

山のアオコ





杉林や雑木林にかこまれた静かな苔沼



苔沼のあるところ（国土地理院25000分の1 白鷹山）

はじめに

県民の森にある苔沼は、今から20年前に起こったことが原因で、毎年夏になると、沼の水の色が黄緑～青緑色に変わります。

苔沼は池や沼の多い県民の森でもちょっと南のはしにあります。車の多いバス道路から離れた静かな沼ですが、水面の広さはおよそ6.7ヘクタール、水の多い春先は深さは5メートルぐらいですが、夏になると4メートルか、もう少し浅くなります。

1994年の夏には水門が故障して、修理のために沼の水を全部抜きました。沼の底にはたくさんの木の株があり、ミズゴケからできた黒い泥炭が一面にひろがっていました。昔の苔沼は名の通りミズゴケの湿地にハンノキやヤナギが生えていた美しい沼だったのでしょう。

苔沼の水が変わった

5月の苔沼の水は少し褐色がかっていますが、よく澄んでいます。とくに5月中頃の苔沼大明神の祭のころはよく澄んでいて、底まで見えるくらいすきとおっています。

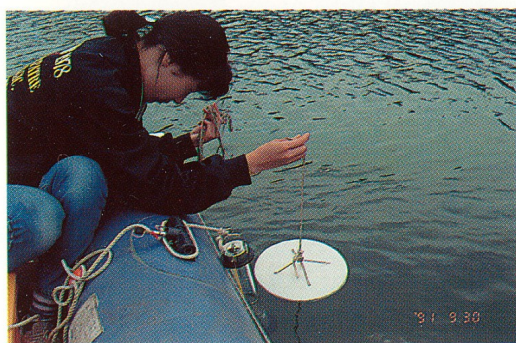
1994年5月21日の透明度は4.5mでした。透明度というのは、直径20~30cmの白い円盤を水に沈めて、肉眼で見えなくなる深さをメートルであらわしたものです。透明度3.5といえば3.5mの深さまで円盤が見えたことを表わしています。

ところが6月に入ると水はしだいに濁りはじめます。1991年7月にこんなことがありました。6月の観測のとき、沼の水はあまり濁っていなかったのに1か月ぶりに見た水は一面黄緑色になっていました。水が化けたのではないかと、非常に驚きました。何か微生物のようなものが異常発生したのではないかと思います。

さっそく水質試験場にいる水の専門家に電話をかけたところ、たぶん“アオコ”だろうという返事でした。

この返事を聞いて疑問に思ったことが二つありました。一つは苔沼は町からはなれた山の中にあり、アオコが発生する諏訪湖や霞ヶ浦よりもきれいなところですよ。この沼にアオコなど発生するとは思えません。もう一つの疑問は、水を変色させたのが本当にアオコかどうかということです。

アオコというのは、家庭で使った水が流れ出したり、水田から肥料が流れ出したりして、沼や湖に流れ込み、そのなかにふくまれるチッソやリンが植物プランクトンに取りこまれてさかんに光合成をおこなって増えたものです。とくに藍藻類のミクロキステス属とい



