

# 岩手県焼石岳石沼および中沼の水収支と水温・水質の季節変化

濱田 浩美<sup>1</sup> 向井田崇央<sup>2</sup> 蓮見 慎哉<sup>3</sup> 鶴島 規晃<sup>4</sup> 真砂佳菜子<sup>5</sup>

<sup>1</sup>千葉大学教育学部 <sup>2</sup>成東町立成東小 <sup>3</sup>越谷市立越ヶ谷小

<sup>4</sup>銚子市立春日小 <sup>5</sup>千葉大学自然科学研究科

## Water Balance and the Seasonal Variation of Water Temperature, Water Quality in Lake Ishi-numa and Lake Naka-numa on Mt. Yakeishi-dake, Iwate Prefecture

Hiromi HAMADA<sup>1</sup> Takahiro MUKAIDA<sup>2</sup> Shinya HASUMI<sup>3</sup>

Noriaki TSURUSHIMA<sup>4</sup> and Kanako MASAGO<sup>5</sup>

<sup>1</sup> Chiba University <sup>2</sup> Narutoh elementary school <sup>3</sup> Koshigaya elementary school

<sup>4</sup> Kasuga elementary school <sup>5</sup> Graduate school of Science and Technology, Chiba University

本研究では、今まで湖沼学的な研究の行われていなかった岩手県焼石岳湖沼群の石沼および中沼において、約1年間に及ぶ自記計を用いた水温と水位の観測および水質の鉛直構造の測定を行い、両湖の水温、水質形成の特徴を明らかにした。また、詳細な湖盆測量を行い正確な湖盆図を作成し、両湖の諸元を明らかにした。その結果、石沼の最高水位17.4m、最高水位時の湖水面積0.02363km<sup>2</sup>、容積149915m<sup>3</sup>、集水域面積は0.2949km<sup>2</sup>であった。中沼は、湖水面積0.01590km<sup>2</sup>、湖岸線長650m、容積77526m<sup>3</sup>であった。

キーワード：湖沼 水収支 水温 水質 焼石岳 石沼 中沼

Keywords : Lake Water Balance Water Temperature Water Quality Mt. Yakeishi-dake Lake Ishi-numa Lake Naka-numa

### 1. はじめに

岩手県水沢市西部の栗駒国定公園内にある焼石岳周辺には、石沼や中沼のほか、上沼、ツブ沼、ウバ沼と呼ばれる湖沼が点在している。石沼は北緯39度08分09秒、東経140度52分13秒に位置する流入河川および流出河川を持たない閉塞湖である。中沼は北緯39度08分28秒、東経140度52分15秒に位置する流入河川および流出河川を持つ開放湖である。両湖は焼石岳に通じる登山道沿いの、標高約900mにある。石沼へのルートは以前、登山道の崖の下に位置しているために接近が困難であったが、1985年に中沼から歩道が開設され接近ができるようになった。歩道の状態を見る限りでは、現在でも訪れる人は少ない。石沼の湖岸は石で囲まれており、同沼の名前の由来である。また、湖岸より湖面を観察すると、湖底を見わたすことができ、透明度が高いことを示している。中沼の西には顕著な地回り地形が発達し、数多くの堰止湖や凹陷湖が見られる。胆沢川沿いには押し出された岩屑が数kmにわたって発達している。

両沼に関する調査は吉田ら(1987)によって行われ、水質はきわめて清浄であったと報告されている。水温・水質の鉛直分布などは測定されておらず、水質分析も行われていない。また、湖盆図も極めて簡単なものが報告されるにとどまっている。

石沼は閉塞湖であるため、水位の安定的な調節機能は不明な点が多い。また、両湖ともに水温・水質の季節変化も明らかではない。

そこで、本研究では正確な湖盆図を作成し、年間を通じ

て水位変動と水温変化を観測し、主要イオン濃度など水質の詳細な分析を行うことにより近接する閉塞湖と開放湖における水収支と水温・水質の季節変化を明らかにすることを目的とする。

### 2. 焼石岳周辺の概要

焼石岳(1548m)は岩手県水沢市の西方に位置し、栗駒国定公園に属する第四紀火山である。図1には位置図を示した。

焼石岳周辺は優れた山岳景観の他、ブナの原生林、湿原植物、高山植物などの植生、雪渓、湖沼群などが見られる。登山道が比較的良く整備されているため、多くの登山者でにぎわっている。

#### 2-1. 両湖周辺の地形と地質

焼石岳周辺には天然湖沼が点在しており、岩手県内では八幡平周辺と並び天然湖沼の多い地域である。焼石岳は岩手県内の第四紀火山のうちでは比較的古いもので、東側の尿前川(しとまえがわ)との間には顕著な地回り地形が発達し、数多くの堰止湖や凹陷地がみられる。焼石岳は、主として石英含有紫蘇輝石安山岩で構成され、多孔質の噴出溶岩流とそれに伴った火山灰からなっている(北村, 1965)。

図2に示した1965年地質調査所発行の5万分の1地質図「焼石岳」によると、焼石岳による噴出物と、火山灰からなる火山砕屑物は焼石岳南東麓に広く分布しており、両湖の周辺もそれらの火山砕屑物に覆われている。この

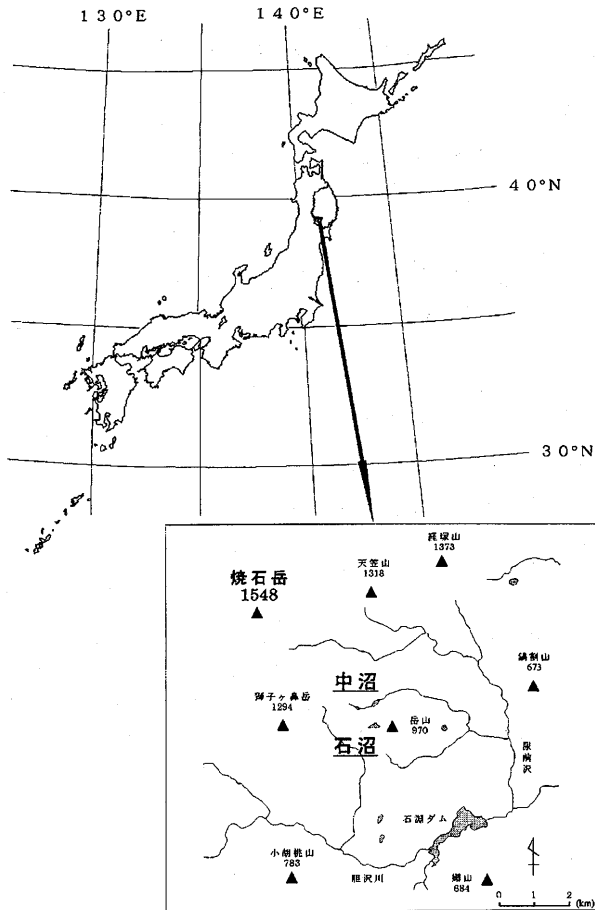


図1 調査地点位置図

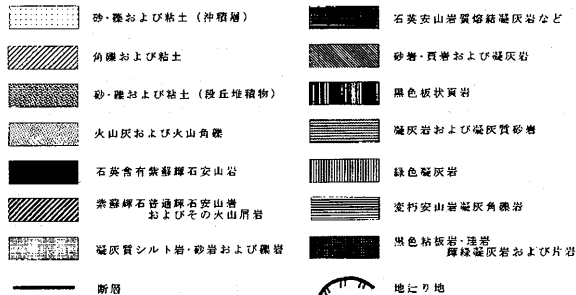
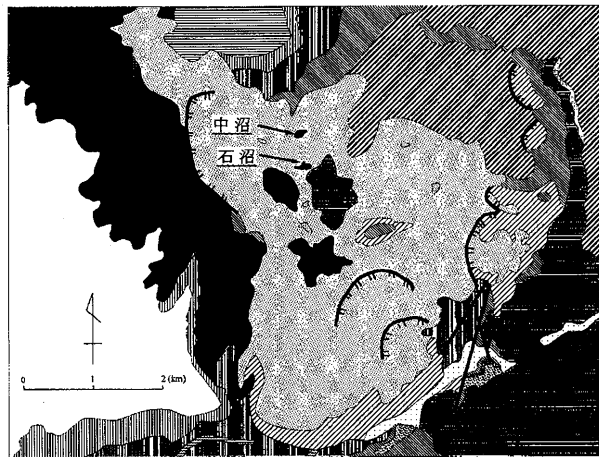


図2 石沼および中沼周辺の地質図 (北村 (1965))

火山碎屑物のもっとも広く発達した地域は断層帯を被覆し、その運動に伴って広大な面積に及ぶ地亡地帯を形成している (北村, 1965)。

### 2-2. 両湖周辺の気象

焼石岳南東麓にある両湖は周囲を山に囲まれており、極地的な天候の変化が大きいと考えられる。気象観測所が近くにないため正確な気象変化を把握することは容易ではないが、周辺地域の気象庁の観測所や暖候期のみ運用の無線ロボット雨量計のデータなどから推定することが可能である。両湖に比較的近い気象庁の観測所は図3に示した「若柳」、「湯田」、「祭時」の3地点であり、同湖の周辺20kmの範囲内に位置している。同湖の南東に位置する「岳山」には暖候期のみ運用の無線ロボット雨量計が設置されており、2001年における運用期間は6月22日から10月1日であった。

