

# 気候変動による霞ヶ浦水質への影響について

小室 俊輔<sup>1</sup>, 松本 俊一<sup>1</sup>, 福島 武彦<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 茨城県霞ヶ浦環境科学センター

キーワード: 生態系機能, 水質汚濁, 富栄養化, 栄養塩動態, 気候変動

## 抄録

霞ヶ浦は茨城県県南部に位置し、広く浅い特徴を持つ湖である。流域ではこれまでに様々な水質汚濁防止対策が講じられ、流入河川水質は改善しているが、湖内の COD, TN, TP の環境基準は未達成な状況が続いており、長期的かつ詳細な要因解明はできていない。そこで、本研究では、霞ヶ浦の長期的水質変動について時系列・統計解析を実施するとともに、地球温暖化等の気候変動が霞ヶ浦の水質・生態系に与える影響について検討を行った。その結果、霞ヶ浦水質のレジームシフトを推定した結果、西浦 COD では 1977-1978 年と 1987-1988 年と 2012-2013 年に、TN では 1991-1992 年と 2003-2004 年に、TP では 1991-1992 年と 2009-2010 年に大きく変化していることが分かった。他の地点も同様に解析を行った結果、これらの変動時期は、PDO の時系列変動と概ね一致するとともに、PDO と植物プランクトン細胞数の変動傾向が類似していることから、気候変動が霞ヶ浦の水質・生態系のレジームシフトに影響を及ぼしていることが示唆された。

## 1. はじめに

霞ヶ浦は、茨城県南東部に位置し、西浦・北浦・常陸利根川の3水域から成る(図 1)。湖面積 200km<sup>2</sup>(日本で2番目の大きさ)、平均水深 4.0m、最大水深 7.0m の広く浅い湖沼である。茨城県では、公共用水域の水質汚濁状況を監視するため、毎年水質測定計画を策定し、定期的に水質測定を行っている<sup>[1]</sup>。霞ヶ浦では、環境基準点を含む 52 地点において、水域の重要性や汚濁状況等を勘案し、年間 6~12 回の水質測定を行っている。

霞ヶ浦の流入河川の水質は、1981 年の「茨城県霞ヶ浦の富栄養化の防止に関する条例」の制定、1987 年の「霞ヶ浦に係る湖沼水質保全計画(第1期)」の策定を契機に、様々な水質汚濁防止対策が講じられ、年々改善傾向にある(図 2)。一方で、霞ヶ浦の湖内の水質は、COD を指標に見ると、総合的な水質保全対策に取り組んだ結果、1970-80 年代の 10mg/L 台よりは改善傾向であるものの、近年では概ね 8.0mg/L と横ばいで推移している(図 3)。これまでに様々な解析が行われてきたが、

長期的かつ詳細な変動要因は解明できていない。また、霞ヶ浦における藻類の優占種は、1986 年までは藍藻類の *Microcystis* が、1987 年からは同じく藍藻類の *Planktothrix* が優占したが、2000 年からは藍藻類が減少、珪藻類が優占する等(図 4)、数年から数十年周期でのレジームシフト様の変化があるのも特徴的である。

