

英虞湾水質汚濁の現状と課題*

高橋正昭**・佐藤邦彦**・国分秀樹**
岩崎誠二**・加藤進**

キーワード ①内湾 ②水質汚濁 ③現状把握 ④環境改善

要 旨

英虞湾の水質汚濁状況および改善の方向性を明らかにするため、水質・底質調査、窒素・リン溶出試験、汚泥たい積量の把握および補足資料の収集を行った。春季～夏季に表層のCODが増加し、2 mg/lを超えていた。湾奥部では底層水の貧酸素化、T-N、T-Pの増加が認められた。溶出試験では嫌気性条件において底質からの窒素、リンの溶出が認められた。また、沈降物の堆積速度 $9.5\text{g}\cdot\text{dry}/\text{m}^2\cdot\text{日}\sim 15.6\text{g}\cdot\text{dry}/\text{m}^2\cdot\text{日}$ が観測され、この堆積物から窒素、リンの溶出が認められた。沿岸域の人口は横ばいであるが、生活排水量は増加し、多くが未処理で海域に排出されていた。土地利用では田、畑が減少、宅地が増加し都市化の特徴を示し、干潟の54%が失われたと推測された。英虞湾の水質汚濁は生活排水等による栄養塩の流入による富栄養化が大きく関与しており、底質からの窒素、リンの溶出あるいは沈降物の存在を無視できないこと、干潟の再生による浄化機能の向上が重要であると思われた。

1. はじめに

英虞湾は伊勢志摩国立公園内にあり、風光明媚な湾として、また、真珠養殖などにおいて世界的に知られている。奥深いリアス式海岸であるため外洋水との交換が悪く、近年、観光開発、生活排水の増加により赤潮の発生や真珠貝のへい死など、水質の悪化が懸念されている。

このため、汚濁負荷量の現状把握や生活排水対策などにより陸域からの栄養塩の流出防止を図っている。湾内においても汚泥の浚渫、海底への改良材の散布、真珠養殖に伴う汚濁物の回収などさまざまな対策を実施しているが、水質常時監視の結果¹⁾によると、この10数年、CODは環境基準値(2 mg/L)を超えて推移している(図1)。こう

した水質汚濁の状況および対策としての課題、方向性について検討を行った。

2. 水質調査・底質調査

2.1 湾の概要

英虞湾は図2に示すように紀伊半島東部に位置し、湾口部1.6km、奥行き10km、面積28km²で大小の枝湾と湾中央部に数個の島が点在している。湾の水深は10m前後で浅く、阿児町鶴方地区を流れる前川の他に大きな河川が無い。沿岸域に大規模なホテル、旅館が建設され、これらホテルや生活排水の多くが直接海域に排出されている。

2.2 水質・底質調査結果

当湾域においては、これまでに数多くの調査が

*Current Status of Water Pollution in Ago Bay

**Masaaki TAKAHASHI, Kunihiro SATO, Hideki Kokubu, Seiji IWASAKI, Susumu KATO (三重県科学技術振興センター) Mie Prefectural Science and Technology Promotion Center

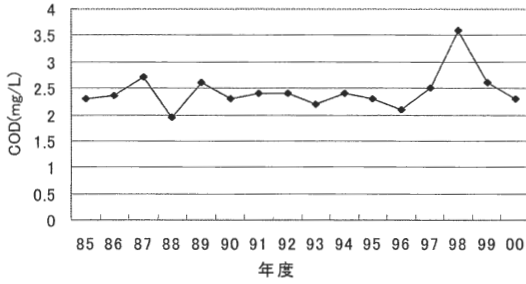


図1 英虞湾におけるCODの経年変化



図2 水質・底質調査地点

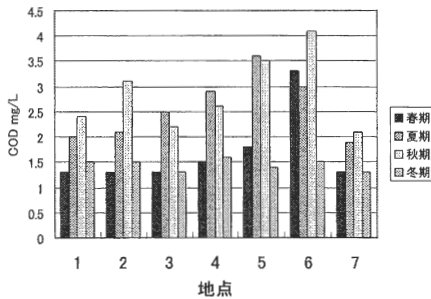


図3 表層CODの季節変化水質

実施されている。一例として当研究部が1991年から1992年に英虞湾の7地点で実施した²⁾水質・底質結果を示す。

当湾において冬季はCODが低く、透明度も10mを超える状況であるが、夏季から秋季に湾奥部においては透明度が2~4mに減少し、CODも環境基準を超える2~4mg/lに増加した(図3)。