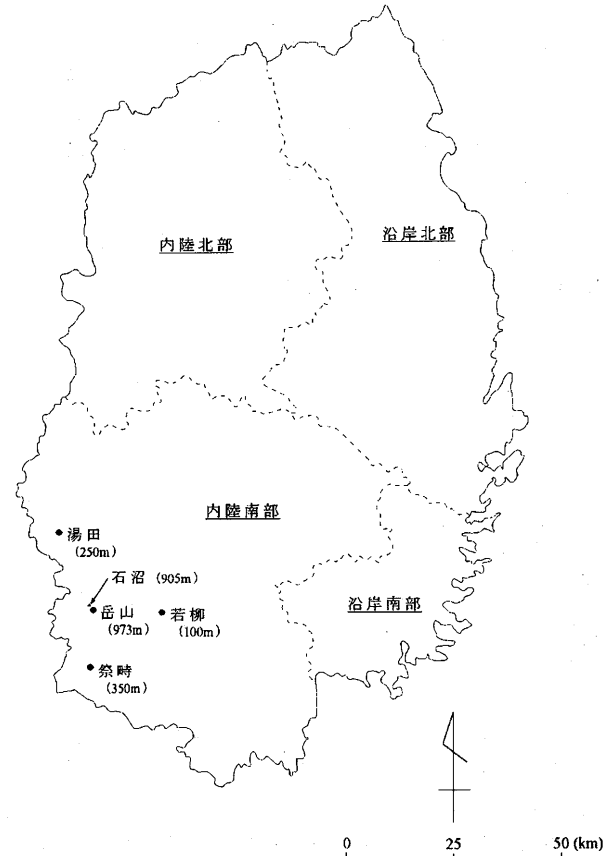


図3 アメダス観測地点位置図

## 3. 研究方法

### 3-1. 現地調査

#### (1) 湖盆測量

湖盆の測量は2001年8月11～12日に平板測量を行った。湖岸に基準点を取り、メジャーを用いて距離を計測し各地点の位置を求めた。基準点は順次移動させ、湖岸を一周した。測深は基準点からメジャーを張ったあと、測深点が湖全体に均等に分散するよう数mおきに等間隔で音響測深機 Portable Depth Sounder (HONDEX) を用い

て測定した。石沼では基準点は合計6点、測深点は合計62点となった。中沼は湖畔には木が生い茂り、立ち入ることができず、三脚を立てることができないため外周の測量は行えなかった。そこで、航空写真を用いて湖岸線を図化して現地測量の図面に重ね合わせ、湖盆図を作成した。

## (2) 水位

石沼では湖岸の1地点に自記水圧式水位計を設置し、水位変動の連続観測を行った。観測は2000年11月11日から2001年11月1日までの期間で行った。水位計はKADEC-MIZU（コーナシステム㈱）のデータロガーを用い、30分毎に自記したものを後日コンピュータで読み取った。

## (3) 水温の連続観測

湖心部に自記水温計を設置し、水温の連続観測を行った。観測は2000年11月12日から2001年11月1日までの期間で行った。水温計はOptic StowAway Temp（Onset Computer Co.(USA)）を用い、石沼では湖底より0.15m上、湖底より8m上、湖水面の3点、中沼では湖底直上と、7m付近に設置し、10分毎に自記したものを後日コンピュータで読み取った。

## (4) 水温・水質

水温・水質に関する調査は2000年11月12日、2001年5月4日、8月11～12日、11月1日の計4回行った。調査地点では2000年11月12日、2001年5月4日は湖岸の4地点、2001年8月11～12日、11月1日は湖心部において測定を行った。

調査項目は、基本的に水温・pH・電気伝導度・溶存酸素量・採水の5項目を行った。加えて、2001年5月4日、11月1日には酸化還元電位の測定、2001年8月11～12日、11月1日には各項目の湖心部における鉛直分布と透明度の測定を行った。溶存酸素量は両湖における飽和溶存酸素量を算出し、溶存酸素飽和度を求めた。

各項目の測定に使用した機材は、水温・pH・酸化還元電位はUK-2030型（セントラル科学㈱）、溶存酸素量はUK-2000型（セントラル科学㈱）、電気伝導度はEC METER CM-14P（東亜電波工業㈱）、採水はFieldmaster（Wildlife Supply Co.(USA)）、透明度はセッキー円板である。ただし、2001年8月11～12日、11月1日の水温・pH・電気伝導度・溶存酸素量・酸化還元電位の測定にはQuanta（Hydrolab Co.(USA)）を用いた。

## (5) 流入量・流出量

中沼における流量の測定は、毎回流入部、流出部で測定した。第2回目の調査では、流入部が2ヶ所確認できたため、流入部は2ヶ所で流量を測定した。

測定方法は、浮子法で測定した。まず流入（流出）部の断面積をいくつかの地点に分け測定し、幅と水深を測定し、断面積を求めた。次に流速を測るための距離を決定し、浮子を流して流速を求めた。流速の測定は、浮子を5回流し、その中央値3回の時間の平均を用いた。観

測値をもとに流量を計算した。浮子が流れる距離をL、時間をT、流入（流出）部の断面積をSとすると、流量Qは次の式によって求められる。

$$\text{流量}(Q) = L/T \times 0.7 \times S$$

（経験的係数に0.7を用いた）

## 3-2. 室内作業

### (1) 湖盆図の作成

2001年8月11～12日に行った湖盆測量をもとに、湖盆図の作成を行った。現地調査において測定した測深点から等深線を求めた。最高水位の湖岸線は1976年10月23日国土地理院撮影の空中写真（CTO-76-13）を部分引き伸ばししたものを用いて推定し、修正した。

### (2) 両湖の諸元

石沼の諸元は、2001年8月11～12日の湖盆測量と空中写真をもとに作成した湖盆図を用いて、湖の長さ・湖の最大幅・湖の平均幅・湖岸線の長さ・湖水面積・湖の最大深度・湖の平均深度・湖の容積・肢節量の各項目の値を求めた。諸元の各値は、2001年8月11～12日の測量時のものと空中写真から推定した最高水位時のものと二通りを求めた。

また、国土地理院発行の2万5千分の1地形図「焼石岳」を用いて集水域を定め、集水域面積を計測した。

湖の容積は各水位あたりの面積から下記の計算式より算出した。

$$V = h/3(S_1 + S_2 + \sqrt{S_1 \times S_2})$$

(V [m<sup>3</sup>]: 容積,

h [m]: 等深線間の鉛直距離,

S<sub>1</sub>・S<sub>2</sub> [m<sup>2</sup>]: 2つの等深線で囲まれた面積)

以下に数項目の定義等について示す。

湖の長さは、湖沼中の最も離れた2点間の長さであり、湖の最大幅は、湖の長さに直交する直線で最大の長さである（西條・三田村, 1995）。

湖の平均深度は、湖の容積を湖面の面積で割って求められる。湖の平均深度と最大深度の比が2に近ければ、湖底が平坦で、湖岸の傾斜が大きい。その比が2より大きくなると、湖底に向かってとがった形態を示すか、あるいは湖底面に極端に深いところをもつ湖といえる（西條・三田村, 1995）。

肢節量は、湖岸線がどの程度屈曲しているかを示す値である。この値が1に近いほど、湖は円形に近いことを示し、1より大きいと湖岸線は屈曲している（西條・三田村, 1995）。肢節量は下記の計算式より算出した。

$$\text{肢節量 } U = L/2\sqrt{\pi A}$$

(L [m]: 湖岸線の長さ, A [m<sup>2</sup>]: 湖水面積)

### (3) 流域の地形・地質解析

国土地理院発行の2万5千分の1地形図「焼石岳」より石沼周辺の地形図と集水域図を作成し、地形の解析を行った。図4に両湖周辺の地形図、図5に集水域図を示した。図4をみると、石沼と同じ標高で広い範囲にくぼ地が広がっており、同湖の水位が上昇したときにはこのくぼ地に流れ込むものと考えられる。また、同湖からの

漏水による地下水流出は北東方向に流れていくことが想定される。図5をみると、同湖を含めた集水域面積は湖面積の16.3倍あること、石沼の集水域からの流入は主に湖の北西側からであり、集水域の南側は急斜面になっていることがわかる。中沼は1000m付近を水源とする流入河川が西側からあり、東側に流出河川が存在する。

(4) 気象データの解析

気象庁のアメダスデータをもとに気象の解析を行った。

前述した通り、両湖の近くには気象庁の観測所はなく、比較的近い観測所は「若柳」,「湯田」,「祭時」である。両湖の南東にある「岳山」には暖候期のみ運用の無線ロボット雨量計が設置されている。「岳山」の無線ロボット雨量計の2001年における運用期間は6月22日から10月1日であった。

両湖の気温を求めるために「若柳」(標高100m)と「湯田」(標高250m)の2地点の観測所のアメダス気温データより2地点間の月平均気温差を求め、100mあたりの気温変化率を算出した。100mあたりの気温変化率は0.96

