

令和 4 年 4 月 29 日現在

機関番号：17601

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2018～2021

課題番号：18K05886

研究課題名（和文）人工衛星観測技術を活用した次世代灌漑評価手法開発のための基礎研究

研究課題名（英文）Basic study for new irrigation performance evaluation approach using satellite remote sensing

研究代表者

多炭 雅博（Tasumi, Masahiro）

宮崎大学・農学部・教授

研究者番号：20444888

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）：本研究は、近い将来身近になるビッグデータとしての衛星リモートセンシングにより推定した蒸発散量データを、世界各地域の農業水資源計画や水資源管理の実利用面で有効に利用する技術の開発を目指したものである。蒸発散量は作物の生育や収量、水ストレス等と深く関わる指標で、灌漑に関する水資源計画や農業水利用の実態を知るためにも役立つ。本研究の成果として、衛星蒸発散量データの簡便な精度検証手法を提案するとともに、衛星蒸発散量データの灌漑計画及び地域水資源管理への利用法、植生情報等と組み合わせた現場利用技術を提案した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

近年、SDGsに代表される持続的開発へのチャレンジが各分野で行われており、農業水資源の分野でも持続性が強く求められている。人口増加やそれに伴う食料増産需要や気候変動などの影響で、水資源の持続性が危機にさらされている地域が多く存在する。本研究で対象とする蒸発散量は、食料生産に伴う農地からの水の純消費量を示す。

近年の人工衛星による地球観測技術は進展しており、この蒸発散量を衛星観測により手軽に推定できるようになってきた。このような衛星観測蒸発散量を上手く実務で利用することで、農業水資源の管理や将来計画に持続性を与えることが期待できる。

研究成果の概要（英文）：This research investigated the application methods of satellite-based evapotranspiration data to regional water resources management. With the advancement of satellite remote-sensing, such evapotranspiration data are expected to be popular in near future. Evapotranspiration data contributes to water resources planning and applications in agriculture, as it is closely related to crop production, yield and the water stress. The primary results of this research include suggestions of a convenient approach on accuracy evaluation of the satellite-based evapotranspiration data, the data application ideas and techniques on irrigation planning and regional water resources management, and application of evapotranspiration data together with vegetation data.

研究分野：農業気象学

キーワード：リモートセンシング 灌漑計画 農業水資源 蒸発散

1. 研究開始当初の背景

衛星リモートセンシングによる農地の蒸発散量推定は、Bastiaanssen, Kustas 等の欧米研究者を中心に 1980 年代以降研究が進んできた分野である。衛星観測データを使った蒸発散量推定については代表的な方法がいくつかあるが、農業分野においては地表面温度観測データを使った蒸発散量推定手法が主に利用される。この衛星観測地表面温度データについては、2017 年末に 250m の空間分解能で 2 日に 1 回以上の地表面温度観測が可能な JAXA の人工衛星、GCOM-C（和名：しきさい）が打ち上げられる等、ビッグデータ化が進みだした。GCOM-C 衛星観測データを利用した蒸発散推定技術の開発研究の成果も出はじめ（図 1）、近い将来に高頻度である程度詳細な蒸発散量が得られる環境が整いつつあった。

農業水資源の状況としては、世界的な人口増加による食料需要の増大や気候変動等の影響で、世界的に農業水資源の逼迫化や枯渇が進み、水利用計画の持続性確保が大きな課題になっていた。蒸発散量は農業分野においては作物の生育や収量と関係が深く、水文分野においては水収支の重要な要素であるものの、長らく実際の蒸発散量（＝実蒸発散量）を精度よく観測あるいは推定するのは容易ではなかったため、蒸発散量の気象学的目安値である基準蒸発散量や、基準蒸発散量から算出する作物水需要量が利用されてきた。2000 年代以降の人工衛星による実蒸発散量推定技術の発達を受け、農業の実務面でも少しずつ実蒸発散量データの利用が見られるようになった。

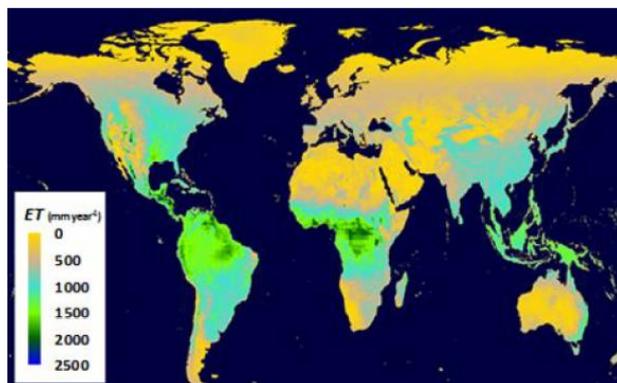


図 1. GCOM-C ETindex 推定アルゴリズムによる全球蒸発散量 (Tasumi et al., 2016)

