松山城濠における淡水赤潮発現特性と要因に関する一考察

○愛媛大学大学院　学生員　三好征治
愛媛大学工学部　正会員　西村文武
愛媛大学工学部　泉　和利

1. はじめに

愛媛県松山市の松山城濠は，城郭と共に松山市の重要な文化遺産であり，市民に広く親しまれている．また，松山市の観光資源としての役割も持っており，良好な景観の形成が求められている場所でもある．松山市は，濠水水質が悪化するたびに，底泥の浚渫，曝気装置の設置などの対策をとり，城濠の景観保全に力を入れている．ところが，8 年ほど前から，毎年のように発生している，淡水赤潮に関しては，その対策として木炭浄化装置の設置を行い，一定の有機物除去効果はあったといわれるものの，淡水赤潮解消には至らず，その抑制を含めた水質改善が市民から強く要求されている．本研究では，濠水水質調査，植物プランクトン調査を行い，松山城濠における淡水赤潮の発現特性と要因について考察をおこなった．

2. 調査概要

調査対象の松山城濠の概要を表 1 に示す．濠の形状と観測・採水地点を図 1 に示す．濠の東側に主な流入地点があり，西側に流出口が 3 点ある．濠は，南側と西側において，通路によって区切られており，通路下に水路が設けられている．濠水の観測・採水地点は，過去に淡水赤潮の発生が確認された場所周りに 7 地点設定した．調査期間は，平成 13 年の 5 月上旬～12 月下旬とし，3 日ごとに観測・採水を行った．時間帯は，11～13 時であった．採水したサンプルはそれぞれ，懸濁物質，有機物分，栄養塩分等について水質分析を行った．分析方法は「下水試験方法」[1]に準拠した．植物プランクトンについては，ルゴール溶液で固定したものを試料とした．この試料を必要に応じて濃縮し，ピルゲルチュルク血球計算板上に 1，2 滴垂らし，生物顕微鏡にて種類ごとに細胞数を計数した．また，淡水赤潮が発生している時期に，植物プランクトンの 24 時間における変動を調べるため，地点 6 の西 5mにおいて，9 月 18 日の 8：00～翌日の 8：00 まで，90 分おきに表層と底層(底より 10cm)の採水を行い，その試料についての植物プランクトンを計数した．

表 1　松山城濠の概要

全体面積(m^2)	37,400
貯水量(m^3)	70,000
平均水深(m)	1.87
平均滞留日数(日)	14

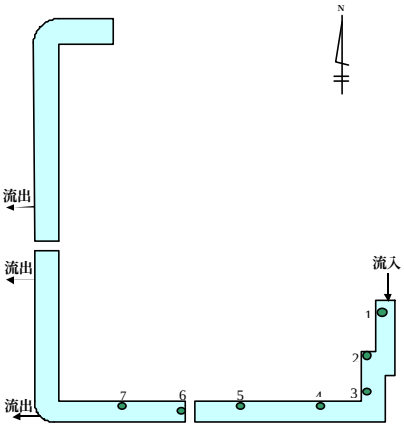

図 1　観測・採水地点

3. 結果及び考察

松山城濠で，淡水赤潮が発生した期間は，7/9～7/25，9/1～10/2 の 2 つの期間であった．淡水赤潮発生日数は，地点 1～7 まで順に，1，21，12，9，2，38，17 日であった．

最も多く淡水赤潮の発生が確認された地点 6 の植物プランクトン数を図 2 に示す．他の湖沼でも報告されている淡水赤潮原因藻類である渦鞭毛藻類とクリプトモナス属が確認された．淡水赤潮の発生時期でみると，渦鞭毛藻が優占種になっており，松山城濠の淡水赤潮は，渦鞭毛藻の増加によるものと考えられる．

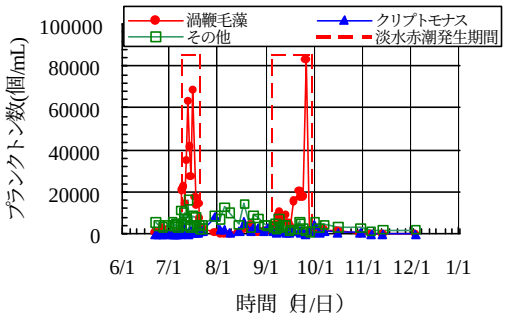

図 2　植物プランクトン(地点 6)

キーワード：お堀，淡水赤潮，渦鞭毛藻，藻類増殖，藻類集積
連絡先：〒790-8577　愛媛県松山市文京町 3 番　愛媛大学工学部環境建設工学科　Tel&Fax(089-927-9831)

同地点についての硝酸性窒素濃度とリン酸態リン濃度を，それぞれ図 3 と図 4 に示す．渦鞭毛藻が増殖するのに必要な最低の栄養塩濃度は，硝酸性窒素濃度で 0.02～0.05(mgN/L)，リン酸態リン濃度は 0.02(mgP/L)以上といわれている [2]．地点 6 の硝酸性窒素濃度は，淡水赤潮発生時と平常時との違いは見られず，最低でも 0.038(mgN/L)あり，増殖に必要な濃度を十分に超えている．リン酸態リン濃度は，7 月と 9 月の淡水赤潮発生直前は 0.038(mgP/L)であり，増殖に必要な濃度を超えており，淡水赤潮が発生してからは減少している．図 5 に水温と渦鞭毛藻の関係を示す．水温が 21.8～28.3(℃)の範囲にあるときに渦鞭毛藻の数が多くなっており，淡水赤潮が発生している．渦鞭毛藻は，水温が 15～28(℃)のとき増殖するといわれており [2]，増殖しやすい環境の時に淡水赤潮が発生している．

