

# 自然湖沼における気候変動影響の観測と評価

高津 文人	(地域環境保全領域)
霜鳥 孝一	(琵琶湖分室)
角谷 拓	(生物多様性領域)
今藤 夏子	(生物多様性領域)
松崎 慎一郎	(生物多様性領域)

# 研究テーマの概略（基礎情報）

- ・研究期間：2021～2025
- ・研究課題名　自然湖沼における気候変動影響の観測と評価
- ・キーワード　高水温、貧酸素化、高頻度観測、時系列変動解析、メタン、水草
- ・研究代表者　国立環境研究所地域環境保全領域　高津 文人
- ・参加機関：北海道釧路市教育委員会、秋田県健康環境センター、福島県環境創造センター、茨城県霞ヶ浦環境科学センター、栃木県保健環境センター、滋賀県琵琶湖環境科学研究センター、鹿児島県環境保健センター

・研究概要：猛暑日や集中豪雨といった気候変動に伴い、高水温化や底層の貧酸素化は多くの淡水自然湖沼でも常態化すると考えられている。その影響を少しでも軽減するため、まずは高水温化や貧酸素化の現状把握と在来魚を含む水生生物の減少や水質環境への影響監視が必要である。そこで、7道県の多様な自然湖沼を対象に、水温や底層溶存酸素量を高頻度で観測し、湖水の酸素代謝変数の温度依存性や気象依存性を評価し、短期的な貧酸素化要因を明らかにする。

・研究の特色：南は鹿児島県の池田湖から北は北海道の阿寒湖まで、水深は池田湖の230mから南湖の3mまで、多様な湖沼を調査対象としている。また、高水温化や貧酸素化の影響として、生物・ガス・栄養塩という3つの側面から重層的に調査・解析しており、生物多様性の保全やカーボンニュートラルを考慮した気候変動適応策を考えている。

# 主な研究成果① (2023年度)

## 【頻発する猛暑が湖底の貧酸素化を引き起こす可能性】

近年、気候変動の影響によって、夏季の猛暑の頻度が世界的に増加していることが報告されています。湖では、水の表面が温められると、成層が発達し、湖面から湖底への酸素供給が滞ることで貧酸素水塊が発生します。そこで本研究では、霞ヶ浦を対象にし、2022年6月から7月にかけて発生した猛暑が、湖の貧酸素化にどの程度影響を与えたかを明らかにしました。

シミュレーションを行った結果、猛暑が発生した際に風が弱かったことで底層溶存酸素濃度が低下したことがわかりました（右上図）。風速や日射・気温が平年並み（風速+50%、日射-31%，気温-17%）であった場合、貧酸素水塊が解消することも明らかになりました（右中図、右下図）。

## Geophysical Research Letters\*

### RESEARCH LETTER

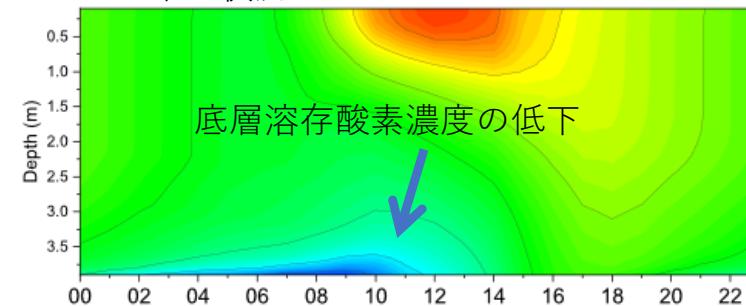
10.1029/2023GL102967

#### Key Points:

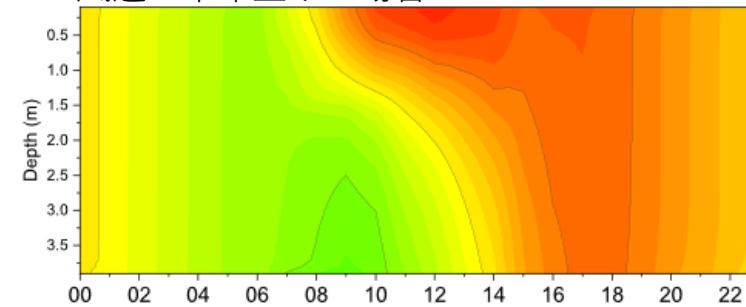
### Heat Waves Can Cause Hypoxia in Shallow Lakes

