

多摩川下流域における水害タイムラインの提案

A Proposition of Timeline for Flood on the Lower Tamagawa River Valley

都市人間環境学専攻 堀井 裕太
Civil, Human and Environmental Science and Engineering Course / Yuta HORII

Key Words: Lower Tamagawa River Valley, Timeline, Flood, Location Information Big Data

1. はじめに

近年の台風や豪雨災害によって、日本全国で甚大な被害が報告されている。特に都市部においては、人口集積地かつ経済活動の盛んな地域であるために、一度の災害で受ける被害が大きくなる。

2018年9月の台風21号では、高潮による浸水や連絡橋の損傷によって、関西国際空港が孤立する事態となった。また、2019年10月の台風19号では、多摩川下流の複数箇所で氾濫が発生し、大田区と世田谷区で約1万7千人が避難したり。

このような災害発生時の対策として、災害時に降雨量や河川水位などがある条件に達した時点、もしくはある時間に達した時点で自治体や企業がとる対策を時系列で整理したものをタイムラインという。タイムラインは、東京23区東部の低平地をはじめ、古くから災害リスクが高い地域では策定が進んでいる。また、近年の災害の激甚化に伴って、その他の多くの地域で策定が進んでいる一方、市民や地元企業に浸透していないケースもある。

2. 研究目的

本研究の目的は、水害発生時に各関係機関が円滑に対応できるようにすること、および住民の最善な避難行動を通じて人的被害を低減できるようにすることである。広域避難が必要な地域とそれ以外の地域、交通手段や避難所等、地域によって異なる特性を考慮し、各地域で最適なタイムラインを提案する。

3. 本研究の持つ新規性

本研究の新規性は大きく2つある。多摩川流域を対象としたことと、公共交通機関を活用した避難行動を、各機関の輸送力等を考慮してタイムラインに組み込んだことである。

1つ目の点について、水害リスクが高い東京23区東部の低平地を対象としたタイムライン検討の研究は数多くされているが、多摩川流域を対象としたものはみられない。また、世田谷区および大田区が作成したものであっても、前者は現時点でも検討段階にあり、後者は平成30年に作成されたものであるため、最新の情勢を反映できていないと言いがたい。

2つ目の点について、荒川下流域におけるタイムラインの検討に関する研究²⁾では、鉄道やバスによる広域避難が提唱されているが、それに対する実現可能性については言及がない。避難者がある場所に集中し積み残しが発生すると、そこがボトルネックとなり、避難者による混雑や列車遅延につながる。このような負の連鎖を避けるためにも、事前に作成するタイムラインにおいて交通機関の輸送力を考慮する必要があると考える。



図-1 対象地域の23区内における位置関係

4. 参考事象および対象地域

参考事象には、2019年10月に首都圏に大きな被害を与えた台風19号を取り上げ、当該台風によって氾濫被害があった東京都世田谷区と大田区を対象地域に選定した。この地域を選定した理由は、台風19号で露呈したような水害リスクがあるにもかかわらず、東京23区東部の低平地と比較すると、水害対策に改善の余地があると考えたためである。対象地域の位置を図-1に示す。

5. 研究方法

台風の接近前後2日間(2019年10月12日(土)・13日(日))における自治体や交通機関等の対応を幅広く収集し、時系列で整理する。また、各区の地域防災計画についても、特に避難計画について調査する。さらに、同時刻の対象地域における100mメッシュごとの流動人口分布を、株式会社Agoopから提供されたデータを基に可視化し、自治体等の対応と流動人口の増減との関係を分析する。なお、比較に用いる平常時のデータとして、2019年10月6日(日)・7日(月)も採用する。この日付を選んだ理由は、対象地域内を通る鉄道路線で人身事故等の障害が発生していないことを考慮したためである。これらの分析結果を参考に、タイムラインを提案する。

なお、タイムラインの実現可能性については、特に広域避難において、町丁目単位での滞留人口や移動人口に着目して計算する。当初はマルチエージェントシミュレーション(以下、MAS)を用いる方針であった。しかし、MASのように一人一人の住民に対する属性の定義を正確に行い考慮するよりも、対象地域の広さの観点から、地理的特性や交通機関による避難の可否等、避難行動に影響を及ぼすと考えられる要素を重視し、マクロ的な視点から住民の動きを考察することが重要であると考えたためである。

