

江津湖の富栄養化モデルについて

熊本大学 正会員 中島重彦
 熊本大学 神崎良久
 熊本大学 学生員 〇井岡伸二

1. はじめに 江津湖は熊本市の東南部に位置し、中央の狭い部分を境にした上江津湖、下江津湖によって形成される。また、江津湖は阿蘇外輪スロープの西麓端にあり、新藤原洪積台地が、沖積平野である熊本平野に接する崖端において湧水する地下水を人口的な堤で塞いで造った湖であって、豊富な湧水によって特徴付けられる。しかも、この湧水には高い濃度のリンや窒素が含まれている。今回、我々は特に下江津湖（以下、江津湖と略す）の調査実験を行ない、富栄養化の現状を知るとともに、この豊富な湧水を考慮して全リン(T-P)、全窒素(T-N)をパラメーターとし、低水時の富栄養化モデルを作り、近年、富栄養化が進んでいると言われる江津湖の水質汚濁問題の検討を行なった。

2. 調査方法 江津湖を図1のように7つのエレメントに分け、各測線に採水し、T-P、T-Nを調べ、これを定常状態の有限容積モデルにより解析する。

3. 富栄養化モデル ある特定の物質が輸送されるとき、任意のエレメント容積を通過する物質収支の一般式は、次のような有限容積の式となる。

$$V_i \frac{dC_i}{dt} = \sum_j \{ Q_{ji} [\delta_{ji} C_j + (1 - \delta_{ji}) C_i] + D_{ji} (C_j - C_i) \} - S_i \quad \text{--- ①}$$

ここに、 $\frac{dC_i}{dt}$: エレメントi内の物質の濃度変化速度、 V_i : エレメントi内の流体の容積、 Q_{ji} : エレメントjからiへの流量、 δ_{ji} : 境界における物質濃度を隣接エレメント内の平均濃度で表わすのに用いる比例定数で0.5~1.0の値をとる、 D_{ji} : 拡散係数、 S_i : エレメントi内の物質の発生と消滅

今回、定常状態と考え、上式において $\frac{dC_i}{dt} = 0$ とおく。

また、上式中の発生消滅項 S_i には、湖底からの溶出や巻き上げ、藻類等による摂取等があるが、今回調査した江津湖の場合、底泥からの溶出は、溶存酸素が低いところでも6.5ppmという飽和状態に近いので、ほとんどないと考え省略した。また、巻き上げも、流速がきわめて小さいためほとんど無視できると考え省略した。また、今回は藻類等による摂取等も無視し、沈降と湧水及び浸透水、局所流入としての流入河川だけを考慮して、発生消滅項 S_i は次のような式とする。

$$S_i = \lambda_{ai} C_i V_i - Q_i C_{ri} - Q_i' C' + Q_i'' C'' \quad \text{--- ②}$$

ここに、 λ_{ai} : 沈降による汚濁物質濃度の除去速度、 Q_i : 流入河川の流量、 C_{ri} : 流入河川の汚濁物質濃度、 Q_i' : エレメントi内での単位時間当りの湧水量、 C' : 湧水の汚濁物質濃度、 Q_i'' : エレメントi内での単位時間当りの浸透量、 C'' : 浸透水の汚濁物質濃度

しかし、湧水量と浸透水量を各々求めることは不可能であり、また、浸透水の汚濁物質濃度を知ることは困難であるので、湧水と浸透水に含まれるリン、窒素の濃度を等しいと仮定して、発生消滅項は次式のようにする。

$$S_i = \lambda_{ai} C_i V_i - Q_i C_{ri} \pm Q_i' C' \quad \text{--- ③}$$

上式中の Q_i' はエレメントiでの流入量と流出量の差であり、十は浸透量が湧水量に比べて多い場合、一はその逆の場合である。故に有限容積の定常状態モデルの式は次のようになる。

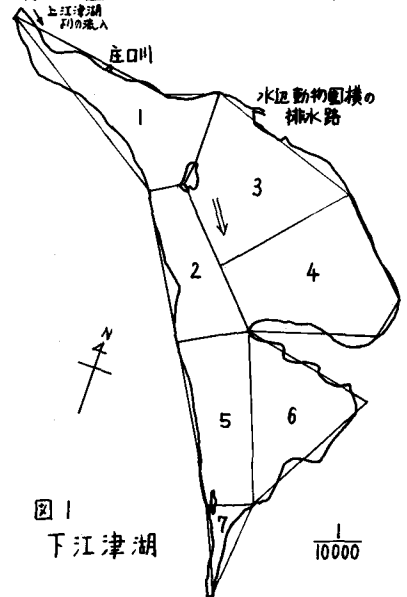


図1
下江津湖

$$\{\sum [D_{ij} + (1 - \delta_{ij}) Q_{ij}] + \lambda_{ii} V_i\} C_i - \sum \{(\delta_{ij} Q_{ij} - D_{ij}) C_j\} = \delta_i C_i + Q_i C_i \quad \text{--- ④}$$

表1

	T-P (mg/l)	T-N (mg/l)
上江津湖の流入水	0.44	2.71
庄口川	0.38	0.78
水辺動物園横の排水路	0.60	3.81
湧水	0.16	2.66
湖内の平均濃度	0.37	2.75

