

琵琶湖の水質調査を目的とした漂流型データロガーの開発

丸谷 佑^{†1,a)} 孔 祥博^{†1,b)} 熊木 武志^{†1,c)}

概要: 近年, 世界中の海, 河川, 及び湖の多くは酸素不足に陥っている. 地球は約 70 %が水で覆われており, 水中の酸素欠乏は多くの種の存続をも脅かす現象である. この状況を解決するために, 酸素が不足している水域を迅速に発見することが求められているが, 現状のデータロガーでは, 広範囲の測定が容易ではない. そのため, 水流によって移動し, 水質を広範囲に測定して, Twitter に取得データを発信できる漂流型データロガーの開発を行った. また実際に琵琶湖に放流し, データの取得を実行した.

Development of drifting data logger for water quality survey of Lake Biwa

1. はじめに

地球の海洋, 湖, そして河川には, 約 11 万種の生物が生存し, 固体ごとに適した環境で暮らしている [1]. しかし, 近年, 主に地球温暖化の影響で水中の溶存酸素量^{*1}は低下し [2], 生存条件に適さなくなった種が増加している [3]. この問題の対策を施していくことは急務であり, 酸素が不足している水域を発見することも, 問題解決に対して必要な措置である. 現在, 高度なセンサやモジュール, データ通信機器は広く普及しているが [4], 水温や溶存酸素量, 位置情報などの複数のデータを同時に広範囲に渡って測定できるロガーは少ない. また, データロガーを紛失する, 取得したデータを不特定多数に共有できないといった問題もあり, 測定技術の発展も未だ途上である.

本稿は, 水質調査のデータロガーにおける様々な課題を解決するために, 複数のセンサやモジュールを同時に稼働し, 取得したデータを 4G 通信で発信する漂流型のデータロガーを開発して, 実測による評価を行う. データロガー放流の対象は, 2020 年現在, 溶存酸素量低下のためイサザやヨコエビといった種の生存確認が取れていない琵琶湖とする [5].

2. 琵琶湖の水質調査

2020 年 8 月 17 日に実施した水質調査において, 琵琶湖北湖の第一湖盆 (水深約 90 m) における底層溶存酸素量が, 1979 年の調査開始以降では最も早い時期に, 2 地点で貧酸素状態の目安である 2,000 $\mu\text{g/L}$ を下回ったという報告がある [6]. 表 1 と図 1 に示すとおり, E 地点と L 地点の 2 点の溶存酸素量が 2,000 $\mu\text{g/L}$ を下回った. 溶存酸素量の低下により, 栄養塩類 (窒素, リン) や重金属類 (マンガン, 砒素, 鉄) が影響を受けることになり, 全窒素は過年度 10 年の最低値より低い傾向で推移している. 図 2 は, C 地点における底層溶存酸素量の年度最低値である. 近年は, 2,000 $\mu\text{g/L}$ 周辺の値が測定されており, より深刻な水質の低下が見受けられる. 8 月中旬に溶存酸素量が 2,000 $\mu\text{g/L}$ を下回る地点が現れた原因としては, 昨年度全層循環が完了しなかったことで底層溶存酸素量が例年より低い状態から低下し始めたことや, 春以降に湖底付近をかき混ぜるような強風が吹かなかったことなどが考えられる.

3. 既存のデータロガー

一般に溶存酸素量は, 魚介類が生存する為に 3,000 $\mu\text{g/L}$ 以上が必要であり, 良好な状態を保つためには 5,000 $\mu\text{g/L}$ 以上であることが望ましいとされている. 好気性微生物が

^{†1} 現在, 立命館大学
Presently with Ritsumeikan University

a) ri0085pk@ed.ritsumei.ac.jp

b) kong@fc.ritsumei.ac.jp

c) kumaki@fc.ritsumei.ac.jp

*1 水に融解している酸素量

*2 <https://www.pref.shiga.lg.jp/file/attachment/5196032.pdf>
より作成

表 1 琵琶湖各地点の底層溶存酸素量.*2

Table 1 Amount of dissolved oxygen in the bottom layer at each point in Lake Biwa

