

印旛沼流入河川における出水時の栄養塩類濃度と藻類増殖ポテンシャルの関係

北村友一・岡本誠一郎

1. はじめに

閉鎖性水域での藻類増殖は水質汚濁の主要な要因の 1 つで、この水質汚濁を効率的に低減するためには、負荷源別に藻類増殖因子となる栄養塩等負荷量を明らかにし、優先順位をつけた負荷削減対策が必要である。陸域からの全栄養塩負荷量に占める畑など面源負荷の割合は高く¹⁾、出水時の汚濁負荷量も無視できないと考えられる。しかし、出水時の負荷量は調査の困難さから定量的な把握は不十分で、出水が直ちに藻類増殖に寄与するかについては不明である。そこで、出水時の栄養塩類負荷量の定量的把握と出水の藻類増殖の寄与評価、藻類増殖と微量必須金属の関係評価を目的として、印旛沼流入河川において、土地利用の異なる 4 地点で出水時に数時間間隔で河川水を採水し、窒素、リン、金属濃度と藻類増殖ポテンシャル (Algal Growth Potential : AGP) を測定した。採水地点毎での栄養塩類と AGP の流出特性の把握、AGP と土地利用および金属濃度の関係について統計解析を行った。

2. 調査方法

印旛沼は千葉県北西部に位置し、北印旛沼 (6.26km²) と西印旛沼 (5.29km²) から構成され、富栄養化状態にある。調査河川は、土地利用が異なる採水地点を選択できる西印旛沼流入河川である高崎川とし、流出水に影響する土地利用や養豚の状況に着目し、特徴的な 4 地点を選定した。図-1 に高崎川流域の採水地点を示した。図-2 には各採水地点より上流域の土地利用等の割合を示した。採水地点 A は、高崎川上流域で畑が 70% を占め、豚飼育密度が高い。地点 B は地点 A、C の下流で流域面積が大きく、畑と森林で 65% を占める。地点 C は市街地の割合が 35% であるが、工場用地の割合が高く人口密度は低い。地点 D は都市水路で市街地の割合が 53% を占め、

人口密度が高い。地点 C、D の豚飼育密度は低い。

採水日は H26 年 1 月 8~9 日の降雨時で、佐倉観測所の雨量観測データでは、累積降雨量は 24.5mm、降雨のピークは 1 月 8 日 23 時頃であった。出水時の河川水は降雨開始時を含め 2~5 時間間隔で 7 回採水した。

河川水の水質分析項目は、SS (浮遊物質)、VSS (有機性浮遊物質)、T-N (全窒素)、T-P (全リン)、NH₄-N (アンモニア態窒素)、NO₂-N (亜硝酸態窒素)、NO₃-N (硝酸態窒素)、PO₄-P (リン酸態リン)、DOC (溶存有機炭素)、Na⁺、K⁺、Mg²⁺、Ca²⁺、Cl⁻、SO₄²⁻、Fe、Al、Mn、Zn、Cu、B、Mo、Ni、Co、Se であり、金属は藻類増殖の必須元素を中心に選定した。

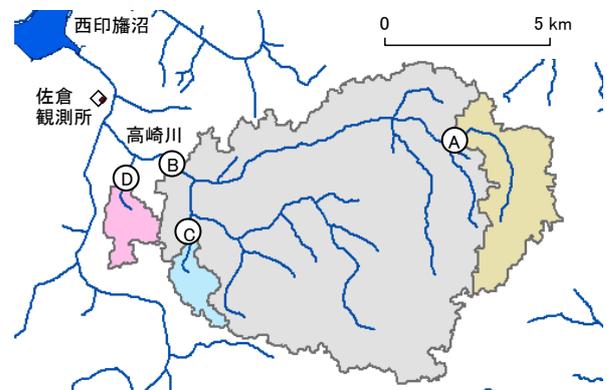


図-1 印旛沼の高崎川流域と採水地点

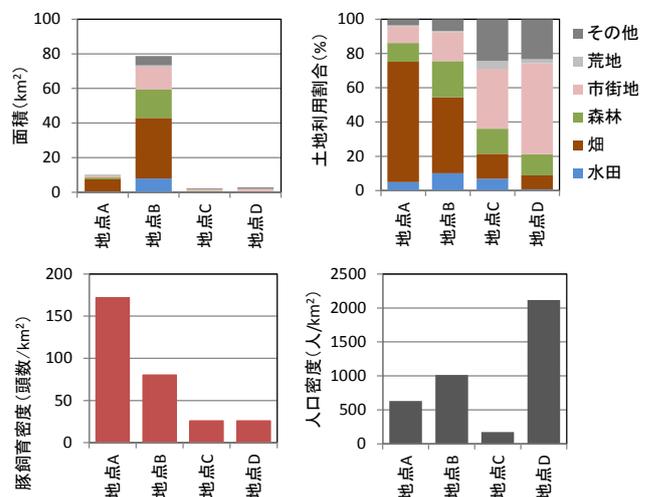


図-2 採水地点上流域の土地利用、豚飼育、人口密度

Relationship Between Nutrients and Algal Growth Potential during Flooding of Rivers Flowing into Lake Inbanuma.