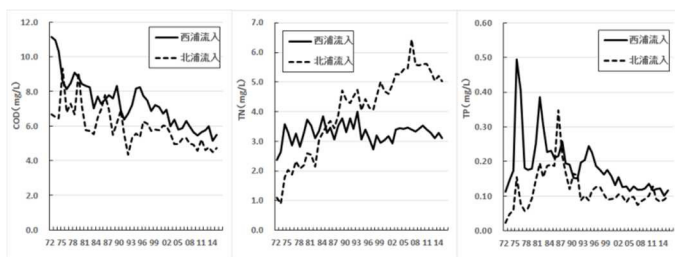


図 2 霞ヶ浦の流入河川の水質の経年変化

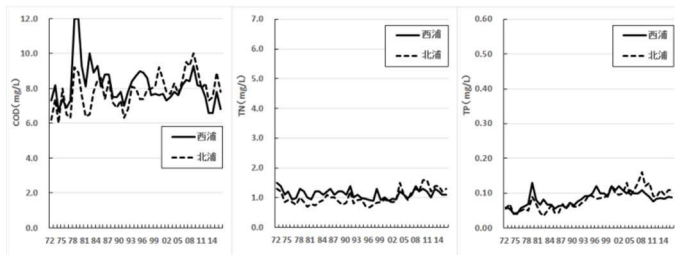


図 3 霞ヶ浦の湖内の水質の経年変化

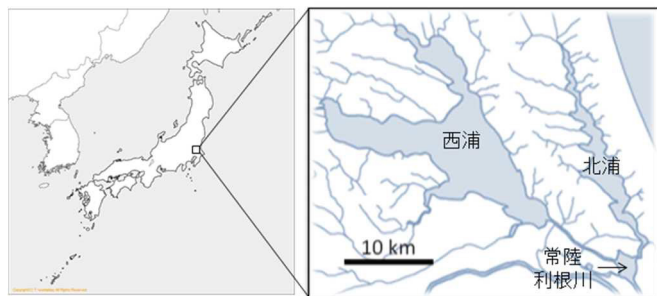


図 1 霞ヶ浦の概要

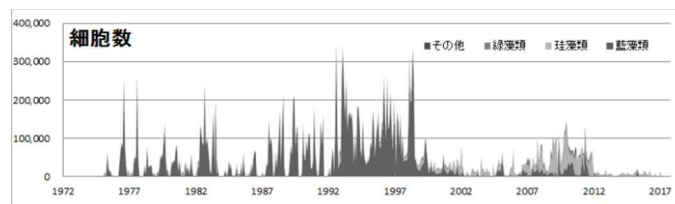


図 4 霞ヶ浦における藻類種の変遷

一方、2014年に公表された気候変動に関する政府間パネル（IPCC）によると、ここ数十年で、全ての大陸と海洋において、気候変化が自然及び人間システムに対して影響を引き起こしていると報告された。霞ヶ浦においても、地球温暖化に伴う気温上昇や大型台風・豪雨などの異常気象により、湖内の水質や生態系に様々な影響が生じることが懸念される。

そこで、本研究では、霞ヶ浦の長期的水質変動について時系列・統計解析を実施するとともに、地球温暖化等の気候変動が霞ヶ浦の水質・生態系に与える影響について検討を行った。

## 2. 方法

### 2.1 使用データ

水質データは、霞ヶ浦（西浦及び北浦）の湖内6地点（西浦：湖心、掛馬沖、玉造沖、麻生沖、北浦：釜谷沖、神宮橋）の環境基準点における1972年から2016年までの約45年間の公共用水域水質測定結果（透明度、SS、COD、TN（全窒素）、TP（全りん））を用いた（図5）。

気象データは、気象庁の観測データ（霞ヶ浦近傍の土浦及び鉾田）を、また、気候変動を示すデータとして、十年～数十年規模の変動がある、太平洋十年規模振動（PDO: Pacific Decadal Oscillation）等を用いた。

### 2.2 解析手法

水質及び気象データについて、時系列・統計解析を行うとともに、The sequential t-test regime shift detection software ver.3.2によりレジームシフトの推定を行い<sup>[2][3]</sup>（significance level = 0.1; cut-off length = 10; Huber's weight parameter = 1）、項目間の関係性を検討した。

