①アマモの生活史

アマモは雌雄同株で、種子による繁殖（有性生殖）と地下茎の生長・分岐による繁殖（無性生殖）を繰り返し、群落を拡大する。アマモの多くは多年生である。葉長は初夏が最大、秋季～冬季に最小となり、現存量もそれに応じて大きく変化する²⁾。

②アマモの生長様式の特徴

成熟した種子は秋季～冬季にかけて発芽する。栄養株は春季から初夏にかけて盛んな生長を示すが、盛夏の高水温期には葉条部は枯れて生長は休止する。秋に入って水温が低下してくると、再び生長が始まり、葉条部と地下茎とに分かれる部分に新しい株となる芽を形成する。

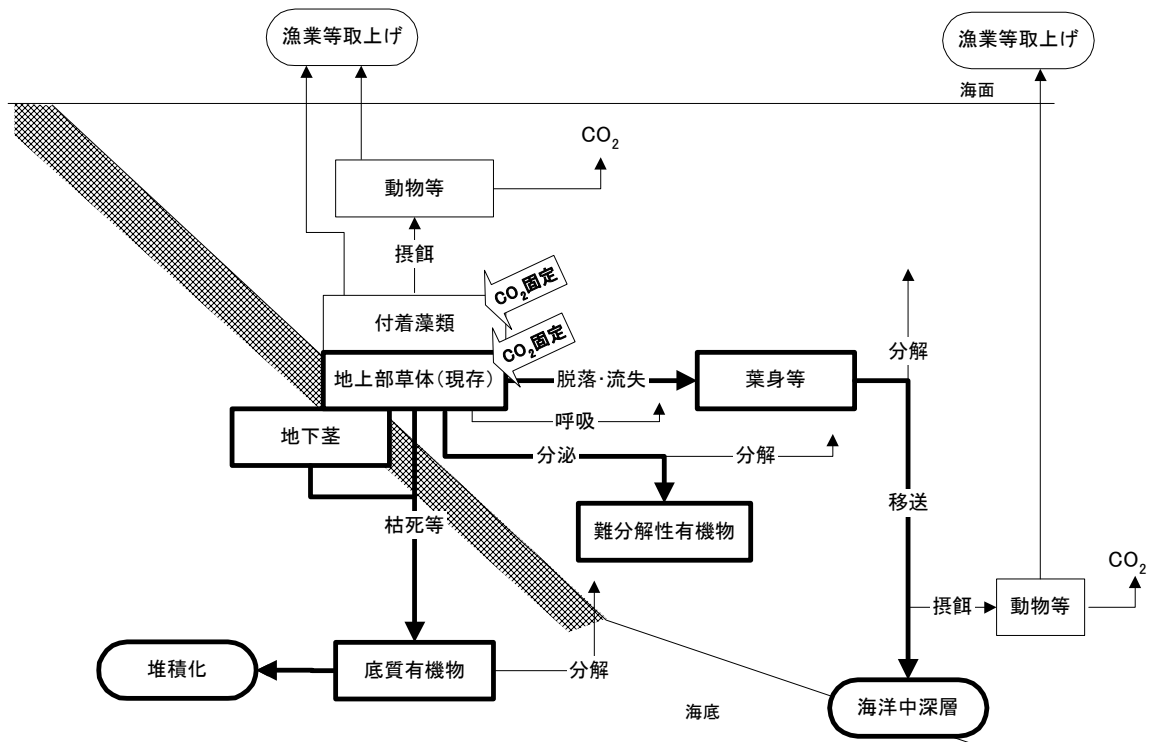
芽は生長するにしたがって、新しい株となって、親株から分岐する。一方、親株の地下茎は、生長するにつれて古い方から順に枯死する。このため親株上に形成された新しい株は独立した株となる。親株、子株とも地下茎の先端部は生長を続けるため、これらの株は次から次へと新株を形成しながら、前へ前へと伸びていく。

このような有性生殖と無性生殖を繰り返しながら群落を拡大する²⁾。

③アマモ場における炭素循環の主な過程

アマモ場における炭素循環の主な過程を以下に示す。

- (ア) 基礎生産：海草が光合成により海水から二酸化炭素を吸収し、草体として炭素を固定（生産）する。これに、草体表面の付着藻類による生産も加わる。
- (イ) 消費（食物連鎖）：生産された炭素の一部は、海草・付着藻類が分泌する有機物として海中へ放出される。これらを餌とするバクテリア→甲殻類等→魚類等の食物連鎖もある。
- (ウ) 呼吸・分解：生産された炭素の一部は、生物の呼吸や枯死・死骸となった後にバクテリアにより分解され、二酸化炭素として海水中・大気中へ回帰する。
- (エ) 堆積化：生産された草体・地下茎は、枯死・脱落后、分解を受けつつ堆積する（堆積化）。
- (オ) 海洋中深層へ移送：生産された草体は、脱落・流出により、一部の葉身等は沖合の海洋中深層へ沈降する（沈降粒子化）。
- (カ) 現存量：上記の生産量から消費、呼吸・分解、堆積化、海洋中深層への移送による喪失量を差し引いた残りが、草体としての現存量となっている。
- (キ) 漁獲等取上げ：自然の循環の他に、人為的な作用として、魚介類等の漁獲による陸上への取上げがある。



注)太線は長期的な炭素固定に該当することを示す。

図 1.4 アマモ場における炭素固定

アマモの他に、海藻類藻場として、アラメ・カジメ場、ガラモ場、コンブ場についてもアマモ場と同様、生活史と各藻場における炭素循環の主な過程について調査を行った。

アラメ・カジメ類と、コンブ類は同様の生活史をくり返す多年生藻類である。顕微鏡サイズの配偶体と1~2mの藻体になる造胞体(葉状体)との世代交代を行う。生活年周期は、葉状部が極小期から極大期に至る1~8月の成長期と、子嚢斑が盛んに形成される9~12月の成熟期とに大別できる²⁾。

ホンダワラ類の繁殖は、有性生殖だけによるもの(一年生:アカモク、ヨレモク等)、有性生殖と栄養生殖の両方によるもの(多年生:ウミノトラノオ、フシスジモク等)の二つのタイプがあり²⁾、多くは冬季から春季にかけて水温の上昇するところから生長が盛んとなり、藻体重量が最大となる春季から夏季にかけて成熟する。ほとんどの種は4~6月にかけて繁茂・成熟し、8~10月にかけて枯死・衰退する²⁾。

また、海藻類の各藻場における炭素循環の過程についてはほぼ同様であるが、アマモ場では、生産された草体・地下茎が枯死・脱落后、分解を受けつつ堆積するのに対し、海藻類による藻場ではこの過程は存在しないことが特徴である。

