

分布型洪水流出モデルのための土地利用からの 最大貯水能力及び最終浸透能の設定

平岡 透¹・幸 弘美²・陸 旻皎³

¹非会員 大分工業高等専門学校 制御情報工学科 (〒870-0152 大分県大分市大字牧1666)

E-mail:t-hiraoka@oita-ct.ac.jp

²正会員 株式会社東京建設コンサルタント 環境防災部 (〒170-0004 東京都豊島区北大塚1-15-6)

E-mail:yuki-h@tokencon.co.jp

³正会員 長岡技術科学大学 工学部 環境・建設系 (〒940-2188 新潟県長岡市上富岡1603-1)

E-mail:lu@nagaokaut.ac.jp

筆者らはこれまでに、レーダ雨量を入力として数値地図標高メッシュを用いた分布型洪水流出モデルの研究^{1,2)}を行い、多くの河川に適用してきた。このモデルは、メッシュからの流出計算に新安江モデルを用いており、高い柔軟性を有している反面、パラメータの数が多く、その設定に多くの時間を要していた。そこで、本論文では、各種パラメータの中で最大貯水能力と最終浸透能に注目し、メッシュ毎の土地利用の比率を用いた重回帰式から最大貯水能力と最終浸透能を設定する方法を提案する。また、実データを用いた実験を通して、高精度な流出の再現計算が可能になることも示す。

Key Words : *distributed hydrological model, catchment storage capacity, final infiltration capacity*

1. まえがき

これまでに分布型洪水流出モデルに関する研究^{1,2,3,4,5,6)}は多く行われている。分布型洪水流出モデルは、流域の様々な条件や水文学的分布を直接モデルに反映させることで、流出予測の精度向上を図ることができる。現在多くの河川で活用されている貯留関数法⁷⁾などの集中型洪水流出モデルと比較すると、分布型洪水流出モデルは、流域の地形や降雨、土地利用、土壌特性などの面的な分布を考慮でき、落水線による擬河道網に沿って Kinematic Wave 法⁸⁾や Dynamic Wave 法⁹⁾などによって雨水の流れを追跡できるという利点がある。

筆者らもこれまでに、分布型洪水流出モデルの研究開発^{1,2)}を行い、多くの河川に適用してきた。筆者らの構築した分布型洪水流出モデル（以下、本分布型洪水流出モデル）は、流域をメッシュ分割し、また降雨による流出を新安江モデル⁹⁾を用いて表面流出、中間流出、基底流出の3成分に分離し、これらの流出を簡易な線形貯留モデルで表現し、擬河道網に沿って Kinematic Wave 法によって雨水の流れを追跡している。このため、計算時間が比較的短時間で済むという利点がある。一方、本分布型洪水流出モデルでは、最大貯水能力、最終浸透能、表

面・中間・基底流出低減係数、擬河道網の川幅、河道や流域の粗度係数、不浸透面積率などの多くのパラメータがあるため、これらのパラメータの設定には熟練した技術者と多くの時間が必要になる。

そこで、本論文では、本分布型洪水流出モデルのパラメータの設定を簡易にすることを考える。特に、各種資料や現地調査では設定が困難である最大貯水能力と最終浸透能を設定するための方法を提案する。本方法は、メッシュ毎の土地利用の比率を用いた重回帰式から最大貯水能力と最終浸透能を設定するものである。

2. 分布型洪水流出モデル

本分布型洪水流出モデル^{1,2)}のフローチャートを図-1に示す。本分布型洪水流出モデルは、まず流域をメッシュに分割し、そのメッシュとレーダ雨量のメッシュを対応付け、各メッシュの雨量を得る。その後、雨量を新安江モデルを用いて表面流出、中間流出、基底流出の3成分に分離し、これらの流出を簡易な線形貯留モデルで表現し、擬河道網に沿って Kinematic Wave 法によって雨水の流れを追跡する。流出高は、表面流出成分、中間流出成

