

サロマ湖への流入負荷量推定と感度解析

Estimation of inlet pollution load to lake Saroma and sensitivity analysis

北見工業大学 大学院	学生員	熊谷拓也(Takuya Kumagai)
北見工業大学	フェロー	佐渡公明(Kimiteru Sado)
北見工業大学 工学部		三崎元大(Motohiro Misaki)
(社)北海道栽培漁業振興公社		小形 孝(Takashi Ogata)
北見工業大学 工学部	正員	中尾隆志(Takashi Nakao)

1. はじめに

養殖産業が盛んであるサロマ湖では、水質に伴う被害が発生している(例として、2007年にも赤川沖からワッカ沖で発生した赤潮や、毎年発生している湖心部における貧酸素水塊)。今後も同様な被害が起これば養殖産業にも大きな損害となってしまう。以上のことより、サロマ湖流域内の陸域汚濁物質の排出負荷量およびサロマ湖への流入負荷量を推定し、各種要因の影響を感度解析により調べる。なお本研究では佐呂間別川、計呂地川・床丹川、芭露川、ライ常呂川、湖西周辺の5ブロックに分け、水質はBOD、COD、T-N、T-Pの4項目において負荷量を推定する。

2. 出水時を考慮したL-Q式による短期流入負荷量推定

公共用水域水質データ¹⁾(1992~2006年)59個、ならびに融雪出水、夏季の大雨による出水時のデータ(2005~2007年)64個を基に水質4項目の流入負荷量を両対数紙上で流量との相関(L-Q式)を図-1のように求めた。BOD、COD、T-N、T-Pの回帰式、寄与率はそれぞれ図に記す通りである。

図中の黄色の線は2006年8月の佐呂間別川の出水時のデータであり、赤の線は同時帯の芭露川のデータである。COD、T-N、T-Pに関しては増水時から減水時へのループが離れてない。BODはループが離れているため寄与率が低くなったと考えられる。昨年度発表したデータ²⁾にさらに出水時のデータを加えたことにより水質4項目の全てにおいて寄与率が大きくなり適用範囲を広げることができた。また得られた回帰式、寄与率は有意検定を

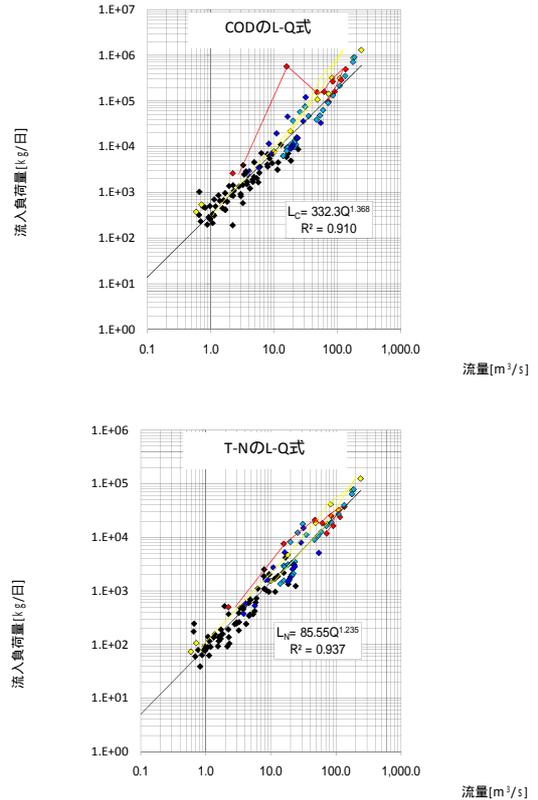


図-1 佐呂間別川流入汚濁負荷量と河口流量との相関 (1992~2006年)

