

大阪湾湾奥でのワカメ育成とその循環的利用 に関する実験

THE EXPERIMENT OF GROWING AND CIRCULAR USING BROWN SEAWEED
AT INNER PART OF OSAKA BAY

三好真千¹・上月康則²・三好順也³・山口佳奈子⁴・宮地由紀⁵・村上仁士⁶
Machi MIYOSHI, Yasunori KOZUKI, Junya MIYOSHI, Kanako YAMAGUCHI, Yuki MIYACHI and Hitoshi MURAKAMI

¹正会員 修(工) 徳島大学大学院 工学研究科 (〒770-0860 徳島県徳島市南常三島町2-1)

²正会員 博(工) 徳島大学大学院 ソシオテクノサイエンス研究部 教授
(〒770-0860 徳島県徳島市南常三島町2-1)

³正会員 博(工) (独法)産業技術総合研究所 地質情報研究部門 沿岸海洋研究グループ
(〒737-0197 広島県呉市広末広2-2-2)

⁴修(工) 徳島大学大学院 工学研究科 (〒770-0860 徳島県徳島市南常三島町2-1)

⁵総合科学株式会社 海域環境部 (〒540-0024 大阪市中央区南新町1-4-8)

⁶フェロー 工博 徳島大学 環境研究防災センター 客員教授
(〒770-0860 徳島県徳島市南常三島町2-1)

Amagasaki port is located at inner part of Osaka Bay and is the most polluted area. There are many technologies and developments for the environmental restoration. In this study, we set up some terraces on the surface of the vertical seawall there. We tried to create a seaweed bed of Brown seaweed on the terraces. The growing Brown seaweed was collected, and the experiment for Komatsuna cultivation was conducted for utilizing as the compost. As a result, Brown seaweed grew up on all terraces where Grammaridea and Caprellidea were living. Brown seaweed bed simulated to the natural one. When Brown seaweed is composted, it is necessary to adjust the element balance for mixing with commercial compost.

Key Words : Amagasaki port, vertical seawall, Seaweed bed of Brown seaweed, compost

1. 結 論

戦前まで多くの地域で海藻は、窒素、リン酸、ミネラルを多く含む良質の有機質肥料として田畑に還元、活用され、海から陸への物質循環の一翼を担っていた。

また、東京湾、伊勢湾、大阪湾、瀬戸内海といった閉鎖性水域の沿岸域の浅場には自然の干潟や藻場などが形成されていたが、人口密度の増加や産業の発展に伴い、浅場は広い範囲で埋め立てられてきた。その結果、閉鎖性水域は富栄養化が進行し、赤潮、青潮が発生するなどの問題が生じており、海水の透明度の低下が影響し、浅場に生息していた海藻の生育が制限され、沿岸域の藻場の面積はさらに大きく減少した。

こうした背景を踏まえ、大阪湾では、これまでに環境修復に向けた種々の技術開発がなされてきた。著者らは、その一つとして富栄養化が極度に進行した大阪湾湾奥部に位置する兵庫県尼崎港にて、

直立の護岸に棚を設け、人工的な浅場を創れば、当水域でも物質循環は活性化され、環境は改善されることを明らかにしてきた¹⁾。本研究では、この港湾内の既設の直立護岸に設置した“棚上でワカメ藻場の創出”を試み、さらには生育したワカメは収穫し、堆肥として利用することを試みた。ワカメは水産上有用な海藻種のひとつであり、回収したワカメの利用方法には、食用が考えられたが、付着生物が多いなど食用は現実的でないと考え、後背地での「尼崎 21 世紀の森計画」における利用も想定し堆肥としての利用について検討した。

先行事例としては、筏式のワカメ藻場の育成と堆肥化²⁾、沖合の防波堤を活用したワカメ育成実験³⁾がある。ここでは、護岸に附帯させた棚の上でワカメを育成し、育成可能な水深帯について検討したこと、堆肥化による海から陸への物質循環量を計測した点に特徴がある。また、本方法は既存の海岸構造物を活用した藻場創出を通じた物質循環の活性化や環境を修復する試みであり、国土

