

水環境モニタリング手法のDX化可能性調査

研究予算：運営費交付金

研究期間：令 4～令 5

担当チーム：水質チーム

研究担当者：山下洋正、水野健太、小林伸幸

【要旨】

インフラ分野のDX化が推進される中、水環境管理のためのモニタリング手法のDX化も検討が求められている。また、気候変動等に伴い深刻化する水環境問題への迅速かつ効率的な対処を技術者不足の中で実現するため、デジタル技術の活用が求められている。このため、本研究では「デジタル手法のみ」で収集可能な水質データ整理し、現在の人力前提の監視・管理体系の変革可能性、現行技術の課題を把握した。

キーワード：DX、センサ、リモートセンシング、ドローン、衛星画像

1. はじめに

従来、水質管理にはセンサや手分析を行われているが、衛星オープンデータの活用やドローンを使用した画像分析技術開発も盛んにおこなわれており、水質モニタリングにも適用されることが望まれる。そこで、本研究では、デジタル手法のみで収集可能な水質データに着目し、現行技術の可能性、課題の整理を行った。

2. センシング技術を用いた水環境モニタリングについて

2.1 水質センシング技術の現状

水質におけるセンシング技術についてはpH計に代表されるように現時点においても実用化されており、測定原理は以下の2つに大別される。

1点目は電気化学法による測定法である。pH計、ORP計、隔膜電極方式によるDO計などに用いられている。これらは参照電極と作用電極との起電力の差より目的物質の濃度（活量）を測定する方法である。

2点目は光学式センサによる計測法である。水中の溶存物質や浮遊物質が特定の波長の電磁波を吸収や反射（散乱）、蛍光することを利用して目的物の濃度を測定する測定方法である。DOセンサや硝酸センサ、有機物指標やSSについては商業的には実用されている。

2.2 実際の水環境モニタリングへの応用

公共用水域の水質管理の基準となる水質汚濁に係る生活環境の保全に関する環境基準項目(以下、生活環境項目)の測定法についてセンシング技術の代替可能性について調査を行った。

現状では、公定法のうちセンシング技術が取り入れられている項目はガラス電極法によるpH計及び角膜電極法または光学式センサ法によるDOのみとなっている。その他項目では、測定原理の観点よりセンシングが困難である又は環境基準を測定するにあたり、絶対値としての測定値の信頼性を検討中であると考えられる。

2.3 まとめ

現時点では、センシング技術のみで法定項目を監視することは難しい現状である。しかし、センシング技術の長所である連続分析が可能であることから、水質のトレンドを把握するためのモニタリングとしては有用である。例えば、センサでは全窒素の測定はできないが、窒素の一形態であるアンモニウムイオンや硝酸イオンはセンサで測定可能であり、どちらも水中の窒素分を測定するという目的は同一であり参考にすることができる。以上より、センシングによる類似項目を含めてモニタリングすることにより長期的なトレンド把握することが有用であると考えられる。

3. リモートセンシング技術の現状と試行

リモートセンシング技術とは離れた場所から物体の色や形、性質を観測する技術である。近年ではドローンや衛星によるリモートセンシング技術開発が盛んにおこなわれている。本章ではリモートセンシング技術を紹介するとともに、霞ヶ浦を対象に、衛星画像からクロロフィルa濃度の推定を試行した。

3.1 リモートセンシング技術

人工衛星搭載の光学センサを使用したリモートセン

シングを、一般的に衛星リモートセンシングと呼ぶ。低解像度から高解像度まで幅広くあり、そのほとんどがオープンデータとして使用可能である。衛星センサは地表からの光の反射を捉え、観測対象の光吸収の特性を掴むことにより、クロロフィル a やSSの把握が可能である。回帰周期により、データが入手できる観測日が決まっているが、運用期間中であれば過去のデータに遡ることができ、経年モニタリングが可能である。一方、ドローンにマルチスペクトルカメラを実装することで、衛星センサ同様に光吸収特性を捉えることが可能である。よって気候条件に左右されるが、任意のタイミングでドローンを飛ばしデータ取得可能なため、衛星画像との使い分けが重要である。

3.2 Sentinel-2 衛星画像を用いたクロロフィル a 濃度推定の試行

3.2.1 使用データ

観測地点は霞ヶ浦の掛馬沖、玉造沖、麻生沖および北浦の釜谷沖を対象とした。期間は2019年から2022年までのデータを使用し、観測地点に雲がかかっていない衛星画像をスクリーニングした。またクロロフィル a 濃度の測定日と衛星観測日が前後3日までのデータを比較対象とした。