Ryuichiro Shinohara<sup>1</sup> , Shin-Ichiro S. Matsuzaki<sup>1</sup> , Mirai Watanabe<sup>1</sup> , Megumi Nakagawa<sup>1</sup>, Hajime Yoshida<sup>2</sup>, and Ayato Kohzu<sup>1</sup>

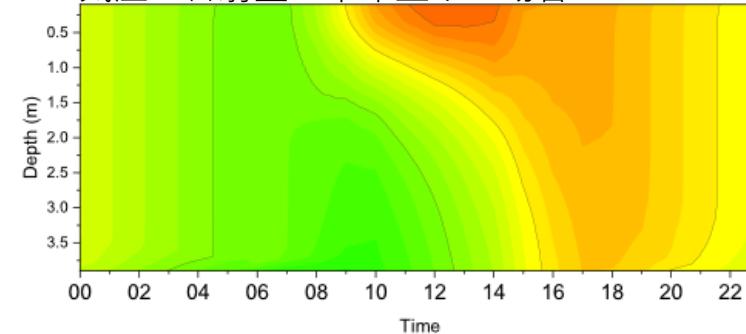
#### 2022年の状況



#### 風速が平年並みの場合



#### 気温・日射量が平年並みの場合



# 主な研究成果② (2023年度)

【湖沼の熱収支モデルに基づく全層循環指標*LaMix*が大型湖沼の全層循環の発生時期を予測】

気候変動下で大型湖沼の水温躍層が固定化し、湖の底層水と表層水が循環（全層循環）し始める時期が遅くなり、湖底の貧酸素化リスクが増大していると言われています。

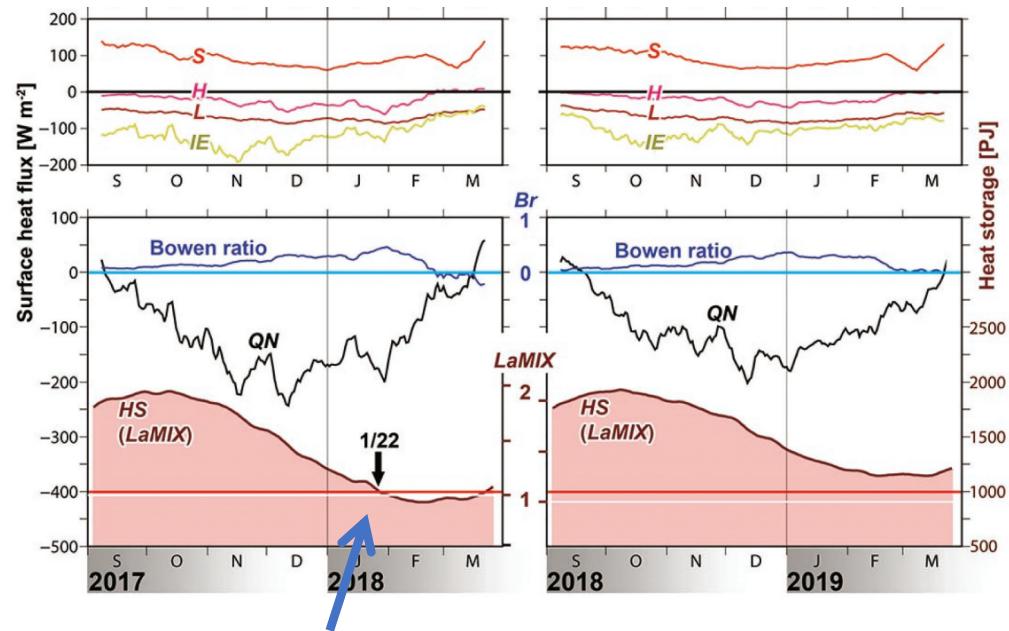
そこで、琵琶湖の高解像度の熱収支モデルを作成し、そこから全層循環の開始時期の予測が可能となる全層循環指標*LaMix*を開発しました。この指標が1付近まで低下するようになると全層循環が発生し、逆に低下しなかった年は全層循環に至らないことが、琵琶湖で確かめられ、他の全国深水湖（猪苗代湖、池田湖、摩周湖等）に展開し、解析を進めている。*LaMix*指標は、各時点での貯熱量を昨年の最小貯熱量で除したもので、湖沼が冷却されることで低下する指標になります。

