

令和元年東日本台風による世田谷区・大田区における浸水災害時の浸水の進行や人々の行動に関する考察

三上貴仁¹・伊藤和也¹・田中剛¹・末政直晃¹

Progression of Inundation and People's Behavior During the Inundation Disaster in Setagaya and Ota Wards Caused by 2019 Typhoon Hagibis

Takahito MIKAMI¹, Kazuya ITOH¹, Tsuyoshi TANAKA¹ and Naoaki SUEMASA¹

Abstract

Heavy rainfall associated with the 2019 Typhoon Hagibis caused an inundation disaster in the area located on the border of Setagaya and Ota Wards and surrounded by three rivers, Tama, Yazawa, and Maruko Rivers. In order to gain a concrete understanding of the progression of inundation and people's behavior during the inundation disaster in this area, footage from a security camera recording the situation at a certain crossing in the area was analyzed. With regard to the progression of inundation, the temporal change in the inundation depth and the occurrence of the water flow were identified. With regard to people's behavior, the traffic situation of cars and pedestrians and the walking speed during the inundation were identified. Referring to the findings from past disasters and experimental studies, it is considered that the inundation situation at the crossing reached a condition that made movement hazardous for both cars and pedestrians.

キーワード：令和元年東日本台風，多摩川，浸水，映像分析，避難行動

Key words: 2019 Typhoon Hagibis, Tama River, inundation, video analysis, evacuation behavior

1. はじめに

令和元年東日本台風（2019年台風19号，Hagibis）にともなう大雨は，東日本の各地で大きな被害をもたらした。東京都と神奈川県の間を流れる多摩川の下流域では，多摩川の水位が大きく上昇したことで，多摩川やそれに注ぐ中小河川からの氾濫，

内水氾濫，樋管・樋門を通じた逆流などにより，左岸側である東京都側と右岸側である神奈川県側の両方において浸水被害が発生した。小森（2021）は，空中写真の判読と現地での堆積物の調査に基づき，東京都側では5地域，神奈川県側では10地域において浸水被害が発生していたと報告してい

¹ 東京都市大学建築都市デザイン学部都市工学科
Department of Urban and Civil Engineering, Tokyo City University

本稿に対する討議は2023年8月末日まで受け付ける。

る。各地域における浸水の発生要因や当日の状況については、それぞれの自治体において検証がなされている（例えば、世田谷区，2020；大田区，2020；川崎市，2020）。加えて、数値シミュレーションを用いた再現や樋管・樋門が浸水に及ぼす影響に関する検討も行われている（関根・吉野，2020；関根・他，2021）。将来の大雨へのよりよい備えを進めるにあたっては、各地域において、浸水を発生させ得る要因や浸水がどこにどのように広がっていくかといった浸水の特性を理解するとともに、浸水災害時の効果的な避難行動や水防活動につながる知見・教訓の整理を進めることが重要である。

多摩川下流域で発生した浸水災害のうち、筆者らは、東京都側の世田谷区と大田区の境に位置し、多摩川とそれに注ぐ谷沢川と丸子川の3つの川に囲まれた地域（以下、本地域と呼ぶ）における浸水災害について、その実態を把握するために各種の調査・分析を行ってきた（三上・他，2021；伊藤・他，2022）。本稿では、それらの調査・分析のうち、防犯カメラに記録された映像の分析によ

り得られた、本地域における浸水の進行や人々の行動の特徴について報告する。さらに、それらを踏まえて、本地域における今後の浸水災害に対する防災・減災に向けた知見・教訓について、過去の他地域における災害や実験による検討で得られた知見・教訓も参照しながら整理する。

2. 対象となる場所の概況と当日の状況

図1に、本地域の概況を示す。前述したように、本地域は多摩川、谷沢川、丸子川の3つの川に囲まれている。標高は概ね8～12mと周囲に比べて低く、西側と東側にそれぞれ特に低い窪地状の場所が存在する。本地域では、雨水の排水のために等々力雨水幹線と上沼部雨水幹線が地下に整備されており、それぞれ等々力排水樋門と上沼部排水樋門を通じて多摩川に注いでいる。谷沢川と丸子川は、それぞれ玉川排水樋管と調布排水樋管を通じて多摩川に注いでいる。これらの樋管・樋門では、多摩川の水位が上昇した際には逆流を防ぐための操作を行うことになっている。

