

学位論文題名

水域の富栄養化に関する基礎的研究

学位論文内容の要旨

本論文で対象とした「富栄養化」は、人間によって水域に廃棄された栄養塩の濃度が自然の状態と比較して著しく高くなる現象である。富栄養化の結果は、水質それ自体が劣化するとともに、藻類が異常増殖するなど自然の生態系にも大きな影響を及ぼす。論文では、これら水域における富栄養化と藻類増殖の実態を調査し、その特徴とその発現機構を整理した。富栄養化の機構は、栄養塩が水域へ到達する経路に沿って、集水域内での負荷発生機構、水域までの流出機構、水域内での動態と質変換機構に大きく区分されるが、富栄養化制御に関する研究は基本的にはこれら各機構の特性を栄養塩の形態変化を考慮して整理することにある。

本論文では、石狩川水系内の河川(本川、空知川・雨竜川などの支川)・湖沼(茨戸湖上部・中部湖盆など)を調査対象とし、富栄養化を引き起こす機構と富栄養化に伴う生態系への影響をフィールド調査と室内実験(藻類培養試験、河床生物膜水質浄化試験)によって明らかにした。栄養塩の負荷発生機構については工場や事業所排水などの点汚濁源からの流出のみならず農地や森林などからの面源負荷の影響について論じるため、水文現象の変化と対応した栄養塩の水質変化と流出負荷量を調査した。

以下に論文の構成と対応させて、研究課題と研究成果を記す。

【水域における富栄養化の現状と検討課題〔序論〕(第1章)】 水質汚濁の視点が、有機汚濁から富栄養化に目が向けられるようになってきた過程を、現象面と共に法的な側面や研究者や市民の環境意識の変遷という立場から論じた。またこれらと関連して本論文の研究意義と構成についてまとめた。

【調査水域の概況と水質分析方法(第2章)】 本論文で調査対象とした石狩川水系の地理的特徴と水質の概況を整理した。また一般的な水質の分析方法を紹介した。

【栄養塩の存在形態と水域環境(第3章)】 栄養塩の供給源である工場や事業所排水、栄養塩の流下過程にある河川、藻類の増殖の場である湖沼など、水域の特性と対応させて栄養塩の形態を調査し、水中の栄養塩の形態が供給源の特性や流出過程および水体内での生物学的あるいは物理的な質変換作用によって、多種多様であることを明らかにした。各種排水や面源からの流出水など各供給源で特異的な形態が自然水域への流出過程においてリンは懸濁態として窒素は溶存態を優位的な形態として安定した存在するようになること、懸濁態栄養塩については、河川では土壌粒子に湖沼ではプランクトンに近い栄養塩組成を示すことなどを指摘した。

【栄養塩の形態と藻類増殖(第4章)】 水中の栄養塩の形態と藻類増殖能力(AGP)の関係を藻類培養試験(供試藻類 *Microcystis aeruginosa*(東京大学IAM-176株))によって検討した。懸濁態栄養塩が溶存態とほぼ同じ摂取速度で藻類の増殖に利用されること、特に懸濁態リンについてはその最大利用率が75%程度にまで達することを明らかにした。藻類の最大増殖能力を制限する成分は、水域の化学成分の組成(N/P等)によって

異なり、河川水では窒素であること（窒素制限型）、都市排水で汚染した河川や湖沼水ではリンであること（リン制限型）を明らかにした。また藻類増殖能力（AGP）試験として、懸濁態栄養塩の効果を評価するために、高圧蒸気滅菌処理を施した未ろ過試料についての推定試験を従来法に併用することが望ましいことを指摘した

【河川における栄養塩の流出とその機構（第5章）】 石狩川水系を対象に、流量変動と対応した栄養塩の濃度と流出量を調査し、その流出特性から流出機構について検討を加えた。その結果、栄養塩の供給源は、産業排水や生活排水など（点源流出）ばかりでなく、植物や堆積した廃棄物やデトリタスなどを含む土壌の流出（面源流出）にあること、これら栄養塩は懸濁態として土壌層内に大量に蓄積・貯蔵されており、降雨時には懸濁物質として水域に流出してくることを明らかにした。溶存態栄養塩についても降雨増水時の濃度の減少は認められず、溶存化する栄養塩が地表に相当量蓄積していることがわかった。流出過程において、栄養塩は物理化学的な吸着・沈澱作用や微生物による硝化作用などによって変質し、河川や湖沼に到達した段階では自然条件に応じた安定した組成となることが判明した。

