

# 大規模水害時における洪水到達時間による ゾーニングを導入した新たな避難方策の提案

---

國崎皓(元東京大学)

南出将志(東京大学大学院助教 工学系研究科)

池内幸司((一財)河川情報センター 河川情報研究所長)

# 江東5区で予想される洪水被害は甚大

0メートル地帯が広がる江東5区では約250万人が浸水想定区域に居住

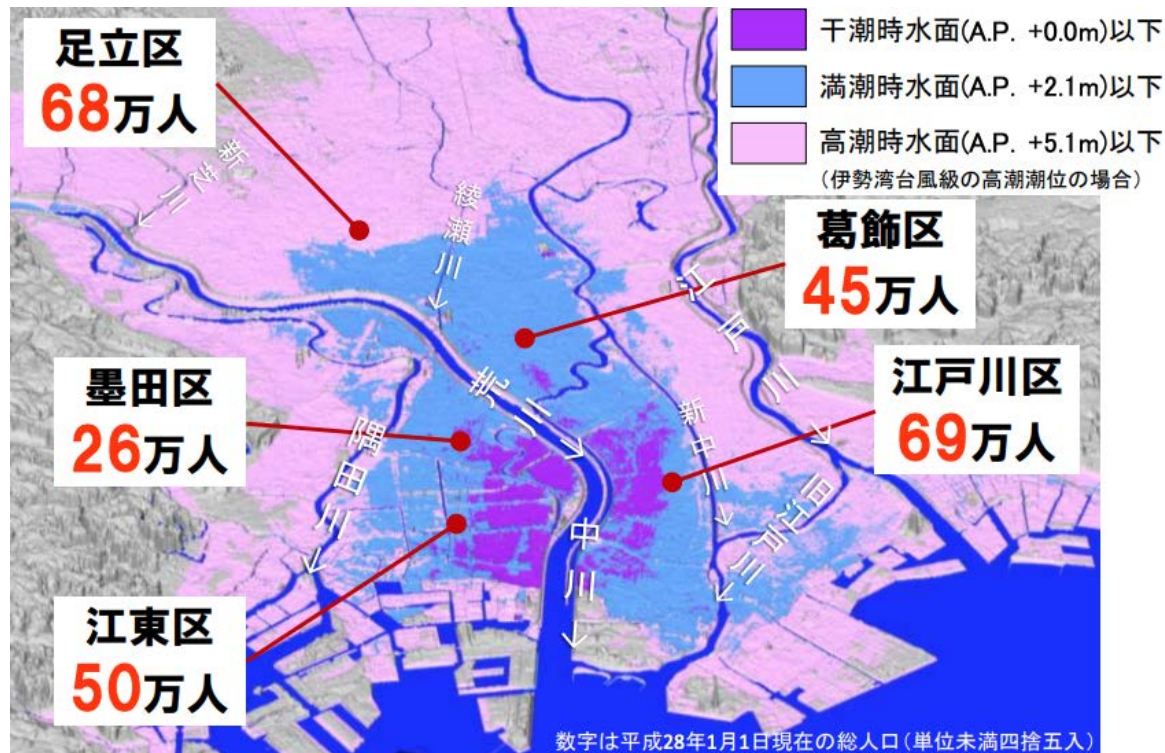


図1: 荒川氾濫時の被害想定(江東5区大規模水害対策協議会資料より)

# 事前の広域避難(氾濫の3日前~9時間前)は実現性が低い

3割の住民が決壊直前まで避難せず

洪水予報の水位・流量の予測は6時間先まで。

(気象庁."気象台から発表される防災気象情報について"より)

2019年台風19号時: 氾濫危険水位まで上昇したが、広域避難指示はでなかった。

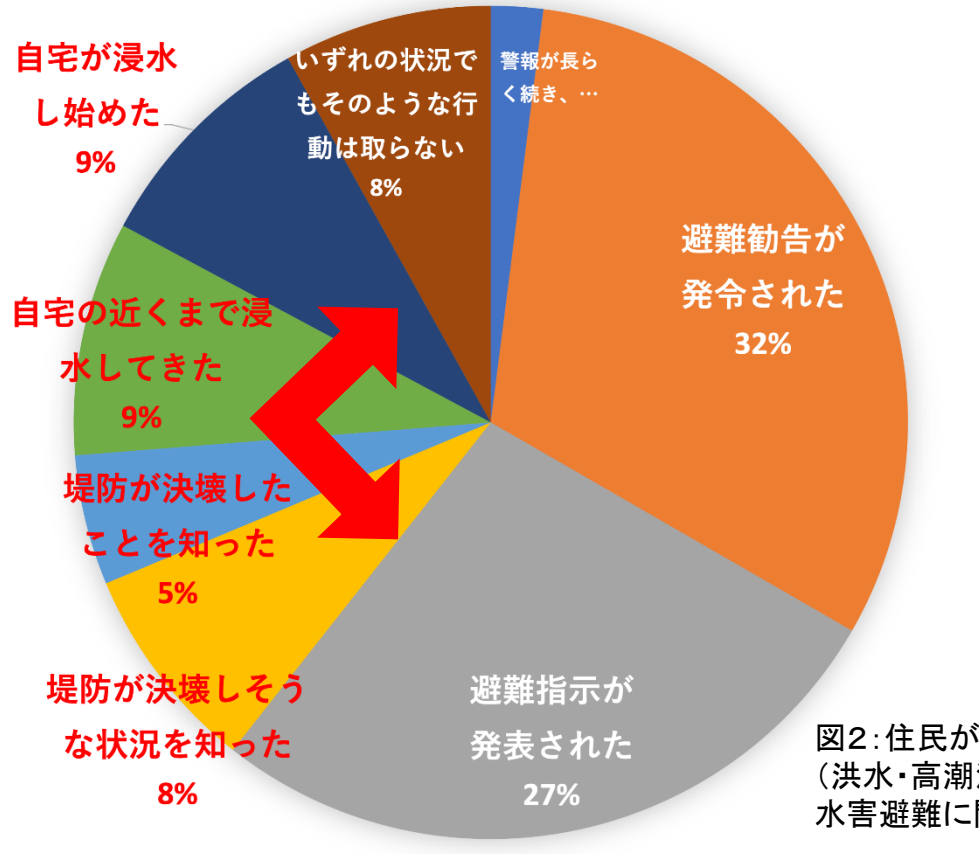
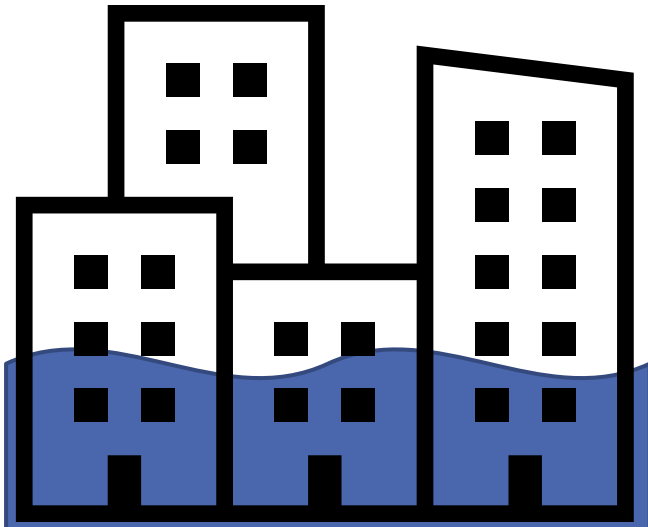
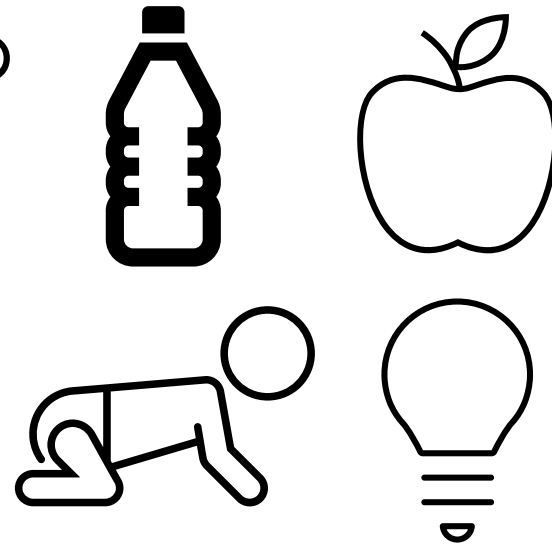


図2: 住民が避難を開始するタイミング  
(洪水・高潮氾濫からの大規模・広域避難検討WG."江東5区における水害避難に関する住民調査の結果"より作成)

