

垂直避難を考慮した大規模水害に向けた 広域避難計画に関する基礎的考察

忽那 篤志¹・飯塚 聡²・村上 智一³・
下川 信也⁴・川崎 浩司⁵・秀島 栄三⁶

¹学生会員 名古屋工業大学工学部 都市社会工学科環境都市系プログラム
(〒466-8555 名古屋市昭和区御器所町)

E-mail: a.kutsuna.807@stn.nitech.ac.jp

²正会員 国立研究開発法人 防災科学技術研究所 水・土砂防災研究部門
(〒305-0006 茨城県つくば市天王台3-1)

E-mail: iizuka@bosai.go.jp

³正会員 国立研究開発法人 防災科学技術研究所 水・土砂防災研究部門
(〒305-0006 茨城県つくば市天王台3-1)

E-mail: tmurakami@bosai.go.jp

⁴正会員 国立研究開発法人 防災科学技術研究所 水・土砂防災研究部門
(〒305-0006 茨城県つくば市天王台3-1)

E-mail: simokawa@bosai.go.jp

⁵正会員 (株) ハイドロ総合技術研究所 研究開発センター
(〒530-6126 大阪市北区中之島3-3-23中之島ダイビル26F)

E-mail: kawasaki@hydrosoken.co.jp

⁶正会員 名古屋工業大学大学院工学研究科 教授 (〒466-8555 名古屋市昭和区御器所町)

E-mail: hideshima.eizo@nitech.ac.jp

広範囲に被害が及ぶ高潮・洪水災害に対する広域避難計画の策定に向けた検討が進められている。交通の混乱や避難中に被災するリスクが高い避難者の発生など様々な課題が指摘されている。本研究では、広域避難の対象者数を少しでも減らし、避難開始時刻を遅らせるため、垂直避難を導入した広域避難計画について検討する。超巨大台風による甚大な浸水被害が想定されている名古屋市港区の一学区を事例として垂直避難の有無による避難者数、避難所要時間、避難可能最遅時刻の違いを確認する。その結果、垂直避難の導入によって広域避難者数の削減、避難所要時間の短縮、避難開始のタイミングの遅延が概ね可能であることが示された。

Key Words : *flood evacuation plan, broad evacuation, vertical evacuation*

1. はじめに

我が国で発生する風水害は甚大化しており、将来的には想定する規模以上の災害が発生する可能性もある。大規模水害への対策として、東海ネーデルランド高潮・洪水地域協議会（以下、TNT）¹⁾ などでは広域避難計画の策定に向けた検討が行われている。行政界を越える域外避難を促し、近隣の指定された場所に避難する域内避難を限定的にすることで、避難者全体の被災リスクの軽減を目指している。広域避難には避難中に被災する可能性があるという課題がある。大勢の避難者が一斉に避難することで混雑が発生し、避難所要時間がさらに増大するこのために避難開始のタイミングを早めると住民はかえ

って避難しようとしなくなることも考えられる。TNTでは、広域避難開始前に避難を完了する自主避難者を増加させて広域避難者を削減する案を挙げている。これに対し、本研究では、垂直避難を可能な限り実行する広域避難計画について検討する。垂直避難とは、付近の高層建築物の上層階まで移動する避難形態である。垂直避難を考慮することで広域避難者を削減し、避難所要時間の短縮と避難開始のタイミングの遅延がどの程度可能であるかを明らかにする。

2. 浸水被害と避難行動の想定

名古屋市港区全域を対象とする。同地域は伊勢湾湾奥部に位置し、伊勢湾台風級の台風にも耐える堤防・防波堤等が整備されてきた²⁾。一方で、超巨大台風の襲来による広範囲に及ぶ甚大な浸水被害が予測されている。本研究では我が国で過去最大級の室戸台風の規模の台風が伊勢湾台風と同じ進路(図-1)を辿ることとした大規模災害を想定した計画を検討する。浸水被害の違いが結果に与える影響を見るため、設定潮位と水防施設の有無について場合分けする(表-1)。設定潮位では、現在の海面水位と海面上昇を考慮した将来時の海面水位で場合分けする。水防施設の有無では、災害発生時における水門や防潮扉の開閉状態を示す。対象地域の避難該当者全員は広域避難を行うが、対象地域内の西築地学区を垂直避難該当地域に指定し、同地域のみ垂直避難を考慮する。西築地学区は海に面していることから想定浸水域を脱出するには多くの時間を要すると考えられる。また、垂直避難者を収容できる施設が一定数あることから、同学区を垂直避難該当地域に指定した。同地域は町丁目単位で区切り(図-2)、区切った区画を1つの地区として考える。

