

## 衛星画像を用いたアオコ評価手法の開発について

環境科学センター

### ○ 目的

水源環境保全施策大綱において水源事業の効果を判断する指標の一つとされているアオコの発生状況について、面的な経年変化を把握する手法を開発する。

### ○ 経緯

- ・ 水源環境保全施策大綱では、相模湖・津久井湖を県民の水がめにふさわしいダム湖水質にするため、富栄養化に伴って増殖するアオコが発生しにくい湖内環境を創造することを目標の一つとしており、参考指標として「見た目アオコ指標」を現状の「2～1」から「1～0」に改善するとしている。
- ・ 平成 29 年度から平成 30 年度にかけて、水源事業の事業終了時の評価指標や手法に関する議論が施策調査専門委員会において行われ、「相模湖・津久井湖におけるアオコの発生状況」が現時点でのアウトカムの達成度を示す指標の一つに選定された。
- ・ 以上のことから、水源事業の最終評価において評価指標の一つとなると考えられる、アオコの発生状況についてより定量的な評価が必要となっている。

### ○ 既存調査

既存のアオコの発生状況調査としては以下の調査が行われている。

#### <アオコの定量調査>

調査内容：相模湖大橋や三井大橋において採水を行い、その中に存在するアオコ（ミクロキスティスやアナベナ等）の細胞数を計測（水道事業者が定期的に実施）

### ○ 課題

定量的な評価として、上記の既存調査を活用することも考えられるが、以下のような課題がある。

- ・ アオコの定量調査の頻度は過去には週に 1 回実施されていたが、現在では頻度が減少(月 1 回程度)しており、経年変化を評価するには頻度が十分ではないこと
- ・ 定量調査地点は数か所のみであり、湖沼全体のアオコの発生状況を反映したものではないこと

### ○ 手法開発の必要性について

- ・ 経緯に記載のとおり、アオコの発生状況は水源事業の評価指標の一つとして重要であるにも関わらず、経年変化のデータは水道事業者の調査のみに限られており、その調査についても頻度や面的評価の点で課題を抱えている状況である。
- ・ 課題解決のためには、事業実施前の相模湖・津久井湖の湖面全体の状況を把握する必要があるが、現在のところそれを可能とするのは衛星写真のみと考えられた。
- ・ そのため、相模湖・津久井湖を比較的高解像度・高頻度で撮影している衛星がないか調査を行ったところ、FORMOSAT-2 という衛星が可視光域での撮影していることが判明した。
- ・ 可視光域での撮影の場合、画像の色(RGB)とアオコの発生状況との間の関係を検証する必要があるが、最近の研究でデジタル画像からアオコ発生量を診断することが可能との報告が出てきたため、衛星画像を用いて相模湖・津久井湖のアオコ発生状況を判定するための手法開発を提案することとした。
- ・ また、当該調査が第3期の5か年計画に入っていなかったのは、当該計画の策定時には、水源事業の事業終了時の評価指標や手法に関する議論が十分に進んでおらず、第3期に入ってからその議論が本格化し、「相模湖・津久井湖におけるアオコの発生状況」が現時点でのアウトカムの達成度を示す指標に選定された経緯があるためである。

#### <衛星画像を用いたアオコ評価手法について(詳細については別紙の仕様書案を参照)>

##### ○ 評価対象とする湖沼

相模湖及び津久井湖

##### ○ 実施体制

画像を用いたアオコ評価手法に関して知見のある調査会社に委託を実施(例えば画像によるアオコ診断手法を開発している会社(別添の八千代エンジニアリングの研究報告を参照)等)

##### ○ 実施スケジュール(案)

令和元年度:試行調査

令和2年度:本調査

##### ○ 調査内容・予算額

###### <令和元年度実施予定>

1年目は試行調査として、事業実施前の期間を中心に衛星画像と水道事業者のアオコの定量調査結果からアオコの面的発生状況を把握できるか検証を行う。

予算額:250万円

###### <令和2年度実施予定>

1年目の検証結果を踏まえ、事業実施前後で評価できる見込みがある場合のみ本調査を実施する。本調査については衛星画像の点数を増やし、経年変化の把握及び評価精度の向上を目指すとともに、次のような取り組みを実施

- ・ 今後の最終評価に向けて、ドローンを活用した画像取得の可能性を検討

# 衛星画像解析によるアオコ発生状況把握に関する基礎的調査業務委託仕様書

## 1 業務目的

平成 17 年 11 月に策定された「かながわ水源環境保全・再生施策大綱」及び「実行 5 か年計画」（現在、第 3 期目：平成 29 年度～令和 3 年度）の事業効果を判断する指標のひとつとして、相模湖及び津久井湖におけるアオコ（ミクロキスチスなどの藍藻類）の発生状況が挙げられるが、現状の水質検査地点及び頻度では湖沼全体の経年変化を把握することは難しい。

