

干潟生態系における藻場の分布とその役割

小松 輝久・佐川 龍之・三上 温子
(東京大学海洋研究所)

摘 要

干潟と藻場の分布に関する環境庁(元 環境省)自然保護局の資料および千葉県の藻場分布調査報告をもとに、干潟域における藻場の分布について解析を行った。内湾の海岸線前面に発達する前浜干潟、河川の河口部に発達する河口干潟、汽水性の湖沼やラグーンの岸に沿って発達する潟湖干潟の3種類それぞれのうち、比較的自然状態のまま維持されている東京湾の富津干潟、伊勢湾の櫛田川河口干潟、サロマ湖干潟を代表として検討した。その結果、前浜干潟、潟湖干潟には、干潟上ではコアマモが、潮下帯ではアマモやタチアマモといった海草が、河口干潟では潮下帯にアマモが干潟に平行する藻場を形成していた。干潟は砂あるいは砂泥であるため、攪乱が少ない場合、砂あるいは砂泥底に生育するアマモやコアマモは、それぞれ干潟上、潮下帯に分布する。そして、海草は流れや波を緩衝する作用、地下茎が砂や砂泥を固定する作用、砂などを堆積させる作用などの物理的な作用を環境に及ぼし、干潟を波や流れによる侵食から守る働きをしている。また、海草は海水中から栄養塩を吸収し、生物体へと変換することや、光合成を通じて酸素を供給することなどの生化学的な作用を担い、葉上の付着動植物に生息場を提供し、それらから発生する懸濁態有機物を干潟に供給するという生物的作用を及ぼす。懸濁態有機物はアサリなど干潟に生息する濾過食者により濾過され、糞あるいは無機態の栄養塩となってアマモ場に供給される。このように、干潟におけるアサリなどの濾過食者とアマモは互いに正のフィードバックをもたらす。海草がある干潟とない干潟では、漁業生産や窒素循環にも違いがあり、海草のある干潟は、アサリだけでなく魚類の産卵場や仔稚魚の生育場として漁業生産に寄与するとともに、窒素循環の面では窒素の吸収源となるが、藻場がない干潟は窒素の発生源となる。干潟と藻場(海草藻場)は、異なった単位生態系が共存することで、より生産的で持続的、安定的な生態系を形作っている。

キーワード: アマモ、海草、漁業、窒素循環、干潟、藻場

1. はじめに

世界各地の沿岸の浅海域には、陸上の森林や草原のように植物がつくる森や草原があり、この海の森や草原のことを藻場とよんでいる¹⁾。藻場は、それを構成する植物の種類によって、海藻と海草に大きく2つに分けることができる。藻場をつくる海藻は肉眼的な大きさの大型底生海産藻類で、おもに褐藻類に属するものである²⁾。一方、海草は、陸上植物が再び海に戻った植物であり、水中でも花を咲かせ、維管束をもつ被子植物である³⁾。環境庁自然保護局による、第4回自然環境保全基礎調査—干潟・藻場・サンゴ礁分布調査の藻場に関する結果⁴⁾をもとに藻場総面積を求めた飯泉⁵⁾によると、日本沿岸の藻場は315,876 haあり、ホンダワラ類で構成されるガラモ場は27%、アラメおよびカジ

メで構成されるアラメ場は20%、アマモ場は16%、コンブ場は11%、ワカメ場10%、テングサ場は6%、アオサ・アオリ場は3%、その他は7%である(図1)。藻場は、陸上の熱帯雨林に匹敵する高い生

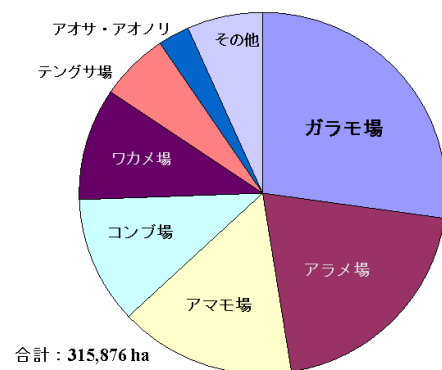


図1 日本における藻場の種類別分布面積.

