

研究課題調書〔事前評価〕【個票No.1】

研究課題名 (研究期間)	豊かで美しい瀬戸内海の再生に係る調査・評価等に関する研究 (R5~R7 年度)		
担当科名	1 水環境科 (水質環境担当)	2 水環境科 (安全科学担当)	3 大気環境科
実施形態	1 自主研究	2 共同研究	3 受託研究
財源区分	1 県単独	2 国委託	3 科研費 4 その他

① 研究の概要

<p>研究ニーズ等課題化の背景</p> <p>県は「豊かで美しい里海の再生」のために、栄養塩類供給や干潟・藻場の再生、マイクロプラスチック対策等を実施している。これらの取組みを適切かつ効果的に進めるためには、取組みを評価・検証するために必要な科学的知見を充実させる必要がある。</p> <p>貧栄養海域への栄養塩類の供給については、COD の環境基準超過や富栄養化を引き起こさないために、海の中での物質循環をよく理解し、好循環な状態に維持することが求められる。また、栄養塩類の供給量を確保するために、施肥等による供給も試行されているが、その効果と影響の検証が求められている。</p> <p>干潟・藻場については、有機物分解による栄養塩類の再生と炭素貯留としての機能の定量的な評価が、里海再生のための基礎的情報として必要である。</p> <p>マイクロプラスチックについては、汚染実態を把握することが効果的な発生源対策を進めるために必要となる。</p>	<p>第5次県環境基本計画の該当項目</p> <p>第5部 第3章 第3節(5)瀬戸内海を豊かで美しい里海として再生するための取組</p> <p>ア 栄養塩の適切な管理 イ 生物生息場の再生・創出 ウ 瀬戸内海の再生に共通する取組</p> <p>県関連施策名等</p> <ul style="list-style-type: none"> ・兵庫県栄養塩類管理計画 ・栄養塩類供給のための措置としての施肥における影響把握調査 ・兵庫県地球温暖化対策推進計画 第6章 I 気候変動の影響 <p>SDGs目標 14「海洋と海洋資源の保全・持続可能な利用」、目標 13「気候変動への対処」</p>
--	--

<p>目的</p> <p>「豊かで美しい里海の再生」のための取組みの科学的裏付けと評価のため、以下の3つのテーマを設定する。また、この他にも、施肥やかいぼり等の栄養塩類供給方法の評価や、マイクロプラスチック汚染実態の把握のための情報を収集する。</p> <ol style="list-style-type: none"> 1 栄養塩類供給による海域の物質循環の変化の将来予測 2 海水中の栄養塩類再生と炭素貯留機能の評価 3 干潟・藻場の栄養塩類再生及び炭素貯留機能の評価

内容

1 栄養塩類供給による海域の物質循環の変化の将来予測

栄養塩類供給によって、海の中の物質循環がどのように変化するかをシミュレーションモデルによって予測する。シミュレーションモデルは、複雑な潮流や大気状況の変化等を考慮した高解像度のモデルと、海域の高次生態系を含めた食物連鎖モデルの2つを用いる。この2つのモデルを併用することで、多角的に栄養塩類供給の影響を予測し、効果的な供給方法に繋げる。なお、下記の2、3から得られた情報は適宜モデルに反映させる。

2 海水中の栄養塩類再生と炭素貯留機能の評価

貧栄養化によって、海水中有機物は難分解化する傾向にある。栄養塩類供給によって海域の栄養状態が改善されると、有機物の分解特性がどのように変わるのか、これを実験により再現し、栄養状態と有機物分解の関係性を調べる。これにより、海水中有機物の分解による栄養塩類の再生量を把握する。また、難分解性溶存有機物 (RDOM) による炭素貯留量を評価する。海洋での炭素隔離プロセスは、RDOM によるものが主であり、海草・海藻よりもはるかに大きいと見積もられている。本研究によって、供給される栄養塩類 (窒素) をトレーサーとして RDOM による炭素隔離量を求めることが出来れば、栄養塩類供給が新たなカーボンクレジットとなる可能性がある。

