

汽水湖涸沼における水質の周期変動について

松本 俊一¹, 中川 圭太¹, 福島 武彦¹¹茨城県霞ヶ浦環境科学センター

キーワード: データ解析とモニタリング, ウェーブレット解析, 周期変動, 汽水湖

抄録

茨城県中央部に位置する涸沼は、那珂川を介して太平洋に接続する汽水湖である。茨城県では 1970 年代から湖内3地点で毎月1回の定期観測を継続してきた。水質の代表的な指標である化学的酸素要求量(COD)は、湖内において長期的には横ばいに推移し、基本的には1年周期で変動しているが、他に数年周期の変動も見られるなど複雑な水質変動が認められる。そこで湖内並びに流入河川、流出河川の水質変動についてウェーブレット解析を行い、その変動周期と各種水質項目の関係を検討した。その結果、COD は全期間中で、1年周期のピークが確認され、1年周期のピークは7~8年の期間で途切れ、その期間中の季節変化が小さくなること、3年周期が検出される期間はCODが増加することが分かった。また、湖内CODの1年周期の出現パターンは上流側河川のそれに似ており、湖内変動は上流側からの影響をより強く受けることが示唆された。

1. はじめに

茨城県中央部に位置する涸沼は、湖面積 9.35km²、平均水深 2.1m、那珂川を介して太平洋に接続する汽水湖である(図1)。そのため、上流河川のみならず、那珂川の影響を受けた海水が湖内に遡上流入し、それぞれが相互に作用するという複雑な水域であり、湖内水質の変動について未解明な部分がある。これまでは汽水湖であることから潮汐の影響を把握する調査研究を行われ、湖内の塩分層の状況やそれに伴う貧酸素水塊発生状況、そして湖内の流況など短期間の水理的考察^[1]が行われてきた。

一方、長期的な水質変動については、茨城県が1970年代から涸沼湖内及びその流域において定期観測を継続しており40年以上に観測データが蓄積されているが十分な解析は行われておらず、長期的観点からの水質の変動要因が明らかにされていない。涸沼湖心(宮前)の湖内水質(COD)は、図2の上段で示すように長期的には低下傾向にあるが、現在においても6mg/L程度と環境基準(湖沼B類型)を達成できない状況にある^[2]。水質は、基本的には年周期で変動しているが、他に数年周期のうねりも見られ、また、近年は年間の最大値と最小値の差が、小さくなる傾向にあるなど複雑な水質変動が認められる。

水質は、様々な要因が重なり合い一つの値を形作っているものであることから、成分に分け解析することは要因を明らかにするため重要である。汽水域である本水域

は周期性の強い潮汐の影響を受ける特徴があり、その他の様々要因の変動周期により水質が変動している。そのため、本研究では水質変動の周期性に着目し、ウェーブレット解析により周期解析を行った。

周期解析には代表的なものとしてフーリエ変換があるが、これは継続する波動の周期を分離するものであり、含まれる波動の周期を示すのみである。一方、ウェーブレット解析は波動周期だけでなく、分離した波動の存在期間を示すことが可能であることから^[3]、変動要因が時期により異なり周期の存在が不均一な湖水などの解析により効果的である。^[4]

ウェーブレット解析により長期間の湖内水質の周期解析を行い、地点間や項目間の比較などから、長期的な視点から湖内水質の変動要因について検討を行った。

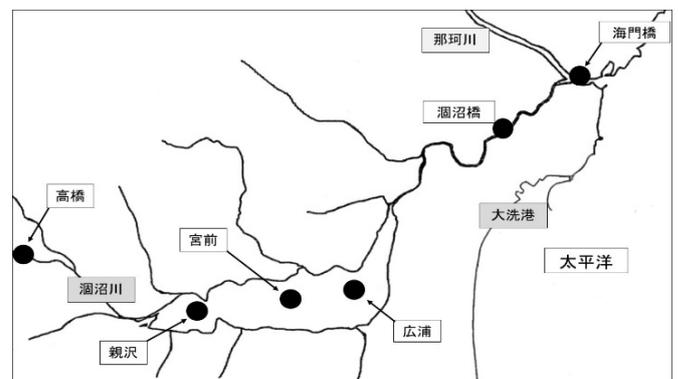


図1 涸沼流域図

2. 方法

解析対象には、茨城県が公表している公共用水域の水質測定結果(1974年度～2016年度)の測定データを用い、そのうち当初から測定を継続している水温、pH、DO、COD、BOD及びSSについてウェーブレット解析(R言語 morlet関数を使用)による周期解析を実施した。

