

博多湾における水質の変化と赤潮発生状況

(一財)九州環境管理協会環境部環境技術課 時枝 琢
横山 佳裕

要 旨

博多湾では、流域における下水道の普及および高度処理の導入により、海域の栄養塩類の濃度やその存在比が変化してきており、これに伴い植物プランクトンの出現状況にも変化がみられている。このため、本研究では、下水処理の効果が赤潮発生状況にも影響を及ぼしているかについて、水質の変化とあわせて検討した。その結果、海域の水質では、流域人口が増加する一方、下水道の普及や高度処理によるリン除去の導入により T-P 濃度は低下し、内部生産由来の有機物も減少したことで COD は改善していた。一方、赤潮発生日数には大きな変化はみられなかった。この要因の一つに赤潮の発生は降雨流出状況等の影響が制限となり、下水処理だけでは赤潮の制御は難しいことがわかった。また、T-N/T-P が上昇し、植物プランクトンの増殖に必要な栄養塩の制限状況が変化したことが、赤潮構成種の変化の一因となっていると考えられた。

1. はじめに

福岡市をはじめとする博多湾流域市町では都市化が進み、経年的に人口が増加し、2009 年度には流域市町の人口は約 210 万人に達している (図 1) ^{1,2)}。この人口の増加に伴う博多湾への流入負荷量の増加による水質汚濁が懸念されたことから、1980 年代から 2000 年代にかけて下水道の整備が急速に進められたため、下水処理人口は増え、2012 年度には普及率は 97% となっている (図 1) ^{2,3)}。加えて、1993 年度より福岡市の下水処理場 (図 2) では高度処理によるリンの除去が始まり、1999 年度に全ての処理場で導入が完了している ⁴⁾。さらに、一部の処理場では、窒素とリンを同時に除去する施設が導入されている ⁵⁾。

下水の高度処理は、水質改善と同時に栄養塩類の濃度や存在比に変化をもたらすが、これらの変化は植物プラ

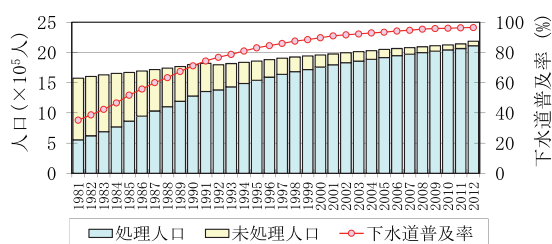


図 1 博多湾流域市町の人口と下水道普及率の推移

ンクトンの出現状況に変化を与えるといわれている ^{6,7)}。実際に博多湾でも、栄養塩濃度の変化に伴い、植物プランクトンの種の変化がみられている ⁸⁾。

本研究は、下水処理により生態系に影響を与える赤潮発生状況がどう変化したかを、水質の変化とあわせて検討したものである。

2. 解析方法

図 2 に示す博多湾内の環境基準点 8 地点において、月 1 回の頻度で公共用水域の水質調査が行われている ⁹⁾。これら環境基準点のうち、下水処理場や河川からの流入の影響を強く受け、赤潮の発生が多くみられる E-2 を解析対象地点とした。解析には赤潮が発生しやすい表層(海

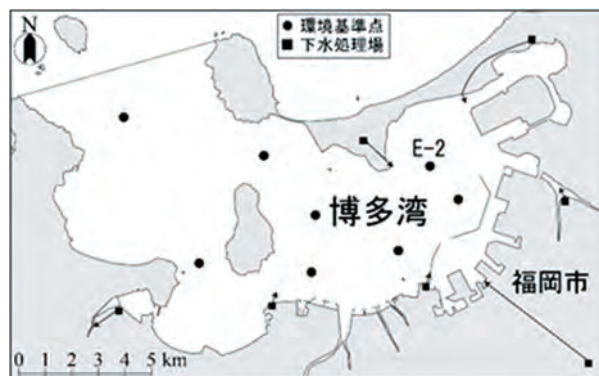


図 2 博多湾内の環境基準点と下水処理場

面下 0.5m) の、1981～2014 年度における水質データ⁹⁾を用いた。また、九州海域の赤潮¹⁰⁾より、博多湾で発生した全ての赤潮の月別発生日数を整理し、主な赤潮構成種である珪藻類と渦鞭毛藻類についても同様に整理した。

