

横浜港における赤潮発生の予測の発表を含む補足

米本 豊

1. はじめに

第9次総量規制の策定が進む中、下水処理場に接続されていない箇所への下水への接続普及率の向上が行われる方向にある。東京湾や、その中の横浜港では、海水の入れ替えが少なく N・P などの栄養塩が平成 25 年頃から低下しない状況である。その為もあり赤潮発生回数の低下が停滞している。東京湾へ排出される下水処理水等は、高度成長時期に比べ栄養塩の濃度では低くなったが、下水への接続普及率が増加したため排水量が増え負荷量としては平成 26 年頃から低下が見られていない。一般に栄養塩が多いとその他の条件にもより爆発的に赤潮生物が増殖し赤潮の発生となる。今年も、有明海等において赤潮発生が原因と考えられる海苔の不作が報告されている。東京湾では、冬季もクロロフィル濃度が高い時があり、その原因は、植物性プランクトンの増殖と考えられ、赤潮と判定される場合^{1) 2) 3)}がある。2021 年秋の北海道で発生した赤潮は、比較的水温の低い所でも発生し、地球温暖化の影響が起因していると思われる。

東京湾は、閉鎖的領域であるため、海水の入れ替えが少なく色々な影響を受けている。赤潮の発生が多いのはこの影響を受けているためもあるが、この問題の解消は簡単には出来ない。今回、赤潮の状況を把握し、その対策の一手段としてアプローチを変えて赤潮発生を予測する一方法を報告する。また、レッドフィールド比等から判断すると、りんが制御物質^{4) 5) 6)}となる場合がある。そこで、りんや窒素の除去を悪化させる一般的な原因物質の影響濃度等を各細菌のグループでまとめ、若干の知見を得たので報告する。

2. 赤潮発生の概要と状況

データとして、気象衛星ひまわり 8 号により観測した JAXA の海面水温とクロロフィル α 濃度を使用した。今回は、水温やクロロフィル α 濃度、りんの測定値などから、赤潮発生の予測式を求めたいのだが、りんの濃度の測定がリアルタイムで出来ない。

そこで、衛星で観測した 10 時の海面水温と相関があった項目のそれぞれの関係より、赤潮の発生のしやすさを求める方法を前回第 59 回下水道研究発表会「横浜港における赤潮発生の予測」で発表した式と別の方法を考案し、赤潮発生を予測した。横浜港内湾の範囲は、南本牧ふ頭から川崎市の境とした。

赤潮発生のしやすさの予測では、採水地点 7 地点の内 3 地点の、2017 年から 2020 年度までの衛星データを利用した。鶴見川河口・横浜港内・本牧沖の海面水温とクロ

