

## 熊本・江津湖における窒素とリンの消費について

熊谷 幸恵\* 市川 勉\*\*

### On Consumption of Nitrogen and Potassium in the EZU-Lake, KUMAMOTO by Sachie KUMAGAE Tsutomu ICHIKAWA

(Received: October 2010, Accepted: February 2011)

#### Abstract

The authors observe spring rate and water quality in the EZU-Lake, Kumamoto-city. The EZU-Lake can be divided into 3 blocks of upper, middle and lower part, and, the authors observed spring rate and concentration of nitrogen and potassium of spring water in every month. As a result, total spring rate in EZU-Lake increases gradually from 2005. In addition, there are characteristics in the change of spring rate in upper, middle and lower EZU-Lake. The authors compared consumption of nitrogen with potassium by aquatic plants in upper, middle and lower EZU-Lake. As the results, it is understand that consumption patterns are different in each part of EZU-Lake area. It is seem that the difference of vegetation in upper, middle and lower EZU-Lake and influence of park management of KUMAMOTO-city government have greatly influence to consumption of nitrogen and potassium.

#### 1 はじめに

近年、熊本市の南部に位置する湧水湖である江津湖では帰化植物であるオオカナダモや特定外来植物であるウォーターレタス（ボタンウキクサ）の異常繁殖が問題となっている。これら外来生物の繁殖により、在来水生植物は駆逐され、そ

の生育範囲は限定されつつある<sup>1)</sup>。その原因は湧水中に含まれる窒素・リンの栄養塩類の増加と通年にわたり一定水温の湧水に起因すると考えられているが、年間を通じた観測は行なわれていない。著者らは、1992年より江津湖における流量

\* 東海大学大学院産業工学研究科社会開発工学専攻院生

\*\* 東海大学産業工学部環境保全学科教授

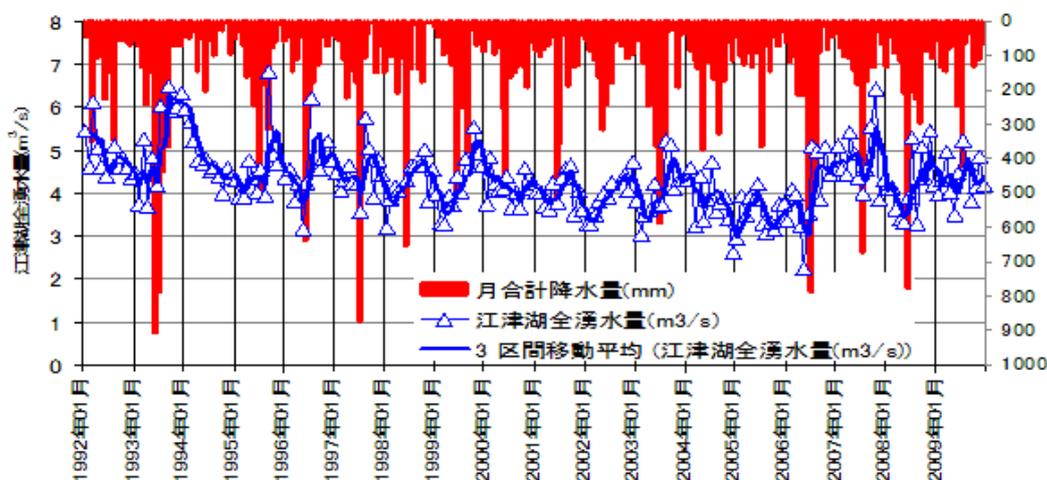


図-1 江津湖全湧水量の経年変化

観測による湧水量を毎月一回観測してきた。その結果、1992年当時は、日量約50万m<sup>3</sup>にも及ぶ湧水が、2004年には約35万m<sup>3</sup>に低下し、江津湖の湖内流速も大幅に低下してきたことがわかっている。その後、涵養域である白川中流域農地での減反田における湛水事業が2004年より開始され、江津湖の湧水量も増加に転じてきている(図-1) 2)。著者らは、2009年4月より、湧水量の観測と同時にデジタルパックテストによる栄養塩類の観測を開始し、江津湖が富栄養化しているかどうかを判定した。

本研究は、これらの湧水量観測、水質観測のデータを基に、江津湖を上中下の三ブロックに別けて窒素(HH<sub>4</sub>-N、NO<sub>2</sub>-N、NO<sub>3</sub>-Nの合計量)・リン(PO<sub>4</sub>-P)の消費について、湧水量の変化を考慮して、湧水中の栄養塩類がどのくらい水生植物によって消費されているかを解析・検討したものである。

## 2.江津湖湧水量の変動

江津湖の流量観測ポイントは、図-2に示したように水前寺・江津湖周辺における湧水の流出口、下江津湖の出口の秋津橋、上江津湖出口の斉藤橋、上江津湖流入口の代表的な3ポイントと都市河川からの流入点の合計14ポイントである。図-1は観測開始の1992年から2009年までの江津湖全体の湧水量の変動を示している。図-3に示すように、これらの流量観測位置関係から江津湖を斉藤橋よりも上流の上江津湖、斉藤橋から画図橋までの中江津湖、画図橋から最下流の秋津橋までの下江津湖の3つのブロックに別けて検討した(図-3参照)。



