

汽水湖における連続水温計測ネットワークに関する研究

Research on the continuous water temperature  
measurement network in a brackish water lake

尾 瀉 照 一  
Teruichi Ogata

# 目次

<b>第1章 序論</b>	1
1.1 背景	1
1.2 目的	15
1.3 論文構成	15
<b>第2章 加茂湖従来型水温測定システム</b>	17
2.1 はじめに	17
2.2 具体的実験事例	17
2.3 既存システムの導入事例	19
<b>第3章 独自ブイによる湖沼連続水温測定ネットワーク</b>	21
3.1 はじめに	21
3.2 測定地点の確定	21
3.3 開発システム	25
3.3.1 システム概要	25
3.3.2 システム構成	25
3.3.3 実験方法	27
3.4 独自開発ブイ	27
3.4.1 ブイの構造	30
3.5 グラフ表示	33
3.6 記録データ	39
3.7 データ分析	40

第4章 考察	47
4.1 ブイの評価	48
4.2 システム開発評価	48
4.3 グラフ	49
4.4 記録データ	49
4.5 データ分析	49
4.6 まとめ	49
第5章 結論	50
謝辞	52
付録A 水質項目用語説明	53
付録B 溶存酸素量の測定	57
付録C	58

# 第1章 序論

## 1.1 背景

新潟県佐渡市にある加茂湖は国仲平野の東北部に位置し、両津湾と加茂湖を隔てる砂州の一部が、1897年の大水害ののち人為的に掘削され、海水が湖に流入した。海水は深さ4m、幅30mの水道を、最大で0.9m/secの速度(夏期)で6時間ごとに流入、流出をくり返し、6時間に流入する水量は、湖水量の約十分の一にも達する。湖水はほぼ海水である。加茂湖の位置を図1.1に示す。加茂湖では昭和初期より牡蠣養殖が盛んに行われ(図1.2)、加茂湖漁業協同組合の組合員数は130人(2008年)、牡蠣の漁獲実績は160~250t、漁業生産額は2~3億円となっている。加茂湖湖底図を図1.3に示す。これより、沿岸部で急激に深くなり沖合の広い範囲で5~8mの平坦面が広がっている。湖底の深さは北部で浅く、南部で深いことがわかる。加茂湖形状に関するデータを表1.1に示す。

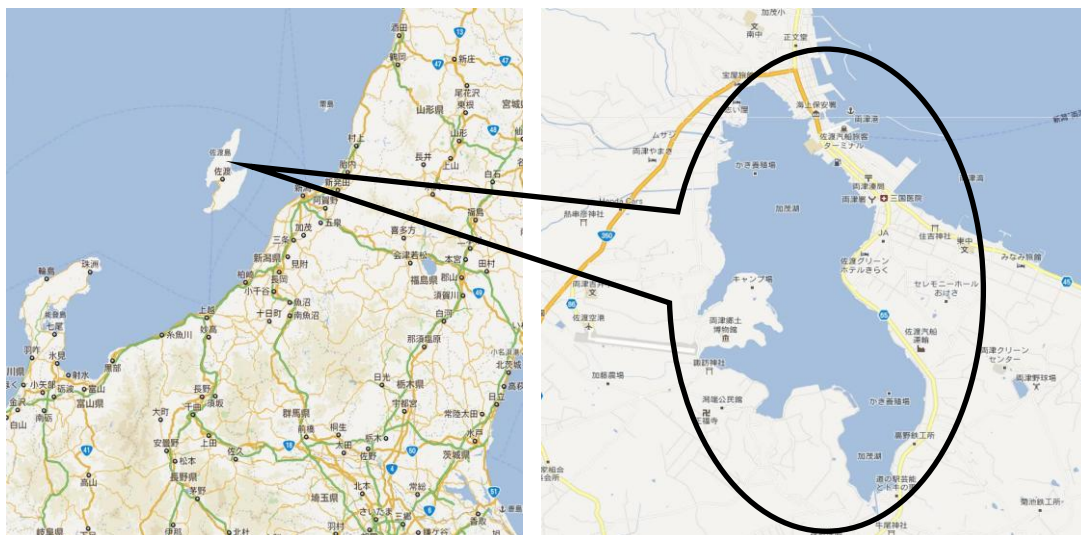


図 1.1 : 加茂湖位置



图 1.2 : 加茂湖外觀

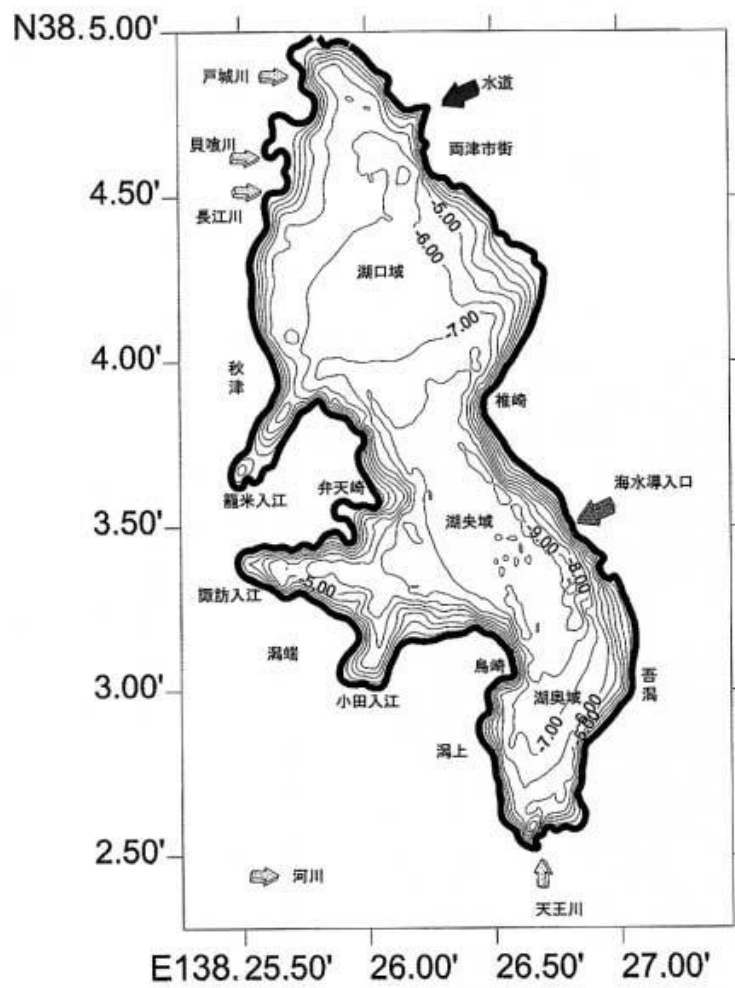


图 1.3 : 加茂湖湖底図

表 1.1： 加茂湖形状データ

面積	4.9km <sup>2</sup> (全国第 46 位, 新潟県最大)
大きさ	南北 10 k m / 東西 2 k m
水深	最大 9m, 平均 5m
湖水量	2,600,000 m <sup>3</sup>
流入河川	ながえ 長江川, とじょう 外城川, かいぼみ 貝喰川, てんのう 天王川
流域面積	5,430 h a
流域	1 / 3 は水田耕作地, 2 / 3 は森林
流域人工	10,859 人

1993 年 (平成 5 年) 現在

しかし, 2003 年~2008 年までは牡蠣漁獲実績は 100~200 トンで漁業生産額は 1 億~2 億円で推移していたが, 2009 年に赤潮が発生し牡蠣漁獲実績が 37 トンまで減少し, 漁業生産額も半減した. その後も毎年のように赤潮が発生しており 2009 年~2011 年までの期間, 牡蠣漁獲実績は 100 トン以下で漁業生産額は一億円前後で推移している.

一方, 1960 年から 1970 年にかけて, やや富栄養化が進んだため, 1974 年には海水導入用のトンネルを掘削し, 毎分 1 トンの流量のポンプ 2 台で人工的に海水を加茂湖に導入して若返らせる事業も実施された. 具体的な改変過程では, 干拓には深すぎることに, 離島にあること, 及び湖の周辺の人口が少なかったことなどが幸いし, 湖自体の面積には大きな変化はみられない. しかし, 湖岸はコンクリートで固められ農道と水田の整備が進み, 湖の周辺の湿地やアシ原はほとんど失われ, これらの果たしてきた湖水の浄化機能と, この部分に生育していた多種多様な生物の住処は失われてしまっている. ただし, 幸い現状では富栄養化は軽微であり, 一層の環境保全が望まれている.

1998 年の「8.4 水害」では牡蠣の 70%と多くの魚が死滅した. またその後, 2009 年 10 月の台風でも青潮や赤潮といわれる水質異常が発生し, 牡蠣の大量死につながっている. この二つの件ではともにプランクトンの大繁殖が起きたことで大きな被害が発生している. プランクトンの異常発生の原因解明にはさらに研究が必要であるが, 少なくとも富栄養化が大きな原因の一つと考えられる.

また、牡蠣斃死については 2009 年 11 月以降の水温および塩分濃度の急激な低下との因果関係が示唆されている。また、三重県ではヘテロカプサの影響等で牡蠣が弱り、その後の環境の急激な変化により斃死する事例が知られている。秋季以降の斃死もその様なことが可能性として考えられるとの報告がある。また、2010 年以降もヘテロカプサは発生しているものの高密度の時期がきわめて短い（おおよそ 1 ヶ月以内）ことから赤潮が原因ではなく従来どおりの低酸素、集中豪雨や長雨による急激な塩分濃度の低下、夏季の高水温（特に表層）が、より影響しているのではないかという意見もある。これらはいずれも、客観的な科学的根拠が乏しく、明確に因果関係があるかどうかは不明であると言わざるをえない。これまでの新潟県や佐渡市の対応を 2009 年の新聞記事（新潟日報）から挙げてみると表 1.2 のようになる。

表 1.2 : 2009 年 新聞記事（新潟日報）

11 月 12 日	「カキ大量死プランクトンが原因」 佐渡加茂湖，県被害対策を検討
11 月 21 日	「ポンプ 7 月から故障」 佐渡加茂湖カキ大量死，県の修理前に赤潮，因果関係不明
11 月 28 日	「ポンプ修理運転を開始」 佐渡・加茂湖
12 月 5 日	「佐渡・加茂湖養殖カキ湖の奥と中央で被害増」 県など生産者に支援策説明
12 月 27 日	「加茂湖に種カキ搬入へ」 養殖対策会議プランクトン消える，
12 月 27 日	「カキ殻でヘドロ浄化」 広島大教授実用化へ研究

また加茂湖は海洋の類型 B 並びに II 型に属し，表 1.3 に示す基準に該当している。図 1.4 に新潟県の環境基準点 2 カ所（No.6 と No.7）と監視補助点 2 カ所（No.5 と No.8）の位置を示す。2006 年～2011 年までの計測データのグラフを図 1.5～図 1.7 に示す。

表 1.3 : 加茂湖類型

類型	水素イオン 濃度 (pH)	化学的酸 素要求量 (COD)	浮遊物質 量 (SS)	溶存酸素 (DO)	大腸菌群数
<b>B</b>	6.5 以上 8.5 以下	5 mg / L 以下	15mg / L 以下	5mg / L 以上	—

類型	全窒素	全磷
<b>II</b>	0.2mg / L 以下	0.01mg / L 以下

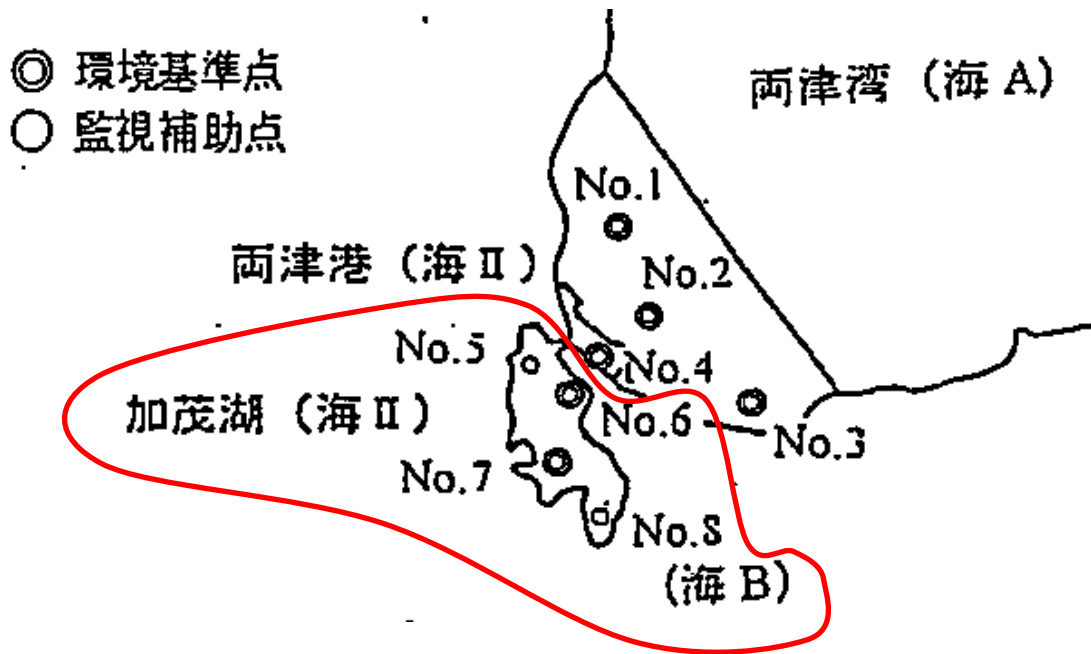


図 1.4 : 新潟県加茂湖水質調査地点



○ COD

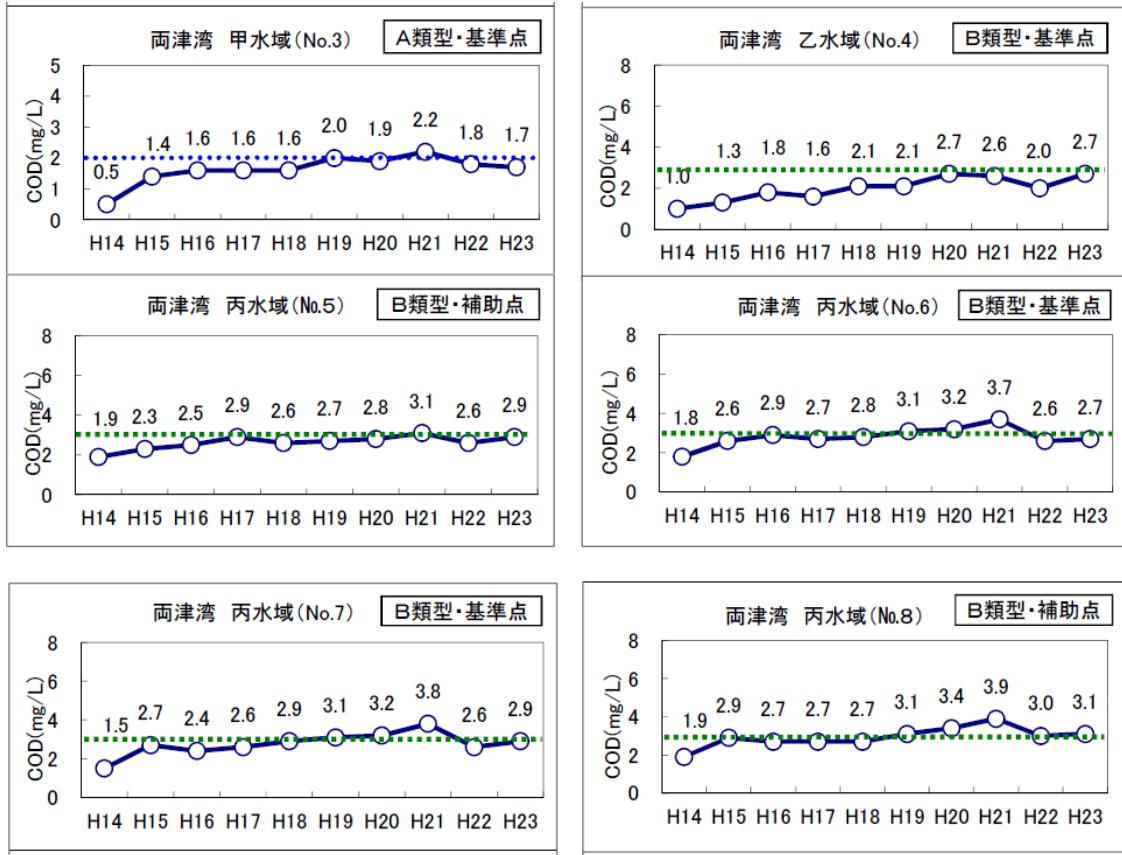


図 1.5 : 新潟県水質データ (COD)

○ 全窒素

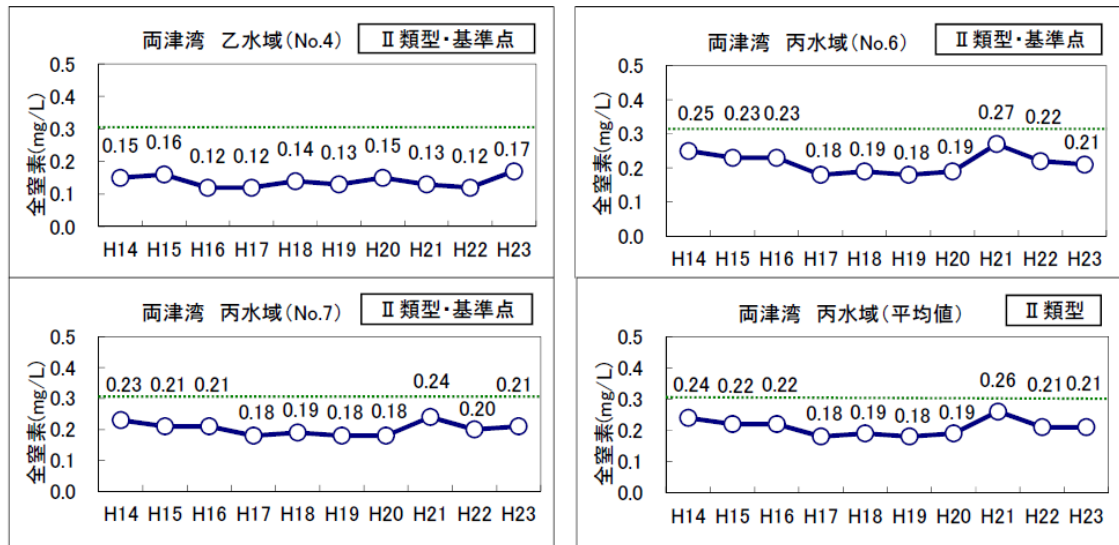


図 1.6 : 新潟県水質データ (全窒素)

