

アマモ場における酸素に着目した物質循環過程の定量化

伊豫田紀子*・佐々木 淳**・磯部 雅彦***

アマモ場が持つ機能は水質浄化機能をはじめ多様かつ高いことから近年重要視されているが、一方でアマモ場の機能に関する研究は室内実験や定性的な把握がほとんどであり、アマモ場に生息する生物まで考慮した機能の定量化は不十分である。本研究は機能の一つである酸素循環に着目し、アマモ場における酸素収支の定量化を目的とした。第一にアマモ場にチャンパーを投入しアマモ場全体の DO を時系列に計測し、次にチャンパー内の底生動物等による DO 消費を室内酸素消費実験にて求めることでアマモ場の酸素収支を定量化する手法を開発した。これを用い、アマモ場内での底生動物、底生微生物の重要性を考察した。

1. はじめに

波穏やかな砂泥質の浅海域では、しばしばアマモ (*Zostera Marina* L.) が分布している。アマモ場には自身による有機物生産だけでなく、底質安定や付着藻類や動物等の生息場としての機能、これらを通じた栄養塩除去や酸素生産などの高い水質浄化機能や炭素の固定機能を有しており、沿岸生態系の維持に大きな役割を担っていると考えられている。

このような高い機能を持ち合わせながら、アマモ場をはじめとする藻場は長年埋立等によって失われてきた。環境庁 (2000) によるとこの 13 年間に全国で約 4 % の藻場が消失しており、近年では生物生息域の消失による沿岸域での漁獲量の減少や水質底質の悪化が懸念されている。その一方で、行政では環境影響評価法や新海岸法が施行されるなど、海岸や港湾の開発にあたっての環境保全や環境創造を考慮した取り組みが始まっている。今後、藻場造成等の環境復元・創造を展開していくためには現地におけるアマモ場としての機能の定量的な評価が不可欠である。しかし、既往の研究では室内実験に基づく物質収支の算定 (川崎ら, 1986) や現地実験による定性的な把握 (日比野ら, 1998) にとどまっており、現地で見られる動植物の生息場としての機能を含めたアマモ場の定量的な評価はほとんどなされていない。

本研究ではアマモ場の機能のひとつである酸素生産による水質浄化機能に焦点を置き、現地アマモ場における酸素に着目した物質循環の定量化手法の提案を目的とする。さらに得られた結果を基に簡単な物質循環モデルを構築し、現地の物質循環の再現を試みる。

2. 現地実験

現地実験における物質循環過程を定量化する上では、

光合成による有機物の生産と呼吸による無機化を反映した個々の素過程の酸素フラックスを捉えることが有効である。ここでは、葉上動植物や底生動物を含めたアマモ場全体の溶存酸素濃度 (以下 DO) を把握するため、アマモ場内に図-1 のようなチャンパーによる閉鎖系を作り、チャンパー内の DO の連続計測を含む現地実験を行った (写真-1)。アマモ場に関する多くの既往の研究は潜水作業を必要とするが、本実験はチャンパーの設置回収を含む全ての作業が船上から容易に行うことができるように設計されており、これまで困難であった現地モニタリングが効率的かつ簡便に行えるようになった。

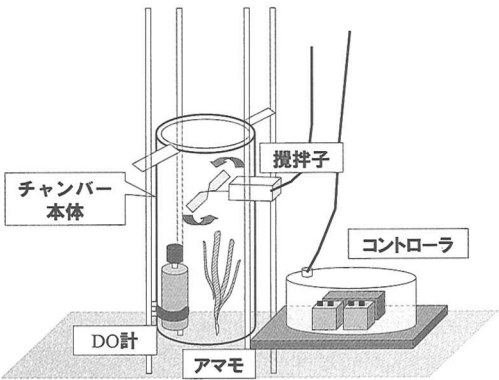


図-1 チャンパー実験概略図

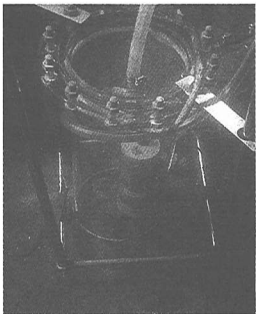


写真-1 実験装置

* 正 会 員 修 (環) 五洋建設 (株) 技術研究所環境研究所
** 正 会 員 博 (工) 横浜国立大学助教授 大学院工学研究院システム創生部門
*** フェロー 工 博 東京大学教授 大学院新領域創成科学研究科環境学専攻