透明度板をしずめるところ。



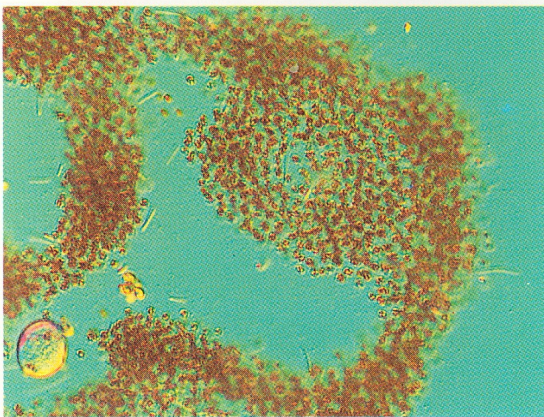
吹きよせられたアオコ。1991年は9月にもアオコが発生した。

う仲間は、細胞がつぎつぎに分裂を起こして短時間のうちに異常増殖をすることがあります。

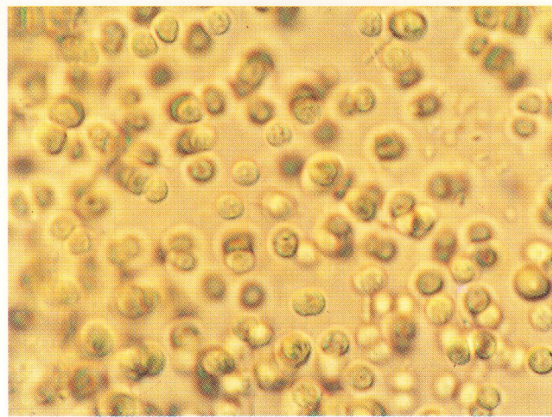
このミクロキステス属の細胞は黄緑—青緑色で、偽空胞^{ぎくうほう}という空気をいれる袋をもっています。異常増殖がはじまると、つぎつぎに水面に浮かんでくるので、水面は青緑色に染まったように変わります。アオコ（青い粉）と呼ばれるのは、このような理由からです。アオコ^{チッソ}の発生するところは、窒素やリンが多くふくまれて



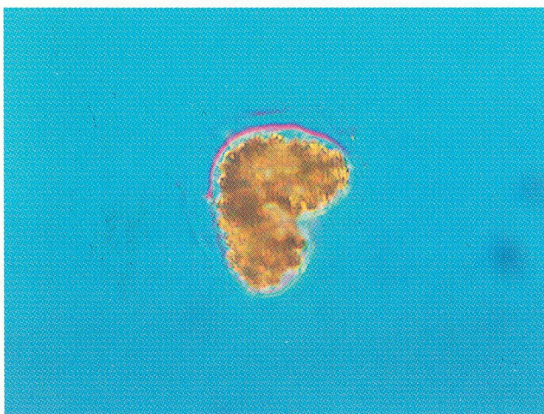
アオコの群れが水面をただよう7月の苔沼



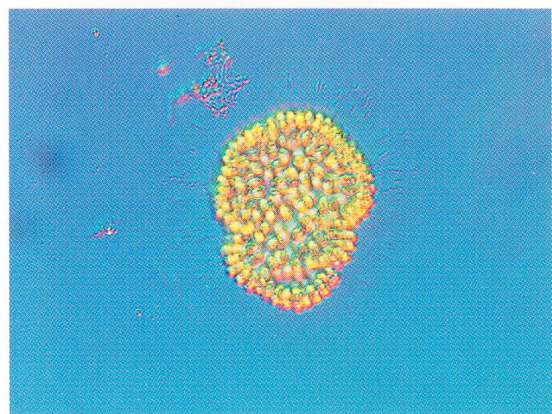
ミクロスティス・ヴェルギノーサー
の群体（不定形のもの.約130倍）



ミクロスティス・ヴェルギノーサー
の群体（球形もの.約130倍）



ミクロスティス・ヴェーゼン
ベルギー（約200倍）



藍藻の一種、コエノスフェリウム。
これもアオコをつくるプランクトン。



水質はゴムボートに乗って沼の中央で観測した。水をくんでいるのは採水器で、この中に温度計がセットされている。

いる汚れた水だといえます。

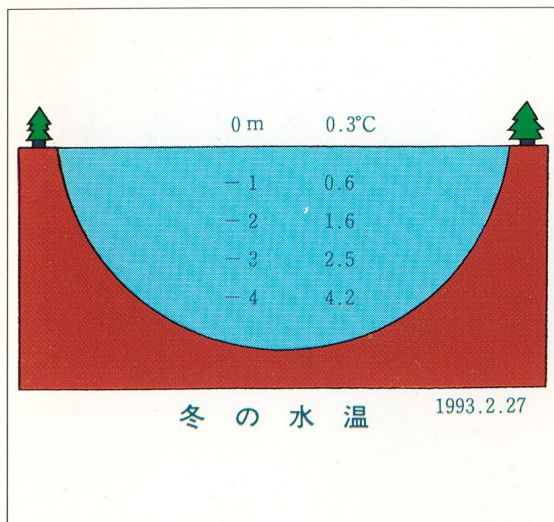
苔沼の水の色を変えたものがミクロキストス属であるかどうかは顕微鏡でその形や特徴を観察して決めなければなりません。

