

# 博多湾へ流入する窒素・リン負荷量と赤潮発生状況の 経年変化からみた適正な下水処理のありかたについて

中野 裕香子\*

## 1 はじめに

博多湾流域では、経年的に人口の増加が著しく、流入負荷量の削減のため、下水道の整備が急速に進められてきた<sup>1), 2)</sup> (図2)。また、平成5年度からは福岡市の水処理センターでリンの高度処理が開始され、平成11年度にはいずれの水処理センターも導入率100%を達成しており<sup>3)</sup> (図3)、博多湾の水質は、全窒素(T-N)濃度と比べて全リン(T-P)濃度の低下傾向が顕著にみられている<sup>4)</sup> (図4)。このような流域環境や海域の水質変化にみられるように、博多湾へ流入する栄養塩類のバランスが近年大きく変化している。一般に、窒素・リンのバランスが変化すると、植物プランクトンの出現状況も変化するとされていることから<sup>5)</sup>、博多湾においてもその可能性が十分に考えられる。

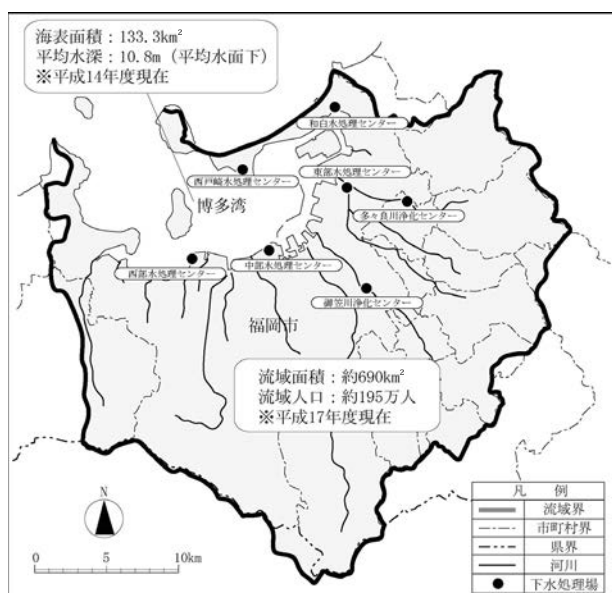


図1 博多湾流域と下水処理場の位置

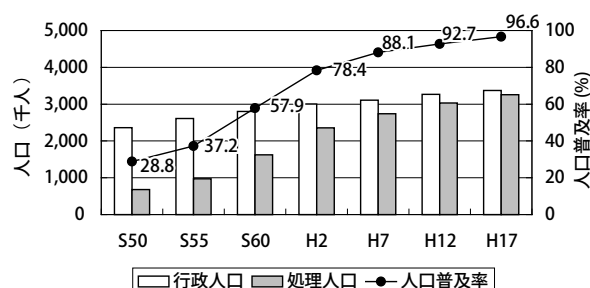


図2 博多湾流域における下水処理普及率の推移<sup>1), 2)</sup>

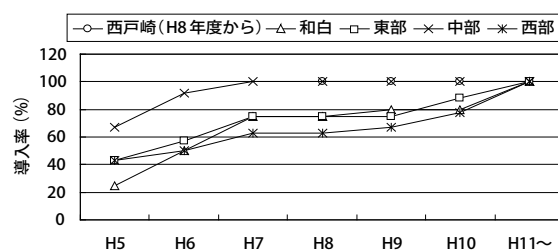


図3 福岡市の水処理センターにおけるリン高度処理施設の整備状況<sup>3)</sup>

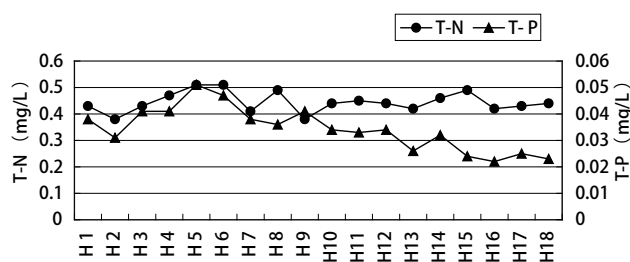


図4 博多湾の水質(T-N, T-P)の推移<sup>4)</sup>

ここでは、博多湾に流入する負荷量と赤潮の発生状況の経年変化を整理するとともに、赤潮の発生時の気象条件や流入負荷量条件等を整理した。また、下水処理における流入負荷量のコントロールによる赤潮の発生抑制の可能性を検討した。

