

**洪水・高潮氾濫からの大規模・広域避難に関する
基本的な考え方と定量的な算出方法について
(実地検証に向けた提案)**

目次

1. 本稿の目的	1
2. 大規模・広域避難の特徴と検討全体の流れ	3
2. 1 大規模・広域避難の課題	3
2. 2 大規模・広域避難を考える上で重要な視点	5
2. 3 大規模・広域避難の検討全体の流れ	8
3. 大規模・広域避難の具体的な検討手順	11
3. 1 手順1 基本となる対象地域と災害の設定	11
3. 1. 1 基本ケースにおける対象地域の設定	12
3. 1. 2 大規模・広域避難対象者	12
3. 1. 3 基本ケースにおける対象災害の設定	13
3. 2 手順2 域外避難・域内避難の組み合わせ・配分	15
3. 2. 1 全居室が水没するおそれがある居住者数	16
3. 2. 2 氾濫流により家屋流失のおそれがある居住者数	16
3. 2. 3 浸水が長時間継続するおそれがある居住者数	17
3. 2. 4 浸水区域に含まれるが立退き避難の対象としない地域の居住者	19
3. 3 手順3 移動困難者の避難先の確保	20
3. 3. 1 入院・入所者数の算出と避難行動	21
3. 3. 2 在宅移動困難者数の算出と避難行動	22
3. 3. 3 近距離避難可能人数の算出	26
3. 3. 4 避難施設等の改善	28
3. 4 手順4 決壊後における浸水区域内からの救助可能性の検証	30
3. 4. 1 決壊後の救助完了の目標期間と救助手段	30
3. 4. 2 ボートによる救助可能数の算出	31
3. 4. 3 ヘリによる救助可能数の算出	35
3. 4. 4 ボートの必要数の算出	36
3. 4. 5 ヘリの必要数の算出	38
3. 5 手順5 大規模・広域避難に要する時間の算出	39
3. 5. 1 ボトルネック箇所の特定	40
3. 5. 2 交通手段別の需要量の算出	41
3. 5. 3 徒歩による避難時間の算出（自由意思に委ねた場合）	44
3. 5. 4 自動車による避難時間の算出（自由意思に委ねた場合）	48
3. 5. 5 鉄道による避難時間の算出（自由意思に委ねた場合）	52
3. 5. 6 避難時の事故対策	56
3. 5. 7 避難時間の短縮方策	58

3. 6 手順6 避難勧告等の判断基準の設定	63
3. 6. 1 交通条件を考慮した避難開始時間の設定	63
3. 6. 1 避難開始を判断するための災害予測の検討	65
3. 7 手順7 大規模・広域避難の避難先の確保	67
3. 7. 1 自主避難先の確保	67
3. 7. 2 浸水解消後の早期帰還	69
4. これをもとに実地で検証する事項	71

1. 本稿の目的

水害からの避難の在り方については、「避難勧告等に関するガイドライン」（内閣府 H29.1）（以下、「ガイドライン」という。）、「指定緊急避難場所の指定に関する手引き」（内閣府 H29.3）等において示されているところであり、これらに基づいて、市町村が避難勧告等の発令基準や、避難計画等の検討をすることとされている。しかし、三大都市圏をはじめ、海拔ゼロメートルのような低地帯が広がっている地域において、大河川の洪水や高潮により氾濫が発生した場合には、その浸水域の広さ、避難対象人口の膨大さ、浸水継続時間の長さから、これらのガイドライン等のみでは通用しない事態が想定されている。

事実、三大都市圏において大規模・広域避難計画の立案に向けて検討が進められている地域もあるが、現時点においては概念的な整理、あるいは特定分野における整理に留まっている。例えば、立退き避難をとる者と屋内安全確保をとる者の最適な配分、立退き避難に要する時間の算出、立退き避難を実現するための長時間先の水位等の予測、避難先の確保、避難行動要支援者の避難の在り方等の避難計画の立案に必要な項目について、定量的かつ網羅的に算出している地域はまだない。

そこで、本稿においては、

- ①浸水域の居住人口が膨大で数十万人以上の立退き避難者が発生すること
- ②浸水面積が広大で行政界（市町村・都府県）を越える立退き避難が必要となること
- ③浸水継続時間が長期にわたるため屋内安全確保のみでは対処が困難なこと

といった特徴を有し、これまでのガイドライン等をそのまま適用することができない避難形態を「大規模・広域避難」とよび、その計画立案に必要な基本的な考え方を整理するとともに、定量的な算出方法を提示することを目的としている。本稿の内容は、中央防災会議 防災対策実行会議の下に設置された「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」（以下、「WG」という。）において、墨田区、江東区、足立区、葛飾区、江戸川区（以下、「江東5区」という。）を事例として、第4回まで検討した成果を基に、基本的な考え方と定量的な算出方法について整理したものである。

今後は、江東5区における具体的な検討を引き続き進めるとともに、江東5区以外の地域において、地域住民・行政・関係機関等に受け入れられるかどうか、課題解決にさらに有効な考え方がないか、算出方法が各地の実情に適合するかどうか、より適確な算出方法がないか等、考え方・算出方法について各地域において検証をしていく必要がある。また、この考え方・算出方法については、江東5区における避難を取り巻く現状、例えば、人口構成、ライフラインの耐水化、排水施設、交通網、避難施設、備蓄状況、住民意識等を前提としたものであるが、各地域において状況は異なるものであろうし、また様々な対策を講じることにより、これら各事項の状況を改善し、大規模・広域避難の実現性をより高めることが可能である。一方で、事項毎に状況改善のしやすさ、改善による効果の違いがあり、それらについての分析も、本稿における算出方法を適用することで可能となる。

以上のように、本稿は、大規模・広域避難を必要とする地域において、計画立案のための考え方と具体的な概数把握のための定量的な算出方法を提示したものであり、これを活用することで、各地域が抱

える課題と対策の効果を定量的に把握することが可能となる。

今後、大規模・広域避難が必要とされる各地域において、本稿を参考にして具体的な避難計画立案に向けた作業を進め、その作業過程で明らかになった課題を WG にフィードバックすることが求められる、それらを踏まえ、本稿記載事項の修正・充実を図る予定である。さらに、今後の WG においては、複数水害の同時発生等のより過酷な災害事象を考慮するとともに、避難対象とする地域を江東 5 区に限定せずに首都圏低地帯全般に拡大して検討を進め、これらの検討過程において明らかとなるつつある制度面の改善策、避難先の確保方策等についても検討する予定である。

2. 大規模・広域避難の特徴と検討全体の流れ

大規模・広域避難が必要となる地域においては、通常の避難と同じ考え方が通用しない状況が多く存在する。まずは、三大都市圏において大規模・広域避難が必要とされる地域・災害の特徴を分析し、通常の避難との違いを述べる。

2. 1 大規模・広域避難の課題

本稿においては、次の3つの特徴を持った大規模・広域避難について取り扱う。

- ①浸水域の居住人口が膨大で数十万人以上の立退き避難者が発生すること
- ②浸水面積が広大で行政界（市町村・都府県）を越える立退き避難が必要となること
- ③浸水継続時間が長期にわたるため屋内安全確保のみでは対処が困難なこと

これらの特徴を有している大規模・広域避難については、通常の避難と異なり、次に示すような課題を抱えている。これらの課題はあまりにも大きくて複雑に絡み合っていることから、検討が継続的になされている地域であっても、具体的な避難計画までは策定されていないのが実情である。

氾濫区域内における避難（以下、「域内避難」という。）に関する課題

浸水継続時間が長期間に及ぶことが予想され、その間はライフラインが途絶すること等が想定される。また、避難者数が膨大であるため、多くの人が域内避難を行った場合、警察、消防、自衛隊等による救助が難航し、数日以内では救助しきれないおそれがある。このことから、浸水区域内に留まる人数が増えるほど、人的被害リスクが増大するおそれがある。

氾濫区域外における避難（以下、「域外避難」という。）に関する課題

避難者数が膨大であるため、多くの人が広域避難を行った場合、避難者が集中する駅や橋梁において大混雑の発生が予想される。それにより、群集雪崩や将棋倒しの発生等の大事故が発生したり、避難途中で氾濫に巻き込まれたりするおそれがある。これらを防ぐためには、避難のためのリードタイムの確保、事故を未然に防ぐための交通誘導等の実施や、氾濫の危険性が高まった際の域外避難から域内避難への切り替え等、広域避難を実現するためのオペレーションが必要となる。

