

水文雑話(6)

洪水調節ダムの運転法について

誌名	水利科学
ISSN	00394858
著者名	菅原,正巳
発行元	水利科学研究所
巻/号	24巻2号
巻号補足	
掲載ページ	p. 33-53
発行年月	1980年6月

農林水産省 農林水産技術会議事務局筑波産学連携支援センター
Tsukuba Business-Academia Cooperation Support Center, Agriculture, Forestry and Fisheries Research Council
Secretariat



〈水文雑話VI〉 洪水調節ダムの運転法について

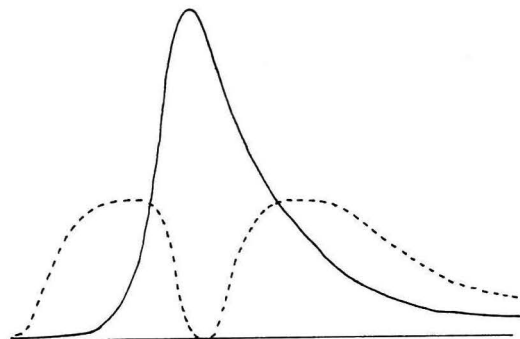
菅 原 正 巳

1. ダムはムダ

15年ぐらい前のことであつたと思うが、ある治水ダムの運転について論争が起つたことがある。その治水ダムが梅雨末期の豪雨に対して、何の役にも立たなかつたというのである。その豪雨はかなりの大雨が何日か降り続いた後にやって来たのであるが、その豪雨が来たときには、貯水地はすでに満水していて、洪水をそのまま放流せざるを得なかつた。それは運転の仕方が悪いからだという批判を投げかけた人達がいたのである。豪雨が来る前の雨が降っていた間は、ゲートを大きく開けて水を放流し、水位を下げて置くべきであつたというのである。これはテレビの野球解説者が、大事なチャンスに三振した打者を評して、真中に入って来た第1球を打つべきでしたと言ふようなもので、もしその打者が第1球を打ってショートライナーで打ち取られたとしたら、その解説者は、こういう大事なときはじっくり待つて、ピッチャーを追い込まなければいけませんと言ふであろう。このごろはそうでもなくなったが、昔はこういう解説者がかなりいたような気がする。すんでしまったことに対しては、いろいろ批判ができるのである。問題はこれからのこと、未知の将来に対して、どうすればよいかということである。

私はその頃から10年ばかり前に、貯水地の運転について少しばかり計算してみたことがあつた関係で、治水ダムの運転の難しさを少し知っていた。過去の洪水については、どのようにゲート操作をして放水すれば、洪水流量をどのくらい軽減できるか計算できる。ある人が主張するように、下流地点の洪水流量を減らすためには第1図のように、流入量ピーク時の放流が0になるように、逆の形に放流しなければ、十分の効果は得られないであろう。このような放流方式も、過去の洪水については、一つ一

第1図



(注) 実線は貯水池流入量、破線はダム放流量。

つ計算することができて、もっともらしいゲートの運転規則を作ることが可能かもしれない。しかしどんなことが起こるか判らないこれからの洪水に対して、第1図のようなうまい運転が可能だろうか。

梅雨期にかなりの大雨が降り続けているとき、これから来るかもしれない豪雨のために放流を続けてい

て、そして豪雨が来なかったら、「これから農業用水が必要なときに、8月に渇水が来るかもしれないのに、なぜ大切な水を貯めて置かなかったのか。農民の苦労を知らない役人にダムの管理などさせて置くから、こんなことになるのだ」という非難が殺到するに違いない。

昭和30年代の前半までは、発電は水主火従の時代だった。電気屋さんは治水用に空けてある貯水容量をもったいないと思っていた。「そのうちにゲート操作がうまくなるだろうし、あれは治水用だということを大蔵省の方でも忘れてくるだろうし、やがてはあれも発電に使わしてもらいたいものですよ。そういう研究をぜひして下さい」と本気で私に要望された方もおられる。わが国の水資源の少なからざる部分を台風雨が受け持っている。昭和20年代の後半から、30年代の前半にかけて作られた多くのダムはわが国の経済復興を目指し、電力供給の願いがこめられたものであって、冬期渇水期における貯水池の発電は、ダム建設の主要目的であった。冬の渇水期発電のためには、降雪期に入り、河川の流量が減り始める11月末までに、貯水池を満水にしなければならない。洪水調節のためには、台風期には貯水位を下げ洪水に備えていなければならないが、最後の洪水の水は貯めて、翌年1月、2月の渇水期発電にしたいのである。しかし、どれが最後の洪水であるか判らない。そこで9月一杯は貯水位を下げ置くというような規則になるのであるが、それでは洪水の水を発電に利用するわけに行かない。洪水の水が利用できなくなると、11月末の満水を目指し、10月、11月には、年によっては発電を一時停めて、貯水に専念しなければならない。洪水の水を捨て、一方ある場合には10月、11月に発電を停めなければならないのが、戦後の停電を経験している人間にとっては、自分のもうけとは関係ないのに、何とももったいなく、残念であった。10月からは水を貯めてよいという規則にしたところで万全ではない。10月になって、台風が来ることがあるし、淀川では11月末になって、

台風によりかなり大きい洪水が出たことがある。最悪の場合を考えて治水ダムを運転しようとしたら、ほとんど1年中貯水池をあけて待っていなければなるまい。

貯水池の運転について、少しばかり計算をしてみた経験から、誰もが満足するようにダムのゲート操作をすることは不可能だと思った。多目的ダムというのは、目的が多いことをいっているに過ぎないので、その目的がすべて達成されることまではしていないのだから、それで十分なのであろう。

話をもとに戻し、治水ダムの運転方式が問題になっていたところ、ある会合でその話になった。私は多目的ダムによる洪水調節など、どうやってもうまく行くとは思えなかったもので、暴論を述べた。「ダムの管理所長が腹を切ればいいんだ。辞めさせればいいんだ」と。腹を切るといったところで、上級公務員試験を通っている土木技術者は、民間のどこでもやとってくれるだろう。貯水池で洪水を完全に防ぐなど、誰が考えても、どうやってもできないことである。それをできると言って（もちろん公式文書の上で、どんな場合にも洪水を調節できるとは書いてないが、地元との折衝のとき、用地買収のときなどに、それに近いことを言ったり、地元がそう思い込むような話し方をしていることはあるだろう）、予算をとり、事業をしている以上、国がゴメンナサイとは絶対に言うまい。そうなれば、残された道は、ダムを操作した人間に責任を押しつけることである。管理所長が腹を切ればよいと私が言ったのは、そういうつもりからであった。無過失で腹を切られた当事者こそ、いい面の皮で、気の毒ではないかというご意見が多いであろう。事実、そのときも建設系の若い人が、直ちにそういう反応を示した。「とんでもない。そんなことをしたら、誰が管理所長になりますか」。この言こそ、治水ダムで、洪水調節するなど無理だということを誰でも知っている証拠である。

