



Title	瀬戸内海の物質循環と栄養塩類管理に関する研究
Author(s)	鹿島, 千尋
Citation	大阪大学, 2025, 博士論文
Version Type	
URL	<a href="https://hdl.handle.net/11094/101679">https://hdl.handle.net/11094/101679</a>
rights	
Note	やむを得ない事由があると学位審査研究科が承認したため、全文に代えてその内容の要約を公開しています。全文のご利用をご希望の場合は、<a href="https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed">大阪大学の博士論文について</a>をご参照ください。

*The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA*

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

## 論文内容の要旨

氏 名 ( 鹿島 千尋 )

論文題名 瀬戸内海の物質循環と栄養塩類管理に関する研究

## 論文内容の要旨

瀬戸内海では有機汚濁対策として陸域負荷の削減が行われてきた結果、一部海域では貧栄養化が指摘されている。これを受けて、関係府県では海域への栄養塩類の供給を行う栄養塩類管理計画が策定されつつある。一方、有機汚濁指標である化学的酸素要求量COD濃度は低下せず、環境基準達成率は低いままである。CODの起源は陸域・内部生産・外洋に分けられるが、濃度や分布に占める各起源の割合が定量化されておらず、濃度が低下しない原因は明らかにされていない。貧栄養化対策として栄養塩類が供給されると、一次生産が増加し、COD濃度の上昇を招く可能性がある。また、一部海域ではノリの色落ち対策として栄養塩類増加措置が実施されているが、その効果は十分には明らかにされていない。瀬戸内海内の水質は、海域内での一次生産過程、陸域からの物質流入、底泥からの溶出、外洋・隣接海域との水交換が複合した物質循環によって決定される。そのため、栄養塩類管理施策が、COD濃度の上昇を抑えつつ生物生産性を向上させるような、環境保全と生物生産性の調和・両立が可能であるかを検討するためには、これらすべてを組み込んだ解析が必要である。

本研究では瀬戸内海における統合型水質評価モデルを構築し、起源別CODの分布と内訳を明らかにした。また、瀬戸内海内の物質循環を解析するとともに、関係府県で実施・検討中の栄養塩類管理施策の影響を評価した。本研究の特色としては、現在明らかにされていない瀬戸内海における物質循環の定量化が挙げられる。さらに、構築したモデルを用いて栄養塩類管理施策の検討・効果検証を行うことで、施策検討に対して知見を提供することができる。

第1章では、本研究の背景、目的と特色、構成を述べた。

第2章では、瀬戸内海の海域の環境特性の整理と、水質環境の変化を解析した。現地観測データを用いて海域のCOD・全窒素TN・全リンTP濃度の経年変化を解析した結果、陸域から流入する負荷量が減少したにも拘わらず、COD濃度は低下せず、上昇している湾灘もみられた。一方、TN・TP濃度に関してはほぼすべての湾灘で低下していた。

第3章では、陸域から流入する淡水量と汚濁負荷量を算定するため、水文流出過程と下水処理場・工場等からの点源負荷を考慮した陸域流出モデルを構築し、汚濁負荷特性の解析を行った。各湾灘に流入する負荷量を解析した結果、全負荷量に占める出水時負荷量の割合が非常に高く、面源負荷の年変動の影響が大きいことを明らかにした。

第4章では、瀬戸内海-太平洋領域の解析を行う三次元流動モデルを構築し、外洋境界条件設定が瀬戸内海の流動に及ぼす影響を解析した。その結果、外洋境界条件によって太平洋を流れる黒潮流路が変化し、瀬戸内海に進入する外洋水塊の量が変化することを明らかにした。

第5章では、既往研究で使用されている植物プランクトンの増殖式および栄養塩摂取式を比較し、貧栄養環境における応答解析を通じて、貧栄養環境に適用可能な低次生態系モデルの構築を行った。その結果、植物プランクトンの細胞内栄養塩量を考慮したモデルが貧栄養環境の再現性に適していることを明らかにした。

第6章では、各章で構築したモデルを結合した三次元流動水質シミュレーションを実施し、起源別CODの分布・内訳を定量化した。その結果、陸域起源CODは河口域にのみ存在する一方、内部生産起源CODと外洋起源CODは広域で高濃度に存在することを明らかにした。また難分解CODが全CODに占める割合は、いずれの季節・湾灘においても50%を下回ることなく、寄与率が高かった。

第7章では、各章で構築したモデルを結合した三次元流動水質シミュレーションを実施し、物質循環の解析と栄養塩類管理施策の影響評価を行った。物質循環の解析から、植物プランクトンの摂取量と代謝・被捕食に伴う栄養塩への変換量は、その他の栄養塩類供給量を大きく上回ることを明らかにした。冬季には季節風によって駆動される東向きの流れが物質循環に大きな影響を及ぼしていた。栄養塩類管理施策の影響を解析した結果、栄養塩類の排出量が多い事業場の近傍を除き、周辺水質への影響は小さいことを明らかにした。ノリ漁場への影響も事業場の近傍に限られたが、溶存態無機窒素濃度が低下した3月ごろには色調回復に寄与していた。播磨灘で実施された増加措置の影響は隣接する大阪湾にも波及しており、隣接海域と連携した施策検討が必要であると考えられた。

