

# サブ流域解析用プログラムに基づく検証計算に関する報告

## 1. サブ流域解析用プログラムの概要

国土交通省による利根川上流域の計算（ケース 2）の妥当性を検証するために、国土交通省の計算とは全く独立に FORTRAN77 によるサブ流域解析用プログラムを開発した。これまでも流出解析レビューワーキンググループ内で計算例を提示する際に利用してきたものであるが、今回、作業を効率化するためにプログラムにいくつか改良を加えた。プログラムの概要は以下の通りである。

- ① 水文データとして、時間単位の流域平均雨量と基底流量を与える。
- ② 流域パラメータとして、 $K, P, T_b, R_0, f_1, R_{sa}$  と流域面積  $A$  を与える。
- ③ 計算時間刻みは任意に変えることができる。
- ④ 累加雨量が計算時間刻みの途中で  $R_0, R_{sa}$  を超えた場合の処理を厳密に行っている。
- ⑤ 遅れ時間は、計算時間刻みの任意倍数とする。
- ⑥ 流出計算は、サブ流域を流出域と浸透域に分割しない一括モデル（ケース 2）による。
- ⑦ 微分方程式の解法には、線形化手法（漸化式による方法）を用いている。これは、連続式の右辺をテーラー展開で局所的に線形化して、1 ステップ先の状態変量の解析解を逐次求める方法である。
- ⑧ 39 サブ流域の流域下流端における河川流量（ $\text{m}^3/\text{s}$ ）を一括して出力する。
- ⑨ 選択した任意の流域については、雨量、累加雨量、有効雨量、累加有効雨量、直接流出高、累加直接流出高、基底流量を加えた河川流量を出力する。
- ⑩ 選択した任意の流域については、計算上の水収支から求めた数値計算誤差も出力する。

## 2. プログラムの確認

有効降雨計算の確認については、特に累加雨量が計算時間刻みの途中で  $R_0, R_{sa}$  を超えた場合に注目して、電卓による検算でプログラムの挙動をチェックした。流出計算の確認については、解析解が得られるような矩形降雨を入力する方法も考えられるが、教科書「丸山利輔・三野 徹（編）：地域環境水文学，朝倉書店，1999 年」に、貯留関数法に関する演習問題とその解答が掲載されていたので、その計算を実施して解答と照合した。当該箇所の執筆者は、岡山大学・永井明博教授である。

[貯留関数法による洪水流出量の計算]

有効降雨強度  $r_e$  (mm/h) が 1 時間ごとに下表のように与えられている場合、 $\Delta t = 1\text{h}$  として、 $t = 1, \dots, 12\text{h}$  まで 1 時間ごとの直接流出量  $Q$  ( $\text{m}^3/\text{s}$ ) を求めよ。ただし、流域面積は  $10.8\text{km}^2$ ，貯留関数の定数は mm-h 単位で  $K = 8, P = 0.6, T_L = 0.6\text{h}$  とする。

時間	0～1 時	1～2 時	2～3 時	3～4 時	4～5 時	5～6 時	6～7 時	…	11～12 時
$r_e$ (mm/h)	3.0	8.0	16.0	26.0	14.2	3.0	0.0	…	0.0

テキスト掲載の解答と照合したグラフを図-1 に示す。青線は、テキスト掲載の解答で、計算時間刻みを 1h として修正オイラー法で解かれている。赤線は、サブ流域解析用プログラムで計算したもので、計算時間刻みを 1/5h として線形化手法（漸化式による方法）で解いた。計算直接流出高と貯留水深（計算終了時）の合計は、有効降雨の合計と合致すべきであるが、両者の食い違い（数値計算誤差）は 0.31% であった。このグラフによれば、青線と赤線はほとんど合致しており、ピーク流出量に若干の食い違いが見られるものの、両者の食い違いは 1.87% で、プログラムの挙動は妥当と判断される。