本稿で述べる防犯カメラは、図1にて四角で囲

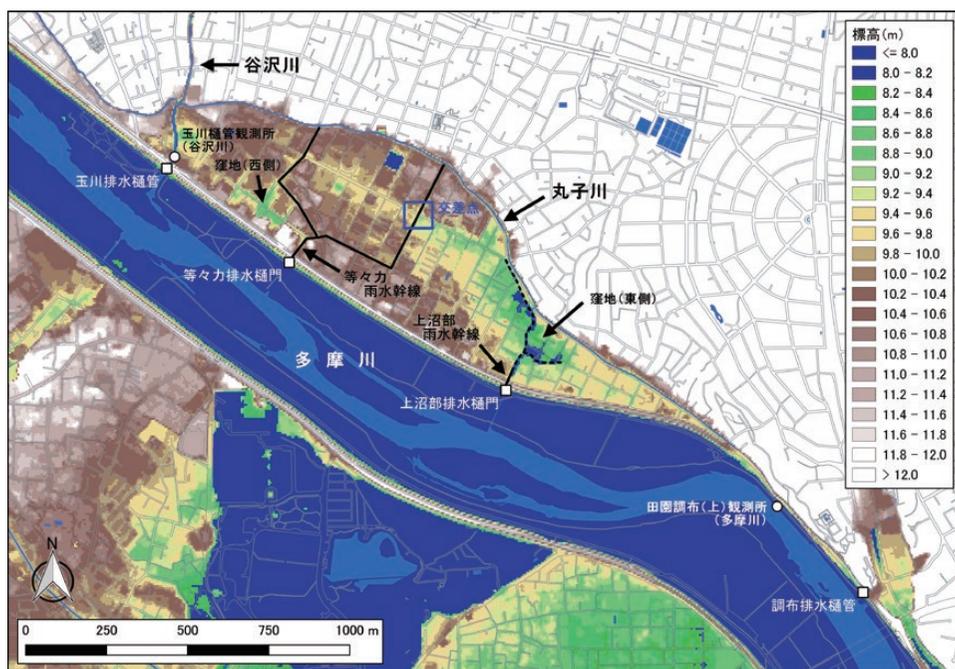


図1 地域の概況

まれている地点を撮影していたものである。図2に、この地点の詳しい状況を示す。この地点は、等々力雨水幹線が直下を通る交差点を含んでいる。この交差点は、西側と東側にある局所的に標高の低い場所をつなぐ道路が通っている交差点でもある。この道路は、西から東へ向かって約1/1000の勾配で緩やかにくだっており、災害発生時にはここを通じて浸水が西から東へ広がっていったと考えられている(三上・他, 2021)。東京都下水道局の下水道台帳によれば、この交差点内にある等々力雨水幹線上の人孔の地盤高は9.44 mである。