6. 対象地域の特徴

対象地域は多摩川の下流左岸に位置し、都市化が進んでいる。両区の水害ハザードマップ^{3,4)}を見ると、多摩川に沿った標高の低い地域に浸水想定区域が広がり、浸水深が5.0mを越える地域も存在することが分かる。また、家屋倒壊等氾濫想定区域は、世田谷区では多摩川流域の広範囲に広がり、大田区では流域の一部に留まる。

交通機関に着目すると、東急田園都市線や国道15号線等の鉄道および国道・高速道路の計14路線が縦断し、都心と神奈川県方面を結ぶ。また、羽田空港にアクセスすることも大きな特徴である。大都市交通センサス⁵⁾によれば、浸水想定区域を神奈川県方面に縦断する鉄道は計5路線あり、通過人員は1日あたり180万人を超える。

7. 対象地域における課題の分析

内閣府（防災担当）の資料⁶⁾による、広域避難の対象者の考え方を表-1に示す。東京23区東部では、広域避難の対象となる地域が江東5区の大半を占めるが、世田谷区や大田区では一部の町丁目に留まる。このことから、区の全体で一体的な対策を講じるよりも、町丁目という細かな単位で対策を検討するのが望ましいと考える。

次に、各区の地域防災計画^{7,8)}における、水害時緊急避難場所の収容可能人数と、広域避難の対象になり得る地域の人口⁹⁾、および避難場所の収容率を表-2に示す。これを見ると、6章で述べたような広域避難を実現するためには、自治体が用意した避難所だけでは不足することが分かる。したがって、住民自身による親戚宅等の自主避難先の確保や、同区内もしくは隣接する区内の浸水リスクが小さい避難所、および他区の宿泊施設の確保が必要と言える。

浸水想定区域内を通過する鉄道および道路に着目すると、JR京浜東北線の車庫や京急空港線穴守稲荷駅付近等の地下トンネル、アンダーパスが存在する。これらが被害を受けて使用不能に陥ると、対象地域内のみならず、対象地域以外の住民の移動や物流にも影響を及ぼす恐れがあることから、予防的な対策を講じることで被害を低減することが必要であると考える。また、羽田空港への交通アクセスに着目すると、京急空港線や東京モノレール線の途中区間が浸水想定区域に入るため、計画運休等の対応が必要であると考えられるが、首都高速湾岸線は浸水想定区域には入らないため、多摩川の氾濫に伴う孤立のリスクは比較的低いと考える。しかし、台風の接近によって高潮が発生する恐れがある場合は、台風19号接近時に通行止め措置を取ったことから、空港利用者の移動が必要であると考えられる。

8. 流動人口データの分析

台風19号が接近していた2019年10月12日21時時点の、東京都世田谷区・大田区・目黒区における流動人口分布を図-2に示す。また、2019年10月12日における、大田区鶴の木2丁目内の流動人口推移を表すグラフを図-3に示す。図-3より、台風接近前の14時頃までは平常時のような昼間人口の減少が見ら

表-1 広域避難の対象地域の考え方

1	全居室が浸水するおそれがある居住者
2	氾濫流により家屋流出の恐れがある居住者 (家屋倒壊等氾濫想定区域に該当)
3	浸水が長時間継続する居住者(浸水継続時間72時間が目安)

表-2 避難所収容可能人数と広域避難の対象となる町丁目の人口、および避難所の収容率

	世田谷区	大田区
避難所収容可能人数(人)	31648	37986
広域避難の対象町丁目の人口(人)	70812	123965
収容率	44.7%	30.6%

※避難所想定収容人数は、世田谷区では水害時避難所(第1次・第2次)の計22か所、大田区では広域避難の対象となり得る町丁目周辺の36か所の避難所の収容人数を集計

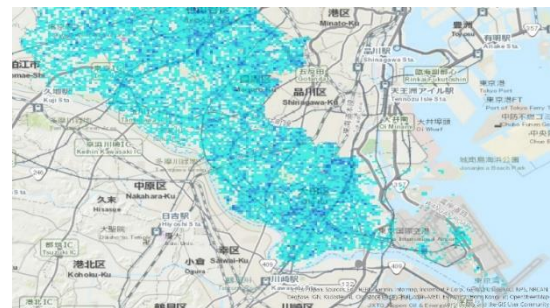


図-2 東京都世田谷区・大田区・目黒区における流動人口分布(2019年10月12日21時時点、データ提供:株式会社Agoop)

