

13.11 湖沼・湿地環境の修復技術に関する研究

研究予算：運営費交付金（治水勘定）

研究期間：平 18～平 22

担当チーム：水環境研究グループ（河川生態）

研究担当者：天野邦彦、中村圭吾、大石哲也

【要旨】

湖沼の環境改善策として下水道整備等による流入水質改善や湖沼沿岸帯の復元が進められており、一定の成果をあげているが、今後さらに改善を進めるためには水質改善や生態系にとって重要な沈水植物の復元技術の開発や生態系に配慮した水位管理のあり方を明らかにすることが重要であることがわかってきた。そこで本研究は沈水植物を復元する手法として沈水植物群落を効率的に復元する手法を開発すること、および水位変動が湖沼環境に与える影響を明らかにすることを目的とする。平成 19 年度は、霞ヶ浦において現存する 3 時期（昭和 35 年、平成 2 年、平成 14 年）の湖沼図と植生図から、沈水植物が生育可能な光条件を考慮し、過去からの生育範囲をシミュレーションにより求めた。その結果、各年とも水深が浅く透明度の高い湾奥や沿岸域が沈水植物の生育適地であることがわかった。また、近年になるにつれて、生育可能な範囲も徐々に減少していたものの、平成 14 年の光環境からみた生育可能範囲は、波浪による土砂移動の影響を緩和すると言われる水深（約 1.0m）以深でも部分的に存在していることが明らかとなった。つぎに水位変動については、本邦湖沼の水位を定量的に分析し、その特徴について明らかにするとともに、河川の流量指標を参考に湖沼の水位特性を表す指標群を、頻度や継続時間の観点から提案した。さらに、それらの指標と生物の関係を検討し、いくつかの関連性を見出した。

キーワード：湖沼沿岸帯、沈水植物、自然再生、霞ヶ浦、モデリング、水位変動、魚類

1. はじめに

生物多様性の保全にとって重要である湖沼・湿地の環境は、流域の開発にともなう水質悪化や治水利水を目的とした開発、水位管理によって損なわれてきた。そのため、損なわれた環境の自然再生が急務となっている。近年、下水道整備等による流入水質改善¹⁾や、各地で湖沼沿岸帯の復元²⁾が進められてきたが、その過程で、水質改善や生態系にとって重要な沈水植物の復元が必要なことや、水位管理が湖沼・湿地環境にとって重要であることがわかってきた^{3),4)}。そこで、本研究では、沈水植物を復元する手法として埋土種子（底泥中に残存している植物の種子）に着目し、沈水植物群落を効率的に復元する手法の開発とともに水位変動が湖沼環境に与える影響を明らかにすることを旨とする。

平成 19 年度は、霞ヶ浦において現存する 3 時期（昭和 35 年、平成 2 年、平成 14 年）の湖沼図と植生図から、沈水植物が生育可能な光条件を考慮し、過去からの生育余裕深をシミュレーションにて求めるとともに、水位変動については、本邦湖沼の特徴を明らかにしたうえで、特に霞ヶ浦の水位変動について河川流量の指標を参考にいくつかの指標を提案した。また、その指標と魚類現存量の関連性について検討した。

2. 沈水植物の生育余裕深範囲

2.1 概要

浅い湖沼における沈水植物群落は、底泥の巻き上げ抑制による水質改善効果等⁵⁾⁶⁾、優れた生態的機能を有していることが分かっており、霞ヶ浦においても、失われた沈水植物群落の再生が望まれている。

日本で第 2 位の湖沼面積を有する霞ヶ浦は、1970 年代以降の流域開発による湖沼水質の悪化、護岸工事等による影響で沈水植物群落が減少し始め、1997 年には群落としての沈水植物はほぼ消失し、現在でもほとんど存在していない。すでに失われてしまった沈水植物を復元するためにも、手始めに既存の資料から、かつて沈水植物が生育した環境を把握し、霞ヶ浦における沈水植物群落の効果について検証を行うことが重要である。

平成 19 年度は、霞ヶ浦において現存する 3 時期（昭和 35 年、平成 2 年、平成 14 年）の湖沼図と植生図から、沈水植物が生育可能な光条件を考慮し、過去からの生育余裕深をシミュレーションにて求めた。

