

氏名	高崎 みつる
授与学位	工学博士
学位授与年月日	昭和61年3月25日
学位授与の根拠法規	学位規則第5条第1項
研究科, 専攻の名称	東北大学大学院工学研究科 (博士課程) 土木工学専攻
学位論文題目	湖の溶存酸素収支に関する研究
指導教官	東北大学教授 佐藤 敦久
論文審査委員	東北大学教授 佐藤 敦久 東北大学教授 松本順一郎 東北大学教授 首藤 伸夫 東北大学助教授 沢本 正樹

論文内容要旨

湖水質は自然界から与えられる多くの物理的条件と生物に関与した条件が、湖内で営まれる物質循環を通して複雑に関係しあいながら決定される。

溶存酸素は栄養塩同様複雑な湖の生態系を通して決められる水質項目である。すなわち、湖における溶存酸素は、植物プランクトンなどの生産活動やその他の生物活動の強さ、死滅した植物プランクトンやバクテリアなどの鉛直分布とそれらの酸素消費速度、水温鉛直分布、底泥の状態、さらには水と大気との再曝気による酸素の移動や、循環、混合の程度など様々な要因が複雑に影響し合いながら決められてゆく水質であると言える。

このように湖の溶存酸素濃度は複雑な過程を経て決定されるものではあるが、富栄養化と密接な係わりをもつ指標でもある。

溶存酸素を水質制御の主目的として湖水質の改善対策を考えていこうとした場合、どのような対策方法を行えば効果があるか、さらに、どの程度の対策を行えばよいかといった点については、対策以前計画の段階で重要な問題となる反面、予想することが難しい問題となる。これらの問題に答え、溶存酸素を指標とした湖水水質管理を行うには、まず第一に湖の溶存酸素鉛直分布の経時変化を予測できるようになる事が大切である。すなわち溶存酸素濃度を決定する諸要因のはたす役割を明らかにし、湖の溶存酸素収支の特徴を表現し得るシミュレーションモデルを作成する事が重要となってくる。第二に、得られたシミュレーションモデルを用いて対策の方法、程度に対する効果を

予測することも必要と考えられる。本研究はこのような視点に立ち、湖水質を管理、制御していく際の考え方の1つを提示せんとして行われたものである。

本論文の構成は以下の通りである。

第1章「総論」では本研究の目的および研究を始めるにあたっての背景、意義について述べた。また、研究対象とした湖についてその概要を説明した。

第2章「時系列解析を用いた湖水質変化の基礎的考察」は、一般に行われている水質定期観測によって得た値がどの程度湖の状態を表わし得るかという疑問に対し、多地点、短間隔で行った調査結果から、地点、頻度の選択方法に関して基礎的な考察をおこなった。また、研究対象とした溶存酸素が他の水質項目に比べて湖の状態をよりよく表わす指標であるか、又扱いやすい指標であるかを長期の時系列データに基づいて検討した。

第3章「溶存酸素消費速度」では湖水中の酸素を消費する代表的な2つの要因である水中の酸素消費と底泥による酸素消費に関して速度式の表わし方、その特性を詳しく検討した。その結果、

水中の酸素消費速度は水温に関して指数関数的に変化するが、一定の温度範囲の中ではほぼ水温の1次関数として表現できた。

水中の酸素消費速度は、クロロフィル-aよりむしろSSで表現する方が適切であり、SSで表現することによりおおむね水温と溶存酸素濃度の関数として表わすことが出来た。などの知見を得た。

第4章「溶存酸素収支モデル」では湖の溶存酸素濃度鉛直分布の変化を表現し得る数理モデルの作成および検証を行った。又得られたモデルについて夏期水温躍層形成初期と安定期の溶存酸素収支について検討するとともに、自然湖とダム湖の溶存酸素収支の違いについて検討した。その結果DO収支は次に示す数理モデルを用いておおむね表現できることがわかった。

$$\left. \begin{aligned} i=1 \text{ 層} \quad \frac{dC_1}{dt} &= -R_1 + P_1 + (C^* - C_1) \frac{D^*}{H_1} + \frac{(D_2 - C_1)}{L_1} \frac{D_1}{H_1} \\ i=i \text{ 層} \quad \frac{dC_i}{dt} &= -R_i + P_i + \frac{(C_{i-1} - C_i)}{L_{i-1}} \frac{D_{i-1}}{H_i} + \frac{(C_{i+1} - C_i)}{L_i} \frac{D_i}{H_i} \\ i=B \text{ 層} \quad \frac{dC_B}{dt} &= -R_B + P_B + \frac{(C_{B-1} - C_B)}{L_{B-1}} \frac{D_{B-1}}{H_B} + C_B \frac{K_s}{H_B} \end{aligned} \right\}$$

ここに、 C_i : i 層のDO ($i=1 \sim$ 最下層) (g/m^3), C^* : 飽和DO (g/m^3), R_i : 植物プランクトン、バクテリアなどの呼吸による水中のDO消費速度 ($g/m^3 \cdot h$), P_i : 光合成に伴う酸素発生速度 ($g/m^3 \cdot h$), D^* : 再曝気係数 (m/h), D_i : i 層と $i+1$ 層間の乱流拡散係数 (m^3/h), L_i : i 層と $i+1$ 層との中心間距離 (m), H_i : i 層層厚 (m), K_s : 底泥による酸素消費速度係数 (m/h), 添字B: 最下層を意味する。

