

II-12 北広島流出試験地における保水能分布の特性とその経年変化に関する研究

北海道大学工学部 正会員 藤田 睦博

北海道大学工学部 正会員 山田 正

北海道大学工学部 学生員 佐々木啓文

1. はじめに

一般に流域の都市化が進むと不浸透部分の面積が大きくなり、降雨流出の形態が変化することはよく知られている。本研究は北海道開発局が観測を行っている北広島流出試験地をモデルにし、都市化による保水能分布の変化を考察したものである。以下に保水能の定義を記す。ある一つの特性をもつ表層によって覆われた流域の部分では、累積降雨量とその表層によって定まる一定値に達するまでは雨水は土壤の毛管力に支えられ、保水されたり表面の窪池に貯留されたりして直接流出には寄与しない。このときの累積降雨量を保水能と定義する。さらに、保水能は流域内で様々な値をもつので、ひとつの保水能をもつ表層が流域全体に占める割合の分布を保水能分布と定義する。

2. モデル流域の概要

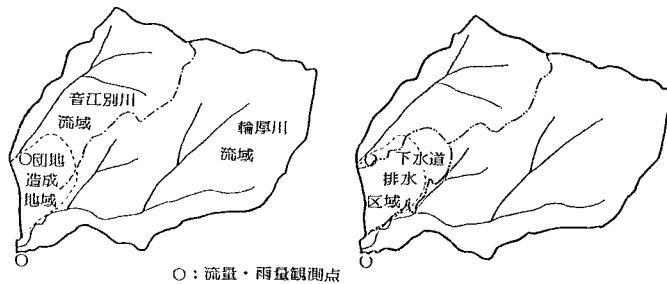


図1 流域図

	流域面積 (km ²)	河川長 (km)	流域平均幅 (km)	標高(m)		流路平均勾配
				最低	最高	
輪厚川	23.9	9.9	2.45	12.5	143.6	1 / 100
音江別川	9.9	6.0	1.73	18.2	97.6	1 / 120

表1 輪厚川、音江別川の諸元

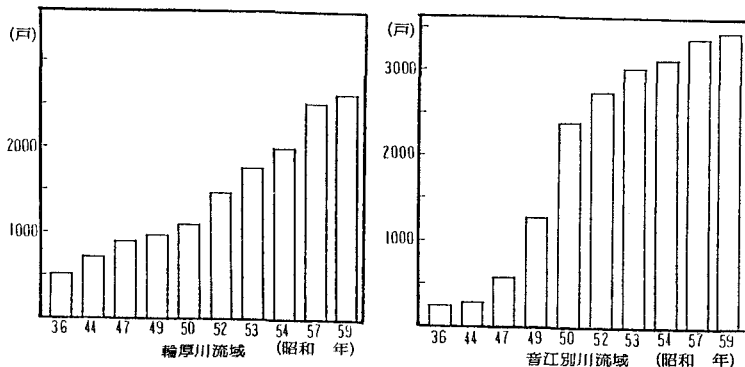


図2 流域内の戸数変化

北広島流出試験地は札幌市の南東約20kmに位置し、輪厚川、音江別川という2つの河川が流れている。それぞれの流域面積は23.9km², 9.9km²である。図1に流域の概要を、表1に両河川の諸元を示す。この流域は昭和45年より道営団地造成が行われ急激に都市化が進んだ地域である。図2は両河川流域別に戸数の変化を示している。これにより昭和45年当時と現在とを比べると音江別川の方が戸数の増加率が大きいことがわかる。また、両河川付近の井戸の掘削によりこの流域は表層部分には約1mの厚さで恵庭火山灰、その下層に支笏凝灰岩、さらに下層に砂・礫・シルトなどの野幌層が厚く分布していることがわかってい

