水草ポテンシャルマップ作成マニュアル（案）

令和７年３月

環境省 水・大気環境局　海洋環境課

海域環境管理室

目　次

1 章 はじめに 1
1-1 水草ポテンシャルマップとは 1
1-2 本マニュアルの対象 1
1-3 本マニュアルの構成と使い方 1
2 章 水草ポテンシャルマップの作成手法 3
2-1 概要 3
2-2 水草ポテンシャルマップの作成手順 5
2-3 水草ポテンシャルマップの作成・活用にあたっての留意事項 17
3 章 水草の生育に影響を及ぼす環境条件 18
3-1 概要 18
3-2 水草の生育環境条件 19

【参考資料】水草ポテンシャルマップ以外の解析手法 24

1章 はじめに

1-1 水草ポテンシャルマップとは

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、水草の潜在的生息地（ポテンシャルハビタット）を容易に把握できる「水草ポテンシャルマップ」の作成が有用である。

水草ポテンシャルマップは、水草の種類に応じた生態特性を踏まえ、水草の生育を制限する環境条件（水深、底質の性状、塩分等）の分布情報を取得し、それらを重ね合わせることにより、水草が生育可能な環境条件を備えている場所を可視化したものである。

なお、作成した水草ポテンシャルマップは、実際の繁茂域（水草繁茂マップ）と比較し、検証することが望ましい。このマップの作成方法については、「水草繁茂マップ作成マニュアル」を参照されたい。

1-2 本マニュアルの対象

本マニュアルでは、水草ポテンシャルマップの作成手法について解説する。水草ポテンシャルマップにおいて設定する水草の生育環境条件の閾値は、対象とする水草の種類に応じて図鑑・文献等から収集することを基本とするが、代表的な環境条件（地形条件（水深）、底質の性状、塩分等）についても本マニュアルで解説する。

水草ポテンシャル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、簡易的ではあるが、水草の繁茂要因を比較的低コストで把握できるため、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、対象水草の発生箇所の特定、初期段階における根絶対策、既に繁茂した場合はその拡大範囲の特定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、水草ポテンシャルマップ作成の意義について解説する。

第 2 章は、水草ポテンシャル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。

第 3 章は、水草の生育に影響を及ぼす環境条件について解説する。

【水草ポテンシャルマップの活用方法について】

本マニュアルで扱う水草ポテンシャル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。

水草ポテンシャルマップは、水草の生育環境の観点から、水草が繁茂する範囲や繁茂可能性の濃淡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繋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。大量繁茂の要因となる環境条件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）。
- ✓ 対象水域において将来的に水草が分布可能な範囲をマップから予測する。例えば、湖内での工事（浚渫・覆砂）によって地形等を改変する際、そこで何が起きるかを簡易的に予測する
- ✓ 人為的に操作可能な環境条件が大量繁茂の主要因と判断された場合は、対策計画への反映を検討する。

■　その他の活用方法

水草の生育環境条件の分布を継続的に調査し、データを蓄積することにより、対象湖沼で起きている大量繁茂のメカニズムの理解に役立てることができる。また、将来的により高度な解析技術（例えば水草の動態を予測する数値シミュレーション技術）が発展した場合には、その入力データとしての活用が期待できる。

2章 水草ポテンシャルマップの作成手法

2-1 概要

水草ポテンシャルマップの作成手順を図 2-1 に示す。

Step1 では、水草の生育環境条件を文献等から調べ、対象とする水草の分布に影響を及ぼしうる環境条件を絞り込む。

Step2 では、それぞれの環境条件の分布情報を収集し、マッピングして可視化する。必要に応じて現地調査等により環境条件の分布を取得する。

Step3 では、それぞれの環境条件の分布を重ね合わせ、対象とする水草が生育可能な条件を全て備えた水域を抽出する。以下 2 通りの手法がある。

a) 繁茂予測範囲を示すマップ

Step1 で絞り込んだ環境条件を全て兼ね備えた範囲を示すもの（図 2-2）。

b) 繁茂可能性の濃淡を示すマップ

それぞれの環境条件をスコア化して足し合わせ、繁茂可能性の濃淡を表現したもの（図 2-3）。

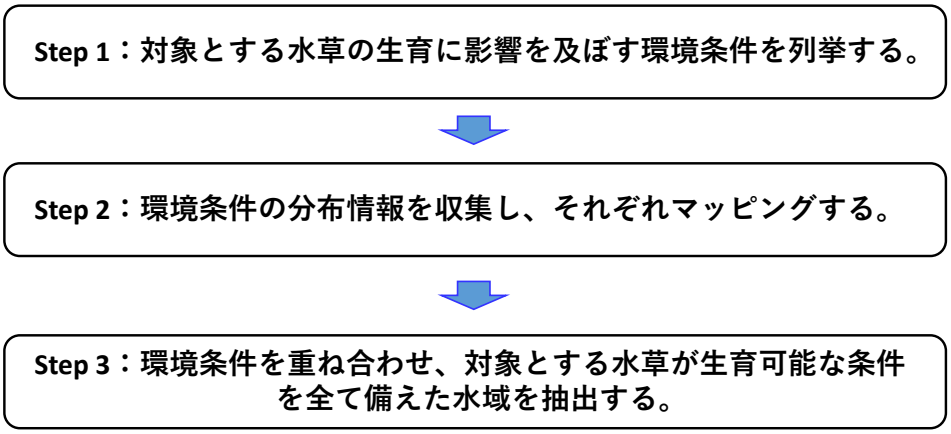
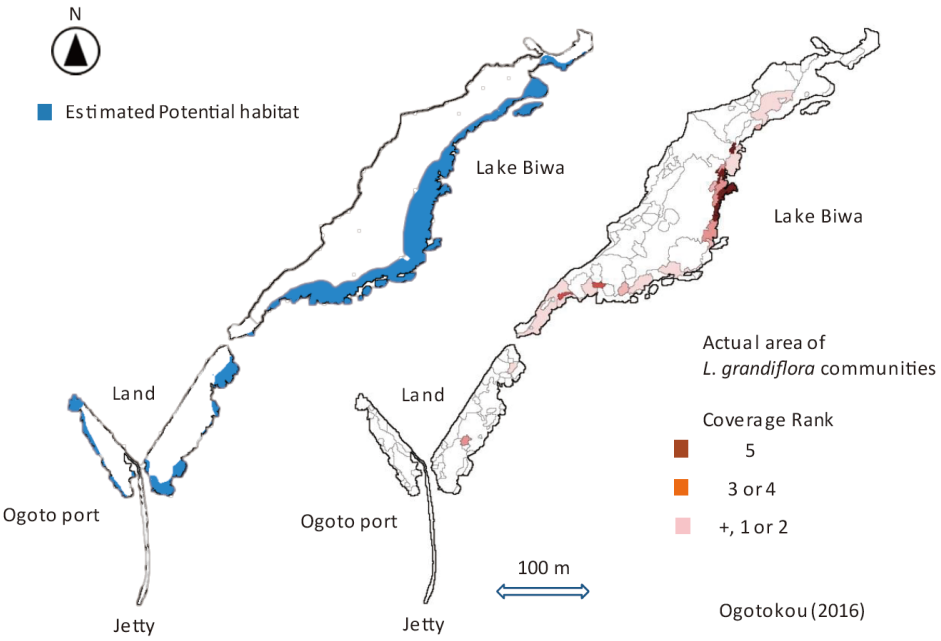


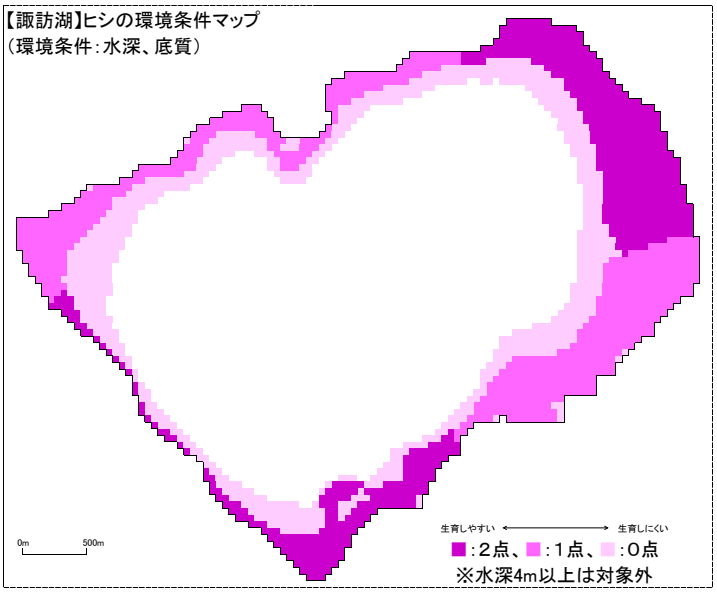
図 2-1　水草ポテンシャルマップの作成手順



（本図は公益社団法人日本水環境学会に帰属し、許可を得て掲載している）

【解説】琵琶湖南湖で作成されているオオバナミズキンバイのポテンシャルマップ（左図）と実際の分布（右図）。波浪条件と水位から繁茂範囲が予測されている。マップは冊子化され、繁茂状況の監視等に役立てられている。

