

令和 4 年 6 月 15 日現在

機関番号：22604

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2019～2021

課題番号：19K04622

研究課題名（和文）地物情報を用いた密集市街地浸水モデルデータ生成技術と浸水リスク軽減に関する研究

研究課題名（英文）Study on the methodology of generating urban GIS delineation and its evaluation for inundation risk analysis

研究代表者

天口 英雄（Amaguchi, Hideo）

東京都立大学・都市環境科学研究科・助教

研究者番号：40326012

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,300,000円

研究成果の概要（和文）：都市流域における雨水流出過程のモデル化として、密集市街地を構成する建物、道路、その他都市特有の土地利用を忠実に再現した「地物データGIS」を用いて、浸水状況を予測するモデルを提案している。しかしながら、浸水評価システムの中核となる対象都市流域の「地物データGIS」の準備には、多大な労力が必要であり、新たな流域への適用は困難な状況であった。本研究では、「地物データGIS」を構成する地物要素を構築するアルゴリズムを確立し、建物1つ1つの情報を用いた都市流域における洪水・浸水モデルを構築し、浸水リスクを評価することを目的とする。

研究成果の学術的意義や社会的意義

都市流域の洪水流出解析に用いられる不浸透域情報としては、10mメッシュ土地利用による設定が行われてきたが、予測精度の観点から流域データの高度化が重要であろうと考えられる。ベクトル型による土地利用情報（高度な地物データGIS）は、データ入手の制約条件やその処理が容易ではないため、十分に活用されていない。本研究は、基盤地図情報などから膨大な作業時間を必要とせずに対象流域の雨水管路網データを構築することや、また、道路・河道要素の地盤高を推定手法について着目した研究はほとんどなく、これらの手法を用いて都市を含む流域の洪水・浸水解析モデルデータについて検討したものである。

研究成果の概要（英文）：The TSR (Tokyo Storm Runoff) model aims at describing the urban environment at the highest possible level of detail, thereby faithfully tracing the water fluxes both on and under the land surface. The set-up of this model is based on so-called “urban landscape GIS delineation” that faithfully describes the complicated urban land use features in detail. However, it took a lot of work to prepare the urban landscape GIS data of the urban watershed, which is the core of the inundation evaluation system, and it was difficult to apply it to the new basin. The purpose of this study is to establish and evaluate an algorithm to construct the urban landscape GIS delineation. The model was set up and applied for the upper Kanda catchment in Tokyo Metropolis, Japan. It was demonstrated how the model can be used to evaluate the runoff and inundation process in the urban hydrological system.

研究分野：水工水理学

キーワード：地理情報システム 流出解析 浸水解析 都市流域 地物データGIS ベクトル型土地利用データ 都市水文 都市流域モデル

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

## 1. 研究開始当初の背景

都市流域における洪水被害軽減計画には、流出量および浸水深を予測することが可能な分布型洪水流出・浸水モデルの利用が欠かせない。都市流域を対象とした分布型モデルは、一般的に流域をグリッド型（格子状）に分割しその領域内の不浸透・浸透特性により直接流出率を設定し、その領域を代表する地盤高により表面雨水流出を解析するものである。これらのモデルの特徴は、モデル開発およびデータ作成では利点が多いものの都市流域では地表面を構成している建物、道路などの人工的な地物を考慮することが困難で、地物に設置されている雨水流出抑制施設などをきめ細かく評価することは難しい。



図-1 地物データGIS

都市流域における雨水流出過程のモデル化について、基盤地図情報を浸水解析に利用できるように処理したデータを「高度な地物データ GIS（図-1）」と定義し、直接流出量および表面流出・雨水管路流・河道流を一体で解析し、内外水が複合的に発生する都市河川特有の状況をシミュレートすることが可能な洪水流出解析モデルを開発してきた。建物形状を解析格子として利用することで、建物の実情に合った家屋浸水モデルへと拡張し対象都市流域における浸水発生時の建物の耐水化や浸水防護壁により雨水の侵入を防止するきめ細やかな浸水被害軽減策を評価することが実現可能となっている。