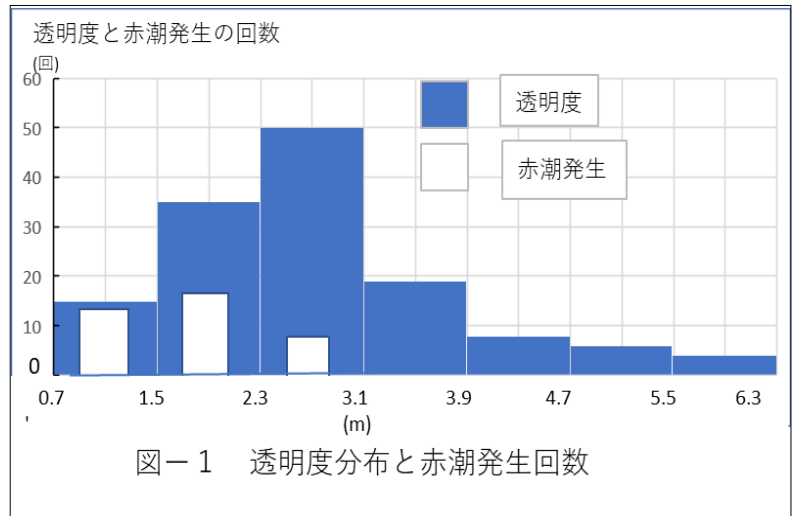


図-1 透明度分布と赤潮発生回数

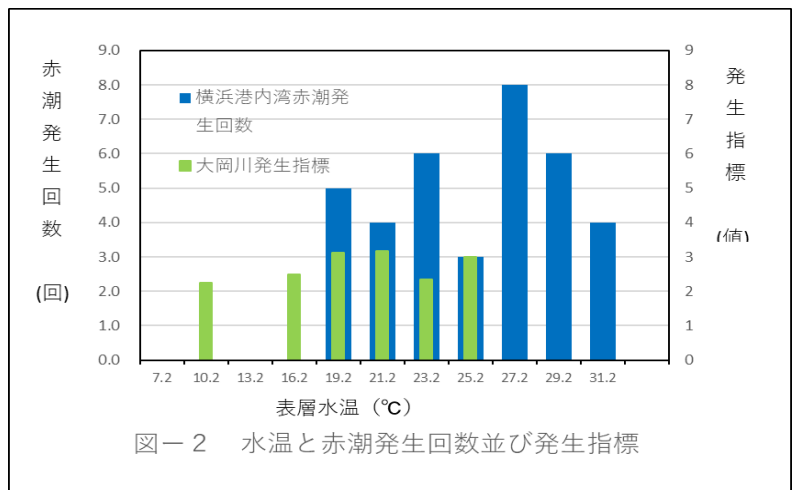
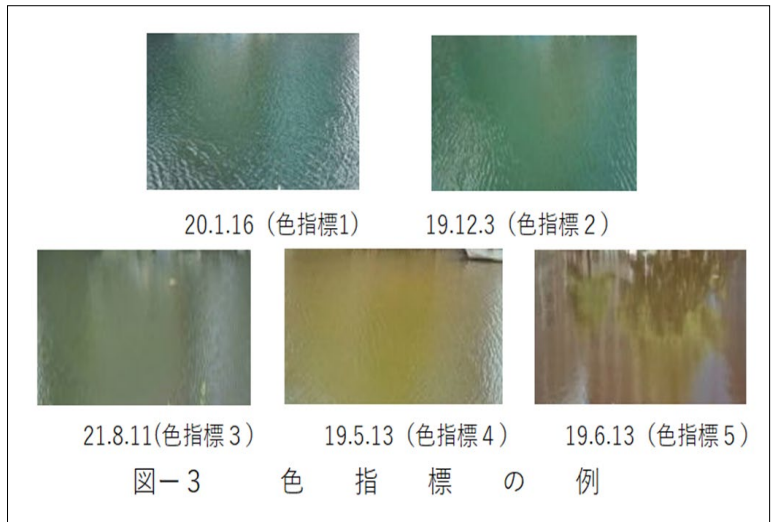


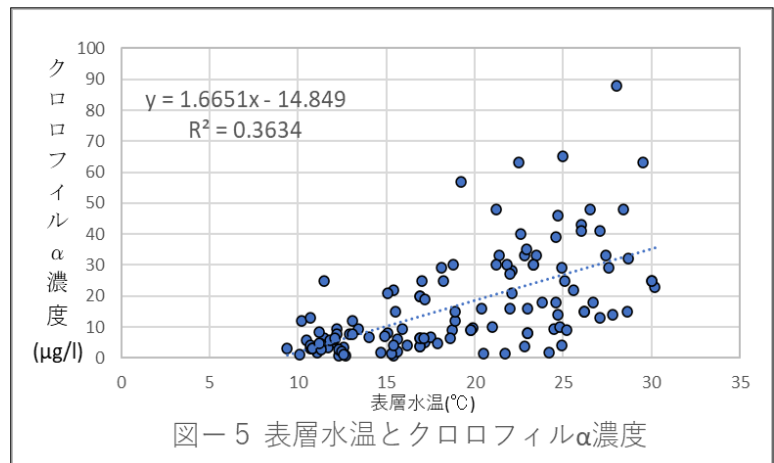
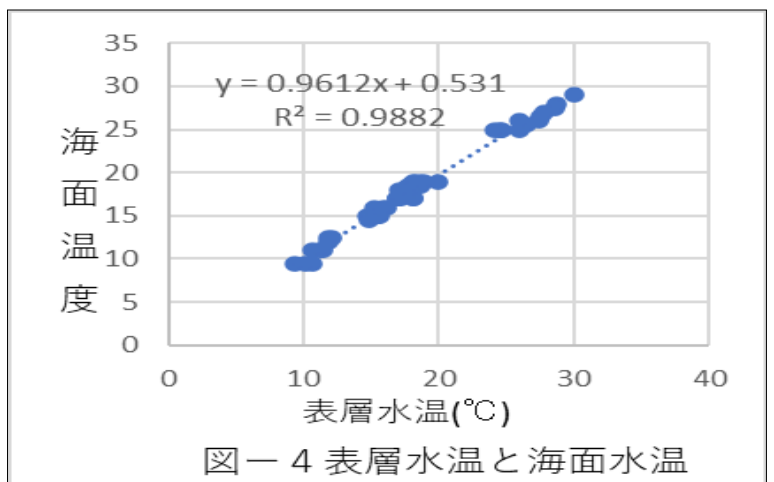
図-2 水温と赤潮発生回数並び発生指標

