

公共下水道の普及と洪水到達時間の変化について
Estimating Concentration Time with diffusion of Sewerage Area

東京都建設局 河川部 佐藤一夫
東京都土木技術研究所 ○和泉 清

1 はじめに

都市域からの雨水排除は、主に河川と下水道が担っているのであるが、東京都の場合、中小河川の整備と公共下水道の整備との進捗度にバランスを欠いているため、公共下水道普及区域下流部などにおいて、雨水の集中による浸水の発生が、よく見られる。

計画降雨強度 50mm/hr 規模の河道改修が完成するまで、こうした現象を東京都にあっては、防止し得ない状況にある。

この研究は、浸水被害の防止と軽減を図るため、流域内、とくに上流域での流出抑制策への対策資料とすることを目的として、都内中小河川のうち、台地部を流下する主要な中小河川を対象に、都市化による河川流出の変化について、とくに公共下水道の普及過程に伴う雨水の集中、すなわち洪水到達時間の短縮の度合い等を実績出水例をもって実証することである。

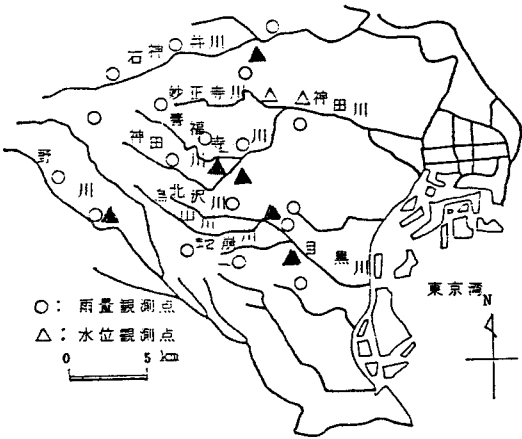


図-1 対象流域

2 研究の方針

この研究の基本的な方針としては、実証性に重きをおき、当面、現象を忠実に把握することとし、降雨、流量等の水文資料は、すべて実測値で裏付けられるものであることとする。また、流域や河道に関する諸元、下水道の普及率等に関する調査は、水文観測資料の

表-1 対象流域と河道の諸元

項目 河川名	対象流域 面積 (Km ²)	平均流域 勾配 I _a	河道長 L (Km)	平均河道 勾配 i	不透透率 I _{mp} (%)	下水道普及率 S _d (%)
目黒川	27.45	1/65	19.9	1/360	56	65
北沢川	10.42	1/110	5.6	1/260	63	69
烏山川	14.33	1/150	12.1	1/470	51	56
蛇崩川	6.45	1/65	4.1	1/200	64	63
神田川	11.79	1/110	10.8	1/650	54	100
善福寺川	18.95	1/140	10.4	1/840	56	100
石神井川	44.10	1/170	14.7	1/530	48	44
田柄川	10.83	1/150	5.6	1/600	50	75
野川	30.64	1/115	9.9	1/330	28	69

有無を確認の上、調査対象年時を決め、以下のことについて整理する。

(1) 対象流域

調査対象の流域は、図-1に示す神田川、善福寺川、石神井川（田柄川を含む）、目黒川（北沢川、烏山川を含む）、蛇崩川、野川など東京の台地部を流下している6つの中小河川である。

これら流域及び河道の現状は、表-1に示す諸元のとおりである。流域の規模としては、6Km²から44Km²の範囲のものであり、流域の都市化状況については、流域内の道路と屋根面積に限定した不透透率（以下、I_{mp}と略）が28%～64%、公共下水道の普及率（以下、S_dと略）が40%～100%と比較的、変化に富む

地域にある。

また、図-1に示す各河川の懸案地点より上流側の河道状況は、降雨規模として $30\text{mm/hr} \sim 50\text{mm/hr}$ 程度の雨に対応できる疎通能力をもつ、河道勾配が $1/200 \sim 1/800$ 程度とやはり変化のあるところである。

(2) 対象出水

対象出水は、各対象流域における水文資料の実存状況に左右され、比較対象期間に違いがあるが、ほぼ、河道の整備状況と下水道の普及過程を考慮して、降雨規模を決め、出水記録のある出水例に限定する。

降雨強度 35mm/hr 以上の出水例は、溢水、内水はらん等が生起している場合が多く、また、地域的に著しく偏った集中豪雨による出水例などは、調査対象から除外する。

