

GIS を用いた洪水災害による被害と避難状況の可視化

令和元年台風第 19 号における栃木県宇都宮市を事例として

A Study on the flood disaster damage and evacuation by using GIS

A case study of the Typhoon 19 Hagibis in Utsunomiya city TOCHIGI Prefecture

○坪井 壺太郎*¹
Sotaro Tsuboi*¹

*1 公益財団法人ひょうご震災記念 21 世紀研究機構 人と防災未来センター リサーチフェロー 博士 (都市科学)
Research Fellow, Disaster Reduction and Human Renovation Institution Ph.D. (Urban Science)

Summary: The purpose of this study is to clarify the damage and response caused by Typhoon 19 Hagibis by using GIS. As a result of this survey, although evacuation had been confirmed in the area advance by revising the flood hazard map, the residents' high awareness of zero risk and the distance during evacuation were obstacles. Securing human lives is the most important factor in disaster response, and evacuation behavior for that purpose is a top priority. However, Based on the actual conditions of the region, flexible measures and examinations are required, such as the upper floors of public facilities in this area and utilizing some commercial facilities and high-rise private lodging facilities. With a view to dealing with infectious diseases in recent years, it is an issue to consider “evacuation of households by car”.

キーワード: 洪水ハザードマップ; 避難行動; 令和元年台風第 19 号; GIS; 栃木県宇都宮市

Keywords: flood hazard map; evacuation behavior; Typhoon 19 Hagibis; GIS; Utsunomiya city TOCHIGI prefecture.

1. はじめに

わが国では、過去の災害を教訓としながら法整備が進められ、特に 2011 年の東日本大震災を受けて行われた災害対策基本法改正では、災害対策の基本理念の規定が新設され、「災害リスクの程度を踏まえた対策の必要性」の概念が明確に位置付けられた¹⁾。また 2013 年には国土強靱化基本法が施行され、「人命の保護が最大限に図られること」が目標に掲げられたほか、頻発する洪水災害を背景に、2017 年には水防法の一部を改正する法律が施行されている。さらに、2019 年 3 月より 5 段階の「警戒レベル」の運用が開始され、その運用事例では、同年 6 月 7 日に中国地方を中心に発生した豪雨で発信され、9 月 5 日に千葉県を中心に被害をもたらした令和元年台風第 15 号のほか、東日本地域を襲った令和元年台風第 19 号においても多くの自治体からこの発信が行われた。

一連の取り組みでは「逃げ遅れゼロ」による早期避難が重視され、既往研究においても避難に関する数多くの研究が蓄積されてきている。これらの研究動向は「災害後」における実災害の検証的アプローチと、「災害前」における行動シミュレーション的アプローチのふたつに大別できる。前者に関する近年の研究では、平成 12 年の東海豪雨災害における研究²⁾や、平成 23 年台風第 12 号における和歌山県那智勝浦町における研究³⁾同県田辺市における研究⁴⁾、平成 28 年台風第 10 号における岩手県岩泉町における研究⁵⁾、平成 29 年九州北部豪雨にお

ける研究⁶⁾などが挙げられる。

後者に関する研究では、高齢者を対象とした研究⁷⁾、自動車避難を対象とした研究⁸⁾などがある。これら一連の研究では、貴重な知見が得られてきているが、直近における警戒レベルの導入や、洪水ハザードマップの改訂、さらに感染症蔓延下における避難や被災者支援対応等、行政・住民双方において新たな対応が求められる中、より詳細に避難の実態を踏まえた検討が求められている。

災害の多くは、被災者にとっては「個人の記憶」となるが、将来に向けて被害を最小化していくために、これを正しく記録し「社会の記憶 (記録)」として共有・議論をしていくことが重要であると考えられる。本研究ではこの視点を考慮しながら、「災害後」における立場から、既往研究ではその事例の少ない地理空間上における世帯単位の「位置情報」に着目して分析することで、より詳細に被害や避難等の実態把握を行い、災害対応課題を明らかにすることを目的とする。

本研究は、2019 年 (令和元年) 台風第 19 号における栃木県宇都宮市での被害を対象として検討を行った。東日本地域を中心に記録的な大雨と甚大な被害をもたらした同台風に対しては、台風としては初の「特定非常災害」の適用が行われたほか、熊本地震 (2016 年) 以来、二例目の大規模災害復興法の「非常災害」が適用された。また災害救助法の適用自治体は全国で 390 市区町村に上り、過去最大規模の適用となった。