アオコを顕微鏡でみる

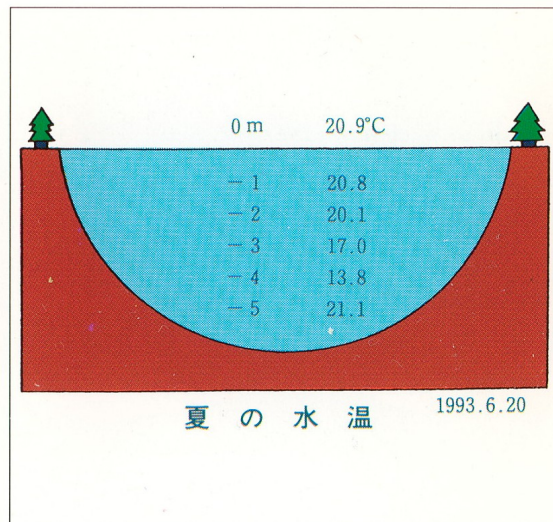
ミクロキストスの調べ方は、淡水のプランクトンにくわしい神戸市水質試験場の伊藤裕之さんに直接教えてもらいました。その結果、苔沼の水の色を変えたのはまちがいなくミクロキストスであることがわかりました。私たちは、苔沼のアオコからミクロキストス・エルギノーサ、ミクロキストス・ヴェーゼンヴェルギーを見分けました。それらの特徴を説明します。この観察はみなさんの学校にある顕微鏡でもできます。

ミクロキストス・エルギノーサは、群体のときの形は球状やレンズ状になっていますが、いくつか集まったり、網目状だったり、細長くのびたり、さまざまな形をしています。色は黄緑色やうすい青緑色をしています。1つの細胞の大きさは2.5～9.5マイクロメートル(μm と書きます。1マイクロメートルは1 mmの1/1000です)です。偽空胞があり水面に浮きます。毒素を持っているといわれています。

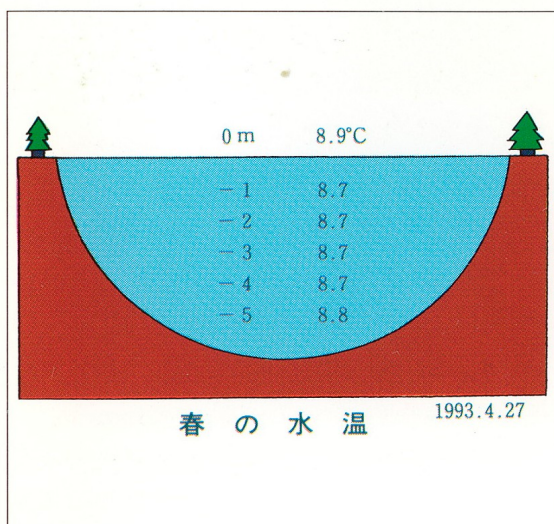
ミクロキストス・ヴェーゼンヴェルギーは、群体が若いときは球形で、古くなると突起がでて不規則な裂け目ができたり分かれたりします。大きさは直径約4～9 μm で、青緑色をしています。偽空胞をもっているため、水面に浮きあがり、そのときの色は青緑色から暗い紅緑色をしています。毒素は持っていません。苔沼の濁りの原因は、ミクロキ



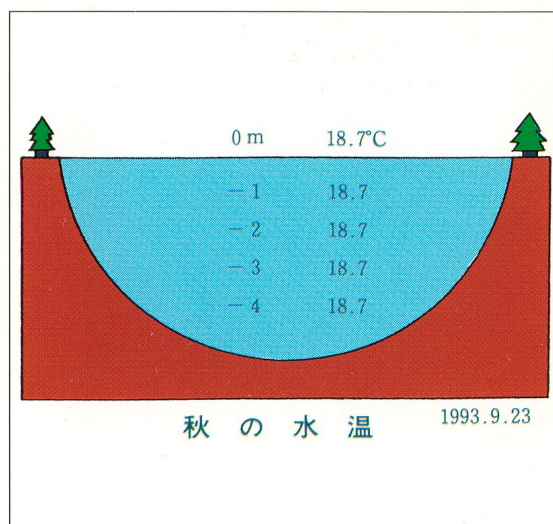
冬の水は底は4℃、表面は0℃の成層構造。



夏は表面の水温は高く、底は低い成層構造。



春の水温は表面も底も同じ水温の循環構造。



秋の水温も循環構造。

ステスであることがわかったのですが、私たちはこの出来事をきっかけに苔沼の水を続けて観測することにしました。

沼の水質を調べる

水質観測は透明度、水温、pH などですが、このほかに沼の泥を採集して、その中にすんでいるフサカやユスリカなども調べました。沼の水は月1回、ゴムボートをつかって採水したり、観測したりしました。次にその観測結果のおもなものについて報告しましょう。

