

レーダ雨量情報を用いて洪水調節を確率的に行うための 基礎的検討

A STUDY ON PROBABILITY RUN-OFF FORECASTING METHOD FOR FLOOD CONTROL USING RADAR RAIN GAUGE

上林好之*

By Yoshiyuki KANBAYASHI

Only the average precipitation in a few hours preceding to the forecast usually has been used as input data for flood forecasting models. However, this method does not correctly evaluate the difference between expected value and actual observed value of discharge.

This paper proposes a method which evaluates the discharge and the water level in probability, by studying the forecast rainfalls probability distribution by means of Radar Rain Gauge (including Digitized Weather Radar) precipitation forecast methods, and by inputting the result into the run-off models as a group of forecast rainfalls.

The examination on the application led to the conviction that this new method can bring about practical and useful information.

Keywords: short-term rainfall forecasting, precipitation forecast probability distribution, probability run-off forecasting method, use of probability runoff forecast, Radar Rain Gauge

1. まえがき

レーダ雨量計はデジタル化された気象レーダを含めると全国で約30基が運用されている。わが国における河川は一般的に洪水の到達時間が短いことから、ダム貯水池による効率的な洪水調節や河川構造物のゲート操作に降雨予測に基づく洪水流出予測の重要性が認められ、著者ら¹⁾はレーダ雨量計による雨量情報が地上の雨量計による雨量に近い定量値として得られるようレーダ定数 B 、 β の同定法を提案した。また、建設省土木研究所²⁾や高樟ら³⁾によって、レーダ雨量計による降雨予測に関する研究がなされているが、予測時間が長くなるにつれて予測精度が低下すること、あるいは、予測降雨の期待値を入力した場合、降雨の予測方法によっては洪水流出量が大きく変動する⁴⁾ことから、洪水流出モデルの入力情報として利用されるまでには至っていない。

本文は高樟ら⁵⁾が地上雨量計のデータから降雨予測値の分散が予測時間と雨量強度の二乗に比例するという仮定のもとに洪水流出の確率予測の研究を行っていることに着目して、レーダ雨量計による降雨予測結果をもとにこの仮定を検討し、その妥当性を検証した。そこで、ダ

ム貯水池による洪水調節に、レーダ雨量計による予測降雨に誤差確率の考えをとり入れた洪水流出予測結果を利用する検討を行ったところ、実用的に有用な情報となり得ると考えられることから、検討成果を報告することとした。

2. レーダ雨量計による短時間降雨予測手法と精度

レーダ雨量計を用いた降雨予測手法は、すでに①高層風による手法⁶⁾、②相互相関関数法^{7), 8)}、③関係係数法^{2), 9)}、④合成予測法¹⁰⁾、⑤ベクトル内挿法¹¹⁾、⑥変形テンソル法^{12), 13)}、⑦重心移動法^{14), 15)}、⑧移流モデルによる方法³⁾等が提案されている。これらの予測精度を判断する共通の指標として相関係数についてまとめたものが表-1である。それぞれ対象降雨および評価単位面積が異なるので、この表から予測手法の優劣はつけられないが、いずれの手法においても予測時間が2時間先、3時間先と長くなるにつれて一般的に精度が低下していることが理解される。

3. レーダ雨量計による短時間降雨予測確率分布の検討

吉野ら¹⁶⁾は、多くの予測結果を処理して予測値の信頼

* 正会員 (財)河川情報センター理事
(〒102 千代田区麹町1-3)

表一 降雨予測方法の比較

| 手 法 | 関 連 係 数 法 | | | 合 成 予 測 法 | 移 流 行 程 法 | | |
|-------------------------|-----------------------------------|----------------------------|--|-------------------------------------|------------------------------|------|------|
| 実施機関 (年度) | 土木研究所 (62) | 筑後川9統管 (60) | 筑後川9統管 (61) | 淀川ダム統管 (60) | 京大工学部 (59) | | |
| 対象降雨数 (L, F, TY, TH) | 8 (1, 3, 4, 0) | 8 (1, 5, 2, 0) | 6 (1, 5, 0, 0) | 21 (2, 6, 6, 7) | 1 (雷 雨) | | |
| 移動ベクトル算出時間 | 15分 | 15分 | 15分 | 雷雨15分, その他90分 | 過去5分 | | |
| 地形性効果 | 無 | 立平モデル | 立平モデル | 地形によって異なる | 無 | | |
| 発達減衰項 | 無 | 前1時間の変化量を加える | 前1時間変化量を5分の1を加える | 回帰式で推定 | x, y座標の一次式 | | |
| キャリブレーション | 無 | 無・有 | 無 | 無 | — | | |
| 精度評価対象領域 (面積) | 15×15kmメッシュ 225km ² | 1流域 約800km ² | 5流域及び各代表地点 40~800km ² , 9km ² | 近畿地建管内各流域 80~3850km ² | 木津川流域 1600km ² | | |
| 相関係数 (平均的な値) | 1時間 | 0.76 | 0.91 | 0.88 | 0.81 | 0.75 | 0.96 |
| | 2時間 | 0.48 | 0.48 | 0.58 | 0.47 | 0.43 | 0.82 |
| | 3時間 | 0.37 | 0.37 | 0.33 | 0.26 | 0.30 | 0.75 |
| その他の誤差指標 | 適中率, C.S.I etc | 平均誤差 | 平均誤差 | 変動係数 | なし | | |

