

岩木川流域における水利用と河川への物質負荷

澤田 信一・井口 崇・葛西 和彦・葛西 身延

植物エネルギー工学講座

(2003年10月1日受付)

摘 要

岩木川流域への人間活動の影響を水収支と全窒素(TN)と全リン(TP)の収支の面から定量的に検討した。岩木川流域面積は2,586 km²で、土地利用率は森野が55%、農耕地が28%である。農耕地の59%(424 km², 休耕地, 転作地を含む)が水田, 8%が畑そして31%が果樹園(主にりんご園)である。この流域の平成9年から13年の5年間の平均降水量は $4,078 \times 10^6$ m³, 蒸発散量は $1,157 \times 10^6$ m³ として両者の差として求めた流出量は $2,921 \times 10^6$ m³であった。この流域での年間の水利用量は 571×10^6 m³であり、農業用取水が最大で全利用量の87%, 生活用水が12%そして工業用水が1%であった。流域内におけるTNとTPの収支を、自然系(林野, 原野, その他), 農耕地系, 畜産系そして生活系に分けて算定した。これらの各系でのTNとTPの収支から河川への両者の総負荷量を算定した。同時に、流域内の各河川河口部である十三湖へ流出したTNとTPの総量を算定し、両者の総負荷量とした。この方法で算定したTN負荷量には大きな違いがなかった。しかし、この方法で算定したTP負荷量は、この方法で算定した値に比べ、大きく異なっていた。TP収支よりもTN収支の算定結果の方が流域の人間活動の実態をより明確に示していると考え、ここでは流域内の各系におけるTN収支とその河川への負荷について述べる。流域に供給された総TN量は13,091 t/yr(平成9年から13年の5年間の平均値)であり、この中で降雨による供給量が20%, 化学肥料の施肥によるものが47%, 家畜飼料によるものが12%, そして生活污水によるものが18%であった。自然系(林野, 原野等, 1,869 km²)では、主に降雨によって供給されたTN 1,901 t/yrの89%が地下浸透によって河川へ負荷された。農耕地(水田, 畑地, りんご園等, 718 km²)への総TN供給量は7,331 t/yrであり、その内の85%が化学肥料によるものであり、残りの15%が降雨と水田への供給された農業用水に含まれていたTNであった。総供給量の41%が作物, 野菜類そしてりんご等の農作物収穫(出荷)物として流域外に移出され, 35%が土壌に蓄積し, 残り24%が畑地と

りんご園では主に地下浸透で、水田では地下浸透と同時に排水によって河川へ負荷された。流域内では、年間に牛6,400頭, 豚37,000頭そして採卵鶏370,000羽が飼養されていた。これらの家畜類の排泄物中のTN 1,215 t/yrが河川へ負荷された。また、年間に牛約4,000頭, 豚37,000頭, 牛乳2,700 t/yrそして鶏卵8,700 t/yrが流域外へ出荷された。これらの家畜と畜産物の出荷によってTN 347 t/yrが流域外へ持ち出された。この流域には476,000人が生活しており、生活污水中のTN量は2,297 t/yrであった。この内の643 t/yr(28%)のみが下水処理後の消却等によって流域外へ持ち出され, その他(72%)は河川へ負荷された。流域に存在する畜産以外の工業その他の産業, 特に大量の汚水排出についての資料が得られなかったので考慮されていない。以上の結果から、岩木川流域におけるTNの河川負荷への関与度は、農耕地が28%, 自然系が27%, 生活系が26%, そして畜産系が19%と算定された。

1. はじめに

人間の生産活動と生活に必要な陸水は流域内を循環する特性を有し、水利用は流域内に新たな循環系路を造り出し、流域内での水収支にも大きな影響を与える。

人間による水利用の際には、必ずと言っていいほどに、物質の水への新たな負荷をもたらす。生産活動の活発化と文明化に伴って、水利用の際の物質の負荷が増大し、更に自然界の水には本来存在しなかった新たな物質まで負荷するようになった。人間による水への物質負荷の増大に伴って河川や湖沼等の陸水生態系の環境が悪化し、そこに生息する生物相を変え、生物を死滅させるまでに至る場合も多い。

従って、ある流域における水利用の正しい在り方、あるいは今後の利用の在り方について考える際には、まずその流域での人間の水利用と物質負荷を含めた定量的な収支とその循環についての実態を明らかにすることが基本である。

以上の観点から、岩木川流域内における水と物質の収支を定量的に明らかにすることを試みた。そして、流域

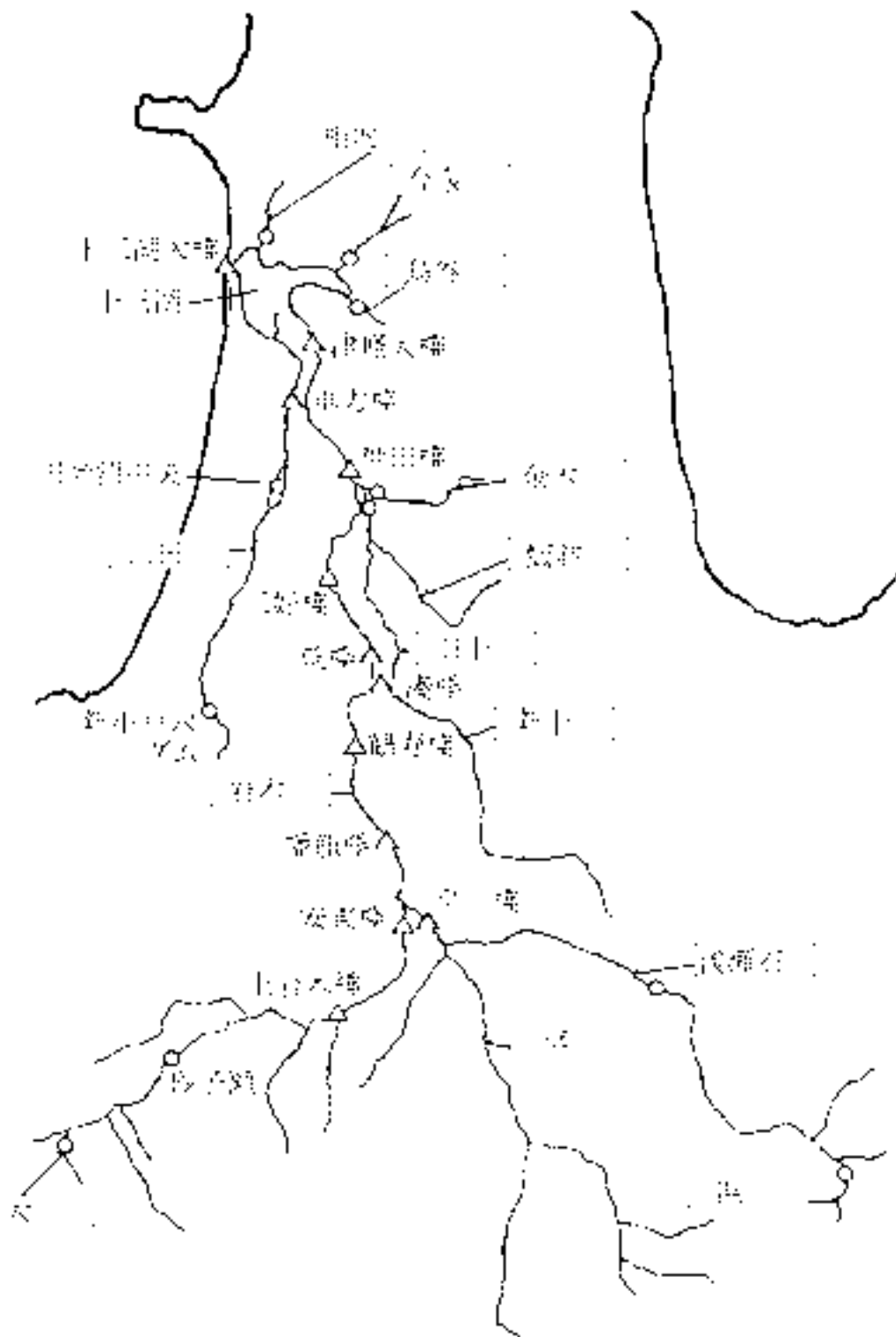


図1 岩木川とその支流および十三湖にそそぐ河川
 図中の ○ は流量と水質観測地点の位置

内における生産活動と生活による水環境への負荷について評価した。このような物質の収支と河川への物質負荷の関係の検討には、BODやCODよりも全窒素（T N）と全リン（T P）を用いた方がより定量的な検討が可能である。

2. 岩木川流域の概要

一級河川の岩木川水系が流れる津軽平野は東西 15 - 20 km、南北 50 km の細長い平野である（図 1）。東側に高度 300 m 内外の陵上の山地からなる津軽山地が南北に走り、西側では屏風山の砂丘を越えて日本海に臨んでいる。南側には高度 500 - 1000 m 内外の連山からなる白

表1 岩木川流域の土地利用(平成9~13年平均値)

	総面積	水田 ^b	畑	果樹園	牧草地 ^c	林野	(針葉樹林)	(広葉樹林)	その他	(市街地)
(km ²)	2,586.3	424.3	56.4	221.8	15.1	1,423.8	(662.8)	(761.0)	444.9	(59.8)
(%)	(100.0)	(16.4)	(2.2)	(8.6)	(0.6)	(55.1)	(25.6)	(29.4)	(17.2)	(2.3)

^a青森県国土整備部整備企画課内部資料(8)。

^b休耕田, 雑穀畑等への転作地を含む。

^c採草地と放牧地。

表2 岩木川流域の市町村人口と面積と産業

	弘前市	五所川原市	黒石市	中津軽郡	南津軽郡	北津軽郡 ^a	西津軽郡 ^b	合計
人口(人) ^f	177,348	49,075	39,026	18,254	96,284	55,215	41,332	476,534
面積(km ²) ^f	273.81	166.91	216.96	496.37	700.85	365.82	253.85	2,475
町村数				3村	5町3村	3町	1町4村	
岩木川との位置関係	中流部	中流部	中流部	水源上流部	中流部	中流部	下流部	
産業その他	商業	商業	商業	米生産	米生産	米生産	米生産	
	学園都市	米生産	米生産	りんご生産	りんご生産	りんご生産	畜産	
	りんご生産	りんご生産	りんご生産			畜産		

^a小泊村を除いた。

^b鯉ヶ沢町, 深浦町, 岩崎村を除いた。

^c青森県企画振興部統計情報課内部資料(8), 平成12年度の値である。

^d国土地理院(平成15年)全国都道府県市町村別面積(24)を用いた。

神山地が東西に位置している。岩木川はこの白神山地の雁森峠(987m)を水源とし, 弘前市を貫流し, 津軽平野のほぼ中央部を北流し, 十三湖を経て日本海に流出する。この間の岩木川には, 相馬川, 平川(浅瀬石川を支流とする), 十川, 旧十川その他の支流が流れ込む。また, 十三湖には山田川その他の小河川が直接流入している。岩木川の幹川流路延長は102kmである。

岩木川の流域面積は2,586km², その内山地は44%, 平地は29%を占める。土地利用率は, 森林が55%, 耕地が19%そして果樹園(主にりんご園)が9%である(表1)。耕地の85%が休耕田と転作地を含めた水田(424km²)である。

岩木川流域の平成13年度の人口は476,000人である(表2)。流域人口の56%が弘前市, 五所川原市そして黒石市の3都市部に集中しており, 残りが中, 西, 南そして北津軽郡の9町7村に生活している。これら3市は商業都市であり, 際だって大きな工業などの産業はこれらの3市および4郡部にも存在しない。この流域の主要な産業は農業である。岩木川上流部から中流部に懸けてはりんご生産と米生産が中心であり, 下流部は米生産が中心であり, それに畜産が行われている。

岩木川は標高が低く集水域の小さな山地を水源としており, その短い流路に比べて広い流域に水田を中心とした農耕地が集中し, 畜産も行われ, 人口も集中している。従って, この流域は河川流出量の少ない岩木川に依存した農業地帯であり, また人口密度も高く, 河川水が効率的に利用されており, 汚染されやすいという特徴を有している。このために, 平成12年に東北地方の一級河川11水系での水質(BODで評価)では岩木川は11位であっ