HYDROLOGICAL SCIENCES JOURNAL  
2023, VOL. 68, NO. 16, 2298–2316  
<https://doi.org/10.1080/02626667.2023.2262455>

## What interrupted monomictic mixing in Lake Biwa? Heat budget analysis using a circulation model

Satoshi Nakada <sup>a</sup>, Akio Imai<sup>a</sup>, Koichi Shimotori<sup>a</sup>, Kenta Yamada<sup>b†</sup>, Haruki Yamamoto<sup>b</sup> and Takahiro Okamoto<sup>b</sup>

<sup>a</sup>Regional Environment Conservation Division, National Institute for Environmental Studies, Tsukuba, Japan; <sup>b</sup>Environmental Monitoring Division, Lake Biwa Environmental Research Institute, Otsu, Japan



開発した*LaMix*指標が1付近まで低下した1/22に実際に全層循環が見られた。

$$LaMix = HS / HS_{min(PY)}$$

# 主な研究成果③ (2022年度)

## 【湖沼の長期観測データを利用した、急激な生態系変化の要因解析】

気候変動下では、高水温に加えて、洪水や干ばつといった降雨の極端現象も頻発するようになります。こうした極端現象が湖沼生態系を大きく変える可能性が指摘されていましたが、その因果関係を検証する手法が確立されていませんでした。

そこで、時系列変動解析の一種である出現タイミングの一致分析を利用し、霞ヶ浦で、月400mmを超える大雨のあった時期のあと数ヶ月から数年で植物プランクトンの組成が大きく変化することを示しました。

30年以上にわたる長期観測データの重要性とその利用方法に新たな視点を入れることができました。



Contents lists available at ScienceDirect

Science of the Total Environment

journal homepage: [www.elsevier.com/locate/scitotenv](http://www.elsevier.com/locate/scitotenv)



Identifying the true drivers of abrupt changes in ecosystem state with a focus on time lags: Extreme precipitation can determine water quality in shallow lakes

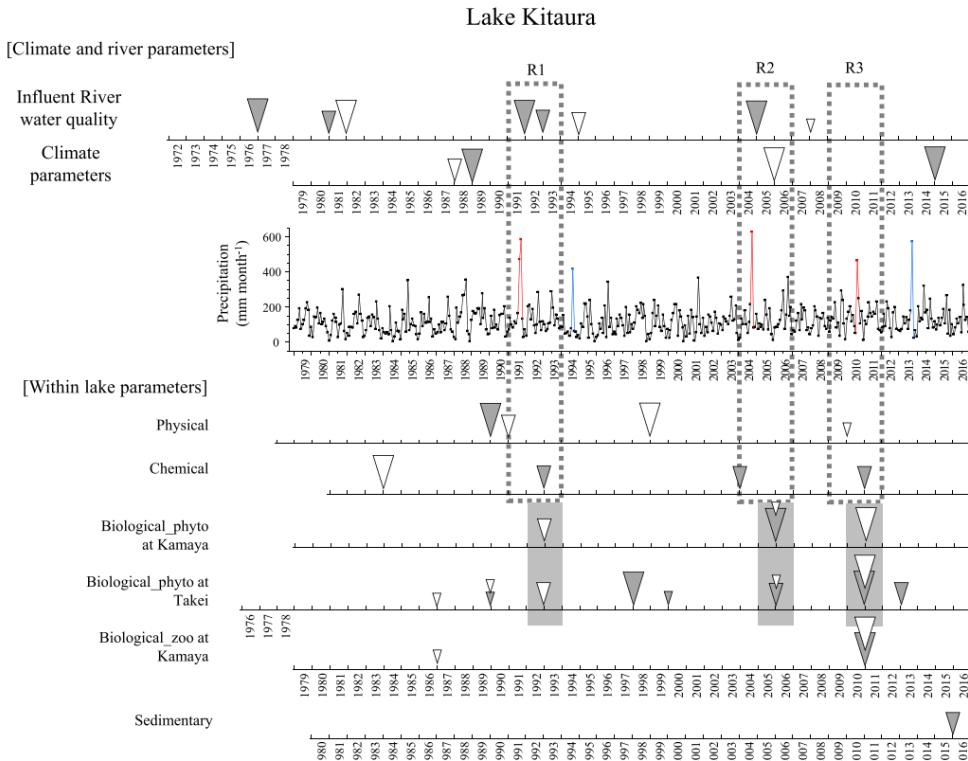
Atsushi Kohzu <sup>a,\*</sup>, Shin-ichiro S. Matsuzaki <sup>b</sup>, Shunsuke Komuro <sup>c</sup>, Kazuhiro Komatsu <sup>a,d</sup>, Noriko Takamura <sup>b</sup>, Megumi Nakagawa <sup>b</sup>, Akio Imai <sup>a</sup>, Takehiko Fukushima <sup>c</sup>

