

オウミア No.34

琵琶湖研究所ニュース

1990年 12月

編集・発行／滋賀県琵琶湖研究所

〒520-0806 大津市打出浜1-10

TEL 077-526-4800

[水鳥の分布から湖岸環境を評価](#)

[植物プランクトンの窒素栄養塩の利用について](#)

[お知らせ・トピックス](#)

[世界の湖\(29\) — 珥海\(中国・雲南省\)](#)

水鳥と湖岸環境



コハクチョウ

望ましい湖
岸環境とはど
うあるべき
か。水鳥の分
布からさぐっ
てみました。



ヨシ原で憩う水鳥

水鳥の分布から湖岸環境を評価

今年もすでに湖北にはコハクチョウが飛来しました。南湖でもカモなどの冬の水鳥をみることができます。

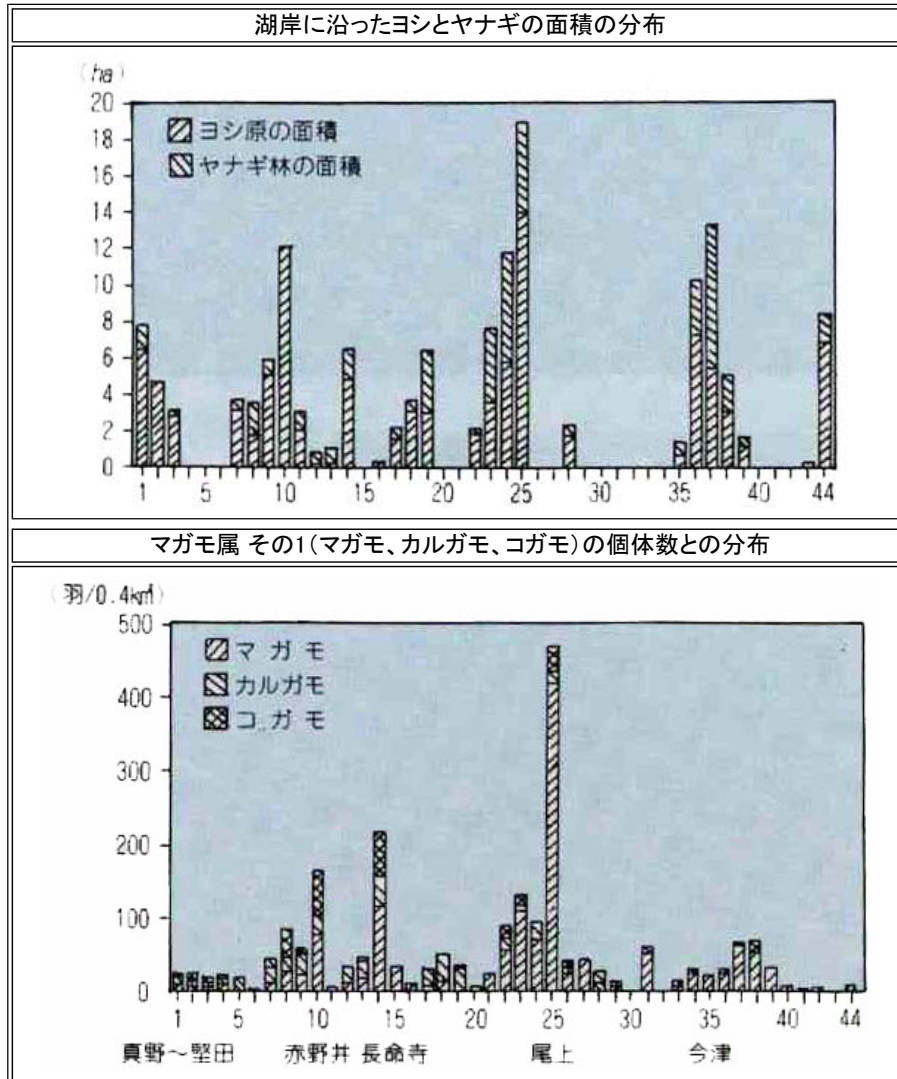
湖岸を利用している水鳥は、食物連鎖の末端近くに位置しており、湖岸の生態系の中でも重要な生き物です。水鳥の分布は湖岸の状況に大きく左右されるので、湖岸環境を診断するための良い物差しになります。琵琶湖研究所では、湖岸の特性を把握する一環として、所外の研究者と共同で、湖岸域の水鳥の分布と湖岸環境との関係を調査してきました。水鳥はとくに冬期に多いので、寒中に船を使って調査するのは大変な作業でしたが、その結果いろいろなことがわかってきました。