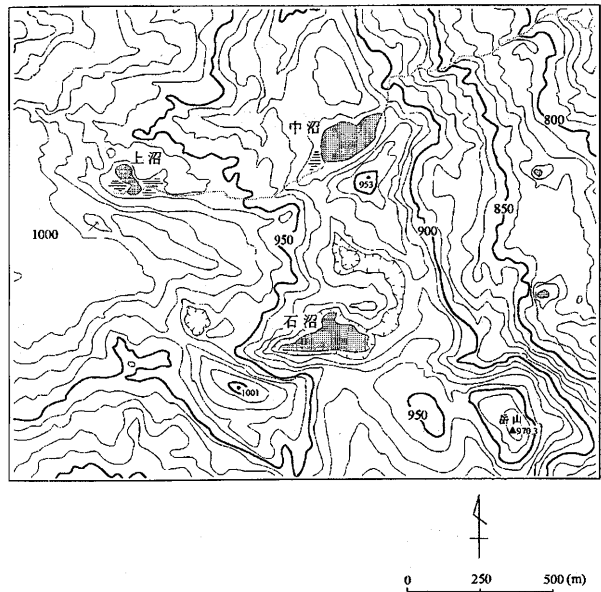


図4 両湖周辺の地形図

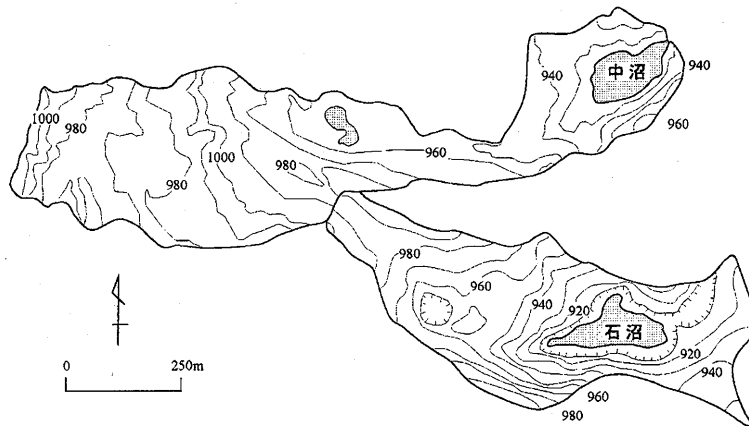


図5 石沼および中沼周辺の集水域図

となり、この気温変化率を用いて石沼(標高905m)、中沼(標高920m)における日平均気温および月平均気温を推定した。図6に若柳・祭時・石沼の日平均気温を示した。両湖の降水量は、「岳山」と「祭時」の両地点で観測が行われている2001年6月22日から10月1日までの期間における降水量から一次回帰式を求め、算出した。

一次回帰式的相关係数は0.93となり、良い相関が得られたので、その値を両湖の降水量として用いた。図7に岳山と祭時の降水量の関係を示す。また、「岳山」の無線ロボット雨量計の運用期間中は、実測データを用いて考えることとした。

以上のように算出した日平均気温、月平均気温、降水

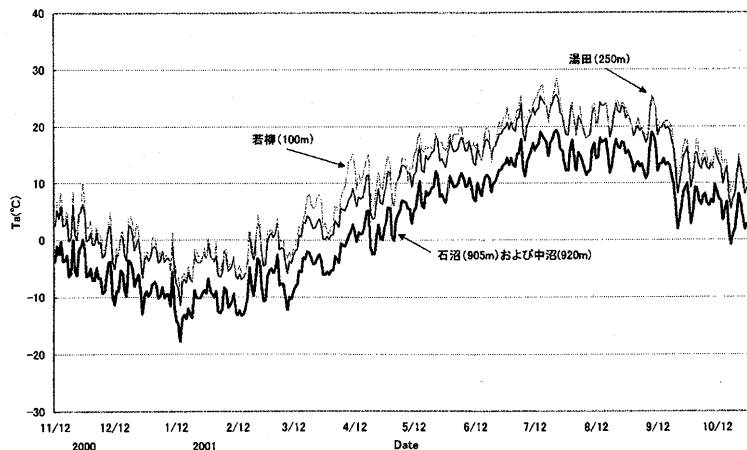


図6 若柳・湯田・石沼・中沼における日平均気温変化

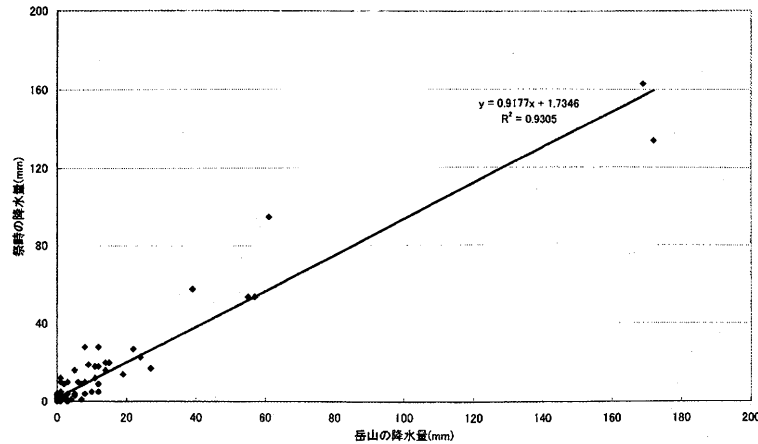


図7 岳山と祭時の降水量の関係

量を現地調査で得られたデータとあわせて比較検討をした。

(5) 水収支の解析

アメダス気温データを用いて推定した両湖における月平均気温から Thornthwaite 法を用いて月蒸発散量を推定した。月平均気温がマイナスとなる1月, 2月, 3月, 11月, 12月の5ヶ月の降水量は降雪によるものであり, 雪氷として集水域に留まることから, 蒸発散量0mmであると考へた。Thornthwaite 法から算出した月蒸発散量は, 4月6.6mm, 5月55.2mm, 6月79.0mm, 7月110.9mm, 8月99.5mm, 9月68.3mm, 10月33.7mmとなった。

さらに, 自記水位計から得たデータと岳山の降水量, 水位・容積曲線を用いて湖水の各水位あたりの漏水量の推定を行った。

水位が連続的に低下している期間を選び, その期間における日漏水量を求めた。冬季は降水が雪氷として集水域に留まるために直接水位変動に関与しないことから, 降水量に関わらず連続的に水位が低下している期間を選定した。夏季は月蒸発散量から考へて日降水量が3mm以下であれば, ほぼ蒸発散されることから, 日降水量が3mm以下で水位が連続的に低下している期間を選定した。上記の基準で選定した期間の日平均水位における容積を, 水位・容積曲線から求めた一次回帰式を用いて算出した。算出された日単位での容積から各々の差を求め, その減少量を日漏水量とした。

3-3. 水質分析

(1) イオンクロマトグラフィー

採水した水からイオンクロマトグラフィーによる主要イオン濃度の測定を行った。分析器には, パーソナルイオンアナライザ PIA-1000 (株式会社島津製作所) を用いた。

PIA-1000はノンプレッサイオンクロマト法に基づく無機イオンの分析装置である。イオンクロマト法は試料に含まれる複数のイオン種をイオン交換基との間の結合力の差を利用して分離したあと, 溶離液イオンと各イオンの電気伝導度の差を測定することにより, イオンの検出およびイオン濃度を測定する方法である。

試料は, ディスポーザブルメンブランフィルターを装着した注射器で濾過をしながら, ディスポーザブルサンプリングカップに注入し作製した。

PIA-1000で分析を行い得た分析値と pH4.8アルカリ度から算出した重炭酸イオンの値を用いてトリリニアダイアグラム・シュティフダイアグラムを作成した。また, これらの値から2001年8月11~12日, 11月1日の湖心部における主要イオン濃度の鉛直分布図を作成した。

(2) 酸滴定法による pH4.8アルカリ度

採水した水から滴定法を用いて pH4.8アルカリ度を測定した。pH4.8アルカリ度の測定には, 0.02Nの H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> を滴定標準溶液として用いた。試料溶液25mlが pH4.8になるまで滴定を行い, 硫酸の滴定量から算出する方法を用いた。算出には下記の計算式を用いた。

$$\text{アルカリ度} X [\text{meq} \cdot \ell^{-1}] = a \times 1000 / 25 \times 0.02 \times f_2$$

(a [mg]: 硫酸の滴定量, f<sub>2</sub>: 硫酸のファクター)

また, 硫酸のファクターは滴定を行うたびに変わるので, その度に Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>を純水で薄めて0.02Nとしたものを25mlとり, pH4.8になるまで滴定を行い, その滴定量から下記の計算式で算出した。

$$\text{硫酸のファクター} f_2 = 25 \times f_1 / x$$

(f<sub>1</sub>: 炭酸ナトリウムのファクター, x [ml]: 硫酸の滴定量)

pHの測定には MP125 pH Meter (Mettler-Toledo (UK)) を用いた。

(3) 金属元素測定

2001年8月11日に石沼にて採水した湖水の金属元素の測定を国立環境研究所に依頼して行った。測定には高周波誘導結合プラズマ発光分光分析装置 ICAP-750を用いた。この装置には各金属元素に対して定量限界値が定められており, 金属元素量がそれ以下の場合には検出されない。

