

印旛沼水質改善に向けた水位低下実験

EXPERIMENT OF THE DRAWDOWN OF LAKE INBA-NUMA AIMED FOR WATER QUALITY IMPROVEMENT

中村 彰吾¹・本橋 健²・増岡 洋一³・林 薫³・湯浅 岳史⁴・東海林 太郎⁵
Shogo NAKAMURA, Ken MOTOHASHI, Youichi MASUOKA, Kaoru HAYASHI, Takashi YUASA
and Taro SHOJI

¹正会員 (財)河川環境管理財団 主任研究員 (〒103-0001 東京都中央区日本橋小伝馬町11-9)

²正会員 前(財)河川環境管理財団, 現(株)日水コン河川事業部 (〒163-1122 東京都新宿区西新宿6-22-1)

³千葉県 県土整備部河川環境課 (〒260-8667 千葉市中央区市場町1-1)

⁴正会員 パシフィックコンサルタンツ (株) 河川部 (〒163-0730 東京都新宿区西新宿2-7-1)

⁵パシフィックコンサルタンツ (株) 河川部 (〒163-0730 東京都新宿区西新宿2-7-1)

Water level of Lake Inba-numa has been managed to be higher and less fluctuated than before since 1968 because of the water resources development. Unfortunately lake water quality became worse at that time, and these changes are thought to cause the disappearance of submerged plants in the lake.

In this paper, we present the results of drawdown experiment of lake water level to improve water quality through the restoration of submerged plants.

Key Words : drawdown experiment, water quality improvement, submerged plants restoration, seed bank

1. はじめに

我が国の湖沼は河川や海域に比較して水質改善が遅れており, 水質環境基準 (BODまたはCOD) の達成状況を見ると, 河川91.2%, 海域74.5%であるのに対して, 湖沼は55.6%と著しく低い状況である¹⁾.

いっこうに改善しない湖沼水質をうけて, 「湖沼環境保全制度の在り方について (答申)」²⁾では, 環境基準の達成状況が立ち後れている湖沼の水環境保全を図るため, 非特定・特定汚染源対策の推進, 自然浄化機能の活用などの推進が必要とされ, 特に「湖沼の水質浄化には抽水植物や沈水植物等の水生植物が有する水質浄化機能を活用することが重要」と明記されるに至った.

こうした流れを踏まえつつ千葉県では, “恵みの沼・印旛沼の再生”に向けて, 2004年2月に「緊急行動計画」³⁾を策定し, 2009年3月現在は「印旛沼水質改善対策河川事業計画書(案)」の公表準備を進めている. この計画において, 沼の水質改善および健全な生態系の保全・復元を目的として, 沈水植物を主眼とした水草再生を施策の一つに掲げ, 見直し(経験を積み重ね試行錯誤を繰り返しながら確立していくこと)の取り組みが進められている.

さてここで, 水草再生を包含する「湖沼沿岸帯の自然再生」を考えるとしたとき, 自然再生に向けて復元すべき要素は「水質」「地形」「水位」の三点が上げられる

とされる^{4) 5)}.

まず「水質」は, 短期間の改善は難しいが, 健全な湖岸沿岸帯にとって重要な要素である. 水中に生育する沈水植物は, 特に水質の影響を受けることとなり, 水中や湖沼底部の光量を規定する透明度や濁度が重要となる.

次に「地形」とは湖岸の形であり, 埋め立て, 湖岸堤築造, 堤防護岸が波を反射する構造であることによる沿岸部の波浪, 土砂収支バランスの喪失などが湖岸沿岸帯地形の劣化要因となる. 千葉県では, 印旛沼の水質改善に向けた水草再生を進めており「緩傾斜湖岸法」等による植生帯整備を実施している^{6) 7)}.

そして「水位」とは, 水位変化のパターンであり, 湖沼生態系を規定する大きな要素である. 今日, 日本の多くの湖沼は水位が人為的に管理され, 水位変化パターンは自然状態のものとは異なっている. 印旛沼においても今日の水位変化パターンは, 干拓及び水資源開発を目的とした「印旛沼開発事業」を契機に人為的な水位管理が行われ, これが印旛沼の沈水植物を衰退させた要因の一つと考えられている. 千葉県では, 利水者ら関係者の協力のもと, 印旛沼全域を対象に沈水植物再生を促すため沼の水位を低下させる水位低下実験に取り組んでいる.

