

戦略的国際共同研究プログラム(SICORP)

日本－イスラエル共同研究

終了報告書 概要

1. 研究課題名：「先進 ICT を用いた淡水生態系復元力の監視」
2. 研究期間：2018 年 6 月～2023 年 3 月
3. 主な参加研究者名：
日本側チーム

	氏名	役職	所属	研究分担
研究代表者	熊谷 道夫	客員研究 教員・教授	立命館大学 総合 科学技術研究機構	総括と SASV の 開発
主たる 共同研究者	朴 虎東	教授	信州大学 理学部	アオコのモニ タリングと毒 素分析
主たる 共同研究者	John C. Wells	教授	立命館大学 理工 学部	流動場のデー タ同化
主たる 共同研究者	入江 政安	教授	大阪大学 大学院 工学研究科地球総 合工学専攻	流動水質モデ ル
主たる 共同研究者	三好 建正	チームリ ーダー	理化学研究所 計 算科学研究センタ ー	流動場のデー タ同化
研究参加者	吉山 浩平	准教授	滋賀県立大学環境 科学部	アオコ発生の 数理モデル
研究期間中の全参加研究者数			11名	

相手側チーム

	氏名	役職	所属	研究分担
研究代表者	Ilia Ostrovsky	Senior Scientist	Kinneret Limnological Laboratory Israel Oceanographic & Limnological Research	観測と数値モ デル
主たる 共同研究者	Assaf Sukenik	Senior Scientist	Kinneret Limnological Laboratory Israel Oceanographic & Limnological Research	シアノバクテ リア解析
研究参加者	Tamar Zohary	Senior Scientist	Kinneret Limnological Laboratory Israel Oceanographic & Limnological Research	植物プランク トン解析
研究期間中の全参加研究者数			5名	

4. 国際共同研究の概要

SASV（ソーラーエネルギーを用いた自律型水面ロボット）による毒性シアノバクテリア監視システムを開発し、イスラエルの研究者と共同で湖沼での試験観測を行った。また、開発した 3 次元数値モデルおよび数理モデルの結果について意見交換を行った。さらに、SNS を用いたシアノバクテリアの簡易監視システム開発を行った。これらを組み合わせることによって、従来、現地観測が困難であると言われていたアオコを形成するシアノバクテリアの空間構造を理解することが可能となり、新しい監視システムと数値シミュレーション

ョンモデルおよび数理モデルの開発に貢献した。

5. 国際共同研究の成果

5-1 国際共同研究の学術成果および実施内容

本研究は、モニタリングチームとモデリングチームに分かれて研究開発を行った。モニタリングチームの主体は、SASV (Solar-based Autonomous Surface Vehicle) の開発によるシアノバクテリアの監視システム開発であり、2021 年度にキンネレット湖と琵琶湖での相互比較を行う予定であったが、COVID-19 の蔓延拡大のため、2021 年度には実施できなかった。2022 年 8 月と 2023 年 4 月に、現地実験を行うことができた。さらに、COVID-19 へのバックアップとして、スマートフォンを用いたアオコ迅速監視システムの開発に着手した。実験室レベルでうまく分離できるようになったので、水面における光の反射を除去するようにシステムの改良を行い、研究成果をベルリンで開催された国際陸水学会 (SIL100) で発表した。モデリングチームは、2020 年度までに数値モデルの構築を終了しており、2021 年度にキンネレット湖および琵琶湖でのフィールドデータを用いた実予測を目指していたが、COVID-19 の影響で実施することができなかった。よってモニタリングチームと同様に 2022 年 8 月にキンネレット湖を訪問し、研究成果の検証を行った。数理モデルでも興味深い研究成果が得られており、48 時間周期というアオコを形成する藻類の周期パターンが見いだされた。これは、小型のコロニーをもつ藻類の固有振動が、昼夜の周期と同期した結果、48 時間周期が実現されると考えている。

5-2 国際共同研究による相乗効果

2018 年から始まった二国間共同研究では、最新の計測システムを用いた異なった湖沼におけるシアノバクテリアの比較研究が大きなテーマであった。最も興味深かったのは、二つの湖に生息するシアノバクテリアが有する色素が異なっているということであった。このような比較研究は、実際に現地に行き計測をしないと理解できないことである。今回の二国間共同研究では、飲料水源の水質など秘匿性の高い情報交換が対面でできたことが有意義であった。

