



HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	都市流域および農業流域の河川水環境に関する研究：茨戸川，旧美唄川，輪厚川の事例
Author(s)	田中，孝； TANAKA, Takashi； 西河，琢 他
Citation	北海道大学大学院農学研究科邦文紀要，24(3-4)，303-318
Issue Date	2002-11-30
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/5611
Type	departmental bulletin paper
File Information	24(3-4)_tanaka.pdf



都市流域および農業流域の河川水環境に関する研究 —— 茨戸川, 旧美唄川, 輪厚川の事例 ——

田中 孝¹⁾・西河 琢²⁾・若山信一郎²⁾・矢沢 正士²⁾

Study on river water environment of urban and agricultural watersheds —— Case of the Barato, Kyu-Bibai and Watsu rivers ——

Takashi TANAKA¹⁾, Taku NISHIKAWA²⁾, Shin-ichiro WAKAYAMA²⁾
and Masao YAZAWA²⁾

I. はじめに

人間活動の活発化による環境への影響については、地球レベルおよび地域レベルにおいて大きな問題であり、持続型社会の構築のため各分野で多角的な調査・研究が進められている。地域環境と人間活動の関連に限定すると、日本の環境基本法では大気環境・水質環境・土壌環境などに対してそれぞれ環境基準が定められており、全国主要地点のモニタリング結果が環境白書として毎年公表されている。このうち水質環境規準に着目すると、健康項目と生活環境項目に分かれており、後者については河川・湖沼・海域それぞれの利水状況に応じた水域類型別の基準となっている。すなわち河川の場合は、自然的な土地利用が卓越する山間源流域が類型AA（水質が最も良好な水域）、農業的土地利用が次第に多くなる上中流域が類型A, B, Cに、都市的土地利用が卓越する下流域が類型D, E

（汚濁の進行した水域）に区分されており、上流域から下流域に至る人間活動の質と量に応じた水域指定が行われている。北海道の河川全体の環境基準達成度¹⁾を、生活環境項目の生物化学的酸素要求量（BOD）についてみると、平成12年度は89%であり、平成3年度も89%であったので水質の改善傾向は進んでいない。未達成の11%には、札幌市などの大都市を流れる河川の下流部や、上流域であっても農業的土地利用が卓越する河川の一部が含まれており²⁾、今後こうした特定の土地利用が卓越する河川の水環境について検討する必要がある。その場合、都市河川と農業河川では人間活動の内容が異なるため、水環境を構成する水質と水量のいずれについても特徴的な差異を示すことが予想される。すなわち都市河川については、生活排水の流入と下水処理場からの放流が水質と水量に影響し、農業河川（とくに水田地帯）では、田面施肥および灌漑用水の流入と排水がやはり水質と水量に影響していると考えられる。

本研究では、都市流域と農業流域の水環境の特徴を明らかにすることを目的に、流域を構成する支流河川もしくは集水域別に水質の実測と水量の推定を行い、流域全体および流域を構成する各集水域の土地利用および水管理との関連について考察を行った。

¹⁾ 函館工業高等専門学校・物質工学科

Department of Material and Environmental Engineering, Hakodate National College of Technology
Hakodate, 042-8501, Japan

²⁾ 北海道大学大学院・農学研究科・環境資源学専攻・地域環境学講座・農地環境情報学分野

Laboratory of Environmental Information of Land,
Graduate School of Agriculture, Hokkaido University
Sapporo, 060-8589, Japan

II. 研究方法

A. 対象河川と採水地点

対象河川は Table 1 および Fig. 1 に示す 3 河川（茨戸川、旧美唄川、輪厚川）である。各河川流域全体の土地利用構成（国土数値情報 KS200-1³⁾）から、都市的土地利用率が最も高く、かつほぼ札幌市内を流れている茨戸川を都市流域、農業的土地利用率が 80% を超えている旧美唄川を農業流域、農業的・都市的・自然的の各土地利用がバランスして含まれる輪厚川を複合流域とした。3 河川はいずれも石狩川水系に含

まれているが、国土地理院の河川次数区分³⁾に従うと、茨戸川と旧美唄川が 2 次河川、輪厚川は 3 次河川（合流河川は千歳川）に相当する。

各河川の採水地点と流路の概略は Fig. 1 に示されているが、採水地点の支流河川名もしくは本川での上下流関係を Table 2 に示す。茨戸川流域では、支川はすべて伏籠川を経由して茨戸川に流入しているため、伏籠川の上流 1 地点、4 支川（旧琴似川・篠路新川・創成川・発寒川）の伏籠川への合流点直近で各 1 地点、茨戸川本川 1 地点の合計 6 地点で採水した。旧美唄川は流路延長 21.5 km・流域面積 195.6 km² を有

Table 1 Objective rivers and their watershed areas, percentages of land use area

River	Area of watershed (km ²)	Areal percentage of land use (%)				Type of watershed
		Urban	Agricultural	Barren	Natural	
Barato	195.59	41.0	36.0	14.6	8.4	Urban
Kyu-Bibai	138.16	3.8	81.1	3.1	12.0	Agricultural
Wattsu	26.20	25.7	30.1	8.0	36.2	Composite

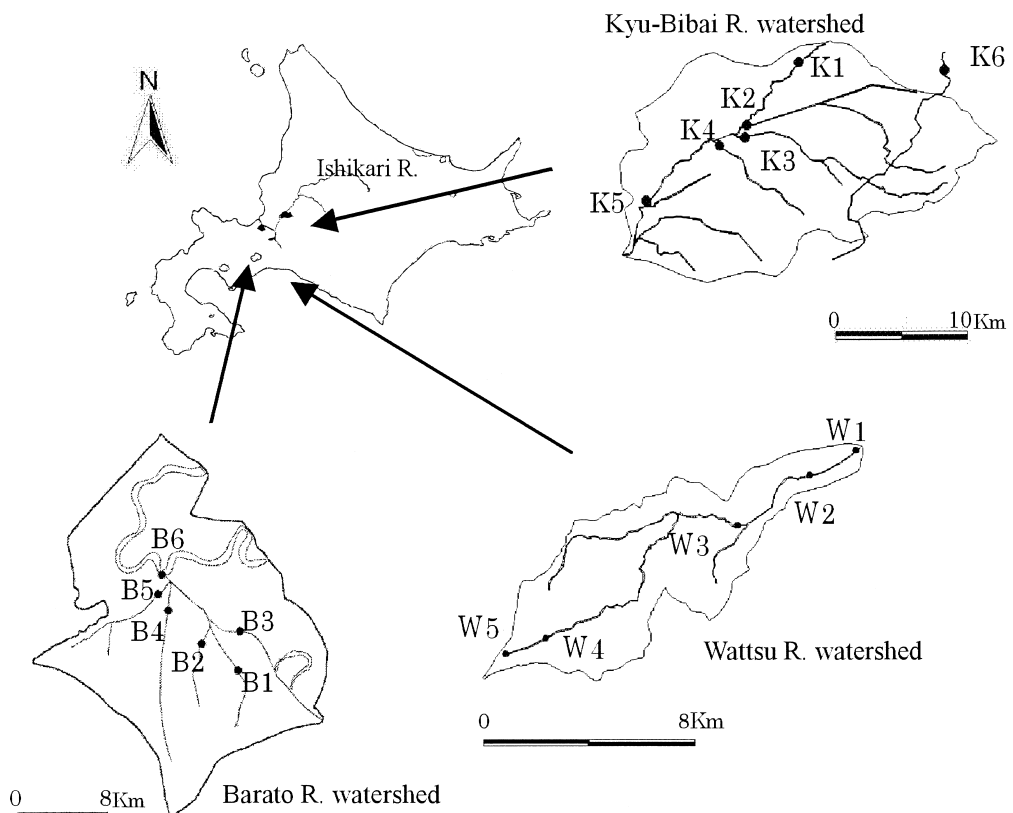


Fig. 1 Outlines of objective river watersheds and their survey points

し、石狩泥炭地内の代表的排水路として大正 14 年に美唄川から河道切り替えが行われた⁴⁾。旧美唄本川の上及び下流から各 1 地点、3 支川(第 2 幹川・第 1 幹川・大願川)が本川に合流する直近で各 1 地点、また参考として水田用水を供給している北海幹線で 1 地点の合計 6 地点で採水を行った。輪厚川は流域面積が最も小さいため(26.2 km²)、輪厚川の源流点から千歳川合流点直近までの合計 5 地点で採水を行った。

