



地球環境研究センター ニュース
Center for Global Environmental Research

<通巻第107号>

Vol. 10 No. 7

■ 目次 ■ ● 酸性雨はわが国の魚類生態系に影響を与えるか？

水産庁養殖研究所日光支所養殖研究室

主任研究官 生田 和正

● シリカ欠損に関する地球環境問題

— SCOPE, IGBP/LOICZ共催ワークショップ開かれる —

地球環境研究グループ海洋研究チーム

総合研究官 原島 省

● お知らせ

インドネシア森林火災ワークショップ

酸性雨はわが国の魚類生態系に影響を与えるか？

水産庁養殖研究所日光支所養殖研究室

主任研究官 生田 和正

1. はじめに

酸性雨は湖沼や河川等の陸水の酸性化を引き起こし、陸水生態系に直接的な影響を与えることが知られている。北欧や北米においては、1900年代には酸性雨の影響が顕在化し、陸水域における生物相の壊滅等の被害が各地で頻繁に報告されるようになった。ノルウェーやスウェーデンでは、1900年代の前半よりスカンジナビア半島南部の湖沼・河川で酸性化による魚類の減少が報告され始め、特に重要な水産資源である大西洋サケやブラウントラウトといったサケ・マス類で、稚仔魚の再生産量の減少が起こるようになった。さらに、雪解けによる酸性物質の陸水域への急激な流入(snowmelt acid shock)や秋季の多雨による酸性物質の負荷によって酸性化が進行し、成魚が大量に死亡するfish killと呼ばれる被害が現れるようになった。さらに酸性化が進むと、ローチ、バーチ、パイク等の比較的酸性環境に強い魚類にも影響が及ぶようになった。北米地域では、1960年代より、カナダ東部やアメリカ北東部で急速に陸水の酸性化が進み、やはりカワマスやレークトラウト等のサケ科魚類や、数種のコイ科魚類の消失が報告された。これらの陸水魚類生態系へ多大な被害を与えた酸性雨による汚染は、被害地域から遠く離れた、ヨーロッパでは東欧諸国、北米では五大湖周辺の工業地域における製鉄所や火力発電所等から排出されたNOx・SOxが、大気とともに運ばれて生じたものと考えられる、いわゆる越境汚染であった。

(次頁へ)

北欧や北米において、このような酸性雨による陸水の酸性化と、魚類生態系に対する被害が生じた原因の一つに、これらの地域が氷河によって表層土が削られ、緩衝能の乏しい花崗岩の露出した地質的特性を持っていたことがあげられる。そのため、スカンジナビア半島の国々では、陸水生態系の回復を目指し、現在でも巨額な国家予算を投じて石灰散布等による中和作業が進められている。アルカリ度の上昇によるpHの回復や生態系の回復が見られているものの、場合によっては魚類資源量が回復しない例や、中和と再酸性化の繰り返しによって、かえって生物相に影響を与えることなども報告されている。

わが国では、陸水域の酸性化に関して、それほど顕著な影響はまだ報告されていない。これは、日本の土壤は酸に対する緩衝能が高いためであると考えられている。しかし、陸水域の生態系に対して、酸性雨の影響は本当にないと言い切れるだろうか。年平均pH4.7という酸性度の強い降雨が日本全国で観測されている。その原因の一つとして、中国大陸から気流に乗って飛来するSO_xやNO_x等の酸性降下物が考えられている。最近のアジア地域における急速な経済発展と工業化は、酸性物質の排出量を増加させ続けており、21世紀には欧米全ての地域を合わせた排出量を凌ぐとも予想されている。将来わが国でも酸性雨被害が顕在化する可能性もある。平成5年から5カ年計画で行われた環境庁第3次酸性雨対策調査では、埼玉県の鎌北湖をモデル水域とした陸水酸性化予測が行われているが、早い場合で概ね30年後に酸性化が始まるという試算結果が出ている。

過去に秋田県の田沢湖では、1940年の発電所の建設に伴い隣接する玉川の火山性酸性水が流入し、同湖のシンボルでもあったクニマス(ヒメマスの地方種)が絶滅したという苦い

経験がある。現在では、玉川上流に石灰を用いた中和プラントが建設され、同湖の酸性化は回復しているが、一旦絶滅してしまった生物はもう戻ってこない。このように、陸水魚類生態系、特にサケ科魚類は、環境の酸性化に対して非常に敏感である。

このような背景の下、環境庁地球環境研究総合推進費によって、水産庁養殖研究所日光支所を中心に、水産庁中央水産研究所内水面利用部、東京大学海洋研究所、長崎大学水産学部、北里大学水産学部において、酸性雨が東アジア地域における陸水生態系や水産資源にどのような影響を与えるかに関する基礎的な研究が推進されており、酸性環境における魚類の生態に関する、様々な新たな知見が得られてきている。

2. 酸性環境で魚が死ぬ理由

魚類は急激な環境水の酸性化に曝されると、ある閾値のpH以下で死亡する。ヨーロッパの事例等によると、河川や湖沼の酸性度がpH5以下になると、生息する魚類のほとんどは死滅すると言われている。この魚類における酸性化の急性影響は、魚類にとって重要な器官であるエラの機能と関係があることが知られている。毒性試験に汎用される24時間半数致死pH(24時間で個体群の半数を死に至らしめるpH)試験を用いて、ヒメマス(陸封型ベニザケ)の発育段階に伴う耐酸性(酸性環境に対する耐性)の変化を調べると、発眼卵(胚に眼球の出現した段階)から、孵化、浮上(卵黄嚢からの卵黄の吸収が完了し、自力で泳ぎだし接餌を開始する段階)にかけて耐酸性が低下し、浮上期に酸に対して最も弱くなる。これは、稚魚のエラの機能がちょうどこの時期に開始することと関係がある。

魚類は細かく畳み込まれたエラの上皮で外界と接しており、これは酸素と二酸化炭素の

交換を行う呼吸器官であると同時に、アンモニアの排泄や、塩類細胞と呼ばれる特殊な細胞でイオンの交換を行っている。酸性環境中において、魚類は体内のpHを一定に保つために、この塩類細胞で塩素イオンを体外に出し、代わりに重炭酸イオンを取り込んで体内の水素イオンを中和し、水と二酸化炭素に分解する。この反応を「酸塩基平衡作用」と呼ぶが、このとき体内の塩素イオン及びナトリウムイオンの流出が生じるため、体液浸透圧が急速に低下する。淡水魚は自分の体液よりも低張な環境水のなかで、常に塩類流出の危機に曝されており、この体内浸透圧の恒常性を保持する生理学的機能の不全が、魚類が酸性水暴露によって死亡する大きな原因の一つと考えられている。つまり、魚は酸性水のなかで塩分を失い、体液濃度の低下によって死する。このことは、主に河川内で生活する、より淡水環境に適応したイワナやブラウントラウトで耐酸性が比較的高く、ベニザケのような海洋回遊性魚種で耐酸性が極めて低いこととも良く合致する。このような研究から、環境水のpHと魚類の血液中のナトリウムイオン量に、極めて高い正の相関が見られることが明らかとなった。この結果は、酸性化が魚類に与える急性毒性の診断に、血中ナトリウム量が有効な指標となることを強く指示するものである。最近では、医療機器でハンディータイプの血液溶存イオン測定装置も市販されており、筆者らは、野外での魚の健康診断に使い始めたところである。

土壤が酸性化すると、鉱物中に多量に含まれるアルミニウム化合物からアルミニウムイオンが溶出する。アルミニウムは、酸性土壤において植物の生育等にも影響を及ぼすことが知られているが、魚類に対しても酸性環境と複合的にダメージを与え、pH5以上の比較的高いpHでも斃死を引き起こす。北欧で報

告されたfish killも、河川のpH低下と同時に、溶出したアルミニウムイオンの急性毒性も原因の一つと考えられている。アルミニウムイオンの酸性環境における毒性に関しては、その作用機構はまだ不明な点が多いが、エラ上皮に取り込まれ、細胞膜に損傷を与え、水や塩類の透過性を増加させてしまうため、塩類代謝機能不全を促進すると考えられている。このことは、天然環境での酸性化の影響を評価する場合、pHだけではなくアルミニウムイオン濃度に関しても考慮する必要があることを示している。例えば、石灰散布によって中和された北欧等の湖沼・河川でも、再びアルミニウム濃度の高い酸性水の流入が生じた水域(mixing zone)では、たとえ中性になっていても魚類の斃死を引き起こすことが報告されている。アルミニウムは環境水のpHによって、水酸化イオンや有機イオンとの様々な錯イオンを形成することが知られており、その動態は極めて複雑であるため、環境水中のアルミニウムの化学的動態と生物影響との関係についても、今後研究を深めていく必要があろう。