5-3 国際共同研究成果の波及効果と今後の展望

今回の共同研究で開発した SASV は、シアノバクテリアの監視だけでなく、異常気象による集中豪雨や強風など急激な変化が多発する災害の監視にも利用できる可能性がある。さらに、実空間での SASV による環境監視だけでなく、仮想空間でのシミュレーションも取り入れることによって、個々の SASV の運航状況や管理状況を事前に把握し、注意や警告を発出することや安全で効率的な運航が可能になる。そのような取り組みの準備段階として、我々は認定 NPO 法人びわ湖トラストと協力して E/SASV を実施することにした。

Strategic International Collaborative Research Program (SICORP)
 Japan – Israel Joint Research Program
 Executive Summary of Final Report

1. Project title : Advanced ICT for monitoring freshwater ecosystem resilience
2. Research period : June 2018 ~ March 2023
3. Main participants :

Japan-side

	Name	Title	Affiliation	Role in the research project
PI	Michio Kumagai	Adjunct Professor	Ritsumeikan University	Overall coordinator
Co-PI	Park Ho-dong	Professor	Shinshu University	Cyanobacteria
Co-PI	Jon C. Wells	Professor	Ritsumeikan University	Data assimilation
Co-PI	Yasumasa Irie	Professor	Osaka University	Numerical simulation
Co-PI	Takemasa Miyoshi	Team Leader	RIKEN Center for Computational Science	Data assimilation
Collaborator	Kohei Yoshiyama	Associate Professor	Shiga Prefectural University	Mathematical modelling
Total number of participants throughout the research period:				Number 11

Partner-side

	Name	Title	Affiliation	Role in the research project
PI	Ilia Ostrovsky	Senior Scientist	Kinneret Limnological Laboratory Israel Oceanographic & Limnological Research	Observation and numerical model
Co-PI	Assaf Sukenik	Senior Scientist	Kinneret Limnological Laboratory Israel Oceanographic & Limnological Research	Cyanobacteria analysis
Collaborator	Tamar Zohary	Senior Scientist	Kinneret Limnological Laboratory Israel Oceanographic & Limnological Research	Phytoplankton analysis
Total number of participants throughout the research period:				Number 5

4. Summary of the international joint research

We developed a toxic cyanobacteria monitoring system using SASV (Solar-based Autonomous Surface water Vehicle) and conducted test measurements in Lake Kinneret in collaboration with Japanese researchers. Also, we exchanged our opinions on the results of the developed 3D numerical simulation model and mathematical model. By combining these technologies, it became possible to understand the spatial structure of cyanobacteria that form blue-green algae, which are different from freshwater cyanobacteria like Lake Biwa. We could contribute to the development of a new monitoring system of SASV combined with

numerical simulation model and/or mathematical model.

5. Outcomes of the international joint research

5-1 Scientific outputs and implemented activities of the joint research

Based on the research activities of the Israeli group as part of the project, four papers were published in leading scientific journals. Following the submission of the final reports to the local funding agencies the partners will devote efforts to summarize the project output in joint publications.

The insight of the Israeli group on biological and physical processes affecting the *Microcystis* population and its bloom formation were discussed and implemented in the modeling efforts by the Japanese group.

The experience of the Japanese group in the design, construction, and operation of SASV played a pivot role in the production of the system that was delivered to Lake Kinneret. However local constraints such as intense wind and poor communication impaired the operation of the vehicle.

5-2 Synergistic effects of the joint research

The collaboration between the Japanese and Israeli groups brings together diverse areas of expertise, allowing for a comprehensive and holistic approach to studying and addressing the challenges related to cyanobacteria and their impact on lake ecosystems. The Japanese group's leadership in atmospheric and lake physics models provided a solid foundation for understanding the complex interactions between the atmosphere, water bodies, and cyanobacteria. Their expertise in modelling allowed for accurate predictions and simulations of cyanobacterial blooms, helping to identify key factors contributing to their formation and persistence. This knowledge is crucial for developing effective strategies to mitigate the harmful effects of cyanobacteria on the environment and human health.

Complementing the Japanese group's modelling capabilities, the Israeli team brings expertise in non-invasive monitoring techniques and a deep understanding of cyanobacteria physiology. Non-invasive monitoring techniques enable the continuous and real-time assessment of cyanobacterial populations, their growth patterns, and toxin production without disturbing the delicate balance of the ecosystem. This valuable information, combined with the Israeli team's understanding of cyanobacteria physiology, allows for the interpretation of the data and a better understanding of the underlying mechanisms driving cyanobacterial blooms.

