

横浜港の赤潮発生予測についての発表を含む補足

米本 豊

1. はじめに

近年の東京湾の赤潮発生回数は減少傾向にあるが、東京湾内湾ではやや低下傾向が見られる程度の状況となっている。横浜港も同様に俯瞰すると赤潮発生回数の低下が停滞している。これらを、図-1に示す。高度成長時期に水質悪化によって東京湾のアオギスが絶滅したが、近年でも赤潮発生による魚の鰓への付着や溶存酸素不足が起こる。また、引き続き起こる場合がある青潮の影響でも、移動速度の遅い底生動物の絶滅等が危惧される。高度成長期時期では、この原因が生活排水や工場排水に起因していたが、現在は下水処理場の普及が進み水質が良くなった。しかし、逆に普及率が高くなったため、東京湾への下水処理排水の負荷の占める割合が大きくなった。赤潮発生は、負荷の他に入れ替えにくさや、ヘドロの影響等が要因と考えられるが、どの要因も、解決するには、膨大な費用が掛かると思われる。赤潮の解決法としては幾つかあり、実施している場所もあるが、広範囲での実績は無く、容易では無いと思われる。

今回、今までの気象衛星により測定したクロロフィルのデータから、クロロフィル濃度の簡単な予測式を推定して、予測から、赤潮発生を減少させる対処を行う方法を提案したい。また、赤潮発生では、必要最低濃度が、りん 0.01(mg/l)、窒素 0.07(mg/l)¹⁾ 以上と考えられる報告もあるので、りんによって制御されると考えられるため、りんの処理を中心に報告する。過去に行った疑似嫌気好気のテーブル実験から、窒素除去の兼ね合いもあるので検討の結果によるが、まだ、生物学的にりんの処理をより良化するやり方が考えられる。そこで、試す価値があると思われるのでテーブル実験等での確認を提案する。そして、第58回下水道研究発表会「横浜港の赤潮発生」では分かりにくかった水温と大岡川の赤潮発生の関係を新しく図示し、若干ではあるが、知見を得られたので報告する。

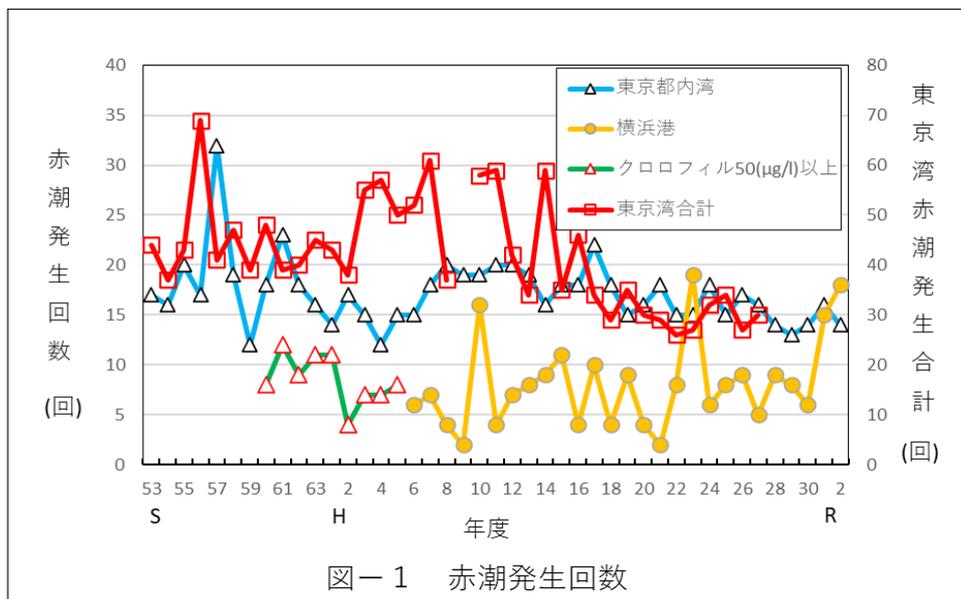


図-1 赤潮発生回数

2. 赤潮発生の概要と対策

気象衛星ひまわり8号により観測したクロロフィル濃度のデータを提供している JAXA とその他のデータの使用として TELLUS の結果をまとめ直して使用した。

横浜港内港の範囲は、南本牧ふ頭から川崎市の境とした。赤潮発生の予測では、2017年から2020年までの衛星から測定した鶴見川河口・横浜港内・本牧沖のクロロフィル濃度をまとめた。

