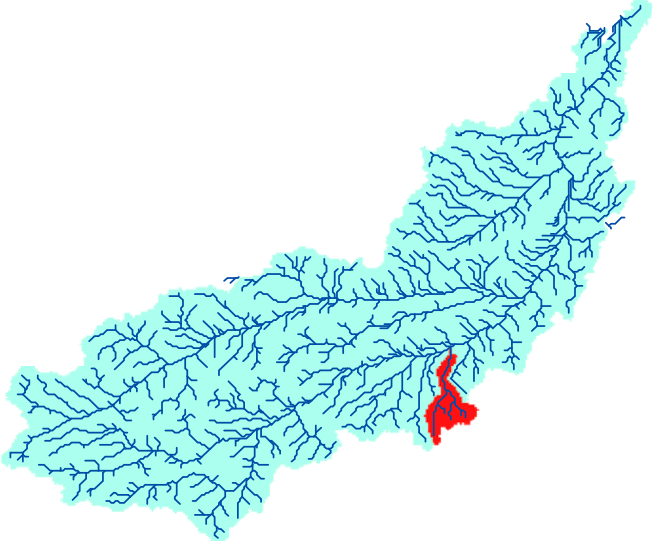


技術研究開発テーマ名	超濁度水発生機構の解明と防止に向けた現地試験および現場での採泥分析を用いた土砂輸送に関する研究	
研究代表者		
氏名	所属・役職	
中山 恵介	北見工業大学工学部・教授	
共同研究者		
氏名	所属・役職	
新谷 哲也	首都大学東京大学院・助教	
駒井 克昭	北見工業大学・准教授	
背景・課題		
<p>常呂川は、北海道オホーツク地方を流れる網走管内最大の流域面積を誇る河川である(図-1)。流域内に管内最大の人口(14万人)を持つだけでなく、サケやマスが遡上し、上流域では貴重な生物の生息が認められており、環境面から考えても重要な河川であると言える。さらに、市民の生活にも大きな影響を与えており、周辺市民の水源としての重要な役割を持っているが、平成13年9月の洪水時における河口から発生した濁水・土砂流出によるものと考えられている大量のホタテの斃死や、平成19年6月の常呂川第一頭首工付近における濁水の取水による断水など、社会的に大きなダメージを与える可能性が大きい河川であると言える。水質環境の面からみても、サケが遡上する河川であるにもかかわらず大腸菌群数が高く、決して水質環境が良い河川とは言えず、改善すべき点が存在する。</p> <p>そこで本研究では、流域における総合的な土砂の把握、水質環境の維持・改善を目的とし、常呂川で最大の問題であると考えられている高濁度水の発生要因を検討するため、現地観測および分布型流出モデルを、まずは小流域に適用した。具体的には、常呂川流域における土地利用の状態、表層土壌の状態などが数km単位で分布していることから、詳細な表層の空間分布を考慮するため、流域面積29.3km²、流路9.7km、平均河床勾配1/43である、常呂川流域の小河川であるオロムシ川流域を研究対象とした(図-2)。</p>		
		
図-1 常呂川全流域(空色)とオロムシ川流域(赤色)		