## 垂直避難にも大きな課題がある

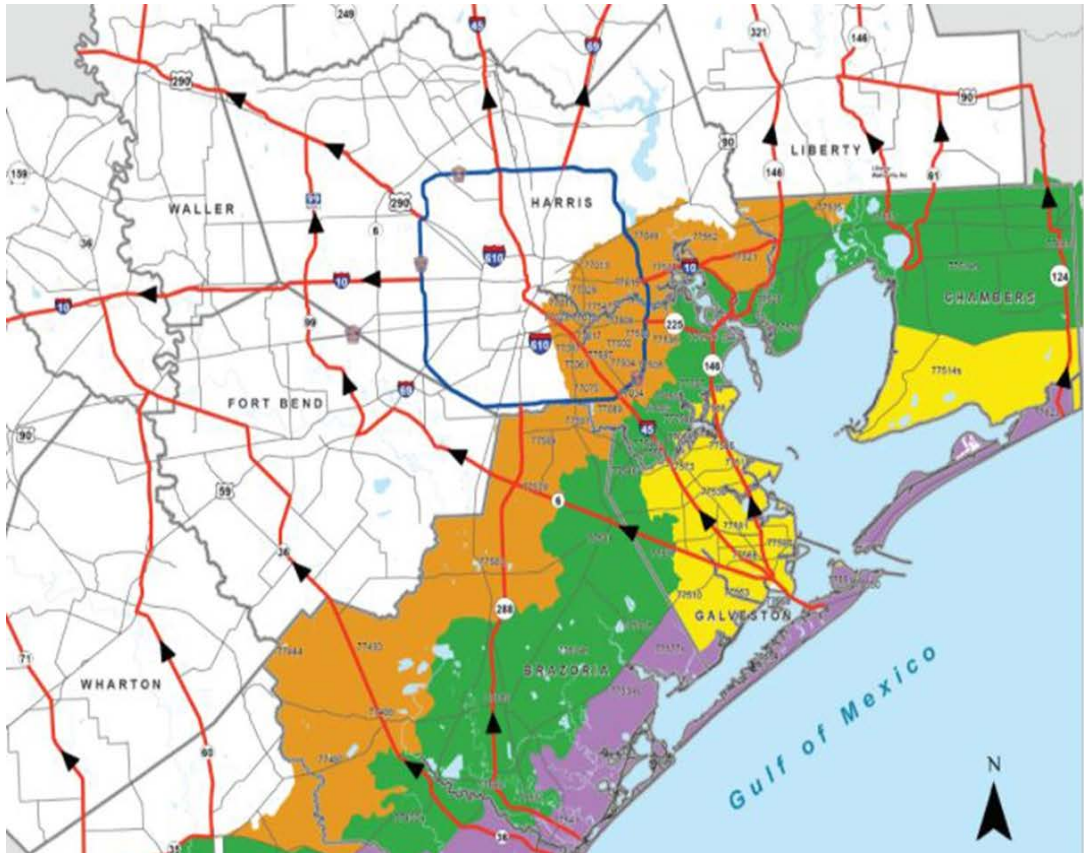


キャパシティの  
不足



2週間以上、ライフ  
ラインが停止  
→健康被害リスク

# ゾーニングの河川氾濫への応用可能性



Brazoria, Chambers, Galveston, Harris, and Matagorda Hurricane Evacuation Zip-Zones Coastal, A, B, C

ZIP ZONE COASTAL				
77414s	77422s	77465s	77534s	77541
77550	77551	77554	77563	77577s
77623				
ZIP ZONE A				
77058s	77510	77514s	77518	77539
77563	77565	77568	77573	77586
77590	77591			
ZIP ZONE B				
77058n	77059	77062	77414n	77422n
77485n	77507	77511	77514n	77515
77517	77520	77523	77531	77534n
77546n	77546s	77560	77566	77571
77577n	77587	77596	77665	
ZIP ZONE C				
77011	77012	77013	77015	77017
77023	77029	77034	77049	77061
77075	77087	77089	77430	77444
77480	77486	77502	77503	77504
77505	77506	77521	77530	77535
77536	77547	77562	77578	77581
77583	77584	77587		

Some zip codes are split into north (n) and south (s) for evacuation purposes.

**Route Designation**  
 ← Evacuation Corridors  
 — Evacuation Connections  
 — Other Roads  
 - - - County Boundary

- リスク別にエリア分け
- 避難開始時間・使用道路の指定  
→効率的な避難

荒川氾濫時への応用は？

図3: ヒューストン市等の避難地図(米国ハリケーン・ハービー/イルマに関する現地調査報告書(第二版)より)

● **水関連災害からの避難方法に関する既往研究**

津波、暴風・高潮(ハリケーン)からの避難

⇒数多くの研究。避難のリードタイム・ハザードの進行速度・予測の不確実性が全く異なる。

● **決壊直前後における河川洪水からの避難に関する研究**

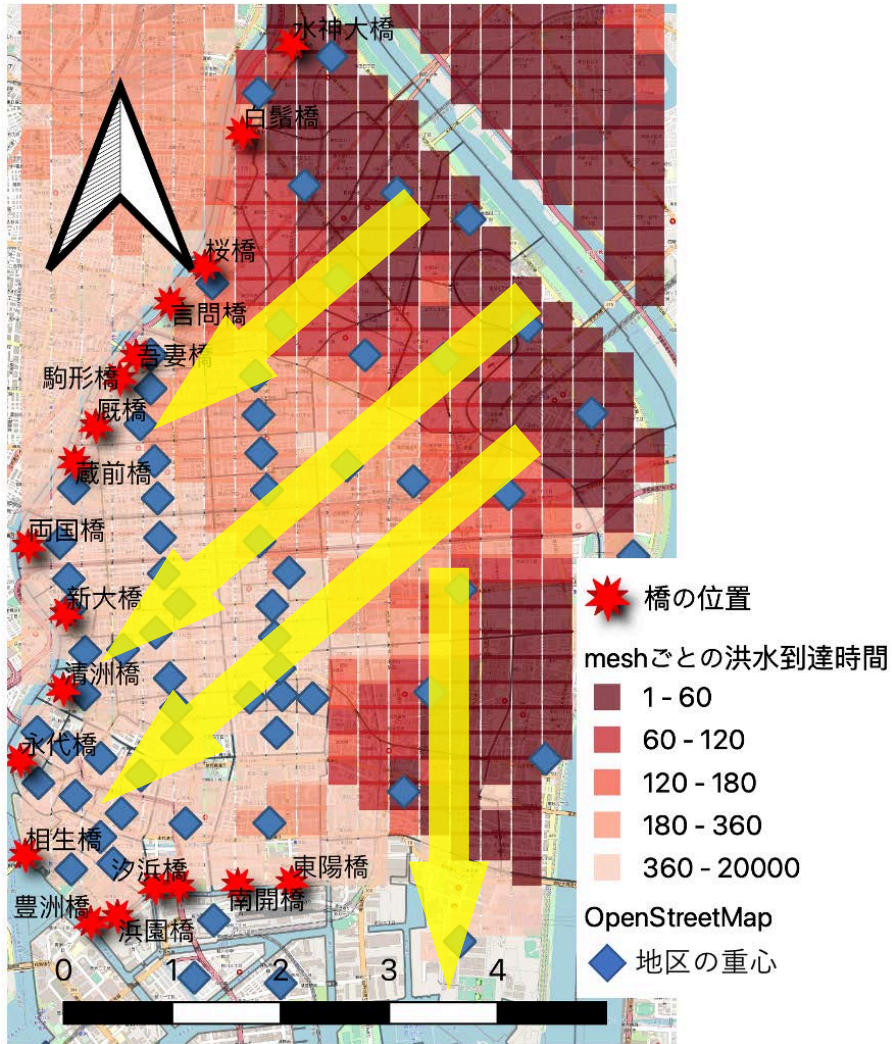
	本研究	北村ら.(2019)	片田ら.(2013)
対象の避難	決壊直前後	決壊直後	数時間前・緊急時
	広域避難	域内避難	広域避難・域内避難・垂直避難
対象地域の人口	多い	少ない	多い
ゾーニングの概念	○	×	×

破堤直前後の人口が集中するエリアにおいてゾーニングを適応した広域避難に関する研究はない。



**本研究では、事前の広域避難が機能しなかった際の堤防決壊直前におけるゾーニングを適用した浸水域外への広域避難方策について検討を行う。**

- ① 破堤直前からの避難でも洪水到達時間内に避難を終了させる。
- ② 個人の避難時間を減少させる。



## 前提

- 各地区は地区の重心から避難を開始する。
- 避難開始は**原則決壊1時間前以降**とする。
- 避難の方向は洪水から遠ざかる方向、西もしくは南側に避難する。(荒川は渡らない)

洪水到達時間\*: 同時破堤ではなく、多くの破堤点を想定した中で、該当地区に最速で洪水が到達する時間

図4: 避難のイメージ((c)OpenStreetMap contributors)に加筆)