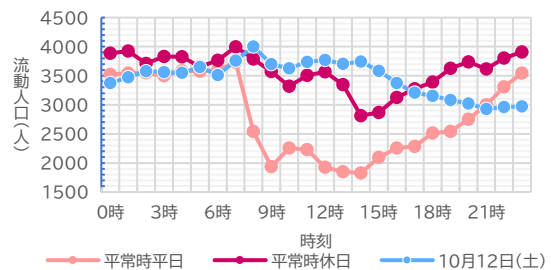


図-3 東京都大田区鶴の木2丁目内の流動人口の推移(2019年10月12日、データ提供:株式会社Agoop)

れずに流動人口は3500人~4000人の間で推移し、接近に伴って減少していることが分かる。この傾向から接近前は、午後からの天候悪化や鉄道の計画運休等をうけて住民が外出を自粛していたと考えられる。また、個々のメッシュデータに着目すると15時以降も流動人口が平常時より増加したメッシュを確認できるが、減少したメッシュ数および流動人口の方が多かったことで、全体として減少に転じたとみられる。流動人口が減少した要因には、田園調布(上)観測所の水位が避難判断水位に達したことや、16時に避難指示が発令されたこと等が考えられる。

一方で、同地区に内陸側で接する鶴の木1丁目では同様の流動人口の減少は見られず、地区内の流動人口が終日3000人前後で推移していたことから、多摩川に近いほど多くの住民が域外へ避難していたと考えられる。

9. タイムラインの提案

大田区鶴の木2丁目や世田谷区玉堤1丁目等の、

広域避難の対象となる地域向けのタイムラインの一部を図-4a, 4b に示す。本タイムラインでは、国土交通省京浜河川国道事務所が 2016 年度に公表した多摩川洪水浸水想定区域図(想定最大規模)と同様に、多摩川流域の想定総雨量が 2 日間で 588mm となる状況を想定する。また、ゼロアワー、即ち災害が発生するタイミングを多摩川の計画高水位を超過し氾濫が発生する時とする。その上で、平常時からゼロアワーまでを 5 つのフェーズ (Phase0, Phase0.5, Phase1, Phase2, Phase3) に分割し、フェーズ毎に各機関が取る対策を設定する。行動主体には、自治体、対象地域を通過する公共交通機関、気象庁、消防等を設定する。自治体は世田谷区、大田区、東京都を設定し、各々の災害対策本部や区内の避難所での対応、地域防災計画に明記された協力協定の締結先との調整も考慮する。公共交通機関については、広域避難の対象町丁目、もしくはその付近を通過する鉄道・バス事業者や航空会社を想定し、発災前の計画運休や欠航、広域避難時の混雑緩和のための増発も想定する。

広域避難の対象地域に特化した対策の一つが、高齢者や乳幼児がいる世帯(以下、優先避難世帯)とそれ以外の世帯(以下、一般避難世帯)で、避難のタイミングに加えて避難先を各々に指定することである。優先避難世帯では避難行動自体に困難が伴うことや時間を要することが予想されるため、発災 2 日前から比較的近距离にある、浸水想定区域外への避難を促す。優先避難世帯の避難開始を発災 2 日前としたのは、現状で各区が想定している、発災前日から当日の警戒レベル 3 での避難開始とすると、地区全体の広域避難を実現するには、一般避難世帯のために

確保できる避難時間が短くなり、風雨が強まった状態でのリスクが高い避難行動になることを回避するためである。一般避難世帯には、優先避難世帯の避難完了のめどが立ち次第、近距离の空いている避難所や、鉄道を利用しての遠距離避難を促す。なお、遠距離避難先としては、交通機関の乗換が 1 回以内になるように配慮し、渋谷区や港区等の浸水想定区域外の宿泊施設を想定する。

