

ベトナム南部Can Don流域における分布型降雨流出モデルの開発と最適メッシュサイズの検討

大川, 果瑠菜

九州大学大学院生物資源環境科学府環境農学専攻生産環境科学教育コース水環境学研究室

平松, 和昭

九州大学大学院農学研究院環境農学部門生産環境科学講座水環境学研究室

Trieu Anh Ngoc

ベトナム・テュイロイ大学HCMC キャンパス科学技術・国際部門

原田, 昌佳

九州大学大学院農学研究院環境農学部門生産環境科学講座水環境学研究室

他

<https://doi.org/10.15017/6796278>

出版情報：九州大学大学院農学研究院学芸雑誌. 78 (2), pp.33-70, 2023-09. Faculty of Agriculture, Kyushu University

バージョン：

権利関係：



ベトナム南部 Can Don 流域における分布型降雨流出モデルの開発と 最適メッシュサイズの検討

大川果瑠菜¹・平松和昭*・Trieu Anh Ngoc²・原田昌佳・
田畑俊範・尾崎彰則³

九州大学大学院農学研究院環境農学部門生産環境科学講座水環境学研究室
(2023年4月17日受付, 2023年5月18日受理)

Development of Distributed Rainfall Runoff Model and Evaluation of its Optimal Mesh Size in the Can Don Watershed in Southern Vietnam

Karuna OKAWA¹, Kazuaki HIRAMATSU*, Anh Ngoc TRIEU², Masayoshi HARADA,
Toshinori TABATA and Akinori OZAKI³

Laboratory of Water Environment Engineering, Division of Bioproduction Environmental Sciences, Department of
Agro-environmental Sciences, Faculty of Agriculture, Kyushu University, Fukuoka 819-0395, Japan

緒 言

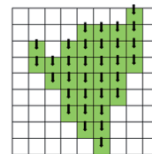
熱帯多雨地域である東南アジア新興諸国は、近年様々な水問題を抱えている。水問題の例としては次のようなことが挙げられる。まず、東南アジア新興諸国では、経済発展に伴う人口増加や乾季の河川流量の減少に伴う塩水遡上による取水障害などを原因とした水不足が発生している。また、生活や社会経済活動の変化による水利用の変化・拡大により必要水量の確保が重要な課題として挙げられている。さらに、雨季には洪水被害が常態化しており、地球温暖化や地域開発に伴う降雨強度や流出量の増大を要因として、洪水の発生頻度の増加や激甚化も懸念されている。

このような水問題の解決策として、治水と利水の両視点における効率的かつ長期的な視点に立ったインフラ整備が求められている。このようなインフラ整備を実施する際には、降雨流出モデルによる流出解析が不可欠である。本研究では、将来的な地域開発や気候変動に対する流出量の長期的変化を予測可能な降雨流出

モデルの開発を目的とした。

降雨流出モデルは様々な種類があり、空間的な構造の違いで分類される場合には、集中型降雨流出モデルと分布型降雨流出モデルの2種類に分けることができる。それぞれの概要を図1に示す。集中型降雨流出モデルは、流域を1つの単位としてモデル化している。このモデルの目的は、ある対象流域の予測であり、流域内の降雨流出現象の空間的変動を知る必要がないと

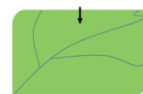
・分布型降雨流出モデル



流域を空間的に分割

各サブ流域にデータを入力

・集中型降雨流出モデル



流域に1つのデータを入力

図1 分布型降雨流出モデルと集中型降雨流出モデルの概念図

¹九州大学大学院生物資源環境科学府環境農学専攻生産環境科学教育コース水環境学研究室

²ベトナム・チュイロイ大学HCMCキャンパス科学技術・国際部門

³九州大学熱帯農学研究センター

¹Laboratory of Water Environment Engineering, Course of Bioproduction Environmental Sciences, Department of Agro-environmental Sciences, Graduate School of Bioresource and Bioenvironmental Sciences, Kyushu University

²Division of Science, Technology and International Affairs, Thuyloi University, HCMC Campus, Vietnam

³Institute of Tropical Agriculture, Kyushu University

*Corresponding author (E-mail: kazuaki-hiramatsu@kyudai.jp)

きに用いられる。ここでの入力データは、流域平均の降雨量や蒸発散量であり、それらが流域下端の対象地点における流量に変換される過程をモデル化する。一方、分布型降雨流出モデルは、流域を空間的に分割し、各サブ流域にデータを入力するモデルであり、流域内での雨水や物質の空間的変動を詳しく知る必要がある場合に用いられる。分布型降雨流出モデルは、流域を空間的に分割し、各サブ流域にデータを入力するために、降雨量や蒸発散量、土地利用などの空間分布が反映可能となる。(椎葉ら, 2013)

本研究では、東南アジア新興諸国の属する熱帯多雨地域特有の降雨の時空間的な不均一性や、将来的な土地利用の変化を反映可能なモデルとするため、分布型降雨流出モデルを採用した。また、分布型降雨流出モデルのメッシュサイズが計算流量に及ぼす影響にも着目した。分布型降雨流出モデルでは、メッシュサイズが大きいく程、短時間で計算可能である。しかし、メッシュサイズが解析結果に与える影響を論じた先行研究は少ないが、例えば Dutta ら (2008) は、分布型降雨流出モデルにおけるメッシュサイズの変化は、河川ピーク流量にかなり影響するとしている。そこで、本研究では、分布型降雨流出モデルの流域データベース構築の際に、450m, 900m, 1800m, 2700m, 3600m, 4500m, 9000m の7種類のメッシュサイズのデータを作成し、それぞれのメッシュサイズで流量計算を行い、降雨流出特性や地形特性を調べることで、メッシュサイズの流量解析への影響を検討し、最適なメッシュサイズを提案した。

本研究を進めるにあたり、ベトナム・チュイロイ大学科学技術・国際部門 (HCMC キャンパス) から Can Don 流域および Sai Gon-Dong Nai 川流域の地上観測データを提供頂いた。九州大学水環境学研究室・ベトナム流域圏研究グループ (高田亜沙里氏、福井信人氏、大月乃瑛氏、舩橋篤史氏) が開発・改良を進めてきた分布型降雨流出モデルの知見を提供頂いた。また、本研究は JSPS 科研費 JP18H03968, JP21K05833 の助成を受けた。記して謝意を表します。

データと方法

1. 解析対象流域

本研究は図2に示す、ベトナム南部に位置する Can Don 流域を対象とした。同流域は、Dong Nai 川流域に含まれる流域の1つであり、流域面積は約 650 km² である。年平均降雨量は約 2300 mm であるが、季節が5月から11月の雨季と12月から4月の乾季に分かれてい

る。同流域下端には、多目的貯水池である Can Don 貯水池を有し、流域の上流部には Thac Mo 流域下端に位置する Thac Mo 貯水池がある。本研究で対象流域とした Can Don 貯水池は、発電用水の供給、農業用水の供給、農業用水の供給、工業用水の供給、洪水制御、環境用水の供給を担っている (提供: Can Don Hydropower Joint Stock Company)。

Can Don 流域は、熱帯多雨地域に属しており、東南アジア新興諸国の一般的な水文・気象学的特徴、地形的な特徴を有している。また、降雨量や流出量などの観測データが比較的揃っている。さらに、降雨流出モデルの最適メッシュサイズを検討する場合、流域面積が大き過ぎると計算時間の問題から小メッシュサイズの計算が難しい。一方、流域面積が小さ過ぎると大メッシュサイズによる流域のモデル化が難しくなる。これらの条件を踏まえ、Can Don 流域は、適当な流域面積を有すると判断した。以上の諸点を考慮して、本研究では Can Don 流域を対象流域に設定した。

2. 入手データ

(1) 地形データ

90m メッシュの数値標高モデル (Digital Elevation Model, 以下 DEM) および、DEM に基づく流域境界データおよび貯水池位置データを入手した (提供: Department of Science Technology and International Affairs, Thuy Loi University, South Campus, Vietnam)。

(2) 土地利用

土地利用は11種類に分類された90mメッシュデータを入手した (提供: Southern Institute of Water Resources Planning, Vietnam)。これを表1に示すように、類似の降雨流出特性を有する土地利用でまとめ

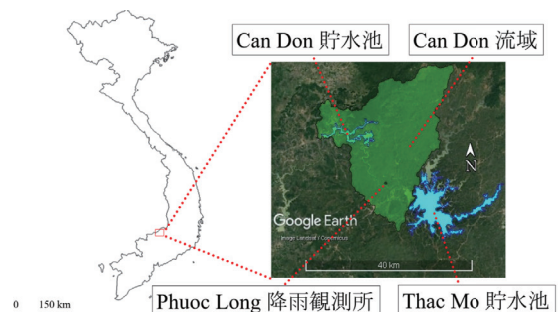


図2 Can Don 流域図

て水域・森林・畑地・市街地・水田の5種類に分類を行った。分類した結果を図3に示す。土地利用データから、450m, 900m, 1800m, 2700m, 3600m, 4500m, 9000mの各メッシュ内に含まれる各土地利用面積をそれぞれ算出した。

(3) 降雨量・蒸発散量

降雨量は図4に示す、Phuoc Long観測所の1箇所の降雨量観測所で観測された日降雨量データを入手した(提供: Southern Regional Hydro-Meteorological Center Vietnam)。図5に2004年から2010年の同観測所における観測値を示す。

蒸発散量に関しては、実測値がなかったため、Thornthwaite法を用い、次式(2-1)～(2-6)で求めた。

$$E^{\max} = 16 \left(\frac{10T_y}{C} \right)^a \left(\frac{U}{12} \right) \left(\frac{1}{30} \right) \quad (2-1)$$

$$C = \sum_{y=1}^{12} \left(\frac{T_y}{5} \right)^{1.514} \quad (2-2)$$

$$a = (0.675C^3 - 77.1C^2 + 17,920C + 492,390) \times 10^{-6} \quad (2-3)$$

$$U = 24 \left(\frac{\omega}{\pi} \right) \quad (2-4)$$

$$\omega = \cos^{-1}(-\tan \phi \cdot \tan \delta) \quad (2-5)$$

$$\phi = 0.4093 \cos \{0.01689(D-173)\} \quad (2-6)$$

ここで、 $E^{\max}$: 日最大可能蒸発散量 (mm/d), D : 1月1日から対象日までの通算日数 (d), T_y : 月平均気温 (°C), δ : 対象地点の緯度 (rad), U : 可照時間 (h) を表す。月平均気温に関してはホーチミン市のものを使用した(提供: The World Meteorological Organization)。

(4) Thac Mo 貯水池からの流出量

Thac Mo 貯水池から Can Don 流域への日単位の放流量のデータを入手した(提供: Thac Mo Hydropower Joint Stock Company, Vietnam)。図6に2004年～2010年の7年間における Thac Mo 貯水池からの放流量の

表1 土地利用項目の分類

90 m メッシュの土地利用項目	分類後の土地利用項目
River	水域
Rubber, Woods, Forest, Cashew, Coffee	森林
Upland tree, Grassland	畑地
Urban, Residential land	市街地
Aquaculture	水田

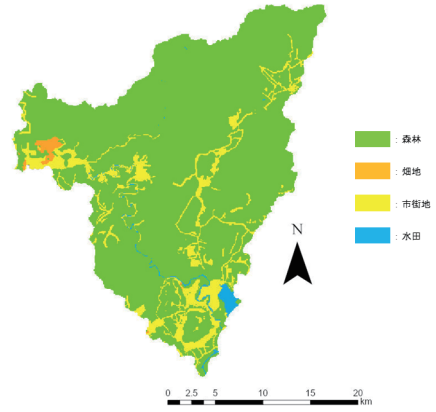


図3 土地利用 (90m メッシュデータ)

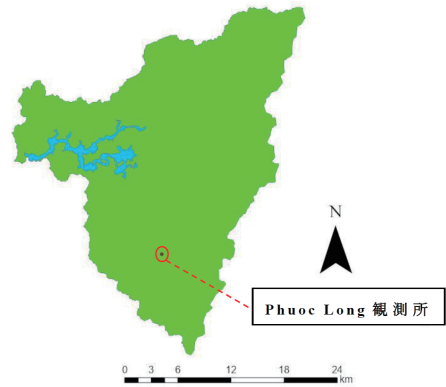


図4 Phuoc Long 降雨観測点

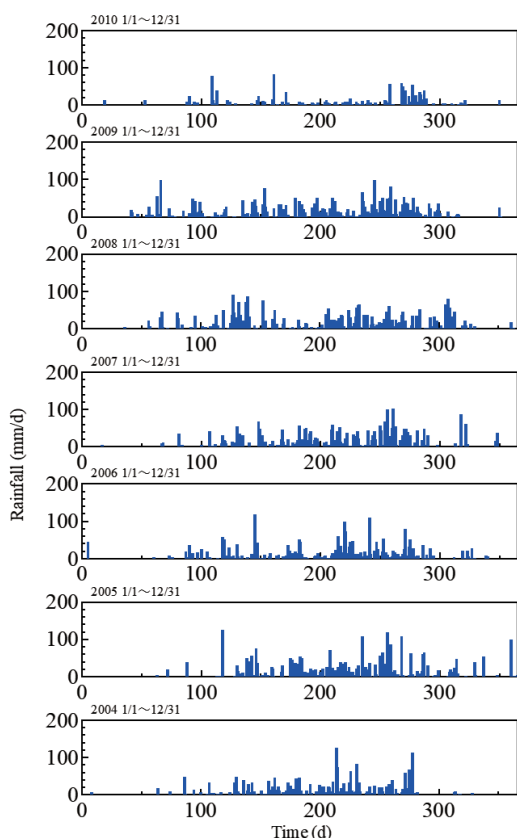


図5 Phuoc Long降雨観測データ(2004年～2010年)

データを示す。Thac Mo貯水池における水力発電用のタービン流出量と、洪水吐からの放流量を合計したものをThac Mo貯水池からの放流量とした。

(5) Can Don貯水池流入量

作成した分布型流出モデルの再現精度評価に用いるため、対象流域であるCan Don流域内のCan Don貯水池における日単位の貯水池流入量データを入手した。(提供：Can Don Hydropower Joint Stock Company) 図7にCan Don貯水池への流入量データを示す。

(6) モデル検証に用いた流量

本研究ではモデル検証の際、前節で記したCan Don貯水池流入量の観測値から、1日遅れのThac Mo貯水池からの流出量を差し引いたものを実測流量とし、降雨流出モデルで計算したCan Don貯水池流入量と比較するという方法をとった。本来、実測流量としては、

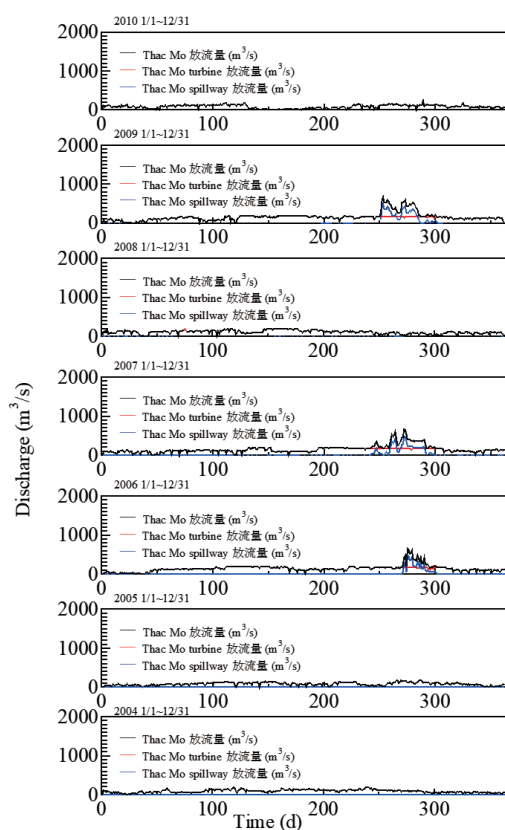


図6 Thac Mo貯水池からの放流量データ(2004年～2010年)

前節に記したCan Don貯水池流入量を用いるべきである。しかし、この流量にはThac Mo貯水池からの流出量も含まれている。そこで、観測流量として、前節で記した貯水池流入量の観測値から、Thac Mo貯水池からの流出量を差し引いたものを用いた。その際、Thac Mo貯水池からCan Don貯水池に流れ込むまでの時間を考慮して、Can Don貯水池で流入が観測された日から1日遅れのThac Mo貯水池流出量を差し引いた。図8に各年における、モデル検証に用いた流量データを示す。

