

湖沼内流動特性および流入河川水質が湖沼内水質に及ぼす影響

中央大学理工学部 学生員 ○金坂 圭記
中央大学大学院 学生員 呉 修一
中央大学大学院 正会員 本永 良樹
中央大学 フェロー会員 山田 正

1.はじめに:

湖沼における水質問題は、湖沼の成り立ちや規模等によりそれぞれ特徴があるものの、流域からの栄養塩流入による富栄養化である。そこで本研究は印旛沼を対象とし、印旛沼内とその流入河川の過去 16 年間の水質変化を分析し、汚濁物質の湖内生産と流域からの面源負荷量について考察を行った。

印旛沼は千葉県北西部に位置し、流域面積が千葉県の約 1 割にあたる広さを持ち、11 市 2 町 2 村にまたがっている。千葉県で飲料水、農業用水、工業用水として利用されると共に、数多くの生物が生息しており内水面漁業の場としても利用されている。しかし、昭和の時代から続く流域の急激な都市化の影響により水質汚濁が進行し、環境省により湖沼水質保全特別措置法に基づく指定湖沼の指定を受けるに至っている。

2.水質の現状:

水質の現状はCOD75%値が平成 16 年度で 10mg/lと環境基準値(湖沼・A類 3mg/l以下)の 3 倍以上を示しており、全窒素、全リンにおいても 3.0mg/l,0.12mg/l と環境基準(湖沼・A類 0.4mg/l,0.03mg/l)を大幅に上回っている。千葉県によると、印旛沼の水質は全国の湖沼水質としてはワースト 3 位、水道水源としての湖沼水質としてはワースト 1 位となっている¹⁾。

各種栄養塩は、生活水準によって流入量が変化すると考え、汚濁状況を把握するために流域が急激に都市化した関東の代表的な湖沼である印旛沼、霞ヶ浦、手賀沼のCOD濃度、T-N濃度、T-P濃度と我が国のGDPの経年変化の関係を図-1,2,3 に示す^{2) 3)}。水質データに関して、印旛沼、手賀沼に関しては千葉県水質保全課HP、霞ヶ浦に関しては霞ヶ浦環境科学センターHPに記載されているものを利用した。

図-1,からはGDPが急速に増加している1970年から1985年頃まではこれら3つの湖沼全てにおいてCOD濃度は増加している。1985年から1990年頃まで一時的にCOD濃度の減少が見られるが、GDPの増加がとまり横ばい状態になる1995年頃までCOD濃度の増加が見られ、その後減少しているということが分かる。

図-2のT-N濃度について印旛沼、手賀沼では図-1で示したCOD濃度とほぼ同じような挙動を示しているが、霞ヶ浦では2000年頃まで減少していき、その後横ばい状態にある。

