

レーダー雨量を用いた流出予測システムとパラメータの同定 — 四十四田流域を例として —

Study on Rainfall Runoff Prediction System for Radar Raingauge

清水尚志* 澤田晃二** 笹本 誠*** 堺 茂樹**** 平山健一*****

by Takashi SHIMIZU, Kouji SAWADA, Makoto SASAMOTO, Shigeki SAKAI, Ken-ichi HIRAYAMA

Radar rainfall gauge gives a better information of rainfall distribution than the conventional Thiesen method. In the present study, a system for the prediction of rainfall-runoff is constructed. This system includes packages to obtain a channel network from the digital map, to combine the radar rainfall information with the channel network, and to calculate the runoff using the kinematic wave model.

This paper described the each package of the system. And parameters of the kinematic wave model were obtained for 20 runoff events in 1990 and 91. Application of this rainfall runoff prediction system to dam reservoirs is possible with several minor improvements of the system.

keywords : radar raingauge, digital map, channel network,
rainfall runoff, kinematic wave model

1. はじめに

近年、建設省により日本各地にレーダー雨量計が設置され、日本全土がレーダー雨量計によって覆われ、これによって今までの点的な雨量分布の観測であったものに対し面的な雨量分布を5分毎に観測することが可能になった。これまでに様々な形で流出解析が行われてきているが、レーダー雨量計の整備に対応して、分布型流出モデルがいくつか提案されている。この場合、解析を行おうとする流域を小流域に分割することになるが、従来は地形図を元に手作業で行われてきており、作業が非常に煩雑であるなどの難点があった。このため、国土数値情報など地形データが整備されてきていることを背景に、計算機を利用した水文地形の表示の自動化が研究されている。

本研究では北上川水系四十四田ダム流域を対象として、国土数値情報の標高データを用いた擬河道網を作成し、レーダー雨量を与えてkinematic-wave法で流出解析を行い、流出予測計算のためのシステムのパラメータの検討を行った。

* 学生員 岩手大学大学院工学研究科修士課程土木工学専攻
** 学生員 岩手大学大学院工学研究科修士課程土木工学専攻
*** 正員 岩手大学技官 工学部建設環境工学科
**** 正員 工博 岩手大学助教授 工学部建設環境工学科
***** 正員 Ph.D 岩手大学教授 工学部建設環境工学科

2. 対象流域の概要と解析手法

本研究で流出解析の対象とした流域は図-1に示す岩手県北部に位置する北上川上流域の四十四田ダム流域で、流域面積は1196km²である。擬河道網の作成に使用した国土数値情報の標高データは、四十四田ダム流域が含まれる、東経140度51分0秒、北緯40度5分45秒の地点から東へ60km、南へ43kmの部分を使用した。

雨量データは図-1に示す、岩手県南部に位置する物見山の建設省物見山レーダー雨量計で観測された、1990年4月から1991年10月までのうち、台風、前線を含め比較的大きな流出量を記録した降雨のレーダーデータのうち20例を用いた。

3. 国土数値情報を用いた擬河道網

国土数値情報の標高データから、流出解析を行う対象流域の標高データを作成し、その標高データから標高が与えられた各点で、最急勾配方向を求め、流域全体での落水線を描くことができる。四十四田ダム流域について作成した落水線図(しきい値1)の一部を図-2に示す。完成した落水線に、何地点からの水流を集めたかを示す番号(集水地点数)をつける。最上流点は1となり、この番号は下流へ行くほど大きくなる。さらに主要河道の決定、ダム位置の決定、しきい値による擬河道網の最上流端の決定、合流先の判定などの過程を経て、擬河道網の作成を行った。擬河道網は、落水線図の中で適当なしきい値を決め、この値より小さな番号の落水線を除いてつくられるものである。しきい値を大きくしていくと、細流は省かれていき、実際の河道に近いものが得られる。

5万分の一地形図に基づく四十四田ダム流域におけるHorton-Strahler位数による河道の最大位数は6で、擬河道網では最大位数が6であるのはしきい値15までである。分割された小流域の数をもっとも近かったのはしきい値19の場合であったが、河道形状、河道特性量が近かったのは、しきい値15の場合であった。しきい値15の擬河道網は図-3のようになる。また、流域面積は地形図の1196km²に対し、擬河道網では1175km²となり、2%弱の差を持つ程度で実際の河道をよく再現している。