本稿では, 2008年(平成20年)3月から約1ヶ月間にわたり印旛沼の水位を約30cm低下させた「第1回水位低下実験」について報告する. 本稿の構成は以下のとおり.

まず、印旛沼開発事業の経緯を踏まえた上で、印旛沼の沈水植物の経緯と現在の印旛沼水位の特徴を整理した。次に、水位低下により生じると想定される影響を抽出し、因果関係を図示し、水位低下実験の想定シナリオを作成した。また、このシナリオをもとに、水位低下によって影響を受ける項目を抽出し、これら項目についてモニタリング計画を作成した。そして、モニタリング結果に基づき第1回水位低下実験の結果と考察を示した。

2. 湖沼の水位低下に係わる既往の知見

印旛沼水位低下実験に係る既往知見として、まず、渡良瀬貯水池の干し上げ⁸⁾があげられる。首都圏の水がめである同貯水池ではフォルミジウムに起因するカビ臭物質2-MIBに悩まされてきたが、近年継続して干し上げが実施され、2-MIBが軽減されるなどの効果を得ている。

また、Schefferら⁹⁾などによると、浅い湖沼では2つの安定した状態が存在する。一つはアオコが発生し透明度が低い状態、もう一つは沈水植物が繁茂し透明度が高い状態である。前者から後者の状態へは何らかのきっかけで急速に変化することがある。

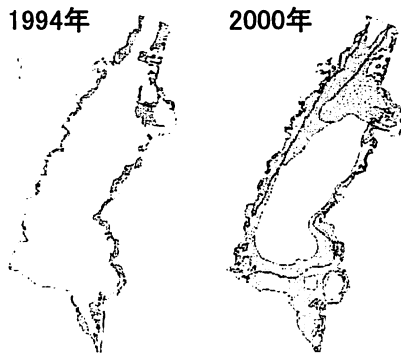


図-1 琵琶湖南湖における沈水植物帯の増加¹⁰⁾

図-1に示すように、1994年(平成6年)渇水による水位低下を契機とした琵琶湖南湖の沈水植物大繁茂は、この仮説を実証した一つの事例であると考えられている。

さらに、湖岸の一区画を鋼矢板で隔離し水位を低下させることで湖沼沿岸帯の水草再生が進むことを実験により示したオランダ事例¹¹⁾や、これと同様に、印旛沼八代地先の「囲い込み水位低下法」による植生帯整備において、沈水植物群落を一部再生した実績もある。

このように国内外で、湖沼水環境改善に向けた水位低下が試行されているが、本稿で述べる沈水植物再生を意図した湖沼全体の水位低下は、世界でも希な取り組みと言える。

3. 印旛沼の沈水植物の経緯

図-2のように、印旛沼は、昭和30～40年代の「印旛沼開発事業」によって、湖岸沿岸帯が埋め立てられ、また、

築堤及び揚排水機場設置により、1968年(昭和43年)以降、従前に比べ一定かつ高い水位で管理されるようになった。

表-1に管理水位を示す。図-3のように現在の水位管理となってから、変動幅は小さく、沈水植物の発芽に重要と考えられる春季に平均で60cm程度水位が高い。

湖の水位の変化に、流域の開発等による水質悪化も加わり、印旛沼の水生植物は減少したと考えられる。特に印旛沼内の沈水植物(ササバモ、インバモ等)は、図-4のように1965年(昭和40年)に22種あったものが2005年(平成17年)には消失した。

