

第 19 回 富栄養化と窒素・リン

1 植物プランクトンと窒素・リン

植物の生育には、窒素・リン酸・カリウムの三大栄養素が必要であり、植物プランクトンも、陸上植物と同じようにそうした栄養素を取り込み、生長しています。湖沼水ではリン、窒素が十分にはなく、それらの濃度により植物プランクトン量が決まることが多いといわれています（「琵琶湖 その環境と水質形成」より）。

湖沼の富栄養化の程度は、富栄養化指標（TSI: Trophic State Index）で評価されることが多く、植物色素の量の指標であるクロロフィル a の濃度や植物プランクトン生産の律速となるリン濃度をもとに表 1 のようにまとめられています（Carlson & Simpson 1996）。

霞ヶ浦については、表 1 の富栄養化指標において、富栄養湖になります。

表 1 富栄養化指標

	クロロフィル a ($\mu\text{g/L}$)	全リン (mg/L)
貧栄養湖	0~2.6	0~0.012
中栄養湖	2.6~7.3	0.012~0.024
富栄養湖	7.3~56	0.024~0.096
過栄養湖	> 56	> 0.096

(Carlson R.E. and J. Simpson (1996) A Coordinator's Guide to Volunteer Lake Monitoring Methods. North American Lake Management Society. 96 pp.)

2 霞ヶ浦での植物プランクトンと窒素・リン

霞ヶ浦での窒素・リンの濃度は、全窒素が 0.69mg/L、全リンが 0.083mg/L、(令和 4 (2022) 年度) となっています。全窒素は長期的には横ばいですが近年は低下傾向、全リンは平成 10 (1998) 年度以降、横ばいで推移しています。

流入河川（霞ヶ浦・北浦流入河川 22 河川の加重平均）については、全窒素 2.8mg/L、全リン 0.085mg/L (令和 4 (2022) 年度) と霞ヶ浦より高くなっています。これは、霞ヶ浦湖底に窒素・リンが沈殿することが要因の 1 つです。

水中の窒素は、有機態窒素、アンモニア態窒素、亜硝酸態窒素、硝酸態窒素の 4 種類に分けられ、4 種類の窒素を合せて全窒素と呼びます。有機態窒素とは、プランクトンやバクテリア、それらの死がいなど有機物として存在する窒素です。一方、生活排水などから排出される窒素には、アンモニア態窒素が多く、アンモニア態窒素は水中で酸化され、亜硝酸態窒素を経て硝酸態窒素へと変化します。また、硝酸態窒素は、水中の溶存酸素がなくなると、細菌の働きによって窒素ガスへと還元され、空气中に放出され除去されることになります。これを、脱窒作用と呼んでいます。

植物プランクトンの大部分は、アンモニア態窒素と硝酸態窒素といった無機態の窒素を利用して増殖します。アンモニア態窒素を選択的に利用する植物プランクトンが多いといわれていますが、逆に硝酸態の窒素を好むものも報告されています（※文献より）。湖沼の表層では、選択的にアンモニア態窒素が使われることが多く、また微生物による硝化によって減少するため、硝酸態窒素と比べアンモニア態の窒素濃度が低いことが一般的に観察されます。

水中のリンは、有機態リンとリン酸態リンに分けられ、これらを併せて全リンと呼びます。植物プランクトンは、リン酸態リンを取り込むといわれています。取り込まれたリンは、分解の過程で有機態リンからリン酸態リンになって水中に溶けだし、再び植物プランクトンに利用されます。溶存酸素があるところでは、リン酸態リンは、鉄などと一緒に沈殿して、湖

底に堆積します。北浦の全リン 0.096mg/L(令和4(2022))は、北浦流入河川の0.083mg/L(令和4(2022))よりも高くなっており、これは湖底に堆積したリンが、溶出するためと考えられています。

※文献

Anderson IM et al. (2020) Nitrate, ammonium, and phosphorus drive seasonal nutrient limitation of chlorophytes, cyanobacteria, and diatoms in a hyper-eutrophic reservoir. *Limnology & Oceanography* 65, 962-978.

3 富栄養化の影響

植物プランクトンが湖内で大量発生すると、死滅して微生物により分解されるときに多量の酸素が消費されるため、水中の酸素濃度が低くなって魚などの生活をおびやかす、水産被害を与える可能性があります。

また、大量の植物プランクトンは浄水場で、ろ過障害を起こし、また、バクテリアが分解するときに見える物質が水道水の異臭味問題を起こします。さらに、湖水が濁って透明度は低下し、景観が悪化します。

このように、植物プランクトンの増加は、有機物の増加、酸素濃度や透明度の低下など、湖の水質を悪化させる大きな要因となるため、窒素とリンのほか、透明度、COD、溶存酸素濃度、クロロフィルaなども富栄養化の指標とされています。

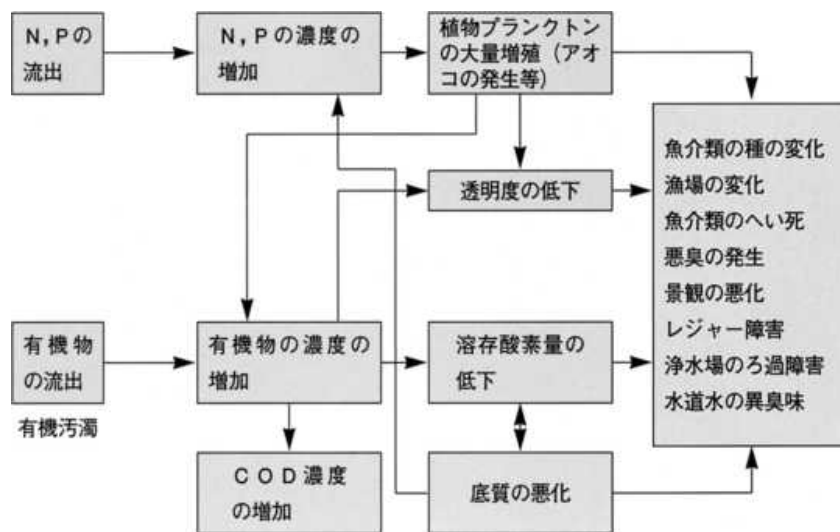


図1 富栄養化による影響 (環境対策課作成)

4 窒素・リンの環境基準

環境基準の生活環境項目が対象とする「生活環境」とは、「人の生活に密接な関係のある財産並びに人の生活に密接な関係のある動植物及びその生育環境」とされており、工業用水、上水道、水産業、農業の生産物など幅広いものが対象となっています。

このため、生活環境項目に関する基準値は、水道用水や農業用水など、利用目的に応じて区分された基準値の中から、地域の利用状況に応じて適切なものを指定しています。

なお、霞ヶ浦における窒素、リンの環境基準については、窒素 0.4mg/L、リン 0.03mg/L となっています。

5 環境基準値の評価

湖の COD は、いつも同じではありません。このため、環境基準として COD の測定結果を評価するには、年間を通じて測定を繰り返し、得られた測定値を小さい順に並べ、測定値のうち 75%にあたる数値が基準内に収まるかどうかで判断しています。これは、渇水などにより水量が少なくなったときに異常に高い数値を示すことがあるため、そのような特異的な状態を除いて、満足すべき環境であるかどうかを判断するためです。

一方、水質環境基準が定める項目のうち、窒素とリンは全測定結果の平均値が、その他の項目（有害化学物質等）についてはすべての測定結果が基準を満たすかどうかで判断することになっています。