

学 位 論 文 題 名

Degradation of lake environment associated with high suspended sediment loading caused by land use development on watershed scale

（流域開発に伴う浮遊土砂の流出が湖水環境に与える影響）

学位論文内容の要旨

近年、浮遊土砂の流入による湖水環境の悪化にともない、生物の種数・現存量の減少に代表される自然環境の劣化が顕著になってきている。しかし、湖への浮遊土砂の負荷量収支を把握した研究はほとんど実施されておらず、湖水環境保全のためにはその解明が重要な課題である。本研究の目的は、農地造成や森林伐採、河川の直線化などの流域開発が行われた釧路湿原達古武湖流域において、流域開発が湖への浮遊土砂動態ならびに湖底土砂堆積速度に与える影響を明らかにすることにある。このため、湖へ流出入している6河川で水文観測、濁度観測、浮遊土砂サンプリングを行った。また、長期的な土地利用等の流域開発が湖底の土砂堆積速度に与える影響を解明するため、湖底8地点において堆積物のコア試料を採取し、火山灰編年法及び ^{137}Cs による年代測定を実施した。以下、研究成果の概要を述べる。

1) 達古武湖への流出入河川における水文観測の結果、湖の上流に位置する達古武川からの流入量が総流入量の54%を占めて最も多く、降雨と融雪に対して明瞭な流量のピークを示した。また、湖水は平水時には達古武湖から下流の釧路川に流出していたが、降雨や融雪により釧路川が増水すると、釧路川から達古武湖に逆流する現象が明らかになった。観測期間に釧路川からの逆流は7回観測され、逆流が始まる水位及び流出入が切り変わるタイミングは多様であった。これは、釧路川からの逆流は達古武湖の水位と釧路川の水位のバランスで決まるためと考えられる。また観測期間内では、釧路川から達古武湖への逆流は大部分が降雨により発生し、融雪による影響はほとんどみられなかった。しかし、融雪期に降雨があれば釧路川が氾濫し、釧路川から湖へ逆流することが報告されているため、融雪洪水による影響は観測結果より大きいと推測される。

2) 湖に流出入している土砂の平均粒径(D_{50})は100 μm 以下の細粒土砂であり、そのうち粗い土砂は湖に堆積し流出しないため、湖から釧路川に流出する土砂は他地点の流入土砂より細粒だった。また浮遊土砂は生産される場所の地表面土壌の状態により、無機物と有機物の成分比が変化することが知られている。たとえば、森林から流出した浮遊土砂は有機物含有率が40-90%と多く、農地や河岸などの裸地部から生産された浮遊土砂は有機物含有率が10-20%と少ないことが既存の研究成果によって明らかになっている。観測の結果、降雨時に達古武川と釧路川から湖内へ流入している有機物含有率は自然状態のそれより低く、それぞれ35%と20%であり、主に人為攪乱によって裸地化した地域から生産されていると推測できた。特

に、釧路川から逆流した浮遊土砂の有機物含有率は最も少なかった。また、達古武湖へ流入する他の4つの小河川では、流域開発がほとんど行なわれておらず森林面積率が高いため、流入土砂の有機物含有率が54~64%と高かった。

3) 達古武湖における浮遊土砂の総流入量は785 tonであり、そのうち釧路川が増水し、釧路川から短期間に流入した土砂量は総流入量の60%を占め、達古武湖における土砂流入および堆積は、釧路川からの逆流によって大きく左右されることが明らかになった。また、釧路川から流入した土砂は、土砂流入量が多いにもかかわらず有機物含有率が低いため、湖の陸地化(浅化)とともに水生動物の生息環境に悪影響を与えることが示唆された。

4) 湖底堆積物においては、大部分がシルト成分で占められ、平均粒径(D_{50})は100 μm 以下であった。また、湖底堆積物には全地点で2層のテフラがあり、脱水ガラスの屈折率によって、下の火山灰層は駒ヶ岳-c2(1694年)、上の火山灰層は樽前-a(1739年)と判別された。また ^{137}Cs 分析の結果、達古武川流入地点を除く全地点において、 ^{137}Cs 含量鉛直分布は明瞭な最大値を示し、この層を1963年の堆積物表層と判定した。