避難者は垂直避難または広域避難のどちらかを必ず行うものと仮定し、猛烈な風雨などによって避難不可能となる状況は考慮しない。広域避難の場合、TNTが策定した危機管理行動計画(第三版)³⁾に従って避難先の自治体と避難経路(表-2)を定める。危機管理行動計画(第三版)とは、東海地方の低平地で計画規模を超える高潮・洪水による大規模かつ広域な浸水被害が発生した場合に備えるため、現状の枠組みを超えて、各関係機関が連携して行動する際の規範となるべき計画である。この計画の中で、広域避難先は避難元の行政区の意向に配慮して決められている。想定する大規模災害が本研究と類似している点と行政機関の意向が反映されている点を踏まえて、本研究の広域避難で目標となる行政区は同計画を参考に定めた。計算の便宜上、避難者は避難元の自治体庁舎から協定を結んだ避難先の自治体庁舎へ避難すると仮定する。使用する交通手段は自家用車と臨時バスを想定する。垂直避難の場合、避難者は地区の代表点から一番近い垂直避難施設へ避難し、避難者数が最寄りの垂直避難施設の収容可能人数を超えた場合は、超過した人数だけ次に近い垂直避難施設へ避難すると仮定する。計算の便宜上、垂直避難者は地区の代表点に集結して居住すると仮定し、避難者集団は点として固まって移動するとみなす。また、避難所要時間は垂直避難施設の最上階まで移動するとして計算を行う。さらに、移動手段は移動距離を考慮して徒歩のみとする。

垂直避難施設は対象地域内の名古屋市が指定した洪水・内水時の指定緊急避難場所および津波避難ビルとする。津波避難ビルの施設収容人員は名古屋市港区役所よりデータを得た。指定緊急避難場所の施設収容人員は式

(1)より算出した。浸水する垂直避難施設は浸水の程度に応じて使用不可能な階数を決め、収容可能人数はその分を割り引いて計算した。垂直避難の避難先と広域避難について表-3のように3つのシナリオを設定し、対象地域内の収容能力による結果の違いを考察する。なお、シナリオCでは垂直避難を考慮せず広域避難のみを行う。

$$M = A_s F D R \quad (1)$$

ただし、 M : 施設収容人員(人)、 F : 階数(階)、 A_s : 床面積(m^2)、 D : 収容密度(1人/ $1m^2$)、 $R(=0.1)$: 利用可能率。

対象地区の建物の立地状況、浸水深、避難経路などを図-4に整理する。GISソフトウェアとしてインフォマテイクス社SISを用い、それら地理空間情報を重ね合わせている。地理空間情報は国土地理院が無償で提供している基盤地図情報⁴⁾を用いた。浸水深分布は、ハイドロソフト科学技術研究所と防災科学技術研究所が共同で整備する3次元高潮シミュレータ(T-STOC)を用いて算出されたデータである。3次元高潮シミュレータとは、国立研究開発法人海上・港湾・航空技術研究所 港湾空港技術研究所が開発した高潮津波シミュレータSTOC(Storm Surge and Tsunami Simulator in Oceans and Coastal Areas)のうち、現在公開されている津波シミュレータT-STOC(Tsunami-STOC)を改良したものである。改良されたT-STOCは、建物密集地に当たる部分で粗度係数を上げて計算しているため、再現性と適用性がより高まると期待されている。

