衛星データによるアオサの繁茂状況の 把握に関する基礎的研究

武村 武¹・落合 麻希子²・内田 裕貴³

¹ 正会員 日本大学准教授 生産工学部環境安全工学科 (〒275-8575 千葉県習志野市泉町 1-2-1)
E-mail: takemura.takeshi@nihon-u.ac.jp

² 学生会員 日本大学大学院 生産工学研究科土木工学専攻 (〒275-8575 千葉県習志野市泉町 1-2-1)
E-mail: cimk16005@g.nihon-u.ac.jp

³ 正会員 日本大学助手 生産工学部土木工学科 (〒275-8575 千葉県習志野市泉町 1-2-1)
E-mail: uchida.yuuki@nihon-u.ac.jp

衛星データによるアオサの繁茂状況把握を目的に、谷津干潟にて UAV と衛星画像を用いて検討を行った。2016 年 10 月 27 日と 11 月 4 日に UAV により撮影された画像より、アオサの被度を算出した。その結果、両日ともアオサの被度は 80%程度であった。また、アオサの分光反射特性を検討した結果、525nm, 725nm 付近に特徴が見られた。そこで、衛星データから算出した NDVI を検討した結果、10 月 27 日では、すべての算出地点でプラス値を示したが、11 月 4 日では 90%以上の範囲でマイナス値を示す事となった。これらの差異は、水深との相関が高い事が確認され、その影響を考慮する事により衛星データによるアオサ被度の把握が可能であることが示唆された。

Key Words : UAV, NDVI, Spectral Reflectance, Landsat

1. はじめに

近年、全国的に内湾における藻類の発生が増加している¹⁾²⁾。この現象は、東京湾に接続する谷津干潟においても例外ではない³⁾。一般に、藻場や干潟は、水質浄化や生物多様性の維持などの機能を有しており、その存在が重要視されている⁴⁾。例えば、藻類は干潟に生息するカニや腹足類のホソウミナナなどの餌となり多様な生態系を創出する一助となっている。また、能登谷ら⁵⁾の調査によれば、アオサ類は富栄養化した浅海域でも成長でき、最適状況下では1日で2倍量になる種もあるとされ、その成長の速度から、アオサ類による栄養塩類の吸収は他の大型藻類と比較して水質浄化に大きく寄与すると報告されている。これらのことから、様々な機能を有する藻類の繁茂状況を把握することは、水圏の環境評価をするうえで非常に重要である。従来、藻類の繁茂状況の把握には現地調査を主に行われていたが、継続的にモニタリングする必要があるうえに、ダイバーへの危険も懸念されている。そのような問題点を解消すべく、近年では一度に広域を観測できるリモートセンシング技術によるモニタリングが着目されている⁶⁾⁷⁾。リモートセンシングは、広範囲にわたりデータを取得することが可能なうえ、物質特有のスペクトル特性を把握し様々な調査に用いられ

ている技術である。しかしながら、水域に生息する植物の繁茂状況を把握する手法は確率されておらず、種々な検討が行われている⁸⁾⁹⁾。

本研究では、千葉県習志野市の東京湾最奥部に位置する谷津干潟を対象とし、衛星データによるアオサの繁茂状況把握を目的として、その前段階として UAV による空撮ならびに Filed Spec Hand-Held (ASD 社) を用いてアオサの繁茂状況と分光反射特性を調査した。同時に、Landsat-7/8 による衛星画像を用いてアオサの繁茂状況の把握・検討を行った。

2. 使用データおよび研究手法

本研究の対象地とした千葉県習志野市の東京湾最奥部に位置する谷津干潟は、1993年にラムサール条約登録地となり、主に水鳥の生息地として国際的に重要な湿地帯と認定されている。現地調査日は、Landsat 7/8 による観測日を想定し 2016 年 10 月 27 日と 11 月 4 日を選定して調査を行った。またアオサの特徴を把握するために、基礎研究として野外放射計を用いて分光反射率の測定を行った。