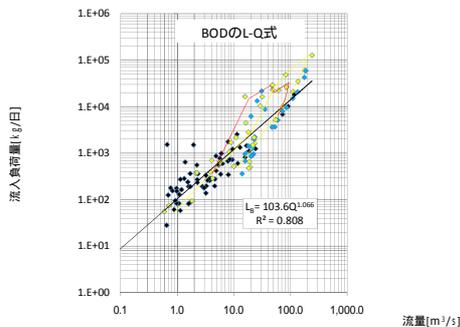


表-1 サロマ湖流入負荷量推定値とその計算に用いた値

流入負荷量	原 単 位		実績値、流達率	点源基数、面源面積、降雨
BOD 739kg/d	汲取り: 26.0g/人/d 単独処理浄化槽: 26.6 合併処理浄化槽: 2.0 牛: 640g/頭/d 豚: 200 馬: 220	畑、牧場: 11.2g/ha/d 山林、原野、雑種地 晴天時: 1100g/km ² /d 雨天時: 3300g/km ² /d 住宅地: 252g/ha/mm	下水処理場1ヶ所 217,000~266,000m ³ /yr 0.9~1.9mg/ 漁業集落排水施設5ヶ所 279~75,900m ³ /yr 0.8~9.3mg/ 工場・事業場23ヶ所 2.0~4549m ³ /d 1.0~60.0mg/ 流達率: 0.159	汲取り: 3520~4841人 単独処理浄化槽: 424~944 合併処理浄化槽: 1988~2597 牛: 32,870~34,124頭 豚: 3,375~3,783 馬: 80~97 家畜排出率: 0.10 山林: 584.8km ² 畑: 99.8 住宅地: 30.9 原野: 10.2 牧場: 7.0 雑種地: 2.7 雨天日数 佐呂間アメダス: 119~146d 常呂アメダス: 123~146d 湧別アメダス: 109~139d 年降水量(mm/yr) 佐呂間アメダス: 558~1248 常呂アメダス: 603~953 湧別アメダス: 494~942 流出率: 0.60
COD 3363kg/d	汲取り: 13.0g/人/d 単独処理浄化槽: 16.8 合併処理浄化槽: 4.0 牛: 530g/頭/d 豚: 130 馬: 700	畑、牧場: 49.5g/ha/d 山林、原野、雑種地 晴天時: 4700g/km ² /d 雨天時: 14800g/km ² /d 住宅地: 257g/ha/mm	下水処理場1ヶ所 7.3~9.6mg/ 漁業集落排水施設5ヶ所 5.0~27.6mg/ 工場・事業場23ヶ所 1.8~130.0mg/ 流達率: 0.396	
TN 900kg/d	汲取り: 1.6g/人/d 単独処理浄化槽: 6.8 合併処理浄化槽: 4.3 牛: 290g/頭/d 豚: 40 馬: 170	畑、牧場: 97.8g/ha/d 山林、原野、雑種地 晴天時: 780g/km ² /d 雨天時: 1040g/km ² /d 住宅地: 39g/ha/mm	下水処理場1ヶ所 1.2~7.1mg/ 漁業集落排水施設5ヶ所 1.3~24.1mg/ 工場・事業場23ヶ所 2.3~94.0mg/ 流達率: 0.319	
TP 57.9kg/d	汲取り: 0.4g/人/d 単独処理浄化槽: 1.1 合併処理浄化槽: 0.7 牛: 50g/頭/d 豚: 25 馬: 40	畑、牧場: 1.02g/ha/d 山林、原野、雑種地 晴天時: 60g/km ² /d 雨天時: 120g/km ² /d 住宅地: 5g/ha/mm	下水処理場1ヶ所 1.3~2.3mg/ 漁業集落排水施設5ヶ所 0.23~3.50mg/ 工場・事業場23ヶ所 0.2~23.5mg/ 流達率: 0.205	

表-2 サロマ湖流域 BOD 排出汚濁負荷量(2002~2006年の平均値, kg/d)

