

氏名	きむらけんし 木村賢史
授与学位	博士(工学)
学位授与年月日	平成10年11月11日
学位授与の根拠法規	学位規則第4条第2項
最終学歴	昭和47年3月 東京水産大学水産学部増殖学科 卒業
学位論文題目	沿岸域における底生動物の生息環境と浄化能力に関する研究
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 研究の背景および目的

沿岸域は砂浜、礫浜、干潟、藻場、珊瑚礁、マングローブ林域、浅瀬等から成り立っており、それぞれに水域固有の生態系を形成し、種の多様性に寄与しているとともに、沿岸域に形成された生態系がもたらすきめ細やかな食物連鎖により、優れた自然浄化機能を発揮している場でもある。わが国では、生物の再生産やきめ細やかな食物連鎖が働く水深 20m 以浅の水域は、約 8%を占めるのみである。しかし、沿岸域の開発により干潟、藻場、珊瑚礁等の沿岸域の生態系は減少する一方である。また、内湾・内海は、優れた浄化能を有する干潟(海浜)等の沿岸域の埋立による減少に加えて、後背地からの膨大な汚濁負荷の流入により富栄養化が著しい。海域の有機汚濁の指標である化学的酸素要求量(COD)の平成8年度の環境基準達成率は海域全体で 81.1%であるが、主な3海域の達成率は東京湾 63%、伊勢湾 56%、瀬戸内海 78%であり、ここ 10 年では3海域ともほぼ横ばいの状態が続き、改善の兆しは認められない。

このような状況の中で、干潟(海浜)等の沿岸域環境の重要性が見直され、その保全・修復・創造を求める声が強くなり高まっている。なかでも、干潟(海浜)等の沿岸域環境が有する機能の1つである水環境浄化機能の保全・修復・創造は重要である。何故なら、浄化機能が安定して働いている干潟(海浜)等は、物の流れもきめ細やかで、かつ円滑に行われており、この物質循環を再生・維持していくことこそが、その干潟(海浜)本来の自然生態系を修復・保全する大きな第一歩と成り得るからである。しかも、資源やエネルギーの有限性が指摘されている今日、膨大なエネルギーやコストを要する下水道整備や高度処理の導入、排水処理設備の高度化等の発生源対策だけで、住民の求める良好な水環境を将来にわたって確保し保全していくのは困難と考えられる。これからの水環境保全対策を見据えると、

自然の浄化機能をも活用した水浄化システムの構築が欠かせない。その意味からも、沿岸域の水環境浄化機能に重要な役割を果たしている底生動物の生息実態を解明し、その浄化能力を具体的に評価していくことは沿岸域環境、ひいては海洋環境の保全に大きく貢献し意義深い。そこで本研究では、沿岸域生態系のもつ機能のうちでも重要な浄化能に焦点をあて、浄化能を担う底生動物の役割を評価することを目的とした。

2 論文の構成

本論文は、以下に示す7章から構成されている。

第1章「総論」では本研究の動機・背景、本研究の目的について述べた。

第2章「沿岸域における浄化能力に関する既往の研究」では、沿岸域生態系の特徴や底生動物の浄化能に関する研究の現況と今後研究すべき課題について述べた。

第3章「沿岸域における底生動物の生息実態と生息環境との関係」では、沿岸域における底生動物の生息実態と生息環境との関係を、潮間帯、潮下帯および護岸域における底生動物の生息状況とその生息環境(水質、底質)のデータから検討した。

第4章「底生動物の浄化能力の解析」では、干潟(海浜)等の沿岸域の浄化主体である底生動物について、主要種である二枚貝の Limnoperna fortunei kikuchii (コロエンカワヒバリガイ) と Mactra veneriformis (シオフカガイ) のろ水速度や排糞速度等を室内実験から明らかにし、これらの単位浄化能を検討した。

第5章「沿岸域における底生動物の浄化能力の評価」では、沿岸域生態系における底生動物による浄化能を評価するために、浄化能の評価方法を提案し、当方法に基づいて東京湾を対象に潮間帯、潮下帯及び護岸における底生動物の浄化能を評価し比較検討した。

第6章「底生動物の浄化能力活用のための生息環境の解析」では、人工干潟を対象に底生動物の浄化能を活用するうえでの生息環境を検討するため、数値モデルにより、干潟構造が底生動物の浄化能に及ぼす影響を解析した。また、全国の自然干潟のデータからも生息環境に検討を加えた。