また、大混雑の発生に加え、浸水が想定される範囲が広域であることから、かなり早い段階から避難を開始する必要があるが、精度が低い予測に基づく避難判断とならざるをえず、空振りが続くことにより住民が計画通りの避難行動をとらないおそれがある。

膨大な避難者の避難先確保については、周辺の他自治体に確保する必要があり、この調整には多

大な労力と時間が必要となる。さらに、混雑を避けるために様々な交通手段・経路へと避難者を配分することとなるため、各避難者にとって利用可能な避難施設は交通手段・経路によって変化する。

域内避難と域外避難にまたがる課題

域内避難と域外避難（大規模・広域避難）との組合せを、地域全体でどのように考えるかという課題がある。域内避難を増やし過ぎると浸水域に取り残された人を救助しきれなくなり、域外避難を増やし過ぎると避難時の混雑を助長してしまうおそれがある。このようなことから、浸水リスクや避難特性、対象住民の属性等から、適切な組合せを考える必要がある。

また、通常の避難においては市町村が主体となるが、大規模・広域避難において国と都府県が具体的にどのような役割を担うべきかという観点について、今後 WG において整理する予定である。

2. 2 大規模・広域避難を考える上で重要な視点

上記の課題を踏まえ、大規模・広域避難を考える上で、通常の避難と異なって、特に重要となる視点を以下に記す。

視点1 避難対象者全体を考えた最適化

通常の避難においては、最も安全だと思われる避難開始タイミング、避難経路、避難先等を最終的には各個人で判断することとしている。すなわち、行政が避難勧告等で避難開始タイミングを情報提供したり、ハザードマップで指定緊急避難場所を明示したりしているが、最終的には各個人の自発的な意思に基づいて避難行動をとることとされている。

一方、大規模・広域避難においては、各個人にとっての最適な避難行動が混雑の激化を招く等、他者の避難行動を困難にしたりリスクを上昇させる場合がある。例えば、ある個人にとっては早めの避難をせずに氾濫の危険がほぼ確実になる直前まで避難判断をすることが最適な避難行動であっても、そのような判断を多くの避難者がしてしまうと、大混雑により各個人が予期していた時間では避難が完了せず、多くの逃げ遅れが発生するおそれがある。また、別の個人にとっては、立退き避難せずに高層階に留まり救助を待つことが最適な避難行動であっても、大勢がそのような避難行動をしてしまうと、浸水後数日以内に救助しきれずに二次的な人的被害が発生するおそれがある。

このように、各個人に避難行動を完全に委ねてしまうと、全体としてはリスクを増大させてしまうおそれがある。全体としてのリスクを最小化するために、大規模・広域避難においては、避難対象である全体を考えて最適化を図ることが必要となる。そのためには、最適化のための統一的な考え方、計算方法が必要となる。そして、各個人が、行政が立案した避難計画を理解し、協力して避難行動をとることが必要である。

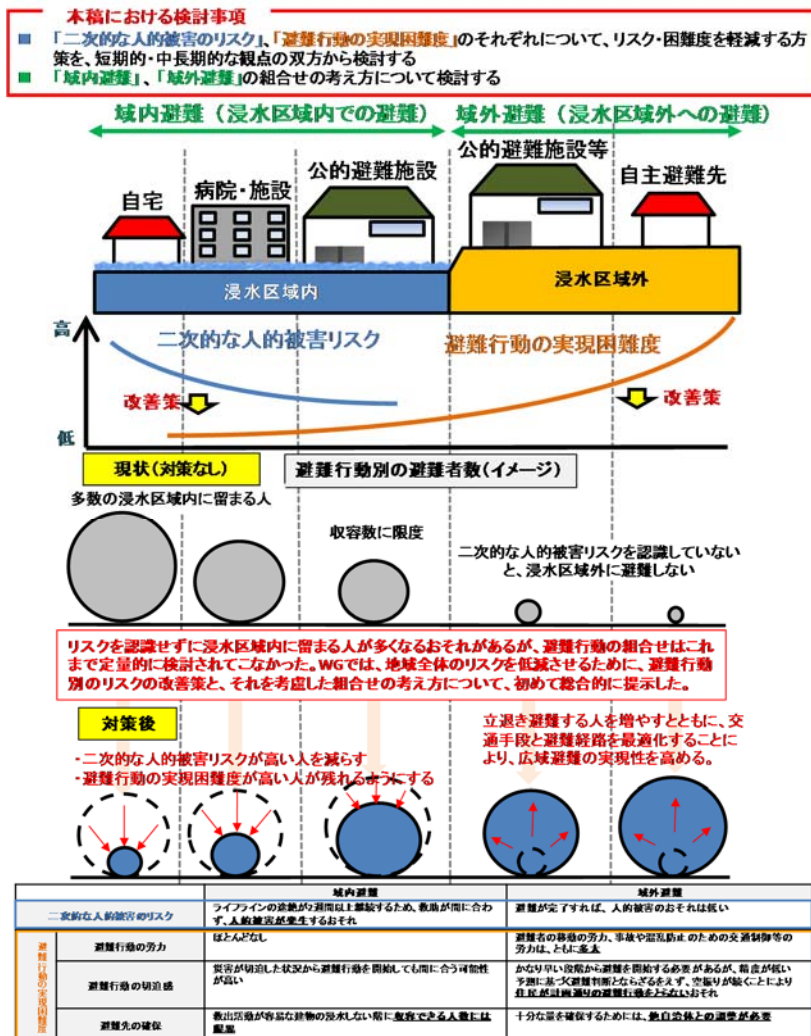


図 1 域内・域外避難それぞれのリスク

視点 2 検討手順

通常の避難においては、課題は限定的であり、なおかつ相互に影響していない場合が多い。一方、大規模・広域避難においては、厳しい制約条件下で各人が避難行動をとることとなるため、あらゆる資源を最大限に活用することとなり、ある課題を改善しようとする、別の課題がより深刻になるという事態が生じることが多い。その一例として、次のようなものがある。

浸水域の要救助人数を少なくしようとすると、屋内安全確保数を減らし、立退き避難者数を多くすることとなるが、そうすると避難時の混雑が助長されるため、早い段階での避難開始が必要となる。早期避難を実現しようとすると、避難のためのリードタイムを確保するための長時間先の災害予測が必要となるが、予測時間を長くすると予測の精度が落ちてしまい、避難計画そのものの実効性を揺るがし兼ねなくなる。

このように、一つの課題を解決しようすると、他の様々な課題を惹起する場合がある。しかし、一度に

全ての課題を解決するには、あまりにも課題が複雑過ぎる。

このように、大規模・広域避難は課題が複雑で、一度に全ての課題を解決することは困難であることから、相互影響の少ないように課題を分類して段階的に検討を進め、フィードバックを繰り返すことを前提としつつも、可能な限り手戻りが少なくなるような検討手順をとることが必要となる。

視点3 実効性の確保

大規模・広域避難において、最適な計画を立案したとしても、避難者及び関係機関がその計画に従って動かなければ、課題を解決したことにはならない。上述したとおり、避難者個人にとっての最適な避難行動と、避難者全体を考えた場合のそれとは異なるため、各個人にとって全体最適と個人最適の差なるべく小さくなるような計画とする等により、各個人にとっても理解し、協力しやすいような避難計画とし、計画が機能するようにしなければならない。それに加え、全体最適と個人最適の違いの観点とは別に、「災害発生の蓋然性の高まりと避難行動開始のタイミング」の課題がある。この課題は通常の避難においても課題となっているが、大規模・広域避難においてはより顕著な課題となる。

仮に、災害発生の蓋然性が低い段階で避難を開始しようとした場合、相当時間的余裕のある段階から立退き避難を始める等の対応になり、そのような避難行動を標準としてしまうと、空振りの頻度があまりにも多くなることから、避難計画そのものに対する信頼がなくなり、かえって避難率が下がってしまうおそれすらある。一方、蓋然性が相当程度に高くなってからの避難計画とすると、混雑により大勢の人が避難しきれないため、浸水域内に留まる人数が多くなり、実効性は確保されるものの、浸水後の二次的な人的リスクが非常に高い避難計画となってしまう。