3. 環境の酸性化は生理機能に影響を与える

以上述べてきたように、魚類は強い酸性環境に曝されると死亡するが、死に至らない弱酸性環境であってもそれを敏感に感知し強いストレスを受ける。低pHに曝された魚類では、ストレス反応を示すコルチゾルの血中レベルがピークを示す。コルチゾルは副腎皮質より分泌されるコルチコステロイドの一つで、塩類や糖の代謝に関するホルモンである。一般に脊椎動物では、強いストレスを受けるとコルチコステロイドの分泌が高まり、免疫機能や繁殖機能に障害を与えると考えられている。例えば、コイの稚魚をpH4.5の酸性水に暴露すると、血中コルチゾル量が急激

なピークを示し、その後免疫グロブリンであるIgMの血中量が有意に低下した。免疫グロブリンは、体外から進入する病原体等の異物に特異的に結合し感染を防止する抗体を形作るタンパク質である。この結果は、環境の酸性化が直接魚類に致死的な影響を与えるなくても、副次的に免疫力を低下させ感染症等に罹りやすくする可能性を示している。このように、環境変化が生物に与える影響を調べるとき、詳細な生理機能の変化を解析しなければ、直接それが斃死の原因ではなくとも、実は重大な要因であることを見落とす可能性があることを示している。

さらに、生息環境の水の酸性化は魚類の成熟や産卵機構に影響を与え、繁殖能力を低下させることが実験的に明らかになってきた。魚類の受精は水を媒介として体外で行われるため、生息環境水のpHが変化すると受精率に影響を及ぼす。精子の運動能の獲得はpHの変化に依存しており、酸性化の影響を受ける。アユの精子はpH4.0の酸性条件でアルミニウム濃度が10.24ppmのとき、その活性を全く失った。この結果は、酸性環境及びアルミニウムが精子の活性を抑制し、受精を阻害し、魚類の繁殖に影響を及ぼす危険性を示唆している。

また、サケ科魚類等で成熟した親魚を酸性環境に曝すと、その卵子や精子に影響を与え、受精卵が直接酸性水に曝されていなくとも発生率に影響を与え、繁殖機能に影響を与えることが明らかとなった。ニジマスの成熟親魚をpH4.5の飼育水で飼育すると、雌の場合産出した卵を通常の精子と受精させ中性環境で培養したときでも、受精卵の発眼率(発眼卵の全受精卵に対する比率)が著しく低下した。雄の場合は搾出した精子を通常の卵と受精させ、やはり中性環境で培養したとき、胚の奇形率が著しく高まった。このとき、雌雄とも

血中の生殖腺刺激ホルモンや性ホルモンの濃度が異常な高値を示すことから、酸性ストレスは生殖内分泌機構を搅乱する可能性が示された。ヒメマスでも、雌親魚をpH5.0に調整した飼育水で飼育し、排卵の確認された個体から隨時採卵し、受精後の発生率を比較すると、酸性水飼育1週間を過ぎてから排卵された卵は75%程度しか正常に発生できなかつた。北米のヒメマス(kokanee)でも、pH5.6という弱酸性処理で同様の産出卵孵化率の低下が報告されており、この種は繁殖生理機能の面においても極めて酸性化に敏感であると言える。

4. わが国で酸性雨は陸水魚類に影響を与えているか?

水産資源に大きな影響が及んだ欧米においては、酸性雨による魚類への影響に関する研究は早くから盛んに行われているが、それらはすでに起こってしまった大量斃死の原因究明研究や中和事業などによる環境修復研究が中心である。しかし、日本を始めとする東アジア地域においては、酸性雨影響は現在進行しつつある(?)問題であり、酸性化の始まる初期過程で何が起こるのか、また何を指標としてそれらをモニタリングすればよいのか、世界的に見てもそのようなデータはほとんどないのが実情である。そのような観点から、筆者らは、サケ・マス類はどの程度の酸性度を知覚することができ、どのような行動学的応答特性を示すかという観察実験を進めている。

最近の研究では、環境酸性化はサケ科魚類の産卵行動や母川回帰行動をも抑制することが明らかになってきた。実験的に、池に2本の人工水路を設置し成熟したヒメマスの親魚を収容すると、2本とも中性水を流した時は、ヒメマスはどちらの水路に対しても盛んに上

流に向かう産卵母川遡上行動を示す。しかし、一方で硫酸酸性水を滴下すると、pH5.8以下の弱酸性環境で全く酸性水路への遡上をやめ、全て中性水路に遡上した。この結果は、河川が弱い酸性化を示しても、そこを母川として産卵回帰するサケ・マス類の遡上行動が抑えられることにより、親魚回帰率の低下を引き起こし、資源量が減少する可能性があることを示している。

さらに、ヒメマスの雌の産卵行動に対する酸性化の影響を観察した結果、極めて中性に近い微弱な酸性環境においても、大きな影響が現れることが明らかになってきた。通常サケ科魚類は母川遡上後産卵場に到達すると、雌雄1尾ずつがペアとなって繁殖行動を始める。産卵・放精行動は一瞬で終わってしまうが、雌は産卵に至る前に数日かけてdiggingと呼ばれる産卵のために河川底の小砂利を尾びれで掘る巣造り行動を続ける。その間、雄はその周囲になわばりを形成し、雌に近寄る他の雄を追い払う行動をとる。このような産卵直前の雌のヒメマスを、小砂利を敷きつめ水の流れを作ったガラス水槽に収容すると、盛んにdigging行動を行う。この時、硫酸酸性水

の滴下によって飼育水のpHを低下させると、pH6.4というほとんど中性に近い極めて微弱な酸性化でもdiggingの頻度は中性環境の約1/3と有意に低下し、pH6.0でほとんど行動が抑えられてしまった(図1)。これらの結果は、ヒメマスは極めて微弱なpHの変化を感じ、卵や稚魚にとって酸性域が不適切な環境であることを知覚していることを示している。このことから、酸性雨によって極めて微弱で短期的な酸性化が生じても、それが魚類の産卵時期に重なると繁殖機能に大きな影響を与える、資源の維持に打撃を与えることが予想される。つまり、このような微弱酸性化の影響は、まだはっきりと目には見えなくとも、現在すでに我が国で起こっている可能性は高いと思われるのである。

奥日光地域で最も標高の高い白根山の山頂付近に、五色沼という標高2100m、周囲1000m弱、深さ10m程度の人間活動から隔離された小湖沼がある。白根山一帯は、以前からダケカンバ等の森林の大規模な立枯れが観察されている地域である。著者らは、1996年から98年にかけてこの五色沼の魚類と水質の調査を行った。五色沼の水質は、電気伝導度やイオ

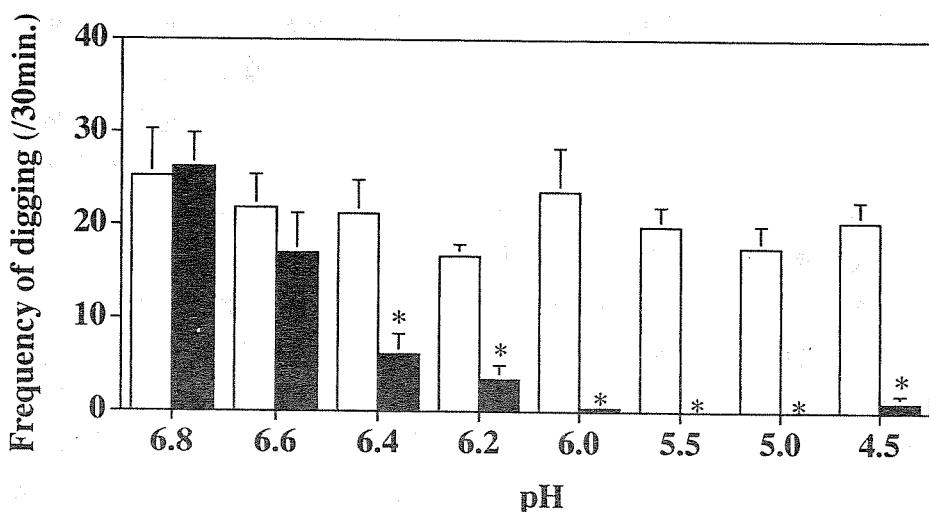


図1 ヒメマス雌親魚の中性環境中(pH6.8)における産卵巣造り行動(digging)の30分当たりの頻度(白柱)と、それらを各pH環境に移行したときのdigging頻度(黒柱)の変化。縦線は標準誤差を示す。* ; p < 0.05。