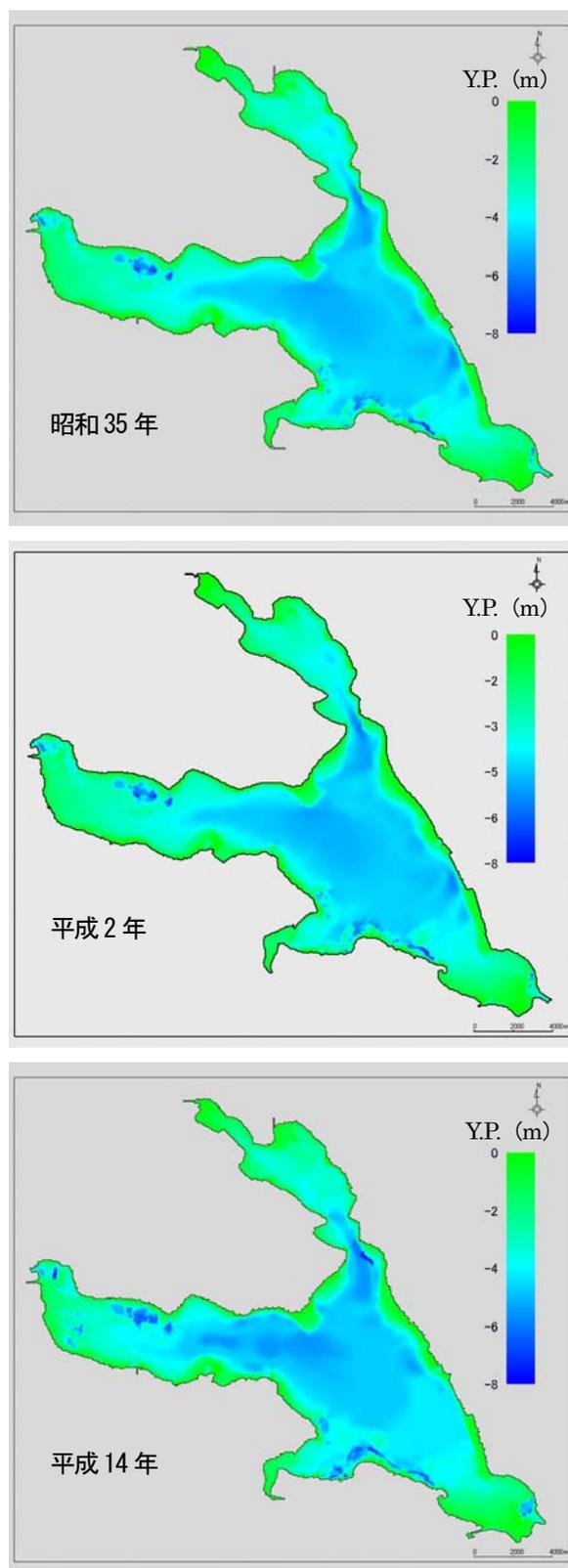


図-2-1 地形モデル (湖底標高)

2.2 方法

2.2.1 シミュレーションモデルの概要

土研モデルは、米国 PRINCETON 大学で開発された POM をもとに改良したものであり、湖岸域の植生帯

の有無にともなう水質の変化予測を非定常に解析できるモデルである。モデルは、鉛直座標系として、地形の再現性及び自由水面 (水位) の扱いに有利な σ 座標系を用いている。このモデルを霞ヶ浦に適用し、地形、水位、風向・風速、植生の有無などの条件をもとに、霞ヶ浦の水位変化、波浪変化、植生の破壊条件、湖岸域での水質変化等を再現できる。霞ヶ浦のような水深の浅い湖沼では、風が吹くことにより水面が波立ち、この波のエネルギーが湖底面に達して、底面ではせん断応力が発生する。これにより、湖底に堆積する有機底泥などが巻き上がり、光環境や水質環境に影響を及ぼす。ただし、水中に植物群が存在した場合、その茎や葉が波に対する抵抗となり、波浪を減衰し、底泥の巻き上がり等が軽減される。本モデルは、上記現象を表現するために、波浪や湖底面のせん断応力、そしてこれに伴う底泥の巻き上げ量の違いが考慮できるモデルとなっている。

2.2.2 湖沼地形モデル

昭和 35 年 (土研作成)、平成 2 年 (国土地理院作成)、平成 14 年 (霞ヶ浦河川事務所作成) のデジタルデータ化された等深図より、霞ヶ浦の地形モデルを作成した (図-2-1)。地形は格子状モデル、メッシュサイズは 50m×50m である。

2.2.3 モデルに利用する環境条件

1) 植生条件

植生については、地形取得年に最も近い昭和 35 年、平成 2 年、平成 12 年の植生図を利用した (図-2-2 参照)。

2) 水位条件

湖底が受ける波の影響は、水位により変化するが、ここでは、各年の水生植物が繁茂する 8 月の実水位を用いた。実水位は湖内の湖心観測所の水位のほか、流入河川である桜川、小野川、清明川、恋瀬川、園部川の各年の実水位データを用いた。

3) 風条件

風条件は、湖心、土浦、出島、小高、潮来の各地点 (図-2-3) の観測結果を用いた。その際、湖心の風速を 1.0 とした時の各地点での風速をもとに、北風時、東風時、西風時、南風時の風向別に霞ヶ浦における風速比の分布を設定した。ただし、高浜入りについては、分布を作成するための補間点がないため、出島地点の風速比を一様に設定した。また、設定する風向は 8 方位とした。

4) 生育余裕深の条件

ここで新たに定義する生育余裕深(m)とは、ある場所の湖底において光条件から考えて沈水植物の生育限界である場合を0とし、光条件が良くなるにつれ大きくなる値である。計算としては、次式によって与えられる。

生育余裕深 = 透明度×a-水深・・・式1)
 (生育余裕深(m)、透明度(m)、a:透明度係数、琵琶湖の調査結果⁷⁾からa=2として計算、水深(m):
 ここでは、管理目標水位Y.P.+1.1m時の各点の水深とした)

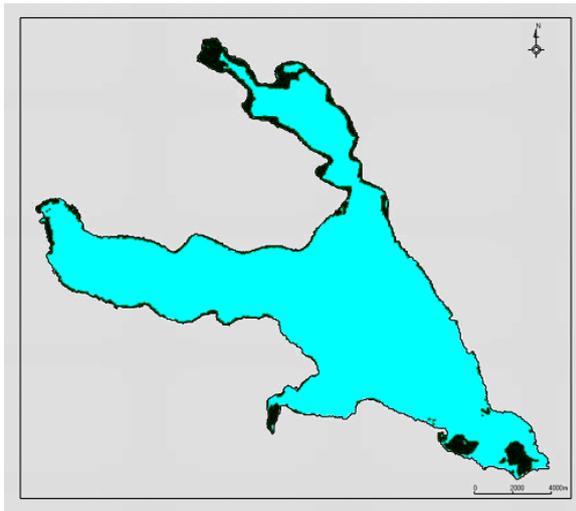


図-2-2 昭和35年の植生条件

一湖岸付近の黒の濃い部分が水生植生の分布を示す一

5) 透明度の条件

式1)で用いている透明度は、多くの観測地点で昭和50年以降しか行われていないため、過去の霞ヶ浦の透明度が不明である。そこで、透明度については、相関の高いSS濃度(図-2-4)をシミュレーションにより計算し、換算式($y = -0.3653 \ln(x) + 1.7776$, $r^2 = 0.61$)により代用した。なお、SSの初期条件としては、各年とも平成12年8月の公共用水域水質調査結果を与えている(表-2-1)。



図-2-3 観測地点(風向・風速、SS)