た(23)。

この流域は豪雪地帯であるが, 水源山地の標高が低いために, 田植え時期前の4月に急激な融雪で河川流出量が最大となる(図2)。加えて, 2月から3月に懸けては年間で最も降雨が少ない時期でもあり, また水源の集水域が狭いため, 田植えから稲の生育時期にかけて河川流量が大きく減少し, 農業用水が大きく不足してきた。そのために, 流域には現在も大小の溜め池が1000以上も存在し, 農業用水供給に使用されてきた。現在は, 多目的の目屋ダム(有効貯水量, 33.0 × 10⁶ m³), 浅瀬石川ダム(43.1 × 10⁶ m³), 二庄内ダム(15.6 × 10⁶ m³), 早瀬野ダム(13.0 × 10⁶ m³)等がこの地域の農業用水の大きな供給源になっている。

3. 方法

1) 降水量, 蒸発散量, 河川流出量, 河川流量の算定

蒸発散量の算定は樫根(22)の「Penmanの蒸発散式の図的解法と水収支計算への応用について」を用いた。降水量と蒸発散量の算定に用いた岩木川流域内およびその周辺の気象要素(32, 33)とその気象観測地点と実際の算定方法は澤田ら(26)に記載されている。

岩木川およびその支流と十三湖に直接流入している小河川の流出量と流量算定の方法は澤田ら(26)に従った。岩木川の月別河川流量としてのその河口における流量の計算方法は澤田ら(26)に従った。

2) 農業用水量, 生活用水量, 工業用水量の算定

岩木川本流と各支流からの農業用取水量の算定には, 青森県農林水産部農村整備課の内部資料(18)を用い

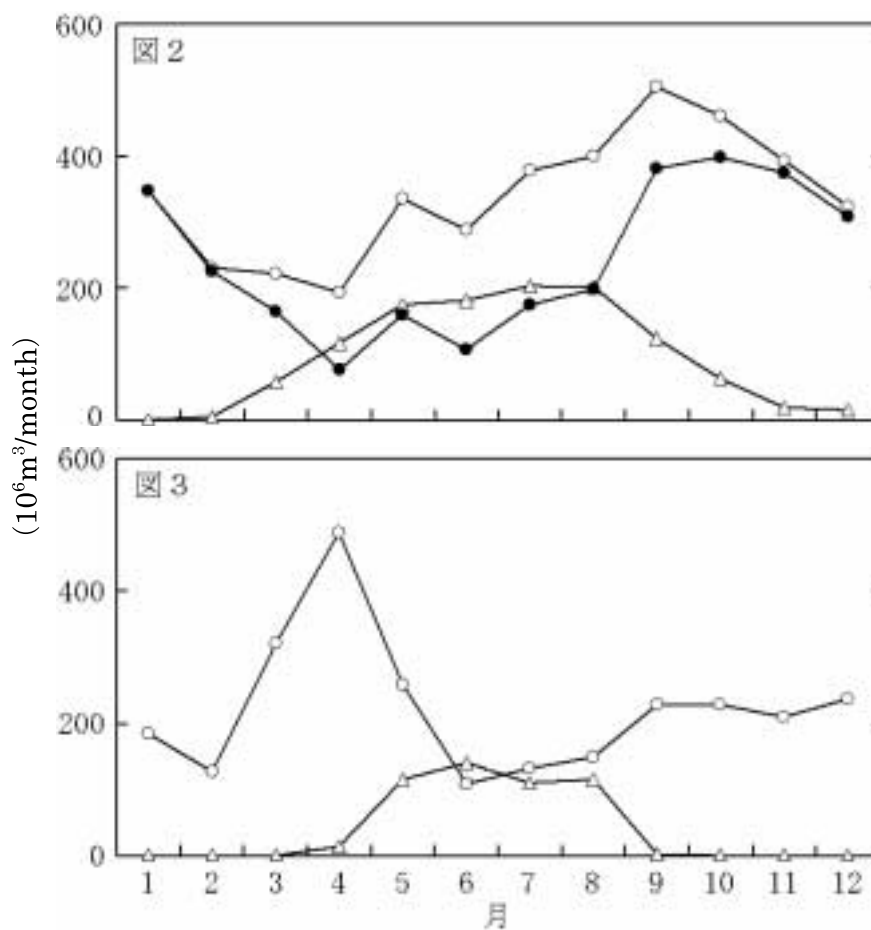


図2 岩木川全流域の月別水収支(平成9～13年の平均値)
○, 降水量; ●, 蒸発散量; △, 流出量。

図3 岩木川全流域の月別の流量と農業用の取水量(平成9～13年の平均値)
○, 流量; △, 農業用の取水量。

た。この資料に記載され、管理されている頭首工と揚水機の総数は49であった。これら全施設が取水量の測定を行っていた。農業用水として取水された水の下水道や工業用水としての利用に関する資料は得られなかったが、これらの目的での水利用は殆ど無いと考えられる。さらに、農業水路を経てこの流域外に流出している農業用水は、東北農政局の岩木川水系関連農業開発事業概要図(29)からは認められなかった。また、目屋ダムその他のダムが設置された後、現在も使用されている溜め池からの取水量は考慮する必要があったが、それらの取水量に関する資料が得られなかったので考慮されてない。

岩木川全流域における下水道の普及率は平均で95%(平成12年度)(1)であり、その水源の多くが岩木川本流あるいは支流から直接あるいはそこに設置されたダムからである。

3) 河川の水質と流量の測定

岩木川本流、支流とその他の河川の水質と流量の測定地点を(図1)に示した。河川の全窒素(TN)量、全窒素(TP)量と流量は青森県環境生活部環境政策課の「公共用水域及び地下水の水質測定結果」(3)に記載されている値である。平成13年から14年にかけて、岩木川上

流の支流大川の大川橋と浅瀬石川上流の支流温川の温川橋で水質と流量の年間測定を行った。両地点から上流部には人家及び耕地が全く存在せず、自然林で被われていることから、自然生態系からの流出水の水質測定が出来たと考えられる。

4) 人為的なTNとTPの河川への負荷量の算定

河川への主な人為的な汚濁源としては生活污水、営業污水、工場、事業等の排水が考えられる。しかし、岩木川流域での営業污水と工場、事業所等の排水のTNとTPの負荷量を算定するのに必要な基礎資料が得られなかった。資料「青森県の工業」(5)から、流域内に際だった量のTPとTNの汚濁源となる排水を行っていると考えられる工場と事業所はこの流域に存在しないと判断した。また、営業污水についても、その基礎資料が得られなかったので、個別に算定できなかった。しかし、「考察」で述べるように、流域に設置されている規模の大きな公共下水道である岩木川浄化センターと弘前下水処理場へ流入され、処理されている汚濁物質のTNとTPの量のかなりの部分が生活污水以外の特に営業污水に基づくと考えられる結果が得られた。

生活污水(主にし尿、雑排水)からの河川へのTNと

表3 岩木川流域市町村の下水道等普及率(平成9~13年の平均値)^ア

	行政人口	水洗化人口	公共下水道 処理人口	総合浄化槽 処理人口	単独浄化槽 処理人口	非水洗化人口 (計画収集人口) ^イ
人数(×10 ³ 人)	488.5	381.3	212.4	40.4	128.5	107.1
(%)	(100.0)	(78.1)	(43.5)	(8.3)	(26.3)	(21.9)

^ア青森県環境生活部環境政策課内部資料(2)。
^イ計画収集とはいわゆる“汲み取り”である。

表4 生活污水から発生するT-NとT-Pの負荷単位

文 献	T-N 負荷量			T-P 負荷量		
	し尿	雑排水	合計	し尿	雑排水	合計
	(g/man/day)			(g/man/day)		
日本下水道協会資料(34)	9 ^ア	2 ^ア	11±2	0.9 ^ア	0.4 ^ア	1.3±0.3
日本下水道協会資料(34)			10.2 ^ア			1.3 ^ア
人と自然の水環境を目指して(35)	10(9~11)	2.5(2~3)	12.5(11~14)	1.1(0.9~1.2)	0.7(0.6~0.9)	1.8(1.5~2.1)

^ア本研究に用いた値。

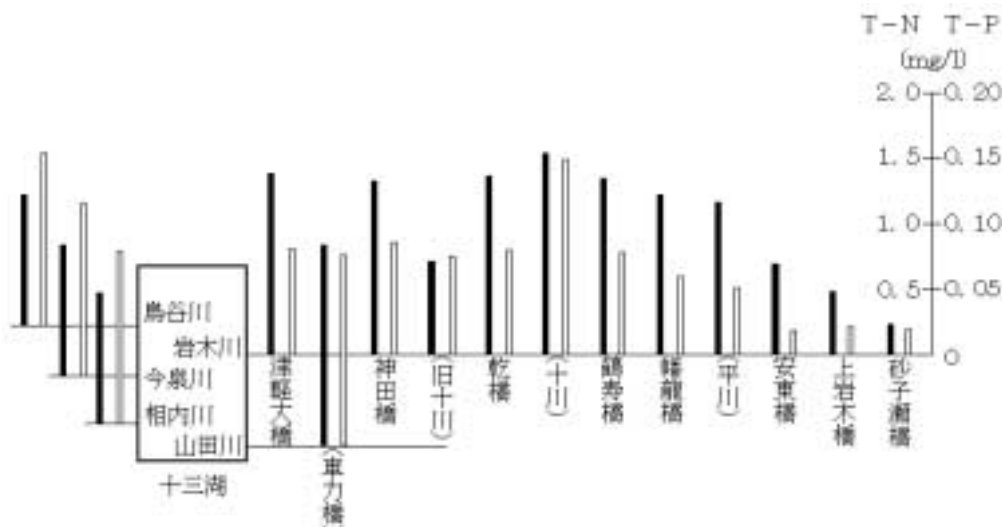


図4 岩木川本流, 支流, その他小河川の流水の年平均T-NとT-P濃度(平成9~13年の平均値)。()付きの河川名は支流である。黒抜きおよび白抜き棒グラフは, それぞれT-NとT-P濃度を示す。

T-Pの負荷量の算定は公共下水道, 合併浄化槽, 単独浄化槽等の処理(水洗化)人口と非水洗化(計画収集)人口を基礎とした(表3)。生活污水から発生するT-NとT-Pの負荷単位は(表4)に示した資料を用いた。流域内には公共下水処理施設が8ヶ所に設置されており(図5), これらの施設での処理後に河川への排出されるT-NとT-Pの河川への負荷量に関する資料(表5)が得られた。合併浄化槽と単独浄化槽での処理後の排水中のT-NとT-Pの負荷単位は表6に示した。

5) 自然系と農地系へのT-NとT-Pの供給量の算定

表1に示す岩木川流域の土地利用における“その他”の部分には, 原野が多く含まれ, さらに河川, 道路, 宅地等が含まれる。この中で河川部分に占める水面割合が少なく, 同時に道路, 宅地部分も少ないことから, “その他”の部分全体を, 一括して, 何らかの植生で被われている

表5 岩木川流域において公共下水処理後に排出された年間のT-N, T-P量(平成9~13年の平均値)^ア^イ

公共下水処理場名	T-N	T-P
	(t/yr)	
岩木川浄化センター	252.6	8.7
弘前市下水処理場	117.9	16.1
五所川原市浄化センター	29.3	1.0
五所川原市広田汚水処理場	8.1	0.3
木造町浄化センター	0.7	0.1
相馬村湯口浄化センター	1.1	0.2
鶴田村浄化センター	0.8	0.1
碓ヶ関村浄化センター	0.2	0.0
合 計	410.7	26.5

