

水草繁茂マップ作成マニュアル

(案)

目 次

1 章 はじめに.....	1
1-1 水草繁茂マップとは.....	1
1-2 本マニュアルの概要.....	1
1-3 本マニュアルの構成と使い方.....	1
2 章 水草繁茂マップの作成手法.....	3
2-1 概要.....	3
2-2 水草繁茂マップの作成手順.....	4
2-3 衛星画像から水草繁茂マップを作成する際の相違点・留意事項等.....	12
3 章 湖沼における水草繁茂状況の調査手法及び調査事例.....	17
3-1 概要.....	17
3-2 コドラート調査（目視観察、坪刈り）.....	20
3-3 群落外縁の位置情報の取得（GNSS の活用）.....	23
3-4 ソナー・魚群探知機による把握.....	25
3-5 地上写真による把握.....	27
3-6 空中写真による把握（ドローン、航空機等）.....	28
3-7 衛星画像による把握.....	30

1章 はじめに

1-1 水草繁茂マップとは

近年、国内各地の湖沼において水草の大量繁茂が問題となっているが、水草の分布や生育条件に係る情報が不足しているため、対策範囲の特定が課題となっている。このため、水草の繁茂域を示すマップ(以下、「水草繁茂マップ」という。)の作成が有用である。

水草の分布データを複数回にわたって取得できる場合は、それらを地図上で重ね合わせるにより、統計的な水草繁茂の濃淡(≡水草が生育しやすい場所・生育しにくい場所)を可視化することができる。

1-2 本マニュアルの概要

本マニュアルでは、水草繁茂マップの作成手法について解説する。作成に用いる水草の分布データは現地調査や航空写真により取得することを基本とするが、より簡易的な手法として、衛星画像を活用する手法とその際の留意事項についても解説する。

水草繁茂マップを作成することにより、地域の関係者等への説明資料として活用することができる。また、効率的に刈取り等の対策を計画・実行するための基礎情報を得ることができる。例えば、発生初期の対策範囲の特定や対策のゾーニング等への活用が想定される。

1-3 本マニュアルの構成と使い方

本マニュアルは、3つの章から構成される。

第1章は、水草繁茂マップ作成の意義について解説する。

第2章は、複数年または複数時期の繁茂域を重ね合わせる場合の水草繁茂マップの作成手法について、3ステップに分けて解説する。また、衛星データを用いて水草繁茂マップを作成する際の相違点・留意事項についても解説する。

第3章は、水草繁茂マップの作成に必要となる水草の分布データの取得方法(現地踏査、空中写真・衛星画像による把握等)について、実際の調査事例を中心に解説する。

【水草繁茂マップの活用方法について】

本マニュアルで扱う水草繁茂マップの活用方法の例を以下に示す。

■ 地域の関係者等への説明資料としての活用

水草の大量繁茂が問題化した場合、湖沼管理者は現状について地域への説明責任がある。また、大量繁茂に対して有効な対策を計画・実行するためには、地域との連携・協働が基本的に重要であり、利用者を含めた地域の関係者に情報を開示してコミュニケーションをとる必要がある。

水草繁茂マップは、水草の分布状況や場所に繁茂しやすさの違いを可視化して示すことができるため、口頭説明だけでは難しい水草の繁茂状況の理解促進に役立つ。これにより、地域と問題意識を共有し、合意形成を図る等、地域との連携・協働を円滑に進めやすいという利点がある。

また、有識者(大学、研究機関等)に効果的な対策を提案してもらうための説明資料としてもマップを活用することができる。

■ 大量繁茂対策に係る基礎資料としての活用

水草の大量繁茂対策を計画・実行する際の基礎資料となる。繁茂状況を可視化することにより、科学的・客観的な視点から対策判断しやすくなる(思い込みの防止)。例えば以下のような活用方法が考えられる。

- ✓ 対策箇所(例えば刈取箇所)のゾーニングにマップを活用する。
- ✓ 水草の監視にマップを活用する(繁茂場所を高い確率で狙うことができる)。

■ その他の活用方法

湖沼管理上、水草の分布状況が定量的に把握されていることが理想的だが、実際にはコスト面等で調査が難しいケースがある。本マニュアルでは、水草の調査手法も簡単に解説しており、対象水草等の制約はあるが比較的低コストな調査手法(例えば衛星画像を用いた手法)も存在する。水草の分布状況や場所に繁茂しやすさの違いを可視化し、記録として残すことは、対象湖沼で生じている事象の把握に役立つとともに、将来的に問題が生じた場合には対策判断の基礎資料として活用することができる。

2章 水草繁茂マップの作成手法

2-1 概要

複数年または複数時期の繁茂域を重ね合わせる場合の水草繁茂マップの作成手順を図2-1に示す。

Step1 では、対象とする水草の分布を現地踏査、ドローン画像、航空写真、衛星画像等から取得し、複数の水草分布図を用意する。

Step2 では、水草の分布情報を方眼紙(Excel 方眼紙等)または地理情報システム(GIS)上に表示することにより、メッシュデータまたはラスタデータを作成する。

Step3 では、メッシュ化(またはラスタ化)した複数の分布情報を重ね合わせ、メッシュ(またはラスタ)ごとに水草の出現率を求めることにより、水草繁茂の濃淡を可視化する。

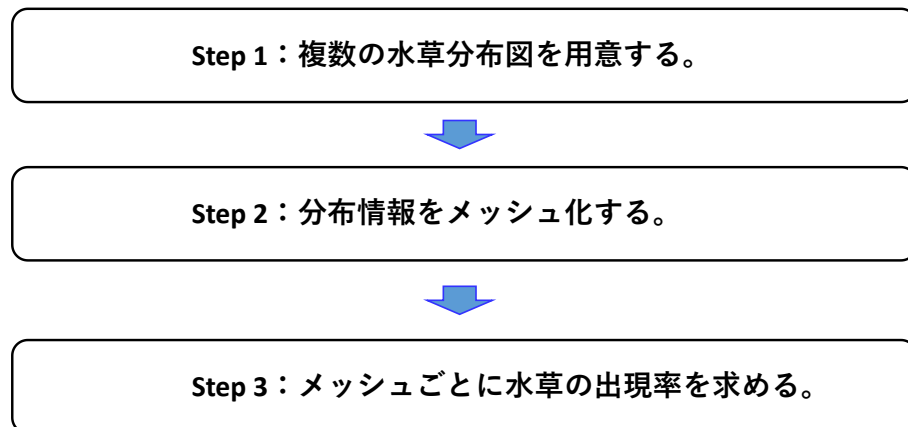
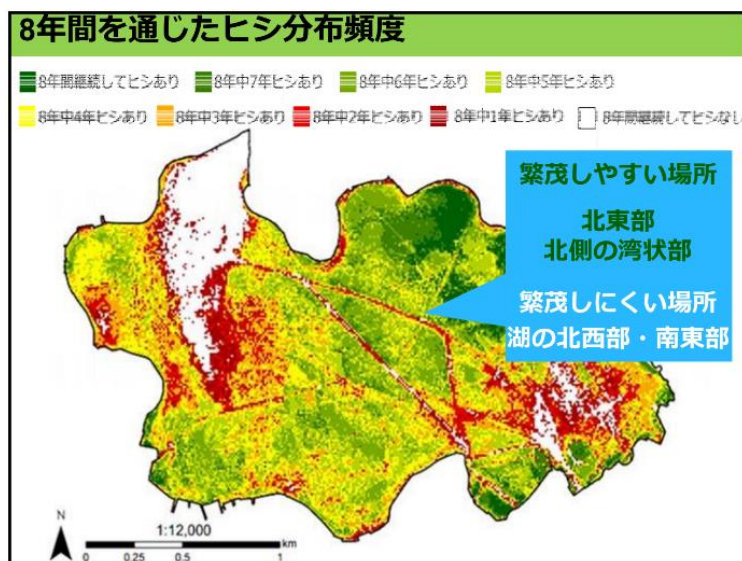


図 2-1 水草繁茂マップの作成手順(複数の繁茂域を重ね合わせる場合)



【解説】三方湖の8年分の航空写真を統合して作成されたヒシ繁茂マップ。ヒシが繁茂しやすい場所・繁茂しにくい場所が特定され、地域の共通認識の醸成や、対策箇所のゾーニングに役立てられている。

図 2-2 アウトプットイメージ(三方湖のヒシ繁茂マップ)¹

¹ 平成 28 年度三方五湖自然再生協議会資料

2-2 水草繁茂マップの作成手順

Step1：複数の水草分布図を用意する

ポテンシャルとしてどのような場所に水草が分布しやすいかという情報を得るために、対象の水草に対して、複数年または複数時期の分布調査結果を用意する。水草の調査手法としては、現地で群落縁辺部を踏査しながら GNSS で位置情報を取得する手法や、空中写真(ドローン、航空機)、衛星画像等を活用する手法がある。様々な調査方法の概要と調査事例については第 3 章で解説する。

【実施にあたっての注意点】

- 複数年の調査結果を重ね合わせる場合は、対象とする水草が最も繁茂する時期(季節)の調査結果を利用することを基本とする。
- 調査方法によっては、水草の繁茂域を正確に捉え切れていないケースも想定される。たとえば水面上から沈水植物を目視確認する場合、比較的深い場所や降雨等により濁りがある場所では視認が難しいという問題がある。そのような情報を基にマップを作成する際には、作成したマップに注意事項として記載する等の対応が必要となる。

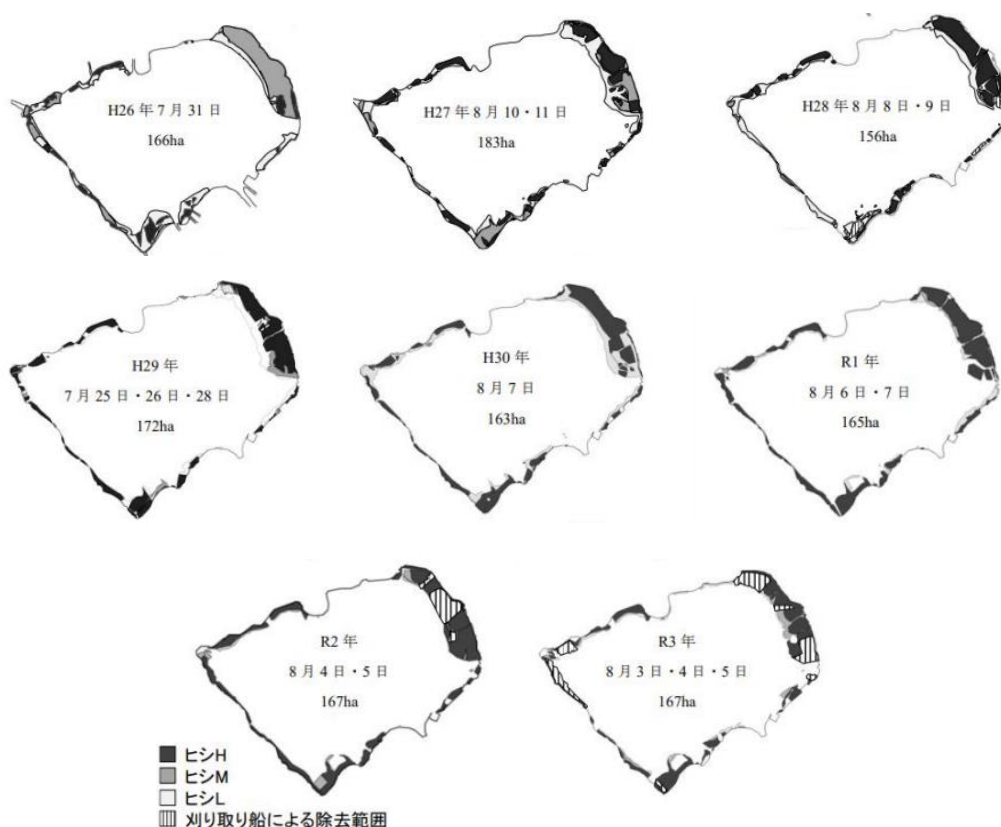


図 2-3 水草分布図の例(諏訪湖におけるヒシの分布)²

https://www.pref.fukui.lg.jp/doc/shizen/mikata-goko/kyogikai_d/fil/H28zentaikai_shiryo.pdf

² 長野県環境審議会第 8 期諏訪湖水質保全計画策定専門委員会 (第 1 回) 配布資料 (一部加工)
<https://www.pref.nagano.lg.jp/mizutaiki/kurashi/shizen/suishitsu/7kisuwakokeikaku/8-1senmoniinkaisiryoku.html>

Step2：分布情報をメッシュ化する

簡易な方法として「方眼紙方式」、より正確な方法として「GIS 方式」の 2 パターンについて解説する。近年では GIS を用いた環境情報の整備・可視化が普及してきており、方眼紙方式に比べて精度も高いため、可能であれば GIS 方式の採用を推奨する。

方眼紙方式(Excel を使う場合)

① Excel 方眼紙の作成

Microsoft Excel のワークシートの行と列の幅を調整し、方眼紙のような見た目にする。縦横の罫線を入れておくと、②以降で図を貼り付けた後でも格子(メッシュ)がわかりやすい。使用する水草分布図の数だけ、方眼紙のワークシートを複製する。

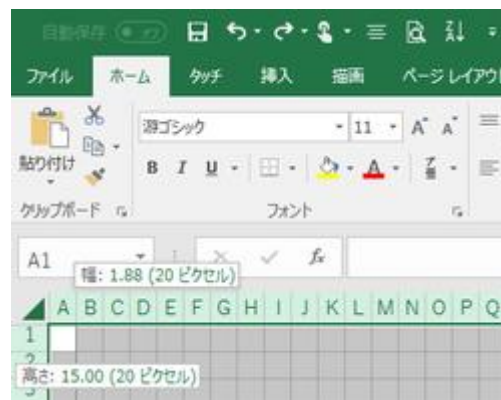


図 2-4 Excel 方眼紙

② 水草分布図の貼付け

Excel 方眼紙上に水草分布図を貼り付ける。1 つの水草分布図に対して 1 つのワークシートとする。方眼紙が透けて見えるように、図の透明度を調整する。

③ 水草分布図のサイズ調整

方眼紙のマス目(メッシュ)が水草の分布を表現できるように、水草分布図の大きさを調整する。岸～沖方向に分布する水草を数メッシュ以上で表現できることが望ましい。スケールバーが図に含まれていると、これを物差しとしてメッシュ幅を決めることができる(図 2-5 の例では方眼紙の 1 マスが縦 50m×横 50m になるように図の大きさを調整している)。なお、厳密なスケール調整が必要な場合は GIS 方式を採用すること。

