

福岡湾への窒素・リン負荷量の長期変動について

江藤 拓也・片山 幸恵・江崎 恭志
(研究部)

福岡湾に負荷される窒素・リンの長期的な変動を整理し、湾内への負荷量と湾内の水質、底質環境との関係を検討した。福岡湾への負荷量は T-N (全窒素) は3,362 ~ 6,542 t / 年の範囲で推移し上昇傾向を、T-P (全リン) で153 t ~ 488 t / 年の範囲で推移し下降傾向を示し、TN/TP 比は25年間で約 4 倍に増加した。そのうち河川と下水処理場からの負荷が大半を占め、下水処理場の T-N が増加し、河川及び下水処理場の T-P が減少したことが原因と考えられた。湾内の水質では T-N は横ばいもしくは増加傾向を、T-P は減少傾向を示し、TN/TP 比は約1.5 ~ 2 倍に増加し、負荷量の変動とよく対応している。一方、底質とは対応はみられない。負荷量と水質の TN/TP 比の変動との関係をみると、強い正の相関がみられ、特に湾奥部で強い。このことから湾内の水質の栄養塩バランスの変化に湾内への負荷量の栄養塩バランスの変化が強く関与していることが示唆された。

キーワード：福岡湾、窒素・リン負荷量、長期変動、T-N、T-P

福岡湾は福岡市の西に位置した袋状の半閉鎖的な内湾である。湾周辺には、福岡市及びその周辺都市の下水を処理する処理場があり、多量の処理水が湾内に放流されている。また、福岡市内には132河川が存在し、その大部分が福岡湾に流入している。

夏季には、たびたび赤潮の発生や貧酸素水塊が形成される。湾内では、小型底びき網・刺網漁業やわかめ・ノリ養殖業が営まれているが、近年、漁獲量の減少やノリ・ワカメの不作年が発生するなど、漁業に対する影響が懸念される。

そこで、まず、全体像を把握するために栄養塩収支を明らかにする必要があるが、今回、その基礎資料として、湾内に負荷される窒素・リン (以下負荷量と記載) の長期的な変動を整理した。

さらに、湾内への負荷量と湾内の水質、底質環境との関係について検討した。

方 法

湾内への負荷量として降雨、河川、下水処理の3つが挙げられる。

降雨による負荷量は、多田¹⁾ が求めた降水中の T-N 濃度を58 μ M、T-P 濃度を0.25 μ M を用いて気象庁²⁾ による福岡市の降水量に海域面積を乗じて推定した。

河川からの負荷量は、篠原³⁾ 佐藤ら⁴⁾ が求めた解析と同様に、流量データが得られている筑後川流量と降水

量、流域面積の関係を参考として、図1に示した福岡湾に流入する河川流量を算出し、福岡市環境局⁵⁾ より報告されている「福岡市水質測定結果」の T-N、T-P 濃度を乗じた。

下水道処理場からの負荷量は、福岡市下水道局⁶⁾ が報告している「水処理センター管理年報」を用いて、図2に示す各処理場の放流量と T-N、T-P 濃度から算出した。

水質及び底質は、福岡市環境局⁵⁾ が報告している「福岡市水質測定結果」を資料として用いた。T-N、T-P 濃度は、神菌⁷⁾ の方法に従い、図3に示す湾口部を3定点、湾奥部を5定点に分けて区分し、水質は表層と底層の値