産力をもっている。乾燥重量を基準とした純生産量は、熱帯雨林で平均約 2.2 kg m^{-2} 、⁶⁾ 世界の温帯林で平均 $1.2 \sim 1.3 \text{ kg m}^{-2}$ 、⁶⁾ 日本で 1.4 kg m^{-2} で⁷⁾ あるのに対して、ガラモ場を構成するノコギリモク(山口県深川湾)で約 1.6 kg m^{-2} 、⁸⁾ アラメ場の一種のカジメ場(下田)で約 2.8 kg m^{-2} 、⁹⁾ アマモ場で約 $0.3 \sim 0.8 \text{ kg m}^{-2}$ と¹⁰⁾ 報告されている。

日本の経済が急速に発展した1960年代以降、瀬戸内海の浅場である干潟やアマモ場が工場用地などのために埋め立てられた^{11), 12)}。近年、傷んだ浅海域の環境の修復を図る必要があるということで、藻場と干潟が取り上げられることが多く、「藻場・干潟」というような括りで一対のことばのように用いられている。しかし、干潟と藻場がどのように関係しているのか、について論じた論文はあまりない。本論文では、干潟と藻場の分布がどのように関係するのか既存資料をもとに解析する。そして、干潟に及ぼす藻場の生態学的な役割について考えてみたい。

2. 干潟と藻場の分布に関する資料と解析方法

干潟とは、海岸景観を構成する生息場所類型のうち、低潮時に海面から露出し、高潮時に海面下に沈む潮間帯の平坦な緩傾斜の砂や泥の浜を意味している¹³⁾。地形的な特徴から、干潟は内湾の海岸線前面に発達する前浜干潟、河川の河口

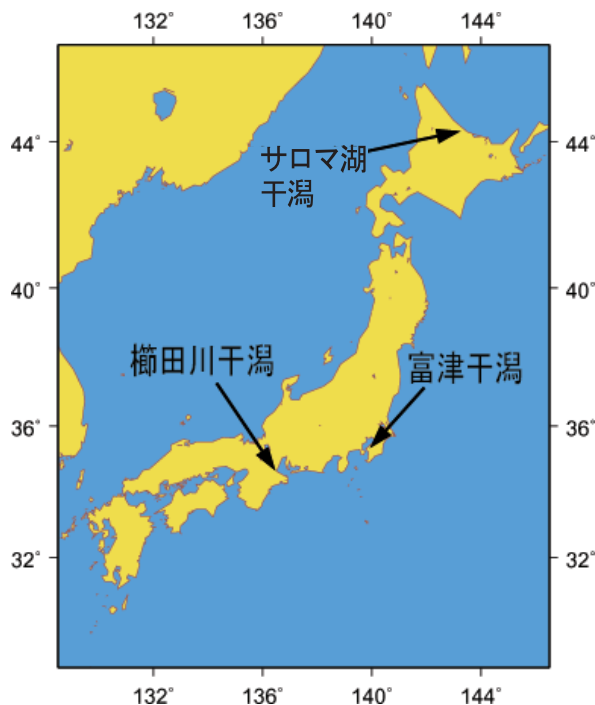


図2 解析を行った東京湾富津干潟、伊勢湾榎田川河口干潟、サロマ湖干潟を示した図。

部に発達する河口干潟、汽水性の湖沼やラグーンの岸に沿って発達する潟湖干潟に分類できる¹³⁾。環境庁の第4回干潟・藻場・サンゴ礁調査の干潟に関する報告¹⁴⁾によると、わが国における1990年における既存干潟の分布面積は $51,949 \text{ ha}$ で、前浜干潟が 63.6% 、河口干潟が 30.4% 、潟湖干潟が 5.5% 、人工干潟などが 0.5% であった。

そこで、前浜干潟、河口干潟、潟湖干潟についてそれぞれ代表的な干潟を選び、周囲の藻場分布を調べることにした。前浜干潟として、関東で最大の海草藻場をもつ千葉県東京湾にある富津干潟を、河口干潟として、河口近くで人工的な改変が比較的少ない三重県の伊勢湾にある榎田川河口干潟を、潟湖干潟としては日本最大の潟湖性アマモ群落の分布する北海道オホーツク海側のサロマ湖干潟を選んだ(図2)。

前浜干潟については、庄司・長谷川¹⁵⁾の報告にある、富津干潟の干潟および藻場の分布図を、河口干潟および潟湖干潟については、干潟と藻場の分布が得られている第4回自然環境保全基礎調査^{4), 14)}の結果をもとにして、干潟と藻場の分布が明瞭になるように加工した。また、干潟上に分布する海草藻場についても区別した。

3. 干潟域における藻場の分布解析の結果

3.1 前浜干潟

富津干潟は、東京湾にある干潟の中でも自然状態のままに残されている数少ない前浜干潟である。干潟と藻場の分布を図3に示す。海岸線に沿って干潟が広がり、その沖側に藻場が分布する。第4回自然環境保全基礎調査^{4), 14)}では、干潟を含めて藻場が広がっているよう示されているが、実際には、干潟の沖側にアマモやタチアマモという