流域名	生活系	処理場	畜産(牛)	畜産(豚)	畜産(馬)	事業場系	畑地	山林	住宅地	原野	牧草地	雑種地	合計	割合(%)
佐呂間別川	80.9	1.1	936.3	67.3	1.0	8.2	34.7	621.5	684.8	5.5	2.9	0.4	2444.6	52.5
計呂地川・床丹川	17.9	0.0	721.0	0.0	0.6	15.2	22.3	186.8	177.5	4.9	2.8	0.4	1149.4	24.7
芭露川	15.1	0.0	310.8	0.0	0.0	0.0	13.2	241.2	103.0	2.0	1.0	0.1	686.3	14.8
ライ常呂川	11.7	0.3	34.3	5.0	0.4	0.2	32.4	28.2	24.2	3.7	0.5	2.1	143.0	3.1
湖西周辺	4.5	0.3	141.9	0.0	0.0	4.7	9.2	22.3	41.0	3.1	0.5	2.1	229.6	4.9
合計	130.0	1.8	2144.2	72.2	1.9	28.4	111.8	1100.0	1030.4	19.2	7.8	5.1	4652.9	100.0
割合(%)	2.8	0.0	46.1	1.6	0.0	0.6	2.4	23.6	22.1	0.4	0.2	0.1	100.0	

表-3 サロマ湖 BOD 流入汚濁負荷量(2002~2006 の平均値 kg/d)

流域名	生活系	処理場	畜産(牛)	畜産(豚)	畜産(馬)	事業所	畑地	山林	住宅地	原野	牧草地	雑種地	合計	割合(%)
佐呂間別川	12.9	0.2	148.9	10.7	0.2	1.3	5.5	98.9	108.9	0.9	0.5	0.1	388.8	52.5
計呂地川・床丹川	2.8	0.0	114.7	0.0	0.1	2.4	3.6	29.7	28.2	0.8	0.4	0.1	182.8	24.7
芭露川	2.4	0.0	49.4	0.0	0.0	0.0	2.1	38.4	16.4	0.3	0.2	0.0	109.2	14.8
ライ常呂川	1.9	0.0	5.5	0.8	0.1	0.0	5.2	4.5	3.8	0.6	0.1	0.3	22.7	3.1
湖西周辺	0.7	0.1	22.6	0.0	0.0	0.8	1.5	3.5	6.5	0.5	0.1	0.3	36.5	4.9
合計	20.7	0.3	341.0	11.5	0.3	4.5	17.8	175.0	163.9	3.0	1.2	0.8	740.0	100
割合(%)	2.8	0.0	46.1	1.6	0.0	0.6	2.4	23.6	22.1	0.4	0.2	0.1	100.0	

行ったところ、全ての水質において 0.1% 有意という結果が得られた。

3. 原単位と流達率による発生負荷源別の長期平均流入負荷量推定³⁾⁴⁾⁵⁾

処理場、生活系排水、畜産系排水、工場・事業所の負荷源を点源負荷とし、土地利用から排出される負荷源を面源負荷として原単位法を用いて各負荷源の排出負荷量を算出した。例として畜産系、住宅地の式を以下に記す。

$$\text{畜産系: 排出負荷量(kg/日)} = \text{発生源単位(g/頭/日)} \times \text{家畜頭数(頭)} / 10^3 \times \text{排出率}$$

$$\text{住宅地: 排出負荷量(kg/日)} = \text{発生原単位(g/ha/mm)} \times \text{面積(ha)} \times \text{年降水量(mm)} / 365 / 10^3$$

原単位法に用いる各データの詳細は表-1に示す。上記の式と表-1のデータから原単位法により算出した結果を表-2にまとめた。この表よりサロマ湖流域から排出される負荷源はBOD, COD, T-Pは畜産(牛)、森林、住宅地が主要な負荷源であり、T-Nに関しては畑地、畜産(牛)、森林が主要な負荷源あるという結果が得られた。

サロマ湖に流入する負荷量は河川の浄化作用や人為的操作の影響を受ける。排出負荷量のうちサロマ湖への流入負荷量となる割合を流達率(f)と呼ぶ。公共用水域水質データ(2002~2006年)に流量を乗じて算出した実測値の流入負荷量を求め、これを排出負荷量で割ることにより流達率を算出した。すなわち、排出負荷量推定地が変わればそれに伴って流達率もへんかすることになる。流達率と流量(Q)の関係から水質4項目毎の回帰式を求めた。そのBOD, T-Nの結果を図-2に示す。この回帰式もL-Q式同様に有意検定を行ったところ全ての水質において0.1% 有意という結果が得られた。次にこの回帰式に2002~2006年の年平均流量($5.28\text{m}^3/\text{s}$)を代入することにより平均の流達率を求め、BOD, COD, T-N, T-Pがそれぞれ0.159, 0.396, 0.319, 0.205, という値が得られた。この値を排出負荷量に乘じることにより流入負荷量を算出し結果を表-3に示す。この時の変化で影響力のあるものを抽出するために感度解析を行った。牛の原単位についての計算式の例を以下に記す。