○ 全磷

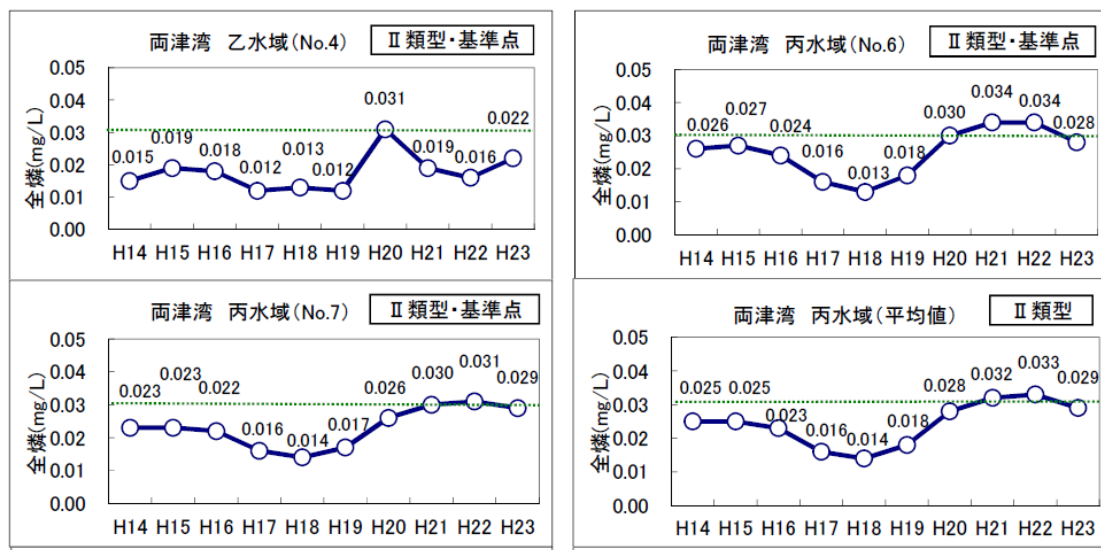


図 1.7 : 新潟県水質データ (全磷)

新潟県の調査報告の数値やグラフより、加茂湖の水質を環境基準で評価すると化学的酸素要求量 (COD)、全窒素、全磷はそれぞれの B 類型や II 類型を満足して推移している。

一方、多くの佐渡島住民がイメージする加茂湖は「かなり汚れている」である。確かに、市街地周辺の湖畔はゴミが見え、とても泳げる状況ではない (図 1.8)。



図 1.8 : 加茂湖市街地湖岸写真

新潟県の水質調査結果からは一般に言われているほど汚染が進んでいないことが読み取れるが、環境保護活動の難しい点は、客観的計測や科学的根拠のないまま抽象的なイメージや道徳概念のみで活動すると現状をさらに悪化させることになり、その評価が客観的数値にもとづいた証拠で示すことができない点である。

そこで著者は「水質汚濁」、「富栄養価」、ならびに「CO<sub>2</sub> 増加」などのキーワードが市民や行政担当者に抽象的に受け取られて行政活動に反映される事を防止し、同時に基本となる数値データを長期的に把握することにより、客観的データに基づいて加茂湖水質改善を念頭に研究を開始した。

まず第一に、湖岸の汚れを目視ではなく、数値データで表すことを試みた。水質調査は COD・亜硝酸イオン・リン酸イオン・界面活性剤(MBAS) の4項目で行なった。

図 1.9 の 5 カ所の下水について測定を実施し、その結果を図 1.10～図 1.13 に示す。新潟県のデータと比較すると 4 項目とも基準値を超えている。特に COD は基準値の数倍以上の値であった。

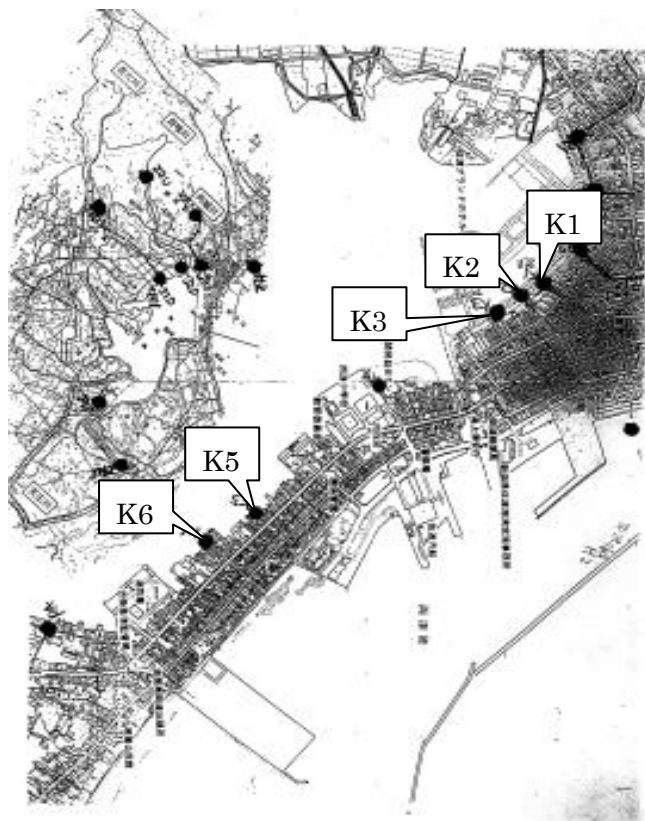


図 1.9 : 加茂湖河川・下水水質調査地点

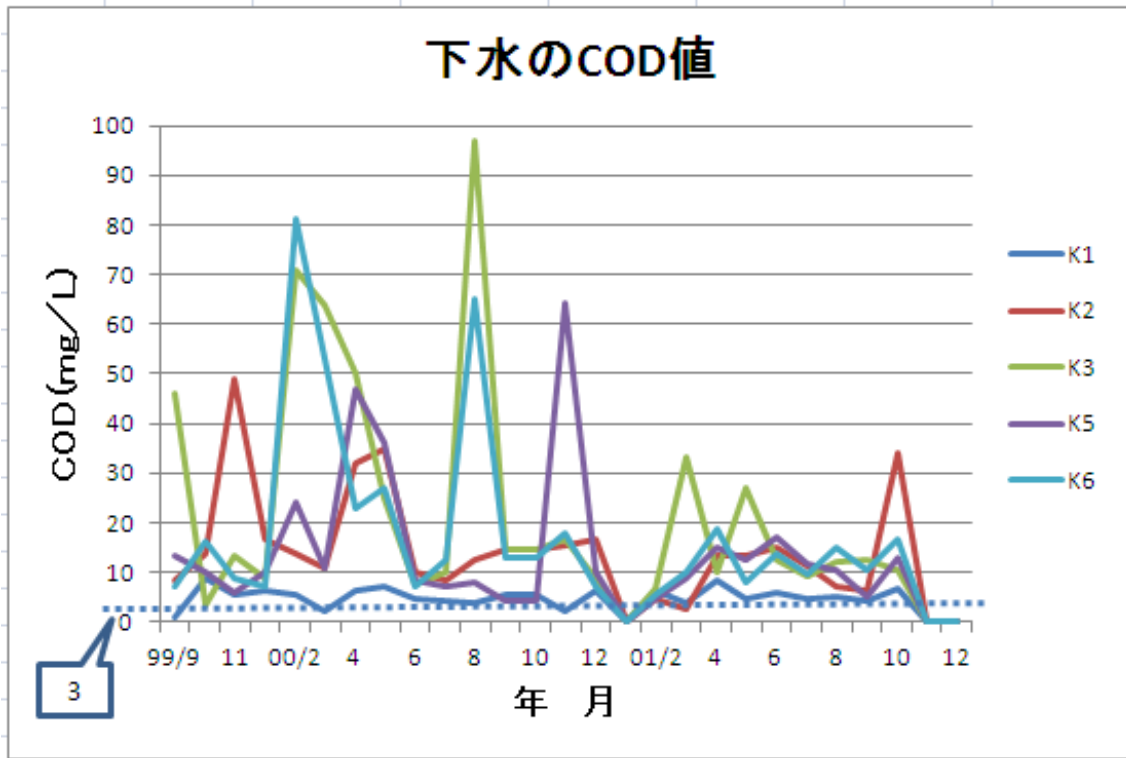


図 1.10 : 下水の COD 値

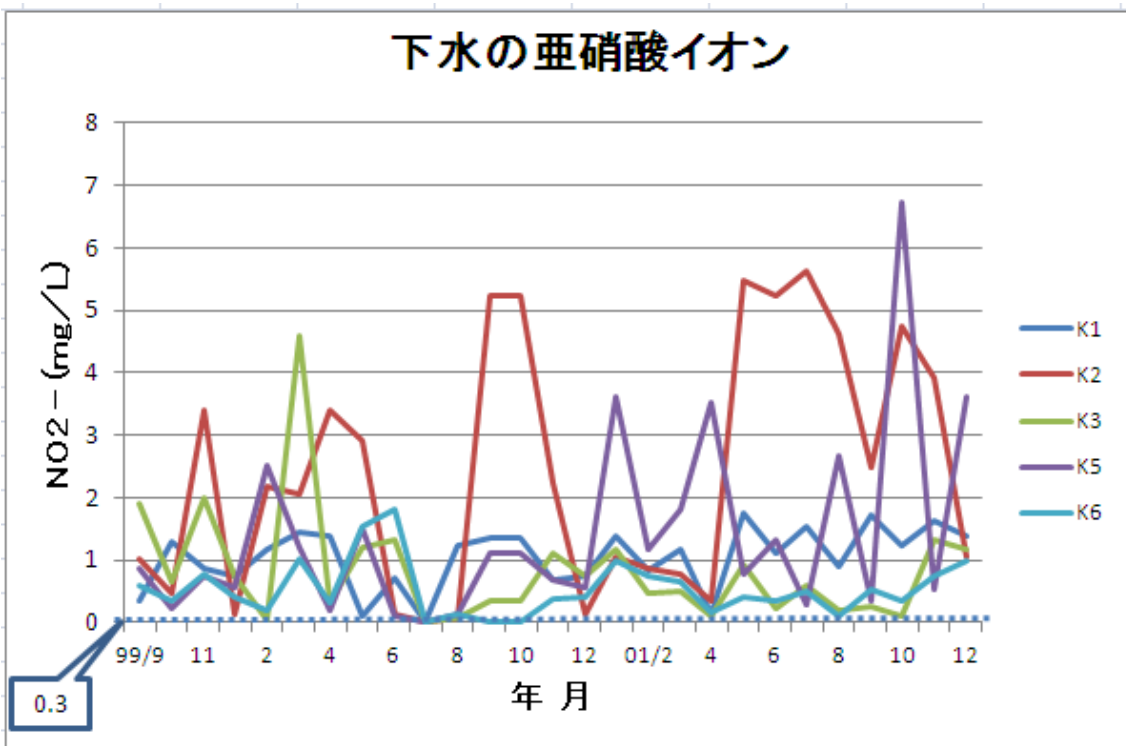


図 1.11 : 下水の亜硝酸イオン値

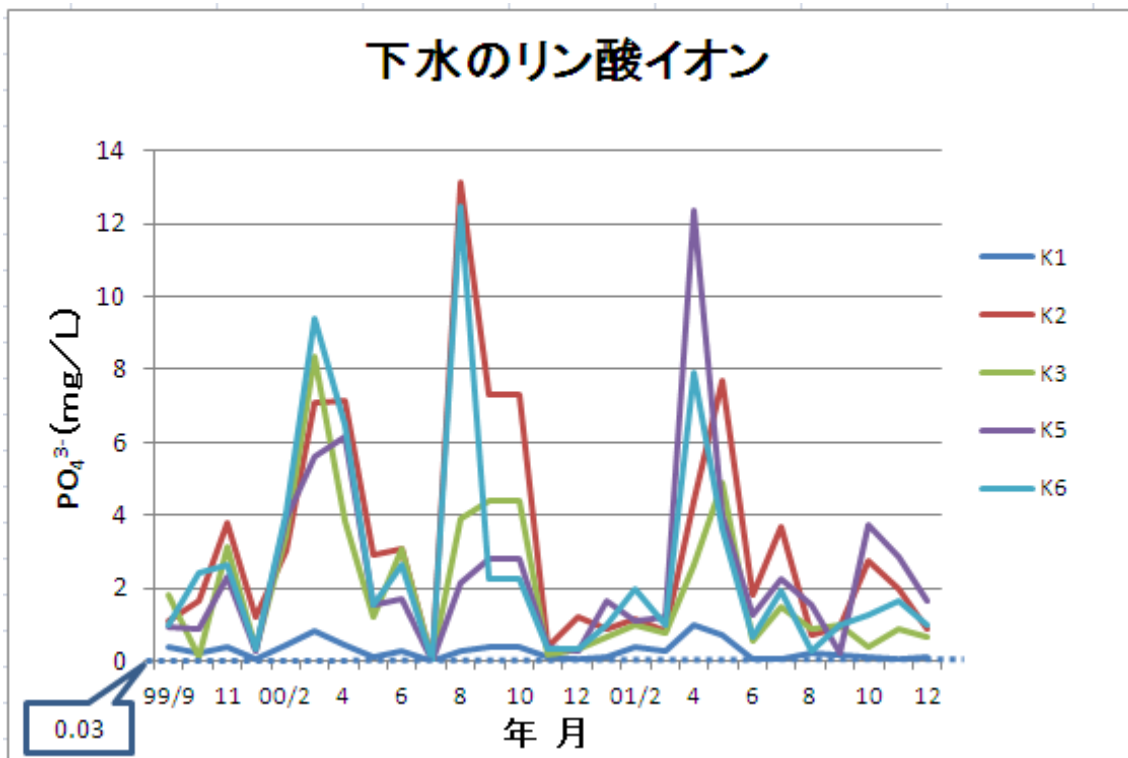


図 1.12 : 下水のリン酸イオン値

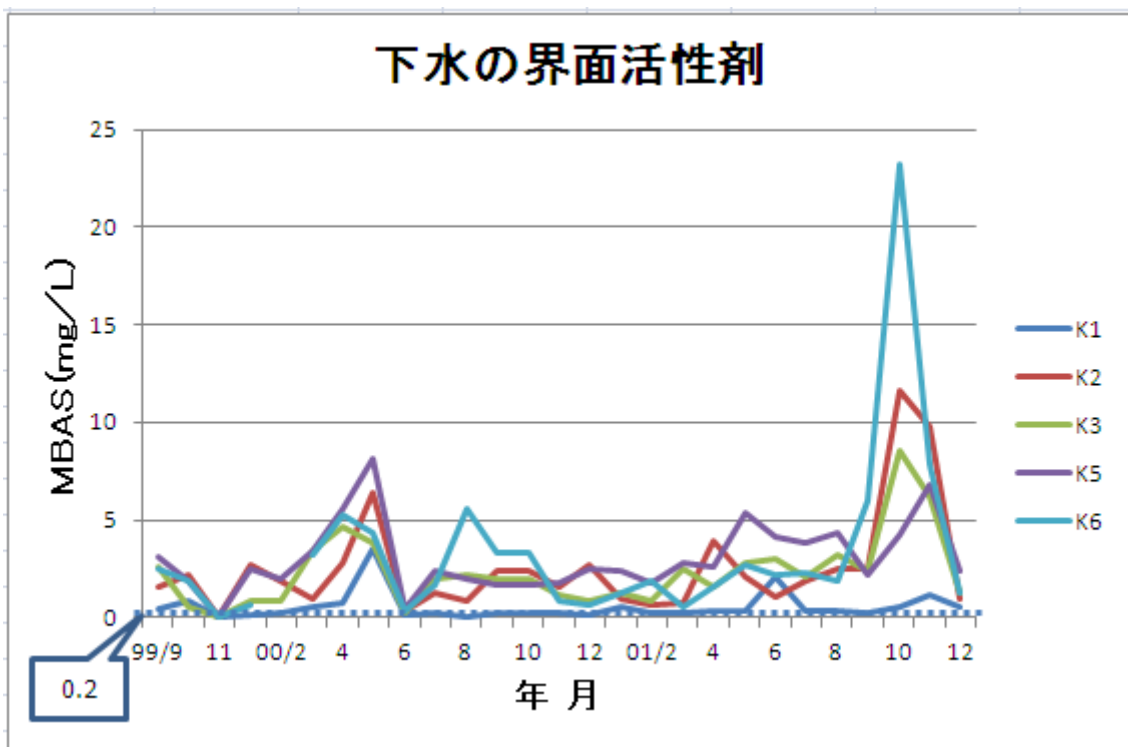


図 1.13 : 下水の界面活性剤値

次に、著者は加茂湖周辺の河川と下水の 20 カ所において、1999 年 9 月～2000 年 8 月の 1 年間にわたり、1 カ月間隔で水質測定を行った（水質項目は前述の 4 項目）。図 1.14 の 3 個のグラフは全ての地点の計測値を 1 年間分まとめてプロットしたものである。

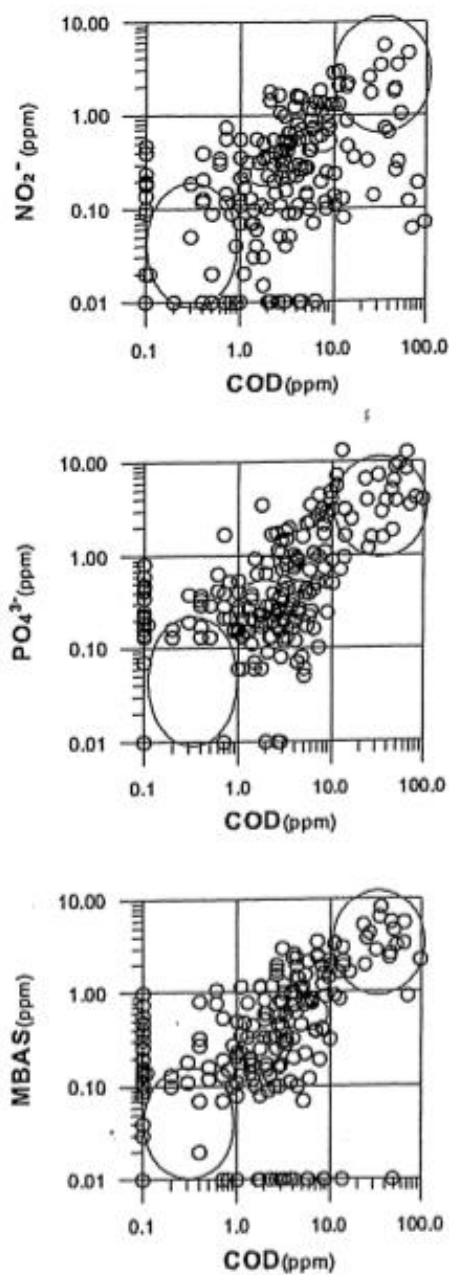


図 1.14 : 水質全データ(1999～2000)

いずれのグラフもデータ値が右斜め上方向にほぼ直線的に分布し、COD が大きいときには亜硝酸イオン、リン酸イオン、MBAS 濃度も大きくなる傾向がわかる。図 1.15 と図 1.16 の 18 個のグラフは全体を A~F の 6 グループに分けてプロットしなおしたものである。グループ A は 2 級河川（長江川，外城川，貝喰川，天王川）の上流での分析値，グループ B は 2 級河川（長江川，外城川，貝喰川，天王川）の下流での分析値，グループ C は住宅地域の流れる小河川（両津病院脇の川など 4 河川）の下流での分析値，グループ D は夷，湊地域の下水 6 地点の分析値，グループ E は加茂湖（秋津，表層の湖水）の分析値，グループ F は平沢海岸（防波堤の北側，表層）の分析値である。グループ A ~グループ F の分析結果は図 1.17 のそれぞれタイプ A~D の 4 個の円を中心に多少のバラツキはあるもののほぼ一致して分布していることがわかる。

