Ⅲ　調査研究報告

平成17年度　十和田湖流入河川降雨時負荷量調査解析結果について

佐藤信也

平成17年度に青森県と秋田県が合同で行った十和田湖流入河川降雨時負荷量調査では，十和田湖に流入する主要な河川や発電用逆送水の集水域などにおける現地調査が行われ，当センターは，流入河川の水質汚濁負荷量の解析を担当した。水質汚濁負荷量は，主要7河川について，平成17年の5月～11月を洪水期間と晴天期間に区分し，各期間毎に推計した。洪水期間の水質汚濁負荷量は，降水量と現地調査の結果から基底流量とタンクモデルにより流量を推計し，各物質の実測濃度を実測流量と関連付けた直線回帰式により濃度を推計し，これらの積により算出した。晴天期間の水質汚濁負荷量は，基底流量と過去5年間の調査における各物質の平均濃度の積により推計した。

１．背景と目的

青森・秋田両県は，平成13年に策定した「十和田湖水質・生態系改善行動指針」に従って，未解明の課題の一つである，十和田湖流入河川の降雨時の水質汚濁負荷について，平成17年度に合同で調査を行った。調査対象は，主要な流入河川7本と駐車場などの舗装面の排水路，さらに，発電事業者が湖域外から導入している逆送水の集水域であった。流量と水質調査は外部委託により行われ，その解析は，青森県環境保健センターと当センターが分担して行った。当センターは，流入河川及び駐車場等の舗装面の水質汚濁負荷量（以下，「負荷量」という。）の解析を担当した。解析の対象期間は，水質調査が7月～10月の非積雪期に行われたこと，積雪期においては，状況が著しく異なると考えられることから，平成17年の非積雪期（5月～11月）とした。

２．解析方法

調査対象とした河川は，滝ノ沢川，銀山川，大川岱川，鉛山川，和井内沢，神田川，宇樽部川の7本，舗装面は，休屋地区の散策路等の雨水排水路及び駐車場の雨水排水路，宇樽部地区の道路側溝及び子ノ口地区の駐車場排水路であった（図1）。現地調査は，各地点において7月の降水時に1回，9月又は10月の降水時に1回行われた。各調査は，流量・水質の変化を把握するため，降水の直前，流量の増加期，流量のピーク時，流量のピーク時から晴天時の流量に戻る中間時期，の都合4回，現地測定及び検体採取が行われ，流量については，さらに時間間隔を狭めて11～15回測定された。

負荷量は，非積雪期である平成17年5月～11月の期間を 1 時間単位で洪水期間と晴天期間に区分し，それぞれに流量・水質を推計して算定した。洪水期間は，気象庁の休屋アメダス観測所（以下，「休屋観測所」という。）の1時間積算降水量（「秋田県農業気象情報」から取得。）が5mm以上の時間帯を含み降水が継続している期間とし，始期は降り始めの時刻，終期は推計した流量が降り始めの流量に戻った時刻とした。「晴天期間」は，洪水期間を除いた期間とした。

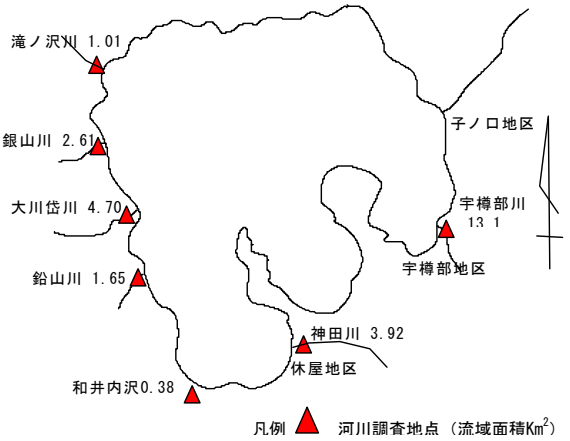


図１　主な調査地点

洪水期間における流量の推計は，1ヶ月程度の長い時間間隔の変化を推計した基底流量と，1時間降水量に応じた短期的な変化をタンクモデル[1,2]を用いて推計した流量を合計することとした。基底流量は，同時期の流域の集水量と実測積