本稿では、降雨強度として、 3mm/hr から 35mm/hr 未満の出水例を対象に単位時間10分で整理した結果を利用する。

降雨データは、各流域内において年々観測施設が増設されている状況にあるが、各流域における比較対象年時における条件に統一性をもたせることにし、昭和48年時点に既存していた観測所の記録のみによって整理することとする。そして、流域平均降雨量は、各流域内あるいは近傍の各観測所の記録の単純平均値による値である。

一方、流量データは、流量観測を実施していた出水例は、その実測値をそのまま使用することとし、それ以外の出水例は、当該年時に作成した水位流量曲線より推定した値を実測値として代用することにする。

したがって、ピーク流量発生時刻の大半は、水位記録から判定したものである。

こうした条件による各河川の対象出水例は、神田川の場合、昭和48.49.55.56年の77出水、善福寺川は、神田川と同年代の72出水、また、石神井川の場合、昭和48.49.50.55.56年の112出水、目黒川は、昭和45.46.47.50.51.52.55.56.57年の109出水、蛇崩川が、昭和45.46.55.56.57年の57出水、そして、野川の場合が、昭和48.49.55.56.57年の82出水である。

(3) 公共下水道の普及と河道の整備

対象とした各流域は、昭和30年代後半から急速に市街化が進行した地域である。しかし、市街化といっても、公共下水道の整備が宅造化と並行した形で進んだ所ではなく、単に流域内の I_{mp} が増加していった、いわゆるスプロール化現象が先行していた既成市街化流域である。

したがって、公共下水道の普及状況は、昭和40年代初期において、各流域共ほとんど0%の状況にあり、善福寺川を除く他の流域は、40年代半ばに整備事業が緒についたばかりであった。しかし、その後の進捗は、著しく、現状の普及状況は、表-1に示すとおりである。

一方、洪水到達時間（以下、 T_p と略）を支配するもう一つの要因、河道の整備状況についてであるが、各対象流域とも調査対象期間中あるいはそれ以前に改修事業が進行していた。ただ、東京都の場合、いわゆる暫定改修事業として、降雨強度 30mm/hr 、ピーク流出係数（以下、 f_p と略）0.5という規模によるもので、ほとんどの河川で、在来の断面の拡巾または掘下げでの形による改修であり、疎通能力は増加したが、河道

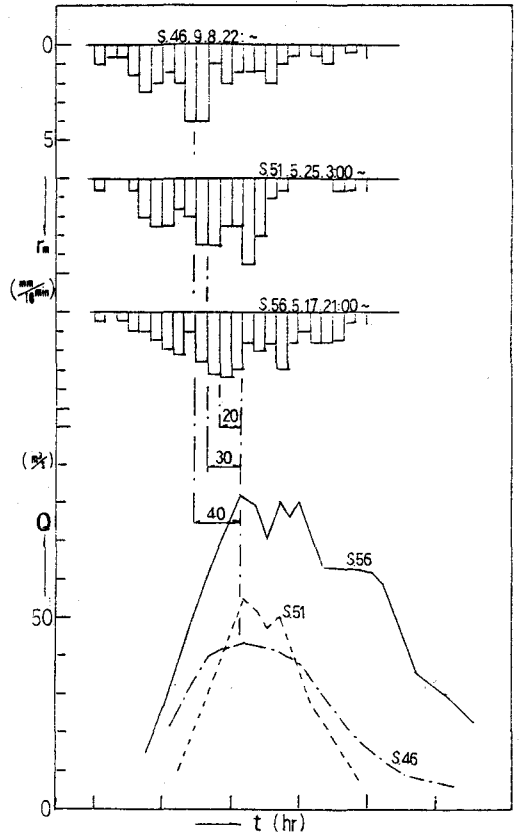


図-2 目黒川の洪水到達時間の短縮状況

の粗度係数が小さくなるような改修ではなく、粗度係数の値は在来のものとの差は小さい。したがって、河道の整備による T_p への影響は、下水道の普及に比べ非常に小さく、そこで、今回、この調査期間内の河道整備に伴う T_p の短縮についての影響量は、無視することとする。

3 解析

この研究は、ある降雨強度の範囲(30 mm/hr程度以下)において、都市域の中小河川の T_p は主に公共下水道の普及状況と河道の整備状況に支配されるものとして、排水施設網の状況と T_p の変化の関係を数量化することにある。

とくに、ここでは、既述のように対象流域での河道整備に伴う T_p への影響を無視できるものとして、 S_d の変遷過程と T_p の変化状況との関係を定量化することである。

