

講演録

フィリピン、ラグナ湖の
陸水学的現況と
汽水湖研究の課題

沖野外輝夫

信州大学理学部附属臨湖実験所 教授

The limnological state of Laguna de Bay
in Philippines
and
some limnological problems
on the studies of brackish lakes

Tokio Okino

Suwa Hydrobiological Station, Fac. Sci.,
Shinshu University●この講演は1992年9月4日に島根大学
において汽水域研究センター第1回講
演会として行われたものです。

はじめに

ただ今ご紹介頂きました信州大学の沖野です。ご紹介にありましたように、諏訪湖の湖畔にある信州大学の臨湖実験所に勤務しております。今年から島根大学の汽水域研究センターが活動を開始するというので、その第1回目の講演を担当するという名誉を与えていただいたわけですが、この記念すべき会の名を汚すようなことになるのではないかと心配しております。第2回目もすでに企画されているとのことですので、とりあえず私は第2回目の前座的な話をさせていただくことにします。

ラグナ湖の概要

本来、汽水域の研究も湖の研究の一部ですので、私が直接関わっている諏訪湖の話をすればいいのですが、諏訪湖は完全な淡水湖、それも非常に汚染の進んだ淡水湖ですから、あまり汽水域の研究の参考にはならないかもしれません。そこで、たまたま昨年、こちらの国井先生といっしょに行きましたフィリピンのラグナ湖の話を中心に、紹介させていただきます。ラグナ湖は、汽水湖ですので、ラグナ湖の調査を紹介させていただきながら、汽水湖研究でということが今問題になっているかに触れてみたいと思います。

ラグナ湖は、フィリピンのマニラ市郊外に隣接している、湖面積が860km²という大きな湖です。深さは以前のデータでも最大水深7.3mとでています。これ

講師の紹介

島根大学汽水域研究センター・センター長 徳岡隆夫

ご講演に先立ちまして、沖野先生のご紹介をしたいと思います。沖野先生は、信州大学の教授で、なおかつ諏訪臨湖実験所の所長という立場におありです。ご専門は、大きく言えば水界生態学、あるいは陸水学という分野で、そのうちでも、植物プランクトンについての研究を専門になさっています。湖の富栄養化の問題とか、あるいは物質循環の問題とか、あるいは物質生産ですね、そういう面で非常にご造詣の深い先生でもあります。諏訪湖は有名な湖で、みなさんもお存じだと思いますが、かなり富栄養化が進んでいるということを聞いております。先生は、その富栄養化をどうしたら防げるかという研究に、今だいふ努力をされているところだということです。しかし、今日の話は諏訪湖の話ではなくて、汽水域研究センターの第1回目の講演ということですので、汽水湖の話題を中心に「フィリピン、ラグナ湖の陸水学的現況と汽水湖研究の課題」ということでお願いしたわけです。去年、先生は春、秋と2度ラグナ湖に行かれまして、いろいろと調査・研究されて来られました。その成果を今日お話くださるということですので、御静聴お願いします。

は、吉村信吉先生の「東亜の陸水」の中に出てくるデータで、その当時から浅い湖であったようです。現在は6m前後で、熱帯の湖沼ですから、乾季と雨季で水位が変わるので、正確にはどのくらいの水深なのかははっきりしない面があるとは思いますが、いずれにしても諏訪湖、または宍道湖と同じくらいの深さの湖です。

現在この湖で問題になっていることは、水質汚濁の問題で、これがどうして起こったのかが議論されています。霞ヶ浦は水門で水路を締め切り、淡水化をしました。中海もそういう話があったわけですが、ラグナ湖の場合にもマニラ湾につながっていた水路に水門を造って締め切ったことが汚染につながったと言われる方が多いようです。同時に、浅い湖で、面積は広いですから、風が吹くと底泥が巻き上がり、非常に濁った湖という印象を受けます。その濁りの原因は、大方の判断からすれば集水域にあります。陸上の森林が伐採され、そこに大量の雨が降ると濁り水が流入し、その結果として湖の中がいろいろ変わってきたようです。ただ、現在言われているように、濁りが増えてきて、さらに締め切りをしたために浅くなったと言われているにせよ、吉村先生の頃から7mくらいしかなかったと書かれていますので、そんなに急激に浅くなったということではないようです。けれども、湖の水質的なものは吉村先生の書かれた当時と比べて相当に変わっていることは確かです。

集水域の変化がどうなっているかですが、ラグナ湖のそばにフィリピン大学のロスバノス校があって、そこから研究報告書が出されています。その報告書

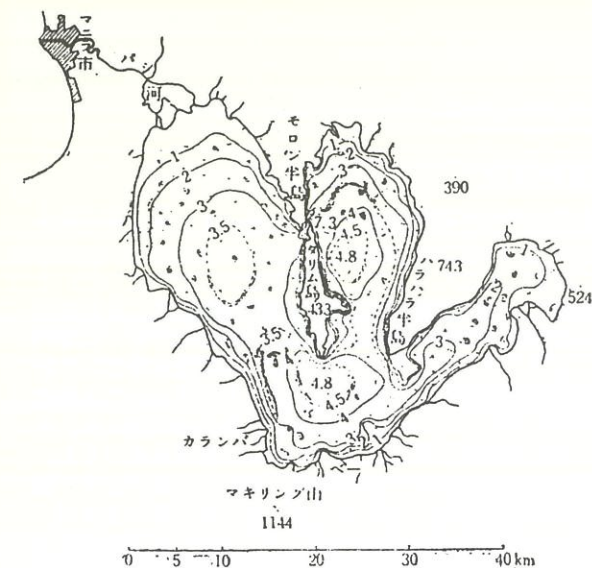


図1. ラグナ湖の湖盆図 (海図1688をもとに、1934年までの米国の測量による。吉村 (1943) より引用)

Fig.1. Map of the lake basin of Laguna de Bay (quoted by Yoshimura (1943) after American surveying map (1934) and a chart of 1688)

で見ますと、荒地と言いますか、森林を切って、開かれてしまったオープンエリアというのが集水域の26%から27%くらいあるそうです。1966年のデータでは、それが7.5%くらいであったようです。それが、10年後の1977年には16%、1982年には27%となり、いわゆる裸地が増えていったわけです。結果として、そこから大量のシルトが入ってきて、濁りの原因になっていると考えられています。その他にも、耕地として使われているのが、43%くらいとなっていますので、両者合わせるとオープンになっている所が全体の70%くらいになるわけですから、雨季になって大量の雨が降れば、当然、周りから土砂が流入し、それが湖水の濁りの大きな原因となっています。その濁りが水質に影響し、水質汚濁の原因ともなっています。

では、実際に雨量はどのくらいかですが、およそ年間総量で2500mmから4500mm降るそうです。それも乾季と雨季で偏りがあるわけで、雨期に集中して、大量の雨が降ります。そうすると、乾季と雨期では、環境的にも非常に大きな差が出てきますし、水質的にもいろいろな差が出てくるはずですが、私たちが、国井先生と一緒にフィリピンに行ったのは、3月の乾季の頃と9月の雨季の頃でした。両方のデータを比べてみて感じたことは、温帯の湖を研究する場合と熱帯の場合とでは、いろいろと考え方をかえて、調査の方法もひと捻りしておくことが必要だということでした。

ラグナ湖の成因は、マニラ湾の一部が地殻変動で隆起してできたという説が書かれています。いづれにしても、昔は湾とつながっていたものが閉鎖されて、海と湖をつなぐ水路から海水が出入りし、その結果として、汽水湖としての性格の湖が出来たものでしょう。

ラグナ湖の地形

今日報告するラグナ湖の仕事は、フィリピン大学ロスバノス校の研究者と、日本では東京農工大学が中心になってやっている、拠点大学方式による発展途上国との学術交流によるものです。タイトルとしては、「ラグナ湖の水質汚濁防止に関する研究」となっています。水質汚濁防止となると工学部の分野で、こちらの森先生が専門ですが、私たちは理学的な立場から水質の基礎的な所を見てきたということです。

