

伊勢湾の生態系の回復に関する研究 (抄録)

山田 浩 且・広瀬 和 久・水野 知 巳・坂口 研 一

村上 和 美 (工業研究部)・戸 谷 (農業研究部)・藤 原 建 紀 (京都大学)

菅 原 庸 (三重大学)・関 口 秀 夫 (三重大学)・中田喜三郎 (東海大学)

目 的

伊勢湾は東京湾や大阪湾、瀬戸内海等とともに1960年代の高度経済成長期に深刻な水質汚染に見まわれた。その後、下水道整備等の環境保全技術の進歩、あるいは各種の水質規制等によって海域への負荷量の増大に一定の歯止めがかけられたものの、富栄養化現象を解消するまでには程遠く、赤潮や貧酸素水塊の発生は一向に減少する兆しはない。

本研究では、伊勢湾の生態系に悪影響を及ぼす貧酸素水塊の規模縮小、生態系において重要な場でありながら、近年消失が著しいアマモ場の再生に焦点をあて、それらを具現化するための基礎的知見を得ることを目的とした。

本研究は、科学技術振興センター水産研究部、工業研究部、農業研究部、京都大学、三重大学、東海大学がプロジェクトチームを結成し、平成12年度から14年度の3ヶ年において計12の研究課題に取り組んだ。本年度は当該研究事業の最終年度となる。3年間の具体的な研究成果については、三重県科学技術振興センター共同研究事業「伊勢湾の生態系の回復に関する研究」成果報告書で別途報告されるので、ここではその概要を報告する。

方法および結果

1. 物質循環に関する人為的要因

1) 負荷の発生量及び漁業・養殖業による回収量の整理 (鈴鹿水研) [H12 - 13年度]

1970~2000年までの伊勢湾周辺における発生負荷量及び漁獲に伴う負荷の回収量に関するデータを収集、整理し、その現況および歴史的变化を把握した。現状における伊勢湾周辺の発生負荷量は、窒素118トン/日、リン12.8トン/日と推定され、その約40%が名古屋港周辺、約30%が木曾三川に由来することがわかった。主要流入河川の水質は1960~80年代に悪化し、その後も改善されていないと考えられた。漁業およびノリ養殖業によって伊勢湾から回収される負荷は、窒素1,000~3,000トン/年、リン100~300トン/年と推定された(表1)。割合では魚類、特にイワシ類、イカナゴによる比率が高かった。人間1人当たり1日に12gの窒素を負荷すると仮定

すると、漁業は毎日45万人分の負荷を回収し、伊勢湾の浄化に大きく貢献していることが示唆された。現状の発生負荷量のうち、漁業、養殖業によって、窒素で3~7%、リンで2~6%が回収されていると推定された。

2. 物質循環に関する自然浄化量

1) 干潟及び浅海域の浄化量 (鈴鹿水研) [H12 - 14年度]

モデル海域(櫛田川河口)における干潟および浅海域の浄化量を調査、算出し、これをもとに伊勢湾の干潟および浅海域の自然浄化量を窒素ベースで数値化した。モデル海域の干潟および浅海域では、窒素で年間1km²当たり23トン程度を浄化していると推定された。この単位面積当たり浄化量に、伊勢湾の干潟および浅海域の面積を乗じることによって、伊勢湾の干潟および浅海域における浄化量を推定すると年間約4,200tと推定された(表1)。

2) ヨシ場の浄化量 (農研部) [H12 - 14年度]

櫛田川のヨシ群生地をモデル水域とし、窒素、リンの吸収量と脱窒量を推定し、これをもとに、県下ヨシ群生地の窒素、リン浄化量を数値化した。モデル水域のヨシ群落周辺における脱窒量は1日1m²当たり0.1~0.5gNと推定された。湾内主要河川のヨシ生育期における調査から、ヨシによる1日1m²当たりの平均吸収量は窒素で0.09g、リンで0.02gと推定された。ヨシ場の脱窒量、ヨシによる1日1m²当たりの窒素、リン吸収量、および本研究で推定した湾内のヨシ場面積(約30ha)をもとに、湾内ヨシ場における年間の浄化量を推定すると、窒素で約7トン、リンで約0.02トンとなった(表1)。

