

## リアルタイムモニタリング装置を用いた諏訪湖の水質観測

宮原 裕一  
信州大学理学部

Water quality observation of Lake Suwa using a real-time monitoring device

Y. Miyabara  
<sup>1</sup>Faculty of Science, Shinshu University

キーワード：諏訪湖，溶存酸素，クロロフィル，リアルタイムモニタリング  
Keywords: Lake Suwa, dissolved oxygen, chlorophyll, real-time monitoring

### 1. はじめに

諏訪湖は長野県中央部に位置する富栄養湖である。近年、諏訪湖では夏季の透明度は向上したが、底層溶存酸素濃度 (DO) は低下し、水生生物の生息環境の悪化が懸念され、底層 DO などの水質の詳細な把握が必要とされている。信州大学理学部諏訪臨湖実験所では、1977 年から諏訪湖の定期観測を実施している。それに加え、近年はデータロガーを用いた DO などの連続観測も行っている。これら観測データから過去の事象の説明はできるが、観測データを入手し確定させるまでタイムラグがある。リアルタイムデータがあれば、直近の水環境の変化を解釈し予測することが可能となる。

Suwa Smart Society 5.0 (SSS 5) では、産学官の連携プロジェクトとして 2018 年より諏訪湖において水温・DO・濁度のリアルタイムモニタリングを開始し、年々装備の拡充を図ってきた。また、2021 年には、信州大学初の学術クラウドファンディングにより新たなモニタリング装置「すわこウォッチ」を作製し、上記に加え風量、クロロフィルとフィコシアニンの観測を諏訪湖で開始した。本研究では、これらリアルタイムモニタリング装置で得られたデータの検証と、2021 年の諏訪湖における水質変動の解析を行った。

### 2. 方法

2021 年は 6 月から 12 月にかけて、諏訪湖の湖心 (水深 5.7m) および豊田沖 (南西部, 水深 6.0m) の 2 カ所でリアルタイムモニタリングを行った (図 1)。湖心では、「すわこウォッチ (図 2)」により、水温 (水深 0.5m, 3m, 5m, 株式会社ティアンドデイ (T&D)), DO (水深 5m, オプテッ



図1 諏訪湖における観測地点



図2 湖心のリアルタイムモニタリング装置

クス株式会社 (OPTEx)), 濁度 (水深 0.5m, OPTEx), 風量 (湖面 1.5m, KOA 株式会社) の観測を行った。また、クロロフィルおよびフィコシアニンセンサー (水深 0.1m, Turner Designs, Inc.) を 2021 年 9 月および 10 月に増設した。このうち、水温、クロロフィル、フィコシアニンセンサーの観測値は、T&D の RT500BM から携帯電話回線を使って、同社専用のクラウドにアップロードした。DO, 濁

度、風量の観測値は、OPTEX の IoT 無線ユニットから Sigfox を使って、同社専用のクラウドへアップロードした。

豊田沖では、2018 年に製作された SSS 5 の装置により、水温（水深 0.5m, 3m, 5m, 熱電対）、DO（水深 5m, OPTEX）、風量（湖面 1.5m, KOA）の観測を行った。これら観測値は Field Checker（三井共同建設コンサルタント株式会社、株式会社 MOLE' S ACT）から、携帯電話回線を使い専用のクラウドへアップロードした。これらクラウド間で連携を行い、各観測値（毎正時）をホームページ（<https://sss50.harmonia-cloud.com/>）で公開した。

さらに、これらリアルタイムデータの検証のため、湖心での定期観測に加え、湖心および豊田沖で水温データロガー（UA-002, Onset Computer Corporation）と DO データロガー（U-26, Onset Computer Corporation）を用い水温および DO の観測を行った。

### 3. 結果

湖心ではリアルタイム観測装置によって、6月の設置から12月の回収まで、ほぼ連続して観測値が得られた。一方、豊田沖では、晩秋になってから深夜から午前中にかけて観測ができなくなった。これは、装置全体の消費電力が充電量を上回ったためである。ここでは、同一地点で異なる方法で観測を行った、水温、DO、濁度、クロロフィル、フィコシアニンの観測結果について述べる。