交通省が進める“グリーン化”⁴⁾のための一手法に成り得るといえる。

2. 実験内容および方法

(1) 実験地点と実験構造物

本実験は大阪湾の最も湾奥部に位置している尼崎港で行った。図-1 に尼崎港の位置を示す。港湾内は直立護岸に囲まれており、大型船による航跡波を除いて静穏で、比較的懸濁物が多い。さらに夏季には著しく透明度が低下し、底層から慢性的な貧酸素水塊が発生する⁵⁾。もちろん当水域には大型海藻の藻場は消滅している。なお、当水域で生息可能な大型海藻種については川井ら²⁾が複数の種を検討したが、十分に成長できたものはワカメのみであった。

ワカメの藻場を創出するために既設の直立護岸壁面に付帯するような形状の棚を設置した(図-2)。1基のサイズは横幅 3.0 m、海側に 1.5 m の大きさ

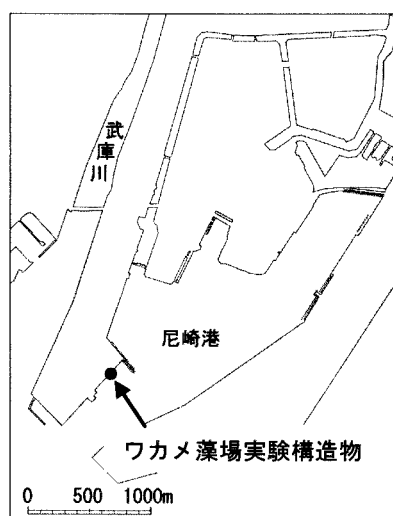


図-1 兵庫県尼崎港

を持ち、断面形状は L 字型である。夏季に発生する貧酸素の影響を受けないと思われる高さ D.L. -0.5, -1.0 および -1.5 m に床をそれぞれ設置し、それらを type A, B および C と呼ぶ。なお、3 種類の構造物の間に生じた 50 cm の段差にはレキを積み重ね連続性を保つようにしている。

(2) ワカメ種苗の設置と採取方法

2004 年 12 月、2005 年 11 月の 2 年度にわたってワカメの種苗を棚の上に設置した。ワカメの種苗は種苗ロープを巻き付けた枠から図-3 のようにロープを 10 cm ごとに切り取って用いた。切り取った種苗ロープは 150 cm の主ロープに対して平行に、10 cm 間隔で固定し、主ロープは、棚上に設置した金網にそれぞれ 5 本ずつ固定した。なお、波当たりを考慮して、主ロープは護岸に対して垂直方向に配置した。

生育したワカメは、2004 年度は設置から 3 ヶ月後の 2005 年 3 月と 5 ヶ月後の 5 月にタイプ A, B および C からロープを 2 本ずつ回収した。2005 年度は設置後、12 月から 6 月までの期間、月 1 回の頻度でタイプ A, B および C からワカメを 3 株ずつ回収した。ワカメの雌株の下をロープから切り離し、枚数、長さ、湿重量を測定した後、常温で乾燥させ乾燥重量を測定した。

(3) 水質の測定

水質調査は 2004 年 12 月、2005 年 3 月、5 月、12 月、2006 年 1~6 月に行った。直立護岸前方と type A, B および C の棚上において、水質メーター (Alec Electronics Co., Ltd., ACL220-PDK, Meridian instruments far east. K.K., YSI-59type) を用いて、水温、塩分、光量子束密度を測定した。

