

## <特集>

# 合流式下水道における問題点とその量的管理

## Problems of Combined Sewer System and Its Quantitative Approach

市川 新<sup>1\*</sup>・山下 三男<sup>2</sup>

<sup>1</sup>福岡大学大学院 工学研究科 資源循環・環境工学専攻 教授

<sup>2</sup>福岡大学大学院 工学研究科 エネルギー・環境システム工学専攻

Arata Ichikawa<sup>1\*</sup> and Mitsuo Yamashita<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Professor, Recycling and Environmental Engineering, Graduate School of Fukuoka University

<sup>2</sup>Energy and Environmental System Engineering, Graduate School of Fukuoka University

### Abstract

In this paper, the authors overviewed the development of sewer system and pointed out the problems to be solved. CSO (Combined Sewer Outflow) is one of the keen issues. In order to overcome CSO problem, it is essential to manifest the state-of-arts on the overflow from the outfalls. But it is hard to measure the actual conditions, because it used to happen on the rainy condition with uncertainty event. Then the estimation by the distributed model is required as another approach. Recently, in Europe and United States, the hydraulic calculation soft wares for open channel and pipeline had been developed. The next topic is how to provide the hydrographs from sub-basins to these models. This paper proposed a trail model for the subcatchment. To shape up this procedure, collaboration of engineers of observation and modeling is requested.

**Key Words** : CSO, combined sewer, long term observation, distributed model

## 1. 下水道の発展と雨水対策

下水道の起源は、インダス文明のモエンジョダロにあるといわれている<sup>1)</sup>。日本では今でも利用されている「太閤下水」という雨水排水路にその起源をもつとも言われている。近代式下水道という、ヨーロッパではフランス革命の前にパリで建設された下水道(ユーゴのレ・ミゼラブルで、主人公が少女を抱いて下水道を落ちて落ち延びたとの記事がある)、1825年に計画されたロンドンの下水道、等が最初のものといわれる。日本では、横浜の居留地に敷設された下水道、東京の神田下水(下水道100年というのは、この下水が建設されてからの年数をさしている)が最初である。

ヨーロッパでは、その頃都市に集中した労働者が伝染病に罹患することが多かったことから、その「居住環境の整備」を目的として下水道が設置された。つまり発生する汚水：具体的にはし尿をできるだけ早く生活空間から排除することを目的としていた。つまり、ロンドンではテムズ河へ、パリではセヌ川へ排除する

ことが下水道の目的であった。しかし、その新しい「下水道システム」が放流先河川の汚濁問題を引き起こし、それに対する対策が立てられた。具体的には、両河川の左右両岸に下水を取り込む「遮集管(インターセプターという)」が建設された。しかし、ロンドンでは、ロンドン郊外まで管を延長したが、潮汐の影響で「逆流」し、遮集管の効果はほとんどなかった。そこで、放流地点に「下水処理場」を建設し、下水の処理をはじめた。このようなシステムでは、当然雨水も流入していたが、降雨強度が小さいこともあり、雨水対策がメインではなく、あくまでも汚水対策が主目標であった。そして、雨水の混入を「ある程度認める」という態度で設計されてきた。その「ある程度」が3Qといわれる「汚水量の3倍程度の雨水の混入は許す」という「合流式下水道」の考え方であった。

一方日本では、下水道は雨水対策、というより湿気を排除するための「雨水対策」が主流であった。明治33年に下水道法が制定され、東京、大阪では、下水管の建設とともに下水処理場が建設されたが、それ以外の都市では「処理場の建設を伴わない下水道整備」つまり雨水対策が行われていた。東京・大阪等の大都市でも基本は雨水対策であり、汚水対策が行われたのは、中心部の一部に限られていた。

日本では、汚水(主としてし尿)を入れた下水は、下水処理場で

\*〒808-0135 北九州市若松区ひびきの2番1号

TEL: 093-695-3059 FAX: 093-692-5312

E-mail: ichileau@cis.fukuoka-u.ac.jp

浄化し、放流先の河川・海等の水域の保全を図ることが義務付けられている。逆に下水処理場の分布を見ることにより、汚水の引き受け状況がわかる。戦前、下水処理場が稼動していたのは、東京(三河島・芝浦等)、大阪(津守、海老江)、名古屋(堀留・熱田等)、京都(鳥羽、吉祥院)等の大都市であり、地方都市では、岐阜・豊橋だけであった。明治時代に最初に計画された東京市の下水道計画では、雨水整備を含めた分流式下水道であったが、財源が少ないことから、比較的経費のかからない合流式下水道に変更され、それが大きな流れになっていた。戦前から、公害問題が顕著になる昭和30年の半ばごろまでは、下水道(汚水処理)の普及を図るために、少ない財源を如何に「広い面積」に使うかということが下水道技術者の最大の関心事であり、設計技術の開発もその点に向けられていた。