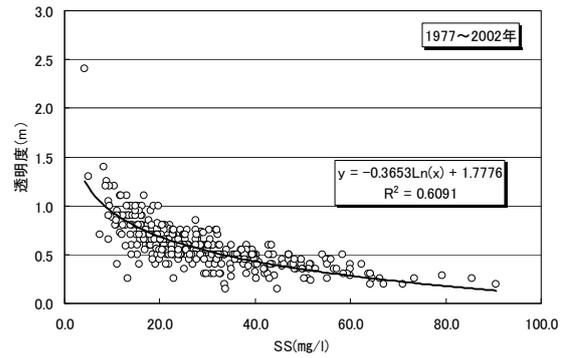


図-2-4 透明度とSSの関係(高浜入り奥)⁸⁾

表-2-1 河川負荷の初期条件(SS濃度:mg/l)

河川	桜川	小野川	清明川	恋瀬川	園部川
SS	20.0	24.0	8.0	15.0	11.0

2.3 結果・考察

シミュレーションによって求められる各年の生育余裕深について、ここでは、昭和35年時に植生の多い高浜入り付近を中心に示す(図-2-5、なお、図中口の部分は経年変化が大きい箇所をピックアップし示している)。各年とも水深の浅い湾奥や沿岸域において、光条件から見た場合、沈水植物の生育可能性のある場所が多いことが分かった。昭和35年の結果は、植生図(図-2-2参照)の状況と比較すると、主な生育場所はほぼ一致しているようにみえるため、沈水植物の生育可能性について、光条件を必要条件にするという考え方は概ね妥当と思われる。また、昭和35年では、1.5m以上の生育余裕深が多く見られるが、平成2年になると、その範囲は縮小し、平成14年には僅かに散見する状態となっていた。このことからすると、近年になるにつれて、光条件からみた生育可能範囲も徐々に減少していることが分かる。とはいえ、平成14年の状況は、光条件からみて、まだ十分な生育適地があるとも捉えられる。さらには、波浪による土砂移動の影響を緩和可能な水深(約1.0m)以上⁹⁾を有しているとも捉えられる。

モデルとしては、透明度とSSとの関連性、8月だけでなく通年を通しての検討、湖岸域のコンクリート護岸による波浪作用など、さらなる検討が必要であるが、霞ヶ浦の場合、現在の環境でも沈水植物群落の復元適地となる条件を有している可能性が高い。

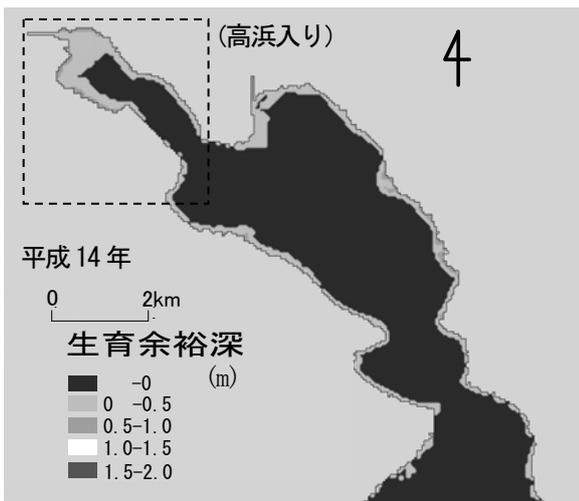
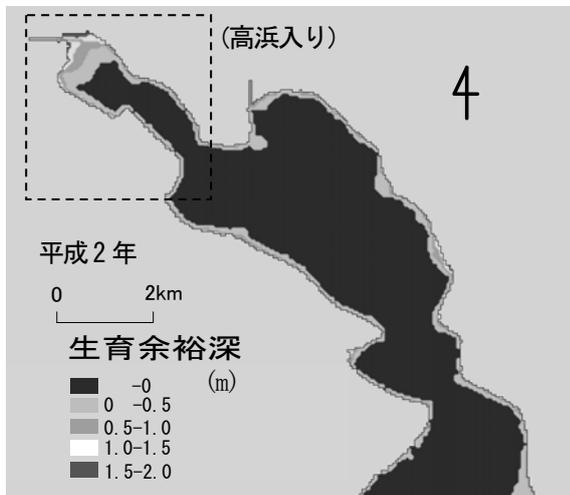
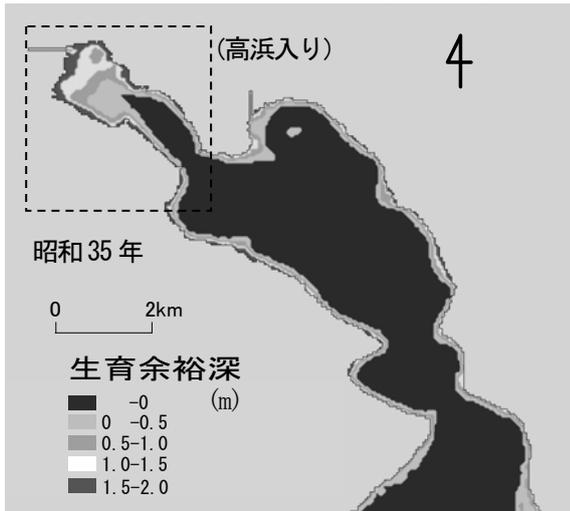


図-2-5 各年の生育余裕深 (月平均)
 (生育余裕深=透明度×2.0-Y.P.+1.1m時の水深)
 -各年とも湖岸域の生育余裕深が最も大きい-

3. 水位変動の指標化と生態系との関係

3.1 概要

水位変動は湖沼環境を規定する重要な要因である。これまで多くの湖沼水位は、治水や利水のために人為的に操作されてきた。水辺の生物にとって、自然と異なる水位変動は生態的影響が大きいいため、今後は治水や利水に加えて、生態系にも配慮した水位管理が望まれている。

ここではまず本邦湖沼における水位変動の特徴を定量的に明らかにする。さらに霞ヶ浦についてその水位変動を分析し、湖沼の水位変動の指標化について検討した。さらに、得られた指標と霞ヶ浦の魚類現存量との関係性を検討し、水位変動と魚類生態系との関係性について考察する。