$$\frac{\Delta LB_{sy}}{LB_{ty}} = \frac{f \times UB_u \times NU_{,sy} \times H / 10^3}{LB_{ty}} \times \frac{\Delta UB_u}{UB_u}$$

LB_{ty} : y 年のサロマ湖流域のBOD流入負荷量
 LB_{sy} : y 年の佐呂間別川流域のBOD流入負荷量
 UB_u : 牛の原単位
 $NU_{,sy}$: y 年の佐呂間別川流域の牛の頭数
 H : 家畜排出率

この計算を5ブロック毎行い、その結果のまとめを表-4, 5, 6に示す。この結果から水質4項目において牛、家畜の排出率の影響が大きいことが得られた。排出率は家畜の排せつ物の管理、利用、放牧の規模により変化するものである。いかに家畜排せつ物の管理が重要であるかということを示唆している。

4. 感度解析

サロマ湖流域の原単位の感度、人口の増減または土地利用の変化など様々な要因により負荷量も変化する。そ

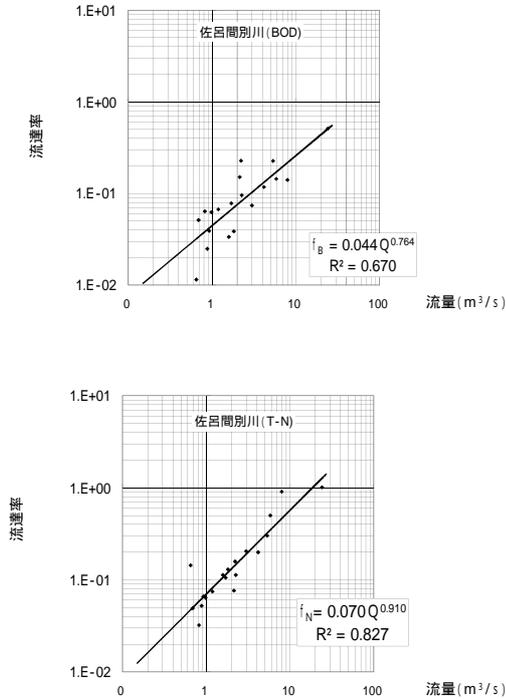


図-2 排出汚濁負荷量の流達率と佐呂間大橋流量との相関(2002~2006, 佐呂間別川流域)

表-4 原単位の-50%～+50%変動による流入負荷量推定値の相対変化率(%)

	BOD	COD	TN	TP
汲取り	-1.19 ~ 1.19	-0.33 ~ 0.33	-0.12 ~ 0.12	-0.31 ~ 0.31
単独処理浄化槽	-0.15 ~ 0.15	-0.05 ~ 0.05	-0.06 ~ 0.06	-0.11 ~ 0.11
合併処理浄化槽	-0.05 ~ 0.05	-0.06 ~ 0.06	-0.18 ~ 0.18	-0.30 ~ 0.30
牛	-23.04 ~ 23.04	-10.44 ~ 10.44	-17.22 ~ 17.22	-30.20 ~ 30.20
豚	-0.78 ~ 0.78	-0.28 ~ 0.28	-0.26 ~ 0.26	-1.63 ~ 1.63
馬	-0.02 ~ 0.02	-0.04 ~ 0.04	-0.03 ~ 0.03	-0.06 ~ 0.06
畑	-1.29 ~ 1.29	-3.11 ~ 3.11	-18.51 ~ 18.51	-1.96 ~ 1.96
山林	-12.08 ~ 12.08	-29.13 ~ 29.13	-9.24 ~ 9.24	-8.76 ~ 8.76
住宅地	-11.07 ~ 11.07	-6.18 ~ 6.18	-2.83 ~ 2.83	-3.69 ~ 3.69