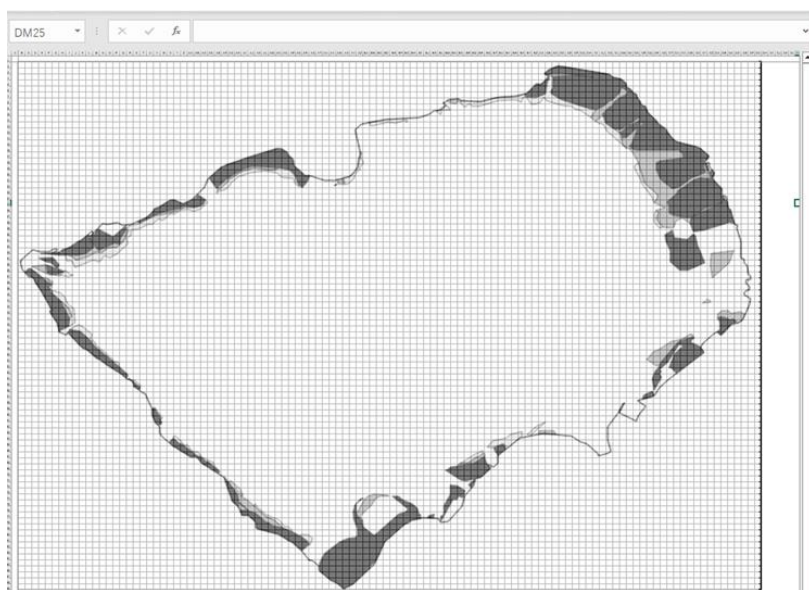


図 2-5 Excel 方眼紙上に水草分布図を貼り付けた例

④ 水草の有無の判定と数値の入力

対象とする水草の分布に応じて、湖内のメッシュに数値を入力する(水草あり=1、水草なし=0)。「水草あり」の判定は目視となるが、ルールについては明確に定めておく必要がある。

例 1:水草の分布の大まかな形状を把握したい場合

→方眼紙の1マス(1メッシュ)に占める水草の割合が 50%以上を「水草あり」判定

例 2:水草の分布が濃い箇所だけ抽出したい場合(根絶が目的ではない場合等)

→方眼紙の1マス(1メッシュ)に占める水草の割合が 100%のみ「水草あり」判定

また、Excel の条件付き書式機能等を用いて着色し、元の分布図と比較して大きな相違がないか(すなわち作業結果にミスがないか)確認する。

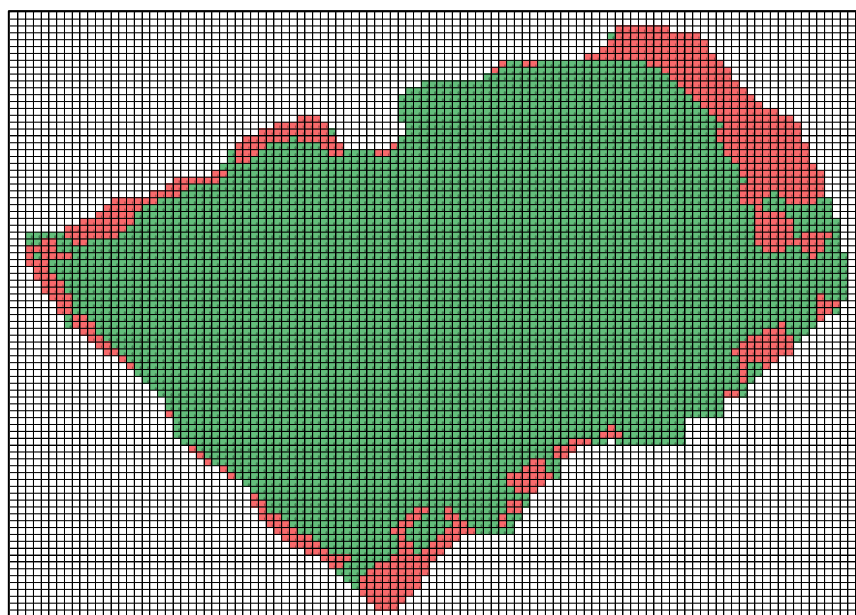


図 2-6 Excel 方眼紙上に水草の分布情報を入力した例

⑤ 各水草分布図への対応

使用する水草分布図の数だけ②～④を実施する。水草分布図のベースとなる湖沼図は全て同じものであることを前提とし、全ての図の同じ位置に同じメッシュが配置されるように、図の大きさ・位置を調整する(例:流出河川近傍のメッシュは Excel セル C31 が配置されるように調整する)。

GIS 方式(QGIS を使う場合)

水草群落外縁の位置情報(緯度経度情報)を GIS ソフトウェアで処理することにより、より正確に分布情報のメッシュ化(ラスタ化)が可能となる。代表的な GIS ソフトウェアとして、ArcGIS (ESRI ジャパン、有償)や QGIS (無償のオープンソースソフトウェア)等がある。以下、QGIS3.34 の Windows 版を使用する場合について解説する。

① 湖沼図の準備

QGIS を起動し、対象とする湖沼の湖岸線データ(湖沼図ポリゴン)を QGIS に取り込む。国土地理院により整備済みの湖沼については、以下の Web サイトから湖沼図をダウンロードできる。

国土数値情報ダウンロードサイト「湖沼データ」:

https://nlftp.mlit.go.jp/ksj/gml/datalist/KsjTmplt-W09-v2_2.html

参考: 国土数値情報ダウンロードサイト「QGIS 操作マニュアル」

https://nlftp.mlit.go.jp/ksj/other/QGIS_manual.pdf

② 水草群落外縁の位置情報の入力

水草群落の一塊ごとに、群落外縁の経度(X)と緯度(Y)を配列した CSV ファイルを作成し、以下の手順で QGIS に取り込む。

メニューバーの[レイヤ] - [レイヤを追加] - [CSV テキストレイヤを追加]

→データソースマネージャを開き、対象ファイルを選択して追加

※最初の行が属性名の場合、該当欄にチェックを入れる。

※緯度経度が度分秒の場合、該当欄にチェックを入れる。

※ジオメトリの座標参照系(CRS)は①の湖沼図と統一する。

x,y

138.07432,36.0611

138.07441,36.05977

138.07402,36.05938

...

(入力する CSV ファイルの例)

【GNSS 機器(Garmin 等)に位置情報が記録されている場合】

GPX データを QGIS のレイヤパネルに追加する。

参考: 北海道森林管理局十勝東部森林管理署「QGIS 活用マニュアル」※GPX データの記載は P36 以降

https://www.rinya.maff.go.jp/hokkaido/introduction/gaiyou_syo/tokatitobu/attach/pdf/index-10.pdf

③ 水草繁茂域のポリゴンの作成

以下の手順により、位置情報（緯度経度）の点のデータからポリゴンを作成する。

a) 点を線に変換（水草群落の一塊ごとに実施）

プロセッシングツールボックスの[ベクタ作成] - [点を線に変換]

→「入力レイヤ」で対象のポイントデータを選択して実行

参考: QGIS ユーザーガイド「ベクタ作成」

https://docs.qgis.org/3.16/ja/docs/user_manual/processing_algs/qgis/vectorcreation.html

b) 線をポリゴンに変換（水草群落の一塊ごとに実施）

メニューバーの[ベクタ] - [ジオメトリツール] - [線をポリゴンに変換]

→「入力レイヤ」で a) の出力レイヤを選択して実行

参考: QGIS ユーザーガイド「ベクタジオメトリ」

https://docs.qgis.org/3.16/ja/docs/user_manual/processing_algs/qgis/vectorgeometry.html

c) 複数のレイヤ（ポリゴン）を一つにまとめる

メニューバーの[ベクタ] - [データ管理ツール] - [ベクタレイヤをマージ]

→「入力レイヤ」で対象レイヤを複数選択して実行

参考: QGIS ユーザーガイド「ベクター一般」

https://docs.qgis.org/3.34/ja/docs/user_manual/processing_algs/qgis/vectorgeneral.html

d) ポリゴンの修正（ポリゴンが実際の繁茂域と一致しない場合）

対象レイヤが選択された状態でツールバーの鉛筆マーク（編集モードを切り替え）をクリック

→金槌とドライバーが重なっているマーク（頂点ツール）をクリック

→ポリゴンの頂点を移動または追加

参考: QGIS ユーザーガイド「編集」

https://docs.qgis.org/3.16/ja/docs/user_manual/working_with_vector/editing_geometry_attributes.html

【ポリゴンに含まれている陸域部分を排除したいとき】

メニューバーの[ベクタ] - [空間演算ツール] - [切り抜く]

→「入力レイヤ」に c) の出力レイヤ、オーバーレイレイヤに湖沼図ポリゴンを選択して実行

参考: QGIS ユーザーガイド「ベクタオーバーレイ」

https://docs.qgis.org/3.34/ja/docs/user_manual/processing_algs/qgis/vectoroverlay.html

④ 水草非繁茂域のポリゴンの作成

湖沼図ポリゴンから繁茂域ポリゴンを切り抜くことにより、湖内の非繁茂域のポリゴンを作成する。

メニューバーの[ベクタ] - [空間演算ツール] - [差分]

→「入力レイヤ」に湖沼図ポリゴン、オーバーレイレイヤに③の出力レイヤを選択して実行

参考: QGIS ユーザーガイド「ベクタオーバーレイ」

https://docs.qgis.org/3.34/ja/docs/user_manual/processing_algs/qgis/vectoroverlay.html

⑤ ラスタ変換

③④で作成したポリゴン(ベクタデータ)を、格子状に並んだピクセルで構成されるデータ(ラスタデータ)に変換する。設定するラスタのサイズは、使用する群落外縁の緯度経度情報の精度が概ね維持される程度を基本とする。

メニューバーの[ラスタ] - [変換] - [ベクタをラスタ化]

→「入力レイヤ」に③または④の出力レイヤを選択して実行

※「固定値」:例えば、水草繁茂域は2、非繁茂域は1を入力

※「出力ラスタサイズの単位」、「水平方向の解像度」、「鉛直方向の解像度」を適宜設定する(以降の例では、水平・鉛直解像度を 1000 ピクセルに設定)

参考: QGIS ユーザーガイド「ベクタ変換」

https://docs.qgis.org/3.34/ja/docs/user_manual/processing_algs/gdal/vectorconversion.html

⑥ ラスタ結合

水草繁茂域と被繁茂域のラスタデータを結合する。

メニューバーの[ラスタ] - [その他] - [結合]

→「入力レイヤ」に対象のラスタレイヤを複数選択して実行

参考: QGIS ユーザーガイド「ラスタデータで作業する」

https://docs.qgis.org/3.22/ja/docs/training_manual/rasters/data_manipulation.html

⑦ 各調査結果への対応

1 つの水草分布図に対して 1 つのラスタデータを出力することとし、使用する水草分布図の数だけ②～⑥を実施する。

方眼紙方式 (Excel を使う場合)

新規に Excel 方眼紙を作成 (または Step2 で作成したワークシートを複製) し、数式を入力して、対象とする水草の出現率を算出する。数式は、Step2 で作成した複数のワークシート上の同一位置のメッシュの平均値 (0 または 1 の数値を合計して年数で除した値) を求めるものである。

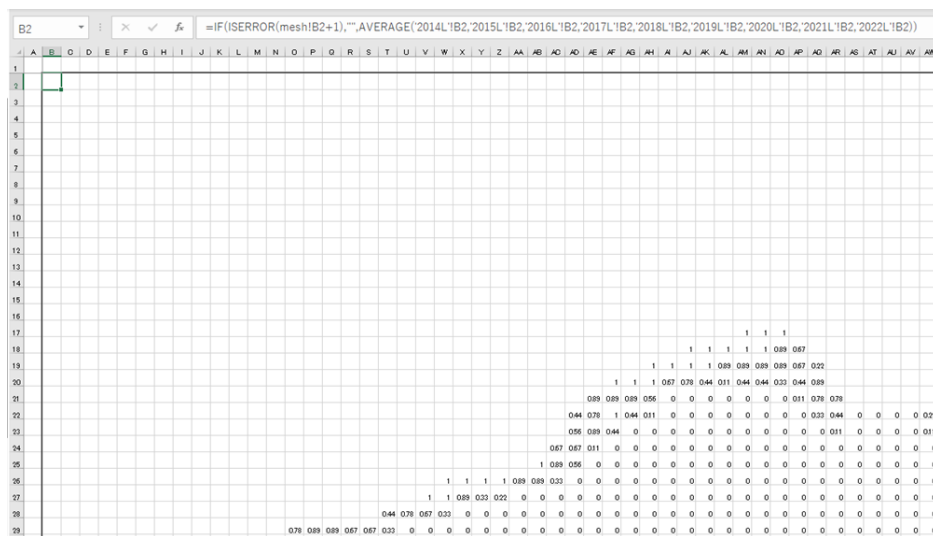


図 2-7 Excel 方眼紙上で水草の出現率を算出した例

Excel の条件付き書式機能等を使用し、出現率を着色する。凡例等を追加する。

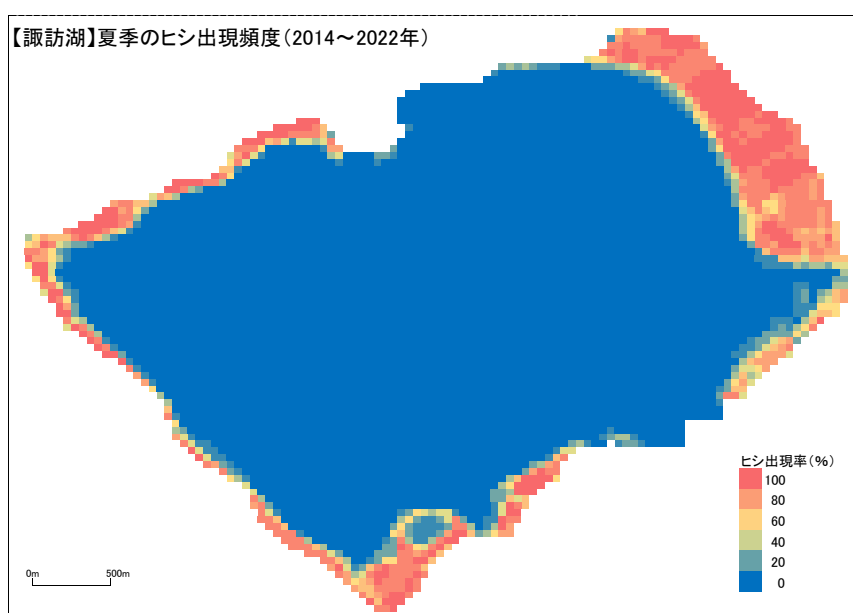


図 2-8 複数年の繁茂域を重ね合わせた水草繁茂マップの作成例(Excel 方眼紙方式)

