

瀬戸内海環境保全知事・市長会議研究委託事業に係るワークショップ（概要）

1 日時 平成28年12月2日（金）14：30～16：45

2 場所 神戸市勤労会館403・404

3 出席者 別紙のとおり（77名）

4 概要

（1）開会あいさつ（英保副理事長）

瀬戸内海研究会議は、産学官民の研究者等により構成され、瀬戸内海の環境保全と適正利用について研究を行い、行政等に提言を行っている特定非営利活動法人である。この会議の研究成果を広く知ってもらうために、毎年、フォーラムやワークショップの開催を行い、多くの人との意見交換を通じて、よりよい瀬戸内海の環境の構築を進めている。

また、瀬戸内海環境保全知事・市長会議からの委託を受け、平成23年度から平成25年度にかけて、瀬戸内海の環境保全・創造に関する研究を行った。その後、引き続き、平成26年度から平成28年度まで知事・市長会議からの委託を受けて研究を行っている。

本日のワークショップは、この研究成果について報告し意見を頂き、行政に施策提言を行っていくことを目的に開催した。

（2）研究発表

①小課題1「瀬戸内海西部海域における陸域からの栄養塩供給管理方策に関する研究」

○概要説明 駒井 幸雄 氏（大阪工業大学工学部環境工学科 特任教授）

瀬戸内海海域に河川等を通して流入する栄養塩濃度の時系列変化を解析することは、陸域からの栄養塩供給管理方策を立てていくうえで基本となる。このため、1970年代以降の河川及び海域における常時監視データを取りまとめ、①陸域からの栄養塩供給の現状と経年変化、②関係海域の水質との関係 ③流入負荷量の見積もりを行っている。平成23年～25年は第1回目の委託研究として瀬戸内海東部海域において実施した。平成26年～27年は瀬戸内海西部海域を対象として解析を行った。これらの結果を取りまとめ、瀬戸内海陸域からの栄養塩管理方策を探る。

○公募研究テーマ「瀬戸内海西部地域における河川中の栄養塩類濃度の変遷について」

恵本 佑 氏（山口県環境保健センター 専門研究員）

山口県・広島県・岡山県が公表している公共用水域の常時監視データ及び国土交通省の雨量・流量データ等を用いて、河川を経由して瀬戸内海へ流入する栄養塩類（TN・TP）の濃度および負荷量の変遷を調べた。また、1981年以降の30年間について3県のいずれも漁獲量の減少傾向がみられたことから、この期間における河川中のTN・TP濃度および各河川からの負荷量の増減傾向をMann-Kendall検定で調べた。調査対象河川は、山口県・広島県・岡山県内の一級河川、及び環境基準点が設定されている二級河川とし、TN・TPの水質データは各河川の常時監視地点のうち、最も下流地点の測定結果を用いた。

1981年～2010年の30年間における各河川のTN・TP濃度および負荷量の増減

傾向及び湾・灘への流入負荷量の増減傾向は次のとおりである。

響灘は武久川の TN・TP 濃度が大きく低下した。また、友田川・武久川の負荷量が減少したことにより、灘への流入負荷量は TN・TP とともに減少傾向であった。周防灘は東西ともに比較的小規模な河川が多く、一級河川の佐波川は TN・TP 濃度の値が低いことから、流入負荷量に大きく影響する河川はなかった。また、河川ごとに TN・TP 濃度および負荷量の増減傾向は異なるが、結果として灘への流入負荷量には経年的な傾向はなかった。広島湾は濃度が上昇傾向にある河川があるものの、流入負荷量は流量の大きい太田川に依存しており、TN・TP とともに大きく減少傾向がみられた。安芸灘は河川によって増減傾向が様々であるが、黒瀬川の流量が突出して大きいため、灘への流入負荷量は TN のみの増加傾向となった。備後灘は TN 濃度が上昇傾向にある河川が多いが、流量の多い沼田川、芦田川の影響を受け、灘への流入負荷は増減傾向がない。備讃瀬戸は流量の大きい高梁川の負荷量に依存しており、TN・TP とともに灘への流入負荷量は増減傾向がない。播磨灘（岡山県域）は児島湖からの TN 負荷量が減少しているが、河川規模の大きい旭川と吉井川の負荷量に増減がなかったため、灘への流入負荷としては傾向がみられなかった。