5-3 Scientific, industrial or societal impacts/effects of the outputs

The SASV developed in this joint research has the potential to be used not only to monitor cyanobacteria, but also to monitor disasters that frequently undergo sudden changes, such as torrential rain and strong winds caused by global climate change. Furthermore, by incorporating not only environmental monitoring by SASV in real space but also simulation in virtual space, it is possible to grasp the operation status and management status of each SASV in advance, issue warnings and warnings, and operate safely and efficiently. As a preparatory step for such efforts, we decided to implement E/SASV in cooperation with the certified NPO Biwako Trust.

国際共同研究における主要な研究成果リスト

1. 論文発表等

*原著論文 (相手側研究チームとの共著論文) 発表件数 : 計 2 件

・査読有り : 発表件数 : 計 2 件

Friedrich Recknagel, Ho-Dong Park, Assaf Sukenik and Tamar Zohary (2022) Dissolved organic nitrogen, dinoflagellates and cyanobacteria in two eutrophic lakes: Analysis by inferential modelling. *Harmful Algae* 114:1-11.

Chang, C.-W., T. Miki, H. Ye, S. Souissi, R. Adrian, O. Anneville, H. Agasild¹¹, S. Ban, Y. Be'eri-Shlevin, Y. Chiang, H. Feuchtmayr, G. Gal, S. Ichise, M. Kagami, M. Kumagai, X. Liu, S.S. Matsuzaki, M. M. Manca, P. Nöges, R. Piscia, M. Rogora, F.-K. Shiah, S. J. Thackeray, C.E. Widdicombe, J.-T. Wu, T. Zohary and C.-h. Hsieh (2022) Causal networks of phytoplankton diversity and biomass are modulated by environmental context. *NATURE COMMUNICATIONS*. 13:1140, doi.org/10.1038/s41467-022-28761-3.

・査読無し : 発表件数 : 0 件

該当なし

*原著論文 (相手側研究チームを含まない日本側研究チームの論文) : 発表件数 : 計 8 件

・査読有り : 発表件数 : 計 8 件

Kohei Takatama, John C. Wells, Yusuke Uchiyama, Takemasa Miyoshi, Simulating rapid water level decrease of Lake Biwa due to Typhoon Jebi (2018), In: *Numerical Weather Prediction: East Asian Perspectives*, S. K. Park (Ed.), Springer Nature, Switzerland.

Sasano, M., A. Okamoto, M. Kumagai and S. Takashima (2019): Optical investigation of archaeological remains on bottom of Lake Biwa by a hovering-type AUV "Hobalin". *2019 IEEE Underwater Technology (UT)*

Bégin, P.N., Y. Tanabe, M. Kumagai, A.I. Culley, M. Paquette, D. Sarrazin, M. Uchida and W.F. Vincent. (2020) : Extreme warming and regime shift toward amplified variability in a far northern lake. *Limnol. Oceanogr.* 9999: 1–13.

Iwaki, M., Y. Yamashiki, K. Muraoka, T. Toda, C. Jiao and M. Kumagai (2020) : Effect of precipitation-influenced river influx on Lake Biwa water levels: time scale analysis based on an impulse response function, *Inland Waters*, 10:2, 283-294

Chang, C., H. Ye, T. Miki¹, E. R. Deyle, S. Souissi, O. Anneville, R. Adrian, Y. Chiang, S. Ichise, M. Kumagai, S. S. Matsuzaki, F. Shiah, J. Wu, C. Hsieh and G. Sugihara (2020): Long-term warming destabilizes aquatic ecosystems through weakening biodiversity-mediated causal networks. *Global Change Biology*.

Kumagai, M., R. Robarts and Y. Aota (2021): Increasing benthic vent formation: a threat to Japan's ancient lake. *Scientific Reports* 11(4175).

Iwaki, M., Y. Yamashiki, T. Toda, C. Jiao and M. Kumagai (2021) Estimation of the Average Retention Time of Precipitation at the Surface of a Catchment Area for Lake Biwa. *Water* 2021, 13, 1711.

Culley, A.I., Thaler, M., Kochtitzky, W., Iqaluk, P., Rapp, J.Z., Rautio, M., Kumagai, M., Copland, L., Vincent, W.F., Girard, C. 2023. The Thores Lake proglacial system: remnant stability in the rapidly changing High Arctic. *Arctic Science*. 00: 1–14. dx.doi.org/10.1139/as-2022-002.