現地実験は神奈川県三浦市南西部に位置する諸磯湾にて行った(図-2)。諸磯湾は全長 200 m 程度の小規模の湾であり、湾口は相模湾に面し、湾奥部からは周辺地域からの下水が流入している。アマモ場は湾の南側、水深 1.5~2.0 m に帯状に分布し、双方の影響を受けながら生育している。諸磯湾のアマモは多年生であり、葉丈は 30~50 cm 程度と 1 年生と比べ短く、夏~冬季の衰退期には密度がやや疎になるものの一年中湾内に分布している。

現地実験は 2001 年 10 月より月 1 回計 4 回の計測を行った(表-1)。チャンバー内の二酸化炭素が枯渇するなど周辺環境と大きな差が生じない様、1 回の実験は 2~3 日間とした。

対象のアマモ場の中央付近において、アマモ一株を覆うようにチャンバーを垂直に降ろして固定した。数日間湾内に装置を設置するため、波などでチャンバーが流出しないよう四方を支え棒で固定した上で、根を切断しない程度に底部を底質に打ち込んだ。その際チャンバー内には溶存酸素計(三洋測器製)をアマモの葉丈に合わせて事前に固定して計測を行った。その際、チャンバー内を上部に取り付けてある攪拌子で計測時毎に攪拌することで密度を均一にし、かつアマモに流れを与えることで海水の滞留による酸素生産の低下を抑制した。また計測時には、アマモ場の外部環境を把握するため、チャンバーの外側近傍には多項目水質計 Datasonde 4 (Hydrolab

社)を設置して、水温、塩分、クロロフィル *a*、光量子の連続データを取得した。

各現地実験終了後にはチャンバー内のアマモ、葉上生物等を採取保存し、さらにチャンバーに覆われていた底質の柱状採取を行った。

採泥は内径 5.5 cm 長さ 50 cm または 100 cm のポリカーボネイト製パイプを潮汐に合わせて組み合わせたものを使用した。まず、パイプを鉛直に海底に向かって下ろし、泥深 25 cm まで打ち込んだ後、海水で満たしゴム栓をしてパイプ内を負圧にした。さらに、底表面が攪乱しないよう静かに海水面まで引き上げ、ゴム栓で底部を密栓し、底質サンプルとした。アマモについては採取直後にハブラシおよびカミソリで付着藻類を削ぎ落とし、それぞれを 5%ホルマリンで固定した上で後日実験室において湿重量と乾重量を計測した(表-2)。

期間 1 におけるチャンバー内の DO とアマモの光合成に重要である光量子及び水温の時系列変化を図-3、図-4

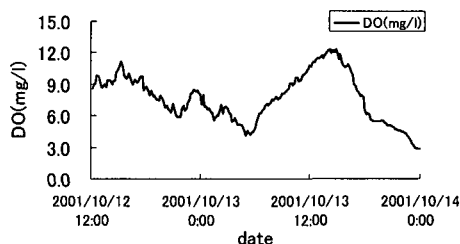


図-3 期間 1 における DO の時系列変化

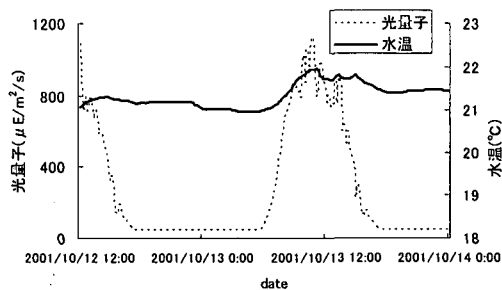


図-4 期間 1 における光量子量、水温の時系列変化

表-2 現地実験で確認された生物量

		期間 1	期間 2	期間 3	期間 4
アマモ	湿重量	7017.6	329.4	3295.1	1074.0
	乾重量	1601.9	44.8	297.0	96.1
	単位面積あたり湿重量	計測せず	66.4	23.5	15.6
葉上動物	イソギンチャク	2.130	4(・)	8(・)	0.0
	アミ類	0.215	0.0	0.0	0.0
底生動物	全生物量	9.328	10.809	12.165	8.856
	多毛類	6.924	10.809	4.643	8.856
	二枚貝	0.345	0.000	7.522	0.000
	甲殻類	2.058	0.000	0.000	0.000

