

氏名	さか まき たかし
授与学位	坂 巻 隆 史 博士 (工学)
学位授与年月日	平成13年3月26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	干潟生態系の形成過程にかかわる有機物の動態解析
指導教官	東北大学教授 大村 達夫
論文審査委員	主査 東北大学教授 大村 達夫 東北大学教授 野池 達也 東北大学教授 真野 明 東北大学助教授 西村 修

論文内容要旨

1 研究の背景と目的

干潟は、沿岸域の中でも特に生物の多様性と現存量が高く保たれている場であると同時に、産卵や稚仔魚の生育の場としても働いており、沿岸域全体の生物資源の維持において重要な位置づけにある。また、干潟生態系内では、微生物から二枚貝やゴカイといったマクロベントス、さらに魚類、鳥類が摂餌と排泄を繰り返して食物連鎖を形成している。その中で、流入してくる富栄養化や有機汚濁の原因物質である有機物・栄養塩が分解され、同化により生物体として保持され、あるいはガス化して系外排除されることによって浄化が行われる。このように、干潟は沿岸域の中でも生物資源の生産と保持、水域の浄化という非常に重要な働きを担っている。さらに、多くの人々が釣りや潮干狩り、バードウォッチングといった目的で干潟に足を運んでおり、レクリエーションの場としての価値も高い。近年、このような干潟の生態学的な価値や、人間にも大きな恩恵をもたらす浄化、生産、レクリエーションの機能が再認識され、全国で干潟の保全や創出も試みられるようになった。しかし、陸域と海域の接点に位置し、浅く開発しやすいといった理由から、わが国では埋め立てにより戦後多くの干潟が消失し、特に開発の著しかった東京湾内では、既に自然干潟の90%近くが失われた。したがって、残された干潟の保全、再生や新たな創出は、非常に重要な課題といえる。

しかし、現在の干潟の保全や創出は、必ずしもその持続性を予測して行われているものではない。技術的にも、その手法が十分に確立されていない中、試行錯誤しながら進められている。干潟の保全や創出、あるいはその持続性の予測における不確実性を生む最たる要因として、そこに干潟生態系成立のメカニズムが十分に組み入れられていないことが挙げられる。干潟生態系は、形成基盤となる地形や水理特性といった物理的な環境に加え、生態系内での有機物や栄養塩の動態を中心とした生物化学的プロセスのうえに成り立っていると考えることができる。しかし、この生物化学的プロセスは非常に複雑なものであり多くの研究がなされているものの未解明の部分も多く、この点を考慮して干潟の保全や創出を進める段階には至っていない。特に、干潟底質における有機物含有量の時間的・空間的変化にともなうベントス群集構造の変化や、有機物の過度の蓄積にともなう無生物化の現象等から、底質の有機物含有量は干潟生態系の化学的・生物的特性を決める重要なパラメータと考えられる。しかし、現存の底質の有機物含有量と干潟生態系の構造の関係については多くの検討がなされているものの、本来、両者の関係は非定常的な有機物の動態の中で均衡を保ったりあるいは変化し続けているものと考えられ、そのような干潟生態系の形成過程を予測できる段階には至っ

ていない。非定常的な有機物の動態にともなう干潟生態系の形成過程を明らかにすることは、干潟の保全や創出を成功させるための必須の課題と考えられる。

そこで本研究では、干潟生態系の形成過程にかかわる有機物の動態を明らかにし、干潟生態系を持続的に維持するための有機物の動態の制御手法を提示することを目的として、現場調査および実験を行った。干潟底質の有機物含有量は、移流、沈降、巻き上げといった物理的な輸送過程と、分解や生産といった生物学的な代謝過程よりなる底質での有機物収支により決定されている。本研究では、それらの諸過程を、砂質と泥質という異なる底質やベントス相を有する干潟生態系において調査を行い定量化し、さらに、干潟生態系をモデル化した実験系で各干潟にみられるベントスと有機物動態の相互的な関係を解析した。そして、調査対象とした両干潟の有機物収支より干潟生態系の形成過程および安定要因を考察し、それに基づいた有機物動態の制御手法を検討した。

2 論文の構成

本論文は、以下に示す8章で構成されている。

第1章「総論」では、研究の背景および目的について述べ、論文の構成を記した。

第2章「干潟生態系における有機物・栄養塩の動態に関する既往の研究」では、干潟底質における有機物含有量とベントスの関わり、干潟における有機物・栄養塩の動態とその収支に関する既往の研究をまとめ、研究を進めるうえで重要と考えられる知見を整理した。