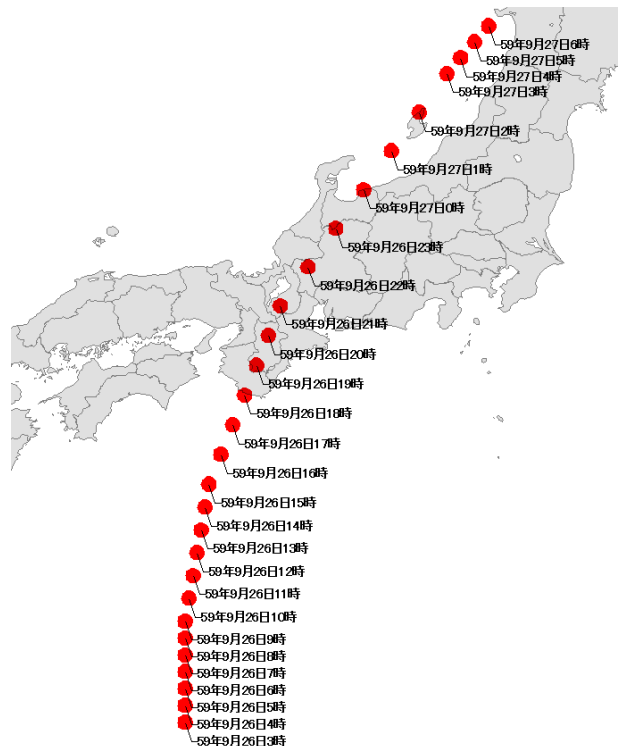


図-1 台風の進路¹⁾

表-1 前提条件

想定条件	case1	case2	case3	case4
設定潮位	朔望平均満潮位 (T.P +1.20m)		朔望平均満潮位 + 海面上昇 (T.P +1.79m)	
水防施設	無	有	無	有



図-2 垂直避難該当地域の拡大図

表-2 広域避難先自治体と避難経路

避難元	避難経路	避難先
対象地域 (港区)	県道154号 - 国道1号 - 県道221号 - 環状線	昭和区
	県道154号 - 国道1号 - 県道221号 - 環状線 - 県道60号	名東区
	県道154号 - 国道1号 - 県道221号 - 環状線	瑞穂区
	県道154号 - 国道1号 - 県道221号	天白区

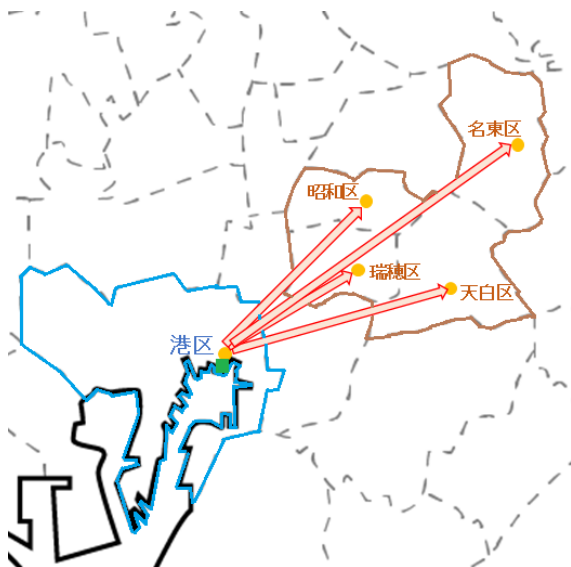


図-3 対象地域, 垂直避難該当地域, 広域避難先の位置

表-3 シナリオ

	洪水・内水時の 指定緊急避難場所	津波避難ビル
シナリオ A	○	○
シナリオ B	○	×
シナリオ C	×	×

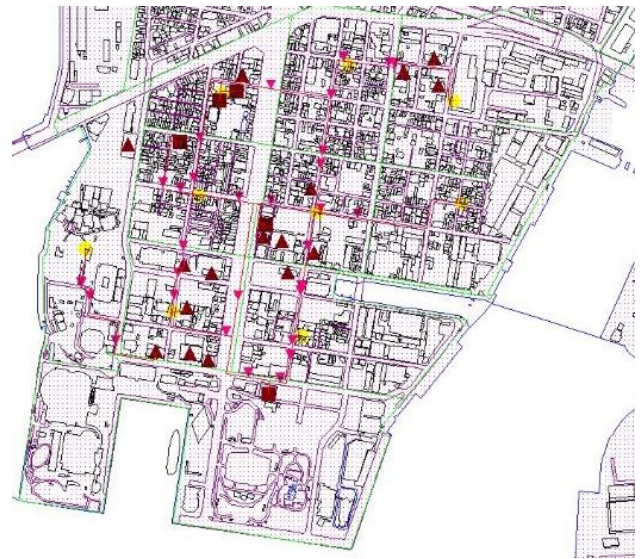


図-4 対象地区の建物, 避難経路, 浸水深

3. 設定した避難行動の記述方法

前章の想定をもとに避難行動に関するデータを算出する。垂直避難該当地域内で避難が必要な検討対象者の人数は、地区ごとの居住人口に最大浸水面積と総面積の面積比を乗じたものを足し合わせて算出する。垂直避難該当地域を除く対象地域の広域避難者数は、危機管理行動計画（第三版）¹⁾の想定をもとに41,559人とする。