この他に、全国各地の海水・湖沼水の水質調査を実施し、海水中有機物の分解特性をモニタリングするための指標づくりを行う。

3 干潟・藻場の栄養塩類再生及び炭素貯留の機能についての評価

有機態窒素及びりんが無機化による栄養塩類再生の場として大阪湾、播磨灘の干潟について評価し、各海域に対する干潟による栄養塩類供給への寄与を試算する。栄養塩類の再生量及び NP 比 (窒素：りん) は干潟に堆積し無機化される有機物により変化することから、有機物の性状と栄養塩類再生の関係を解明する。

また、干潟・藻場の底質中の難分解性有機物の測定により、干潟・藻場で生息した生物の枯死体由来の有機物がブルーカーボンとして炭素を隔離・貯留することを評価する。

【研究の全体計画】

中課題名又は細目課題名	初年度	2年度	3年度
1 栄養塩類供給による海域の物質循環の変化の将来予測 (1) シミュレーションモデルの構築・改良 (2) 播磨灘海峡部の栄養塩類調査 (3) 影響予測・解析	←————→	←————→	————→
2 海水中の栄養塩類再生と炭素貯留機能の評価 (1) 再現実験の実施・解析 (2) 海水中有機物の質 (分解特性) のモニタリング指標の開発・実用化検証	←————→	←————→	←————→
	開発	←————→	実用化検証
3 干潟・藻場の栄養塩類再生及び炭素貯留機能の評価 (1) 海域に対する干潟による栄養塩類供給への寄与の推計 (2) 有機物の性状と栄養塩類再生の関係解明 (3) 干潟等の有機物による炭素隔離・貯留の評価	←————→	←————→	————→

【年度ごとの目標】

初年度	<ol style="list-style-type: none"> 1 食物連鎖モデルの改良、高解像度モデルの基礎構築 2 再現実験の実施・結果の解析、モニタリング指標づくりの調査実施・結果の解析 3 海域に対する干潟による栄養塩類供給実験と難分解性有機物分解実験
2年度	<ol style="list-style-type: none"> 1 食物連鎖モデルによるパラメーター取得、高解像度モデルの再現性等の確認 2 再現実験（2回目）の実施・結果の解析 3 海域に対する干潟による栄養塩類供給への寄与の推計、有機物の性状と栄養塩類再生に関する実験、難分解性有機物分解実験
3年度	<ol style="list-style-type: none"> 1 栄養塩供給による水質・生態系への影響を2つのモデルにより予測・評価 2 再現実験（3回目）の実施、海水塊による栄養塩類再生量と炭素貯留量を評価 3 有機物の性状と栄養塩類再生に関する実験、難分解性有機物分解実験、結果の評価

② 具体的研究ニーズ、県行政施策との関連 [必要性]

(1) 研究ニーズの所在とその内容

(具体的なニーズの把握や調査の方法、ニーズと研究とのつながり、今後の動向予測について言及)

県は「豊かで美しい里海の再生」のために、栄養塩類供給や干潟・藻場の再生、マイクロプラスチック対策等を実施している。本研究では、これらの対策を適切かつ効果的に進めるために必要な科学的知見を充実させる。

貧栄養海域に栄養塩類を供給することは世界的にも珍しく、科学的知見が少ない。CODの環境基準超過や富栄養化を引き起こさないためには、海の中での物質循環をよく理解し、好循環な状態に維持することが求められる。

1) 栄養塩類供給による海域の物質循環の変化の将来予測

栄養塩類供給による水質・生態系の変化について、シミュレーションモデルを用いて予測評価する。用いるモデルは、食物連鎖モデルと高解像度モデルの2つである。食物連鎖モデルでは、膨大な計算パターンを短時間で処理できるボックスモデルの特徴を活かし、情報の無いパラメーターをモンテカルロ法によって統計学的に推計させる。これにより、高次生態系（動物プランクトンや魚類）の変化までも予測することが可能となる。推計したパラメーターは、高解像度モデルでも使用する。高解像度モデルは、大気モデル（WRF）と河川モデル、海洋モデルを結合させる。これにより、降雨や気候変動による海域（播磨灘・大阪湾）への影響をあわせて詳細に把握する。1年目と2年目は、主にモデルの構築と改良を行い、3年目に予測を行うスケジュールとしているが、毎年、予測計算は実施する。最終年度には、最も精度を高めた予測計算を行い、栄養塩類供給による影響を評価する。

