

令和 5 年 6 月 5 日現在

機関番号：22604

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2020～2022

課題番号：20K04709

研究課題名（和文）UAVによる湖沼・貯水池3次元水温モニタリングと水温予測システムの構築

研究課題名（英文）Development of 3D temperature monitoring and predicting system in reservoirs using UAV

研究代表者

新谷 哲也（SHINTANI, Tetsuya）

東京都立大学・都市環境科学研究科・准教授

研究者番号：80281244

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,400,000円

研究成果の概要（和文）：貯水池の水質管理で重要となる水温の空間分布を把握することを目的に行われた。まず、水面の水温分布把握を目的として赤外線搭載UAVによる湖面の撮影を行った。GPSと方位情報に基づく画像合成アルゴリズムで赤外線画像を連結し、湖面の水温変化を広い範囲で測定できる可能性が示された。次に、水面水温の分布に強く影響を与える風の非一様空間分布を推定するために、機械学習に基づく風推定モデルの構築、及び非一様風の適用が可能となるように数値流動モデルを改良した。その結果、非一様風を一点の風速データからおおよそ推定できるようになるとともに、風の非一様性が物質輸送に影響を与えることが示された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究で試みられた赤外線ドローンによる水面水温の空間的な計測は、鉛直水温分布計測と組み合わせることによって貯水池の水資源の良好な維持のための水温モニタリング手法の簡易化・高精度化に貢献するものと考えられる。また、同時に行った数値シミュレーションモデルの開発・改良によって、将来予想される気候変動に伴う水温変化を含め、水温予測の高精化を可能とし、今後の貯水地における水質管理に応用できるものであると考えられる。

研究成果の概要（英文）：This study was carried out to understand the spatial variation of surface water temperature, which is important for water quality management in reservoirs. First, an infrared UAV was used to capture infrared images of the lake surface to measure the distribution of water temperature on the surface, and then the images were combined using an image merging algorithm based on GPS and azimuth information of the UAV. Second, in order to estimate the non-uniform spatial distribution of wind that strongly affects the distribution of surface water temperature, we developed a wind estimation model based on deep learning system and improved the hydrodynamic model to enable the application of non-uniform wind. As a result, it was shown that non-uniform wind can be roughly estimated from wind speed data of a fixed point, and that the non-uniformity of wind affects mass transport.

研究分野：水工水理学

キーワード：閉鎖性水域 水温管理 風の非一様性 機械学習 数値シミュレーション

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

貯水池や湖沼で発生する貧酸素水塊や植物プランクトンの異常増殖等は、水域の水温分布が大きく関わっている。そのため、貯水池において水温分布を把握・予測することが水質管理上重要な課題となっている。これまで、ダム堤体前など1点の鉛直水温分布でモニタリング・管理してきたが、近年の研究において水温の多次元性が確認され(例えば、Shintani et al., Nakayama & Imberger), より適切な水質管理・対策のためには、広範囲の水温把握が必要であることが明らかになってきた。しかしながら、多点で水温分布を長期間計測することは貯水池の運用やコストの面で問題があった。

2. 研究の目的

そこで本研究では、大きく分けて二つの目的を達成することを目的とした。

(1) 水温の空間分布を可能な限り簡単かつ低コストで把握する方法として、赤外線飛行ドローンによる貯水池水面のサーモグラフィーの空撮と画像合成を行う。

(2) 水面の水温分布は水面上を吹く風に強く影響されるが、貯水池は山岳地帯に位置することが多いため風の非一様性が高いことが多い。そこで、風の非一様性の推定とその効果を考慮することができる数値シミュレーションモデルの構築を同時に行い、貯水池の水温把握の高精度化を目指す。