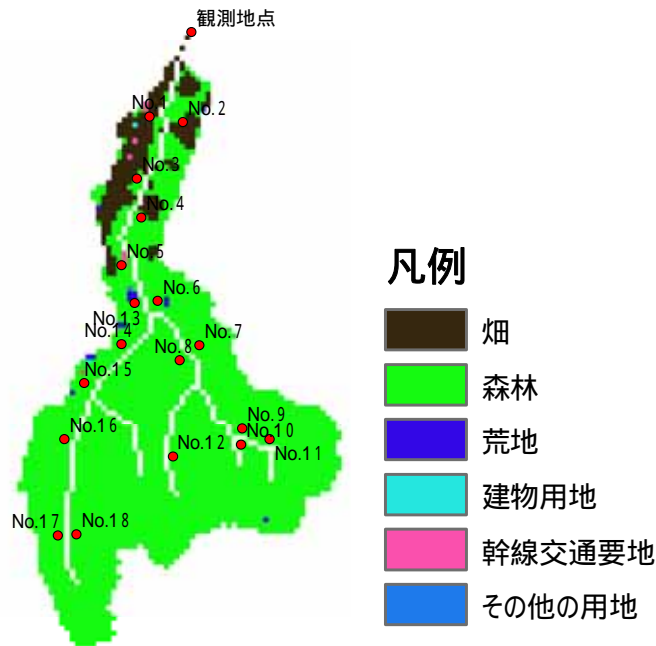


図-2 オロムシ川流域の土地利用図

技術研究開発の目的

オホーツク海にそそぐ一級河川である常呂川や網走川では、Suspended Sediment (SS：濁度を関係付けできるもの) で数万を越える超濁度水の発生(常呂川)による断水や漁業資源を含む生物への影響など、社会的な問題が指摘されている。そこで本研究では、常呂川を対象とし、超濁度水発生機構の解明を行い、今後の対策提案に向けた調査・検討を行うことを目的とする。対象とするオロムシ川流域では、畑としての土地利用率が高く、超濁度水発生の主たる要因は畑からの土砂ではないかと考えられている。一方、森林を含めた流域における表層土壌の粒度分布特性として、 $63\mu\text{m}$ 以下の細粒分と $63\mu\text{m}$ 以上で 2mm 以下の粒径において2つのピークを持つことが知られており、細粒分が流出し易い流域であることが推測される。また、作物の種類、耕作の方法(畦の方向)など同じ畑であっても土砂の流出状況が大きく異なることが想定される。そこで、それぞれの土地利用分布の状態において、如何なる機構にて土砂が流出しているかを解明するために、畑や森林を利用した現地試験を行い、耕作の方法の違いによるその定量的な土砂輸送量の推定を行った(平成22年度に実施)。同時に採泥による元素分析等を行い、土砂輸送量の推定手法を開発した(平成22年度と平成23年度)。その結果を利用し、対象流域以外における活用を視野に入れ、分布型流出モデルによる細粒分の土砂輸送モデルを構築した(平成21年度から平成23年度)。

技術研究開発の内容・成果

本研究では、大きく分けて以下の3点について検討を行った。それぞれの項目について、順次詳細を示す。

- 1) 林地および畑地における細粒土砂発生量の推定モデル開発
- 2) 分布型流出モデルによる細粒土砂濃度の再現
- 3) 元素分析を利用した流域からの細粒土砂輸送割合の推定手法開発

1) 林地および畑地における細粒土砂発生量の推定モデル開発

オロムシ川は流域の大半を山地(80.7%)と畑地(15.7%)が占めていることから、山地と畑地における濁度の発生特性について明らかにするため、常呂川流域内の山地と畑地において現地で計測を実施した。計測対象地区は、冬期間でも現地に入ることが可能である車両からのアクセスが比較的容易である箇所を選定し、幅 2m ×長さ 30m 程度の観測プロットを設定した。計測を行った山地の流域面積は 0.021km^2 、畑地の流域面積は 0.019km^2 であり、流域下流端への流出時間はほとんど差がない小流域である。山地は北海道庁の林業試験区域に存在する小流域を利用させていただくこととした。また、畑地

については、訓子府町の農家の方のご協力により計測を行うこととした。計測装置と林地および畑地への設置の様子を図-3 から図-5 に示す。

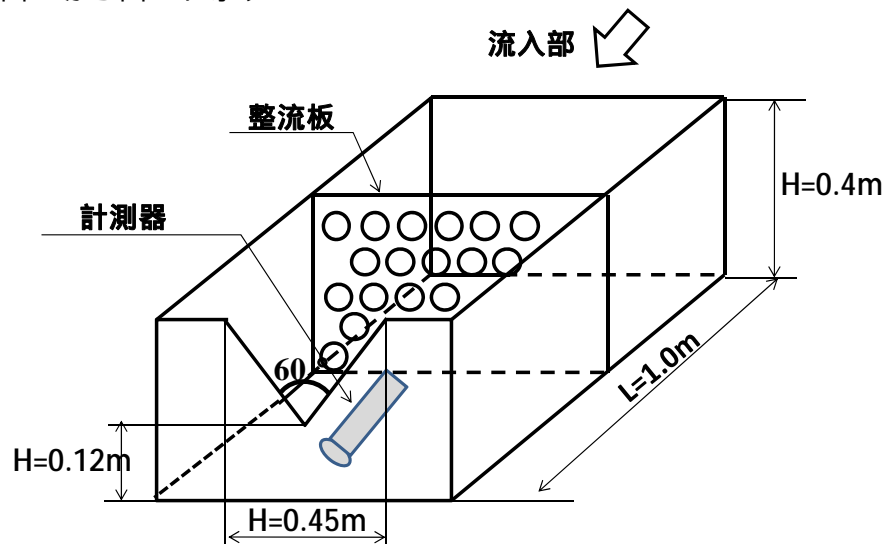


図-3 現地計測に利用した堰



図-4 山地への設置の様子 (2010年撮影)



図-5 畑地への設置の様子 (2011年撮影)