同時に湾奥部の地点において温度躍層の形成による底層の貧酸素化が顕著(図4)となり、図5および図6に示すように底層水中のT-Pが0.02mg

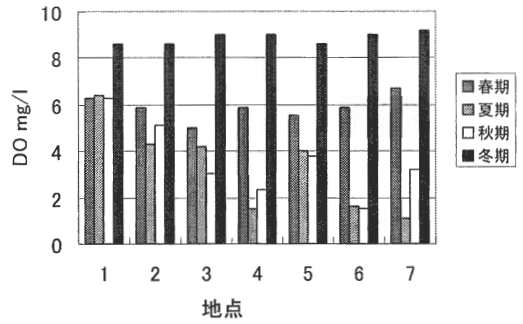


図4 底層DOの季節変化

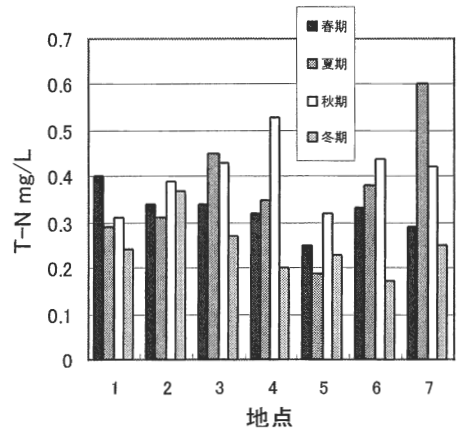


図5 底層のT-N 季節変化

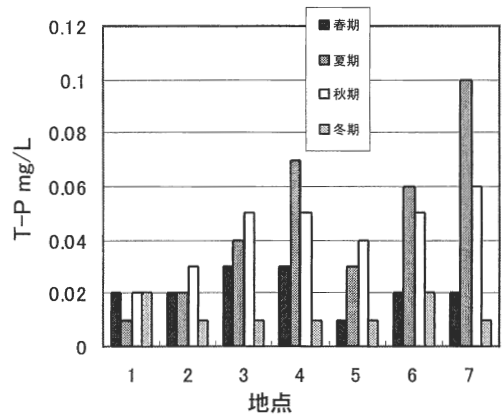


図6 底層のT-P季節変化

/l~0.1mg/lの高い値を示した。また、T-Nも高い値を示した。

底質のCOD, T-N, T-Pは湾の全域において13mg/g・dry~25mg/g・dry, 1.8mg/g・dry~4.7mg/g・dry, 0.4mg/g・dry~0.6mg/g・dryの値を

示した(図7, 8, 9)。

これらの数値はその前後の調査結果^{3,4)}においても同様の数値を示しており、長期的な変動は認められていない。

2.3 陸域からの栄養塩の流入

当該地域は1965年までは水道が無く、ほとんどの家庭では井戸水により生活を行っていた。1968年に志摩水道が建設され、その後、水道使用量が急速に増加した。図10に水道使用量の推移を示す。志摩水道は志摩郡の5町に水を供給しており、そのうち生活廃水として英虞湾に排出されるのは人口比率から、その半分と見積もられる。

問題はこれら排水の処理率である。この地域においては下水道の普及が遅れている。また、集落が分散しているため下水道施設の設置が困難な地域も多く、農業生活排水処理施設が1カ所設置されているのみである。対策として合併処理浄化槽の設置を進めているが、1998年の段階では最も進んでいる阿児町でも22%の処理率(図11)であり、排水の多くが無処理で海域に排出されている現状にある。

当湾域においては大きな河川は無く、最大の河川である前川においても河川の総延長は約5kmである。また集落の多くが海岸域にあるため排水のほとんどが直接海域に排出されている。