4・結果と考察 今回調査した江津湖の水深が浅く、しかも、採水点を含めた湖内40点の水温と電気伝導率の水深方向分布がほぼ一様であったことから、水深方向の水質変化はほとんどないと考え、一層として取り扱った。(1)江津湖に流入する湧水及び上江津湖からの流入水、流入河川の庄口川と水辺動物園横の排水路のT-P、T-Nの濃度を表1に示す。この表をみると、湧水には高い濃度のT-P、T-Nが含まれており、湧水だけでも湖の富栄養化に深刻な影響を与えている。また、その他の流入水のT-P、T-Nも高い濃度

表2 T-P (mg/l)

ILxント	実測値	計算値
1	0.40	0.34
2	0.38	0.31
3	0.42	0.34
4	0.39	0.31
5	0.39	0.37
6	0.50	0.53
7	0.40	0.27

表3 T-N (mg/l)

ILxント	実測値	計算値
1	3.23	2.74
2	2.69	2.25
3	2.58	2.37
4	2.91	2.57
5	2.57	2.44
6	3.34	3.12
7	3.12	2.07

を示しており、いずれをみても、江津湖の富栄養化の大きな原因となっていることは疑いようがない。(2)表2、表3で1~7までの各エレメントのT-PとT-Nの平均の実測濃度と富栄養化モデルによる計算濃度を比較したものである。この表をみるとエレメント7を除いて、やや計算濃度が実測濃度を下まわるものの、ほぼT-P、T-Nとも現況を把握することができたが、エレメント7については、T-P、T-Nとも実測濃度がかなり大きな値になっている。今回、我々は発生活動項で巻き上げを無視したのであるが、このエレメントは他

表4 T-P

ILxント	湧水負荷を50%カットした場合			流入河川の負荷を50%カットした場合		
	計算濃度 (mg/l)	減少率 (%)		計算濃度 (mg/l)	減少率 (%)	
1	0.34	0.33	3	0.18	47	
2	0.31	0.27	13	0.19	39	
3	0.34	0.31	9	0.20	41	
4	0.31	0.28	10	0.19	39	
5	0.37	0.36	3	0.19	49	
6	0.53	0.46	13	0.19	64	
7	0.27	0.21	22	0.19	30	

に比べ幅も狭く、流速も比較的速い。しかも、ここでのかなりのSSの増加がみられることから巻き上げが起っていることは疑いようがなく、今後の調査実験により、巻き上げ量の評価、富栄養化モデルの再構成を行なわねばならない。また、T-P、T-Nとも湧水の多いエレメント1,3,4では実測濃度と計算濃度の差が比較的大きく、浸透水の卓越しているエレメント5,6などではその差が小さい傾向が表れている。これは湧水に含まれるT-P、T-Nの濃度がかなり高いとは言うものの、江津湖の平均濃度に比べると低くなっており、湖内のリン、窒素がいくらか希釈されるということであろうが、実際には長年、湧水や流入河川より供給され沈降したリン、窒素が噴出する湧水により巻き上げられ、再び水中に供給されることも十分考えられ、湧水の多いエレメントでは実測濃度と計算濃度の差が浸透水の卓越するエレメントにおいてより大きくなっている。(3)表4、表5は湧水及び上江津湖、庄口川等の流入負荷を50%カットしたときの各エレメントのT-P、T-Nの平均濃度の変化を富栄養化モデルを用いて求めたものである。表4から江津湖のリンによる富栄養化には、湧水よりも上江津湖や庄口川等の流入河川の負荷の方が大きく影響していることがわかる。また、窒素については表5より、エレメント6を除いて、ほぼ流入河川の負荷の影響が大きい。エレメント6は湧水の影響が卓越している。しかし、全体的には流入河川の負荷、特に上江津湖からの負荷の減少が江津湖の富栄養化防止のためには最も重要である。だが、上江津湖にも多量の湧水があり、上江津湖の水質に最も影響を与えるのが湧水であるか、あるいは流入する都市河川であるかは重要な点である。もし湧水によるものであるならば、江津湖の富栄養化には湧水が決定的な要因となる。今後、上江津湖における湧水の影響を調べる必要がある。

表5 T-N

ILxント	湧水負荷を50%カットした場合			流入河川の負荷を50%カットした場合		
	計算濃度 (mg/l)	減少率 (%)		計算濃度 (mg/l)	減少率 (%)	
1	3.23	1.88	42	1.93	40	
2	2.69	2.09	22	1.38	49	
3	2.58	2.15	17	1.43	45	
4	2.91	1.94	33	1.82	37	
5	2.57	2.21	14	1.53	26	
6	3.34	0.77	77	2.84	15	
7	3.12	2.01	36	1.22	61	

今回調査した江津湖の水深が浅く、しかも、採水点を含めた湖内40点の水温と電気伝導率の水深方向分布がほぼ一様であったことから、水深方向の水質変化はほとんどないと考え、一層として取り扱った。(1)江津湖に流入する湧水及び上江津湖からの流入水、流入河川の庄口川と水辺動物園横の排水路のT-P、T-Nの濃度を表1に示す。この表をみると、湧水には高い濃度のT-P、T-Nが含まれており、湧水だけでも湖の富栄養化に深刻な影響を与えている。また、その他の流入水のT-P、T-Nも高い濃度