算流量との差を地下浸透量と考え,この1ヶ月積算量が翌月 1 ヶ月間に平滑化されて河川に戻るものとして推計した。タンクモデルは，段数 3 段とし，3 段目で地下浸透する構造とし，各パラメータは,実測流量に合うように試行錯誤法で定めることとした。晴天期間の河川流量は，基底流量を用いることとした。蒸発散水量は，河川の流下距離が短いことから無視することとした。

各項目の濃度の推計方法は,洪水期間については,実測流量と各項目の実測濃度から直線回帰式を求めて推計することとし，晴天期間については,両県が過去 5 年間に行った調査のほとんどが晴天時に行われていることから,各項目の平均値を用いることとした。

負荷量は,推計流量と各項目の濃度推計値の積とした。

なお，滝ノ沢川については，7 月調査時の各物質の濃度が他の河川より 1 桁大きい異常な高濃度であり，9 月調査時にはこのような現象が見られなかったことから,滝ノ沢川の 7 月調査時の濃度は一時的なものと考え,洪水期間の推計に用いる各物質の濃度は,滝ノ沢川に限って 9 月調査時の分析結果のみ用いて推計することとした。和井内沢は,排水路の構造から流量の実測が困難であること，水源が湧水であることから，流量の変化が少ないものと考え,全期間を晴天期間として取り扱うこととした。神田川と宇樽部川の調査では，流量のピークを把握できず，特に 7 月は調査開始時に既に降雨が始まっていたと思われたので，この 2 河川のタンクモデルのパラメータは，流域面積が最も近い大川岱川のパラメータを適用することとした。

舗装面の負荷を調査した休屋地区の雨水排水路と駐車場,宇樽部地区の道路側溝と子ノ口駐車場については,河川と比較して流量が著しく少なく，各項目の濃度も低いので，負荷量としては無視できるものと考えられ,参考値として実測負荷量の算定のみ行うこととした。

3．結果及び考察

降水時の流量が詳細に測定された 4 河川の実測流量の積算値と,同時間帯の降水量と流域面積から算出した各河川流域の集水総量との比を求めると，いずれの河川も約 40%であった。そこで，各月の基底流量は，前月の積算降水量の平均値の 60%とした。表 1 に示した各月の基底流出高は，基底流量を集水面積で除したものである。

解析に用いたタンクモデルの構造は図 1 のとおりで，推計に十分な流量データが得られた 4 河川のパラメータは，各河川の基底流出高，降水係数と実測流出高（流量を集水面積で除したもの。）を用いて試行錯誤法により表 2 のように決定された。推定流出高積算値は，現地調査を行った洪水期間において,タンクモデルを用いて推計した 1 時間流出高の積算値であり,実測流量を流出高に換算して台形則により積分した実測流出高積算値と比較すると，その相対誤差は±8%以内であった。

表 2 の「降水量割増率」は，9 月調査時の休屋観測所における時別降水量を補正したもので,補正率は，タンクモデルを用いて，積算推計流量と積算実測流量の差が最小となるように試行錯誤法により決定したものである。補正を行った理由は，9 月調査時の休屋観測所の時別降水量と，滝ノ沢川から鉛山川の間の 4 河川の実測流量を比較すると，約 2 培の差があり，降水量の地点差があったものと考えられ，9 月の調査結果をタンクモデルのパラメータ決定に用いる際には，上記 4 河川については,休屋観測所の降水量を実態に合わせて補正して用いるのが妥当と考えられたからであった。このことは，気象庁の 1Km メッシュのレーダーアメダス解析雨量(秋田県農業気象情報から取得。）を用いると，9 月の同時間帯の滝ノ沢川から鉛山川の間の区域の降水量は休屋観測所の降水量の 1/2 程度しかない時間帯が多かったことからも裏付けられた。7 月調査時の地点による降水量の差は，少なかった。

表 1　前月の平均降水量（mm/h）と基底流出高（mm/h）

	月						
	5	6	7	8	9	10	11
前月の平均降水量	0.163	0.118	0.098	0.480	0.230	0.376	0.228
基底流出高	0.098	0.071	0.059	0.288	0.138	0.226	0.137