Thac Mo貯水池からの流入量のように、他流域からの流入がない流域を選択すればよかったのでは、との考え方もある。しかし、本研究では、下記の理由でCan Don流域を解析対象流域として設定した。まず、従来から、本研究室がDong Nai川流域を対象として解析を進めており、その際に懸念であった最適メッシュサイズの研究を行うことが目的であったこと、さらに、

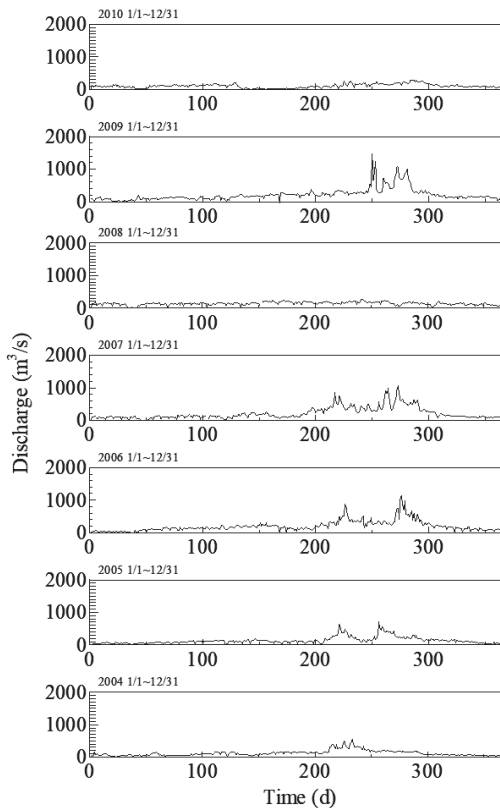


図7 Can Don 貯水池への流入量データ (2004 年 ~ 2010 年)

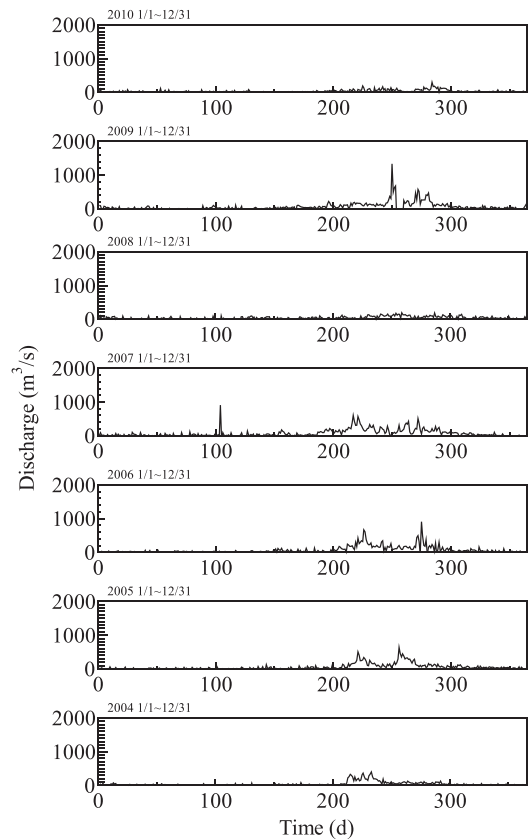


図8 モデル検証に用いた流量 (2004 年 ~ 2010 年)

Dong Nai 川流域内では Can Don 流域が最適メッシュサイズの検討を行う上で最適な大きさであったこと、これらを考慮し、Can Don 流域が最適な解析対象流域と判断した。

3. 分布型降雨流出モデル

(1) モデルの概要

本研究では、将来的な地域開発による土地利用変化や、熱帯地域特有である流域内での降雨不均一性を考慮可能にするため、分布型降雨流出モデルを採用した。さらに、メッシュ内の土地利用を正確に反映するため、Takada ら (2018) を参考に、分布型流出モデルの各メッシュに土地利用別に設定したタンクモデルを導入することで、モデルの再現性を高めた。図9にモデルの概要を示す。すべての陸域メッシュは、水田、畑地、市街地、森林、河川を含むものとし、水田、畑地、市街地、森林には土地利用別タンクモデルを設定した。さらに、

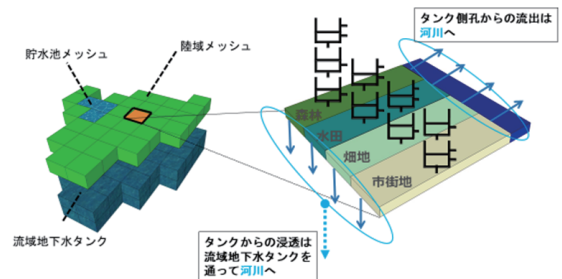


図9 分布型降雨流出モデルの概要

安定的な基底流成分を表現するため、流域地下水タンクを設けた。各土地利用別タンクの側孔からの流出量は河川に、最下段タンクからの浸透量は流域地下水タンクへ流入させた。そして、地下水タンクへの流入水は、地下水として、貯留高に比例して各メッシュの河川に流出させた。

(2) モデル入力データベースの作成

粗視化スケールが地形特性やモデル計算の降雨流出特性への影響を比較検討するため、流域境界、標高、集水図、河川幅のデータを450m, 900m, 1800m, 2700m, 3600m, 4500m, 9000mのメッシュサイズで、それぞれ作成した。

(a) 流域境界

90mメッシュの数値標高モデルDEMに基づき、対象流域内を境界番号1、流域外を境界番号0で表した90mメッシュ流域境界データを入手した。90mのオリジナルデータを計算時間短縮のため、450m, 900m,

1800m, 2700m, 3600m, 4500m, 9000mメッシュデータに粗視化を行った。粗視化の結果、それぞれのメッシュの数は表2、表3のとおりになった。なお粗視化の際はそれぞれのメッシュサイズの中で90mオリジナルデータの境界番号1（流域内）と境界番号0（流域外）の占有率が50%以上ある方の番号を粗視化後の境界番号とした。

次に、土地利用データに基づき、メッシュ内の50%以上に水域が含まれるメッシュを貯水池メッシュとして境界番号を割り当てた。最終的な境界番号を図10～16に示す。

表2 メッシュサイズとメッシュ数の関係 (1)

メッシュサイズ (m)	縦メッシュ数 (個) × 横メッシュ数 (個)
450	88 × 74
900	44 × 37
1800	22 × 19
2700	15 × 13
3600	11 × 10
4500	9 × 8
9000	5 × 4

表3 メッシュサイズとメッシュ数の関係 (2)

メッシュサイズ (m)	陸域メッシュ数 (個)	貯水池メッシュ数 (個)	流域外メッシュ数 (個)
450	3057	86	3369
900	765	19	844
1800	193	3	222
2700	88	0	107
3600	50	0	60
4500	33	0	39
9000	7	0	13

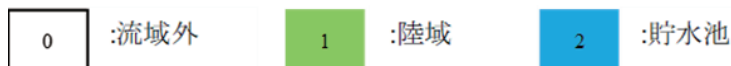
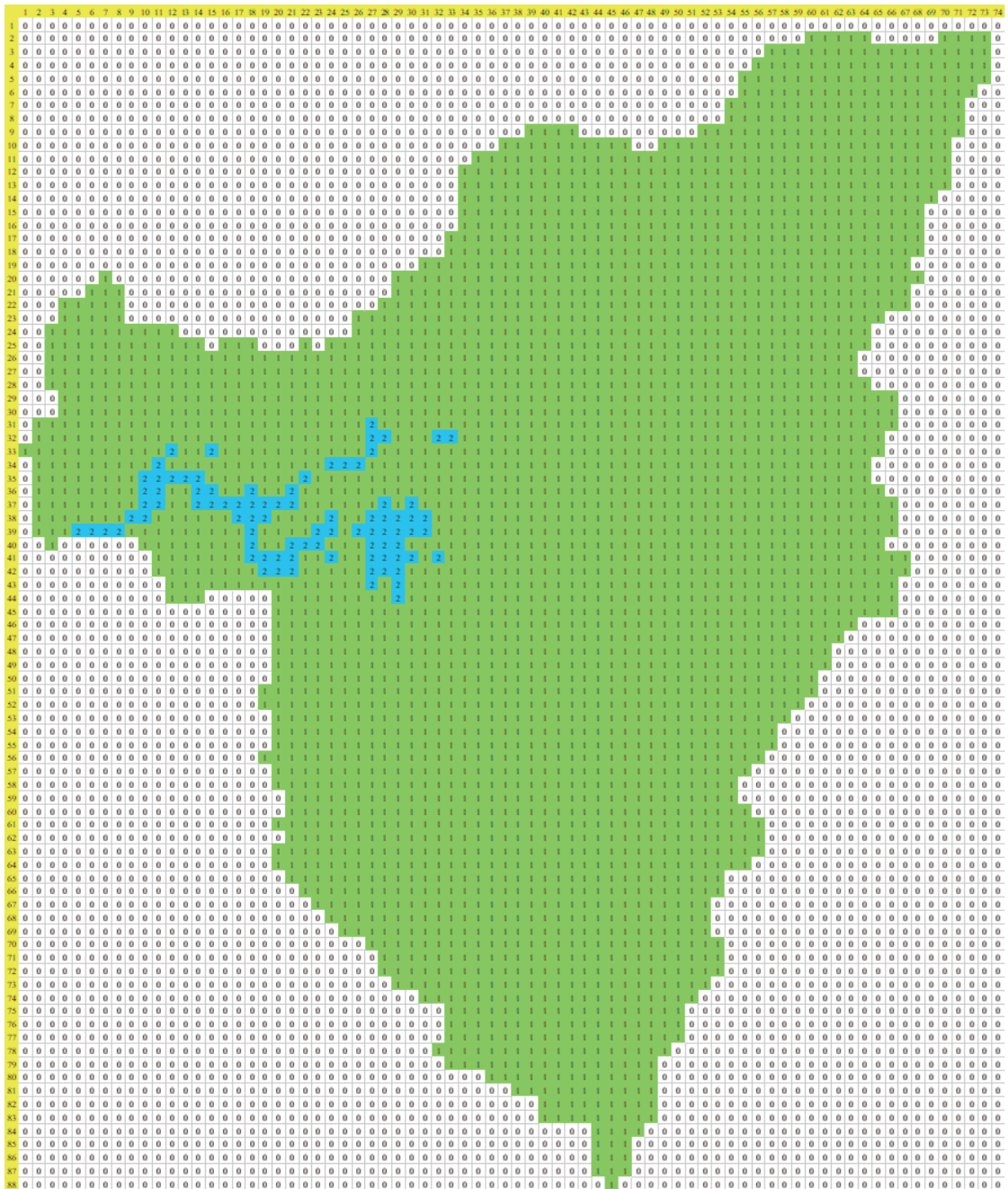


図 10 流域境界 (450m メッシュ)

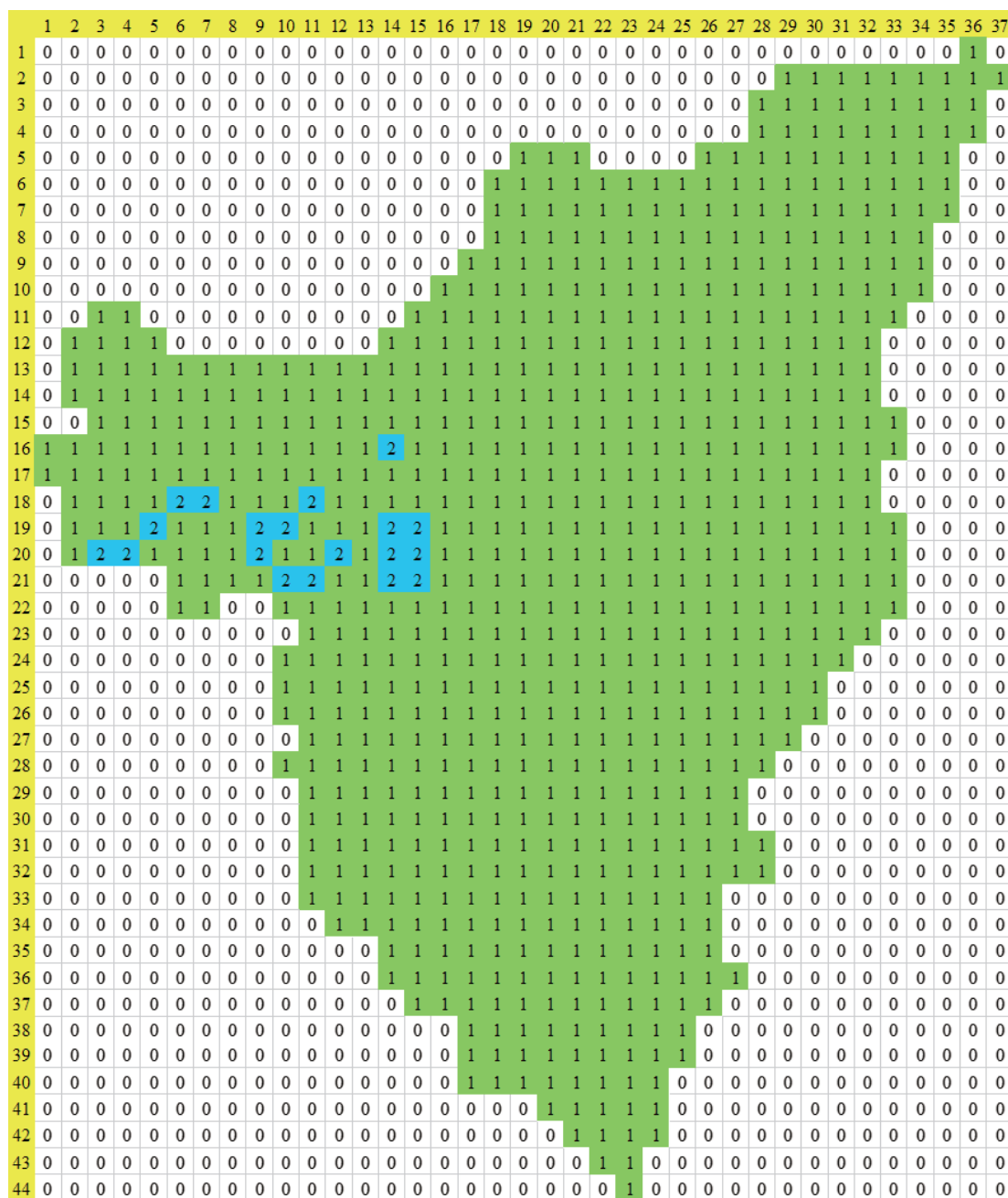


図 11 流域境界 (900m メッシュ)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
4	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0
5	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0
6	0	1	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0
7	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0
8	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0
9	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0
10	1	1	1	1	2	1	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0
11	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0
12	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0
13	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0
14	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0
15	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0
16	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0
17	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0
18	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0
19	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0
20	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0
21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0
22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

0	:流域外	1	:陸域	2	:貯水池
---	------	---	-----	---	------

図 12 流域境界 (1800m メッシュ)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0
3	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0
4	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0
5	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0
6	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0
7	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0
8	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0
9	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0
10	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0
11	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0
12	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0
13	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0
14	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0
15	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0

0 :流域外 1 :陸域 2 :貯水池

図 13 流域境界 (2700m メッシュ)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0
2	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0
3	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0
4	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0
5	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0
6	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0
7	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0
8	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0
9	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0
10	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0
11	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0

0 :流域外 1 :陸域 2 :貯水池

図 14 流域境界 (3600m メッシュ)

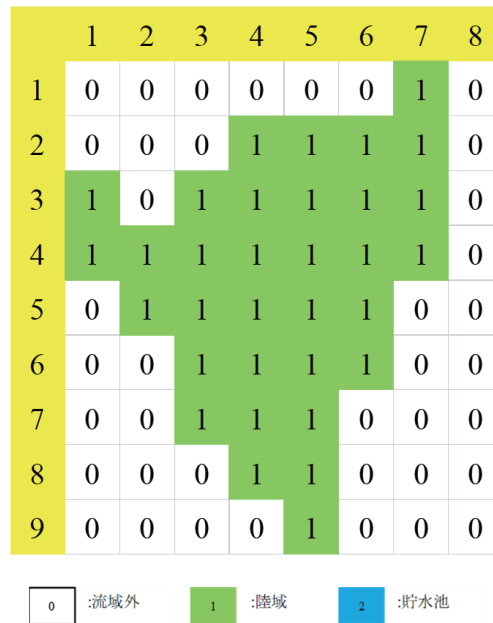


図 15 流域境界 (4500m メッシュ)

