

京都大学	博士 (地球環境学)	氏名	横井 貴大
論文題目	琵琶湖南湖の藻類に起因する新たな浄水処理障害に関する研究		
(論文内容の要旨)			
<p>本研究は、琵琶湖南湖で最近生じるようになった新たな浄水障害について、それに関連する藻類種の挙動とともにその発生機構に注目し、浄水場でのモニタリング、琵琶湖での調査、および室内実験で解明するものである。具体的には、付着性藍藻類に起因するかび臭、ラフィド藻類に起因する消毒副生成物 (DBP) を対象としており、5章からなっている。</p> <p>第1章は序論であり、琵琶湖南湖を水源とする浄水場でこれまで発生した浄水処理障害について述べ、主な浄水処理障害がかび臭およびDBPであること、また高度経済成長期から最近にかけて浄水処理障害の発生機構が変化していることを記している。あわせて、研究の目的と論文構成を提示している。</p> <p>第2章では、蹴上浄水場着水口における濁度など11の水質項目、および総細胞数・優占種などの藻類情報について1948年～2018年の長期測定データを収集し解析している。まず文献考察として、水質汚濁や藻類の急増によって発生した浄水処理障害を記述し、水質および藻類の変遷を俯瞰することの重要性を示した。次に水質データを分散分析多元配置で解析し、年代ごとの長期変化を考察している。また藻類数は1950年代以降急速に上昇し、1980年代にピークとなるものの、その後の減少は緩やかで1950年代の水準に戻っていないこと、藍藻類の優占割合が増加し、その要因として水質との関係が示唆されることを考察している。さらにこれらの長期データ解析から、かび臭、消毒副生成物問題も、それぞれ1980～1990年代の浮遊性藍藻類によるかび臭、トリハロメタン生成から、最近では浮遊性藍藻類以外のかび臭、トリクロロ酢酸問題と変化し、新たな浄水処理障害対策が重要となっていることを指摘した。</p> <p>第3章では、最近のかび臭原因物質2-メチルイソボルネオール (2-MIB) の発生機構の解明を行っている。高度経済成長期には浮遊性藍藻類である <i>Phormidium tenue</i> (<i>P. tenue</i>) による2-MIBが問題となっていたが、最近では、それ以外の2-MIB発生が琵琶湖を含む日本各地で観察されている。蹴上浄水場では、<i>P. tenue</i>の浮遊態が観察されない2-MIBによるかび臭発生が、2015年、2018年、2019年に起きたが、それぞれの年について原因調査をしている。</p> <p>2015年は、蹴上浄水場の原水となる南湖で沈水植物調査を行い、調査10地点中8地点で <i>P. tenue</i> が流れ藻に付着していることを発見した。また <i>P. tenue</i> PTG単藻株培養実験で、南湖湖底と同程度の弱光条件下で溶存態2-MIBが生産されることを明らかにし、2015年は沈水植物付着の <i>P. tenue</i> による2-MIB産生が主原因であることを見出した。</p> <p>一方、2018年は、琵琶湖南湖膳所での調査で、湖岸の2-MIB濃度が沖より高くなっていること (各26, 6 ng/L) を観測し、そのとき採取した湖岸礫に <i>Oscillatoria</i> sp. が付着してかび臭を発生していることを確認している。これより2018年は、湖岸礫に付着する <i>Oscillatoria</i> sp. が原因であると推察した。</p>			

2019年は、沈澱池での2-MIB上昇が原因であり、場内での*P. tenue*挙動を調べたところ、44%がフロックに取り込まれず浮遊していたことを確認した。これより、従来は凝集不良を起こさなかった*P. tenue*が凝集不良を起こすなど質変化を生じていると予想した。これら一連の研究により、2-MIB問題も従来型の浮遊性藍藻類の問題から、最近は付着性藍藻類の影響など様々な形で変化し、より柔軟な対応が必要となつてきていることを明らかとした。