4. 研究結果

4-1. 湖盆形態

図8に両湖の湖盆図, 表1に諸元表を示した。この諸元データは, 湖盆図と国土地理院発行の2万5千分の1地形図「焼石岳」から計測・算出したものである。

湖盆図から石沼の湖岸線は三角形に近い形をしていることがわかる。また, 湖心部は南側に偏心しており, 湖

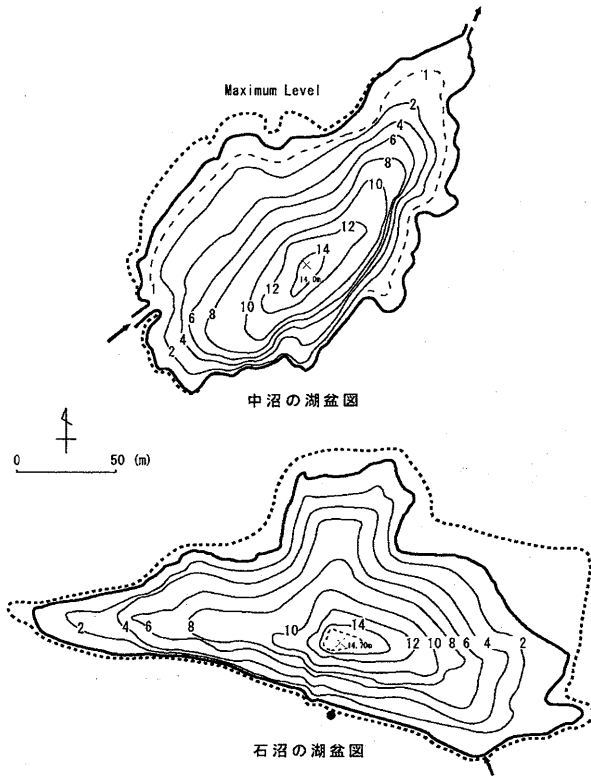


図8 石沼および中沼の湖盆図

岸の南側は傾斜が急になっている。中沼は楕円形の形状を示し、湖心は湖の中心からやや南東に偏心し、流入河川、流出河川ともに各1本存在している。流入部付近には湖盆図の等深線にみられるように湖棚が形成されている。

石沼の肢節量は8月11日で1.53となっており、湖岸線は円形とはいえない。このことは湖盆図からも明らかである。推定最高水位は自記水位計の測定結果から17.4m

表1 両湖の諸元  
中沼の諸元

長さ	230 m
最大幅	121 m
平均幅	69 m
湖岸線の長さ	650 m
湖水面積	0.0159 km <sup>2</sup>
深度	14.0 m
平均深度	4.9 m
容積	77753 m <sup>3</sup>
肢節量	1.4
集水域面積	0.4134 km <sup>2</sup>

(2001年8月12日による値)

石沼の諸元

長さ	279 m
最大幅	125 m
平均幅	64 m
湖岸線の長さ	730 m
湖水面積	0.0181 km <sup>2</sup>
深度	14.7 m
平均深度	5.2 m
容積	93694 m <sup>3</sup>
肢節量	1.53
集水域面積	0.2949 km <sup>2</sup>

(2001年8月11日による値)

と定めた。中沼の肢節量は1.45であり、中沼も肢節量から考えると円形に近いとはいえず、地形図や湖盆図から判断すると流出部の部分が一部突出した楕円形に近い形である。

4-2. 水位変動

図9に岳山の降水量と石沼の水位変動を示した。冬季

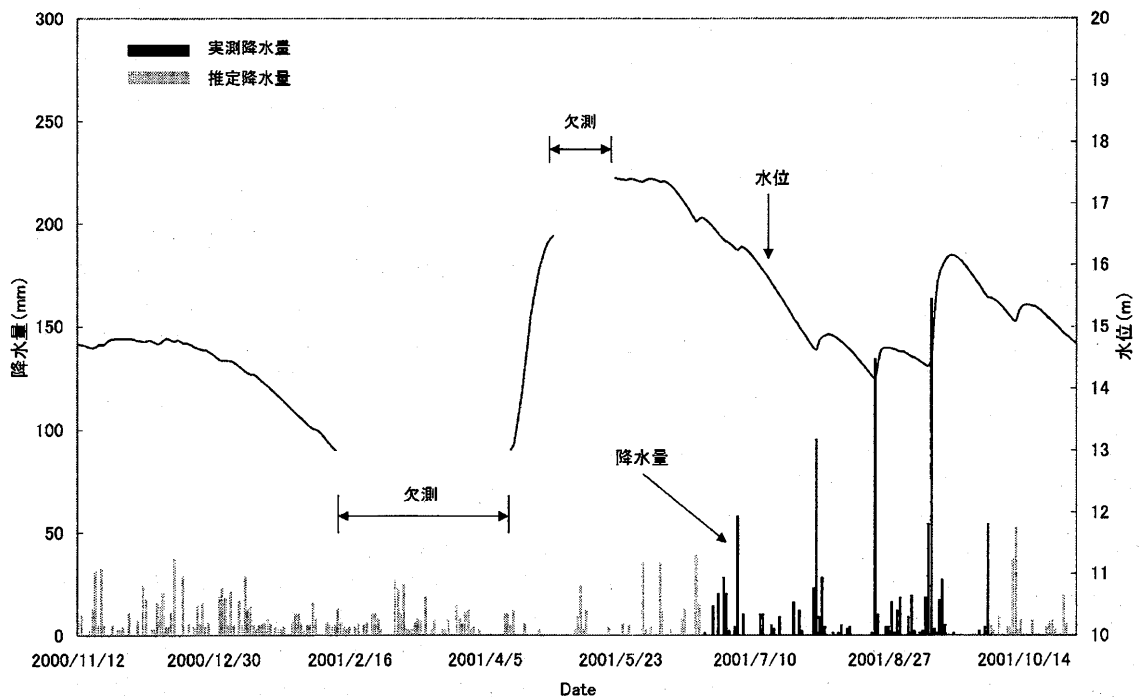


図9 岳山の降水量と石沼の水位変動

において極端に降水量の多い日はみられないが、観測開始から3月の終わりまでは10mm以下の降水量が観測されている日が多い。しかし、冬季の降水量は降雪によるものであり、雪水として集水域に留まることから、降水量の増加による水位上昇はなく、漏水による水位の緩やかな低下がみられる。3月の下旬頃から雪解けが始まり、融雪水によって水位が急激に上昇していることがわかる。4月、5月は降水量が非常に少なく、融雪水の流入が継続しているために水位は上昇している。融雪水の流入のなくなった5月中旬から6月上旬の水位は、ほぼ一定で安定している。その後、水位は下降線を描くが、まとまった降雨のあるときには一時的な上昇をみせる。夏季の最低水位は8月22日の14.14mであった。8月下旬から9月上旬は降水量が多いが、これは台風や秋雨前線の影響であると考えられる。9月11日に163mmを記録した大雨の時には8日間で水位が2m弱上昇している。9月の中旬以降、水位は再び下降線を描く。11月には前年の同時期と同様の水位になることが推定できる。

#### 4-3. 水温の連続変化

図10～12に石沼における水温の連続変化と日平均気温変化、秋季・春季循環期の水温変化と日平均気温変化を示した。

図10をみると、日平均気温は観測開始から4月中旬までの期間は常にマイナスとなっている。観測開始時はちょうど秋季循環期にあたり、3点の水温は一樣となっている。12月から5月の中旬までは冬季成層期で、湖底より0.15mの水温が3点の中では最も高く、安定している。12月から5月の初旬までは湖水面は結氷している。5月の中旬から春季循環期が始まり、6月からは水温成層が発達し、夏季成層期に入っていくことがわかる。6月から10月までは気温よりも湖水面の水温の方が高く、湖水面の水温は気温変化に伴って変化しているが、湖底より0.15m、8mの水温は夏季でも10℃を越えることはほとんどないと考えられる。