(4) 生物調査

直立護岸壁面とワカメの葉上において生物調査

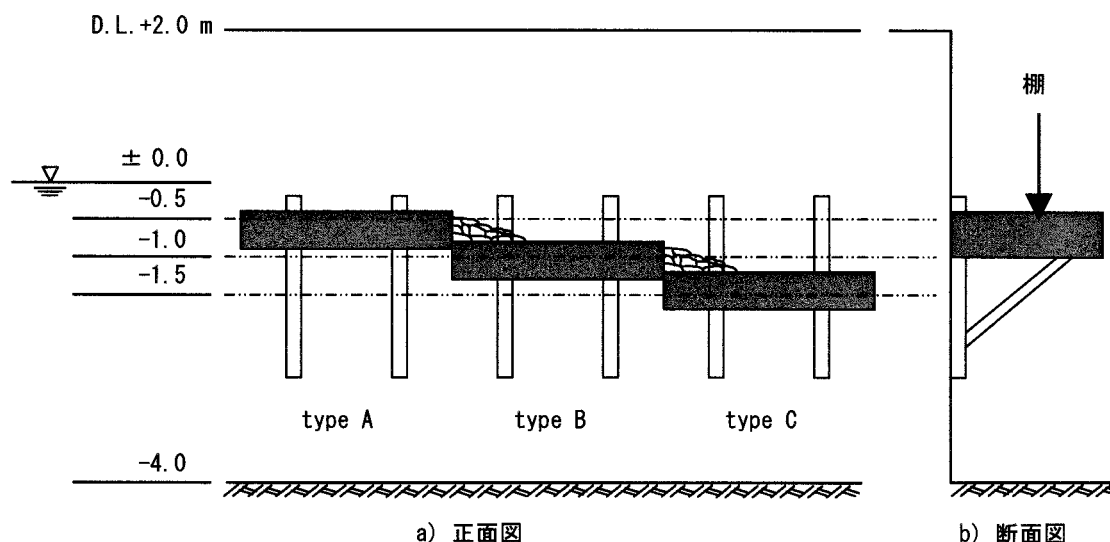


図-2 ワカメ藻場実験構造物の正面図と断面図

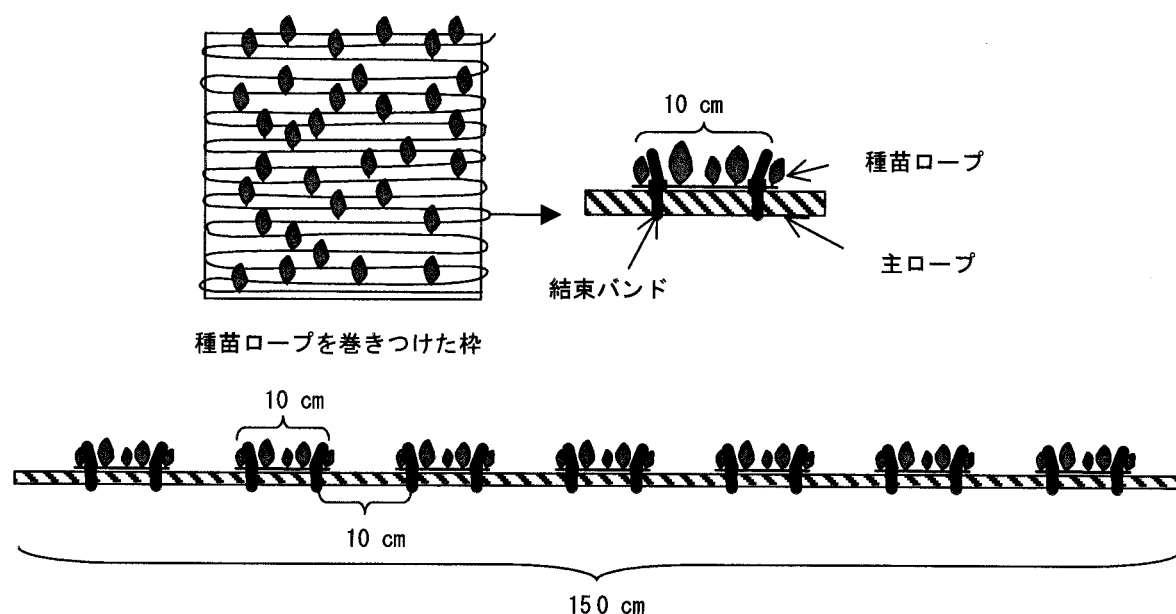


図-3 ワカメ種苗ロープ

を 2005 年 5 月に行った。直立護岸壁面の付着生物は、D.L. -1.0 m の水深で壁面 30×30 cm の範囲を剥ぎ取って回収した。ワカメの葉上動物は、type A, B および C の棚から回収したワカメに付着していた動物を収集した。これらの生物は分類し、種類の同定を行い、個体数、湿重量を測定した。

2005 年 12 月から 2006 年 6 月までの期間、月 1 回の頻度で、棚の上に固定してある金網 20×20 cm の範囲を剥ぎ取って付着している海藻や生物を回収し、それらの生物は全て種類の同定を行った後、湿重量、乾燥重量を測定した。

(4) 市販家庭用生ゴミ処理機を用いたワカメの分解実験

ワカメは食物繊維を多く含んでいるため、分解されて堆肥になるまでに数ヶ月の長時間を要するといわれている⁶⁾。そこで本研究では、短時間でワカメを堆肥化できるように、市販の生ゴミ処理機を用いて堆肥化する実験を行った。

これまで数多くの堆肥の腐熟度判定法が開発されてきており、代表的な化学的指標として、pH、電気伝導度、CN 比が挙げられる。ここでは、市販の家庭用生ゴミ処理機(HITACHI, BGD-V18)に専用のバイオチップ 500 g とミキサーで粉砕されたワカメ 200 g を投入し、処理前後の堆肥について CN 比を測定した。

(5) コマツナ栽培実験

海から陸への窒素の回収量を定量的に示すために、コマツナの栽培実験を行った。