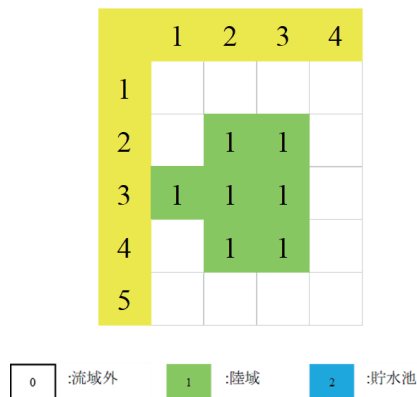


図 16 流域境界 (9000 m メッシュ)

(b) 標高データ

標高については、粗視化後の各メッシュに含まれる 90 m メッシュの標高の平均値を割り当てた。作成したデータの内、いくつかのデータでは、隣接する 3×3 の 9 メッシュで中心メッシュの標高が最も低くなる部分 (=窪地) が生じた。本研究で使用するモデルでは、あるメッシュに着目した時、その周囲 8 メッシュの内、最も標高の低いメッシュに雨水を流下させる。ここで、

窪地が存在していると、そのメッシュに雨水が溜まり、下流端の貯水池まで流下せずに不適切である。そのため、窪地となっているメッシュやその周辺のメッシュの標高を修正した。その際、流域内の窪地に微小高さ Δh を窪地がなくなるまで加算するという方法を用いた。窪地処理を行った後の最終的な標高値を図 17 ~ 23 に示す。

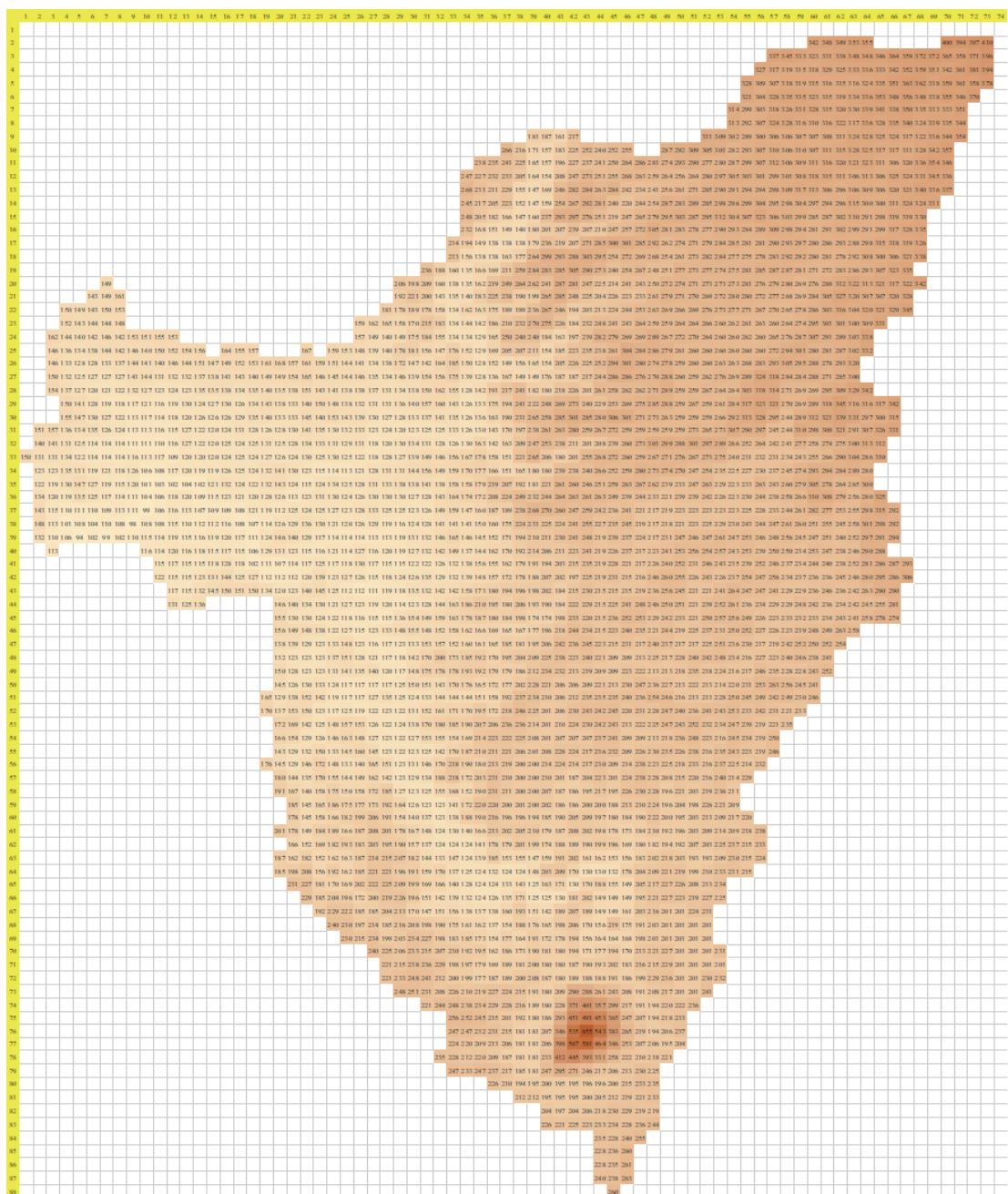


図 17 標高 (450m メッシュ)

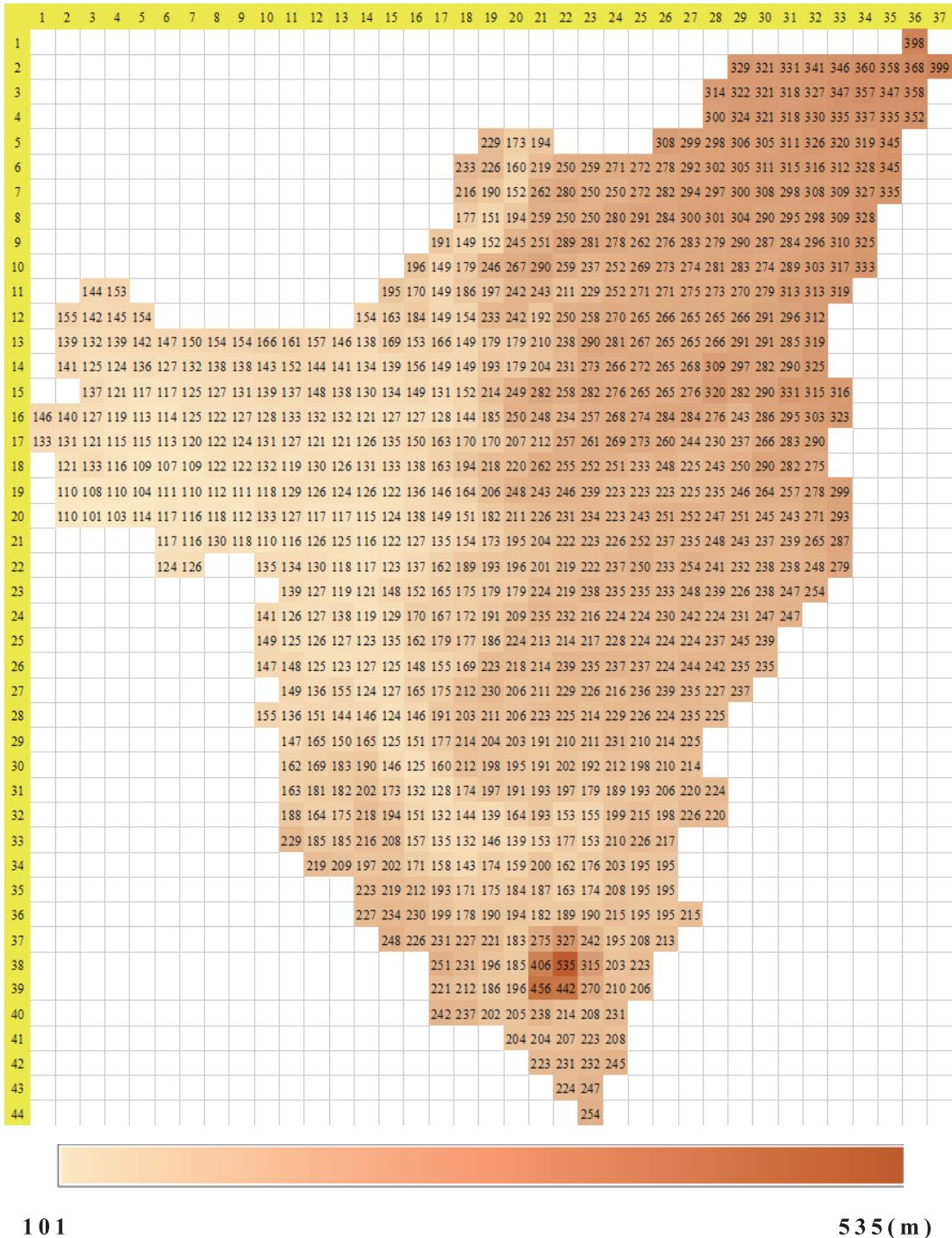


図 18 標高 (900m メッシュ)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
1															327	341	353	372	
2														309	322	323	344	348	
3									193	225	263	284	298	307	317	320	346		
4								212	172	259	253	282	298	300	300	318			
5								161	227	272	262	270	279	283	293	321			
6		146						178	154	229	224	252	268	266	277	308			
7		130	138	143	149	153	140	154	152	178	220	277	263	275	288	303			
8		126	118	125	131	138	130	134	139	224	256	271	269	289	275	311			
9	128	121	119	118	127	124	126	139	173	204	247	258	253	235	261	283			
10	119	119	119	118	118	125	121	130	153	212	236	228	234	240	251	263			
11				127	124	127	121	127	160	189	212	227	241	245	238	248	286		
12						130	124	150	170	190	227	228	230	238	235	250			
13						131	124	142	170	213	220	229	224	235	239				
14						142	142	140	195	213	222	221	231	230					
15						161	172	140	191	200	198	211	208	222					
16						174	194	163	145	173	181	181	203	221					
17						208	202	184	145	153	173	184	181						
18							224	223	185	185	180	197	181						
19									235	196	386	239	215						
20									225	197	338	230							
21											212	220							
22																			

118

386(m)

図 19 標高 (1800m メッシュ)

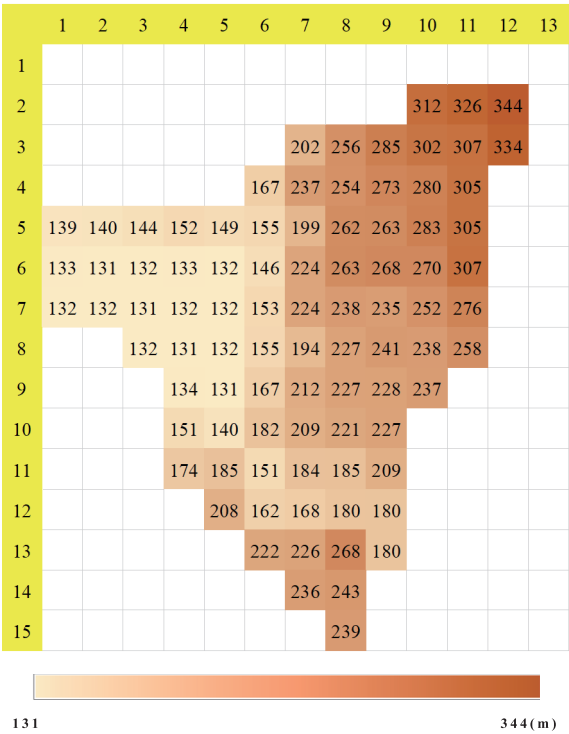


図 20 標高 (2700m メッシュ)

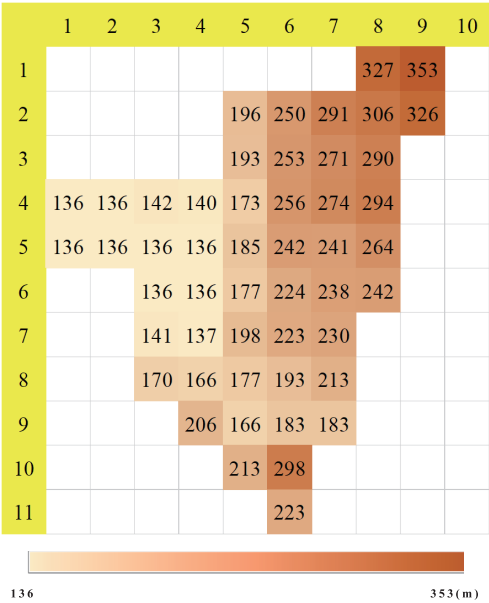


図 21 標高 (3600m メッシュ)

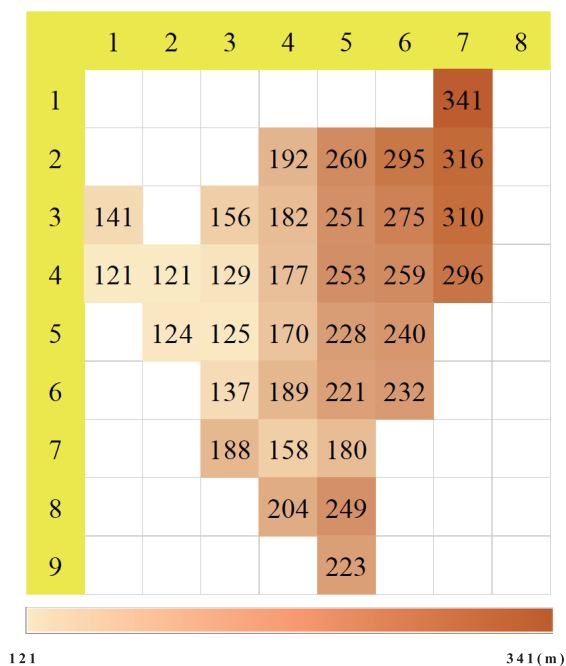


図 22 標高 (4500m メッシュ)

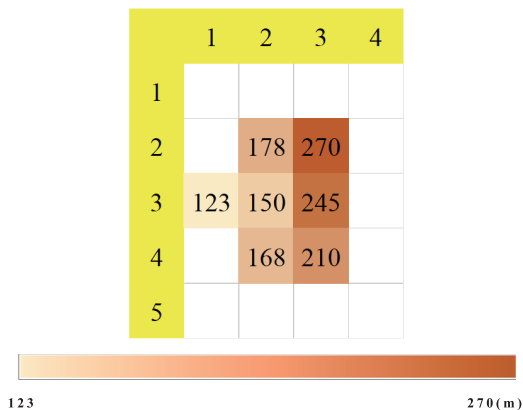


図 23 標高 (9000m メッシュ)

(c) 集水図

流域データベースの確認と次節の河川幅の計算に用いるため、降雨の貯水池までの流下経路を示す集水図を 450m, 900m, 1800m, 2700m, 3600m, 4500m, 9000m メッシュサイズのそれぞれで作成した。あるメッシュに着目した際、雨水は周囲 8 メッシュの内、最も標高が低いメッシュに流下し、流下したメッシュ

に 1 を加える。これを貯水池メッシュに達するまで続ける。この作業を、全メッシュをスタート地点として繰り返すことにより、集水図が作成できる。作成した集水図を図 24 ～ 30 に示す。