第8章では、本研究の結論を述べた。

## 論文審査の結果の要旨及び担当者

氏 名 ( 鹿 島 千 尋 )			
	(職)	氏 名	
論文審査担当者	主 査	准教授	中谷 祐介
	副 査	教授	荒木 進歩
	副 査	教授	入江 政安

## 論文審査の結果の要旨

瀬戸内海では長年にわたり陸域からの汚濁負荷削減施策が実施された結果、水質は大きく改善され、富栄養状態は克服されつつある。しかしながら、有機汚濁指標である化学的酸素要求量 COD は当初期待されたほどには低下せず、近年は横ばいあるいは上昇傾向が確認されている。一方、全窒素 TN、全リン TP の濃度は大きく低下し、漁獲量の低下や養殖ノリの色落ちが生じるなど、貧栄養化問題が新たな課題となっている。近年では、豊かな海を実現することを目指して、関係府県では栄養塩類の積極的な供給を可能とする栄養塩類管理施策が実施・検討されつつある。栄養塩類管理施策による周辺海域の環境保全と調和・両立の実現可能性を明らかにすることは、喫緊の社会的課題であるものの、海域環境への好悪影響や水産資源確保への効果は明らかにされていない。

本論文では、代表的な閉鎖性海域である瀬戸内海を対象に、陸域汚濁負荷量を高精度に推算可能な水文流出モデル、および、貧栄養海域にも適用可能な海域流動・生態系モデルを開発している。さらに、それらを結合した統合評価モデルを用いて、瀬戸内海における窒素・リンの循環と収支を定量化するとともに、栄養塩類管理施策による海域水質への好悪影響や、養殖ノリの品質改善効果を評価している。

得られた主たる成果は以下のとおりである。

- (1) 瀬戸内海では、陸域から流入する汚濁負荷量は減少したにも拘わらず、海域の COD は低下せず、上昇している湾灘も多く存在する。一方、TN 濃度と TP 濃度ではほぼすべての湾灘で低下傾向にあり、特に沿岸部で顕著である。
- (2) 瀬戸内海では、陸域から流入する総汚濁負荷量に占める雨天時負荷の割合は極めて大きい。平水時には点源負荷が多くを占めるが、出水時には面源負荷の影響が卓越するため、総汚濁負荷量は年度によって大きく変動する。
- (3) 水文流出モデルの出力値を基に構築した淡水流出量と流入負荷量の関係式 (L-Q 式) を用いることにより、各湾灘への流入負荷量については、観測結果を基に構築した L-Q 式を用いた場合と同程度の精度で推定可能である。
- (4) 瀬戸内海 - 太平洋領域の三次元流動シミュレーションにおいては、外洋境界条件に与える海洋解析プロダクトの違いによって、黒潮流路や瀬戸内海の流動・密度構造の計算結果に大きな影響が生じる。
- (5) 低次生態系モデルを用いた水質解析において、植物プランクトンの細胞組成比の変動を考慮する場合には、組成比を固定した場合に比べて植物プランクトンのバイオマスが増加し、周囲水の栄養塩濃度が低下する傾向がある。特に、植物プランクトンの細胞内栄養塩量を明示的に考慮することで、水域の貧栄養状態がより表現されやすい。
- (6) 瀬戸内海では、いずれの季節・湾灘においても、海域に存在する COD のうち半分以上は難分解性有機物で構成され、そのうち内部生産起源および外洋起源の難分解性 COD が大きな割合を占めている。外洋起源の難分解性 COD は瀬戸内海全域にほぼ一様に分布し、年変動や黒潮流路変動の影響は微小である。
- (7) 栄養塩類増加措置による養殖ノリの色調回復効果の発現は、窒素排出量が大きい沿岸事業場の周辺漁場に限定さ

れ、周辺海域への影響は微小である。また、栄養塩類増加措置を実施する事業場が集中する播磨灘北東部を除き、栄養塩類管理施策が海域水質に及ぼす影響は軽微であり、底層 DO 濃度を低下させる可能性は低い。ただし、大阪湾では表層 COD 濃度が僅かながら広域で上昇するため、栄養塩類管理施策を実施する際には隣接海域への影響を考慮した上で慎重に検討すべきである。

以上のように、本論文は瀬戸内海の物質循環を定量的に明らかにするとともに、栄養塩類管理による海域環境への好悪影響を評価しており、得られた知見は瀬戸内海をはじめとする閉鎖性海域の水環境管理に資するものと評価される。よって本論文は博士論文として価値あるものと認める。