GIS 方式 (QGIS を使う場合)

① 水草の出現率の算出

ラスタ計算機を開き、対象となる複数のラスタデータの平均処理を実行する。

メニューバーの[ラスタ] - [ラスタ計算機]

→「出力レイヤ」に出力ファイル名を入力し、「式」に計算式を入力して実行

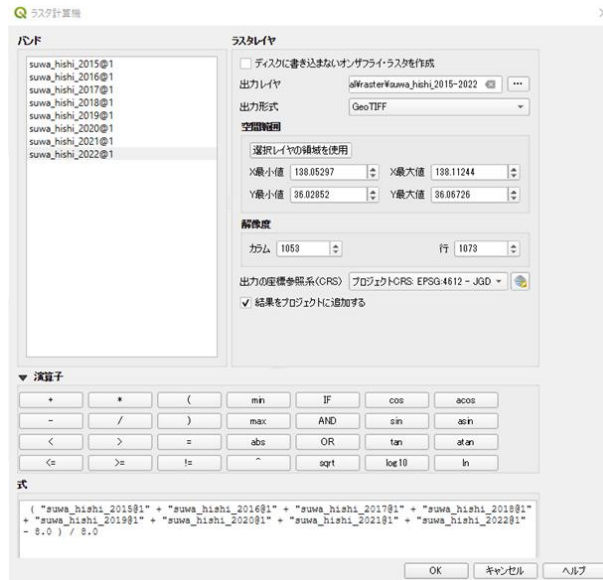


図 2-9 水草の出現率の計算例

② 水草繁茂マップの作成

①で生成されたラスタデータに対して、出現率ごとに色分けし、凡例等を追加する。

参考: QGIS トレーニングマニュアル「レッスン: ラスタのシンボロジを変更する」

https://docs.qgis.org/3.34/ja/docs/training_manual/rasters/changing_symbology.html

参考: QGIS ユーザーガイド「凡例アイテム」

https://docs.qgis.org/3.16/ja/docs/user_manual/print_composer/composer_items/composer_legend.html

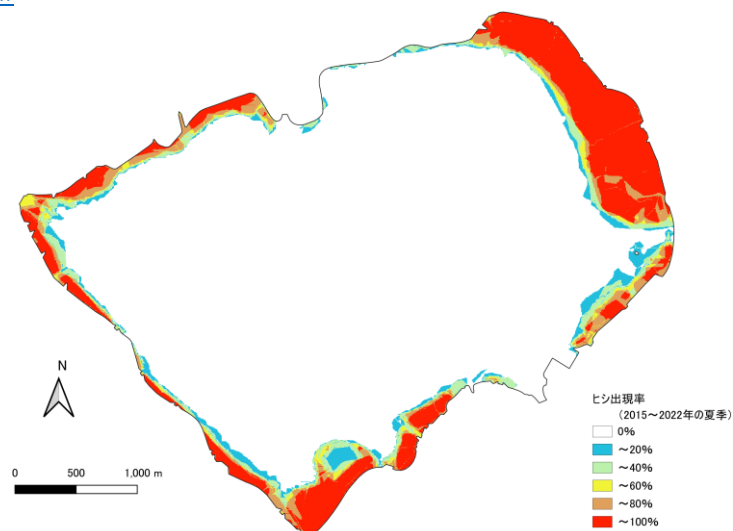


図 2-10 複数年の繁茂域を重ね合わせた水草繁茂マップの作成例 (GIS 方式)

2-3 衛星画像から水草繁茂マップを作成する際の相違点・留意事項等

衛星画像から水草繁茂マップを作成する場合、基本的には現地調査結果を用いた場合(2-2 節)と同じ手順で作成できるが、一部異なる点や留意事項が存在する。衛星画像を利用する場合に必要な手順や留意事項について、ステップごとに以下に示す。

なお、衛星画像の種類や取得方法等については、第 3 章(3-7 節)で解説する。

Step1：複数の水草分布図を用意する

水草の分布を把握するため、複数の衛星データを取得する。現地調査と異なり、以下の作業が必要となる。

① 雲の影響が少ない日の画像の選択

True color 画像を確認し、雲の影響が少ない日の画像を選択する。湖面に雲の影響が写り込んでいる場合は、Step2 で水草の分布情報をメッシュ化する際に注意が必要なので、雲の位置等を把握しておくといよい。

② 衛星画像プロダクトの選択

対象とする水草の特性等に応じて、使用する衛星画像プロダクトを選択する。水草の指標となる基本的な画像プロダクトとして、正規化植生指数(NDVI)や正規化水指数(NDWI)といったものが挙げられる。湖沼においては、NDWI を用いて水面のアオコと水草を判別した研究事例がある(3-7 節参照)。

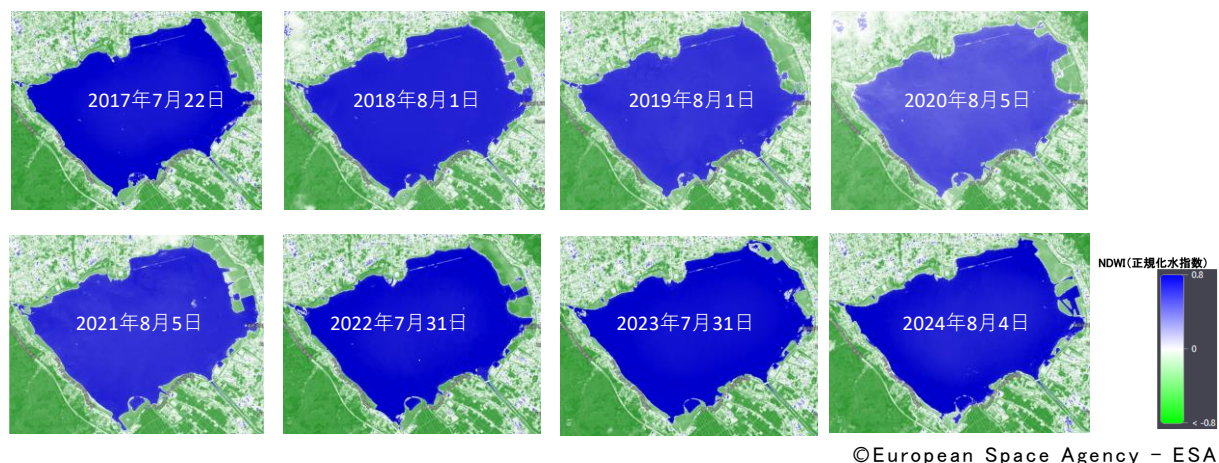


図 2-11 NDWI 画像の例(諏訪湖、各年の 7 月下旬～8 月上旬)

③ 湖岸線の取得

GIS ソフトを用いる場合、湖沼の湖岸線データは国交省の Web サイト(国土数値情報ダウンロードサイト)から取得できる。一方、方眼紙方式を採用する場合は、水草は一般的に浅い水深帯で繁茂するため、水草繁茂時の衛星画像から湖岸線を判別するのは困難な場合がある。そのような場合は、水草が生えていない時期(例えば冬季)の True color 画像や NDWI 画像等を確認し、湖岸線をメッシュ化する必要がある(図 2-12)。

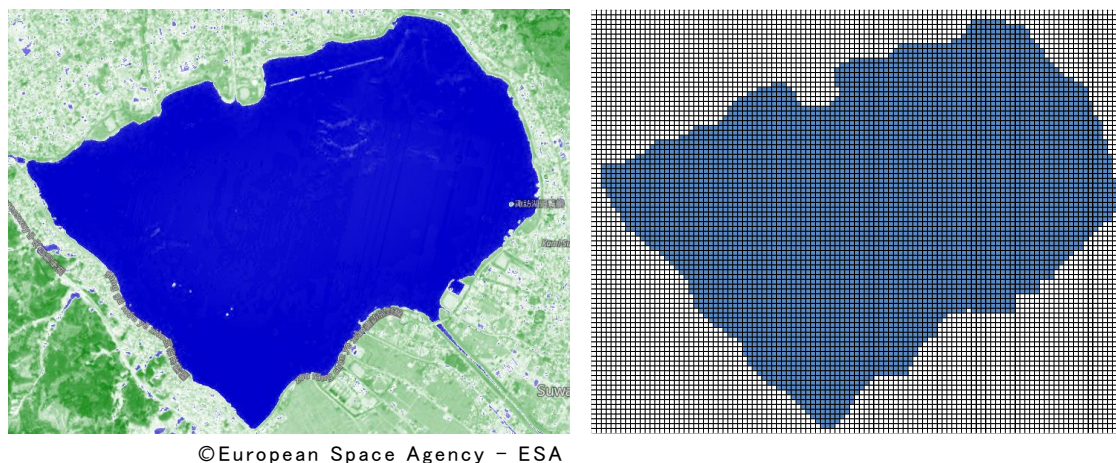


図 2-12 冬季の NDWI 画像(左)と Excel 方眼紙上に作成した湖面範囲(右)

④ 水草以外の物体(構造物等)の判別

対象とする水草が生えていない時期(例えば冬季)の衛星画像を確認し、湖内の構造物等がどのように画像に写り込むか把握しておく。例えば、図 2-12(左図)は 2024 年 1 月 17 日の NDWI 画像だが、湖の北側に白っぽい直線が見える。時期的にこれはヒシではないことがわかるため、Step2 で水草の分布情報をメッシュ化する際の参考情報とする。

⑤ 水草の種類に係る留意事項(現地確認が必要)

衛星画像から水草の種類を特定することは困難であるため、基本的には現地にて確認が必要となる。また、複数の種類の水草が混生している場合、衛星画像からそれらを判別することはできないため、種類を分けずに「水生植物」と一括りにする等、示し方に注意する必要がある。

Step2：分布情報をメッシュ化する

衛星画像を用いる場合、True color 画像から水草を判読する方法もあるが、植生指標として NDVI や NDWI を用いることもできる(3-7 節参照)。尾山ほか(2017)によれば、NDWI < 0.27 のメッシュを抽出することにより、被度 50%以上の抽水・浮葉植物(当該研究ではヒシ属)が抽出できるとされている。GIS ソフトを用いて NDWI の数値情報を直接扱う場合は、NDWI < 0.27 の領域を抽出することが可能である。一方、方眼紙方式の場合は細かい閾値の設定が困難なため、現地の繁茂状況と NDWI 画像を比較した上で、可能な範囲で単純化を図る必要がある。例えば、水草の繁茂が濃い場所を把握したい場合は、NDWI の閾値をある程度下げても大きな問題はないと考えられる。図 2-13 の例では、単純化のため NDWI < 0 のときに水草が分布していると仮定し、Excel 方眼紙上に NDWI < 0 の大まかな領域を落とし込んでいる(基本手順は 2-2 節参照)。

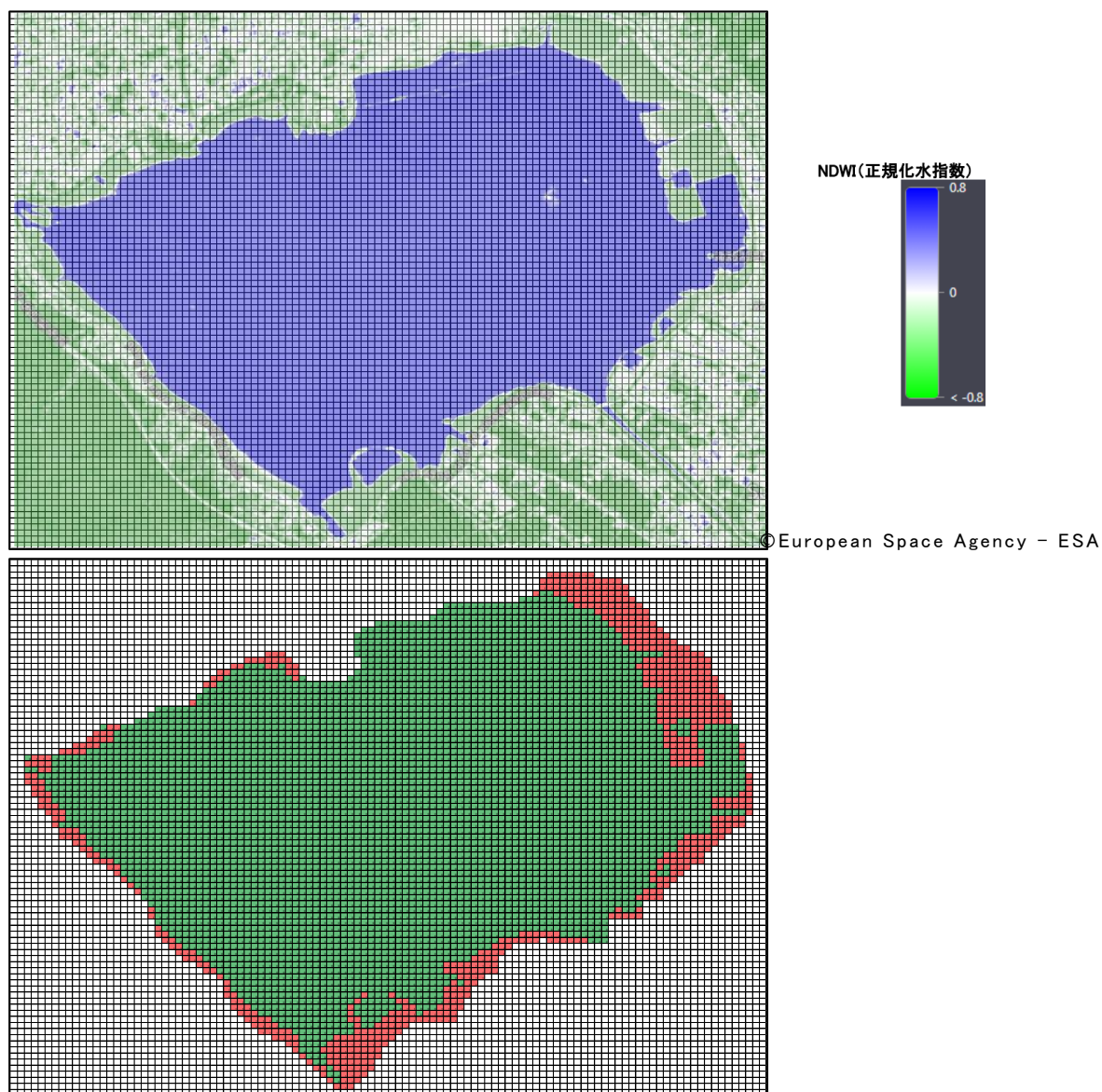
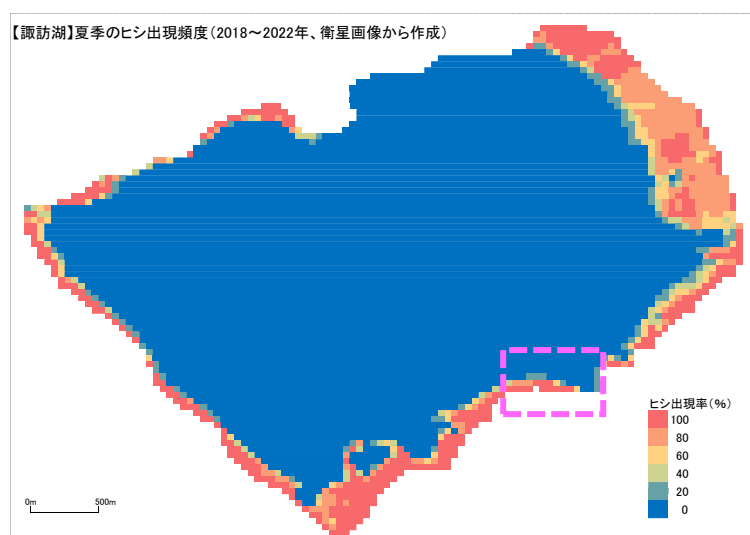