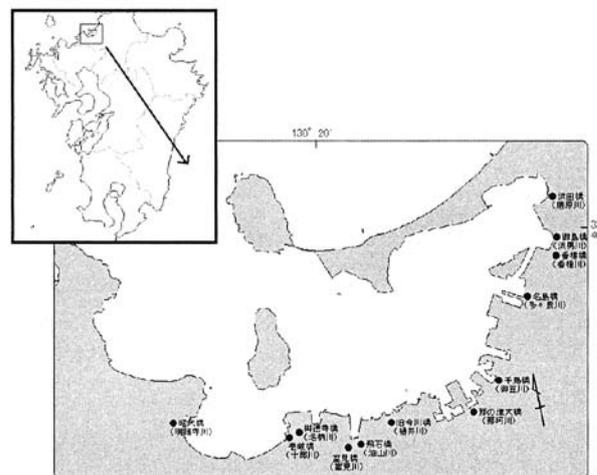


図1 河川観測地点位置図

●は栄養塩測定地点、()は河川名を示す

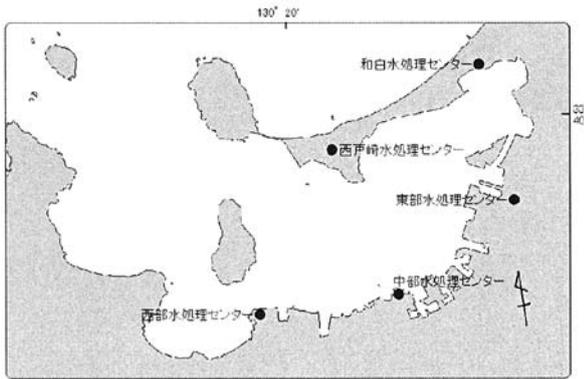


図2 福岡市水処理センター位置図

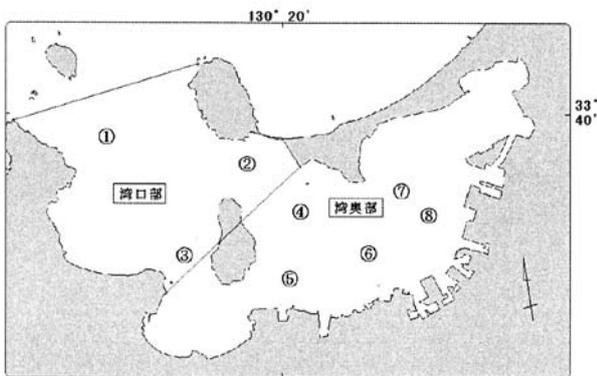


図3 水質及び底質調査点図

湾口部は①～③の3点，湾奥部は④～⑧の5点を示す

を平均した値を，底質は測定値を用いた。

なお，負荷量，水質及び底質の解析で使用したデータは全て1982～2006年の25年間とした。

結 果

1. 福岡湾への負荷量の推移

(1) 降雨からの負荷量

福岡観測点の降水量と福岡湾への降雨による負荷量の長期変動を図4に示した。

降水量は891～2,085mmの範囲で推移した。降雨によるT-Nは98～228t/年，T-Pは1～2t/年の範囲で推移し，年による増減はあるものの大きな変動はみられなかった。

(2) 河川からの負荷量

福岡湾には，主要な河川として唐原川，浜男川，香椎川，多々良川，御笠川，那珂川，樋井川，油山川，室見川，名柄川，十勝川が流入している。その流入量と負荷量及びTN/TP比の長期変動を図5に示した。

河川からのT-Nは1,300～3,145t/年の範囲で推移し，年による増減はあるものの大きな変動はみられなかった。T-Pは68～325t/年の範囲で推移し，下降傾向を示した。TN/TP比は8～25の範囲で推移し，T-Pの減少により上昇傾向を示しており，25年間で約2倍に増加した。

