

学位論文要約

論文題目：フブスグルーウスチイリムスク水系における物質の化学動態

申請者：細田 耕

第1章：序論

陸域における水圏の物質の化学動態を明らかにすることは、陸水学の重要な課題である。物質は、水圏、大気圏、岩石圏、生物圏を、物理的・化学的・生物学的反応を経て循環している。これを生物地球化学的物質循環という。水圏はこの循環の中で、大きな役割を果たしており、特に陸水域は、動植物、とりわけ人類にとって重要な活動の場であることから、物質循環のより深い理解が望まれる。さらに陸水における化学動態を研究する意義として、これまで起こった公害とよばれたローカルな環境問題や、現在進行している気候変動などのグローバルな環境問題に取り組むうえで、前提として必要となる知見であるということが挙げられる。ある水系がどのような物質循環により成り立っているのか、ひいてはどのような生物地球化学的な特徴を有しているのかを調べることは、その水系が環境的な問題を引き起こした際に、その問題に取り組むうえで重要であるし、また他の水系における環境問題に取り組む際に、得られた知見が活用できる可能性もある。そして、この水系の生物地球化学的な特徴を明らかにする手段のひとつが、水質調査である。水質は、流域における環境要因により決定される。そのため、逆に、水質を分析し、各成分の分布・存在形態及びその変化を決定した環境要因を推測すること、つまり、その水系における生物地球化学的物質循環を解析することで、水系の特徴を明らかにすることができる。

本研究で対象とした水系は、モンゴルからロシアにまたがるフブスグルーウ

スチイリムスク水系である。この水系はフブスグル湖ーエギンゴル川ーセレンガ川ーバイカル湖ーアンガラ川と連なり、アンガラ川に建設されたダム湖であるイルクーツク湖、ブラーツク湖、ウスチイリムスク湖を経て、最終的にエニセイ川へと合流する。その流下過程では、気候、水理構造、地質が多様な変化を見せることから、流域の環境変化に伴う様々な物質循環の変化が観測されると予想され、日本では得ることができない貴重な知見が得られると期待される。2つの自然湖と3つのダム湖のいずれも巨大な規模の湖が存在し、両者の比較をすることも可能である。特に、バイカル湖より下流では、水の流動と停滞が繰り返されるという特徴をもつことから、シリカ欠損仮説の検証に適している。またエギンゴル川を流下する間は、標高の低下に伴う大気中 CO₂ 分圧の増加による炭酸塩岩への影響を検証することに適した地理的条件を有している。本研究では、フブスグルーウスチイリムスク水系の生物地球化学的特徴を明らかにすることを目的に、この水系全域を網羅した包括的な調査を行い、溶存成分、懸濁成分を分析し、水系を流下する間の化学動態を議論する。特にシリカ欠損仮説及び流下に伴う炭酸塩岩に由来する懸濁物の挙動とその影響について、焦点をあてる。

第2章：調査方法

調査は、2009～2012年の夏季に行った。採水した試料は、溶存成分測定用として、孔径 0.45 μm のポリフッ化ビニリデンフィルターを用いてろ過を行った。懸濁成分測定試料として 0.4 μm のヌクレポアフィルターで試料をろ過し、ペトリディッシュに保存して持ち帰った。各調査地点では、溶存酸素 (DO)、水温、電気伝導度などを携帯型測定機器により測定した。持ち帰った試料は、原子吸光分光法、誘導結合プラズマ発光分光分析法、イオンクロマトグラフィー、吸光光度法等を用いて、溶解性の Ca、Mg、Sr、Ba、Na、K、Cl、SO₄、HCO₃+2CO₃、NO₃-

N+NO₂-N、Al、Fe 及び Mn とクロロフィル *a* 等を測定した。懸濁成分は、分解操作を行った後、Al、Fe、Ca、Mg、Sr、Ba、Na、K、Mn、P 及び Si を原子吸光分光法、誘導結合プラズマ発光分光分析法により測定した。

第3章：結果

採水現場での水温等の測定により、エギンゴル川では流下に伴い pH が 8.1 から 7.8 と低下することが認められ、アンガラ川ではブラーツク湖、ウスチイリムスク湖への流入地点で、水温と pH の急激な上昇が観測された。

溶存成分の測定結果は、次のとおりである。エギンゴル川では流下に伴い Ca 濃度が増加した。ウールヌール川が流入すると SO₄ 濃度が増加した。エギンゴル川がセレンガ川へ流入すると、Na、Cl の濃度が増加した。ロシア国内のセレンガ川では、主要溶存成分濃度が徐々に低下する一方、Al、Fe 濃度は増加した。アンガラ川では、ブラーツク湖、ウスチイリムスク湖への流入地点で、栄養塩濃度の急激な減少が認められた。フブスグル湖、バイカル湖、ブラーツク湖における溶存成分の鉛直方向の濃度分布では、主要イオンは水深にかかわらず均一な濃度であったが、栄養塩濃度は、表層付近では低く深層では増加する傾向が見られた。

懸濁成分の測定結果について述べる。エギンゴル川を流下する間、懸濁態 Ca、Mg 濃度は減少傾向を示していたのに対して、他の元素の濃度はあまり変化がなかった。アンガラ川では、ブラーツク湖流入地点において、多くの懸濁元素濃度が 1/3 程度に減少し、急激に変化した。一方、懸濁態 P 濃度は、他の成分ほど明確な減少傾向は確認されなかった。ウスチイリムスク湖への流入地点では、懸濁態 P、Si 濃度が増加した。