図-2 江津湖流量観測ポイント

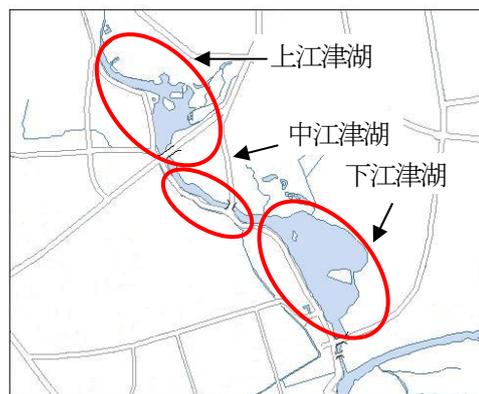


図-3 江津湖の観測ポイントのブロック分け

### 2.1 上江津湖ブロックの湧水量

上江津湖の湧水量は、斉藤橋の流量から水前寺公園や都市型河川の流量、無田川の流量を引くことによって算出した。式は以下ようになる。

$$Q_{\text{上江津湖}} = Q_{11} - Q_1 - Q_2 - Q_3 - Q_4 - Q_5 - Q_{10} \quad \cdot \cdot \cdot (1)$$

$Q_{\text{上江津湖}}$  : 上江津湖湧水量

$Q_1$  : 鶴渡橋流量

$Q_2$  : 水前寺公園流量

$Q_3$  : かつば堀流量

$Q_4$  : 砂取橋下流流量

$Q_5$  : 長溝堀流量

$Q_{10}$  : 無田川流量

$Q_{11}$  : 斉藤橋流量

### 2.2 中江津湖ブロックの湧水量

中江津湖は斉藤橋から画図橋までの区間である。中画津湖の特徴として上江津湖や下江津湖と違い流入河川がなく、流れがあり河川形状であることである。

中江津湖の湧水量は画図橋の流量から斉藤橋の流量を引くことで算出される。式を以下のようにする。

$$Q_{\text{中江津湖}} = Q_{12} - Q_{11} \quad \cdot \cdot \cdot (2)$$

$Q_{\text{中江津湖}}$  : 中江津湖湧水量

$Q_{11}$  : 斉藤橋川流量

$Q_{12}$  : 画図橋流量

### 2.3 下江津湖ブロックの湧水量

下江津湖は、画図橋から秋津橋までの区間とする。面積は上江津湖の約3倍にもなるため、流れはほとんどない。そのため、上江津湖や中画津湖よりも透明度が低い。

下江津湖の湧水量は最下流の秋津橋から画図橋・庄

口川・下江津湖流入口の流量を引くことによって算出した。式は以下になる。

$$Q_{\text{下江津湖}} = Q_{15} - Q_{12} - Q_{13} - Q_{14} \cdot \cdot \cdot (3)$$

$Q_{\text{下江津湖}}$  : 下江津湖湧水量

$Q_{15}$  : 秋津橋流量

$Q_{12}$  : 画図橋流量

$Q_{13}$  : 庄口川流量

$Q_{14}$  : 下江津湖流入口流量

表-1 江津湖湧水量(単位: m<sup>3</sup>/日)

年 月	上江津湖	中江津湖	下江津湖	全湧水量
2009年4月	341480	36547	18627	402772
2009年5月	434826	-60419	-31548	351108
2009年6月	436183	43665	-40514	445578
2009年7月	351696	136575	30913	524069
2009年8月	358742	142943	-38690	466342
2009年9月	331006	65850	-16080	382291
2009年10月	388088	6159	14202	414320
2009年11月	443412	-9797	44742	485324
2009年12月	400497	18929	-5322	419974
2010年1月	387923	74815	462	469378
2010年2月	427707	-83778	59221	411021
2010年3月	430370	-64967	-5110	366145
2010年4月	330056	34472	-1998	370071
2010年5月	365210	60736	-13876	418392

表-1は、式(1)、(2)、(3)によって求め、図-4は、これを図化したものである。

表-1と図-4より、上江津湖の湧水量は、地下水位低下期(11月~5月)は、ほぼ100%であり、地下水位上昇期(6月~10月)は全湧水量の約84%を占め、非常に多いことが分かる。また、9月、10月の秋に湧水は年間最高値を記録する。すなわち、地下水位の変動と一致しており、年間で最も地下水位が高くなる9月から10月にかけて湧水量は最大となる。

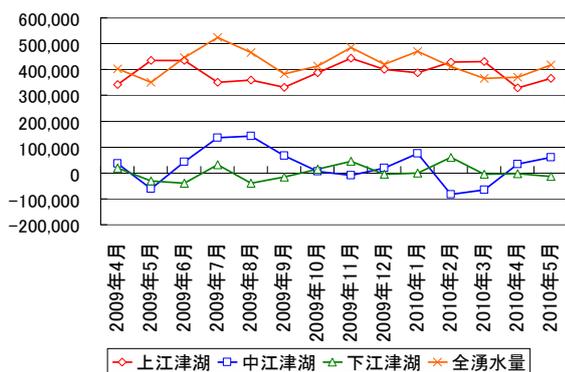


図-4 各ブロックの湧水量の変化

これまでの観測結果によれば、江津湖の湧水量は2005年以降、年々増加傾向にあるが、秋になるとオオカナダモやボタンウキクサなどの外来種が大繁殖し、熊本市の公園課によって除去されている。写真-1に示