\* (財)九州環境管理協会 環境部 環境技術課 研究員

## 2 検討方法

博多湾に流入する負荷量は、「博多湾環境保全計画（福岡市）」で算出されている平成4, 9, 12, 14年度の負荷量算定結果をもとに、経年の降水量<sup>6)</sup>、流域の土地利用面積<sup>7)</sup>、下水処理場の放流水質・放流量等<sup>2)</sup>の値を用いて、平成元年～平成18年度の値を算定した。

赤潮の発生状況については、「九州海域の赤潮（水産庁九州漁業調整事務所）」に記載の昭和60年4月～平成19年3月に福岡湾で発生した赤潮の種類と発生日数を整理した。

赤潮発生時の条件の抽出は、赤潮が発生した月、しなかった月の両者について、植物プランクトンの増殖に関連する項目である、気温、全天日射量、降水量、流入負荷量（T-N, T-P）の出現頻度を整理することで行った。この結果をもとに赤潮が発生しやすい気象条件、流入負荷量を推定した。

流入負荷量は、下水処理場の処理水由来の負荷量（以下、下水負荷量という）と山林・畑地・市街地などに降った降雨や工場排水等に由来する負荷量（以下、その他負荷量という）に区分される。その他負荷量は、降雨によって変動するものであるため、人為的な負荷量の調整が不可能である。しかし、下水負荷量は、下水処理場の処理率を変動させるなど、人為的な管理によって調整が可能である。福岡市の下水処理において、リンについては高度処理が行われているものの、窒素の高度処理については、現時点において一部の処理場での試験的運用となっている。このため、適正な栄養塩類の流入負荷量の条件となる下水処理レベルの検討にあたっては、T-P負荷量を対象とし、赤潮の発生を抑制することができるリン高度処理の適正化について検討した。

## 3 検討結果

### 3.1 博多湾に流入する負荷量と赤潮発生状況の経年変化

#### (1) 流入負荷量

博多湾に流入するT-N負荷量は、全体の約80%が下水負荷であり、平成7年度以降、概ね14,000～

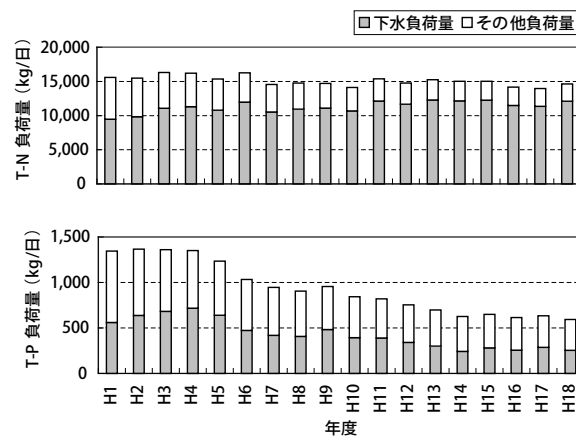


図5 流入負荷量の推移 (T-N・T-P)

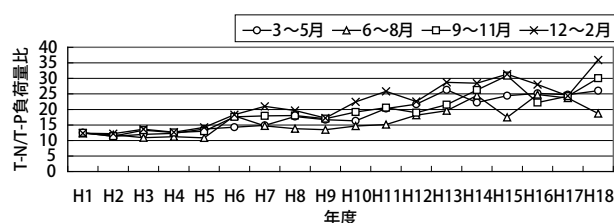


図6 T-N, T-P負荷量比の推移

15,000kg/日と横ばいで推移している（図5）。T-P負荷量は、全体の約50%が下水負荷量である。平成5年度からリンの高度処理が導入されているため、平成5年度から平成13年度にかけて負荷量が減少しており、14年度以降は全ての水処理センターで導入率が100%となったため、600kg/日前後と横ばいで推移している（図5）。

