

1. はじめに

洪水は地震や強風などの他の自然災害に比較して発生頻度が非常に高いために、昔から洪水災害の防止軽減のために多大の努力が払われてきたことは周知のとおりである。この洪水防護策の内容を検討するに、施設的なものとしては、輪中堤方式から河道を固定する河道改修方式へと移り変わり、現在では貯水池による洪水調節をも加えて混合方式ともいうべきものへと変化してきた。

この間において、河川堤防が必ずしも万全ではないために、時として破壊は入らんすることがあった。そこで出水時に洪水と人間との直接的な戦いである水防が行なわれるわけであるが、その戦いにおいて洪水についての情報を的確に把握することがまず肝要であることは論をまねない。こうした意味において洪水予報の一つの意義が理解される。

しかしながら、河川の上流部に貯水池を造って洪水調節を行なう段階においては、下流部の洪水はもはや自然状態での雨水流出に起因しなくて、その間に人工が加わり、下流部の洪水がどうなるかということではなく、どうするかということとなる。ここに洪水調節の意義があると思う。

貯水池において洪水調節を行なうには、上流部からの流入洪水、下流流域および他の支川流域からの流出洪水に関する十分な情報をもたなければ、満足すべき洪水調節を行なうことができない。ここにおいて洪水予報ないしは洪水予知のもう一つの意義が生れる。

一方、河川堤防の治水機能はその地点を流下する洪水の最高水位あるいは最大流量との比較において示される。洪水調節池のそれは流入洪水の最大流量よりむしろ総流出量と調節容量との比較において示されるだろう。したがって、一義的には前者に対する洪水予報は最大流量ないしは最高水位、後者に対しては流入洪水の最大流量については多少精度が悪くとも総流出量をも含めて流入ハイドログラフの形状およびその発生時刻が予報対象となるわけである。

2. 洪水の予報効果

一般に、災害現象の予知効果は、 $(\text{予知時間}) \times (\text{予知精度})$ によって判断される。洪水予報においても同様であるが、とくに予知時間に関しては最低限度が存在する。水防を対象とする場合には、水防活動に入るに必要な準備をするための余裕が必要であり、洪水調節を対象とするときには、調節方法を決めゲート操作を行なうに必要な余裕時間がなければならない。この最低の余裕時間をきるような予報では予報の効果がほとんどなく、たとえ精度が悪くともこれ以上の余裕時間をもった予知法が採用されねばならない。

さらに、予知の方法には原因となるエネルギーの集中を予知するものと、集中されたエネルギーの伝播時間を利用するものがある。予知精度は、前者が悪く後者が良いことはいうまでもないが、後者では予知時間が少なく、どうしても前者によらなければならない場合がある。洪水予報についていえば、気象法は前者に属し、雨量法および水位法は後者である。

わが国の河川は流域面積が狭小なうえ勾配が急であって、大河川といわれるものでも、豪雨ピークと洪水ピークとの時差がただか十数時間で、大陸の大河川の数日ないしは十数日と比較してきわめて短い。さらに現存の多目的ダム地点の集水面積はほとんどが数百 km^2 以下であって、上述の時差は2〜3時間程度である。したがって、こうした特性を考慮してはじめて効果的な洪水予報を行なうことができると思う。

3. 洪水予報の一般的方法

洪水予報の方法は、気象法、雨量法、水位法の三つに大別することができる。気象法は、過去に経験した気象状況と比較し、さらに気象予報に基づいて、降雨の規模から洪水の規模を予知しようとする方法である。したがって、第一段階の洪水予報、または他の方法では予知時間が少ない場合に有効である。

雨量法は、降雨の状況を知ったのち、予め用意した相関図や流出計算法によって下流地点の洪水を予知するもので、原因となるエネルギー、すなわち降雨の情報がわかっているので精度がかなり良くなるが、予知時間がそれだけ少なく、第二段階の予知法として使用される。

水位法は、上流地点の出水状況すなわちハイドログラフを観測したのち、それが下流地点まで流下する過程を相関図や洪水追跡によって解析するもので、第三段階の洪水予報として用いられるが、かなり長い河道区間がなければ有効に利用することができない。

もっとも洪水予報組織が整備されているといわれる淀川水系においては、これらの三段階の予報方式が巧みに取り入れられており、予報精度は最終段階において水位にして20〜30cm以下といわれている。わが国では、このように三段階の予報方式が採用できる河川は十数河川であって、大部分の河川でははじめの二段階あるいは一段階によらざるをえないと考えられる。

4. 雨量法における計算の時間単位

単位図法の開発以来、降雨と流出との関係が大いに研究され、数個の洪水記録があればかなりの精度で解析できるようになった。それを逆用することによって降雨情報から下流部の洪水を予知することができる。

しかし、実際の予報業務に際しては、高速の電子計算機を使用するときは別として、多くの場合にはできるだけ簡単な手法によることが望ましい。このような場合には、当然のことながら厳密法を用いるわけにはいかないので、適当な近似的方法を用いることになる。近似的方法であるので、どんな河川に対しても常に高精度が期待できるといわけにはいかないが、つぎのことを考慮することによって精度を高めることが可能と思う。

すなわち、普通雨量や流量の観測値が1時間毎に整理されているので、流出計算をするときの時間単位として1時間をとる場合が多い。しかし、近似計算法は、流出現象の何らかの特性、通常は現象の伝播特性に着目して組み立てられている。したがって、計算の時間単位としてこうした特性を考えてきめなければならない。たとえば単位図法では単位時間のきめ方が重要であり、貯留法的方法で予知計算を行なっている淀川水系木津川では3時間を計算の時間単位としている。