しかしながら、同一流域において、 S_d が0%の状態から100%の状態に変化してきた過程状況に、すべて対応できる水文データは、現在、実存しない。

したがって、本稿では、 S_d が0%の状態から、ある普及過程上までの T_p の変化、そして、 S_d の普及途上過程から100%の普及状況に推移してきた場合の T_p の変化などについて、実測データによって、 S_d と T_p の関係を推定することにする。

(1) T_p の変化

各出水例の T_p は、つぎの算定方法¹⁾により推算したものである。

$$r_e = f_p \cdot r_m = \frac{3.6 Q_p}{A} \quad (1)$$

$$T_p = T_2 - T_1 \quad (2)$$

ここに、 r_e : T_p 内の有効降雨強度(mm/hr)、 r_m : T_p 内の実測流域平均降雨強度(mm/hr)、 Q_p : ピーク流量(m^3/S)、 A : 流域面積(Km^2)、 T_2 : Q_p の発

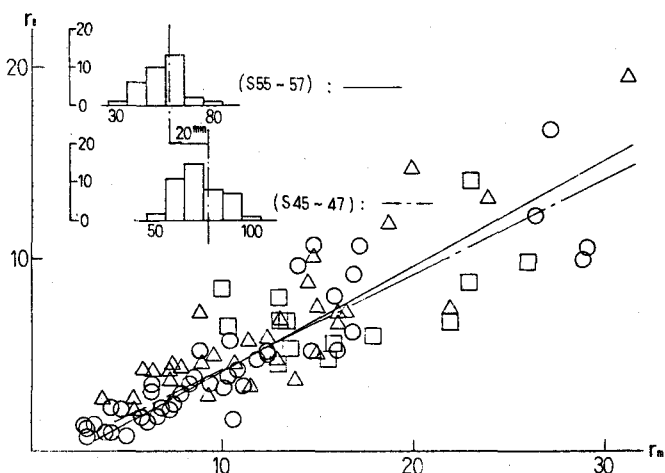


図-3 目黒川の T_p の推移状況と f_p

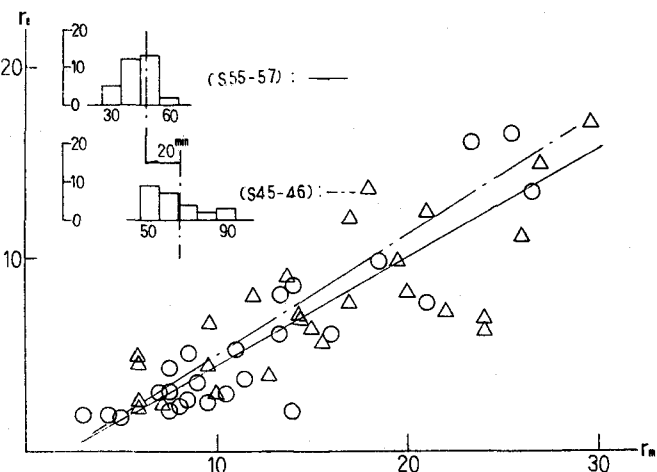


図-4 蛇崩川の T_p の推移状況と f_p

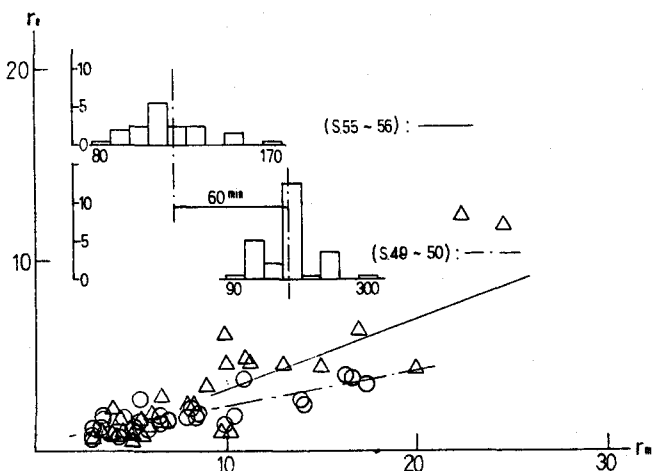
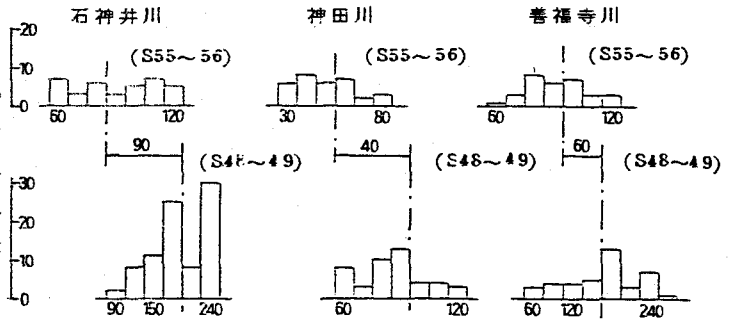