3) 底泥による脱窒量 (三重大、菅原庸) [H12 - 14年度]

伊勢湾の底泥における脱窒量を推定するため、各季節に1回、湾内の18測点で底泥を採取し、脱窒細菌数、硝酸還元細菌数、従属栄養細菌数、硫酸還元細菌数、底泥の強熱減量およびCOD、脱窒ポテンシャルを測定した。脱窒作用を支える細菌、これら細菌のエネルギー源となる有機物は湾内の底泥中に十分量あること、一方で細菌が脱窒を行う際に必要な硝酸態窒素、亜硝酸態窒素は全般に少ないことがわかった。これらのことから、伊勢湾

表1 伊勢湾の現状把握－物質循環の現状（窒素ベース）－

| 区 分 | 推定量(トン/年) | | (b/a)*100 (%) |
|-------|----------------|---------------|-----------------------|
| | 負荷量(a) | 浄化・回収量(b) | |
| 人為的要因 | 負荷発生量 | 43,000 | |
| | 負荷回収量(漁業・養殖業) | 1,000 ~ 3,000 | 2~7 |
| 自然浄化量 | 干潟・浅海域(5m以浅海域) | 4,200 | 10 |
| | 河口ヨシ場 | 7 | 0 |
| | 底泥による脱窒量* | 4,800 | 11 |
| | 合計 | 43,000 | 10,000~12,000 (23~28) |

*本研究による2001, 2002年調査の平均脱窒量

内の底泥からの脱窒量を左右する最大の制限要因は、底泥中の硝酸態窒素量、亜硝酸態窒素量であると判断された。伊勢湾の場合、底泥への硝酸態窒素、亜硝酸態窒素の供給量は、湾内の底層に沿って進入してくる外洋系水に支配され、その進入規模によって脱窒量も季節、年変動すると考えられた。2001年および2002年の調査結果をもとに、湾内底泥における1日1m²当たりの脱窒量を推定すると、2001年で3~8mgN、2002年で20~30mgNとなった。

3. 貧酸素水塊の形成変動機構

1) 貧酸素水塊の発生機構の解明(京都大、藤原建紀)

[H12 - 14年度]

伊勢湾の貧酸素水塊の形成変動機構を明らかにするため、湾内の所定の定点において、月に1~2回の頻度で調査船(あさま丸・あさま)および漁船による海洋観測を行い、水温、塩分、溶存酸素、流向流速データを収集、解析した。本研究によって、伊勢湾の貧酸素水塊の形成・消滅は、伊良湖水道から湾内に進入する外洋系水の「進入深度」に強く支配されていることがわかった。外洋系水は湾内の中層に進入する場合と底層に進入する場合がある。夏季には中層に進入することが多く、これにより湾内の下層が海水交換から取り残される形となり、底層水が貧酸素化する。一方、秋季には外洋系水が海底に沿って進入するようになり、底層に発達した貧酸素水塊が中層に持ち上げられ、その後表層水と混合して貧酸素水塊は消滅する。貧酸素水塊の空間形状、時間変動の80%がこうした流動環境によって説明されることがわかった。

2) 水質の長期スケールでの変遷解析(京都大、藤原建紀) [H12 - 14年度]

三重県科学技術振興センターが実施する伊勢湾定線観測および環境省が実施する伊勢湾広域総合水質調査の溶存酸素量データを解析し、伊勢湾における貧酸素水塊の長期的な変動様式を明らかにした。貧酸素水塊は1970年

代に発達し、1980年代に一時的な縮小をみるが、1990年代に入って再び発達する傾向のあることがわかった。こうした長期変動を起こす要因について解析を進めた結果、1970年代の貧酸素水塊の発達は汚濁負荷の急増(海底での酸素供給より酸素消費の方が大きい)、1980年代の縮小は水質規制導入による汚濁負荷の減少、1990年代の発達は海洋構造の変化(外洋系水の進入過程の変化等)に起因することが示唆された。