調査日	4月		5月		6月		7月		8月				
	4/7	4/17	4/21	4/27	5/11	5/25	6/8	6/22	6/29	7/6	7/20	8/3	8/17
調査地点													
A	8.7	8.6		9.4		7.6		7.1	6.5		5.1	2.6	2.4
B	8.8	8.7		8.5		7.6			6.7		4.7	2.5	2.1
C(今津沖中央)	8.7	8.9	8.7	8.5	8.3	7.7	6.7	6.1	6.1	5.5	4.5	4.0	3.0
D	9.3	8.6		9.1		8.4		7.6	6.4		5.2	3.3	3.1
E	9.0	8.7		8.6		7.8			6.1		4.4	4.7	1.4
F	9.2	8.8		8.6		7.8		6.7	5.5		4.5	2.7	2.2
L(第一湖盆中央)	9.0	8.7	9.0	8.6	8.7	8.1	7.1	6.6	6.6	5.8	4.2	3.1	1.6

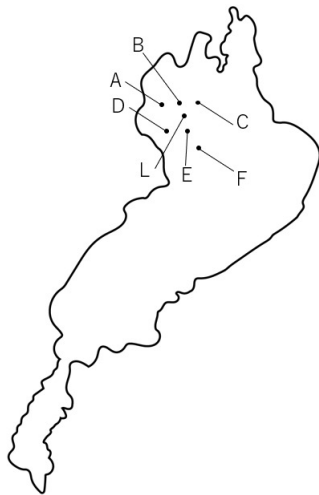


図 1 琵琶湖の溶存酸素量測定地点. *2

Fig. 1 Dissolved oxygen measurement point of Lake Biwa

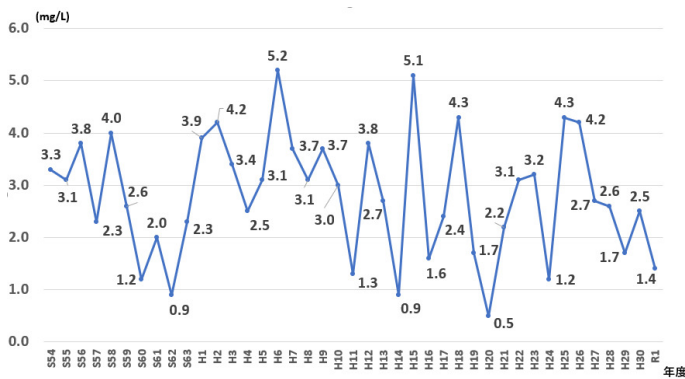


図 2 C 地点における底層溶存酸素量の年度最低値. *2

Fig. 2 Annual minimum value of dissolved oxygen in the bottom layer at point C

活発に活動するためには 2,000 $\mu\text{g/L}$ 以上が必要であり、それ以下になると嫌気性分解が起こり、硫化水素やメルカプタン等の悪臭物質が発生することとなる [7].

表 2 は、魚種別の特定行動を始める溶存酸素量である。水中にいる状態から、鼻上げを始めた、死亡した、逃避した溶存酸素量の測定結果となる。

表 2 魚種別の特定行動を始める溶存酸素量.*3

Table 2 Amount of dissolved oxygen that begins specific behavior by fish type

魚種	開始濃度 (DO mg/L)			資料
	鼻上げ	死亡発生	逃避	
アユ			0.9	
		3.6-2.8		1 時間経過時
イトモロコ	1.5	1.0	3.7	
ウグイ	1.6	1.3	3.7	
		3.0-2.0		1 時間経過時
オイカワ	1.6	1.6		
		<2.2		1 時間経過時
タイリクバラタナゴ	1.6	0.9		
		2.3-1.2		1 時間経過時
タモロコ	1.6	1.5		
		<1.3		1 時間経過時
カマツカ		0.8		
		<1.1		1 時間経過時
カワムツ	1.8	1.3		
		<1.6		1 時間経過時
ギギ	1.6	0.6		
ギンブナ	0.7	0.6		1 時間経過時
		<0.7		
ゲンゴロウブナ		<1.2		1 時間経過時
コイ	1.1	1.0		1 時間経過時
		<0.6		
			4.5	1 時間経過時
ティラピア	1.1	0.7		
		<0.6		1 時間経過時
ドジョウ		<1.1		1 時間経過時
ニジマス			7.3	
ブラックバス		<1.0		1 時間経過時
ブルーギル	0.9	0.7		
モツゴ			0.5	
ワタカ	1.4	0.9		

