

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 29 年 6 月 6 日現在

機関番号：36301

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2014～2016

課題番号：26340007

研究課題名(和文) 湖沼生態系への人為起源エアロゾルの広域的な影響評価に関する研究

研究課題名(英文) Assessing the effects of anthropogenic aerosols on lake ecosystems located in the central and southwest Japan during the past 100 years using paleolimnological approaches

研究代表者

槻木 玲美(加玲美)(Tsugeki, Narumi)

松山大学・法学部・教授

研究者番号：20423618

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,900,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は、我が国の湖沼への人為起源エアロゾルの影響を古陸水学的手法により明らかにするため、中央から西南日本に位置する5つの山岳湖沼を対象に、堆積物を採取して年代測定を行い、過去100年にわたる低次生産者の変動を再現すると共にその変動要因について、化石燃料燃焼由来の球状炭化粒子・窒素同位体比の測定、気象・集水域環境の既存資料を含めて解析を進めた。その結果、これまで研究の空白域であった九州地域の小田の池でも1990年代以降、プランクトンおよび球状炭化粒子の濃度が増加していることが判明し、我が国の山岳湖沼は広範囲にわたり、大気からの負荷影響で低次生産者が大きな影響を受けている可能性が明らかとなった。

研究成果の概要(英文)：Paleolimnological studies using sediment cores were carried out to assess the effects of anthropogenic aerosols on mountain lake ecosystems from the central to southwest Japan. In the Lake Shirakoma and Lake Odano, plankton biomasses increased around since the 1990s. In Lake Odano, the concentration of sedimentary SCPs (spheroidal carbonaceous particles) derived from fossil fuel combustion also increased around the 1990s, which indicates that coal combustion dust further expanded into this mountain area around that time. Additionally, sedimentary values of  $\delta^{15}\text{N}$  in this lake prominently decreased around since the 1990s. No continuous changes were detected in watershed and climate conditions around the lake at this time. All these results and previous studies suggest the increase of anthropogenically produced dust may impart damaging impacts on pristine mountain lakes in a wide area from Kyushu to Tohoku even if they are protected in national parks.

研究分野：古陸水学・古海洋学

キーワード：近過去 湖沼 古陸水学 プランクトン 人為起源エアロゾル アジア 環境影響評価 球状炭化粒子

### 1. 研究開始当初の背景

PM2.5に象徴される化石燃料由来の人為起源エアロゾルには、水域の富栄養化を引き起こす栄養塩(窒素やリン)が含まれている。このため、水域生態系への栄養塩負荷の拡大が懸念されている。実際、日本海では、海水中の栄養塩(硝酸)濃度が、ここ数十年間で増加傾向にあることが見いだされ、アジア大陸からの大気経由の栄養塩負荷の高まりによるものとする研究成果が報告された。

しかし、こうした人為起源エアロゾル増加が我が国の湖沼生態系に及ぼす影響については、ほとんど判っていない。東北地方八幡平国立公園の山岳湖沼を対象にした、申請者らの先行研究により、蓬萊沼では1990年頃より栄養塩濃度の増加とともに低次生産量が増加していることが判明した。さらに、北陸・北海道の山岳湖沼を対象にした予察的研究からも、1990年前後から動植物プランクトンが急激に増加している現象が明らかになりつつある。しかしながらアジア大陸での大気汚染の拡大が西日本の湖沼を含めて、どの程度の広がりを持って影響を与えているのか、評価されてこなかった。

### 2. 研究の目的

そこで本研究では、アジア大陸からの人為起源エアロゾルが我が国の湖沼にどのような影響を及ぼしているのかを広域的に解明することを目的とし、本州中央から九州地方の山岳湖沼を対象に湖底堆積物を用いた古陸水学的手法により過去100年にわたる低次生産者の変動を再現し、化石燃料燃焼起源の球状炭化粒子等とプランクトン変動との関係を解析した。対象とした湖沼は、九州大分県くじゅう国立公園内の小田の池・立石池、鳥取県大山国立公園内の干満が池および標高2,115mに位置する本州中央部八ヶ岳中信高原国立公園の白駒池と山梨県立自然公園の四尾連湖の5湖沼である。具体的には(1)年代軸確定のため<sup>210</sup>Pb測定、(2)低次生産変動を復元するための色素・遺骸分析、(3)化石燃料燃焼起源指標の球状炭化粒子の分析を行った。

### 3. 研究の方法

- (1) 本研究の堆積年代は、一般的に用いられている<sup>210</sup>Pb法のConstant Rate of Supply (CRS)モデルに従って計算した。CRSモデルによって得られた推定年代の確かさを評価するため、核実験由来の<sup>137</sup>Cs放射能強度鉛直プロファイルのピークから推定される年代(1964年)との整合性を確かめた。<sup>210</sup>Pb、<sup>214</sup>Pb、<sup>137</sup>Cの放射能強度は、γ線検出器(GXM25P, SEIKO EG&G ORTEC, Tokyo, Japan)を用いて測定した。
- (2) 本研究では、過去100年の低次生産量を復元するために色素・生物遺骸を分析した。植物プランクトン量の指標として、