B. 河川水質調査

河川水質調査は平成 13 年 5 月より 10 月までの期間に行い、原則として月 1 回採水調査を実施した。現地で水温、水素イオン濃度(pH)、電気伝導度(EC)、水深を測定し、試料水は直ちに実験室に持ち帰り分析を行った。有機汚濁成分として生物化学的酸素要求量(BOD)および浮遊物質質量(SS)、栄養塩類項目として全窒素(TN)と全燐(TP)の分析を行った。溶存物質はあらかじめ孔径 0.45 μm のメンブランフィルターで試料水を濾過後、硝酸態窒素(NO₃-N)、亜硝酸態窒素(NO₂-N)、アンモニア態窒素(NH₄-N)、塩素イオン(Cl⁻)、硫酸イオン(SO₄²⁻)の分析を行った。具体的な分析方

法は Table 3 に示すとおりである。

集水域の河川流出量は、降水量からソーンウェスト法により求めた蒸発散量⁵⁾を差し引きし、流域面積をかけあわせ算出している。降水量と蒸発散量推定に必要な気温は、茨戸川流域は札幌气象台、旧美唄川流域は美唄アメダス、輪厚川流域は恵庭島松アメダスそれぞれの観測値(1971~2000年平均)から、さらに日照時間については札幌市の日の出・日の入り時刻(理科年表：2000)から求めた。茨戸川流域は、集水域内の下水処理面積を差し引いた面積を降水が流出する集水域面積として流出量を算出し、さらに下水処理水が放流されている河川については放流量(札幌市下水維持管理年報)を加算した。旧美唄川は算出された流出量を非灌漑期の平水量とし、灌漑期については各集水域の灌漑面積に応じた北海幹線用水供給量を加算している。輪厚川は、推算流出量をそのまま河川流量としている。

C. 流域界および土地利用の解析

流域界および集水域界を確定し、かつ流域内もしくは集水域内の土地利用状況を把握するため、Table 4 に示す各種の国土数値情報および

Table 2 Survey point and river name

Barato River	Kyu-Bibai River	Wattsu River
B1 Fushiko River	K1 Kyu-Bibai River (U)*	W1 Pond (river head)
B2 Kyu-Kotoni River	K2 Daini-Kan River	W2 Upper stream
B3 Shinoro-Shin River	K3 Daichi-Kan River	W3 Midstream
B4 Sosei River	K4 Oonegai River	W4 Down stream
B5 Hassamu River	K5 Kyu-Bibai River (D)*	W5 Confluence to Chitose River
B6 Barato River	K6 Hokkai-Kansen (C)*	

*U(upper stream), D(down stream), C(irrigation canal)

Table 3 Water quality measurement

Parameters	Method
BOD (Biochemical oxygen demand)	5 days incubation method at 20°C
SS (Suspended solid)	GFP filtration method
TN (Total nitrogen)	Colorimetric method (ultraviolet adsorption)
TP (Total phosphorous)	Colorimetric method (molybdenum blue)
NO ₃ , NO ₂ , NH ₄ , Cl, SO ₄	Ion chromatograph method
pH	Portable meter (TOA Co.)
EC (Electric conductivity)	〃
Water temperature	〃
Water depth	On site measurement at fixed point

数値地図を用いて解析を行った。流域界の設定には、国土数値情報の河川台帳(KS-270)、河川単位流域台帳(KS-271)、流域界・非集水域境界線位置(KS-273)の各ファイルを用いた。原ファイルから得られた流域界の緯度経度座標値を用い、河川別の流域界図をGIS分析アプリケーションであるArc View(ESRI社)により流域界ポリゴンとして描写した。集水域界は、数値地図25000(地図画像:国土地理院)と数値地図50mメッシュ(標高)の標高情報を元に流域界ポリゴンを集水域界ポリゴンとして分割した。集水域界ポリゴンは、Arc View ツールにて国土標準地域3次メッシュ単位(約1km²)に分割された。3次メッシュは緯度経度座標を元にコード化されており、分割された個々の3次メッシュが特定可能となっている。

土地利用状況は、国土数値情報の2種類の土地利用面積ファイル(KS603:1976, KS200-1:1991)を用い、流域別もしくは集水域別に、農業的(水田, 畑, 果樹園等の作物用地)・都市的(市街地, 住宅地, 工業用地, 交通用地等)・荒地(篠地, 未利用地)・自然的(森林, 内水面等)の4種の土地利用項目に大別したが、農業的土地利用については田と畑(牧草地と果樹園も含む)に細分した。

III. 結 果

A. 集水域の土地利用

各流域の採水地点に対応する集水域の面積と土地利用状況をTable 5に示す。茨戸川流域のB6地点は支川(伏籠川)からの合流点であるため、また旧美唄川のK6地点は灌漑用水路であ

Table 4 Data sources for analyzing watershed and land use

Objective	Data source*
Watershed	Kasen-Daicho (KS270), Tan-I-Ryuiki-Daicho (KS271), Ryuiki-Kai・Hishusuiiki-Kai(KS-273), Suuchi-Chizu-25000, Suuchi-Chizu-50m-Mesh-Hyoko
Land use	Ryuiki-Tochi-Riyo (KS603), Third-Mesh-Tochi-Riyo (KS200-1)

*KS: Digital National Land Information (Kokudo-Chiri-In)

Table 5 Catchment area and land use in three watersheds

River and survey point	Catchment area (ha)	Areal percentage of land use (%)			
		Urban	Agricultural (paddy, upland)	Barren	Natural
<u>Barato River</u>					
B1	1,012	44.7	46.8 (0.4, 46.4)	3.0	5.5
B2	1,028	81.4	17.7 (0.4, 17.3)	0.1	0.8
B3	3,076	27.2	43.4 (0.5, 42.9)	26.4	3.0
B4	2,118	84.5	12.5 (0.1, 12.4)	0.7	2.4
B5	1,737	41.6	41.1 (0.8, 40.3)	13.6	3.7
<u>Kyu-Bibai River</u>					
K1	627	4.7	88.9 (70.2, 18.6)	0.2	6.2
K2	4,305	5.8	63.9 (55.0, 8.9)	5.7	24.6
K3	3,398	3.4	78.2 (65.0, 13.2)	3.8	14.6
K4	2,155	5.2	89.5 (69.3, 20.2)	1.2	4.0
K5	5,071	2.0	85.5 (75.2, 10.3)	1.7	10.8
<u>Wattsu River</u>					
W1	25	2.4	46.6 (1.3, 45.3)	18.6	32.3
W2	62	3.8	76.0 (0.4, 75.5)	6.3	13.9
W3	1,723	22.8	28.4 (4.1, 24.3)	10.0	38.7
W4	666	37.8	19.0 (4.9, 14.1)	3.6	39.5
W5	144	26.3	65.7 (25.1, 40.6)	3.2	4.9