T-N, T-P負荷量比の推移をみると、平成元年度～5年度は12前後で推移していたが、平成6年度以降は上昇傾向がみられ、近年は20～30で推移している（図6）。

#### (2) 赤潮発生状況

博多湾（福岡湾）における赤潮の発生日数の経年変化を図7に示す。渦鞭毛藻類による赤潮は、季節を問わず発生している。赤潮発生日数が長いのは主に6月～8月であるが、平成5年度、14年度、16年度にみられるように、12月～2月にも発生日数が40～90日（3カ月間の累積）と長いこともあった。

珪藻類による赤潮は6月～8月に発生頻度が高く、気温の低い時期はほとんど発生しない。また、発生日数が20日以上と長いのも6～8月であった。

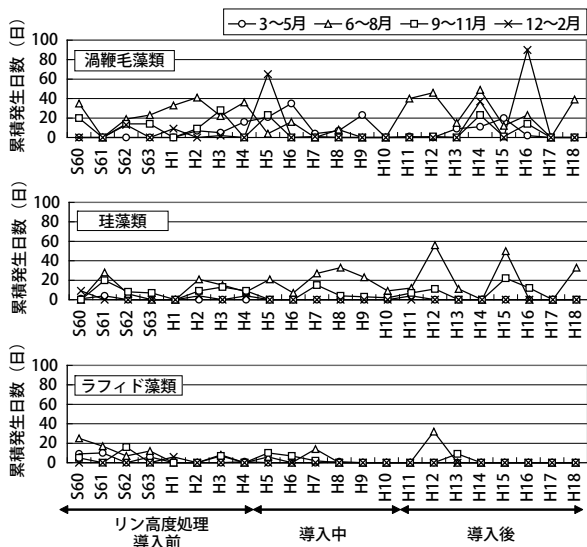


図7 赤潮発生日数の経年変化

ラフィド藻類による赤潮は、昭和60年度～平成7年度の6月～8月、9月～11月に発生頻度が高く、平成8年度以降（平成12年度および13年度を除く）はほとんど発生していない。また、渦鞭毛藻類、珪藻類と比べると赤潮発生日数は短く、20日以上となることは昭和60年度～平成18年度の期間で2回であった。

主な赤潮形成種は、渦鞭毛藻類が *Kalenia mikimotoi*, *Akashiwo Sanguinea*, *Heterocapsa circularisquama* など、珪藻類が *Skeletonema costatum*, *Thalassiosira* sp. など、ラフィド藻類が *Heterosigma akashiwo*, *Chattonella* sp. などであり、渦鞭毛藻類とラフィド藻類は赤潮発生による漁業被害が報告されることもあるが、珪藻赤潮による漁業被害はこれまで1度も報告されたことがない。

### 3.2 赤潮発生時の環境条件

平成元年度から平成18年度における月毎の平均気温、全天日射量、降水量、T-N 負荷量、T-P 負荷量の範囲毎に、プランクトンの種類毎別の赤潮発生日数の出現頻度を整理した（図8）。赤潮発生時の環境条件を以下に示す。

#### (1) 月平均気温

渦鞭毛藻類はいずれの気温条件においても20%以上出現していた。珪藻類は20℃以上で出現頻度が高く、特に25℃～30℃で高かった。ラフィド藻類は、

15℃以上で出現頻度が高く、15℃以下ではほとんど発生しなかった。赤潮発生日数が20日以上と長期化するのには、いずれの種類も平均気温が20℃以上と高い場合であるが、渦鞭毛藻類については、5～10℃と低い時期も赤潮が長期化する場合がみられる。

#### (2) 全天日射量

珪藻類およびラフィド藻類は、全天日射量が10MJ/m<sup>2</sup>以上となる時に赤潮発生頻度が高く、また、同条件で赤潮が長期化することが多かった。渦鞭毛藻類については、5～10MJ/m<sup>2</sup>でも発生頻度が20%程度あり、同条件で赤潮が長期化する割合も他の種類と比べて高かった。

