

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 21 日現在

機関番号：22604

研究種目：基盤研究(B) (海外学術調査)

研究期間：2013～2015

課題番号：25304001

研究課題名(和文)バイカル湖水系の河川における汚染物質除去機構の解明と応用

研究課題名(英文) Study on a natural cleaning mechanism of pollutants in the water system of Lake Baikal.

研究代表者

川東 正幸 (Kawahigashi, Masayuki)

首都大学東京・都市環境科学研究科・准教授

研究者番号：60297794

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,200,000円

研究成果の概要(和文)：セレンゲ川は蒙露国境を越えて北上し、バイカル湖に流入する最大の河川である。その流域にある大規模な鉱山や農地は河川に大きな負荷をかけている。しかし、バイカル湖水質では顕著な汚染はこれまでに報告されておらず、セレンゲ河水系での汚染物質の除去機構の存在が考えられた。本研究では汚染物質のキャリア粒子となる懸濁粒子(SS)の分布およびその構成元素、さらに同構成元素のデルタ内での分布を明らかにし、SSの沈降による汚染物質の除去機構の解明を目的とした。その結果、異なる水質をもつ支流が合流することによってSS沈降が生じることと河口域における幾筋もの分流が流量・流速を低下させ、SSを沈降させることがわかった。

研究成果の概要(英文)：Selenge River is the largest tributary in all of rivers flowing into the Lake Baikal. Watersheds of the tributary are strongly affected by large scale reclamation of the land for mining and agriculture. However, there is no report about fatal pollutions in the lake Baikal, indicating that natural cleaning systems should be addressed for removal of pollutants. In this study, suspended solids (SS) are mainly focused as a carrier of pollutants to elucidate the mechanism of SS removal in the river system. As a result, some heavy metals attached onto SS increase their concentration in the downstream of a mining area, indicating contamination process due to drainage from mining. Sedimentation of SS particles was observed in the downstream of a confluence point with a tributary. At the Selenge delta, the river flow spread into many small tributaries, resulting that decrease in flow rate led sedimentation of SS particles accompanied by accumulation of heavy metals in the bottom sediment.

研究分野：環境化学

キーワード：バイカル湖 セレンゲ川 セレンゲデルタ 鉱山開発 Suspended Solids 溶存有機物 低濃度汚染
土地利用変化

1. 研究開始当初の背景

セレンゲ河はバイカル湖への最大の流入河川であり、60%以上の流入水を供給している。源流はモンゴル北部のハンガイ山脈にあり、同国北部地域を北上し、モンゴル・ロシア国境を越えて、ロシア連邦ブリヤート共和国の首都ウランウデを経てバイカル湖に流入する。河口には広大なセレンゲデルタが形成されており、デルタ内の無数の小河川を通じて上流からの懸濁粒子が堆積している。セレンゲデルタの河口付近は湿地になっており、人為的な土地利用は無く、上流に向かって粗放的な放牧と耕作地としての利用がある。さらに上流域には大規模に機械化された農地利用があり、ウランウデより上流では農地利用のほか、露天掘りの炭鉱や発電所が集水域における大規模な土地利用となっている。モンゴル領内では農地での機械化や鉱工業の影響によるセレンゲ河水系への負荷が報告されており、下流に位置するロシア側の土地利用と合わせてバイカル湖水質への影響が懸念されている。しかしながら、バイカル湖水質では顕著な汚染は今世紀初頭には報告されておらず、セレンゲ河水系での汚染物質の除去や遅延機構の存在が考えられた。すなわち、汚染物質のキャリアとなる粒子が pH、塩濃度、温度、流速などの河川環境の変化に伴って沈降や分散の過程を経て水系からの除去または希釈される過程の存在を仮定できる。それらの河川環境の変化に伴う汚染物質動態の把握は将来さらに進行する土地開発に対する許容量の推定に有効である。

