

## 科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成25年 6月10日現在

機関番号：12101

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2009～2012

課題番号：21710003

研究課題名（和文）衛星熱赤外画像データを用いた全国に点在する小水域の水温データベースの構築

研究課題名（英文）Development of water temperature database for small water bodies in Japan using satellite thermal infrared imagery

研究代表者

外岡 秀行 (Tonooka Hideyuki)

茨城大学・工学部・准教授

研究者番号：80261741

研究成果の概要（和文）：湖沼に生息する生物にとって水温は重要な環境因子であるが、大規模な湖沼を除けば定常測定されていない。そこで、NASAの地球観測衛星 Tera 搭載のセンサ ASTER（開発：経産省）の時系列熱赤外画像を使って衛星湖沼水温データベース日本版（SatLARTD-J）を構築した。本データベースには2000～2008年における934湖沼のASTER推定水温（平均で約3回/年、精度約1℃）、ならびにASTER推定水温とAMeDAS地上気温との回帰に基づく推定水温（5日間隔、精度約2℃）が含まれている。

研究成果の概要（英文）：Water temperature is an important environmental factor for lives inhabiting in lakes and reservoirs, but has not fully been monitored except for major lakes. Thus, a satellite-based lake and reservoir temperature database in Japan (SatLARTD-J) was developed using time-series thermal infrared imagery of ASTER onboard NASA's Terra satellite. It includes water temperatures derived from ASTER data (interval: about three times per year, accuracy: about 1 K) and those regressively estimated with ground air-temperatures (interval: 5 days, accuracy: about 2 K) for 934 water bodies in the period of 2000 to 2008.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	1,100,000	330,000	1,430,000
2010年度	800,000	240,000	1,040,000
2011年度	1,000,000	300,000	1,300,000
2012年度	600,000	180,000	780,000
年度			
総計	3,500,000	1,050,000	4,550,000

研究分野：リモートセンシング

科研費の分科・細目：環境学・環境動態解析

キーワード：湖沼、水温、ASTER、熱赤外画像、データベース

## 1. 研究開始当初の背景

各地に点在する小水域（小規模な湖沼や溜池等）には多様な生物が生息しており、近年、生物多様性保全の観点から、また希少生物保

護の観点からも注目されている。そして、小水域に住む生物にとって水温は水質とともに重要な環境因子であり、微生物や水中生物の活性や溶存酸素の溶解度に影響を与える。

一方、小水域の水温は流入水や湧水量の状況、水深、気温、日射、水生生物の分布等の変化で変動し得るが、多くの小水域では、水温の定期的な測定はおろか、一度も測定されていないものも多い。例えば、霞ヶ浦のような大規模な水域では国土交通省が水温のリアルタイム観測を行っているが、小水域については、この種のものは見当たらない。一部の小水域では、釣り場情報等として水温が測定されているものもあるが、その精度は不明であり、不定期である。また、小水域は規模が小さく、広く点在し、また管理主体も様々のため、直接的な水温測定は非効率であり、現実的でない。

このような場合、広域の表面温度を瞬時に観測できる熱赤外リモートセンシングが有効である。熱赤外リモートセンシングによる水温計測は、海面温度については1970年代から行われており、気象衛星による定常的な海面温度観測結果は天気予報システムにも活用されている。しかし、小水域の水温については、気象に与える影響がほとんどなく、リモートセンシングによる定常観測は成されて来なかった。さらに、リモートセンシングによる小水域の水温測定は技術的にも簡単なものではない。それは、海洋観測においても問題となるセンサの校正精度や大気補正精度の問題に加え、例えば衛星画像の高々1～数画素程度の水域では、センサの解像力の限界によって隣接する画素から赤外線が混入する現象（変調伝達関数MTFによって示される）や、センサ内の構造によって、本来は観測すべきでない光（＝迷光）が混入する影響が誤差要因となるためである。

## 2. 研究の目的

現在、高分解能型で多バンドを有する唯一の民生用衛星熱赤外センサは、1999年12月にNASAの地球観測衛星Terraに搭載され、現在も運用中のASTER（開発：経済産業省）である。ASTERは可視近赤外から熱赤外までの波長帯に計14の分光バンドを有する光学センサであり、そのうち、熱赤外帯には5つの分光バンド（空間分解能90m）を持つ。