図1は、吉村信吉先生の「東亜の陸水」の中で出てくる図を拝借したものです。元になった海図は1668年ですが、本原図は1934年までの米国の測量によると書いてありますので、1934年代のラグナ湖の湖盆図ということになります。湖の形はちょうど手のひらのような感じで、湖の西湖盆北端から水路でマニラ湾につながっていて、この水路から海水が入ったり、出たりしていました。現在のマニラ市はこの図にあるよりもっと拡大して、ほとんどラグナ湖西湖盆の西側に隣接するように肥大化してきています。西湖盆の西岸には工業地帯が張り付いてきて、都市化が進んでいます。一方、北から東側の湖岸の方は農耕地とか、オープンエリアが増えている所です。全体として、陸地からの流入水は東側から入ってきて、西湖盆へ流れ出ています。また、中央湾というのがありますが、この中央湖盆と西湖盆の間には湖内最大の島がありまして、その北側が狭い水路でつながっています。ですから、塩水はこの水路を通して中央湖盆へ出入りする部分もあるようです。最大水深は、この水路の中央湖盆側で、7.3mですが、大部分は4.5から4.8m程度です。ただし、乾季と雨季では2mくらいの水位の差がでてきます。

フィリピン大学の分校があるロスバノスは湖南端の湖の要のような位置にあります。非常に良い所で、そこを基地として湖の研究が行われています。

これ(写真1)は、ロスバノスの港から見た湖の全景です。フィリピンのラグナ湖の特徴であるバン(魚を取るための囲い)が写っています。竹や木の棒を底泥に差し込んで囲いを作り、その中で魚を取る湖内の私有地です。私たちが使った船はこの中央の船です。湖が非常に広いので、全地点21地点の調査におよそ2日かかります。



写真1. ラグナ湖ロスバノス港からのラグナ湖と調査船
Photo.1. Laguna de Bay and the ship used for survey taken a photograph from the lake side of Los Baños.

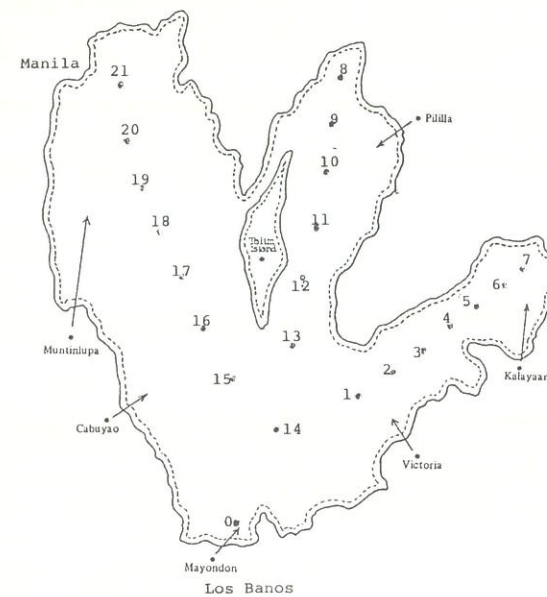


図2. ラグナ湖の調査地点 (1991年3月、9月)

Fig.2. The location of surveying point of Laguna de Bay (March and September, 1991)

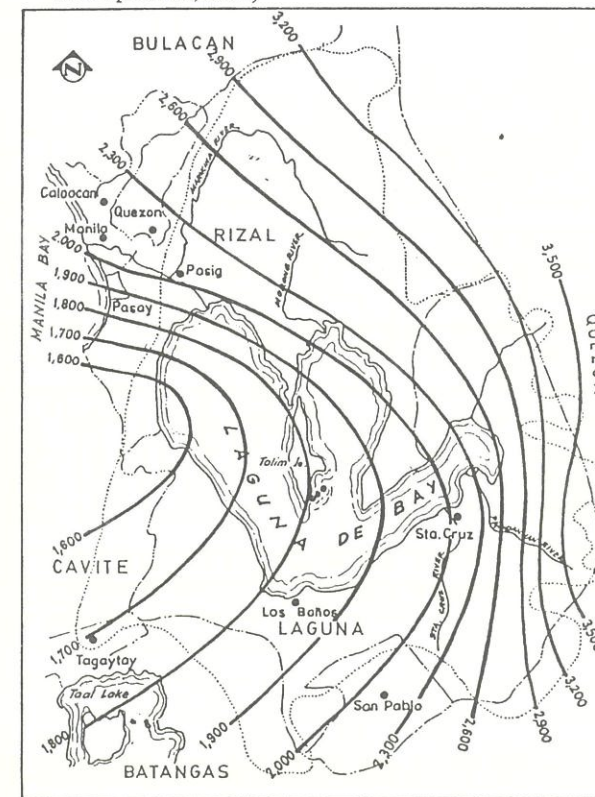


図3. ラグナ湖周辺の降雨量の等雨線図 (Z. N. Sierra and others, 1990より引用)

Fig.3. Average annual rainfall isohyets (mm/yr) within the watershed of Laguna de Bay (quoted by Sierra and others, 1990)

ラグナ湖の陸水学的現況

図2に調査地点を番号で示しました。これ以後のデータは地点番号で示してあります。若い番号の1~7が東側の湾(イーストベイ)です。セントラルベイという真ん中の湾が8~14で、マニラに近い西側の湾が15~21です。南端にロスバノスというのがありますが、ここが大学のキャンパスのあるところ



写真2. ロスバノス展望台からのラグナ湖とマール (1991年9月撮影)

Photo.2. A panoramic view of Laguna de Bay and a small maar named with Aligata lake (Sept, 1991)



写真3. ラグナ湖の魚の囲い込み (バン)

Photo.3. Primitive fishery area named with Bang in the lake.

です。

図3は年間降水量の等値線を示しています。この等値線を見ると、湖自体に降る雨の量は、雨季には2000mmくらいになります。北から東側の集水域では4000mm近い雨が降っています。ですから、大量の雨が降ると、当然、水と一緒に濁りも流れ込んでくるわけです。

これ(写真2)は、先程のロスバノス校の裏にある展望台から湖を俯瞰した写真です。湖に張り出している岬状のところに池が見えます。これはマールだと思います。この辺は火山地域ですので、陸上にも沢山の小さなマールが点在しています。そちらの方も見て参りましたが、非常に興味を持ちました。日本で言うと東北の方にある一の目潟、二の目潟です。ラグナ湖は全体としては周辺が隆起してせき止められた湖と言われていますけれども、火山地域ですので、湖の中にもきっとマールがあるのではないかと思います。地質の方が調べれば、結構面白い研究ができるのではないのでしょうか。この所にちょっと島が見えます。湖の底はほとんど平らですが、湖の中のこの所だけに島が幾つかつながっています。よくよく見ると、これもなんとなく丸くなっているような気がします。湖の中にもしかすると昔マールがあったのではないか、ということが考えられます。ラグナ湖の成因についてももう少し詳しく

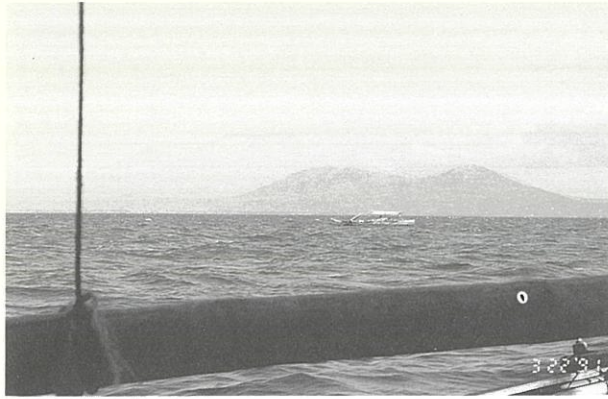


写真4. ラグナ湖中央
Foto.4. The center of Laguna de Bay

調べてみると、湖沼学的にはおもしろいのではないのでしょうか。

フィリピン全体としては、まだ陸水学の手付かずの部分結構たくさんあるようです。研究者自体も少ないわけです。拠点大学方式ではフィリピンの先生方で、湖沼学に興味にある方が日本にみえたり、私たちがフィリピンに行ったりして、技術協力または研修を進めているところです。

