

LANDSAT の衛星画像を利用した滋賀県琵琶湖南湖での水草の検出

谷清隆^{†1} 梅津高朗^{†1}

概要：滋賀県琵琶湖では戦後の経済発展に伴い、様々な環境問題にさらされており、近年では外来水草の大繁茂が問題視されている。本研究では人工衛星 LANDSAT の衛星画像を利用して、水草が新たに繁殖している場所を事前に調査員が知ることで巡回・確認作業を簡略化することを目指す。衛星画像としてアメリカの人工衛星である LANDSAT8 のデータを利用し、衛星画像を加工し水草の濃い緑色という特徴を抽出する手法の検討を行った。検討作業は OSS の GIS ソフトである GRASS GIS を用い、様々なパラメータを試して実現可能性を探った。はじめに可視光線による人間の目でみる画像に近い画像を生成する手法であるトゥルーカラー合成画像と事前に用意した琵琶湖南湖で繁茂しているオオバナミズキンバイを撮影した GPS 情報付きの写真データ 1179 枚で琵琶湖南湖に繁茂しているオオバナミズキンバイの位置を確認した。次に、実際の色とはかけ離れた色合いで表現した画像で、赤色部分に緑葉素などを効果的に抽出できるフォールスカラー合成画像を生成し、水草の特徴である濃い緑色を抽出しようとしたが、琵琶湖の水の色と水草の色が近いため特徴の抽出が難しかった。

しかし、LANDSAT 8 のバンド 5 に RGB の真ん中で水草の色である緑色を細かく分類することができる、EU でコカインの土地被覆を調べる際に用いられるカラーマップ (Corine) を用いることで、水草の濃い緑色を抽出し、琵琶湖の水の色と分割することができた。これを応用し、フォールスカラー合成画像生成と同様に実際の色彩とは違うが、水草を青色で着色し、その他の場所は緑色に着色することで、より水草の位置を判別しやすくなる新手法の画像処理方法を開発した。

キーワード：画像認識, リモートセンシング

1. はじめに

滋賀県琵琶湖では戦後の経済発展に伴い、様々な環境問題にさらされており、生活排水による赤潮問題やブラックバスやブルーギルといった外来魚が繁殖し琵琶湖固有魚が減少している問題が過去に発生している。しかし、これらの問題は現在解決に向かっていく。しかし、近年、特に琵琶湖南湖での水草の異常繁茂が問題視されており、水草の異常繁茂により、「水質汚濁」「生態系への悪影響」「漁業への被害」「河川の閉塞」といった問題が発生し、琵琶湖の環境に大きな影響を与えている。この水草の異常繁茂問題では「水草の繁殖速度が想定よりも早かったこと」と「水草の繁茂地点が琵琶湖南湖から琵琶湖北湖まで広がり、早期発見が難しくなっていること」の 2 点が水草の異常繁茂の一つの原因であると考え、衛星画像を使ったリモートセンシング技術を用い、現地調査をする前に新たに繁殖している場所を事前に調査員が知ることで巡回・確認作業を簡略化することを目指す、本研究を行なった。

2. 関連研究

文献¹では 2011 年 3 月 11 日に発生した東北地方太平洋沖地震 (東日本大震災) とその余震や誘発地震による東北地方を中心とした広域かつ大きな地殻変動を国土地理院が設置する電子基準点の移動による観測ではなく、人工衛星搭載の光学センサーや SAR (Synthetic Aperture Radar : 合成開口レーダ) によって撮影された衛星画像を、差分干渉処理することで観測している。国土地理院は日本全国に 1300 ヶ所もの電子基準点を設置しているが、近接する 2 つの基準点は約 20km 間隔と離れている²。そのため電子基準点の

みで 20km 以下の変動を捉えることは難しいとされている。しかし、差分 SAR 解析は画像のピクセル単位で変化を捉えることができるため、数 cm 単位で変化を捉えることができ、電子基準点と 0.3m 程度の誤差で細かな地殻変動を検出している。この技術をオオバナミズキンバイの繁殖面積の検出に利用することで、正確なオオバナミズキンバイの面積を求めることが出来ると考えられる。

文献³では普通の衛星画像で観測できる数種類のバンド (例えば、赤、緑、青) よりもさらに細かくバンドを分割し、可視域から短波長赤外域にかけて数十から数百バンド (波長) に分けて観測するハイパースペクトル画像⁴を利用し、一般的なカラー合成画像 (ナチュラルカラー合成画像、トゥルーカラー合成画像、フォールスカラー合成画像) だけでなく、より細かい画像合成を行うことで、より詳細に対象物の観測を観測している。この研究から衛星画像処理として一般的なカラー合成画像はナチュラルカラー合成画像、トゥルーカラー合成画像、フォールスカラー合成画像の 3 種類であり、トゥルーカラー合成画像生成によってオオバナミズキンバイの大まかな位置を判定し、フォールスカラー合成画像を利用しオオバナミズキンバイに赤色で着色できると考えられる。

文献⁵では衛星リモートセンシングで植生の活性度を広域に分析しようとする際、NDVI (Normalized Difference Vegetation Index : 正規化植生指標) を利用することが多いことに触れられている。

NDVI は下記の式で表される。

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED}$$

NIR : 近赤外光に対応するバンドの画像濃度値

^{†1} 滋賀大学
Shiga University.

