

15. 降雨流出ベンチマークテストに向けた都市中小河川実流域データセットの構築

高崎 忠勝^{1*}・河村 明²・天口 英雄²・村井 雅姿²・石原 成幸²

¹東京都 建設局 土木技術支援・人材育成センター（〒136-0075東京都江東区新砂1-9-15）

²東京都立大学 都市環境科学研究科（〒192-0397 東京都八王子市南大沢1-1）

* E-mail: takasaki-tadakatsu1@tmu.ac.jp

近年、都道府県が管理する中小河川で多くの水害が発生しており、治水対策として低コストの水位計の設置がすすめられている。水位上昇が極めて速い中小河川では、水位データを活用した河川水位予測による早期避難が望まれる。河川水位予測については降雨流出モデルの活用だけでなく、近年ではAIを用いた降雨流出の検討も行われている。しかし、対象としている河川や洪水が異なりモデル間の優劣を判定することが困難である。このため、共通データを用いた検討による降雨流出の性能向上を目的として都市中小河川実流域データセットを作成した。データセットは荒川水系神田川の佃橋における洪水100イベントのデータで構成されている。本報ではデータセットの作成方法およびデータの概要を述べる。

Key Words : Dataset, Benchmark Test, Urban runoff

1. はじめに

近年、都道府県が管理する中小河川で多くの水害が発生している。中小河川の総延長は国が管理する河川より長く、また、整備水準が必ずしも高くない状況にある¹⁾。また、将来の気候変動による降雨特性の変化は中小河川の増水にも影響を及ぼすことが予想され、今後さらに検討すべき事項として気候変動による小流域及び短時間降雨の影響評価が挙げられている²⁾。中小河川では治水対策の早急な取り組みが望まれており、洪水時の早期避難に資する低コストの水位計の設置がすすめられている³⁾。中小河川は水位上昇が極めて速いことから、リアルタイムの水位を把握するだけでなく、洪水時に得られたデータを用いて河川増水の予測を行い、より早期に避難行動を開始することが望まれる。

河川水位を予測する場合、降雨流出モデル⁴⁾によって水位を求めることが行われてきた。この方法では計算に際して流量のデータが必要になるが、中小河川において河川流量の観測が行われている箇所は限られている。近年、機械学習や深層学習等のAIを用いた降雨流出（以下、AI 降雨流出）に関する検討が数多く行われている^{5,6)}。AI 降雨流出を用いると降雨と水位のデータのみで水位

予測を行うことが可能になると考えられる。

これまでに降雨流出については様々なモデルを用いて多くの検討が行われているが、各検討が対象としている河川や洪水が異なるため、モデル間の優劣を判定することが困難である。一方、画像認識の分野では公開されたデータセットを用いたAIモデルの検討が行われており⁷⁾、モデル間の優劣の判定を容易に行うことができる。降雨流出においても性能向上を図る上で共通のデータを用いた検討が望まれる。

このような背景の下、著者らは降雨流出ベンチマークテストに資する都市中小河川実流域データセットを作成している⁸⁾。この既往データセットは、降雨終了時からイベント終了までの時間を長く設定しており、多くのイベントにおいて降雨終了後に低い水位が長時間継続している。このため、低い水位に対する再現性がイベント全体の再現性評価に大きな影響を及ぼす可能性がある。また、既往の降雨流出モデルの利用を考えると、高い水位に対応する流量だけでなくイベント開始時の低い水位に対応する流量の精度も重要である。