そこで、人工衛星から撮影した画像と水質検査結果を比較検討し、衛星画像解析によるアオコの発生量及び分布の判定について基礎的調査を行い、事業効果の判断指標として確立することを目的とする。

## 2 業務期間

契約日から令和 2 年 2 月 28 日まで

## 3 調査対象期間

平成 16 年度から平成 26 年度まで

## 4 調査対象地域

相模湖：桂川橋（山梨県上野原市新田）から相模ダム（相模原市緑区与瀬）まで  
津久井湖：沼本ダム（相模原市緑区沼本）から城山ダム（相模原市緑区城山）まで

## 5 業務内容

### （1）実施計画書の提出

次の事項を記載した実施計画書を速やかに作成し、提出する。

- ① 業務統括責任者、業務担当者
- ② 連絡体制
- ③ 業務実施方針
- ④ 業務工程
- ⑤ 打合せ計画

### （2）関係資料の収集・整理

調査検討に必要な次の資料を収集・整理する。なお、②水質検査結果は環境科学センターが提供する。

- ① 気象状況（天気、雲量、日照時間、日射量、気温、湿度等）  
※ 例：気象庁データ等
- ② 水質検査結果（藍藻類細胞数、その他藻類細胞数、水温、TOC、pH 値、濁度、COD、DO、TN、TP、リン酸イオン等）  
※ 検査地点及び頻度は別紙のとおり。

### (3) 衛星画像の収集・整理

気象状況及び水質検査結果を踏まえて、調査検討に必要な衛星画像を収集する。なお、収集枚数は20枚程度で、次の条件を満たすものとする。

- ① マルチスペクトルで解像度が8m以下の画像であること。  
※ 例：FORMOSAT-2等
- ② 極力、晴天で雲の少ない日時の画像であること。
- ③ 湖沼が濁っている時や藍藻類以外の藻類が優占している時は除外すること。
- ④ アオコが未発生から大量発生（100万細胞/mL程度）までの段階的（指数レベル）な画像を含むこと。
- ⑤ アオコの発生量が同程度で日照条件が異なる画像を含むこと。
- ⑥ アオコの発生量及び日照条件が同程度で年が異なる画像を含むこと。

### (4) 衛星画像解析によるアオコの発生量や分布の判定

収集した衛星画像とアオコの発生量（藍藻類細胞数）を比較し、衛星画像からアオコの発生量を判定する手法を検討する。なお、判定にあたっては日照条件等による誤差を減じる手法を盛り込む。また、検討した手法により、湖沼全体のアオコ分布の判定を試みる。さらに、自動判定可能なアルゴリズムを検討する。

### (5) 課題の整理

本調査業務の成果を踏まえて、今後、アオコの発生量や分布の判定を継続的に実施するにあたって課題となる事項を整理する。

## 6 報告書の提出

次のとおり報告書を業務完了後速やかに提出する。

- ① A4ファイル（紙媒体） 2部
- ② 電子ファイル（CD等） 2部

※ 収集した衛星画像の電子ファイルを添付する。

## 7 その他

- (1) 必要に応じて、打合せ及び中間報告を行う。
- (2) 本仕様書に定めのない事項については、別途協議する。

		相模湖						津久井湖				
		桂川橋		弁天橋(藤野)		勝瀬橋		相模湖大橋		名手橋	三井大橋	
年度	年度	毎月	毎月	隔週	毎月	隔週	毎月	毎週	隔週	毎月	隔週	毎週
2004年度	H16年度				○	○	○	○	○	○	○	○
2005年度	H17年度				○	○	○	○	○	○	○	○
2006年度	H18年度				○	○	○	○	○	○	○	○
2007年度	H19年度		○	○			○	○	○	○	○	○
2008年度	H20年度		○	○			○	○	○	○	○	○
2009年度	H21年度		○	○			○	○	○	○	○	○
2010年度	H22年度		○	○			○	○	○	○	○	○
2011年度	H23年度	○	○	○			○	○	○	○	○	○
2012年度	H24年度	○	○	○			○	○	○	○	○	○
2013年度	H25年度	○	○	○			○	○	○	○	○	○
2014年度	H26年度	○	○	○			○	○	○	○	○	○