水質データは赤潮発生月と非発生月に区分し、T-N 濃度、T-P 濃度および T-N/T-P (モル比) の頻度分布を水温別に整理した。さらに、赤潮発生月のデータを下水の高度処理導入前 (1981～1992 年度) と導入完了後 (2000～2014 年度) の期間に分けて同様に整理した。赤潮発生の有無や高度処理導入前後の頻度分布を比較することにより、高度処理導入前後での赤潮発生状況の違いを調べた。

3. 水質調査結果および赤潮発生状況

T-N、T-P、T-N/T-P (モル比) および COD の経年変化⁹⁾を図 3 に示す。また、月別赤潮発生日数¹⁰⁾の経年変化を図 4 に、赤潮構成種のうち、博多湾で主に発生する珪藻類、渦鞭毛藻類の月別赤潮発生日数の経年変化を図 5 に示す。これらの図には、月毎の変動を均して長期的傾向を見やすくするため、12 か月移動平均を赤線で示した。

4. 考察

4. 1 T-N、T-P、T-N/T-P、COD の変化

図 3 に示した水質の経年変化によると、T-N は流域人口¹⁾の増加に伴い 1990 年度頃までやや上昇傾向にあったが、下水道普及率²⁾が約 75% を超えるようになった 1991 年度以降、概ね横ばい傾向を示している。これより、流域人口の増加に伴う生活排水の増加により上昇すると考えられる海域の T-N 濃度を、下水道の普及により抑制している状況がうかがえる。

T-P は、T-N と同様に 1990 年度頃までやや上昇傾向にあったが、下水道普及率の向上に加え、高度処理によるリン除去に伴い³⁾、1994 年度以降、大きく低下し、高度処理導入完了後の 2000 年度以降には導入前より低い 0.04mg/L 以下で推移している。

T-N/T-P は、T-P が低下し始めた 1994 年度から 2004 年度頃にかけて大きく上昇し、その後、概ね横ばい傾向を

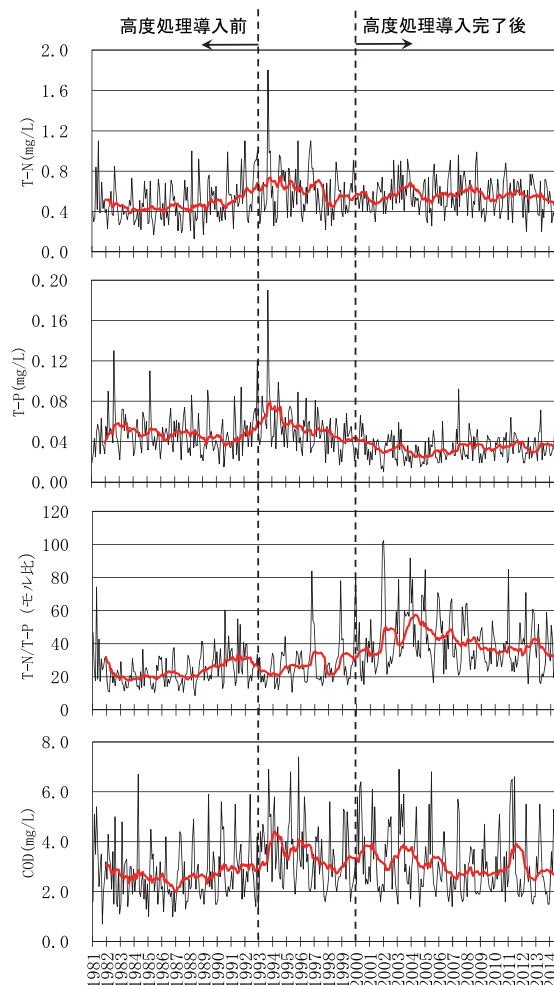


図 3 水質の経年変化

示している。

COD は、1990 年度頃まで T-P の上昇に伴い上昇傾向にあったが、T-P が低下し始めた 1994 年度頃からは、内部生産由来の COD が減少したこと^{8,11,12)}で漸減傾向を示している。

このように博多湾では、1990 年度頃まで流域人口の増加に伴う富栄養化や有機汚濁がみられるが、下水道の普及や高度処理によるリン除去の効果により、水質は改善傾向にあると考えられる。また、リン除去により T-N/T-P は上昇傾向を示した。

4. 2 赤潮発生状況の変化

図 4 に示した月別赤潮発生日数の経年変化によると、月別赤潮発生日数は、1980 年度から 1994 年度頃までは増加傾向を示し、1995 年度から 2000 年度頃までは一時

