

氏名	ささきひさお 佐々木久雄
授与学位	博士(工学)
学位授与年月日	平成12年3月23日
学位授与の根拠法規	学位規則第4条第1項
研究科、専攻の名称	東北大学大学院工学研究科(博士課程)土木工学専攻
学位論文題目	浅い内湾の水質汚濁と大型海藻を利用した水質改善手法に関する研究
指導教官	東北大学教授 須藤 隆一
論文審査委員	主査 東北大学教授 須藤 隆一 東北大学教授 野池 達也 東北大学教授 大村 達夫 東北大学助教授 西村 修

論文内容要旨

1. はじめに

内湾、内海など人間と深い関わりを持つ沿岸域は海域空間の中で最も生産性が高く、最も多様な生態系を保持している。そのため、古くから漁労、採取の場として利用されてきたほか、その独特な地形が景勝地として尊ばれ、親水機能を提供する観光地としても利用されてきた。しかし一方ではその穏やかで利用されやすい環境のために人口と産業が集中し、結果として有機物や栄養塩の過大な流入を招き、深刻な水質汚濁や富栄養化が進行してきた。さらに土地利用や水需要の拡大に応えるために埋立など物理的な改変も進み、ますますその形態や機能が失われていく現状にさらされている。特に内湾最奥部に位置することの多い干潟やそれに続く浅場は、生態学的に貴重な場として認められているながら経済効果との比較によって開発の方向に向かい、その機能が失われつつある。そのような状況を非とし、内湾や干潟の水質改善のための研究が急速に進められてきたが、その多くは被害の規模が大きい東京湾や瀬戸内海などの比較的大規模で水深も深い内湾から始められたこともあり、全国各地に点在する小規模な内湾や干潟に関してはそれらの研究が後れをとっているのが現状である。干潟やそれに続く浅場の生態学的重要性を謳っているいわゆるラムサール条約では浅場の定義を水深 6m 未満の海域としているが、そのような海域では船舶の航行や風浪によって底泥の巻き上がりが発生しやすいこと、底層の貧酸素層が形成されにくいこと、底層まで太陽光線が届きやすいことなど独特の環境下におかれていることが多い。このような環境は生態系や水域の最も重要な利水目的である漁業や観光にも自ずと特有の影響を与えており、その汚濁機構の解明や評価手法などについて検討することは極めて重要なことと考えられる。また、海底まで太陽光線が届きやすいという環境は、光合成により

観性に優れ、一般の人にも分かりやすく実感として水質を評価できるという利点のあることが分かった。そのため、水浴場など親水機能を持つ水域の見た目水質の比較検討や浚渫工事などによる濁水監視手法として利用されることが期待される。

(2) 松島湾最奥部のような極めて浅い沿岸部では、風浪や船舶の航行の影響のほか、潮汐によって日常的に巻き上げが発生しており、環境水質に大きな影響を与えている。この潮汐による巻き上げは主に上げ潮時に発生し、濁度とともに $\text{NH}_4\text{-N}$ 、 $\text{PO}_4\text{-P}$ の濃度が上昇する現象が確認できた。また巻き上げは春季から夏季にかけて形成される有機底泥表層（浮泥）が巻き上げられやすいことが原因であると考えられ、強い風の吹く日の多い冬季よりも、比較的風の穏やかな日の多い夏季に発生しやすいことが分かった。

(3) 巻き上げにより窒素の溶出は促進され、溶出量は巻き上げ量（濁度）に比例することが分かった。さらに量的な変化のみならず質的な変化として、好氣的な条件下で底泥の巻き上げが間欠的に発生した場合、硝化速度が小さくなることが分かった。これは底泥表面の酸化層に存在する硝化細菌が、静置状態にある場合より低濃度の $\text{NH}_4\text{-N}$ にさらされる環境変化によって生じるためと推察される。

(4) 巻き上げ時の $\text{PO}_4\text{-P}$ の水中への回帰量は巻き上げの状況（巻き上げ量、強さ、継続時間など）によって大きく左右され、増加の方向にも減少させる方向にも働く可能性のあることがわかった。巻き上げが継続する場合、初期に吸着による現象、その後溶出し、増加する傾向が認められた。