3. 降雨流出の概要

本流域における降雨流出の概要を把握するために、開発初期（輪厚川：昭和46年～昭和48年、音江別川：昭和46年～昭和47年）と都市化後（輪厚川：昭和56年～昭和59年、音江別川：昭和57年～昭和59年）の二つの時期別に無降雪期間（原則として5月～11月）の総降雨量20mm以上（昭和46年と昭和59年は10mm以上）の降雨を対象に総降雨量 R と総損失雨量 F の関係を算出した。ここで、開発初期の R と F は北海道開発局土木試験所のデータ（文献1), 2), 3)）をそのまま利用した。また、都市化後の R と F は、流量 Q を対数にとったときのハイドログラフの減水部の第2屈曲点とハイドログラフの立ち上がりの点とを直線で結んで直接流出量と基底流出量に分離した。ところで、前者と後者で与えられるデータの差異を調べるため、同じ降雨について総損失雨量 F をそれぞれ求め、表2にその結果を示す。これより前者と後者のデータには大きな差異はないと判断できる。

さて、図3 a), b) は輪厚川、音江別川の総降雨量 R と総損失雨量 F の関係を示している。輪厚川についてみると、点のばらつきが比較的大きいことがわかる。この原因としては先行降雨の影響が考えられる。そこで、図3 a) のグラフ上で同時期の他の点と比べて特にかげ離れている点（図中の（）で表示）に相当する降雨について流出の発生日以前10日間に降った先行降雨の累積量 R_b と、その先行降雨の分布の重心に相当する日付と発生日の日数差 t_b を求め、表3に示した。これより、総損失雨量が著しく小さく算出される降雨は過去一週間以内に累積降雨量30mm以上の先行降雨が存在するケースが多いことがわかる。

一方、音江別川の R と F の関係については図3 b) に示すように、直線的であり、ばらつきの少ない分布をしている。この理由の一つは、音江別川下流付近では開発初期から大規模な砂利採取が行われており、そこが凹地となり貯水効果を有し直接流出を制御する働きをしていることが考えられる。

次に、両河川の流出率と降雨の型との関係を調べてみた。ここでは、降雨の型を図4に示すような5つのパターンに分類し、図5 a), b) のように横軸に降雨型A～E、縦軸に流出率 f を示し両者の関係を検討した。これらより、B型すなわち前期に降雨が集中するタイプは流出率が比較的大きく、A型とD型のように降雨の集中がない場合もしくは後期に集中する場合は流出率が比較的小さいといえよう。

さらに、この流域の土壌が保水性（Dunnタイプ）あるいは浸透性（Hortonタイプ）のどちらの性質が強いかを検討してみた。図6 a), b) は両流域の総降雨量 R と流出率 f との関係を、図7 a), b) は同じく平均降雨強度 $\bar{r}$ と流出率 f との関係を示す。表4は両流域の f と R 、 f と $\bar{r}$ の相関係数を示している。この表より、両流域ともに総降雨量 R の方が平均降雨強度 $\bar{r}$ よりも流出率 f との相関が強いといえよう。このことから、この二流域は HortonタイプよりDunnタイプの形で直接流出が生起していると考えられる。これは、2. で述べたようにこの二流域が一般に保水性が大きいといわれる火山灰で表層が覆われていることに起因していよう。

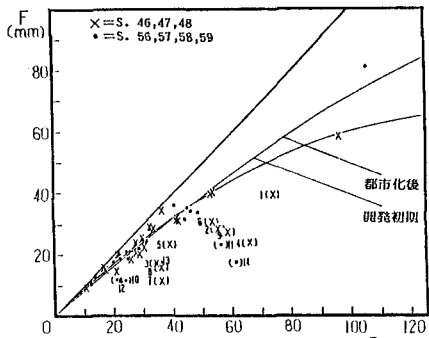


図3 a) 総損失雨量 F ~ 総降雨量 R (mm)
(輪厚川)

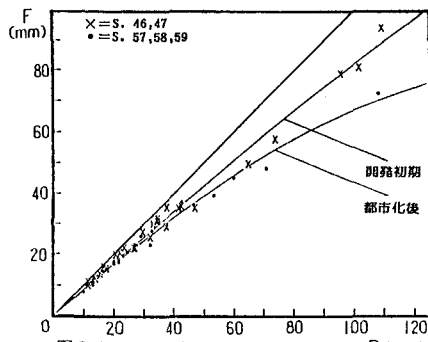


図3 b) 総損失雨量 F ~ 総降雨量 R (mm)
(菅江別川)

