

L-Q 式，原単位法によるサロマ湖への流入負荷量推定

Estimation of inlet pollution load to lake Saroma using load-discharge relation and basic unit of pollutant source

北見工業大学 工学部	○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 大学院	学生員	平野良治(Ryouji Hirano)
(社)北海道栽培漁業振興公社		小形 孝(Takashi Ogata)
北見工業大学	正 員	中尾隆志(Takashi Nakao)

1. はじめに

サロマ湖では養殖産業(主に帆立、牡蠣など)が盛んである。しかし、過去には水質に伴う被害が発生したこともあり(平成10年にサロマ湖全域で発生した赤潮や、ならびに沿岸浅海域における貧酸素水塊の発生)、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。このことに基づき、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、湖内水質・底質に与える要因を抽出し、水環境の改善対策、または維持対策に役立てることを目的とする。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項目において排出・流入負荷量を推定する。

り排水量を網走支庁に届けている 33 事業場に対し公文書開示請求により排水量データを取得して、排水量が少ない事業場を除く 28 事業場にアンケート調査を実施した。水質の濃度が不明と記載されたアンケートに関しては、同じ業種の平均値を用いて排出負荷量を算出した。

工場・事業場

$$\text{排出負荷量(kg/日)} = \text{水質の濃度(mg/l)} \times \text{排水量(m}^3\text{/年)} / (365 \times 1000)$$

なお原単位の値は文献 1), 2), 3)を参照した。

2. サロマ湖流域の排出負荷量推定

2.1 点源負荷

生活系排水の汲み取り、単独・合併浄化槽の生活雑排水排出負荷量は各ブロック毎の人口比率に従い原単位法を用い算出した。また佐呂間町永代下水処理場、漁業集落排水施設(栄浦、浜佐呂間、富武士、若里)については排水量、水質のデータを取得し BOD、COD、T-N、T-P の排出負荷量を次式から算出した。

処理場

$$\text{排出負荷量(kg/日)} = \text{水質の濃度(mg/l)} \times \text{排水量(m}^3\text{/年)} / (365 \times 1000)$$

生活雑排水

$$\text{排出負荷量(kg/日)} = \text{雑排水原単位(g/人/日)} \times \text{人口(人)} / 1000$$

畜産系排水は排出率を 10%と推定して牛、豚、馬の頭数を調査し各ブロック毎に分け原単位法を用い排出負荷量を算出した。

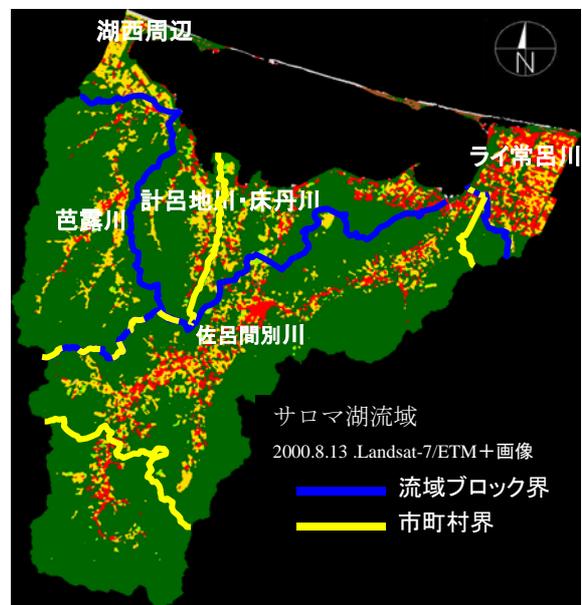
畜産系

$$\text{排出負荷量(kg/日)} = \text{発生源単位(g/頭/日)} \times \text{排出率} \times \text{家畜頭数(頭)} / 1000$$

工場・事業場系排水については、水質汚濁防止法によ

2.2 面源負荷

最初に 2000 年 8 月 13 日の LANDSAT-7/ETM+データによる土地被覆分類を行った。図-1 が土地被覆分類の



土地被覆分類凡例	
■ 森林	■ 牧草地
■ 住宅地・構造物	■ 砂地
■ 畑地	■ 水域
■ 原野	

図-1 サロマ湖流域5ブロック別土地被覆分類図

表-1 サロマ湖流域排出汚濁負荷量(2002~2006の平均値, kg/日)