水温は、深さ1 m ごとに測りました。

冬の水温：表面には氷がはっていて、水温は0℃で、底にむかって少しずつ高くなり底

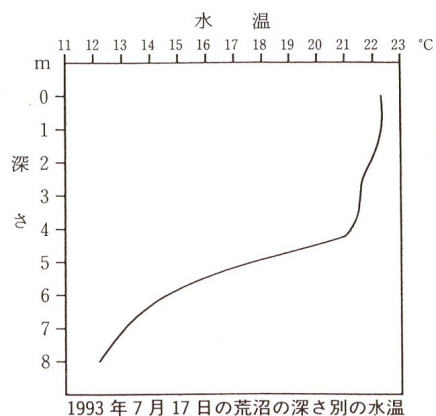


荒沼は「山形市少年自然の家」の近くにある水深8 mの荒沼

では4℃になっています。これは水の密度は4℃のときがいちばん大きい、つまり重いからです。底から表面へ重い水から軽い水へ層のようになっているので成層構造といいます。したがって沼の水は上下の方向にはあまり循環しません。苔沼では成層構造は1月から3月の間でみとめられました。

春の水温：4月と5月の沼の水温は深さに関係なくほぼ一定です。これは水の重さが同じであることを意味しています。この時期、沼の水は上下によく入れかわる循環構造をしています。したがってこの時期は沼の水は少し風が吹いただけでもよく移動しますし、そのために沼の水に溶けている物質もよく移動するわけです。これは沼の富栄養化にも影響をあたえています。

夏の水温：水温が20℃をこえて30℃になる夏の水温はどうなっているのでしょうか。水温が高いので、水の密度は小さくなっているから春のようにどんどん循環しているのでしょうか。水温の観測値を図に示しますと、沼の底のほうが水温が低く、重い水があり、表面に近い水ほど水温が高くなっています。これは冬と同じように成層構造となっているのです。したがって物質の循環はよくありません。

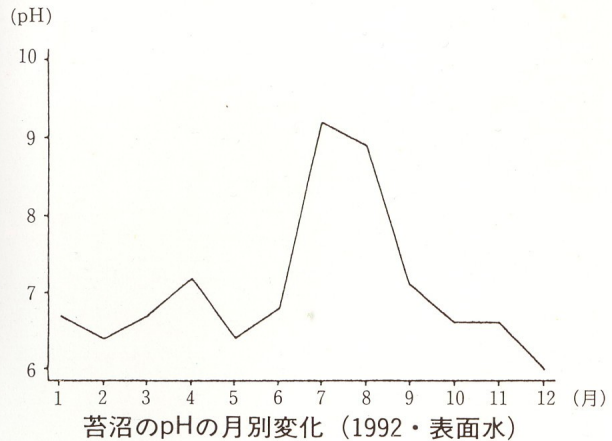


秋の水温：図を見てわかるように表面も底も同じ水

荒沼の水温は深さによって変わる



採水器でくみあげた水のpHをメーターで測っている。pHは数字を読めばよい。



苔沼のpHの1年の変化

温です。春と同じですね。物質の循環はきわめて活発におこなわれている状態にあるといえます。夏にくらべて水温は下がっているのに、秋の終りまで水が濁った状態が続くのは、水の状態が深くかかわっているのかもしれませんが。

荒沼の水温

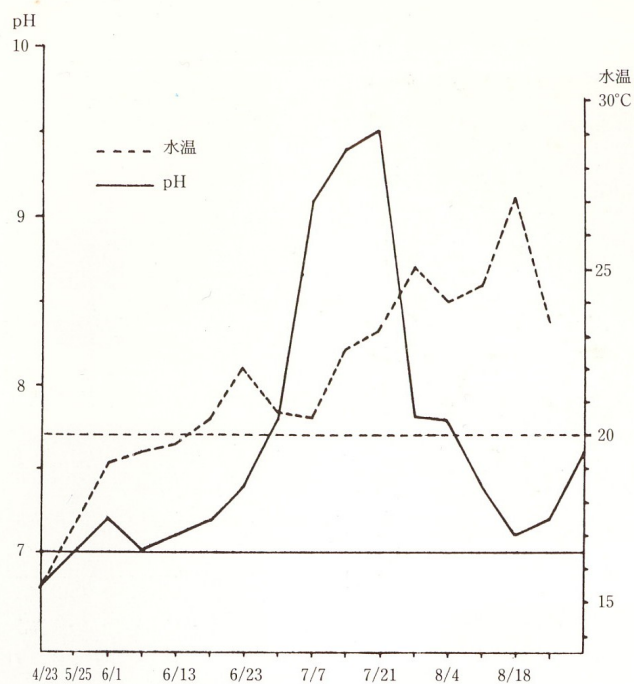
苔沼の東北東約800mに荒沼があります。この沼には岸に沿って走る道路があるし、山形市立少年自然の家も近くにありますが、みなさんのなかには、この沼を知っている人も多いと思います。苔沼とちがってこの沼は春は8 mの深さがあります。4 mの深さの苔沼と水温にどんなちがいがみられるのでしょうか。