2. 研究の目的

本研究は、セレンゲ河水系の河川水と懸濁物中の汚染物質含量とその輸送体（有機物、無機粒子など）の分析結果と河川水理化学性データを合わせて汚染物質動態を把握する。その成果から汚染物質濃度の空間分布を制御する汚染物質の除去機構の解明を目的とする。さらに、河川及び集水域の除去能を推算し、今後の土地利用（鉱山開発）との関係について検討し、除去能を超えない開発の在り方について相手国研究協力者に提言をする。

セレンゲ河の数少ない研究報告によると、鉱山開発地周辺でスポット的に汚染物質含量が高いことが報告されているのに対して、湖水や湖岸において汚染物質の濃度・含量が生態系に対して問題がない程度であることが報告されている。これらの研究成果が示すところは、汚染物質がセレンゲ水系を流下する過程において吸着除去、または沈降除去されている可能性である。そこで、本研究では対象とするウランバートルからバイカル湖までの約 1000km におよぶ範囲において、トゥル河、オルホン河、セレンゲ河の河川水と河岸および河床の土壌を土地利用変化に留意して採取し、主要・微量重金属、無機物粒子、腐植物質と微生物量を定量する広域モ

ニタリング調査である。得られた結果と鉱山（土地）利用の関係を検討し、セレンゲデルタとバイカル湖に汚染物質を高濃度で到達させないセレンゲ河水系内における汚染物質の除去機構を明らかにする。

3. 研究の方法

モンゴル国内およびロシア連邦ブリヤート共和国内において、それぞれこれまでに鉱山開発を始め、広く土地利用がなされており、近辺における汚染報告がある地点付近の主要河川、すなわちモンゴル領内では上流よりトゥル川、オルホン川、ハラ川、シャリン川、ブル川、セレンゲ川、ロシア領内では、セレンゲ川、グシノイ湖、セレンゲデルタ内小河川について、河川水、底泥を採取し、分析に供した（図1）。また、これらの河川について基礎データの取得を試み、それぞれの河川または水域の下流域への影響評価を行う。



UU:ウランウデ、UB:ウランバートル、Mo:モリブデン-銅鉱山、Au:金鉱山、■:工場地帯

図1 研究対象地付近の地図と土地利用分布図

なお、モンゴル領内は 2013 年度、ロシア領内は 2014, 2015 の 2 か年に亘り試料採取を実施した。また、試料採取は支流と本流の合流地点より上流および下流域より採取し、両者間の比較によって、支流が本流に及ぼす影響を検討した。

河川水試料は採水後ただちに pH、EC などを測定してから、ガラス繊維ろ紙による処理を行い、密閉または酸処理後に密閉し、日本へ輸送した。国内では、さらにメンブランフィルター (0.025 μ m) によるろ過処理を行い、各種分析に供した。

酸性化した試料中の金属・非金属元素濃度は ICP 発光分光分析装置で定量した。その他、溶存有機態および無機態炭素濃度、溶存窒素、無機陰イオン濃度を定量した。メンブランフィルター処理水の各種元素・イオン濃度を酸性化試料水の全量濃度から差し引いて、コロイド態粒子の構成成分濃度を算出した。

底質試料は凍結乾燥し、微粉碎してから、一定量を過塩素酸-硝酸混液で十分に加熱しながら分解操作を行った。分解液は希釈して

各種元素濃度の測定に供試した。また、ガラス繊維ろ紙に捕獲した懸濁粒子 (Suspended Solids: SS) も底泥と同様に強酸溶液を利用した酸化分解処理を行って、各種元素濃度の測定に供した。