なお、周期解析により、「主要周期とその出現傾向」、「地点毎の周期傾向から上下流域からの寄与」及び「水質項目の周期傾向から項目間の関係」を検討した。

3. 結果及び考察

3.1 主要周期とその出現傾向

涸沼湖心(宮前)のCODウェーブを対象としたウェーブレット解析の結果を図2の下段に示す。周期分布上方の網掛部分は棄却域であり、有意水準は1%とした。

ウェーブレット解析の結果は、縦軸は周期としての月数、横軸を測定年とするコンター図として表現され、時間ごとの周期(周波数)をピークとして示し、そのピークが継続する場合は帯として表現される。ピークの強度は灰色の明るさよって示され、明るい灰色が最も強度が強い。

湖内CODのウェーブレット解析の結果は全期間中で1年(12ヶ月)周期のピークが認められ、1年周期のピークが7～8年の間隔で途切れる。期間中のピークの途切れは、1983年、1994年、2007年及び2014年の4か所で確認されるが、それに対応する年ではCODの季節変化も著しく小さくなる。また、1年周期の以外にも3年(36ヶ月)周期と7年(84ヶ月)周期もあり、3年周期は、1978年と1998年の2度出現し、4年ほど継続し、その時期はCODが上昇していた。

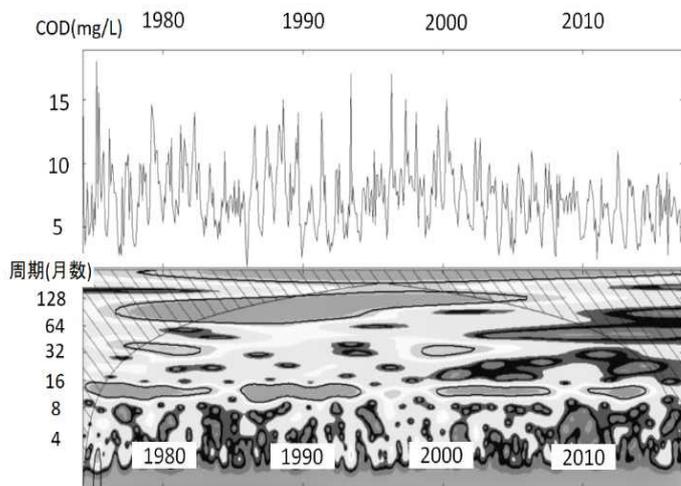


図2 COD 経年図(上段) 周期分布図(下段)

3.2 地点毎の周期傾向と上下流域からの寄与

次に涸沼湖内の水質に対する上・下流域の影響を検討するため、涸沼川の流下方向6地点のCODについてウェーブレット解析を行い、1年周期のみを切り出し、その出現パターンを比較した。ピークは明灰色の帯状として示される(図3)。なお、1年周期を選択した理由は、最も強いピークであること、対象期間全域でピークが出現することから、周期の比較がしやすいためである。

湖内3地点(親沢、宮前、広浦)とその上流に位置する高橋は1年周期の出現パターンが似ており、涸沼の下流域に位置する涸沼橋、海門橋でも1年周期は出現するが、湖内より断続することが多く、より下流に位置する海門橋のほうがその傾向が強い。下流域の涸沼橋、海門橋は出現パターンが異なる。下流域での出現位置は、湖内で隙間が生じる箇所に見られる。このことから遡上水が湖内に影響を及ぼし、1年周期を断絶させている可能性が示唆される。一方、海水が及ばない上流側(高橋)においても湖内同様の1年周期のパターンが見られることから、湖内変動は上流側からの影響をより強く受けることが示唆された。

