

## 第 2 章 湖沼の調査技術

### 2.1 調査技術の組み立て方のポイント

湖沼の水理・水質現象を把握するための調査技術（計測技術、数値シミュレーション、室内実験等）は湖沼管理の中で最も重要であり、その活用のポイントを以下に示す。

- ◆湖沼を管理していく場合、ある現象のメカニズムの解明だけでなく、別の現象解明の糸口になったり、改善施策の仕組みの理解等にも繋がるように調査技術を活用することが重要である。
- ◆現場計測は、解明したい現象の時間スケールや空間スケールを想定し、定期計測、連続計測、集中計測を組み合わせ、効率的な計測を行う。
- ◆現場計測が難しい事象については、仮説に基づいた室内実験等が効率的である。
- ◆計測、室内実験等は数値シミュレーションと相互補完的に活用する。

費用、調査時期（工期）、計測機材、調査人員など様々な制約条件下で、効率的な計測計画の策定に苦心する場合が多い。

第 6 章に示す各湖沼では、研究者が試行錯誤で計測計画を策定し、失敗や改良を重ねて今日の調査研究成果が得られている。

第 2 章の後半にはそうした研究者の工夫やアイデアの一部を紹介している。

集中計測などでは、短期間に広範囲にわたって現場計測を実施するが、こうした場合には、安価な計測機材（水温計や浮子など）を多量に投入するなどのアイデアも参考になる。

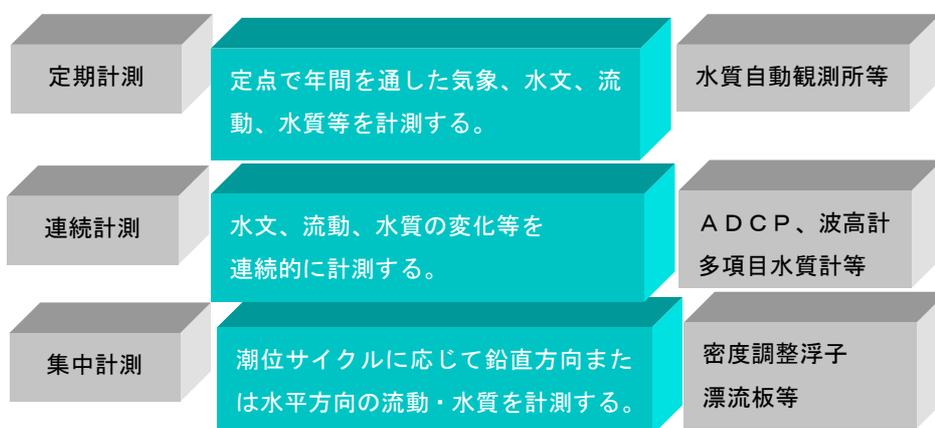


図 2.1.1 計測技術の組み立て方のイメージ（一例）

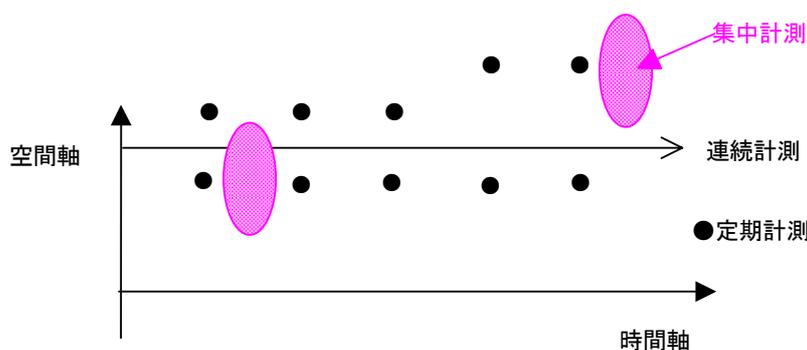


図 2.1.2 現場計測（定期、連続、集中）のイメージ図

## 2.2 計測技術の活用

### 2.2.1 基礎調査

現地計測計画を立案する場合、費用、調査時期、計測機材、調査人員など様々な制約条件下で、効率的な計測方法を見いだすため、以下の基礎調査を行う。

- (1)対象水域の地形特性の把握
- (2)既往調査研究成果や知見の把握
- (3)常時計測データの有無や利用可能性の把握
- (4)水質データの有無や利用可能性の把握
- (5)気象データの有無や利用可能性の把握
- (6)計測位置情報の入手方法の検討

#### (1)対象水域の地形特性の把握

計測目的や対象範囲に応じて市販されている地形図、海図、湖沼図等や河川管理者が保管している測量図（平面図、横断図、縦断図等）や測量データを収集し、対象水域の地形特性を把握する。

#### (2)既往調査研究成果や知見の把握

流動に関する既往の調査研究成果を収集し、現地計測手法、計測結果、課題、考察などを読むことによって、これから企画立案する計測方法の参考になることが少なくない。

先駆者たちの苦勞、教訓、アイデア等を活用することが、効率的な計測方法立案の早道である。

#### (3)常時計測データの有無や利用可能性の把握

湖水位、潮位、流量（H～Q換算流量）等については、河川管理者等が常時計測しているデータを利用するのが効率的である。

河川管理者等に問い合わせて、近傍の常時計測データの有無や利用可能性を把握する。

#### (4)水質データの有無や利用可能性の把握

公共用水域では定期的に水質が計測されている場合が多く、これらのデータで水質に関する基礎的な特性を把握することが可能である。水域によっては、水温、濁度、D<sub>0</sub>、クロロフィルa、COD等の水質データを常時観測している場合があり、これらのデータを利用するのが効率的である。

河川管理者等に問い合わせて、常時計測データの有無や利用可能性を把握する。

#### (5)気象データの有無や利用可能性の把握

計測目的によっては気圧、気温、風向風速、日射量、蒸発量等の気象データが必要となる場合があり、近傍の気象観測所の有無、観測データの状況や利用可能性を把握する必要がある。

近傍に適当な気象観測所がない場合や利用できる気象データがない場合には、流動に関する現地計測時に合わせて気象計測も実施する必要がある。

#### (6)計測位置情報の入手方法の検討

現地計測の位置を確認することも重要であり、計測位置情報の入手方法を検討しておく。

広大な水域では、計測位置を正確に把握するため、GPS（Global Positioning System：全

## 2.2 計測技術の活用

球測位システム) を利用するのが効率的である。

GPSの測位精度を向上させる方法の一つとしてDGPS(Differential GPS)があり、現在日本周辺は海上保安庁によるDGPS局が整備されており、小笠原諸島を除く全国でDGPSが利用可能となっており、このDGPSを利用したカーナビが普及している。

### 2.2.2 現地計測の心構え

現地計測は室内実験と違って自然条件まかせのところがあり、限られた時間、人員、機器、費用などの制約条件下で、目的を果たすためには、コツや技といったノーハウを活かすことが大切である。また、河川管理者も常時計測データの利用を考えた湖沼管理が求められている。

#### (1) 相関性の追究

世の中には簡単に測れない現象がたくさんあって、知りたいことをそのまま測れる場合はほとんどないと考えた方がよい。

したがって、現地計測を企画する場合、「測れること」と「知りたいこと」を如何に結びつけるかに知恵を絞らねばならない。

たとえば、寒暖計は気温を直接計測するのではなく、気温の変化と水銀の体積の変化には高い「相関」があることを利用し、水銀の体積変化から気温を推計しているのであり、この例からもわかるように「相関性」の追究が計測の基本である。

普段から（日常の湖沼管理の中で）湖沼をとりまく様々な事象の相関性を調べておけば、現地計測の可能性がさらに広がるのである。

#### (2) オンサイト計測が基本

湖沼などの水環境を計測する場合、採取した検体を実験室などに持ち帰って分析装置等で計測する方法（オフサイト計測）と水圧、光、音波などの情報を電気信号に変換して計測する方法（オンサイト計測）に大別できる。

オフサイト計測の場合、計測結果を見て、次の日にやり直そうと思っても、現地の現象は変化している場合もあり、せっかくのチャンスを逃がすこともある。

一方、オンサイト計測では、たとえば、水温を深さ方向に順次計測する場合、最初は1m間隔で計測を開始し、ある深度で計測データが急変した場合には、その付近では計測間隔を小さくして計測をやり直すことができる。

湖沼の水理・水質現象のように時間的に変動する自然現象を観察する場合には、できる限りオンサイト計測手法を適用したほうが良く、前述した「相関性の追究」においてもオフサイト計測をオンサイト計測に置き換えるような知恵や工夫が必要である。

#### (3) 水域特性と目的に応じた計測の工夫

湖沼の水理・水質現象は、時間的・空間的に変動し、また、様々な要因が絡み合って現象全体を構成している場合が多い。それゆえ、その全貌を詳細に把握するには途方もない労力と時間と費用がかかる。

そのため、調査対象水域の主な水理・水質特性と目的（知りたいこと）に応じて、連続計測と集中計測を組合せるのが良い。

このため、流入河川、流入河川の河口部周辺、湖内、流出河川の流入部、流出河川や海などでは、現象の特性や目的によって様々な計測手法（組合せ方法）が考えられる。

### (4) 計測機器を使いこなす工夫

昔は、良い計測をするには研究者自身が計測機器を開発しなければならなかったが、近年は、使い勝手の良い機器が市販されるようになり、研究者の負担はかなり軽減されてきた。

しかしながら、使い勝手の良い機器でも、実際に現地で使用すると思いもかけない事態に遭遇し、研究者自身が現地の状況に応じて計測機器を使いこなす工夫が依然として必要となる場合が多く、後述するこのアイデアが案外貴重である。

こうしたアイデアが新しい計測機器を生み出す糸口にも繋がると考えられる。

### (5) センサーの応答特性の把握

塩分やD Oの鉛直分布を現地計測（センサー計測）する場合、センサーの計測値が安定するのにかなりの秒数を要することや湖面から湖底方向に計測する場合と湖底から湖面方向に計測する場合とで計測値が異なることが知られている。

センサーを利用してD Oや塩分状況を計測する場合には、使用するセンサーの応答性能を把握した上で、計測時間（静止計測の秒数）を選定する必要がある。

なお、広範囲の水域を短時間で計測する場合、センサーの時間応答特性を考慮したデータ処理プログラムを利用し、センサーを一定速度で連続的に上下させながら鉛直分布を計測する技術も開発されている（高速計測）。

### (6) 計測データの照合

かなりの労力と費用を要する集中計測データは、知りたいこと（ある現象）のある側面を捉えているにすぎず、そのデータから普遍的な理解や新たな知見を得るには、同時に計測する連続計測データとの関連性を考察することが必要不可欠である。

連続計測データと集中計測データを有機的に組合せて照合し、考察を加えて現象の全体像を探るのである。

### (7) 湖沼管理のための現地計測（常時計測）

湖沼の流動現象を説明したり、機構を解明する上でも、基本的な情報である「流入量」、「流出量」、「湖水位」などを的確に把握する必要があり、湖沼管理の一環として常時計測（水位、流向流速等の連続計測とオンライン管理）する必要がある。

これらの基本的な情報は、シミュレーションモデルの境界条件としても重要なデータであり、水準基標（水位計の零点高の根拠となる基準標）や計測精度の維持、データ欠測の防止など日常の維持管理も重要である。

また、湖水位などは湖心部だけでなく、湖水位の変動特性を的確に把握できるように複数以上で常時計測を行うことが重要である。

### (8) 常時計測データのチェック（補正・復元）

常時計測データは、常に何がしかの計測誤差を含み、また、計測機器の異常作動や欠測もあるため、種々のデータ間の関係を解析し、計測データの妥当性をチェックし、必要に応じて補正や復元を心がけることが大切である。

## ワンポイントアドバイス

GPS : Global Positioning System

地球を周回する 24 個の人工衛星の内、3 個の衛星情報を利用して GPS レシーバーが緯度経度、高度、点速度、時刻をリアルタイムで計測する。

DGPS : Differential Global Positioning System

GPS の測位精度の向上を図るために導入されたもので、各人工衛星と各受信局の信号情報から誤差情報を差分 (Difference) として除くという意味で DGPS と呼ばれている。