3) 貧酸素水塊形成シミュレーションモデル開発(東海大、中田喜三郎) [H12 - 14年度]

伊勢湾における貧酸素水塊の形成過程を再現できるシミュレーションモデルの骨格を構築した。さらに、このモデルを使って、汚濁負荷を現況より20%削減した場合の貧酸素水塊の動向予測を試みた。その結果、底層の溶存酸素量については、数%の回復が見られる程度という低い効果予測結果が得られた。現状のモデルでは、底泥からの窒素やリンの溶出や底泥での酸素消費の過程が十分考慮されていない。負荷削減による貧酸素水塊解消への効果が低く評価されたのはこのことに起因した可能性が高い。

4. 貧酸素による生物への影響

1) 底生生物調査(三重大、関口秀夫) [H12 - 14年度]

底生生物群集に及ぼす貧酸素水塊の影響を具体的に評価するため、伊勢湾内の21定点において、三重大学練習船勢水丸により各季節に1回の頻度で底生生物の分布調査を行うとともに、それらの結果と三重県科学技術振興センターが収集する貧酸素水塊の挙動に関するデータとの対応関係を解析した。現場調査によって、貧酸素水塊の発生前後(春季と秋季)で底生生物の分布量が急減していることが判明し、貧酸素水塊が生物の生存に大きなダメージを与えていることが示唆された。伊勢湾の底生生物の中で最も多い生物はスナヒトデであった。本種は貧酸素水塊の発生で大量に死滅するものの、貧酸素解消

後に急速に増加することがわかった。本種は貧酸素水塊の発生前後で世代交代、つまり、貧酸素の発生とともに親世代が消滅し、解消後に子世代が新たに加入することがわかった。本種は貧酸素の発生前に産卵、発達中は浮遊幼生として酸素の豊富な表層で過ごし、解消後に着底、成長して生物量を急速に回復させる。貧酸素解消後に急速に増加できるのはこのためと考えられた。現在の伊勢湾の海底では、スナヒトデのように貧酸素水塊との遭遇をうまく回避できる生活史をもつ生物でないと生きていけないと推察された。

5. 干潟・藻場・河口域の実態

1) 干潟・藻場の現況と変遷 (鈴鹿水研) [H12 - 14年度]

航空機MSS観測結果および現地調査結果を解析し、現時点での伊勢湾(三重県側)の干潟および藻場の面積を算出した。また、現存する1890年以降の海図、地形図、既存調査報告書および航空写真から、湾内の干潟面積、浅海域の面積、埋立面積、藻場面積を求めて整理した。現時点で伊勢湾内に残る干潟は2,000ha、浅海域は16,000ha、湾内三重県側に残るアマモ場は38haと推定された。1945年頃までは湾奥一帯に巨大な浅海域と干潟が存在したが、1970年頃までに愛知県側が消失し、1985年頃には三重県側、特に木曾三川河口域が消失した。1890~2000年の110年間に伊勢湾奥部中心に約8,000haの埋立が行われ、約11,000haの干潟、浅海域が消失した。一方、アマモ場は1955年までは伊勢湾全域に見られたが、1965年頃には津市以南、1979年頃には松阪以南にしか見られなくなった。

2) 河口域における生態調査 (鈴鹿水研) [H12 - 13年度]

松阪市櫛田川の河口域、その周辺に形成される浅場、アマモ場において、幼稚仔魚の採集調査を行い、魚種組成とその季節変化、各魚種の発育段階に応じた浅海域の利用形態等を明らかにし、同海域が幼稚仔魚の保育場としてどのような機能を有しているかを考察した。1999年12月~2000年12月の調査期間中に採集された魚類は14目40科76種以上、計23,704個体であった。アユが最も多く採集され、全採集体数数の約半分を占めた。その他、スズキ、マコガレイなど水産資源上重要な魚種も多く採集された。上位優占種を周年出現種(年中出現する)、季節的出現種(ある季節に出現する)、偶来種(ごく一時的に来遊する)に区分した結果、季節的出現種が圧倒的に多く、当海域を特定の季節(夏季中心)や発育段階(仔魚期から稚魚期への変態期)に利用している魚種が多いことがわかった。近年の研究で、変態期前後の生残状況がその後の資源量を決定すると指摘されている。当