さらに、干潟及び漁場環境保全活動による炭素固定の過程の変化についても検討した。

干潟における炭素の固定は、海底の付着藻類、潮上帯の塩生植物、海草類が担う。このうち付着藻類や塩生植物の枯死体(デトリタス)等は動物に捕食され貯留されるものの、呼吸・分解により海水中へ回帰する。この中には貝殻に炭酸カルシウムとして固定される炭素も含まれる。長期的な炭素固定として有効な過程は、塩生植物や海草類の地上部の一

部が流失し海洋中深層に移送されるものと、地下茎で海底に貯留するものである。

覆砂、浚渫等の漁場環境保全活動は、浅場で行われ、覆砂によって干潟が造成される場合が多い。浅場における炭素循環では、大気中や水中から二酸化炭素を取り込む役割は底生藻類が担っている。一方漁場環境保全活動によって干潟が造成され、もしくは水深がより浅い海域が造成されることにより、海底における底生藻類による生産は高まると考えられるが、これは比較的短期間に海水に回帰する。また、浅くなることにより光条件や酸素条件が改善され、海草類が生育するようになると、炭素は、干潟と同様に、地上部の一部は海洋中深層に移送され、また地下茎にも固定される。

1.3 炭素固定量算定の考え方

炭素固定量の考え方は、固定作用そのものである基礎生産量に基づくことが多い。現存量を基にした基礎生産量から得られる炭素固定量は、その場に現存する生物体によるものであり、群落が成長する過程で枯死・脱落等により消失した固定量等が含まれないことから、飯泉³⁾や石岡ら⁴⁾によって新たな考え方が提示されている。

飯泉³⁾は、藻場の藻体全体としては生長しながらも個体としては脱落部分が大きく、現存量 (B) の何倍も炭素固定 (P) していること考慮し、この喪失量を補正するため P/B 比を用いて固定量を下記のように、算定している。

海藻による炭素固定量 = (単位面積あたり現存量) × (P/B 比) × (炭素含率) × (藻場面積)

また、石岡ら⁴⁾は、藻場における炭素の保持能力として、藻場の年間定常の「現存量(最小現存量)」と海中に存在する「未分解藻片量」を評価している。

さらに、三上ら⁵⁾は、現存量に基づく P/B 比は、目に見える新生物量のみを純生産量とみなすが、目に見えない溶存有機物として海水中に溶出する分を考慮すると、ガラモ場の P/B 比は 2～3 倍程度大きくなるとしている。

これらの算定は、藻場を構成する主な海藻草類の生産量に着目したものである。

生産で固定される炭素の多くは物質循環の過程で比較的短期間に海水中に回帰する。一方、常時生育する海藻草類は常時炭素を固定・貯留しているほか、枯死・脱落した葉体の一部は、海底への堆積や海洋中深層へ移送され、長期間固定されることになる(「2」沿岸における大気保全効果のメカニズム」参照)。長期間固定される炭素は、大気中の炭素量を低下させることへ寄与し、大気保全の役割を果たしている。

本調査では、海藻草類等による炭素固定量のうち長期間固定される量について検討した。炭素固定量は、①炭素循環の過程で常時生物体に固定・貯留する量、②堆積物として海底に固定される量、③対象海域の沖合深所へ移送・隔離される量、④分泌される溶存有機物のうち難分解性物質の量で表す。

本調査において藻場・干潟・漁場保全における炭素固定とする要素を図 1.5 に示す。

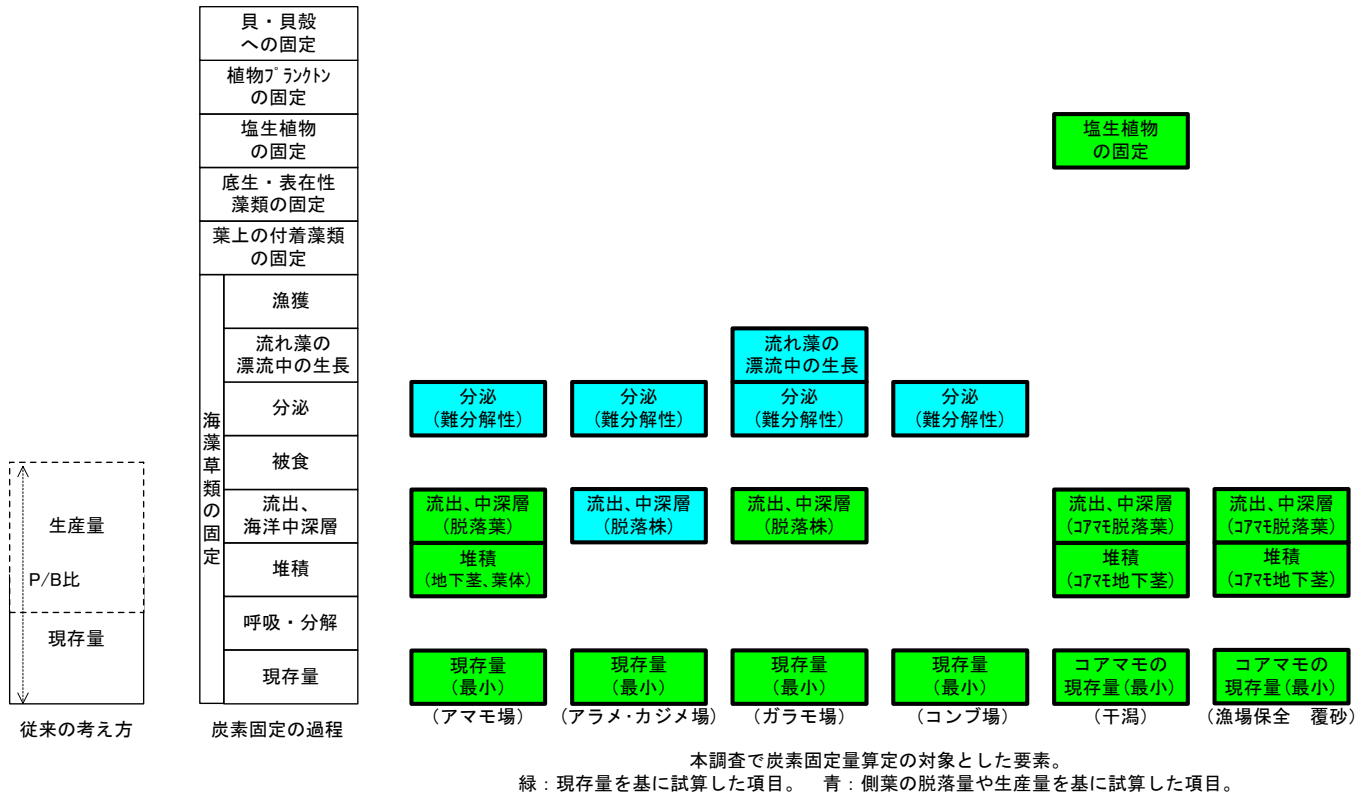


図 1.5 本調査における炭素固定量算出の考え方

現存量に基づく P/B 比から純生産量を試算し、全てが炭素固定とする従来の考え方に対し、本検討では、短期的に海水中等へ回帰する量を除いた長期的な炭素固定量を検討した。既往知見の制約から現存量を基に生産量を求めた要素(図中の緑色のボックス)もあるが、側葉の脱落量、分泌物の量、流れ藻の漂流中の生長(図中の青色のボックス)等を積み上げ、継続的に生産・固定される炭素量をできるかぎり考慮した。

