

平成 21 年 5 月 25 日現在

研究種目：基盤研究（A）海外学術調査  
 研究期間：2006～2008  
 課題番号：18255001  
 研究課題名（和文） 超長大水系フブスグルーバイカルーエニセイ流域における物質動態と生態遷移  
 研究課題名（英文） Material dynamics and ecological change in extra long water system, Hovsgol-Baikal-Yenisei watershed  
 研究代表者  
 杉山 雅人（SUGIYAMA MASAHIRO）  
 京都大学・大学院地球環境学堂・教授  
 研究者番号：10179179

## 研究成果の概要：

研究対象とするフブスグルーバイカルーエニセイ水系 4500 km のうち、約 2/3 の地域を踏査した。河川での水の流下と湖での停滞によって、水質と生態が大きな変動を遂げることが明らかになった。特に、下流域ではその傾向が大で、例えばドゥディンカーソポチュナヤ・カルガ間はツンドラ地帯であることもあって溶存有機物量の増大が顕著であった。大都市近郊では、人為的水質汚染の影響が如実に現れた。バイカル湖の化学動態・生物動態の解析から、沿岸域と沖域では化学過程・生物過程ともに大きく異なることが明らかにされた。バイカル湖が世界に稀な巨大湖であることの特徴がここに現れていた。

## 交付額

(金額単位：円)

|         | 直接経費       | 間接経費      | 合計         |
|---------|------------|-----------|------------|
| 2006 年度 | 7,700,000  | 2,310,000 | 10,010,000 |
| 2007 年度 | 8,700,000  | 2,610,000 | 11,310,000 |
| 2008 年度 | 7,800,000  | 2,340,000 | 10,140,000 |
| 年度      |            |           |            |
| 年度      |            |           |            |
| 総計      | 24,200,000 | 7,260,000 | 31,460,000 |

研究分野：水圏化学・分析化学

科研費の分科・細目：環境学・環境動態解析

キーワード：超長大水系、物質動態、生態遷移、フブスグル湖、バイカル湖、エニセイ川

## 1. 研究開始当初の背景

研究対象としたフブスグルーバイカルーエニセイ流域のような超長大水系の物質動態と生態系がどのような状況にあるのか、また、水の流下とともにそれらがいかなる遷移を見せるのかについては、全く不明であった。

なぜなら、このような水系の総合科学調査については、現地のロシア人研究者に尋ねても、これまでに例がないとされていたからである。微生物や水質などの単一分野からの調査報告はあるものの、それは 20 年近く前のものであって水系環境が著しく変化した近年

における報告は未だない。したがって、本研究によって超長大水系における物質動態と生態系の遷移の機構が明らかにされるなら、陸水科学・水圏科学における物質循環と生態系の研究において、その関連を考えるうえで極めて意義深く、環境科学の面からもその知見は流域管理にとって極めて重要になるものと考えた。また、近年、特にシリカ欠損の問題に端的に見られるような、河川中途停滞水域の出現による河川環境と沿岸海洋環境の変化、ならびに河川から沿岸域への物質輸送の変化に由来する問題についても、重要な視点を与えるであろうと考えた。こうした経緯により、本研究を構想した。

## 2. 研究の目的

モンゴル北部に端を発し、フスグル湖ーエギン川ーセレンガ川ーバイカル湖ーアンガラ川ーエニセイ川と連なり、ロシア国内を通過して極北のカラ海に流れ込むフスグル湖ーバイカル湖ーエニセイ水系は、わが国には見ることのできない極めて長大な水系である。このため、流域の環境条件は地理・水理構造・生物相・地質帯・気候など様々な点から、地域によって大きな変化を示す。本研究の目的は、この超長大な水系において環境条件の変化並びに河川での水の流下と中途に点在する湖やダムでの水の停滞に伴って、

- (1) 物質動態はどのような変化を示すか
- (2) 生態系はいかなる遷移を見せるか
- (3) 両者はどのような関連にあるか

を調査して、流域環境の変化による物質動態・生態系変動のメカニズムを明らかにし、その知見を国内外の河川・湖沼環境保全に資することにある。

具体的には研究水系に点在する自然成因の湖（フスグル湖とバイカル湖ほか）と人工湖（ダム湖）並びに水系内河川に、環境条件の変化を考慮していくつかの調査定点を設定し、物理・化学・生物に渡る複合的総合調査を実施して、

