

VII-47 人為的汚濁負荷源のないダム湖におけるアオコ発生要因に関する考察

東北大学 学生会員 ○坪根史佳
東北大学大学院 設楽和彦
宮城県大崎広域水道事務所 福地信一
東北大学大学院 正会員 野村宗弘 千葉信男 西村 修

1. はじめに

近年、上流域に人為的な汚濁負荷源のないダム湖においてもアオコの発生がみられ、水道水の異臭味、ろ過・凝集阻害、美観の低下、生態系への影響など多くの問題が懸念される。本研究では、アオコ発生を未然に防止し、ダム湖の水環境の保全に向けた改善策を検討するために、アオコ発生年および非発生年におけるダム湖ならびに流入河川の水質に関する現地調査を行い、両年を比較しながらアオコ増殖の制限因子と考えられるリンの挙動について解析するとともにアオコ発生機構の考察を行った。

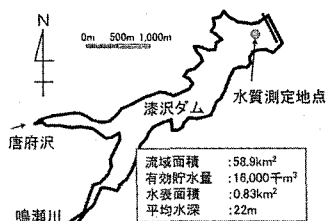


図1 漆沢ダム概要及び観測地点

2. 調査方法

仙台から北北西、山形県との県境に位置し、急勾配の山林に囲まれた宮城県漆沢ダムを対象として2004/7/9～10/12（発生年）および2005/5/24～10/28（非発生年）の期間に現地調査を行った。図1にダム湖の形状と概要を示す。

連続観測として、自記式の水質計(WQC-24;TOA-DKK)を水質観測地点に水面から0.5mの水深に係留し、水温、濁度（ホルマジン）およびChl.aを30分毎に測定した。また、定期観測として約2週間おきに採水および水温、DOの鉛直分布観測を毎回午前11時頃に実施した。試料水は、ペルオキシ二硫酸カリウムと水酸化ナトリウムによるアルカリ性過硫酸加圧加熱分解後、オートアナライザーII(テクニコン社)を用いて全窒素（TN）、全リン（TP）の分析を行い、0.45μmメンブレンフィルターによるろ過後、TRAACS800（ブランルーベ社）を用いて無機態窒素、無機態リン（PO₄-P）を測定した。Chl.a濃度は、90%アセトンによる抽出後に吸光度法で測定した。唐府沢と鳴瀬川の流入河川についても同様に水質調査を行い、併せて流量と水温を現地で測定した。さらに漆沢ダム湖管理事務所において、1時間毎に観測された流入水量、放流量および取水量のデータを入手した。

表1 各水質のL-Q式の係数

	TN	TP	PO ₄ -P
a	153	33.1	16.6
n	1.37	0.87	0.69

3. 調査結果及びアオコ発生機構に関する考察

3.1 調査結果

現地調査により以下の結果が得られた。

- ・2004年に大量発生した藻類は主に藍藻類 *Anabaena* sp.であり、8～9月にかけて表層のChl.aが300μg/lを超えた。
- ・2005年は7月下旬に *Anabaena* sp.が発生しはじめるものの8月上旬に消滅した。その後、緑藻類 *Sphaerocystis* 属が優占し、9/5には表層のChl.aが約130μg/lに達した。
- ・両年とも夏季の水深0.5m、3mにおいてPO₄-Pは欠乏し、リン制限であると考えられた。藻類とリンの関係を評価するChl.a(mg)/TP(mg)は、2004年は4.6、2005年は0.84となった。
- ・両年とも夏季は水深約10mにおいて取水され、10m付近に水温差10℃の強い2次躍層が形成された。水深3m付近には気温、日射量が起因となる1次躍層が形成され、藻類増殖時期の河川水は1次躍層で浅に流入していた。
- ・7、8、9月の河川流入量は2005年の方が大きかった。また、流入量Q(m³/s)と負荷量L(mg/s)の関係をL=a・Qⁿ（a、n：係数）によって整理し、TN、TPおよびPO₄-Pに関して表1にまとめた。

3.2 アオコ発生機構の仮説

Anabaena sp.は表層において河川から流入してくるPO₄-Pを利用して増殖する。河川から流入する藻類が利用できない形態のリンやデトライト由来のリンは、取水位置が水深10mと深いためダム外への流出が困難であることから、10m以浅において分解・無機化が進み、PO₄-Pとして *Anabaena* sp.に摂取される機構が存在すると考えた。この循環に加え、出水に伴う栄養塩負荷量の増加や1次躍層の存在および河川流入位置が藻類の異常増殖を促進していると考えた。アオコ発生機構の概略を図2に示す。