50万分の1地形図に示された主要流路と、しきい値200の場合の擬河道網を比較したのが図-4であり、全体的配置がきわめてよく一致しているのが認められる。

上述のようにして求められた擬河道網では、分割した各小流域における流域面積、河道長、河道勾配、斜面勾配などの諸特性量を算出している。このようにして求められた流域地形データに、レーダー降雨データを与えkinematic-wave法で対象流域の流出量を算出する。計算に必要なパラメータは流出率、河道粗度、斜

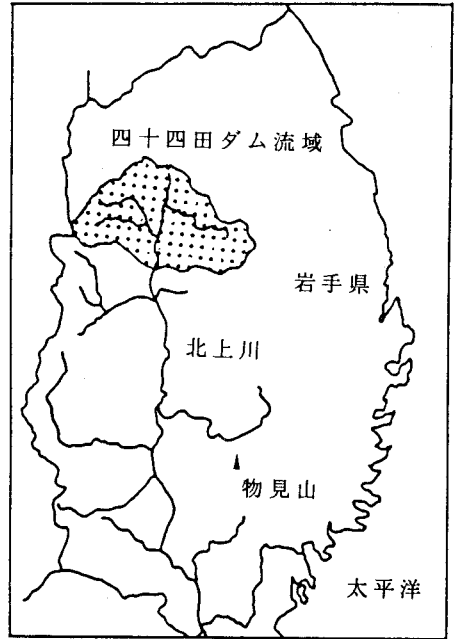


図-1 四十四田ダム位置図

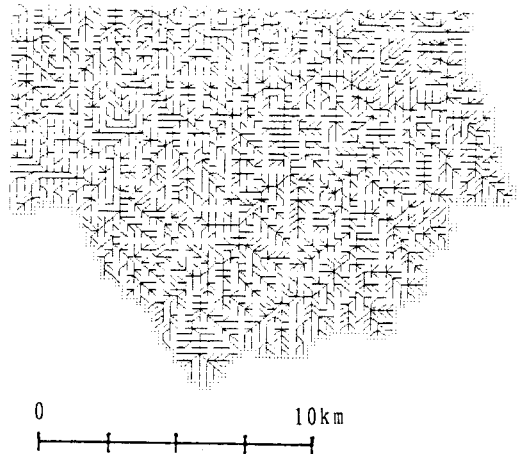


図-2 落水線図

面粗度、有効雨量に関する定数の4個である。さらに、フィードバックの機構を組み込むことによって流出量の予測、及び流出量の予測精度の向上が可能であるといえる。

以上の手順を図-5のフローチャートで示す。

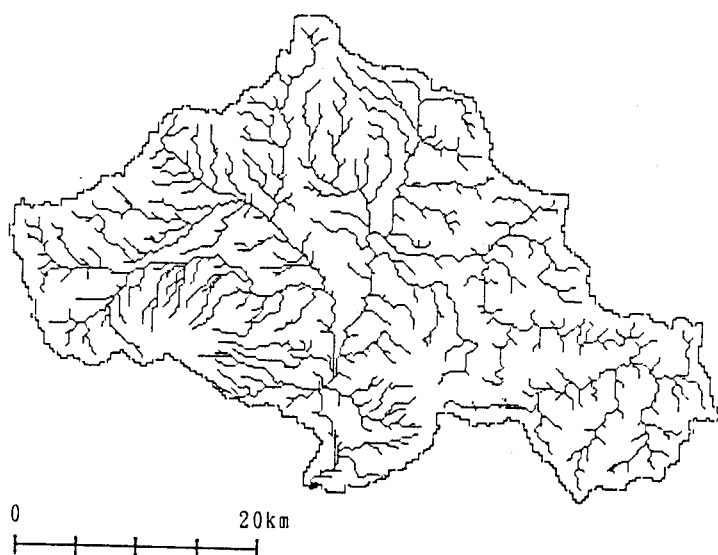


図-3 擬河道網（しきい値15）

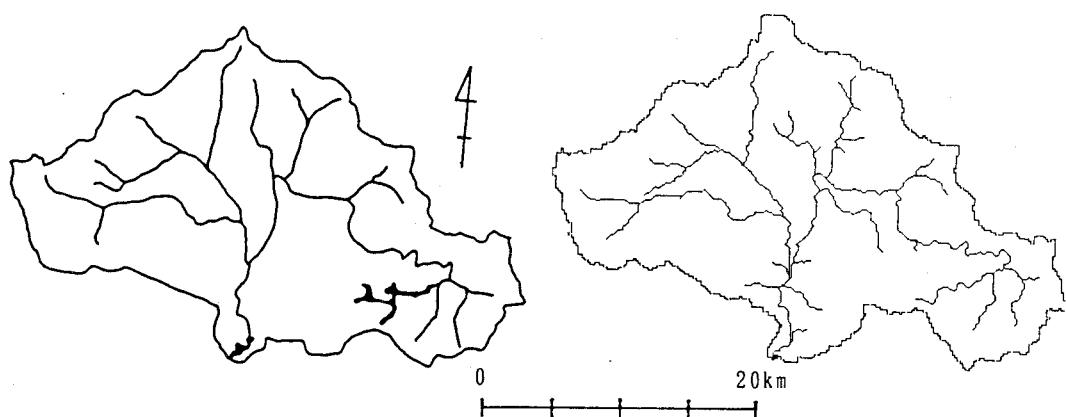


図-4 50万分の1の地形図による主要河道網としきい値200の擬河道網

4. 小流域へのレーダーデータの対応

レーダー雨量計データは、円周方向に128分割、半径方向に3kmのメッシュで与えられている。本モデルの流出計算では、この極座標のメッシュを直交座標のメッシュに変換し、これを擬河道網に重ね合わせて計算を行う。

小流域の平均面積は、擬河道網では 1.7km^2 でありレーダーメッシュより小さい。そこで、小流域での降雨強度は小流域の重心が位置するレーダーメッシュでの降水値を用いることにする。

地形図に基づく方法では、地形図とレーダーメッシュマップを重ね合わせ、小流域の中心位置のレーダーメッシュの番号を読みとるという煩雑な作業が必要であったが、国土数値情報を用いることによって、レーダーサイトの経緯度を与えるだけで自動的に小流域での降雨強度が得られるようになっている。

以上のように決定された擬河道網にレーダーデータを重ね合わせkinematic-wave法を用いて流出解析を行った。計算に必要なパラメータは斜面粗度、河道粗度と、次式で与えられる流出率 f_0 、 a 定数の4つを用いた。