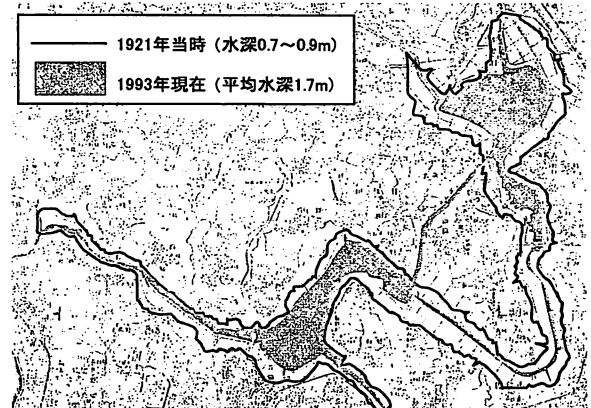


図-2 印旛沼の水面積の変化¹²⁾より作成

表-1 印旛沼の現在の管理水位

かんがい期	5月1日～8月31日	Y.P. + 2.5m
非かんがい期	9月1日～翌年4月30日	Y.P. + 2.3m

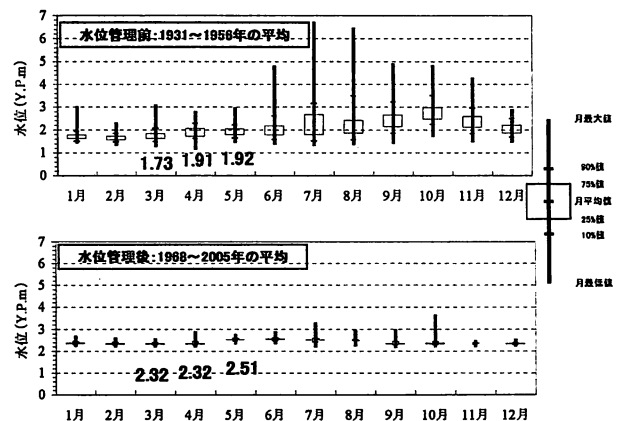


図-3 水位管理前後の印旛沼月平均水位の比較

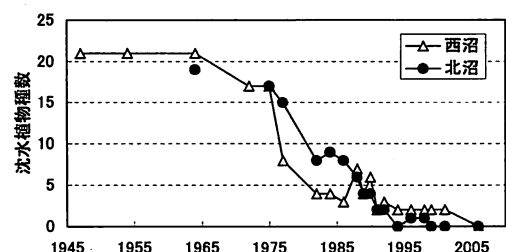


図-4 印旛沼内における沈水植物種数の変遷

4. 水位低下実験計画

(1) 実験成果シナリオ及び目標設定

水位低下により生じると想定される正負の影響を抽出し、因果関係図（図-5）に整理して、水位低下の実験成果シナリオ想定及び目標設定を行った。

この実験成果シナリオは、「水位低下により沼底への光量が増加し沈水植物発芽を促す」という因果関係を柱に、「水位変動の増加により水際部エートン拡大及び水際部植生拡大・多様化が生じ水質改善につながる」、「沼底水圧減少により湧水が増加する」、「表層ヘドロが消失し底質が改善される」等を想定した。

次に、これらシナリオを踏まえ実験目標を設定した。目標1は「沈水植物群落の再生」、目標2は「水際部エートンと植生の拡大・多様化」、目標3は、「沼底からの湧水の増加」そしてこれら目標1～3の達成により実現する目標4として「印旛沼の水質改善」である。

こうした実験目標及びシナリオに基づき、後述の実験モニタリングを計画した。

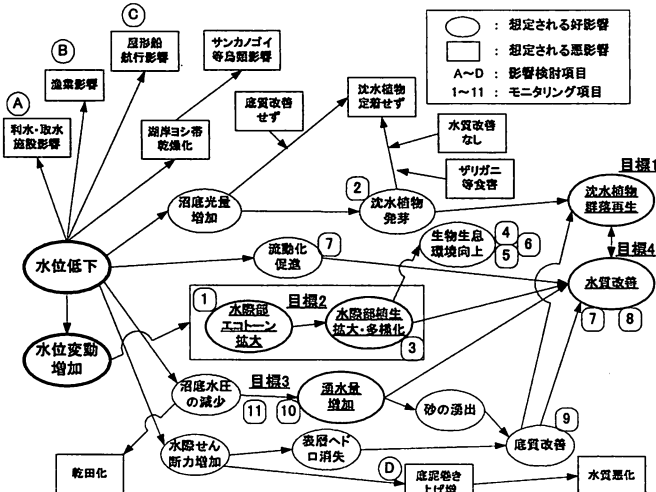


図-5 水位低下に係わる因果関係図

(2) 実験期間中の水位管理手法

水位低下期間、実験期間中の維持水位、水位変化速度については、利害関係者との協議なども踏まえ、以下のように検討し設定した。

水位低下期間は、因果関係図（図-5）より考慮すべき要因として、利水期間、沈水植物の発芽時期、魚類・鳥類等の生息に影響する期間を選定し、表-2の整理を得た。これらを勘案しつつ関係者協議も踏まえ、実験期間を1月21日～4月15日の約3ヶ月と設定した。