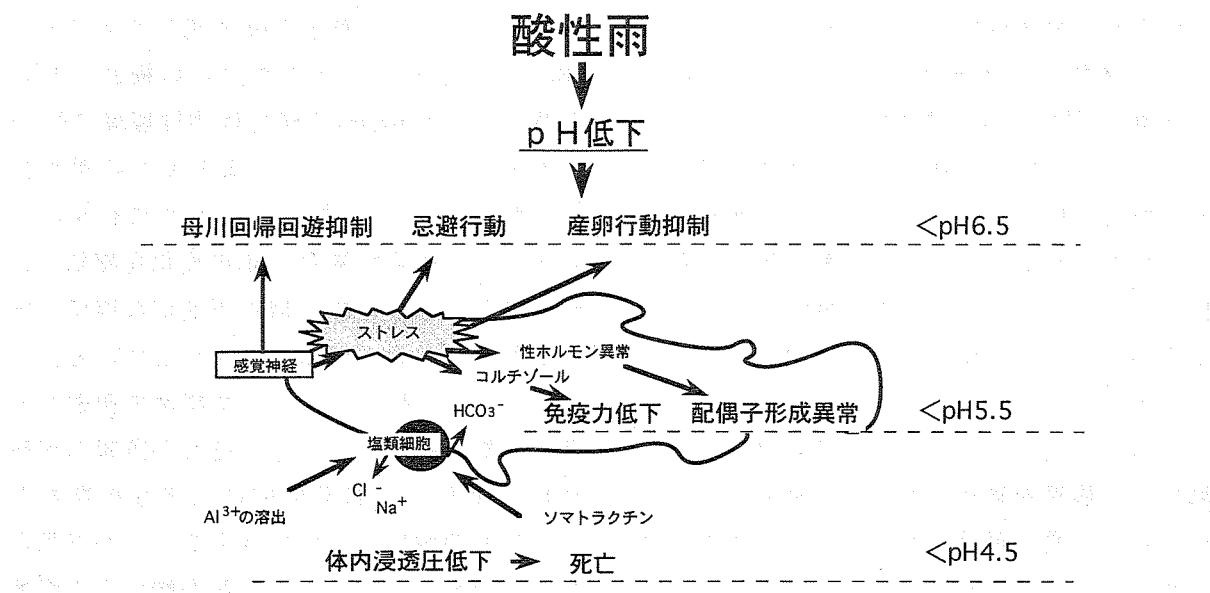


図2 酸性雨等により環境水の酸性化が生じたとき、サケ科魚類に起こると想定される生理・生態学的影響。

ン濃度が極めて低く、pHも5前半から7程度までと時期によって大きく変動した。同時に採取した雨水も平均pH6、最低でpH4程度の酸性を示した。イオン組成などから五色沼の水質は雨水に近似しており、丁度雨水のたまたま洗面器のような湖であることが判明した。過去にこの湖にマス類が放流された経緯があったが、本調査では、魚探調査、捕獲調査、潜水調査のいずれによってもサケ科魚類は発見されなかった。生息が確認されたのは、ドジョウとクロサンショウウオ(両生類)のみで、ドジョウは繁殖も確認された。このドジョウは実験室に持ち帰り、酸性水暴露実験を行ったが、高い耐酸性を示した。なぜ五色沼にドジョウが生息しているのか不明であるが、五色沼のような酸性雨の影響を受けやすい環境では、耐酸性の高いドジョウは生息できるが、サケ・マス類のように酸性環境に敏感な魚類はうまく再生産することができず、絶滅したと考えられる。この五色沼で起こったことが、他の水域でも近い将来生じる可能性は否定できないであろう。

5. これからの課題

一連の研究を通じて、酸性雨等によって環境の酸性化が生じると、それが致死的なpHでなくとも魚類に様々な生理障害や行動への影響を引き起こすことが明らかとなってきた。これまでヒメマス等のサケ科魚類で得られた実験結果を総合すると、pH6台の極めて微弱な酸性化で母川回帰行動や産卵行動の抑制が起こり、pH5台の弱酸性ストレスはその水域からの忌避を促し、忌避できないときには内分泌機構等の生理機能に影響が現われ繁殖機能や免疫機能の低下が生じ、さらにpH4台になるとエラの酸塩基平衡機能に影響が及び、同時に体内からの塩類の流出が生じて死に至るというシナリオが推察される(図2)。

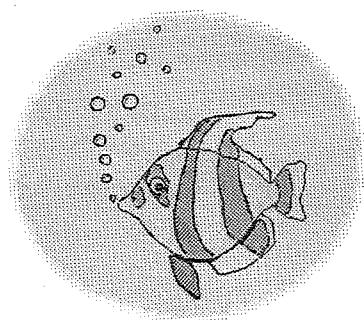
現在、我が国においては火山・鉱山性の酸性湖沼・河川を除き、欧米のような酸性雨による陸水の慢性的酸性化はまだ見られない。しかし、冒頭にも述べたとおり、強い酸性雨が頻繁に観測されており、陸水域においても一時的な酸性化が生じている可能性はある。短期的で比較的高いpH環境でも、繁殖機能等に影響が生ずるため、内水面資源に被害を

及ぼす可能性は高いと考えられる。また、将来にわたり酸性雨が降り続いたとき、環境の悪化とともに徐々に魚類の再生産力が低下していくことも想定される。最近、工業廃液や農薬等に含まれる化学物質が魚類の内分泌機能をかく乱し、生殖機能に影響を与える、いわゆる「環境ホルモン」が問題となっている。今回の研究では、環境水の酸性化によって成熟親魚に強いストレスを与えると、やはり内分泌機能等の生理機構への影響が生じ、その卵子や精子の質が低下し孵化率の低下や奇形率の上昇が生じたり、免疫機能が低下する等の危険性があることが実験的に明らかとなつた。つまり、酸性雨等を始めとする人為的な環境変化のストレスは、何らかの形で魚類の繁殖能力を減じ、水産資源の健全な維持や増進に影響を及ぼすと考えられ、魚類の生息環境を如何に保全するかということが非常に重要な問題であることが判る。

しかも、ヒメマスの行動観察実験で見られたように、生理学的には直接影響を与えないような弱酸性環境でも、魚類はそれを知覚し忌避行動を示すことが明らかとなつたため、サケ・マス等回遊性魚種は環境の悪化とともにその水域から姿を消す可能性もある。また、母川回帰、産卵といった種族保存に不可欠な強い本能衝動も、pH6台の微弱酸性で抑制されてしまうのは驚くべきことである。これまで、我々は環境の悪化が生物へ及ぼす影響を評価する上で、毒性試験のような対象生物の生死や、病理的・生理的な変化を指標として

用いてきた。しかし、ヒメマスの産卵行動に見られるように、いくら子孫を産む機能が整っていても、その生物自身が子孫を産みたくない環境であれば、やはりその生物種の資源量は減少していくであろう。つまり、これらの実験の結果は、環境評価には動物種の持つ行動学的な応答特性といった新たな視点も大変重要であることを教えている。

本年度から、著者らは、日光中禅寺湖に生息するサケ科魚類の繁殖生態と、その繁殖場である流入河川の水質・pH変化との関係について調査を開始した。中禅寺湖西岸の千手が浜地域は、繁殖場の保護のため周年禁漁区となっており、そこに流れる数本の流入河川は、秋から冬にかけヒメマス、ホンマス(中禅寺湖産ビワマス)、ブラウントラウトなどが遡上し、天然の産卵行動を観察することができる我が国でも極めて貴重な地域である。このような環境の変化やそれが生態系に与える影響に関する調査には、長い時間をかけた地道な作業の繰り返しという大変な努力が必要であるが、これまで不明であった我が国における酸性雨の陸水生態系への影響に関する実態の解明に、少しでも貢献することのできる実測データを集積することができるのでないかと期待している。今後さらに、人為環境変化が魚類の生理や生態に与える影響に関して詳細な研究を行い、そこに生息する生物の立場に立った自然生態系の注意深い監視を行っていきたい。