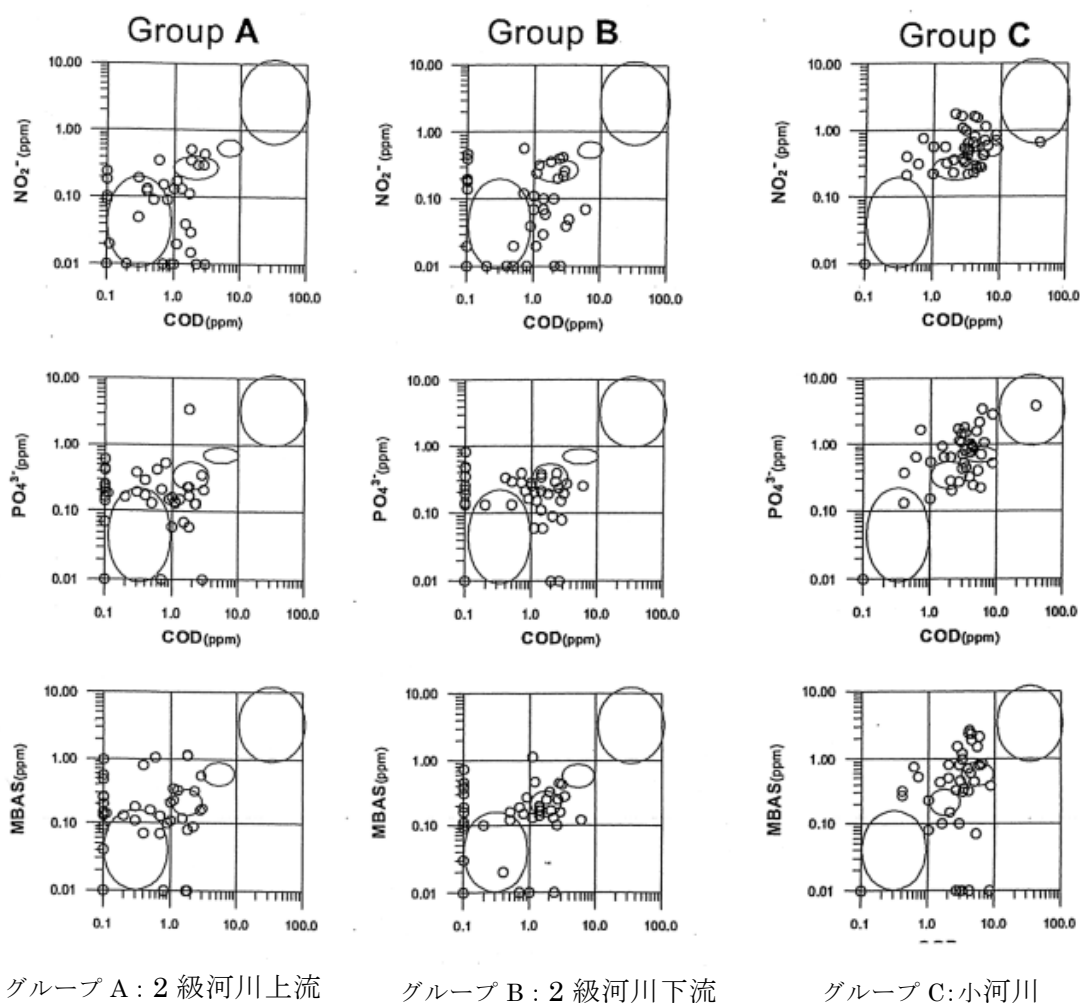


図 1.15 : データ分類 (A~C)

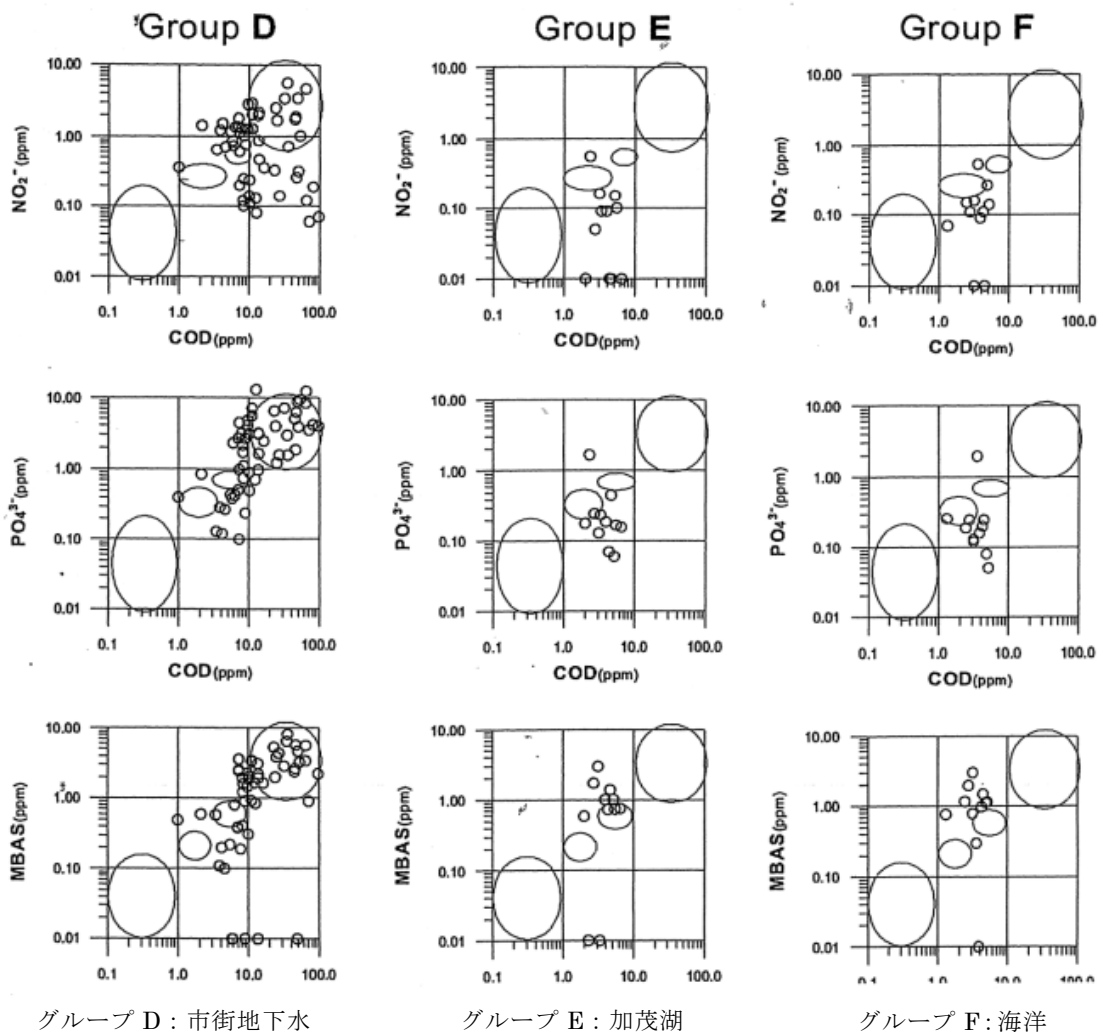


図 1.16 : データ分類 (D~F)

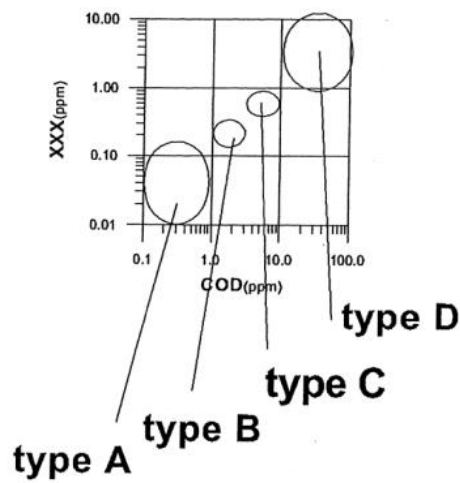


図 1.17 : タイプ分類



以上の結果から、加茂湖およびその周辺域にみられる水質は「汚い、きれい」の表現ではなく、タイプ A（溪流の水、雨水よりもきれいな水）、タイプ D（下水の水、ひじょうに汚染された水）を両端とし、そのあいだをタイプ B（サケ、アユのすめるきれいなふつうの水）とタイプ C（汚染された水）の 4 段階に区分することが適当である。この分類から、例えば市街地湖岸では COD 値の測定に際し、採水を 10 倍に希釈してから再測定しなければならないほどの汚れが見られた。

そのため加茂湖の湖岸から離れた牡蠣養殖場の水質について調査することとした。しかし従来の測定方法（月 1 回程度の船舶により複数の地点において水質の鉛直分布を測定する場合）では時間変動に関する情報が不足し、また測定点を多くする場合は、複数の舟艇による一斉観測のような特別な場合を除くと、観測の同時性に問題が生じる。定期的な舟艇による移動観測は現在継続されているが、前述の問題点を補うためには自記計測連続観測を併用した湖沼環境モニタリングが必要である。

よって今回は、こうした試みの基礎段階として自記連続水温測定のネットワークに E メール送信を組み合わせ、遠隔地からのモニタリングを行うことのできるシステムの構築を目指すこととした。すなわち、詳細な水温データを長期間継続収集することによって、加茂湖の環境データ収集の基礎を作るものである。

さらに、一般人や養殖業者等に単に数値データを表示するだけでなく、水温をカラーグラフとし Web ページに掲載し、同時に、測定数値データもダウンロード可能とした。

結果の評価としては、加茂湖の水温と牡蠣壊死の相関関係を分析し、壊死の原因究明に役立てる。

## 1.2 目的

加茂湖の牡蠣の養殖においては、しばしば、原因不明の壊死が発生していた。その原因究明に新潟県や佐渡市、その他大学や研究機関が参加して水質調査や実験を行ったが、決定的な解明には至っていない。そのような状況の中で、2009年に発生した赤潮によって大きな被害を受けた。従ってそこで、加茂湖の浄化は長期的かつ本質的な課題であるが、まずは喫緊の対策として赤潮プランクトンがどのような環境要因の下で発生するのか、そして本当に赤潮プランクトンが牡蠣の死滅と関連するのかを探る必要がある。

一方、水温は物理的過程や化学的変化ならびに生態学的変動を考える上でもっとも基礎的な要素といわれており[1]、漁業関係者の間で海水温が酸素濃度や塩分濃度値を推定するための1つの指標として用いられている[2]。実際、海水温が漁獲量と大きく関係しているとの報告がある[3]。それゆえ海水温だけではなく湖沼における水温も重要であると考えられ、固定地点で水温や水質を自動的に連続記録する方式が試みられてきたが[3],[4]、周期的な海水流入に対する水温変化測定事例は少ない。そこで本研究の目的は、まず第一に汽水湖（加茂湖）において独自の自記連続水温測定センサネットワークを構築し、そのシステム開発の有効性・信頼性を検証することである。漁民への情報提供、ならびに加茂湖浄化のための基礎となる水温データを収集する。具体的には、1) 簡便・安価な通信機能付き計測システムの開発、2) 加茂湖4カ所（各2ポイント）の水温を長期連続記録することによる動作確認、3) 得られた水温データにより赤潮発生と溶存酸素量との関係を分析、4) Webページによる提示方法の確立、の4点である。

## 1.3 論文構成

第1章は序論であり、本論文の背景、目的、そして本論文の構成を述べる。第2章では加茂湖従来型水温測定システムについて述べる。また、過去の自動水温連続記録データの収集事例について述べる。第3章では著者が開発した小型軽量計測架台(以下ブイ)を使用しての連続水温収集ネットワーク構築について述べる。第4章では実験結果についての考察を述べる。第5章は、本論文のまとめであり、全体を総括している。

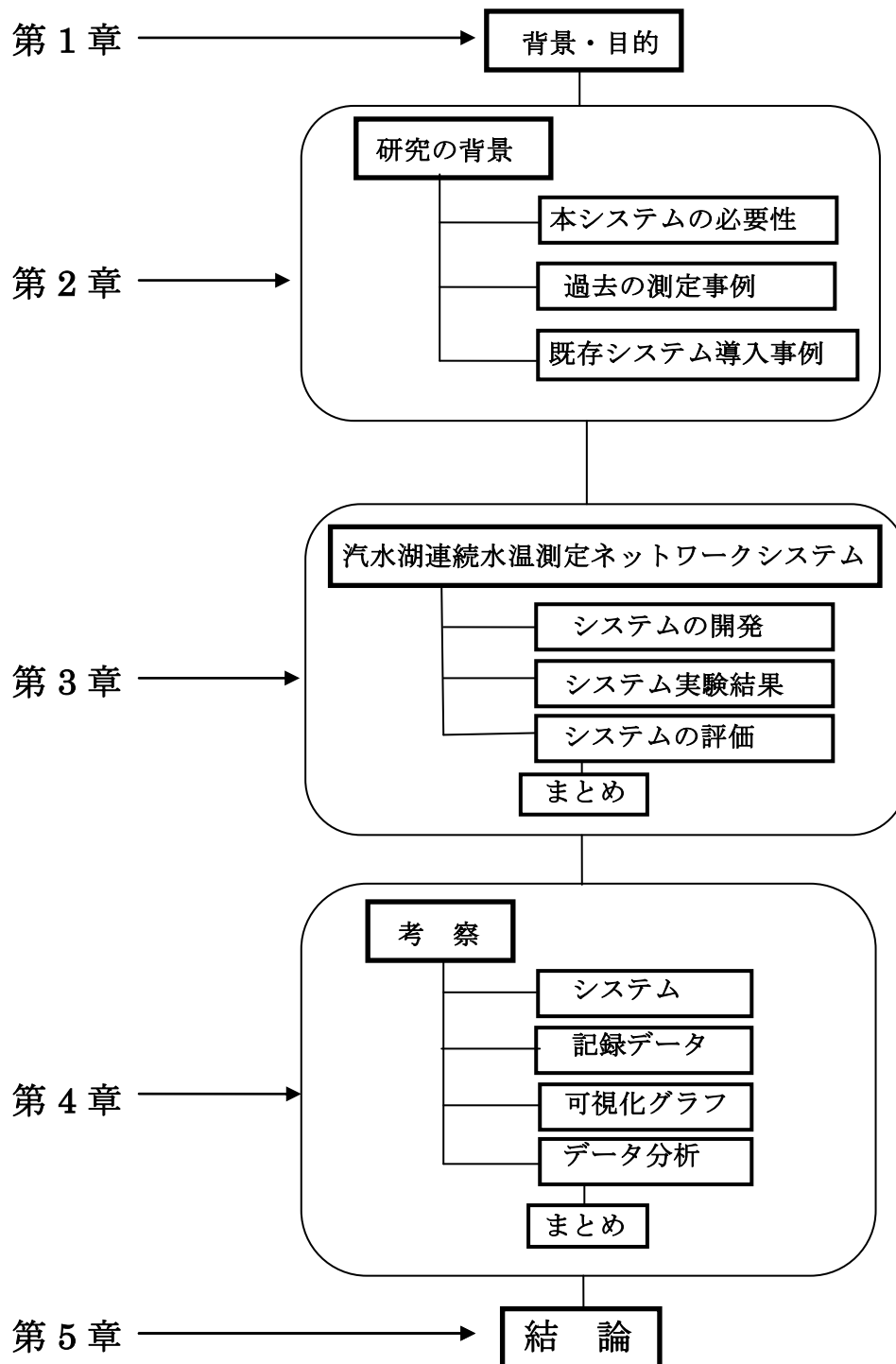


図 1.18 論文の構成

## 第2章 加茂湖従来型水温測定システム

### 2.1 はじめに

本章では、加茂湖での従来型人的水温測定システムについて述べる。

加茂湖では従来、水温等の水質計測調査は定期的に月 1 回か 2 回、船舶を利用して複数の測定地点に行き、そこで測定可能な項目はその場で測定し、その他は採水して持ち帰って分析する手法がとられていた。この方法は①計測が昼間に限定され、夜間の変動は不明である。②同様に水温の日内変化を連続的に把握できない、③計測が天候に左右され、測定日が制限される、④毎回人件費や船舶燃料費用がかかり高額になる、の 4 点が大きな課題点であった。透明度などはこの方法でしか測定できないので、この定期的移動計測も意義があるが測定点が密になると時間的同時性が問題になる。そこで、本研究の目的は汽水湖（加茂湖）における独自の自記連続水温測定ネットワークの構築しそのシステムの信頼性・有効性を検証することとする。

### 2.2 具体的実験事例

2007 年に著者は「湖沼水温センサネットワークを用いた GIS の研究」で湖岸から 500 m 以内の筏に水温連続記録(1 時間インターバル)のロガーを取り付け無線でデータを収集する実験を行った（新潟大学大学院自然科学研究科修士課程）(図 2.1)。しかしこの場合は人が無線の届く範囲に行く必要があるため無線の範囲が狭いことから湖の中央までは測定はできなかった。このことについては地理情報システム学会において「湖沼水温分析センサネットワークを用いた GIS の基礎研究」(2007)というタイトルで発表した。

地点	緯度	経度
筏1	38° 04'40.1"	138° 26'08.5"
筏2	38° 04'47.3"	138° 25'49.2"
両津観測所	38° 04'24"	138° 26'24"

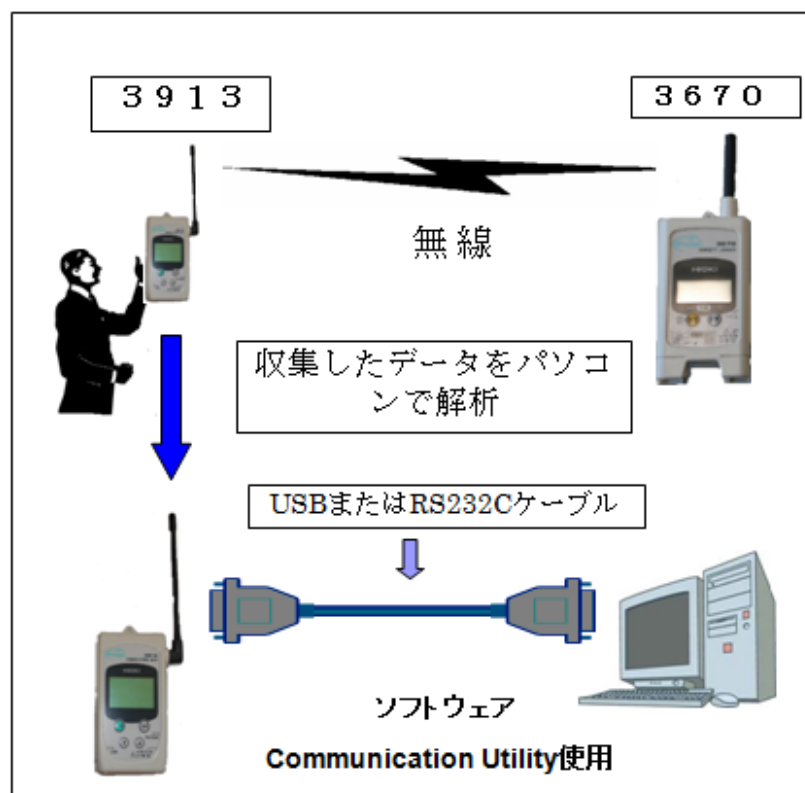


図 2.1: 湖沼センサネットワーク事例

そこで自動記録した水温データを一定時間間隔で自動送信するシステムが必要とされる。ここで無人計測の事例としては新潟県山古志地区で行った防災照明遠隔監視システム（図 2.2）の実験がある。これはバッテリーの電池交換以外はリアルタイムに数値データと取得できる（図 2.3）。

