

香川県栄養塩類管理計画～豊かな海を目指して～

香川県 環境森林部 環境管理課 主任
藤澤 茜

1. はじめに

瀬戸内海は「世界の宝石」とも称されるほどの美しさを誇る海ですが、高度経済成長期には、「瀬死の海」と呼ばれるほど深刻な水質汚濁が進行しました。長年にわたる水質改善の努力によって、水質は一定程度改善されましたが、近年、ノリの色落ちや漁業生産量の減少が課題となっており、これまでの「規制」中心の水環境行政から、「きめ細かい管理」へと大きな転換が図られています。

本県では、「香川県栄養塩類管理計画」を令和6年3月に策定し、栄養塩類増加措置を計画的に実施しています。本稿では、計画策定の背景や計画の内容についてご紹介します。

2. 計画策定の背景

高度経済成長期には、水質汚濁が進行し、赤潮が多発するなど環境が悪化しました。これを契機に、水質汚濁防止法(以下「水濁法」という。)に基づく対策に加えて、瀬戸内海環境保全特別措置法(以下「瀬戸法」という。)による規制、生活排水対策、海域における富栄養化対策の推進などの水質汚濁の防止に努めた結果、全般的に水質は改善されました。一方で、栄養塩類の減少や気候変動による水温上昇等の環境変化が原因とみられるノリの色落ちなどの問題が発生するようになりました。

このような中、平成 27 年の瀬戸法改正では、「きれいで豊かな海」という概念が盛り込まれました。国ではさらに、瀬戸内海における特定の海域の環境保全に係る制度の見直しの方向性について審議を重ね、令和3年6月の瀬戸法改正では、「栄養塩類管理制度の創設」、「自然海浜保全地区の指定対象の拡充」、「海洋プラスチックごみを含む漂流ごみ等の発生抑制等に関する責務規定」を導入し、瀬戸内海における生物多様性・水産資源の持続的な利用の確保を図るものとなっています。

このうち、「栄養塩類管理制度の創設」では、関係府県知事が栄養塩類の管理に関する計画を策定できる制度を創設し、周辺環境の保全と調和した形での特定の海域への栄養塩類供給を可能にし、海域及び季節ごとに栄養塩類のきめ細かな管理を行えるようになっています。

3. 香川県海域の現状

全窒素(T-N)や全リン(T-P)による水質汚濁は改善されてきており、類型指定された4つの水域では、令和2年に1水域で全リンが超過したことを除き、近年は環境基準を達成しています。(図1(a)、(b))

また、溶存無機態窒素(DIN)と溶存無機態リン(DIP)の経年変化では、海域により濃度差はあるものの、DINは低下傾向が見られ、DIPは一定の幅の中での変動に留まっています。(図1(c)、(d))

一方で、有機汚濁の指標である化学的酸素要求量(COD)については、近年改善傾向がみられず、類型指定された7つの水域では、近年の環境基準達成率は3割から4割程度で推移しており、赤潮も夏場を中心に年間10件程度発生しています。(図1(e)、(f))

また、平成14年度以降、ノリ養殖において栄養塩類の不足による「ノリの色落ち」が発生する年が増加しました。気候変動による水温上昇等と相まって、海域の貧栄養化がノリ養殖の不作や漁業生産量減少の一因との指摘があります。