シリカ欠損に関する地球環境問題

-SCOPE, IGBP/LOICZ共催ワークショップ開かれる-

地球環境グループ海洋研究チーム

総合研究官 原島 省

1.はじめに

人間活動の増大は、窒素、リン、有害化学物質など多くの物質の環境に対する負荷を増大させ、それらは最終的に海に流入する。ところが、中には人為影響でかえって陸からの供給が減ってしまう物質もある。海域で重要な役割を果たしているシリカ(ケイ酸:Si)がそうである。主な原因としては、世界的な人口増加がダム建設などの水利用形態の変化をもたらし、このため自然に溶出してくるシリカが海に来るまでに「落ちてしまう」ことによると考えられている。この問題が、窒素、リンの負荷増大とともに、地球環境問題として重要視されはじめた。

SCOPE(注1)とIGBP-LOICZ(注2)は、この問題に関するワークショップを、1999年10月3～5日にスウェーデンのリンチエビン市で共催した(SCOPE-Si Workshop Home Page <http://data.ecology.su.se/scopesi/scopesi.htm>)。参加者は、世界各国からの海洋学、陸水学、システム生態学等様々な分野の50名ほどの研究者である。日本からは筆者1人であったが、地元スウェーデンが13名のほか、ベトナム2名などアジア地域から招待された参加者が意外に多かった。本報告では、このワークショップの議論の内容と合わせ、これに関連した研究やモニタリング及び過去のデータから得られた知見について述べる。

2. 地球規模のケイ素の循環

本来、シリカは地殻を形成するありふれた元素である。雨水や河川水が岩石のケイ酸塩鉱物に接触すると、その風化作用でシリカあるいは溶存ケイ酸($\text{Si}(\text{OH})_4$)の形で溶け出し、最終的には海洋に入ってくる。

海洋でのシリカの役割は非常に大きい。「魚とはケイ藻である」というのは、ある著名な海洋生態学者の言であるが、海洋の食物連鎖が主にケイ藻による基礎生産(光合成)から出発することを、簡潔に表現している。これにならえば「日本人は稻とケイ藻であるが、戦後は小麦と牧草に変わりつつある」といえるかもしれない。

もうひとつ大事なことは、シリカからはガラスができることがある。透明な素材、すなわちシリカを細胞の殻として利用することで、水惑星の環境に最大限に適応したのが、ケイ藻類である。彼らは、二酸化炭素、リン酸、硝酸などを吸収し、日光をよく通すカプセルの中に葉緑体をそなえ、効率よく光合成を行ってすみやかに増殖する。ケイ藻が現れたのは中生代で、地質年代的にはむしろ新参者と言える。ところが増殖効率が高いために、以前から生きていた先輩格のシアノバクテリアや、その他の微細藻類を凌駕してしまった。

ここで、図1(Treguerら, 1995)を参考に、地球規模のシリカの循環量の推定をみてみよう。外洋全体のサイクルとしては、図中央に示すように、溶存態のシリカが基礎生産として固定されて、有機物となり沈降する。この

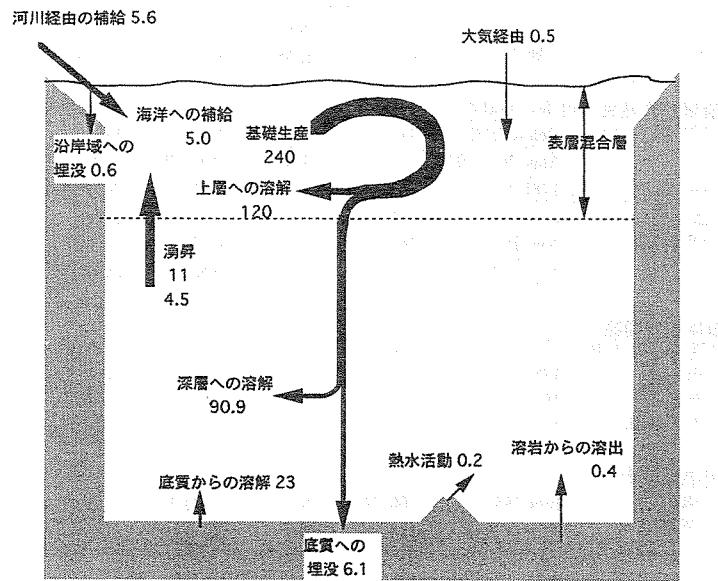


図1 シリカ循環量の再評価.Treguerら(1995)より作成.1テラモルSiは約0.028ギガトン(10^9 トン)Siとなる.

作用が生物ポンプと呼ばれ、海洋の二酸化炭素吸収をも担っている。これらの有機物のかなりの部分は再度溶解し、栄養塩として湧昇してくる。このような全外洋の循環量は年間240テラモル(10^{12} モル)と見積もられている。

これに対し、陸の風化作用から河川経由で年間5.6テラモルほどが海に補給される。このうち、0.6テラモルが内湾や陸棚に取り込まれ、残りの5.0テラモルが外洋のサイクルに加わる。従って、外洋の循環量に対して、40ないし50分の1程度が陸域から補給されることになる。ただし、ここで外洋のシリカ濃度がどんどん増えていくということではなく、ほぼこれにつりあう量が海底に堆積して珪藻土となり、最終的には堆積岩となる。

3. 河川によるケイ素補給の減少

ここで重要なのは、陸域から流入する5.6テラモルである。これがどうも減りつつあるらしいのである。表1(Vörösmartyら, 1998)は、世界の主要河川のシリカ(Si)、窒素(N)、リ

ン(P)の濃度を示したものである。ユーコン川(アラスカ)や過去のアマゾン川など、流域がほぼ自然状態の河川では、Siが200マイクロモル/リットル前後だった。だったというのは、アマゾン川など、開発が進むにつれてSi濃度が減りつつあるからである。ライン河やセーヌ河など、以前から開発されていた流域の河川では100前後に落ちてしまっている。Nとの相対比で見ると1を割っている。中国大陆を流れてくる揚子江や黄河でもこの傾向がある。

このようなSi補給の減少を招いた1つの原因として考えられているのは、合計が全世界で36,000を越えたといわれるダム(堰高が12m以上のものの合計)によってつくられる人造湖の増加である(Vörösmartyら, 1995)。シリカの補給は、雨水や流水と岩石あるいはケイ酸塩鉱物が直接ふれあうこと、すなわち風化溶出でおこるのであるが、停滞水域の増加はこのプロセスを減らしてしまう。Vörösmartyら(1995)によれば、1950年から1986年の間に、

河川	期間	Si (μM)	N (μM)	P (μM)	Si:N	Si:P
流域が自然または準自然状態						
アマゾン川	Before 1972	187	3.2	0.4	58.4	468
	May-June 1976	111-121	7-11	0.3-0.75	12.9	221
マッケンジー川	1981-83	143	7.14	0.19	20.0	752
ユーコン川	1978-85	275	8.35	0.35	32.9	786
ザイル川	Nov. 1976	161	7.3	0.72	22.1	224
	May 1978	171	5.9	0.89	29.0	192
流域が既開発						
ミシシッピ川	1981-87	108	114	7.7	1.0	14
ボー川	1981-84	120	147	4.6	0.7	26
ライン川	1976-78	130	310	14	0.4	9
セーヌ川	1976-82	120	372	20	0.3	6
中国の大河川						
揚子江	June 1980	100-105	65	0.5-0.9	1.6	146
黄河	August 1986	128	64	1.1	2.0	116

表1 世界の大規模河川の窒素、リン、シリカ濃度 (Vörösmartyら, 1998, より作成).