こうした点を踏まえて、既往データセットに対してイベント期間や流量の算定方法を見直し、新たなデータセットを作成した。本報はこのデータセットの作成方法と

データセットに含まれるイベントの概要を説明する。

2. 対象地点

データセットの対象地点は荒川水系神田川の上流域に位置する佃橋である。佃橋付近は写真-1に示すようにコンクリート護岸による整備が行われている。佃橋の位置は図-1に示すように東京都杉並区に位置し、流域面積は5.2km²である。佃橋の下流側には東京都水防災総合情報システム⁹⁾（以下、水防災システム）の水位観測所が設置されている。また、流域周辺には水防災システムの雨量観測所が6箇所にある。図中には雨量観測所のティーセン比を示した。水防災システムの観測記録は1999年度以降に1分間隔のデータとなっており、水位は1cm単位、雨量は1mm単位で記録されている。

神田川流域は早期から開発がすすめられた地域であり、2003年における市街地の割合は97%に達している¹⁰⁾。



写真-1 佃橋水位観測所付近

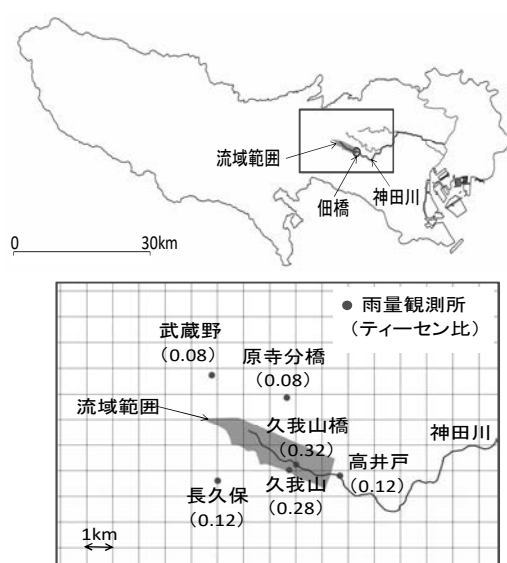


図-1 対象地点

下水道は合流式下水道が普及しており、強雨時の降雨流出は合流式下水道の影響を受けたものとなっている。

当地点では2000年度に高水流量観測、2006年度に低水流量観測を実施しており、これらの流量観測実施時に目視で確認した水位と同時刻の水位データを比較することにより、水位データの妥当性を確認している。

3. データセットの作成

(1) イベントの抽出

水防災システムの観測記録が1分値となっている1999年4月以降の水位ハイドログラフを目視で確認した。この結果、水位データの特性に大きな変化がないと判断された1999年4月から2010年12月をイベントの抽出期間とした。

水位については、流量観測時の測量結果をもとにデータをm単位でA.P.に換算した。水位ハイドログラフの目視確認により明らかに異常だと判断されたデータや欠測となっているデータは線形補間によって補間した。

雨量については、1分値が10mmを超えているデータを異常値と判定すると共に、気象庁解析雨量を用いて無降雨の期間を確認した。無降雨期間の判定は、6箇所の雨量観測所が位置する解析雨量5km格子2つの雨量を参照することによって行い、これらの雨量が共に0mmの場合に降雨が無いものとした。解析雨量の解像度は2001年4月以降に2.5km格子、1km格子と向上しているが、これらは5km格子データに変換した上で同じ処理を行った。異常値と判定した雨量データは0mmに置き換えた。

6箇所の雨量観測所が1mm以上の雨を180分間記録していない場合に別イベントとして取り扱った。

各イベントの最大水位を比較し、上位の100イベントをデータセットに使用した。

(2) 流量の算定方法

データセットには既往の降雨流出モデルでの使用を想定して流量を示している。流量は式(1a)と式(1b)の水位流量曲線を用いて算定した。

$$Q = 0.479(H - 37.260)^{3.000} \quad (H < 38.154) \quad (1a)$$

$$Q = 14.816(H - 38.154)^{1.366} + 0.342 \quad (H \geq 38.154) \quad (1b)$$

ここに、 Q : 流量 (m³/s) , H : 水位 (A.P.m)

