

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 5 月 19 日現在

機関番号：24403

研究種目：基盤研究(A)

研究期間：2010～2013

課題番号：22246110

研究課題名(和文)海産バイオマス利用による死の海再生の実証研究

研究課題名(英文)An actual proof research on restoration of anoxic sea area by utilization of marine biomass

研究代表者

大塚 耕司(Otsuka, Koji)

大阪府立大学・工学(系)研究科(研究院)・教授

研究者番号：90213769

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 36,000,000円、(間接経費) 10,800,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、海産バイオマスの有効利用による過栄養海域の環境再生手法の有用性を実証するため、大阪湾内での現地調査や各種基礎実験を行った。その結果、海藻からの有用物質抽出技術、緑藻類の大量培養基礎技術、海産バイオマスと食品系廃棄物の混合メタン発酵技術などを確立した。一方、これらの基礎データを踏まえ、複数のバイオマス回収シナリオにおけるシステムの環境面、経済面での評価を行った結果、海域環境改善効果や低炭素効果は見込めるものの、海産バイオマス中心では余剰エネルギーが少なく収益性は低いこと、発酵残渣の肥料としての需要が限られていることなど、実用化に向けた課題も明らかとなった。

研究成果の概要(英文)：In this research, we carried out surveys in Osaka Bay and several kinds of fundamental experiments to proof usefulness of environmental restoration for eutrophic sea area utilizing marine biomass, and developed some important technologies, such as conversion of seaweeds to value-added materials, large-scale cultivation of green macroalgae, mixed methane fermentation of marine and waste-food biomass, and so forth. We also performed both environmental and economic evaluations for plural scenarios of biomass collection and treatment systems based on the fundamental data obtained by the field surveys and experiments. The results suggested that the suitable scenario leads to good performances of environmental restoration and low carbon effect, but this concept basically involves some difficulties for practical use, e.g. small surplus of energy from marine biomass, limit of demand of residue as fertilizer.

研究分野：工学

科研費の分科・細目：船舶海洋工学

キーワード：海産バイオマス グリーンタイド メタン発酵 海藻培養 有用物質抽出 過栄養化 栄養塩循環

1. 研究開始当初の背景

大阪湾のような大都市を周辺に抱える閉鎖性の内湾では、赤潮などと同様、海藻、二枚貝、クラゲ、ヒトデなどが異常繁殖し、海浜や海底への堆積による底質悪化など、大きな環境被害をまねいている。例えば、アオサなどの緑藻類が夏季に大量に発生し、アサリ漁場の破壊や悪臭などを引き起こす現象は、Red Tide (赤潮) になぞれえて Green Tide と呼ばれ、国内のみならず全世界で報告されている。このような大量に発生した海産バイオマスは、これまで埋立や焼却処分されることがほとんどで、その処理に多額の費用がかかるとともに、焼却処分の場合には多量の水分を含むため重油等補助燃料を使用する機会が多く、二酸化炭素排出の観点からも環境に対する負荷は大きい。

しかしこのような海産バイオマスは、その成長過程では、海水中の二酸化炭素や窒素・リンなどの栄養塩類を体内に蓄えることから、見方を変えれば非常に効率の良い水質浄化装置とも考えられる。すなわち、これらのバイオマスを死亡・腐敗する前に回収し、有用物質を抽出したり、燃料や肥料など有効な資源として利用することができれば、水質浄化を行うと同時に、化石燃料消費削減、施肥による炭素固定など、低炭素効果を含めた複数の環境再生を行うことが可能となる。

2. 研究の目的

海産バイオマスは、短期間で爆発的に発生し、また経年的にも変動が大きいと、安定性に欠ける、使いづらい資源といえる。このような資源変動を平滑化する手段としては、積極的に藻類などを培養することにより安定的にバイオマスを確保すること、大発生の時期が異なる様々な海産バイオマスを混合処理すること、などが考えられる。本研究では、大阪湾奥部の堺浜前面に位置する北泊地をモデル海域とし、底層の貧酸素化が著しく「死の海」と化している同海域の環境再生を目的とした、緑藻類 (アオサなど) の大量培養と有用物質の抽出、周辺海域も含めて大量発生が報告されている他の海産バイオマス (二枚貝類、クラゲ、ヒトデなど) との混合処理 (メタン発酵および残渣の堆肥化) プラントの開発を行い、それらの知見を集約することによって事業規模の全体システムを設計するとともに、システムの導入による環境再生効果・低炭素効果を明らかにすることを目的とする。