図 24 ～ 30 は Google Earth の衛星画像と比較し、高次数のメッシュは衛星画像の河川と概ね一致することが確認できた。

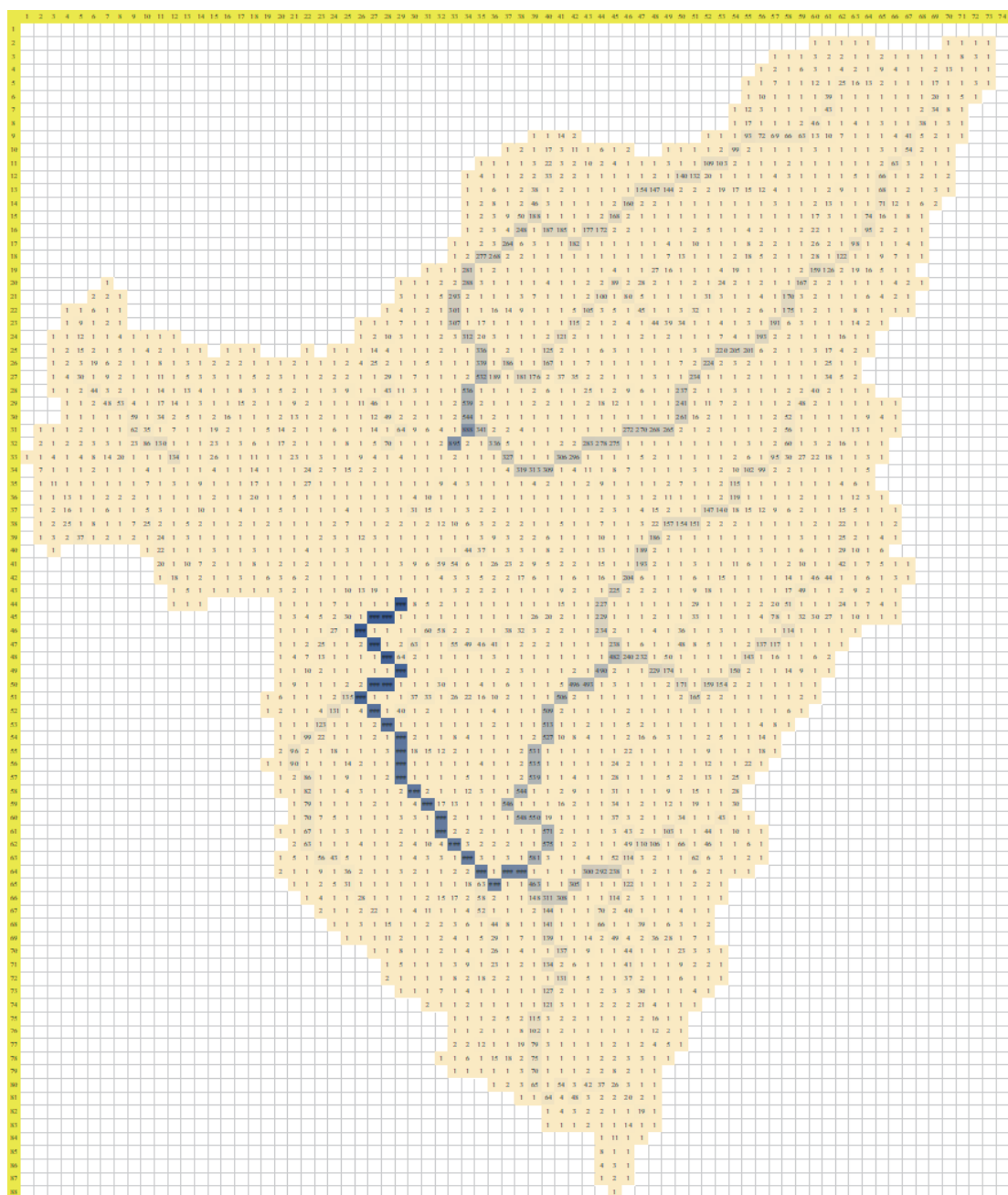


図 24 集水図 (450m メッシュ)

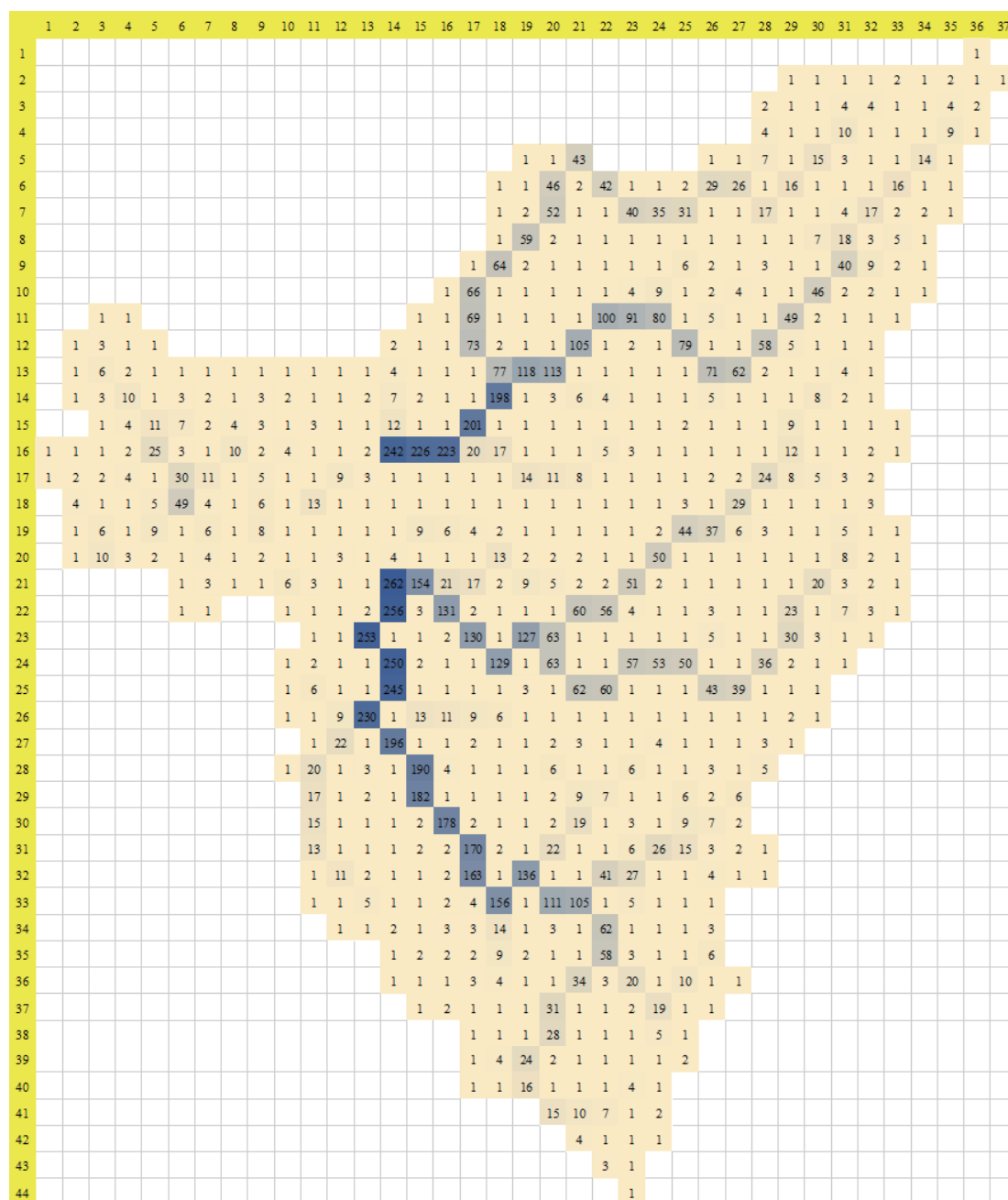
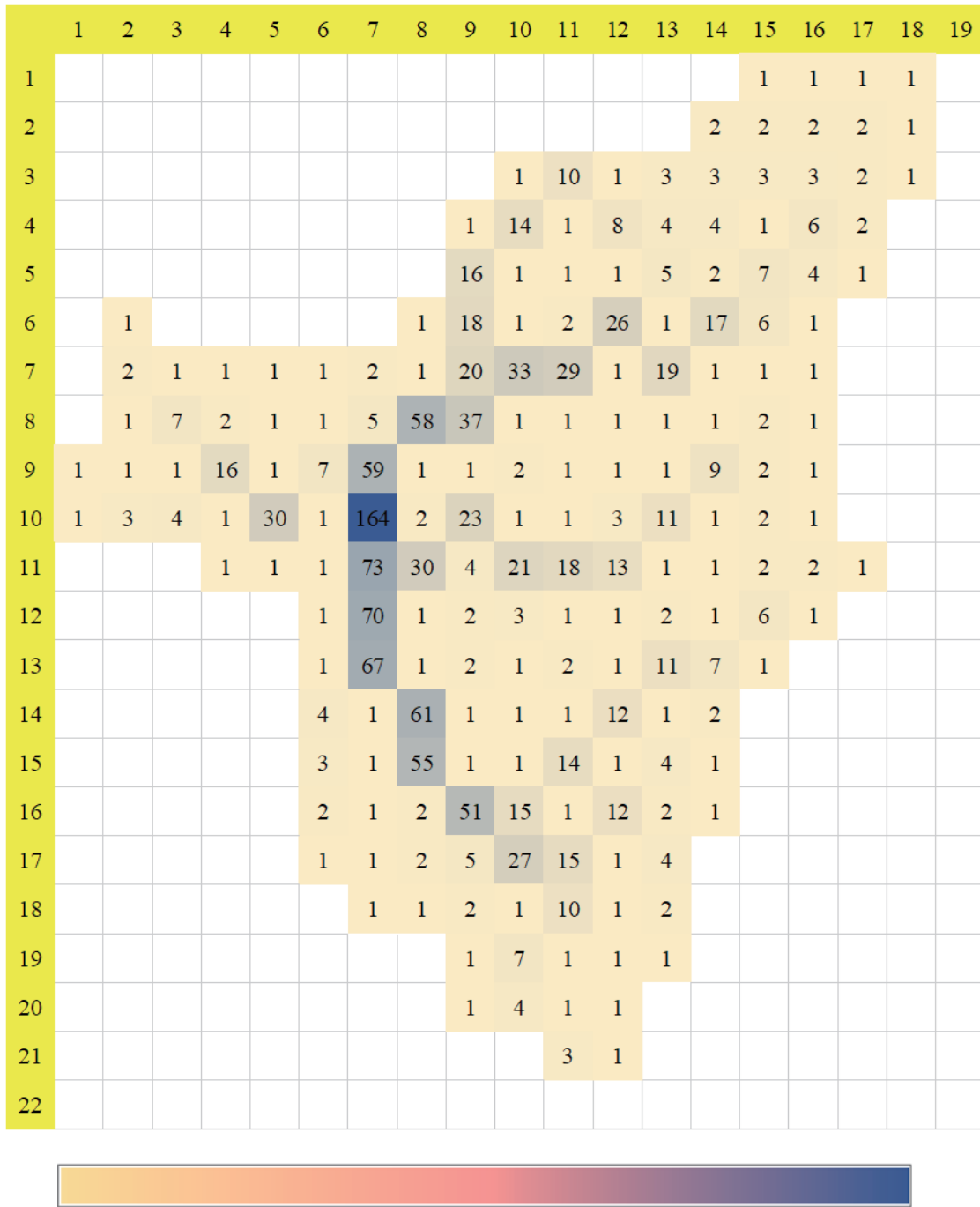


図25 集水図 (900m メッシュ)



1

164

図 26 集水図 (1800m メッシュ)

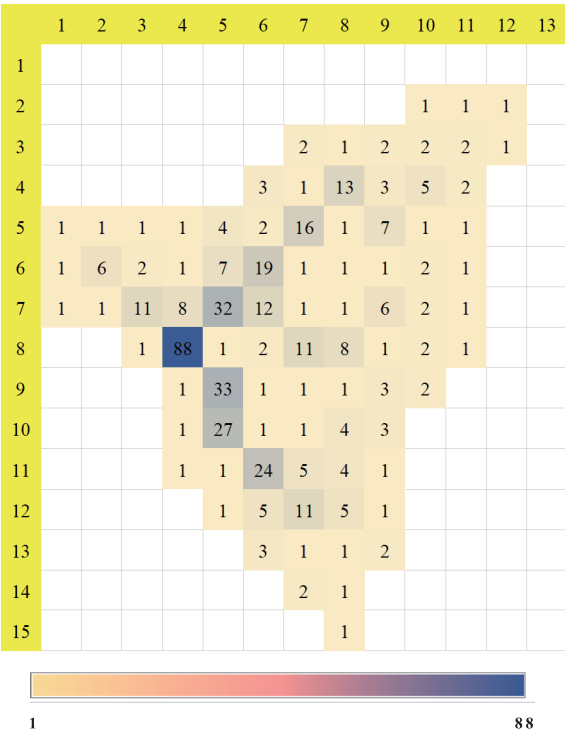


図 27 集水図 (2700m メッシュ)

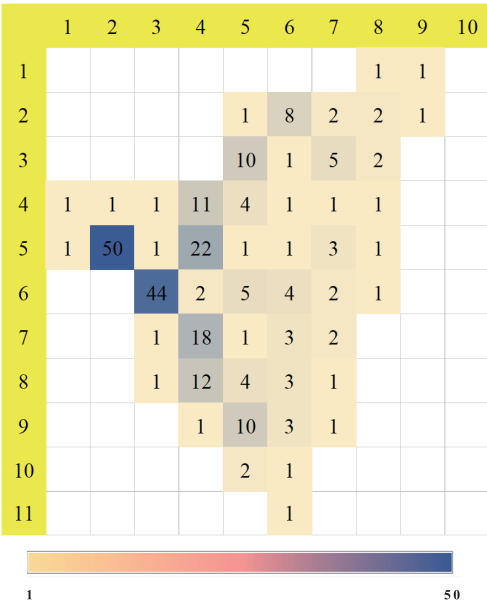


図 28 集水図 (3600m メッシュ)

(d) 河川幅

各メッシュ内の河川幅は式 (2-7) で算定した (佐山・寶, 2003) .

$$B_k = B_0 \left(\frac{A_k}{A_0} \right)^l \quad (2-7)$$

ここで, B_k : メッシュ k の河川幅 (m), B_0 : 下流端河川幅, A_k : メッシュ k の集水面積 (m^2), A_0 : 下流端の流域面積 (m^2), l : 一定値 ($=0.3$). なお, B_0 は下流端河川幅で最も値が大きくなる部分を衛星画像より読み取り, $B_0=170$ (m) として計算した. メッシュ k の集水面積 A_k は, 集水メッシュ数にメッシュ面積を乗じて求める. また, 下流端集水面積 A_0 もそれぞれのメッシュサイズごとに設定し, 450m メッシュデータでは $A_0=3.165 \times 10^8 \text{m}^2$, また 900m, 1800m, 2700m, 3600m, 4500m, 9000m のそれぞれのメッシュデータにおいては, それぞれ $A_0=2.074 \times 10^8 \text{m}^2$, $2.365 \times 10^8 \text{m}^2$, $6.415 \times 10^8 \text{m}^2$, $=6.480 \times 10^8 \text{m}^2$, $6.683 \times 10^8 \text{m}^2$, $5.670 \times 10^8 \text{m}^2$ として計算を行った. 作成した河川幅データを図 31 ~ 37 に示す.