*3 http://kanpokan.pref.yamaguchi.lg.jp/kankyosakana_heishi/CD-ROM/%E7%94%9F%E6%81%AF%E6%9D%A1%E4%BB%B6/DO%E6%9D%A1%E4%BB%B6.htm より作成

3.1 既存の溶存酸素量測定データロガー

現在、市販されている溶存酸素量測定用データロガーの1つに、クリマテック製のHOBO溶存酸素(DO)ロガーCO-U26-001 [8]がある。このデータロガーの特徴として、水深100 mまで対応し、1分から18時間の記録間隔を設定できる。5分間隔の記録では3年間のバッテリー寿命であり、専用ソフトウェアを使用してデータ回収が可能である。

大きい深度や長時間の測定が可能なのはデータロガーとして有効である一方、データロガーから有線でデータを集めなければならないことから、回収の困難さやそれに伴ったデータの紛失、広範囲の測定ができないといった問題点もある。専用のソフトウェアを介さなければデータを回収できないといった点からも、データの閲覧は限られた人物のみで、リアルタイムの情報を得ることができない。

3.2 既存の漂流型データロガー

現在、市販されている漂流型データロガーの1つに、ゼニライト製のGPS波浪計がある [9]。直径800 mm、重量35 kgと小型ながら単独測位GPSのみで高精度の波浪観測が可能な漂流ブイである。衛星通信と太陽電池で6ヶ月以上の波高や波向の漂流観測が可能である。

システム構成は図3の通りであり、システムは海上に浮かべたブイと地上のパソコンからなり、波浪データはパケット通信やイリジウム衛星通信によりインターネット・メールなどで自動送信される。漂流型データロガーの特徴として、ネットワーク通信をすることにより、データロガーを回収せずにデータの収集が可能である。しかし、測定できるのは位置情報のみで、多項目の水質調査はできない。

4. 開発した漂流型データロガーの特徴

広範囲の測定が困難、データロガーを紛失する恐れがある、取得したデータを不特定多数の人物に共有できない、といった既存のデータロガーが抱える問題の解決を、開発

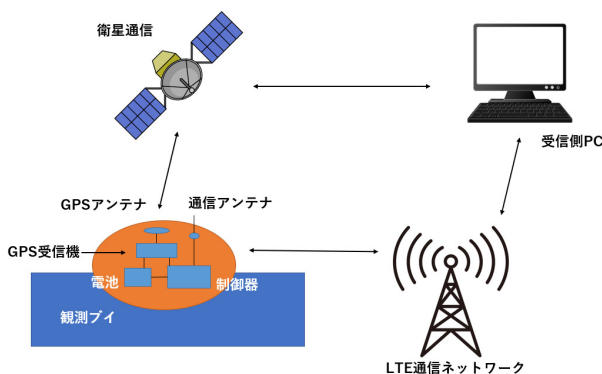


図3 GPS波浪計のシステム構築.*4

Fig. 3 GPS wave meter system construction

*4 <http://www.zenilite.co.jp/prod/new-gps.html#a> より作成

するデータロガーの目標とした。特に、自然の流れに沿って広範囲の測定を行うために、データロガーに動力をつけずに漂流させる、また、データロガーを紛失してもそれまで取得したデータが失われず、不特定多数の人物がデータを閲覧できるように、SNSの1つであるTwitter*5上に取得データを発信させる手法を提案する。

4.1 データロガーの構成

ロガーに使用する機材は、小型マイコンであるArduino Uno R3、GPSモジュール、防水温度センサ、溶存酸素量センサ、4G通信モジュール、SIMカード、及びモバイルバッテリーである。図4はデータロガーのブロック図であり、動作の詳細は4.2節で述べる。