単位はアマモはそれぞれ mg, mg/cm², 葉上動物と底生生物は mg/cm²

(・)採取不可だったものはチャンバー内で確認できた個体数のみ記入

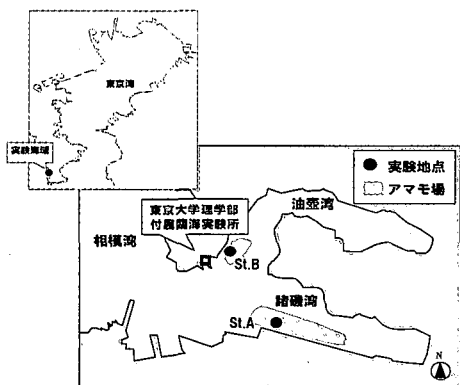


図-2 実験対象海域

表-1 現地実験計測項目

	日付	実験地点	実地実験	室内実験	葉上生物採取	採水	水温	光量子	水深	粒度分析
期間.1	10/12-10/15	St.A	○	○	○	○	○	○	○	○
期間.2	11/16-11/19	St.A	○	○	○	○	○	○	○	○
期間.3	11/13-12/3	St.B	○	○	○	○	○	○	○	○
期間.4	12/19-12/25	St.A	○	○	○	○	○	○	○	○

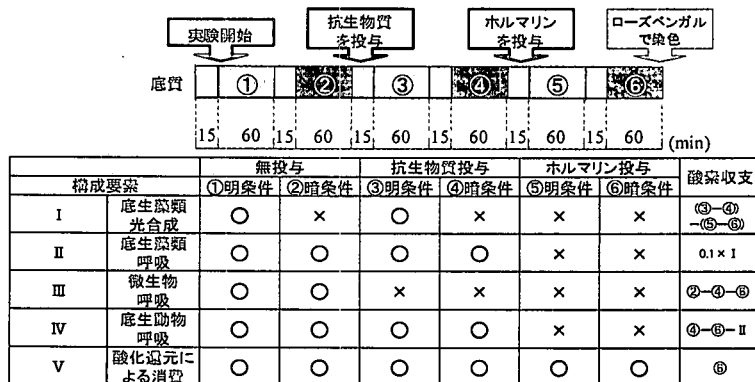


図-5 室内実験行程

4に示す。チャンバー内のDOは日射量が高くなるにつれて増加し過飽和状態となり、夜間には2.0 mg/l程度まで低下する。図-3、図-4より日射が特にアマモ場の酸素収支に大きく影響していることが確認できた。

3. 室内実験

現地実験終了後、アマモ場における水——アマモ間、水——底質間の各酸素フラックスを把握するため、採取した底質サンプルおよび葉上動物について、底生藻類の最適照度を用いた明暗培養実験を行った（図-5）。実験は古川ら（1999）の酸素消費実験手法に従って行った。

図-6に室内実験の装置を示す。事前に実験海域と同水温にしておいた恒温槽に、採取した底質サンプルを設置する。底質サンプルの直上水はろ過海水を使用し溶存酸素計（東亜DK製）を直上水中に固定した上で流動パラフィンを通して、大気との酸素交換を遮断し、直上水が均一であると同時に底面で巻き上がりが起こらないよう攪拌して計測を進めた。図-5のように採取した底質サンプルに対して明条件、暗条件下での酸素生産・消費速度を測定した後、抗生物質を投与し微生物を排除した状態での酸素生産・消費の測定を行った。最後にホルマリンを投与し全ての生物活性を排除し、酸化還元反応による酸素消費を測定する実験を行った。実験前にはそれぞれ15分間明条件について蛍光灯（6000 lx）を当て、暗条件では暗幕カーテンで光を遮断し、前培養した。ここで、底生藻類の呼吸速度は計測できないため、既往の研究（高橋ら、1996a）より光合成速度の約1割程度であると仮定した。さらにホルマリン投与によってサンプル内の全生物を不活性にすることで、底生藻類の光合成、底生動物や付着動物の呼吸等、アマモ場の酸素収支に関わる個別の過程を定量化した。実験終了後には、直上水に染色粉末のローズベンガルを添加して事前に底質中の生物を染色、0.5 mmのふるいにかけて、残った生物体の個