水鳥の分布特性

1988年度の調査では77種、1989年度には58種が観察されました。このうち、ガン・カモ科の比率が最も高く(82%)、それにカイツブリ、ウ、クイナ、カモメ科を加えると、全体の固体数のほとんど(98%)を占めていました。これらの鳥たちは、どのように湖岸を利用しているのでしょうか。湖岸から沖合いまでの間を100mごとのゾーンに区切って水鳥の分布を調べてみると、岸から100m以内のゾーンにとくに集中していることがわかりました。また水鳥の行動を調べた結果、湖岸域の利用の仕方によって主要な種を3グループにわけることができました。(1)マガモ属その1、湖岸域を主として睡眠や休息の場として利用し、夜間に陸上で採餌することがおおいマガモ、カルガモ、コガモなど(2)マガモ属その2、昼間は湖岸域で餌をとるか、そのために遊泳していることが多く、水草を餌としていると思われるヒドリガモ、オカヨシガモ、ヨシガモなど(3)ハジロ属、主に潜水して湖底の動植物を採餌するキンクロハジロ、ホシハジロなど。

水鳥の分布と湖岸環境

水鳥の多い湖岸域は、南湖東岸部、北湖東岸近江八幡付近、北湖東岸米原一尾上付近および北湖西岸知内一白髪付近です。なぜこのような湖岸に多いのでしょうか。湖岸を睡眠や休息の場として利用しているマガモなどの仲間(マガモ属その1)の分布と湖岸のヨシやヤナギがはえている面積との関係を、図で見てください。ヨシ原とヤナギ林がよく残っているところに水鳥も多いことが、はっきりと読み取れます。すなわち、ヨシ原やヤナギ林は遮蔽機能を持っており、水鳥が安心して休息できる場を提供しているのです。



1から44までの番号は、真野から出発して時計の針と逆回りに湖岸に設けた調査地点を示す。

これは、水鳥がすみつくためには湖岸の自然環境がどの程度保全されているかが重要であることを示します。また、湖岸生態系が良好な状態に保持されていることは、自然浄化能などの機能も高いといつてよいでしょう。近年、湖岸の改変は著しく、完全に自然を消滅させてしまったり、ある特定の種類の植物だけしか残さないような人口化が多く行われていますが、望ましい湖岸環境としては、できるだけ多様な動植物が生息できる場を多く残す努力が必要と思われます。