山地と畑地の観測期間はそれぞれ、森林地で 10 降雨パターン、畑地で 6 降雨パターンである。解析対象期間は、森林地で 2010 年 2 月 26 日 12 時 30 分から 2010 年 11 月 19 日 12 時 00 分、畑地で 2010 年 4 月 9 日 10 時 50 分から 2010 年 11 月 19 日 12 時 00 分までである。また、森林地の観測結果は、データロガの電池の電力が不足したことにより、5 月 26 日 14 時から 6 月 3 日 17 時まで欠測である。現地計測された濁度を SS 濃度にするため、室内実験によって得られたキャリブレーション結果を用いて SS 濃度を計算した。降雨は畑地や山地に最も近い訓子府における雨量強度を利用することとした。その結果、式（図-6 中の実線と波線）によって計算された降雨と SS 濃度の関係は、観測結果から抽出された降雨ピークとその同時刻の SS 濃度の関係を十分に再現できることが分かった（図-6）。

山地と畑地の観測サイトで把握できた状況として、畑地では土砂流出が活発で降雨に伴う土砂流出が発生するとほとんどの場合、一回の降雨期間中の土砂流出により三角堰が土砂で堆積する現象が確認された（図-7）。一方で、山地では三角堰内に堆積している土砂が腐葉土を中心として非常に細かく、計測器を三角堰から取り出す際に三角堰内の水が乱されると同時に三角堰内に堆積していた細粒土砂の巻上りが発生する現象が確認された。特に畑地は山地と比較して、細粒土砂の生産・流出が活発で、流出に伴う土砂流出により三角堰に土砂が堆積した後は、三角堰から堆積土砂を撤去しない限り SS 濃度は観測されない状況が何度も確認された。山地では、畑地のような土砂堆積による欠測はなかった。

土砂量の把握については、畑地では降雨期間中に流出した土砂が三角堰出口直下にも大量の土砂堆積が確認されたため、三角堰で全ての土砂が捕捉されているのではないことから、畑地での土砂量の把握は出来なかった。また、山地では三角堰内に堆積していた土砂の粒径が非常に細かいことから、降雨期間中の流出により流出しているものも多いことが予想され、三角堰内の堆積土砂から流出してきた土砂量の把握は出来なかった。

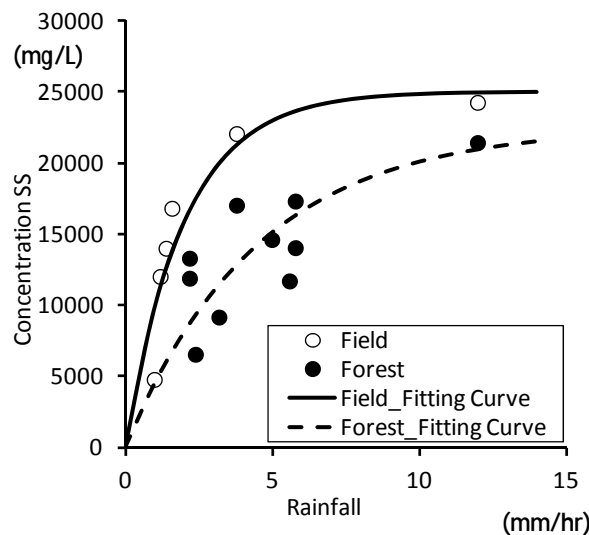


図-6 降雨ピークとその同時刻に観測された SS 濃度の関係
（降雨はきたみらい農業協同組合による訓子府雨量観測所）



図-7 畑地で土砂が堆積している様子。

2) 分布型流出モデルによる細粒土砂濃度の再現

分布型流出モデルは全流域を長方形グリッドで覆い、差分法により物理過程に基づいて空間的な計算をする流出モデルである。これまでの研究で、物理過程に基づいた分布型流出モデルが、流域からの流出、細粒分の土砂輸送、および水質を再現できることが示されている。そこで本研究においても、過去の論文で示されたモデルと同様な仕組みのモデルを作成し利用することとした。本モデルは、表面流と河道流に Kinematic 方程式、浸透流には Richards の方程式に基づく不飽和浸透流方程式を用いた。図-8 にモデル概念図を示す。モデルの詳細は省略する。モデルでは、土地利用の状態なども考慮して再現計算を行うことができる。その際に利用できるデータを図-9 に示す。