(1) 広域避難

避難者全員が避難を完了するために必要な避難所要時間は利用者均衡配分の代表的なリンクパフォーマンス関数であるBPR関数(式(2))を用いて、式(3)から算出する。

$$t = t_0 \{1 + \alpha(q/C_p)^\beta\} \quad (2)$$

$$T = \sum tl + t_r + t_p \quad (3)$$

ただし、 T : (広域)避難所要時間(h), t_0 : リンク自由旅行時間(min/km), q : リンク交通量(台/h), C_p : 可能交通容量(台/h), q/C_p : 混雑度, l : リンク長(km), t_r : 避難準備時間(h), t_p : 駐車場収容時間(h), (多車線の一般国道の場合, $\alpha=1.84$, $\beta=2.40$).

浸水に遭遇せず避難完了できる最も遅い避難開始時刻と定義する避難可能最遅時刻は、式(4)より対象地域の浸水面積が最大となる時刻(避難完了目標時刻)から避難所要時間を差し引いて算出する。ただし、計算した避難可能最遅時刻が浸水計算開始15日前(基準時刻)より早まる場合は、基準時刻を避難可能最遅時刻とする。

$$\begin{aligned} T_l &= T_g - T & \text{if } T_l > T_b \\ T_l &= T_b & \text{if } T_l \leq T_b \end{aligned} \quad (4)$$

ただし、 T_l : (広域)避難可能最遅時刻、 T_g : 避難完了目標時刻、 T_b : 基準時刻。

(2) 垂直避難

避難所要時間は式(5)から算出する。式(5)の第1項は水平移動、第2項は垂直移動に関する項である。

$$T_v = \sum (d/v_h) + (h/v_v) \quad (5)$$

ただし、 T_v : (垂直)避難所要時間(min)、 d : 区間距離(m)、 v_h : 平面歩行速度(m/s)、 h : 垂直移動距離(m)、 v_v : 階段歩行速度(m/s)。

避難可能最遅時刻は、式(6)より垂直避難施設の浸水開始時刻から浸水を確認する分析ポイントで区切った避難経路区間の避難所要時間を差し引いて算出する。ただし、計算した避難可能最遅時刻が各地点の浸水開始時刻より遅くなる場合は、その地点の浸水開始時刻を避難可能最遅時刻とする。概念図を図-5に示す。

$$T_{lv(i)} = T_{lv(j)} - T_{v(k)} \quad \text{if } T_{lv(i)} < T_{f(i)} \quad (6)$$

$$T_{lv(i)} = T_{f(i)} \quad \text{if } T_{lv(i)} \geq T_{f(i)}$$

ただし、 T_k : (垂直)避難可能最遅時刻、 T_f : 浸水開始時刻、 i : 区間の始点、 j : 区間の終点、 k : 避難経路の区間。

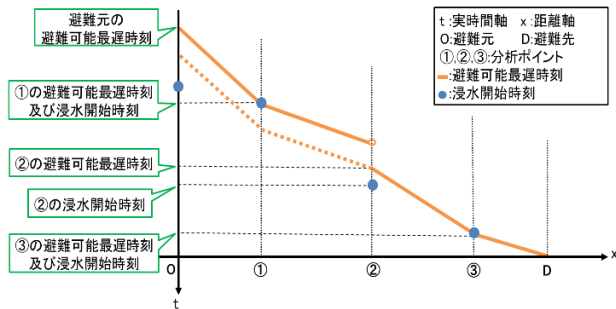


図-5 避難可能最遅時刻の算出方法(垂直避難)

4. 垂直避難を導入した広域避難計画に関する分析と考察

浸水被害について想定条件ごとに比較する。同じ設定潮位では水防施設が無い場合の方が早く浸水を開始している地区が多い一方で、水防施設が有る場合では浸水する時刻のばらつきが少ない(図-6)。この結果は、水防施設が浸水開始を遅らせる点で一定の機能を果たすが、越水すると水がせき止められていたために浸水が速く広がるからだと考える。このように複数の想定条件を設定することで、対象地域の被災特性を明らかにした。

垂直避難を考慮したシナリオA及びシナリオBの垂直避難者数(図-7)を比較する。シナリオAでは、垂直避難

施設の容量が大きいと、検討対象者全員が垂直避難できた。一方で、シナリオBでは垂直避難施設の容量が検討対象者数を下回ったため、対象地域内でも広域避難が必要な避難者が発生した。また、広域避難者数(図-8)は垂直避難者が多い順(シナリオA, シナリオB, シナリオC)で少なくなっている。以上から、検討対象者数に応じた垂直避難施設の容量を確保することで、広域避難者数を削減できることが分かる。