実験期間中の維持水位は、沼内揚水施設の設計最低水位（Y.P.+1.8m）、漁労船・屋形船等船舶の船溜まりや航路への影響、魚類産卵場所への影響等を勘案しY.P.+2.0m（非かんがい期水位から30cm低下）とした。

実験開始時の水位低下速度と終了時の水位上昇速度は、現況の平均的な水位低下・上昇速度を参考に2.5cm/日と設定した。実験期間中の降雨による出水によって水位上

昇が生じた場合の水位復元速度は、水位管理前の時代の自然条件下における水位低下速度を参考に、試行的に4cm/日という速度を設定した。これは、実験期間がコイ・フナの産卵期にあたるため、出水後に産みつけられた魚卵が干上がることを、できるだけ回避するという意図を含むものである。

以上より設定した水位運用計画を図-6に示す。

因果関係図（図-5）に示した想定される悪影響の中から、具体的な影響検討・対応が可能な項目（図中A～D）について以下の検討・対策を実施した。

利水については、水位低下実験によって重大な影響が生じると判断された場合は直ちに実験を中止することとした。また、過去19年間の実績流量データ（取水量は実績取水量）を用いて、水位低下実験を実施した場合の利水計算を行い、利水安全度0/19であることを確認した。

また、水位低下により取水影響が出ると想定される取水口や航行が困難となる舟溜り・航路については、深淺測量結果から支障となる箇所を抽出し、事前に浚渫工事を行い、取水や船の航行を可能とした。

表-2 水位低下期間の設定

観点	項目	各観点からみた水位低下時期の留意事項											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
利水	上水・工業用水	通年にわたって利水影響の回避が必要											
	農業用水	かんがい期の利水影響の回避が必要											
生態系	沈水植物の発芽	水位低下による発芽を期待 風波による底質改善を期待											
	魚類の産卵	産卵時期に産卵場所が減少するのを避けることが必要											
	鳥類(サンカノゴイ)の営巣	巣が流失しないように急激な水位上昇を避けることが必要											
	水位変動実験計画	1月～5月半ばの実験期間が望ましい											

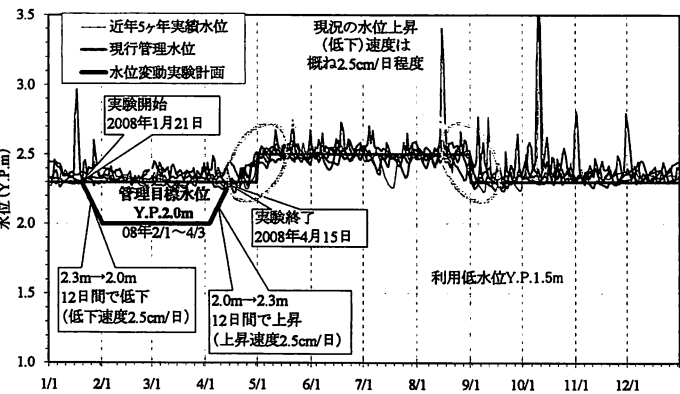


図-6 水位運用計画

(3) モニタリング計画

水位低下実験の効果を把握するためモニタリングを実施した。モニタリング項目および概要を表-3に示す。モ

ニタリング項目は、因果関係図（図-5）より、水位低下によって影響を受ける可能性のある項目を抽出し、実験前後のモニタリング計画を立案した。モニタリング地点選定は、あらかじめ沼全体の深浅測量を実施し、沼底標高のコンター図を作成することにより、水位低下による露出面積が大きいと想定される箇所を2地区選定した。

なお、第1回水位低下実験では、どのような効果が見られるか定かでないことから、多くの項目を網羅的にモニタリングし、第2回実験以降は従前のモニタリング結果を踏まえモニタリング項目を絞り込む方針とした。