出水時は粒子態物質の増加が主であると考えられる。粒子態物質は直ちに藻類増殖に寄与しないと考えられること、AGP 試験^{*}では試料中に元々存在する藻類を除去しておく必要があることから、本研究では、粒子態物質を取り除いた試料について AGP の測定を行った。

AGP 試験²⁾は次のとおりである。4 カ所の地点で数時間間隔で採水した全ての試料を測定対象とし、孔径 $0.45\mu\text{m}$ のメンブレンフィルターでろ過し、ろ過試料を 300ml 容三角フラスコに 100mL とり、緑藻であるムレミカヅキモを植種して 16 日間培養し、藻類増殖量を乾燥重量 (mg/L) として求めた。以下ではこの藻類増殖量を AGP 濃度と呼ぶ。

3. 調査結果

3.1 出水時のAGP濃度と栄養塩類濃度の変化

図-3 に佐倉観測所での降水量、各採水地点の河川流量、AGP 濃度および水質分析結果の一例として $\text{NO}_3\text{-N}$ 、 $\text{PO}_4\text{-P}$ 、SS、K/Na を示した。AGP 濃度は、地点 A では出水期間中に大きく増加することはなかった。下流の地点 B では、流量ピーク前に増加し、流量ピーク以降に減少した。地点 C、D は、出水前に高く、出水時は低くなっていた。 $\text{NO}_3\text{-N}$ 濃度は、地点 A で出水前が最も高く、出水時は希釈された。他の地点でも同様の傾向を示した。 $\text{PO}_4\text{-P}$ 濃度は、地点 D で出水前が高く、出水時は低下する傾向となった。一方で、