RED：赤色域に対応するバンドの画像濃度値

NIR (Near InfraRed：近赤外域) は緑葉の分光反射率が大きくなり、画像濃度値が大きくなる。RED (赤色域) では、葉に含まれるクロロフィルによって電磁波の反射率が小さくなり、画像濃度値は小さくなる。上記式では NIR バンドと RED バンドの画像濃度値の差が大きくなると NDVI 値は大きくなることを表す。ただし、ハイパースペクトル画像を利用する場合、効果的な NDVI 画像を生成するためには NIR 域、RED 域のどのバンドを利用すべきか判断することが難しいため、機械学習を用いて最適なバンド選択を行っている。

この研究からフォールスカラー合成画像の他にも植生調査に使われる方法として NDVI が存在し、オオバナミズキンバイの特徴を抽出するために衛星画像に対して NDVI 処理を行うこともできることがわかる。

文献⁶ではリモートセンシングを行う際に観測ノイズとなってしまうエアロゾルの分別を行っている。リモートセンシングの際の観測ノイズとなってしまう空気中の影響物としては、雲、エアロゾル、大気放射の大きく分けて3種類が存在する。さらに雲には水雲や氷雲という2種類、エアロゾルには黒色炭素、海塩粒子、鉱物ダスト、大気汚染粒子(硫酸塩、硝酸塩、勇氣エアロゾルの混合物)の4種類が存在し、物質により観測にどれぐらい影響をあたえるのか変わるため、観測結果を補正するためにはどの物質にどれぐらい影響を受けているのか判断する必要がある。この研究では、特に影響を大きく与える光吸収性の強い粒子(黒色炭素)、非球形粒子(鉱物ダスト)、球形粒子(黒色炭素を除く大気汚染粒子)の3種類の消散係数を推定するアルゴリズムを構築している。

この研究から、リモートセンシング技術を利用する際には雲、エアロゾル、大気放射の3種類の影響を考慮しなくてはならないことがわかる。また、エアロゾルや大気放射は目でどれぐらい影響があるのか判断することが難しいが、雲に関しては雲の影響がない雲の下からリモートセンシングすることや衛星画像などを利用する際に雲の影響がほとんどないものを選択し利用することが適切であると考えられる。

3. 提案手法

3.1 研究目的とアプローチ

3.1.1 研究目的

本研究の目的は衛星画像を用いたリモートセンシング技術により、特定外来生物オオバナミズキンバイが新たに繁殖している場所の発見と群落がどれぐらい変化しているか現地に行かなくても簡易的に知ることができることである。また、ものに触れず広範囲を効率的に調査することができるリモートセンシング技術を水質調査に利用し、広範囲にわたる水質調査を短時間で簡単に行えるようにすること

を目指す。

3.1.2 アプローチ

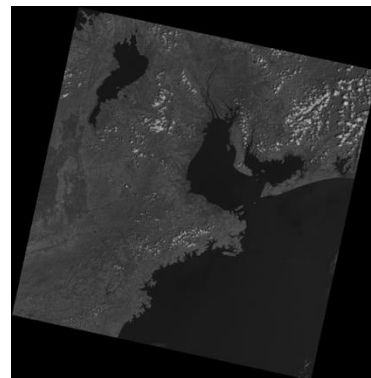
本提案手法では、人工衛星 LANDSAT8 による画像データを用いる。また、画像加工にはフリーソフトである GRASS GIS を利用する。さらに、検出した水草の位置が正しいかどうか判断するため、2015 年に繁殖していたオオバナミズキンバイの位置情報を含む写真データを利用し整合性を判断する。

(ア) LANDSAT とは

LANDSAT はアメリカ航空宇宙局などが打ち上げている人工衛星であり、1972 年に一号機が打ち上げられた。現在では 1997 年に打ち上げられた 7 号機、2013 年に打ち上げられた 8 号機の撮影した衛星画像を USGS (United States Geological Survey：アメリカ地質調査所) の提供する「LANDSAT Look Viewer」という web アプリケーションで無償ダウンロードできる。

LANDSAT が撮影した画像データは 1 枚の画像データとしてではなく、光の波長ごとに別々の画像データとして保存されている。LANDSAT8 が習得できる画像データとその特徴は以下のとおりである (図 3) (図 4)^{7, 8}。

【図 3】 LANDSAT8 による衛星画像 (2015 年 4 月 30 日、バンド 5)



【図 4】 LANDSAT7 と LANDSAT8 の波長と特徴

センサ	LANDSAT8			特徴		
	NO.	名称	波長帯(μm)	解像度(m)	スペクトル領域	観測対象
OLI	1	New Deep Blue	0.433 - 0.453	30	ウルトラブルー	海岸線や大気補正
	2	Blue	0.45 - 0.515	30	青	ナチュラルカラー
	3	Green	0.525 - 0.6	30	緑	ナチュラルカラー
	4	Red	0.63 - 0.68	30	赤	ナチュラルカラー
	5	NIR	0.845 - 0.885	30	近赤外	緑葉素等
	6	SWIR 2	1.56 - 1.66	30	中間赤外	水域や植物
	7	SWIR 3	2.1 - 2.3	30	中間赤外	資源等
	8	PAN	0.5 - 0.68	15	緑から近赤外	高画質
	9	SWIR	1.36 - 1.39	30	シーラス	巻雲
TIRS	10	-	0.3 - 11.3	100	熱赤外	地表面温度
	11	-	11.5 - 12.5	100	熱赤外	地表面温度

※TIRS バンドは 100m の解像度で取得されますが、提供されるデータは 30m に再サンプリングされます。

LANDSAT8のセンサーはOLI(Operational Land Imager: イメージングマルチスペクトル放射計)とTIRS(Thermal Infrared Sensor: イメージングマルチスペクトル放射計)の2種に分類される。

OLIは光の波長ごとに撮影され、観測対象により使用するバンドを選択することで、観測対象をより鮮明にリモートセンシングすることができる。また、TIRSは熱赤外センサーで地上表面の温度を測定することができ、温度が高いと白っぽく、温度が低いと黒っぽく映る。なお、同じ場所への回帰には16日間掛かるため、同一地点を継続して観測する場合は、観測の間隔は16日ごととなる。

(イ) GRASS GIS とは

GIS(Geographic Information System: 地理情報システム)とは、位置に関する情報を持ったデータ(空間データ)を総合的に管理・加工し、視覚的に表示し、高度な分析や迅速な判断を可能にする技術である⁹⁾。そして、GRASS GISとはOSS(Open-source software: オープンソースソフトウェア)のGISソフトである。

「(イ) LANDSAT とは」で記述したとおり、LANDSATで取得できる画像データは光の波長によってバンドごとに分割されているため、それぞれの画像を重ね合わせより見やすい画像とするために使用する。