出典：神奈川県営水道の水質

<毎月検査>

・検査項目は、藍藻類細胞数、その他藻類細胞数、水温、TOC、pH値、濁度、COD、DO、TN、TP、リン酸イオンなど

<毎週・隔週検査>

・一部検査頻度の省略あり

・検査項目は、藍藻類細胞数、その他藻類細胞数、水温、表層と中層の水温差、濁度



## デジタル画像を用いたアオコ判定システムの自動化に向けた基礎的検討

八千代エンジニアリング株式会社	正会員	○吉田 拓司
八千代エンジニアリング株式会社	非会員	末廣 富士代
八千代エンジニアリング株式会社	正会員	吉田 武司
八千代エンジニアリング株式会社	非会員	後藤 早苗
東京理科大学	正会員	二瓶 泰雄
東京理科大学	正会員	片岡 智哉

## 1. 目的

湖沼やダム貯水池における藍藻類の異常繁殖に伴うアオコ発生には、水温等の様々な要因が関わる事が知られているものの、管理者の日常巡視の目視によるアオコの確認では、確認場所の制限や、アオコ発生・消滅のタイミングや移動状況の情報が少ないことから、アオコの詳細な把握・解析には限界があると考えられる。アオコを含む藻類の確認方法としては、レーダーや人工衛星を用いたリモートセンシングにより、クロロフィル a 濃度の推定を行う技術が発展しているが、データを密な時間間隔で取得することは困難である。一方、ダムの CCTV カメラや、スマートフォン、ドローン等による通常のデジタル画像からアオコを判別する事が可能となれば、上記の課題が解決されるとともに、アオコ発生メカニズムを検討するための基礎資料となり得る。本研究では、湖沼水面上のアオコ発生有無が撮影されたデジタル画像を多数収集し、アオコ有無を判定するための画像解析アルゴリズムを検討した。

## 2. 解析手法

解析は、平成 23 年度～25 年度に国土交通省霞ヶ浦河川事務所が河川巡視の際に撮影したアオコが発生している画像と、筆者らが撮影したアオコが発生していない画像の計 77 枚を用いて行った。画像解析に当たり、図 1 に示すように 10×10 ピクセルを 1 メッシュとし、水面が含まれるメッシュ内ピクセルの RGB 情報を取得すると共に、メッシュ内の影の有無やアオコの有無を収集した。解析には、撮影場所、撮影日、天候等様々な条件下で撮影されたデジタル画像を用い、1 枚当たり約 20～40 メッシュを抽出し、アオコが発生しているデータとして 944 メッシュ（影無：820，影有：124），アオコが発生していないデータとして 1427 メッシュ（影無：1137，影有：290）を取得した。また、光条件の影響を確認するために、水面以外のコンクリートや植生等の RGB 情報もリファレンスデータとして取得した。

なお、アオコの有無の判断は、「見た目アオコ指標」<sup>1)</sup>を参考に画像の目視にて行い、アオコの判断がつかない場合は、解析対象から除外した（図 1 中の“判断不可”）。

## 3. 解析結果

## (1) RGB の情報とアオコとの関係性

アオコが発生した場合は G（緑）の値が増加する事を想定し、1 メッシュ中（10×10 ピクセル）の G 値の最大値と、G-R、G-B 値の最大値を抽出し、収集したメッシュ数で除した頻度分布を図 2 に示す。G 値のみで評価した場合、アオコの有無や影の有無に関わらず、50～200 程度の範囲で分布しており、明確な差は見られなかった。しかしながら、アオコ有の場合で影の有無については、若干異なる分布を確認した。G-B 値に関しては、アオコ有の影有無、アオコ無の影有が 0～80 程度で分布し、アオコ無の影無が -10～30 程度で分布しており、G 値と同様な結果となった。一方、G-R 値では、アオコ無の影有無の G-R 値は 20～20 程度、アオコ有の影有無は 0～60 程度と、アオコの有無による差が見られ、さらに影の有無には影響されない傾向が示された。

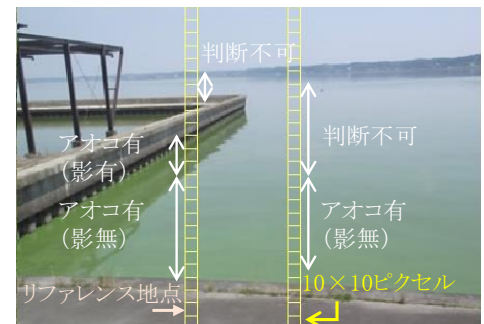
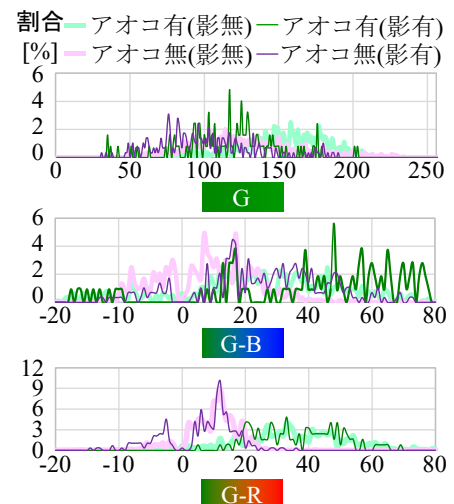


