

大阪湾圏域の海域環境再生・創造に関する
研究助成事業（平成23年度実施）成果発表会

プログラム

◆開会

13:00～13:20

- あいさつ 矢野 久志（大阪湾広域臨海環境整備センター常務理事）
- フェニックスセンターの紹介
「センター事業の課題と戦略的な海面処分場の設計・維持管理」
樋口 進（大阪湾広域臨海環境整備センター環境課長）

◆個別発表

13:20～16:30

1. 播磨灘、加古川流域を対象とした難分解性有機物及び窒素、リンに関する特性評価
吉田 光方子（(財)ひょうご環境創造協会兵庫県環境研究センター）
2. 土地利用履歴からみた塩性湿地の基盤環境と塩生植物の現状との関係性に関する研究
～淡路島東部成ヶ島を事例として
上田 萌子（兵庫県立人と自然の博物館自然・環境マネジメント研究部）
3. 須磨海岸における砂浜生態系の修復を目標とした順応的管理手法の提案(その2)
松沢 慶将（神戸市立須磨海浜水族園研究企画課）
4. 大阪湾岸河口域周辺における地表水―地下水交流プロセスを考慮した栄養塩負荷の再評価
小野寺 真一（広島大学大学院総合科学研究科）
5. 河川下流から河口域にかけての有毒赤潮発生機構の解明と抑制方法の検討
林 美鶴（神戸大学自然科学系先端融合研究環
内海域環境教育研究センター）

----- 休 憩 15:00～15:10 -----

6. アサリをモデルとした大阪湾および周辺海域の干潟生物ネットワークの解明
浜口 昌巳 ((独)水産総合研究センター瀬戸内海区水産研究所)
7. 大阪湾・播磨灘における二酸化炭素の挙動と収支に関する研究(その2)
藤井 智康 (奈良教育大学教育学部)
小林 志保 (京都大学大学院農学研究科)
8. 大阪湾圏の浅海域成育場が魚類生産に果たす役割の定量評価:広域調査による
空間変動解析(その3)
小路 淳 (広島大学大学院生物圏科学研究科)
9. 大阪湾の植物プランクトンの季節・経年変動とその要因(その3)
多田 邦尚 (香川大学農学部)

◆質疑 16:30～16:40

◆講評 16:40～16:55

柳 哲雄 (選考委員会委員長)

◆閉会あいさつ 16:55～17:00

松田 治 (瀬戸内海研究会議会長)

播磨灘、加古川流域を対象とした難分解性有機物及び窒素、リンに関する特性評価

吉田 光方子
(財)ひょうご環境創造協会
兵庫県環境研究センター 主任研究員

[研究目的]

瀬戸内海は種々の規制により、陸域からの汚濁負荷量が削減され水質改善が進んできた。しかし、大阪湾における COD の環境基準達成率は未だ十分ではなく、その一因と考えられる難分解性有機物の存在が注目され、実態を解明することが求められている。一方、播磨灘においては、COD、窒素、リンの環境基準達成率が高いものの、ノリの色落ちや漁獲量の減少など生物生産性の低下が新たな問題となっている。

そこで、本研究では、長期間生物に利用されず海域中に存在していると考えられる難分解性有機物及び窒素、リンについて、陸域からの負荷を中心とした挙動を解析し、陸域・海域を含めた流域全体の汚濁物質を管理するための新たな施策に資する知見を得ることを目的として、陸域、海域の両面から有機物及び窒素、リンの生物利用可能性に焦点を当て長期生分解試験を実施した。

[研究方法]

1. 試料採取

試料は、加古川流域の陸水及び河口近くの沿岸部から沖合にかけて播磨灘の表層水を夏季に採取した。採水地点を Fig.1 に示す。陸域は、下水処理場(P1)、製鉄工場(P2)、製紙工場(P3)、水田用水路(Q1)、ダム(Q2)、ため池(Q3)、河川4地点(R1~4)の計10地点とし、海域は5地点(S1~5)である。

2. 試料調製

溶存態の項目を分析するための試料は、Whatman GF/C によりろ過を行い調製した。(以下、前述の試料を「ろ過試料」、未ろ過試料を「生試料」と表記する。)

海域5地点の長期生分解試験には、生試料そのものを用い、陸域試料の長期生分解試験には、S5の海水を濃縮して得られた塩類等を溶解させ、塩分濃度を調整した試料に、S3の海水を10%となるように植種したのものを用いた。長期生分解試験の条件は、暗所、 $20 \pm 1^\circ\text{C}$ の条件下で通気性を保ちながら100日間振とうした。この100日後の試料についても、採水直後の試料と同様にろ過を行い、ろ過試料と生試料にわけ、分析に供した。100日生分解後のろ過試料に含まれる有機物を「難分解性溶存有機物」、生試料に含まれる有機物を「難分解性有機物」と定義した。

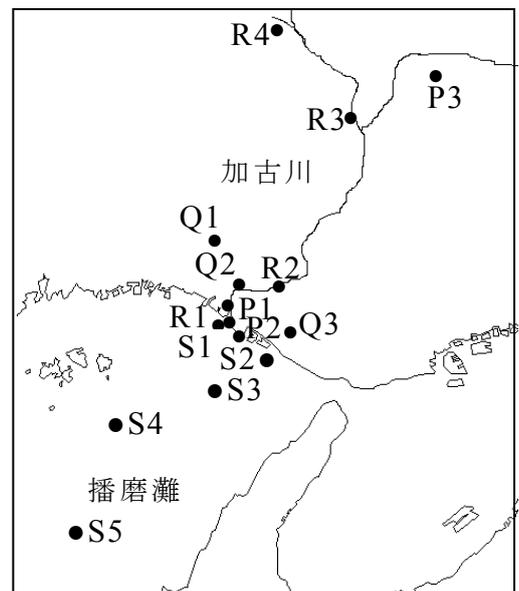


Fig.1 採水地点

3. 分析項目及び測定方法

採取試料、BL 及び 100 日生分解後試料について、COD、溶存態 COD (d-COD)、全有機炭素 (TOC)、溶存有機炭素 (DOC)、全窒素 (TN)、溶存態窒素 (DTN)、溶存無機態窒素 (DIN: $\text{NH}_4\text{-N}$ 、 $\text{NO}_2\text{-N}$ 、 $\text{NO}_3\text{-N}$ 合計値)、全リン (TP)、溶存態リン (DTP)、溶存無機態リン (DIP: $\text{PO}_4\text{-P}$) を測定した。懸濁態の COD 及び有機炭素 (以下 p-COD、POC) は、COD、TOC から d-COD、DOC を差し引くことにより求めた。同様に TN、TP から DTN、DTP を差し引いた値を懸濁態の窒素、リン (PON、POP)、DTN、DTP から DIN、DIP を差し引いた値を溶存態有機態窒素、リン (DON、DOP) とした。

また、ろ過試料を用いて、波長 260nm における吸光度 UV260 (日立 U-2001 使用) の測定、3 次元蛍光スペクトル分析 (日立 F-4500 使用) を行うとともに、ゲルろ過を実施し、各分画について溶存有機炭素 (DOC) を測定し、ゲルクロマトグラムを作成した。

なお、長期生分解試験 0 日目の試料の各成分濃度については、採取試料、BL 及び植種試料の濃度から算出して求めた。

[結果と考察]

1. 窒素およびリンにおける態別変化

陸域及び海域試料の生分解前試料 (0d) 及び 100 日生分解後試料 (100d) の窒素濃度を Fig. 2 に示す。0d と比較すると、100d において、窒素、リンともに懸濁態は概ね減少し溶存態に変化していた。0d の DON 濃度は 0.37~0.85mg/L の範囲で他の窒素成分と比較し採水地点による差が小さかったが、100d では ND~1.3mg/L と地点による差は大きくなった。一方、0d の DOP 濃度は、0.01~0.05mg/L であり、100d では、N.D~0.02mg/L と概ね減少していた。

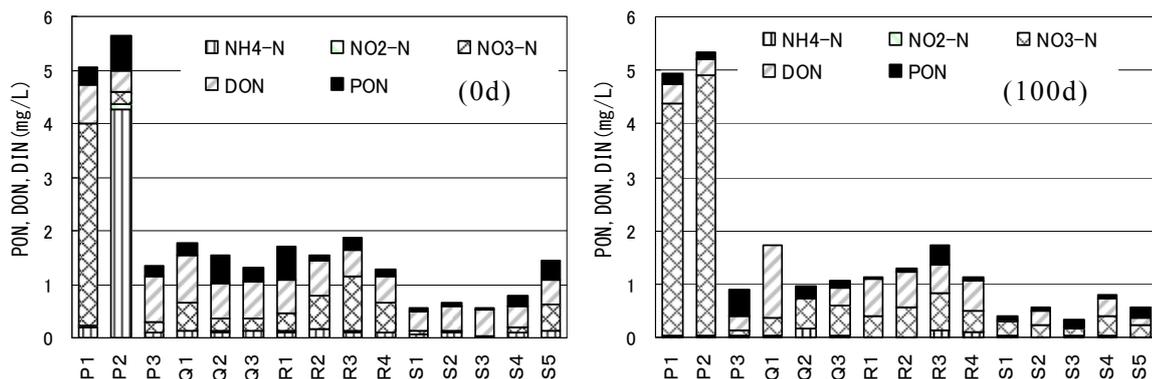


Fig. 2 生分解試験前後の窒素濃度

2. COD 及び TOC を指標とした態別有機物量

陸域採取試料、海域生分解前試料 (0d) 及び 100 日生分解後試料 (100d) の COD 及び TOC の結果を、溶存態と懸濁態に区分して Fig. 3 に示すとともに、海域 5 地点における 100 日生分解試験後の有機物の残存率を COD 及び TOC 別に Table1 に示す。

ただし、COD の単位は次式により酸素濃度を炭素濃度に換算して表記した。

$$\text{COD}(\text{mgC/L}) = (12/32) \times \text{COD}(\text{mgO}_2/\text{L})$$

陸域試料と生分解前の海域試料を比較すると、海域試料は懸濁態の占める割合は高かったが、100日間生分解後には海域試料の方が低くなり、生分解前の懸濁態の占める割合にかかわらず、難分解性有機物の大部分は溶存態となることが分かった。また、TOCとCODを比較すると、ダム(Q2)での差が最も小さく、海域試料は陸域試料に比べてTOCに占めるCODの割合が小さいことが分かり、海水は陸水に比べて、酸化を受けCOD値として評価される有機物の存存比率が低いことが示された。次に、100日生分解後の残存率をみると、いずれの地点もCODの方がTOCより低い値となることが分かり、COD値で表される有機物量は、TOC値で表される有機物量より生分解を受けて減少する率が大きく表れることが示された。さらに、TOCの残存率より、炭素濃度で換算すると、播磨灘海域の表層水中に含まれる有機物の50%以上が難分解性有機物であると考えられた。

3. UV260/DOCによる溶存有機物の構造特性

UV260/DOCが25mABS/cm/(mg/L)以上の高い値を示した渓流水(R4)と水田(Q1)において、UV260/DOCの値が高いと考えられる土壌腐植物質由来の有機物が多く含まれていることが示唆された。また、S1を除く海域試料では、100日生分解後にUV260/DOCの値が低くなることが認められたため、DOC値の高い沿岸域を除くと、芳香族や不飽和二重結合等の官能基の方が直鎖の部分より生分解を受けやすいと考えられた。

4. 3次元蛍光スペクトル分析による蛍光特性

3次元蛍光スペクトル分析により得られたピーク位置とその由来物質との関係より、海域試料に比べて陸域試料の方が腐植物質を由来とするピークが多く認められ、海域試料ではタンパク質を由来とするピークの方が腐植物質

Table1 TOC, CODの100日生分解後の残存率

Sample No.	S1	S2	S3	S4	S5
TOC(100d)/TOC(0d)	0.55	0.62	0.64	0.58	0.76
COD(100d)/COD(0d)	0.44	0.48	0.56	0.35	0.48

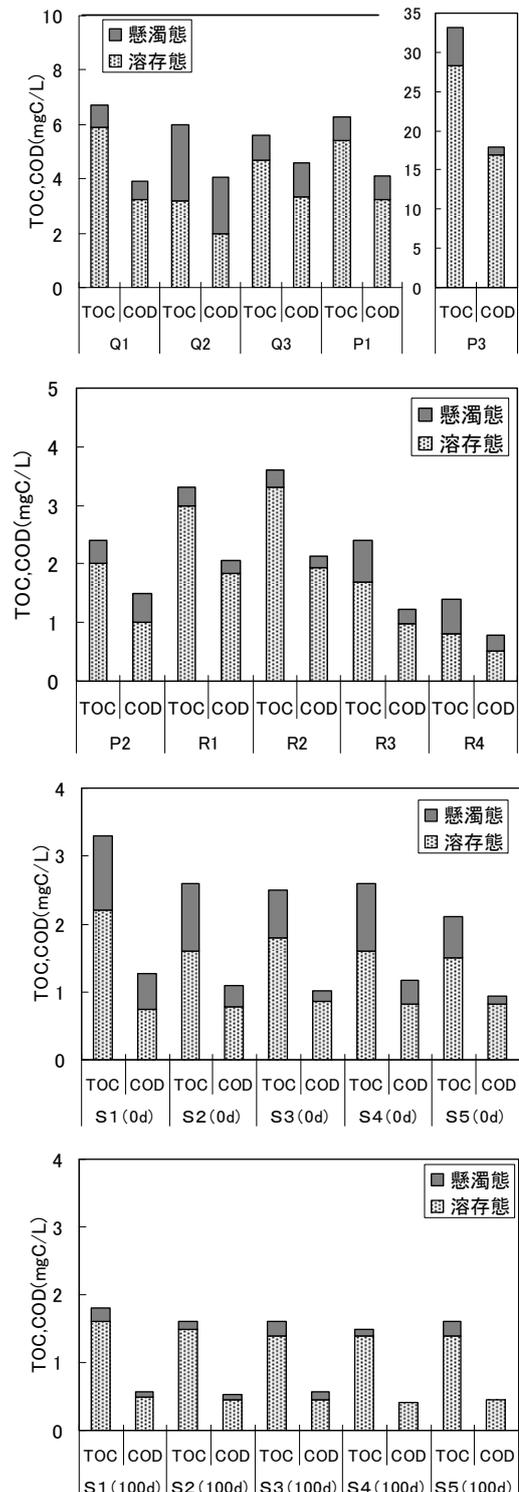


Fig. 3 態別 TOC, COD

を由来とするピークより多く存在することが分かった。また、海域、陸域ともに、生分解前に認められたタンパク質を由来とするピークの数も100日生分解後には減少し、腐植物質を由来とするピークの数が増えることが示された。

5. ゲルクロマトグラフィーによる溶存有機物の分子量分布特性

Fig. 4 に得られたゲルクロマトグラムの一部を示す。なお、Blue Dextran (分子量 2,000,000) と Vitamin B12 (分子量 1,355) の溶出位置より、Fraction No. 34 をみかけの分子量 1500 以上、Fraction No. 55 をみかけの分子量 1,355 の位置とした。陸域試料の結果より、陸域起源の溶存有機物は低分子量域にはほとんど分布しないことが分かり、生分解前の海域試料に認められる低分子量域のピークは内部生産由来と推測された。また、海域の生分解前後を比較すると、生分解前に低分子量域に認められたピークは100日生分解後に減少し、100日生分解後には分子量 1355~1500 の間に認められるピークが最も大きい値となることが分かった。さらに、100日生分解後の海域試料より、播磨灘海域の表層水中に存在する難分解性溶存有機物は、大部分がみかけの分子量 1355~1500 の間と低分子量域に分布し、わずかに分子量 1,500 以上の高分子量域に分布することが分かった。

[結論]

本研究では、播磨灘海域、加古川流域を対象として、陸域起源有機物、窒素、リンが海域中に残存する難分解性有機物、窒素、リンに与える影響を解明す

るための基礎的知見を得ることができた。今後は、さらに難分解性溶存有機物、窒素、リンの特性やその生成メカニズムを明らかにするため、他地域、海域との比較検討を進めるとともに内部生産についての知見を加えていくことが必要と考える。

[参考文献] 仲川ら；兵庫県環境研究センター紀要，1，25-30（2010） 今井；地球環境研究センターニュース 14(7)，11-14（2003） 福島ら；水環境学会誌，20(6)，397-403（1997） 福島ら；水環境学会誌 24(10)，686-692（2001） 亀井ら；水道協会雑誌，（519），24-41（1977）

