

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成30年9月1日現在

機関番号：10101

研究種目：基盤研究(B) (海外学術調査)

研究期間：2015～2017

課題番号：15H05208

研究課題名(和文) 永久凍土の変動がアムール川流域の溶存鉄流出に果たす影響の解明

研究課題名(英文) Impact of permafrost degradation on the discharge of dissolved iron in the Amur River basin

研究代表者

白岩 孝行 (SHIRAIWA, TAKAYUKI)

北海道大学・低温科学研究所・准教授

研究者番号：90235739

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 10,900,000円

研究成果の概要(和文)：1990年代後半にアムール川で生じた河川水中の溶存鉄濃度の上昇の原因を解明するため、平成27年～29年度の3年間に合計5回、アムール川の支流ティルマ川流域において現地調査を実施した。その結果、この流域には、“mari”と呼ばれるカラマツとミズゴケからなる植生景観が存在し、その下層に永久凍土を伴っていること、および“mari”を有する流域で河川水中の溶存鉄濃度が高いことを見いだした。衛星データの解析によれば、“mari”は平坦な河畔域に発達していることもわかった。  
近年の気温上昇が“mari”の点在的永久土を融解させ、還元的な環境が広がることにより、溶存鉄の溶出を促進している可能性がある。

研究成果の概要(英文)：We investigated the Tyrma river basin of the Amur river from 2015 to 2017 in order to clarify possible cause of the rapid increase in dissolved iron of the Amur river in the late 1990s. Our 6-times field survey led to the findings of unique landscape called "mari" where sparse larch forest underlain by sphagnum vegetation. The "mari" is found to support sporadic permafrost and supplies significant amount of dissolved iron to its river. The "mari" is found to be developed in riparian zone of the river system by the analyses of indices like NDVI, NDWI and NDSI based on LANDSAT spectral data.

We speculate the cause of rapid increase in dissolved iron concentration of the Amur river in the late 1990s were caused by melting of sporadic permafrost which resulted in the extension of redox condition in the upper part of the Amur river.

研究分野：地理学

キーワード：溶存鉄 永久凍土 湿地 アムール川 マリ 気候変動 ロシア極東 河畔域

## 1. 研究開始当初の背景

モンゴル・中国・ロシアの三カ国に流域を有し、オホーツク海へと流出する国際河川アムール川流域の湿原や森林に起源をもつ鉄が、オホーツク海・親潮域の基礎生産の60%を支えているという発見は、外洋の海洋生態系が陸域の環境と密接に結びついているという新しい視点をもたらした。このアムール川では、1990年代の後半に急激な溶存鉄濃度の上昇がみられたが、その原因については、1)溶存鉄濃度の高い地下水の過剰揚水、および2)アムール川流域で同時期に生じた洪水、の2つの要因が検討されたが、これだけでは十分に観測された濃度の上昇を説明できない。このため、我々は第3の要因として、アムール川流域に分布する点状的永久凍土の融解による還元環境の拡大が河川の溶存鉄濃度の急激な増加につながったという仮説を提案する。

## 2. 研究の目的

アムール川流域で進行する陸面変化のうち、永久凍土の面的・質的变化がアムール川の河川水中の溶存鉄濃度に与える影響を解明することを研究目的とする。溶存鉄濃度に注目する理由は、アムール川が輸送する溶存鉄が、オホーツク海と親潮海域の基礎生産にとって必須の元素であり、アムール川流域がオホーツク海や親潮域の魚附林としての役割を果たしているからである。具体的には、アムール川中流域をフィールドに設定し、永久凍土地帯の水・物質循環観測と水試料採取を実施し、得られた試料の分析・解析と、衛星データを用いた陸面状況の広域調査から、永久凍土の面的・質的变化が陸面プロセスを通じて河川水中の溶存鉄濃度に与える影響を解明する。

## 3. 研究の方法

1995年～1998年にかけてアムール川本流で溶存鉄フラックスが急激に増加した原因は、アムール川中流域に流入する2大支流、ゼーヤ川とブレヤ川流域に広がる山岳タイガ林下に広がる永久凍土の融解とこれに起因する活動層の湿潤・還元化が原因ではないかという作業仮説の下、ゼーヤ川・ブレヤ川流域の永久凍土分布の探査、陸面水・物質循環観測、河川水・土壌水・地下水のサンプリングとその分析(溶存鉄濃度・腐植物質の同定等)、衛星データによる永久凍土探査、という4つの研究手法によって作業仮説の検証を試みた。

