

降雨予測を利用した予備放流方式の実用化に関する検討

その1. 予備放流方式による洪水調節シミュレータの設計

竹内 邦良・林 直人

ON THE PRACTICABILITY OF ANTICIPATORY RELEASE OPERATION BASED ON PRECIPITATION FORECASTS

1. FLOOD CONTROL SIMULATOR FOR ANTICIPATORY RELEASE OPERATION

By *Kuniyoshi TAKEUCHI* and *Naoto HAYASHI*

Synopsis

Recent remarkable development of weather forecasting techniques enables us to better utilize the existing reservoir system to achieve higher reliability both in water supply and in flood control. The technical media for acquiring better performance of reservoirs is an anticipatory release operation, that is: (1) A portion of mandatory flood control storage is put to the use as water supply storage. (2) Anticipatory release is, by return, allowed for flood control sector to use water saved for water supply when a flood is expected to come. (3) The water supply sector payes premium and rent for the use of flood control storage, and in return, the flood control sector payes penalty when the initial water supply storage used for anticipatory release is not recovered after a flood.

Accuracy of precipitation forecasts plays a key role in determining effectiveness of this method. This paper presents a reservoir operation simulator developed for evaluating the value of forecasting accuracy in terms of reduction in loss of flood damages and gain in water supply benefits, and to determine the proper volume of storage to be put to use for anticipatory release operation.

1. はじめに

本論文は、降雨予測の精度向上という新しい技術的局面を迎えて、既設貯水池の有効利用を図り、現状よりも一段高い治水および利水の安全度を、同一貯水池群から確保しようとするものである。その技術的手段としては予備放流方式を導入する。予備放流方式とは、利水の為には、治水容量の一部を借用して利水に利用すること、治水の為には、予備放流を行って事前に十分な洪水調節容量を確保することである。本方式の実用性は一にかかって降雨予測の精度にある。

本論文は降雨予測の精度がどこまで向上すれば、どの規模の予備放流方式の導入が可能かを定量するために、洪水調節シミュレータを開発し、これを報告するものである。

2. 貯水池有効利用の必要性増大の背景

既設の貯水池その他水資源システムの効率的運用という要請は、水資源工学上古くて新しい課題である。しかしながら、最近の我国では、以下のような事情の相乗効果から、その要請が一段と高まって来ている。利水に関連した問題は、水需給の逼迫である。

1) 水需要が各利水部門で増加している。家庭用水、都市用水、工業用水の他、最近とくに生態学的環境保全ならびに審美上の水需要の増加が目立つ。

2) 年平均降水量がここ十数年減少傾向にある。

3) 水資源開発のための新しいダムサイト、湖、地下水等の開発可能地点が限られて来て、経済的にも環境保全の上でも適切な場所があまりない。

治水関連では、より安全度の高い洪水防御の必要性が増大している。

1) 洪水氾濫域内の人口密度が上昇し、資産も増大している。

2) 情報化社会への移行に伴ない、電子・通信網を中心に社会の水害耐性が脆弱になってきている。

3) 親水型の活動に参加する人々が増大している。その一方で水防意識は低下傾向にある。

一方降雨予測に関しては特に短時間予測の体制が整備されつつある。

1) 二週間から数ヶ月といった気象の長期予測は今のところまだ実用段階にない。

2) 降雨のオンライン観測値が高密度で得られるようになった。テレメータ付降水観測網が高密度で日本全国を覆っている。20基のレーダ雨量計が全国をカバーしている。また定点観測衛星も用いて供している。

このような状況から、貯水池をより効率よく運用することが必要であり、かつ可能にもなっていることがわかる。以下の予備放流方式の導入は、この降雨の短時間予測の精度向上を前提とした、その有効利用の具体的かつ現実的方法としての提案である。

3. 予備放流方式とその治水および利水上の意義

3.1 予備放流方式の定義

本稿でいう予備放流方式とは以下のようなものである。治水・利水共用の貯水池において、

1) 洪水調節のための夏期制限水位を現行より高くし、常時利水容量を増加させる。すなわち洪水調節容量の一部が、利水部門へ貸与される。

2) 洪水出水が予想される場合には予備放流を行ない、利水容量の一部ないしは全部を（貸与部分だけでなく従来利水のみにも用いられていた部分も）、一時的に洪水調節容量として用いる。