ワカメはリン酸が少なく、カリウムが多いため、ワカメだけを使って堆肥を作ると成分に偏りがある。そこで、リン酸が多い家畜ふんから作られた市販の堆肥(名称:あさぎり有機)とワカメを混ぜ合わせたものを堆肥として用いた。プランター

表-1 ワカメと堆肥の混合量

Case	ワカメ (dry g)	堆肥 (wet g)
1	0	0
2	0	300
3	90	210
4	150	150
5	210	90
6	300	0

(65×21.5×18 cm) に粉末状のワカメと市販の堆肥の量をそれぞれ 3:7, 5:5, 7:3 の割合にし、それを 2 mm ふるいにかけた土壌 8 kg と混合し、コマツナの苗を 1 つのプランターにつき 5 株ずつ植え、2 つずつプランターを用意した(表-1)。栽培実験は室温 20℃の温室にて行い、週 1 回の頻度で葉の長さを計測した。

また、土壌を一部採取し、土壌と水を 1:10 に混合し、30 分間振とう後、3000 rpm で 10 分間遠心分離して抽出液上清を作成した。これを 1/20 倍希釈して希釈抽出液とし、イオンクロマト(DIONEX, DX-100)を用いて Na⁺, NH₄⁺, K⁺, Mg²⁺, Ca²⁺, Cl⁻, NO₃⁻, SO₄²⁻を分析した。

3. 調査結果

(1) 尼崎港の水質

図-4 に 2004 年度、2005 年度の既設の直立護岸壁面前方の D.L. -0.5, -1.0, -1.5 m の水深帯における水温、塩分、光量子束密度の平均値をそれぞれ示す。水温は 2004 年度 8.7~17.5℃, 2005 年度 7.74~20.9℃, 塩分は 2004 年度 21.3~30.9 psu, 2005 年度 25.4~31.38 psu, 光量子束密度は 2004 年度 4~1589 μmol/m²/s, 2005 年度 4~252.4 μmol/m²/s の間で変化した。ワカメの生長に適した