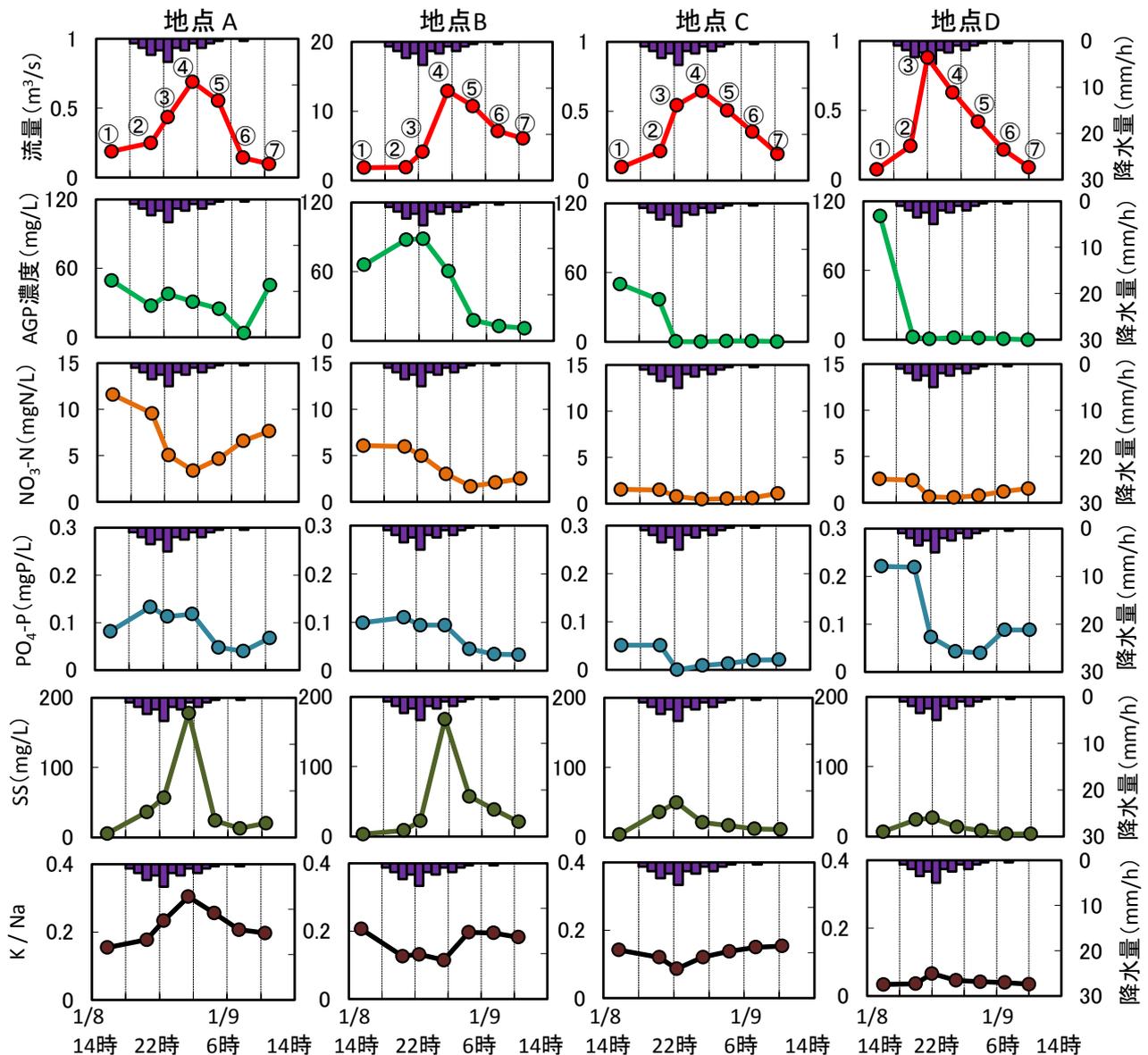


図-3 出水時の時間降水量、河川流量、AGP、 $\text{NO}_3\text{-N}$ 、 $\text{PO}_4\text{-P}$ 、SS濃度、Na/Kの変化 (ヒストグラムは時間降水量、流量の図中の①~⑦は、1/8~1/9間の採水通し番号)