春と秋とは苔沼のように沼の水は循環構造となっていますが、夏はかなりちがっています。夏の観測値を示しましたが、水温は4～5 mを境としてぐんと低くなります。日光がとどく深さはほぼここまでで、これより浅いところは生物の活動がさかんです。これをグラフで表わしますとはっきりします。

苔沼の水温とpHとアオコの発生

pHは深さ1 mごとに測りました。pHとは水が酸性かアルカリ性をしめす数です。7が中性で7より小さいと酸性、7より大きいとアルカリ性です。ペーハーとかピーエイチと読みます。

苔沼の1年間のpHの変化を図にしました。苔沼は夏になると強いアルカリの沼になることがわかりますね。なぜ夏になるとアルカリ性になるのでしょうか。苔沼ではこのころアオコが異常発生しています。アオコは日光を受けてさかんに光合成をおこないます。このときにアオコは水に溶けている二酸化炭素を使います。二酸化炭素は水に溶けると炭酸になって酸性を示すのは知っていますね。みなさんが暑いときに飲みたくなるサイダーがそうです。アオコも日光を受けると水にふくまれている炭酸を大量に使います。そうすると、

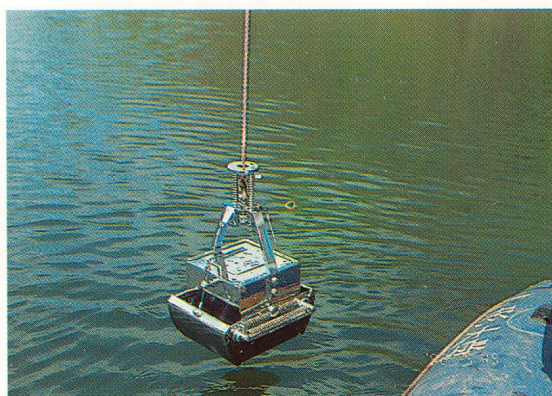


苔沼の水温とpHとの関係（1994）

アオコは水温が 20℃をこえると多く発生しはじめた。



ゴムボートで採集した泥を沼のそばで処理しているところ。



ユスリカなどをとる採泥器



泥の中からユスリカやフサカなどを探しだす作業。



ピンセットでつまみだされたユスリカやフサカ

水のなかで酸性を示すものが少なくなります。水の性質で、酸性のものが少なくなるとアルカリ性を示すようになります。こうして夏の苔沼はアルカリの沼になります。夏にアルカリを示すのは富栄養湖の特徴です。

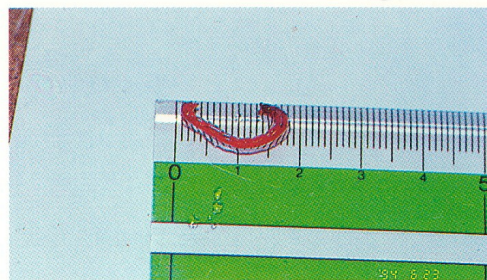
アオコは沼の水がどんな状態のときに発生するのでしょうか。私たちは水温が高くなると発生するのではないかと考え、沼に水温計を浮かべて観測しました。アオコが発生すると pH は高くなりますので、pH の上昇を観測しながらアオコが発生したかどうかを肉眼で

観察しました。観測結果を 9 ページの図に示します。図は水温の上昇とともに pH も高くなっていくことを示しています。また水温が 20℃ をこえると pH は急に高くなることがわかりました。アオコは 20℃ をこえると異常発生して、肉眼でも青い群体ができていることがわかりました。1994 年 6 月 13 日がその日でした。8 月になって pH が下がりはじめ、この後どのように変化するのかなと楽しみにしていたのですが、苔沼のポンプ修理のために沼の水が抜かれてしまい観測中止になってしまいました。

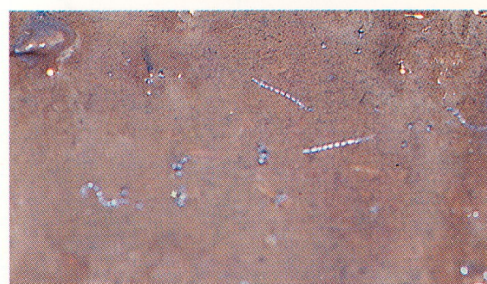
ユスリカを調べる

苔沼の水質の変化の影響は、アオコ発生のほかにもあらわれていないでしょうか。魚はどうだろうか、ミジンコがある時期に多く増えたり、ユスリカやフサカなどの水生昆虫の羽化したりするようすも観察しました。生物はたがいにかかわり合って生活しているから、とうぜん富栄養化に関係するできごとがアオコのほかにも起こっているはずです。