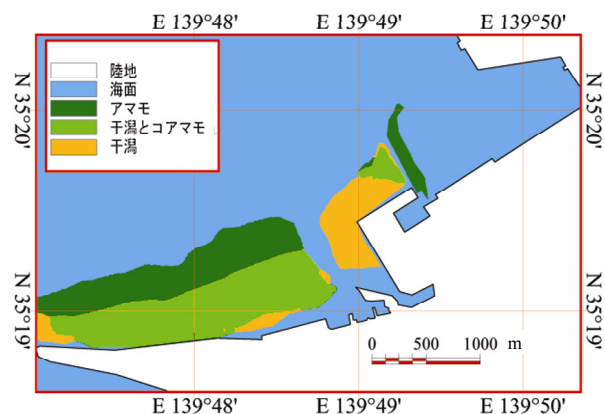


図3 前浜干潟である東京湾の富津干潟における干潟と海草の分布。

大型の海草が分布し、干潟上にはコアマモが分布しているために¹⁶⁾、干潟を含む海草分布があるように示されたのではないかと推定される。実際には図3に示したように、干潟にはコアマモが、深い場所ではチアマモ、そしてその中間にアマモが分布している¹⁵⁾。

3.2 河口干潟

伊勢湾にある榑田川河口には、大規模な干潟が広がっていた(図4)。藻場は、河口にはみられず、河口から少し離れた位置に分布していた。また、干潟の面積に比べて藻場面積は小さかった。

3.3 潟湖干潟

潟湖であるサロマ湖の周囲には海岸線に沿って干潟が分布しており、その沖側にほぼ帯状の藻場が分布していた(図5)。第4回自然環境保全基礎調査では、サロマ湖の北西端には干潟に重な

てコアマモとアマモが分布していると報告されている^{4), 14)}。したがって、コアマモが干潟上に、潮下帯にアマモが分布していたと推定された。

4. 議論

4.1 干潟域におけるアマモ分布

海草藻場であるアマモ場は、前浜干潟、潟湖干潟、河口干潟のどの干潟においても、干潟に平行に寄り添うように沖側に分布することが示された。アマモ個体の1日の呼吸により消費される酸素量と光合成により生産される酸素量がつりあう光補償深度によってアマモの生育下限深度が決まる^{17), 18)}ことが多いため、藻場の分布下限は等深線に沿うことになる。岡山県下のアマモ場面積の変化を調べた片山¹⁹⁾は、アマモ場面積が海水の透明度減少に伴って減少したと指摘している。アマモは乾燥に弱く潮下帯にしか分布できないため、アマモの生育上限深度は潮下帯の上部になる。一方、干潟は潮間帯にしか分布しない。結果として、海岸線に平行して、岸から沖に向かって干潟、そして、アマモ場という帯状の分布を示すことになる。

では、なぜ干潟のある沿岸には海草藻場が形成されるのであろうか。海藻類の藻場が岩礁域に分布するのに対して、アマモを含む海草類の多くは砂あるいは砂泥域に分布する¹⁾。干潟は砂あるいは砂泥により形成されているために、潮間帯直下の潮下帯上部も砂あるいは砂泥域である場合が多く、アマモが生育可能になる。つまり、干潟が分布するところは潮下帯に海草類が分布可能な必要条件を備えていることになる。そして、光、塩分、水温の変化が耐えられる範囲にあり、海草が底質から引き剥がされない流速の範囲にあれば、海草藻場が形成される。安定した干潟域が形成される条件は、砂や砂泥の移動が少なく堆積的な流れが弱い流動環境である。つまり、干潟域は流動の面で海草が生育可能な範囲を多く含んでいる。このため、干潟の分布する沿岸には海草藻場が形成されると考えられる。

コアマモは潮間帯に、アマモは潮下帯に分布していた。その理由として、潮間帯が干出する間の乾燥に前者は耐性があるのに対して後者にはないこと、潮下帯に2種が混ざって分布する場合には、花株の草丈の高いアマモが草丈の低いコアマモを覆ってしまい、光を奪われたコアマモは生育できなくなるからと考えられる。