このように、避難計画において全体の安全度を高めるといふことと、その実効性を高めるといふことは相反する場合もあるため、両者のバランスをとりつつ、避難計画を立案することが非常に重要な視点となる。なお、本稿内で後述する住民聴き取り調査によれば、浸水リスクを正しく認識すれば適切な避難行動がとられる可能性が高くなることが判明している。避難計画の立案と並行して、浸水リスクの周知活動、適切な避難行動の普及啓発に努めることが、避難計画の実効性を高めるためには重要である。

以上の3つ視点に基づき、大規模・広域避難については、各個人での判断で避難行動を求めるこれまでの避難の考え方とは異なり、行政において避難計画を立案し、避難対象者はその避難計画に沿って避難行動を採ることが求められる。大規模・広域避難においては、各個人の避難行動が他者の避難行動の困難度やリスク等に影響を与えるからである。

ただし、行政が提示する避難計画は全体のバランスを考えた上での計画であるため、避難者各個人が自らの判断で十分な時間的余裕を持って避難行動すること等により、他人の危険度を上げることなく、自らの安全度をより高めることについては奨励されるべきものである。

2. 3 大規模・広域避難の検討全体の流れ

以下に、検討全体の流れを示す。

検討手順としては、まずは全体の避難行動を割り振るために「域内避難・域外避難の組合せ・配分」を実施する。その後は、域内避難の課題事項を解決するための「浸水区域内の避難施設容量と移動困難者数」、「救助日数」の分析を実施し、並行して域外避難の課題事項を解決するために「浸水区域外までの避難に要する時間」、「避難勧告等の判断基準の設定」、「浸水区域外の避難先の確保」を実施する。さらに、これらを踏まえ、「国・都府県の関わり方」、「計画の実効性の確保」という避難行動全体にまたがる課題事項を検討する。

そして、全体でのバランスがとれているかどうか、局所的に無理が出ていないか等を、実地での検証を通じて確認していくことになる。

(緑字:本稿で基本的な考え方を整理

青字:今後議論を深める事項)

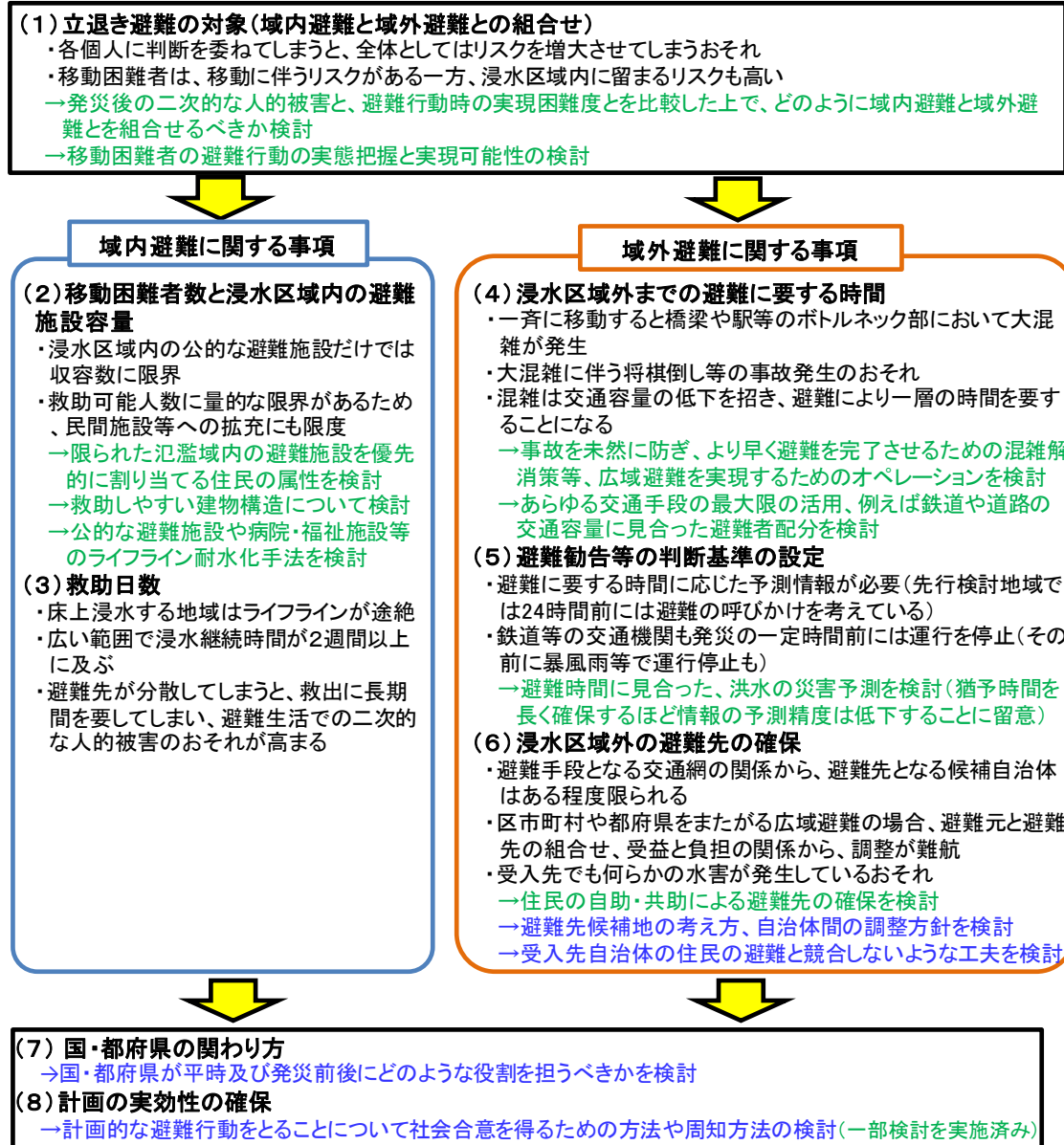


図 2 大規模・広域避難における検討手順と検討事項

次図は、この検討手順を東京低地帯の江東5区に当てはめた場合の流れである。

江東5区全住民 251万人

- 二次的な人的被害リスクの高い避難行動を回避するため、屋内に留まることはせず立退き避難を基本とする。
- 一方、大混雑を抑制するため、立退き避難の対象を限定する。

A: 立退き避難の対象を限定する

- 床上浸水継続3日未満の地区に居住する住民は屋内安全確保で対応^(※1)するものとし、立退き避難の対象は「**全居室水没**」または「**床上浸水継続3日以上**」または「**家屋倒壊等氾濫想定区域**」に該当する住民**174万人**に限定する

(※1) 江東5区住民を対象としたWEBアンケートでは71%の住民が協力的意向、水・食料を3日以上備蓄していると回答した人は57%

立退き避難対象区域の人口 174万人

- この174人は立退き避難を行うこととする一方、立退き避難が困難な人(移動困難者)に限っては、浸水区域内に留まることも可とし、浸水区域内の公的な避難所を優先的に配分する。
- ただし、在宅の移動困難者については、救助の観点から自宅に留まらず、避難所に避難することとする

応用ケースの検討を踏まえ、全体方針の再検討

B: 移動困難者は、立退き避難を基本としつつ、5区内での避難も可とする

- 病院・福祉施設等の**入院・入所者2万人**とその付添支援者**1万人**は、施設内で**屋内安全確保も可とする**^(※2)
- **長距離移動が困難な人**については5区内の公的施設(容量**16万人**)への避難も可とする^(※3)
- **3日程度での救助を目指す**^(※4)

(※2) 常総水害被災施設からの聴き取りでは、入院入所者の立退き避難は困難であり、屋内安全確保のための対策を行うことが現実的との結果

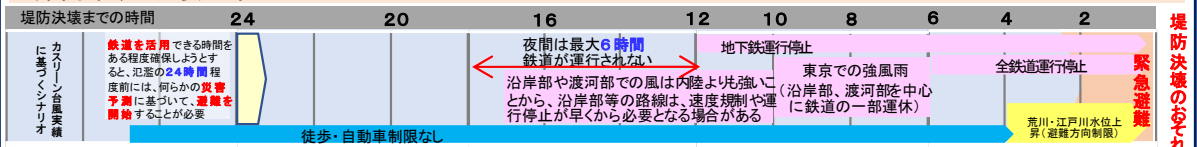
(※3) 江東5区における在宅要配慮者の総数は27万人

(※4) 荒川右岸10KP決壊だと、病院・福祉施設・避難施設への救助対象者39,000人に対し、救助可能人数は1万7,000~2万1,000(人/日)程度

5区外への立退き避難対象 155~174万人

C: 24時間前には5区外への立退き避難を開始する必要がある

- 浸水域外まで、**個人の自由に委ねれば17時間以上、移動手段・経路等を理想的に分散できれば3時間程度**^(※5)であるが、**計画実行の不確実性や、鉄道の運行停止**^(※6)等を考慮し、**災害発生24時間程度前には災害予測を実施して避難開始する必要がある**