図11をみると、観測開始日から11月18日の朝まではほぼ全層一樣の水温であり、18日の昼から気温が低下し、それに伴って水温も低下する。その後も同様に、水温は

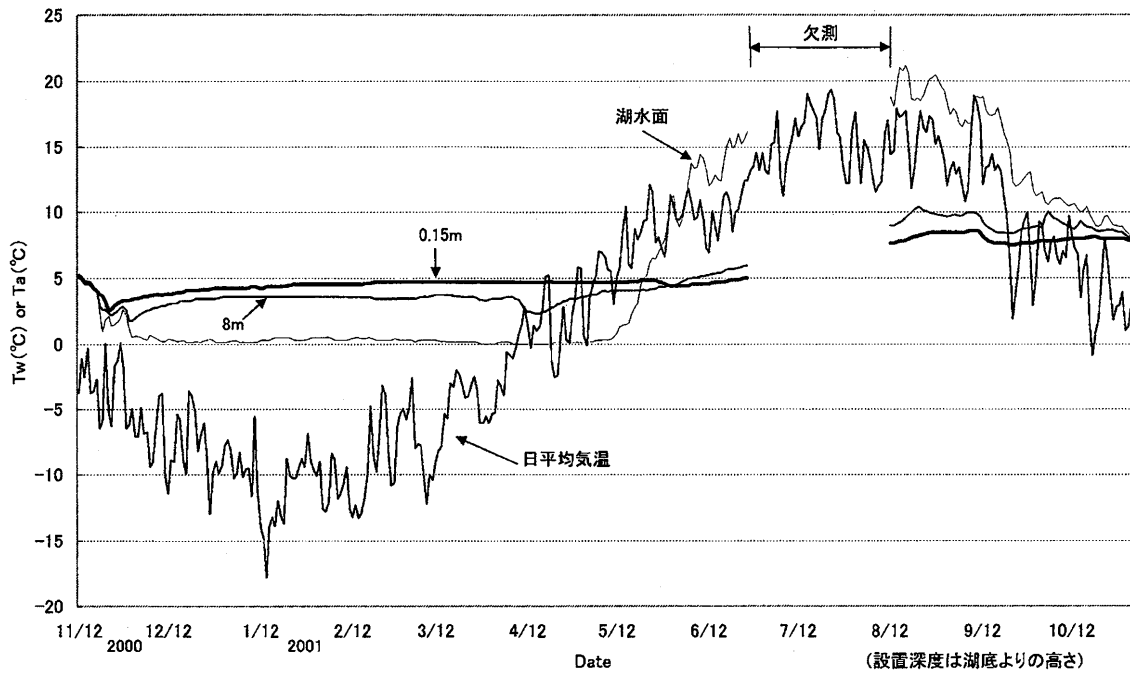


図10 石沼の湖心部における水温の連続変化と日平均気温変化

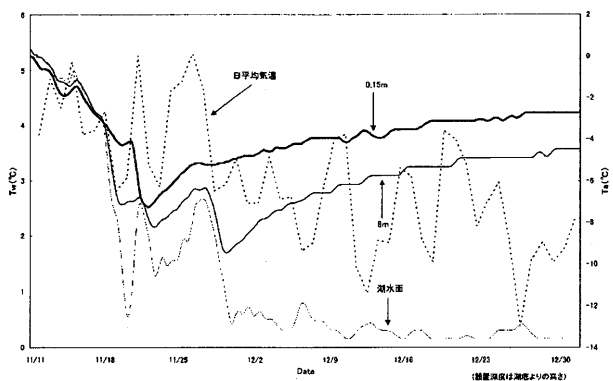


図11 秋季循環期の水温変化と日平均気温変化

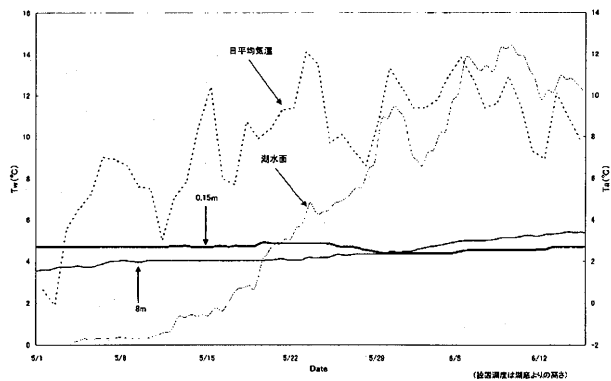


図12 春季循環期の水温変化と日平均気温変化

気温の変化に伴って変化しているが、26日の昼過ぎからの気温の急激な低下によって湖水面が急激に冷却され、27日に湖水面が結氷していることがわかる。結氷後は湖底より0.15m, 8mの水温はゆっくりと上昇して安定し、冬季成層期を迎える。

図12をみると、5月19～21日の3日間ほどで湖水の循環が行われており、22日で循環を終えると湖水面の水温は気温の変化に伴って上昇している。湖底より0.15m, 8mの水温に着目すると、水温の低い層は徐々に湖の下層へ移行していることがわかる。また、循環後は湖底より0.15m, 8mの水温は気温の激しい変化の影響を受けることなく、ゆっくりと上昇している。

中沼における水温変化は図13に推定気温、底から0.15m,

7mの変化を示した。2000年11月18日には2深度での水温が等しくなり、その後約5ヶ月は0.15mの水温の方が高くなっている。そして、2001年5月14日に再び2深度での水温が等しくなり、その後は2点の水温が逆転している。

#### 4-4. 水温・水質の季節変化

ここでは水質分析の結果が詳細に得られた石沼を中心に検討する。

##### (1) 2000年11月

図14に第1回調査の結果をもとにしたSta.1からSta.4の各地点におけるシュティフダイアグラムを示し

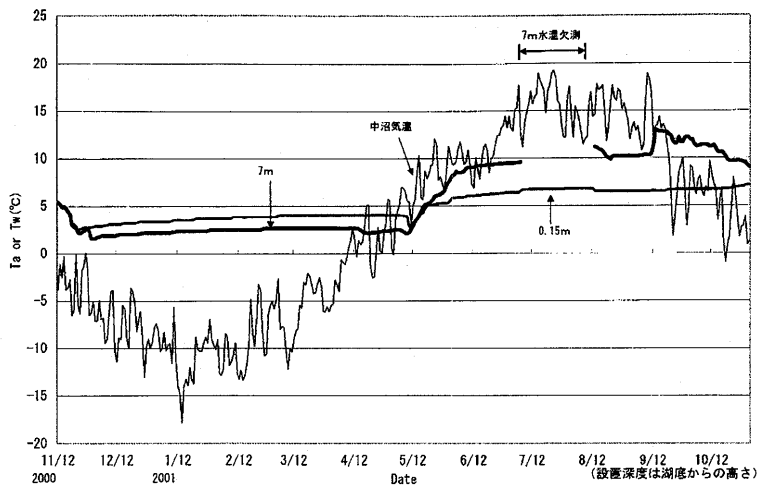


図13 中沼の湖心部における水温の連続変化と日平均気温変化

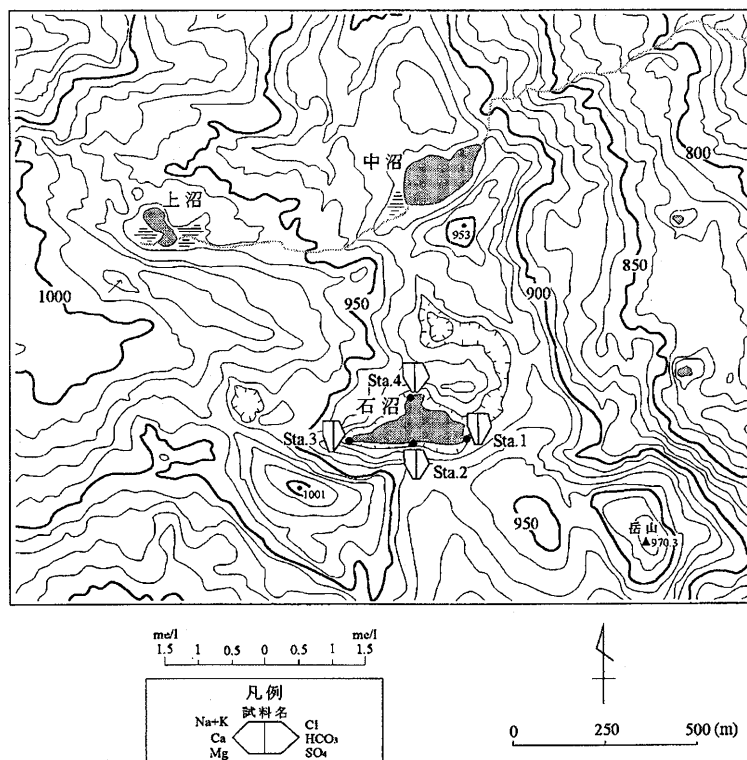


図14 石沼の湖岸各地点における水質組成 (2000年11月12日)



た。この期間は秋季循環期にあたり、水温・水質ともに地点による差はなく、主要イオン濃度についてもほぼ一様な値を示している。

(2) 2001年5月

図15に第2回調査の結果をもとにSta.4付近における水温・水質の鉛直分布、図16に各地点におけるシュティフダイアグラムを示した。

各地点における水温・水質では、水温と溶存酸素飽和度は4地点ともに同様の値となっているが、pHと電気

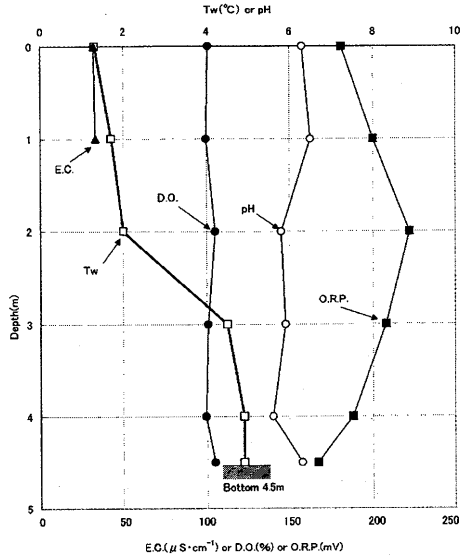


図15 Sta.4付近における水温・水質の鉛直分布 (2001年5月4日)