1.洪水到達時間内に、浸水域外への避難を終了させる。  
⇒各地区と橋梁の組み合わせの決定

2.個人の避難時間を減少させる。  
⇒時間差避難の実施

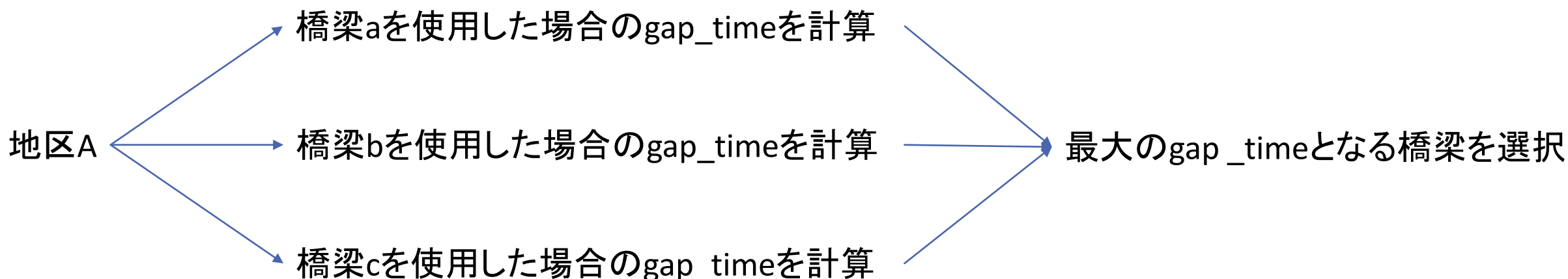
各橋梁が持つキャパシティとその橋梁を使用する総人数のバランスを考慮

$gap\_time = \text{各橋梁における洪水到達時間} - \text{必要時間}$

$\text{必要時間} = \text{総使用人数} \div \text{通行容量(歩道)}$

gap\_timeが十分に余裕のあるようにする。

使用する橋梁の選択方法を変更したり、車線の開放による通行容量増加がどう変化するか検討。



人口の多い地区順に決定していく。

a,b,cは最寄り3つの橋梁

最後の地区まで繰り返す。

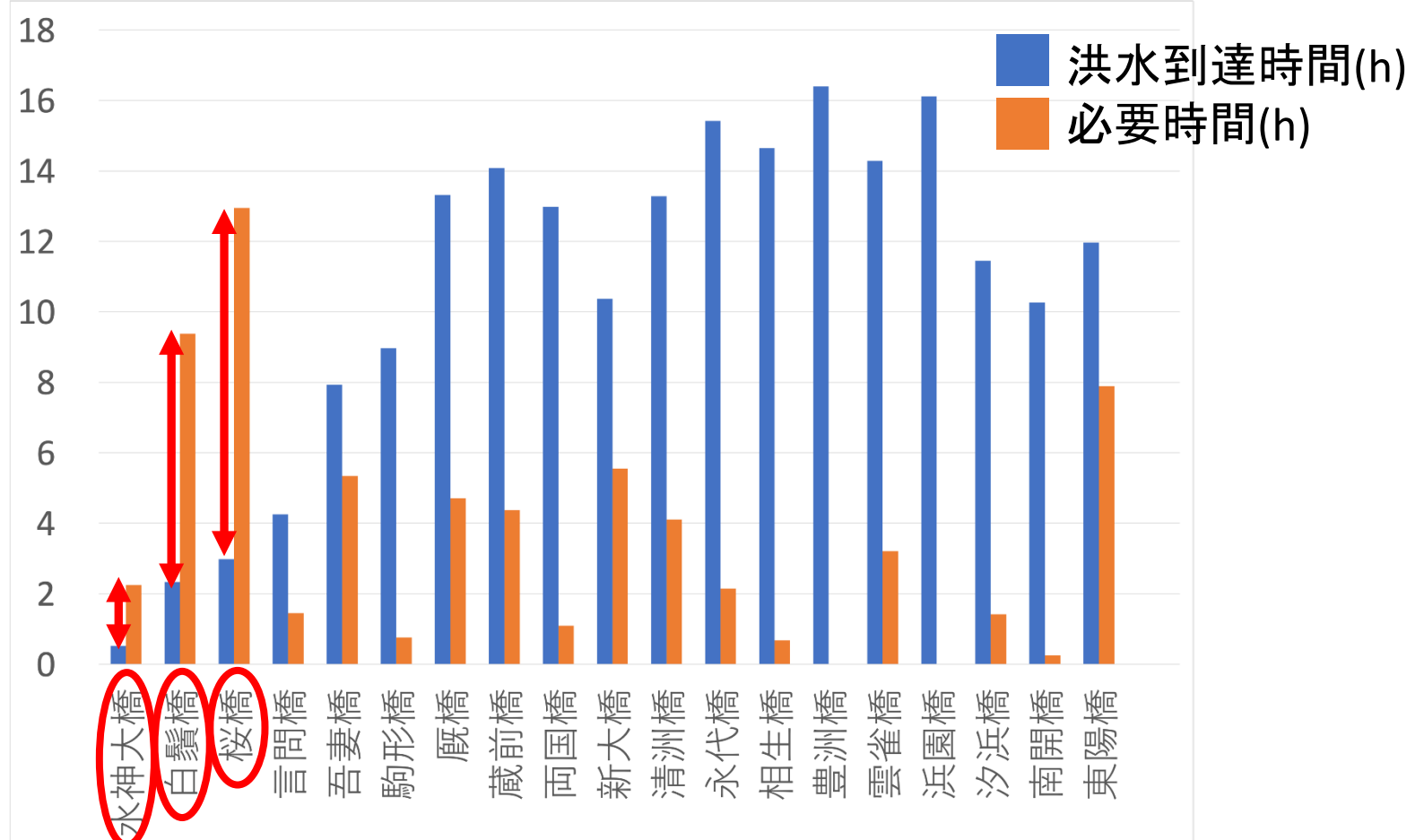
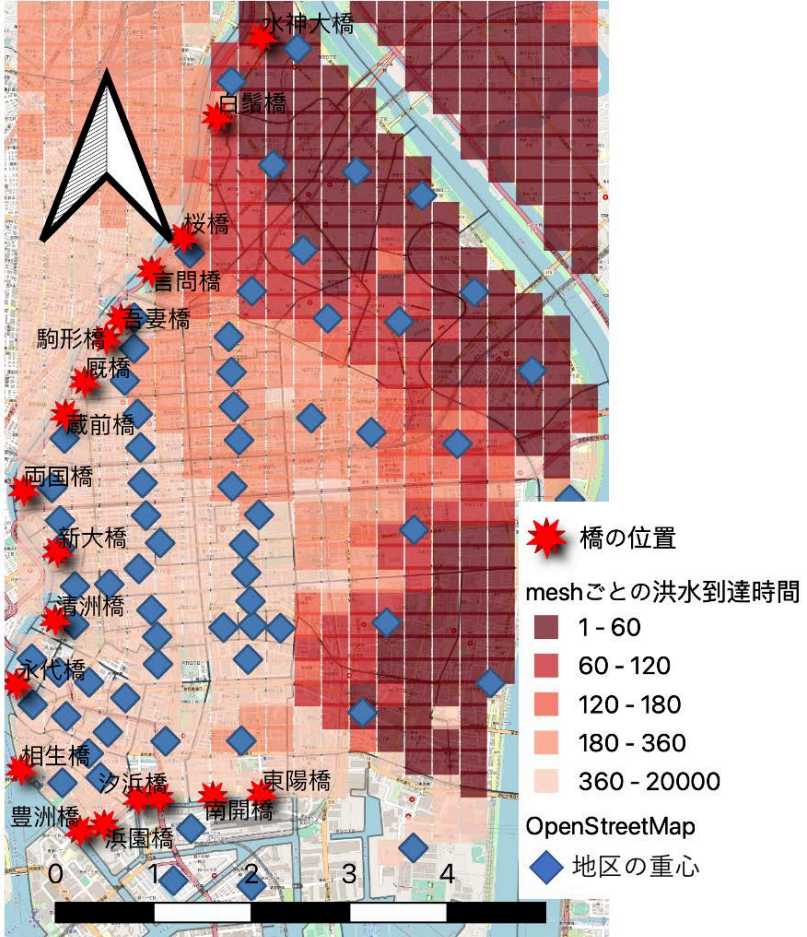


図5: Case1の使用橋梁  
((c)OpenStreetMap contributorsに加筆)