堆積物に残されたクロロフィルとその分解産物(chlorophyll *a*, pheophytin *a*, pyropheophytin *a*, pheophorbide *a*)の総量を、また動物プランクトンの中でもミジンコ類はその遺骸が良好に保存されているので、これらを顕微鏡下で観察し、100以上の殻を計数した。色素の分析は静岡県立大、谷幸則准教授にご協力頂きHPLC (LC-10A, Shimadzu, Japan)フォトダイオードアレイ (SPD-M10AVP, Shimadzu, Japan)を用いて実施した。

- (3) 球状炭化粒子(Spheroidal Carbonaceous Particles, SCPs)の分析は、走査型電子顕微鏡/エネルギー分散型X線分析装置(SEM/EDAX EDS, CDU-LEAP detector Genesis software)を用いて定量を行った。なお、本研究では人為起源の窒素負荷を評価するため、窒素の安定同位体( $\delta^{15}\text{N}$ )も分析した。安定同位体分析は、岡山大学、異分野融合先端研究コアの兵藤不二夫准教授にご協力頂いた。

### 4. 研究成果

#### (1) 堆積物の年代

九州地方の小田の池と立石池は2014年5月に各湖の最深部にて重力式コアサンプラーにより長さ約26cmの柱状試料を採取した。<sup>210</sup>Pb法のCRSモデルによって得られた推定年代は、小田の池では、最深部26cmが西暦1950年頃、堆積深度20cmが1960年代初頭で<sup>137</sup>Cs放射能強度から推定される年代と調和的であった。このように小田の池は、連続的に、かつ予想以上に堆積速度が速い堆積物が得られた。一方、立石池は表層約10cmまで過剰<sup>210</sup>Pbがほとんど均質で減衰せず、表層が攪乱されていることが示唆された。

2014年11月に調査した鳥取県、大山国立公園内の干満が池では、ダイバーによるアクリルパイプを用いてコア採集を行い、長さ約39cmの柱状試料を3本ほど採取した。だが採取した堆積物は河川からの流入物と思われる碎屑物が多く含まれ、CRSモデルから、推定される堆積速度も想定以上に早く過去100年間の生態系変化を捉えられる湖底堆積試料は獲得できなかった。

2015年8月に調査した白駒池では、重力式コアサンプラーにより長さ約46cmの柱状試料を採取した。過剰<sup>210</sup>Pbは表層から深度6cmまで減衰率がほぼ一定であり、堆積環境が安定していることが示唆された。また過剰<sup>210</sup>Pbから推定される年代は、<sup>137</sup>Cs放射能強度のピークから推定される年代と調和的であった。過剰<sup>210</sup>Pbの結果に基づくCRSモデルから、堆積深度約20cmが約150年前頃、堆積深度約16-17cmの層準が1900年頃、深度6-7cm層が1960年頃と推測された。

白駒池と同じ時期の2015年8月に調査した山形県の四尾連湖でも、同様に重力式コアサンプラーを用いて長さ約37cmの柱状試料を採取した。過剰<sup>210</sup>Pbは堆積深度17cmまで

あまり顕著な減少を示さなかった。<sup>137</sup>Cs 放射能強度は深度 22cm 付近から増加し、その後、一定の高い値で推移していることが判明した。<sup>137</sup>Cs の放射能強度は、1950 年頃より増加するとされ、この <sup>137</sup>Cs 放射能強度から推定される年代と過剰 <sup>210</sup>Pb より推定された年代は調和的であったが、上述のとおり表層から深度 17 cm 付近まで過剰 <sup>210</sup>Pb の顕著な減少が認められないことから、四尾連湖の堆積物は表層 17cm 付近まで攪乱されている可能性が示唆された。

## (2) 動・植物プランクトン動態と化石燃焼由来の球状炭化粒子との関係

九州大分県の小田の池では、植物プランクトン量を指標するクロロフィルとその分解産物の濃度は、1950 年代から 1970 年代初頭までほとんど変化せず、1970 年代以降、1980 年代半ばにかけて急速に増加した。その後、再び、1990 年代以降、徐々に増加し、特に 2000 年代以降、現在にかけて急速に増加していることが判明した。動物プランクトンは、*Bosmina* が 1950 年代から 1960 年代初頭にかけて顕著に増加し、1970 年代と 1990 年代にわずかに増加した。