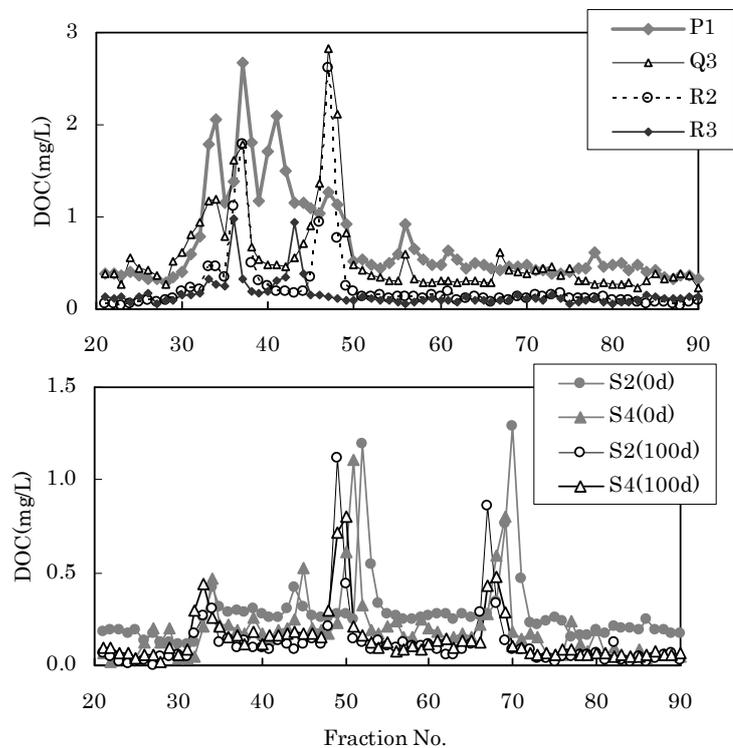


Fig. 4 ゲルクロマトグラム

土地利用履歴からみた塩性湿地の基盤環境と塩生植物の現状との関係性に関する研究
－淡路島東部成ヶ島を事例として－

上田 萌子

兵庫県立人と自然の博物館 研究員

[研究目的]

干潟の後背地に形成され、耐塩性の強い塩生植物等により特殊な生態系が構築される塩性湿地においては、限定された生育地が改変されることにより、塩生植物が年々数を減らしている。一方、日本各地で地域住民が中心となり、塩生植物を保全・管理する事例が増えつつある。貴重な生物の保全には地域住民による理解と活動が必要と思われるが、それらの活動は手探りで行われている場合もあり、データに基づき十分に検証されているとは言い難い。地域住民の活動の積み重ねや日々の営みといった人による自然への働きかけが、どのような形で植生の変化に影響を与えてきたかについては、里山を対象にした研究があるものの、塩性湿地に着目した例はほとんどない。

予備踏査の結果、淡路島南東部に位置する成ヶ島には、兵庫県版のレッドデータブックにも記載されるハマボウ群落を含む多様な塩生植物相を有す塩性湿地が維持されていることが確認された。同時に、成ヶ島で行われてきた地域住民の活動に着目すると、その内容や規模はレジャー利用やマツの植林活動など様々であり、近年は島の自然を保全する活動にも注力されていることがわかった。

そこで本研究では、塩性湿地の今後のマネジメントのあり方を探るため、約 50 年間にわたり島で行われてきた土地利用や管理活動に焦点を当て、現在の成ヶ島の塩性湿地の環境が形成された経緯を明らかにすることを目的とした。

[研究方法]

(1) 塩性湿地と周辺植生の変遷状況の調査方法

1) 過去の植生の調査方法

1962 年測図の 3,000 分の 1 地形図から、植生記号および植生の境界を示す破線を読み取り、空中写真と照らし合わせ、植生の分布を把握した。この読み取り結果と 1960 年頃に成ヶ島の対岸から撮影された写真を用い、当時の成ヶ島の景観を構成していた植生を把握した。また、1982 年の空中写真を用いて樹林の分布を把握し、1980 年に修正 (1970 年測図) された 2,500 分の 1 地形図に描画された植生記号と照らし合わせて、針葉樹、広葉樹、荒地の存在状況を確認した。

2) 現在の植生の調査方法

2009 年撮影の空中写真から相観植生を読み取り、2,500 分の 1 地形図に反映させ、2011 年 8 月に現地相観植生の優占種、林分構造、その範囲などを目視により確認した。相観植生は、「ハマボウ林」、「塩沼地植生」、「ウバメガシ林」、「砂丘植生」、「クロマツ林」、「その他樹林」、「その他草地」に分類した。「塩沼地植生」およ

び「砂丘植生」については、宮脇・奥田（1990）に示された標徴種等を用いて区分した。また、1960年頃に撮影された写真とほぼ同位置から写真を撮影し、景観の移り変わりの把握に用いた。

（2）島内の環境管理活動の調査方法

戦後から2011年現在において成ヶ島で行われてきた土地利用や管理活動を環境管理活動と定義し、1)基盤整備（土木構造物の設置や土地の改変等）、2)植栽管理（樹木の伐採や植林活動等）、3)日常的活動（清掃や祭りといった周辺住民による日常的な活動）に分類し、各活動の主体別（国、役場、地元）に整理した。活動内容およびその実施場所については、環境省近畿地方環境事務所、洲本市、地元住民を中心とした成ヶ島の自然環境保全団体（国立公園成ヶ島を美しくする会；以下「成美会」）にヒアリングするとともに、文献資料や地図、空中写真をもとに把握した。

[結果と考察]

（1）塩性湿地の変遷状況（図1）

現在のハマボウ林および塩沼地植生がみられる場所周辺の変遷状況に着目すると、島の南側のハマボウ林の周囲を囲んでいるウバメガシ林は、1960年代ではほとんどがクロマツ林だったことがわかった。1980年代にはそれらが次第に混在しつつあり、その後現状のように推移していることがうかがえた。島の北側の塩沼地植生（ハママツナ等）は、1962年では独立樹のクロマツが立ち並び、現在とは全く異なる景観を呈していたことがわかった。

（2）島内の環境管理活動の経緯（表1）

基盤整備に関しては、戦後から1986年までは主に保養場として必要な施設整備が行われ、環境省の直轄運営が始まる1999年頃からは自然観察や環境保全のための整備に推移していることがわかった。植栽管理に関しては、伐採と松くい虫被害によるクロマツの壊滅後、当初はクロマツの景観を取り戻すための植林が続けられるも根付かず、次第にハマボウ林や塩沼地植生の保全管理、外来種の駆除に注力されてきたことが読み取れた。日常的活動に関しては、以前は生活に必要な土地利用やレクリエーション活動が中心であったが、成美会が設立されてからは、島の自然環境を保全・再生するための活動に移行していることがわかった。

（3）考察

以上の結果より、成ヶ島における植生の変化を島内での環境管理活動との関係で整理すると、以下の3時期に区分してとらえることができる。

第一は、1945年～1960年頃の時期で、主にクロマツという単一の樹林によって形成されていた植生が、戦後の混乱や需要拡大といった社会的なインパクトを背景とした伐採により、量的に変化しているといえる。

第二は、1960年～1980年頃の時期である。この時期には、松くい虫被害という自然的なインパクトによりクロマツが打撃を受け、植生の量的変化が進んだことがうかがえた。また、1980年代に塩沼地の北側で針葉樹と広葉樹の混交林が確認されたこと

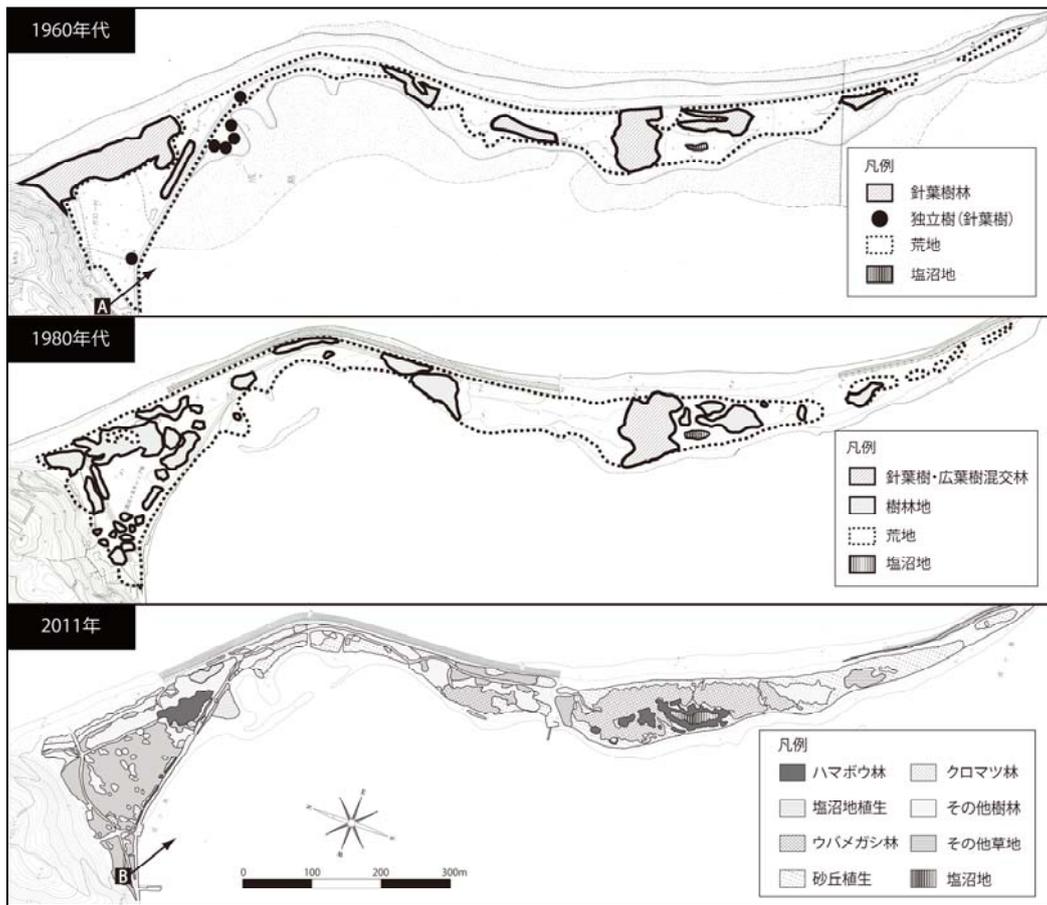


図1. 1960年代・1980年代・2011年の塩性湿地および周辺植生の分布比較

表1. 戦後の成ヶ島における環境管理活動の経緯

年代	社会背景・自然現象	基盤整備	植栽管理	日常的活動
1945年～1950年代	瀬戸内国立公園指定(1950) 米軍による占領の風評 造船用材の需要増	一部の民有地を残し国有地化(1956) キャンプ場の造営(戦後まもなく)	伐採・売却によりクロマツが多数消失(1945～1950年頃)	火葬場としての利用(明治期～昭和30年代) キャンプ場の管理・運営(戦後まもなく～1986)
1960年～1970年代	第二室戸台風(1961) 松くい虫被害によるクロマツの壊滅的枯死	高潮堤防完成(1968)		セメントプラント稼動(1960～1970年代)
1980年代	国民宿舎の利用者減 漂着ごみの増加 無人島化	国民宿舎閉鎖(1986) キャンプ場閉鎖(1986)		成美会設立 月1回の清掃活動開始(1989)
1990年代	第4回自然環境保全基礎調査実施(1989～1992) クロマツの枯死(1991) 台風9号により大量のごみ漂着(1997) ハマツナ等の塩湿地植生徐々に復活	クロマツ植林に併せた歩道の盛土造成 休憩所・水洗トイレ完成(1997) ハマツナの保護策完成(1997) 環境省の直轄運営開始(1999)	キャンプ場跡地の竹伐採 枯死マツ処分(1990) 洲本市政50周年記念植樹(松500本、梅20本、桜540本)(1990) 淡路橋立復活松植林協会によるクロマツ植林500本(1991) 枯死マツ処分(1991) 歩道造営で繁茂した竹の伐採 ハマボウ植林 植樹(松1000本、サザンカ40本)(1992) ハマボウの下草管理(以後毎年実施)	成ヶ島祭開始(1994) ハマボウ観察会開始(1996) 成ヶ島クリーン作戦開始(1998)
2000年以降	台風10号により大量のごみ漂着(2003) 台風21,23号により大量のごみ漂着(2004)	新棧橋完成(2000) 遊歩道整備(2002) 芝生園地整備 漂流ごみ防止フイ設置(2008)	ハマボウ管理のため塩沼池付近のウバメガシ伐採(2002頃) 抵抗性マツ植林(2004) 特定外来生物ナルトサワギク駆除開始(2006) 抵抗性マツ植林(2008)	凡例 国主体の活動 役場主体の活動 地元主体の活動

※1989年以降の地元の活動は成美会による

から、この時期にクロマツからウバメガシ等の広葉樹への植生の質的变化が始まったことが示唆される。なお、1977年の成ヶ島の植生について、「砂州の西側には、ハママツナやハマサジ等の塩生植物群落も見られる」との記述文献があることから、塩沼地植生もこの頃に成立していたと考えられる。

第三は、樹林面積が拡大し、ウバメガシ林やハマボウ林、塩沼地植生が一定の広がりをもって分布するようになった1980年～現在である。成美会の当初の植栽管理はクロマツ中心で行われ、その結果ハマボウ林と塩沼地植生の分断も引き起こされた。このことは、地元住民の中に白砂青松への憧れが強かったことを物語っている。しかし、クロマツが相次いで枯死したことに加え、環境保護や生物多様性に対する社会的な意識の高まりから、次第に成美会の活動目標がハマボウやハママツナ等の保全にシフトしたことが明らかとなった。直轄運営開始後の環境省による基盤整備は、これらの活動を後押しするものといえる。

3時期を通して、ハマボウ林や塩沼地植生が分布している場所の変化に着目すると、荒地やクロマツ林から徐々に現在の状態に至っていることが示された。これらの変化は、社会的、自然的なインパクトに加え、主に成美会による清掃活動や下草管理、観察会などの環境学習活動が一定程度寄与した結果であると示唆される。したがって、塩性湿地の環境形成とマネジメントにおいて、上記のような環境管理活動の継続が重要であると考えられる。

[結論]

本研究では、塩性湿地の今後のマネジメントのあり方を探るため、成ヶ島における1960年代から現在にかけての塩性湿地に着目した植生の変化と約50年間にわたる島内での環境管理活動との関係を調査した。その結果、現在ハマボウ林や塩沼地植生が分布している場所は、荒地やクロマツ林から徐々に変化したものであることが捉えられた。その要因の一つとして、戦後の混乱やクロマツの需要拡大といった社会的なインパクトや松くい虫被害といった自然的なインパクトとともに、地元住民によるハマボウ林や塩沼地植生の保全を目標とした環境管理活動があったことが示された。

一方、抵抗性マツの植林が継続されていることや一部の住民からクロマツの景観再生を望む声もあることから、成ヶ島に関わる主体の中で植生のあり方に対する考えが必ずしも一致していないことがうかがえる。したがって、これからの植生のあり方に対する情報共有や議論の場づくりが今後の課題の一つであると考えられる。

また、ハマボウ林における下草管理や塩沼地植生における漂着ごみの防止といった個別の管理内容が、ハマボウ林や塩沼地植生の環境形成にどのような影響を与えているかを調査することも今後の研究課題であると考えられる。

須磨海岸における砂浜生態系の修復を目標とした順応的管理手法の提案
(その2：砂浜生態系に係る課題解決手法の試験検討)

松沢 慶将

神戸市立須磨海浜水族園 研究企画課長

1. 背景と目的

大阪湾で最も大きな砂浜の一つである須磨海岸は、かつて遠浅の浜を有し、アサリやマテガイなどの潮干狩りが可能な豊かな海岸であった。しかし、1970年代に砂浜の保全を目的とした養浜が行われるようになって以降、アサリの水揚げが芳しくなく、種苗放流を行っても漁獲が安定しない状況にある。そこで、本研究では、須磨海岸の多様な利用形態を確保しつつ、健全な生態系を回復させ、生物生産機能を向上させるための順応的管理手法を提案することを最終目標とし、平成22年度には、まずアサリに焦点を当てながら砂浜生態系の現況を把握し、課題を抽出した。それをうけて、今年度は、アサリの競争者と捕食者に注目しながら現地調査を継続するとともに、競争者と捕食者の影響を調べ、その対策について検討した。