3) 洪水出水の終了時には、予備放流前の水位ないしは常時利水容量満杯の水位にまで回復を図る。

4) 容量使用の権利の貸借には貸借料、実使用には使用料、使用にもとづく失敗にはペナルティを課す。

Fig. 1 は従来の夏期制限水位方式における容量配分と予備放流方式での配分の関係、それに伴う貸借料、また利用に伴う使用料、ペナルティの関係を示したものである。

この方式の成否は予備放流が正しい判断でおこなわれるかどうかにかかっている。予備放流の正しい判断は、降雨予測とそれに基づく流出予測が、十分実行可能な時間的余裕をもって、高い精度で行なわれてはじめて可能である。予備放流をしないうちに洪水が来るとか、予測放流時に予想した以上の洪水が来れば、洪水調節容量を貸与して小さくしてしまっていることは、大きな被害につながる。一方予備放流をしたのに洪水が来ないとか、来ても予想より雨が少ない場合には、貯水池は予備放流前の水位にもどらなくなり、その後の利水に甚大な被害をもたらすことになる。

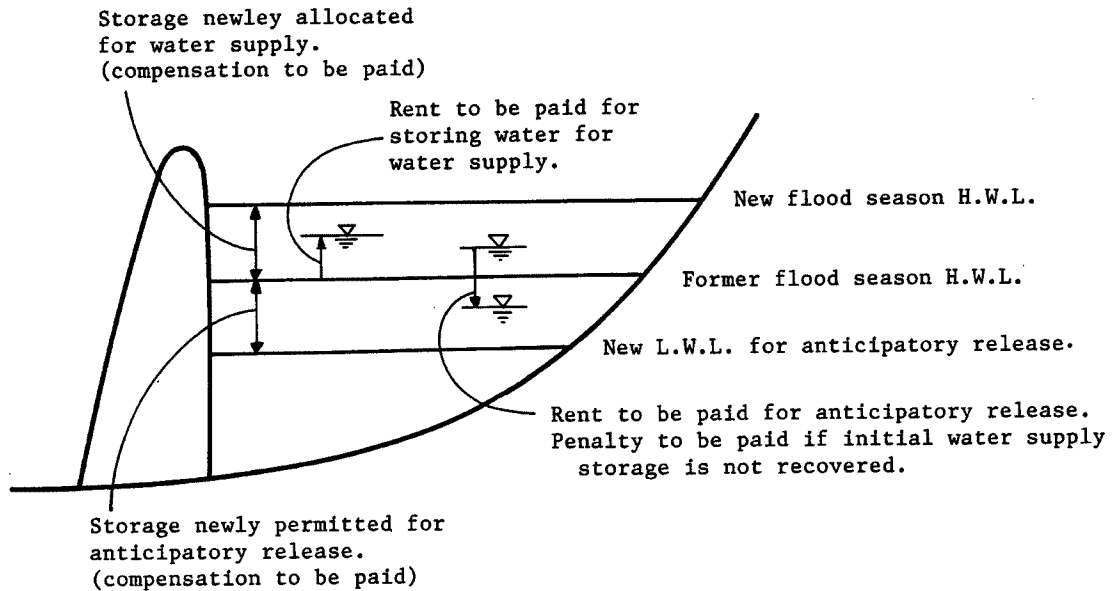


Fig. 1. Conceptual Scheme of Anticipatory Release Operation.

