

十和田湖における汚濁源の負荷について—平成 21 年度まで—

花石竜治 野澤久志¹ 一戸卓也² 工藤幾代 工藤隆治³

十和田湖における汚濁源の負荷について、要因別に試算したところ、降水の湖面に対する直接的な負荷及び降水時の流入河川の負荷の割合が大きいという結果を得た。CODと全リンで降水時の流入河川が、全窒素で湖面に対する直接的な負荷が大きい。また、逆送水の影響は負荷量全体では相対的に小さく、下水道未接続家屋からの生活排水の影響は無視できるほど小さいと試算された。十和田湖においては、自然要因による負荷が大部分を占めていた。

Key words : Lake Towada, loading, rainfall

1. はじめに

十和田湖の水質については、平成 7 年度から国立環境研究所との共同研究¹⁻³⁾が始まり、三上らは流出入負荷量の算定⁴⁾を行い、その後の平成 17 年度に、青森・秋田両県の研究で、降水時流入河川の汚濁量推定が行われた^{5,6)}。

筆者らは、平成 19 年には逆送水の調査を行い、時間ごとの採水によって、その汚濁特性を報告した⁷⁾。また、既報⁴⁾から、十和田湖に与える負荷量として、降水の影響が大きいことに着目し、平成 20 年度の夏から秋にかけて、定期的に降水を採取し、分析を行った。

十和田湖への汚濁負荷の推定は環境保全施策にとって重要である。

筆者らは平成 21 年度に、十和田湖の水質についての調査結果を取りまとめ、今回は、前報に引き続き、十和田湖の負荷量調査について検討を行ったので報告する。

2. 汚濁負荷量の試算

2.1 降水の直接的な影響

(1) 降水調査

図 1 に示す降水採取装置は、遮光できる茶褐色のポリ瓶に、鳥類が接近しないように洗浄ブラシの羽根を装着した合成樹脂製の漏斗を付け、漏斗の出口にガラスウールを詰めて、降水を採取でき

るようにしたものであった。これに 2 mol/L 硫酸を 10 mL 添加し、微生物による生分解を防止した。

この採取装置を、十和田湖畔の浄化センター屋上に設置し、約 4 週間に 1 回の頻度でボトルを交換して、降水を持ち帰った。

試料量は限られていることから、採取した試料の量に応じて、分析項目に優先順位を付け、COD、全窒素、全リン、リン酸性リン、硝酸性窒素、亜硝酸性窒素の順番に分析を行った。



図 1 降水採取器

1 環境管理事務所 2 原子力安全対策課 3 環境政策課

(2) 降水調査結果

浄化センター屋上の降水量は、表1のとおり、休屋のアメダス観測値より10%程度多かった。

平成20年の休屋におけるアメダスの年間降水量は、1251.5mmであった（気象庁ウェブサイトによる）。

表2に示すように、浄化センター屋上で採取した降水には、十和田湖湖水水質中の濃度を上回るCOD値、全窒素、全リンが含まれており、COD値は湖水の2～3倍程度、全窒素は4～10倍程度、全リンは最大で9倍以上の濃度であった。

なお、三上らは冬季の降雪中のCOD値が低いことを挙げて、粉じん等の巻上げによって、春から秋の降水中にCODが高いと推定している⁴⁾。

(3) 湖面への直接的な負荷量

表2に示した平成20年度の浄化センター屋上における降水の測定結果（採取降水量と汚濁物質濃度）、十和田湖の湖面積61.06km²、降水検体採取に用いた漏斗の採取面積165.1cm²から、降水の負荷量を計算した結果を表3に示した。

負荷量は採取期間におけるものを合計し、この値に、雨水を採取した期間の降水量積算値（休屋アメダス観測値687.0mm）と5月から11月までの降水量積算値（同970.0mm）の比率（970.0/687.0=1.41を乗じた）から、5月から11月までの負荷量を試算した。

2.2 流入河川の影響

(1) 晴天時の負荷量

非降水時（晴天時）における流入河川からの負荷量については、「平成17年度十和田湖流入河川降雨時負荷量調査報告書」⁶⁾で秋田県健康環境センターが試算した結果をもとに、冬期間を除く5月から11月までの7ヶ月間の負荷量を表4に示した。降水時については後述するが、降水があった場合の日数を除外して算出している。

なお、三上らの平成11年7月から平成12年6月までの調査⁴⁾では、湖に流入する小さな沢水までを負荷量試算の対象としており、本報告では、沢水等の負荷量は含まれていない。