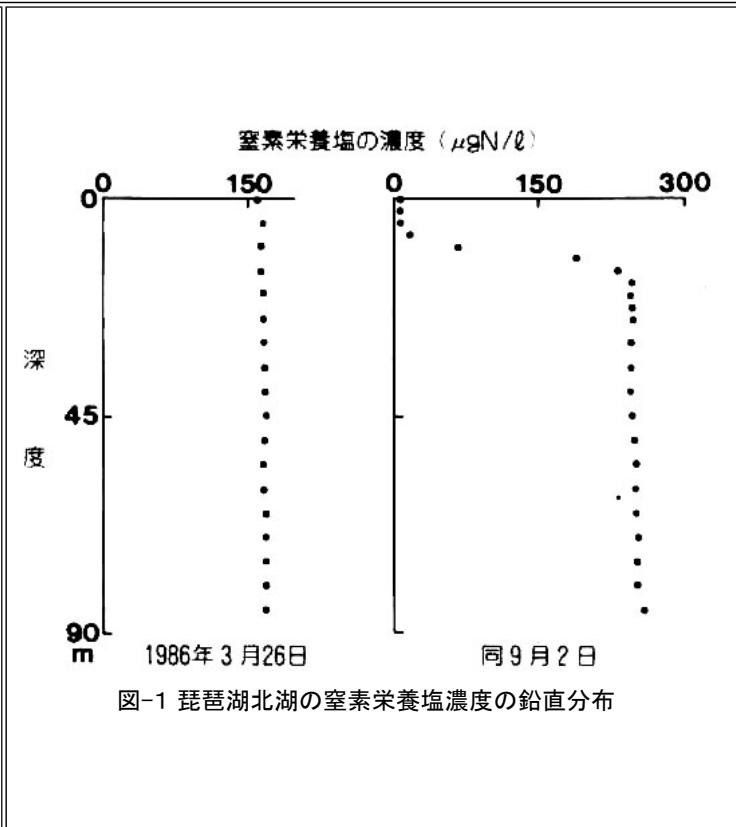
植物プランクトンの窒素栄養塩の利用について

窒素は、リンとともに、湖などの水圏の植物プランクトンの増殖の制限因子となる場合が多く、琵琶湖をはじめいくつかの湖で富栄養化防止のため、流入する窒素・リン量を削減する努力がはられています。このことは、富栄養化など湖の環境問題に少しでも関心のある方なら、どなたでも御存知のことと思います。しかし、ひとくちに窒素といっても、どのような形の窒素がどのくらいの速さで植物プランクトンに利用されるのかというようなことは、あまり知られていないのではないのでしょうか。そこで、植物プランクトンの窒素栄養塩の利用について、琵琶湖北湖を例にして、少しくわしくみていくことにします。

窒素栄養塩とはこんなものです

湖のような天然水中には、さまざまな形態の窒素化合物が存在しています。それらのうち、植物プランクトンの窒素源としては、三つのかたち、すなわちアンモニウム態・尿素態・硝酸態がおもに利用されていることが、多くの水域で認められています。それ以外に、空気から水中に溶け込んだ窒素ガスが植物プランクトンの窒素源として重要な場合もあります。しかし、あとで少しふれますが、窒素ガスを利用できるのは限られた植物プランクトンだけです。ここで、ここでは、アンモニウム態・尿素態・硝酸態の三つの窒素栄養塩についてのべます。

まず、湖の中で、これらの窒素栄養塩がどのように分布しているのかみましょう。図-1には、これら三種類を合計したものの鉛直分布を示しています。北湖のような深い湖での窒素栄養塩の分布を考えるうえで大切なことは、植物プランクトンがどのくらいの深さまで生息できるかを知ることです。湖面から入った太陽の光は深くなるにつれて弱まり、ある深さより下では植物プランクトンは光合成を行えません。この深さまでの層を有光層とよび、ふつう、その下限は光の強さが湖面の1%になる深度で、北湖では平均12m前後です。有光層での窒素栄養塩濃度が最大になるのは、全深度で水温が同じになっている1-3月で(図-1左)、その値はおおよそ $165 \mu\text{g N}/\ell$ で、その95%近くが硝酸態窒素で占められています。その後、季節がすすむにつれて、気温の上昇・太陽エネルギーの増大によって、湖水は表面から暖められるため有光層の水温は高くなります。



しかし、水は熱を伝えにくい性質を持っていますので、有光層の直下の水深15-20m付近に水温の変化がきわめて大きくなる境界層(水温躍層)が形成されます。その層を境に上下の水塊はほとんど混ざり合なくなります。したがって、有光層の窒素栄養塩の濃度の変化は、おもに植物プランクトンのはたらきに支配されて減少し、8-9月にかけて最小になります。これにたいして、水温躍層より深くにある無光層では、有光層から沈降してきた植物プランクトンの遺骸などの有機物の分解によって生じた窒素栄養塩がたまってゆきます。10月以降になると、湖面から熱がうばわれることによって有光層の水温の低下が始まり、水温躍層の上下間の温度の差が小さくなり、やがて二つの水塊がふたたび混ざり合うようになります。その結果、無光層から有光層に運ばれる窒素栄養塩の量が、植物プランクトンの利用による減少量をしのぐようになり、有光層の窒素栄養塩濃度は次第に増加してゆき、1-3月に最大になり、そして、ふたたび春を迎えます。