今回GRASS GISのバージョンとして7.0.2を利用した。また、GRASS GISを利用するためには同じくOSSである様々なオープンソースのGISソフトウェアや開発用ライブラリを一括してインストールするため「OSGeo4W」を同時にダウンロードし、利用している。

(ウ) オオバナミズキンバイ位置情報データ

リモートセンシングで検出したオオバナミズキンバイの繁殖場所が正確かどうか判断するため、2015年4月26日から2015年12月5日までの琵琶湖南湖で繁茂しているオオバナミズキンバイを撮影したGPS情報付きの写真データ1179枚を用意した。

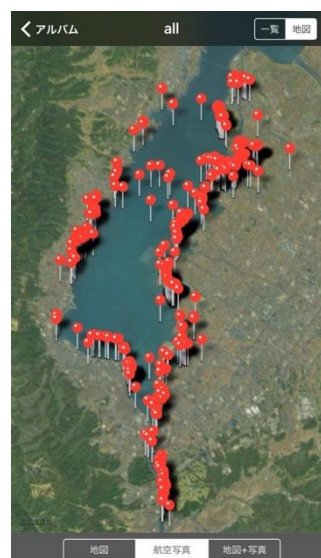
準備した写真は筆者が実際にオオバナミズキンバイが繁殖している場所に行き、水草の写真を撮ることで位置情報を記録した。写真は可能な限り撮影日を複数日用意し、撮影期間で撮影日が分散するように注意しながら撮影を行った(写真4)。

【写真4】位置情報を記録したオオバナミズキンバイの写真(一部)



また、iosアプリケーションであるBest Albumを利用し、Googleマップと写真の位置情報を重ね合わせた。Best AlbumはWebアプリケーションであるGoogleフォトと連携し、Googleフォトにアップロードされている写真のアルバム内の写真の位置情報を読み取り、Googleマップ上に表示させるアプリケーションである。表示結果は以下のとおりである(図5)。

【図5】Best Albumでオオバナミズキンバイ位置情報を表示



3.2 提案手法(オオバナミズキンバイの位置検出)の概要

本研究でオオバナミズキンバイの繁殖量を判定するためにオオバナミズキンバイの色である緑色を抽出し、他の

色に着色することで位置を明確にする。

3.2.1 準備データ

今回 LANDSAT8 が撮影した下記の 5 つのデータを使用した。

1. 2015 年 04 月 30 日 03 時 59 分 33 秒撮影
2. 2015 年 08 月 04 日 05 時 39 分 33 秒撮影
3. 2015 年 09 月 28 日 05 時 28 分 27 秒撮影
4. 2015 年 10 月 07 日 04 時 08 分 27 秒撮影
5. 2015 年 10 月 23 日 09 時 52 分 25 秒撮影

今回用意したデータは「衛星データにノイズがない」「雲のカバー率が 20%以下」「滋賀県琵琶湖南湖が全面写っている」の 3 点すべてを満たし、繁殖場所確認用の写真データが存在する 4 月から 10 月のものを用意した。

1 つ目の条件は衛星画像にノイズがあると、縞模様が発生し色に境目ができてしまう他、実際に色と大きく変化してしまうからである。2 つ目の条件は雲が観測対象と衛星の間に入ってしまうと地表面の色が映らず、観測できなくなってしまうからである。今回地表面を観測することが可能であるカバー率として、20%を閾値として採用した。3 つ目の条件は琵琶湖南湖が別々の画像で撮影されていると 2 種類の画像を合成する必要がある他、撮影される画像が異なると撮影条件が異なるため衛星画像の色合いが変化する可能性があるため、1 枚で琵琶湖全域が写っているものを用意した。また、滋賀県琵琶湖南湖のみを観測対象とし、南湖が写っていれば撮影位置は問わないものとした。

今回 LANDSAT8 の 11 個のバンドの内、使用したのはバンド 2 (青)、バンド 3 (緑)、バンド 4 (赤)、バンド 5 (近赤外) の 4 バンドを利用し、オオバナミズキンバイの位置の検出を行う。

3.2.2 提案手法 (オオバナミズキンバイの位置検出) の手順

はじめに今回 LANDSAT8 により日本を撮影した衛星画像を利用するため、GRASS GIS の初期設定として GIS データ設定の際、WGS84 の EPSG コードである 4326 を指定する。

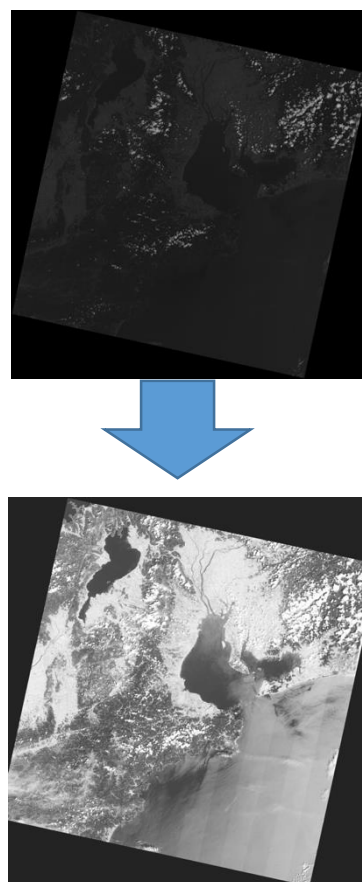
WGS84 (World Geodetic System 1984) はアメリカが構築・維持している世界測地系¹⁰であり、EPSG コードとは GIS で使用される座標参照系、測地系、本初子午線、地図投影法等の様々な要素に必要なパラメータを 1 つにまとめ、そのパラメータの集合体どうしを区別するためにコードを割り振ったコード体系のこと¹¹である。WGS84 以外にも日本の測地系として日本測地系 2000 や国際地球基準座標系 (International Terrestrial Reference System, ITRF) の系統の座標系 (ITRF 94 等) が存在する。今回は LANDSAT がアメリカの衛星のため、座標系もアメリカ基準のものを利用する。

