

海浜公園池（汽水湖）における水の華と 栄養塩負荷特性

WATER BLOOM AND NUTRIENT LOADING IN SEASIDE PARK POND CONSISTED OF BRACKISH WATER

村上和仁¹・石井俊夫²・瀧 和夫³

Kazuhiro MURAKAMI, Toshio ISHII and Kazuo TAKI

¹正会員 理博 千葉工業大学准教授 工学部生命環境科学科 (〒275-0016 千葉県習志野市津田沼2-17-1)

²非会員 工修 千葉工業大学教授 教育センター化学教室 (〒275-0023 千葉県習志野市芝園2-1-1)

³フェロー 工博 千葉工業大学教授 工学部生命環境科学科 (〒275-0016 千葉県習志野市津田沼2-17-1)

Water bloom and nutrient loading in Hasunuma seaside park pond which is consisted of brackish water and located in Hasunuma Watetr Garden in Kujiyukurihama coastal line in Chiba Prefecture was investigated. In this pond, the massive water bloom (*Aoko*) has been observed in summer in recent years, but there are no rivers into this pond. As results of this study, the followings were made clear. (1) The main nutrient loading source was considered as pollen of *Pinus thunbergii* as sandbreak wood, excrement of *Anas platyrhynchos* as immigration bird and rainfall including $\text{NO}_3\text{-N}$, (2) The dominant species of water bloom were *Anabaena spiroides* and *Microcystis aeruginosa* in summer and *Cryptomonas* spp. in winter. (3) The peculiar loading source of nutrient against seaside park pond should be paid attention to preservation the water environment in seaside area.

Key Words : *Water bloom, nutrient loading, seaside park pond, brackish water, immigration bird, pollen, rainfall*

1. 緒 言

海岸地帯, 特に人工海浜の有効利用のひとつとして海浜公園が挙げられる. 親水を目的とした海浜公園は, 都市域では都会のオアシスとして, リゾート地では集客施設としてきわめて有益であると考えられる. 海水と地下水が集水して汽水となる公園池は, 含有する塩分濃度のイメージから淡水湖(陸水)と海洋(海水)の中間的な性質を有していると考えられがちであるが, 実際にはいずれとも異なる独自の性質を有し, 特徴的な水圏生態系を構築している¹⁾. また, 閉鎖性が強いと富栄養化が進行し, 実際, わが国における代表的な汽水湖であり, 湖沼水質保全特別措置法における指定湖沼である児島湖(岡山県), 中海(島根県・鳥取県), 宍道湖(島根県)は, いずれも富栄養化湖沼に分類されている^{2), 3)}. 一方で, 海水と淡水が混ざり合うことで栄養塩類を起点とする複雑な食物網が形成され, 浜名湖(静岡県)などは高い漁獲量を誇る²⁾.

千葉県九十九里浜に位置している蓮沼海浜公園は, 夏季にはディズニーランド・ディズニースーを上回る集客数を誇る県立の一大レジャー施設である. 本公園の北端にあるボート池では貸しボートが営業さ

れていたが, ここ数年は夏季の水の華(アオコ)発生による景観の悪化が原因で利用客が激減し, 事実上, 貸しボートは休業している. 従来の研究により, 蓮沼海浜公園ボート池は夏季のアオコ形成藻類の優占種交代が生じる二段階発生機構を有することがわかっている⁴⁾が, その藻類増殖に必要な栄養塩供給源については不明な点も多い.

本研究では, 蓮沼海浜公園ボート池の水質改善の一助として, 海浜エリアに位置する汽水湖における水の華発生機構に関する基礎的知見の集積を目的として, 特に栄養塩供給源の特定と負荷量の推定を試みた.

2. 蓮沼海浜公園池の概要と現状

蓮沼海浜公園(蓮沼ウォーターガーデン)は, 千葉県九十九里浜より 350mほど内陸に位置した海浜/砂質地帯に位置しており(図-1), 九十九里浜沿いに南北 4km, 広さ 40 万 m^2 に亘る非常に大規模な県立都市公園である. ボート池は蓮沼ウォーターガーデンの一部として造成された, 塩分混じりの地下水を水源とする親水施設であり, 池表面積約

