

4 中海の水質に及ぼす海水の影響について

【水質調査科】

安田 満夫・南條 吉之・田中賢之介

筧 一郎・坂田 裕子

1 まえがき

湖沼の水質汚濁は、工場、事業場、家庭、水田、畑、樹園地、山林、原野などから湖沼へ流入する外部汚濁負荷量と、湖沼で植物プランクトンなどの増殖により発生する内部汚濁負荷量に支配されている。

植物プランクトンの増殖は栄養塩類の濃度、特にリンの影響を強く受けている。中海における植物プランクトンのリン当たり増殖量は、湖山池、霞ヶ浦などの淡水湖に比較して少ない。このため中海では植物プランクトンの増殖によって生ずる内部汚濁負荷量の割合が淡水湖に比較して少ない。

これは、中海が汽水湖で塩分濃度が変化するため植物プランクトンの増殖が抑制されているためと考えられる。

中海は塩分濃度が高値であることから、美保湾海水の流入量が多く、海水の希釈効果が大いことが想定される。

また、中海の湖底では夏期にリンが底泥から溶出するが、植物プランクトンの増殖にはあまり関与していないと考察される。これらの問題を解明するため次の事項について考察した。

- ① 湖水の流動状況
- ② 海水の希釈効果
- ③ 塩分変化と植物プランクトンの増殖
- ④ リンの挙動

また、考察に先立って淡水湖と汽水湖におけるリンと植物プランクトンの増殖の関係について説明する。

2 淡水湖と汽水湖のリンと植物プランクトンの増殖

(1) 中海水質の概要

中海は鳥取県と島根県の県際水域で、斐伊川に源を発し、宍道湖（水面積79.7km²、最大水深6m）とは大橋川で、美保湾とは境水道でつながり、水面積69.8km²、最大水深17.1m、平均水深約6mの規模の汽水湖である。

中海は多塩分湖で水深3～5mに塩分躍層を有し、上層は低塩分層、下層は高塩分層を形成している。

調査地点は、境水道のSt.1と、中海水門に近いSt.2から南東方向にSt.6→St.3→St.7→St.4の米子湾中央にいたる。水深はSt.1が10.8m、St.2が12.6m、St.6が6.6m、St.3が7.8m、St.7が10.3m、St.4が3.4mである。

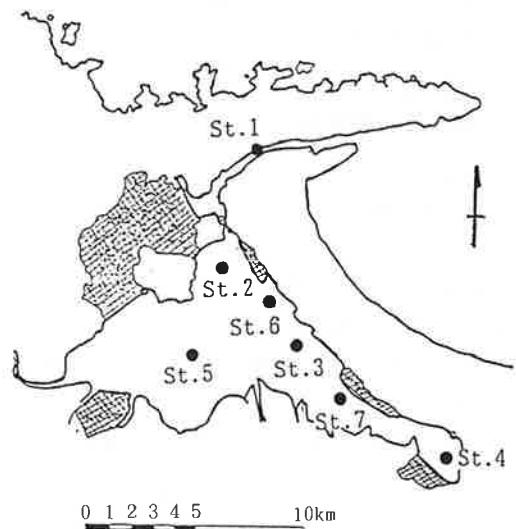


図2-1 調査地点位置図

表 2-1 塩分の地点別垂直分布 (昭和60年度～平成元年度の平均)

単位 ‰

水深(m)	St. 1 境水道中央部	St. 2 小篠津町地先	St. 6 飛行場地先	St. 3 崎津地先	St. 7 彦名町地先	St. 4 米子湾中央部	St. 5 中海中央部
0.1	17.6	13.2	12.9	12.6	12.5	12.2	13.1
1.0	18.3	13.3	13.0	13.0	12.7	12.6	13.2
2.0	20.5	14.2	13.9	14.0	13.6	13.8	13.9
3.0	23.5	16.8	16.5	16.3	16.0	16.5	15.9
4.0	25.9	21.5	20.8	20.3	20.1		20.2
5.0	27.1	24.4	23.9	23.6	22.7		23.3
6.0	27.6	25.6	25.0	24.9	24.6		25.1
7.0	28.0	26.2		25.6	25.1		23.7
8.0	28.2	26.5					
9.0	28.2	26.5					

表 2-2 中海水質の概要 (昭和60年度～平成元年度の平均)

地 点	部 位	低塩分層	高塩分層	COD mg/l	TN mg/l	TP mg/l	Chl-a μg/l	Cl ⁻ mg/l
St. 1 境水道中央部	上層			3.6	0.496	0.046	14.9	11,300
	下層			1.4	0.247	0.024	4.2	18,400
St. 2 境港市小篠津町地先	上層	○		4.2	0.554	0.046	19.3	8,400
	下層		○	1.4	0.386	0.053	3.5	17,300
St. 3 米子市葭津地先	上層	○		4.1	0.604	0.051	21.1	7,900
	下層		○	1.8	0.585	0.095	7.2	15,900
St. 4 米子湾中央部	上層	○		5.7	0.922	0.083	43.2	7,700
	下層	○		5.0	0.852	0.077	36.2	8,800
St. 5 中海中央部	上層	○		4.0	0.546	0.048	19.2	8,300
	下層		○	2.1	0.433	0.064	7.6	15,100
St. 6 美保飛行場地先	上層	○		3.7	0.512	0.048	19.7	8,100
	下層		○	1.9	0.481	0.077	10.0	14,400
St. 7 米子市彦名町地先	上層	○		4.9	0.651	0.062	30.7	7,900
	下層		○	2.0	0.597	0.118	5.6	16,100

中海における塩分濃度は、St.1の境水道とSt.2～St.7の狭義の中海とは若干異なっているので、別に説明する。塩分濃度は深度1mごとに塩分電導度計(YSI-33)により測定した。

St.1は、深度0.1m～9mまでは17.6→18.3→20.5→23.5→25.9→25.9→27.1→27.6→28.0→28.2→28.2‰と深いほど高値になっている。1mごとの濃度変化は0.7→2.2→3.0→2.4→1.2→0.5→0.4→0.2→0.0‰で、深度0.1～1mと8～9mは0.7‰、0.0‰と変化