表-1 現地観測実地日一覧

撮影日時		アオサ被度(%)	水温(°C)	潮位(cm)
10月27日	12時17分	80	24	108
11月4日	12時49分	81	17	133

表-2 Landsat による観測日時一覧

衛星センサ	観測日時		潮位(cm)
Landsat7 ETM	10月27日	10時16分	77
Landsat8 OLI	11月4日	10時18分	170

(1) UAVによる空撮

現地におけるアオサの繁茂状況を把握するためDJI社製PHANTOM3professionalのUAV(Unmanned Aerial Vehicle)を用いて空撮を行った。空撮された画像から作成したオルソ画像をもとに、繁茂率の計測を行った。作成したオルソ画像を図-1、図-2に示す。作成したオルソ画像をLandsat-7/8により取得された画像と比較するために、谷津干潟周辺の構造物を参照して位置合わせを行った。

(2) アオサの分光反射特性の把握

アオサによる反射特性を把握するために、現地においてアオサの分光反射率の測定を行った。測定に使用した器機は、ASD社製のFiled Spec Hand-held(観測波長域：350nm-1075nm)である。本機を用いて、陸上におけるアオサと干潟内でアオサの頂頭部(水中被度)での測定を行った。測定日時は2016年10月18日で、太陽高度が最も高いとされる午前10時～午後2時の間に行った。

(3) 衛星データによる解析

植生の判断要素として用いられる正規化植生指標NDVI(Normalized Difference Vegetation Index)を、アオサの繁茂状況把握にも利用出来ないかを検討する。NDVIは、陸域に生息する植生の活性度を表しており、植物の反射吸収特性を活かした指標であり、式(1)で示される。

$$NDVI = \frac{(IR-R)}{(IR+R)} \quad (1)$$

ここに、 IR は近赤外域、 R は可視域赤の波長帯であり、本研究で使用した衛星Landsat7ではband3, band4に、Landsat8ではband4, band5に相当する。Landsat7/8による谷津干潟東部の画像を図-3、図-4に示す。NDVIの値は-1～+1の範囲で表され、値が高いほど活性度が高く、低いほど活性度が低いとされる。ここで、衛星による撮影画像の解像度は30mであるため、算出されるNDVIは、30m四方内の代表値となる。なお、表-1、表-2に記載している潮位は、気象庁が公開している東京湾の潮位データであり、東京湾平均海面(TP)を基準としている。また谷津干潟自然観察センターへのヒアリングから、谷津干潟と

図-1 UAVによる谷津干潟東部のオルソ画像
(2016年10月27日空撮)

図-2 UAVによる谷津干潟東部のオルソ画像
(2016年11月4日空撮)

図-3 Landsat-7 ETMによる谷津干潟東部
(2016年10月27日観測)

図-4 Landsat-8 OLIによる谷津干潟東部
(2016年11月4日観測)

東京湾の潮汐には約1.5時間の時間差がある点を付記する。

3. アオサの分光反射率について

アオサの分光反射特性を把握するために、Filed spec Hand-Heldを使用して、分光反射率の測定を行った。測定日は2016年10月18日であり、測定は陸上と水中の2つの状況下において行った。いずれも測定時間は、太陽高度が最も高いとされる日中に行った。陸上での測定結果を図-5に示す。植生の分光反射特性は、可視域・近赤外域において吸収帯・反射帯を持っており¹⁰⁾、今回の測定結果は、その反射特性が明瞭に表れている。次に水中での分光反射率測定結果を図-6に示す。先の結果と同様に、可視域・近赤外域において、微少なながらも特徴的な反射率が得ることが出来た。