10,380m²、池水容積約 7,000m³、平均水深 0.65m のリン過多 (T-P 濃度 : 1.0~1.5mg/L) の汽水湖 (Cl⁻ 濃度 : 400mg/L 程度) で、生物相が少種多量のいわゆる富栄養状態にある⁵⁾。この蓮沼ウォーターガーデン内にはテニスコートなどのスポーツ施設や小規模遊園地、レストラン、プールなどさまざまなレジャー施設があり、特に夏季には非常に大きな集客力を誇る千葉県の観光名所のひとつとなっている。しかし、この公園の北端にあるポート池では毎年夏季になると池全体を覆うほどの水の華 (アオコ) が発生し、レクリエーション機能の損失や景観の悪化、悪臭などの問題が深刻化している。かつては公園施設の一部として貸しボートの営業を行っていたが、ここ数年は水の華の発生が原因で利用客が激減し、貸しボートは休業せざるを得ない状況となっている。従来の研究より、蓮沼ウォーターガーデンのポート池はリン過多の汽水湖であることがわかっている⁵⁾が、N/P 比や塩分濃度をはじめとして一般的なアオコ発生条件⁷⁾とは異なる面も多い。

3. 方 法

(1) 調査期間

採水・分析は 1999 年 9 月から 2008 年 3 月の 9 年間に亘って行った。採水は月 1~2 回の頻度で行い、湖心部の水面下約 5cm の表層水を採水し、必要に応じて底泥直上水も採水した。

(2) 分析項目および方法

水質測定項目は、T-N、NH₄-N、NO₂-N、NO₃-N、T-P、PO₄-P、COD、Chl.a、pH、DO、Cl⁻、水温、植物プランクトン相とした。採水後、DO、pH、水温については現地に於て、その他の項目は直ちに研究室に持ち帰り、可及的速やかに分析した。なお、栄養塩類は吸光光度法 (HACH DR4000) にて、COD および Cl⁻ は工場排水試験法 JIS-K0102⁸⁾ にて、Chl.a は海洋観測指針⁹⁾ にて、pH および DO は電極法にて分析・測定した。植物プランクトンは、生物顕微鏡 (NIKON Eclipse E800) にて分類・同定・計数を行った。

(3) 解析方法

流入河川をもたない本池への外部負荷については、周囲の防砂林として植林されているクロマツ (*Pinus thunbergii*) からの花粉の飛散、本池を冬場の休息池としている主な渡り鳥であるマガモ (*Anas platyrhynchos*) からの排泄物、降雨に伴う大気からの窒素の供給、に着目して、現地観測・水質分析および文献調査から試算した。また、各月ごとの水質分析データの比較解析から、水の華の発生と栄養塩類濃度の関係および植物プランクトン種の変遷について検討した。同時に、採水時にはデジタルカメラによる定点観測を行い、池および周辺環境の変遷も捉えることとした。

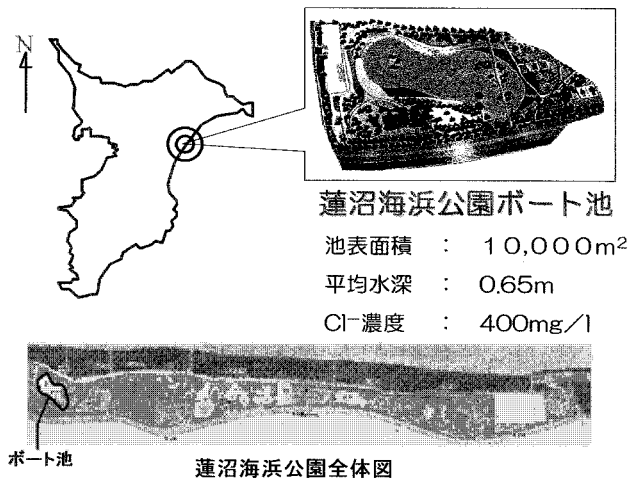


図-1 調査対象地点

4. 結果および考察

防砂林からの花粉の飛散、渡り鳥からの排泄物、降雨に伴う大気からの栄養塩の供給、について、月別の負荷量を図-2 および図-3 に、2007 年度の各負荷の割合を図-4 に示した。

(1) 防砂林からの花粉の飛散による栄養塩負荷

本池の周囲は、防砂林としてのクロマツ (*Pinus thunbergii*) が約 100,000 本植林されており、4~6 月には池の表面に黄色い潮目を生じるほどの花粉がクロマツから飛散する。花粉症の主な原因とされるスギ一本がつけるスギ花粉の量¹⁰⁾から、クロマツは一本当たり最大で約 110 億個の花粉をつけるものと推定された。なお、スギ花粉については、千葉県船橋市では、4 月に 2,338 個/10cm²/週、4 月に 428 個/10cm²/週、6 月に 24 個/10cm²/週の花粉が飛散すると報告されている¹⁰⁾。また、クロマツの花粉は他の植物細胞に比べて固形分が非常に多く、重量の 82.52% を固形分が占めており、さらにその固形分の 0.31% をリンが占めている¹⁰⁾ことから、水質へのリンの供給源としては大きなウエイトを占めるものと考えられる。