が少なく、深度2～5mが2.2～3.0‰、特に3～4mが3.0‰と変化が大きい。

St.2～4の地点の深度6mまでの深度別の塩分濃度の最小、最大と濃度差は次のとおりである。

深度0.1mは12.2～13.2‰、1.0‰で、

1.0	12.6～13.3	0.7
2.0	13.6～14.2	0.6
3.0	16.0～16.8	0.8
4.0	20.1～21.5	1.4

5.0	22.7~24.4	1.7
6.0	24.6~25.6	1.0と

同一深度の水平方向における塩分の濃度差は0.6~1.7%である。

垂直方向における塩分変化を中間地点のSt.3で見れば深度0.1~7.0mでは12.6→13.0→14.0→16.3→20.3→23.6→24.9→25.6%である。塩分の変化量は0.4→1.0→2.3→4.0→3.3→1.3→0.7%で、0.4~4.0%である。詳細に見れば2~5mは2.3~4.0%であり、特に3~4mは4.0%と大きい、この部分が塩分躍層の主要な部分である。

中海の湖水は3~4mの塩分躍層で、深度3m以浅と、4m以深を区分すれば、3m以浅は12.2~16.8%、4m以深は20.1~25.6%と分けられ、前者を低塩分層、後者を高塩分層とした。

垂直方向と水平方向の塩分の変化量を比較すれば、垂直方向は深度1mにつき0.4~4.0%に対して、水平方向は地点間(地点間の距離2~5km)の同一深度で0.6~1.7%ある。垂直方向1mの変化量が水平方向2~5kmの変化量より大きい。

中海のSt.1~St.7の上層、下層の水質を分析している。低塩分層はSt.2~7の上層と、St.4の下層(採取水深2.4m)、高塩分層はSt.4を除くSt.2~7の下層からなっている。

低塩分層と高塩分層の水質を平均値(昭和60年度~平成1年度)で示す。

低塩分層は、 Cl^- は7,700~8,800mg/l、CODは3.7~5.7mg/l、TNは0.512~0.922mg/l、TPは0.046~0.083mg/l、Chl-aは19.2~43.2 μ g/lである。

高塩分層は、 Cl^- は14,400~17,300mg/l、CODは1.4~2.1mg/l、TNは0.386~0.597mg/l、TPは0.053~0.118mg/l、Chl-aは3.5~10.0 μ g/lである。

低塩分層と高塩分層の水質を比較すれば、COD、TN、TP、Chl-aは低塩分層が、 Cl^- は高塩分層が高値である。

また、St.5(中海中央部)の水質はSt.2(境港市小篠津町地先)と同程度である。

水質の水平変化として境水道から米子湾の低塩分層のCODは、St.1→2→6→3→7→4は3.6→4.2→3.7→4.1→4.9→5.7mg/lと、St.1(境水道)が低値、St.4(米子湾)が高値である。

(2) 淡水湖と汽水湖のリンと植物プランクトンの増殖量¹⁾

淡水湖と汽水湖の植物プランクトンの増殖量を比較するために、淡水湖の代表として湖山池、霞ヶ浦、印旛沼、諏訪湖、北浦、琵琶湖と、汽水湖の代表として中海、宍道湖の上層水のおおむね4年間の平均水質について検討した。

リン当たり植物プランクトンの増殖量〔Chl-a(μ g/l)/TP(mg/l)〕は、汽水湖(中海0.475~0.380、宍道湖0.430)が0.475~0.380で、富栄養化した淡水湖(湖山池0.820、霞ヶ浦0.771~0.635、印旛沼0.702、諏訪湖0.786、北浦0.861)0.861~0.635より低値である。この関係を図2-1で見れば、TPとChl-aの回帰式は $Chl-a = 796 \times TP - 4.7$ ($r = 0.980$)で、汽水湖の中海(St.2、3、4、5)と宍道湖は回帰直線の下側に分布している。

また、TPとChl-aの相関係数は、淡水湖は0.868~0.401と1%で有意であるが、汽水湖は、0.348~0.135と低値で相関が見られない。これらのことから、淡水湖では、リンが植物プランクトンに良く利用されているが、汽水湖ではあまり利用されていないものと考察される。

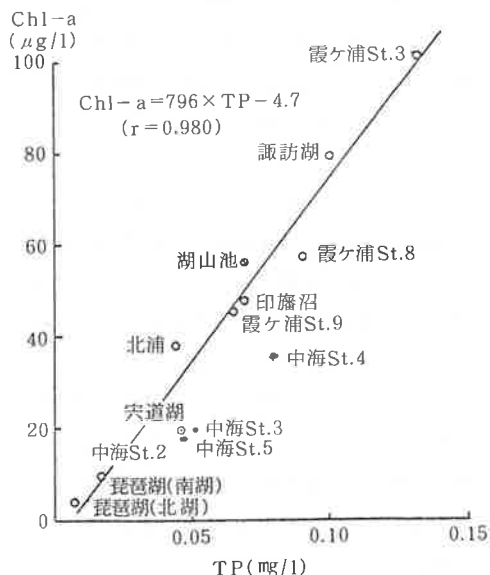


図2-2 淡水湖と汽水湖のTPとChl-aの関係

(3) 植物プランクトンの増殖量とCOD

湖沼のCODは、家庭排水、工場排水、水田、樹園

地など湖沼の外部から流入した外部汚濁CODと湖沼内部で二次的に植物プランクトンの増殖などにより発生する内部生産CODが考えられる。

植物プランクトンは食物連鎖の生産者に当たり、内部生産CODのうち最大の寄与率を占め、マクロには植物プランクトンが内部生産を代表していると考えられる。

湖沼のCODは植物プランクトンの増殖の影響を強く受けており、アオコ、赤潮発生時には高値を示し、増殖が衰微すれば低値となる。植物プランクトンの増殖は水温が高く、光強度の強い初夏から秋にかけて良く増殖し、水温が低く、光強度の弱い冬期に増殖が衰える。