SS 濃度の再現計算結果では、降雨によって表面流が発生する場合に SS 濃度の反応はよく表現されていた(図-10, 図-11)。SS 濃度のピークは概ね再現出来た。また、再現計算結果の方が実際に観測された時間より 2009 年 10 月 18 日では 1 時間程度、2010 年 7 月 4 日では 3 時間程度、SS 濃度のピークが遅れて計算されていた。本研究では、高濁度の発生を対象としているため SS 濃度は、斜面からのみ発生するものとし、河道内からは発生しないものとして計算を行った。つまり、降雨により斜面で表面流が発生した場合のみ、降雨に計算された SS 濃度が表面流とともに斜面から下流へ運搬されるものとして計算されるため、斜面で表面流が発生していない場合、SS 濃度は下流へ運搬されない。そのため、降雨が観測されており、表面流が発生した場合には SS 濃度も発生すると計算されてしまう可能性があったものと考えられる。しかし、本研究の検討により、土地利用区分を考慮して SS 濃度のピークを再現することが可能であると明らかになった。今後は、土地利用区分による降雨と SS 濃度のモデル式を適用するとともに、表層土壌の違いによる細粒土砂の発生特性の違いを考慮した細粒土砂流出モデルを構築することにより、高濁度水の原因となる細粒土砂の流出をより精度よく再現できるものとする。