クロマツの花粉一個の大きさは約 50μm であり¹⁰⁾、花粉を水面に一樣に並べた状態での水質の栄養塩濃度は、実測により T-N 6.6mg/L、T-P 6.07mg/L であった。また、飛散した花粉の 33% が池の負荷になる¹¹⁾ものとして、花粉の負荷量を算出した。その結果、花粉飛散量が最大である 4 月に、T-N 24.5 × 10⁴mg/day、T-P 22.6 × 10⁴mg/day となり、年間を通じた負荷割合 (2007 年度) としては、T-N 8.6%、T-P 66.7% となった。すなわち、蓮沼海浜公園ポート池におけるリン負荷の 7 割弱をクロマツの花粉が占めていることが明らかとなった。クロマツの花粉は 4 月から 6 月にかけて飛散するので、それ以外の月では目立った観測はされなかった。花粉由来の負荷量は、風向きや天候によっても変化すると考えられる。

が、本池近傍に位置する横芝光の観測所ではほぼ南側からの風が多いとの観測結果が得られている¹²⁾ことから、クロマツの防砂林が南東側に存在する本池には多くの花粉が飛散してくるものと考えられ、飛散量の最も多くなる4月の汚濁負荷量が高く、この時期の水質に大きな影響を与えているものと考えられる。

マツ花粉による水質汚濁はエストニアのJussi湖などでも確認されている¹¹⁾。クロマツの花粉は池の底に沈むが、性質上浮きやすいので、本池に供給された花粉は底泥中に堆積すると同時に水質中にも存在し、その量は年々増加していくと考えられる。

(2) 渡り鳥の排泄による栄養塩負荷

蓮沼海浜公園ボート池には、10～4月には多数のカモ類（主にマガモ *Anas platyrhynchos*）が飛来し排泄をする。マガモは雑食性であり、池外で植物や穀物、貝などを摂食し、池内で排泄している。事実、ボート池の栈橋や遊歩道はカモの糞が多くみられる。鳥類の糞は他の動物の糞と比べ、窒素・リンなどの無機成分を多く含有しており、固形分の割合も80%と高い¹³⁾。そのため、このカモの糞は少量であっても池の水質に及ぼす影響は大きく、多くの窒素・リンを海浜公園池に供給していると考えられる。

本池における冬鳥の飛来数は、湖面積¹⁴⁾、経年変化による冬鳥の増加¹⁵⁾、日本の県別冬鳥飛来数¹⁶⁾から、(1)式¹⁴⁾より算出した。

$$\log Y = 0.77 \log X + 1.72 \quad \cdots \cdots (1)$$

$$(r = 0.657, P < 0.001)$$

ここで、X：湖沼面積（ha）

Y：カモ類の生息個体数（羽）

蓮沼海浜公園ボート池における冬鳥の飛来数は、約500羽/dayと推測され、目視による観察でも約500羽が観察された。水鳥の排泄物の負荷量は1羽につき、T-N 210mg/day、T-P 24mg/dayとされる¹⁷⁾。よって10～4月の排泄物による汚濁負荷はT-N 10.5×10^4 mg/day、T-P 1.2×10^4 mg/dayと見積もられた。また、年間を通じた負荷割合（2007年度）としては、T-N 21.5%、T-P 20.8%となった。なお、ラムサール条約登録湿地である谷津干潟（千葉県習志野市）に飛来する鳥類による冬季の汚濁負荷量は、T-N 3.99kg/day、T-P 0.90kg/day（いずれも2006年）と試算されており¹⁸⁾、蓮沼海浜公園ボート池におけるT-N、T-Pの鳥類の汚濁負荷量はそれぞれ谷津干潟の0.026倍、0.013倍程度であることがわかった。

マガモをはじめとするカモ類が越冬を行う条件¹⁴⁾に水深が30cm以上あること、上陸しやすい安全な水辺があること、カモ類と人間との間に30m以上あることなどがあるが、本池は水深が約0.65mであり、レジャー施設としての機能が停止しているため

