オウミア No.35

琵琶湖研究所ニュース

1991年 3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

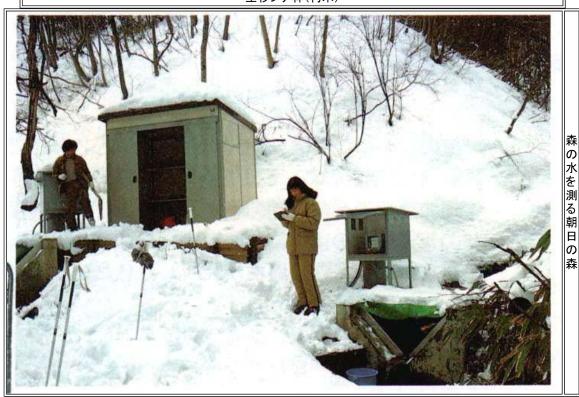
森林の水質浄化機能を測る - 滋賀県立短期大学農業部 須戸 幹・国松 孝男酸性雨の現状と陸水生態系への影響 - 国立環境研究所 佐竹 研一酸性雨の現状と水質への影響 - 滋賀県立衛生環境センター 山中 直お知らせ・トピックス

世界の湖(30) - ワシントン湖(アメリカ合衆国)

琵琶湖の水質保全に役立つ森林管理とは…



生杉ブナ林(朽木)



森林の水質浄化機能を測る

滋賀県立短期大学農業部 須戸 幹·国松 孝男 一

清らかで冷たい渓流に下り、からだいっぱい森の大気を吸い込む。ゴリがふやけた皮膚をくすぐる。少し汗ばんだ気持ちがおさまって、自然と私が一体化する瞬間です。"山の水はきれい。"私たちはあえてこの常識を疑ってみることにしました。それは琵琶湖の水が一向に良くなる気配がしないからです。

そのためにこれまでの研究より格段に正確に、森林渓流の水質を調査することにしました。琵琶湖流域の3ヶ所の森林で、3年以上続けて測りました。それは山の地質、森の木の種類、気候などによって、水質が異なるかも知れないからです。水質汚濁の原因になるCOD、窒素、リンの調査結果を表1に示しました。やはり森林によって濃度(水質)に2倍以上もの差があることがわかりました。

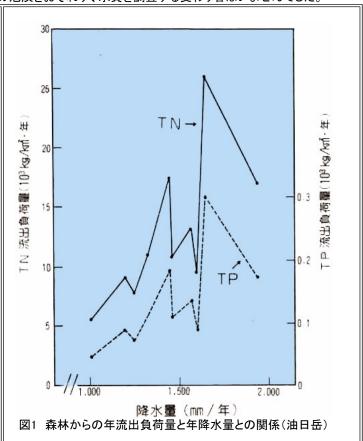
表1 森林流出水と琵琶湖の水質(mg/ℓ)			
地点	COD	全窒素	全リン
管山寺(余呉町)	2.4	0.43	0.036
油日岳(甲賀町)	1.1	0.34	0.007
三上山(野洲町)	2.0	0.23	0.009
琵琶湖(北湖)	2.2	0.29	0.010
森林は1989年、琵琶湖(滋賀県)は1988年度			

これらの森林渓流の水質を琵琶湖の水と比べてみましょう。同じ表を見ると、北湖より高い濃度の森林渓流があることがわかります。川の水質はさらに下流に行くほど悪くなります。にもかかわらず琵琶湖の水が最上流の森林渓流水よりもきれいなのは、琵琶湖には湖岸や湖内に汚れを浄化する見事な仕組みがあるからです。このような営みを損なうことがないよう琵琶湖を守っていかなければなりません。

ところで最近、山が荒れているといわれています。それが渓流の水質に悪影響を与えてはいないでしょうか。これは琵琶湖にとって重要な問題です。雨の日、近くの川は濁流になって、多量の汚濁物を琵琶湖に流し込んでいます。森林渓流は、少しぐらいの雨では濁りませんが、大雨の時にはやはり濁流になっています。けれどもこれまで雨の降る山の中で、山津波の危険をおそれず、水質を調査する変わり者はいませんでした。