また以下に示すような知見を得た。

夏期水温躍層形成初期の深水層下部で認められた急激なDOの減少は主に底泥の酸素消費によっ

てまかなわれていた。

夏期水温躍層の形成初期には、底泥の酸素消費速度が大きな湖の深水層下部のDO減少の主役は底泥であったが、このような湖でも底泥近傍のDOが涸渇した後の深水層でのDO減少は、植物プランクトンなどの呼吸・分解に伴う水中の酸素消費によってもたらされていた。

従来夏期水温躍層形成期間中は、水温躍層を通して上から下への酸素供給はないものとされていたが、本研究の結果、この期間中に於いても乱流拡散に伴う酸素の移動は躍層面を通してさかに行われていることが明らかとなった。

第5章「溶存酸素を指標とした湖水質の制御」では4章で示した溶存酸素収支モデルに基づき、植物プランクトン濃度などの影響、底泥の酸素消費の大きさの影響がどのように溶存酸素鉛直分布に表われるかについて、又湖水を強制循環させた場合には循環の強さと溶存酸素鉛直分布がどのような関係にあるかという点について考察を行った。

底泥の酸素消費の大きな湖で、植物プランクトン濃度の制御により水質改善が期待できるのは、表層から深水層の一部までであった。このような湖の底泥直上に近い層では、DOの変化に植物プランクトン制御の影響はそれ程大きく寄与しない。

底泥直上のDOが枯渇し、深水層全体のDO濃度が低くなった湖を対象として強制循環を行う場合には、水温躍層の形成初期に実施するのに比べてより多くのエネルギーを投入しなければ水質改善の効果が上がらない。

乱流拡散によって運ばれる酸素のDO収支上に占める割合が小さい湯の湖のような湖では、底泥の酸素消費速度を小さくすることによって水温躍層形成直後に底泥直上の層に認められた急激なDOの減少をコントロールし得るであろう。といった推論を得た。また全体的に湖水質改善対策をみるならば、対策方法によって水質が改善される範囲が異なること。また、対策の程度が弱い時には期待している程水質は改善されず、ある強さ以上で対策を施行する必要がある事、対策施行の実施時期によって、対策の程度や方法が同じでも効果に歴然とした違いが生じること、さらに個々の湖の状態、特性をよく考慮した上で湖水質改善方法や時期を決定する必要がある事などが推察された。

第6章は結論である。

ここでは本研究を通して得られた結果を総括し要約してある。

審査結果の要旨

湖沼の富栄養化に伴う水質悪化の一つに、深水層における溶存酸素(DO)濃度の枯渇を挙げる
ことができる。DO濃度は、湖水中の懸濁物質や底泥による消費、光合成に伴う補給、湖水の混合
に伴う移動によって決められるので、DO濃度を検討するためにはそれらすべてを対象として考察
する必要がある。本論文はDOを指標として水質悪化の制御を行うため、現場実験および観測結果
にもとづいて数値シミュレーションによるDO濃度鉛直分布の予測を行い、かつ水中の酸素消費過
程、底泥の酸素消費過程など酸素消費特性についても検討を加えたもので、全編6章よりなる。

第1章は総論である。

第2章は、多くの調査結果にもとづき、著者がDOを指標として選んだ理由と背景について述べ
たものである。

第3章では、湖水中のDOを消費する2大要因である「水中の酸素消費」と「底泥の酸素消費」
の特性について述べている。水中の酸素消費速度は、水温に関して指数関数的に変化するが、一定
の温度範囲内ではほぼ水温の1次関数として表現できること、またクロロフィル-aより浮遊物質
に大きく依存していること、一方底泥の酸素消費は、第1段階が化学的酸化、第2、第3段階が生
物学的酸化の3段階で生じることを明らかにしている。これは重要な知見である。

第4章は、鉛直モデルについて述べたものである。DO濃度鉛直分布はおおむね1次元モデルに
よって表現し得ること、またモデルに従ってDO収支を検討した結果、夏期水温躍層形成初期の深
水層下部で認められる急激なDOの減少は主に底泥の酸素消費にもとづくものであること、一方安
定した水温躍層形成期間中には水中の酸素消費がDO減少の主な要因となっているが、乱流拡散に
伴う酸素の移動は躍層界面を通してさかんに行われていることなどを明らかにしている。これは従
来の通説とは異なる新しい知見である。

第5章は、湖水質の制御について述べたものである。植物プランクトン対策、底泥対策、湖水の
強制循環対策など、その程度と効果を検討した結果、対策の実施時期は水質改善効果に大きく影響
し、水温躍層の形成前に行う必要があること、対策方法によって制御効果の表われ方が異なるので
事前に十分な調査を行う必要があることなど提言している。

第6章は結論である。

以上要するに本論文は、溶存酸素鉛直分布について動力的にその要因を考察するとともに、溶
存酸素収支モデルを提唱したもので、衛生工学の発展に寄与するところが少なくない。

よって、本論文は工学博士の学位論文として合格と認める。