A STUDY ON OPTIMIZATION METHOD OF RRI MODEL PARAMETERS FOR FLOOD FORECASTING BY COMBINING MULTIPLE FLOOD EVENTS

柿沼太貴¹・中村要介²・伊藤弘之²・池内幸司³ Daiki KAKINUMA, Yosuke NAKAMURA, Hiroyuki ITO and Koji IKEUCHI

 ¹正会員 博士(工学)国立研究開発法人土木研究所 水災害・リスクマネジメント国際センター (〒305-8516 茨城県つくば市南原1-6)
 ²正会員 国立研究開発法人土木研究所 水災害・リスクマネジメント国際センター (〒305-8516 茨城県つくば市南原1-6)
 ³正会員 博士(工学) 東京大学大学院工学系研究科 教授 (〒113-8656 東京都文京区本郷7-3-1)

The water level rises rapidly during the flood due to the topographical characteristics of the small mountainous river basins. Therefore, a flood forecasting system that can accurately predict the water level is required. In constructing a model, estimating parameters that greatly affect the reproducibility of the model has traditionally required time and effort. The purpose of this study is to apply the SCE-UA method to the RRI model and propose an optimization parameter identification method with high prediction accuracy for large, medium and small flood events without the user's hydrological background. The RRI model is applied to thirteen floods in the dam basin with the SCE-UA method and optimized simultaneously the multiple flood events focusing on the runoff ratio using four types of evaluation methods considering the reproducibility of the rising and peak parts of the water level from the perspective of flood forecasting. Furthermore, the reliability of the identified parameters was verified at large, medium, and small another flood events.

Key Words: Parameter optimization, distributed runoff model, RRI model, SCE-UA, flood forecasting

1. はじめに

近年,豪雨災害が頻発・激甚化しており,毎年のよう に水害による多くの人的被害が発生している.特に中小 河川はその流域特性上,局所的に発生する集中豪雨等に より急激な水位上昇を引き起こす.そのため,被害を防 止・軽減するための水防活動や避難活動を行うには少し でも先の水位状況を精度よく予測できるシステムが必要 である.また,洪水予測システムを可及的速やかに広く 普及させるためには,高度な知識や技能を有していなく ても簡便に扱え,かつ再現性の高い水位予測モデルが求 められている.土木研究所ではデータ同化技術による観 測水位を活用した中小河川の水位予測モデルの開発に取 り組んでおり、そのベースとなる降雨流出モデルには降 雨流出氾濫モデルRainfall-Runoff-Inundation: RRIモデル を用いている¹⁾. RRIモデルは充実したインターフェー スにより容易にモデル構築ができるが、モデルの再現性 を大きく左右するパラメータの推定には、従来から時間 と労力を要してきた.また、RRIモデルが扱う水文現象 の理解や技術者の水文学的バックグラウンドによる不確 実性も生じる.そのため、洪水予測システムを広く普及 するという観点からは課題といえる.

降雨流出モデルのパラメータの最適化については多くの既往研究がなされている.その中でも、分布型流出モデルに最適化を適用した事例として、例えば立川ら²はDuanら³によって提案されたSCE-UA法(Shuffled complex evolution method)を分布型流出モデルに適用し、

入力雨量データ,モデルパラメータや水位流量曲線の不 確かさが大洪水時の予測流量に与える影響を分析し,実 時間水位予測の精度向上への課題について考察している. 松原ら⁴はSCE-UA法を用いた代表パラメータ設定手法 の適用により,熊野川流域を対象とした分布型流出モデ ルに対し,複数の出水に対して高い再現性を有する代表 パラメータを抽出することが可能であると提案している. SCE-UA法以外の最適化手法においても,LM法