BOD	生活系	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	82.0	936.3	67.3	1.0	9.2	35.7	511.4	1278.0	6.1	4.2	0.3	2931.5	46.7
計呂地・床丹川	17.9	721.0	0.0	0.6	15.2	13.9	154.5	527.5	3.5	2.8	0.3	1457.2	23.2
芭露川	15.1	310.8	0.0	0.0	0.0	13.2	197.1	171.6	1.6	1.0	0.1	710.4	11.3
ライ常呂川	12.3	34.3	5.0	0.4	0.2	12.1	24.2	831.9	5.5	0.4	3.4	929.7	14.8
湖西周辺	4.5	141.9	0.0	0.0	4.7	9.2	18.2	68.3	2.5	0.5	1.7	251.5	4.0
合計	131.7	2144.2	72.2	1.9	29.4	84.0	905.4	2877.4	19.3	9.0	5.8	6280.4	100.0
割合(%)	2.1	34.1	1.1	0.0	0.5	1.3	14.4	45.8	0.3	0.1	0.1	100.0	

T-P	生活系	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	3.4	73.1	8.4	0.2	9.3	3.3	20.9	25.4	0.3	0.4	0.0	144.7	48.0
計呂地・床丹川	0.5	56.3	0.0	0.2	4.2	1.3	6.3	10.5	0.1	0.3	0.0	79.7	26.5
芭露川	0.4	24.3	0.0	0.0	0.0	1.2	8.1	3.4	0.1	0.1	0.0	37.5	12.5
ライ常呂川	0.3	2.7	1.2	0.1	1.1	1.1	1.0	16.5	0.2	0.0	0.1	24.3	8.1
湖西周辺	0.5	11.1	0.0	0.0	0.3	0.8	0.7	1.4	0.1	0.0	0.1	15.0	5.0
合計	5.1	167.5	9.6	0.4	14.9	7.7	37.0	57.1	0.8	0.8	0.2	301.3	100.0
割合(%)	1.7	55.6	3.2	0.1	4.9	2.5	12.3	19.0	0.3	0.3	0.1	100.0	

結果画像である。面積の大きい順に並べると森林が 79%、畑地 10.5%、住宅地 7.1%、そして順に原野、牧草地、砂地、水域と続く。流域ブロック別では佐呂間別川が 52.4%、芭露川 20%、計呂地・床丹川 17.7%、ライ常呂川 6.5%、湖西周辺が 3.4%となった。

面源負荷も原単位法を用い算出し、その値は点源負荷と同じ文献を参照した。市長村界で区切られた地域に対する雨天日数と年降水量の値は、アメダス観測地点の常呂、佐呂間、湧別のデータを用いた。

畑地、牧場:

$$\text{排出負荷量(kg/日)} = \text{発生原単位(g/ha/日)} \times \text{面積(ha)/1000}$$

山林、原野、雑種地:

$$\text{排出負荷量(kg/日)} = (\text{雨天原単位(g/km}^2\text{/日)} \times \text{雨天日数/365} + \text{晴天原単位(g/km}^2\text{/日)} \times \text{晴天日数/365}) \times \text{面積(km}^2\text{)/1000}$$

市街地:

$$\text{排出負荷量(kg/日)} = \text{発生原単位(g/ha/mm)} \times \text{面積(ha)} \times \text{年降水量(mm)/365/1000}$$

上式から算出した排出負荷量を表-1 に示す。BOD は住宅地が 45.8%、畜産(牛)34.1%、山林 14.4%の順に大きい。COD は山林が 42.5%、住宅地 31.1%、畜産(牛)18.8%の順に大きく、有機物である BOD、COD 共にこれらの3者のみで全体の 92~94%を占めている。栄養塩である T-N については畜産(牛)が 35.9%、畑地 27.1%、住宅地 15.2%の順で大きい。同様に T-P では畜産(牛)は 55.6%、住宅地 19%、山林 12.3%の順に大きい。これより住宅地、山林、畜産(牛)が主要な発生排出源である。流域ブロック別では佐呂間別川が大きく、その値は約半数の値を占めている。排出負荷量の総排出量ごとに順位をつけると第 1 位は COD で 9436(kg/日)、第 2 位は BOD で 6280(kg/日)、第 3 位は T-N で 2709(kg/日)、第 4 位は T-P で 301(kg/日)という結果が得られた。

