

学 位 論 文 題 名

細粒土砂堆積による河床構造および
河川生物相の変化機構に関する研究

学位論文内容の要旨

20 世紀後半を中心とした経済性最優先の土地開発事業によってもたらされた地球規模の急激な生態系破壊に対する反省から、自然環境に対する期待が増大するとともに、とりわけ人間活動と密着した河川・森林の環境整備に対する要求が強まっている。我が国では、1997 年に河川法改正により新たな目的として“河川環境の整備と保全”が加えられ、“環境保全”が河川政策として定められることとなった。この間に激化した農地・森林開発などに伴い、細粒土砂（粒径 2mm 以下の土砂）の生産量が顕著になり、特に河川に流入し浮遊あるいは堆積した細粒土砂は、水質汚濁による利水上の問題とともに河畔域や水圏生物相に大きな影響を与え、欧米大陸を中心に流域国家間の重要な問題“sediment pollution”として認識されている。

水圏生物保全のための土砂管理を行う際には、生物相に及ぼす細粒土砂の定量的な影響評価が必要となるが、このような視点から調査解析した事例は少なく、評価方法すら確立されていないのが現状である。河川環境の保全が近年強く望まれるようになった我が国でも、細粒土砂の影響に対する関心はうすく、これに係わる研究事例もきわめて少ない。

本研究では、農地・森林開発などに伴い細粒土砂堆積の問題が顕在化している流域において、細粒土砂堆積による河床構造変化を定量的に明らかにすること、ならびに河川生物相の変化機構を解明することを目的とした。そして、現地河床透水試験をはじめとする河床構造変化の定量的評価手法を開発するとともに、河川改修（流路工設置）の細粒土砂堆積および生物相に与える影響の予測、ならびに細粒土砂の影響評価と管理手法の構築を試みた。

堆積細粒土砂による河床構造の変化は、河床透水機能（透水性および浸透流量）の低下に現れるが、従来型の河床透水試験は、砂礫河床では河床浸透流が乱流になれば透水係数が過大評価されるなど欠点が多く、現地河床透水係数の測定そのものが困難であった。そこで、砂礫河床で浸透流が乱流の場合にも適用可能なパッカー法改良型現場透水試験法を開発し、これにより得られた透水係数を水路実験により検定した結果、浸透流が乱流あるいは遷移領域にあっても本手法により高い精度の透水係数が得られることが明らかになった。従って、本手法による現地河床透水係数を細粒土砂堆積による河床構造影響指標として用いることとした。

細粒土砂堆積の問題が顕在化している流域としては、土木建設用骨材資源開発および農地・森林開発に伴い細粒土砂生産量が近年増大している河川流域（真駒内川・貫気別川・鵜川）を研究対象流域とした。

細粒土砂の河床表面の被覆堆積状況が、砂防流路工設置区間で顕著に観察された真駒内川では、付着藻類への影響が考えられたことから、河床表面の細粒土砂の堆積が付着藻類現存量に及ぼす影響を解明するとともに、細粒土砂の被膜堆積機構の水利的検討を行った。その結果、真駒内川調査区ではヒビミドロ(*Ulothrix* spp.)やカワシオグサ(*Cladophora* spp.)の糸状藻類が優占しており、河床表面に被膜を形成していた土砂は、特に粒径の小さい微細土砂(0.2mm 以下)であった。付着藻類のクロ

ロフィル a 量は、微細土砂堆積量の増加に伴いおよそ 75%も減少する傾向が認められ、さらに、微細土砂堆積量が 200g/m^2 を超えると付着藻類の死滅度を示す AI (Autotrophic Index) が異常値 (>200) を示した。これは、微細土砂堆積量の増加による光量の低下が、付着藻類光合成活性の低下をもたらし、結果的に付着藻類が死滅したものと考えられた。次に、河床表面の微細土砂の被膜堆積機構について水理的検討を行った。その結果、微細土砂堆積量は付着藻類有機物量の増加に伴い増加すること、さらに摩擦速度が 5cm/sec 以下の範囲で堆積量の急激な増加とともに、微細土砂限界堆積量 (200g/m^2) を超えることが確認された。また、摩擦速度が 0.2mm 粒径の沈降速度を卓越する領域でも微細土砂堆積が確認されたことから、微細土砂は沈降だけでなく付着藻類の捕捉により堆積することが明らかになった。さらに、河川改修が微細土砂被膜堆積および付着藻類に及ぼす影響を、砂防流路工区間と自然河川区間の比較により検討した結果、砂防流路工区間では微細土砂堆積量が増大し、かつ AI が異常値を示し死滅付着藻類が増加することが明らかになった。これは、砂防流路工では河床勾配の緩勾配化 (自然区間の $1/60$ から $1/100$ へ) による流速低下により、微細土砂堆積が促進し付着藻類を死滅させていると考えられた。