^ア青森県土木部下水道課内部資料(7)。
^イそれぞれの公共下水処理場の位置は図5に示す。

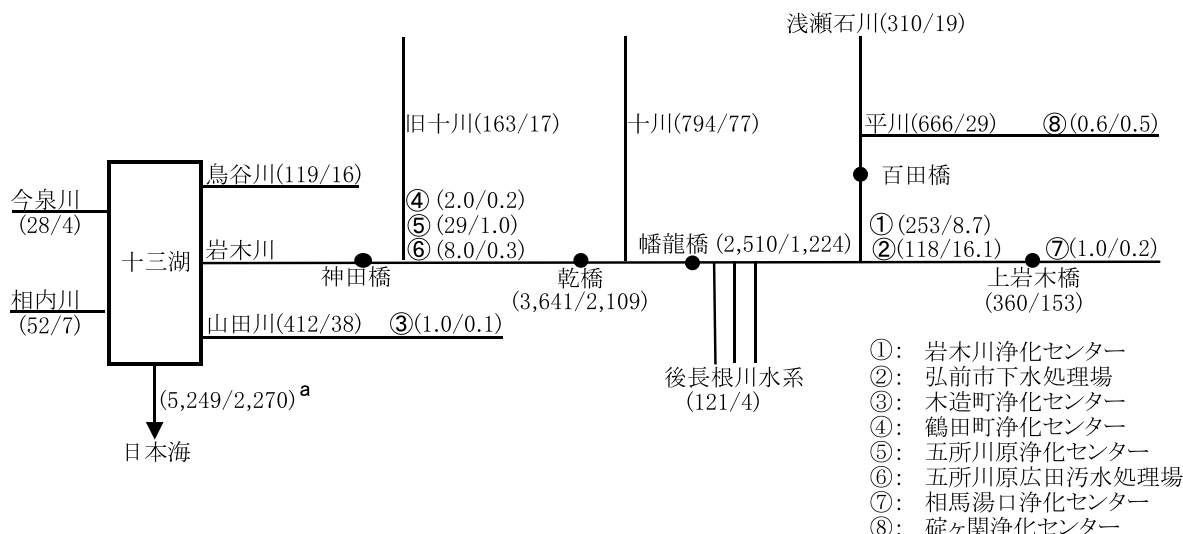


図5 岩木川本流，支流，その他小河川の年間T N，T P流出量と各下水処理施設からの年間T N，T P排出量（t/yr，平成9～13年の平均値）
^a十三湖の海への開口部を岩木川流域全体の河口とした年間のT NとT Pの総流出量（負荷実測値）

表6 各種浄化槽からのT NとT Pの排出負荷量^a

	T N	T P
	(g/man/day)	
農業集落排水施設合併浄化槽負荷量原単位 ^b	6.1 ^c	0.63 ^c
小型合併浄化槽排出負荷量原単位	6.5 ± 3.5	0.75 ± 0.46
単独浄化槽排出負荷量原単位	5.2 ~ 6.6	0.56 ~ 0.7
	(5.9) ^d	(0.63) ^d

^a日本下水道協会資料(34)

^b岩木川流域内に設置されている合併浄化槽のほとんどが農業集落排水施設である。従って、T NとT Pの排出負荷量原単位は農業集落排水施設の値を用いた。

^c本研究で用いた値。

表7 降雨によるT N，T P負荷単位

文 献	負荷量	
	T N	T P
	(kg/ha/yr)	
日本下水道協会資料(34)	11.3	0.53 (12例)
河川汚濁のモデル解析(35)	10.1 ^a	0.44 ^a (16例)
集水域からの窒素・リンの流出(27)	10.0	0.40 (16例)

^a本研究で用いた値。

部分とし、林野部分と合わせて自然系とした。

農耕地系は水田，野菜畑，雑穀畑，牧草畑，果樹園に分類した。雑穀畑と牧草畑は減反政策後の休耕地が転作地として利用されているものとした。岩木川流域の果樹園のほとんど(90%以上)がりんご園である。

自然系と農地系への大気降水物によるT NとT Pの負荷は降雨による物のみを考慮した。降雨によるT NとT Pの負荷量単位は表7に示した。

岩木川流域の全体の平均水田整備(乾田化)率は平成11年度現在で75%であった(9)。流域内の水田への平均的な施肥量の算定においては、水田が全て乾田であるとして地域別施肥量の平均値(表8)を用いた。水田へは

表8 岩木川流域の水田への施肥量

地 帯	地帯別施肥標準 ^a	
	窒素	リン酸
	(kg/10a)	
津軽中央部 津軽中央地	8.0(9 11)	13.5(9 18)
津軽中央部 山間冷涼地	8.0(7 9)	11.5(8 15)
津軽西北部	10.0(9 11)	13.5(9 18)
津軽半島北部	9.0(8 10)	12.5(10 15)
平均施肥量	8.8 ^b	12.8 ^b

^a青森県農林部水田対策課，稲作改善指導要綱(12)

^b本研究で用いた値。

表9 岩木川流域の野菜畑への施肥量^a

野菜種	施肥量		作付面積 の割合 ^b	加重平均計算	
	窒素	リン酸		窒素	リン酸
		(kg/10a)		(kg/10a × %)	
根菜類	だいこん にんじん	10.75(8.0 13.5)	19.25(11.0 27.5)	(28%)	301.0 539.0
葉菜類	はくさい ねぎ	22.50	20.00(17.5 22.5)	(13%)	292.5 260.0
果菜類	トマト	23.00(20 26)	32.50(30 35)	(13%)	299.0 422.5
豆類	スイートコーン えだまめ	13.00(6 20)	16.25(12.5 20.0)	(13%)	169.0 211.3
果実的野菜類	すいか メロン	17.75(17.5 18.0)	21.25(20.0 22.5)	(30%)	532.5 637.5
洋菜類	ばれいしょ	11.50(10 13)	15.00	(3%)	34.5 45.0
合計				(100%)	1,628.5 2,115.3
加重平均施肥量 (kg/10a)					16.3 ^c 21.2 ^c

^a青森県農林水産部農産園芸課，やさい栽培の手引(16)。^b青森農林水産統計協会資料(31)。^c本研究に用いた値。表10 岩木川流域の雑穀および牧草畑への施肥量^a

作物種	施肥量		作付面積 の割合 ^b	加重平均計算	
	窒素	リン酸		窒素	リン酸
		(kg/10a)		(kg/10a × %)	
小麦(普通作)	7.5(7 8)	13.5(12 15)	(28%)	210.0	378.0
大豆	5.5(5 6)	12.5(10 15)	(30%)	165.0	375.0
小豆(普通作)	2.5(2 3)	15.0	(2%)	5.0	30.0
そば(普通作)	2.0	11(10 12)	(39%)	78.0	429.0
合計			(100%)	458.0	1212.0
加重平均施肥量(kg/10a)				4.6 ^c	12.1 ^c
牧草	22.5(20 25)	16.0(15 17)			

^a青森県経済農業共同組合連合会，くみあい肥料ガイドブック(6)。^b青森農林水産統計協会資料(30)。^c本研究に用いた値。

表11 岩木川流域のりんご園への施肥量

文 献	施肥量	
	窒素	リン酸
		(kg/10a)
平成13年りんご生産指導要項(17)	[15.0	5.0]
農業試験場調査結果(10)	9.5	7.9 (3例)
農業試験場調査結果(11)	11.8	8.7 (9例)
りんご試験場調査結果(20)	10.0	8.3 (54例)
平均施肥量	10.4 ^a	8.3 ^a

^a本研究に用いた値。

降雨と施肥以外に，水田へ供給される農業用水中に含まれる T N と T P の負荷を考慮する必要がある。そこで，流域内の水田への農業用水と共に供給された T N と T P の総量は流域内に設置されている各頭首工と揚水機周辺の河川の T N と T P 濃度の平均値(それぞれ 0.79 と 0.016 mg/l)とこれら施設からの総農業用水量(表 20)との積として算定した。

流域内の野菜畑に作付けされた野菜類を根菜，葉菜，

果菜，豆類，果実的野菜，洋菜類に分類し，これらの個々の野菜への単位面積当たりの平均施肥量とそれぞれの作付面積から，加重平均した単位面積当たりの平均施肥量を求めた(表 9)。同様に，雑穀畑の場合は個々の雑穀種への単位面積当たりの平均施肥量とそれぞれの作付面積から，流域内の加重平均した単位面積当たりの平均施肥量を求めた(表 10)。りんご園の単位面積当たりの平均施肥量を(表 11)に示す。

表12 - 1 岩木川流域で収穫された玄米・小麦・大豆・小豆中の窒素とリン含量^a

	穀粒中		収穫量の割合 ^b (%)	加重平均計算	
	窒素 (mg/100gfw)	リン (mg/100gfw)		窒素 (mg/100gfw × %)	リン (mg/100gfw × %)
米(玄米)	1,088	290			
小麦(玄穀)	1,696	350	(53%)	89,888	18,550
大豆(全粒)	5,648	580	(40%)	225,920	23,200
小豆(全粒)	3,248	350	(2%)	6,496	700
そば(全層粉)	3,248	400	(3%)	9,744	1,200
合計			(100%)	332,048	43,650
加重平均値(mg/100gfw)				3,320 ^c	437 ^c

^a食品成分表2003(21)

^b青森農林水産統計協会資料(30)

^c本研究で用いた値。

表12 - 2 岩木川流域で出荷された野菜類の窒素とリン含量^a

野菜種	野菜中		出荷量の割合 ^b (%)	加重平均計算		
	窒素 (mg/100gfw)	リン (mg/100gfw)		窒素 (mg/100gfw × %)	リン (mg/100gfw × %)	
根菜類	だいこん にんじん	88(80 96)	22(25 18)	(38%)	3,344	836
葉菜類	はくさい ねぎ たまねぎ	123(80 160)	31(26 33)	(11%)	1,353	341
果菜類	とまと	112	26	(17%)	1,904	442
豆類	スイートコーン えだまめ	1,224(576 1872)	135(100 170)	(4%)	4,896	540
果実的野菜類	すいか メロン	128(96 160)	11(8 13)	(28%)	3,584	308
洋菜類	ばれいしょ	256	40	(2%)	512	80
合計				(100%)	15,593	2,547
加重平均値(mg/100gfw)					156 ^c	25 ^c

^a食品成分表2003(21)

^b青森農林水産統計協会資料(31)

^c本研究で用いた値。

6) 農耕地系から収穫(出荷)物その他のT NとT Pの含量の算定

岩木川流域の農耕地(水田, 野菜畑, りんご園, 雑穀畑, 牧草畑)で収穫された各種農作物の面積当たりの平均収穫(出荷)量を作付け面積で加重平均し, 作付面積当たりの平均収穫(出荷)量を算出した(表21)。

各農耕地から収穫され, 流域外へ持ち出される農作物の部分は, 稲とその他の雑穀では穀粒, 野菜とりんごでは収穫(出荷)される部分, 牧草では刈り取り部分とした。穀物の穀粒, 各野菜種の出荷部分, りんごの果実のT NとT Pの含量は表12 - 1 ~ 3に示す。野菜畑と雑穀畑では, 様々な種類の農作物が栽培され, その収穫(出荷)量も様々である。そこで, 両畑で栽培されている主要な野菜類あるいは雑穀類の収穫(出荷)部分のT NとT Pの含量について, 流域内での収穫(出荷)量の割合で加重平均した両者の値を算定した。但し, りんご園

表12 - 3 岩木川流域のりんご園から収穫されたりんご果実と剪定枝中の窒素とリン含量

文献	りんご果実	
	窒素 (mg/100gfw)	リン (mg/100gfw)
食品成分表2003(21)	32.0	10.0
青森県りんご試験場50年史(19)	60.4	10.6
斉藤(1995, 4例)	24.1	8.5
平均値	38.8	9.7
STD	19.1	1.1
文献	剪定枝	
	窒素 (kg/t)	リン (kg/t)
平成13年りんご生産指導要項(17)	4.0	2.5
成木園における剪定枝生産量	(200 300kg/10a/yr)	

表13 山林から河川への T N, T P 負荷量

文 献	負荷量	
	T N	T P
	(kg/ha/yr)	
日本下水道協会資料(34)	4.4	0.34(13例)
河川汚濁のモデル解析(36)	4.3	0.16(14例)
本研究での測定値 ^a		
岩木川上流の大川 ^b	5.9	0.228
浅瀬石川上流の温川 ^b	12.0	0.756
平均値	9.0 ^a	0.492 ^a

