

令和 4 年 6 月 9 日現在

機関番号：82101

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2019～2021

課題番号：19K04681

研究課題名（和文）リモートセンシングによる世界主要河川の衛生学的水質評価手法の開発と適用

研究課題名（英文）Development and application of a method for basic water quality assessment of the world's major rivers by remote sensing

研究代表者

真砂 佳史（Masago, Yoshifumi）

国立研究開発法人国立環境研究所・気候変動適応センター・室長

研究者番号：50507895

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,300,000円

研究成果の概要（和文）：衛星データを活用した水質評価手法を開発し、世界各地の水域に適用した。開発した手法により、経年的な水質変化を評価できただけでなく、異常気象、河川流量、ダム、土地利用変化の影響も解析できることを示した。また、衛星データと社会経済的データを併用し、機械学習モデルにより基本的水質（BOD、大腸菌群数）を評価する手法を開発した。また、COVID-19の拡大防止のために実施されたロックダウンにより社会活動が抑制され、水質が改善した事例も分析した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

衛星データによる水質評価では、モデルを適用できる地域に限られること、一般に水質評価に用いられる指標の評価ができないことが課題であった。前者については最新のクラウドプラットフォームの活用により広大な水域の評価を可能とした。また後者については衛星データと社会経済データを統合し、実測による評価しかできない基礎的な水質項目の評価が可能であることを示した。

研究成果の概要（英文）：A water quality assessment method using satellite data was developed and applied to water bodies around the world. The developed method not only enabled us to evaluate changes in water quality over time, but also to analyze the effects of extreme weather events, river flows, dams, and land use changes. We also developed a method to evaluate basic water quality (BOD and total coliforms) using a machine learning model in conjunction with satellite data and socioeconomic data. We also analyzed cases where social activities were curtailed and water quality improved as a result of lockdowns implemented to prevent the spread of COVID-19.

研究分野：環境工学

キーワード：リモートセンシング 水質評価 モデル

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

持続可能な開発目標 (SDGs) にうたわれている安全で持続可能な水利用・管理 (SDG 6) を達成するには、人間が利用する水 (主に表流水) の水質を利用可能なレベルに保つ必要がある。上下水道、衛生インフラの整備などにより水質改善が図られているが、20 世紀後半の爆発的な人口増加に伴い、特に途上国において深刻な水質汚染が問題となっている。

水汚染の状況や開発による水環境改善状況を把握する目的で、先進国では環境基準点を設定し定期的なモニタリングが行われている。しかし、途上国には全く調査が行われていないか、大都市域など限られた地域でのみ調査が行われている国がある。多数の地点で定期的な水質測定を行うには設備や予算面で限界があるのが理由の一つである。

一方、実測によらない水質評価手法として、リモートセンシング技術を用いた手法が開発されている。水面からの主に可視光の反射強度をもとに水質を評価する手法であり、クロロフィル a や濁度、沿岸域の塩分などの評価に用いられている (Gholizadeh *et al.*, *Sensors*, 16, 1298, 2016)。しかし、生物化学的酸素要求量 (BOD)、窒素、リン、糞便汚染指標微生物等のより一般的な水質指標は反射強度との直接の関係がなく、リモートセンシングデータのみを用いた評価は原理的に不可能である。局所的な適用事例は報告されているものの、理論的な裏付けができないため一般化には至っていない。

2. 研究の目的

本研究は実測によらない水質評価手法の開発を目的とする。リモートセンシング技術をもとにした水質評価における上述の技術的課題を解決するため、反射強度のデータと、より水質に密接に関連する他のデータを組み合わせることで、水質を統合的に評価する手法の開発を目指す。下水 (畜産排水や処理水を含む) が主な汚染源である衛生学的水質は、流域の人口や土地利用、経済発展の程度やインフラの整備状況と強い関連があることから、これらのデータを用いることで従来の手法より精度よく水質評価ができるのではないかと考えた。