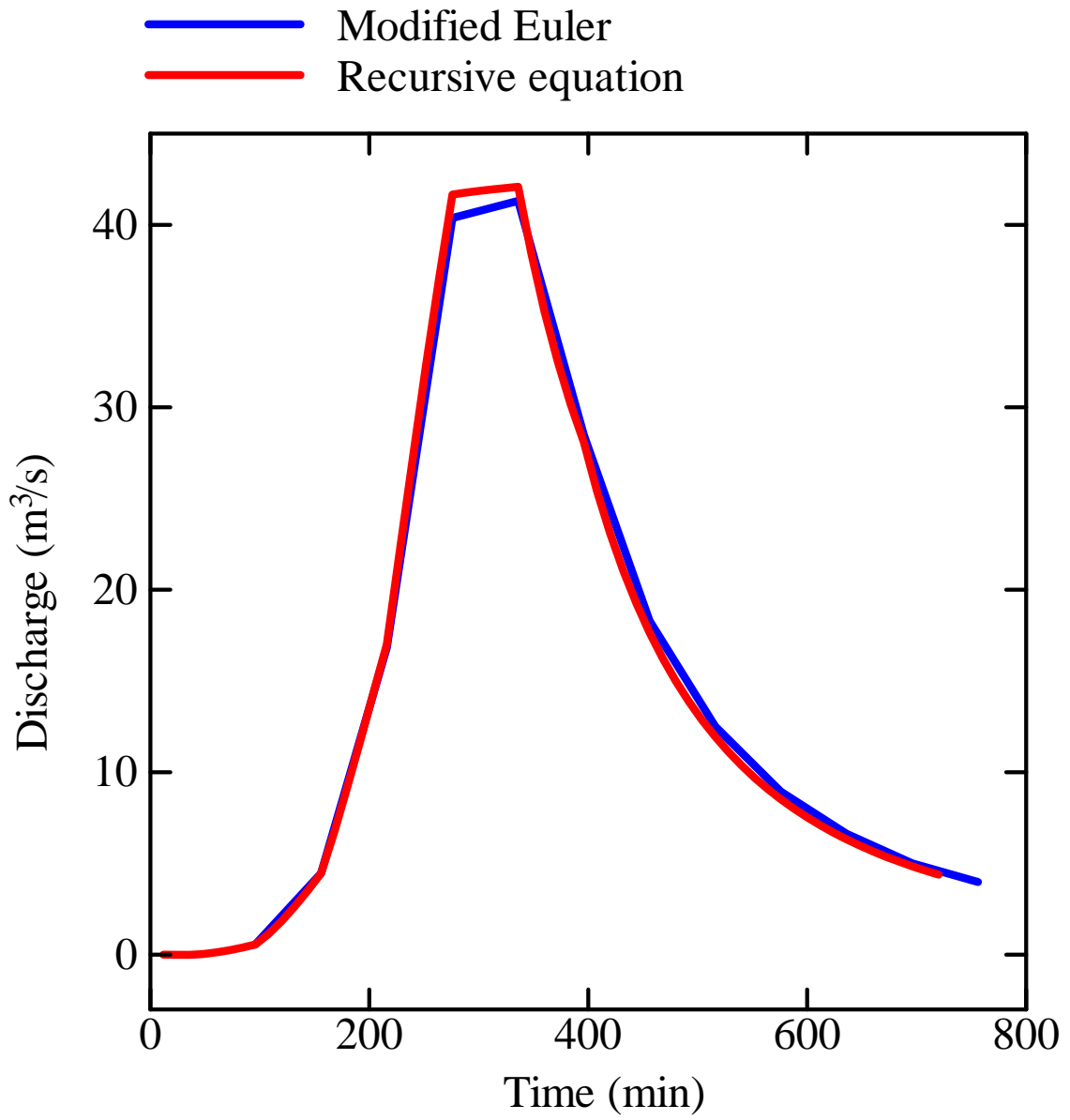


図-1 演習問題の解答との照合結果

(青線：テキストの解答，赤線：サブ流域解析用プログラムによる計算結果)

### 3. 国土センター流出解析システムの計算結果との比較

流出解析レビューワーキンググループは、国土交通省が開発した流出計算モデル（エクセルモデル）の動作を確認するために、国土センター流出解析システムを用いた再計算を実施し、計算結果を比較している（「新モデル（ケース 2）による洪水流出計算の再現に関する報告」を参照のこと）。ここでは、先に述べたサブ流域解析用プログラム（独自開発）による流出計算結果と、国土センター流出解析システムを用いた再計算において得られているサブ流域の流出計算結果を比較する。

入力データとなる 39 サブ流域の流域平均降水量と基底流量には、国土交通省から提供されたデータを使用した。また、貯留関数法（新モデル・ケース 2）のモデルパラメータ値には、第 6 回分科会別添資料 5 に記載の値を用いた。これは、国土交通省が近年の洪水データに基づいて、図解法で決定したものである。計算時間刻みは 10 分とした。