しかし、人間ときには無過失で腹を切ることがあっても致し方ないと思う。本当に腹を切れば、それでゲームセットで、お気の毒であるが、現実ではどこか他の場所で働けるのだから、妻子を路頭に迷わすことはない。無過失の責任を取らされた人間にとっては思いもかけない不運であり、ショックであろう。しかし、それを転機にその人が一段と大きくなることもある。とかげのしっぽ切りは、とかげの安全のためだけに有用であるが、ある組織の責任を個人がかぶる場合、個人はそれにより成長する場合もある。もちろん、責任を取らされて、そのまま駄目になってしまう人もあるだろうけれど、それは順境に育ってよくなる人、悪くなる人があるのと同様である。

話は少々横道に入るが、腹を切る話が出たついでに、そのことを書いてみたい。故佐藤栄作氏がノーベル平和賞受賞にきまったとき、私はたまたまジュネーブのWMOにいた。ナッシュさん、コーラーさんと私とが、ネメッチさんに、モンブランの間の食堂で昼食をご馳走になり、食後の散歩で、新しくできた国連のビルを見て歩き、出入口のホールの所でナッシュさんが新聞を買い、チラリと眺めて、「日本の前首相

のサトウがノーベル平和賞だよ」と教えてくれた。「本当ですか、信じられない」と言うと、新聞を見せてくれて、写真入りでかなり大きく出ている。何とも不思議な気持であったが、私は言った。「この1世紀間、日本は戦争ばかりして来たから、こんなことを言っても信じてもらえないかもしれないが、日本は元来平和的な民族で、過去1,000年以上の間、あまり戦争をしていない。むしろ最近の100年が異常な状態であったのだ」と。それに対してナッシュさんが言う。「日本人は勇敢であったではないか。カミカゼをやったし、ハラキリをするではないか」。私には、カミカゼと勇敢とは少し異なるような気がする。あれは一種のヤケである。そして若者はあきらめて死んで行った。これを説明しようとして、はたと困った。あきらめに対応する英語がないのである。give up は放棄するであって、あきらめとは違う。致し方ないから、「彼等はデスペレートの中に死んだが、そのデスペレートはグルーミーではなかった。カームで、グルーミーでないデスペレートの中に死んだので、ブレイブとは少し違う」と言ったが、意が通じたとは思えない。「ハラキリはどうか」と言う。これも説明できない。

パリの街角では harakiri (アラキリ) という雑誌を売っている。忠臣蔵六段目勘平切腹の場のような、血のりのエロティシズムをさらに残酷にした、変態性欲的なものらしい。切腹とこのような美学とは、必ずしも無縁ではないようだが、それは置くとして、現実によく行なわれた切腹は、多くの場合、やはりとかげのしっぽ切りの要素が大きかったように感じられる。切腹が責任感のシンボルであるか、無責任体制のシンボルであるか、それが問題である。私は腹切りを無責任体制のシンボルと感じるのであるが、その間の事情を英語で説明することは私にはできなかった。ナッシュさんに、「日本人は勇敢な好戦的民族」でないことを説得することはできなかったようである。

その後、1978年の夏、私はインドのプーナ（ボンベイの南東、デカン高原の西端にある都会で、大学があり、水に関係する土木工学の国立試験所がある）に、国連の専門家として1月半滞在したが、やはり同じ試験所に国連の専門家として来ていた、CERN（スイスのジュネーブの近郊、フランスとの国境上にある、西欧諸国共同の原子核研究所）の、若いスコットランド人の計算機のソフト・ウェア技術者であるテラーさんと一緒になった。そして、毎日のようにさそわれて、一緒にレストランで夕食をとり、ダベリ合うことになった。いわゆるヨコメシはもっとも体に悪いので、せいかく1日1回の夕食ぐらいは、一人で黙って食べたかったが、試験所からホテルまで自動車で送られ、ホテルのレセプションの所で、「では今晚7時に」とか「7時半に」と言われると、断るわけに行かない。もっとも、テラーさんが一足さきにスイスに帰って、私が一人プーナに残ることになってから、彼が毎日さそった気持が判った。彼は話し相手がほしかったのである。どんなに消化に悪い英会話でも、やはりある程

度、意が通じ合うことは、私にとっても楽しいことであった。そういう会話の中に、やはり日本人の勇敢さのことがあった。私がいくら否定し、説明しても、受けつけない。「ドイツ人は敗け出したら、ドンドン降伏した。彼らは卑怯だった。日本人はそうでなかった。勇敢だった」と、ほめて(?)くれるのである。日本人は降伏の仕方を知らなかったのだ、降伏できないようになっていたのだと言っても、説明にならない。

横道が長くなったが、割り込みのハラキリ・サブ・プログラムから、メイン・プログラムに戻ることにする。

治水ダムのゲートをどのように操作したら洪水がうまく調節できるかなどという難問を、いくら議論したところで、名案が得られるはずがない。結局、ある元気のいい若い研究者の発言「だから私はいつも言うのだ、ダムはムダだ」が、落ちであった。第1図のように放流すれば洪水調節に役に立つという主張は、裏返せば、本当に役に立つような放流は、ほとんど不可能に近いということである。

念のため申し副えるが、逆に読んでも成立する「ダムはムダ」は、反語である。私はダムは有用であることを信じている。雨が降ったり、降らなかったりする以上、したがって河の流量が増えたり減ったりする以上、ダムを作って水を貯め、流量を平均化するのが、水資源の利用率を高める唯一の方法だからである。ここで唯一といったのは、少し言い過ぎである。しかし、唯一と言ってもよいほど、他の方法、たとえば下水の3次処理水の利用、海水の淡水化、中水の利用等々と比較すると、比較するのが馬鹿らしいほど、貯水池の方がすぐれているのである。貯水池による水資源の利用率増大は、時間的に変動する河川流量（水供給）を、貯蓄により水需要に合わせる方法であるが、この他に、水資源の地域的変動を、水の輸送により、水需要に合わせる方法がある。これもきわめて有効であるが、広域運営、つまり流域間の水の融通、現実的には流域変更は、現在の社会事情では、不可能に近いほど難しいらしい。そうであれば、ダムを作る以外に方法はないのである。いまだここに好適なダムサイトがあるとすれば、たとえその建設費を負担するに耐える水需要が現在はないとしても、できる限り高いダムを構築し、大きな貯水容量を確保して置くのが国家100年の計ではないだろうか。その建設費の一部を、治水分担の名目で国家が援助するのも、一つの方便として致し方ないことであろう。先に、ダムによって、効果的に洪水をカットすることの難しさを述べたけれども、それははじめに欲ばった考えを持っていたからである。能力以上の欲を捨てるならば、どんな貯水池でもある程度の洪水調節効果を持っている。たまたま洪水が来たとき、貯水にゆとりがあれば、洪水の水をそのゆとり分だけ貯めることによって洪水をいくらか小さくするし、たまたま運悪く満水のときに洪水が来たとしても、洪水をそのまま流すだけだから、前より悪くはならないはずである。たまたま洪水の際、誤まってゲートをあけたり、または洪水のときに決壊し