また、既往研究より、播磨灘は隣接する海域（大阪湾等）と交換する栄養塩類負荷量の影響が大きいことが示されている。このことから、大阪湾・紀伊水道と播磨灘間における栄養塩類の通過量を高頻度でモニタリングすることにより、潮流変動による、栄養塩類通過量の時間特性を把握し、隣接海域との影響に関する知見を集積する。

2) 海水中の栄養塩類再生と炭素貯留機能の評価

貧栄養海域への栄養塩類供給を再現する実験を3年間で計3回実施し、栄養状態と有機物分解の関係性について調べる。実験結果から、栄養塩類濃度と海水中有機物の分解速度、栄養塩類の再

生の関係性を把握する。また、難分解性溶存有機物 (RDOM) による炭素隔離量を把握する。海洋では、RDOM による炭素隔離が主であり、海草・海藻よりもはるかに大きいと見積もられている。栄養塩類供給と RDOM 生成の関係性を明らかにすることにより、栄養塩類供給が新たなカーボンクレジットとなる可能性を検討する。

栄養塩類再生につながる有機物は易分解性、炭素貯留につながるのは難分解性である。そのため、海の豊かさをモニタリングするには、COD のような有機物濃度の指標だけではなく、質 (分解特性) を把握する指標が必要である。有機物の質を把握する指標づくりは、令和 4 年度から取り組んでおり、継続して行う。調査方法は、複数の地環研等との共同で各地の海水・湖沼水の水質調査を行う。調査では、100 日生分解試験と候補指標 (有機物の炭素 : 窒素比 (C:N 比) や特定紫外線吸光度等) の測定を実施する。100 日生分解試験は難分解性有機物量の指標として知られているが、試験時間が長すぎる等からモニタリング指標としては不適である。100 日生分解試験に代わる、迅速に結果が得られる指標の開発を行う。その後、開発した指標を使って、実際に播磨灘等でのモニタリングを行い、実用化について検証する。

3) 干潟・藻場の栄養塩類再生及び炭素貯留機能の評価

干潟の保全・再生に目標値を設定するために、栄養塩類再生の場としての干潟が海域への栄養塩類供給にもたらす寄与を解明する。干潟には、干満による陸と海の接点であることから、陸域と海域の双方からの有機物が堆積する。堆積した有機物の分解性、NP 比等の性状は様々であるため、これを有機物実験によって調べる。この実験はこれまでも研究課題として行ってきたことであり、継続して情報を収集する。また、干潟・藻場中に含まれる炭素量を測定することにより、県内のブルーカーボンを見積もる。地球温暖化対策として干潟・藻場の評価軸を設定し、干潟・藻場の保全に益することが出来る。

上記の 3 つのテーマの他に、施肥等による栄養塩類供給の影響評価、マイクロプラスチック汚染の実態把握等の取り組みについては、水大気課と連携する等して調査を行い、知見の収集に努める。

(2) 当該研究課題を現時点で取り組む必要性

栄養塩類供給は平成 20 年から下水処理場の季節別運転等により試行されており、現在は、令和 4 年 10 月に策定された兵庫県栄養塩類管理計画に基づいて実施されている。管理計画では、栄養塩類供給の効果やその他水質に与える影響について予測・検証されているものの、予測には限界がある。海の中での物質循環は複雑であり、特に貧栄養海域での循環機構がよく分かっていないことが原因である。そのため、管理計画は必要に応じて見直すこととしており、現地の状況や最新の知見を反映する仕組みになっている。本研究から得られる適切な水質環境に関する新たな情報は、管理計画の見直しに貢献することが期待される。