実際の湖に流すことを考えると、電子機器に水が触れないようにするために、防水化する必要がある。そのため、Arduino Uno R3等を市販のハードコンテナに入れ、蓋との隙間にシリコンや防水テープを使い、浸水、水没を防止した。下層は、図5のように段ボールを底に敷き、その中央にモバイルバッテリーを置き、結束バンドで固定する。上層は、図6のように左にArduino Uno R3-1とGPSモジュール・防水温度センサ・溶存酸素量センサとブレッドボード、右にArduino Uno R3-2と4G通信モジュールとブレッドボードをポリエチレン板にネジと両面テープを使い固定した。図6には載っていないが、Arduino Uno R3-1とArduino Uno R3-2の間にケーブルが2本通る程度の穴を開け、モバイルバッテリーと接続させている。また、防水温度センサと溶存酸素量センサの測定部は、ハードコンテナ外に出す必要があるため、蓋に穴を開け、水が入らないようにシリコンや防水テープを使った。

以上を踏まえ、完成したデータロガーが図7である。外寸は34.5 cm×20.5 cm×11 cm、重量は1,600 gとなり、十分に浮力が得られるデータロガーとなった。

4.2 データロガーの動作

4G通信モジュールは、データロガーの電源を入れた際

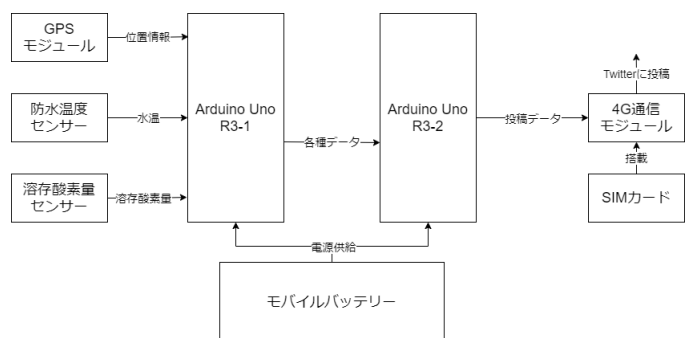


図4 漂流型データロガーの構成。

Fig. 4 Drifting data logger configuration.

*5 <https://twitter.com>

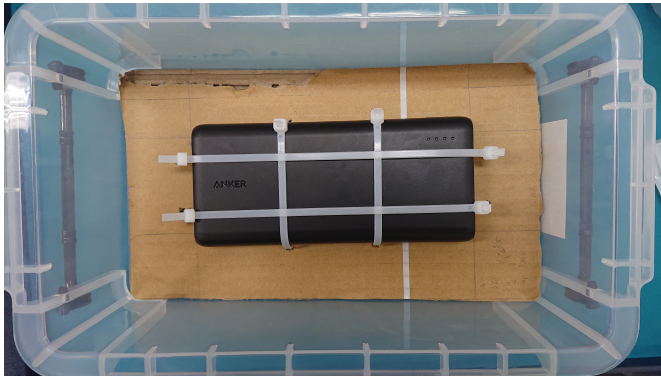


図 5 漂流型データロガー下層.

Fig. 5 Lower layer of drifting data logger.

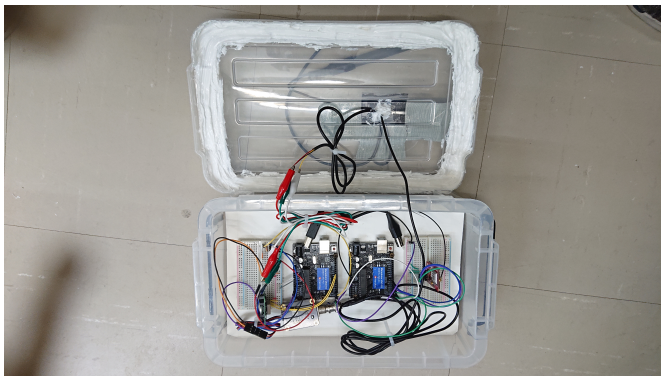


図 6 漂流型データロガー上層.

Fig. 6 Upper layer of drifting data logger.



図 7 漂流型データロガー.

Fig. 7 Drifting data logger.