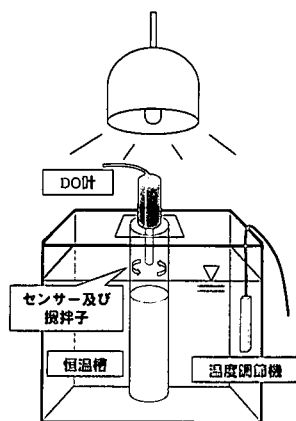


図-6 室内実験概略図（明条件の場合）

体数、湿重量および種の同定を行った。葉上動物に関しても5%ホルマリンで固定し、湿重量を計測した。

以上より、底生動物の湿重量と酸素消費速度の相関およびそれ以外の酸素消費速度と水温の相関を全観測データから求めた。ここで、微生物の酸素消費量は、個体数の計測が不可能であったことと微生物の活性に大きく関係のある実験地点の粒度組成はほぼ同一であったことから、水温との相関を求めた。

実験結果を図-7に示す。最適照度で実験を行った底生藻類の光合成速度と水温との関係や底生動物の呼吸速度と湿重量との相関は高い。一方、微生物や酸化還元反応による酸素消費速度はばらつきが大きく、相関が低い。この理由として、今回抗生物質投与後15分間前培養を行ったが、抗生物質の種類によっては微生物の活性が低下するまでに約3時間かかると言われており（高橋ら、1996b）、前培養が不十分であったことが考えられる。またホルマリン投与に関しては、実験直前の中和が不十分であったことが挙げられる。

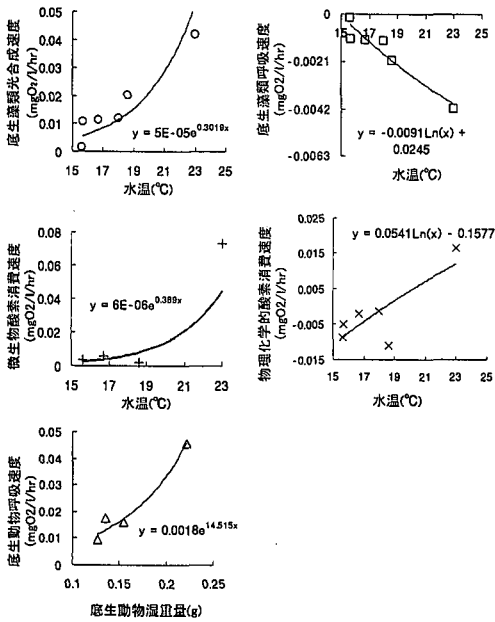


図-7 室内実験結果

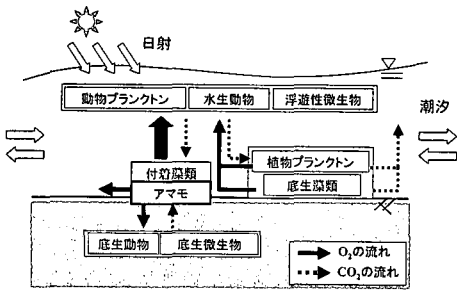


図-8 アマモ場における酸素に着目した物質循環図

4. アマモ場の酸素収支

現地実験からアマモ場の酸素収支を、室内実験から各酸素フラックスを求めることができた。ここでは室内実験の結果を元に、構成要素及び各フラックスを図-8のようにおき、アマモ場における酸素収支を再現することを試みた。図-9に現地実験で得られたチャンパー内のDOの時系列と数値計算による再現結果を示す。

現地実験及び室内実験からは付着藻類の代謝による酸素収支を把握することができないため、前述の既往の研究(高橋ら, 1996a)と室内実験の底生藻類から求められた代謝の酸素収支を参考に速度を決定した。

アマモの酸素収支モデルに関しては、現地実験の結果の他に Booci ら (1997) のアマモの現存量変動モデルを参考にして、生長速度、呼吸速度など代謝が日射及び水温によって変動するとした。また栄養塩による光合成の