河口干潟では、前浜干潟や潟湖干潟に比較し

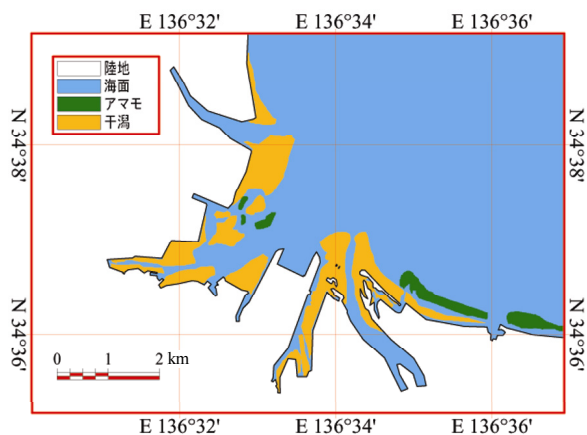


図4 河口干潟である榑田川河口干潟における干潟と海草の分布。

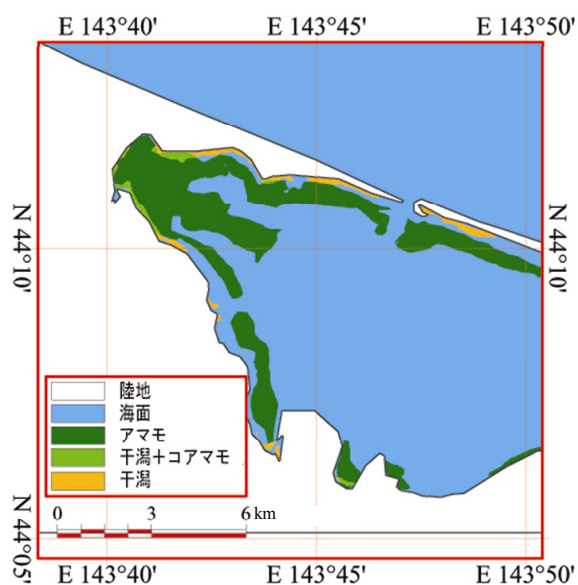


図5 潟湖干潟であるサロマ湖干潟における干潟と海草の分布。

てアマモ場分布面積が小さく、河口から少し離れていた。河川水の直接的な影響を多く受ける河口干潟は、洪水時には河川水により大量の土砂と淡水が運ばれる。そのため、海底に固定した生活を行うアマモは堆積物によって覆われる、あるいは、侵食を受けて基質ごと流されるということが起こりうる。その例として、Aioi and Komatsu²⁰⁾の報告がある。彼らは、岩手県大槌湾の河口に分布するアマモ場が大雨にともなう出水で消滅し、河口には石や岩、材木や泥、車などが堆積したことを報告している。河口干潟周辺域においてアマモ場の分布域を狭めるもう一つの理由は、河川が運ぶ濁水がアマモの分布下限を決める光補償深度を浅くすることではないかと考えられる。一方、富津干潟のような前浜干潟やサロマ湖の干潟では、河川からの泥水や急激な侵食、短期間に積もる堆積物の影響を受けないので、干潟上にコアモモが生育すると考えられる。河口干潟であっても、侵食や出水などの攪乱が少ない干潟にはコアモモは分布することができる。

4.2 海草藻場における物理的な働き

干潟に隣接する海草は、砂泥底に生育し、岸に平行に分布する。このような場所では、潮流や波が海草によって弱められるため、堆積的な環境になるだけでなく、その岸側に分布する干潟を波や

流れによる侵食から守る。石膏ボールの減少量から海水の流動を測定する方法²¹⁾を開発したKomatsu²²⁾は、岡山県倉敷市にある味野湾のアマモ場において石膏球を用いて流動を測定するとともに、方形枠内のアマモを刈刈し、アマモ密度と流動との関係を調べた。それによると、アマモ密度が低いあるいはアマモがまったくないところでは底層の流れは強く、アマモ密度が高いところでは弱くなることが示された(図6)。この結果は、アマモが衰退すると海底地形にも影響を及ぼすことを示唆している。砂地上に広がる海草藻場では地下茎が砂泥を捉えるために、海底の堆積物の移動は起こりにくくなる。また、タイのアンダマン海の海草群落内外で石膏球による流動測定とともに、セディメントトラップおよび底質の粒度を調べた研究では、大型の海草群落中では粒子は沈降・堆積しやすくなることを示した^{23), 24)}。また、フィジーのラグーン内において海草が分布することで海底の水深が浅くなることをKomatsu and Yamanoは報告している²⁵⁾。同じ場所で、海草が分布していたときと消滅したときの底質の変化を調べると、よりはっきり海草藻場の影響を知ることができる。大西洋沿岸でwasting diseaseという病気によりアマモ場が消滅したときに、アマモが生育していた海底が侵食されて砂泥底が小石混じりの転石の海底に変化したこと(図7)が