る北海幹線の採水地点であるので、それぞれ土地利用率については省略した。なおこれらの土地利用率は、データ源の国土数値情報 KS200-1 が 1991 年に公開されているので、現在とは 10 年余以前の状態に相当していることになるが、集水域別の特徴を把握するにはある程度有効と考えている。

都市流域である茨戸川の集水域別の土地利用については、都市的土地利用率が 80%以上で最も高いのが旧琴似川 (B 2) と創成川 (B 4) であり、ほぼ全域が札幌市の市街化区域に含まれている。都市的土地利用と農業的土地利用がいずれも 40%強でほぼ拮抗しているのが伏籠川 (B 1) と発寒川 (B 5) の両集水域であり、法定土地利用計画では市街化区域と市街化調整区域の両方にまたがっていることを反映している。都市的土地利用率が最も低いのが篠路新川 (B 3) であり、農業的土地利用率に加え荒地率が高い集水域となっているが、泥炭地の分布域では未利用地が多く、荒地率が高い原因である。

農業流域の旧美唄川に関しては、農業的土地利用率が 85%以上でとくに高いのが旧美唄上流 (K 1)、大願川 (K 4)、旧美唄下流 (K 5) の 3 集水域である。もちろん水田が中心であるが、転作により畑が増加傾向にあり、10~20%程度となっている。農業的土地利用率 80%弱が第 1 幹川 (K 3)、64%で最も低いのが第 2 幹川 (K 2) であり、それぞれ源流域が山間部末端にあり、森林が含まれているため自然的土地利用率がやや高い集水域に相当している。

複合流域の輪厚川では、上流域から下流域に至る集水域間の土地利用変化が大きいのが特徴である。すなわち農業的土地利用率が最も高いのは上流域の W 2 地点 (集水域) の 76%であるが、その大部分は草地であり、乳牛を飼養する農家が多い酪農地帯となっている。また源流部 (K 1) の農業的土地利用が 47%で比較的高いが、輪厚川の源流部は丘陵地帯であり、急峻な山間部を持たないため農地としての利用が進んでいる。自然的土地利用率に関してはむしろ中流部 (K 3) から下流部 (K 4) の方が高い傾向を示すのは、平坦林である野幌原始林の南端

部が中・下流部集水域に含まれているためであり、自然的土地利用の大部分は森林に相当している。また下流の W 4 集水域の都市的土地利用率が 38%で最も高くなっているのは、道営北広島団地が含まれているためであり、採水地点は市街地の末端部に相当する。最下流部 (W 5) になると農業的土地利用率が再び高くなるが (66%)、千歳川との合流点に近く低平地が広がるためであり、輪厚川流域内としては水田の割合がやや高いのが特徴である。

B. 河川水質

a. 有機汚濁成分

有機汚濁成分 (BOD, SS) について、採水地点別に期間中の平均濃度を示したのが Fig. 2 である。ただし農業流域の旧美唄川については、後述するように水田灌漑期 (水質調査では 5~8 月) と非灌漑期 (同 9~10 月) では河川流量が大きく異なるため、両期間を区分して表示した。河川別の BOD 濃度を比較すると、茨戸川 > 輪厚川 > 旧美唄川 (非灌漑期) > 同 (灌漑期) であり、流域全体の都市的土地利用率が大きいほど BOD 濃度が高くなっている。都市流域である茨戸川の濃度 5.1~6.6 mg/l は水域類型 D 相当の値に、また濃度が低い旧美唄川 (灌漑期) の 1.5~2.7 mg/l は類型 B に相当する。個別採水地点で特異的に高い値を示すのは複合流域の輪厚川 W 2 地点であるが、集水域の土地利用で述べたように輪厚川流域の中では農業的土地利用率が最も高く、かつ酪農地帯であるため畜産排水の流入に起因すると見なされる。水田地帯である旧美唄川の BOD 濃度は低いので、同じ農業地帯であっても営農形態の差違が大きく影響していることが分かる。また旧美唄川の BOD が非灌漑期よりも灌漑期の方が低いのは、水源の北海幹線 (K 6) の濃度が低く、非灌漑期には北海幹線からの取水が停止するためである。

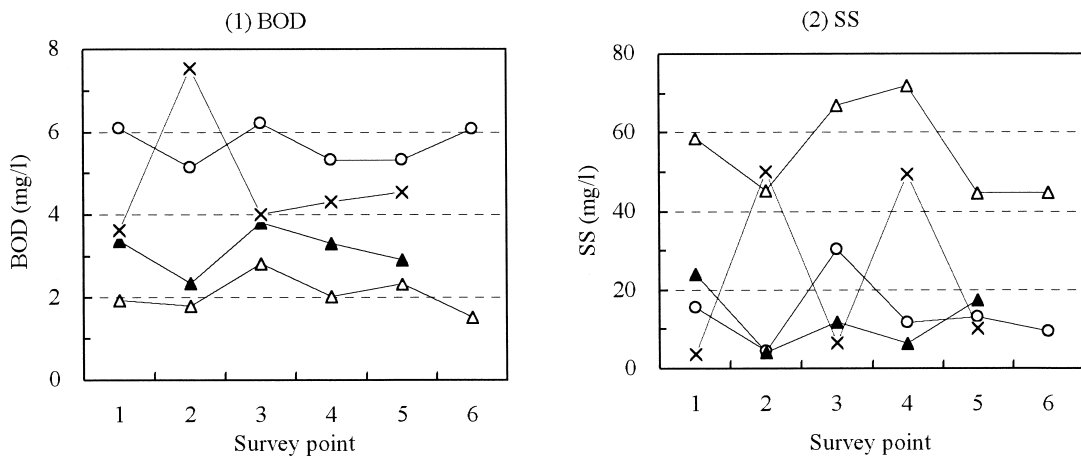
次に SS 濃度についてみると、同じ河川流域であっても採水地点による変化が BOD よりも大きい傾向が認められるが、全体的に最も高いのは旧美唄川の灌漑期であり、続いて輪厚川の W 2 と W 4 の両地点の濃度が高い。茨戸川の SS は B 3 地点でやや高いが、全体的には低く

経過しており、BOD濃度の高さと比べると対照的である。旧美唄川のSS濃度が非灌漑期と灌漑期で大きく異なるのは、北海幹線のSS値自体がかなり大きく、灌漑期に流入している用水が濁っていることに加え、代掻き等により水田内でも濁水が発生し、河川に流入しているためである。灌漑期のBOD濃度は低いので、有機性の懸濁物質ではなく、ほとんどが無機性の懸濁物質によるものと考えられる。これに対して輪厚川の2地点(W2とW4)でSS濃度が高いのは、W2地点の場合はBODが特異的に高いことと対応しているので有機性の懸濁物質の影響