私たちは、雨が降り始め る前から降り終わって流 れが元に戻るまで、車の 中で学生と一緒に徹夜し ながら何回も調査しまし た。その結果、森林でも 雨の日は普段の日の何 十倍もの汚れが流れ出て いることがわかりました。 それも雨が強いほど多く なるのです。すなわち、森 林から琵琶湖に運ばれる |汚濁量は、年雨量が多い ほど多くなり、さらに年雨 量が同じでも大雨が多い 年ほど多くなることがわか りました(図1)。したがっ て正確な汚濁量を予測す るには、長期間の調査が 必要です。

晴れた日には山から清い水が湧きだしていますが、雨の日には山肌を削って多量の汚れた水が流れ出しているのです。そのため雨の日でもできるだけ汚れが出てこないように、山を管理することが重要です。琵琶湖をとりまく大地(集水域)の7割を、森林が占めているからです。



そのため私たちは、1990年からさらに2ヶ所に試験流域(朝日の森、三上山)を設けて、当面、5年間の計画で「琵琶湖の水を保全するためには森林の管理をどのようにすればよいのか」について、琵琶湖研究所、森林環境研究所、森林センターと共同して研究をはじめることにしました。長い時間がかかるわりには、あまり見ばえのしない研究ではありますが、琵琶湖を守るためにはぜひとも必要な研究であると考えています。

酸性雨の現状と陸水生態系への影響

- 国立環境研究所 佐竹 研一 -

私達が今呼吸している大気は永い時間をかけて植物が作りだしたものである。地球上に出現した植物は、二酸化炭素 (CO_2) 、硫酸イオン (SO_4^{2-}) 、硝酸イオン (NO_3^{-}) 、そして微量の栄養素等を利用して体を形成し、酸素 (O_2) を放出してきた。そして始源大気の組成は変化して現在の大気ができ上がった。

人類による石油や石炭の燃焼はあたかもこの逆のプロセスのようである。大気中の酸素を消費し、炭素やイオウや窒素の酸化物を発生させる。

化石燃料の消費量は、とりわけ20世紀後半に著しく増大し、大気の組成に影響を与え地球環境問題を引き起こしている。燃焼によって生成した硫黄や窒素の化合物が硫酸や硝酸となり"酸性雨"となって森や湖沼や都市の建造物に大きな影響を与え始めたのである。

"酸性雨"に対する湖水の抵抗力

通称"酸性雨"は広い意味で硫酸や硝酸を含む雨や雪や粉塵等の総称である。

"酸性雨"の湖沼への影響は、水質に応じて異なり、すぐ酸性化する湖沼と全く酸性化しない湖沼がある。例えば、北欧の花崗岩地帯の湖沼は容易に酸性化し、石灰岩地帯の湖沼では酸性化は起きていない。

これはそれぞれの湖水の酸性化に対する抵抗力(緩衝作用)が異なるためである。緩衝作用は酸を減少させる水や生物の作用である。このうち水の抵抗力はアルカリ度を尺度として測ることができる。アルカリ度は水中の炭酸水素イオン(HCO3⁻)によって支えられていることが多い。水中の炭酸水素イオンは酸と反応し二酸化炭素となるため、水はすぐには酸性化しないのである。

湖水の酸性化に対する生物の抵抗には、主に微生物の働きが関係している。硫酸イオンから硫化水素(H₂S)を発生させる硫酸還元菌や、酸素の減少した場所で硝酸イオンを消費して窒素を生成させる脱膣菌などがそれである。このような微生物の働きは、ともに酸を減少させる。この他、水生植物による硝酸イオンの取り込みも酸を減少させる。いずれも酸性化に対する生物的抵抗、緩衝作用である。

ただし、酸性雨による硫酸の供給が硫化水素の発生を促進するとなると、生物に与える影響は大きい。硫化水素を含む無酸素層の発達が深刻な問題をもたらすことは、湖沼や富栄養化問題で証明ずみである。

酸性化にともなう水質変化

湖沼酸性化の基本的変化は、アルカリ度の減少、消失、酸度の増加という段階をたどる。特に酸性雪が雪解け水となる時期には、一時的に多量の酸性水が湖沼に流入し、大きな水質変化が見られる。

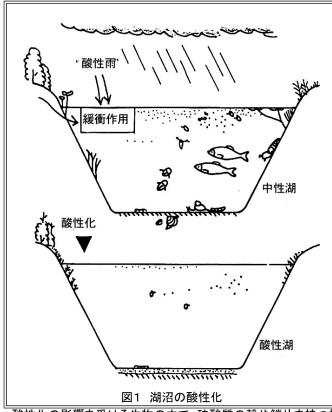
酸性雨は湖水の硫酸イオンや硝酸イオンを増加させる。また、アルミニウム(A1)、ナトリウム(Na)、カリウム (K)、マグネシウム(Mg)、カルシウム(Ca)等は、酸性化の過程で底泥や懸濁物から溶出する傾向がある。