(※5) 徒歩・自動車・鉄道による避難可能人口のうち、およそ半分を鉄道が占める

(※6) 暴風雨により運行停止するおそれがあることに加え、氾濫の12時間前には地下鉄が、6時間前には全鉄道の運行が停止する(乗客・乗員の安全確保、車両待避のため)

D: 5区外の公的避難施設は最小限とする

- 行政界を越えた公的避難施設確保のための調整を円滑に進めるため、**親戚宅、通勤先等の自主避難先の確保を推奨**^(※7)とともに、公的避難施設へ避難した人についても、決壊地点の確定後、速やかに5区外から5区内に**帰還**することとする(浸水した地区の住民は5区内の非浸水避難施設へ)

(※7) WEBアンケートでは45%の人が自主避難先に避難する意向

図3 本稿における検討の流れ(対象地区:江東5区)

3. 大規模・広域避難の具体的な検討手順

前述した特徴と視点を踏まえ、本章では大規模・広域避難の計画立案のために必要となる検討手順を記す。なお、この考え方に沿った具体的な検討例として、東京低地帯を紹介する。

避難計画は、対象とする災害の様相やその時の交通条件等に応じて、いくつか用意しておく必要がある。一方で、あまりにも場合分けが多いと、住民の理解が進まないことにより、かえって避難の実行性を低くしたり、混雑を助長するおそれもあることに留意が必要である。

本章においては、全般的な考え方を枠組みで記述し、その下にその具体例としての東京低地帯（地域設定後は江東5区）に関する記述を掲載している。江東5区の事例において例示した数値は、平成22年の国勢調査を基にしたものであり、全て概数である。また、四捨五入の関係から合計値があわない場合がある。

3. 1 手順1 基本となる対象地域と災害の設定

大規模・広域避難については、課題があまりにも大きくて複雑に絡み合っているため、どこから手をつけて良いか分からないという事態に陥りがちである。そのような場合、具体的な検討をしないままに、「全員が立退き避難する」、「どうせ逃げないから、屋内安全確保をすればいい」といったような、抽象的かつ極端な議論になってしまうおそれがある。

このような事態を回避するために、問題の本質を損なわない程度に、検討の対象とする地域を絞り、災害についても基本的なケースを設定して、検討を開始することが望ましい。まずは基本的なケースで検討をし、その地域における災害特性に習熟した上で、困難かつ広範囲な応用ケースで検討をするという手順を踏むと、検討すべき事項の整理を着実に進めやすくなる。

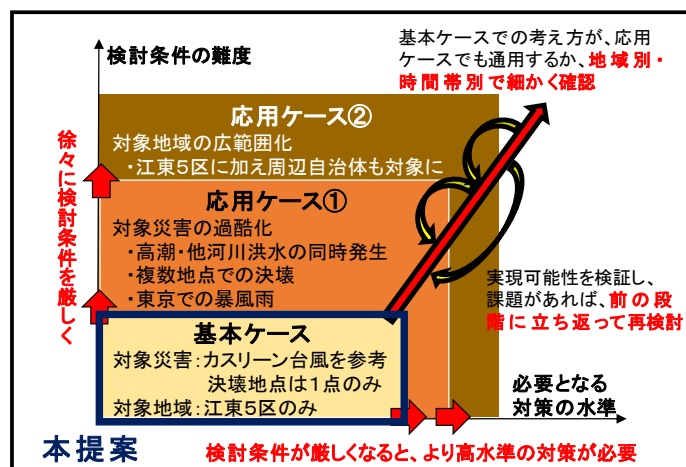


図4 本稿で取り扱う基本ケースの考え方

3. 1. 1 基本ケースにおける対象地域の設定

対象地域を最初から広範囲に設定すると、考慮すべき事項が多くなり、作業量の多さから検討が停滞し、かえって本質が捉えにくくなるおそれがある。考え方を検討・整理するのに適切な範囲であり、なおかつ大規模・広域避難の特徴を最も有している地域を抽出する。

具体的には、次のように、不利な避難条件を抱える地域を選択する。

- ・水害外力に関する条件（浸水深が深い、浸水継続時間が長い、氾濫流の到達時間が短い）
- ・社会状況に関する条件（人口が多い、避難距離が長い、移動手段が限定的）

【東京低地帯の場合】

東京のなかでも避難条件が特に厳しい江東5区を具体的な検討対象とし、その検討に目処がつけば、検討対象を周辺自治体にも広げることとする。

江東5区は、その中心部を荒川が流れ、隅田川、江戸川、東京湾に囲まれた地域であり、海拔ゼロメートル地帯が広がる等、多くの水害リスクを抱えている。また高台までにも一定の距離があり、東京低地帯の自治体のなかでも最も厳しい避難条件を有する地域である。荒川の氾濫による浸水深は3m超（2階も床上浸水）の割合が多く、浸水継続時間が2週間以上に及ぶ地域の割合も多い。また、荒川に接しているため、堤防決壊後、間を置くことなく氾濫流が到達することとなる。さらに、江東5区は250万人を超える人口を擁している。浸水しない地域への立退き避難には、必ず河川を渡る橋梁を経由する必要があり、隣県にまで避難先を広げる必要がある。

一方で、江東5区周辺にも低地帯は広がっており、大規模な水害の発生前には周辺自治体の住民も避難が必要となっているおそれが高いため、そのことによる交通の混雑や避難先の確保がより一層厳しくなることも念頭に置きつつ、検討を進める必要がある。

3. 1. 2 大規模・広域避難対象者

大規模・広域避難の対象となる地域には、住民のほか、通勤や出張、買い物、旅行等により浸水区域に来ている者がいる。時間帯により、これらの住民以外の滞在者は異なってくる。外部から流入している人がいる一方で、外部へと流出している住民もいる。つまり、大規模・広域避難の対象となる住民が対象区域外へと出ている場合がある。時間帯によって異なる、これら流入者と流出者のバランスを把握し、最も厳しい時で検討を進める必要がある。観光地等では、平日と休日の違いも把握する必要がある。

なお、流入者が流出者よりも多く、居住人口よりも多い人数での避難を考えなければならないような曜日・時間帯については、早期段階から避難の必要性を呼びかけ、地域外からの不要不急の流入を抑制させる対策が有効となる。大規模・広域避難が必要となるような事態となる前には、巨大台風の襲来や長期間に及ぶ豪雨等、何らかの予兆があることも想定されるため、その予兆を捉えて流入を抑制する

ことも可能である。

後述するとおり、これらの算出にあたっては、基本的に居住人口とパーソントリップ調査（以下、「PT 調査」という。）を用いることで、これらの滞在者を考慮することができる。昼夜間人口が居住人口を上回る場合は、後述する外内交通や外外交通の係数の設定に留意が必要である。また、これらの滞在者の考慮は、自治会単位や駅単位等、局所的な人口変動については、PT 調査では捉えきれないことから、これらの考慮が必要となる。

【江東 5 区の場合】

PT 調査を用いて、昼夜間の人口を調査した結果、居住人口を上回ることにはなかった。なお、墨田区と江東区の一部で、昼間人口が夜間人口を上回る地域があった。昼間人口の方が多い地域については、地域別に詳細に検討する際に、地域外からの流入者が多い事実に留意した検討とする必要がある。

3. 1. 3 基本ケースにおける対象災害の設定

対象災害については、周辺河川の同時決壊、多地点決壊、避難時の暴風雨、停電・事故等の避難行動に不利になるような事象を、どこまで含めるのが論点となる。最初からあまりにも極端で過酷な事象を想定すると、課題が複雑になり過ぎることでかえって本質を見失うことになりかねない。頭の整理がしやすく、かつ本質的な課題を意識しながら検討ができるような災害を選定することが重要である。