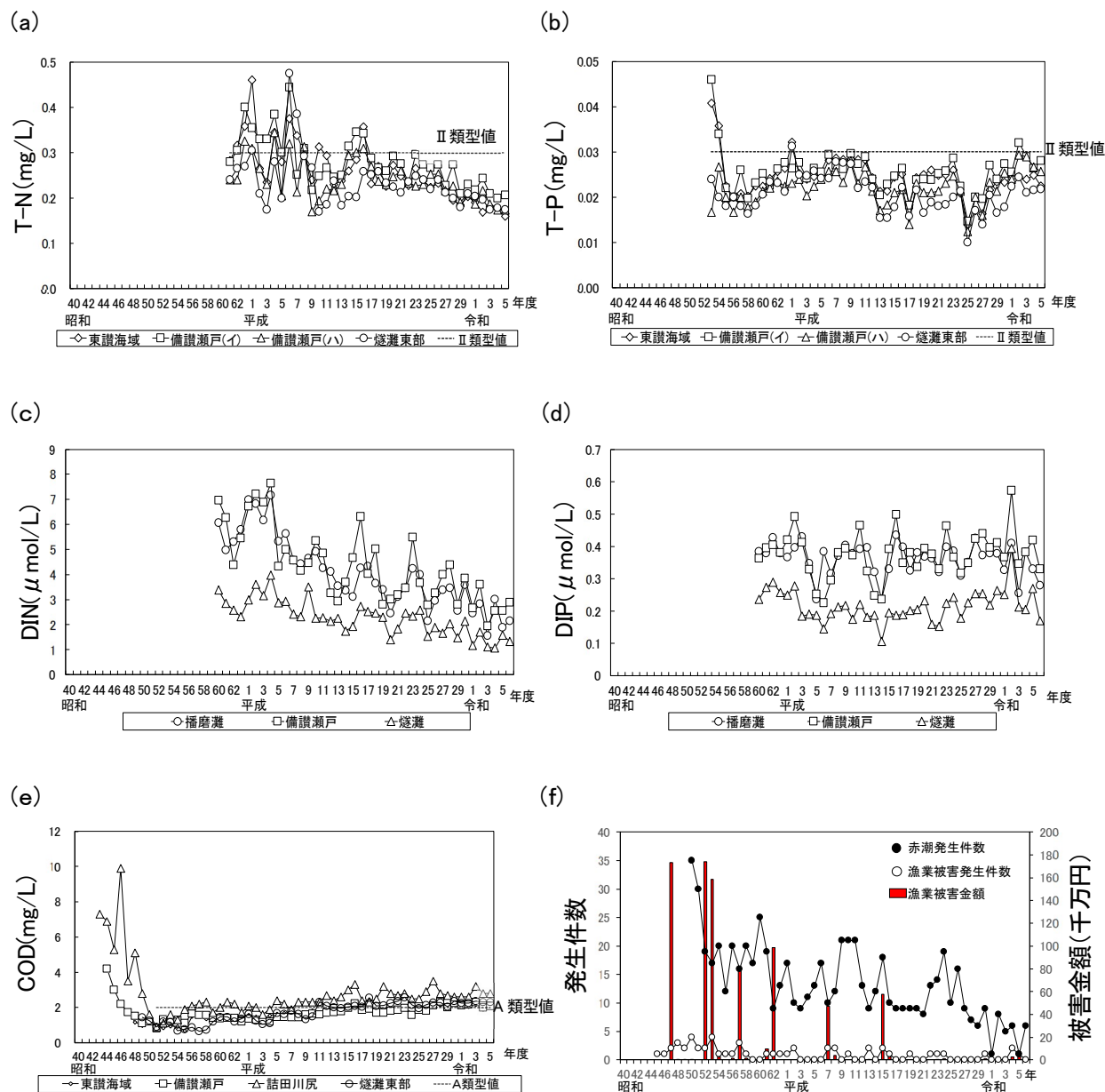


図1 香川県海域の(a)全窒素、(b)全リン、(c)DIN、(d)DIP、(e)COD(A 類型)、
(f)赤潮発生件数の経年変化

4. 香川県栄養塩類管理計画

4.1 計画の目的

本県では、栄養塩類管理制度に基づき、本県海域における生物の多様性と水産資源の持続的な利用の確保の課題に対応するため、「香川県栄養塩類管理計画」を策定し、栄養塩類増加措置を計画的に実施することとしています。

4.2 関係者の役割(3者スクラム)

計画策定から現在の運用にわたり、環境、水産、下水道の関係者がそれぞれの役割分担を明確にし、3者がスクラムを組んで、相互に連携・協力しています。(図2)



図2 関係者の役割

4.3 計画区域と水質の目標値

本計画の計画区域として、栄養塩類増加措置の実施場所、対象海域及び周辺海域を含めた区域を設定しました。(図3)

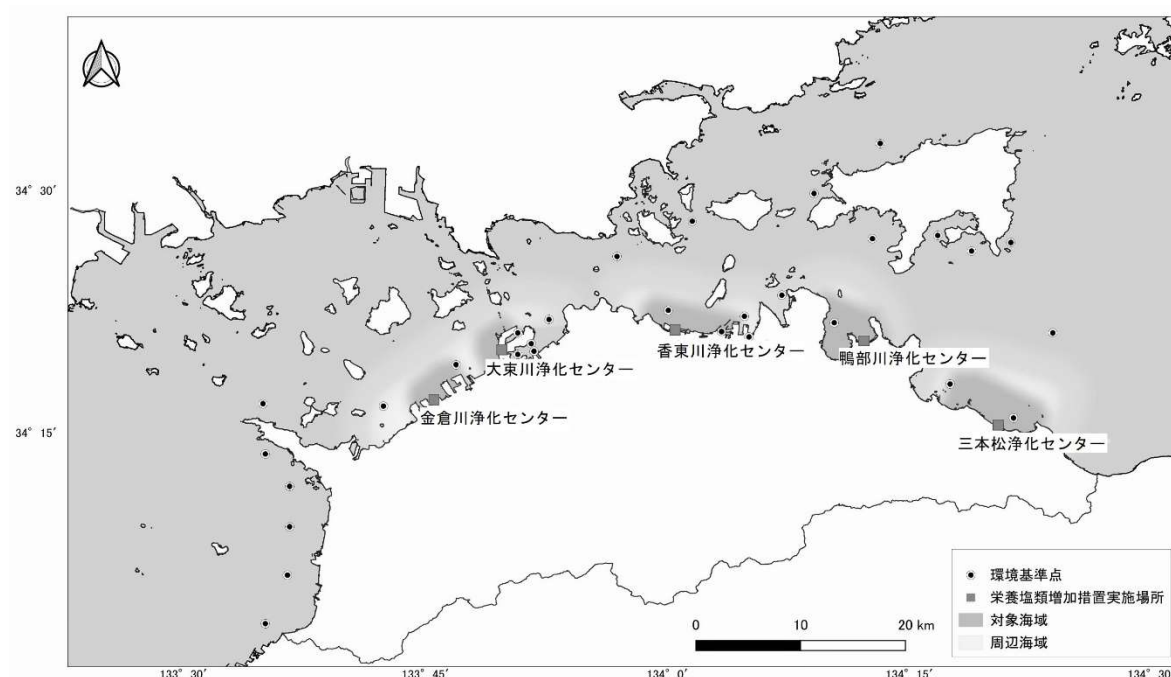


図3 計画区域

対象海域で、栄養塩類増加措置の対象とする物質及び水質の目標値は表1のとおりです。なお、本県海域の全窒素及び全燐に係る水質環境基準の類型は海域Ⅱであるため、その環境基準値を目標値(上限)と設定しており、環境基準の範囲内において管理しています。

表1 対象物質及び水質の目標値

対象物質	水質の目標値【上限】
全 窒 素	0.3 mg/L
全 燐	0.03 mg/L

4.4 栄養塩類増加措置実施者

本県の漁業形態の特徴として、魚類養殖とノリ養殖が共存していることが挙げられます。そのため、栄養塩類増加措置実施者(以下「実施者」という。)は、夏季には、栄養塩類が増加することで赤潮の発生が増加することがないように従来どおりの運転を行い、冬季のみ、排水規制の範囲内で栄養塩類を多めに残して排出する「季節別運転管理」を行うことが可能な事業場を選ぶ必要がありました。

そこで、過去に試運転・試行により季節別運転管理の実績がある5か所の下水処理場を実施者として位置づけました。(表2)