炭素の主な挙動としては、「2) 沿岸における大気保全効果のメカニズム」に示すように、海藻類の現存量となるもの、植物体から海水中に回帰する呼吸・分解(「2) 沿岸における大気保全効果のメカニズム」におけるA)、植物体の分解後の堆積や中深層への流出後の堆積、藻体からの分泌物(同B)、魚介類による被食(同C)、漁獲等水域外への取り出しがあり、他にガラモでは流出後の生長で固定される分がある。

これらのうち呼吸・分解、魚介類による被食では、固定された炭素が比較的短期間で海水へ回帰することから大気保全となる長期的な効果には該当せず、漁獲等水域外への取り出しについては、海域から炭素が除去されるものの大気保全の観点からは固定にはならない。

なお、貝類やサンゴ類、有孔虫、大型石灰藻、円石藻類等は、炭酸カルシウムを生産する過程で炭素を固定するが、この作用では、海水中から炭素を固定する際に大気へ二酸化炭素を放出することにもなることから、本調査では大気保全への効果はほとんどないものとした。

【炭素固定にかかる要素の考え方】

①現存量（最小現存量）

海藻草類の現存量は、年間で大きく変動し、コンブの場合には、葉部が5回入れ替わるとの知見もある¹⁾。

現存量のうち変動する部分は、魚介類の餌、枯死・脱落・分解、沖合の海洋中深層へ流出、漁獲等に該当する。変動しない現存量は、年間の最小現存量に相当する。この最小現存量は、常に炭素を貯留・固定していることから、大気保全への効果がある。

②堆積

堆積作用がある場合は、アマモ場及び干潟の背後地に生育するヨシ等塩生植物群落である。塩生植物の地上部の枯死・脱落した植物体や地下茎は、分解されにくく海底へ長期間堆積する。アマモの地下茎や草体は、堆積して短期的な炭素循環の系外へ除去される割合が海藻に固定される炭素の16%⁶⁾とされる。

現存量とP/B比を基に生産量(固定量)を求め、堆積化の割合16%を乗じて求めた。

③海洋中信組巣への移送

枯死・脱落した草体(葉体)のうち一部は流出し、沖合の海洋中深層へ沈降(沈降粒子化)して、短期的な炭素循環の系外へ隔離される。

海藻の葉身は水深4,000~8,000mの深海でも数多く確認されている¹⁾。また、浅場で生育したツルアラメやホンダワラ類が荒天後に水深150~200m付近で採取された事例もある⁷⁾。海藻草類の種類によっては、枯死・脱落等の量が相当量になると考えられている(寺脇、私信)。わが国の沿岸には水深数百mを超える海域が広く分布することから、大量に発生する葉身・流れ藻・寄り藻等の一部は、深海に向けてダイナミックに移動しているものと推測されている^{7)、8)}。

深海に運ばれた草体(葉体)は分解されるが、海洋中深層の水塊は、地球規模の大循環によって再び表層へ上昇するまで数千年を要することから炭素固定機能を有するとされる¹⁾。

また、ヨシの葉や茎は分解が遅く⁹⁾、にもかかわらず沿岸のヨシ帯では枯死した葉部が少ないことから、高波浪時等に流失し沖合海域へ移送されているものと考えられる。

従来の炭素固定量の積算では、海洋中深層への移送については十分に検討されておらず、今後、この量を見積もることは重要である。

側葉の脱落量についての知見があるアラメ・カジメ場については、年間の脱落量を基に、沖合への移送割合等を考慮して試算した。その他の藻場等については、現存量とP/B比から生産量を求め、沖合への移送割合等を考慮して試算した。

④分泌

海藻や付着藻類は、生産した有機物の一部、またはかなりの部分を様々な代謝生産物として、細胞外に分泌することが知られ¹⁰⁾、被食抑制のための忌避物質としての機能を持つとされる³⁾。このうちフミン酸等の難分解性物質については、海洋における有機炭素の貯蔵という観点から大きな意味を持つと考えられている¹⁾。

従来の炭素固定量の積算では、溶存有機物の分泌については十分に検討されておらず、今後、この量を見積もることは重要である。

藻体から分泌される有機物量は総生産量の40%¹⁾とされるが、この内、難分解性物質の割合については、直接的な知見は得られていない。一方、マクロでみた場合、生産された溶存有機物の数%~十数%は、海水中に数百年~数千年の時間規模で滞留す

る¹⁾とされる。そこで、この海水中の平均的な値を適用し、藻体から分泌された溶存有機物の10%が難分解性物質として長期間海水中を滞留するものとして試算した。

1.4 炭素固定量の算定

炭素固定量の算定は、アマモ場、ガラモ場、アラメ・カジメ場、コンブ場、干潟について検討した。以下にアマモ場についての算定結果を示す。

(1) 現存量の変化

アマモの現存量を総括した資料では $0.07\sim 1.0\text{kg-dw/m}^2$ ¹⁾とされる。季節的な消長については、天草富岡湾で地上部の現存量は概ね $0.05\sim 0.4\text{kg-dw/m}^2$ で変動する¹¹⁾。地上部と地下部を合わせた現存量については、一色干潟で最大 0.6kg-dw/m^2 ¹²⁾、広島湾で $0\sim 0.20\text{kg-dw/m}^2$ ¹³⁾、三河湾で $0.001\sim 0.19\text{kg-dw/m}^2$ ¹⁴⁾等が報告されている。

年間の最小現存量としては、広島湾のように草体が確認されない例もあるが、ここでは、天草富岡湾の事例から 0.05kg-dw/m^2 とした。これに炭素含有率 0.35 ¹⁵⁾ を乗じて固定量を試算すると $0.018\text{ kg-C/m}^2/\text{年}$ となる。

(2) 脱落・海底への堆積

①藻場内での堆積

アマモは、地下茎と根部を持ち枯死後も堆積層に残る。また葉部も分解し難い成分を含むことから、固定された炭素が長期間残る。海草に固定された炭素の16%が堆積し⁶⁾、この分は炭素の除去に確実に貢献するとされる³⁾。