なお、河川負荷量は河川流量への依存度が大きく、特定の河川が各湾灘の負荷量の大部分を占める。負荷量は TP よりも TN の変動が顕著、全体傾向として 90 年代までにピークに達し、減少に転じるケースが多い。中国地方 3 県全体でみると都市河川である太田川水系、芦田川、高梁川、旭川、児島湖樋門、吉井川からの流入負荷量が多い。TP、TN の濃度レベル、変動傾向は河川により異なっており、流域の環境変化の影響が大きいと考えられる。

予備課題「瀬戸内海における COD に関する研究」

○概要説明 駒井 幸雄 氏（大阪工業大学工学部環境工学科 特任教授）

大阪湾では N や P が減少しているが、COD は低下していない。その原因が不明であり、今後 COD の削減のための基礎的な情報を得るための研究を行っている。平成 26 年度は文献調査を行い、平成 27 年度は、①瀬戸内海における外洋水の影響に関する評価に関する研究、②瀬戸内海と外洋水の COD 変動に関する解析、③外洋水の水質調査を実施した。

瀬戸内海の水質測定結果の解析を行った結果、2000 年以降の COD はおおむね横ばい傾向であり、大阪湾を除いた瀬戸内海でもおおむね横ばい傾向であった。また、大阪湾及び播磨灘を除いた湾灘の水質測定結果と外洋水との相関関係を調べ、正の相関があることを確認した。このことから、瀬戸内海の水質に外洋水が寄与していることが推察できた。また、外洋水の分析結果から COD の上昇傾向も確認した。

○公募研究テーマ「瀬戸内海の COD に及ぼす外洋水の影響評価に関する研究」

矢吹 芳教 氏（（地独）大阪府立環境農林水産総合研究所 主任研究員）

瀬戸内海では、水質総量規制により陸域からの COD 発生負荷量は着実に減少し、2014 年度における COD 発生負荷量は 1979 年度の半分以下となった。しかし、大阪湾奥部などの最も汚染されていた海域を除くと、瀬戸内海全体の COD の経年変化は横ばいか、海域によっては漸増傾向を示している。この要因を調査す

るため平成 26 年度に文献調査を行った。その結果、要因として難分解性有機物の増加、藻類による内部生産の関与、COD の蓄積した底質からの溶出の寄与などの他に、外洋水の COD が増加しており、これが瀬戸内海の COD に影響を与えている可能性があることがわかった。

そこで、難分解性有機物の増加について検討を行った。滋賀県の調査では、琵琶湖北湖、南湖ともに COD に占める難分解性有機物の割合は増加しているが、COD 及び難分解性有機物の量は減少しており、瀬戸内海の COD の上昇に関しては難分解性有機物の増加に起因しないことが推察された。

次に、外洋水の COD について、平成 27 年度から 28 年度にかけて、現在の外洋水の COD を調査し、その鉛直分布や季節変動を明らかにするとともに、過去の外洋水と比較して COD が上昇傾向にあるか否かを解析した。また、過去のデータから外洋水の上昇が瀬戸内海に影響を与えているかどうかについて解析を行った。

環境省の 1975～1996 年までの日本近海海洋汚染実態調査および海洋汚染モニタリング調査の中で測定した COD のデータでは、紀伊水道～太平洋に位置する地点では 1980 年以降に COD が増加傾向であることが推察された。

徳島県沖の地点の COD の鉛直分布および季節変動、また、外洋水の COD の瀬戸内海地域への影響を評価するため、徳島県沖の 2 地点において海水試料を採取した。また、大阪湾においても試料を採取した。徳島県沖の地点の COD には鉛直変化が見られた。10 月～12 月は明確な鉛直分布は見られなかったものの、それ以外の季節では表層～75 m が高く、それより底層では低くなった。この COD 値は、測定地点が近い過去の外洋水のデータよりも高く、20 年前に比べて外洋水の COD が上昇していることが推察された。