湖水が酸性化すると水素イオン濃度は当然増加する(pHは低下する)しかし、湖水のpHは植物の光合成や呼吸等に伴っても大きく変化するので、注意が必要である。

酸性化は水中の有機物量も変化させる。北欧では有機酸(腐植酸)が沈殿し、褐色の湖水の透明度が増すことが報告されている。

酸性化による生物相の変化

中性湖沼で生活している動植物には、酸性の水中では生きられないものが多い。特に、魚類や貝等は酸に感受性が強く、特別な種類を除いて、酸性湖沼には分布しない。



スエーデンでは、pH5.5 前後を境として、サケ科や コイ科の魚が多くの湖沼か ら姿を消した。魚への影響 は、卵や稚魚の時期に最 も強く、この時期が酸性の 雪解け水の流入する時期 と重なると、被害が大きい とされている。酸性水の魚 への影響には、酸性化で 溶け出してくるアルミニウ ム等が関係することもよく 知られている。魚の餌とな る水生昆虫等の減少が魚 の成長に反映することも報 告されている。例えば、ノ ルウェーでは、サケ科の魚 の餌として重要なヨコエビ が、pH6.0でほぼその生存 の限界となっている。この ほか、炭酸カルシウムの 殻を持つ巻貝はpH6.0を限 界として減少し、pH5.2以 下では分布しないこと、コ 枚貝も、pH6.0を境として 酸性化の影響を大きく受け ること等も報告されてい

酸性化の影響を受ける生物の中で、珪酸質の殻や鱗片を持つ植物プランクトンの珪藻や黄金色藻(黄色鞭毛藻)の増殖や減少は興味深い。殻や鱗片が分解されにくく、その消長の様子が湖底堆積物に残されているからである。これらの藻類は、過去の水質を探る生物pH計として注目を集めている。多くの藻類が酸性化の影響を受ける中で、シャジクモも酸に対して敏感で、酸性化に伴って消失することが知られている。シャジクモは中性あるいは弱アルカリ性水域に広く分布し、カナダの調査例では、pH5.2以下の酸性湖沼では分布が確認されていない。

酸性化によって減少する生物がある一方で、分布を広げる生物もある。コケ植物のミズゴケの分布などがそれである。コケ植物のミズゴケ属は寒冷地の湖沼や湿原を中心に世界に広く分布し、分布水域のpHは弱酸性のことが多い。酸性水域には、ウカミカマゴケ等のコケ植物も分布する。この他、魚にも耐酸性のものがある。北米原産の

マッドミノウが耐酸性で、酸性化した湖沼に最近分布を広げていることが知られている。酸性化に伴って減少・増加する生物は何れも酸性化の指標生物となる。

日本の陸水の酸性化

このところ日本でも、pH4.5前後の酸性雨が降っている。しかし、まだ酸性雨によって酸性化した湖沼(酸性雨酸性湖)は報告されていない。日本の代表的湖である琵琶湖も、アルカリ度が高く、酸性化に対し強い抵抗力を持っている。日本の湖沼や河川には、酸性雨に対する抵抗力について未調査のものも多い。

ている。日本の湖沼や河川には、酸性雨に対する抵抗力について未調査のものも多い。 石炭や石油の消費は21世紀にも継続する可能性があり、酸性雨もまた降り続けることが予想される。このため、 各地の湖沼や河川の酸性化に対する抵抗力の調査が急がれる。そして、アルカリ度の低い湖沼については、水質 や生物の変化に注意が必要である。