^a本研究で用いた値。

^b図1参照。

表14 畑地と水田での施肥量の T N と T P の溶脱率

文 献	畑地からの溶脱率(地下浸透)	
	T N	T P
集水域の窒素・リン流出(27)	30% ^a	0.7% ^a
	水田からの溶脱率(地下浸透+排水)	
	T N (STD)	T P (STD)
集水域の窒素・リンの流出(27)	21.5% (9.5% ¥ 39例)	4.1% (4.6% ¥ 37例)
河川汚濁のモデル解析(36)	32.1% (15.2% ¥ 14例)	5.4% (5.6% ¥ 14例)
平均値	26.8% ^b	4.8% ^b

^a本研究で畑地からの T N, T P 負荷量の算定に用いた溶脱率。

^b本研究で水田からの T N, T P 負荷量の算定に用いた溶脱率。

では、果実に加えて剪定枝が焼却される。そこで、りんご成木園での年間の剪定枝量とその T N と T P の含量を算定した。

7) 自然系と農耕地系からの河川への T N と T P の負荷量の算定

そのほとんどが林野で占められている自然系から河川への T N と T P の負荷量の算定には山林からの負荷量の値を用いた。これまでに報告されている山林からの T N と T P の負荷量の値と本研究での測定値を表 13 に示す。両負荷共に前者の値は後者の値より低い。“考察”でも述べるが、この理由は前者の測定例の多くが岩木川流域のような多雪地帯で行われたものが少なかったために融雪期の極端な増水時期の河川への T N と T P の流出量の増加がなかった測定例が多いことによると考えられる。そこで、本研究で流域内の山林で測定した値を用いた。

自然系への T N と T P の供給は降雨によるもののみを考慮した。農耕地系では、降雨による供給と同時に施肥による供給が有り、その量は前者に比べて極めて大きい。従って、農耕地から河川への T N と T P 負荷量は施肥量に大きく影響され、農耕地からのこれらの負荷量は施肥量に対する溶脱率として評価される。また、T N と T P の溶脱は大量の降雨による地表流出が無い場合は、地下浸透による。但し、水田においては排水が行われているために、地下浸透と排水が溶脱の原因となる。岩木川流域における畑地(りんご園を含む)と水田から河

川への T N と T P 負荷量の算定に用いた溶脱率を表 14 に示す。

8) 畜産系からの家畜と畜産物出荷に伴う T N と T P の流域外への移出量の算定

岩木川流域から年間に出荷された家畜頭数と畜産物量を表 15 に示す。家畜の出荷に伴う T N と T P の流域外への移出量の算定は出荷時の各家畜の平均体重(表 16)と平均体重当たりの両者の含量から求めた(表 17 - 1)。同時に鶏卵と牛乳中の T N と T P の含量も示した(表 17 - 2)。

9) 畜産系から河川への T N と T P の負荷量の算定

岩木川流域での畜産系から河川への T N と T P の負荷は各家畜の排泄物中の両者の含量に基づくものと仮定した。家畜類の排泄量は生育段階と育成目的(肥育, 繁殖, 乳生産, 採卵等)によって異なる。そこで、生育段階と育成目的による家畜の排泄物中の両者の含量原単位を(表 18)に示す。岩木川流域の年間平均家畜飼養頭数を(表 19)に示す。

結 果

1) 岩木川流域の水収支

平成 9 - 13 年の 5 年間の平均降水量と算定した蒸発散量と流出量からなる月別水収支を図 2 に示す。流域の降水量は 2 - 4 月にかけて年間で最も少なく、反対に 7 - 9 月にかけて多い。蒸発散量は 2 - 5 月にかけて上昇

表15 岩木川流域から出荷された年間家畜頭数，牛乳量，鶏卵量（平成9～13年平均値）^ア

牛	肉専用種					乳用種					雑種		計		
	合計	雌牛 肥育	雄牛 肥育	去勢 2歳以上	2歳未満	雄牛 計（去勢牛）	雌牛 肥育	廃用	雄牛 計（去勢牛）	雌牛 肥育	廃用				
頭数	4,242	86	45	1	278	3	413	3,270	13	21	3,304	465	59	1	525
豚															
頭数	36,779	うち8ヶ月以上													
頭数	36,779	3,723													
牛乳出荷量	2,701(t)														
鶏卵出荷量	8,726(t)														

^ア青森県農林部畜産課内部資料(15)。

表16 岩木川流域の各家畜の出荷時の体重の平均値(平成9～13年の平均値)^ア

出荷時の体重 (kg/頭)		出荷時の体重 (kg/頭)	
肉専用種牛		豚	8ヶ月以上
雌牛肥育	610	卵鶏	70
廃用雌牛	610		1.8
雄牛肥育	700		
乳用種牛			
雄牛去勢牛	740		
雌牛肥育	740		
雑種牛			
雄牛去勢牛	700		
雌牛肥育	610		
廃用肥育	610		

^ア青森県農林部畜産課内部資料(13)。

表17-1 各家畜(牛,豚,採卵鶏)の体重当りのT N, T P含量^ア

	体重当りの含量	
	T N	T P
	(%)	
各家畜	3	1

^ア人間の場合と同じであると仮定した(日本環境図誌(37))。

表17-2 全卵および牛乳中のT N, T P含量^ア

	T P	T N
	(g/100g)	
全卵(生)	0.180	1.65
牛乳(ホルスタイン種)	0.091	0.51

^ア食品成分表2003(21)。

表18 各種家畜の排泄物中の窒素およびリン含量の原単位^ア

		体重 (kg)	T N (g/頭/日)	T P
乳牛	搾乳牛	650	306	44
	乾・未経産	600	96	20
	育成牛	350	159	16
肉牛	2歳未満	350	130	15
	2歳以上	600	146	17
	乳用種	475	141	14
豚	肥育豚	70	34	9
	繁殖豚	155	51	16
採卵鶏	雛(5~10週)		1.54	0.21
	成鶏(20週以降)		3.28	0.58

^ア畜産環境整備機構資料(28)。

し、5 - 8月まではほぼ一定の高い値を保ち、9 - 12月にかけて低下した。従って、降水量と蒸発散量との差である河川流出量は1 - 4月にかけて大きく減少し、4 - 7月まで比較的低い値であったが、8 - 10月まで大きく上昇した。

岩木川流域の存在する津軽地方は多雪地帯であるために、冬季の降雪はそのまま堆積し、融雪期まで河川に流出する量は少ない。また、岩木川水系に設置されている多数のダムでは貯水と放水が行われている。従って、こ

の流域では流出量がそのまま実際の河川流量とはならない。そこで、“方法”で述べたように、岩木川の河川流量を河口での流量として算定した。河川流量は1 - 2月までは低い値であったが、3月から大きく増加し4月には $488 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{month}$ に達し、年間で最大になった(図3)。しかし、その後、5 - 6月にかけて大きく低下し、6月の流量は年間を通じて最低の $108 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{month}$ であった。7 - 12月までの6ヶ月間の流量は徐々に増加し、12月には $237 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{month}$ に達した。

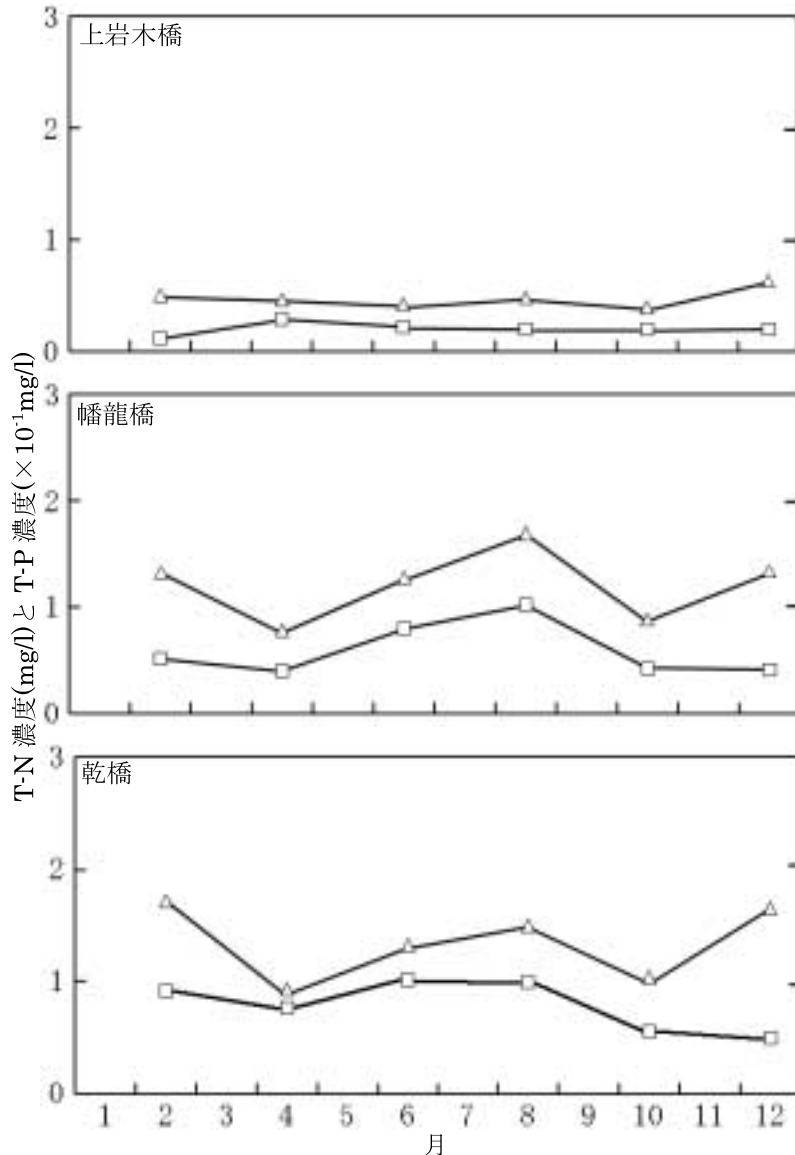


図6 岩木川中流から下流にかけての月別 T-N と T-P の濃度 (平成9～13年の平均値)
 岩木川は上岩木橋から幡龍橋をへて乾橋方向に流れている (図1参照)。
 △, T-N 濃度; □, T-P 濃度。

2) 岩木川流域における水利用

岩木川流域における農業用水の取水は4月に始まり、5～8月までの4ヶ月間は $109 - 141 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{month}$ の取水量であるが、9月には取水は殆ど行われなくなる (図3)。平成9～13年の5年間の平均農業用取水量は $496 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{yr}$ で岩木川の総流出量の17%であった (表20)。5年間平均の生活用水量は $67 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{yr}$ 、工業用水量は $8.0 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{yr}$ であった。これらの総用水量は岩木川の総流出量の20%であった。

3) 岩木川流域における河川の T-N と T-P の濃度、流量と流出量

岩木川本流の平成9～13年の5年間の平均 T-N と T-P の濃度は上流部の砂子瀬でそれぞれ 0.32 と 0.02 mg/l であった (図4)。岩木川本流と平川、十川、旧十川

等の支流からの高濃度の T-N と T-P を含む流入水と、さらに流域に設置された下水処理施設からの排水が加わり (図5)、下流部の河口に近い津軽大橋では、T-N と T-P の濃度は砂子瀬の値のそれぞれ4と8倍に増加し、1.39 と 0.08 mg/l に達した。上岩木橋、幡龍橋そして乾橋における各月の T-N と T-P の濃度は、次に述べる両者の流量に比べ、年間を通じて比較的安定しており、変動幅は2倍程度であった (図6)。

上岩木橋、幡龍橋そして乾橋では、4月の河川流量の大きな増加に伴って、T-N と T-P の流量は大きく増加したが、その他の月の両者の流量は比較的安定した低い値であった (図7)。従って、上岩木橋における4月の T-N と T-P の流量は年間総流量のそれぞれ23と34%に達した。