## コラム &lt; 学生達のグッド・アイデア &gt; 湖底の底層流れを計測する装置

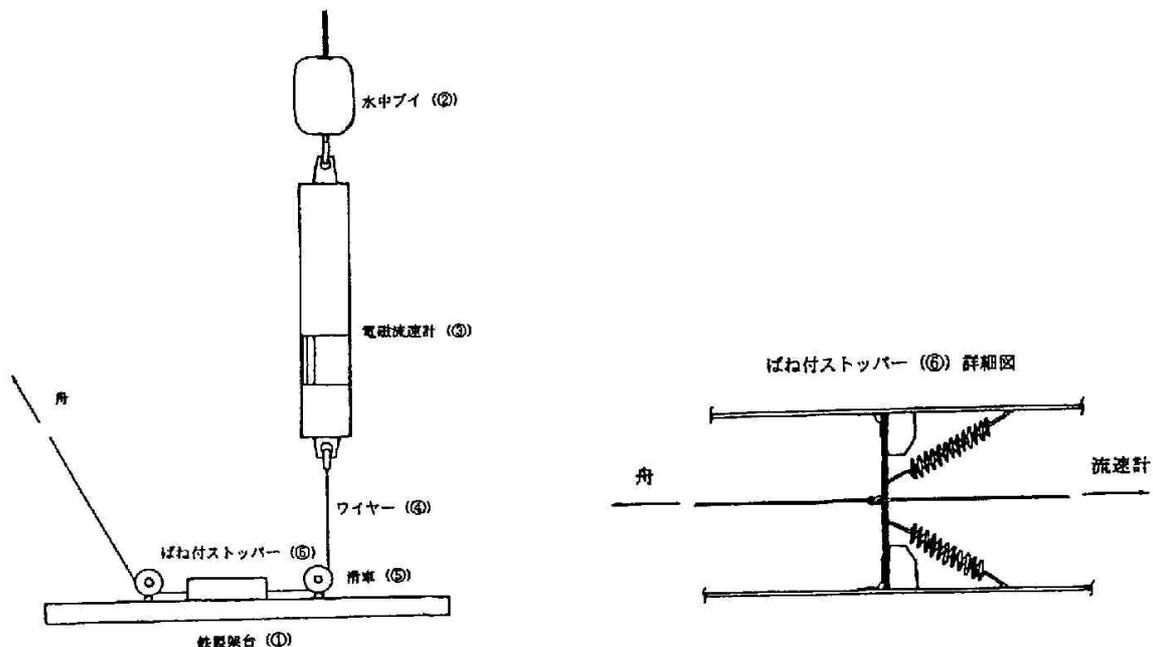
青森県の小川原湖という汽水湖では、高瀬川を遡上した塩水が、湖内斜面上で傾斜ブルームを形成する。この傾斜ブルームは、水深十数mの湖底斜面に沿って、厚さ 1m 程度、流速数十cmで流れる。当初は電磁流速計を船から釣り下げて流速分布を計測しようとしたが、流速が比較的大きいので計測器が下流側に引っ張られ、測定器の位置と姿勢が不安定でデータがばらついた。

ADCP を使うことも考えたが、船に取り付けて下向きに発信する場合は、1 m 近いブラインド・ゾーンが湖底付近に生じるため、計測できない。また、ADCP を湖底に設置すると、水流厚さが 1 m 程度しかないので、送受波器が水流を乱して計測できない。

そこで学生達が下図に示す仕掛けを考え出し、傾斜ブルームの計測が可能となった。

湖底に設置した鉄製の架台(①)から水中ブイ(②)を付けた電磁流速計(③)を直立させる。流速計の下端に取り付けたワイヤー(④)を架台の滑車(⑤)を経由して上部に引っ張ると、流速計は下方に移動する。ワイヤーには等間隔で結び目が作られており、片側のみに変位するバネ付きストッパー(⑥)に引っかかるようにしてある。

予めワイヤーを 3 m ほど伸ばしてから、架台を湖底に降ろし、ワイヤーを船上から引くことにより流速計を徐々に下降させる。測定予定の深度でワイヤを緩めるとストッパーが作用して流速計は静止する。なお、流速計には圧力センサーが付いているので、深度を確認できる。



## 2.2.3 流動現象と計測方法

湖沼の流動現象を把握するため、その目的や調査水域に応じて各種の計測機器を使い分けたり、組み合わせて使用する。また、前述した「相関性」を追究した計測機器を使う。

表 2.2.1 流動現象と計測技術の概要（案）

計測する流動現象	計測方法	計測機器など	備 考
流入河川等の流量	接触タイプ	電磁流速計ほか	水文観測業務規定
	非接触タイプ	超音波流速計	
湖水位	接触タイプ	水圧式水位計ほか	水文観測業務規定
	非接触タイプ	超音波水位計ほか	
流向流速分布	集中（移動）計測	船、A D C P	（汽水域の河道など）
	連続（河床）計測	A D C P	
	連続（河岸）計測	H - A D C P	
水温成層	集中（移動）計測	船、水温センサー	（倒立音響測深器）
	連続（定点）計測	ブイ、サミタチェン	
	音響トモグラフィ	I E S	
塩分成層	集中（移動）計測	船、魚群探知機	
		船、塩分センサー	
		船、C T D	
	連続（定点）計測	ブイ、塩分センサー	
表面静振	連続（定点）計測	水位計	
	連続（湖底）計測	A D C P	
内部静振や内部波	連続（定点）計測	ブイ、サミタチェン	
	連続（定点）計測	ブイ、塩分計チェン	
	集中（移動）計測	密度調整浮子ほか	（中海での実績有り）
密度流（淡水）	集中（移動）計測	船、水温センサー	
		船、濁度センサー	（濁りとの相関性）
		船、魚群探知機	（同上）
		船、A D C P	（同上）
	連続（河岸）計測	H - A D C P	（同上）
密度流（塩分）	集中（移動）計測	船、魚群探知機	
		船、塩分センサー	（A D C P併用）
	連続（定点）計測	ブイ、塩分計チェン	（H - A D C P併用）
		電磁流速計、塩分計	（湖底密度流）
湖流や吹送流	集中（移動）計測	浮子ほか	
	連続（定点）計測	電磁流向流速計	
	連続（湖底）計測	A D C P	
	音響トモグラフィ	I E S	（倒立音響測深器）
	リモセンシング技術	人工衛星データほか	（水温分布との相関）
波浪	接触タイプ	水圧式波高計ほか	河川砂防技術基準案・ 調査編
	非接触タイプ	超音波式波高計ほか	

注）計測位置データの入手は、D G P Sを活用する。

### (1) 流入河川等の流量計測方法

流量計測技術は、水文観測業務規定（平成 14 年改定）に基づき、実務担当者を対象としたマニュアル「水文観測 第 4 回改訂版（国土交通省水文研究会著）平成 14 年 9 月」が作成されているため、詳細な内容については同書を参照されたい。

流量計測技術には以下のような方式がある。

- 可搬式流速計方式
- 浮子方式（主に洪水時）
- 越流堰方式
- 水位変化換算方式（ダム貯水池の流入量の推計）
- 超音波流速計方式（非接触タイプ）
- 電磁流速計方式
- 水圧式水深流速計方式
- 流速プロファイラー（ADCP）方式

#### ワンポイントアドバイス

A D C P（Acoustic Doppler Current Profiler；ドップラー流速計）

水中に放射された超音波は、水中の浮遊物質などの散乱体によって反射されるが、その反射波の周波数の変化量を解析して散乱体の移動速度の分布を求める計測機材である。

水域の 3 次元流向流速の計測に広く利用されている。

### (2) 湖水位の計測方法

水位計測技術は、水文観測業務規定（平成 14 年改定）に基づき、実務担当者を対象としたマニュアル「水文観測 第 4 回改訂版（国土交通省水文研究会著）平成 14 年 9 月」が作成されているため、詳細な内容については同書を参照されたい。

水位計測技術には以下のような方式があり、いずれの場合においても、定期的な水準測量により、水準基標の標高を明らかにしておく必要がある。

#### 接触タイプ

- 水位標（量水標）式
- フロート式
- リードスイッチ式（フロート式の一つ）
- 気泡式
- 水圧式

#### 非接触タイプ

- 超音波式
- レーザー式

可搬型では水圧式が一般的に利用されている。

(3) 流向流速分布の計測方法

汽水湖と海をつなぐ川や連結湖をつなぐ川の複雑な流れ（往復流）を計測するために、目的に応じて ADCP を使い分ける。

集中計測

ADCP を船舷に固定し、川の横断方向に船を移動させながら横断方向の流向流速分布を計測する方法である。

計測する横断（測線）を変えて、縦断方向の流向流速分布を計測できるが、河床付近はブラインド・ゾーンとなり、計測できない欠点を有する。

連続計測

a. 河床（湖底）設置型

ADCP を計測する測線の流心付近の河床（湖底）に設置し、ビームを上向きに発射することによって流心付近の流向流速分布を計測する。

連続計測を行うため、複雑な往復流の時間変化を把握することができる。

b. 河岸設置型（新型）

ADCP を護岸や護岸付近に設置した杭（H鋼など）に横向きに（ビームを横断方向に発射するように）固定し、河川横断方向の流向流速分布を計測する（H-ADCP）。

出水時の流向流速分布や濁水の流出状況を把握することもできるというメリットがあり、流入河川の流入部や海への流入部などにおける流動や濁水の挙動を把握するために活用できる。

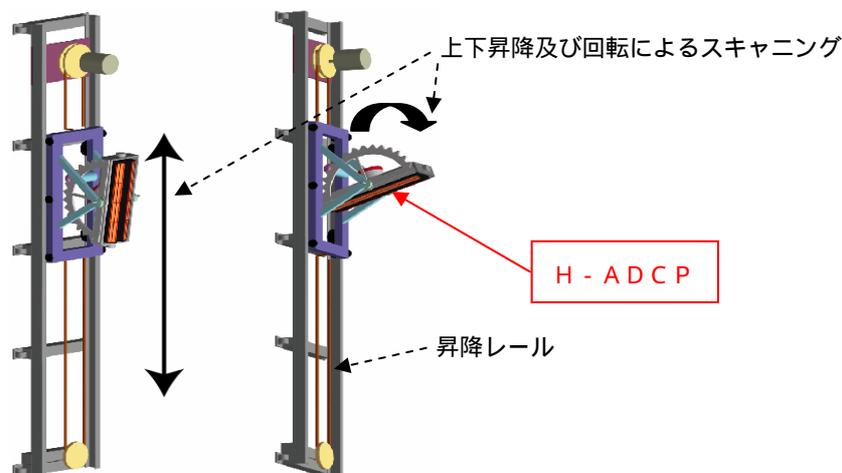


図 2.2.1 H-ADCP のシステム概要図

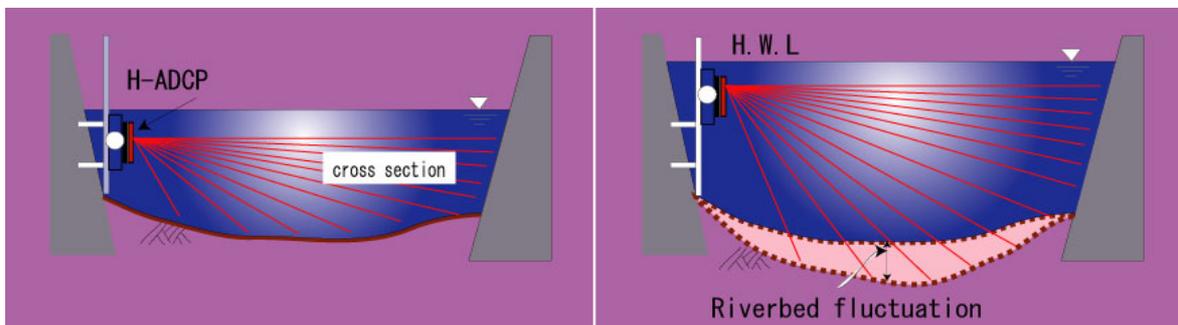


図 2.2.2 H-ADCP による平常時（左）と洪水時（右）の計測方法  
（出典：関西電力他「H-ADCP による断面流量観測システム」パンフレット）

ワンポイントアドバイス H-ADCP

Horizontal type of Acoustic Doppler Current Profilers

H-ADCPとは、水平方向に流速を計測するドップラー流速計(ADCP)の総称である。

琵琶湖における計測方法の工夫

南北湖間の交流現象の計測

南北湖間の交流現象

琵琶湖における基本的な流れは南に向かっており、表面静振・内部静振・吹送流・環流・密度流といった流れの中には逆流(北流)成分が存在しており、これにより南北湖間での交流現象が引き起こされている。逆流の影響により、汚濁の進んだ南湖水が北湖に流入することから、北湖への影響が懸念されている。

琵琶湖大橋における連続観測

国交省琵琶湖工事事務所では1975年8月より、両湖の境界に当たる琵琶湖大橋の橋脚にプロペラ流速計および水温計を設置し、3地点7箇所における流向・流速の連続観測を開始した。