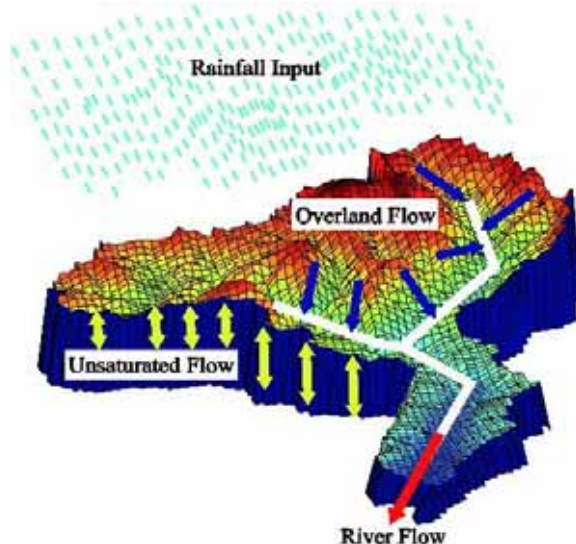


図-8 分布型流出モデルの概念図

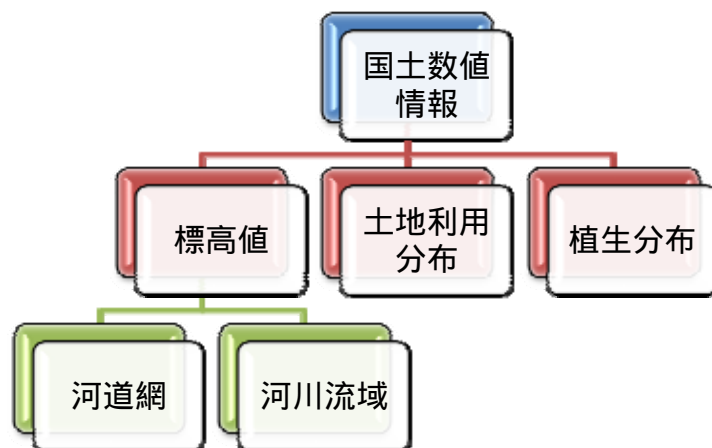


図-9 国土数値情報を利用したデータ

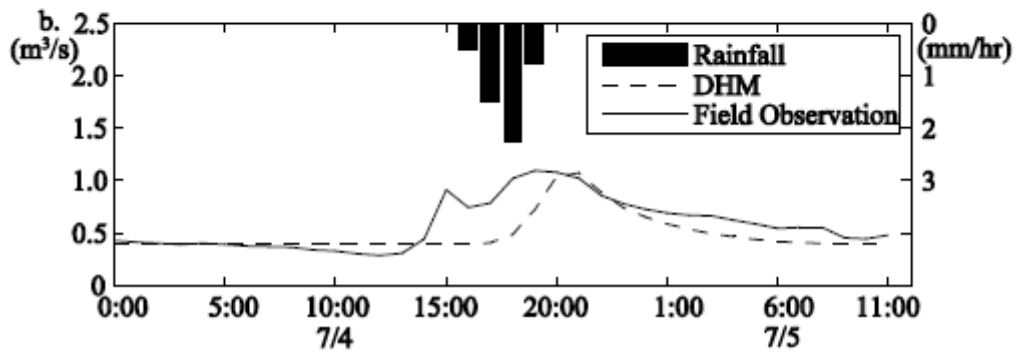
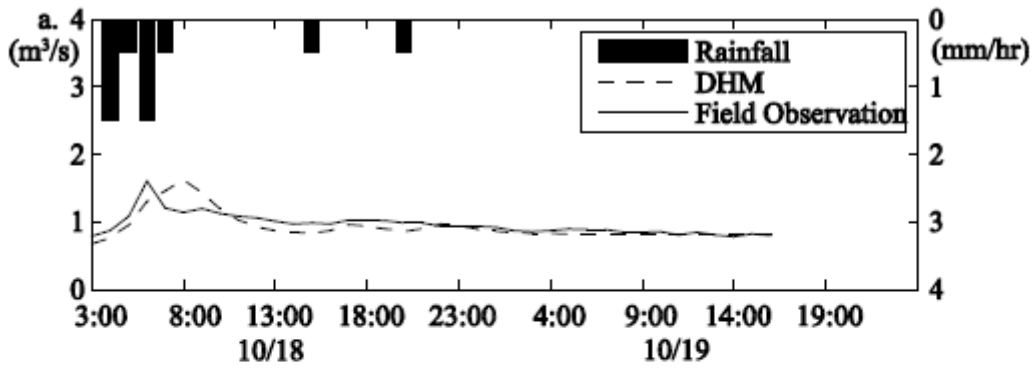


図-10 オロムシ川下流端での流量の再現計算結果
 (再現期間：(a)2009/10/18 3:00 - 10/19 16:00(b)2010/7/4 0:00 - 7/4 11:00)

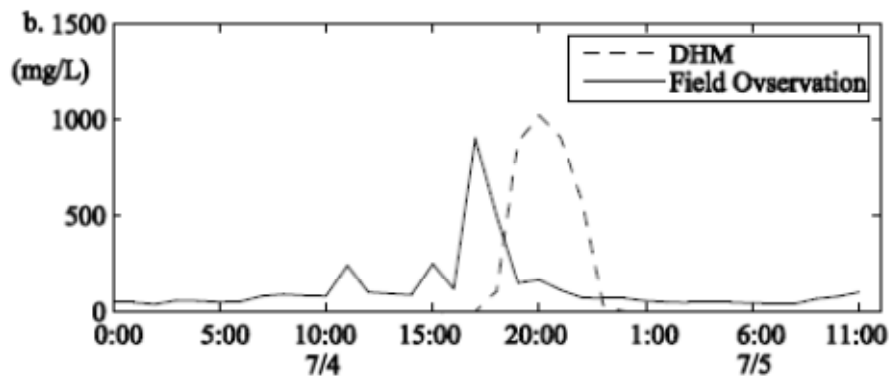
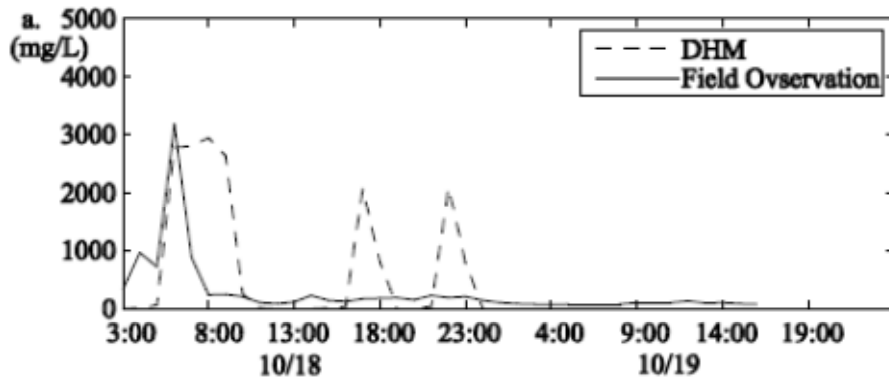


図-11 オロムシ川下流端でのSS濃度の再現計算結果
 (再現期間：(a)2009/10/18 3:00 - 10/19 16:00 (b)2010/7/4 0:00 - 7/4 11:00)

3) 元素分析を利用した流域からの細粒土砂輸送割合の推定手法開発

流域内における細粒土砂の生産・流出特性は土地利用状況や土壌構成によって、違いがあると考え、これらの違いを明らかにするために採泥を行った。採泥地点の選定は、土地利用状況や表層土壌構成について GIS (ArcGIS9 ArcMap Version 9.3.1, 地図情報のソース: 国土交通省国土数値情報) を用いて確認し、流域全体を評価できるように採泥地点を決定した。採泥は細粒土砂の生産と流出特性を解明するのに、生産場と考えられる表層土壌 18 地点, 流出に関するものとしてオロムシ川下流端付近での河岸堆積物 1 地点の合計 19 地点で採泥した (図-12)。採泥は各地点とも 2008 年 11 月に 1 回実施した。オロムシ川下流端付近での河岸堆積物を採取は平常時に実施し, 採取箇所は洪水時には冠水する地点を選定した。オロムシ川の河岸は出水によって河岸侵食等による変動はほとんど発生しない状況で断面に大きな変化は認められなかった。