そのような災害の選定方法については様々な考え方があろうが、本稿では地域にとって過去最も被害をもたらした災害を検討対象とすることを推奨する。既往最大災害を検討対象にすると、関係者にとってもイメージしやすく、また合意がとりやすい。さらに、周辺河川の状況、風雨の状況等の避難行動の制約条件も明確となる。既往最大洪水における被害記録が残っていなかったり、あまりにも条件が厳しすぎたりする場合には、地域における過去の主要な災害を基に検討する必要がある。加えて、基本ケースにおける検討を円滑に進めるために、決壊地点を複数設定するのではなく、まずは一点とした方が検討が円滑に進むであろう。

一方で、水防法においては、避難を考える災害の規模は想定最大規模とされており、国土交通省、都道府県等は、想定最大規模の浸水想定公表を進めているところである。そこで、避難行動の制約条件については既往最大災害を参考としつつ、その災害規模については、国土交通省等が公表している想定最大規模に引き伸ばすことが妥当と考えられる。

基本ケースでの検討が終われば、次は応用ケースとして、周辺河川の決壊や強風雨による避難行動の制約、複数地点の決壊等を考慮し、検討条件を厳しくする。

【江東 5 区の場合】

江東 5 区においては、カスリーン台風（昭和 22 年）が既往最大災害である。カスリーン台風時には、荒川は上流部で決壊し洪水流の一部が上流で氾濫していたにもかかわらず、江東 5 区地点にとっての

氾濫の影響を及ぼす基準地点である岩淵において、既往最高水位を記録している。70 年も前の災害であるため、水位等の記録が不十分でないこともあるが、残された記録を基に、避難行動の制約条件を設定することとする。

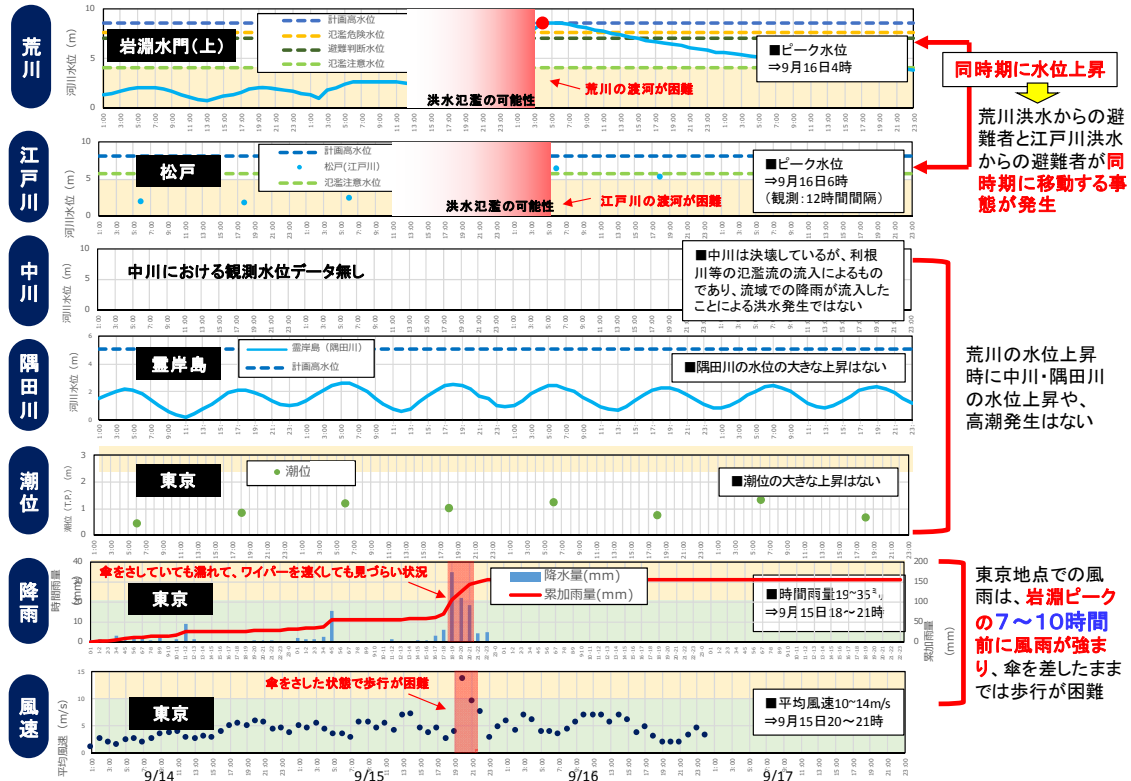


図 5 カスリーン台風時の気象状況

カスリーン台風時には、荒川下流部（岩淵地点）の水位が上昇するのとほぼ同時刻に江戸川下流部（松戸地点）の水位も上昇していた。しかし、江戸川以外の周辺河川の洪水及び沿岸部の高潮に関しては、顕著な水位変動はない。検討対象地域である江東 5 区においては、岩淵地点の水位がピークとなる時刻の 7～10 時間前に時間雨量 19～35 ミリ、平均風速 10～14m/s となっており、「傘をさしたままでの歩行が困難」となる程度の風雨である。ただし、この記録は都心部でのものであるため、沿岸部や渡河部においては風はさらに強かったおそれがあることに留意が必要である。

以上で、カスリーン台風時における周辺河川等の状況が整理できた。大河川の氾濫については、荒川と江戸川が同時に水位が上昇し、決壊するという災害シナリオとなる。

次に、荒川と江戸川の洪水による被害を設定する。荒川、江戸川について、それぞれ最大規模の浸水想定が H28.5 と H29.7 に公表されているため、それによる浸水深と浸水継続時間を用いる。立退き避難をしようとしている時は、どちらの河川のどの地点が決壊するかは不明であるため、両河川の浸水想定（浸水深・浸水継続時間）の最大包絡を用いることとする。また、決壊地点については一点のみとして検討を進める。その結果、江東 5 区における荒川・江戸川による氾濫については、浸水深については 3m 以上、浸水継続時間については 2 週間以上となる割合も多く、被害が深刻であることが分かる。

応用ケースにおいては、荒川・江戸川堤防の複数地点の決壊や、江東5区を縦貫して流れる中川や綾瀬川の氾濫の影響、東京湾高潮の影響、さらには東京都心部における強風雨等が、避難行動を妨げることも考慮に入れて検討することとなる。

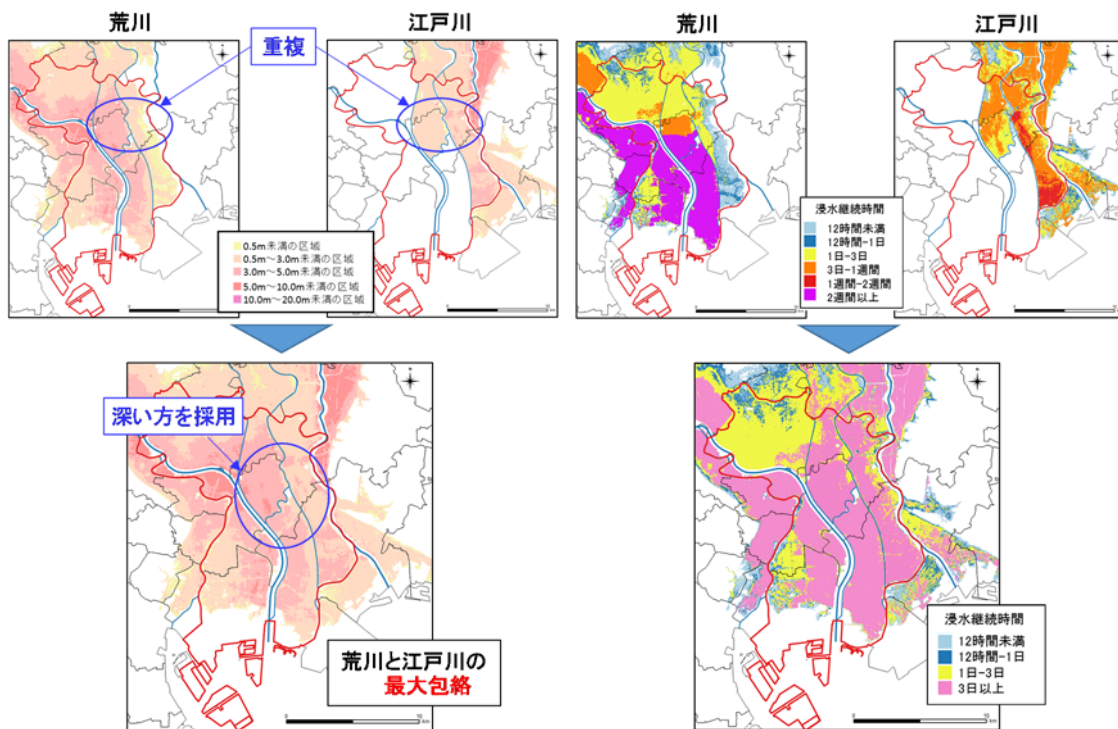


図6 最大浸水深¹

図7 最大浸水継続時間¹

3. 2 手順2 域外避難・域内避難の組み合わせ・配分

対象地域と災害を決めたことにより、立退き避難の対象者数を特定することができる。しかし、通常の避難と同様の基準で立退き避難をすれば、対象者数の膨大さから立退き避難に非常に長い時間を要することとなり、また移動時の混雑に伴う事故の発生確率も高めてしまう。そこで、大規模・広域避難においては、立退き避難者の対象者数を適切に配分することが重要となる。この配分に際しては、立退き避難をすることのリスクと浸水域内に留まることのリスクとを比較し、量的なバランスをとることが必要である。