ここで r_e は有効雨量、 r は実測降雨を示す。また、実測降雨の累加範囲は、降雨の降り始めからのものを意味した。各パラメータの最適値はハイドログラフの立ち上がり部分とピーク流量に注目し、本モデルの計算値の流量とダム位置での実測流量が一致するときのものを試行錯誤によって求めた。このようにして求めたパラメータを用いたときの観測流量と計算流量を比較したものを図-6に示す。しかし、これらのパラメータは、実際に予測を行う場合には予測を与えておく必要がある。そこで各パラメータをいくつかの水文量との相関を調べた結果、比較的よい相関が得られたのは、各出水毎の最適パラメータを流出の始まる以前の流量(初期流量)と比較したものであった。これを図-7に示す。図の直線はプロットした点から最小

```

graph TD
    A["・国土数値情報  
(約250×250m)  
・対象地域の経緯度"] --> B["国土数値情報から対象地域の  
標高データの切り出し"]
    C["・対象地域の標高データ"] --> B
    B --> D["窪地処理"]
    D --> E["落水線の作成  
・最急勾配の決定"]
    E --> F["落水線の集水地点数の計算  
・主要河道の決定"]
    F --> G["ダム位置決定"]
    G --> H["しきい値による擬河道網の  
最上流端の決定"]
    H --> I["合流先の判定"]
    I --> J["擬河道網の作成"]
    J --> K["各小流域における  
・流域番号、計算順位  
重心位置、レーダー座標、  
合流先の決定  
・河道勾配、斜面勾配、面積  
集水面積の算出"]
    K --> L["・擬河道網用  
グラフィックデータ  
・流出計算用  
地形データ"]
    K --> M["流出計算  
・各小流域毎に  
上流から下流へ  
・kinematic wave法"]
    N["レーダーデータ  
直交座標(3×3km)  
地形データ  
各パラメータ"] --> M
    M --> O["流出量算出"]
    O --> P["グラフィック表示"]
    P --> Q["フィードバック  
機構の導入"]
    Q --> M
  