3. 研究の方法

上記の二つの目的を達成するために以下の二つの方法で研究を行った。

(1) 東京都が管理する小河内貯水池において、ダム堤体前と上流側の河川流入部において赤外線飛行ドローンを用いて水面の連続撮影を行った。撮影された水面画像は、特徴点が少なく一般的に合成が困難である。そこで本研究では、ドローンのGPSと方位の情報、カメラの画角情報から各画像の位置と範囲を推定して画像合成を行った。また、同時にLANDSAT-8などの人工衛星の赤外データを用いて水域全体の水温把握も試みた。

(2) 貯水池上を吹く風の非一様性を合理的に再現するために、過去に一定期間同貯水池上で多点観測された風のデータ(松永ら)と継続的に風速を計測されている風速データと関連付ける機械学習モデルを構築した。また、風の非一様性を考慮した流動・水温変化を適切に再現するために、数値流動モデルFantom Refinedに非一様風を考慮できるようにモジュールを追加し、風の非一様性が物質輸送に与える影響を検討した。また、同時に数値計算結果に観測データを同化させることで補正を行う手法についても検討をくわえた。

4. 研究成果

本研究で得られた研究結果は以下のとおりである。

(1) 赤外線飛行ドローンによる空撮によって、空間的に広がりを持つ水温分布を計測することができた。図1は飛行ドローンを用いて上流側で撮影した可視光画像と赤外線画像の解析結果例を示している。若干のノイズや連結部の不一致も見られるが、おおむね赤外画像が適切に連結できており、赤外線ドローンによる水面水温計測の可能性が示された。この結果と水温の鉛直分布計測を組み合わせることによってより適切な水温モニタリングを実現できると考えられる。加えて、研究を行った時点のドローンでは、広範囲(貯水池全体、約4.25km²)をすべて撮影することが不可能であるため、全体の水温分布を把握するためにLANDSAT-8によって撮影された画像を解析した。図2は、解析結果例を示している。LANDSAT-8の回帰時間は16日であること、雲が貯水池地上にかかっている場合は画像を得ることができないなど問題はあがるが、貯水池全体の水温を一度に把握できる可能性を確認することができた。

(2) 貯水池の水面水温分布に大きく与えられとされる水面上を吹く風の非一様性を過去に湖上の多点で観測されたデータ(松永ら)を用いて、LSTMに基づく機械学習モデルによって推定した(Reden et al.)。その結果、常時風の観測が行われている近隣のAMeDAS観測所の

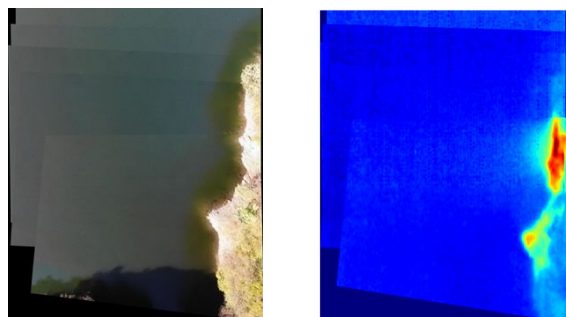


図1 可視光画像と赤外画像の解析例

データから湖上風の空間分布を一定の精度で推定することを可能にした。推定結果の例を図3に示す。本研究ではこの他、この非一様風を用いて3次元流動計算を行い、風の非一様性が物質輸送に影響を与えることを確認するとともに、アンサンブルカルマンフィルターに基づいたデータ同化手法を用いることで、数値計算の再現性向上を行った。

2013-08-16 "01:17:49.9169500Z"