もう一つの対策は、隣接する世田谷区と大田区が共同で、その他関係機関との連絡窓口を設けることである。これは、両区の間川崎市と隣接していること、交通機関として東急電鉄や東急バスが乗り入れていること、広域避難のために他区の公共施設や宿泊施設を確保する必要があること等の共通点があることから、業務の効率化を図るための対策である。

また、本タイムラインの活用方法として、各関係機関での共有や各区の地域防災計画への掲載に留まらず、水害ハザードマップと同様に各家庭への配布を提案する。これは、本研究の目的の一つである「住民の最善な避難行動を通じた人的被害の抑制」を実現する上で、いつ誰が何をすべきかを、対象地域内の全員が共有する必要があると考えたためである。住民も関係機関の一つと捉え、避難を促す自治体、避難手段や避難先となる交通機関や施設、そして実際に避難する住民が一体となって行動することが、各々が抱えるリスクや受けうる被害を低減するために重要であると考えられる。さらに、住民の意識改革として、災害に関する情報が少ないことで不安になるのを避けることや、大きな被害が出なかった際の「空振り」に対する理解を深めることも期待される。

夜間接近の場合	時間	警報・注意報	水位観測所(石原)の基準水位	気象庁		世田谷区・大田区			両区の共同連絡窓口 情報共有、関係機関との連携	
				住民への情報提供	情報共有、関係機関との連携	災害対策本部	住民への情報提供	現場対応		
Phase0.5	4日前まで	~96時間前		今後の気象予測	・域外避難を前提とした対応を要請	災害対策本部設置	住民への情報提供を公表	避難所確保の調整	窓口設置	
	Phase1	3日前	95時間~90時間前		・気象情報の収集 ・交通機関の運行情報	・災害対策本部会議(以降随時)	・公立・私立学校の閉鎖 ・その他公共施設、窓口の閉鎖 ・ゴミ収集の中止	避難所開設準備		
		89時間~84時間前		・特別警報発令の恐れ ・不要不急の外出自粛要請	同上	・同上	・同上	・同上	・避難所) 同上 (その他) ・土のうステーションの確認	
Phase2	2日前	71時間~66時間前		・同上 ・自治体の要請に応じた早めの避難呼びかけ	・気象情報の収集 ・交通機関の運行情報 ・広域避難の進捗確認				(対 川崎市) 同上 (対 東京都) 同上 (対 緊急時・緊急) (対) 避難所との情報共有 (対 東京都) 同上	
		65時間~60時間前		・同上 ・今後の気象予測	同上	所管警察署/消防署に交通規制や連絡者の活動依頼を要請	優先避難者の広域避難開始	優先避難者向けに避難所を開設		
		59時間~54時間前		同上	同上	同上	・継続的な避難の呼びかけ ・避難所の空き状況も随時更新	・随時住民受け入れ ・各種対応	同上	
	53時間~48時間前		同上	同上	同上	同上	同上	同上	同上	
	1日前	47時間~42時間前	降り始め		同上	同上	・一般避難者の広域避難開始	・一般避難者向けに避難所を開設		(対 東京都) 同上 (対 緊急時・緊急) (対) 避難所との情報共有、今後の運行情報の共有
		41時間~36時間前			同上	同上	警戒レベル3発令 ・被害情報の収集	・継続的な避難の呼びかけ ・避難所の空き状況も随時更新	・随時住民受け入れ ・各種対応	同上
Phase3	接近当日	27時間~24時間前	大雨注意報	氾濫注意水位/避難判断水位超過	同上		同上	同上	同上	中略
		23時間~20時間前			同上	気象情報の収集 ・交通機関の運行情報	取り残された住民の把握			
		19時間~16時間前			同上	同上	同上		(避難所) 空き状況に応じて避難者受け入れ	
		15時間~12時間前	大雨警報	氾濫危険水位超過	同上	・被害情報の確認 ・道や建物の倒壊要請 ・気象予報士への情報収集 ・鉄道事業者との運行予定の共有(以降、随時実施)	警戒レベル4発令		(その他) 排水設備準備完了 ・備前確認完了	
		11時間~9時間前			同上	同上	同上		同上	
		8時間~6時間前	大雨特別警報		・命を守る最善の行動を ・今後の気象予測	同上	同上	・域外避難に限定せず、緊急安全確保の指示に切替	同上	
		5時間~4時間前		計画高水位超過	同上	同上	同上	同上	同上	
		3時間前			同上	同上	同上	同上	同上	
2時間前			同上	同上	同上	同上	同上			
1時間前			同上	同上	同上	同上	同上			
	ゼロアワー					警戒レベル5発令				