世界中の河川の自然現存量の700%にあたる量が人造湖に貯留されるようになった。さらに彼らは、貯水量/河川流量から算出される時間を、河川水のエイジングという考え方で整理した。すなわち、河川が自然状態であれば平均1月ほどで海に達するが、堰ができることにより河川水が停滞し、海に来るまでに統計上2ヶ月ほど余計に年をとるのである。この間にSiが失われたり、他にも様々なことが起こる。さらに、停滞水域に富栄養化が加わると、淡水性のケイ藻がSiを吸収してしまうことも強まり、海に流入するSiの減少はさらに促進される。

このような問題を考える時に不可欠なのは、人間活動の増大と河川水質の変遷を関連づける過去のデータである。表1でもわかるように、NやPはともかく、Siの濃度の資料になると非常に限られてくる。幸いなことに、我が国でも長期変化を伺い知ることのできるデータが採取されていた。小林純(注3)、森井ふじらのグループは、全国を8つのブロックに分け、高度成長期の前(1942~56年、計225河川)と後(1972~1975年、計173河川)に、各

河川のイオン濃度を計測していた(図2:森井, 1991)。このデータによると、リン酸、硝酸態窒素など、おおかたの物質濃度が軒並み上昇しているのに対し、シリカ濃度だけが確かに下がっており、しかもその傾向は関東圏と近畿圏などでよりはっきりしている。

4. ケイ素が減ると海で何が起こるか？

NやPが増大し、しかもSiが減少すると、海域にどんなことが起こるのだろうか？通常、海では春季に大規模なケイ藻の増殖(スプリングブルーム)が起こる。これは健康な海の証しであり、これを捕食する動物プランクトンをはじめ、甲殻類、魚さらには人間というような食物網が形成される。初夏になるとケイ藻がN、P、Siを使いつくしてしまって、スプリングブルームが終了する(注4)。この時、もし窒素やリンが過剰に残っていると、ケイ素を必要としない渦鞭毛藻類などが増殖する。

図3は、EggeとAksnes(1992)が、シリカ濃度がケイ藻の占有率にどのように影響するかを、メゾコズム(海域を筒状に隔離して中の

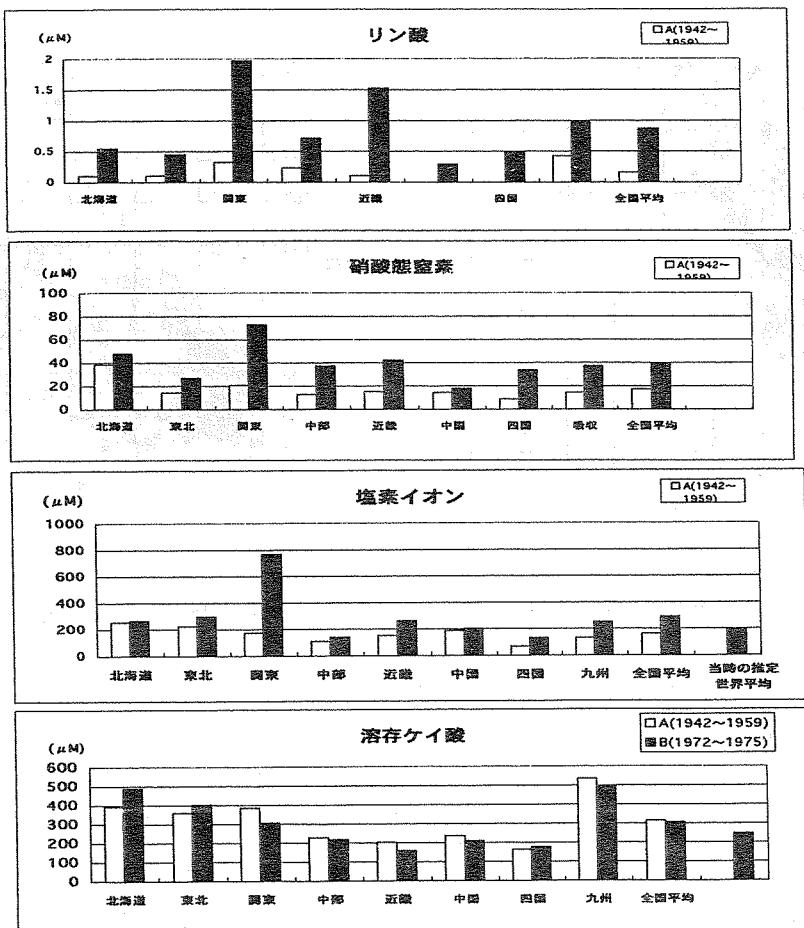


図2 高度成長期の前(1942～56年、計225河川)と後(1972～1975年、計173河川)における日本の河川のイオン濃度の変化。森井(1991)のデータから(財)海洋化学研究所が作成したもの。
リン、窒素、塩素などほとんどの成分が増加しているのに対し、シリカのみ減少している。

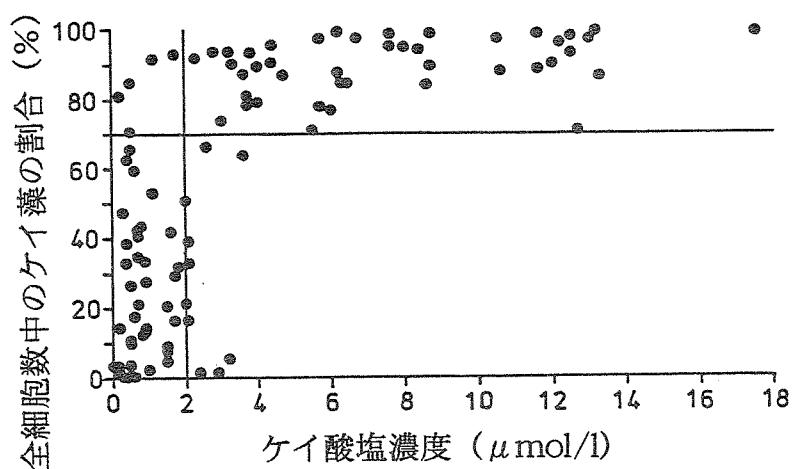


図3 海水のシリカ濃度と植物プランクトン細胞のうちケイ藻が占める割合の相関。EggeとAksnes (1992)がメゾコズム(隔離水塊)実験で求めたもの。

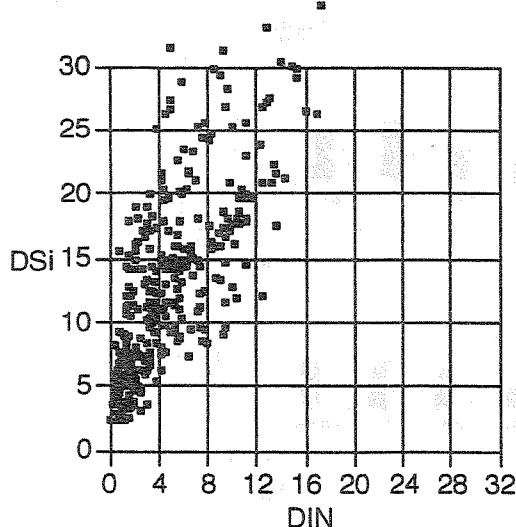


図4 濑戸内海中部の備讃瀬戸付近における溶存態無機窒素(DIN), 溶存態ケイ素(DSi)の相関. フェリーによる表層海水のモニタリングデータから作成したもの.

生態系の変遷を調べる方法)で実験的に調べた例である。これによればシリカの濃度が2マイクロモル/リットルを割ったあたりからケイ藻の割合が減り、他のプランクトンに置き換わることが多いという。これは隔離した水塊での実験であるが、実際の海域ではどのようにになっているのだろう。

国立環境研究所地球環境研究センターでは、1991年より瀬戸内海を航行するフェリーにより、栄養塩や植物プランクトン特性の長期モニタリングを継続している(Harashimaら, 1997)。図4は、それらのデータから、瀬戸内海中部の備讃瀬戸付近の溶存態無機窒素(DIN)、溶存態ケイ素(DSi)の相関を示したものである。この海域では、春のブルーミングでDINとDSiがともに吸収され、夏以降の生物分解で増加する、という規則的な変化が現れる。そして、グラフの左上半分にデータ点が多いということは、Siが不足することは少なく、枯渇するのはNであることが推定される。

これに対し、図5は大阪湾のデータを同様

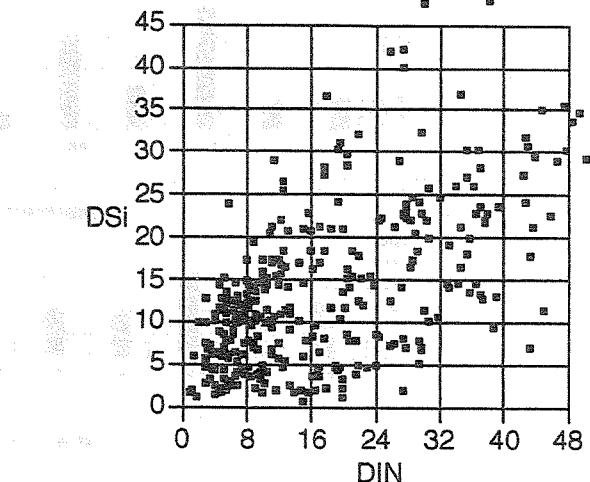


図5 大阪湾における溶存態無機窒素(DIN), 溶存態ケイ素(DSi)の相関. 図4と同様.