私達がえらんだ生物は、ユスリカです。中学校理科の 3 年の教科書には、川の水の汚れぐあいを示す生物のことがでています。ユスリカの仲間はきれいな水のところにすんでいるものもあるけれども、中にはアカムシユスリカのように汚れた水にすむ種があり、水質



ユスリカの幼虫



フサカの幼虫



羽化したばかりのフサカの成虫

をあらわすものとして注目されています。

ユスリカの幼虫は沼の泥の中にすんでいて、プランクトンの死がいなどを食べて生活しています。ユスリカの幼虫などの底生動物は採泥器を使って採集しました。苔沼には数種類のユスリカがすんでいます、その中にはアカムシユスリカやセスジユスリカのように強い富栄養化のところにすむ種もみつかりました。フサカも中程度の富栄養化の沼に多い種ですが、ユスリカもふくめて窒素やリンの多い富栄養湖に多いものが採集できました。

この底生動物による水質判定の結果は、アオコの観察や pH の測定とも一致するもので、やはり苔沼の水は富栄養化しているといわざるを得ません。

なぜ、苔沼は富栄養化したのか

山のなかにある苔沼はどうして富栄養湖になってしまったのでしょうか。原因がわかったのは1992年9月23日のことです。この日、私たちの観測日と村の人の堤防の草刈りの日とが重なりました。村の人が原因を教えてくださいました。原因は下水処理の後に出る汚泥などの産業廃棄物だったのです。今から21年前の1974年に苔沼の西に産業廃棄物の捨て場がつくられ、山形市から廃棄物が運びこまれていたのです。村の人は農業用水が汚れるのを恐れ、山形市の市議会に処理場の廃止を訴えましたがうまくいかず、住民運動を起こして廃棄物の運びこみを中止させました。そのときの様子が山形市の市会議事録や新聞に載っています。

古い観測記録の証明

苔沼のアオコの原因は、山形市からの産業廃棄物によるものであることは、ゴミ捨てに反対した地元の人達の話、新聞記事などでわかりました。念のために当時の山形市会の記録を調べたところ、まちがいなくゴミ捨てによる水質の悪化を心配するやりとりが、記録に残っていました。

しかし苔沼の水は昔から富栄養化していたのかもしれないし、ゴミ捨てをやめたあと最近までアオコが発生しない水に戻っていたかもしれません。この疑問が解けないかぎり、アオコ発生はゴミ捨てによるものだと、きめてしまうには気がかりな点が残ります。

みなさんだったら、どんな方法で調べますか。

私達は2つの方法を考えました。1つは沼の底の泥を採集して、泥に含まれている成分の変化を現在から過去へさかのぼって調べることです。それとともに調べた泥は何年前の泥かを年代測定で明らかにすることです。この方法は東京湾などで試みられていますが、私達の技術ではとうてい不可能な高度な技術が必要です。

もう1つの方法は、古い調査記録を調べることです。これなら技術力はなくても可能です。私達は陸水学雑誌という川や湖を研究した論文を発表した学会誌を調べたり、山形大学の研究報告を調べたりしました。

この文献で調べる方法は成功しました。一番古い記録は1959年の陸水学雑誌に苔沼は水の科学者が調べており、pH は6.8で、きれいな水でした。それからあとも山形大学がときどき調べていました。その測

調査年	pH
1959	6.8
1961	7.0
1962	7.0
1965	6.9
1974	6.7
1979	9.2
1788	8.4
1991	10.0
1994	9.4

定値を表にしましたが1974年は6.7ですが、1979年は9.2で、やはりゴミ捨てがあったあとは沼の水が強いアルカリ性になっています。これで苔沼はゴミ捨てによってリンや窒素が増えて、アオコが発生していたことが確認できました。

苔沼を富栄養から救う方法

毎年夏がくると、苔沼の水はアルカリ性をしめしてアオコが発生します。なかには1993年のように冷夏で水温の低いとき夏はアオコは発生しませんでした。しかし地元の話ではほぼ毎年20年間にわたって沼にアオコは発生していたそうです。