しかし、高度経済成長期を迎え、日本の主要河川の汚濁が顕著になり、その対策として下水道整備が緊急の課題となるにつれ、合流式下水道の抱える問題点も克服せざるを得ない状況となった。一定以上の降雨(いわゆる汚水量の3倍以上)があると、雨水と一緒に汚水が未処理のまま溢流してしまうことによる、放流先水域の汚染を防ぐことが必要となったのである。そのため、政府では、1966年頃から、新規下水道計画に対し、「分流式下水道」のみを認可することにした。この方針は1970年の下水道法改正により正式に決定され今日に至っている。

しかし、東京・大阪等の下水道先進地域(人口比で言うと、きわめて大きい)では、すでに合流式下水道が敷設され、その上流域の普及を行っていたため、そのような地域まで分流式下水道を導入することは、不可能であり、在来通りの「合流式下水道」の建設が継続された。しかし、滋賀県大津市のように、建設初期段階の一部の地域では、合流式下水道が計画されていたのに、その上流部が開発されて下水道を拡張するような場合、その部分だけ分流式下水道にしている所もある。このような合流式下水道と分流式下水道の混在地域は、合流式下水道による水質汚染の問題を複雑にしている。

## 2. 合流式下水道の抱える問題点

### 2.1 溢流水の水質

下水管の設計の原則は、汚水があふれないようにすることである。そのため、そこを流れるであろうと考えられる汚水量の3倍量流せるようにしている。汚水量は、将来(30年後程度)発生するであろう量のことであり、現在量より余裕が取られているし、現在量そのものも「時間変動」があり、実際の流量は極端に少ない時期が存在する。例えば、夜間午前1時ごろから、3時ごろの下水管内の流量はほとんどない、といっても差し支えない。この汚水量の3倍量を流下させる能力を下水管に持たせることは、晴天時

(降雨のない時期)には、汚水量が半分以下しか流れない、ということでもある。その結果、汚水中の浮遊物質は管内に堆積することになる。特に、下水管の管径・勾配が変化するところ、合流点、方向変化地点等に設置されるマンホール内(通常マンホールの下部には、汚濁物質を貯める装置がつけられている)、等に堆積が集中しがちである。堆積物の中心は固形物・浮遊物質であるが、その中に有機物も含まれている。それが、降雨時に3倍程度の雨水が流入すると、堆積汚泥が巻き上げられ下水濃度が高濃度化する。これを「ファーストフラッシュ」と呼び、合流式下水道による汚濁物質の流出成分において大きな比率を占めるものといわれている。

しかし、降雨が継続すると、堆積汚泥が流出してしまうので、下水濃度は低下するといわれるが、上流部での「浸食作用」により、土砂の流出が起き、水質の悪い水の流出が続くことがある。この場合は主に無機成分であり有機物は少ない浮遊状態の物質が中心である。下水道の対象区域に、畑等の農地や林地がある場合には、この浸食作用による土砂の流出が続く。つまり、当然のことながら、降雨時の溢流水中の水質は流域の特性に応じて時間的にも、また成分も大きく異なるので、採水調査を行わないと、その実態がわからない。

### 2.2 溢流量とその回数

溢流先の閉鎖性水域の水質保全を考えると、溢流水の水質もさることながら、その水量がどの程度であるか、あるいはその発生頻度がどの程度であるかを把握する必要がある。しかし、溢流現象が降雨条件によるので、それを正確に把握することはほとんど不可能であり、そのことが合流式下水道の改善方針を決める際の難点になっている。流域内が開発されて、屋根や道路等により「不浸透化」されると、雨水の流出量が増加する。それによっても、溢流量やその頻度が異なる。逆に言えば、浸透施設や、雨水貯留施設を建設すれば同じ降雨でも溢流はしなくなる可能性があることを示している。しかし、それを正確に予測できるか、という現状ではそこまで技術が開発されていない。