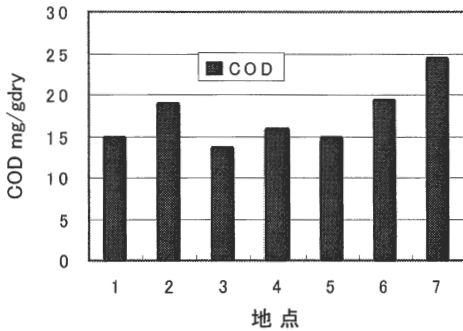


図7 底質のCOD

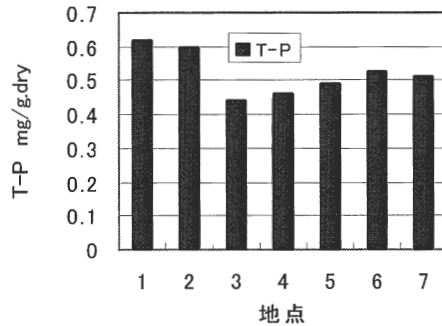


図9 底質のT-P

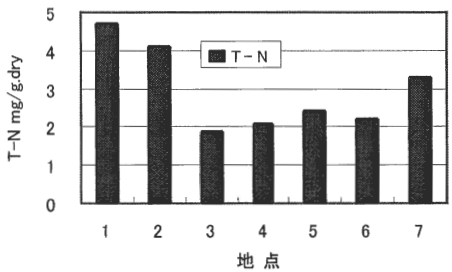


図8 底質のT-N

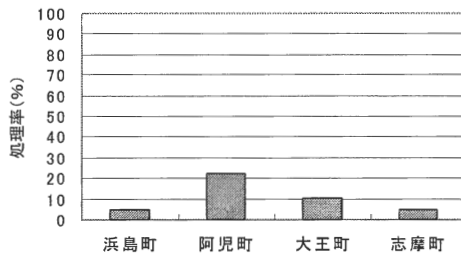


図11 志摩4町の家計排水処理率(1998年)

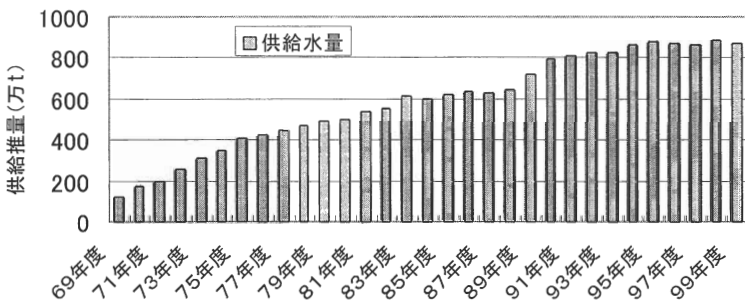
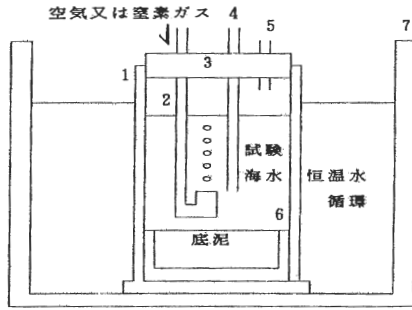


図10 志摩水道給水量の推移



- | | | | |
|---|-------|---|------|
| 1 | ガラス瓶 | 5 | 排気管 |
| 2 | ガス噴出管 | 6 | 試験容器 |
| 3 | ゴム栓 | 7 | 水槽 |
| 4 | 採取管 | | |

図 12 溶出試験装置

河川調査として、この前川において水中の窒素、リンの実態調査⁵⁾を1994年から1995年に実施した。阿児町鷺方地区の生活排水の影響を大きく受けている前川の窒素・リン負荷量の年平均値はそれぞれ38.4kg/日、4.88kg/日であり、これら窒素、リンの態別では、ほとんどが溶存態であった。

しかし、当該測定地点における推定流域人口は流域全体の1/10以下であり全体の富栄養塩の挙動を把握するには不十分といえる。そこで陸域からの栄養塩流入量の把握をおこなうため、流域人口、畜産飼育頭数、土地利用状況(面積)、特定事業所の排水施設数などから窒素、リンの負荷量を算出した結果⁶⁾によると、窒素、リンの負荷量はそれぞれ、905.7kg/日、172.5kg/日であると見積もられた。