4. 研究成果

(1) 河川水の理化学性

pH は 7.6~8.5 の範囲にあり、支流は本流に対して、高いまたは低い値を示した。電気伝導度 (EC) も同様に支流は本流に対して異なる値を示した。特に流域に湿地が広がる河川は別の支流河川に比べて 10 倍以上高い値を示した。ロシア領内でも火力発電所を湖岸に有する湖を源流とする支流が著しく高い pH, EC 値を示した。しかしながら、理化学性においては、支流の本流への影響は顕著には認められなかった。また、同様に支流は多くの溶存成分において、高い値を示した。溶存炭素、溶存塩基が支流において本流と異なり、高い値を示していたが、合流することによる本流への質的な変動は認められなかった。

いずれの河川水においても、主たる溶存成分は塩基類、ケイ酸と有機・無機炭素であった。これらの内、主要溶存イオンの空間分布は EC に依存した濃度変化を示しており、本流における濃度変化は大きくないものの、支流間では大きく異なっていた。

鉍山の下流と発電所排水を含む河川では Na 濃度が高かった。湿地を流下する河川でも Na と Mg 濃度が極めて高かった。

重金属類は溶存態ではほとんど検出されず、コロイド態はわずかであり、懸濁態 (SS) が主要な存在形態であった (図 2)。

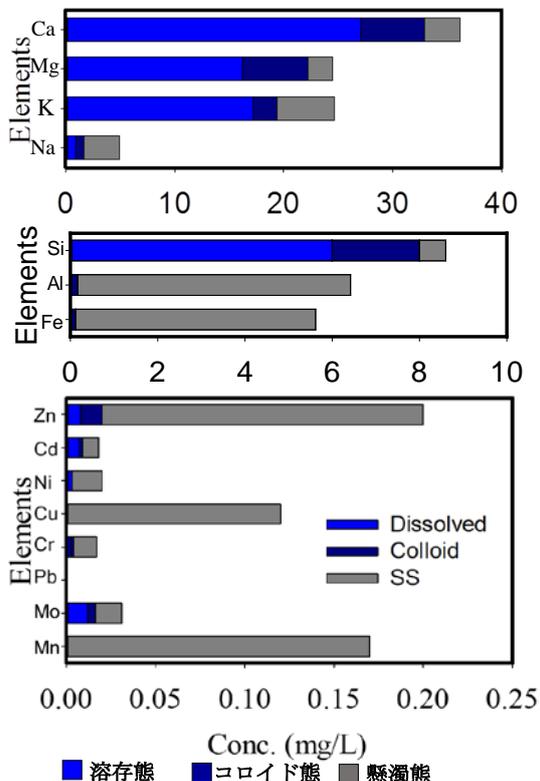
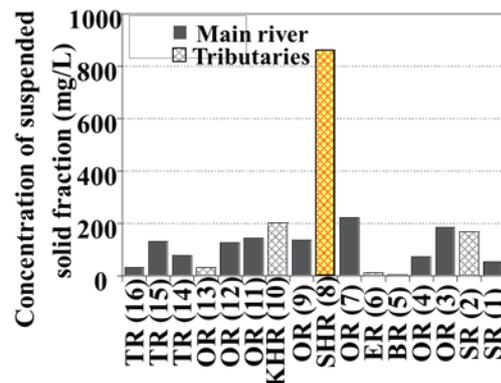


図 2 主要元素の存在形態

(2) 懸濁物 (SS) の分布

河川中の懸濁物は主に集水域の地表面の土壌表層より供給され流下し、一部は底泥として沈着する。SS 含量は河川の特徴の一つであり、これまでに世界的に多くの主要河川でデータ取得されている。その結果では概ね、ほとんどの河川において、SS 含量は河川流量と高い正の相関関係を示すことが多く、集水域が大きく河川流量が大きな河川では SS 量も高いことを示唆している。本研究ではこれまでにモンゴル国内で取得されてきた河川水特性を基に研究対象域の主要河川の水量と SS 含量の関係を検討した (図未公表)。その結果、シャリン川とハラ川は河川流量に対する SS 含量が本流河川に比べて著しく高いことがわかった。SS 含量には年々変動および季節変動があるものの、平水時においても SS 含量の高い河川水となっている。このことはセレンゲ川の一部の支流の集水域が侵食による土壌流出が極めて高いことを示唆している。