しかし、今回の調査から外洋水の COD には鉛直分布があることが明らかになっており、どの深度の外洋水が瀬戸内海に流入するかにより影響の大きさが変わる。したがって、今後は、外洋水の COD が瀬戸内海に及ぼす影響を定量的に評価する必要がある。

○質疑

西川：TP 及び TN の供給量増減と漁獲量の関係について教えてもらいたい。

惠本：TP 及び TN は、河川からだけでなく直接海に放流されるものもある。また、TP 及び TN の増減による植物プランクトンや動物プランクトンの増減、漁獲量の関係について具体的な考察ができるまでには至っていない。

正賀：外洋水の COD が上昇している原因は何か。

矢吹：明確な原因がわからない。大陸からの影響もあると思われる。

小北：下水処理場からの COD 負荷量は瀬戸内海においてどのくらいの比率なのか。

矢吹：発生負荷量をもとにその比率を調べているところである。しかし、発生負荷量データは最近のものしかない。最近のデータでは、山口県、広島県に関しては半分くらいであると推定している。

藤原：外洋水は栄養塩含んでいる。栄養塩は有機化され COD を高める要因になる。

小林：生活排水は下水処理場において人工的に処理されている。河川の自然浄化

によって海域に流入する COD と下水処理場で強制的に処理された COD の成分は相当異なる。発生負荷量が減少しても、それに伴って瀬戸内海の COD が低下するというのではないのではないか。

外洋水の COD が上がってきている原因について、大陸からの影響ということであったが、日本海側の COD は上昇していない。大陸からの影響があるとすれば、日本海側の方にもっと大きな影響が現れているはずである。影響が太平洋側だけであるのは不思議である。地球温暖化の影響かもしれない。黒潮と親潮の関係なども解析するとよいかもかもしれない。

矢吹：COD の構成成分が変化してきているかもしれない。その可能性について否定はできない。難分解性有機物の影響も考えられる。外洋水についても難分解性試験を行い、データを出していけば解明できるかもしれない。陸域からの COD や日本海の COD についても情報を得ていきたい。

(2) 小課題 2 「沿岸海洋食物連鎖系における栄養塩物質の循環に関する研究」

○概要説明 笠井 亮秀 氏（北海道大学水産科学研究院 教授）

1980 年代から陸域からの栄養塩は行政政策により減少し、海はきれいになってきたが、漁獲量も減少傾向が見られる。栄養塩の減少が、植物プランクトン等に影響して漁獲量も減ってきているのではないかという意見もある。しかし、栄養塩から漁獲物に至るまでには、複雑な生態系があり、単純に栄養塩が減ったので漁獲量が減少したのか正確に調べる必要がある。

このため、食物網調査と安定同位体分析結果をもとにした生態系モデルの構築を行い、1980 年代と現在の生態系がどのように変化したのか解析を行った。

○公募研究テーマ「瀬戸内海東部における海洋生物の食物網変動の検討」

山本 昌幸 氏（香川県水産試験場 主任研究員）

瀬戸内海の漁獲量は 1980 年代をピークに右肩下がりとなり、現在ではピーク時の半分以下にまで減少している。瀬戸内海を生物が多様で生産性の高い里海とするためには、一次生産者である植物プランクトンから高次捕食者までの「食う－食われる」の関係（食物網）を明らかにすることが重要である。これらを知ることで、多様性を維持しながら生産性を上げる施策の提案や漁獲量減少要因の特定に関する有益な情報を得ることができる。このため、本研究では、瀬戸内海東部の魚介類の食性を調べ、安定同位体比を分析することで、生態系の解明を試みた。そして、瀬戸内海東部における生態系モデルを構築し、植物プランクトンや漁獲量の増減による漁獲量への影響などを検討した。

食性調査では、備讃瀬戸、燧灘、大阪湾で 31 種約 1,700 個体の胃内容物を調べた。

炭素安定同位体比 ($\delta^{13}\text{C}$) は植物プランクトンや底生藻類などの海洋生物の食物源の推定、窒素安定同位体比 ($\delta^{15}\text{N}$) は食物連鎖における栄養段階の推定に用いた。その結果、小エビ類やシャコなどは底生藻類を、カタクチシラスなどの浮魚類は植物プランクトンを出発点とする食物網に依存していると推定された。また、栄養段階が低い二枚貝類や動物プランクトンから、小エビ類やカタクチイワシに、高次捕食者であるサワラやタチウオに栄養段階が高くなるにつれて $\delta^{15}\text{N}$ の比率は高くなった。