表1 平成20年度の降水採取器とアメダス観測値の降水量比較 (mm)

測定場所	7月11日 ～8月1日	8月1日 ～8月25日	8月25日 ～9月30日	9月30日 ～11月10日
浄化センター屋上	199	204	172	202
休屋（アメダス観測値）	168.5	193	164	161.5

表2 平成20年度の浄化センター屋上における降水の測定結果

項目	単位	7月11日 ～8月1日	8月1日 ～8月25日	8月25日 ～9月30日	9月30日 ～11月10日	H2O 湖水 8層平均値
採取量	mL	3300	3377	2852	3336	—
COD	mg/L	3.7	2.6	2.7	3.2	1.1
全窒素	mg/L	0.84	0.43	0.52	1.2	0.11
硝酸性窒素	mg/L	—	0.049	—	0.070	0.011
亜硝酸性窒素	mg/L	—	<0.003	—	<0.003	<0.003
全リン	mg/L	0.038	0.006	0.010	0.010	0.004
リン酸性リン	mg/L	0.027	0.006	0.005	0.009	<0.003

表3 湖面に対する直接的な降雨の負荷量 (トン)

項目	7月11日 ～8月1日	8月1日 ～8月25日	8月25日 ～9月30日	9月30日 ～11月10日	合計	5～11月 (試算)
COD 負荷量	45	32	28	39	140	190
全窒素負荷量	10	5.3	5.4	14	34	47
全リン負荷量	0.46	0.074	0.10	0.12	0.75	1.0

表4 晴天時における流入河川の負荷量 (5~11月)

(トン)

項目	宇樽部川	神田川	鉛山沢川	大川岱川	銀山川	滝ノ沢川	6河川合計
COD	21	7.2	1.7	10	5.2	2.5	47
全窒素	1.9	0.68	0.28	0.91	0.42	0.13	4.3
全リン	0.22	0.15	0.01	0.19	0.07	0.02	0.66

(2) 降水時の負荷量

「平成17年度十和田湖流入河川降雨時負荷量調査報告書」では、秋田県が3段タンクモデルによって非降雪期の降水時流入河川負荷量を推定している。降水時の流量と項目濃度とを1次直線で回帰し、流量とこの1次式で与えられた推定項目濃度との積から汚濁負荷量を計算した結果、青森県側の河川である宇樽部川及び神田川の負荷量の寄与が、他の河川に比べて大きいとしている。

一方、一般的に河川では、流量の対数と負荷量の対数とに直線関係があるとされており¹⁰⁾、これを用いた河川汚濁の評価をL-Q式による方法と呼んでいる。

そこで、L-Q式による負荷量と流量の関係推定の結果と、平成17年度の非降雪期における降水イベントに対して秋田県が行った3段タンクモデルでの流量の計算結果とを組み合わせ、新たに、降水時の負荷量の推計を行った。なお、宇樽部川と神田川以外の秋田県側の河川では、流速と水質の同時調査を行ったかが明瞭でないため、L-Q式による評価の対象外とした。

宇樽部川及び神田川に適用したL-Q式プロットの回帰式から流量と負荷量の関係式の指数は1.5~2.0の間であった(図2)。

L-Q式により、降雨時負荷量を算出した結果は表5のとおりである。宇樽部川及び神田川以外の河川の負荷量については、秋田県分担執筆分の報告⁹⁾から抜粋した。また、表の宇樽部川及び神田川には、従来、秋田県が行った負荷量推定の結果