- ① 河川流量、河川水・湖水の流向・水温分布の測定による河川水・湖水の流動機構の解明
- ② 栄養塩の濃度分布ならびに代謝速度の測定による水域での栄養塩動態の解明
- ③ 微量重金属の濃度分布測定による水系の人為汚染レベルの把握
- ④ 溶存・懸濁有機物の濃度分布測定による水域での有機物動態の解明
- ⑤ 湖での沈降粒子組成・沈降粒子束の測定による水域での物質鉛直輸送機構の解明
- ⑥ 動・植物プランクトン、バクテリア、付着藻類の群集分布測定による微生物生態遷移の解明

⑦ 水生植物のリン酸代謝速度の測定による水域の栄養度、栄養代謝機構の解明を行う。また、各水域での上記項目の相互の関連、すなわち

(I) ①、②、⑤、⑥、⑦に基づく栄養塩動態と生態遷移の関連

(II) ①、④、⑤、⑥の関連解析による有機物動態と生態遷移の関連

を解析する。これらを通して上述(1)～(3)の観点に基づく超長大水系における物質動態・生態系変動の特性を明らかにする。

## 3. 研究の方法

研究水系であるフスグル湖ーバイカル湖ーエニセイ流域のさまざまな地点で、物理・化学・生物に渡る総合科学調査を行う。電気伝導度や溶存酸素濃度などの現地で直ちに測定可能な項目は現場観測を行う。それら以外のものについては、採取した試料を日本に持ち帰り分析する。次に示すような各種の項目を観測・解析して、上述「2. 研究の目的」に示した事項について研究する。

(1) 物理指標と一般水質項目： 三次元流向・流速（風と湖水）、河川流量、水位、水温、電導度、溶存酸素、クロロフィル蛍光、pH、濁度、透明度、水中分光特性。これらの項目の測定は主に現場自動観測装置で行う。

(2) 生物群集解析： 動・植物プランクトン、バクテリア、沿岸・底生藻類、沈降粒子中の生物組成。

(3) 化学分析： 溶存物質（栄養塩、無機・有機炭素、無機主要イオン、微量元素、重金属、糖、アミノ酸）、懸濁物質・沈降粒子・堆積物（クロロフィル、生物色素、その他の項目は溶存物質と同じ）。

(4) 培養実験： 基礎生産量、植物プランクトンによる窒素とリンの取込み速度、水生植物のリン酸代謝速度、動物プランクトン摂食速度。

## 4. 研究成果

本研究は2006年度から2009年度の4年間の計画で進めていたが、研究水系全域を調査することを目指し、研究計画最終年度前年度申請として同一課題による研究（2009年度～2012年度）を再度申請し、それが採択された。このため本来の研究期間を1年短縮して本研究は終了することになった。ここでは2006年度から2008年度の3年間における研究成果について述べる。

(1) フスグル湖ーバイカル湖ーエニセイ流域のうち、この3年間で次の水域を調査した。

2006年：バイカル湖、アンガラ川（リストビアンカ～イルクーツク）、ブラーツク湖

2007年：エニセイ川（クラスノヤルスク～イガルカ）

2008年：エニセイ川（ドゥディンカ～ソポチュナヤ・カルガ）

従って、長さでいえば水系の約2/3の調査を終えたことになる。その結果、現在までに次のような成果が得られた。

① セレンガ川からバイカル湖に向けて、主要イオンと溶存有機物を多量に含む水が供給されている。このためセレンガ川が、バイカル湖への物質供給の主要源となっている。河川由来の溶存有機物は、湖水での保持効率が低い。

② バイカル湖からアンガラ川に流出した河川水は、イルクーツクに至るまではほとんどその水質を変化させないが、中流域のブラーツク湖に到達した時には、主要成分の濃度を約1.5倍に増加させている。イルクーツク～ブラーツク間に大きな物質供給源が存在するものと推測される。