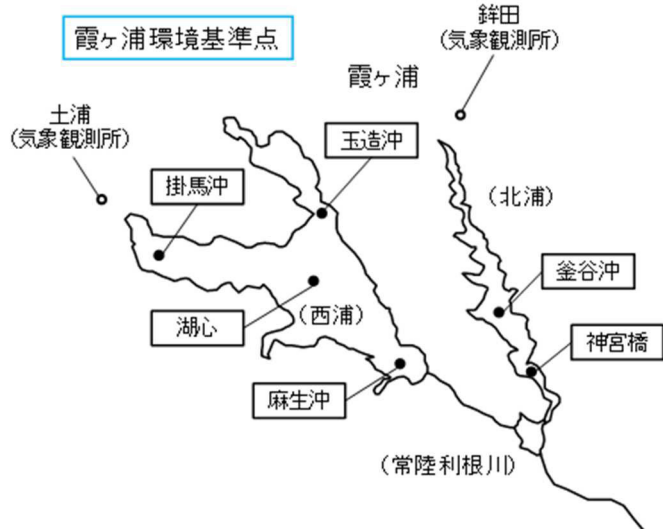


図5 データサンプリング地点

## 3. 結果及び考察

### 3.1 地球温暖化による霞ヶ浦水温への影響

近年40年間の気象データを見ると、日本平均気温で1.0°Cの上昇（世界平均は0.6°C上昇）に対し、霞ヶ浦近傍（土浦気象観測所）では1.2°C程度気温が上昇しており、霞ヶ浦周辺では日本平均より気温の上昇幅が大きいことが分かった。

また、地球温暖化による霞ヶ浦水温への季節ごとの影響を確認するため、夏季（6月～8月）と冬季（12月～2月）に分け、気温と水温の上昇幅を比較した。近年35年間の気象データを見ると、土浦気象観測所の気温の期間平均値は、夏季が1.8°C上昇、冬季が1.0°C上昇していた。一方、西浦湖心の水温の期間平均値は、夏季が2.5°C上昇、冬季が1.1°C上昇と、気温の期間平均値と比較した結果、夏季・冬季ともに、気温上昇よりも水温の上昇幅の方が大きく、地球温暖化の霞ヶ浦の水温への影響が推測された（図6）。

### 3.2 気候変動による霞ヶ浦水質等への影響

気候変動を示すデータとして、十年～数十年規模の変動がある、太平洋十年規模振動（PDO: Pacific Decadal Oscillation）を用いた。PDOは、1997年に提唱された太平洋で起こる10年周期での大気と海洋の連動により生じる変動であり、霞ヶ浦における藻類種（植物プランクトン）の変遷（図4）と同様に、数年から数十年周期でのレジームシフト様の変化を示していることが分かった（図7）。

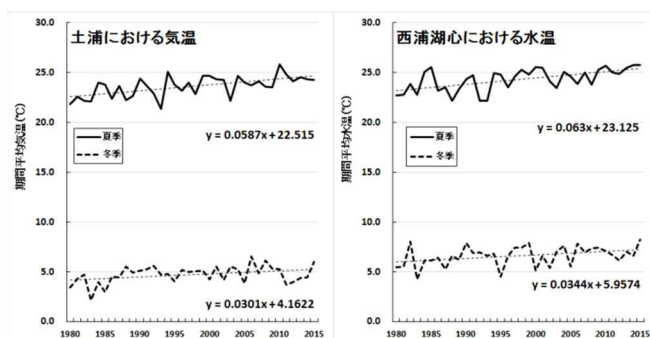


図6 気温と水温の夏季及び冬季の期間平均値の推移

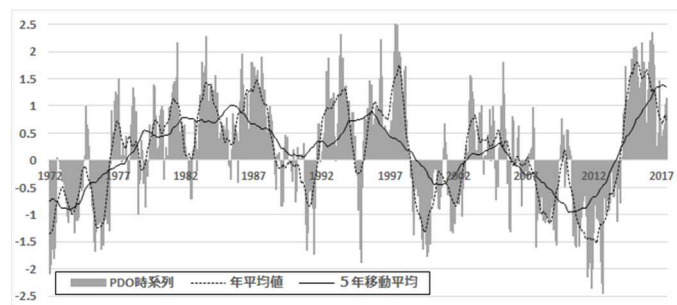


図7 PDOの時系列変化

霞ヶ浦水質の変動時期を確認するため、各測定項目の年平均値を用いてレジームシフトの推定を行った結果、西浦 COD では 1977-1978 年と 1987-1988 年と 2012-2013 年の3回、TN では 1991-1992 年と 2003-2004 年の2回、TP では 1991-1992 年と 2009-2010 年の2回、各々大きく変動していることが分かった(図 8)。霞ヶ浦の他の水質データについても同様にレジームシフトの推定を行った結果、変動は 1980 年頃、1990 年頃、2010 年頃に顕著であることが分かった。これらは PDO の時系列変動の時期と概ね一致しており、十年から数十年規模の気候変動が、霞ヶ浦の水質のレジームシフトへ影響を与えていることが示唆された(図 9)。