	筆者の算出値	開発局の算出値
1	34.8	34.5
2	30.7	29.1
3	19.6	20.7
4	30.2	30.9
5	20.0	20.2

昭和46年、輪厚川
表2 F の値の比較

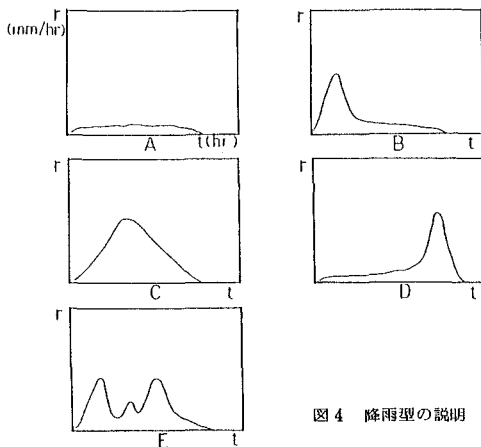


図4 降雨型の説明

番号	R_b (mm)	t_b (days)	番号	R_b (mm)	t_b (days)
1	2.0	4	10	30.5	6
2	31.5	4	11	37.0	7
3	96.0	2	12	33.0	5
4	34.5	4	13	21.0	3
5	66.0	5	14	41.0	8
6	49.5	4			
7	31.0	2			
8	7.5	7			
9	2.5	10			

表3 先行降雨の特性

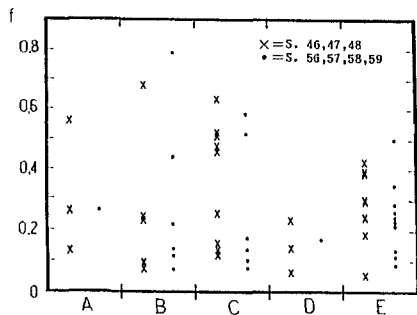


図5 a) 流出率 f ~ 降雨型 (輪厚川)

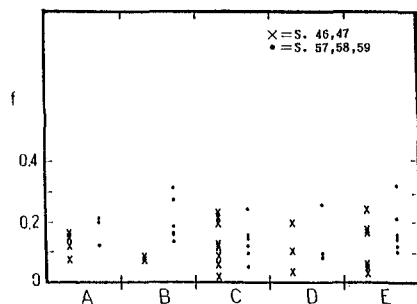


図5 b) 流出率 f ~ 降雨型 (菅江別川)

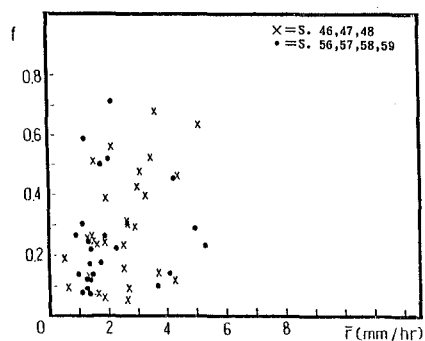


図 7 a) 流出率 f ～ 平均降雨強度 $\bar{r}$ (mm/hr)
(輪厚川)

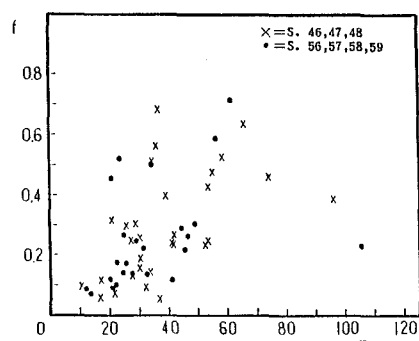


図 6 a) 流出率 f ～ 総降雨量 R (mm)
(輪厚川)

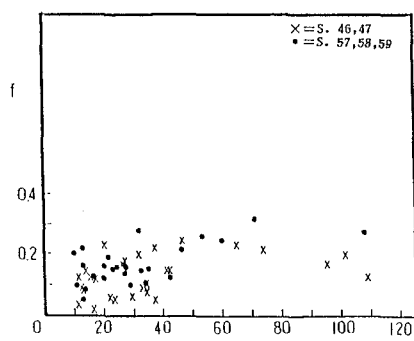


図 6 b) 流出率 f ～ 総降雨量 R (mm)
(音江別川)