<sup>a</sup> Regional Environmental Conservation Division, National Institute for Environmental Studies, 16-2 Onogawa, Tsukuba, Ibaraki 305-8506, Japan

<sup>b</sup> Biodiversity Division, National Institute for Environmental Studies, 16-2 Onogawa, Tsukuba, Ibaraki 305-8506, Japan

<sup>c</sup> Ibaraki Kasumigaura Environmental Science Center, 1853 Okijyuku, Tsuchiura, Ibaraki 300-0023, Japan

<sup>d</sup> Department of Engineering, Shinshu University, 4-17-1 Wakasato, Nagano 380-0928, Japan



# 主な研究成果④ (2021年度)

## 【春季の水温上昇が富栄養湖沼の底泥からの栄養塩溶出を加速する可能性】

日本では春季の日射量が増大し、5月に水温の顕著な上昇がみられます。浅い湖沼では、水温が上昇すると底泥表層の温度も上昇しますが、そのことで富栄養湖沼の底泥中に豊富に蓄えられている栄養塩が湖水柱に放出されやすくなることが危惧されてきました。

本研究では、霞ヶ浦の3水域の3年にわたる底泥間隙水中の栄養塩濃度のデータを解析することで、底泥から湖水柱へ栄養塩類が放出される速度を推定し、泥温が20~25°C以上になると、急激に湖水柱へ放出されやすくなることを示すことができました。

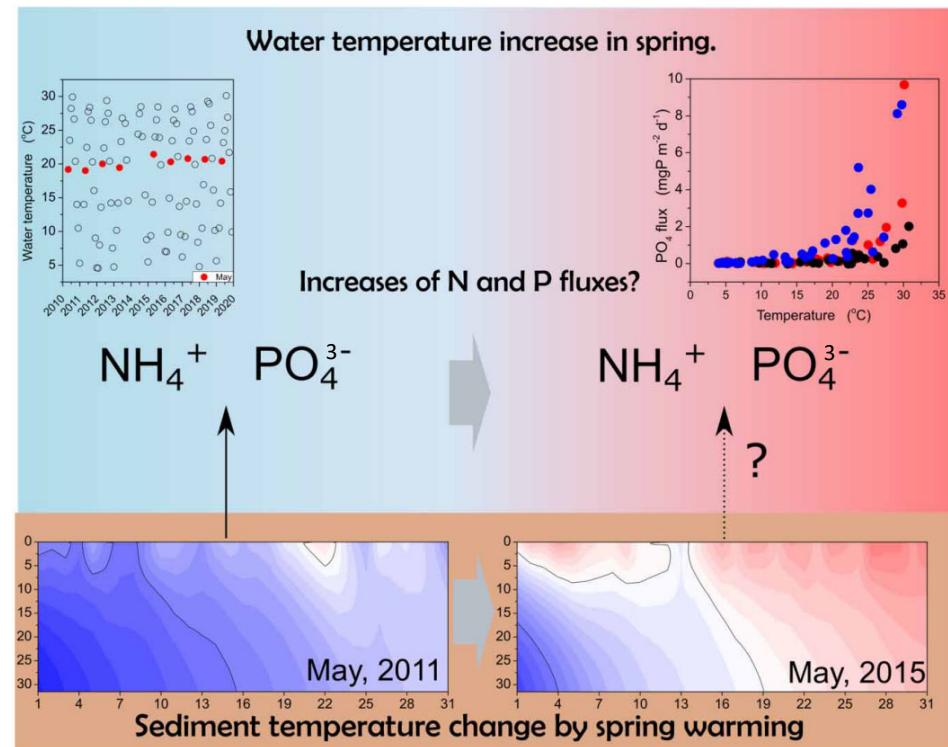
のことから、春季の日射量の増大が、富栄養化湖沼のさらなる富栄養化を進める可能性が示唆されました。