たりしない限り、洪水を大きくすることはないはずである。貯水池により洪水伝播が速くなり、河川合流の時刻に変化が生じ、洪水を大きくする心配があることをおそれる方がおられるが、この影響は2次的であり、あまり大きいものではないだろうと、私は想像する。私はその方面のことが専門でないから何とも判らないけれども、昔ある河にダムを多数作ったところ、洪水の出が速くなったというのは、各電力用ダムのゲートが、早速廻しに、洪水の来ないうちから開けられ、したがって下流に早く水が出るようになったのではあるまいか。疑問の形でしかものが言えないのは、ダムのゲートを実際にどのように操作したかなどは、後から調査しても判らないからである。

貯水池による洪水伝播にも問題はあろうが、洪水の出るときは、強風が吹いていることが多いだろうから、強風による湖面の吹きよせの問題の方が、むしろ影響が大きいのではなかろうか。しかし、その影響もやはり2次的で、大局的には大したことがないような気がする。結局、貯水池が洪水を大きくする作用は微弱で、ダムは治水に役立つのである。「ダムはダム」は、順に読んでも、逆に読んでも同語反復だからつねに正しいけれども、「ダムはムダ」の方が正しくないと信じている。

2. 土地所有者は自分の土地に降った雨を自分の土地に貯める義務があるという考え

河川上流部に作った洪水調節ダムが、はじめに予期されたほどの効果をあげ得ないことは、いくつかの手痛い経験によって、次第に判って来たようである。このごろ、アメリカ合衆国で、土地所有者はそれぞれ自分の土地に降った雨は、自分の土地に貯める義務があるという考え方が出ているのは、洪水防御の難しさから出て来た一つの解法であろう。雨は元来、2次元の面に降るものである。それを河に集めて海にはこうというのは、2次元に降った雨を、1次元の河（河には幅があるから、2次元ではあるが、その幅はきわめて狭いから、河は線である、つまり1次元であるという第1近似が成り立つ）で処理しようとするところに根本的な無理がある。大雨が降れば氾濫するのはむしろ当然である。別な見方からすれば、現在われわれが農業を営み、その上に都市を作って住んでいる沖積平野というものは、もともとは河そのものであった。つまり昔は、河も2次元的存在であった。それを無理に狭い所に押し込め、線にしまったのだから、ときどき本来の姿に戻りたがるのは、きわめて当然である。

1次元の河で水をはくのは無理で、どこかに氾濫するのは当然だということから、その氾濫相当分を貯水池に貯めようというのが、洪水調節ダムであるが、下流で溢れるものを上流で貯めようというところに無理があつて、なかなかうまく行かない。結局、面で降る雨は、面で処理すべきだということで、各自の土地に降った雨は各自貯めるべきだという考えになったのであろう。

自分のことは自分でする、他人の厄介にならない、他人に迷惑はかけない、われわ

れは自由独立の民だというのが、草の根民主主義の根本で、各自の土地の水は自分の所で始末するというのは、草の根主義によく合っているに違いない。ただし、現在のアメリカは、それほど草の根的でも、自由独立的でもないらしく、土地開発業者や、不動産屋の反対で、各自の土地の水をそれぞれの土地で貯める方式は、うまく進行していないらしい。

わが国では、かつては大部分の水田は一種の遊水池であった。自分の土地に降った雨は、自分の土地に貯めていたのである。しかし、いまや全国到るところの水田の水はけはよくなった。かつての沼や、湿地は、ほとんど干拓されてしまった。そして内水はポンプで河へ汲み上げられている。このような重負担に、河川は到底耐えられないであろう。やはり面に降った雨は、面で受けとめる考え方が必要である。

話は変わるが、われわれ日本人は、世界に冠たる貯蓄国民である。かかる高い貯蓄率は世界に例を見ない。定期預金の利率より高い比率でインフレが進行している中で、馬鹿らしいと知りながら、やはり貯金している。いつ首になるか、いつ病気になるか、どんな不幸に会うか判らない。それに反して、かなり確実に予想できるのは、年をとっても子供が面倒を見てくれそうもないこと、国の福祉行政が進行しそうもないことである。円を物に換えて置きたくても、一般市民にとって、安心して金や宝石を買える場所もないし、いざという時に換金してくれる市場もない。円をスイス・フランに換えて、スイス銀行に預金することなど、一般市民にはできない。国が当てにならないから、仕方なしに自己防衛のために各自貯金しているのだとすれば、各自の土地の水を貯めずに、全部河に排水しているのは、水については国がたよりになり過ぎているのだろうか。国はたよりにならないと思って、各自が貯蓄した結果が、企業の投資資金となり、わが国の経済発展の底力となっていること、国はたよりになるとして河川に全部排水した結果が、下流の人口密集地域に氾濫の危険を増大させていることを考え合わせると、国はたよりになる方がよいのか、悪いのか、少々不思議な気がする。

また少々、横道に入りすぎたようである。自分の土地に降った雨を自分の土地に貯める方式は、このごろ団地などで実施されている。面に降る雨は面で受け、流域内のなるべく広い面積で、一時的に水を貯め、河川の負担を軽くすることは大切であると思うが、この方式の前途は多難であろう。

この目的のためには、一時的に水を貯める小貯水池、あるいは小遊水池というべきかもしれないが、そういうものを流域各所に多数作ればよい。それには基部に小さい排水孔を持つダムを作ればよい。排水能力を超える雨が降れば水がたまり、雨がやめばやがて徐々に排水される。たとえば住宅地の近くに掘り込みの運動場を作り、周囲の斜面はスタンドにして置く。雨が降り、水が出れば、そこに水がたまって、住宅地の浸水を防ぐ。雨がやめば、水は運動場の一隅の排水孔から引いていく。1年に1度

とか、2年に1度は運動場は貯水池になるが、あとは運動場として利用できる。そういう排水孔つき貯水池はどんな作用をするか、それを設計するにはどうすればよいか、多分それについては研究があり、報告も出ているのであろうが、私は怠け者で人の論文を読まないから、どんな結果が出ているか知らない。ちかごろ私が試みた僅かな計算は、あるいは既知のものかもしれないが、私の経験を少し書いてみたい。論文として発表するほどのものではないが、紙屑籠にほうり込むのも少し惜しい、いわば鶏肋ともいふべきものだから、水文雑話にはあるいは適しているかと考える。