②海洋中深層への移送

アマモの葉長は初夏に最大、秋季～冬季に最小となり、現存量もそれに応じて大きく変化する²⁾。枯死・脱落した葉体のうち一部は沖へ流失し、沖合の海洋中深層へ沈降する。アマモ1株当たりの重量で日消失率は1.4%である¹²⁾。また、実験水槽では、アマモが新しい葉を次々と形成する順次開葉型の植物であることが確認され、葉の脱落間隔は平均14日、葉の寿命は水温に依存し7～9月に30～40日、11～1月に80日以上である¹⁶⁾。

一方、現存量の季節変化をみると、最大現存量と最小現存量の差が枯死・脱落したアマモの量であり、そのうち、上記16%が堆積すると仮定すると、残り84%が藻場内で分解するか、沖合へ流失していると考えられる。アマモの脱落した葉が沖合へ流出する量については、現時点では知見がなく定量化は困難であるが、下田市大浦湾のカジメ及びオオバモクは約半分の量の有機物を海洋へ供給するとされる¹⁷⁾。海藻草類が沖合へ流失する量については、地形や流れの特性によって海域ごとに大きく異なると考えられるので、本検討では、脱落量の半分が沖合へ移送されるものとした。

沖合へ移送された葉の一部は分解され、フミン酸様の難分解性物質は海洋中深層へ沈降する。アマモの葉が含む難分解性物質の割合について直接的な知見はないが、海藻類では分解される有機物3に対して難分解性物質1の割合とされる¹⁸⁾。この値を当てはめ、炭素含有率 0.35 ¹⁵⁾ を乗じて固定量を試算すると $0.03\text{ kg-C/m}^2/\text{年}$ となる。

なお、葉が分解される前に速やかに海洋中深層へ移送された場合は、海洋中深層において分解・発生した二酸化炭素を含め全てが、短期的な炭素循環の系から除去されることになり、固定量は $0.13\text{ kg-C/m}^2/\text{年}$ となる (④が全量の1となるので)。

表 1.1 継続的な草体の流出・海洋中深層への移送

| 項 目 | 数 値 | 文 献 |
|---|---------------------------|-------------------------|
| ① 年間の現存量 | 0.19 kg-dw/m ² | 村岡 2003 |
| ② P/B:生産量/現存量比 | 4.0 | 村岡 2003 |
| ③ アマモ場外へ流出する割合 | 0.5 | 市川・濱 2006 |
| ④ 分解後も残る割合 | 0.25 | Khailov & Brulakova1969 |
| ⑤ 炭素含有率 | 0.35 | 村岡 2003 |
| 海洋中深層への移送量=①×②×③×④×⑤= 0.03 kg-C/m ² /年 | | |

(3) 草体から有機物として分泌される難分解物質

海藻類は、藻体から様々な有機物を細胞外分泌物として海中へ放出していることが知られている^{3)、10)}。このような有機物の分泌量について、海草に関する直接的な知見はないが、海草類についても有機物の分泌があるものと考えられる（寺脇、私信）。海藻類については総生産量の40%¹⁾が有機物として海中へ放出されているとされ、その内の難分解物質の割合については、直接的な知見は得られていない。

一方、マクロでみた場合、生産された溶存有機物の数%～十数%は、海水中に数百年～数千年の時間規模で滞留する¹⁾とされる。海水中に存在する難分解物質の平均的な割合として、この値を採用し、分泌物の1割が難分解物質として試算した。

生産量を0.26 kg-C/m²/年¹⁵⁾とすると、分泌される難分解性物質量は以下のように試算される。

表 1.2 草体から有機物として分泌される難分解性物質

| 項 目 | 数 値 | 文 献 |
|---|-----------------------------|--------------|
| ① 生産量 | 0.26 kg-C/m ² /年 | 村岡 2003 |
| ② 総生産量に対する有機物の分泌量の率 | 0.4 | 鈴木 1997 |
| ③ 分泌された有機物に対する難分解化する率 | 0.1 | 鈴木 1997 より仮定 |
| 分泌される有機物のうち難分解化する量 =①×②×③ = 0.01 kg-C/m ² /年 | | |

アマモ場における長期の炭素固定量を既往の調査研究データをもとに算定すると、0.1 kg-C/m²/年となる。

アマモの純生産量は、下田鍋田湾で繁茂前の1月に0.6 gC/m²/日¹⁹⁾、繁茂期の4～6月では2.9 gC/m²/日²⁰⁾である。山口柳井湾では4～7月に3.9 gC/m²/日²¹⁾という報告がある。アマモを含む海草全体の年純生産量は0.5～1.0kg-C/m²であり、生産力の高い所ではさらに大きな値になると考えられている²²⁾。

試算した長期的な炭素固定量は、既往知見における生産量の1割以上となった。

表 1.3 アマモ場における炭素固定量

単位：kg-C/m²/年

| 要素 | 長期的固定 |
|-----------------|-------|
| 最小現存量（定常的生物量） | 0.02 |
| 藻場内での堆積 | 0.04 |
| 海洋中深層への移送 | 0.03 |
| 草体からの分泌（難分解性物質） | 0.01 |
| 固定量合計 | 0.10 |

アマモ場と同様に、アラメ・カジメ場、ガラモ場、コンブ場、干潟について、長期的な炭素固定の要素を積み上げた炭素固定量を試算した。試算結果を表 1.4～表 1.7 に示した。

表 1.4 アラメ・カジメ場における長期の炭素固定量

単位：kg-C/m²/年

| 要素 | 炭素固定量 |
|---------------|-------|
| 最小現存量（定常生物量） | 0.34 |
| 海洋中深層への移送（側葉） | 1.3 |
| 分泌 | 0.04 |
| 固定量合計 | 1.7 |

表 1.5 ガラモ場における長期の炭素固定量

単位：kg-C/m²/年

| 要素 | 炭素固定量 |
|----------------|-------|
| 最小現存量（定常生物量） | 0.1 |
| 海洋中深層への移送（流れ藻） | 0.43 |
| 分泌 | 0.06 |
| 固定量合計 | 0.6 |

表 1.6 コンブ場の炭素固定量

単位：kg-C/m²/年

| 要素 | 炭素固定量 | | | |
|--------------|-----------------|---------------------------|------------------|------------------|
| | 本調査 (長期固定のみ) | 参考 (固定に該当する 全作用を含む) | 従来法 (現存量から算出) | 従来法 (生産力から算出) |
| 海洋中深層への移送 | — | — | / | / |
| 現存量（年間の現存量） | 0.99 | 0.99 | | |
| （分泌） | 0.22 | 0.22 | | |
| 被食（ウニの餌となる量） | — | 0.27 | | |
| 漁獲 | — | 3.95 | | |
| 分解 | — | — | | |
| 生産量 | 1.2 | 5.4 | 2.7 | 1.0～2.0 |