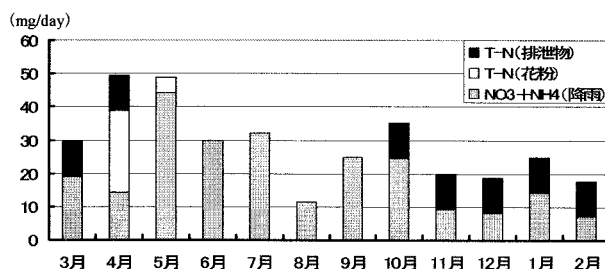


図-2 窒素外部負荷の経月変化

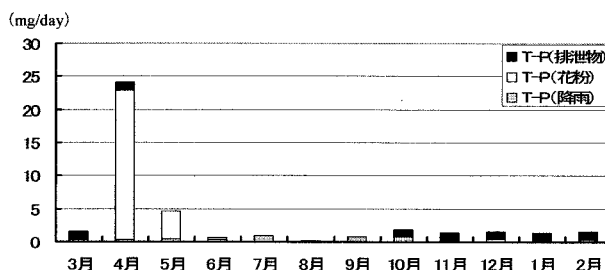


図-3 リン外部負荷の経月変化

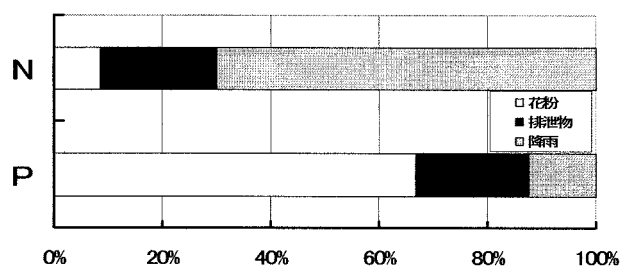


図-4 各外部負荷の割合（2007年度）

周囲に足を踏み入れる人は数少ないことから、マガモをはじめとする渡り鳥にとって恰好の羽休め場所となっていると考えられる。冬鳥が観測されている期間は降雨の負荷量を超えるほどの強い負荷も観測された。同様の負荷は宮城県の伊豆沼や内沼などで観測されている¹⁷⁾。なお、年々冬鳥の飛来数が増加していることから、それに比例して排泄物の負荷量も増加してくるものと予測される。

(3) 降雨に伴う栄養塩負荷

流入河川をもたない蓮沼海浜公園ボート池では、降雨中に含有される栄養塩濃度が直接的な流入負荷となる。なお、降雨に伴う栄養塩負荷には、降雨時の池周囲の表土中からの供給も考えられるが、本研究では雨水に含有される直接的な栄養塩供給に着目して検討した。降雨由来の負荷においては、雨水中に存在する栄養塩濃度は降水量により大きく影響される。これは空气中に存在している栄養塩量がどの程度滞留しているかに依存すると考えられる。したがって、降雨の栄養塩濃度¹⁹⁾は、その降水量によって濃度を算出し負荷量を見積もった。本池に流入する降雨量は千葉県の横芝光の観測所での計測データ¹¹⁾から、栄養塩濃度（窒素）は酸性雨の基本本データ²⁰⁾から求めた。また、リンは空气中に存在しないことから、降雨中のリン濃度を実測し、

T-P 0.038mg/L を得た。降雨による負荷量を算出した結果、5～7 月の期間に降雨負荷量は高い値を記録し、最高値は5月のT-N $4.43 \times 10^5 \text{mg/day}$ 、7月のT-P $0.9 \times 10^4 \text{mg/day}$ であり、年間を通じた負荷割合(2007 年度)としては、T-N 69.9%, T-P 12.4%となった。すなわち、蓮沼海浜公園ボート池における窒素負荷の7割程度を降雨が占めていることが明らかとなった。この時期は梅雨の時期と重なり、降水量の多い時期に負荷量が増加するものと考えられる。

降雨は毎月観測され、降雨量と濃度でからみると降雨中の窒素濃度はその月の降水量によって変化する²¹⁾、降雨量が増加すると雨水中の窒素濃度が低下するという反比例の関係となる。これは大気中に存在する窒素酸化物が降雨のたびに希釈されるためと考えられる。また、降雨負荷量が高い値を示したのは5月から7月であり、ちょうど梅雨時期と重なることから、月ごとの降水量が多い時期に高い負荷量を示すものと考えられる。また、千葉県南西部に火力発電所が存在しており、その排煙に含まれる窒素酸化物(NO_x)が降雨に伴う負荷に影響を及ぼしている可能性も考えられる。