以下にこの水位流量曲線の作成方法を示す。まず、断面形状をもとに粗度係数を変えながら等流計算を行い、流量観測結果を再現できる粗度係数を求めた。

図-2に対象地点の断面形状を示す。図中iの河床高は

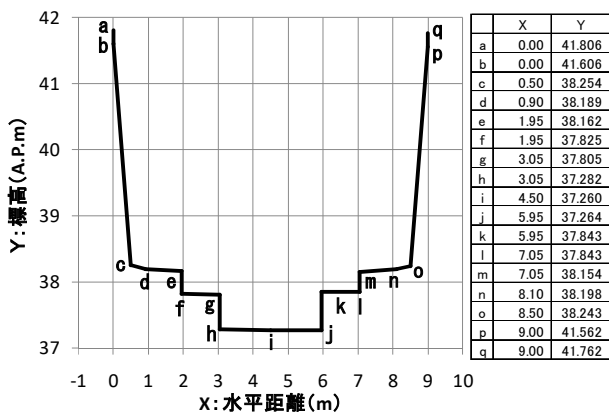


図-2 断面形状

A.P.37.260m, 図中mの右岸側フーチング高はA.P.38.154mとなっている。等流計算においては各潤辺の粗度係数を用いた計算式¹¹⁾である式(2)により平均流速を算定した。

$$V = \frac{A^{2/3} \times I^{1/2}}{\left(\sum S_i \times n_i^{3/2} \right)^{2/3}} \quad (2)$$

ここに、 V : 平均流速 (m/s), A : 流積 (m²), n_i : i 番目の粗度係数, S_i : i 番目の粗度係数を有する潤辺 (m), I : 水面勾配。

図-2の断面における各潤辺の粗度係数は、潤辺a～cを $n=0.010$, 潤辺c～hを $n=0.015$, 潤辺h～jを $n=0.052$, 潤辺j～oを $n=0.015$, 潤辺o～qを $n=0.010$ とした。この粗度係数を用いた等流計算による水位流量曲線を図-3に示す。

等流計算による水位流量曲線は水位と流量の換算に手間を要するので、式(3)の水位流量曲線を以下の方法で作成した。

$$Q = a(H - b)^n + Q_0 \quad (3)$$

ここに、 Q : 流量 (m³/s), H : 水位 (A.P.m), Q_0 : 水位下限流量 (m³/s), a, b, n : パラメーター。

まず、河床からフーチングまでの水位を対象に、低水流量観測結果を用いて式(3)のパラメーター a, n の値を探索した。 b の値は河床高である37.260とし、 Q_0 の値は0とし、 n の探索範囲¹²⁾は1～3とした。得られたパラメーターの値から式(1a)を作成した。

次にフーチングから上の範囲について高水流量観測結果および等流計算で求めた水位流量曲線を用いて、妥協計画法¹³⁾により式(3)のパラメーター a, n の値を探索した。等流計算による水位流量曲線は、流量観測の外挿に該当する観測結果の最大値から天端までの範囲を用いた。 b の値はフーチング高である38.154とし、 Q_0 の値は式(1a)において $H=38.154$ とした時の流量0.342とし、 n の探索範囲は1～3とした。得られたパラメーターの値から式(1b)を