^{*}土木用語解説：AGP試験

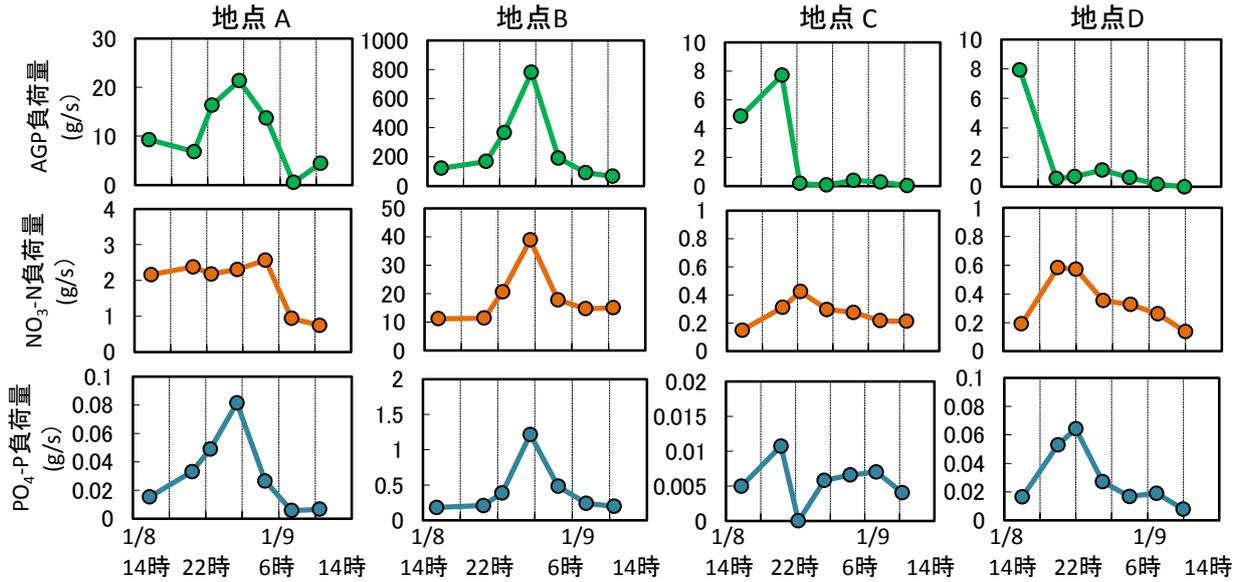


図-4 出水時のAGP、NO₃-N、PO₄-P負荷量の変化

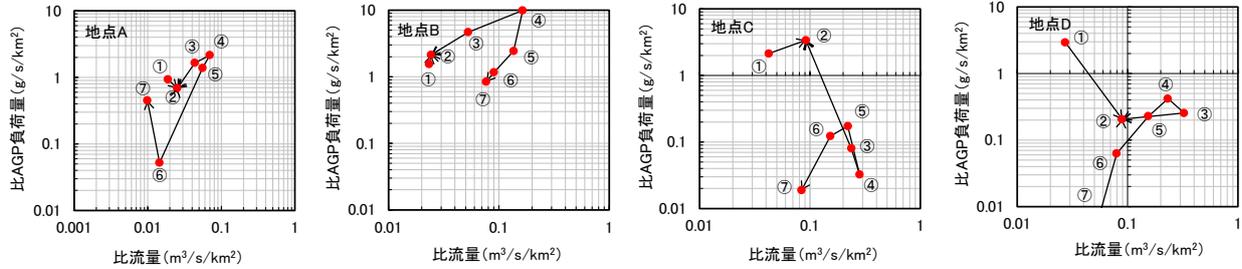


図-5 採水地点毎の比流量と比AGP負荷量の関係 (図中の①~⑦は1/8~1/9間の採水通し番号)

地点 A では出水時に若干高くなる傾向がみられた。SS は、地点 A、B で出水時に顕著に高くなった。K/Na は畜産の影響のマーカー³⁾であり、豚飼育密度が高い地点 A で出水時に高くなる傾向がみられた。出水時の AGP 濃度の変化は土地利用によって異なることが確認された。

3.2 出水時のAGP、窒素、リン負荷量の変化

図-4 に AGP、NO₃-N、PO₄-P 負荷量 (河川流量×濃度) の結果を示した。AGP 負荷量は、A、B 地点では出水時に増大し、C、D 地点では出水時に減少していた。出水時の AGP 負荷量の変化は、A、B 地点で PO₄-P 負荷量と類似していることから、リン流出が AGP 負荷量の増大に寄与していると考えられる。図-5 は地点毎の比流量 (流量/流域面積) と比 AGP 負荷量 (AGP 負荷量/流域面積) の経時変化である。地点 A、B では、流量増大時から流量減少時間で AGP 負荷量がループを形成しており、降雨初期に AGP 負荷量が大きくなることがわかる。地点 C、D は、概ね流量増加とともに低下し、流量が減少しても AGP 負荷量は低下した状態にあった。畑の割合

が多い流域では、出水時は AGP 負荷量が増大し、市街地の割合が多い流域では出水時は AGP 負荷量が減少することがわかった。これは、畑では蓄積されていた栄養塩類が降雨初期に洗い出されたのに対し、市街地では栄養塩類の蓄積が少なく、雨水による希釈が大きいためと考えられる。

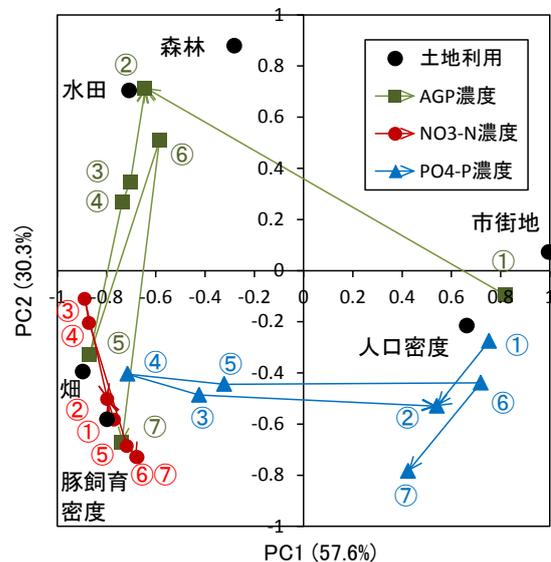


図-6 土地利用とAGP、NO₃-N、PO₄-P濃度の主成分分析の結果 (図中の①~⑦は1/8~1/9間の採水通し番号)