写真3は先程のバンに近寄った所ですが、このような固定式のバンが湖内に沢山作られています。飼われているのはティラピア類が多いようです。

これ(写真4)は、セントラルベイの中央ぐらいのところだと思いますが、9月頃に行きますと、水色是非常に濃い緑色になっています。諏訪湖と同じようにアオコが発生しているわけです。最初の3月に行ったときには、アオコはほとんど見られませんでした。非常に汚れていて、富栄養化していると聞かされて行ったわけですが、アオコが少ないと思って帰ってきました。ところが、雨季に行ったみますと、非常に大量のアオコが発生しています。熱帯の湖沼というのは、乾季は冬みたいなものです。乾季にはある程度栄養レベルが下がって、生物活性が落ちているわけです。しかし、雨季になると周りから大量に栄養塩が入ってきます。そのために、富栄養化が起こります。1年間で富栄養化と貧栄養化のサイクルが繰り返されているのではないだろうか。ですから、熱帯の湖沼というのはあまり富栄養湖、中栄養湖、貧栄養湖と分けてしまっただけでは都合が悪いので、季節的に状態が変わるというように考えないとよくないのではないかと、他の熱帯の湖を見ながら

表1. ラグナ湖各地点の水質、SS、pH、電気伝導度(1991年3月、9月)

Table 1. Water temperature, SS, pH and electrical conductivity in each station of Laguna de Bay (March and September, 1991)

Station	2~7	8~12	13~15	16~21
	East Bay	Central Bay	Lake center	West Bay
W.T. March	28.0~28.9	28.1~29.0	28.0~28.7	28.5~32.0
°C Sept.	28.0~30.2	29.0~29.4	28.7~30.4	29.0~31.3
SS March	21.0~33.9	20.0~29.0	18.8~38.8	14.3~28.8
mg/l Sept.	13.5~46.5	26.0~34.0	28.5~37.0	21.5~57.9
pH March	7.8~8.5	8.5~9.0	8.3~8.9	8.2~8.9
Sept.	7.2~8.3	8.7~9.2	7.8~9.0	8.2~9.4
Ec March	900~1290	1400~1450	1310~1400	1280~1420
us/cm Sept.	226~852	1226~1522	877~1226	1270~1514

そんなふうなことを感じました。とかく、私たちは温帯にいるものですから、つい温帯の感覚で熱帯を判断してしまいがちですが、熱帯はやはり乾季、雨季という季節の大変動があるわけです。これを頭に入れておかないと間違ってしまうのではないかという気がしました。

表1は東、中央、西湖盆の水質、SS、pH、電気伝導度を比較したものです。各湖盆間で極端に違うのが水温で、3月が28℃から29℃、9月でも28℃から30℃です。1年間の水温の変化はほとんどありません。東から西にかけてみても温度差はないわけです。熱帯の湖沼は1年間の水温変化がほとんどないのが特徴です。ラグナ湖は浅い湖ですから、底は6mぐらいで温度躍層も当然ありません。

濁りの原因となるSSは、3月には20mg/lぐらいの値が続いています。ただ9月の場合には、東湾の一番奥の方で46mg/lと差が見られています。濁りの中味はアオコと流入するシルト分です。周りから濁りを含んだ大量の水が入ってきますから、雨季になると非常に濁ります。乾季はどちらかというと、あまり変化がなくて、濁りも若干落ちていて、プランクトンの発生もあまり多くないということが分かります。

次に、pHの値は、セントラルベイから西の方、いわゆるマニラ市にかけては8以上の値が出てきます。一方、東湖盆の奥の方に行くと、7ぐらいで、淡水の影響があります。全体としては、pHが8以上で汽水湖の性格を持っているわけです。現地のフィリピンの方はラグナ湖は淡水湖だとおっしゃるのですが、データからみると弱い汽水湖と考えた方が良いでしょう。ただ、雨季になりますと、淡水が入って一番影響のある東の方は、200ぐらいになりますので、淡水化され、湖水は全体としては東から西の方へ押し出されていくという傾向になります。

もう少し水質の中身の方をみますと表2のようになります。塩素量でみると、先程の電気伝導度が高いのは塩素量の影響であることがわかります。乾季は150~250mg/lのちょっと塩っぽい水ということになりますし、電気伝導度の場合と同じように、東の湾の奥の方はやや淡水湖的な性格となっています。

表2. ラグナ湖の水質とクロロフィルa量(1991年3月、9月)

Table 2. Water qualities and chlorophyll-a amounts of Laguna de Bay (March and September, 1991)

Station	2~7	8~12	13~15	16~21
	East Bay	Central Bay	Lake center	West Bay
Cl ⁻ mg/l March	148 ~ 204	229 ~ 234	214 ~ 234	218 ~ 225
Sept.	33.9 ~ 150	205 ~ 238	150 ~ 180	221 ~ 240
PO ₄ -P March	1>	1>	1>	1>
ug/l Sept.	42 ~ 102	~69	22~33	~7
NO ₃ -N March	~72	~113	~19	~13
ug/l Sept.	60 ~ 81	10 ~ 102	14~28	1>
SO ₄ ⁺⁺ March	27.1~41.4	42.3~46.8	41.1~45.9	43.3~46.9
mg/l Sept.	5.8 ~ 8.6	40.8~47.7	31.9~32.3	42.5~45.6
Chl. a March	24.0~49.5	44.4~52.0	49.1~53.2	25.6~41.0
mg/m ³ Sept.	17.2~66.3	33.2~67.3	34.1~44.4	24.8 ~ 353

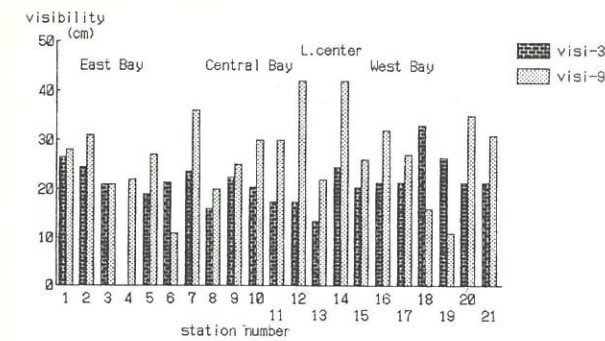


図4. ラグナ湖内各地点の透視度 (visi-3は3月測定, visi-9は9月測定)

Fig.4. Transvisibilities of each station in Laguna de Bay (visi-3:March, visi-9:September, 1991)

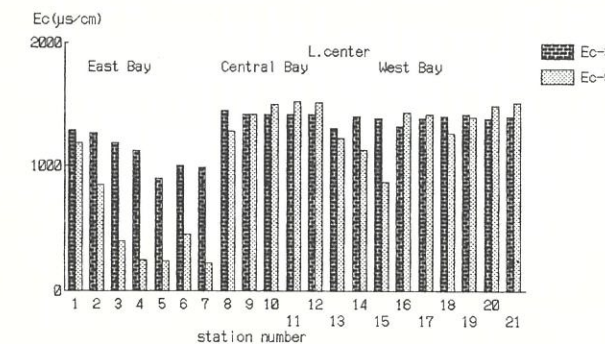


図5. ラグナ湖各地点の電気伝導度 (Ec-3は3月, Ec-9は9月測定)

Fig.5. Electrical conductivities of each station in Laguna de Bay, at March and Sept., 1991