本研究では、本研究代表者がこれまでに確立したASTER熱赤外面像データの高精度処理技術（校正、迷光補正、大気補正等）に基づき、多地点の小水域の表層水温を同時に、より正確に推定し、時系列データセットとして整備・公開することを目的とする。

## 3. 研究の方法

本研究の方法は以下に示す。

### (1) ASTER画像による小水域水温推定法及び

### スクリーニング法の開発と実装

ASTER熱赤外面像から小水域の水温をより高精度に推定するため、本研究代表者が既に開発している再校正法、迷光補正法、改良型大気補正法—Water Vapor Scaling (WVS) 法—の各手法と、ASTER標準温度放射率分離法を採用し、実装する。また、陸域との混合画素や雲の影響を受けている画素を取り除くためのスクリーニング法を開発し、実装する。

### (2) 千波湖における検証活動

茨城県水戸市の千波湖は周囲長3km程度の小規模水域である。本研究では、同湖に水温ロガーを設置して10分間隔で水温を記録し、ASTER推定水温の検証に使用する。

### (3) 水温データの時間間隔の改善

ASTERの観測頻度及び晴天率により、ASTER水温の平均頻度は約3回/年と低いため、AMeDAS地上気温とASTER水温の回帰分析によって水温データ頻度の改善を図る。

### (4) Web検索システムの開発

Web地図サービスを使って各水域の水温データを提供するシステムを開発する。

### (5) データの整備と公開

ASTERの画素サイズを考慮し、概ね270m四方以上の大きさを持つ湖沼を抽出して水温データを整備し、Web公開する。

## 4. 研究成果

3の各方法を実行し、衛星湖沼水温データベース日本編（Satellite-based Lake and Reservoir Temperature Database in Japan; SatLARTD-J）を開発し、2012年7月にベータ版を、同10月に正式版（Ver. 1.0）を公開した。URLを5の[その他]に示す。

以下に研究成果の詳細を示す。

### (1) 対象水域の選定

本研究では、全国に点在する陸水域（自然湖沼、ダム湖、溜池等）であり、衛星画像やGISデータに基づき、934箇所を選定した。図1に対象水域の地点を示す。

水温推定にはASTER熱赤外面像（空間分解能90m）を使用することから、基本的にはASTER熱赤外面像において水面のピュアピクセルが必ず存在する270m四方以上のサイズを選定条件としているが、一部、これよりわずかに小さい水域も含まれている。都道府県別では、溜池が多数存在する香川県が83水域と最多で、次いで青森県（73水域）、北海道（72水域）などとなっている一方で、和歌山、大分、沖縄の3県には現バージョンでは登録水域が無い。



図 1: SatLARTD-J の対象水域

### (2) ASTER 熱赤外面像の選定

本システムでは、ASTER 熱赤外面像として産総研が整備を進めている ASTER データ  $\beta$  を使用した。このデータは、①正射投影変換化、②等緯経度図法化、③緯経度タイル単位での時系列化、④DEM スタックに基づく位置ずれ情報の添付、等の特徴がある。ASTER データ  $\beta$  の生成は日本付近から始まったため、データ対象期間は 2000 年 3 月から 2008 年 6 月までの約 8 年間となっており、これが SatLARTD-J における ASTER 水温の対象期間となっている。なお、2008 年 7 月以降の ASTER データによる水温推定処理も今後、実施する計画である。

### (3) ASTER 熱赤外面像による水温推定

ASTER 熱赤外面像から、より正確に水温を推定するため、本研究では 3 (1) で示したデータ処理法を採用した。なお、温度・放射率分離処理については ASTER 標準アルゴリズムを使用した。