5. 流域構成と洪水流出

流域を構成する要素には山腹斜面と河道とがある。単位図法や貯溜法は、これらの要素を無視して、入力である降雨と出力である流出量とを直接に結びつけるものである。しかし、流域に降る雨水の大部分は山腹斜面で受けられたのち斜面上を流下してもっとも近い河道に流れ込む。この過程は上流部、下流部の区別なく流域内のどの部分についても同様である。河道に入った雨水は次第に合流しながら下流方向に流下するわけであるが、下流の懸案地点に近いものほど時間的に早く流れてくるはずである。

すなわち、たとえば Horton の河道等級によって流域を分割したとすると（この小流域をわかれわれは単位流域と呼んでいる）、単位流域内の流出状況はそれが全流域の上流部にあろうと下流部にあろうと同じである。河道はこれらの単位流域からの流出を集めて運ぶという役割をすることになる。洪水の流出現象に関連して上述のように流域の構成を考えることによって、洪水予報、洪水調節に関してより合理的な接近が可能になると思う。

6. 流出成分の分離と洪水調節

洪水時の流出成分は主として表面流出と中間流出からなっており、それぞれの成分で流出特性が異なっている。すなわち、表面流出は短期間に流出しその伝播速度ははやいが、中間流出は比較的長い期間にわたって流出し伝播速度もおそいことは周知のとおりである。

ところで、小さい流域面積をもつ貯水池においてゲート操作を行なう場合に、雨量法によると予知時間が少なくて操作が困難である。このような場合には、比較的現象の伝播速度がおそく予知時間が大きくとれる中間流出を正しく予知し、さらに表面流出に関しては大略の値を予測することによってかなり有効なゲート操作を行なうことができるように思う。

われわれが解析したところによると、中間流出への有効降雨強度は約 10 mm/hr であったが、この強度を超えた降雨分が表面流出となるので、上述の流出過程を考慮して 10 mm/hr 以下の降雨分から中間流出分を計算し、これに表面流出を加えることによって洪水を予知することができる。このようにすれば、両成分が分離されているので、単一の洪水調節池では精度がよく予知時間が大きい中間流出分に相当する流量、あるいはそれに比例する流量を放流するようにし、また利水用貯水池では中間流出分を対象として貯水し表面流出分を放流するようにすれば、非常に有効な貯水池操作を行なうことができるはずである。

7. 貯水池群の洪水調節

わが国の大河川では、その上流部に数個の洪水調節池が築造されている。このような河川の流域面積は大きいので、その中の降雨が地域的にかなり変化するのが普通である。したがって、貯水池群の統合的操作が必要となり、建設省において毛利根川をはじめ大河川を対象として統合管理が行なわれようとしている。

このような場合の統合的貯水池操作は非常に難しく、現在建設省を中心としていろいろ研究されていると思うが、問題点を列挙してみると、

(1) ダム上流の流域面積が小さく、多くの場合ダム地点において雨量法による洪水予知が困難である。

(2) 降雨状況が地域的に変化し、しかもその変化の様相が降雨ごとに変わるので、一定の操作方法では下流部の洪水ピークを必ず低減させるという保証がない。

(3) 各貯水池の調節容量が比較的少ない。

(4) 洪水調節が存在している各支川においても、防災対象地域があるので、支川の洪水ピークをも低減させることが要求される。

などであろう。

これらの困難を克服する方法として、予め過去の資料に基づいて降雨パターンを定め、各降雨パターンごとに試算的に最適操作を求めておくことと、高速電子計算機を制御系統に on line で使用して、洪水ごとに操作方法を求めていくことが考えられる。前者は降雨パターンがかなりはっきり分類される場合には非常に簡単で有効な方法であるが、往々にして大水害は過去に生じなかった降雨パターンによって生ずるので、その点に欠ける。これに反して後者は降雨ごとに最適操作方法を求めていくから、降雨パターンの変動に対しては欠けるが、貯水池地点における洪水予知の困難なこと、および豪雨時には必ずしも降雨や流出量に関する情報が満足には集められないという欠点がある。

したがって（現在の諸情勢からすると、まず前者の方針に従って気象法による降雨パターンを予測して操作の基本方針を定め、ついで降雨、流出量などの観測値が入手できるようになってから後者の方法による操作法を修正していく、というやり方がもっとも好ましいだろう。また、後者の場合はシステムの制御という立場から最適操作を求めることができるものと思う。

8. おわりに

以上、洪水予報と洪水調節に関するいろいろの問題について述べたが、これらの問題を解決する一つの重要な課題は降雨の予知である。降雨状況がかなりの余裕時間をもって予知できるならば、洪水予報も洪水調節も非常に効果的に行なえることは明白である。降雨の予知問題についてはよく知らないが、少なくともレーダーを利用すれば雨域の移動が追跡でき、ある程度の精度で降雨強度もわかるといわれている。したがって洪水予報、洪水調節に際してレーダーは不可欠の利器といえよう。

最後に、最近時々洪水操作によって人工洪水が発生したというようなことがしばしば問題になっているようである。実際のゲート操作においてそのようなことは決してないと信ずるものであるが、誤解を防ぐという意味からも貯水池の入口とダム直下流の河道に自記水位計を設置することを強く要望するものである。