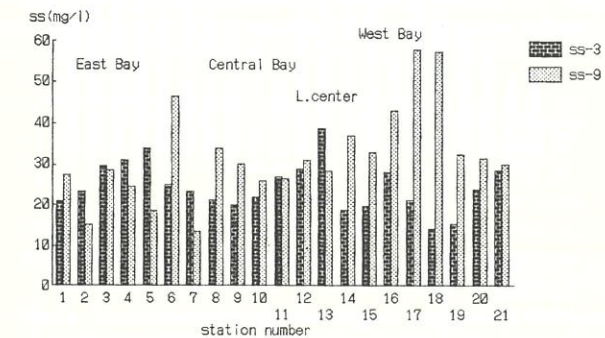


図6. ラグナ湖各地点のSS (SS-3は3月, SS-9は9月測定)

Fig.6. The amount of suspended matter of each station in Laguna de Bay, at March and Sept., 1991

ですから、場所によっては、雨季と乾季で汽水湖であったり、淡水湖であったり、季節によって性質が変わる傾向がでてくるかと思えます。現在は、海とつながっていた水路を締め切っていますので、海水が入ってこないわけですが、まだまだ昔の塩の影響が残っている湖と言うふうに考えてもいいかもしれません。

それから、燐酸態の燐は、3月の時点では非常に低い値になっています。乾季ですから、もう栄養塩が使われてしまっていて、どちらかというと、貧栄養的になっています。ところが、雨季になったとたんに、何十倍という栄養塩濃度の状態となります。燐にしても周りから非常に大量のものが入ってきているわけです。原因としては、生活系の排水が主なものだと思うのですが、乾季と雨季では栄養状

態が極端に変わってしまう特徴があります。マニラ市に近くなりますと、湖水が西方へ押し出されて、そこではプランクトンに使われている部分が多くなります。クロロフィル量でみてもわかるように、ちょうど湖の中央からマニラ市にかけて大量のアオコが発生していますので、溶存の部分の燐は減っています。一方、プランクトンの影響の少ない東湾、それから中央は、栄養塩が周りから入ってきて、まだまだたくさん残っています。ちなみに、100μg/lという燐の濃度は、現在の諏訪湖の全燐と同じぐらいです。全燐で言うところの濃度になりますから、非常に富栄養化が進行していると言えます。極端に富栄養である状態と、貧栄養である状態、これが、1年の間に交互に起こるのがラグナ湖の特徴のようです。

硝酸態の窒素の場合には、乾季の3月のデータでは、70~100μg/lで、雨季とそれほどの差は出ていないようです。どちらかというと、ラグナ湖の場合には燐が湖の水質を左右していると言えます。窒素は耕地から入ってくるのが多いのですが、フィリピンの場合、耕地に与える肥料の量は日本に比べて少なく、あまり肥料によって左右されていないのかもしれませんが、その辺の事情は、陸上を直接調べてみませんのでよくわかりません。ただ、クロロフィル、いわゆるプランクトンの量でみると、東湾の方は、乾季も雨季もそれほど量的には大きな差はありません。しかし、マニラに近くなると、一番多い地点では353μg/lと非常に大量のアオコが発生しているのがわかります。燐のような栄養が大量に流入してくる部分は、都市化した所ですから、湾の東よりもマニラ市に近い方が水質汚濁が進行しているということがわかります。今の中身を各地点ごとに透視度で比較してみたのが図4です。これは濁りを見るために簡易透視度計を作りまして、相対的にみたものです。透視度が30cmとか、20~40cmぐらいですが、相当に濁っています。全体的にみると、3月の場合よりも9月の方が、見た感じはよいようです。そうすると、濁りの中身が違っているのかもれません。

図5は、電気伝導度です。東湖盆の所は、他の湖盆に比べると、特に9月のデータでは低くなっていますから、淡水が大量に東湖盆の方から入っているということがわかります。真ん中から西湖盆、マニラ市にかけては、3月も9月もそれほど変わらないような電気伝導度、塩分量です。図6は濁りを直接SSとして測った結果です。この図から、9月は濁り

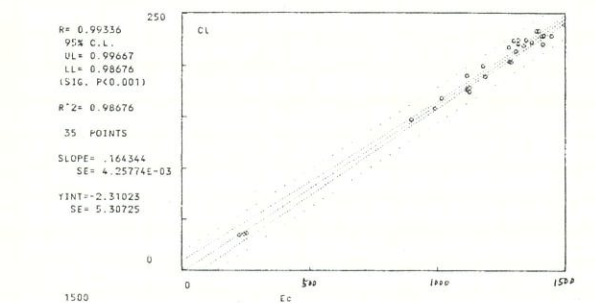


図7. ラグナ湖全地点の塩素量 (mg/l) と電気伝導度 (us/cm) との関係

Fig.7. The relation between the chlorinity and electrical conductivity in Laguna de Bay.

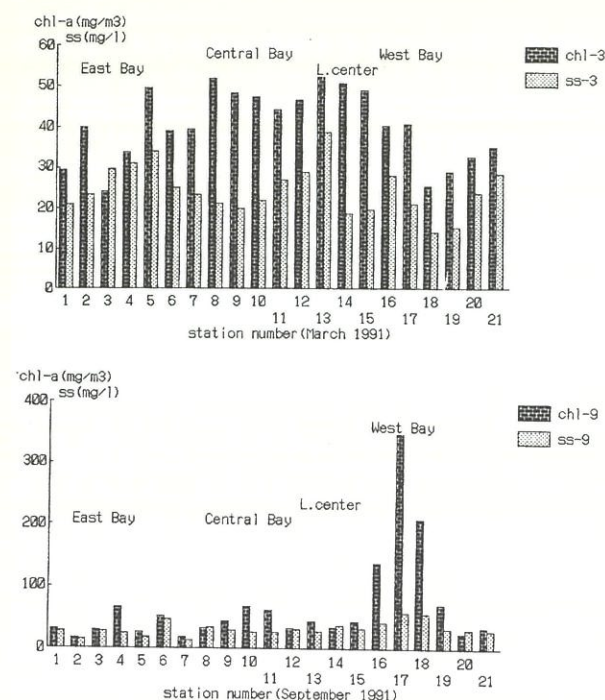


図8. ラグナ湖各地点のクロロフィルa量とSS. 上図は3月, 下図は9月の測定.

Fig.8. Chlorophyll-a amounts and suspended matter amounts of each station in Laguna de Bay. Upper fig.: March, 1991, Lower: Sept., 1991

の大きな地点がいくつか出てくるというのわかります。雨季になると濁りが増大します。雨水が周りから入ってきて、本来ならば透視度が上がり、SSが減るはずなのですが、逆に周りから濁水が入ってきて、濁りが増えるのと同時に、プランクトンの量が増えて、相乗的に湖内の濁りが増える結果となっています。特にその傾向はマニラ市に近い方、西湖盆で大きいということです。電気伝導度と塩素量の相関は高く(図7)、電気伝導度の差の中身は塩素量の差であると言えます。

図8の上は、3月のクロロフィルaとSSの量を各地点ごとに比べたものです。SS自体にはそれほど大きな差はないわけですが、クロロフィルaをみると、ずいぶん差がでています。濁りの内容は、周りから入ってくるシルト分である場合と、それから、そこで発生したプランクトンによる部分と、場所によってずいぶん違いがあります。やはり濁っているとしても、中身をよくよく見てみないと、その原因とか、対策を考えるときには都合が悪い。その辺のところの解析がこれから必要だと思います。これは9月の場合です。9月になると明らかにこの西湖盆のマニラ市に近い所にクロロフィルa量の極大が出てきます。これは、都市化によるいろいろな水質汚濁の結果として、磷が流入していることを示しています。確か湖水中の磷酸態の磷は減っているわけですが、それは使われてしまっているわけですが、その磷は、*Microcystis*、主にラン藻類の細胞の中に入っています。本来は、全磷を測る必要があるのですが、今回、私どもは測っていません。ロスバノス校の人達が直接分析できるようになれば、いろいろと中身がわかってくるかと思えます。