```

The flowchart illustrates the Watershed Analysis System process. It begins with two input boxes: one containing 'National Numerical Information (approx. 250x250m)' and 'Longitude/Latitude of the target area', and another containing 'Target area elevation data'. These lead to a central box 'Extraction of elevation data from national numerical information for the target area'. The process then follows a series of steps: 'Depression processing', 'Falling line creation (steepest slope determination)', 'Calculation of watershed points (main channel determination)', 'Dam position determination', 'Determination of upstream end of simulated network (threshold value)', 'Confluence point determination', 'Simulation network creation', and 'Calculation for each sub-basin (basin number, calculation order, center position, radar coordinates, confluence point determination, slope, slope, area, and watershed area calculation)'. This leads to two output boxes: 'Simulated network graphic data' and 'Outflow calculation topographic data'. The 'Outflow calculation' step uses 'kinematic wave method' and receives 'Radar data (3x3km orthogonal coordinates, topographic data, parameters)'. The final steps are 'Outflow calculation', 'Graphic display', and a 'Feedback mechanism introduction' loop that feeds back into the 'Outflow calculation' step.

図 - 5 フローチャート

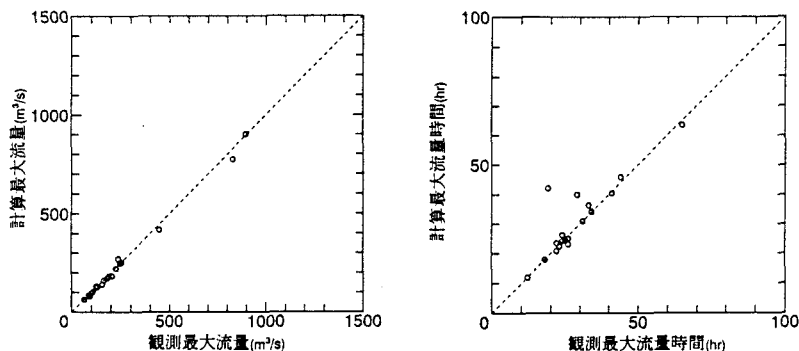


図-6 計算値と実測値の比較（最適パラメータ）

しかし、ピーク流量については計算値と実測値の量的な過不足が大きく、洪水波形も実測値との適合はあまり良くない。

つぎに、計算結果にもっとも大きな影響を与えると考えられる流出率 f_0 には、最適パラメータを用い、他のパラメータは上述の近似式で求めたものを与えて再度計算を行った。この計算結果を図-8と同様にプロットすると図-9のようになる。図-8と比較すると、計算値と実測値のピーク時間の発生時刻はあまり変化がなく良い結果が得られた。ピーク流量はすべてのパラメータを近似式で求めた場合と比較して、かなり良い結果が得られている。この計算結果より、流出率の算定が計算結果に与える重要性は明らかであり、流出予測を行う場合、流出率の決定が流出量予測には非常に重要であることがわかる。