3.2 方法

3.2.1 本邦湖沼の水位変動特性

本邦湖沼を対象として、水位変動特性について分析を試みた。分析の対象とした湖沼は、小川原湖、霞ヶ浦、印旛沼、諏訪湖、琵琶湖である。各湖沼の概要と対象年を表-3-1に示す。琵琶湖は、100年以上、霞ヶ浦については50年以上の長期データであるが、その他の湖沼については、20年前後のデータである。小川原湖については、放水路はあるが、基本的に水位管理はなされていない。その他の湖沼については現在、下流の堰などにより水位管理がなされている。

これらの湖沼の水位データを日データとして整理し、さらに4月から翌年3月の年度ごとに整理した。整理したデータより、各年の平均値、標準偏差を求め、その特徴を整理した。同時に各湖沼における水位変動に影響を与える事象を整理し、水位変動との関連性を検討した。

表-3-1 各湖沼の概要¹⁰⁾

	小川原湖	霞ヶ浦 (西浦)	印旛沼	諏訪湖	琵琶湖
場所	青森県	茨城県	千葉県	長野県	滋賀県
面積 (km ²)	624	167.6	13.1	133	674
湖沼型	海跡湖	海跡湖	海跡湖	構造湖	構造湖
水位 管理	なし 放水路有	下流堰	水門・ 機場	下流堰	下流堰

3.2.2 水位変動の指標化の試み

長期的データがあり、比較的明確な水位変動の変

化を示す霞ヶ浦の水位変動についてより詳細な検討を実施した。

水位の変化は河川の流況(flow regime)に当たり、位況(water-level regime)、あるいは水位変動(water level fluctuation)とも呼ばれる。河川の流況は河川生態系を規定する非常に重要な要素であり、流況の改変は河川生態系にさまざまな影響を及ぼす¹¹⁾。Poffら(1997)は、河川流況を評価する視点として、以下の5つをあげている。

1. 流量規模(magnitude of discharge) : 最大流量、平均流量、豊平低渇、などの流量の規模
2. 発生頻度(frequency of occurrence) : ある基準以上(あるいは以下)の流量の発生頻度、例えば平均流量の4倍以上の出水の発生頻度など
3. 継続期間(duration) : ある基準以上(あるいは以下)の流量が継続する時間(ある流量以上の日数など)
4. 予測性(predictability) : 出水の規則性、例えば日本海側の融雪出水は予測性が高い
5. 変化速度(rate of change) : 日本の多くの川がそうであるように、突然水位が変化するような河川は変化速度が速い

湖沼の位況において、流量規模は水位そのものに当たり、平均水位、最高水位などがそれにあたる。しかし、河川流量と異なり水位は相対的なものであるから湖沼間の比較には注意が必要である。

水位における発生頻度(frequency)については、例えば、平均年最高水位以上となる日数の頻度などが指標として活用できる。

水位における継続期間(duration)としては、例えば年平均第三四分位水位(上位25%水位)以上となる平均継続日数などがこれにあたる。

予測性は、Colwell(1974)¹²⁾の指標などにより評価できる。

変化速度については、水位変動の時間に対する微分係数を求めることなどにより評価できる。

本報告では、位況に関する上記の5つの視点のうち1. から3. の考え方をを用いて分析した。

3.2.3 水位指標と魚類現存量の比較

水位と生態系の関係性を検討するために、霞ヶ浦における漁獲高と水位指標の関係を分析し、水位変動が霞ヶ浦の魚類に与える影響について検討した。魚類現存量としては、比較的長期のデータがそろっている茨城統計表(農林水産省茨城統計事務所)の

漁獲量データおよび茨城県水産振興場(1931-1952)の漁獲量データを使用した。

3.3 結果・考察

3.3.1 水位変動の特徴

a) 小川原湖

図-3-1に小川原湖の各年の平均水位(T.P.)とその標準偏差を示す。小川原湖は、小川原湖の水位は対象年において大きな変化はなく、平均水位の高い年、つまり出水の影響がある年に標準偏差が大きくなる傾向があったが、有意ではない。標準偏差の総平均は0.13mであった。

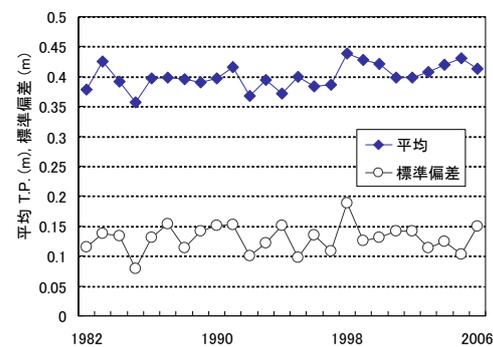


図-3-1 小川原湖

b) 霞ヶ浦

図-3-2に霞ヶ浦の各年の平均水位(Y.P.)とその標準偏差を示す。霞ヶ浦は平均水位、標準偏差ともに各時代の水文環境、水位管理によって大きく異なる。1950年代前、つまり下流の北利根川拡幅以前の霞ヶ浦では、排水能力が低いために、出水の影響により、平均水位の年変動も各年の標準偏差も相当大きい。その後、下流北利根川の大規模な拡幅により、霞ヶ浦の水位は大きく安定し、その後長期的に水位の低下傾向を示した。1975年からは常陸川水門に暫定水位運用により、平均水位が高くなり、標準偏差はかなり小さくなった。さらに、1996年の管理目標水位運用により、その傾向が強くなる。この図から、水位変動に関しては、常陸川水門の影響よりも北利根川拡幅による影響が大きいことが分かる。標準偏差の総平均は0.17mであった。

c) 琵琶湖

図-3-3に琵琶湖の各年の平均水位(B.S.L.)とその標準偏差を示す。琵琶湖のデータは133年以上の長期データである。琵琶湖の水位の特徴は、長期的な平均水位の低下傾向である。標準偏差については、過去133年間、大きな変動は無いといえる。標