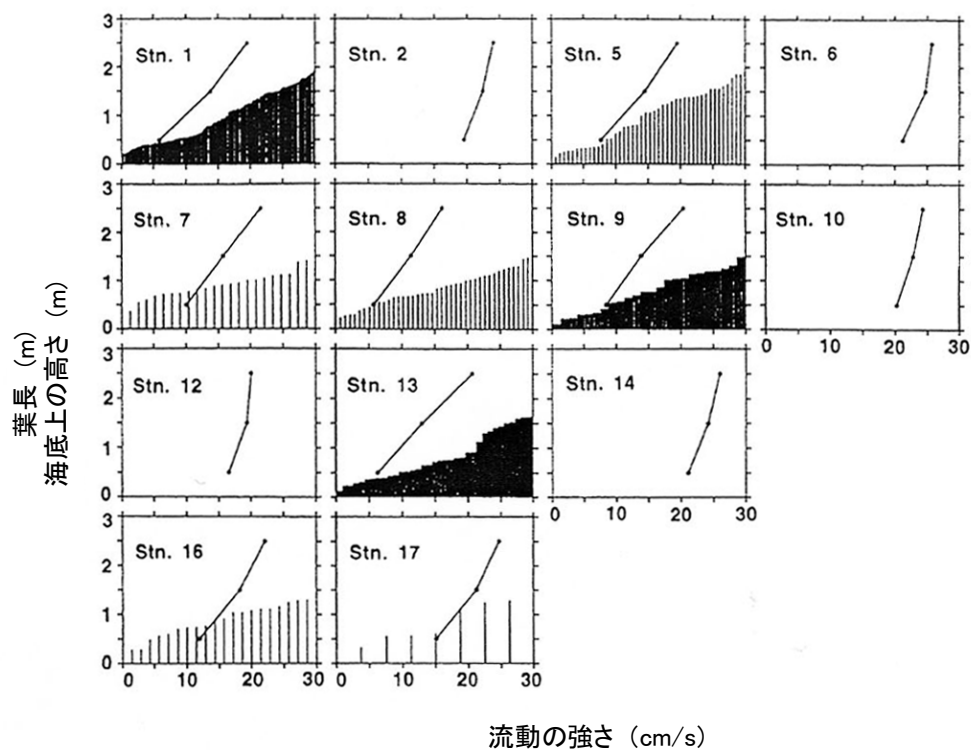


図6 岡山県倉敷市にある味野湾において、石膏球を用いて得られた流動の鉛直分布(海底上0.5, 1.5, 2.5 m)と測定場所のアマモ地上部の葉の長さの分布。(垂直の線がアマモの葉の長さを表し、左から右に短い葉から長い葉の順に並べてある)

報告されている²⁵⁾。図7に示されているように、アマモが生育していたときには、アマモの葉が波を弱め、地下茎で砂をしっかりと捉える作用により、流れや波による海底の侵食作用を妨げていた。また、浜にはアマモの脱落した葉が打ち上げられている様子も描かれている。しかし、アマモが病気により全滅すると、波や流れによって侵食され、海底は大きな石などの底質に変化したことを示している。

単位面積当たりでは、アマモにくらべてシュート密度が高く、干潟上に高密度で生育するコアマモ¹⁶⁾、上述した理由から、流れや波による侵食から干潟を守る効果が大きいと思われる。Fonceca²⁶⁾が述べているように、特に海草類にみられる穂波現象により、海草の葉が流れによって引きずられることで海底を覆うため、侵食から海底を守る作用は大きく、干潟の存続に大きく貢献しているのではないだろうか。

4.3 海草藻場の生物・化学的な働き

日本の干潟には多くの貝類が生息している。特に、東京湾の富津干潟や伊勢、三河湾などの干潟はアサリ漁場として有名である。このアサリは濾過食者として、水中に懸濁態有機物を濾過している。もちろん植物プランクトンなどもアサリの餌になるが、アマモには多くの動植物が生息しており、アマモ場が懸濁態有機物の発生源となっていると考えられる。アマモは花株が成熟時期を過ぎると葉が枯死して脱落するが、地下茎はもちろんのこと栄養株も残っているため³⁾、一年中群落として存在する。そのため、干潟に隣接するアマモ

場からは、潮汐によって上げ潮時にアマモ場起源の懸濁態有機物が干潟に輸送され、アサリなどの濾過食者の餌となっていると考えられる。また、アマモの葉や葉上植物が周囲の海水から栄養塩を除去する重要な役割を浅海域で担っていることが生態系モデルによって明らかにされている²⁸⁾。