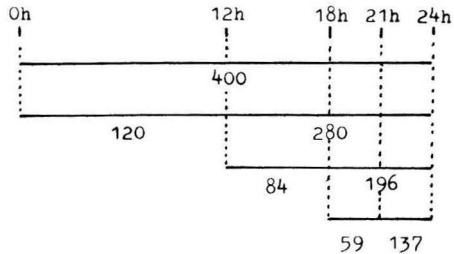
3. 事の起こり、および貯水池運転計算を始めるまでの下ごしらえ

ある所で、3 km²にも満たない小流域の谷あいの平地部分に、流域の10%程度の土地を整地、舗装して、ある目的に利用したいという計画を立てた。それについて、洪水の心配はないだろうか、洪水対策はどうしたらよいかという相談を持ち掛けられた。流域の10%ほどの部分、しかも平地部分を整地、舗装したからといって、洪水流出に大きな影響があるとは思えない。しかし、地元の人達はそう考えないであろう。大雨が降って洪水が出たら、山を荒らしたから水が出たと思うに違いない。幸せなことにと言うべきか、困ったことにと言うべきか、そのあたりは過去にほとんど洪水が出たことがないらしい。その水系には、過去の流量記録がほとんど無いのである。流量を測ってみたが、張り合いがないのでやめたのであろう。地図で山のたたずまいを見ても、いかにも雨が降らなそうな地域である。しかし、雨については、ここは大丈夫ですと保証しかねるところが困る。おもに梅雨末期に起こる集中豪雨の記録が増すに従って、新記録が出て来るから、どこでどんな雨が降るか判らない。諫早豪雨（昭和32年）が降るまでは、あんな大雨が降ることを予想した人は無かつたろうし、静岡に七夕豪雨（昭和49年）が降るまでは、あの場所にあんな雨が降ると思った人は無かつたろう。数時間にわたって、あのような豪雨が降り続くことがあろうとは、現実のデータを見ても信じられないほどである。私は退職のとき、大部分の資料や文献を人に譲ってしまったし、年をとって記憶力が激減し、さらに困ったことに、どこを探せばデータが出て来るかという、いわば索引部分がメモリーから落ちてしまったので、あやしげな記憶でしかものが言えないが、あまり雨が降りそうもない、北海道の苫小牧で、時間雨量100 mmに近い記録が出ているはずである。ある小さい流域が、集中豪雨にやられる心配は、街を歩いていて、ビルの上から降って来た何かで大けがをするのと似ている。確率がきわめて小さいとは言え、いつどこで、何が起こるか判らない。

その小流域についての計画では、そこから50 kmばかり離れた、もよりの海沿いの都市の100年確率豪雨79 mm/時を借用し、ある計画基準に従って、雨量換算して約30 mmあまりの貯水池を作ることになっていた。私は30 mmあまりの貯水池では少し心配な気がした。その小流域に79 mm/時の豪雨が降ることは、まずあるまいと思う。

しかし、日雨量 250 mm ぐらいの雨が降ることはあり得るような気がする。250 mm の雨を、30 mm の貯水池でうまく調節できるだろうか。私は何となく 100 mm ぐらいの貯水池がほしいと思った。100 mm あれば十分かといえば、実はそれでも少し心配であった。この地域で想定された 79mm /時

第 2 図



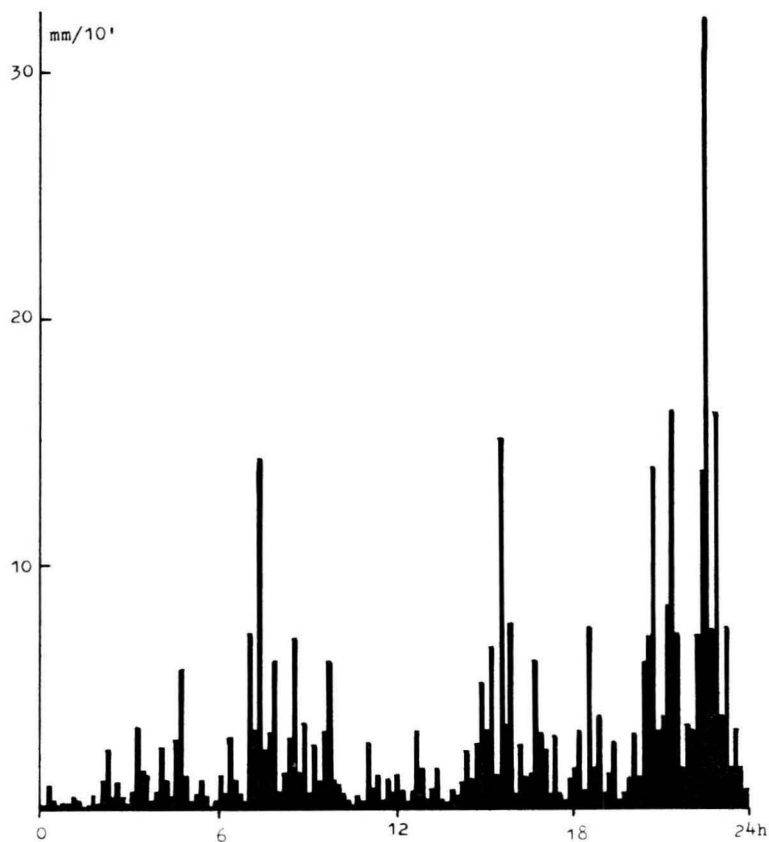
の雨は、日雨量 400 mm 程度が来たときに現われるものであろう。400 mm /日の雨が来たときに、100 mm の貯水池で調節できるかどうかは疑問だけれども、100 mm の貯水池を持っていれば、たとえ洪水が防げなくても、申し訳は立つに違いない。こんな大きな治水容量は滅多にないからである。現実の問題としては、100 mm の貯水池を作る場所がなく、60~70 mm 程度のものを作るのが限度ということであった。以上は、私が相談を受けたとき、直ちにその場で述べた感想であった。

さて、60 mm の貯水池を作ったとして、それがどのように働くだろうか。底に排水孔を持つ貯水池が、自動的に水をため、排水するとき、どのようなことが起こるだろうか。それを知るためには、何かの洪水流量を貯水池に流し込み、どのようなことが起こるかを計算してみる必要がある。ところが困ったことに、このあたりには流量資料も雨量資料もないのである。

そこで、この計画に用いられている 79 mm /時に合うような雨量資料を作ってみることにした。作り方の原則は、最大 t 時間雨量は、およそ $\sqrt{t}$ に比例するという法則である。1 日雨量、すなわち 24 時間雨量は $\sqrt{24} \div 5$ に比例するから、時間雨量 $79 \div 80$ に対応するのは、日雨量 400 mm であると考えた。そしてこの 400 mm を $\sqrt{t}$ の法則に従って、時間雨量、さらには 10 分雨量にまで分割して行く。10 分雨量まで出すのは、 3 km^2 にも満たない小流域では、流出の半減期は 10 分程度であると思われるからである。