初期設定後、GRASS GIS に LANDSAT8 の同じ日に取ら

れたバンド 2 ~ 5 の衛星画像 4 枚をインポートする。

インポート直後、LANDSAT8 から習得した各バンドの衛星画像はカラーマップが適切でないため、そのまま画像処理を行なったとしても色彩やコントラストが低く観測しにくい画像になってしまう。そのため、各バンドのカラーマップを調整する必要がある。カラーマップは画像処理後 RGB 表示で画像を表示することを考え、256 種のコントラストで表現する「grey255」タイプを選択し、全体のコントラストをバランス良く上げるため、ヒストグラムによる平均化を行なった(図 6)。

【図 6】 カラーマップ grey255 への調整
(2015 年 4 月 30 日、バンド 4)



画像処理は各バンドの画像データを RGB で重ね合わせることで、観測対象 (オオバナミズキンバイ) に色を付けて判断しやすくする。今回画像の重ね合わせ方法として利用するのはトゥルーカラー (True Color)、フォールスカラー (False Color)、そして今回水草を判定するために調整した新手法である。

3.2.3 実験

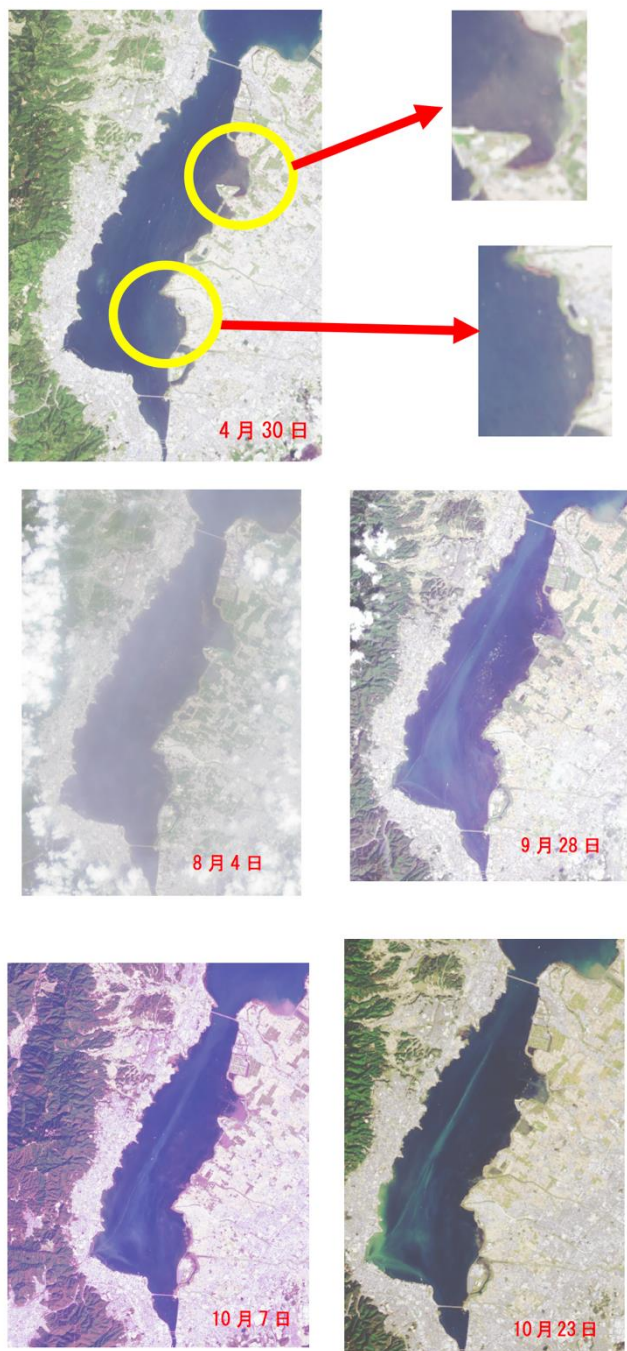
(ア) トゥルーカラー合成画像

カラーマップの設定後、衛星画像に対象物 (琵琶湖南湖やオオバナミズキンバイ) が写っているかどうか、また雲

がどれぐらい観測対象と重なっているか確認するため、まずはじめにトゥルーカラー合成画像を生成する。トゥルーカラー合成画像とは可視光線による人間の目でみる画像に近い画像を生成する手法で、Google Earthなどで一般的に目にする機会の多い衛星画像である。

作成には RGB それぞれにバンド 4(赤)、バンド 3(緑)、バンド 2(青)を割り当て、重ね合わせることで生成される(図 7)。

【図 7】 生成したトゥルーカラー合成画像



トゥルーカラー合成画像の色合いがそれぞれ違うのは LANDSAT が撮影した際の大気中の大気エアロゾルの影響

を受けたことと、各バンドのカラーマップを調整した際ヒストグラムを平均化したことによるものである。

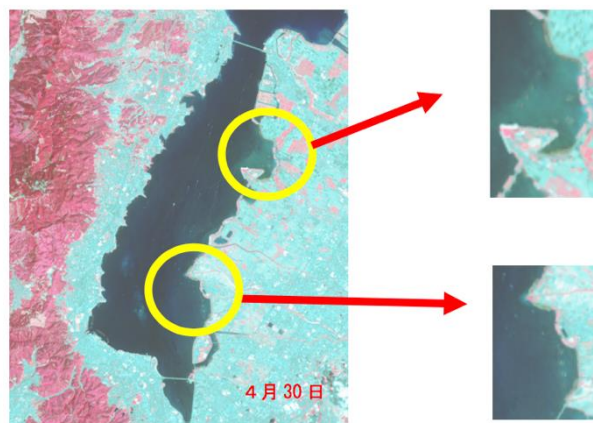
エアロゾルとは、雲粒や雨粒以外の大気浮遊粒状物質で、大気エアロゾル、土壌エアロゾル、海塩エアロゾルなど様々なものがある¹²。その大気エアロゾルによって、衛星のセンサーからの放射が吸収、錯乱され衛星画像データに影響を与える¹³。