なお、実施者は、瀬戸法第12条の9の規定により、全窒素及び全リンの総量規制基準の適用除外となりますが、季節別運転管理を行う期間(概ね10月から3月)以外は、総量規制基準の範囲内での通常運転を実施することとしています。

このような季節ごとの柔軟な運転管理において実施者は、全窒素及び全リンの総量規制基準が適用除外となりますが、有害物質やCOD、浮遊物質(SS)などの規制基準は従来どおり厳守し、常に周辺環境への影響に配慮しながら慎重に運転を行う必要があります。

表2 栄養塩類増加措置実施者及び実施方法

実施者		実施方法
高松市	香東川浄化センター	硝化抑制運転
さぬき市	鴨部川浄化センター	
東かがわ市	三本松浄化センター	
香川県	大東川浄化センター	
	金倉川浄化センター	

4.5 モニタリングの実施と順応的管理

本計画では、栄養塩類増加措置による周辺環境への影響や効果検証のため、水質等のモニタリングを実施しています。

モニタリング結果は分析・評価し、栄養塩類増加措置を実施したことによる影響や効果の状況を確認しながら、計画を慎重に運用していきます。また、必要に応じて、計画の見直しの必要性を検討します。

4.6 協議会の設置

本県では、計画の推進にあたり、広く意見を聞くために「香川県栄養塩類管理推進協議会」を設置しています。実施者、漁業関係者、学識経験者、関係団体、関係市町など幅広い関係者で構成しており、計画策定や変更時にはその都度開催します。また、県は協議会に対して定期的に水質モニタリングの状況等を報告し、情報の共有に努めています。

5. おわりに

「世界の宝石」とも称される瀬戸内海は、本県をはじめとする瀬戸内地域にとってかけがえのない財産です。きれいで豊かな海を次世代へとつなぐため、今後も関係各所と連携し、対応していきます。

「香川県栄養塩類管理計画」のweb ページ:

<https://www.pref.kagawa.lg.jp/kankyokanri/mizudojou/taisaku/eiyouen.html>

瀬戸内海のエコツーリズムの課題と展望

一般社団法人 瀬戸内海エコツーリズム協議会 理事長

上 嶋 英 機

(広島工业大学 客員教授)

1. はじめに

エコツーリズム推進法が2008年に設立して17年となる。2015年には本誌の69号に特集「瀬戸内海におけるエコツーリズム」が掲載された。この中で筆者は、「瀬戸内海のエコツーリズム推進と地域創生への貢献」をテーマに、エコツーリズムが瀬戸内海的环境政策や地域活性に対しどのように役立つのか、エコツーリズムの理念や具体的な活動について紹介した。

本稿では、①2015年以降に実施してきたエコツーリズムの活動の中から、瀬戸内海の島々の環境資産を活用したエコツアーの造成について紹介する。②また、最近の国内エコツアーの動向と課題について考え、瀬戸内海の潜在価値に対する国際的な評価について再認識し、世界にどのように魅力を発信すべきかを提案する。更に、③瀬戸内海の緊急的課題である急激な無人島化に対応する政策として、エコツーリズムの理念を基本とした環境再生事業について西瀬戸の「八島」をモデルとして具体的な事業計画を紹介する。瀬戸内海の魅力を維持し、自然や歴史文化資産の継承を担うためエコツーリズムを駆使した事業について提案したい。

2. 瀬戸内海エコツーリズム振興の歩み

瀬戸内海におけるエコツーリズムの活動母体として、「一社・瀬戸内海エコツーリズム協議会(略:瀬戸エコ協)」を2010年に設立した。以来、瀬戸内海自然环境や歴史文化を体感し守るためのエコツーリズムの活動を展開してきた。具体的には、瀬戸内海の国立公園を含む島嶼部において、自然と歴史文化資産をコンテンツとした個性的なエコツアーを造成し瀬戸内海全体でネットワーク化していき、瀬戸内海の多様で高質なエコツアーを体感し、満喫して頂くことを目標とした。

瀬戸エコ協は2020年には設立10周年を迎えた。これまで、広島湾をスタート点にして、国立公園であり世界文化遺産の「宮島」中心にエコツアーを展開し、広島湾南部の湾口部に連なる「防予諸島」、白砂青松地である「室積海岸」と伊予灘の島々、広島湾東部海域では安芸灘諸島の蒲刈島から大崎上島に連なる「とびしま海道」。そして、瀬戸内海の魅力を圧縮した「八木灘」海域のエコツアー。瀬戸内海の海洋哺乳類「スナメリ」の追跡や、瀬戸や海峡で発生する渦潮を体感するエコツアーを造成した。以下に、主なエコツアーについて紹介する。

2.1 「宮島エコツーリズム推進全体構想」の活動

宮島では2017年に「宮島」エコツーリズム推進協議会が発足し、2020年9月には「エコツーリズム推進法」に則り、環境省を主体に4省による「宮島エコツーリズム推進全体構想」が認定された。その基盤造りのため、環境省の「エコツーリズム地域活性化支援事業」を活用しエコツアー運用と全体構想を構築した。エコツアー造成には、宮島の山間部域や沿岸海域の自然資源と、歴史文化財の宝庫である神社仏閣と町家を中心とした個性的なエコツアーが造成される。その中で、宮島の沿岸域一周の7か所に配置された神の

島「宮島」を礼拝する神社を巡る「宮島七浦巡り」が、宮島の海と島を体感する最も高質なエコツアーとなっていて人気が高い。



図-1 神の宮島を巡る船のエコツアー「七浦巡り」

2. 2 スモール瀬戸内海「八木灘」のエコツアー

2020年には観光庁の新たな観光戦略として「誘客多角化等のための魅力的な滞在型コンテンツ造成」実証事業に採択された。その事業は瀬戸内海中央部の安芸灘諸島と安芸津、竹原に囲まれた「八木灘」の資源をコンテンツとしてエコツアーを造成し市場への展開を図った。