しているように、春先にはほとんど無かった水生植物が夏過ぎには一面に繁茂している。



写真-1 水草の繁茂の写真(2010/9/15)

### 3. 湧水の水質調査

図-5に示している9つの観測ポイントで2009年4月から湧水量の観測と同じ日にデジタルパケットによる水質調査を実施した。湧水ポイントは、芭蕉園、ぞうさんプール周辺、スイゼンジノリ発生地、東駐車場横、健軍川の5ポイントである。

水質の調査は、pH、電気伝導度(EC)、アンモニア態窒素(NH<sub>4</sub>-N)、亜硝酸態窒素(NO<sub>2</sub>-N)、硝酸態窒素(NO<sub>3</sub>-N)、リン酸態リン(PO<sub>4</sub>-P)の6項目である。表-2(a)~表-2(i)には、各観測地点の調査結果を示している。



図-5 江津湖の水質観測ポイント

表-2の各水質項目の中で硝酸態窒素(NO<sub>3</sub>-N)を図に示したものが図-6と図-7、リン酸態リン(PO<sub>4</sub>-P)を示したものが図-8と図-9である。図-6は江津湖各湧水地点の硝酸態窒素の季節変化であり、図-7が河川(斎藤橋、画図橋、秋津橋)である。湧水の硝酸態窒素は9月ごろが低く、冬から春にかけて高くなっており、最高6mg/L付近の濃度を記録している。

表-2(a) 江津湖各地点の水質調査結果

輪渡橋 水前寺公園横							
日付/項目	pH	EC μS/cm	NH4-N ppm	NO2-N ppm	NO3-N ppm	T-N ppm	PO4-P ppm
2009年4月	6.94	250	1.0	0.025	5.6	6.6	0.08
2009年5月	6.95	199	<0.2	<0.01	4.5	4.5	0.08
2009年6月	7.02	210	0.3	<0.01	3.1	3.4	3.72
2009年7月	6.75	240	0.2	<0.01	4.9	5.1	0.4
2009年8月	6.69	220	<0.2	<0.01	3.7	3.7	0.15
2009年9月	6.58	230	0.2	<0.01	2.1	2.3	<0.03
2009年10月	6.92	240	<0.2	<0.01	2.0	2.0	0.11
2009年11月	7.01	250	0.2	0.13	2.7	3.0	0.11
2009年12月	6.9	210	<0.2	<0.02	4.7	4.7	<0.03
2010年1月	6.5	210	<0.2	0.04	7.3	7.3	0.06
2010年2月	6.58	200	<0.2	<0.01	5.6	5.6	0.1
2010年3月	6.39	200	0.2	<0.01	5.6	5.8	0.06
2010年4月	6.77	220	0.9	0.01	5.3	6.2	0.17
2010年5月	7.18	220	<0.2	0.015	4.2	4.2	0.08

表-2(e) 江津湖各地点の水質調査結果

東駐車場横(湧水)							
日付/項目	pH	EC μS/cm	NH4-N ppm	NO2-N ppm	NO3-N ppm	T-N ppm	PO4-P ppm
2009年4月	6.78	230	2.6	<0.01	4.7	7.3	0.26
2009年5月	6.82	199	0.5	<0.01	3.7	4.2	0.14
2009年6月	7.03	230	0.4	<0.01	2.9	3.3	0.3
2009年7月	6.89	230	0.7	<0.01	3.6	4.3	0.41
2009年8月	7.04	220	<0.2	<0.01	1.4	1.4	<0.03
2009年9月	6.86	230	<0.2	0.01	2.3	2.3	0.13
2009年10月	7.15	240	<0.2	<0.01	3.5	3.5	0.19
2009年11月	7.11	230	0.3	<0.01	2.9	3.2	0.12
2009年12月	7.17	200	<0.2	0.04	3.1	3.1	0.1
2010年1月	6.9	210	0.2	0.02	4.1	4.4	0.1
2010年2月	6.97	200	0.4	0.015	5.5	5.9	0.06
2010年3月	7.06	200	0.3	<0.01	4.3	4.6	0.07
2010年4月	7.29	210	0.2	<0.01	4.5	4.7	0.08
2010年5月	7.27	210	<0.2	<0.01	2.7	2.7	0.09