第7章「総括および今後の展望」では全体のまとめとして、全体の研究成果を述べるとともに沿岸域における底生動物による浄化能の研究に関する今後の展望について述べた。

3 本研究における主要な結果と結論

本研究における主要な結果および結論を以下に示す。

1) 第3章「沿岸域における底生動物の生息実態と生息環境との関係」では、(1) 潮間帯(干潟・海浜)は、①沖合部に比べて COD で $0.3 \sim 1.4 \text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$ 低く、海浜部での水質浄化が統計的にも確認されたこと、②種類数では、底質 COD $1\text{-}5 \text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$ 、IL $2\text{-}3\%$ 、中央粒径 $0.15\text{-}0.2 \text{mm}$ 、シルト・粘土分 20%未満でピークを示しており、これらを超えると急激に減少する傾向がみられること、などが明らかとなった。

(2) 潮下帯では、①底生動物の種類数は、COD $20 \text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$ 、IL 8% 、T-S $0.3 \text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$ を境に減少傾向が認められ、S-COD $50 \text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$ 、IL 14% 、T-S $2 \text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$ 前後が、10種以下に減少す

る境界の値であること、②底質の有機汚染の著しい10m以深の最沖合部の海底では、夏季に無生物域が発生し、周囲も貧生物相域となること、などが明らかとなった。

(3)東京都内湾の護岸域では、①種類数は、通年43～46種類で安定していること、②現存量は Mytilus edulis galloprovincialis を中心に、Limnoperna fortunei kikuchii、Crassostrea gigas、Balanus spp.の優占4種で90%以上を占めること、③護岸距離192Kmには平均9,110tの付着動物が年間生息すること、を明らかにした。

2)第4章「底生動物の浄化能力の解析」では、① Limnoperna fortunei kikuchii、Mactra veneriformis の単位身湿重量当たりのろ水速度、呼吸速度は、水温の上昇とともに高まり、その値は、殻長小>中>大の順であること、②ろ水速度、呼吸速度は身湿重量(W)および水温(t)の関数として表すことができること、③両貝の浄化能(同化速度)は殻長の増加や水温の低下とともに減少し、Mactra veneriformis は全般的 Limnoperna fortunei kikuchii より高い浄化能(同化速度)を示すこと、を明らかにした。

3)第5章「沿岸域における底生動物の浄化能力の評価」では、2通りの浄化能の算定手法を提案した。①底生動物の生産量からの有機物浄化量の算定手法では、底生動物の湿重量から年間生産量を求め、この値に既存文献や実験データを基に、有機体生産量0.15、エネルギー消費量0.30、排泄量0.55と定め有機物浄化量を計算した。②底生動物の摂餌量からのCOD浄化量の算定では、浄化主体である底生動物を優占種である多毛類はゴカイ、軟体類はアサリの摂餌量で代表させ、浄化量は、海域の水質(COD)×懸濁態COD比率×各底生動物のパラメーター(ろ過水量×ろ水時間×ろ過効率×同化率)×底生動物身湿重量から算定した。各底生動物に関わる浄化パラメーターは既存の文献と実験結果から定めた。

本評価手法は、簡便さを目的として底生動物の湿重量を基礎に優占種で代表させたこと、現場の水質・底質の状況を反映させたこと、浄化量の増加には生態系のメカニズムによる制約から限界が生じること、等の特徴を有する。

本手法により潮間帯、潮下帯および護岸域の底生動物の浄化能を評価した結果、

(1)潮間帯(干潟・海浜)の浄化能では、①底生動物による除去有機物量は、葛西人工海浜で $209\text{g}\cdot\text{m}^2$ 、稲毛・検見川人工海浜で $168\text{g}\cdot\text{m}^2$ 、三番瀬干潟で $568\text{g}\cdot\text{m}^2$ 、盤洲干潟で $677\text{g}\cdot\text{m}^2$ となり、自然干潟は人工海浜の約2.7-4.0倍の浄化能を示すこと、②底生動物が摂取する餌の量から算定した年間のCOD浄化量は、 1m^2 当たり葛西人工海浜42g、稲毛・検見川人工海浜31g、三番瀬干潟98g、盤洲干潟171gとなり、自然干潟の浄化能が優れていること、が示された。

(2)潮下帯(東京都内湾域)の浄化能では、①摂餌量から計算したCOD浄化量をみると、都内湾全域でも年間平均 1m^2 当たり68gと葛西人工海浜 $42\text{g}\cdot\text{m}^2$ の約1.6倍の浄化能を示すこと、②水深10m以深の沖合部では、 1m^2 当たり16gと内湾全域の2割強、葛西人工海浜の3割強を占めるにすぎず、浄化量の8～9割以上は水深10m以浅の沿岸域が担うこと、などが明らかになった。