2.4 底質からの窒素、リンの溶出

水底質調査を行った7地点の底質から水中への窒素、リンの溶出量を簡易溶出試験装置(図12)⁷⁾を用いて測定した。底質を層厚5cmにして試験容器に入れ、これに外洋水10lを試験海水として加え、空気、窒素あるいは空気と窒素の混合ガスを1~2週間、ばっ気して試験水中の溶存酸素濃度を調節し、試験海水中の窒素、リン濃度の推移から溶出量を算出した。

好気性条件の場合には窒素、リンの溶出はほとんど認められなかったが、嫌気性になるに従い溶出が認められ、夏季における底層水中の窒素、リン濃度の上昇と関連していると推測された。

この7地点の溶出試験データをもとに、溶存酸

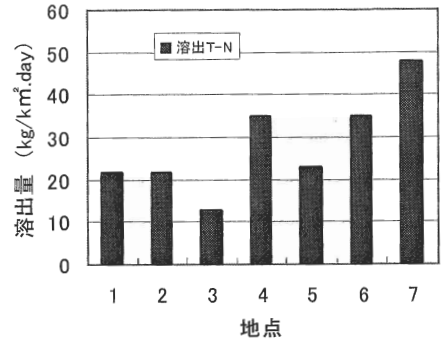


図 13 底質からの窒素溶出量(推定値)

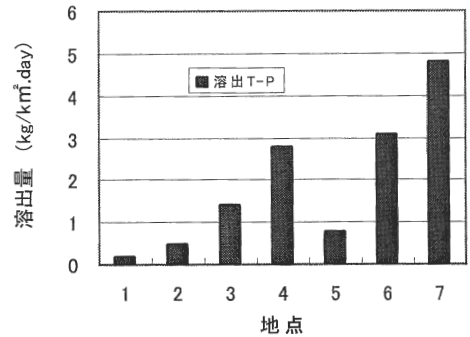


図 14 底質からのリン溶出量(推定値)

素濃度と窒素・リン溶出量の相関から底層水の溶存酸素濃度補正を行ったところ、汚泥からの窒素、リンの溶出量⁸⁾は図13および図14に示すように夏季の英虞湾における窒素およびリンの溶出量として、13~48kg/km²·day、0.2~4.8kg/km²·dayの値が得られた。これら各調査地点は1km²以上の海域面積を有していることから、窒素、リンの溶出量は、前述の英虞湾に流入する主要河川である前川の負荷量(窒素34.8kg/日、リン4.9kg/日)、に匹敵する場合もあると考えられる。また、湾奥部の面積が少なくとも10km²以上あることから単純に考えると湾全体では窒素、リンそれぞれ300kg/日、50kg/日程度はあると推測される。これは陸域からの負荷量の10%~30%に匹敵する。勿論、屋内試験装置による測定結果をもとにした値であるため、溶出試験条件と実海域との各種条件の差などにより、海水への溶出量を単純に比較することはできないが、当湾の夏季において、汚泥からの窒素、リンの溶出を無視できないことを示すものといえる。このためには底質の除去あるいは底質からの溶出防止対策が重要であると考え

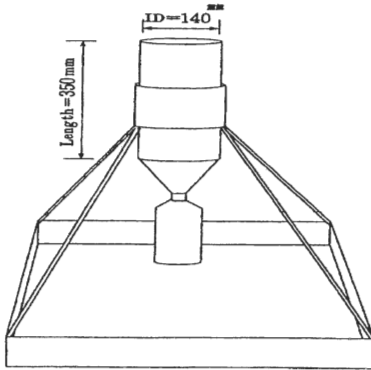


図 15 沈降物採取装置

られる。

2.5 汚泥の堆積速度

真珠養殖場において沈降物(汚泥)の堆積が議論されている⁹⁾。この堆積速度を測定するため、図 15 の採取器を作製し、1993年7月6日～13日の7日間 St. 4, St. 7 の養殖筏下に設置した。採取器に捕集した沈降物を遠心分離機で脱水、乾燥後、秤量し、沈降速度を算出した¹⁰⁾。

沈降速度は St. 7 で $15.6 \text{ g dry/day} \cdot \text{m}^2$ 、St. 4 は $9.5 \text{ g dry/day} \cdot \text{m}^2$ であった。これを1年間に換算すると $0.56 \text{ kg dry/year} \cdot \text{m}^2 \sim 0.35 \text{ kg dry/year} \cdot \text{m}^2$ となる。沈降物の比重を測定することは困難であるが、底質表層の含水率が80%程度¹¹⁾と高いことから沈降物の比重を水と同一の1と仮定すると、1年間の堆積量は汚泥の厚さとして、それぞれ 0.56 cm 、 0.35 cm と推測される。