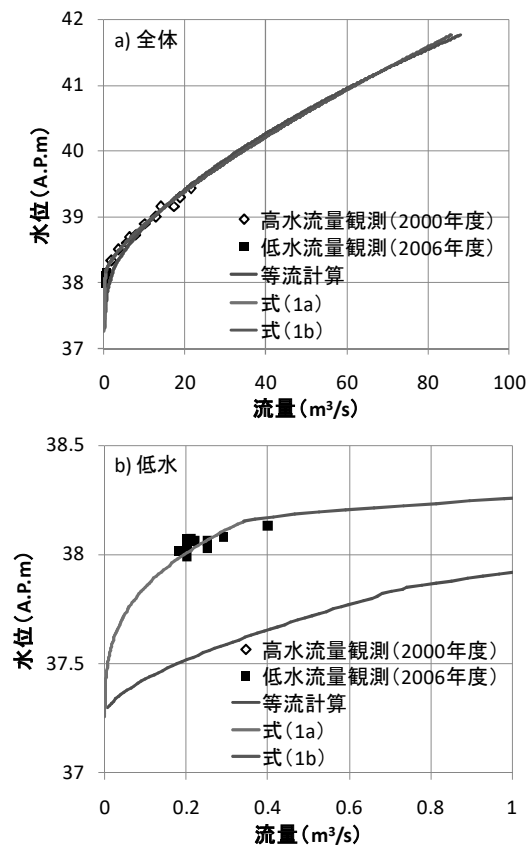


図-3 水位流量曲線

表-1 データセットの項目

項目1	イベント番号	項目7	前1分雨量 原寺分橋(mm)
項目2	時刻	項目8	前1分雨量 武蔵野(mm)
項目3	水位(A.P.m)	項目9	前1分雨量 長久保(mm)
項目4	前1分雨量 久我山(mm)	項目10	前1分雨量 流域平均(mm)
項目5	前1分雨量 高井戸(mm)	項目11	流量(m³/s)
項目6	前1分雨量 久我山橋(mm)	項目12	流出高(mm/min)

作成した。

式(1a)と式(1b)による水位流量曲線を図-3に示している。この式を用いることで水位と流量の換算を行うことができる。

4. データセットイベントの概要

データセットは100イベント分の1分値 101128データからなり、表-1に示す12項目で構成されている。各イベントの期間は1mm以上の雨量が記録された1分前から雨量0mmが180分継続した時点までとなっている。

項目10の流域平均雨量は図-1に示したティーセン比を用いて算定した雨量である。項目12の流出高 (mm/min) は項目11の流量 (m³/s) と流域面積から算定したものである。

図-4にイベントNo.100（2010/12/3 1:31～11:39）の水位・雨量を示す。データセットの雨量は前1分雨量を記しているが図では判読のため累積雨量を示した。図から降雨終了後に水位が速やかに低下し、降雨終了から180分経過した時点の水位は、降雨前と大きくは変わらないことが分かる。

以下にデータセットに含まれるイベントの概要を記す。

(1) 降雨継続時間

各イベントにおいて1mm以上の雨が記録された最初のデータから最後のデータまでの期間を降雨継続時間とし、全イベントの降雨継続時間を図-5に示す。降雨継続時間は、最小がNo.71の30分、最大がNo.53の3037分であり、100イベントの平均は830分である。3時間未満のイベントが17個、24時間以上のイベントが17個ある。

(2) 水位

全イベントのイベント開始時およびピーク時の水位を図-6に示す。ピーク水位についてみると、最小がNo.69, 93, 96のA.P.38.382m、最大がNo.46のA.P.40.902mである。A.P.39.5m未満のイベントが93%を占め、A.P.40.0m以上のイベントが2個ある。

(3) 雨量

全イベントの雨量について流域平均雨量を示す。

10分最大雨量を図-7に示す。最小がNo.56の2.1mm、最大がNo.46の18.1mm、100イベントの平均は6.3mmである。10mm未満のイベントが83%を占める。

30分最大雨量を図-8に示す。最小がNo.59の5.0mm、最大がNo.46の47.2mm、100イベントの平均は13.2mmである。20mm未満のイベントが85%を占める。

60分最大雨量を図-9に示す。最小がNo.59の8.3mm、最大がNo.46の92.4mm、100イベントの平均は19.5mmである。30mm未満のイベントが87%を占め、50mm以上のイベン