表-3 水位低下実験モニタリングの概要

調査項目	概 要
1 水際部の微地形調査	水際部底質改善状況を把握するため、深浅測量、浮泥厚調査等を実施。
2 水生植物発芽・定着状況調査	沈水植物などの発芽状況を確認。
3 水際部の植生分布調査	植物相の変化を把握。
4 底生動物調査	植生、底質等の変化に伴う底生動物相の変化を把握。
5 サンカノゴイ営巣箇所調査	営巣標高などの把握。
6 鳥類調査	水際部の露出等による鳥類分布の変化を把握。
7 流動・濁度連続観測調査	流動状況、水質の変化を把握。
8 水質定期調査	沼の主要点で水質変化を把握。
9 底質調査	水際部の底質変化を把握。
10 湧水調査	かつて湧水があったと言われる箇所での水温、EC等を測定。
11 地下水調査	掘削した井戸及び陸上の湧水地点で地下水の変化を把握。

5. 水位低下実験結果

(1) 実験期間中の水位

水位低下実験は2008年1月下旬から開始予定であったが、船溜まり浚渫に係る協議調整と浚渫工事に時間を要し、実験開始が遅れ、2008年3月3日から4月7日の36日間の実施となった。図-7に実績水位を示す。

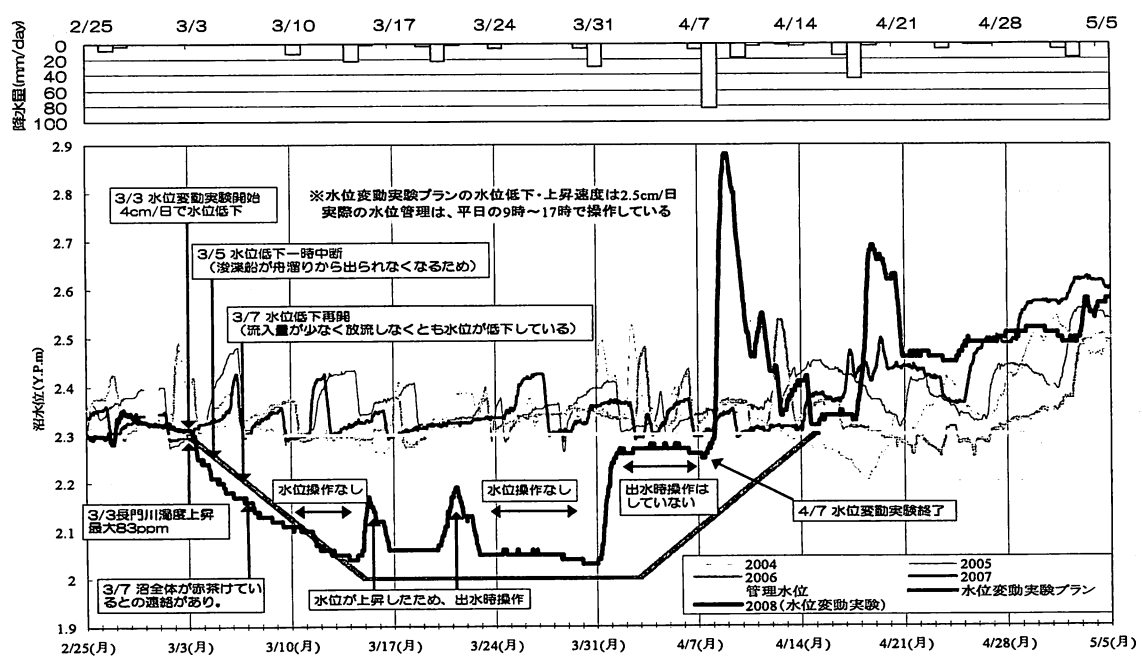


図-7 水位低下実験期間中の水位操作と生じた現象

(2) モニタリング結果

今回の第1回実験は当初実験計画に対して水位低下期間が短縮化されたが、僅か1ヶ月程度の水位低下にもかかわらず、いくつかの状況変化を認めることができた。

具体的には前述の実験成果シナリオのうち、「水位低下→水際せん断力増加→表層へドロ消失→底質改善」を確認することができた。また「水際せん断力増加→底泥巻き上げ増」の兆候を認めた。しかし何れも断片的な変化に止まり、沈水植物群落再生、水質改善など、掲げた目標達成には至っていない。