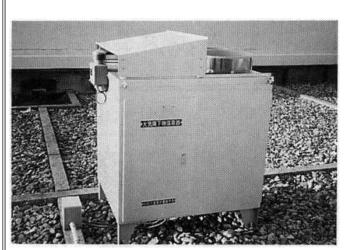
酸性雨の現状と水質への影響 滋賀県立衛生環境センター 山中 直

歷史的背景

雨水は何も含まれていない蒸留水のようなものではなく、様々な物質を含有していることは、すでに1852年のイギリスの文献にみられています。しかし当時は注目されることなく、1960年代になって、湖沼の酸性化とそれによる生物の死滅や森林の枯死などが北欧やドイツで問題となりそれらが、雨水の酸性化によるものであることが認識されました。また、雨水の酸性化という現象が、一国内における問題ではなく、国境を越えた問題であることもわかりました。その後1972年にストックホルムで行われた世界環境会議で、その重要性が各国によって確認され、その主要な原因物質である硫黄酸化物の大気中への放出量の削減が実施されてきました。このように、酸性雨はまずヨーロッパにおいて問題になったわけですが、同様の現象はアメリカーカナダ国境においてもみられ、また、中国においても酸性雨による森林の枯死がみられており、現在では地球規模の環境問題としてクローアップされています。

酸性雨の発生機構

雨水の酸性化は、どのようにして |起こっているのでしょうか。まずその 源となっているのは、人間がエネル |ギーを得るために行う石油や石炭な どの化石燃料の燃焼にあります。 例えば、工場での重油の燃焼、車の ガソリンの燃焼、そして中国で酸性 雨の大きな原因となっている暖房や 発電のための石炭の燃焼があげら れます。石油や石炭は硫黄を含んで おり、燃焼にともなって硫黄酸化物 を発生します。また、燃焼時の高温 によって、大気中や燃料中の窒素が 窒素酸化物となり、大気中に放出さ れます。硫黄酸化物や窒素酸化物 はそれ自身も人間に有害な物質で すが、大気中の日光と水滴によって それぞれ硫酸および硝酸という強い 酸に変わっていくのです。ヨーロッパ |における観測では、風に運ばれて、 ドイツやイギリスなどの工業国から 北欧諸国まで、1,000kmも離れた地 域に影響を与えているといわれてい ます。

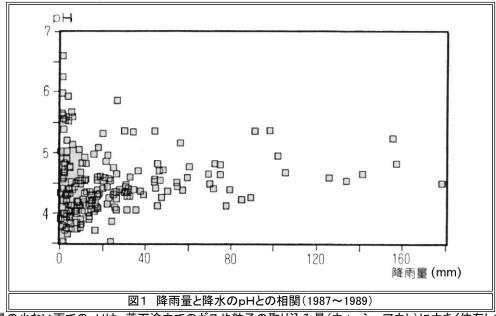


雨水採取装置

酸性雨の現在

化石燃料の燃焼によって雨水が酸性化していくことを述べましたが、数字で表すとどのようになるのでしょうか。 水溶性の酸性・アルカリ性を示すものとしてpHがあります。雨水は、先ほど述べた硫酸や硝酸の影響がなくても、 大気中に豊富に存在する二酸化炭素の溶け込みでpH5.6になることから、それより低いpHの雨を酸性雨と呼んでいます。ヨーロッパ、アメリカ、中国で最も雨水の酸性化が進んだ地域の年間平均のpHは、約4.0でした。日本においても、各地で酸性雨の観測が行われていますが、その年間平均値は、概ね約4.4~5.3でした。

次に、私たちが観測を行っている大津における雨水の調査についてのべます。過去6年間の年間平均値は、年間降雨量に関係なく4.4から4.5でほぼ一定になっています。全国的にみてこの値は、やや酸性度が高いといえます。さらに一雨ごとのpHと降雨量との関係を図1に示しました。降雨量の少ない雨では、pHの変動が大きく、この図での最も低い値は3.5でした。pHが高い雨も多いのですが、これらは舞い上がった土壌をたたき落としてくるためで、土壌中のカルシウムがpHをアルカリ性側にもっていくためです。



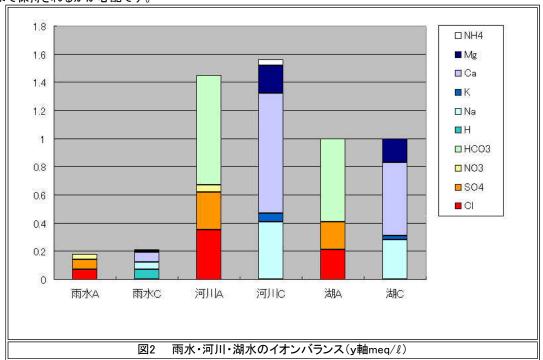
降雨量の少ない雨でのpHは、落下途中でのガスや粒子の取り込み量(ウォッシュアウト)に大きく依存します。一方、降雨量の多い雨では、pHは4.5~5.0という狭い範囲での変動しかしません。これは、雲の中での雨水の性状