図-4a 広域避難対象地域向けのタイムライン (一部抜粋)

10. タイムラインの実現可能性の検証

本タイムラインの実現可能性の検証については、5章で述べたように広域避難の際の流動人口の推移に着目して行う。まず、大佛らによる式¹⁰⁾を参考に、各町丁目内の滞留者割合から時刻別の滞留人口、および流出人口を求める。以下に滞留者割合を求める式(1)と時刻別の滞留人口を求める式(2)を示す。

$$P = \frac{aP_i^t + aP_i^{t+\Delta t} - 1}{aP_i^t aP_i^{t+\Delta t}} \quad (1)$$

$$a n_i^t = \frac{(M_i^t + M_i^{t+\Delta t}) - \sqrt{(M_i^t + M_i^{t+\Delta t})^2 - 4PM_i^t M_i^{t+\Delta t}}}{2P} \quad (2)$$

ここで、 t は時刻、 i は町丁目の識別子、 aP_i^t は時刻 t におけるある町丁目内の滞留者割合、 M_i^t はある町丁目内の人口である。なお、1つのメッシュ内に複数の町丁目が存在する場合は、メッシュ内の専有面積に応じて人口を按分する。

次に、国勢調査の結果と位置情報データから、避難に際して通常より困難を伴うと考えられる6歳以下の子ども、もしくは65歳以上の高齢者がいる世帯数と世帯人員から世帯人口（以下、優先避難人口）、およびそれ以外の世帯の人口（以下、一般避難人口）を、町丁目毎に算出する。

最後に、その町丁目から離れて避難するための公共交通機関を設定し、1時間あたりの輸送力を考慮した上で避難完了時間を算出する。なお、災害発生もしくは交通機関の運休までに避難が間に合わない場合は、臨時的な増発で対応可能かも検証する。

世田谷区玉堤1丁目を例に、国勢調査での町丁目

鉄道(東急電鉄)		住民	
情報共有、関係機関との連携	現場対応	情報提供の内容	情報収集
・気象予測についての情報収集 ・避難者に対する避難計画の調整 ・沿線自治体との連携共有	・接近前日までの臨時増発ダイヤ公表 ・沿線避難に備えた臨時増発および沿線避難の準備 ・緊急時に備えた沿線避難	・沿線避難に備えた臨時増発および沿線避難の準備	・気象予測の確認
・同上 ・沿線避難のための自治体との調整	・沿線避難に備えた臨時増発ダイヤ公表	同上	・避難者数の確認 ・行くべき避難所とルートを確認
同上	・接近前日までの臨時増発ダイヤ公表	・沿線避難に備えた臨時増発および沿線避難の準備 ・不要な外出の自粛要請	・避難者数の確認 ・必要に応じて浸水対策の土留を準備
中略		中略	
・気象予測についての情報収集 ・避難者に対する避難計画の調整 ・沿線自治体との連携共有	・主のう等連水設備の準備開始 ・一部駅で沿線避難者対応	・同上 ・臨時ダイヤで運転中	・今後の気象予測 ・交通機関の運行情報 ・避難者の状況
同上	・臨時ダイヤで運転中 ・一部駅で沿線避難者対応	同上	同上
同上	同上	同上	同上
同上	同上	同上	同上
同上	・接近前日までの臨時増発ダイヤ公表 ・一部駅で沿線避難者対応	・同上 ・翌日は運転本数減と計画運休予定	同上
同上	同上	同上	同上
中略		中略	
同上	同上	同上	・今後の気象予測 ・被害状況
同上	同上	同上	同上
・気象予測についての情報収集 ・避難者に対する避難計画の調整 ・沿線自治体との連携共有	・給電電車出発(運転本数減の臨時ダイヤ) ・浸水想定区域外へ車両避難	・本数減で運転中 ・計画運休の予定	同上
同上	・臨時ダイヤで運転本数減少	同上	同上
・気象予測についての情報収集 ・相互直通と隣接自治体との調整 ・自治体との連携状況や共同予定の共有(以降、随時実施)	・全列車運転終了 ・全駅者への対応 ・浸水想定区域完了 ・駅員の避難	・運転終了のお知らせ ・右乗降後の運転計画公表	同上
同上	・沿線の避難計画、風速等による浸水想定区域の再確認	同上	同上
同上	・沿線(駅等)の監視カメラによる被害状況の確認	同上	同上
同上	同上	同上	同上
同上	同上	同上	同上