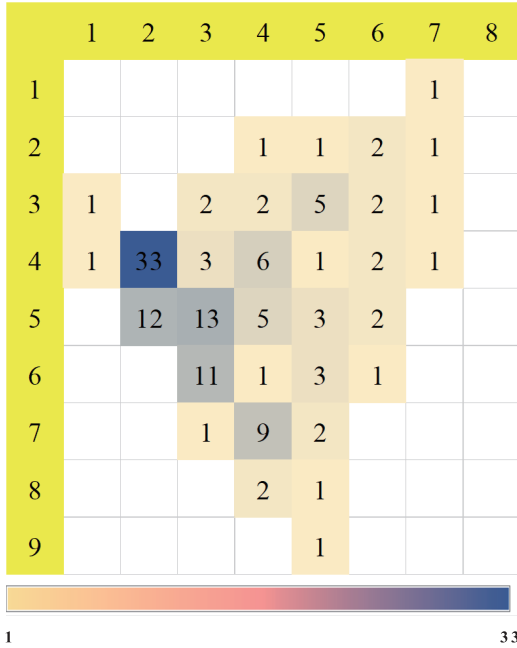


図 29 集水図 (4500m メッシュ)

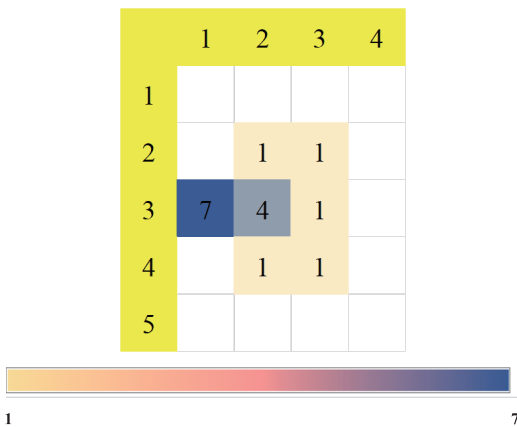
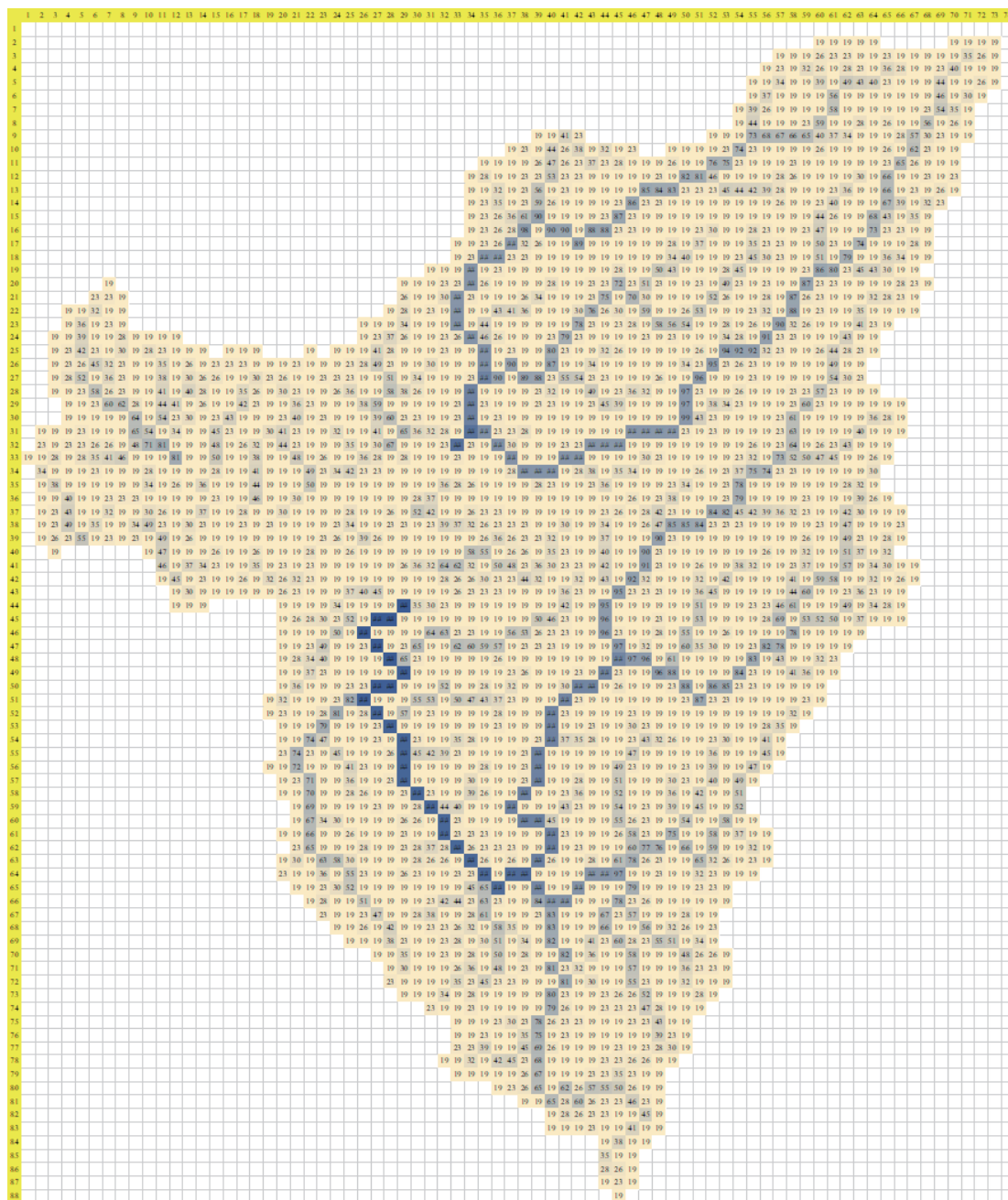


図 30 集水図 (9000m メッシュ)

(3) 土地利用別タンクモデルと流域地下水タンク

中桐ら (1998; 2000) を参考に, 図 38 に示すように, それぞれ 2 段直列の水田, 畑地, 市街地タンクモデル, および 3 段直列の森林タンクモデルを導入した. 水田タンクモデル 1 段目の上段流出孔は畦畔高, 下段流出孔からは欠口高 (湛水深) を表現し, 各メッシュに含まれる河川から水田の取水も考慮可能となるように設定した. 流出係数と浸透係数の初期値は中桐ら (1998, 2000) の値を参考に決定した. 決定したパラメータの値を図 39 に示す. なお, 各土地利用別タンクモデルの初期水深は, 各計算年で同年の降雨量データを用いた 1 年間の先行流出計算を行った際の最終日における水深を与えた. 蒸発量は各土地利用の最上段のタンクから引くが, タンク内の貯留分では不足する場合, 不足分を下段タンクから差し引いた. 各タンクモデルの流出孔からの流出高 S_i は式 (2-8) で, 下段への浸透高 P_i は式 (2-9) で求められる.

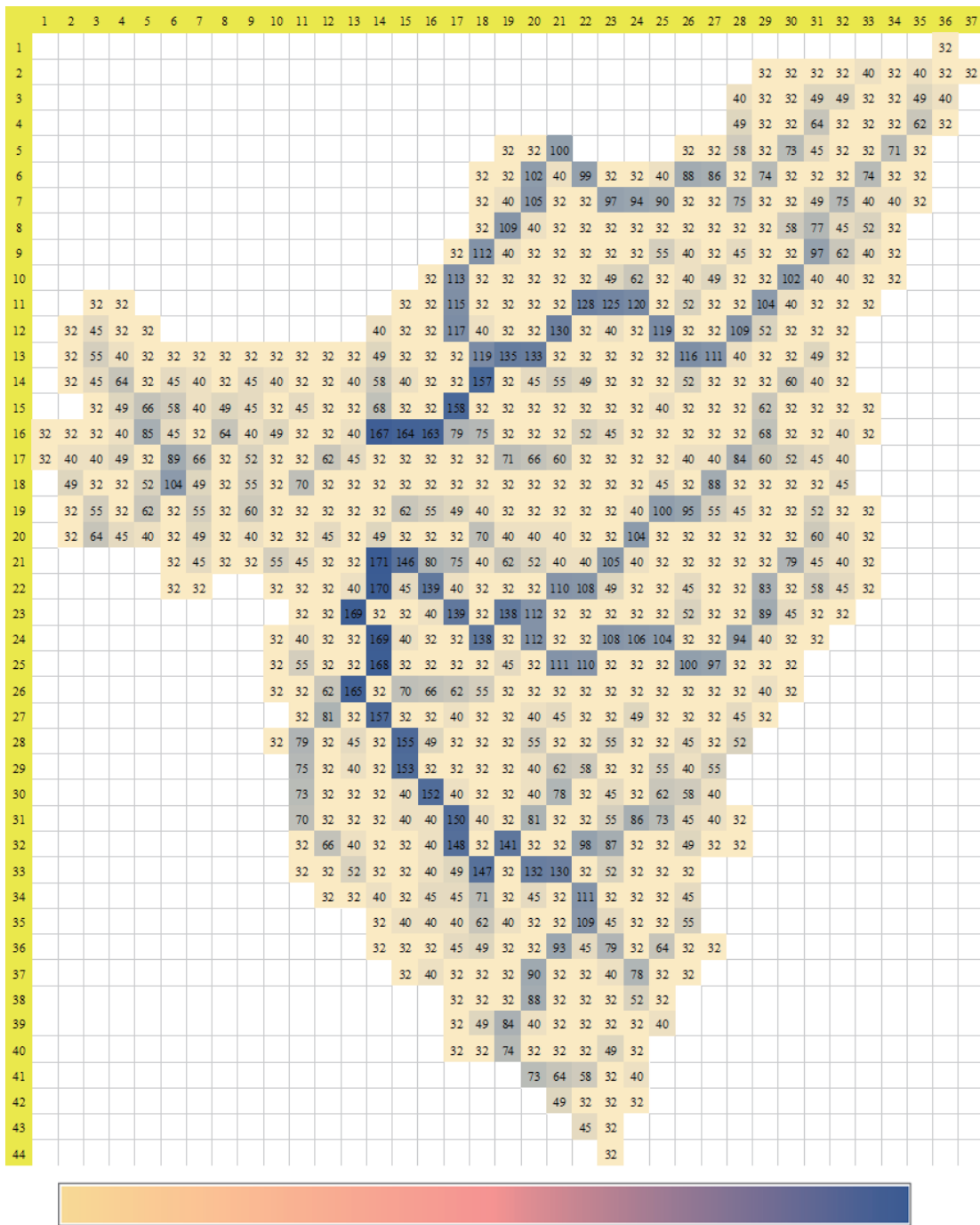
$$S_i = \begin{cases} a_i(h - z_i) & h \geq z_i \\ 0 & h < z_i \end{cases} \quad (2-8)$$



19

170(m)

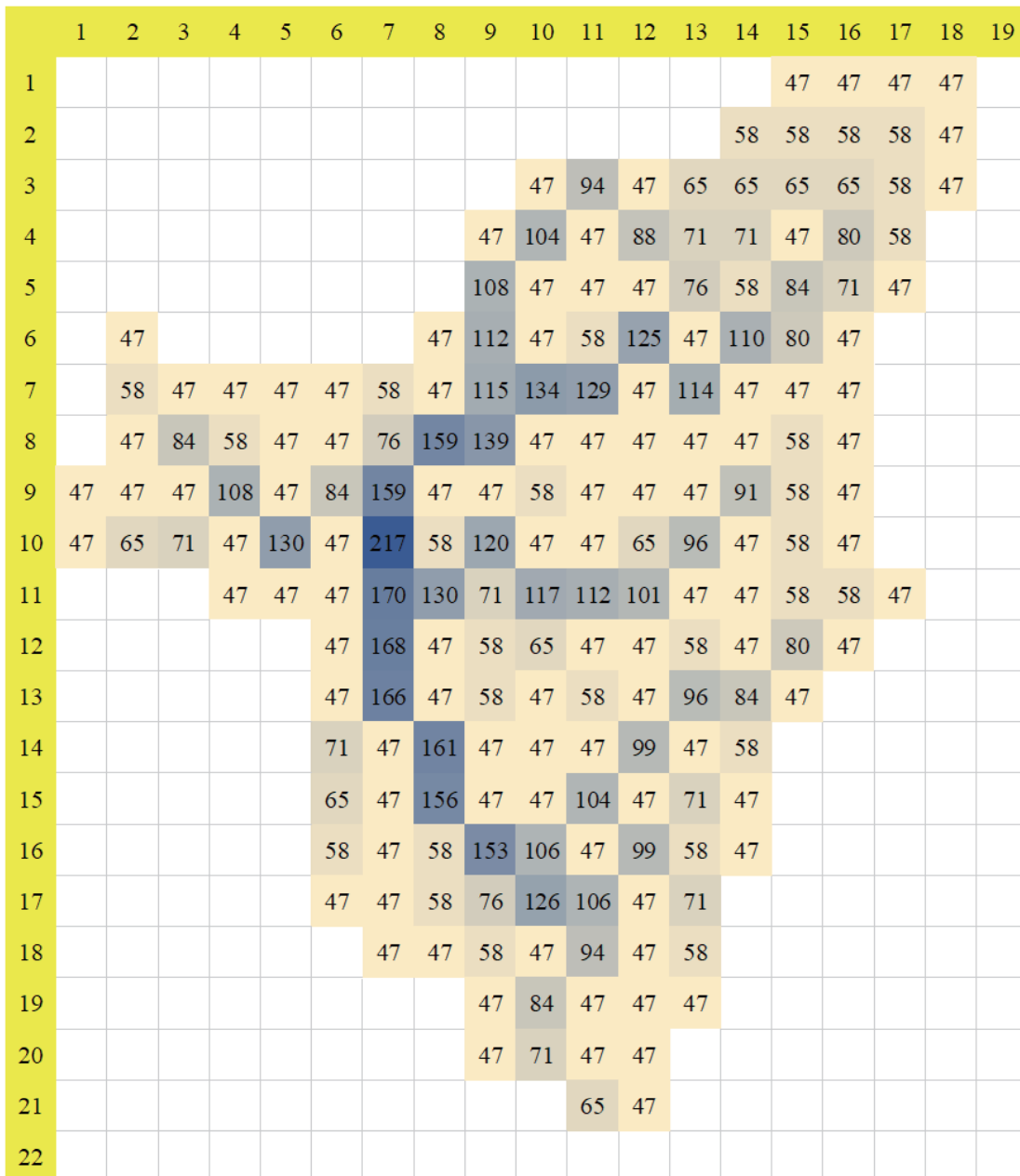
図31 河川幅 (450mメッシュ)



32

171(m)

図 32 河川幅 (900m メッシュ)



47

217(m)

図 33 河川幅 (1800m メッシュ)

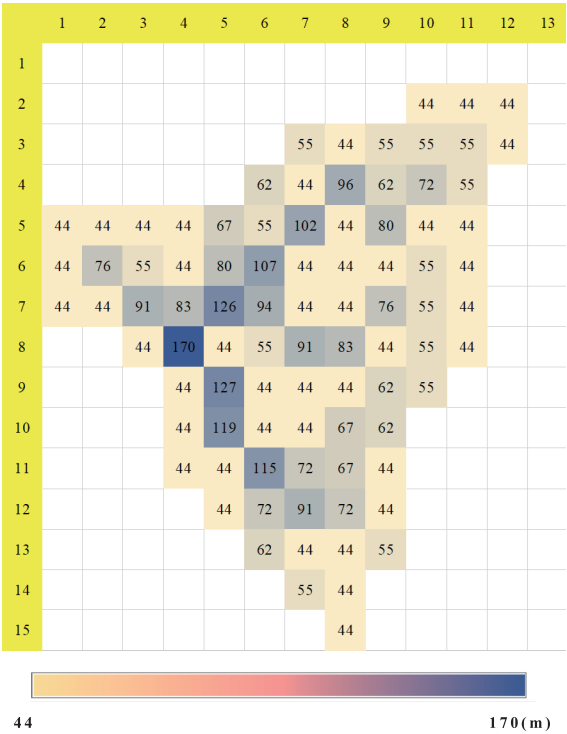


図 34 河川幅 (2700m メッシュ)

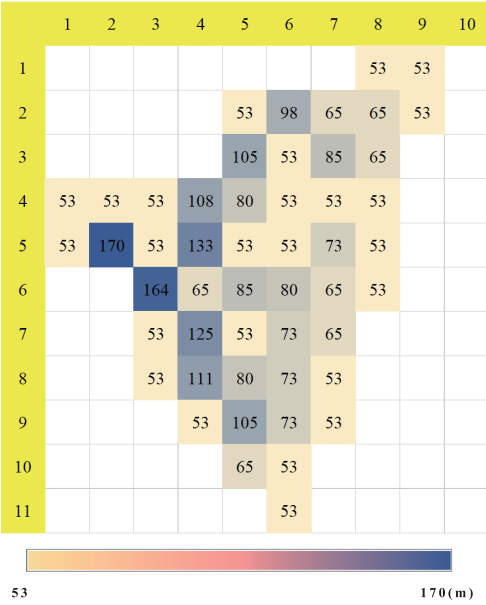


図 35 河川幅 (3600m メッシュ)

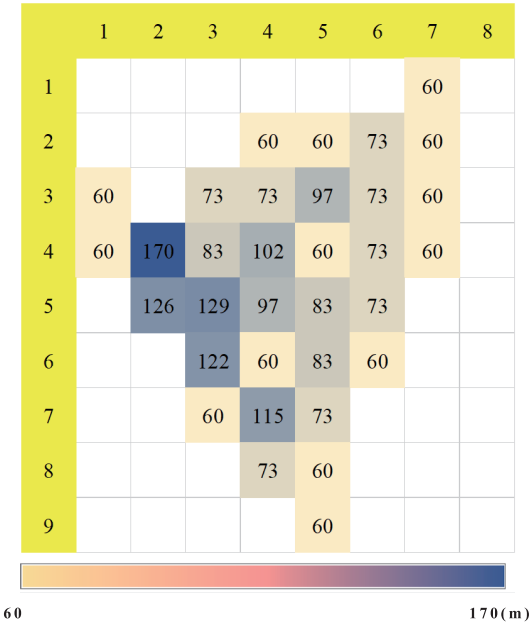


図 36 河川幅 (4500m メッシュ)