## 4. 研究成果

### 4.1. 平成27年度の成果

平成27年度は、観測対象であるロシア連邦極東管区のブレヤ川を研究対象として、その支流のひとつであるティルマ川の源流域と中流域を対象に調査を実施した。調査参加者は、白岩孝行・楊宗興・大西健夫の研究代表者・研究分担者3名と、研究協力者の田代悠人

(東京農工大学4年生)の4名の日本人、ならびにロシア科学アカデミー極東支部 水生生態問題研究所のAlexander Antonov博士、Vladimir Kim博士、Vladimir Shesterkin博士の3名のロシア人を加えた合計7名である。この他、現地で2名のロシア人ガイドの協力を得、総勢9名で調査を実施した。

現地調査は9月16日から21日にかけて実施した。ティルマ川本流、支流のヤカグリン川、ケビティ川、グジャル川、マリ・ジョグダナ川、ターランジャン川、ジョグダナ川、シャンリボ川、カリアチ川、ヤオリン川などにおいて河川水のサンプリングを実施した。また、河川水サンプリング地点の近傍で土中にピットを掘り、土層構造の観察と地中温度プロファイルの測定を行った。

採取した河川水は、ロシア科学アカデミー極東支部 水生生態問題研究所において以下の項目の分析を行った。溶存鉄濃度、主要栄養塩濃度(全窒素、全リン)、溶存有機炭素。分析の結果、永久凍土の存在する流域では、永久凍土の存在しない流域に比べて溶存鉄濃度が高い傾向があることが判明した。また、永久凍土の存在とカラマツ・ミズゴケ植生の親和性が高いことを発見した。

### 4.2. 平成28年度の成果

平成28年度は2回の野外調査・観測を実施した。第1回調査は、7月3日～7月16日にかけてブレヤ川支流のティルマ川流域において広域採水ならび凍土分布調査を行い、実験流域(ソフロン川流域)を設定して、地温センサーや土壌間隙水調査を実施した。調査には、白岩と大西、ならびに研究協力者2名の大学院生が参加し、ロシア側からは水・生態問題研究所の研究者4名が参加した。これに加え、現地でガイド2名の支援を受けた。

第2回目の調査は、二班に分かれて実施した。広域採水班(白岩・大西)は、ブレヤ川本流の最上流域にあるブレインスキー自然保護区内の各支流において広域の採水を行い、溶存鉄・DOC・栄養塩の各濃度分布を知るための調査を9月21日～9月28日にかけて実施した。また、集中観測班(楊・研究協力者2名)は、7月に設定したソフロン川とその周辺流域において河川水採取・土壌間隙水採取・凍土分布調査・植生調査を実施した。

2回の現地調査により、平成27年度の調査で抱いた以下の仮説はほぼ確認できた。すなわち、ブレヤ川上流および支流のティルマ川上流域には点状的永久凍土が分布し、永久凍土が分布する流域の河川は、永久凍土が分布しない流域を流れる河川に比べ、より濃度の高い河川水を有している。点状的永久凍土は目視で確認することはできないが、点状的永久凍土帯には"mari"と現地で呼ばれる林床にミズゴケ類を有するカラマツの疎林が発達するため、航空写真や衛星写真で点状的永久凍土帯の分布を間接的に探知できる可能性がある。

ランドサットTMデータを使用した予察的な研究では、可視・近赤外データを使用して研究地域の "mari" の分布を把握することができた。その分布は、河川の周囲に広がる河畔域(riparian zone)と一致していた。

#### 4.3. 平成29年度の成果

平成29年度は2回の現地調査を実施した。第1回目は融雪期における陸面・水文状況を確認すべく、4月25日～5月21日に調査地のティルマ川流域を訪れた(楊・大西および大学院生2名)。第2回目は、凍土面がもっとも低下する秋季の陸面・水文状況を確認すべく、10月3日～17日にかけて同地域を訪問した(大西・白岩および大学院生2名)。

第1回目は、冬期に発達した凍土が止水面となり、陸面は洪水状態であった。この調査時には、ソフロン川流域を始め、近隣流域において河川水や土壌間隙水のサンプルを採取し、分析に供した。また経時的に河川水位データを取得するために水圧センサーを設置した。

第2回目は、前年に設置した地温データロガーの回収および水圧センサーのデータ回収と共に、ソフロン川の微地形の測量、土壌間隙水・河川水のサンプリングを行った。事前にランドサット8のスペクトル情報を用いて永久凍土の指標と判断した "mari" を抽出し、現地でグランドトゥルースを実施した。