表-2(b) 江津湖各地点の水質調査結果

芭蕉園(湧水)							
日付/項目	pH	EC μS/cm	NH4-N ppm	NO2-N ppm	NO3-N ppm	T-N ppm	PO4-P ppm
2009年4月	6.72	250	1.0	<0.01	5.5	6.5	0.06
2009年5月	7.02	199	0.8	<0.01	4.2	5.0	0.07
2009年6月	7.42	230	0.7	<0.01	2.6	3.3	0.08
2009年7月	6.84	230	0.2	<0.01	4.7	4.9	0.13
2009年8月	6.85	210	<0.2	0.025	3.5	3.5	0.07
2009年9月	6.87	230	<0.2	<0.01	2.2	2.2	0.16
2009年10月	7.21	240	<0.2	<0.01	3.4	3.4	0.04
2009年11月	7.37	240	0.2	<0.01	2.6	2.8	0.09
2009年12月	7.23	210	<0.2	<0.02	5.0	5.0	<0.03
2010年1月	6.73	210	<0.2	0.2	2.4	2.6	0.09
2010年2月	6.67	210	1.5	0.01	5.1	6.6	0.06
2010年3月	7.04	210	<0.2	0.03	3.7	3.7	0.08
2010年4月	6.99	210	<0.2	<0.01	5.7	5.7	0.07
2010年5月	7.36	210	0.3	<0.01	4.9	5.2	0.07

表-2(f) 江津湖各地点の水質調査結果

健軍川(湧水)							
日付/項目	pH	EC μS/cm	NH4-N ppm	NO2-N ppm	NO3-N ppm	T-N ppm	PO4-P ppm
2009年4月	7.33	199	0.6	<0.01	4.1	4.7	0.07
2009年5月	6.8	199	1.2	0.01	3.8	5.0	0.08
2009年6月	7.14	220	0.3	<0.01	3.3	3.6	0.09
2009年7月	7.08	240	0.6	0.075	2.9	3.6	0.17
2009年8月	7.14	220	0.4	0.03	1.8	2.2	0.09
2009年9月	7.14	220	<0.2	0.025	1.7	1.7	0.07
2009年10月	7.3	230	<0.2	<0.01	2.7	2.7	0.09
2009年11月	6.92	250	0.6	0.1	4.7	5.4	0.22
2009年12月	7.17	210	<0.2	0.02	2.5	2.6	0.08
2010年1月	6.88	200	1.4	<0.02	3.8	5.2	0.07
2010年2月	6.97	200	0.4	0.015	5.5	5.9	0.06
2010年3月	6.99	210	0.2	<0.01	2.7	2.9	0.57
2010年4月	7.28	210	<0.2	<0.01	3.7	3.7	0.08
2010年5月	7.6	210	0.3	<0.01	3.5	3.8	0.09

表-2(c) 江津湖各地点の水質調査結果

ぞうさんプール周辺(湧水)							
日付/項目	pH	EC μS/cm	NH4-N ppm	NO2-N ppm	NO3-N ppm	T-N ppm	PO4-P ppm
2009年4月	6.71	230	1.0	<0.01	5.2	6.2	0.11
2009年5月	7.13	199	<0.2	<0.01	5.0	5.0	0.08
2009年6月	7.25	230	0.8	<0.01	3.4	4.2	0.11
2009年7月	6.87	230	0.2	<0.01	3.7	3.9	0.1
2009年8月	6.94	230	<0.2	<0.01	3.0	3.0	0.17
2009年9月	6.92	230	<0.2	0.015	2.3	2.3	0.2
2009年10月	7.3	240	0.2	0.065	1.8	2.0	<0.03
2009年11月	6.94	210	1	0.03	3.2	4.2	0.07
2009年12月	6.96	210	<0.2	0.06	2.2	2.3	<0.03
2010年1月	6.73	220	0.6	0.05	3.8	4.5	<0.03
2010年2月	6.8	210	1.6	0.01	5.4	7.0	0.06
2010年3月	7.16	210	<0.2	0.015	5.0	5.0	0.08
2010年4月	6.83	210	<0.2	<0.01	4.4	4.4	0.09
2010年5月	7.47	220	0.3	<0.01	5.8	6.1	0.11

表-2(g) 江津湖各地点の水質調査結果

斉藤橋(河川)							
日付/項目	pH	EC μS/cm	NH4-N ppm	NO2-N ppm	NO3-N ppm	T-N ppm	PO4-P ppm
2009年4月	7.38	220	0.2	<0.01	4.9	5.1	0.05
2009年5月	7.13	220	0.4	0.065	3.4	3.8	0.1
2009年6月	7.43	220	0.2	0.01	2.8	3.0	0.07
2009年7月	7.21	220	0.2	0.015	2.5	2.7	0.07
2009年8月	6.84	210	0.7	0.02	3.4	4.2	0.08
2009年9月	7.17	230	0.2	0.015	2.2	2.4	0.06
2009年10月	7.18	230	<0.2	<0.01	2.3	2.3	0.08
2009年11月	7.1	240	1.7	0.06	2.9	4.7	0.07
2009年12月	7.06	210	<0.2	<0.02	2.8	2.8	0.07
2010年1月	6.85	200	2.1	0.02	3.0	5.2	0.11
2010年2月	6.87	210	0.6	0.06	3.6	4.3	0.06
2010年3月	7.18	210	<0.2	<0.01	2.7	2.7	0.12
2010年4月	7.15	210	<0.2	<0.01	3.4	3.4	<0.03
2010年5月	7.84	193	0.2	0.02	3.1	3.4	<0.03