一方、細粒土砂流出が顕著になっている貫気別川では、貴重な水産資源であるサクラマス生息数が激減しており、これは細粒土砂堆積による産卵環境の悪化に起因しているものと予測された。斜面崩壊地から流送された細粒土砂 (2mm 以下) の河床表層間隙における堆積傾向が顕著にみられた貫気別川上流域に試験地 (オロエンヌキベツ川) を設定し、細粒土砂の堆積が河床表層に形成されるサクラマス産卵床構造および卵に及ぼす影響を検討した。その結果、細粒土砂含有率 (2mm 通過重量百分率) の増加に伴って産卵床の透水係数が 10cm/sec から 0.1cm/sec におよそ 3 オーダー低下すると同時に、サクラマス卵生残率が 90% から 10% まで低下する傾向が認められた。特に、細粒土砂含有率が 20% を超えた時に生残率が急激に低下し、60% に達すると卵は全て死滅した。さらに、細粒土砂含有率の増加に伴って透水係数と溶存酸素濃度から推定される溶存酸素供給量がサクラマス卵の酸素消費量以下に低下することも確認された。従って、細粒土砂含有率の増加が透水係数 (浸透流量) の低下をもたらし、卵に対する溶存酸素供給量の低下を生じさせ、その結果、卵を窒息死させる河床変化機構が明らかになった。次に、貫気別川と同様に河床表層間隙への細粒土砂堆積が顕著な鵡川上流石山の沢川に試験区を設け、サクラマスの卵などに影響を及ぼす河床表層の細粒土砂堆積機構について水理的検討を行った。その結果、細粒土砂含有率は、摩擦速度の増加に伴って淵では減少傾向、逆に瀬では増加傾向が認められたことから、淵での沈降と瀬での砂礫間隙浸入堆積の二様式が明らかになった。さらに、細粒土砂含有率は間隙率とともに増加することから、河床表層における細粒土砂堆積は摩擦速度と間隙率に支配されることが示された。特に、摩擦速度が 5cm/sec 以下に低下すると、細粒土砂含有率が急激に増加し、サクラマス卵に致命的な影響を及ぼす細粒土砂含有率 (60%) を超える傾向が認められた。

以上のように、河床表面および河床表層における細粒土砂の堆積は、付着藻類およびサクラマス産卵床・卵に大きな影響を与えること、細粒土砂の堆積は河床表面では付着藻類の多寡と摩擦速度、河床表層では間隙の大きさと摩擦速度に支配されていることが明らかになった。本研究の細粒土砂影響の定量的評価により付着藻類やサクラマス卵に致命的な影響を及ぼす細粒土砂堆積を防止するためには、少なくとも 5cm/sec 以上の摩擦速度が必要であると考えられた。また、細粒土砂の流出は上流部における骨材採取や土地開発の影響、細粒土砂の堆積については河川内の利水・治水構造物設置の影響を反映しており、これらの人為的な流域・河川の改変は、特に、河床における光量および浸透流量の減少という堆積細粒土砂による河床構造の改変を通して、他の河川生物相にも重大なインパクトをもたらすものと推察された。

細粒土砂の生産源が特定しやすい地域では、沈砂池・砂防ダムの設置などによる細粒土砂の流出制御管理が可能ではある。しかし、その生産源が特定しがたく広域にわたる地域では生産源対策が困難なことから、定量的細粒土砂影響評価により細粒土砂の浮遊濃度や堆積量に関する制限値設定に基づく“流砂系的”な細粒土砂の制御管理が必要となる。そのため、流域における細粒土砂の生産・輸送・堆積機構の解明による定量的な細粒土砂の時空間的影響評価手法の構築が待たれる。

学位論文審査の要旨

主 査	教 授	新 谷	融
副 査	教 授	前 川	光 司
副 査	教 授	中 村	太 士
副 査	助教授	山 田	孝

学 位 論 文 題 名

細粒土砂堆積による河床構造および 河川生物相の変化機構に関する研究

本論文は、図 65、表 28 を含む総頁数 162 の和文論文であり、他に参考論文 7 編が添えられている。

20 世紀後半を中心とした急激な流域開発に伴った細粒土砂（粒径 2 mm 以下）の生産・流送が、水質汚濁による利水上の問題とともに河畔域・水圏の生物相に大きな影響を与えていることから、人間活動に密着した河川・森林に対する自然環境整備に対する要求が強まってきた。しかし河川生物相保全のための河床土砂・生物動態の調査解析事例は少なく、またその定量的評価手法も確立されていない。本研究は、細粒土砂堆積がもたらす河床構造変化ならびにこれに伴った河川生物相変化の定量的評価による河川・生態変動機構の解明を目的としている。