2. 調査対象地域と研究方法

本研究で対象とする栃木県宇都宮市は、東京から 100 km 圏上に位置する北関東地域最大の人口（約 52 万人）を有する中核市であり、同市を核とする宇都宮都市圏の規模は、わが国でも最大規模の 165 万人となっている。

宇都宮市では、市東部に鬼怒川が、中心部に田川、釜川が、西部に姿川がそれぞれ南流しており、令和元年台風第 19 号では、このうち、主に田川と姿川流域において被害が発生した。本研究対象地域の河川形態の特徴は、中央部に田川と御用川の合流地点をもち、JR 宇都宮駅方向に向かって東側に曲流した後、西側に転流する形態を有する。また、西側には崖線があり、その一部は、土砂災害警戒区域に指定されている。域内は概ね平坦な地形であるが、右岸から西側に向かって緩やかな河岸段丘地形を成し、この一部では過去の大雨等の際に、排水不良等による内水氾濫被害が度々発生した経験を持つが、溢水による住家被害は、1947 年（昭和 22 年）のカスリーン台風以来となった。

調査は発災から 5 か月後の 2020 年 3 月において質問紙調査法により実施した。また、本調査では居住者の幅広い対象からの情報を収集するため、回答者を中学生以上とし、1 世帯当たり 3 部の調査票封入を行った。調査票の配布にあたっては、事前に調査対象地域の連合自治会との協議・調整を行い、配布エリアと配布部数（1,242 世帯）を決定したうえで実施し、448 世帯（回収率・36.1%）、763 人から回答を得た。

3. 宇都宮市におけるハザードマップの改訂と被災状況

近年の激甚性の高い豪雨災害の発生を受け、政府は想定し得る最大規模の洪水に対する避難体制の充実・強化を図るため 2015 年（平成 27 年）に水防法を改正し、これに伴い、2017 年（平成 29 年）に栃木県では浸水想定区域の見直しと公表が行われた。宇都宮市では、これをもとに、洪水ハザードマップの改訂が行われ、2019 年（平成 31 年）1 月に公表されると同時に、浸水想定区域内の住民に対して全戸に印刷版の配布が行われた。

この改訂により、従前は浸水想定域とされていなかった地域がその対象となり、姿川流域では、約 10 戸から約 700 戸が、田川流域では宇都宮駅を含む市中心部までの対象範囲の拡大を受け、約 1,500 戸から約 20,000 戸がその対象となった。従前のハザードマップと改訂されたハザードマップの比較を Table1 に示す。

令和元年台風第 19 号における宇都宮市の日降水量では、観測史上最大の 325.5 mm を記録した。同台風に対する市の対応では、地域防災計画に基づき、10 月 11 日（金）午前 10 時に災害警戒本部が設置され避難所開設準備等が行われ、翌 12 日（土）の午前 8 時に市内 18 箇所の避難所が開設された後、午後 12 時に第 1 回災害対策本部

Table 1. Comparison of OLD and NEW hazard map

| | (旧) ハザードマップ | (新) ハザードマップ |
|--------|--------------------------|----------------------------|
| 想定降雨量 | 姿川：219mm/1日 (100年確率) | 姿川：634mm/1日 (1,000年確率) |
| | 田川：163mm/6時間 (100年確率) | 田川：365mm/6時間 (1,000年確率) |
| 浸水想定区域 | 姿川：約0.43平方km | 姿川：約1.00平方km |
| | 田川：約12.60平方km | 田川：約19.9平方km |
| 住家家屋数 | 姿川：約10戸 | 姿川：約700戸 |
| | 田川：約1,500戸 | 田川：約20,000戸 |
| 家屋倒壊想定 | 姿川：なし | 姿川：約10戸 |
| | 田川：なし | 田川：約630戸 |
| 浸水区域表示 | 250mメッシュ | 25mメッシュ |
| 浸水深表示 | 5段階 | 6段階 |
| 浸水継続時間 | 表示なし | 表示あり |
| 指定避難所数 | 3箇所 | 12箇所 |
| 要配慮者施設 | 14箇所 | 65箇所 |