5) 湖底堆積物コアの一部に、容積密度は高く、水分含有率と有機物含量は少なく、礫と砂成分の粗い土砂を含む層が確認された。このような堆積物の物理特性の不連続的な変化は、農地や森林伐採や道路建設などの流域開発による結果であると推定される。したがって、本研究では、堆積物の各物理特性ピークやそれと対応する砂・礫成分の鉛直分布を‘シグナル’と定義し、シグナルを流域の変動を反映した堆積物指標として扱った。

6) 達古武湖流域では入植当時本格的な運送手段が無かったため、1898年に湿原を掘り、舟運用の運河が造られた。また1950年代から60年代では土地改良のため3回にわたり湿原を掘る排水工事が行われた。航空写真判読により、1980年代から1990年代の間に達古武川流域で森林伐採・林道などの開発が行われていた。したがって ^{137}Cs ピークや火山灰層との位置関係から、樽前-a上部に位置する最初のシグナルは達古武湖流域での最初の流域開発である1898年の河川工事による影響と考えられた。また他のシグナルは3回の河川工事及び1985年から1993年の流域開発による影響と考えられた。これらのシグナルは地点によって異なっており、湖内での土砂堆積は不均一であった。

7) 湖底堆積物中に確認された火山灰(駒ヶ岳-c2及び樽前-a)と ^{137}Cs 分析により、1694~1739年、1739~1963年及び1963年以降の土砂堆積速度を算出した。これらの堆積速度はそれぞれ流域の自然状態、開発初期及び開発後期の状態を反映したものと考えられる。達古武湖の堆積速度は、自然状態では0.22~0.89 mm/年、開発初期では0.69~2.46 mm/年、開発後期では1.25~12.38 mm/年であった。流域開発が進んだ1963年以降は最も土砂堆積速度が速く、自然状態と比べて約2~18倍を示しており、流域開発により陸地化(浅化)が著しく進んだことが明らかになった。

釧路湿原内の達古武湖は面積が小さく、水深が浅いため、流入負荷量が少なくても湖が受ける影響は大きい。さらに達古武湖における浮遊土砂の総流入量は、釧路川が増水による逆流のため流域開発の進んだ釧路川流域と達古武湖集水域の両方の影響を受けている。達古武湖の水質と生物生息環境保全のためには、釧路湿原流域と達古武湖集水域のスケールで土地利用の秩序化、水辺林・湿地帯の造成と保全による浮遊土砂の調節が必要であると考えられる。また水管理上可能ならば、釧路川が逆流する箇所に水門等を配置し、土砂流入を防止する対策も考えられる。

学位論文審査の要旨

主査	教授	中村	太士
副査	教授	丸谷	知己
副査	教授	笹	賀一郎
副査	助教授	山田	孝

学位論文題名

Degradation of lake environment associated with high suspended sediment loading caused by land use development on watershed scale

(流域開発に伴う浮遊土砂の流出が湖水環境に与える影響)

本論文は、図 19、表 7 を含む総頁数 92 の英文論文であり、他に参考論文 7 編が添えられている。

近年、浮遊土砂の流入による湖水環境の悪化にともない、生物の種数・現存量の減少に代表される自然環境の劣化が顕著になってきている。しかし、湖への浮遊土砂の負荷量収支を把握した研究はこれまでほとんど実施されておらず、湖水環境保全のためにはその解明が重要な課題である。本研究の目的は、農地造成や森林伐採、河川の直線化などの流域開発が行われた鉏路湿原達古武湖流域において、流域開発が湖への浮遊土砂動態ならびに湖底土砂堆積速度に与える影響を明らかにすることにある。このため、湖へ流出入している 6 河川で水文観測を行い、また長期的な土地利用等の流域開発が湖底の土砂堆積速度に与えた影響を解明するため、湖底 8 地点において堆積物のコア試料を採取し、 ^{137}Cs 及び火山灰編年法による年代測定を実施した。