2. 研究の目的

農業分野での実務利用が少しずつ進んできた衛星蒸発散量データであるが、これまでの主流は衛星画像 10～100 枚程度を使って推定した蒸発散量データが中心だった。衛星プラットフォームの整備とともに、近い将来は利用可能データが急速に増え、より高頻度または高空間分解能での実蒸発散量データの利用が可能になる。この大きなデータ環境の変化を受け、時空間分布を持つ蒸発散量データを大量に利用した新しい灌漑評価手法の開発を最終目的とし、それに資する基礎研究を行うのが本研究目的である。また、蒸発散量算出に利用される地表面温度は曇天下では欠測となるため、雲の影響を受けずに地表面観測が可能な合成開口レーダーにより得られたデータは、特に雲量の多い地域または時期における情報を補完できる可能性がある。そこで本研究では合成開口レーダーによる農業モニタリング手法の検討も目的の一つとした。

3. 研究の方法

本研究は、近い将来入手が容易となる（すなわち現時点では入手が容易ではない）高頻度・高空間分解能の衛星蒸発散量データの農業水管理分野への利用法の検討が目的であるため、まずは研究用データを整備する必要がある。主な研究対象地として、農業用水の利用過多等により地域の水資源の枯渇が大きな問題になっているイラン国オルミエ湖流域を選定し、蒸発散量データを整備した。研究の初期段階では Landsat 衛星画像 30 シーン程度を利用し、METRIC 蒸発散推定モデルにより蒸発散推定を行った。研究の後期段階では GCOM-C 衛星の打上げを受けて大量の観測データが使用可能になったため、GCOM-C 衛星画像 500 シーン程度を利用し、GCOM-C ETindex 推定アルゴリズムにより蒸発散推定を行った。研究対象地における農業情報及び水利用データは研究期間中に 4 度行った現地調査を通して得、蒸発散推定に必要な気象データは WMO 気象データベースによる地上観測データ及び NCEP/NCAR 再解析データを使用した。

衛星観測データから推定した蒸発散量を現場適用するにあたり、推定精度の評価は常に大き

な問題となる。本研究では衛星蒸発散量データを将来不特定多数の地域に適用することを想定し、現地の実測蒸発散量データを使わない簡易的な推定精度評価手法の提案を目指した。

合成開口レーダーによる農地モニタリング手法の検討では、日本国内（宮崎・鹿児島）に研究対象地を設定し、現地観測データと Sentinel-1 合成開口レーダー観測データ（後方散乱係数）を突き合わせる形で、水田及び畑地における農地モニタリングの手法と適性を検討した。

4. 研究成果

(1) 衛星蒸発散量データ整備と推定精度検証手法の提案

主要研究対象地であるイラン国オルミエ湖流域の蒸発散量マップを作製し（図2・図3）、実測の実蒸発散量データを使わない蒸発散量推定精度評価手法を提案した。提案手法では、衛星蒸発散量マップの空間分解能より十分広く、①水管理の行き届いた農地や、②無灌漑の裸地または荒地、を選定し、FAO が提唱する基準蒸発散量により算出した作物水需要量（裸地や荒地の場合はFAO 簡易水収支モデルから求めた蒸発量）と推定実蒸発散量とを比較し、その差を推定誤差として取り扱うものである。この手法での推定精度評価は実測データを利用した評価に比べると曖昧さが大きいものの、実務利用における適用範囲や利便性が格段に広がる。

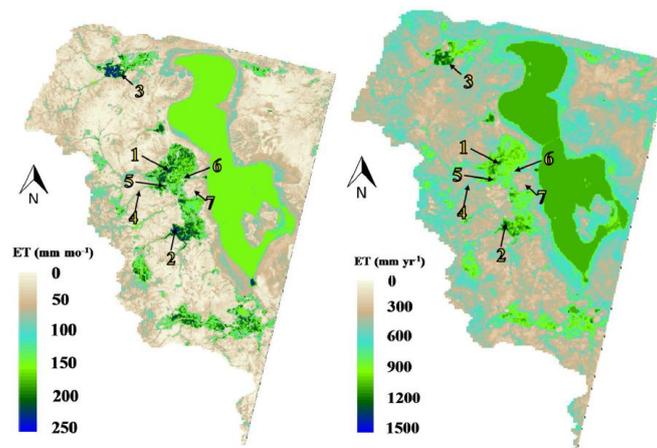


図 2. Landsat データによるイラン国オルミエ湖流域の推定蒸発散量 (Tasumi, 2019)