広域避難に関する避難所要時間(図-9)を一例として昭和区へ広域避難する場合について政策シナリオごとに比較する。垂直避難を考慮しないシナリオCでは約21時間強も必要なのに対して、シナリオBでは約19時間、シナリオAでは約17時間弱となった。短縮時間を見ると、シナリオCと比べてシナリオBでは約2時間、シナリオAでは約4時間半となった。以上から、広域避難者数が減少するほど避難所要時間を短縮できることが分かる。これは、広域避難者が減少すればするほど混雑が緩和され、交通流が円滑になったからであると考えられる。広域避難に関する避難可能最遅時刻(図-10)を避難所要時刻と同様に比較する。26日20時代に設定した避難完了目標時刻までに広域避難を完了させるためには、シナリオCでは25日23時頃までに避難を開始しなければならないという結果が得られた。一方で、シナリオBでは26日1時頃、シナリオAでは26日3時半頃に避難を開始すれば避難完了目標時刻までに全員が広域避難完了できる結果となった。つまり、シナリオCと比べてシナリオBでは約2時間、シナリオAでは約4時間半だけ避難開始を遅らせることができた。以上から、避難所要時間を短縮すればするほど避難開始を遅らせることが明らかになった。

垂直避難に関する避難可能最遅時刻(図-11,図-12)を見ると、平均でシナリオAは浸水発生約14分前、シナリオBは浸水発生約18分前にそれぞれ避難を開始すれば垂直避難者全員が無事に避難完了するという結果が得られた。したがって、垂直避難をより積極的に導入した方が浸水開始時刻直前まで避難開始を遅らせることができると分かった。以上から、長距離移動が難しい避難者には垂直避難を優先的に促すことが有効であると考えられる。

