

学位論文題名

放射性物質を用いた流域細粒土砂の
堆積履歴の解析に関する研究

学位論文内容の要旨

高度経済成長期以降の急激な流域地表攪乱に伴い、流域管理手法構築のための流域細粒土砂動態の解明が急務となってきた。しかし、細粒土砂動態の解明には長期的モニタリング観測を必要とすること、また既往の土砂堆積履歴解析は粗粒土砂堆積を主対象としたものであることから、流域細粒土砂流出実態の把握が困難視されてきた。一方、近年、土壤微細粒子に吸着される放射性降下物セシウム (^{137}Cs) や天然放射性鉛 (^{210}Pb) が細粒土砂移動現象のトレーサーとして注目されはじめたが、流域土砂堆積履歴の解析手法としては未構築である。そこで本論文では、流域土砂流出のなかでも未解明である細粒土砂の堆積現象を研究対象とし、放射性物質を用いた細粒土砂堆積履歴解析手法の構築とこれによる流域土砂流出機構解明を目的とした。

第I章では研究方法について述べた。 ^{137}Cs (半減期 30.2 年) は 1960 年代の大気核実験により生成され降下 (1963 年に最大、その後急減) し、地表の土壤微細粒子に特異吸着・集積することから、堆積土層の ^{137}Cs 濃度深度分布解析を行い、1963 年表土の判別とこれ以降近 40 年間における土砂流出履歴を推測した。また、 ^{210}Pb (半減期 22.3 年) はその崩壊過程で大気から一定の割合で降下し、土壤微細粒子や有機物に強く吸着され地表に集積することから、堆積土層の ^{210}Pb 濃度深度分布を解析し、半減期減衰曲線から過去 100 年間における平均堆積速度と、流域の浸食による土砂流出履歴の解明を行った。これら放射性物質による長期間の土砂堆積履歴の判別解析手法ならびにその有効性について、モニタリングによる現在の土砂流出の観測結果および樹木年代学的方法による近過去の土砂流出履歴解析結果にもとづいて、総合的検討を行った。本研究の対象流域としては、1960 年～1970 年代の大規模開発による流域水土流出機構の改変に伴う湿原への急速な細粒土砂堆積が指摘されていること、細粒土砂堆積地形が人為的攪乱を受けずに保存されていること、また流域形状・土地利用状況から流域細粒土砂流出情報が明確であることなどから、流域末端部に釧路湿原が位置する釧路川水系久著呂川を設定した。

第II章では、流域から湿原への現在の細粒土砂流出実態を把握するために、水文・河床変動モニタリングを行い、縦断的な流量・浮遊砂濃度の定点 (4 箇所) 観測結果及び河床縦横断形の経時測量結果について検討した。その結果、比流送土砂量からみて中流域が最大の土砂供給源であること、湿原流入部 (排水路区間) で出水時に溢水氾濫をおこしていることが明らかとなった。中流域の土砂供給形態について検討したところ、凍結融解期の河岸・河

床浸食による細粒土砂供給様式が認められた。とくに中流域の河床浸食は流路直線化・急勾配化によるもので、水土流出機構の人為改変が流域浸食面積の増大をもたらしたものと考えられた。

第Ⅲ章では、樹木年代学的手法による近過去の流域細粒土砂流出履歴の把握を試みた。樹木の土砂堆積作用に対する生理的反応が年輪情報として蓄積されることを利用した樹木年代学的手法を用いて、流域からの土砂流出履歴調査を行った。その結果、ヤナギ類一斉林の形成年代から 1981 年出水による新堆積地形成（1981 年表土）が、そしてヤナギ樹幹の土砂埋没部位の不定根年輪数の深度分布から 1981 年以降 1996 年までに数回の大規模出水氾濫による堆積表土が確認された。この樹木年代学的手法により、流域の人為改変後の浸食情報が湿原内に断続的な土砂堆積履歴（最大年平均堆積速度 4.1cm/y）として記録されていることが明らかとなった。