現時点では、昭和 57 年 9 月洪水と平成 10 年 9 月洪水について、それぞれ 39 サブ流域の流出計算を実施しているが、本稿では、奥利根流域の矢木沢ダム流域（流域 No.1）と神流川流域の万場地点（流域 No.36）について、サブ流域解析用プログラムと国土センター流出解析システムの計算結果を比較した結果を示す（図-2～図-5）。赤線のハイドログラフ（流出解析ワーキンググループと表記）がサブ流域解析用プログラムによる計算流量で、青色の×印で示したハイドログラフが国土センター流出解析システムによる計算流量である。これらの計算結果によると、サブ流域解析用プログラムによる計算流量と国土センター流出解析システムによる計算流量は、ほとんど一致している。

表-1 には、計算ピーク流量を比較した結果を示す。両者の差はほとんど無く、ピーク流量発生時刻も一致していたが、食い違いが最大であった矢木沢ダム流域（平成 10 年 9 月洪水）のピーク流量で 1.49% の違いであった。

表-1 計算ピーク流量の比較

解析プログラム	矢木沢 (S57.9)	万場 (S57.9)	矢木沢 (H10.9)	万場 (H10.9)
ワーキング	347.94 m <sup>3</sup> /s	946.84 m <sup>3</sup> /s	428.30 m <sup>3</sup> /s	638.89 m <sup>3</sup> /s
国土センター	347.91 m <sup>3</sup> /s	946.54 m <sup>3</sup> /s	421.92 m <sup>3</sup> /s	636.52 m <sup>3</sup> /s

なお、サブ流域解析用プログラムについては、計算上の水収支から求めた数値計算誤差についても調べている。計算直接流出高と貯留水深（計算終了時）の合計は、有効降雨の合計と合致すべきであるが、両者の食い違い（数値計算誤差）は、矢木沢ダム流域で 0.034%（昭和 57 年 9 月洪水）と 0.049%（平成 10 年 9 月洪水）、万場地点で 0.014%（昭和 57 年 9 月洪水）と 0.027%（平成 10 年 9 月洪水）であった。すなわち、数値計算誤差は無視できるレベルであり、計算時間刻みは 10 分で適当と判断された。

流域No.1 矢木沢ダム(利根川) S57.09.11-09.14

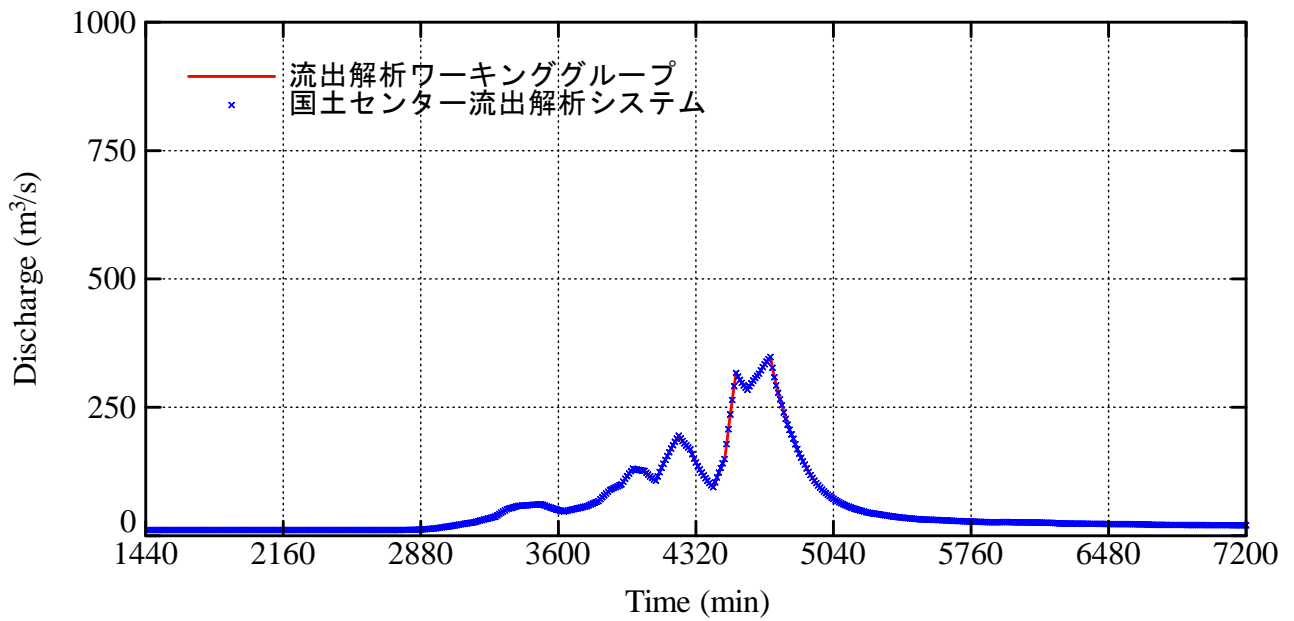


図-2 矢木沢ダム流域における計算流量の比較 (昭和 57 年 9 月洪水)