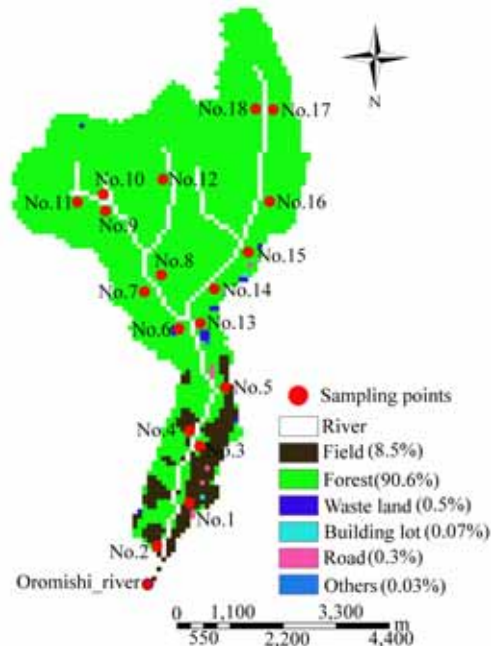


図-12 研究対象流域の土地利用区分と採泥地点
(図中番号及び Oromishi_River は採泥した地点, 凡例の () 内の数値はオロムシ川での土地利用面積割合を示す)

採泥土砂の粒度分布測定には粒度分布測定を行い, 細粒土砂の含有割合を測定した (図-13)。なお, 解析では粒度分布を測定する装置が 2mm 以上の粒径のものを測定できないため粒度分布は粒径 2mm 以下の土を対象に行っている。まず, 粒度分布測定のために採泥した土の前処理を行った。2mm 以上の土, 葉, 根の除去を除去するため 2mm 篩で篩いその後, 粒度分布測定装置にて測定を行った。図-13 にオロムシ川現地観測地点における測定結果およびオロムシ川流域の採泥地点における粒度分布測定結果を示す。

粒度分布の特性として, 粒径が 10-15 μm , 80-100 μm の領域において, 2 つの卓越した粒度のピークを持っていることが分かった。全ての地点において, 2 つのピークを持つ分布は, 約 63 μm を境界として存在している。下流端であるオロムシ川現地観測地点では 63 μm 以下の細粒土砂が僅かしか確認されていない。確認された細粒土砂は Wash load として流出すると考えられるため, 下流端では 63 μm 以下の粒径は堆積せず流出したものと推定した。これらから, 63 μm 以下の細粒土砂は流域から河道へと流出する可能性があると考えた。即ち, 流域全体が細粒土砂の生産場となる可能性が示された。この結果からオロムシ川という常呂川における小流域における結果ではあるが, 流域全体に細粒分が分布しており, 洪水時に全流域から細粒分を流出し易い状態であることが推測された。