#### (3) 月降水量

渦鞭毛藻類は、いずれの降水量条件においても20%以上出現しており、降水量が350mm以上と多い月、200mm以下の月ともに赤潮が長期化することがあった。珪藻類は、月降水量が300mm以上の時に出現頻度が高く、同条件で赤潮が長期化することが多かった。ラフィド藻類は、月降水量が250～300mmで出現頻度が高く、赤潮が長期化するのには50～150mmと比較的少雨の時であった。

#### (4) T-N 負荷量

渦鞭毛藻類、珪藻類は、T-N 負荷量が16,000kg/日以上、ラフィド藻類は18,000～20,000kg/日で出現頻度が高かった。

#### (5) T-P 負荷量

渦鞭毛藻類は、T-P 負荷量が400～600kg/日および600～800kg/日を除く全ての負荷量条件で出現頻度が40%以上と高く、400kg/日以下と負荷量が少ない条件で赤潮が長期化しやすい傾向がみられた。珪藻類は1,600kg/日以上、ラフィド藻類は1,200～1,400kg/日および1,600～1,800kg/日で出現頻度が高かった。

これらの結果から、珪藻類やラフィド藻類にとっては、T-P 負荷量が少ないほど赤潮発生頻度が低くな

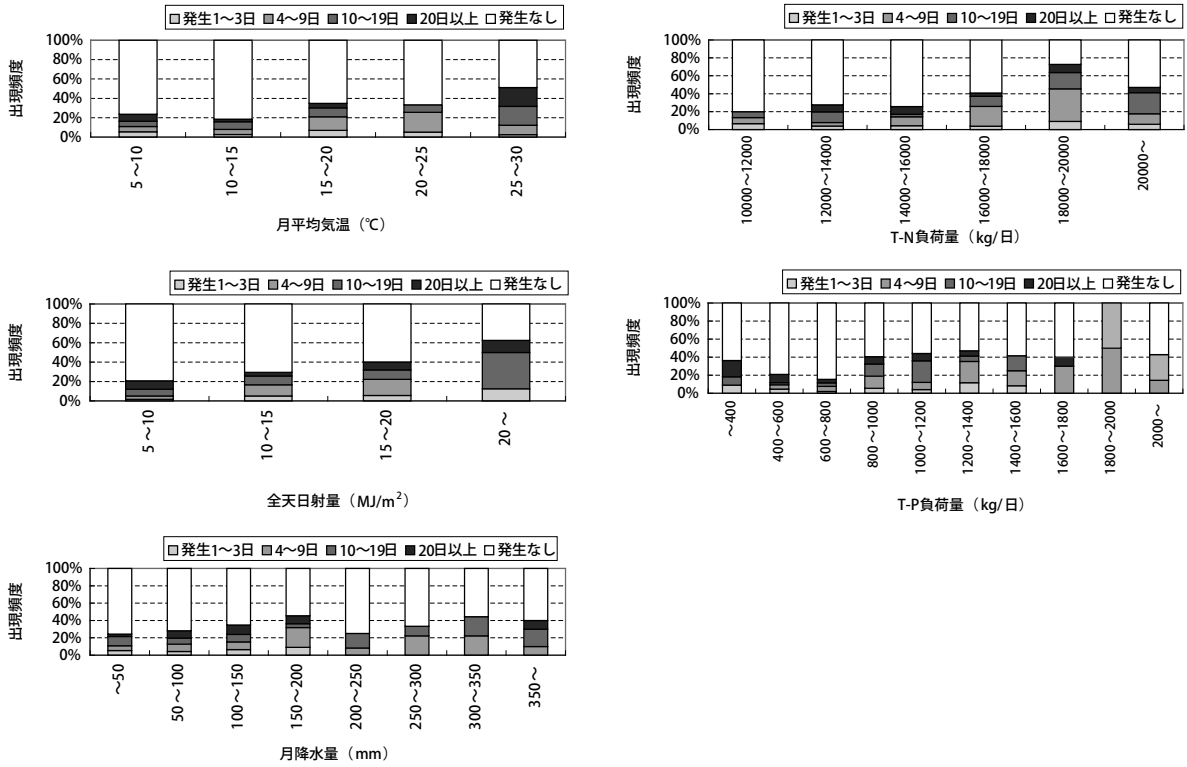


図8(1) 赤潮発生時における環境条件(渦鞭毛藻類)