表 1.7 干潟における炭素固定量

単位：kg-C/m²/年

| 要素 | 長期的固定 | 各要素の炭素固定量 |
|---|-------|-----------|
| コアマモ地上部分の最小現存量（定常的生物量） | 0.02 | 0.02 |
| コアマモ地上部分の流出・中深層への移送 コアマモの流れ藻等による海洋中深層への移送 （地上部） | 0.05 | 0.05 |
| コアマモ地下部分への固定（現存量） | 0.007 | 0.007 |
| コアマモの表在性生物の生産力 | — | 0.20 |
| ヨシの地下茎による固定 | 0.15 | 0.15 |
| ヨシの葉・茎による海洋中深層への移送 | 1.6 | 1.6 |
| 底生藻類による固定 | — | 0.32 |
| 植物プランクトンによる固定 | — | 0.48 |
| 貝殻への固定 | — | 0.39 |
| 貝殻を経た底質への固定 | — | 0.06 |
| 固定量合計（下記、干潟の構成比を乗じて合計） | 0.06 | 1.28 |

干潟における、ヨシ帯、コアマモ域等の構成比

（盤洲干潟より仮定）

| | |
|-----------------------|--------|
| コアマモ生育域 | (7.6%) |
| ヨシ帯 | (3%) |
| 水面域（底生藻類・植物プランクトン生育域） | (97%) |
| 貝類生息域（干潟からヨシ帯分を除く範囲） | (97%) |

漁場保全活動によって長期的な炭素固定量が増加することへ寄与する要素としては、海草類が生育することによって、海草類の地上部の一部は海洋中深層へ移送され、また地下茎として固定されるものであり、これらは干潟造成の場合と同様に考えられる。

1.5 貨幣価値算定の検討

大気保全効果を便益額に試算する考え方としては、藻場・干潟、漁場環境保全活動による効果と同等の二酸化炭素の量を、①人為的に二酸化炭素の回収・固定を行う際に要するコスト、もしくは、②二酸化炭素排出量取引によって効果を得るとした場合の必要コスト（取引価格）に、置きかえる方法が有り得る。

(1) 回収・固定コストに基づく価値の算定

二酸化炭素の回収・固定等に係るコストの事例を表 1.8 に示す。技術力の向上や汎用に伴いコストは低下すると見込まれるが、現時点では、およそ 5,000～13,000 円/t-CO₂（18,000～47,000 円/t-C）を要する。

藻場・干潟、漁場環境保全活動による単位面積当りの年間の炭素固定量に、これらのコスト（表 1.8 注）参照）を乗じることにより、貨幣価値を算定できる。

表 1.8 二酸化炭素の回収・固定等に係るコストの事例

| 技術 | | | 円/t-CO ₂ | 円/t-C 注) |
|---------|--------------|--|---------------------|----------------------|
| 隔離 | 海洋隔離 | 表層・中層へ海底パイプラインにより輸 送し注入溶解 | 5,299～ 7,130 | 約 18,000 ～ 47,000 |
| | | タンカーにより輸送し中深層へ注入、希 釈 | 6,689～ 8,578 | |
| | | タンカーにより輸送しメタンハイドレ ドにして海底へ投棄 | 9,975 | |
| | 地中貯留 | 帯水層貯留 | 6,800～13,600 | |
| 変換・有効利用 | 化学品への変換 | 炭酸塩固定 | 13,000～ | |
| 分離・回収 | 化学吸収 | アルカリ性溶液との化学反応によりCO ₂ を選択的に溶解 | 4,900～ 5,800 | |
| | 物理吸収 | 高圧下でCO ₂ を大量に溶解できる液体に 吸収 | 6,200～ | |
| | 膜分離 | 多孔質膜に通ガスして選択的に分離 | 12,500～ | |
| | 物理吸着 | ガスを吸着剤と接触させCO ₂ を吸着 | 6,000～ 8,200 | |
| | 回収 | 火力発電所から発生する二酸化炭素を化 学的湿式吸着法により回収（平成13年11 月1日、日本学術会議答申における評価 額の算定根拠。（財）電力中央研究所によ る値） | 12,704 | |
| 吸収・固定 | 大規模森林による地上隔離 | | 2,300 | 約 8,500 |

注)二酸化炭素トン当りのコストであるため、炭素固定量当りのコストは、5,000～13,000円/t-CO₂として12/44で割り換算した。

資料：（財）地球環境産業技術研究機構（2005）²³⁾

(2) 二酸化炭素排出量取引価格に基づく価値の算定

排出量取引とは、温室効果ガス排出量の数値目標が設定されている先進国間で、「排出権」の獲得・移転を認める制度である。

年間の便益額（貨幣価値）は、干潟・藻場の造成や漁場環境整備等による固定炭素量にCO₂排出量価格を乗じることにより算定できる。

CO₂の市場価格は、排出量削減に係るコストや需給バランスによって決まるものであるが、プロジェクトやスポンサーの信頼性、排出量の削減状況によって変動する。取引開始当初の現在は全体的には市場が成長する段階であり、「買い手市場」で取引価格が上昇しているが、変動幅も大きい（表 1.9）。貨幣価値の算定に二酸化炭素の市場価値を用いる場合には、変動が大きい値であることを考慮しなければならない。

表 1.9 排出権取引価格の変動の事例

| 排出権取引制度及び期間 | 取引価格 | 資料 |
|---------------------------|--|-------------------------------|
| 英国国内 (2002年4月～2003年2月) | 4月 : £ 5/t-CO ₂ (約 1,015 円) 10月 : £ 12.4/t-CO ₂ (約 2,517 円) 2月 : £ 2.75/t-CO ₂ (約 558 円) (1ポンド=203円で換算) | みずほ総合研究所 2004 ²⁴⁾ |
| 欧州 25 カ国 (2005年1月～) | 取引開始時 : 約 7 ユーロ/t-CO ₂ (約 980 円) 7月 : 約 30 ユーロ/t-CO ₂ (約 4,200 円) 10月 : 約 22 ユーロ/t-CO ₂ (約 3,080 円) (1ユーロ=140円で換算) | JETRO 2005 ²⁵⁾ |
| 電力会社を取引主体とする想定市場における実験 | 実験において成立した排出権取引価格は、約 20,000～45,000 円/t-C。市場の残高によって変動する。 | 電力中央研究所報告 2004 ²⁶⁾ |

(3) 炭素固定効果の貨幣価値の算定

アマモ場、アラメ・カジメ場、ガラモ場、コンブ場、干潟について炭素固定量の算定結果をもとに、表 1.12 に示す二酸化炭素の回収・固定コストに基づき効果の貨幣価値を試算した(表 1.14)。

その際、「貨幣価値(技術的固定)」は、前述の 18,000～47,000 円/t-C を使用し、その範囲を示した。「森林による固定」は、表 1.12 における 8,500 円/t-C を使用した。また、排出権取引価格は 20,000～45,000 円/t-C であり、技術的固定の範囲内にあることから、ここでは技術的固定について示した。