注1. L:低気圧, F:前線, TY:台風, TH:雷雨

注2. 複数の計算条件で精度を検討している場合は最も精度の良いものを採用した。

限界を明らかにしている。一方、高棹ら⁵⁾は、地上雨量計のデータから、予測値の分散が予測時間 l と実測値の二乗に比例するとし、分散と予測時間、雨量強度の関係を次のように提案している。

$$E[\hat{R}_{k+l}] = R_{k+l} \dots\dots\dots (1)$$

$$V[\hat{R}_{k+l}] = S_{k+l}^2 = a_p^2 \cdot l \cdot R_{k+l}^2 \dots\dots\dots (2)$$

ここに、 $E[\hat{R}_{k+l}]$: \hat{R}_{k+l} の期待値

$V[\hat{R}_{k+l}]$: \hat{R}_{k+l} の分散

R_{k+l} : 時刻 k から l 時間先の降雨の実測値

\hat{R}_{k+l} : $k+l=1, 2, \dots$ シミュレートされる降雨の予測値

S_{k+l} : 時刻 $k+l$ における降雨の予測値の標準偏差

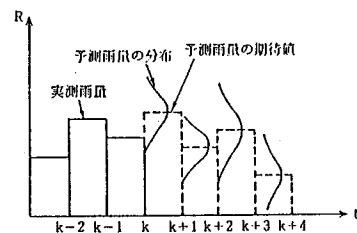
$a_p (\geq 0)$: シミュレートされた降雨の予測値の予測精度を制御するパラメーター

上式の概念を図で示したものが、図一である。これは予測時間が長くなるほど、また降雨強度が大きくなるほど精度が悪くなるという仮定に基づいている。

そこで、八重岳レーダ雨量計を用いて、昭和60年から62年の3か年の主要12降雨を対象に、移流モデルによる方法および関連係数法の2手法を用いた降雨予測結果とレーダ雨量計で観測した降雨の実測値を9km×9kmの方形領域に整理し、予測値の階級別に統計処理したところ表一に示す結果が得られた。

表一では、予測値の階級別の実測値の平均値 \bar{R}_{k+l} と \bar{R}_{k+l} に対する予測値の分散 $V[\hat{R}_{k+l} - \bar{R}_{k+l}]$ および予測時間 l と分散 V の関係 $\sqrt{V/l}$ を整理している。

表一によると予測値の期待値と実測値は必ずしも一



図一 予測雨量の期待値と分散³⁾

致せず、予測値に比べ実測値の方が小さくなる傾向を示し、厳密には式(1)が成立していない。しかし、今回のサンプルは、地域および降雨成因が限定されたものであり、今後、広範な地域で同様な検討を行う必要のあることが課題として残されていることから、ここでは、式(1)が成立するものとして以下検討を進めていく。

図二は表一に示した \bar{R}_{k+l} と $\sqrt{V/l}$ の関係を図示したものであり、データ数の少ない強降雨強度域を除くと \bar{R}_{k+l} と $\sqrt{V/l}$ の関係は一次式で近似されることを示している。すなわち、式(1)が成立するとの前提にたてば、式(2)の仮定はほぼ成立するものと考えられ、図二の回帰直線の傾きは式(2)に示す a_p を与えることになり、移流モデルによる方法、関連係数法の a_p はおのおの0.465, 0.480と同定される。

したがって、予測降雨として、式(1)、式(2)を満足する正規分布に従う予測降雨(降雨予測の結果得られた降雨の予測値)群を発生させ、これを洪水流出モデルに入力することで、流量・水位を確率的に把握することが可能になる。ただし、実際に降雨予測を行う場合には、将来の降雨の真値が不明であることから、ここでは