(3)護岸域における浄化能では、護岸距離192kmで1日平均19tのCODを浄化し、この値は東京都から流入するCOD量の23%を占めること、が明らかとなった。

以上のことから、都内湾では流入COD負荷量の約37%が底生動物によって浄化されていると試算された。

4) 第6章「底生動物の浄化能力活用のための生息環境の解析」では、

(1)人工干潟を対象に生態系モデルを用いて水質浄化効果に及ぼす種々の因子の影響を解析した結果、①底質の有機物を除去しても浄化機能に対する長期的な効果は期待できないこと、②水層・泥層の形状等の諸元の変更は浄化に大きな影響を与えること、③懸濁物食性ベントス量を増加させた場合、水層の有機物除去効果は大きくなり、結果として浄化率が向上すること、等が明らかとなった。

(2)沿岸域の底生動物と生息環境との関係を検討した結果、環境因子との関係では水深 0～4m、中央粒径 0.1～0.2mm、シルト・粘土分 10%未満、IL3%未満 (S-COD $5.4\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$) の環境条件では、底生動物は 10 種以上で 80%前後、15 種以上で 50%前後の出現確率が得られること、などが明らかとなった。

(3)全国の自然干潟の環境因子を検討した結果、①干潟の中央粒径をみると、0.2mm 以上では 90%以上の自然干潟が含まれること、②平均含泥率(シルト・粘土分)は約 15%、強熱減量 3.4%であること、③干潟の平均勾配は約 1/300 で全体の約 80%が 1/100 以上であること、④底生動物の生息量は干潟面積が大きいほど、多くなる傾向がみられること、が明らかとなった。

(4)これまでの調査研究成果を基に、東京湾において人工干潟(海浜)を設計するあたりの配慮すべき事項をまとめた。

開発と環境の保全との調和が求められている現在、減少しつつある沿岸域環境を保全・修復・創造することは、地球環境の保全にもつながりその意義は大きい。欧米では、開発に伴う環境への影響を回避、最小化、代償、修復することにより環境との調和を図るミチゲーションという思想が導入されており、わが国でも検討が進められている。その際に欠かせないことは、開発以前の環境あるいは修復・創造後の環境の評価である。どの程度の機能や価値を有しているかの見極めを行うことが、ミチゲーションを導入するうえで欠かせない。その意味で、今後は浄化能に限らず、水産資源保全機能等、他の機能についても総合的に評価していくとともに、有する価値を誰にでもわかりやすい客観的な指標で示すことが重要となる。

審査結果の要旨

地球規模環境問題の深刻さに伴い、膨大なエネルギーやコストを要する下水道整備や高度処理の導入、排水処理設備の高度化等の発生源対策を中心とした環境保全対策を実施したのでは、良好な水環境を将来にわたり確保し保全するのは難しい。将来は、干潟（海浜）等沿岸域が有する自然の浄化機能をも活用した水浄化システムの構築が必要となる。このような背景のもとに、沿岸域の水環境浄化機能に重要な役割を果たしている底生動物の生息実態を解明し、その浄化能力を具体的に評価することは、沿岸域環境、ひいては海洋環境の保全に対する貢献が大きい。

本論文は、これらの課題に対応するために、沿岸域の底生動物と生息環境との関係を検討し、底生動物の生息環境因子を把握するとともに、底生動物の個体レベルの浄化能を解明したうえで、干潟等各沿岸域の底生動物による浄化能の定量化手法を提示し、さらに数値モデルにより干潟の構成要因が浄化能に及ぼす影響を評価した成果をとりまとめたもので、全編7章より構成される。

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、沿岸生態系の特徴と生態系内での底生動物の役割を示すとともに、底生動物の浄化能に関する研究の現況、およ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、干潟等各沿岸域における底生動物と生息環境との関係を検討し、底生動物の生息に適する環境因子を明らかにしている。これは有用な成果である。

第4章では、沿岸域の代表的な底生動物二枚貝2種類、コウロエンカワヒバリガイ、シオフキガイについて、個体レベルの浄化能を明らかにし、底生動物による浄化能の算出に必要なパラメーターを求めた。これも有用な成果である。

第5章では、第4章の成果を基に底生動物による浄化能の定量化手法を提案し、干潟等各沿岸域の浄化能を比較検討して自然干潟と人工干潟（海浜）の浄化能の違いを明らかにした。これは重要な成果である。

第6章では、生態系モデルにより干潟の構造等の変更が底生動物による浄化能に及ぼす影響を評価するとともに、全国の自然干潟のデータ等から底生動物に適した干潟構造を解析したうえで、東京湾を対象に底生動物による浄化能に視点を置いた人工干潟（海浜）の設計にあたっての配慮すべき事項をまとめた。これは特に重要な成果である。

第7章は、総括と今後の展望である。

以上要するに本論文は、沿岸域における底生動物の生息に係る環境因子を明らかにし、底生動物の有する浄化能力を活用するための工学的手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。