何かの方法で苔沼のアオコの発生を食い止めることはできないでしょうか。

私たちがまず考えたのは、夏が終わって用水が必要でなくなれば、沼の水をすっかり落としてしまい、沼底の泥

山形市門伝の苔沼汚染

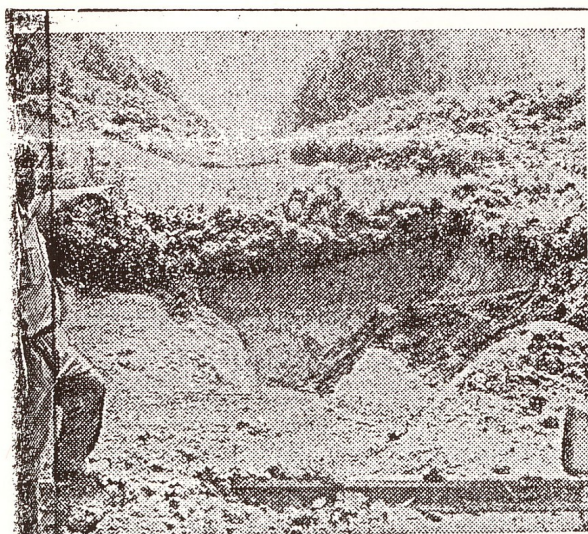
「腰が重いよ県、市」

住民、きょう現地で集会

山形市門伝地区にある民間業者による農業用水に使われている苔沼の産業廃棄物埋立処理場は、近く一沼の水質汚染原因になると処理

場から十ほど離れた同市柏倉地区の住民が県や市に対し処理場の改善を要望していたが「行政機関は何もしてくれない」と八日、同

沼が汚染されると住民が騒いでいる産業廃棄物の埋立処理場（山形市門伝）



地区民三百人ほどが「現場視察」する。

視察後現場で討論会を開き、今後の対策を決めるが、場合によっては、廃棄物搬入の実力阻止もありうるという。こうした動きに業者は「県の許可も得ているし、住民には迷惑の迷惑のからならないようにしているのに……」と語

っている。問題になっているのは山形市門伝にある清住清掃会社（鈴木昭二社長）の産業廃棄物埋立処理場。同社は四十九年八月に県から産業

廃棄物処理業の許可を受け、同埋立地についても、県環境衛生課が

現場確認し、認められている。

現在は一日当たり山形市の終末処理場から出される七五％以上脱水した汚泥と木くず、魚などの残りカスなどおよそ二十トンを運

「民謡、真室川音頭で

名高い真室川の郷で造られた
おいしい醤油です



品質第一

「モリ」醤油

山形県・最上醤油株式会社・真室川町

ばれている。

ところが同処理場から標高差で三十ほど、距離にして百二十ほど下にある苔沼を百二十ほどの農業用水として利用している柏倉地区の農民たちは「沼が汚染される」と、六月四日、県に対し廃棄業者の許可撤回や、処理場建設で分断された散策道路の復元などを陳情した。

柏倉地区の総代の二人、鈴木政

毎日新聞 昭和50年（1975）9月8日の記事より転載

の表面をとり去るのはどうだろうかという方法です。ところが水の研究者にきくと、ミクロキスティス属は、秋から冬、春の間は休眠孢子の状態ですごしているの^{きゆうみん}で、少しでも泥が残っておれば、その中で生き残り、夏になると増殖をはじめるそうです。

もう一つの方法は、沼の水に流れをつくることです。この方法は水の研究者から教えてもらったのですが、日本一の広さをもつ琵琶湖も、最近はおオコが発生しています。しかし、おオコの発生するところと、発生しないところがあり、発生するのは水のよどんでいるところで、水が移動しているところでは発生しないそうです。

苔沼には大平地区の湧き水から引いた水路があり、沼に水が流れこんでいます。この水を6月になるともっと増やすようにして、流れ口も水門から離れた奥に移すと、沼に流れが起こるのではないのでしょうか。うまくすれば自然の力でおオコ発生を防ぐことができるかもしれません。

それにしても苔沼のように無計画にことを進めると、それを元の状態にもどすまでは、大変な労力と資金が必要になります。やはり自然のしくみをよく知った上で、プラスの面とマイナスになる面をくらべて計画せねばなりません。