(Levernberg-Marquardt) PSO (Particle Swarm Optimization)を用いたパラメータ同定手法の有用性が 報告されている5.0. 一方,本研究において着目している 高水時の予測精度を重視したパラメータ同定手法に関す る研究については、山口ら"は評価指標として平均二乗 誤差やピーク流量二乗誤差等を足し合わせた目的関数を 作成し、中~大規模の3つのイベントの誤差を最小にす るパラメータ推定を行っている事例や、宮本ら⁸は平均 二乗誤差による誤差指標に、最大流量とハイドログラフ の立ち上がり部において計算値が過小評価とならない洪 水予測適性の条件を付加することで、最大流量と流量上 昇部が過小評価とならない結果を示すことを報告してい る.以上の既往研究のように、一般的なパラメータ最適 化は洪水の再現を目的とし、大規模な洪水のみを対象と し、単一イベント毎に最適化している事例が多い.しか しながら本研究が対象とする中小河川は、堤防が未整備 の地域や計画高水位に対応していない区間等があり、中 小規模洪水に対しても精度が良く予測できるモデルでな くてはならない.加えて、一級水系よりもはるかに数が 多く、過去の水位・流量データが不十分な河川もあり、 限られたデータの中で多くのモデルを構築しなくてはな らない.以上より本研究ではRRIモデルを適用し、大規 模洪水のみではなく中小規模洪水に対しても高い予測精 度が得られるパラメータ同定手法を提案することを目的 とし、まず、大中小規模の複数のイベントに対し、単一 イベント毎に最適化を実施し、RRIモデルにおけるパラ メータの同定特性について検討する.次に,得られた結 果を基に、流出率に着目して複数のイベントを組み合わ せ,かつ流量上昇部およびピーク部を重視した複数の評 価方法により最適化を行った.そして、同定されたパラ メータセットにより未学習の大中小規模のイベントに対 して一定の再現性が得られるのかを検証した.なお、本 研究で提案する手法の妥当性を評価するために初期検討 として水位ではなく,水位流量曲線の不確実性の少ない ダム流域を対象に流入量で最適化した.

2. 分布型流出モデル

本研究では約105km²の流域面積,総貯水量約1500万m³ をもつダム流域検討対象地域とし, RRIモデルを適用 した. 解析には国土交通省国土技術政策総合研究所水害

表-1対象イベント諸元

洪水	日付	ピーク流量	最大降雨強度	流出率	
イベント	-	[m ³ /s]	[mm/hr]	[mm/hr]	-
1	2007/7/13-16	790	46.3	550.5	0.83
2	2009/8/8-11	1020	76.7	705.9	0.79
3	2011/7/17-21	953	51.3	879.4	0.84
4	2011/9/1-4	1191	65.9	901.8	0.86
5(検証)	2011/9/19-23	670	43.4	466.7	0.75
6	2012/6/14-24	572	39.7	505.6	0.76
7(検証)	2013/10/24-26	378	27.0	318.1	0.77
8	2014/8/1-6	434	34.5	552.7	0.59
9(検証)	2014/8/8-11	1330	57.7	885.0	0.86
10	2014/10/12-15	784	41.6	372.9	0.76
11	2015/7/16-18	1139	72.8	596.9	0.61
12	2015/12/10-12	575	43.1	242.4	0.57
13	2016/9/19-22	568	50.2	209.5	0.77

研究室より提供していただいた1時間間隔のダム流入量 値を使用した.また、地形モデルには日本域表面流向 マップの空間解像度1秒(約30m)データを5秒(約150 m)の空間解像度にスケールアップしたものを使用し, 雨量は気象庁が配信している30分毎の解析雨量(解像度 約1 km)の時空間分布を考慮した. なお,全てのイベン トに対し、対象とするイベントの約1か月前から計算を 開始している.検討対象とするイベントを表-1に示す. 選定理由として,詳細は後述するがピーク流量や流出率 が異なるイベントの種々の組み合わせによる最適化を実 施するため、2006年から2016年までの大中小規模イベン トの13洪水を抽出した. RRIモデルは降雨流出と洪水氾 濫を二次元の拡散波近似で一体的に解析できる分布型流 出モデルである. 降雨流出について, 平野ではGreen-Ampt式により鉛直浸透を考慮し、土壌に浸透しきれな い余剰分は表面流として二次元のDiffusive waveで追跡し ている.一方山地では、土層中の側方流に着目し、連続 式に不飽和・飽和地中流、表面流を考慮する流量流積関 係式を使用している. なお,本研究対象地域はその流域 のほとんどが森林で覆われているため土地利用は後者の 山地1種類として、モデルパラメータを斜面・河道とも に空間的に一様に与え解析している.