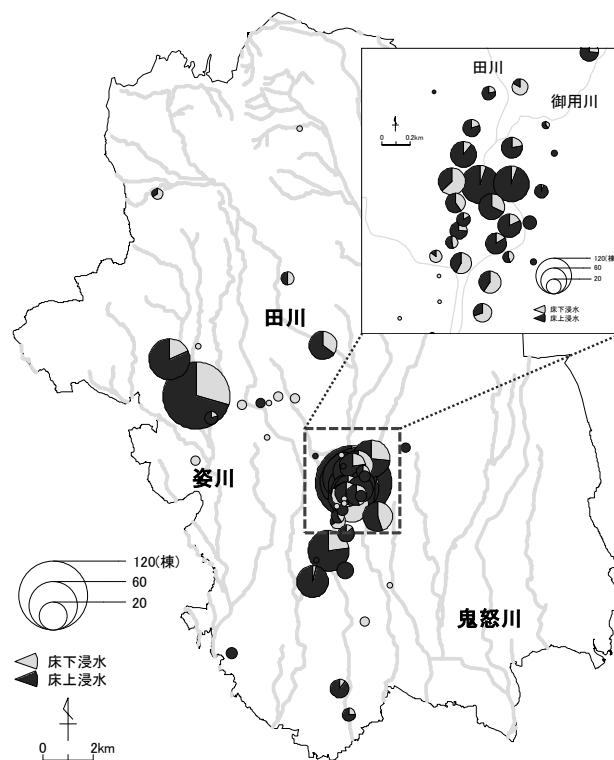


Figure1. Study Area and Flood damage in Utsunomiya-city

会議が開催された。午後 1 時 30 分には「警戒レベル 3」が発令され、市民への避難勧告、避難指示が行われた。市内の避難所への避難状況は、10 月 12 日 23 時の時点で 57 箇所、3,099 名（1,329 世帯）が最大となった。また、本市における住家被害は、田川流域、姿川流域において、床上浸水（607 棟）、床下浸水（331 棟）のほか非住家においても 480 棟に浸水被害が発生した。また、河川護岸の破損や、農地への土砂の流入等の甚大な被害が発生した（Figure1）。

4. ハザードマップ改訂に伴う避難所と避難方法の変更

本調査対象地域では、ハザードマップの改訂に伴い、浸水想定域内の避難所の追加指定等が行われているが、田川右岸の「東小学校」および田川左岸の「錦小学校」、「錦地域コミュニティセンター」は浸水想定域内にあたるため、新方針により洪水時の避難所・避難場所としての指定は行われていない (Figure2)。代替避難所・避難場所の少ない右岸の東小学校区を含む東地区連合自治会では、ハザードマップの改訂にあわせ、避難時には同小学校に隣接する東地域コミュニティセンターに一旦集合の後、西部の昭和小学校まで移動する「二段階避難」が事前に検討・合意され、市役所担当課による地元説明会のほか、広報誌や地域の防災訓練等を通して住民にも周知が行われていた。令和元年台風第19号の際においても、実際に、自治会担当役員等の自家用車により、東地域コミュニティセンターに集まった避難者を、昭和小学校まで複数回移送する取り組みが行われた。

5. 被害と避難の時空間分析

5.1 浸水被害状況

「発災後」において当時の状況を再現する方法は、これまで、被災者に対する個別ヒアリング等の質的調査から検討されるものがみられる。しかし災害からの教訓や新たな対応方策の検討に向け、被害に関する「個人記憶」(Personal Memory)を、「社会記録・記憶」(Social Record and Memory)として共有していくためには、これを時空間 (Space-time) で可視化を行うことが有効な方法であると考えられる。本研究ではそのための方法として、質問紙調査票内において上述の趣旨と地図化技法に関する説明を行い、回答者の合意・承認を得たうえで記入された住所から位置情報 (緯度・経度) への変換作業の後、GISを用いて作図を行った。本地域における自宅への浸水発生時間 (Figure3) からは、20時台には既に域内で広く浸水が発生していたことが示された。