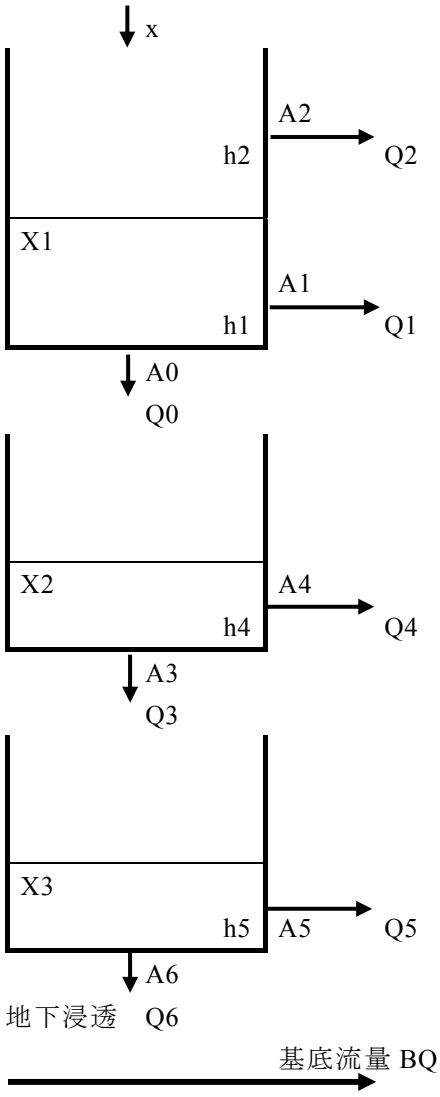
洪水期間は，5月～11月の間に22回あり（これらを「Run1」，「Run2」･･･「Run22」と呼ぶ。），すべてのRunの積算降水量は，5月～11月の積算降水量の約 75%を占めていた。タンクモデルにより各Run，各河川，毎時の流出高を求め，流量を推計した結果は，表3のとおりである。特に流量の多かった洪水期間Run6，11，15のうち，Run6については7月の現地調査，Run15については9月の現地調査でカバーされていた。

晴天期間の流量は，洪水期間の時間帯を除外して月別に晴天時間数を算出し，これに月別基底流出高と流域面積を乗じて算出した（表4）。

洪水期間の各項目の実測濃度を各河川の実測流量を基にして直線回帰式で近似した結果は，表5のとおりである。溶解性成分の指標であるPO_4-P，dT-Pについては，流量が増加すると濃度は減少する傾向があった。これは，これらの物質の溶出速度が一定で，流量が増えると希釈効果により濃度が減少するためと考えられた[3)]。

粒子状物質の影響が大きいと考えられるSS，COD，TOC,T-N，T-Pなどの項目については，流量が増加すると，濃度も増加する傾向にあった。これは，河床の沈殿物が流出する掃流効果と考えられた。

晴天期間の各項目の濃度については，平成13年～平成16年に両県が行った水質調査結果及び



タンク１	
X1≧h2 のとき	h1≦X1<h2 のとき
Q2=A2・(X1-h2)	Q2=0
Q1=A1・(X1-h1)	Q1=A1・(X1-h1)
Q0=A0・X1	Q0=A0・X1
X1<h1 のとき	
Q2=0	
Q1=0	
Q0=A0・X1	
残高 X1'=X1-(Q0+Q1+Q2-x)・Δt	

タンク２	
X2≧h4 のとき	X2<h4 のとき
Q4=A4・(X2-h4)	Q4=0
Q3=A3・X2	Q3=A3・X2
残高 X2'=X2-(Q3+Q4-Q0)・Δt	

タンク３	
X3≧h5	X3<h5
Q5=A5・X3	Q5=0
Q6=A6・X3	Q6=A6・X3
残高 X3'=X3-(Q5+Q6-Q3)・Δt	

記号	定義
Δt	時間刻み(h)
x	降水量(mm/h)
X1,X2,X3	タンク 1,2,3 の貯留高(mm)
X10,X20,X30	X1,X2,X3 の初期値(mm)
Q1,Q2,Q4,Q5	各流出孔の流出高(mm/h))
A1,A2,A4,A5	各流出孔の流出係数
h1,h2,h4,h5	各流出孔の高さ(mm)
Q0,Q3,Q6	各浸透孔の浸透高(mm/h)
A0,A3,A6	各浸透孔の浸透係数