③ ブラーツク湖は、ダム湖であるにもかかわらず夏季でも貧酸素水域の出現は見られない。水温が低く維持されていることが影響している。

④ エニセイ川に沿った地域での最大都市であるクラスノヤルスク周辺では水質が汚濁していて、バクテリア密度も高い。人為的な影響が水質に現れている。

⑤ アンガラ川とエニセイ川の合流点では、両河川の水は容易に混ざらず、100 km 流下した地点でも両岸の水質に違いがあった。これは生物群集にも影響を与えていた。

⑥ エニセイ川最下流域のソポチュナヤ・カルガでも、底層水の電気伝導度には目立った増加はなく、海水の混入は全く見られなかった。

⑦ 水がドゥディンカからソポチュナヤ・カルガに流下するにつれて水色は褐色を増した。ツンドラ地帯の湿地域からの腐植物質の流入が、水質に大きな影響を与えていた。

(2) フブスグルーバイカルーエニセイ流域の調査とともに、バイカル湖の化学動態・生物動態の研究も並行して行った。

① バイカル湖での基礎生産に対する栄養塩制限について調査した。その結果、バイカル湖の基礎生産は基本的にはリン制限の状態にあるが、ひとたびリン供給が起こると、水域の栄養条件は窒素制限へと速やかに遷移する。

② バイカル湖には、バルグジン川やセレンガ川の流入河川を通して多量の溶存有機物が供給されている。このため、特に沿岸域表層水中の溶存有機物は、湖外起源の腐植物質の影響を強く受けている。一方、沖域の水深

の深い地点での溶存有機物には、湖外起源物質の影響は少なく、鉛直方向にも濃度はあまり変化しない。

③ ピコシアノバクテリアは、バイカル湖での基礎生産者として非常に重要な役割を担っている。ピコシアノバクテリアは内包する色素の割合から二つのタイプ、フィコエルスリン豊富型とフィコシアニン豊富型に分けられる。フィコシアニン豊富型は沿岸域で、フィコエルスリン豊富型は沖域で優占していて、これらの分布は地域性を帯びている。

④ C18 固相抽出を用いて、バイカル湖水中の溶存有機物を分離し、超高分解能フーリエ変換イオンサイクロトロン共鳴型質量分析法によって、有機物の化学種構成を解析した。2200～3500 種もの有機物が水中に溶存していることが明らかになった。有機物の主要成分は、深層水ではリグニン様物質であり、表層水ではこれに脂質・タンパク様物質が加わる。湖水と流入河川水を比較すると、80～90%の割合で両者の構成成分は一致する。

(3) 湖水・河川水の化学分析のための基礎研究も行った。湖水や河川水中の鉄イオンの酸化数別自動分離定量法として、ビンドシエドラーズグリーン・ロイコ塩基を比色試薬とする液体クロマトグラフー接触分析法を考案した。

## 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11件）

① M. Sugiyama, Y. Naraki and T. Hori: Liquid chromatography - catalytic analysis detection as a highly sensitive and automated fractional determination method: Determination of iron (II) and (III). J. Liq. Chromatogr. Rel. Technol. (査読有), **32**, 788-800 (2009).

② 杉山雅人: 超長大水系フブスグルーバイカルーエニセイ流域を探る. 人環フォーラム (査読無), **24**, 60-61 (2009).

③ T. Katano, S. Nakano, H. Ueno, O. Mitamura, K. Anbutsu, M. Kihira, Y. Satoh, T. Satoh, V.V. Drucker, Y. Tanaka, Y. Akagashi and M. Sugiyama: Abundance and composition of the summer phytoplankton community along a transect from the Barguzin river to the central basin of Lake Baikal. Limnology (査読有), **9**, 243-250 (2008).