が比較的一定であり、降雨量の多い雨ではこれがそのまま現れるためです(レインアウト)。年間平均値は、この値 と降雨量としては少ないが酸性のきわめて強い雨の回数によって決まってきます。

酸性化の原因である雨水中の硫酸と硝酸とについて、それぞれの雨水中の濃度から、酸性化に寄与する割合を求めてみると2:1となり、硫酸の方が影響が大きく、日本各地でも、その割合は3:1と硫酸の方が高くなっています。しかし滋賀県では、自動車排ガスの影響による硝酸の比率が、他の地域と比較して少し高いと考えられます。

河川および湖沼への影響

ヨーロッパでは、酸性雨の影響の一つとして湖沼の酸性化による魚を初めとする生物の死滅が大きな問題となりました。一つの例としてスウェーデンでの1985年の調査をみてみると、全湖沼85,000のうちほとんどの魚が死滅したpHが5以下の湖沼が4,500, ほとんど全ての生物が死滅してしまったpH4以下の湖沼が1,800もありました。これらの湖沼では、石灰を散布するという対症療法を行っています。今のところ日本では、酸性雨による湖沼の酸性化のはっきりした例はありません。それは、北欧の土壌が、酸性雨の影響を中和する能力が小さい花崗岩質の土壌であるのに対して、日本の火山性土壌ならびに沖積土壌の中和能力が高いためといわれています。ただそれがいつまで保持されるかが心配です。



さて、それでは琵琶湖および琵琶湖に流れ込む河川ではどうでしょうか。琵琶湖周辺には、アルカリ性である石灰岩の地域があり、また中和能力の高い沖積平野も大きく広がっていることから、周辺河川のpHは年平均でほぼ7であり、また琵琶湖では植物プランクトンの光合成(pHを高める)の影響も加わってpHの年平均値は8です。酸性雨を中和する能力(緩衝能)であるアルカリ度は500 μ eq/ ℓ であり、国内でも酸性雨に強い湖の一つといえます。図2に、雨水・河川および琵琶湖の水に含まれているイオンの濃度を示しました。雨が河川水となって流れる過程で、土壌から多量のイオンが溶け込んで流れていくことがわかります。特に陰イオンの中の重炭酸イオンが緩衝能の主役で、重炭酸カルシウムの形で湖に流れ込んでいます。

雨水は琵琶湖に較べて、プランクトンの増殖に欠かせないアンモニウムイオンや、リン酸イオンを高濃度で含んでおり、富栄養化の観点からも見のがせないものとなっています。

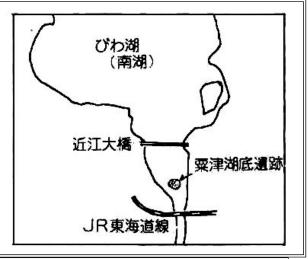
今後の問題点

酸性雨の問題は国際問題であり、それぞれの国の政策として大気汚染の減少に努めることが最も重要であります。またそれを監視するためには、国際的な観測網が必要です。日本では、やっと全国的な観測網が作られ、さらに充実発展しつつあるところですが、それを東アジア全体の観測網まで発展させていく推進国となっていかなければなりません。酸性雨は、湖のみならず森林や建物などに様々な被害をおこすことが報告されています。私たちは、なるべくエネルギーを使わない生活をしていくことで、雨水の酸性化を少しでも改善していかなければなりません。

トピックス - 粟津湖底遺跡 -

昨年(90年)12月、大津市粟津湖 底遺跡から縄文時代の貝塚が出土 し話題になった。遺跡の位置は琵琶 湖最南端のキュッと細くなった部分、 漕艇場沖の真ん中にあります。作業 は、2箇所の調査地点を矢板で囲っ て陸地化させておこなっています。

今回の貝塚発見は、きわめて重要な意義を持っているといわれています。まず、遺跡は縄文時代中期前半(放射性炭素年代測定では4500年前)のもので、貝塚からは多くの食物遺物が発見されました。貝類は、主にセタシジミ、ナガタニシなどからなっており、コイ、ナマズ、ギギ、スッポン、イノシシ、シカなどの動物の骨もみつかっています。