植物プランクトンの増殖により発生するCODは、増殖の条件の良い6～9月の4か月を夏期、条件の悪い11～2月の4か月を冬期とすれば、河川など外部からの流入のCODは4か月の平均値では夏期と冬期が同程度であると見做すことができる。

夏期のCODと冬期のCODの相違は、植物プランクトンにより発生したCODの相違と考えられる。夏期のCODから冬期のCODを減じた Δ CODは植物プランクトンの増殖によるCODと見做せる。同様に夏期のChl-aから冬期のChl-aを減じた Δ Chl-aは Δ CODを生じた植物プランクトンの増殖量を表しているものと考えられる。

前述のことを式で表わせれば次のとおりである。

湖沼COD=外部汚濁COD+内部生産COD

内部生産COD=植物プランクトンによるCOD

夏期のCOD=夏期の外部汚濁COD+夏期の植物プランクトンによるCOD

冬期のCOD=冬期の外部汚濁COD+冬期の植物プランクトンによるCOD

夏期の外部汚濁COD=冬期の外部汚濁COD

(4か月の平均値で夏期と冬期は同程度と仮定)

夏期のCOD-冬期のCOD= Δ COD(植物プランクトンだけのCOD)

夏期のChl-a-冬期のChl-a= Δ Chl-a(Δ CODを生じた植物プランクトンのChl-a)

淡水湖における Δ Chl-aと Δ CODの回帰式として植物プランクトンにより発生したCOD=Chl-a \times 0.063+0.52

(n=9, r=0.926)が求められる。

汽水湖の中海、宍道湖は夏期と冬期のChl-a、CODが同程度であるので、4年間の各年のChl-aの高い方から4個と、低い方から4個の、それぞれ16個を選び、Chl-a、CODの平均値を出し、高い方から低い方を減じて Δ Chl-aと Δ CODを求め回帰式

植物プランクトンにより発生したCOD=Chl-a \times 0.058+0.237

(n=5, r=0.946)を得た。回帰係数0.058は淡水湖の0.063とあまり差がない数値である。

すなわち、淡水でも汽水湖でも植物プランクトンが増殖すればCODが増加することが分かった。

また、植物プランクトンの増殖量は、淡水湖では増殖の条件の良い夏期が、条件の悪い冬期より増殖が多いが、汽水湖では夏期と冬期に差がなく、季節変化に乏しい。これは、汽水湖では夏期に植物プランクトンの増殖が抑制されているためと考えられる。

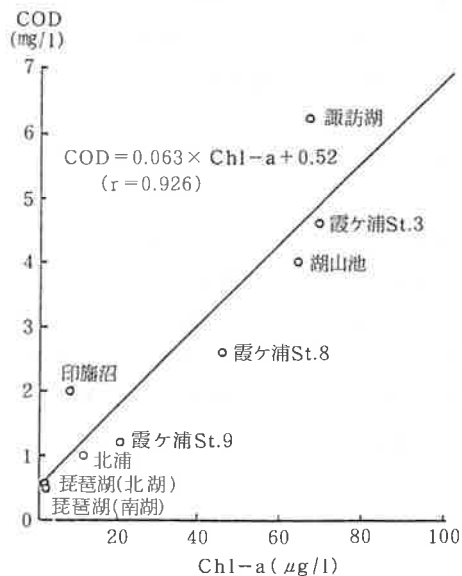


図 2-3 夏期の植物プランクトンによるChl-aとCODの関係

3 海水の影響

(1) 海水の希釈効果

中海における海水の希釈作用について考察するた

めには、中海に占める美保湾海水の割合を推定する必要がある。中海の塩分濃度の平均値（昭和60年4月～平成2年3月の平均値）を表2-1塩分の地点別垂直分布に示したが、これをもとに中海における美保湾海水の割合を算出した。

中海に占める美保湾海水の割合は、塩分濃度を中海はA mg/l、美保湾海水（境港市福定町地先東方4 kmの地点の昭和60年4月から平成2年3月までの5年間のCl⁻の平均値19,000 mg/lからクヌーセンの式塩分=0.030+1.8050×Cl⁻により34%を算出）は34%で、河川水は0.036%（中海への流入河川水のCl⁻を20 mg/lと仮定）として次式により算出した（塩分の変動は海水の流動によるものと仮定した）。

$$\text{中海における美保湾海水の割合} = 100 \div \{1 + [(34 - A) \div (A + 0.036)]\}$$

中海（St.2～St.7）の深度9 mまでの深度別の美保湾海水の割合は、

深度0.1 mは35.9～38.8%で、

1.0	37.1～39.1
2.0	40.1～41.8
3.0	46.8～49.4
4.0	59.1～63.2
5.0	66.7～71.7
6.0	72.3～75.3

7.0	73.8～77.0
8.0	77.9
9.0	77.9%である。

低塩分層は35.9～49.4%、高塩分層は59.1～77.9%を美保湾海水が占めている。すなわち、低塩分層では海水が淡水の0.56～0.85倍、高塩分層は1.44～3.52倍を美保湾海水が占めており、高塩分層の特に深度6 m以深は海水が淡水の2倍以上を占めている。

中海のCODは低塩分層が3.7～5.7 mg/l、高塩分層が1.4～2.1 mg/lである。Cl⁻は7,700～8,400 mg/l、高塩分層が14,400～17,300 mg/lである。

高塩分層は美保湾海水の占める割合（前述の式の34%の代わりに19,000 mg/lを、0.036%の代わりに20 mg/lを代入）が75.7～91.0%（測定水深が6.1～11.4 mと深いためCl⁻が高値になったためと考察される）を占めているためCODが低値になったものと考察される。

低塩分層のCOD3.7～5.7 mg/lへの海水の影響について検討する。いま、中海のCODは流入COD（内部生産CODを含む）と美保湾海水のCODの混合によって生じたものと仮定して（実際には塩分は混合、拡散現象が生じるが、COD物質は塩分には沈澱現象がある）、中海の上層における海