桜橋・白鬚橋・水神大橋において、  
gap\_time (洪水到達時間 - 必要時間) が負の値をとった

### 使用する橋梁の選択肢→三つに拡大 / 近い橋梁→1つの橋梁とみなす

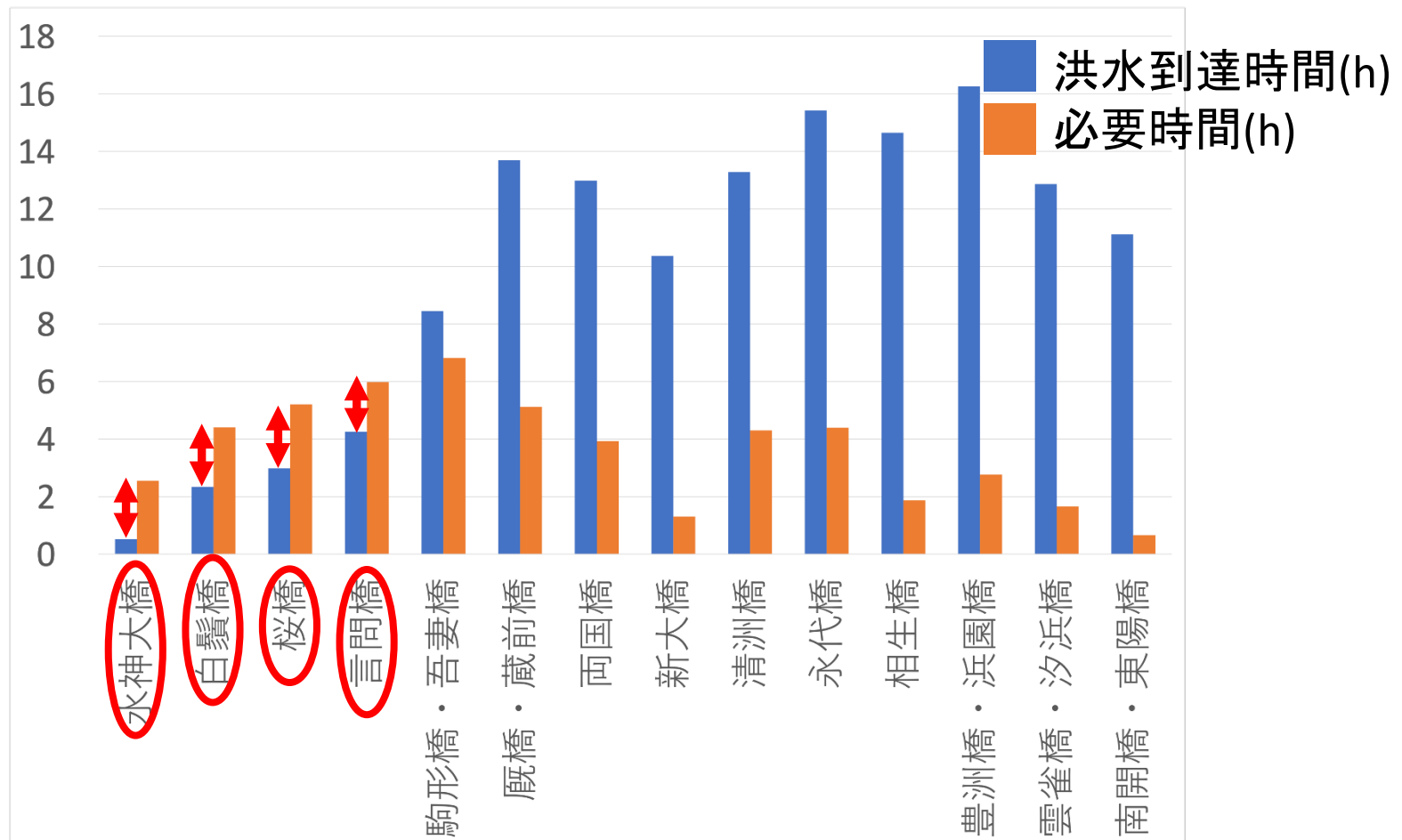
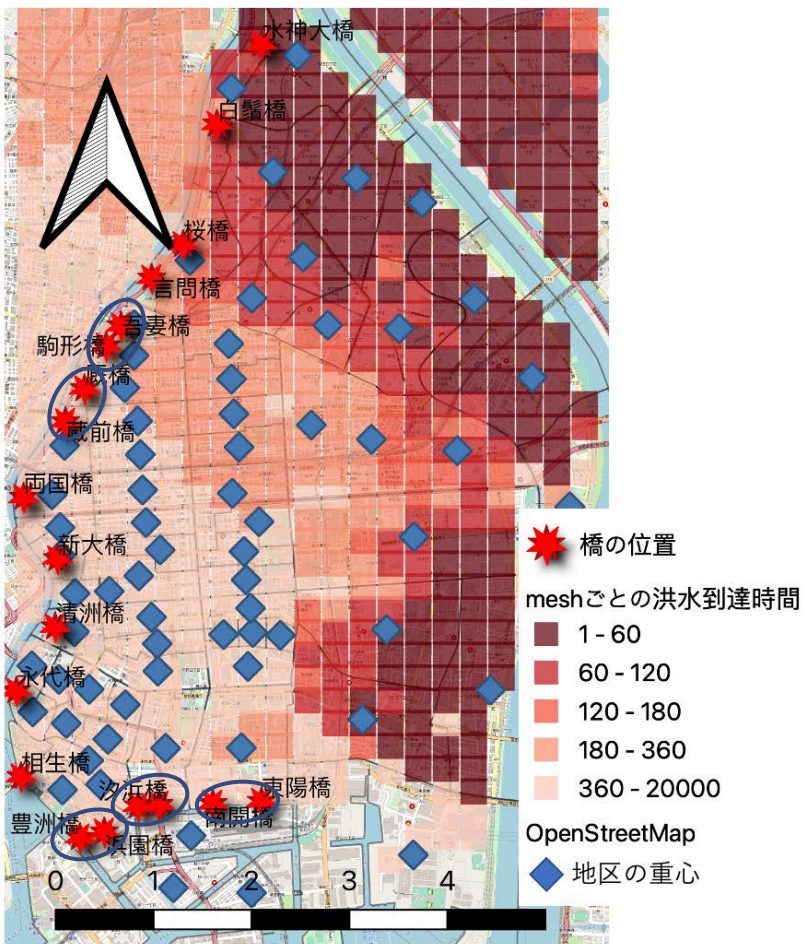


図6: Case2の使用橋梁  
(c)OpenStreetMap contributorsに加筆

桜橋・白鬚橋・水神大橋・言問橋において、gap\_time (洪水到達時間-必要時間)が負の値をとった。



# 結果-各町と使用する橋梁の決定\_ Case.3最寄り3つの橋梁(危険な橋梁を除外)から避難した場合

さらに、洪水到達時間の短い危険な橋梁→使用を禁止

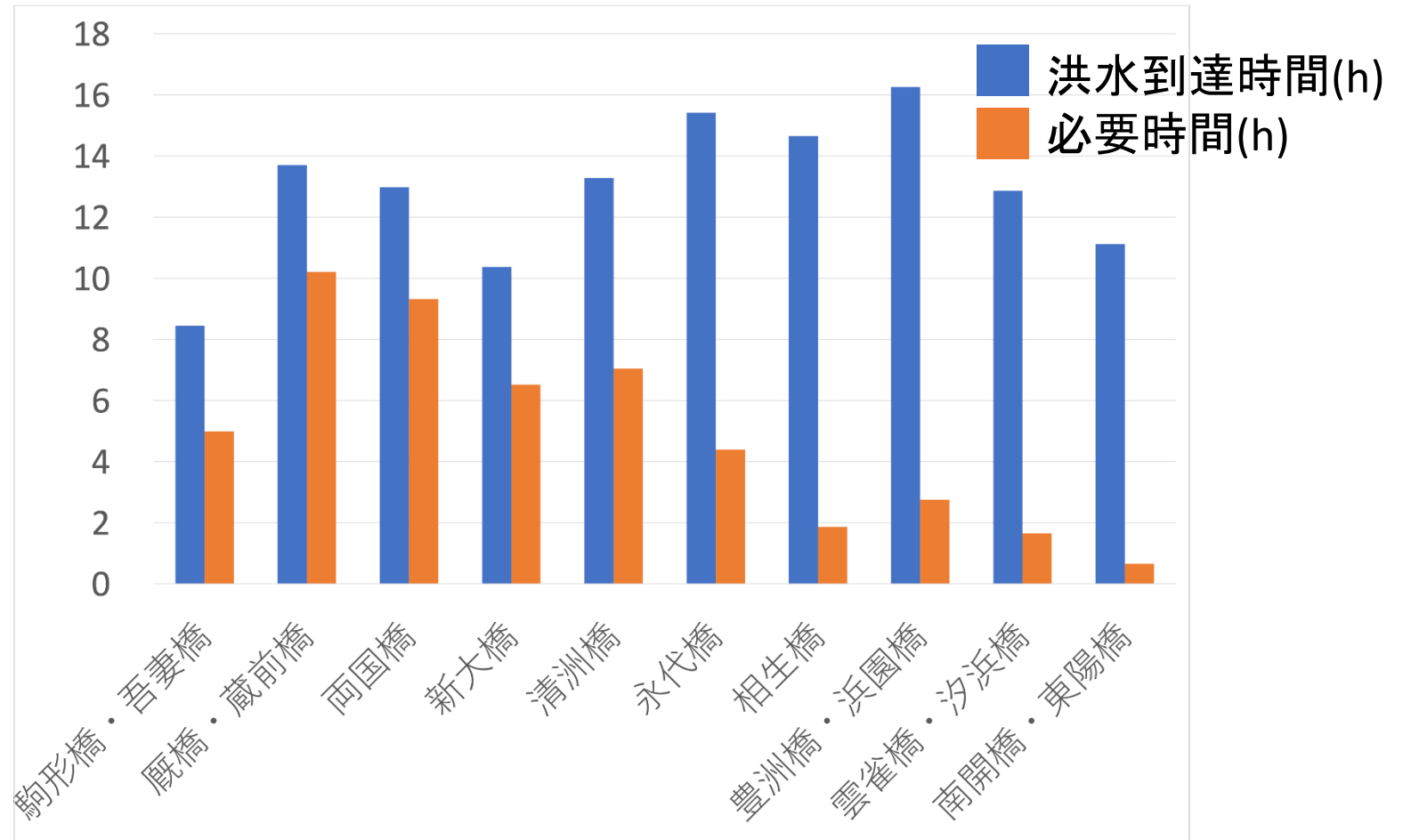
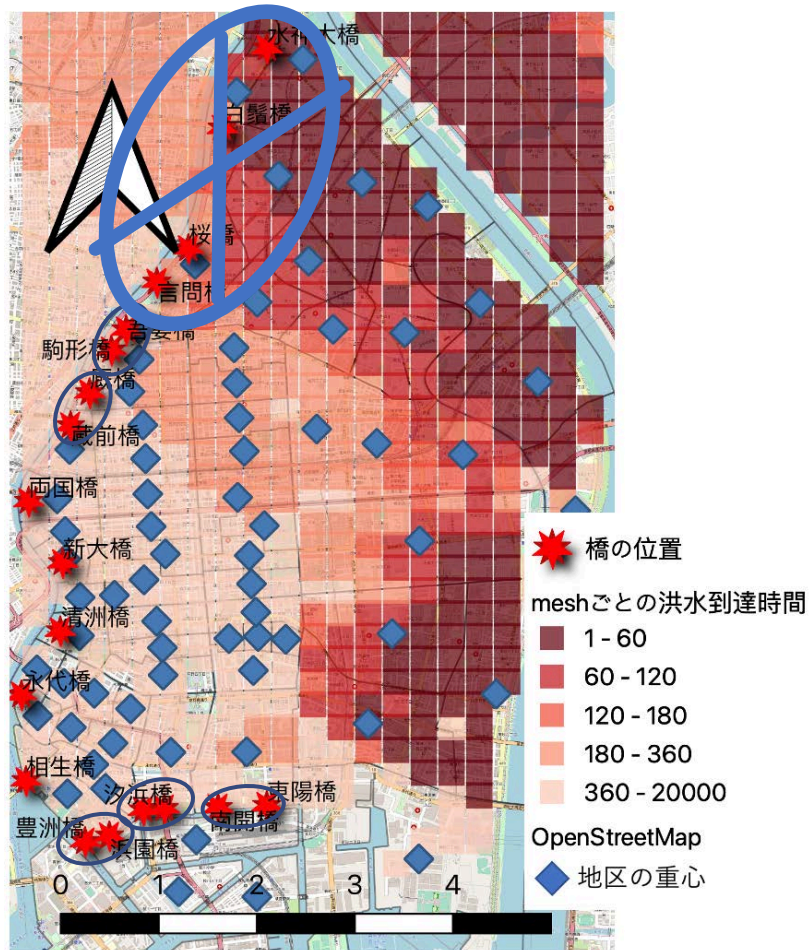