3.2 治水安全度の向上効果

本方式は洪水調節容量を利水目的に一部開放するのであるから、治水の立場からすれば積極的にこの方式に賛成する理由はあまりないように思われる。しかしながら、

1) 降雨予測の精度向上を前提としており、それによる治水安全度向上の効果が大きければ、洪水調節容量貸与に伴う容量減の不利は、相殺して余りある。

2) 予備放流は、利水への貸与容量以外の、もともと利水容量であった部分も用いて行うのであるから、その分は洪水調節容量の純増効果である。

3) 洪水調節容量の利水目的への貸与の見返りに貸与料が入る。これは河川改修の促進に使うことができる。

などから、本方式は治水安全度を上昇させる大きな可能性をもっているといえることができる。

3.3 利水安全度の向上効果

一方利水の立場からすれば、洪水調節容量の一部が利水目的に使えるようになるのであるから、その点で利水安全度が高くなるのは当然である。然しながら借用料や、従来の利水容量部分にまで予備放流を許容することにより、降雨予測の精度によっては、必ずしも利水安全度を向上させるばかりではない面もある。

洪水調節容量の借用は、現実には晩夏から秋口にかけて、農業用水の需要が減少した時期におこるものと思われる。この時期の貯水は翌年の渇水期に大きな意味をもっており、洪水期の終りまで強制的に夏期制限水位に抑えておくか、早めにそれ以上に水を貯めることを許すかで絶大な違いが生じる。早めに貯水を許す場合には、その後洪水が来た時にこれを回避できることが前提である。したがってこの時期には、台風に伴う降雨予測を正確に行なえるかどうか死命を制することになる。梅雨期の洪水も大きな流量をもたらすが、その時期には農業用水の取水により貯水量は減少しており、利水容量にも大きな空きが来ているのが通例であり、したがってこの時期の出水は利水容量の回復を意味する場合が多い。回復しすぎて洪水調節容量を借用することになる場合も考えられるが、梅雨期としては稀であろう。

3.4 予備放流方式の契約関係

以上のように、ここに提案する予備放流方式は治水にも利水にも利益があり、双方の安全度を高める可能性をもっている。具体的な利益の程度は、降雨予測の精度と以下の契約関係によって決まる。

1) 利水部門は治水部門に洪水調節容量の借用料を支払う。

2) 利水が借用中の容量内の貯水を予備放流するときには、治水部門は一時的な利水容量使用料を支払う。

3) 予備放流の結果、貯水量が洪水前の水位に回復しない場合は、治水部門から利水部門へ弁済金を支払う。

次章では、これ等の契約条件と洪水被害額との関係を検討する。なお、利水部門にとっての洪水調節容量借用料は、治水部門にとっては貸与料である。本稿は洪水調節が主題であるから貸与料によって議論を進めていきたい。

4. 洪水被害、洪水調節容量貸与料、利水容量使用料および利水リスクペナルティの関係

4.1 洪水の被害関数

洪水被害には河川敷内工作物の被害と溢水・破堤に伴う被害がある。具体的な洪水被害関数は河川により異なる。ここでは、貯水池による洪水調節が行なわれる平均的な河川の場合を考える。

1) 増水時と減水時被害関数

洪水被害関数は洪水の増水と減水時では区別されねばならない。増水時の被害は、これまで水のなかったところがはじめて水没し、流水または湛水により侵されるのであるから、どこまで水が来たか、すなわちピーク流量（最高水位）により被害額が決まる。水位上昇に伴う被害の増加も、主として新規水没部分の面積の増加により生じる。

一方減水時の被害は、すでに被害が発生してしまった水位から、低下していく間の被害であるから、上昇時よりは数オーダー低い被害が、水位の継続により時間的に加算される形で増加する。

2) 増水時の被害 (Fig. 2 a)

河川低水敷を水が流れる場合には、普通、洪水被害はないと考えられるが、低水敷内での親水 recreation 活動がある場合には、増減により利害が生じることもある。

高水敷に水が乗ると多くの場合ただちに大きな被害がおこる。ここでは作物栽培が行なわれ、スポーツ、レクリエーション、公園、環境等の施設があり、その浸水、流出土砂等による被害は極めて大きなものである。高水敷内での水位上昇は、これ等人工物の水没後はあまり急に大きな被害が追加されることはないと考えられる。しかしながら警戒水位に近づくやまた大きくなる。これは水防活動のための準備・待機・出動などの出費が大きくなることと、河川構造物の被害が追加されることによる。