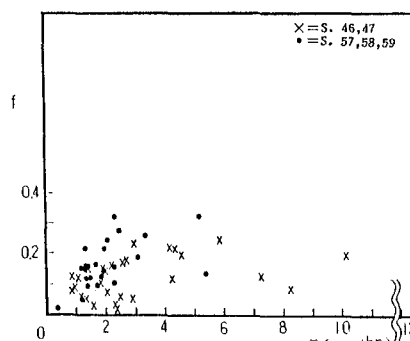


図 7 b) 流出率 f ～ 平均降雨強度 $\bar{r}$ (mm/hr)
(音江別川)

		f		
		R	判定	$\bar{r}$
輪 厚 川	s. 46 ～ 48	0 . 5 4 2	>	0 . 4 4 7
	s. 56 ～ 59	0 . 3 7 5	>	0 . 0 9 5
音 江 別 川	s. 46 ～ 47	0 . 5 0 7	>	0 . 4 1 0
	s. 57 ～ 59	0 . 7 1 0	>	- 0 . 0 5 3

表 4 相 関 係 数 の 比 較

4. 保水能分布とその経年変化

4 (a) 保水能分布の求め方

流域のある部分での保水能を h とし、その流域内での保水能分布を $S(h)$ とする。総降雨量 R と総損失雨量 $F(R)$ とは

$$F(R) = R - \int_0^R (R - h)S(h)dh \quad (1)$$

によって関係づけられている。この式を $S(h)$ に関する積分方程式とみたとて解くと、

$$S(R) = -d^2F/dR^2 + [1 - dF/dR(R=0)] \cdot \delta(R) \quad (2)$$

$$\begin{cases} \delta(R) = \omega & (R=0) \\ \delta(R) = 0 & (R \neq 0) \end{cases}, \quad \int_{-\infty}^{\infty} \delta(h)dh = 1$$

を得る。

本研究では $F(R)$ 、 R のデータを $F(R) = a \cdot \tanh bR$ の形の回帰式で近似し、未定係数 a 、 b に関しては非線形型最適値問題の代表的な解法の一つであるダビドン法によって求めた。

このとき $S(h)$ は

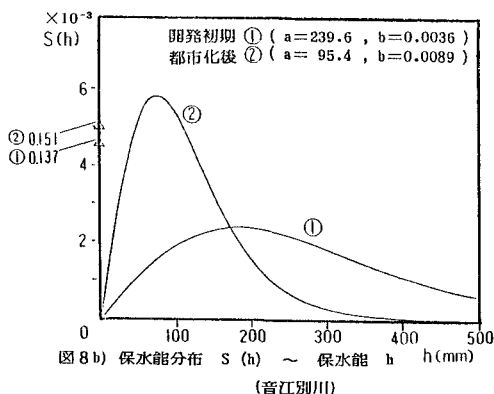
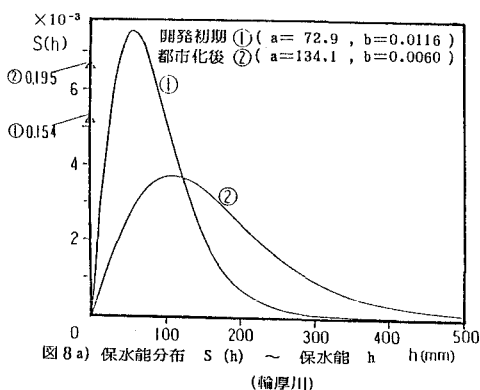
$$S(h) = 2ab^2 \frac{\sinh bh}{\cosh^3 bh} + (1 - ab) \cdot \delta(h) \quad (3)$$