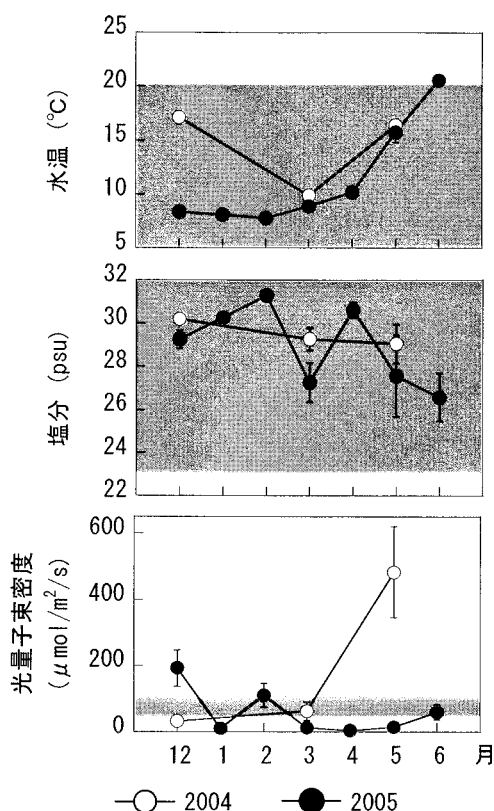


図-4 棚の設置水深DL-0.5, -1.0, -1.5 mにおける水温、塩分、光量子束密度の変化(平均±標準偏差)。図中の色付部分はワカメの生息可能範囲

水温は 20℃以下であり、光は日中平均で約 2,000 ~6,000 lx(約 33.6~100.8 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$)であるといわれている⁷⁾。2005 年度は type C の床上は type A, B よりも光量が不足しているようであったが、水温、塩分の条件は満たしていた。

(2) ワカメによる窒素回収量

図-5 に各 type で生長したワカメの藻長組成の変化を示す。2004 年と 2005 年の両年度の実験ともに、棚の水深にかかわらずワカメは生長し、2005 年度の 4 月には、写真-1 のように葉長約 236 cm, 48.1 dry g/枚と最も大きな値を示した。回収できた単位面積あたりの窒素回収量は type C が最も多く、14.4 gN/m²であった。type C では光量が不足していたようであったが、ワカメは葉長が長く成長していたため、その先端では十分に光合成が行われていたと思われる。

一方、最も水深の浅い type A の棚上はワカメの生育に十分な光条件を満たしていたにも関わらず、ワカメの現存量は 2005 年 3 月に 200.3 dry g/2ropes であったが、その 2 ヶ月後の 2005 年 5 月には 86.2 dry g/2ropes と 43%の減少がみられた。これは目視観察より先端部が分断されたワカメが複数確認されていたことから、ワカメの現存量の減少は波浪の影響によって、ワカメが減耗したと考えられた。

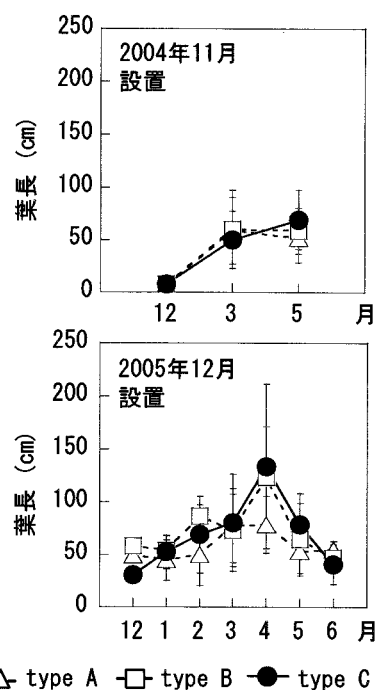


図-5 ワカメの葉長変化(平均±標準偏差)