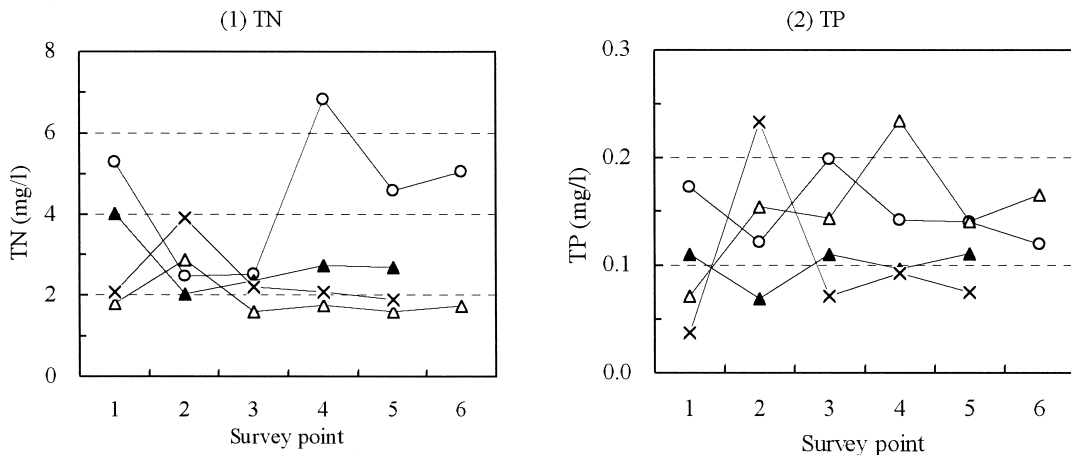
が、またW4地点は平均水深が3cm程度で極めて浅く、河床に藻類の発生が認められたことからやはり有機性の懸濁物質が関与していると考えられる。

b. 栄養塩類

全窒素(TN)と全リン(TP)の平均濃度をFig. 3に示す。TN濃度が全体的に高いのは都市流域の茨戸川であり、B2およびB3地点以外は5mg/lを超えている。採水地点に対応する集水域の都市的土地利用率は、B2地点(旧琴似川)とB4地点(創成川)が80%以上で最も高いが、B2地点のTN濃度は小さいので都市的土地



(○Barato, △Kyu-Bibai:Irrigation period, ▲Kyu-Bibai:Non-irrigation period, ×Wattsu)
 Fig. 2 Average concentrations of organic pollutant (BOD, SS) for each survey point



(○Barato, △Kyu-Bibai:Irrigation period, ▲Kyu-Bibai:Non-irrigation period, ×Wattsu)
 Fig. 3 Average concentrations of eutrophic pollutant (TN, TP) for each survey point

利用率のみでは説明できない。農業流域の旧美唄川では B 1 地点の TN 濃度が特に非灌漑期で高いが、美唄川と旧美唄川の河道切替えにより、旧美唄川の最上流部（B 1 地点）は平坦地でありながら孤立化しており、滞留性の集水域となっているのが原因とみなされる。また複合流域の輪厚川では W 2 地点の TN のみが 4 mg/l で高いのは、BOD および SS が高いこととも関連しており、やはり集水域からの畜産排水の流入が関与していると考えられる。

TP 濃度に関しては流域全体で高いのは茨戸川と旧美唄川（灌漑期）であり、とくに旧美唄川の場合は非灌漑期の濃度が低く経過していることと比べて対照的な結果を示している。旧美唄川灌漑期では SS 濃度も非常に高いので、濁水中の無機懸濁物質（微細土粒子）に吸着された磷によるものと見なされる。一方茨戸川で TP 濃度が高いのは、SS 濃度は低いので濁水由来ではなく、溶存態磷に由来すると考えられる。

c. 溶存イオン

硝酸態窒素 (NO₃-N)、亜硝酸態窒素 (NO₂-N)、アンモニア態窒素 (NH₄-N) の合計量を溶存態窒素 (DTN) とし、また DTN と TN の比を溶存態窒素比 (DTN/TN) とし、それぞれの平均値を Fig. 4 に示した。DTN 濃度および DTN/TN がいずれも大きいのは茨戸川であり、旧美唄川および輪厚川とは明らかな差異が

認められる。ただし茨戸川流域でも B 2 と B 3 の両地点の DTN および DTN/TN はいずれも小さく、TN の場合と類似した結果を示している。旧美唄川と輪厚川については DTN および DTN/TN とともに大差は認められず、旧美唄川の灌漑期と非灌漑期の差異も SS や TP のようには明瞭でない。

次に陰イオン成分としての塩素 (Cl⁻) と硫酸 (SO₄²⁻) の平均濃度を示したのが Fig. 5 である。両イオンとも茨戸川の濃度が高く、都市河川の特徴と見なされるが、とくに Cl⁻ は他の河川流域と比べてほぼ 2 倍以上高い値となっている。旧美唄川の SO₄²⁻ については、灌漑期の濃度が非灌漑期よりも高く、肥料成分の流出があることを示している。北海道の河川の平均的な濃度は Cl⁻ 19.0mg/l, SO₄²⁻ 10.7mg/l であるが⁷⁾、Cl⁻ については茨戸川のみが、また SO₄²⁻ では輪厚川の上流 2 地点 (W 1・W 2) 以外は平均的な値よりも高くなっている。

d. pH と EC

pH と EC の期間中の平均濃度を Fig. 6 に示す。pH については輪厚川の中下流の 3 地点 (W 3・W 4・W 5) の値がやや高いのが特徴であり、水深が浅く河床に藻が発生していたので、藻による水中の炭酸消費が pH をやや高くしている原因と推定される。また EC に関しては、栄養塩や溶存イオンの濃度が明らかに高かった茨

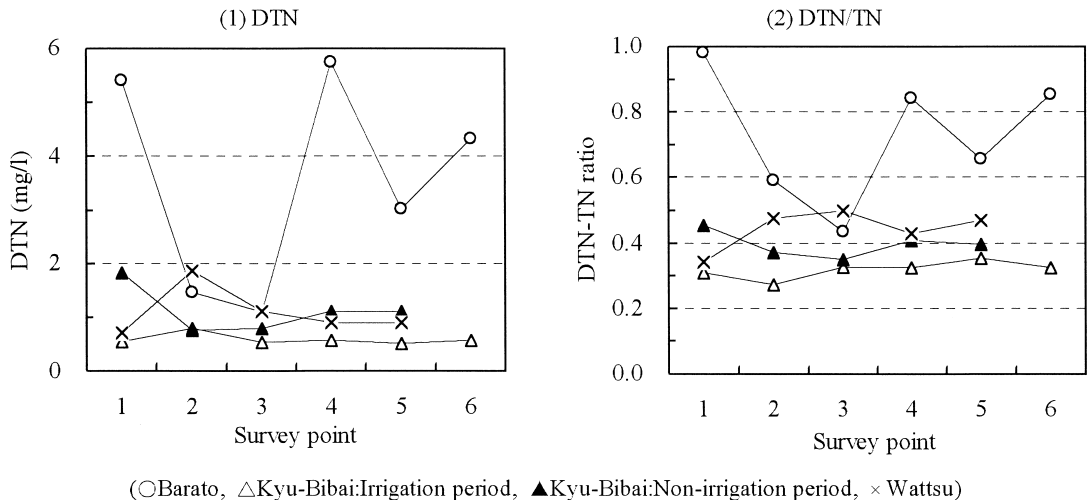
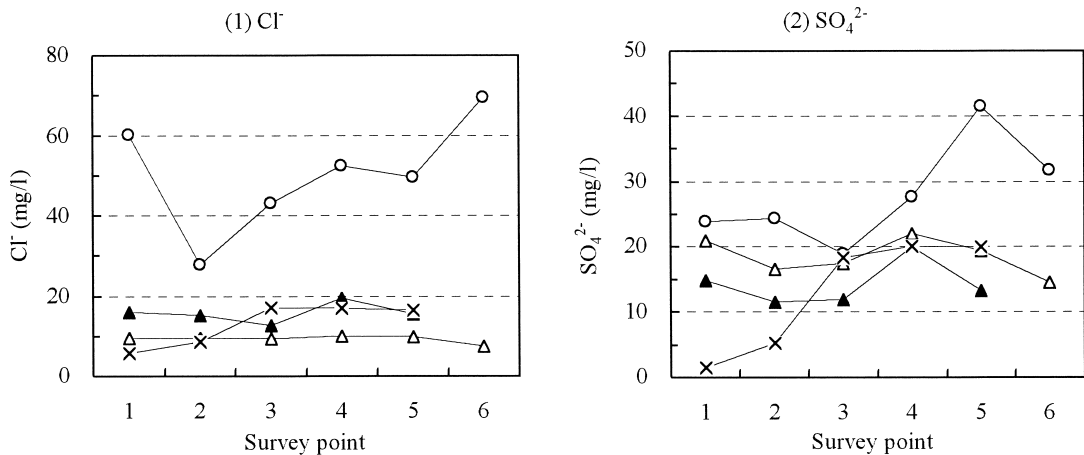
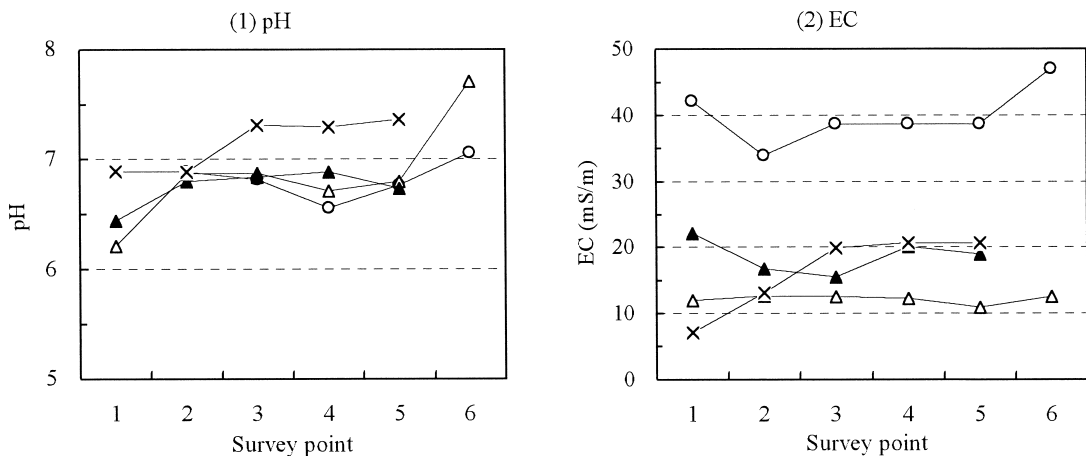