生態系モデル構築には(Ecopath with Ecosim)を用い、1983 年、1998 年、2013 年の

モデルを構築した。モデルを構成する生物群は、魚介類 18 種、クラゲ、ベントス、動物プランクトン、植物プランクトン、デトライタスの計 23 群とし、各種パラメータは既報の知見などから推定した。各生物群をつなぐフロー図から瀬戸内海東部の捕食被食関係が網目状になっていることがわかった。栄養段階別の現存量と漁獲量を年代間で比較すると、1983 年が現存量、漁獲量ともに高く、1998 年、2013 年と徐々に現存量と漁獲量は減少した。1983 年の栄養段階Ⅲの現存量と漁獲量は他の年代に比べ非常に高い値であったが、これはマイワシ資源の変動が関与していると考えられる。植物プランクトンを増減させた場合に現存量や漁獲量がどう変化するかをシミュレーションしたところ、植物プランクトンの増減に伴い、現存量、漁獲量ともに植物プランクトンの増減幅より大きく変動した。これは、瀬戸内海東部の生態系における植物プランクトンの生産力の重要性を示唆する結果である。また漁業の影響を分析した結果、2013 年の漁業が一次生産量を利用する割合は他の年より高くなっており、漁業が生態系に与える影響は近年高くなっていることが示唆された。これは生態系内の転換効率が低くなっていることが主要因である。

瀬戸内海の生態系は非常に複雑であり、生態系モデルには非常に多くのパラメータを用いている。その中には未だ値の確定していないものもあり、それらの値を変えることで、異なる結果が得られる可能性もある。今後、パラメータの検討を重ね、より信頼度の高い生態系モデルを構築したいと考えている。

○質疑

反田：資料に「漁業が生態系に与える影響は近年高くなっていることが示唆された。

これは生態系内の転換効率が低くなっていることが主要因である。」と記載されているが、漁業が生態系に与える影響が強くなっているということは、漁獲対象魚の魚食制御が大きくなって、基礎生産に与える影響は大きくなっていることだと思う。しかし、「生態系内の転換効率が生態系に与える影響の主要因になっている」ことは理解しにくい。いろいろな栄養塩のパラメータが使われているなかで、ここまで断定することができるのか。

また、大阪湾と播磨灘では栄養塩の環境がかなり異なり、食性も海域ごとに差がある。さらに、漁獲組成も差があることから、それをモデルで一本化しているのも気になる。このような違いもあるので、さらに検討を進めてもらいたい。

西川：このモデルでは植物プランクトンについては現存量だけを用いているのか、質的な問題は考えなくてよいのか。

山本：このモデルでは植物プランクトンの質的な問題は考慮していない。パラメータをさわれば質的な問題に対応できると思う。

西川：植物プランクトンの現存量は 3 つの年で算出されているが、それ以前の 1970 年代の植物プランクトンの現存量は 3 つの年よりもはるかに大きく、一方、漁獲量は 80 年代の一番高かったときよりは低かったと思う。そうすると、「まとめ」に「植物プランクトン現存量の変動が多く種の現存量・漁獲量に影響を与えている。」と断定的に記載されているが、植物プランクトンの現存量の変動だけで、このことを説明できるのか。

山本：モデルでは、植物プランクトンの利用率を 2～3 割として計算しているが、利用率が 10% 変動するだけで大きく変動すると思われる。また、植物プランクトンの組成は、昔は動物プランクトンが利用しやすい珪藻類が主体であったが、最

近、珪藻の割合が変わってきている。これをモデルに反映することは難しく、このモデルの限界がある。

(3) 小課題3「浅場機能回復を目指した緩傾斜護岸および環境配慮型直立海岸構造物の機能評価に関する研究」

○公募研究テーマ「浅場機能回復を目指した緩傾斜護岸および環境配慮型直立海岸構造物の機能評価に関する研究」

上月 康則 氏（徳島大学大学院理工学研究部 教授）

瀬戸内海では、多くの藻場や干潟が埋め立てにより消失し、海岸線もその多くが直立の海岸構造物となり、浅場機能が低下している。水質が改善しても、豊かな海へと回復しないことの一因には浅場の機能が不足しているためとも言われている。しかし、藻場干潟といった浅場の復元・再生を実施できる場所は限られており、現在の構造物に浅場の機能を付与し、高めるといった対処も必要と思われる。