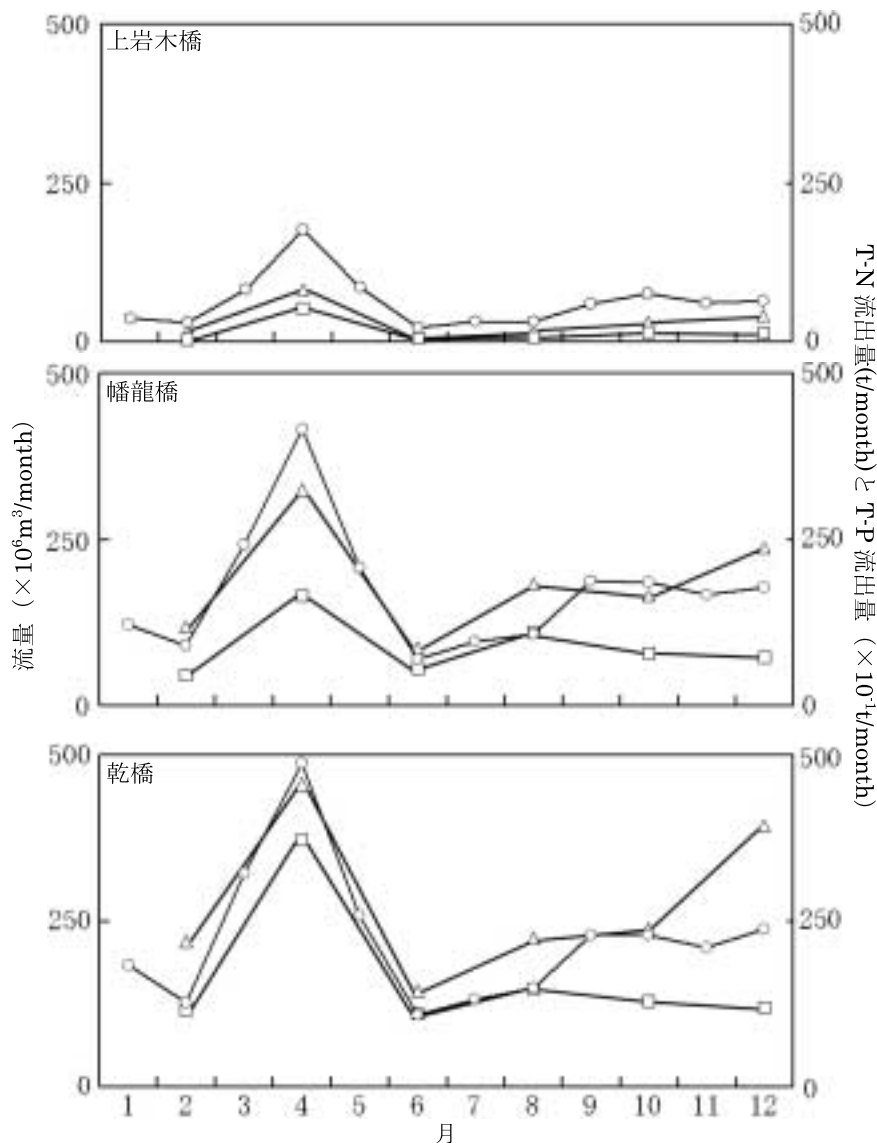


図7 岩木川の中流部から下流部にかけての月別の流量，T NとT Pの流出量
 (平成9～13年の平均値)
 ○，月間河川流量； □，T Nの月間流出量； △，T Pの月間流出量。

岩木川上流の大川と浅瀬石川上流の温川での河川流量およびT NとT Pの濃度および月間流量を図8に示す。大川と湯川の平成13年の6月から平成14年の3月までの河川流量とT NとT Pの濃度は低い値で比較的安定していた。しかし、両河川の4月のT NとT Pの流出量は、河川流量の増加と共に大きく増加した。大川での4月のT NとT Pの流出量は年間流量のそれぞれ46と73%に達し、湯川ではそれぞれ34と47%に達した。

十三湖の海への開口部を岩木川流域全体の河口とし、そこでの流域全体の年間のT NとT Pの総流出量(負荷実測値)を算定した(図5)。その際に、岩木川では河口から神田橋までの河川流量は潮位の影響を受けること、およびこの間には旧十川以外には岩木川へ流入している河川が無いことから、乾橋における本流の年間のT NとT Pの流出量に旧十川および十三湖に直接流入

している山田川、鳥谷川、今泉川、相内川のそれらの量を加え岩木川流域全体の年間の両流出量を算定した。後者4つの河川からのT NとT Pの年間流出量は、それぞれの流域面積から求めた年間河川流出量とT NとT Pの年間平均濃度の積として算定した。さらに、支流十川は乾橋のわずかに上流で岩木川と合流しているが(図1)乾橋まで流れる間に本流の流れと混合していないので、乾橋で測定した水質には十川の水質が加味されていないと考え、この支流のT NとT Pの年間流出量を別途に加えた。その結果、岩木川全流域からのT NとT Pの年間総流出量はそれぞれ5,249, 2,270 t/yrと算定された(図5)。

4) 自然系，水田，畑地，りんご園におけるT NとT Pの年間収支

岩木川流域における自然系の総面積は林野にその他の面積を加えた1,882 km²(流域面積の73%)である(表

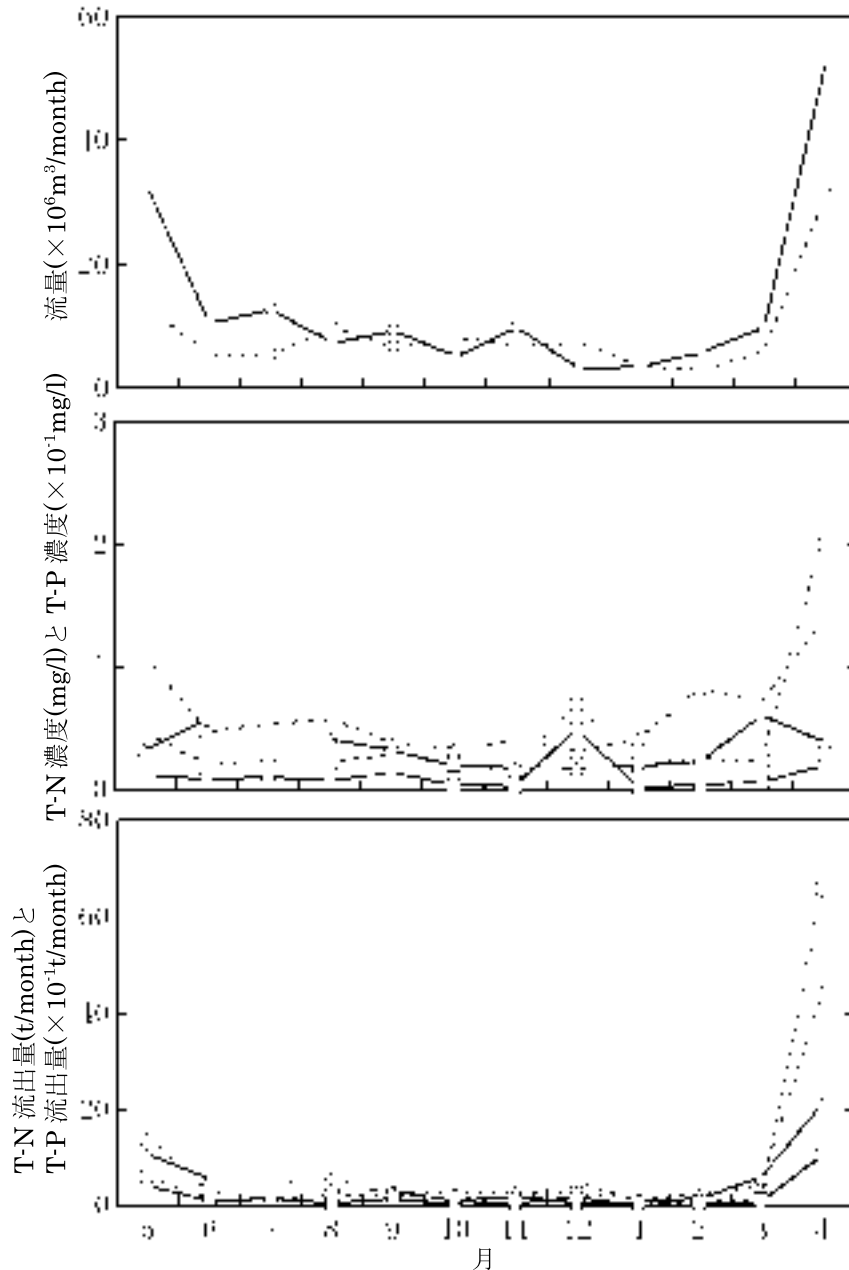


図8 岩木川上流部の支流大川と支流の浅瀬石川の温川における月別の河川流量とT-NとT-Pの濃度と月間流出量(平成13~14年にかけて測定) 大川の値は大川橋で,温川の値は温川橋でそれぞれ測定した(図1を参照)。○,河川流量; □, T-Nの濃度または月間流出量; △, T-Pの濃度または月間流出量。実線は大川の値,点線は温川の値。

1) この自然系への降雨によるT-NとT-Pの年間供給量はそれぞれ1,901と83 t/yrであった(図9)。自然系から河川へのT-NとT-Pの負荷量を本研究において岩木川上流の大川と浅瀬石川上流の温川沢で測定した年間のT-NとT-Pの平均濃度(表13)を用いて算定すると,それぞれ1,694と92 t/yrとなった。自然系内に年間に蓄積するT-NとT-P量は207と-9 t/yrになった。

岩木川流域の農耕地(作付け面積619 km²)を水田,畑地(野菜畑,雑穀畑,牧草畑)とりんご園に分けて, T-NとT-Pの収支を算定した。降雨によるT-NとT-P供給量は各農耕地の作付面積(表21)と降雨による

T-NとT-Pの負荷単位(表7)から算定した。また,各農耕地への施肥によるT-NとT-Pの供給量の算定には表21の値を用いた。各農耕地から収穫(出荷)された部分に含まれていたT-NとT-Pの量は表12-1~3と表21の値を用いて算定した。さらに,各農耕地から河川へのT-NとT-Pの負荷量は,表14に示した溶脱率と施肥量の関係(表21)から算定した。ただし,水田では降雨と施肥によるT-NとT-Pの供給に加えて,水田へ供給された農業用水に含まれていたT-NとT-P量を考慮した。さらに,りんご園では,果実の収穫以外に,剪定枝がりんご園から排出され,多くの場合は消却されるの

表19 岩木川流域における家畜の年間飼養頭数（平成9～13年の平均値）^ア

	頭数	合計		2歳以上			2歳未満		乳用種
		合計	2歳以上	経産牛	搾乳牛	乾乳牛	未経産	2歳未満	
乳用牛		305	214	196	172	24	18	91	
		合計	めす	小計	2歳未満	2歳以上	小計	2歳未満	2歳以上
肉用牛	頭数	6,097	1,829	626	1,203	1,158	831	327	3,110
		合計	うち子取	残り					
豚	頭数	37,100	3,339	33,761					
		合計	採卵鶏	成鶏雌	種鶏その他	ひな			
採卵鶏	×10 ³ 羽数	371	356	278	78	15			

^ア青森県農林部畜産課内部資料(14)。

表20 岩木川流域における用途別の年間水利用量とその河川流出量に対する割合^ア

	河川流出量		農業用水量		生活用水量		工業用水量		総用水量	
	(10 ⁶ m ³ /yr)	(%)	(10 ⁶ m ³ /yr)	(%)	(10 ⁶ m ³ /yr)	(%)	(10 ⁶ m ³ /yr)	(%)	(10 ⁶ m ³ /yr)	(%)
平成9年	2925.4	(100.0)	509.3	(17.4)	63.9	(2.2)	8.4	(0.3)	581.6	(19.9)
平成10年	3594.2	(100.0)	490.0	(13.6)	64.4	(1.8)	8.4	(0.2)	562.9	(15.7)
平成11年	2885.4	(100.0)	494.7	(17.1)	65.7	(2.3)	7.4	(0.3)	567.8	(19.7)
平成12年	2813.3	(100.0)	491.3	(17.5)	75.8	(2.7)	8.3	(0.3)	575.5	(20.5)
平成13年	2387.9	(100.0)	493.6	(20.7)	67.4	(2.8)	7.5	(0.3)	568.5	(23.8)
平均値	2921.3	(100.0)	495.8	(17.0)	67.4	(2.3)	8.0	(0.3)	571.3	(19.6)
(%)			(86.8)		(11.8)		(1.4)		(100.0)	