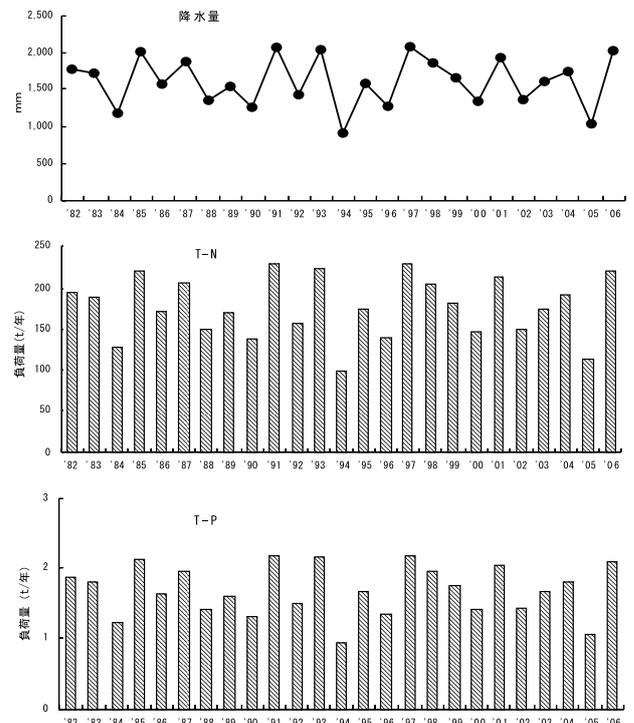


図4 降雨からの負荷量の長期変動

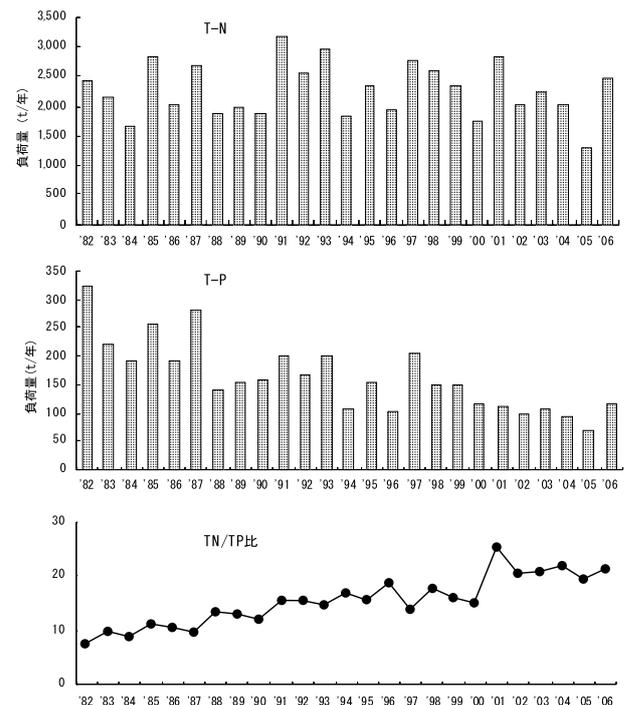


図5 河川からの負荷量の長期変動

(3) 下水処理場からの負荷量

福岡市では、市内5ヶ所にある水処理センター（中部、東部、西部、和臼、西戸崎）で下水処理を行っている。水処理センターからの放流量と負荷量及びTN/TP比の長期変動を図6に示した。

下水処理場からの放流量は、 $101 \times 10^6 \sim 188 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{年}$ の範囲で25年間で2倍近く増加した。

T-Nは1,580～3,620t/年の範囲で推移しており、上昇傾向を示した。T-Pは43～191t/年の範囲で推移しており、1990年代前半の高い値を除くと、T-Nとは逆に下降傾向を示し、特に1990年代後半以降顕著であった。TN/TP比は、10～70の範囲で推移し、増加傾向を示しており、25年間で約7倍に増加した。

(4) 全負荷量

降雨、河川及び下水処理場からの負荷量の合計値（以下全負荷量と記載）の長期変動を図7に示した。

T-Nは3,362～6,542t/年の範囲で推移し、下水処理場からの負荷量と同様に上昇傾向を示した。T-Pは153～488t/年の範囲で推移し、河川や下水処理からの負荷量と同様に下降傾向を示した。TN/TP比は、10～40の範囲で推移し、25年間で約4倍に増加した。