## 2.3 既存システムの導入事例

海洋においてはおおがかりな計測システムが実施されているが、湖沼での実施事例は少ない。

また過去に、テレメータブイによるびわ湖の気象・流況・水質の連続観測が行われたが、漁船による衝突事故のためブイが破損し、データ送信が途絶えた、その後、修理と改善を経てブイを再設置し、観測を継続したが、再度の破損事故や漏水などのトラブルが相次ぎブイを撤収し、短期間で観測を終えた事例が報告されている[4]。

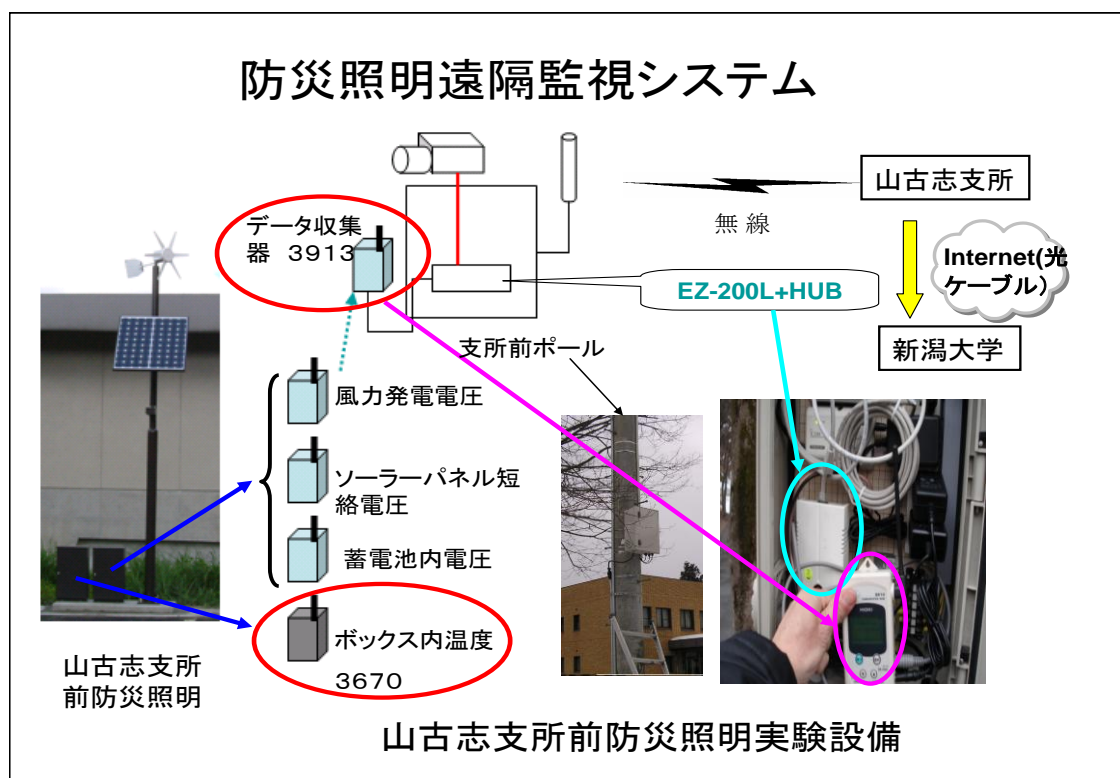


図 2.2 : リモートセンシング事例



図 2.3 : リアルタイム測定事例

この事例からも、びわ湖に比べ加茂湖は狭く、約 600 台近い牡蠣筏が湖面に点在し船舶も往来するので、加茂湖独自に適したシステムを導入し、運用における信頼性や有効性を数年単位で構築していくことに重点をおいている。

以上、本論文に関係する水温測定システムの問題点を明らかにし、また実験事例等を参考にして、既存のシステムでは加茂湖の現状から導入が困難なため、加茂湖等の狭い空間に適用できる独自の自記連続水温測定ネットワークを構築しその信頼性を確立する。

## 第3章 独自ブイによる湖沼連続水温測定ネットワーク

### 3.1 はじめに

本研究の目的は汽水湖（加茂湖）における独自の自記連続水温センサネットワークを構築し、そのシステムの有効性・信頼性を検証することで漁民への情報提供、ならびに加茂湖浄化のための基本データを提供することである。

そこでそれらを踏まえて、ブイに要求される機能は具体的には、1) 漁船との衝突によっても破損しない復元性、2) 風雨や塩害などの耐食性の2点が必要不可欠である。またシステムの必要事項は1. 簡便・安価な通信機能付き計測システムの開発、2. 加茂湖4カ所各2ポイント（表層・中層）の水温を長期連続記録することによる動作確認、3. 得られた水温データに対する赤潮発生と溶存酸素の関係の分析、4. Web ページによる提示方法の確立で広く一般に情報公開をすることの4点である。

### 3.2 測定地点の確定

加茂湖の1994年～2005年の佐渡市（旧両津市）水温測定地点9カ所（表層と中層で夏期と冬季の年2回）のデータを使用して各年毎の夏季表層・中層と冬季表層・中層の水温分布図を作成した。ここでは地理情報システムソフトウェア ArcGis9 の IDW 方法によりデータを空間補間し加茂湖全域の水温分布をグラデーション表示することができた（図 3.1）。この結果は「センサネットワークを前提とした湖沼水温分布の IDW による可視化」のタイトルで地理情報システム学会講演論文集（Vol.18／2009）に掲載された。

この結果を利用して、表層と中層間で水温変動に特徴のみられる3地点（図 3.2）と海水導入（昭和 49 年竣工、流量 1 トン／分のポンプ 2 台で海水を湖に入れる）の影響を調査する際に利用される地点の計 4 地点を選定した。図 3.3 に測定地点を示す。ここでは各計測点が①～④で示されている。



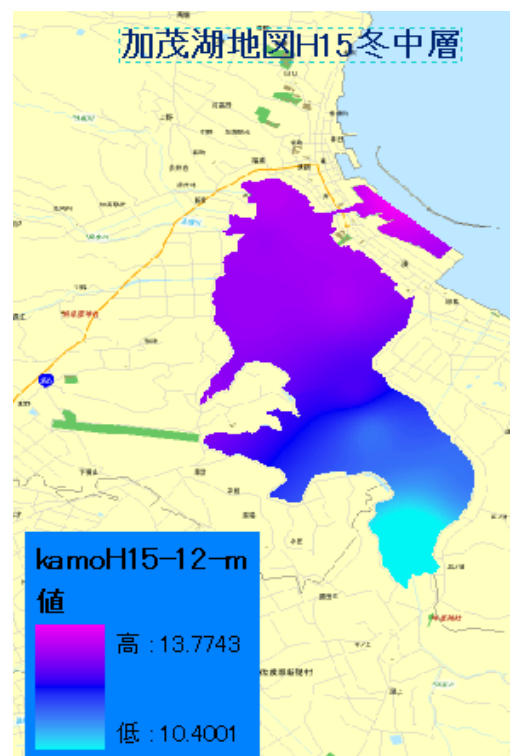
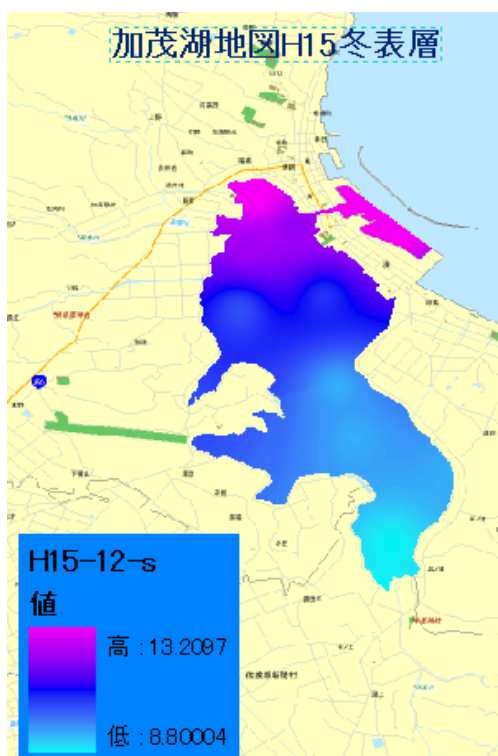
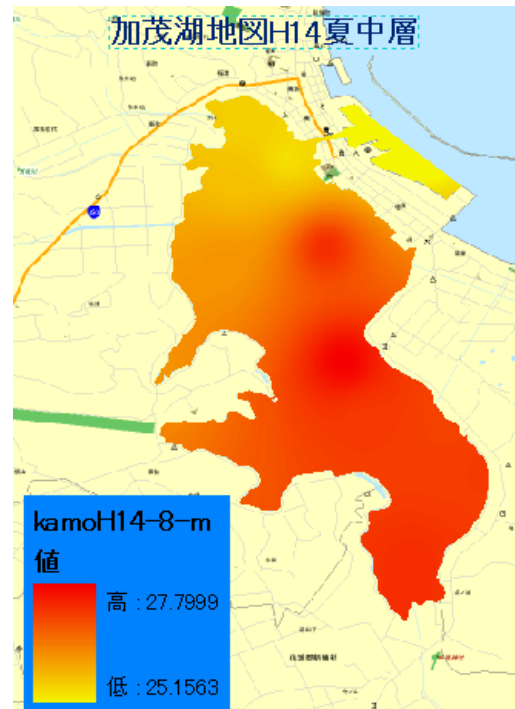
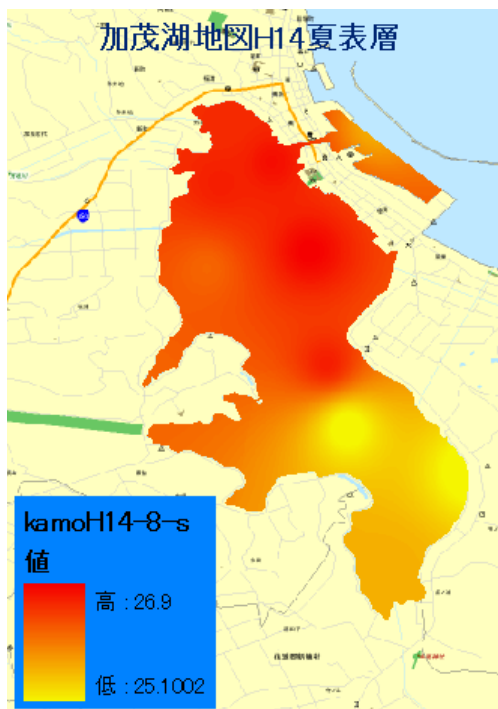


図 3.1 : IDW による水温分布図



図 3.2 : 水温分布図より特徴がある点



青● : 佐渡市観測地点

赤● : 新潟県測定地点

紫● : 海水導入口

○ : 新潟大測定地点

図 3.3 : 測定地点図

また測定 4 地点の、緯度経度、測定水深、湖底水深を表 3.1 に示す。各地点では表層と中層の 2 カ所で水温を測定する。

表 3.1 測定地点データ

測定地点番号	北緯	東経	表層	中層	湖底水深
	Y	X	水深	水深	
①	38.0871	138.421	1.5m	4m	4.8m
②	38.0697	138.429	1.4m	4.5m	5.3m
③	38.0601	138.442	1.4m	7.2m	9.1m
④	38.0461	138.444	1.3m	5.4m	6.7m

### 3.3 開発システム

#### 3.3.1 システム概要

本システムの目的は、まず自動的に一定間隔毎に水温を連続測定し記録することである。次にその記録データを外部の処理施設（以下基地局）に送信してデータ加工を行う。具体的には、水面に浮かべたブイから水温センサを水中に表層と中層の 2 本を垂らして設置し、一時間間隔で測定した水温を自動記録し、24 時間インターバルでデータを基地局に E メール送信する。ここで、データ記録・電子メール送信はブイ上部内のデータコレクタで処理し、送信されたデータはパソコンで加工して Web ページ上に掲載する。

#### 3.3.2 システム構成

本研究で使用するセンサネットワークの構成と機器名を図 3.4 に示す。ここで、図中の①は湖面上の計測装置、②は通信方法、そして③は処理用パソコンである。

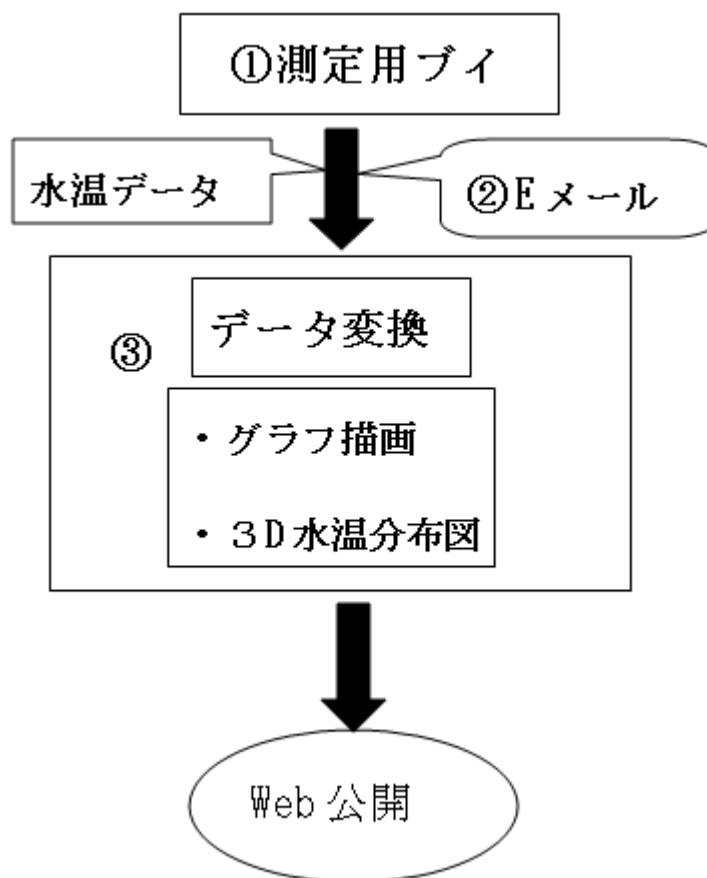
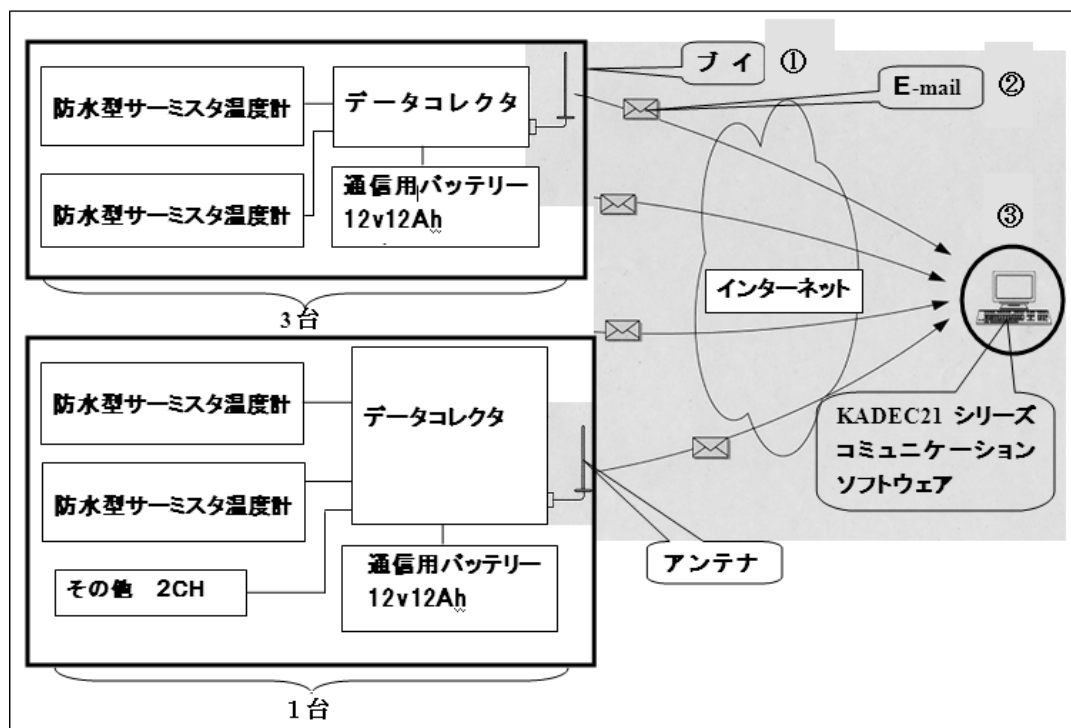


図 3.4 : システム構成図

### 3.3.3 実験方法

実際の測定方法としては、まず加茂湖の4地点の表層と中層の各2カ所で計8ポイントの水温を通信機能付き計測機器で記録する。次に、携帯電話用通信カードによる電子メール送信方式を用いて水温連続記録と定時送信を行う。測定間隔は1時間、定時送信間隔は24時間と設定する。さらに独自にブイを開発し、8ポイントでの連続水温計測と、水温の日内変化・季節変化の結果をグラフにしてWebページで公開する。

図3.4の③で示すパソコン上でのデータ処理方法を示す。図中、①の測定用ブイからの計測データは②に示す電子メールの添付ファイル形式で基地局（新潟大学内研究室）のパソコンに送信される。データはバイナリ形式で送信されるため、③に示す専用の通信ソフトウェア（ノースワン社製、KADEC21 シリーズ 通信ソフトウェア）によってCSV(Comma Separated Values)形式に変換され、表計算ソフトウェアMicrosoft Excel 2007（以下Excel）で編集される。Excelでは水温の変化を時系列のグラフによって表現する。表層・中層の水温変化の状況に加え気象庁(<http://www.jma.go.jp/jma/index.html>)のホームページで公開している気温変化の状況（観測地点：両津アメダス）もグラフに追加する。MATLABを使用した加茂湖の形状データ上に水温に対応した3D擬似カラー表示を行い湖全体の水温分布推定図を作成する。また、中心となるデータコレクタ部分の仕様は表3.2に示す。

### 3.4 独自開発ブイ

湖沼水温計測のために簡便かつ安定なブイの開発を行う。具体的要求項目としては1) 漁船航行に支障のない最小形状で衝突があっても復元でき測定に影響がないこと、2) 装置の電池交換・動作確認を小型船舶から容易に行うことができること、および3) 電波送信のためのアンテナ高を確保し、さらに波による変動を受けにくい構造で耐振性・耐候性に優れていること、の3点である。さらに独自に小型軽量架台を開発し、これを専用のブイとして用いる。測定では、8ポイントでの連続水温計測と、水温の日内変化・季節変化の結果をグラフにしてWebページで公開する。