干潟・藻場の再生については現在、活動団体の支援が主である。干潟・藻場の再生を積極的かつ効果的に推進するには、取り組みに対する効果を定量的に把握することが先決である。また、マイクロプラスチックの海洋汚染は深刻さを増しており、効果的な対策を迅速に行うには、まず汚染実態を把握することが必要である。

③ 目標とする成果とシーズ・ポテンシャル [目標達成可能性] [有効性]

(1) 目標とする成果

1) 栄養塩類供給による海域の物質循環の変化の将来予測

海域の生態系は非線形性が強く、統計的・確率的なアプローチが有効である。そのため、計算負荷を軽減した食物連鎖モデル（ボックスモデル）から、播磨灘の栄養塩類量・生物量を再現できる生態系パラメーターセットを統計的・確率的に取得する。得られたパラメーターセットを食物連鎖モデル及び、大気-海洋結合高解像度モデルの二種のモデルに適用し、栄養塩類供給が与える水質・生態系への影響を多角的に評価する。

2) 海水中の栄養塩類再生と炭素貯留機能の評価

海水の栄養状態と海水中有機物の分解速度、栄養塩類の再生の関係性を実験により明らかにする。また、栄養状態と難分解性溶存有機物（RDOM）生成の関係性を明らかにすることにより、栄養塩類供給が新たなカーボンクレジットとなる可能性を示す。

海の豊かさをモニタリングするために、有機物の質（分解特性）を把握するための指標を開発する。この指標は、100日分解試験よりも迅速に結果が得られ、測定が容易であることを目指す。開発した指標を使って、実際に播磨灘等でのモニタリングを行い、実用化について検証する。

3) 干潟・藻場の栄養塩類再生及び炭素貯留の機能についての評価

干潟に堆積する有機態窒素または有機態りん分解性をそれらの由来ごとに検討する。これらの分解後に生成する栄養塩類を定量的に把握し、干潟による栄養塩類供給の播磨灘海域への寄与を推計する。

干潟・藻場における底質中の生物枯死体由来等の難分解性有機物について調査し、主要な生物による播磨灘のブルーカーボン量への寄与を評価する。

4) その他

上記の3つのテーマ以外の豊かで美しい里海の再生に係る取組み（施肥等による栄養塩類供給やマイクロプラスチックの環境汚染の実態等）について、知見の収集に努める。

(2) 研究のシーズ

（研究センターでのこれまでの関連研究の実績などを記述）

1) 栄養塩類供給による海域の物質循環の変化の将来予測

河川シミュレーションモデルについて、加古川本流の流末の水質データのみを用いて、流域内の発生源別原単位を逆推定する手法を開発し、加古川流域において降雨時を含む窒素・りん負荷量の高い再現性を得ている。

琵琶湖を対象に構築された食物連鎖モデルを播磨灘海域へ適用した。本モデルを用いて、播磨灘の沿岸・沖合を再現し、全窒素量・植物プランクトン量・動物プランクトン量・プランクトン食性魚・魚食性魚の量を計算した。また、大気-海洋結合高解像度シミュレーションモデル COAWST を用いて、播磨灘のモデルを構築している。

2) 海水中の栄養塩類再生と炭素貯留機能の評価

これまでに、播磨灘・大阪湾の海水中有機物の質（分解特性）について調査してきた。また、他

の地方環境研究所と協力し、瀬戸内海全域についても調査した。これらの調査から得られた成果として、海域の栄養塩濃度の低下が、有機物を難分解化し、栄養塩類再生速度を低下させている可能性を示した。藤原建紀名誉教授等との共同により、この現象は瀬戸内海に限らず、東京湾や伊勢湾でも起きていることを明らかにした。

前研究課題では、栄養不足によって有機物が難分解化する現象を室内実験により再現した。実際の海の中で栄養不足が有機物を難分解化させることを実証するための実験を行っているところであるが、データ量が不十分であるため、引き続き実験を継続する。