この写真5は現地に発生していた*Microcystis*です



写真5. ラグナ湖のアオコ (1991年9月撮影)

Photo.5. The floating flocs of *Microcystis* of Laguna de Bay (September 1991)

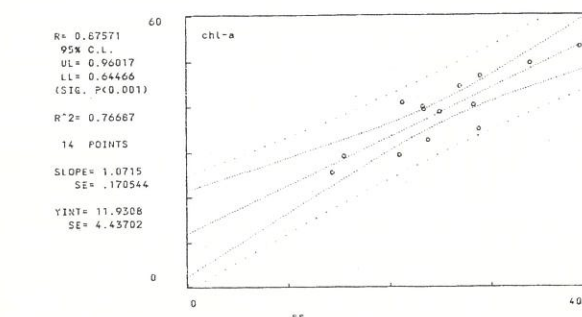


図9. ラグナ湖3月のクロロフィルa ($\mu\text{g}/\ell$)量とSS (mg/ℓ)との関係

Fig.9. The relation between chlorophyll-a amounts and suspended matter at March in the lake

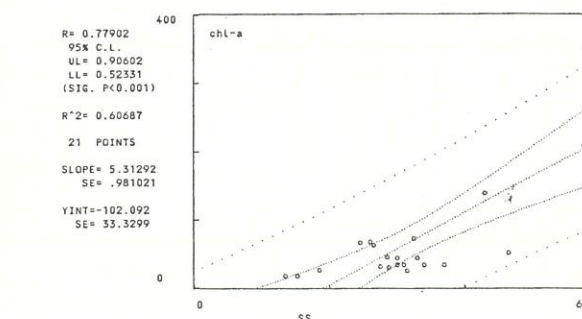


図10. ラグナ湖9月のクロロフィルa ($\mu\text{g}/\ell$)量とSS (mg/ℓ)との関係

Fig.10. The relation between chlorophyll-a amounts and suspended matter at September in the lake

が、*aeruginosa*という種です。フロックの外見的形態は日本のものと違う印象を受けました。非常に大きなフロックを形成していました。宍道湖の場合でしょうか。この写真に見られるようなフロック化をするのでしょうか。諏訪湖の場合には、こんなに大きなフロックになりません。

他のプランクトンはあまり多くありません。ほとんどが*Microcystis*です。この*Microcystis*自体は動物プランクトンの餌としては適していませんので、動物性プランクトンは非常に少ない状態です。そのために、餌不足から魚類生産が最近落ちているというのが問題にされているわけです。本当にそうなの

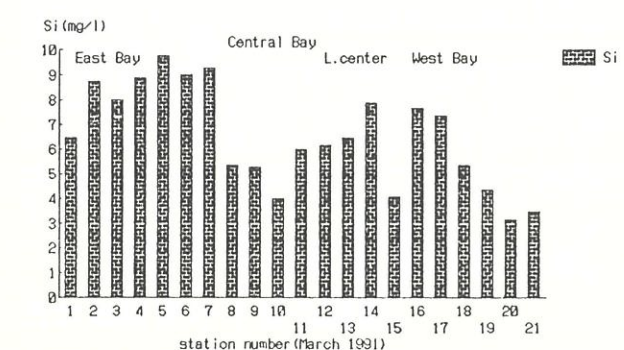
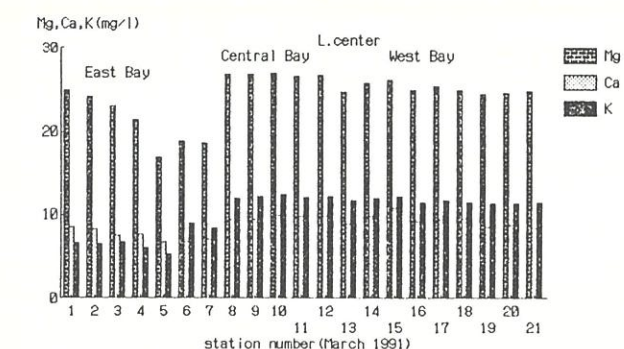
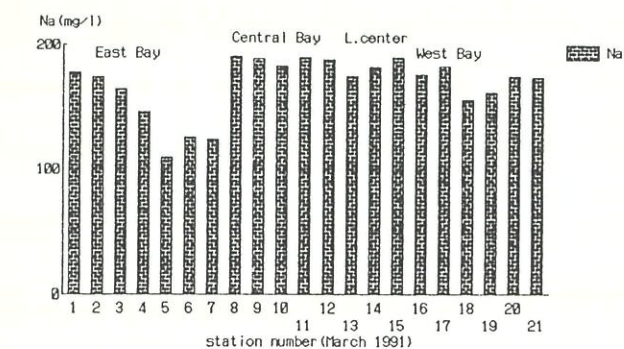


図11. ラグナ湖の3月の各地点のナトリウム (上図), マグネシウム, カルシウム, カリウム (中図), 珪素 (下図)

Fig.11. The concentration of sodium(upper), magnesium, calcium and potassium(middle) and silicate of each station of Laguna de Bay, 1991.

かどうか、栄養的には非常に高くなっているのですが、バランスとしては動物性のプランクトンが少なく、アンバランスな生態系になっていることは確かでしょう。

図9は3月のクロロフィルaとSSとの関係を見たものです。もし、SSの大半のものが植物プランクトンであるとすれば、もっと相関が高くなるはずですが、非常に幅があります。言うことは、そのSSの内容はプランクトンだけではなくて、周りから入ってくるシルト分が相当にある。それが場所によって違うと言うことを示しています。いずれにしても、クロロフィルa量は、一番多いところで $353\mu\text{g}/\ell$ ぐらいありますし、SSは $60\text{mg}/\ell$ もありますから、相当に濁っているということがわかります。諏訪湖のSSは $20\text{mg}/\ell$ 前後ですから、それに比べてもラグナ湖は相当に濁った湖です。宍道湖はどのくらいでしょうか。

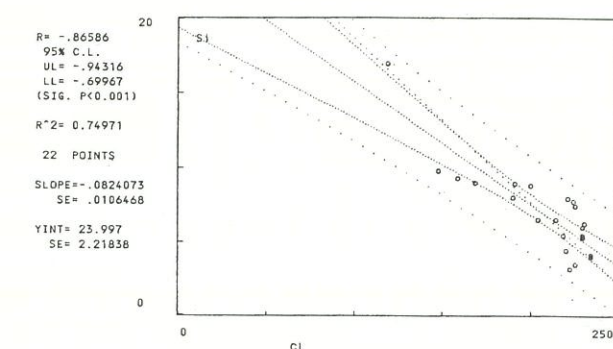


図12. ラグナ湖の珪素 (mg/ℓ)と塩素量 (mg/ℓ)の関係

Fig.12. The relation between the silica and chlorophyll in the lake.

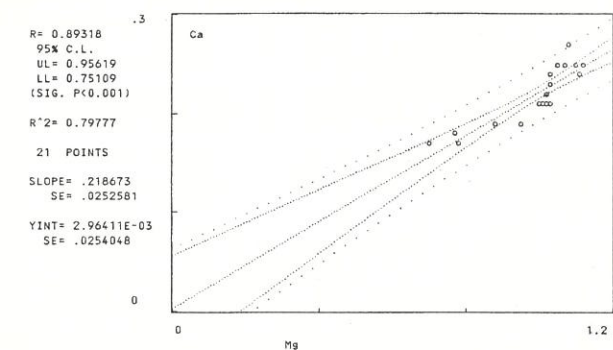


図13. ラグナ湖のカルシウムとマグネシウムの関係

Fig.13. The relation between the calcium and magnesium in the lake.