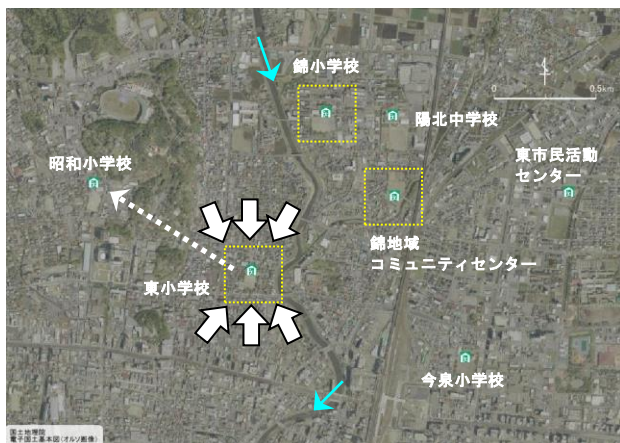


Figure2. Two-step evacuation in the right bank Tagawa-river
Note: Yellow frame shows Unusable in flood disaster

宇都宮市の10月13日の午前6時00分時点の被害報 (第4報) では、前日12日の午後10時30分での田川の氾濫発生情報が記録されている。同日の宇都宮気象台データでは、午後6時における時間降水量は47.0mmに達しており、この後4時間にわたり時間30mm以上の降雨が連続して発生していたことから、早期からの域内の浸水拡大があったことが推察される。浸水発生時間の地理的状況からは、主に田川右岸を中心に南西方向に向かって拡大をしており (Figure4)、同地域において床上浸水の割合が高く発生していることが示された (Figure5)。

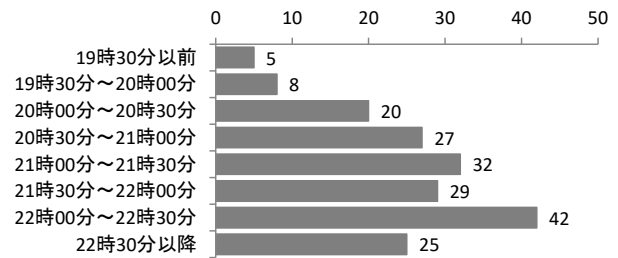


Figure3. Inundation time (unit: House holds)

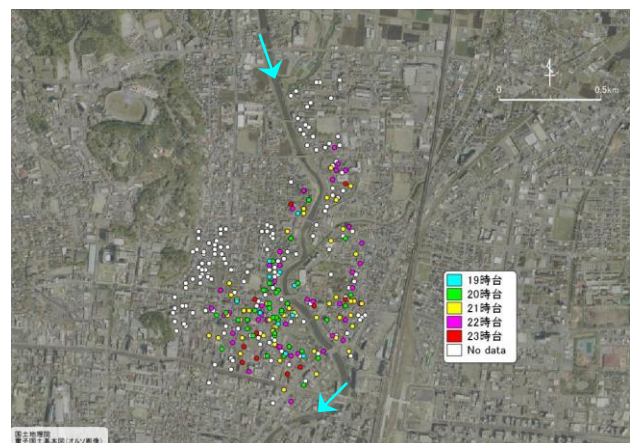


Figure4. Time of flood concentration

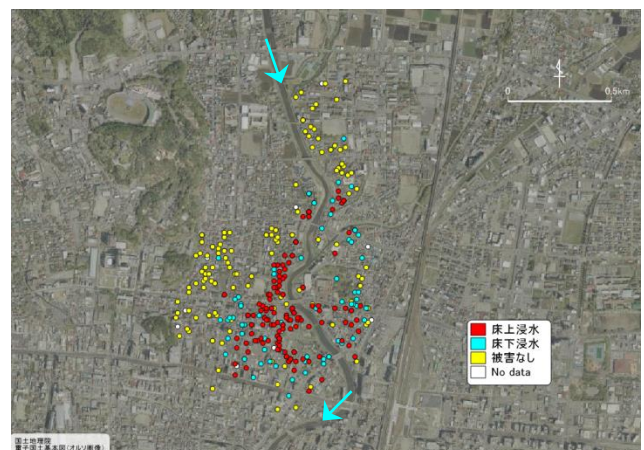


Figure5. Situation of flood inundation

Note: inundation above floor level and below level

5.2 避難状況・避難契機と避難開始時間

本調査における避難状況では、自宅内避難 308 世帯 (72.8%) に対し、自宅外避難は 115 世帯 (27.2%) であった。自宅内避難 308 世帯のうち、その理由 (複数回答) においては、「河川が溢れると思わなかったから (溢水想定なし)」が最も多く 169 世帯 (54.9%) であったほか、「家族に避難困難者がいるため (家族避難困難)」27 世帯 (8.8%)、「身体的に避難することが難しい (身体的困難)」19 世帯 (6.2%) と、避難困難者の存在を理由に自宅内避難を選択した世帯が 15% を占めた。また、少数ではあるものの、「ペットがいるから」(21 世帯・6.8%) を理由に自宅内で避難を継続した世帯もみられた (Figure6)。