をカッコ内に併記した。

6河川合計の降水時の負荷量は、COD、全窒素及び全リンはそれぞれ晴天時の13倍、6倍、9倍であった。

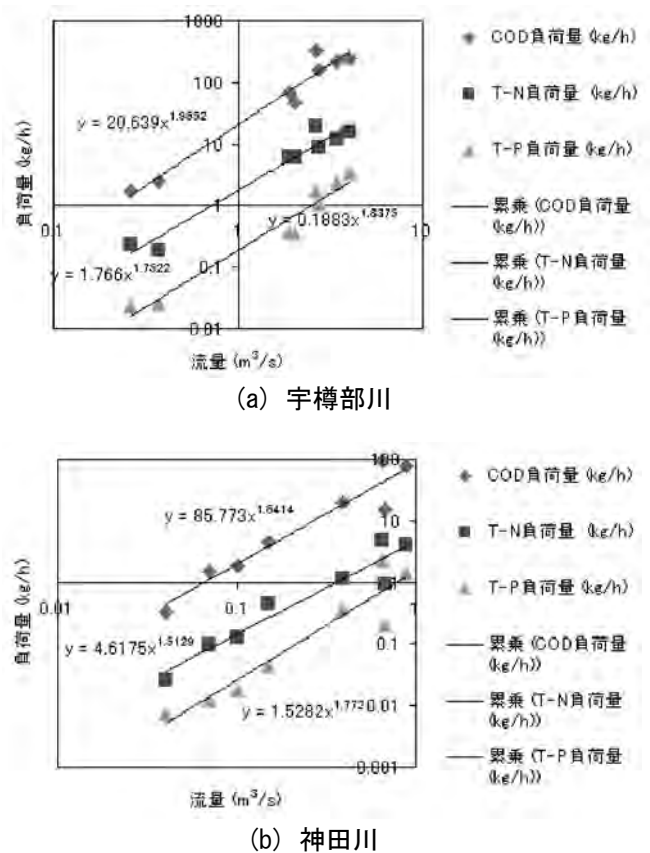


図2 宇樽部川及び神田川におけるL-Q式のプロット (平成17年7月及び10月)

表5 降水時における流入河川の負荷量 (5~11月)

(トン)

項目	宇樽部川	神田川	鉛山沢川	大川岱川	銀山川	滝ノ沢川	6河川合計
COD	380(360)	93(170)	23	37	48	56	630
全窒素	18(18)	4.3(7.4)	0.57	0.29	0.84	0.35	24
全リン	2.4(2.5)	1.9(2.9)	0.11	0.38	0.47	0.61	5.8

※ () は秋田県推定

2.3 逆送水の影響

通常の十和田発電所での発電は、湖水面より上位にある渓流水取水口から、湖水面より下位にある発電所へ、不足であれば湖水も利用して行くが、逆送とは、発電容量を制限し、発電所へ流れる渓流水の一部を十和田湖に流すものである。

逆送水の水質については、唯一、降水の影響も含めて7日間観測した花石らの調査結果がある⁷⁾。この調査は融雪期の4月に行われた。COD値、全窒素、全リン濃度から年間における汚濁負荷を推定する。

降水がなかったときの逆送水のCOD値は約1mg/Lで、湖水の濃度とほぼ同程度である。一方、全窒素は、約0.2mg/Lであり、湖水の平均的な0.1mg/Lの2倍程度であった。全リンは0.008mg/L前後で、湖水の0.003mg/Lの約3倍である。したがって、逆送水は、湖水に対する窒素リンの供給源であると考えられる。

文献¹¹⁾により、逆送水の年間流入量は 3.7×10^7 t/年と推定されている。以上の値をもとに5月から11月までの7ヵ月分を推定した結果を表6に示す。算出にあたっては、流入量は年間の12分の7とし、降水日については考慮しなかった。

花石らの平成19年度の調査結果⁷⁾では、降水時には逆送水のCOD値などの上昇が認められている。

表6 逆送水の汚濁負荷量（晴天時、5～11月）

項目	負荷量 (トン)
COD	23
全窒素	4.3
全リン	0.16

この結果をもとに、降水時に逆送水のCOD値が3mg/Lに上昇し、年間の降水イベントが20回、それぞれ24時間にわたりこの値が継続すると仮定すると、CODの負荷は6トン/年程度となる。また、降水時に全窒素が0.4mg/L、全リンが0.02mg/Lになるとすれば、降水時における全窒素、全リンの負荷量はそれぞれ0.8トン/年、0.04トン/年となる。これらの値は、前述した降水時の流入河川の負荷量の試算結果よりも極めて小さい。以上から逆送水による負荷量は、降水時については無視できる程度であり、晴天時として試算した表6の量としてみなすことができる。一方でその量は表4及び表5に示す流入河川の負荷量に比べると小さい。

2.4 生活排水の影響

図3に、十和田湖畔の青森・秋田両県における下水道接続率の状況を示した。また十和田湖の「中央」におけるCOD75%値の推移を示した。下水道接続率は年々増加し、現在約90%である。CODについては、昭和59年度頃から上昇し、昭和62年度以降は、平成16年度の一時的な上昇を除けば、ほぼ同様の値で推移している。