第3章「砂質および泥質干潟における有機物分解および藻類生産速度の比較」では、宮城県仙台市七北田川河口の砂質および泥質の2つの異なるタイプの干潟において現場調査を行った。底質と直上水の間でのDOおよび無機態栄養塩フラックスをその変動特性をふまえて定量化し、特に干潟の有機物収支を検討するうえで重要と考えられる底質における有機物分解と藻類生産の評価を行い、底質構造との関係を解析した。

第4章「砂質および泥質干潟における懸濁態有機物の輸送過程の比較」では、同じ干潟において水理および水質の現場調査を実施して、それぞれの干潟における懸濁態有機物の動態にかかわる沈降や巻き上げ、移流等の物理的な輸送フラックスについて解析を行い、それらの底質構造の形成との関連について考察した。

第5章「干潟底質における有機物の蓄積に及ぼすベントスの影響」では、屋外設置型の干潟モデル実験プラントとベンチスケール実験装置において、異なるベントス群集を有する干潟モデル生態系を作成し、干潟底質における有機物の蓄積に及ぼすベントスの影響を実験的に検討した。

第6章「干潟生態系に及ぼす底質への有機物負荷の影響」では、底質への有機物負荷をパラメータとして設定したベンチスケール装置での実験、および一定負荷条件での干潟モデル実験プラントでの実験を実施し、底質への有機物負荷が干潟生態系に及ぼす影響を検討した。

第7章「干潟生態系維持のための有機物輸送過程の制御方法」では、現場調査およびモデル生態系での実験結果をもとに、有機物収支に基づいて対象とした七北田川河口の砂質および泥質干潟の形成過程および安定要因を考察し、そこから干潟生態系維持のための有機物輸送過程の制御方法を検討した。

第8章「総括」では、本研究で得られた知見を総括として示した。

3 本研究における主要な結果および結論

1) 七北田川河口の砂質および泥質干潟において、一潮汐間での変動を考慮して測定した底質と直上水の間でのDO・無機態栄養塩フラックスから、両干潟の底質における有機物分解と藻類生産速度を定量化した結果、泥質干潟の方が、ネットの分解と生産がともに大きく、グロスとしても多くの有機物を分解することがわかった。

2) 七北田川河口の砂質および泥質干潟において、底質と直上水の間での懸濁態有機物フラックスを定量化した結果、砂質では上げ潮時後半に沈降が、泥質では上げ潮時に巻き上げがそれぞれ活発化することがわかった。そして、日平均としてみると、洪水等のない通常の条件下では、砂質干潟で底質への輸送が、泥質干潟で底質からの巻き上げがそれぞれ卓越することがわかった。

3) 底質における有機物の蓄積に及ぼす底生藻類の影響を検討した結果、底生藻類の存在は有機物の蓄積を抑制する方向に働くことがわかった。これは、底生藻類の生産にともなう酸素や代謝産物の生成が微生物群集の呼吸活性を増大させ、それによる有機物分解が藻類生産よりも卓越したためと考えられる。

4) 底質における有機物の蓄積に及ぼす二枚貝イソシジミの影響を検討した結果、イソシジミは底質における有機物の蓄積を抑制する方向に働くことがわかった。これは、イソシジミのろ過摂食が、直上水から底質への懸濁態有機物の輸送量を増大させるもののその有機物を分解し、かつ底質への物理的な沈降量を減少させるためである。

5) バクテリアに及ぼす底質における有機物蓄積の影響を検討した結果、底質内への酸素供給が比較的活発と考えられる水流のある条件下では、底質における有機物の蓄積とともにバクテリアの量と呼吸活性が上昇することがわかった。しかし、水流がない場合には、有機物が蓄積してもバクテリアの量や活性は上昇しないことがわかった。

6) 底質への有機物負荷量をパラメータとした干潟モデル実験系では、負荷の増大とともにイソシジミの成長が阻害された。これは、底質への有機物の輸送にともなう底質での有機物の蓄積の影響と考えられる。これより、底質への有機物の輸送や蓄積のフラックスがイソシジミの消長を予測するうえで重要なパラメータになることがわかった。

7) 調査および実験結果を用いて、調査対象とした七北田川河口の砂質および泥質干潟の有機物収支を算定した結果、通常、砂質では $2.04\sim 27.5\text{g-C}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{day}^{-1}$ の速度で底質に有機物が蓄積、泥質では $2.91\sim 49.5\text{g-C}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{day}^{-1}$ の速度で底質の有機物が減少していることがわかった。そして、それぞれの干潟生態系が現状を長年にわたり維持しているのは、砂質ではイベント的な表層底質の流去、泥質ではイベント的な有機物の供給があるためと考えられた。