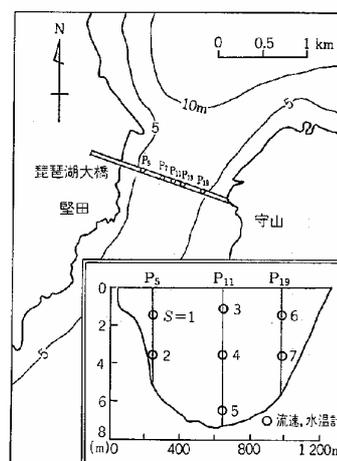
その後、プロペラ流速計に対する感度とゴミ付着の影響が問題化したため、1984年4月からは2成分電磁流速計に変更するとともに、調査地点を南湖から北湖への底層密度流の監視に配慮して4地点8箇所に変更した。

さらに、1995年からは、流向・流速の詳細把握のためドップラー流速計への機器変更を順次行い、現在では各設置地点の鉛直上方における水深別の流向・流速観測を10分間隔で連続的に行っている。

観測結果

これまでの観測により、順流・逆流の規模や発生時期などの知見を得るとともに、南湖で卓越する周期4時間の静振に伴う顕著な流速変動についても確認している。

1973~1983(プロペラ流速計)



1984~1994(電磁流速計)

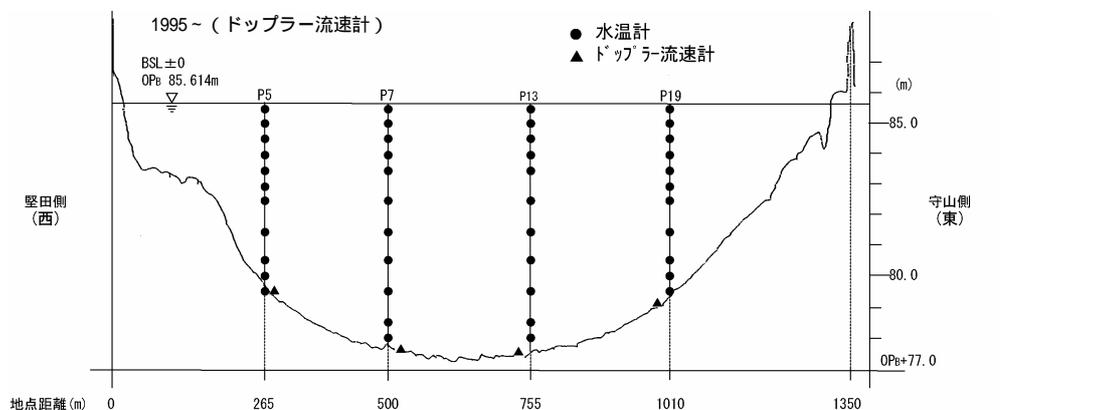
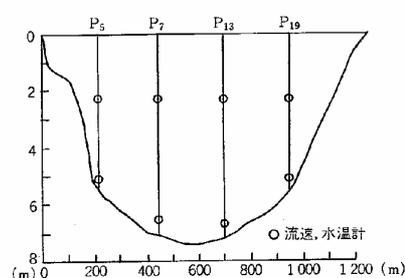


図 2.2.3 琵琶湖大橋における交流観測状況の推移

(出典：上中図：岩佐，1990「湖沼工学」、下図：「平成12年度琵琶湖南湖湖流特性検討業務報告書」より作成)

中海・宍道湖における計測技術の工夫

高塩分水塊の挙動と水質の変化の把握

調査技術の概要

大橋川を遡上する高塩分小塊の挙動や水質の変化を把握するため、H-ADCP(横断方向ドップラ一流向流速計)と多項目水質計を用いた水質自動観測システムを導入している。

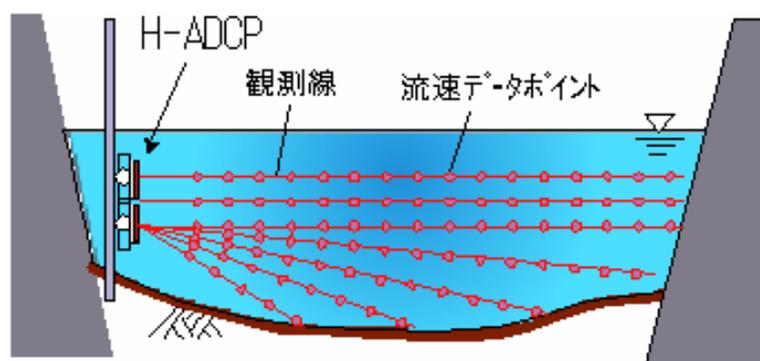


図 2.2.4 H-ADCP イメージ図



【ドップラー式流向流速計諸元】

観測項目	水位・流速・流向・流量
観測回数	15分/回(96回/日)
観測位置	水平方向:5.0mピッチ 鉛直方向:0.5mピッチ
計測範囲	±10m/s
機器精度	0.5cm/s

【水質計諸元】

観測項目	水温・塩分濃度・DO
観測回数	15分/回(96回/日)
観測位置	鉛直方向:0.5mピッチ
計測範囲 〔機器精度〕	水温:-5℃~50℃ [±0.2℃] 塩分:0~70psu [±1%] DO:0~200mg/l [±0.2mg/l(0~20mg/l)]

図 2.2.5 H-ADCP と多項目水質計の設置状況図

調査成果の概要

大橋川では平成 15 年 2 月から観測を開始しており、現在データを蓄積している。

## (4) 水温成層の計測方法

水温成層の計測方法は、集中計測（移動計測）と連続計測（定点計測）に大別できる。

移動計測とは、水温計（水温センサー）を利用して船上から任意の深度の水温を計測する方法で、船を移動させながら水温の空間分布を計測する。

一方、定点計測とは、ブイ等を利用して自記式水温計を数珠つなぎ（サーミスターチェーン）にして湖面付近から目的とする深度までの水温変化を長期間連続計測する。

自記式水温計は、任意の計測時間間隔を設定でき、電池の寿命やメモリー容量にも左右されるが、1時間の計測時間間隔の場合でも約1年間の連続計測が可能な機器もある。

サーミスターチェーンを利用すると、水温成層の季節変化だけでなく、出水時の鉛直混合現象や静振の様子を見ることができる。

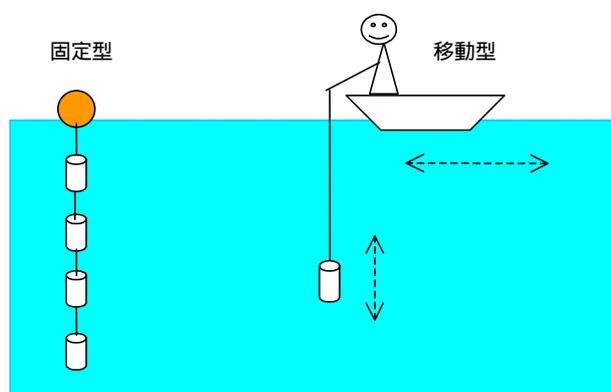


図 2.2.6 水温成層の計測方法のイメージ図

ワンポイントアドバイス 音響トモグラフィーによる3次元水温分布の計測も可能

水中の音波の伝搬速度は水温と圧力によって変化すること、また、時間的に変動するのは水温の鉛直分布である（圧力の時間変化は微量である）ことを利用し、音波の伝搬時間の時間変動から水温鉛直分布の時間変化や流れの時間変動が把握できる。瀬戸内海など海域で有効性が実証されている。音波を利用した海洋における水温や流速の二次元、三次元観測方法を音響トモグラフィー（tomography；断層写真撮影）という。

利用する計測機器は、IES（Inverted Echo Sounder；倒立音響測深器）と呼ばれ、海底から海面に音波を発信し、海面で反射した音波を受信し、水深で平均した音の伝搬速度を計測する装置である。

## (5) 塩分成層の計測方法

汽水湖の河口部あるいは湖内における塩分成層の計測には以下のような方法がある。

## 1) 魚群探知機を利用する方法

原理（相関性の追求）

魚群探知機（超音波探査機）の密度差が大きくなると反射強度が大きくなる性質を利用し、汽水湖の変密度境界面（淡塩水境界面）の挙動を映像で把握する方法で、周波数 107kHz が最も鮮明な映像を映し出すことができる。

魚群探知機では、プランクトン類の鉛直分布や底泥の厚さを計測することもできる。

その他の計測目的

DGPS 測位機能を内蔵した魚群探知機を利用することにより、計測位置と水深のデータが同時にえられるため、湖沼全域の状況、海水の入退状況や混合形態、洪水時に河川から流入する濁水の混合状況などを把握するのに有効である。

計測方法

観測船の船舷に魚群探知機のセンサー部を湖水中に 10cm 程度沈めて固定し、微速移動（5 ノット前後）しながら計測する。

計測データはノートパソコン等に取り込み、反射強度毎に色指定に変換し、逐次パソコン画面に映像化して表示するように制御プログラムを作成する。

留意点

- 適宜、塩分や濁度の鉛直分布や水深の実測結果と対比して映像の妥当性を検証する。
- 水面や湖底からの強い反射強度のみを抽出し、雑音を除去する。

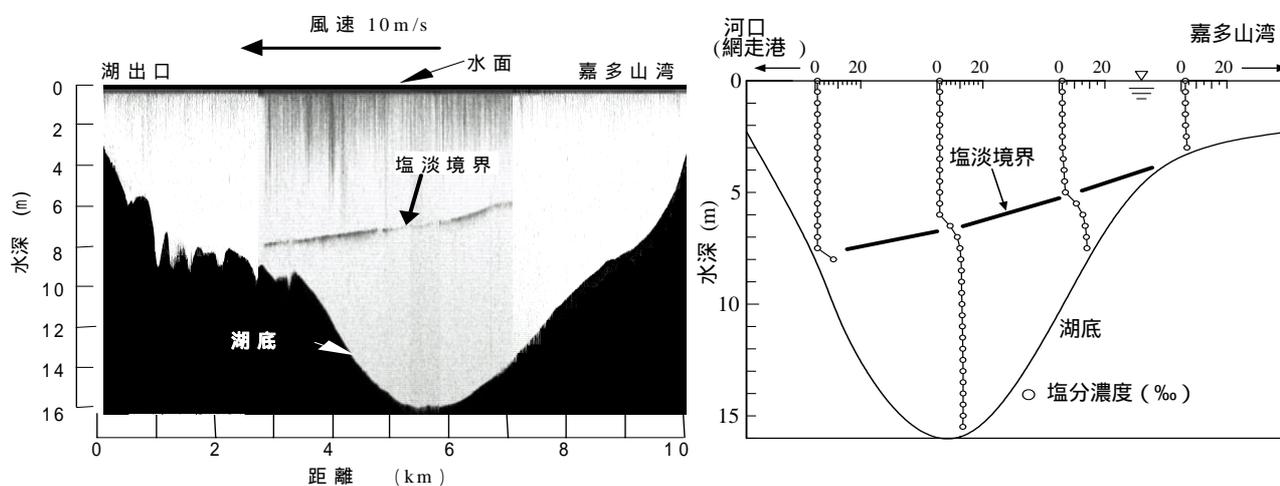


図 2.2.7 超音波映像（左）と塩分濃度の鉛直分布（右）の相関性  
（網走湖における青潮発生後の測定結果の一例）

## 網走湖における計測技術の工夫

## 調査技術の概要

塩水が網走湖の中に入ってくる状況を超音波で測ると境目が明確に把握できるだけでなく、測定結果図上で「もやもやしているもの」が植物性プランクトンの量と非常に相関性が高いことが判明し、超音波で植物プランクトンの相対的な濃度を計測できることを確認した。

魚群探知機の周波数は 50～200 kHz のものを使い分けることにより、境界を見極めることができる。ゴミが浮いているような場合は 50 kHz 程度、淡水と塩水の境界を確認する場合は 200 kHz 程度の高い周波数が望ましい。

## 調査結果の概要

塩水の網走湖への遡上形態には、塩水くさびに伴うものと強混合（上から下まで濃度が一定）の 2 種類あることが判明し、河口部の川底の突起で塩水の遡上が止まってしまう場合も確認した。