3) 干潟・藻場の栄養塩類再生及び炭素貯留の機能についての評価

これまでの研究において、干潟底質からの栄養塩類の再生については、手法を確立している。さらに、未調査の干潟を対象を広げて実験を進め、推計の精度を上げる。

この手法を応用した干潟堆積有機物の性状と栄養塩類再生に関する実験を行っている。未だデータが少なく、陸域と海域由来の多様な有機物に対する実験を続け、知見を収集する。

ブルーカーボンについては平成 26 年度から 3 年間国立環境研究所等と実施した、「二次的自然「里海」の短寿命生態系におけるブルーカーボン評価に関する研究」において得た知見（難分解性有機物分解実験手法、代表的生物種のブルーカーボン量）を参考とし、調査を進める。

4) その他

施肥による栄養塩類供給については、令和 3 年度から水大気課からの委託調査として水質調査を実施している。水大気課と連携し、調査方法を改良しつつ調査を継続する。

(3) 研究の技術的進展(ポテンシャル)

(手法、装置などの研究方法、他機関の技術を利用する場合はその内容、方法を記述)

栄養塩類の分析には機器分析、作業による分析のいずれにも対応可能である。また、重金属を含めた分析を支援する機器については ICP-MS、原子吸光光度計、オートアナライザー、分光光度計、蛍光光度計、全有機炭素計など充実している。また、当センターが保有する塩分補正機能付き蛍光式溶存酸素計は他に所有する地方環境研究所は少ない。本調査ではこれらの機器を使用することにより、現場データの取得から実験室での分析を支障なく実施することが可能である。

近隣の大学とは、大阪大学との共同でのモデル開発、ハイスペック PC によるシミュレーションモデルの駆動が可能であること、京都大学と有機物分解及びマイクロプラスチックに関する情報交換が可能である。また、他の地方環境研究機関とは、共同研究等を通じて、お互いの研究能力を向上させる等、良好な関係にある。

(4) 成果の活用方策

(成果を活用する者、その活用の仕方、成果の公表の方法等について記述)

成果の活用に関しては、「豊かで美しい里海の再生」のための行政施策への技術的な知見として、水大気課や下水道所管課等による活用が期待される。また、自然資本としての沿岸域に新たな価値を加え、住民、国、自治体、企業による海岸保全を推進する。

成果の公表に関しては、水環境学会等の論文発表、学会発表、講演会等で広く発信する。

(5) 研究の新規性、優位性、波及効果

1) 栄養塩類供給による海域の物質循環の変化の将来予測

播磨灘における海洋シミュレーションにおいて陸域負荷を考慮したモデルは多数存在するが、その多くが出水時の影響を考慮していないものである。しかしながら、出水時には陸域からの栄養塩流出量の増加による海域の栄養塩濃度への大きな影響と、多量の河川水流入による海域への平水時以上の拡散が考えられる。本研究は、出水時の影響を再現する河川シミュレーションモデルと海洋シミュレーションモデルを統合させることにより、これらの影響を再現することができる。また、予測の精度を高めるための「パラメーター推計」する食物連鎖モデルは新規性がある。また、高解像度推計モデルで精度を求めると、複雑な生態系プロセスを詳細に表現するために、一般的に計算負荷が大きくなる傾向にある。しかし、本研究では統計的・確率的にパラメーターを推計するため、解像度を下げる等の工夫を行うなど、計算負荷を軽減させて複数のパラメーターを取得する。これらのことから、この手法は創造性が高く、また、本手法が確立されることにより、各地で行われている高解像度推計モデルの精度の向上につながると期待できる。

2) 海水中の栄養塩類再生と炭素貯留機能の評価

兵庫県は、貧栄養化対策として栄養塩類供給という先進的な取り組みを実施しており、その効果について注目されている。本研究は、この先進的な取り組みを支える科学的知見を得るためのものであり、他に例がない新規性の高いものである。我々は、これまでに本研究を実施するための下地となる調査研究を行ってきた。着実に成果を得てきており、実現性に関して他機関よりも優位にある。本研究が取り組む栄養塩類再生と炭素貯留機能は、播磨灘・大阪湾だけではなく、あらゆる閉鎖性海域において同様の現象が起きているものであり、波及効果は高いといえる。