表-2 八重岳レーダによる降雨予測結果

| 移流モデルによる方法 | | | | | | 関係係数法による方法 | | | | | |
|---------------|----------------------------------|-----------|----------------------------------|---|-----------------|---------------|----------------------------------|-----------|----------------------------------|---|-----------------|
| 予測 時間 ℓ | 予測値 の階級 $\hat{R}_{k+\ell}$ | サンプル 数 | 実測値 の平均 $\bar{R}_{k+\ell}$ | 偏差 $\sqrt{V(\hat{R}_{k+\ell} - \bar{R}_{k+\ell})}$ | $\sqrt{V/\ell}$ | 予測 時間 ℓ | 予測値 の階級 $\hat{R}_{k+\ell}$ | サンプル 数 | 実測値 の平均 $\bar{R}_{k+\ell}$ | 偏差 $\sqrt{V(\hat{R}_{k+\ell} - \bar{R}_{k+\ell})}$ | $\sqrt{V/\ell}$ |
| 30分 先 | 4~6mm | 7.136 | 5.0mm | 2.11mm | 2.98 | 30分 先 | 4~6mm | 7.303 | 4.9mm | 2.13mm | 3.01 |
| | 6~10 | 6.747 | 7.1 | 2.73 | 3.86 | | 6~10 | 6.897 | 7.1 | 2.83 | 4.00 |
| | 10~15 | 2.408 | 10.4 | 3.74 | 5.29 | | 10~15 | 2.352 | 10.5 | 3.86 | 5.46 |
| | 15~20 | 596 | 14.1 | 4.92 | 6.96 | | 15~20 | 535 | 14.7 | 5.39 | 7.62 |
| | 20~30 | 261 | 19.9 | 5.98 | 8.46 | | 20~30 | 222 | 19.4 | 7.02 | 9.93 |
| | 30~ | 41 | 29.2 | 9.53 | 13.48 | | 30~ | 39 | 28.5 | 9.90 | 14.00 |
| 1 時 間 | 6~8mm | 5.089 | 7.4 | 4.25 | 4.25 | 1 時 間 | 6~8mm | 5.128 | 7.3 | 4.50 | 4.50 |
| | 8~10 | 4.071 | 9.1 | 4.74 | 4.74 | | 8~10 | 4.073 | 8.9 | 4.72 | 4.72 |
| | 10~15 | 6.833 | 11.4 | 5.38 | 5.38 | | 10~15 | 6.689 | 11.5 | 5.35 | 5.35 |
| | 15~20 | 3.228 | 14.9 | 6.17 | 6.17 | | 15~20 | 3.117 | 15.0 | 6.61 | 6.61 |
| | 20~30 | 2.086 | 19.2 | 8.17 | 8.17 | | 20~30 | 1.918 | 19.2 | 8.75 | 8.75 |
| | 30~50 | 586 | 26.5 | 10.52 | 10.52 | | 30~50 | 451 | 26.0 | 11.97 | 11.97 |
| | 50~ | 46 | 39.0 | 14.68 | 14.68 | | 50~ | 42 | 37.6 | 11.94 | 11.94 |
| 2 時 間 | 6~8mm | 4.123 | 7.3 | 6.54 | 4.62 | 2 時 間 | 6~8mm | 3.934 | 7.0 | 6.44 | 4.55 |
| | 8~10 | 3.302 | 7.9 | 6.66 | 4.71 | | 8~10 | 3.184 | 7.8 | 6.64 | 4.70 |
| | 10~15 | 5.580 | 9.1 | 6.83 | 4.83 | | 10~15 | 5.090 | 8.9 | 6.95 | 4.91 |
| | 15~20 | 2.722 | 10.6 | 7.78 | 5.50 | | 15~20 | 2.508 | 10.3 | 7.63 | 5.40 |
| | 20~30 | 1.899 | 11.6 | 8.01 | 5.66 | | 20~30 | 1.580 | 11.3 | 8.31 | 5.88 |
| | 30~50 | 512 | 13.0 | 10.02 | 7.09 | | 30~50 | 402 | 11.6 | 8.96 | 6.34 |
| | 50~ | 45 | 13.7 | 10.01 | 7.08 | | 50~ | 44 | 16.0 | 10.63 | 7.52 |
| 3 時 間 | 6~8mm | 3.343 | 6.1 | 6.64 | 3.83 | 3 時 間 | 6~8mm | 2.636 | 6.1 | 6.15 | 3.55 |
| | 8~10 | 2.711 | 6.7 | 6.81 | 3.93 | | 8~10 | 2.130 | 6.3 | 5.94 | 3.43 |
| | 10~15 | 4.434 | 7.1 | 6.64 | 3.83 | | 10~15 | 3.614 | 7.0 | 6.38 | 3.68 |
| | 15~20 | 2.295 | 7.5 | 6.69 | 3.86 | | 15~20 | 1.815 | 7.1 | 7.55 | 4.36 |
| | 20~30 | 1.641 | 8.0 | 6.73 | 3.89 | | 20~30 | 1.147 | 7.0 | 8.02 | 4.63 |
| | 30~50 | 433 | 8.2 | 7.39 | 4.27 | | 30~50 | 248 | 8.6 | 8.28 | 4.78 |
| | 50~ | 57 | 6.4 | 7.42 | 4.28 | | 50~ | 32 | 8.5 | 6.18 | 3.57 |