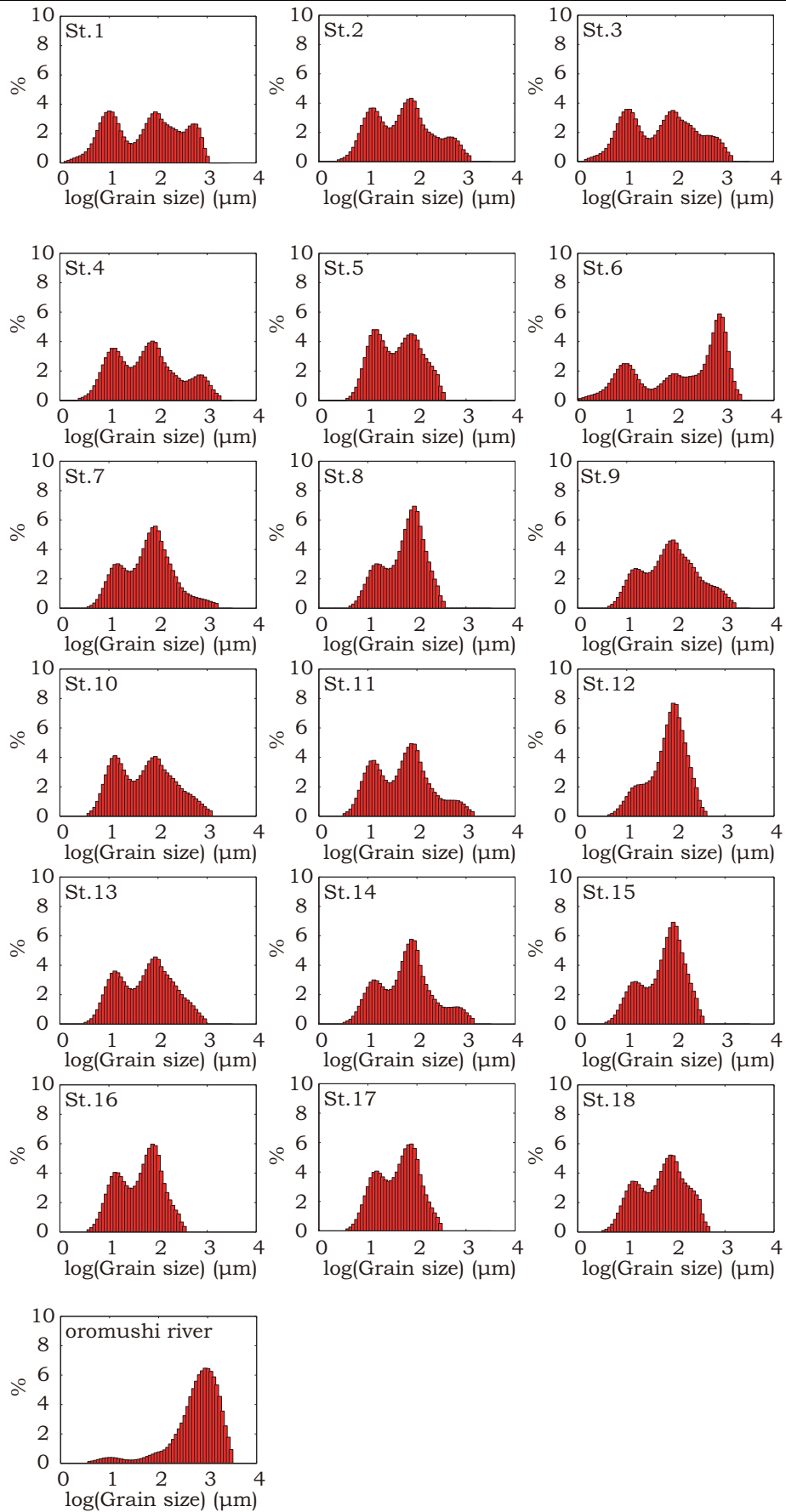


図-14 オロムシ川流域の採泥地点における粒度分布測定結果(St1-St12)

生産場とオロムシ川下流端の河岸堆積物の細粒土砂の特性をより詳細に分析するのに、元素分析を実施した。元素分析は、蛍光 X 線装置 (LA-950, HORIBA Ltd.) を用いて Na₂O, MgO, Al₂O₃, SiO₂, P₂O₅, SO₃, Cl, K₂O, CaO, TiO₂, Cr₂O₃, MnO, Fe₂O₃, Co₂O₃, NiO, CuO, ZnO, Rb₂O, SrO, BaO, Y₂O₃ の 21 項目について計測された。解析手法の詳細は専門的な知識が必要となるため省略する。以下、元素分析結果とそれを利用した流域の各地点からの細粒土砂の輸送割合の推定結果のみを示す (図-14, 図-15)。オロムシ川流域内の各地点からの単位面積当たりの輸送割合を推定した結果、下流域 (No.1, No.3, No.5), 中流域 (No.6, No.7, No.13, No.14), 上流域 (No.15, No.16, No.18) からの流出が卓越している結果となった (図-15)。提案するモデルによって、流域内の輸送割合が推定することができることになり、細粒土砂の生産・流出による対策を講じる場所や範囲を特定することが可能となった。