3) 干潟・藻場の栄養塩類再生及び炭素貯留の機能についての評価

干潟調査については、尼崎港人工干潟、夙川河口御前浜、高砂海浜公園等で水質、間隙水、底質、二枚貝類調査を実施してきた。ブルーカーボンについては国立環境研究所、東京都環境科学研究所、三重県水産研究所と環境分野の研究機関としては最も早くから取り組んでいる。また、当センターと同等の位置付けである他自治体の地方環境研究所とはⅡ型共同研究を実施し、情報交換にも努めている。このような背景から当センターは干潟の調査研究に関しては先進的な存在となっている。

④ 研究に投入される資源 [効率性]

(1) 研究センター実施分の予算区分及び予算額(3ヶ年研究)

全体事業費 3,900 千円

[財源内訳(県補助: 2,750 千円、国委託: 千円、科研費: 千円、その他: 1,150 千円)]

	旅 費	需用費	備品費	その他	合 計
初年度	350	750	100	100	1,300
2年度	350	750	100	100	1,300
3年度	350	750	100	100	1,300
合 計	1,050	2,250	300	300	3,900

(2) 研究センター実施分の投入予定人員(人)

研究員 0.3×3人×3年=2.7人(研究期間内合計)

氏 名	当該研究における 従事割合(%)	他業務の従事内容	全業務に占める当該研 究業務従事割合(%)
宮崎 一	30	全環研支部水部会事務 局、水銀分析	30
鈴木 元治	35	常時監視重金属、水環 境研会議事務局	30
古賀 佑太郎	35	工場排水重金属、事故 対応	30

(3) 共同研究の場合、他の機関・研究者の状況

研究機関・企業名	研究者職・氏名	予算分担(研究期間中計)千 円
京都大学	名誉教授 藤原 建紀	
京都大学	教授 田中 周平	
広島大学	教授 西嶋 涉	
大阪大学大学院	准教授 嶋寺 光	
国立環境研究所(国環研)	主任研究員 矢部 徹	
国立環境研究所(国環研)	主幹研究員 牧 秀明	
東京都環境科学研究所	主任研究員 石井 裕一	
岩手県大船渡保健所	主任主査 岩渕 勝己	
岩手県環境保健研究センター	部長 阿部なるみ	
茨城県霞ヶ浦環境科学センター	主任研究員 長濱 祐美	
埼玉県環境科学国際センター	専門研究員 見島 伊織	
山梨県衛生環境研究所	研究員 長谷川 裕弥	
大阪市立環境科学研究所	研究主任 大島 詔	
広島県保健環境センター	主任研究員 濱脇 亮次	
滋賀県琵琶湖環境科学研究所	専門研究員 佐藤 祐一	

⑤ 他の機関による実施可能性 【代替性】

※ 大学、民間など他の研究機関での取り組み状況

本研究を実施するにあたり、当センターが、大学、民間機関、他の地方研究機関よりも優位であるのは、県下の河川・海域等の調査データや調査技術の蓄積があることである。本研究のいずれも、これまでの研究成果に基づいており、直ぐに模倣の出来ないオリジナル性の高いものである。

また、本研究の対象である「豊かで美しい瀬戸内海の再生」の取り組みを進める水大気課との連携を密に図れることも当センターの強みである。

以上から、本研究を他機関で実施することは困難である。

⑥ その他特記事項

※ 特に強調すべきポイントや特殊な状況、経過など

国環研（国立環境研究所）と地方環境研究所との共同研究であるⅡ型共同研究として、「里海里湖流域圏が形成する生態系機能・生態系サービスとその環境価値に関する研究」及び「海域における気候変動と貧酸素水塊（DO）/有機物（COD）/栄養塩に係る物質循環との関係に関する研究」を実施しており、国環研および多様な地方の研究機関との情報交換が可能である。また、国環研とは、Ⅰ型共同研究として播磨灘海峡部の栄養塩類濃度について調査をしている。

研究の一部は、外部資金の獲得に精力的に取り組んでいる（環境研究総合推進費、科学研究助成金、その他研究助成に申請）。