ロフィルα濃度、そして神奈川県水質調査年表から表(上)層水温、クロロフィルα濃度、下層全りん濃度、透明度の結果を使用した。図-1に透明度の分布と赤潮発生時の回数を示した。透明度の分布では、2.3～3.1mが高く、赤潮発生はこの値以下で発生している。横浜港内湾の赤潮発生回数は、公共用水域の水質測定時に赤潮判定された場合の回数である。赤潮発生時はプランクトンが増殖するので、このような分布となったと考えられる。赤潮発生回数及び大岡川の発生指標と水温の関係を図-2に示した。大岡川の発生指標は、図-3に示した。指標を5段階として、透明、緑、薄茶、茶、赤で分け、それぞれを1・2・3・4・5として、2以上で発生した状況とした時に表された数値である。この結果、河川の大岡川の方が海より水温が低い時から発生が見られた。河川・海で、それぞれ20℃前後から、河川では発生指標が大きくなり、海では赤潮発生が観測された。



3. 赤潮発生のしやすさの判定

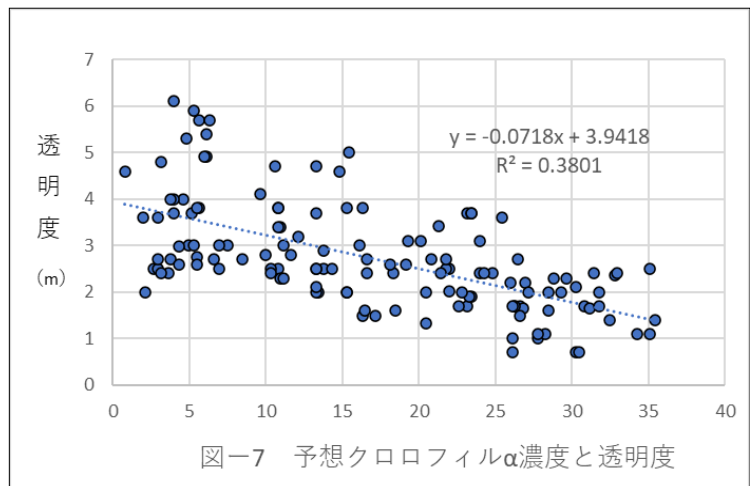
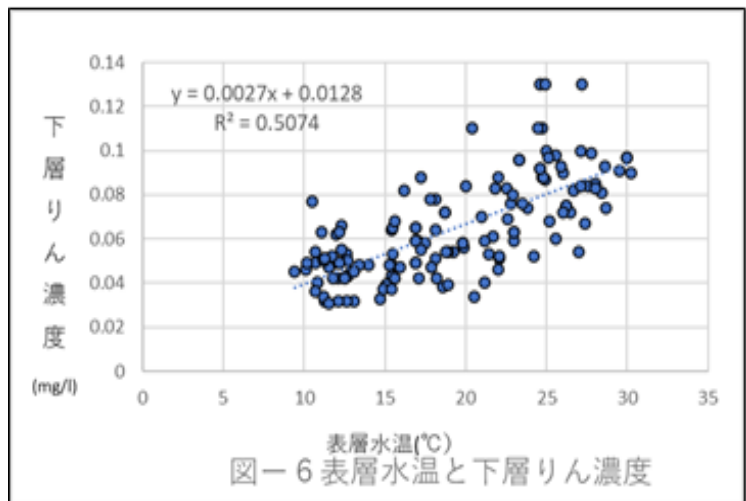
赤潮発生の予測では、式の作成にあたり、表(上)層水温の方が精密な結果が得られるので、海面水温との相関を取り、相関係数が $R^2=0.9882$ であったので同じと仮定して作成した。相関図を図-4に示した。赤潮発生のしやすさ(以下「判定値」という)を求めるため、最初に、表層水温から予想クロロフィルα濃度を求めた。その後、表層水温による影響の補正を行った。そして、表層水温から予想下層りん濃度及び表層水温から予想透明度を推定し、これらによる補正を行って判定地を算出した。表層水温と測定地点のクロロフィルα濃度の関係を図-5に示した。同じ水温でも他の条件で赤潮となる場合がある為、相関はあまり良くない。表層水温と下層りんの相関を図-6に示した。比較的相関が高く表されている。また、表層水温とクロロフィルα濃度から予測した予想クロロフィルα濃度と透明度の関係を図-7に示した。生物が多くなると、クロロフィルα濃度が高くなり、透明度は低くなること示されている。これらから、各関係を元に、式を組み立て、補正を加えた。補正は、表層水温、予想クロロフィルα濃度、予想底部りん濃度から補正式を用いて調整を行い、そして、表層水温から求めた予想透明度でも行った。