日雨量 400 mm であれば、半日雨量の大きい方はその $1/\sqrt{2} \div 0.7$ 倍であると考えた。すなわち 7 : 3 に分割すれば半日雨量になる。雨のピークは終り頃に来ることが多いから、400 mm は 120 mm、280 mm の 12 時間雨量に分割される。280 mm の 12 時間雨量を 3 : 7 に分割し、84 mm、196 mm が 6 時間雨量で、大きい 196 mm を後にする。196 mm を 3 : 7 に分割して、59 mm、137 mm が 3 時間雨量で、137 mm を最後の 3 時間雨量とする。3 時間雨量を 1 時間雨量に分割するには、 $1/\sqrt{3} \div 0.58$ 倍を最大の時間雨量とし、残りの 0.42 を 7 : 3 に、すなわち 0.29 と 0.13 に分ければよい。この方法で 3 時間雨量 137 mm は 40 mm、79 mm、18 mm の 1 時間雨量に分割された(第 2 図参照)。これまでの分割では、後の方を大きくしたが、最後の 1 時間雨量への

第3図 想定雨量



分割では、最後を小さくして、40, 79, 18の順に並べた。他の時間雨量も同様の方法で分割して行なった。すなわち7:3の分割をくり返して3時間雨量を出し、3時間雨量は52:29:13に分割して1時間雨量とした。ただし、並べる順序は乱数によって定めた。2分割の場合は、乱数表を眺め、当たった乱数が偶数ならば(大, 小), 奇数ならば(小, 大)の順にする。3分割のときは(大, 中, 小), (大, 小, 中), (中, 大, 小), (中, 小, 大), (小, 大, 中), (小, 中, 大)の6通りの並べ方があるから、乱数表から2けたずつの乱数を取り出し、それが分点16, 33, 50, 67, 83のどこに落ちるかで、並べ方を定めた(さいころを投げてきめてもよい)。得られた1時間雨量には同じ値が何度も現われるので、やはり乱数を用いて、数を加えたり引いたりし

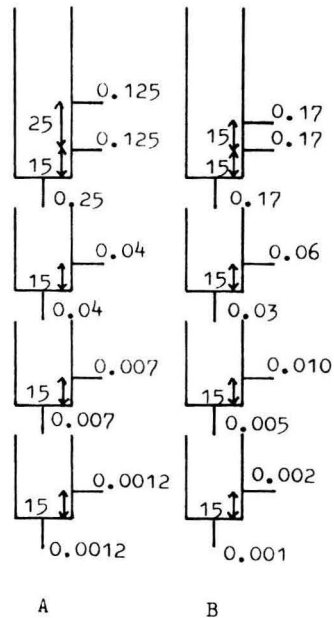
て、形を少し崩した。それが第1表に出ている想定時間雨量である。この時間雨量を3:7に分割して30分雨量を作り、さらに3分割して10分雨量とした。分割の仕方、並べ方は前とまったく同様である。このようにして作ったのが第1表の想定雨量で、第3図にみるように、一応もっともらしい形をしている。大型の雨台風が、流域の西側をかすめ、ふつうのスピードで通り抜けたと説明すれば、多くの方々は納得して下さるであろう。

さて、この想定雨量を流量に変換しなければならない。困ったことに、 3 km^2 にも満たない小流域の洪水解析など、ほとんど経験がない。私がした僅かばかりの計算例は、火山灰地の試験流域で、しかもそこでは日雨量400 mm、時間雨量80 mmなどという大雨の観測例がなかった。このように何も判らないと、かえって気が楽で、第4図のタンクモデルで流量に変換することにした。A)はふつうの流域を想定したもので、各タンクとも、

浸透係数、流出係数が等しくなっている。B)はきわめて流出率が大きい流域で、流出係数、浸透係数の比が、どのタンクでも2:1になっている。A)、B)どちらのモデルにおいても、1段目タンクの半減期はともに10分、2段目、3段目、4段目となるに従って、半減期はおよそ数倍ずつになっている。各段タンクの半減期は、およそ10分、1時間半、8時間、2日の程度になっている。第5図は第1表の想定雨量を、このタンクモデルで流量に変換した結果で、ハイドログラフは一応もっともらしい形を示している。A)、B)のモデルによる相異はかなり大きい。

第1表の想定雨量はあまりに人工的で少し心配である。そこで、79 mm/時の確率雨量を借りたもよりの都市でかつて降った豪雨の実測値も用いることにする。第2表がその実測値である。大災害は最後の豪雨で起きたのであるが、4時間ばかり、毎時約40 mm程度の雨が降り続き、かなりフラットに降り続けている点が、静岡の七夕豪雨と少し似ている。簡単のため、この雨は一樣であったと仮定し、各時間雨量を6等分したものを10分雨量とした。それをA)、B)のタンクモデルで流量に変換した結果が第6図である。