図 2-2　アウトプットイメージ①【繁茂予測範囲を示すマップ】[1, 2]



【解説】諏訪湖におけるヒシの繁茂可能性の濃淡を示すポテンシャルマップ。水深と底質の条件からヒシの繁茂可能性を点数で表現したもの（詳細は 2-2 節参照）。

図 2-3　アウトプットイメージ②【繁茂可能性の濃淡を示すマップ】

[1] 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

[2] 京都大学ホームページ「外来種の水草の繁殖条件を波の高さから予測することに成功 ―琵琶湖岸における繁茂予測場所を地図化―」
https://www.kyoto-u.ac.jp/sites/default/files/embed/jaresearchresearch_results2019documents190526_101.pdf

2-2 水草ポテンシャルマップの作成手順

Step1 ：対象とする水草の生育に影響を及ぼす環境条件を列挙する

潜在的生息地を把握したい水草の生育条件を図鑑・文献等から確認する。なお、本マニュアルでは湖内に生える水草を対象としている。

主な水草の生育条件を以下に示す。浮遊植物以外の水草の分布を決める最も基本的な環境条件は地形（水深）であり、次いで底質の性状（砂質・泥質）等が挙げられる。特に水深に関しては、既存の湖沼図や基盤地図情報等から比較的収集しやすい。汽水湖の場合は塩分が水草の成長の制限要因となりうる。また、一年生の植物の場合、風向や流入河川との位置関係が種子の供給に影響を及ぼすため、これらも分布を決める要因となりうる。一方、水温や栄養塩といった環境条件は基本的に水草の生育に影響を及ぼしうるが、湖内で分布差がみられない場合は水草ポテンシャルマップへの利用は難しい。

なお、水草の生育に影響を及ぼす環境条件については、第 3 章で解説する。

【水草の生育環境条件の例】

- **水深【主に浮遊植物以外の植物】**
- **底質の性状【主に浮遊植物以外の植物】**
- **透明度（水中光量）【主に沈水植物】**
- **水温**
- **塩分　※汽水湖の場合**
- **栄養塩（水質 and/or 底質）**
- **pH**
- **波当たり【主に抽水植物】**
- **湖岸に対する風向き【主に一年生の植物】**
- **流入河川との位置関係【主に一年生の植物】**

【実施にあたっての注意点】

水草の生育環境条件には不明な部分もあるため、対象とする水草の生育環境条件を挙げる際には、現地をよく知る専門家や周辺関係者の意見を収集したうえで実施するのが望ましい。

Step2：環境条件の分布情報を収集し、それぞれマッピングする

Step1 で挙げた環境条件の分布情報を収集し、メッシュ化する。この段階で、個々の環境条件の分布と対象水草の分布（水草繁茂マップ）を見比べ、繁茂要因を検討することもできる。

以下、環境条件として地形条件（水深）と底質を例に挙げ、簡易な方法として「方眼紙方式」、より正確な方法として「地理情報システム（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。

【環境条件の例①】地形条件（水深）

対象水域の水深の分布を示す湖沼図を収集する。国土地理院ホームページ [3]から収集できるほか、最新の地形測量データがあれば活用することができる。

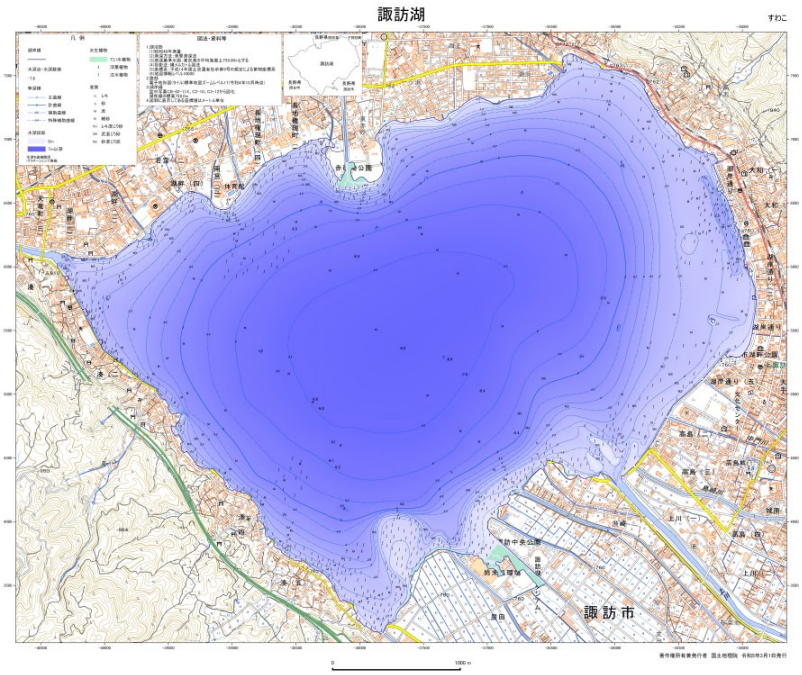


図 2-4　湖沼図（諏訪湖の例）[3]

[3] 国土地理院ホームページ「地理院地図（電子国土 Web）」

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。

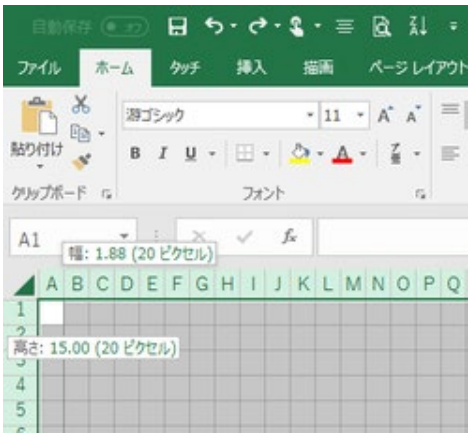


図 2-5 Excel 方眼紙

② 湖沼図の貼付け

Excel 方眼紙上に水草分布図を貼り付ける。方眼紙が透けて見えるように、図の透明度を調整する。

③ 湖沼図のサイズ調整

湖沼図の大きさを調整する。水草の繁茂域の予測等に使用することを念頭に、方眼紙のマス目（メッシュ）が水草の分布を表現できる程度の大きさとする。湖沼図に含まれているスケールバーを物差しとしてメッシュ幅を決める（図 2-6 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。

④ 水深の入力と作業結果の確認

湖沼図を参照しながら、Excel 方眼紙に水深を入力する。図 2-6 の例では、0.1m 間隔で水深を入力している。Excel の条件付き書式機能等を用いて着色し、湖沼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。

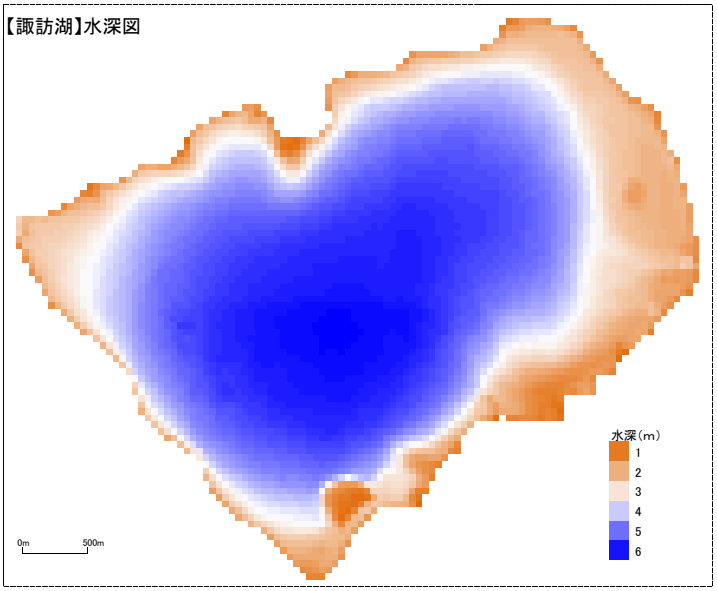


図 2-6 Excel 方眼紙上に水深の情報を入力した例

GIS 方式（QGIS を使う場合）

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。

QGIS を起動し、以下 Web サイトから対象とする湖沼の基本測量データ（湖底地形の数値データ）をダウンロードし、QGIS に取り込む。なお、国土地理院により整備されていない湖沼の場合は、対象湖沼において湖底地形の測量を実施する必要がある。