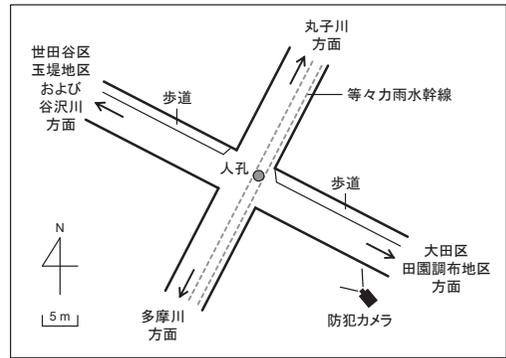


図2 防犯カメラで撮影された地点の状況

図3に、浸水災害が発生した当日である2019年

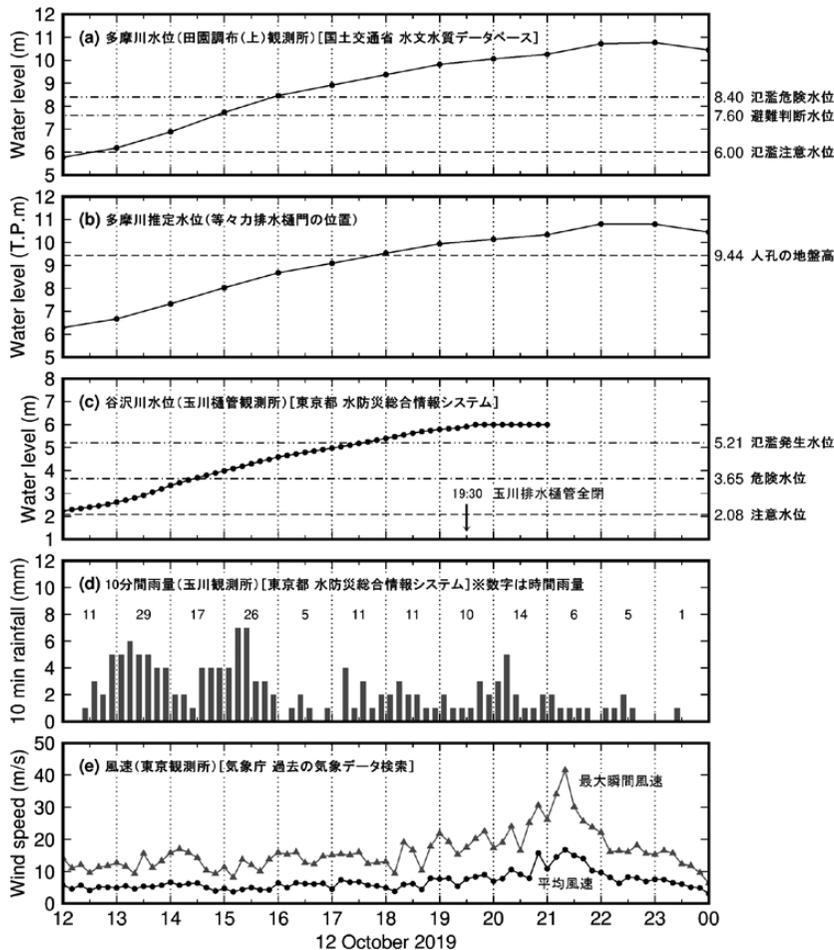


図3 2019年10月12日午後各種観測データ：(a)田園調布(上)観測所での多摩川水位、(b)等々力排水樋門の位置での多摩川推定水位、(c)玉川樋管観測所での谷沢川水位、(d)玉川観測所での10分間雨量、(e)東京観測所における風速

10月12日の午後の各種観測データを示す。これらのデータは、国土交通省・水文水質データベース、東京都・水防災総合情報システム、気象庁・過去の気象データ検索のWebサイトからダウンロードしたものである。多摩川の水位観測所のうち本地域の最も近くに位置する田園調布(上)観測所の水位は、13時には氾濫注意水位を、15時には避難判断水位を、16時には氾濫危険水位をそれぞれ超えていたことがわかる(図3(a))。田園調布(上)観測所とそのひとつ上流側の玉川観測所で観測された水位を用いて、それぞれの観測所からの距離に応じた線形補間により推定した等々力排水樋門の位置での多摩川の水位(T.P.換算値)を見ると、18時頃には前述した交差点内の人孔の地盤高を超えていたことがわかる(図3(b))。谷沢川の水位観測所のうち最も下流側に位置する玉川樋管観測所の水位を見ると、17時から18時のあいだに氾濫発生水位(護岸天端高さ)を超えており、それ以降、谷沢川から水があふれる状態になっていたことがわかる(図3(c))。本地域から最も近くに位

置する観測所での雨と風の状況を見ると、雨は13時から16時にかけて時間雨量が20mm前後と激しくなっており、風は20時から22時にかけて特に強くなっていたことがわかる(図3(d),(e))。

世田谷区(2020)および大田区(2020)によれば、10月12日の樋管・樋門の操作状況は次のとおりである。上沼部排水樋門は18:00に、玉川排水樋管は19:30に、それぞれ全閉され、その日は全閉のままであった。等々力排水樋門では、周囲の冠水や強風の影響により樋門に近寄れなかったため、閉鎖作業を実施することができなかった。調布排水樋管では、逆流が確認されなかったため、樋管の操作はなされなかった。

3. 映像から得られた浸水の進行や人々の行動の特徴

本研究で使用した防犯カメラの映像は、10月12日の17:30頃から24:00頃までの時間帯における図2に示した交差点の様子を撮影したものである。ただし、一部の時間帯は機器の不調や映像の乱れ