表-2(d) 江津湖各地点の水質調査結果

スイゼンジリ発生地(湧水)							
日付/項目	pH	EC μS/cm	NH4-N ppm	NO2-N ppm	NO3-N ppm	T-N ppm	PO4-P ppm
2009年4月	6.78	200	0.3	<0.01	5.8	6.1	0.14
2009年5月	7.15	199	0.2	<0.01	3.8	4.0	0.11
2009年6月	7.19	210	0.2	0.01	2.5	2.7	0.11
2009年7月	6.73	220	0.2	<0.01	2.6	2.8	0.03
2009年8月	6.97	230	0.3	<0.01	2.7	3.0	0.16
2009年9月	6.89	230	<0.2	0.01	1.3	1.3	0.09
2009年10月	7.24	250	<0.2	<0.01	2.0	2.0	0.1
2009年11月	7.32	210	<0.2	0.02	3.0	3.1	0.08
2009年12月	7.21	210	<0.2	0.04	3.0	3.0	<0.03
2010年1月	6.75	200	<0.2	0.02	4.1	4.2	0.1
2010年2月	7.06	200	0.2	0.025	3.8	4.0	0.06
2010年3月	7.42	200	<0.2	0.06	2.8	2.9	0.1
2010年4月	7.38	210	<0.2	<0.01	4.4	4.4	0.07
2010年5月	7.48	210	1.2	<0.01	4.8	6.0	0.07

表-2(h) 江津湖各地点の水質調査結果

画津橋(河川)							
日付/項目	pH	EC μS/cm	NH4-N ppm	NO2-N ppm	NO3-N ppm	T-N ppm	PO4-P ppm
2009年4月	7.64	199	0.2	<0.01	4.3	4.5	0.07
2009年5月	8.05	199	0.8	0.015	3.9	4.7	0.06
2009年6月	7.7	220	1	<0.01	2.1	3.1	0.08
2009年7月	7.19	230	1.9	0.015	2.1	4.0	0.13
2009年8月	7.16	230	0.2	<0.01	1.4	1.6	0.12
2009年9月	7.17	220	<0.2	0.025	0.8	0.8	0.09
2009年10月	7.32	240	<0.2	<0.01	3.0	3.0	0.05
2009年11月	7.14	230	<0.2	0.03	4.0	4.0	0.21
2009年12月	7.34	210	0.2	<0.02	3.6	3.6	0.06
2010年1月	6.76	200	<0.2	0.02	3.7	3.8	0.05
2010年2月	6.7	210	0.4	0.01	4.7	5.1	0.1
2010年3月	7.31	210	<0.2	0.025	2.8	2.8	0.14
2010年4月	7.1	200	<0.2	0.01	4.4	4.4	0.06
2010年5月	7.62	210	<0.2	0.03	3.3	3.3	0.05

表-2(i) 江津湖各地点の水質調査結果

下江津湖下流部(河川・秋津橋)							
日付/項目	pH	EC μS/cm	NH4-N ppm	NO2-N ppm	NO3-N ppm	T-N ppm	PO4-P ppm
2009年4月	7.68		0.6	<0.01	3.6	4.2	0.05
2009年5月	7.88	199	0.7	0.02	3.1	3.9	0.04
2009年6月	7.91	186	0.6	0.02	1.7	2.4	0.08
2009年7月	7.3	230	1.5	0.02	2.9	4.5	0.03
2009年8月	7.95	220	0.2	0.35	1.4	1.7	0.2
2009年9月	7.76	230	0.2	0.025	1.6	1.8	0.09
2009年10月	7.6	250	<0.2	0.01	2.7	2.7	0.05
2009年11月	7.21	230	0.2	0.01	4.3	4.5	0.06
2009年12月	7.47	210	0.2	0.02	3.8	4.1	<0.03
2010年1月	6.67	210	0.7	0.03	3.6	4.3	0.05
2010年2月	6.87	210	<0.2	0.045	4.7	4.8	0.12
2010年3月	7.33	210	<0.2	0.015	3.6	3.6	0.26
2010年4月	7.28	210	<0.2	0.01	4.1	4.1	0.06
2010年5月	8.75	220	<0.2	0.03	3.0	3.0	0.03

河川では、湧水ほど大きな変化はないが、1mg/L~4mg/Lの間で湧水と同様な変化を示している。このことは高い濃度で湧出した水が上江津湖や中江津湖の水生植物に栄養養分として消費されている可能性を示している。

リン酸態リンは OECD の富栄養化指標の階級によると、富栄養化段階は0.035~0.1 mg/L とされている<sup>3)</sup>。この階段の上限と下限の値を図-8, 9 では、赤色の実線で示している。