一方、自宅外への避難開始 (115 世帯) のうち、時間記入世帯 (82 世帯) の内訳をみると、一部で午前中の早い段階で避難を開始した世帯がみられたが、18:00～20:00 で 26 世帯 (31.7%)、20:00～22:00 で 35 世帯 (42.7%) となっており、同時時間帯で 74.4% が自宅外への避難を行ったことが示された (Figure7)。自宅外への避難開始の契機では、「警戒レベルの発表」(31 世帯)、およびこれに関連すると思われる「防災メール受信」(23 世帯)、「テレビ報道」(26 世帯) などが多くみられた (Figure8)。また、「以前からハザードマップを見ており自分で避難の判断をしたから (ハザードマップ)」は 28 世帯 (24.3%) あり、事前の地域のリスク認知の重要性が示唆された。本地域は Figure4 に示す浸水発生時間地図の通り、19 時台には排水不良等により内水氾濫が発生していたことが想定される中で、同日の宇都宮市の日の入り時刻 (17:09) 以降、夜間の遠方への避難は、二次災害発生の危険性も有していたことも想定される。

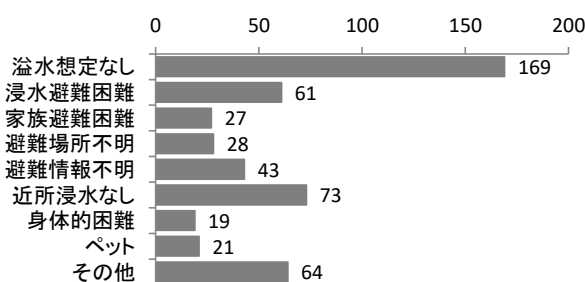


Figure6. Reasons for evacuation at home

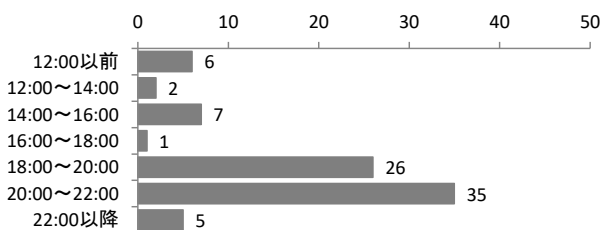


Figure7. Evacuation time outside the home

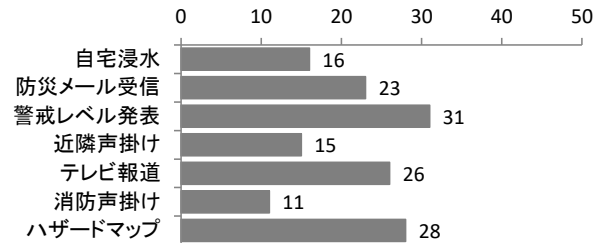


Figure8. Opportunity for evacuation outside the home

5.3 避難困難者の状況

本調査回答世帯全体に占める自力避難困難者 (あり) 世帯の割合は、106 世帯 (23.8%) を占め、その理由では、「高齢のため」(93 世帯・87.7%)、「要介護認定者」(79 世帯・74.5%) を占めた (Figure9)。

避難困難者 (あり) の世帯位置図 (Figure10) からは、被害の激甚性の高い床上浸水世帯との重複がみられ、2015 年国勢調査データの第 5 次メッシュ (緯度 7.5 秒・経度 11.25 秒の矩形領域で構成される一辺約 250 メートルの統計単位、1/4 メッシュ) 統計データから示した高齢化地図においても、40%以上の高い割合のエリアが集積しており、災害時の避難困難リスクを有する地域であったこと示された (Figure11)。