偏食をします

このように、窒素栄養塩は湖水の動きなどによっても支配されているわけですから、窒素栄養塩の濃度に時間変化から植物プランクトンの利用のようすを知ることはできません。そこで、湖水に存在している窒素栄養塩よりも質量数の大きい窒素原子(重窒素)を持つ窒素栄養塩を湖水に加えて、現場で培養することによって、植物プランクトンの窒素栄養塩の利用を調べました。その結果の一部を図-2に示します。これは1m層での三つの形態の窒素栄養塩の濃度と植物プランクトンによるそれぞれの取り込み速度の季節変化を示しています。

ここで注目されるのは、植物プランクトンは三つのかたちの窒素のなかで、かならずしもたくさんあるものを多く利用しているわけではないということです。たとえば、3月のアンモニウム態窒素の濃度は全窒素栄養塩濃度の5%以下ですが、アンモニウム態窒素の取り込み速度は全窒素取り込み量の90%近くに達しています。これにたいして硝酸態窒素は、9月をのぞいて最も多く存在していますが、植物プランクトンにはわずしか利用されていません。このことについて少し考えてみます。

植物プランクトンに取り込まれた窒素栄養塩は、おもに成長・増殖に必要なアミノ酸・タンパク質を合成するために使われます。植物プランクトンに多くみられるアミノ酸のひとつであるアラニンは、化学式で示すと $\text{CH}_3\text{CH}(\text{NH}_2)\text{COOH}$ となります。いっぽう、窒素栄養塩の化学式は、アンモニウム態が NH_4^+ 、尿素態が $(\text{NH}_2)_2\text{CO}$ 、硝酸態が NO_3^- です。アンモニウム態・尿素体窒素ではアミノ酸とおなじように窒素原子は水素原子と結び付いた形をしています。したがって、植物プランクトンが硝酸態窒素をアミノ酸として利用するためには、水素と結び付いた形にまで還元する必要があります。この反応は酵素の働きによっておこなわれます。水素と結び付いた尿素態窒素も、酵素の作用によってアンモニウム態窒素と二酸化炭素に分解されたのちに、植物プランクトンに利用されます。このように、取り込み過程に酵素反応が必要であるかないか、酵素反応の

おこり易さ、酵素の出現頻度などによって、植物プランクトンの窒素栄養塩の利用に選択性が生じます。北湖の植物プランクトンは、多くの水域と同じように、アンモニウム態窒素 $\geq$ 尿素態窒素 $>$ 硝酸態窒素の順に選択的に利用しています。

フローとストック

図-1に示したように、有光層の窒素栄養塩は8-9月になると、植物プランクトンの利用によって著しく減少します。そして図-2で明らかのように、その窒素栄養塩の濃度の減少は、植物プランクトンに利用されにくい硝酸態窒素の減少によっておこります。そして硝酸態窒素は、夏季には完全になくなってしまいます。これにたいして、アンモニウム態・尿素態窒素濃度は、8-9月をのぞいて、いずれも $5\mu\text{gN}/\ell$ 前後の濃度に保たれています。植物プランクトンに利用されやすい、アンモニウム態・尿素態窒素がつねに存在し続けるということは、有光層内にこれらの起源があるためと考えられます。