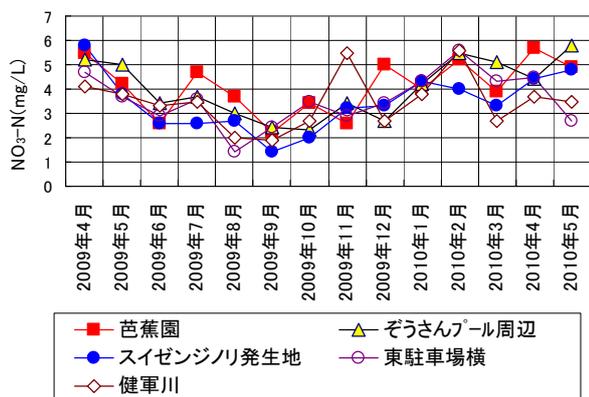


図-6 江津湖湧水の硝酸性窒素濃度の経月変化

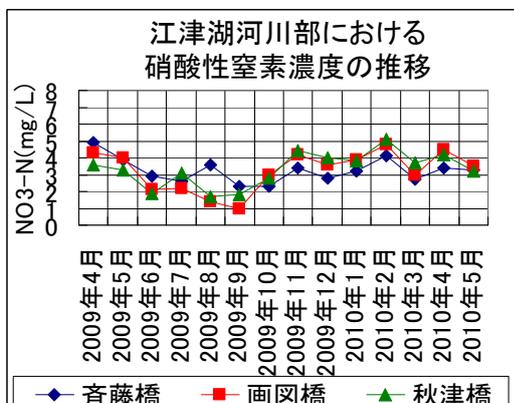


図-7 江津湖河川部における硝酸性窒素濃度の経月年変化

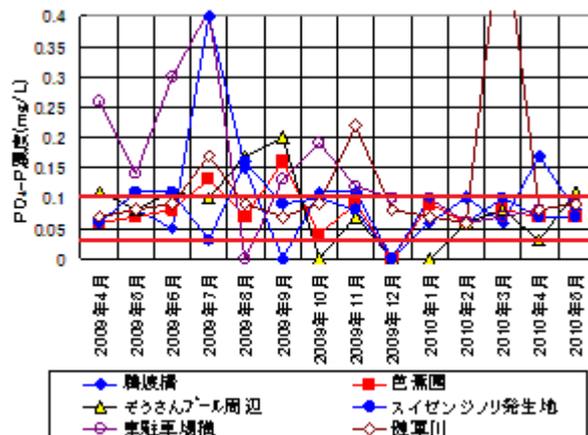


図-8 江津湖湧水のリン酸態リンの濃度の経月変化

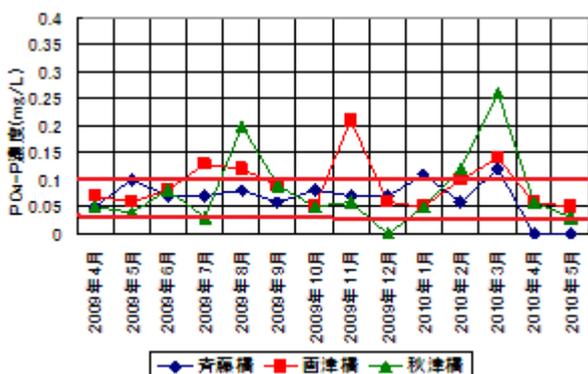


図-9 江津湖河川部のリン酸態リンの濃度経月変化

図-8 より、湧水は半分以上の確率で富栄養化の範囲中に値が存在している。さらに、夏季には、0.1mg/Lを超え、過栄養湖となっている。また、特に東駐車場は季節によって値が大きく変化している。図-9 より、河川部もほとんど富栄養化の範囲中にあり、湧水と同様な変化を示している。したがって、江津湖は全ての湖の範囲で富栄養湖となっていると考えられる。

#### 4. 窒素消費量

図-3 に示した3つのブロックで湧水から流出する河川までの窒素消費量の変化について検討した。

##### 4.1 上江津湖ブロック

上江津湖の窒素の消費量は、上江津湖全体で湧出する湧水の窒素量と斉藤橋を流下する窒素量の差によって算出した。計算式は以下の式である。

$$\text{上江津湖の窒素の消費量} =$$

$$\text{上江津湖湧出窒素量} - \text{斉藤橋流下窒素量} \quad (4)$$

なお、上江津湖の湧水の窒素濃度は芭蕉園、ぞうさんプール周辺、スイゼンジノリ発生地、東駐車場横、健軍川の湧水の値のアンモニア態窒素、亜硝酸態窒素、硝

酸性窒素の合計量を全窒素 (NH<sub>4</sub>-N、NO<sub>2</sub>-N、NO<sub>3</sub>-N の合計)としてこれらの平均値を用いた。

#### 4.2 中江津湖ブロック

中江津湖の窒素の消費量は、斉藤橋から画図橋と中江津湖の窒素量を差し引く (浸透) または加える (湧出) ことによって算出した。計算には以下の式を使用した。

$$\begin{aligned} \text{中江津湖の窒素の消費量} = & \\ & \text{斉藤橋流下窒素量} \\ & \pm \text{中江津湖での湧出又は浸透窒素量} \\ & - \text{画図橋流下窒素量} \dots \dots \dots (5) \end{aligned}$$

