

流域改変による水土流出－河川生物生息環境の 連鎖的变化機構に関する研究

学位論文内容の要旨

治山・治水などの国土保全事業は従来、洪水や土砂災害から土地利用域の安全性を確保する手法と位置づけられてきた。しかし土地利用の拡大や高度化は、災害形態の多様化や災害危険域の増大をもたらし、さらに河川流域における自然環境資源の損失を促進したため、河川生態系保全を含めた流域管理手法の構築が要請されている。そのためには、これら一連の現象を流域の物理－生物環境の連鎖的变化として捉え、これまで個別領域で進められてきた河川関連研究を包括的に捉え直すことが必要不可欠である。したがって本研究ではこれらの点を踏まえ、流域構造解析手法を用いて流域改変による水土流出機構変化と河川生物生息環境への影響波及様式を解明するとともに、水土保全的視点から見た流域構造の再生・維持による新たな流域保全手法構築の基本原則を明らかにすることを目的とした。

流域改変による物理－生物環境の連鎖的变化の実態解明については、氾濫原草地化・河川改修に伴う水流出機構の変化と、上流域畑地開発に伴う土砂流出機構の変化とを取り上げ、それぞれ研究対象流域を設定した。本研究では、流域水流出機構を水浸透・水貯留・水疎通機能について、土砂流出機構を土砂保持・堆積・流送機能について評価した。これらの機能評価により、流域改変による水土流出機構変化とその要因について、さらにそれらの河川生物生息環境への影響波及様式について明らかにした。

河川改修が進んだ草地化流域について流域構造解析を行ったところ、1970年代以降水貯留機能が半減したのに対し水疎通機能が倍増しており、流域水流出機構が河道における水疎通機能に大きく依存していることが明らかとなった。また再現性が高く、流出特性を視覚的にとらえやすいタンクモデルを用いて流出解析を行ったところ、1974年までは浸透成分が多い流出遅延型モデルが示されたのに対し、1984年以降では降雨が直ちに流出成分になる直接流出型モデルに変化し、機能評価の結果と同調した。すなわち、1970年の既往最大水害を契機として実施された大規模河川改修（蛇行流路の直線化・連続堤防建設）と、同時期に進行した丘陵地草地拡大とによって、流域構造の変化がもたらされたことが明らかになった。しかしタンクモデルによる水流出シミュレーションの結果から、計画高水流量を上回った洪水発生の可能性が示され、河道の水疎通機能にのみ洪水流処理を負担させることには限界があることも示唆された。

一方畑地化流域では、上流域台地の畑地拡大による濁水発生と斜面崩壊の実態解明を行った。現地調査から、表層崩壊では斜面からの年間土砂生産量はほとんど認められなかったのに対し、ガリー崩壊では $0.8\text{m}^3/\text{m}^2\cdot\text{y}$ と多く、畑地末端部の台地肩部集水地形あるいは明渠・暗渠排水の末端域で集中的に発生していることから、畑地で発生した地表流の流下によるガリー浸食と斜面崩壊に伴って高濃度濁水が発生していると推測された。畑土・

崩土・河川水中土砂の粒度分析より、貫気別川本流ならびに噴火湾沿岸域まで広範囲に流出するのは、粒径 0.1mm 以下のウォッシュロードであること、一方粒径 0.1mm 以上の細砂・粗砂を主体とする土砂は流域内に滞留して谷底を埋没していることが推測された。航空写真よりガリー崩壊裸地面積を判読したところ、1980 年代に急増し、1996 年には 1947 年の 3 倍以上になった。これらを反映して、火山灰を指標とした谷底氾濫原の土砂堆積速度は、1977 年以前には 0.22cm/y だったのに対し、1977 年以降は 1.63cm/y と増大しており、土砂生産量ならびに谷底への土砂供給量が飛躍的に増大していることがわかった。

水土流出機構は 1970 年代後半より顕著に変化しており、流域土地利用、治水安全性確保のための河川改修、土地生産性向上のための土地改良（排水整備）進行によって水疎通機能が増大し、結果として下流氾濫原域では新たな洪水危険性が生じ、台地上流域では土壌流亡と農地浸食促進による農地利用の持続性が危惧された。すなわち土地利用と治水工事の進展が水流出機構を変化させ、河道における水疎通機能への負担が高められていること、このためピーク流量が計画高水流量を上回る洪水発生の可能性が示唆された。このような予測される水流出機構変化は、明渠・暗渠の整備による排水の集中、圃場の凹凸を解消し効率的な機械作業を行うための人工地形改変など営農方法の変化、さらにはトラクタの踏圧による畑土の土壌物理性の悪化などにもなった雨水（ならびに融雪水）の保持機能低下に大きく依存しているものと考えられた。