第4章では、2013年に琵琶湖で初めて観察されたラフィド藻類の塩素処理によるトリクロロ酢酸の生成能について検討を行っている。文献考察により、2013年に京都市において給水トリクロロ酢酸濃度が過去最大値を記録し、同時期に原水においてラフィド藻類が初めて観察されたことを示している。そこで、ラフィド藻類単藻株 *Gonyostomum semen*のDBP生成能について、pH、塩素添加率、反応時間など反応条件の検討を行った。その結果、トリクロロ酢酸生成能の至適pHがpH7.0であることなどを確認している。また、*Euglena gracilis*及び*Micrasterias hardyi*といった他藻類との比較を行っており、ラフィド藻類のDBP生成能が他藻類より最大23倍高いことを明らかにしている。さらに、超音波処理の有無によるDBP生成の変化を調べると、*Gonyostomum semen*ではほとんど変わらない一方、他の藻類種は2倍程度上昇しており、ラフィド藻類は他藻類よりも塩素処理で細胞が壊れやすいことが原因の一つと推察した。

第5章は結論であり、各章で示された主要な成果をまとめ、今後の浄水処理対策における課題を述べている。

(論文審査の結果の要旨)

琵琶湖南湖では、高度経済成長期における水質汚濁の結果、藻類増加によるかび臭問題、及び有機物濃度の増加による消毒副生成物問題が発生するようになった。その後、種々の水環境保全活動が行われたことで、水質は改善傾向にあるが、南湖が清澄であった1950年代の水準には戻っていない。また、1994年の渇水以降、沈水植物が繁茂し始めるなど、生態系が変化していることもあり、2010年代に入ると、付着性藍藻類やラフィド藻類が新たに観察されるとともに、浮遊性藻類によらないかび臭、新たな消毒副生成物としてのトリクロロ酢酸の問題が生じるようになった。

本論文ではこのような背景を踏まえ、南湖を水源とする京都市蹴上浄水場における水質及び藻類の長期測定データを収集解析してその変遷を整理するとともに、最近生じてきている藻類が引き起こす浄水処理障害の原因解明を行うものである。具体的には、付着性藍藻類に起因するかび臭、ラフィド藻類に起因する消毒副生成物

(DBP)を対象としており、そのため、琵琶湖南湖でのフィールド調査、藻類室内培養実験を実施し、京都市蹴上浄水場での定期モニタリングデータと比較解析することで、それら問題の原因解明をしている。

本研究の持つ学術的に重要な意義として、湖沼においては浮遊性藍藻類が問題となることが多い中、付着性藍藻類も重要であることを示した点があげられる。研究は、定期的モニタリングデータに、琵琶湖南湖でのフィールド調査、室内での藻類培養実験と巧みに組み合わせ、その原因究明を進めたことも刮目する点である。このことにより、浄水場での2-MIB問題の原因が、浮遊性藍藻類*Phormidium tenue*による従来型から、水源である琵琶湖南湖内の付着性*Phormidium tenue*あるいは付着性*Oscillatoria* sp. で生じること、さらに*Phormidium tenue*の凝集性の変化も原因となるなど、多様かつ複雑に変化していることを突き止めている。また、最近の消毒副生成物問題であるトリクロロ酢酸生成についても、原因がラフィド藻類であることを見だし、その生成特性を、室内培養実験により示すことにも成功した。

一方、本研究の持つ地球環境学における意義としては、公的機関で定期的に取り上げられているモニタリングデータを用いて研究に活用した点が上げられる。京都市蹴上浄水場では、水質汚濁問題が社会的関心を集め、多くの研究機関が定期的に水質モニタリングを始める1970年代より20年以上前から、水道水源としての琵琶湖疏水の詳細な水質検査を定期的実施してデータを蓄積している。このデータは非常に貴重ではあるが、今までほとんど研究面では活用されていなかった。本研究は、その1948年以降のデータを組織化し、琵琶湖水質について、70年以上にわたる変化を調べており、陸水学分野的に貴重な琵琶湖水質変成を解析している。また、対象となる浄水場で実際に生じた最近の浄水障害を原因究明することで、浄水場が抱える実際上の問題を扱ったことも、地球環境研究を実装化する上で、極めて価値が高いと考えられる。さらに近年、かび臭に悩む事業体数が増えている中、全国の水道事業体職員が集う水道研究発表会において積極的な発表を行うことで、研究成果の周知に努めており、社会的な意義は大きい。

以上の成果により、本研究は、地球環境学の発展に大きく貢献した。よって本論文は博士(地球環境学)の学位論文として価値あるものと認める。また、令和3年2月5日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行った結果、合格と認めた。

なお、本論文は、京都大学学位規程第14条第2項に該当するものと判断し、公表に際しては、当該論文の全文に代えてその内容を要約したものとすること（期間未定）を認める。

要旨公開可能日： _____ 年 _____ 月 _____ 日以降