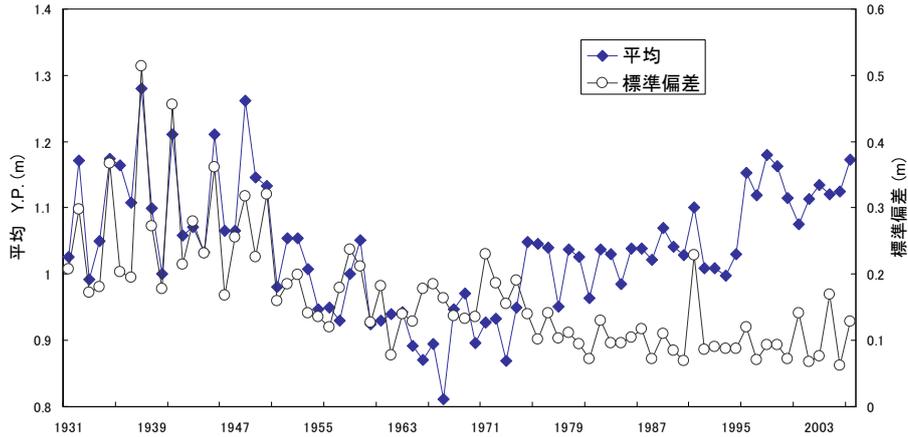


図-3-2 霞ヶ浦

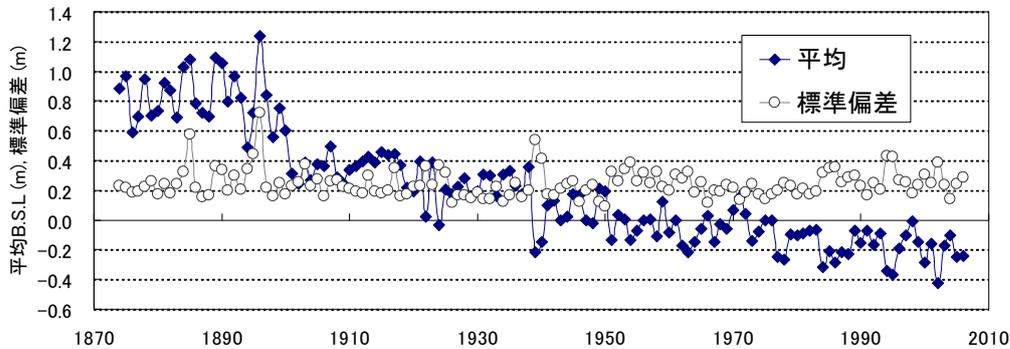


図-3-3 琵琶湖

標準偏差の総平均は0.24mであった。

琵琶湖の平均水位はこの間に、約1m下がっており、水量にすると6.7億 m^3 である。これは133年間に霞ヶ浦(8億 m^3)程度の貯水量が減少したことになる。琵琶湖の長期の水位低下傾向の中でも、1896年の既往最大の洪水を受けた下流の瀬田川改修(1900～)や1905年の洗堰の築造による水位低下が最も大きく、50cm程度低下している。水位低下が1900年からの起きていることから、堰の築造よりも瀬田川改修の影響が大きいことが分かる。また、1939年の大洪水により、その年水位が1.5m低下した。この年を境に平均水位は30cm程度低下している。その後、さらに水位が徐々に低下しており、全体として1m程度の水位低下が起きている。

琵琶湖の特徴は、河川改修や堰の改築に関わらず、標準偏差がほとんど変化していないことである。つまり、瀬田の洗堰は、水位には影響を与えるものの、日水位変動にはほとんど影響を与えていないことが分かる。これは琵琶湖の大きさと比較して、下流の

瀬田川の疎通能力が700 m^3/s と相対的に小さい(諏訪湖の下流で400 m^3/s)ことが原因と考えられる。

d) 印旛沼

図-3-4に印旛沼の各年の平均水位(Y.P.)とその標準偏差を示す。データは1931年～55年と1999年～2003年である。印旛沼においては、1960年代以来、揚排水機上による水位管理がなされており¹³⁾、以前と比較して、近年は極めて安定した水位になっていることが分かる。下記のデータのみにおける結果であるが標準偏差の総平均は0.45mであった。

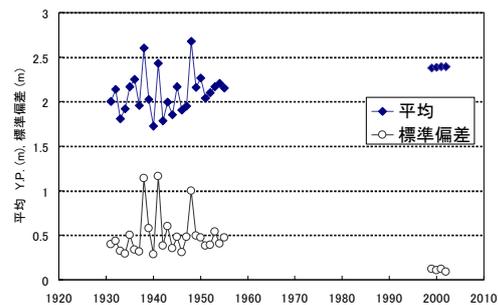


図-3-4 印旛沼

e) 諏訪湖

図-3-5に諏訪湖の各年の平均水位(水位標:標高758.045mを0mとする)及び標準偏差を示す。短期間のデータであるが、平均水位はおおむね安定しており、偏差については、徐々に減少の傾向にある。ここ数年の偏差上昇傾向は主に出水が原因と考えられる。諏訪湖の水位は1937年に完成した下流の釜口水門によって管理されており、その後、洪水調整能力を向上させるために水門は1988年に改修され、最大放水量は600m³/sとなった。しかし、下流の天竜川の治水能力に見合った放水量とする必要があるため、1988年当初は200m³/s、その後、300m³/s、400m³/sと徐々に暫定最大放水量を上げている。図に見られる偏差の減少傾向は、この水門管理の変化を反映したものと考えられる。標準偏差の総平均は0.09mと他の湖沼と比較して、極めて小さい。

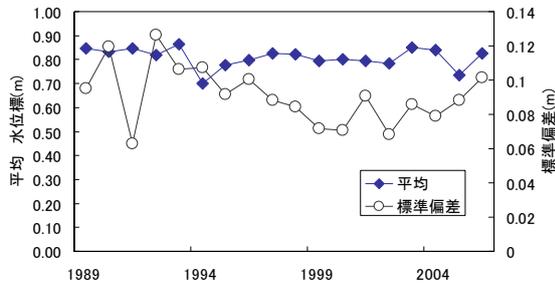


図-3-5 諏訪湖

f) 水位変動の表現方法の提案

湖沼の水位変動の特徴を判りやすく理解するために、平均水位と標準偏差を2軸の散布図で表現する方法を提案する。例として、小川原湖、霞ヶ浦、琵琶湖の例を示す。霞ヶ浦については3年移動平均、琵琶湖については5年移動平均の結果である。図-3-6~8から、小川原湖では、平均水位、偏差ともに変化の少ないことが分かる。また、霞ヶ浦は各時代の水理管理に応じた平面上の点のまとまりが観察される。琵琶湖については、1900年以前の平均水位の高い時期とそのほかの時期に大きく分かれ、偏差についてはあまり変化の無いことなどが、視覚的理解できる。