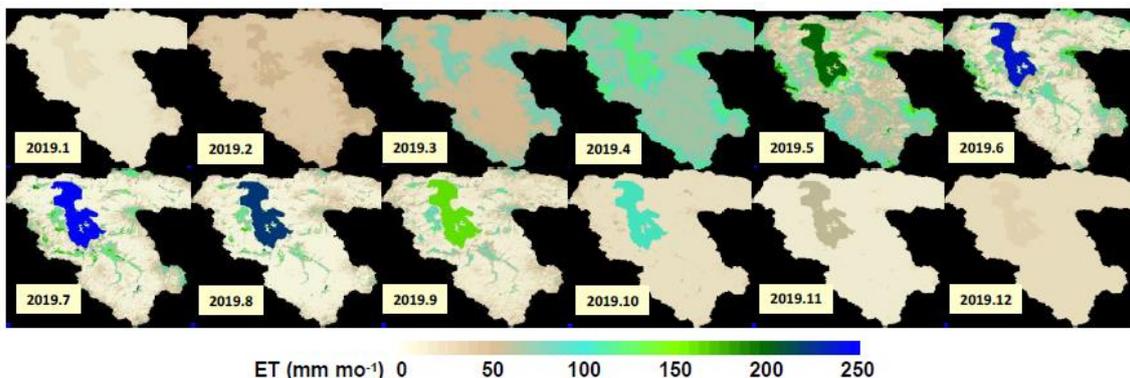


図 3. GCOM-C データによるイラン国オルミエ湖流域の月別推定蒸発散量 (Tasumi and Moriyama, 2021)

(2) 衛星蒸発散量データの灌漑計画及び水管理分野への利用提案

本研究では、衛星蒸発散量マップが示す実蒸発散量が作物水需要量と釣り合うと水ストレスを受けず、作物水需要量を下回るとその程度により水ストレスによる収量減が起こるとの前提で、灌漑計画及び水利用評価の手法を提案した。作物水需要量は農事歴などの現地情報や衛星画像により解析した作付情報、気象データから解析できる（図4）。イラン国オルミエ湖流域においては実蒸発散量と現地の灌漑水量から灌漑効率を評価する手法を例示し、また衛星による植生情報（NDVI）と蒸発散量、作物水需要量を組み合わせた天水農業地域の作物生育評価を行った。アフガニスタン国においては全球気候モデル（GCM）による将来気象予測値も利用し、気候変動による作物水需要と灌漑用水需要の将来予測手法の例示も行った（図5）。

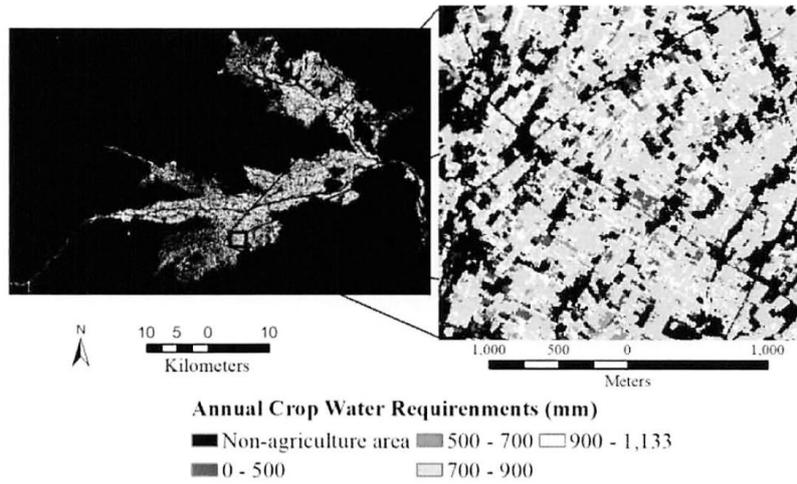


図 4. アフガニスタン国 Khost 州の灌漑農地における作物水需要量マップ (Wali et al., 2020)