東京湾の赤潮判定は、50(µg/l)以上であるが、平均値としている事と、栄養区分も考慮して 5(µg/l)以上で発生とした。30日で1回100(µg/l)が発生した場合、3.3(µg/l)程度である。予測して、対処をするまで

表-1 各年度の各時の月平均クロロフィル平均濃度 (µg/l)

年度 \ 時	10時	11時	12時	13時	15時
2017	5.37	3.16	3.17	4.79	4.75
2018	4.03	4.64	4.19	3.31	5.64
2019	2.48	6.68	5.34	3.12	5.44
2020	4.11	3.72	2.75	2.35	4.11
平均	4.00	4.55	3.86	3.39	4.99

に、時間を要する事と表一1より、午後の15時頃に濃度が高くなるので、15時の予測を求める事にした。

図一2に表一1で示した各年度の結果をグラフにして示した。これより、2019年が他の年に比べて、10時に低い値でも13時以外では高い事がわかる。2020は、発生回数が多かったが、図一2では表れていない。これは、採水地点の7地点の中の3地点の結果であり、表記した地点以外で発生したためである。2019年以外の年の変化は、おおよそ同じ傾向が見られ、予測が可能と考えられる。予測が出来れば、幾つかの対処法があり、赤潮発生を少なくする事が可能であると思われる。

対処法としては、

- 1) アルミ等（バクテリアも含む）を含有する投入剤の添加
- 2) マイクロバブルによる貧酸素状態の改良や殺菌

そして、長期を要するが

- 3) 生物相の改良等

以上があるが、投入剤は即効性があるが底質への影響等が考えられる。マイクロバブル法は、即効性は場合により、また、費用が掛かる方法である。各地域により、選択を考える必要がある。

3. 横浜港内湾の赤潮発生状況予測等

予測式は例として鶴見川河口の気象衛星によるクロロフィル濃度の10時と15時のデータを使用した。解析したところ、温度により傾向が変わる点が20℃であった。図一3に結果を示した。増加濃度と温度の関係が20℃を境にして変化している事が分かる。そこで、この温度の補正を加えて簡単な予測式を算出した。

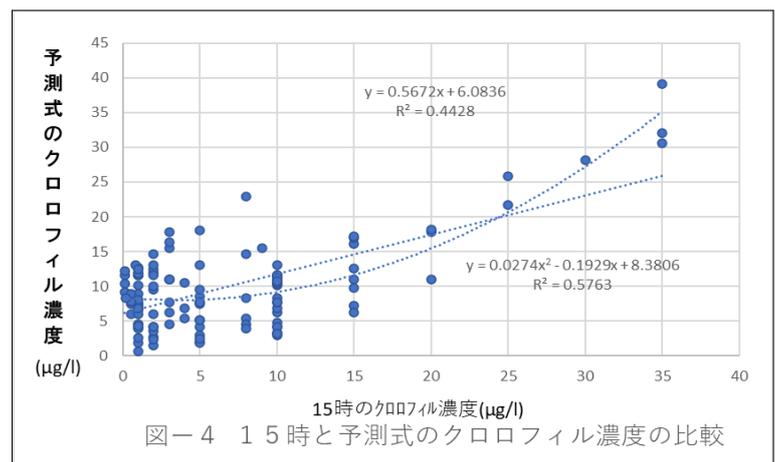
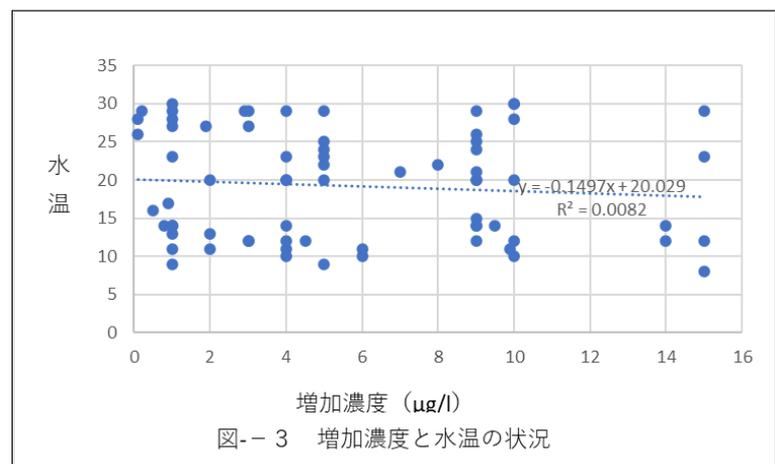
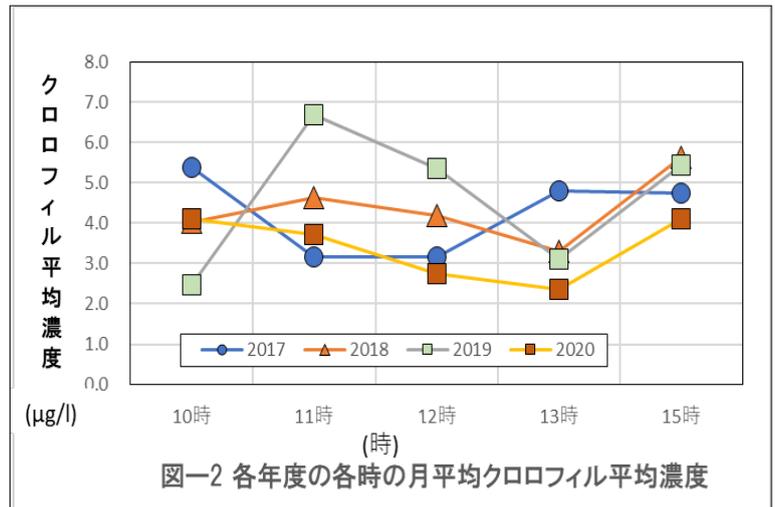
X: 10時のクロロフィル濃度(μg/l)