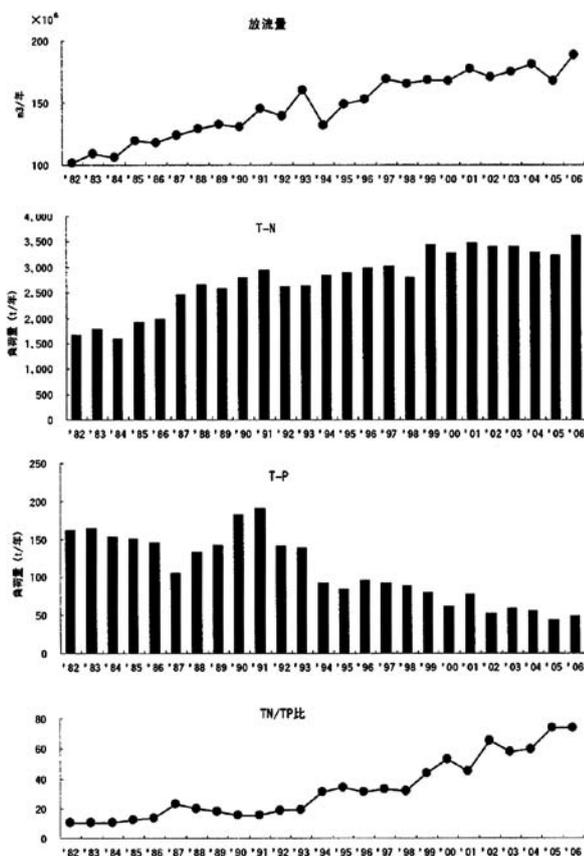


図6 下水処理場からの負荷量の長期変動

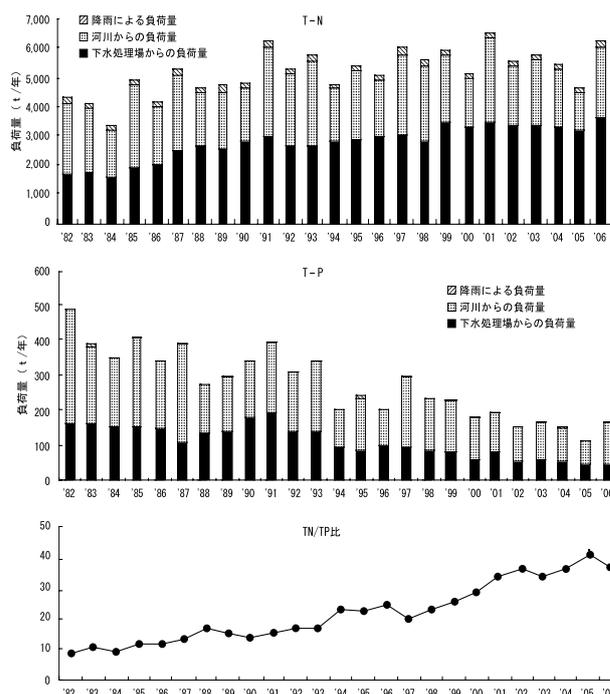


図7 全負荷量の長期変動

2. 福岡湾への負荷量と環境との関係

(1) 負荷量と水質環境との関係

1) 水質のT-N, T-P, TN/TP比

湾内の海水中のT-N, T-P及びTN/TP比の長期変動を図8に示した。

T-Nは、湾口部では $11 \sim 18 \mu\text{M}$ の範囲で推移し、横ばい傾向、湾奥部では $24 \sim 38 \mu\text{M}$ の範囲で推移し、上昇傾向を示し、1990年代以降顕著であった。T-Pは、湾口部では $0.5 \sim 1.0 \mu\text{M}$ 、湾奥部では $0.7 \sim 1.7 \mu\text{M}$ の範囲で推移し、1990年代前半の高い値を除くと下降傾向を示した。TN/TP比は、湾口部では16～32、湾奥部では17～42の範囲で推移し、両海域ともに上昇傾向を示し、25年間で湾口部では約1.5倍、湾奥部では約2倍に増加した。

2) 全負荷量と水質環境との関係

負荷量が湾内の水質環境に与える影響の程度を明らかにするために、湾口部と湾奥部に分けて、負荷量と水質環境について、T-N, T-P及びTN/TP比との関係を図9に示した。関係式については、統計上有意な場合は実線で、有意でない場合は波線で表示した。

T-Nでは、湾口部では関係はみられないが、湾奥部とT-Pの湾口部と湾奥部で正の相関 ($P < 0.05$) がみられた。TN/TP比では、湾口部と湾奥部ともに非常に強い正の相関 ($P < 0.001$) がみられた。