干潟とアマモの関係について Hata *et al.*²⁹⁾は、伊勢湾のアマモがある場所とない場所が隣接している干潟の物質循環をボックスモデルで解析した。アサリなどの濾過食者の濾過速度を $2.0 \text{ l}^{-1} \text{ ind}^{-1} \text{ h}^{-1}$ として計算していたものを $3.0 \text{ l}^{-1} \text{ ind}^{-1} \text{ h}^{-1}$ に変えると、濾過食者のバイオマスは15%、アマモのバイオマスは10%増加し、植物プランクトンのバイオマスは10%減少する。濾過速度を $1.5 \text{ l}^{-1} \text{ ind}^{-1} \text{ h}^{-1}$ にすると、それぞれ、濾過食者のバイオマスは40%、アマモのバイオマスは5%と減少し、植物プランクトンのバイオマスは8%増加した。濾過速度を増加させた場合には、濾過食者が増えたため植物プランクトンが減少すると同時にアサリなどの糞や尿が増加する。つまり、濾過食者により濾過されることによって植物プランクトンは減少するため、植物プランクトンとアマモの間の栄養塩をめぐる競争は減少するとともに、濾過食者の排出する増加した栄養塩をアマモが吸収し、アマモの栄養状態が良くなり、それらのバイオマスも増加すると説明されている。

三河湾干潟でアマモ場がある場所とない場所の生態系モデリングを行った Sohama *et al.* は³⁰⁾、干潟の濾過食者が懸濁態有機物を濾過することで透明度が高くなり、アマモの生育限界深度を深く

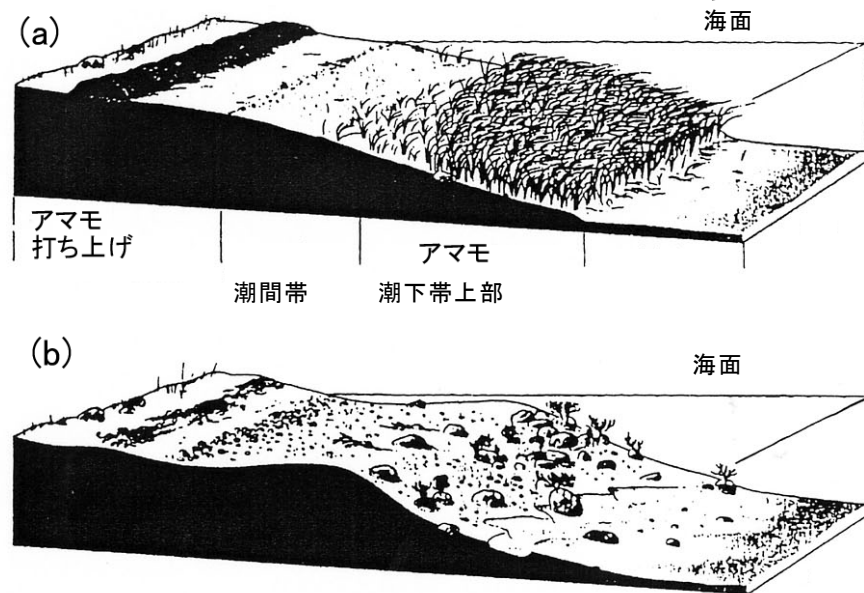


図7 アマモが分布していたとき(a)と wasting disease という病気によりアマモが消滅したときの海底の状態を描いた図 (Rasmussen²⁶⁾を一部改変).

させる効果があると指摘している。したがって、干潟の濾過食者とアマモ場の間には正の依存関係があるということになる。

では、アマモがある干潟とない干潟でどれくらい物質循環が変わるのであろうか。干潟と隣接するアマモ場を含む浅海域の窒素循環について、生態系モデルによる研究を行った Hata *et al.*²⁹⁾によると、アマモ場を含む干潟 (360 ha) では、植物による無機態窒素の除去量 56 kg N day^{-1} 、濾過食者による有機態窒素の除去量 95 kg N day^{-1} 、漁獲による生物の取り上げに伴う有機態窒素除去量は 25 kg N day^{-1} である。したがって、物理的過程による有機態窒素の除去量と海底からの無機態窒素の放出量を考慮すると、全体として 51 kg N day^{-1} の窒素が除去されることになる。一方、アマモのない干潟 (900 ha) では、物理的な過程と濾過食者により有機態窒素 $526 \text{ kg N day}^{-1}$ (その内、濾過食者による除去量は $218 \text{ kg N day}^{-1}$) が除去されるが、海底からの無機態窒素の放出量を考慮すると、全体として 15 kg N day^{-1} の窒素の発生となった。したがって、同じ干潟生態系であっても、アマモ場がある場合には窒素の吸収源となって浄化作用を行うが、アマモ場がない場合には窒素を放出し、海域の富栄養化の発生源となってしまうと推定された。また、モデルでは漁業による除去も重要であることを示していた。現実には、干潟ではアサリは大きくなると漁獲される。また、アマモ場は魚類の産卵場、ふ化した仔稚魚の生育場としての機能を持っているため、魚類のバイオマスに影響を及ぼす。そして、アマモ場を利用する魚類が成長し、大きくなると漁業により漁獲される。つまり、漁業活動が海域からの窒素除去を促進し、海域浄化に寄与することを意味している。