ガイドラインにおいては、洪水・高潮から立退き避難が必要となる状況として、「浸水深が最上階の床高を上回るおそれがある場合（全居室が水没）」、「氾濫流により家屋流失をもたらすおそれがある場合」、「浸水が長期間継続するおそれがある場合」が挙げられている。ここでは、ガイドラインの考え方を踏まえつつも、大規模・広域避難の特徴を考慮し、最後の基準の「浸水が長期間継続する」について、具

¹ 荒川水系洪水浸水想定区域（H28.5）、利根川水系江戸川浸水想定区域図（H29.7）を基に作成

体的な設定方法を提案する。その際、浸水後に実施される救助活動においては、人員・資機材等の制約から、浸水が長期間継続する区域に集中して実施せざるを得ないことが想定されるため、立退き避難の対象から外す区域については救助活動が来ないことを前提にする必要がある。このように、大規模・広域避難の特徴を踏まえた立退き避難の配分の方法を、具体的に提案する。

また、立退き避難の対象者については、地域特性や避難時の時間帯等の状況により、居住者以外にも浸水域内に滞在している人、例えば通勤者や旅行者がいることにも留意が必要である。

なお、通常の避難においては、立退き避難の対象とはなっていないとしても、各個人の意思により立退き避難することについて妨げていない。しかし、大規模・広域避難においては、対象者以外の立退き避難が避難時の混雑や避難先の量的不足を助長することから、立退き避難の対象となっていない住民については、立退き避難ではなく屋内安全確保をとるか、または立退き避難を選択する場合には相当早期に避難を完了させるとともに、自らで避難先を確保するよう要請することが望ましい。

3. 2. 1 全居室が水没するおそれがある居住者数

想定される浸水深が最上階居室の床上にまで達する場合、すなわち全居室が水没する住宅の居住者については、原則として、立退き避難の対象とする。

対象とする水害による浸水想定²の計算メッシュ毎に、住宅の最上階の階数別（1階、2階、3階、4階以上等）に人口を算出し、最上階まで水没する住宅の居住者数を集計する。なお、住宅の床上高は50cm、1階の階高は270cmとする²。

【江東5区の場合】

荒川と江戸川の各地点の堤防が決壊した場合の浸水深をメッシュ単位³で算出し、各メッシュにおいて最上階の階層別の人口を算出し、両者を照らし合わせて算出する。両河川の浸水区域が重なる地域については、深い方の浸水深を採用する。

その結果、全居室が水没する居住者数は81万人となった。

3. 2. 2 氾濫流により家屋流失のおそれがある居住者数

氾濫流により家屋流失のおそれがある区域については、「家屋倒壊等氾濫想定区域」として浸水想定区域への明示が進められているところである。この区域に立地する住宅の居住者については、原則として、立退き避難の対象とする。ただし、頑強な高層ビル等については、ただちに立退き避難が必要との判断にはならない場合もある。

² 「水害の被害指標分析の手引」（H25 試行版）国土交通省、平成 25 年 7 月

³ 氾濫シミュレーション等で使用しているメッシュを活用する。例えば 25m×25m メッシュ等となる。

【江東5区の場合】

荒川・江戸川の包絡における「家屋倒壊等氾濫想定区域」に該当するメッシュの人口は、17万人となった。

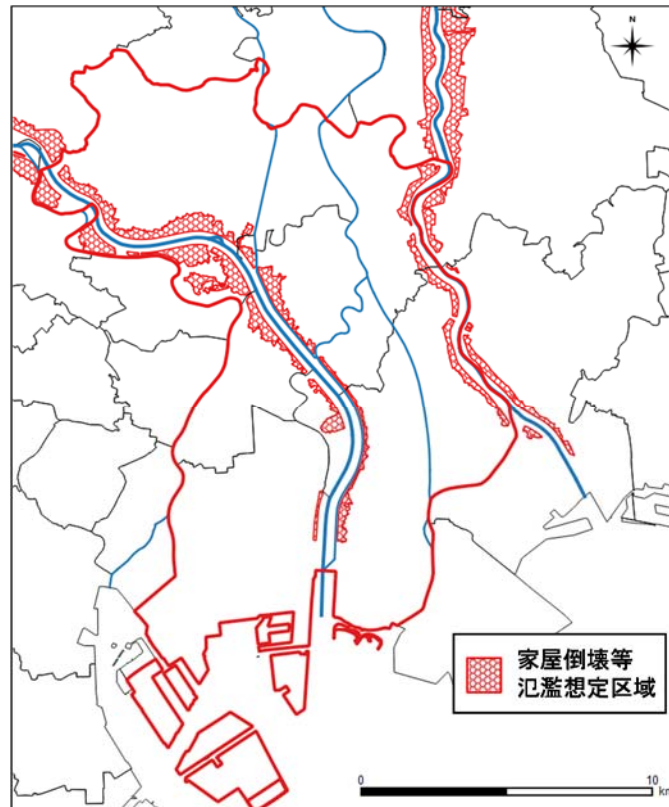


図8 家屋倒壊等氾濫想定区域図⁴

3. 2. 3 浸水が長時間継続するおそれがある居住者数

ライフラインの耐水状況や供給形態にもよるが、床上浸水となる浸水深 50cm 程度から徐々にライフラインの供給が停止し始める²。

電力については、床上浸水しコンセントまで浸水が及ぶと当該住宅が停電する。浸水深が1mを超えると、路上開閉器や受電盤も浸水し、中高層階も含めて、停電に至るおそれがある。さらに、停電に伴って電話も不通となる。電力及び電話については、非常用発電等により一定時間の使用が可能となる場合もあるが、3日以上非常用電源燃料の備蓄に努めている施設は少ない。例えば、江東5区内の病院・福祉施設を対象としたアンケート調査⁵（以下、「病院・福祉施設調査」という。）によると、非

⁴荒川水系洪水浸水想定区域（家屋倒壊等氾濫区域）（H28.5）、利根川水系江戸川浸水想定区域図（家屋倒壊等氾濫区域）（H29.7）を基に作成

⁵ 江東5区、内閣府等が、江東5区内の浸水継続時間3日以上病院（99機関（診療所を含む））及び福祉

常用電源の運転継続時間を3日以上確保できているのは、病院で17%、福祉施設で5%であった。また、途中で燃料補給しようとしても、浸水継続中は燃料供給車が到達できないため、事前の備蓄が尽きた時点で停止することとなる。

水道については、直圧で送水可能な3階程度までは使用可能であるが、それ以上の階層については増圧ポンプが浸水し機能停止した時点で使用できなくなる。水道が使用できないことに伴い、水洗トイレも使用できなくなる（ただし、大量の水備蓄があれば、その備蓄量に応じて使用可能である。）。

都市ガスについては、すぐには供給停止とはならないものの、浸水が長期にわたったり、漂流物の衝突等により、徐々に使用不能となる割合が増加していく。浸水深が2mを超えると、ガスはほぼ停止する。

このように、浸水深が床上浸水以上となると、ライフラインの供給が途絶し始め、その復旧作業は浸水が解消してからとなる。つまり、床上浸水が始まってから浸水が解消するまでの間は、浸水による孤立することに加え、ライフラインの供給が停止することから、避難生活が過酷を極めることが想像される。