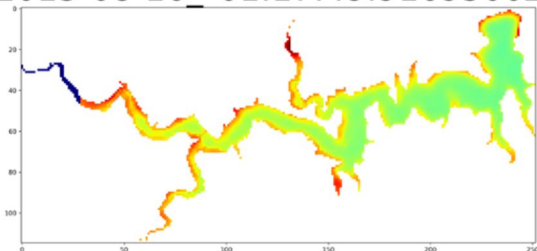


図2 LANDSAT-8による赤外画像の例

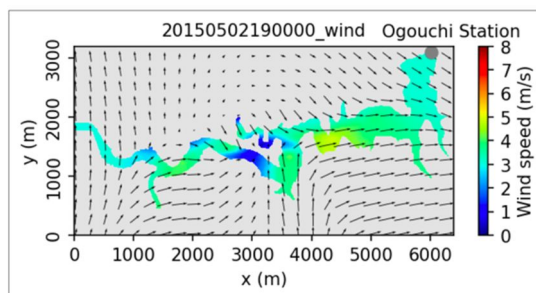


図3 風の非一様分布の例

<引用文献>

- (1) Shintani T., de la Fuente A., Nino Y, Imberger J, Generalizations of the Wedderburn number: Parameterizing upwelling in stratified lakes, *Limnology and Oceanography*, ASLO, Vol.55(3), pp.1377-1389, 2010.
- (2) Nakayama, K. and Imberger, J., Residual circulation due to internal waves shoaling on a slope, *Limnology and Oceanography*, ASLO, Vol.55(3), pp.1009-1023, 2010.
- (3) 松永 真弥, 横山 勝英, 上田 博茂, 小泉 明, 山崎 公子, 兼安 智也, 木村 慎一, ダム貯水池における湖上風の現地観測とその推定方法に関する研究, 73 巻 4 号 p. I_943-I_948, 2017.
- (4) Reden Armand MALLARE, Tetsuya SHINTANI and Katsuhide YOKOYAMA, ESTIMATION OF NON-UNIFORM WIND FIELD OVER A MEANDERING RESERVOIR, *Journal of Japan Society of Civil Engineers Ser B1 (Hydraulic Engineering)*, Vol.78(2), pp. I_1039-I_1044, 2022.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計11件（うち査読付論文 11件 / うち国際共著 3件 / うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 Lin Hao-Chi, Tsai Jeng-Wei, Tada Kazufumi, Matsumoto Hiroki, Chiu Chih-Yu, Nakayama Keisuke	4. 巻 803
2. 論文標題 The impacts of the hydraulic retention effect and typhoon disturbance on the carbon flux in shallow subtropical mountain lakes	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Science of The Total Environment	6. 最初と最後の頁 150044 ~ 150044
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.scitotenv.2021.150044	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する
1. 著者名 Ito Wataru, Nakayama Keisuke, Shintani Tetsuya	4. 巻 63
2. 論文標題 Effect of coastal boundary representation on basin-scale internal waves	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Coastal Engineering Journal	6. 最初と最後の頁 160 ~ 173
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1080/21664250.2021.1918384	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Lin Hao Chi, Chiu Chih Yu, Tsai Jeng Wei, Liu Wen Cheng, Tada Kazufumi, Nakayama Keisuke	4. 巻 126
2. 論文標題 Influence of Thermal Stratification on Seasonal Net Ecosystem Production and Dissolved Inorganic Carbon in a Shallow Subtropical Lake	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Geophysical Research: Biogeosciences	6. 最初と最後の頁 1-17
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1029/2020JG005907	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する
1. 著者名 LIN Hao Chi, NAKAYAMA Keisuke, TADA Kazufumi, CHIU Chih Yu, TSAI Jeng Wei	4. 巻 77
2. 論文標題 EFFECTS OF A TYPHOON ON CARBON FLUX IN A SHALLOW STRATIFIED LAKE	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Japan Society of Civil Engineers, Ser. B1 (Hydraulic Engineering)	6. 最初と最後の頁 I_1051 ~ I_1056
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2208/jscejhe.77.2_I_1051	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 MIZOGUCHI Yuta, AKAMATSU Yoshihisa, MIYAMOTO Hitoshi, NAKAMURA Keigo	4. 巻 77
2. 論文標題 DETECTING DOMINANT FACTORS OF CHANGE CHARACTERISTICS OF WATER TEMPERATURE IN RIVER BASINS USING RANDOM FOREST AND VARIABLE IMPORTANCE ANALYSIS	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Japan Society of Civil Engineers, Ser. B1 (Hydraulic Engineering)	6. 最初と最後の頁 I_997 ~ I_1002
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2208/jscejhe.77.2_I_997	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 溝口 裕太、赤松 良久、宮本 仁志、中村 圭吾	4. 巻 27