Y: 15時のクロロフィル予測濃度(μg/l)

として

$$Y=(X+(1.0756 \times X+5.1939))+((0.5904 \times (\text{水温}-20))+0.4704))$$

が得られた。



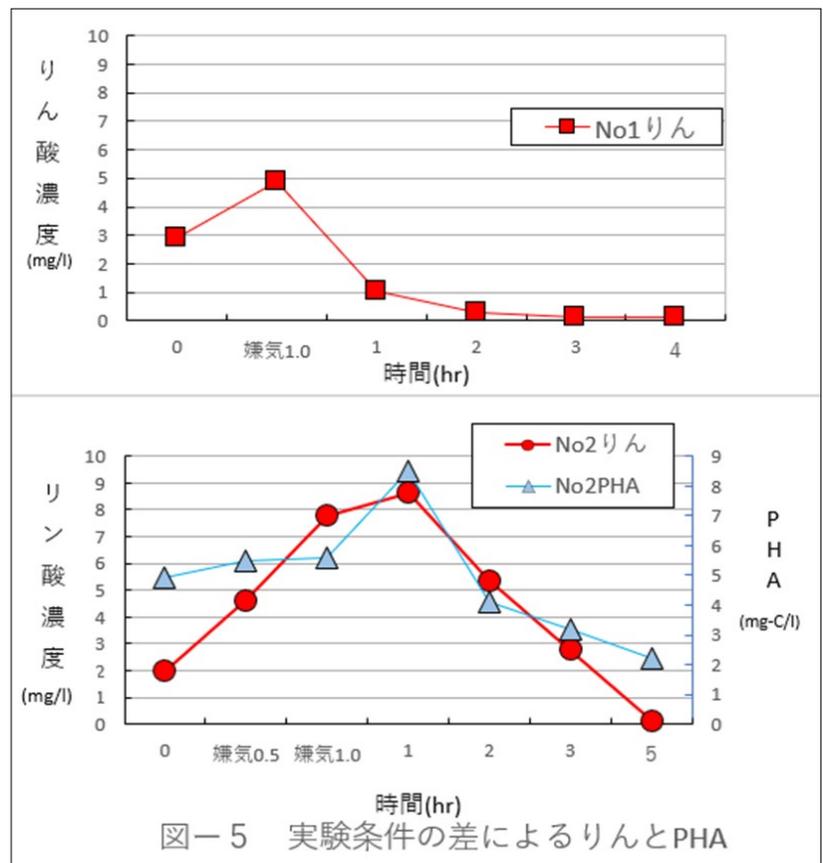
表一2 各データ 平均等(μg/l) 他(個)

	10時	15時	15時の推定値
平均	3.33	5.88	9.62
最大	15.0	35.0	39.2
最小	0.1	0.2	0.6
個数	136	153	134