図7:Case3の使用橋梁  
(c)OpenStreetMap contributorsに加筆

全ての橋において、 $gap\_time$   
(洪水到達時間 - 必要時間)が正の値をとった。



## さらに、片側車線を歩行者に開放

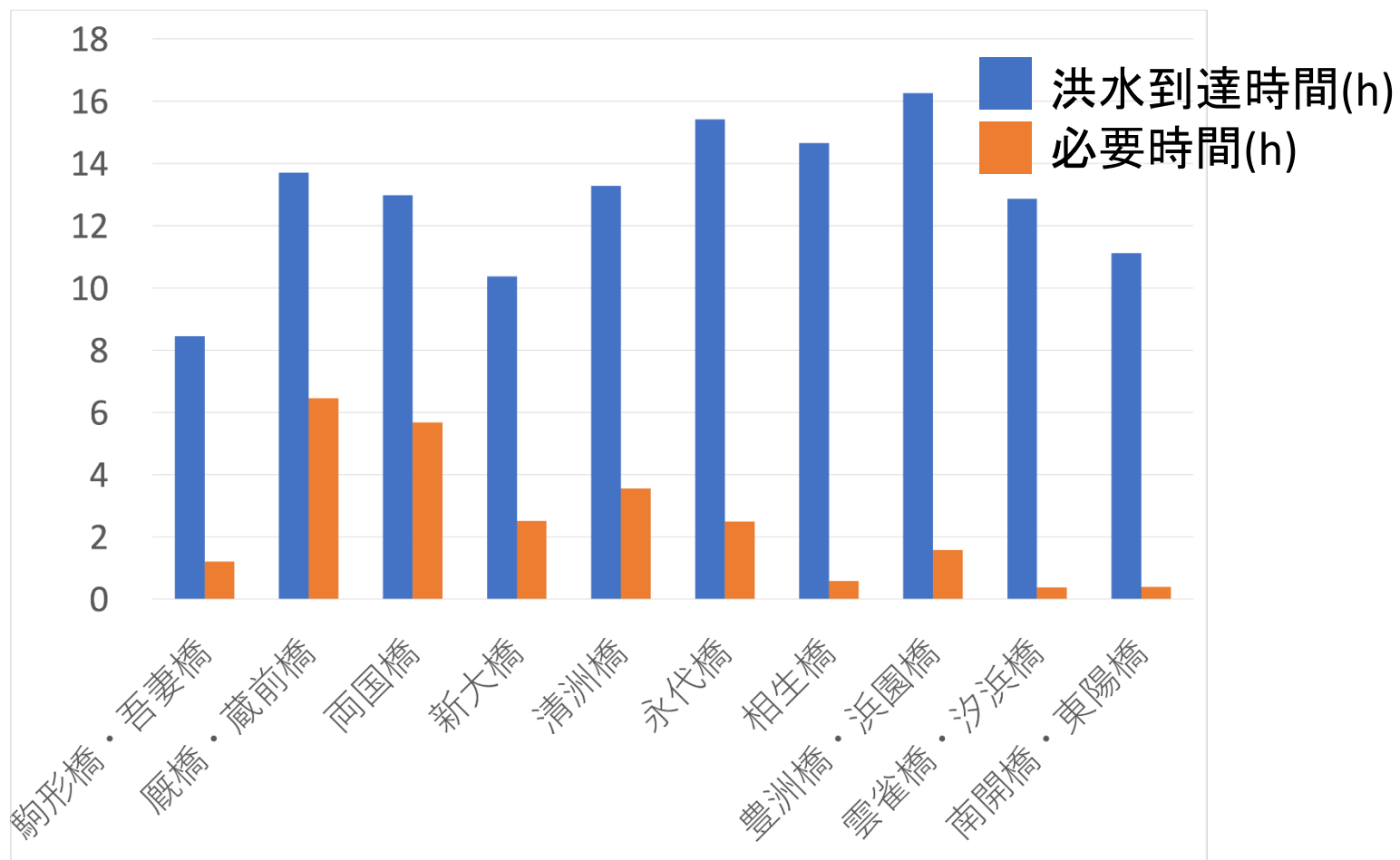
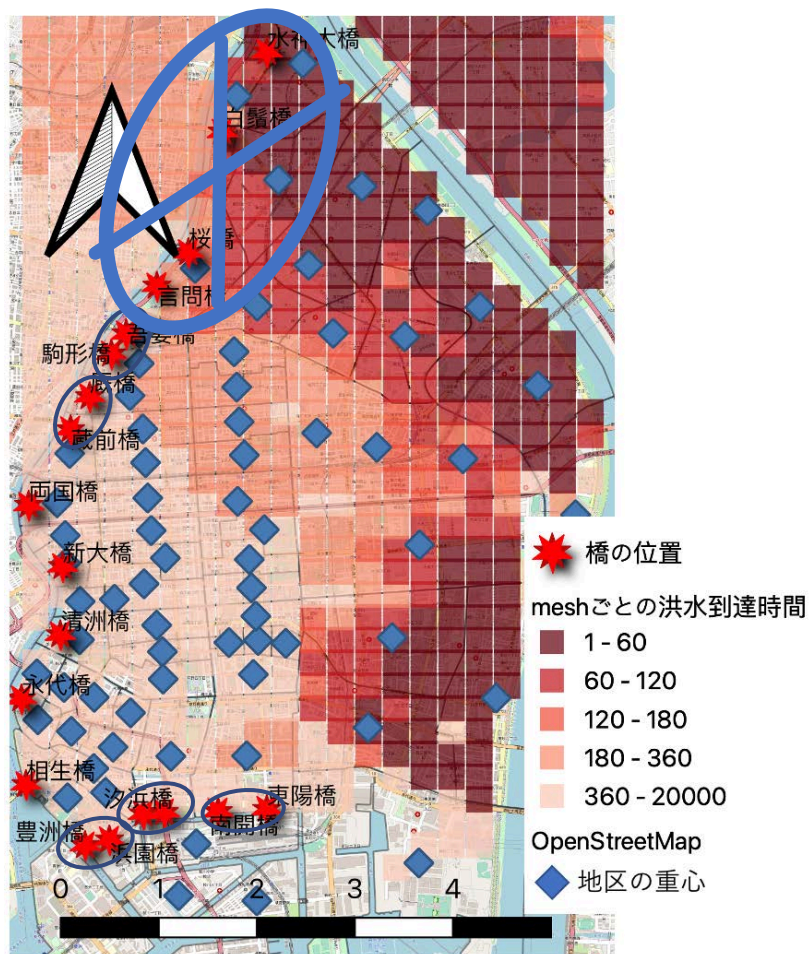


図8:Case4の使用橋梁  
 ((c)OpenStreetMap contributorsに加筆)