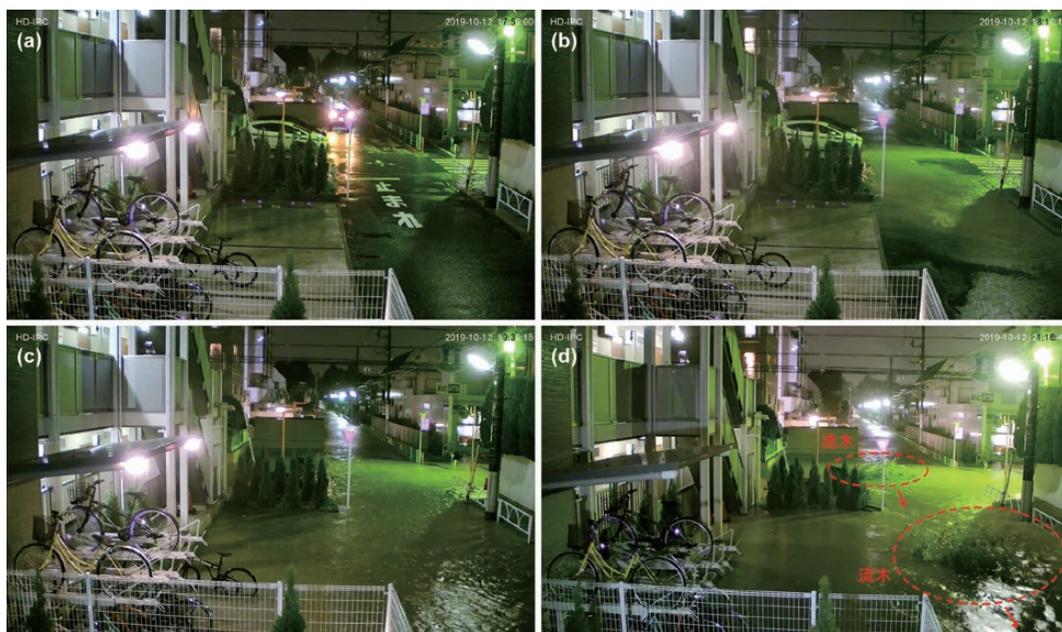


図4 映像のスナップショット：(a)浸水開始直前の交差点の様子(17:50頃)、(b)浸水開始直後の交差点の様子(18:10頃)、(c)交差点とその周囲が浸水している様子(19:30頃)、(d)交差点を西から東へ流れていく2つの流木(21:16頃、図中の矢印は流木の流れていく方向を示している)

などにより、交差点の様子を確認することができなかった。図4に、映像のスナップショットをいくつか示す。図5に、映像から得られた各種データを示すが、そのうち図5(a)は交差点の様子をはっきりと確認できた時間帯を示している。以下に、映像から得られたそれぞれのデータについて詳述する。

図5(b)に、交差点での浸水深を示す。浸水深は、交差点周辺のガードレールや電柱の部材など、高さが特定できる位置に水面が達したかどうかを基にして計測した。18:00頃より交差点で浸水が始まり、その後、水たまりが徐々に広がっていく様子が確認できた(図4(a), (b)参照)。浸水開始後、浸水深は1時間あたり10 cm程のペースで上昇し

ていき、24:00頃には60 cmに達していた。水は浸水開始当初から濁っており、水面下の様子を目で確認することができない状態であった。

図5(c)に、交差点を通過した自動車/バイク・自転車/歩行者の30分ごとの数を示す(ただし、交差点の様子を確認できなかった19:30~20:30の時間帯を除く)。交差点で浸水が始まる直前の17:30~18:00の時間帯から、浸水深が10 cmを超えていた19:00~19:30の時間帯まで、自動車/バイク・自転車/歩行者の往来があり、特に自動車の往来が多かった。住宅街ということもあり、車のタイプはセダンやハッチバック、ステーションワゴンなどが中心であった。20:30以降は、往来はほとんどなくなり、30分あたり数件程度となった。