・査読無し：発表件数：計 1 件

Kohei Takatama, John C. Wells, Yusuke Uchiyama, Takemasa Miyoshi "Simulating rapid water level decrease of Lake Biwa due to Typhoon Jebi (2018)". In: Numerical Weather Prediction: East Asian Perspectives, S. K. Park (Ed.), Springer Nature, Switzerland.

*その他の著作物 (相手側研究チームとの共著総説、書籍など)：発表件数：計 0 件
該当なし

*その他の著作物 (相手側研究チームを含まない日本側研究チームの総説、書籍など)：発表件数：計 2 件

熊谷道夫・青田容明・中島拓男 (2019)：ジュニアドクター育成塾－日本最大・最古の湖 びわ湖から学ぶガイアの世界－. 国立大学法人研究推進機構環境総合研究センター. 16:3-13.

熊谷道夫 (2020)：温暖化と琵琶湖－全循環 (深呼吸) のひみつ. 湖国と文化. 173:18-25.

2. 学会発表

*口頭発表 (相手側研究チームとの連名発表)

発表件数：計 4 件 (うち招待講演：1 件)

Michio Kumagai, Iliia Ostrovsky, Advanced ICT for monitoring freshwater ecosystem resilience, SIL, Nanjing, 2018/8/21.

熊谷道夫 (立命館大・総合研)・Iliia Ostrovsky (Kinneret Limnological Laboratory)・Assaf Sukenik (KLL)・朴虎東 (信州大・理) 先進 I C T を用いた淡水生態系復元力の監視 その 1 SASV を用いた有毒藻類の迅速監視
日本陸水学会、金沢、2019 年 9 月 30 日

朴 虎東 (信州大・理)・Iliia Ostrovsky (Kinneret Limnological Laboratory) , Assaf Sukenik (KLL)、熊谷道夫 (立命館大・総合研) 先進 I C T を用いた淡水生態系復元力の監視 その 2 イスラエル・キネレット湖における有毒藻類の特性
日本陸水学会、金沢、2019 年 9 月 30 日

John Wells, Xin Liu, Naoshige Goto, Takanori Nagano, Iliia Ostrovsky, Ziwei Zhang, Masayasu Irie, Syuhei Ban, Dietmar Rempfer "Evaluating the skill of hydrodynamic simulations in two stratified lakes by Principal Component Analysis" (abstract ON040) 36th Congress of the International Society of Limnology. Berlin, Germany, Aug 7-10, 2022

*口頭発表 (相手側研究チームを含まない日本側研究チームの発表)

発表件数：計 11 件 (うち招待講演：2 件)

J. C. Wells, C.-F. Chen, H. Uchida, T. Ohara, K. Okubo, E. Inoue, Acoustic tomography in the north basin of Lake Biwa, Japan, SIL, Nanjing, 2018/8/21

三好建正、「理研研究紹介」、理研-水産機構 スジアラ養殖技術高度化検討ワークショップ、沖縄、2018 年 9 月 26 日

三好建正、「データ同化から予測科学へ：水産分野の予測に向けて」、理化学研究所-水産研究・教育機構 水産資源・海洋研究連携検討ワークショップ、横浜、2018 年 2 月 6 日

Takemasa Miyoshi, Big Data Assimilation: A New Science for Weather Prediction and Beyond, SICORP research meeting, Otsu, Japan, 14 April, 2019.

Takatama, K., S. Kotsuki, K. Kurosawa, T. Miyoshi, and Y. Uchiyama: "Progress on simulation research for Tokyo Bay and Lake Biwa using ROMS", SICORP research meeting, Otsu, Japan, 14 April, 2019

高玉 孝平, 小槻峻司, 黒澤賢太, 三好建正, 内山雄介: "ROMS による東京湾の数値シミュレーション" 第1回理研-水研機構研究情報交換会、2019年5月30日

Syuhei Ban, Xin Liu, Ken'ichi Osaka, Naoshige Goto, John C. Wells "High resolution monitoring for subsidiary nutrient loadings and phytoplankton production in north basin of Lake Biwa" JpGU meeting (online) 2021/6/4

John C. Wells, Syuhei Ban, Xin Liu, Ken'ichi Osaka, Naoshige Goto "Monitoring and particle-tracking simulation to clarify littoral-to-pelagic nutrient export in Lake Biwa, Japan, during the spring rice-planting season" SIL, Gwangju Korea, 2021/8/25