図-5 野川の T_p の推移状況と f_p

生時刻、 T_1 : 時刻 T_2 における降雨量
と等降雨量発生時刻。

目黒川流域において、総降雨量と前期降雨量の有無などの状況に違いはあるが、降雨強度と降雨波形に類似性をもっている降雨状況を比較対象年時にそれぞれ選択し、当該年時の S_d の状況に対応する流況、とくに T_p の状況を表わしたものが、図-2 に示すハイドログラフである。



降雨波形に多少の相違があるが、降雨強度としては、 $15\text{mm/hr} \sim 18\text{mm/hr}$ 程度であり、ほぼ同程度の降雨規模による昭和46年、51年、56年における目黒川のハイドログラフである。この10年間における T_p の変化状況が明白である。

つぎに、各河川における T_p の推移状況をヒストグラフによって表わしたものが、図の3.4.5である。

図-3は、目黒川における T_p と f_p について、対象出水例をもってマクロ的に経年的な変化を表わしたもので、昭和46年代から10年後の56年代にかけ、 T_p が平均値で20分も短縮している。この10年間の短縮率は、28.5%となっている。

目黒川の支川で現在は下水道幹線となっている蛇崩川の場合は、昭和46年当時、 T_p は平均値で60分程度であったが、現在、それが40分程度に短縮している。10年間の短縮率は、33.3%である。

つぎに、図-5に示す比較的 T_p の長い野川であるが、昭和48年代において上流域の三鷹市等の S_d は高く、その後、流域全体での S_d の進捗は、他の河川と同程度であるにもかかわらず、 T_p の短縮状況は、見掛け上、著しい。8年間の短縮率は、34.2%である。

残る神田川、善福寺川、石神井川について、昭和48年代から昭和56年代にかけての T_p の推移状況をヒストグラムで表わしたのが、図-6である。

神田川の場合、昭和48年代、平均値で T_p が90分であったのに対し、現状は50分程度に短縮している。この間の短縮率は、44.4%である。

神田川の支川で河道勾配のゆるやかな善福寺川は、昭和48年代 T_p が160分(平均値)が、8年後の現在平均値で90分となっている。その短縮率は、神田川とほぼ同じ、43.8%となっている。

最後に、河道勾配が比較的ゆるやかで、 T_p の長い石神井川の場合は、図-6から明らかなように、 T_p の短縮は著しい。昭和48年代平均的に180分を要していたものが、現在は、見掛け上、80分程度に短縮している。その短縮率は、50.0%と非常に大きい。

(2) f_p の変化

各河川の各出水について、(1)及び(2)式から算定した目黒川、蛇崩川、野川の見掛け上の f_p は、図の3.4.5に示すとおりである。全体的にみて、 S_d の変遷に伴う f_p の変化を明確に読み取することは、困難である。降雨規模が $3\text{mm/hr} \sim 35\text{mm/hr}$ と範囲があり、 r_m の規模に順応した形で f_p の値の大きさが、必ずしも決まるものとなっていないためである。しかし、図-3の目黒川、図-5の野川の場合は、比較基準年(昭和45年と昭和48年)における f_p の回帰線に比べ、現在の回帰線の方が、右上りとなっており、平均的にみて、 f_p の増加傾向をみることができる。蛇崩川の場合は、はっきりしない。

所が、図-2から判るように、同程度の降雨規模による流況について、比較基準年と現況を比べた場合、見掛けの上の f_p の増加は、明白で、目黒川の場合、現在の f_p (0.58) は、昭和46年代の f_p (0.39) の1.5倍程度となっている。そこで、 r_m の規模を 5mm/hr 、 10mm/hr 、 15mm/hr 、 20mm/hr 、 25mm/hr 程度の5段階に分け、降雨波形については考慮しないこととして、昭和46年代から昭和56年代にかけ、目黒川の場