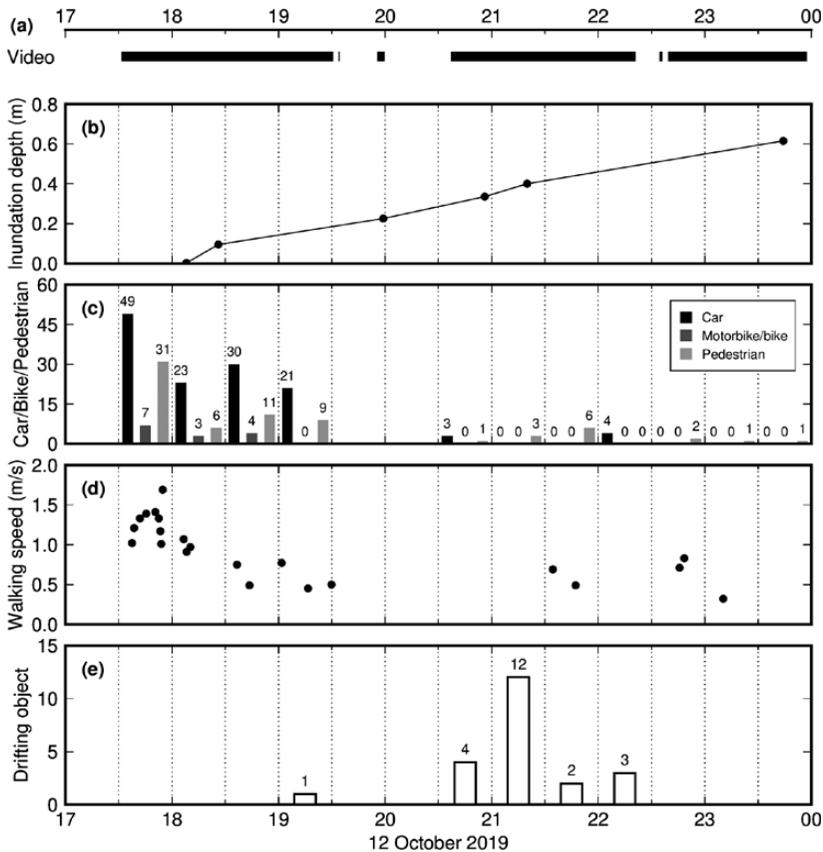


図5 映像から得られた各種データ：(a)映像中で交差点の様子を確認できた時間帯，(b)交差点での浸水深，(c)交差点を通過した自動車/バイク・自転車/歩行者の30分ごとの数，(d)交差点を南北方向に通過した歩行者の歩行速度，(e)交差点を西から東へ通過した漂流物の30分ごとの数

図5(d)に、交差点を南から北へあるいは北から南へ通過した歩行者の歩行速度を示す。歩行速度は、映像をコマ送りして各歩行者が交差点を渡るのに要した時間を求め、交差点の南北方向の幅である5.0 mをそれで除することで算出した。歩行速度は、浸水開始前は1.0~1.7 m/s程度であったが、浸水開始後は1.0 m/sを超えることはなく、0.3~0.8 m/s程度であった。

図5(e)に、交差点を西から東へ通過していった漂流物の30分ごとの数を示す。19:00を過ぎた頃にはじめて交差点の水面上をゆっくりと東へ流れていく漂流物を確認できた。その後、映像の中断期間を挟み、20:30以降、多数の漂流物が西から東へ流れていく様子が確認できるようになった。これは、19:00頃には西側からの氾濫水がこの交差点に到達しており、遅くとも20:30以降にはこの道路を介して西から東への顕著な水の流れが生じていたことを示している。漂流物の中には、ソファや枝葉のついた流木など比較的大きいものも見られた(図4(d)参照)。

4. 今後の防災・減災に向けた知見・教訓

4.1 浸水の進行について

本研究において対象とした交差点では、18:00頃より水たまりが徐々に広がっていくようなかたちで浸水が始まっていた。これは、同じ頃に等々力排水樋門の位置での多摩川の水位が交差点の人孔の地盤高を超えていたことから、等々力雨水幹線を通した雨水の排水が難しくなり、さらに多摩川の水位の上昇が続いたことで逆流が始まったためと考えられる。一方、本地域の西側に位置する谷沢川の下流では17時から18時のあいだに水位が護岸天端高さを超え、本地域への氾濫が始まっていた(三上・他(2021))においても谷沢川下流の左岸での浸水痕跡が天端よりも高いと報告されている)。この氾濫水は本地域の西側の窪地を経て道路を介して交差点へ到達したものと考えられる。氾濫水の交差点への到達時刻は明確にはできないが、交差点を通過していった漂流物から、19:00頃には氾濫水が到達し始めており、20:30以降には顕著な水の流れとなっていたことがわかった。