国土地理院「湖沼データ（ダウンロード）」:

https://www.gsi.go.jp/kankyochiri/lakedata.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

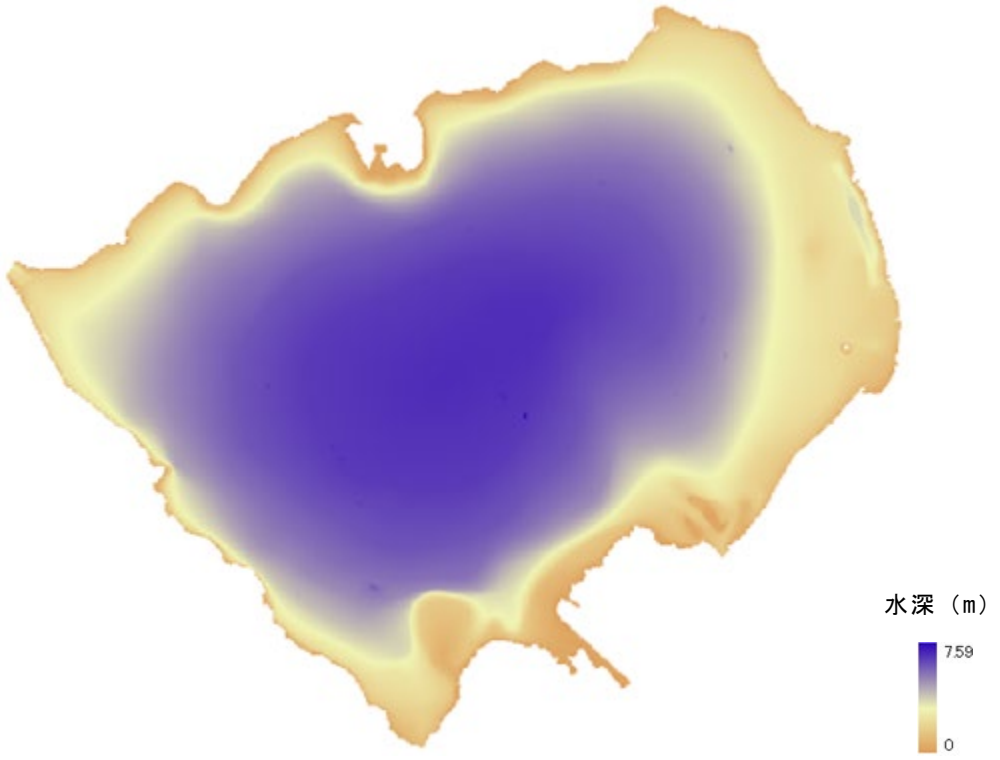
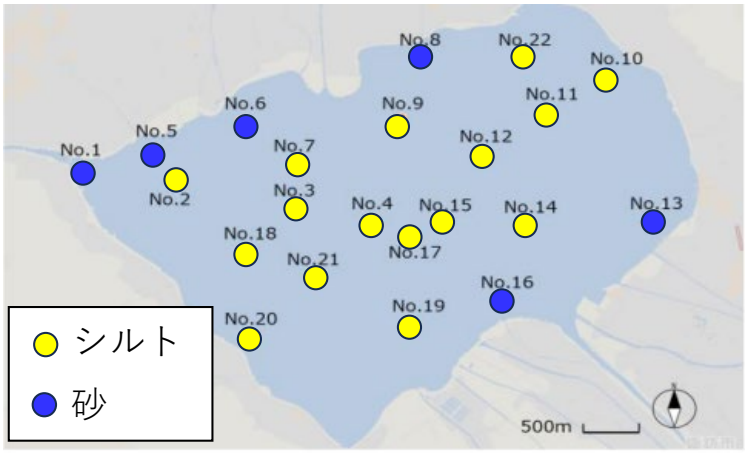


図 2-7　国土地理院 Web サイトからダウンロードした水深図（諏訪湖の例）

【環境条件の例②】底質の性状

対象水域における底質の性状に係る情報を収集する。水草ポテンシャルマップの作成に利用する場合、点の調査データを面的に補間する必要があるため、ある程度の調査地点数を確保する必要がある。湖岸域のデータは通常少ないため、必要に応じて新規に調査を実施する。



※2016 年 9～10 月にエクマンバージ採泥器により採取された底質の平均粒径を使用。
※粒径 75μm を閾値としてシルトと砂に分類。

図 2-8　底質の性状の調査結果（諏訪湖の例）[4]

[4] 吉原ほか（2020）諏訪湖における底質中リン濃度の分布と変遷、信州大学環境科学年報、42 号、102～107 ページ（一部加工）

方眼紙方式（Excel を使う場合）

① Excel 方眼紙の作成

② 収集した図面の貼付け

③ 図面のサイズ調整

いずれも、前述の水深の場合と同様に実施する。

④ 底質の性状の数値化、入力、補間、作業結果の確認

図面を参照しながら、Excel 方眼紙に数値を入力する。底質を砂質と泥質の 2 分類で表す場合は、便宜上の数値を割りあてる（たとえば砂質は 0、泥質は 1 等）。補間は手作業で実施するが、再現性のある補間が必要な場合は GIS 方式を採用すること。Excel の条件付き書式機能等を用いて着色し、元の図面と比較して大きな問題がないか確認する。

【図 2-9 における補間の基本的な考え方と注意点】

- 砂質と泥質が隣り合っている場合、両地点間の中央を通るように分割（ボロノイ分割のイメージ）。
- 砂質が隣り合っている場合、両地点間は砂質が連続していると仮定。
- 調査地点が設けられていない場所は外挿推定しており、不確実性が高いため注意が必要。

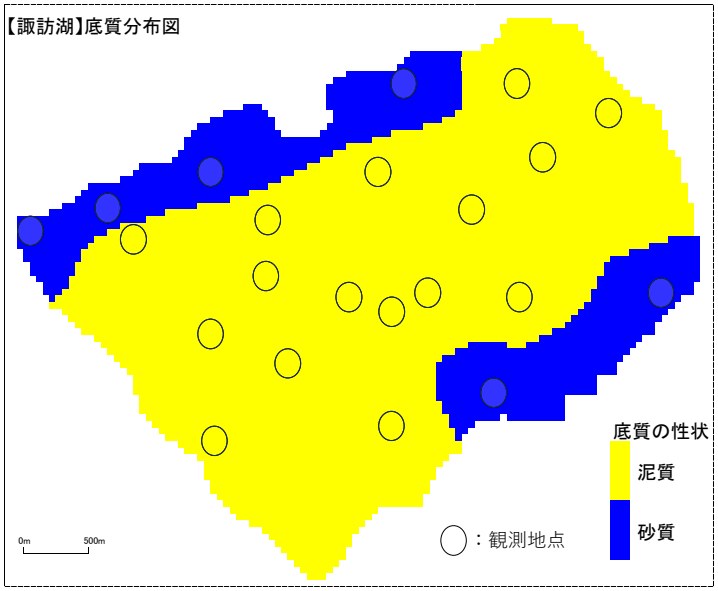


図 2-9　Excel 方眼紙上に底質の情報を入力した例

GIS 方式（QGIS を使う場合）

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 環境条件の情報（数値データ及び位置情報）の入力

環境条件の調査地点（経度（X）と緯度（Y））及び数値データを配列した CSV ファイルを作成する。底質の性状の場合、数値データは粒径を入力するか、底質を砂質と泥質の 2 分類で表す場合は便宜上の数値を割りあてる（たとえば砂質は 0、泥質は 1 等）。CSV ファイルは以下の手順で 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。

③ 水平分布の補間

②で追加した各点のデータを水平的に補間する。以下、逆距離加重法（IDW）による補間操作の例を解説する。

[プロセシングツールボックス] - [内挿] - [IDW 内挿]