そこで、利用速度を測定するときと同じように、重窒素でしるしをつけたアンモニウム態窒素を湖水にくわえて培養し、試水中のアンモニウム態窒素中の重窒素の割合の変化から、アンモニウム態窒素の湖水への回帰速度をもとめました。その結果、有光層全体では、植物プランクトンのアンモニウム態窒素の取り込み速度とほぼ同じ速度でアンモニウム態窒素が湖水に回帰していることがあきらかになりました。また、大阪教育大学の三田村さんの研究によって、尿素態窒素も植物プランクトンの取り込み速度の平均82%の速度で有光層中の懸濁態有機窒素から湖水に回帰していることがわかっています。このアンモニウム態・尿素態窒素の湖水への回帰は、植物プランクトン自身による分泌、バクテリアによる植物プランクトンをふくむ懸濁態有機窒素の無機化、動物プランクトンによる排泄など、いくつかの過程のはたらきによるものと考えられています。このように有光層では、アンモニウム態・尿素態窒素は、植物プランクトンに利用される速度とおなじ程度の速度で、懸濁態有機窒素から湖水に戻っています。そして、それがふたたび植物プランクトンに利用されるという循環系がつけられていると考えられます。

ここで、もう一度図-2に注目してください。。さきほどのべたように、3-6月のアンモニウム態・尿素態窒素濃度はほとんど変化していないにもかかわらず、アンモニウム態・尿素態窒素の取り込み速度は季節がすすむにしたがって増大していることがわかります。そして、10-12月には取り込み速度は次第に減少していきます。これは、植物プランクトンの窒素栄養塩取り込み活性が、水温によって規定されているためです。つまり、アンモニウム態・尿素態窒素の濃度があまり変化していないということは、アンモニウム態・尿素態窒素の回帰にかかわるいくつかの生物過程も、同じように水温に規定されているからだと考えられます。

北湖の植物プランクトン濃度(クロロフィルで測定)は、3-7月にかけて増加していました。そしてこの時期、植物プランクトンはおもにアンモニウム態・尿素態窒素を利用しています。けれども、これらの窒素栄養塩はもともと植物プランクトンをふくむ懸濁態有機窒素がその起源になっているわけですから、これらの窒素栄養塩だけを利用しては、植物プランクトンはその濃度を増加できないわけです。したがって、この時期の植物プランクトンの増加に必要な窒素は、硝酸態窒素の取り込みによってまかなわれていたことになります。植物プランクトンの増殖の程度によって、硝酸態窒素の取り込み量が決まってくるわけです。すなわち、北湖での植物プランクトンの増殖を規定しているリンの利用度によって、硝酸態窒素の取り込み量はきまると考えられます。実際に、リン酸態リンを湖水に加えて培養をおこなうと、硝酸態窒素の取り込み量はきわめて大きくなります。

もちろん、硝酸態窒素も、植物プランクトンに取り込まれたあとは、アンモニウム態・尿素態窒素とおなじように細胞内で使われるわけですから、すべてが現存量の増加に用いられるわけではなく、その一部はアンモニウム態・尿素態窒素として湖水にもどります。これが、取り込み一回帰を繰り返すうちに分解されにくい物質が作られたり、有光層から沈降したりすることなどによって、有光層で循環するアンモニウム態・尿素態窒素が減少するのを補っています。その結果、アンモニウム態・尿素態窒素濃度がほぼ一定に保たれると考えられます。

ちかごろ滋賀県でも、他の地域とおなじように酸性雨が問題になっていますが、酸性雨の原因の一つは雨水中の硝酸態窒素濃度の増加です。しかし、琵琶湖では、通常の降雨で直接湖面に供給される硝酸態窒素の量は、有光層全体の濃度に大きな影響を与えるほどではありません。また台風や梅雨明け前の豪雨といったときをのぞいて、ここに示したデータを測定した湖の中心部では、河川から運ばれた硝酸態窒素による濃度の増加は観測されません。したがって、アンモニウム態・尿素態窒素のように有光層内に起源をもたない硝酸態窒素は、植物プランクトンの利用におうじてその濃度が低下します。そして、毎年夏のおわりには、有光層上部ではまったく存在しなくなります。そのような状態になると、植物プランクトンは硝酸態窒素を利用できなくなるだけでなく、循環しているアンモニウム態・尿素態窒素濃度も硝酸態窒素の利用による供給が断たれ減少するため、アンモニウム態・尿素態窒素の利用量も減少します。