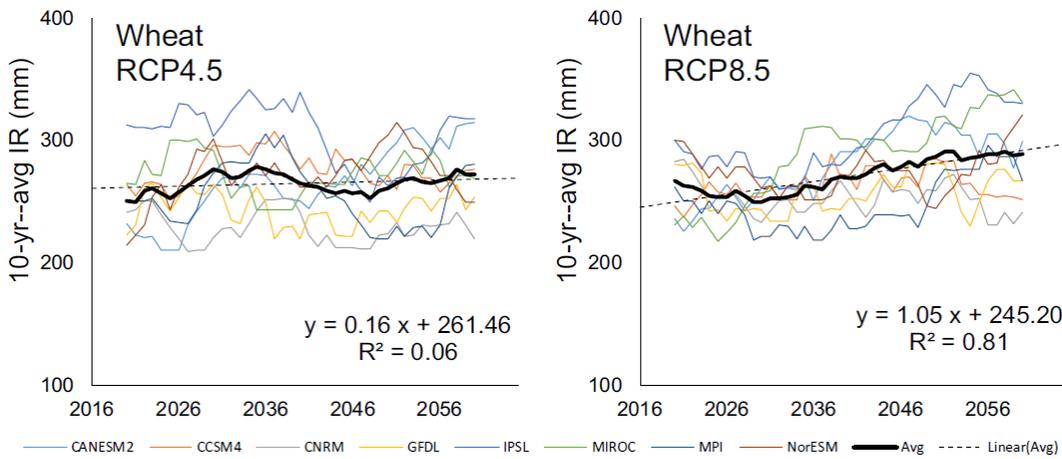


図 5. アフガニスタン国 Balkh 州における地球温暖化が将来の灌漑用水需要に与える影響評価 (Jami et al., 2019)

(3) 合成開口レーダーを利用した農地モニタリング

蒸発散量推定に直接は関係しないものの、曇天下における衛星観測による農地モニタリングの可能性検討のため、宮崎県と鹿児島県に調査地を設定し、曇天下での地表面観測が可能な合成開口レーダーを用いた水田及び畑作モニタリングの可能性検討を行った。水田においては、合成開口レーダーによる後方散乱係数を利用した水稻生育状況把握の手法を提案した (図 6)。

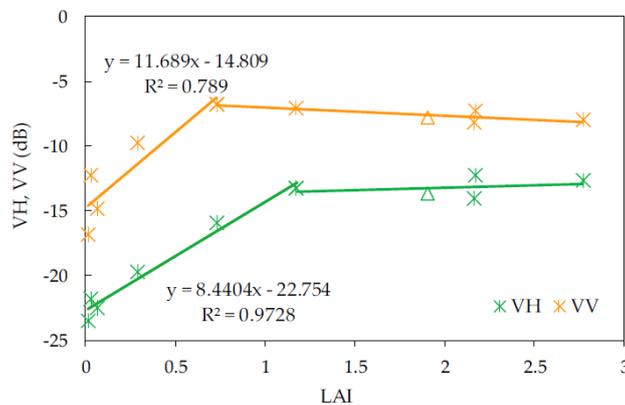


図 6. 宮崎県内水田における後方散乱係数と水稻生育状況との関係解析 (Wali et al., 2019)

(4) 研究成果の公開

研究成果の公開については、随時研究論文としての出版や学会発表を積極的に行った。また本研究期間の最終年度においては、国際学会発表1件と国連セミナー2件を通して、同分野の専門家や関連技術者、政府系職員等に対して研究成果の情報共有に取り組んだ(図7)。



図7. FAO主催セミナーにおける衛星蒸発散量データ利用に関する講演(2021)

<引用文献>

- Jami, A., Tasumi, M., Mosier, T.M., Somura, H., Konishi, T. (2019). Evaluation of the effects of climate change on field-water demands using limited ground information: A case study in Balkh province, Afghanistan, *Irrigation Science*, 37:583-595.
- Tasumi, M., Kimura, R., Allen, R.G., Moriyama, M., Trezza, R. (2016). Development of the GCOM-C global ETindex estimation algorithm, *Journal of Agricultural Meteorology*, 72:85-94.
- Tasumi, M. (2019). Estimating evapotranspiration using METRIC model and Landsat data for better understandings of regional hydrology in the western Urmia Lake Basin, *Agricultural Water Management*, 226:105805.
- Wali, E., Tasumi, M., Shinohara, Y., Takeshita, S. (2019). Mapping crop types and the crop water requirements over small-sized irrigated fields in the Khost Province of Afghanistan, *Journal of Rainwater Catchment Systems*, 24:2:9-15.
- Wali, E., Tasumi, M., Moriyama, M. (2020). Combination of Linear Regression Lines to Understand the Response of Sentinel-1 Dual Polarization SAR Data with Crop Phenology—Case Study in Miyazaki, Japan, *Remote Sensing*, 12:895.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計6件（うち査読付論文 6件/うち国際共著 1件/うちオープンアクセス 5件）