### Warming of water temperature in spring and nutrient release from sediment in a shallow eutrophic lake

Ryuichiro Shinohara , Kenji Tsuchiya and Ayato Kohzu

National Institute for Environmental Studies, 16-2 Onogawa, Tsukuba, Ibaraki 305-8506, Japan

\*Corresponding author. E-mail: r-shino@nies.go.jp



## 【原著論文】

Shinohara R., Matsuzaki S., Watanabe Mirai., Nakagawa M., Yoshida H., Kohzu A. (2023) Heat Waves Can Cause Hypoxia in Shallow Lakes. *Geophysical Research Letters*, 50(8), e2023GL102967

Nakada S., Imai A., Shimotori K., Yamada K., Yamamoto H., Okamoto T. (2023) What interrupted monomictic mixing in Lake Biwa? Heat budget analysis using a circulation model. *Hydrological Sciences Journal*, 68(16), 2298

Kohzu A., Matsuzaki S.S., Komuro S., Komatsu K., Takamura N., Nakagawa M., Imai A., Fukushima T. (2023) Identifying the true drivers of abrupt changes in ecosystem state with a focus on time lags: extreme precipitation can determine water quality in shallow lakes. *Science of The Total Environment* 881, 163097

Shinohara R., Tsuchiya K., Kohzu A. (2021) Warming of water temperature in spring and nutrient release from sediment in a shallow eutrophic lake. *Journal of Water and Climate Change*, 12 (7), 3187

## 【学会発表】

高津文人, 土屋健司, 三浦真吾, 霜鳥孝一 (2024) 湖沼の底泥表層中のバブルメタン蓄積量の相対評価と影響因子. 第58回日本水環境学会年会, 同予稿集

松崎慎一郎, 高津文人, 渡邊未来, 今藤夏子 (2023) 湧水を用いた無施肥レンコン栽培: レガシー窒素の浄化と生物多様性保全機能. 日本生態学会第70回全国大会, 同予稿集

土屋健司, 高津文人, 三浦真吾 (2023) 河川におけるメタン負荷量の推定. 第57回日本水環境学会年会, 同予稿集, 228

中西康介, 横溝裕行, 深谷肇一, 角谷拓, 松崎慎一郎, 西廣淳, 高津文人, 林岳彦 (2022) 琵琶湖の透明度上昇に対する大渴水の因果効果の推定. 日本生態学会第69回全国大会, 同予稿集

福森香代子, 今藤夏子, 高津文人, 土屋 健司, 角谷拓 (2022) 湯ノ湖におけるサケ科魚類の分布推定-水温と溶存酸素濃度は分布の制約となるか? -,. 第69回日本生態学会大会, 同予稿集

篠原隆一郎, 松崎慎一郎, 中川恵, 土屋 健司, 高津文人 (2022) 全天日射量増加は植物プランクトンの光合成速度増加にも寄与しているのか? 第86回日本陸水学会年会, 同予稿集, 78

## 【学会発表】

Kohzu A., S. Matsuzaki S. Shin-ichiro, Komuro S., Komatsu K., Takamura N., Nakagawa M, Imai A., Fukushima T. (2023) Which is important for the algal abrupt transition in two Japanese lakes, abrupt baseline change or event in the upper rank parameters? Freshwater Sciences 2023 (3rd-7th June, Australia), P613

Katayose R., Kadoya T., Matsuzaki S Shin-Ichiro, Kohzu A., Akasaka M. (2023) Winter circulation and surface water temperature differently change lake phytoplankton communities. Freshwater Sciences 2023 (3rd-7th June, Australia), P615

篠原 隆一郎, 松崎 慎一郎, 渡邊 未来, 中川 恵, 吉田 基, 高津 文人 (2023) 猛暑によって底層貧酸素が拡大する可能性. 日本陸水学会第87回大会, 同予稿集, 87

Fukumori K., Kondo N., Kohzu A., Tsuchiya K., Ito H., Kadoya T. (2023) Vertical distribution of two salmonid species in response. ESA 2023 (3th-7th July, Australia)

高津 文人, 土屋 健司, 三浦 真吾, 霜鳥 孝一 (2024) 湖沼の底泥表層中のバブルメタン蓄積量の相対評価と影響因子. 第58回日本水環境学会年会, 同予稿集, 2B102