(4) 蓮沼海浜公園池の水収支

池水の Cl^- 濃度および降水量データから算出したボート池における水収支を図-5に示す。蓮沼ウォーターガーデンのボート池には流入河川は存在せず、富栄養化の原因物質である栄養塩類の流入経路は、地下水：雨水：浸透水=6.9：2.9：0.2と見積もられた。これより、地下水の占める割合が大きく、地下水中に含有される高濃度な栄養塩類がボート池の富栄養化の原因となっているものと考えられた。この地下水はポンプにより揚水されてボート池に供給されており、その由来は周辺の農耕地の地下浸透水と太平洋の海水であるが、現在(2006年度以降)は稼動していない。したがって、蓮沼海浜公園ボート池では、雨水の水質への影響が大きいと考えられる。

(5) 栄養塩濃度およびN/P比の季節変化

2006年と2007年の栄養塩濃度の比較を図-6および図-7に示した。

T-Nは夏季に大きく増加し冬季になるにつれて減少した。これは過去9年間の観察でも同様であった。T-Nの増加の際に溶存態窒素($\text{NH}_4\text{-N}$, $\text{NO}_2\text{-N}$, $\text{NO}_3\text{-N}$)はほとんど増加しておらず、一方、Chl.aは増加していた。このことから、夏季におけるT-Nの増加は植物プランクトンの増殖に伴った懸濁態窒素の増加と考えられる。

T-Pは年間を通して変動が激しく、一年を通しての規則的な特徴はみられなかった。これは本池のリンの供給源が海水混じりの地下水と周囲の外部要因であるためと考えられ、流出河川がなく、一度流入したリンが滞留し続けることから、2006年度よりも増加したものと考えられる。窒素と同様に溶存態リ

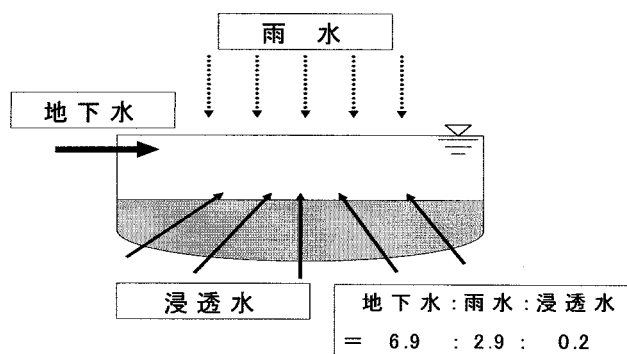


図-5 ボート池における流入経路

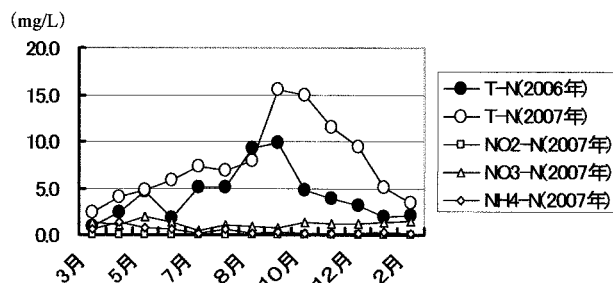


図-6 窒素濃度の経月変化 (2006, 2007年度)

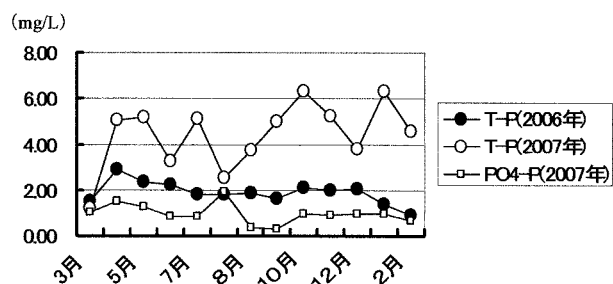


図-7 リン濃度の経月変化 (2006, 2007年度)

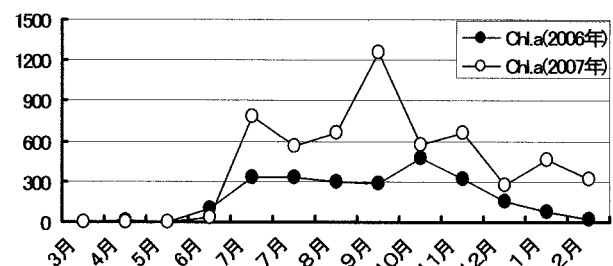


図-8 N/P比の経月変化 (2006, 2007年度)