に、突入電流が流れ、瞬間的に電圧が大きく低下する傾向にある。そのため、その他のモジュール類を制御するマイコンと同一の電源回路を使用した場合、4G 通信モジュールが起動した瞬間に、電源回路の出力が低下して、マイコンがリセットされる可能性がある。これにより、4G 通信モジュールの動作時、GPS モジュールが起動できないといった問題が発生するため、2 台の Arduino Uno R3 を使用することとした。1 台を 4G 通信用、もう 1 台をその他のモジュール制御用とする事で動作の安定化を図った。以下、本稿では、位置情報、水温、溶存酸素量を測定する方

を Arduino Uno R3-1、そのデータを Twitter に投稿する方を Arduino Uno R3-2 とする。図 8 は水温、位置情報、溶存酸素量を Twitter に一定間隔で投稿するフローチャートである。

- (1) 2 台の Arduino Uno R3 にモバイルバッテリーを接続すると、それぞれ電源が ON になる。
 - (2) Arduino Uno R3-1 に接続された溶存酸素量センサ、GPS モジュール、防水温度センサが起動する。
 - (3) GPS モジュールの稼働が確認されるとループを開始する。
 - (4) GPS モジュールが初期位置から変化した位置情報を取得すると (5) へ進む。
 - (5) 防水温度センサで 0.5 °C 刻みの水温を、溶存酸素量センサで溶存酸素のデータを取得する。
 - (6) (4)、(5) で得たデータを、緯度、経度、水温、及び溶存酸素量としてまとめる。
 - (7) (6) の 4 つのデータを 1 文にする。
 - (8) (7) を 1 文字ずつ Arduino Uno R3-2 へ送信する。
 - (9) 10 分後に (3) へ戻る。
 - (10) (2) と同タイミングで、Arduino Uno R3-2 に接続された 4G 通信モジュールが起動する。
 - (11) 文字の受信が可能な状態の場合、ループを開始する。
 - (12) (8) で Arduino Uno R3-1 から文字を受信する。
 - (13) 受信した文字を Twitter に投稿できる文字列にする。
 - (14) 4G 通信モジュールで 4G 通信をする準備をし、成功だと (15) へ、失敗だと (16) へ進む。
 - (15) (13) で生成した文字列を Twitter に投稿できるか試みる。成功だと Twitter に投稿される。成功、失敗関係なく (16) へ進む。
 - (16) 4G 通信モジュールをシャットダウンさせ、(11) へ戻る。
- 10 分に 1 度、文字列が送られるため、Tweet 間隔は 10 分になる。

5. 琵琶湖での実験

琵琶湖の溶存酸素量調査を目的として、2021 年 5 月 27 日 19 時に琵琶湖大橋からデータロガーの放流を行った。10 分に 1 度 Twitter に取得したデータを投稿するように設定し、水面から 1~2 m の水温、溶存酸素量、及び位置情報を計測した。図 9 は Twitter に投稿された内容である。左から、LAT (緯度)、LONG (経度)、TEMP (水温)、OXY (溶存酸素量) である。データロガーは同年 5 月 29 日 9 時まで動作した。

表 3 は、稼働時間と Twitter に投稿を試みた回数と成功率である。10 分に 1 度 Twitter に投稿する通信を実行するため、27 日の 19 時から最後の投稿をした 29 日の 9 時まで、計 222 回試行したと考えられる。しかし、実際に投稿したのは計 175 回と、成功率では約 79 % となった。日別