図 2-13 Excel 方眼紙上に衛星画像を貼り付けた例(上)及び水草の分布情報を入力した例(下)

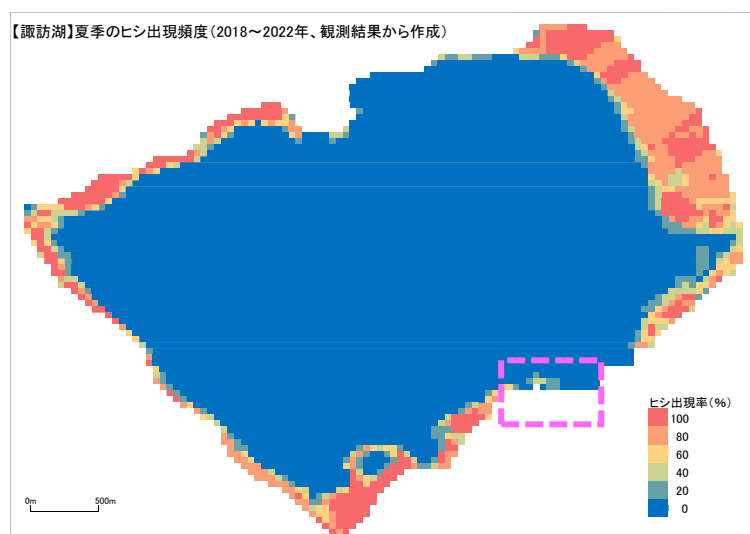
Step3：メッシュごとに水草の出現率を求める

Step2 で作成した図を基にして、複数年の繁茂域を重ね合わせた水草繁茂マップを作成する(基本手順は 2-2 節参照)。

なお、水草の現地調査が実施されている場合は、これとの比較により衛星データを用いた手法の妥当性を検証できる。衛星データから作成した水草繁茂マップと、現地調査データから作成したマップの比較例を図 2-14 に示す。両者は概ね一致しているが、小規模な繁茂域については部分的に違いもみられており(たとえば図 2-14 の  部分)、衛星データの解像度の問題や、湖岸より陸側の植生の誤検出といった問題が考えられる。したがって、湖岸の小規模群落を対象とする場合においては、衛星データの利用には限界があり、現地調査やドローン等を活用することが望ましい。



年	画像撮影日	現地調査日
2018	8/1	8/7
2019	8/1	8/6～7
2020	8/5	8/4～5
2021	8/5	8/3～5
2022	7/31	8/8～9



※現地観測は、密度区分L以上のヒシ出現率を集計したもの
 ※両図の作成に使用した図面には、一部刈取り後のものも含まれている。

図 2-14 水草繁茂マップの作成例
 (上:衛星データから作成、下:現地調査データから作成)

(参考)平均NDVIマップを作成する

衛星画像から得られる指標の一つに NDVI がある。NDVI は植生の被覆や活性度合いを表し、植生が濃いほど値が大きくなる。したがって、複数の時期の NDVI 画像を平均処理することにより、水草の分布範囲だけでなく、密度情報もある程度反映した水草繁茂の濃淡（繁茂しやすい場所・しにくい場所）を把握できると考えられる。

諏訪湖における平均 NDVI マップの作成例を以下に示す。各年の NDVI 画像は無料オンラインツール「EO Browser」から取得し(3-7(1)4 参照)、QGIS のラスタ計算機により平均処理を行った。前述した水草繁茂マップ(図 2-14)と比較すると、NDVI が正(橙色～赤)の領域は水草が分布しやすい場所を示していることがわかる。また、この領域における NDVI の濃淡は、平均的な水草の密度の違いを反映していると考えられる。

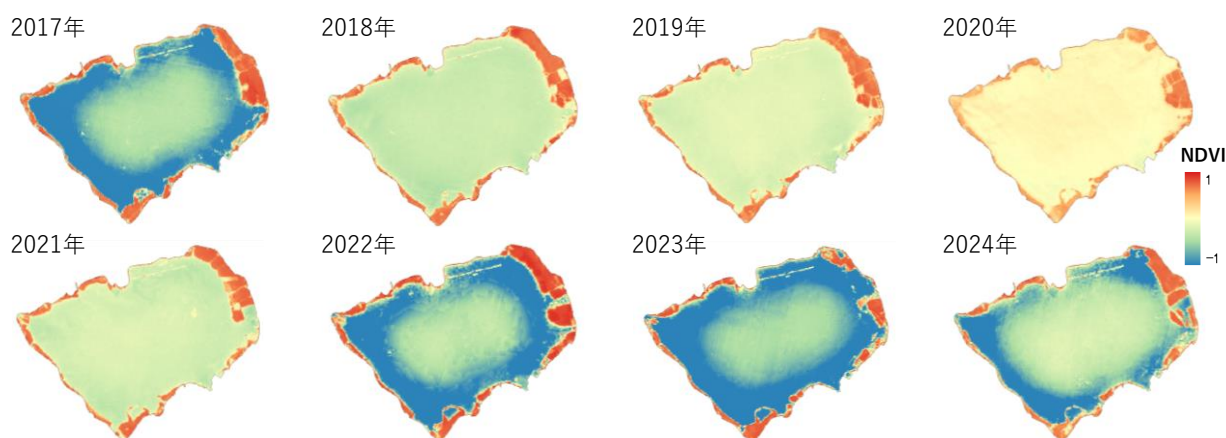


図 2-15 NDVI 画像の例(諏訪湖、各年の 7 月下旬～8 月上旬)

【諏訪湖】平均 NDVI マップ
(2017～2024 年の 7 月下旬～8 月上旬の
衛星画像を使用)

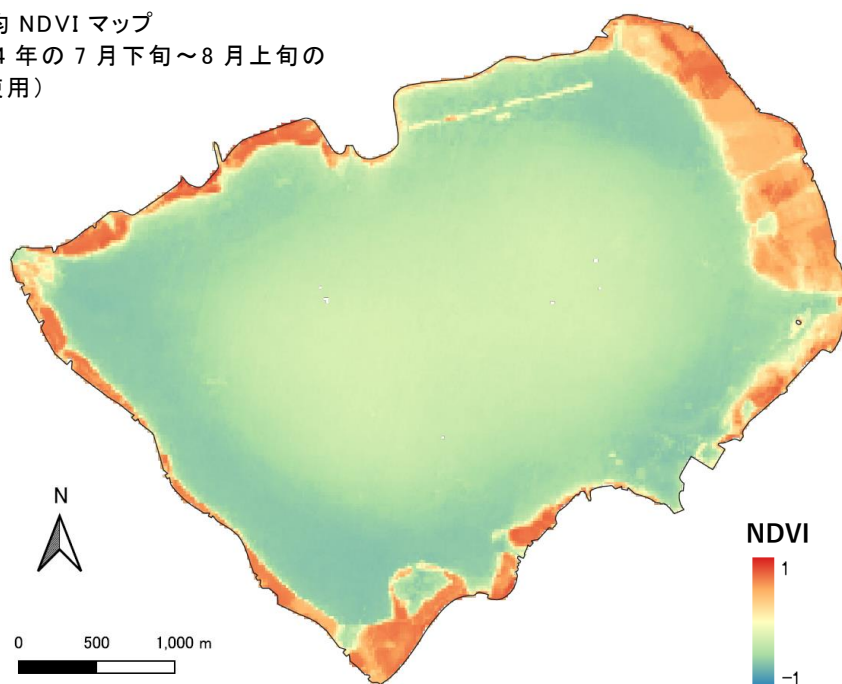


図 2-16 平均 NDVI マップの作成例

3章 湖沼における水草繁茂状況の調査手法及び調査事例

3-1 概要

(1) 各調査手法の概要

本章では、新規に水草繁茂状況の調査を実施する場合の参考情報として、様々な調査手法(現地踏査、ドローン撮影、衛星データ活用等)の概要及び既存調査事例を整理した。

水草の繁茂状況の調査手法として代表的なものを表 3-1 に示す。水草繁茂マップの作成においては水草の「**繁茂範囲**」の調査が必要となる。一方、水草の繁茂量は「**繁茂範囲**」に「**繁茂密度**」を乗じることで求められるため、水草繁茂マップの作成に必須ではないが、水草の繁茂状況を定量的に把握する上では「**繁茂密度**」も有用な情報となる。そこで、表 3-1 では繁茂範囲だけでなく、繁茂密度の調査手法も併せて示した。また、各手法で用いられる繁茂量の指標を表 3-2 に整理した。

表 3-1 水草の繁茂状況の調査手法(例)

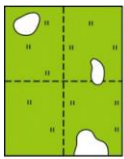
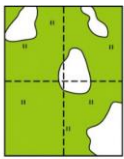
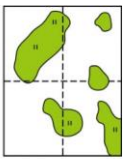
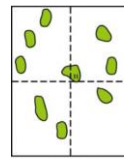
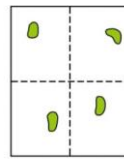
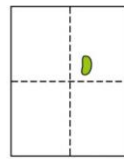
No.	調査手法	調査項目(例)	対象水草
1	コドラート調査(目視観察) 密度	被度※	全ての水生植物
2	コドラート調査(坪刈り) 密度	湿重量、乾燥重量 等	
3	群落外縁の位置情報の取得 (GNSS の活用) 範囲 (併せて被度も調査する場合は 密度)	群落外縁の位置座標 (+被度、株間距離※)	
4	ソナー・魚群探知機による把握 範囲 + 密度	群落外縁の位置座標 群落高(PVI の算出に使用)※	沈水植物
5	写真・映像による把握(人の手による撮影、定点カメラ等による自動撮影) 範囲 + 密度	被度※ (撮影条件によっては群落外縁の位置座標)	浮葉、抽水、 浮遊植物 (透明度等の条件によっては沈水植物)
6	空中写真による把握(ドローン撮影、航空撮影) 範囲	群落外縁の位置座標	
7	衛星画像による把握 範囲	群落外縁の位置座標 正規化植生指数(NDVI) 正規化水指数(NDWI)	

※当該調査と併せてコドラート調査(坪刈り)を実施し、関係性を定式化することにより、当該調査結果から水草量(バイオマス)を推定できる場合がある。

※※他にも潜水による水草の採取・計測等の調査手法がある。

網掛けの調査項目(繁茂量の指標)については、次ページに整理した。

表 3-2 水草の繁茂状況に関する指標

被度 区画面積に対する植物体の投影面積の割合(植被率)を表す場合と、これを階級で示す場合がある。被度階級には様々な方法があり、一例を以下に示す³。  被度階級 5 (3/4以上)  被度階級 4 (1/2~3/4)  被度階級 3 (1/4~1/2)  被度階級 2 (1/4~1/10)  被度階級 1 (1/100~1/10)  被度階級 + (1/100以上)
湿重量・乾燥重量 「湿重量」は水を含んだままの試料の重量。「乾燥重量」は乾燥後の試料の重量。水草の重量は「生物現存量(バイオマス)」として用いられる。 諏訪湖(ヒシ)  手賀沼(オオバナミズキンバイ等)  車川止水部(ホテイアオイ)  コドラートによる坪刈り調査風景
PVI(Percent Volume Index、占有体積比率) 植物体の容積が湖容積に占める割合(%)であり、以下の式から求められる。 $PVI = \Sigma (V_i \cdot CH_i) / \Sigma h_i$ ここで V: 植被率(%), CH: 群落高(cm), h: 水深(cm)であり、添え字 i は地点(植生区画)を示す。ソナーによる群落高・水深の測定結果は、しばしば PVI の算定に用いられる。
NDVI(Normalized Difference Vegetation Index、正規化植生指数) 植生の分布状況や活性度を示す指標であり、次式で表される。 $NDVI = (NIR - RED) / (NIR + RED)$ ここで NIR は近赤外域、RED は赤色光の反射率である。NDVI は-1~+1 の範囲をとり、植生が濃いと値が大きくなる。
NDWI(Normalized Difference Water Index、正規化水指数) 対象物の水分量を示す指標であり、次式で表される。 $NDWI = (GREEN - SWIR) / (GREEN + SWIR)$ ここで GREEN は緑色光、SWIR は中間赤外域の反射率である。NDWI は-1~+1 の範囲をとり、対象物の水分量が多いほど値が大きくなる。