表 3.2 : データコレクタ仕様

**E メール式温湿度測定装置**  
**KADEC21 – UHTV – N2**

入力の種類	サーミスタ温度	
	入力範囲	-50~120°
	分解能	0.1°
	測定精度	0.3°C
記録方法	記録方式	メモリスクロール方式
	使用メモリ	不揮発性メモリ
測定動作日数	インターバル	60分
	測定データ数	約 63,548
	測定日数	約 2,647 日
	測定月数	約 88.3 ヶ月
記録動作電池	リチウム電池パック 1 個(機器に内蔵)	
記録動作電流	20mA	
通信用電池	外部電源または 12V 鉛蓄電池	
通信用電流	200mA~300mA	
通信リトライ	4 回	

図 3.5 にブイ設置状況を示す。前述の要求を満たすためにブイは縦型の浮き構造とした。また保守点検のためにブイに接岸した船から容易に内部の装置を取り出すことができるように、ブイ先端が定常状態では湖面から約 1.5m の位置にあるように固定した。そのため、ブイ用のアンカー重量  $W$  を算出した。

まずブイの断面は正方形であり、1 辺を 0.2m、全長 4.3m、海水密度  $1025\text{kg/m}^3$  として最大浮力を求め、そこから装置重量 36 kg を差し引いた。次に波力や風の影響を考慮し、固定係数を 2.5 と経験的に設定した。

$$W = (\text{最大浮力} - \text{装置重量}) \times \text{固定係数} \dots\dots\dots (1)$$

式 (1) より具体的数値は

$$W = (1025 \times 0.2^2 \times 4.3 - 36) \times 2.5 = 350.75 \quad \text{となる。}$$

さらに、ブイ先端部をバッテリー交換の必要性から開閉できるようにした。また、ブイ最上部にはデータ送信用アンテナとプレジャーボートや漁船の衝突防止用 LED ライトを取り付け、鳥害対策用ネットで覆うこととした。アンカーとしては、式 (1) から算出した値に近い 360kg サンドバッグを使用した。

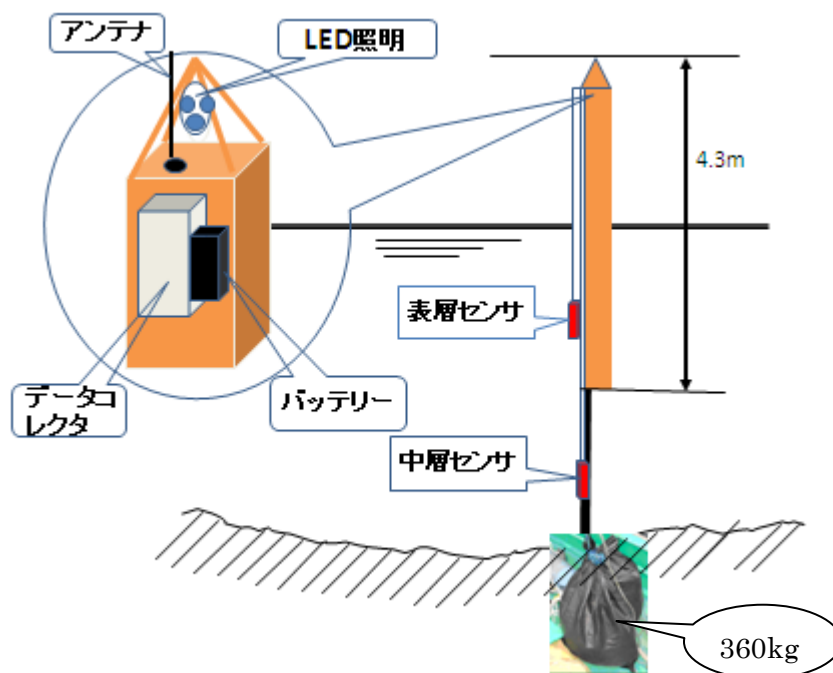


図 3.5： 実験ブイの設置構成



### 3.4.1 ブイの構造

今回独自開発したブイの材質は芯材を発砲体で作成し、その表面に繊維強化プラスチック (FRP)4枚を巻きつけてコーティングしたものである。寸法は、20cm角、中空、長さ4.3m、厚さ3mmの角柱形状である。本体を図3.6に示す。上部内部が図3.7である。



図 3.6 : ブイ本体



図 3.7 : ブイ上部内部本体

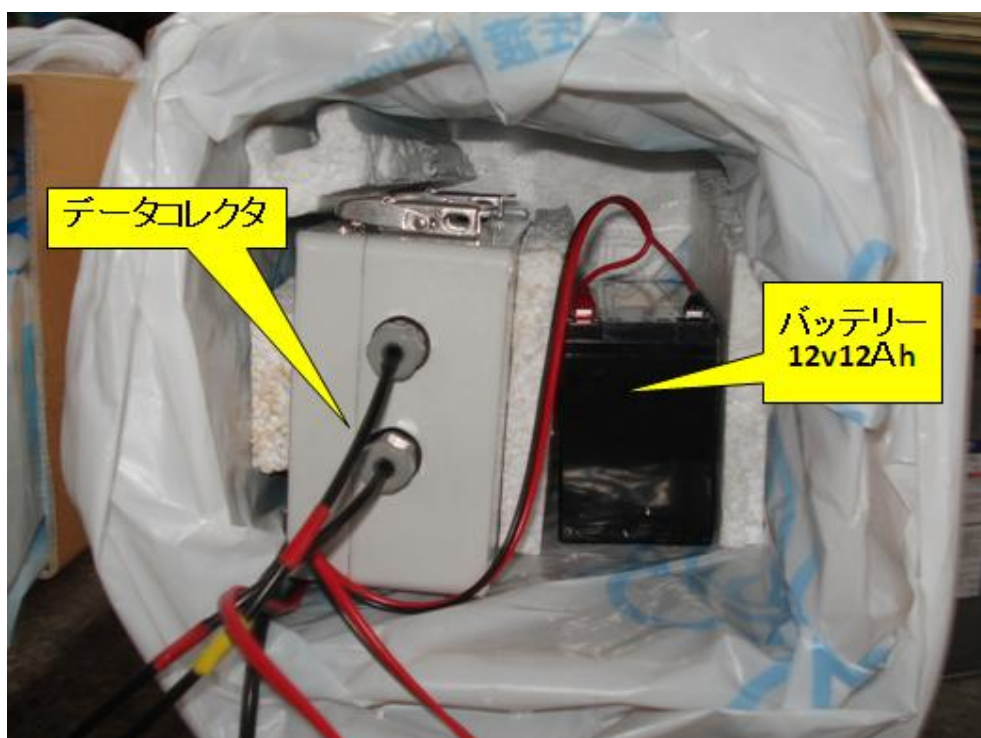


図 3.8 ブイ上部内部収まり図

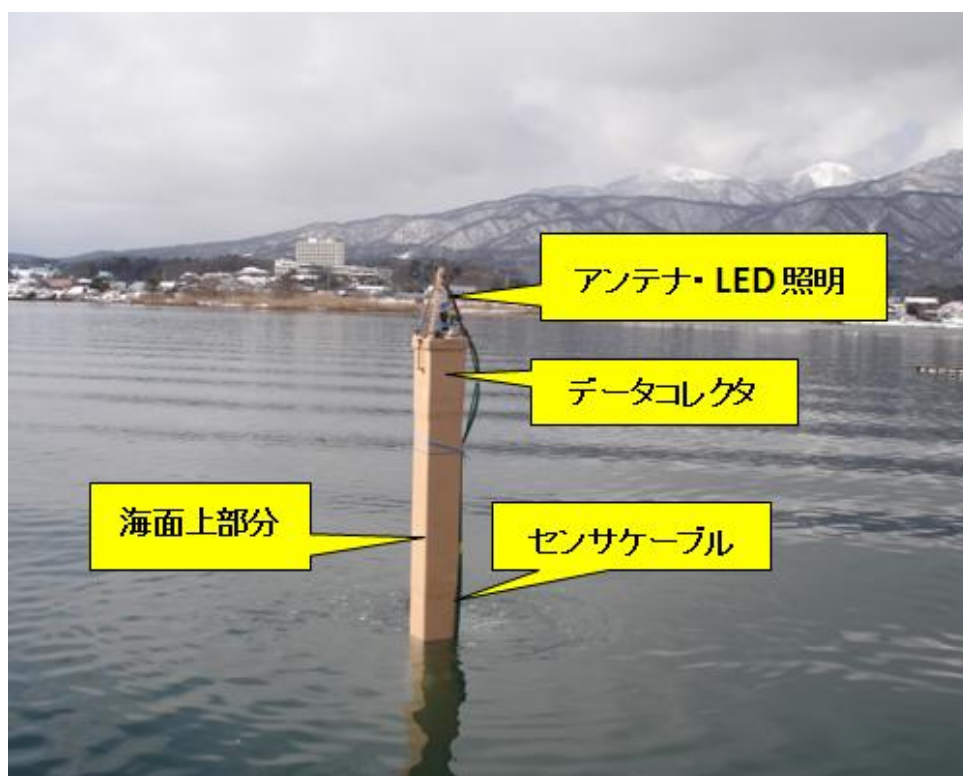


図 3.9 ブイ上部外観

ブイ上部内部の収まりを図 3.8 に示す。またブイ上部外観を図 3.9 に示す。その拡大したものが図 3.10 である。上部より、送信アンテナと LED ライト、内部にはデータコレクタが内蔵されている。また、下部の浮き部分に添ってセンサ用のケーブルが水中に向かって取り付けられている。今回使用した全ての機器を図 3.11 に示す。



図 3.10 ブイ海上部拡大図

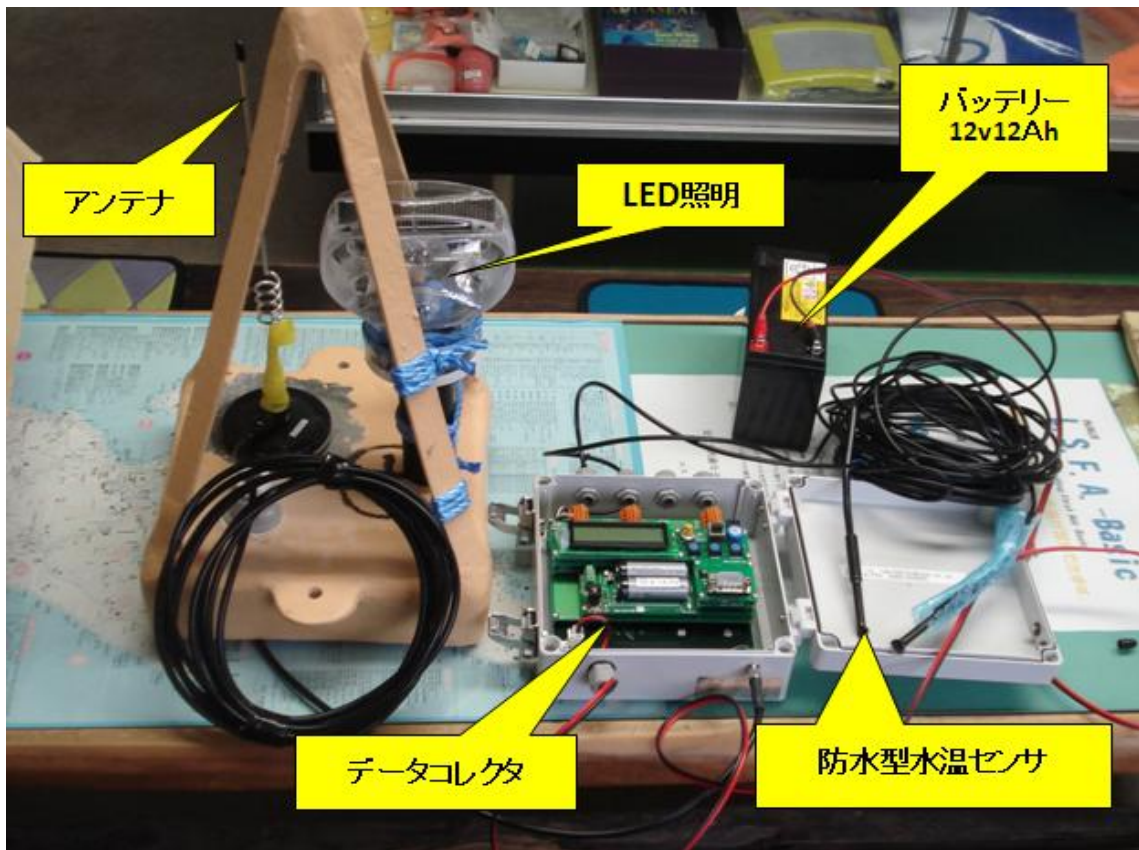


図 3.11 : 全使用機器

### 3.5 グラフ表示

開発したシステムを用いて、2010年3月から2013年12月までに取得した水温データのグラフ化、及びWebページ公開を継続的に行なった。さらに、この間の時系列グラフから水温変化の特徴を確認するとともに、水温データの受信状況から測定環境の信頼性についても検討した。図3.12～図1.15に4測定地点の3年間水温グラフを示す。また一例として2011年の水温3D疑似カラー表示を図3.16に示す。気温に応じて表面水温が変化するのに対し、4月～9月では水温は表層が中層より高く推移し、9月からは表層と中層の水温が逆転する。8月から10月にかけて25度以上に上昇していることが記録されている。特に漁民にとって重要な4月～8月は牡蠣の産卵時期で9月～11月が生育時期であり、このときの水温が主に牡蠣の壊死に関係するため、必要な時期のデータを得ることができた。また、これらをWebページにおいて掲載し一般に公開した。

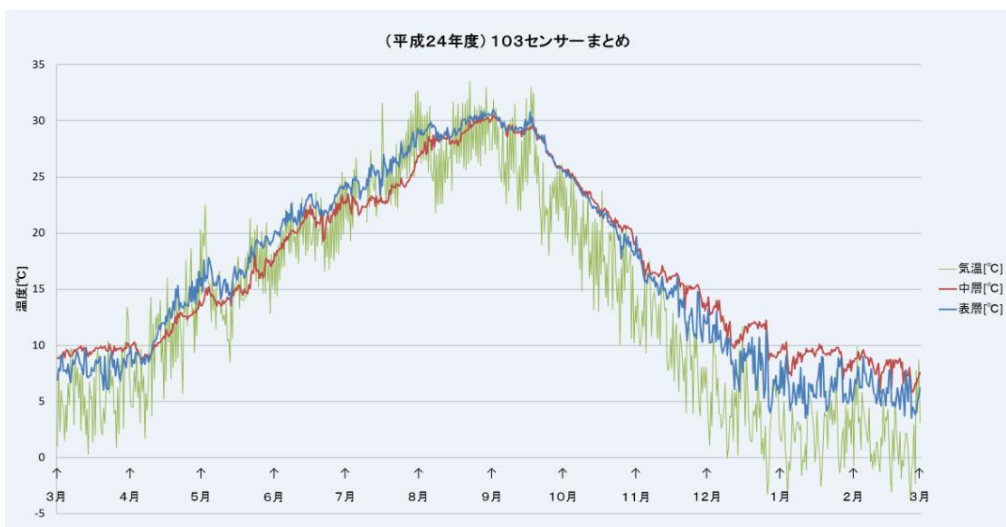
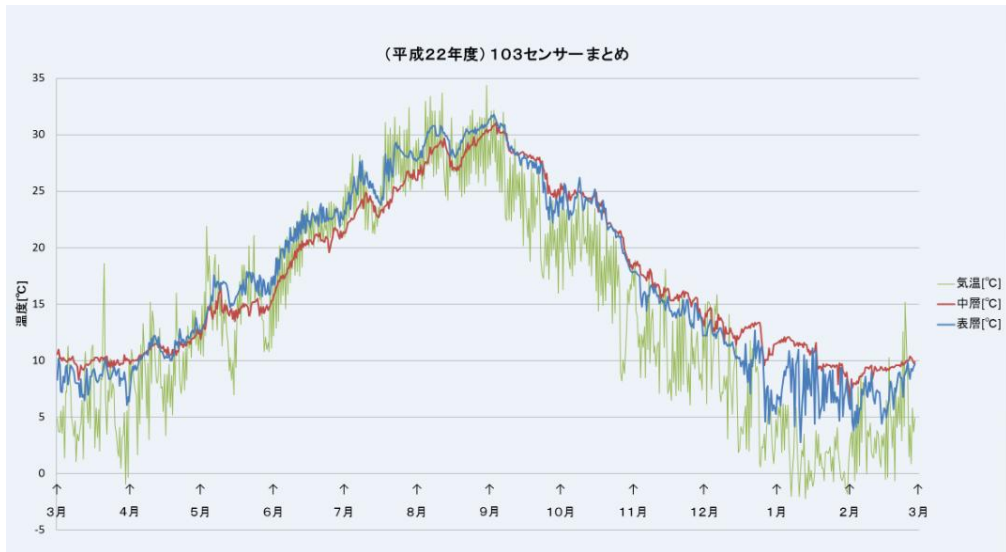


図 4.12 : ①地点の3年間水温グラフ

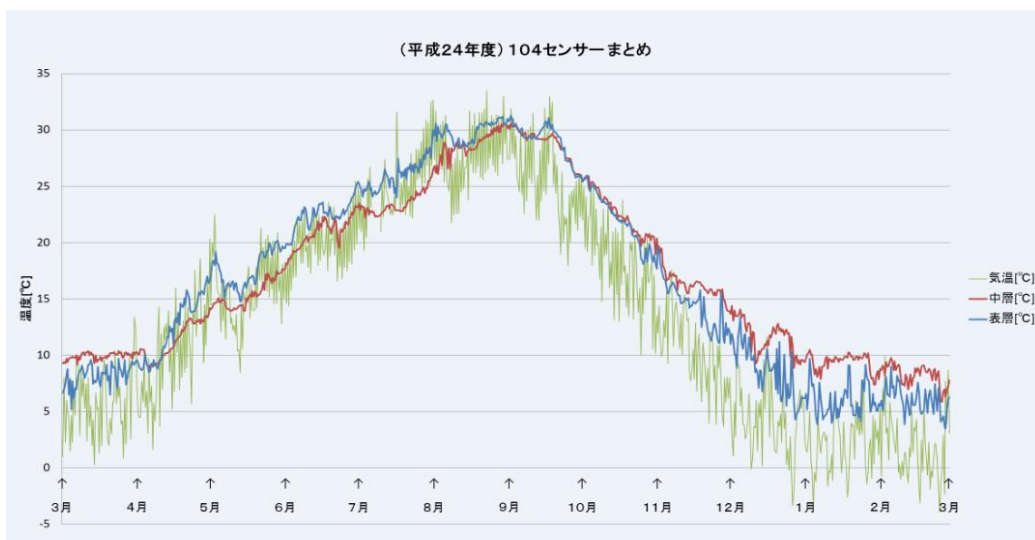
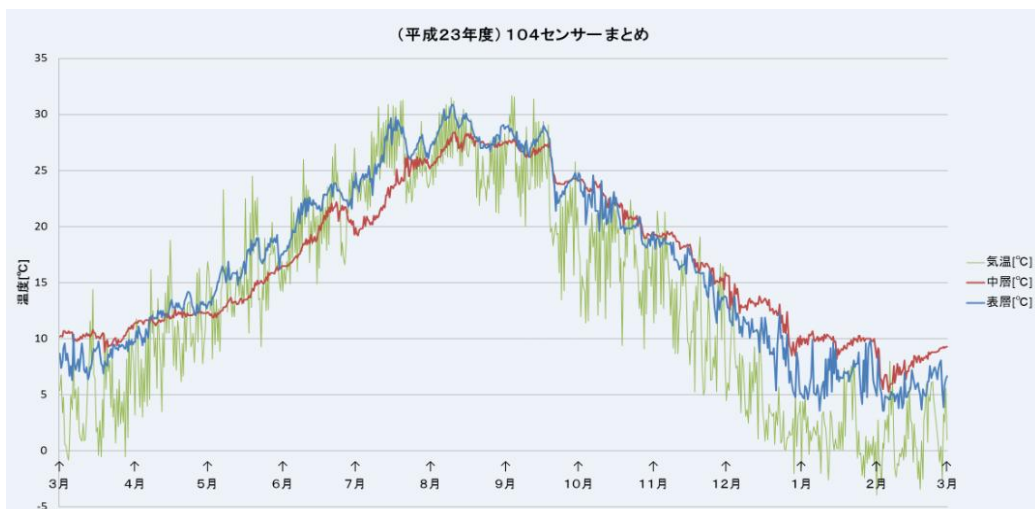