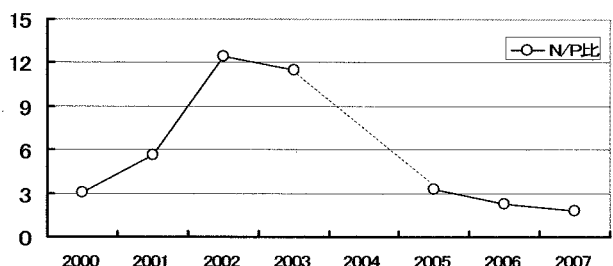


図-9 N/P比の経年変化 (2000～2007年度)

ン ($\text{PO}_4\text{-P}$) にほとんど変動は認められず、これは無機態のリンがクロマツの花粉から供給されたCa, Al, Feなど¹⁰⁾と結合してリン酸塩として存在し、これが懸濁態リンの増加につながったものと考えられる。リン濃度の最大値は10月に計測され、4月の濃度の急激な増加はクロマツの花粉による影響が大きいものと考えられる。

N/P比は、図-8に示したように、2006年度は夏季から秋季にかけて急激に上昇していた。これはこの時期のT-Nの増加が原因と考えられる。しかし、2007年度のN/P比はリン濃度の増加によりそれほど大きな変化はみられなかった。N/P比の経年変化をみると、図-9に示したように、2002年度までは空中窒素固定能を有する藍藻の一種*Anabaena spiroides*が徐々に優占化したことにより上昇し⁵⁾、2003年度以降はリンの蓄積が顕著になってきたことにより低下しており、2007年度のN/P比の平均は1.89となった。なお、2004年度はボート池の浚渫工事による底泥の天日干しのためにデータが欠落している。このままN/P比が低下し続ければ、年間の窒素濃度の平均よりもリン濃度の平均が高くなり本池の生態系に重大な変化が生じるものと予測される。

(6) 水の華とプランクトン相

生物顕微鏡によるプランクトン観察の結果、2007年度は、春季は珪藻類、夏季～秋季は藍藻類、冬季は鞭毛藻類が優占したことがわかった。初夏には藍藻の*A. spiroides*による水の華が形成され、その占有率は個体数ベースで50%を超えており、5月中旬から筋状のアオコが目視観察できるようになり、9月には異常増殖 (Chl.a 1.260 $\mu\text{g/L}$) して厚いマット状のアオコを形成した。夏季から秋季にかけて水の華の優占種は*A. spiroides*から*Microcystis aeruginosa*へと変遷した。また、冬季～春季は2006年度までは珪藻の*Aulacoseira italica*および*A. japonica*が優占していたが、2007年度は褐色鞭毛藻類の*Cryptomonas* spp.が大量発生し、水面を赤褐色に染める淡水赤潮の状態となった。

夏季にアオコを形成した*A. spiroides*は、水中に溶存態無機窒素が枯渇しているときに大気中の N_2 を直接光合成に利用して増殖することを可能とする空中窒素固定能を有している²²⁾。蓮沼海浜公園ボート池は、リン濃度が異常に高く溶存態窒素が少なかったため、窒素さえ供給されれば植物プランクトンが大増殖できる状況となっていた。そのため、このような状況で大気中の窒素を利用することができる*A. spiroides*が他の植物プランクトン種よりも有利に、かつ爆発的に増殖し、水の華を形成したと考えられる。また、*A. spiroides*は他の植物プランクトンが死滅するほどの強光下でも増殖を維持することができる⁷⁾。これは強光による光酸化作用による死滅に抵抗するために、体細胞中の色素のカロテノイドの割合を増加させる能力をもっているためであ