## 3. 合流式下水道の改善にあたって

### 3.1 実測による合流式下水道の問題点の把握

すでに述べたように、合流式下水道からの溢流の実態を明らかにするためには、採水調査をする必要がある。1970年代の後半、当時の建設省土木研究所が、河川部と下水道部の共同調査という形で、精力的に行われた実態調査が日本で最初に実施された調査である。合流式下水道流域としては、東京の谷端川(豊島区を流れる小流域で、最終的には三河島下水処理場へ流入)、を始め全国12

流域、その対照として、神戸市の花隈流域を含む4流域の分流式下水道地域において、それぞれ1年間の実態調査が行われた。この結果は建設省土木研究所からの資料に詳細に記述されている<sup>2)</sup>。この調査結果から、いわゆる土研モデルと呼ばれる「雨天時汚濁物質流出モデル」が提案された。

環境庁では、非特定汚染源の実態調査を1978年から、市街地、分流式市街地、農業地域等で実態調査を行った。その結果を基に、非特定汚染源に関する問題点、調査法等の集大成が行われ、環境庁から「非特定汚染源調査マニュアル」として取りまとめられ出版された。それ以降、流域管理の視点から、非特定汚染源対策を水質保全の重点項目としており、中央公害審議会、同環境審議会でも取り上げられ、今日に至っている。

合流式下水道からの溢流は、当然「水質汚濁防止法」の対象となるが、下水道の普及を優先させてきた関係もあり、長いこと除外(行政的に対象外)されていた。しかし、大都市の下水道普及が100%近くになり、全国平均でも60%を超えるようになると、もはや除外しているわけには行かなくなり、合流式下水道の吐き口も「放流地点」とみなされ、水質汚濁防止法の対象とする方向に動き始めている。国土交通省では、降雨時に東京湾上に「オイルボール」という毬藻みたいな油濁物質が流失したことをきっかけに、合流式下水道からの溢流問題を重点的に取り上げることとなった。そこで、国土交通省では、全国の主な合流式下水道を実施している自治体に、実態調査を命じ、現在そのデータの集積と、その解析を行っている。

### 3.2実態調査の困難さ

国や地方自治体が、合流式下水道の実態調査に乗り出す前は、一部の研究者の自主研究や、自治体との共同研究等により、細々と調査が行われていたに過ぎなかった。合流式下水道からの溢流にせよ、非特定汚染源からの汚濁物質の流出のほとんどは、降雨時に発生する。降雨の発生条件は、ランダムであり、調査結果を比較することは、ほとんど不可能というか、意味のないことである。つまり、降雨強度(雨の降り方を示す指標で、速度の次元を持つ指標)が異なること、降雨時間中一定に降ることがないこと、同じような降雨強度であっても、降雨時の湿潤状態(主に先行降雨といわれる降雨前にどの程度の雨が降ったかを示す指標)に応じて雨水の流出がまったく異なる、等同じように溢流したとしても、条件が異なるからである。比較するためには、いろいろな地点で長期間データを取る必要があるが、大学等の研究室では、その「マンパワー」の確保ができない。かつそれを最低でも5年間、欲を言えば10年間継続して実施しなければ意味がないので、たとえ、地方自治体と共同研究(委託)をしたとしても、一研究室ではほとんど不可能である。そのため、わずかなデータから、合流式下水道からの溢流量とその質の性情を判断せざるを得なかった。つまり

「群盲象をなぞる」様な状況であった。というより、実態はほとんど解明されていなかったといって過言ではない。

このような状況では、モデルを用いて類推するという方法論しか取れないが、そのモデル化自身もこの10年ほど前から「実用化」されるようになった段階であり、それを活用した予測や対策はほとんどない、といって過言ではない。

### 3.3雨水流出過程のモデル化:合理式

雨が降ると、どれだけの水量が川に流出するか、というのは昔からの問題であった。しかし、それを「定量化」することは、ほとんどできなかった。約110年前に、英国のLlyodという人が、始めてその定式化に成功した。いわゆる「合理式」の誕生である。これは、「流域内に一樣な降雨(降雨強度が一定の雨が降る)」という仮定で、そのときに「最大流出量」になるのは、「全流域からの雨が重なる時」である、としている。上流に降る雨が、下流に流れ着くまでに時間がかかる(これを流下時間という)が、それが流れ着いたときに雨がやんでいない、という条件である。ただし、この場合の降雨強度は自由に取ることが可能である。