3. 研究の方法

本研究では、以下の4サブテーマを設ける。
・北泊地における水質・底質・流況などの環境項目について、日周変動など詳細な時間変動を含めた現況を把握する。
・北泊地の水質改善に有効と思われる緑藻類 (アオサなど) の大量培養に最適な条件を明らかにするとともに、培養した海藻から有用化学物質を経済的に抽出する技術を開発する。

・動物系も含む海産バイオマスを混合処理し、メタンガスと堆肥を高効率で経済的に得るシステムの技術開発を行う。

・事業規模の全体システムを設計するとともに、システムの導入による北泊地の環境再生効果と低炭素効果を示す。

以下にこれら4つの課題に関する具体的な研究方法について示す。

(1) 北泊地の環境モニタリング

このサブテーマについては、水質連続モニタリングシステムの開発と、対象海域である堺2区北泊地での環境モニタリングの2項目を実施した。平成22年度に、大阪府立大学大学院工学研究科において、栄養塩連続計測装置を含む、水質連続モニタリングシステムの設計・製作を行い、現地海域に設置した。それ以降、平成23年度まで、水質の連続モニタリング、ならびに底泥の採取・分析、ADCPを用いた流況観測等を行い、総合的な環境状況を把握した。

(2) 藻類大量培養および有用物質抽出

このサブテーマについては、藻類最適培養条件に関する基礎実験、藻類大量培養の現地実験、藻類からの有用物質抽出技術開発の3項目を実施した。藻類最適培養条件に関する基礎実験については、平成22年度に、藻類培養実験装置をシャープ(株)堺浜工場敷地内にあるエコロジー研究所に設置し、平成24年度まで北泊地の水質改善に有効と思われる緑藻類 (アオサなど) を対象として、水温、塩分、栄養塩濃度などの条件を系統的に変化させた培養実験を行った。

また藻類大量培養の現地実験については、平成23年度から培養実験装置の設計・製作を開始し、平成24年度に研究協力機関であるシキボウ堺(株)の敷地内に実験装置を設置して、主として緑藻類の培養実験を行った。

さらに藻類からの有用物質抽出技術開発については、大阪府立大学内とエコロジー研究所内において、いくつかの藻類から様々な手法により有用物質を抽出し、各方法の実用化を見据えたコスト試算等を行った。

(3) バイオマス処理プラント技術開発

このサブテーマについては、研究申請時においては、小規模バイオマス処理プラントを製作・設置する予定であったが、研究費の減額によりプラント建設はあきらめ、大阪府立大学内に既設のメタン発酵実験装置を拡充することで対応した。ここでは、海藻大量培養やGreen Tideによって得られる海藻バイオマスと、動物系も含む漁業系廃棄バイオマス、安定的に取得することができる食品系廃棄バイオマスなどとの混合処理、商業プラントを想定したバイオマスの連続投入時における発行障害条件の把握とその対策、メタン発酵残渣の堆肥への利用を想定した安全面の確認等を行った。

(4) 全体システム設計およびその評価

このサブテーマについては、バイオマスの収集可能量推定、全体システム設計及び実現可能性評価、低炭素効果を含むシステムの環境影響評価を実施した。バイオマスの収集年可能量推定については、大阪市立大学において大阪湾内の塩生湿地におけるグリーンタイド構成種の発生バイオマス量推定を、大阪府環境農林水産総合研究所において漁業系廃棄バイオマスの収集可能量推定を、大阪府立大学において海藻養殖の残渣量、魚市場やスーパー等で発生する食品系廃棄バイオマス量、野菜加工場から出る廃棄バイオマス量などの推定を、それぞれ行った。

また全体システム設計及び実現可能性推定については、バイオマス回収量推定で得られたデータを基に、いくつかの回収シナリオを設定し、各シナリオにおける経済性評価を行った。さらに低炭素効果を含むシステムの環境影響評価においては、上記シナリオに基づき、ライフサイクルにおけるCO₂排出量あるいは削減量、エクセルギーを用いたバイオマス利用の効果評価等を行った。

4. 研究成果

本研究で得られた成果について、サブテーマごとにまとめて以下に示す。

(1) 北泊地の環境モニタリング

北泊地は、周りを垂直岸壁に囲まれ、かつ水深が15m以上ある。さらに大和川の河口域に位置しているため、常時河川水の影響を受けて表層で塩分が低くなる。その結果、夏季には、図1に示すように、非常に強い密度成層が形成される。また過栄養化による赤潮で著しく透明度が低い(1mを切る)ため、表層の約2mのみ植物プランクトンが光合成できる状態で、それ以深では急激に溶存酸素が減少し、中低層ではほぼ無酸素状態となっている。