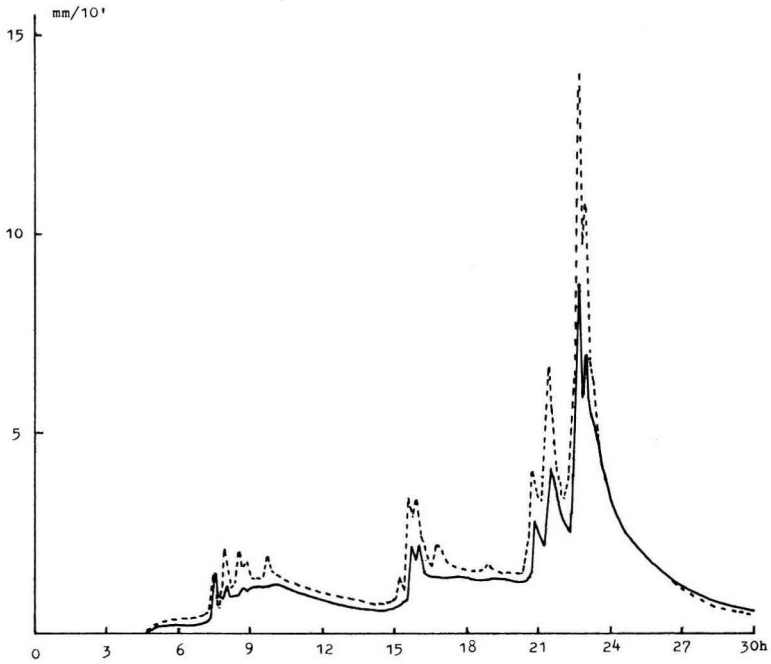
第4図 想定タンクモデル



第1表 想定雨量

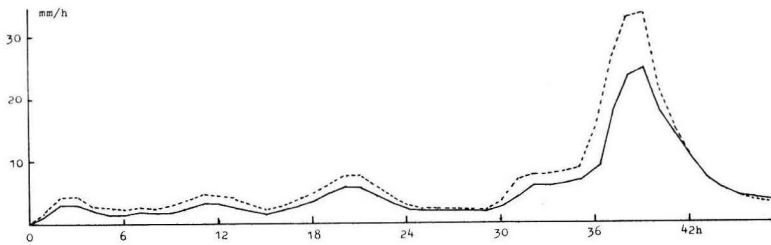
時	10分 雨量	時間 雨量	時	10分 雨量	時間 雨量	時	10分 雨量	時間 雨量	時	10分 雨量	時間 雨量	時	10分 雨量	時間 雨量	時	10分 雨量	時間 雨量
1	0.2 0.8 0.4 0.2 0.3 0.1	2	5	2.5 1.2 0.5 2.8 5.7 1.3	14	9	0.7 1.5 2.9 6.9 1.5 3.5	17	13	1.4 0.7 0.3 0.7 3.3 1.6	8	17	0.6 2.6 1.3 1.4 6.0 3.1	15	21	3.0 1.3 5.9 6.9 13.8 3.1	34
2	0.5 0.3 0.1 1.2 0.6 0.3	3	6	0.3 0.6 1.2 0.5 0.1 0.3	3	10	0.6 2.6 1.3 3.1 6.0 1.4	15	14	0.4 0.8 1.6 0.3 0.2 0.7	4	18	1.4 0.6 2.9 0.6 0.3 1.2	7	22	3.7 8.2 16.1 7.0 1.6 3.4	40
3	1.2 2.5 0.5 1.1 0.5 0.2	6	7	1.4 0.6 2.9 1.2 0.6 0.3	7	11	1.2 0.6 0.3 0.1 0.5 0.3	3	15	0.5 1.1 2.3 1.2 2.6 5.3	13	19	1.6 3.1 0.7 7.3 1.6 3.7	18	23	3.1 6.9 13.7 32.1 7.2 16.0	79
4	0.7 3.3 1.6 1.4 0.3 0.7	8	8	7.1 3.2 14.2 1.4 3.1 6.0	35	12	2.9 0.6 1.4 0.3 1.2 0.6	7	16	3.2 6.5 1.4 15.0 3.4 7.5	37	20	0.6 1.4 2.9 0.3 0.6 1.2	7	24	3.7 7.3 1.6 3.1 1.6 0.7	18

第5図 想定雨量から算出したハイドログラフ



(注) 実線はA型モデル，破線はB型モデル。

第6図 実測雨量から算出したハイドログラフ



(注) 実線はA型モデル，破線はB型モデル。

第2表 ある実測雨量

時	時間雨量	和 (累和)	時	時間雨量	和 (累和)
18	4.3		18	0.3	
19	4.6		19	0.0	
20	17.6		20	0.0	
21	17.4		21	5.5	
22	10.1		22	1.2	7.0
23	0.7	54.7	23	0.0	(186.6)
24	4.3		24	0.4	
1	3.4		1	14.2	
2	7.8		2	8.0	
3	3.4		3	23.9	
4	5.5	31.2	4	6.2	63.7
5	6.8	(85.9)	5	11.0	(250.3)
6	13.1		6	14.5	
7	6.8		7	12.2	
8	2.5		8	31.8	
9	3.7		9	44.8	
10	1.7	30.5	10	47.6	192.9
11	2.7	(116.4)	11	42.0	(443.2)
12	12.8		12	12.5	(455.7)
13	5.1				
14	15.4				
15	14.3				
16	12.7	63.2			
17	2.9	(179.6)			

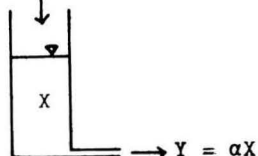
4. 貯水池による洪水波形の変形

以上で準備が完了し、これから目的の計算に取り掛かる。流域の10%が舗装されていることを考え、流域の90%からは第5、6図に示された流量 Q が流出し、10%からは雨量 P がそのまま出て来るとする。すなわち $\bar{Q} = 0.9Q + 0.1P$ が貯水池への流入であるとする。現実には、このように簡単ではないかもしれないが、いままでに強引な想定を積み重ねて来たことだから、このような簡単な近似でお許し願いたい。このようにして、4種類の想定入力 $\bar{Q}$ が得られた。この $\bar{Q}$ を貯水池に流入させ、貯水池から

どのように変形されて流出して来るかを見るのであるが、簡単のため貯水池の構造は、第7図に示すように、流出 Y は貯留高 X に比例するものとする。

第8図は、 $\alpha=0.03, 0.05, 0.10$ の場合、流入量 $\bar{Q}$ がどのように変形されて流出するかを示している。問題は貯水池からの流出のピークがいくらになり、貯水池内の貯水量が最大いくらになるかである。それをまとめたものが第3表である。ここで、流入量、流出量の単位は $\text{mm}/10^4$ 、貯留高の単位は mm である。

第7図



ここで、われわれの具体的目標、またはわれわれに課せられた条件が出て来る。下流側への流量をいくら以下に押さえたいか、または、貯水池のすぐ下の河道の流下能力はいくらかというような条件である。仮にその条件が $4 \text{ mm}/10^4$ であるとする。この条件に合うものを第3表で探すと、流入量 $\bar{Q}$ として No. 2 を用いると、すなわち第1表の想定流量を、第4図のモデルAで変換した場合を見ると、 $\alpha=0.03$ だけが及第である。No. 2 が入力の場合は、 $\alpha=0.03$ と 0.05 の中間を考えれば、 $\alpha=0.04$ にすると、流出のピークはおおよそ $4 \text{ mm}/10^4$ となって及第し、そのときの最大貯留高は約 100 mm 程度であろう。

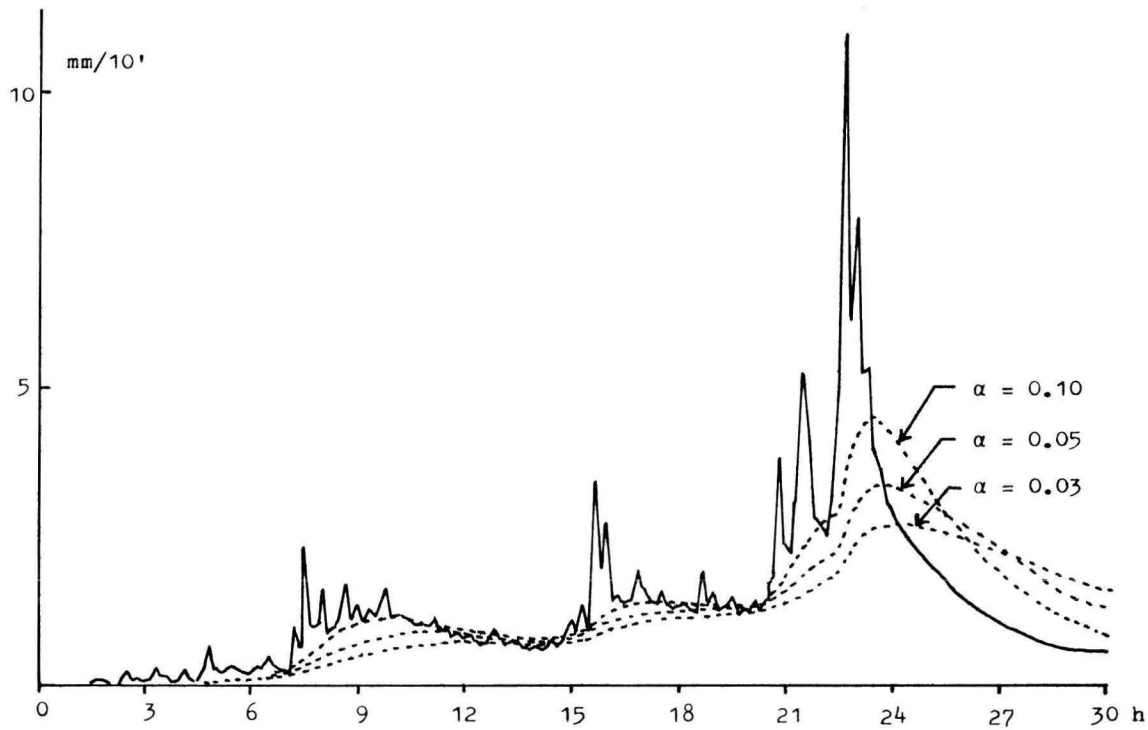
B型のモデルは流出率が大きすぎる感があり、現実の流域はA型に近いものが多いであろう。そう考え、No. 1 の $\bar{Q}$ 、すなわち第1表の想定雨量を、第4図のAのモデ