雨水管路流解析に用いられるデータは対象都市流域の管路網を管理している自治体より入手した電子データや紙媒体の下水道台帳から手作業などにより分布型雨水流出モデルを構築することが前提となっているが、これらの実データ入手が出来ない場合のモデル構築は非常に困難な状況である。既存の地盤高、道路および建物などの地物 GIS データを活用して、膨大な作業時間を必要とせずに対象流域の雨水管路網データを推定することが出来れば、任意の都市流域における分布型洪水流出モデルデータを作成することが可能となる。

## 2. 研究の目的

基盤地図情報などから建物 1 つ 1 つの情報を用いて都市流域における洪水流出・浸水モデルに必要なデータを構成する「高度な地物データ GIS」を構築するための手法について評価検討し、神田川上流域等を対象とした浸水リスク評価を行うことを目的とする。

## 3. 研究の方法

対象流域の基盤地図情報の処理には地理情報システムを用いて地物データを構築する手法について検討し、神田川上流域等を対象にパフォーマンスを確認する。

- ・雨水・下水道管路データの特性解析およびデータの生成手法
- ・道路要素の地盤高設定手法
- ・河道要素の地盤高設定手法
- ・神田川上流域における浸水リスク評価
- ・他都市流域における評価

## 4. 研究成果

### (1) 雨水・下水道管路データの作成

高度な地物データ GIS を用いて理論的な雨水管路網データを構築する手法を開発し、本手法を神田川上流域に適用したものである。構築した雨水管路網データに対して、実雨水管路網データとの物理特性値を比較検討し、また、洪水流出解析による流出特性を検討することにより、提案した手法の有効性について評価を行った。

雨水管路網の理論データ構築に必要なデータは、地表面の土地利用をポリゴン形式で表現した GIS データで、属性には土地利用（種別は河道、道路など）、地盤高および面積が必要である。また、排水区が複数ある場合には個々に排水区および放流管路の指定が必要である。本研究での排水区の設定は、河川への放流管が橋付近に集中している特徴を考慮し、橋に接続する道路を境界とする方針とした。

図-2 は提案する雨水管路網の理論データ構築手順である。管渠ルートの設定には、管渠が道路に埋設されている状況、河川への雨水排水は橋梁付近で行われている状況などを勘案し、道路 NW を用いることとした。すなわち、雨水管路網データの構築ステップは、以下ようになる。

- ① 道路ネットワークの作成および排水区の設定
- ② 自然流下を考慮した管路高の設定
- ③ 計画雨量の算定と管路直径の設定

高度な地物データ GIS から道路要素を抽出して道路 NW を作成する。道路 NW の作成には、直進性が高く、道路幅の狭い道路の作成が可能で、道路幅の情報も付加することができる手法を用いる。高度な地物データ GIS から道路ポリゴンを抽出し、これをポリライン型に変換して入力データとすれば、この手法により道路の交点にはポイント型、そして、これらを連結するポリライン型として構成する道路 NW が出力される。道路 NW を雨水管路網として利用するには、ポイント型をマンホール、ポリライン型を管路として設定する。雨水流出解析モデルでは、雨水がマンホールを介して地上と地下と出入りするため、本研究ではマンホールの間隔が最大で 50 m となるように設定した。すなわち初期道路 NW において、マンホール間距離が 50 m 以上の場合には距離に応じて管路を等分し、新たにマンホールを追加する。最後に、管路網の排水区毎への分離、河川への放流管データの追加、マンホールの地盤高設定を行い、これを初期雨水管路網データとする。

図-3 は管底高と管路直径について図示したものである。管底高は地形に沿うように設定されており、管路直径は河川への放流管に近づくほど大きくなっている。また、マンホールの深さは、河道から離れ、標高が高い場所に位置する管路ほど管路の管底が深い傾向がみられた。本手法では地形の影響を受けつつ、設定した排水区ごとに雨水が河川へ放流する雨水管路網データが構築できたことがわかった。また、実雨水管路網データの多くは樹枝状で、構築データは網目状であるため、実データはマンホール数と管路数に違いがあまりみられなかったことに対し構築データではマンホール数に比べて管路数が多い結果となった。また、本手法は道路ネットワークを雨水管路網としているので、実際に管路が埋設していない道路にも管路が存在するので、構築データは総管路延長と総管路容量が共に多い結果となった。