^アこれらの値の算定については“方法”参照。

表21 岩木川流域の農耕地の各種作物の作付面積、収穫量、施肥量とそれらのT N T Pの含量（平成9～13年の平均値）^ア

	水田	野菜畑	雑穀畑	牧草畑 ^ブ	畑地合計 ^シ	りんご園 ^ド	合計	畑地 ^ニ 雑穀 野菜 牧草 ^ノ の加重平均値
作付面積(km ²)	324	48	35	17	100	196	619	
平均収穫(出荷)量/面積(kg/10a)	621	1,660	122	2,918	4,701	2,075	7,397	
収穫(出荷)量(t/yr)	201,048	79,156	4,228	50,697	134,081	405,681	740,810	
平均施肥量/面積(kg/10a)	窒素	8.8	16.3	4.6	22.5	43.4	10.4	13.2
	リン酸	12.8	21.2	12.1	16.0	49.3	8.3	17.1
総施肥量(t/yr)	T N	2,847	776	159	391	1,326	2,040	6,213
	T P	1,810	441	184	121	746	709	3,265

^ア算定は“方法”を参照。

^ブ牧草地に水耕田を採草地に転換したものその他を加えた値。

^シ畑地合計は野菜畑、雑穀畑・牧草畑の合計。

^ドりんご園では、果実に加えて剪定枝が園外に排出され、多くの場合に焼却されるので収穫量に加えた。

で、この場合のT NとT Pの量を考慮にいれた。

水田(作付け面積, 324 km²)においては、年間に降雨、施肥そして農業用水によって供給されたT NとT Pの総量はそれぞれ3,669と1,909 t/yr(図9)であり、その内、収穫物と共に持ち出された量はそれぞれ2,187と583 t/yrであった。そして、T NとT Pはそれぞれ763と87 t/yrが水田から河川への負荷量となり、残り719と1,239 t/yrが水田に蓄積した。

この流域で農業用水が大量に不足するために農業用水の反復利用が活発に行われている西津軽地区では、必要

水量の20%が反復利用水である(農林水産省津軽農業水利事務所からの私信)。しかし、この地域以外では、反復利用水量は少ないと考えられる。一方において、“方法”で述べたように農業用水と共に供給されるT NとT P量はそれぞれの総供給量の11と4%であった(図9)。従って、反復利用の際に農業用水の再循環によって水田へ再供給されるT NとT P量は農業用水に供給される量より更に少ないと考え、水田におけるT NとT P量の収支には考慮しなかった。

畑地(作付け面積, 100 km²)では、降雨と施肥によ

表22 岩木川流域の耕地から収穫(出荷)した各種農作物中の T N と T P 含量(平成9~13年の平均値)^ア

	水田	野菜畑	雑穀畑	牧草畑	畑地合計 ^ハ	りんご園	合計
T N量(t/yr)	2,187	123	140	203	467	353	3,007
T P量(t/yr)	583	20	18	5	44	162	789

^ア算出方法は“方法”を参照。^ハ畑地合計は野菜畑・雑穀畑・牧草畑の合計。表23 岩木川流域から年間出荷された家畜と畜産物の T N, T P 含量(平成9~13年の平均値)^ア

	牛合計	豚合計	鶏	合計	生乳	鶏卵	合計	総計
T N(t/yr)	93	77	19	189	14	144	158	347
T P(t/yr)	31	26	6	63	2	16	18	81

^ア算定方法については“方法”参照。表24 岩木川流域で飼養された各家畜の年間排泄物中の T N, T P 含量(平成9~13年の平均値)^ア

	乳用牛	肉用牛	豚	合計	採卵鶏	総計
T N(t/yr)	26	311	484	820	395	1,215
T P(t/yr)	4	33	126	163	68	231

^ア算定方法は“方法”を参照。表25 岩木川流域内における, し尿と雑排水中の T N と T P の総排出量・処理量・河川放出量(平成9~13年の平均値)^ア

T N	処理内容	処理人口	総排出量	処理量	河川放出量
		(10 ³ 人)(%)	(t/yr)(%)	(t/yr)(%)	(t/yr)(%)
公共下水道処理 ^ハ	尿, 雑排水	212 (44)	791 (100)	380 (48)	411 (52)
総合浄化槽処理 ^ハ	尿, 雑排水	40 (8)	150 (100)	60 (40)	90 (60)
単独浄化槽処理(し尿) ^ニ	し尿のみ	129 (26)	478 (100)	202 (23)	277 (78)
計		381 (78)	1,420 (100)	642 (45)	777 (55)
単独浄化槽処理(雑排水) ^ニ	無し	[129]	478 (100)	0 (0)	478 (100)
その他(汲み取り) ^ニ	無し	107 (22)	399 (100)	0 (0)	399 (100)
計		[236]	877 (100)	0 (0)	877 (100)
合計		488 (100)	2,297 (100)	643 (28)	1,654 (72)
T P	処理内容	処理人口	総排出量	処理量	河川放出量
		(10 ³ 人)(%)	(t/yr)(%)	(t/yr)(%)	(t/yr)(%)
公共下水道処理 ^ハ	尿, 雑排水	212 (44)	101 (100)	74 (74)	27 (26)
総合浄化槽処理 ^ハ	尿, 雑排水	40 (8)	19 (100)	10 (52)	9 (49)
単独浄化槽処理(し尿) ^ニ	し尿のみ	129 (26)	61 (100)	31 (21)	30 (79)
計		381 (78)	181 (100)	116 (64)	65 (36)
単独浄化槽処理(雑排水) ^ニ	無し	[129]	61 (100)	0 (0)	61 (100)
その他(汲み取り) ^ニ	無し	107 (22)	51 (100)	0 (0)	51 (100)
計		[236]	112 (100)	0 (0)	112 (100)
合計		488 (100)	293 (100)	116 (39)	177 (61)

^ア算定方法は“方法”を参照。^ハ公共下水道処理と合併浄化槽処理においてはし尿と雑排水の両者が処理される。^ニ単独浄化槽処理においてはし尿のみが処理され, 雑排水は処理されない。^ニ汲み取り(計画収集)では, し尿は直接処理場へ運ばれ, 雑排水は処理されない。

て供給される T N と T P の総量はそれぞれ 1,398 と 749 t/yr で有り, その内で, 収穫(出荷)物と共に流域外に排出される量はそれぞれ 467 と 44 t/yr であった(図9)。結果として, T N の 398 t/yr と T P の 52 t/yr が地下浸透を通じた河川への負荷量となり, 残りのそれぞれ 533 と 653 t/yr が畑地に蓄積した(図9)。

りんご園(作付け面積, 196 km²)では, 降雨と施肥に

よって供給された T N と T P の量はそれぞれ 2,264 と 719 t/yr で有り, その内の収穫物及び剪定枝として園外に持ち出された量はそれぞれ 353 と 162 t/yr であった(図9)。T N と T P のそれぞれ 612 と 50 t/yr が地下浸透によって河川への負荷量となり, 残りの 1,299 と 507 t/yr がりんご園に蓄積した(図9)。

流域内の全農耕地への降雨, 施肥その他によって供給

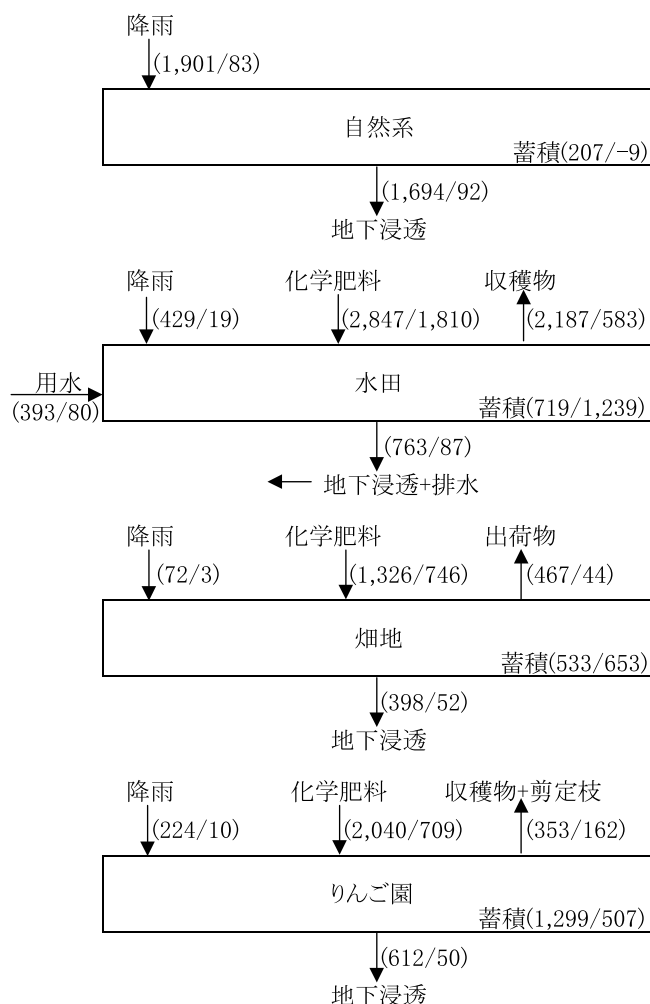


図9 自然系と農耕地系（水田・畑地・りんご園その他）における年間のT、NとT、P収支(t/yr,平成9～13年の平均値)畑地には水田転作した雑穀畑と牧草畑を含む。りんご園にはその他の果樹園も含む。

されたT、NとT、Pの総量はそれぞれ7,331と3,377 t/yrであった(表26-2)。その内で、化学肥料施肥による部分は総供給量のそれぞれ85と97%であった。また、収穫(出荷)物その他と共に流域外に移出されたT、NとT、Pの量はそれぞれ3,007と789 t/yrであった(表26-2)。これらの流域外への移出量は総供給量のそれぞれ41と23%であった。その結果として、全農耕地から河川へのT、NとT、Pの総負荷量はそれぞれ1,773と189 t/yrであり、農耕地への蓄積量はそれぞれ2,551と2,399 t/yrであった。

5) 岩木川流域の畜産系におけるT、NとT、Pの収支

岩木川流域から牛4,242頭と豚36,779頭及び牛乳2,701 tonと鶏卵8,726 tonが年間に出荷された(表15)。これらの出荷された家畜の生体と畜産物のT、NとT、Pの総含量はそれぞれ347と81 tonであった(表23)。流域における家畜の年間飼養頭数は牛6,402頭、豚37,100頭と鶏371 × 10³羽である(表19)。これらの家畜の年間排泄物中のT、NとT、Pの総含量は1,215と231 t/yrであった(表24)。この流域から出荷された家畜の生体内と畜産

物に含まれていたT、NとT、Pの量と年間に飼養された全家畜の排泄物中のT、NとT、Pの合計量がこの流域で家畜が年間に消費した飼料中に含まれていたT、NとT、P量に等しいと仮定した。流域内の畜産系の年間のT、NとT、Pの収支を図10に示す。畜産系では、飼料としてT、NとT、Pがそれぞれ1,562と312 t/yr供給され、その内それぞれ347と81 t/yrが家畜および畜産物として流域外へ出荷された。残りのT、NとT、Pそれぞれ1,215と231 t/yrが河川への負荷量と算定された(図10, 表26-2)。この場合、畜舎からの排水で地下浸透したものとふん尿で畑地へ還元された量は考慮されていない。

6) 岩木川流域の生活系における年間のT、NとT、Pの収支

生活系から発生するふん尿と雑排水等の生活污水中のT、NとT、Pの負荷量については、下水道普及率に示された処理人口(表3)、生活污水から発生するT、NとT、Pの負荷単位(表4)、公共下水処理後のT、NとT、Pの負荷量(表5)そして各種浄化槽からの排出T、NとT、Pの