直立型海岸構造物は、防災、経済活動には優れるが、壁面が滑面で、単調な形状にある点に環境上の問題がある。直立面にすることで、浅場の生物生息場が激減し、コンクリート材料であるため、生息できる生物種はごく限られ、生物多様性は著しく低下している。さらに、夏期には壁面上に付着した生物そのものが、大量に脱落し、海底を汚濁させ、貧酸素化や無酸素化を助長する。

これに対し、防災、社会機能を損なわず、直立壁の問題を緩和させる「配慮」を行うことを目的に、種々の研究が行われている。基本的な考え方は、直立壁に多様な場を設けることであり、目標とする生態系は、岩礁生態系である。藻場造成や人工干潟といった規模はないが、配慮適用できる場は無限にある。今回は、配慮技術の中でも①大規模なもの、②小規模なもの、③津波防災と環境との両立の3つに区分し、それらを代表するものを紹介する。

環境配慮構造物を大別すると、緩傾斜型、外部据付型、内部型、水没・腹付型に区分できる、今回は、①緩傾斜護岸、②ケーソン形式（エコケーソン）、③くぼみ形式、④ボサ形式、⑤ロープ形式、⑥水没・腹付形式（津波防災と環境の両立）の6つの構造物・技術について報告する。

緩傾斜護岸においては、直立壁面の3倍もの種類の海藻が定着し、石の積み方を複雑にすると、それに応じて海藻はさらに増加、多様性は高まった。エコケーソンの内部には、磯場に特徴的に見られる種類の動物が多数確認され、それらの生物間で多様な食物網が形成されていることがわかった。一方、小規模の奥行き約20cm窪みを作ったパネルを設置するとそこに海藻やカニなどが定着し、特にタイドプール型のものにはアサリも確認できた。またボサ形式の籠を底層が貧酸素、無酸素化する尼崎運河に設置したところ、底魚の稚魚が多数、ボサ内で確認でき、ある時にはウナギも認められた。さらに護岸に沿わせていたロープには、底層が無酸素化する時には、カサゴの成魚が確認できた。以上、構造物の形状を複雑にすると、様々な生物がそこを利用し、食物網が形成されることがわかった。また環境の悪化する場では、小規模なものでも多くの生物に利用されていた。今後、生物の利用に応じた材料を検討、実験することで、直立護岸にも効果的な浅場機能を付与することもできると思われる。

東日本大震災後、津波防波堤には腹付工などを設置し、“粘り強さ”が必要とされるようになった。この腹付工の上端の水深や構造を工夫すれば、海藻の基盤となつて、藻場が形成されることが確認されている。津波防災と環境保全を両立させる構造物の一つである。

どのような場や構造に対しても適用できる環境配慮の技術や構造物はおおよそ開発されている。環境配慮を進めるにあたっての問題には、コスト、費用対効果や労力などがある。コストについては、安価でできるものも多く、大規模なものであっても十分な B/C が得られた事例もある。また市民協働での環境配慮の取り組み事例もあり、適切なプログラムがあれば、協働での利活用や社会的ニーズを高めることもできると思われる。

○質疑

秋山：貧酸素状態の場合において、ロープ形式が魚の逃げ場になるメカニズムについて説明してもらいたい。

上月：底層には酸素がなく上層には酸素が残っている状態のときに、魚が行き着いた先に偶々ロープがあったと推察される。

小林：ケーソン型には、溶存酸素があるから生物が生息するのか。

上月：溶存酸素があるから生物が集まり、ヘドロが蓄積されない。

藤原：どの部署が緩傾斜護岸の採用を決定するのか。

小林：関西空港の場合、埋立担当者が、緩傾斜護岸が直立護岸よりも波に対して安定性があることから緩傾斜護岸の採用を決定した。環境配慮措置は全く考慮していなかった。現場ではきれいな石積みが行われており、波が跳ねない発想で行われている。結果的に緩傾斜護岸が採用された。しかし、環境アセスメントの際に、環境部門が緩傾斜護岸の採用を強く主張すれば、採用されると思う。