八木灘は江戸時代以降からの海運業や漁業が盛んで瀬戸内海を象徴する海事文化を築いてきた海域である。現在、「八木灘」の名称は海図から消えているが、今でも瀬戸内海の代表的な自然景観や風土、そして造船、塩田、酒造、漁業の文化歴史が豊富に詰まっている。いわゆる「スモール瀬戸内海」が「八木灘海域」である。この中で多種多様なエコツアーのテーマやストーリーが造成され、高価値な滞在型のエコツアーが堪能できる。特に、竹原の塩田文化と古都(重要建造物)との繋がりと、軟水による酒造は世界に誇れるもので、絵画や近代アートと海事文化とのコラボは高質なエコツアーを造成した。



図-2 「スモール瀬戸内海～八木灘エコツアー」

2. 3 「渦潮と来島海峡」のエコツアー

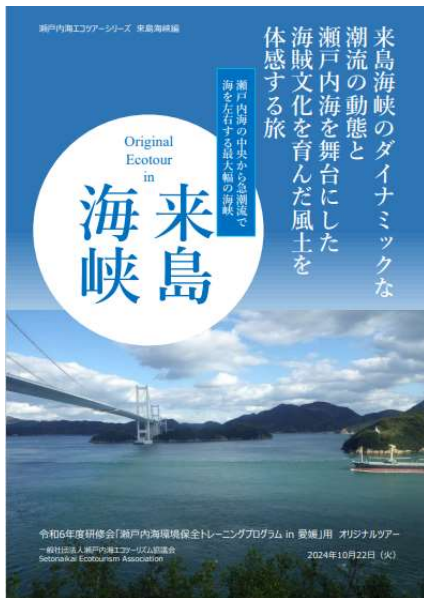


図-3 来島海峡エコツアー
瀬戸内海中央の海峡

瀬戸内海の自然や歴史文化価値は前記したように、海外旅行者の評価が高い。しかしながら、そのためのエコツアーのメニューや実施体制が整っていない。瀬戸内海のエコツアーを専門に企画運用している旅行社は存在しない。そこで、「瀬戸エコ協」では西瀬戸から東瀬戸に向けエコツアーを造成しているが、今回、瀬戸内海中央の「来島海峡」中心として自然と歴史文化資産を駆使したエコツアーを造成する機会を得た。本誌の出版元である「公社・瀬戸内海環境保全協会」の R6 年度研修会「瀬戸内海環境保全トレーニングプログラム in 愛媛」において、「瀬戸内海のエコツーリズムで学ぶ～来島海峡の歴史と魅力～」をテーマとして、来島海峡で初めてのエコツアーを実施した。ツアーコンテンツとして①来島海峡の渦潮を体感。②瀬戸内海中央部の景観と海峡の機能を知る。③水軍時代の足跡と貢献した風景。④「小島」上陸による日露戦争時代の芸予要塞の存在と建築の芸術性の体感。⑤波止浜の造船町の歴史と海事文化など、1日コースであるが来島海峡の意義と瀬戸内海の魅力を十分に堪能することができた。

3. 国内のエコツアーの動向と課題

さて、2023年以降コロナ禍の閉塞的な時代を過ぎて、その反動もあって一気に人々の交流が躍動化し、国内外の旅行者が交流する多様な観光ツアー産業が誕生した。これまで主流であった団体ツアーを基本とする大量送客型のマスツーリズムから、少人数で個人志向のストーリー性のあるエコツーリズム型の旅が増えてきた。しかも地域の高価値な自然や歴史文化を体感として組み込んだマイクロツアーが誕生してきた。そこには、近年急激に増加してきた欧米からのインバウンドの要望の影響が大きい。このように、高価値なエコツアーに対する要求が高まり、エコツーリズム先進国の同様なレベルに達しつつある。エコツーリズムの理念である「自然環境保全に配慮しながら自然環境や歴史文化を体験し学ぶとともに、環境保全や地域振興に貢献する観光のあり方」を具現化するエコツアーが観光市場に実在してきたことは大きな進歩である。しかし、エコツアーがまだ試行的なレベルで、高価値な品質を持つエコツアーになっていない。更に、感動的なツアーをプロデュースするインタプリターの人材育成が大きく遅れている。更に、島嶼部の歴史文化(祭事)やエピソードを継承する「語り部」や有識者が高齢化により不在となり大きな損失となっている。早急に瀬戸内海全域で歴史文化資産(プロパティ)の管理と継承の作業が必要である。一方、瀬戸内海でのエコツーリズムを推進する上で、自然資産(生態系・景観)や歴史文化資産の価値(クオリティ)の管理と継承が不可欠であるが、無人島化の影響を受け現状では資産価値の把握がなされていない。

そこで、改めて瀬戸内海における高質なエコツーリズム振興のための重要な要素(コンテンツ)となる価値や管理の課題について考えてみたい。

4. 「瀬戸内海」のエコツーリズム的価値の認識と評価

エコツアー造成の要素(コンテンツ)となる瀬戸内海の自然環境や歴史文化の資源価値をどの様に評価してその魅力を海外に紹介し、多くの方に瀬戸内海を体感して頂き、そして満喫して頂けるかが瀬戸内海の価値を将来に継続するためには不可欠である。それではここで「瀬戸内海」とは海外から見てどのような

魅力があり、評価をされているのかを改めて確認したい。

4. 1 瀬戸内海の価値の認識と発信

多くの灘や湾、瀬戸、島嶼部で構成されている「瀬戸内海」が一つの纏まった内海として概念的に定義されたのは江戸時代後期とされる。それまでは豊後灘、安芸灘などの灘単位での個々の海域と対応していた。現在の「瀬戸内海」の概念が定着したのは、幕末期から明治時代になって日本に訪れた欧米人がこの海域を「The Inland Sea」と呼んだことが契機とされている。それ以前の江戸時代においては、シーボルトの「江戸参府紀行」で瀬戸内海が賞賛され、リヒト・ホーフエン(シルクロード命名者)の「中国日記」で瀬戸内海の景観が評価された。このように世界に瀬戸内海が認知されるようになったのは国外からのツーリストによる貢献が大きい。