表26 - 1 流域内の T N と T P の収支 - 各系寄与度

	T N			T P		
	(t/yr)	(%)	(%)	(t/yr)	(%)	(%)
流域内への供給量						
降雨による	2,626	(20)		115	(3)	
化学肥料	6,213	(47)		3,265	(80)	
農業用水	393	(3)		80	(2)	
家畜飼料	1,562	(12)		312	(8)	
生活污水	2,297	(18)		293	(7)	
計	13,091	(100)	(100)	4,065	(100)	(100)
流域外への出荷・移出量						
作物の収穫(出荷)量	2,187	(54)		583	(59)	
野菜の出荷量	467	(12)		44	(4)	
りんご(剪定枝含む)収穫量	353	(9)		162	(16)	
家畜・畜産物出荷	347	(9)		81	(8)	
生活污水の処理	643	(16)		116	(12)	
計	3,997	(100)	(31)	986	(100)	(30)
流域内への蓄積量						
自然系	207	(8)		-9	(0)	
水田	719	(26)		1,239	(51)	
畑地	533	(19)		653	(28)	
りんご園その他	1,299	(47)		507	(21)	
計	2,758	(100)	(21)	2,390	(100)	(22)
河川への負荷量						
自然系から(地下浸透)	1,694	(27)		92	(13)	
水田から(地下浸透+排水)	763	(12)		87	(13)	
畑地から(地下浸透)	398	(6)		52	(8)	
りんご園その他から(地下浸透)	612	(10)		50	(7)	
生活系から(放出)	1,654	(26)		177	(26)	
畜産系から(排水)	1,215	(19)		231	(34)	
計	6,336	(100)	(48)	689	(100)	(44)

負荷量(表6)から算定した。流域内の生活系からの T N と T P の総排出量はそれぞれ 2,297 と 293 t/yr であった(表25, 図10)。但し, 岩木川浄化センターと弘前市下水処理場では, 両施設に流入した汚水中の T N と T P の量の測定値を排出量に用いた。公共下水処理場その他によって処理後に流域外へ排出された T N と T P の量はそれぞれ 643 と 116 t/yr であった(図10, 表26 - 2)。従って, T N と T P の総排出量のそれぞれ 28 と 40 % のみが処理され残りそれぞれ 72 と 60 % が河川への負荷量と算定された。

考 察

1) 岩木川流域における河川への T N と T P の負荷の各構成要素の算定についての検討

本研究においては, 岩木川流域における河川への T N と T P の負荷量を二つの方法で算定した。の方法は, 岩木川流域内の各河川口部である十三湖へ流出した岩木川と支流およびその他の河川からの T N と T P の総流出量を流域全体の河川負荷量とした。の方法では, 流

域内の自然系, 農耕地系, 畜産系そして生活系におけるそれぞれの T N と T P の収支を算定し, その結果から各系からの河川への総負荷量を求め, 流域全体の T N と T P の河川負荷量を算定した。

の方法で算定した岩木川流域の河口への T N の河川負荷量との方法で算定した流域内の各系での T N 収支からの算定した河川負荷量と間には大きな差がなかった(表26 - 1, - 2)。しかし, 前者の方法で算定した T P 量の河川負荷量は後者の方法で算定した値の 31 % であった。この後者の方法では, 農耕地系から河川への T P の負荷量を算定するのに溶脱率を用いた。この場合の T P の溶脱率は, T N のそれに比べて極めて低い値であった(表14)。この理由として, リンの土壌への吸着が極めて大きいことが一つの原因である。しかし, 後で述べるように, 本流域のような多雪地帯での融雪時期には大量の河川流出に伴った, 自然系と農耕地系の地表面からリンの吸着していた土壌の多量流出がある(図6, 7)。この場合, 地表面から流出した汚濁物質の中の T N に含まれる無機体と有機体の窒素の多くは測定されたと考えられる。しかし, 同時に流出した土壌に結合

表26 - 2 岩木川流域内の各系における T N と T P の収支 (平成 9 ~ 13年の平均値)

		T N			T P		
		(t/yr)	(%)	(%)	(t/yr)	(%)	(%)
自然系	供給量	1,901	(100)	(15)	83	(100)	(2)
	蓄積量	207	(11)		- 9	(- 11)	
	河川への負荷量	1,694	(89)	(27)	92	(111)	(13)
農耕地系	供給量	7,331	(100)	(56)	3,377	(100)	(83)
	収穫 (出荷量)	3,007	(41)		789	(23)	
	蓄積量	2,551	(35)		2,399	(71)	
	河川への負荷量	1,773	(24)	(28)	189	(6)	(27)
畜産系	供給量	1,562	(100)	(12)	312	(100)	(8)
	出荷量	347	(22)		81	(26)	
	河川への負荷量	1,215	(78)	(19)	231	(74)	(34)
生活系	供給量	2,297	(100)	(18)	293	(100)	(7)
	処理量	643	(28)		116	(40)	
	河川への負荷量	1,654	(72)	(26)	177	(60)	(26)
産業系		?		?			
合計	流域への供給量	13,091	(100)	(100)	4,065	(100)	(100)
	流域外へのお荷移出量	3,997	(31)		986	(24)	
	流域内への蓄積量	2,758	(21)		2,390	(59)	
	河川への負荷量	6,336	(48)	(100)	689	(17)	(100)
流域河口十三湖への総流出量 (負荷実測値)		5,249			2,270		

表27 岩木川浄化センターと弘前市下水処理場への流入 T N と T P 量と処理人口から算定したそれらの値^a

	処理人口 (人)	処理人口から算定 した流入負荷量		実際の流入負荷量		
		(t/yr)	(%)	(t/yr)	(%)	
岩木川浄化センター	149,920	T N	558	(100)	783	(140)
		T P	71	(100)	98	(138)
弘前市下水処理場	44,560	T N	166	(100)	489	(295)
		T P	21	(100)	67	(319)

^a算定方法は“方法”を参照。

したリンの一部は測定されず、測定された T P 量に含まれていなかった可能性がある。本研究で用いた溶脱率ではこの点を十分に考慮しなかったことが、この方法で算定した T P の河川負荷量が低かった原因と考えられる。

この方法では、河川負荷量を岩木川本流とその他の河川の河口部へ流出する川水の水質と流量の年間実測値を基礎に算定した。この方法における主要な問題点は、1) 水質測定が月一回あるいは2ヶ月に一回であり、河川での水質の変動を十分に捉えていなかった可能性、2) 各河川での汚濁物質の流下過程における流達率を100%と仮定したこと、および3) 流域内の各系、特に自然系と農耕地系から地下浸透した T N と T P の全量が各河川の河口までの間に河川へ全て流出すると仮定したことである。

各系から河川へ流出した汚濁物質がその流下過程で、沈殿、堆積、土壌吸着、酸化分解そして植物に吸収されるなどによって、流達率は低下することが知られている。しかし、岩木川本流とその支流およびその他の河川

には、流達率を低下させる主要因となるような汚濁物質の沈殿、堆積、土壌吸着、酸化分解、植物による吸収が活発に行なわれている沼などはダム以外に殆ど存在しない。また、融雪期には大量の河川流出によって、河岸や河床に沈殿、堆積、土壌吸着されていた汚濁物質の多くが再び流出し、年間の水質測定においては、これらに含まれていた T N と T P の多くが測定されたと考えられる。しかし、先に述べたように、この再流出した汚濁物質中の特に T P の一部が不溶性の物質になった場合には、水質調査時に測定されにくかった場合も考えられる。

一方、農耕地へ施肥され地下浸透した T N 成分は比較的浅い地層から周囲の河川へ流出すると考えられている。しかし、この考え方がこの流域においてどの程度当てはまるかは検討できなかった。

この方法では、流域内の各系へ供給された T N と T P の一部が系内に蓄積されるか収穫 (出荷) 物として系から移出されるがその他の部分は地下浸透あるいは地

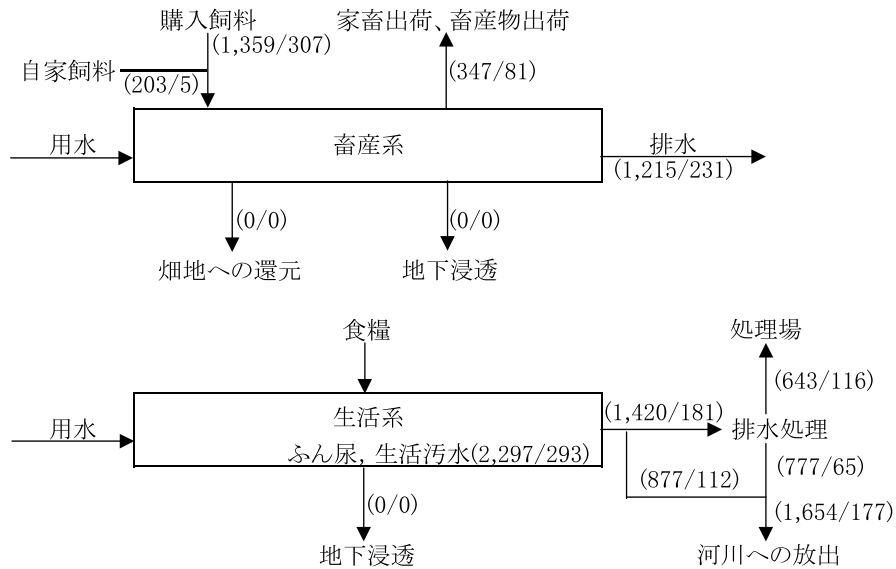


図10 畜産系と生活系における年間のT NとT Pの收支(t/yr,平成9～13年の平均値)畜産系でのT NとT P量の收支においては系からの排水で地下浸透されたものと畑地へ還元されたものは考慮されてない。自家飼料とは流域内の牧草畑で生産された飼料(表21)である。生活系でのT NとT P收支計算は岩木川流域内の処理人口当たりのふん尿と生活污水量を元に計算した(“方法”を参照)。実際の下水処理過程では,生活系の污水以外に営業系とそのたの事業からの污水が含まれている(本文参照)。

表面流出によって系外へ排出されることをT NとT Pの收支計算の基礎としている。このT NとT Pの收支計算では,自然系と農耕地系に供給されたT NとT Pの系内での蓄積量と地下浸透および表面流出による河川負荷量との関係すなわち溶脱率が重要な要素である。作物栽培を目的とした大量の化学肥料の施肥が行われる農耕地系では,特にこの溶脱率が問題である。一方,自然系と農耕地系の畑地での溶脱率においては,地表面流出するT NとT Pの量は一般に考慮されない。しかし,大量の降雨時には,一時的に表面流出するT NとT P量が極めて大きいことが知られている。また,岩木川流域は多雪地帯であり,冬季に自然系と農耕地系に大量に堆積した雪は融雪期には短期間に大量に表面流出する。この現象は図7と8において,4月を中心に岩木川本流とその支流の流量が一時的に大きく増加する事からも明らかである。この時期の河川のT NとT Pの濃度は殆ど他の季節と変わらず安定し低かった。しかし,河川流量とT NとT Pの濃度との積であるT NとT P流出量は極端に増加した(図7と8)。従って,の方法では,岩木川流域の自然系と農耕地系におけるT NとT Pの收支計算に用いる溶脱率は,融雪期の地表面からのT NとT Pの流出を考慮する必要があった。特に,T Pの流出においては,この点が重要であると考えられる。

2) 岩木川流域におけるT N收支と河川負荷

“考察”の1)で述べたように,との方法で算定した岩木川流域でのT Nの河川負荷量に大きな差異が認められなかった。従って,T N收支の算定結果が流域の人間活動の実態をより明確に反映していると考え,この

項では岩木川流域におけるT Nの河川負荷のみを考察する。

岩木川流域に供給された総T N量は13,091 t/yrであった(表26-1)。その内の47%が農耕地系への化学肥料施肥,18%が生活系からの生活污水等,20%が流域全体への降雨,そして12%が家畜飼料の供給に基づいていた(表26-1)。流域に供給された総T N量の31%(3,997 t/yr)が流域外へ移出された。その内の75%が作物,野菜,りんご等の収穫(出荷),16%が生活污水処理,そして残りの9%が家畜と畜産物の出荷の際の流域外への移出による。また,流域に供給された総T N量の21%(2,758 t/yr)が農耕地系に蓄積した。その内の47%がりんご園,19%が畑地,26%が水田,そして残りの8%が自然系へ蓄積した。以上の結果として,流域に供給された総T N量の残り48%(6,336 t/yr)が河川への負荷量となった。この内の28%が農耕地系へ施肥された化学肥料,27%が流域への降雨,26%が生活系からの生活污水,そして残り19%が畜産系からの排水のT Nに基づいていた。従って,岩木川流域におけるT Nの河川負荷への人間活動関与は全体の74%であった。