第3表

No.		$\bar{Q}$ のピーク	$\alpha=0.03$	$\alpha=0.05$	$\alpha=0.10$
1	想定雨量 モデル A	11.02	2.68	3.38	4.49
			86.7	64.2	40.4
2	想定雨量 モデル B	15.90	3.56	4.54	6.15
			115.0	86.2	55.0
3	実測雨量 モデル A	4.51	2.42	3.00	3.82
			78.1	57.1	34.4
4	実測雨量 モデル B	6.00	3.15	3.98	5.05
			102.0	75.6	45.4

(注) 上段=流出量のピーク。
下段=貯留高のピーク。

第 8 図 貯水池への流入量 $\bar{Q}$ および貯水池よりの流出量 Y



(注) 実線は流入量，破線は流出量。 $\bar{Q}$ は想定雨量をA型モデルで変換した場合。

ルで変換したものについて考えると、 $\alpha = 0.03$, $\alpha = 0.05$ はともに及第である。 $\alpha = 0.05$ と 0.1 の中間 $\alpha = 0.075$ 程度にすれば、流出のピークは約 $4 \text{ mm}/10^4$ となり、最大貯留高は 50 mm あまりになるであろう。

$\bar{Q}$ として No. 1, No. 2 のどちらを用いるかは、決断するより致し方ないが、安全を見込んで No. 2 を用いることにすると、 100 mm 程度の貯水池容量が必要で、この問題の発端となった地域では、これだけの貯水容量は持てないのである。そこで次の工夫をする。

大きな貯水容量が必要になるのは、洪水流量があまり大きくならないうちから、その流量の一部が貯水池にたまり始め、大きな洪水が来たときに、すでに貯水池の水位がかなり高くなっているからである。これを防ぐためには、流入量が小さいうちはどんどん放流すればよい。それを自動的に行なうためには、第9図に示すように、貯水池の一部を少し掘り下げ、その底に排水孔をつければよい。掘り下げた部分の容量は無視できるほど小さいとすれば、容量は無視でき、そしてその深さだけの水圧はかかるから、排水孔からの流出量は $Y = \alpha X + \beta$ の形で表わされることになる。

ここで、 $\alpha = 0.03, 0.05, 0.10$ のそれぞれの場合に対し、 $\beta = 0.5, 1.0, 1.5$ と置き、この型の貯水池によって、どんな流出が生ずるかを計算してみた。その結果をまとめたのが第4表である。比較のため、第3表にまとめた $\beta = 0$ の場合も、第4表にのせてある。

第4表を眺めると面白いことが判る。 α が同じならば、 β の値が変わっても、流出量のピーク値はあまり変わらないのである。一方、 β の値を変えると、貯留量のピーク値は変わるが、たとえば $\alpha = 0.03$ の場合についていえば、 β が $0, 0.5, 1.0, 1.5$ と 0.5 ずつ増すのに対し、貯留量のピーク値は約 15 mm ずつ減っている。 $\alpha = 0.05$ の場合はおよそ 10 mm ずつ、 $\alpha = 0.10$ の場合はおよそ 5 mm ずつ減っている。 $\beta = 0$ の場合にくらべ、およそ β/α だけ貯留量のピークが減るというのが、近似法則である。

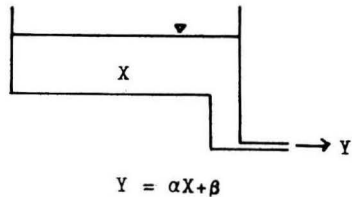
このことは、数学的に説明できる。

貯水池の貯留量 X に加わるのが流入量 $\bar{Q}$ 、出て行くのが $Y = \alpha X + \beta$ だから、次の式が成立する。

$$\frac{d}{dt} X = \bar{Q} - (\alpha X + \beta)$$

ただし X は負になれないから、上の式は $X > 0$ の条件のときにだけ成立する。たとえば洪水の初期、 $\bar{Q} < \beta$ のときは、貯水池に水はたまず、流入はそのまま出て行く。そのときは上の式は成立しない。

第9図



第4表

No.		$\alpha=0.03$				$\alpha=0.05$	
		$\beta=0$	$\beta=0.5$	$\beta=1.0$	$\beta=1.5$	$\beta=0$	$\beta=0.5$
1	想定雨量	2.68	2.70	2.74	2.86	3.38	3.38
	モデル A	86.7	70.6	55.2	42.4	64.2	54.3
2	想定雨量	3.56	3.57	3.60	3.68	4.54	4.54
	モデル B	115.0	98.9	83.0	69.0	86.2	76.2
3	実測雨量	2.42	2.42	2.51	2.70	3.00	3.01
	モデル A	78.1	61.7	47.7	37.1	57.1	47.1
4	実測雨量	3.15	3.15	3.24	3.36	3.98	3.98
	モデル B	102.0	85.3	71.3	58.7	75.6	65.7

No.		$\alpha=0.05$		$\alpha=0.10$			
		$\beta=1.0$	$\beta=1.5$	$\beta=0$	$\beta=0.5$	$\beta=1.0$	$\beta=1.5$
1	想定雨量	3.40	3.47	4.49	4.49	4.49	4.53
	モデル A	44.6	35.9	40.4	35.4	30.4	25.8
2	想定雨量	4.54	4.58	6.15	6.15	6.15	6.15
	モデル B	66.3	57.0	55.0	50.3	45.3	40.4
3	実測雨量	3.04	3.17	3.82	3.82	3.82	3.86
	モデル A	37.7	30.2	34.4	29.4	24.4	19.8
4	実測雨量	4.01	4.08	5.05	5.05	5.05	5.07
	モデル B	56.2	47.5	45.4	40.4	35.5	30.6