- ④ T. Suzuki, Y. Sugiyama, C. Wada, T. Kumagai, S. Nagao, T. Katano, S. Nakano, O. Mitamura, Y. Matsuura, V.V. Drucker, V.A. Fialkov and M. Sugiyama: Role of allochthonous organic matter in Lake Baikal investigated using a 3-dimensional fluorescence excitation-emission matrix spectroscopy and high performance liquid chromatography-mass spectrometry. Verh. Internat. Verein. Limnol. (査読有), **30**, 469-476 (2008).
- ⑤ M. Kihira, K. Anbutsu, H. Azumi, H. Yoshida, O. Mitamura, S. Nakano, T. Katano, Y. Satoh, V. Drucker and M. Sugiyama: Horizontal distribution and nutritional status of picophytoplankton in Lake Baikal in summer. Verh. Internat. Verein. Limnol. (査読有), **30**, 598-602 (2008).
- ⑥ T. Katano, S. Nakano, O. Mitamura, H. Yoshida, H. Azumi, Y. Matsuura, Y. Tanaka, H. Maezono, Y. Satoh, T. Satoh, Y. Sugiyama, Y. Watanabe, T. Mimura, Y. Akagashi, H. Machida, V.V. Drucker, I. Tikhonova, O. Belykh, V.A. Fialkov, M.-S. Han, S.-H. Kang and M. Sugiyama: Abundance and pigment type composition of picocyanobacteria in Barguzin Bay, Lake Baikal. Limnology (査読有), **9**, 105-114 (2008).
- ⑦ 杉山裕子, P.G. Hatcher, 鈴木智代, 和田千弦, 熊谷哲, 三田村緒佐武, 片野俊也, 中野伸一, 田中祐志, V.V. Drucker, V.A. Fialkov, 杉山雅人: バイカル湖最深部における外来性溶存有機物の役割 -FT-ICR 質量分析を用いた分子レベルキャラクターリゼーション-. 日本 BICER 協議会年報 2007 年度 (査読無), 6-11 (2008).
- ⑧ 杉山裕子, P.G. Hatcher, 三田村緒佐武, 片野俊也, 熊谷哲, 中野伸一, V.V. Drucker, V.A. Fialkov, 杉山雅人: 超高分解能 FT-ICRMS を用いたバイカル湖水中未同定溶存有機物の解明. 地球化学 (査読有), **42**, 165-177 (2008).
- ⑨ 杉山雅人: 東北アジアの水事情. 人環フォーラム (査読無), **22**, 14-19 (2008).
- ⑩ 杉山裕子: 天然水に溶存する有機物の分子レベルでのキャラクターリゼーション. 海洋化学研究 (査読無), **20**, 23-30 (2007).
- ⑪ Y. Satoh, T. Katano, T. Satoh, O.

Mitamura, K. Anbutsu, S. Nakano, H. Ueno, M. Kihira, V. Drucker, Y. Tanaka, T. Mimura, Y. Watanabe and M. Sugiyama: Nutrient limitation of the primary production of phytoplankton in Lake Baikal. Limnology (査読有) **7**, 225-230 (2006).

[学会発表] (計 10 件)

- ① 杉山雅人: 水圏の化学: 琵琶湖-バイカル湖-日本の河川. 日本分析化学会近畿支部, 2008 年度 第 4 回提案公募型セミナー, かいめんの科学「虚と実、陰と陽」, 京都大学白浜海の家, 2009 年 1 月 31 日.
- ② 杉山裕子: 溶存有機物の新しいキャラクターリゼーション法, 水圏の腐植物質研究会 (日本分析化学会近畿支部 2008 年度第 3 回提案公募型セミナー), 神戸大学, 2008 年 11 月 29 日.
- ③ 杉山裕子, P. Hatcher, 熊谷哲, V. Drucker, V. Fialkov, 片野俊也, 三田村緒佐武, 中野伸一, 杉山雅人: バイカル湖深層水における河川起源溶存有機物の保存, 日本地球化学会第 55 回大会, 東京大学, 2008 年 9 月 16 日.
- ④ 和田千弦, 杉山裕子, 熊谷哲, P. Hatcher, 中野伸一, 三村徹郎, 渡辺泰徳, 佐藤泰哲, 田中祐志, V.A. Fialkov, V.V. Drucker, 杉山雅人: バイカル湖エニセイ流域における溶存有機物の分布と特徴. 日本地球惑星科学連合 2008 年大会, 幕張メッセ国際会議場, 2008 年 4 月 8 日.
- ⑤ 杉山裕子, P. Hatcher, 和田千弦, 鈴木智代, 熊谷哲, V. Drucker, V. Fialkov, 中野伸一, 杉山雅人: 超高分解能 FT-ICRMS を用いたバイカル湖における外来性・自生性溶存有機物の分子レベルキャラクターリゼーション. 日本地球化学会第 54 回大会, 岡山大学, 2007 年 9 月 20 日.
- ⑥ Y. Watanabe, Y. Hirano, T. Katano, Y. Satoh, T. Mimura, M. Sugiyama and V.V. Drucker: Nutrient limitation of planktonic and benthic bacteria at the littoral zone of Lake Baikal. International symposium of Microbiology in Lake Baikal, Irkutsk, Russia, 2007 年 9 月 12 日
- ⑦ M. Kihira, O. Mitamura, K. Anbutsu, H. Azumi, H. Yoshida, S. Nakano, T. Katano, Y. Satoh, V. Drucker and M. Sugiyama: Horizontal distribution and nutritional status of picophytoplankton in Lake Baikal