³ 独立行政法人 水資源機構 琵琶湖開発総合管理所ホームページ：
<https://www.water.go.jp/kansai/biwako/>

(2) 各調査手法のメリット・デメリット

水草の分布データの取得方法には、現地踏査や画像解析といった方法がある。無料で取得できる Sentinel-2 等の衛星画像による把握が最も低コストで実施できる手法となるが、小さな湖沼への適用が難しい、気象条件(雲)の影響を受ける、水草の種類は特定できない、といったデメリットも存在する(詳細は 3-7 節参照)。一方、衛星画像に比べると多少コストはかかるが、空中写真(ドローン撮影、航空撮影)による把握も有効な手法である。空中写真は、雲の有無にかかわらず、比較的高い解像度の画像を取得できるといったメリットがある。また、現地踏査(コドラート調査、GNSS による群落外縁の位置情報の取得等)は、広域の繁茂の場合は調査に大きなコストを要するものの、分布と同時に水草の種類や周辺環境の情報も同時に取得できるのが強みである。

3-2 コドラート調査(目視観察、坪刈り)

(1) 調査手法の概要

本手法は、湖底に方形枠(コドラート)を置き、その中の水草の種類を判別するとともに、被度、湿重量、乾燥重量等を測定する手法である。広域の繁茂状況を面的に把握するのには向かないが、水草の種類やバイオマスといった詳細な情報が取得できるため、他の調査手法と併用して実施するのが望ましい。

(2) 水草の調査事例

事例 1 福島県・猪苗代湖

(抽水植物 9 種、浮葉植物 4 種、浮遊植物 2 種、沈水植物 5 種)⁴

- 2m×2m のコドラート内の植物の種類と被度を記録(抽水層・浮葉層・沈水層の各層)。
- 沈水植物の観察には水中めがねを利用。濁り等で水中が見えない場合は熊手を用いて 10 回以上コドラート内を探り、出現頻度・量から被度を推定。

表 3-3 抽水・浮葉・沈水植物の被度の調査例⁴

コドラート番号	OK 1	OK 2	OK 3	OK 4	OK 5	OK 6	OK 7	OK 8	OK 9	OK10
緯 度(37°)	31°56′	31°55′	31°55′	31°54′	31°54′	31°54′	31°53′	31°52′	31°52′	31°51′
経 度(140°)	06°04′	06°03′	06°04′	06°04′	06°04′	06°04′	06°04′	06°04′	06°04′	06°04′
岸からの距離(m)	6	30	53	98	124	130	149	172	195	218
水 深(cm)	63	95	55	49	50	48	53	61	70	75
底 質	泥	泥	泥	砂泥	砂泥	砂泥	砂泥	砂	砂	砂
抽水層被度(%)	0	0	10	0	0	0	10	0	0	0
抽 水 層 種 数	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0
コ ウ ホ ネ フ ト イ			10				10			
浮葉層被度(%)	0	0	+	0	0	0	1	0	0	0
浮 葉 層 種 数	0	0	2	0	0	0	1	0	0	0
ヒ シ コ ウ キ ク サ ヒ ル ム シ ロ ア サ ザ ウ キ ク サ コ ウ ホ ネ			+							
			+				1			
沈水層被度(%)	5	80	80	80	1	90	90	20	90	90
沈 水 層 種 数	1	1	2	1	2	2	1	2	3	2
ク ロ モ セ キ シ ョ ウ モ ホ ソ バ ミ ズ ヒ キ モ ヒ ル ム シ ロ コ ウ ホ ネ コ カ ナ ダ モ					+			10	+	
			+		1	+		10	+	+
		80	80	80		90	90		90	90
	5									

⁴ 黒沢高秀ほか(2012)猪苗代湖北岸の水生植物相・植生と水環境保全事業への提言、福島大学地域創造、24 巻 1 号、pp.97-113

事例 2-1 長野県・諏訪湖（ヒシ、クロモ）

千葉県・手賀沼（ナガエツルノゲイトウ、オオバナミズキンバイ）

群馬県・多々良沼（ハス）

熊本県・車川止水部（ホテイアオイ）^{5,6}

- 1m×1m のコドラートによる坪刈りを実施し、単位面積あたりの植物量の情報を取得。
- 調査項目は「被度(10%単位)」、「個体数(茎の本数)」、「湿重量」、「乾燥重量」、「草丈(伸ばした時の最大長)」、「根元の茎の直径(ヒシはロゼットの直下で計測)」。



図 3-1 コドラートによる坪刈り調査風景^{5,6}

⁵ 令和 2 年度湖沼水環境適正化対策検討業務報告書（いであ株式会社、令和 3 年 3 月）

⁶ 令和 3 年度湖沼水環境適正化対策検討業務報告書（いであ株式会社、令和 4 年 3 月）

事例 2-2 島根県・宍道湖（沈水植物）^{5, 6}

- ダイバーにより 30cm×30cm コドラート内の水草採取・水中写真撮影を実施。
- 調査項目は「湿重量」、「乾燥重量」等。

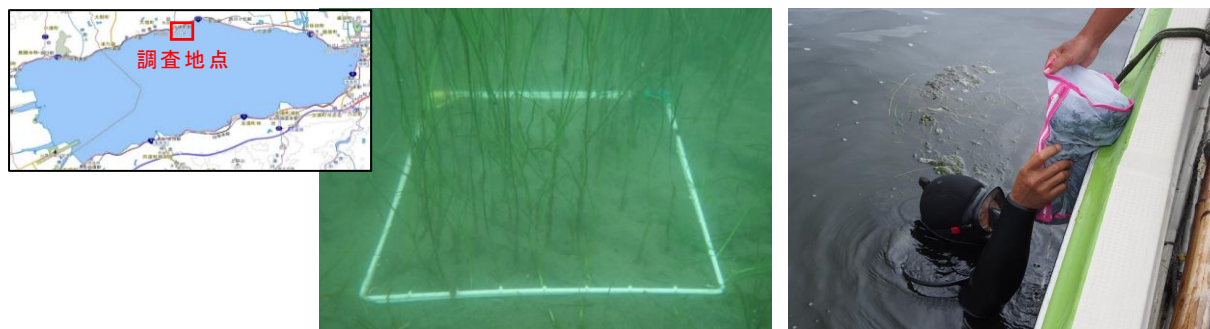


図 3-2 コドラートによる坪刈り調査風景⁶

事例 2-3 滋賀県・琵琶湖南湖（クロモ・コカナダモ等の沈水植物、糸状藻類）⁷

- ダイバーが 50cm×50cm のコドラートをランダムに湖底に置き、その内の沈水植物を全て土嚢袋に詰めて船上に引き上げ（1 地点 3 回採取）。
- 調査項目は「乾燥重量」等（調査時期は水草現存量が最大に達するとされる 9 月初旬） ※同調査は 2002 年以降、5 年ごとに実施されている。

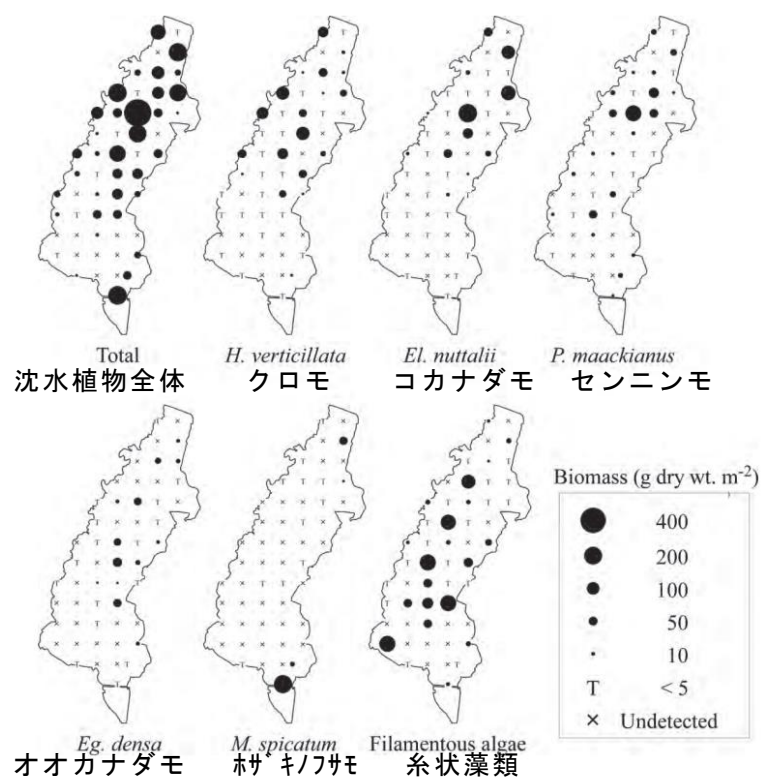


図 3-3 沈水植物等の現存量調査結果の例⁷

⁷ 芳賀裕樹ほか（2019）琵琶湖南湖における 2017 年 9 月の沈水植物の現存量の平面分布．陸水学雑誌、80 巻、pp.13-21

3-3 群落外縁の位置情報の取得(GNSS の活用)

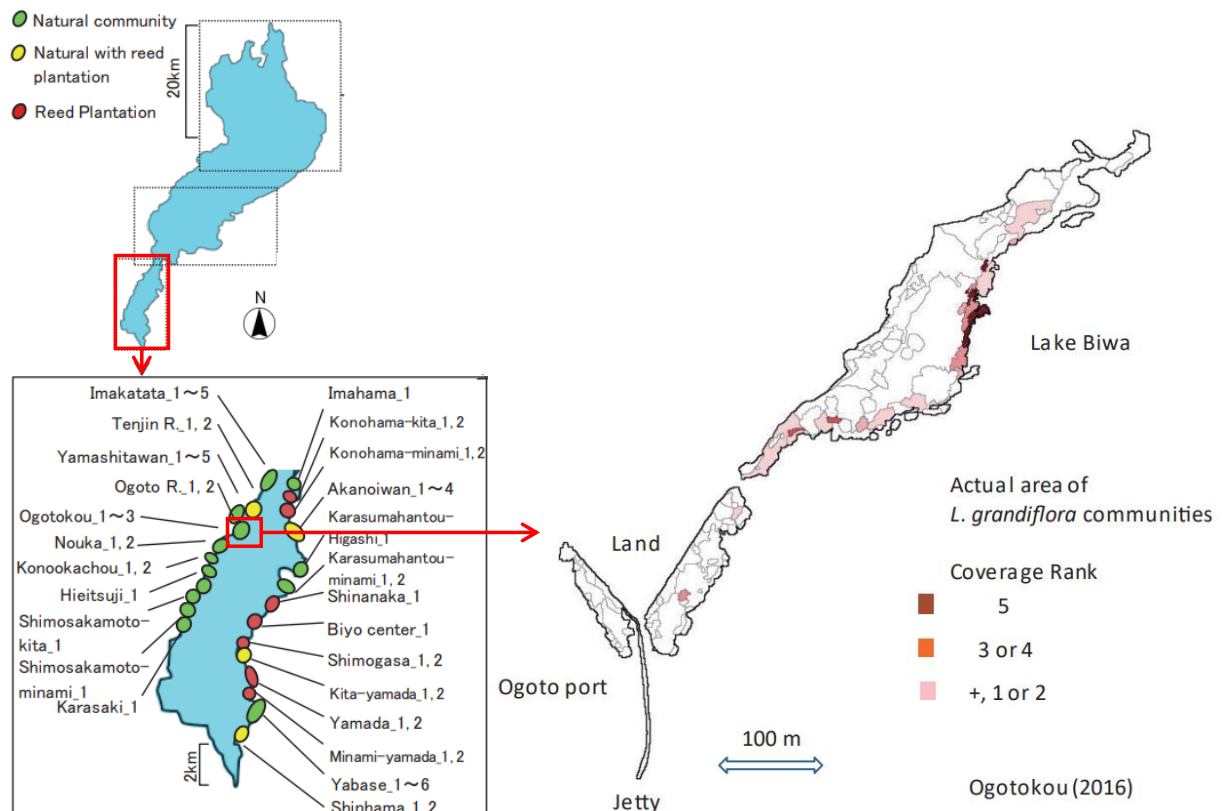
(1) 調査手法の概要

本手法は、水草群落の縁辺部を踏査しながら GNSS により位置情報を記録し、水草群落の範囲を特定する手法である。GNSS とは、人工衛星からの信号を用いて位置を決定する衛星測位システムの総称をいい、GPS や準天頂衛星システム等が含まれる。

(2) 水草の調査事例

事例 3-1 滋賀県・琵琶湖（オオバナミズキンバイ）⁸

- 群落の縁辺部を踏査しながら、数歩ごとに GNSS に位置情報を記録。
- 胴長での踏査が困難な場所では、ボートから双眼鏡を用いて本種の有無を確認・記録。



(本図は公益社団法人日本水環境学会に所属し、許可を得て掲載している)

図 3-4 抽水植物の分布調査結果の例⁸

⁸ 田中周平ほか（2020）琵琶湖岸の有義波高と生育地盤高に基づいた特定外来植物オオバナミズキンバイのポテンシャルハビタットの推定、水環境学会誌、43 巻 1 号、pp.9-15

事例 3-2 長野県・諏訪湖（ヒシ・クロモ等の浮葉・沈水植物）²

- 船上からの目視調査で、株間距離によりヒシ群落を L(2m 以上)、M(1～2m 未満)、H(1m 未満)の 3 段階の密度階級に分類し、外縁の位置を GNSS (GPS)で計測。
- 各密度階級のバイオマスが調査されており、密度を重量に換算可能。
- ヒシ以外の浮葉・沈水植物についても、群落外縁を GNSS (GPS)で計測。