(5) 松島湾奥部の水深の浅い沿岸部において、冬季に珪藻類で構成される生物膜の存在が確認され、周辺水域の水質は改善され、取り込みによる著しい栄養塩の低下が認められた。この取り込み速度について室内実験により検討したところ、DIN の取り込み速度は直上水の1次関数として表された。また、 $\text{PO}_4\text{-P}$ も直上水濃度が高い場合は DIN と同様であるが、直上水濃度が低い場合には生物膜は通常は溶出してこない底泥間隙水中の $\text{PO}_4\text{-P}$ を利用することが分かった。

(6) 低水温時に形成された生物膜は水温の上昇とともに消滅し、生物膜に取り込まれていた栄養塩は急激に溶出することが分かった。特に、6月後半の水温にあたる25℃では、生物膜が存在すると考えられる5km²で松島湾全体に流入する窒素の25%にもあたる大きな溶出量を持つことが分かった。

(7) 大型褐藻アカモクは生育ステージによって異なる栄養塩吸収能を持ち、特に急成長する春季における吸収能は大きく、窒素で約 $1,225\text{mg}\cdot\text{m}^2\cdot\text{day}^{-1}$ 、リンで $94\text{mg}\cdot\text{m}^2\cdot\text{day}^{-1}$ の吸収速度を有することが分かった。また松島湾において形成されるアカモク藻場は、その規模が最大になる5月から6月にかけて栄養塩の吸収速度も最大になり、1年間に藻場内にストックされる窒素量は約 $50\text{g}\cdot\text{m}^2\cdot\text{year}^{-1}$ と干潟やアマモ場と比較して大きいことが分かった。

(8) アカモク藻場の栄養塩取り込み量は大きく生態工学的な水質改善手法として有効であると考えられるが、松島湾における目標水質を達成するためには現在の1.6倍から2.8倍程度のアカモク藻場が必要であることが分かった。

エネルギーや栄養塩を固定する植物にとって有利な環境と思われ、海藻に代表される水生生物を利用した水質浄化手法を検討することは、生態工学的浄化手法として今後ますます注目されるものと考えられる。

本研究はこのような背景で行われたものであり、浅い内湾における視覚的水質汚濁評価手法の確立、巻き上げによる栄養塩の挙動解明、底泥表面における光合成生物膜による栄養塩の収支過程の解明、さらには大型海藻を用いた水質浄化手法に関する提言を目的として、典型的な浅い内湾である松島湾をフィールドとして実施したものである。

2. 論文の構成および概要

本論文は全編7章からなり、その概要は以下の通りである。

第1章は「総論」であり、本研究の背景及び目的、意義について述べた。

第2章は「内湾の水質汚濁と水質改善手法に関する既往の研究」で、内湾の水質汚濁の現況と主に生態工学的手法を利用した水質改善手法に関する既往の研究をまとめ、本研究課題について整理した。

第3章は「水平透明度による水質汚濁評価」で、従来の透明度や透視度が変わる水平透明度の手法を提案した。さらに実際に松島湾で適用し分かりやすく有効な指標であることを確認した。

第4章は「底泥の巻き上げによる水質汚濁機構」で、底泥の有機汚濁化と巻き上げの関係及び巻き上げ時の窒素、リンの挙動を明らかにした。

第5章は「栄養塩収支における藻類生物膜の機能」で、冬季浅い内湾の底泥上に発達する生物膜の栄養塩吸収速度と水温上昇期の溶出速度、および水質、底泥に与える影響について考察した。

第6章は「大型海藻アカモクを用いた水質浄化手法」で、アカモクの栄養塩収支特性を明らかにするとともに、栄養塩収支モデルを用いて富栄養化を抑制する手法として有力な手段であることを明らかにした。