3. 最適化手法

本研究では,探索効率に優れた大域的探索手法である SCE-UA法を採用しRRIモデルに適用した.SCE-UA法は 非線形水文モデルにおける数多くの適用実績がある手法 であり,競争進化・集団混合の概念を組み合わせており, その探索手法によって局所最適値から広域最適値へより 早く収束するため各パラメータの最適値の探索効率化が 期待される.同定対象とするパラメータおよび文献^{9,10)} に基づき物理性を損なわないよう設定した探索範囲を表 -2に示す.RRIモデルは不飽和・飽和地中流,表面流の 取り扱いにおいて,飽和層厚・不飽和層厚を土層厚に飽 和空隙率・不飽和空隙率を乗ずることで表現している (図-1).そのため,土層厚を1.0 mに固定し飽和空隙 率・不飽和空隙率を最適化することとした.また,不飽 和空隙率は飽和空隙率よりも小さくなくてはならないため、最適化を行う際には、 $\theta_m = \theta_m gamma_m_a$ とした.加えて、飽和水平透水係数においては、より変動しやすくするために、 $k_a = 10^{\circ}(-k_a_a)$ とした(**表**-2).

(1) 単一イベントにおける最適化

本研究ではRRIモデルにSCE-UA法を適用して2種類の 検討を行った.まず,対象13イベントに対しそれぞれ最 適化を実施し,各パラメータの変動特性について検討し た.最適化期間は流量が上昇し始める数時間前から逓減 部までの期間(以下,イベント全期間)を対象とし,誤 差値を実測値とその期間平均値との差で除したNash-Sutcliffe指標(以下,NS)を評価関数とした.一般的に NS値が0.7以上の場合その水文モデルの再現性は高いと されている.

(2) 複数イベントにおける最適化

次に,洪水予測に適したモデルを構築するために,13 イベントの中から2種類の組み合わせを選定し,4種類の 評価方法により最適化を実施した.その後,得られたパ ラメータセットを用いて未学習の大中小規模の3つのイ ベントを再現できるか検証した.

a) 複数イベント選定方法とパラメータ最適化手法

最適化を行う組み合わせの選定方法は、(1)の結果 から流出率に着目し、検証洪水を除く10イベントから下 記の2種類の組み合わせを選定した.

①流出率が高い組み合わせ:イベント1(流出率:
 0.83),イベント3(0.84),イベント4(0.86).

②流出率が高中低の組み合わせ:イベント4(0.86),

イベント6 (0.76) , イベント8 (0.59) .

また, 選定した2種類(①②)の組み合わせを用いて, 4種類の評価手法により最適化を行った.

- i) 単一イベントにおける最適化と同様に,NS値を評価 関数としてイベント全期間を最適化したケース.
- ii)イベント全期間を評価期間とし、評価関数をNS値 と各イベントのピーク流量二乗誤差の足し合わせと したケース.
- iii) NS値を評価関数として、ある一定流量以上の波形に対して最適化対象としたケース。
- iv) NS値を評価関数として,流量上昇部からピーク値 までを最適化期間としたケース.

ii) ~iv) の評価方法においては本研究の主目的である 洪水予測に特化した洪水予測モデルを構築するために設 定した.ii) に関して, ピーク流量二乗誤差は以下の式 (1)により算出した.また, NS値と次数を合わせるため に各ピーク流量二乗誤差に10を乗じて足し合わせた.

$$E_p = \left(\frac{Q_{op} - Q_{Cp}}{Q_{op}}\right)^2 \tag{1}$$

表-2 最適化パラメータの探索範囲の上下限値

ł	最適化パラメータ	単位	下限	上限
ns_river	河道の粗度係数	m ^{-1/3} • s	0.015	0.04
ns_slope	斜面の粗度係数	m ^{-1/3} • s	0.06	1.0
gamma_a	飽和空隙率	-	0.1	0.6
ka_α	飽和水平透水係数(冪数)	-	1	3
gamma m α	不飽和空隙率(係数)	-	1	10



図-1 RRIモデルにおける土層の構造

ここに、 E_p ピーク流量二乗誤差、 Q_{Op} 実測ピーク流量、 Q_{Cp} 計算ピーク流量である. iii)は、2種類の組み合わせ 共に、200 m³/s以上を最適化対象とした. なお、3つのイ ベントを繋げ1つのイベントとして最適化する場合、NS 値を算出する際に各イベントの評価個数による偏りが生 じるため、それぞれ洪水毎のNS値を算出し、3つの洪水 イベントの評価値の合計を最小化することとした.

b) 検証洪水

未学習の検証洪水は、研究対象ダム流域において既往 最大洪水イベントであるイベント9、中規模洪水である イベント5,小規模イベントであるイベント7とした(表-1).また、検証にはNS値と流量上昇部からピークまで のNS値、ピーク流量誤差流量(m³/s)、ピーク流量誤差 率(%)を用いて評価した.