交差点における浸水深の上昇速度は、浸水開始以降、谷沢川からの氾濫水が到達しても大きな変化はなく、1時間あたり10 cm程のペースのままであった。水害時の浸水深の上昇速度については、過去の他地域の水害において次のようなデータが得られている。栗城・他(1998)は、関川水害(1995年)の際の上越市北部では支川からの越水や内水により浸水が発生し、その上昇速度は1時間あたり8 cmであったと報告している。末次(2002)は、内水氾濫にあたる福岡水害(1999年)では10分あたり20 cm(博多駅前)や10分あたり9~25 cm(御笠川氾濫)、外水氾濫にあたる小貝川水害(1986年)と西日本水害(1953年)ではそれぞれ1時間あたり1 m(下妻)と1時間あたり1.4~2 m(久留米市)であったと報告し、外水氾濫では内水氾濫に比べて上昇速度が速いと述べている。これらのうちの内水氾濫の事例と比較すると、交差点での浸水深の上昇速度は緩やかな方であったと言える。交差点は水の通り道ではあったものの、地形的には周囲から水が集まって湛水していくような場所ではないため、浸水深が上昇しにくい場所であったと考えられる。

今回の浸水の進行は上記のような特徴をもっていたが、本地域における浸水の進行については、多摩川からの氾濫や丸子川からの氾濫など、他にもさまざまなシナリオが考えられ、浸水の進行は必ずしもいつも同様とは限らない。特に、多摩川からの外水氾濫であれば、上述した末次(2002)で報告されていたような、より速く浸水深が上昇することも考えられる。本地域における過去の大規模な浸水災害は、今回の事例を除けば、1958年の狩野川台風や1982年の台風18号の事例までさかのぼらなければならず(三上・他, 2021)、本地域の多くの人々にとっては、今回の事例が数少ない災害経験のひとつであったと考えられる。その経験のみにとらわれることなく、過去の他地域での事例も参考にしながら、余裕をもって避難行動や水防活動を始められるように準備しておくことが重要であると考えられる。

4.2 浸水災害時の自動車移動について

交差点を通過した人々を交通手段別に見ると、自動車が最も多かった。浸水開始後も、浸水深が20 cm 程となるまでは、30分あたり20~30台の往来があった。浸水深が40 cm を超えていた22:00以降にも数台の往来があった。世田谷区と大田区のいずれにおいても、水害時の避難場所は、本地域から丸子川をわたった先の高台上にある。移動の目的は必ずしも避難とは限らないが、避難場所への移動が目的であった場合、歩いて坂を上るのが大変である、子供、高齢者、ペットとともに移動するのに自動車の利用が必要である、といった理由から、自動車移動が多かったであろうことは想像に難くない。実際、本地域を含む一帯を対象とした避難・被災状況等に関するアンケート調査の報告書では、避難の際の移動手段として自動車を利用したと回答した人が最も多かったと報告されている（東京都市大学防災対策チーム、2020）。

道路冠水時の自動車移動に関しては、実験により次のような知見が得られている。馬場・他（2009）は、実物大の自動車（セダン）を用いた実験より、浸水深が70~80 cm を超えると水没した自動車からの退避が難しくなると報告している。押川・他（2011）は、模型実験より、横から2.0 m/s 程度の流れがある場合、小型車では脛程度の水深（31 cm）、SUV 車では膝上程度の水深（57 cm）で自動車は流され得ると報告している。これらの知見を踏まえると、今回の事例における交差点での浸水状況は、自動車移動に関して危険な状況に迫っていたと言える。本地域では、自動車移動中の被害は見られなかったものの、牛山・他（2021）は、令和元年東日本台風による全国での人的被害を調べ、屋外での犠牲者（51人）の半数以上である28人が自動車移動中の遭難であり、この比率は1999年以降の主な風水害事例中で最も高かったと報告している。浸水災害時に自動車移動を要する人々がいるという現状を踏まえて、安全な移動のためには、時間に余裕をもって移動を開始することや、ハザードマップなどを通じて通行を考えている経路で想定されている浸水深を前もって確認しておくことを、地域の人々に広く周知しておく

ことが重要であると考えられる。

4.3 浸水中の歩行について

交差点を南北方向に通過した歩行者の歩行速度は、浸水の開始を境に、1.0~1.7 m/s から0.3~0.8 m/s に低下していた。これは、水に足をとられていたこととともに、横方向からの水の流れがあったこと、水の濁りで足が見えなかったこと、風雨にさらされていたことが影響していたものと考えられる。浸水中の歩行速度については、過去のいくつかの水害においても具体的なデータが得られている。吉本・他（1988）は、長崎大水害（1982年）を含む昭和50年代の3つの水害を対象としたアンケート調査の結果に基づき、浸水中の歩行速度は概ね40~70 cm/s であると報告している。栗城・他（1998）は、関川水害（1995年）を対象にアンケート調査を行い、浸水中を避難した人の歩行速度は、膝より下の浸水深で約1.6 km/時（=0.44 m/s）、膝から腰までの浸水深で約1.1 km/時（=0.31 m/s）であったと報告している。今回の事例で得られた結果は、交差点の横断という短い距離の歩行のみを対象としたものではあるが、これらの過去の水害時のデータに概ね符合するものであったと言える。