長期的な炭素固定の要素について、科学的な知見が乏しい要素は区別し、今後、知見の蓄積とともに算定方法が確立された段階で考慮していくものとした。長期的な炭素固定とした要素は、「最小現存量、堆積」とし、表 1.10 中()内に示した。なお、最小現存量による炭素固定効果は、初年度のみ効果と考えられる。

表 1.10 二酸化炭素の回収・固定等に係るコストの事例

| 海域 (単位) | 炭素固定量 (t-C/ha/年) | 貨幣価値(技術的固定) (万円/ha/年) | (試算)森林による固定 (万円/ha/年) |
|------------|---------------------|-------------------------------|--------------------------|
| アマモ場 | 0.6 (1) | 1.1 (1.8) ～ 2.8 (4.7) | 0.5 (0.9) |
| アラメ・カジメ場 | 3.6 (17) | 6.5 (30.6) ～ 16.9 (79.9) | 3.1 (14.5) |
| ガラモ場 | 1.1 (6) | 2.0 (10.8) ～ 5.2 (28.2) | 0.9 (5.1) |
| コンブ場 | 9.8 (12) | 17.6 (21.6) ～ 46.1 (56.4) | 8.3 (10.2) |
| 干潟 | 0.1 (1) | 0.1 (1.1) ～ 0.4 (2.8) | 0.1 (0.5) |

- 注) 1. 藻場の炭素固定の試算に用いる要素は、最小現存量、堆積を対象とした。
 2. ()内は今回、長期的な炭素固定として検討したすべての要素による効果の値を示す。
 3. 「貨幣価値(技術的固定)」は、表 5.12 における 18,000～47,000 円/t-C を使用し、範囲を示した。
 4. 「森林による固定」は、表 5.12 における 8,500 円/t-C を使用した。

2. 生物多様性向上効果

2.1 生物多様性向上効果のメカニズム

藻場・干潟や沿岸の浅い海域は、希少種等さまざまな生物の生息場となっているほか、国境を越えて長距離の渡りをする鳥類が中継・越冬地と利用し、また、多くの魚介類が若齢期を過ごす場（成育場）として、生物生息の重要な場所である。

本調査では、多様な生物が生息する場としての機能が向上するためには、生物の餌が十分にあることと、外敵に対して安全性が高いことが必要であることに着目した。

藻場・干潟における物理的・化学的環境条件、生物相の特徴、食物連鎖等を整理し、藻場・干潟が生物多様性の向上に果たす効果のメカニズムをとりまとめた。

漁場保全による生物多様性の向上効果は、水底質環境の改善による生物相の回復（増加）によるものである。浚渫、覆砂等の事業実施事例等をもとに、環境改善効果と生物相の回復過程を整理し、漁場保全が生物多様性の向上に果たす効果のメカニズムをとりまとめた。

(1) 藻場における生物多様性の向上

藻場が多様性に寄与する生物群は、主に魚介類である。

藻場では海藻草類自体が有機物を生産し植食動物の餌料を提供するとともに、葉上の付着珪藻等が小型の甲殻類の餌となり、小型甲殻類を餌とする魚類が生息するなど複雑な食物網が成立している。藻場内では藻体が小空間を形成することから、捕食者からの隠れ場所を提供する。さらに、波浪や流動等の物理的な攪乱を緩和すること、静穏な水理条件がベントス浮遊幼生に着底の機会を与える等の機能があり、魚介類の産卵場・保育場となっている。また、流れ藻は様々な魚類の隠れ場、摂餌場、産卵場として重要である。

表 2.1 藻場が生物多様性の向上に果たす効果

| 視点 | 特徴 | 餌料 | 外敵（捕食） |
|-------------|---|----------------------------------|-----------------|
| 物理的・化学的環境条件 | 藻体が立体的に小空間を形成 | 付着藻類・小型甲殻類等の葉上生物の生息基盤、小魚の生息場、産卵場 | 隠れ場を提供 |
| | 静穏海域の形成 | 小型動物の生息、仔稚魚の生息、卵・幼生の分布、有機物の集積 | — |
| | 藻体等有機物の生産 | 植食動物の餌料を提供 微生物の生息基質・餌料を提供 | — |
| 生物相食物連鎖等 | 微小な葉上生物から遊泳動物まで多種多様な生物が豊富に生息 複雑な食物網が形成 | 多種多様な生物にとっての餌料が豊富に存在する。 | 摂餌場として、より上位種を誘因 |

(2) 干潟における生物多様性の向上

干潟が多様性に寄与する生物群は、主に底生の魚介類と鳥類である。

干潟は潮汐により1日のうちでも干出と水没を繰り返すため環境の変動が大きい。また、地盤高は岸沖方向で連続的に変化しつつ、微妙な高低や濡筋の位置、粒度組成によって干出状況が異なるなど環境条件が複雑で多様である。このように多様で変動の大きい環境条件に応じた、多種多様な生物が干潟に生息している。

表 2.2 干潟が生物多様性の向上に果たす効果

| 視点 | 特徴 | 餌料 | 外敵（捕食） |
|--------------|--|---|-------------------------|
| 物理的・化学的環境条件 | 干出と水没の繰り返し 浅瀬の形成 | 底生藻類等の生産力が高い、 汀線や海底面での有機物の集積、 多様な環境条件に応じた、多様な生物が生息 | 逃げ場を提供 |
| | 潮汐による海水の流れ | 卵、幼生、仔稚魚、有機懸濁物等の輸送 | — |
| | 砂泥質の底質 地盤高・粒度組成・塩分 条件等による多様な環境 | 付着藻類・小型甲殻類・貝類等の砂泥質性生物 の生息場、小魚の生息場、産卵場、多様な環境 条件に応じた底生生物の分布 | 隠れ場を提供 |
| | 静穏海域の形成 | 小型動物の生息、仔稚魚の生息、卵・幼生の分 布、有機物の集積 | — |
| 生物相 食物連鎖等 | 微小な底生生物から遊 泳動物、鳥類まで多種多 様な生物が豊富に生息 複雑な食物網が形成 | 多種多様な生物にとっての餌料が豊富に存在 する。 | 摂餌場として、 より上位種を 誘因 |