図-3のT-P濃度は印旛沼、手賀沼、霞ヶ浦共に1978年前後に高い値をとっており、手賀沼はその後減少し、印旛沼では1990年頃

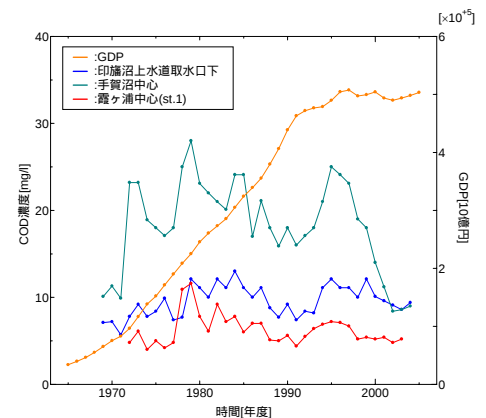


図-1 印旛沼上水道取水口下、霞ヶ浦中央、手賀沼中央 COD 濃度 GDP 経年変化

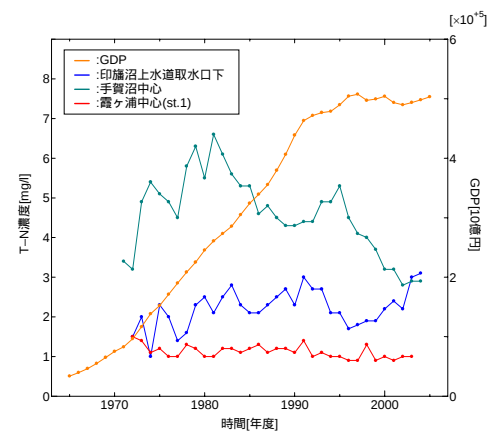


図-2 印旛沼上水道取水口下、霞ヶ浦中央、手賀沼中央 T-N 濃度 GDP 経年変化

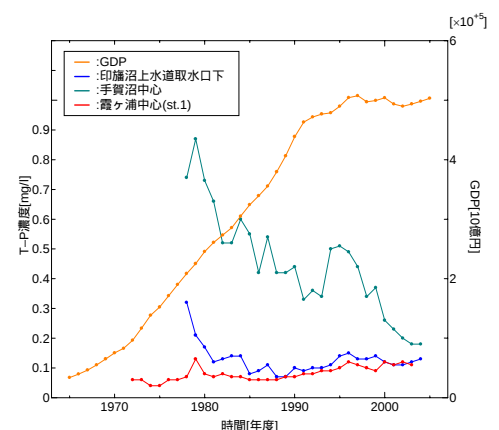


図-3 印旛沼上水道取水口下、霞ヶ浦中央、手賀沼中央 T-P 濃度 GDP 経年変化

まで減少した後、再び増加、霞ヶ浦では1980年に一旦減少したが、その後増加していることがわかる。

3. 印旛沼の流動について:

印旛沼内部の水質変化の詳細を把握するため、湖内の水の流れの概要図を図-4に示す。長門川において、平時時は印旛沼から利根川方面に流れるが、洪水時は大和田排水機場(新川)の運転により利根川とは逆方向の花見川を通り東京湾へも流れる(図-4)。また、長門川は印旛水門、酒直水門によって利根川と印旛沼を結び、酒直機場によって揚水・排水されており、一般の湖沼流入河川と異なり順逆の水移動が起こる河川である。しかし、年間の平均的な流れ方向は印旛沼流域からの流入水量と機場、水門による揚排水量、飲料水、農業用水、工業用水のための取水量との水収支から各流域から西印旛沼、北印旛沼を通り、利根川へと流動していることが分かった。

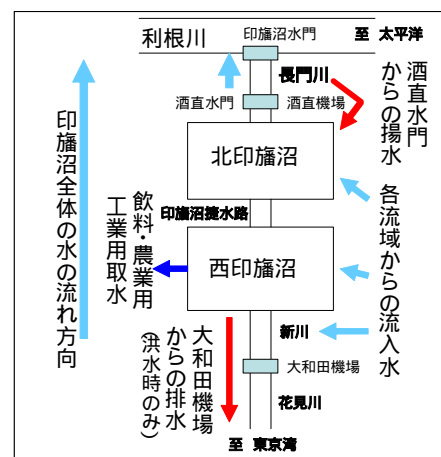


図-4 印旛沼および周辺の水の流れの概要図

4. CODについて:

印旛沼において、CODの正味流入負荷量(流入負荷量 - 流出負荷量)は表-1で示すように、負の値を示している。これはCODが流域河川からの流入だけでなく、湖内において流域河川からの流入負荷量とほぼ同量のCOD負荷量が発生していることを示している。

そこで、湖内で生産される有機物について調べるために、植物性プランクトンの量を示す指標であるChl-a濃度とCOD濃度の月変化の時系列を図-5,6,7に示す。

これらの図より、COD濃度とChl-a濃度は似たような挙動を示しておりCOD濃度が湖内での植物性プランクトンの増殖によって増加していることが分かる。また、アオコを構成する植物性プランクトンの一種のミクロキスティスは、水温が25以上の時に多く発生すると言われている⁴⁾が、Chl-a濃度を見ると、必ずしも水温が低いときにChl-a濃度が低いわけではないことが分かる。図-8でChl-a濃度と水温の関係を示しているが、相関関係は見られない。以上より、植物性プランクトンには低水温を好む種も居ることから、印旛沼のCOD濃度を低下させるためには夏場のアオコだけでなく、様々な条件下で増殖する他の様々な植物性プランクトンを考慮する必要があると考える。