2010/08/26 ST-1

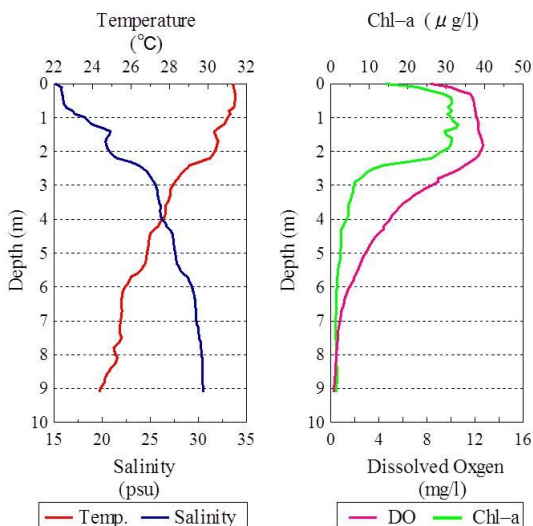


図1 夏季における北泊地の水質計測結果例

底質は非常に有機物含有量の高い浮泥が分厚く(1m以上)堆積しており、夏場にはあちこちでメタンガスの発生がみられる。このように中低層は貧酸素・無酸素状態となっているため、溶存態の窒素は、中低層ではアンモニア態が卓越する。

以上のように、北泊地は国内でも最も生物生息環境の悪化した海域と言え、まさに「死の海」となっている状態が確認できた。したがって、このような海域においても海産バイオマスの有効利用により環境改善をはかることができれば、他の環境悪化の進んだ海域へも応用できると考えられる。

(2) 藻類大量培養および有用物質抽出

北泊地の水質モニタリング結果から、北泊地は窒素、リンの濃度が非常に高く、夏季には水温が30℃を超えるような条件になることがわかった。このような条件にも生長が見込め、かつ種苗が安定して培養できる種として、緑藻類のアオノリとシオグサを大量培養候補として選定し、この2種について、水温、光強度、栄養塩濃度に対する生長速度の応答を培養実験で求めた。

基礎実験で得られた成果を踏まえ、図2に示すような大量培養用実験水槽を、シキボウ堺(株)敷地内に設置し、屋外での培養実験を四季を通じて実験した。またこの実験結果を基に実用化を想定した最適運用の検討を行った結果、北泊地全面で年間最大12,000t(湿重量)の海藻を収穫できると試算された。

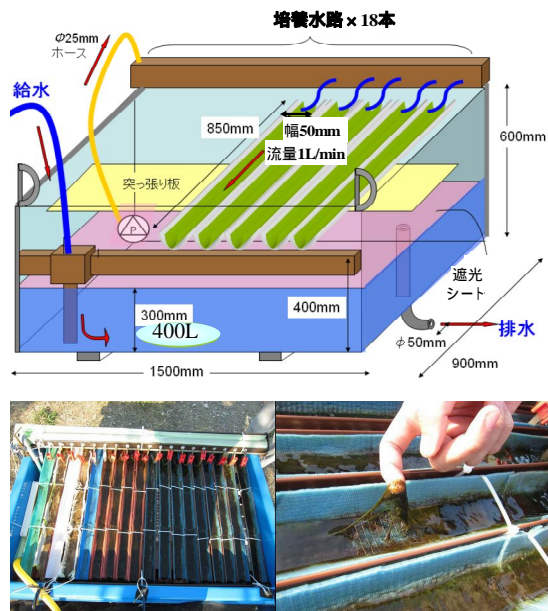


図2 海藻大量培養装置の概念図と写真

一方、海藻からの有用物質抽出実験では、いくつかの藻類をターゲットにして検討した結果、紅藻類のフダラクから多糖類の一種であるカラギーナンを、緑藻類のミルから抗酸化力の強い色素の一種であるシフォナキサン

チンおよび必須脂肪酸の一種であるアラキドン酸を抽出できることがわかった。このうち、ミルからエタノール抽出法でシフォナキサンチンを取る方法と、同じくミルから亜臨界エタノール抽出法でアラキドン酸を取る方法が、実用化に近い方法として選定できたものの、いずれも実用規模のプラントを想定した場合、単独事業としては採算が取れないという結論を得た。