図 4.13 : ②地点の3年間水温グラフ

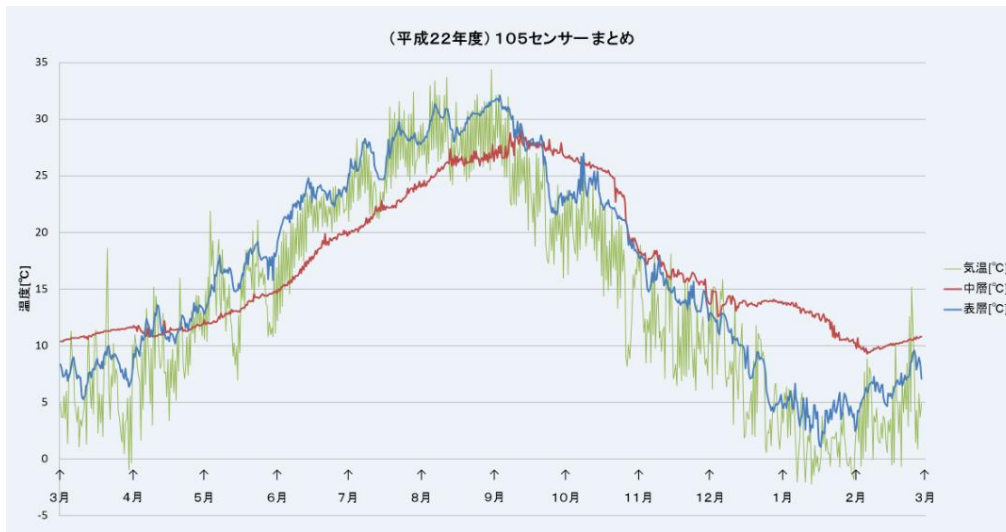


図 4.14 : ③地点の3年間水温グラフ

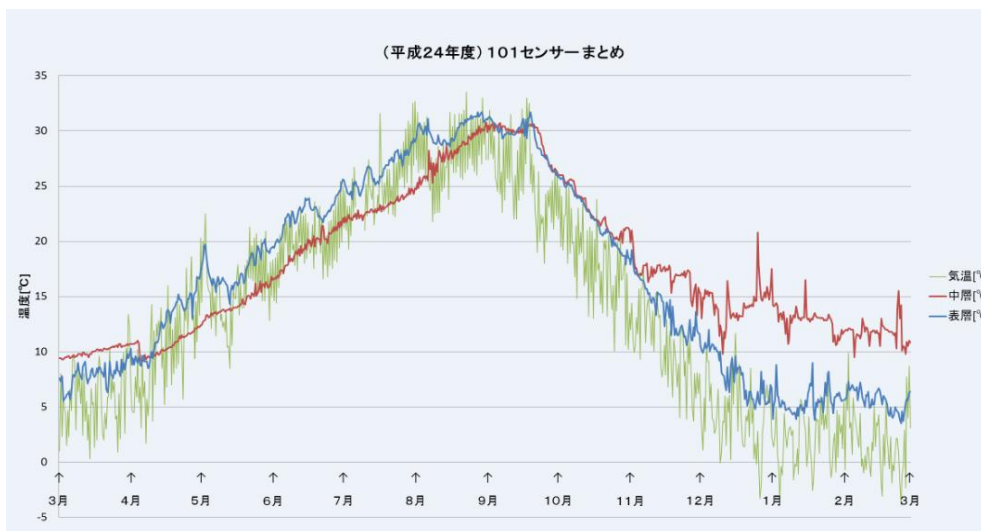
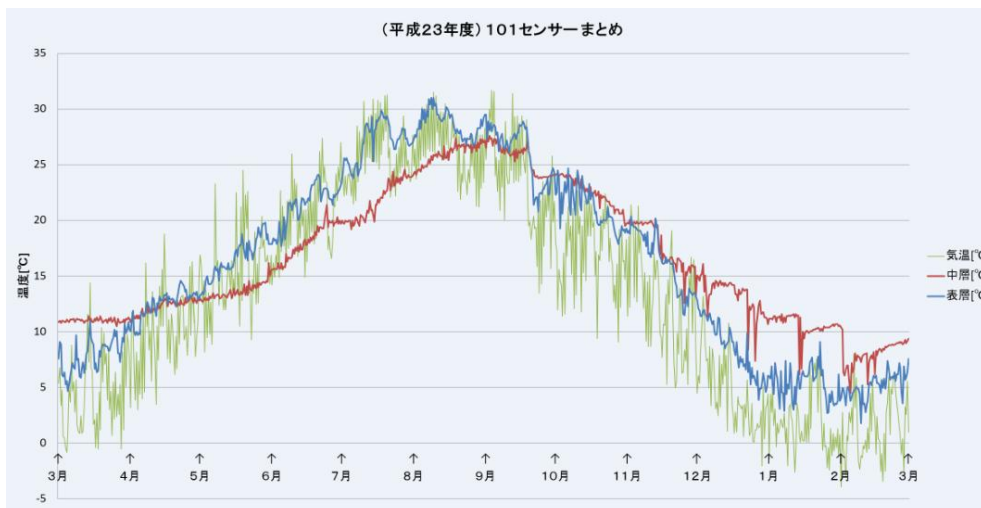
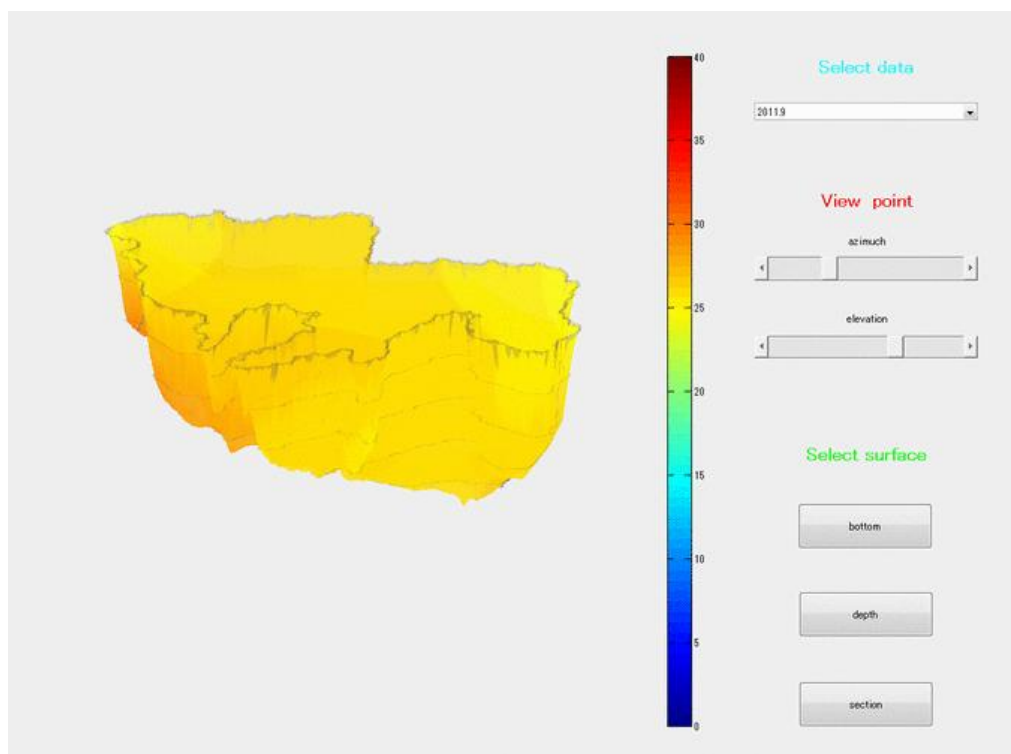
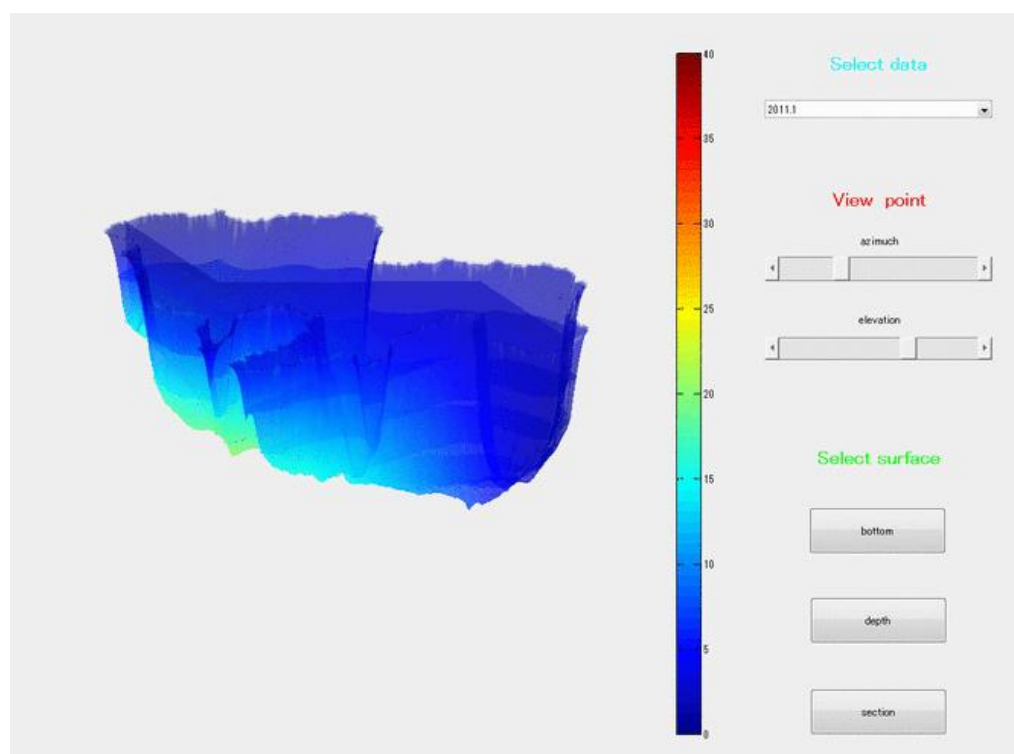


図 3.15 : ④地点の 3 年間水温グラフ





2011 年 9 月



2011 年 1 月

図 3.16 : 3D 疑似カラー表示

### 3.6 記録データ

次に、記録されたデータの記録内容について述べる。

具体的な計測期間は2010年2月13日～2013年3月31日の1145日間であり、合計4531回である。この間の送信結果を表3.3に示す。この結果から、データの未送信が発生した回数の合計は4531回中207回（約4.57%）となった。また、データが完全に欠損した数は4531回中4回（約0.09%）であった。これは通信用バッテリーの交換の際、誤って記録を停止させた人的ミスであった。実験に使用した計測装置では着信の確認まで4回再試行され、これを超える場合は次回の通信開通時（翌日以降）に追加して送信された。

以上、温度記録は人的ミスを除き100%、通信は95%成功した。このリアルタイムでの未送信の発生は2か所のみであり、原因としては湖面の波浪による揺れが考えられる。過去の加茂湖における水温データの無線通信においてもうねりなどの波浪で通信データが未送信になることがあった。ここで、海洋では風の日には安定して電子メールが受信できており、逆にしけの日にエラーが集中しているとの報告もある。この点については通信の安定性がアンテナ高に左右されるという報告がある[7]。今回も同様な状態が発生したと考えられるが、通信基地局に近く水深が浅い2箇所の地点だけに一時的に通信エラーが発生する点について、アンテナ高の影響かあるいは別の原因があるかは現状では不明である。この点は、水面との定在波等の影響も考えられるが、その後の数日間の再送信でデータそのものは受信されており、また通信業者が設置した基地局の特性に依存するものであることなのか、当面は送信エラーの多い箇所のアンテナ高をさらに調整するなどの方法を検討したいと考えている。

表3.3：未送信と欠損数

	未送信数	欠損数
①	93 / 1142	0 / 1142
②	106 / 1135	0 / 1135
③	0 / 1135	0 / 1135
④	4 / 1119	4 / 1119
合計	203 / 4531	4 / 4531
比率	4.48%	0.09%

### 3.7 データ分析

計測したデータの分析結果について述べる。本研究で得られた水温変化のデータを用いて、牡蠣の壊死に関連があるといわれる赤潮や溶存酸素量との関係を調査した。これまで海水での赤潮の発生には塩分濃度が関係しているという報告[9]があることから汽水湖の分析においても塩分濃度の影響も調べる。2010年度から2013年度までの3年間で、説明変数を水温（単位は℃，本研究で測定）と塩分濃度（単位は‰，新潟県測定データを使用）とし、赤潮の発生量（個/ml）と溶存酸素量（mg/l）を目的変数とした重回帰分析を行った（変数は全て標準化した）。新潟県では、2010年度に4月19日から翌年3月14日までの間に計25日、2011年度に4月20日から翌年3月21日までの間に計22日、2012年度に4月18日から12月12日までの間に計22日の測定データがある。新潟県測定地点は図3.17で、測定データが表3.4である。本研究でも新潟県測定データの情報を用いた。定点1～3における重回帰式を表3.5～表3.7に示す。

また表3.8に2012年度の赤潮、溶存酸素と牡蠣の壊死の間の重回帰係数を示す。添え字\*\*と\*はそれぞれ、t検定から有意水準が1%と5%であったことを示す。

今回の計測では、1) 水温と塩分濃度は赤潮には有意な影響を与えていない、2) 溶存

酸素量に主な影響を与えているのは水温である，という結論が示唆された．特に 2010 年度，2011 年度は表層・中層ともに，2012 年度は表層において顕著であった．

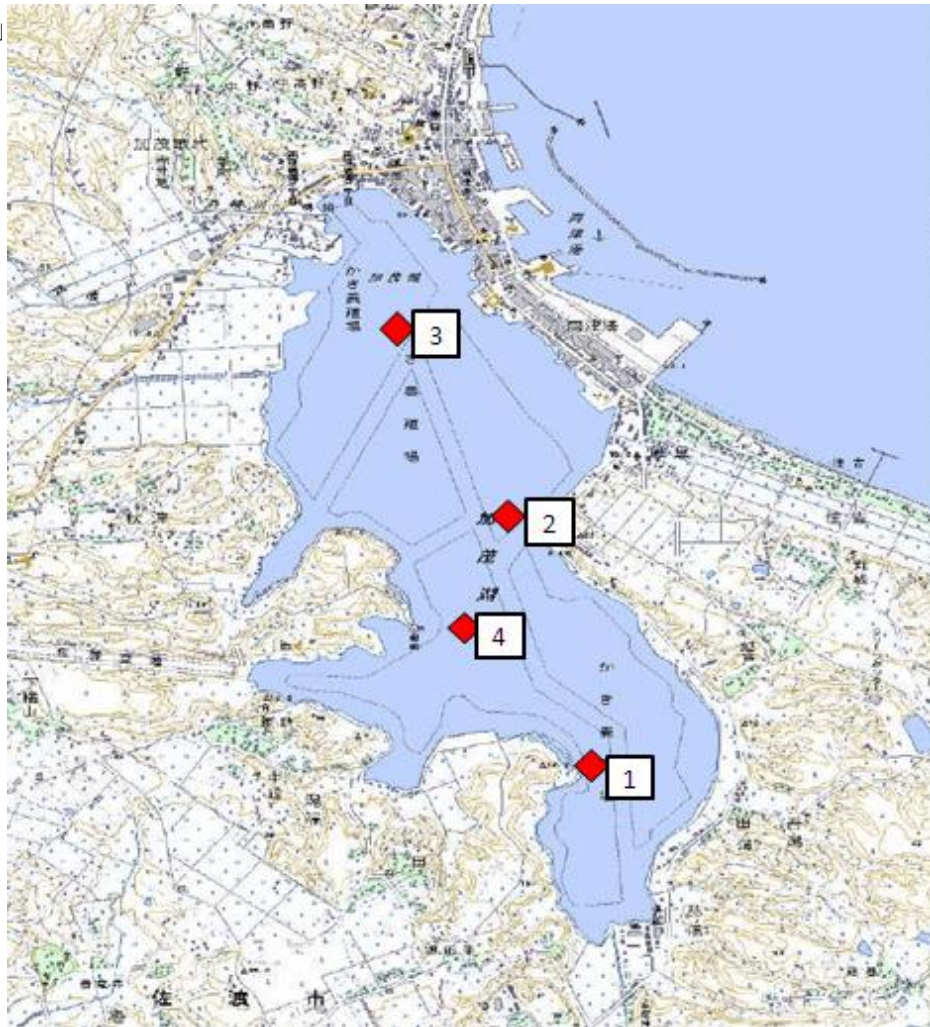


図 3.17：県赤潮調査地点

表 3.4 県赤潮モニタリングデータ

平成22・23年度 赤潮モニタリング調査(ヘテロカプサ密度)																	
定点1(温上)水深6.8m				定点2(原里)水深7.8m				定点3(秋津)水深5.5m			定点4(湯端)水深-m						
		0m	3m	底層 (6.0m)		0m	3m	6m	底層 (7.3m)		0m	3m	底層		0m	3m	6m
H22	4/19	0	0	0		0	0	0	0		0	0	0				
	5/11	0	0	0		0	0	0	0		0	0	0				
	6/15	0	0	0		0	0	0	0		0	0	0				
	7/7	0	0	0		0	0	0	0		0	0	0				
	7/27	0	0	0		0	0	26	5		0	0	2				
	8/3	0	0	6		0	10	22	3		0	5	1未満				
	8/9	310	48	240		18	31	200	220		22	8	13				
	8/12	33	93	1,200		50	37	3,300	2,000		欠測	欠測	欠測				
	8/14	1,100	700	2,000		1,300	2,100	1,900	580		660	110	19				
	8/16	91	110	510		720	360	770	360		20,000	5,000	970				
	8/25	68	200	120		38	36	180	48		57	27	19				
	9/1	49	160	550		103	99	510	15		160	14	8				
	9/8	5	1	1		0	0	1	0		0	0	0				
	9/15	1	4	1		0	9	2	1		1	0	0				
	9/22	0	13	17		2	6	1	0		0	0	0				
	9/29	0	14	1		3	4	3	1		0	0	0				
	10/6	1	14	0		1	8	1	0		4	15	4				
	10/13	0	8	240		0	0	0	0		0	0	0				
	10/20	1	30	15		2	5	8	2		0	0	0				
	10/27	24	20	20		22	16	12	11		3	0	0				
11/11	0	0	1未満		0	0	0	0		0	0	0					
12/15	0	0	0		0	0	0	0		0	0	0					
1/12	0	0	0		0	0	0	0		0	0	0					
2/9	0	0	0		0	0	0	0		0	0	0					
3/14	0	0	0		0	0	0	0		0	0	0					
H23	4/20	0	0	0		0	0	0	0		0	0	0				
	5/25	0	0	0		0	0	0	0		0	0	0				
	6/15	0	0	0		0	0	0	0		0	0	0				
	7/5	0	3	5		0	1	1	0		0	0	1				
	7/20	3	33	62		1未満	6	190	19		1未満	16	200		0	1	99
	8/3	0	1未	3		1未満	1未満	5	1		1	1未満	1未		1	1未	3
	8/10	0	2	1未満		1未満	1未満	1	0		0	0	1未満		1未満	1	1
	8/17	0	1	3		0	1	18	2		1未満	1	1未満		1未満	0	21
	8/17	6	3	97		2	6	19	3		29	9	1		2	2	6
	8/24	8	####	130		310	1,100	220	47		120	110	170		600	620	280
	8/31	1未満	0	0		0	1未満	0	0		1未満	0	0		0	0	0
	9/7	1	1	0		3	2	1未満	0		3	2	1		4	5	2
	9/14	17	76	30		7	28	16	2		2	10	2		26	10	13
	9/21	3	4	1		15	5	2	2		4	6	2		3	5	3
	9/28	0	0	0		0	0	0	0		0	0	0		0	0	0
10/5	0	0	0		0	0	0	0		0	0	0		0	0	0	
10/19	0	1未満	0		1未満	0	0	0		0	0	0		0	0	0	
11/16	0	0	0		0	1未満	0	0		1未満	0	0		0	0	0	
12/14	0	0	0		0	0	0	0		0	0	0		0	0	0	
1/18	0	0	0		0	0	0	0		0	0	0		0	0	0	
2/15	0	0	0		0	0	0	0		0	0	0		0	0	0	
3/21	0	0	0		0	0	0	0		0	0	0		0	0	0	