15時と15時の推定結果の相関をとると、一次式の場合では、 $r^2=0.4428$ であった。これは、10時の測定で $1(\mu\text{g/l})$ 前後の値の時は、実際には15時でほとんど増加しないが予測式で大きな値となるためである。そこで、多項式で相関をとって見たところ、 $r^2=0.5763$ が得られた。この結果を図一4に示した。また、この時の各データ概要を表一2に示した。2017.4.1~2020.4.1のデータを使用した。赤潮の発生した月等のデータなので、おおよそ年に5月~10月の6か月のデータ数となり、午前も午後も晴れている日としたため、データが130個ほどとなった。データ数に差があるのは、衛星からの測定のため、10時では、雲等により観測できないが、15時には観測できた場合や温度が測定出来てない場合があるためである。図一2の様に傾向が同じでない事を考えると、比較的良好な相関係数が得られた。この結果、りん濃度の測定や日照時間等の関係を考慮しての改良は必要だが、対処を予測式で $15(\mu\text{g/l})$ 以上となった場合に行うとして使用できると思われる。

4. 考察

りんの処理については、過去に行ったテーブル実験での疑似嫌気好気となる放出吸収結果から、通常の状態であれば、吸収後のりんが低濃度の状態が維持される結果^{2) 3)}が得られている。図一5に過去にテーブル実験した代表的な結果を示した。No1は一般的な条件での結果でNo2は特殊な条件での結果^{4) 5)}である。No2は、一般的な活性汚泥の性質と異なる場合や生分解性プラスチックの生成を目的にしたPHAを多量に生成させる実験条件で行った等の差があると思われる。この場合、りんの放出は多いが吸収は好気に入っても直ぐに起こらない。また、別にNo1の様に好気に入っても吸収した後のりんの放出を最小限に抑える条件もあり、放出に必要な物質を少なくすると、放出が少なくなる現象がある⁶⁾。この方法も利用出来るのではないかとと思われる。



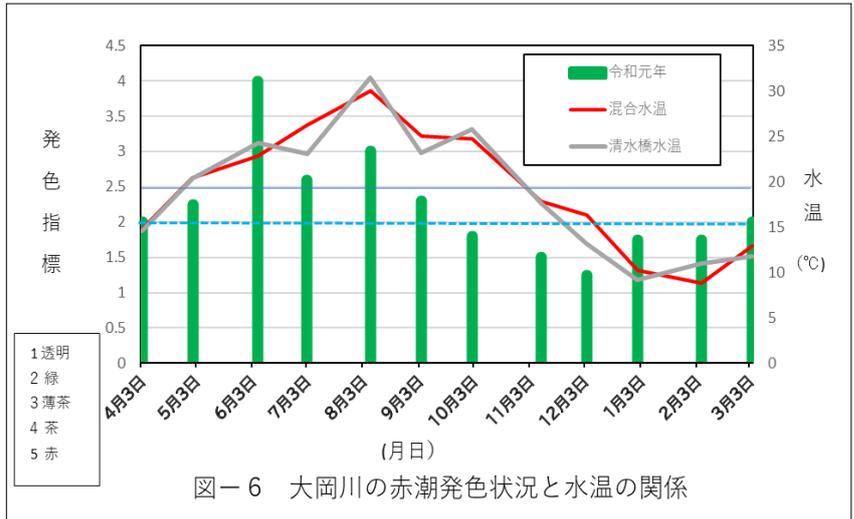
図一5 実験条件の差によるりんとPHA

そして、幾つかの通常条件でのテーブル実験で、嫌気でのりんの放出濃度が高い場合、吸収後にりんの濃度を低く維持する傾向が見られている。したがって、

- 1) 特異な条件
 - 2) りんが十分に放出されたら条件を変えて、十分な好気としてりんを吸収させる
 - 3) 吸収後に放出必要物質を少なくする。(例えば、大腸菌はアミノ酸が欠乏すると、ポリリン酸分解酵素の活性を阻害するため、結果としてポリリン酸が蓄積する。)⁶⁾
 - 3) りんの放出濃度を高くする。幾つかの実験での結果では、放出濃度が高いと好気時の吸収が良くなり、リン酸濃度が低くなる。(例えば、有機酸の添加等)
- これらを、検討する価値があると考えられ提案する。