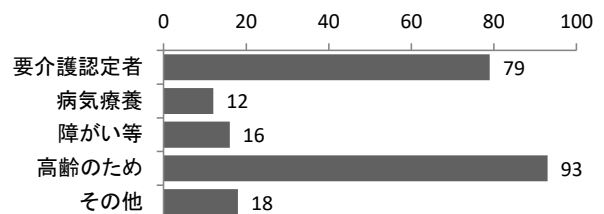


Figure9. Reasons for difficulty in self-evacuating

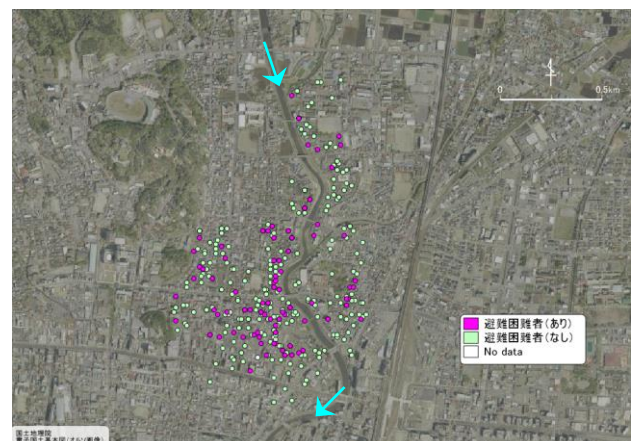


Figure10. Presence or absence of evacuation

Note: Refer to Figure5 and Figure9

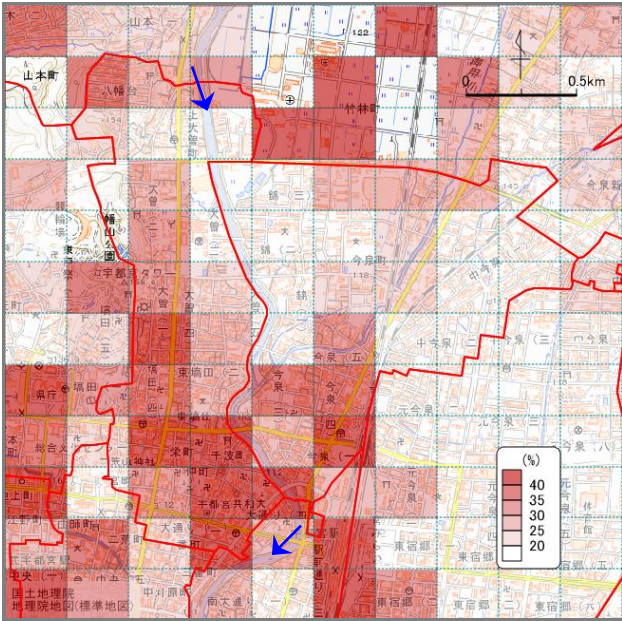


Figure11. Aging rate in Study area

Note: National census 2015 (250meters mesh data)

6. 避難所までの距離と避難状況

本地域における指定避難所と避難状況（自宅内避難・自宅外避難）別の位置関係を示す。本図より、被災中心地から避難所までの距離は、直線で1~1.5キロメートルであった（Figure12）。洪水災害は地震災害と異なり、事前からの情報が多く、本地域でも台風の接近や降雨状況等に応じて、避難関連情報がLアラートや携帯電話等を通じて発信された。しかし、情報取得手段においてテレビ以外の機器では携帯電話（スマートフォン）の活用は加齢に伴う低減傾向がみられた。情報活用による早期の避難は人命尊重の観点から重要課題であるが、浸水想定域の限定性をもつ本地域においては、避難所までの「水平避難」の必要な世帯と、自宅等の階上で避難する「垂直避難」の積極的整理を図り、家族間や地域間で避難方法の合意を形成していくことが課題として挙げられる。

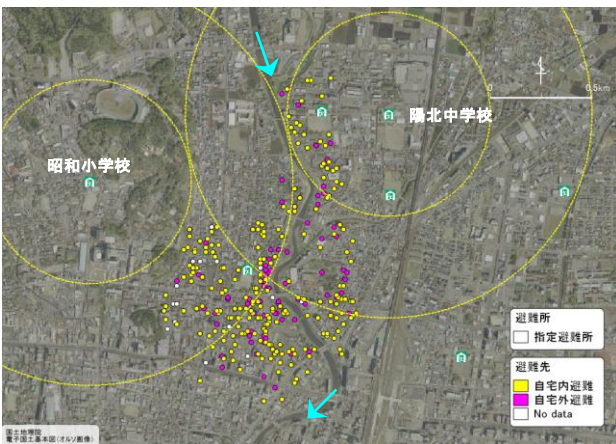


Figure 12. Sphere buffer from the shelter (0.5km・1.0km)