一般に降雨強度は、雨の降る時間が短いほど大きい。ちょうど陸上100m競技の選手の「速度」は、マラソン選手のそれより早いと同じことである。ということは、「一定の降雨強度」といいながら、それを長時間継続していると、当然降雨強度は小さくなり、そのときの最大流出量は小さくなる。そこで、Llyodは、「到達時間と降雨継続時間が等しいときに、その流域での最大流出量になる」という仮定を置いた。そして、その後の研究者により、降雨継続時間と降雨強度との間の関係式を模式的に示されるようになったため、対象とする流域の出口(流末)における最大流出量は、次式で示すことが出来る。

$$Q_{\max} = k \times c \times A$$

$$= k \times c \times \frac{b}{t+a} \times A$$

ここに $Q_{\max}$  は、流末における最大流出量で単位は $\text{m}^3/\text{sec}$ 、 $A$  は流域面積(下水道の場合は $\text{ha}$ を用いる)、 $t$ は到達時間で単位は分、 $a$ と $b$ は定数。東京都では、それぞれ40と5000を使用している。 $k$ は定数で流域面積の単位が $\text{ha}$ の場合は、 $1/360$ 、 $c$ は流出係数といわれ、降った降雨のうちどれだけが流出するかを示す指標で、土地の被覆条件により異なる無次元数である。

この式に必要なものは、到達時間 $t$ と流出係数 $c$ だけである。 $t$ は実際に最遠点から流れてくるまでの時間なので、それを流速から推定することが可能なので、未知の係数は $c$ だけである。 $c$ は被覆条件なので、流域の土地利用がわかれば、何とか類推することが出来る。実際下水道では、屋根や舗装道路は0.85-0.95、間地は0.1-0.3、芝・樹木の多い公園は0.05-0.3、勾配のゆるい山地

は0.2-0.4、勾配のきつい山地は0.4-0.6を使用している。それゆえ、下水管の設計、河川の堤防高を決めるには、最も簡単な式として100年以上世界で使用されてきたのである。

このような係数を流域全体として与えてやる方法を「集中型モデルLumped model」という。確かに簡単ではあるが、本当にその流出係数が「代表値」であるか、という点と判然としないという問題点がある。例えば、流域の中に「透水性舗装」を敷設し、雨水の流出を抑制する施設を設置した場合にも、その効果を  $c$  だけで評価せざるを得ないのである。もっと流域内の情報を反映させるようなモデルが必要となってきたのである。

### 3.4理論解: サンプナン式

雨水は下水管、河川等の「水路」に流入すると力学の法則に従い、流下する。これを1次元モデルとして理論的に解いたのは、18世紀の技術者St.Venantである。連続(物質収支)の式と、エネルギー保存の式の連立方程式で、水の動きを表現したものである。

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = q$$

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{\beta Q^2}{A} \right) + gA \frac{\partial H}{\partial x} - gA \frac{Q|Q|}{K^2} = 0$$

ここに $Q$ は流量、 $A$ は流水の断面積、 $q$ は横流入量、 $\beta$ は運動量補正係数、 $g$ は重力加速度、 $x$ は縦断方向の距離、 $H$ は水位、 $K$ は Manning式に基づく河道輸送量。

もともとこの式は1次元モデルであるが、実際の河川は2次元なので、もともと近似値でしかありえない。この式を2次元、さらに3次元で解くことは、1次元よりさらに複雑になり、実務的にはなかった。この一次元方程式ですら理論解を求めることは数学的にはできない。微分方程式を差分化して、数値計算を行うしか方法がない。それを行うために、数多くの研究がなされており、かつその近似計算結果に基づき様々な計画が立てられてきた。そのため、様々な「省略」や仮定の導入が行われてきた。計算する間隔を数百メートルにする、というのも一つの省略である。慣性項を省略する(専門用語ではキネマティックウェーブ法で解くという)というのも1つの仮定である。このように、この式に基く数値解の精度は必ずしも十分ではないので、河川計画を行うに際しては、模型実験を行って検証せざるを得なかった。河川のモデル化を作成するためには、長さや深さの比が極めて小さいので、きわめて困難な作業を要する。それでも建設省(現国土交通省)の土木研究所では、そのような近似河川を体育館のような施設で作成して、実験を行ってきた。