図-4b 広域避難対象地域向けのタイムライン（一部抜粋）

人口と位置情報データから算出した町丁目人口、両者の差異を考慮して算出した優先避難人口と一般避難人口、および設定条件を表-3に示し、バスの本数毎に避難時間を表-4に示す。なお、浄水場前停留所に到着した後は、八幡小学校までの約600mを徒歩で移動すると仮定する。この結果より、1時間あたり2本以上の頻度でバスを運行する場合、自宅からバス乗車停留所、およびバス降車停留所から八幡小学校までの移動を考慮しても日中の明るい時間帯に避難を完了できるといえる。しかし、他地区における広域避難のための、別の運行系統での増発を考慮して、対象地域全体で本数を調整する必要があると考える。

11. おわりに

今回、参考事象における実際の対応の収集や流動人口データの可視化による分析を通じて、広域避難の対象者および非対象者のそれぞれに最適となるようにタイムラインを作成した。今後は、滞留者割合や各町丁目の流出人口について、データの充実化等で正確な値を算出することで、現実により即した環境を再現し、タイムラインの妥当性向上を図る。

参考文献・出典

- 1) 東京都総務局総合防災部防災計画課「令和元年台風第15号及び第19号等に伴う防災対策の検証 別冊資料」2019年11月29日
- 2) 里村 真吾, 狩野 豊「関係機関と一体で取り組む荒川下流域におけるタイムラインの策定手法について」河川技術論文集 第22巻, 2016年6月
- 3) 大田区「大田区ハザードマップ 風水害編」2020年4月発行
- 4) 世田谷区「世田谷区洪水・内水氾濫ハザードマップ」2020年9月発行
- 5) 国土交通省 第12回大都市交通センサス 平成27年度調査「駅別発着・駅間通過人員表」
- 6) 内閣府 洪水・高潮氾濫からの大規模・広域避難検討ワーキンググループ「洪水・高潮氾濫からの大規模・広域避難に関する基本的な考え方」2018年3月
- 7) 大田区防災会議「大田区地域防災計画[平成30年部分修正]【資料編】」2019年4月作成
- 8) 世田谷区防災会議「世田谷区地域防災計画[令和3年修正]資料編(案)」
- 9) 総務省統計局「平成27年国勢調査 人口等基本集計に関する集計 男女別人口及び世帯数」最終閲覧日: 2021年2月5日
- 10) 大佛 俊泰, 早坂 遼「携帯電話人口統計を用いた都市内移動者の時空間分布推定」日本建築学会計画系論文集 第84巻 第762号, 2019年8月

表-3 世田谷区玉堤1丁目における広域避難に際しての対象人口と設定条件

国勢調査における玉堤1丁目の人口(人)	4659
AM2:00時点の玉堤1丁目内の滞留人口(人)	2864
国勢調査のデータと位置情報データの比率	0.6147
上記比率を考慮した優先避難人口(人)	1089
同 一般避難人口(人)	1775
優先避難者の避難先と収容人数	八幡小学校(1221人)
優先避難者が利用するバス路線	臨時ルート(所要時間20~30分)
バスの定員	80名

※臨時ルートは、東京都市大学のキャンパス間シャトルバスと「圏01系統」の一部を組み合わせた物とし、東京都市大学世田谷キャンパス、浄水場前停留所をそれぞれ発着地とする

表-4 世田谷区玉堤1丁目における優先避難世帯の避難時間

臨時バスの本数	避難時間(h)
1本/h	13.6
2本/h	6.8
3本/h	4.5