図10は9月のSSとクロロフィルaの関係を示したものです。クロロフィルaが非常に高い地点があります。これは、アオコ、*Microcystis*が大量に発生している地点です。いずれにしても、クロロフィルaとSSの関係にしてはばらつきが非常に大きいのが特徴です。

図11はナトリウム、カリウム、マグネシウム、カルシウム、および珪素の地点別の濃度を示したものです。一番奥の東湖盆は、どちらかという珪素が多い地域、淡水で供給をされる量の多い地域になります。この地域は珪藻類が繁殖することが可能な地域なのですが、だんだんと西の方へ行くと、塩分が多くなってくると同時に、珪素分も減ってきていますので、珪藻類が繁殖して、動物プランクトンにつなげていくということになると、問題のある地域ということになります。三つの湖盆を比較すると、東湖盆は今のところ淡水湖に近い性格で、水質汚濁もそれほどではないけれども、中央からマニラ市に向けては、水質的に非常に問題がありそうということがわかります。図12は塩素量と珪素の関係です。塩素が入って海水に影響されるところでは珪素が少なくなり、頭打ちになっています。図13はマグネシウムとカルシウムの関係です。温帯の日本とどのような差があるかを検討しますが、いずれにしても基礎的な水質を測って、その湖の性質をよく知った上で、いろいろな対策を考えていくことが必要です。

以上のデータは湖の中の水質の状態を三つの湖盆について比較をしたものでした。その湖の水質に影響する周りからの川はどうなっているかを知る目的で、北側の方は行くことができなかったのですが、南側の川を調べました。定量的にはできませんが、

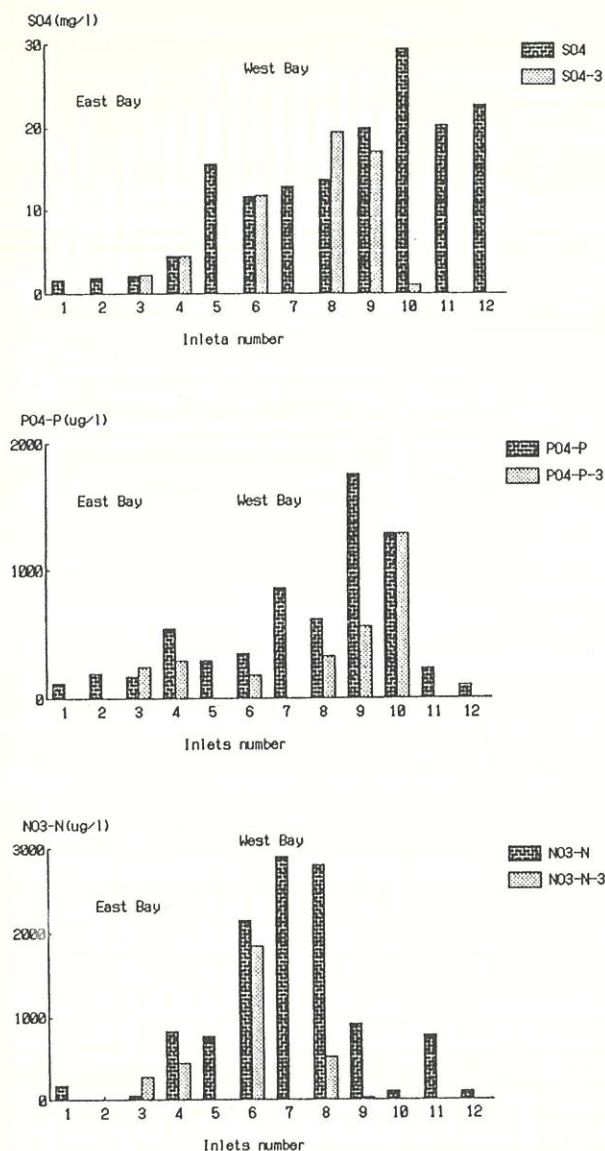


図14. ラグナ湖に流入する河川の硫酸、磷酸、硝酸各イオンの濃度

Fig.14. The ion concentrations of sulfate, phosphate phosphorus and nitrate nitrogen of the rivers into the lake.

採水した時点での水質だけを比べたのが図14です。図中の地点番号は1のほうが東湖盆の奥の方になります。12はマニラの市街地に近い地域になります。図の一番上は硫酸イオンです。河口部分で採水していますから、湖の影響があるのかもしれませんが、5～12の河川は硫酸イオンが多くなっています。東湖盆に関係する河川の流入口の所では硫酸イオンは低い傾向にあります。磷酸態の磷をみてみても、9月と3月両方とも地点7から10のところが大きな値となっています。都市化された地域から磷酸が供給され、奥の東湖盆の方はそれほど大きな値にはなっていないということがわかります。一方、硝酸態窒素をみると、むしろ真ん中辺が多くて、この辺は耕地の影響があるのかもしれませんが、マニラ市に近くと流入河川の硝酸態窒素はそれほど多くなく、東湖盆の方も大きな値にはなっていません。河川流域の違いによって随分水質にも違いがあり、それが湖の内部の水質に影響しているということです。これ

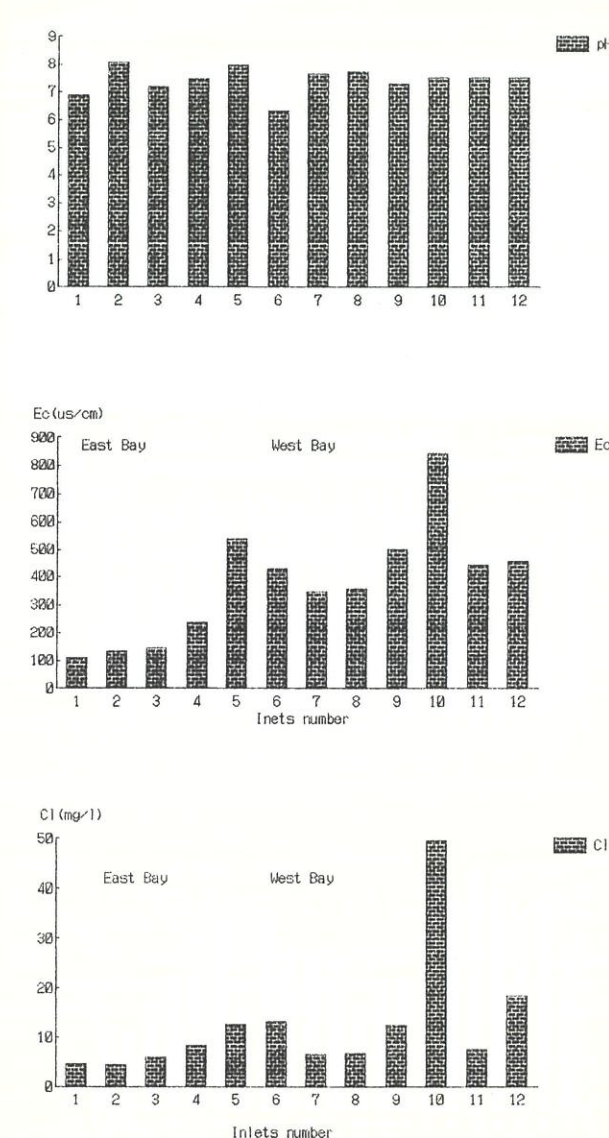


図15. ラグナ湖に流入する河川のpH、電気伝導度、塩素量
Fig.15. The value of pH, electroconductivities and chrolinities of the inflows of the lake.