該海域はこうした発育段階を支える重要な場を提供していると考えられた。

6. 環境回復技術の開発

1) ヨシの有効利用法の検討 (農研部) [H12年度]

ヨシ場は水質浄化機能を有するが、冬季の枯死後、放置されると再び水域に負荷を与えることになる。そこで、本研究ではヨシの回収・コンポスト化利用を念頭に置いた含有成分の特性およびヨシ場再生の土壌条件(粒径組成)について調べた。ヨシ植物体を伊勢湾浄化に利用するためには、夏季に回収するのが効果的であることがわかった。また、夏季に回収したヨシをコンポスト化するには、尿素等窒素成分の添加が有効であると推察された。回収したヨシの植生回復は土壌の影響を受け、0.25mm以下の土壌が1割以上含まれていることが必要と考えられた。

2) アマモ場造成技術開発 (水研部水圏環境グループ、工研部) [H12 - 14年度]

アマモ苗を育成する技術の確立および機能的な定着基盤を開発することを目的に研究を行った。

【アマモ育苗技術関連】

水槽内で天然アマモから種子を採取する技術を確立した。天然海域で採取したアマモを水槽内で約3週間、空気を送付しながら管理することで種子の成熟を促進できること、得られた成熟種子を飽和食塩水に漬けることで良質の種子を選別できること(食塩水中で沈むものは良好)が明らかとなった。採取したアマモ種子を5以下で低温で空気を送付しながら管理することで長期間保存ができ、播種後も比較的高い発芽率が得られることがわかった。また、水槽内でアマモ苗を育成する技術を確立した。水温15以下で、工業研究部開発のポーラスコンクリート基盤に播種し、水温15~12下で流水、自然光の下で2ヶ月後に葉長5~10cmのアマモ苗を得ることができた。アマモ苗の生育は、底砂の粒度が0.5~4mmの範囲で差はなく良好であること、底砂中に水流のない嫌氣的条件下で良好であることがわかった。

【アマモ定着基盤開発関連】

アマモの根や地下茎の成長に伴って、次第に自己崩壊するポーラスコンクリート製の基盤開発に着手した。室内実験によって、ポーラスコンクリートブロック上に蒔いた種から、ブロック内の隙間にうまく根が伸長していく様子が観察され、定着基盤の有効性が示唆された。ブロック製造時に混入するアルカリ反応性骨材、アルカリ反応性混和材をどれくらいの割合で混入するとブロック

がどれくらいの時間で崩壊するかを検討した。アルカリ反応性骨材においては、ガラス骨材（ビー玉）で材令約1ヶ月で圧縮強度が低下し、比較的早期に崩壊することがわかった。また、アルカリ性混和材のうち、ガラス粉、ガラスフレークの混入によって、材令約1ヶ月後の圧縮強度が低下し、さらに両者の共用によって著しく自己崩壊することが確認された。これらの結果をもとに、必要とされる崩壊速度に対応したアルカリ反応性骨材やアルカリ反応性混和材の配合を決定することが可能になった。

7. 残された課題

本事業終了時点で完成した貧酸素水塊形成シミュレーションモデルは、依然精度上の課題が残り、このモデル

から導かれる結果を直ちに政策提言（数値目標）等に結びつけることはできない。平成15年度から別途事業において、本事業で得られた伊勢湾の現状に関する知見等を活用し、シミュレーションモデルの高精度化を図っていく。一方、アマモ場造成技術については、実験室レベルの基礎的技術は確立されたが、天然海域における実証試験は不十分で、実用化できる技術にまでは至っていない。平成15年度から別途事業で天然海域での実証試験を継続実施し、実用的なアマモ場造成技術を確立していく。

関連報文

三重県科学技術振興センター共同研究事業「伊勢湾の生態系の回復に関する研究」成果報告書