農耕地系では,T N量で7,331 t/yrの化学肥料その他が施肥された(表26-2)。その内の41%が収穫(出荷)物に取り込まれ流域外に移出されたが,同時にこの量にほぼ等しい35%のT Nが農耕地系に蓄積された。この結果は,現在行われている農作物生産方法においては,流域へ移入された化学肥料施肥に基づく大量のT Nの農耕地系土壌への蓄積(すなわち土壌汚染)を伴うことを示している。

この流域における単独浄化槽処理を除いた下水処理等の普及率は52%にすぎない(表3)。また、生活污水等が下水処理(公共下水道, 合併浄化槽)された場合でも流域外へ除去されるTN量は処理量の45%にすぎない(図10)。従って、生活系その他からの汚水の総TN量の72%もが河川へ負荷されている(表26-2)。以上の結果から、流域における下水道等の普及率を高めると同時に下水処理方法の効率化が必要であろう。

また、畜産系においては、飼料によって供給されたTN量の22%のみが出荷される家畜あるいは畜産物中のTNとして流域外へ移出された(表26-2)。そして、残りの78%が河川への負荷量となった。全国的に見ても現在の畜産における飼料の自給率は極めて低く、このことは岩木川流域の畜産においても同様であると考えられる。従って、この流域での畜産も流域外から大量に供給された飼料の消費による河川へのTN負荷の大きな産業といえよう。

3) その他の考察

澤田ら(26)の算定した平成2-6年までの5年間平均の農業用取水量は今回の算定量の1.5倍の $736 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{yr}$ であった。前回の算定に用いた資料は個々に収集したために、頭首工と揚水機による取水量に重複していた部分がある可能性がある。今回は、農業用水施設を管理している青森県農林水産部農村整備課からの資料を用いたことから、前回の算定量に比べより精度高いと考えられる。

岩木川流域で生産されたあるいは流域外から移入された農産物や海産物の流域内での消費の際のTNとTPの河川への負荷量は個別に考慮しなかった。しかし、流域内でのこれら食糧の消費後の生活污水中のTNとTPの河川への負荷量は考慮した。

岩木川流域におけるTNとTPの収支の算定においては、畜産以外の工業その他の産業系は規模が小さく、また、大量の汚濁物質を排出している事業についての資料が得られなかったことから、特に考慮しなかった。しかし、この点については、再検討する必要があるだろう。各種営業および事業系からの汚水の排出についても、算定に必要な基礎資料が得られなかったため、個別に算定しなかった。

一方、この流域にある大型下水処理施設の岩木川浄化センターと弘前市下水処理場では、これらの施設へ流入される汚水中に含まれるTNとTP量の測定を行っている。両処理施設の処理人口と生活污水から発生するTNとTPの負荷単位から算定した処理人口当たりの処理TNとTP量と実際の流入TNとTP量を表27に示した。岩木川浄化センターでは、前者のTN量は後者の140%であり、弘前市下水処理場では、前者のTN量は後者の295%に達した。この結果は、両施設では生活污水以外の営業および事業系からの汚水も処理されていることを示している。特に下水道処理場では、人

口密度の高い商業都で行われている多くの営業と事業系からの汚水が大量処理されていることを示していると考えられる。

謝 辞

本研究をまとめるにあたり、資料の提供および水収支とTNとTPの収支に関する適切な御助言を頂いた国土交通省東北地方整備局青森工事事務所調査第一課、農林水産省津軽農業水利事業所、青森県農林水産部農村整備課、同部畜産課、土木部下水道課、同部県土整備部整備企画課、企画振興部統計情報課、環境生活部環境政策課、同部生活衛生交通安全課、健康福祉部薬務衛生課、青森県農業試験場環境部、青森県りんご試験場、青森県畜産試験場等の関係者の皆さん、岐阜大学流域環境研究センターの小泉博氏、北里大学獣医畜産学部の杉浦俊弘氏、馬場光久氏、そして本学農学生命科学部の工藤明氏と斉藤寛氏に感謝します。

引用文献

1. 青森県環境生活部生活衛生・交通安全課編：青森県の水道, 28-33頁, 青森県環境生活部生活衛生・交通安全課, 青森, 2000.
2. 青森県環境生活部環境政策課編：県下の下水道普及率(内部資料), 青森県環境生活部環境政策課, 青森, 2002.
3. 青森県環境生活部環境政策課編：平成9-13年度公共用水域及び地下水の水質測定結果, 青森県環境生活部環境政策課, 青森, 1997-2001.
4. 青森県企画振興部統計情報課編：青森県人口移動調査(内部資料), 青森県企画振興部統計情報課, 青森, 2002.
5. 青森県企画振興部統計情報課編：平成9-12年度青森県の工業, 青森県企画振興部統計情報課, 青森, 1997-2001.
6. 青森県経済農業協同組合連合会編：くみあい肥料ガイドブック 第九版, p. 353-373, 青森県経済農業協同組合連合会, 青森, 1998.
7. 青森県土木部下水道課編：平成9-13年度下水処理場全窒素・全リン測定結果(内部資料), 青森県土木部下水道課, 青森, 1997-2001.
8. 青森県県土整備部整備企画課編：平成9-13年度土地利用現況把握調査(内部資料), 青森県県土整備部整備企画課, 青森, 1997-2001.
9. 青森県農業試験場編：町村別水田の整備率(内部資料), 青森県農業試験場, 黒石, 1999.
10. 青森県農業試験場編：平成12年度土壤保全対策事業成績抄録(内部資料), 青森県農業試験場, 黒石, 2000.
11. 青森県農業試験場編：平成13年度土壤保全対策事業成績抄録(内部資料), 青森県農業試験場, 黒石, 2001.
12. 青森県農林水産部水田対策課編：稲作改善指導要項, p. 14-15, 青森県農林水産部水田対策課, 青森, 2000.
13. 青森県農林水産部畜産課編：家畜の出荷時の平均体重(内部資料), 青森県農林水産部畜産課, 青森, 2003.
14. 青森県農林水産部畜産課編：平成9-13年度主要家畜市町村別使用戸数・羽数(内部資料), 青森県農林水産部畜産課, 青森, 1997-2000.
15. 青森県農林水産部畜産課編：平成9-13年度主要家畜肥育出荷頭数(内部資料), 青森県農林水産部畜産課, 青

- 森, 1997 2000 .
16. 青森県農林水産部農産園芸課編：やさい栽培の手引き, p. 1 508, 青森県農林水産部農産園芸課, 青森, 2003 .
 17. 青森県農林水産部農産園芸課編：平成 13 年りんご生産指導要項, p. 237 245, 青森県農林水産部農産園芸課, 青森, 2001 .
 18. 青森県農林水産部農村整備課編：平成 9 - 12 年度岩木川水系取水実績 (内部資料), 青森県農林水産部農村整備課, 青森, 1997 2001 .
 19. 青森県りんご試験場編：施肥・青森県りんご試験場 50 年史, p. 453 569, 青森県りんご試験場, 黒石, 1981 .
 20. 青森県りんご試験場編：平成 14 年度寒冷地果樹課題別研究会資料(内部資料), 青森県りんご試験場, 黒石, 2002 .
 21. 香川芳子監修：五訂食品成分表 2003, p. 1 229, 女子栄養大学出版部, 東京, 2004 .
 22. 榎根 勇：Penman の蒸発散式の図的解法と水収支計算の応用について．水利科学 9：61 68, 1965.
 23. 国土交通省東北地方整備局編：平成 14 年度東北地方一級河川の水質現況 (内部資料), 国土交通省東北地方整備局, 仙台, 2003 .
 24. 国土地理院編：全国都道府県市町村別面積調査, No. 5916, p.8 16, 東京, 2003 .
 25. 斉藤 寛：りんごの樹体生長・収量および果実品質におよぼす窒素多肥の影響, 弘前大学農学部学術報告 58: 198 314, 1995 .
 26. 澤田信一・古川 洋・佐藤大輔：岩木川流域の水収支への人間活動の影響．環境科学会誌 12：171 183, 1999 .
 27. 田淵俊雄・高村義親：集水域からの窒素・リンの流出, p. 34 83, 東京大学出版会, 東京, 1985 .
 28. 畜産環境整備機構編：実畜ふん尿処理・利用の手引き, p. 3 6, 畜産環境整備機構, 東京, 1993 .
 29. 東北農政局編：岩木川水系関連農業開発事業概要図 (内部資料), 東北農政局, 青森, 1979 .
 30. 東北農政局青森統計情報事務所編：第 44 - 48 次青森農林水産統計年報, 平成 9 ~ 13 年度農作物統計, 青森農林統計協会, 青森, 1997 - 2002 .
 31. 東北農政局青森統計情報事務所編：第 44 - 48 次青森農林水産統計年報, 平成 9 ~ 13 年度園芸作物統計, 青森農林統計協会, 青森, 1997 - 2002 .
 32. 日本下水道協会編：流域別下水道整備総合計画調査指針と解説, p. 31 83, 日本下水道協会, 東京, 1999 .
 33. 水環境工学編集委員会編：人と自然の水環境を目指して, p. 92, 農業土木学会, 東京, 1999.
 34. 村岡浩爾・国松孝男編：河川汚濁のモデル解析, p. 29 61, 技報堂出版, 東京, 2002 .
 35. 半谷高久監修・大竹千代子編：日本環境図譜, p. 161, 共立出版, 東京, 1978 .

Utilization of water and loading of environmental pollutants to river in the Iwaki river basin

Shinichi SAWADA^{*1}, Takashi IGUCHI^{*2}, Kazuhiko KASAI^{*3} and Minobu KASAI^{*1}

^{*1}*Department of Biofunctional Science, Faculty of Agriculture and Life Science*

^{*2}*Department of Electronic and Information System Engineering, Faculty of Science and Engineering, Hirosaki University, Hirosaki 036-8561, Japan*

^{*3}*Environmental Engineering Company, Hirosaki 036-8084, Japan*

SUMMARY

The Iwaki river basin is occupied with 1,424 km² of forest area, 718 km² of farming land, of which 59, 31 and 8% are paddy fields, apple fields and upland fields, respectively, and 445 km² of others (rivers, roads and town areas). In this basin, inhabitants of 476×10^3 live and stockbreedings, which raise cattles of 6×10^3 , pigs of 37×10^3 and chickens of 371×10^3 , exist, while any industry, which is markedly discharging waste, does not exist. The annual precipitation (P) evapotranspiration (Ep) and runoff (R = P - EP) averaged for 5 years from 1997 to 2001 were estimated as 4,078, 1,157 and $2,921 \times 10^6$ m³, respectively. The utilization of water was estimated as 571×10^6 m³ of the runoff, of which 87, 12 and 1% were utilized for rice cultivation, human life and industries. Total nitrogen (T N) budgets in the basin were estimated for nature (forest, uncultivated plain and others), farming, life and stockbreeding systems. The T N introduced from other parts to the basin was estimated as 13,091 t/yr, of which 47, 20, 18 and 12% were supplied as industrial fertilizers given into the farming system and rainfall on nature and farming systems and waste discharged from life and stockbreeding systems, respectively. The T N of 3,997 t/yr was removed again from the basin with the shipment of agricultural products from the farming system (75%) and stockbreeding products from its system (9%) and by sewage treatment of the waste from life system (16%). The T N of 2,758 t/yr was accumulated the nature and farming systems. The rates of the accumulation in soil of the nature, paddy fields, upland fields and apple fields were 8, 26, 19 and 47%, respectively. The loading of T N 6,336 t/yr to the Iwaki and other small rivers in the basin area was estimated to be resulted from surface and penetration runoff of industrial fertilizers given to farming system (28%) and rainfall on nature system (27%) and the waste discharged from life (26%) and stockbreeding (19%) systems.