3.3 アオコ発生モデル

アオコ発生機構の仮説をもとに以下の要素を組み込み、鉛直一次元モデル¹⁾を構築した。また各パラメータは文献²⁻⁴⁾より適値を選出した。

- ・両年とも制限因子として考えられるリンの物質循環に着目した。
- ・モデル適用期間内は水深3mに1次躍層、水深10mに2次躍層を設定。表層10mを循環層として上(3m)・中(4m)・下層(3m)の3層に分割した。流入水深は水温の同じ層とし、放流位置は上層、取水位置は下層に設定した。
- ・日射量は気象データを用いて日変動を与え、水温は実測値を与えた。また、流入負荷量は毎時の流入量データからL-Q式により算出した。
- ・1次躍層の形成により物質循環が抑制されるため、上-中層間の拡散係数を中-下層間の5割、沈降速度を中-下層間の1割と低く設定した。
- ・2005年は藻類種の変遷を考慮し、実測値より8/3以降Chl.a/TP比を4.6から0.84に変化させた。
- ・その他のパラメータは次のように決定した。温度による分解速度の変化はないこととし有機物分解速度の温度補正係数は1に、最適温度で増殖速度を最高にするため増殖速度の温度補正係数は1以下の0.95に、藻類の増殖項に含まれるスペース効果はないものとした。

・*Anabaena* sp.は垂直運動が可能なので、Chl.aの拡散係数を0とした。

3.4 計算結果及び考察

2004年は河川水温が高かったことから常に上層に流入し、その結果、定常的な河川流入、一時的な出水によるChl.aの増減は再現できた(図3)。しかし、実測値は最大600 $\mu\text{g/l}$ であるのに対し計算値は160 $\mu\text{g/l}$ と大きく異なった。これは実測値が水深0.5mと藍藻類が集積しやすい水深でのデータだが、計算値は上層3mでの平均値であることが理由と考えられる。

2005年の河川水は8月中旬まで中層に流入、その後上層に移り再び中層に流入した。Chl.aの結果を図4に示す。流入位置が中層のままの計算結果(点線)も示したが、この場合Chl.aはほとんど増加しない。つまり、1次躍層ができ、河川水温の上昇により流入負荷が生産層(上層)に入ってくることが、アオコの発生に重要なメカニズムであることが示唆された。また、8月上旬において上層の水温は25℃に上昇し、藍藻類に有利な環境となったにも関わらず藍藻類から緑藻類への遷移した要因としては日射量の低下やN/P比の変化が原因と考えられた。*Anabaena* sp.は窒素固定が可能で、N/P比の低い環境で優占する傾向がある。本河川のL-Q式をN/Pに代入すると $N/P = 4.62 \cdot Q^{0.5}$ と表せ、流入量の増加によりN/P比が高くなることがわかる。図5に示すように、2005年は河川流入量が多く、それにともない流入負荷のN/P比が2004年と比較して高いために優占種が遷移したと考えられる。

4. まとめ

2004年、2005年の調査結果をもとにアオコ発生機構を仮定してモデル解析を行った結果、以下の結論を得た。

- ・1次躍層の形成による物質循環の抑制と河川流入位置の変動によるモデル解析より、流入負荷だけでも藻類が増殖するメカニズムが検証された。
- ・本ダム湖における*Anabaena* sp.の消長には流入河川のN/P比、つまり河川流入量に関与している可能性が示された。

参考文献

- 1) 松尾直規, 岩佐義朗: 水理講演会論文集, 29, 359-364, 1985
- 2) 高崎みつる: 東北大学, 学位論文, 1985
- 3) 梅田信, 富岡誠司: ダム水源地環境技術研究所, 所報, 2003
- 4) Keesman, K. and G. van Straten: Water Resource Research, 26 (11), 2643-2652, 1990

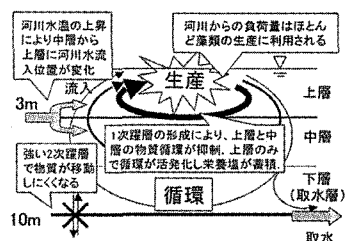


図2 アオコ発生メカニズムの仮説図

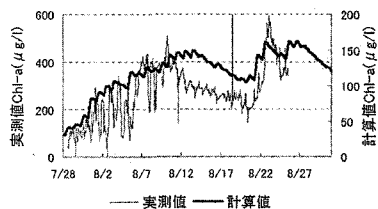


図3 Chl.aの計算値と実測値の比較(2004年)

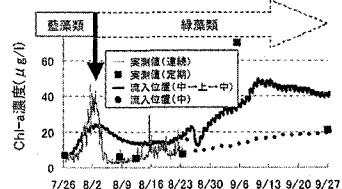


図4 Chl.aの計算値と実測値の比較(2005年)

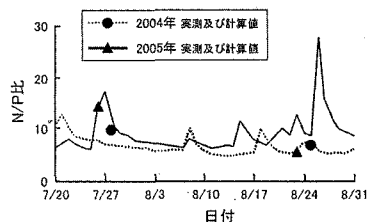


図5 流入負荷N/P比の時系列変化