5年確率降雨の中央集中型波形を用いた洪水流出解析による流出特性の比較では、流出率および河道の流量波形は概ね一致した傾向を得ることができたものの、構築データの結果は、管路網特性を反映し、管路内貯留量が多いために河道ピーク流量が数%小さくなることが確認できた。

## (2)道路要素の地盤高設定手法

都市河川流域では、流域に占める道路の面積割合が 15%以上を占めるなど、直接流出量への寄与が高いたくだけでなく、洪水時には雨水の河道への流路としても機能している。高度な地物データ GIS における微小道路要素の地盤高の設定値が、実際の地盤高をどの程度再現しているかを評価・検討することは解析結果を向上する上で重要である。

地盤高の設定手法は、従来の簡便な地盤高設定手法の課題を克服するために、道路要素と街区要素との境界付近の地盤高を用いず、5m DEM をより小さなメッシュに内挿せずにそのまま採

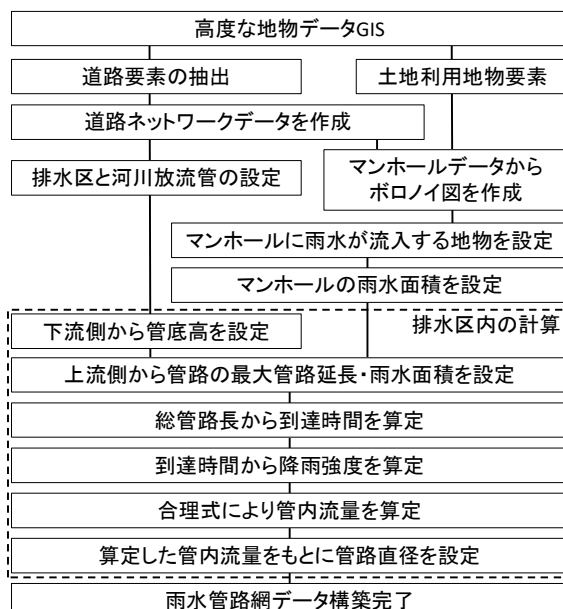


図-2 理論雨水管路網データ構築の流れ

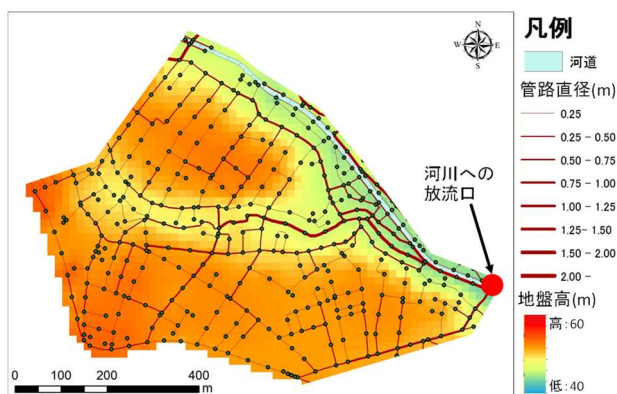


図-3 構築データの地盤高と管路直径の空間分布

用する方針とした。すなわち、先ず道路中心線と5m DEMの位置関係から道路中心線近傍のみの地盤高を用いて道路縦断勾配特性を把握し、次いでこの特性から個々の微小道路要素に地盤高を設定するものである(図-4)。