2. 方法

1) 室内実験

アサリに対するホトトギスガイの影響を調べる目的で、須磨海浜水族園内に浮遊幼生被食実験とマット下生残実験を行った。前者では、発生1日目のアサリの浮遊幼生約 1.75×10^7 個体を含む試水 500ml を入れたビーカーに、殻長 14mm～18mm のホトトギスガイ 3 個体を入れた実験区と入れない対照区とで、20 時間後の試水中の浮遊幼生の残数を比較した。後者では、ホトトギスガイのマットを全面（被度 100%）もしくはパッチ状（被度 50%）に被せた砂層内におけるアサリの 1 カ月間の成長および生残について、マットを被せない対照区のものと比較した。

現場でのホトトギスガイのマット駆除を想定し、マットを水槽内の砂層表面に、裏返して置いたもの、裏返して 10mm ないし 20mm 覆砂したもの、および裏返さずに 10mm 覆砂したものとで、その後 1 カ月間のマットの状態と生残を観察した。

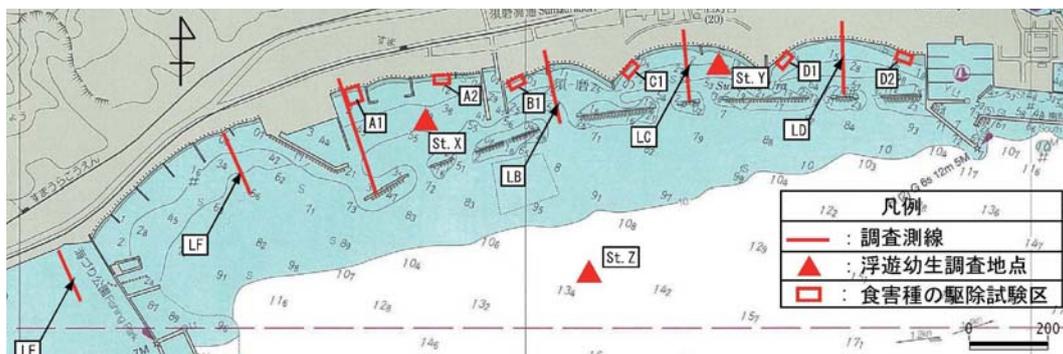


図1 須磨海岸の現地調査・野外試験位置図

2) 野外試験

ホトトギスガイのマットの駆除に効果的な海底耕耘の手法を確認するべく、5/31, 9/14, 10/15, 11/16 の計 4 回、漁業者が漁船でマンガをけん引する前と後に、それぞれ測線 LC (図 1) の海底の状況を潜水目視観察した。

アサリに対する食害種の影響を調べつつ、市民による駆除の可能性を検討するため、比較的アサリが多く分布する砕波帯沖の平坦な場所に約 0.1ha の試験区を 6 カ所設け (図 1: A1~D2)、ツメタガイ、ヒトデ類およびアサリを採集した。作業は、呼びかけに応じたボランティアの協力で 9-11 月に 3 回にわけて実施した。

3) 現地調査

春季調査では、平成 22 年度の夏・秋・冬に実施した調査の継続として、図 1 に示す須磨海岸に設けた 4 測線 (LA, LB, LC, LD) で、ベルトトランセクト法による潜水観察等により、地形、底質、底生生物を調査した。各測線上でホトトギスガイのマットが形成された地点とその沖側の 2 地点で、底質と底生動物の分析試料を定量採集した。また、台風やそれに伴う波浪等の気象イベントが海底の状態に及ぼす影響を調べるために、春季調査の後、上述の 4 測線および、追加の 2 測線 (LE, LF) において、ベルトトランセクト法による潜水観察を随時実施した。

二枚貝類調査では、アサリの繁殖期にあたる 5 月に、3 地点 (St. 1~3) で浮遊幼生を 2 回、底生動物を定量採取した地点で稚貝の着底状況を 1 回、それぞれ調査した。

3. 結果と考察

1) 室内実験

被食実験で、アサリ浮遊幼生は 20 時間で 23.4% に減耗し、対照区との比較からホトトギスガイ 1 個体あたり約 1200 個体捕食したと推定された。生残実験では、幼貝の殻長は実験期間中に対照区で平均 2.4mm 成長したのに対して、実験区では 1.7mm にとどまり、ホトトギスガイのマットの存在で成長は有意に低下した。成貝でも同様に対照区で平均 2.0mm 成長したのに対して、パッチ状マット区と全面マット区での成長はこれより低い値であった。但し、その差は有意ではなかった。幼貝の生残率は、対照区の平均 82.2% に対して、全面マット区では 34.5% と、著しく低下した。一方で、成貝の生残率は対照区の 72.0% に対して、パッチ状マット区と全面マット区ともにほぼ同じ値となった。

ホトトギスのマットは、裏返しただけでは死滅せず、概ね 2 週間で小型の個体が反転して砂底表面にマットを再生した。また、砂に 10mm 層厚で埋没させても、速やかに砂底表面に移動してマットを再生した。しかし、裏返しと埋没を組み合わせると、マットを構成した大型の個体は多くがへい死するとともに、1 ヶ月経過後も再生には至らなかった (図 2)。

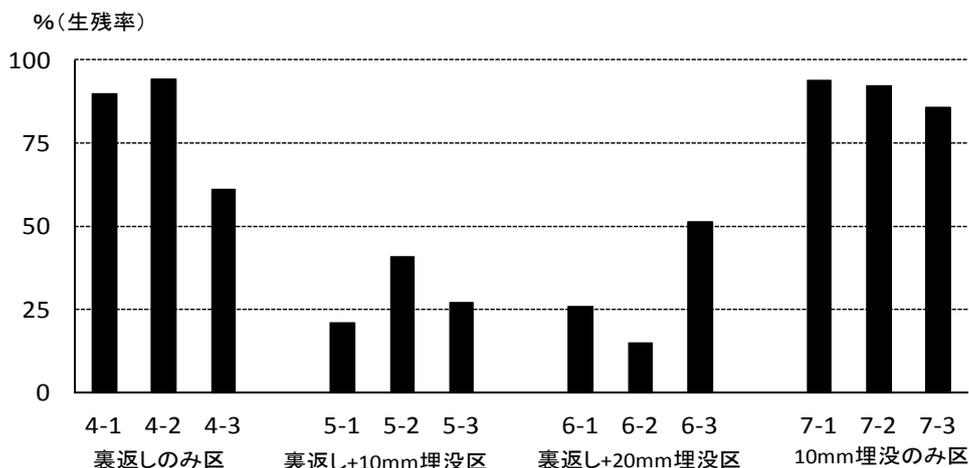


図2 ホトトギスガイマットの裏返し・埋没実験における実験区ごとの生残率

2) 野外試験

従来の手法を踏襲した5月の耕耘試験では、海底にマンガの爪の通過した筋がつく程度でホトトギスガイのマットは健在であった。これを踏まえ、より重く爪の幅の広いマンガに変更したところ、マットは確実に掘り起こされ埋没した。

食害種の駆除試験は、スキンダイビングで十分対応でき、0.1haの駆除に10人程度で1時間を要した。特に効果が得られた試験区D2では、マットが崩壊した後に大きな風浪でアサリが漂砂とともに岸側に打ち寄せられたらしく、そこに多数のツメタガイとトゲモミジガイが蝟集していた。トゲモミジガイの半数はアサリを捕食していた。アサリ死殻の20~30%にはタマガイ科に特徴的な食痕が認められた。その他の死殻は主にトゲモミジガイによる捕食の可能性がうかがえた。

3) 現地調査

マクロベントスの周年調査では、全体で198種群が出現し、個体数、湿重量ともにホトトギスガイが一年を通じて全域で優占した。このほかに、個体数ではカタマガリギボシイソメやケンサキスピオの環形動物多毛綱、湿重量ではホトトギスガイと同じ軟体動物二枚貝綱のサクラガイなどが優占し、汚濁の進んだ過栄養域、または汚濁した泥底環境が指標された。底質分析でも、ホトトギスガイのマットの下は還元的になっていた。

アサリの浮遊幼生は概ね離岸堤内で採集されたが、最大34個体/1000Lと平成22年度の10月と同様に少なかった。着底稚貝も、同じく10/0.01 m²のオーダーと少なかった。アサリは秋季に続いて春季も須磨海岸で繁殖しているが、その数はきわめて少ないことがうかがえる。通常、二枚貝の生産が経年的に安定しているのは、他の干潟や砂浜から幼生の供給によることが知られているが、本調査では、当該水域における他の水域からの幼生供給を確認できなかった。

4. 結論

本研究の成果を踏まえて、以下に、砂浜生態系の健全化に向けた課題解決方法を提案する。

1) 食害種の駆除

二枚貝の食害種はトゲモミジガイ、ツメタガイなどで、アサリの主要生息場において、二枚貝の繁殖後の初夏に駆除を開始する。その後、南からの大きな風浪などの気象イベントと同調して、岸際に集積する食害種を集中的に駆除する。駆除方法は市民に協力を得て、多人数の潜水による直接的な採取が現実的である。

2) ホトトギスガイのマットの発達防止

砂浜の岸側が二枚貝の生息地になりやすいので、ホトトギスガイのマットのうち岸際の崩壊させる。マット下層の環境は、群体をモザイク状にすることで改善する。マットを裏返すことや埋没させることに拘らず、部分的にはがすことを目標に耕耘する。さらに、南からの風浪や大きな引き波の発生が期待できる日の前に行うことで、より大きな効果を狙う。方法としては、岸側のマットの崩壊は急傾斜の斜面を均してその砂で埋没させることや、多くの潜水者で直接的耕耘する方法が考えられる。沖側は船を用いた耕耘による方法が確実である。

3) 二枚貝の再生産機構の構築

須磨海岸から離れたアサリがかつて多産した場所において、資源の回復策を講じるとともに、須磨海岸において食害を受けない成育場を造成する。具体的には、第一に浅場に砂泥まじりの礫地を造成し、第二に産卵母貝を籠に入れて生育・繁殖できるようにし、第三に種苗生産放流を積極的に行うことである。こうして、多量の稚貝着底を促し、再生産機構が形成されるまで、人為的なサポートを行う。

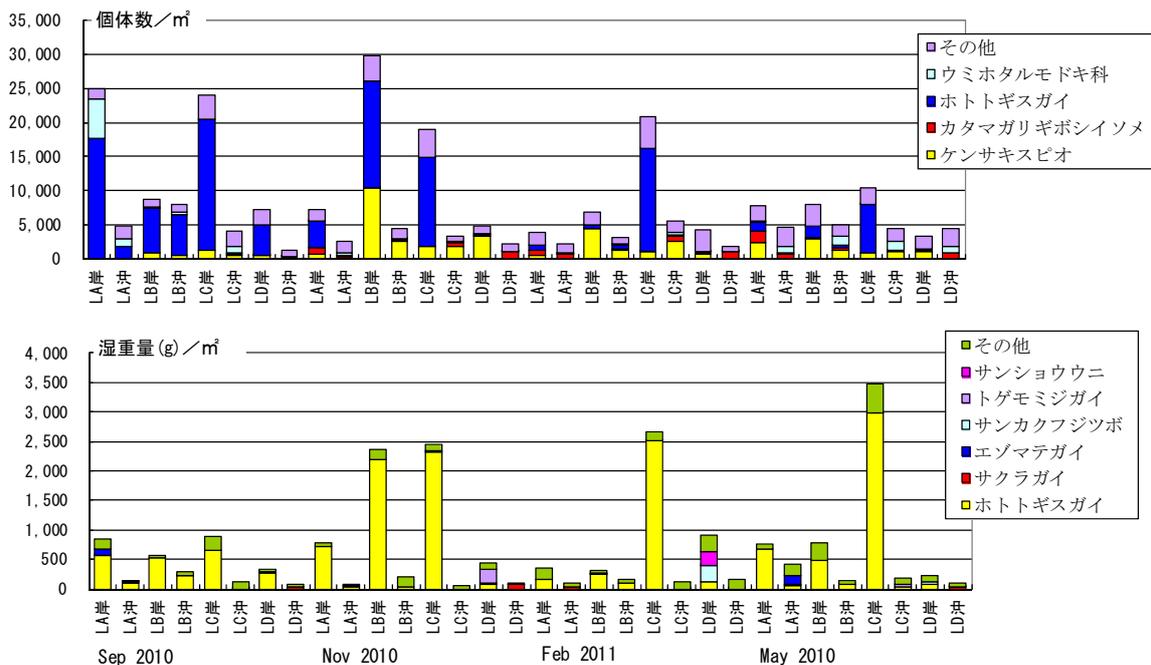


図3 マクロベントス組成の時空空間分布（上段は個体数，下段は湿重量）

大阪湾岸河口域周辺における地表水－地下水交流プロセスを考慮した 栄養塩負荷の再評価

小野寺 真一

広島大学大学院総合科学研究科・准教授

1. はじめに

大規模な一級河川から海域への栄養塩輸送量の一般的な評価手法として、従来は、塩水の侵入が無い地点における流量と河川水中の栄養塩濃度との積算により、栄養塩負荷量を推定する手法が取られてきた。しかしながら、現状は流量に比べて栄養塩濃度のモニタリング頻度は格段に少なく、また、河口近辺の塩水遡上域（感潮域）における栄養塩動態の変化や、洪水時における流出量変動等の非定常的なプロセスについては、依然として定量的な評価が不十分である。さらに、下流域は一般に河川水と周辺地下水との交流が生じる場に相当することから、河川中の栄養塩動態に及ぼす地下水の影響も評価する必要がある。申請者らのこれまでの研究結果から、大阪湾岸地域は、長期的には地下水の過剰揚水や埋立地造成にともない海域への深部地下水の流出がストップし、地下水水位が回復した現在も局所的に塩水侵入の傾向にあることが確認されている（Onodera et al., 2009; 小野寺ほか、2010; Onodera, 2011）。一方で、短期的には潮位変化や降雨浸透にともない地表水-地下水交流が生じ、河口域の栄養塩動態に大きな影響を及ぼすことも分かってきた（清水ほか、2009）。すなわち、河川からの栄養塩負荷を正

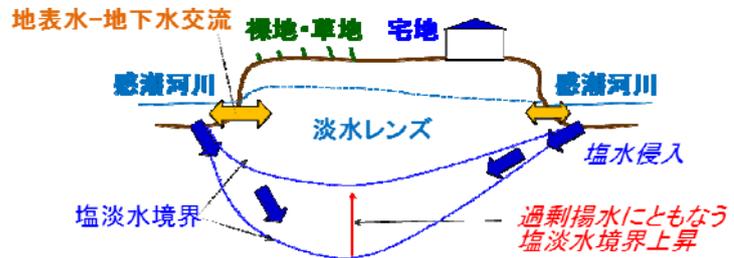


図 1 都市部埋立地周辺における地表水－地下水交流と淡水（地下水）レンズの模式図

確に評価するためには、河川感潮域における上記の河川水－地下水－海水間の相互作用（図 1）が栄養塩輸送に及ぼす影響を加味する必要がある。したがって本研究では、河川経由の栄養塩負荷量推定の高精度化を念頭に置き、大阪湾岸河口域周辺の栄養塩動態に及ぼす地表水－地下水交流の影響を明らかにすることを目的とした。

2. 研究方法

本研究では、大阪湾に流入する一級河川で、水質汚濁が深刻な大和川を対象とした。まず、(1)感潮域での地表水－地下水交流にともなう栄養塩動態を明らかにするため、地下水に関する既存情報の収集、整理を行うとともに、2011年9月28日～10月2日の大潮～中潮の期間において、阪堺大橋～遠里小野橋にかけての河口から約7km上流までの区間を対象に現地観測を実施した。最下流の阪堺大橋(0Y1

；現河口から 5km 上流)、大和川大橋 (0Y2 ; 6km)、および遠里小野橋 (0Y3 ; 7km) において河床部にピエゾメーターを設置し、間隙水圧のモニターを行うとともに、間隙水および河川水の採取を定期的に行った。また、河口付近に位置する南港 (0Y-Sea) では、定期的に海水の採取を行った。さらに、0Y1 では ADCP (ドップラー式流速計) による河川流速、CTD 計による河川水および間隙水の水温、塩分および水圧、ラドン分析器による河川水中ラドン (^{222}Rn) 濃度の連続モニタリングを行った。また、定期的に河川横断面での観測も行った。採取した水試料は、現地において電気伝導度 (EC)、溶存酸素濃度 (DO)、pH の測定を行い実験室において栄養塩 (DIN、DIP、DSi) 濃度、ラドン濃度の定量分析を行った。また、(2)~(4) 感潮域の上流側を含めた流域からの栄養塩輸送量の高精度な推定 (洪水時を含む) のため、今年度は、河川流量および栄養塩濃度に関する既存データの収集・整備を行うとともに、GIS による土地利用解析および準分布型水文流出モデル (SWAT モデル) による解析領域の設定と流量の推定を行った。