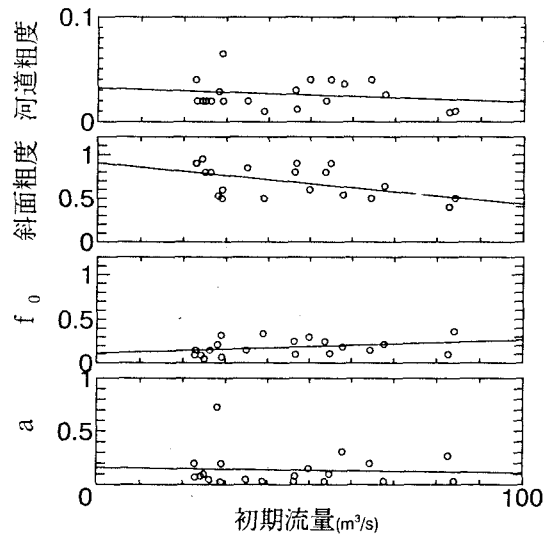


図-7 各パラメータ相関図

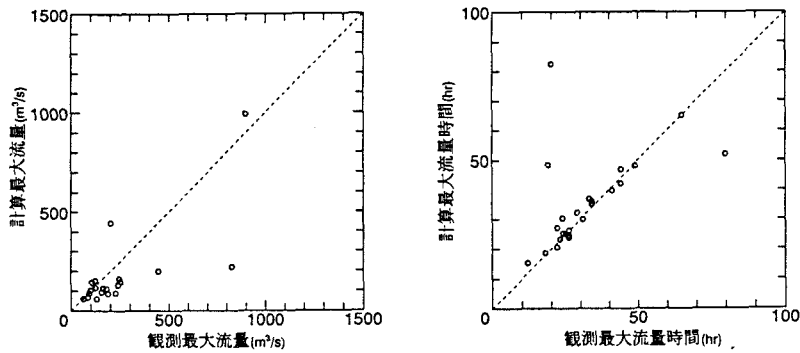


図-8 計算値と実測値の比較（相関式によるパラメータ）

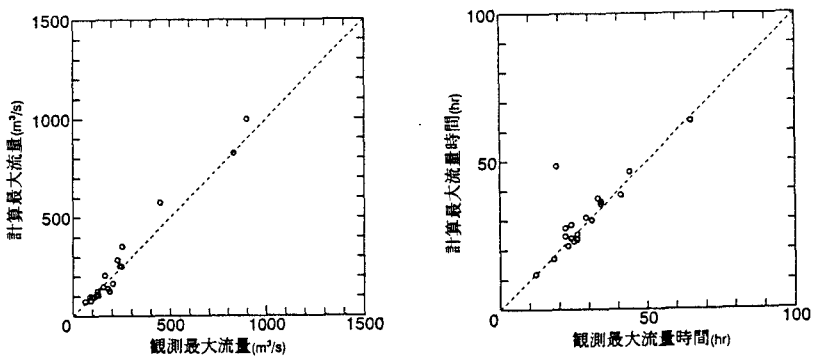


図-9 計算値と実測値の比較
（相関式によるパラメータと最適パラメータ f_0 ）

6. 今後の課題

以上のように、国土数値情報の標高データのみを用いて、擬河道網を作成し、各小流域の計算順序の判定、擬河道網とレーダーデータの対応の流出計算システムの作成などについて自動化を行った。また、各パラメータを近似式で与えることで、流出量の予測がある程度可能であることが明らかとなった。本モデルを用いて流出量予測を行う場合、すべてのモデルのパラメータを既知の水文量から予め与える場合には誤差が大きくなりすぎるという結果が得られたので、流出量の予測の精度を向上させるためには、フィードバックの機構をモデルに取り込むことが必要と判断される。本モデルの流出計算におけるパラメータの中では流出率に関わる係数が最も重要であり、 f_0 の値に着目したフィードバック機構の開発が必要であるといえる。

また、対象としている四十四田ダム流域の場合、東西の流域で流出特性の違いがあり、その原因として東側流域はほとんどが樹林帯であるのに対し西側流域は東側流域に比べ水田が多い、などの土地の利用形態及び植生、被覆、地質等に大きな違いがみられた。今後はこれらの情報を与えることによって予測精度が向上すると考えられる。

謝辞

本研究を進めるにあたり、建設省東北地方建設局北上川ダム統合管理事務所、財団法人河川情報センターから貴重なデータを提供していただいたことを記し、ここに感謝の意を表します。

参考文献

- 1) David G. Tarbonton: The analysis of river basins and channel networks using digital terrain data, Sc. D. Thesis, Dept. of Civil Eng, MIT, 1989
- 2) 宝・高棹・溝渕：水文地形解析の自動化の試み、第32回水理講演会論文集、1988
- 3) 伊藤・笹本・堺・平山：国土数値情報とレーダー雨量情報を用いた流出解析の自動化、水工学論文集第36巻、1992