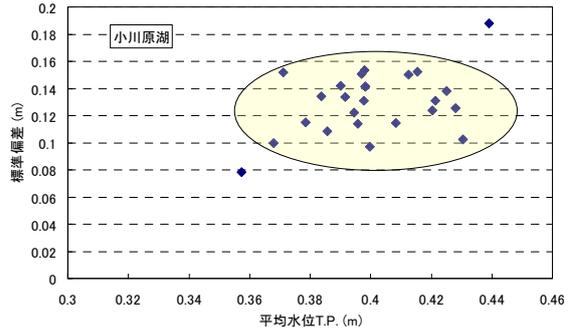


図-3-6 小川原湖：
平均水位と標準偏差の2軸表示

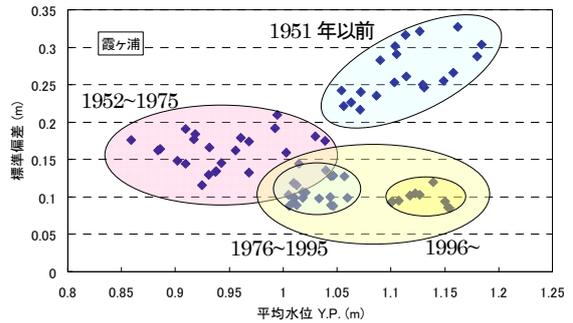


図-3-7 霞ヶ浦：
平均水位と標準偏差の2軸表示

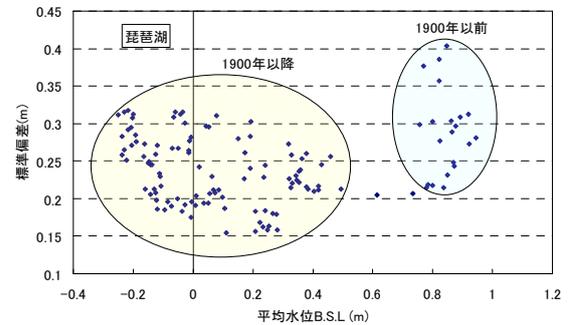


図-3-8 琵琶湖：
平均水位と標準偏差の2軸表示

3.3.2 頻度、継続期間に関する指標化

霞ヶ浦の水位について、平均、標準偏差の他に、それぞれの年の最高水位、最低水位、変動係数、第三四分位水位(上位25%水位)、第一四分位水位(上位75%水位)、等を求めた。それぞれの数値の年平均値を表-3-2に示す。

表-3-2 霞ヶ浦の水位変動指標の平均値

指標	Y.P. (m)
平均水位	1.04
平均年最高水位	1.69
平均年最低水位	0.78
標準偏差	0.17
最高水位-最低水位	0.91
変動係数	0.16
上位25%水位	1.12
上位75%水位	0.92

頻度 (frequency) に関する水位の指標として、表-2を基準に平均年最低水位以下の日数、平均水位以下の日数、平均上位75%水位以下の頻度、平均年最高水位以上の日数、平均上位25%水位以上の日数を求めた (図-3-9)。

継続期間 (duration) に関する水位の指標として、上位25%以上となる平均継続日数、上位75%以下となる平均継続日数を求めた (図-3-10)。

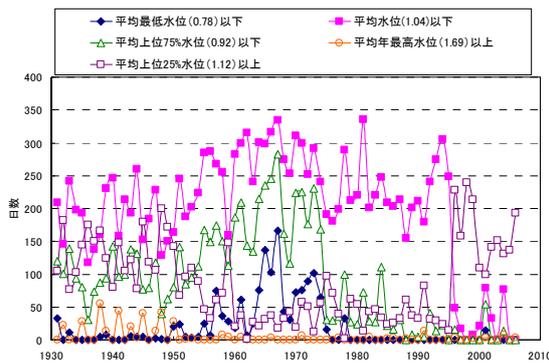


図-3-9 頻度に関する水位指標

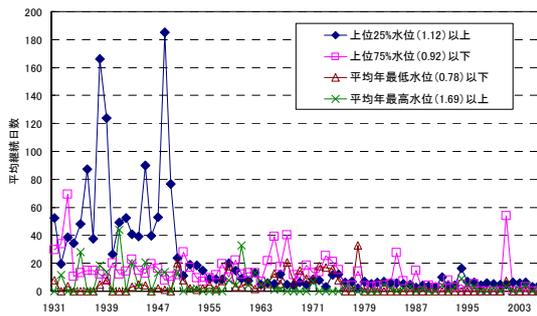


図-3-10 継続期間に関連する水位変動指標

3.3.3 水位指標と魚類現存量の比較

漁獲量は、水位で決まるものではなく、漁業従事者の数、操業方法、商品価値、水質、気象、種間関係など様々な要因が影響するが、水位変動から得られる指標のひとつの可能性の試みとして以下では、水位変動と漁獲を比較する。

a) 平均水位との関係

霞ヶ浦の全体的な漁獲の傾向は、平均水位と反比例する関係にあった (図-3-11: 図では水位の軸を反転)。シジミ、タナゴは、水位低下と同時期にピークを有し、コイ、フナ、ドジョウ、ハゼ類はやや遅れてピークを示した。全体量はコイ、フナ、ハゼ類の影響が大きく、総漁獲量のピーク時期は平均水位が最も低下する時期にやや遅れて出現している。漁獲量はさまざまな要因によって決まるが、平均水位との関係では60~70年代の水位低下時の沈水植物の増殖がひとつの要因と考えられる。沈水植物の1970年代以前の定量的データは少ないが、藤原ら(2003)¹⁴⁾の沈水植物確認地点の割合をグラフにすると、図-3-12のようになる。データ数は少ないが、このグラフから沈水植物の極大は1966年となり、水位低下の極小とほぼ重なる。また、現地の聞き取り調査からも1965~67年頃の水草の急激な繁茂の証言があり、この結果はほぼ妥当と考えられる。したがって、水位低下は沈水植物の増殖をともないながら漁獲高に影響した可能性が考えられる。