※　貯留高，流出高，浸透高の「高」は，タンク断面積を1として，降水量と同じ単位で取り扱えるようにしたもの。

図2　タンクモデルの構造とパラメータの定義

表 2　各河川のタンクモデルのパラメータ

河川名	滝ノ沢川		銀山川		大川岱川		鉛山川	
調査時期	7 月	9 月	7 月	9 月	7 月	9 月	7 月	9 月
基底流出高(mm/h)	0.059	0.138	0.059	0.138	0.059	0.138	0.059	0.138
降水量割増率	1	0.7	1	0.6	1	0.8	1	0.7
推定流出高積算値(mm/h)	73	67	73	54	70	78	58	59
実測流出高積算値(mm/h)	74	65	72	50	70	81	55	64
地下浸透高積算値(mm/h)	93	81	93	81	86	83	108	94
流出率(%)	44	45	44	40	45	48	35	39
地下浸透率(%)	56	55	56	60	55	52	65	61
タンクモデルパラメータ								
A0	0.15		0.15		0.3		0.3	
A1	0.3		0.3		0.3		0.2	
A2	0.1		0.1		0.1		0.1	
A3	0.3		0.3		0.1		0.3	
A4	0.1		0.1		0.1		0.2	
A5	0.1		0.1		0.1		0.1	
A6	0.1		0.1		0.1		0.1	
h1	15		15		15		15	
h2	40		40		40		40	
h4	15		15		15		15	
h5	15		15		15		15	
X10	15		15		15		15	
X20	15		15		15		15	
X30	15		15		15		15	

表 3 各河川，各洪水期間の流出量(千 m^3)推計結果

	Run1	Run2	Run3	Run4	Run5	Run6	Run7	Run8	Run9	Run10	Run11	Run12
滝ノ沢川	7	8	25	8	16	106	23	8	6	12	45	28
銀山川	19	20	64	22	42	273	58	21	16	32	115	72
大川岱川	31	32	110	39	71	498	114	35	19	52	206	127
鉛山川	15	16	36	18	26	139	36	16	12	22	70	44
神田川	26	27	92	32	59	415	95	29	16	43	171	106
宇樽部川	86	89	306	108	197	1,387	317	97	53	145	573	354
計	184	191	633	228	410	2,818	642	206	123	307	1,179	731

	Run13	Run14	Run15	Run16	Run17	Run18	Run19	Run20	Run21	Run22	計
滝ノ沢川	12	17	115	9	13	14	16	27	17	25	557
銀山川	30	44	298	24	34	35	40	71	43	66	1,439
大川岱川	52	74	538	33	63	65	68	123	74	119	2,541
鉛山川	23	27	171	17	26	28	27	41	26	40	876
神田川	43	62	448	27	53	57	57	103	61	100	2,122
宇樽部川	145	206	1,499	91	176	190	190	343	205	333	7,093
計	305	430	3,069	200	366	390	398	709	427	684	14,628

平成 17 年の本調査における降雨前の水質調査結果の平均値を用いた（表 6）。

洪水期間の負荷量，休屋，宇樽部，子ノ口地区の舗装路面等の実測負荷量及び晴天期間の負荷量の算定結果は，表 7，表 8 及び表 9 のとおりである。

洪水期間と晴天期間の負荷量（表 7，9）を合せて，非積雪期間全体の負荷量を求めた結果は，表 10 のとおりである。粒子状物質の影響が考えられる SS，COD，TOC，T-N，T-P については，

大部分が洪水期間に流出しており，PO_4-P，dT-P などの溶解性成分については，7 割以上が晴天期間に流出していた。

多くの項目で宇樽部川と神田川の 2 河川の負荷量が全体の 7 割を占めたが，河川，物質によりこれと異なる傾向も認められた。例えば，神田川は，流量は宇樽部川の約 1/4 であったが，SS と PO_4-P 負荷量は宇樽部川の約 2 倍であった。大川岱川の流量は，宇樽部川の約 1/3 であったが，PO_4-P 負荷量は宇樽部川と同等であった。また，和井内沢の流量は，鉛山川の約 1/10 であったが，PO_4-P 負荷量は，鉛山川の約 1.5 倍であった。