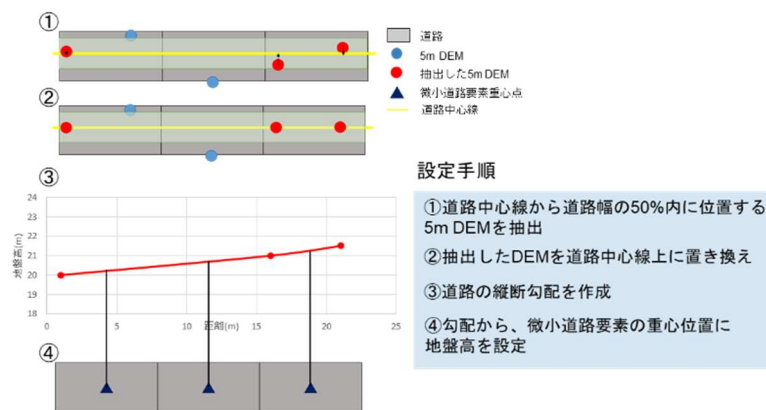


図-4 道路要素の地盤高設定手法

討論した。正しい道路地盤高として、東京都下水道局が公開している下水道台帳に記載されている値を用いたところ、新たな手法では従来の手法に比べ、マンホール地盤高との差が小さくなり、地盤高の再現性が高いことが明らかとなった。

### (3)河道要素の地盤高設定手法

本モデルに限らず、河道データは通常、対象河川の横断測量図面から得られる断面特性を設定している。都市河川の横断形状は単断面であることが多く、断面の河床高を何らかの手法により設定することができれば、モデルの汎用性を高めることが可能となる。そこで本研究では、一般的に入手可能なデータから都市河川における河道断面特性を設定することの可否を検討するため、5mメッシュ標高データを用いた河床高推定の可能性について検討を行った。

5mメッシュ標高データによる河床高推定の検討においては、100m間隔の横断特性を中心とする範囲(図-5の河道ポリゴン)を設定し、この範囲の最小標高値と横断特性から得られる河床高を比較することにより行うこととした。すなわち、先ず善福寺川合流点から井の頭池までの河道ポリゴンを作成し、これを横断特性(102断面)が中心となるように分割した。次いで、5mメッシュ標高データの-9999値を削除し、分割した河道ポリゴンを重ね、102断面に対応する標高値を設定した。なお、同一断面に複数の標高値が存在する場合には最も低い値を河床高の候補とした。図-5は、河道要素・横断面位置と5m標高値の位置関係についての一例を示したものである。



図-5 河道要素・横断面位置と5m標高値の位置関係

神田川上流域の河道を対象に、本手法を適用したところ、河道長約10Kmの7割の区間で5mメッシュ標高値の最小値を河床高として設定できることを確認した。残りの3割の区間は河道の水面の影響で標高値が得られにくいことや、橋などの影響により最小値を設定しても河床高よりも高くなる場所があることが明らかとなった。

### (4)神田川における浸水リスク解析

本研究では、都市流域を対象とした洪水流出・浸水解析モデルとしてTSR(Tokyo Storm Runoff)モデルを用いる。流域内への降雨は高度な地物データGISから作成される土地利用地物要素それぞれに与えられる。街区内では、土地利用地物要素が持つ浸透・不浸透特性に応じて不浸透域の降雨および浸透域の浸透能を超えた降雨を直接流出として計算し、建物の雨水は近傍の道路要素への流出量として算定する。道路要素の雨水は、その要素内にマンホールが存在する場合には雨水・下水道管路に流入し、存在しない場合には道路要素上を流下する。こうして、雨水・下水道管路へ流下した水は数々の管路網を経

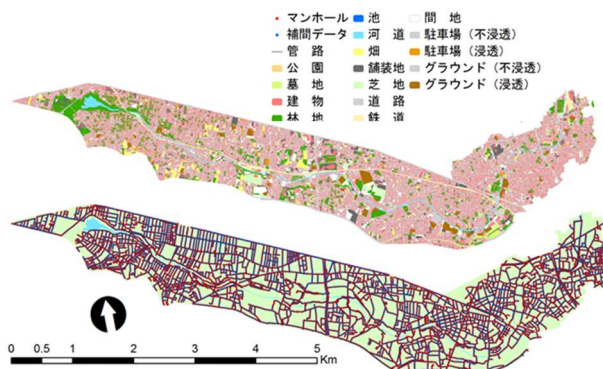


図-6 神田川上流域の概要

て、最終的には河川要素に流出して流域外へと流去していく。

本研究では、神川上流域を対象に構築した地物データ GIS(図-6)を用いて、気候変動による浸水リスクの検討を行った。対象降雨データは、NHRCM-5km 降水量 10 分値データ<sup>1)</sup>を用いて、現在気候(1980-1999)、近未来(2016-2035)および未来(2076-2095)の年超過確率 1/20 の中央集中型降雨を作成し、TSR(Tokyo Storm Runoff)モデルにより解析を行った。