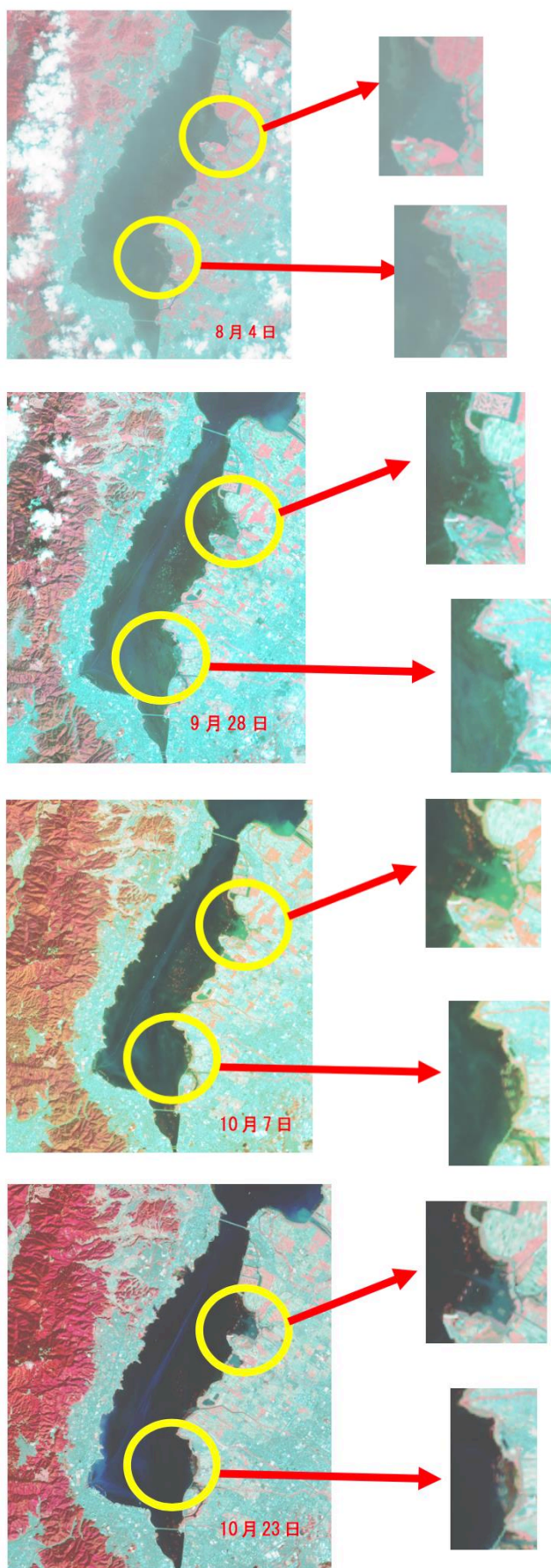
生成したトゥルーカラー合成画像を見ると 8月4日と9月28日の画像は雲の影響を大きく受け、白く霞がかった画像となっていることがわかる。また、4月30日の黄色い丸で囲った部分を確認すると深緑色に霞がかった部分があり、衛星画像で水草が繁茂していることをしっかりと捉えていることがわかる。さらに 8月4日は雲の影響で確認できないが、9月28日、10月7日、10月23日のいずれの画像でも黄色の丸で囲った2箇所での水草の繁茂を確認することができる。以上のことから、この2箇所の水草にスポットを当て、水草の検出を行うこととする。

(イ) フォールスカラー合成画像

次に今回オオバナミズキンバイの面積を推定することから、植生域を際立たせるために一般的に使われているフォールスカラー合成画像を生成する。フォールスカラー合成画像は実際の色とはかけ離れた色合いで表現した画像で、赤色部分に緑葉素などを効果的に抽出できる。しかし、トゥルーカラー合成画像と違い普段の見ている衛星画像と色合いが異なるため、植生域以外の観測にはあまり向いていない。赤外域を利用し、植生域を赤色で表現することができる。LANDSAT8の赤外域はバンド5~8が存在するが、植物であるオオバナミズキンバイの緑葉素を観測するため今回はバンド5(近赤外)を利用し、RGB それぞれにバンド5(近赤外)、バンド4(赤)、バンド3(緑)を割り当てて画像を生成する。生成したフォールスカラー合成画像は以下のとおりである(図8)。

【図 8】 生成したフォールスカラー合成画像





生成したフォールスカラー合成画像を見ると、各画像

で山の森林や田畑の植物に赤色の色が付いており、植生域がとてもわかりやすく色分けされていることが確認できる。また、雲の影響が大きい8月4日の画像でもしっかりと植生域が赤色で着色されており、フォールスカラー合成画像は雲の影響に強い画像処理方法であることがわかる。

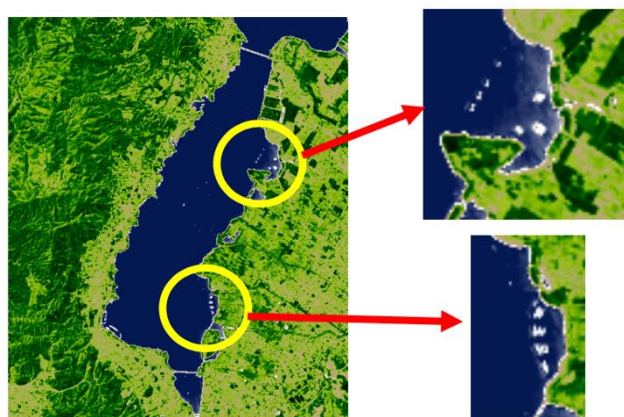
しかし、4月30日の画像を確認すると、山の森林や田畑の植物には赤色の着色がなされているが、今回特徴を抽出したい水草には着色がなされていない。また、9月28日、10月7日、10月23日の画像では緑色で強調はされているが強調のされ方に画像ごとにばらつきがある。この原因としてトゥルーカラー合成画像を生成した時と同様に大気エアロゾルの影響とカラーマップで衛星画像を調整した際、ヒストグラムで色合いを平均化したことが考えられる。また、フォールスカラー合成画像で水草が赤色に着色されなかった原因としては、水草の色が濃い緑色であったことと水の色と似た色であるため色の境界が曖昧になっていたことが考えられる。