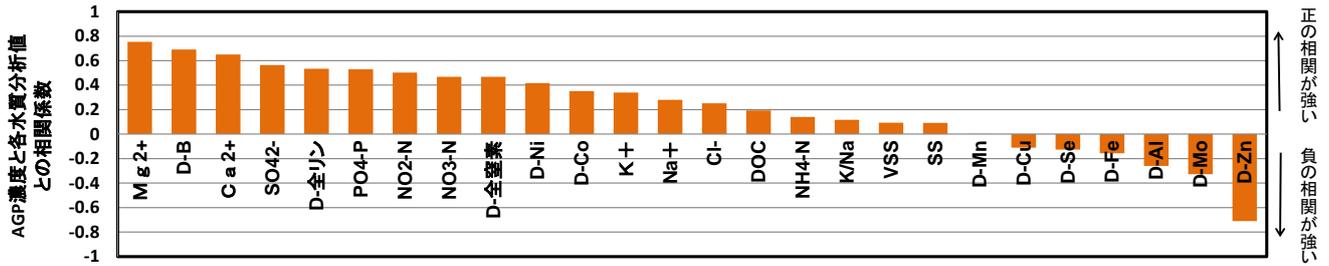


図-7 AGP濃度と各水質項目との相関係数（図中のD:溶存態の略）

3.3 主成分分析による土地利用とAGP濃度の関係

土地利用と出水時の AGP 濃度の変化について全体像を把握するため、南山ら¹⁾に従って、主成分解析を行った。図-6 に、第 1、第 2 主成分について各土地利用項目の主成分負荷量プロットを示す。第 1 主成分 (PC1) は、市街地、人口密度が + 方向に、森林、畑の割合が - 方向に分布したことから、集水域の都市化に関連する成分、第 2 主成分は、森林、水田が + 方向に、畑の割合および豚飼育密度が - 方向に分布したことから、畑の割合と豚飼育密度に関連する成分であると考えられる。次に、第 1、第 2 主成分について、AGP 濃度、NO₃-N 濃度、PO₄-P 濃度の主成分負荷量を採水時間毎に算出し、図-7 に重ねてプロットした。AGP 濃度は、出水前は、市街地や人口密度に近い位置にプロットされ、出水時は森林や畑の方向にプロットが移動した。この解析からも AGP 濃度は出水前は市街地、出水時は畑や森林の影響を受けることがわかった。NO₃-N 濃度は出水期間中、畑、豚飼育密度と近い位置に分布しており、NO₃-N の主要な負荷源は畑や養豚であると考えられる。PO₄-P 濃度は出水前は市街地、出水時は畑の近くにプロットされており、出水前と出水時では主な負荷源が異なることがわかった。

3.4 藻類増殖因子の解析結果

図-7 は、全測定試料を用いて AGP 濃度と溶存態の各水質測定項目を単相関解析したときの相関係数である。窒素、リンが藻類増殖因子であることは知られているが、この他にも AGP 濃度と正の相関を示すものがあった。AGP 濃度と高い正の相関 (r=0.5 以上) を示した項目は、Mg²⁺、溶存態-B (ホウ素)、Ca²⁺、SO₄²⁻であり、こうした金属類も藻類増殖に寄与している可能性がある。閉鎖性水域での藻類増殖を正確に予測するためには、金属類の流出特性解析も重要になると考えられる。

4. おわりに

出水時の栄養塩類負荷量の定量的把握と出水の藻類増殖の寄与評価、藻類増殖と微量必須金属の関係評価を目的として、印旛沼流域において出水時の栄養塩類と AGP の流出特性の調査を行った。AGP 濃度と土地利用および金属濃度の関係については主成分分析、単相関解析から評価した。

本研究で得られた主な知見を以下に示す

- (1) 出水時の AGP 負荷量解析の結果、AGP 負荷量は、畑の割合が多い流域では出水時に増大し、市街地の割合が多い流域では出水時に減少することがわかった。
- (2) 主成分分析から AGP 濃度と土地利用の関係を解析した結果、AGP 濃度は、出水前は市街地、出水時は畑や森林の寄与を受けることがわかった。
- (3) AGP 濃度と各水質項目の単相関解析から、藻類増殖には、窒素、リンの他に Mg²⁺、溶存態-B、Ca²⁺、SO₄²⁻ が寄与している可能性があった。

参考文献

- 1) 南山他：流域スケールで見た物質動態特性の把握に関する研究(2)、平成 23 年度下水道関係調査年次報告書集、pp.77~86、2012
- 2) 日本下水道協会：下水試験方法、pp.380~387、2012
- 3) 岡安他：晴天時における、生活排水、畜産排水起源のトレーサー物質および栄養塩類の流出実態、環境工学研究論文集、45、pp.19~28、2008

北村友一



土木研究所水環境研究グループ水質チーム主任研究員、博(工)
Dr.Tomokazu KITAMURA

岡本誠一郎



土木研究所水環境研究グループ水質チーム上席研究員、博(工)
Dr.Seiichiro OKAMOTO