→「入力ベクタ」に②のレイヤ、「内挿対象の属性」に②の数値データを設定して「＋」アイコンをクリック

※「領域」は①の湖沼図ポリゴンを選択。

※「出力ラスタサイズ」は水草の分布を表現できる程度の細かさとする。

（**図** 2-10 の例ではピクセルサイズを 0.0001 に設定）

④ 湖沼の形に切り抜く

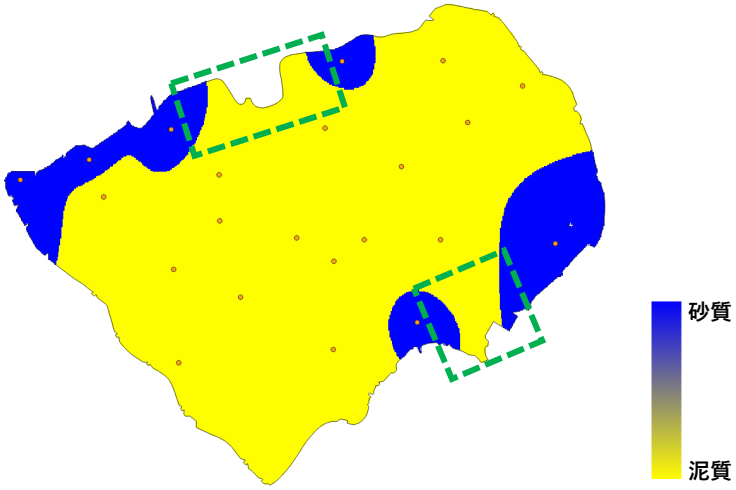
メニューバーの[ラスタ] - [抽出] - [マスクレイヤで切り抜く]

→「入力レイヤ」に③の出力レイヤ、「マスクレイヤ」に①の湖沼図ポリゴンを選択して実行

【図 2-10 における補間の注意点】

- 砂質が隣り合っていても、両地点の距離が離れていると砂質が連続しない補間結果となってしまう場合がある（図 2-10(a)の[ ]）。この領域は流入河川の河口域であり、実際には砂が堆積していると考えられる。
- 上記の理由から、砂質が隣り合った 2 地点（図 2-10(b)の○）を結んだ線上にダミーの観測値（砂質を示す値、図 2-10(b)の[ ]）を配置した。これにより、補間結果は砂質が連続し、図 2-10(a)に比べて妥当な結果となった。このように、現地の状況を踏まえて補間結果を修正する場合もあるため、環境条件の補間結果については、現地有識者による確認が望ましい。

(a) 観測値をそのまま補間した場合



(b) ダミーの観測値を配置して補間した場合

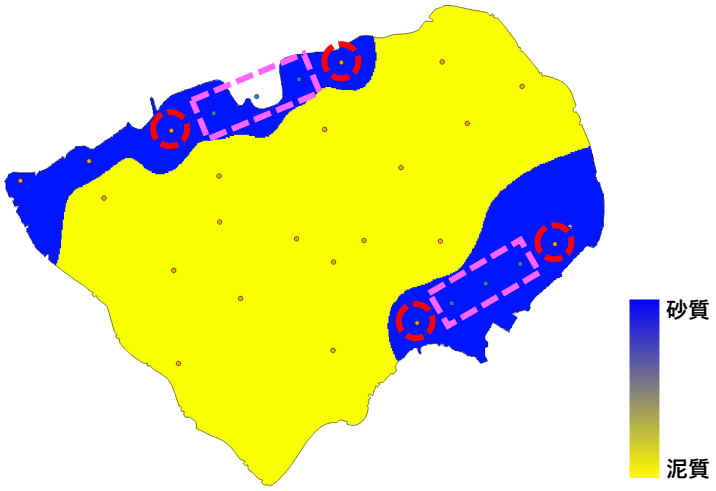


図 2-10　GIS で作成した底質分布図

Step3：環境条件を重ね合わせ、対象とする水草が生育可能な条件を全て備えた水域を抽出する

Step2 で作成した環境条件の図面を重ね合わせ、対象水草が生育可能な水域を抽出する。なお、本手法は定常状態を仮定した簡易的な水草繁茂域の予測であり、来年どこに繁茂域を拡大するか、といった動的な予測は対象としていない。

水草ポテンシャルマップには、以下の 2 種類のマップがある。

a）繁茂予測範囲を示すマップ

Step1 で絞り込んだ環境条件を全て兼ね備えた範囲を示すもの（図 2-2）。

b）繁茂可能性の濃淡を示すマップ

それぞれの環境条件をスコア化して足し合わせ、繁茂可能性の濃淡を表現したもの（図 2-3）。

a のマップは b のマップのスコアが満点の領域を示すため、以降は b のマップを中心に作成方法を解説する。なお、a のマップは琵琶湖南湖における作成事例が参考となる[1]。

【環境条件の適範囲（閾値）の考え方】

本マニュアルでは水草ポテンシャルマップの例として、諏訪湖のヒシを対象に作図を行った。ヒシの生育に適した水深条件は 0.3～3.6m という既存の報告があるが（詳細は第 3 章参照）、諏訪湖では水深 1m 未満の場所では基本的にヒシが生育していないことが確認されている（図 2-11）。そのため、本事例では最も生育に適した水深条件を 1～3m と設定した。このように、現地調査結果に応じて生育環境条件を修正することも可能である。

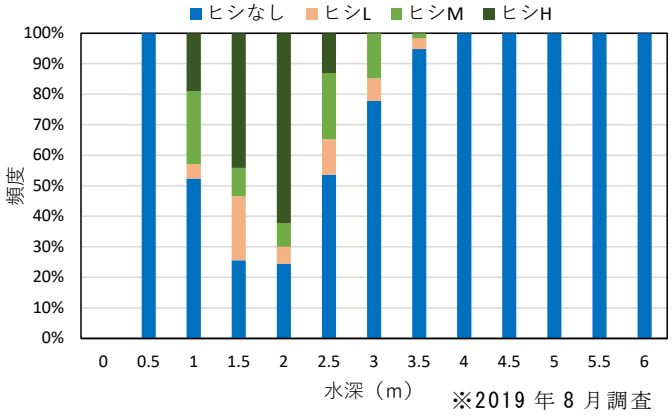


図 2-11　水草の分布と水深の関係（諏訪湖のヒシの例）

【環境条件のスコア化の考え方と注意点】

環境条件をスコア化する場合、対象水草が生育しやすい水域は 1 点、生育しにくい水域は 0 点とし、複数の環境条件のスコアを足し合わせるのが最も簡単な方法である。ただし、環境条件によっては重みをつける等の対応も想定されるため、スコア化の妥当性については有識者の意見等を踏まえて決定する必要がある。

また、生態学的には、全ての環境条件が揃った場所に水草が生育するという考え方（上記 a のマップ）が基本的であり、スコア化すると水草が分布しない場所にスコアがつく可能性があるため、作成したマップを使用する際には注意が必要である。

方眼紙方式（Excel を使う場合）

① 環境条件のスコア化

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、環境条件をスコアに変換する。図 2-12 の例では、現地のヒシ分布を踏まえ、水深 1～3m は 1 点、水深 1m 未満及び水深 3～4m は 0 点、水深 4m 以上は検討対象外としている。また、図 2-13 の例では、ヒシは軟泥の底質に生育するという既存知見を踏まえ、底質が泥質の場合は 1 点、砂質の場合は 0 点としている。

