

# 手賀沼における植物プランクトンの多様性

岩山朱美 平間幸雄 小倉久子\*  
(\*元千葉県環境研究センター)

## 1 はじめに

手賀沼は、本手賀沼と下手賀沼からなる 6.5km<sup>2</sup> の天然湖で、貯水量は 560 万 m<sup>3</sup> である。本手賀沼の滞留時間は 2000 年度に運用が開始された北千葉導水事業により導水前の約 14~26 日から約 6~11 日となり、1/2~1/3 に短縮された<sup>1)</sup>。手賀沼の植物プランクトンの長期変動については既に報告したが<sup>2,3)</sup>、今回、多様性指数を用いて手賀沼における植物プランクトンの多様性の長期変動について北千葉導水本格稼働前後で比較検討したので報告する。

## 2 使用したデータと解析方法

### 2.1 使用したデータ

月 2 回の水質測定 (プランクトンを含む) が行われている公共用水域水質測定結果<sup>4)</sup>のうち、1994 年度以降のものを使用した。

測定地点は根戸下、手賀沼中央、下手賀沼中央 (2007 年度からは月 1 回測定) の 3 地点である (図 1)。

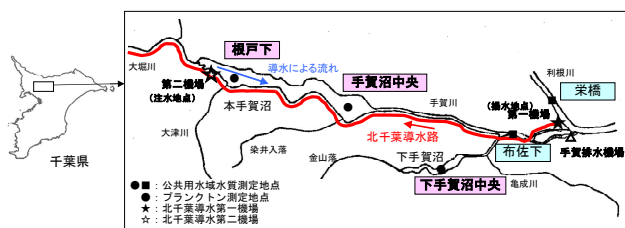


図 1 手賀沼のプランクトン測定地点

試料は表層水をバケツ採水し、グルタルアルデヒド溶液 (1%) による固定を行っている。検鏡は固定したサンプル及び生サンプルの両方について行っている。

### 2.2 解析方法

生物群集内の多様性を示す指数は、様々な指数が提案されている<sup>5,6)</sup>が、本報では以下の指数についての検討を行うこととした。

#### ① Shannon-Wiener の多様性指数 (H')

H'は次式で定義される。

$$H' = - \sum_{i=1}^S p_i \ln p_i$$

ここで、Sはプランクトン種数、 $p_i$ は出現全種の個体数のうちで種*i*が占める割合(相対優占度)である<sup>5)</sup>。なお、この定義式では ln が使用されているが、多様性を求めるにあたり最近ではビット (log<sub>2</sub>) が使われることが多い<sup>6)</sup>ため、今回は対数の底を 2 としてデータの処理を行った。

H'は、種数が多いほど、かつ各種の均等度が高いほど大きい数値になる。

#### ② 修正 Shannon-Wiener 指数 H\*

H'はサンプル中に 1 個体だけ出現した種による影響が大きいためそれを修正する方法(修正 Shannon-Wiener 指数 H\*) が提案されている。

$$H^* = H' + \frac{A}{2N + A/3.3}$$

ただし、 $A = (S + S_1) \times [S / (S - S_1)]$

S<sub>1</sub>: サンプル中に 1 個体だけ出現した種数

N: 総個体数 (本報では植物プランクトン総数が該当)

#### ③ Simpson 多様性指数 (1-D)

次式で定義される Simpson の単純度指数 (D) を用い定義される。小さい値が多様性小、大きい値が多様性大を示す (ただし範囲は 0~1)<sup>6)</sup>。

$$D = \sum_{i=1}^S \left( \frac{N_i(N_i - 1)}{N(N - 1)} \right)$$

N<sub>i</sub>: 種*i*の個体数

#### ④ 対数逆 Simpson 指数 (log(1/D))

前式で定義される Simpson の単純度指数 (D) を用い定義される。小さい値が多様性小、大きい値が多様性大を示す。また、上限がなく 1 以上の値がとれるので、1~0 の範囲だけの指数より比較の目的には優れていると考えられている<sup>6)</sup>。