この沈降物について同様に溶出試験を行ったところ、沈降物からも窒素 $4.3 \sim 33 \text{ kg/km}^2 \text{ day}$ 、また、リン $3.7 \sim 4.9 \text{ kg/km}^2 \text{ day}$ の溶出が認められた。このことから浚渫によって窒素、リンを多量に含む底質を除去しても短時間に堆積物が生じ、この堆積物から再度溶出が起きる可能性を示唆している。

3. 湾域環境の変遷

3.1 土地利用の変遷

三重県統計資料により1955年から2000年までの土地利用状況(林地、田、畑、宅地)について調べた。図 16 に示すように1975年から都市化により宅地が増加し、田、畑地が一貫して減少していることがうかがわれる。しかし窒素、リンの流出

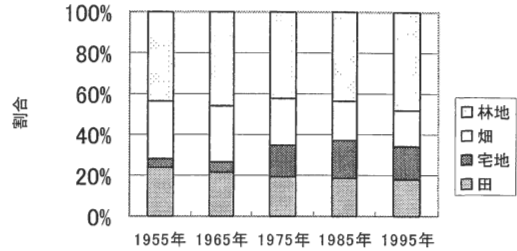


図 16 土地利用の変化

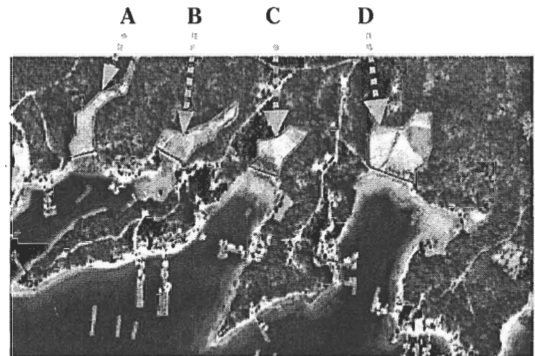


図 17 干潟の航空写真(干拓部分は図中の A, B, C, D)

率が低いとされる林地¹²⁾の減少は認められていない。林地自体の増減が少ないことから土地利用の変遷は、宅地増加による生活廃水増加といった変化をもたらしたと考えられる。

3.2 干潟の推移

近年、干潟の水質浄化効果が評価され、干潟の浄化能力の把握、干潟の保全政策などが推し進められている。英虞湾はリヤス式海岸であるため深い入り江が多く、このため本来、大規模な干潟は存在していない。しかし、湾の奥部に小規模の干潟が多数存在していた。図 17 に示すように、こうした干潟のほとんどが50～100年前に耕地として干拓されている。現在、干拓された耕地のほとんどが休耕地となり、荒地化している。これら干潟の面積を計測することは自然浄化機能回復をはかるための施策立案上で重要である。

複雑な地形である英虞湾において既に失われた干潟の総面積、あるいは現存している干潟の面積を把握することは非常に困難であるが、航空写真をもとに湾の一部である立神浦について干潟面積の推測を試みた。この方法は仕切り堤防により干拓された部分を過去に干潟があったものと仮定し、この部分を航空写真から読み取り、計測した。

また現存している干潟面積は海岸域の色彩が淡褐色から青緑色に大きく変わる地点を読み取り、計測した。この結果、立神浦においては元来あったと思われる0.20km²の干潟の54%にあたる0.105km²が干拓あるいは埋立により失われたと推測された。

今回推測を行った立神浦は湾全海岸域の約12分の1である。湾全域が同様の海岸地形であり、多くの地点で干拓が行われていることから、単純に換算すると湾全体では1.3km²の干潟が失われたことになる。干潟はCOD、窒素、リンなどの除去効果があると言われている。白旗らが行った河口域干潟の脱窒能評価¹³⁾によりこれらの干潟がすべて復元された場合を想定すると、16~280kg・N/日の窒素除去効果が期待される。また、青山らが行った三河湾一色干潟の浄化能力測定結果を参考にして考えた場合には120kg・N/日の窒素除去効果があると考えられる。これをCOD換算し、下水処理施設能力として推測¹⁴⁾すると1万2,000人分の処理施設に該当すると考えられ、英虞湾流域人口3万人(1999年)であることを考えると干潟の復元は大きな効果が期待される。