そこで、より詳細に特徴的な変化を見出すために500nm～550nmの範囲、625nm～825nmの範囲における分光反射特性曲線を1次微分により求めた¹¹⁾。その結果を図-7、図-8に示す。図-7に示した500nm～550nmの波長領域は可視光域(緑)に相当し、植生による反射率が高くなるとされている。陸上でのアオサと頂頭部(水中被度)の結果から500nm～505nm, 545nm付近に特性が見受けられた。次に図-8に示した625nm～825nmの波長領域は近赤外波長帯であり、植生の反射・吸収波長帯域となっている。陸上のアオサと頂頭部(水中被度)の反射率から、765nm付近で反射・吸収の影響が見受けられた。これらの結果から水面上の光の散乱・反射、波の影響を受けているが、今回対象とした谷津干潟内に繁茂するアオサの特徴的な反射特性を得ることは可能であると示唆された。そこで、この波長帯を使用しているNDVIなどの指標を用いた繁茂域の把握も可能ではないかと考えられ、それによる評価を検討する。

4. アオサ被度の検討結果

(1) アオサ被度の算出結果

アオサによる分光反射特性の計測結果より、可視光域と近赤外域を用いた指標NDVIによる繁茂域の評価は可能であると考えられた。そこで、現地においてUAVにより撮影された画像から作成されたオルソ画像と、衛星データを用いて評価を行った。UAVによる撮影日とLandsat-7/8の観測日を表-1、表-2に示す。はじめに、オルソ画像を用いたアオサ被度の算出方法について記述する。UAVで撮影された画像をもとに作成されたオルソ画像において、Landsatにおけるメッシュの状況を踏まえた形で画像を分割し、メッシュごとにプランニメーターを用いてアオサの被度を算出した。表-1に示す様に全調査日において、アオサ被度は80%程度を示している。

図-5 陸上におけるアオサの分光反射率

図-6 水中被度におけるアオサの分光反射率

図-7 500nm～550nmの範囲における分光反射特性曲線

図-8 625nm～825nmの範囲における分光反射特性曲線

一般的に、アオサの生育は水温が20℃の環境下での生長率が最も高く、水温35℃の環境下では最も低い。さらに水温4℃前後までの耐性があることも報告されている¹²⁾。現地調査日の水温は10月27日で24℃、11月4日で17℃であった。このことから、調査日の水温がアオサの生長に対

図-9 NDVIの処理結果(10月27日,Landsat-8)

図-11 アオサ被度とNDVIの比較(10月27日)

して適温であったと考える。

(2) NDVI とアオサ被度の比較

本研究では、繁茂率を算出するためにNDVIを用いることとした。NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) は正規化植生指数と呼ばれ、植生の活性度を示す指標となっている。Landsat-7 ETM, Landsat-8 OLIのデータより算出した。

取得したデータを放射輝度から反射率へ変換する必要がある、以下の式(2)~(3)が提供されている¹³⁾。

Landsat-7 ETM

$$\rho_{\lambda} = ((G_{rescale} \times Q_{cal} + B_{rescale}) \times \pi \times d^2) / (ESUN_{\lambda} \times \cos \theta_s) \quad (2)$$

Landsat-8 OLI

$$\rho_{\lambda} = \frac{(G_{rescale} \times Q_{cal} + B_{rescale})}{\cos \theta_s} \quad (3)$$

ここで、 ρ_{λ} : 大気上端反射率, $G_{rescale}$: ゲイン係数, Q_{cal} : 量子化標準化画素値, $B_{rescale}$: バイアス因子, d : 地球と太陽の距離係数, $ESUN_{\lambda}$: 大気圏外の平均太陽放射照度, θ_s : 太陽頂点角となっている。図-9, 図-10に谷津干潟周辺のNDVIの処理結果を示す。両画像の濃

図-10 NDVIの処理結果(11月4日,Landsat-7)

図-12 アオサ被度とNDVIの比較(11月4日)

淡の違いは、NDVIが高いほど白く表示され、低いほど黒くなっている。次に、算出したNDVIとアオサ被度を比較した。比較した結果を図-11, 図-12に示す。図-11より10月27日のデータではすべての繁茂範囲においてプラス値となった。一方、図-12より11月4日のデータでは、アオサの繁茂範囲の9割以上でマイナス値を示した。両日も、オルソ画像の結果からアオサの被度は80%程度で同様の値であったことを踏まえると、この差異は潮位による影響が大きいと考えられる。