### ⑤ Pielou の一様度指数 (均衡度指数, $J'$ )

$J'$  は、次式で定義される。 $J'$  は 0~1 の値をとり、構成種すべてが同一個体数のとき、最大値 1 をとる<sup>6)</sup>。

$$J' = H/H_{\max} \quad \text{ただし} \quad H_{\max} = \ln S$$

## 3 結果及び考察

以下の結果には、根戸下の解析結果は手賀沼中央とほぼ同様の傾向であったため、手賀沼中央及び下手賀沼中央の結果のみを示した。

### 3. 1 Shannon-Wiener の多様度指数による評価

これまで「多様度指数」の中では  $H'$  が幅広く使われてきているという経緯があるため<sup>6)</sup>、まず、 $H'$  での評価を行った。

手賀沼中央における植物プランクトンの Shannon-Wiener の多様度指数 ( $H'$ )、植物プランクトン総数及び植物プランクトン総出現種数の経年変化を図 2 に示す。手賀沼中央の  $H'$  は 0~4 程度であった。導水本格稼働前(2003 年度前)は変動が大きかったが、導水本格稼働後は変動幅がやや小さくなり、2008 年度までは極端に小さい値がなくなったが、2009 年度以降は冬季に小さい値がみられるようになった。導水以前は基本的には種数の変動パターンを反映しているが爆発的にプランクトン総数が増加した場合は 0 に近くなる等、種数と総数ともに反映している。導水本格稼働後はプランクトンの爆発的増殖がみられなくなったため、 $H'$  の変動は種数の変動パターンを反映していると考えられる。

### 3. 2 他の多様度指数による評価

他の多様度指数による評価をするべく、手賀沼中央における多様度指数(修正 Shannon-Wiener 指数, シンプソン多様度指数, 対数逆シンプソン指数, Pielou の一様度指数)の経年変化を図 3 に示す。

図 4 には優占種の相対優占度 (1 位と、1 位から 5 位までのプランクトン数の小計の、プランクトン総数に対する割合) の経年変化を示す。優占種の相対優占度が小さいほど突出した優占種がなくなり、多様性が大きくなったことを示していると考えられるため、この相対優占度と多様度指数との関連について検討した。

導水供用開始前の本手賀沼では優占種の相対優占度の季節変動が大きく、また単独で植物プランクトン総数の 9 割近くを占めることが多く、このときの多様

度指数は小さい値であったが、導水後は、上位 5 種の合計でも植物プランクトン総数の 5 割に満たないことがしばしばみられるようになり、多様度指数は大きくなった。

図 2, 図 3 に示した 5 種の多様度指数から読み取れる特徴及び優占種の相対優占度との関係を導水本格稼働前後(2003 年度を区切りとした)に分けて表 1 に示す。

季節変動パターンは全ての多様度指数に共通して、概ね導水本格稼働前は冬季に大きく夏季に小さく、導水本格稼働後は導水前に比べて一時的に大きくなり、2007 年度からは経年的に小さくなり冬季に小さく夏季に大きいという季節変動が表れ始め、2010 年度以降には変動が明確になった。また、導水本格稼働前において *Microcystis aeruginosa* が爆発的増加をした際には限りなく 0 に近いケースが何度か発生した。

5 種の多様度指数を比較すると、対数逆シンプソン指数の長期変動の傾向は他の指数に比べ、種数の変動パターン及び優占種の相対優占度の変動パターンと近い変動を示した。特に、導水本格稼働後の変動パターンは、Shannon-Wiener 指数、修正 Shannon-Wiener 指数及び Pielou の一様度指数よりも Simpson の単純度指数 ( $D$ ) を用いた指数がより関連性が高かった。その中でも対数逆シンプソン指数は優占種の相対優占度との関連が一番高いため、多様性を表すには最もふさわしいと考えられた。

### 3. 3 対数逆シンプソン指数による本手賀沼と下手賀沼の比較

対数逆シンプソン指数で本手賀沼と下手賀沼中央の多様性について評価することとし、下手賀沼中央における多様度指数(対数逆シンプソン指数)、植物プランクトン総数及び植物プランクトン総出現種数の経年変化を図 5 に、下手賀沼中央における優占種の相対優占度の経年変化を図 6 に示し、図 5 及び図 6 から読み取れる多様度指数の特徴を表 2 にまとめた。