降雨解析では、東京都区部の河川計画である再現期間 20 年の時間雨量 75mm は、近未来は約 13 年、未来では約 8 年程度と豪雨頻度の増加傾向が示唆された。洪水流出解析では、降雨時の流量の増加は年代が進むとともに大きくなるため、調節池の容量が現在と変わらなければ下流では流量の増加が中流部と比較して顕著に表れることが確認された。図-7 に示す浸水リスク評価においては、浸水深 25cm 以上の最大浸水面積は現在気候と比較して近未来では約 1.25 倍、未来では約 1.55 倍に拡大することが確認された。

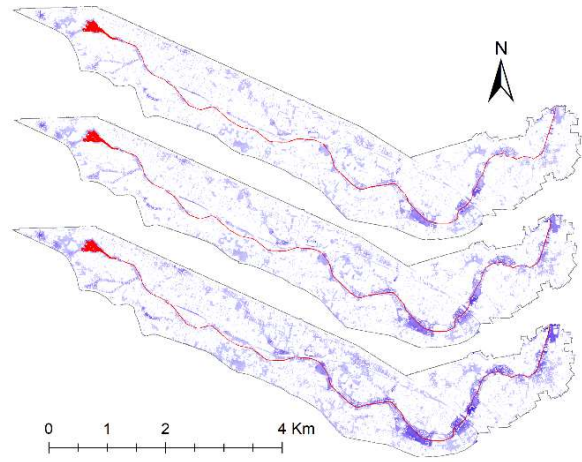


図-7 深さ 25cm 以上の最大浸水面積, a) 現在気候 (R1980), b) 近未来(R2016), c) 未来(R2076)

### (5) グリーンインフラ施設の評価

本研究では、グリーンインフラを考慮した都市流域の流出解析モデルを提案し、スウェーデンの小排水区を対象にモデル化を行い、シミュレーションによりその効果を定量的に示したものである。まず、排水区の詳細な雨水流出抑制システムを再現するため、収集した DEM や基礎的な雨水・下水道管路データに加え、現地調査および航空写真等から詳細な水路ネットワークおよび地上の雨水排水口から想定される雨水・下水道管路網のモデル化を行った。雨水流出解析では、10 年確率降雨を用いてグリーンインフラとしてグリーンルーフおよび流下抑制型の水路の機能を評価するために、それらの機能がない場合を想定した場合についてのシミュレーションを実施した。排水区内の池の水深を比較することにより、グリーンルーフの流出高低減効果および流下抑制水路の流下速度低減効果について定量的な確認を行った。

流出解析による水深分布を確認するため、Case 1 (対策なし) による最大水深分布図(図-8)を示した。地物データ GIS によるモデル化により、対象地区内の池や水路の分布特性が反映された結果が得られており、水深は最大で 70cm 程度となっている。グリーンルーフによる流出抑制および流下抑制型水路の効果把握するため、排水区全体での流出高について、Case 1 (対策なし) および Case 2 (対策あり) を比較する。図-9 は地区外に排水する流出量の合計値を流出高として示したものである。グリーンルーフを考慮した Case 1 のピーク流出高および総流出高はそれぞれ 0.5mm/min, 20mm である。ピーク流出高の低減は見られないが、総流出高は Case 2 と比べて約 3%の減少が確認された。グリーンルーフが設置された建物の面積は約 3%であり、面積相当分の流出が削減されている。