次に、オルソ画像から水表面に露呈しているアオサ(表面被度)と、表面に水がかかっているアオサ(水中被度)を区分し、衛星画像から、表面被度と水中被度におけるNDVIを算出した。その結果を図-13, 図-14に示す。表面被度はアオサの被度の大小にかかわらず、プラスの値を示すことが確認された。一方、水中被度はアオサの被度が100%であってもほとんどの地点でマイナス値を示す結果となった。これは、水表面における反射の影響が大きく、無視できないことを示している。

次に、水深の違いによる水中被度を検討した。算出結果を図-15, 図-16に示す。縦軸は、アオサが水中にある場合のNDVIを示している。横軸は東京湾平均海面(T.P.)を基準(ゼロ)とした水深(マイナスが水中)である。この結果から、10月27日撮影のデータでは、水中被度に

○ 表面アオサ被度 ——— 近似線(表面アオサ被度)
● 水中アオサ被度 - - - - 近似線(水中アオサ被度)

図-13 アオサ被度とNDVIの比較(10月27日)

においてもプラス値が確認されているが、11月4日撮影のデータでは、ほとんど確認されない。また、水深が浅くなるとNDVIが大きくなっていることもわかる。

谷津干潟におけるアオサに関する調査は多く行われており、一年を通してアオサが生息していると報告されている^{12),14)}。しかし、水中におけるアオサ群落の生育状況は報告されていない。また、アオサの生態量に関する調査は、谷津干潟を含めた浅海域や池などで多く行われている。しかし、調査地点ごとに現存量の値の差が大きい^{15),16)}。加えて、アオサの形状に関する報告もされており、大きいものでは長径3m以上に達する¹⁷⁾。しかし、水中におけるアオサ群落の状況はわかっていない。

ここで、10月27日と11月4日の潮位の差は100cm以上あることから、アオサは水底からある程度の高さまでで群落を形成しており、潮位の差により水表面からアオサ頭頂部までの距離に差が出たため、前述のような結果になったと推測される。しかし、水表面とアオサ頭頂部の距離に関する観測結果等がないため、今後さらなる検討が必要だと考えられる。

最後に本研究は衛星データによるアオサの繁茂状況把握を行うための評価式の提案を念頭に置き検討を行った。今後の評価式の構築にあたり、潮位(水深)の影響を十分に考慮すればアオサの繁茂状況把握は可能であることが示された。

5. まとめ

本研究は、谷津干潟内に繁茂しているアオサの繁茂状況を把握するため、現地による調査ならびに UAV、衛星データを用いて検討を行った。

現地調査では、アオサの分光反射特性を見出すことができたがアオサは陸域に生息する植物ではなく海面下に

図-14 アオサ被度とNDVIの比較(11月4日)

図-15 アオサ被度とNDVIの比較(10月27日)

図-16 アオサ被度とNDVIの比較(11月4日)

生息する水生植物なため、今後の調査では光の散乱、波の影響などを考慮する必要がある。また、アオサ被度とNDVIを比較した結果、潮位差が大きく影響していることが示唆され、今後の評価式の構築にあたり、潮位の時間変化を考慮しなければならないと考えられる。