なお、中江津湖の湧水の水質は、測定するポイントを特定できないので、上江津湖の湧水の水質と同じとした。一方、浸透の場合の水質は、斉藤橋の水質と同じ濃度とした。

#### 4.3 下江津湖ブロック

下江津湖の窒素消費量は、江図橋から斉藤橋と下江津湖の窒素量を差し引く (浸透) もしくは加える (湧出) ことによって算出した。計算式は以下の式である。

$$\begin{aligned} \text{下江津湖の窒素の消費量} = & \\ & \text{画図橋流下窒素量} \\ & \pm \text{下江津湖での湧出又は浸透窒素量} \\ & - \text{秋津橋流下窒素量} \dots \dots \dots (6) \end{aligned}$$

なお、下江津湖の湧水の水質は上・中江津湖の湧水の水質と同じとした。一方、浸透の場合の水質は、画津橋流下窒素量と同じ濃度とした。

#### 4.4 窒素消費量の変化

表-3は、式(4)、(5)、(6)によって計算した消費量 (1日当たり) であり、図-10は表-3を図化したものである。

窒素は植物に成長段階の際に必要であるので、窒素消費は春から夏にかけては上江津湖が、夏から秋には中江津湖が非常に大きくなっている。上江津湖は9月に極端に消費量が減り、マイナス (窒素増加) になっている。これは、湧水の窒素量が少なくなり、また、夏から秋にかけて (8月から10月)、熊本市の公園課が上江津湖の繁茂したオオカナダモやウォーターレタスを刈り取り、観測させるため、岸辺に放置して、腐食し、による窒素分が湖内に流入したためと、植物が減少し、水生植物による窒素の消費が減り、窒素消費量が少なくなるため、斉藤橋の窒素の観測値が大きくなったと考えられる。中江津湖は、水生植物の除去が行われないので5月頃に消費が増加し始め、夏にかけ

表-3 江津湖 T-N 消費量 (単位: kg/日)

年月	上江津湖	中江津湖	下江津湖	全消費量
2009年4月	208	346	144	697
2009年5月	465	-140	589	915
2009年6月	411	-363	587	635
2009年7月	264	-297	-296	-330
2009年8月	-1183	1712	80	609
2009年9月	-310	742	-390	42
2009年10月	82	-304	91	-130
2009年11月	-668	406	-351	-613
2009年12月	279	-347	-226	-295
2010年1月	-274	672	-293	104
2010年2月	924	119	181	1224
2010年3月	715	269	-300	684
2010年4月	361	-356	120	125
2010年5月	296	92	184	572

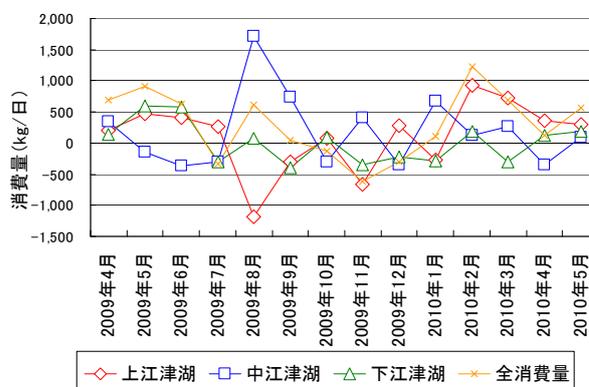


図-10 江津湖窒素消費量の経月変化

て消費量が多いと考えられる。下江津湖は、図-4に示しているように、湧出量・浸透量共、他のブロックに比べ少なく、さらに、ポート・コース建設のための浚渫によって水深も深い。そのため、水生植物は、上江津湖、中江津湖に比べ少ない。その結果、中江津湖と同じような挙動を示しているが、変動量は少ないと考えられる。

窒素消費量のマイナスは、消費されず、湖内生産が行なわれたことを意味している。これには、植生や上江津湖の水生植物の除去の影響が関わっていると考えられる。

### 5. リン (PO<sub>4</sub>-P) 消費量

図-3に示した3つのブロックで湧水から流出する河川までのリンの消費量の変化について検討した。

#### 5.1 上江津湖ブロック

上江津湖のリン消費量は、上江津湖全体で湧出する湧水のリンの量と斉藤橋を流下するリンの量の差によって算出した。式は以下のようである。

上江津湖のリンの消費量＝

$$\text{上江津湖湧出リン量} - \text{斉藤橋流下リン量} \cdots (7)$$

なお、上江津湖の湧水のリン濃度は芭蕉園、ぞうさんプール周辺、スイゼンジノリ発生地、東駐車場横、健軍川の平均値を用いた。

### 5.2 中江津湖ブロック

中江津湖のリンの消費量は、斉藤橋から画図橋と中江津湖のリン量を差し引く（浸透）または加える（湧出）ことによって算出した。式は以下のようである。

中江津湖のリンの消費量＝

$$\begin{aligned} & \text{斉藤橋流下リンの量} \\ & \pm \text{中江津湖での湧出又は浸透リンの量} \\ & - \text{画図橋流下リン量} \cdots \cdots \cdots (8) \end{aligned}$$