トが2個ある。

総雨量を図-10に示す。最小がNo.69の12.1mm、最大が

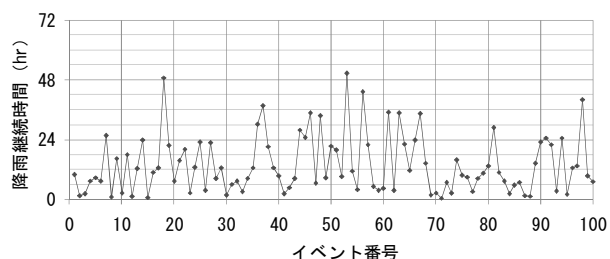


図-5 降雨継続時間

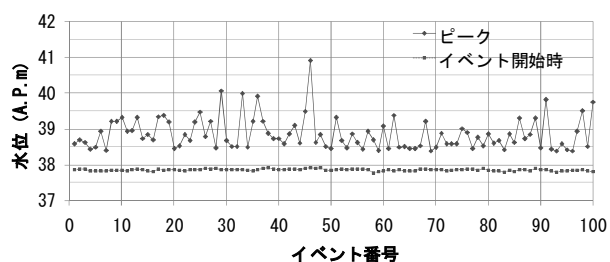


図-6 イベントの水位

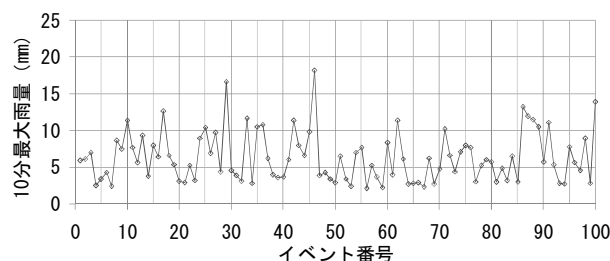


図-7 イベントの10分最大雨量

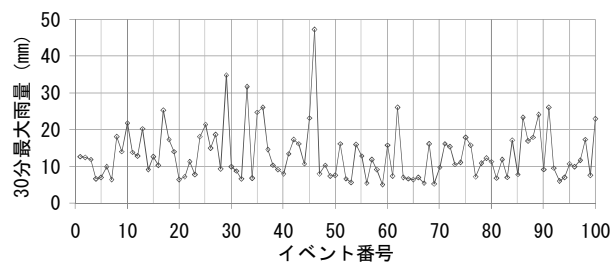


図-8 イベントの30分最大雨量

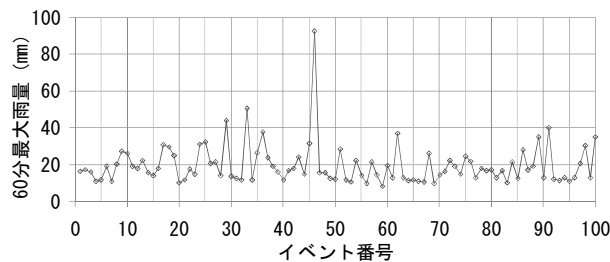


図-9 イベントの60分最大雨量

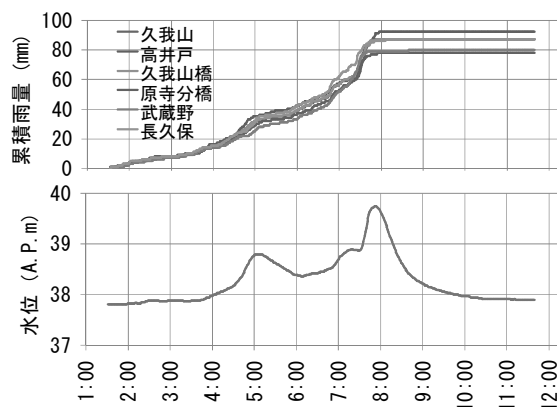


図-4 イベントNo. 100の雨量・水位

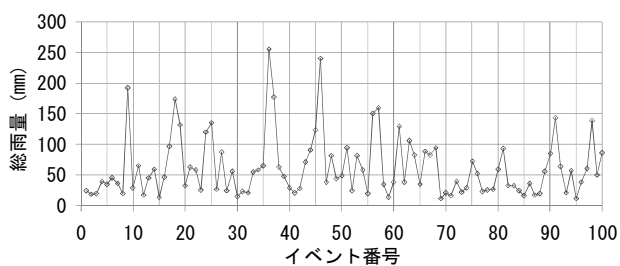


図-10 イベントの総雨量

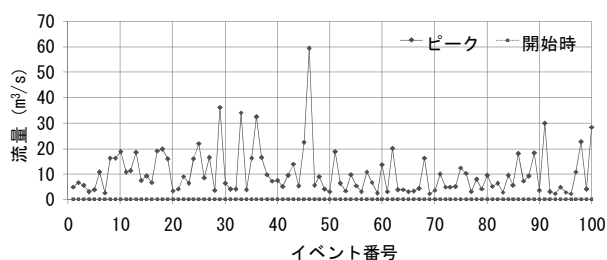