最近では、2019年正月にニューヨークタイムスの記事により「2019 年に行くべき52の場所」の中の第7番目に日本で唯一、「瀬戸内海諸島」が選出された。その評価の根拠は瀬戸内海が「アートと自然と平和が調和する日本の内海」であった。このアートは瀬戸内海中央の直島を中心とする「現代アート」の創作によって自然との調和を図り、新たな価値をイノベーションして地域を活性化した。このように海外からの瀬戸内海の評価は絶大であるが、日本から世界に向けての瀬戸内海の自然と歴史文化資産価値を紹介するエコツアーの情報発信は意外と少ない。

4. 2 瀬戸内海国立公園の活用と評価

一方、瀬戸内海の自然資源、景観や風土(文化的景観)を保護管理しているのが「瀬戸内海国立公園」である。1934年に設立して90年が経過した。瀬戸内海の資源価値や魅力を世界に発信することが瀬戸内海国立公園の意義である。環境省においては、2016年に国立公園満喫プロジェクトが開始された。ナショナルパークとして魅力的なコンテンツをブランド化し、訪日外国人に上質なエコツアーを造成して提供していくことを目指している。瀬戸内海国立公園においてもこのプロジェクトを活用して世界に発信することが不可欠であるが、90年を経過したこの機会に瀬戸内海国立公園の自然資源や景観の価値を再評価する必要がある、関連施設の更新も求められる。

4. 3 海外へのアピールとネットワーク

各国との交流において瀬戸内海の魅力的な自然と歴史文化資産の紹介をするネットワークが必要である。このためには、エコツーリズムの活動を多様に取り込んでいる世界遺産関連機関やエコツーリズム関係の機関との連携が不可欠である。具体的には、ジオパーク、ナショナルトラスト、ナショナルパークの機関は、体感的なエコツアーを主体としたエコツーリズム活動と密着しているためである。これらのネットワークと瀬戸内海の関連機関が連携することが必要である。

5. 瀬戸内海の緊急課題とエコツーリズムによる環境再生

エコツーリズムを通して、瀬戸内海の自然資源や文化遺産を満喫して頂くためには、現在の瀬戸内海が抱える課題について解決する再生事業が必要である。今一番の課題は瀬戸内海の島々の無人島化が急激に進んでいることである。

その一例として上関町沖の「八島」では、最盛期に669人の島民が現在では高齢者の方が10名程度に激減し実質的には無人島化した状態になった。このため島の生活機能が停止状態になり、農業、漁業の生産基盤は無くなった。また、島民不在では伝統的祭事や歴史的建造物の管理や継承は不可能となり断絶される。このままでは定期船等の交通機関も停止され、島全体が孤立していく。このため無人島化した島を再生する政策や事業が不可欠となる。そこでエコツーリズムを活用して自然環境資源や歴史文化資産を如何に継承していくかのモデル事業が必要である。

6. 「エコツーリズム」による無人島の再生事業

6. 1 フランスの無人島「ケメネス島」再生事業

無人島再生の実例として、フランス北西部ケルト海域に位置する無人島化した「ケメネス島」を、エコツーリズムによる活性化プロジェクトを実施して復活させた事業を紹介する。

「ケメネス島」はフランス北西部ケルト海域に位置する東西 1.3km、面積 26ha の小さな無人島である。この島をエコツーリズムによって資源循環型の島(エコアイランド)に復活させた。この島はかつて営農者が住み、農場や生活建造物が存在していたが、2000 年に無人島として放置された。この再生事業には仏国などの 5 ヶ国が参加する組織体「ISLA プロジェクト」が担ってきた。2003 年には ISLA のメンバーであるフランスのナショナルトラスト「沿岸域保全整備機構(CDL)」がケメネス島を保護のため購入し、無人島化を解消する上で島民を居住させ、その生活基盤(生業)を確保することを最優先しエコツーリズムを活用した島内の経済的仕組みと、エコアイランドを目指す社会システムが構築された。具体的には、島内に移住する若者の公募を行い、若い夫婦と子供の家族4人を採用し、島の運用管理をこの夫婦に任した。生活の経済的基盤としてエコツアー客を受け入れ、有機農法などの「循環型農業」の実施、水処理施設と有機物排出処理により水の循環活用を行う。自然再生エネルギー(バッテリー)は自給自足と耕作機械に活用する。農業はオーガニックラベルの野菜や羊の生産を行ってネット販売を行う。島への交通は電動タクシーボートを使用しエコアイランドの象徴として活用している。正に全体を通して SDGs の実践でもある。

6. 2 エコツーリズムによる八島再生プロジェクト



図-4 八島
「八島再生プロジェクト」

そこで、「ケメネス島」を手本にした無人島再生に向け「八島」を対象に活動が開始された。2015 年に元島民の依頼を受けて八島の資源調査を行い、八島の貴重な自然資源を紹介する「エコマップ」が作成された。その後、八島出身の島民の方が中心になって無人島再生活動の支援者による「一般社団法人・せとうち・エコアイランド八島」が 2022 年に設立された。

その具体的な活動は、定住者の生活を支えるため島内資源を活用したエコツーリズムの運用と経済的基盤を確保する。それにより、島内資源の管理と継承を図る。エコアイランドとして島内は資源循環を基本とし、①沿岸域を自然育養型の近代漁場に再生し、②エコツーリズムの活動拠点として海洋スポーツ、キャンプ場の整備③自然再生エネルギーを生産して自給運用する。④無人の廃屋の処理と新たな活用。⑤沿岸域の漂着ごみの処理と再利用。⑥田畑の遊休地を新たな生産場に転用する事業。以上が八島再生プロジェクトの構想である。このプロジェクトを実現し新たな瀬戸内海の風景として世界に示すことができれば意義深い。