表3-1 中海における美保湾海水の割合（昭和60年度～平成元年度の平均）

単位 %

水深(m)	St. 1 境水道中央部	St. 2 小篠津町地先	St. 6 飛行場地先	St. 3 崎津地先	St. 7 彦名町地先	St. 4 米子湾中央部	St. 5 中海中央部
0.1	51.8	38.8	38.0	37.1	38.5	35.9	38.5
1.0	53.8	39.1	38.3	38.3	37.4	37.1	38.8
2.0	60.3	41.8	40.9	41.2	40.1	40.6	40.9
3.0	69.1	49.4	48.5	47.9	47.1	48.5	46.8
4.0	75.3	63.2	61.2	59.7	59.1		59.4
5.0	79.7	71.7	70.3	69.4	66.7		68.5
6.0	81.1	75.3	73.5	73.2	72.3		73.8
7.0	82.3	77.0		75.3	73.8		69.7
8.0	82.9	77.9					
9.0	82.9	77.9					

注) 海水の割合は、美保湾海水の塩分濃度を34‰（境港市福定町地先東方4 kmの地点下層・水深10mの塩分濃度）、中海への流入河川水の塩分を0.036‰として算出した。

水の希釈効果を試算する。

中海の塩分濃度の変化が水平方向が垂直方向（水深）より良いことから、中海の低塩分層に流入する美保湾海水は美保湾の上層が流入する可能性が高いので、COD、Cl⁻の数値は、美保湾海水の上層（境港市福定町地先東方4kmの地点の昭和60年4月から平成2年3月までの5年間の上層の平均値は、COD 1.5mg/l、Cl⁻ 18,000 mg/l）を使用した。

中海に美保湾海水の流入しない場合の中海のCODを本来の中海のCODとして次式で算出した。

$$\text{中海のCOD濃度} = \text{本来の中海のCOD濃度} \times (1 - \text{海水の割合}) + (1.5 \text{ mg/l} \times \text{海水の割合})$$

表3-2 中海の上層における美保湾海水の浄化効果（昭和60年度～平成元年度の平均）

	St. 1 境水道 中央部	St. 2 小篠津町 地先	St. 6 飛行場 地先	St. 3 崎津地先	St. 7 彦名町 地先	St. 4 米子湾 中央部	St. 5 中海 中央部
中海のCOD mg/l	3.6	4.2	3.7	4.1	4.9	5.7	4.0
本来のCOD	7.1	6.5	5.4	6.1	7.5	8.7	6.1
中海のCl ⁻	11,300	8,400	8,100	7,900	7,900	7,700	8,300
美保湾海水の割合 %	62.7	46.4	44.9	43.8	43.9	42.7	46.0
美保湾海水の浄化効果	49	35	31	33	35	34	34

注) 本来のCOD、美保湾海水の割合、美保湾海水の浄化効果は、美保湾の水質をCl⁻18,000mg/l、COD 1.5mg/lとして算出した。美保湾の水質は、境港市福定町地先東方4kmの地点の上層（水深0.5m）の5年間の平均値

(2) 湖水の塩分変化と湖水の流動

中海の塩分の地点別の垂直分布を表2-1で説明したが、3年間（昭和62～平成1年度）のSt.3（米子市葭津地先）を代表例として塩分の深度別の経月変化を図3-1に示した。

塩分の経月変化は周期性に乏しく、不規則に変動している。変動を表層部の0.1mから深部の9mまでを比較すれば、表層部は激しい変動を繰り返しているが、深層部では比較的なだらかな変動をしている。深度別に見れば0.1～2m、3～4m、5m以深が非常に類似した変化をしている。

また、図には示していないが、各調査地点の同一深度の塩分変化は類似した変化をしており、特に隣接地点では非常に類似した変動をしている。

塩分濃度の変化は、湖水の流動を表示していると考えられるので、深度による塩分濃度の最小と最大の比較と、隣接地点の同一深度間と、同一地点の上

海水の混合による希釈作用による浄化効果は次式で算出し、その結果を表3-2にまとめた。

$$\text{美保湾海水の混合による希釈作用による浄化効果} = 1 - (\text{中海のCOD濃度} \div \text{本来の中海のCOD濃度})$$

米子湾のCODは5.7mg/lであるが、海水の流入が42.7%を占め、本来のCODは8.7mg/lが試算され、34%の希釈作用による浄化効果が想定される。

境水道を含む中海全体ではCODは3.6～5.7mg/lで海水の割合が42.7～62.7%も占め浄化効果が31～49%が想定される。この仮説は問題点も多いが、海水の浄化効果を否定するものではない。

下間の相関係数について説明する。

塩分の塩分変化を、最小と最大について表3-3にまとめた。中海（St.2～St.7）の塩分変化は、深度2m以浅と3～5m、6m以深では若干異なっている。2m以浅は最小値は3～4%、最大値は20～23%と地点による差がほとんど見られない。3～5mは最小値3～10%、最大値23～30%と変化量が大きく塩分躍層に該当する。6m以深は最小値10～12%、最大値29～32%と変化量が少ない。

塩分濃度は河川水と海水のバランスで成り立ち、低値な時は、斐伊川の流量が多く、高値の時は美保湾海水の流入量が多いものとして説明する。

2m以浅では低値、高値のいずれも湖水が良く混合しており、St.1の2m以浅の数値に近似していることから美保湾海水の上層部が潮汐流により中海に流入し、風による吹送流で水平混合を生じ塩分濃度が均一化したものと考察される。