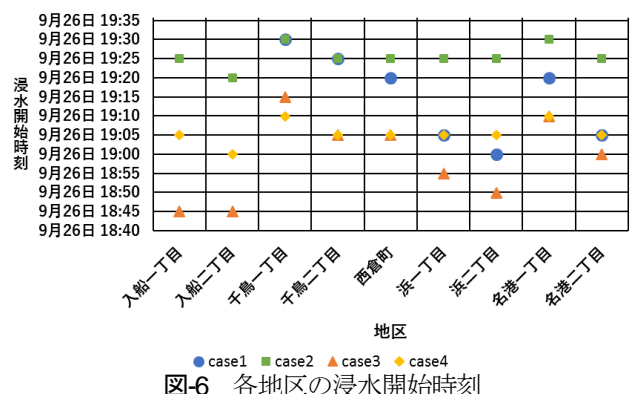


図-6 各地区の浸水開始時刻

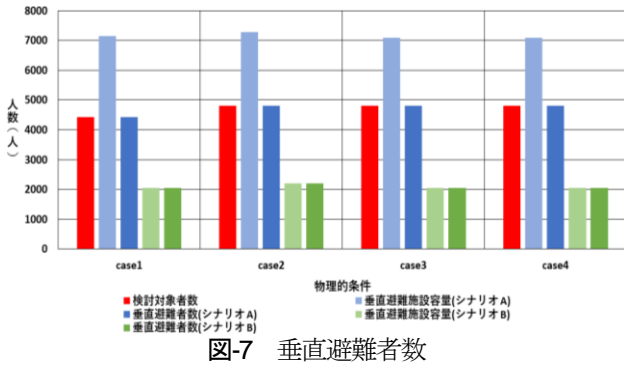


図-7 垂直避難者数

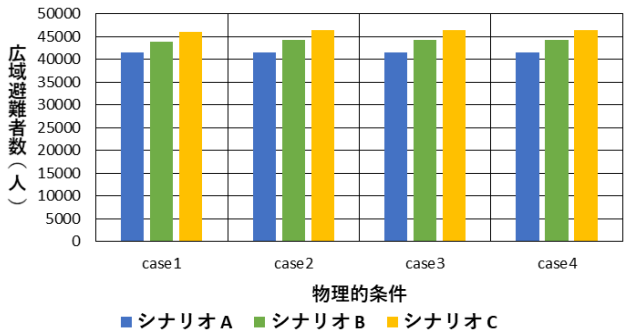


図-8 広域避難者数

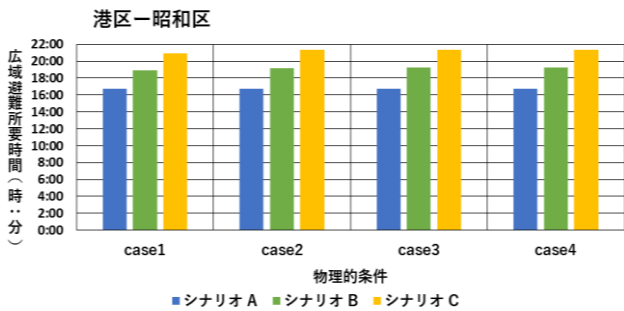


図-9 広域避難に関する避難所要時間

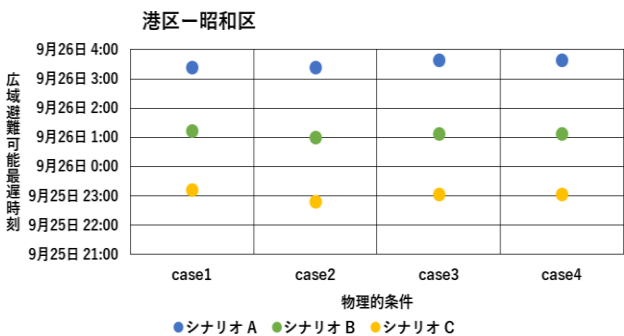


図-10 広域避難に関する避難可能最遅時刻

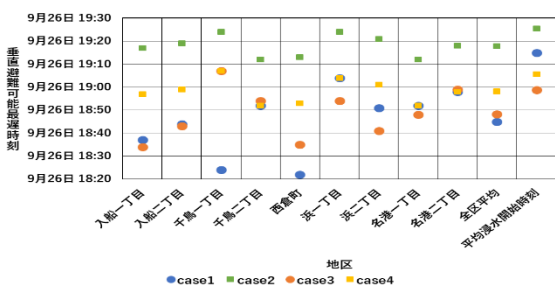


図-11 垂直避難に関する避難可能最遅時刻(シナリオA)

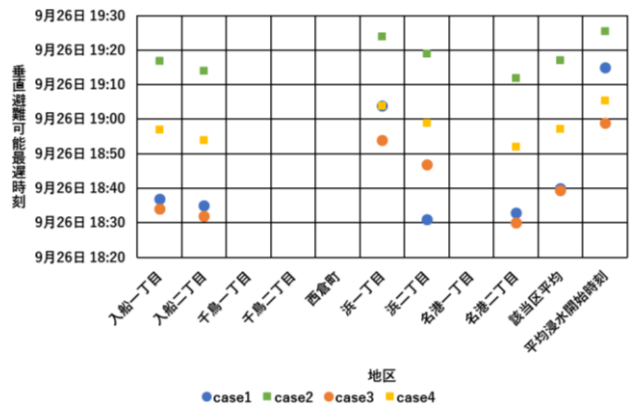


図-12 垂直避難に関する避難可能最遅時刻(シナリオB)

以上から、垂直避難の導入により広域避難に関する避難所要時間の短縮と避難開始の遅延が可能であることを示すとともに、垂直避難の特性を捉えることができた。

5. おわりに

本研究では、広域避難計画に垂直避難を組み込むことが計画の実効性向上に寄与するか、浸水状況と避難行動を設定し、分析した。結果として、垂直避難を考慮することでいずれの想定条件においても広域避難者数が減じられることが明らかになった。さらに広域避難の所要時間が短縮し、避難開始のタイミングを遅めることが可能となった。以上より、垂直避難を導入することで広域避難をより円滑かつ確実に実行できる可能性を示すことができた。

本研究の計算は簡易的なシミュレーションとして行ったものであるため、現実にはそぐわない設定も含まれている。今後の課題としては、条件設定や計算方法を見直した上で、より詳細な垂直避難行動を明らかにすることなどが挙げられる。

謝辞：データを提供して頂いた名古屋市港区役所に記して謝意を表す。

参考文献

- 1) 東海ネーデルランド高潮・洪水地域協議会:危機管理行動計画, 第三版, 2015.
- 2) 川崎浩司, 下川信也, 村上智一: 超巨大台風による伊勢湾湾奥部における高潮浸水予測, 土木学会論文集B2 (海岸工学), Vol.72, No.2, I_211-I_216, 2016.
- 3) 国土地理院:基盤地図情報サイト
URL: www.gsi.go.jp/kiban/ (2019.3.10閲覧)
(?????.???.?? 受付)