まとめると、赤潮発生の判定値は以下に示した結果となった。

判定値＝((表層水温からの予測クロロフィルα濃度)+(表層水温による補正)+(予想クロロフィルαによる補正)+(表層水温からの底部りんの予測)+(予想りん濃度による補正)+(予想クロロフィルα濃度から予想透明度を予測)+(予想透明度による補正))

なお、表記式では分かりづらいため、表一1に計算例を示した。上部水温、クロロフィルα濃度、下層りん濃度、透明度を元に補正を加える加算方式とした。補正は、方法や加算程度が色々設定できるので、AIによる方法も考えられる。最後に10時のクロロフィルα濃度と判定値の相関を図一8に示した。クロロフィル濃度が60(μg/l)以上で、判定値として100で一定と見られた。クロロフィル濃度50(μg/l)以下の点を赤い四角で示し、一時直線とした。この結果、比較的良い相関を示した。実状としては、表記の様に二つの式となる。なお、両方の表記点を示した場合は2次曲線となる。10時の実際の濃度が高い場合も判定値80以上で含まれる結果であった。そして、赤潮発生予想判定値の設定により、赤潮発生



表一1 判定値(赤潮発生のしやすさ)の計算例

上層水温 (°C)	クロロフィルα濃 度(μg/l)	予想クロロフィル α濃度(μg/l)	水温補正	予想クロロフィル 補正	合計1	下層りん (mg/l)	予想下層りん (mg/l)	予想下層りん 補正	合計2	透明度(m)	予想透明 度(m)	予想透明度 補正	判定値
15.4	22	10.8	-	-	10.8	0.043	0.054	-	26.3	2.5	2.16	-	26.3
18.7	9.1	16.3	-	-	16.3	0.072	0.063	-	37.3	1.5	1.96	○	47.3
22.1	28	21.9	○	-	31.9	0.051	0.072	○	68.6	2.5	1.17	○	78.6
25.6	22	27.8	○	○	47.8	0.098	0.082	○	90.3	1	1.14	○	100.3
24.7	14	26.3	○	○	46.3	0.11	0.070	-	77.3	1.7	1.18	○	87.3