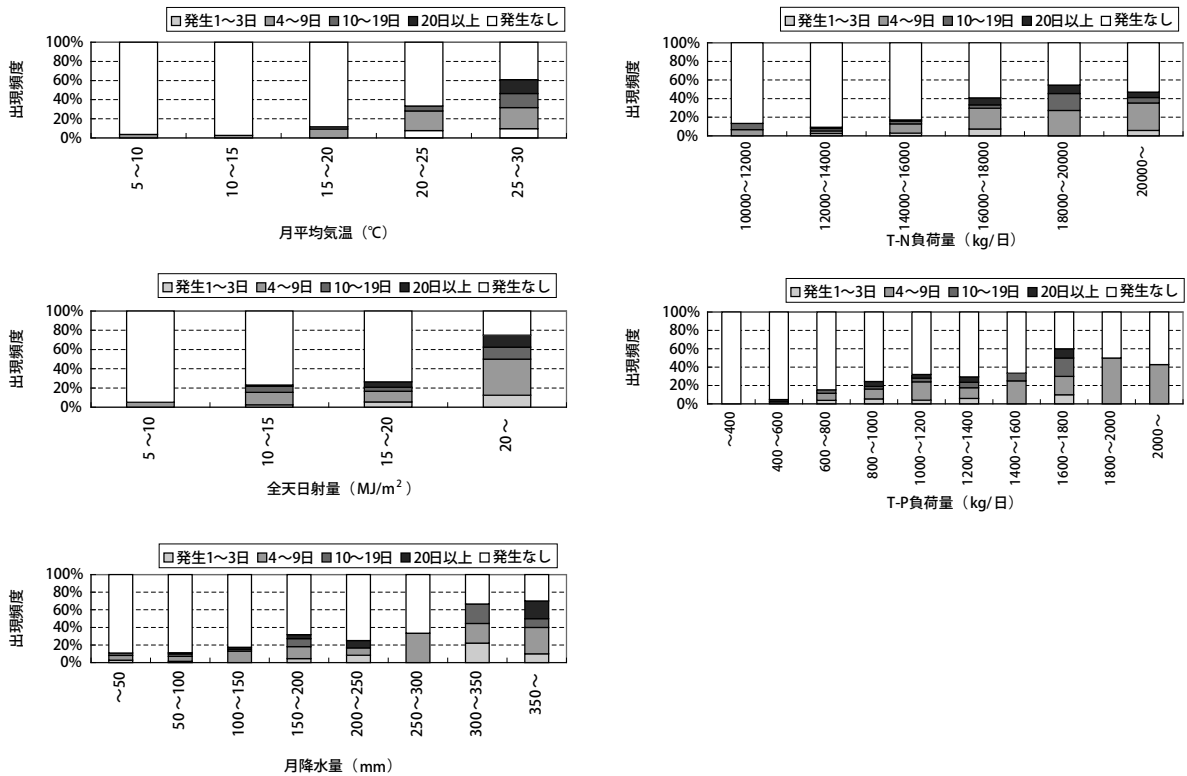


図8(2) 赤潮発生時における環境条件(珪藻類)

