

記事（要約）

沈水植物(Submerged Aquatic Vegetation, SAV)は陸水域の重要な構成要素であり、淡水域の食物連鎖に複雑に絡んでいる。しかしながら近年、世界中で、主に人為的要因による富栄養を起因とする沈水植物種の異常繁茂が水質や生物多様性、淡水生態系での様々なレクリエーション活動に悪影響を与えている。日本最大の湖である琵琶湖の場合、年に2億円以上の費用を投じて水生植物のコントロール事業を行い、毎年2600トン(湿重量)の沈水植物(SAV)を除去している。一方このような沈水植物(SAV)の監視も、ダイバーによる潜水調査など、調査範囲が限定される上に費用も要する方法によって行われており、琵琶湖全域の繁茂状況および空間分布を必ずしも正確に捉えられていない。そのため我々京都大学と琵琶湖環境科学研究センターのグループは、富栄養で浅い琵琶湖南湖における沈水植物(SAV)の繁茂領域とバイオマス量(グラム乾燥重量/m²)を推定するために、衛星リモートセンシングを用いた手法を開発した。この新しい沈水植物(SAV)バイオマス量の推定手法は中分解能ランドサット8人工衛星画像を用いたスペクトル分解アルゴリズムをもとに開発した。この手法には、2013年から2016年までの4年間の、沈水植物(SAV)の最大成長期間である9月の衛星画像が用いられる。2014年には、もっとも透明度の高い時期である9月に、沈水植物(SAV)の最大バイオマス比重(1平方メートルあたり乾燥重量4.89kg)が得られた。なお、バイオマスの本手法による予測値と現地観測による実測値の推定誤差は8.98%であった。しかしながら、中分解能衛星画像の活用では、琵琶湖の深水域に生息する沈水植物(SAV)は検出することができず、これが本手法の適用限界の一つでもある。本研究はしかしながら、富栄養で浅い湖における沈水植物(SAV)バイオマス量推定に人工衛星画像が十分に活用できることを示しており、他の湖への適用の可能性もある。

キーポイント：

1. ランドサット8衛星画像を用いた水深に依存しない富栄養湖の透明度推定アルゴリズムの開発。

2. ランドサット 8 衛星画像を用いた、沈水植物(SAV) (分類された沈水植物の生育地域) のバイオマス量推定のための新しい「沈水植物(SAV)バイオマス量推定モデル」の開発。
3. 沈水植物(SAV)バイオマス量(1平方メートルあたり乾燥重量(kg))は富栄養で浅い湖の透明度が上がるにつれ増加する。しかしまた、沈水植物(SAV)はゆっくりと徐々に水質の変化をもたらす。

概要 (全文) :