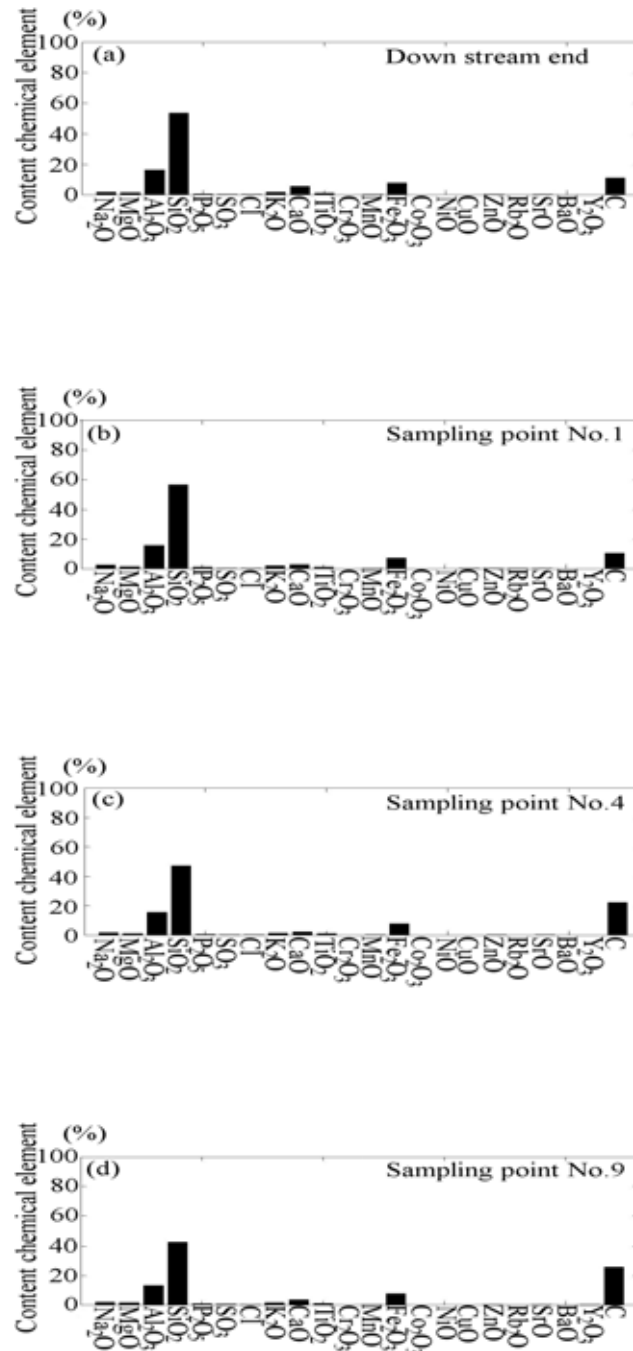


図-14 元素分析結果。(a)オロムシ川下流端の河岸堆積物, (b)No.1, (c)No.4, (d)No.9

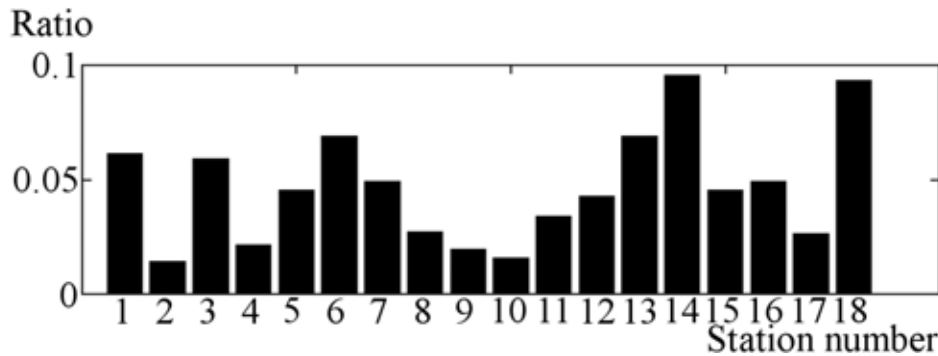


図-15 提案するモデルで推定されたオロムシ川流域内の生産場から下流端への細粒土砂の単位面積当たりの輸送割合（図中の番号は、図-12 に示したサンプリング番号を示す）

今後の課題・展望

本事業を遂行することにより、細粒土砂発生量の推定のための観測手法を提案することができ、GISを利用して分割された領域において採泥を行い元素分析によりその領域からの細粒土砂の輸送割合を推定するモデルを開発し、その結果を利用して分布型流出モデルにより細粒土砂の再現計算を行うことが可能となった。これらの成果は、常呂川だけでの利用にとどまらず、他の流域でも同様に利用できる手法であり、他河川での適用が期待される。実際、オホーツク地域を流れる藻琴川において、本手法を適用した検討が進められており、研究代表者がアドバイザーとして指導を行っている。

今後、本手法を世界遺産である知床を流れるラウス川およびラムサール条約に登録されている釧路湿原を流れる釧路川に適用する予定であり、道東を中心とした解析が進む予定である。さらに、本事業では蛍光X線による元素分析を中心とした解析を行ってきたが、今後はX線回折を利用した解析も進める予定であり、より高精度な推定が可能となる予定である。