破堤ということになれば、被害は一挙に数オーダー高いものとなる。

4.2 洪水調節容量貸与料

上のような洪水被害を最小限に抑えるために洪水調節容量を確保しているのであるから、その一部を利水のために用いるというのには相当の保証ないしは代償が必要である。

固定費：第一には、治水がその施設の建設・維持に支払った経費の一部を、便宜供与に伴って利水側に負担してもらう必要がある。これはいわば固定費の部分的振替え請求で、権利金に相当する。実際にその容量部分をどのような頻度で用いるかとは無関係に定められるという意味では、基本料金ともいえる。

洪水調節容量使用料 (Fig. 2 b)：第二には、予備放流が間に合わなかった場合の洪水リスクに対して、保険料をプールしておく必要がある。洪水リスクは実際の貯水に伴って発生するものであるから、これ

は洪水調節容量内への利水用貯水に応じて、洪水調節容量使用量として支払われるべきものである。使用料の高低は降雨予測の精度により決まってくる。降雨予測が十分な時間的余裕をもって正確になされる場合には、予備放流の対応は十分保証されており、洪水調節容量の一時貸与に対して、万が一の失敗を見込んだ高額な保険料を要求する必要はない。しかしながらそれが不正確であれば、それに応じた保険料を請求せねばならない。

4.3 利水容量使用料・利水リスクペナルティ

以上は治水部門が利水部門に対して、本方式の運用に際し請求する料金であるが、本方式では利水部門も治水部門へ料金を請求することになる。

固定費：第一は、従来利水容量は空いている場合をのぞき治水部門が利用することはなかったものを、新たに予備放流による利用を許可するのであるから、治水部門が洪水調節容量貸与に伴って固定費を請求したのと同じ理由で、利水部門も多少の権利金ないしは基本料金を請求することになる。但しこれは洪水調節容量使用の権利金と部分的に相殺し合うだけである。

利水容量使用料：第二には、一旦利水部門が代償を支払って借用した容量を使って、せっかく貯めた貯水を予備放流により放流するからには、それなりの利水料金を支払わねばならない。これは万が一水位が回復しなかった場合の代償ではなく、他の目的に利用すれば利用出来たのを、予備放流の為に使うことにする料金である。

利水リスクペナルティ（Fig. 2c）：第三には、予備放流により利水用の貯水を一時放流した後、逡巡部も含めた洪水流出終了時点で、貯水位が元の状態にまで回復しなかった場合には、相当額の弁済金を支払わねばならない。これは上の利水容量使用量に含めて考えることも出来るが、それは適切ではない。使用料では一旦払ってしまえば、後で回復してもしなくても同じということになってしまうからである。使用料に、降雨予測の精度を反映させて、高精度では安く、低精度では高くということにし、空き容量と、その時々予測降雨により異なる形にすればこの不都合も回避することは出来るが、本来予備放流は回復することを前提に許可するのであるから、回復するとした場合の使用料と回復しなかった場合のペナルティの形で課金すべきである。

4.4 各費用の関係（Fig. 2d）

各費用間の関係で特に重要なものは、予備放流のための利水容量使用料である。この料金は、どの段階で予備放流に踏み切るかを決める鍵になる。

予備放流は利水用貯水の使用に相当する行為であるから、貯水量 S の多いときは安く、少ないときは高くなる。したがって利水容量 S_0 内の空き容量 $S_0 - S$ に関する増加関数と考えられる。

一方予備放流は洪水の被害を軽減するための行為であるから、低水敷が一杯になるだけで流出してしまうような小洪水のために予備放流をするのはおかしい。放っておけば高水敷に乗ると予想される洪水に対して、予備放流を考えるべきである。このことから、利水容量使用料はかりに利水容量が満杯の場合でも、低水敷放流に伴い予想される洪水被害よりは（それがあつとすればであるが）高くなくてはならない。なお、放っておけばというのは、洪水調節容量を満杯になるまで使うだけではということである。満杯になるまで使う予定を立てること自体、万が一の場合を考えると危険のようであるが、洪水調節容量にまだ空きがあるのに、利水容量を使用してさらに余裕をもたせるのは考えにくい状況である。

4.5 便宜的仮想費用

以上取りあげた費用はすべて経済的に意味のある費用であるが、経済的にはあまり意味はないが、放流順序などを制御するための、いわば仮想費用というべきものも重要な役割を果たす。それ等は以下のものである。