TR: トゥル川、OR: オルホン川、KHR: ハラ川、SHR: シャリン川、ER: ユル川、BR: ブル川、SR: セレンゲ川

図 3 セレンゲ川流域の本流および支流河川の SS 含量 (モンゴル領内)

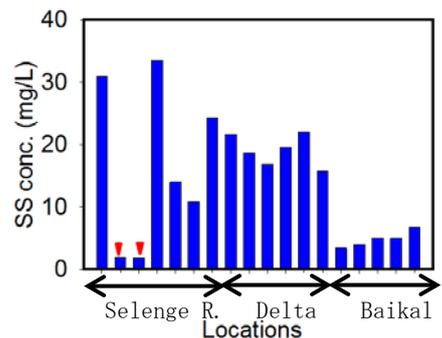


図 4 SS の分布 (ロシア領内)

本研究の試料採取時における SS 含量をモンゴル領内およびロシア領内について、それぞれ図 3 および 4 に示した。

図 3 に示した SS 含量はこれまでのモンゴル領内における SS 含量の範囲にあり、比較的 SS 含量の高い河川水であった。これは採取時前後の降水量が多かったことと、採取年度が降水量の多い年度に該当していたためと考

えられた。特にシャリン川での SS 含量は極めて高く、例年高い SS 含量のハラ川をはるかに上回る流出量であった。これには近年のシャリン川上流域における盛んな鉱山開発の関与が指摘できる。

トゥル川の本流における高い SS 含量は鉱山開発地で急激に高まり、その後、オルホン川と合流したのちも高い SS 含量を維持したまま流下している。ハラ川の合流でさらに SS 含量が高まったのち、シャリン川が本流の SS 含量を高めていることがわかる。SS 含量が低いユル川とブル川の合流は本流の SS 含量の低下を招いている。後述するが、OR7 から OR4 への低下は顕著であり、単純に支流河川水による希釈効果だけではなく、懸濁物の沈降もあったために懸濁物含量が少なくなっていることが推測できる。蒙露国境で急激に広がるセレンゲ川の広大な川幅は植生の繁茂を可能にし、懸濁物の沈降も促すことが考えられ、ロシア領内の SS 含量は低くなっている。さらに下流に向かって、低下傾向はつくものの、デルタ周辺で再び SS 含量が高くなっている。デルタ地形の上流部から急激に広がる農地利用が主要因であると考えられた。この SS 含量は微動変動を繰り返しながら流下し、バイカル湖岸で急激に減少する。後述するように流速と水質変化の影響として解釈された。

(3) 懸濁物 (SS) の元素組成

図 5 に河川水中の懸濁物含量と懸濁物中の Fe または Al 含量の関係を示した。Fe と Al は SS の主たる構成元素であり、同程度の割合で含まれていた。これらは酸化物の形態で存在していると考えられた。

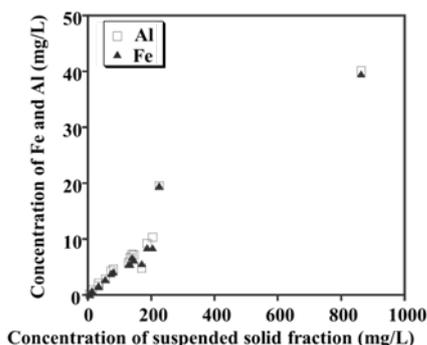


図 5 懸濁態と Fe、Al 含量の関係

また、SS 含量と SS を 550 度で 4 時間以上加熱の条件で失われる灼熱損量の関係を調べたところ、有意に正の相関関係が見いだされ (図 6)、SS が一様に有機物を含有している可能性が示唆された。SS が表面 (内面) に有機質層と鉱物質層の双方を持っていることは、他の物質との広い反応性を有することを示唆している。