5. まとめ

前浜干潟、潟湖干潟においては干潟上ではコアマモが、潮下帯においてはアマモやタチアマモといった海草藻場が、河口干潟においては潮下帯にアマモが干潟に平行して分布していた。干潟は砂あるいは砂泥であるため、攪乱が少ない場合、砂底あるいは砂泥底に生育するコアマモやアマモは、それぞれ干潟上、潮下帯に分布する。一方、海草は流れや波を緩衝する作用、地下茎が砂や砂泥を固定する作用、砂などを堆積させる作用などの物理的な作用を環境に及ぼし、干潟を波や流れによる侵食から守る働きをしている。また海草には、海水中から栄養塩を吸収し、生物体へと変換

する作用、光合成を通じて酸素を供給するなどの生物化学的な作用がある。また、葉上の付着動植物に生息場を提供し、それらから懸濁態有機物が発生し、干潟に供給されるという生物的作用を及ぼす。懸濁態有機物はアサリなど干潟に生息する濾過食者により濾過され、糞あるいは無機態の栄養塩となってアマモ場に供給される。このように、干潟におけるアサリなどの濾過食者とアマモは互いに正のフィードバックを及ぼす。海草がある干潟とない干潟では漁業生産や窒素循環にも違いがあり、海草のある干潟は、アサリだけでなく産卵場、仔稚魚の生育場として漁業生産に寄与するとともに、窒素循環の面では窒素の吸収源となるが、藻場がない干潟は発生源となる。

海草藻場は海草自身の生命活動を通じて、物理的、生物的、化学的に独自の環境を形成する力をもっている³¹⁾。海草藻場は、干潟とは異なった環境単位であるが、2つの生態系が協同することで、より生産的で持続的、安定的な生態系を形作っていると考えられる。

謝辞

本論文執筆にあたり、機会を与えていただいた東京大学大学院農学生命科学研究科樋口広芳教授、富津干潟についてさまざまな資料を提供していただいた千葉県水産研究センター東京湾漁業研究所石井光廣氏、長谷川健一氏、有機物についてご教示いただいた東京大学海洋研究所小川浩史助教授に深謝する。最後に、適切なコメントをいただいた査読者に感謝する。

引用文献

- 1) 新崎盛敏・新崎輝子 (1978) 海藻の話, 東海大学出版会.
- 2) 横浜康継 (1985) 海の中の森の生態 海藻の世界をさぐる, 講談社.
- 3) 相生啓子 (1996) 藻場生態系 アマモ場を中心に, 遺伝, 50, 24-29.
- 4) 環境庁自然保護局 (1992) 第4回自然環境保全基礎調査海域生物環境調査報告書 (干潟, 藻場, サンゴ礁調査) 第2巻 藻場, 財団法人海中公園センター.
- 5) 飯泉 仁 (2002) 大型海藻類は二酸化炭素の吸収にどれだけ寄与しているか. 日本海区水産試験連絡ニュース, 401, 5-7.
- 6) Whittaker, R. H. and G. H. Likens (1975) The Biosphere and Man. In: H. Lieth and R. H. Whittaker, eds., *Primary Productivity of the*