3. 結果と考察

(1) 感潮域における河川水-地下水交流

図 2 に最下流の阪堺大橋 (0Y1) における河川水位 (a) および河川水と間隙水との水位差 (b) の時系列変化を示す。図 2b で正の値は河川水位より地下の水位が高い状態で地下水が河川に流出していることを示し、逆に負の値は河川水が地下水へ侵入していることを示す。河岸付近 (赤線) では、河川水位が高い時期に正の値を示し地下水流出傾向を、一方河川水位が低い時期に河川水の侵入傾向という再循環傾向を示した。これに対して、河道中央付近 (青色) では常に負の値で河川水が地下へ侵入していることが明らかになった。

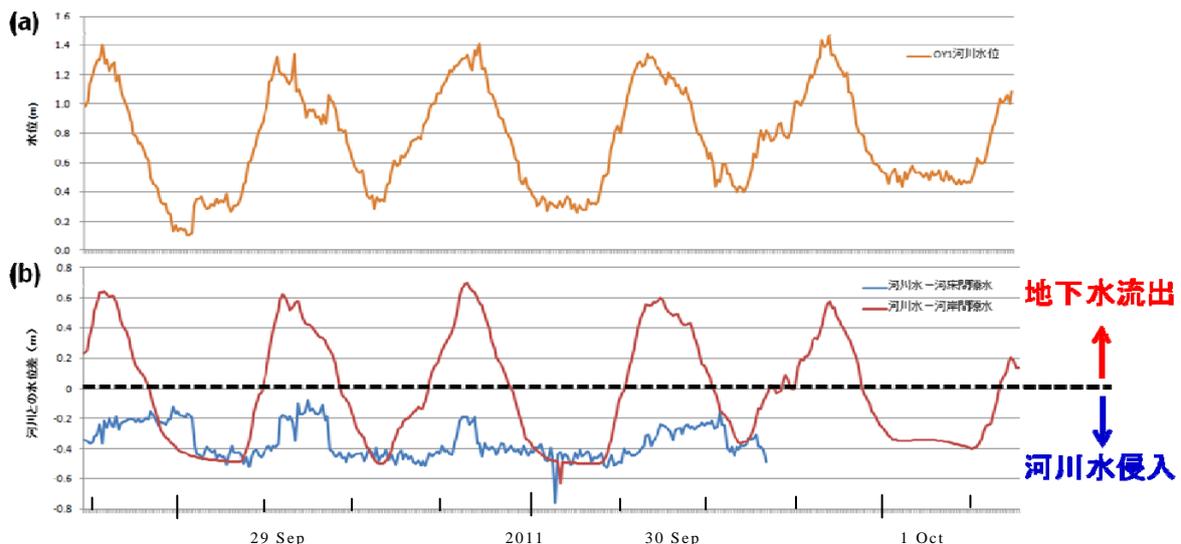


図 2 阪堺大橋(0Y1)での河川水位(a)および河川水と間隙水の水位差(b)の変化

また、河川水中でのラドン (^{222}Rn) 濃度の空間変化を確認した結果、0Y3 および 0Y2 では比較的高い濃度が検出されたものの、0Y1 においては海水 (0Y-Sea) とほぼ同じレベルであった。ラドンは、一般に地下水中に非常に高濃度で含まれ、地下水の

流出がより大きい場所では、河川水のラドン濃度も上昇すると考えられる。したがって、OY3~OY2までの区間は周辺地下水の流出域になっていることが示唆される。一方で、河口近傍のOY1では顕著なラドン濃度の上昇がみられなかったことから、地下水の河川への寄与は小さいと考えられる。この原因の一つとして、市街地における地下水の過剰揚水による水位低下が影響していると考えられる。実際に、大阪近郊においては地下水が下向きに流動していることが確認されている(小野寺ほか、2010)。

(2) 感潮域における栄養塩動態変化

図3に河川の上流側から下流側(OY3からOY1)へのそれぞれ硝酸性窒素変化量($\Delta\text{NO}_3\text{-N}$)とアンモニア態窒素変化量($\Delta\text{NH}_4\text{-N}$) (a)、総溶存窒素変化量(ΔTN) (b)および溶存有機態窒素変化量(ΔDON) (c)との関係を示す。変化量は全てOY1における濃度からOY3の濃度を引いた値であり、すなわち、正の値を示す場合は下流に向かって濃度が上昇しており(窒素負荷、内部生産など)、負の値を示す場合は下流に向かって濃度が減少している(浄化、希釈など)ことを示す。図中の

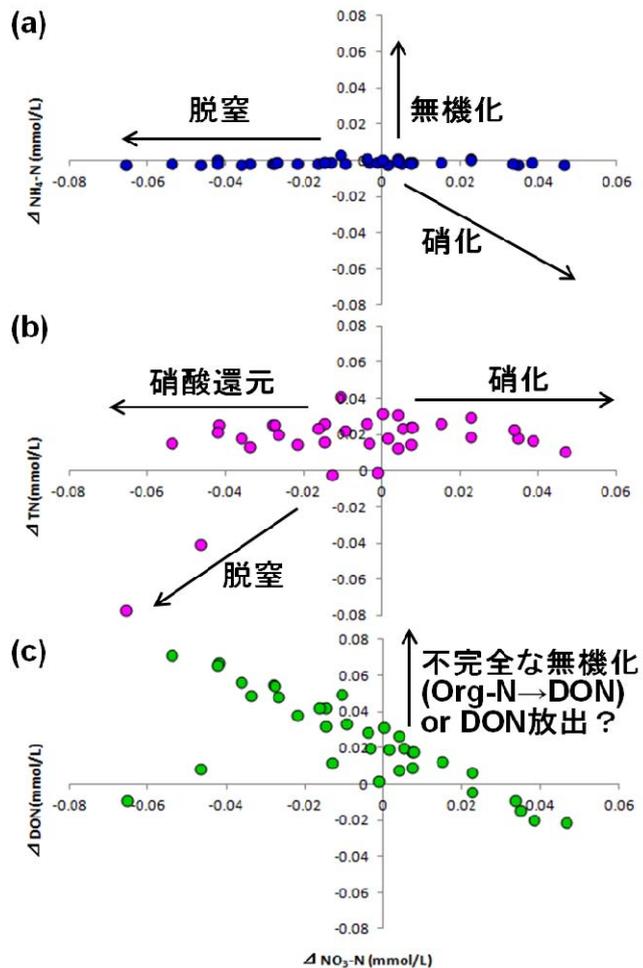


図3 上流から下流への窒素動態変化

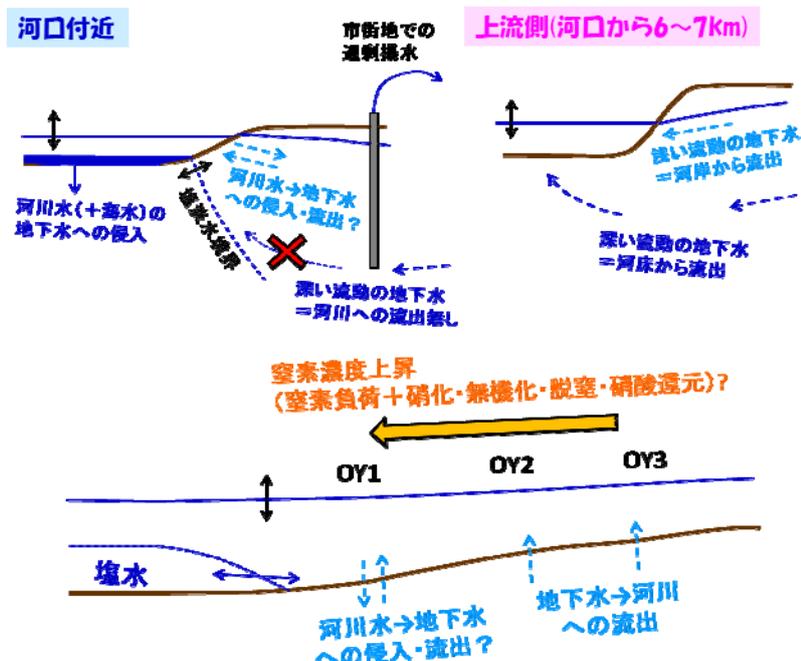


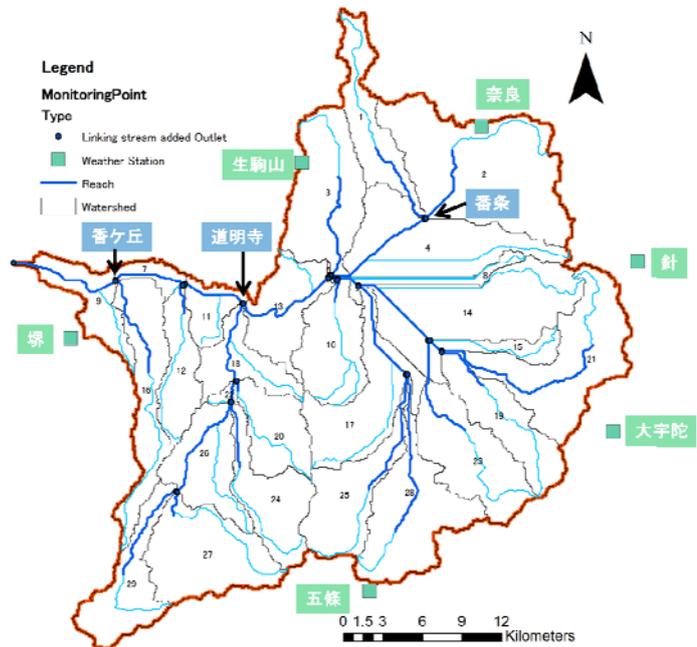
図4 大和川感潮域における地表水-地下水交流および栄養塩動態変化

矢印は、各反応にともなう変化を示す。以上の結果から、全体的にトータルの窒

素濃度は下流に向かって増加していることが確認されたが、 $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度の変化は小さいことから、硝化 ($\text{NH}_4 \rightarrow \text{NO}_3$)、脱窒 ($\text{NO}_3 \rightarrow \text{N}_2$)、無機化 ($\text{Org-N} \rightarrow \text{DON} \rightarrow \text{NH}_4$) および異化的硝酸還元 ($\text{NO}_3 \rightarrow \text{NH}_4$) 等のプロセスが複合的に生じていると考えられる。さらに、(c)より ΔDON の増加がみられることから、不完全な無機化によって、有機態窒素

(Org-N)が NH_4 まで変化せず DON の状態のまま水中に残存しているか、或いは河床堆積物中の有機物や植物プランクトンからの DON 放出 (Cook et al., 2004; Schlarbaum et al., 2011) が生じている可能性が考えられる。

以上の地表水-地下水交流およびそれともなう窒素動態変化についての模式図は図4に示す通りである。



(3) 大和川流域全体を対象とした栄養塩流出推定 図5 大和川流域におけるSWATモデルによる解析領域

図5に、大和川の香ヶ丘（流量）および浅香（栄養塩濃度）等の各観測所及び解析サブ流域を示す。流域の50m高度情報、地形、土地利用等のGISデータをもとに水文水質（SWAT）モデルにより解析を実施した。その結果、流量の変動が再現及び検証できた。今後、水質の再現を確認した上で、洪水時の栄養塩流出の時間変動解析を行っていく予定である。

4. 結論

本研究では、大阪湾岸河口域周辺の栄養塩動態に及ぼす地表水-地下水交流の影響を明らかにすることを目的とし、水質汚濁が深刻な大和川の河口を含む下流域を対象とし、現地観測およびモデル計算による評価を試みた。その結果、河口近傍では市街地における過剰揚水により、地下水の河川への流出が殆ど生じていない可能性が高いことが明らかになった。また、河川水の窒素濃度は全体的に河口へ向かって上昇する傾向を示したが、硝化、脱窒、無機化などの多様なプロセスが複合的に生じており、且つ大きく時間変化していることが示唆された。今後は、季節変化や洪水流出の影響を加味したうえで、モデル計算により大和川流域からの栄養塩流出をより高精度で評価していくことが課題である。

共同研究者 齋藤 光代（愛媛大学 CEMS）・清水 裕太（広島大学）
伊藤 浩子（（財）地域地盤環境研究所）

河川下流から河口域にかけての有毒赤潮発生機構の解明と抑制方法の検討

林 美鶴

神戸大学自然科学系先端融合研究環

内海域環境教育研究センター准教授

1. 目的

淀川では、大堰から下流の感潮帯でシジミの漁や潮干狩りが行われている。2011年4月上旬に麻痺性貝毒が検出され、大阪府は摂食や出荷の自粛を要請した。同様の事態は2007年にも発生しており、その後の研究で海洋性の植物プランクトンで有毒種の *Alexandrium tamarense* により引き起こされたことが明らかになった。淀川では、通常は汽水域に生息するクリプト藻が優占することが多い。しかし比較的低塩分に強い *A. tamarense* が増殖・赤潮を形成すると貝毒が発生する。両者の競合関係が塩分で決まるのであれば、淀川流量の制御で *A. tamarense* 赤潮や貝毒発生を抑制できる可能性がある。

本研究の最終目的は、シジミ貝毒の原因種である *A. tamarense* が淀川内で赤潮を形成する原因・条件を定量的に明らかにして、その抑制・制御方法を示すことである。そのためには現場観測と、これで得られたデータを元にした数値生態系モデルによる解析が不可欠である。本年度は、先行研究を調査して現時点の知見を整理・理解すること、観測の詳細を決定し実施することを目的として研究を進めた。

2. 観測

研究対象域は、図1に示す淀川感潮帯である。淀川大堰から河口のL1までを解析対象域として、この中に4測点と下流側に1測点を設定した。測点位置と番号は先行研究を踏襲した。淀川大堰からStn. 1までの距離は約12kmである。研究対象である *A. tamarense* は10~15°C程度で発芽し、その後増殖することから、観測は2~5月に実施した。

A. tamarense シスト採取のため、発芽前の時期に採泥を行った。小潮時期である2月16日の概ね高潮時間帯である9:30~12:30に実施した。採取にはKK式柱状採泥器及びエクマンバージを用いた。Stn. 1及びStn. 3では柱状コアをそれぞれ3本採取し、表面から3cmまで1cm毎に3深度から採泥した。同地点・同深度のサンプルは混合して、空間差をなくした。Stn. 5では柱状コアを1本採取して先と同様に採泥し、別にエクマンバージで表層泥の採取を1回行って、合計4サンプルを得た。Stn. 7及びStn. 9ではエクマンバージによる表層泥採取をそれぞれ2回行って、これらを混合して各地点で1サンプルを得た。同時に、各測点でCTD観測と表層・底層の2層採水を行い大阪府環境農林水産総合研究所水産技術センター(以下水産技術センター)で *A. tamarense* 細胞密度の測定を行った。

解析対象域の物理・流動構造の時間変動を詳細に把握するため、大潮時期に一潮汐

間に渡り CTD と ADCP による隔時観測を実施した。図 2 に観測を実施した 3 月 8 日の、気象庁による尼崎港の予測潮位と各観測実施時刻を示す。CTD による水温、塩分、光量子、蛍光光度、溶存酸素濃度、及び濁度の鉛直分布観測は、図 1 に示した 5 測点と、それぞれの間地点 4 測点の 9 測点でそれぞれ 4 回実施した。ADCP 観測は L1 での横断観測を 6 回行い、Stn. 9 から下流に向けて Stn. 1 まで観測した縦断観測を低潮時間帯に 1 回実施した。小潮時期の 4 月 2～3 日にかけても、一潮汐間に渡り隔時観測を行った。この観測では、以下の大潮観測に行った採水も実施した。