4. ま と め

英虞湾は極めて複雑な地形をした閉鎖性水域であるため、観光開発や生活廃水の流入により水質汚濁が進行し、地域の産業に与える影響が懸念されている。このための汚濁要因の把握あるいは対策へむけての調査研究が幅広く実施されている。この一環として水質・底質の実態調査、河川等陸域からの汚濁負荷量、底質からの栄養塩の溶出など各種の調査を実施してきたところである。

この結果からは当湾においては未処理の生活廃水の流入および富栄養化による二次汚濁が大きな要因であると推察された。また、海域においては下層水の貧酸素化による底質からの窒素、リンの溶出が無視できないことが示唆された。さらには干拓等による干潟の減少や宅地の増加による自然浄化機能の減少も汚濁を増長する要因となっていると思われる。しかし、これら汚濁に関するシミュレーションが行われておらず、今後ともより精密な実態把握が必要と思われる。

汚濁を防止するための対策としては小規模の集

落廃水処理場建設あるいは合併処理浄化槽の普及による排水処理率の向上が急務であるが、これら処理では窒素、リンの除去は必ずしも充分でなく、窒素、リン流入による二次汚濁の進行が考えられる。底質からの栄養塩の溶出も無視できないことから防止対策として浚渫、覆砂、改良材の散布などが検討され、すでに実施されつつある。しかし沈降物が相当量あることから、長期的対策としては課題があると考えられる。むしろ、近年注目されている自然浄化機能向上策として汚泥干潟の復活や林地の増加などによる自然浄化機能の向上がより重要であると考えられる。

一 文 献

- 1) 三重県環境白書
- 2) 稲垣卓治, 秋永克三, 松井孝悦, 高橋正昭, 石神英次: 内湾における水質汚濁の実態について(第2報), 三重県環境科学センター研究報告, **13**, 57-64, 1993
- 3) 水産庁: 漁場改良復旧基礎調査結果の概要, 1978年6月
- 4) 英虞湾汚染対策調査報告書, 英虞湾汚染対策協議会, 三重県水産技術センター
- 5) 藤田修造, 山本和久, 岩崎誠二, 高橋正昭, 畑中幸市: 内湾水質環境保全に関する調査, 一英虞湾主要流入河川における富栄養化起因物質の挙動について, 三重県環境科学センター研究報告 **16**, 107-113, 1996
- 6) 平成6年度三重県委託業務結果報告書, 内湾環境保全計画策定業務(英虞湾)海域水質等調査結果報告書, 1995年3月
- 7) 高橋正昭, 秋永克三, 地主昭博, 松井孝悦, 宮尻英男: 簡易溶出試験装置による底泥の溶出試験について, 三重県環境科学センター研究報告, **12**, 31-34, 1992
- 8) 三重県環境科学センター: 内湾底質環境調査事業総合成績書, 1995年3月
- 9) 西村昭史: 真珠養殖場の環境, 伊勢・志摩海洋国際会議予講集31-36, 1996
- 10) 稲垣卓次, 秋永克三, 里中久郎, 長井善久: 内湾における水質汚濁の実態について(第4報)一英虞湾における底泥調査一, 三重県環境科学センター研究報告 **15**, 9-19, 1995
- 11) 上野成三: 「英虞湾の環境シミュレーション~適正養殖容量の試算~」, 英虞湾の再生を考えるシンポジウム予講集5-8, 2001
- 12) 地主昭博, 岩崎誠二, 松井孝悦: 内湾水質環境保全に関する調査(第4報)一英虞湾, 五ヶ所湾およびの矢湾流域調査結果のとりまとめ, 三重県環境科学センター研究報告, **19**, 83-97, 1999
- 13) 白旗精伸, 吉田浩義, 中井智司, 細見正明, 村上昭彦: 河口域の干潟の脱窒能の評価, 水環境学会誌, **24**, **11**, 773-777, 2001
- 14) 青山裕見, 今尾和正, 鈴木輝明: 干潟の水質浄化機能, 月刊海洋「プランクトンと河口生態系」, **28**(3), 178-188, 1996