流域No.36 万場(神流川) S57.09.11-09.14

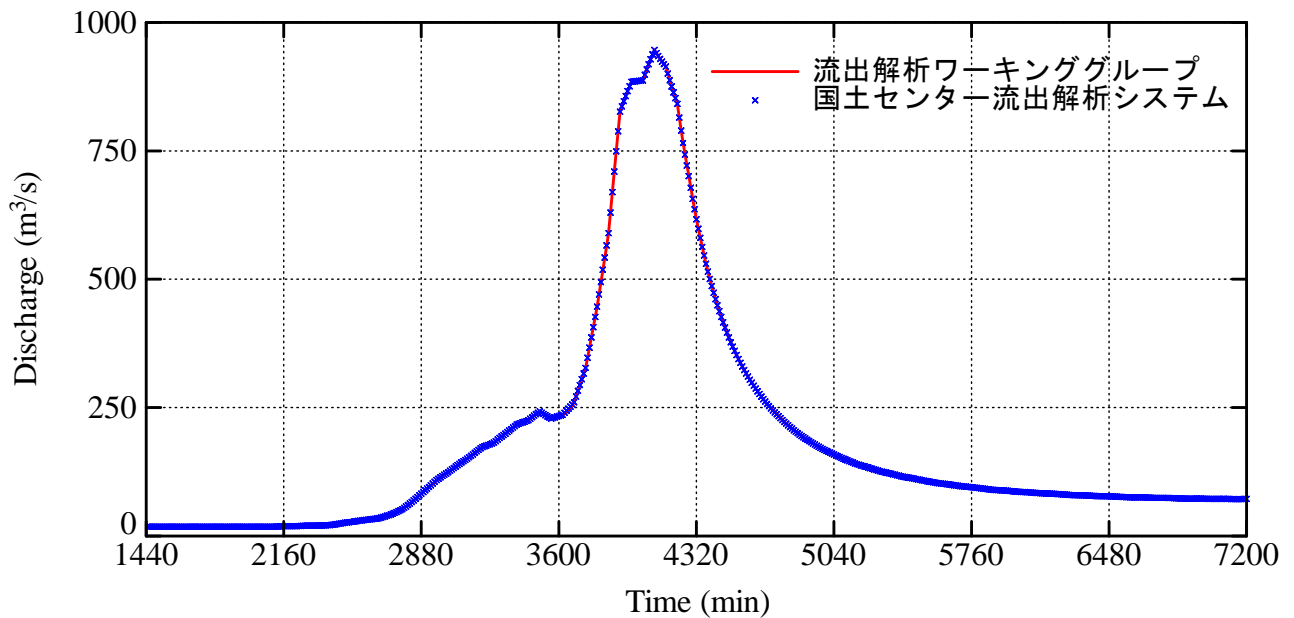


図-3 万場地点における計算流量の比較 (昭和 57 年 9 月洪水)