図 1 研究対象域と観測場所

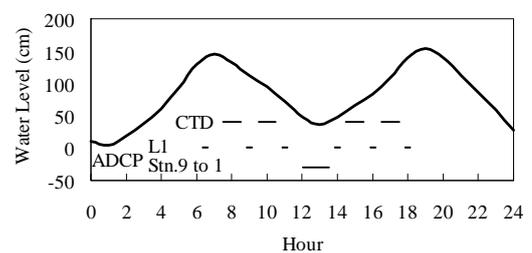


図 2 3 月 8 日の尼崎港予測潮位と観測時刻

大潮時期の 4 月 9 日、23 日、5 月 7 日、21 日の下げ潮時間帯に観測を実施した。大潮時期の観測では、まず L1 で ADCP による横断観測を行い、上流へ移動して Stn. 9～Stn. 1 の 5 測点で CTD による鉛直分布観測と 2 層採水を行い、再度 L1 で ADCP 横断観測を行った。小潮時期の観測では、L1 での ADCP 横断観測の後、CTD+採水と ADCP を 5 ルーチン繰り返した。採水は、表層(0m)をバケツで、底層(河床上 1m)を 5 L の北原式採水器で行った。これを分析用にポリ瓶に分注し、また船上でハンディ式蛍光光度計により蛍光光度を測定した。分析項目は、*A. tamarense* 細胞密度とクロロフィル a 濃度、全窒素、硝酸態窒素、亜硝酸態窒素、アンモニア態窒素、全リン、リン酸態リン、珪酸態珪素の各濃度である。細胞密度計測は冷暗状態で輸送して、大阪府立水産技術センターで即日計測した。クロロフィル a ・全窒素濃度測定は(財)ひょうご環境創造協会に委託し、冷暗状態で輸送して、前者は海洋観測指針に準じ、後者は銅カドミウムカラム還元法で一両日中に測定した。それ以外は吸光度式多項目水質測定器 (WTW 社 photoLab 6100) により、硝酸はレゾルシノール法で、亜硝酸はグリース反応法で、アンモニアはインドフェノールブルー法で、全リンとリン酸はモリブデンブルー法で、珪酸はシリコンモリブデンブルー法で測定した。いずれのサンプルも冷暗状態で保存し、溶存物質計測用の試水は直ちに濾過し、また全リンは加熱分解してリン酸に置換して、一両日中に計測した。

3. 結果

図3に、3月8日のL1でのADCPによる隔時観測結果を示す。東西流速の分布を示しており、東流が正である。淀川は北東-南西に延びているので、正の表示は上げ潮流である。また図の左側が西岸なので、下流から見る断面図である。図2の潮位変動では、図3(a)が高潮、(b)~(c)の時間帯は下げ潮、図3(d)~(f)の時間帯は上げ潮である。これに対して図3では、(a)~(c)の時間帯では表層約1mの範囲で強い下げ潮流で、その中でも(b)の時間帯で若干深く且つ強い。それより下層では、(a)の時間帯では概ね0~若干の下げ潮流、(b)では概ね0~若干の上げ潮流、(c)では弱い上げ潮流で、潮位の低下(この間に1m弱低下)に伴い、河口循環流の傾向が強くなっていったことが伺える。潮位が上げ潮に転じて以降は、(d)の時間帯では表層の一部に下げ潮流が見受けられるが、中層を中心に強い上げ潮流が観測された。その後、(e)の時間帯で表層約1mでは下げ潮流、下層では上げ潮流の河口循環流の構造を示したが、(f)では表層の下げ潮流が弱く下層の上げ潮流が強くなって(d)の状態に近づいた。低潮時間帯のADCP縦断観測結果では、L1地点ではこの直後の観測である図3(d)と同様の傾向であった。中層を中心とする強い上げ潮流は、6800m付近のStn.3の底層に向かって伸びており、これより上流ではほぼ一様に下げ潮流だった。最も高潮時間帯に近かった17時前後の塩分の鉛直分布では、Stn.4までは底層まで淡水が分布し、Stn.3より下流では最大26以上が観測された。これらの結果から、高潮時・低潮時とも底層に海水が浸入するのはStn.3付近までで、それよりも上流は淡水で占められていると考えられる。Stn.3の底層高塩分水は水深2.5m以深に分布しており、これはADCPとほぼ一致していた。

この様に潮流の状態に関わらず、底層からの海水の貫入はStn.3までで、その水深も潮流には寄らないと考えられる。Stn.3付近では急激に水深が浅くなっているため、高密度の海水がこれより先に遡上できない可能性が考えられる。では、*A. tamarense*赤潮が発生した年には、何故これよりも上流にまで海水が浸入できたのか？本研究の主目的は*A. tamarense*赤潮の発生条件を定量的に明らかにするであるが、海水の遡上条件を明らかにすることも、赤潮の抑制・制御や予報にとって重要な課題であると考えられる。

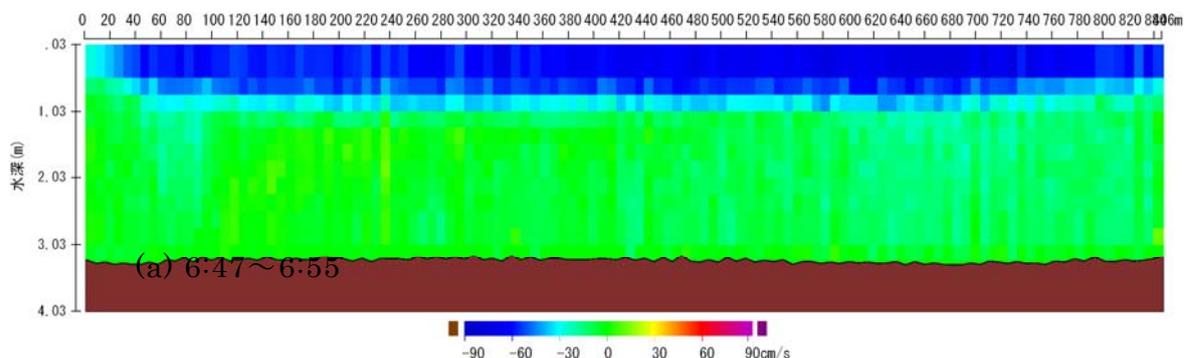


図3 3月8日のL1における東西流速分布の時間変動
東流(上げ潮)が正。横軸は、西岸からの距離。

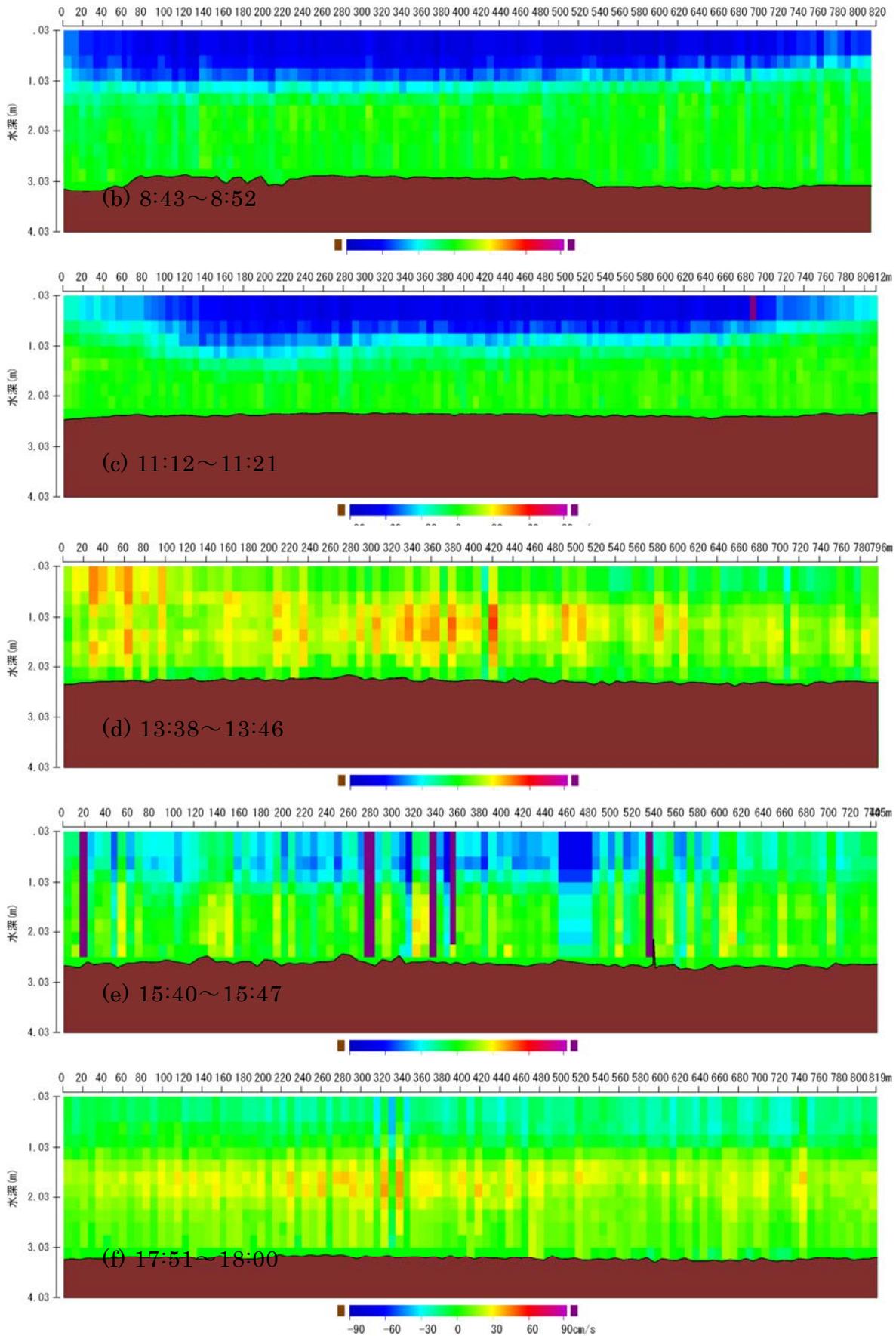


図3 (続き) 3月8日のL1における東西流速分布の時間変動
東流(上げ潮)が正。横軸は、西岸からの距離。

アサリをモデルとした大阪湾および周辺海域の干潟生物ネットワークの解明

浜口 昌巳

瀬戸内海区水産研究所・主幹研究員

1. 研究目的

浮遊幼生期を持つ海洋生物の幼生ネットワークを解明するためには、実海域において調査対象となる種の浮遊幼生の分布調査と海水流動シミュレーションモデルを組み合わせて推定する方法と、マイクロサテライト（以下MSと略する）マーカー等の高精度遺伝子マーカーにより個体群間の遺伝子交流の程度を調べることによって推定する方法がある（浜口他 2005）。このうち前者は、浮遊幼生がパッチ状分布をすることにより時空間的に高密度な調査が必要であるため莫大な費用が必要であるが、後者は比較的少ない費用で干潟生物の幼生ネットワークによる交流の程度を調べることができる。そこで、本研究申請では、MSマーカーを用いた方法により大阪湾およびその周辺海域のアサリ個体群を調べ、幼生ネットワークによる遺伝子交流の程度を推定する。これによって、大阪湾の干潟生態系の再生や、アサリ生産量の減少が問題となっている和歌浦等周辺海域のアサリ漁業再生のための方策を提唱することを目的とする。なお、本研究は大阪湾およびその周辺海域を広く網羅するために、2年間とする。初年度は大阪湾周辺海域でアサリを採集し、MSマーカーにより遺伝的相互関係を解析し、次年度以降は初年度の結果をもとに、保全やアサリ漁業の再生が急がれる場所等で地域特性や幼生分散に関わる潮流情報により個体群を追加選定して解析を行い、干潟生物間の繋がりから見た大阪湾の干潟生態系やアサリ等漁業の再生策を策定する。

2. 研究方法

1) 大阪湾及びその周辺のアサリ生息情報の収集

大阪府、兵庫県、香川県、和歌山県より各地の干潟の状況およびアサリの生息情報について聞き取りとともに、既存の資料における生息情報、漁獲状況等を調べた。

2) アサリ試料の採取とMS解析

本研究に供したアサリ試料は、兵庫県西播磨県民局光都農林水産振興事務所、兵庫県淡路県民局洲本農林水産振興事務所水産課、神戸市立須磨海浜水族園、神戸市栽培漁業センター、神戸市漁業協同組合アサリ会、大阪府環境農林水産総合研究所水産研究部、和歌山市役所まちづくり局産業部農林水産課水産班、和歌山県海草振興局企画産業課、和歌山大学、阿南工業高等専門学校、香川大学瀬戸内圏研究センター庵治マリンステーション、尾道市農林水産課の協力を得て採取した。採集場所は図1に示す和歌山県有田市有田川河口干潟、和歌山市和歌浦、大阪府阪南二区造成干潟、兵庫県芦屋市、神戸市須磨区一の谷、甲子園浜、洲本市由良、徳島県吉野川河口造成干潟、香川県鴨部川河口干潟、尾道市松永湾のそれぞれの漁場や干潟で一般的な放流サイズより小さく、現地で発生したと考えられる殻長10~15mm程度のアサリを100検体以上採取した。ただし、吉野川河口干潟では生息密度が極めて低く、34個体のみ採取した。

これらのアサリについて、殻長、殻高、殻幅を測定した後、閉殻筋を摘出してQiagen社のDNeasy Blood & Tissue KitによってDNAを抽出し、申請者らが開発したアサリMSマーカー（特開2010-233452）およびYasuda et al (2006)のうち、近接する個体群間の比較に有効な7つのマーカーを選択し、各個体群96検体をMultiplexPCRでそれぞれ4及び3マーカー同時にPCR産物を得た。得られたPCR産物中のフラグメントサイズの決定は、作業の効率化を図るために(株)日本総

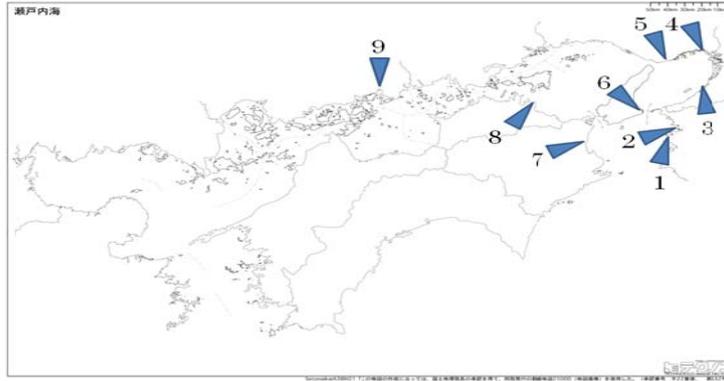


図 1. アサリ試料の採集場所

合科学環境事業部 DNA 多型検査課に外注した。これによって得られたフラグメントサイズ情報から、GeneAlex6.1 (Peakall and Smouse, 2006) を用いて分化係数 (Fst) やアサイメントテストによって個体群間の遺伝子交流の程度を調べた。

3. 研究結果

1) 大阪湾及びその周辺のアサリ生息情報の収集

MS マーカー用の試料を採集するに際し、各地でアサリ資源の状態について聞き取り調査を行ったが、ほとんどの地点でアサリは減少しており、1980 年代半ばごろのようにアサリが獲れるようにしてほしいという要望が強かった。各地ではそれぞれの地域毎にアサリ資源の再生を目指した試みが行われており、神戸市では神戸市立栽培漁業センターによる種苗生産と放流、和歌山県和歌浦では水産庁の藻場・干潟生態系保全事業による漁業者、和歌山市、和歌山県が連携してアサリ資源の再生が実施されていた。

2) アサリ試料の MS 解析結果

和歌山県有田市有田川河口干潟 (以下、有田とする)、和歌山市和歌浦 (以下、和歌浦とする)、大阪府阪南二区造成干潟 (以下、阪南とする)、兵庫県芦屋市 (以下、芦屋とする)、神戸市須磨区一ノ谷 (以下、一ノ谷とする)、洲本市由良 (以下、由良とする。)、徳島県吉野川河口造成干潟 (以下、吉野川とする)、香川県鴨部川河口干潟 (以下、鴨部とする)、尾道市松永湾 (以下、尾道とする) のアサリ試料を 7 つの MS マーカーで分析して得られた、分化指数 (Fst) を計算した結果を表 1 に、アサイメントテストによって得られた帰属個体群比率を表 2 に示す。

多くの個体群間で Fst 値はさほど高くは無かったが、FDR 法による multiple tests により有意差が認められた組み合わせを太字斜体数字で示した。大阪湾内の 4 個体群について見てみると、芦屋と阪南は有意差が認められなかったが、一ノ谷及び由良は芦屋、阪南と有意差が見られ、個体群間の分化が進んでいた。しかし、一方で、これらの個体群とはより遠方の大阪湾外の個体群とは Fst に有意差が認められなかった。アサイメントテストによって得られた帰属個体群の比率を見てみると、他の地域と比較して自らの個体群に帰属する比率が高い傾向を示した。

図 2 には表 1 および表 2 の結果から各個体群の関係について概念的に表した。図 2 では尾道、鴨部川、吉野川は“瀬戸内海アサリ”という仮想の個体群と表現した。この“瀬戸内海アサリ”個体群とほとんどの個体群は Fst には有意差が無かったが、由良の個体群はすべての個体群と Fst に有意差が認められた。一方、一ノ谷は“瀬戸内海アサリ”とは Fst には有意差が無かったが、大阪湾内の他の個体群とは Fst に有意差が認められ、交流がほとんどないか、制限されている可能性がある。