注) 降雨予測手法によりサンプル数および実測値の平均が異なるのは予測手法により予測可能領域が異なるためである。

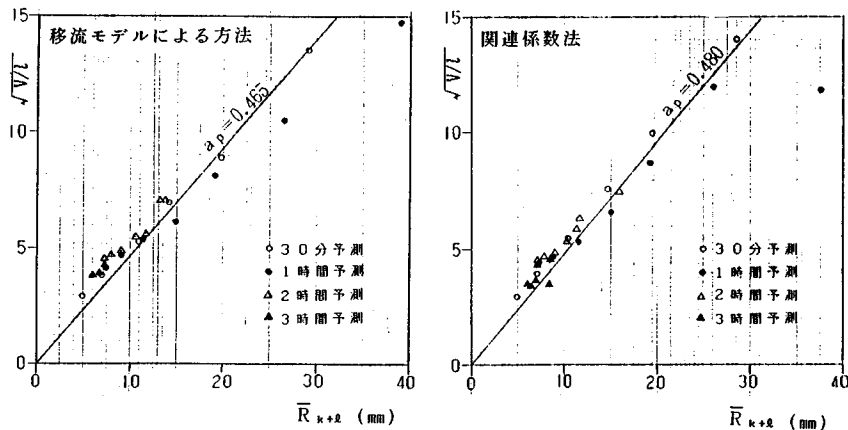


図-2 $\bar{R}_{k+\ell}$ と \sqrt{V} の関係

移流モデルによる方法もしくは関係係数法により算出された予測降雨 $\hat{R}_{k+\ell}$ が $E[\hat{R}_{k+\ell}]$ を表わしているものとし、次節以下でこの応用について言及する。

4. 降雨予測の誤差確率を考慮した洪水流出予測方法

降雨予測の誤差確率を考慮した洪水流出予測をダム貯

水池のある流域に適用する手順について述べる。

(1) レーダ雨量計による降雨予測の実施

時々刻々(たとえば15分ごと)得られるレーダ雨量情報を用いて、移流モデルによる方法、関係係数法等により降雨予測を行う。

(2) 予測降雨の分散の算定

レーダ雨量計による降雨観測結果を用いて、(1)の

方法により降雨予測を行い、レーダ雨量計ごとに式(2)の a_p を同定しておく。

(3) 洪水流出モデルの定数の同定

レーダ雨量計による雨量情報によりそれぞれの河川において適用性の確認されている洪水流出モデルの定数を同定する。

(4) 予測降雨群の発生

降雨と洪水流出量の関係は非線形なので、予測降雨の確率分布がわかっても、それを単純に洪水流出量の確率分布とすることはできない。そこで予測時間 l に対する予測誤差がおのおのの独立であると仮定して、ここでは前述のように降雨予測により算定した予測降雨を $E[\hat{R}_{k+l}]$ とし、かつ、分散が式(2)に従うような正規乱数を発生させ、これを予測降雨群として洪水流出モデルに入力する。

(5) ダム貯水池の予測流入量・水位の算定

(4)で作成した予測降雨群を入力して、(3)の洪水流出モデルにより洪水流出量を求める。この洪水流出量をダム貯水池流入量とし、ある定められた洪水調節方式に基づきダム貯水位を計算する。

(6) 予測流入量・水位の確率分布の計算

(5)で求められたある時刻 k から l 時間先の予測流量・ダム貯水位群おのおのの期待値 $E[Q_{k+l}]$ 、 $E[H_{k+l}]$ と分散 $V[Q_{k+l}]$ 、 $V[H_{k+l}]$ を計算し、予測流入量・ダム貯水位の標準偏差 σ を求め、予測の信頼幅を計算する。