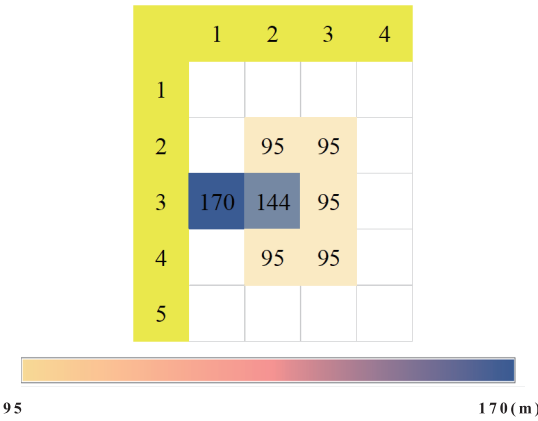


図 37 河川幅 (9000m メッシュ)

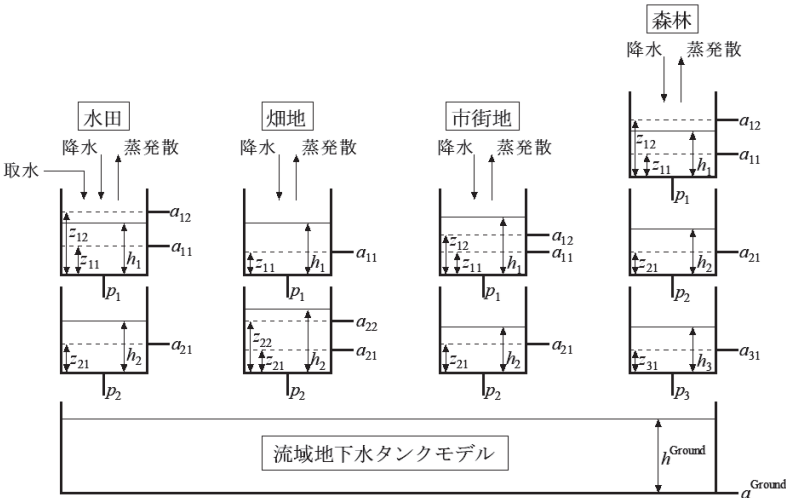


図 38 土地利用別タンクモデルと流域地下水タンクの概要

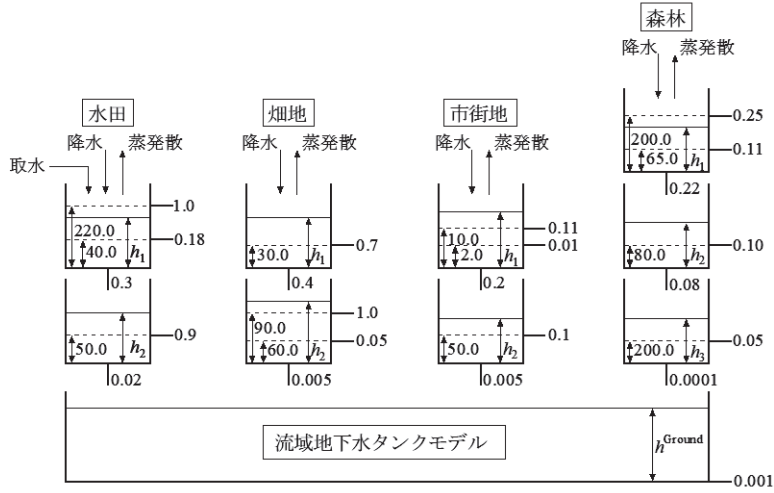


図 39 土地利用別タンクモデルと流域地下水タンクのパラメータ

$$P_j = p_j h \quad (2-9)$$

ここで、 i ：流出孔番号、 S_i ：流出孔 i から河川への流出高 (mm/d)、 j ：浸透孔番号、 a_i ：流出孔係数、 P_j ：浸透孔係数、 Z_i ：流出孔高さ (mm)、 h ：貯留高 (mm) である。各タンクの側孔からの流出高の合計と、最下段タンクからの浸透高に、メッシュ要素中の各土地利用面積を乗じることで、土地利用タンクからの流出量と浸透量をそれぞれ計算した。

(4) 河川流の基礎方程式

各メッシュの河川流出量を、式 (2-10) の運動方程式と、式 (2-11) の連続式より求めた。

$$Q_{i,j} = \frac{1}{N} B_{i,j} h_i R_i^{\frac{2}{3}} I_{i,j}^{\frac{1}{3}} \quad (2-10)$$

$$\frac{dh_i}{dt} = \frac{1}{A_i} (Q_i^{\text{In}} - Q_i^{\text{Out}} + Q_i^{\text{Tank}} + Q_i^{\text{Ground}} - Q_i^{\text{Irrigation}}) + P_i - E_i \quad (2-11)$$

ここで、 i, j ：メッシュ番号、 $Q_{i,j}$ ： i から j の流出量 (m^3/s)、 N ：粗度係数 ($\text{s}/\text{m}^{1/3}$)、 $B_{i,j}$ ： i と j の平均河川幅 (m)、 h_i ： i の水深 (m)、 R_i ： i の径深、 $I_{i,j}$ ： i と j の地形勾配、 t ：

時間 (s)、 Q_i^{In} ：流入量 (m^3/s)、 Q_i^{Out} ：流出量 (m^3/s)、 Q_i^{Tank} ：土地利用別タンクモデルからの流入量 (m^3/s)、 Q_i^{Ground} ：流域地下水タンク流出量 (m^3/s)、 $Q_i^{\text{Irrigation}}$ ：水田タンク取水量 (m^3/s)、 A_i ：河川面積、 P_i ：降雨量 (m/s)、 E_i ：蒸発散量 (m/s) である。また河川面積 A_i は河川幅 B_i に各メッシュデータのメッシュ幅を掛け合わせて計算した。

粗度係数 N は、対象流域において地域開発やインフラ整備が十分に行われていないことを考慮して、Chow (1973) を参考に「自然水路・深ぼれ・立木多し・雑草繁茂」の場合の $0.15 (\text{s}/\text{m}^{1/3})$ を設定した。水深 h と径深 R は、流出計算の安全性の確保のために、メッシュ i と j の平均ではなく、メッシュ i の値を使用した。式 (2-10)、式 (2-11) の解法にはRunge-Kutta-Gill法を採用した。時間ステップ Δt は、すべてのメッシュサイズで同じように計算の安定性を確保するために、メッシュサイズ450mで18s、900mで36s、1800mで72s、2700mで108s、3600mで144s、4500mで180s、9000mで360sとメッシュサイズに比例した値を採用した。

(5) 勾配の扱いについて

本研究では、式 (2-10) の地形勾配 $I_{i,j}$ を算出する際、 $I_{i,j}$ が0.001以下になった場合、 $I_{i,j}=0.001$ として計算を行った。理由は、3 (2) (b) 節での標高データ作成の際に行った窪地処理作業において、0.001以下の不自

然に小さい勾配が多く発生し、その箇所に水が溜まり、計算が発散してしまうという現象が起こったためである。窪地処理では、周りよりも標高が少しでも高くなれば作業終了としているため、十分な標高差がつかずに窪地処理が終了することがある。その結果、図40～46のように、メッシュサイズが小さくなり、窪地処理箇所が増えるほど、0.001以下という緩やかな標高が発生した。0.001以下という勾配の値はCan Don流域の地形を考えると不自然な値のため、0.001を下回る値は全て0.001として計算した。

(6) 計算結果

各年の計算に先立って、同じ年の降雨を用いて、1年間の予備計算を行い、各年の計算の初期条件を決定した。その後、それぞれのメッシュサイズにおいて、2004年～2010年の7年間で1年ごとに日単位で計算を行い、2(6)節に記述の流量とCan Don貯水池流入量の計算値を比較した。一例として、450 mメッシュでの2004年の結果を図47に示す。

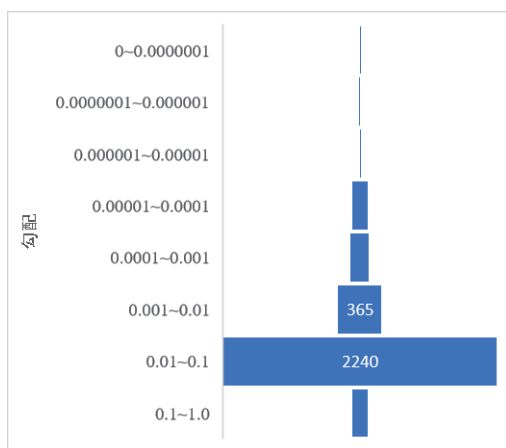


図 40 勾配の度数分布 (450m メッシュ)

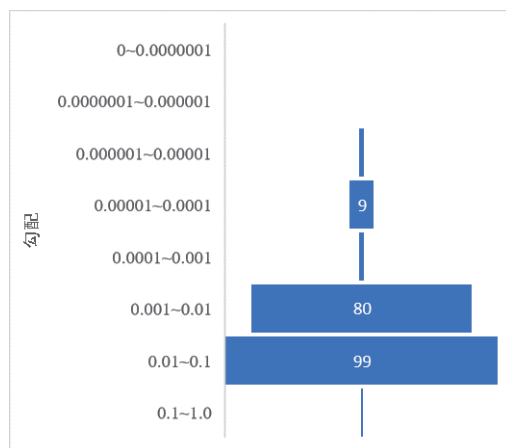


図 42 勾配の度数分布 (1800m メッシュ)

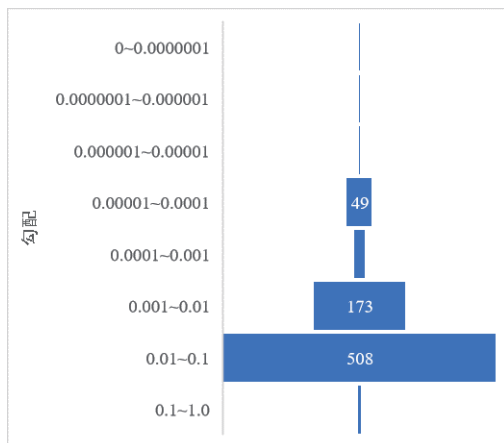


図 41 勾配の度数分布 (900m メッシュ)

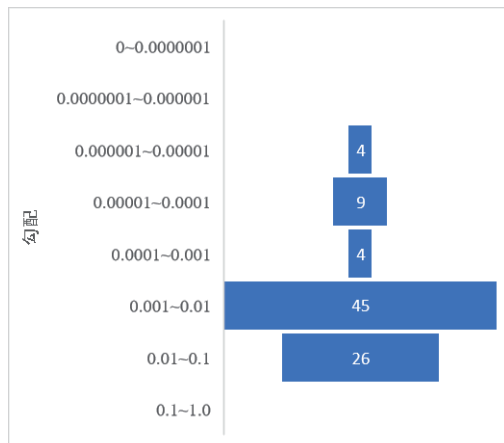


図 43 勾配の度数分布 (2700m メッシュ)

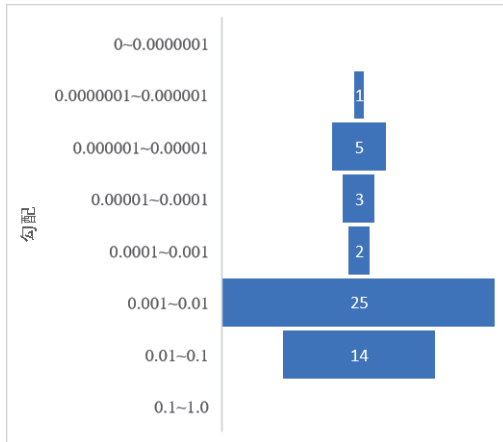


図 44 勾配の度数分布 (3600m メッシュ)

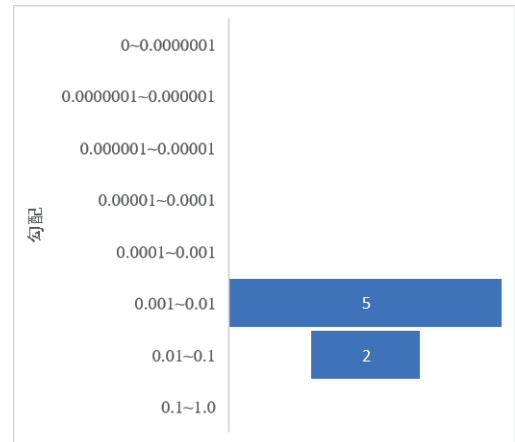


図 46 勾配の度数分布 (9000m メッシュ)

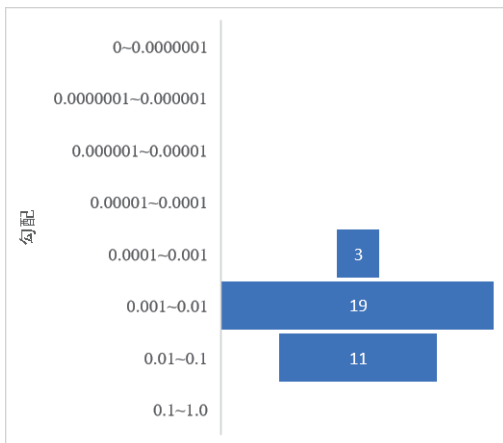


図 45 勾配の度数分布 (4500m メッシュ)

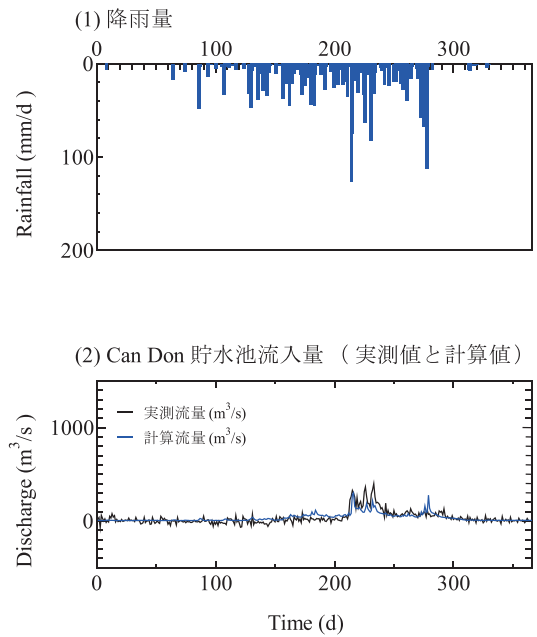


図 47 再現結果 (450m メッシュサイズ, 2004 年 1 月 1 日 ~ 12 月 31 日)

結 果 と 考 察

1. メッシュサイズの影響評価

(1) メッシュサイズの地形指標への影響評価

(a) 平均勾配

3 (2) (b) 節で作成した標高データを基に、450m～9000mの7個の各メッシュサイズにおいて、メッシュ内の勾配の平均を算出した。その結果を図48に示す。なお、本研究の降雨流出計算では、3 (4) (a) 節に記載のとおり、勾配が0.001以下の箇所を0.001としており、計算に用いた勾配の平均勾配を図49に示す。図48と図49から分かるように、平均勾配はメッシュサイズが大きい程、減少傾向にある。粗視化メッシュの標高は、オリジナルメッシュの平均によって求められ、粗視化は地形を平滑化する効果がある。

そのため、平均勾配はメッシュサイズが大きい程、緩やかな傾向になったと考えられる。

(b) 勾配の度数分布

3 (2) (b) 節で作成した450m～9000mの7個の各メッシュサイズの標高データを用いて算出した勾配の度数分布では、図40～46に示したように、メッシュサイズが小さい程、0.001以下の勾配が増える結果となった。これは、3 (4) (a) 節に記載の通り、標高データ作成の際に行った窪地処理作業が起因している。窪地処理では、周りよりも標高が少しでも高くなれば作業終了としているため、十分な標高差がつかずに窪地処理が終了することがある。その結果、メッシュサイズが小さくなり、窪地処理箇所が増えるほど、0.001以下という不自然な標高が発生した。