(3) 漁場保全における生物多様性の向上

漁場保全が多様性に寄与する生物群は、主に底生の魚介類である。

浚渫、覆砂等による環境改善効果と生物相の回復過程を整理し、漁場保全が生物多様性の向上に果たす効果のメカニズムをとりまとめた。

表 2.3 漁場保全が生物多様性の向上に果たす効果

| 視点 | 特徴 | 生物相の回復 |
|-------|--|--|
| 水質の改善 | 栄養塩の減少、濁りの減少、溶存酸素量の増加（貧酸素化の軽減、硫化水素の減少） | 溶存酸素量の回復等に伴う底生生物量の増加、出現種の増加 底生生物を餌とする魚介類の増加 |
| 底質の改善 | 栄養塩溶出の抑制、底質の粗粒化、酸素消費の抑制（酸化的な底質環境の創出）、底質の軟化による埋性生物の生息場の創出 | 酸化的な底質環境の創出等に伴う底生生物量の増加、新規加入量・種類の増加 底生生物を餌とする魚介類の増加 |

2.2 生物多様性向上効果算定の考え方

藻場・干潟等における「生物多様性向上効果」は自然環境に関する存在価値、非利用価値と考えられる。

2.3 生物多様性向上効果の貨幣価値算定の方法

藻場・干潟等の整備により生物多様性が向上する効果の貨幣価値算定方法としては、CVM（仮想市場評価法）等がある。

3. 水質浄化効果

3.1 水質浄化効果のメカニズム

浄化機能とは、環境中で汚濁物質の量が減少する作用のことである。実際には、ある場所での物質の減少は、他の場所での増加（物質の他の場所への移動）となり、具体的には、水質については、有機物を汚濁物質とすると、浄化のひとつの過程である無機化の結果として無機物量が増加する。また、水中懸濁物は沈殿することにより減少するが底質では物質が増加することになる。したがって水質浄化量の把握・評価では、何が汚濁物質であるのか、物質の移動過程（物質循環）のうちどの過程が重要であるかを、明確にする必要がある²⁷⁾。

沿岸の水産生物の生息場における水質の問題は、水質及び底質における有機物の増大、及びそれらが海底に沈降・堆積し分解されることに伴う底層の貧酸素化、懸濁物質による水中照度の低下等がある。

また、沿岸における汚濁物質の移動過程は、物質循環のうち浄化となる過程（＝汚濁物質の減少）として、系外への除去、もしくは、より悪影響の少ない物質へ変換過程が該当する。物質の移動量は、系外への除去量もしくは物質の変化量で示すことができる。

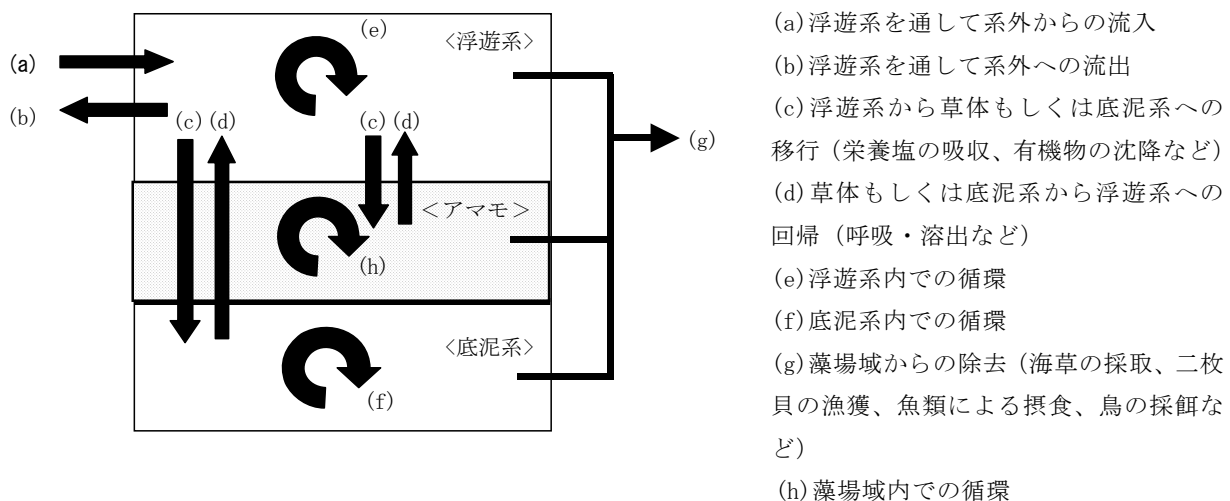


表 3.1 水質浄化に係る物質循環の主な課程

| 視点 | 主な過程 | 浄化に係る作用 |
|--------------------------|--------------------|-------------------------|
| 物理的過程 (物質の移動に関係) | 移流 | 系外からの負荷、系外搬出 |
| | 拡散 | 希釈 |
| | 沈殿 | 水質から底質への移動 |
| 化学的過程 (無機物質の形態の変化に関与) | 凝集 | 溶存物質の粒子懸濁態化 |
| | 化学的吸脱着 | 水質から底質への吸着、底質から水質への負荷 |
| | 酸化還元反応及び気散 (脱窒)、溶出 | 硝化、脱窒による系外搬出、底質から水質への負荷 |
| 生物的過程 | 光合成 | 栄養塩取り込み、酸素供給 |
| | 捕食 | 生物体への転換 |
| | 分解 | 酸素の消費、栄養塩の水質への回帰 |
| | 自己分解 (呼吸) | 酸素の消費 |

3.2 浄化量算定の考え方

藻場・干潟等において水質から有機物（COD）、窒素、リンが除去される量を水質浄化量として算定する。算定にあたっては、「大気保全効果」における「炭素循環」の考え方を踏まえて、有機物（COD）、窒素、リンの量を、藻体のC/N比等から試算する。

3.3 水質浄化効果の花柄価値算定の方法

下水処理施設においてCOD、窒素、リンを処理するコストとして算定する。

考 察

本調査では、藻場・干潟造成による大気保全効果（CO₂固定効果）の便益算定手法について検討した。従来の炭素固定に関する研究では現存量を基にした基礎生産量から炭素固定量が算定されており、海藻草類の流出、分解等を含めた総合的な評価は行われていない。

そこで、本調査では、藻場・干潟における炭素循環の主な経路を踏まえ、生物体の長期的な炭素固定の要素を積み上げることにより、大気保全の効果の大きさをどの程度まで評価することができるか検討した。この試算方法は、藻場の炭素固定にかかる要素を抽出して積み上げるため、炭素固定の効果が重複することなく、実態をより適切に評価できるものと考えられた。

この試算方法に従い、既往知見を使って長期的な炭素固定量を試算した結果、既往知見における生産量の2~4割と試算されたが、アラム・カジメ場では既往知見における生産量より大きい値を示した。これらは、従来の現存量に基づいて生産量を試算する方法ではなく、個々の長期的な炭素固定の要素を積み上げて試算したことによると思われる。

しかしながら、科学的な知見が乏しい要素（海洋中深層への移送等）については、今後、知見の蓄積とともに算定方法を確立する必要がある。このような検討を重ねることで、費用対効果分析において、より適正に便益を見積ることが可能となり、水産基盤整備事業の円滑な推進の一助となるものと考えられる。