流域No.1 矢木沢ダム(利根川) H10.09.14-09.17

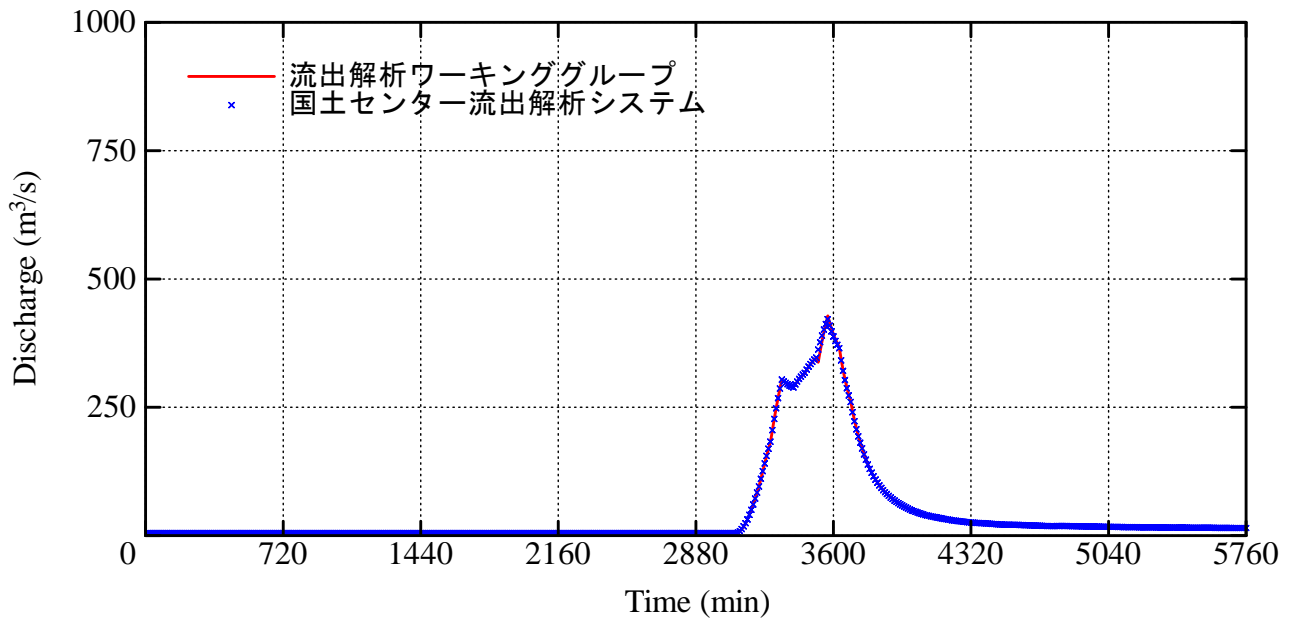


図-4 矢木沢ダム流域における計算流量の比較 (平成 10 年 9 月洪水)

流域No.36 万場(神流川) H10.09.14-09.17

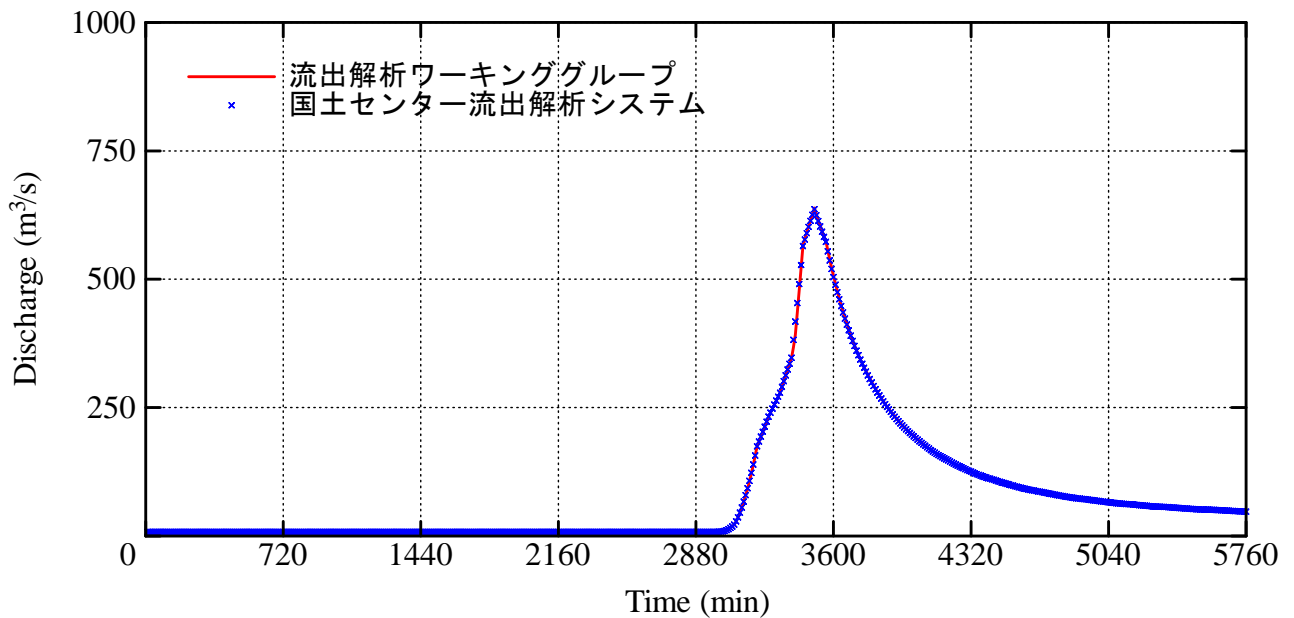


図-5 万場地点における計算流量の比較 (平成 10 年 9 月洪水)