公開されている原単位を用いて、下水道未接続家屋から生活排水のCOD等の負荷量を推定する。平成20年度末では未接続戸数49戸のうち、青森県側の17戸については平成20年度に現地調査を実施し居住しているのは13戸であったことから、両県合わせた未接続戸数を45戸とする。また、1戸には4人が生活し、原単位として表7に記載した値¹²⁾とし、単独処理浄化槽が設置されているものとして、文献¹²⁾の除去率等を用いると、COD、全窒素及び全リンの負荷量は、表7に示した試算結果となり、極めて小さい値であった。

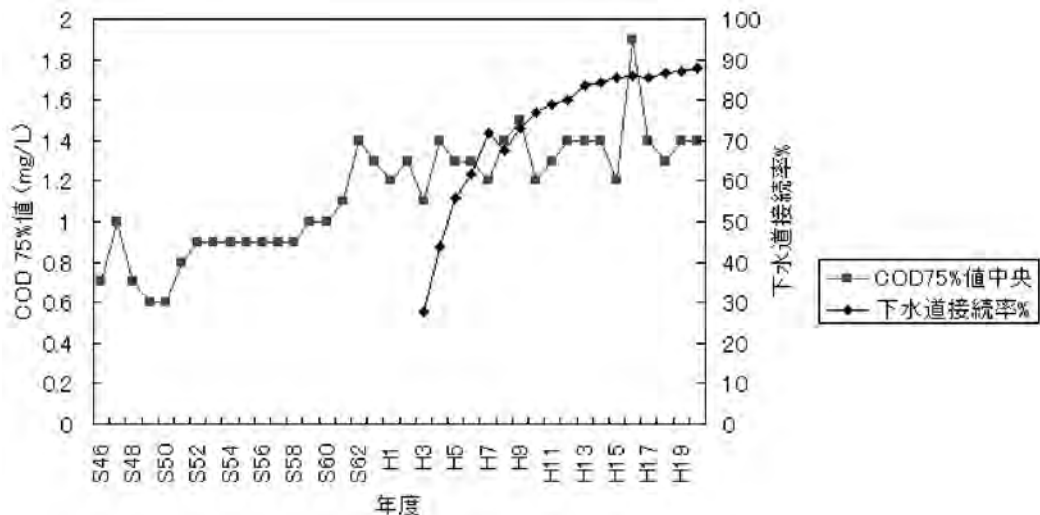


図3 十和田湖畔における下水道接続率と「中央」におけるCOD75%値の推移

表 7 下水道未接続家屋からの生活排水の負荷量

項目	原単位 (g/(人・日))	単独処理 浄化槽 除去率(%)	浄化槽処理 後負荷量 (g/(人・日))	戸数 (戸)	一戸あた りの人数 (人)	負荷量 (トン/年)	5～11月の 負荷量 (トン)
COD	17	50	8.5	45	4	0.55	0.32
全窒素	2.0	0	2.0	45	4	0.13	0.076
全リン	0.40	0	0.40	45	4	0.026	0.015

表 8 各汚濁源の全体の負荷量に占める割合

汚濁源	COD		全窒素		全リン	
	負荷量 (トン)	割合 (%)	負荷量 (トン)	割合 (%)	負荷量 (トン)	割合 (%)
生活排水(下水道未接続)	0.32	0.035	0.076	0.096	0.015	0.19
湖面に対する直接的降水	190	21	47	59	1.0	13
流入河川(晴天時)	47	5.2	4.3	5.4	0.66	8.6
流入河川(降水時)	630	70	24	30	5.8	76
逆送水(晴天時)	23	2.5	4.3	5.4	0.16	2.1
流入負荷量の総和	890	—	79	—	7.6	—

3. 汚濁源負荷量の考察

3.1 汚濁源の寄与率

これまで試算した負荷量の結果を取りまとめ、また、それぞれの割合を算出し、表 8 及び図 4 に示した。

汚濁源として、CODと全リンについては降水時の流入河川の割合が大きく、全窒素については湖面に対する直接的な降水の割合が大きいなど、自然要因による負荷が大部分を占めている。

4. 結論

十和田湖における汚濁源の負荷について要因別に試算した。その結果、次の点が明らかになった。

- 1)COD、全窒素及び全リンは、それぞれ降水に湖水の2～3倍、4～10倍、9倍以上の程度の濃度で含まれており、これらの項目で、降水の湖面に対する直接的影響が大きいと試算される。
- 2)降水時の流入河川による汚濁負荷は、CODと全リンで大きい。
- 3)発電所に流れる渓流水の一部を十和田湖に流す逆送水の影響は、全体の汚濁負荷から見て相対的に小さい。
- 4)下水道未接続家屋からの影響は、負荷量全体から見て、無視できるほど小さい。