なお、中江津湖の湧水の水質は上江津湖の湧水の水質と同じとした。一方、浸透の場合の水質は、斉藤橋の水質と同じ濃度とした。

### 5.3 下江津湖ブロック

下江津湖のリンの消費量は、画図橋から秋津橋と下江津湖のリンの量を差し引く（浸透）もしくは加える（湧出）ことによって算出した。式は以下のようである。

下江津湖のリンの消費量＝

$$\begin{aligned} & \text{画図橋流下リンの量} \\ & \pm \text{下江津湖での湧出又は浸透リンの量} \\ & - \text{秋津橋流下リンの量} \cdots \cdots \cdots (9) \end{aligned}$$

なお、下江津湖の湧水の水質は上・中江津湖の湧水の水質の濃度と同じとした。一方、浸透の場合の水質は、画図橋流下窒素量と同じ濃度とした。

### 5.4 リンの消費量の変化

表-4 は、式(7)、(8)、(9)によって計算したリン消費量であり、図-11 は表-4 を図化したものである。

窒素に比べるとリン消費量は湧水中に溶解している量が少ないために非常に少ない。しかし、図-11 のリンの消費量にはバラツキが多い。5月～7月の上江津湖のバラツキは、上江津湖には多くの植物があり、リンは開花結実の際に消費されるため、植物が多く咲くこの時期にリンが多く消費されているためと考えられる。一方、下江津湖の6月～10月のバラツキは、浸透して消費されたり、水が滞留しているため、そこで植物によって消費されるためと考えられる。

リン消費量のマイナスは、窒素の消費量と同様で、消費されずに増加したことを意味している。それは、植生や上江津湖の水草の除去の影響が関わっている可

能性があるが、メカニズムがはっきりしないので、今後の検討課題である。

表-4 江津湖PO<sub>4</sub>-P消費量(単位:kg/日)

年月	上江津湖	中江津湖	下江津湖	全消費量
2009年4月	26	-5	8	30
2009年5月	4	21	11	36
2009年6月	94	-10	6	90
2009年7月	35	-13	54	76
2009年8月	-5	-8	-32	-46
2009年9月	19	-5	2	16
2009年10月	0	13	-1	13
2009年11月	20	-66	78	32
2009年12月	-16	4	14	1
2010年1月	-17	27	0	9
2010年2月	4	-11	-9	-16
2010年3月	33	-3	-48	-17
2010年4月	23	-21	0	2
2010年5月	32	-18	10	25

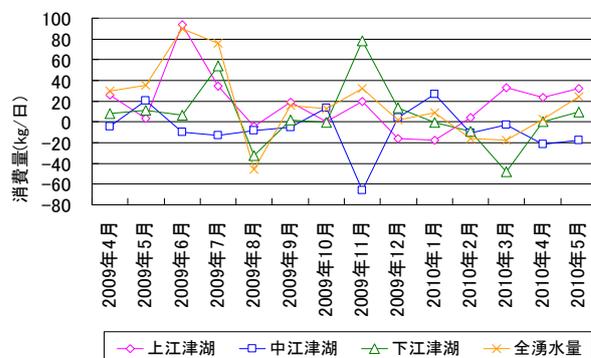


図-11 江津湖PO<sub>4</sub>-P消費量の経月変化

## 6. まとめ

上江津湖では、リン、窒素の消費量が春に大きくなっているが、それは、窒素は水生植物の成長に消費され、リンは開花結実の際に必要とされているため、花を咲かせる春に消費量が多くなっていると考えられる。また、上江津湖は中江津湖や下江津湖と比べて消費量が多い。それは、植生が他に比べて豊かであるからである。

中江津湖では、5月頃にリン消費量が増加し始め、夏に窒素消費量が増加する。リンの消費量は、上江津湖に比べると小さい。このことは、中江津湖は上江津湖に比べ、面積が小さく植生が少ないため、植生による消費が大量には行われていないことが考えられる。また、冬に窒素消費量はほとんどない。これは、水の浸透が影響していると考えられる。

下江津湖は、上江津湖と中江津湖と比べると窒素消費量が非常に小さいということである。それは、上江津湖や中江津湖に比べて植生が乏しいため、窒素とリンはあまり消費ないからと考えられる。

上江津湖は中江津湖、下江津湖と比べ湧水量や窒素

とリンの消費量は多い。それは、植生が豊かであることが大きく起因していると考えられる。しかし、データが不十分であり、長期の水質の調査が行われていないことで、データの正確さが欠けている部分もあるので、今後も調査、データ解析を行なっていきたい。

#### 参考文献

- 1)西川史晃：江津湖における湧水量変動が水生植物に与える影響について、九州東海大学大学院修士論文、p34~p40、2006.
- 2) 刑部新也：熊本地域における白川中流域湛水事業による地下水涵養の効果評価、東海大学大学院修士論文、p.12、2010.
- 3)農業資材情報センターホームページ：肥料の基礎知識、[http://sizai.agriworld.or.jp/index.html#a\\_1](http://sizai.agriworld.or.jp/index.html#a_1).