表-3に示したモニタリング調査項目のうち、a)水際部の微地形調査、b)流動・濁度連続観測調査、c)水質定期調査について、以下に結果を示す。

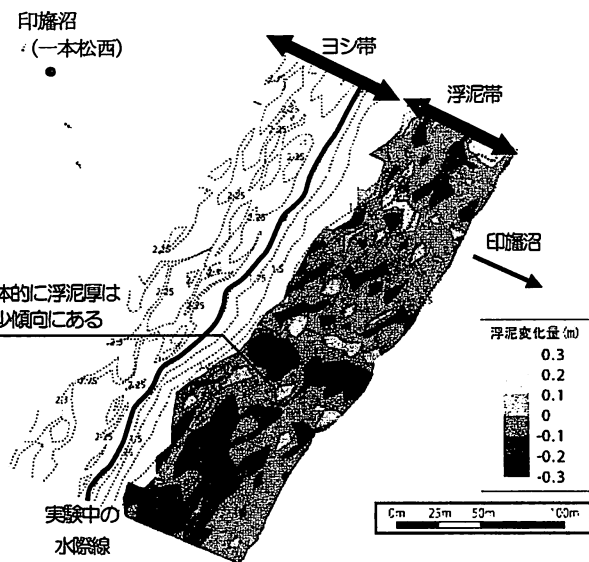
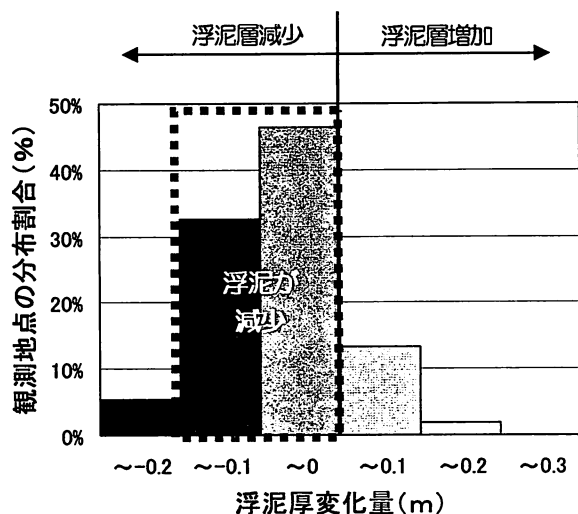
a) 水際部の微地形調査

水際部において沿岸方向300m、沖合方向100mを対象に10mピッチで深浅測量および浮泥厚調査を行った。調査時期は事前調査が2008年3月、事後調査が2008年5月である。この結果、図-8に示すように、水際部において、実験前後の比較で浮泥厚が10cm程度減少している傾向を得た。これは、水位低下に伴い、沼底に風波浪による剪断力が伝達しやすくなり、表層浮泥がフラッシュされたと推定している。フラッシュされたと考えられる表層浮泥の行き場は現時点で特定できず、第2回実験におけるモニタリング課題である。なお、浮泥厚は、図-9に示す方法により把握を行った。ここで