#### 3.1 水温

湖心および豊田沖で、リアルタイムモニタリング装置とデータロガーを併用し、5 から 15 分間隔で水深別の水温を観測した。豊田沖では、装置の電圧低下によって、11月10日以降の深夜から午前中にかけて水温の測定ができない時間帯があった。また、豊田沖ではロガーの設定に不具合があり水深 5m 以外は 7 月以降データが得られなかった。

これらにより観測された水温を図 3(a)-(d)に示した。図に示された水温変化は、互いに酷似しており、それぞれ観測に用いた機材は異なるものの、湖心・豊田沖とも各水深で同様な観測値が得られていた（その一例、図 4）。ただし、センサーによって応答速度、測定間隔が同一ではないの

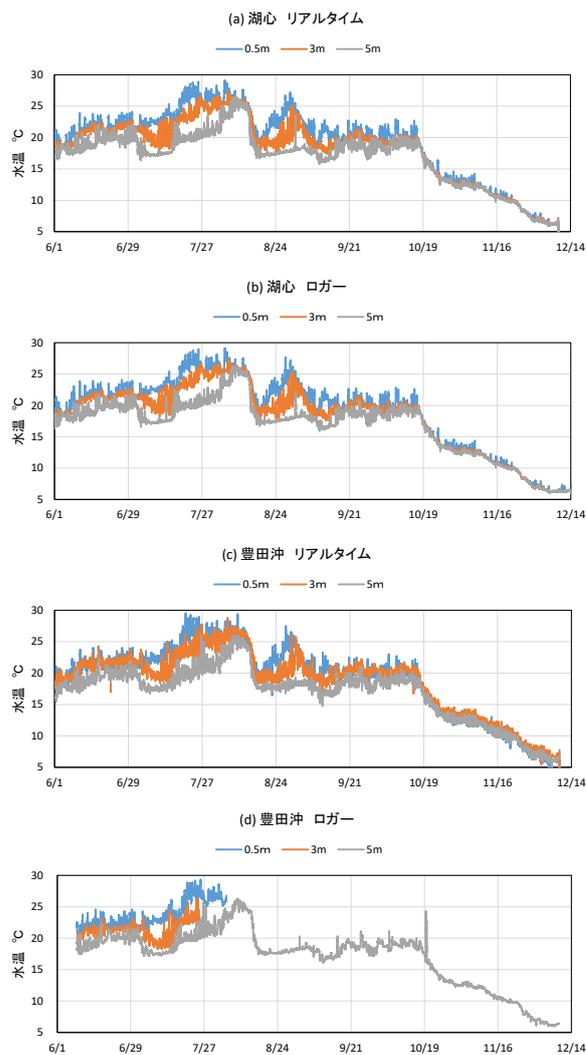


図3 諏訪湖における水温の変動（湖心・豊田沖、水深別）

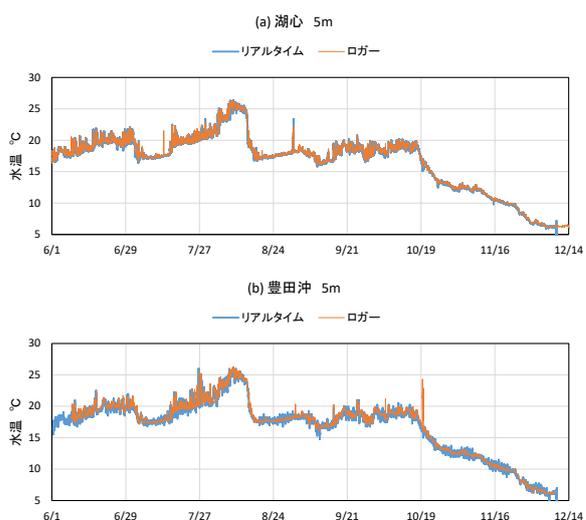


図4 リアルタイムモニタリングとロガーの水温の比較（湖心・豊田沖、水深 5m）

で、これ以上厳密な比較をする意味はない。

例年、水温成層は8月下旬に消失することが多いが（宮原，2018），2021年は、それよりも早い8月上旬に水温成層が消失したことが、湖心および豊田沖で確認された。合わせて、8月中旬に全層で急激に水温が低下したことも両地点で確認され、これらが2021年の水温変化の特徴と言える。