- Biosphere, Ecological Studies* 14, Springer-Verlag, 305-328.
- 7) 吉良竜夫 (1976) 陸上生態系—概論—。生態学講座 2, 共立出版。
 - 8) 村瀬 昇 (2001) 褐藻ノコギリモク *Sargassum macrocarpum* C. Agardh の生態学的研究。水産大学校研究報告, 49, 131-212.
 - 9) Yokohama, Y., J. Tanaka and M. Chihara (1987) Productivity of the *Ecklonia cava* community in a Bay of Izu Peninsula on the Pacific Coast of Japan, *Botanical Magazine*, Tokyo, 100, 129-141.
 - 10) 鈴木 款 (1997) 海洋生物と炭素循環, 東京大学出版会。
 - 11) 星野芳郎 (1976) 瀬戸内海汚染, 岩波書店。
 - 12) Komatsu, T. (1997) A long-term change in *Zostera* bed area in the Seto Inland Sea (Japan), especially on the coasts of the Okayama Prefecture. *Oceanologica Acta*, 20: 209-216.
 - 13) 小松輝久 (2004) 干潟。日本沿岸域学会(編), 沿岸域辞典, 共立出版。
 - 14) 環境庁自然保護局 (1994) 第4回自然環境保全基礎調査海域生物環境調査報告書(干潟, 藻場, サンゴ礁調査) 第1巻 干潟, 財団法人海中公園センター。
 - 15) 庄司泰雅・長谷川健一 (2004) 千葉県沿岸海域におけるアマモの分布。千葉県水産総合研究センター研究報告, 3, 77-86.
 - 16) 輪島 毅・福島朋彦・有松 健・伊東永徳・豊原哲彦・吉澤 忍 (2003) 東京湾藻場分布調査—盤洲干潟・富津干潟—。日本海洋生物研究所年報 2003, 7-20.
 - 17) Duarte, C.M. (1991) Seagrass depth limits. *Aquatic Botany*, 40, 363-377.
 - 18) Bulthuis, D.A. (1983) Effects of in situ light reduction on density and growth of the seagrass *Heterozostera tasmanica* (Martens ex Aschers.) den Hartog in Western Port, Victoria, Australia. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 67, 91-103.
 - 19) 片山勝介・篠原基之・石田公行・野止安久・小野秀次郎・土屋 豊・鈴木昭久 (1979) 岡山県沿岸海域の藻場調査。南西水産研究所(編), 沿岸海域藻場調査瀬戸内海関係海域藻場分布調査報告—藻場の分布, 南西水産研究所, 77-101.
 - 20) Aioi, K. and T. Komatsu (1996) A preliminary report on the recovery process of *Zostera marina* in Otsuchi Bay, Northern Japan after disturbance by large atmospheric depressions. In: J. Kuo *et al.*, eds., *Seagrass Biology*, The University of Western Australia, 319-322.
 - 21) Komatsu, T. and H. Kawai (1992) Measurements of time-averaged intensity of water motion with plaster balls. *Journal of Oceanography*, 48, 353-365.
 - 22) Komatsu, T. (1996) Influence of a *Zostera* bed on the spatial distribution of water flow over a broad geographical area. In: J. Kuo *et al.*, eds, *Seagrass Biology*, The University of Western Australia, 111-116,
 - 23) Komatsu, T. and M. Nakaoka (2000) Water flow and sedimentation rate in seagrass beds off Khao Bae Na in Trang Province, Thailand. *Biologia Marina Mediterranea*, 7, 240-242.
 - 24) Komatsu, T., Y. Umezawa, M. Nakaoka, C. Supanwanid and Z. Kanamoto (2004) Water flow and sediment in *Enhalus acoroides* and other seagrass beds in the Andaman Sea, off Khao Bae Na, Thailand. *Coastal Marine Science*, 29, 63-68.
 - 25) Komatsu, T. and H. Yamano (2000) Influence of seagrass vegetation on bottom topography and sediment distribution on a small spatial scale in the Dravuni Island Lagoon, Fiji. *Biologia Marina Mediterranea*, 7, 243-246.
 - 26) Rassmussen, E. (1973) Systematics and ecology of the Isefjord marine fauna (Denmark). With a survey of the eelgrass (*Zostera*) vegetation and its communities. *Ophelia*, 11, 1-495.
 - 27) Fonceca, M. S., J. S. Fisher, J. C. Zieman and G. W. Thayer (1982) Influence of the seagrass, *Zostera marina* L., on current flow. *Coastal and Shelf Science*, 15, 529-532.
 - 28) Hata, K. and K. Nakata (1998) Evaluation of eelgrass bed nitrogen cycle using an ecosystem model. *Environmental Modelling & Software*, 13, 491-502.
 - 29) Hata, K., K. Nakata and T. Suzuki (2004) The nitrogen cycle in tidal flats and eelgrass beds of Ise Bay. *Journal of Marine Systems*, 45, 237-253.
 - 30) Sohma, A., S. Yasuyuki and K. Nakata (2004) Modeling and evaluating the ecosystem of seagrass beds, shallow waters without sea-grass, and an oxygen-depleted offshore area. *Journal of Marine Systems*, 45, 105-142
 - 31) 柏井 誠・杜多 哲・小松輝久 (1991) 資源培養における流れの研究の今後の課題。川合英夫(編), 流れと生物と, 京都大学学術出版会, 241-244.

(受付2006年7月29日, 受理2006年9月26日)