さらに水土保持機能変化の河川生物生息環境への影響波及については、河川改修による河畔林の除去が夏期最高水温の急上昇と倒流木現存量の低下をもたらし、このためサクラマス生息環境を悪化させていること、また、河床への土砂供給量の増加により、河床砂礫の間隙がこれらの土砂で充填され、底生動物群集の生息環境の劣化をもたらしていることなどが推察された。

このため、影響波及についての実態解明を行い、流域の物理－生物環境の連鎖的変化機構が以下のように明らかになった。すなわち丘陵地への大規模草地開発と、蛇行流路の直線化と連続堤防を主とした大規模な治水工事が実施されたことによって、中・下流域の水流出機構が大きく変化し、水貯留機能の減少と水疎通機能の増加はそれぞれ同時期（1975 年）に現れた。治水工事によって河畔林が除去された結果、夏期最高水温の上昇と河道内倒流木密度の減少がもたらされ、このため地域の代表的な冷水性溪流魚類であるサクラマスの生息に好適な環境が悪化したものと推測された。また、畑地化に起因して発生しているガリー崩壊は、1980 年代に急増しており、農作業の形態、経営規模の拡大を反映したのと考えられた。谷底堆積物からも最近 22 年間の土砂堆積厚の増加が示されたことから、崩壊地の増加と谷底の埋没はほぼ同時期に起こったのと考えられた。さらに、一次谷・二次谷に堆積した土砂が順次下流に流出する傾向が見られることなどから、結果としてもともとあった河床砂礫の隙間を充填してはまり石状の河床形態を形成し、底生動物群集の貧困化をもたらしていると推察された。

北海道の多くの農業地帯の流域構造に変化をもたらした社会的因子として農業基本法（1961～）とそれに伴う 1960 年代後半以降の農作業形態や経営規模の変化が挙げられ、研究対象流域でも 1970 年代後半から流域構造の変化が顕在化していることが示された。これらの農地開発は、農地空間の安全性を保証するために治水事業を、排水性を改善するため土地改良事業をそれぞれ実施してきたが、その過程で河川流路の直線化、人工水路化、明渠・暗渠排水整備は不可避のものとされてきた。これらの手法は、確かに初明の目的をある程度達成し農業に貢献してきたが、長期的には農業生産の持続性に疑問を投げかけていることが示された。

本研究により、北海道の農地流域では、農地開発や農地開発に付随して行われる基盤整備、河川改修に起因して水土流出機構が変化し、この変化がとくに水土保持機能の低下と

して現出することが示された。さらに、流域構造変化は河川生物環境をも連鎖的に変化させる機構を持つことが明らかになった。したがって新たな流域管理手法の基本原理として水土保持空間・機能の再生による水土流出機構の復元と河川生物生息環境の創出が提起された。

学位論文審査の要旨

主 査	教 授	新 谷	融
副 査	教 授	長 澤	徹 明
副 査	教 授	笹	賀一郎
副 査	教 授	中 村	太 士

学 位 論 文 題 名

流域改変による水土流出－河川生物生息環境の 連鎖的变化機構に関する研究

本論文は、図 40、表 8 を含む総頁数 121 の和文論文であり、他に参考論文 7 編が添えられている。

治山・治水を主とする国土保全は従来、水・土砂氾濫災害から土地利用域の安全性を確保する手法と位置づけられてきた。流域利用の拡大と高度化は、災害形態の多様化や災害危険域の増大ならびに河川流域自然環境の劣化をもたらしてきたが、同時に治水に対しても、河川水辺環境の復元と河川生態保全を含む流域管理手法の構築が要請されている。流域利用による災害の軽減と自然環境の保全とを両立させる新たな流域保全手法の構築には、流域の構造変化－河川物理環境変化－河川生物生息環境変化の連鎖機構を解明することが必須である。本研究は、流域利用に伴う水・土流出機構の変化と生物生息場への影響を流域構造機能評価によって明らかにすることを目的としたものである。