このときの植物プランクトンの光合成活性は、窒素栄養塩が充分存在している時期にくらべて、大きな差はみられません。けれども、名古屋大学の濱さんは、光合成で固定された炭素からどのような有機物が作られるかを調べた結果、窒素栄養塩が少ないときには、他の時期よりタンパク質の生成がかなり低下することを明らかにしています。したがって、この時期の北湖の植物プランクトンは窒素不足状態にあると考えられます。しかし、量は少ないがアンモニウム態・尿素態窒素を利用できるので、北湖の植物プランクトンの窒素不足は、現存量を減少させるほどきびしくないと考えられます。そして、この窒素不足は、さきに述べたように、秋になって無光層から有光層へ窒素栄養塩がもたらされることによって、終止符がうたれます。

硝酸態窒素はいい奴なのです

北湖では、植物プランクトンの硝酸態窒素の取り込みはその濃度に依存しているわけではなく、植物プランクトンの増殖を制限しているリンの利用度と水温によって決まっているわけですから、硝酸態窒素の濃度の増大は富栄養化にあまり影響を与えないと考えられます。そこで逆に、硝酸態窒素の流入を削減した場合について考えてみます。

硝酸態窒素濃度が低くなると、有光層で窒素不足になる期間がながくなります。そのため、植物プランクトンの増殖が窒素によって制限されるようになるかもしれません。しかし、夏季に窒素栄養塩濃度が低くなくても、つくられる植物プランクトンは炭水化物がくれですが、とにかく光合成活性は窒素が充分にある季節とおなじ程度に保たれています。したがって、このときの植物プランクトンのリン利用度は、他の季節とかわらないと考えられます。このようにリンがあり窒素がない状態がつづきますと、窒素ガスを窒素源として利用できる植物プランクトンが増殖する危険性があります。実際に、南湖では窒素栄養塩が消失する夏季から初秋にかけて、窒素ガスを利用するアナバエナ(Anabaena)の水の華が毎年のように観測されています。そして、アナバエナ類のなかには、水道水のろ過障害や異臭味を発生させるものが多数います。したがって、リンの利用度が減少しないかぎり、硝酸態窒素の流入を削減することは、湖の保全にとってマイナスの効果をもたらす可能性がかなりあります。

さらに無光層では、硝酸態窒素は富栄養化を防ぐはたらきをしています。ちかごろ、北湖の深水層の溶存酸素濃度がかなり低くなっており、近い将来には完全に失われ、植物プランクトンの増殖を制限しているリンが湖底から湖水に溶ける出ることが心配されています。これは、湖底のリンとむすびつきリンが湖底から溶け出のをふせいでいる懸濁態鉄が、溶存酸素がなくなることによって溶けだすためです。しかし、溶存酸素がなくなると、硝酸態窒素が酸素とおなじはたらきをして懸濁態鉄の溶解を抑制するので、リンの湖底からの溶出を防ぎます。このように、硝酸態窒素は、湖の深いところで、富栄養化の防止にひそかに役立つ能力をもっています。

湖内ではたまたまから考えて、アンモニウム態窒素はともかく、琵琶湖に流入する窒素の大半を占める硝酸態窒素を削減することは、富栄養化を防ぐには効果が少ないばかりか、むしろ富栄養化を促進する危険性さえあります。それに、人間活動の影響がきわめて少ない河川の上流では、アンモニウム態窒素、リン酸態リンは低い値を示していますが、硝酸態窒素の濃度は、琵琶湖北湖の循環期の濃度とおなじ程度か、あるいはそれより高いこともめずらしくありません。したがって、富栄養化する以前の琵琶湖には、リンの少ない硝酸態窒素の多い河川水が流入していたのですから、硝酸態窒素の負荷は低くなかったと考えられます。このように、自然界に大きな起原をもつ硝酸態窒素を削減することはきわめて困難であるうえに、富栄養化の防止にたいする効果はあまり期待できません。したがって、効率よく琵琶湖北湖を保全するためには、その起原の大部分が人間活動にあるリンの負荷の削減にすべてのエネルギーを集中するのが得策です。おなじく人間活動がおもな起原であるアンモニウム態窒素や有機物の負荷のかなりの部分は、その過程でおのずと削減されるでしょう。