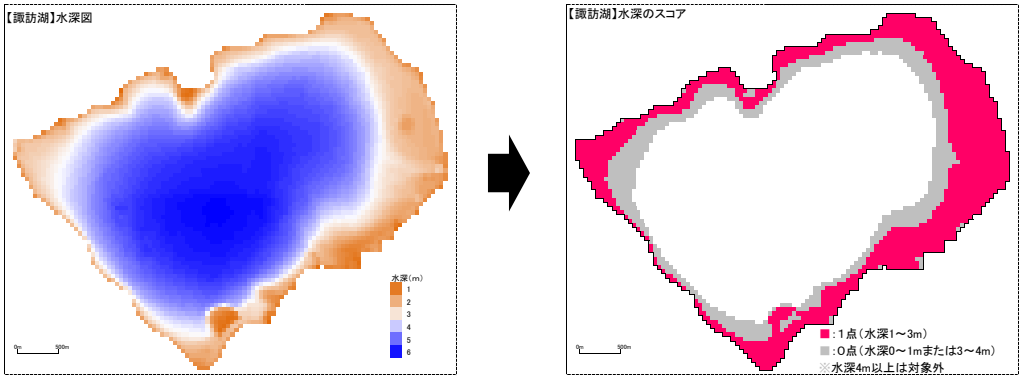


図 2-12　水深のスコア化の例（方眼紙方式）

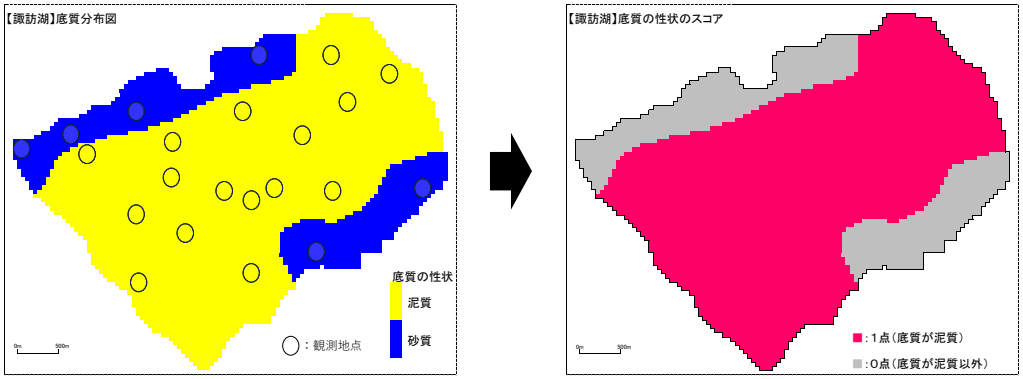


図 2-13　底質の性状のスコア化の例（方眼紙方式）

② 水草ポテンシャルマップの作成

新しい Excel 方眼紙に数式を入力し、①のスコアを足し合わせる。Excel の条件付き書式機能等を使用し、スコアごとに色分けし、凡例等を追加する。

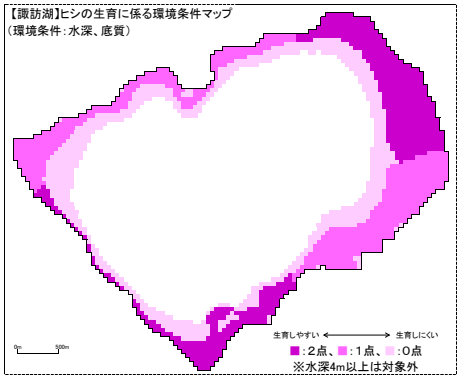


図 2-14　水草ポテンシャルマップの作成例（方眼紙方式）

GIS 方式（QGIS を使う場合）

① 環境条件のスコア化

ラスタ計算機を開き、数式を入力して、環境条件をスコアに変換する。

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

スコア化の例を図 2-15、図 2-16 に示す（スコア化の詳細は前ページ参照）。

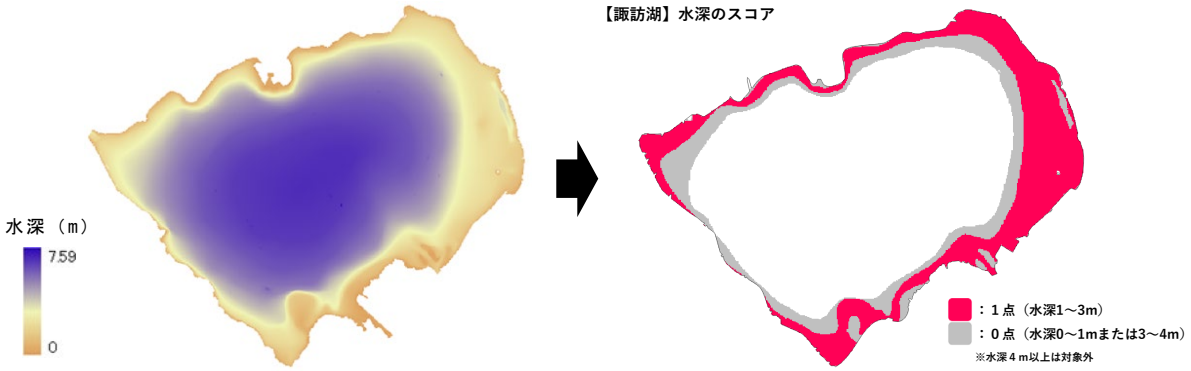


図 2-15　水深のスコア化の例（GIS 方式）

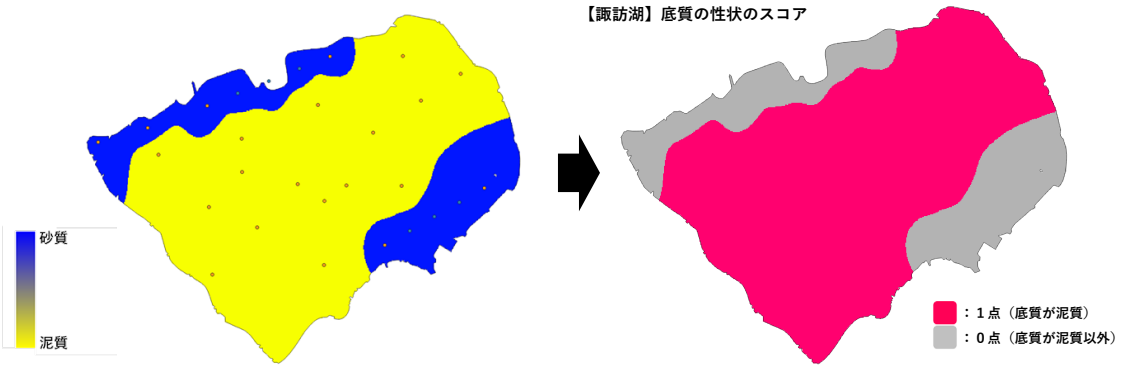


図 2-16　底質の性状のスコア化の例（GIS 方式）

② 水草ポテンシャルマップの作成

ラスタ計算機を開き、①で作成した各ラスタデータのスコアを足し合わせる。スコアごとに色分けし、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

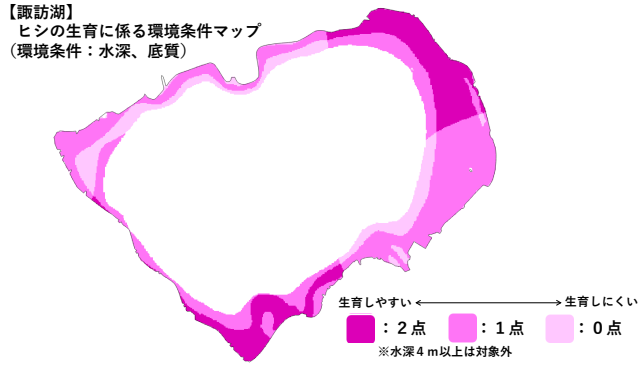


図 2-17　水草ポテンシャルマップの作成例（GIS 方式）

【水草繁茂マップとの比較・検証】

作成した水草ポテンシャルマップは実際の繁茂域（水草繁茂マップ）と比較し、作業結果の妥当性を確認するとともに、必要に応じて条件を見直すことができる。

諏訪湖のヒシを対象に作成した水草ポテンシャルマップと水草繁茂マップの比較を図 2-18 に示す。水草ポテンシャルマップの「2 点」の領域ではヒシの出現率が高く、「0 点」の領域ではヒシが分布していないことがわかる。一方、水草ポテンシャルマップの「1 点」の領域は、ヒシが分布している場合（例えば図の[ ]）と分布していない場合（図の[ ]）の両方がみられる。したがって、「1 点」の領域については、水草繁茂マップと比較して水草の有無を判断するか、有識者等の意見を踏まえて条件を見直す必要がある。このように、水草ポテンシャルマップは複雑な水草の生育要因を単純化して扱うため、作成した水草ポテンシャルマップは実際の状況と比較・検証することが重要である。

なお、図 2-18 の水草ポテンシャルマップの「2 点」の領域のみ表示すると、前述の「繁茂予測範囲を示すマップ」となる（図 2-19）。このマップは、ヒシが分布しない河口域（図 2-18 の[ ]）の再現性は高いが、一方でヒシ繁茂域の一部（図 2-18 の[ ]）が再現できていない。このように実際の状況と比較した上で、対策箇所として水草の主要な繁茂域を把握したい場合（細かな繁茂域は無視しても支障ない場合）には「繁茂予測範囲を示すマップ」を採用する等、目的に応じて使い分けることもできる。