また、一旦網走湖に入った塩水の海への戻り方にも、底の塩水が連行されて出ていくタイプと吸い出されるタイプの 2 種類あることを確認した。

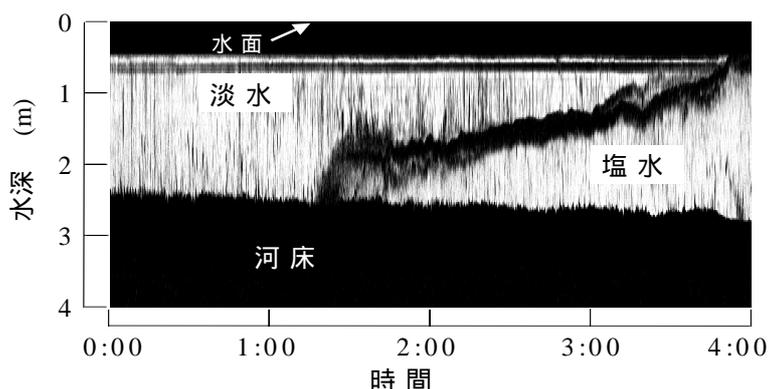


図 2.2.8 塩水楔先端部の超音波映像（網走川の河口から 2.0 km 付近。右側が下流）

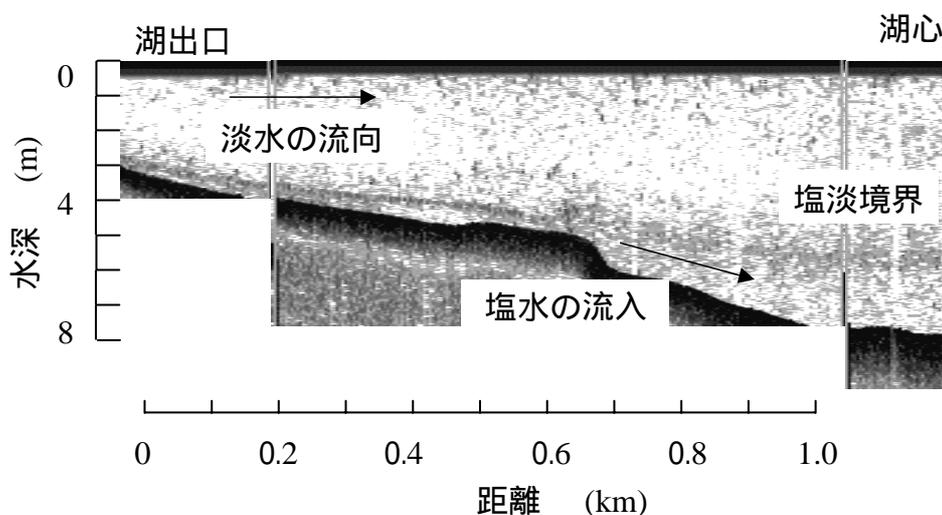


図 2.2.9 塩水遡上時の網走湖出口付近の超音波映像

## 2) 塩分計を利用する方法

計測方法は、集中計測（移動計測）と連続計測（定点計測）に大別できる。

## 集中計測

塩分計を利用して船上から任意の深度の塩分を計測する方法で、船を移動させながら塩分の空間分布を計測したり、ある水域の詳細な淡塩水界面の挙動を把握することができる。

多項目水質計（水温、濁度、クロロフィル a、塩分など）を利用する方法もある。

## 連続計測

ブイ等を利用して自記（自動記録）式塩分計を数珠つなぎにして湖面付近から目的とする深度までの塩分変化を長期間連続計測し、塩分成層の季節変化だけでなく、出水時の鉛直混合現象や静振の様子も計測できる。

## 留意点

- 自記式塩分計は、任意の計測時間間隔を設定でき、電池の寿命やメモリー容量にも左右されるが、1時間の計測時間間隔の場合でも約1年間の連続計測が可能な機器もある。
- 多項目水質計の場合、各センサーの応答特性に留意して、各計測深度における静止計測時間（秒数）を設定する。
- 水質項目あるいは計測機器によっては、値の大きな方から計測するのが良い場合もあり、センサーの応答特性と対象水域の状況に応じて、湖底からの計測あるいは湖面からの計測を選定する。

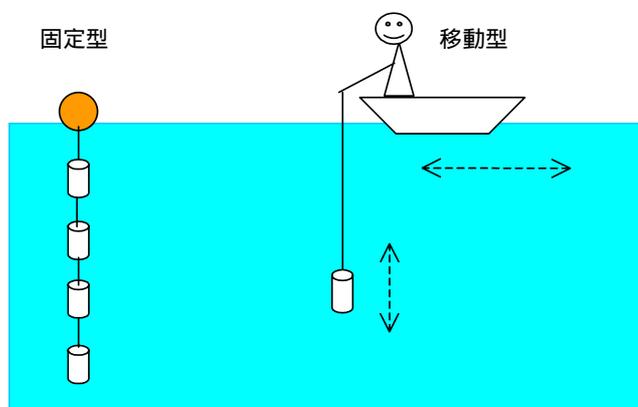


図 2.2.10 塩分成層の計測方法のイメージ図

## 網走湖における計測技術の工夫

## 調査技術の概要

網走湖の塩淡境界層水深変動状況を把握するため、表 2.2.3に示す青潮観測装置を開発している。

青潮観測装置の設置場所を図 2.2.11に、青潮観測装置と水温塩分センサーを写真 2.2.1に示す。

表 2.2.3 青潮観測装置の概要

調査地点	湖内3地点
測定項目	水温・塩分(水深0.5m~13mまで10cm毎の鉛直分布)、気温、風向風速
観測期間	5月から11月(結氷期は撤去)
測定間隔	1時間
機材	変換制御器、水中検出部、風向風速・気温計、電動ウインチを装備し、太陽電池による自動観測装置
適用性	塩淡境界層水深変動状況の把握を行い、観測データを蓄積することにより内部セイシュおよび風況等、湖内水理解析の基礎データとして活用している。

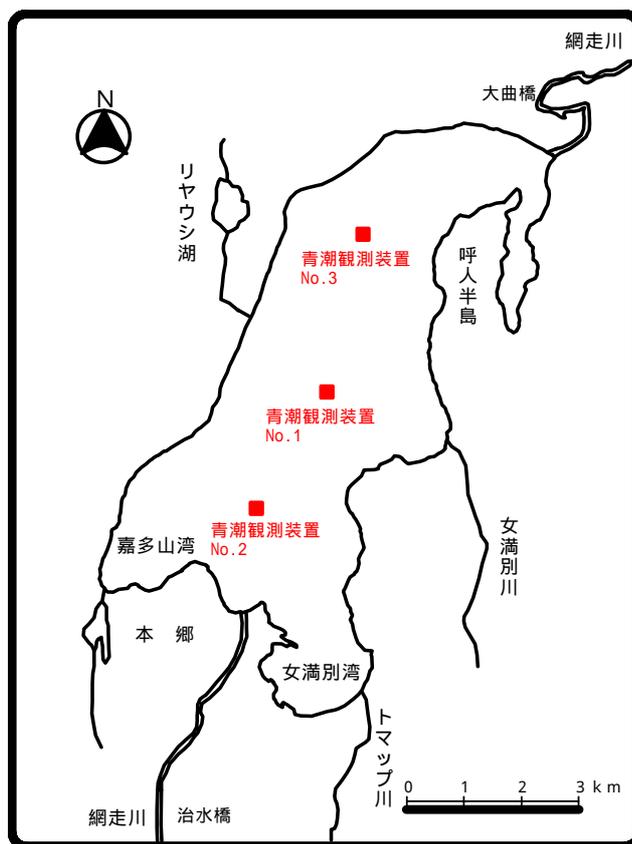


図 2.2.11 青潮観測装置の設置位置図

## 2.2 計測技術の活用



写真 2.2.1 水温塩分センサー(左)と青潮観測装置(右)

### 調査成果の概要

図 2.2.12及び図 2.2.13に示すように観測データを蓄積し、内部セイシュなど湖内水理解析の基礎データとして活用している。

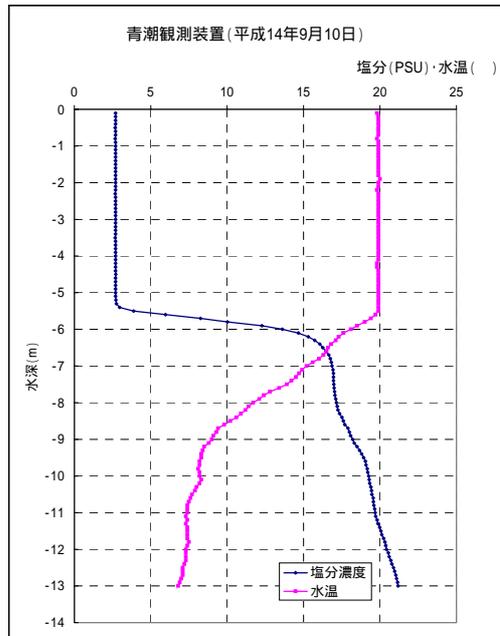


図 2.2.12 青潮観測装置(No.1 湖心)による測定結果例

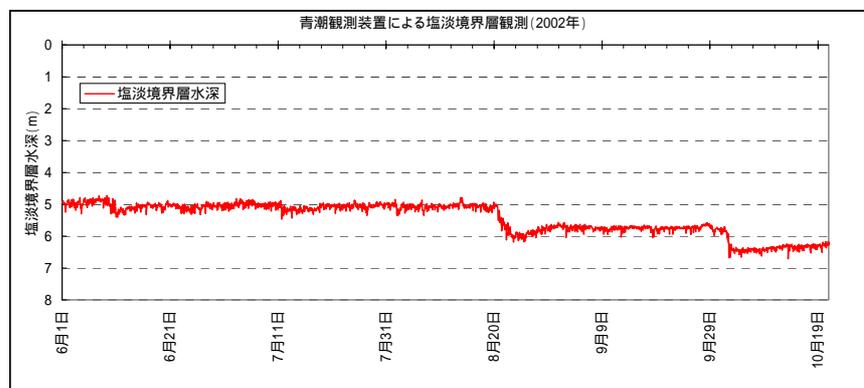


図 2.2.13 青潮観測装置(No.1 湖心)による塩淡境界層水深変化の一例

## 小川原湖における計測方法の工夫

## シジミの孵化の条件

## シジミの孵化の不思議

シジミの卵が孵化する時の環境条件は、塩分濃度が3‰以上であることと、順調に細胞分裂する場合でも孵化するまでに20時間かかるため、20時間程度はそういった環境条件が継続される必要がある。

小川原湖のシジミが生息している範囲は大体水深10mぐらいの混合層と呼ばれる水域で、こうした水域の水温、溶存酸素はシジミの生育に適した条件になっているが、塩分は1‰程度ぐらしかない産卵にふさわしくない水域であり、小川原湖のシジミがどこで産卵しているかがよくわからなかった。

## 幼貝分布域の把握

河口域でシジミの現地観測を行い、シジミの大きさと生息密度の関係を地点毎にプロットすると、小口の浅瀬の部分に非常にたくさん小さい貝がいることが確認でき、この浅瀬に1次的に産卵に適した条件ができるのではないかという仮説をたてた。

## 浅瀬とみお筋の塩分濃度の把握

浅瀬を含む周辺水域に塩分計や水温計を数多く配置し、平面的な塩水の流れを計測した結果、以下のようなメカニズムで浅瀬に孵化する条件ができることを確認した。

河口域には浅瀬とみお筋（水深のある部分）があり、このみお筋に沿って塩水が遡上するが、3‰以上の塩分濃度がほとんど浅瀬全域を被い、シジミの産卵に適した濃度に達する。

みお筋では、上げ潮時には高い塩分濃度になり、潮が下がると同時に塩分濃度が急激に薄くなるが、浅瀬の部分では、潮が下がっても塩分は高い状態で約一昼夜程度続くことを確認し、孵化する条件が維持されることを確認した。

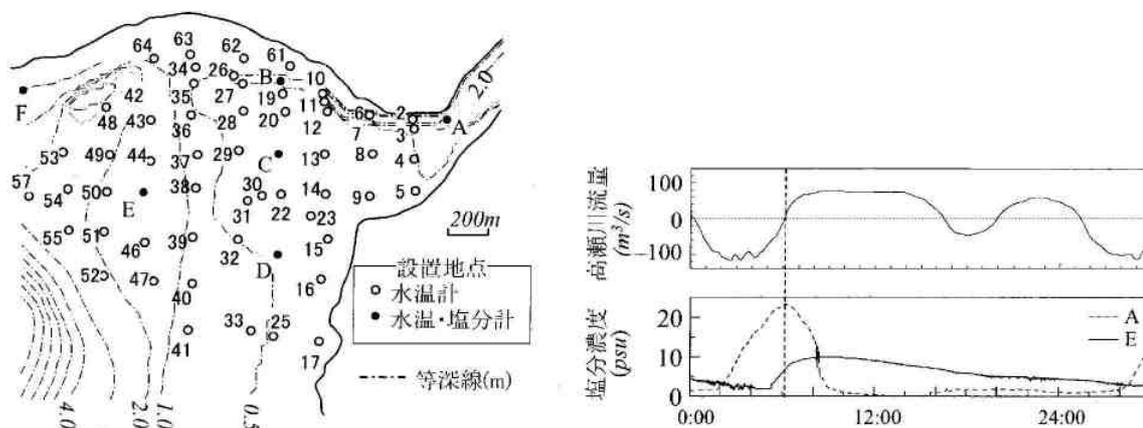


図 2.2.14 河口部の現地計測地点と計測結果

### 3) C T Dを利用する方法

#### 原理

C T D (Conductivity Temperature Depth profiler ; 伝導度水温水深計) は、主に海洋観測で利用されている水温・塩分・圧力を計測する装置である。