下水道の場合は、施設が面的に分布しており、かつその形状(管径や勾配)が異なるので、それをサンプナン式で解くことは河川

以上に困難であり、そのような試みはなされてこなかった。しかし、近年のコンピューター技術の発展により、この「数の多さ」の問題は一気に解決されてしまった。

それでも「雨水モデル」という水路に入るまでの「降雨から流量への変換」は解決されてこなかった。上記のサンプナン式は、あくまでも「水路」に流入した後の話なのである。

### 3.5下水道における雨水追跡モデルの開発

欧米で下水道が設置され始めたのは18世紀末から19世紀初頭である。一部の地域の下水道が100年経過しており、その改修を検討せざるを得なくなってきた。1つは、老朽化であり一部の下水道が崩壊しているので修理せざるを得なくなってきたこと、2つ目は、市街地の形態という土地利用の変化に基き下水管の増・改築が要求されたこと、3つ目は利用水量の大幅な増加により浸水のおそれが発生したこと、さらには合流式下水道からの溢流が問題となりだしたことが、その原因である。

下水道を改修(これを下水道のリハビリテーションという)するためには多額の経費を要するので、重点的に改修すべき点を決定する必要があった。そこで、1960年代からそのような検討が各国、各都市で模索され始めた。しかし、その模索自身も大変な作業だったので、1978年に関係者が「情報交換」を行うべく英国のサザンプトンで会合を持った。これは、まさに自主的な研究会であり、スポンサーは付いていなかった。研究の中心というカリードしていたのは、英国の国立水理学研究所(Hydraulic Research Center)であった。

一方その頃アメリカでは、環境保護庁(Environmental Protection Agency: EPA)が、水域保全のために、都市域から発生する汚水の動きを追跡するモデルの開発を大規模に行っていた。中心はイリノイ大学(「開水路の水理学Open Channel Hydraulics」の著者ベン・テイチョウ教授の研究室であり、そのベン教授の指揮下のベン・イエン教授が主に作業をしていた)であった。そこで開発されたモデルが、SWMM(Storm Water Management Model)である。

サザンプトンの会議では、各国の現状が紹介されたが、このような会合を定期的に持つことが確認され、かつ国際学会の支援を求めることになった。そこで、国際水理委員会(International Association for Hydraulic Research IAHR)と国際水質汚濁研究会議(International Water Pollution Research Committee: IWPRC)の2学会で合同委員会を結成することとなり、第2回会議が上記イリノイ大学で開催された。その会議の前に、各国の研究者が下水道に関する最新の「解析モデル」を持ち寄り、その基本概念、手法、現状と課題を検討し、紹介する「プレ会議」を開いた。その当時のコンピューターは「旧式」であり、参加者は映画のフィルムのようなリールを持ち込み、イリノイ大学の

型コンピューターにインストールし、夜間学生の利用が少なくなった後で、モデルの実演が行われた。このときに出されたアイデアの多くが今日のモデルに採用されていることから、この会議の役割は、きわめて大きいものがある。

1つは、下水道をコンピューターで解くことが可能である、という驚きである。同じようなものとして、水道管網がある。どの家庭でも一定の水圧を確保するように水道管を設計しなければならないが、その手法は確立されていなくて、様々な提案がなされていた時代である。水道管は、全体が「圧力管（満管状態で流れる）」であり、そのような「簡単」な条件下ですら、コンピューター化が出来ていなかった時代に、それよりも複雑な下水道管網をコンピューター化するというアイデアはすばらしいものであった。

第2は、下水道の特徴である「開水路と圧力状態の両方が発生する」条件を解く技術が紹介されたことである。水の動きは、開水路と圧力管ではまったく異なり、それら両方が発生する場を「連続的」に解くことは、それまでは不可能である、と考えられていた。しかし、1963年にフランス人のPreissmanがPreissman Slot (Fig. 1) と呼ばれる仮定の管を提案することにより、その両方を連続して解くことを提案していたのを採用したことにある。プライスマンスロットとは、図に示すように下水道の頂部に細い水路を仮想的に設けたものである。満管状態（圧力管）になると、水位がこの細い管に入ることで圧力状態を表現するものである。このスロットを設けることにより、開水路と満管状態とを連続的に解くことが可能となったのである。ただ、この方法は、スロット内の水の重量を無視するという仮定が入ることにより成り立っているため、スロットの間隔はこの仮定が成り立つようにきわめて細いものでなければならない。