(7) ある危険状態を示すダム貯水位を超える確率の計算

(6)で求めた期待値 $E[H_{k+l}]$ と標準偏差 σ から l 時間先の予測水位 H_{k+l} が危険状態を示すダム貯水位 H_0 を超える超過確率 $P\{H_{k+l} \geq H_0\}$ は正規分布を仮定すれば次式で算定される。

$$P\{H_{k+l} \geq H_0\} = \int_{H_0}^{\infty} \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}} dx \dots\dots\dots (3)$$

ここに、 $x = H_{k+l}$

$$\mu = E[H_{k+l}]$$

ここで、 $\frac{x-\mu}{\sigma} = Z$ 、 $\frac{H_0-\mu}{\sigma} = Z_1$ とおけば、

$$P\{H_{k+l} \geq H_0\} = \int_{Z_1}^{\infty} \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-z^2/2} dz = \int_{Z_1}^{\infty} \Psi(z) dz \dots\dots\dots (4)$$

となる。

この $\Psi(Z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-z^2/2}$ は標準正規分布 $N(0, 1)$ であり、式(4)は $\mu = E[H_{k+l}]$ を $Z_1 = \frac{H_0 - \mu}{\sigma}$ として正規化することで正規分布表から求めることができる。

5. 比較的流域面積の小さい洪水調節ダムへの適用例

前節で述べた降雨予測の誤差確率を考慮した洪水流出

予測手法を比較的流域面積の小さい河川の洪水調節ダムを想定し、その有用性を検討する。

(1) 想定ダム流域と対象降雨

想定ダム流域は、レーダ雨量計の降雨観測記録が存在し、かつ、洪水調節容量が比較的小さく、但し書き操作(洪水調節容量を超えるダム流入量があると予想される場合の操作で、ダム流入量=ダム放流量としてダム貯水位がダム設計水位を超えることを防ぐために行われる)を行って下流の洪水氾濫をかわらうじて防止したダム流域とする。

このダム流域では、昭和63年7月15日未明より降り始めた前線性降雨により、貯水池には、計画高水流量をはるかに超過した流入があり、但し書き操作によって洪水調節し、下流の被災を防ぐことができた。

ここでは、対象降雨としてこの昭和63年7月15日の前線性降雨を用いるものとする。

(2) 想定ダムの諸元

想定ダムの諸元を表-3に示す。

(3) 降雨予測

レーダビーム高度3000m以下の範囲内のデータから移流モデルによる方法を用いて想定ダム流域の降雨予測を行った。実測雨量と予測雨量の相関係数は、1, 2, 3, 4時間先の予測値に対し、それぞれ0.935, 0.633, 0.311, 0.498である。4時間先の相関係数が大きいのは、計算サンプル数が他の場合に比較して少ないことによるものと思われる。

(4) 予測降雨の分散

式(2)を用いて求めるが、当該ダム流域を観測しているレーダ雨量計は昭和61年9月から運用開始されたもので、データが少なく a_p が求められていないことから、便宜的に八重岳レーダ雨量計で同定された $a_p = 0.465$ を用いる。

(5) 洪水流出モデルと定数の同定

通常、洪水流出モデルは対象とする流域の特性等により流出モデルを選定し、既往の降雨と出水記録から流出モデルの定数を同定する。

ここでは、貯留関数法を用いることとし、昭和63年7月15日のレーダ雨量計記録と想定ダムの流入量をも

表-3 想定ダムの諸元

| | |
|--------------|----------------------|
| 集水面積 | 33.8km ² |
| 堤高(コンクリートダム) | 59.7m |
| 洪水調節容量 | 435万m ³ |
| 有効利用水深 | 27.9m |
| 湛水面積 | 27ha |
| 計画高水流量 | 430m ³ /s |
| 但し書き操作開始水位 | 139m |
| サーチャージ水位 | 142.5m |