以上のことから、浸水継続時間が長期間に及ぶ住宅の居住者については、原則として、立退き避難の対象とする。

浸水継続時間の目安としては、水・食料等の備蓄状況を勘案し、3日程度が妥当ではないかと考えられるが、検討対象地域における立退き避難の困難度が高ければ、平時からの十分な備蓄の呼びかけやライフラインの耐水対策等を実施することを前提に、1週間程度まで延長することも考えられる。

【江東5区の場合】

荒川と江戸川の各地点の堤防が決壊した場合に、床上浸水となってから浸水が解消となるまでの時間をメッシュ単位で算出し、あらゆるパターンのうち当該地域において最も時間が長いものを、浸水継続時間として定義する。この浸水継続時間について分析すると、江東5区人口251万人のうち、非浸水・床下浸水が22万人、1日（24時間）未満が9万人、1～3日（24～72時間）が64万人、3日（72時間）以上が155万人となる。したがって、立退き避難の対象区域を浸水継続時間3日以上とすると、江東5区人口251万人のうち立退き避難対象者は155万人となる。

3日以上を立退き避難の対象とすることの妥当性を確認するため、江東5区や内閣府等は、江東5区住民を対象として大規模水害時の住民の避難意向について、インターネットによるアンケート調査⁶（以下、「住民インターネット調査」という。）を実施した。この調査において、非浸水・床下浸水・床上浸水継続3日未満の地域の住民を対象に集計すると、行政から自宅待機を要請された場合に、「自宅に留まる」との回答は71%であり、3日分以上の水・食料を備蓄している住民は57%であった。また、平成27年9月関東・東北豪雨において鬼怒川氾濫により被害を受けた常総市において住民を対象に中央大学が実施した対面調査⁷（以下、「常総水害調査」という。）では、「備蓄が十分にあり家族も

施設（445施設）を対象に実施した郵送によるアンケート調査。

⁶ 江東5区、内閣府等が、20歳以上の江東5区居住者2,000名に対して、平成29年1月に実施した、インターネットによるアンケート調査。対象者はインターネット調査会社の登録モニターであり、5区の標本数の割合は各区の床上浸水人口の比率になるように調整して回収した。

⁷ 中央大学理工学部河川・水文研究室が、常総市における浸水地域または避難勧告等が発令された地区の住民

一緒にいられて浸水解消の見込みが分かる場合、最大何日間、自宅で耐えることができるか」との問いに対し、3 日未満との回答が 56%、3 日以上との回答が 35%であった（その他・不明・未回答が 10%）。

以上を踏まえ、浸水継続時間が長期に及ぶ地域の住民の立退き避難を円滑に行うために、浸水継続時間が 3 日未満の地域の住民に対して自宅待機の協力を求めることは、現実的に妥当だと考えられる。なお、留まる対象となる住民の理解や協力を得られるように努めるとともに、住民が十分な備蓄をしておくことが必要である。

3. 2. 4 浸水区域に含まれるが立退き避難の対象としない地域の居住者

これまでの検討の結果、立退き避難の対象外とされた地域の居住者については、浸水区域に含まれていても、屋内安全確保を要請することとなる。

通常の避難であれば、立退き避難の対象とはなっていないくても、各個人の意思により立退き避難することについては妨げていない。しかし、大規模・広域避難においては、立退き避難時の混雑を緩和することや、避難先の量的確保が難しいことから、立退き避難の対象となっていない住民については、屋内安全確保をとるか、または立退き避難者の移動の支障とならないよう相当早期に立退き避難を完了させるよう要請する。

【江東 5 区の場合】

江東 5 区人口 251 万人のうち、全居室が水没する居住者数は 81 万人、氾濫流により家屋流失のおそれがある居住者数は 17 万人、浸水継続時間 3 日以上となる居住者数は 155 万人となる。三者の重複を排除すると、立退き避難の対象者数は、174 万人となる。

それ以外の人口 77 万人に対しては、屋内安全確保をとることを要請する。そのうち立退き避難を希望する住民に対しては、よりリスクが高く立退き避難が必須である住民が移動する際の支障とならないように、相当早期に立退き避難を完了するように要請することになる。後述するように、江東 5 区において立退き避難対象者に対して避難を呼びかけるのは、水害発生のおそれのある 24 時間程度前となるため、立退き避難対象地域でないが立退き避難を希望する住民については、24 時間より前に立退き避難を完了するように要請する。

516 名に対して、平成 27 年 11 月に実施した、自宅訪問によるヒアリング調査。ただし、訪問時に留守であった住民に対する留置アンケート調査。

3. 3 手順3 移動困難者の避難先の確保

前節において、立退き避難の対象者を設定した。しかし、その対象者の中には要配慮者も含まれており、要介護者、重度障害者等、移動そのものに大きなリスクを抱えている者もいるため、その避難行動については特に考慮する必要がある。特に、大規模・広域避難における立退き避難については移動距離が非常に長くなるため、遠方への移動が特に困難な避難行動要支援者（以下、「移動困難者」という。）については、移動距離が短くても済むような避難行動も選択肢として採ることができるようにしておく必要がある。

一方で、移動にリスクを抱える移動困難者であっても、例えばライフラインが途絶すると生命の危険があるような人については、多少の移動リスクを冒しても避難生活の設備が整っておりライフライン途絶の心配のない施設への避難が望ましい。このように、移動困難者は、避難行動のリスクが高い上に避難生活のリスクも高い場合が多いことから、各人の事情にあった避難行動・避難先を選択できるようにしておくことが望ましい。このような考えに基づいた避難計画を立案するために、以下の手順で作業を進める。

まず最初に、移動困難者数を算出する。最も典型的な移動困難者は、病院に入院している患者、福祉施設等に宿泊入所している入所者である。入院・入所者については、その施設内に医療・介護等に携わっている職員が常駐していること、そのほとんどが施設外に出ることですら相当の時間・労力を要すると考えられることから、施設内での屋内安全確保措置を採らざるを得ない人が多いと考えられる。また、入院・入所していなくとも、同等程度に移動が困難な在宅の移動困難者も存在する。在宅移動困難者については、福祉部局等の協力も得て、避難行動を支援できる家族の存在等の事情も踏まえて、一人ひとりについて状況を分析して特定していく必要がある。しかし、立退き避難の対象者数は膨大であるため、一人ひとりの状況を把握することは容易ではない。そこで、本稿においては統計資料等から概算で算出する方法を提案する。

次に、在宅移動困難者の避難先を設定する。在宅移動困難者全員が自宅において屋内安全確保をしてしまうと、避難先が浸水域内に点在し、安否確認が困難を極めてしまうおそれがあり、実際の救助に費やす時間よりも搜索に費やす時間の方が多くなり、かえって全体の救助に支障を来しかねない。そこで、在宅移動困難者については、避難行動及び避難生活を支援する者も伴い、近距離の避難先に避難することとする。ただし、寝たきり等、外出すら困難な移動困難者については、予め所在地や連絡方法を登録しておく等により、屋内安全確保措置をとることも選択肢とする。

在宅移動困難者の避難先は、そこに至るまでの移動リスクが少ないほど望ましいため、可能な限り近距離の避難先を設定し、その避難可能人数を算出する。ここで算出した避難可能人数と、先に算出した避難者数を比較し、避難しきれないようであれば、避難施設を増やすか避難者を絞る検討が必要となる。

最後に、移動困難者の避難生活を少しでも改善するための方法を提案する。病院、福祉施設に加え、学校等の避難施設におけるライフライン耐水化や、救助しやすい構造等を提案する。

3. 3. 1 入院・入所者数の算出と避難行動

入院・入所者数については、立退き避難の対象とする地域に立地している施設のみを対象とし、都道府県・市町村の福祉保健部局による統計資料を用いて算出することができる。入院者数については医療施設の病床数から算出する。入所者数については、介護保険施設、障害者福祉施設、児童福祉施設等のうち入所者（宿泊者）の定員数から算出する。

各施設は定員まで入院・入所しているとは限らないが、便宜上、病床数・定員数と同数として設定する。例えば、病床利用率⁸を用いることも考えられるが、後で救助可能性を検証することも考慮し、安全側にみて病床数・定員数と同数とする。また、入院・入所者だけで避難生活を送ることは困難であることから、避難時における職員や家族等の付添支援者の人数を想定することが必要であるが、その設定根拠として有効な資料が見当たらないため、ここでは入院・入所者の半数として設定する。