一方で、浸水中の歩行の限界となる条件については、次のようなことが報告されている。高橋・他（1960）は、伊勢湾台風（1959年）の際に平均風速20 m/s 前後の中を歩いて避難することができた浸水深として、大人の男性で70 cm 以下、大人の女性で50 cm 以下、子供（小学5~6年生）で20 cm 以下であったと報告している。須賀・他（1994）と西畑・他（2005）は、水路を用いて水深・流速の異なる水流に対する歩行実験を行い、それぞれ、0.4 m/s と0.5 m/s が水中の歩行速度の限界の目安であると報告している。さらに、水野・二瓶（2016）は、履物、水の濁り、明るさなどの周辺環境が歩行速度に与える影響を同じく歩行実験により調べ、これらの影響がある場合の歩行速度は、影響がない場合の50~60%程度になると報告している。これらの知見を踏まえると、今回の事例において、少なくとも21:00頃以降の交

差点では、浸水深が30 cmを超えていたこと、水が濁っていたこと、夜間であったこと、風が強かったことから、浸水中の歩行の限界に迫っていたあるいは超えていたと言える。歩行についても、前述の自動車移動と同様に、時間に余裕をもった移動の開始や、通行を考えている経路で想定されている浸水深の確認が重要であると考えられる。加えて、浸水中の歩行では、段差、ガードレール、車止め、駐輪されている自転車などが障害物となり得るという報告(後藤・他, 2019)もあることから、経路上の障害物の有無の確認と撤去できるものについては事前の撤去も重要であると考えられる。

5. おわりに

本稿では、令和元年東日本台風の際に多摩川、谷沢川、丸子川に囲まれた地域で発生した浸水災害を対象として、防犯カメラに記録された映像より得られた、地域内のある交差点における浸水の進行や人々の行動の特徴について報告し、さらに、今後の防災・減災に向けた知見・教訓について整理した。得られた主な成果を以下に示す。

- ・対象とした交差点での水面の高さの変化や交差点を通過していった漂流物の状況から、浸水深の時間変化や流れの発生状況といった、浸水の進行の特徴を具体的に把握することができた。
- ・浸水深の上昇速度は1時間あたり10 cm程のペースであり、これは過去の他地域での水害時の上昇速度と比較すると緩やかな方であった。
- ・対象とした交差点では浸水開始以降も自動車や歩行者の往来があったことが確認でき、特に自動車の往来が多かった。
- ・浸水中の歩行速度は0.3~0.8 m/sであり、これは過去の他地域での水害時のデータに概ね符合するものであった。
- ・過去の他地域での災害や実験による検討で得られた知見を参考にすると、対象とした交差点では自動車も歩行者も移動が危険となる浸水状況に至っていたと考えられる。安全な移動のためには、時間に余裕をもった移動の開始と、通行を考えている経路で想定されている浸水深や障

害物の確認が重要であると考えられる。

謝辞

本地域での浸水災害に関する貴重な情報を提供いただいた方々に謝意を表す。本研究は、東京都市大学重点推進研究の支援を受けて実施した。本研究の一部は、JSPS 科研費(22K04640, 代表：三上貴仁)および一般財団法人河川情報センター令和3年度研究助成(代表：伊藤和也)の助成を受けて実施した。