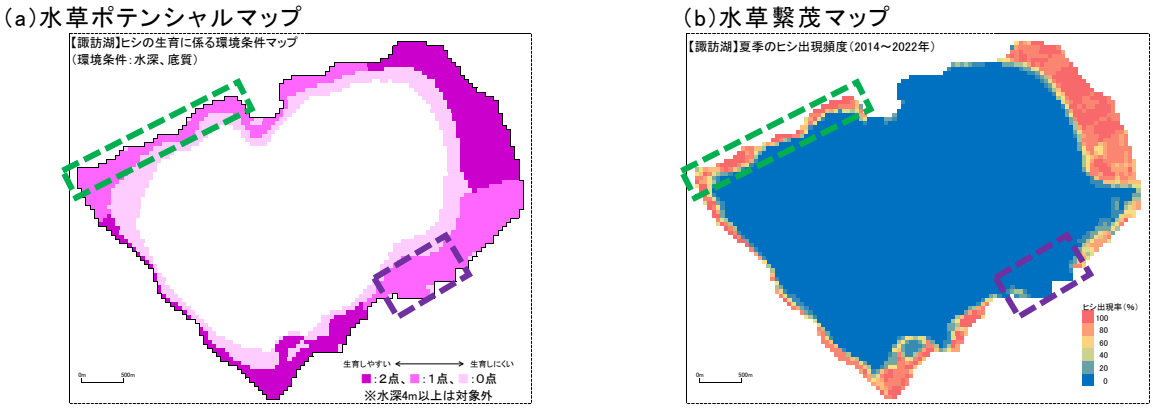
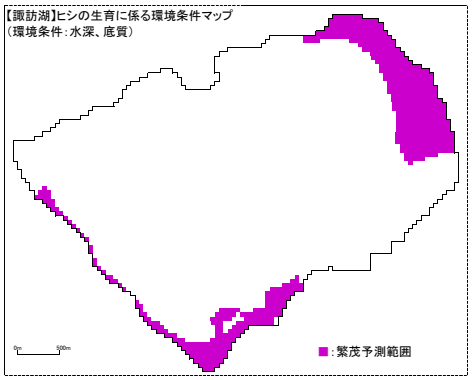


図 2-18　水草ポテンシャルマップと水草繁茂マップの比較例



※本図の繁茂予測範囲は、水深と底質の条件が揃った領域を示す。

図 2-19　繁茂予測範囲を示す水草ポテンシャルマップ

2-3 水草ポテンシャルマップの作成・活用にあたっての留意事項

① マップの活用方法を意識した計画的・効率的な知見の収集

水草ポテンシャルマップを作成するためには対象水草が対象水域でどのように繁茂するか事前に把握する必要があり、一定の作業量が発生する。そのため、マップ作成後の活用方法の道筋をつけた上で、目的に見合ったマップが作成できるように、計画的かつ効率的に知見を収集する必要がある（現地調査、文献調査、有識者への聞き取り等）。例えば、目的に応じて対象水域を限定する、検討を段階的に実施する（まずは Step2 まで実施して繁茂要因を検討する）といった対応も考えられる。また、作成した水草ポテンシャルマップは実際の繁茂域（水草繁茂マップ）と比較し、必要に応じて条件を見直すことが望ましい。

② 環境条件に係る情報が少ない場所（湖岸域等）における新規調査の実施

多くの場合、定期的に水質が観測されている地点（水質常時監視視点）は湖心であり、水草が繁茂する湖岸域のデータは少ない。また、底質等のデータも湖岸域で詳細に取得されることは少ないため、水草ポテンシャルマップを作成する上では大きな課題となる。したがって、マップ作成にあたっては、既存データの活用可能性を模索した上で、必要に応じて新規に環境条件取得のための現地調査を実施することが望ましい。

③ 対策に係る総合的判断の必要性

近年、各地で水草の大量繁茂や突然の衰退が報告されているが、多くの場合、その原因は明らかになっていない。例えば、手賀沼ではハス群落が 2020 年に大きく衰退・消失したが、その原因は現時点不明である。水草の繁茂・衰退要因に関しては研究の途上にあるため、対策の実施判断を水草ポテンシャルマップのみに頼るのではなく、過去からの繁茂状況及び環境条件の変化の経緯や、現地をよく知る専門家・関係者の意見等を収集した上で総合的に判断する必要がある。

④ 侵略的外来種（特定外来生物等）への対応

対象とする水草が侵略的外来種の場合は、以下のマニュアル類を適宜参照すること。

- 日本の外来種対策（環境省自然環境局）
  https://www.env.go.jp/nature/intro/index.html
- 河川における外来植物対策の手引き,国土交通省河川環境課,2013 年
  https://www.mlit.go.jp/river/shishin_guideline/kankyo/gairai/pdf/tebiki00.pdf
- 地域と連携した外来植物防除対策ハンドブック(案)国土交通省河川環境課,2021 年
  https://www.mlit.go.jp/river/shishin_guideline/kankyo/gairai/pdf/handbook.pdf
- 外来種等が農業水利施設に及ぼす影響と対策の手引き,農林水産省農村振興局鳥獣対策・農村環境課,2023 年
  https://www.maff.go.jp/j/nousin/kankyo/kankyo_hozen/gairai.html
- ナガエツルノゲイトウ駆除マニュアル,農林水産省・環境省・農業・食品産業技術総合研究機構
  https://www.pref.chiba.lg.jp/annou/shokubo/documents/nagaetsurunogeitoukunikujyomanual.pdf

3章 水草の生育に影響を及ぼす環境条件

3-1 概要

大量繁茂することがある水草の生育条件の例を表 3-1 に示す。次節では表 3-1 を含めた各環境条件について解説する。

表 3-1 水草が生育可能な環境条件の例

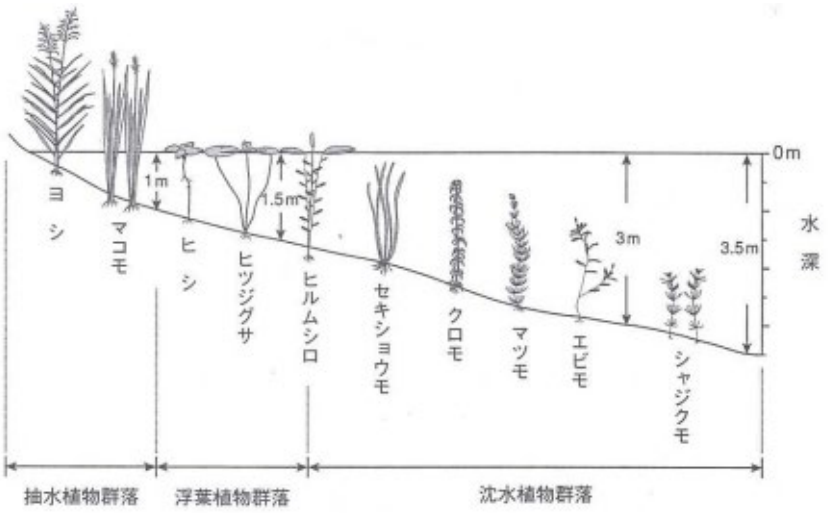
水草			生育場所	栄養状態	底質	塩分	その他
在来種	浮葉	ヒシ（ヒシ属）	湖沼、ため池、水路の淀み	中～富栄養	泥・浮泥	0.2～0.5%で発芽した実生が枯死 最大 0.59%で繁茂	pH5.5～10
	抽水	ハス	湖沼、ため池	富栄養	―	―	―
	沈水	クロモ	湖沼、ため池、河川、溝、水路	富栄養	泥	最大 0.66%で繁茂	pH5.5～9.5
		オオササエビモ	湖沼、河川	―	―	―	―
		エビモ	湖沼、ため池、河川、水路	富栄養	泥	最大 0.59%で繁茂	―
		センニンモ	湖沼、ため池、河川、水路	―	泥	―	―
		リュウノヒゲモ	湖沼、河川	―	―	汽水域での生育が普通 最大 1.78%で繁茂	―
		マツモ	湖沼、ため池、流れの緩い河川や水路	富栄養	―	最大 0.8%で繁茂	根はなく水面下に浮遊するのが普通 pH5.5～9.5
		ホザキノフサモ	湖沼、ため池、河川、水路	中～富栄養	泥	汽水域にも生育 最大 0.98%で繁茂	―
		キクモ	湖沼、ため池	―	―	―	―
外来種	抽水	オオバナミズキンバイ	湖沼、ため池	―	―	―	有義波高 18cm 以上では生育しない
		ナガエツルノゲイトウ	湖沼、河川、水路、水田	―	―	―	温帯～亜熱帯 乾燥に強い
		ミズヒマワリ	湖沼、ため池、河川、水路の水辺	―	―	―	温帯～亜熱帯
	沈水	オオカナダモ	湖沼、ため池、河川、水路	水質汚濁に強い	―	最大 0.8%で繁茂	温帯
		コカナダモ	湖沼、ため池、河川、水路、溝	貧～富栄養	―	―	温帯
	浮遊	ボタンウキクサ	池沼、河川、水田、水路	―	―	耐塩性がある	亜熱帯～熱帯
		ホテイアオイ	湖沼、ため池、河川、水田、水路	富栄養な水域で旺盛に繁茂	―	―	温帯～熱帯