また、湾口部と湾奥部をそれぞれの項目で比較すると、全て湾奥部の方が関係が強かった。

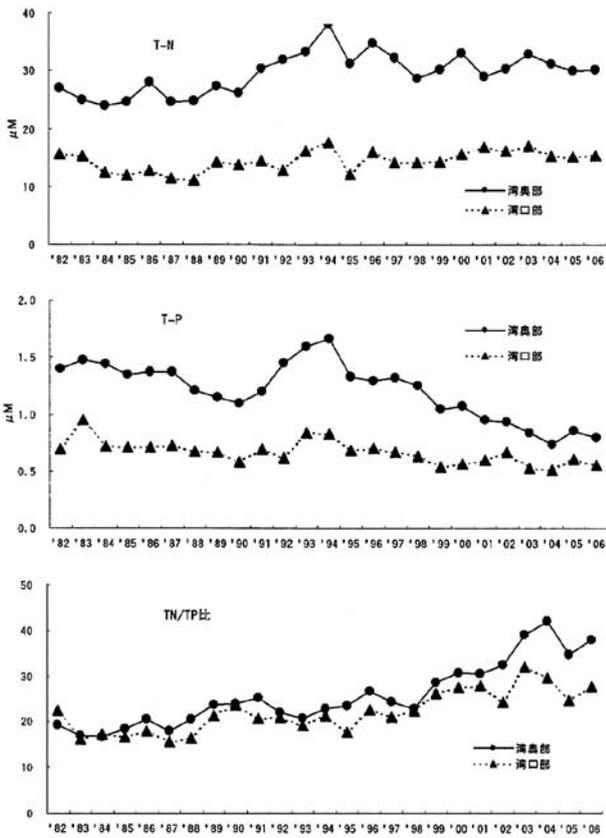


図8 水質環境の長期変動

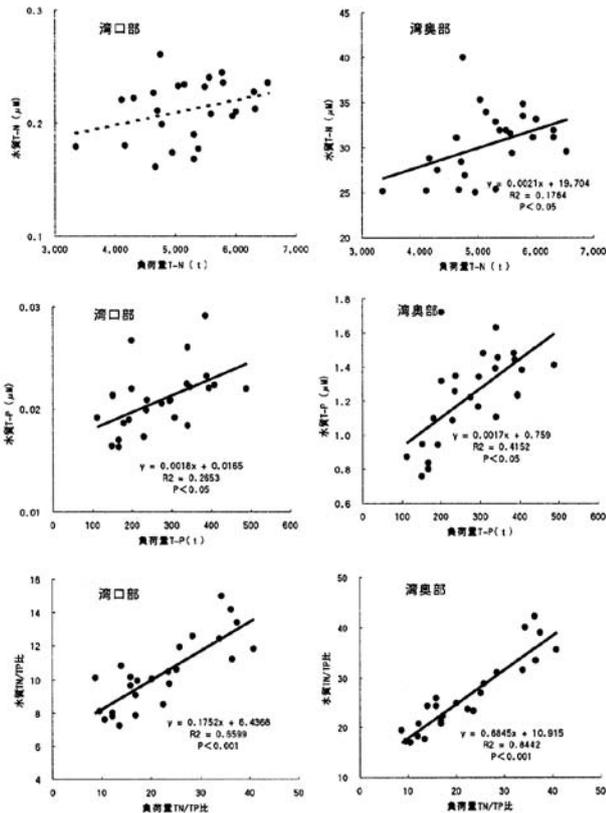


図9 負荷量と水質環境との関係

(2) 全負荷量と底質環境との関係

1) 底質の T-N, T-P, TN/TP 比

湾内の底質の T-N, T-P 及び TN/TP 比の長期変動を図10に示した。

T-N は、湾口部では21 ~ 172 $\mu\text{M/g}$ の範囲で推移し、1985年の高い値を除くと下降傾向を示し、湾奥部では80 ~ 137 $\mu\text{M/g}$ の範囲で推移し、横ばい傾向を示した。