(3) バイオマス処理プラント技術開発

メタン発酵の基礎技術については、これまでも多くの知見を得ているが、本研究では、より実用化に近い運用を想定した、陸上の廃棄物系バイオマスとの混合処理に着目した実験を行った。具体的には、漁業系廃棄物として底曳き網で採られた水産有用種以外の魚介類数種、魚市場やスーパーから出る食品系廃棄物数種、野菜加工場から出る葉物野菜廃棄物、化成品精製残渣等について、それぞれ単体処理および混合処理におけるメタン発酵実験を行った。これにより、様々なパターンにおけるメタン発生量の推定に必要なデータベースを構築できたほか、図3に示すように、すでに加水分解処理まで進んでいると思われる植物由来の食品添加物（タマリンド）精製残渣の発酵効率が高いという結果を得た。

またバイオマス処理プラントの効率的な運転方法としては、資源変動の激しい海産バイオマスを取り扱う場合、アンモニア態窒素や酢酸の蓄積による発酵阻害を避けるため、阻害が生じる前に蓄積度合いに応じて一旦種汚泥を抜いて再スタートすることを前提に、複数のリアクターを順次使っていく方式を提案し、この再スタート時には、前述のタマリンド残渣を発酵促進試料として用いることができるという結論を得た。

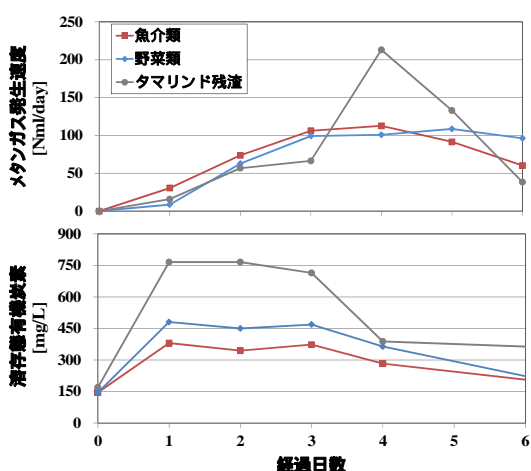


図3 各バイオマスにおけるメタンガスおよび溶存有機炭素の発生量の比較

(4) 全体システム設計およびその評価

大阪湾周辺の廃棄バイオマスについて、年間通じて回収可能である野菜加工工場やスーパーからの野菜加工くずなどの食品系廃棄物、

魚市場や底引き網投棄からの漁業系廃棄物、さらに化成品工場からの化成品残渣の賦存量を調査し、季節変動のある海藻と組み合わせた事業規模の全体システム設計を行った。

メタン発酵プラントの処理能力が異なる4つのシナリオ（3、7、8、12t/日）を想定し、20年間の運用を見据えた経済性評価および低炭素効果評価を行った結果、経済面では、すべてのシナリオにおいて、メタン発酵プラントの運用や廃棄バイオマスの回収に係る費用が、売電や売熱による収入を大きく上回るものの、廃棄バイオマスの焼却費用の削減に大きく貢献していることがわかった。

一方、システム導入によって排出する二酸化炭素排出量は、図4に示すように、処理能力が3t/日のシナリオを除き、メタン発酵プラントの建設から廃棄までのライフサイクルにおける排出が削減を大きく下回っており、一定の低炭素効果があることがわかった。4シナリオの中で、メタンガス発生量の原単位が大きい肉や魚を含み、バイオマスの輸送距離が最短であるシナリオ（7t/日）が経済面・環境面において最も実現可能性が高いことがわかった。

これらの結果から、本研究で提案しているような海産バイオマス利用システムでは、適正規模が存在することがわかり、実用化に際してその点を踏まえた計画を立てることが重要であるという示唆を得た。

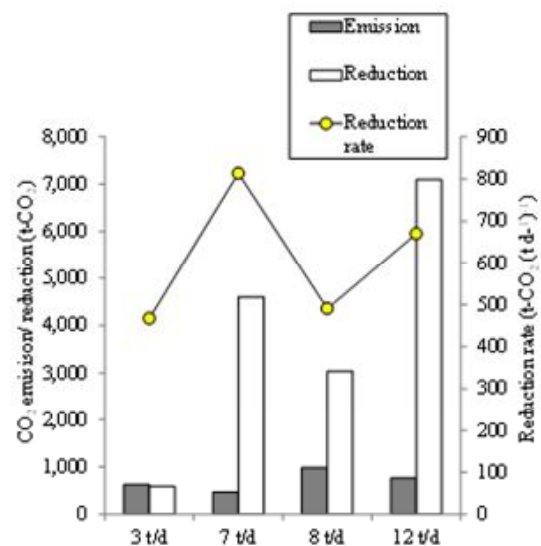


図4 各シナリオにおける累積CO₂排出量・削減量・削減割合

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計8件)

