

## (47) 衛星画像を用いた堤外地バイオマス量推定における植生分類方法の改良

小笠原 雅人<sup>1</sup>・桑原 祐史<sup>2</sup>

<sup>1</sup>学生会員 茨城大学大学院 理工学研究科 都市システム工学専攻

(〒316-8511 茨城県日立市中成沢町 4-12-1)

E-mail: 21nm811f@vc.ibaraki.ac.jp

<sup>2</sup>正会員 茨城大学教授 大学院 理工学研究科

(〒316-8511 茨城県日立市中成沢町 4-12-1)

E-mail: yuji.kuwahara.rs@vc.ibaraki.ac.jp

近年、集中豪雨の発生頻度は上昇している。日本の河川は急勾配で延長は短く、流域面積も小さい。このため洪水リスクが高く防災対策の基礎として、河道形状の把握は不可欠である。国内の一級河川では、河川水辺の国勢調査により、「環境基図」の作成が行われ、5年に1度の更新が義務付けられている。バイオマス量推定は、これを補完するものとしての応用が期待できるとともに、バイオマス量の変化は河川空間の自然環境変化といえるため、河川を対象とした自然環境維持のための環境政策の参考資料として活用できると考える。筆者らは堤外地を対象としたバイオマス量推定を進めており、本研究ではバイオマス量推定を改善することを目指し、光学衛星画像から草地と樹林を抽出する方法を工夫し、バイオマス量推定の精度向上に向けた手法を提案した。

**Key Words:** climate change, biomass, river, IPCC

### 1. はじめに

近年、集中豪雨の発生頻度は上昇しており、IPCC第6次評価報告書によれば、21世紀末までに大雨はより強く頻繁になる可能性が高いと報告されている<sup>1)</sup>。日本列島は高さ2000mから3000m級の山脈がその中央を縦走しているため、急勾配の河川が多く、河川の延長は短く、流域面積も小さい。このため、強い雨が降ると急に河川が増水し、短時間に洪水のピークに達することとなる。そのため、防災対策の基礎として、河道形状の把握は不可欠である。

国内の一級河川では、河川水辺の国勢調査により、「環境基図」の作成が行われ、5年に1度の更新が義務付けられている。バイオマス量推定は、この図面作成を補完するものとして提案手法の応用が期待できるとともに、バイオマス量の変化は河川空間の自然環境変化といえるため、河川を対象とした自然環境維持のための環境政策の参考資料として活用できると考える。

このような中、筆者らは防災と環境の両面から伐採計画を立案するうえで必要となる定量的なバイオマス量の

経年変化を推定するプロセスを提案した。この推定方法では、精緻なバイオマス量の推定はできないが、安価で広域かつ長期のデータが取得可能なLandsat衛星画像とALOS/AVNIR2より作成した堤外地データとの組み合わせにより、長期の堤外地バイオマス量(草地)及び樹林面積の変化を推定することが可能であるという特徴がある<sup>2)</sup>。本論では、更に研究を進め、新たに行った植生採取からバイオマス量推定式を作成し、係数を他の事例と比較することに加え、光学衛星画像から草地と樹林を抽出する方法を工夫し、バイオマス量推定の精度向上に向けた手法を提案した。

### 2. 目的

本研究の目的は、堤外地を対象としたバイオマス量推定において、推定式の改善及び植生分類方法を検討し、バイオマス量推定の精度向上を図る手法の提案を行うことである。目的を達成するための解析目標は以下の4点である。

- ① 宮城県角田市において、阿武隈川を対象とした植生採取を行い、Landsat から計算する正規化植生指標(NDVI : Normalized Difference Vegetation Index 以下、NDVI)を説明変数としたバイオマス量推定式を導き、推定式の係数を他の事例と比較する。
- ② 過去に行った水戸市を流れる那珂川の支流である藤井川を対象とした植生採取から作成した推定式と比較し、推定式の信頼性を検討する。
- ③ バイオマス量の推定は、河道や裸地といった非植生域の影響をなるべく小さくする対応が必要である。そのためLandsat より分解能の高いSentinel-2 より堤外地データを作成し、河道と裸地を除いた植生域を抽出する。
- ④ ③で抽出した植生域から Landsat より草地と樹林を分類する方法を工夫する。