スッポンの頭骨



クルミ

特に興味深いのは、多くの植物遺物が貝塚の中から発見されたことでルトチ、ドングリ、ナラ、ヒシ、オニグルミなどの実の殻が層状になって貝塚の中にあり、縄文人は、こういう植物性の食べ物もバランスよくとっていた活がもなりを知る重要な手掛かりをなります。トチやカシの実などは、アク抜きをしおくて食べられません。アク抜きは高度技術のため、これまで西日本では縄文時代後期以降からと考えられていましたが、すでに縄文時代も期前半にはおこなわれていたことになります。

91年1月になって、同遺構の南側数十メートルの調査地から、さらに古い遺構の発見が伝えられています。縄文時代早期(7000年~9000年前)の土器類のなかから、野生種より大きなクリの殻にまじって、ヒョウタンの果皮と種が大量に発見されました。大きなクリは、人間が保護をして育てたのでしょう。ヒョウタンについては、原産地はアフリカといわれていますが、何らかの方法で琵琶湖畔まで伝えられ、栽培されていたのではないかとも考えられています。

今後調査がすすむにつれ、さらに多くのことが解明されることになり期待 が寄せられています。



遺跡調査地全景

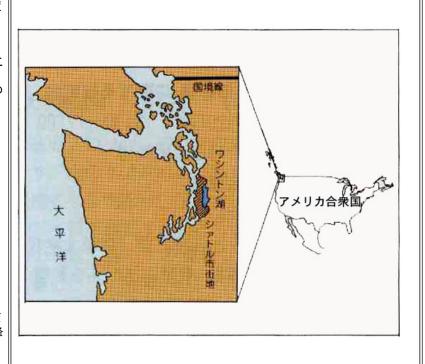


貝塚断面

世界の湖(30) - ワシントン湖 (アメリカ合衆国)>

アメリカ合衆国の西海岸、ワシントン州のシアトル市には、ジャンボジェット機の生産で有名なボーイング社がありますが、また、排水の流路変更作戦で富栄養化を克服し、陸水学上で一躍世界に有名になったワシントン湖があります。

シアトルは北緯47度 30分くらいにあって、 緯度からみればわが 国の稚内よりはるか に北に位置いているこ とになりますが、気候 は一年を通じてきわめ て温暖で、冬にもほと んど積雪をみることは ありません。 ワシント ン湖は、その市域に 広がる細長い湖で湖 面積約88km² 最大 深度65m、平均深度 33mの氷河起源の湖 です。湖の周囲は、な だらかな丘になってい て、気候が温暖なこと とあいまって緑豊かな 住宅地域が広がって います。ことに、湖の 西側高台から湖超し に「タコマ富士」と呼ば れるレイニア山の雪峰 を望む風景は、一幅 の絵のようです。



シアトル市の人口は50万程度ですが、集水域の人口全部を合わせると150万ほどになり、その人口密度は1,180人/km²と、世界的にみても相当高い方になります。(琵琶湖は278人/km²)

1930年代まではこの湖はまだ貧栄養湖だったのですが、集水域の人口増加にともなう生活雑排水の流入によって1950年代のなか頃から富栄養化現象が目立ちはじめ、藻類の異常増殖が起こり、やがて毎年のように夏にアオコが発生するようになって水泳は禁止され、スポーツ、レクリエーションには全く使えなくなってしまいました。そこで、市当局は、ワシントン大学研究チームの提案に基づき、湖の南の端に汚水処理場を建設し、湖をぐるっと取り巻くように下水管を付設して生活雑排水をそこへ集め、湖には一滴も下水を入れないようにしました。処理後の排水も大口径のパイプで直接太平洋へ流すような流路変更作戦をとりました(2次処理までしか行わないため)。これらのパイプの総延長距離は180kmに及びました。



全工事の完了には1963年~1968年までの5カ年を要しましたが、工事の完了後から次第に湖の水質は回復し、 5年後には透明度が1mから5mくらいまで上がり、アオコは見られなくなりました。

ワシントン大学チームは、その後もずっと水質を調べておりますが、1977年ごろにはミジンコなどの動物プランクトンの発生も見られるようになり、1983年時点では平均透明度が7mにまで回復し、時には11mを示すときもあるといいます。この結果、この湖は、大土木工事による富栄養化の克服例として有名になり、その後、この手法が世界のあちこちの湖沼で行われるようになりました。(倉田 亮)