T-P は、湾口部では11 ~ 22 $\mu\text{M/g}$ の範囲で推移し、T-Nと同様に下降傾向を示した。湾奥部では11 ~ 23 $\mu\text{M/g}$ の範囲で推移し、1992年の低い値を除くと横ばい傾向を示した。TN/TP比は、湾口部では2 ~ 11、湾奥部では5 ~ 11の範囲で推移し、湾口部の1985年と湾奥部の1992年に高い値がみられるものの両海域とも大きな変動はみられなかった。

2) 全負荷量と底質環境との関係

負荷量と水質環境の解析と同様の手法で、負荷量と底質環境との関係を図11に示した。

湾口部の T-P で正の相関 ($P < 0.05$) がみられたことを除くと、湾奥部の T-P、湾口部と湾奥部の T-N 及び TN/TP 比の全ての項目で明瞭な関係はみられなかった。

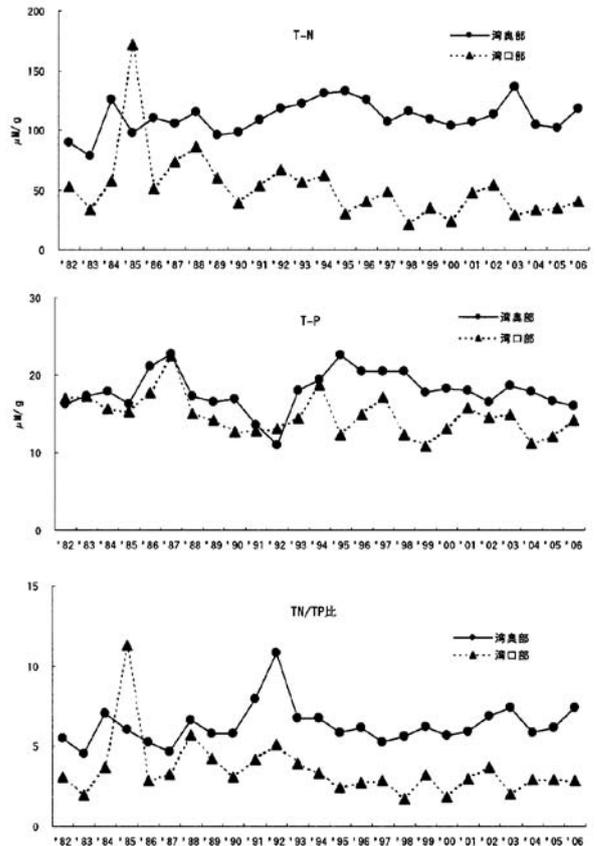


図10 底質環境の長期変動

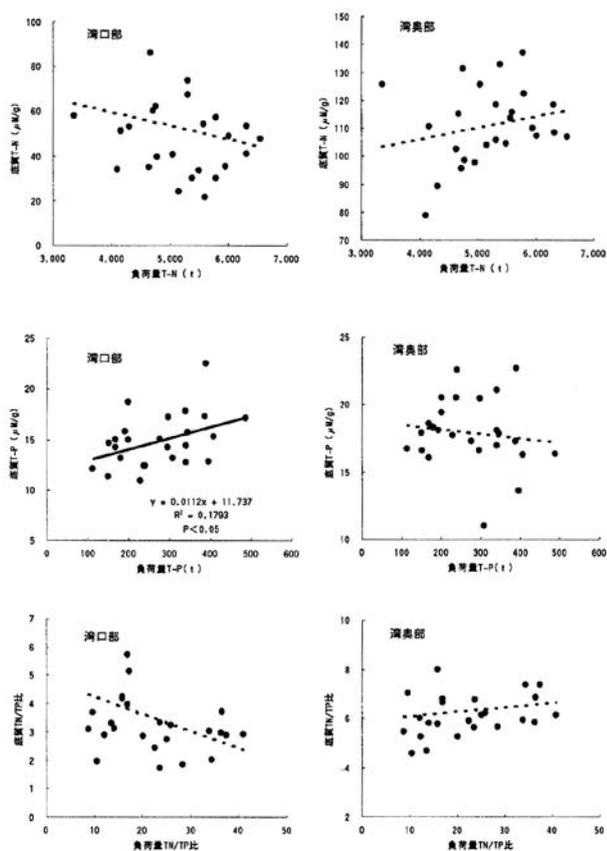


図11 負荷量と底質環境との関係

考 察

福岡湾への全負荷量は、T-Nで3,362～6,542 t / 年、T-Pで153～488 t / 年の範囲であった。

全負荷量のT-N、T-Pの変動及び割合について年代別に整理し、図12に示した。T-Nは上昇傾向を示し、特に1980年代から1990年代にかけて増加し、割合をみると降雨が約5%、河川が約45%、下水処理場が約50%を占めた。T-Pは下降傾向を示し、特に1990年代から1990年代にかけて減少し、割合をみると河川が約60%、下水処理場が約40%を占め、年代別に割合の変化はみられない。

湾内への負荷量は25年間でTN/TP比が約4倍増加した。この原因について、全負荷量のうち河川と下水処理場からの負荷量が、T-Nで95%以上、T-Pでほぼ100%を占める。このためこの2つの負荷形態について考察を行った。

増加要因の1つである下水処理場からの負荷量は、T-Nが増加傾向、T-Pが減少傾向を示し、TN/TP比が約7倍増加した。特に1980年代に福岡市の人口増加⁸⁾とともに下水処理量が増加し、T-Nの放流量も増加している。一方で、各処理センターでは1990年代前半からリン

の高度処理が整備され、脱リンを行っており、T-P減少の要因となっている。