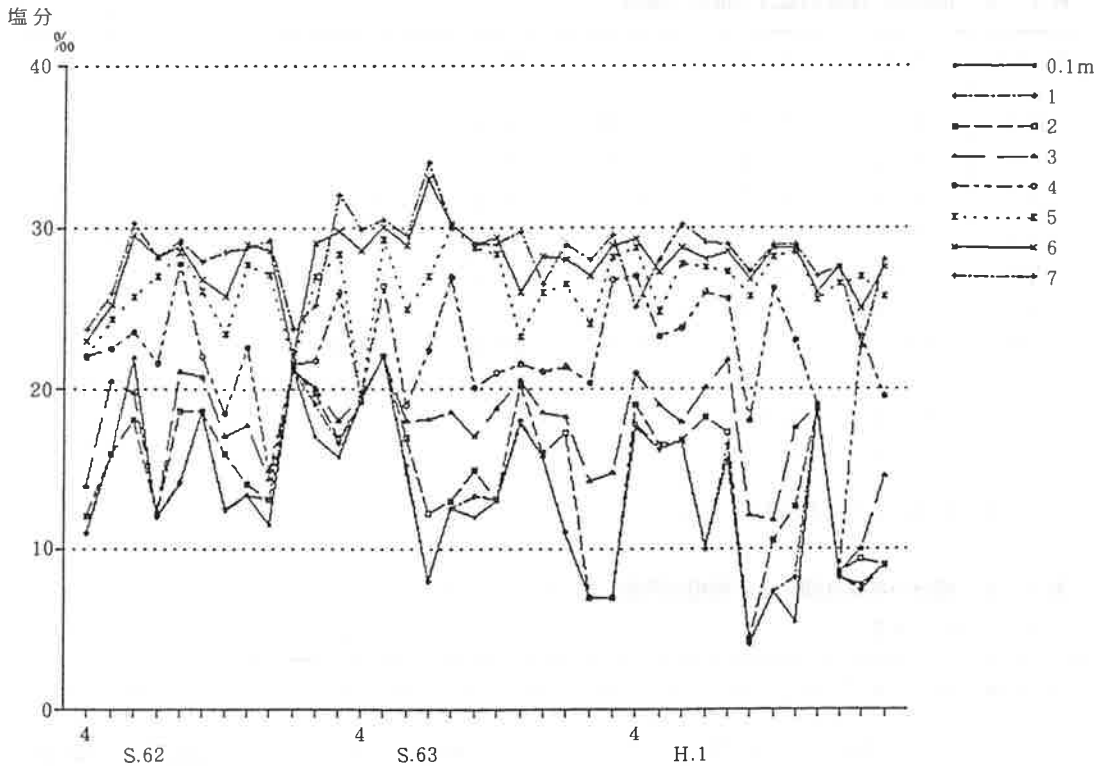


図 3-1 塩分の深度別経月変化 (St.3)

6 m以深は、美保湾海水が密度流による塩水クサビ現象として中海に流入し、その湖水の流動が遅いため変動が少なくなったものと考えられる。

3～5 mの塩分躍層は、低塩分層と高塩分層の境界部にあるために、それぞれの塩分濃度の影響を受けて塩分躍層を生じ、このため変動量が大きくなったものと考察される。

中海の湖水の流動を知るために、塩分の等深度間・上下間相関係数を表3-4にまとめた。St. 2～St. 7の隣接するSt. 2 ⇔ 6 ⇔ 3 ⇔ 7 ⇔ 4の相関係数 (n = 60) は、深度2 m以浅は0.910～0.975、深度6 m以深は0.957～0.984ときわめて高値である。塩分躍層部分は0.829～0.953である。

各地点間の上下1 m間の相関係数は、深度2 m以浅は0.918～0.997、深度6 m以深は0.945～0.995ときわめて高値である。塩分躍層部分は0.628～0.967である。2 m以浅と6 m以深の相関係数が高値で、塩分躍層部分が低値な事から前述の考察がおおむね正しいものと考えられる。

また、水平方向と鉛直方向の相関係数を比較すれば、水平方向2～5 km間と深度1 m間と数値があまり変わらないが、これは水平方向の湖水の流動が卓越していることを物語っている。水平方向と鉛直方向の関係について、ある地点のある深度の湖水と、隣の地点のどの深度の湖水と関係があるかについて相関係数から考察する。

米子湾に近いSt. 3の深度0.1 m～5 mと、St. 7の各深度との相関係数は次のとおりである。

		St. 3					
		0.1 m	1 m	2 m	3 m	4 m	5 m
St. 3	0.1 m	0.960	0.968	0.889	0.776	0.519	0.396
	1 m	0.958	0.969	0.897	0.785	0.515	0.394
	2 m	0.915	0.924	0.926	0.851	0.587	0.441
	3 m	0.746	0.765	0.835	0.860	0.680	0.544
	4 m	0.426	0.445	0.570	0.694	0.842	0.769
St. 7	5 m	0.389	0.398	0.485	0.657	0.842	0.879
	6 m	0.360	0.375	0.448	0.620	0.786	0.958
	7 m	0.372	0.386	0.458	0.621	0.769	0.952

表 3-3 地点別、深度別塩分の最小～最大

単位 ‰

水深(m)	St. 1	St. 2	St. 6	St. 3	St. 7	St. 4	St. 5
0.1	6~32	4~22	4~22	4~22	3~21	3~20	4~23
1.0	6~32	4~22	4~22	4~22	3~21	3~20	4~23
2.0	6~32	4~22	4~22	4~22	3~21	3~21	4~23
3.0	11~32	4~25	5~24	5~23	4~27	3~28	4~23
4.0	13~32	9~29	6~28	5~27	6~28		7~28
5.0	13~32	9~30	10~30	8~30	7~29		9~30
6.0	13~33	11~31	10~31	10~33	10~30		11~32
7.0	13~33	11~31		11~34	10~30		11~31
8.0	13~33	12~32					
9.0	13~33	12~32					

注) 塩分の数値は1%未満は省略した。

表 3-4 塩分の等深度間・上下間相関係数 (昭和60年度～平成元年度)

等深度間相関係数

水深(m)	St. 1 ~ St. 2	St. 2 ~ St. 6	St. 6 ~ St. 3	St. 3 ~ St. 7	St. 7 ~ St. 4	St. 5 ~ St. 6	St. 3 ~ St. 5
0.1	0.768	0.974	0.965	0.960	0.971	0.966	0.930
1.0	0.771	0.975	0.970	0.969	0.975	0.965	0.933
2.0	0.670	0.962	0.910	0.926	0.938	0.944	0.897
3.0	0.662	0.852	0.860	0.860	0.829	0.832	0.808
4.0	0.662	0.875	0.937	0.842		0.833	0.769
5.0	0.804	0.938	0.953	0.879		0.864	0.894
6.0	0.924	0.967	0.973	0.984		0.874	0.825
7.0	0.964			0.957			
8.0	0.978						
9.0	0.965						