合について、見掛け上の f_p の増加状況を見ると、それぞれ 1.5, 1.8, 1.4, 1.2, 1.2 倍程度に増加している。降雨強度が小さいほど倍率が大きい傾向がみられる。

(3) S_d と T_p 及び f_p との関係

各河川別の S_d の変化と T_p の短縮率の関係をプロットしたのが、図-7 である。

目黒川と蛇崩川は昭和 47 年度から下水道の整備事業が始まり、現在は、対象流域のうち 60% 強の普及状況にある。その間における T_p の短縮率は、28.5% ないし 33.3% 程度となっている。

同一流域ということもあって、両川における S_d と T_p の短縮率の関係は、類似している。

それは、表-1 からわかるように、目黒川の支川、鳥山川と北沢川のうち、目黒川のピーク発生時刻を支配する現象が北沢川流域の方が卓越しており、さらに、この北沢川の河道及び流域の状況が、蛇崩川と共通する所が多いためと思われる。

やはり、同一流域にある神田川と善福寺川の場合についてみると、現在、両川とも S_d は、100% の状態にある。ただ、善福寺川は、昭和 51 年当時すでに $S_d = 100\%$ であった。

図-7 にみられるように、 S_d が 70% 程度から 100% に推移する過程で、 T_p は 40% 強短縮している。当然なことではあるが、両川での S_d と T_p の短縮率の関係は、類似しており、その傾向は、目黒川の場合に比べ、関係が強い。

つぎに、 T_p の比較的長い野川と石神井川の場合をみると、野川における状況は、神田川の例にその傾向が似ている。 S_d が 28% から 69% の範囲にあって、 T_p の短縮率は、34% となっている。

下水道の普及過渡の状況が、神田川流域や目黒川流域と同様に、流域全体で一様的、均等的に整備されていったことにより、両者の関係に類似した傾向が、みられるのである。

これに対し、石神井川の場合は、特徴的なことが図-7 に表われている。懸案地点より上流域での下水道の普及が、下流部に偏っているばかりか、支川である田柄川流域の普及速度が早く、偏った下水道普及区域からの雨水の集中が卓越するため、全体的には、 S_d の値も小さく、 S_d の変化領域が小さいのにかかわらず、 T_p の短縮率は、見掛け上、大きくなっている。 S_d が、32% から 44% に変化してきた状況において、 T_p の短縮率が 50% と大きいのである。

総じて、 S_d と T_p の短縮率との関係は、 T_p の小さい河川ほど短縮率は小さく、 T_p の大きい河川ほど短縮率は大きい傾向がみられる。下水道整備途上の特殊な状態における現象と考えられる。

因に、下水道の普及に伴う洪水到達時間の変化について、目黒川における比較対象年時のすべての出水例を対象に、(1)及び(2)式から、つぎの式の定数 C を算定し、プロットしたものが図-8 である。

$$C = T_p / (r_e^{-0.35} \cdot A^{0.22}) \quad (3)$$

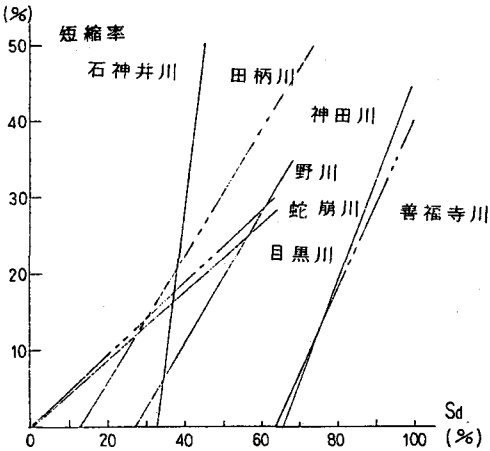


図-7 各河川 S_d と T_p の短縮率

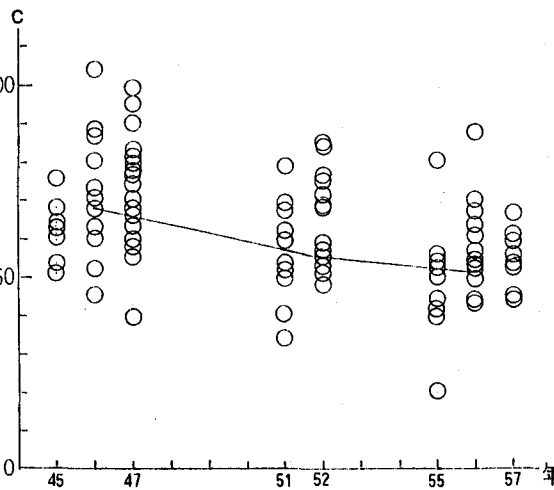


図-8 目黒川の定数 C (角屋の式による)