とに定数を同定した。

(6) 予測降雨群における予測降雨の必要サンプル数
ある母集団の期待値がある信頼度で推定しようとする
ば、母集団がサンプル数に対して十分大きな場合の必要
サンプル数は次式で求めることができる。

$$n = \left[\frac{x}{F} \right]^2 \cdot \sigma^2 \dots\dots\dots (5)$$

ここに、 n ：必要サンプル数

x ：基準化された正規変数

F ：許容誤差

σ^2 ：分散

いま、90%の信頼度で期待値の10%の誤差を許容す
るとすれば、 $x=1.64$ 、 $F=0.1\mu$ となる。これを式(5)
へ代入し、かつ、 σ^2 に式(2)を適用すれば、

$$n = \left[\frac{1.64}{0.1\mu} \right]^2 \cdot \sigma_p^2 \cdot l \cdot \mu^2 = 1.64^2 \times 0.465^2 \times l \times 10^2 \dots\dots\dots (6)$$

となる。

4時間先の予測に対し、必要なサンプル数を式(6)
で求めると $n=233$ となる。したがって、正規乱数の発
生回数は250回で十分と考えられる。

(7) 洪水調節方式

洪水調節は次のような一定率、一定量調節方式を考
える。

$$Q_o(t) = (Q_d(t) - Q_c) \times \alpha + Q_c \dots\dots\dots (7)$$

ただし、 $Q_o(t) \geq 130 \text{ m}^3/\text{s}$ のときは、 $Q_o(t) = 130 \text{ m}^3/\text{s}$

ここに、 $Q_d(t)$ ：時刻 t のダム流入量

$Q_o(t)$ ：時刻 t のダム放流量

Q_c ：洪水調節開始流量
(ここでは、 $40 \text{ m}^3/\text{s}$ とする.)

α ：一定率
(ここでは、 $\alpha = 130/430$ とする.)

(8) ダム貯水位の計算

ダム貯水位は、上記洪水調節方式によってダム貯水
貯水容量曲線を介して計算する。

(9) 検討結果

a) レーダ雨量計による降雨予測方法の有効性

図-3に従来の降雨予測手法(前3時間の平均値が今
後3時間継続すると仮定する方法)とレーダ雨量計によ
る降雨予測手法を用いて、想定ダムの水位を予測した場
合の比較図を示す。

レーダ雨量計による降雨予測の方が従来の手法と比
べて予測水位と実水位の差が小さく、レーダ雨量計によ
る降雨予測を洪水流出予測に適用することが従来の予測
手法よりは有効であること、洪水のピーク時間より長時
間の洪水流出予測計算を行う場合は、レーダ雨量計によ
る降雨予測が不可欠であることを示唆している。ただし、