(4) 総合討論

首藤：エコパスのモデルにおいて、ベントスの現存量をモデルにより算出されているが、計算が荒いような感じを受ける。もう少し改善が必要ではないか。

山本：各水産試験場においてベントスの調査を行っているが、各年代において統一された方法で調査を行っていないことから、今回はモデルを用いて算出した。今後、水産試験場の報告書や環境省のベントスの調査データを活用していきたい。

首藤：バイオマス等を様々な数値に変換するのはわかるが、もう少しバイオマスを正確に把握していく必要がある。

秋山：転換効率の定義を教えてください。

山本：転換効率は、エコパスに数値を入力して算出された数値である。ブラックボックスになっている感じがある。

秋山：転換効率の算出がブラックボックスになっているのは、如何なものかと思う。

瀬戸内海において NP の回収率が高くなるにつれて、転換効率が上がってくる理由がわからない。先日の瀬戸内海環境保全知事・市長会議のワーキング会議では、動物プランクトン現存量は仮の数字が入っていたと思うが、今回はその数字の見直しをされたのか。

山本：数字の見直しを行い、2013年の動物プランクトン現存量は少し低くした。その後、モデルで転送効率を検証したが、結果は変わらなかった。

秋山：転換効率の基礎となる数値がないことから、物質循環がうまくいっていないという結論にするのはいかがなものか。

山本：転換効率を求める際、動物プランクトンは転換効率にそんなに影響は与えなかった。動物プランクトンより高次の漁獲量が大きく変化したことが、転換効率に関係したと考えている。

上田：瀬戸内海では溶存酸素量が減少している。この点について考慮しなければならない。また、近年、瀬戸内海の植物プランクトンの状況は非常に難しい状態になっている。浅瀬が狭くなり、護岸が変わってしまっていることもある。底生生物が住みやすい砂浜にすべきと思う。このような点について検討を行っていただきたい。

多田：溶存酸素量については広範囲に調査を始める必要がある。各小課題の担当・企画委員を中心に検討したい。

上月：小課題3では、溶存酸素がない場所に生物の生息場所をつくる研究を行っている。一方、土木学会では、曝気機能を持つような護岸を作ろうという話がある。大阪湾で溶存酸素量の研究を行っている研究者とも連携して検討していきたい。

藤原：山本氏の発表では、転換効率の変動にはマイワシの影響が大きいと言われていたが、マイワシは瀬戸内海と太平洋を行きかう。マイワシの太平洋への出入りは、モデルにおいて考慮されているのか。

山本：モデルでは、マイワシは稚魚の段階で瀬戸内海の東部に入り、瀬戸内海で成長していると仮定している。

藤原：太平洋から瀬戸内海に入っているマイワシは、体調15cm程度のもので、稚魚とは言えない。また、大量に瀬戸内海に入ってくる。太平洋への出入りがあるので、このモデルでよいのかどうか考慮する必要があるが、このモデルにはマイワシの太平洋への出入りが入っているのか。

山本：入っていない。

田原：上月先生の提言は、今後豊かな海づくりを目指すために素晴らしい提言であるが、どこに提言を行っているのか。民有護岸のエコ化面積を緑化面積としてカウントするのは素晴らしいアイデアである。

小林：瀬戸内海研究会議は、瀬戸内海の各府県、環境省、国交省にこれまで2回程度提言を行っている。これからも提言を行っていく必要がある。そのような中で、栄養塩の循環や溶存酸素の問題があり、全部一緒にしてもなかなかまとまらないので、一つ一つ整理していかなければならない。また、それ以外の課題について確認を行い、総括的に研究会議として提言していく必要がある。

これまで瀬戸内海は一つという考えで対策が進んできたが、瀬戸法が改正され、地域特性を考慮して地域会議で考えた対策を講じていくこととされた。このような状況の中、瀬戸内海研究会議が地域行政に提言を行い、刺激を与えていくというのが大変重要ではないかと考えている。