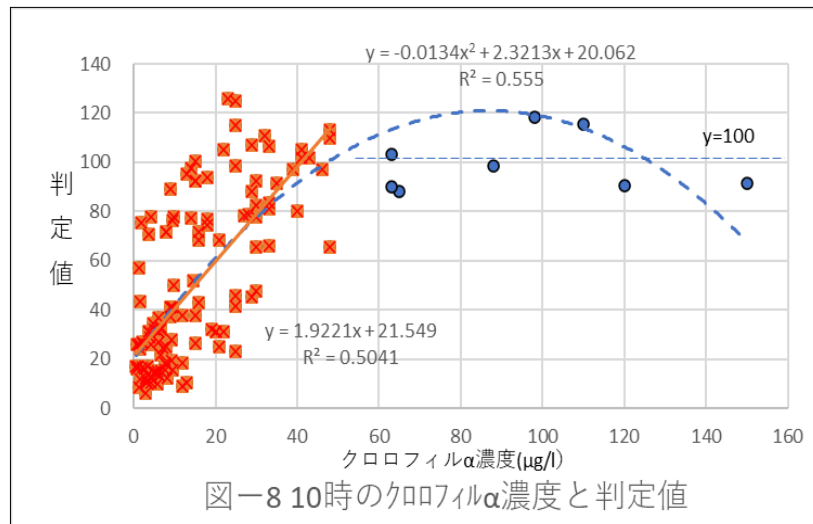
上層水温太字：赤潮発生 ○印：補正した項目

予想の数値を選定できる為、実際の赤潮発生回数を含める割合を選定する事が出来る。判定値と赤潮判定回数を表一2に示す。判定値の計算の元が水温だけであるため、良い予測値ではないが、補正值の設定や検討、そして、他の実測値が加えられれば、もう少し良い予測結果が得られると思われる。

4. 考察

りんの除去における悪化では、経験上色々な場合があるが、阻害物質による影響がりん処理にだけ与える場合があるので考察してみた。生物に与える幾つかの阻害物質濃度^{7) 8) 9)}を表一3に示した。りん蓄積細菌等への影響が記載されていない場合、参考として細菌類への影響として他の細菌等で表記した。一般に流入して影響のある場合が多く、場内からの場合もある。次亜塩素酸ナトリウムでは、ある程度の注入の為と思われるが、残塩濃度として0.36(mg/l)あると、りんの放出抑制率65%程度のりんの放出に影響を与える場合¹⁰⁾や、通常の添加では、有効塩素10(mg/l)以上で活性汚泥、10.8(mg/l)で硝化、5.4(mg/l)でりんの各細菌グループ等に影響を与える報告¹¹⁾がある。また、この実験以前に検討された事例¹²⁾もある。この時の場合、りんでは、好気状態となった時に吸収を阻害する傾向もあるが、放出に影響を与え、吸収にも阻害の影響を与える事も考えられる。ほとんどの物質が活性汚泥>硝化>りんの順に影響があると考えられる。実体験では、硝化に影響⁷⁾を与えるが、活性汚泥には影響なし。硝化には影響を与えないが、りんの除去には影響を与える場合があったので、りんの細菌に与える濃度が一番低いからではないかと思われる。

しかし、影響を与える機構が物質により異なる⁷⁾と考えられるため、考慮が必要である。硝化については、りんの除去で効果のある凝集剤のPACが2週間後頃に影響を与える報告¹³⁾がある。また、過去にも硝化速度に影響のある状況が見られたが2週間程度の後であったので、PACの影響とは判断されない結果としたと思われる報告¹⁴⁾もある。りんの除去については、体験で放出の測定を行っていないか



図一8 10時のクロロフィルα濃度と判定値

表一2 判定値の設定による各値の結果

赤潮発生予想判定値	抽出した実赤潮回数	赤潮判定回数	実発生回数(32回)との比較	判定回数中の割合
80以上	20	38	0.63	0.53
70以上	23	53	0.72	0.43
60以上	26	58	0.81	0.45
50以上	28	61	0.88	0.46

表一3 各細菌グループに与える阻害濃度(mg/l)