上下間相関係数

水深(m)	St. 1	St. 2	St. 6	St. 3	St. 7	St. 4	St. 5
0.1~1.0	0.985	0.997	0.995	0.991	0.992	0.980	0.995
1.0~2.0	0.912	0.947	0.952	0.918	0.960	0.931	0.979
2.0~3.0	0.897	0.833	0.767	0.863	0.898	0.819	0.847
3.0~4.0	0.879	0.628	0.737	0.760	0.750		0.667
4.0~5.0	0.970	0.889	0.860	0.822	0.898		0.877
5.0~6.0	0.986	0.959	0.967	0.961	0.909		0.961
6.0~7.0	0.981	0.988		0.964	0.992		0.945
7.0~8.0	0.998	0.995					
8.0~9.0	0.999	0.986					

St.3とSt.7の関係は、St.3の0.1mとSt.7の0.1~0.7mでは、相関係数が0.372~0.960で、0.1mの0.960が一番高値で0.1mと0.1mが関係がある。同様にしてSt.3とSt.7の関係は、1m→1m、2m→2m、3m→3m、4m→4m、5m、5m→6m、6m→7m、7m→7mの相関係数が高値である。また、St.3とSt.6の関係は、同様に0.1m→0.1m、1m→1m、2m→2m、3m→3m、4m→4m、5m→5m、6m→6mと等深度間の相関係数が一番高値である。すなわち、中海の湖水の流動は、水平方向が卓越しており、それもほぼ等深度間で流動しているものと考察される。

St.3→St.7	相関係数	St.3→St.6	相関係数
0.1m 0.1m	0.960	0.1m 0.1m	0.968
1 1	0.969	1 1	0.970
2 2	0.926	2 2	0.910
3 3	0.860	3 3	0.860
4 4,5	0.842	4 4	0.937
5 6	0.958	5 5	0.953
6 7	0.985	6 6	0.973
7 7	0.957		

(3) 米子湾の塩分濃度、降水量と植物プランクトンの増殖の関係

中海の塩分から想定した湖水の流動は、水平方向に流動し、水深2m以浅が良く流動しており、塩分濃度は地点による差はほとんどないことが分かった。

中海の塩分濃度は、河川流量と海水の流入量に支配されている。中海の水質汚濁は低塩分層が、そして汚濁箇所は米子湾、それも上層が最も汚濁している。

米子湾の上層の塩分と斐伊川の流量、米子湾上層のCl⁻と植物プランクトンの増殖の関係について解析する。

中海（流域面積2,047km²）は上流から斐伊川、宍道湖、大橋川、中海となっている。斐伊川の下流の大津観測所（流域面積911km²、出雲市大津町）で流量の観測が行われている。昭和52年から60年までの斐伊川の旬流量と米子湾中央部のCl⁻の推移を図3-2にまとめた。

斐伊川の河川流量が少ない53年7~8月、57年6月、

59年7~11月には米子湾のCl⁻が高値となっており、河川流量が多い、55年7~9月、56年6月、58年7、10月、59年4月、60年6~7月はCl⁻が低値である。

また、米子測候所では、53年、57年、59年は、降水量の少ない年であるが、これらの年は斐伊川の流量も少なく、米子湾のCl⁻も高値である。55年58年、60年は降水量が多い年で、斐伊川流量も多く、米子湾のCl⁻も低値である。このように河川流量とCl⁻が逆比例の関係にある。

次に米子湾のCl⁻の年平均値と、米子測候所の年降水量の関係を見れば、Cl⁻と降水量の相関係数は-0.81（n=11、r: 1%0.708）と高い逆相関の関係にあり、降水量、すなわち河川流量と海水の流入量が逆相関の関係にある。

塩分と植物プランクトンの増殖の関係をCl⁻の年平均値とChl-aの年平均値で見れば、相関係数-0.749（n=11、r: 1%0.735）で塩分濃度と植物プランクトンの増殖と逆相関の関係にある。美保湾海水の流入が多いと植物プランクトンの増殖が少ないわけである。このことを再確認する意味で5年間の測定値60個のCl⁻値を降順に12個を1グループとして6グループのCl⁻とChl-aの平均値は次のとおりである。

Cl ⁻	Chl-a
11,700 mg/l	32 μg/l
9,900	34
8,600	31
7,600	54
6,000	52
3,500	51

Cl⁻が11,700~8,600mg/lのグループはChl-aが31~34μg/l、Cl⁻が7,600~3,500mg/lのグループはChl-aが51~54μg/lである。Cl⁻が8,600mg/l以上と7,600mg/l以下とでChl-aが30μg/lと50μg/lにであるが、これはChl-aが7,600mg/l以下で高値となっているのは、赤潮（Proocenturum minimum）が発生しているためである。