3. 流達率とサロマ湖への流入負荷量推定

3.1 佐呂間別川の流達率

表-1 のサロマ別川流域の発生負荷源から流出してくる排出負荷量は、サロマ湖へ流入するまでの間に河川の自浄作用(沈殿、吸着、分解、生物による取り込み)や人為的操作(取水、清掃)の影響を受ける。この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と呼ぶ。過去 4 年間(2002~2005)の佐呂間別川永代橋の流量を佐呂間大橋の集水面積比で乗じて佐呂間大橋の流量を算出した値と佐呂間大橋の公共用水域水質データ(5, 7, 9, 11 月に 1 回測定、すなわち 1 年に 4 回の測定値)⁴⁾を基に、水質 4 項目毎の流入負荷量を算出した。次にこの値を排出負荷量で割ることにより、水質 4 項目毎の流達率 16 個を求めた。この流達率を両対数紙上で流量の関数で表した相関図、回帰式を図-2 に示す。

$$\text{水質 4 項目の流達率 } f = \alpha Q^\beta$$

Q:佐呂間大橋の流量
α, β:定数

BOD, COD, T-N, T-P の流達率の回帰式、寄与率はそれぞれ以下に記す。

$$\begin{aligned} \text{BOD: } f_{\text{BOD}} &= 0.0394 \times Q^{0.763} & R^2 &= 0.703 \\ \text{COD: } f_{\text{COD}} &= 0.0717 \times Q^{1.03} & R^2 &= 0.850 \\ \text{T-N: } f_{\text{T-N}} &= 0.0733 \times Q^{0.925} & R^2 &= 0.852 \\ \text{T-P: } f_{\text{T-P}} &= 0.0511 \times Q^{0.859} & R^2 &= 0.843 \end{aligned}$$

3.2 流入負荷量推定

2002~2005 年の佐呂間大橋の年平均流量(4.72 m³/s)を図-3 に表示の L-Q 式に代入して、年平均流達率を BOD, COD, T-N, T-P に対しそれぞれ 0.129, 0.352, 0.308, 0.194 と求めた。表-1 に示す 2002~2005 年の 5 流域ブロックの排出負荷量に年平均流達率を乗じて、5 流域ブロックにおける負荷源別の BOD, COD, T-N, T-P の流入負荷量を表-2 のように算出した。発生源別流入負荷量の割合は、表-1

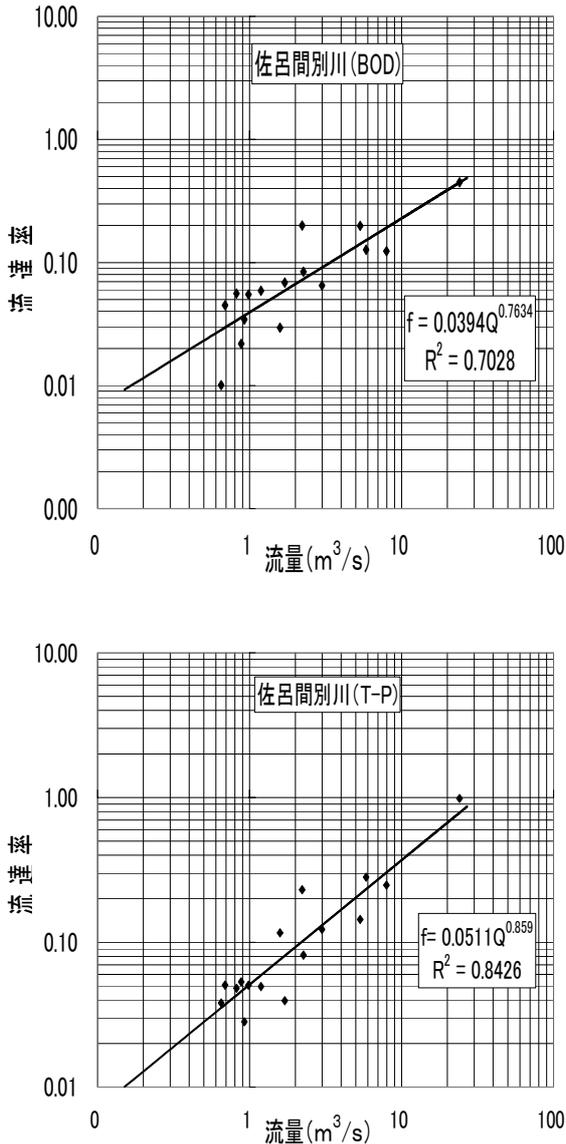


図-2 排出汚濁負荷量の流達率と佐呂間大橋流量との関係 (2002~2005, 佐呂間別川流域)

の発生源別排出負荷量の割合と同じなので、第2章で表-1 について説明した負荷量割合の記述はそのまま表-2 についてもあてはまる。BOD については住宅地からの流入負荷量が最も大きく全体の46%を占め、同じ有機物のCOD については山林が43%と第1位である。畜産(牛)はTN,TP で第1位であり、特にTP では過半数を占めている。畑地からのTN は27%と第2位を占めている。