に表したものであるが、全く対照的である。図4とは異なり、Siが枯渇(2マイクロモル以下を一応枯渇と考える)してもNが過剰に存在するような様子がみてとれる。さらに、時系列的にみると、季節変化がやや不規則になり、初夏以降でも植物プランクトンの増殖が継続することが多い。

なお、非ケイ藻類の増殖がすなわち赤潮であるということではないが、赤潮は概ね非ケイ藻類の異常繁殖で起こされることが多いため、赤潮発生の情報は非ケイ藻類発生の1つの指標になる。水産庁瀬戸内海漁業調整事務所のデータによれば、備讃瀬戸(図4の海域)よりも大阪湾(図5の海域)で赤潮の発生する件数が多い。このデータには、珪藻のブルームも赤潮として記述されていることもあり、また例外もあるが(注5)、図4と図5を見比べると、Si濃度の相対比が低くなることと赤潮の発生に正の相関があることが推定される。

5. 内水面でのシリカの変化

大阪湾でなぜこのようなSi欠損、N過剰が

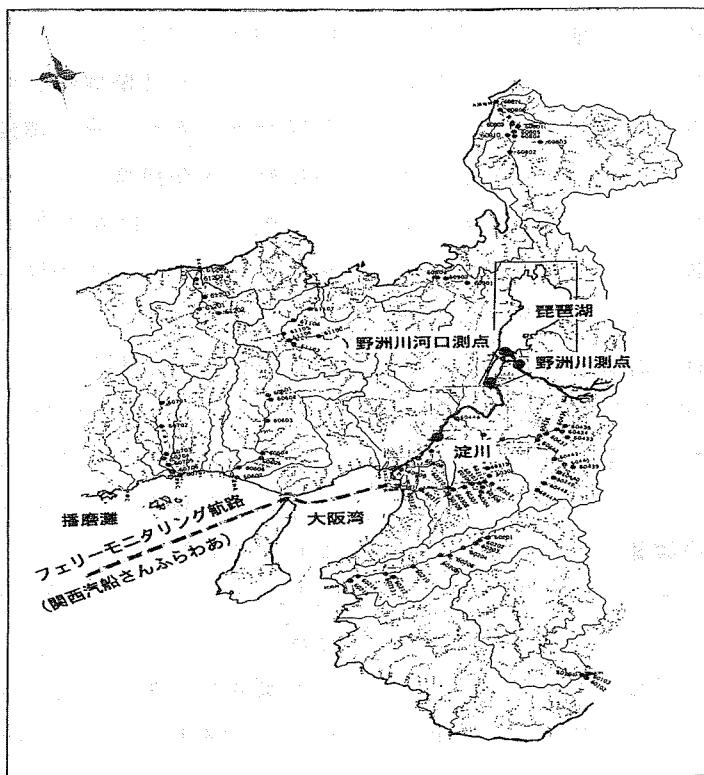


図6 野洲川と琵琶湖野洲川河口の水質モニタリング地点およびCGERで実行中のフェリーモニタリングの航路図。水質年表(河川協会編)の計測地点図をもとに作成したもの。

起るのだろうか？流入する淀川水系を遡って水質の変化をおってみよう。図6は、建設省によって毎月計測され、水質年表(毎年刊)として公開されているモニタリング地点の一部と、さきほど紹介したフェリーモニタリングの航路を示している。琵琶湖に流入する野洲川の計測点におけるシリカ濃度は、1983～1998年の期間で、平均値が191マイクロモル/リットルあった。標準偏差は降雨等の影響を反映していると思われるが、だいたい43程度であり、かなり安定して200前後の濃度のシリカが補給されているといってよい。すなわち、山地性の河川は「瀬をはやみ、岩にせかる...」なので、シリカが順調に風化・溶出してくる。

ところが、琵琶湖の湖水ではこれが20～30マイクロモル程度に落ちてしまうのである。野洲川の河口では、平均31マイクロモルであ

ったが、これは野洲川の水が湖水で希釈されたことによると考えられる。湖水でシリカ濃度が低くなる原因としては、次の3点が考えられる。

- ①琵琶湖内部で淡水性ケイ藻によってSiが吸収されてしまう。この傾向は人為起源のNとPの負荷でさらに強まる。
- ②琵琶湖内部でシリカが非生物的な過程で他の物質と結びつき、共沈してしまう。
- ③野洲川水のほうが湖水よりも低温なため、シリカを含む水が水温躍層付近(深度約15m)に潜ってしまう。

モニタリングのデータからいえることは以下のようである。

- ①高度成長期以前から長期的にみると、確かに河川のシリカ濃度が減少していること。
- ②すべての海域ではないが、閉鎖性海域でシリカ/窒素比が小さい海域が存在すること。

③風化溶出したシリカは、山地性河川を流れている間は十分な量が存在しているが、停滞水域で減少してしまうこと。

ここで得られた知見は、人為的な停滞水域の増加による環境変化の一つの予想ともなるだろう。しかし、間違っても「琵琶湖の存在自身が水質を悪くしている」ということではない。見方をかえれば、琵琶湖は河川から供給されるSiを使ってNやPの濃度を抑えている、ということでもあるかもしれない。

6. ワークショップでの議論

話は前記のワークショップに戻る。この会合はその運営方式がユニークだった。通常の研究発表はない。参加者は、任意にアブストラクトを事務局に電子メールで送る。事務局はこれを事前にホームページに載せる。研究発表はしないのだから、アブストラクトは講演要旨ではない。そのかわり、ホームページにはアブストラクトの他にシリカ問題の包括的なレビューと推奨文献も掲示される。参加者からみれば、これらを一通り参照・勉強してこないわけにはいかなくなるため、共通の予備知識のもとに議論がスタートできる。無論、参加者のみならず、世界のだれでもこれらの情報にアクセスできるというわけである。

ワークショップでは、数人の代表者による基調講演が行われ、その他の時間はグループ議論、全員による議論とレポート草案作成に割り当てられた。蛇足であるが、懇親会や記念撮影はなかった。

筆者も前述の知見をアブストラクトとして提出しておいた。驚いたことは、2人の基調講演者が事前にホームページでこれをみて引用してくれたことである。オランダ海洋研究所のベネコム教授は、「琵琶湖はダム湖ではなく自然の湖であるが、シリカ濃度が山地性河

川で200マイクロモルあるのに、湖水では1桁低くなることは驚異的なエビデンスである。」と述べた。また、地球環境における河川流入の役割を永年研究してきた、アメリカのミリマン教授は、「日本の各地域の長期変動データによって、シリカが減少していることが示されたが、塩素イオン增加と相関があることも重要なことであり、ともに人為影響の存在を示している。」と指摘した。筆者は、このことについてはそれほど気づいていなかったので、有り難かった。結果的にみると、下手な英語で講演するよりも、効果的だったかもしれない。まさに「先達はあらまほしきかな」である。

基調講演の後、全員がWG1「河川の生物地球化学的過程」、WG2「沿岸海域の水質と生態系の関連」、WG3「シリカ変動と炭素循環」の3つのワーキンググループに別れて議論を行った。筆者が加わったWG2の議論内容は、主に以下のようである。

$\text{Si}/(\text{N}, \text{P})$ の減少と関連するケイ藻類 → 非ケイ藻類の遷移については、北海南部、黒海、日本の沿岸海域、五大湖やデンマークの河口域などで確認されているが、データの裏付けは十分とはいえない。また、海洋の擾乱の影響でシリカ減少が隠されてしまうことがあるので、純粹に陸域の影響をみることが必ずしも容易ではない。また、これまでのケイ藻の生活史や季節サイクルについては、主に温帶での知見に基づいているが、今後は熱帯・亜熱帯地域における挙動を研究すべきだ。

その後、再び全員が集合して、それぞれの議論報告と全体討論になった。WG1では、化学平衡から考えて、全くの自然状態ではシリカの濃度はどのくらいになるはずか？(人為影響分を理論的に評価できるか？)の議論も行われたが、結論にまでは至らなかったようである。WG3でもいろいろな結果が紹介され