Fig. 4 Average values on dissolved nitrogen (DTN, DTN/TN) for each survey point



(○Barato, △Kyu-Bibai:Irrigation period, ▲Kyu-Bibai:Non-irrigation period, ×Wattsu)

Fig. 5 Average concentrations of anions (Cl^- , SO_4^{2-}) for each survey point



(○Barato, △Kyu-Bibai:Irrigation period, ▲Kyu-Bibai:Non-irrigation period, ×Wattsu)

Fig. 6 Average values of pH and EC for each survey point

戸川の値が他の2河川の約2倍に達しており、生活排水の多い都市流域の特徴を示している。

IV. 考 察

A. 茨戸川流域の水環境

茨戸川の水質は、各採水地点に対応する集水域の都市的土地利用率の大小を必ずしも反映した結果になっていないことを述べた。この原因としては、茨戸川流域の大部分が含まれる札幌市の下水処理方式と、下水処理場の所在位置が

関連していると考えられる。すなわち下水処理方式については、札幌市は雨水合併処理方式を採用しているため、河川水の主要な供給源である降水は河川に直接流出せず、生活污水と共に下水処理場を経由して放流されている⁶⁾。またB1～B5地点に対応する集水域に下水処理水を放流している下水処理場としては、伏籠川処理場と創成川処理場の2箇所が含まれている。そこで茨戸川流域内の下水処理区域の分布と下水処理場の位置をFig.7に、また各河川の日平均流量と下水処理場からの日放流量、および各

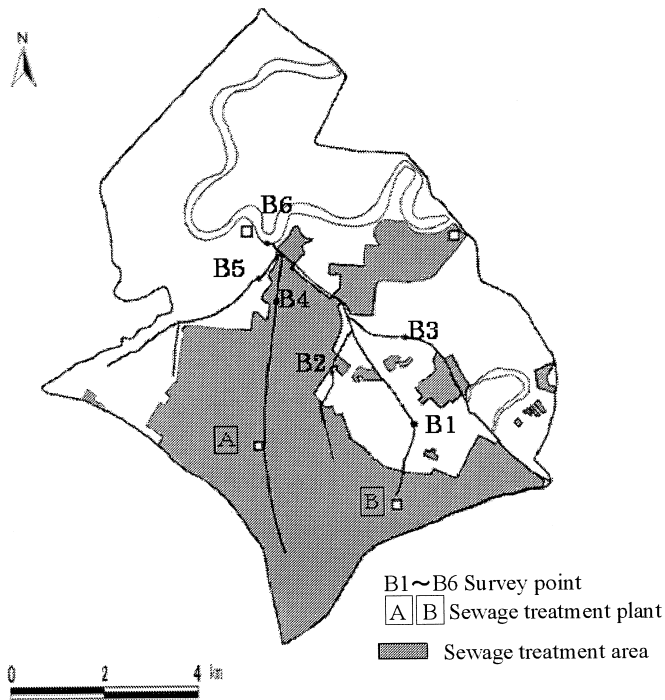


Fig. 7 Location of sewage plant and sewerage area in the watershed of Barato River

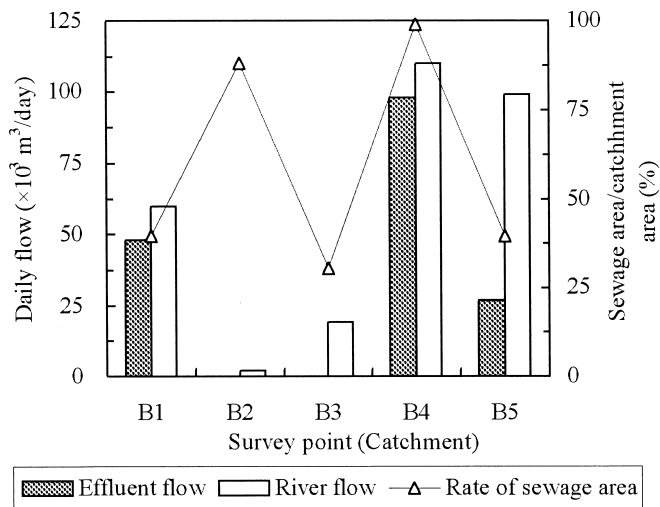


Fig. 8 Daily flow of sewage effluent and river water, and rate of sewage treatment area to catchment area

集水域面積に占める下水処理区域面積率を Fig. 8 に示す。

流域内に下水処理水を直接放流しているのは

創成川処理場 (Fig. 7 の [A]) と伏籠川処理場 (同 [B]) であり、発寒川 (B 5) でも流域外の処理場から一部処理水が放流されているが、旧琴似