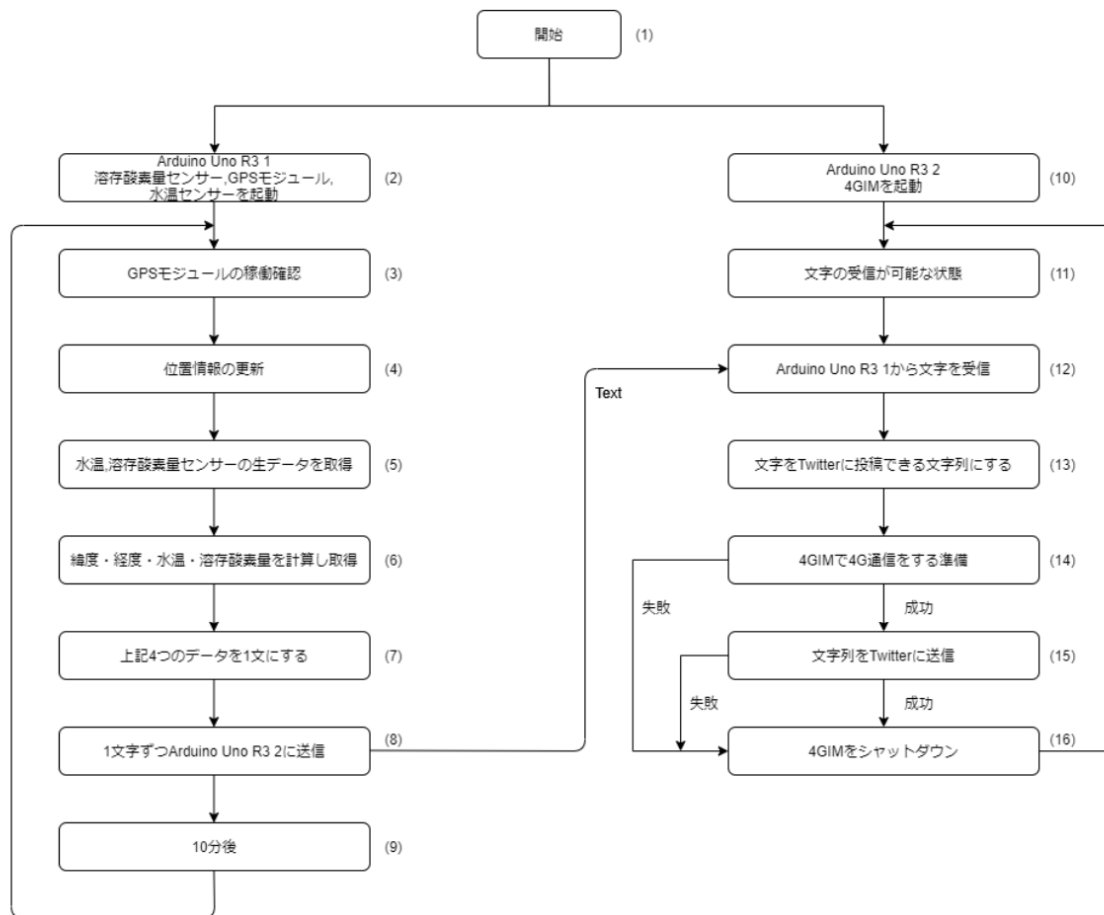


図 8 漂流型データロガーのフローチャート.
Fig. 8 Flowchart of drifting data logger.

の成功率は、試行回数が低い 19 日を除けば、70 % 前半となっているため、ある程度の安定した割合でデータを測定できると考えられる。投稿が失敗した理由は、4G 通信モジュールが正常に起動せず、4G 通信ができなかったからだと考えられる。また投稿するメッセージが短くなると、4G 通信回線の負担も減り、成功率も向上すると考えられる。

同動作条件で研究室にて行った試験では、5 日ほど動作したにも関わらず、本放流では 2 日程度しか測定できなかった。これに関しては、データロガーが水浸したことで、バッテリーの故障が発生したためだと考えられる。

図 10 は測定時刻と水温の関係である。明け方から昼過ぎ

にかけて水温が上昇し、最大 2.5 °C 差が生じた。日が沈むと水温は低下する。

図 11 は測定時刻と溶存酸素量の関係である。溶存酸素量の目安としては、5,000 $\mu\text{g/L}$ 以上が魚介類が過ごすのに良好、3,000 $\mu\text{g/L}$ 以下が魚介類が活動するのに危険である。

表 3 Twitter への投稿
Table 3 Post to Twitter

稼働時間 [時間]	試行回数 [回]	投稿数 [回]	成功率 [%]
38	222	175	78.88



図 9 Twitter への投稿内容.
Fig. 9 Posted content on Twitter.

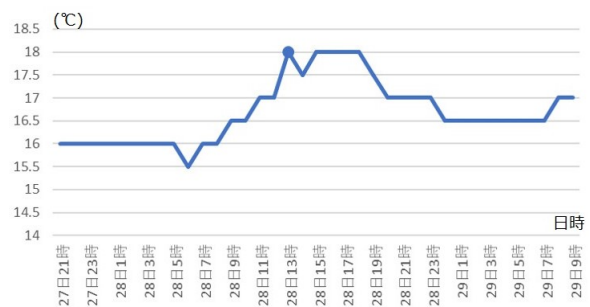


図 10 時刻と水温の関係.
Fig. 10 Relationship between time and water temperature.