第 I 章では、研究方法について述べている。土壌微細粒子に吸着・地表集積する放射性物質 ^{137}Cs (大気核実験で来由し、1963 年に最大値) の堆積土層濃度深度分布解析と、火山灰の同定 (脱水ガラスの屈折率) による過去 300 年間の平均堆積速度にもとづいた流域土砂流出履歴の解明方法を論じている。またこれら年代測定による長期間の土砂堆積履歴と、水文観測による現在の土砂流出観測結果によって、総合的検討を行うこととしている。研究対象地流域としては、流域開発 (1960 年以降) に伴う鉏路湿原内湖への急速な土砂流出実態と土砂堆積の蓄積状況などから、鉏路湿原内の達古武湖を設定したことを述べている。

第 II 章では、達古武湖への流出入河川における水文観測について検討した。湖に流出

入している土砂の平均粒径は 100 μ m 以下の細粒土砂であった。また、湖水は平水時には達古武湖から下流の釧路川に流出していたが、降雨や融雪により釧路川が増水すると、釧路川から達古武湖に逆流する現象が明らかになった。浮遊土砂は生産される場所の地表面土壌の状態により、無機物と有機物の成分比が変化する。たとえば、森林から流出した浮遊土砂は有機物含有率が高く、農地や河岸などの裸地部から生産された浮遊土砂は有機物含有率が少ない。達古武湖へ流入する 4 つの小河川では、流域開発がほとんど行なわれておらず森林面積率が高いため、流入土砂の有機物含有率が 54–64 % と高かった。また、降雨時に達古武川と釧路川から湖内へ流入している浮遊土砂の有機物含有率は自然状態のそれより低いため、主に人為攪乱によって裸地化した地域から生産されていると推測している。特に、釧路川から逆流した浮遊土砂の有機物含有率は最も少なかった。また、達古武湖における浮遊土砂の総流入量は 785ton であり、そのうち釧路川が増水し、釧路川から短期間に流入した土砂量は総流入量の 60% を占め、達古武湖における土砂流入および堆積は、釧路川からの逆流によって大きく左右されることが明らかになった。また、釧路川から流入した土砂は、土砂流入量が多いにもかかわらず有機物含有率が低いため、湖の陸地化（浅化）とともに水生動物の生息環境に悪影響を与える可能性を論じている。

第Ⅲ章では、 ^{137}Cs と火山灰を用いて過去 300 年の堆積速度の推定を試みている。湖底堆積物は大部分がシルト成分で占められ、平均粒径は 100 μ m 以下であった。 ^{137}Cs 分析の結果、 ^{137}Cs 含量鉛直分布は明瞭なピークを持ち、このピーク層を 1963 年の堆積物表層と判定している。また湖底堆積物には全地点で 2 層のテフラがあり、脱水ガラスの屈折率によって、下の火山灰層は駒ヶ岳-c2 (1694 年)、上の火山灰層は樽前-a (1739 年) と判別している。湖底堆積物中に確認された火山灰（駒ヶ岳-c2 及び樽前-a）と ^{137}Cs 分析により、1694–1739 年、1739–1963 年及び 1963 年以降の土砂堆積速度を算出した。これらの堆積速度はそれぞれ流域の自然状態、開発初期及び開発後期の状態を反映したものと考え、達古武湖の堆積速度は、自然状態では 0.22–0.89mm/年、開発初期では 0.69–2.46mm/年、開発後期では 1.25–12.38mm/年であったと結論している。流域開発が進んだ 1963 年以降は最も土砂堆積速度が速く、自然状態と比べて約 2–18 倍を示しており、流域開発により陸地化（浅化）が著しく進んだことを明らかにした。

以上のように本研究は、水文観測ならびに ^{137}Cs と火山灰年代分析によって、現在の浮遊土砂の動態そして過去 300 年にわたる土砂堆積履歴を明らかにし、流域土地利用と土砂流出機構に関し新たな知見を提示したものであり、その成果は学術・応用両面から高く評価される。よって、審査員一同は、安榮相が博士（農学）の学位を受ける十分な資格があるものと認定した。