らの流入河川の流域がどのように使われているかということをもう少し詳しく知る必要があります。ロスバノス校で発行している紀要をみると、土地利用についても詳しく報告されています。

図15は3月の流入河川水のpH、電気伝導度、および塩素量の比較です。pHには大きな差は見られませんが、塩素量と電気伝導度は湖水の場合と同様に、東湖盆の奥地の方で低くなっています。これらの地域はまだそれほど人間の影響が大きくなっていません。しかし、その流域にはオープンエリアが広がっているわけですから、濁りはだいたい入っている可能性はあります。それが、だんだん湖の中央部になると流域が都市化されて、磷と窒素が流入してくる。特に、マニラ市に近くなって都市化が進んでくると、磷酸態の磷がさらに増えてきます。その水が湖に入ることによって湖の中ではアオコが発生する。先程触れましたようにアオコ自体は魚類生産につながらないので、漁獲量の減少という結果になります。漁獲量の減少については、フィリピンの方は否定して

いらっしゃいますけれども、やはり乱獲もあるのではないのでしょうか。また、バンという魚の囲いがありましたけれども、あれが湖の中の水の流れを阻害しているのではないかと考えられます。湖水の動きが阻害されているところに汚水が入っていきますから、湖全体として汚濁が進行しやすい形になっているという気がしました。

汽水湖というところは非常に解析が難しい、塩が入ってくるために淡水湖の常識では測りえないところがあります。もう一つは、ラグナ湖が熱帯に属していて、乾季、雨季があり、陸上からの影響が温帯の場合と違うということも、解析を難しくしているという気がします。湖の栄養問題というのは降水量にも大きな関係があります。温帯では、熱帯に比べれば平均的に雨が降っています。あまり雨量の時期的な偏りを考えなくても済みます。しかし、熱帯の場合には、雨季に流入水が一時に大量に入った後、湖の水質がどういふふうになるかを、よく考えておかななくてはなりません。もちろん、温帯の湖沼でも、大量の雨が降った直後の負荷の影響についての研究は重要です。現在、諏訪湖でも降雨後の負荷量についての研究をやり始めています。これは言うには簡単ですが、実際にやるのは難しいことです。いつ雨が降るかわかりませんし、雨が降ったらすぐ行けと言っても、その水が何時出てくるのか、判断しにくいところです。これは、汽水湖に限りませんが、これからは非定常的な現象をとらえる研究も必要でしょう。

ラグナ湖の話はこれくらいにしておきます。一度や二度ラグナ湖を見ただけで、全てがわかるわけではないのですが、汽水域のいろいろな現象を解析することは、温帯であっても難しい。ラグナ湖を見て熱帯だともっと難しい面があるという気がしました。

汽水域研究の今後の課題

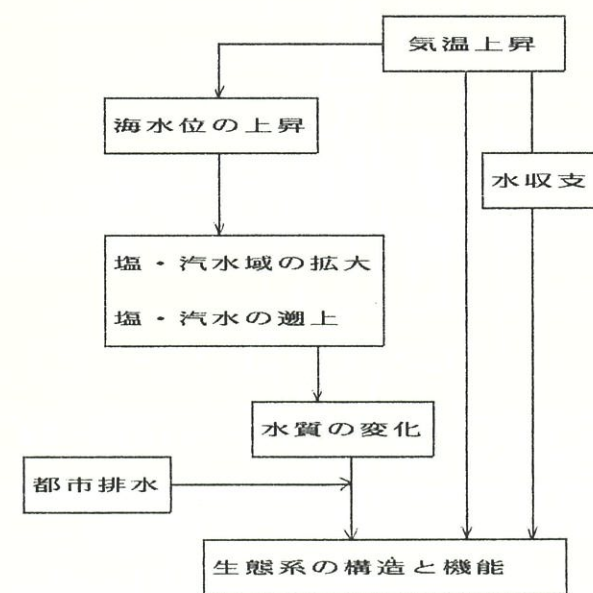


図16. 海水位上昇が生態系に及ぼす影響の考慮範囲

Fig.16. This figure shows the fields of consideration which an ecosystem is affected by the upward tendency of sea water level.

次に、これから汽水域の研究をしていくうえで、どういうことが課題になっているかについて話させていただきます。今問題になっている地球温暖化に関連して、岡山理科大学の奥田先生のチームで研究されている汽水域に関する研究の一部でもあります。地球温暖化、海面上昇で、一番影響受けるのは海域と淡水域に挟まれている汽水域です。

図16は気温の上昇が汽水域の生態系に影響するとしたときの、考えるべき範囲を示したものです。気温が上昇して、海水位が上昇すると、当然、全体の水収支が変わります。その影響を受けて、生態系の中身が変わってくるということが考えられます。それは、どこに一番大きく影響するかという汽水域の生態系です。汽水域が拡大することと、海水の遡上の形態の変化によって、水質、底質が変わり、生態系への影響がでてきます。また、汽水域の周辺地域には人間が多く住んでいて、いろいろと排水を流しています。先程のマニラ市の近くの地域で都市化の影響が見られたのと同様です。汽水域に都市排水が流入した場合、どのような変化が起こるのか、その結果、生態系にどう影響するのか、その中身を考えておくことが必要です。とにかく、人間の行為による影響を考えずに、自然現象としての気温上昇、海面上昇だけを考えがちです。しかし、人間の関与がどういう内容であり、どのような影響を与えるかを評価しておくことは重要なことと考えられます。汽水域が拡大したり、海水の遡上域が変わってくると、その地域の生態系にどのような変化が起こるかを整理してみました(図17)。一つは、汽水の停滞域の位置が変わってきます。その範囲が変わるわけですから、そこに生活していた生物がそれに対応できる範囲なのかどうか。その大きさがどうなのかということが問題となります。次に、当然、遡上と下降のパターンが変わってきますし、混合の仕

塩・汽水域の拡大 塩・汽水の遡上

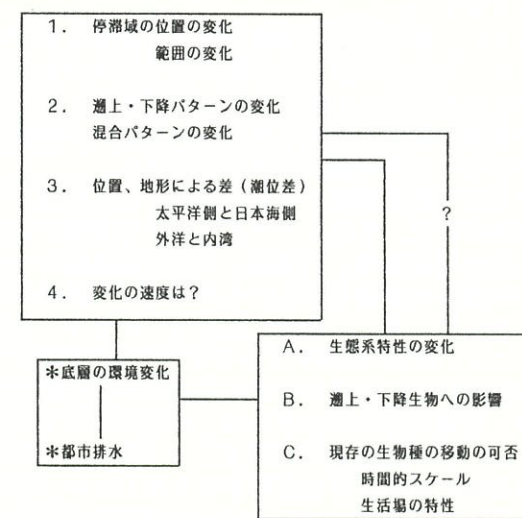


図17. 海水位上昇による塩・汽水湖の内容と生物群集への影響の内容

Fig.17. The change of the regions of a saline and brackish sphere by the sea water rising, and the influence upon the species composition and the amounts of some organisms in the sphere by them.

生態系の構造と機能の変化

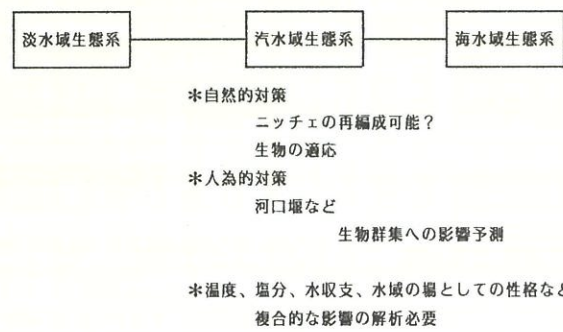


図18. 海水位上昇による近接生態系の人為的対策に対する配慮事項

Fig.18. The interaction with the neighbor ecosystem to each other by the sea water level rising and some consideration for human acts against rising sea water level.