伝導度はSta.2, Sta.3でSta.1, Sta.4よりも低い値を示している。これはSta.2, Sta.3が湖水面の水の上にたまった融雪水であると考えられるからである。また、酸化還元電位の値は各地点でばらつきがみられた。

Sta.4付近に氷の割れ目があったため、そこでの鉛直分布を測定した。電気伝導度は0 m, 1 m以外は欠測となっている。pHと溶存酸素飽和度は湖底までほぼ一定の値となっている。水温が2mまでは低い値を示しているのは、湖水面の氷に厚みがあり、かつ氷の直下の湖水は冷却されるためであると考えられる。

図16をみると、Sta.1とSta.4は同様の傾向を示すが、Sta.2とSta.3はそれぞれ異なった傾向を示している。

(3) 2001年8月

図17～19に第3回調査の結果をもとにした湖心部の水温・水質の鉛直分布、シュティフダイアグラム、トリリニアダイアグラムを、表2に金属元素の測定結果を示した。

図17は水温・水質ともに、成層を形成しており、夏季成層期の鉛直分布であると考えられる。しかし、電気伝導度だけは湖底を除くと全層一定の値である。水温の躍層は表層直下から4 mまでであり、表水層は存在していない。4 m以深の水温が低く、かつ安定していることから地下水の流入も想定される。溶存酸素飽和度は8 mまでは過飽和状態であり、8 m以深では徐々に低下している。pHは5.8から6.8まで大きな変化を示している。透明度は9.5 mと非常に高く、補償深度を考えると湖底まで光は到達していると推定できる。

図18および19をみると、主要イオン濃度は多少のばらつきがあるが、pHや溶存酸素飽和度ほどの成層は形成

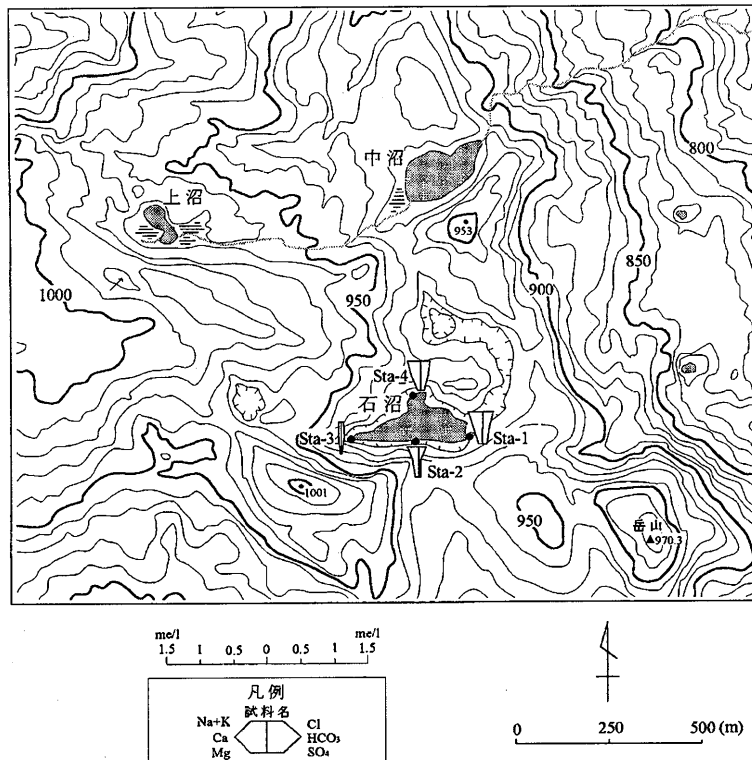


図16 石沼の湖岸各地点における水質組成 (2001年5月4日)

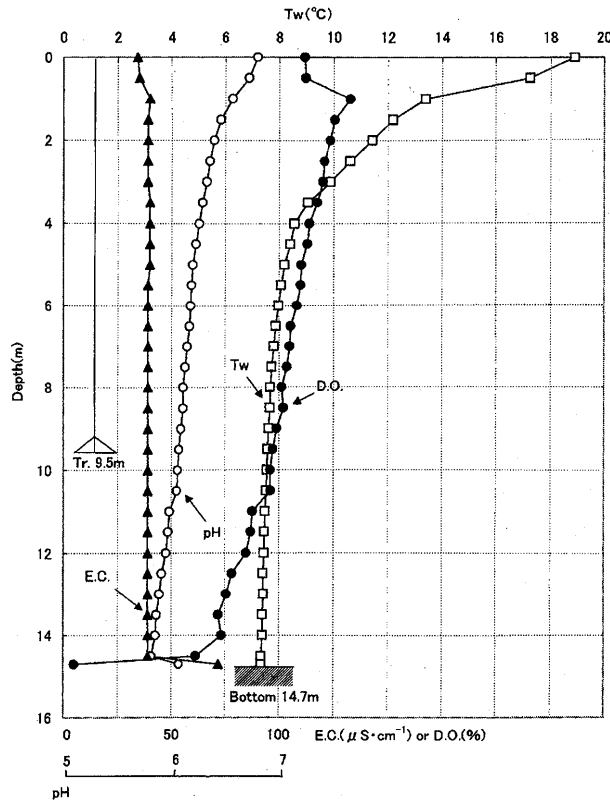


図17 石沼湖心部における水温・水質の鉛直分布 (2001年8月11日)

表2 石沼の湖水中の金属元素量

定量限界値 mg · ℓ <sup>-1</sup>	Ca	Mg	Na	K	S	Si	
	0.0300	0.0100	0.1000	0.5000	0.2000	0.0500	
	2.43	0.63	2.9	0.5	0.4	4.67	
定量限界値 mg · ℓ <sup>-1</sup>	Al	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	
	0.0400	0.0100	0.0100	0.0100	0.0100	0.0100	
	nd	nd	nd	nd	nd	nd	
定量限界値 mg · ℓ <sup>-1</sup>	Mn	Ni	P	Pb	Ti	V	Zn
	0.0100	0.0400	0.3000	0.1000	0.0100	0.0100	0.0100
	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd

※表中の nd は定量限界値以下

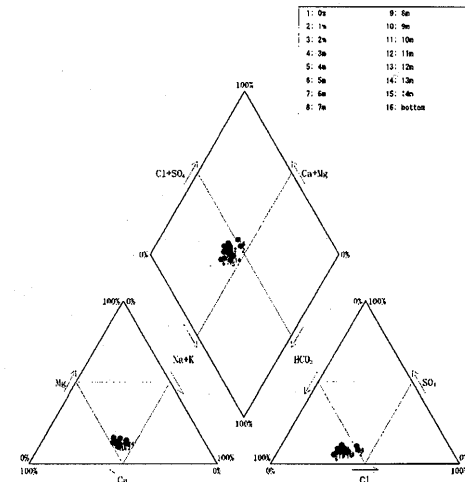


図19 石沼湖心部における水質組成の鉛直分布 (トリリニアダイアグラム) (2001年8月11日)

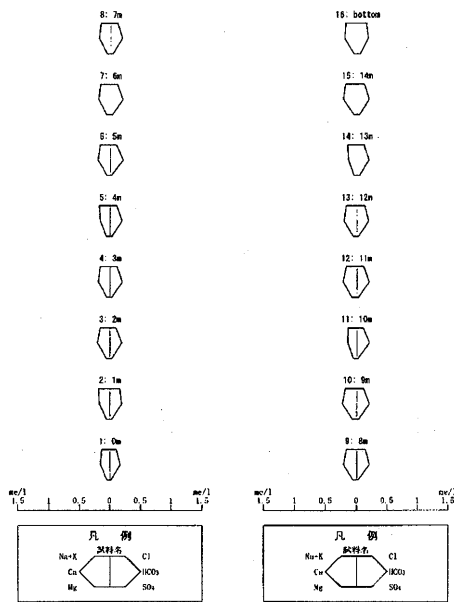


図18 石沼湖心部における水質組成の鉛直分布 (シュティフダイアグラム) (2001年8月11日)

していない。

表2をみると、金属元素はCa, Mg, Na, K, S, Siの6項目のみの検出であり、その他の金属元素は分析装置の定量限界値以下であった。

図20に中沼の湖心部における水温・水質の鉛直分布を示した。最大水深は、石沼より1mほど浅い。石沼と比較して流入河川を持つ中沼は、流入する有機物や内部生

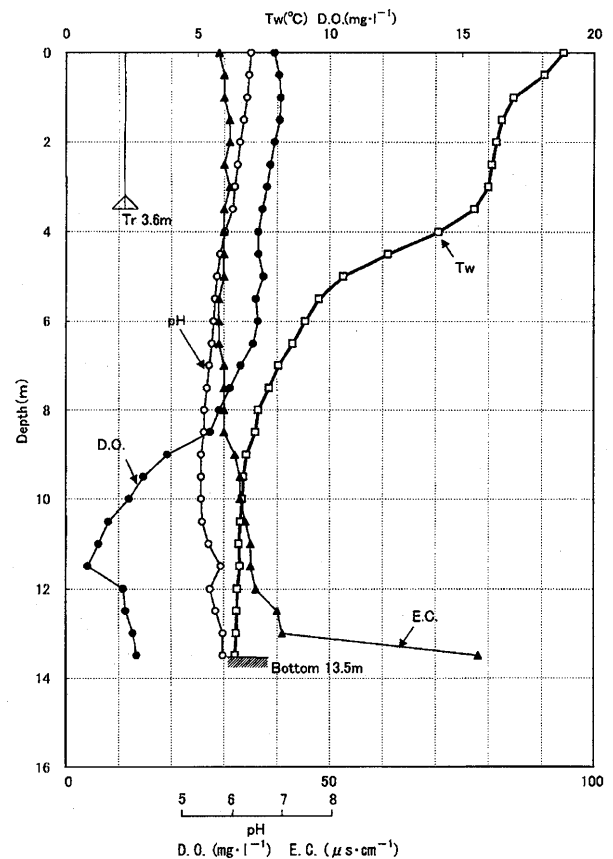


図20 中沼湖心部における水温・水質の鉛直分布 (2001年8月12日)