2. 論文標題 平衡水温を用いた流域スケールの河川水温管理指標の提案	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 河川技術論文集	6. 最初と最後の頁 289 ~ 294
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.11532/river.27.0_289	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 ONAKA Nozomu, AKAMATSU Yoshihisa, MIYAZONO Seiji	4. 巻 77
2. 論文標題 EXAMINATION OF THE RIVER GEOMORPHOLOGY MONITORING METHOD BASED ON THE UAV PHOTOGRAMMETRY	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Japan Society of Civil Engineers, Ser. B1 (Hydraulic Engineering)	6. 最初と最後の頁 I_907 ~ I_912
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2208/jscejhe.77.2_I_907	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 LE Hieu Ngoc, SHINTANI Tetsuya	4. 巻 78
2. 論文標題 NUMERICAL INVESTIGATION ON INHOMOGENEOUS WIND AND ITS EFFECTS TO MASS TRANSPORT	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Japan Society of Civil Engineers, Ser. B1 (Hydraulic Engineering)	6. 最初と最後の頁 I_1045 ~ I_1050
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2208/jscejhe.78.2_I_1045	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Le Hieu Ngoc, Shintani Tetsuya, Nakayama Keisuke	4. 巻 15
2. 論文標題 A Detailed Analysis on Hydrodynamic Response of a Highly Stratified Lake to Spatio-Temporally Varying Wind Field	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Water	6. 最初と最後の頁 565 ~ 565
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/w15030565	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 MALLARE Reden Armand, SHINTANI Tetsuya, YOKOYAMA Katsuhide	4. 巻 78
2. 論文標題 ESTIMATION OF NON-UNIFORM WIND FIELD OVER A MEANDERING RESERVOIR	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Japan Society of Civil Engineers, Ser. B1 (Hydraulic Engineering)	6. 最初と最後の頁 I_1039 ~ I_1044
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2208/jscejhe.78.2_I_1039	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 溝口 裕太、赤松 良久、宮本 仁志、中村 圭吾	4. 巻 28
2. 論文標題 中国地方の小瀬川・佐波川・高津川を対象にした河川流域の水溫変動特性を説明する重要な流域・河道特性の検出手法の提案	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 河川技術論文集	6. 最初と最後の頁 151 ~ 156
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.11532/river.28.0_151	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計3件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件)

1. 発表者名 大中臨
2. 発表標題 UAV写真測量に基づく水面下を含めた河道形状モニタリング手法の開発
3. 学会等名 第72回中国地方技術研究会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Miyamoto H.
2. 発表標題 Thermal Impact of Treated Sewage Effluent on River Temperature Formation in an Urban River
3. 学会等名 19th Annual Meeting, Asia Oceania Geosciences Society(AOGS)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Okazawa T., Shintani T., and Miyamoto H.
2. 発表標題 Measurement of Surface Water Temperature in Reservoir Using Satellite and UAV Thermal Images
3. 学会等名 19th Annual Meeting, Asia Oceania Geosciences Society(AOGS)
4. 発表年 2022年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	赤松 良久 (AKAMATSU Yoshihisa) (30448584)	山口大学・大学院創成科学研究科・教授 (15501)	
研究分担者	宮本 仁志 (MIYAMOTO Hitoshi) (50283867)	芝浦工業大学・工学部・教授 (32619)	
研究分担者	中山 恵介 (NAKAYAMA Keisuke) (60271649)	神戸大学・工学研究科・教授 (14501)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8 . 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------