1. 現地河床透水試験による河床構造変化の評価手法の開発

細粒土砂堆積による河床構造の変化は河床透水性（浸透流量）の低下に現れるが、従来型の河床透水試験は砂礫河床では河床浸透流が乱流になれば透水係数が過大評価されるなど欠点が多く、現地河床透水係数の測定そのものが困難であった。そこで、砂礫河床で浸透流が乱流の場合にも適用可能なパッカー法改良型現場透水試験法を開発し、これにより得られた透水係数を水路実験により検定した結果、浸透流が乱流領域にあっても高精度の透水係数が得られることを明らかにしている。このことから、本手法による現地河床透水係数を細粒土砂堆積による河床構造評価指標として用いることとしている。

2. 微細土砂の河床表面被覆堆積による付着藻類への影響実態解析

河床表面の土砂被覆堆積が付着藻類現存量に及ぼす影響を解明するとともに、土砂被

覆堆積機構の水理学的検討を行っている。ヒビミドロ(*Ulothrix* spp.)やカワシオグサ(*Cladophora* spp.)の糸状藻類が優占する河川区間では、河床表面の被覆は特に粒径の小さい微細土砂(0.2mm 以下)によっていること、この微細土砂堆積量の増加に伴って付着藻類のクロロフィル a 量が減少すること、さらに微細土砂堆積量が 200g/m^2 を超えると付着藻類の死滅度を示す AI (Autotrophic Index) が異常値(>200)を示すこと、などの実態を明らかにしている。これらのことから、微細土砂堆積量の増加による光量の低下が、付着藻類光合成活性の低下をもたらし、結果的に付着藻類が死滅したものと論じている。

また河床表面被覆堆積機構について水理学的検討を行った結果、摩擦速度 5cm/sec 以下の領域で堆積量が急激に増加し AI が 200 を超えること、さらに摩擦速度が 0.2mm 粒径沈降領域外でも微細土砂の堆積が確認されたことから、微細土砂の付着藻類捕捉堆積様式を明らかにしている。さらに、河川改修区間における微細土砂堆積量増大に伴う死滅付着藻類増大は、河床勾配緩和に伴う流速低下に基づくものと指摘している。

3. 細粒土砂の河床表層間隙堆積によるサクラマス産卵床への影響実態解析

細粒土砂(2mm 以下)の堆積が河床表層のサクラマス産卵床構造および卵に及ぼす影響について検討している。その結果、河床表層間隙の細粒土砂含有率の増加が産卵床透水係数を低下させること、これにともなってサクラマス卵生残率低下(細粒土砂含有率 20% で生残率急低下、60 %で全卵死滅)がもたらされるなどの影響実態を明らかにしている。すなわち細粒土砂含有率の増加に伴った河床透水係数(浸透流量)低下が、溶存酸素供給量の減少をもたらす窒息による卵死滅をもたらすものとしている。

また細粒土砂の河床表層堆積機構について水理的検討を行った結果、細粒土砂含有率が、摩擦速度の増大に伴って瀬(淵)での増加(減少)が認められたことから、瀬(淵)における砂礫間隙浸入(沈降)堆積様式を明らかにしている。この細粒土砂含有率は砂礫間隙率とともに増加することから、河床表層における細粒土砂堆積は摩擦速度と砂礫間隙率に依存していることを解明している。特に、摩擦速度が 5cm/sec 以下に低下すると、細粒土砂含有率が急激に増加し、サクラマス卵生息臨界条件(細粒土砂含有率 60 %)を超過する傾向を認めている。

4. 細粒土砂堆積による河床構造・生態変化機構

以上のように、付着藻類およびサクラマス産卵床・卵に大きな影響を与える細粒土砂堆積は、河床表面では付着藻類の多寡と摩擦速度に、河床表層では砂礫間隙率と摩擦速度に依存していること、これら細粒土砂堆積に伴う河床構造の変化が河床の光量と浸透流量の減少をもたらすこと、その結果河川生物相が重大なインパクトを受けることなどの河床・生態変化機構に関する新知見を提示している。さらに流域における細粒土砂管理の重要性

を指摘するとともに、細粒土砂堆積の定量的影響評価手法構築の方向性を提起している。

以上のように本研究は、細粒土砂堆積による河床構造変化と河川生物相への影響実態ならびにその水理特性を解明したものであり、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、山田浩之が博士(農学)の学位を受ける十分な資格があるものと認定した。