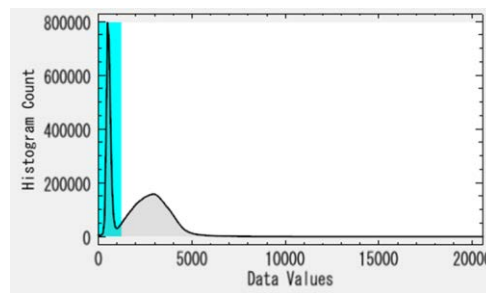


図-1 水域の近赤外 DN 値 (DN ≤ 1200)

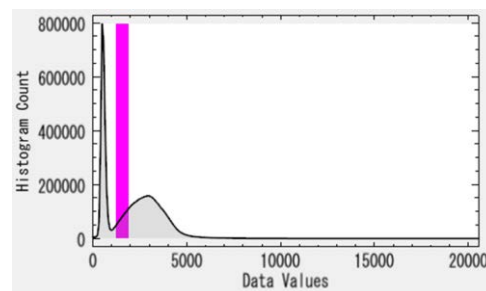


図-2 裸地の近赤外 DN 値 (1200 < DN ≤ 1900)

### 3. 解析データの準備

#### (1) 反射率データへの変換と NDVI 画像の生成

バイオマス量推定はバイオマス量を目的変数、NDVI を説明変数とする線形式によって行う。そのため、推定式作成に先立ち NDVI 画像の生成が必要である。バイオマス量推定は約 30 年間の長期変化を推定することを視野に入れているため、解析データとして Landsat データを採用した。1980年代から現在まで同じ解像度で統一して解析できるデータはほかになく、森林バイオマス量推定に広く使用されている<sup>3)</sup>。地上分解能は 30m である。USGS の「GloVis」よりデータをダウンロードした。GIS ソフトである「Arc GIS Pro」(ESRI 社)の解析ツールを使用し、反射率変換と NDVI 値の出力を行った。

#### (2) 堤外地データの作成

堤外地には水域や裸地といった非植生域が存在する。Landsat の分解能は 30 m であることから、上流部になるに従い堤外地は狭くなるため非植生域の影響がセル単位で計算するバイオマス量に影響を及ぼす。そこで、10 m 解像度の Sentinel-2 を使用し、堤外地の非植生域である水域と裸地を抽出、残った領域を「植生域」とし、堤外地データとした。筆者ら<sup>2)</sup>は既往の研究の中で、堤外地の土地被覆分類に ALOS/AVNIR2 を使用していたが、本研究では同解像度でありながら、観測頻度が高く無料で利用することができる Sentinel-2 を選択した。Sentinel-2 のデータはレベル 2A のデータを使用した。

同データは、オルソ幾何補正と大気補正が行われ、大気下端(地表面)の反射率を 10,000 倍した値が画素値(DN)になっている<sup>4)</sup>。

水域、裸地の判別は「Arc GIS Pro」(ESRI 社)を使用し、



図-3 那珂川堤外地データ(大桂大橋付近)

近赤外の DN の閾値処理で行った。ヒストグラムを図-1、図-2に示す。ヒストグラムの作成はリモートセンシング用の画像解析ソフトウェアである「ENVI」(ESRI社)を使用した。作成した堤外地データを図-3に示す。

#### (3) 植生サンプルの採取と乾燥重量の把握

筆者ら<sup>2)</sup>は既往の研究において、2020年10月に茨城県の藤井川を対象として植生採取からバイオマス量推定式を導いた。本研究では、他河川のサンプルからバイオマス量推定式を導き、推定式の信頼性を検討することを目的とし、阿武隈川の植生サンプルを用いてバイオマス量推定式を構築した。