※1 単位は細胞/ml(1mあたりの個数)となっています。

表 3.5. : 重回帰式 (秋津)

測定場所		地点3(秋津)				
測定年	説明変数		目的変数			重回帰式
			赤潮(個/ml)	溶存酸素(mg/L)		
2010	表層	水温(°C)	0.134	-0.575	**	赤潮=0.13×水温+0.11×塩分
		塩分(%)	0.112	-0.336	*	溶存酸素=-0.58×水温-0.34×塩分
	中層	水温(°C)	0.165	-0.829	**	赤潮=0.17×水温+0.05×塩分
		塩分(%)	0.045	-0.288	*	溶存酸素=-0.83×水温-0.29×塩分
2011	表層	水温(°C)	0.204	-0.817	**	赤潮=0.20×水温-0.42×塩分
		塩分(%)	-0.415	-0.406	**	溶存酸素=-0.82×水温-0.41×塩分
	中層	水温(°C)	0.316	-0.907	**	赤潮=0.32×水温+0.12×塩分
		塩分(%)	0.115	0.056		溶存酸素=-0.91×水温+0.06×塩分
2012	表層	水温(°C)	0.203	-0.721	**	赤潮=0.20×水温+0.15×塩分
		塩分(%)	0.152	-0.046		溶存酸素=-0.72×水温-0.05×塩分
	中層	水温(°C)	0.306	-0.431		赤潮=0.31×水温-0.05×塩分
		塩分(%)	-0.051	-0.121		溶存酸素=-0.43×水温-0.12×塩分

表 3.6. : 重回帰式 (原黒)

測定場所		地点2(原黒)				
測定年	説明変数		目的変数			重回帰式
			赤潮(個/ml)	溶存酸素(mg/L)		
2010	表層	水温(°C)	0.227	-0.549	**	赤潮=0.23×水温+0.12×塩分
		塩分(%)	0.116	-0.388	*	溶存酸素=-0.55×水温-0.09×塩分
	中層	水温(°C)	0.279	-0.84	**	赤潮=0.28×水温+0.21×塩分
		塩分(%)	0.207	-0.003		溶存酸素=-0.84×水温-0.01×塩分
2011	表層	水温(°C)	0.13	-0.823	**	赤潮=0.13×水温-0.49×塩分
		塩分(%)	-0.491	-0.434	**	溶存酸素=-0.82×水温-0.43×塩分
	中層	水温(°C)	0.316	-0.907	**	赤潮=0.32×水温-0.12×塩分
		塩分(%)	0.115	0.056		溶存酸素=-0.91×水温+0.06×塩分
2012	表層	水温(°C)	0.203	-0.721	**	赤潮=0.20×水温+0.15×塩分
		塩分(%)	0.152	-0.046		溶存酸素=-0.72×水温-0.05×塩分
	中層	水温(°C)	0.347	-0.834	**	赤潮=0.35×水温+0.23×塩分
		塩分(%)	0.229	-0.147		溶存酸素=-0.83×水温-0.15×塩分

表 3.7. : 重回帰式 (潟上)

測定場所	地点4(潟上)					
	測定年	説明変数	目的変数		重回帰式	
赤潮(個/ml)			溶存酸素(mg/L)			
2010	表層	水温(°C)	0.213	-0.576	**	赤潮=0.21×水温+0.10×塩分
		塩分(%)	0.099	-0.329	*	溶存酸素=-0.58×水温-0.33×塩分
	中層	水温(°C)	0.325	-0.668	**	赤潮=0.33×水温+0.18×塩分
		塩分(%)	0.181	-0.169		溶存酸素=-0.67×水温-0.17×塩分
2011	表層	水温(°C)	0.341	-0.804	**	赤潮=0.34×水温+0.11×塩分
		塩分(%)	0.106	-0.072		溶存酸素=-0.80×水温-0.07×塩分
	中層	水温(°C)	0.613	-0.902	**	赤潮=0.61×水温+0.44×塩分
		塩分(%)	0.438	-0.344		溶存酸素=-0.90×水温-0.34×塩分
2012	表層	水温(°C)	0.124	-0.668	**	赤潮=0.12×水温+0.29×塩分
		塩分(%)	0.292	-0.172		溶存酸素=-0.67×水温-0.17×塩分
	中層	水温(°C)	0.069	-0.409		赤潮=0.07×水温+0.07×塩分
		塩分(%)	0.071	-0.3		溶存酸素=-0.41×水温-0.30×塩分

\*\*は偏回帰係数がゼロではない危険率 1%(100 回中 1 回はゼロかもしれないが 99 回はゼロではない)

\*は偏回帰係数がゼロではない危険率 5%(100 回中 5 回はゼロかもしれないが 95 回はゼロではない)

は多重共線性が発生した箇所.



表 3.8 : 牡蠣壊死と赤潮, 溶存酸素回帰係数

牡蠣の壊死	①地点		④地点	
	表層	中層	表層	中層
赤潮	-0.25	-0.08	-0.21	-0.04
溶存酸素	0.76**	0.49*	0.79**	0.21

この結果より, 牡蠣の壊死と赤潮の発生間に相関関係はなく(図 3.18), むしろ, 溶存酸素量(表層ではそれぞれ 1%有意)との間に関係があることが分かる(図 3.19).

まとめると, 牡蠣の壊死には溶存酸素量が深く関わっており, 溶存酸素量を推定するには簡便に計測できる水温データを用いることが有効であることが示された. 同時に, 参考文献[6]で言及されている海洋での赤潮は塩分濃度が高いほど発生が増えるという相関関係が, 加茂湖では成り立たない結果となった.

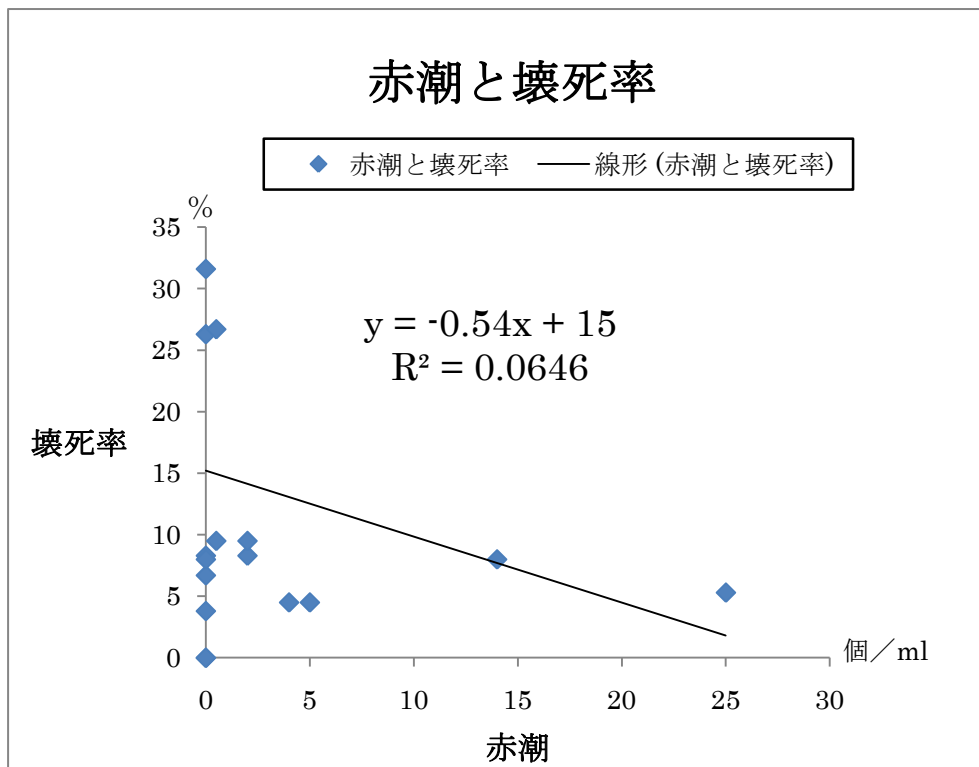


図 3.18 赤潮と壊死率の関係

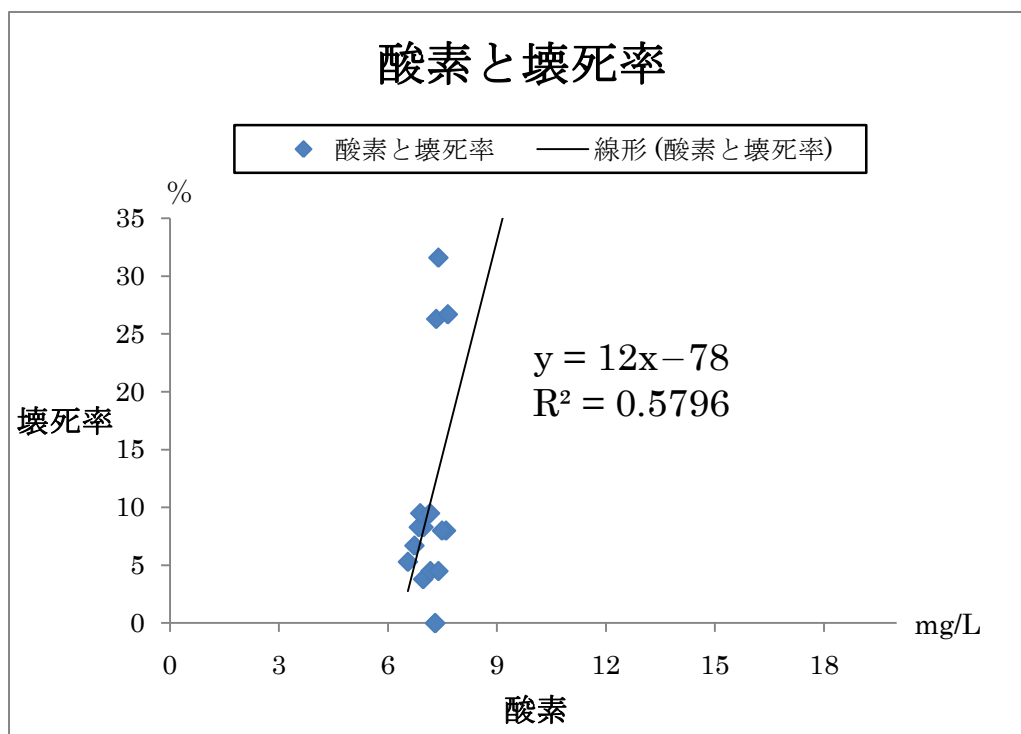


図 3.19 : 酸素と壊死率

## 第 4 章 考察

環境変化が激しく、かつ生物生産量が豊富な湖沼の温度変化を長期間モニターすることは、自然環境保全の基礎資料として非常に重要である。

今回対象とした加茂湖が完全な淡水湖であれば、温度差のない期間に湖水密度が一樣になって、湖底と表層間の湖水の上下循環が起こることになるが、加茂湖の場合海水の流入があって単純ではない。事例として、1998年8月4日加茂湖の流域は24時間で約200mmの集中豪雨に見舞われた。湖に大量の泥水が流れ込み、表層1.5mにとどまり、透明度が0.3m～0.9mとなった。その翌日には、深度7m以深の溶存酸素が10%以下となった。たった24時間での変化である。これほどまでに光合成による酸素生産量は大きい。その後、泥水といっしょに流れ込んだ栄養塩類のため、表層を中心に、1998年9月～1998年10月にかけてプランクトンが大発生し、死滅プランクトンの分解による酸素消費のため酸素不足域が出現した。溶存酸素量が、30～10%以下の場所と牡蠣の死滅場所がほぼ一致していたとの報告がある。今回の得られたデータか

ら統計手法の重回帰分析結果で、溶存酸素と壊死の関係には正の相関があることを裏づけている。

従来の多くて月に2回、少ない時は月1回の水質調査では1日で変化が大きくなることがある加茂湖では実情を正確に把握することはできない。いままで加茂湖では自記連続水温測定は行われていなかった。

よって、今回の初めて加茂湖において水温を自記連続記録しそれを通信できるシステムを導入した。システムは既存のものと特別新しい機能があるわけではないが、従来のシステムをそのまま導入することが困難である。そこで加茂湖独自のシステムを開発し、その信頼性・有効性を検証し、それらが数年に渡り故障やトラブルでない状態で長期間使用継続することが求められる。

#### 4.1 ブイの評価

今回開発したブイは大きさの点においては小型・軽量の要求を満たすとともに外観もスマートにできていた。またブイ本体は3年間の風雪や塩害等の耐食性にも問題がなく、漁船等の衝突によるトラブルや漏水などは見られなかった。また潮の干満で多少は海面上の高さは変動したが、電池交換においても船上から作業できる高さを常に維持することができた。このことから、ブイ本体は数年の長期計測使用に耐えられることが実証された。

#### 4.2 システム評価

本システムは自記連続水温記録においては設定した1時間間隔での記録を100%達成することができた。しかし、24時間インターバルによる記録データの送信においては、95%の達成率であった。送信においては特定地点において、未送信になったが、記録データはその後の通信に追加されて送信されるので記録の損失はなかった。

リアルタイムでモニターするには未送信を解決しなければならだが、その為には、未送信の原因を究明しなければならない。考えられる原因は波浪による障害であるがそのメカニズムが不明である。電源については、記録用電池は3年以上交換せずに済んだ。また送信用バッテリーは1年目には3カ月で交換したが、2年以降は6カ月の交換で十分であった。将来的に送信用のバッテリーを太陽電池で代用できれば、バッテリー交換が必要なくなり、無人でのシステム運用が可能になる。

### 4.3 グラフ

Web ページに掲載されているグラフは 4 地点の月ごとの水温変化，年間水温グラフと 3D 疑似カラーグラフの 3 種類をアップロードした．表層と中層と気温の月内変化を 1 月終了後に数日で把握できる．このグラフから 3 年間と通して各地点とも夏場に表層が 30℃を超えているので，赤潮発生との関係を立証できた．

### 4.4 記録データ

3 年間の長期にわたり欠損なく，水温データを収集することができた．記録には問題がないが，送信については未送信が特定の地点に集中している．リアルタイムに記録を得るためには，アンテナの性能か気象条件によるものなのかの原因を解明しなければならない．

### 4.5 データ分析

水温データ記録を開始した年に赤潮が発生し牡蠣が激減したことを受けて，新潟県は急遽その年から赤潮モニタリング調査（ヘテロカプサ密度）を開始した．よって加茂湖自記連続記録した水温データと新潟県の調査データを利用して，目的変数を赤潮と溶存酸素とし説明変数を水温と塩分として重回帰分析を行った．そこでの結果を重回帰式で示すことができたことは，今までの科学的根拠のない現象の説明を補うもので意義がある．

### 4.6 まとめ

加茂湖ではいままで，定期歴な船舶による移動水質計測を行っているが，それとともに，今回の自記連続水温測定システムの 3 年以上の運用実績を踏まえて，車の両輪のように，併用することで環境モニタリングの成果を向上させることができる．

## 第5章 結論

近年の湖沼環境の悪化を防止するために、さまざまなモニタリングの必要性が叫ばれている。今回、佐渡加茂湖（汽水湖）においても赤潮等による養殖牡蠣の壊死が起こり、原因究明と牡蠣生産量の回復が早急に求められている。

現在、加茂湖では定期的に月 1～2 回の船舶により複数地点において水質の鉛直分布を測定することが行われている。しかしそのデータだけでは牡蠣壊死の原因を究明できないでいる。そこで今まで、加茂湖では行われていない自記連続温度測定を実現することで問題の解決をはかる目的で、独自の自記連続水温計測システムを開発した。

また、今回の計測で表層水温・中層水温・気温 3 つを折れ線グラフで視覚化することができた。またこの結果を Web ページで広く一般に公開することができた。

今後は他の水質項目への応用等が期待される。以上の結果から、汽水湖における水温計測のためのセンサネットワーク構築を具体的に実現し、その結果、計測データの効果的な連続提示方法が提案された。限定されたデータではあるが、水温連続計測下における牡蠣の壊死と赤潮の関係並びに溶存酸素の関係を分析した。その結果、牡蠣の壊死は赤潮よりも溶存酸素量が深く関わっていることが示された。冒頭でも述べた通り、湖沼における環境調査には更なる計測が必要と考える。このためオフラインでのワイパー式酸素センサの留置実験を短期間ではあるが実施し、連続測定動作の確認を行っている。最初の溶存酸素測定結果とオフライン使用したでの溶存酸素系については付録 B に示す。

今後は、溶存酸素の計測結果と水温の関係を求めることにより、逆に水温から溶存酸素を推定できれば、当該分野の発展につながるものと考えている。

加茂湖の 4 地点の水温を深さ方向に 2 点ずつ連続計測するセンサネットワークを構築し、水温データグラフにして Web 公開することができた。また、計測装置のデータ保存と送信機能の信頼性を確認することができた。具体的には、以下の動作を確認した。