導水の影響を直接受けない地点である下手賀沼では、1994 年をピークにプランクトン総数が減少傾向にある。多様度指数は 2005 年度にかけて緩やかに上昇し、導水前より高い傾向を示したが、2009 年度頃まで緩やかに下降し、2011 年度と 2012 年度は再び高くなり、種数の変化と同様に横這いである。多様度指数の

季節変動パターンは導水前の本手賀沼とは逆に、概ね夏季に大きく冬季に小さいというパターンが全期にわたり続いている。本手賀沼に見られた 2010 年度から 2012 年度の 3 年間見られるような明確な季節変動パターンは見られなかった。また、第 1 優占種の占める割合が大きいときの多様度は小さかった。

- ・多様度指数の中で優占種の相対優占度やプランクトン種数との関連は、対数逆シン普森指数がよく一致した。
- ・本手賀沼では導水本格稼働後は突出した優占種がなくなり多様度は大きくなった。2010 年度以降は多様度指数に明確な季節変動が確認された。
- ・下手賀沼では多様度は 2005 年度まで緩やかに増加した後緩やかに減少した。本手賀沼に見られたような 2010 年度以降の明確な季節変動はみられず、2011 年度以降は横這いであった。

#### 4 まとめ

手賀沼における植物プランクトンの多様性についていくつかの多様度指数を用いて検討した。

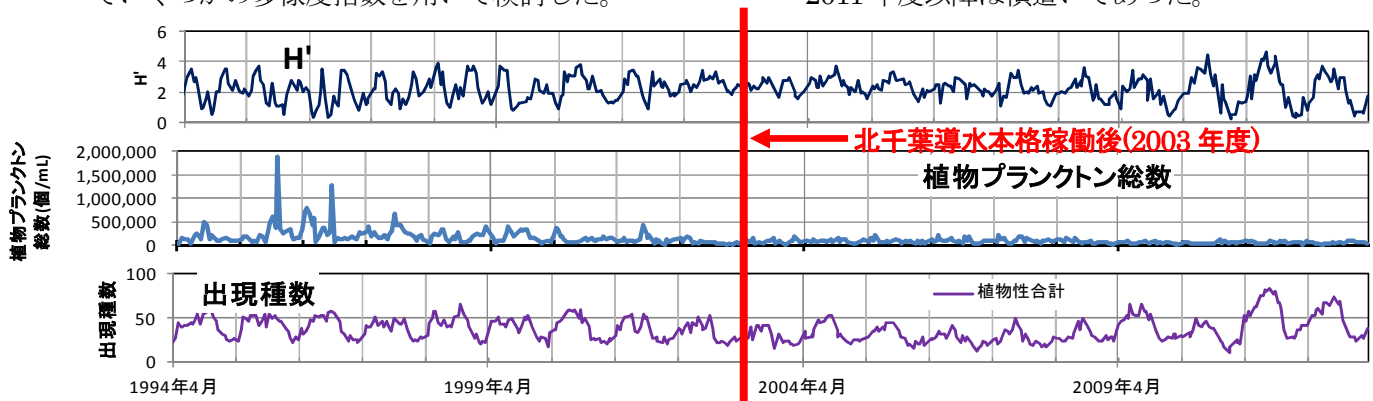


図 2 手賀沼中央における植物プランクトンの Shannon-Wiener の多様度指数 ( $H'$ )、植物プランクトン総数及び植物プランクトン総出現種数の経年変化(種数については、「sp.と spp.は1種類」として扱った。)