図-11 イベントの流量

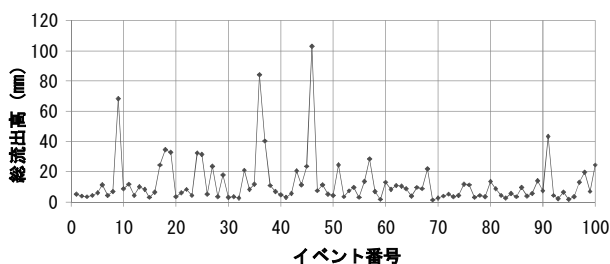


図-12 イベントの総流出高

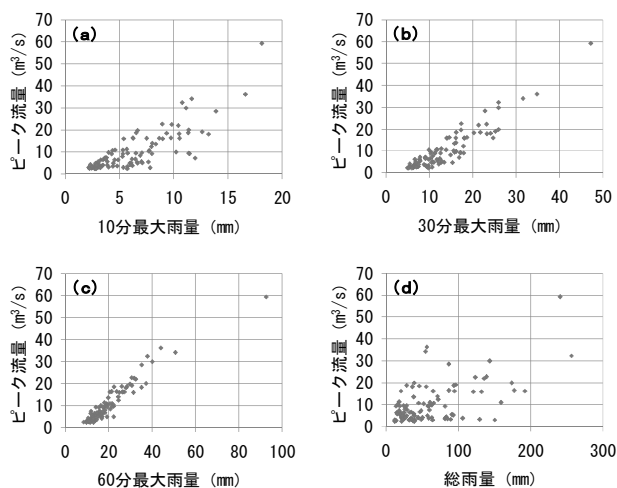


図-13 雨量とピーク流量

No.36の255.8mm, 100イベントの平均は61.5mmである。100mm未満のイベントが85%を占める。

(4) 流量

全イベントのイベント開始時流量とピーク時の流量を

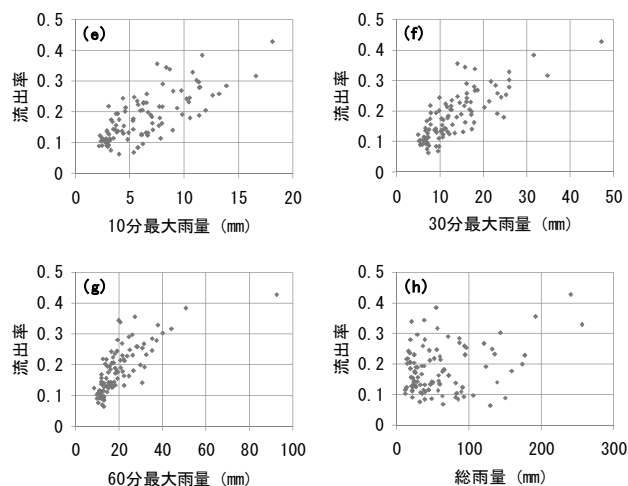


図-14 雨量と流出率

図-11に示す。ピーク流量についてみると、最小がNo.69, 93, 96の $2.3\text{m}^3/\text{s}$, 最大がNo.46の $59.3\text{m}^3/\text{s}$ であり, 100イベントの平均は $10.2\text{m}^3/\text{s}$ である。20 m^3/s 未満のイベントが91%を占め, 40 m^3/s 以上のイベントは1個である。