ASTER 熱赤外面像から各対象水域に対応する画素を選定するに当たっては、位置ずれや雲、陸域の混入の影響を避けるため、各水域の中心地点を含む  $5 \times 5$  の画素について、①放射率スペクトルテスト、②Band 3 テスト (高 DN を除外)、③MODIS 雲マスクテスト、④表面温度テスト ( $-2^{\circ}\text{C}$  以下を除外)、を適用し、いずれか 2 つのテストで閾値を外れた画素をまず除外し (1 次スクリーニング)、次に表面温度と当地の 10:30 時点での AMeDAS 気温 ((4) に記載) の差が  $\pm 4^{\circ}\text{C}$  を外れた画素をさらに除外し (2 次スクリーニング)、残った画素の最大水温差が  $1^{\circ}\text{C}$  を超えた場合には残

った画素の最小水温を、 $1^{\circ}\text{C}$  以下の場合には残った画素の平均水温を当該水域の水温として登録した。なお、結氷湖の場合には 1 次スクリーニングの段階で除外されるが、オニバス等の水生植物に覆われているケースは多くの場合、除外されずに残ることになる。

### (4) AMeDAS 気温データによる回帰推定

ASTER 熱赤外面像のみの場合、日本付近の観測成功率がおよそ 30% であるため、平均観測回数は 8 年間で平均 23.5 回、最大でも 69 回程度と多くなく、水温データの時系列情報としては物足りない。そこで、水域単位で ASTER 水温と 10:30 時点での AMeDAS 地上気温

(10 時及び 11 時における近郊の AMeDAS 地上気温を距離に応じて加重平均して標高補正したものを時刻間平均したもの) を回帰分析することで地上気温から水温を予測する回帰式を水域ごとに求め、これにより時間分解能の向上を行った。現バージョンでは、5 日単位で回帰推定に基づく水温を計算し、データベースに取り込んでいる。

なお、空間分解能は 1km と粗いものの、毎日観測を行っている MODIS センサの熱赤外面像データを活用して高頻度の時系列水温データを整備することを目的として、ピュアピクセルを持たない小水域の水温推定手法の開発も同時に進めた。現バージョンでは、本手法に基づく水温データは未登録であるが、将来登録する計画である。

### (5) Web 公開システムの構築

前述の処理で得られた ASTER 水温及び回帰推定水温の時系列データは、水域単位で CSV ファイル化し、これをビジュアルなユーザーインターフェースで提供するため、Ajax ならびに Google Maps API により日英対応の Web 検索システムを構築した。図 2 に本画面を示す。

各水域は Google 地図上でマーカー表示され、これをクリックすると当該水域の時系列水温グラフ (ASTER 水温および回帰推定水温) を JavaScript ライブラリ (dygraphs) により動的生成すると共に、ASTER 観測日については下部に水温の一覧表が表示される。また、左上部では水域名から選択できる機能も有している。なお、グラフ表示機能は古いバージョンの IE (IE8 以前) には未対応であるため、IE9 あるいは FireFox 等の他ブラウザを使用する必要がある。

### (6) 検証活動の成果

本データベースの検証のため、茨城県水戸土木事務所河川整備課及び水戸市役所建設部河川排水整備課の許可を得て、2009 年 8 月 18 日より、水戸市・千波湖の中央付近の三か所にボタン型水温ロガー (KN ラボラトリー製サーモクロン SL) を設置して水面直下 (数

cm 程度) の水温の自動計測を実施し、時系列水温データを収集した。合わせて、国土交通省が霞ヶ浦にて1時間おきに測定している水温データも収集した。そして、期間中の ASTER データの中から、これらの水温データを用いて検証可能なものを集めた。その結果、本データベースの ASTER 水温の精度は概ね 1°C 程度であり、AMeDAS を利用した回帰推定水温の精度は概ね 2~3°C 程度であることが示された。

なお、日本三名園の一つである偕楽園の下に広がる淡水湖である千波湖は、市民の憩いの場である一方、富栄養化に伴う水質悪化により、夏季にはアオコが発生し、様々な水質浄化策が採られている。本検証活動によって取得した水温データは千波湖の環境対策等に活用されることが期待されるため、日平均化した水温データを 2012 年 7 月より Web 公開しているところである (URL は 5 の[その他]を参照)。