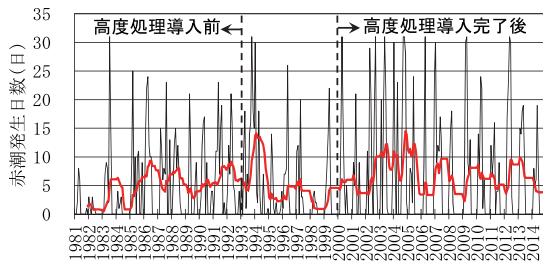


図4 月別赤潮発生日数の経年変化

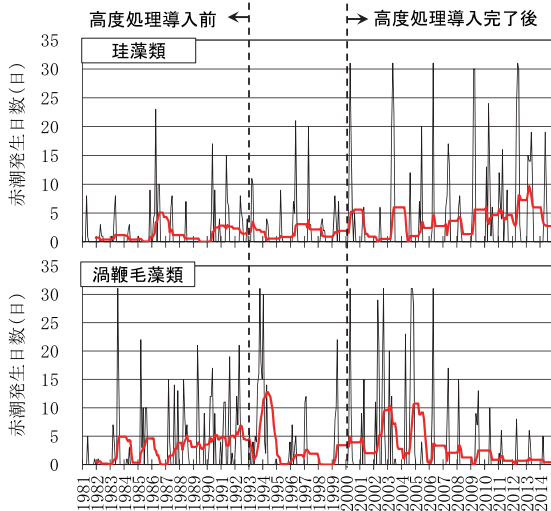


図5 珪藻類と渦鞭毛藻類の月別赤潮発生日数の経年変化

的に減少したが、再び増加して、横ばいで推移している。

T-P 濃度が大きく変化した高度処理導入前から導入完了後にかけては大きな変化はほとんどない。

高度処理導入前から導入後にかけてみられた赤潮発生日数の経年変動について、図5に示した珪藻類と渦鞭毛藻類の経年変化で構成種の違いをみると、珪藻類では高度処理導入前の平均日数が1.4日であるのに対して、導入完了後には平均で3.7日と増加していた。渦鞭毛藻類では、導入前の平均日数が2.9日であるのに対して、導入完了後には平均で2.8日とほぼ変わらない。高度処理導入前には渦鞭毛藻類の赤潮の割合が珪藻類と比べて高かったが、導入完了後には珪藻類の割合が高くなっており、赤潮構成プランクトンの種類が変化していた。

4.3 赤潮発生月の栄養塩類等の状況

博多湾の赤潮発生とその時の水質をみるために、赤潮発生月と非発生月における水質を比較した。その結果を図6に示す。

水温階級をみると、赤潮発生月は高温期（暖色系の

水温階級）が多く、非発生月は低水温期（寒色系の水温階級）となっている。

T-N 濃度の頻度分布をみると、赤潮発生月は概ね0.2~0.6mg/Lの範囲にあることが多いが、非発生月はそれより高く、概ね0.4~0.8mg/Lの範囲にあることがほとんどである。T-P 濃度では、赤潮発生月と非発生月で傾向に大きな違いはなく、概ね0.02~0.06mg/Lの範囲にあることが多かった。T-N/T-P では、赤潮発生月は概ね15~20にあることが多いが、非発生月はそれより高く、概ね20以上となっている。この水温階級別の栄養塩類の状況は、赤潮発生月の高温期では T-N 濃度の低下に伴い T-N/T-P が低く、逆に非発生月の低温期では T-N の上昇に伴い T-N/T-P が高くなる傾向を表しており、窒素に対する下水処理効率の季節変動に依存して変化していると考えられる。

次に、高度処理導入前後において、T-P 濃度や T-N/T-P、赤潮構成種が変化していることから、赤潮発生時の栄養塩濃度およびその存在比に違いがないかをみるために、赤潮発生月の頻度分布を高度処理導入前と導入完了後に区分した。その結果を図7に示す。