他方、河川からの負荷量は、T-Nは横ばい傾向であるのに対し、T-Pが低下し、TN/TP比が約2倍増加している。瀬戸内海では、海域への負荷は家庭食生活、食品工業、畜産業、農地からの影響が大きく、特に農地への施肥においてNは化学肥料として多く利用されているが、Pは不足気味であり、負荷量のP減少の原因の1つと指摘されている⁹⁾。福岡湾でも同様の要因でリンの減少が生じている可能性があるが、様々な視点から検討を行う必要がある。

今回、福岡湾への負荷量でTN/TP比が25年間で約4倍に、水質のTN/TP比が約1.5～2倍に増加していた。

同じ閉鎖性内湾で人口密度が高い大阪市に隣接する大阪湾では、1970年代以降の10年間に全域全層年平均値でN/P比が約5倍増加し、その後、増減をくり返していると報告されている¹⁰⁾。今回の福岡湾での増加割合は、これより小さいものの長期間、増加傾向が継続している点で異なる。

このようなN/P比の増加は、生態系へ影響することが懸念されている。東京湾では、予備的な解析で1965年前後～1980年代後半にN/P比が増大し、その時期に生物相が貧困化した。1970年代にN/P比が低下すると生物相が回復に向かったことを報告している¹⁰⁾。また、上らによると未解明な点が多いが、富栄養化やN/P比の増加が植物プランクトン相を珪藻類優占から非珪藻類優占へ変化させ、その結果、一次生産の割合が減少し、漁業生産が低下する可能性があることを指摘している¹⁰⁾。

福岡湾においても水質のTN/TP比が上昇傾向を示していることから、今後は、湾内の基礎生産となる植物プランクトンや生物相の変遷について、N/P比の変動と比較しながら解析を行う必要がある。

負荷量と水質のT-N、T-P量の変動を比較するとそれぞれ正の相関はみられるものの測定値にバラツキもみられた。このことは、湾内の栄養塩の変動に、負荷量の変動以外に、底質や湾外域への栄養塩の移動など、他の要因が関与していることが考えられる。また、負荷量と水質との関係は、湾口部に比べ、湾奥部で関係が強い。このことは、負荷量の中で多くの割合を占める河川と下水処理場が湾奥部に位置することが原因であろう。

負荷量と湾奥部のTN/TP比が最も強い関係がみられたことから、これらを年代別に整理し、図13に示した。両者の関係は、年代ごとにグループ化でき、年代が上がるのに従いTN/TP比も上昇してしており、湾内の水質