(5) 流出高

イベントの期間における流出高の合計を総流出高とし, 全イベントの総流出高を図-12に示す。総流出高の最小はNo.69の1.2mm, 最大がNo.46の102.9mmであり, 100イベントの平均は12.3mmである。30mm未満のイベントが91%を占める。

(6) 雨量と流量

流域平均雨量とピーク流量の関係を図-13に示す。各図の相関係数は (a) 0.80, (b) 0.93, (c) 0.96, (d) 0.58であり, 30~60分程度の雨量がピーク流量に大きく影響している。

(7) 雨量と流出高

総雨量に対する総流出高の割合を流出率とし, 雨量と流出率の関係を図-14に示す。流出率は最小がNo.61の0.06, 最大がNo.46の0.43である。各図の相関係数は (e) 0.74, (f) 0.79, (g) 0.76, (h) 0.30であり, 30分程度の雨量が流出率に及ぼす影響が大きい。

5. まとめ

AI 降雨流出ベンチマークテストに資する目的で東京の都市中小河川神田川における増水時100イベントのデータセットを作成した。

本報ではデータセットの作成方法およびイベントの概要を説明した。特に流量算定に用いた水位流量曲線の作

成方法について詳細を示した。また、データセットの雨量と流量を比較し、30分～60分程度の短時間の雨量が流量に大きく影響を及ぼすことを確認した。

参考文献

- 1) 社会資本整備審議会：中小河川等における水防災意識社会の再構築のあり方について答申，平成29年1月。
- 2) 気候変動を踏まえた治水計画に係る技術検討会：気候変動を踏まえた治水計画のあり方提言，令和元年10月。
- 3) 奥野真章：平成29年7月九州北部豪雨により被災した河川の早期復旧及び九州北部豪雨等の教訓を踏まえた対策の全国展開，水理科学，No.363，pp.57-69，2018。
- 4) 高崎忠勝，河村明，天口英雄，荒木千博：都市の流出機構を考慮した新たな貯留関数モデルの提案，土木学会論文集 B，Vol.65，No.3，pp.217-230，2009。
- 5) 一言正之，櫻庭雅明，清雄一：深層学習を用いた河川水位予測手法の開発，土木学会論文集 B1（水工学），Vol.72，No.4，pp.I_187-I_192，2016。
- 6) 竹内泰裕，高崎忠勝，河村明，天口英雄：ランダムフォレスト法によるバーチャルハイドログラフ再現性に関する一考察，第46回土木学会関東支部技術研究発表会講演概要集，2019。
- 7) 中山英樹：深層畳み込みニューラルネットワークによる画像特徴抽出と転移学習，電子情報通信学会音声研究会7月研究会，2015。
- 8) 高崎忠勝，河村明，天口英雄，石原成幸：AI 降雨流出ベンチマークテストに向けた都市中小河川実流域データセットの作成，水文・水資源学会2019年度研究発表会，2019。
- 9) 東京都建設局河川部防災課：平成30年度東京都水防計画，2018。
- 10) 東京都：荒川水系神田川流域河川整備計画，2016。
- 11) 高崎忠勝，大澤健二，湊友洋，杉原大介：中小河川における水位流量特性，平24都土木技術支援・人材育成センター年報，pp.117-122，2012。
- 12) 国土交通省水管理・国土保全局：国土交通省河川砂防技術基準調査編，第2章，第4節，p31，2014。
- 13) 田中丸治哉，藤原洋一：妥協計画法による流出モデル定数の多目的最適化，農業土木論文集，No.241，pp.107-115，2006。