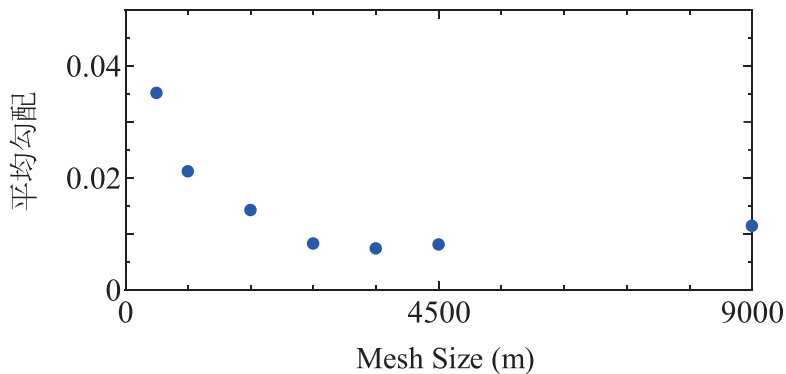


図 48 平均勾配（勾配が 0.001 以下の箇所修正なし）

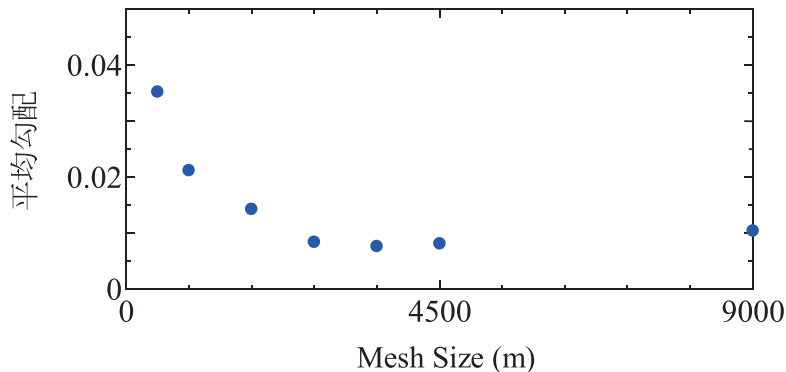


図 49 平均勾配（勾配が 0.001 以下の箇所を 0.001 に修正）

(c) 流域最遠点距離

450m ～ 9000m の 7 個の各メッシュサイズにおいて、流域内での雨水の流下経路長さの最長距離 (= 流域最遠点距離) を調べた。流域最遠点の経路を各メッシュサイズにおいてプロットした結果を図 50 ～ 56 に示す。また、各メッシュサイズにおける流域最遠点距離

は図 57 のような変化を示した。図 57 から分かるように、流域最遠点距離はメッシュサイズによる影響が大きい結果となった。これは、粗視化の影響で標高が変化し、図 50 ～ 56 のように雨水の流下経路が大きく変化したことが原因であると考えられる。

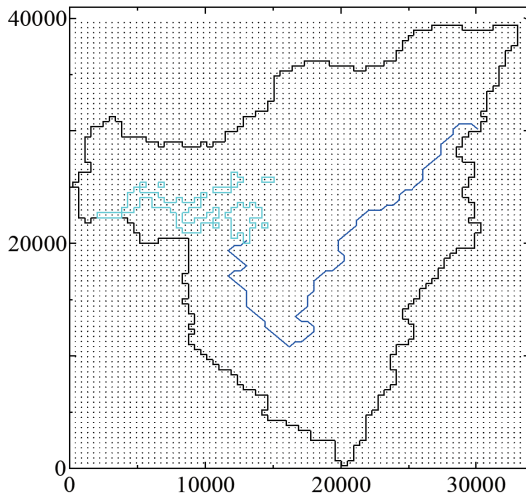


図 50 流域最遠点距離 (450m メッシュ)

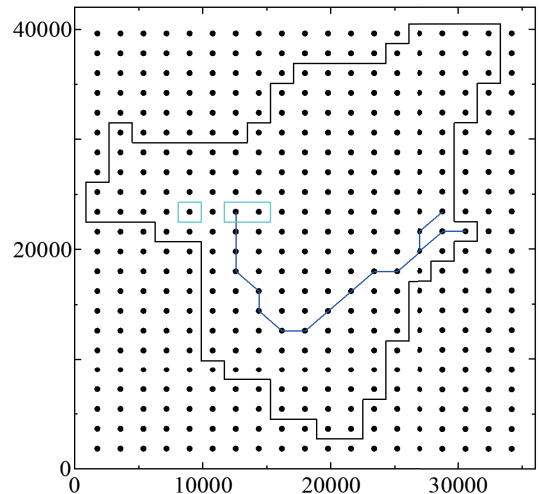


図 52 流域最遠点距離 (1800m メッシュ)

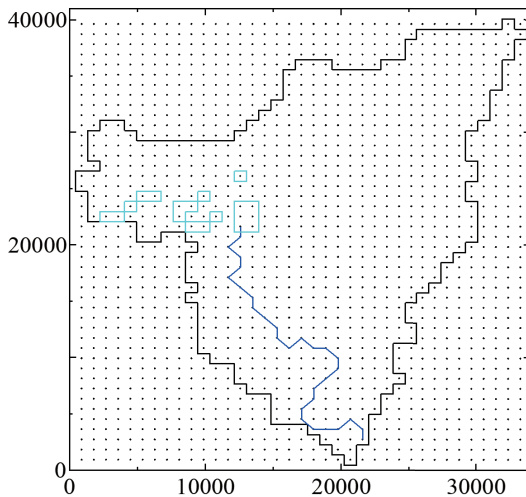


図 51 流域最遠点距離 (900m メッシュ)

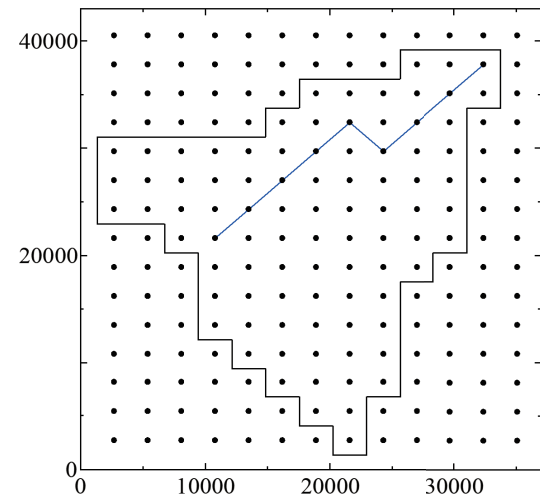


図 53 流域最遠点距離 (2700m メッシュ)

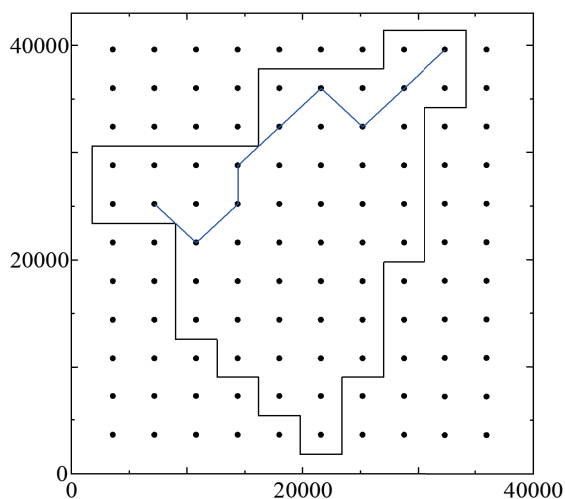


図 54 流域最遠点距離 (3600m メッシュ)

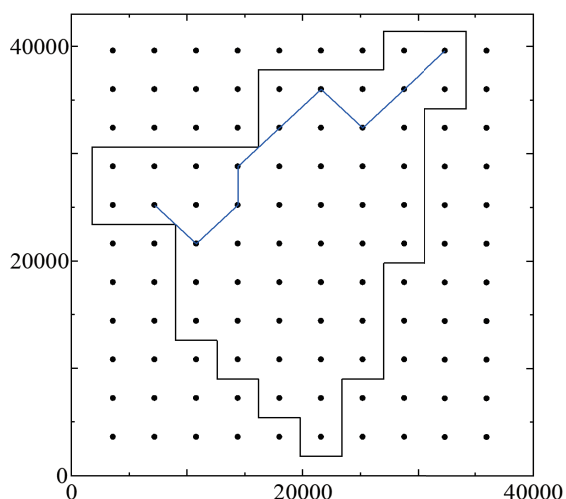


図 56 流域最遠点距離 (9000m メッシュ)

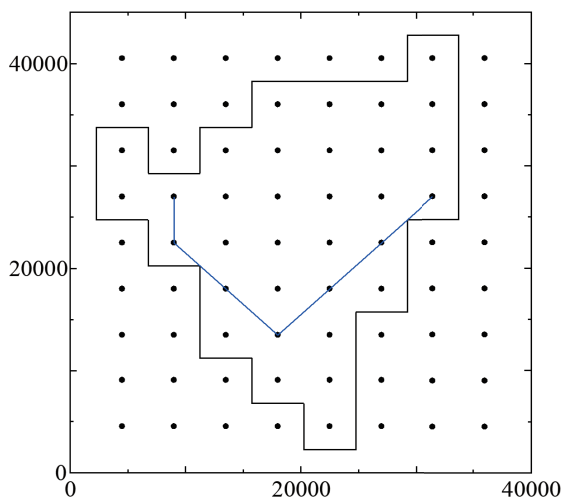


図 55 流域最遠点距離 (4500m メッシュ)

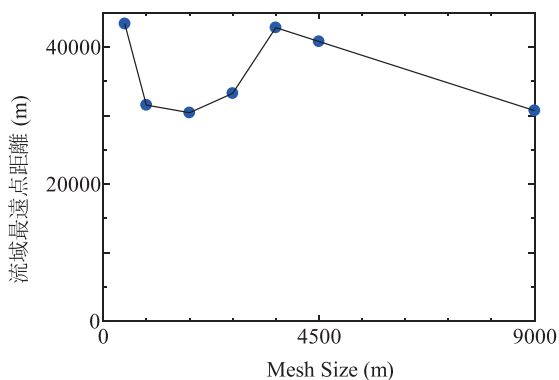


図 57 各メッシュサイズでの流域最遠点距離

(d) 河川面積

地形特性の4つ目の項目として、河川面積の流域面積における割合のメッシュサイズごとの変化を調べた。結果を図58に示す。同図よりメッシュサイズが大きくなるほど河川面積の割合は減少していることが分かった。これは河川幅を決定する際の式(2-7)において、係数 l をメッシュサイズにかかわらず $l=0.3$ と

して設定していることが原因と考えられる。これに対して、各メッシュサイズでの河川面積を特定の値に揃えることは、相似的に河川幅を調整することで容易に可能であるが、どのような河川面積の値に揃えるかの明確な基準がない。3(5)節における降雨流出解析の結果から、河川面積の影響は小さいと判断されるが、この点は今後の課題である。

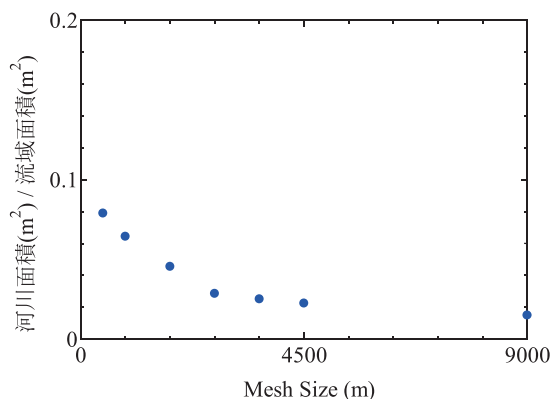


図 58 流域面積に対する河川面積の割合

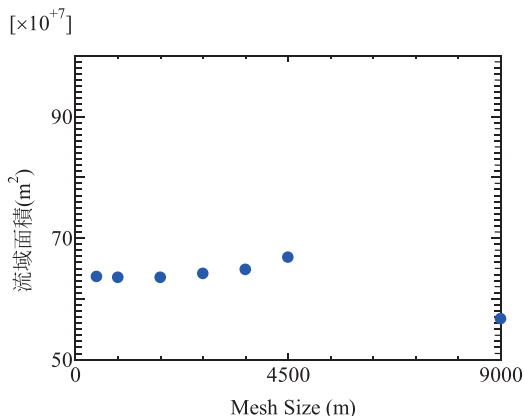


図 59 流域面積

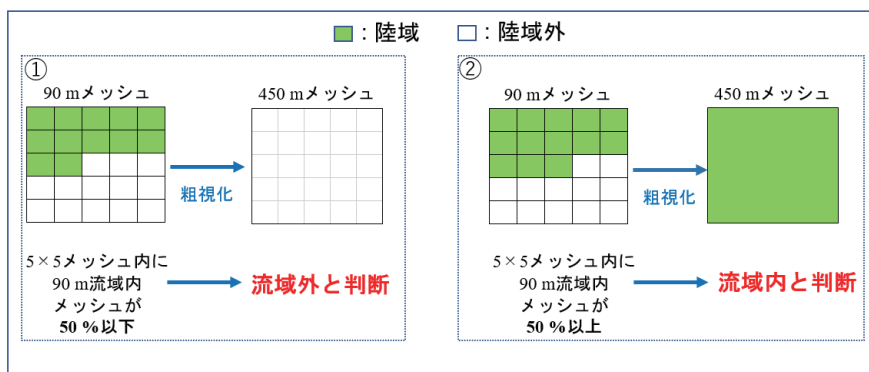


図 60 粗視化イメージ図

(e) 流域面積

地形指標の最後の検証項目として、流域面積のメッシュサイズごとの変化を調べた。結果を図59に示す。同図から分かるように、9000mのメッシュサイズで流域面積が大幅に減少するという結果になった。これは、流域境界データの粗視化の際、メッシュサイズが大きい程、流域境界付近の一つのメッシュの出入りによる面積の増減が大きくなるためだと考えられる。例えば、90mの流域境界データを450mに粗視化する場合、90mメッシュの5×5メッシュ内に流域メッシュが50%以下の場合を流域外と判断、50%以上の場合を流域内と判断している。この際、たとえば図60の①の左図と②の左図では90m×90m×1分の面積の違いであるが、粗視化することにより450m×450m分の面積の違いが生まれる。メッシュサイズが大きい程このような面積の増減は大きくなるため、図59のような結

果が生じたと考えられる。

(2) メッシュサイズの降雨流出特性への影響評価

(a) NS係数

まず、流量波形のメッシュサイズによる変化を確認するため、各メッシュサイズでの計算流量のNash-Sutcliffe (NS) 係数を次式 (4-1)、(4-2) で算出した。その結果を図61に示す。

$$NS = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (Q_i^{\text{Obs}} - Q_i^{\text{Cal}})^2}{\sum_{i=1}^N (Q_i^{\text{Obs}} - Q^{\text{Ave}})^2} \quad (4-1)$$

$$Q^{\text{Ave}} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N Q_i^{\text{Obs}} \quad (4-2)$$

ここで、 Q_i^{obs} ：実測流量、 Q_i^{cal} ：計算値、 N ：時点数、 i ：時点番号、 Q^{Ave} ： Q_i^{obs} の平均を表す。図61より、2008年に若干の違いが見られるが、メッシュサイズごとの流量再現精度に大きな差は無い。しかし、NS係数の算出の際、基準とした実測流量は、上述のようにThac Mo貯水池からの流入量を1日後れて一律差し引いており、その精度が期待できないため、この方法で算出したNS係数の値を基に降雨流出特性を論じることが難しいと判断した。そこで、450mと他のメッシュサイズの計算流量波形の差を確認するため、450mの計算流量を基準とし、次式(4-3)、(4-4)を用いて、各メッシュサイズの計算流量からNS係数を算出した。結果を図62に示す。

$$NS = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (Q_i^{450} - Q_i^{\text{Cal}})^2}{\sum_{i=1}^N (Q_i^{450} - Q^{\text{Ave}})^2} \quad (4-3)$$

$$Q^{\text{Ave}} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N Q_i^{450} \quad (4-4)$$

ここで、 Q_i^{450} ：450mメッシュデータでの計算流量、 Q_i^{Cal} ：計算値、 N ：時点数、 i ：時点番号、 Q^{Ave} ： Q_i^{450} の平均を表す。図62より、450m～4500mメッシュサイズの一年間を通じた計算流量波形はどの年もほぼ同じであることがわかる。また同図より、9000mの流量波形は他のメッシュサイズに比べ、450mの計算流量波形からの変化が大きいくとも分かる。図24～30のように、9000mメッシュサイズでは、過度の粗視化により、流域内の流路が極端に簡素化され、本来の流下・集水過程の表現が不十分なため、他のメッシュサイズより計算流量波形の変化が大きくなったと考えられる。

(b) 洪水ピーク流量

続いて検討した降雨流出特性は、ピーク流量である。洪水防除の目的で本降雨流出モデルを使用する際、洪水ピーク流量を適切に表現できる必要がある。まず、2004年～2006年の洪水イベントをいくつか抽出し、ピークの流量を比較した。抽出した洪水イベントの内、2004年のFlood1を図63に示し、2004年のFlood1におけるピーク流量の結果を図64に示す。ピーク流量は、図64のように、450m～4500mで漸減傾向となり、9000mで大きく減少した。他の洪水イベントにおいても同様の傾向が確認された。これは、平均勾配の影響