上述のとおり、リモートセンシング技術を用いた水質評価は反射強度データのみを用いた解析に限られており、他のデータと組み合わせた解析は本研究の独創的な点である。開発した手法を用いることにより、リモートセンシングデータにもとづく水質評価の適用幅が広がると考える。評価できる項目が増えるだけでなく、単一の手法で地理的に異なる河川等の水質評価 (空間的拡大) 実測データが存在しない過去の水質の評価 (時間的拡大) などの展開が考えられる。

3. 研究の方法

(1) ケーススタディとする水域の選択、データの収集

リモートセンシングデータ (Landsat を基本、他に Terra ASTER、NOAA WorldView-3 等から解像度等を考慮して選択) や水質データベース (GEMStat (全世界)、USGS Water Quality Portal (アメリカ等)、EEA Waterbase (EU) 等) を精査し、解析対象とする水域を選択した。衛星写真の取得時期やデータの質、水質データの諸項目 (測定地点、項目、時期) など検討項目が多岐にわたるため、選択には時間を要する。あわせて他のデータ (人口密度 (Global Human Settlement Layer

等)、GDP等)も取得した。

(2) リモートセンシングデータに基づく水質評価

(1)で選択した水域を対象に、リモートセンシングデータによる水質評価モデルを構築した。その際、ある一つの水域を対象としたモデルを構築し、そのモデルをほかの多数の水域に適用することを試みた。それぞれの研究において、水質の時系列変化の解析や、その変化を引き起こした因子についての分析を行った。

(3) 衛生学的水質を評価するモデルの構築

一般に水質評価に用いられる基礎的な水質項目は、リモートセンシングデータとの直接的な関係は薄いとされている。そこで、リモートセンシングデータに社会経済指標を加えることで、衛生学的水質の評価を試みた。対象地域においてリモートセンシングデータや社会経済指標のデータを収集し、機械学習により水質を評価するモデルを構築した。

4. 研究成果

本研究では、リモートセンシング技術で得られる反射強度データに人口分布、土地利用、経済発展の程度等の社会経済データを加えることで、実測によらない水質評価手法の開発を目指した。水質評価に用いる水質や社会経済データはオンラインデータベースと現地で購入するデータをあわせて活用する予定であったが、COVID-19の世界的流行により途上国での調査や情報収集が不可能となった。そこで、水質データはオンラインデータベースにあるものに限ることとし、また説明変数として用いる社会経済データ等も現地でなくても入手できるデータのみを活用することとした。また、COVID-19拡大防止のために社会活動が制限されたことによる水質への影響を評価することにも挑戦した。

(1) オンラインデータベースの調査と研究対象水域の選定

研究の基盤整備を目的として、モデルの構築に用いるデータの入手可能性を考慮してケーススタディを行う水域を選定した。GEMStat(国連環境計画、全世界)、Water Quality Portal(アメリカ地質調査所、アメリカ等)、Waterbase(欧州環境機関、EU)等の広域水質データベース、チェサピーク湾(アメリカ)、霞ヶ浦、東京湾(日本)等の地域水質データベース、衛生データなどを精査し、データの質(水質項目等)や量(測定頻度等)を勘案し、チェサピーク湾をケーススタディサイトとすることにした。あわせて、利用可能な衛星データについて調査し、MODISやLandsatが候補となることを確認した。また、ある水域を対象として開発したモデルを他水域に適用することを検討するため、アジアの主な10河川の河口域を対象とした解析を行うこととした。

(2) チェサピーク湾の水質変化とそれに与える因子の解析

MODIS Terra画像に基づいてチェサピーク湾の総浮遊固形物(TSS)濃度を推定するGoogle Earth Engineアプリケーションを開発した。長期アーカイブ衛星データ(2002年から2020年)を現地観測と組み合わせ、湾のTSS濃度の時空間パターンをモデル化して評価した。時系列分析により、TSS濃度が2002年から2020年の間に統計的に有意な減少傾向を示した。湾の60セグメントのうち49セグメントで減少傾向が観察され、チェサピーク湾の水質基準の達成に向けて大幅