- ① 独自ブイの開発により、3年間の連続記録、通信の安定性、バッテリー持続時間・耐候性等を確認。
- ② 順次記録された水温データを通信カードにより Eメール送信する機能の信頼性。
- ③ 水温データの水温分布図を作成し可視化する。
- ④ 牡蠣の壊死は赤潮よりも溶存酸素量が深く関わっていることが示された。

今回の環境水質保全は図5.1のようなフローチャートで行われるのが理想であると考えられる。その一番基礎になる水質調査データを今回のシステムを導入することで充実した基礎データを確立できる。今後、収集した基礎データを市民、行政、水産従事者、研究者が情報共有し、協力、協議を通してパートナーシップを構築していくことが加茂湖の環境改善、水質保全に役立つと期待している。

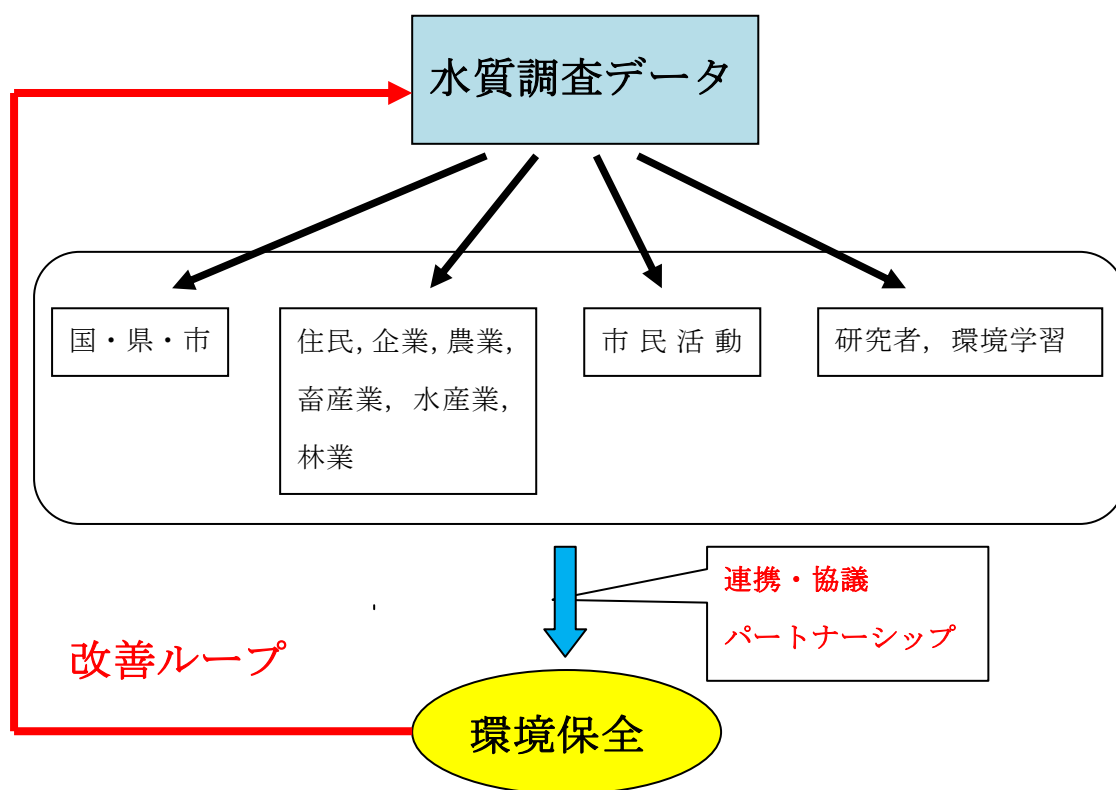


図 5.1 : 環境保全フローチャート

## 謝 辞

本稿をまとめるにあたり，多くの的確かつ有益な御助言，ご指導を頂いた新潟大学工学部の牧野秀夫教授ならびに前田義信准教授に心から感謝を申し上げます．また副査の山本正信教授，木竜徹教授に深く感謝致します．牧野教授の指導力と御鞭撻に支えられて，社会人入学で修士課程と博士課程を通じて，ここに学位論文を仕上げることができました．

仕事との両立において，職場において何かと御迷惑をおかけしましたが，日頃より私の研究活動にあたり，様々な面からご支援くださいました皆様にこの場をお借りして深く感謝いたします．

また，地元でご協力いただいた加茂湖漁業協同組合，(株)エスワールド，金井度量衡株式会社，松田造船所，及び新潟県水産海洋研究所の関係各位に深く感謝します．

最後に，単身赴任での生活になる修士・博士課程への進学に関して深い理解を示し，応援してくれた妻恵子に感謝いたします．

## 付録 A

### 水質調査項目説明

●COD とは ----- 化学的酸素消費量です。水のなかに酸化力の強い試薬を入れると、酸化されやすい物質（おもに有機物）が酸化されます。この水のなかの有機物が酸化するのに必要な試薬（過マンガン酸カリウムや重クロム酸カリウム）の量に換算して表すものです。COD は海域・湖沼水域で用いられています。

表 A1: COD の汚染のめやす

単位 (mg/L)

0	汚染のないきれいな水
1 以下	きれいな溪流, ヤマメ, イワナがすむ
1~2	雨水
2~5	少し汚染されている。 ただし生活排水や工場廃水の流入がない河川でも落ち葉や水草の分解で 1~5 程度になることもある
2~10	河川の下流の水
3 以下	サケ, アユがすめる。
5 以上	比較的汚染に強いコイ, フナがすめる。
10 以上	下水, 汚水

●窒素 -----水のなかに窒素分が過剰になると富栄養化といわれる状況になり、植物プランクトンの異常発生を引き起こす。生物の死骸（タンパク質、アミノ酸、尿素などの窒素分）や人間や家畜などの尿尿や生活排水、農薬や肥料などにふくまれる窒素が水のなかに入ることによって、窒素分は増えていきます。

水のなかに入った窒素の化合物は、腐敗菌によって分解されアンモニア（アンモニア性窒素。アンモニアの状態になった窒素の意味）になり、さらにアンモニアが酸化され亜硝酸性窒素（同じく、亜硝酸の状態になった窒素の意味）、さらに酸化されて硝酸性窒素になります。そこでこれらを称して窒素化合物とよんでいます。

水中の窒素のかたちのちがいは、水中の酸素の量によります。酸素がたくさん溶け込ん



でいる水のなかでは、酸素と結びついて亜硝酸イオンになっている割合がおおく、酸素の少ない汚れた水では、還元（酸化物から酸素をうばう作用）によって有機態窒素やアンモニウムイオンの形になっています。アンモニウムイオン、亜硝酸イオン、硝酸イオンをはかっていくとそれぞれの汚染の推移を知ることができる。

表 A.2: 硝酸性窒素と水の汚れのめやす

単位 (mg/L)

0.2~0.4 以下	雨水
0.2~1.0 以下	河川の上流の水
2~1.0	河川の下流の水

表 A.3: アンモニア性窒素と水の汚れのめやす

単位 (mg/L)

0.05	河川の上流の水, 湧水
0.1~0.4	雨水
0.5~5	河川の下流の水
5 以上	下水, 汚水

●リン酸イオン-----リンは窒素と同様、水を富栄養化する植物の栄養素として知られていますが、水のなかではリン酸イオン ( $\text{PO}_4^{3-}$ )、あるいは水のなかの有機物と結合して有機リンの形で存在しています。

リンの供給源は、自然界では動物や植物の死骸が分解してできるもの、人工的なものでは、リンが含まれている外資系の合成洗剤やボディーシャンプーなどの洗浄剤、台所などの生活排水、科学肥料や農薬によるもの、人間や家畜の尿尿などがあります。リン酸リンでデータをとります。

表 A.4: リン酸性リンと水の汚れのめやす

単位 (mg/L)

0.05 以下	雨水
0.05 以下	河川の上流の水
0.1~1.0	河川の下流の水

●陽イオン系界面活性剤 (MBAS)

水道法の基準は、0.2mg/L 以下

\*0.5mg/L 以上になると川の水が泡立つといわれています。

\*陽イオン系界面活性剤を代表する LAS (ラス) では、5 mg/L でアユの卵のふ化率が低下したり、奇形が生まれます。アユの急性毒性は5 mg/L とされています。

(「だれでもできる水のしらべかた」渡辺昌子, 合同出版)

●環境基準と類型

環境基準には「健康の保護に関する基準」と「生活環境の保全に関する基準」の2種類がある。後者の基準は河川、湖沼、海域ごとに決められているが、湖沼では、その水の使用目的によって類型が異なり、水道1級ではAA、水道2,3級ではA、水道に使わない場合には類型Bである。

●DO ----- 溶存酸素量のこと。水中に溶解している酸素量を表す。有機物を多量に含む汚れた水では、有機物の分解に酸素が消費されて水中の酸素量が減少する。過度に富栄養化した湖沼の湖底では酸欠水が生じやすい。

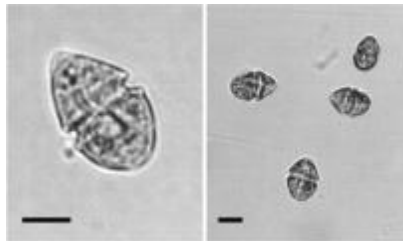
●塩分濃度 (単位: ppt, 記号: ‰)

パーミル (ppt) とは千分率のことで、%濃度を10倍した値である。普通海水は33~34 ppt くらいで淡水は0ppt である。

●赤潮 ----- 浮遊生物の爆発的な増殖に伴い、直接ないし、間接に生じる現象。本来は漁業者の用語であって、厳密に定義されたものではない。発生水面は変色することが多い。厄水・苦潮・青潮・水の華 (淡水) も本質的には同一現象である。構成種は多岐にわたるが、鞭毛虫類・珪藻類が優占種であることが多い。発生中における浮遊生物の密度は、一般に $10^2 \sim 10^6$  cell/ml 程度である。赤潮はときに鰓を閉塞することなど機械的障害を与えること、有機物質が分泌されること (とくに大被害を与える *Gymnodinium*, *Olisthodiscus* など)、などがあげられる。発生機構の詳細はまだ明らかではないが、水の停滞・富栄養化・日射量の増大・水温の上昇などの要因の複合的な作用が考えられている。(岩波「生物学辞典」第2版)

●ヘテロカプサ・サーキュラカーマ

1988 年以降に突如として日本沿岸で出現するようになった新型赤潮生物。マガキやアサリなどの貝類，特に二枚貝に特異的に作用その生化学的性状は不明な点も多く，現在も研究が継続されている。三重県英虞湾と広島県広島湾では，どちらの海域でも海底での栄養塩の蓄積，その後の台風通過などに伴う海域擾乱と上層への栄養塩供給，さらに日射による水温上昇が深く関与していることが明らかとなった。1 年で水温が最も高くなる夏から秋（最適水温 30℃）にかけて出現。冬場は休眠期間を有する一時性（テンポラリー）シフトを形成。ただし 10℃以下では完全に死滅。



渦鞭毛藻 *Heterocapsa circularisquama* の顕微鏡写真（バーは10  $\mu$  m）

松山幸彦（水産総合研究センター 瀬戸内海区水産研究所）

●IDW (Inverse Distance Weighted) (Spatial Analyst)

限られたサンプルデータから，より広範囲な空間の状況を把握するための技法代表的な手法としては，ティーセン・ポリゴン，逆距離加重 (Inverse Distance Weighted: IDW)，スプライン関数法，クリギング法がある。IDW は距離に重みをつけた平均値を用いて値を予測。

## 付録B

今回は、2010年8月7日～23日間の101④で溶存酸素の1時間間隔の連続記録を実験しました。その時は隔膜の不具合で異常値が発生し、測定ができなくなる事態が発生したため、溶存酸素の測定は中止した(図B.1)。

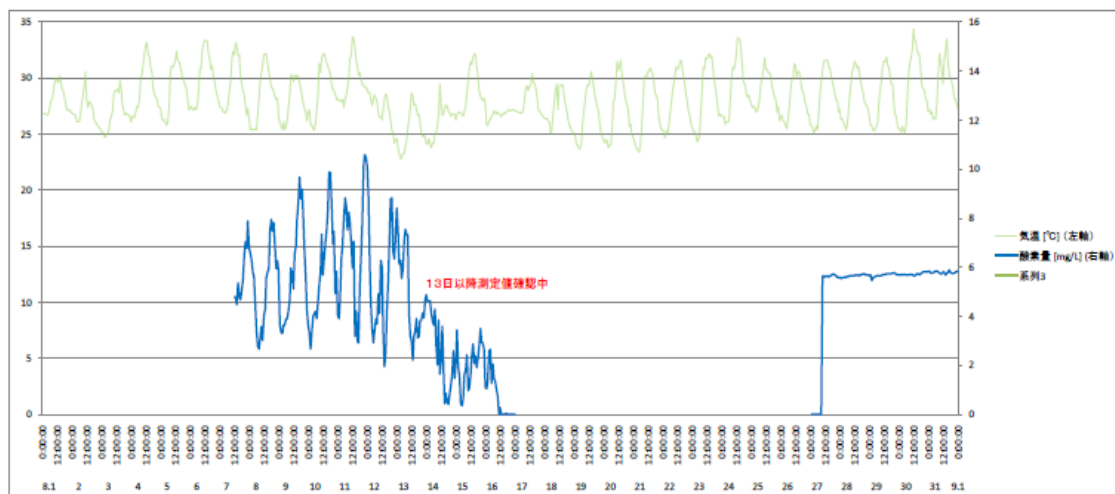


図 B.1:溶存酸素グラフ

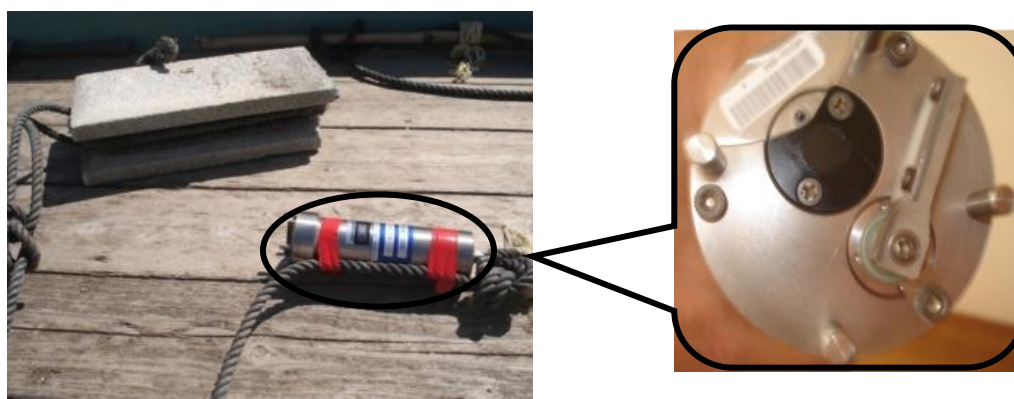


図 B.2 : 溶存酸素計

その後にワイパー式溶存酸素計 (JFE アドバンテック社製, RINKO W (AROW-USB)) を使用して5日間1時間の溶存酸素の測定ができることを確認した (図B.2)。

## 付録 C

### 本研究に関する論文・口頭発表

#### 論文

1. 尾瀨照一, 菅原新一, 前田義信, 牧野秀夫, ” 連続水温データ収集ネットワーク構築とその評価－汽水湖（新潟県加茂湖）における実験的検証－”, 電気学会論文誌 C, Vol. 134 No. 3 (2014) 掲載予定

#### 国際学会

- 1 . T.Ogata,S.Sugawara,H.Makino , ” Experimental results of water temperature measurement system for lakes and marshes using sensor network",Proceedings of KAGIS Autumn Conference 2011 The 13<sup>th</sup> KOREA & JAPAN International Symposium on GIS, pp194-197, 2011

#### 掲載誌

1. 尾瀨照一, 牧野秀夫, ” 湖沼水温分析センサネットワークを用いた GIS の基礎研究”, 地理情報システム学会講演論文集, Vol.16, pp123-126, 2007
1. 尾瀨照一, 牧野秀夫, ” センサネットワークを前提とした湖沼水温分布の IDW による可視化”, 地理情報システム学会講演論文集, Vol.18, pp339-402, 2009

## 関連図書

- [1] Okamoto : “Time variation of water Temperature in Lake Biwa-ko(I)-Abrupt change of temperature at the anchored station”, *Limnology*, No.29, pp.139–147 (1968) (in Japanese)  
岡本巖: “びわ湖における水温の変動(I)-碇置観測点における水温の急変” *陸水学雑誌*, No .29, pp.139–147 (1968)
- [2] T. Yamane, and Y. Tanaka: “Relationship between stationary trap net catch and water Temperature in Taiji Bay , Southern part of Kumano Nada ”, *Memoirs of the Faculty of Agriculture of Kinki University*. No.32 , p.37- 43, (1999. ) (in Japanese)  
山根猛, 田中裕志: “熊野灘南部太地湾定置網漁場での漁獲量変動と水温の関係について,” *近畿大学農学部紀要*, No.32, pp.37–43 (1999)
- [3] K, Abe, M, Wada: “ A Study of Forecasting the Seawater Temperature in Japan Scallop Aquaculture Sea Area by Using Ubiquitous Buoy System ”, *Fisheries Engineering*, vol.47, No.1, pp.43-46 (2010) (in Japanese)  
阿部圭介, 和田雅昭 “小型水温観測ブイを用い北海道西部海沿岸のホタテ養殖漁場における水温予測” *水産工学* vol.47, No.1, pp.43-46 (2010)
- [4] S. Endoh, Y. Okamura, K. Fujita, S. Kawakami, J. Tanaka, and S. Kanazawa : ”Long-term hydrometeorological conditions of Lake Biwa measured by a telemeter buoy system ”, *Limnology*, vol.47, No.1, pp.43-46 (2010), (in Japanese)  
遠藤秀一, 奥村康昭, 藤田浩介, 河上伸之輔, 田中順治, 金沢晴子: “テレメータブイによるびわ湖の気象・流況・水質の連続観測,” *陸水学雑誌*, vol.71, pp.255–267 (2010)
- [5] C. Okita : “Prevention of water pollution in the Lake Kamo Sado is. Niigata”, *Ochanomizu University webLibrary-Institutional Repository*, vol.43, pp.75–80

(2002) (in Japanese)

沖田ちづる, 佐渡巡礼報告:“加茂湖における自然環境保全,” お茶の水地理, vol.43,  
pp.75–80 (2002)

[6] 北原 茂, “有害赤潮対策について“, 「漁連だより」長崎県総合水産試験場, (2012)

[7] M. Wada, K. Hatanaka, M. Toda, Future University-Hakodate, and Tokyo  
University of Agriculture : “Evaluation of small ocean observation buoy in scallop  
cultivation sea area”, IPSJ SIG Technical Report (2006) (in Japanese)

和田雅昭, 畑中勝守, 戸田真志, 公立ほこだて未来大学, 東京農業大学 “ホタテ養殖  
海域における小型海洋観測ブイの実用性評価”, IPSJ SIG Technical Report, (2006)