方も変わってくるでしょうから、これまでにそこで生活していた生物が、物理的な環境の変化に対応して生活の形を変えられるのか、移動できるのか、そのへんのところを知る必要があります。海水の遡上、下降の変化が予測できないと、生物の方の研究内容を決めることは困難になります。最後に、その汽水域の位置、地形による差、例えば、太平洋側と日本海側では影響の仕方が違うでしょうし、外洋と内湾でも違うでしょう。どのような変化が生物の生活域にかかってくるか、その変化の中身が知りたいのです。

変化の速度も生物にとって重要な影響要因になります。100年に60~100cmといった予測がありますが、その速度がわかれば、生態系の特性がどう変化をして、そこに生活している、あるいは河口から遡上する生物へどう影響があるかを判断することができるとし、現存の生物がその時間内に移動が可能か、逃げれるかどうか、または、他の場所に生活の場を移すことができるかを判断することが可能になります。

さらに、都市廃水の影響が底層に影響を及ぼすとなれば、そこに生息する生物がどうなるかを予測することができるとし、生態系への影響の評価をすることが可能ということになります。

汽水域の研究課題としては、まずは入れ物としての環境の研究、それもダイナミックな研究が必要です。図18は淡水域、汽水域、そして海水域のそれぞれの生態系の関係を示したものです。汽水域の生物は環境変化の激しい地域に生活しています。生物にとっては、淡水の生物にとっても、海水の生物にとっても住みにくい地域でもあります。そこに新たな変化が、急激に起こるとすれば、生物にとっては相当なインパクトになるはずで

具体的にはどのような影響が考えられるか、例として、図19に利根川のプランクトンの例を示しました。利根川の河口堰を作る前に行われた生物調査の一部です。利根川は非常になだらかな勾配を持つ水路ですから、塩水が30km以上遡上します。この汽水域には2種のアミ類、イサザアミとニホンアミが生息し

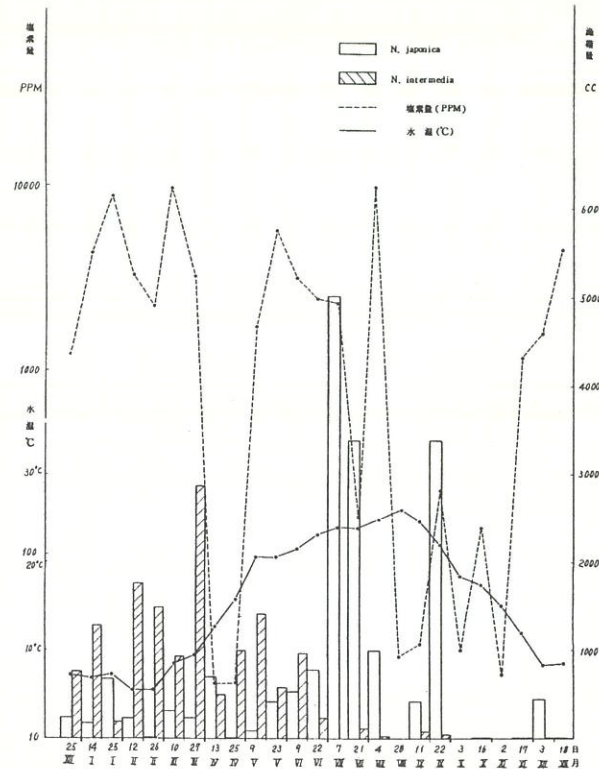


図19. シラス掛袋網で採集されたイサザアミとニホンアミの漁獲量の季節変化と水温および塩素量変化 (萩原地点) (中村ほか, 1965より引用)

Fig.19. Seasonal changes of catching amounts of two species of mysis, water temperature and chlortinity in near Hagiwara of Tone River (quoted by Nakamura and others, 1965)

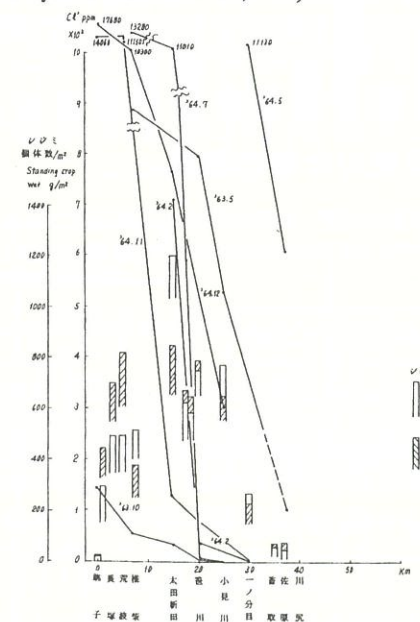


図20. 利根川におけるヤマトシジミの分布と塩素量の関係 (倉沢ほか, 1965より引用)

Fig.20. The distribution of Corbicula japonica and the chlortinity in Tone River (quoted by Kurasawa and others, 1965)

ていました。この2種類のアミはほんのちょっとした塩分の違いを利用してすみわけをしていることがわかりました。ここで塩水の遡上が変わってくると、住み分けがうまくいなくなる可能性があります。

変化そのものが非常に速ければ、子孫を残しにくくなります。塩水の混じり具合によっても生息域は影響を受けるものと考えられます。河口堰の設置は汽水域の環境を大きく淡水と海水に分けたわけですから、アミ類は生息の場を奪われました。

図20はヤマトシジミの例です。宍道湖の名物のヤマトシジミですが、当時は利根川でも大量に漁獲されていました。関東のヤマトシジミはだいたい利根川から出荷されて、食膳にのっていたわけですが、現在は宍道湖産かもしれません。この図からわかるようにヤマトシジミの生息域で最大の現存量が見られるのは、塩水遡上頻度が50%程度の位置、利根川で言えば河口から約20kmの太田新田という場所になります。

利根川の河口堰の建設は塩水遡上を阻止することですから、技術的評価の結果、この太田新田の位置が堰の建設位置になりました。同時に、淡水化を目的として、この太田新田から分離している常陸川と同じ位置にも堰が作られました。結果として、上流側は淡水化、下流側は海水化と分断され、汽水域に生息するヤマトシジミの生活の場は奪われてしまいました。

人間の行為が自然に生活していた生物の生活を簡単に奪う例として、一つの教訓となる例ですが、それが生かされていないのが現実です。海面上昇が起こって汽水域が移動する、または広がる場合、そこに人間の行為が介在してくると、自然の生物にとってはさらに問題が大きくなります。人間は海水の遡上の防止のために何らかの対策を考え、実行するはずで、その一つが河口堰の建設でしょう。利根川と同じように、その位置は汽水域の生物の生息頻度の高い位置が候補になる場合が多いと考えられます。100年に1m程度の海面上昇であれば、生物の対応

は可能であり、地球の歴史でもそのような例はあったとされていますから、生物にとってそれ程危険な変化ではないとされています。むしろ、人間がとる対策の中味のほうが、汽水域の生物にとって大いに危険ということになりそうです。自然的な変化よりも人間の行為の十分な評価こそ必要です。

汽水域の研究としてまず必要なことは、汽水域を十分に理解する基礎となるデータの蓄積でしょう。その内容としては汽水域の環境、生物群集、両者を総合しての生態系としての特性をあげることができるとし、それには島根大学の汽水域研究センターは宍道湖、中海というわが国でも代表的な研究フィールドを直接研究できる有利な位置にあり、その成果が期待できます。しかし、自然の将来へ向けての変化、人間の生活を考えると、基礎的なデータの集積と解析のみでは汽水域の研究は十分とはいえません。変化に向けての対策、人間の汽水域に及ぼす影響の評価、そして、新しい人間と自然の関係についても広く、積極的に研究していくことが大切と思われます。自然と人間の歴史を振り返って、さらに将来への展望が開けるような研究を期待しています。

参考文献

- 吉村信吉 (1943) 東亜の海洋と陸水、東亜の陸水、太平洋学術協会、884pp.
 Z. N. Sierra, D. B. Magcale-Macandog, D. D. Sotalbo and M. E. Guzman (1990) Land use inventory of Laguna de Bay watershed area. Jr. U. P. Los Banos, Spec. Iss. on Laguna de Bay: 1-15.
 資源科学研究所 (1965) 利根川水系水産動物調査報告、200pp.