現地におけるクロロフィル a 濃度測定データと衛星リモートセンシングデータを比較するため、測定結果はオープンデータの霞ヶ浦水質調査データ⁽¹⁾を使用した。国土交通省関東地方整備局霞ヶ浦河川事務所が毎月1回の頻度で水質の調査を実施している。

衛星画像は Sentinel-2 ESA(欧州宇宙機関)のオープンデータを使用した⁽²⁾。2015年から現在まで運用中の衛星となる。可視光、近赤外光、短波長赤外光の13バンドを有しており、空間分解能は10mから60m、時間分解能は5日である。

3.2.2 クロロフィル a 濃度推定方法

濁度の高い湖沼において、クロロフィル a 濃度の推定には可視光及び近赤外光の3波長を使用した推定モデルが有用であると報告されている⁽⁴⁾。以下にクロロフィル a 濃度推定モデルを示す。

$$\text{Chl-a} = 10^{(a_0+a_1X+a_2X^2+a_3X^3+a_4X^4)} \dots\dots\dots(1)$$

$$X = \left[\frac{1}{Rrs(665)} - \frac{1}{Rrs(704)} \right] \times Rrs(740) \dots\dots\dots(2)$$

Chl-a はクロロフィル a 濃度[μg/l]、Xはバンド比、Rrs(λ)は λ[nm]波長におけるリモートセンシング反射率で $Rrs(\lambda) = \pi L / (F_0 \cdot \cos\Theta)$ で定義されている。ここで L は放射輝度、F₀ は大気圏外太陽照度、Θ は太陽天頂角である。λの665nmはクロロフィル a の光吸収が

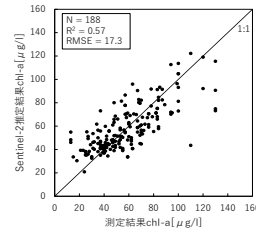


図-1 Chl-a 測定及び推定結果

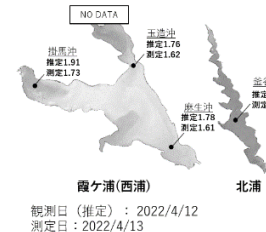


図-2 Chl-a 分布測定及び推定結果

高い波長で、704nmはクロロフィル a の光吸収が低い波長、740nmはサンプル毎のばらつきを低減する波長である。a₀~a₄は、クロロフィル a 測定結果を目的変数、バンド比Xを説明変数とし回帰分析により求めた。

3.2.3 結果

クロロフィル a 濃度測定結果と Sentinel-2 推定結果の関係を図-1に示す。決定係数は0.57でRMSEは17.3であることから、測定と推定結果に大まかな相関があることが分かる。図-2に衛星画像のクロロフィル a 分布と測定データの比較を示す。推定結果と測定結果を比較してもほぼ似通った結果となっていることが分かる。また測定では分からないクロロフィル a 濃度の広がりを確認できる。

3.3 まとめ

衛星リモートセンシングは水質を把握する手法としては有用な手段であることを示した。またクロロフィル a 濃度測定結果と衛星センサから得られる光波長特性の関係からモデル式を算出することでクロロフィル a 濃度を推定することが可能であることを示した。しかし急激な水質変化を捉えるためには、更に時間的分解能の高い衛星センサを使用する必要があり、現状は数日単位での把握にとどまる。これは光学衛星の特性観測対象に雲がある場合、データ欠損となるためである。解決には時間分解能の異なる複数の衛星センサを用いること、また任意のタイミングでデータ取得できるドローンにより水質マッピングを作成することでデータ欠損を補うことが可能であると考えられる。

参考文献

- 1)国土交通省 関東地方整備局 霞ヶ浦河川事務所、<http://www.ktr.mlitt.go.jp/kasumi/kasumi00145.html>
- 2)Sentinel Open Hub, <https://dataspace.copernicus.eu>
- 3) 水質汚濁に係る環境基準(昭和46年12月28日環境庁告示第59号),環境省
- 4) A. A. Gitelson, Dall'Olmo: A simple semi-analytical model for remote estimation of chlorophyll-a in turbid waters: Validation, Remote Sensing of Environment, 112,pp,3582-3593, 2008.