### 3.6 その後のモデルの進歩と残された課題

第1回の会議が開かれてから既に27年、実質的な国際的な共同研究が始まって、来年で25年を迎える。その間のコンピューター

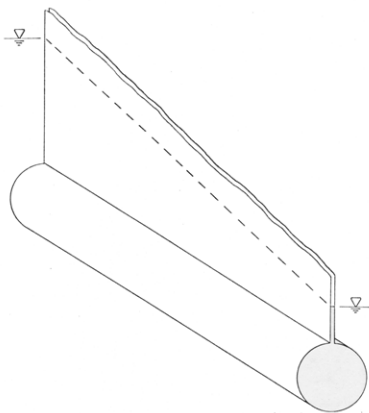


Fig. 1 Preissman Slot

の進歩は目覚ましいものがある。計算速度が格段に速くなったこと、計算容量が大幅に大きくなったこと、ユーザインターフェイスといわれる計算結果を図化する技術が進歩したこと、GIS（地理情報システム）との連携が可能になったこと、等があげられ、それに伴い雨水追跡モデルは、ほぼ完成の域に達している。とくに下水道の分野ではその普及の速度が早い。

しかし、雨水が流量になる部分の「雨水モデル」には、この間ほとんど進歩していない。雨水の一部が「浸透」し、表面流として流出する量を正確に推定することが困難なこと、さらに浸透した雨水の一部が「再流出」するメカニズムが明らかでないことが原因である。近年、森林学者を中心として雨水の浸透機能を定量化する研究（というより実測）がなされてきており、その成果がモデルに応用される日が近づいているという感じをもっているが、現段階ではそこまでには至っていない。都市域の下水道敷設地域では、屋根・道路という「不浸透域」の比率で流出をある程度予測できるが、河川流域においては、この浸透機能を正確に評価しないと、そのあとの計算を如何に早く正確に計算したとしてもあまり意味のないことになってしまう。この分野の研究が発展することを期待してやまない。

## 4. 河川上流部の雨水流出のモデル化

以下に現在研究中のモデル化の考え方を紹介する。この考え方が絶対正しいというのではなく、いくつかある「試行錯誤のこころみ」の一つとして、読んでいただければ幸いである。

### 4.1 分布型モデル

現在行なっている研究の対象流域は、筑後川の最上流部にある下笠ダム流域である。ここを選んだ理由はダム地点で正確な流量が観測されているからである。面積は182km<sup>2</sup>でそれを129の小流域に分割している。その結果、小流域の平均面積は1.4km<sup>2</sup>となっている。この流域を模式的に書くとFig. 2のような分布型モデル(Distributed Model)である。