で表される。(3) 式中の $1 - ab$ は 保水能 = 0 すなわち不浸透部分の面積率を表している。

4 (b) 保水能分布の特性と経年変化

本研究では輪厚川の $F(R)$ と R の関係(図3a))はばらつきが大きいことから、前述した同図中の()内の点は除外して保水能分布を求めることにした。これにより、流域が乾燥状態にあるときの保水能分布を求めたことになる。図8a)、b)は横軸に保水能 h 、縦軸に保水能分布 $S(h)$ をとり、保水能 = 0 の不浸透部分の面積率を Δ で示したものである。図8a)より輪厚川の場合、不浸透部分の面積率は開発初期は15.4%、都市化後は19.5%となり増加していることがわかる。これらの値は、図9a)に示す裸地・宅地・その他(道路等)の合計の面積率13.2% (昭和47年)、同18.6% (昭和59年)とよく一致している。次に、 $h > 0$ の部分の保水能分布は開発初期が60mm付近をピークとし、都市化後は110mm付近がピークとなっていることがわかる。

一方、音江別川については図8b)より、不浸透部分の面積率は開発初期が13.7%、都市化後が15.1%とほとんど変化していない。これは図9b)より裸地のうち115ha³⁾・宅地・



その他の合計の面積率28.1%（昭和47年），宅地・その他の合計⁶⁾の面積率27.9%（昭和59年）と数値自体は異なっているが，ほとんど変化していないという点では一致している。次に， $h > 0$ の部分の保水能分布のピークは開発初期の180mm付近から都市化後は70mm付近に移っており，山林など保水性の強い部分の減少が予想できる。図9 b)より，実際にも山林の面積率が34.2%（昭和47年）から24.0%（昭和59年）に減少していることがわかる。

	山林	ササ地	草地	水田	畑	裸地	宅地	その他
S.47	37.4	8.7	7.1	7.1	26.5	2.5	9.2	11
S.59	39.4	20	15.9	2.9	21.2	2.8	13.3	2.7

図9 a) 流域内の地被変化（輪厚川）（単位：%）

	山林	ササ地	草地	水田	畑	裸地	宅地	その他
S.47	34.2	5.1	8.1	3.9	18.2	13.0	16.4	10
S.59	24.0	3.4	10.6	2.0	15.4	16.9	25.5	2.4

図9 b) 流域内の地被変化（音江別川）（単位：%）

5. まとめ

本研究により，北広島流出試験地における都市化による不透透部分の面積率の変化は，降雨流出の形態の変化からもほぼ算出することができた。一方， $h > 0$ の部分の保水能分布については， $F \sim R$ 曲線のばらつきの小さかった音江別川流域は計算からも全般的に保水能が小さくなってきたことが出てくるが，同曲線のばらつきが大きかった輪厚川流域は都市化の傾向が明瞭ではない。これは，両流域にいえることだが，大雨が少なく山林付近の真の保水能を算出することが難しいことに起因すると考えられる。今後は，先行降雨を考慮した解析をするなど，大雨の少ない流域での保水能分布の算出方法を検討する予定である。

謝辞：本研究に当たり，著者らは北海道開発局土木試験所に於て長年観測が続けられた貴重な水文資料を使用させて頂いた。これに関し著者らは関係各位に深甚なる謝意を表す。

参考文献

- 1) 横内秀明・山口 甲；北広島島の流出試験調査に関する研究（第1報）（1972.2）
- 2) 上月 武・吉岡紘治・後藤 哲・態沢克己；同上（第2報）（1973.2）
- 3) 近藤幸雄・小森保数；同上（第3報）（1975.2）
- 4) 吉岡紘治・松村正和；同上（第4報）（1978.2）
- 5) 牧野成雄・吉岡紘治・松村正和・荻原 清；同上（第5報）（1979.3）
- 6) 牧野成雄・柳本孝治・森田康志；同上（第6報）（1980.3）
- 7) 三原孝二・荻原 清；同上（第7報）（1983.3）
- 8) 国際航業株式会社；写真よみとりおよびスライド作成業務（北広島地区）作業報告書（1984）
- 9) 山田 正；土木学会論文報告集，No.306（1981）
- 10) 山田 正；同上，No.314（1981）
- 11) 山田 正・山崎幸二；第27回水理講演会論文集（1983）
- 12) 山田 正・山崎幸二・岩谷 要；第39回土木学会年講概要集（1984）