産された物質により、透明度は3.6mと石沼の半分以下である。また表面から1m付近に明確な表水層が形成されている。水深11mを超えた付近に溶存酸素の乱れた層が認められ、これは流入河川の深層への潜り込みが示唆されている。溶存酸素の変化している層ではpHにも乱れが生じている。

(4) 2001年11月

図21～24に第4回調査の結果をもとにした石沼および中沼の水温・水質の鉛直分布、シュティフダイアグラム、トリリニアダイアグラムを示した。

図21は水温・水質ともに全層ほぼ一様であり、秋季循環期の鉛直分布であると考えられる。溶存酸素飽和度は5m以深で過飽和状態となっているがほぼ一定している。酸化還元電位は低水層では多少のばらつきはあるが、4m以深は安定している。透明度は8月と同様に高い値を示しており、湖底まで光が到達していると推定できる。

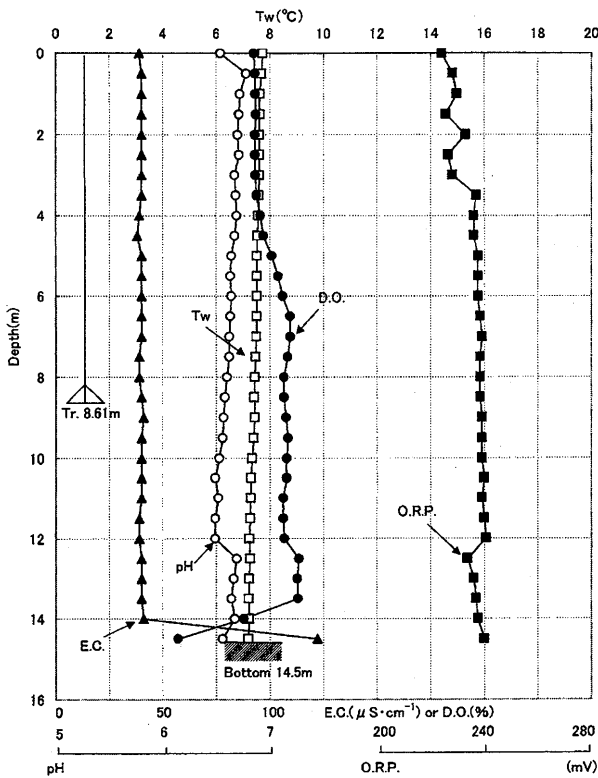


図21 石沼湖心部における水温・水質の鉛直分布 (2001年11月1日)

図22によると、中沼は石沼と同様に全層でほぼ均一な水質を示している。透明度は著しく低下し、2.1mを示した。水温は表面付近でわずかに高く、底直上でわずかに低い。このことはこの状態が、完全な秋季循環に達する直前であることを示している。水温も石沼と比較して0.2～0.4℃高くなっている。循環時期の相違は、湖水面の存在している標高と水量の相違がもたらす熱バランスの差で生じていると考えられる。

図23および24をみると、石沼は主要イオン濃度も8月にみられたようなばらつきが全くなり、全層一様の傾向を示していることから、湖水が完全循環しているこ

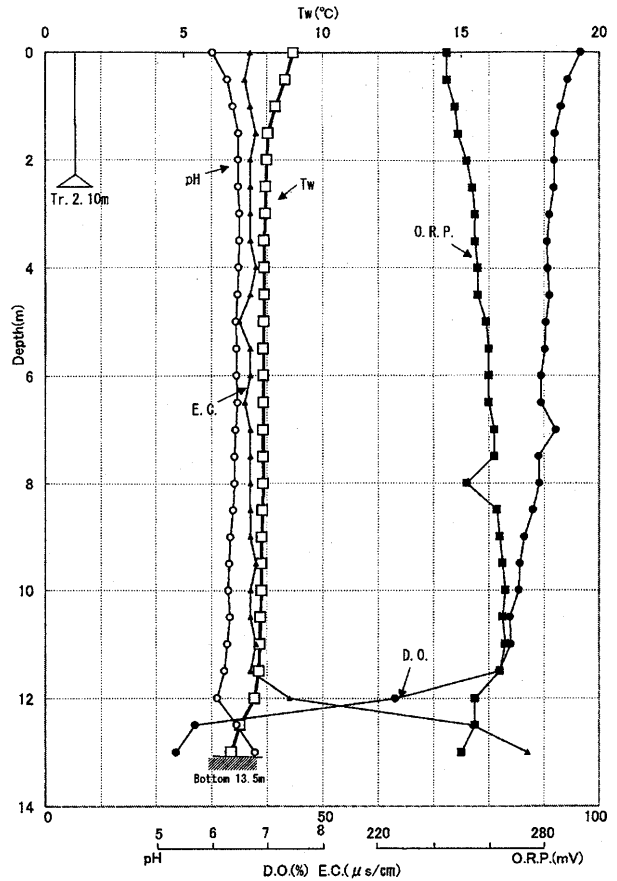


図22 中沼湖心部における水温・水質の鉛直分布 (2001年11月1日)

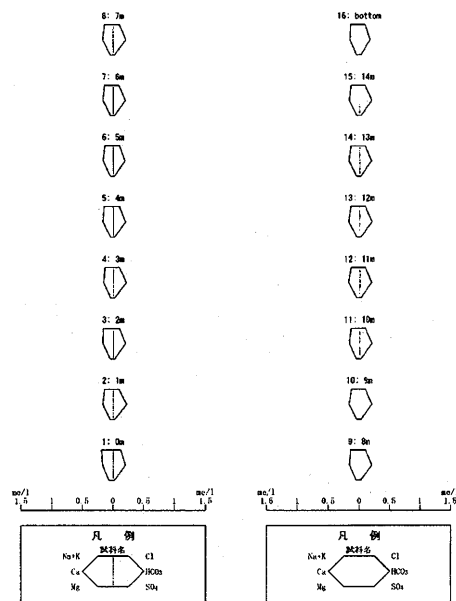


図23 石沼湖心部における水質組成の鉛直分布 (シュティフダイアグラム) (2001年11月1日)

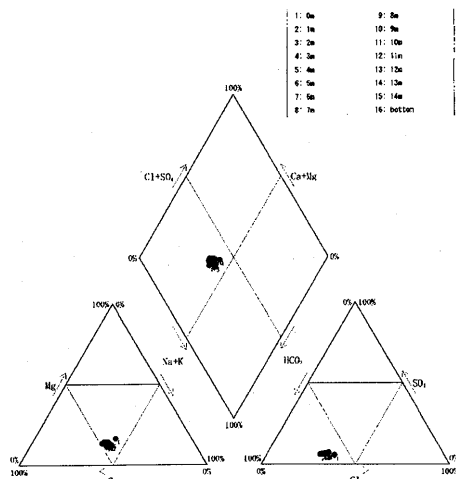


図24 石沼湖心部における水質組成の鉛直分布（トリリニアダイアグラム）（2001年11月1日）

とがわかる。

## 5. 考察

### 5-1. 石沼および中沼の成因

両湖は焼石岳の火山帯の一部に属している湖であることから、その成因は同湖の北西に位置する焼石岳の火成作用に起因していると考えられる。図2をみると、両湖の周辺は火山灰および火山角礫で覆われていることがわかる。焼石岳を構成するのは石英含有紫蘇輝石安山岩であるが、同湖の周辺においてはその安山岩上に火山灰および火山角礫が堆積していると考えられる。これらのことから、同湖は焼石岳の噴火に伴った堰止湖であると推定される。

### 5-2. 水温・水質

#### (1) 水温

石沼の水温の連続観測の結果については前述した通りであるが、図10に関する考察を以下に示した。

まず、4月9日頃から湖底より8m地点における水温の低下が見られる。これは3月28日からの気温上昇に伴って、融雪水あるいは湖水面の水が融解し、水温の比較的近い湖底より8mの付近に流入したため水温を低下させたものと考えられる。次に、5月29日から6月2日の期間で湖底より8mと0.15mの水温に逆転が生じている現象を考察する。これは春季循環期における湖水の循環の一部と考えられる。しかし、湖水面の水温上昇による循環よりも1週間ほど遅れた循環となっている。循環の開始時期に差が生じる理由は、湖水面は気温の上昇に伴って早い時期に水温が上昇するが、湖底から8mの層は気温の上昇に伴う水温上昇が生じにくいからであると考える。