謝辞

本研究を行うにあたり、千葉県谷津干潟観測センターの職員の皆様にご協力をいただきました。ここに記して

感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 工藤教勇, 児玉真史, 徳永貴久, 松永信博: 干潟におけるアオサの消長が生物生息環境に及ぼす影響, 海岸工学論文集 Vol. 50, P1081-1085, 2003.
- 2) 寺脇利信, 吉田吾郎, 内田基晴, 浜口昌巳: 瀬戸内海の干潟・藻場の現状と順応的管理, 海洋開発論文集, Vol. 21, P83-88, 2005.
- 3) 矢部徹, 石井裕一, 天野佳正, 立本英機: 谷津干潟のグリーンタイドに関する研究, 日本陸水学会大73回大会, 2008.
- 4) 環境省 第一回環境・生態系保全活動支援制度検討会. 資料3 干潟・藻場の機能. 2010.
- 5) 能登谷正浩: 海藻類による環境修復, 日本藻類学会創立50周年記念出版, 92-94, 2002.
- 6) 宮野忠文, 佐野誠, 長谷川浩治, 馬場祥宏, 小黒剛成, 相田聡, 千葉良三: リモートセンシング画像による藻場分布把握技術の開発(第2報), 広島県立西部工業技術センター研究報告, No. 49, pp. 12-15, 2006.
- 7) ルイ ソチュー, 作野裕司: 衛星 Terra/ASTER データを使った吉名干潟における藻場モニタリング, 水工学論文集, Vol. 52, 2008.
- 8) 沖一雄, 安岡善文, 田村正行: 高濃度水域における水質リモートセンシング, 日本リモートセンシング学会誌 Vol. 21, No. 5P449-457, 2001.
- 9) 古海 忍, 林 礼美, 塩野 由美子, 村松 加奈子, 藤原 昇: Landsat/MSS, TM データを使ったパターン展開法による関西地域の植生変動解析, 日本リモートセンシング学会誌 Vol. 17 No. 4, pp. 34-49, 1997.
- 10) 伊藤健吾, 大槻恭一, 神近牧男: 分光反射特性を用いた植生の植被率と活性度の分離, 日本リモートセンシング学会誌, Vol. 16, No. 4, pp. 41-49, 1996.
- 11) 関岡信一, 石川大太郎, 野呂忠秀, 石黒悦爾: リモートセンシングによる藻場の現存量推定手法に関する基礎的研究, 日本リモートセンシング学会, Vol. 28 No. 4, pp. 342-349, 2008.
- 12) 矢内栄二, 本永麻衣子, 藤原誠司, 室山結実: 東京湾奥部の谷津干潟におけるアオサとノリの繁殖特性, 土木学会論文集 B2, Vol. 66, No. 1, 1081-1085, 2010.
- 13) 岡本勝男: Landsat データのメタ情報を用いた分光放射、反射率、輝度温度自動変換プログラムの開発, システム農学会, 31(3)81~90, 2015.
- 14) 矢部徹, 石井裕一, 井元辰哉, 五明美智男: 谷津干潟におけるアオサの繁茂特性に関する現地調査, 海洋開発論文集, 第23巻, 2007.
- 15) 芳村碧, 矢持進: 大阪南港野鳥園北池におけるグリーンタイドの季節的変遷と原因海藻ミナミアオサの低塩分・干出耐性に関する研究, 土木学会論文集 B2, Vol. 67, No. 2, 2011, I_1136-I_1140.
- 16) 環境省: 平成24年度第2回国指定谷津干潟鳥獣保護区保全事業検討会 配布資料.
- 17) 愛知県蒲郡市: アオサ活用に関する調査報告書, 2011.

(2017.2.2 受付)

FUNDAMENTAL STUDY ON *ULVA* SPP. MONITORING BY SATELLITE DATA IN YATSU TIDAL FLAT

Takeshi TAKEMURA, Makiko OCHIAI, Yuuki UCHIDA

The satellite data and UAV (Unmanned Aerial Vehicle) was used to measure the vegetated area of *Ulva* spp. in YATSU tidal flat. The vegetated areas of *Ulva* spp. on 27 Oct. 2016 and 4 Nov. 2016 were measured from the image taken by UAV and its vegetated area were around 80% on both day. And characteristics of spectral reflectance of *Ulva* spp. were almost same as that of land green plant. Therefore, NDVI indicated a positive value at all area on 27 Oct. however, it indicated a negative value in the range over 90% on 4 Nov. It was confirmed that these differences strongly correlate with water depth. So, it was suggested that it is possible to evaluate the vegetated area of *Ulva* spp. by satellite data by considering the influence of water depth.