(ウ) 新手法による画像生成

(イ) よりフォールスカラー合成画像を使用して水草の検出を行うことは難しいということがわかった。そのため、オオバナミズキンバイをきれいに観測できているバンド5（近赤外）の衛星画像を加工することにより、オオバナミズキンバイのみの特徴を抽出し、画像として出力できないか考えた。

GRASS GISにはカラーマップが51種類用意されている。今回植物を観測することから、関連研究（文献5）で取り上げたりリモートセンシング技術で一般的な植生調査に使われるNDVI（正規化植生指標）処理をバンド5の画像に行い、水草の特徴を抽出できないかと考えた。NDVI処理を行った結果が以下の通りである（図9）。

【図9】NDVI処理した4月30日撮影のバンド5の画像



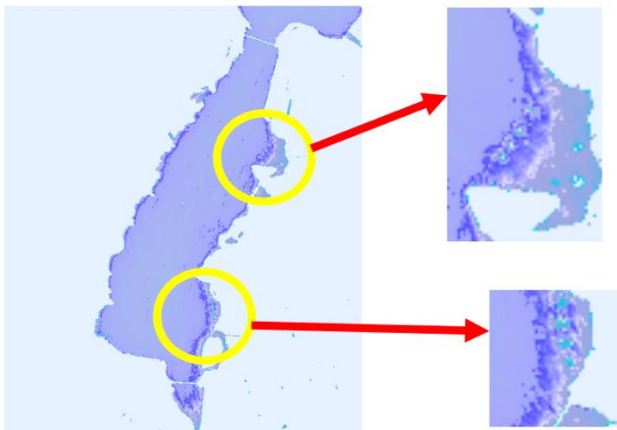
実験の結果、山にある森林や田んぼや畑の植物の検出には効果的であるが、水草は他の植物よりも緑色がはっきりと出ていないことがわかる。これは比較的濃い緑色で表されるため、オオバナミズキンバイにあまり反応しなかったということが考えられる。注意したいのは画像内の白く

反応している箇所であり、これらは養殖所や防波堤で、湖岸周辺の道路も同様に白色に反応していることから水草ではなく、コンクリートに反応していると考えられる。

次にカラーマップ (Corine) を利用して衛星画像を加工

【図 10】 Corine カラーマップで処理した
 4月30日のバンド5の画像

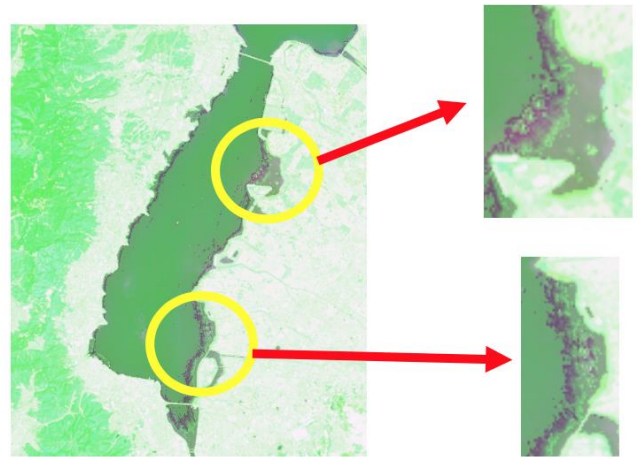
した。Corine はEUでコカインの土地被覆を調べる際に用いられるカラーマップでコカインの栽培を検出するために用いられる。上記実験の結果から深緑色を検出すればオオバナミズキンバイの検出ができるのではないかと考え、RGB の中で真ん中の緑色を細かく分類することができるこのカラーマップを利用することとした。このカラーマップを利用して画像処理した結果が以下のとおりである(図 10)。



実験の結果、オオバナミズキンバイを含む水草の特徴をしっかりと抽出できていることがわかる。オオバナミズキンバイの位置情報データと比べてみると抽出範囲が広いが、これはオオバナミズキンバイ以外の水草にも反応しているからである。

次にこの Corine カラーマップの画像を元にフォールスカラー合成画像生成と同様に実際の色彩とは違うが、水草を青色で着色し、その他の場所は緑色に着色することで、より水草の位置を判別しやすくする。RGB にはそれぞれ、バンド4 (赤) , バンド5 (近赤外) , バンド3 (緑) を割り当て、色の違いが目立つように調整した(図 11)。

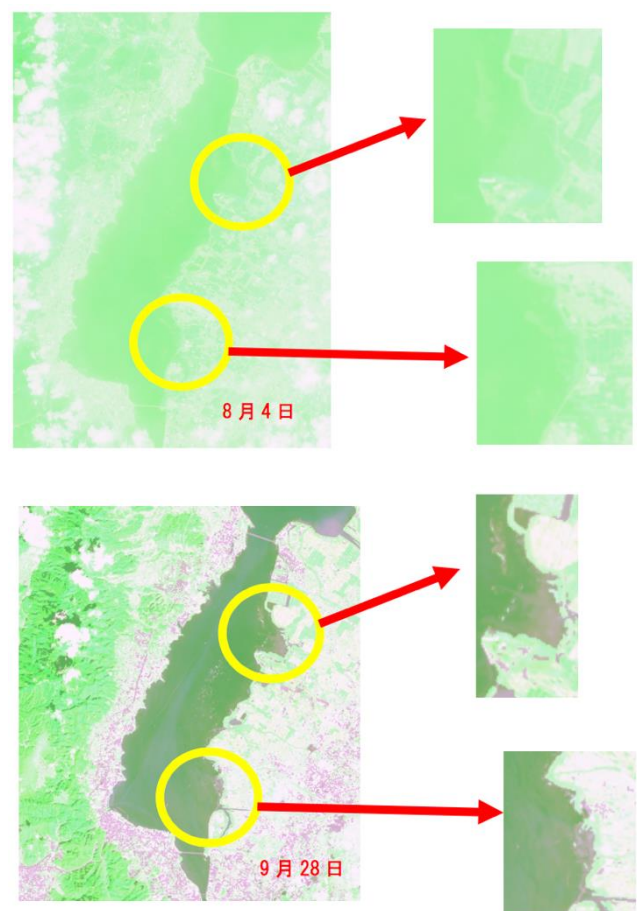
【図 11】 水草の特徴抽出 (4月30日)