第Ⅳ章では、1963 年表土指標となる放射性物質 ^{137}Cs を用いて 1960 年代以降（過去 40 年間）の細粒土砂堆積厚と流域浸食形態の推定を試みた。 ^{137}Cs 降下量は 1963 年に最大を示しその後急減し、未攪乱土壌表面に集積することから、堆積土層の ^{137}Cs 濃度深度分布解析によって 1963 年表土の判別及び 1963 年以降の浸食による流出履歴を推測した。その結果、森林未攪乱土壌表層に高濃度の ^{137}Cs が検出されたが、土砂生産源（河岸斜面崩壊地崖錐及び中流域河床基質）からは検出されなかった。また湿原堆積土層の ^{137}Cs 深度分布には森林土壌表層と同程度の濃度を示すピークが深部にあらわれ、その上層の ^{137}Cs 濃度は 1 オーダー程度低い値であった。以上のことから、 ^{137}Cs ピーク層は 1963 年堆積土砂表土と判別され、その深度分布形の解析によって流域裸地斜面の継続・断続的浸食による土砂供給様式が推測された。また、1963 年以降の年平均堆積速度は最大で 6.2cm/y と推定され、大規模な流域浸食の可能性が示唆された。とくに 1963 年及び 1981 年の堆積土砂表土から求めた 1963~1981 年の年平均堆積速度は 8.2cm/y となり、流域の人為改変と北海道に広域災害をもたらした 1981 年出水が土砂堆積に大きく影響していたことが確認された。

第Ⅴ章では、天然放射性物質 ^{210}Pb を用いてより長期間の土砂堆積履歴の把握を試みた。いま流域起源 ^{210}Pb 濃度を一定と仮定し、さらに粒径組成及び有機物含有率の ^{210}Pb 濃度に対する影響を除去することにより、氾濫堆積土層における ^{210}Pb 濃度深度分布について検討した。その結果、過去 60 年の土砂堆積速度を推定することが可能となった。すなわち、推定された年平均堆積速度は、1940 年代から 1960 年代の流域改変前は 0.14cm/y、1975~1981 年の人為改変期には 8.9cm/y、そして人為改変後の 1981 年以降は 2.0cm/y となった。また、 ^{210}Pb 法による年代測定結果が ^{137}Cs 法及び樹木年代学的手法による結果と極めてよく一致することが明らかとなった。このような土砂堆積速度の変化は、自然及び人為による流域浸食面積の時系列変化を示していると考えられた。

第Ⅵ章では、 ^{137}Cs 及び ^{210}Pb による氾濫堆積土砂の堆積履歴解析が有効であること、及び ^{137}Cs と ^{210}Pb を併用した細粒土砂の氾濫堆積履歴解析によって高精度の流域浸食情報を得取ることが明らかになったことから、放射性物質を用いた堆積履歴解析結果にもとづいて、流域の土地利用開発と河道改変が細粒土砂流出に与える影響について総合考察を加えた。流域土地利用開発とそれに伴う自然河川の河道直線化・人工水路造成は、浸食面積の増大にともなって、下流へ大量の土砂を流送・氾濫堆積させ、人為改変以前にくらべて 10 倍以上の堆積速度をもたらしたこと、また、とくに改変直後にこの改変インパクトが甚大に現出したこ

となどが明らかとなった。すなわち、流域末端部における細粒土砂氾濫堆積履歴には流域の水土流出機構の時系列変化が敏感に反映されることを示しており、本方法が流域の細粒土砂流出履歴を推定する極めて有効なものであるといえる。この方法を用いることにより、流域細粒土砂の堆積履歴解明の可能性が明らかになるとともに、これがさらに流域土砂流出機構解明への展開に連なることが期待される。

学位論文審査の要旨

主査	教授	新谷	融
副査	教授	長谷川	周一
副査	教授	中村	太士
副査	助教授	山田	孝

学位論文題名

放射性物質を用いた流域細粒土砂の 堆積履歴の解析に関する研究

本論文は、図 47、表 4、写真 5 を含む総頁数 127 の和文論文であり、他に参考論文 3 編が添えられている。

近年の急激な流域改変に伴い、流域管理手法構築のための細粒土砂動態の解明が急務となってきたが、このため長期的モニタリング観測手法とともに、流域細粒土砂堆積の履歴解析手法の開発が求められてきた。本論文は、流域土砂流出のなかでも未解明である細粒土砂堆積現象を取り上げ、放射性物質を用いた土砂堆積履歴解析手法の構築を目的としたものである。