の栄養塩のバランスの変化に、湾内への負荷量のバランスの変化が強く関与していることが示唆された。負荷量

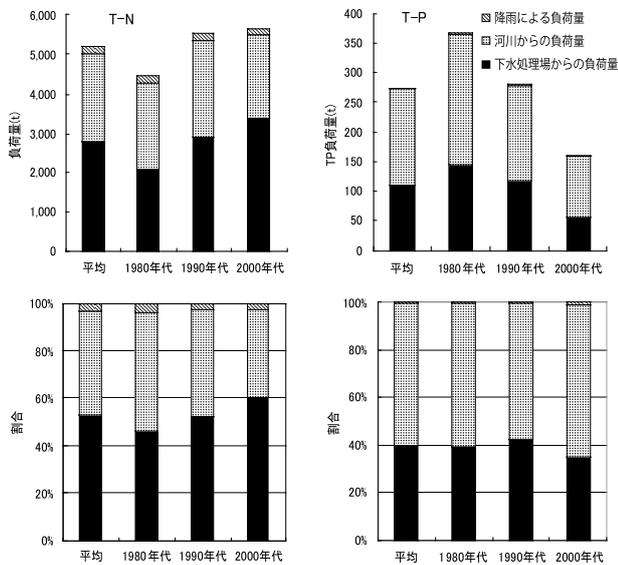


図12 年代別の負荷量及び割合の変動

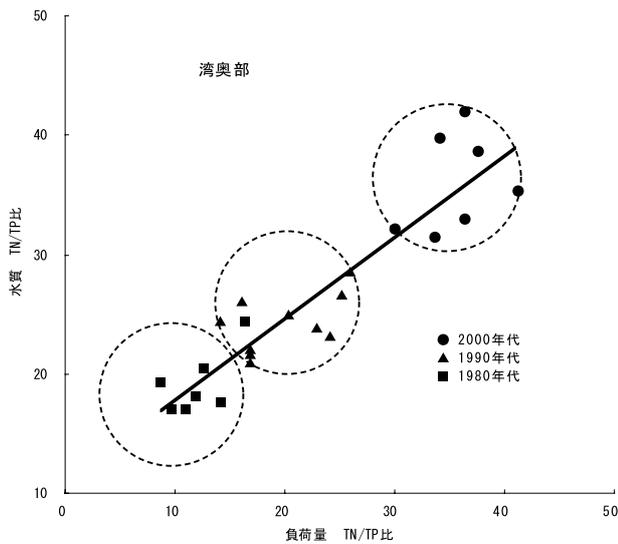


図13 年代別の負荷量と水質環境のTN/TP比との関係

と底質では、ほとんど関係はみられなかった。このことは負荷量が湾内の底質環境へ影響を及ぼすまでに、湾内の水質、湾外への出入、底泥への沈降や溶出など複雑な課程を経ていることが起因しているからであろう。

今回、福岡湾への負荷量の長期変動を整理し、負荷量と水質のTN/TP比との間に関連がみられた。今後は、整理した基礎資料を用いて、福岡湾の栄養塩収支等を明らかにし、基礎生産から漁業生産まで、様々な角度から適正な栄養塩バランスの検討を行う必要がある。

文 献

- 1) 多田邦尚：降水中の窒素・リン濃度と内湾への栄養塩負荷量，海と空，4，(1998)
- 2) 気象庁：福岡県気象月報．(1982-2004)
- 3) 篠原満寿美：福岡湾における夏季貧酸素水塊の発生状況．福岡県水産海洋技術センター研究報告，81-87．(2002)
- 4) 佐藤博之・山本千裕・寺井千尋：福岡湾における *Heterocapsa circularisquama* 赤潮発生年の環境について．福岡県水産海洋技術センター研究報告，71-75．(2005)
- 5) 福岡市環境局：福岡市水質測定結果報告．(1982-2004)
- 6) 福岡市下水道局：福岡市下水道処理管理年報．(1982-2004)
- 7) 神菌真人：福岡湾の窒素・リン収支，沿岸海洋研究，vol.38，131-138 (2001)
- 8) 福岡市市民局：福岡市統計年報．(1982-2004)
- 9) 岡市友利・小森星児・中西弘：瀬戸内海の生物資源と環境：恒星社厚生閣，(1996)
- 10) 水域の窒素・リン比と水産生物：恒星社厚生閣，(1993)