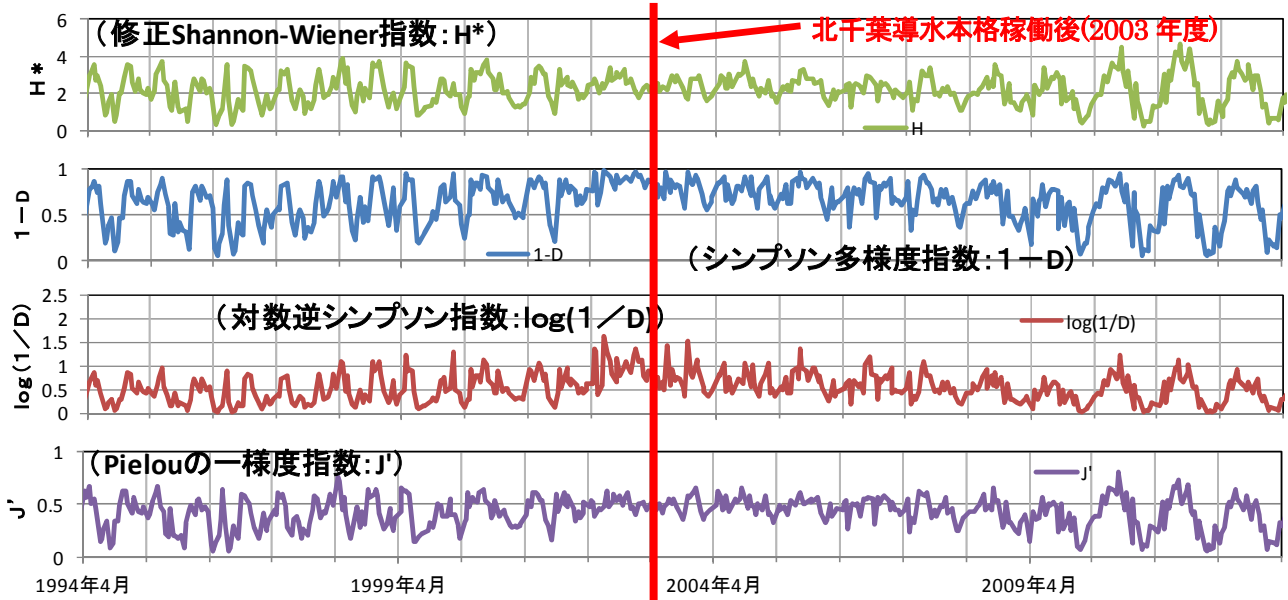


図 3 手賀沼中央における多様度指数(修正 Shannon-Wiener 指数, シン普森多様度指数, 対数逆シン普森指数, Pielou の一様度指数)の経年変化

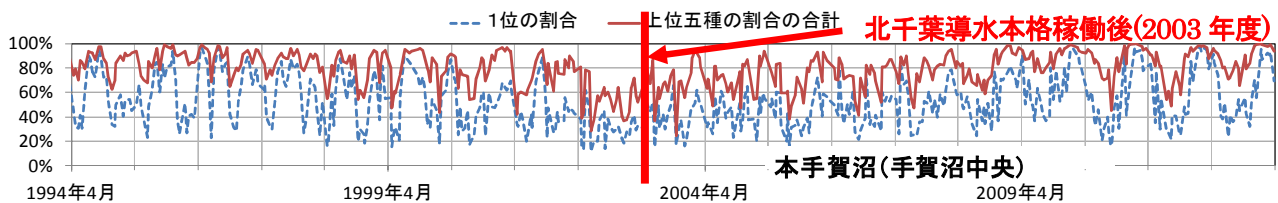


図 4 手賀沼中央における優占種の相対優占度(優占第 1 位と、1 位から 5 位までの合計)の経年変化

表1 手賀沼中央の各多様度指数の特徴と図4との関係

|                                | 特徴                          |  | 優占種の相対優占度(図4)と各多様度指数との関係    |                          |
|--------------------------------|-----------------------------|--|-----------------------------|--------------------------|
|                                | 1994~2002年度<br>(北千葉導水本格稼働前) | 2003年度以降<br>(北千葉導水本格稼働後)                                 | 1994~2002年度<br>(北千葉導水本格稼働前) | 2003年度以降<br>(北千葉導水本格稼働後) |
| ①Shannon-Wienerの<br>多様度指数 (H') | 2001年度まで変動幅が大きい。            | 前半は一時的に変動幅が小さくなり、やや大きめの値を示した。<br>2007年度以降は変動幅が徐々に大きくなった。 | 関連性: +                      | 関連性: ++                  |
| ②修正Shannon-Wiener指数<br>(H*)    |                             |  |                             |                          |
| ③Simpson多様度指数<br>(1-D)         |                             | 前半は限りなく値が1に近くなる時が多く、この時期は多様度が他の指数よりも大きめに評価される。           | 関連性: +++                    | 関連性: +++                 |
| ④対数逆シン普森指数<br>(log(1/D))       | 値は0~1.0程度で推移。               | 前半からある程度の変動幅があるが2009年度までは変動幅は減少傾向。                       | 関連性: ++++                   | 関連性: ++++                |
| ⑤Pielouの一様度指数<br>(均衡度指数,J')    | 値は0~0.6程度と変動幅が大きい。          | 2008年度前半までは変動幅が小さく、値はほぼ0.5で一定                            | 関連性: ++                     | 関連性: ++                  |