	活性汚泥細菌等	硝化細菌等	りん蓄積細菌等
次亜塩素酸ナトリウム(有効塩素濃度)	10以上	10.8	5.4
シアン	1以上	0.1	0.0004 (一般細菌中のシロドリス)
フェノール	800以上	21	49 (大腸菌)
銅	20以上	0.1~12	20 (パン酵母)
ポリ塩化アミンとして	pH5.5となると影響	約40で約2週間後	凝集剤として作用するのでデータなし
アルミニウムとして	鉄系の方がpHに与える影響大 Pb塩素イオン>Fe		

りんの除去については、体験で放出の測定を行っていないか

った為、吸収を阻害されたとと思われる場合が多かった。リンの除去が阻害された場合の例として、水質テレメータに記録された結果¹⁵⁾が発表されている。リンの場合の放出が阻害される場合と吸収が阻害される場合があり、今後、この反応機構等の解明が待たれる。以上から、リンが処理不能となっても、硝化は影響を受けない場合がある実体験の説明が付けられる。

赤潮の発生は、諸条件があるが、リン・窒素の負荷が重要な原因の一つとなっている。しかし、多量に処理水を放出する処理場等などでは、現状より排出濃度を低くする為には、多額の費用がかかる。また、優先順位もある。海の生物の生息域を現状以上に拡大・良化^{16) 17)}するためなどに、今回の報告が赤潮発生と処理を悪化させる対策の一手段になれば幸甚である。

参考文献

- 1) 夏季と冬季における東京湾のクロロフィル a 分布の形成パターンの分類 比嘉 紘士 鯉淵 幸生 その他 土木学会論文集 B2 (海岸工学) .Vol71.No2.1_1303-1_1308.2015
 - 2) 近年の東京湾における赤潮の発生状況について 草野朱音 神水セ研報告第 10 号(2019)
 - 3) 東京湾のノリ生産に影響を及ぼす環境要因：栄養塩の長期変動および最近の珪藻赤潮発生 石井光廣 長谷川健一 その他 水産海洋研究 72(1) 22-29 2008
 - 4) 「水圏（海洋）生態系におけるリンの循環」第 23 回 国立環境研究所琵琶湖分室セミナー
 - 5) 磯焼け対策における施肥に関する技術資料 水産庁漁港漁場整備部 平成 27 年 3 月
 - 6) 東京湾水質調査報告書 東京湾岸自治体環境保全会議 (平成28年度)2016
 - 7) イオウ化合物の硝化に与える影響 米本豊 山内泉 その他 横浜市環境創造局下水道水質課 平成 13 年
 - 8) 水処理工学 井出 哲夫 昭和 51 年 6 月 30 日初版
 - 9) 有害性評価書 Ver.1.0No.129 無機シアン化合物
 - 10) 次亜塩素酸ナトリウム添加による汚泥中のリン放出抑制効果 東京都下水道サービス 石塚健一 内原晴日 第 58 回下水道研究発表会講演集 2021
 - 11) バルキング対策における次亜塩素酸ナトリウム添加の効果の検証 横浜市環境創造局下水道水質課 佐藤直之 中村慈実 平成 28 年
 - 12) 南部水再生センターにおける次亜塩素酸ナトリウム添加によるバルキング対策について 横浜市環境創造局下水道水質課 渡邊芳行 平成 24 年
 - 13) 窒素およびリンの生物学的同時除去のための活性汚泥法 株式会社 OM 製作所 2017
 - 14) 緑下水処理場における窒素・リンの調査 (その 2) (PAC 連続添加によるリン除去と硝化作用等への影響) 水質管理課 白浜武四郎 内田収 その他 平成 6 年
 - 15) 横浜市に於ける水質テレメータ監視について 米本豊 岩澤明彦 その他 横浜市環境創造局監視センター 2017
 - 16) 多様な主体の協働によるアマモ場再生の取り組み NPO 法人海辺づくり研究会 木村 尚
 - 17) 山下公園前の取組について 環境創造局政策調整部環境科学研究所
- 問い合わせ 045-892-3204