※参考文献は次節に記載した。

3-2 水草の生育環境条件

(1) 水深(主な対象:浮葉、抽水、沈水植物)

- 大型水生植物の群落は、湖岸側から抽水植物、浮葉植物、沈水植物の順に形成される(図 3-1)[5]。ただし、ヒシの隙間にクロモが生育する等、複数の生活系の植物が混在する状況もしばしば確認されている。
- 浮葉植物に関して、ヒシは水深 0.3～3.6m で生育し、水深 2m 程度の水域に最も多く分布するとされる[6]。
- 抽水植物に関して、一般的に生育可能な最大水深(分布下限水深)は 1.5m 前後とされる[7]。
- 沈水植物に関して、分布下限水深は種によって異なることに加え、湖水の透明度の影響によっても分布下限水深が変化する[5]。
- 水生植物は発芽時に光を必要とし、通常は水深が深いほど発芽率が悪くなるとされる。そのため、種子が発芽する春先の水位が重要となる。また、底泥中の埋土種子が発芽するためには、水位の急激な変化による種子の掘り起こしが必要という指摘もある。佐潟の事例では、ハス衰退の一因として、水位管理(取水)の変化による水位変動の弱化が示唆されている[8]。



出典:「里湖モク採り物語－50 年前の水面下の世界」, 平塚純一・山室真澄・石飛裕, 株式会社生物研究社, 2006

図 3-1 大型水生植物分布の概念図[5]

[5] 沿岸透明度の目標設定ガイドライン(環境省水・大気環境局水環境課、平成 30 年 7 月)
[6] Hummel and Kiviat (2004) Review of world literature on water chestnut with implications for management in North America. Journal of Aquatic Plant Management 42:17-28
[7] 角野康郎「ネイチャーガイド日本の水草」(株)文一総合出版、2014 年 9 月
[8] 佐潟周辺自然環境保全連絡協議会(第 33 回)議題資料 1-3 https://www.city.niigata.lg.jp/kurashi/kankyo/hozen/shizenfureai/sakata/sagata/kansei202110291600.html

（2）底質の性状（主な対象：浮葉、抽水、沈水植物）

- 浮葉植物に関して、ヒシは軟泥の底質に生育するとされる[6, 9]。
- 抽水植物のハス、沈水植物のクロモ、エビモ、センニンモ、ホザキノフサモに関しても、主要な生育環境は泥という報告がある[9, 10]。

（3）水中光量（主な対象：沈水植物）

既存文献から整理した沈水植物の生育環境条件（水中光量）を表 3-2 に示す。

沈水植物は水中光量が低下すると生長が阻害されるが、水中光量の下限値はクロモ等で小さく（すなわち少ない光でも生長が可能）、ササバモ等で比較的大きいことが報告されている。

表 3-2 沈水植物の生育環境条件【水中光量】

基本情報					水中光量の下限値（μmol/m²/s）	出典
分類	種類（和名）	在来／外来	生活環	花期		
沈水植物	クロモ	在来種	多年生	―	3	[11]
	センニンモ	在来種	多年生	―	3	[11]
	ササバモ	在来種	多年生	―	12	[11]
	ネジレモ	在来種	多年生	―	12	[11]
	コカナダモ	外来種	多年生	―	6	[11]
	オオカナダモ	外来種	多年生	―	6	[11]

（4）透明度（主な対象：沈水植物）

沈水植物の分布下限水深は水域の透明度によって制限される。年間平均透明度と分布下限水深の関係式の例を以下に示す。

沈水植物（維管束植物、車軸藻類）

分布下限水深（m） ＝ 年間平均透明度（m） ÷ 0.64

沈水植物の生育と透明度の関係性については、「沿岸透明度の目標設定ガイドライン」（環境省水・大気環境局水環境課、平成 30 年 7 月）[5]やその関連文献が参考となる。

[9] 奥田重俊ほか監修「川の生物図典」(株)山海堂、1996 年 4 月
[10] 矢野悟道ほか「日本の植生図鑑<II>人里・草原」 (株)保育社、1983 年 5 月
[11] 今本ほか (2008) 琵琶湖に生育する 6 種の沈水植物の光･水温特性．応用生態工学、11(1)、1-12.

（5）水温（対象：全水生植物）

既存文献から整理した水草の生育環境条件（水温）を表 3-3 に示す。

- 浮葉植物に関して、湖山池の事例では、ヒシ種子の発芽に必要な水温の閾値は 10～15℃と報告されている。
- 抽水植物に関して、オオバナミズキンバイ等は基本的には水温が高いほど旺盛に繁殖するとされ、冬季の低温で大半が枯死するが、生き残った茎断片から発根・再生することが知られている[13]。
- 沈水植物に関して、琵琶湖の事例では、クロモ等の生育に係る水温の最適値は 23～29℃程度と報告されている。
- 浮遊植物に関して、ボタンウキクサ及びホテイアオイの水温の生育に係る水温の下限値は 10℃程度、最適値は 25～30℃程度と報告されている。

表 3-3 水草の生育環境条件【水温】

基本情報					水温（℃）		出典
分類	種類（和名）	在来／外来	生活環	花期	下限値	最適値	
浮葉植物	ヒシ	在来種	一年生	7～9 月	（発芽は 10～15 以上）		6，12
抽水植物	オオバナミズキンバイ	外来種	多年生	6～10 月	※1		13
	ナガエツルノゲイトウ	外来種	多年生	4～10 月	7	30～37	14
沈水植物	クロモ	在来種	多年生	―	※2	29	11
	センニンモ	在来種	多年生	―	※2	23	11
	コカナダモ	外来種	多年生	―	※2	29	11
	オオカナダモ	外来種	多年生	―	※2	23	11
浮遊植物	ボタンウキクサ	外来種	多年生	4～10 月	10 ※3	22～30 ※3	13，15，16
	ホテイアオイ	外来種	多年生	6～11 月	10～18	25～30	17，18，19

※1：種子は 4℃で 120 日間保存後も発芽能力がある。
※2：参考として、文献に記載された実験結果を線形補間し、十分な光条件において相対成長速度が 0.01 g/g/day を下回る水温を推定すると 11～14℃程度である。
※3：種子は 4℃で生存可、20℃以上で発芽、最適な発芽条件は 25℃程度。

[12] 鳥取県ホームページ「湖山池に生育するヒシの発芽特性と生育環境」 https://www.pref.tottori.lg.jp/secure/642672/annual_report_vol51_2_3.pdf
[13] 外来種等が農業水利施設に及ぼす影響と対策の手引き（農林水産省農村振興局鳥獣対策・農村環境課、令和 5 年 3 月）
[14] EPPO (2016) *Alternanthera philoxeroides (Mart.) Griseb.* EPPO Bulletin, 46(1), 8-13.
[15] EPPO (2017) *Pistia stratiotes L.* EPPO Bulletin, 47, 537-543.
[16] Pieterse et al. (1981) Acta Botanica Neerlandica, 30(1-2), 47-57.
[17] Wilson et al. (2001) Water hyacinth population dynamics. ACIAR Proceedings, 102, 96-104.
[18] EPPO (2008) *Eichhornia crassipes.* EPPO Bulletin, 38, 441-449.
[19] Ajithram et al. (2021) Water hyacinth (*Eichhornia crassipes*) natural composite extraction methods and properties -A review. Materials Today: Proceedings, 45(2), 1626-1632.