また、Chl-aとCODの関係は、相関係数0.876（n=11）と高値で植物プランクトンの増殖と水質汚濁と密接な関係にある。

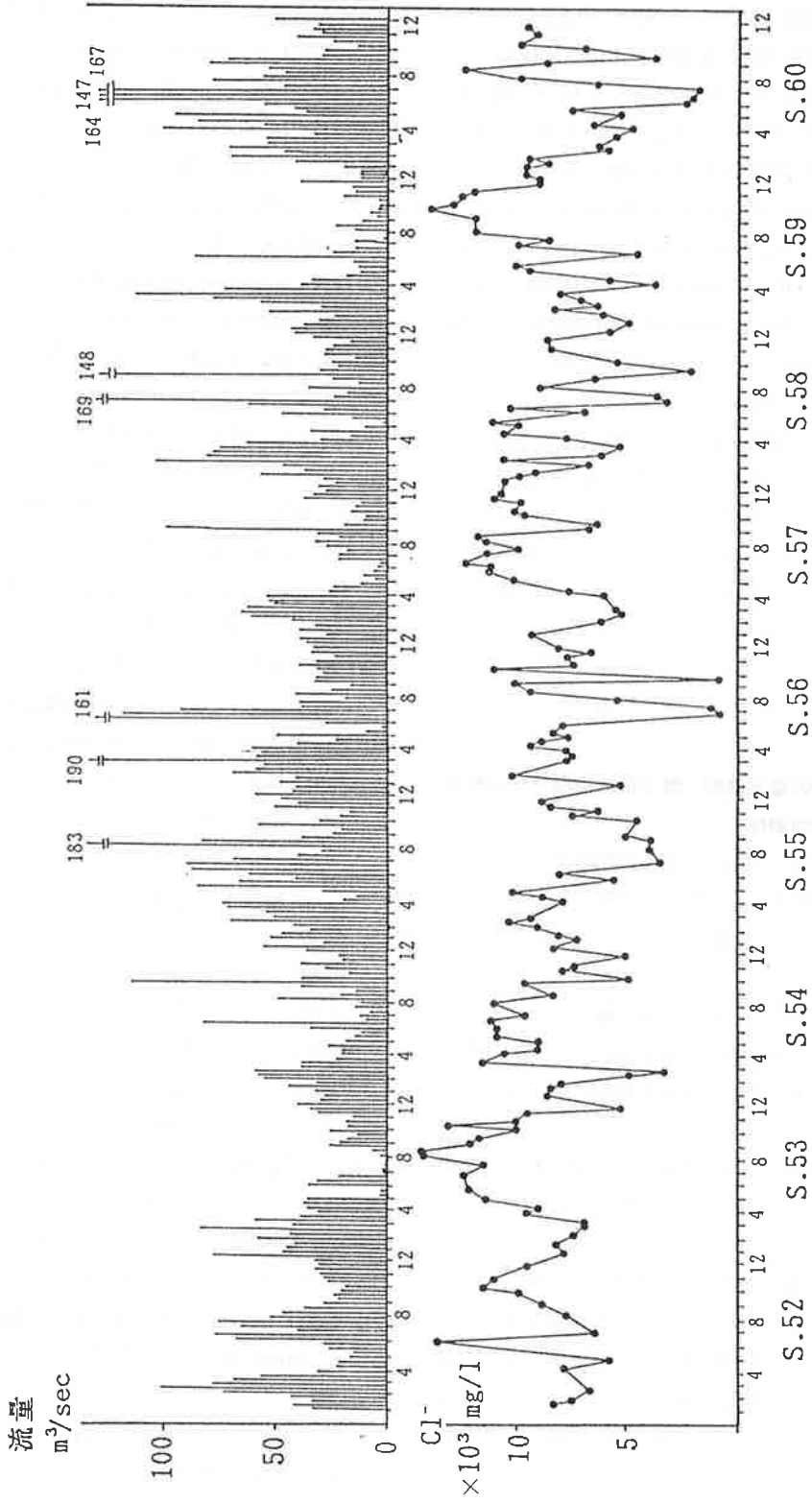


図3-2 米子湾のCl⁻と斐伊川の流量の推移

中海のChl-aの経月変化は、淡水湖が夏期に高値冬期に低値の季節変化をしているのに対して、季節変化に乏しい。これは Cl^- 8,600 mg/l以上での塩分変

化が植物プランクトン、特に*Procoentrum minimum*の増殖を抑制しているためと考えられる。

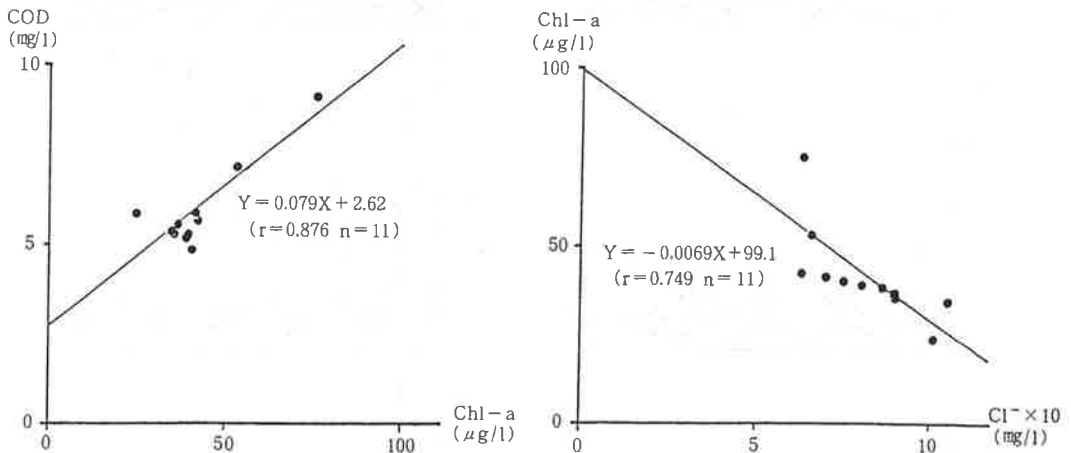


図 3-3 米子湾の Cl^- とChl-a、Chl-aとCODの関係

4 リンの挙動

中海の下層部には高濃度のリンが存在し、これが中海の植物プランクトンの増殖をもたらすとの考え方があがるが、これについてリンの分布状況と、その挙動について考察する。

リンを形態別に懸濁態リンと溶解性リンに分けて、地点別に5年間の平均値について説明する。

St.1→2→6→3→7→4の順に説明すれば

上層の懸濁態リンは、0.029→0.032→0.033→0.035→0.044→0.063 mg/lとSt.7まで少しずつ高値となっているが、St.4で大幅に高値となっている。この間のChl-aは14.9→19.3→19.7→21.1→30.7→43.2 μg/lとなっている。これに対して溶解性リンは0.015～0.020 mg/lであまり差が見られない。