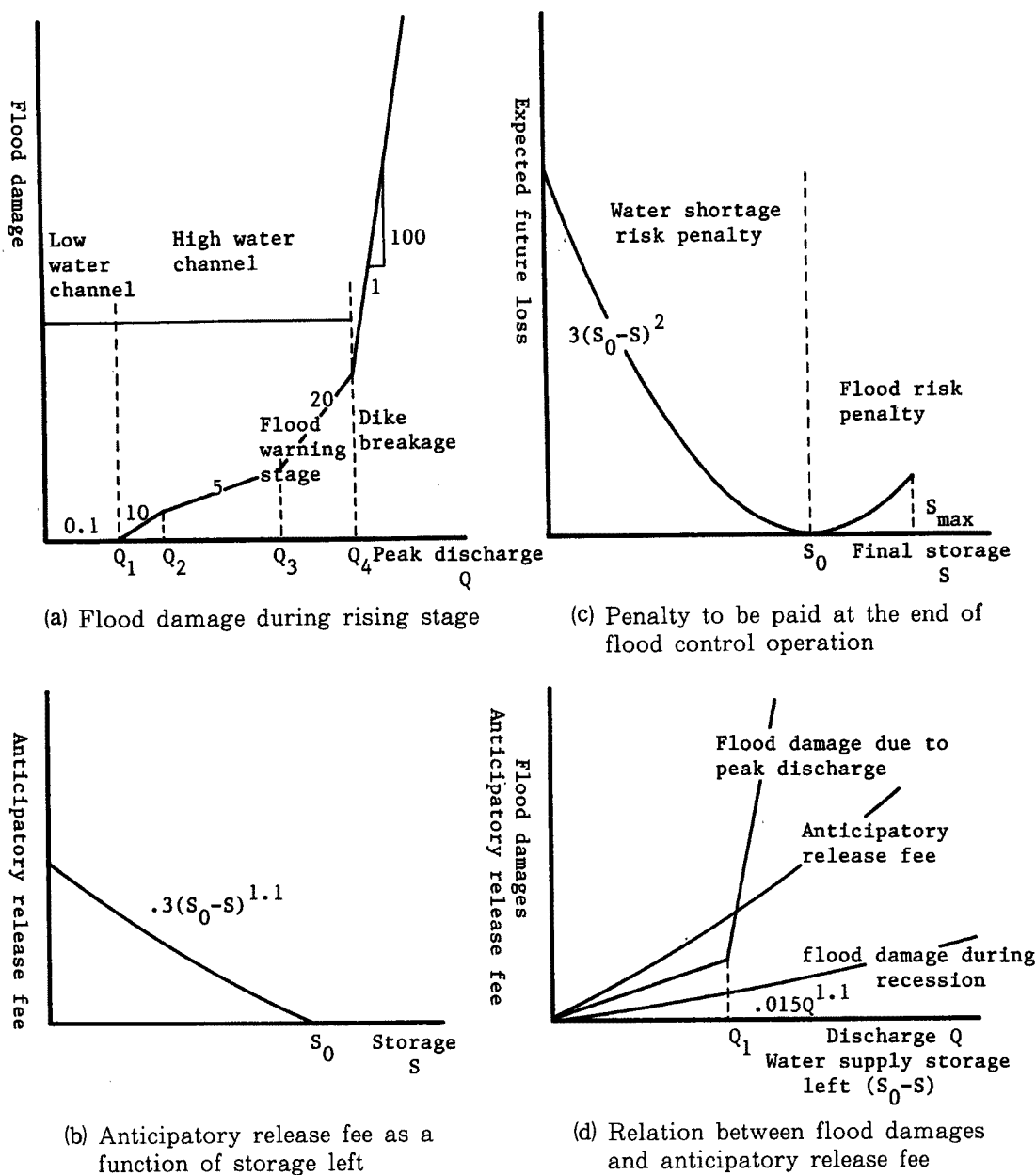


Fig. 2. An Example Set of Loss Functions.