川（B2）と篠路新川（B3）では下水処理水の流入は認められない。一方各集水域内の下水処理区域面積率が高いのは、創成川（B4）の99%、旧琴似川（B2）の88%であり、雨水合併処理方式であるため、これら両河川への雨水の流入は極めて限られていることになる。これに対して残り3河川の下水処理区域面積率は30~40%であるので、集水域からの雨水の流入はある程度確保されている。各河川の日流量および下水処理水の日放流量より（Fig. 8）、旧琴似川（B2）では下水処理区域面積率が高いにもかかわらず処理水が流入していないため、日流量は最も小さくなっている。すなわち平水時の水深と流速は極めて小さく、ほぼ淀んだ状態となっており、都市河川としての親水的な機能が発揮されていると言ひ難いのが現状である。日流量が旧琴似川に次いで小さい篠路新川（B3）も同じような状況にあり、下水処理区域面積率が約31%でやや低いいため自流水はある程度確保されているものの、やはり平水時の水深・流速が小さく、また流路内に水生植物が繁茂しており、親水的な環境には程遠い状況となっている。河川日流量が大きいのは創成川（B4）、発寒川（B5）、伏籠川（B1）であるが、下水処理場のある創成川と伏籠川では日流量に占める放流水の割合が高く、こうした河川の水質は下水処理水の放流時水質に強く依存していると考えられる。参考のため創成川処理場における放流時の基準水質をTable 6に示すが、SSとpH以外は旧美唄川や輪厚川が示した平均的濃度よりも高く設定されている。都市河川である茨戸川の水質は、前項で述べたように旧美唄川や輪厚川と比べて一般にTN、DTN、DTN/TN、Cl⁻、SO₄²⁻が高い傾向にあったが、これ

らはいずれも下水処理水を含めた都市汚水の特徴と見なすことができる。

河川の水質濃度と流量が既知であるので、各集水域から茨戸川本川に流入する月平均比負荷を求め、有機汚濁成分（BOD、SS）と栄養塩類（TN、TP）について示したのがFig. 9である。下水処理水が放流されている伏籠川（B1）、創成川（B4）、発寒川（B5）の各集水域の比負荷が非常に大きく、TP以外の3成分はいずれも月10 kg/ha前後に達している。下水処理水が放流されていない旧琴似川（B2）と篠路新川（B3）を比較した場合、後者の比負荷がいずれの水質項目についても高くなっているのは、前述したように旧琴似川集水域の下水処理区域面積率が88%に達しており、かつ下水処理場からの放流がないため河川流量が極端に少ないことに起因している。これに対して篠路新川集水域の場合は、下水処理区域面積率がやや低く、集水域の農業的土地利用率が比較的高いので、農地等からの流出水が河川に流入しており、河川流量がある程度維持されているからである。

B. 旧美唄川流域の水環境

農業流域である旧美唄川の水環境は、水田地帯であるため灌漑期と非灌漑期では前節で述べた水質のみならず、河川水量においても大きく異なるのが特徴である。旧美唄川の各集水域の日流量を灌漑期と非灌漑期で比較したのがFig. 10であるが、美唄川との河道切替えにより山間源流域を失った旧美唄川上流域（K1）を除くと、灌漑期の日流量は非灌漑期のおよそ4~6倍にも達している。すなわち灌漑期には用水源である北海幹線から取水し、集水域内の水田を經由して各支流河川に排水が流入し、最終的に旧美唄川に合流している。したがって灌漑期には基本的には取水源である北海幹線（K6）の水質に依存するが、集水域内水田に施肥された肥料成分の一部が流出し、かつ代掻き期には濁水も発生するので、これらの営農活動による水質への影響も現れてくる。取水源である北海幹線の水質において、SSが意外に高くなっているのは北海幹線への流入源である空知川の特徴を反映していると思なされるが、BOD・TN・

Table 6 Effluent criteria at Soseigawa plant

Parameters	Criteria
BOD (mg/l)	4.6
SS (mg/l)	5.5
pH	7.0
TN (mg/l)	12.5
TP (mg/l)	0.2
DTN (mg/l)	10.3

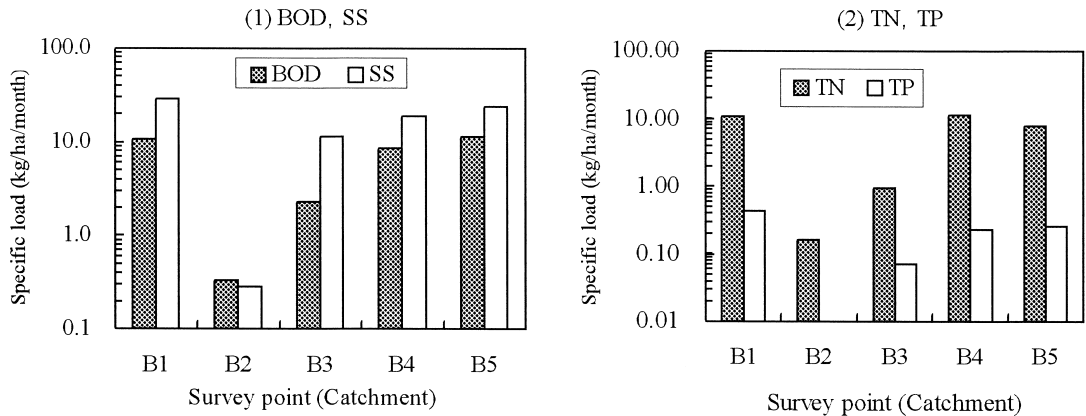


Fig. 9 Monthly specific load of organic (BOD, SS) and eutrophic pollutant (TN, TP) from each catchment area of Barato River

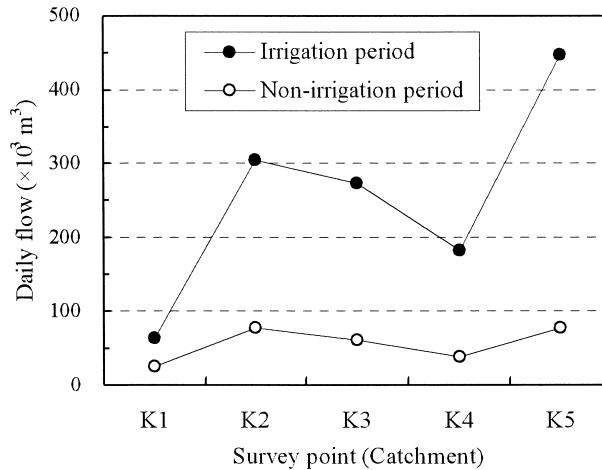


Fig. 10 Daily flow of each catchment in Kyu-Bibai River

TPの濃度はいずれも支流河川の濃度よりも小さく、集水域内水田での営農活動に伴う流出が認められる。一方、北海幹線からの取水が停止する非灌漑期になると、流域内の自流水のみが流れ、各河川の集水域面積 (Table 5) の大小に応じた流量となる。非灌漑期の水質は、SSとTPの濃度は灌漑期よりも小さいが、BODとTNは逆に非灌漑期の方が高い傾向が認められる (Fig. 2, Fig. 3)。濁水の発生が停止する非灌漑期にはSSと土粒子に吸着されやすい燐 (粒子態)の濃度が減少するためであるが、TN濃度が増加するのは肥料成分の流出が継続しているためと考えられ、またBODの増加は河川流量の減少により水中への酸素供給が低下し、有機

物分解が阻害された結果と見なされる。

灌漑期と非灌漑期では河川流量が大きく異なるので、有機汚濁成分 (BOD, SS) と栄養塩類 (TN, TP) について月平均比負荷を比較し、かつ灌漑期比負荷に対する非灌漑期比負荷の比 (低減比)を示したのが Fig. 11である。灌漑期の比負荷を集水域別に比較すると、SS以外のBOD・TN・TPがいずれも最も低いのは第2幹川 (K2)であり、集水域の農業的土地利用率が64%で最も小さい河川に相当している。第2幹川の上流部には林地が存在するため、自然的土地利用が各集水域中では約25%で最も多く含まれており、農業流域内でも自然的土地利用の割合が高ければ比負荷は小さくなることを示