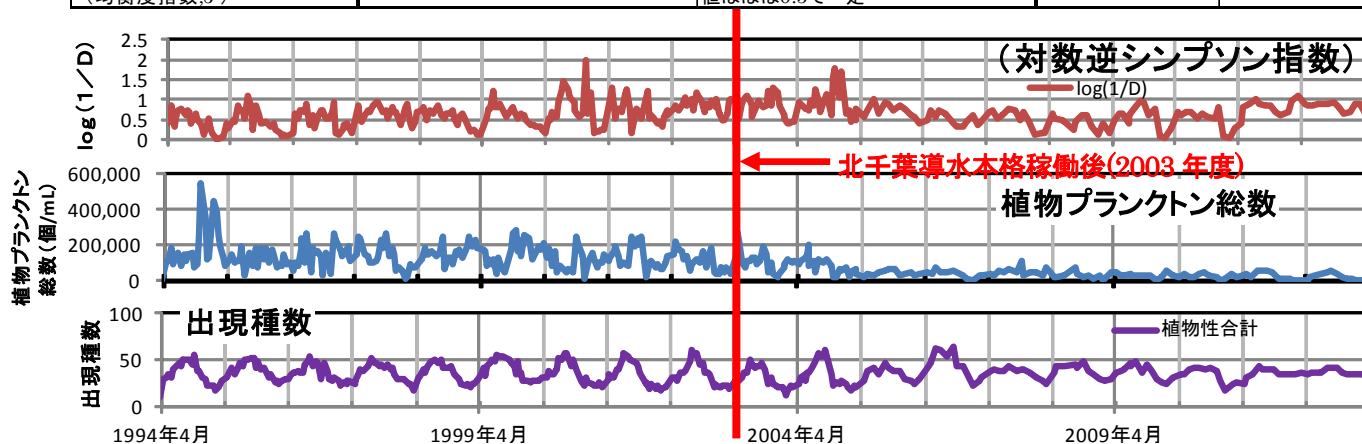


図5 下手賀沼中央における多様度指数(対数逆シン普森指数)、植物プランクトン総数及び植物プランクトン総出現種数の経年変化(種数については、「sp.と spp.は1種類」として扱った。)



図6 下手賀沼中央における優占種の相対優占度(優占第1位と、1位から5位までの合計)の経年変化

表2 下手賀沼中央の対数逆シン普森指数の特徴と図6との関係

|                         | 特徴                          |                                   | 優占種の相対優占度(図6)と多様度指数との関係     |                          |
|-------------------------|-----------------------------|-----------------------------------|-----------------------------|--------------------------|
|                         | 1994~2002年度<br>(北千葉導水本格稼働前) | 2003年度以降<br>(北千葉導水本格稼働後)          | 1994~2002年度<br>(北千葉導水本格稼働前) | 2003年度以降<br>(北千葉導水本格稼働後) |
| 対数逆シン普森指数<br>(log(1/D)) | やや変動幅は大きい、値はほぼ2以下で推移        | 変動幅は少なく値は減少傾向であるが、2011年度以降はほぼ横這い。 | 関連性: ++++                   | 関連性: ++++                |

—参考文献—

- 国土交通省関東地方整備局利根川下流河川事務所・江戸川河川事務所：第5回北千葉導水事業モニタリング委員会配布資料2, p.13(2004)
- 岩山朱美, 平間幸雄, 小倉久子：手賀沼における植物プランクトンの長期変動(1), 千葉県環境研究センター平成23年度年報(2012)
- 岩山朱美, 平間幸雄, 小倉久子：手賀沼における

- 植物プランクトンの長期変動(2), 千葉県環境研究センター平成24年度年報(2013)
- 千葉県：公共用水域水質測定結果
- 宮下直, 野田隆史：群集生態学, 東京大学出版会, pp.73-105(2003)
- 伊藤嘉昭, 佐藤一憲：種の多様性比較のための指数の問題点—不適切な指数の使用例も多い—, 生物科学 53(5), pp.204-220(2002)