全ての橋において、gap\_time (洪水到達時間-必要時間)がさらに増加し、個人の避難時間を6時間程度以下に短縮。

1.洪水到達時間内に、浸水域外への避難を終了させる。  
⇒各町と橋梁の組み合わせの決定

2.個人の避難時間を減少させる。  
⇒時間差避難の実施

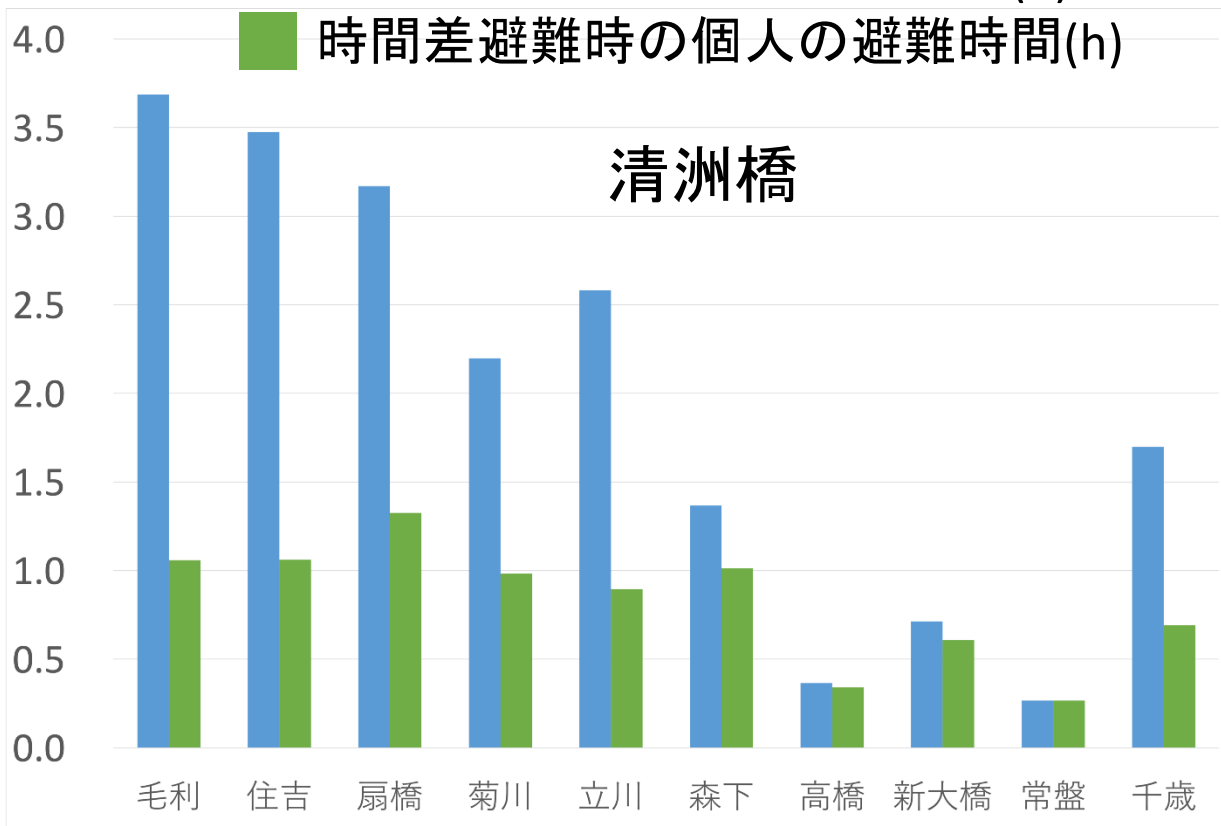
## 時間差決定のルール

洪水到達時間の短い地区から、使用する橋梁が空くタイミングで避難を開始する。

- ① 同じ橋梁を使う地区において、洪水到達時間が短い地区から避難を開始(原則決壊1時間前から)。
- ② 次の地区は橋梁部で待機している人数が0人になるときに到着するように避難を開始。
- ③ 避難開始限界時間(各町の洪水到達時間－2時間)になると自動的に避難を開始。

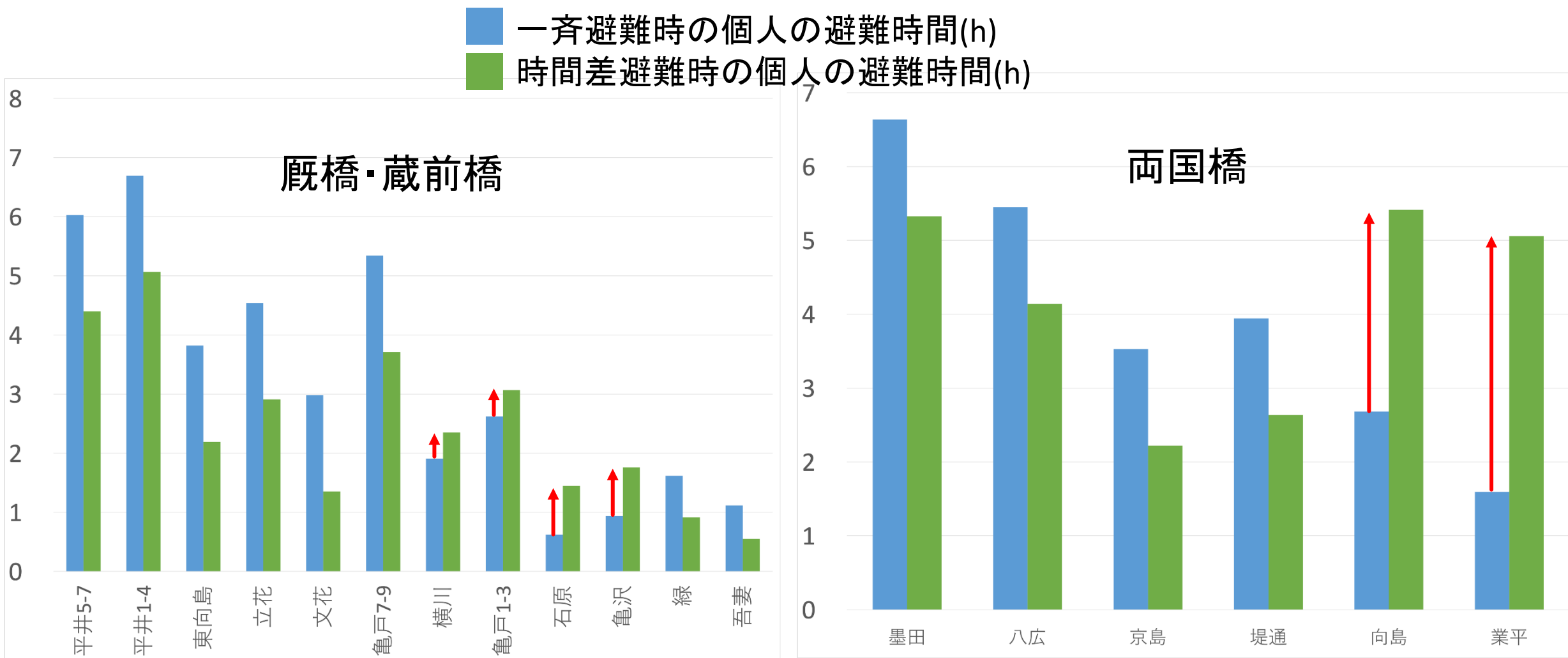
ただし、行政の指示の出しやすさを考慮し、避難開始は1時間単位とした。  
また、各地区が使用する橋梁はcase4で決定したものを使用

■ 一斉避難時の個人の避難時間(h)  
■ 時間差避難時の個人の避難時間(h)



町名	避難開始時間(堤防決壊時刻基準)	洪水到達時間
毛利	1時間前	6.6時間後
住吉	堤防決壊時刻	6.7時間後
扇橋	1時間後	7.6時間後
菊川	2時間後	8.3時間後
立川	3時間後	8.4時間後
森下	4時間後	8.7時間後
高橋	5時間後	9.5時間後
新大橋	6時間後	10.1時間後
常盤	7時間後	10.4時間後
千歳	7時間後	10.5時間後