### 3.2 底層 D0

湖心および豊田沖で、リアルタイムモニタリング装置とデータロガーを併用し、10分から1時間間隔で水深5mのD0を観測した。いずれも同じ光学式（蛍光）のセンサーによる観測である。豊田沖では、装置の電圧低下によって、11月10日以降には深夜から午前中にかけて溶存酸素の測定ができない時間帯があった。

リアルタイムモニタリング装置とデータロガーにより観測されたD0を図5(a)(b)に示した。リアルタイムモニタリング装置とデータロガーでほぼ同様な観測値が得られたが、湖心では9月に両者の値が異なる期間があった。

また、2021年の底層D0の特徴として、湖心・豊田沖とも無酸素状態が長く続かなかったことが挙げられる。

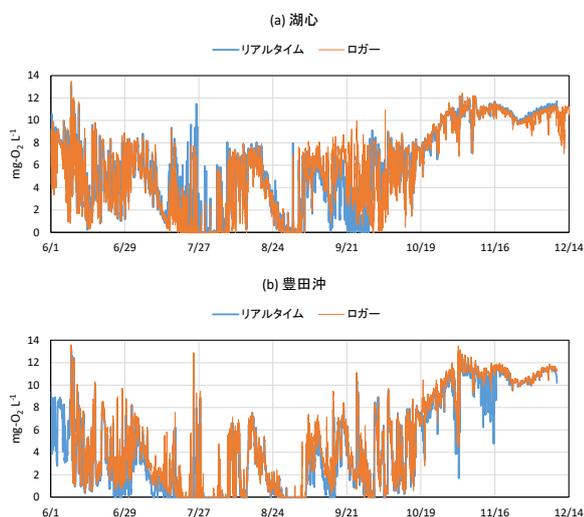


図5 リアルタイムモニタリングとロガーのD0の比較（湖心・豊田沖，水深5m）

### 3.3 濁度

表層の濁度は湖心でのみ観測され、その結果を諏訪湖の定期観測で観測された透明度とともに

図6に示した。湖水の濁度は8月中旬と9月中旬の2回極大が見られた。諏訪湖の定期観測から8月中旬に透明度の低下が確認されたが、9月中旬の濁度の極大に匹敵するような水質の変化は認められなかった。



図6 諏訪湖湖心における濁度（水深0.5m）と透明度の変動

### 3.4 クロロフィル

表層のクロロフィル濃度は、9月から湖心で観測を行った。湖水中の植物プランクトン量を表すクロロフィルセンサーの観測電圧は、昼低く夜高くなる傾向が認められ、日射が観測を妨害していることが示唆された。そこで、日射のない時間帯の観測値を抽出し、図7を作図した。観測電圧は、10月上旬と11月上旬に極大が見られ、この時期に植物プランクトンが増大していることが示唆された。諏訪湖臨湖実験所で実施している定期観測のクロロフィル濃度からも、それを裏付けるような変動が確認された。



図7 諏訪湖湖心における表層クロロフィル濃度の変動（センサーデータと実測値）

### 3.5 フィコシアニン

表層のフィコシアニン濃度は10月から湖心で観測を行った。湖水中の藍藻類の量を表すフィコシアニンセンサーの観測電圧は、昼低く夜高くなる傾向が認められ、日射が観測を妨害しているこ