電気伝導度センサー、水温センサー、水圧センサーを内蔵した計測機器を船から吊り下げて、任意の深度の電気伝導度と水温を計測し、船上の制御機器で塩分を算出する。

#### 計測目的

- 移動計測により、ある水域の詳細な塩分などの鉛直分布を把握する。
- C T Dに搭載された口ゼット採水器を用いて、水温・塩分の鉛直分布を確認しながら、目的とする水塊内の採水を行う。
- プラクトンや底泥の採取も可能である。

#### 留意点

- 船舶を静止させて、C T Dを水面から 20cm/s 程度の速度で下しながら計測するため、時間を要する。
- 高価な計測機器である。

#### X C T D (使い捨て型)

X C T D (eXpendable C T D ; 投下式伝導度水温水深計) は、流線型のセンサーであり、先端には鉛の錘があり、センサーと導線 (ワイヤー) を本体に内蔵している。

ハンドランチャーで船上から投入し、湖水や海水に着水すると通電し、計測を開始する。湖底や海底に向けて自由落下し、この落下速度と経過時間から深度を算出し、水温や塩分の鉛直分布を把握する。

最大計測深度は 1,000m程度であり、高価な計測機器であるが、航行させながら計測ができる利点がある。



写真 2.2.2 C T Dと採水器 (左) とX C T Dとハンドランチャー (右)

## (6) 表面静振の計測方法

## 1) 水位計測による方法

## 原理

湖水位の計測データを周波数分析することにより、表面静振（卓越した振動周期）を確認する。

## 計測方法

湖盆形状を考慮して、表面静振（定常波）の節や腹の生起する水域を想定し、湖水位の連続計測（1分間隔等）を行う。

近傍に河川管理者の常時計測地点があれば、計測データが利用できる。

## 留意点

- 流出入河川による水位への影響などを受けない水域を選定する。
- 水位の計測精度は1mm程度が要求される。

## 2) ADCPによる方法

## 原理

湖沼の横断面の流向流速分布を連続計測し、計測データを解析して表面静振（卓越した振動周期）を確認する。

## 計測方法

湖沼の主要な横断面の湖底にADCP（ドップラー流速計）を設置し、横断面の詳細な流向・流速を計測する。

琵琶湖では、後述するように琵琶湖大橋の湖底に4台のADCPを設置し、連続計測（10分間隔）を実施し、表面静振を把握している。

## 留意点

高価な機器であるため、表面静振だけでなく、その他の流動現象の解明と合わせて実施する。

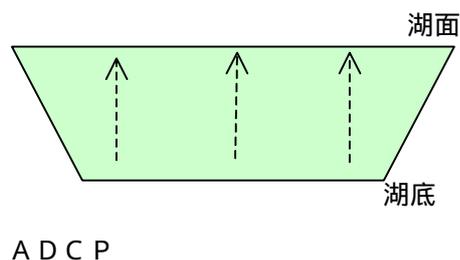


図 2.2.15 ADCPを利用した表面静振の計測イメージ

(7)内部静振や内部波等の計測方法

1)定点型(オイラー型)

原理

湖水の水温や塩分の鉛直分布をきめ細かく計測し、計測データの時系列変化の把握、スペクトル解析などにより、内部静振、内部波等の状況を推測する。

計測方法

水深、内部境界面の推定位置などにに基づき、自記水温計や自記塩分計を数珠つなぎ(サーミスターチェーン等)にして湖水中に固定し、任意の計測間隔で連続計測を行う。

留意点

- 対象水域の水深や成層構造に応じてセンサーの設置間隔を任意に設定する。
- データの回収や電池の交換があるため、長期間の連続計測を実施する場合は、2本のチェーンを交互に利用する。
- 風や水位の変化との関係も解析するため、風や水位のデータ収集も必要である。

2)移動型(ラグランジュ型)

原理

内部境界面付近に密度を調整した浮子等を投入し、その挙動を追跡することによって内部静振や内部波の様子を捉えることができる。

地形が複雑で流況が一様でないような水域における内部静振の様子を捉えるには、定点型(オイラー型)よりも有用である。

計測方法

任意に浮力を調整できる浮子を調査水域に投入し、GPSを搭載した観測船でその移動経路を追跡する。

また、後述するように、中海・宍道湖では超音波を利用したTPS(トラックポイントシステム)を導入し、移動経路を自動計測するシステムを開発している。

留意点

- 広範囲の追跡調査には、密度調整浮子をGPSで追跡する方法が適している。
- TPSの密度調整は発泡スチロール等を利用する。
- TPSは高価であるが、超音波周波数を任意に設定して複数以上のトリスポンダ(浮力調整音波浮子)を同時に放流・追跡できる。
- TPSは半径約1kmの範囲で十分な精度で計測できる。

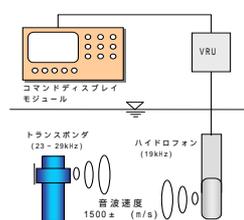
### 中海・宍道湖における計測技術の工夫

#### T P Sによる密度界面移動調査と内部ケルビン波の確認

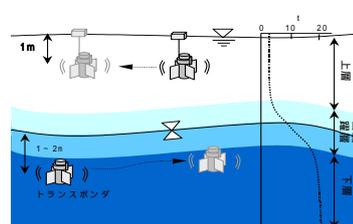
汽水湖の流動現象を把握する場合、密度界面の挙動を解明することが重要であるため、トラックポイントシステムT P S（ハイドロフォンと浮力調整型トリスポンダの利用）を利用した現地観測を実施している。

T P Sを利用し、中海の内部波の観測を行い、内部ケルビン波として反時計回りに回転する内部波の存在が明らかとなった（藤井<sup>6)</sup>）。

このような水平循環流は、気象変化に起因した周期の長い潮位などの外力によって界面振動が発生し、それが地球の自転（コリオリ力）の影響を受け、反時計回りに内部ケルビン波として伝搬していると考えられており、湖内の物質輸送に大きく影響を及ぼすと考えられる。



T P Sの構成図



T P Sの移動状況

図 2.2.16 T P Sの概要

## (8)密度流（淡水）の計測方法

## 1)水温センサーを利用する方法

## 原理

水は約4℃で最も密度が大きく、それよりも水温が大きい場合は、水温に比例して密度が小さくなり、また、それよりも水温が小さい場合（結氷する直前まで）は、水温に反比例して密度が小さくなるため、湖水の水温分布状況を計測することで密度流を把握することができる。

## 計測方法

計測方法は、水温成層の計測方法と同じであり、移動計測や定点計測があるが、密度流の全体像を把握するためには移動計測が有効である。

河川が流入する水域等において、観測船を縦断（流下）方向あるいは横断方向に航行させて、水温の鉛直分布を計測する。

## 留意点

- 使用する水温センサーの応答特性を把握した上で、計測時間（静止計測秒数）を設定する。
- 広範囲の水域を短時間で計測する場合、センサーの時間応答特性を考慮したデータ処理プログラムを利用し、センサーを一定速度で連続的に上下させながら鉛直分布を計測する高速計測を適用するのが効率的である。

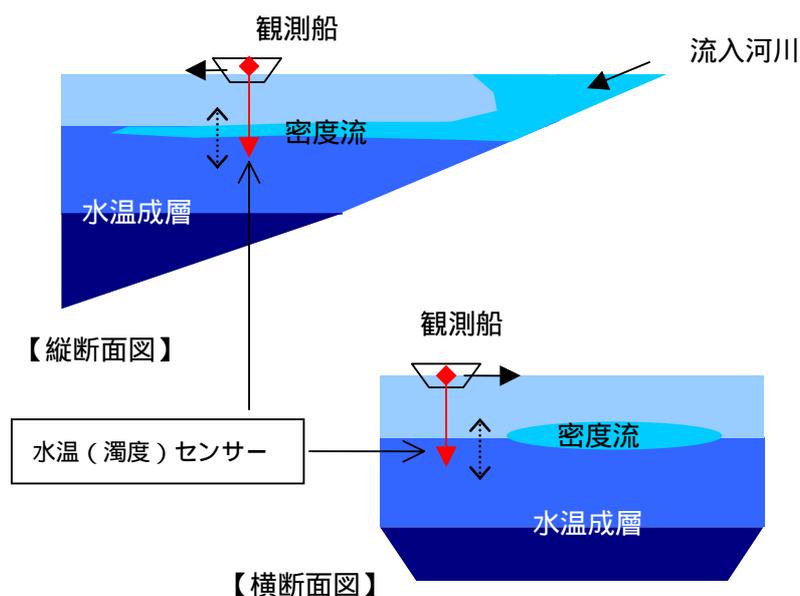


図 2.2.17 水温（濁度）センサーを利用した密度流の移動計測方法

## 2)濁度センサーを利用する方法

### 原理

湖水は季節に応じて水温(密度)の鉛直分布が変化するため、流入河川水は密度流を形成し、河川水と同じ密度の湖水が分布する水深に侵入する。

出水時の濁水などが湖内に流入する場合、その濁りの移流・拡散状況を計測することによっても密度流を把握することができる。

### 計測方法

計測方法は、水温成層の計測方法と同じであり、移動計測や定点計測があるが、密度流の全体像を把握するためには移動計測が有効である。

観測船を縦断(流下)方向あるいは横断方向に航行させて、濁度センサーを鉛直方向に移動させて、濁度の鉛直分布を計測する。

### 留意点

- 使用する濁度センサーの応答特性を把握した上で、計測時間(静止計測秒数)を設定する。
- 水温センサーのような高速計測には適さない。

## 3)魚群探知機を利用する方法

### 原理

魚群探知機は、水中の浮遊物質などの反射波を計測するため、濁りを伴う密度流の挙動を把握することができる。高速計測に適する。

### 計測方法

計測方法は、塩分成層の計測方法と同じである。

観測船の船舷に魚群探知機のセンサー部を湖水中に10cm程度沈めて固定し、微速移動(5ノット前後)しながら計測する。

計測データはノートパソコン等に取り込み、反射強度毎に色指定に変換し、逐次パソコン画面に映像化して表示するように制御プログラムを作成する。

### 留意点

- 適宜、濁度の鉛直分布や水深の実測結果と対比して検証の妥当性を検証する。
- 水面や湖底からの強い反射強度のみを抽出し、雑音を除去する。

## 4) ADCPを利用する方法

### 原理

ADCPは、密度流によって移動する浮遊物質などの散乱体の移動速度分布を計測する計測機器であり、密度(濁)流の挙動を把握することができる。

### 計測方法

#### a. 移動計測

ADCPを船舷に固定し、観測船を縦断(流下)方向あるいは横断方向に航行させて、流向流速の鉛直分布を計測する。

#### b. 連続計測

ADCPを湖岸や湖岸付近に設置した杭(H鋼等)に横向きに(ビームを水平方向に発射するように)設置し(H-ADCP)横断面の流向流速分布(濁りの分布)を計測する。

留意点

- 移動計測の場合、河床付近はブラインド・ゾーンとなり、河床や湖底付近の底層密度流の計測はできない。

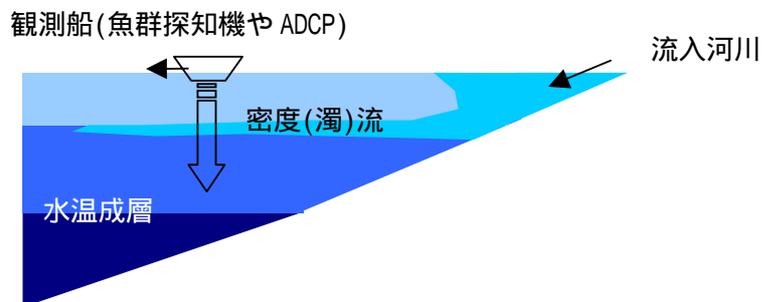


図 2.2.18 魚群探知機や ADCP (移動計測) による密度(濁)流の計測方法

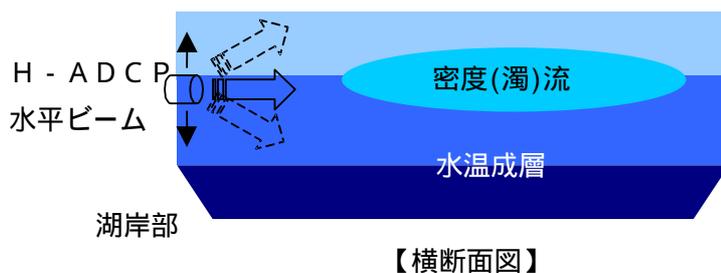


図 2.2.19 H-ADCP (水平方向ビーム) による密度(濁)流の計測方法

(9)密度流（塩分）の計測方法

塩分濃度の変化による密度流の計測方法は、目的等に応じて計測機器を使い分ける。

- 塩水楔などの密度流の全体像を把握する場合：魚群探知機
- 詳細な塩分濃度と流れの変化を把握する場合：塩分センサー、A D C P
- 湖底付近の底層密度流の挙動を把握する場合：電磁流速計、塩分センサー  
（前述のコラム 学生達のグッド・アイデア参照）