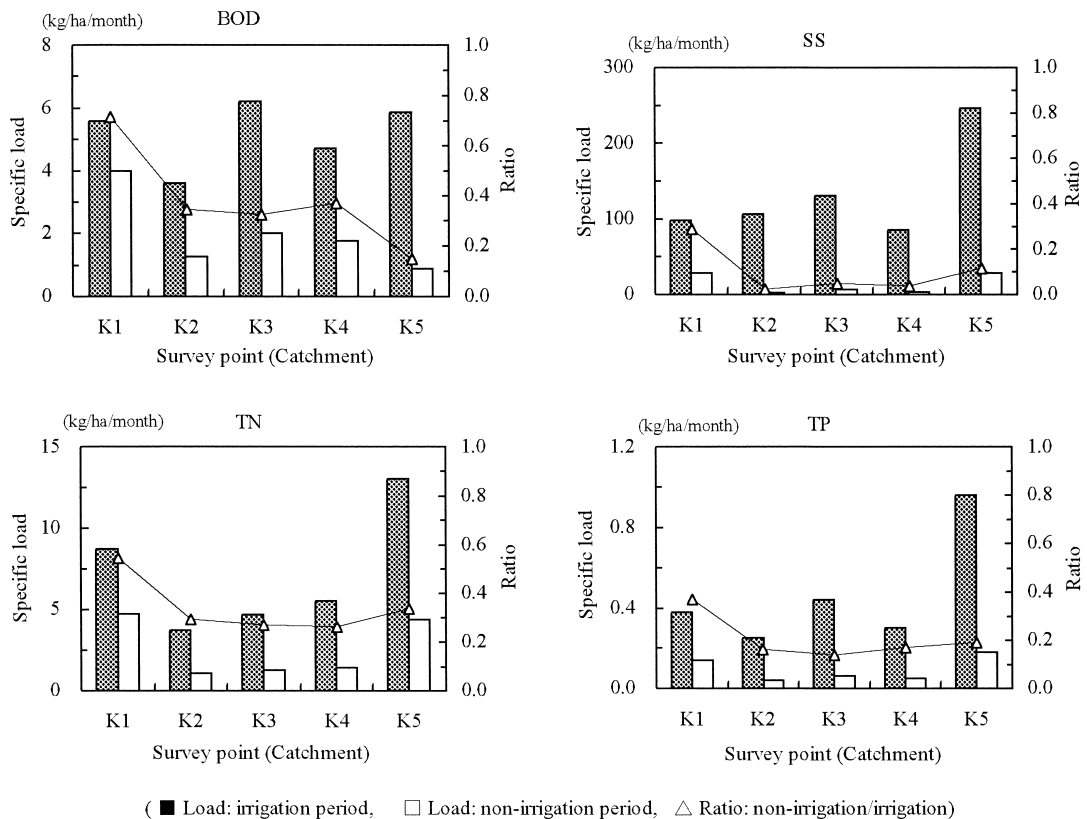


Fig. 11 Monthly specific load of irrigation and non-irrigation periods, and their ratio (Kyu-Bibai River)

している。また低減比についてはSSとTPの値が小さく、流量差の少ないK1を除くと灌漑期の1～2割程度にまで減少し、非灌漑期になると濁水の排出が停止することの影響が大きいことを示している。またBODとTNに関しては、やはりK1を除くと灌漑期の4割以下であり、濃度では非灌漑期の方がやや高いが比負荷では河川流量の減少効果が大きいことが分かる。

C. 輪厚川流域の水環境

複合流域の輪厚川では、採水地点に対応する集水域間の土地利用の差異が大きく、各集水域の水環境の特質も土地利用に求められる。すなわち農業的土地利用率が76%で最も高くかつ酪農地帯であるW2地点の水質は、前述したようにBOD・SS・TPの濃度が異常に高く、TNについても都市流域の茨戸川に次いで大きくなっている (Fig. 2, Fig. 3)。集水域内の牧草地

(放牧地も含まれる)には幾つかの小排水路が存在し、畜産排水の流入があるため、区間内で一部コンクリート水路化した河床には特に夏季になるとヘドロ状の藻類の発生が確認され、有機汚濁と富栄養化が進行していることが目視できた。一方都市的土地利用率が38%を占めるW4地点では、道営北広島団地が集水域内に含まれている。北広島市の下水処理方式は雨水分流方式であり、下水処理水は輪厚川流域外に放流されているが、地表水は輪厚川に流入している。処理水が流入していないため、BODとTNは茨戸川流域のように高くはないが、SSについてはW2地点と同程度の高い濃度を示している。コンクリート水路に改修され、かつ水深が浅いためか河床に藻が発生していたので、旧美唄川灌漑期のような濁水によるSS増加ではなく、有機性の懸濁物質(藻類)によるSS増加と見なされる。

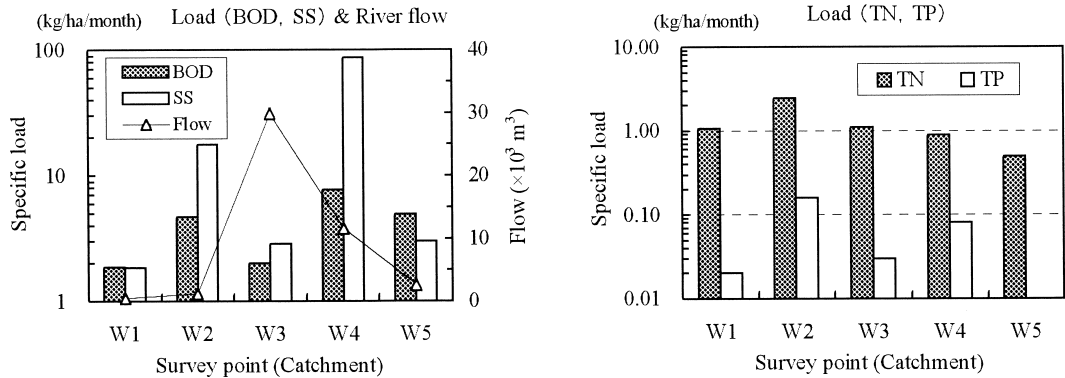


Fig. 12 Monthly specific load and daily flow of the watershed of Wattsu River

輪厚川における各集水域の日平均流量および月平均比負荷を Fig. 12 に示す。輪厚川は全体的に流量が少ないのが特徴であるが、源流部が丘陵地であり山間部からの降雨流出が期待できないためである。したがって比負荷についても茨戸川や旧美唄川灌漑期と比べて小さい傾向にあるが、集水域間の比負荷を比較すると、流量が極めて少ないのに比負荷が大きいのはW2集水域であり、とくにTNとTPに関しては最大となっている。前述したようにW2集水域は農業的土地利用率が高く、また酪農地帯であることが比負荷に対しても大きく影響していることがうかがわれる。また北広島団地を含むW4集水域の比負荷は、BODとSSが最大であり、と

くにSSの大きさが際立っている。下流部であるため河川横断は広がっているが、コンクリート水路の水深は浅く、河床に藻が発生していることがSS比負荷の増大につながっている。一方、流量が最大であるにもかかわらず比負荷が小さいのはW3集水域であり、中流部がほぼ自然の草生河川の状態に保たれていることが比負荷を小さくしている要因の一つと見なされる。このように輪厚川では集水域の土地利用状態に加え、河川改修の有無も比負荷に関与していると考えられる。