4. SCE-UA法による最適化結果

(1) 単一イベントにおける最適化

最適化された13イベントのNS値を表-3に示す.その時の最適化された5つの推定分布を図-2に示す.グラフの横軸の範囲はパラメータ探索範囲を示している.全てのイベントにおいてNS値0.9以上が得られ、同定されたパラメータは様々な規模の洪水イベントにおいて非常に高い再現性を有していることが分かった.各パラメータの考察の前に13イベントの中でも相対的にNS値が低いイベント2、11 (NS値共に0.92) に関してその理由を検討する.両イベント共に同様の解析モデルおよび同様のパラメータ探索範囲で計算を実施していることから、イ

ベント毎に異なる降雨について着目し、ダムの流域平均 降雨量と流域内にある地上雨量計(アメダス)1地点と 比較した. NS値が非常に高いイベント1 (0.99) とNS値 が他のイベントより相対的に低いイベント11(0.92)の 2種類のハイエトグラフ, SCE-UA法により得られた計算 結果を図-3に示す. 解析雨量はレーダーエコー強度を地 上雨量計で補正したものではあるが、二つのイベントを 比較すると、イベント1は概ね同様の降雨値を精度よく 観測できているが、イベント11に関しては降雨強度が高 い期間が過大となっている.地上雨量計1地点のみとの 比較のため一概に降雨のみの原因とはいえないが、この ような要因によって、イベント2、11のNS値が他のイベ ントと比べ相対的に低くなったと考えられる.次に、上 記2イベントを除く各パラメータの得られた値について 考察する. 同定されたパラメータ値はイベント毎にばら つく結果となった. 河道の粗度係数においては探索範囲 内で広く分布しており、斜面の粗度係数はほとんど下限 値に寄る結果となった.一方で、土壌特性を示す指標は 概ね, 飽和空隙率:0.2~0.5, 飽和透水係数(m/s): 0.01~0.06, 不飽和空隙率: 0.025~0.2を示した. 例えば, イベント3 (図-2の▲) においては、土壌パラメータが 他のイベントと比べると、高い値に分布している. これ は、本イベントは降雨発生前2週間にほとんど降雨が無 く, その後10 mm/hr程度の降雨が1日続いたのち, 数時 間で最大降雨強度51.3 mm/hrの降雨が発生しているイベ ントのため、土壌への浸透量および速度を大きくして、 流量の立ち上がりを合わせていることが考えられる. 一 方で、イベント7(同図の+)においては対照的に、土 壌パラメータが他のイベントと比べ低い値を示している. 本イベントは約1週間前から複数の降雨イベントを経験 しているため、土壌にはある程度の水量が浸透している ことが想定される.よって、浸透量および速度を小さく することで河川への流出を速くしていることが考えられ る. 上記の結果から、個々の出水イベントにおいて同定 された最適パラメータは、降雨形態や降雨イベント前の 土壌の状態によって変動することが推察され、必ずしも 他の出水イベントに対して最適であるとは言えない. な お、このことについては松原ら4や立川ら11)も指摘して いる.以上の結果より、単一イベントによる最適化の手 法では洪水予測に適したパラメータを同定することは難 しい、よって、次に各イベントの流出率に着目し、複数 イベントを組み合わせた最適化結果を検討した. なお, 斜面の粗度係数が下限値に寄った結果については、今回 文献に基づく物理性を損なわない探索範囲を与えている が、斜面の粗度係数はモデルの空間解像度に依存してい ると考えられるため今後の更なる検討が必要である.

(2) 複数イベントにおける最適化

図-4に複数イベントによって最適化されたパラメータ を用いて大中小規模イベントに対して検証した結果を示

表-3 最適化された13イベントのNS値

 No.
 1
 2
 3
 4
 5
 6
 7
 8
 9
 10
 11
 12
 13

 NS値
 0.99
 0.92
 0.96
 0.99
 0.95
 0.99
 0.94
 0.98
 0.99
 0.92
 0.99
 0.99



0.000 0.100 0.200 0.300 0.400 0.500 0.600 0.700

図-2 13イベントの最適化された各パラメータの分布

0.800



図-3 イベント1(上段, NS値:0.99)とイベント11(下段, NS値:0.92)における流域平均雨量(青棒線)と地上雨量計(赤網掛け棒線)の比較.青実線はSCE-UA法により得られた計算結果.