1)魚群探知機を利用する方法

原理（目的）

魚群探知機（超音波探査機）の密度差が大きくなると反射強度が大きくなる性質を利用し、汽水湖の変密度境界面（淡塩水境界面）の挙動を映像で把握する方法で、塩水楔の遡上など密度流の全体像の把握を把握する。

計測方法

観測船の船舷に魚群探知機のセンサー部を湖水中に 10cm 程度沈めて固定し、微速移動（5 ノット前後）しながら計測する。

計測データはノートパソコン等に取り込み、反射強度毎に色指定に変換し、逐次パソコン画面に映像化して表示するように制御プログラムを作成する。

留意点

- 周波数 107kHz が最も鮮明な映像を映し出すことができる。
- 適宜、塩分の鉛直分布や水深の実測結果と対比して映像の妥当性を検証する。
- 水面や湖底からの強い反射強度のみを抽出し、雑音を除去する。

2)塩分センサーを利用する方法

計測方法は、集中計測（移動計測）と連続計測（移動計測）に大別できる。

集中計測

移動計測とは、塩分センサーを利用して船上から任意の深度の塩分を計測する方法で、船を移動させながら塩水楔などの密度流の塩分変化を計測する。

連続計測

定点計測とは、ブイ等を利用して自記（自動記録）式塩分センサーを数珠つなぎにして湖面付近から目的とする深度までの塩分変化を長期間連続計測する。

流向流速も計測する必要がある場合、A D C Pを湖底や湖岸に設置して（H - A D C P）連続計測を行う。

留意点

- 集中計測の場合、塩分センサーの応答特性に留意して、各計測深度における静止計測時間（秒数）を設定する。

## (10)湖流や吹送流の計測方法

湖流や吹送流など湖水の広範囲の流動を把握する方法には、オイラー型（定点型）とラグランジュ型（移動型）がある。

また、海洋観測で実証されている音響トモグラフィーによる湖流等の観測の可能性も考えられる。

## 1)オイラー型（定点型）

## 原理

鉛直方向（層別）の流向流速を連続計測し、層毎の計測データを解析して恒常的な流れの有無を確認する。

## 計測方法

湖流や環流などの存在が考えられる水域において、水深や成層構造などを考慮し、層別（表層、中層など）に流向流速計を設置し、連続計測を行う。

また、湖底に ADCP を設置し、湖面方向に音波ビームを発信し、鉛直方向の流向流速分布を連続計測する方法もある。

## 留意点

- 湖流など恒常流の存在が考えられる場合に有効である。
- ADCP はブラインド・ゾーンがあり、湖面付近や湖底付近の流れの計測はできない。
- 風や湖水位の変化との関係も解析するため、風や水位のデータ収集も必要である。
- 密度流などの流動現象の影響と混在するため、識別が難しい。

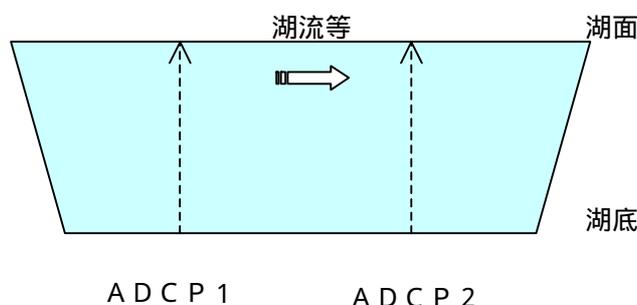


図 2.2.20 ADCP を利用した湖流の計測イメージ

## 2)ラグランジュ型（移動型）

## 原理

浮子やブイなどの漂流経路を追跡し、その漂流経路データから恒常的な流れの有無を確認する。

吹送流の場合には、浮子などの漂流経路データと風などの気象データから関連性を解析する。

## 計測方法

多数の浮子やブイを調査水域に投入し、それらの時々刻々の位置をアドバルーンや気球など

にビデオカメラを吊り下げて映像として位置を計測する方法、GPSやトリスポンダ（音響発信浮子）とハイドロフォン（音響受信器）を利用して位置を計測する方法などがある。次節の中海・宍道湖における計測方法の工夫に計測機器概要を示す。

#### 留意点

- 深度によって流れが異なる場合には、密度を調整した浮子を利用し、音波で時々刻々の位置を計測する。
- 風や湖水位の変化との関係も解析するため、風や水位のデータ収集も必要である。

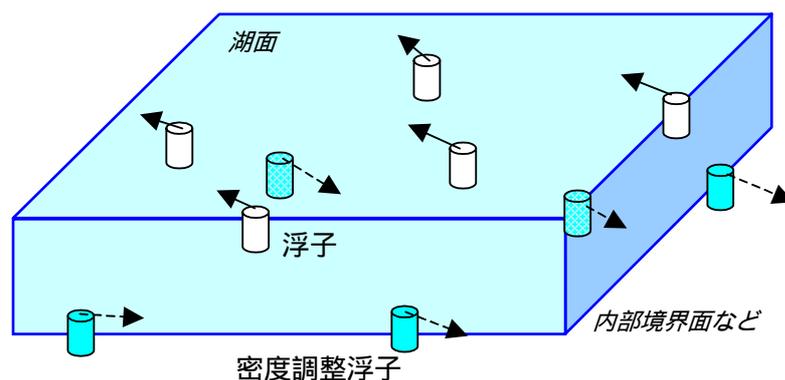


図 2.2.21 浮子等を利用した湖流等の計測方法イメージ

### 3) 音響トモグラフィーの活用

#### 原理

水域に設置した一組の音響局間を結ぶ測線方向に流れがある場合、流れ方向に伝搬する音波とその逆方向に伝搬する音波では音響局間の伝搬速度が異なり、音響局間で伝搬時間差が生じる。

このことを利用して、多数の音響局間の伝搬速度を精密計測することにより、二次元的な流速分布を把握することができる。

瀬戸内海西部の海峡水域で5つの音響局による水平二次元音響トモグラフィーの結果とADCPによる計測結果の一致を検証している。

#### 計測方法

湖流等の存在を把握する水域の周囲に多数の音響局IESを設置し、音響局間の伝搬時間データを計測する。

#### 留意点

- 広大な海洋における新しい計測技術であり、湖沼などの水域への適用事例はまだない。
- 広大な水域の二次元あるいは三次元の水溫分布や流向流速分布がわずかな時間で計測できるため、湖沼の流動現象の把握にも有効であると考えられる。

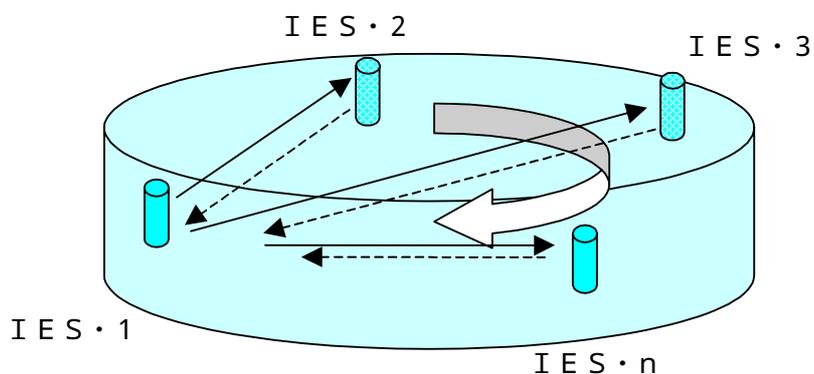


図 2.2.22 音響トモグラフィーを利用した湖流等の計測イメージ

ワンポイントアドバイス（再掲）

音響トモグラフィー

音波を利用した海洋における水温や流速の二次元、三次元観測方法を音響トモグラフィー（tomography；断層写真撮影）という。

IES

音響トモグラフィーに利用する計測機器は、IES（Inverted Echo Sounder；倒立音響測深器）と呼ばれ、海底から海面に音波を発信し、海面で反射した音波を受信し、水深で平均した音の伝搬速度を計測する装置である。

(11) 波浪の計測方法

波高、周期の計測は、種々の波高計を利用して行う。

波浪の計測方法は、改訂新版建設省河川砂防技術基準（案）同解説・調査編（平成12年版）や改訂海岸施設築造基準解説などを参照されたい。

波浪計測技術には、以下のような方式がある。

接触タイプ（水中設置）

- 水圧式波高計
- 超音波式波高計
- ステップ式波高計
- 容量式波高計
- ブイ式波高計

非接触タイプ（空中設置）

- 超音波式波高計
- 電波式波高計

目視観察

- スタジアム式波高計

(12) リモートセンシング技術の活用方法

リモートセンシングは人工衛星等に積み込まれたセンサーの波長データを利用して、湖面の動き（水温変化）や流入河川からの濁りの拡散状況、植物プランクトンの発生状況などを計測できる。

この方法の利点は、広範囲の同時計測ができること、人工衛星の周回周期毎の定期計測ができることにあり、数値シミュレーション結果の検証にも活用できる。

太陽光の水面反射の影響（ハーレーション）や雲による計測不能日がある。

有明海においても、人工衛星データを利用した流動現象の把握などに活用されている。

### コラム 小川原湖で使用した計測装置の概要、留意事項、価格など

#### 電磁流速計

1 地点の流速を継続的に計測する機器の代表である。旧来のプロペラ式と違い可動部がないので頑丈であり、流下ゴミなどに対してもある程度強い。機種によって大きさは異なるが、長さ 60 cm、直径 10 cm 程度のものが標準である。最近では長さ 30 cm 程度の小型のものもある。通常はバッテリーとメモリーを内蔵しており、オフラインで数ヶ月の連続計測が可能である。

計測時間間隔などは設置時に指定できる。センサーと水の相対流速を計測するので、揺動しないように固定する必要がある。ただし、センサーの近くに固形物があると誤差を生じる。固定式の架台に取り付けるのが望ましいが、水中ブイを付けたロープをアンカーから垂直に立ち上げて取り付けることもある。

#### 自記式塩分計

電気伝導度と水温のセンサーを搭載し、塩分を計算する回路とメモリーとバッテリーが内蔵されている。最近では小型化が進んでおり、長さ 15 cm、直径 3 cm 程度のものもある。計測時間間隔などは設置時に指定でき、数ヶ月から 1 年の連続計測が可能である。スカラー量の計測であるから、ロープや杭に結びつけるだけでよい。

#### 自記式水温計

メモリーとバッテリーを内蔵している。バッテリーを交換できるものと、交換できない使い捨てタイプとがある。後者は約 5 年間使用できる。自記式水温計を鉛直に張ったロープに多数取り付けられたものをサーミスタ・チェーンといい、水温の鉛直構造を計測するのに便利である。

#### 設置型 ADCP

超音波のビームを水中に発射し、反射波の時差とドップラー・シフトを利用して、ビーム方向における多点の流向・流速を継続的に計測する装置である。通常は鉛直方向にビームを発射するが、最近開発されたビーム幅の狭い機種では水平方向の観測もある程度可能である。

「ADCP」は元来は商品名だが、現在は一般名称として定着している。

形状はさまざまだが、長さは 30～50 cm、直径は 20～30 cm である。通常は水底の架台に固定するが、水底に埋め込む場合や、水上に浮いた架台に取り付ける場合もある。バッテリーとメモリーを内蔵したタイプと、外部電源を必要とするタイプがある。

### コラム 小川原湖で使用した計測装置の概要、留意事項、価格など（続き）

#### 移動型 ADCP

基本構造は設置型 ADCP と同じだが、ビーム方向にある固定物からの反射を認識し、その速度を流速計測結果から引き算する機能を持っている。そのため、移動する船から絶対流速を計測できる。この機能をボトム・トラッキング機能という。通常は昇降装置付きの架台で舟に取り付けるか、ADCP を付けた浮き架台を舟で曳航する。前者の昇降装置は、非計測時に ADCP を水上に上げて高速走行できるようにするためである。計測はパソコンで制御し、計測結果はそのままモニターで見ることができる。