表1 大阪湾周辺のアサリ 8 個体群の MS マーカーより求めた分化指数 (Fst)

	有田	和歌浦	阪南2区	芦屋	一ノ谷	由良	マリンピア	鴨部川	尾道
和歌山県 有田	-	0.037	0.033	0.007	0.003	0.001	0.060	0.006	0.023
和歌山県 和歌浦	0.002	-	0.078	0.026	0.001	0.001	0.054	0.348	0.264
大阪府 阪南2区	0.002	0.002	-	0.044	0.001	0.019	0.108	0.038	0.127
兵庫県 芦屋	0.004	0.003	0.002	-	0.003	0.019	0.099	0.157	0.265
兵庫県 一ノ谷	0.005	0.005	0.005	0.005	-	0.001	0.005	0.089	0.002
兵庫県 由良	0.006	0.007	0.003	0.003	0.007	-	0.007	0.005	0.001
徳島県 マリンピア	0.003	0.004	0.003	0.003	0.008	0.007	-	0.396	0.114
香川県 鴨部川	0.004	0.000	0.002	0.001	0.002	0.005	0.000	-	0.043
広島県 尾道	0.003	0.001	0.001	0.001	0.006	0.004	0.003	0.002	-

注：表中の下段の黒数字は各個体群間の Fst 値のペアワイズ Fst 比較を、上段の数字は Fst 値を FDR 法による multiple tests による有意水準を示しており、太字斜体数字は有意差あり

表2 大阪湾周辺のアサリ 8 個体群の MS マーカーより求めた帰属個体群

	帰属集団								
	有田	和歌浦	阪南2区	芦屋	一ノ谷	由良	マリンピア	鴨部川	尾道
和歌山県 有田	0.293	0.187	0.147	0.040	0.067	0.080	0.093	0.093	
和歌山県 和歌浦	0.127	0.211	0.127	0.099	0.070	0.056	0.183	0.127	
大阪府 阪南2区	0.149	0.135	0.216	0.054	0.122	0.081	0.108	0.135	
兵庫県 芦屋	0.096	0.096	0.108	0.169	0.120	0.108	0.193	0.108	
兵庫県 一ノ谷	0.065	0.078	0.091	0.130	0.221	0.143	0.104	0.169	
兵庫県 由良	0.054	0.041	0.081	0.149	0.149	0.230	0.216	0.081	
徳島県 マリンピア	0.067	0.100	0.067	0.000	0.133	0.200	0.267	0.167	
香川県 鴨部川	0.075	0.119	0.075	0.090	0.194	0.090	0.149	0.209	

*太字斜体数字は自個体群の比率を示す。

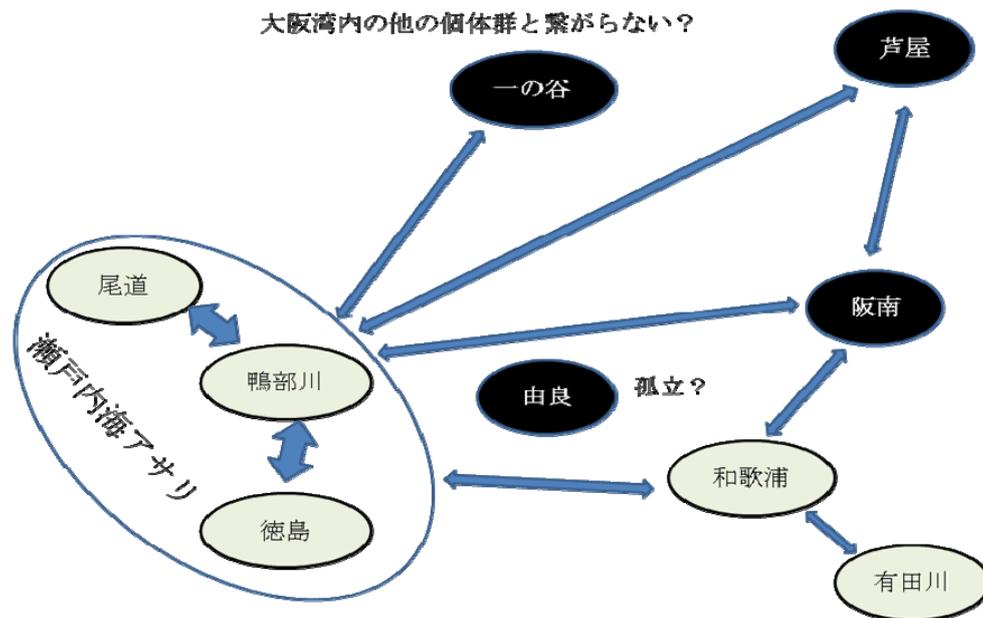


図2. 表1および表2から考えられる今回調べた各個体群の交流の概念図

4. 考察

今回調べた個体群の MS マーカーによって求めた分化係数 Fst 値から、兵庫県洲本市由良は他の個体群との浮遊幼生の交流が無く、独立した個体群と考えられたが、それ以外の個体群は現在、あるいは過去に遺伝的交流があったのではないかと考えられる結果となった。これについては、対象として加えた瀬戸内海中央部にある尾道の個体群と共通性があることから瀬戸内海に共通した遺伝的特徴の可能性が高いと考えられる。この瀬戸内海アサリの遺伝的特徴は東に行くにつれて Fst の値が低くなることから、大阪湾、和歌浦、有田川は瀬戸内海の遺伝子特徴を持つ個体群の東の端に位置するのではないかと考えられる。

まず、大阪湾のアサリ個体群と“瀬戸内海アサリ”の関係について考察する。瀬戸内海のアサリの漁獲量の変遷は図3に示す通りである。瀬戸内海では1970年～1988年までは年間約2万トンものアサリが漁獲されており、最大は1986年の45023トンであった。この時期の瀬戸内海の最大の漁場は大分県中津干潟を中心とした周防灘沿岸であったが、瀬戸内海全域で漁獲量が多く、紀伊半島の先端付近でもアサリがよく獲れていた。しかし、1990年以降急速に漁獲量は減少し、最新の統計では326トン程度まで激減している。このことから、おそらくアサリが多産していた1970年～1980年代半ばごろの瀬戸内海のアサリ個体群は全体に資源量が多く、また、生息場所も多かったことから、互いに浮遊幼生を通じ交流があったと考えられる。このように、干潟・漁場間の交流が緊密であれば、アサリは自然に発生し、放流しなくても漁獲に繋がっていたと考えられる。しかし、1990年以降漁獲量は減少に転じ、資源量が激減したと考えられる。一方で、高度経済成長期を中心に、沿岸開発が急速に進行し、生息場所も減少し、これら二つの要因により、アサリ等干潟生物の浮遊幼生を介した生物ネットワークが急速に縮小し、残された個体群では遺伝的浮動により個体群の分化が進んだのではないかと考えられる。瀬戸内海のアサリの漁獲量の減少原因については、*Perkinsus* 原虫の感染 (Hamaguchi et al 1998, 浜口他 2002)、ナルトビエイ等食害生物の増加 (浜口 2006)、栄養塩類の低下に伴う餌不足や冬季水温の上昇 (浜口 2010) などが考えられているが、これらの複合的な要因と考えられる。いずれにしてもこれらの原因は個体群の縮小を招き、干潟ネットワークを縮小させる要因となる。

今回の調査結果から、四国沿岸ではこのような交流はある程度残っていると考えられるが、本州沿岸では遺伝的交流が失われており、同じ兵庫県沿岸でも一ノ谷と芦屋で遺伝的分化が認められることから比較的近接する個体群間でも分断化 (fragmentation) が進んでいるという結果が得られた。また、大阪湾全体としても、神戸市内の一ノ谷、芦屋、洲本市由良、大阪府阪南2区の個体群間では分化指数は有意差があることから幼生を通じた交流が無く、かろうじて芦屋、大阪府阪南2区、和歌山県和歌浦、有田川河口の個体群で弱い交流が考えられる程度であり、各個体群間の分断が進んでいると考えられる。現在、著者らが参加している、羽田周辺水域環境調査研究委員会及び東邦大学が共同で調べている東京湾のアサリ個体群では、同湾内の6つの個体群では互いに *Fst* には有意差が認められず、浮遊幼生を介した交流があるという結果 (浜口他 未発表) が得られている。このように、同規模の面積を持つ東京湾と大阪湾の差を検証することは沿岸域における個体群の分断化を考える際には参考になると考えられる。

沿岸開発による分断化が生じるような環境下で、アサリのように浮遊幼生期を持つ干潟生物を保全し、生産性を高めるためには干潟間の生物ネットワークを回復してメタ個体群の健全化を図る必要がある。今回の研究結果から大阪湾では、早急に干潟間の繋がりを高めるような何らかの施策が必要と考えられる。



図3. 瀬戸内海のアサリの漁獲量の変遷

大阪湾・播磨灘における二酸化炭素の挙動と収支に関する研究（その2）

○藤井智康^{*1}, 小林志保^{*2}

奈良教育大学・准教授^{*1}, 京都大学大学院・助教^{*2},

1. はじめに

人為起源の栄養塩が豊富に流入する沿岸海域では、貧栄養の外海に比べて光合成が盛んであるため、大気 CO₂ の大きな吸収源となっている可能性がある。しかしながら日本の沿岸海域（東京湾・伊勢湾・大阪湾など）における CO₂ の挙動、吸収・放出量の情報はきわめて乏しい。短期変動の激しい沿岸海域における測定手法の確立と長期的な CO₂ の挙動については未だ課題として残されている。本研究では、これまでに明らかにされていない沿岸海域の CO₂ の短期変動（日から月スケール）を明らかにするために、大阪湾における海水中の CO₂ の挙動に関して長期連続観測を行い、当海域が大気 CO₂ の吸収源となっているのか放出源となっているのかを明らかにすることを目的とした。

2. 研究方法

2.1 連続観測

St. A（尼崎港）、St. B（新西宮ヨットハーバー；以下 YH）および St. C（須磨海釣り公園）において、海面下 1.0 m に多項目水質計 WQC-24（東亜 DKK 社製）およびメモリー式水温塩分計 ACT-HR（JFE アドバンテック社製）を設置し、10 分間隔で水温、塩分、pH および DO の連続観測を行った。調査期間は、St. A では 2011 年 8 月 11 日～10 月 5 日であり、St. B では 2011 年 10 月 5 日～12 月 5 日であり、St. C では、2011 年 8 月 18 日～11 月 25 日である。また、各地点では、約 1 週間毎に機器のメンテナンスおよびデータの読み取りを行った。このとき、直読式総合水質計 AAQ-177（JFE アドバンテック社製）を用いて水深 0.1 m 毎の水温、塩分、DO、pH の鉛直分布を測定した。

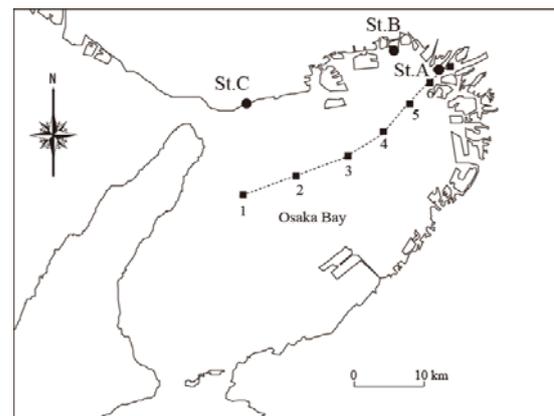


図-1 調査地点図。St. A: 尼崎港, St. B: 新西宮 YH, St. C: 須磨海釣り公園, ■は縦断観測測点を示す。

2.2 縦断観測

大阪湾西部から淀川河口に向かう測線上に 7 測点（図-1 の■）を設け、夏季（2011 年 7 月 12 日）および冬季（2011 年 12 月 7 日）に各測点において直読式総合水質計を用いて水深 0.1 m 毎の水温、塩分、pH、DO の鉛直分布を測定した。

2.3 海水中の CO₂ 系の測定

海水中の CO_2 関連項目の測定は、全炭酸 (DIC), pCO_2 (海水の二酸化炭素分圧), pH, 全アルカリ度の 4 項目のうち、任意の 2 項目を測定すれば、その他の 2 項目は炭酸系の解離常数から計算で求められる。一方、沿岸海域では、 pCO_2 の変動幅は外海に比べてはるかに大きく、変動周期も短いと見積られるものの、これらの変動の大きさは知られていない。そこで我々は、連続測定および自動記録ができることを測定項目の選択条件とし、全アルカリ度と pH を選択した。全アルカリ度は、塩分から十分な精度で求められることが田口ら (2009) によって示されている (海域ごとの経験式による)。pH はガラス電極による測定であり、相対的な変化はよく捉えるものの、JIS pH 標準液による校正では、かなりの大きさの誤差が生じる。そこで、観測ごとに現場において図-2 に示す容器とエアープンプを用いて、海水をエアレーションし、 CO_2 濃度が大気平衡の海水を作り、これによって ΔpCO_2 ($= \text{pCO}_2 \text{ water} - \text{pCO}_2 \text{ air}$) = 0 の校正を行った。

2.4 エアレーションによる校正

現場で採水した海水を容器に移し、エアープンプを用いて海水をエアレーションした。エアレーション海水は、大気平衡となるまで直読式総合水質計 AAQ-177 により、一定時間間隔で水温、塩分、DO, pH を計測した (図-2)。エアレーション海水の pH の時間変化の例を図-3 に示す。採水時の pH が 7.77 であり、エアレーション開始後、徐々に上昇し、2 時間後 pH は 7.98 とほぼ一定となった。pH が一定の値を示した時を大気平衡とした。この海水により設置機器の pH の補正を行い、 $\Delta\text{pCO}_2 = 0$ の校正を行った。なお、DO が大気平衡になるのに要した時間は 1 分以下であった。

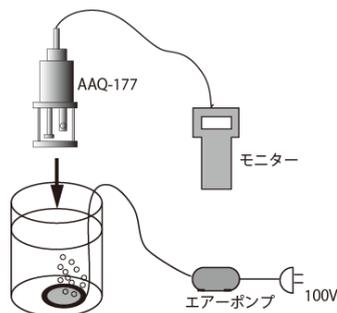


図-2 エアレーション実施状況

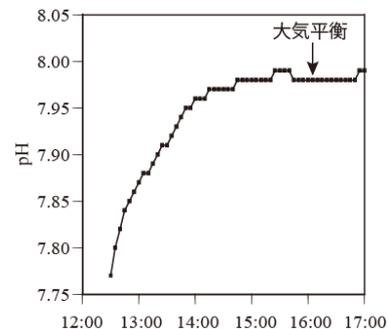


図-3 St. B(YH)におけるエアレーション海水の pH の時間変化 (2011年6月7日)

2.5 二酸化炭素の解析

本研究における CO_2 の解析については、実測した塩分から田口ら(2009)の大阪湾用の関係式によって求めた全アルカリ度および、実測した pH, 水温、塩分から CDIAC (Carbon Dioxide Information Analysis Center) が提供する CO_2SYS (Lewis・Wallace, 1998) を用いて pCO_2 を計算で求めた。

機器メンテナンス時に行ったエアレーション海水の pH と塩分より算出した pCO_2 の複数個の値を一次回帰し、一つの直線を求め、この直線からの偏差を ΔpCO_2 とした

(図-6中の■). この方法でエアレーションした海水の $\Delta p\text{CO}_2$ の標準偏差は、 $24.4 \mu\text{atm}$ であった. また同様に求めた ΔDO の標準偏差は 1.44% であった. ここで、 $\Delta p\text{CO}_2 (= p\text{CO}_2 \text{ water} - p\text{CO}_2 \text{ air})$ が正のとき CO_2 の海水から大気への放出、負のとき吸収とした.

3. 結果と考察

3.1 縦断観測による大阪湾の水塊構造

大阪湾における夏季および冬季の観測結果を図-4および図-5に示す. 2011年7月12日の夏季の大阪湾奥の海域(測点4~6)では強く成層しており、底層にDOが 2 mg l^{-1} 以下の貧酸素水塊が形成されていた. 測点3~6の表層では、 $\Delta p\text{CO}_2$ は $-300 \mu\text{atm}$ 以下であり、全ての測点の表層で $\Delta p\text{CO}_2$ は $0 \mu\text{atm}$ 以下となっていた. 一方、湾奥底層の貧酸素水塊においては、 $\Delta p\text{CO}_2$ が $+400 \mu\text{atm}$ 以上であり、 CO_2 は高濃度であった. 夏季の大阪湾は、表層全体が CO_2 吸収層($\Delta p\text{CO}_2 < 0$)になっており、その下の中層に、西部の強混合域でよく混合された大気平衡海水($\Delta p\text{CO}_2 \approx 0$)が進入している. この進入層の下は CO_2 を蓄積した低温の貧酸素水塊となっていた(図-4). また、2011年12月7日の冬季の大阪湾では、測点1~3までは成層は弱く、測点4~7の底層には、上層よりも高水温の海水があった.