化石燃料の燃焼起源エアロゾルの指標である球状炭化粒子(SCPs)の濃度は、1960 年代から 1970 年代半ばにかけて急速に増加、その後あまり変化せず、1990 年代以降再び増加していることが判明した。興味深いことに、窒素同位体比( $\delta^{15}\text{N}_{\text{corrected}}$ )は、球状炭化粒子(SCPs)とほぼ同じ時期に変化することが明らかとなった。つまり、窒素同位体比は 1960 年代から 1970 年代半ばにかけて増加、1970 年代には減少傾向に転じ、その後、徐々に減少、特に 1990 年代以降から 2000 年代半ばにかけては、急速に減少した。上述のとおり、動物プランクトンは 1970 年代に僅かに増加する。この時期は、集水域環境あるいは気象条件に大きな変化は認められないものの、九州地域での電力生産量が拡大する時期に相当する。従って、この増加は、国内での電力生産量拡大に示されるエアロゾル量の高まりによる影響を受けているのかもしれない。一方、1990 年代以降は、窒素同位体比が急速に低下すると共に、化石燃焼起源の球状炭化粒子の濃度がさらに顕著に増加する。従って、1990 年代以降のプランクトン増加は、近年の人為起源エアロゾル量の高まりによる大気からの栄養塩負荷の拡大によるものと考えられた。

長野県の白駒池では、動物プランクトンのミジンコ *Daphnia* やシカクミジンコ *Alona* が 1960 年代と 1990 年代以降、2000 年代にかけて、急速に個体数を増加させていることが明らかとなった。1960 年代の増加が何によってもたらされたものなのか解析を進めた所、この時期に白駒池周辺の気象条件に大きな変化は認められないが、登山ブームや湖周辺での道路建設など集水域での土地開発が急速

に進んできた時期に一致していることが明らかとなった。従って 1960 年代の増加は、湖周辺の環境変化により、富栄養化が進行した影響の可能性が高い。一方、1990 年代以降のミジンコの増加は、先行研究で調査していた東北地方の蓬萊沼でも共通して認められている。蓬萊沼では、安定同位体や重金属分析の結果から、アジア大陸での経済発展に伴う化石燃焼拡大により、日本に飛来する人為起源エアロゾル量が増加し、栄養塩負荷が高まり基礎生産が増加したことで、動物プランクトンのミジンコも増加した可能性が示された。本研究の白駒池でも、同様に増加していることから、これまで空白域であった中部日本内陸域の自然豊かな湖沼においても、大気からの負荷影響で、低次生産者が大きな影響を受けている可能性が明らかとなった。

## 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 3 件)

1. Tsugeki N. K., Kuwae M., Tani Y., Guo X., Omori K., Takeoka H. (2017) Temporal variations of phytoplankton biomass over the past 150 years in the western Seto Inland Sea, Japan. *Journal of Oceanography* 73 309-320(査読有)
2. Hyodo F., Kuwae M., Sasaki N., Hayashi R., Makino W., Kusaka S., Tsugeki N. K., Ishida S., Ohtsuki H., Omoto K., Urabe J. (2017) Variations in lignin-derived phenols in sediments of Japanese lakes over the last century and their relation to watershed vegetation. *Organic Geochemistry* 103 125-135(査読有)
3. Ohtsuki, H., T. Awano, Tsugeki N. K., S. Ishida, H. Oda, W. Makino, J. Urabe (2015) Historical changes in the plankton community of a small mountain lake over the past 60 years as revealed by *Daphnia* ephippial carapaces stored in lake sediments. *PLoSOne*: DOI:10.1371/journal.pone.0119767(査読有)

[学会発表](計 0 件)

[図書](計 2 件)

1. 槻木玲美, 占部城太郎, 共立出版、湖沼近過去調査法—より良い湖沼環境と保全目標設定のために (5 章担当:光合成色素と遺骸による藻類群集の変遷)、2014、77 - 100  
ISBN: 978-4-320-05735-7
2. 槻木玲美, 占部城太郎, 共立出版、湖沼近過去調査法—より良い湖沼環境と保全目標設定のために (6 章担当: 動物プ

ランクトン遺骸の定量と群集復元)、2014、  
101 - 122  
ISBN: 978-4-320-05735-7

〔産業財産権〕  
該当なし

○出願状況（計 0 件）

名称：  
発明者：  
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

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

槻木 玲美 (加玲美) (TSUGKI, Narumi)  
松山大学・法学部・教授  
研究者番号：20423618

### (2) 研究分担者

井上 淳 (INOUE, Jun)  
大阪市立大学・大学院理学研究科・准教授  
研究者番号：90514456

加 三千宣 (KUWAE, Michinobu)  
愛媛大学・沿岸環境科学研究センター・准  
教授  
研究者番号：70448380

### (3) 連携研究者

阿草 哲郎 (AGUSA, Tetsuro)  
熊本県立大学・環境資源学科・准教授  
研究者番号：50403853