たが、ケイ藻といつても善玉ばかりでなく、近年カナダ大西洋沿岸で有害なケイ藻が出現している、という話が興味深かった。

また、意外にもりあがったのが、シリカの正式呼称、化学式とその分析法についてである。シリカには溶存態、アモルファス態、オパール態など、いろいろな存在形があり、しかも環境水中では他の物質と相互作用を起こしているので、シリカと一口に議論できるかどうかはそう自明のことではないのである。

「採水法については、貯水湖の流出口と流入口の両方ではかるべきだ」、「サンプルを凍らせると、シリカが落ちるから凍らせてはいけない」、「いや、溶かし方を慎重にすればいいんだ」、「淡水分析は海水よりむしろ慎重になるべきだ」、などいろいろな議論が出てきた。これらは一見初步的な事柄であるが、最先端の舞台でも改めて議論すべきなのである。また、日本での討論では、分析の方法や精度の議論が先にあって、「何のプロセスが重要なのか」が、とかく後回しになるのであるが、この会議では逆だったことも印象深かった。

7.まとめ

以上は2日半の議論のほんの一部であり、議論の結果についてはそのレポートの素案が関係者で確認され次第、ホームページで公開される予定である。そして、今後このレポートに基づいて関連研究が開始されたり充実されたりすることもあると思われる。シリカ溶出に関する事柄は、降雨や河川のプロセスが関連しているため、気候変動や酸性雨、ひいては、人口問題や世界中の公共事業の総量をどうすべきかなど、社会経済部門の問題等とリンクしてくることもあると思われる。

環境庁の地球環境研究総合推進費によっても、本件と関連の深い「アジア大陸隣接海域

帶の生態系変動の検知と陸域影響抽出に関する研究」が行われているので、別な機会に紹介したいと考えている。

このような問題を議論するためには、過去および現在進行のモニタリングによる時系列データに負うところが大きい。日頃定期航路船舶での海水モニタリングに協力していただいている、関西汽船株式会社と大阪商船三井株式会社、河川モニタリングを管理しておられる(社)河川協会、貴重なデータを提供していただいた、水産庁瀬戸内海漁業調整事務所および(財)海洋化学研究所に深謝する次第である。

(注1)SCOPE: Scientific Committee on Problem of Environment. すなわち「環境問題科学委員会」のこと。ICSU(国際学術連合)の下に設けられ、環境問題に関する科学面からの取りまとめや、行政施策への勧告などを行っている。

(注2)LOICZ: Land Ocean Interactions in the Coastal Zone. すなわち「沿岸海域における陸海相互作用研究計画」のことであり、IGBP(国際地球圏生物圏研究計画)の一環としておこなわれている。

(注3)小林純先生は岩波新書「水の健康診断」(1971)を著されており、ご存じの方もおられると思う。

(注4)植物プランクトンは、無機元素を吸収して光合成を行うが、その際、およそC:N:P(Si)=106:16:1(.16)というレッドフィールド比と呼ばれる比率に従って各元素が取り込まれる。シリカの殻を作らない微細藻類にはSiの比率はあてはまらず、またSiの16という数値についても、ケイ藻の種によって若干差異がある。陸水や沿岸海域のケイ藻では、より大きな数値を示す傾向があると考えられる。

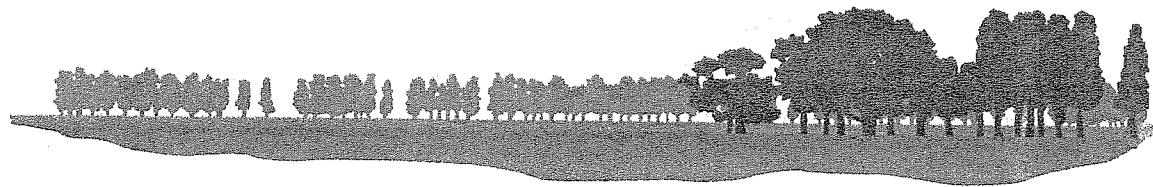
(注5)国立環境研究所の中村泰男博士からの私信によれば、1987年家島での実験時に、Siの濃度が高かったにもかかわらず、非ケイ藻類のシャットネラが出現した。また、広島大学の山本民次博士からの私信によれば、広島湾ではN、Pの濃度が低い時にも、渦鞭毛藻からなる有害藻類が出現することである。

参考文献

- Egge, J. K. and Aksnes, D. L. 1992, Silicate as regulating nutrient in phytoplankton competition, *Marine Ecology Progress Series*, 83, 281-289.
- Harashima, A. et al. 1997, Monitoring algal blooms and related biogeochemical changes in the adjacent seas of Japan, in Kahru, M. et al (eds.) *Monitoring algal blooms*, Springer, pp.85-11.
- 国立環境研究所、遠洋水産研究所、東海大学、西海区水産研究所、日本海区水産研究所 1999, 地球環境研究総合推進費-D3課題FY96-98 最終報告書「アジア大陸隣接海域帯における生態系変動の検知と陸域影響抽出に関する研究」
- 森井ふじ 1991, 水圈無機成分の分析とともに、*海洋化学研究*, 5, 34-52.
- SCOPE-Si Workshop Home Page,
(<http://data.ecology.su.se/scopesi/scopesi.htm>)
(社)河川協会, 水質年表(毎年刊)
水産庁瀬戸内海漁業調整事務所, 瀬戸内海の赤潮(毎年刊)
- Treguer, P. et al. 1995, The Silica Balance in the World Ocean: A Reestimate, *Science*, 268, 375-379.
- Vörösmarty et al., 1995, The storage and aging of continental runoff in large reservoir systems of the world, *Ambio*, 26, 210-219.
- Vörösmarty et al. 1998, Drainage basins, river systems, and anthropogenic change: the Chinese example, Galloway et al. (eds.) 1998, *Asian Change in the Context of Global Climate Change*, Cambridge Univ. Press, pp219-244.

インドネシア森林火災ワークショップ

日 時：2000年3月7日(火) 9:30～18:00
会 場：日本教育会館一ツ橋ホール(東京 神保町)
セッション構成：原則として英語で発表
1)気象・大気 2)生物・生態系 3)社会経済・環境安全保障
主 催：国立環境研究所地球環境研究センター(CGER/NIES)
(財)自然環境研究センター(JWRC)
科学技術振興事業団(JST)
事 務 局：(財)自然環境研究センター Phone 03-3813-8897 Fax 03-3813-8898
担当；戸畠祥子(forestfire@jwrc.or.jp)



地球環境研究センター(CGER)活動報告(10月)

地球環境研究センター主催会議等

- 1999.10. 9~10 つくば科学フェスティバル'99(藤沼研究管理官・高田課長補佐・勝本特別流動研究員/つくば)
12~15 NDSC運営委員会(藤沼研究管理官・高田課長補佐・田代係員/北海道)
22 Species2000国際ワークショップ(第14回地球環境研究者交流会議)第2回実行委員会(清水研究管理官・宮部係長/つくば)

所外活動(会議出席)等

10. 1 環境科学会運営理事会(一ノ瀬主任研究員/東京)
5 平成11年度地球環境研究等企画委員会研究分科会第3分科会(清水研究管理官/東京)
8 第5回森林等の吸収源に関するワーキンググループ(山形研究管理官/東京)
8 地球フロンティア研究ワークショップ(藤沼研究管理官・高田課長補佐/東京)
8~10 日本地理学会学術大会(一ノ瀬主任研究員/徳島)
11~12 東北大学二酸化炭素国際会議の準備打ち合わせ(井上総括研究管理官/仙台)
13 地球環境研究総合推進費公開シンポジウム(清水研究管理官・横田研究管理官・竹内課長補佐・宮部係長)
15 平成11年度地球環境研究等企画委員会研究分科会第2、4分科会(清水研究管理官・宮部係長)
16 日中地理学会議(一ノ瀬主任研究員/東京)
18 地球温暖化対策国際研究棟熱環境モニタリングプロジェクト会合(一ノ瀬主任研究員/柏)
20 東アジア酸性雨モニタリングネットワーク土壤・植生国際協力チーム第3回委員会(清水研究管理官/東京)
20~23 APN産業転換・都市化ワークショップ(一ノ瀬主任研究員/神戸)
20~28 京都メカニズム事業機会に関する国際会議及び第5回気候変動枠組条約締約国会合COP5(山形研究管理官/スイス、ドイツ)
20~11.3海外野外調査(井上総括研究管理官/ロシア、ウクライナ)
26 アジア・アフリカ地域における砂漠化・土地荒廃防止に関する調査検討委員会(清水研究管理官/東京)
27 平成12年度地球環境研究総合推進費新規課題募集等担当者説明会(宮部係長/東京)
29~31 土木学会環境システム研究論文発表会(一ノ瀬主任研究員/仙台)