サロマ湖に流入する水質4項目の総流入負荷量について順位つけると第1位はCOD で3319(kg/日)、第2位はT-N で833(kg/日)、第3位はBOD で808(kg/日)、第4位はT-P で58(kg/日)という結果を得られた。この値を用い水質改善・帆立、牡蠣の養殖量維持対策に利用できる。

4. L-Q 式による佐呂間別川の流入負荷量推定

佐呂間別川では、永代の自記水位計の水位に基づくH-Q 曲線による毎日の流量データ、および佐呂間大橋、敷島橋における公共用水域水質データが収集されている。この研究では1992~2005年の永代の流量を佐呂間大橋の集水面積比で乗じて佐呂間大橋の流量を算出した。水質のデータ56個を基に水質4項目の流入負荷量を両対数紙上で流量の関数で表したL-Q 式を図-3のように求めた。

BOD, COD, T-N, T-P の流入負荷量の回帰式、寄与率はそれぞれ以下に記す。

$$\begin{aligned} \text{BOD: } L_{\text{BOD}} &= 147.05 \times Q^{0.732} & R^2 &= 0.5143 \\ \text{COD: } L_{\text{COD}} &= 401.03 \times Q^{1.0336} & R^2 &= 0.8231 \\ \text{T-N: } L_{\text{T-N}} &= 94.672 \times Q^{1.0761} & R^2 &= 0.8371 \\ \text{T-P: } L_{\text{T-P}} &= 8.7159 \times Q^{0.905} & R^2 &= 0.7106 \end{aligned}$$

7, 11月の渇水期に流入負荷量の大きい日(1997/7/14など)が存在したことにより特にBOD の寄与率が下がっている。

佐呂間大橋の流量が25(m³/s)を超える日は年間約20日間あり、そのときの流入負荷量は外挿で推定されるが精度は落ちる。25(m³/s)を超える出水時の流量、水質4項目を実測しグラフにプロットすることができれば適用範囲も広がり精度も上がる。

表-2 サロマ湖流入汚濁負荷量(2002~2005の平均値)

BOD	生活系	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	10.6	120.5	8.7	0.1	1.2	4.6	65.8	164.5	0.8	0.5	0.0	377.3	46.7
計呂地・床丹川	2.3	92.8	0.0	0.1	2.0	1.8	19.9	67.9	0.5	0.4	0.0	187.6	23.2
芭露川	1.9	40.0	0.0	0.0	0.0	1.7	25.4	22.1	0.2	0.1	0.0	91.4	11.3
ライ常呂川	1.6	4.4	0.6	0.0	0.0	1.6	3.1	107.1	0.7	0.1	0.4	119.7	14.8
湖西周辺	0.6	18.3	0.0	0.0	0.6	1.2	2.3	8.8	0.3	0.1	0.2	32.4	4.0
合計	17.0	276.0	9.3	0.3	3.8	10.8	116.5	370.4	2.5	1.2	0.7	808.4	100.0
割合(%)	2.1	34.1	1.1	0.0	0.5	1.3	14.4	45.8	0.3	0.1	0.1	100.0	

T-P	生活系	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	0.7	14.2	1.6	0.0	1.8	0.6	4.1	4.9	0.0	0.1	0.0	28.0	48.0
計呂地・床丹川	0.1	10.9	0.0	0.0	0.8	0.2	1.2	2.0	0.0	0.0	0.0	15.4	26.5
芭露川	0.1	4.7	0.0	0.0	0.0	0.2	1.6	0.7	0.0	0.0	0.0	7.3	12.5
ライ常呂川	0.1	0.5	0.2	0.0	0.2	0.2	0.2	3.2	0.0	0.0	0.0	4.7	8.1
湖西周辺	0.1	2.1	0.0	0.0	0.1	0.2	0.1	0.3	0.0	0.0	0.0	2.9	5.0
合計	1.0	32.4	1.9	0.1	2.9	1.5	7.2	11.1	0.2	0.2	0.0	58.3	100.0
割合(%)	1.7	55.6	3.2	0.1	4.9	2.5	12.3	19.0	0.3	0.3	0.1	100.0	