下層の懸濁態リンは、0.012→0.012→0.025→0.022→0.025→0.056 mg/lとSt.1～St.2、St.6～St.7、St.4と若干差がみられる。Chl-aは4.2→3.5→10.0→7.2→5.6→36.2 μg/lと、St.4(低塩分層)だけが高値である。溶解性リンは0.012～0.082 mg/lと非常に差が見られる。特に水深の深いSt.3とSt.7は0.067～0.082 mg/lと高値を示している。

St.1、St.3、St.4の懸濁態リンと溶解性リンの経月変化を図4-1に示した。St.3とSt.4の下層の溶

解性リンを除いては不規則に変化しており、季節変化はあまり見られない。St.3の溶解性リンは夏期に高く、冬期に低い季節変化が見られるが、これはリン酸態リンの底泥からの溶出である。底泥からの溶出はSt.2、St.6、St.7の地点でも見られる。

中海では夏期に底泥からリンが溶出している。この溶出リンが生産層である上層部まで拡散すると仮定する。植物プランクトンの増殖に利用されれば、Chl-a、懸濁態リン(植物プランクトンの増殖によって増加する)が増加する。植物プランクトンに利用されないと溶解性リンが増加するはずである。しかし、上層でChl-a、懸濁態リン、溶解性リンは夏期のピークが見られない。

これの理由としては、

- ①下層部に存在する溶解性リンの量が少ない。
- ②溶解性リンの移動量は下層部間(高塩分層間)での移動を主としており、上層(低塩分層)への移動は少ないためと考察される。

以上のことから、底泥からの溶出のリンは植物プランクトンの増殖にあまり関与していないものと考察される。

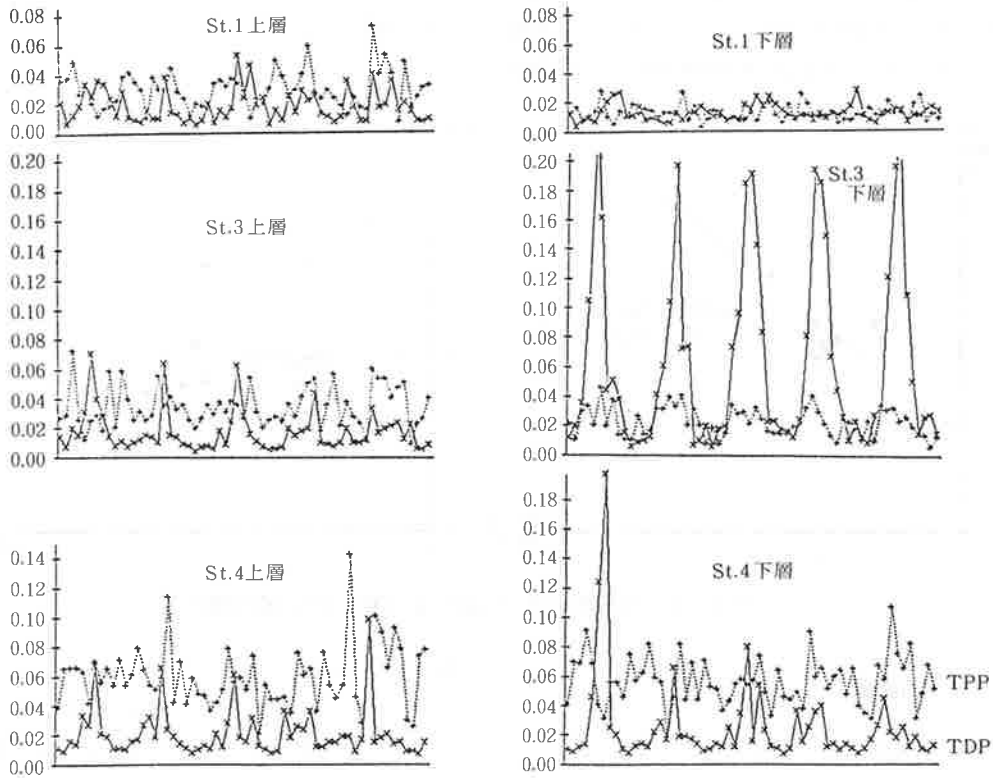


図4-1 地点別懸濁態・溶解性リンの経月変化

5 まとめ

(1) リン当たり植物プランクトンの増殖量〔Chl-a ($\mu\text{g/l}$) / TP (mg/l)〕は、汽水湖が0.430～0.380で、富栄養化した淡水湖0.861～0.635より低値である。

淡水湖のPとChl-aの回帰式は $\text{Chl-a} = 796 \times \text{TP} - 4.7$ ($r=0.980$)で、汽水湖の中海と宍道湖は回帰直線の下側に分布し、TPとChl-aの相関係数は、汽水湖は淡水湖より低値で相関関係が見られず、汽水湖ではリンが植物プランクトンの増殖にあまり利用されていないものと考察される。

(2) 中海の水平方向の相関係数は、2 m以浅と6 m以深が高値で、塩分躍層部分が低値である。水平方向と鉛直方向の相関係数を比較すれば、水平方向2～5 km間と深度1 m間との数値があまり変わらず、湖水の流動は水平方向が発達しているものと考察される。

(3) 中海では底泥から夏期にリンが溶出するが、

これの上層部への影響については、上層部での懸濁態リン、溶解性リン、Chl-aのいずれも夏期にピークが見られない。これは、下層部に存在する溶解性リンの賦存量が少ないこと。溶解性リンの移動量は下層部間(高塩分層間)での移動を主としており、上層への移動が少ないためと考察される。このため下層部のリンは植物プランクトンの増殖にあまり関与していないと考察される。

(4) 中海のChl-aの経月変化は、季節変化に乏しい。これは塩分濃度が $\text{Cl}^- 8,600 \text{ mg/l}$ 以上では、塩分変化などの影響でProrocentrum minimumなどの植物プランクトンの増殖を抑制しているためと考えられる。

文 献

- 1) 安田満夫・南條吉之・田中賢之介・笈 一郎・坂田裕子：湖沼の汚濁機構の調査、鳥取県衛生研究所、第28号、43-55(1988)