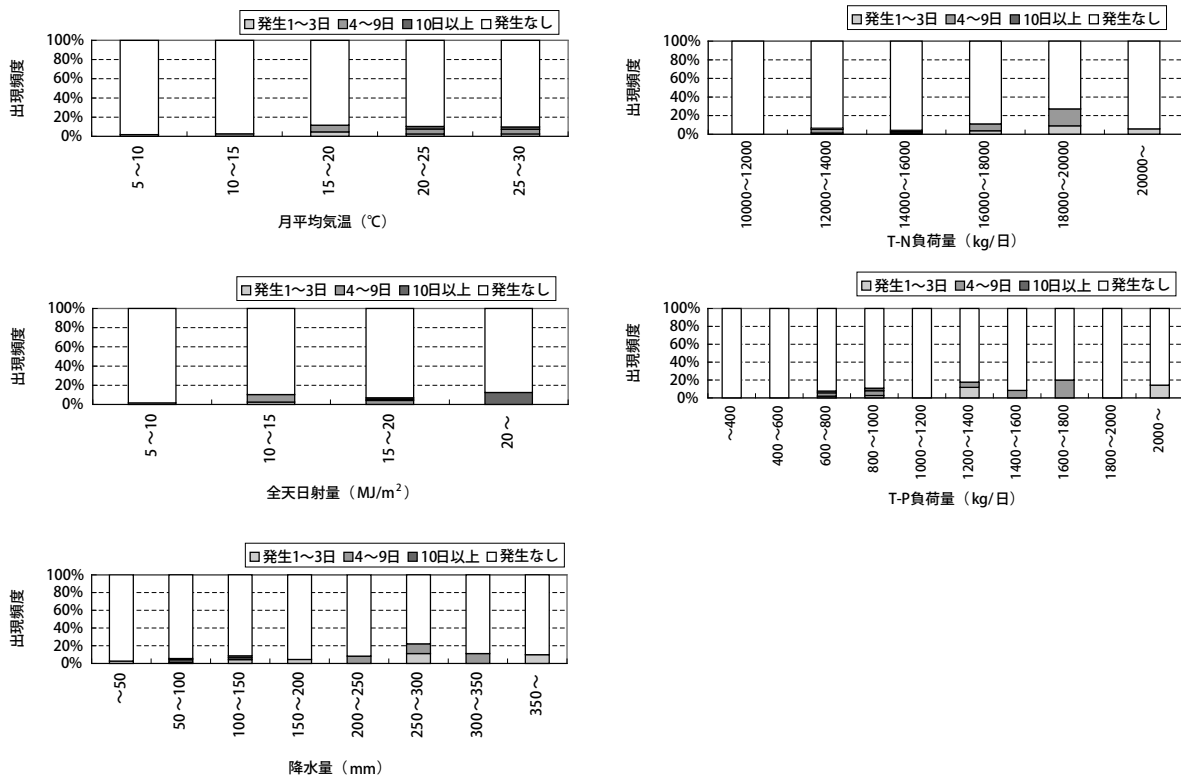


図 8 (3) 赤潮発生時における環境条件(ラフィド藻類)

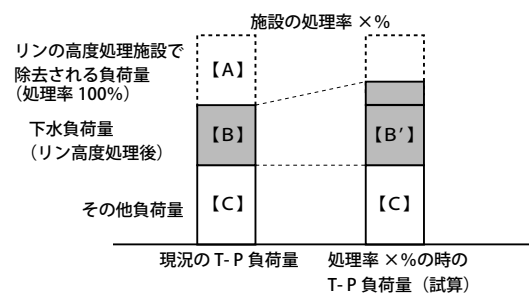
るが、渦鞭毛藻類については、T-P 負荷量が 400kg/日以下と少ない場合、出現頻度は約 40%と高く、赤潮発生期間が長期化しやすい傾向がみられた。

### 3.3 赤潮の発生を抑制するためのリン高度処理施設の処理率の検討

近年、下水のリン高度処理の導入により、T-P 負荷量が 400kg/日以下となる時期が多く、渦鞭毛藻類の赤潮が発生しやすく、かつ長期化しやすい状況となっている。渦鞭毛藻類の赤潮は、過去に漁業被害の報告もあることから、漁業生産への影響を低減するため、現在の高度処理施設の処理率を下げることによって、適正な T-P 負荷量について検討した。3.2 の結果から、渦鞭毛藻類の赤潮の発生頻度が低い T-P 負荷量は 400～800kg/日であり、負荷量がこの範囲内となるように図 9 に示す方法で高度処理施設の処理率を求めた。