氷を割って穴をあけ、水や泥を採集する。



列をくんで結氷した湖面を歩く。



顕微鏡でおオコを調べる

あとがき

苔沼の水質については、この本にあげたほかに導電率、溶存酸素量、クロロフィル量なども測りました。

導電率は、沼の水の中を電気がどれだけ通るかを調べるもので、水の中に溶けている物質によって、電気が流れやすいか、流れにくいかをあらわします。溶存酸素量は、水に溶けている酸素の量を測るもので、これは水中生物の活動に深いかかわりがありますが、水温などによってその量が変わったりします。クロロフィル量は、葉緑体にふくまれている色素の一種で、光合成に深くかかわっているものです。

水温をはじめ、こうしたいろいろな調査は毎月1回、月の中頃に測定してきました。はじめの年は、どれくらいの間隔がよいのかわからなくて、朝早くから日没まで、1時間ごとに測定をしたりしましたが、2年目からは、月1回の測定にきめました。そして試料になる水は、深さ1メートルごとに採水しています。

調査でつらかったのは、真冬の氷の張っている湖面で、寒さにたえての測定と、12月に湖面が結氷しはじめるころ、ボートをこぎだして行うときの調査でした。そして調査の日には研究室全員がでて協力して作業をすすめました。苔沼の調査で心がけたのは、測定結果について別の方法でも確かめるクロスチェック法を取り入れたことです。アオコの発生とpHとの関係や新聞記事にたいしては、これまでの水の研究者による測定値の変化を調べるということでした。

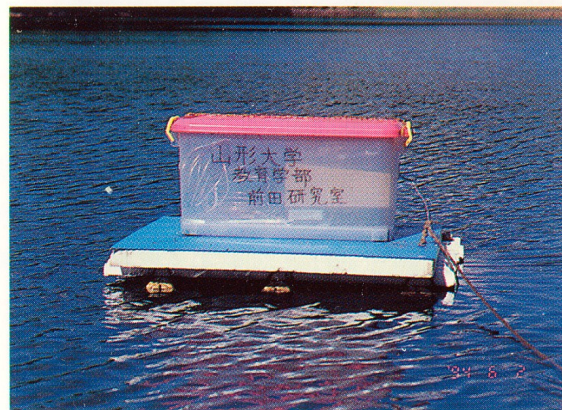
日常生活を営むうえでゴミがでるのはあたりまえのことです。ゴミが出るとそのゴミを処理しなければなりません。ですから処理場はなくてはならないものです。けれども、苔沼のような環境破壊はしかたのないことなのではないでしょうか。みなさんでゴミ問題を考えてみてください。

私たちが苔沼を調べ始めた理由は、白鷹湖沼群にはどんなプランクトンがいるのかみてみようということでした。調査をくり返すうちにアオコの発生に出くわした私たちの研究の成果はこの本にまとめたとおりです。

私たちが調査に使った調査道具は温度計のような中学校の理科室にあるものです。みなさんも学校や家の近くの沼や川の水質を調べてみませんか。今まで気がつかなかったことが見えてくるとおもいます。安全には十分注意してください。



採水器から水を移す



自記温度計を水面に浮かべる

この本をはじめ、『ブナ林のやくそく』『琵琶湖はみんなの宝』の本は、私の研究室（山形大学教育学部理科教育教室）で卒業研究をした人たちの成果をまとめたものです。この人たちは、毎日接している身近な自然の中から環境問題をみつけようと考えました。そのためには野外で自然のしくみや変化を調べる力をつける必要があります。そして先生になるまでに調査できる力をつけようとして取りくんだ成果が3冊の本にまとまりました。

なお、この本の内容はコンパクトディスク（CD）を使ったマルチメディアの教材制作にまで発展しました。その原版は山形大学の教育実践研究指導センターに保存しています。

少し長いあとがきになりましたが、素人の私たちが4年間つづけた研究の成果をみなさんにおとどけしました。みなさんも何かを調べてみましょう。

1995年3月25日

前 田 保 夫

この本をつくるために調査に参加してくださったのは次のかたがたです。

相田陽一 芦野由美 安達良徳 石田純一 大江美和子 河内 昭 小森俊宣 斎藤信幸
渋谷千登勢 白木明美 高橋宏子 高橋雅隆 浜島貴子 堀 敬子 増川裕人 松本義文
丸山千絵美 武藤由紀江 目黒孝博 矢作佳代 山口史子 横沢睦子
山本正明 滝沢利直 長岡 哲

書名 山のアオコ

編集 前田保夫

発行 山形大学教育学部

附属教育実践研究指導センター

特別出版物第3集

1995年4月25日

990 山形市松波2丁目7番4号

TEL・FAX 0236-24-2847

助成 日本生命財団

印刷 豊田太印刷所



苔沼に浮かぶヨシの浮島