観測開始時と終了時の水温の約3℃の差を検討し、2001年11月のアメダス気温データから推定した石沼における日平均気温をみると、前年の同時期と同様の変化をしていることがわかる。このことから、2001年11月1日の観測終了から前年の観測開始日である11月12日ま

での2週間弱の期間で約3℃の水温低下は十分に説明できる。

#### (2) 水質

石沼および中沼両湖における1年間の調査からみると、電気伝導度だけは季節変化がみられなかった。その他、pHと溶存酸素飽和度は循環期には全層一様、成層期には成層を形成する季節変化がみられた。

主要イオン濃度は、シュティフダイアグラムとトリリニアダイアグラムから全体の傾向としては特に大きな変化はみられなかった。しかし、2001年5月4日の調査における主要イオン濃度は他の3回の調査と異なった傾向を示した。5月の調査において各地点での主要イオン濃度にばらつきが出たのは、5月は雪解けの時期に当たり、湖水や融雪水が混在してしまったと考えられる。

### 5-3. 水収支

石沼は流入河川および流出河川を持たない閉塞湖である。日本は湿潤な気候で年平均1800mm程度の降水量があるので流入量が多く、従って相当量の漏水がなければ閉塞湖として存在しない（濱田ら、1998）（濱田、1999）。祭時の降水量から推定した岳山の2000年11月から2001年10月までの1年間の降水量も約2500mmであり、石沼においても相当量の漏水があるものと推定される。そこで、石沼の水収支を検討するにあたり、月蒸発散量の推定と日漏水量の算出を行い、各水位における漏水量を推定することとした。

図25に岳山における月降水量と石沼における月蒸発散量・月平均気温を示した。図25をみると、月平均気温が最も高い7月が蒸発散量も最も多くなっている。しかし、7月は蒸発散量が多い一方で降水量は多くなく、降雨に起因した大幅な水位上昇はないと考えられる。逆に、8月、9月では蒸発散量は少なくなり降水量は多くなるため、降雨に起因した大幅な水位上昇が起こることが推定できる。

前述した日漏水量の算出に用いた期間は、冬季が2000年12月28日～2001年2月10日、夏季が2001年6月9～18日、9月21～30日である。各期間の一次回帰式の相関係数は2000年12月28日～2001年2月10日において0.55、2001年6月9～18日において0.84、2001年9月21～30日において0.81となっている。冬季の期間で相関があまり良くないが、これ以上の相関が得られなかったため、この一次回帰式を用いることとした。しかし、一次回帰直線は右下がりになっており、水位が上昇すると漏水量が低下するという傾向を示した。また、図26に示した各期間における一次回帰式から推定した水位と漏水量の関係の一次回帰直線も右下がりとなり、同様の傾向を示している。

通常、閉塞湖においては水位が上昇するに伴い漏水量も上昇する。図26をみると、通常の変化と明らかに異なっており、不明な点が多い。図4に示した両湖周辺の地形図をみると、石沼と同じ標高に広い範囲にくぼ地が広がっており、このくぼ地が石沼の水収支に何らかの役割を果たしている可能性も考えられる。しかし、本研究ではより詳細な調査・研究が行えなかったために、明確に

岩手県焼石岳石沼および中沼の水収支と水温・水質の季節変化

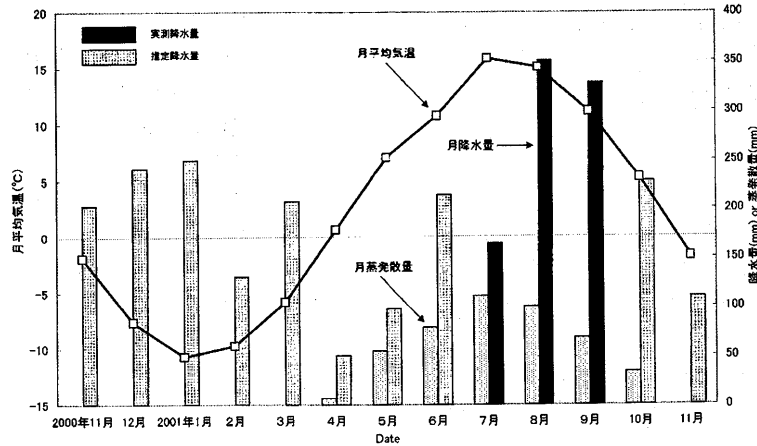


図25 岳山における月降水量と石沼における月蒸発量・月平均気温

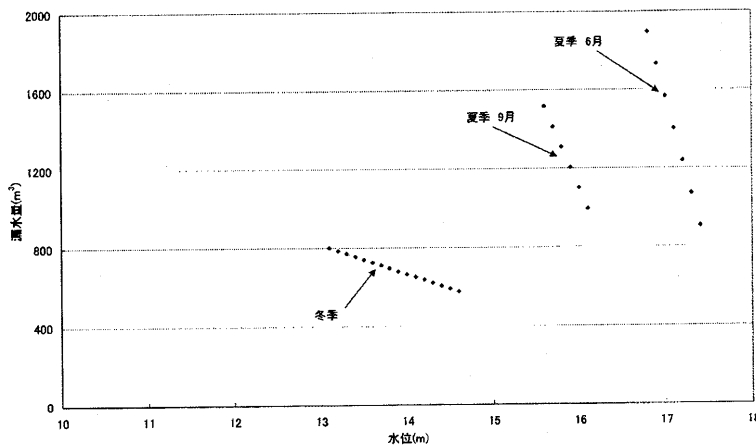


図26 石沼における水位と漏水量の関係

言及することはできず、石沼の漏水量を含めた水収支については、更なる長期的な調査・検討が必要である。

6. まとめ

- (1) 石沼の最高水位は17.4m、最高水位時の湖水面積は0.02363km<sup>2</sup>、容積は149915m<sup>3</sup>、集水域面積は0.2949km<sup>2</sup>であることがわかった。中沼は、最高水位時、湖水面積0.01590km<sup>2</sup>、湖岸線長650m、容積77526m<sup>3</sup>の湖である。集水域は413406m<sup>2</sup>であり、湖面積の約26倍もの広さを持っている。
- (2) 石沼の観測結果から、水位変動には融雪水や降水量が関わっていることがわかった。水位が最も上昇するのは3月の下旬から5月の上旬までの雪解けの時期であった。降水量が最も水位の変動に影響を与える時期は、8月の下旬から9月の上旬までの秋雨前線が発達し、時折台風が上陸する時期であった。
- (3) 水温の連続観測により、石沼におけるほぼ年間を通じた水温の変化を把握することができた。石沼は夏季・冬季に、はっきりとした成層を形成し、春季・秋季には、湖水の循環が行われる。また、冬季には湖水面は約半年間結氷していることがわかった。

中沼では、冬季に堅固な成層が形成される。循環期と

停滞期が明瞭であり、特に水温において鉛直方向に顕著な変化が見られた。湖底付近では年間を通して温度変化は小さい。透明度は1年を通じて約2～3mと石沼と比較して低い値であった。

- (4) 各調査時に測定した水温・水質からは、水温・水質の成層や循環の様子を知ることができた。特に石沼では、8月の調査の際でも表水層が存在することなく、表層直下から水温躍層となっている。これは、流入河川を持たない石沼は地下水流入によって涵養されるため、湖水が清浄で透明度が高く、日射が湖水深部まで達し、表層付近だけの水温上昇が起こりにくいためと考えられる。
- (5) 石沼の水収支は、水位と漏水量の関係が通常の閉塞湖と大きく異なった特徴があるため、今後、長期の観測・調査が必要である。

謝辞

本研究を進めるにあたり資料の提供をしていただきました気象庁、資料の分析にご協力していただきました国立環境研究所の方々、調査が円滑に進むようご協力していただきました岩手県南部森林管理署の方々ここに記して心より御礼申し上げます。

また、現地調査では当時、千葉大学教育学研究科1年

小柴里紗さん，同大学教育学部4年武市暁さん，3年八尾友樹君，小林静江さんの皆様方に多大なるご協力を頂きました。ここに記して御礼申し上げます。

#### 参考文献

濱田浩美 (1999)：日光切込湖・刈込湖の水収支と循環. 千葉大学教育学部研究紀要, 47,13～27.  
濱田浩美・山崎良雄 (1998)：閉塞湖の存在条件に関する研究. 千葉大学教育学部研究紀要, 46,63～72.  
吉田 稔 (1980)：岩手県の湖沼の調査研究, II 焼石岳・栗駒山地域および海岸地域の湖沼について. 岩手大学

農学部報告, 15,97～111.

吉田 稔 (1989)：岩手県の湖沼の調査研究, III 補遺および集成. 岩手大学農学部報告, 19,65～72.

西條八束・三田村緒佐武 (1995)：新編湖沼調査法, 株式会社講談社.

北村 信 (1965)：5万分の1地質図幅説明書, 焼石岳. 地質調査所.

濱田浩美・向井田崇央・蓮見慎哉・真砂佳菜子 (2002)：岩手県焼石岳石沼および中沼における水収支と水温・水質の季節変化. 日本地理学会, 2002年度秋季学術大会.