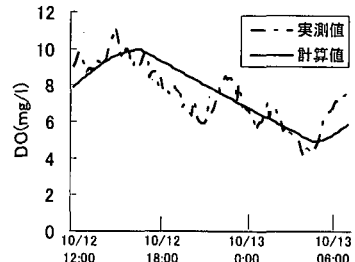


図-9 実測値と計算値

制限はチャンパーで外部との交換を遮断していることや既往の研究 (Zimmerman ら, 1987) で栄養塩によって光合成を制限されているアマモ場は数少ないと言われていることから、考慮しなかった。さらにアマモ自身の自己遮蔽による光合成の低下に関しても、時期が秋～冬季であることから考慮しなかった。

計算は現地実験の得られたデータのうち、装置の不都合が生じるまでの約0.5日を対象とし、入力条件として現地実験の際に計測した光量子量や水温を用いて行ったところ、詳細な再現までには至らなかったものの、現地における時系列変動の傾向はある程度全期間を通じて再現することができた。

5. まとめ

本研究によって今まで困難とされてきた現地アマモ場における底生動物、付着藻類などを含めた酸素収支に関わる各酸素フラックスの定量化を行うことが可能となった。特に底生動物と底生微生物の呼吸による酸素収支への寄与は大きく、アマモ場としての機能を評価するためには無視することのできない要素であることが分かった。また、酸素生産への寄与はアマモ自身が最も大きく、アマモの活性が低下している秋季においてもアマモ場における酸素生産が葉上・底生動物を含めた呼吸を上回り、夜間においても貧酸素化することなく豊富な生物を支える役割を果たしていることが分かった。

しかしながら、現地実験での溶存酸素の計測結果にはばらつきが大きく、詳細な再現までには至らなかった。これはチャンパー内の環境が急激に変わったのではなく、チャンパー内の攪拌が不十分であったためと考えられる。また、現在の装置ではバッテリーの関係で長期間の観測が行えないことから、機械上の問題点を早急に解決させる必要があるだろう。本実験は秋～冬季において短期間に行ったものであり、周年におけるアマモ場の物質循環機構の把握まで至っていない。今後のアマモおよび葉上・底生動物の成長期である春～夏季における現地実験を行い、また長期間行うことで、アマモ場に生息する生物の寄与も含めた酸素収支を把握することができると

考えられる。

謝辞：本研究を行うにあたり，東京大学理学部付属三崎臨海実験所の方々には現地実験での作業と施設を提供して頂き，神奈川県農業総合研究所三浦試験場の方には気象データを提供して頂くなどご協力賜った。また，国土交通省国土技術政策総合研究所海洋環境研究室長古川恵太氏には室内実験に関する助言を頂いた。末筆ではあるが，謝意を表す。

参 考 文 献

- 川崎保夫・飯塚貞二・後藤 弘・寺脇利信・渡辺康憲・下茂 繁 (1986): アマモ場造成法に関する研究, (財)電力中央研究所・総合報告, U 14, 231 p.
- 環境庁(2000): 改訂・日本の絶滅のおそれのある野生生物 レッドデータブック 植物 I (維管束植物), 660 p.
- 高橋正征・古谷 研・石丸 隆 (1996a): 生物海洋学 1 プラン

- クトンの分布/化学組成, 88 p.
- 高橋正征・古谷 研・石丸 隆 (1996b): 生物海洋学 4 ペントス, 131 p.
- 日比野忠志・鶴谷広一・西守男雄 (1998): 小規模湾における生態系の季節変化特性と流れ場の生態系への影響, 海岸工学論文集, 第 45 巻, pp. 1081-1085.
- 古川恵太・桑江朝比呂・細川恭史 (1999): 干潟環境調査—環境条件と生物分布—, 港研資料, No. 947, 91 p.
- 松梨史郎 (1993): 閉鎖性海域の窒素・リン・溶存酸素の予測モデル, 海岸工学論文集, 第 40 巻, pp. 1076-1080.
- Bocci, M., G. Coffaro, G. Bendoricchio (1997): Modelling biomass and nutrient dynamics in eelgrass (*Zostera marina* L.): application to the lagoon of Venice (Italy) and Øresund (Denmark), Ecological Modelling, Vol. 102, pp. 67-80.
- Zimmerman, R. C., R. D. Smith, R. S. Alberte (1987): Is growth of eelgrass nitrogen limited? A numerical simulation of the effects of light and nitrogen on the growth dynamics of *Zostera marina*, Marine Ecology Progress Series, Vol. 41, pp. 167-176.