【森林集水域からの栄養塩流出（第6章）】 森林河川の栄養塩の流出特性を調査し、自然の状態における栄養塩レベル、栄養塩の流出負荷と流出機構について検討を加えた。森林から流出する河川水質は湖沼における富栄養化レベルに近く 融雪期や降雨時の増水期にはこのレベルを越えることを明らかにした。森林では栄養塩の多くが表層土壌に蓄積され、降雨や融雪水によって増水する時期に地表流とともに河川に流出してくる。森林の開発による土壌破壊は森林内に蓄積された大量の栄養塩を流出させることになり、下流域の生態系を変貌させる可能性がある。

【河床生物膜による栄養塩摂取と水質浄化（第7章）】 河床に付着した生物（生物膜）の持つ栄養塩の摂取すなわち質変換作用について着目し、その浄化効果について考察した。現地調査によって河床生物膜の組成と付着条件を明らかにすると共に、室内実験によって窒素については付着藻類による摂取や微生物による硝化を、リンについては生物膜への顕著な物理的吸着を明らかにした。今後の水質管理の一つとして、河床生物膜による栄養塩の除去能を富栄養化防止対策として積極的にとりあげることができることを指摘した。

【湖沼における栄養塩の動態と藻類増殖（第8章）】 都市近郊湖沼（茨戸湖）を対象に、富栄養化の実態を、形態別栄養塩の動態と藻類増殖との関係を中心に調査した。その結果、栄養塩は藻類としてばかりでなく外来性の土壌や風波によって舞い上った底質などからなる懸濁物質に含まれて存在する割合が高く、これら懸濁物質に含まれている栄養塩の直接的な摂取が藻類異常増殖の大きな原因の一つであることを推測した。懸濁物質の湖沼への流入防止、循環防止が富栄養化防止対策として意義がある。

【水域の富栄養化とその制御〔結論〕（第9章）】 第3章～第8章までの成果をまとめ、富栄養化の制御について検討を加えた。

上記のように本論文は、フィールド調査に基づき深刻な水環境問題となっている富栄養化現象の実態と富栄養化に至る諸機構とその特性を明らかにし、農地や森林などの土壌粒子に含まれる懸濁態栄養塩が大きな藻類増殖能力（AGP）を持つこと、これら成分の流出制御が富栄養化防止に有効であることを明らかにした。また富栄養化対策として河川生物膜の水質浄化能を活用できる可能性を指摘した。

学位論文審査の要旨

主 査 ・ 教 授 丹 保 憲 仁
副 査 教 授 高 桑 哲 男
副 査 教 授 田 中 信 壽

学 位 論 文 題 名

水域の富栄養化に関する基礎的研究

本論文は、生活や工業活動の結果として大量に自然水域に排出される窒素・リン等に起因する水域の富栄養化に伴う生態系の変化とその機構、および制御についての長年にわたる研究の成果をまとめたものである。

富栄養化現象の原因となる窒素・リンの存在形態と藻増殖能力について検討を行い、従来主な原因物質と考えられていた溶解性リンに加えて、懸濁態のリンの寄与が極めて大きいことを明らかにした。また、富栄養化現象が、自然河川では窒素制限型であり、都市排水で汚染を受けた河川や湖沼ではリン制限型になる場合の多いことを見いだした。

また、これらの藻増殖能の評価に際して、懸濁態の重要性を評価するための著者独特の高圧蒸気滅菌AGP試験法を提案した。

次いで、森林・田畑等よりの栄養塩の面的流出を水文流況との関係で検討し、降雨時・融雪時に面的流出の占める割合の大きいことを明らかにし、土壌植生管理の重要性を示した。

流出した栄養塩が河道を流下する際に、河床生物膜により大きな割合で摂取されることを明らかにするとともに、水温・流束に応じた生物膜存在量と栄養塩摂取速度の関係を検討し、生物膜の持つ意味を定量化する緒を開いた。

さらに、湖沼に流入した栄養塩の挙動を20年にわたる経年調査に基づいて検討し、懸濁態リンの持つ増殖能力の割合の大きいことを定量的に示し、浅い湖では底泥の舞い上がりによる懸濁態リンが、藻の異常増殖の大きな原因となることを初めて明らかにした。

これを要するに、著者は長期間にわたる一連の膨大なフィールド調査の結果に基づいて、本道におけるさまざまな水域の富栄養化の機構を明らかにし、新しい調査方法・試験方法を提案し、懸濁態のリンの持つ大きな意味を初めて明確にするなど、水域の富栄養化の制御のために必要な基礎研究分野に多くの新しい知見を加えたもので、水環境工学・水質工学に対して貢献するところ大である。

よって、著者は北海道大学博士（工学）の学位を授与される資格あるものと認める。