平均的にみて、Cがこの10年間で10ポイントほど小さくなって
いる。目黒川の場合、 r_m が35mm/hr未満の状況において、 S_d が0
～65%に変化したことによって、Cの値が、平均値で65から55
へと推移している。

つぎに、 S_d と f_p の関係についてみると、既述のように、降雨波
形、降雨強度を同一条件にした場合、 S_d に伴う f_p の変化は目黒
川の場合、1.5倍($r_m=15\sim18\text{mm/hr}$)と f_p の増加率は、大き
い。また、降雨強度のみを同一条件とした場合においても、 f_p の増
加傾向がみられ、 r_m の小さいほど増加率が大きくなる傾向がみられ
る。しかし、 f_p の増加状況をみる場合、 $r_m=35\text{mm/hr}$ 以上の洪水を
除外することは、実用性に乏しい。

そこで、 f_p の増加状況をみる場合、 S_d を指標とするよりも、現
状においては、流域内の道路普及率(以下、 R_d と略)を指標として、 R_d と f_p の関係をみる方が、実用的で
ある。³⁾

図-9は、目黒川における R_d と f_p ($r_m=15\text{mm/hr}$ 以上の洪水を対象)との関係である。右上がりの傾
向が明白である。

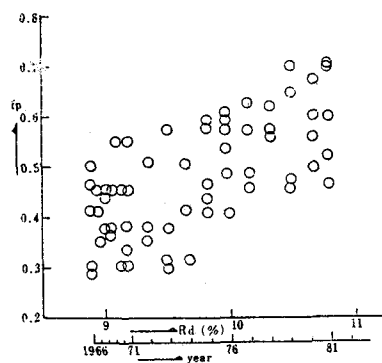


図-9 目黒川の道路普及率と f_p

4 考察

都市化に伴う流出形態の変化について論ずる場合、 I_{mp} による影響を無視することは、一般的にはでき
ない。本研究の対象地域は、野川を除き既成市街化流域であり、この調査対象期間中(10年程度)の I_{mp} の
増分は、高々3～4%程度にすぎず、 f_p や T_p に寄与する割合は、非常に小さい。

既成市街化流域においても総流出率と I_{mp} の因果関係は、⁴⁾⁵⁾強いことがすでに知られているが、 f_p と I_{mp} と
の関係については、両者の変化量によって数値化することが困難なほど、小さなものであり、ましてや、 I_{mp}
と T_p との因果関係は、ほとんどないに等しい。

T_p の短縮、 f_p の増加は、東京都台地河川にあってはほとんど S_d の影響による現象である。

ただし、総降雨量が100mm前後、あるいは、それ以上であって、降雨強度が40mm/hrを超えるような
降雨規模の大きな洪水が発生した場合、 f_p の増分に対する S_d による寄与率は、見掛け上、小さい。

内水はらん、溢水等が発生し、真の f_p を把握することがむずかしいこともあるが、下水管の疎通能力を
超えたり、集水ますに流入しない状況が発生し、雨水は、路面を水みちとして流下する。その結果、見掛け
上、 S_d に伴う影響は、相対的に小さく評価されることになる。

したがって、豪雨状況においては、図-9が示すような、道路普及率という指標によって f_p の増分を知る
ことの方が、より現象を適確に把握できるものと考えている。

5 おわりに

S_d の変化に伴う流出形態の変化について、今回は、各流域別に経年的な形で追跡したものである。また、
 S_d と T_p などの関係について、数理的処理を施していない。したがって、次の機会には、同一降雨状況の下
で、各諸元や S_d に違いのある各流域間での流出状況を比較検討する相対的な方法による分析と同時に、理論
的な解析を加えていく所存である。

(参考文献) 1). 角屋、福島(1976): 中小河川の洪水到達時間、京大防災研究所年報第19号、2). 1)に
同じ、3). 石川、佐藤、和泉(1981): 都内中小河にみる合理式の適用性について、第26回水理講演会、
4). 山口、松原、山守(1972): 都市域における降雨流出調査(第2報)―修正RRLL法による流出推定―
土木技術資料(14-11)、5). 石川、佐藤、和泉(1981): 都内中小河川の都市化に伴う流出率と洪水
到達時間について、第36回年次講演会。