以上の結果から、地物データ GIS を用いて流域モデルを構築することにより、流域内で生じている詳細な雨水流出過程の変化を定量的に分析することが可能となった。

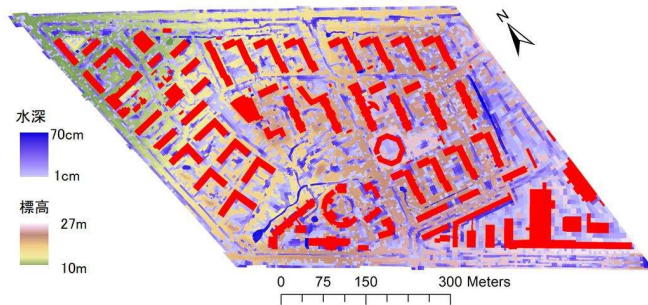


図-8 Case 1 による最大水深分布

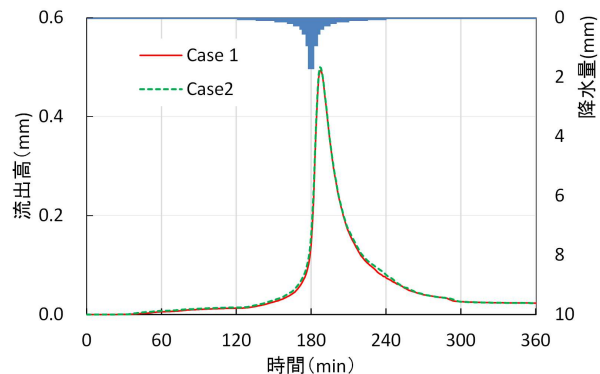


図-9 地区外への流出高

### <引用文献>

- 1) 気象庁, 地球温暖化予測情報第 8 巻, 2013.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計17件（うち査読付論文 16件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 天口英雄, 河村明	4. 巻 76
2. 論文標題 グリーンインフラを考慮した雨水流出解析モデルの提案とその適用	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 土木学会論文集G (環境)	6. 最初と最後の頁 I_319-I_326
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 天口英雄, 河村明	4. 巻 26
2. 論文標題 NHRCM 5Km降水量10分値データを用いた神田川上流域の洪水流出・浸水リスク評価	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 土木学会河川技術論文集	6. 最初と最後の頁 13-18
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 天口英雄, 河村 明	4. 巻 第25巻
2. 論文標題 都市流域を対象とした雨水管路網の理論データ構築手法の開発	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 土木学会河川技術論文集	6. 最初と最後の頁 273-278
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計9件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 1件）

1. 発表者名 小島朔文, 天口英雄, 河村 明
2. 発表標題 神田川上流域におけるNHRCM 5km 降水量10分値データを用いた浸水リスク評価
3. 学会等名 第48回土木学会関東支部研究発表会講演集
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 青木宥都, 天口英雄, 河村 明
2. 発表標題 農村流域における高度な地物GIS データの構築
3. 学会等名 第48回土木学会関東支部研究発表会講演集
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 李 安珂, 天口英雄, 河村 明
2. 発表標題 基盤地図情報5mDEM による都市流域の河道横断特性分析
3. 学会等名 第48回土木学会関東支部研究発表会講演集
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Amaguchi, H. and Kawamura, A.
2. 発表標題 The impact of climate change on a small urban watershed by the event based rainfall runoff and inundation simulation
3. 学会等名 World Environmental and Water Resources Congress 2019, Pittsburgh, Pennsylvania, USA. (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 天口英雄, 河村 明
2. 発表標題 地物データGISを利用した雨水管路網の構築手法について
3. 学会等名 第27回土木学会地球環境シンポジウム講演集
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 田中直也, 天口英雄, 河村 明
2. 発表標題 高度な地物データGISにおける微小道路要素地盤高設定に関する一考察
3. 学会等名 第47回土木学会関東支部研究発表会講演集
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 前田弘晃, 天口英雄, 河村 明
2. 発表標題 高度な地物データGISにおける街区自動分割手法の再構築
3. 学会等名 第47回土木学会関東支部研究発表会講演集
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 李 安珂, 天口英雄, 河村 明
2. 発表標題 5m メッシュ標高データを用いた都市河川の河床高推定について
3. 学会等名 第47回土木学会関東支部研究発表会講演集
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 小島朔文, 天口英雄, 河村 明
2. 発表標題 東京におけるNHRCM 5km 降水量データの特性
3. 学会等名 第47回土木学会関東支部研究発表会講演集
4. 発表年 2020年



〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
--	---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------