$$(\text{浮泥厚}) = (\text{円盤レッド標高}) - (3\text{kgレッド標高})$$

$$(\text{浮泥厚変化量}) = (\text{実験後浮泥厚}) - (\text{実験前浮泥厚})$$

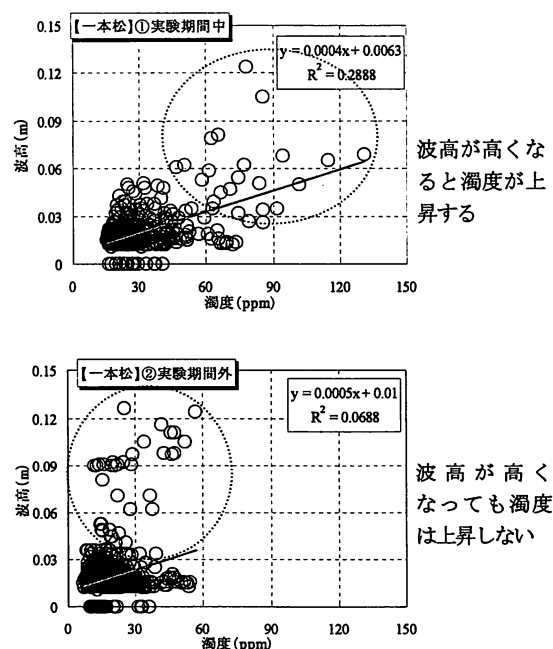
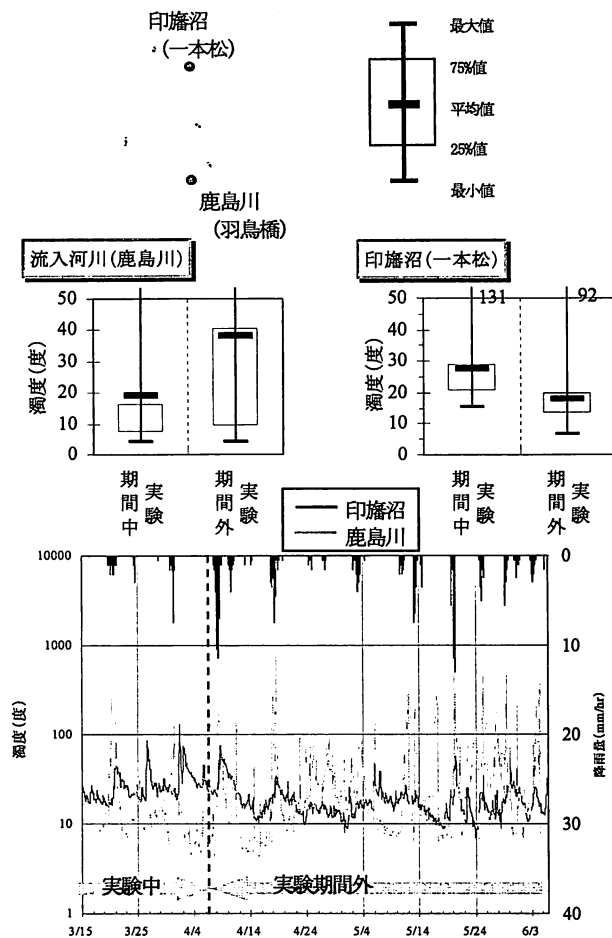
とした。



b) 流動・濁度連続観測調査

濁度連続観測調査結果を図-10に示す。流入河川鹿島川では降雨の影響により、実験期間中よりも期間外の濁度が高い。一方、印旛沼一本松では降雨による出水影響

が考えられるにもかかわらず、実験期間中の濁度が高い。
また、一本松の波高と濁度の関係性を図-11に示す。
波高と濁度の関係において、実験期間中の方が、波高の影響を受けやすいと言える。



c) 水質定期調査

先述のとおり、濁度連続観測結果において、実験期間中の濁度上昇が確認された。この濁度上昇と関連して沼内6箇所の観測地点におけるSSの定期観測結果をみると、過去10ヶ年の変動幅には概ね納まっていることを確認した。図-10に代表地点の観測結果を例示した。

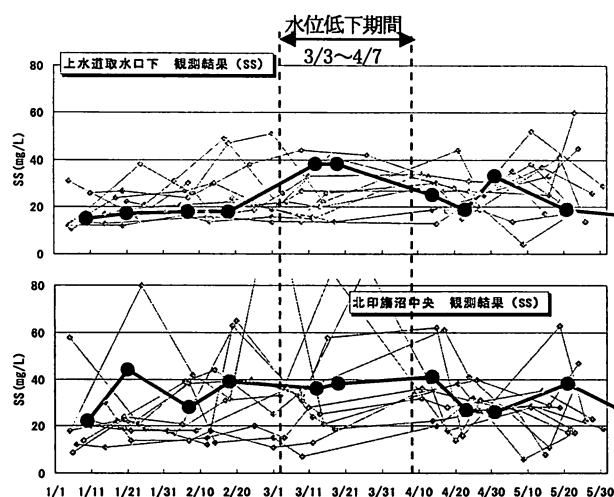


図-11 水質観測結果 (SS)
(観測年は1998年～2008年、太線が2008年)