第4章：考察

フブスグル湖の水質は、集水域に分布している炭酸塩岩の影響で、Ca-HCO₃型であった。エギンゴル川を流下する間、ウールヌール川の流入により、SO₄濃度が上昇するとともに、pHの低下が認められた。このpHの低下により、炭酸塩岩由来の懸濁物が溶解しやすい環境となり、懸濁態Ca濃度が低下するとともに、溶存態Ca濃度が増加した。また、この河川を流下する間の懸濁態Ba濃度の挙動は他のアルカリ土類金属のものとは異なっており、それは、ケイ酸塩鉱物由来のAl濃度、炭酸塩岩由来の懸濁態Ca濃度、マンガン酸化物由来の懸濁態Mn濃度に依存しているためであることが明らかとなった。エギンゴル川におけるpHの低下は、炭酸塩岩由来の懸濁物を溶解させ、溶存態Ca、懸濁態Ca及び懸濁態Baの濃度変化を引き起こすなど、様々な物質の挙動に影響を及ぼしていた。

エギンゴル川とセレンガ川が合流すると、溶存態Ca、Mg及びHCO₃+2CO₃濃度は減少する一方、Na、Cl濃度は増加した。懸濁成分はいずれも濃度増加が認められた。これは両河川の地質の違いによるものである。エギンゴル川の水質は、フブスグル湖集水域に分布する炭酸塩岩の影響を、合流前のセレンガ川の水質は、その上流集水域の火山岩の影響を受けているためである。

ロシア国内のセレンガ川では、支流からもたらされる河川水の水質に大きく影響を受け、各溶存成分濃度は変化した。主要イオンやSr、Baは希釈されて、濃度が減少した。風化指標Chemical Denudation Rate (CDR)を用いた検討の結果、これらの支流の水質は、地質や地形により影響を受けていたと考えられる。一方、Al、Feの濃度は、モンゴル国境からバイカル湖にかけて増加した。支流の集水域の植生や土壌の分布から、流入河川、その中でもチコイ川の水質は溶存態有機物に富んでいると推測され、AlやFeはこれと有機錯体を形成したために

溶解しやすくなったと考えられる。

フブスグル湖、バイカル湖、ブラーツク湖とも、主要イオンは鉛直方向に均一であった。これは保存型と呼ばれる分布である。一方、栄養塩はいずれも表層では低濃度で、深層にかけて高濃度となるリサイクル型もしくは栄養塩型と呼ばれる分布であった。

アンガラ川では、ブラーツク湖及びウスチイリムスク湖への流入地点、つまり水域の形態が河川から湖へと変化する地点で、物質循環が大きな影響を受けていた。ここでは、表層水温が上昇した。栄養塩濃度の極端な減少、懸濁態 Si、P 及びクロロフィル *a* の濃度増加、pH の上昇が観測され、これらの現象から植物性プランクトン、その中でも珪藻が繁茂していると推測された。さらに、生物起源 Si と生物起源 P の比から、ウスチイリムスク湖への流入地点では、珪藻のみならず、非珪藻種の植物性プランクトンも増加していると考えられた。植物性プランクトンの計数を行っていないため、植物性プランクトン種の変遷は確認できていないものの、化学的な分析及び解析結果から、シリカ欠損仮説を支持する結果を得た。

また、河川から湖へと変化する地点を境に、マンガン酸化物中の Ba/Mn 比が大きく異なっていた。その機構は不明であるが、水域の形態変化が Ba/Mn 比にも影響を及ぼしている可能性が示された。

今回の調査では、人為汚染の可能性のある濃度変化も観測された。ロシア国内のセレンガ川の支流、ジダ川では SO₄ や Mn 濃度が高く、アンガラ川でも Mn 濃度が高い地点が認められた。これは鉱山廃水や工場排水が原因であると推測された。都市排水が流れ込んでいることが知られているヴィホレフカ川では多くの溶存成分がアンガラ川よりも高濃度であった。

ヘキサダイアグラムの解析により、フブスグルーウスチイリムスク水系を流

下するにつれて、陽イオン、陰イオンの組成が徐々に変化しているものの、全水域を通して水質が Ca-HCO₃ 型であることに変化はなかった。

各調査水域の CDR を比較した結果、これらの値は降水量とともに増加し、かつ地質にも依存することが明らかとなった。

世界の主要な河川との比較から、セレンガ川は、Ca と Si の両者を高濃度に含む河川であることが明らかとなった。セレンガ川とアンガラ川の CDR は、ヒマラヤのヤムナ川、ガンジス川、ブラマプトラ川の 1/15 であった。これは、傾斜と降水量、つまり地形と気候の違いによるものであった。

第 5 章：結論

第 4 章で述べた通り、フブスグルーウスチイリムスク水系では、地質、地形（水域形態の変化や河川の傾斜）、気候（降水量）、生物による作用（植物性プランクトンによる栄養塩の吸収、植生）により物質循環が変化し、人為的な影響を加えてその水質が決定され、水系の生物地球化学的特徴が形成されていた。

21 世紀は「水の世紀」とも言われ、水資源の涸渇から、下水の再利用などが検討され、実際にアフリカやアメリカで実践されている。フブスグルーウスチイリムスク水系は、地表の淡水の 20% を貯蔵するバイカル湖を含む水系で、その水資源は極めて貴重なものである。そのため、本水系内では数多くの汚染に関する調査が行われている。また、気候変動への関心の高まりからも、極域の河川に注目が集まっており、本水系についてもこの視点からの研究がなされている。本研究は、2010 年ごろの本水系の生物地球化学的物質循環を詳細に議論している。将来、環境の変化に伴い物質循環に影響が表れた場合、本研究が有益な情報を提供できるものと期待する。