#### (7) 成果のまとめと今後の展開

本データベースには、日本の北海道から九州までの計 934 の湖沼について、2000~2008 年における時系列水温データが含まれており、ユーザーが Web ブラウザ上で地図や名称により選択した湖沼の水温データを数値及びグラフによって提供する機能を有している。水温データには、時間分解能が平均で約 3 回/年と低いものの、水温精度が約 1°C と高い ASTER 推定水温と、水温精度が 2~3°C と低いものの、時間分解能が 5 日間隔と高い回帰推定水温が含まれている。

湖沼のわずかな水温変化が生物種を遷移させる例も報告されていることから、今後、本データベースが生物多様性の保全や水質モニタリング等において活用されることが期待される。

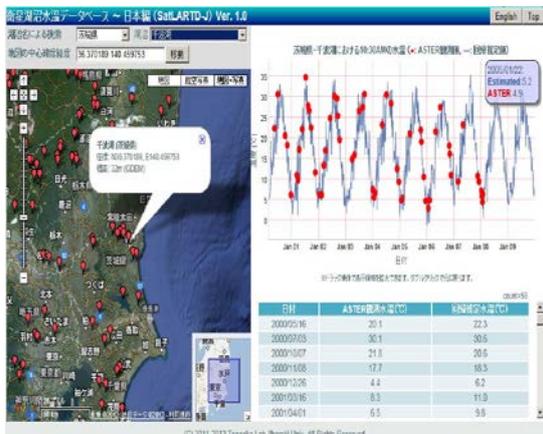


図 2: 衛星湖沼水温データベース日本編 (Version 1.0) の画面

#### 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)

[学会発表] (計 8 件)

- ① 外岡秀行, 衛星湖沼水温データベース日本編 (SatLARTD-J) の公開について, 日本リモートセンシング学会第 53 回学術講演会論文集, 53-54, 2012. 11, 広島大学 (広島), 査読無.
- ② H. Tonooka, Regression imputation with ground air temperature for the satellite-based lake and reservoir temperature database in Japan, Proceedings of SPIE, vol. 8524, 852400, 2012. 10, 国立京都国際会館 (京都), 査読有.
- ③ 風間洋平, 外岡秀行, 水面ピュアピクセルを持たない小水域における水温推定手法の改良, 日本リモートセンシング学会, 2011. 11, 弘前大学 (青森), 査読無.
- ④ H. Tonooka, and M. Hirayama, Development of Japanese inland water surface temperature database using ASTER thermal infrared imagery, Proceedings of SPIE, vol. 8174, 81741A, 2011. 10, Clarion Congress Hotel Prague (チェコ), 査読有.
- ⑤ 平山雅之, 外岡秀行, ASTERデータを用いたピュアピクセルを持たない小水域の水温推定 (その 2), 日本リモートセンシング学会第 49 回学術講演会論文集, 85-86, 2010. 11, ジェイドガーデンパレス (鹿児島), 査読無.
- ⑥ H. Tonooka, and M. Hirayama, Water surface temperature retrieval for a small lake using ASTER thermal infrared data, Proceedings of IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS 2010), 382-385, 2010. 7, Hilton Hawaiian Village (アメリカ), 査読有.
- ⑦ 平山雅之, 外岡秀行, ASTERデータを用いたピュアピクセルを持たない小水域の水温推定, 日本リモートセンシング学会第 48 回学術講演会論文集, 211-212, 2010. 5, 産業技術総合研究所 (茨城), 査読無.

- ⑧ 外岡秀行, 平山雅之, ASTERデータによる小水域の水溫時系列データベース構築に向けた千波湖検証サイト, 日本リモートセンシング学会第 47 回学術講演会論文集, 79-80, 2009. 11, 名古屋大学 (愛知), 査読無.

[その他]

ホームページ等

- ①衛星湖沼水溫データベース日本編  
(SatLARTD-J)

<http://tonolab.cis.ibaraki.ac.jp/SatLARTD/index-j.html>

- ②千波湖の水溫データ

<http://tonolab.cis.ibaraki.ac.jp/data/senbako>

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

外岡 秀行 (Tonooka Hideyuki)

茨城大学・工学部・准教授

研究者番号 : 80261741