#### CTD 及び多項目水質計

CTD は、電気伝導度(C)と水温(T)と計測深度(D)を同時に計測する装置である。C と T から塩分を計算し表示するものが多い。一定深度間隔(50 cm ~ 2m 程度)で自動的にデータ収録するゾンデ形式のものと、一定時間間隔でアンプまたはパソコンにデータを送る有線式のものがある。

前者の場合はロープに付けて落下させ、引き上げた後にアンプに接続してデータを得る。湖や河川のように浅い水域では後者の有線式が一般的である。

有線式の場合、最近では、濁度、Chl-a などを含めて計測する多項目水質計が一般的になっている。水面から 20 cm/sec 程度の速度で下ろすことにより諸量の鉛直分布が得られる。パソコンに接続することにより、その場でデータの確認ができる。測定部の長さは 40 cm 程度、直径は 20 cm 程度である。

#### 音響測深器

水中に超音波を発射し、反射波の時差と反射強度から、水中の状態のイメージを得る装置である。その名称のとおり元来は測深するための機器であるが、高精度のものは、水中に形成されている塩分や水温あるいは濁度の層からの反射波も拾うことから、成層状態を捉えるためにも使用できる。センサー部の直径は 15 cm 程度、厚さは 20 cm 程度である。記録紙やモニターにアナログ出力するものの他に、デジタルデータに変換して記録するものもある。

## 2.2.4 水質現象と計測方法

湖沼の水質現象を把握するため、その目的や調査水域に応じて各種の計測機器を使い分けたり、組み合わせて使用する。また、水質と水質以外の項目との「相関性」及び複数の水質項目間の「相関性」を利用して計測の計画を立案する。

水質現象と計測技術の概要を表 2.2.3 に示す。なお、このうち物質の沈降、底泥からの溶出及び風による底泥の巻き上げの計測方法については、第 3 章 3.2 節に記載する。

表 2.2.3 水質現象と計測技術の概要

計測する水質現象	計測方法	計測機器など	備考
湖内の水質状況 (水質監視)	現地集中計測	携帯型水質測定機器 (単項目水質計、多項目水質計)	河川・ダム湖沼 用水質測定機器 ガイドブック
	現地連続計測	現地据付型水質自動測定装置 (単項目水質自動測定装置、多項目 水質自動測定装置)	
	簡易計測	簡易水質測定器具 (パックテスト)	
	室内水質分析	採水器、水質分析装置等	河川水質試験方 法(案)
物質の沈降	現地試験(沈降量調 査)	セディメントトラップ調査	第 3 章 3.2 節
底泥からの溶出	現地溶出速度実験	現地溶出速度実験	第 3 章 3.2 節
	室内溶出速度実験	室内溶出速度実験	第 3 章 3.2 節
風による底泥の巻き上 げ	現地集中計測	携帯型水質測定機器 (単項目水質計、多項目水質計)	第 3 章 3.2 節
	現地連続計測	現地据付型水質自動測定装置 (単項目水質自動測定装置、多項目 水質自動測定装置)	
藻類の増殖(一次生産)	室内水質分析	採水器、水質分析装置等	
	現地連続計測	現地据付型水質自動測定装置 (単項目水質自動測定装置、多項目 水質自動測定装置)	

## (1)湖内の水質状況の計測方法

湖内の水質状況の計測方法には以下のような方法がある。

## 1)現地集中計測

現地集中計測では、目的に応じて調査項目を選定し、携帯型水質測定機器(単項目水質計、多項目水質計)を用いて水質計測する。

## 調査項目

携帯型水質測定機器(単項目水質計、多項目水質計)で観測できる水質項目には以下のようなものがある。

## 2.2 計測技術の活用

### 【単項目水質計】

水温計、濁度計、電気伝導度計、pH計、シアン計、塩化物イオン計、クロロフィルa計

### 【多項目水質計】

水温・濁度計、	水温・電気伝導度・pH計、
水温・電気伝導度計、	水温・電気伝導度・塩化物イオン計、
水温・pH計、	水温・濁度・電気伝導度・クロロフィルa計、
水温・DO計、	水温・濁度・塩化物イオン・クロロフィルa計、
水温・塩化物イオン計、	水温・濁度・電気伝導度・pH・DO計、
pH・DO計、	水温・濁度・DO・塩化物イオン・クロロフィルa計、
	水温・濁度・電気伝導度・pH・DO・塩化物イオン計、
	水温・濁度・電気伝導度・pH・DO・クロロフィルa計、

### 原理

各水質項目の測定原理については、「河川・ダム湖沼用 水質測定機器ガイドブック ((財)河川環境管理財団, (財)ダム水源地環境整備センター, 技報堂出版, 2000)」が参考となる。

なお、同一の水質項目であれば、単項目水質計、多項目水質計ともに測定原理は同様である。

### 計測方法

船上等から湖水に直接センサを浸漬し、測定値が安定したら数値を読み取り記録する。

### 留意点

- 試薬は不要なものが多い。
- 校正が必要な機器がほとんどである。
- 機器により水深が30cm程度必要なものもある。
- 測定時の妨害物質に注意を要する。



図 2.2.23 携帯型水質測定機器の一例 (水温・導電率計)

出典：河川・ダム湖沼用水質測定機器ガイドブック

## 2)連続計測

連続計測は、水質の時間的な変化の観測や常時監視を主な目的とする。

調査項目を目的に応じて選定し、現地に水質自動測定装置を据え付けて計測を行い、データロガ等により測定値を記録する。分析操作など人による操作を伴わずに水質計測が可能であることが利点である。

## 調査項目

現地据付型水質自動測定装置（単項目水質自動測定装置、多項目水質自動測定装置）で観測できる水質項目には以下のようなものがある。

## 【単項目水質自動測定装置】

水温測定装置、濁度測定装置、電気伝導度測定装置、pH 測定装置、DO 測定装置、BOD 測定装置、COD 測定装置、シアン類測定装置、揮発性有機化合物測定装置、油分測定装置、フェノール測定装置、クロム類測定装置、水銀測定装置、塩化物イオン測定装置、窒素化合物測定装置、りん化合物測定装置、TOC 測定装置、クロロフィル a 測定装置

## 【多項目水質自動測定装置】

水温・濁度測定装置、	水温・クロロフィル a 測定装置、
水温・電気伝導度測定装置、	水温・濁度・電気伝導度測定装置、
水温・pH 測定装置、	水温・DO・塩化物イオン測定装置、
水温・DO 測定装置、	水温・濁度・電気伝導度・pH・DO 測定装置、
水温・塩化物イオン測定装置、	水温・濁度・電気伝導度・pH・DO・COD・Chl-a 測定装置、
	総窒素・総りん測定装置
	総窒素・TOC 測定装置
	シアン・アンモニウム測定装置

## 原理

各水質項目の測定原理については、「河川・ダム湖沼用 水質測定機器ガイドブック（（財）河川環境管理財団，（財）ダム水源地環境整備センター，技報堂出版，2000）」が参考となる。

現地据付型水質自動測定装置は、採水式と潜漬式の 2 種類に大きく区分され、採水式装置は水中ポンプ等によって採水施設を設けて使用し、潜漬式装置は水質センサを試料水中（または湖水に直接）潜漬して使用する。

なお、測定原理の一部は前節に記載された携帯型水質測定機器の測定原理と同一である。また、同一の水質項目であれば、測定原理は単項目水質自動測定装置、多項目水質自動測定装置ともに同様である。

## 2.2 計測技術の活用

### 計測方法

現地に水質自動測定装置を据え付けて計測を行い、データロガ等により測定値を記録する。

### 留意点

- 定期的な保守点検、オーバーホールが必要である。



図 2.2.24 現地据付型水質測定機器の一例（全窒素自動分析装置）

出典：河川・ダム湖沼用水質測定機器ガイドブック

## 霞ヶ浦における計測方法の工夫（現地計測から室内実験へ）

## 調査の概要

霞ヶ浦のように浅い湖では湖底に堆積した底泥が巻き上がり、有機物や栄養塩類が水中に回帰することによって水質に影響を及ぼしていると考えられており、そのメカニズムを把握するため現地観測と室内実験を併用した。

## 濁度計、超音波流速計による現地計測

湖内の観測塔（風速計等有り）を利用し、超音波流速計ADCPを湖底付近に設置するとともに、自記濁度計を湖底付近につり下げ、連続計測を実施した。

その結果、濁度の変化は、流速よりもむしろ波高との相関が高く、流れという一方向的な運動よりも波の往復する運動によりよく巻き上がることを確認した。

## 室内実験の工夫

霞ヶ浦の底泥（含水率400%～900%）を水路に敷き詰め、この上に水を張って規則的な波を与える実験を行い、泥厚1～2cmの高濁度層（もやもや層）を底付近に形成させる。

波が作用しただけではこれが上に拡散しないため、その上にグリッドが上下して乱れを起こす装置を乗せて2ケースの実験を行った。

1つは波が作用しないで止まっている水の上でガシャガシャ揺らした場合で、結果泥は巻き上がらない。もう1つは、波を与えて、底付近にもやもや層をつくりガシャガシャ揺らすと、ある時点から巻き上がることを確認した。

これらの結果から風波は、波の作用と乱れの作用の両方を保有するため、まず、波の作用によって湖底付近に「もやもや層」を形成させ、同時に乱れによって「もやもや層」を上に行き、湖水がだんだん濁ってくるというメカニズムが推測される。