写真-1 ワカメ写真 (2005年5月)

以上のことから、光条件などを考慮し、適切な位置に棚を設置すれば、その棚上でもワカメを育成させることはできることがわかった。また、浅い棚上にワカメを設置する場合には光のほかにも波浪も考慮する必要があることが示された。なお、2007 年度冬期の観察では、棚上に固定したロープの端にワカメが自生し、成長していることが確認された。これは藻場が消滅した大阪湾湾奥であっても、棚を適切に設ければ、ワカメが自生できる可能性があることを示している。

(3) ワカメ葉上生物の出現種

2005年5月の直立護岸壁面の付着生物と各棚におけるワカメに生息していた主要な葉上動物の湿重量を比較した。直立護岸壁面の付着生物は、シロボヤとカタユレイボヤが優占しており、それぞれ全体の47%、14%を占めていた。一方、いずれの棚においてもワカメの葉上では、自然の藻場に一般的にみられる種⁸⁾であるマルエラワレカラとフトメリタヨコエビが優占しており、それぞれ全体の43~50%、9~20%を占めていた。葉上動物の現存量に設置水深による違いはみられなかったが、ワカメの現存量と葉上動物の現存量に関係がみられたことから、ワカメの生長によって生物の生息空間が広がり、葉上動物が増加することが考えられた(図-6)。これらのワカメ、ヨコエビ類、ワレカラ類の安定同位体比を測定した結果、ワレカラ、ヨコエビはワカメを直接餌として利用せず、生息場として利用していると考えられる⁹⁾。なお、棚の上には他の海藻ショウジョウケノリやダリア科の一種も自然に定着している様子がみられたが、その生物量はワカメに比較して、1/10程度と少なく、生育期間も短かった(図-7)。

このように尼崎港のような極度に汚濁の進行した海域であっても、ワカメを中心とした生態系が形成されることがわかった。

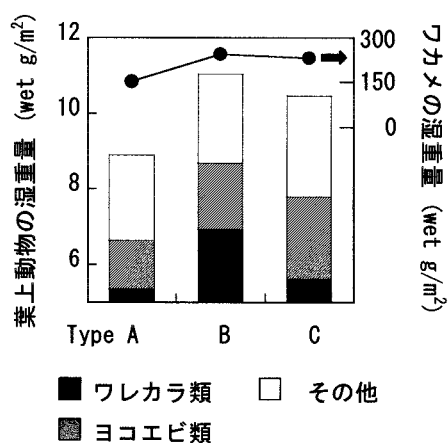


図-6 ワカメと葉上動物の関係

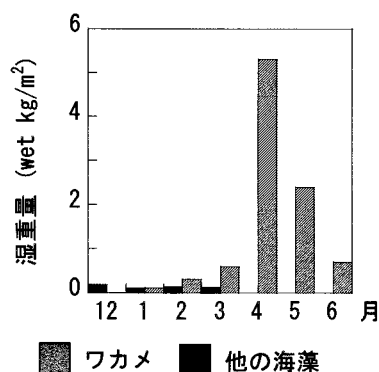


図-7 type C上における回収量の月変化

(4) ワカメの堆肥化とコマツナ栽培

ワカメの初期の分解には家庭用生ゴミ処理機を用い、4時間/回を計5回行った。その結果、処理回数が増えるに従い、初期には炭素の分解、次には窒素の分解が進み、CN比は、17から43に変化した(図-8)。堆肥としての適切なCN比は20~30程度とされていることから、4回程度の処理で適当な処理が行えると思われる。