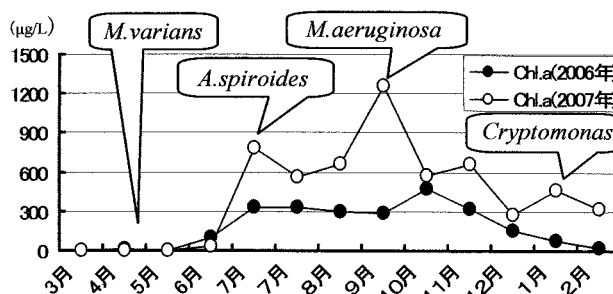


図-10 Chl.aの経月変化と優占プランクトン

る²³⁾。このことも夏季に*A. spiroides*が優占した一因と考えられる。

夏季から秋季にかけて(9～10月)、ボート池に形成された水の華の優占種は、*A. spiroides*から*M. aeruginosa*に変遷した。本来、*M. aeruginosa*は空中窒素固定能を有していない⁷⁾ため、ボート池のような窒素制限的な湖沼では増殖できないと考えられる。しかしながら、ボート池においては、まず夏季に*A. spiroides*が優占し、大気中の窒素を体細胞内に取り込み異常増殖した後、夏季～秋季の季節変遷に伴う日射量・水温の低下や水の華自体による遮光などにより死滅する。そしてその死滅した*A. spiroides*から溶存態無機窒素が溶出し、水中に窒素が供給されて一時的にN/P比が上昇し、*M. aeruginosa*が大増殖して水の華を形成する。以上のような、まず*A. spiroides*が増殖し、その後*M. aeruginosa*が増殖するという二段階の水の華発生機構を経ることによって、ボート池のような低N/P比・窒素制限的な湖沼環境であっても*M. aeruginosa*による水の華が形成されたものと考えられる。このような二段階の水の華発生機構は、ドイツのMelangsee湖やLanger See湖でも確認されている²⁴⁾。

また冬季に、褐色鞭毛藻類の*Cryptomonas* spp.が優占して淡水赤潮を形成した。これは夏季・秋季から冬季への季節変遷に伴い*Anabaena affinis*、*M. aeruginosa*が死滅して、水中に栄養塩類が供給され、その窒素やもともと高い濃度のリンが高水温・高日射を要求しない*Cryptomonas* spp.の大増殖を誘導したものと考えられる。*Cryptomonas* spp.が冬季の汽水域で急激に大量増殖をして赤潮が発生したという事例は吉井川下流域(岡山県)²⁵⁾などで観測されている。

このように、蓮沼海浜公園ボート池では夏季～冬季に水の華が形成されるが、その原因藻類は季節ごとに異なり、初夏～盛夏は藍藻類*A. spiroides*、晩夏～初秋は藍藻類*M. aeruginosa*、冬季は褐色鞭毛藻類*Cryptomonas* spp.であることがわかった。また、春季には珪藻類の*Melosira varians*と*Aulacoseira italica*といった中～富栄養状態の指標種が優占していた。これらの優占種の遷移を、2007年度のChl.a濃度の経月変化と併せて図-10に示した。なお、2007年度

の平均水温は19.1℃、最高水温は34.8℃（8月）、最低水温は6.3℃（1月）、平均気温は19.2℃、最高気温は32.2℃（8月）、最低気温は6.4℃（2月）であった。

以上より、流入河川をもたない蓮沼海浜公園ボート池では、防砂林からの花粉、水鳥の排泄物、降雨といった外部負荷の影響により、プランクトンの異常増殖である水の華による内部生産が生じ、強い閉鎖性と相まって富栄養化が進行していると考えられる。このように、汽水湖を含む海浜公園池の水質の維持管理においては、一般的な湖沼における点源・面源といった流域からの流入負荷に加えて、防風林や渡り鳥といった海浜エリア特有の栄養塩負荷も考慮する必要がある。

5. まとめ

本研究は、蓮沼海浜公園ボート池の水質改善の一助として、海浜エリアに位置する汽水湖におけるアオコ発生機構に関する基礎的知見の集積を目的として、特に栄養塩供給源の特定と負荷量の推定を試みたものである。得られた成果は以下のようにまとめられる。

- (1) 流入河川をもたない蓮沼海浜公園ボート池の水質に影響を及ぼす周辺環境からの栄養塩負荷量として、クロマツの花粉負荷が最大量でT-N : 24.5×10^4 mg/day（4月）程度、T-P : 22.6×10^4 mg/day（4月）程度、マガモの排泄物負荷がT-N : 10.5×10^4 mg/day（10～4月）程度、T-P : 1.2×10^4 mg/day（10～4月）程度、降雨負荷の最大値がT-N : 4.43×10^5 mg/day（5月）、T-P : 0.9×10^4 mg/day（7月）程度と見積もられ、窒素負荷の7割程度を降雨が、リン負荷の7割弱をマツ花粉が占めていることがわかった。
- (2) 本池では、冬季に渡り鳥の排泄物、春季に防風林からの花粉、初夏に梅雨の降雨により年間を通じて窒素・リンの濃度が高く維持され、夏季の*Anabaena*と*Microcystis*による二段階アオコ発生機構により、爆発的な水の華形成が生じ、さらに冬季には*Cryptomonas*による淡水赤潮も観察されるようになった。
- (3) 海浜公園池の水質の維持管理には一般的な湖沼における点源・面源といった流域からの流入負荷に加えて、防風林や渡り鳥といった海浜エリア特有の栄養塩負荷も考慮する必要がある。