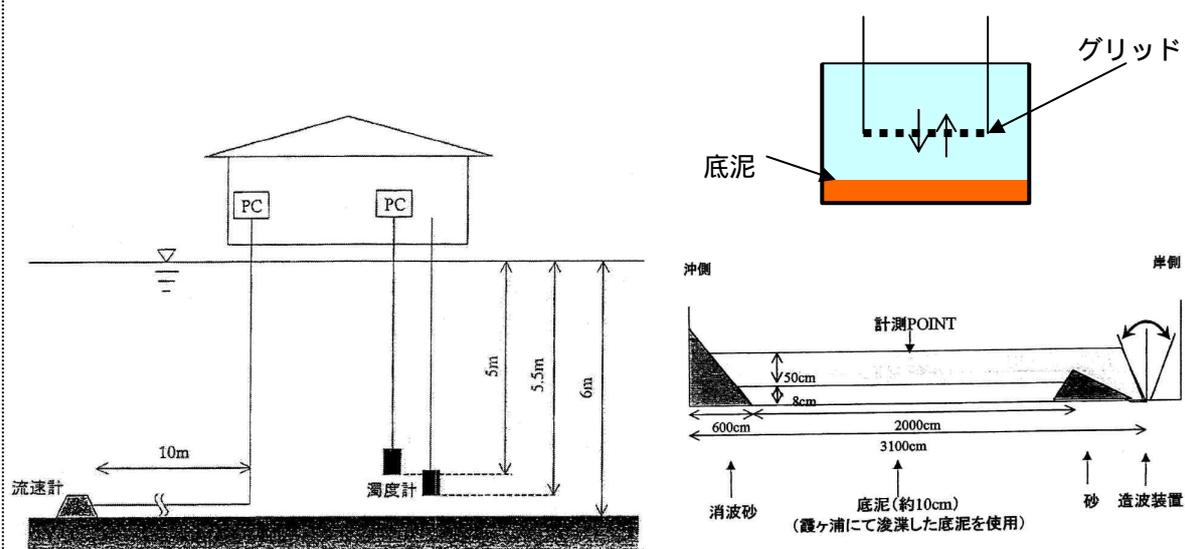


図 2.2.25 現地観測施設（左）と室内実験装置（右）、水路横断（右上）

渡良瀬貯水池における計測方法の工夫

風の影響機構の解明

周辺の河川と水門で隔てられている渡良瀬貯水池は、開門時の流入量、放流量による流れの影響を受けるが、通常時は風による吹送流が卓越している。

このため、風向風速変化と流れや水質の変化、底泥の巻き上げの変化を把握するため、定点における連続観測を実施した。

電磁流速計、レーザー型濁度計等の活用

貯水池内に観測架台を設置し、表層、底層に電磁流速計と多項目水質計を設置するとともに、底泥の巻き上げを計測するためのレーザー型濁度計を設置した。

1年間の連続観測とし、計測時間は10～20分間隔とした。

風向変化と底泥の巻き上げ量の関係把握

連続観測の結果、底泥の巻き上げ量は風向変化の影響を強く受けることが把握できた。

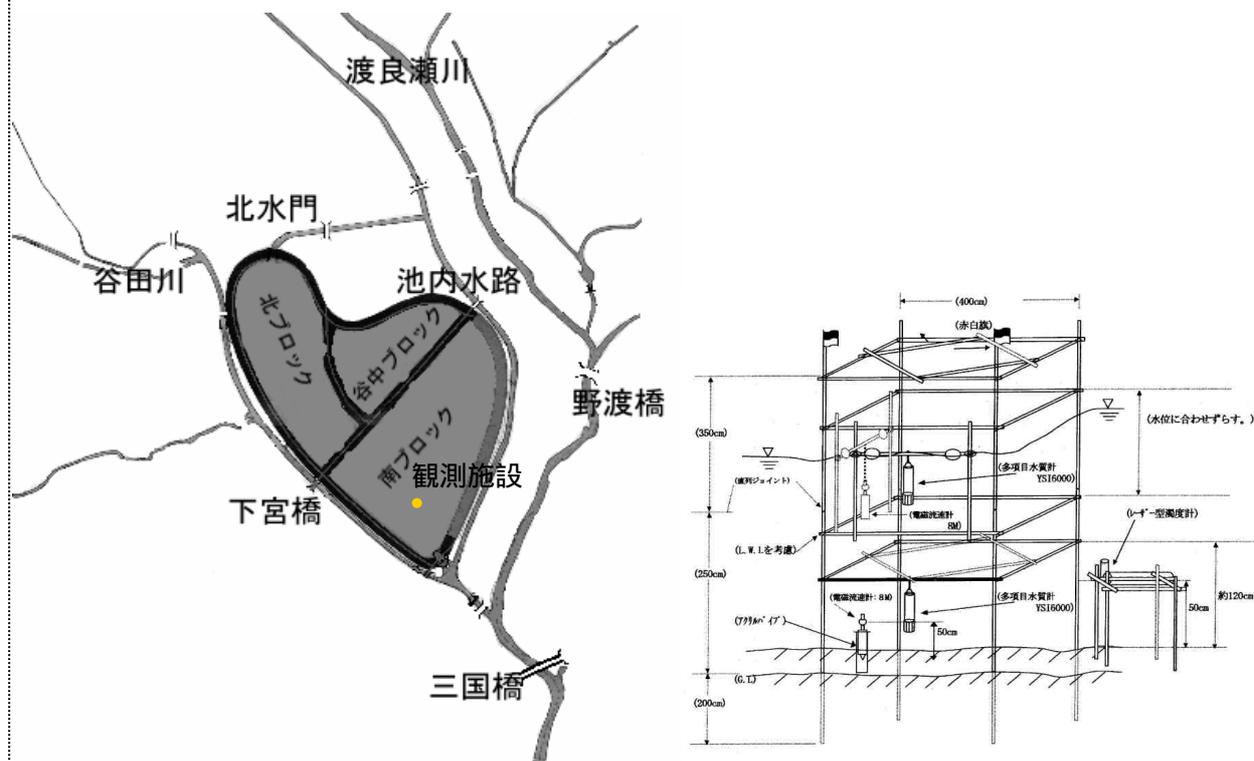


図 2.2.26 渡良瀬貯水池の定点連続観測施設  
(左は観測施設の位置、右は観測施設の計測機器の設置状況を示す)

## 3)水質簡易計測

パックテストを用いると現地で簡易に水質測定を行うことができる。ここでは、簡易水質測定手法であるパックテストについて紹介する。

## 調査項目

パックテストにより簡易に測定できる水質項目には以下のようなものがある。

## 【生活環境項目、富栄養化関連項目】

pH、COD、亜硝酸、硝酸、りん酸、硫化物（硫化水素）、アンモニウム、亜鉛

## 【健康項目、排水基準項目、要監視項目等】

銀、アルミニウム、砒素、金、ほう素、カルシウム（カルシウム硬度）、残留塩素、遊離シアン、六価クロム、銅、ふっ素、鉄、二価鉄、ホルムアルデヒド、過酸化水素、ヒドラジン、マグネシウム、マンガン、フェノール、ニッケル、シリカ、硫酸、全硬度

## 原理

ポリエチレンチューブの中に、調合された試薬（項目ごとに異なる）が一回分ずつ封入されており、試料水と混合させ化学反応させることで試料水の色を変化させ、色の変化の度合いにより水質を測定する。

## 計測方法

ポリエチレンチューブ先端のラインを引き抜き、チューブに試料水を吸い込ませ、指定時間後に試料水の変色と標準色を比べ、水質を測定する。



図 2.2.27 パックテストによる水質測定方法

出典：共立理化学研究所 WEB (<http://kyoritsu-lab.co.jp/seihin/cata.htm>)

## 留意点

- パックテストの種類により、測定できる濃度範囲が異なるものがあるので、適切な種類を使用する。
- 測定項目により、妨害物質の影響を受けるものがある。

## 4)採水・室内水質分析

採水・室内水質分析は、湖内で現地計測できない水質項目を調査する場合や、多数の地点で調査する場合等に有効な手法である。

水質汚濁防止法に基づいて全国の公共用水域で毎年実施されている水質測定は、基本的に採水・室内分析によって行われている。

## 調査項目

生活環境項目、富栄養化関連項目、健康項目、排水基準項目、要監視項目等の水質項目はいずれも室内分析による調査を行うことが可能である。

調査項目は、目的に応じて選定することとなる。

## 原理

現地で採水した試料を試験室に持ち帰り、化学分析等により水質を測定する。

## 採水方法

採水深は「河川砂防技術基準(案)同解説 調査編」に示されており、湖沼においては、全水深が3mを超え、水深方向に水質変化があると考えられる場合には、必要に応じ表層(水面より0.5~1.0mの深度)、変水層または中層(全水深の1/2の深度)及び下層(底泥表面より0.5~1.0mの深度)において採水することとなっている。全水深が3m以下の場合には、中層採水及び下層を省略してもよい。

採水に使用する主な採水器には、ハイロート型採水器、バンドーン型採水器、ポンプ式採水器、自動採水器があり、それぞれの採水器の概要を以下に記載する。

## ・ハイロート型採水器

試料容器を、おもりをつけた金属製の枠に取り付けた採水器であり、目的の深さまで沈めて試料容器の栓をひもで抜き取り、その深さでの水を採水する。比較的浅い場合(10m以下)に適する。

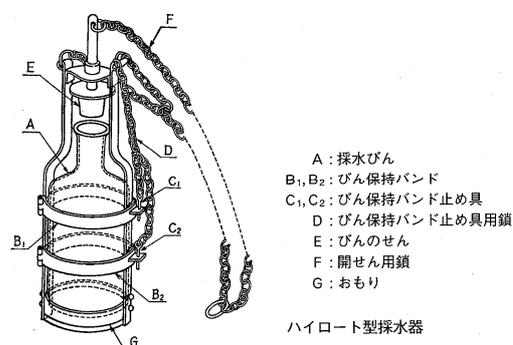


図 2.2.28(1) ハイロート型採水器

出典：ダム貯水池水質用語集

### ・バンドーン型採水器

ワイヤーまたはロープで目的の深さまで沈めてから、メッセンジャーを落として上下の蓋を固定しているフックを外し採水する。通気性のよい構造で、一度に多量の水(2リットル以上)を採水するのに適している。

### ・ポンプ式採水器

おもりを付けた鎖または網に軟式塩化ビニル管などを添わせ、目的の深さまで沈めてポンプで吸引する。吸引ポンプには注射筒、排気ポンプ等の手動のものや、ロータリーポンプ、真空ポンプ等の動力によるものがある。ポンプ式採水器は、深さを自由に変えながら採水を行うことができる。

### ・自動採水器

自動採水器はポンプにより自動的に採水を行うものであるためポンプ式採水器の一種である。ただし、人手によらず採水できるため、雨天時の水質調査や連続採水調査を行う時には有効な採水手法となる。

自動採水器は、採水ポンプ、ホース、採水ビン、制御装置等から構成され、大きな採水ビン1個を備え複数回採水した混合試料とするものと、小型の採水ビンを多数備え個々の試料としておくものがある。現在市販されている自動採水器では、1リットル採水ビンを24本まで採水できるものが多いようである。また、採水間隔を任意に設定できるタイプ、雨量計と連動して降雨時採水を行えるタイプ、水質計と連動して水質イベント採水を行えるタイプなどがあり、採水器を使い分けることにより目的に応じた採水が可能となる。

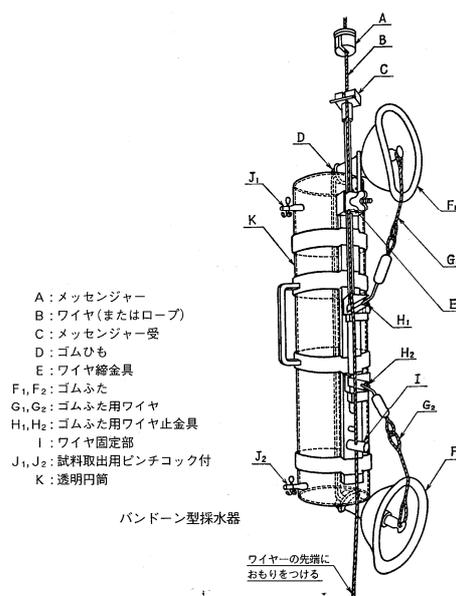
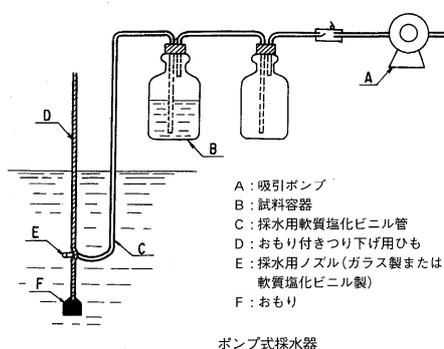


図 2.2.28(2) バンドーン採水器、ポンプ式採水器及び自動採水器

出典：ダム貯水池水質用語集

メーカーWEB (<http://www.nikkaki-bios.jp/EMV/ISOC-EMV.html>)

計測方法

主な水質項目の室内分析方法については、「河川水質試験方法(案) 1997年版 試験方法編」に記載されているので、詳細の内容については同書を参照されたい。

留意点

- 水質は、気候、降水量などの自然条件や、汚濁源等の人為的条件によって極めて大きく影響されるので、そういった状況を良く把握した上で、水質と流量を一体とした観測を行うことが望ましい。

(2)藻類の増殖（一次生産）状況の計測方法

藻類の増殖（一次生産）状況は、植物プランクトンの主組成を顕微鏡で同定し、それぞれの細胞数、乾重量、または沈殿量として測定する方法と、一次生産者としての機能面からクロロフィル量として測定する方法がある。

1)植物プランクトン量を測定する方法

調査項目

植物プランクトンの定性・定量調査を行う。

原理

植物プランクトンの定性・定量調査では、湖水中の植物プランクトンを直接採取し、その量を測定する。

計測方法

湖水中の植物プランクトンを直接採取し細胞数、乾重量、または沈殿量を測定し、植物プランクトンの量を測定する。

植物プランクトンの採取には、以下に示すようなネット器具（プランクトンネット）が用いられるほか、採水器を用いて湖水とともに採取する方法もある。なお、ネットの形式やメッシュのサイズは調査の目的に応じて決定する必要がある。



図 2.2.29 プランクトンネット

出典：ダム貯水池水質用語集

### 留意点

- プランクトンネットはさまざまなメッシュの大きさのものがあり、使用するプランクトンネットのメッシュの大きさによって採取される植物プランクトンの種構成は異なる。
- 一般に、湖沼の植物プランクトンを定量的に採取するための定量プランクトンネットは、口径約 30cm、ネット地がナイロン製の NXX25(メッシュの長さが 58  $\mu\text{m}$ ) または NXX17(メッシュの長さが 69  $\mu\text{m}$ ) のものが用いられている。
- 微小な植物プランクトンを採取したいときや植物プランクトンの種組成を定量的に把握するときは、ネット法より際水泡が優れている。しかしながら、採水法の場合、植物プランクトン現存量の小さい湖沼では試料の濃縮操作が煩雑となる。また、ネット法に比べて連続的に鉛直あるいは水平的に採取できない欠点がある。

## 2) クロロフィル量を測定する方法

### 調査項目

湖水中のクロロフィル a を測定する。

### 原理

葉緑素(クロロフィル)のうち、すべての高等植物及び藻類に含まれているクロロフィル a の濃度を測定し、藻類の増殖状況を把握する。

### 計測方法

計測方法は、2.2.4 (1)節に記載したクロロフィル a の計測方法に準ずる。なお、計測方法には、携帯型水質測定機器による方法、現地据付型水質自動測定装置による方法及び室内分析による方法がある。

### 留意点

- 植物プランクトンに含まれるクロロフィルは、植物プランクトンが死滅したり、動物プランクトンに捕食されたりすることにより分解されるが、この分解生成物は、クロロフィルの測定を妨害することが多い。