試算結果は、表 1 に示すとおりであり、月降水量が 25mm の場合、処理率を 100%とすると負荷量が 400kg/日以下となるため、85%以下の処理率と

することで適正な負荷量となる。月降水量が 25～50mm の場合は、施設を全く稼働させなくても、現状と同じ稼働状況であってもいずれの場合も適正な負荷量を維持できる。月降水量が 75～175mm の場合は、現状と同じ処理状況であっても適正な負荷量を維持できるが、処理率を降雨の状況に応じて 10～90%の範囲で下げても適正值を維持することが可能



$$\begin{aligned}
 A &= (\text{高度処理施設導入前の下水負荷量}) \\
 &\quad - (\text{高度処理施設 100\%導入後の下水負荷量}) \\
 &= \text{約 } 350\text{kg/日} \\
 B &= (\text{高度処理施設 100\%導入後の下水負荷量}) \\
 &= \text{約 } 250\text{kg/日} \\
 C &= 2,6747 \times (\text{降水量}) + 30.84 \\
 &\quad (\text{降雨とその他負荷量との関係式より求めた式}) \\
 B' &= 350 \times (1-X)/100
 \end{aligned}$$

図 9 検討方法

表1 試算結果

月降水量 (mm)	現況のT-P負荷量(kg/日) (処理率100%)			処理率X%		処理率X%の時の T-P負荷量の試算結果 (kg/日)		
	下水	その他	合計	最小	最大	最小	最大	最大
25	250	98	348	0	85	401	698	
50	250	165	415	0	100	415	765	
75	250	231	481	10	100	481	796	
100	250	298	548	30	100	548	793	
125	250	365	615	50	100	615	790	
150	250	432	682	70	100	682	787	
175	250	499	749	90	100	749	784	
200	250	566	816		100	816		
225	250	633	883		100	883		
250	250	700	950		100	950		
275	250	766	1,016		100	1,016		
300	250	833	1,083		100	1,083		
325	250	900	1,150		100	1,150		
350	250	967	1,217		100	1,217		
375	250	1,034	1,284		100	1,284		

：負荷量が400～800kg/日であることを示す。

である。月降水量が200mm以上の場合は、降雨によって変動するその他の負荷量が増加し、現状の施設の処理率(100%)では適正な負荷量とすることは困難であり、リン制御による赤潮の発生抑制は難しいと考えられる。

平成元年～平成21年の月降水量の出現頻度を図10に示す。10月は降水量25mm以下となる頻度が年間で最も高いため、渇水年については処理率85%

以下で稼働させることが望ましい。1月、12月は降水量50mm以下の出現頻度が約40%であり、少雨の年であれば施設を稼働させない状況でもT-P負荷量は適正な値を維持できる。前述の1月、10月、12月を含め、2月、3月、4月、11月についても降水量175mm以下が80%以上の出現頻度であるため、処理率は現状維持または降雨の状況によっては10%程度の処理率でもT-P負荷量を適正值とすることができる。一方、6月、7月は降水量200mm以上が50%以上を占めるため、リンの高度処理施設の処理率を現状以上としない限り、T-P負荷量の削減は難しい。

#### 4 まとめ

博多湾では、平成5年度以降の下水のリン高度処理の導入に伴い、流入するT-P負荷量が減少傾向にある。近年、このT-P負荷量の減少に伴い、赤潮の発生傾向に変化がみられ、珪藻類やラフィド藻類については減少傾向、これに対して渦鞭毛藻類につい