D. 流域外排出

今回検討した3流域について、最下流から流域外に排出する月平均比負荷を比較したのが

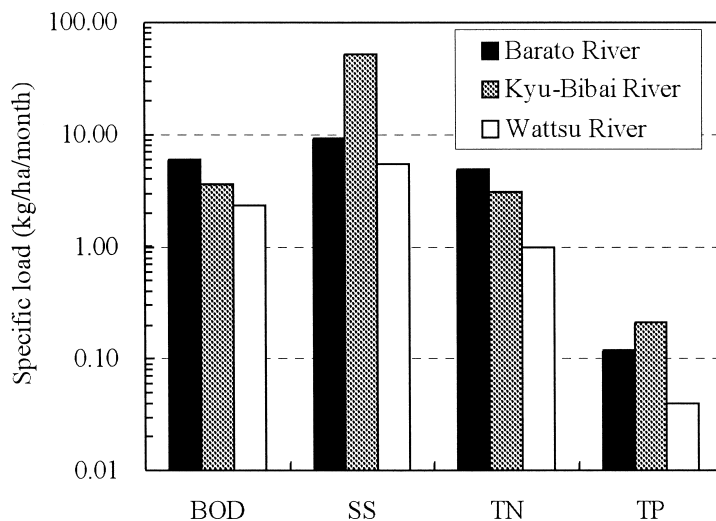


Fig. 13 Monthly specific load from three watersheds (Kyu-Bibai River: Irrigation period)

Fig. 13 である。都市流域の茨戸川が BOD と TN の比負荷が最大であるのに対し、農業流域の旧美唄川（灌漑期）では SS と TP の比負荷が最大となっている。すなわち都市流域では有機性廃棄物系の汚濁が中心であるが、水田地帯の旧美唄川では濁水由来の無機懸濁物質が絡んだ汚濁といえることができる。もちろん複合流域である輪厚川の個別集水域で示したように、酪農地帯の家畜糞尿由来の汚濁についても有機性廃棄物という点では都市流域の汚濁と類似している。こうした流域外への排出を軽減するためには、都市流域では下水処理場における汚濁物質の処理能力を高め、放流時濃度を軽減することが必要である。同時に都市河川の親水機能を向上させるため、平水時流量の少ない河川に対する一定の配慮も必要である。また農業流域の場合は、水田地帯である旧美唄川については灌漑期の濁水の発生を軽減するための取水源対策が、また酪農地帯の輪厚川一部集水域では家畜糞尿の排出防止対策がそれぞれ重要である。最終的には、個別河川に対する人間活動の質と量に応じた流域管理モデルの構築が求められている。

V. 要 約

流域内の土地利用状況が明らかに異なる河川の水環境の差異を明らかにするため、茨戸川（都市流域）、旧美唄川（農業流域）、輪厚川（複合流域）を事例として、河川の水質、流量、比負荷の比較検討を行った。

都市流域の茨戸川の水質は、BOD・TN・DTN・Cl⁻・SO₄²⁻の濃度が全体的に高く、農業流域および複合流域とは明らかに異なっていた。また流域を構成する集水域間の流量と比負荷の差異が大きく、下水処理場からの放流水が流入している集水域の流量および比負荷が大きいのに対し、流入していない集水域の平水時の流量と比負荷は極めて小さいという特徴が認められた。札幌市の下水処理場が雨水合併処理方式を採用しているためであるが、流量の少ない集水域では水がよどんだ状態になっており、都市河川の親水的な機能の発揮という面では劣悪な環境にあることが分かった。

農業流域である旧美唄川の水環境については、水田農業が中心であるため、河川水質、流量、比負荷がいずれも灌漑期と非灌漑期では大きく異なっているのが特徴である。灌漑期の河川水質は、SS と TP の濃度が都市流域および複合流域と比べて全体的に高い傾向を示し、代掻き等の営農活動による濁水発生の影響と見なされた。非灌漑期の河川流量と比負荷は、灌漑期の1/4~1/10にまで減少しており、灌漑期における流域外の北海幹線用水からの取水量が極めて大きいことを示す。このことは同時に灌漑期の河川水質が、取水源の用水水質にも依存していることを示す。

複合流域の輪厚川の水環境は、流域内の集水域間の土地利用の変化が比較的大きく、河川水質と比負荷にも土地利用の影響が発現しているのが特徴である。とくに農業的土地利用が卓越しかつ酪農が行われている上流部の河川水質は、有機汚濁（BOD、SS）と栄養塩類（TN、TP）の濃度がいずれも特異的に大きく、家畜糞尿等の畜産排水が流入しているためと見なされた。また都市的土地利用の割合が比較的高い下流部では（道営北広島団地が含まれる）、BOD と pH が高くなる傾向が認められた。流域面積の最も小さい輪厚川では、平水時の水深と流量がいずれも小さく、河床に藻が発生していることが確認され、BOD 濃度と pH の上昇の原因と推定された。

流域外への排出負荷は、BOD と TN が都市流域で、SS と TP は農業流域でそれぞれ高くなる傾向を示した。良好な河川水環境を維持するためには、排出負荷の軽減が必要であり、下水処理方式や処理能力、農地の施肥管理と濁水防止対策について検討する必要がある。

【謝辞】本報告は、筆者の1人である田中が文部科学省の内地留学研究員制度により、平成13年5月から平成14年2月までの10カ月間、北海道大学大学院農学研究科に派遣された際に実施した研究をまとめたものである。このような機会を与您え頂きました函館工業高等専門学校長の東市郎博士（北海道大学名誉教授）および同物質工学科清水崇教授に厚くお礼申し上

げます。また研究に際して種々便宜を図って頂きました北海道大学大学院農学研究科環境資源学専攻地域環境学講座農地環境情報学分野の谷宏助教授，王 秀峰講師，大学院生，4年生の皆様にも深く感謝致します。

引用文献

- 1) 北海道環境生活部：北海道環境白書 '01, 252 p. (2001).
- 2) 北海道環境生活部：平成 11 年度公共用水域の水質測定結果, 661 p. (2001).
- 3) 日本地図センター：数値地図ユーザーズガイド, 468 p. (1994).
- 4) 石狩川水系農業水利誌編集委員会：石狩川水系農業水利誌, pp. 332-334 (1995).
- 5) 加藤晃司：石狩川流域における水収支と蒸発散量の推定, 開発土木研究所報, 553, pp. 2-13 (1999).
- 6) 札幌市下水道局：維持管理年報 (2000).
- 7) 不破敬一郎編：地球環境ハンドブック, p. 64 (1994), 朝倉・東京.
(受付：2002. 7. 18 受理：2002. 9. 4)

Summary

To clarify the difference in water environment of river watersheds with different land use types, water quality, river flows and specific loads of pollutants were compared, in a case study of the Barato River (urban watershed), Kyu-Bibai River (agricultural watershed) and Wattsu River (composite watershed).

In the watershed of the Barato River, the concentrations of BOD, TN, DTN, Cl^- and SO_4^{2-} were generally higher compared with the other watersheds. Daily river flows and specific loads of pollutants varied widely between catchments within the watershed; high in the catchments with effluent water from sewage treatment plants and low in the catchments with no effluent water. This is due to the joint treatment system for rain water and domestic waste water in Sapporo. It was considered that water amenity of rivers with low daily flows was insufficient.

The Kyu-Bibai River as an agricultural watershed showed great differences in water quality, river flow and specific load between the irrigation periods (May to August) and

non-irrigation periods (September to October), because the main use of agricultural lands is paddy fields. The concentrations of SS and TP during the irrigation periods were clearly higher than the non-irrigation periods, resultant from farming practices of puddling and other field managements. River flows and specific loads of pollutants during the non-irrigation periods were one-fourth to one-tenth of those during the irrigation periods.

In the Wattsu River, as a composite watershed, water quality and specific load varied with catchments within the watershed, reflecting the different types of main land use in each catchment area. A catchment with dairy agriculture was extremely high in concentrations and specific loads of BOD, SS, TN and TP, whereas a catchment with urban housing complex was high in BOD and pH.

Effluent specific loads from watersheds were high in BOD and TN at urban watersheds, and high in SS and TP in the agricultural watershed during the irrigation periods.