John C. Wells, "Particle tracking simulations of littoral to pelagic transport in the North Basin of Lake Biwa during the rice-planting season of 2020" 日本陸水学会、オンライン大会、2021年9月22日

熊谷道夫、藤井康之、辻英人、朴虎東: RGB空間で捉えたアオコの発現予測-コンセプトと室内実験. 日本陸水学会、オンライン大会、2021年9月22日

Yasuyuki Fujii and Michio Kumagai, "Development of a cellphone-based alarm system for harmful algal blooms". SIL, Berlin, 2022/08/10

*ポスター発表 (相手側研究チームとの連名発表)

発表件数: 計0件
該当なし

*ポスター発表 (相手側研究チームを含まない日本側研究チームの発表)

発表件数: 計5件

Dokyun Kim, Seongjin Hong, Hodong Park, Kyung-Hoon Shin, Fate of cyanobacterial toxins (Microcystins) on environmental multi-media samples in Geum River estuary, Korea, SIL, Nanjing, 2018/8/21

Takatama, K., K. Kurosawa, Y. Uchiyama, and T. Miyoshi, "A preliminary analysis of a newly-developed regional ocean data assimilation system: a case of Tokyo Bay in summer", ISDA2019, Kobe, 23 January

Takatama, K., K. Kurosawa, Y. Uchiyama, and T. Miyoshi, "A preliminary analysis of a newly-developed regional ocean data assimilation system: a case of Tokyo Bay in summer", R-CCS Symposium, Kobe, 19 February, 2018.

Kohei Takatama, Yusuke Uchiyama, Takemasa Miyoshi, Simulations of lake currents toward the prediction of blue-green algae – cases of Lake Biwa and Lake Kinneret - R-CCS International Symposium, Kobe, 17 February, 2020

Kohei Takatama, "Simulations of lake currents toward the prediction of blue-green algae – cases of Lake Biwa and Lake Kinneret - ", R-CCS International Symposium, Kobe, 2020/2/10

Kohei Takatama, "Simulating rapid water level decrease of Lake Biwa due to Typhoon Jebi (2018)", R-CCS International Symposium, Kobe, 2021/2/15

3. 主催したワークショップ・セミナー・シンポジウム等の開催
 - ・ Global lessons from lakes of the world. 第 34 回国際陸水学会（SIL Nanjing）. 2018/8/19-2018/8/24. 参加 100 名程度
4. 研究交流の実績（主要な実績）
 - 【合同ミーティング】
 - ・ 2018/6/20 日本・イスラエル共同研究キックオフミーティング、大津
 - ・ 2019/4/14 Japan – Israel meeting, Otsu
 - ・ 2022/11/11–11/26 Ilia Ostrovsky visited Japan, Meeting at Kobe
 - ・ 2023/5/2 Ilia Ostrovsky visited Japan. Meeting at Kyoto
5. 特許出願
 - 研究期間累積出願件数：0 件
6. 受賞・新聞報道等
 - 国際陸水学会（SIL）SILnews 囲み記事



Michio Kumagai
Professor, Ritsumeikan University
Kyoto, Japan

MICHIO KUMAGAI | JAPAN

Earlier in my career, I organized BITEX'93 (Biwa-ko Transport Experiment), a limnological research collaboration at Lake Biwa, Japan, that involved 165 people including scientists, engineers and students from nine countries. Since that time, I have devoted myself to studies at Lake Biwa using advanced technologies such as AUVs (Autonomous Underwater Vehicles). This was a unique approach in early 2000s, because AUVs were not commercially available at that time for monitoring lakes as well as oceans. We have obtained extensive AUV imagery of the benthic ecosystem of Lake Biwa from 2000 to 2022, and this has revealed dramatic changes in the diversity of endemic animals, likely due to climate change and lake warming. Recently, I began an international research program at Lake Biwa and Lake Kinneret entitled "Advanced ICT (Information and Communication Technology) for monitoring freshwater ecosystem resilience", which aims at developing a new information network to monitor the early stages of cyanobacterial blooms. In 2016, I initiated an education program on lake science for junior students from 10 to 18 years old, and two of these young students gave oral presentations at SIL2022 in Berlin. The aim of this program is to foster exchange between junior and senior limnologists. SIL is one of most suitable organizations to provide such precious opportunities to young people who are eager to learn and contribute to the environmental sciences, and to train for future careers that address the pressing challenges of global climate change.

✉ mkt24354@se.ritsumei.ac.jp

7. その他