(注) 上段=流出量のピーク。
下段=貯留量のピーク。

上の式で $\tilde{X} = X + \beta/\alpha$ と置くと、

$$\frac{d}{dt} \tilde{X} = \tilde{Q} - \alpha \tilde{X}$$

となり、 $Y = \alpha X + \beta = \alpha(X + \beta/\alpha) = \alpha \tilde{X}$ であるから、上の式の両辺に α を掛けて

$$\frac{d}{dt} Y + \alpha Y = \alpha \tilde{Q}$$

が成り立つ。これは β を含んでいない。すなわち、貯水池への入力 $\tilde{Q}$ と、そこからの出力 Y との関係は、 β に関係なく、上の1次遅れ系の関係式で結ばれるのである。違

うのは、 $X > 0$ の条件があるため、上の 1 次遅れ系が適用され始める時刻が変わって来ることである。 $\beta = 0$ ならば、いつでも 1 次遅れ系が成立するが、 β の値が大きいときは、出発時刻が遅くなり、かつ $Y = \beta$ が出発値である。しかし、長い大きい洪水では、そういう初期条件の違いは、ピーク時刻、ピーク値にはあまり効いて来ない。したがって、流出量のピークの値は、 α によってほぼ定まり、 β にはあまり関係しないのである。

目下、時間の単位は 10 分であるから、 $\alpha = 0.03$ は半減期で約 3.5 時間（時定数で約 5 時間）に当たる。この 3.5 時間は、洪水継続時間に比べて十分短いとは言えないから、初期値の違いの影響は消えずに残り、 $\alpha = 0.03$ の場合は、流出量のピークの値は β によりいくらか変化する。 $\alpha = 0.10$ は半減期約 1 時間だから、初期値の違いの影響はほとんど消え、したがって $\alpha = 0.10$ のとき、流出量のピーク値は β の値にほとんど関係しないのである。

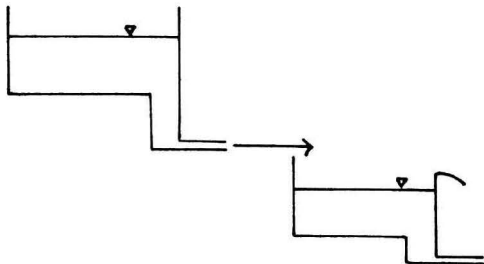
貯留量 X と流出量 Y との間には、 $Y = \alpha X + \beta$ の関係があるから、 $X = Y / \alpha - \beta / \alpha$ で、この Y に流出量のピーク値を入れれば、貯留量の最大値が出る。流出量のピーク値は β によってほとんど変わらないのだから、貯留量の最大値は β / α だけ小さくなるのである。これで数学はおしまいである。

以上のことが判ると、貯水池の設計はきわめて容易である。まず 1 次遅れ系の計算、 $Y = \alpha X$ の場合を、いくつかの α について計算してみる。計算機を使う場合は、流出量のピーク値だけを取り出して、印刷してもよい。この流出量のピーク値を眺めて、 α のおよその値を定める。貯水池下流側の流量については、当方の目標、または下流側の流下能力などで条件があるから、それに適合する α を定めるわけである。ぴったり適合する α があるとは限らないから、それは補間で推定すればよい。その α を用いて、または推定値の近くの 2、3 の α の値を用いて、念のためもう一度 1 次遅れの計算をくり返し、 α の値を確定する。実は、もともと与えられた条件はそう正確ではないし、あとで β の影響で流出のピーク値は少し動くから、 α 値はおよその見当で定めればよいのである。

次に貯水池の大きさと β との関係を考え併せて、 β の値をきめる。考え方は、条件の与えられ方によって変わる。たとえば貯水池の大きさの上限が与えられている場合がある。計算がすんでいるのは $\beta = 0$ の場合で、流出量の条件から α が定められているのだから、その場合の貯水池容量 $V(\beta = 0)$ は出ている。したがって $V(\beta) \div V(\beta = 0) - \beta / \alpha$ によって β をおよその値が定まる。すなわち与えられた、貯水池容量を $V(\beta)$ と置けば、上の式から β の値が定まる。この β 、またはその近傍の 2、3 の値を用いて計算を行なえば、 β の正確な値が定まる。

場合によっては β の方に注文がつくこともあろう。この程度の流量までは自由に流下させてもよいが、それ以上のものは少しカットしてほしいという要望が出ている場

第10図



第11図



合である。 β を定めれば、必要な貯水池容量が出る。もっと大きな貯水容量をとれる見込みがあれば、 α を変えて、下流側の条件をさらによくすることが可能だし、また必要な貯水容量がとれないときは、下流側と条件について折衝しなければならない。いろいろと問題はあろう

が、およその見通しがついているのだから、設計は難しくない。

問題の発端となった流域についていえば、 $\alpha = 0.03$, $\beta = 1.5$ にすれば、

No. 2 の洪水に対しても、70 mm の貯水池で目的は達せられるのである。 $\beta = 2.5$ にすれば、40 mm 程度の貯水池でも大丈夫であろう。しかし、あまり β を大きくすると、中小洪水をそのまま流下させることになる。毎年来る中小洪水をそのまま流下させ、100 年に 1 度来るか来ないかという大洪水だけに備えているのでは、少々世間態が悪いであろう。そのためには、大洪水用の貯水池の下に、もう一つ、中小洪水用の貯水池を置いて (第10図参照)、それぞれ調節するの一つの方法である。設計の仕方は、前の場合と同じであるが、上下の貯水容量をどのように配分するかなどに、また別種の判断が必要であろう。

または、二つの貯水池を作る代わりに、一つの貯水池に、2 個の排水孔をつけてもよい (第11図参照)。この場合は、 $Y = \alpha X + \beta$ の式が途中で切り換わるのであるが、数学的には同じことである。

貯水池の貯留量 X と、流出量 Y との関係は、実際には $Y = \alpha X + \beta$ のような 1 次式にはならないであろう。しかし、それをまず 1 次式で近似し、それで貯水池の機能の概要を察知し、大体の設計をしてから、真の関係式を使って、確認の計算、および細部の補正をすればよからう。

現代は計算機の時代で、ミニコン、マイクロコンなど、いくらでも手に入るのだから、小さな貯水地にもゲートをつけて、コンピューター・コントロールをする方がよいという方がおられるであろう。しかし、私はこの方針に反対である。人間にはどんな見落としがあるかわからない。コンピューターは利口なだけに、ちょっとした間違いから、とんでもないことが起こるのである。洪水が来るのは、嵐のときである。停電

するだろうし、建物のガラスは破れ、雨が吹き込み、水びたしになるかもしれない。仕かけは、馬鹿なほど安全で、長持ちするのである。コンピューター・コントロールだから信頼できて、安全だなどという説明を、私は信用しない。コンピューター・コントロールであるから、日常の目的については能率的で、非常の場合には、危険なことを起こしたくても、起こせないような構造を別に作ってあるというのなら、信用してもよかろう。困ったことに、多くの場合、高能率と安全とは両立しないようである。

(元国立防災科学技術センター所長，理博)