表-1 印旛沼におけるCOD収支

COD 時間	流入負荷量(t)		流出負荷量(t)			正味流入負荷量(t)
	河川流入	酒直揚水	酒直排水	大和田排水	利水流出	
1988.0	2037.7	33.5	1452.2	106.2	2397.2	-1884.3
1988.9	1849.9	3.1	1827.1	104.2	2235.0	-2313.3
1990.0	1817.4	78.9	1080.9	3.8	2358.2	-1546.5
1991.0	2665.0	35.2	2098.6	881.6	2159.0	-2438.9
1992.0	1695.7	41.6	1849.4	48.3	2123.8	-2284.2
1993.0	1689.8	45.1	1680.9	153.7	1842.8	-1942.5
1994.0	1478.7	154.5	1413.0	0.0	2825.5	-2605.3
1995.0	1573.4	318.7	1032.8	124.6	3235.8	-2501.1
1996.0	1776.4	332.1	854.7	452.9	3204.9	-2404.0
1997.0	1523.5	397.2	700.2	27.8	3391.7	-2199.0
1998.0	1933.2	112.6	1434.8	110.9	2685.3	-2185.2
1999.0	1718.1	287.2	1060.5	349.7	2925.6	-2330.4
2000.0	1865.5	316.2	1559.0	177.2	3146.7	-2601.2

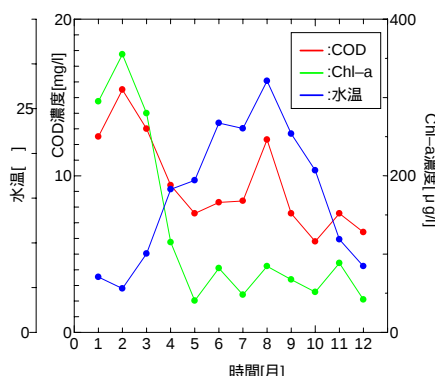


図-5 印旛沼上水道取水口下におけるCOD濃度、Chl-a濃度、水温の時系列(1988年)

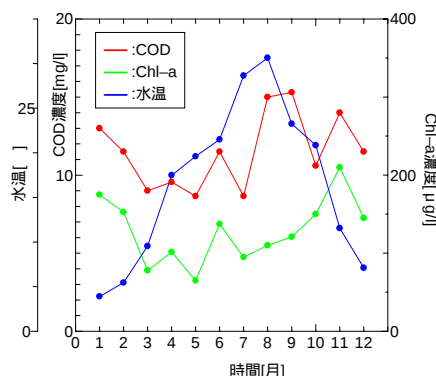


図-6 印旛沼上水道取水口下におけるCOD濃度、Chl-a濃度、水温の時系列(1995年)

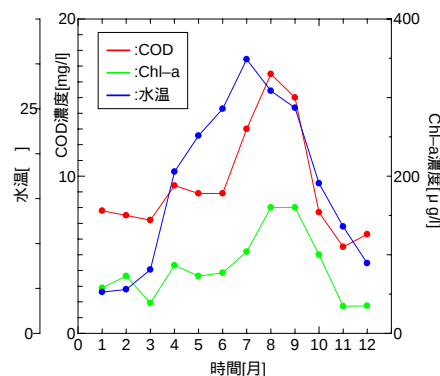


図-7 印旛沼上水道取水口下におけるCOD濃度、Chl-a濃度、水温の時系列(2001年)

5.クロロフィルaについて:

植物性プランクトンが増殖するための要因には、日射量、気温と、栄養となる窒素濃度、リン濃度が上げられる。坂本⁵⁾(1974)は夏季の表層水中のT-N及びT-PとChl-aとの関係から、N/Pの比が 20 以上の湖では植物性プランクトンの増殖に対してリンが強い制限を与え、10 以下の湖では窒素がより強い制限栄養塩として働くとしている。印旛沼におけるN/P比は 30 以上となり、リン制限であると言える。植物性プランクトンは光合成により有機物を生産し、4日から一週間程度で増殖数が最大となることから、水質調査を行った当日の日射量は前 3 日、前一週間の