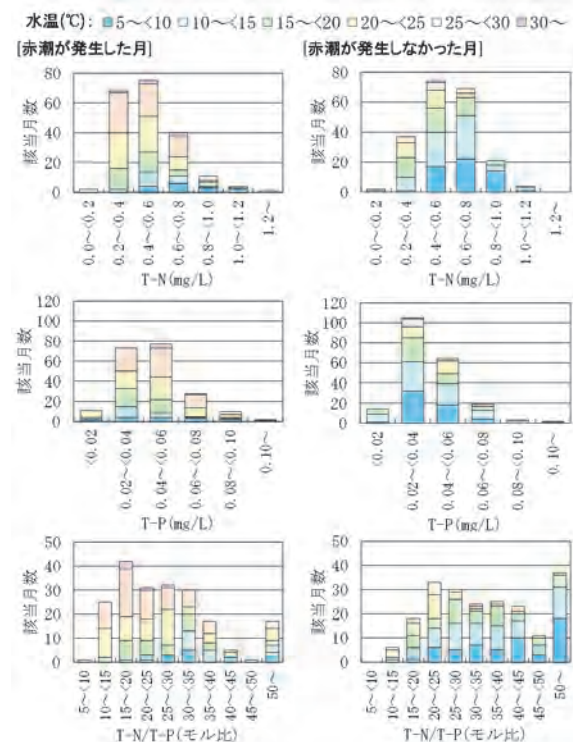


図6 赤潮発生月・非発生月における T-N・T-P 濃度別および T-N/T-P 比（モル比）別の頻度分布

T-N 濃度の頻度分布を高度処理導入前後で比較すると、導入前には概ね0.2~0.4mg/Lの範囲にあることが多いのに対し、導入完了後にはそれより高く、概ね0.4~0.6mg/Lの範囲にあることがわかる。T-P 濃度では、導入前は概ね0.04~0.06mg/Lの範囲にあることが多いのに対して、導入完了後はそれより低く、0.02~0.04mg/Lの範囲に移行している。これらの傾向を反映した T-N/T-P では、導入前は10~20の範囲であり、レッドフィールド比(=16)¹³⁾より低い窒素制限下にあることも多いが、導入完了後は概ね25以上となっており、ほとんどの月でリン制限と

なっていた。このような栄養塩制限の変化が、赤潮構成種の変化の一因となっていると考えられる。

また、高度処理導入前後における赤潮の発生条件や構成種の変化を適切に比較するには、気温・水温の温度条件や全天日射量などの光条件、栄養塩類が流入する降雨条件等、高度処理導入とは無関係の要素についても検討する必要がある。その一例として、栄養塩類の流入状況に着目して赤潮発生月における塩化物イオン濃度の頻度分布を、高度処理導入前後で比較した(図8)。これをみると、高度処理導入前には概ね17,000~18,000mg/Lの範囲であるのに対し、導入完了後には濃度範囲が16,000~19,000mg/Lと広がっている。高度処理導入前から導入完了後にかけての、多雨や少雨などの降水パターンの変化や、流域の市街化に伴う表面流出量の増加などが、栄養塩類の T-P 濃度や有機物の COD 濃度が改善されたにもかかわらず、赤潮発生日数には大きな変化がみられない一因となっている。このことから、高水温期では下水処理などによる生活排水由来の負荷の抑制だけでは赤潮発生を抑制することは難しく、降雨に伴う面源負荷の抑制も重要となる。

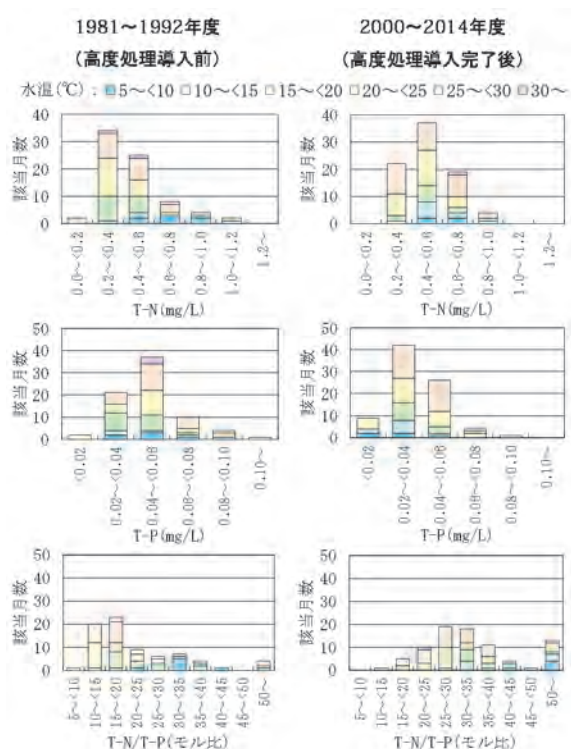


図7 高度処理導入前後の赤潮発生月における T-N・T-P 濃度別および T-N/T-P (モル比) 別の頻度分布

5. おわりに

博多湾では流域人口が増加する一方で、下水道の普及や高度処理の導入により、T-P 濃度が低下し、内部生産由来の有機物も減少したことから COD は改善していた。一方、赤潮発生日数には大きな変化はみられなかった。その要因の一つに、降雨流出状況等、面源負荷の影響が挙げられ、下水処理による栄養塩供給量の削減だけでは、赤潮の制御までは難しいことがわかった。