トピックス

- 水位低下、アユが死ぬ、台風19号 -

水位低下

今年の夏の暑さは猛烈で、各地から深刻な水不足が伝えられた。琵琶湖でも、ジリジリと水位が低下し、8月30日には、警戒水位の-50cmを割ってしまった。彦根気象台の調べでは、7月の平均気温は26.2℃(平均より1.1℃高め)、平均降水量は138.5mm(平年の59%)。8月は、平均気温は27.7℃(平年より1.3℃高め)、平均降水量は49.0mm(平年の33%)。なるほど、暑く雨の少ない夏でした。



水がなくなった愛知川 (90. 9.12)

大阪では、最高気温30℃以上の真夏日が、7月6日から9月10日までの連続67日という観測史上最高を記録。これまでの最高の、昭和14年(1939年)の連続66日を抜いた。実は昭和14年という年は、琵琶湖の水位が史上最低の-103cmの年でもあり、このピッチで水位が低下すると、昭和14年の大渇水を上回るのではと心配された。

アユが死ぬ

9月11日、水位は-65cmに低下。この日、彦根市の宇曾川で40~50万匹もの大量のあゆが浮かんた。雨不足で、川に流れる水が極端に減少し、アユが産卵に川を上がれないという事態が発生。産卵場所を求めたアユが集中して、酸欠になったのではという推測もされたが、はっきりした原因は不明だ。



宇曾川河口近く (90. 9.12)

この後、野洲川、日野川でもアユの酸欠死が伝えられている。水位がわずか10cmほどになった川にも、産卵のためアユは川を上っていった。アユにとっては受難の夏だったようだ。

台風19号

9月13日から、待望の雨が降り出し、水位回復の期待がかけられた。しかし、この雨は台風19号がもたらしたのだが、水不足から一転して、洪水の被害をまともに受けることになった。



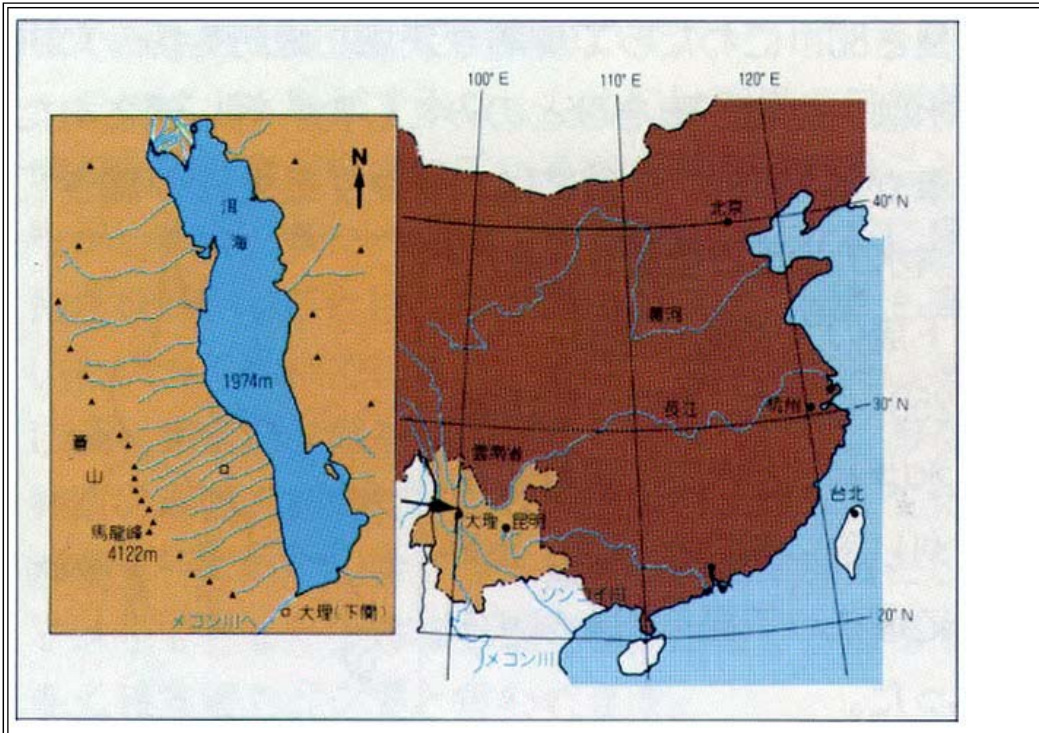
台風19号の大雨で、愛知川左岸の能登川町では堤防が決壊し、死者1名、床上浸水80戸、床下浸水190戸を出す大災害となった。