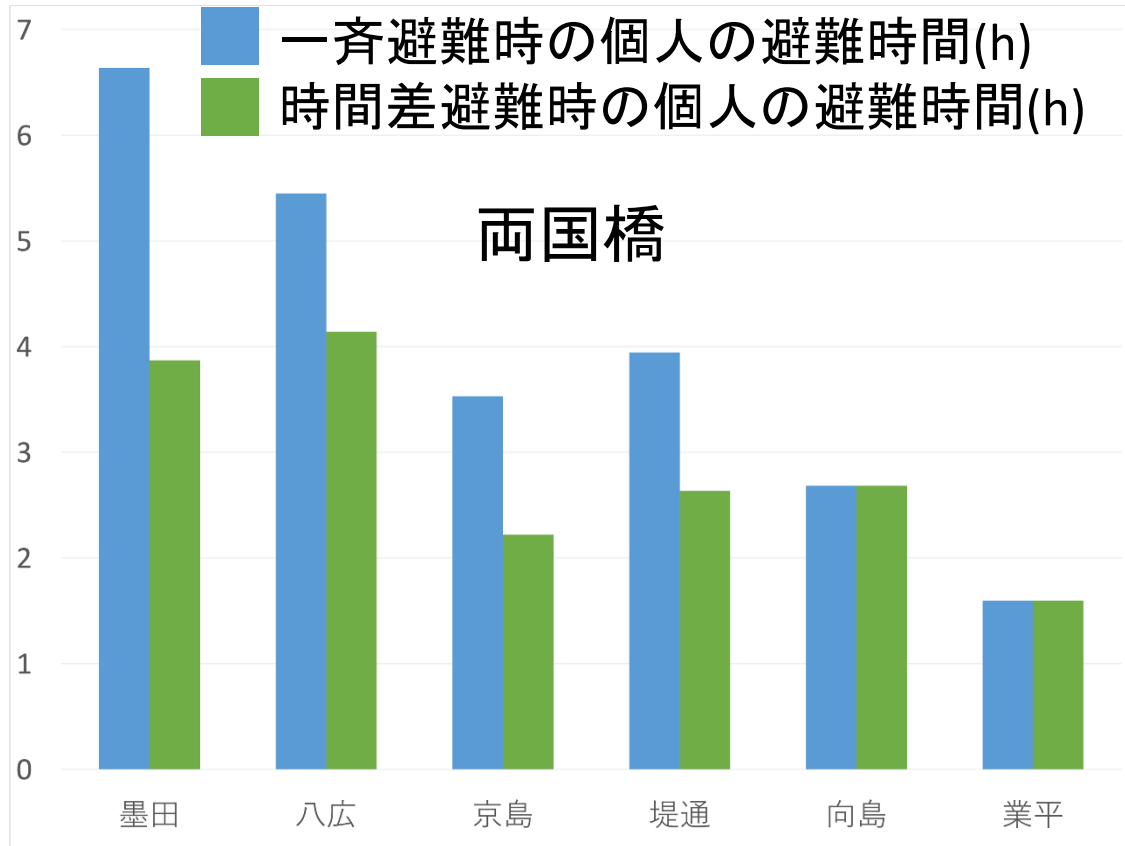
多くの地区で時間差避難により、避難時間が減少。



しかし、両国橋と既橋・蔵前橋では、避難時間が一部で増大。



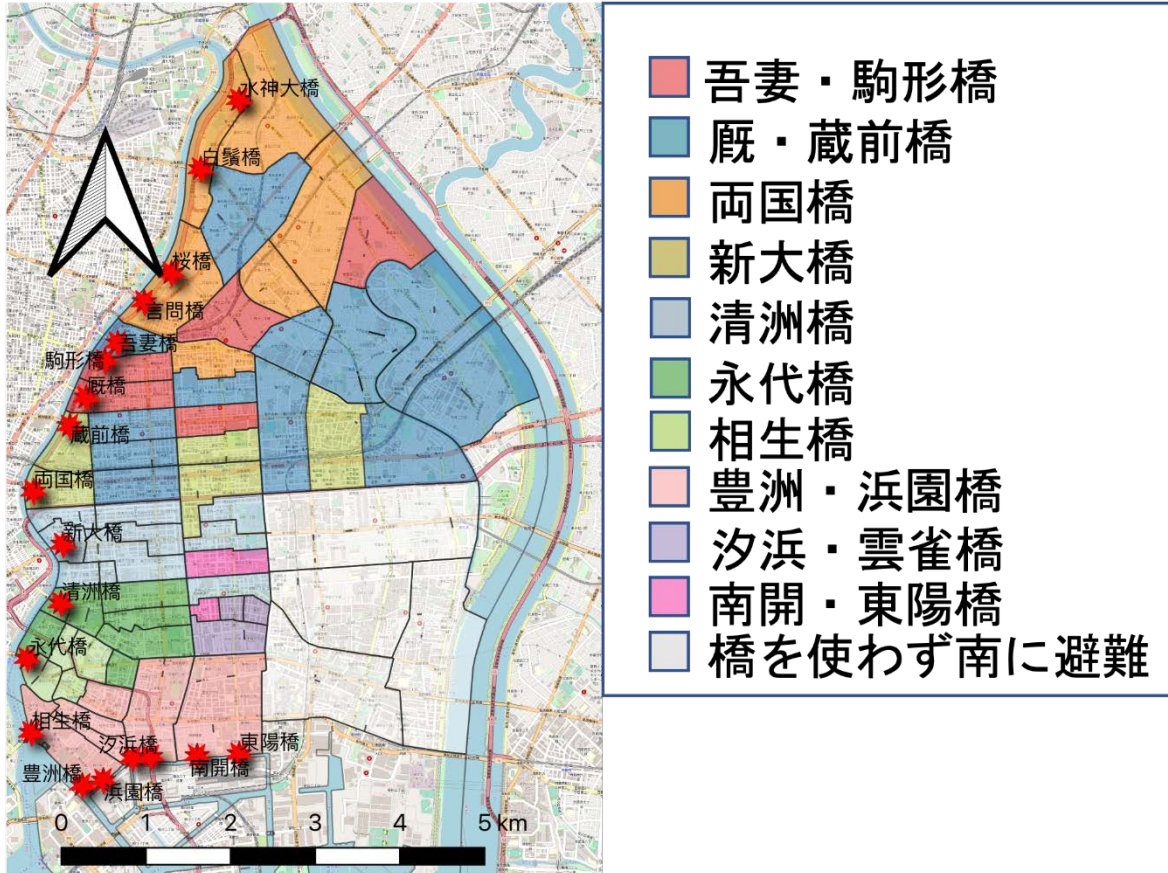
両国橋において、  
洪水到達時間が短い地域(墨田)と橋梁周辺の地域(向島・業平)の避難開始時間→3時間前



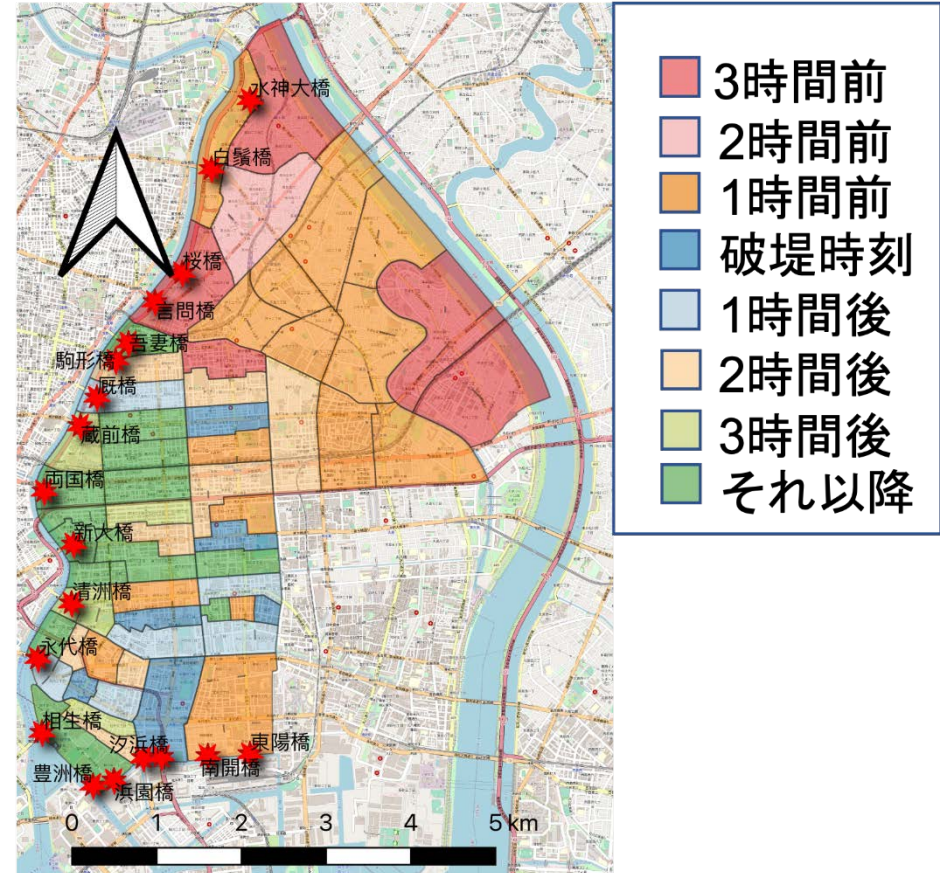
町名	避難開始時間(堤防決壊時刻基準)	洪水到達時間
墨田	<u>3時間前</u>	0.03時間後
八広	1時間前	0.2時間後
京島	1時間前	0.9時間後
堤通	1時間前	1.8時間後
向島	<u>3時間前</u>	2.6時間後
業平	<u>3時間前</u>	3.7時間後

全ての地区で時間差避難により避難時間が減少。

各地区と使用する橋梁の組み合わせ



避難開始時間



各地区と使用する橋梁の組み合わせ・時間差避難の有効性を示すことができた。  
 →ゾーニングにより、破堤直前後でも少ない待ち時間で避難が可能

- 現状では、堤防決壊直前に避難を開始すると一部の橋梁に避難民が集中し、避難終了前に氾濫水が到達。
- ⇒ 堤防決壊直前に避難を開始しても全員を避難させることのできる方策の検討

## 手法

- ボトルネックとなる橋梁の通行容量と使用する人数のバランスを考慮した、橋梁と地区の組み合わせ決定
- 時間差避難の実施

## 結果

- 地区と橋梁の組み合わせ決定により破堤直前からでも域外への避難が可能なことがわかった。
- ゾーニングを導入し、各地区ごとに時間差避難を行うことにより個人の避難時間を大幅に減少できることがわかった。

## より総合的な避難方策の検討が必要

- 江東デルタ地帯に限定せず、浸水域全体における避難方策の策定
- 事前の広域避難や緊急時の垂直避難、氾濫直前の避難を複合的に考慮した避難方策の策定

## より実践的なシミュレーションの作成が必要

- 想定される様々なシナリオを考慮し、複数地点の同時決壊や住民特性なども考慮した精緻な避難行動シミュレーション等をもとに橋梁以外の箇所でもボトルネックやグリッドロックなどが発生しないかの検討





内閣府 第20回大規模水害対策に関する専門調査会報告  
参考資料集より抜粋



ハザード	河川洪水	津波	暴風・高潮
リードタイム	3～6時間	30分～数日	3日～数日
ハザードの進行速度	徒歩速度以下	自動車～ジェット機	自転車～自動車
予測不確実性	高い	低い	低い

時間交通容量 (人/h) = A: 密度 (人/m<sup>2</sup>) × B: 速度 (m/h) × C: 歩道幅員 (m) × D: 荷物による低減率

速度 = { 1.356 - 0.341 × 密度3.5 (人/m<sup>2</sup>) } × 3600 (秒を時間に換算) × 荷物による速度低下0.95  
フルーインの式に基づく

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が「大規模・広域避難に関する定量的な算出方法～江東5区における検討～」より引用