Note: Refer to Figure2

本研究対象地域は、洪水ハザードマップの改訂に伴い新たに浸水想定域の対象となっており、改訂版の公開後より、行政による継続的な地元説明会や自治会が主催する自主防災訓練、地域広報誌等が行われ、洪水災害リスクが伝えられてきた。こうしたことから、Figure13に示す「警戒レベル」、「ハザードマップ」、「避難所等位置」に関する年齢別の防災関連情報認知状況においては、80代以上においてやや低い割合となっているものの、いずれも一定程度の認知が得られている。

しかし、台風第19号においては、行政からの避難情報の入手状況は、加齢に伴い低減する傾向がみられ、80代以上では半数に満たない状況であった（Figure14）。本地域での溢水被害は70年以上前にさかのぼることから、地域における被災経験の継承は必ずしも充分ではなく、水害発生想定（なし）の割合は全年齢層において50%以上を占めるなど、ゼロリスク意識が高い状況であったことが示された。

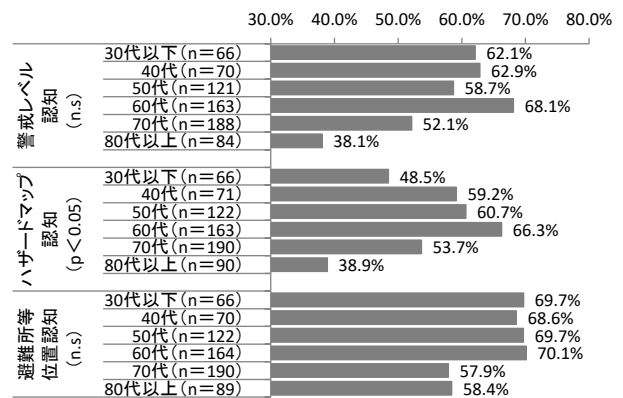


Figure13. Recognition of prevention disaster information

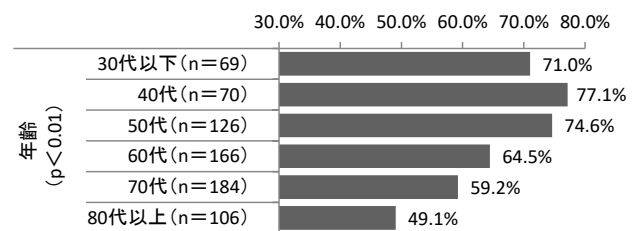


Figure14. Rate of evacuation information from municipality

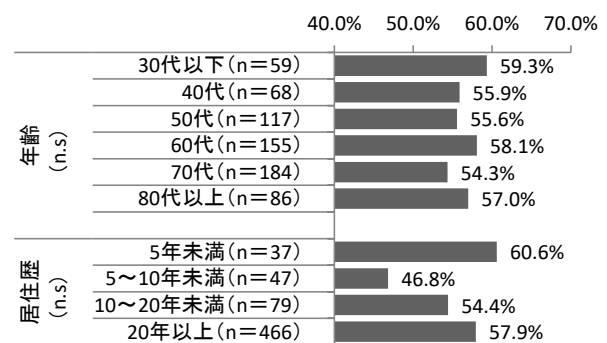


Figure15. Rate of non-estimation in flood disaster

7. 位置情報に基づくデジタル写真アーカイブの試行

近年の災害では、被災状況について個人所有のスマートフォン等で写真や動画等が撮影され、それらはニュース素材としても活用されるようになってきている。本調査においてもこうした動向を踏まえて、被災者自身が撮影したデジタル写真等をもとに、撮影内容や位置及び時間情報からデータの整理を実施した。実施に当たっては、本質問紙調査実施期間中に、広報等を通じて居住者への写真提供呼びかけを行い、被災当時や現在の状況に関する聞き取り調査を実施したほか、被災者間交流や意見交換の場を設定するなど、「収集のみ」とどまらない取り組みを行った点において特徴を有する。