累計に比べて影響が少ないと考え、**図-9,10**でChl-a濃度と前3日累計日射量、前一週間累計日射量の相関を示したが、相関関係は見られなかった。**図-11**ではChl-a濃度とT-N濃度の相関を、**図-12**でChl-a濃度とT-P濃度の相関を見たところ、T-N濃度が 2mg/l前後においてChl-a濃度が高い値を示し、1-2mg/lでの崩落線、3mg/l以上の崩落線から、共にChl-a濃度は減少傾向にある。Chl-a濃度とT-P濃度にはT-P濃度が増加すればChl-a濃度も増加するという相関関係が見られ、印旛沼における植物性プランクトンの増殖に対してはリンの濃度が強い影響を持っていることが分かった。

6.全窒素,全リンについて:

印旛沼における植物性プランクトンの増殖に影響を与える窒素、リンの収支については表-2,3 に示すように正味流入負荷量が共に正となっている。これは、流域から流入したT-N,T-P が全て流出しきらずに湖内に貯留していることを示している。

また、**図-13,14**では印旛沼湖内の T-N,T-P 濃度と前 3 日間の降水量の関係を示しており、T-N は降水量が増加すると共に希釈され、濃度が低下するが、強い降雨があった場合は流域から大量に流入するために濃度が増加する傾向にある。T-P では、降水量が増加すれば濃度が低くなっているため、湖内において希釈効果が強いことが分かった。

7.流域面源負荷:

表-1 における流入負荷量の合計と正味流入負荷量の絶対値がほぼ等しいことから、印旛沼内における COD

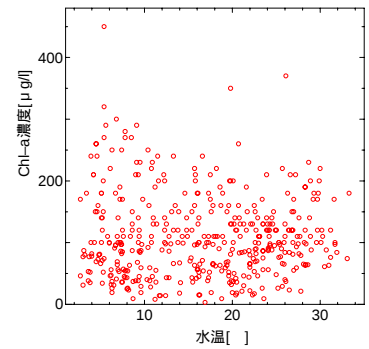


図-8 印旛沼上水道取水口下における Chl-a 濃度と水温の関係

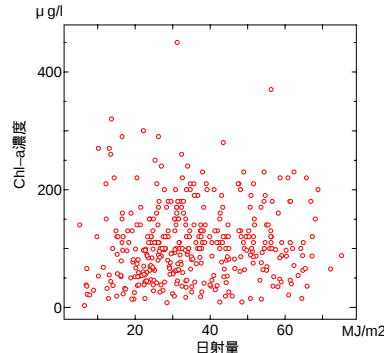


図-9 印旛沼上水道取水口下における Chl-a 濃度と前3日日射量の関係

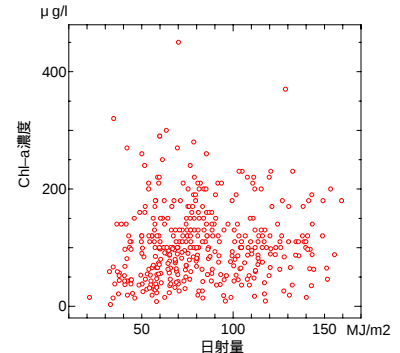


図-10 印旛沼上水道取水口下における Chl-a 濃度と前一週間日射量の関係

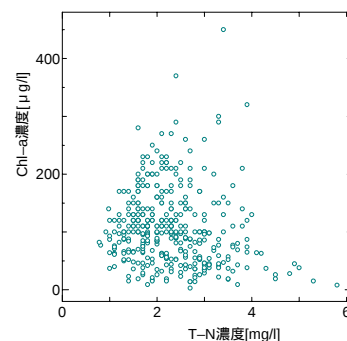


図-11 印旛沼上水道取水口下における Chl-a 濃度と T-N 濃度の関係

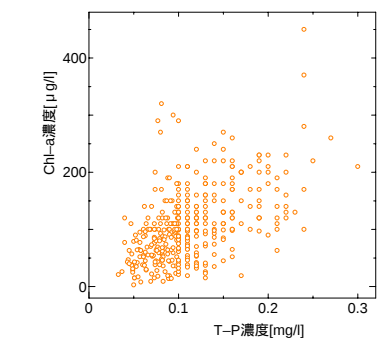


図-12 印旛沼上水道取水口下における Chl-a 濃度と T-P 濃度の関係

表-2 印旛沼における T-N 収支

T-N	流入負荷量①		流出負荷量②		正味流入負荷量③
時間	河川流入	酒直排水	大和田排水	利水流出	
1988.0	1475.3	0.0	224.2	56.9	584.3
1989.0	1688.8	0.0	311.0	64.2	595.9
1990.0	1315.2	0.0	173.4	2.1	516.1
1991.0	2177.9	0.0	419.5	546.5	437.2
1992.0	1569.9	0.0	404.0	28.8	417.8
1993.0	1572.3	0.0	332.0	99.0	488.0
1994.0	1272.0	28.3	209.2	0.0	436.0
1995.0	1207.1	66.6	140.1	56.3	500.6
1996.0	1313.1	84.3	105.3	207.7	533.9
1997.0	1053.8	103.1	91.1	10.5	509.1
1998.0	1354.8	27.8	177.9	47.5	640.3
1999.0	1270.5	84.1	149.4	165.9	501.1
2000.0	1406.4	95.3	203.2	79.8	682.1

表-3 印旛沼における T-P 収支

T-P	流入負荷量(t)		流出負荷量(t)		正味流入負荷量(t)
時間	河川流入	酒直排水	酒直排水	大和田排水	利水流出
1988.0	58.2	0.0	8.6	4.7	23.2
1989.0	56.1	0.0	11.4	3.3	18.8
1990.0	46.7	0.0	8.6	0.1	24.5
1991.0	64.7	0.0	17.9	20.6	2.3
1992.0	45.0	0.0	18.3	1.1	24.2
1993.0	42.7	0.0	16.5	3.0	21.4
1994.0	36.0	2.3	11.8	0.0	10.6
1995.0	36.2	4.3	9.2	1.5	20.3
1996.0	37.3	5.0	8.3	5.0	26.5
1997.0	29.8	5.5	6.9	0.5	25.7
1998.0	32.8	1.8	13.3	1.9	10.7
1999.0	32.4	4.7	10.7	3.1	20.3
2000.0	34.2	5.7	15.4	2.3	21.5

の約半分及び、窒素、リンの大部分が流域からの流入負荷量によるものであることから、流域からの流入負荷量について考える。そこで、印旛沼で取水された水道水の直接の水質となる印旛沼上水道取水口下への影響を考え、印旛沼西湖への流入河川の水質に関して考察を行った。

図-15～17 に西印旛沼への代表的な流入河川である桑納川、神崎川、師戸川、手繰川、高崎川、鹿島川の6河川の流出高と比負荷量の関係を示す。比負荷量とは、濃度と流量の積である負荷量を流域面積で割ったものであり、単位面積当たりの汚濁負荷量を表している。桑納川、神崎川、手繰川は流域における市街化率が高く、COD、T-N、T-P 全てにおいて比負荷量が高い値を示している。また、高崎川は流域市街化率こそ高くないものの、農地が多いため高い値を示している。

T-P に関して特に顕著な比負荷量の高い値を示している桑納川は、流域に下水道普及率の低い市街地を含んでいるため、生活排水が流入しているものと考えられる。

8.まとめ:

本研究によって得られた知見を以下にまとめる。(1)印旛沼の水質は、T-N、T-P は流域からの流入量による影響が大きく、COD は流域からの流入量だけでなく、湖内での植物性プランクトンの増殖も影響がある。(2) Chl-a 濃度と水温、Chl-a 濃度と日射量それぞれについて相関関係は見られない。(3) Chl-a 濃度と T-P 濃度には相関性があり、植物性プランクトンの増殖に対して、リンが影響を持っていると考えられる。(4)比負荷量の多い桑納川流域は下水道普及率が低い市街地が多いため、下水道普及率を上げる等、面源汚濁負荷量を減らすことが必要である。また、リンの負荷量を減らすことにより、湖内での植物性プランクトンの増殖を抑えることが出来るため、下水道普及率を上げることにより T-N 濃度だけでなく COD 濃度も低下させることが可能