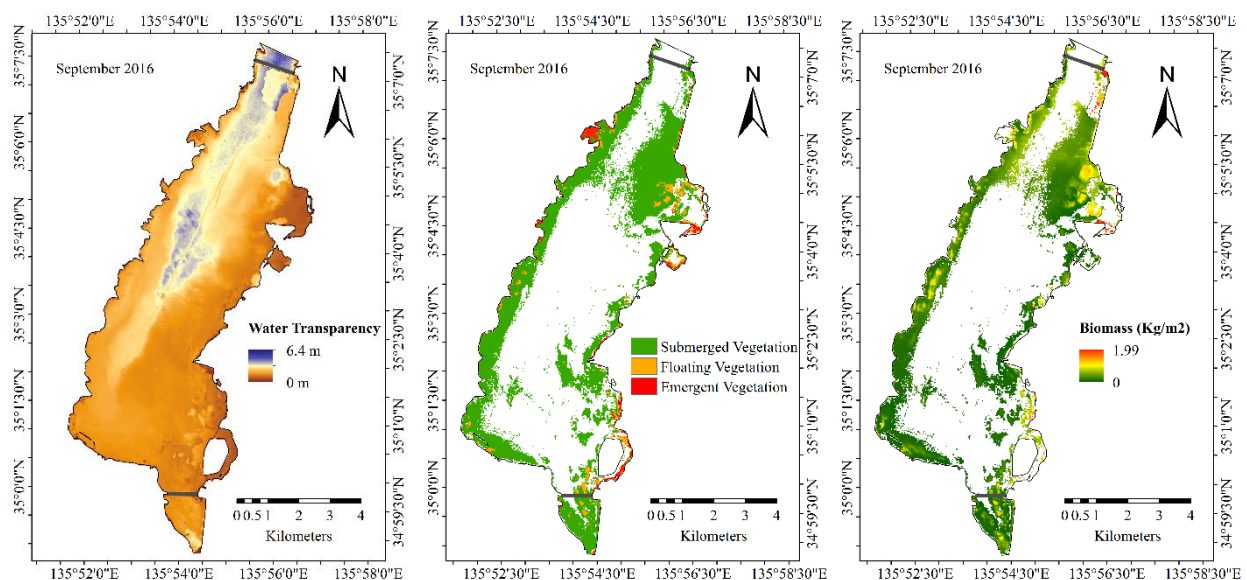
本研究において我々は人工衛星リモートセンシング技術によって、富栄養で浅い大型湖(つまり、琵琶湖)における沈水植物(SAV)の分布(つまり繁茂領域)とバイオマス量(1平方メートルあたりの乾燥重量キログラム)を評価した。

この手法は、人工衛星(Landsat-8)画像を用いた湖の透明度推定を含み、沈水植物(SAV)の分布を同定し、分類し、分布状況をマッピングし、さらに沈水植物(SAV)バイオマス量推定モデルの開発によりバイオマス量を測定する。

この手法には、2013年から2016年までの4年間の、沈水植物(SAV)の最大成長期間である9月の衛星画像が用いられる。

もっとも透明度の高い時期である9月に、沈水植物(SAV)の最大バイオマス比重が得られ、バイオマスの本手法による予測値と現地観測による実測値の推定誤差は8.98%であった。

本研究は、富栄養で浅い湖における沈水植物(SAV)バイオマス量推定に人工衛星画像が十分に活用できることを示しており、他の湖への適用の可能性もある。



図：人工衛星(Landsat-8)による琵琶湖南湖の地図：透明度(左)；沈水植物(SAV)の繁茂状況(中央)；沈水植物(SAV)バイオマス量(右)

背景：

沈水植物(Submerged Aquatic Vegetation, SAV)は陸水域および沿岸部の重要な構成要素であり、水圏食物連鎖に複雑に絡んで、淡水生態系に大きな影響を与える。

しかしながら、沈水植物種の異常繁茂が環境的にも経済的にも大きな影響を与えている。

日本最大の湖である琵琶湖の場合、毎年、年間2億円以上の費用を投じて水生植物のコントロール事業を行い、毎年2600トン(湿重量)の沈水植物(SAV)を除去している。

特に、繁茂した沈水植物は栄養循環を変化させて水質劣化を招き琵琶湖の固有種を圧迫する。さらに船舶航行や漁業、レクリエーション活動を阻害する。

そのため特に浅い湖において、沈水植物(SAV)の量を評価することは、効果的な湖の管理のために極めて重要である。

し一方このような沈水植物(SAV)の監視は、ダイバーによる潜水調査など労力や費用、時間がかかり、かつ調査範囲が限定される上に費用も要する方法によって行われており、空間的分布を持つ琵琶湖全域の繁茂状況調査に必ずしも適切とは言えない。

本研究において、我々は人工衛星を用いた費用対効果の高い手法を用いて沈水植物(SAV)を監視し定量化することで、広域において範囲に限定されない経年変化を長期間にわたって得ることを可能にした。