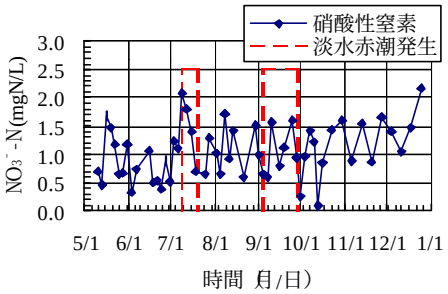

図 3　硝酸性窒素濃度(地点 6)

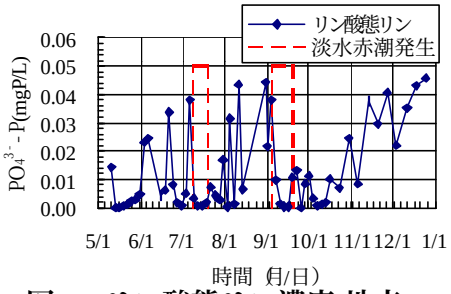

図 4　リン酸態リン濃度(地点 6)

図 6 に，地点 6 左 5mにおける 9 月 18 日 9 時～翌日 9 時までの植物プランクトン数の変化を示す．表層の渦鞭毛藻は，日中に数が増加し，16000(個/mL)にまで増えており，夕方から夜間に向けて減少し，翌朝 0 時には 300(個/mL)以下になっていた．一方，底層の渦鞭毛藻は，日中 10 時～15 時に最も数が少なく 100(個/mL)以下となり，日没後は 400～1000(個/mL)ほどであった．渦鞭毛藻は，日中に正の走光性を発現させ，鉛直方向に表層へと移動し集積していることが考えられる．

渦鞭毛藻が増殖のみによって増加しているのか考察するため，地点 6 において，以下に示す増殖の理論式 [3)4)]を用いて，増殖可能数を算定し，渦鞭毛藻の増加を推定した．

$$\mu = 0.115(T/19.7\exp(1-T/19.7))^{4.08}$$

$$N = N_0\exp(\mu t)$$

μ：比増殖速度(d^{-1})　T：水温(℃)　N_0：初期の細胞数(個/mL)
t：日数(d)　N：t 日後の細胞数(個/mL)

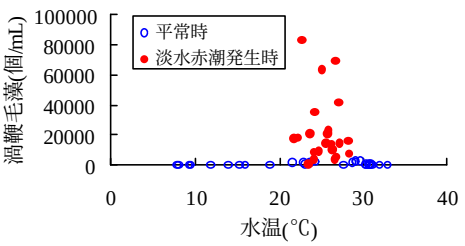

図 5　水温と渦鞭毛藻(地点 6)

図 7 に算定した推定数と実測の渦鞭毛藻数を示す．実測の渦鞭毛藻の数はいずれも推定数より多く，特に実測の数が 1 万(個/mL)以上のとき，推定数との差は，1～6 万(個/mL)あった．渦鞭毛藻はその場所での増殖以外にも水平方向からの流動によって集積していることが考えられる．地点 6 は観測期間を通してゴミなどが溜まっており，水平方向の流れの行き着く場所であることも要因になっていると考えられる．

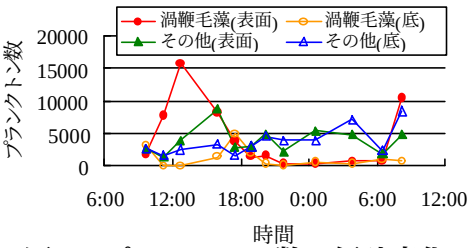

図 6　プランクトン数の経時変化

4. まとめ

松山城濠における淡水赤潮の原因藻類は渦鞭毛藻類と推定された．濠水の栄養塩濃度は渦鞭毛藻が増殖するのに必要な濃度を満たしており，増殖に適した水温範囲で渦鞭毛藻が増加している．このため，淡水赤潮時時に渦鞭毛藻が増殖していることが考えられる．また，渦鞭毛藻は日中に正の走光性によって表層に集積する．さらに，淡水赤潮多発地点において，水平方向からの渦鞭毛藻の流入が示唆された．松山城濠では，渦鞭毛藻の増殖，正の走光性，水平方向の流動といった条件によって淡水赤潮が発生していると考えられる．

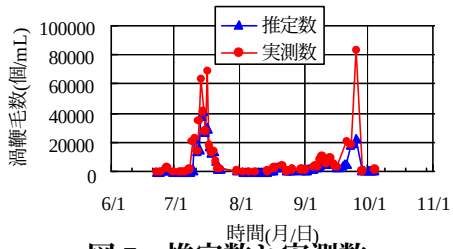

図 7　推定数と実測数

参考文献
1）(社)日本下水道協会：下水試験方法(1997)　2）門田元：淡水赤潮,恒星社,pp247-284(1987)
3）岸本,大西,宗宮：陸水学雑誌,vol59,pp295-310(1998)　4）西堀,西島,小野田,畑：日本水産学会誌,vol57,pp1729-1735(1991)