1. 著者名 Tasumi M, Moriyama M	4. 巻 958
2. 論文標題 Evapotranspiration estimation of Urmia Lake Basin using GCOM-C thermal imagery	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 IOP Conference Series: Earth and Environmental Science	6. 最初と最後の頁 012010 ~ 012010
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1755-1315/958/1/012010	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 Ogawa H, Tasumi M	4. 巻 28
2. 論文標題 Relationship between Surface and Air Temperatures for Irrigated Fields	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Rainwater Catchment Systems	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	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 Abdullah Jami, Masahiro Tasumi, Thomas Michael Mosier, Hiroaki Somura, Toru Konishi	4. 巻 37
2. 論文標題 Evaluation of the effects of climate change on field-water demands using limited ground information: a case study in Balkh province, Afghanistan	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Irrigation Science	6. 最初と最後の頁 583 ~ 595
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s00271-019-00638-2	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 Masahiro Tasumi	4. 巻 226
2. 論文標題 Estimating evapotranspiration using METRIC model and Landsat data for better understandings of regional hydrology in the western Urmia Lake Basin	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Agricultural Water Management	6. 最初と最後の頁 105805 ~ 105805
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.agwat.2019.105805	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 Emal Wali, Masahiro Tasumi, Yoshinori Shinohara, Shinichi Takeshita	4. 巻 24
2. 論文標題 Mapping crop types and the crop water requirements over small-sized irrigated fields in the Khost Province of Afghanistan	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Rainwater Catchment Systems	6. 最初と最後の頁 9~15
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	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 Emal Wali, Masahiro Tasumi, Masao Moriyama	4. 巻 12
2. 論文標題 Combination of Linear Regression Lines to Understand the Response of Sentinel-1 Dual Polarization SAR Data with Crop Phenology?Case Study in Miyazaki, Japan	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Remote Sensing	6. 最初と最後の頁 189~189
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/rs12010189	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 -

〔学会発表〕 計10件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 3件)

1. 発表者名 Tasumi M, Moriyama M
2. 発表標題 Evapotranspiration estimation of Urmia Lake Basin using GCOM-C thermal imagery
3. 学会等名 The 7th International Conference on Water Resource and Environment (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Tasumi M
2. 発表標題 A regional application example of METRIC model
3. 学会等名 FAO Webinar Series Remote Sensing Determination of Evapotranspiration (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Tasumi M
2. 発表標題 Application of Satellite Remote Sensing to Regional Agriculture and Water Resource Management
3. 学会等名 UN/IRI Workshop on the Space Technology Applications for Drought, Flood and Water Resources Management (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Akak O, Tasumi M
2. 発表標題 Agricultural crop monitoring in north Syria using Landsat 8 imagery
3. 学会等名 日本リモートセンシング学会九州支部2021年度研究発表会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 原田聡美、多炭雅博
2. 発表標題 笠之原土地改良区におけるSentinel-1 及び 2 を用いた畑地灌漑計画のための農地モニタリング
3. 学会等名 第28回日本雨水資源化システム学会大会研究発表会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 小川春菜、多炭雅博
2. 発表標題 大規模灌漑圃場における作物種による地表面温度と気温の関係性
3. 学会等名 日本農業気象学会九州支部2020年大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 長渡溪太、Emal Wali、多炭雅博
2. 発表標題 Sentinel 1衛星画像を用いたSAR 後方散乱係数とイネの作物パラメータの関連について
3. 学会等名 日本リモートセンシング学会九州支部研究発表会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Emal Wali, Masahiro Tasumi, Hiroki Umeno, Asep Denih, Keita Nagato, Masao Moriyama
2. 発表標題 Rice crop monitoring with Sentinel-1 dual polarization SAR data in Miyazaki Japan
3. 学会等名 日本リモートセンシング学会九州支部平成30年度研究発表会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 長渡溪太・多炭雅博・森山雅雄
2. 発表標題 さまざまな地表面におけるSAR後方散乱係数の特徴
3. 学会等名 日本リモートセンシング学会九州支部平成30年度研究発表会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 梅野大樹・多炭雅博・森山雅雄
2. 発表標題 Sentinel-1BのSAR画像を用いたアイダホ州の大規模農地における作物分類の試み
3. 学会等名 日本リモートセンシング学会九州支部平成30年度研究発表会
4. 発表年 2019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
研究協力者	森山 雅雄 (Moriyama Masao)	長崎大学・大学院工学研究科・准教授	

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
---------	---------