7. 終わりに

瀬戸内海の貴重な自然や歴史文化の財産を継承し、エコツーリズムの活動からその価値を多くの方に満喫して頂くことで瀬戸内海が世界に愛される内海となって欲しい。そのモデル事業として「八島再生プロジェクト」が実働し成果を得るには多くの支援が必要である。

淀川および大和川を介した大阪湾への微量元素供給過程

東京大学大学院理学系研究科・地球惑星科学専攻
板 井 啓 明

1. はじめに

大阪湾における元素動態は、都市の産業活動が環境に及ぼす影響評価の重要性から、古くから多くの研究がなされてきた。富栄養化に伴う湾奥部の貧酸素化などが問題点として指摘される一方、水質改善による漁獲量減少なども報告され、環境と生物の複雑な相互作用が認められる。本報告では、微量元素に着目した研究成果の一部を報告する。微量元素は、有害性の高い物質については海洋生態系への影響を評価する必要があると同時に、Fe・Cu・Zn など生物に必須な成分も存在する。そこで、湾への淡水流入量の 88%程度を占める淀川と、6%程度を占める大和川を対象に、各種微量元素の流入量の推定と、河口付近底質のシュウ酸抽出態濃度分析を実施した。結果を基に、大阪湾への供給規模の推定、両河口域での沈降除去過程の特徴、一部元素の流域内供給源に関する解析結果を示す。

2. 研究手法

河川試料は、2024 年 7 月 18 日、8 月 8-9 日、9 月 24 日に、淀川および大和川のそれぞれ 2 地点で採取した。また、8 月の採水時は、木津川、宇治川、桂川においても採水を実施した。河川水は、橋の上からロープ付きのプラスチック製バケツを投擲して採取し、pH と水温は採取直後にポータブルメーターで計測した。採取した河川水は、(i) 高純度の 6 mol/L HNO₃ を 1 % 添加、(ii) 0.45 μm の混合セルロースフィルター（以下フィルター）でろ過したのち 6 mol/L HNO₃ を 1 % 添加、の処理をして保存した。(i), (ii) はそれぞれ各種元素の総濃度、溶存態濃度の分析に用いた。底質は船上からエクスマンバージ採泥器で採取し、乾燥後にシュウ酸抽出態画分を 0.2 mol/L シュウ酸溶液（pH3）で抽出した。微量元素分析には誘導結合プラズマ質量分析計（ICP-MS: Agilent 7700x、アジレントテクノロジー社製）を使用した。測定は He collision mode で実施し、B, Mg, Al, P, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, As, Rb, Sr, Mo, Cd, Sb, Pb, U を測定した。各元素の流量-濃度関係については、広島大学グループが 2022 年 9 月から 2024 年 4 月まで大和川定点で採取した試料（n=20）を供試いただき、化学分析とデータ解析を実施した。

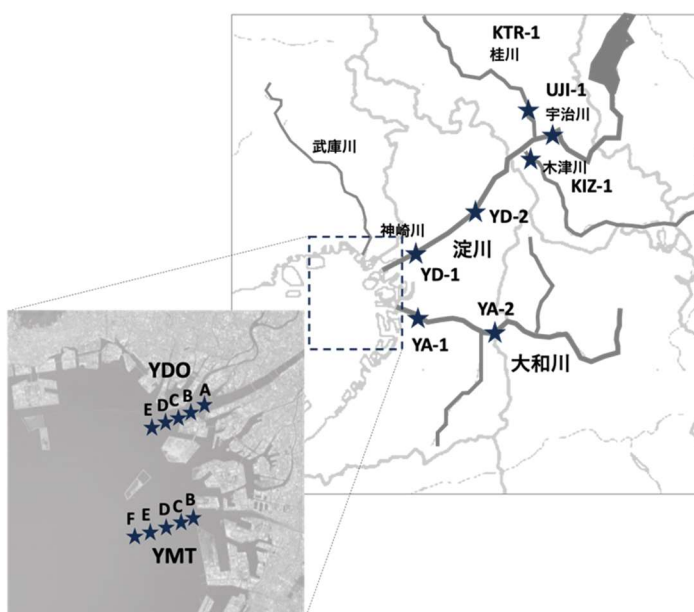


図 1 河川水および底質の採取地点。

3. 結果と考察

3.1 河川水中微量元素濃度と供給源

2024 年度の採取日における河川流量は、淀川は枚方観測点、大和川は遠里小野観測点を基準点として、国土交通省の水文水質データベースからデータを抽出した¹⁾。各河川における流量は、水文水質データベースの過去データから水位-流量曲線を作成し、水位データを元に算出した。調査日の淀川上流(YD-02, 枚方大橋)における流量は、110-250 m³/s の範囲で変動した。最大値は7月の調査日に観測され、淀川における平水-豊水流量に相当した。大和川下流(YA-01, 阪堺大橋)における流量は、4.2-32.2 m³/s の範囲で変動した。最大値は7月の調査日に観測され、大和川における豊水流量に相当した。淀川下流の測点(YO-01, 淀川新橋)では、8月および9月の採水日は表層塩分が海水の値に近く、上流からの淡水の影響を評価できないと判断したため、微量元素分析は実施しなかった。