## 破堤直前後の徒歩での避難

洪水到達時間

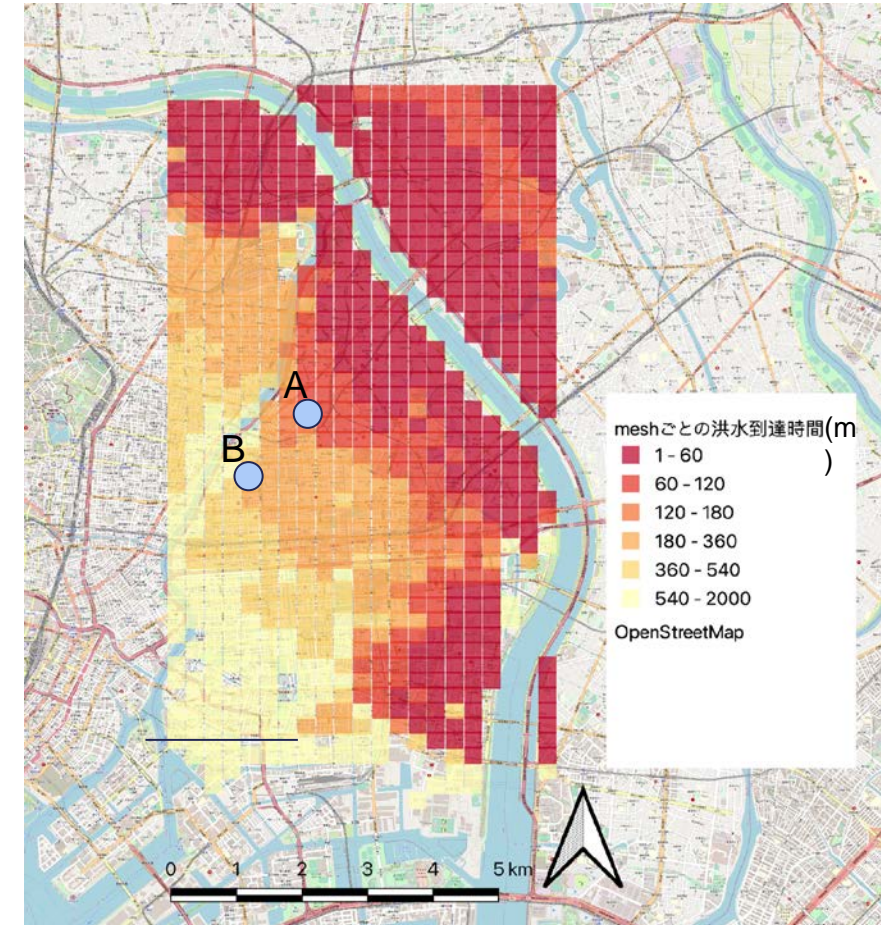
地点 A(2.5km): 2時間以上

地点 B(3km): 3時間以上

堤防付近を除いて、洪水の進む速度は  
歩行速度以下にすらなる。

「氾濫水は拡散に伴い、（破堤箇所近くで）14km/h→  
（破堤箇所より数百mで）約5 km/h→  
（数kmで）約1 km/hのように減速しながら、一定速度になる」

(末次ら.2019)



各地点の洪水到達時間  
((c)OpenStreetMap contributors(に加筆))

全町を人口の多い順に $Q_i$  ( $i=1,2,3,\dots$ , 町の数)とする。そして各町の人口を $P_i$  ( $i=1,2,3,\dots,59$ )とする。  
時刻 $t_i$ において、 $Q_i$ は使用する橋梁を決定する。  
また各橋梁 $B_k$  ( $k=1,2,3,\dots$ , 橋梁の数)は交通容量 $C_k$ を持つ。さらに各時刻 $t_i$ において各橋梁は $gap\_time_{ki}$ という固有の値を持ち、初期状態では「 $gap\_time_{k1}$  = 各橋梁における洪水到達時間」とする。

$t = 1$

$Q_1$ について最寄り3つの橋( $B_a, B_b, B_c$ とする)を抽出する。

時刻 $t_1$ において $B_a, B_b, B_c$ が持つ、 $gap\_time_{a1}, gap\_time_{b1}, gap\_time_{c1}$ に関して  
 $gap\_time'_a = gap\_time_{a1} - P_1 \div C_a$   
 $gap\_time'_b = gap\_time_{b1} - P_1 \div C_b$   
 $gap\_time'_c = gap\_time_{c1} - P_1 \div C_c$   
を計算する。

3つの $gap\_time'$ のうち最大の値を取る橋梁が選択される(ここでは $B_a$ であるとする)。

使用する橋梁の決定を受けて、  
 $gap\_time_{a2} = gap\_time'_a$   
 $gap\_time_{b2} = gap\_time_{b1}$   
 $gap\_time_{c2} = gap\_time_{c1}$   
を設定して $t = 2$ の操作に続く。

$t = 2 \sim$  町の数 まで同様の計算を行い、全ての町において使用する橋梁が決定する。

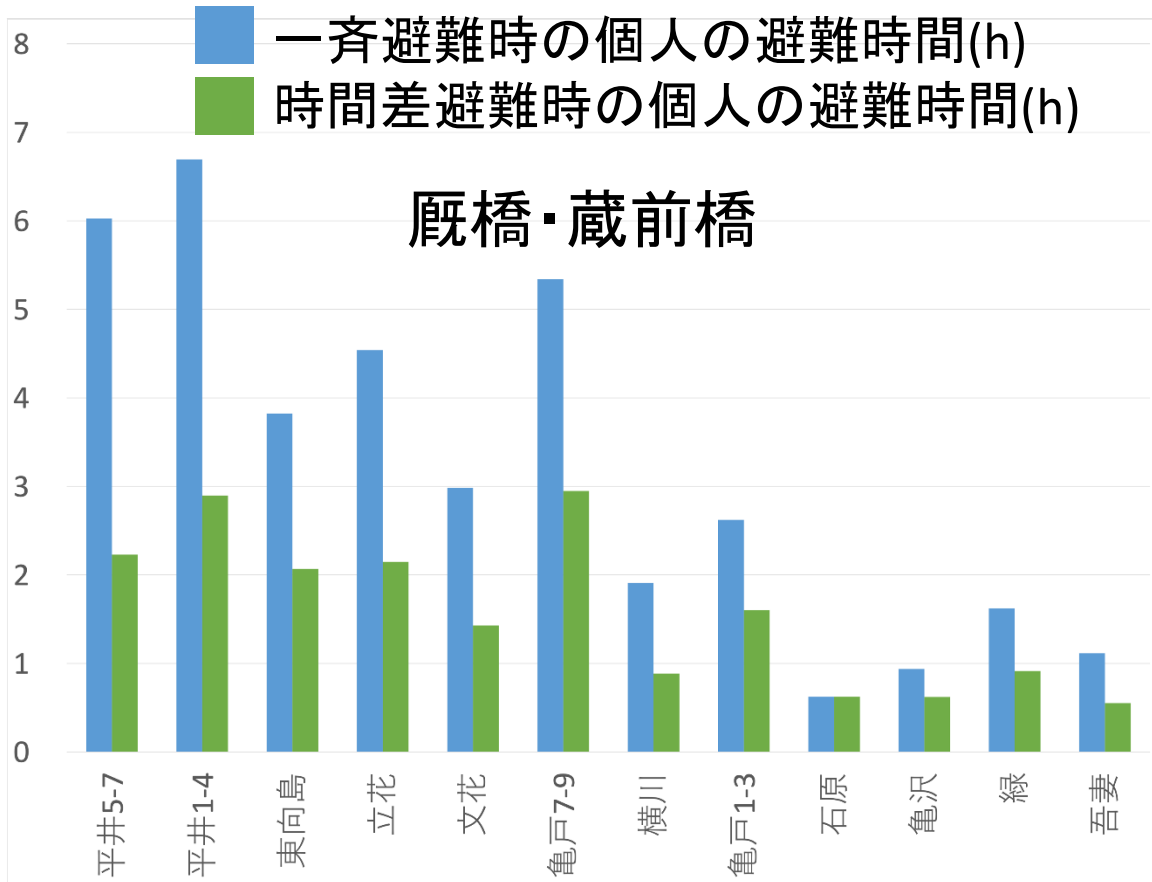
避難時間 = 橋梁までの移動時間 + 橋梁に到着してから通過するまでに必要な時間

橋梁までの移動時間 = 避難開始地点から橋梁までの距離( $km$ )  $\times$  道路直線比(1.28)  $\div$  移動速度( $3.5km/h$ )

橋梁に到着してから通過するまでに必要な時間 = (橋梁部の残存人口 + 町の人口)  $\div$  通行容量



厩橋・蔵前橋において、避難開始時間→破堤3時間前



町名	避難開始時間(堤防決壊時刻基準)	洪水到達時間
平井5~7	<u>3時間前</u>	0.1時間後
平井1~4	<u>3時間前</u>	0.1時間後
東向島	<u>2時間前</u>	0.8時間後
立花	1時間前	1.2時間後
文花	1時間前	1.4時間後
亀戸7~9	1時間前	1.7時間後
横川	2時間後	4.1時間後
亀戸1~3	2時間後	4.4時間後
石原	4時間後	6.3時間後
亀沢	5時間後	6.9時間後
緑	6時間後	7.3時間後
吾妻	9時間後	11.7時間後

全ての地区で時間差避難により避難時間が減少。