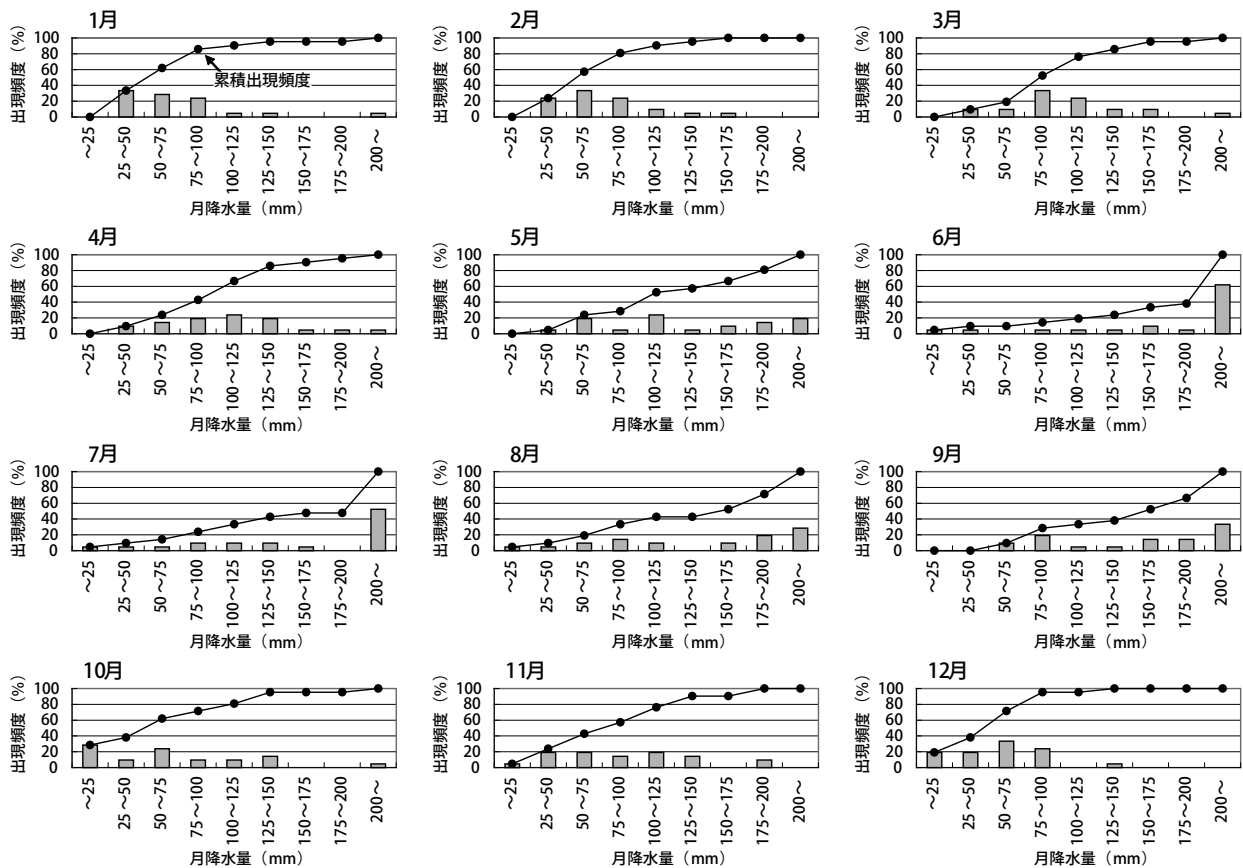


図10 月降水量の出現頻度(平成元年～21年)

では T-P 負荷量を 400kg/日以下まで削減すると赤潮の発生頻度が高く、かつ、発生期間が長期化しやすい傾向がみられた。このため、赤潮の発生の一要因ともなっているリンについて、赤潮の抑制が可能な負荷量(400～800kg/日)となるよう、リン高度処理施設の処理率を変動させて T-P 負荷量を試算した。この結果、降雨の多い 6 月、7 月はリン高度処理施設の処理率を現状以上としなければ T-P 負荷量を適正值とすることが困難であるが、降雨の少ない 1 月～4 月、10 月～12 月は現状の処理率以下であっても T-P 負荷量は適正值を維持することができる。さらに、月降水量が 25mm 以下となる場合(主に 10 月に出現)については、処理率 85% 以下が望ましいと考えられた。

このように、海域の赤潮発生のみならず、水域の生態系の保全のための流入栄養塩類の濃度レベルは、季節によってその要求量が異なる。今後、水域への流入負荷量の適正化のため、人為的にコントロールできる下水処理水の処理レベルを検討していくこと

が重要である。

## 5 おわりに

本研究は、当協会の「閉鎖性海域における高度な栄養塩管理に関する研究会(博多湾・有明研究会)」において平成 21 年度に検討した内容である。今後も海域の栄養塩管理について研究を継続していく予定である。

## 参考資料

- 1) 国勢調査結果(総務省)
- 2) 福岡県の下水道(福岡県)
- 3) 福岡市下水道局資料
- 4) 公共用水域水質測定結果
- 5) 吉田陽一編(1993)、水域の窒素：リン比と水産生物、日本水産学会監修、水産学シリーズ 95、恒星社厚生閣
- 6) 気象庁(<http://www.jma.go.jp/jma/index.html>)
- 7) 国土数値情報(国土交通省計画局)



コウノトリ



コミミズク