##### a) 植生採取方法

2021年11月9日に阿武隈川で植生採取を行った。河口から約 26 km 上流の宮城県角田市の堤外地から植生の繁茂状況の異なる 4 点を採取地点として設定し、3 m × 3 m のコドラートを設置し、内部の植生を刈り取った。コ

ドラートとは植生調査に用いられる方形の区画である。

#### b) 乾燥重量の考え方

採取した植物は通風乾燥、天日干しを行い乾燥させ、重量の記録を行った。

経過時間 48 時間に対しての重量の変化率を計算し、重量変化率が 1 %未満となったら完全乾燥と判断し、乾燥重量とした<sup>2)</sup>。

### 4. バイオマス量推定式の作成と検討

#### (1) バイオマス量推定式の作成

NDVI は植物の活性度を示す指標であり、NDVI 値と地上部植生バイオマス量の間には強い正の相関がある<sup>3)</sup>。

3.(3)で得られた植生サンプルの乾燥重量をバイオマス量として、Landsat 衛星データのセル毎にバイオマス量を目的変数、NDVI を説明変数とする線形式を求めた。衛星データは植生採取日に可能な限り近い 2021 年 11 月 26 日の植生採取地である阿武隈川の宮城県角田市が含まれた Landsat8 衛星画像を使用した。図-4 に縦軸に目的変数であるバイオマス量を、縦軸に説明変数である NDVI を取ったグラフを示す。図より、バイオマス量と NDVI の間には NDVI が大きいほどバイオマス量が多いという相関関係が伺える。このため、回帰分析(線形)を行い、得られた結果をバイオマス量推定式とした。得られたバイオマス量推定式は式(1)に示すとおりである。

#### (2) 信頼性の検討

筆者ら<sup>2)</sup>が既往の研究において作成したバイオマス量推定式との比較を行い、推定式の信頼性を検討した。藤井川の植生サンプルから作成した NDVI-バイオマス量グラフを図-5 に示す。バイオマス量推定式を式(2)に示す。

回帰式の傾きは、式(1)が 3.27、式(2)が 3.75、切片については、式(1)が-0.984、式(2)が-1.38 となっており、限られたサンプル数でありながら、回帰式は類似していた。また、式(1)の決定係数  $R^2$  は 0.562 であった。高い値ではないが、同種の研究における  $R^2$  値は 0.500 程度を最大値として議論されることが多い<sup>6)</sup>。これらのことから本研究で新たに得られた推定式はバイオマス量推定の信頼性を高める材料になると考えられる。しかしながら、堤外地の植生種は多様であり、それらを推定するにはサンプル数の確保や、植生種毎のコードラート設置などを考えるが、これらの点の精度向上は今後の課題とした。

$$b = 3.27 (NDVI) - 0.984 \quad (1)$$

$$b = 3.75 (NDVI) - 1.38 \quad (2)$$

但し、

$$b : \text{バイオマス量 (kg/m}^2\text{)}$$

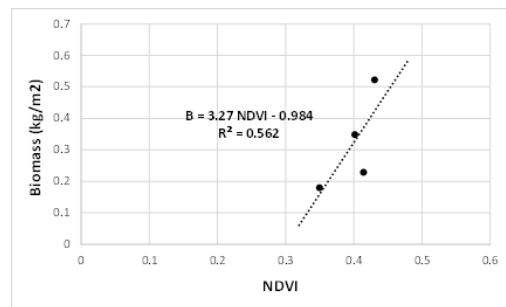


図-4 NDVI-バイオマス量グラフ (阿武隈川サンプル)

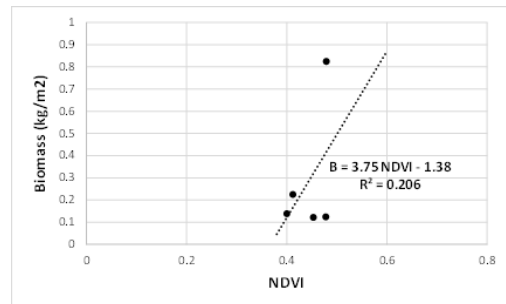


図-5 NDVI-バイオマス量グラフ (藤井川サンプル)