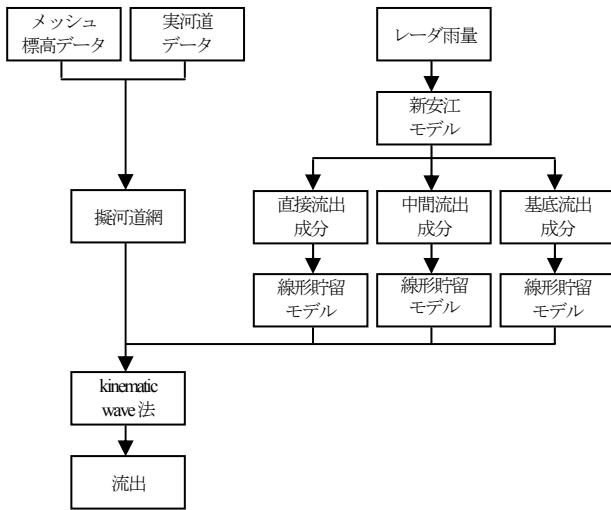


図-1 本分布型洪水予測モデルのフローチャート

表-1 各種パラメータの設定方法

パラメータ名	設定方法
表面・中間・基底 低減係数	過去の洪水のハイドログラフの低減部から推定して、流域毎に設定
擬河道網の川幅	地形図と現地調査で得られた川幅と上流域の流域面積の関係 ¹⁰⁾ を求め、メッシュ毎に推定
河道の粗度係数	河道計画資料と水理公式集 ¹¹⁾ より、メッシュ毎に設定
流域の粗度係数	土地利用との関係 ¹¹⁾ より推定して、メッシュ毎に設定
不浸透面積率	土地利用との関係 ¹²⁾ により推定して、メッシュ毎に設定

分、基底流出成分の和で求める。擬河道網は、メッシュ標高データと実河道データを用いて算出する。

なお、本分布型洪水流出モデルには、最大貯水能力、最終浸透能、表面・中間・基底流出低減係数、擬河道網の川幅、河道や流域の粗度係数、不浸透面積率などの多くのパラメータがある。表面・中間・基底流出低減係数、擬河道網の川幅、河道や流域の粗度係数、不浸透面積率のパラメータの初期設定の方法を表-1に示す。つまり、これらのパラメータは、初期設定値を標準値としてそのまま利用することができる。しかし、新安江モデルで用いる最大貯水能力と最終浸透能の設定は、これまで試行錯誤の結果を基に設定していた。

3. 最大貯水能力と最終浸透能の設定方法

まず、流量観測データのある小流域に対して、試行錯誤によって最適な最大貯水能力と最終浸透能をそれぞれ設定する。このとき、実績流量にできるだけ一致

するように流出の再現計算の結果を調整する。他のパラメータは基本的に各種資料や現地調査で得られた値(表-1参照)を用いる。

次に、各メッシュの土地利用の比率を用いた重回帰式によって、最大貯水能力と最終浸透能を設定するための偏回帰係数を求める。流域に M 個のメッシュがあり、各メッシュの土地利用の項目 i の比率を $L_{i,m}$ ($m=1,2,\dots,M$; $\sum_{i=1}^I L_{i,m}=1(I: \text{項目数})$)、再現計算で得られた各メッシュの最大貯水能力と最終浸透能をそれぞれ W_m ($m=1,2,\dots,M$) と F_m ($m=1,2,\dots,M$) とする。ここで、土地利用の比率 $L_{i,m}$ は、以下の実験では国土数値情報(1/10細分メッシュ土地利用(100mメッシュ))を用い、土地利用の項目 i において、1を水田、2を森林、3を建物用地、4をその他の4項目とした。また、最大貯水能力 W_m と最終浸透能 F_m は再現計算で得られた値であり、小流域毎で同一の値である。