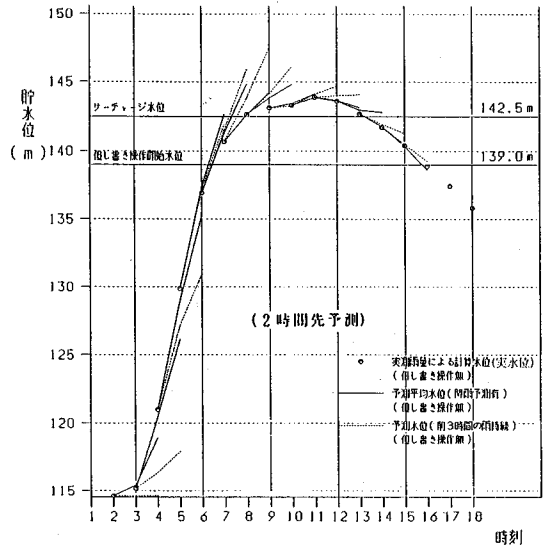


図-3 降雨予測方法の違いによるダム貯水池の予測水位の比較

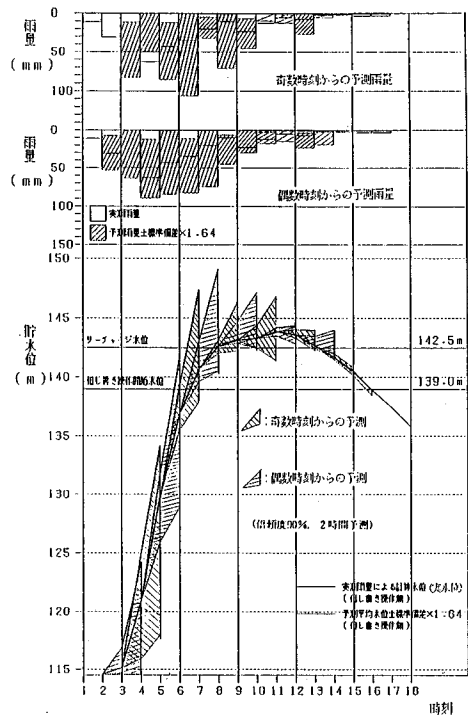
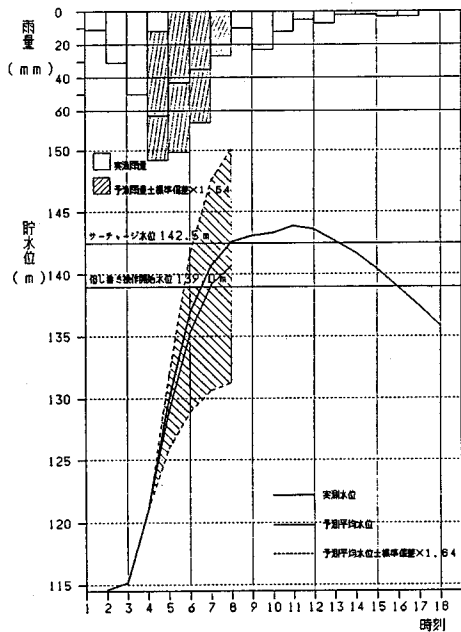
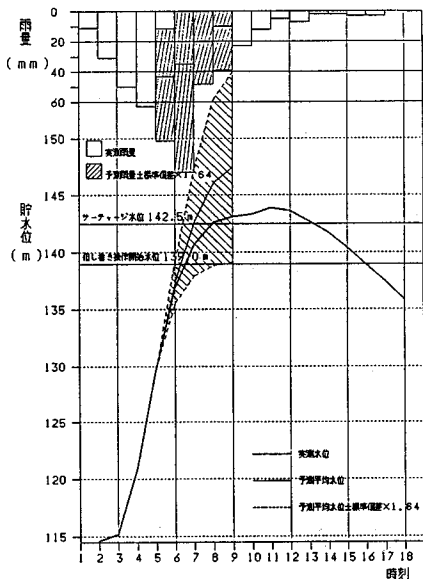


図-4 レーダ雨量計を用いた降雨予測による貯水池の予測水位

図-3は上記2手法の違いを比較検討したものであり、
当該流域における実測降雨をもとに「但し書き操作」を
行わず、先述の洪水調節が行われた場合に発生するであ
らうと予想される水位を「実水位」とよぶことにした。
この水位は、実際に想定ダムで発生した水位とは異なる
ものである。



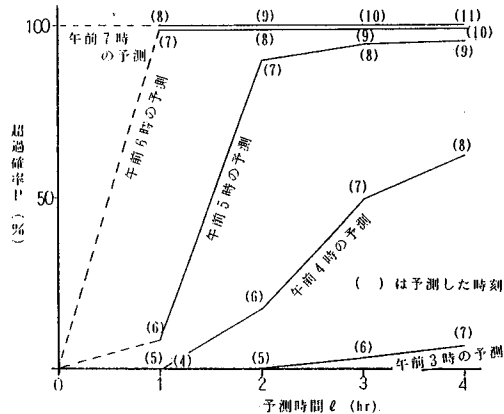
図—5(a) 午前4時における貯水池の予測水位



図—5(b) 午前5時における貯水池の予測水位

b) 確率誤差を考慮した予測降雨の有効性

図—3によると、1時間先の予測値であれば、予測降雨の期待値(平均値)だけを用いたもので実水位に近い水位を予測することができるが、2時間先以上の予測では実水位と大きな差が生ずることがしばしば起こる。特に増水時にその傾向が顕著になる。これは予測降雨の期待値だけで2時間先以上の長時間の洪水流出予測を行うことの危険性を示唆している。



図—6 予測水位が「但し書き操作開始水位」を超える超過確率

そこで、先述の誤差確率を考慮して4時間先までの予測水位を検討し、この2時間先までの結果を信頼幅で示したのが図—4である。実水位は90% (1.64σ)の信頼幅の中に予測されている。参考として、図—5に午前4時および午前5時から4時間先までの予測水位を検討した結果を抽出して示している。

c) ある危険状態を示す水位の判断の有効性

ダム操作はいかなる洪水に対しても的確に行わなければならない。このため、ダム貯水位が何時間後に危険状態になるかを示す水位、たとえば「但し書き操作開始水位」に到達するかを早期に把握し、関係機関およびダム下流住民にあらかじめ放流に関する通知を行う必要がある。

この点に留意して「但し書き操作開始水位」を超過する確率を算定した結果、図—6に示すように午前4時の予測時点ですでに3時間先に超過確率が50%となり、午前5時の予測時点では2時間先に90%となることが求められた。