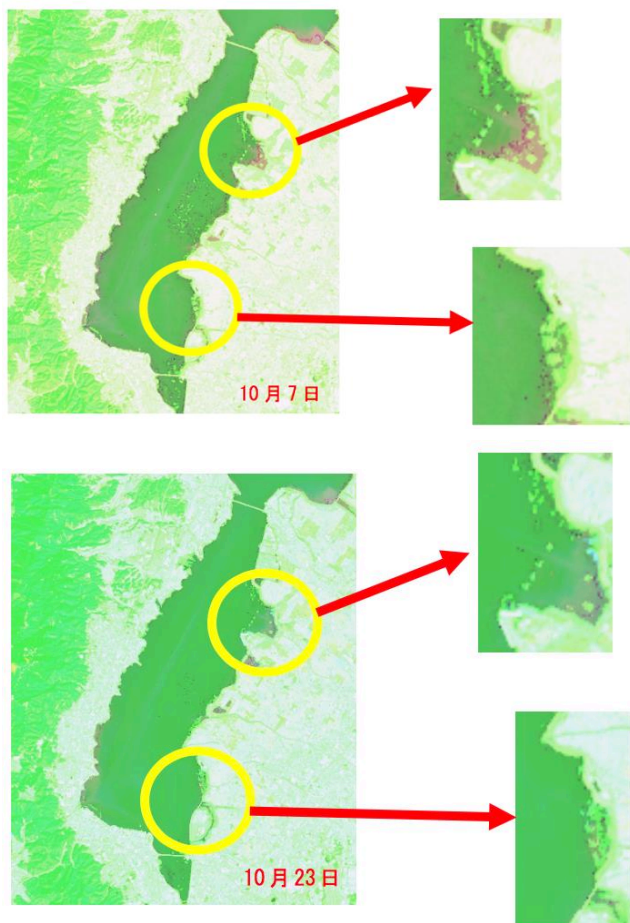


実験の結果 Corine カラーマップで調整したバンド5 (近赤外) 衛星画像と比べ、色の境目がはっきりとし、より水草の位置がわかりやすくなったことがわかる。

そして同様の処理を8月4日、9月28日、10月7日、10月23日の衛星画像にも行なった結果が以下のとおりである(図 12)。

【図 12】 新手法での生成画像
 (8月4日、9月28日、10月7日、10月23日)





新手法で生成した画像を確認すると 8 月 4 日の画像は雲の影響で水草が検出できず、一面が緑色となっていたが、9 月 28 日の画像では紫色で水草がしっかりと着色されている。また、10 月 7 日、10 月 23 日の画像では黄緑色できれいに水草の群落を検出できている。

画像によって色が変わっている原因として、これまでの実験と同様に大気エアロゾルの影響とカラーマップで衛星画像を調整した際、ヒストグラムで色合いを平均化したことが考えられる。しかし、これらの影響を受けていたとしても特徴抽出が可能なので、フォールスカラー合成画像と比べて水草の検出精度が高いと言える。

4. 今後の課題

これまで LANDSAT8 の衛星画像を利用し、オオバナミズキンバイの群落の抽出を行ってきたが、トゥルーカラー合成画像、フォールスカラー合成画像、新手法での画像生成を通して、様々な課題が見えてきた。

(ア) 雲や大気エアロゾルの問題

まず、全てで問題となっていたのは大気中の雲やエアロゾルの影響である。今回利用した LANDSAT8 の衛星画像データでは 8 月 4 日の画像が雲によって霞がかっており、GRASS GIS によって画像を加工する際に、水草の深緑色と

いう特徴を上手く抽出することができなかった。また、トゥルーカラー合成画像、フォールスカラー合成画像、新手法の全てで画像ごとに表示される色合いが異なっている問題も生じてしまった。より正確なオオバナミズキンバイ群落の抽出のためには雲の除去や大気エアロゾルの影響を除く大気補正手法を考えなければならないと感じた。

(イ) LANDSAT8 以外の衛星画像の利用

今回、「LANDSATLook Viewer」で簡単に手に入れることができる LANDSAT の衛星画像を利用したが、LANDSAT は同じ場所への回帰には 16 日間掛かるため、同一地点を継続して観測する場合は、観測の間隔は 16 日ごととなり、水草観測のリアルタイム性が損なわれてしまっている。そのため、LANDSAT だけではオオバナミズキンバイの早期発見が難しくなってしまうため、LANDSAT 以外の衛星画像も利用し、観測のリアルタイム性を高めなくてはならない。

利用可能な人工衛星の候補としてはアメリカの MODIS (MODerate resolution Imaging Spectroradiometer : 中分解能撮像分光放射計) や日本の AOLS (Advanced Land Observing Satellite : 陸域観測技術衛星) が考えられる。

MODIS は 2 つの人工衛星 (Aqua, Terra) からなり、同一の地点を昼と夜に 1 日 1~2 回観測することができる。また、LANDSAT の約 3 倍の 36ch のバンド特性をもち、雲、放射エネルギー束、エアロゾル、土地被覆、土地利用変化、植生、地表温度、火災、噴火、海面温度、海色、積雪、気温、湿度、海水等の観測を行うことができる¹⁴。なお同一地点への回帰は LANDSAT と同じ 16 日である。