本取り組みにおいてアーカイブされた写真においては、河川水位上昇までの時間経過や、被災後の家屋内の様子などが得られ (Figure16, Photo1・2)、これらの記録は、行政等の公開記録を補完すると同時に、論拠に基づく災害対応方策の議論に資する資料とすることや、学校教育機関における防災教育素材としての活用も期待される。



Figure16. Photograph position (GPS point)

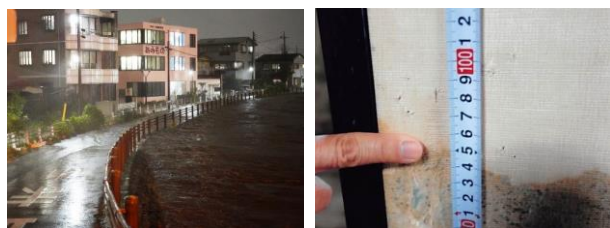


Photo1 (left) Overflow in Tagawa-river

Photo2 (right) Inundation above floor height 95cm

Note : refer to Figure16

8. 結論と課題

本研究では、GISを援用した地理空間分析と時間軸での分析を通して、発災から避難に至る過程の中での実態把握と課題の検討を行った。

① 本地域では、浸水想定域内の学校施設の避難所・避難場所利用は計画上対象となっていない。しかし、現在

の指定避難所までの距離的な課題と浸水状況を踏まえ、今後においては、学校の階上教室の部分開放や、商業施設および中高層の民間宿泊施設等の一部を活用するなどの柔軟な対応と検討が求められる。その際、避難の迅速性や新型コロナウイルスへの対応を見据えた「自動車による世帯単位での避難」の導入等も視野に入れた検討が要される。

② 台風第19号の来襲時においては、地域内を消防車両搭載のスピーカーにより避難のアナウンスが行われたものの、本調査の自由回答記述において「雨の音が大きく聞こえなかった」ことが複数の住民から指摘されている。避難情報等の多くは「個人」が所有する機器を通じて行政等からの迅速な情報発信が行われてきているが、より緊急性を伝えるためには、既に他地域で導入事例のある水位警報サイレン装置の設置や、回転灯による危険性の周知など、「地域」単位で伝達するための多手段での対策も併せて検討していくことが求められる。

本研究で実施した位置の「可視化」の取組みは、被災後に行政において記録される「り災台帳」の住所（非公開）とは異なり、質問紙調査において回答者の合意が得られた住所を用いている点で一定の限界を有する。しかし、限られたデータであっても個人情報保護には最大の配慮をしたうえで、避難行動やリスク認知等を個人や世帯単位で可視化、明示することは、今後、住民や地域「自ら」が避難方法を検討するための素材としての活用に資するだけでなく、行政との議論や協議に向けた「共通の場」としての機能や意義を持つものと考えられる。

【参考文献】

- 1) 生田長人：防災法制度の構造的課題と展望，日本不動産学会誌，29-4，pp.41-46，2016。
- 2) 片田敏孝・児玉真・浅田純作・及川康・荒畑元就：東海豪雨災害を事例にした避難に関わる意思決定の存在依存性に関する研究，水工学論文集，46，pp.319-324，2002。
- 3) 安部美和・落合知帆・中川由理：水害時における住民の意思決定と避難行動に関する研究—平成23年台風12号の和歌山県田辺市本宮地区におけるアンケート調査，都市計画報告集，12，pp.82-85，2013。
- 4) 石塚久幸・和田滉平・宮島雅克：土砂災害における住民の避難行動思考と自治体の避難情報提供の実態に関する研究，自然災害科学，33，pp.127-140，2014。
- 5) 安本真也・牛山素行・関谷直也：平成28年8月台風10号豪雨における岩泉町での避難行動の分析，自然災害科学，37，pp.33-45，2018。
- 6) 竹之内健介・加納靖之・矢守克也：平成29年九州北部豪雨において地域独自の判断基準が果たした役割—災害時におけるスイッチ機能—，土木学会論文集，F6（安全問題），74-2，pp.31-39，2019。
- 7) 海老原学・掛川秀史：避難シミュレーションに基づく高齢者施設の避難安全性の確保に関する考察，日本建築学会計画系論文集，64-521，pp.1-8，1999。
- 8) 福田崇紀・奥嶋政嗣：地方都市における津波避難計画策定のための自動車利用避難シミュレーションの適用，土木計画学研究論文集，31，pp.82-92，2014。