図 1 判別方法

図 2 アオコ有無の G, G-B、G-R 値  
(上：G, 中：G-B, 下：G-R)

キーワード アオコ, RGB, 画像処理, 自動判定, ダム管理

連絡先 〒111-8648 東京都台東区浅草橋 5-20-8CS タワー TEL : 03-5822-2353

(2) アオコ判定に使用する条件の検証

次に、光条件の影響で写真毎に輝度が異なる事から、G-R 値を写真中のコンクリートや植生等に設けたリファレンス地点における RGB 合計値で除した場合 (Case 1)、解析メッシュの G-R 値の最大値をメッシュ中の RGB 合計値で除した場合 (Case 2)、G-R 値のみ (Case 3) の3つの条件を設定し、最も精度良くアオコの有無を判定可能な条件を把握した。ここでは、図3に示すように、統計解析手法の一つである ROC (Receiver Operating Characteristic : 受信者動作特性) 曲線を用いて AUC (Area Under the Curve) を算定した結果、G-R 値のみ (Case 3) の AUC が最も高く、アオコ有無を判定する精度が高い事が示された。

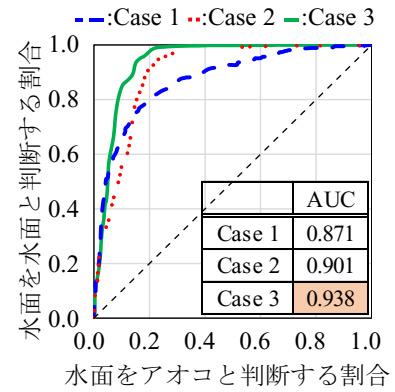


図3 ROC 曲線と AUC を用いたアオコ有無の判定精度

4. アオコ自動判定システムの構築

上記の Case 3 で用いた指標 (G-R 値) を用いてアオコを自動判定するための閾値を検討した。ここでは、アオコ無をアオコ有と判定してしまう可能性を出来る限り小さくするため、図4 (図2の影有無を含めた頻度分布の累積値) に示すように、アオコ無のデータを 99%含む時の G-R 値である 25 を閾値とした。この閾値を用いて、画像処理ライブラリである OpenCV を活用して G-R 値が 25 未満を青、25 以上を緑で着色した結果を表1に示す。なお、表中の白い線は元画像から目視でアオコを判断した範囲を示す。(A) では、一部でアオコの未判定が見られたが、(B) については、概ねアオコを判定できている事が確認できる。(C)、(D) についても、目視で確認できたアオコは判定できたものの、アオコを目視で確認できなかった範囲 ((C) : 写真上, (D) 写真右上) も緑で広範囲にわたり着色された。目視では判断できない範囲であるが、実際にはアオコが存在していた可能性もある。ただし、取水障害の判断を考慮すると、水際でのアオコ有無の判定が第一となるため、水際でのアオコ判別ができる本システムは一定の有用性があることが示唆される。

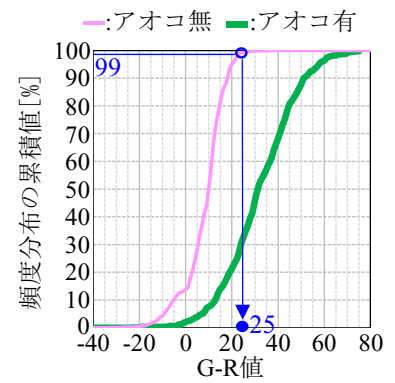


図4 頻度分布の累積値

5. まとめ

G-R 値でアオコの有無を影の影響を受けずに精度よく判定できる事が示された。アオコの発生画像を用いて自動判定を行ったところ、目視で確認できるアオコは概ね判定できることを確認した。今後は、アオコを目視で判定できない範囲での自動判定結果の精度確認や、判定できる適用範囲について検証する必要がある。

表1 アオコ自動判別 (緑と青の二極化)

	(A)	(B)	(C)	(D)
元画像				
R-G 値 >= 25				

※白線 : 元画像からアオコが発生している場所を目視で判断

謝辞 : 本研究では、アオコが撮影された画像を国土交通省霞ヶ浦河川事務所から提供して頂いた。また、解析には弊社山本茂友氏、佐島裕也氏、栗原未登氏に多大なる協力を頂いた。ここに記して、深甚なる謝意を表します。

参考文献 : 1) 森田ら : 湖沼環境指標の開発と新たな湖沼環境問題の解明に関する研究, 国立環境研究所特別研究報告, pp.1-52, 1992-1996.