他の要因としては、この時期の塩水流入の影響も考えられる。さらに、魚類資源を増加させると考えられるCODの上昇、漁法の変化、また減少トレンドにおける漁業者の減少などを総合的に判断する必要がある。

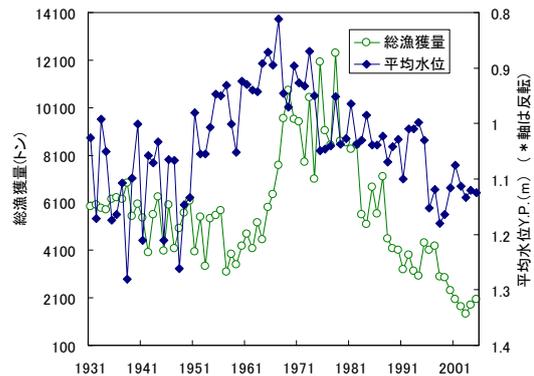


図-3-11 総漁獲量と平均水位 (水位の軸は反転している)

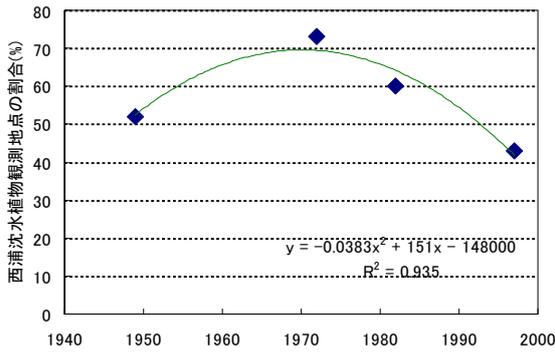


図-3-12 沈水植物の変化

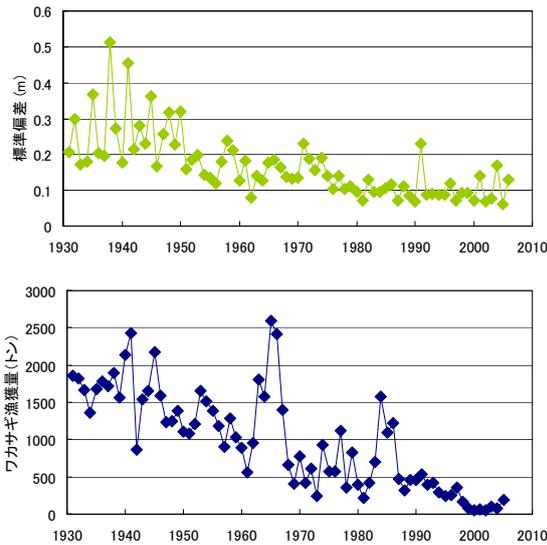


図-3-13 標準偏差とワカサギの漁獲量

b) 標準偏差とワカサギ

平均水位と関係なく変化する魚種の中では、ワカサギはやや特異な変化を示し、標準偏差に近い変動を示した (図-3-13)。両者の相関係数は $r=0.63$ ($P<0.01$) であった。ただし、ワカサギの漁獲

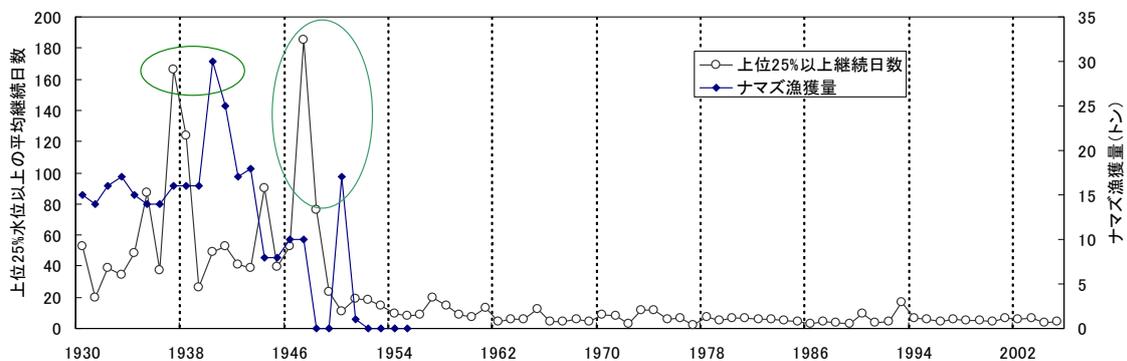


図-3-15 上位 25%水位以上の平均継続日数とナマズの漁獲量の関係

量は 60 年代と 80 年代に急激な増加があり、これは標準偏差によるものではない。この増加については、この時期の水位低下による塩分濃度の影響が関係している可能性が考えられる。標準偏差とワカサギの関係性についてはメカニズムが明らかでなく、今後の課題である。

c) 平均最低水位以下の頻度 (日数) とシジミ

頻度の分析で、平均最低水位以下の日数とシジミの現存量が非常によく相関を見た ($r=0.74$, $P<0.01$) (図-3-14)。漁獲されたシジミはほとんどヤマトシジミであるのでこの要因としては、水位低下にともなう塩水の進入が考えられる。最低水位で言えば Y. P. 0.8m 以下の時期ともほぼ重なる。

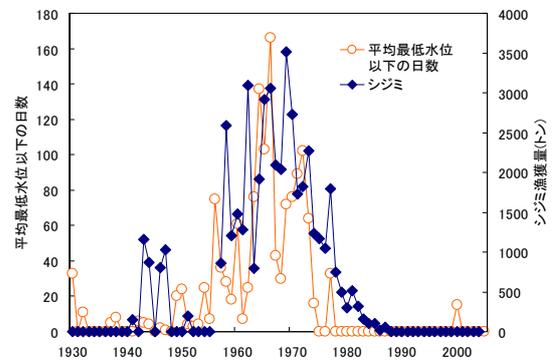


図-3-14 平均最低水位以下の日数とシジミ漁獲量の関係

d) 上位 25%水位以上の継続日数とナマズ

継続期間 (duration) と魚類現存量の関係では、上位 25%水位 (Y. P. 1.12m) 以上となった水位が継続した日数の平均値と特異な経年変化を示すナマズの漁獲量が非常に似通ったグラフとなった (図-3-1