また、T-P 濃度の減少に伴い、T-N/T-P が上昇し、植物プランクトンの増殖に必要な栄養塩制限状況が変化していることが、赤潮構成種の変化の一因となっていると考えられた。

今後は、赤潮構成種を細分化して構成種の変化や栄養塩濃度やその存在比との関係をより詳細に検討するとともに、植物プランクトンの増殖に関する他の要素との関連性をさらに考慮するなど、より詳細な解析を進めていくことで、博多湾における高度な栄養塩管理手法を確

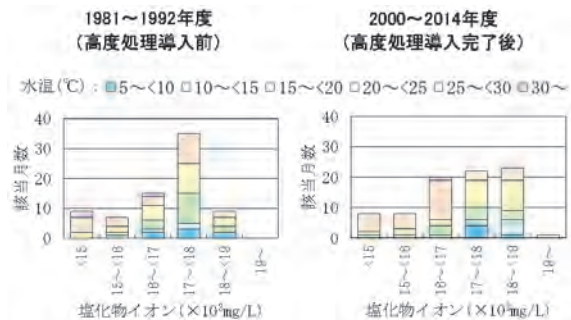


図8 高度処理導入前後の赤潮発生月における塩化物イオン濃度別の頻度分布

立していきたいと考えている。

謝辞

本研究にあたっては、研究会のメンバーの方々に貴重なご意見をいただいた。また、データの解析にあたっては、福岡市や水産庁九州漁業調整事務所の貴重な観測データを使用させて頂いた。ここに記し、心から感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 福岡市環境局：博多湾環境保全計画，福岡市ホームページ <http://www.city.fukuoka.lg.jp/kankyo/k-chosei/hp/keikaku4.html>，2008.
- 2) 福岡県企画・地域振興部調査統計課：下水道整備状況，ふくおかデータウェブ，福岡県ホームページ <http://www.pref.fukuoka.lg.jp/dataweb/>.
- 3) 福岡県建築都市部下水道課：福岡県の下水道 平成26年度，福岡県ホームページ <http://www.pref.fukuoka.lg.jp/gyosei-shiryo/fukuokakennogesuido-h26.html>.
- 4) 福岡市下水道局：平成5年度～平成11年度 福岡市水処理センター管理年報，1994-2000.
- 5) 福岡市道路下水道局：下水道事業の紹介(高度処理)，福岡市道路下水道局ホームページ <http://www.city.fukuoka.lg.jp/doro-gesuido/keikaku/hp/transaction.html>.
- 6) 吉田陽一：水産学シリーズ95 水域の窒素：リン比と水産生物（日本水産学会監修），1993.
- 7) 山本民治：瀬戸内海における植物プランクトン態 N:P 比とその変動要因，水産海洋研究，Vol.63，No.1，pp.6-13，1999.
- 8) 横山佳裕，吉次祥子，中嶋雅孝，内田唯史，中西弘：博多湾における栄養塩濃度の変化に伴う植物プランクトンの種の変化の解析，土木学会論文集 B3（海洋開発），Vol.67，No.2，pp.I_340-I_345，2011.
- 9) 福岡市環境局：福岡市水質測定結果報告書 昭和54年度～平成26年度版，1980-2015.
- 10) 水産庁九州漁業調整事務所：昭和54年～平成27年九州海域の赤潮，1980-2016.
- 11) 横山佳裕，中野裕香子，吉次祥子，中嶋雅孝，内田唯史，中西弘：閉鎖性水域における高度な栄養塩管

理の導入に関する一考察，土木学会論文集 G(環境)，Vol.67，No.7，pp.III_203-III_211，2011.

- 12) 後藤祐哉，横山佳裕，内田唯史，中嶋雅孝：博多湾における「高度な栄養塩管理手法」の一考察，土木学会論文集 G(環境)，Vol.71，No.6，pp.II_369-II_376，2015.
- 13) A.C. Redfield, B.H. Ketchum and F.A. Richards : The influence of organisms on the composition of seawater, *In The Sea* (ed. by M. N. Hill), Vol.2, pp.26-77, John Wiley, 1967.