

## 学 位 論 文 要 旨

永久凍土地帯における土壌中の溶存鉄の挙動および河川への流出メカニズムの解明

Behavior of dissolved iron in soil and  
discharge mechanism to rivers in permafrost areas

環境資源共生科学専攻 環境保全学大講座

田代 悠人

鉄はすべての生物の生長に不可欠な微量元素である。一部の海域では、微量栄養塩としての鉄が植物プランクトンの増殖を律速することが知られている。近年、陸域の河川が海域へと供給する溶存鉄(dFe)が、海洋生態系を支えるうえで重要な役割を果たしていることが分かってきた。例えば世界で最も水産資源が豊かな海の一つとして知られるオホーツク海では、アムール川が供給する十分な量の dFe によって高い生産性が支えられていることが明らかになっている。だがアムール川をはじめ高緯度地域の河川に含まれる dFe が、どのように土壌中で生成され、河川へと流出しているのか、その一連のメカニズムはほとんど理解されていない。

高緯度地域には永久凍土が広く存在し、その上部の土壌(活動層)は冬の凍結と夏の融解を繰り返す。夏季は、この土壌の季節的融解に伴う地下水の変動や降水量の変化によって、活動層における土壌の酸化還元状態が変化することが知られている。土壌中の鉄の挙動はこのような土壌の季節変動に伴い変化すると予想されるが、その実態はまったく分かっていない。また永久凍土地帯における河川の dFe 濃度の季節変動は明らかにされているものの、土壌中での dFe 観測例がほとんどないことから、土壌中での鉄の挙動が河川の dFe 濃度に及ぼす影響についても理解が進んでいない。したがって高緯度地域における土壌から河川への dFe の挙動を深く理解するためには、土壌と河川の両方を対象とした継続的な調査が必要である。

本研究は極東ロシア、ハバロフスク州のティルマ地域にて、集水域内に深度別で土壌間隙水中の dFe 濃度観測トランセクトを設定し、土壌中での季節的な鉄の挙動を観測した。さらに土壌だけでなく小河川および大河川の dFe 濃度も経時的に観測することで、土壌から河川への流出メカニズムの解明を試みた。

第 2 章では、実験集水域内で深度別に観測した土壌間隙水中の dFe 濃度の季節変動と、小河川および大河川で観測した溶存有機炭素(DOC)と dFe 濃度の季節変動について述べる。融雪期には、小河川および大河川で DOC と dFe 濃度の著しい増加が観測された。また、この時の表層土壌間隙水には高濃度の dFe が検出されたことから、河川で観測された dFe 濃度の増加は、融雪によって冠水した表層土壌における dFe 生成に起因していることが明らかになった。その後の夏季には、降雨による水位増加時に小河川および大河川で DOC および dFe 濃度の増加が観測された。このように小河川では 1 年を通して DOC および dFe 濃度の変動が同調し、大河川の変動パターンも小河川と同様であることが分かった。雨期後の 8 月後半から 9 月にかけて、表層下の土壌で dFe 生成が確認された。この dFe 生成は永久凍土が存在する湿地帯で確認されたのに対し、永久凍土が存在しない森林では確認されなかった。集水域の中でも永久凍土湿地が季節的な土壌融解と水文気象イベント(春の融雪と夏の降雨)に応じて dFe 生成が起こる環境であり、河川へと DOC および dFe を供給する重要な役割を果たしていることが示された。

第 3 章では、永久凍土地帯における集水域内の地形特徴および森林火災が河川の dFe 濃度に与える影響について、DOC および  $\text{NO}_3^-$  濃度と共に検討した結果について述べる。標高データを GIS(地理情報システム)ソフトを用いて解析することで、集水域内の地形と河川水質濃度との関係を調べた。その結果、集水域内に緩やかな傾斜地形が多いほど、河川の DOC および dFe 濃度は増加し、他方で  $\text{NO}_3^-$  濃度が減少する傾向が示された。一方、過去 10 年以内に集水域内で火災が生じた河川で  $\text{NO}_3^-$  濃度が高濃度となっている傾向が見出された。なかでも過去 5 年以内に火災が生じた河川では、特に高い  $\text{NO}_3^-$  濃度が検出された。このことから、アムール川中流域において集水域内の地形は河川の DOC および dFe 濃度の増加の要因に、森林火災は河川の  $\text{NO}_3^-$  濃度の増加の要因になっていることが初めて明らかになった。

第 4 章では、現地調査とリモートセンシング技術を組み合わせることで河川への重要な dFe 供給源と考えられる永久凍土湿地の分布図を作成した。ティルマ地域における 19 の小河川と 5 つの大河川の流域を対象に、DOC 濃度、dFe 濃度ならびに湿地の面積率を求めたところ、小河川と大河川ともに湿地面積率が大きいほど DOC および dFe 濃度が増加する傾向が示された。この結果から、湿地の空間分布が河川の DOC および dFe 濃度を集水域スケールだけでなく地域スケールで支配していることが明らかとなった。またリモートセンシングにより作成した湿地の分布図から、河川の DOC および dFe 濃度を推定することが可能となった。

第 5 章では、活動層の深層土壌(永久凍土最表層部)における dFe 濃度を季節的に観測した結果をもとに、1990 年代後半にアムール流域河川で観測された dFe 濃度の高濃度化の原因について述べる。第 2 章で述べた前年の結果と同様、雨期後の 8 月に深層の鉍質土壌層で dFe 濃度が高濃度化する現象が再び観察され、さらにその濃度レベルは泥炭層の 10 倍以上に達した。すなわち永久凍土の融解は鉄を大量に含む鉍質土壌の融解を意味しており、その深層では大量の dFe 生成が雨季後に起こることが明らかになった。この結果に基づき本章では、1990 年代後半にアムール流域河川で観測された高い dFe 濃度の原因は、例年以上に融解した鉍質土壌層における大量の dFe 生成に起因する仮説を提示した。