摘 要

- ・本調査は、藻場・干潟の造成を対象に大気保全効果（CO₂固定化効果）及び水質浄化効果、生物多様性向上効果を定量的（貨幣化）に算定する手法を検討した。従来の現存量に基づくP/B比（生産量／現存量の比）から純生産量を試算し、全てが炭素固定とする考え方に対し、本検討では短期的に海水中等へ回帰する量を除いた長期的な炭素固定量（最小現存量、堆積化、海洋中深層への移送、難分解性有機物の分泌）について検討した。
- ・大気保全効果（CO₂固定化効果）に関しては、現在研究が盛んに行われており、今後も新たな知見の報告が予想される。最新知見の収集・整理の継続とともに、CO₂固定量の算定方法の科学的な補強、CO₂固定量の適正な評価が課題である。さらに、具体的な効果試算についての検証が課題である。
- ・藻場から海洋中深層への移送量は相当程度あるものと考えられているが、定量的なデータが少ない。効果的な現地調査手法の開発とともに、シミュレーションによる検討など、様々な視点からの解析が課題である。

引用文献

- 1) 鈴木款編、1997：海洋生物と炭素循環、東京大学出版会、東京、p7, 71, 72, 81, 82, 83.
- 2) 徳田廣・大野正夫・小河久朗、1987：海藻資源養殖学 水産養殖学講座 第10巻、緑書房、東京、p119-120, 203-206, 221-223, 233-234.
- 3) 飯泉仁、2003：大型海藻類は二酸化炭素の吸収にどれだけ役にたっているか、日本海区水産試験研究連絡ニュース、No. 401、p5-7.
- 4) 石岡昇・三上信雄・浅川典敬、2006：藻場の水質浄化機能について～定量的評価手法に関する一考察～、第5回全国漁港漁場整備技術研発表会講演集(平成18年10月)、p8-14.
- 5) 三上温子・小松輝久・青木優和・横浜泰継、2005：伊豆半島の大浦湾におけるガラモ場の年間純生産量の推定、月刊海洋、37(7)、p499-502.
- 6) Caros M. Duarte and Just Cebrian、1996：The fate of marine autotrophic production、Limnology & Oceanography、41(8)、1758-1766.
- 7) 新井章吾、1996：「2章 流れ藻と寄り藻」、大野正夫(編)21世紀の海藻資源－生態機構と利用の可能性－、緑書房、東京、p31-49.
- 8) 寺脇利信、1996：「1章 藻場」、大野正夫(編)21世紀の海藻資源－生態機構と利用の可能性－、緑書房、東京、p1-27.
- 9) 桜井善雄・国土交通省霞ヶ浦河川事務所編著、2004：霞ヶ浦の水生植物 1972～1993変遷の記録、(株)信山社サイテック、東京.
- 10) 大和田紘一、1986：「15. 藻類の細胞外代謝生産物とその生態的役割」、藻類の生態、秋山・有賀・坂本・横浜編、内田老鶴圃、東京、p505-531.
- 11) 菊池泰二、1973：「1・2 藻場生態系」、山本護太郎(編)海洋学講座9 海洋生態学、東京大学出版会、東京、p23-37.
- 12) 佐々木克之、1994：内湾および干潟における物質循環と生物生産【11】アマモとアオサの成長と窒素およびリンの循環、海洋と生物 94、16(5)、p400-406.
- 13) 寺脇利信・玉置仁・西村真樹・吉川浩二・吉田吾郎、2002：広島湾におけるアマモ草体中の炭素および窒素総量、水研センター研報、第4号、p25-32.
- 14) 吉田司・芝修一・前川行幸・阿部真比古・鈴木輝明・高倍昭洋、2006：三河湾三谷町地先におけるアマモの光合成特性、水産工学、42(3)、p239-244.
- 15) 村岡大祐、2003：三陸沿岸の藻場における炭素吸収量把握の試み、東北水研ニュース 65.
- 16) 細川真也・三好英一・内村真之・中村由行、2006：メソコスム水槽におけるアマモ地上部の現存量と生長・脱落速度の季節変動、港湾空港技術研究報告、45(3)、p25-45.
- 17) 市川裕子・濱健夫、2006：大型藻類の保有する生元素の動態とその物質循環における意義、つくば生物ジャーナル、5(1).
- 18) K. M. Khailov, Z. P. Burlakoval、1969：Release of Dissolved Organic Matter by Marine Seaweeds and Distribution of Their Total Organic Production to Inshore Communities、Limnology and Oceanography、14(4)、521-527.
- 19) Aioi, K., H. Mukai, I. Koike, M. Ohtsu and A. Hattori、1981：Growth and organic production of eelgrass (*Zostera marina* L.) in temperate waters of the Pacific coast of Japan. II. Growth analysis in winter、Aquatic. Botany、10、175-182.
- 20) H. Mukai, K. Aioi, I. Koike, H. Izumi, M. Ohtsu, and A. Hattori、1979：Growth and organic

- production of eelgrass (*Zostera marina* L) in temperate waters of the Pacific coast of Japan. I. Growth analysis in spring-summer, *Aquatic Botany*, 7, 47-56.
- 21) 川端豊喜・茅田弘荘・乾政秀・平山和次、1993：柳井湾における春期から夏期のアマモ *Zostera marina* の生長様式、*日本水産学会誌*、59(3)、p445-453.
 - 22) Mann, K. H. and A. R. O. Chapman、1975：「Primary production of marine macrophytes. In *Photosynthesis and productivity in Different Environments*, International Bioological Programme 3」、Edited by J.P.Cooper. Cambridge University Press, Cambridge, London, New York, Melbourne、207-223.
 - 23) (財)地球環境産業技術研究機構、2005：二酸化炭素固定化・有効利用技術戦略マップ、p36-39.
 - 24) みずほ総合研究所、2004：英国排出権取引制度の概要と評価.
 - 25) JETRO、2005：中・東欧の排出権取引動向（その1）.
 - 26) 電力中央研究所報告、2004：電力と二酸化炭素排出権の取引市場によるコスト削減効果—取引実験による分析—.
 - 27) 宗宮功編、1991：自然の浄化機構、技報堂出版、東京、p5.

参考文献（炭素固定量の計算に使用）

- 1) 村岡大祐、2003：三陸沿岸の藻場における炭素吸収量把握の試み、*東北水研ニュース* 65.
- 2) 市川裕子・濱健夫、2006：大型藻類の保有する生元素の動態とその物質循環における意義。つくば生物ジャーナル、5(1).
- 3) K. M. Khailov, Z. P. Burlakoval、1969：Release of Dissolved Organic Matter by Marine Seaweeds and Distribution of Their Total Organic Production to Inshore Communities、*Limnology and Oceanography*、14(4)、521-527.