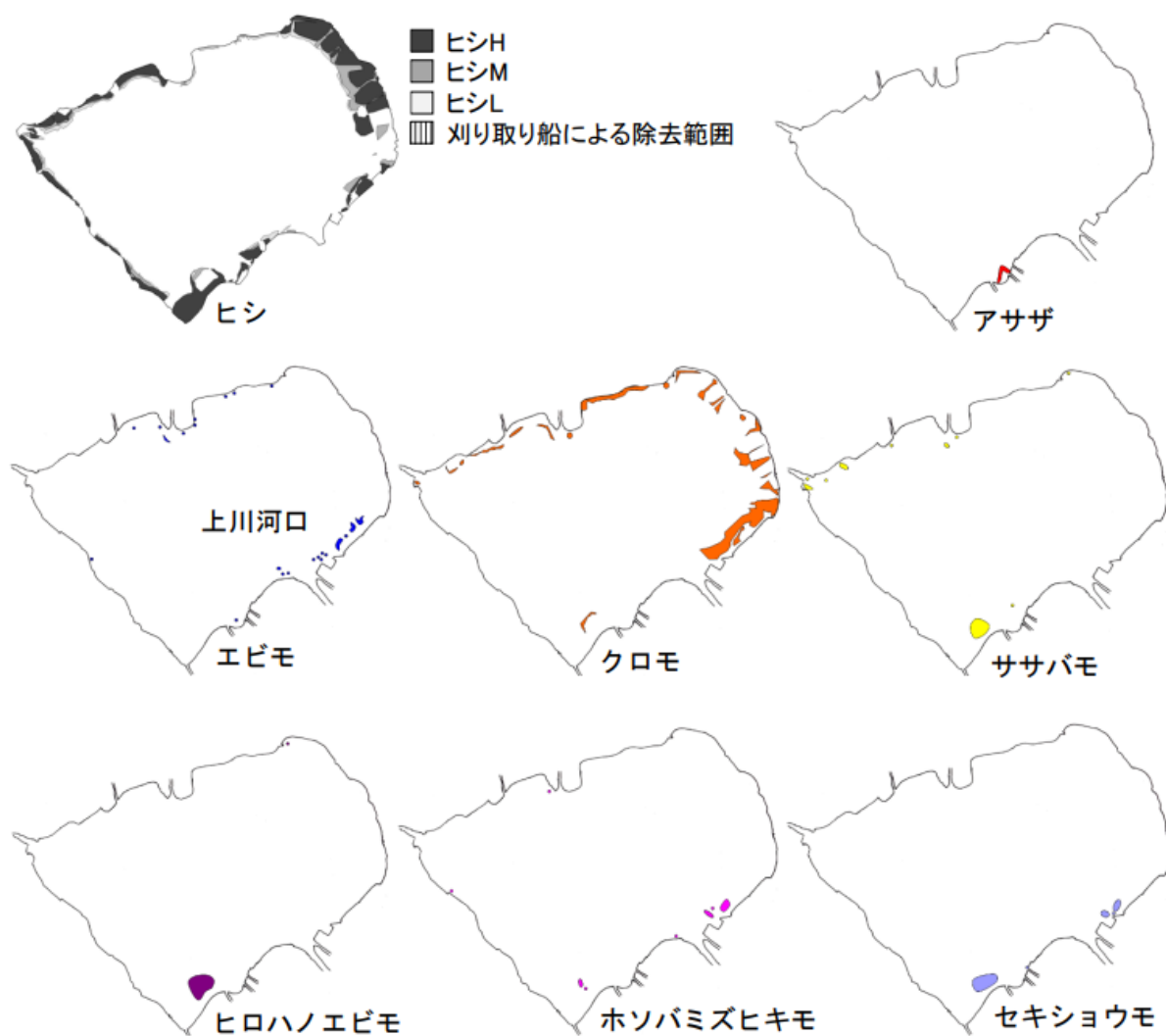


図 3-5 現地調査による浮葉・沈水植物分布の調査結果の例²

3-4 ソナー・魚群探知機による把握

(1) 調査手法の概要

本手法は、調査船等にソナーまたは魚群探知機を搭載し、湖面を移動しながら水草群落及び湖底までの水深を計測し、それらの情報から水草の群落高を把握する手法である。対象水草は主に沈水植物となる。

(2) 水草の調査事例

事例 4-1 滋賀県・琵琶湖南湖（沈水植物）^{9, 10}

- 調査船に搭載された魚群探知機⁹または底質判別・藻場探査ソナー（MX Aquatic Habitat Echosounder、Biosonics 社製）¹⁰を用いて沈水植物の群落高を測定。
- コドラート調査（坪刈り）による水草の乾燥重量との回帰式を用いて、各地点・季節の水草量を推定¹⁰。

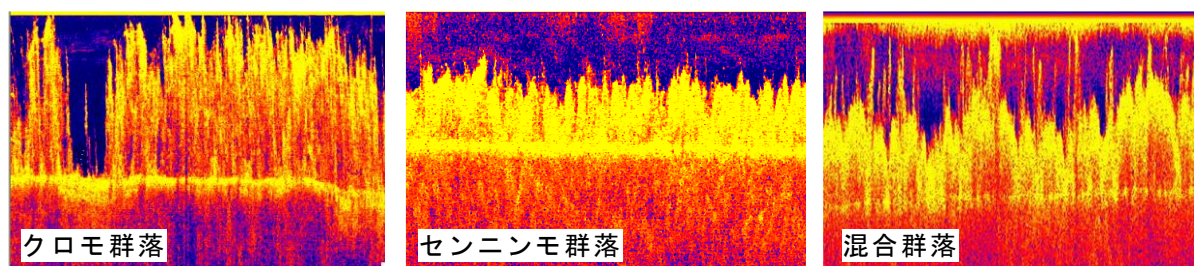


図 3-6 魚群探知機の映像の例⁹

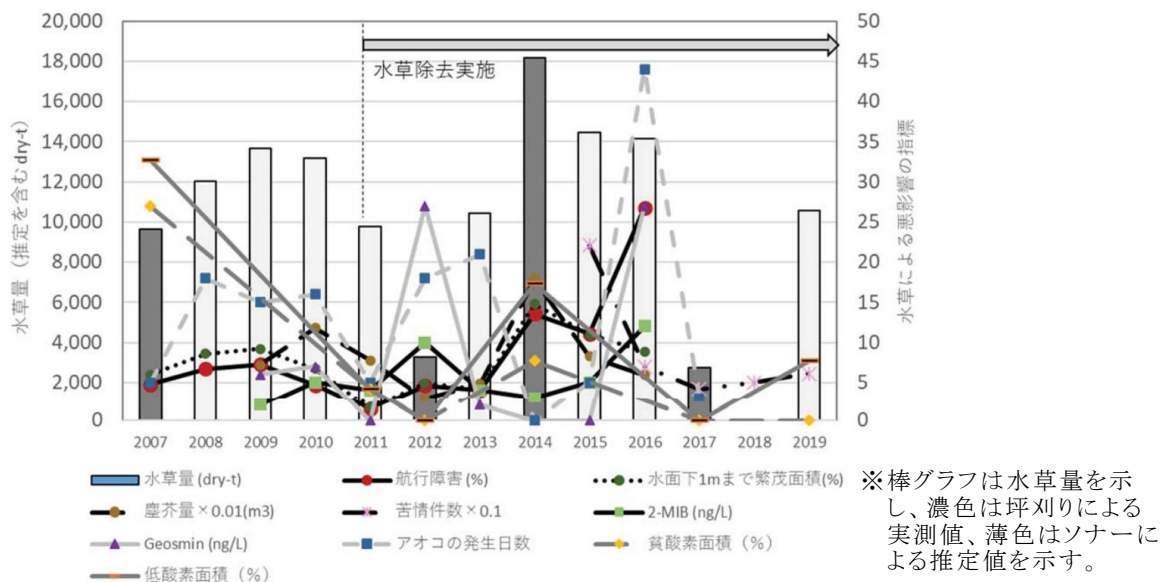


図 3-7 水草量の変化の解析例(滋賀県琵琶湖環境科学研究センター提供)¹⁰

⁹ 丸野慎也・浜端悦治（2016）琵琶湖南湖において水草刈り取りが沈水植物群落に与える影響、伊豆沼・内沼研究報告、10 巻、pp.9-19

¹⁰ 酒井陽一郎ほか（2020）政策課題研究 6「水草管理による生態系再生に向けた研究」、滋賀県琵琶湖環境科学研究センター研究報告書、16 号、pp.122-139

事例 4-2 栃木県・湯の湖（沈水植物、糸状藻類）¹¹

- 一度に広範囲の分布調査が可能なサイドスキャンソナー（SportScan、Imaginex 社製）及び D-GPS（A100、Hemisphere 社製）を手漕ぎボートに搭載し、湖岸沿いに調査を実施。
- 水中カメラを降下させ、種同定・静止画を取得。
- ソナーの情報（モザイク図）と水中カメラの情報を統合し、沈水植物の分布図を作成。

事例 4-3 島根県・宍道湖（沈水植物）^{5, 6}

- 小型船舶の舷側にビーム発信器（200kHz・ビーム角 8.5°）を取り付けて調査を実施し、観測データから「湖底からの植物の高さ」等を推測。
- 湖底から 0.2m までは湖底の泥の反応がみられたため分類から外し、他の調査結果から、0.2～0.6m をシオグサ類、0.6～1.5m をイトモ類、1.5m～をオオササエビモと想定して繁茂域を推測。

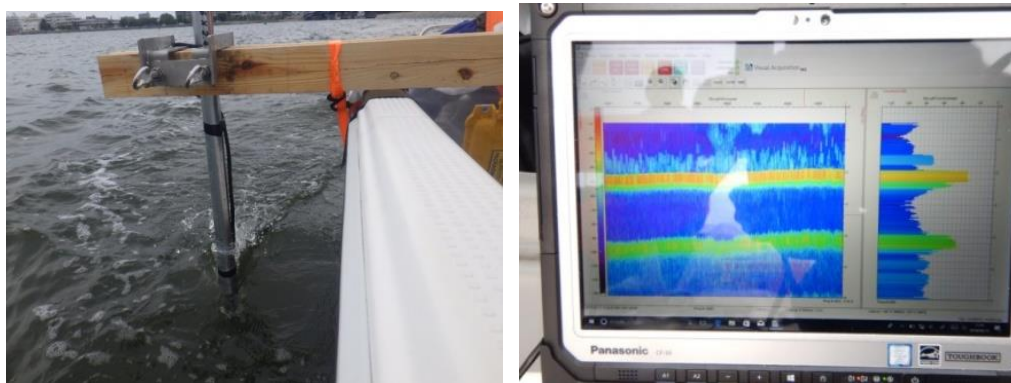


図 3-8 藻場探査ソナー観測状況（左：曳航状況、右：観測中の断面エコーグラム）⁶



図 3-9 ソナーによる沿岸の「湖底からの植物の高さ」の調査例⁵

¹¹ 虻川和紀ほか（2011）湯の湖におけるサイドスキャンソナーを用いた沈水植物帯分布、水草研会誌、No.96、pp.16-23

3-5 地上写真による把握

(1) 調査手法の概要

本手法は、人の手により撮影または定点カメラ等で自動撮影し、その写真を用いて水草の繁茂状況を把握する手法である。

(2) 水草の調査事例

事例 5 沖縄県・天願川河口近くの湛水域

(ボタンウキクサ、ホテイアオイ)^{12, 13}

- 多地点・同時期・高頻度での観察を低コストで実現するため、定点観測用カメラ(タイムラプスカメラ)を活用し、設定した時間間隔で連続自動撮影を実施。
- 浮葉植物の移動状況(上流・下流への移動)を観察・記録。
- 撮影した画像を目視し、水面を浮葉植物が覆う割合(被度)を5段階で評価。

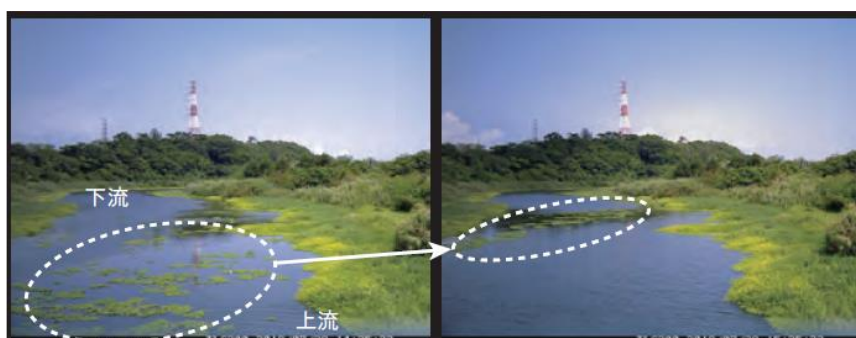


図 3-10 定点観測用カメラで撮影した外来浮葉植物の移動状況¹³

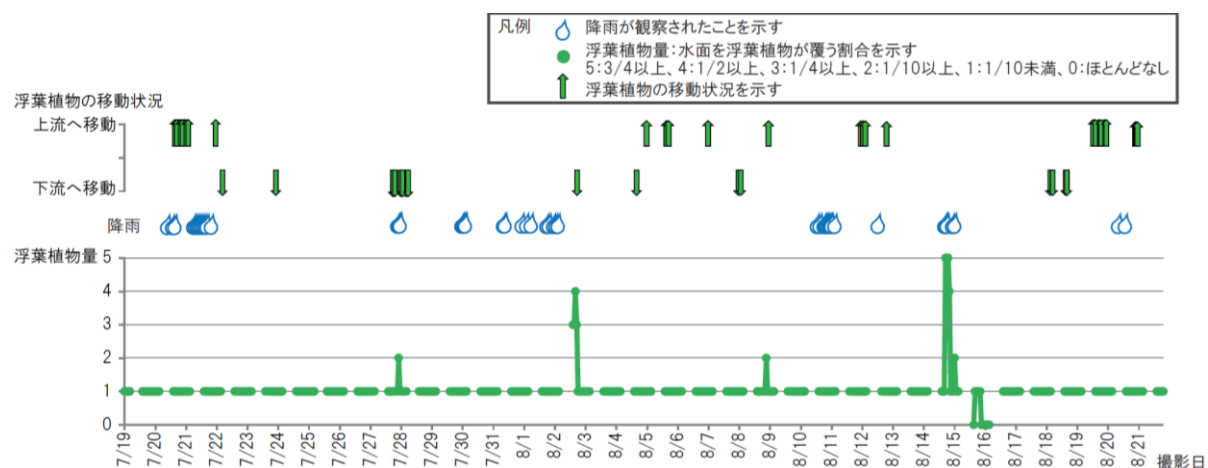


図 3-11 定点観測用カメラの画像に基づく外来浮葉植物の動態の例¹³

¹² 平中晴朗ほか(2019) 沖縄県都市河川における自動撮影カメラを用いた外来性の浮葉植物のモニタリング手法と繁茂の仕組み、応用生態工学会第23回広島大会、PM-1

¹³ 金城樹ほか(2021) 大量繁茂する外来浮葉植物の新しいモニタリング手法と対策、i-NET、Vol.57、pp.6-7 : https://www.ideacon.co.jp/technology/inet/news_file/file/vol57_wr02s.pdf