9月20日未明、台風通過。能登川町大字今で、長さ80mにわたって堤防が決壊。堤防を切った洪水は、住宅、車をひとのみにした。押し流された車が約130台、県道にはパッキリと大穴が開き、洪水の物凄さを語る。また、下流の大字栗見新田でも、250～300mにわたって決壊。刈り取り前の水田は、土砂に埋まって見る影もなくなった。



世界の湖(29) — 洱海（中国・雲南省）

二年前の夏、研究所の談話室で弁当を広げているとき、雲南省の洱海から戻られた吉良所長がこんなのがあったよと、水草のいくつかの標本を示された。その中に、琵琶湖ではすでに絶滅したと思われるガシヤモクとゴハリマツモが含まれていた。それが洱海に興味を持った最初であった。そして今年の9月、杭州で開催された第4回世界湖沼環境会議に出席したあと、この湖を訪れる機会を得た。



雲南省には長江をはじめ多くの大河川の源流が集中しており、洱海はメコン川の上流域にあたる。琵琶湖同様に断層湖であるこの湖は、湖の西側、比良山の位置に蒼山山脈があり、流出口も南端にあり、湖面積246km²、平均水深10.5m、水量27.7億m³と、多少小振りだが、東岸に山が迫っている点を除くと、琵琶湖そっくりである。総窒素、総リンの平均値は0.312、0.017mg/ℓで、透明度は平均3.3mという水質状況も似ている。

低緯度で、しかも湖面標高1974mと高地にあることから、常春の国で四季は明瞭ではなく、雨期(5月～10月)と乾期(11月～4月)に分かれる。雨期の最中で、湖水面が2m上昇しており、水草の観察には適してはいなかったが、いくつかの標本を採ることはできた。現在の優占種はクロモとセキシウモの一種とのことである。



白族の女性は働き者で漁船の漕ぎ手も努める

一見のどかにみえるこの湖でも、開発と保全の問題が起こっている。森林伐採が進み、集水域の山々の大部分が低木林が草地となっており、土壌浸食や河川の流入量の減少が進行しているという。燃料不足も深刻である。数年前から湖のすぐ下流で水力発電が

始まり、水道やかんがい用水源の開発の必要にせまられており、となりの流域から洱海に水を引くことも計画されている。

発電所により多くの水を供給するために、1977年に流出口が掘り下げられ、1980年代には2m近く湖の水位が低下した。その結果起こった富栄養化によって、水草の分布面積の拡大や魚の優占種の変化が起こったという。近い将来に水位低下を控えている琵琶湖にとって、研究してみる価値のある湖のようだ。

湖畔の大理市(下関)滞在の最後の日の午後、雨の降りしきる中、市内の市場に出かけた。珍しいキノコや野菜が数多く売られていたが、やはり圧巻は雲南の湖特産の巨大なタニシ(コブタニシ)と、今は減少してしまっているがスープに用いるというミズオオバコの仲間(*Ottelia acuminata*)長い長い花茎とであった。(浜端悦治)



野菜として売られていたミズオオバコ属の花茎