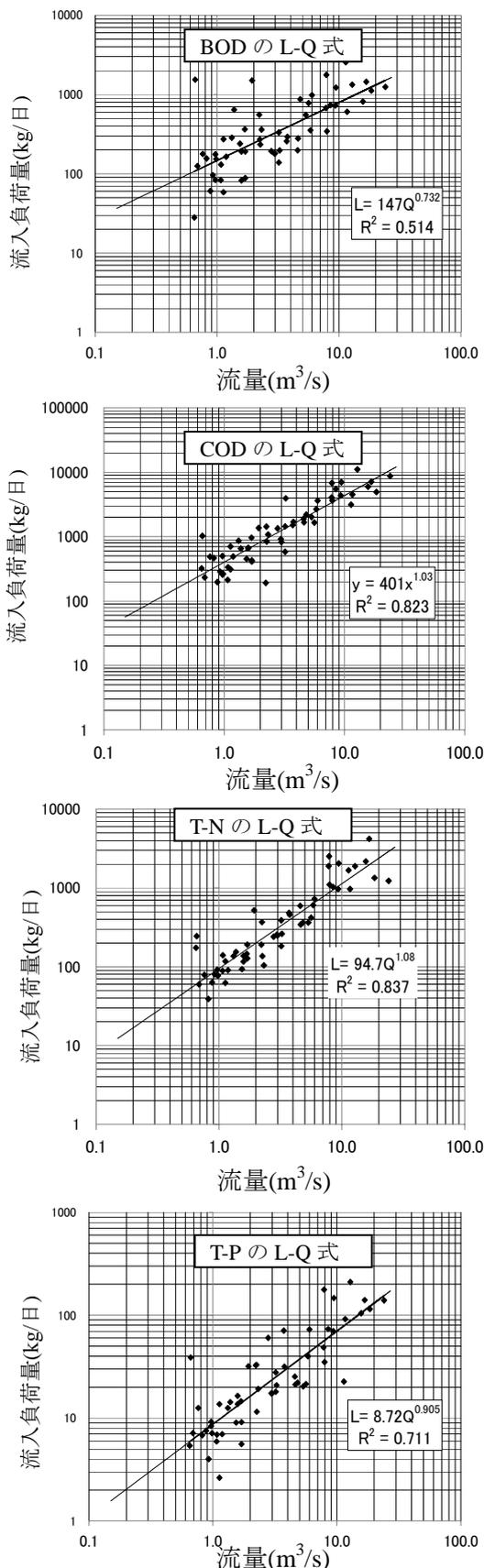


図-3 佐呂間別川流入汚濁負荷量と佐呂間橋の関係 (1992~2005年)

5. まとめ

以上、サロマ湖に流入する汚濁負荷量の研究から得られた結果を以下に記す。

- 1) BOD, COD, T-N, T-P の負荷源別排出・流入負荷量の順位は変動するが、水質 4 項目すべてにおいて山林負荷量, 住宅地負荷量, 畜産系排水(牛)が上位にきている。
- 2) 流達率の流量に対する回帰式の寄与率は 0.70~0.85 の範囲で得られた。しかし BOD, T-N, T-P に関しては流達率が 1 である点が存在し、また COD に関しては流達率が 2 になっている点も存在している。よって、排出負荷量を年平均値から日毎の算定に修正する必要がある。
- 3) 流入負荷量では、BOD, COD の総流入負荷量の値がそれぞれ 808, 3319(kg/日)であり、COD は BOD の約 4.1 倍である。栄養塩の T-N, T-P に関してはそれぞれ 833, 58(kg/日)となり、T-N は T-P の約 14 倍であることが得られた。ここで用いた原単位は全国の平均値であるから、この値を変えれば上記の流入負荷量は当然変化する。
- 4) L-Q 式は BOD を除いた COD, T-N, T-P の回帰式の寄与率は 0.71~0.84 の範囲で得られた。ただし BOD の寄与率は 0.51 と小さい結果だったので、寄与率を低くさせている(1997/7/14)のデータの信頼性を検討する。

以上のことを踏まえ今後の課題は、サロマ湖の水質改善、維持のために流入負荷量の削減を検討する際の参考として、生活系排水を下水処理場、漁業集落排水施設、汲み取り、単独・合併処理浄化槽に分けること。本研究で用いた LANDSAT-7/ETM+のデータと国土数値情報の画像を比較して、異なっている部分を確認し実際にグランドトゥルスによる現地との検証を行い土地被覆分類の精度を高めること。発生源を自然負荷、人口負荷に分ける。流達率の回帰式より、 β の値がほぼ 1 に近く仮に 1 であるならば、

$$cQ = \alpha Q$$

$$c = \alpha = \text{const} \quad c: \text{排水濃度}(\text{mg/l})$$

となってしまうので今後検討が必要であること。

これらのことを考慮した上でさらに研究を進めていくことが重要である。

参考文献

- 1) 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.
- 2) 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.
- 3) 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.
- 4) 北海道庁, 北海道の水環境のホームページ.