推定する各メッシュの最大貯水能力 \hat{W}_m ($m=1,2,\dots,M$) は、式(1)で求める。

$$\hat{W}_m = \sum_{i=1}^4 p_{W,i} L_{i,m} \quad (1)$$

ここで、 $p_{W,i}$ は土地利用の項目 i の最大貯水能力 \hat{W}_m を設定するための偏回帰係数であり、式(2)が成り立つように最小自乗法で求める。

$$\min_{p_{W,i}} \sum_{m=1}^M \left(W_m - \sum_{i=1}^4 p_{W,i} L_{i,m} \right)^2 \quad (2)$$

同様に、推定する各メッシュの最終浸透能 \hat{F}_m ($m=1,2,\dots,M$) は、式(3)で求める。

$$\hat{F}_m = \sum_{i=1}^4 p_{F,i} L_{i,m} \quad (3)$$

ここで、 $p_{F,i}$ は土地利用の項目 i の最終浸透能 \hat{F}_m を設定するための偏回帰係数であり、式(4)が成り立つように最小自乗法で求める。

$$\min_{p_{F,i}} \sum_{m=1}^M \left(F_m - \sum_{i=1}^4 p_{F,i} L_{i,m} \right)^2 \quad (4)$$

今回、偏回帰係数 $p_{W,i}$ と $p_{F,i}$ はそれぞれ4変数であり、最小自乗法で求めているため、多重共線性が生じる可能性がある。しかし、ここで採用している水田、森林、建物用地の3変数は土地利用の形態が大きく異なるため、多重共線性が生じる可能性は小さいと考える。その他の具体的な土地利用は以下の実験を行った流域においては水部と幹線交通用地が大部分を占めるため、その他も水田、森林、建物用地との土地利用の利用形態が異なり、多重共線性が生じにくいと考える。

4. 結果と考察

まず、レーダ雨量と地上雨量をそれぞれ用いて、試行

錯誤によって最適な最大貯水能力と最終浸透能を小流域毎に求めて、再現計算の結果の比較実験を行った。その結果、レーダ雨量を用いて最適な最大貯水能力と最終浸透能を求めることは大変困難であったため、以下の実験では地上雨量を用いて求められた小流域毎の最大貯水能力と最終浸透能を基に処理を行うことにした。次に、各メッシュの土地利用の比率を用いた重回帰式によって最大貯水能力と最終浸透能を推定するための偏回帰係数を求め、再現計算による検証実験を行った。

(1) レーダ雨量と地上雨量による小流域毎の最適な最大貯水能力と最終浸透能の設定

羽越荒川流域の5洪水を用いて5つの小流域毎の最大貯



図-2 羽越荒川流域の位置図

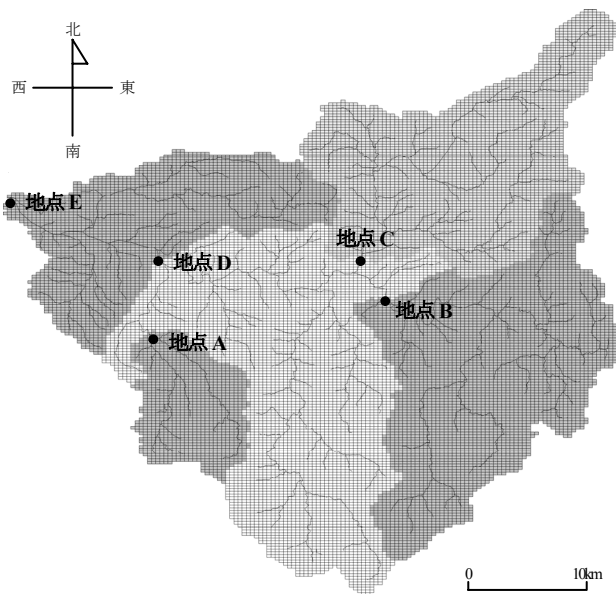


図-3 羽越荒川流域の250mメッシュ分割図と5つの小流域及び最下流地点

水能力と最終浸透能を試行錯誤によって設定した。この流域の特徴として、土地利用率が、水田64%、森林85.0%、建物用地1.2%、その他7.4%であり、表層地質（岩石区分）が主に下流域で未固結堆積物、中流域で半固結—固結堆積物と深成岩類、上流域で半固結—固結堆積物や火山性岩石、深成岩類である。流域を分割したメッシュ間隔は国土地理院発行の数値地図標高250mメッシュを用いて250mとした。羽越荒川流域の位置図を図-2（国土交通省水文水質データベースHP参照）に、羽越荒川にある葛籠山水位観測所（図-3の地点E）の上流域全体の250mメッシュ分割図と5つの小流域及び最下流地点を図-3に示す。