表 4　各河川の全期間の推計流量（千 m^3）

河川名	洪水期間	晴天期間	計
滝ノ沢川	557	673	1,230
銀山川	1,439	1,738	3,178
大川岱川	2,541	3,130	5,671
鉛山川	876	1,099	1,975
和井内沢	0	253	253
神田川	2,122	2,611	4,733
宇樽部川	7,093	8,725	15,818
計	14,628	18,230	32,858

表 5　各河川の実測流量(m^3/s) x と実測水質 y (mg/l)の関係の直線回帰近似式

項目	滝ノ沢川（9 月のみ）	銀山川	大川岱川
SS	y = 358.64x + 4.0	y = 212.63x + 6.0	y = 44.277x + 3.0
COD	y = 35.399x + 3.7	y = 13.802x + 2.8	y = 3.8993x + 2.1
dCOD	y = 0.927x + 3.0	y = 1.969x + 1.7	y = 0.8193x + 2.1
TOC	y = 2.764x + 1.34	y = 0.8141x + 1.0	y = 0.4086x + 1.0
d-TOC	y = 2.6897x + 1.34	y = 0.8141x + 1.0	y = 0.3607x + 1.1
NO_3-N	y = 0.0675x + 0.1	y = 0.0302x + 0.14	y = 0.018x + 0.1
T-N	y = 0.1875x + 0.17	y = 0.274x + 0.1	y = 0.1393x + 0.1
dT-N	y = 0.1439x + 0.15	y = 0.0815x + 0.1	y = 0.0407x + 0.1
PO_4-P	y = -0.0121x + 0.02	y = -0.0031x + 0.018	y = -0.004x + 0.038
T-P	y = 0.1618x + 0.025	y = 0.1662x + 0.025	y = 0.0419x + 0.056
dT-P	y = -0.0075x + 0.021	y = -0.0019x + 0.02	y = -0.0033x + 0.041

項目	鉛山川	神田川	宇樽部川
SS	y = 224.59x + 2.5	y = 604.22x + 1.0	y = 28.766x + 1.0
COD	y = 25.082x + 1.0	y = 28.94x + 2.2	y = 5.2996x + 1.85
dCOD	y = 2.1462x + 0.9	y = 2.7296x + 0.6	y = 1.5536x + 1.55
TOC	y = 0.2948x + 1.0	y = 2.7231x + 0.7	y = 0.6978x + 0.7
d-TOC	y = 0.2324x + 1.0	y = 2.7296x + 0.6	y = 0.7036x + 0.6
NO_3-N	y = 0.0794x + 0.15	y = 0.2216x + 0.03	y = 0.0371x + 0.1
T-N	y = 0.66x + 0.1	y = 1.425x + 0.2	y = 0.3085x + 0.2
dT-N	y = 0.1048x + 0.16	y = 0.3244x + 0.15	y = 0.0774x + 0.15
PO_4-P	y = -0.0047x + 0.012	y = -0.0225x + 0.044	y = -0.0013x + 0.017
T-P	y = 0.1424x + 0.013	y = 0.5841x + 0.05	y = 0.0439x + 0.023
dT-P	y = -0.0034x + 0.013	y = -9E-05x + 0.04	y = -0.0001x + 0.0195

表 6　平成 13 年～平成 17 年の流入河川の濃度平均値(mg/l)

河川名	SS	COD	dCOD	TOC	dTOC	NO_3	T-N	dT-N	PO_4-P	T-P	dT-P
滝ノ沢川	3.63	3.33	2.59	1.55	1.37	0.07	0.171	0.124	0.019	0.027	0.024
銀山川	8.65	2.69	1.89	1.20	1.01	0.11	0.224	0.153	0.024	0.036	0.028
大川岱川	9.25	2.99	2.17	1.49	1.16	0.09	0.262	0.149	0.037	0.055	0.041
鉛山川	2.04	1.35	1.01	0.90	0.77	0.13	0.231	0.201	0.007	0.011	0.008
和井内沢	1.27	1.29	0.64	0.82	0.70	0.15	0.381	0.296	0.063	0.107	0.072
神田川	3.17	2.49	1.39	0.81	0.70	0.10	0.234	0.179	0.038	0.052	0.042
宇樽部川	2.40	2.20	1.56	0.89	0.78	0.11	0.202	0.166	0.016	0.023	0.020