表-5 各種要因の-50%～+50%変動による流入負荷量推定値の相対変化率(%)

	BOD	COD	TN	TP
処理場・排水施設負荷量	-0.02 ~ 0.02	-0.05 ~ 0.05	-0.06 ~ 0.06	-0.31 ~ 0.31
工場・事業場負荷量	-0.30 ~ 0.30	-0.34 ~ 0.34	-1.49 ~ 1.49	-2.68 ~ 2.68
牛の頭数	-23.04 ~ 23.04	-10.44 ~ 10.44	-17.22 ~ 17.22	-30.20 ~ 30.20
豚の頭数	-0.78 ~ 0.78	-0.28 ~ 0.28	-0.26 ~ 0.26	-1.63 ~ 1.63
馬の頭数	-0.02 ~ 0.02	-0.04 ~ 0.04	-0.03 ~ 0.03	-0.06 ~ 0.06
家畜の排出率	-23.84 ~ 23.84	-10.76 ~ 10.76	-17.50 ~ 17.50	-31.89 ~ 31.89
雨天日数	-5.02 ~ 5.02	-12.61 ~ 12.61	-0.98 ~ 0.98	-2.30 ~ 2.30
年降水量	-11.07 ~ 11.07	-6.18 ~ 6.18	-2.83 ~ 2.83	-3.69 ~ 3.69
流達率	-50.00 ~ 50.00	-50.00 ~ 50.00	-50.00 ~ 50.00	-50.00 ~ 50.00

表-6 生活排水処理方式、土地利用の変化による流入負荷量推定値の相対変化率(%)

	BOD	COD	TN	TP
汲取り人口 50% 合併浄化槽	-1.10	-0.23	0.21	0.23
汲取り人口 100% 合併浄化槽	-2.21	-0.45	0.41	0.46
単独処理浄化槽人口 50% 合併浄化槽	-0.14	-0.04	-0.02	-0.04
単独処理浄化槽人口 100% 合併浄化槽	-0.28	-0.08	-0.05	-0.08
山林面積 10% 牧場面積	-0.96	-2.30	18.47	0.44
山林面積 牧場面積 10%	0.01	0.03	-0.22	-0.01
住宅地 10% 原野	-2.09	-0.93	-0.47	-0.65
住宅地 原野 10%	0.66	0.29	0.15	0.21
畑 10% 住宅地	6.72	3.30	-1.69	1.95
畑 住宅地 10%	-2.14	-1.06	0.51	-0.62

まとめ

以上から得られた結果を以下に記す。

- 1) L-Q式において有意検定を行ったところ0.1%有意という結果が得られ、適用範囲も出水時のデータを加えたため広くなっているため非常に良い結果となった。
- 2) 原単位と流達率を用いて流入負荷量を推定した結果サロマ湖流域では畜産系(牛),畑地,森林,住宅地の割合が主要な負荷源であるという結果が得られた。流達率も1となる点が存在するが、これは河道内からの負荷量の供給,降雨による窒素の供給等が考えられるため不自然ではないと考えられる。
- 3) 感度解析の結果,畜産(牛)の原単位,頭数,排出率の影響が大きいことが得られた。よって負荷量を軽減させるためには畜産の管理が重要であると考えられる。

参考文献

- 1) 北海道庁, 北海道の水環境のホームページ。
- 2) 熊谷拓也, 佐渡公明, 平野良治, 中尾隆志, 小形孝:L-Q式,原単位法によるサロマ湖への流入負荷量推定,土木学会北海道支部論文報告集,第64号,B-25,2008。
- 3) 北海道開発局網走開発建設部:網走管内における総合的な湖沼環境保全推進業務の報告書, pp.1-1~4-22, 2006。
- 4) 國松孝男, 村岡浩爾:河川汚濁のモデル解析, pp.2~14, 技報堂出版, 2004。
- 5) 和田安彦:ノンポイント汚染源のモデル解析, pp.11~19, 技報堂出版, 1990。