in summer. 30th Congress of the International Association of Theoretical and Applied Limnology, Montreal Convention Center, Montreal, Canada, 2007年8月13日.

⑧ Y. Sugiyama, P. Hatcher, C. Wada, T. Suzuki, T. Kumagai, V. Drucker, V. Fialkov, S. Nakano and M. Sugiyama: Characterization of Dissolved Organic Matter in the Lake Baikal by a Three-Dimensional Fluorescence Excitation-Emission Matrix Spectroscopy and High Performance Liquid Chromatography-Mass Spectrometry. 30th Congress of the International Association of Theoretical and Applied Limnology, Montreal Convention Center, Montreal, Canada, 2007年8月13日.

⑨ 鈴木智代, 杉山裕子, 和田千弦, 熊谷哲, 片野俊也, 中野伸一, 三田村緒佐武, 松浦嘉樹, V. V. Drucker, V. A. Fialkov, 杉山雅人: バイカル湖に溶存する有機物の三次元励起蛍光測定・質量分析によるキャラクタリゼーション. 日本陸水学会近畿支部会第18回研究会, 滋賀県琵琶湖・環境科学研究センター, 2007年3月10日.

⑩ 鈴木智代, 杉山裕子, 和田千弦, 熊谷哲, 片野俊也, 中野伸一, 三田村緒佐武, V. V. Drucker, V. A. Fialkov, 杉山雅人: バイカル湖に溶存する有機物の分子サイズ別分布と蛍光スペクトルの特徴について. 日本陸水学会第71回大会, 愛媛大学城北キャンパス, 2006年9月16日

[図書] (計1件)

① 杉山雅人: 陸水. 第5版 実験化学講座 20-2 環境化学 (日本化学会 編), 丸善, p. 88-94 (2007).

[その他]

なし

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

杉山 雅人 (SUGIYAMA MASAHIITO)  
京都大学・大学院地球環境学堂・教授  
研究者番号: 10179179

### (2) 研究分担者

なし

### (3) 連携研究者

渡辺 泰徳 (WATANABE YASUNORI)  
立正大学・地球環境科学部・教授  
研究者番号: 20112477

佐藤 泰哲 (SATO H YASUHIRO)  
山形大学・理学部・教授  
研究者番号: 60007177

三田村 緒佐武 (MITAMURA OSAMU)  
滋賀県立大学・環境科学部・教授  
研究者番号: 50030458

三村 徹郎 (MIMURA TETSURO)  
神戸大学・理学部・教授  
研究者番号: 20174120

田中 祐志 (TANAKA YUJI)  
東京海洋大学・海洋科学部・准教授  
研究者番号: 90207150

中野 伸一 (NAKANO SHINICHI)  
京都大学・生態学研究センター・教授  
研究者番号: 50270723

杉山 裕子 (SUGIYAMA YUKO)  
兵庫県立大学・環境人間学部・助教  
研究者番号: 40305694