このことは、広く、モンゴルおよびロシア領内において SS 中の各種塩基および重金属含量も Fe や Al と有意な相関関係を示すことと

関係しており、多くの重金属や塩基類は SS に吸着し、輸送・移動していることが推測された。

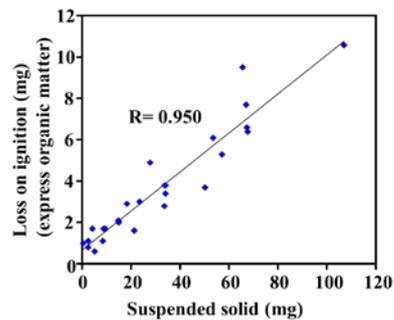


図 6 検体懸濁物捕獲ろ紙あたりの灼熱損量

一方、Cu と Zn は SS 含量との間に相関関係を示さなかった。これらの、SS 含量と塩基・重金属の関係は広く全研究対象領域で確認されている。これらの両元素の分布はモンゴルおよびロシア両国において鉱山および主要都市の下流と集水域に農地を有する支流河川で著しく高い濃度を示していた。しかしながら、SS 重量当たりの Cu と Zn の含量、すなわち SS 粒子当たりの Cu と Zn の含量は河川水中の SS 態濃度とは異なり、鉱山付近と市街地付近で高かった。給源から近く、速やかに重金属を吸着するために粒子当たりの重金属保持濃度が高くなっていることが推測された。

(4) 底質中の元素組成

底質中の主たる構成元素は Fe、Al であり、底質表面にこれらの酸化物が沈殿していると考えられた。底質中の Fe、Al は有機体炭素含量とも高い正の相関関係を示しており、有機物を吸着した粒子態の状態での堆積物として沈殿していると考えられた。また、測定元素すべてと高い正の相関関係を示し、重金属と塩基類のすべてが粒子に吸着した状態で河川水の理化学的状態を受けて沈降しているものと推定された。

興味深いことに、本流河川水中の SS 含量は支流の影響を受けて増加することを先に記述したが、底質中の Fe や Al 含量の増加はこれらの SS 含量の増加とは一致していない。このことは、支流からの河川が合流したのちに必ずしも底泥として沈降することを意味しておらず、SS の長い河川水中滞留時間を示唆している。

一方、支流が合流することによって、急激な Fe および有機態炭素含量の増加が示す、SS の沈殿が生じている (図 7) のは、湿地流域を有し塩濃度及び溶存炭素濃度が極めて高いブル川との合流地点の下流である。塩及び有機物の混合に伴って懸濁粒子が著しく沈降したことを示唆している。このような、沈降過程は同水系において極めて重要な元素動態の過程であり、汚染物質の除去機構の一

権利者：
種類：
番号：
出願年月日：
国内外の別：

○取得状況（計 0件）

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
取得年月日：
国内外の別：

〔その他〕

ホームページ等

（1）国際研究集会の開催：

Study on a natural cleaning mechanism of pollutants in the water system of Lake Baikal. 参加者：ロシア2名、モンゴル5名、日本3名、日程：2015年4月10日～4月12日、場所：モンゴル国立大学

（2）国際協定の締結

ブリヤート州立大学と首都大学東京都市環境学部間での学術協定の締結

6. 研究組織

(1) 研究代表者

川東 正幸 (Masayuki Kawahigashi)
首都大学東京・都市環境科学研究科・准教授
研究者番号：60297794

(2) 研究分担者

渡邊 眞紀子 (Makiko Watanabe)
首都大学東京・都市環境科学研究科・教授
研究者番号：10175119

藤嶽 暢英 (Nobuhide Fujitake)
神戸大学大学院・農学研究科・教授
研究者番号：50243332

小林 孝行 (Takayuki Kobayashi)
日本大学・生物資源科学部・助教
研究者番号：10551228

(3) 連携研究者

()

研究者番号：