コマツナ栽培実験による生長した葉の長さの変化を図-9に示した。その結果、Case2(堆肥のみ)のコマツナが最も生長が早く、苗を植えたときの葉の長さが平均0.5cmであったが、3週間後には平均4.4±1.7cmに生長していた。表-2にコマツナの生長率、土壌のCN比、EC、Na⁺、NH₄⁺、K⁺、Mg²⁺、Ca²⁺、Cl⁻、NO₃⁻、SO₄²⁻の現存量を示す。生育率とは、苗を植えてから3週間後のコマツナの苗の数を初めの苗の数に対する百分率で示した。Case6(ワカメのみ)では、苗を植えてから3日後以降、葉が黄色くなる、茎が細くなる等の苗が現れ、3週間後には生育率が30%となった。このケースでは、溶解成分中のNa⁺、Mg²⁺、Ca²⁺、Cl⁻の濃度が他のケースに比べて高かった。また、一般的に堆肥のECは5mS/cm以下であることが基準とされている⁶⁾が、Case6の土壌抽出液のECは5.3と高い値を示した。これらのことから、これは塩分が原因で枯死したものと思われた。

図-10に各ケースで生長したコマツナの1容器あたりの全窒素量を示す。ワカメと市販の堆肥を混

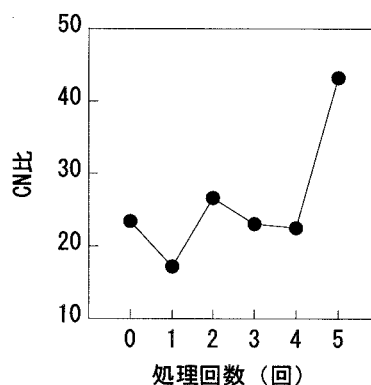


図-8 生ゴミ処理機によるワカメ堆肥のCN比変化

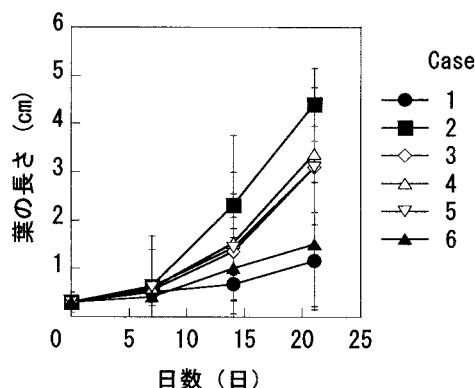


図-9 コマツナの葉長の変化(平均±標準偏差)

表-2 各Caseのコマツナ生育率, CN比, Na^+ , NH_4^+ , K^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+} , Cl^- , NO_3^- , SO_4^{2-} の現存量

Case	ワカメ (dry g)	市販の堆肥 (wet g)	生育率 (%)	CN比	E. C. (mS/cm)	Na^+ (mg/kg)	NH_4^+ (mg/kg)	K^+ (mg/kg)	Mg^{2+} (mg/kg)	Ca^{2+} (mg/kg)	Cl^- (mg/kg)	NO_3^- (mg/kg)	SO_4^{2-} (mg/kg)
1	0	0	100	6	0.1	16	2	7	1	0	75	27	94
2	0	300	100	17	0.2	27	2	40	0	0	800	16	160
3	90	210	80	13	5.3	166	10	184	0	3	3472	64	391
4	150	150	70	9	1.2	262	11	278	2	2	661	0	74
5	210	90	90	11	2.0	296	10	434	4	3	3377	39	190
6	300	0	30	12	2.4	838	3	1147	26	39	3114	16	200

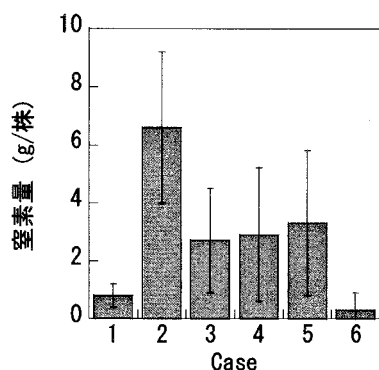


図-10 各ケースで生長したコマツナの窒素量 (平均±標準偏差)