表 7　洪水期間の流入河川の負荷量（Kg）

河川名	SS	COD	d-COD	TOC	d-TOC	NO_3-N	T-N	dT-N	PO_4-P	T-P	dT-P
滝ノ沢川	544,395	56,707	2,290	2,716	2,484	67	354	135	4	618	6
銀山川	766,405	48,467	8,516	3,740	3,458	223	842	308	24	470	11
大川岱川	431,665	37,430	11,336	5,378	4,733	295	296	438	33	386	36
鉛山川	221,243	23,056	2,583	950	819	151	577	167	4	116	4
神田川	4,027,436	174,669	17,384	17,002	15,519	1,162	7,482	1,782	168	2,984	47
宇樽部川	2,147,287	360,112	112,820	49,203	45,086	2,554	18,343	4,875	30	2,549	71
計	8,138,432	700,442	154,929	78,988	72,100	4,451	27,893	7,705	263	7,123	176

表 8　舗装路面等の実測負荷量（Kg）

施設名	SS	COD	d-COD	TOC	d-TOC	NO_3-N	T-N	dT-N	PO_4-P	T-P	dT-P
休屋雨水排水路 A	60	8	5	2	2	0	0	0	0	0	0
休屋雨水排水路 B	88	17	8	5	5	0	1	0	0	0	0
休屋駐車場	148	95	76	35	33	1	5	3	0	1	0
子ノ口駐車場	11	20	12	8	6	0	1	0	0	0	0
宇樽部道路側溝	13	18	16	8	8	1	1	1	0	0	0

表 9　晴天期間の水質汚濁負荷量（Kg）推計結果

河川名	SS	COD	dCOD	TOC	dTOC	NO_3-N	T-N	dT-N	PO_4-P	T-P	dT-P
滝ノ沢川	2,440	2,241	1,742	1,040	921	47	115	83	13	18	16
銀山川	15,031	4,681	3,279	2,086	1,758	197	389	266	41	63	49
大川岱川	28,969	9,355	6,808	4,661	3,617	275	821	465	117	172	129
鉛山川	2,243	1,481	1,114	989	843	143	254	221	7	12	8
和井内沢	321	326	162	207	177	37	97	75	16	27	18
神田川	8,273	6,494	3,623	2,118	1,828	266	611	468	100	135	110
宇樽部川	20,938	19,227	13,588	7,756	6,786	937	1,762	1,446	142	204	170
計	78,214	43,806	30,316	18,857	15,930	1,901	4,049	3,024	436	631	501

表 10　平成 17 年 5 月～11 月の水質汚濁負荷量（Kg）の推計結果

河川名	SS	COD	d-COD	TOC	d-TOC	NO_3-N	T-N	dT-N	PO_4-P	T-P	dT-P
滝ノ沢川	550,000	59,000	4,000	3,800	3,400	110	470	220	17	640	23
銀山川	780,000	53,000	12,000	5,800	5,200	420	1,200	570	66	530	60
大川岱川	460,000	47,000	18,000	10,000	8,400	570	1,100	900	150	560	160
鉛山川	220,000	25,000	3,700	1,900	1,700	290	830	390	11	130	12
和井内沢	320	330	160	210	180	37	97	75	16	27	18
神田川	4,000,000	180,000	21,000	19,000	17,000	1,400	8,100	2,200	270	3,100	160
宇樽部川	2,200,000	380,000	130,000	57,000	52,000	3,500	20,000	6,300	170	2,800	240
計	8,200,000	740,000	190,000	98,000	88,000	6,300	32,000	11,000	700	7,800	670

※　数値は有効数字 2 桁に四捨五入した。

参考文献

1) 菅原正巳: 流出解析法, p.256, 共立出版, 1972.
2) 菅原正巳: 続・流出解析法, p.269, 共立出版, 1979.
3) 市川 新: 都市河川の環境科学, 培風館, 1980.