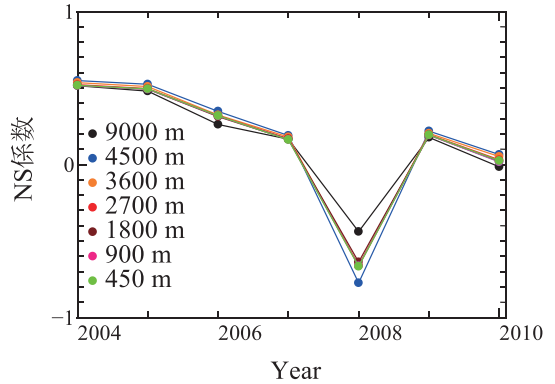


図61 各メッシュサイズのNS係数（実測流量基準）

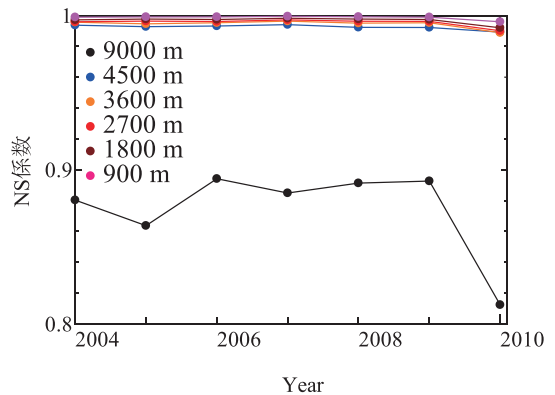


図62 各メッシュサイズのNS係数（450m計算流量基準）

が考えられる。1 (1) (a) 節で記述したとおり、粗視化メッシュの標高は、オリジナルメッシュの平均によって求められ、粗視化は地形を平滑化する効果があるため、メッシュサイズが大きいくほど緩やかになる。よって、流量の集中が弱まり、ピーク流量が減少したと考えられる。

(c) 累積流量

降雨流出特性の最後の検証項目として、各メッシュサイズの1年間の累積流量を調べた。本降雨流出モデルを水資源計画に用いる際、1年間の総流量を適切に算出できる必要がある。計算対象の2004年～2010年それぞれの1年間の各メッシュサイズにおける累積流

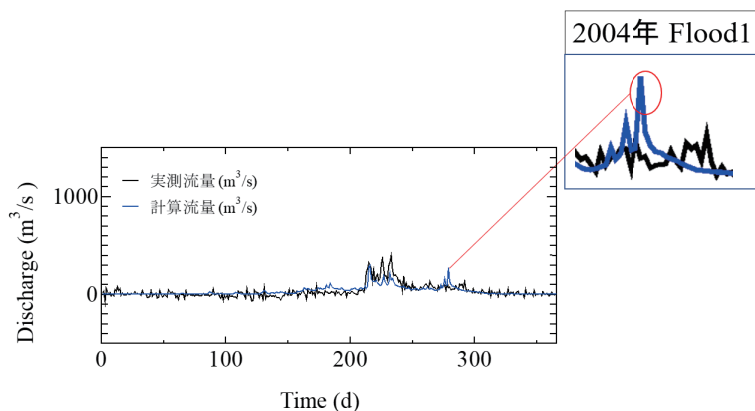


図 63 2004 年 Flood1

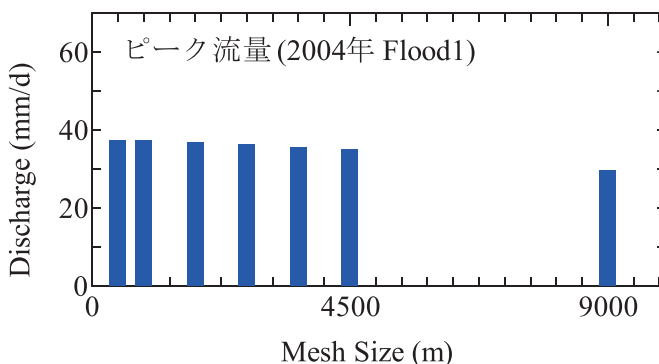


図 64 各メッシュサイズのピーク流量 (2004 年 Flood1)

量を計算した。2004 年における結果を図 65 に示す。どのメッシュサイズでも、総流量はほぼ同じとなった。他の解析対象年でも同様の傾向となった。粗視化による地形特性の変化は、流量の流域末端への集中に変化を与え、ピーク流量には相応に影響したが、流出総量の指標である累積流量には顕著な影響は与えない結果となった。

(3) 計算時間

各メッシュサイズで 2004 年の流出解析に要した計算時間を図 66 に示す。図 66 の縦軸は 9000 m の計算時間を 1 とし、これに対する各メッシュサイズでの計算時間の比率を示す。一般に、メッシュサイズが $1/z$ になると計算メッシュ数が z^2 倍となり、さらに計算の安定

性確保のために Δt を $1/z$ にする必要があるため、計算時間ステップ数が z 倍となる。その結果、計算時間は z^3 倍となる。9000 m と 450 m のメッシュサイズを比較した場合、 $z=20$ なので計算時間は $z^3=8000$ 倍となるが、ハードディスクへの結果の書き出しなどの PC の機械的な動きによる時間消費のため、図 66 では約 13 万倍となっている。メッシュサイズが小さくなると、計算時間が飛躍的に増大することがわかる。

(4) 最適メッシュサイズの検討

上述の内容をまとめると、メッシュサイズが降雨流出特性に及ぼす結果として、大きく三つのことが分かった。一つ目に 1 年間の流量波形は 450 m ~ 4500 m でほぼ変化せず、9000 m で変化が生じたこと、二つ目

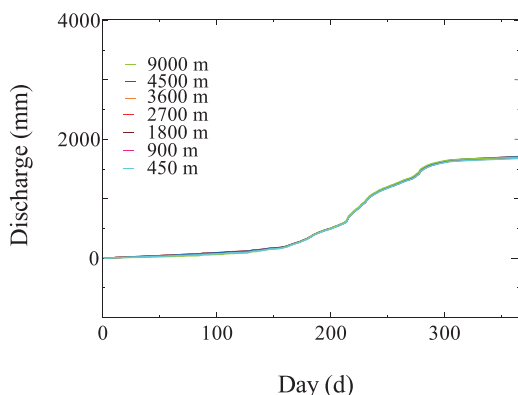


図 65 各メッシュサイズの累積流量 (2004 年)

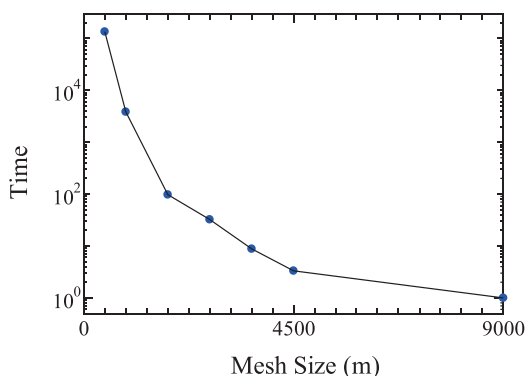


図 66 各メッシュサイズでの計算時間 (9000m の計算時間を 1)

に、ピーク流量は450m～4500mで微小に減少し、4500mから9000mにかけての減少が大きくなっていること、三つ目に、メッシュサイズによる累積流量の差はほぼないということ、以上である。これらの結果を踏まえて、計算時間も短く、1年間の流量波形、ピーク流量、総流量も適切に表現可能である4500mメッシュでの計算がCan Don流域においては最適と結論付けることができる。

以上のように本降雨流出モデルでは、メッシュサイズが450m～4500mではメッシュサイズの影響をあまり受けずに降雨流出解析が可能と示された。この特長は、本モデルでの土地利用データの与え方の影響が大きいと考えられる。粗視化前のデータでは90mのメッシュ1個に1種類の土地利用が与えられている。粗視化後は、1メッシュ内において90mメッシュの各土地

利用の面積割合を合算し、各メッシュに土地利用データを与えている。この方法により、メッシュサイズに関係なく、オリジナルデータの各土地利用の面積割合を保つことができ、メッシュサイズによる計算流量の差はほぼない結果となったと考えられる。

要 約

本研究では、東南アジア新興諸国のようにデータが寡少な地域でも適用可能で、将来的な地域開発や気候変動に対する流出量の長期的変化を予測可能な降雨流出モデルの開発を目的とし、対象流域として、ベトナム南部に位置するCan Don流域を選択し、降雨の時空間的不均一性や将来的な土地利用変化を反映可能なモデルとするため、分布型降雨流出モデルを構築した。さらに、分布型降雨流出モデルのメッシュサイズが計算流量に及ぼす影響にも着目し、7種類のメッシュサイズを用いた流出解析を行い、それぞれの降雨流出特性や地形特性との関連から検討した。これらの結果を踏まえて、対象流域における最適メッシュサイズを提案した。

まず、対象流域の流域境界、標高、土地利用、降雨量、貯水池流入量のデータを入手し、分布型降雨流出モデルへの入力データを作成した。この際、メッシュサイズの違いによる計算流量への影響を比較するため、450m、900m、1800m、2700m、3600m、4500m、9000mの7種類のメッシュデータを作成した。土地利用面積をより的確に反映させるため、流域を表現した各メッシュには森林、水田、畑地、市街地の土地利用別タンクモデルを導入した。さらに安定的な基底流成分を表現するため、流域全体に1つの流域地下水タンクを設けた。メッシュ間の雨水流動モデルの基礎方程式にはKinematic Wave法を採用し、運動方程式と連続式より、対象流域の貯水池流入量を日単位で計算した。計算期間は、各種データが揃った2004年～2010年の7年間とし、1年間ごとに流出計算を行った。

降雨流出特性を調べた結果、大きく三つのことが分かった。一つ目に1年間の流量波形は450m～4500mではほぼ変化せず、9000mで変化が目立ったこと。二つ目に、ピーク流量は、450m～4500mで微小に減少し、4500mから9000mにかけての減少が大きくなっているということ。三つ目に、メッシュサイズによる累積流量の差はほぼないということである。また、計算時間はメッシュサイズが小さい程飛躍的に増大するということが分かった。以上の結果を踏まえて、計算時間も短く、1年間の流量波形、ピーク流量、総流量も

適切に表現可能である 4500m メッシュでの計算が Can Don 流域においては最適と言える。

以上のように本研究では、分布型降雨流出モデルに土地利用別タンクモデルを導入することで、東南アジアのデータ寡少地域で、降雨量、標高、土地利用といった少ないデータで流出量を計算できるモデルを開発できた。入力データを変えることで、他のデータが寡少な地域にも適用可能な、汎用性があるモデルが構築できたと言える。また、本モデルは、メッシュサイズにかかわらず、各土地利用の割合を一定に保つことができるので、450m～4500m まではメッシュサイズの影響はほぼ受けず、流出解析を行うことができるとわかった。

今後の課題としては、次の二点が挙げられる。まず、本研究の対象流域では観測降雨データは日データしか得ることが出来なかったため、洪水時の降雨流出特性を検討するためには時間データの比較検討が必要である。二つ目に、本研究では精度の高い観測流量が得られず、メッシュサイズによる流量再現精度の検討ができなかったため、精度が高い観測データが得られる流域での検討を通じ、メッシュサイズが分布型降雨流出モデルに及ぼす影響についてより詳しく検討し、再現精度がより高いモデルの構築を目指す。

キーワード

データ寡少流域、メッシュサイズ、降雨流出解析、土地利用別タンクモデル

文献

- Chow V. T. 1973 Open-channel Hydraulics International Edition, Mcgraw-Hill Book Company, 108-114.
- Dutta D. and Nakayama K. 2009 Effects of spatial grid resolution on river flow and surface inundation simulation by physically based distributed modelling approach, *Hydrological Processes*, **23** : 534-545
- Fekete B. F., Vorosmarty C. J., and Lammers R. B. 2001 Scaling gridded river networks for macroscale hydrology ; Development, analysis, and control of error, *Water Resources Research*, **37** (7) : 1955-1967
- 角屋 睦 1979 流出解析手法 (その1) 雨水流出現象とその計測・解析, 農業土木学会誌, **47** (10) : 63-73
- 中桐貴生・渡辺紹裕・堀野治彦・丸山利輔 1998 紀の川流域における流域水循環モデルの開発ー流域水循環モデルによる農業用水利用の分析 (I) ー, 農業土木学会論文集, **198** : 1-11.
- 中桐貴生・渡辺紹裕・堀野治彦・丸山利輔 2000 紀の川流域における流域水循環モデルの開発ー流域水循環モデルによる農業用水利用の分析 (II) ー, 農業土木学会論文集, **205** : 35-42
- Nash J. E. and Sutcliffe J. V. 1970 River Flow Forecasting through Conceptual Models Part 1ー A Discussion of Principles ー, *Journal of Hydrology*, **10** : 282-290
- Nguyen T. C. Q., 陸旻 皎 2009 分布型流出解析をベトナム Tri An ダム流域の貯水池管理への応用について, 水文・水資源学会研究発表会要旨集, 22
- 大月乃英 2019 ベトナム南部 Tri An 流域における分布型流出モデルの開発とシナリオ分析, 九州大学卒業論文
- 陸旻 皎・小池俊雄・早川典生 1989 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, **411** : 135-142
- 佐山敬洋・寶 馨 2003 斜面侵食を対象とする分布型土砂流出モデル, 土木学会論文集, **726** : 1-9
- 椎葉充晴・立川康人・市川 温 2013 水文学・水工計画学, 京都大学学術出版会, p.360
- Shrestha R., Tachikawa Y., and Takara K. 2005 Input data resolution analysis for distributed hydrological modeling, *Journal of Hydrology*, **319** : 36-50
- Sulis M., Paniconi C., and Camporese M. 2011 Impact of grid resolution on the integrated and distributed response of a coupled surface-subsurface hydrological model for the des Anglais catchment, Quebec, *Hydrological Processes*, **25** : 1853-1865
- Takada A., Hiramatsu K., Ngoc T.A., Harada M., and Tabata T. 2018 Development of a mesh-based distributed runoff model incorporated with tank models of several land utilizations in a Southeast Asian watershed, Proceedings of the 21st Congress of International Association for Hydro-Environment Engineering and Research (IAHR) Asia Pacific Division (APD), **1** : 539-547.
- 高田亜沙里 2016 ベトナム南部流域における分布型流出モデルの開発と洪水シナリオ分析, 九州大学卒業論文
- 高田亜沙里 2018 東南アジア流域における多目的貯水池ルールカーブの最適化手法の開発, 九州大学修士論文
- 高田亜沙里, 平松和昭, Ngoc, T. A., 原田昌佳, 田畑

俊範 2020 土地利用別タンクモデルを導入した
分布型降雨流出モデルの開発と地域開発・気候変

動による流出変化の定量的評価, 農業農村工学会
論文集, **310** : pp. II _11 - II _20

Summary

The purpose of this study is to develop a rainfall-runoff model that can be applied even in regions with scarce watershed and hydrological data, such as emerging countries in Southeast Asia, and that can predict long-term changes in runoff due to future regional development and climate change. Specifically, a distributed rainfall-runoff model was constructed in order to create a model that can reflect the spatiotemporal heterogeneity of rainfall and future land use changes for the Can Don watershed located in the southern part of Vietnam as the target watershed. Furthermore, focusing on the effect of the mesh size of the distributed rainfall-runoff model on the calculated discharge, the models with seven mesh sizes of 450m, 900m, 1800m, 2700m, 3600m, 4500m, and 9000m were constructed, and the rainfall runoff characteristics of models were examined in relation to topographical characteristics expressed by the models.

Based on the obtained data on the basin boundary, elevation, land use, rainfall and runoff discharge of the target watershed, the watershed models and input data for the rainfall-runoff model were generated. At that time, in order to reflect the land use area more accurately in the models, the tank models for each land use such as forest, paddy field, upland, and urban area were introduced to each mesh. As a result of the numerical calculations, it was concluded that the 4500m-mesh model was the most suitable for the Can Don watershed because it took a short calculation time and could appropriately express the discharge waveform, peak discharge, and total discharge for a year.

Key words : Scarce-data watershed, Mesh size, Rainfall-runoff analysis, Tank models for several land utilizations