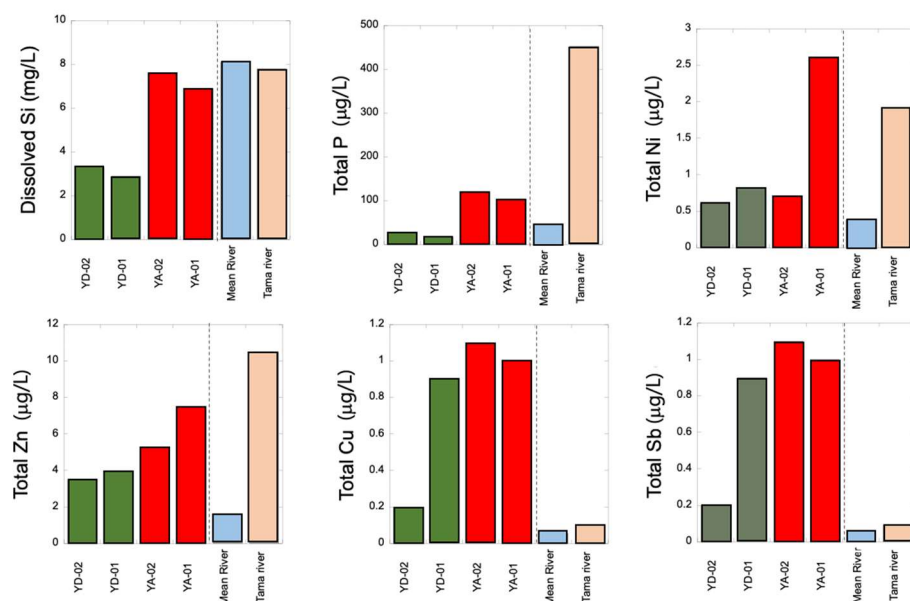


図2 河川水中の微量元素濃度。Mean river は2022年11月に東日本30本の一級河川で分析した平均値。Tama river は同時期に採取した多摩川の分析値。淀川(YD-02)と大和川(YA-01, 02)のデータは2024年7, 8, 9月の平均値。YD-01は7月の値を使用。

今回測定した微量元素の総濃度およびSiの溶存態濃度を図2に示す。また、参考値として、独自に分析した東日本における30本の一級河川平均微量元素濃度と、都市域を流れる代表的河川の多摩川の値を示した。比較の結果から、淀川上流域以外の地域では、東日本一級河川平均値に対して微量元素濃度が高い傾向が認められた。特に、CuとSbは多摩川と比較しても顕著に高く、淀川と大和川流域におけるこれら元素の供給源の存在が示唆される。淀川と大和川の比較では、CuやZnなどの必須微量元素、As, Cd, Sbなどの有害微量元素とも、大和川で高値を示す傾向が認められた。大和川におけるNiは、各月ともYA-02からYA-01にかけて濃度の上昇が認められることから、大阪平野流入後にソースがあると推定される。Sbは、淀川・大和川ともに、国内河川の平均的な値(0.05 µg/L)と比較しても高い水準にあるが、淀川ではYD-02(枚方大橋)より下流で付加された傾向が明らかである。一方、大和川では、YO-02(柏原市)と、下流のYO-01で大きな差はないため、主なSb供給源は奈良盆地にあると推定される。このように、一部の元素について、各河川の上流と下流の元素濃度の差から、供給地域に制約を与えることができた。

3.2 各種微量元素濃度の流量依存性

2022 年 9 月から 2024 年 4 月にかけて、大和川で定点月例採水された河川水について、対数変換した流量と濃度の関係（Q-C 曲線）を解析した。その結果、21 元素中 9 元素が流量に対して有意な相関を示した。正の相関を示したのは Al と V で、Mg, P, Co, Ni, Zn, Rb, Sr, Pb は負の相関を示した。海外の先行研究では、元素の Q-C 曲線について、増加型、一定型、希釈型の 3 パターン分類が提案されている²⁾。例えば、スイス Erlenbach 流域で実施された比較研究では、希釈型を示す元素としてアルカリおよびアルカリ土類金属、栄養塩などが挙げられており、Fe, Mn, Cr などの遷移金属は増加型に分類されている³⁾。今回、大和川のデータで得られた傾向を解析したところ、アルカリおよびアルカリ土類金属は希釈型を示したが、Fe, Mn, Cr などは、溶存濃度・総濃度とも、流量に関してランダムに分布しており、統計的に有意な上昇傾向は認められなかった。これらの知見は、今後河川を介した海洋流出量を推定する際の基礎的知見となる。