5)。ナマズは沿岸の浅瀬や水草を利用して産卵し、しかも比較的産卵期が長いために水位の高い時期が継続してあった年は、多くの産卵が行われると考えられる。この推測を裏付けるデータとして、継続日数の長い1938年と1948年のちょうどの3年後の1941年と1951年にナマズの漁獲のピークが観察されている(図-3-15の円で囲った部分)。ナマズは2年で20-30cm、4年で60cm以上に達する¹⁵⁾とされているので、氾濫継続時間の長い年に産卵したナマズが3年後に捕獲に適したサイズになったと考えるのは適当であろう。

4. まとめ

平成19年度は、霞ヶ浦において現存する3時期(昭和35年、平成2年、平成14年)の湖沼図と植生図から、沈水植物が生育可能な光条件を考慮し、過去からの生育余裕深をシミュレーションにて求めた。その結果、各年とも水深が浅く透明度の高い湾奥や沿岸域が沈水植物の生育可能域となり易いことがわかった。生育可能範囲の分布は、近年になるにつれて、徐々に減少していたものの、平成14年の状況は、波浪による土砂移動の影響を緩和可能な水深(約1.0m)以上を有する生育余裕深があることを解析検討により示せた。また、水位変動特性と生態系への影響を検討するために、本邦湖沼の水位変動の特徴を整理し、特に霞ヶ浦を中心に、水位変動の指標を頻度や継続時間の観点から提案した。さらに、生態系との関係として、漁獲高を用いて、魚類現存量と水位変動の関係性を検討し、平均水位低下が沈水植物の増殖を通じて漁獲高の増加に影響した可能性や、比較的高い水位の平均継続時間がナマズの漁獲に影響している可能性などを示した。

参考文献

- 1) 沖野外輝夫, 花里孝幸編: アオコが消えた諏訪湖、信州毎日新聞社、2005。
- 2) 中村圭吾, 天野邦彦: 湖沼沿岸帯の自然再生, 土木技術資料47(9), pp.40-45, 2005。
- 3) 中村圭吾, 天野邦彦: 湖沼沿岸帯の自然再生: 現状と課題, 第9回日本水環境学会シンポジウム講演集, pp.119-120, 2006。
- 4) Coops H. and Hosper S.H.: Water-level management as a tool for the restoration of shallow lakes in the Netherlands. *Lakes and reservoir management* 18(4), pp.293-298, 2002。
- 5) van den Berg, M.S., M. Sheffer and H. Coops, The role of characean algae in the management of eutrophic shallow lakes, *J. Phycol.*, 34, pp.750-756, 1998。
- 6) 天野邦彦, 安田佳哉, 鈴木宏幸: 浅い貯水池にお

- る表層底泥の巻き上げによる水質変化のモデリング, 水工学論文集, 第46巻, pp.1085-1090, 2002。
- 7) 大塚泰介, 桑原靖典, 芳賀裕樹: 琵琶湖南湖における沈水植物群落の分布および現存量-魚群探知機を用いた推定-, 陸水学会誌, 第65巻, pp.13-20, 2002。
- 8) 国立環境研究所, 霞ヶ浦の観測データ(全域調査データ2, <http://www-cger2.nies.go.jp/database/kasumi/data/water/insitu.html>)
- 9) 日本地形学連合編: 水辺環境の保全と地形学, 古今書院, p.137-139, 1998。
- 10) 奥田節夫, 倉田亮, 長岡正利, 沢村和彦編: 空からみる日本の湖沼, 丸善株式会社, 1991。
- 11) Poff N.L., Allan J.D., Bain M.B., Karr J.R., Prestegard K.L., Richter B.D., Sparks R.E., Stromberg J.C.: The natural flow regime. *BioScience* 47, pp.769-784, 1997。
- 12) Colwell R.K.: Predictability, constancy, and contingency of periodic phenomena. *Ecology* 55, 1148-1153, 1974。
- 13) 山田安彦, 白鳥孝治, 立本英機: 印旛沼・手賀沼 水環境への提言, 古今書院。
- 14) 藤原宣夫, 西廣淳, 中村圭吾, 宮脇成生: 霞ヶ浦湖岸植生帯の変遷とその地点間変動要因, 国土技術政策総合研究所資料第136号, 2003。
- 15) 宮路傳三郎, 川那部浩哉, 水野信彦共著: 原色日本淡水魚類図鑑11刷, 保育者, pp.264-266, 1989。
- 16) 国土地理院 霞ヶ浦 GIS データ, 1990。

STUDY ON THE RESTORATION TECHNIQUES FOR LAKES AND WETLANDS

Abstract: Lake restoration should be pursued by combining the improvement of water quality of inflow river and lakeshore restoration. Through our experiences we have found out that restoration of submerged plants and ecologically sound water level fluctuation are significant to enhance the level of lake restoration. This study aims to find the methodology to restore submerged plant effectively and to elucidate the effect of water level fluctuation on water environment. In FY 2007, we calculated inhabitable area of submerged plant based on the optical condition using lake charts and vegetation map in 1960, 1990, and 2002 in Lake Kasumigaura. We found that shallow and clear-water bay and littoral zone have more potential as inhabitable areas. Although the inhabitable area has been decreased with time, we consider that submerged plants still can grow in Lake Kasumigaura because optically-inhabitable depth is ~1.5 m, which is deep enough to avoid wave disturbance. As for water level fluctuation, we analyzed the attributes of water level regime of Japanese representative lakes. Besides, we proposed several level-regime indices on average, deviation, frequency and duration using example of flow regime indices. With these indices we studied the relationships between water level regime and fish biomass. We found that, e.g., the average duration exceeding top-quartile water level can explain the fish catching of cat fish.

Key words: lake littoral zone, lakeshore, submerged plant, modeling, nature restoration, water level fluctuation, water-level regime, fish