二回の現地調査とロシア側協力者に依頼して定期的にサンプリングしてもらった河川水・土壌間隙水の溶存鉄濃度および溶存有機炭素(DOC)濃度の分析を水・生態学研究所において実施した。これによると、永久凍土を流域に有する河川の溶存鉄濃度とDOC濃度はいずれも高く、季節的には融雪期に土壌間隙水と河川水で濃度が高くなり、夏期の降水時には土壌間隙水の溶存鉄濃度が上昇することが確認できた。グランドトゥルースの結果、"mari" は永久凍土の指標となることが判明し、衛星データで "mari" の分布を図示することができた。"mari" は主として調査地域の河畔域(riparian zone)に分布し、ところどころ斜面にも発達する。

#### 4.4. 成果のまとめ

3年間にわたる5回の現地調査により、この流域に分布する "mari" の下層において、点在的永久土が融解し、これが流域に還元的な環境を広げ、結果としてアムール川の河川水中の溶存鉄濃度を増大させている可能性を確認することができた。

#### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計1件)

大西健夫、楊宗興、白岩孝行、長尾誠也、アムール川流域における溶存鉄生成メカニズムのモデル化、低温科学、査読無、74巻、

2016、13-20.

[学会発表](計8件)

大西健夫、田代悠人、久保匠、楊宗興、白岩孝行、ソフロン川流域湿地における永久凍土活動層厚の時系列変動推定、日本地理学会、2018年3月22日、東京。

田代悠人、楊宗興、大西健夫、白岩孝行、久保匠、永久凍土の季節的変動が溶存鉄の挙動に与える影響、日本地理学会、2018年3月22日、東京。

久保匠、白岩孝行、大西健夫、田代悠人、楊宗興、衛星リモートセンシングを用いたアムール川流域における永久凍土の探査、日本地理学会、2018年3月22日、東京。

田代悠人、楊宗興、白岩孝行、大西健夫、Kim, V., Shesterkin, V., 久保匠、極東ロシアにおける永久凍土の季節的融解が鉄の挙動に与える影響：土壌間隙水及び河川の溶存鉄濃度 7月-10月観測結果、日本陸水学会、2017年9月28日、田沢湖。

Onishi, T., Shamov, V.V., Shiraiwa, T., Yoh, M., Nagao, S., Kim, V. and Shesterkin, V., Kubo, T. and Tashiro, Y., Linking dynamics of permafrost and dissolved iron production in the Amur River basin, The 2<sup>nd</sup> Asian Conf. on Permafrost, July 3, 2017, Sapporo.

Shiraiwa, T., Yoh, M., Onishi, T., Tashiro, Y., Kubo, T., Kim, V., Shesterkin, V. and Antonov, A., A new possible source of dissolved iron in the Amur River basin, Int. Conf. on Resources, Environment and Regional Sustainable Development in Northeast Asia, Oct. 10-14, 2016, Vladivostok (Russia).

Onishi, T., Shamov, V.V., Kubo, T., Shiraiwa, T., Tashiro, Y., Yoh, M., Kim, V. and Shesterkin, V., Abrupt rise of dissolved iron concentration in the late 1990s and possibility of influence of seasonal permafrost dynamics in the Amur River basin, Int. Conf. on Water Resources and Problems of their Sustainable Use, Sept. 28, 2016, Khabarovsk (Russia).

田代悠人、楊宗興、水質調査から示される丘陵地の溶存鉄供給に対する機能、日本地球惑星科学連合2016年大会、5月22日、幕張。

[図書](計0件)

[産業財産権]

出願状況（計 0 件）

取得状況（計 0 件）

〔その他〕

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

白岩孝行 (SHIRAIWA, Takayuki)  
北海道大学・低温科学研究所・准教授  
研究者番号：90235739

### (2) 研究分担者

楊 宗興 (YOH, Muneoki)  
東京農工大学・農学研究科・教授  
研究者番号：50260526

長尾誠也 (NAGAO, Seiya)  
金沢大学・環日本海域環境研究センター・  
教授  
研究者番号：20343014

大西健夫 (ONISHI, Takeo)  
岐阜大学・応用生物科学部・准教授  
研究者番号：70391638

### (3) 連携研究者

### (4) 研究協力者

田代悠人 (TASHIRO, Yuto)  
久保 匠 (KUBO, Takumi)