第7章は「総括及び今後の展望」であり全体のまとめ、および浅い内湾の生態工学的浄化手法に関して今後の展望を述べた。

3. 総括及び結論

本研究では、浅い内湾の水質汚濁機構として重要な水界と底泥の界面での物質移動現象に着目し、松島湾を対象に汚濁現象を把握する方法としての水平透明度による水質汚濁の定量化手法の開発、浅い内湾に特有の巻き上がりや底泥上の藻類生物膜などによる水質汚濁機構の解明を行った。さらに、これらの汚濁現象を制御し富栄養化した内湾を生態工学的に改善する手法として大型海藻を利用した水質浄化の可能性について検討した。本研究において得られた知見をまとめると以下ようになる。

(1) 水域のきれいさ、視覚による水質を定量化する目的で水中写真と視力検査の手法を応用した水平透明度による視覚的水質評価手法を開発し、浅い内湾において適用したところ、従来法の透明度や透視度では定量が困難であった浅く、比較的きれいな水域でも適用でき、見た目の水質を決定すると考えられる SS や濁度ともよい相関が得られた。また、この手法は写真によって後日判定するため客

審査結果の要旨

内湾や内海の生態系は多様な生物相と高い生産性を保持しており、古くから漁労、採取の場として利用されてきた。さらに近年、生活様式の多様化によりレクリエーションの場としても重要視され、親水機能が求められてきている。しかし、人口や産業の集中により水質汚濁や富栄養化が進行しているばかりではなく、土地利用の増大により埋立てなど地形的な改変も進んでおり、その機能や形態が失われつつある。

特に内湾最奥部に位置することの多い干潟やそれに続く浅場は内湾の中でも最も多様性に富み、生態学的に貴重な場として認められていながら、埋立てなどの開発が進行し環境の保全や改善が求められている。

そのような海域は、底泥の巻き上がり現象により水質が悪化し、好気条件による栄養塩の供給など独特の水質汚濁現象が認められる。このため汚濁機構の解明と生態系を利用した水質改善手法の開発は焦眉の急を要す課題となっている。

本論文では、水深の浅い内湾の水質汚濁機構として重要な底泥と水界との物質移動に着目し、汚濁現象の把握、汚濁機構の解明、対策手法の開発に関する一連の研究を行ったもので、全編7章から構成されている。

第1章は総論であり、本研究の背景と目的を示している。

第2章では、内湾の水質汚濁の現況評価と汚濁機構について取りまとめるとともに、生態系を利用した水質改善手法に関する研究の現況及び今後取り組むべき研究課題について示している。

第3章では、従来浅い海域では定量化が困難であった視覚的水質の評価手法として、視力検査法と水中カメラを応用した水平透明度測定法を開発し、新しい水質評価手法を提案している。

この手法は比較的きれいな浅い海域でも適用が可能で、従来法より優れた評価手法であることが示されている。これは有用な成果である。

第4章では、浅い内湾特有の底泥の巻き上げによる水質汚濁機構について検討し、底泥の有機汚濁化が巻き上げ現象を増長させること、巻き上げ量と比例して窒素が溶出すること、リンの挙動は巻き上げの状態によって変化することなど好気的条件下での底泥と水界の物質移動を明らかにした。これは重要な成果である。

第5章では、冬季、浅い内湾の底泥上に発達した藻類生物膜の栄養塩収支について検討し、浄化作用を有していた藻類生物膜は春季には消滅し、栄養塩が急激に溶出してこれが大きな内部負荷源になることが判明した。これは重要な成果である。

第6章では、日本沿岸各地で藻場を形成する大型海藻アカモク *Sargassum horneri* に着目し、栄養塩吸収特性について検討を行い、その栄養塩吸収能の大きいことを明らかにした。また、典型的な浅い内湾である松島湾における栄養塩収支について検討し水質改善手法として有効であることを定量的に明らかにした。これは特に重要な成果である。

第7章は、総括および今後の展望である。

以上要するに本論文は、これまで明らかにされていなかった浅い内湾の水質汚濁現象や汚濁機構を定量的に評価し、さらに大型海藻を利用した生態工学的な水質改善手法の有効性に関し検討した成果について示したもので、環境工学の発展に寄与するところが少なくない。

よって、本論文は博士（工学）の学位論文として合格と認める。