流域利用に伴う河川環境の変化については、草地化・河川改修に伴う水流出機構の変化と畑地化に伴う水・土流出機構の変化を取り上げ、それぞれ研究対象流域を設定し、水流出（保水・水貯留・水流出）と土砂流出（土砂生産・堆積・流下）の変化をもたらす流域構造変化を明らかにするとともに、これらに伴う河川生物生息機能への影響波及様式を解明するための研究方法について述べている。

流域構造機能評価により、河畔域が改変された草地化流域では、1970 年代以降に氾濫原の水貯留機能の半減と河道水流出機能の倍増がもたらされ、これに伴った洪水流出の氾濫原河道への依存実態を明らかにしている。また流域構造の歴史的変化を確認するとともに、1974 年までは保水（浸透）成分が多い流出遅延型構造を示したのに対し、とくに 1984 年以降には降雨が直ちに流出成分となる直接流出型構造に変化したことをタンクモデル水流出解析によって検証している。すなわち 1970 年既往最大水害を契機とした大規模河川改修（氾濫原蛇行流路直線化・築堤）と同時期の丘陵地大規模草地開発の進行とによって

この流域構造変化がもたらされたこと、しかも水流出シミュレーションによってすでに計画高水流量を上回る水氾濫の可能性が示されたことから、河道水流出機能にのみ洪水処理を負担させることの限界を示唆している。

一方、畑地化流域における降雨時の沿岸水産域濁水化に係る土砂流出機構の実態調査にもとづいて、斜面崩壊のうち表層崩壊の生産土砂は皆無に近いのに対し台地肩部斜面（畑地末端域）と氾濫原との隣接集水斜面でガリー崩壊が集中発生（ $0.8\text{m}^3/\text{m}^2\cdot\text{y}$ ）していることを明らかにしている。これにより、畑地地表流の斜面流下とこれにともなうガリー崩壊が濁水流出の原因であることを明らかにしている。また、畑土・崩土・河川水土砂の粒径別土砂収支解析から、ガリー崩壊生産土砂の約 80 %を占める細・粗砂成分（粒径 0.1mm 以上）は氾濫原に滞留している一方で、沿岸域まで広範囲に流出するウォッシュロード成分（粒径 0.1mm 以下）の約 70 %は畑土であることを指摘している。さらに航空写真判読によってガリー崩壊は 1980 年代から急増（1996 年は 1947 年の 3 倍以上）したこと、また火山灰指標による氾濫原滞留土砂の堆積速度が 1977 年以前（ 0.22cm/y ）にくらべ 1977 年以降は増大（ 1.63cm/y ）していること、そしてこの斜面崩壊土砂生産の増大は排水システム・地形改変など生産緑地における水流出機能変化（保水機能低下）にもとづくものとしている。

流域構造の変化は 1970 年代後半から流域機能変化として顕在化してきたこと、そしてこの流域機能変化は生産緑地の安全性確保（治水）と排水性改善（土地改良）を目的とした氾濫原の河道直線化・排水整備として現出してきたことを明らかにしている。そして草地化流域では既往最大降雨規模にも洪水氾濫の危険性が予測されること、また畑地化流域では農地表土流亡による下流沿岸域への濁水負荷を与えていることなどから、単一目的の流域利用の持続性を危惧している。

これら流域構造の変化は生物生息環境機能の変化として現れること、すなわち河畔林除去による夏期最高水温の急上昇と倒流木現存量の低下がサクラマス生息環境の悪化をもたらし、また斜面崩壊生産土砂量の増大による河床砂礫間隙の土砂充填が底生動物群集生息環境の劣化をもたらすなど、流域の連鎖的変化機構を提示している。

以上のように、流域開発とこれにともなう河川改修によって、水流出機構における河道水流出機能の負担増や土砂流出機構における河道滞留機能の負担増は、流域構造のなかでも水土保持空間としての氾濫原面積の低下によるものであることを明らかにした。さらにこの流域構造・機能変化が河川生物生息環境変化に大きく関与していることを明らかにした。流域の構造・機能の再生ならびに土地利用調整とからなる、新たな流域保全・河川生態系再生の方向性を提起している。

以上のように本研究は、流域利用による流域機能変化とその影響波及が、水流出－土砂流出－河川生態機能という連鎖的変化によって発生することを明らかにしたものであり、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、長坂晶子が博士（農学）の学位を受ける十分な資格があるものと認めた。