### 5. 草地と樹林の抽出方法の検討

3.(2)で作成した堤外地データの「植生域」は、草地と樹林が混合している。草本のバイオマス量と樹木のバイオマス量を分けて推定することを視野に入れているため、植生域から草地と樹林を分類する必要がある。Landsat データから草地と樹林を抽出する方法を工夫した。具体的には、衛星データのセル毎に近赤外(NIR)の DN 値を縦軸、可視光緑(Green)の DN 値を横軸とする二次元散布図を作成し、草地と樹林の境界線となる回帰式を決定した。那珂川を対象とし、堤外地から草地と樹林(常緑、落葉)が幅広く分布している 5 つの領域を選択し、散布図を作成した。植生種の確認には河川水辺の国勢調査の環境基図を使用した。作成した堤外地データのみでは、草地と樹林のセル値を識別することはできない。そこで、環境基図から草地と樹林のポリゴンを作成し、「植生域」中の草地と樹林のセル値を抽出した。2017 年の環境基図を使用し、Landsat は 2017 年 10 月 30 日のデータを使用した。図-6~10 に領域毎の散布図を示す。樹林の点群の密度が高い地点から 3 点選択し、草地と樹林を分割する回帰式を作成した。なお、ここでは草地と樹林の分布域が確認し易いラインを用いた結果を示した。5 つの領域の回帰式の平均を草地と樹林の分類式として式(3)に示す。

$$NIR = 23.3 (Green) - 161632 \quad (3)$$

但し、

NIR : 近赤外の DN 値

Green : 可視光緑の DN 値

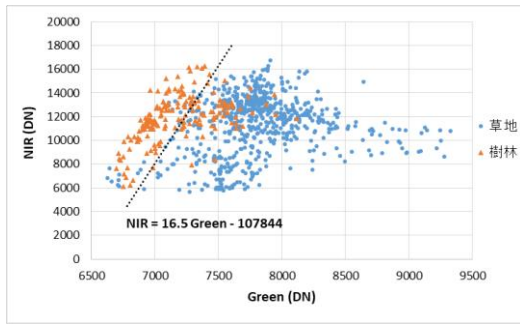


図-6 NIR, Green 二次元散布図 (新那珂川橋-御前山橋)

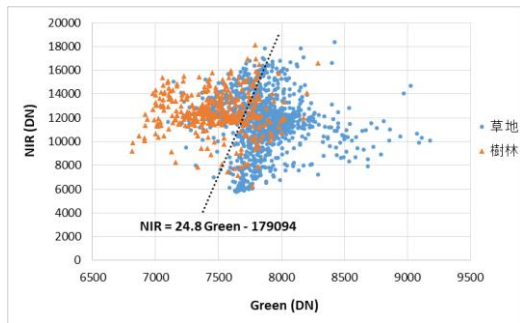


図-7 NIR, Green 二次元散布図 (大桂大橋-千代橋)

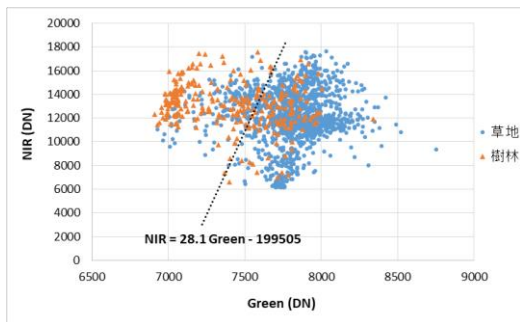


図-8 NIR, Green 二次元散布図 (那珂西大橋-常磐自動車道)