す. 左図は流出率が高い組み合わせ,右図は流出率が高 中低の組み合わせであり,1つのグラフに4種類の評価手 法による結果を示している(i:実線,ii:破線,iii:一 点鎖線,iv:点線).また,それぞれのイベントにおけ る検証結果を表-4に示し,流量上昇部からピークまでの 期間で評価したNS値とピーク流量誤差率を図-5に示す.

a) 異なる流出率の組み合わせによる最適化結果

流出率が高い組み合わせは、大規模イベントにおける 波形全体の再現性は高いが、中小規模イベントに対して は、逓減部の再現性は高いものの、流量上昇部および ピークが過小評価であった(図-4の左図).一方、流出 率が高中低の組み合わせに関しては、流量上昇部から ピークまでの期間に対し、大中小規模の全てのイベント に対し高い再現性が得られた.しかし、逓減部は過小評 価であった(図-4の右図).図-5の流量上昇部からピー



図-4 流出率が高いイベントの組み合わせ(左),流出率が高中低の組み合わせ(右)により同定されたパラメータを用いて大 中小(上,中,下段)規模のイベントに対し検証した結果.1つのグラフに4種の評価手法による計算結果を示す.

		小規模イベント			中規模イベント			大規模イベント					
		NS	ピークまでの NS値	ピーク流量 誤差(m ³ /s)	ピーク流量 誤差率	NS	ピークまでの NS値	ピーク流量 誤差(m ³ /s)	ピーク流量 誤差率	NS	ピークまでの NS値	ピーク流量 誤差(m ³ /s)	ピーク流量 誤差率
流出率高のみ の組み合わせ	1_i	0.85	0.84	21.0	0.06	0.93	0.90	84.9	0.15	0.98	0.98	25.1	0.02
	1_ii	0.88	0.87	17.9	0.05	0.93	0.91	84.5	0.14	0.98	0.98	31.0	0.02
	1_iii	0.88	0.88	17.2	0.05	0.93	0.91	84.0	0.14	0.98	0.98	32.1	0.02
	1_iv	0.88	0.85	18.8	0.05	0.93	0.91	49.7	0.08	0.97	0.99	-16.9	-0.01
流出率高中低 の組み合わせ	2_i	0.98	0.98	-15.1	-0.04	0.94	0.96	-22.2	-0.03	0.94	0.98	-69.4	-0.05
	2_ii	0.97	0.98	-4.6	-0.01	0.93	0.97	-0.2	0.00	0.94	0.98	8.6	0.01
	2_iii	0.97	0.97	-17.1	-0.04	0.93	0.96	-37.8	-0.05	0.93	0.98	-79.7	-0.06
	2_iv	0.95	0.96	-3.4	-0.01	0.93	0.97	17.3	0.03	0.94	0.98	15.4	0.01

表-4 2種類の組み合わせ、4種類の評価手法による検証結果

クまでのNS値をみても、流出率が高い組み合わせは (黒塗り記号),中小規模に対し値が低くなるが,流出 率が高中低の組み合わせは(白抜き記号)、大中小規模 全てのイベントに対し高い値が得られた.

b)4種類の評価手法による最適化結果

流出率が高い組み合わせにおいては、4種類の評価手 法による大きな差異は見られなかった.一方,流出率が 高中低の組み合わせにおいては、評価手法iiとiv(図-5 の◇と△)が、大中小規模のイベントに対しピークまで のNS値が高くかつピーク流量誤差率が低い値を示した.

c) 各パラメータの同定結果

同定された各パラメータの分布図を図-6に示す.流出

率が高い組み合わせにおいて,評価手法iv(図-6の▲) 以外は概ね同様の値を示している. 流出率が高中低の組 み合わせにおいては、評価手法によって不飽和空隙率以 外の値がばらつく結果となった.評価手法として優れて いた評価手法iiとiv(図-6の◇と△)に関しては、土壌 特性を示すパラメータは概ね同様の値を示した. 両評価 手法の特徴として、土壌特性のパラメータを小さくする ことで、浸透しにくくかつ河川に流出する水量が増え流 量上昇部の再現性が向上したことが考えられる.しかし, そうすることで水が流出しやすくなるため、逓減部は過 小評価になることが推定される.2種類の組み合わせに 関するパラメータを比較すると対照的な値を示しており、 流出率が高い組み合わせは、土壌特性を示すパラメータ を大きく取ることで土壌への浸透量を増やす傾向にあり、 降雨初期つまり流量上昇部において水が流出しにくく なっており、反対に逓減部においては徐々に土壌から抜 けていくことで再現精度が高くなっている.一方流出率 が高中低の組み合わせはその逆の傾向にある.本研究は 洪水予測モデルに適した最適化手法を提案することが目 的だが、これらの検討から今後の種々の目的による流出 解析モデルを構築する際に参考となる知見が得られた.