まず、レーダ雨量として国土交通省河川局の全国合成レーダ雨量（1kmメッシュ）を用いた。このときに設定した小流域毎の最大貯水能力と最終浸透能の値を表-2に示す。地点Aのレーダ雨量を入力とした再現計算の結果（2洪水）を図-4に示す。図-4は、上部に流域平均雨量を棒グラフで、下部に実績流出高を点で、流出の再現計算の結果を折れ線で表現している。図-4のように計算流出高が実績流出高よりかなり大きくなる場合もあり、良好な再現計算が行われていないことが分かる。

そこで、地上雨量を用いた実験も行った。ここでは、23ヶ所の雨量観測所の地上雨量を用い、ティーセン分割によって、各メッシュに地上雨量を対応付けた。このと

表-2 小流域毎の最大貯水能力と最終浸透能（レーダ雨量）

	地点A	地点B	地点C	地点D	地点E
最大貯水能力[mm]	130.0	140.0	140.0	180.0	40.0
最終浸透能[mm/day]	130.0	140.0	140.0	150.0	40.0

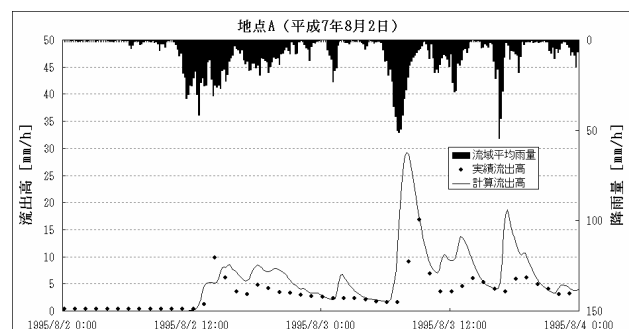
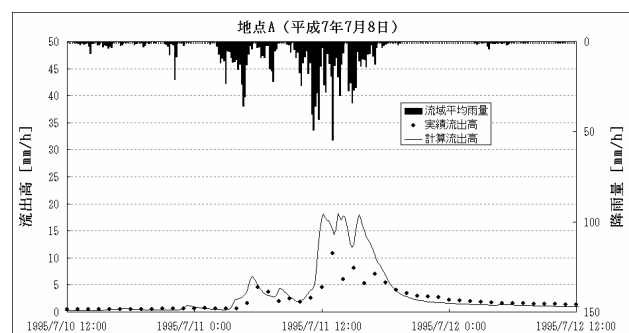


図-4 ハイドログラフ（地点A）（レーダ雨量）

表-3 小流域毎の最大貯水能力と最終浸透能（地上雨量）

	地点A	地点B	地点C	地点D	地点E
最大貯水能力[mm]	140.0	150.0	120.0	180.0	40.0
最終浸透能[mm/day]	100.0	150.0	150.0	160.0	40.0

表-4 求めた偏回帰係数 $p_{W,i}$ （最大貯水能力）[mm]

水田 $p_{W,1}$	森林 $p_{W,2}$	建物用地 $p_{W,3}$	その他 $p_{W,4}$
74.1	136.0	92.9	150.6

表-5 求めた偏回帰係数 $p_{F,i}$ （最終浸透能）[mm/day]