また、霞ヶ浦の生態系(藻類種)についても同様にレジームシフトの推定を行った結果、1987-1988 年、1999-2000 年、2006-2008 年、2012-2013 年に、大きく変動しており、PDO と植物プランクトン細胞数の変動傾向が類似していることが分かった。水質と同様に、数十年規模の気候変動が、霞ヶ浦の生態系(藻類種)のレジームシフトにも影響を及ぼしていることが示唆された(図 10)。

#### 4. まとめ

本研究の解析結果より、地球温暖化の霞ヶ浦の水温への影響が確認できたとともに、十年から数十年規模の気候変動と霞ヶ浦の水質・生態系のレジームシフト時期が概ね一致したことから、気候変動の湖沼の水質・生態系への影響が示唆された。

今後は、これらの気候変動が、どのようなプロセスで、湖沼の水質・生態系のレジームシフトを引き起こしているのか、検討していく。

#### 引用文献

- [1] 茨城県, 公共用水域及び地下水の水質測定結果, 2017
- [2] Rodionov S. & Overland J. E., ICES J. Mar.Sci.62, 328-32, 2005
- [3] T.Fukushima & H.Arai, Lakes and Reservoirs: Research and Management, 20, 54-68, 2015

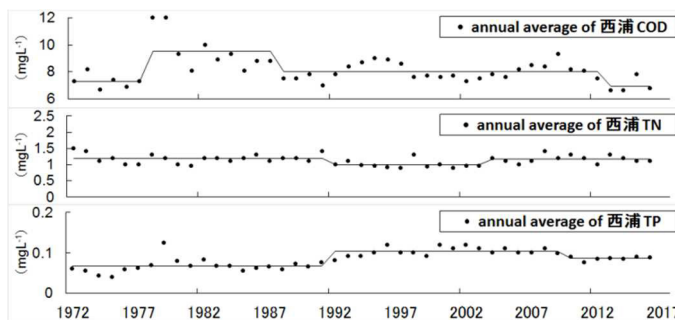


図 8 レジームシフトの推定

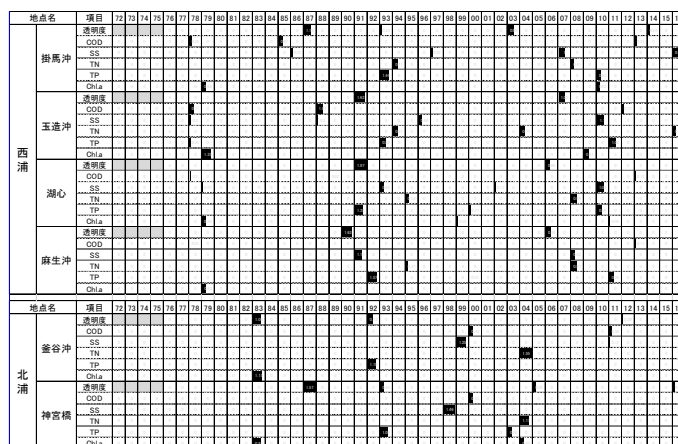


図 9 霞ヶ浦の水質のレジームシフトの推定結果

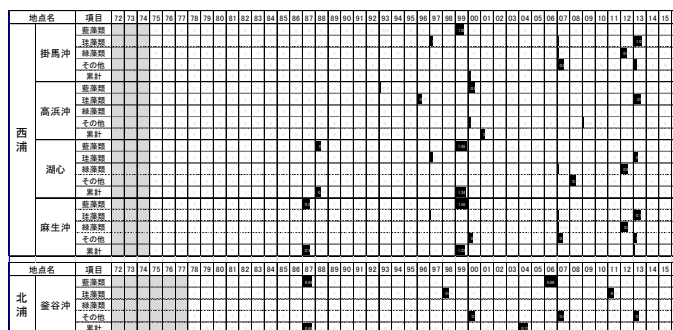


図 10 霞ヶ浦の生態系のレジームシフトの推定結果