6. おわりに

第1回水位低下実験は一ヶ月程の短い実験期間であったが、底質の改善など一定の効果を確認することができた。印旛沼の沈水植物再生に向けて、水位低下が有効な手段の一つである可能性が示された。

印旛沼の水位は、印旛沼の開発を契機として、それ以前の自然な水位変化のパターンとは異なる人為的な水位操作が行われており、現状は利水重視の水位管理にあると言える。その一方で、水位の変化は湖岸沿岸の環境に重要な要素であると言われており、湖岸沿岸帯の沈水植物再生とこれによって期待される水質改善は、印旛沼の価値を大きく高めるものであることは言うまでもない。治水・利水・環境の観点から印旛沼の価値を最大化する水位管理を考えていくことが今後必要となるであろう。

今回報告した印旛沼での水位低下実験は、国内はもとより、世界でも稀な取り組みであり、水位低下と湖沼環境の関係を実湖沼において実証する先駆的な取り組みである。千葉県では昨年に引き続き、第2回水位低下実験を2009年1月21日～4月15日（予定）の期間に取り組んで

いる。この成果については機会をみて報告したい。

謝辞：本報告の作成に当たり、印旛沼水質改善技術検討会の虫明功臣座長をはじめとする委員の皆様、同検討会ワーキンググループ委員の皆様には、多大なるご指導を賜りました。またこの実験は、印旛沼利水関係者の水質改善に対する多大なるご理解と、同検討会事務局の各担当者の努力なしには実現できませんでした。お世話になったお一人お一人に、心より感謝の気持ちと、御礼を申し上げます。

参考文献

- 1) 平成20年度 環境白書・循環型社会白書、環境省、2008
- 2) 湖沼環境保全制度の在り方について（答申）、中央環境審議会、2005
- 3) 印旛沼流域水循環健全化 緊急行動計画書 印旛沼再生 ～恵みの沼をふたたび～、千葉県、2004
- 4) 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、2005
- 5) 中村圭吾：湖沼沿岸帯の自然再生技術、水環境学会誌 Vol.30 No.4 185-188、2007
- 6) Shogo NAKAMURA, Ken MOTOHASHI, Hajime KUBOTA, Youichi MASUOKA, Kaoru HAYASHI, Takashi YUASA and Taro SHOJI: A new approach in water quality improvement of Lake Inba-numa using submerged plants, Advances in Hydro-Science and Engineering Vol.8, 645-646, 2008
- 7) Yuasa, T., Furukawa, I., Masuoka, Y. and Mushiaki, K.: Integrated action plan for Lake Inba-numa watershed management, CHES Annual Conference, 2007.
- 8) 谷中湖（渡良瀬貯水池）水位低下・干し上げについて、利根川上流河川事務所記者発表資料、2008.1.25.
- 9) Scheffer, M., Carpenter, S., Foley, J.A., Folke, C. and Walker, B.: Catastrophic shifts in ecosystem, Nature, 413, 591-596, 2001.
- 10) 浜端悦治：琵琶湖の沈水植物群落、琵琶湖研究所記念誌（所報第22号）、105-119、2005.
- 11) Van Geest, G.J., Coops, H., Scheffer, M. and Van Nes, E.H.: Long transients near the ghost of a stable states in eutrophic shallow lakes with fluctuating water levels, Ecosystems, 10, 36-46, 2007
- 12) 印旛沼のはなし、財団法人印旛沼環境基金、2006
- 13) 天野邦彦：湖沼における水質・生態系保全の評価手法に関する研究、土木技術資料49-6、2007.
- 14) 天野邦彦・時岡利和：沈水植物群落の再生による湖沼環境改善手法の提案、土木技術資料、49-6、2007.
- 15) 高村典子：水辺移行帯修復・再生技術の開発－霞ヶ浦での植生帯復元の取り組みから、生活と環境、50、5、24-30、2005.
- 16) 西廣淳：土を撒いて湿地植生を再生する、河川、2007. 2.
- 17) 西廣淳・藤原宣夫：湖沼沿岸の植生帯の衰退と土壌シードバンクによる再生の可能性－霞ヶ浦を例に一、土木技術資料、42-12、2000.

（2009. 4. 9受付）