謝辞：本研究の遂行に際し、千葉県山武地域整備センター関係各位に多大なるご協力を賜りました。また、採水・分析に際し、当研究室の卒論生である新井達裕氏、富田真貴子氏、熊野洋平氏および矢矧和可子氏の熱意ある協力を得ました。ここに記して感謝の意を表します。

参考文献

- 1) Horne, A.J. and Goldman, C.R. : *Limnology* (2nd ed.), McGraw-Hill, Inc., 1994.
- 2) 田中正明：日本湖沼誌，名古屋大学出版会，1992.
- 3) 村上和仁，鷹野 洋，吉岡敏行，荻野泰夫，森 忠繁：児島湖における植物プランクトンの種構成と季節的消長，水環境学会誌，Vol.22, No.9, pp.770-775, 1999.
- 4) 村上和仁，石井俊夫，瀧 和夫，松島 眸：海浜公園池における水の華発生機構と環境要因，海洋開発論文集，Vol.23, pp.627-632, 2007.
- 5) Murakami, K., Ishii, T., Taki, K. and Matsushima, H. : Seasonal Change of Phytoplankton in Seaside Park pond on Kujukurihama Coastal Line, Japan, Proceedings of 7th International Conference on the Mediterranean Coastal Environment, MEDCOAST'05, Vol.1, pp.581-590, 2005.
- 6) 瀧 和夫，田中崇大：我が国における湖沼の水環境面からみた成因別特性，環境情報科学論文集，Vol.18, pp.483-488, 2004.
- 7) 渡辺真利代，原田健一，藤木博太：アオコ その出現と毒素，東京大学出版会，1994.
- 8) 日本工業標準調査会：工場排水試験法 JIS-K0102, 1993.
- 9) 日本気象協会：海洋観測指針（気象庁編），1990.
- 10) 日本花粉学会：花粉学事典，朝倉書店，1994.
- 11) Punning, J.M., Terasmaa, J., Koff, T. and Alliksaar, T. : Seasonal Fluxes of Particulate Matter in a Small Closed Lake in Northern Estonia, Vol.149, No.1/4, pp.77-92, 2003.
- 12) 気象庁 <http://www.jma.go.jp/jma/index.html>
- 13) (社)石川県畜産協会：ふん尿処理の実際，<http://ishikawa.lin.go.jp/kankyo/02.htm>
- 14) 桶口広芳，村井英紀，花輪伸一，浜屋さと子：ガンカモ類における生息地の特性と生息数との関係，strix7, pp.193-202, 1988.
- 15) 岩手県：平成 18 年度 ガンカモ科鳥類生息調査結果，<http://www.pref.iwate.jp/>
- 16) 大日本獺友会：平成 13 年度ガン・カモ類生息数 <http://www.moriniikou.jp/>
- 17) 江成敬次郎，中山正代，斉藤孝市，鈴木淳，柴崎徹，佐々木久雄：水鳥の飛来による水質汚濁とその防止対策，用水と廃水，Vol.36, pp.22-28, 1994.
- 18) 小野寺一剛，石井健一，矢内栄二：谷津干潟における水質環境への水鳥の影響，第 35 回土木学会関東支部技術研究発表会講演概要集，II-020, CD-ROM.
- 19) Tada, K. : Rainfall Nutrient Loading and Its Influence on Phytoplankton in a Coastal Sea, Proceedings of MEDCOAST'99-EMECS'99 Joint Conference, Vol.1, pp.185-194, 1999.
- 20) 環境省：酸性雨対策調査 <http://www.env.go.jp>
- 21) Luo Liancong, Qin Boqiang, Song Yuzhi and Yang Longyuan : Seasonal and Regional Variations in Precipitation Chemistry in the Lake Taihu Basin, China, Vol.41, No.12, pp.2674-2679, 2001.
- 22) 彼谷邦光：飲料水に忍びよる有毒シアノバクテリア豪華房，2001.
- 23) Kellar, P.E. and Paerl, H.W. : Physiological Adaptations in Response to Environmental Stress during an *N₂*-fixing *Anabaena* Bloom , Applied and Environmental Microbiology, Vol.40, No.3, pp.587-595, 1980.
- 24) Ute Mischke : Cyanobacteria Associations in Shallow Polytrophic Lakes: Influence of Environmental Factors, Acta Oecologica, Vol.24, pp.511-523, 2003.
- 25) 村上和仁，吉岡敏行，鷹野 洋，荻野泰夫：植物プランクトンを指標とした児島湖流域の水質評価，全国公害研会誌，Vol.23, No.2 号，pp.94-100, 1998.