5. おわりに

本研究で得られた結果を以下に示す.

- 大規模から小規模の種々のイベントを含む13イベント に対し単一イベント毎に最適化をした場合,全てのイ ベントでNS値0.9以上の非常に高い再現性が得られた.
- 2) 流出率が高中低のイベントを組み合わせて最適化する ことで、流出率が高いイベントを組み合わせた最適化 より、大規模のイベントだけではなく、中小規模のイ ベントに対しても流量上昇部からピークまでの期間お よびピーク値の再現性が向上することが分かった。
- 3)既存のNS値を評価関数とし、洪水イベント全期間を 最適化対象期間とする手法もイベント全てに対し高い 再現性が得られたが、洪水予測を主目的とする場合は、 イベント全期間を対象としたNS値にピーク流量二乗 誤差を足し合わせたものを評価関数とするケースや流 量上昇部からピークまでを最適化期間とするケースが、 評価手法として洪水予測に適していることが分かった. 本研究は森林を主とするダム流域を対象に実施してお

り、今後の課題として、他の流域かつ土地利用が複数存 在する地域においても同様の再現性が得られるのかを確 認する必要がある.また、実際の現場では水位を如何に 精度よく予測するのかが課題であり、水位に対して高い 再現性が得られるよう検討を続けていく予定である.

謝辞:本研究において,京都大学防災研究所の佐山敬洋 准教授から種々のご助言を頂くと共に,最適化のベース となるプログラムを提供していただいた.ここに記して 謝意を表する.また,本研究開発は,内閣府総合科学技 術・イノベーション会議の官民研究開発投資拡大プログ ラム (PRISM)によって実施されている.

参考文献

- 1) 佐山敬洋,岩見洋一:降雨流出氾濫(RRI)モデルの開発と応用,土木技術資料, pp56-6,2014.
- 2) 立川康人,目野貴嗣,キムスンミン,椎葉充晴:2011年熊野 川大洪水の再現計算からみた実時間河川水位予測の精度向上 への課題,河川技術論文集,第19巻, pp.229-234,2013.
- 3) Duan, Q., Sorooshian, S. and Gupta, V.K.: Effective and efficient



図-5 検証結果における流量上昇部からピークまでの期間で 算出したNS値とピーク流量誤差率の結果

■1_i ◆1_ii ●1_iii ▲1_iv □2_i ◊2_ii ◊2_ii △2_iv



れた各パラメータの分布

global optimization for conceptual rainfall-runoff models, Water Resours. Res., Vol.28, No.4, 1015-1031, 1992.

- 4) 松原隆之, 土田和稔, 日比谷正則: SCE-UA法を適用した分布 型流出モデルの代表パラメータ設定手法に関する検討, 土木 学会論文集B1 (水工学), 71巻, 4号, pp. 265-270, 2015.
- 5) 小林健一郎, 寶馨, 立川康人: 最適化手法による分布型降雨 流出モデルのパラメータ推定, 水工学論文集, 第51巻, pp. 409-414,2007.
- 6)小槻峻司,田中賢治,小尻利治,浜口俊雄:群知能最適化手 法を用いた分布型流出モデルのパラメーター同定土木学会論 文集B1(水工学),68巻,4号,pp.523-528,2012.
- 7)山口悟史,楠田尚史:SCE-UA法を用いた豊川水系における 流出モデルのパラメータ推定,水文・水資源学会研究発表会 要旨集,16巻,2019.
- 8) 宮本守,松本和宏,津田守正,山影譲,岩見洋一,屋並仁史, 穴井宏和:洪水予測適性を考慮した分布型流出モデルパラ メータの同定手法の検討,土木学会論文集B1(水工学),72 巻,4号,pp.175-180,2016.
- 9) 建設省土木研究所河川部都市河川研究室:氾濫シミュレーション・マニュアル(案) ーシミュレーションの手引きおよび新モデルの検証ー,土木研究所資料第3400号, pp.11-14, 1996.
- International Center for Water Hazard and Risk Management (ICHARM), Public Works Research Institute (PWRI) : Rainfall-Runoff-Inundation(RRI) Model manual ver1.4.2, 2017.
- 11) 立川康人, 目野貴嗣, 萬和明:洪水規模によらない降雨流出 モデルの検討,水文・水資源学会研究発表会要旨集, 27巻, 2014.

(2020. 4. 2受付)