見学等

10. 4 福岡県鞍手高等学校第2学年(20名)
8 APN事務局Mr. Randy Helten
13 鳥取県立鳥取東高等学校1、2年生(12名)
18 JICA環境モニタリング(水質)コース研修(14名)
19 JICAカウンターパート研修・中国貴州省(2名)
20 JICA環境行政コース研修(18名)
26 清水環境庁長官及び柳本総括政務次官視察(9名)
28 JICA農業生産のための遺伝子操作コース研究(10名)

地球環境研究センター出版物在庫一覧(CGERシリーズ)
(ご希望の方は地球環境研究センター総合化・交流までご連絡下さい。)

C G E R No.	タ イ ト ル
A001-'91	地球環境研究センター年報
A002-'93	地球環境研究センター年報 Vol.2 (1991年10月～1993年3月)
A003-'94	地球環境研究センター年報 Vol.3 (平成5年4月～平成6年3月)
A005-'96	地球環境研究センター年報 Vol.5 (平成7年4月～平成8年3月)
A006-'99	地球環境研究センター年報 Vol.6 (平成8年4月～平成9年3月)
D003-'94	温暖化の影響評価研究文献インベントリー(日本編)
D004-'94	GRID 全球データセットユーザーズガイド
D006-'94	GRID DATA BOOK
D007(CD)-'95	Collected Data of High Temporal-Spatial Resolution Marine Biogeochemical Monitoring by Japan-Korea Ferry (June 1991- February 1993)
D008-'95	GRID-TSUKUBA(パンフレット)
D009-'96	DATA BOOK OF SEA-LEVEL RISE
D010-'96	'94IGAC/APARE/PEACAMPOT 航空機・地上観測データ集
D011-'96	'95IGAC/APARE/PEACAMPOT 航空機・地上観測データ集
D012(CD)-'97	東アジア定期航路モニタリングデータ(1994年4月～1995年12月)
D013-'97	DATA BOOK OF Desertification/Land Degradation
D014(CD)-'98	Data of IGAC/APARE/PEACAMPOT Aircraft and Ground-based Observations '91-'95 Collective Volume
D015(CD)-'97	北太平洋海域植生プランクトン分布衛星画像時系列データベース CD-ROM
D016-'97	産業関連表による二酸化炭素排出原単位(FD付)
D017-'97	国際研究計画・機関情報 II
D018(CD)-'97	IGAC/APARE/PEACAMPOT 航空機・地上観測データ '91～'95 集成版
D019(CD)-'97	東京23区の人工排熱(エネルギー消費)時空間分布
D020(CD)-'98	東アジア植生指数月別モザイク図(1996年) CD-ROM (Monthly NDVI in East Asia in 1996 CD-ROM)
D021(CD)-'99	Collected Data of High Temporal-Spatial Resolution Marine Biogeochemical Monitoring from Ferry Tracks: Seto Inland Sea (Jan.1996-Nov.1997)and Osaka-Okinawa (Jan.1996-Mar.1998)
D022-'99	マテリアルフローデータブック～日本を取りまく世界の資源のフロー～ Material Flow Data Book -World Resource Flows around Japan-
M003-'93	ANNUAL REPORT ON GLOBAL ENVIRONMENTAL MONITORING 1993
M004-'94	MONITORING REPORT ON GLOBAL ENVIRONMENT -1994-
I001-'92	GLOBAL WARMING AND ECONOMIC GROWTH
I010-'94	CGER'S SUPERCOMPUTER ACTIVITY REPORT 1992 Vol.1
I011-'94	Global Carbon Dioxide Emission Scenarios and Their Basic Assumptions -1994 Survey-
I014-'94	PROCEEDINGS OF THE TSUKUBA OZONE WORKSHOP
I015-'94	IPCC Technical guidelines for Assessing Climate Change Impacts and Adaptations
I016-'94	CGER'S SUPERCOMPUTER ACTIVITY REPORT Vol.2-1993
I018-'95	PROCEEDINGS OF THE TSUKUBA GLOBAL CARBON CYCLE WORKSHOP -GLOBAL ENVIRONMENT TSUKUBA '95-
I019-'96	GLOBAL WARMING, CARBON LIMITATION AND ECONOMIC DEVELOPMENT
I020-'95	CGER'S SUPERCOMPUTER ACTIVITY REPORT VOL.3 - 1994
I021-'96	CGER'S SUPERCOMPUTER MONOGRAPH REPORT VOL.1 (TURBULENCE STRUCTURE AND CO ₂ TRANSFER AT THE AIR-SEA INTERFACE AND TURBULENT DIFFUSION IN THERMALLY-STRATIFIED FLOWS)
I022-'96	CGER'S SUPERCOMPUTER MONOGRAPH REPORT VOL.2 (A TRANSIENT CO ₂ EXPERIMENT WITH THE MRI CGCM -ANNUAL MEAN RESPONSE-)

I023-'96	第8回地球環境研究者交流会議報告書〈地球環境研究の新たな展開〉 －人間・社会的側面の研究推進に向けて－
I024-'96	CGER'S SUPERCOMPUTER ACTIVITY REPORT Vol.4-1995
I025-'97	CGER'S SUPERCOMPUTER MONOGRAPH REPORT Vol.3 (Study on the Climate System and Mass Transport by a Climate Model)
I026-'97	第10回地球環境研究者交流会議報告書〈社会科学面からの地球環境研究の取組み〉－IHDP研究者交流会議－
I028-'97	CGER'S SUPERCOMPUTER MONOGRAPH REPORT Vol.4 (Development of a global 1-D chemically radiatively coupled model and an introduction to the development of a chemically coupled General Circulation Model)
I030-'97	CGER'S SUPERCOMPUTER ACTIVITY REPORT Vol.5-1996
I031-'98	Long-Term Ecological Research in the East Asia-Pacific Region:Biodiversity and Conservation of Terrestrial and Freshwater Ecosystems
I032-'99	LAND USE FOR GLOBAL ENVIRONMENTAL CONSERVATION(LU/GEC) -FINAL REPORT OF THE LU/GEC FIRST PHASE(1995-1997)-
I034-'99	CGER'S SUPERCOMPUTER ACTIVITY REPORT Vol.6-1997
I035-'99	CGER'S SUPERCOMPUTER MONOGRAPH REPORT Vol.5 (THREE-DIMENSIONAL CIRCULATION MODEL DRIVEN BY WIND, DENSITY, AND TIDAL FORCE FOR ECOSYSTEM ANALYSIS OF COASTAL SEAS)
I036-'99	Proceedings of 1999 NIES Workshop on Information Bases and Modeling for Land-use and Land-cover Changes Studies in East Asia
I038-'99	LU/GECプロジェクト報告書V －中国における土地利用変化のメカニズムとその影響に関する研究－
G001-'93	アジア太平洋地域における社会経済動向基礎調査データ<各国別資料集>

地球環境研究総合推進費報告書

地球環境研究総合推進費 平成7年度終了研究成果報告集(中間報告)
 地球環境研究総合推進費 平成7年度研究成果報告集(概要版)
 地球環境研究総合推進費 平成8年度終了研究成果報告集(II)
 地球環境研究総合推進費 平成8年度研究成果報告集(概要版)
 Global Environment Research of Japan in 1995
 Global Environment Research of Japan (Final Reports for Projects Completed in 1995) PART 1
 Global Environment Research of Japan (Final Reports for Projects Completed in 1995) PART 2
 Global Environment Research of Japan in 1996
 Global Environment Research of Japan (Final Reports for Projects Completed in 1996)

地球環境変動に関する日米ワークショップ報告書

PROCEEDINGS OF THE THIRD JAPAN-U.S. WORKSHOP ON GLOBAL CHANGE MODELING AND ASSESSMENT Improving Methodologies and Strategies

平成12年1月発行

編集・発行 環境庁 国立環境研究所
地球環境研究センター

連絡先 総合化・交流

〒305-0053 茨城県つくば市小野川16-2
TEL: 0298-50-2347
FAX: 0298-58-2645
E-mail: cgercomm@nies.go.jp
Homepage: <http://www.nies.go.jp>
<http://www-cger.nies.go.jp>

このニュースは、再生紙を利用してます。