洪水終了後貯水位を夏期制限水位にまで下げる場合、徐々に下げられるべきである。また貯水池が多数ある場合にはなるべく各貯水池バランスよく下げられるべきである。このためには、

1) 治水部門による洪水調節容量の使用にも、その量に応じて単価の高くなる累進型使用料を仮想しなくてはならない。また

2) 低水路の使用にも、たとえ洪水被害がない場合でも、やはり累進使用料が仮想されなくてはならない。これは洪水終了後、低水路を用いて制限水位にまで排水を行なう場合に、それを徐々に行わせる効果をもつ。

以上本章で述べた性質・関係を具備した費用関係の例を Fig. 2 に示す。

5. シミュレータの概要

本シミュレータは貯水池をもつ河川の管理事務所において、洪水調節のための意志決定支援システムとして用いられることを念頭に設計されている。しかしながら同時に洪水調節の訓練用、研究用にもなり、また単なるゲームとしても楽しめるよう工夫されている。プログラムは4つのモジュールより構成されている。

5.1 地域特性モジュール

並列2ダムとその残流域を合わせた地点に洪水基準点のある流域であれば、いかなる流域でも利用できるように設計されている。すなわち

1) 物理特性

各ダムの集水面積、残流域面積、貯水池容量、貯水池の最大放流量、水路断面形状・粗度・勾配、各流域の降雨一流出計算用タンクのパラメータが、自由に設定出来る。

2) 経済特性

洪水被害関数、洪水調節容量使用料、利水容量使用料、利水リスクペナルティが地域の経済特性に応じ自由に設定出来る。

5.2 降雨・流量の観測・予測モジュール（水文モジュール）

1) Nowcast および Forecast

降雨および流量の現況はオンラインで本シミュレータに入力される。と同時に気象庁発表等の降雨予測も参考資料として入力される。“今夜半から明朝にかけて100～150mmの降雨があるでしょう”というような表現もそれに近い形で表示される。

2) 降雨予測の競争入力

これがゲーム性を与える主装置である。上の降雨現況および公式の予報を参照しながら、複数のプレーヤー（1～4人）が、独自の情報と判断にもとづいて降雨予測を入力する。

3) 流出予測

上の降雨現況および予測にもとづいて、タンクモデルにより降雨流出計算が行われ、各流域別のハイエトグラフおよびハイドログラフがただちに表示される。

5.3 最適操作モジュール

上の流出現況および予測にもとづいて、貯水池の最適操作をDPにより算定し、各時点での放流量を決定する。それにもとづく貯水位変動、基準点ハイドログラフが表示される。なお参考のため、現行のルール・カーブ方式に従った場合の貯水池・基準点流量も併せて表示される。現時点の放流は実行に移され、次の時点での初期条件となる。予測が狂った場合、次の時点でそれ以降の予測を変更することは自由であるが、現時点までの放流は当然変更出来ない。これにより予測の良否による差が出てくる。

5.4 予測精度評価モジュール

各プレーヤーの予測にもとづいて実行された操作結果が、それより生じた洪水被害等の費用の合計で評価される。予測が的中した場合に想定される将来の追加損失も、洪水被害、利水被害、利水リスクペナルティ別に表示される。最終段階では確定した被害額も洪水、利水別に表わされ、この表がプレーヤーの成績となる。精度の良い予測をした者ほど、マイナス点が少ない。

6. 今後の課題

本シミュレータを用いて、予備放流方式が実用的になるために必要な降雨予測の精度の検討をしたい。このためには以下の項目に焦点を当ててシミュレーションをする。

- 1) 現行の洪水調節容量を、どの程度利水容量に貸与するのが良いか。
- 2) 現行の利水容量のどの範囲まで予備放流の対象として良いか。
- 3) 気象庁予報を矩形のハイトグラフで近似するとして、実現値がそのまわりにどの位の標準偏差でばらつくときに予備放流方式は実用的となるか。
- 4) 実用性は、現行ルールによる被害と本方式による被害の関係で表わされるが、利水容量貸与料、利水リスクペナルティもその結果を左右する。実用的となる場合の降雨予測の精度と貸与料、ペナルティの関係はどうか。

参 考 資 料

竹内・林, PC プログラム: 降雨予測を用いた予備放流方式による洪水調節シミュレータ, 1989.