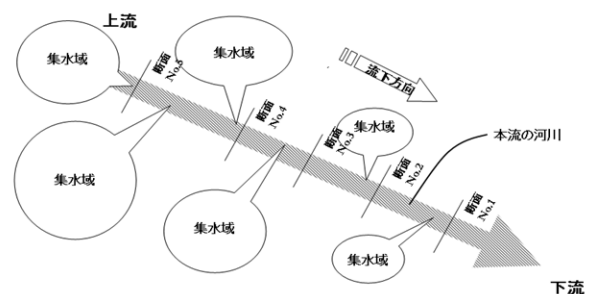


Fig. 2 Distributed Model

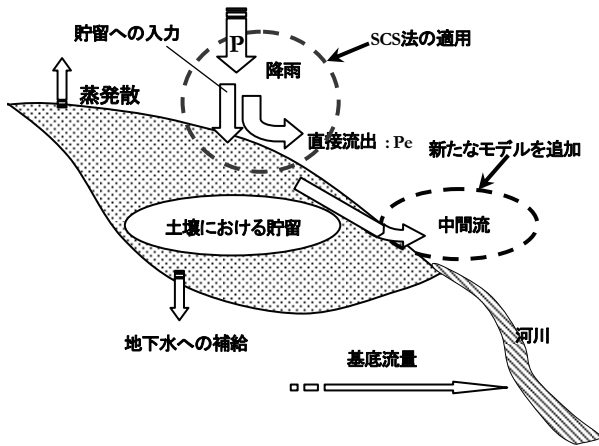


Fig. 3 Concept of Rainfall-Runoff Model

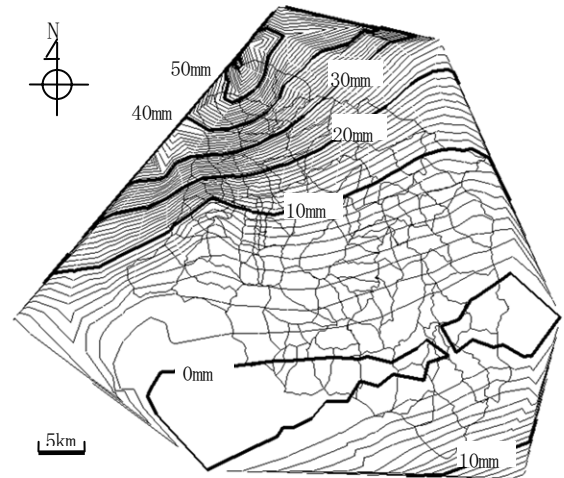


Fig. 4 Contour of Rainfall Intensity  
(2003/07/21 03:05)

#### 4.2小流域における降雨流出モデル

対象流域は大部分が森林なので、雨水の浸透とその再流出を考慮する必要がある。具体的にはFig. 3に示すように、降雨が早い段階で流出する「表面流」、浸透した雨水の再流出である「中間流」及び地下水の流出のようなきわめて緩やかに増減する「基底流出」によって構成されると仮定した。

「表面流」については、降雨期間中に浸透能が変化し、その結果表面流が増加してくるモデルとして米国土壤保全局のSCS法<sup>3)</sup>を採用した。「中間流」についてはこれまでの文献に基づき、浸透した雨水の一部が再流出するという新たな中間流モデルを考案して適用した。「基底流出」については乾燥期に100km<sup>2</sup>あたり1m<sup>3</sup>/sの流量とし、それが降雨履歴に応じて緩やかに増減するとした<sup>4)</sup>。ここで導入したモデルに必要なパラメータは4つであり、それぞれ実測降雨とその流出量から推定して決定した。

#### 4.3降雨データの内挿

一般的に降雨は地域特性があり、流域内で均一に降るということはない。さらに分布型モデルのように流域面積が小さい場合には、短い時間間隔の降雨量(ハイトグラフ)が必要である。しかし、実際には、降雨観測点が限られている。下笠ダム上流部では5ヶ所、周辺部を含めても12ヶ所しか存在しない。そしてそれらのデータも1時間間隔であり、分布型モデルに適用することは出来ない。そこで、5分間隔で、かつ小流域ごとのハイトグラフを「推定」しなければならない。本研究では、対象流域内外の12箇所の降雨観測点の時間降雨データを近似的に5分間隔のデータに変換した。次にGIS上で12箇所の降雨観測点の降雨強度を標高に見立て、流域上の等降雨強度曲線を求め、その降雨強度曲線から各小流域の重心における降雨データを5分おきに推定するプログラムを開発し、各小流域の5分間隔の降雨データを推定し、降雨流出

モデルへの入力とした<sup>5)</sup>。(Fig. 4)

#### 4.4河道モデル

河道の中の水理計算については、サンプナン式を解く英国 Wallingford Software社のInfoWorks RSを使用している。これらのソフトを動かすためには、勾配に応じて決められる間隔で、河川横断面図を導入しなければならない。1%の勾配で50m間隔の河川横断面図が必要であるが、そのような詳細な観測はされていないし、実測することは不可能である。そこで、パソコン上でFig.5のような三角形の断面と仮定して、計算を行っている。下流に行くに従い、勾配が小さくすると頂角が大きくなるように仮定して、断面を決定している。

#### 4.5シミュレーション 結果

以上の仮定をして行ったシミュレーション結果をFig.6に示す。観測値と合っているかの判定基準が明確でないため、その判断は出来ない。とくに、シミュレーションを行う際に必要とするパラメータを小流域ごとに与えることが出来ず、全小流域に対し同じ値を用いざるを得なかったため、観測値と異なる結果となっていることも考えられる。