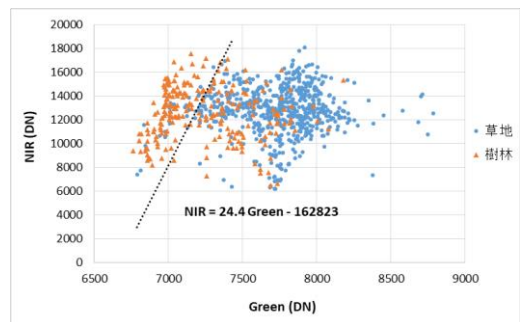


図-9 NIR, Green 二次元散布図 (常磐自動車-千歳橋)

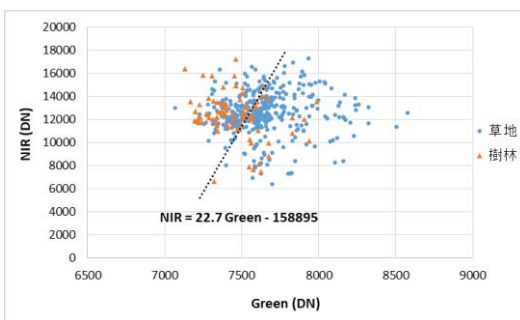


図-10 NIR, Green 二次元散布図 (水府橋-水戸大橋)

## 6. 研究の成果と今後の課題

### (1) 研究の成果

本研究の成果は以下の2点である。

- ① 新たに現地植生採取を行い，阿武隈川の植生サンプルからバイオマス量推定式を作成し，過去に作成した推定式と比較することでバイオマス量推定の信頼性を確認することができた。
- ② 堤外地データの植生域からLandsatデータを用いて，草地と樹林を抽出する方法を工夫し，植生分類の方法を提案することができた。

### (2) 今後の課題

本研究におけるバイオマス量推定式は草地の植生サンプルから得られた結果であり，樹木に対しての推定精度を検証する必要がある。この点について今後，植生種による推定傾向を調査するなど推定精度向上に向けて取り組む予定である。植生分類の回帰式に関しては，常緑，落葉，高木，低木，樹木種毎など詳細な検討を行い分類精度向上を目指す。また，本研究で得られた成果と今後の検討を含め，堤外地バイオマス量の長期変化推定の全国の河川への展開を目指していく。

### 参考文献

- 1) 気象庁：IPCC AR6 WG1 報告書 政策決定者向け要約 (SPM)暫定訳(2022年5月12日版)，  
<[https://www.data.jma.go.jp/cpdinfo/ipcc/ar6/IPCC\\_AR6\\_WG1\\_SPM\\_JP\\_20220512.pdf](https://www.data.jma.go.jp/cpdinfo/ipcc/ar6/IPCC_AR6_WG1_SPM_JP_20220512.pdf)>，(入手2022.6.11)
- 2) 小笠原雅人，桑原祐史：衛星画像を用いた那珂川堤外地を対象とした長期バイオマス量変化の推定，土木学会論文集G (環境) 77巻5号，pp.L155-L166, 2021
- 3) XiaolinZhu, DeshengLiu : Improving forest aboveground biomass estimation using seasonal Landsat NDVI time-series, ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, Volume 102, pp.222-231, 2015
- 4) 福本昌人，篠原健吾：Sentinel-2 衛星データによる水田の排水性評価. 農業農村工学会論文集 90 巻 1 号 pp. II\_85-II\_92, 2022
- 5) 渡辺修，大谷一郎，大原源二：空間分解能画像データによる畦畔等の植生バイオマス量の推定，システム農学 21(1) pp.47-57, 2005
- 6) Kensuke KAWAMURA, Tsuyoshi AKIYAMA, Osamu WATANABE, Hisahito HASEGAWA, Fu Ping ZHANG, Hiroomi YOKOTA and Shippig WANG : Estimation of Aboveground Biomass in Xilingol Steppe, Inner Mongolia Using NOAA/NDVI, Grassland Science 49(1) pp.1-9, 2003