せて使用した場合、市販の堆肥のみに比較して収量は半減するものの、コマツナからもっとも多く窒素を回収できるのは Case5 (ワカメ:堆肥=7:3) であり、3 週間後には窒素 17 g コマツナの得られることがわかった。これは、土壌 1 kg に対して回収したワカメと市販の堆肥を 7:3 の割合で混合すれば、3 週間後には窒素 2.2 g 相当のコマツナが回収できることを意味している。

4. 結 論

本研究では、大阪湾で最も汚濁が進行した海域のひとつである兵庫県尼崎港において、海から陸への物質循環の形成を通じた海の環境修復を目指して、直立護岸の壁面に棚を利用した、ワカメ藻場の創出とワカメの堆肥としての利用について検討を行った。今回の実験から得られた結果を以下にまとめる。

- 1) 尼崎港の水質は、ワカメの生息条件を満たしていた。直立護岸壁面に棚を設置し、ワカメを育成するときは、波浪と光の条件を考慮する必要がある。本実験での設置した3つの棚のなかでワカメの生育に最も適した棚は、type C (D.L.-1.5 m)であった。水深 D.L.-1.0m に設置した直立護岸壁面に棚上のワカメは最大で葉長 236 cm にまで生長し、窒素換算すると単位面

積あたり 14.4 gN/m²であった。

- 2) ワカメの葉上には、マルエラワレカラやフトメリタヨコエビがそれぞれ全体の 43~50%, 9~20%を占めており、それらはワカメの現存量に応じて増加した。このように、当水域でも一般的な藻場に類似した生態系を創出することができると示唆された。
- 3) ワカメを前処理し、堆肥として利用するにあたっては市販の堆肥と混ぜて成分調整する必要があることがわかった。本実験ではその割合はワカメ:市販の堆肥 = 7:3 であった。また、コマツナの苗を植えて3週間後に回収できた窒素は土壌 1 kg あたり 2.2 g であった。

参考文献

- 1) 三好順也, 上月康則, 森正次, 亀田大悟, 矢間北斗, 倉田健悟, 村上仁士: 岸壁付帯式テラス型海岸構造物によるムラサキガイ由来の汚濁負荷削減効果, 海洋開発論文集, 第20巻, pp. 1061-1066, 2004.
- 2) 財団法人国際エメックスセンター: 閉鎖性海域における最適環境修復技術のパッケージ化 (環境修復技術のベストミックスによる物質循環構造の修復) 研究開発成果報告書, pp. 4-8-4-14, 2004.
- 3) 中西敬, 中村由行, 川井浩史, 勝海務, 齊藤安立, 山田桂介: 「ロープ式藻場」による垂直構造物への環境機能付加手法に関する基礎的実験及び考察, 海岸工学論文集, 第53巻, pp. 1201-1205, 2006.
- 4) 国土交通省交通政策審議会: 今後の港湾環境政策の基本的な方向について (答申), 26p., 2005.
- 5) 辻野睦, 玉井恭一: 大阪湾の底質環境とメイオベントスの分布, 南西水研研報, No. 29, pp. 87-100, 1996.
- 6) 藤原俊六郎: 堆肥のつくり方, 使い方 原理から実際まで, 農文協, 152p., 2003
- 7) 斉藤雄之助: ワカメの養殖, 水産増養殖業書, 2, pp. 1-40, 1964.
- 8) 青木優和, 田中克彦, 小松輝久: ホンダワラ類と葉上性端脚類の関係, 月刊海洋, Vol. 37, No. 7, pp. 503-508, 2005.
- 9) Haseda, M., Y. Kozuki, J. Miyoshi, K. Yamaguchi, Y. Miyachi and H. Murakami: SEAWEED BED CREATION EXPERIMENT USING VERTICAL SEAWALL AT INNER PART OF OSAKA BAY, Marine Science and Technology PACON 2006 PROGRAM & ABSTRACTS, A-55, 2006.