水田 $p_{F,1}$	森林 $p_{F,2}$	建物用地 $p_{F,3}$	その他 $p_{F,4}$
76.7	133.9	85.0	144.6

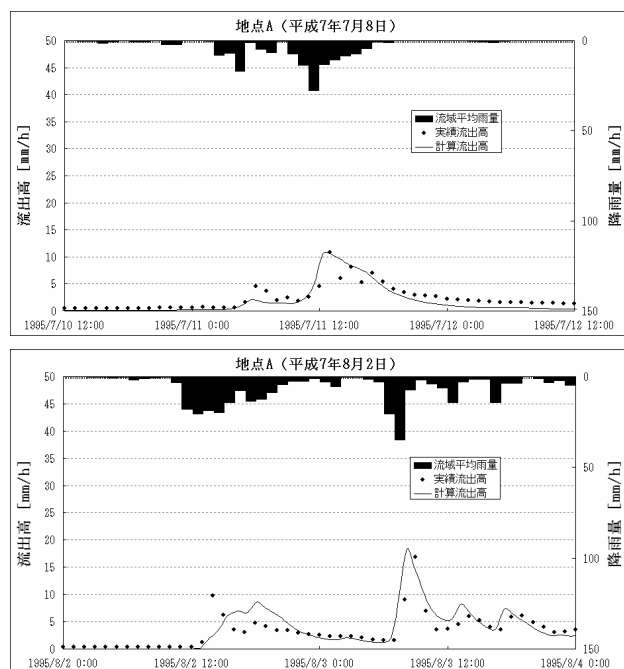


図-5 ハイドログラフ（地点A）（地上雨量）

きに設定した小流域毎の最大貯水能力と最終浸透能の値を表-3に示す。地点Aの地上雨量を入力とした再現計算の結果（図-4と同様の2洪水）を図-5に示す。図-4と図-5を比較すると、図-5の地上雨量を用いた方が良好な再現計算が実施されていることが分かる。また、全体的にも地上雨量を用いた方が良好な再現計算が実施されていた。

以下の実験では、最大貯水能力と最終浸透能の偏回帰係数の推定には地上雨量を用い、現在国土交通省の事務所において分布型洪水流出モデルではレーダ雨量を用いているため、再現計算ではレーダ雨量を用いることにした。

(2) 最大貯水能力と最終浸透能の偏回帰係数の推定及び提案法による再現計算の結果

前の実験より地上雨量を用いて求められた小流域毎の最大貯水能力と最終浸透能の値（表-3 参照）から、最大貯水能力と最終浸透能の偏回帰係数をそれぞれ設定した。推定された最大貯水能力と最終浸透能の偏回帰係数をそれぞれ表-4と表-5に示す。