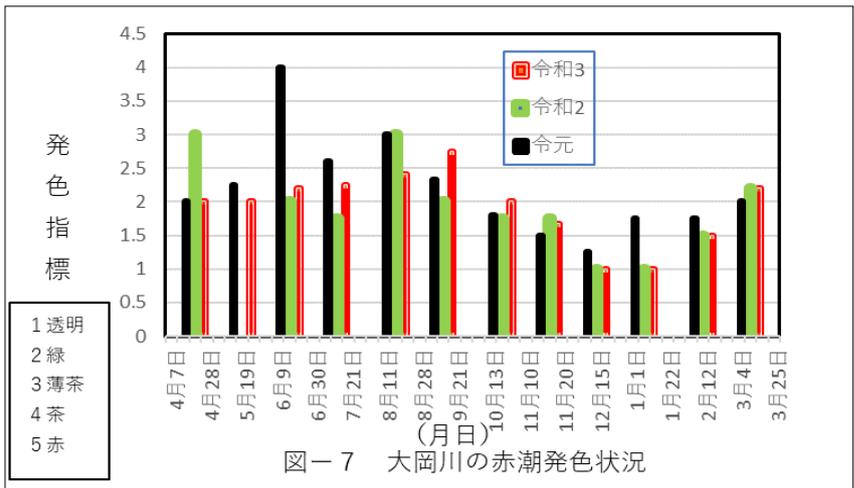
赤潮は、自然に発生するため、水温の影響との関係も大きい。第58回下水道研究発表会での発表では、分かりにくかったので、図一6に令和元年の大岡川の発色指標と大岡川上流と大岡川上流並びに横浜港内と

の混合平均水温の関係を示した。発色指標は、透明・緑・薄茶・茶・赤の5段階に分けた。順位は、文献⁷⁾を参照して独自に作成した。これから、発色指標が2の緑は発生していないので、発色指標2よりも大きくなる5月では20.4℃であった。一般に20℃前後から発生する報告⁸⁾が幾つかあり、これと予測式の温度補正を考察した結果とも一致する。また、図一7に令和元年～3年の横浜港に流入する大岡川の赤潮発生の比較を示した。これから、令和元年の6月の指標値が高かった事がわかる。なお、赤潮発生が降雨により栄養塩の流出や水温の影響で発生する場合もあるため降雨の影響の明らかな場合は考慮している。まとめると、赤潮発生は、負荷を減らすことが重要であるが、現状では、負荷の対策は、膨大な費用が掛かる。時間を要するが環境を改良する取り組みも将来に向けて効果がある。現段階での対処法として、赤潮発生予測を行って対処する方法があるが広範囲では費用等の問題がある。



図一6 大岡川の赤潮発色状況と水温の関係

しかし、自然と共生して行くには、自然への貢献が必要であり、環境の監視も重要である。環境管理部門等で環境保全に注力し、他の生物への配慮や検討も重要である。



図一7 大岡川の赤潮発色状況

5. まとめ

- ①2017～2020の横浜港内湾のクロロフィル濃度変化を示した。
- ②簡単な赤潮発生予測式を提案した。
- ③過去のテーブル実験を元に生物学的りん除去をより良化すると考えられる提案を示した。
- ④大岡川の赤潮発生に対する水温の関係と、令和元～3年の発生状況を示した。

参考文献

- 1)ゆたかな海の生態系を支える河川システムの研究 飯島 眞治 鈴木 繁美 他 2003/3
 - 2)有機酸による細胞内蓄積有機物について 米本 豊 福田 好史 他 第45回下水道研究発表会講演集 2008
 - 3)りん除去における有機酸の影響 米本 豊 高橋 繁 他 第48回下水道研究発表会講演集 2011
 - 4)活性汚泥による生分解プラスチック生産における原料組成の影響 高畑 寛生 佐藤 弘泰 他 土木学会論文集 No622 1999
 - 5)りん除去における PHA 等との関係 米本 豊 第50回下水道研究発表会講演集 2013
 - 6)りん除去細菌の開発と活性汚泥からのポリリン酸熱回収技術 大竹 久夫 黒田 章夫 他 日本醸造協会誌 第95巻 第1号 2000
 - 7)横浜港における赤潮調査について (その2) 村岡 麻衣子 渾川直子 他 2018/8/20 環境科学研究所
 - 8)横浜の海の環境 環境創造局政策調整部環境科学研究所 2021/4/5
- 問い合わせ 045-892-3204