AOLS (別名: だいち) は、宇宙航空研究開発機構 (JAXA) が、地図作成、地域観測、災害状況把握、資源調査などへの貢献を目的として開発した地球観測衛星で L バンド合成開口レーダ (PALSAR-2) を利用することで LANDSAT の 10 分の 1 の精度であるわずか 3m 程度の解像度で対象物を捉えることができる¹⁵。なお、同一地点への回帰は LANDSAT と比べ 2 日短い 14 日である。

なお、今回紹介した MODIS は LANDSAT と同様に無料で衛星画像をダウンロードできるが、AOLS は衛星データ利用促進プラットフォームまたは株式会社パスコ ALOS-2 ページから購入しなくてはならない。今後、2 つの衛星も同時に利用することで観測頻度を高め、水草観測のリアルタイム性を高めていきたい。

(ウ) 差分 SAR 解析の利用

今回の実験では同一衛星、同一時間の衛星画像を利用し、オオバナミズキンバイの濃い緑色を元に水草の抽出を行なったが現時点では撮影時期によってオオバナミズキンバイの群落がどのように変化したのか、また新たに生育しだしてはいないか確認することが難しい。この問題を解決

するための方法として、差分 SAR 解析を用いることが考えられる。差分 SAR 解析は同一地点、同一衛星が撮影した 2 枚の衛星画像の差を取るることによって 2 画像間の変化を測定する手法である¹⁶。関連研究³でも取り上げた通り、一般的には地震前と地震後の地殻変動を測定するために用いられているが、数 cm の変化でも捉えることができるため、オオバナミズキンバイの群落がどれぐらい成長したか、また新たに生育している場所はないか確認することができるようになると考えられる。

(エ) 水草の判別

今回の画像解析手法では当初はオオバナミズキンバイの検出のため行ったが、実験の結果、琵琶湖南湖に繁茂している水草全般の検出を行うこととなった。琵琶湖南湖に生育している水草は様々な種類があり、環境保護の観点から見ると外来種と在来種、環境に大きく影響をあたえるものと与えないものをしっかりと区別し、外来種や環境に大きく影響を与える種を中心に観測しなくてはならない。これらを判別するためには LANDSAT よりも可視光域、赤外域をより詳細に分割してより細かい色の変化を判別するために、MODIS の 36 種類のバンドを用いたり、LANDSAT より詳細な衛星画像で群落の形や葉の形を判別するために AOLS (だいち) に搭載されている L バンド合成開口レーダ (PALSAR-2) などを用いなくてはならないと考えられる。

(オ) 水質リモートセンシングへの応用

今回水草の検出を行ない、水草の群落の抽出が可能となったことで、今後、群落の面積を画像のピクセル数で求めることができるようになった。そして、水草の水環境に与える影響を利用し、水草の面積と水質との相関関係を計測することで、リモートセンシング技術により間接的に水質の推定を行うことができると考えられる。これまでリモートセンシングによって水質を測定することが難しかった原因として、水質は様々な要素 (水温、透明度、COD、クロロフィル a、浮遊物質等) によって判断されるが、可視光域によって衛星で捉えることができる透明度や赤外域でとらえることができる温度などリモートセンシングにより直接観測しやすい指標は、効果的に計測することができるが、対象が小さすぎる浮遊物質やクロロフィル a はセンサーで捉えるのが難しく、水の中に含まれる酸素量といった水に溶解してしまっているものはそもそもセンサーでとらえることができないことがあげられる。しかし、リモートセンシングによる直接的な計測は難しくても、環境に影響を与える水草の量を元に水質を間接的に推定することが可能であると考えられる。そのため、今回新たに考えた新手法での水草の検出精度を高め、この技術を利用し水質のリモートセンシングによる推定を行いたいと考えている。

脚注

1. TerraSAR-X 強度画像を用いた 2011 年東北地方太平洋沖地震における 3 次元地殻変動の検出 リュウ・ウェンほか
2. 国土地理院 中部地方測量部 基準点とは <http://www.gsi.go.jp/chubu/profile-kijuntent-kijuntent.html>
3. ハイパースペクトルデータを用いたカラー合成比合成画像生成のための GA ベースバンド選択アルゴリズム 大石亮ほか
4. 国立研究開発法人 国立環境研究所ハイパースペクトルカメラの利用について (2014 年度 33 巻 1 号) <https://www.nies.go.jp/kanko/news/33/33-1/33-1-05.html>
5. ハイパースペクトルデータを用いた植生指標画像作成支援を目的としたバンド選定アルゴリズムの一提案 小島尚人
6. EarthCARE 衛星搭載ライダーデータを用いたエアロゾル種推定アルゴリズムの開発 西沢智昭ほか
7. USGS 「What are the band designations for the LANDSAT satellites? 」 <https://LANDSAT.usgs.gov/what-are-band-designations-LANDSAT-satellites>
8. 一般社団法人リモート・センシング研究センター 衛星総覧 LANDSAT8, 9 <https://www.restec.or.jp/satellite/LANDSAT8>
9. 国土交通省国土地理院 GIS・国土の情報 GIS とは <http://www.gsi.go.jp/GIS/whatisgis.html>
10. 国土交通省 国土地理院 世界測地系移行に関する質問集 (Q & A) <http://www.gsi.go.jp/LAW/G2000-g2000faq-1.htm#qa1-10>
11. 空間情報クラブ EPSG コードとは? <http://club.informatix.co.jp/?p=1225>
12. 「基礎からわかるリモートセンシング」日本リモートセンシング学会編 理工図書株式会社 2011 年発行 p13
13. 「植生のリモートセンシング」H. G. Jones・R. A. Vaughan 著 森北出版株式会社 2013 年発行 p20
14. JAXA Aqua, Terra MODIS http://www.eorc.jaxa.jp/hatoyama/satellite/sendata/modis_j.html
15. JAXA だいち 2 号 (ALOS-2) <http://www.satnavi.jaxa.jp/project/alos2/index.html>
16. ALOS 解析研究プロジェクト 干渉 SAR 画像の見かたについて http://www.eorc.jaxa.jp/ALOS-2/img_up/jpal2_howto_inSAR.htm