推定された最大貯水能力と最終浸透能を用いて、地点A（図-4と同様の2洪水）と地点B（5洪水）のレーダ雨量を入力とした再現計算の結果をそれぞれ図-6と図-

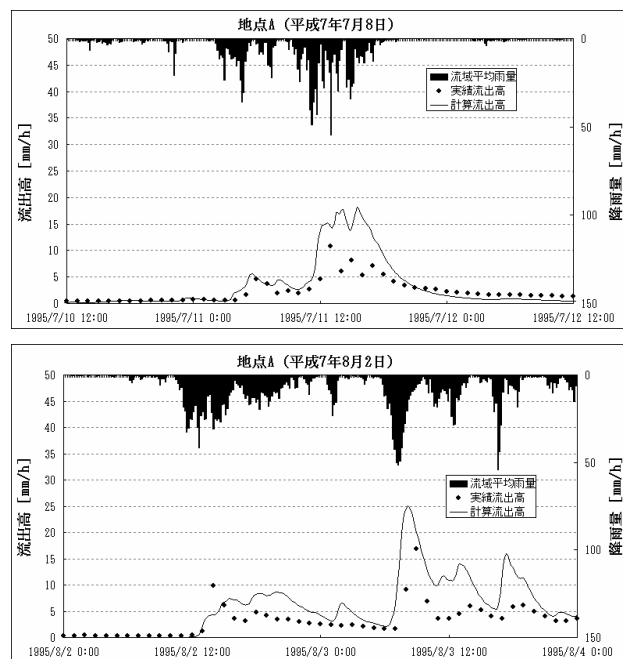


図-6 ハイドログラフ（地点A）（提案法）

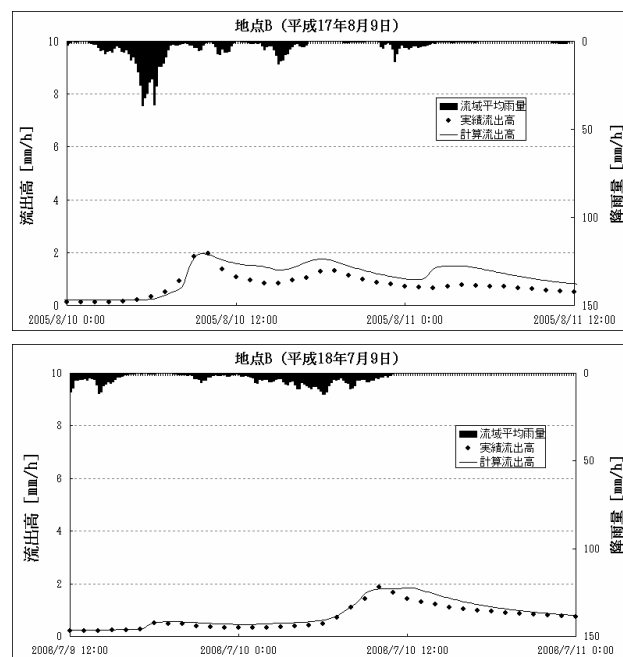


図-7(1) ハイドログラフ（地点B）（提案法）

7に示す。図-4と図-6を比較すると、図-4の過大なピーク時の計算流出高が図-6では若干軽減されているこ

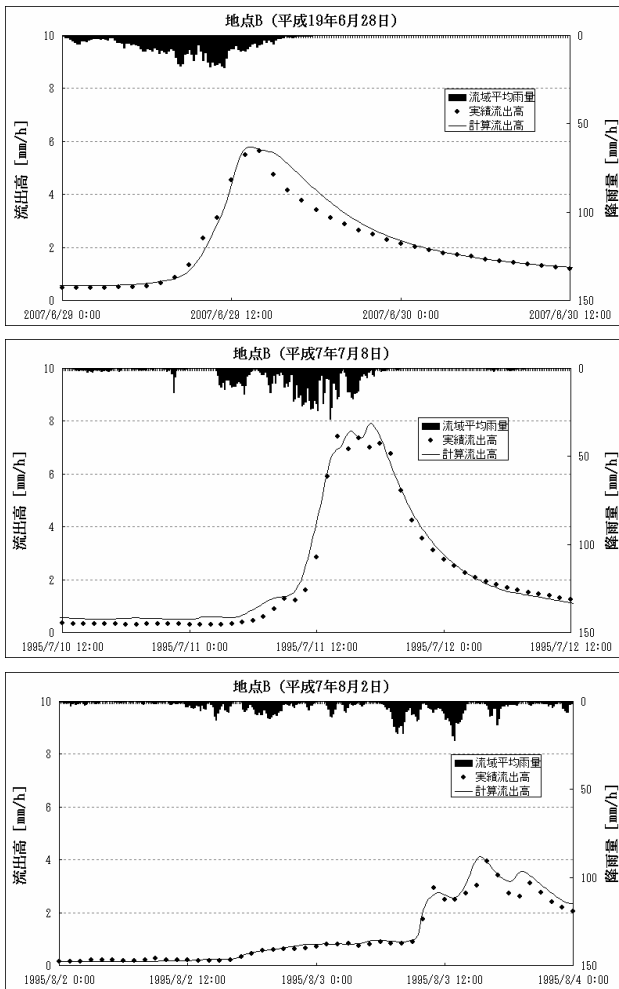


図-7(2) ハイドログラフ (地点B) (提案法)