すなわち、図—5と図—6を併用することで、安全側の対応(判断)をとるとすれば3時間前に、また超過確率90%を判断限界とすれば2時間前には、「但し書き操作開始水位」を超えるダム貯水位となることが予測可能となる。

6. 結 論

以上のように、洪水流出予測にはレーダ雨量計による降雨予測が不可欠であり、さらに誤差確率を考慮することで、特に増水期においては、ダムの洪水調節等に有効な情報となることが明らかになった。本文で提案した方法は予測降雨の期待値のみを入力して洪水流出予測する方法に比べてきわめて有効な判断情報となると考えられる。また、本検討では降雨予測を1時間ごとにしている。

るが、レーダ雨量計のデータは5分ごとに入手できるので、運用上は予測更新時間間隔を10分とか15分ごとに短縮して行うことが可能であることから、本検討に比べてよい精度の良い結果を得ることができると思われる。

7. あとがき

本文では、従来研究されているレーダ雨量計による降雨予測手法をもとに得られた予測降雨に確率誤差を評価して、従来利用されている洪水流出モデルに入力し、洪水流出予測の予測精度を求める方法を述べたが、日野¹⁷⁾、高棹⁵⁾、星¹⁸⁾の研究にみられるように洪水流出モデルのもつシステム誤差や雨量・水位等の観測誤差を考慮した予測方法に発展させていく必要がある。

しかし、レーダ雨量計による予測降雨はその誤差確率を考慮すれば洪水流出モデルに実用的に利用し得ることが明らかになったことから、本検討はダム貯水池による効率的な洪水調節等に関する研究の一層の発展に役立つものと考えられる。

最後に、本文をまとめるにあたり、多くの示唆とご指導を賜った早稲田大学 吉川秀夫教授と、ご協力をいただいた(財)河川情報センター 村田和夫氏、(株)建設技術研究所 兪 朝夫氏に深甚の意を表するものである。

参 考 文 献

- 1) 上林・山口・山本：レーダ定数 (B, β) の同定手法の提案, 土木学会論文集, 第339号/II-10, pp.121~130, 1988年11月.
- 2) 大倉・石崎・中尾・森下：レーダ雨量計を用いた短時間降雨予測, 第27回水理講演会論文集, 1983.
- 3) 椎葉・高棹・中北：移流モデルによる短時間降雨予測手法の検討, 第28回水理講演会論文集, 1984.
- 4) Clukie, I.D. and Owens, M.D. : Real time rainfall runoff models and use of weather radar information, Weather Radar and Flood Warning Symposium, 1985.
- 5) 高棹・椎葉・宝：貯留モデルによる実時間流出予測に関する基礎的研究, 京大防災研究所年報, 第25号 B-2, 1982.
- 6) 日本気象学会：気象レーダ特集, 気象研究ノート, 139号, 1980.
- 7) Austin, G.L. and Bellon, A. : The use of digital weather radar records for short-term precipitation forecasting, Q. J. R. Meteor. Soc., 100.
- 8) Asai, T., Yoshizaki, M. and Ishikawa, K. : Some results on an objective analysis for tracking radar echoes of convective clouds, J. Meteor. Soc. Japan, 55, 1977.
- 9) 石崎・中尾・森下：レーダ雨量計による短時間降雨予測, 土木学会第15回年次学術講演会講演概要集第2部, 1980.
- 10) 建設省淀川ダム統合管理事務所：昭和60年度短時間降雨予測検討業務報告書, 1986.
- 11) 建設省利根川ダム統合管理事務所：レーダ雨量計による降雨予測システム開発業務報告書, 1982, 1983.
- 12) 竹内邦良：雨域・雨量強度分布変化の短時間予測, 第22回水理講演会論文集, 1978.
- 13) 竹内邦良：降雨の短時間自動予測手法について, 山梨大学工学部研究報告, 29, 1975.
- 14) Wilk, K.E. and Gray, K.C. : Processing and analysis techniques used with the NSSL Weather radar system, Proc. The 14th Radar Meteor. Conf., 1970.
- 15) David Zittel, W. : Computer applications and techniques for storm tracking and warning, The 17th Radar Meteor. Conf., 1976.
- 16) 吉野・水野・兪：雨域追跡法による短時間降雨予測の精度, 第31回水理講演会論文集, 1987.
- 17) 日野幹雄：水文流出系予測へのカルマン・フィルター理論の適用, 土木学会論文報告集, 第221号, 1974.
- 18) 星 清：洪水予測システムの基礎的検討 (1), (2), 土木試験所月報, No.385, 1985, No.386, 1986. (1989.1.9・受付)