K. Kuroda, Y. Akiyama, Y. Keno, N. Naktani and K. Otsuka “Anaerobic digestion of marine biomass for practical operation,” Journal of Marine Science and Technology, 査読有,

Vo. 19, 2014, 1-8
DOI 10.1007/s00773-0247-9
K. Kuroda, N. Nakatani and K. Otsuka
“Comprehensive Assessment of the Utilization System for Marine Biomass Resources Using Exergy Flows,” Jour. of the Korean Society for Marine Environmental Engineering, 査読有, Vol. 15, No. 2, 2012, 126-132
<http://www.koreascience.or.kr/journal/AboutJournal.jsp?kojic=HRHKBP>
S. Daneshvar, F. Salak, T. Ishii and K. Otsuka “Application of Subcritical Water for Conversion of Macroalgae to Value-Added Materials,” Industrial and Engineering Chemistry Research, 査読有, Vol.51, 2012, 77-84
<http://pubs.acs.org/journal/iecred>
芳村碧、矢持進：大阪南港野鳥園北池におけるグリーンタイドの季節的変遷と原因海藻ミナミアオサの低塩分・干出耐性に関する研究、土木学会論文集 B2 (海岸工学) 査読有, Vol. 67, No. 2, 2011, 1136-1140
<https://www.jstage.jst.go.jp/browse/kaigan/-char/ja/>
R. Arai, K. Akita, T. Nishiyama, N. Nakatani and K. Otsuka “Measuring Instrument for Dissolved Inorganic Nitrogen and Phosphorus Ions,” Jour. of Offshore and Polar Engineers, IJOPE, 査読有, Vol. 21, No. 1, 2011, 44-49
<http://www.isope.org/publications/journalallist.htm>

[学会発表](計23件)

K. Kuroda, N. Nakatani and K. Otsuka
“Life cycle exergy analysis of an anaerobic digestion system using marine biomass,” OCEANS’14, 2014年4月8日, Taipei
中谷直樹、川西学、大塚耕司、新井励：
過栄養海域の水質浄化を目的とした海藻培養プラントの基本設計、日本船舶海洋工学会平成25年春季講演会、2013年11月22日、大阪
日下部敬之、大美博昭、中谷直樹、大塚耕司：底びき網投棄生物のバイオマス資源化で回収可能なN・P量の推定、日本水産増殖学会第12回大会、2013年10月14日、鹿児島
S. Daneshvar, F. Salak and K. Otsuka
“Macroalgae Pyrolysis and Its Devolatilisation Kinetics,” 3rd Int. Conf. on Chemistry & Chemical Eng.,

2012年6月30日, Jeju Island
T. Omori1, K. Otsuka, T. Ishii and N. Nakatani “The basic engineering design of large-scale factory for culture of seaweeds aimed at water purification incoastal sea area,” OCEANS’12, 2012年5月21日, Yeosu
大石真由香、中谷直樹、石井孝定、大塚耕司：水質浄化のためのシオグサの栄養塩吸収能に関する実験、日本応用藻類学会第11回大会、2012年3月24日、東京
新井励、西山太一、大塚耕司、中谷直樹：紫外吸光法を用いた高解像度栄養塩計測器の開発、日本船舶海洋工学会平成22年春季講演会、2010年6月7日、東京

[図書](計0件)

[産業財産権]
出願状況(計0件)
取得状況(計0件)

[その他]
ホームページ等 なし

6. 研究組織

(1)研究代表者

大塚 耕司 (Otsuka, Koji)
大阪府立大学・大学院工学研究科・教授
研究者番号：90213769

(2)研究分担者

石井 孝定 (ISHII, Takasada)
大阪府立大学・21世紀科学研究機構・教授
研究者番号：70508796

中谷 直樹 (NAKATANI, Naoki)
大阪府立大学・大学院工学研究科・准教授
研究者番号：30326277

新井 励 (ARAI, Rei)
大阪府立大学・大学院工学研究科・准教授
研究者番号：60508381

矢持 進 (YAMOCHI, Susumu)
大阪市立大学・大学院工学研究科・教授
研究者番号：30315973

日下部 敬之 (KUSAKABE, Takayuki)
大阪府環境農林水産総合研究所・水産研究部・総括研究員
研究者番号：10503930

(3)連携研究者

黒田 桂菜 (KURODA, Kana)
大阪府立大学・大学院工学研究科・助教
研究者番号：70708023