とが示唆された。そこで、日射のない時間帯の観

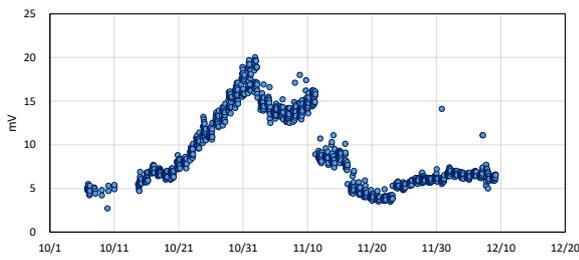


図8 諏訪湖湖心における表層フィコシアニン濃度の変動（センサーデータ）

測値を抽出し、作図した（図 8）。フィコシアニンセンサーの運用開始は 10 月中旬であるが、10 月下旬に極大が見られ、藍藻類によるアオコの発生が示唆された。この極大は上述のクロロフィルの極大よりも早く、11 月下旬のクロロフィルの極大は藍藻ではなく、低温を好む珪藻の可能性が高い。

また、11 月 12 日にセンサー部分の汚れを落としたところ、クロロフィルセンサーでは観測電圧の上昇傾向が、フィコシアニンセンサーでは観測電圧の低下が見られた。

#### 4. 考察

##### 4.1 リアルタイムモニタリング装置の課題

リアルタイムモニタリング装置によって通年で連続観測を行うことができた。しかし、本体を稼働させている充電電池の電圧低下によって欠測期間が生じた。これは、経年的な使用によるバッテリーの劣化と、日射不足によって太陽光パネルによる充電量が不足したためである。今後、タイマーを使うなどして装置の省電力化を図る必要がある。

また、溶存酸素と濁度で観測値どうしの整合性が確認できない時期があった。光学センサーである溶存酸素や濁度センサーは、感知部に藻類が付着すると光を遮り観測値に影響が生じる。濁度センサーには付着防止のワイパーが内蔵されているが、9 月末のメンテナンス時にこのセンサーに藻類が大きな塊となって付いていた。この際、溶存酸素センサーにも同様な付着物が確認され、湖心で 9 月に見られた DO 観測値の機差や、濁度の上昇はこの付着物の影響と考えられた。特に、2021 年は 8 月中旬に出水があり船舶による観測

に制限が生じ、センサーのメンテナンスがおろそかになってしまったことがこの背景にある。

同様に、クロロフィルとフィコシアニンセンサーも光学式のセンサーである。センサーのメンテナンス前後（11 月 12 日）で観測値が変化したことから、これらのセンサーについても、DO や濁度と同様、付着物による影響があると考えられた。正確なデータを得るためには、センサー・ロガーとも定期的なメンテナンスを行う必要がある。

また、クロロフィルとフィコシアニンセンサーとも日射の影響を受け、現状では昼間の観測値が使えないため、時間単位での植物プランクトンの挙動を知るためには、センサーに何らかの工夫を施す必要がある。

##### 4.2 2021 年の諏訪湖の水質変動の特徴

2021 年の 8 月中旬には、水温低下と濁度の上昇が見られた。これは、8 月 13 日から 15 日にかけて 300mm を超える降水があり（諏訪特別地域気象観測所）その影響と考えられる。諏訪湖最大の流入河川である上川の水温を見ると、降雨時には水温の日変動が見られなくなり、水温が低下していた（図 9）。釜口水門での放流量も急激に増大していたことから、諏訪湖に流入する河川水量も増大していたことが分かる。釜口水門での放流量を積算すると、8 月 13 日から 15 日の 3 日間で諏訪湖の貯水量の約 90%、16 日までの 4 日間で貯水量の 140%に相当する湖水が放流されており、この湖水の入れ替わりによって、湖水の水温低下が生じたものと考えられた。



図9 2021年8月中旬の豪雨時における上川水温および釜口水門放流量

同様に、8 月の濁度の上昇も土砂を多く含む河川水の流入によるものと考えられた。諏訪湖の水温低下を詳しく見ると、水深 5m, 3m, 0.5m の順で水温が低下していた。表層の濁度の上昇は、水