手法と結果：

まず人工衛星(Landsat-8)画像の加工と空間情報処理による沈水植物(SAV)の最大成長期間に対応する画像データの準備を行う。

次に、人工衛星による水透明度補正アルゴリズムを開発し透明度推定に適用する。

流域の沈水植物(SAV)の繁茂領域を同定し推定するために、我々は混合スペクトル解析(Spectral Mixture Analysis, SMA)、スペクトル角マッパー(Spectral Angle Mapper, SAM)、二分決定木(Binary Decision Tree)を用いた。

それぞれの植生分類(つまり異常繁殖水草、浮遊水草、沈水水草)の被覆領域は人工衛星画像を用いて推定された。

さらに、我々は新たなスペクトル分解アルゴリズムを開発し、浅い湖畔での水深部でのアルベドを得ることで、沈水植物(SAV)バイオマス量推定モデルを開発した。

調査された沈水植物(SAV)のバイオマス量は主に 9 月にある最大成長期間に推定された(2014 年から 2016 年)。

沈水水草(SAV)被覆領域の人工衛星によるバイオマス量推定(決定係数 0.79)は平均二乗誤差は 1 平方メートルあたり乾燥重量 0.26kg である。

2013 年と 2016 年の沈水水草(SAV)被覆領域はそれぞれ 20%と 40%であった。

沈水水草(SAV)被覆領域は近年増加傾向にあり、2013 年には乾燥重量 3390 トンであったのが、2016 年には 4550 トンになった。

本研究より、富栄養で浅い湖における人工衛星リモートセンシングを用いた沈水水草(SAV)の検出とバイオマス量の推定において水の透明度は非常に重要であることが示された。

今後の方針：

深水域に生息する沈水植物(SAV)の検出や分類。

将来的には本手法を、高スペクトル分解能人工衛星画像(JAXAGCOM-C しきさい)を活用した人工衛星による判別手法を地球規模での湖観測に適用すること。

研究論文：

タイトル：琵琶湖の光学的浅水領域(南湖)の沈水植物分布とバイオマス推定に関する人工衛星リモートセンシングによるアセスメント

著者：シュエタ・ヤダヴ、米田稔、須崎純一、田村正行、石川可奈子、山敷庸亮（責任著者）

ジャーナル：*Remote Sensing*

[Yadav, S.; Yoneda, M.; Susaki, J.; Tamura, M.; Ishikawa, K.; Yamashiki, Y. A Satellite-Based Assessment of the Distribution and Biomass of Submerged Aquatic Vegetation in the Optically Shallow Basin of Lake Biwa. *Remote Sensing*. **2017**, 9, 966. doi:[10.3390/rs9090966](https://doi.org/10.3390/rs9090966).]

なお、本研究は文部科学省委託事業気候変動リスク情報創生プログラム「課題対応型の精密な影響評価」および「統合的気候モデル高度化研究プログラム領域テーマD 統合的ハザード予測」の一環として行われました。

Article (Summary)

Submerged Aquatic Vegetation (SAV) is a vital component of the inland water bodies, as it is intricately involved in the aquatic food web. However, recently the massive overgrowth of invasive SAV species associated primarily with the anthropogenic nutrient enrichment negatively affecting the water quality, biodiversity and recreational activities of many freshwater ecosystems in the world. In case of Japan's largest lake, Lake Biwa, every year, more than 2600 tons (wet weight) of the submerged macrophyte are removed from the lake as an active macrophyte control effort which costs more than USD 2.0 million per annum. Whereas the monitoring of these underwater plants usually conducted by expensive and site-specific methods such as Diver survey, which cannot accurately account for the spatial variation in the large lakes. Thus, we (*names.....*) in Kyoto University developed a satellite remote sensing- based approach for estimating the distribution (coverage area) and quantifying the biomass (gram Dry Weight/ m²) of SAV in the shallow eutrophic basins of the lakes. A new SAV biomass estimation approach was developed based on the spectral decomposition algorithm using the medium resolution Landsat-8 satellite image. The developed approach was applied to the satellite images of the 4 consecutive years (2013-2016), mainly for the peak growth period of SAV (September). The maximum SAV biomass density (4.89 kg dry weight/ m²) was obtained for a year with high water transparency (September 2014) with the total estimated error for the observed and predicted biomass was 8.98 %. However, using the medium resolution satellite image the deep water SAV in the lake could not be detected which is one of the limitations of this study. The present study also demonstrates the successful application of the developed satellite-based approach for SAV biomass estimation in the shallow eutrophic lake, which can be tested in other lakes.