とが分かる。図-7 より、計算流出高が実績流出高よりも多く出ている場合もあるが、計算流出高と実績流出高の波形は概ね類似していることが分かる。

5. 結論

分布型洪水流出モデルにおいて、メッシュ毎の土地利用の比率を用いた重回帰式から最大貯水能力と最終浸透能を設定する方法を提案し、実データを用いた実験を通してその有効性を検証した。今回、最大貯水能力と最終浸透能の偏回帰係数をレーダ雨量ではなく地上雨量を用いて設定することで、設定が容易で且つ正確になることも示した。提案法による最大貯水能力及び最終浸透能を用いることで比較的良好な流出の再現計算が行えることも分かった。し

かし、4章の実験において偏回帰係数を求める際の小流域の数が5であり、統計的に十分とは言いきれない。

今後の課題は、小流域の数を増やして実験を行うことや、提案法をより多くの河川に適用することである。また、今回、土地利用の項目として、水田、森林、建物用地、その他の4項目を取り上げたが、多重共線性が生じにくい項目の組合せを検討することや、より詳細な項目で検証することも今後の課題である。更に、最大貯水能力と最終浸透能を推定する際に重回帰式を用いたが、より適切な式で推定することも考えている。

参考文献

- 1) 陸旻皎, 小池俊雄, 早川典生: 分布型水文情報に対応する流出モデルの開発, 土木学会論文集Ⅱ, 411 /Ⅱ-12号, pp.135-142, 1989.
- 2) 陸旻皎: 分布型水文情報に対応する流出モデルの開発, 長岡技術科学大学博士論文, 博甲第47号, 1991.
- 3) 吉野文雄, 吉谷純一, 堀内輝亮: 分布型流出モデルの開発と実流域への適用, 土木技術資料, Vol.32, No.10, pp.54-59, 1990.
- 4) 児島利治, 宝薫, 岡太郎, 千歳知礼: ラスター型空間情報の分解能が洪水流出解析結果に及ぼす影響, 水工学論文集, 第42巻, pp.157-162, 1998.
- 5) 市川温, 村上将道, 立川康人, 椎葉充晴: 流域地形の新たな数理表現形式に基づく流域流出系シミュレーションシステムの開発, 土木学会論文集Ⅱ, 691巻, 57号, pp.43-52, 2001.
- 6) 佐山敬洋, 立川康人, 寶馨: 流出モデルの不確実性評価手法とそのモデル選択への適用, 土木学会論文集, 789巻, 2-71号, pp.1-14, 2005.
- 7) 佐々木靖博, 星清, 井出康郎: 損失項を含む総合化貯留関数法の精度評価, 河川技術に関する論文集, 第6巻, 2-71号, pp.303-308, 2005.
- 8) 川合茂, 和田清, 神田佳一, 鈴木正人: 河川工学, pp.53-55, コロナ社, 2009.
- 9) 小池俊雄, 早川典生, 陸旻皎: アメダスデータと数値地理情報を用いた分布型融雪解析システムの開発, 水工学論文集, 第42巻, pp.121-126, 1998.
- 10) 陸旻皎, 小池俊雄, 早川典生, 益蔵克成: 分布型流出モデルのための河道特性の評価, 水工学論文集, 第35巻, pp.161-166, 1991.
- 11) 社団法人土木学会: 水理公式集 [平成11年度版], pp.40, 89, 1999.
- 12) 独立行政法人土木研究所: WEP モデル解説書, pp.31, 2002.

(2011. 10. 5受付)

CATCHMENT STORAGE CAPACITY AND FINAL INFILTRATION CAPACITY ESTIMATED FROM LAND USE FOR DISTRIBUTED HYDROLOGICAL MODEL

Toru HIRAOKA, Hiromi YUKI and Minjiao LU

In this paper, we propose a method that catchment storage capacity and final infiltration capacity are estimated from land use for distributed hydrological model. First, we show a background and a purpose of this paper. Secondly, we outline our distributed hydrological model. Thirdly, we explain the proposed method. Fourthly, we prove that the proposed method is effective through experiments which real data is used. By using the proposed method, we will be able to set the catchment storage capacity and final infiltration capacity quickly, and make a good runoff calculation. Finally, we comment on respects in which the proposed method is improved and on future prospects.