な進歩が見られたことが示された。また、月単位の TSS 濃度の分析によりチェサピーク湾における TSS の 12 の主要なピークイベントが確認され、これらは冬の猛吹雪と夏のハリケーンの時期と一致した。

(3) アジア主要 10 河川の河口域の水質評価

気候変動や人為的な活動が河川の水文状態に影響を与え、沿岸海域に放出される栄養塩や浮遊物質が変化している可能性がある。しかし、この仮説の検証は、観測データの不足や世界的に受け入れられている浮遊物質濃度 (SSC) アルゴリズムが利用できないことなどが障害となり、困難である。ここでは、利用可能な 10 の衛星 SSC アルゴリズムを用い、アジアの主要 10 河川の河口における SSC の傾向 (2000-2020 年) を分析した。その結果、黄河、パール川、インダス川の河口では SSC が減少し、ナルマダ川、ガンジス・ブラマプトラ川の河口では増加する傾向が見られ、空間的に異なる傾向があることが確認された。一方、残りの河川の河口では、有意な傾向は見られなかった。流域の河川流量、ダム、土地利用の変化は、それぞれ単独では不十分であるが、併用すると観測された SSC の傾向を再現することができた。この結果は、アジア沿岸では気候変動よりも人為的な活動が海洋生態系を脅かしていることを示唆している。

(4) リモートセンシングデータと社会経済指標の統合による衛生学的水質評価

大規模水域の水質を空間的・時間的スケールで正確に予測することは、SDGs の Goal 6 において要求される目標である。リモートセンシングデータと社会経済指標を組み合わせることで、インドの 228 の湖の水質を評価するモデルを構築した。その結果、これらのデータを共にモデルで使用するにより、水域の BOD と大腸菌群数の予測精度が向上し、今後の研究において時間的な幅を持たせることができることが示された。また、用いた機械学習モデルの中では、ランダムフォレストモデルが、対象となる両基準に対して最も良い性能を示した。

(5) COVID-19 によるロックダウンが水質に与える影響

インドのベンバナード湖を対象として COVID-19 拡大に伴う社会変動による水質への影響を評価した。Landsat-8 OLI 画像をもとに構築した浮遊粒子状物質 (SPM) 濃度推定アルゴリズムにより、ロックダウン期間中の SPM 濃度はロックダウン前と比較して平均で 15.9% 減少したことが示された (-10.3% から 36.4% の減少、最大 8 mg/L)。また、2013 年-2020 年の各年 4 月の SPM 濃度の時系列分析により、ベンバナード湖の 20 ゾーンのうち 11 ゾーンにおいて 2020 年 4 月の SPM 濃度が最低であり、最大 34% の減少を記録したことが明らかとなった。これらの結果により、この地域の社会活動の停滞による湖水の水質改善効果を定量できただけでなく、ラムサール条約の条約湿地であるベンバナード湖の水質保全には人為的活動による汚染の制御が重要であることが示された。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計3件（うち査読付論文 3件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 Ali P. Yunus, Y. Masago, and Y. Hijioka	4. 巻 731
2. 論文標題 COVID-19 and surface water quality: Improved lake water quality during the lockdown.	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Science of The Total Environment	6. 最初と最後の頁 139012
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.scitotenv.2020.139012	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 Ali P. Yunus, Y. Masago, and Y. Hijioka	4. 巻 299
2. 論文標題 Analysis of long-term (2002-2020) trends and peak events in total suspended solids concentrations in the Chesapeake Bay using MODIS imagery	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Environmental Management	6. 最初と最後の頁 113550
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.jenvman.2021.113550	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 Ali P. Yunus, Y. Masago, J. Boulange, and Y. Hijioka	4. 巻 836
2. 論文標題 Natural and anthropogenic forces on suspended sediment dynamics in Asian estuaries	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Science of The Total Environment	6. 最初と最後の頁 155569
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.scitotenv.2022.155569	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0件

〔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
---------------------------	-----------------------	----

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