Key Points:

1. Development of Landsat-8 satellite-based depth-invariant water transparency retrieval algorithm, for water clarity estimation of the eutrophic lake basin.
2. Development of a new SAV biomass estimation model to estimate the biomass of the detected SAV (i.e. classified SAV area) using the medium resolution satellite image in a lake.
3. The SAV biomass (kg dry weight / m²) increase with the increase in the water clarity of the shallow eutrophic lake. However, the SAV reacts slowly and progressively to the changes in water quality.

Abstract (Full):

In this study, we developed a satellite remote sensing-based approach to assess the distribution of SAV (i.e. coverage area) and quantify the biomass (kg dry weight per m²) of the detected SAV in the shallow eutrophic basin of Large lakes (i.e. Lake Biwa).

The developed approach involves the estimation of water clarity of the lake using the satellite (Landsat-8) image, identify, classify and map the distribution of SAV, and the development of the SAV biomass estimation model to quantify the biomass using the Landsat-8 satellite image.

The developed approach was applied to the satellite images of the 4 consecutive years (2013-2016), mainly for the peak growth period of SAV (September).

The maximum SAV biomass density was obtained for a year with high water transparency with the total estimated error for the observed and predicted biomass was 8.98 %.

The present study also demonstrates the successful application of the developed satellite-based approach for SAV biomass estimation in the shallow eutrophic lake, which can be tested in other lakes.

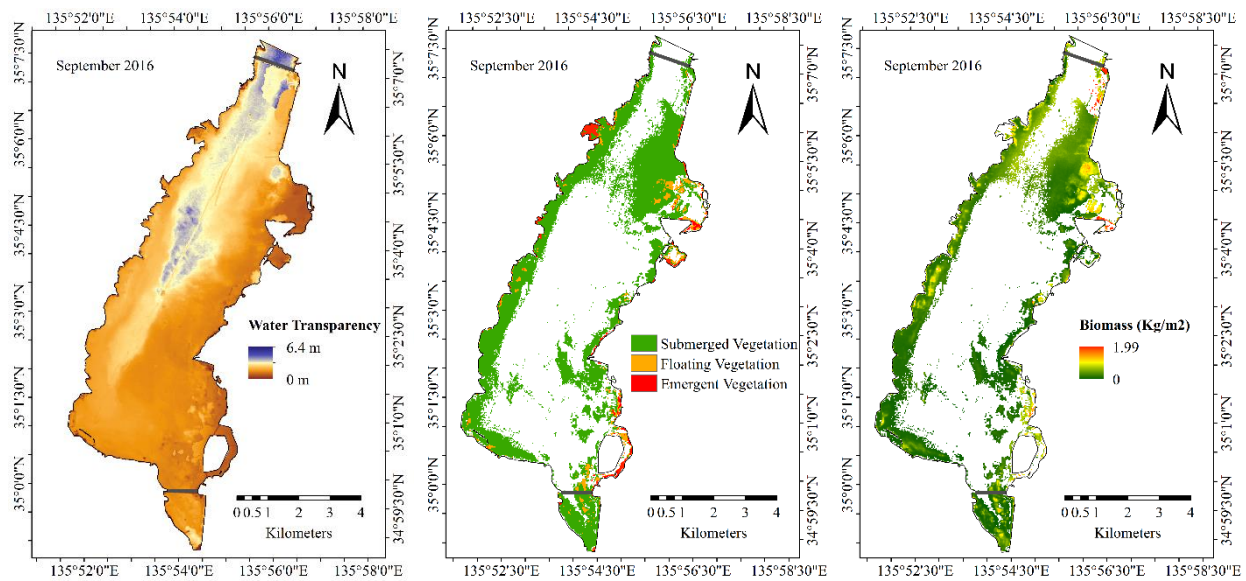


Figure: Landsat-8 derived maps of Water transparency (left); SAV distribution (middle); SAV biomass (right) of the south basin of Lake Biwa.