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（1963 年に最大、その後急減）する放射性物質セシウム-137（以下 ^{137}Cs ：1960 年代大気核実験由来、半減期 30.2 年）の堆積土層濃度深度分布解析による 1963 年表土の判別と過去 40 年間の流域土砂流出履歴と、また同様に土壌微細粒子に吸着・地表集積する天然放射性物質鉛-210（以下 ^{210}Pb ：半減期 22.3 年）の堆積土層濃度深度分布解析による過去 100 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。またこれら放射性物質による長期間の土砂堆積履歴解析の有効性について、モニタリングによる現在の土砂流出観測結果および樹木年代学的方法による過去の解析結果との照合に基づいた総合的検討を行うこととしている。そして研究対象流域としては、流域改変（1960～1970 年代）に伴う釧路湿原への急速な土砂流出実態と土砂堆積地形の保存状況、および流域情報の蓄積状況などから、釧路川水系久著呂川流域を設定したことを述べている。

第 II 章では、水文・河床変動モニタリング（流量・浮遊砂濃度の縦断的な定点観測及び

河床縦横断形の経時観測) 結果について検討し、氾濫原中流域が最大の土砂供給源であって、細粒土砂の凍結融解期における河岸・河床浸食による供給と湿原流入部(排水路区間)での溢水氾濫による現在の土砂流出様式を確認している。

第Ⅲ章では、樹木年代学的手法による土砂流出履歴調査を行った結果、ヤナギ類一斉林の形成年代から出水土砂堆積による 1981 年表土を、そしてヤナギ不定根年輪数の深度分布から 1981 年以降数層の堆積表土を判別している。この手法により、流域改変後における過去 20 年間の断続的な土砂堆積履歴(最大年平均堆積速度 4.1cm/y)を明らかにしている。

第Ⅳ章では、放射性物質 ^{137}Cs を用いて 1960 年代以降(過去 40 年間)の細粒土砂堆積厚と流域浸食形態の推定を試みている。まず森林未攪乱表土からは高濃度の ^{137}Cs が検出される一方、土砂生産源(斜面崩壊地末端の崖錐及び氾濫原中流域の河床・河岸)からは検出されないことを確認している。ついで堆積土層の ^{137}Cs 濃度深度分布解析を行った結果、堆積土層の深部に森林未攪乱表土と同程度の濃度ピークが検出されたことから、この ^{137}Cs 濃度ピーク層を 1963 年堆積土砂表土と推定している。また 1963 年以降の年平均堆積速度が最大 6.2cm/y (1963 ~ 1981 年: 8.2cm/y) と推定するとともに、濃度深度分布形から流域改変と 1981 年広域大規模出水が 1963 年以降の流域浸食による断続的な土砂堆積の主因であることを明らかにしている。

第Ⅴ章では、堆積土層における天然放射性物質 ^{210}Pb 濃度深度分布について検討した結果、過去 60 年間の土砂堆積速度は、流域改変前(1939 ~ 1975 年)は 0.14cm/y、改変期(1975 ~ 1981 年)には 8.9cm/y、そして改変後(1981 年以降)は 2.0cm/y と推定している。この ^{210}Pb 法による推定結果が ^{137}Cs 法及び樹木年代学的手法による推定結果とよく一致することから、本手法によって得られる土砂堆積速度の時系列変化が長期間の不連続的な流域浸食履歴を示すことを検証している。

第Ⅵ章では、 ^{137}Cs 及び ^{210}Pb による土砂堆積履歴解析の有効性が確認されたことから、両法の併用により長期間・高精度の流域浸食情報の取得が可能であること、流域改変による細粒土砂流出への影響については土砂堆積速度(改変以前の 10 数倍に増大、とくに改変直後に最大)を評価指標とし得ることなどの新知見を得ている。このように、流域末端部における細粒土砂氾濫堆積履歴には水土流出機構の時系列変化が敏感に反映されることから、本手法による流域土砂流出機構解明の可能性を提起している。

以上のように本研究は、放射性物質による細粒土砂堆積履歴解析の有効性ととも本手法による流域土砂流出機構解明の可能性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、水垣滋が博士(農学)の学位を受ける十分な資格があるものと認めた。