参考文献

- 伊藤和也・三上貴仁・田中剛・末政直晃：令和元年東日本台風による世田谷区・大田区の浸水被害に関する検討～防犯ビデオによる浸水位の測定結果～、安全工学シンポジウム2022講演予稿集, pp. 462-465, 2022.
- 牛山素行・本間基寛・横幕早季・杉村晃一：2019年台風19号による人的被害の特徴、自然災害科学, Vol. 40, No. 1, pp. 81-102, 2021.
- 大田区：令和元年台風19号における田園調布地区内水解析検討について、https://www.city.ota.tokyo.jp/seikatsu/chiiki/bousai/suigai/2019t19_denenchofu_kensyo-kekka.html, 2020.
- 押川英夫・大島崇史・小松利光：冠水時の自動車通行の危険性に関する研究、河川技術論文集, 第17巻, pp. 461-466, 2011.
- 川崎市：令和元年東日本台風による排水樋管周辺地域及び河川関係の浸水に関する検証報告書、<https://www.city.kawasaki.jp/530/page/0000117090.html>, 2020.
- 栗城稔・末次忠司・海野仁・小林裕明・田中義人：関川水害時の避難行動分析、土木研究所資料, 第3536号, 45p., 1998.
- 後藤浩・佐藤敏和・岡田健司・前野賀彦・竹澤三雄：洪水によって冠水する都市域におけるハザードマップ表示上の留意点、土木学会論文集F6(安全問題), Vol. 75, No. 2, pp. I_39-I_46, 2019.
- 小森次郎：令和元年東日本台風による多摩川下流の浸水被害、帝京平成大学紀要, 第32巻, pp. 65-80, 2021.
- 末次忠司：水害被害の要因分析と減災に向けた対策のあり方、第38回水工学に関する夏期研修会講義集, A-3-1-20, 2002.

- 須賀堯三・上阪恒雄・白井勝二・高木茂知・浜口憲一郎・陳志軒：避難時の水中歩行に関する実験，水工学論文集，第38巻，pp. 829-832，1994.
- 関根正人・吉野萌：2019年台風19号時に発生した多摩川下流域の浸水事象の再現計算，土木学会論文集 B1 (水工学)，Vol. 76，No. 2，pp. I_649-I_654，2020.
- 関根正人・藤原吏沙・江本健太郎・細田和希・吉野萌：東京都多摩川流域で発生した浸水とこれに及ぼす樋管・樋門の影響，土木学会論文集 B1 (水工学)，Vol. 77，No. 2，pp. I_535-I_540，2021.
- 世田谷区：令和元年台風第19号に伴う上野毛・野毛地区，玉堤地区における浸水被害の検証について（最終報告），第2版，<https://www.city.setagaya.lg.jp/mokuji/kurashi/005/003/010/d00188081.html>，2020.
- 高橋浩一郎・亀井勇・宮崎正衛：伊勢湾台風被害調査概況報告，1. 気象概況，建築雑誌，Vol. 75，No. 881，pp. 111-115，1960.
- 東京都市大学防災対策チーム：台風19号による避難・被災状況等に関するアンケート調査中間報告書，<https://www.arc.tcu.ac.jp/16405/>，2020.
- 西畑剛・森屋陽一・田村保・瀧本浩一・三浦房紀：津波浸水時の避難条件に関する実験的研究，海岸工学論文集，第52巻，pp. 1256-1260，2005.
- 馬場康之・石垣泰輔・戸田圭一・中川一：水没した自動車からの避難に関する実験的研究，水工学論文集，第53巻，pp. 853-858，2009.
- 三上貴仁・末政直晃・伊藤和也・田中剛：2019年台風19号による世田谷区および大田区における浸水状況の調査，自然災害科学，Vol. 39，No. 4，pp. 377-390，2021.
- 水野力斗・二瓶泰雄：様々な環境条件下における水害避難時の歩行速度に関する実験的検討，土木学会論文集 B1 (水工学)，Vol. 72，No. 4，pp. I_1333-I_1338，2016.
- 吉本俊裕・末次忠司・桐生祝男：水害時の避難体制の強化に関する検討，土木研究所資料，第2565号，98p.，1988.
- (投稿受理：2022年7月16日
訂正稿受理：2022年10月7日)

要 旨

令和元年東日本台風にもなう大雨により，世田谷区と大田区の境に位置し，多摩川，谷沢川，丸子川の3つの川に囲まれた地域では浸水災害が発生した。この地域における浸水災害時の浸水の進行や人々の行動の特徴を具体的に把握するために，地域内のある交差点の様子を記録した防犯カメラの映像を分析した。浸水の進行に関しては，浸水深の時間変化や流れの発生状況を把握することができた。人々の行動に関しては，自動車や歩行者の往来状況や浸水中の歩行速度を把握することができた。過去の他地域での災害や実験による検討で得られた知見を参考にすると，対象とした交差点では自動車も歩行者も移動が危険となる浸水状況に至っていたと考えられる。