Background:

Submerged Aquatic Vegetation (SAV) are the vital component of the inland and coastal waters, as it is intricately linked with the aquatic food web and significantly influences the freshwater ecosystem.

Conversely, the massive overgrowth of invasive SAV species likely to impact both environmentally and economically.

In case of Japan's largest lake, Lake Biwa, every year, more than 2600 tons (wet weight) of the submerged macrophyte are removed from the lake as an active macrophyte control effort which costs more than USD 2.0 million per annum.

In particular, invasive aquatic plants alter the nutrient cycles, degrade water quality, dominate native species, and obstruct navigation, fishery and other recreational activities.

Therefore, assessing the abundance of submerged aquatic vegetation (SAV), particularly in shallow lakes, is essential for effective lake management activities.

However, monitoring of these underwater plants often involves labor-intensive, cost-prohibitive, time-consuming and site-specific traditional methods such as diver survey, which cannot accurately account for the spatial variation in the large lakes.

In this study, we developed a cost-effective satellite-based approach for the monitoring and quantification of SAV, which can give both spatial and temporal information of the large area and is repeatable for the long period.

Methods and Results:

The Landsat-8 image acquired for the peak growth period of the SAV was first subjected to image rectification and geoprocessing.

Afterwards, we developed a satellite-based depth-invariant water transparency retrieval algorithm, to estimate the water clarity of the basin.

In order to identify and estimate the distribution of the SAV in the basin, we used Spectral Mixture Analysis (SMA), a Spectral Angle Mapper (SAM), and a binary decision tree as the classification approach.

The coverage area of each of the vegetation class (i.e., emergent, floating and submerged aquatic vegetation) was estimated using the satellite image.

Furthermore, we developed a SAV biomass estimation model by developing a new spectral decomposition algorithm which accounts for the bottom albedo in the shallow lake basin.

The biomass of the detected SAV was estimated for the peak growth period of the SAV mainly in September (2014-2016).

The satellite-derived biomass ($R^2 = 0.79$) for the SAV classified area gives an overall root-mean-square error (RMSE) of 0.26 kg dry weight (DW) m^{-2} .

The mapped SAV coverage area was 20% and 40% in 2013 and 2016, respectively.

Estimated SAV biomass for the mapped area shows an increase in recent years, with values of 3390 t (tons, dry weight) in 2013 as compared to 4550 t in 2016.

The study shows that water clarity is essential for the SAV detection and biomass estimation using satellite remote sensing in shallow eutrophic lakes.

Future Plan:

The detection and classification of deep water SAV and their species in the shallow basin of the lakes.

To extend the developed satellite-based approach to other global lakes using the high-resolution satellite images in the future.

Research Article:

Title: A Satellite-Based Assessment of the Distribution and Biomass of Submerged Aquatic Vegetation in the Optically Shallow Basin of Lake Biwa.

Authors: Shweta Yadav, Minoru Yoneda, Junichi Susaki, Tamura Masayuki, Kanako Ishikawa, Yosuke Alexandre Yamashiki (Corresponding author).

Journal: *Remote Sensing*

[Yadav, S.; Yoneda, M.; Susaki, J.; Tamura, M.; Ishikawa, K.; Yamashiki, Y. A Satellite-Based Assessment of the Distribution and Biomass of Submerged Aquatic Vegetation in the Optically Shallow Basin of Lake Biwa. *Remote Sensing*. **2017**, *9*, 966. doi:[10.3390/rs9090966](https://doi.org/10.3390/rs9090966).]