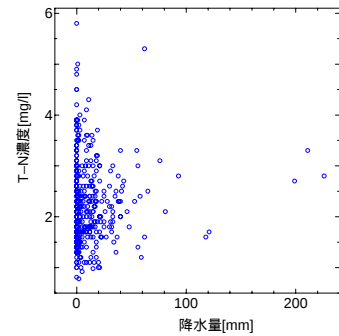


図-13 印旛沼上水道取水口下 T-N 濃度
佐倉気象台観測
前3日累積降水量相関図

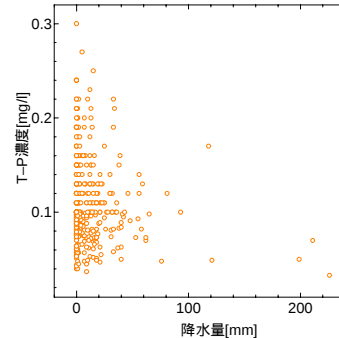


図-14 印旛沼上水道取水口下 T-P 濃度
佐倉気象台観測

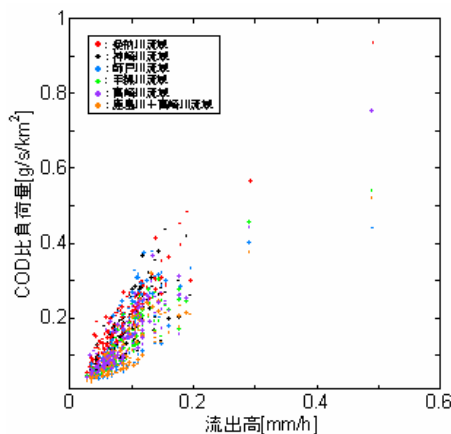


図-15 流入河川の流出高と
COD 比負荷量の関係

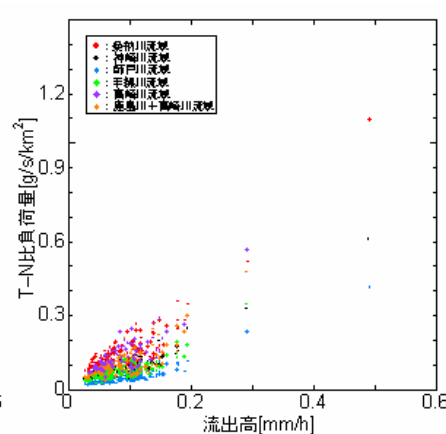


図-16 流入河川の流出高と
T-N 比負荷量の関係

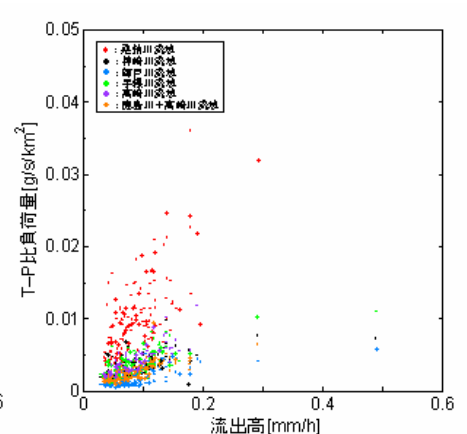


図-17 流入河川の流出高と
T-P 比負荷量の関係

であると考えられる。

謝辞:本研究を行うに際し、独立行政法人水資源機構、千葉県県土整備部より貴重なデータを提供していただいた。ここにしるして謝辞とする。

参考文献: 1)千葉県水質保全課HP: <http://www.pref.chiba.jp/> 2) 図-1～3における手賀沼のCOD、T-N、T-P値について、千葉県水質保全課HP: <http://www.pref.chiba.jp/> 3)図-1～3における霞ヶ浦のCOD、T-N、T-P値について、霞ヶ浦環境科学センターHP: <http://www.kasumigaura.pref.ibaraki.jp/> 4)工藤勝弘:ダム貯水池の滞留時間と植物プランクトンの増殖に関する研究, 中央大学博士論文, 2004, 7, 5)坂本充:湖沼の富栄養化と植物プランクトンの異常増殖(1974).(岩佐義郎:「湖沼工学」, 山海

堂,1990.