3-6 空中写真による把握(ドローン、航空機等)

(1) 調査手法の概要

本手法は、UAV(ドローン)や航空カメラにより対象水域を上空から撮影し、その写真を用いて水草の繁茂状況を把握する手法である。観測条件(対象水域の透明度等)によっては沈水植物が把握できる場合もあるが、主に浮葉・抽水・浮遊植物が対象となる。

調査の実施にあたって、機器の調整や精度管理といった公共測量と共通する事項については、以下の Web サイトが参考になる。

■ 国土地理院ホームページ「作業規程の準則」

<https://www.gsi.go.jp/gijyutukanri/gijyutukanri41018.html>

※測量法の規程に基づく技術的な規範が掲載されている。

※第 3 編第 3 章「UAV 写真測量」及び第 4 章「空中写真測量」が参考となる。

■ 国土地理院ホームページ「UAV を用いた公共測量マニュアル(案)」

<https://www.gsi.go.jp/KOUKYOU/sokuryosidou41042.html>

※本内容は「作業規程の準則」にも反映されている。

なお、UAV(ドローン)を飛行させる場所や飛行方法によっては、国土交通大臣の許可・承認手続きが必要となる。詳細は以下の Web サイトから確認できる。

■ 国土交通省ホームページ「無人航空機の飛行許可・承認手続き」

https://www.mlit.go.jp/koku/koku_fr10_000042.html

(2) 水草の調査事例

事例 6-1 長野県・諏訪湖(ヒシ)¹⁴

- 上空からのドローン撮影により、刈取り前後の状況を把握。



※2023 年 6 月撮影。撮影日に青枠の範囲でヒシの刈取りが実施された。なお、枠上部(両図ともに水面が写っている区画)では、同年 5 月にヒシ種子の除去が実施されている。

図 3-12 ドローンによるヒシ繁茂状況の調査例(左:刈取り前、右:刈取り後)¹⁴

¹⁴ 令和 5 年度湖沼水環境適正化対策検討業務報告書(いであ株式会社、令和 6 年 3 月)

事例 6-2 島根県・宍道湖（沈水植物等）^{5, 6}

- 宍道湖全域の水草の繁茂域を上空 100m～120m の空中ドローンにより撮影
- 1 枚の写真の範囲は縦 100m×横 150m 程度とし、写真の重複範囲を縦横ともに 75%以上となるように飛行ルートを設定。
- オルソモザイク画像を作成し、宍道湖全域の上空から観察できる水草の範囲を特定。

表 3-4 空中ドローン調査使用機材の例⁶

調査項目	使用機材等
水草等の繁茂状況調査 (空中ドローンによる調査)	撮影機材: Phantom 4 Pro V2.0 (DJI製) X6 (機体、TAROT製) + N3 (制御装置、DJI製) EVO Pro (Autel Robotics製) GoPro HERO7 Black (カメラ) (GoPro製) Survey3W OCN (赤外線カメラ) (MAPIR製) 撮影用ソフトウェア: Ground Station Pro (DJI製) オルソモザイク作成ソフトウェア: Metashape (Agisoft製) QGIS 3.20 (フリーウェア)



図 3-13 空中ドローン調査使用機体の例(Phantom 4 Pro V2.0)⁶

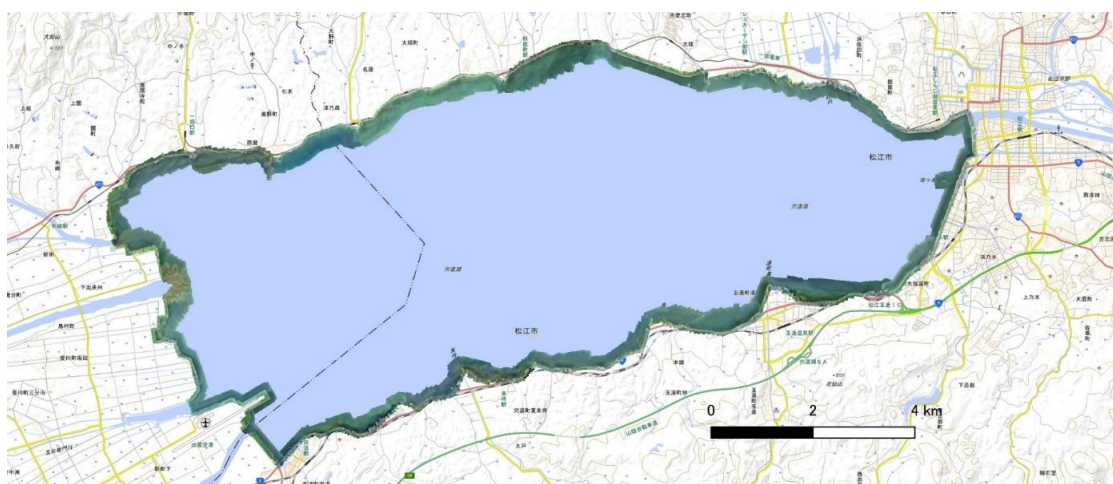


図 3-14 ドローンによる沿岸の水草繁茂状況の調査例(オルソモザイク画像)⁵

3-7 衛星画像による把握

(1) 調査手法の概要

1) 衛星リモートセンシングとは

衛星リモートセンシングとは、人工衛星に搭載されたセンサによって地球表面の状態を調べる手法である。湖沼においては、広域で繁茂した浮葉植物等の状況を把握するために、光学衛星データが使われた研究事例が複数存在する(3-7(2)参照)。近年ではWeb上のプラットフォームが整備され、衛星データの入手が容易になってきているため、本節では衛星データの利活用に係る基礎的な情報を掲載した。

2) 衛星データ利用のメリット・デメリット

湖沼の水草繁茂域の把握において、衛星データを利用する場合のメリット・デメリットを以下に示す。衛星データには広域性・定期性・過去遡及性といった特徴があり、さらに基本的には現地調査に比べて低コストな手法となっている。一方、対象とする水草は基本的に水面を覆うもの(浮葉植物等)に限定されること、水草の種類の判別は難しいこと等に留意する必要がある。

表 3-5 衛星リモートセンシングのメリット・デメリット

メリット	デメリット
・ <u>コスト面</u>での優位性(特に無償で取得可能な衛星データの場合)。 ・ <u>広域</u>の繁茂状況を<u>高頻度</u>で把握可能(例えばSentinel-2の場合、概ね5日に1回撮影)。 ・ <u>過去からの繁茂状況の変遷</u>を把握可能(大量繁茂現象として対応すべきか判断する上で重要)。	・ <u>把握できる水草が限定的</u>(沈水植物の把握には向かない)。 ・ 基本的に<u>水草の種類は判別不可</u>(現地確認が必要であり、複数種が混生している場合は区別できない)。 ・ 衛星によっては空間解像度が低く、局所的な繁茂状況の把握には向かない。 ・ 天候(雲量)によっては画像が使えない。 ・ 衛星リモートセンシングに関する多少の専門知識が必要(自力で解析する場合等)。

3) 水草繁茂域の把握に利用できる衛星データ

湖沼の水草繁茂域の把握に利用できる無償の衛星データの例を以下に示す。

Sentinel-2 は観測期間が 2015 年以降に限られるが、比較的高解像度(10m 程度)かつ高頻度(月 6 回程度)の画像を取得できる。Landsat は Sentinel-2 より解像度と観測頻度に劣るが、過去からの継続的な解析に有用である。Terra/MODIS は解像度が低いため適用対象は大きな湖沼に限られるものの、観測頻度が高いため、天候(雲)の影響で使える画像が少ない地域等では候補に入る場合がある。

衛星データの選定においては、対象とする湖沼のサイズや水草の生活系等を踏まえて検討する必要があるが、「過去 10 年以内の無償の衛星データ」としては Sentinel-2 が有力な候補として挙げられる(2024 年 12 月現在)。

表 3-6 水草繁茂域の把握に利用できる無償の衛星データの例

衛星名/センサ	運用機関	観測期間	観測頻度	解像度	観測波長
Sentinel-2/MSI	ESA/EU	2015 年～	5 日 ※	10m	青、緑、赤、近赤外
				20m	中間赤外 等
				60m	近赤外 等
Landsat-1,2,3/MSS	USGS/NASA	1972～1983 年	18 日	80m	緑、赤、近赤外
Landsat-4,5/TM		1982～2012 年	16 日	30m	青、緑、赤、近赤外、 中間赤外 ※観測波長はセンサにより多少異なる
Landsat-7/ETM+		1999 年～			
Landsat-8/OLI		2013 年～			
Landsat-9/OLI-2		2021 年～			
Terra/MODIS	NASA/CSA /METI	1999 年～	1 日	250m	赤、近赤外
				500m	青、緑、中間赤外 等

※: Sentinel-2A と Sentinel-2B の 2 機体制で、1 機の回帰日数は 10 日

なお、上記の衛星は多波長の光反射率を観測しているため、植生(水草)と水面の光反射特性の違いを利用し、NDVI や NDWI といった水草の判別に有用な指標を計算することができる。衛星データの基礎知識及び指標(NDVI、NDWI)については、以下の文献が参考となる。

■ 気候変動適応情報プラットフォーム(A-PLAT)ホームページ 「衛星画像データの基礎知識」

<https://adaptation-platform.nies.go.jp/local/communication/collaboration/satellite-image-data/index.html>

※主な衛星・センサの種類と特徴、物体の分光反射特性に関する解説、衛星データの利用事例等が掲載されている。

■ 国土地理院ホームページ「植生指標データについて」

<https://www.gsi.go.jp/kankyochiri/ndvi.html>

※正規化植生指数 (NDVI) の解説及び計算式が掲載されている。

■ 竹内・安岡 (2004) 衛星リモートセンシングデータを用いた正規化植生、土壌、水指数の開発。写真測量とリモートセンシング、43(6)、7-19.

https://www.jstage.jst.go.jp/article/jsprs1975/43/6/43_6_7/_pdf/-char/ja

※NDVI、NDWI は、それぞれ植生、水の存在に関する指標として有効であることが示されている。

■ 環境研究総合推進費 終了成果報告書「S-9-4 陸水生態系における生物多様性損失の定量的評価に関する研究」(平成 23～27 年度)

https://www.env.go.jp/policy/kenkyu/suishin/kadai/syuryo_report/h27/pdf/S-9-4_1.pdf

※湖内のアオコと浮葉・抽水植物を分離して推定する手法として、NDWI が採用されている。

4) 衛星データの閲覧・取得方法(衛星データプラットフォーム)

衛星データの閲覧・取得については、Web 上の衛星データプラットフォームを利用するのが最も早く簡単である。2024 年 12 月現在、様々な衛星データプラットフォームが公開されているが、代表的なものを以下に挙げる。

表 3-7 衛星データプラットフォームの例

Web サイト名、URL 等	特徴
EO Browser URL: https://apps.sentinel-hub.com/eo-browser/ 運営機関: 欧州宇宙機関 (ESA)	✓ Sentinel 等の衛星画像を閲覧できる無料のオンラインツール。 ✓ 水草の判別に有用な NDVI、NDWI といった指標の画像プロダクトが用意されている。
Google Earth Engine URL: https://earthengine.google.com/ 運営機関: Google	✓ 衛星データを用いた地球規模の分析を可能にするオンラインクラウドプラットフォーム。スクリプトを記述することにより、様々な衛星データの解析をクラウド上で実施可能。 ✓ 非営利目的、教育・研究目的、公的な業務等では無料で利用可能。商用利用の場合は有償となる。 ✓ 操作には Google アカウントが必要。
Tellus(テールス) URL: https://www.tellusxdp.com/ja/ 運営機関: (株)Tellus	✓ 経済産業省の「政府衛星データのオープン&フリー化及びデータ利活用促進事業」の取り組みとして開発。 ✓ 無償で提供する衛星データや解析ツールの他に、民間企業が提供する商業衛星データや解析ツール等を購入することも可能。 ✓ Sentinel の衛星データを取得したい場合、API 経由で Sentinel Hub 等から取得する必要がある。API は公式サイトで公開されている。

【EO ブラウザの操作方法】

EO ブラウザは Sentinel 等の衛星画像を閲覧できる無料のオンラインツールで、欧州宇宙機関(ESA)が提供している。以下、操作手順について簡単に述べる。

① EO ブラウザへのアクセス

Sentinel Hub EO Browser: <https://apps.sentinel-hub.com/eo-browser/>

② 衛星データの検索

対象水域を検索し、さらに使用する衛星データを選択して検索する。



©European Space Agency – ESA

③ 衛星データの可視化

観測結果一覧から 1 つ選んで表示する。雲が少ない画像を選ぶことが望ましいが、4) で別の日の画像に変更することもできる。



©European Space Agency – ESA

④ 日付の選択(任意)

表示された衛星画像を確認しながら、雲の影響が少ない画像等、目的に合った衛星画像を選択する。



©European Space Agency – ESA

⑤ 衛星データの各種プロダクトの選択

目的に応じて、EO ブラウザ上に用意されている衛星画像プロダクトを選択する。水草の繁茂域を把握する場合、例えば表 3-8 の衛星画像プロダクトが利用できる。

なお、アオコが発生している場合は水草との区別が難しいため、併せて現地確認することが望ましい。ただし、アオコと水草の分光反射特性の違いを利用して区別した事例（表 3-8 の NDWI を使用）や、アオコは流動性があるため、雲に覆われていない衛星画像を連続して数日分取得できる場合は、これらを見比べるとアオコと水草の区別がつく場合もある。