この水塊は、成層期の水塊が残ったものであると考えられる. $\Delta p\text{CO}_2$ は測点1~5では $\Delta p\text{CO}_2 < 0$ であり、鉛直的にはほぼ一様となっていた. 一方で、測点6~7の表層では $\Delta p\text{CO}_2 > 0$ となっていた. つまり、冬季の大阪湾は、淀川河口部の狭い範囲で CO_2 を放出し、これより沖合の湾全体が CO_2 吸収域となっていた(図-5).

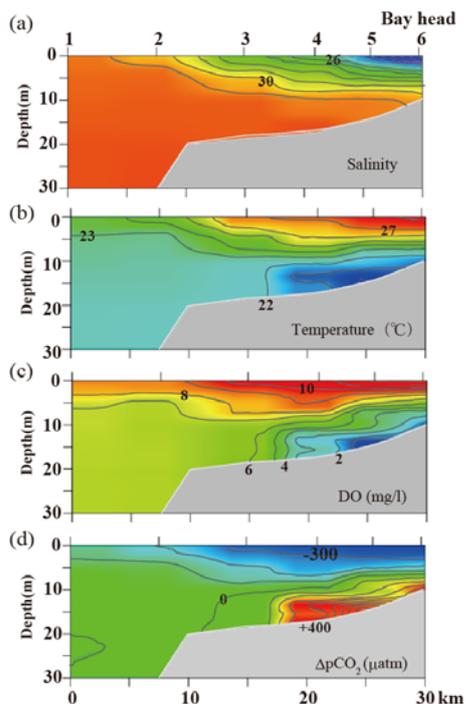


図-4 大阪湾における縦断観測結果
(2011年7月12日)

(a) 塩分, (b) 水温, (c) DO, (d) $\Delta p\text{CO}_2$

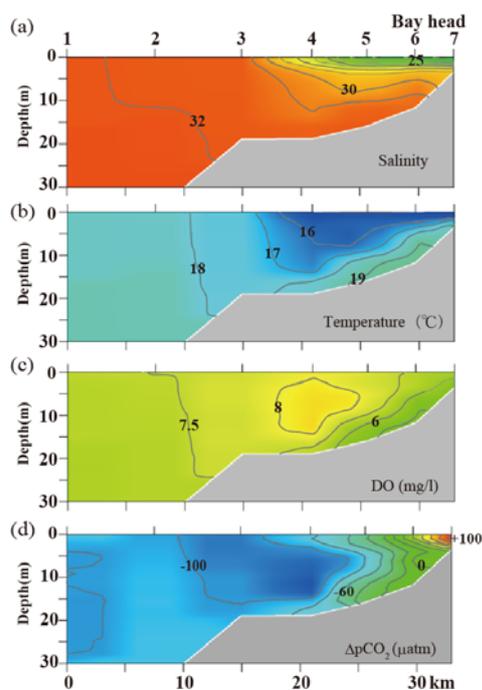


図-5 大阪湾における縦断観測結果
(2011年12月7日)

(a) 塩分, (b) 水温, (c) DO, (d) $\Delta p\text{CO}_2$

3.2 連続観測による CO₂ の変動

連続観測期間中の大阪港波浪観測塔の風向・風速と、St. B (YH) の海面下 1.0 m における DO, $\Delta p\text{CO}_2$ の変動を図-6 に示す。

成層期は、一時的に $\Delta p\text{CO}_2 > 0$ となり大気への CO₂ 放出となるものの、 $\Delta p\text{CO}_2 < 0$ の期間が長く、大気 CO₂ の吸収となっている。11 月中旬に $\Delta p\text{CO}_2$ が大きく上昇し、 $\Delta p\text{CO}_2 > 0$ となり、大気への CO₂ 放出となった。その後、11 月下旬以降はほぼ大気平衡 ($\Delta p\text{CO}_2 \approx 0$) となっていた。調査期間中の $\Delta p\text{CO}_2$ の日変動幅は、最大 447.2 μatm 、最小 25.4 μatm 、平均 172.6 μatm であった。DO が 100%以上となっている期間は、 $\Delta p\text{CO}_2 < 0$ であり、海水への CO₂ 吸収となっていた。一方、DO が 100%以下となっている期間では、 $\Delta p\text{CO}_2 > 0$ であり、大気への CO₂ 放出となっていた。また、北東風が吹くと表層の DO が低下するとともに表層の $\Delta p\text{CO}_2$ が上昇して 0 μatm 以上となり、大気への CO₂ の放出となる (図-6)。

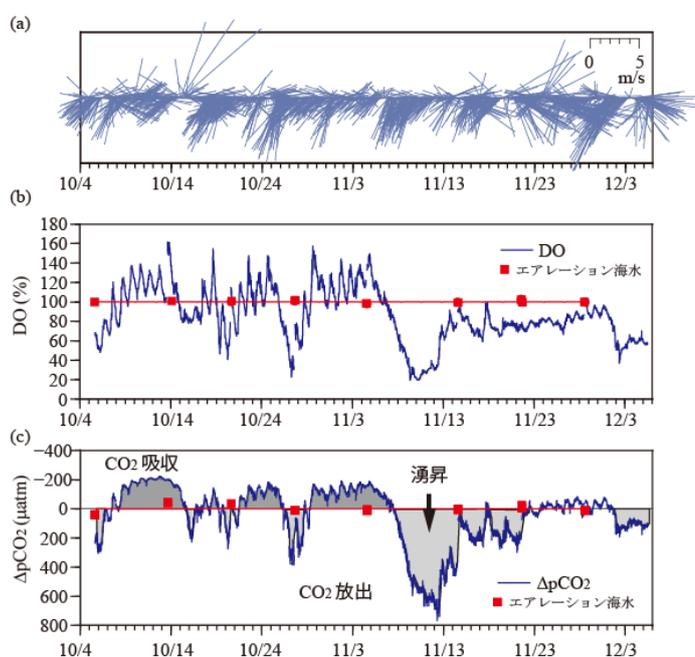


図-6 大阪港波浪観測塔の(a) 風向・風速と St. B (YH) の海面下 1.0 m の (b) DO, (c) $\Delta p\text{CO}_2$ (2011 年 10 月 5 日～12 月 5 日)

($\Delta p\text{CO}_2$ の縦軸は反転している)

5. 結論

本研究において用いた CO₂ の測定手法によって、pH, DO, 塩分の連続測定ができ、計算によって CO₂ の値を連続的に求めることが可能であることが示された。CO₂ の放出と吸収は、日周期変動をしており、平均値を求めるためには連続測定が欠かせない。本研究では、8 月以降の夏季から冬季までの調査であったが、今後は、この方法を用いて春季から夏季の調査を実施し、沿岸域の CO₂ の季節的な変動特性を明らかにするとともに、CO₂ フラックスを算出していきたい。

大阪湾圏の浅海域成育場が魚類生産に果たす役割の定量評価：

広域調査による空間変動解析（その3）

小路 淳

広島大学 大学院生物圏科学研究科

瀬戸内圏フィールド科学教育研究センター・准教授

[研究目的]

本研究では、大阪湾をフィールドとして、魚類の「ゆりかご＝産卵・成育の場」として重要と認識されながらその根拠となる科学的・定量的データが乏しい浅海域の成育場機能（主として供給サービス）を定量的に評価することを試みる。水産資源にとって重要な成育場と考えられる浅海域における環境・生物調査により、大阪湾とその周辺の浅海域成育場における魚類生産過程の解明と広域比較を実施する。本研究は当初 H21 年度のみの実施テーマとして採択されたが、続く2年度も採択され、合計3年度にわたって研究を実施した（図1）。



図1. 3年間で実施した研究のフロー

1年目（H21年度）には、大阪湾を「阪神、淡路、泉南」の3エリアに区分し、魚類群集構造と環境特性を調査し、大阪湾内における環境特性と魚類群集構造の地域間比較を行った。2年目（H22）には、大阪湾と瀬戸内海の他海域（燧灘、広島湾）を比較し、大阪湾の浅海域における魚類群集構造の特性を広域的視点から明らかにした。最終年度にあたる3年目（H23）には、大阪湾浅海域に存在する5つの異生態系（砂浜、藻場、河口域、岩礁、人工海岸）間での比較を実施し、過去3年間の成果をふまえて大阪湾の浅海域環境および魚類群集構造の特性を広域的・包括的に評価することを目的とした。

[研究方法]

調査を実施した定点は、大阪湾の南部海域に設けた5定点である。H21年度の調査により、大阪湾内においても魚類群集構造が地域により異なることが明らかとなった。そこで本年度は、比較的近い距離に位置し、かつ生息圏の環境特性が異なるよう定点を設けた。H21年度のエリア区分（阪神エリア：潮芦屋、芦屋川、御前浜、浜甲子園、甲子園浜；淡路エリア：岩屋、東浦、東

浦南，下田；泉南エリア：樽井，尾崎，鳥取ノ荘，箱作，ピチピチビーチ，ときめきビーチ，淡輪）のうち，魚類の分布密度が高かった泉州エリアを今年度の調査を実施するサイトとした（図2）。

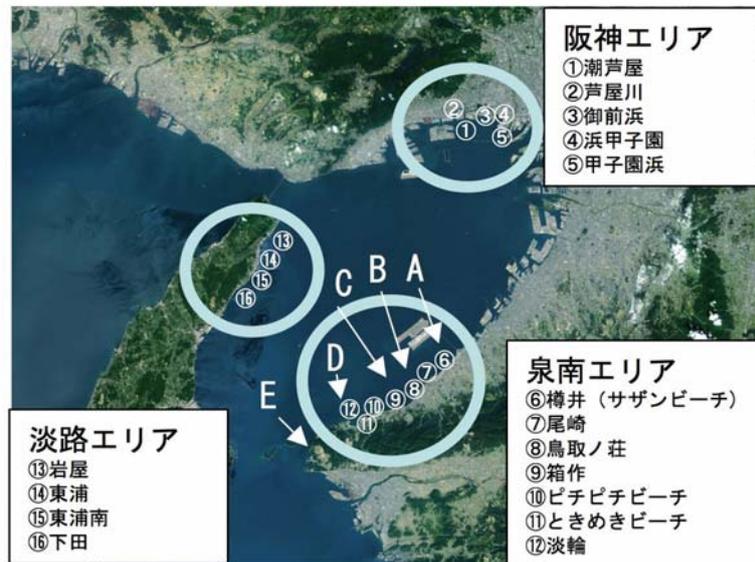


図2. 1, 2年目に調査対象とした三つのエリア（阪神，泉南，淡路）と各定点（番号）．
今年度（3年目）の調査定点をアルファベットで示す．
A:人工砂浜（サザンビーチ），B:砂浜（鳥取ノ荘），C:アマモ場（鳥取ノ荘），D:捨て石（淡輪），E:河口（谷川）

調査定点は北から順に，樽井（サザンビーチ），鳥取ノ荘，淡輪，谷川である．これらのうち，鳥取ノ荘には砂浜海岸とアマモ場が隣接して存在するため，2箇所として扱った．したがって，それぞれの海岸の性状は，樽井が人工砂浜，鳥取ノ荘が砂浜およびアマモ場，淡輪が捨て石海岸，谷川が河口域と位置づけられる（図3）。



図3. 調査を実施した5地点. A:人工砂浜（樽井サザンビーチ），B:砂浜（鳥取ノ荘），C:アマモ場（鳥取ノ荘），D:捨て石（淡輪），E:河口（谷川）. B, Cは写真手前側の砂浜域に隣接して奥にアマモ場が形成されている.

浅海域において魚類の種数や分布密度が高くなる時期を考慮して、各定点において7月に物理環境項目の測定と魚類相および餌料環境調査を実施した。物理環境の測定項目としては、水温、塩分、濁度、溶存酸素濃度を対象とした。各定点において海水を採取し、多項目水質計（水質モニタリングシステム W-23XD, HORIBA 製）により各物理環境項目を測定した。魚類の採集には小型曳き網（幅 2.3m, 高さ 1m, 目合い 2mm）を用い、海岸線と平行に約 50m の距離を 2 人の調査者により曳網した（図 5）。得られた採集物を 10%海水ホルマリンで固定して実験室へ持ち帰り、選別したのち魚類の種同定、体長・体重測定を行った。各定点において採集された魚類の個体数と重量を魚種ごとに集計し、曳網面積 100 m²あたりの数量に換算した。餌料環境調査にはプランクトンネット（口径 0.3m, 目合い 0.1mm）を用いて主に浮遊性無脊椎動物プランクトンを採集した。採集物を 5%海水ホルマリンで固定して実験室へ持ち帰り、分類群ごとの個体数を計数した。網口に取り付けた濾水計により各定点における分布密度を算出した。

[結果と考察]

5 箇所の調査地点における水温は 24.1～25.6℃の範囲であった。定点間における水温差は 1.5℃以内と小さかった。塩分は 22～33 の間で変動した。河口域に位置する定点（谷川）でのみ 22 と低い値を示したが、他の 4 定点では 32～33 であった。溶存酸素濃度は 4.5～5.6 の間で変動した（図 4）。

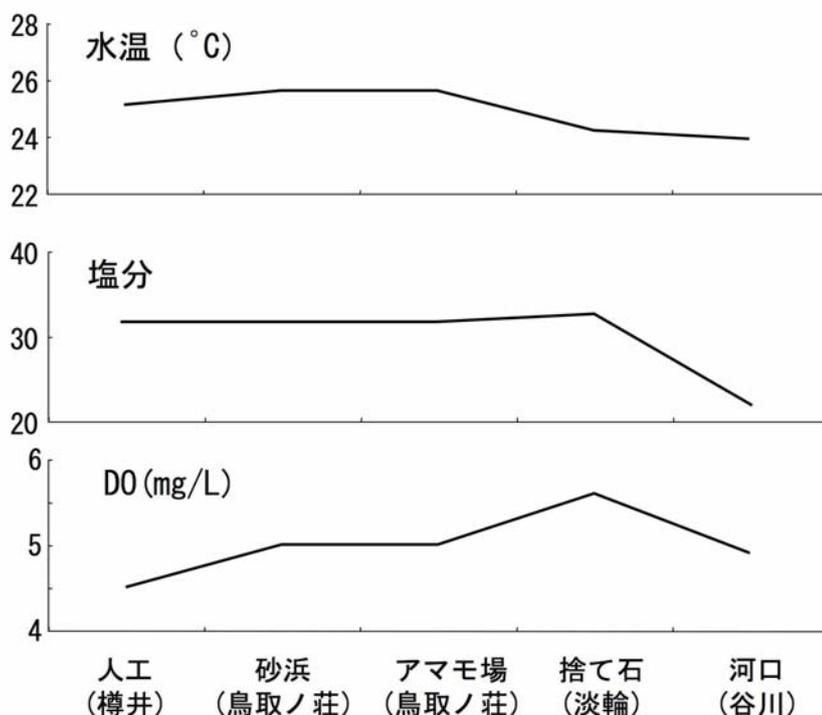


図 4. 調査を実施した5地点における水温(上段), 塩分(中段), 溶存酸素濃度(DO)

本調査を通じて、7 種群以上の魚類が採集された（ウキゴリ属 spp.、クサフグ、クロサギ、クロダイ、コシヨウダイ属 sp.、シロギス、ハゼ科 spp.）。個体数において最も多かったものはクロダイで、全体の 70.8%を占めた。以下、個体数が多かったものから順に、2 位がクサフグ (21.4%)、3 位がウキゴリ属 (4.2%)、4 位がハゼ科 spp. (2.1%) で、他の 3 種（クロサギ、コシヨウダイ属 sp.、シロギス）は 1%未満であった。

各定点において採集された魚類の種数は、0～4 種の間で変動した（図 5）。最も種数が多かった定点は鳥取ノ荘（アマモ場）であった。各定点における魚類の分布密度は 0～54 個体/100 m²であった。捨て石海岸（淡輪）では魚類が採集されなかった。