以上のとおり、十和田湖における汚濁源については、自然要因による負荷が大部分を占めていた。

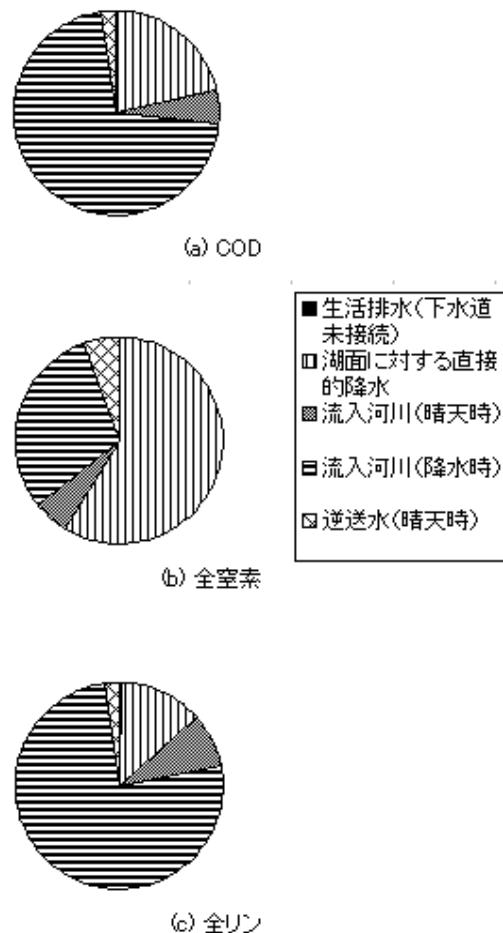


図 4 各項目についての汚濁源の寄与の割合

文 献

- 1)青森県編：十和田湖水質汚濁機構解明調査報告書（平成7～9年度）．1998年11月
- 2)高村典子編：十和田湖の生態系管理に向けて．国立環境研究所研究報告,146,1999
- 3)高村典子編：十和田湖の生態系管理に向けてII．国立環境研究所研究報告,167,2001
- 4)三上一ほか：十和田湖の負荷量調査(1999～2000)．青森県環境保健センター研究報告,11,21-36,2000
- 5)三上一：非積雪期における十和田湖流入河川の降雨時負荷量調査．青森県環境保健センター研究報告,17,20-31,2006
- 6)青森県環境保健センター編：平成17年度十和田湖流入河川降雨時負荷量調査報告書．2007年5月
- 7)花石竜治ほか：平成19年春季の十和田湖における逆送水の水質調査結果．青森県環境保健センター研究報告,18,22-25,2007
- 8)青森県環境保健センター編：十和田湖の水質に関する報告書—公共用水域水質調査結果、定点における調査結果、共同研究の成果及び負荷量の考察—．2011年5月
- 9)花石竜治ほか：十和田湖の水質調査結果—公共用水域水質調査及び定点層別採水による調査．青森県環境保健センター研究報告,20,22-29,2009
- 10)國松孝男ほか：河川汚濁のモデル解析．技報堂出版,東京,1989
- 11)吉田毅ほか：十和田湖における鉱山廃水、下水道処理による水質の将来予測．青森県環境保健センター研究報告,13,32-45,2003
- 12)流域別下水道整備総合計画制度設計会議編：流域別下水道整備総合計画調査指針と解説．2009

Loading of Pollution Source at Lake Towada - for the Period up to Fiscal 2009 -

Ryuji Hanaishi, Hisashi Nozawa, Takuya Ichinohe, Ikuyo Kudo, Ryuji Kudo

A factorial analysis of loading of the pollution source at Lake Towada suggests that the contribution of direct loading due to rainfall on the lake surface and loading from inflowing rivers during rainfall were high. Inflowing rivers during rainfall contributed to COD and total phosphorus, and direct loading on the lake surface made a major contribution to total nitrogen. In addition, the effect of inter-catchment transfer of water was relatively small compared to the total loading, and it was calculated that the effect of domestic wastewater from houses that were not connected to the sewage system was negligible. Loading due to natural causes was the main factor at Lake Towada.

Key words: Lake Towada, loading, rainfall