（6）塩分（対象：全水生植物）

既存文献から整理した水草の生育環境条件（塩分）を表 3-4 に示す。

- 浮葉植物に関して、ヒシは塩分 6～10‰以下で生育可能という報告がある。ただし、実生期は発芽期よりも塩分に敏感であり、ヒシ実生の生存率は塩分 2‰以上で低下し、4‰以上で死滅したという報告もある。
- 抽水植物に関して、外来種であるオオバナミズキンバイは塩分 6‰以下、ナガエツルノゲイトウは塩分 3～10‰以下で生育可能という報告がある。
- 沈水植物に関して、多くの植物が生育可能な塩分の上限値は 10‰以下であり、それより高塩分で生育できる淡水産維管束植物はリュウノヒゲモ等少数とされる。

表 3-4 水草の生育環境条件【塩分】

基本情報					塩分の上限値（‰）	出典
分類	種類（和名）	在来／外来	生活環	花期		
浮葉植物	ヒシ	在来種	一年生	7～9 月	6～10（実生期は 2～4）	6, 20, 21
	オニビシ	在来種	一年生	7～10 月	9	21
	コオニビシ	在来種	一年生	7～9 月	4	21
抽水植物	オオバナミズキンバイ	外来種	多年生	6～10 月	6	22
	ナガエツルノゲイトウ	外来種	多年生	4～10 月	3～10	14
沈水植物	クロモ	在来種	多年生	―	6.6	21
	エビモ	在来種	多年生	―	5.9	21
	ヒロハノエビモ	在来種	多年生	―	9.7	21
	リュウノヒゲモ	在来種	多年生	―	10～18	21, 23
	マツモ	在来種	多年生	―	8～9	21, 24
	ホザキノフサモ	在来種	多年生	―	6～10	21, 23, 24
	セキショウモ	在来種	多年生	―	5.9	21
	イトクズモ	在来種	多年生	―	7～20	21, 24
	オオカナダモ	外来種	多年生	―	8	21
浮遊植物	ボタンウキクサ	外来種	多年生	4～10 月	6	15
	ホテイアオイ	外来種	多年生	6～11 月	2（耐性獲得後は 6～8）	17, 25

[20] 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.

[21] 山室 (2014) 日本の汽水湖沼での異常繁殖が懸念される淡水産沈水植物,浮葉植物の繁茂が確認された塩分範囲．陸水学雑誌、75、113-118.

[22] EPPO (2011) *Ludwigia grandiflora* and *L. peploides Onagraceae* – Water primroses. EPPO Bulletin, 41, 414-418.

[23] 冨士田・菅野 (2020) 北海道の濤沸湖および 3 汽水湖の水草の分布と塩分濃度．植生学会誌、37、37-47.

[24] 國井 (1995) 汽水域における水生植物の多様性について．日本海水学会誌、49(3)、136-139.

[25] 村本ほか (1991) 耐塩限界濃度におけるホテイアオイ中 14 種の元素含有量の変化．農学研究、62、283-291.

■ 浮遊植物に関して、外来種であるボタンウキクサは塩分 6‰以下、ホテイアオイは塩分 2‰（耐性獲得後は 6～8‰）以下で生育可能という報告がある。

（7）栄養条件（対象：全水生植物）

■ 浮葉植物に関して、ヒシは富栄養化が進んだ水域で繁茂するとされ [26, 27]、中～富栄養で繁茂するという報告もある [28]。

■ 抽水植物に関して、ハスは富栄養な水域で出現するとされる [10]。

■ 沈水植物に関して、クロモ、エビモ、マツモ、オオカナダモは水質汚濁に強く、富栄養化が進んだ水域で繁茂するといった趣旨の報告がある [7,9,26,27,28, 29]。ホザキノフサモについても同様な報告があり、中～富栄養で繁茂する [7,27,28]。コカナダモは水質汚濁が進行した水域に生育するが、湧水のある清水域への侵入も目立つとされ、貧栄養～富栄養に適応する [7,28,29]。

■ 浮遊植物に関して、ホテイアオイは温暖な富栄養化が進行した水域では大繁茂するという報告がある [7,9,28]。

（8）波浪条件（主な対象：抽水植物）

■ 波の高さは、湖岸近くに生育する抽水植物の生育に影響を及ぼすことがある。琵琶湖南湖の事例では、オオバナミズキンバイは有義波高 18cm 以上では生育しにくいことが報告されている [30]。なお、一般的に波高は風向風速の影響を強く受ける。

（9）その他の生育環境条件

■ pH の適範囲については、浮葉植物のヒシで 5.5～10、沈水植物のクロモ及びマツモで 5.5～9.5 とされる [26]。

■ 主に一年生の植物の場合、埋土種子数の多寡が繁茂域を決定づける主要因となる場合がある。三方湖の事例では、流入河川から供給されるヒシ種子の分布が繁茂域に影響していることが指摘されている [20]。

■ 主に一年生の植物の場合、開花～結実期の風向きは種子が落ちる場所に影響するため、繁茂域と関連している可能性がある。例えば諏訪湖では、ヒシ開花～結実期（主に夏季）に概ね西から東に吹く風が卓越するため、湖の東側の湖岸では岸向きの風が多くなり、西側の湖岸よりヒシの繁茂域が広くなっている一因とも考えられる。

---

[26] 浜島繁隆「池沼植物の生態と観察」(株)ニュー・サイエンス社、1979 年 9 月
[27] 田中法生監修「水草の疑問 50」(株)成山堂書店、2018 年 10 月
[28] 角野康郎「日本水草図鑑」(株)文一総合出版、1994 年 7 月
[29] 国立環境研究所「侵入生物データベース」https://www.nies.go.jp/biodiversity/invasive/
[30] 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

【参考資料】水草ポテンシャルマップ以外の解析手法

水草ポテンシャルマップは水草繁茂要因の仮説を立てることに役立つが、詳細な解析を実施したい場合には、目的に応じて解析手法を選択する必要がある。解析手法の例を以下に示す。

(1) 統計モデル(生物種分布モデル)

水草の大量繁茂に係る統計学的分析やシナリオ分析を実施したい場合、例えば生物種分布モデル(SDM;Spatial Distribution Model)の構築が有効な手段となりうる。SDMは、生物種の分布と環境条件の関係を統計的に求め、対象の生物種が生息可能な環境の幅(ニッチ)を分布確率として表現する統計モデルである。以下のWebサイトで公開されている「オープンSDM」は、日本語の解説資料が付属しており比較的扱いやすい。

■ **気候変動適応情報プラットフォーム(A-PLAT)ホームページ**
「生き物の分布推定ツール オープンSDM」
https://adaptation-platform.nies.go.jp/map/open_sdm.html

SDMを活用することにより、対象生物種の生息適地を分布確率として表現した地図(生息ポテンシャルマップ)を作成することができる。作成にあたっては、例えば以下の資料が参考となる。

■ **「河川事業における生態系保全に関する評価の手引き(実務者向け)(案)～生態系ネットワーク形成に向けて～」(国土交通省 水管理・国土保全局 河川環境課、令和3年6月)**
https://www.mlit.go.jp/river/pamphlet_jirei/kankyo/gaiyou/panf/seitaikei_network_hyoka.pdf
※河川を基軸とした効果的・効率的な生態系ネットワークの形成を支援することを目的として、大型鳥類や魚類等を指標種として、生息ポテンシャルマップの具体的な作成・評価事例が掲載されている。

(2) 数値モデル

水草繁茂状況の動的な変化を予測したい場合、一部課題は存在するものの、数値モデルの構築が有効な手段となりうる。水草を扱った数値モデルの構築事例は多くなく、現在構築されているモデルは湖沼ごとに特化したものとなっているが、研究の進展により、将来的には汎用性の高い数値モデルによって水草の種ごとの予測ができるようになる可能性もある。「水草の大量繁茂に着目した湖沼水環境管理の手引き」の本編及び資料集に数値モデルの検討事例を掲載しているほか、以下のWebサイトが参考になる。

■ **滋賀県琵琶湖環境科学研究センター研究報告書第16号(2020年度発行)**
https://www.lberi.jp/multidatabases/multidatabase_contents/detail/92/7fda9c6df9d7156bc35e14ca54a27ee2
※133～139ページ(政策課題研究6の第4章)に、琵琶湖南湖の水草消長モデルの概要と、現況・過去再現及びシナリオ計算の方法・結果が掲載されている。