深 0.5m の水温が低下し始めた 8 月 15 日になってからであった (図 10)。濁度は 8 月 17 日に極大となりその後減少に転じていた。この 8 月の濁度の変動は、濁水の流入とその沈殿で説明することができる。

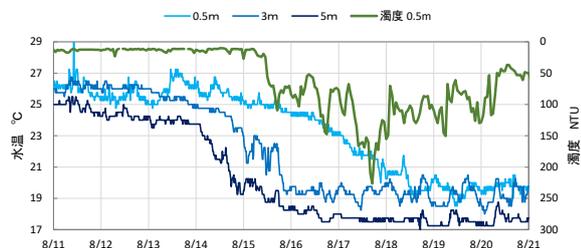


図10 2021年8月中旬の豪雨時における水温低下と濁度の上昇 (湖心)

例年であれば、諏訪湖では 7 月下旬から 8 月中旬にかけて底層が貧酸素状態になることが多い (宮原, 2018) が, 2021 年は, 7 月下旬と 8 月下旬の 2 回, 短期間の貧酸素状態が生じた (図 5)。後者の貧酸素状態は, 8 月中旬の出水によって湖水水温が低下した後, 表層が日射により暖められ水温成層が生じ, 湖水の循環が妨げられたことが原因と考えられる。

一方, 例年よりも早い 8 月上旬に貧酸素状態が解消されたのは, 風による水温成層の解消が原因と考えられた。水温成層の状態を示す表層と底層の水温差は, 7 月下旬から 8 月上旬にかけ風速  $6 \text{ m s}^{-1}$  を超える風が何度も吹くたびに湖水が攪拌され, 水温差の解消が表層から底層へと生じていることが確認された (図 11) (風データは気象庁 HP より)。この水温成層の解消により, 底層へ酸素が供給され, 貧酸素状態が解消されたものと考えられた。

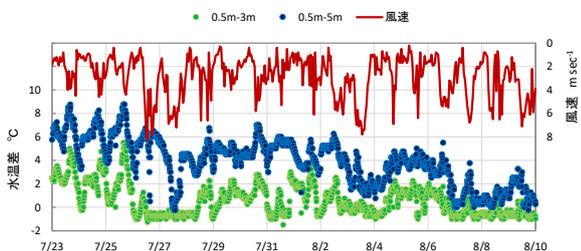


図11 2021年7月下旬から8月上旬における表層と底層の水温差および風速の変動

## まとめ

リアルタイムモニタリング装置により, 随時, 水質データを得ることができた。得られた水温, 溶存酸素, 濁度およびクロロフィル濃度は, 定期観測やデータロガーによる観測値と整合するものであった。ただし, センサー部分に藻類が付着すると光学センサーに影響を及ぼすため, こまめに感知部を掃除する必要がある。また, 充電池の電圧低下を引き起こさないように装置全体の消費電力を抑える工夫をする必要がある。

リアルタイムモニタリングにより, 出水時の水質変化や, 水温成層の形成・解消ともなう貧酸素化の様子を捉え, 解析することができた。

## 謝辞

リアルタイム水質観測装置「すわこウォッチ」は, 信州大学理学部学術系クラウドファンディングの支援によって作製することができました。また, 本装置に増設したクロロフィルセンサーおよびフィコシアニンセンサーは, 山岳科学研究拠点の重点研究費・理学部学部長裁量経費・本学基盤研究支援事業によって入手することができました。さらに, Suwa Smart Society 5.0 関係各位のご協力により, 装置の維持・管理や観測データの公開が行われています。

一方, 解析にあたり長野県諏訪建設事務所から釜口水門放流量のデータを提供していただきました。

この場を借りて関係する皆様にお礼申し上げます。

## 【参考文献】

- 1) 宮原裕一: 諏訪湖定期調査 (2012-2016) の結果, 信州大学山地水環境教育研究センター研究報告, Vol.11, pp.22-38, 2018.
- 2) 気象庁, 過去の気象データ検索 (諏訪特別地域気象観測所) <https://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/index.php>

(原稿受付 2022.3.9)