8) 両干潟生態系の維持機構を説明するために、栗原のモデルを改良した新たなサイバネティックモデルを提案した。そして、持続的な干潟生態系維持のためには、有機物の輸送過程を物理的に2段階で制御すること、すなわち連続的な底質への蓄積とイベント的な流去、または連続的な減少とイベント的な供給を繰り返し再現することが有効な手法になると考えられた。具体的な制御方法としては、干潟内部あるいは周辺部における可動式の水門や水制の操作、直接的な底質の攪乱、有機物の添加等が考えられた。

以上のように本研究では、長年安定的に維持されていると考えられる七北田川河口の砂質および泥質干潟を対象として有機物の動態を調査した結果、底質の有機物含有量は、通常の条件下で増加あるいは減少し続ける傾向にあることがわかった。その結果から、イベント的な現象が有機物含有量を大きく減少あるいは増加させることで、それぞれの干潟生態系の長期的な安定が維持されていると考えられた。そして、このような通常時とイベント時という2段階の物理的に異なる環境条件の再現が、有機物含有量を適切に維持する有効な手法になりうると予測された。

しかし、本研究では通常の静穏な条件のみを対象として調査しており、出水時等のイベント的な現象については調査を行っていない。今後は、本研究で対象としたような安定した干潟生態系において、底質の有機物含有量の変動を長期にわたり観測し、その増減がイベント的な現象を含めてどのような時間スケールで繰り返されているのかを明らかにする必要がある。また、特にイベント時の干潟底質における有機物の流去あ

るいは供給の過程を、流速等の物理的パラメータとの関係とあわせて定量的に把握する必要がある。

これらの課題が解決され、干潟生態系の形成過程・安定機構にかかわる有機物動態が定量的に整理されれば、底質の有機物含有量を維持するための有機物輸送過程の制御条件もより明確なものとなり、干潟の合理的な設計・管理手法の確立に大きく近づくものと考えられる。

論文審査の結果の要旨

近年、干潟生態系の有する水質浄化、生物生産、親水など様々な機能が着目され、その保全や創出が試みられるようになってきた。しかし、確実に干潟を保全・創出し、生態系を持続的に維持する手法は確立されていない。本論文は、特に干潟における生態系の構造と底質の有機物含有量の密接な関係に着目して、実際の干潟における有機物の動態を現場調査により、また、干潟における有機物の動態とベントスの相互的な関係を実験によりそれぞれ明らかにしたうえで、調査対象とした干潟の生態系形成機構を考察し、その結果に基づいて干潟生態系維持のための有機物輸送過程の制御方法を検討した成果を取りまとめたもので、全編8章より構成される。

第1章は総論であり、研究の背景および目的を示している。

第2章では、干潟底質における有機物含有量とベントスの関わり、干潟における有機物・栄養塩の動態とその収支に関する既往の研究をまとめ、取り組むべき研究課題を示している。

第3章では、砂質および泥質の2つの異なるタイプの干潟において現場調査を行い、底質と直上水の間でのDOおよび無機態栄養塩フラックスについて潮汐による変動特性をふまえて定量化したうえで、底質における有機物分解速度および藻類生産速度を算定し、泥質干潟の方が多くの有機物を分解していることを明らかにしている。これは重要な成果である。

第4章では、砂質および泥質干潟において水理および水質の現場調査を行い、底質と直上水の間での沈降や巻き上げによる懸濁態有機物の物理的な輸送フラックスを定量化し、通常、砂質干潟の底質へは沈降により有機物の供給が、また泥質干潟の底質からは巻き上げにより有機物の流出が起こっていることを明らかにしている。これは特に重要な成果である。

第5章では、異なるベントス群集を有する干潟モデル生態系を作成して、干潟底質における有機物の蓄積におよぼすベントスの影響を実験的に検討し、藻類及びマクロベントスによる有機物蓄積抑制効果を明らかにしている。これは重要な成果である。

第6章では、底質への有機物負荷をパラメータとした実験により、底質への有機物の輸送によるベントスの活性や定着への影響を検討し、二枚貝イソシジミの成長が底質への有機物の蓄積にともない阻害されることを明らかにしている。これは重要な成果である。

第7章では、前章までの研究成果をもとに、有機物収支に基づいて研究対象とした砂質および泥質干潟の形成過程および安定要因を考察したうえで、干潟生態系維持のための有機物輸送過程の制御方法を提示している。これは有用な成果である。

第8章は、結論である。

以上要するに本論文は、干潟生態系における有機物の動態を明らかにし、干潟生態系維持のための有機物輸送過程の制御方法を検討した成果を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。