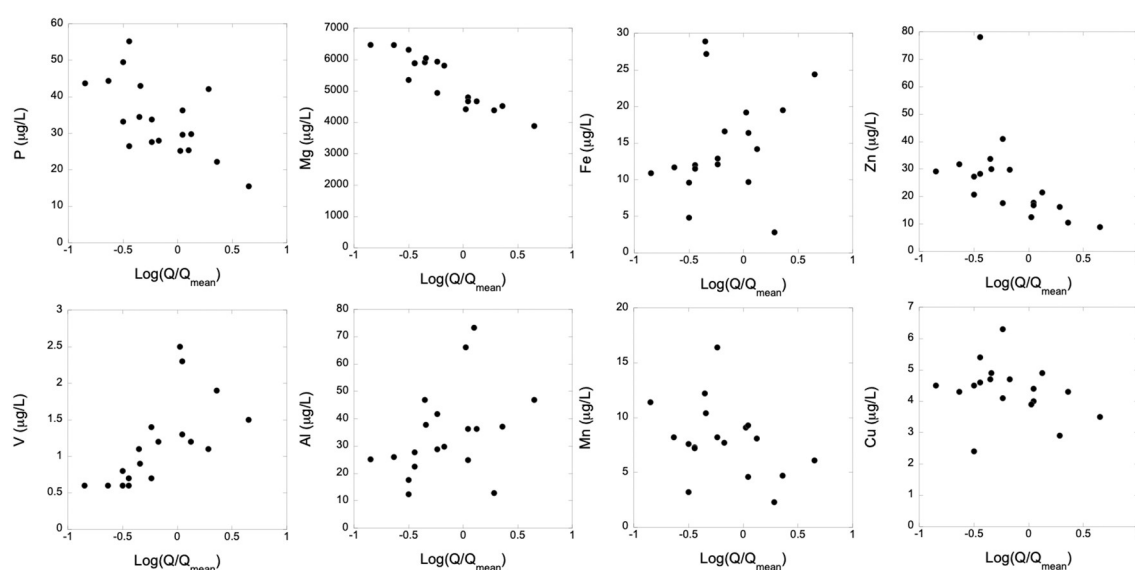


図 3 大和川における微量元素の流量-総濃度関係。

3.3 河口付近の底質のシュウ酸可抽出態微量元素濃度

淀川および大和川の河口から沖合にむけて採取した表層堆積物のシュウ酸可抽出態微量元素濃度を図 4 に示す。微量元素の挙動として、供給源に近い河口付近から濃度が漸減する傾向を予測したが、いずれの元素でも単調な増加または減少トレンドは認められなかった。いくつかの元素は、もっとも河口に近い試料で低濃度を示す傾向があり、淀川では B, Mg, Al, P, V, Mn, Fe, Ni, Zn, As, Sb, Pb, U、大和川では Cr, Mn, Zn でこの傾向が認められた。両河川で微量元素の平均濃度を比較すると、明瞭な差が認められるのは Fe で、淀川の平均値が $8,730 \pm 2,500 \text{ mg/kg}$ に対し、大和川の平均値は $4,900 \pm 820 \text{ mg/kg}$ であった。また P は、淀川の平均値が $155 \pm 71 \text{ mg/kg}$ であり、大和川の平均値 $85 \pm 10 \text{ mg/kg}$ よりも有意に高値であった。筆者は 2023 年の調査において、大阪湾の海洋堆積物ではシュウ酸可抽出態の P と Fe（または Fe+Al）に有意な正の相関があり、その P/Fe モル比は陸水で広く認められる 0.05 に近いことを報告したが（板井, 2023）、今回の淀川沖と大和川沖のデータでも類似の関係が認められた。両河川沖の堆積物中の P 濃度は、河川水中濃度から予測される固定量とは逆転しており、堆積物の組成すなわち Fe 含有量が供給量よりも強い支配要因になっていることが示唆された。

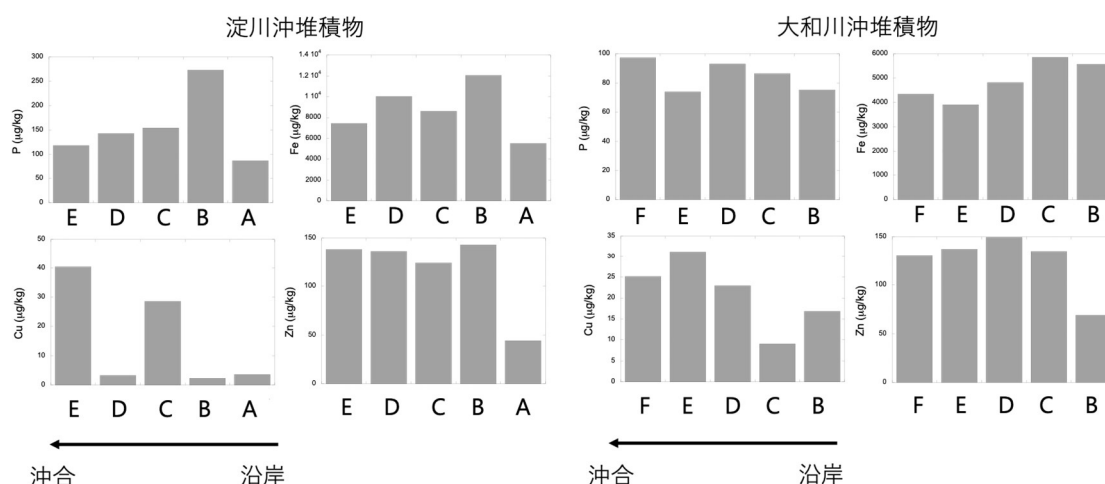


図4 淀川および大和川沖の底質中シュウ酸可抽出態微量元素濃度。

各河川水について、流入水の平均元素濃度と、表層堆積物のシュウ酸可抽出態元素濃度の平均値を計算し、両者の比率から固定効率指標 $[\log (K_d/Lkg^{-1})]$ を算出したところ、同一元素であれば両河川で類似の値を示した。低い $\log K_d$ を示したのは、水中でオキシアニオンを形成する B, P, As, Sb で、2.4 から 3.9 の間で変動した。これらは易動性元素に分類できる。一方、 $\log K_d$ が >5 を示したのは Al, Cr, Fe, Pb であった。河川間での固定効率差で興味深いのは P であり、大和川は淀川の 10 倍固定効率が低い。これについては、鉄水酸化物が P の固定能を支配しているためと解釈している。

3. 4 総括

本研究では、これまでに大阪湾周辺環境では計測例が限定的であった微量元素に着目し、河川水と河口堆積物を分析した。Ni や Sb などの重金属類は、上流から下流にかけての濃度変化から供給地域に制約を与えることができた。濃度-流量関係からは、多くの元素が希釈型に分類されたが、Al など一部の元素は流量と正相関を示した。流出後の堆積挙動については、淀川と大和川の比較から、大和川沖の堆積物が微量元素の固定能力が低いことを示し、その原因として抽出態 Fe の濃度差を指摘した。このような底質の化学的特性の違いは、大阪湾海水に対する溶存態微量元素の供給に影響すると考えられ、今後より幅広い空間規模で調査を実施するのが望ましいと考えられる。

謝辞

本研究は、特定非営利法人瀬戸内海研究会・大阪湾圏域の海域環境再生・創造に関する研究助成制度の支援を受けて実施されました。大和川の月例定点採取試料については、広島大学の齋藤光代博士にご提供いただきました。

参考文献

- 1) 国土交通省 2025. 水文水質データベース. <https://www1.river.go.jp/> (2024 年 2 月時点)
- 2) Wymore, A. S. et al. 2023. Water Resources Research, 59, e2023WR034910.
- 3) Knapp, J. L. et al. 2020. Hydrology and Earth System Sciences, 24, 2561–2576.
- 4) 板井啓明 2024. (特非) 瀬戸内海研究会・大阪湾圏域の海域環境再生・創造に関する研究助成制度報告書