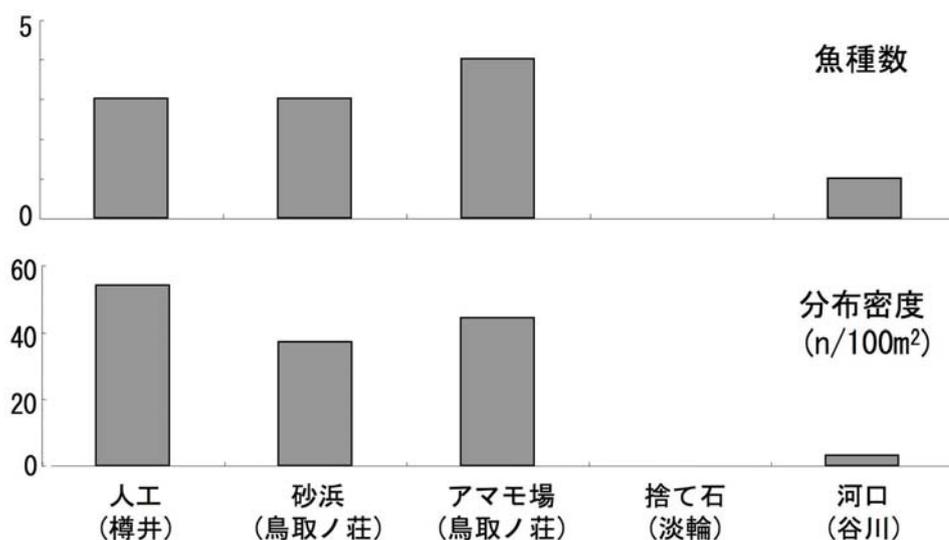


図 5. 調査を実施した5地点において採集された魚類の種数と分布密度

[結論]

前年度までの調査で魚類分布密度が比較的高いことが明らかとなった大阪湾南部において、浅海域を構成する 5 つの生態系（人工砂浜、砂浜、アマモ場、岩礁、河口）の魚類群集と生息環境を統一的手法により比較した。優占する魚類の種構成は生態系間で異なるものの、人工砂浜、砂浜、アマモ場では魚類の種多様性と分布密度が比較的高いことが明らかとなった。アマモ場では魚種数と個体密度が最も高かった。以上の点より、大阪湾内という空間スケールでは、魚類の種多様性と生産性を高く維持する上でアマモ場は重要な生態系の一つであると考えられた。さらに、過去 2 年間の成果をもとに瀬戸内海という規模での広域比較を行った場合は、大阪湾の泉南エリアは魚種数、生産性が比較的高いエリアであることがうかがえた。人工砂浜、砂浜、アマモ場、河口域などの多様な生態系を包括的に維持することにより、比較的開発の進んだ大阪湾においても魚類の種多様性や生産性を高く維持することができる可能性が残されているものとする。

大阪湾の植物プランクトンの季節・経年変動とその要因 (その3)

多田 邦尚

香川大学農学部・教授

香川大学瀬戸内圏研究センター

【はじめに】

中央環境審議会の「第6次総量規制の在り方について（答申）」において、大阪湾とそれ以外の瀬戸内海は現状認識や対策の点ではっきりと区別され、『窒素・リンについては、大阪湾において引き続き削減が必要であるが、それ以外の海域では現在の水質を維持することが適切』とされている。即ち、瀬戸内海のなかでも富栄養化した大阪湾では、他の海域とは違った対策が必要とされている。従って、その環境特性（大阪湾以外の海域との違い）を明らかにした上で、今後の水質改善、あるいは水産資源の回復や流域圏の総合管理等の再生方策が必要とされている。そこで、本研究では、まず大阪湾で毎月調査を実施し、生態系の出発点である動・植物プランクトンとその生育環境に注目して、低次生物生産過程における特徴を明らかにし、今後の本湾の保全・再生のための基礎データを得、さらに、その対策に資する知見を得ることを目的とした。尚、本研究は多田を研究代表者とし、下記のグループで実施した共同研究である。

研究者名：代表者 多田 邦尚（香川大学・農学部・瀬戸内圏研究センター）

山本 圭吾（大阪府立環境農林水産総合研究所水産技術センター）

西川 哲也（兵庫県立農林水産技術総合センター但馬水産技術センター）

山田真知子（福岡女子大学・国際文理学部）

一見 和彦（香川大学・瀬戸内圏研究センター）

山口 一岩（香川大学・農学部）

【研究方法】

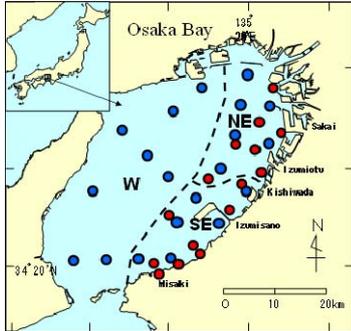
昨年度に引き続き、大阪湾において、大阪府水産技術センターが毎月実施している浅海定線調査の際に、通常の観測項目（一般項目）に加えて、クロロフィル a、栄養塩濃度等を測定し、植物プランクトンの現存量や種組成、さらに、浮魚の餌料として重要な動物プランクトン組成についても一年間を通してモニターした

（図1）。また、過去のデータセットの解析を行い、本湾の低次生物生産環境の経年変動について検討した。さらに、観測と並行して、本湾の植物プランクトン群集の主要分類群である珪藻類のなかでも最も優占率の高い *Skeletonema* 属について、その種の同定について検討した。近年、本湾では、珪藻類の優占種が *Skeletonema* 属から *Chaetoceros* 属に変化しつつあるが、その理由について、特に、海水中の光量子量の変化が及ぼす影響についても室内実験を行い考察した。

【結果及び考察】

○植物プランクトンの季節変動

過去（1976年）から2011年12月までの月別変化データについて、植物プランクトン量の指標となるChl a濃度の変化について比較してみた。大阪湾内の西部（図1中のW）と東部（図1中のNEおよびSE）でChl a濃度



● プランクトン調査定点
● 環境調査定点

図1. 大阪湾の観測定点

の変化について比較してみると、その濃度は東部で西部より顕著に高く、即ち、全域のChl a濃度の変化は、東部におけるその変化を反映していた（図2）。東部では、Chl a濃度は増減を繰り返しているが、特に2005年以降Chl a濃度が低く推移しているように見えた。一方、西部では、もともと東部よりもChl a濃度が低く、しばしば見られるピークが2000年以降は顕著には見られず、 $5 \mu\text{g/L}$ 程度で推移していた。

次に、湾内の透明度の推移について見てみると、1994年までとそれ以降で平均して比較してみたところ、有意に透明度が上昇していた（図3、5%有意水準）。

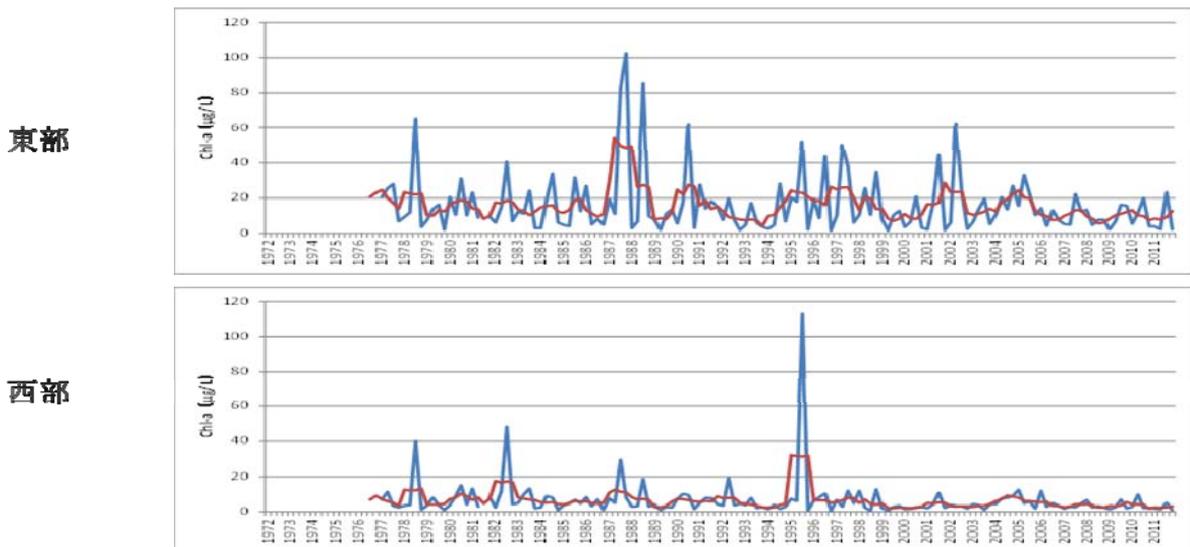


図2. Chlorophyll a の経年変化（図中の青線が年平均、赤線が12か月移動平均）

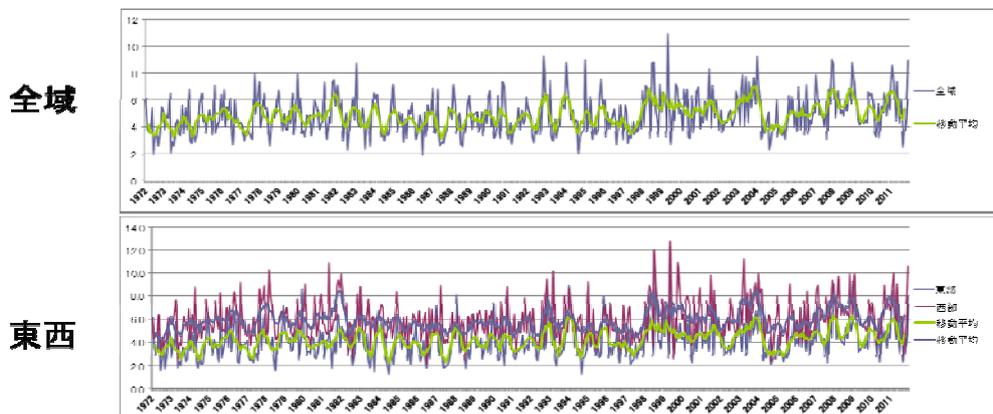


図3. 水域別透明度の経年変化

次に、動物プランクトンのうち浮魚類の餌料生物として重要なカイアシ類の個体数の年間変動について見てみた（図 4）。平均個体密度で上位を占める *Oithona* 属、*Paracalanus* 属、および *Acartia* 属のいずれも、2000 年以降、減少傾向が認められた。

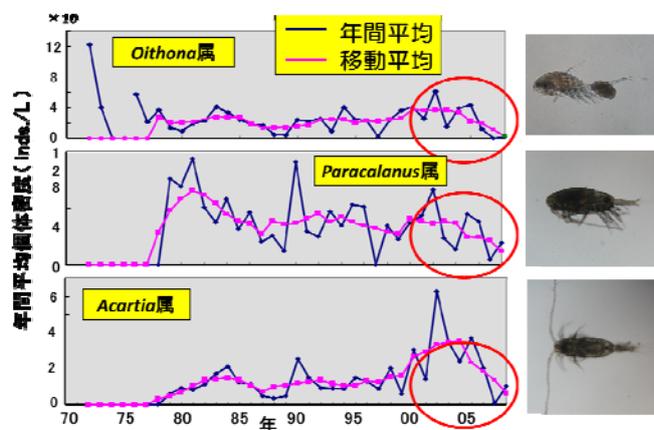


図 4. カイアシ類属別年間平均個体密度

以上のように、植物プランクトンの現存量の減少、透明度には増加傾向が認められ、浮魚類の餌料生物であるカイアシ類の個体数は顕著な減少傾向を示していた。この事は、栄養塩濃度減少に対する生物量の応答が、一次生産者の植物プランクトンよりも、浮魚類の餌料生物である、二次生産者の動物プランクトンに顕著に表れ、更に、浮魚類の生物量により顕著に表れる

可能性を示していることが考えられた。また、昨年度までの本研究で明らかにしてきたように、大阪湾では植物プランクトンの細胞密度レベルでは、*Skeletonema* 属の割合が低下し、*Chaetoceros* 属等の他の珪藻類の占める割合が増大しており、このような植物プランクトン種組成の変化も餌料生物の現存量に影響を及ぼしていることが考えられる。但し、餌料効率の差異については、今後検討しなくてはならない。

○大阪湾における *Skeletonema* 属の種組成

2011 年 8 月 2 日、11 月 10 日に湾内の Stn. 15 にて採水し、試水中から 8 月には 40 株、11 月には 33 株の *Skeletonema* 属を単離培養した。そのうち 8 月には 14 株、11 月には 30 株の *Skeletonema* 属が増殖した。これらの *Skeletonema* 属株について、遺伝子解析を行ったところ、8 月株では、*S. costatum* s. s. が 7、*S. marinoi-dohrnii* complex が 6、*S. menzerlii* が 1 株であった。一方、11 月では、*S. costatum* s. s. が 1、*S. marinoi-dohrnii* complex が 29 株であった。8 月に分離された *S. menzerlii* は大阪湾では初めての出現報告となる。また、これまでのリボゾーム DNA (LSU rDNA) を遺伝子マーカーに用いて同定する方法に加え、今年度は、ミトコンドリア DNA (mtDNA) を用いて Sarno ら (2005, 2007) による *Skeletonema* 属の分類方法を検討したところ、*S. marinoi* と *S. dohrnii*、および *S. costatum* s. s. と *S. subsalsum* は同種である可能性が示唆された。

○*Skeletonema* 属の優占率が低下し、*Chaetoceros* 属が増加した原因

大阪湾では、播磨灘や北九州市の洞海湾と同様に 1990 年頃より *Skeletonema* 属の優占度合いが減少し、*Chaetoceros* 属が優占種になる頻度が増加している。これ

らは大阪湾の水質改善が大きく関与している可能性があると考えられる。昨年度、栄養塩濃度（溶存態無機窒素：NO₃）に対する両種の増殖特性を検証した。その結果は、*Skeletonema* sp. が光の透過量が少ない環境下でも *Chaetoceros* 属より優位に増殖でき、大阪湾では水質向上に伴う水柱光量の増加によって *Skeletonema* 属の増殖に対する優位さが減少してきた可能性を示すものであった。そこで、本年度は実際に *Skeletonema* 属と *Chaetoceros* 属を「混合培養」し、両種に明らかな差が認められた異なる光環境下において、両種の存在率がどのように変化するか、培養試験を実施した。海水中の硝酸塩濃度が 2.5~25 μM（ただし、リン酸塩と溶存ケイ素は十分量を添加）となるように試験海水を作成し、各試験区に *S. costatum* s. s. と *C. didymum* を同一細胞密度（約 170 cells/mL）となるようにそれぞれ接種した。これらを 25°C、光量子が 60 および 230 μmol m⁻² s⁻¹、（14:10 LD）の条件下で培養し、毎日、同時刻に両種の細胞密度を測定した。その結果、光量子量が 230 μmol m⁻² s⁻¹ で培養した試験区では、硝酸塩濃度が上昇するのに伴い *C. didymum* の存在割合が大きくなる傾向にあった。一方、光量子量が 60 μmol m⁻² s⁻¹ で培養した試験区では、全試験区で *S. costatum* s. s. の存在割合が明らかに大きく、硝酸塩濃度が上昇すると共に、その存在割合がさらに大きくなる傾向を示した。

以上の結果は、*Skeletonema* 属と *Chaetoceros* 属が海水中で競合関係にある場合、水柱に透過する光強度によってその存在割合が大きく変化することを示唆するものである。また、本研究の結果は、かつての大阪湾は弱光環境が形成され易く、栄養塩濃度も高かったことから *Skeletonema* 属が相対的に大きく増殖する条件が整っており、近年は依然として *Skeletonema* 属が優占するものの、とりわけ海中への光透過量が増加したことにより *Chaetoceros* 属の増殖割合が増加している可能性を示唆するものである。

○ 今後の大阪湾の保全・再生に向けて

本研究では、大阪湾において栄養塩濃度の顕著な減少が確認できた。しかしながら、植物プランクトン量（Chl_a 濃度）の減少、透明度の増加傾向は認められたものの、顕著なものではなかった。一方、浮魚類の餌料生物であるカイアシ類の個体数は顕著な減少傾向を示していた。今後、栄養塩濃度減少に伴う減少としては、Chl_a 濃度や透明度よりも、浮魚類の餌料生物であるカイアシ類の個体数あるいは、植物プランクトンの主要構成種である珪藻類の種の変化という形で、現れることが考えられる。今後も、引き続き、これらのモニタリングは重要であると考えられる。尚、珪藻類の種の変化は、栄養度の異なる播磨灘や北九州市の洞海湾でも同様に認められており、内湾共通の現象である可能性が高い。大阪湾の将来を予測する上で、播磨灘での現象は、大阪湾の将来予測につながると考えられる。