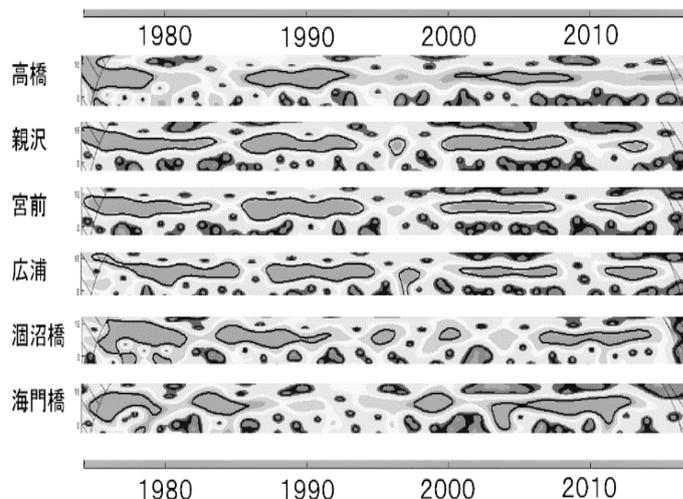


図3 地点別CODの1年周期分布図

なお、湖内3地点の1年周期の出現パターンにおいて、下流側の地点ほど出現と消滅の時期に遅れが生じているが、出現パターンは3地点とも同じような継続時間、消失時間を有していることから似ていると判断した。下流域ほどずれが大きいのは海の影響と考えられる。

また、公共用水域の観測は表層のみのため河川の影響が強く出すぎている可能性がある。しかし、塩分が底層で高い場合は、表層でもその影響を受け塩分は多少上昇することから、底層と表層の塩分は連動する。さらに遡上水に関する周期は数日単位と月単位比べ短いことか

ら、長期間の変動を見ているかぎり、短期的な塩分躍層など影響は相殺され周期解析への影響は少ないと思慮される。

3.3 水質項目の周期傾向と項目間の関係

潤沼湖心(宮前)において水温、pH、DO、COD、BOD及びSSについてウェーブレット解析を行いにより1年周期のみを切り出しの出現パターンを比較した。1年周期のピークは濃灰色で示される(図4)。水温は全期間中で1年周期が途絶えることなく出現し、安定した周期性が認められる。その他項目については、1980年代半ばまでは同じような周期パターンであったが、その後は、SSは断続的に短期間のピークが出現しており、pH、DO、CODは比較的出現パターンが似ていた。BODはCODと1990年代まで同パターンであったが、2000年以降ほとんど出現されなくなっている。

これらのことから、1年周期の出現パターンが似ており、湖内のCOD、pH、DOに関連があることが示唆された。これらの項目は、一次生産に関わる項目であるが、湖内の栄養源は河川を通じて流入してくることから、湖内での一次生産の増減は河川の挙動が影響する。そのため、湖内でのこれらの項目の挙動は、上流域からの影響を反映したものであり、3.3で示したように上流側からの影響をより強く受けることと合致する。

CODの年間変動が小さかった。また、3年周期が出現した時期はCODが上昇していた。

潤沼湖内CODの1年周期の出現パターンは上流側のそれに似ており、湖内変動は上流側からの影響をより強く受けることが示唆された。また、湖内ではpH、DO、CODの1年周期の出現パターンから、CODとpH、DOとの密接な関係が示唆された。

引用文献

- [1] 松本俊一他：汽水湖潤沼の水質変動要因の検討，茨城県公害技術センター研究報告，11,pp.15-20,2001.
- [2] 茨城県：平成29年度版環境白書，pp.36,2017.
- [3] 山田道夫他，日本応用数理学会監修：応用のためのウェーブレット解析，pp.31-34,2016.
- [4] T.Subba rao,北源四郎訳：時系列分析ハンドブック，pp.651-652, 2016.

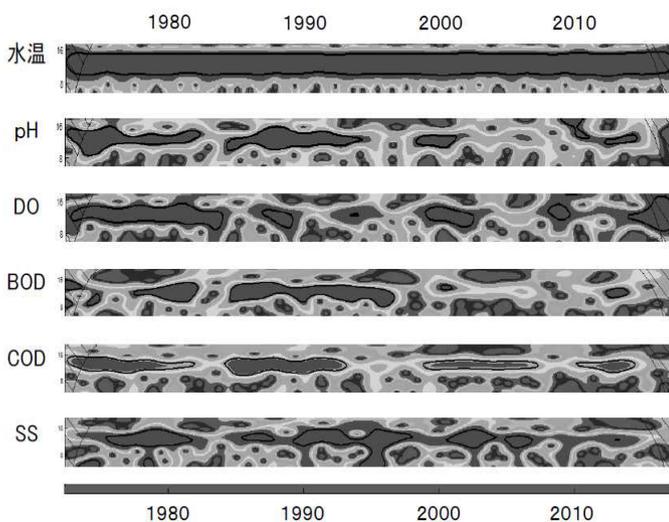


図4 項目別の1年周期分布図(宮前)

4. 結論

ウェーブレット解析の結果、潤沼湖内COD変動の主要周期は1年であり、その他に3年及び7年周期が確認された。1年周期は7~8年間継続し、断絶した区間は