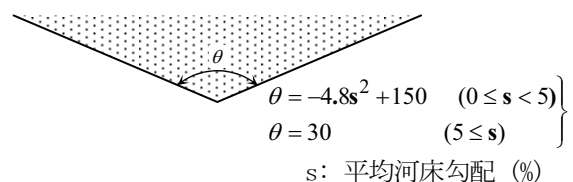


Fig. 5 Presumed triangular cross section

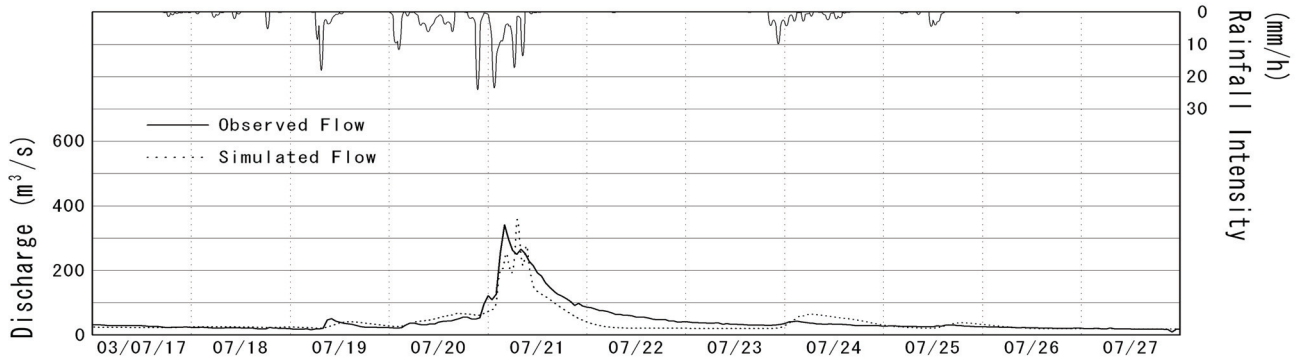


Fig. 6 Simulation Results (2003/07/17-2003/07/29)

#### 4.6今後の課題

分布型モデルにおいては、いかに小流域からの降雨流出を正確に記述するかが鍵となる。そのためには、まず対象流域の流出特性に応じた最適な降雨流出モデルを選択もしくは開発し、次に降雨流出モデルのパラメータを小流域ごとに同定しなければならぬ。より高い精度のシミュレーションを行うためには小流域ごとに、地形・地質・植生にあったパラメータを同定することが必要であり、そのためには、小流域ごとの降雨と流出量の長期の観測データが必要である。そして、それらのデータと地形・地質を連携させるメカニズムの研究も必要である。水文・水資源学会が設立され、水に関する研究者の交流が始まったことが、そのような試みを助成しているが、必ずしも完全とはいえない状況である。そのため、学会もしくは国がイニシアティブをとって研究を推進する時期が来ていると思われる<sup>6)</sup>。

そのようなデータに基づき、条件の異なるさまざまな小流域のパラメータが同定され、そのパラメータと地表の状態との相関関係が明らかにできれば分布型モデルの精度は飛躍的に進歩し、合流式下水道の影響を正しく評価することが可能と思われる。

現在は「観測者」と「モデル研究者」の間に一種の隔たりのようなものがあり、両者の交流や協力が必ずしも十分とはいえない。しかし、「観測技術の進歩」と「モデルの精度の向上」は二重螺旋のようなものであり、それぞれの進歩がお互いのレベルを向上させていくものと考えている。

#### 【参考文献】

- 1) 市川 新、多摩川—そのエコバランス、ソフトサイエンス社、(1997)
- 2) 建設省土木研究所、合流式下水道からの雨水流出に関するデータベース、土木研究所資料、第1549、(1980)
- 3) Soil Conservation Service, "Urban Hydrology for Small Watersheds", technical release no.55, U.S. Department of Agriculture (1975)
- 4) 山下三男, 市川 新, "分布型河川シミュレーションモデルの適用性向上に関する研究", 土木学会水工学論文集, 49, pp.181-186 (2005)
- 5) Mitsuo Yamashita, Arata Ichikawa, "A STUDY ON THE IMPROVEMENT OF THE APPLICABILITY OF THE DISTRIBUTED RIVER SIMULATION MODEL", MTERM International Conference, AIT, Thailand, (2005)
- 6) 市川 新, 山下三男, "モデル論:「水・物質循環モデル・ソフトウェア博覧会 2004」に参加して", 水文・水資源学会誌, 17, No.5, pp.572-577 (2005)