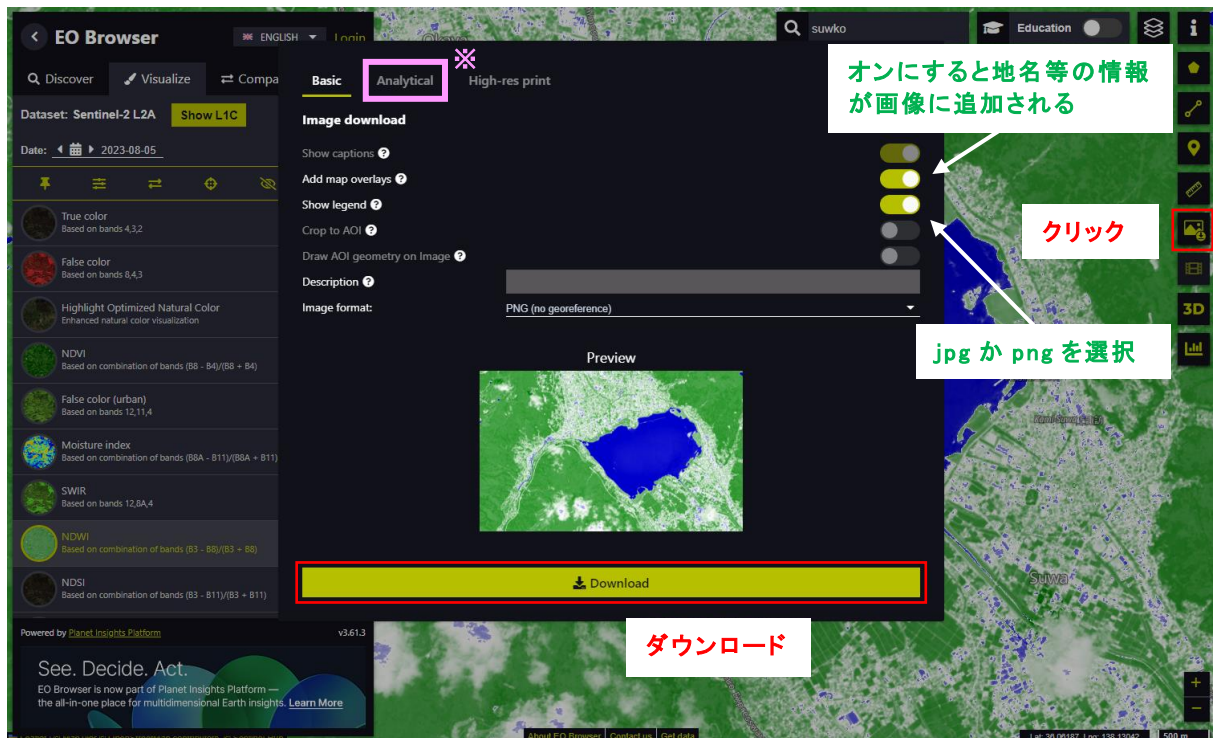
©European Space Agency – ESA

表 3-8 EO ブラウザで閲覧できる衛星画像プロダクトの例

画像の種類	特徴	画像の作成方法または算定式
True color (RGB 画像)	肉眼で見える色合いに近いカラー画像を表す。湖面の状況を直感的に理解しやすいという利点がある。	赤、緑、青の波長域で撮影された 3 枚の画像を合成することにより作成される。
False color (フォールスカラー画像)	植生を赤色で表した画像。植生の状況を詳しく見るときに用いられる。	近赤外線域に赤、赤波長域に緑、緑波長域に青を割り当ててカラー合成することにより作成される。
NDVI (正規化植生指数)	植生の被覆や活性度合いを表す。-1～+1 の範囲をとり、植生が濃いと値が大きくなる。	$NDVI = (NIR - R) / (NIR + R)$ NIR は近赤外域、R は赤色光の反射率
NDWI (正規化水指数)	地表面の水の存在と深い関わりをもつ指標。-1～+1 の範囲をとり、地表面が帯水状況にあると値が大きくなる。湖沼においては、NDWI を用いて水面のアオコと水草を判別した研究事例がある。	$NDWI = (GR - SWIR) / (GR + SWIR)$ GR は緑色光、SWIR は中間赤外の反射率

⑥ 衛星データの保存

必要に応じて衛星データを保存する。JPEG または PNG 形式で保存する場合は、ユーザ登録をせずに保存できる。より高解像度のデータや TIFF 形式で保存する場合は、ユーザ登録(無料)の後、ログインし「Analytical」(図中※)より可能である。



©European Space Agency – ESA

(2) 水草の調査事例

事例 7-1 福井県・三方湖（ヒシ）^{15, 16}

- ヒシが優占する三方湖の衛星画像を過去に遡って解析し、NDVI（正規化植生指数）で繁茂域を抽出することにより、ヒシ分布範囲の長期変化を把握。

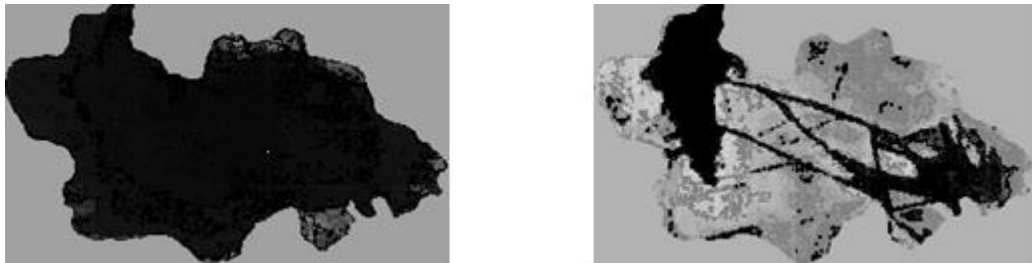


図 3-15 衛星画像解析による三方湖のヒシ分布範囲(左:2003 年、右:2010 年)¹⁶

事例 7-2 アオコと水草（浮葉・抽水植物）の分離手法の開発¹⁷

- 国内外の湖沼の Landsat/TM・ETM+画像（空間解像度:30m）を解析し、現地調査結果との比較により、水面を「アオコ」と「水草」に分離する手法を構築。
- アオコが集積している場合、NDVI（近赤外域を利用した指標）ではアオコを水草と誤分類してしまうが、NDWI（中間赤外域を利用した指標）を用いることにより、アオコと抽水・浮葉植物を分離できることを示した。

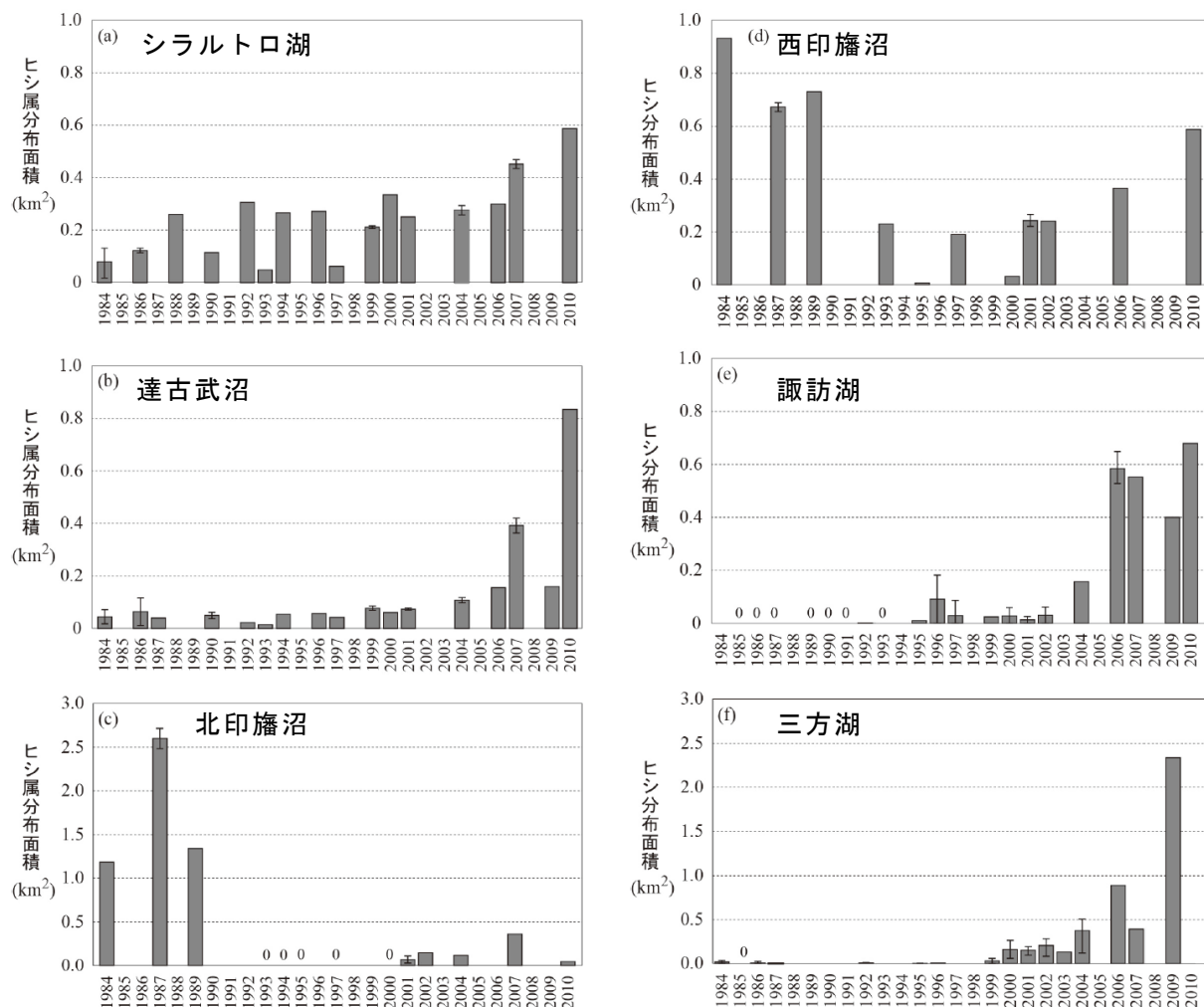
¹⁵ Nishihiro et al. (2014) Heterogeneous distribution of a floating-leaved plant, *Trapa japonica*, in Lake Mikata, Japan, is determined by limitations on seed dispersal and harmful salinity levels. *Ecological Research*, 29, 981-989

¹⁶ 東邦大学プレスリリース（平成 26 年 9 月 1 日）：https://www.toho-u.ac.jp/press/2014_index/033_038.html

¹⁷ Oyama et al. (2015) Distinguishing surface cyanobacterial blooms and aquatic macrophytes using Landsat/TM and ETM+ shortwave infrared bands. *Remote Sensing of Environment*, 157, 35-47

事例 7-3 国内 6 湖沼（ヒシ）¹⁸

- ヒシの大量繁茂が確認されている国内 6 湖沼の Landsat/TM・ETM+画像に対して、**事例 7-2**の手法を適用し、ヒシの分布範囲とその面積の長期変化を把握。
- 推定したヒシの分布面積は、現場実測値と良好な一致を見たが、やや過小推定の傾向を示した。これは、衛星画像から抽出できるヒシが被度 50%以上に限られているためと考えられる。



※データが空白の年は解析可能な衛星画像がなかったことを意味し、0 と記載された年は衛星画像からヒシが不検出であったことを意味する。

図 3-16 ヒシ分布面積の長期変化の例¹⁸

¹⁸ 尾山洋一ほか（2017）衛星画像から観測した国内 6 湖沼におけるヒシ属 *Trapa* L. の長期分布変化、保全生態学研究、22 巻 1 号、pp.171-185

事例 7-4 阿寒湖（沈水植物）¹⁹

- 沈水植物の分布推定手法の一つである SAVMA (submerged aquatic vegetation mapping algorithm) 法の適用条件を検証。
- 衛星画像は WorldView-2 画像（空間解像度：2m、ピクセル値：11bits）を使用。
- 緑バンドのピクセル値（DN 値）に閾値を設けることにより、サイドスキャンソナーで得られた沈水植物の分布を精度よく再現できることを確認。

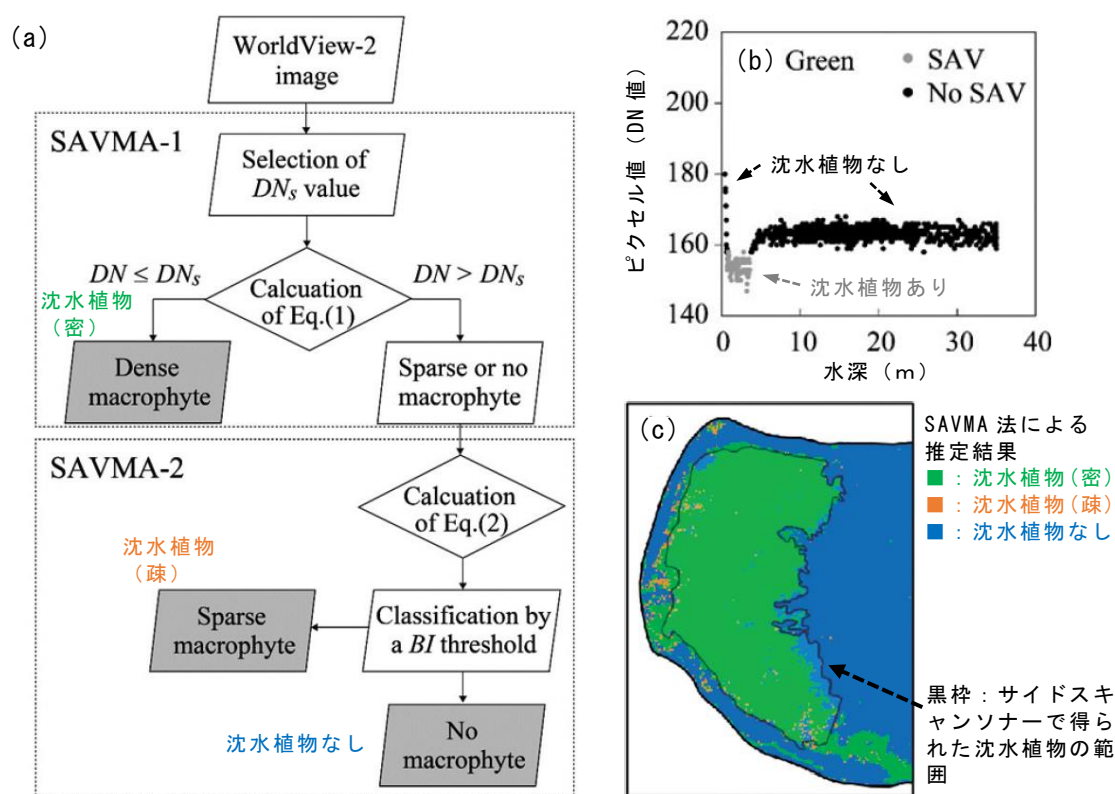


図 3-17 SAVMA 法のフロー(a)、ピクセル値の水深変化(b)、分布推定の例(c)¹⁹

¹⁹ 尾山洋一ほか（2020）SAVMA 法を利用した WorldView-2 画像による阿寒湖の沈水植物分布の推定、湿地研究、10 巻、pp.53-66