入院・入所者については、浸水区域外へと避難することが望ましいものの、その移動困難性から当該施設内において屋内安全確保をしたり、施設が全水没する場合は、近距離の避難施設へと移動することも避難行動の選択肢として可とする。

水害で被災し孤立した経験を持つ病院や福祉施設職員から、入院・入所者が事前に立退き避難することに関する聴き取り結果⁹は、次のとおりである。

- ・短距離・長距離問わず、移動そのものに相当な負担がかかる
- ・浸水後に救助されるよりは事前に避難する方が負担は少ないが、長距離の移動については移動手段・体制が確立できないと現実的ではない（事前の避難にはかなりの時間とコストがかかる）
- ・事前に長距離の避難をするためには、かなり早い段階での避難判断が必要であり、通常の人よりも空振りのリスクがさらに高くなる

このように、堤防決壊前に十分な時間的余裕を持って広域避難を行うことは非常に難度が高く、施設内において屋内安全確保のための対策を考えることが現実的だと考えられるとのことであった。

しかしながら、医療機器を使用していたり、避難生活ではパニックを起こしたりする等、ライフライン途絶時の避難生活そのもののリスクが非常に高い入院・入所者については、移動によるリスクと留まることによるリスクとを比較衡量し、よりリスクの少ない避難行動をとるべきである。

このように、入院・入所者の特性に応じて、浸水区域外への立退き避難をするか、施設内に留まるかのどちらが望ましいかは異なってくるため、入院・入所者についてはどちらの避難行動をとっても対応できるような計画とする。具体的には、浸水区域外への立退き避難者と、施設内での屋内安全確保者との割合については、対象地域への調査をして割合を設定するか、あるいは全員がいずれの避難行動を採っても対応できる数値を設定する。

⁸ 厚生統計要覧（平成28年度）「第2-41表 病院の病床利用率，病床の種類×年次別」によると、平成27年における全国の病床利用率は80.1%である。

⁹ 平成27年9月関東・東北豪雨により浸水し孤立した、きぬ医師会病院、水海道さくら病院、特別養護老人ホーム筑水苑の職員への、内閣府による聴き取り調査（いずれの施設も常総市に立地）。

【江東5区の場合】

東京都福祉保健局の統計資料¹⁰を基に算出した。立退き避難の対象とする地域に立地する施設における病床数は0.7万人、施設定員数は1.4万人であることから、入院・入所者数は合計2.1万人と見積もることができ、付添支援者はその半数である1.0万人と設定することができる。

江東5区内の「病院・福祉施設調査」によると、病院51施設のうち45%が「院外の浸水のおそれのない場所へ避難させる」という方針であるが、想定される受入先として、具体的な協定までを結んでいる施設はなかった。また、福祉施設192施設のうち44%が、「院外の浸水のおそれのない場所へ避難させる」方針であるが、想定される受入先として、具体的な協定までを結んでいる施設は1施設のみであり、その受入先は江東5区内の浸水区域であり、実質的に安全な避難先を確保できている施設はなかった。また、病院・福祉施設調査においては、「院外の浸水のおそれのない場所へ避難させる」患者に関する自由回答欄への記入として、「呼吸器、循環器の患者で医療機器を使用している患者」、「不安に伴いパニックに移行しやすい患者」、「自分で自律的に歩行できる人」等が記載されている。つまり、病院・福祉施設内で避難生活を送ることが困難、あるいは症状が軽く歩くことが可能な場合については、入院・入所者を別施設に移す、あるいは自宅に帰すという選択肢が候補になり得るが、具体的な受入先を確保できていないというのが実態である。

このことから、入院・入所者については、その施設内に留まる人と、現時点では具体的に検討はされていないものの将来的に受入先が確保できた場合には立退き避難をする人とに分かれることが想定される。以下の検討においては、全員が施設内に留まった場合と、全員が立退き避難をした場合のいずれになっても対応できるよう、入院・入所者と付添支援者の合計3.1万人を屋内安全確保、立退き避難の双方に計上することとする。

立退き避難が必要な入院・入所者の受入先施設との調整を進めたり、軽度の入院・入所者については家族に迎えに来てもらったりする等の対策を、各病院・施設において進めるよう呼びかけるとともに、それらの措置を踏まえて病院・施設内に留まる入院・入所者数を更新しておく必要がある。

3. 3. 2 在宅移動困難者数の算出と避難行動

立退き避難の対象住民数が膨大である一方、近距離の避難施設に避難可能な人数は限定的であることから、浸水区域外への長距離移動が困難な移動困難者を推計する必要がある。入院・入所者については、先に述べたとおり浸水区域外に避難しない場合は入院・入所している施設内に留まることを推奨しているため、近距離避難施設に避難できる対象とする住民は、在宅の移動困難者となる。その推計は以下の手順となる。

まず、検討対象としている自治体において、移動困難者となり得る要配慮者の人数を統計資料から算出する。候補としては、要介護・要支援の認定者、身体・知的・精神障害者、後期高齢者、乳幼

¹⁰ 東京都福祉保健局：社会福祉施設等一覧、医療機関名簿
障害者グループホームの定員数については公表されていないため含んでいない。

児、妊産婦等が考えられる。ただし、統計値は各分類の集計値しか存在しないため、重複を取り除く必要があることに留意が必要である。

これらの統計値については自治体単位となっており、立退き避難の対象地域に居住する数を統計資料から特定することはできないため、自治体単位で全数を算出したものに、自治体の全居住者と立退き避難対象者数との比率を乗じて、立退き避難が必要な在宅移動困難者数を算出する。加えて、家族等の付添支援者の人数を想定することが必要であるが、その設定根拠として有効な資料が見当たらないため、ここでは付添支援者は在宅移動困難者数と同数として設定する。

さらに、後述する近距離避難可能者数と比較して、在宅移動困難者数が多い場合、限定をする必要が生じる。例えば、要介護・要支援認定者については重度認定を受けている者に絞る、障害者についても全てを対象とするのではなく移動が特に困難と考えられる障害者に絞る、高齢者については要介護等の認定や障害者でない限りは対象としない、乳幼児については親が同行する場合はほとんどであることから対象としない、妊産婦についても産前産後間もない者に絞る等の対応が考えられる。一方で、移動困難と思われる人であっても、自動車等により、浸水区域外へと立退き避難をしたいという意向を持つ人も少なからず存在する。

他方で、要介護等の認定を受けていなくとも、実質的に移動が困難な者がいる場合もある。例えば、ケガや慢性的な病気の影響で長距離歩行が困難な人もいるし、介護認定を受けられるような身体状態であっても家族で介護しているため公的な認定を受けていない人もいる。

このように、どの人を移動困難者として近距離避難施設に優先的に避難できるようにするのかについては、精度の高い推計を統計資料のみから設定するのは困難であるため、地域の実情をよく知る福祉保健部局や民生委員等とも協力して、可能な限り個々人の実態を把握した上での設定が必要となる。なお、この設定には時間を要し、それを待っている他の検討項目の対応が遅れてしまうため、浸水区域外への立退き避難者と近距離避難施設へ避難者との割合については、対象地域への簡単なアンケート調査等により割合を設定するか、あるいは全員がいずれの避難行動を採っても良いように複数の数値を設定することで対応する。

なお、平成 27 年 9 月関東・東北豪雨において鬼怒川氾濫により被害を受けた常総市において、浸水域に取り残された被災者の救助活動に従事した者からの聴き取り調査（以下、「常総救助実態」という。）¹¹によると、被災者が点在してしまったり、緊急度のさほど高くない被災者が取り残されたりすると、次のような課題があることが分かっている。

- ・孤立者の所在地が曖昧であると、その搜索に多くの労力・時間を要してしまい、救助作業に労力・時間を割けなくなってしまう。
- ・浸水したことにより地図や外見だけでは建物や道路等の位置を確認することができないうえ、他地域からの応援部隊では土地勘もないため、現場の地形、ビルの構造や配置、道路の整備状況や幅員等の状況把握に時間を要する。
- ・他の孤立者が救助される姿を目の当たりにすると、緊急性の低い孤立者も救助を求める傾向が

¹¹ 平成 27 年 9 月関東・東北豪雨により孤立した被災者を救助した警察、消防、海上保安庁、自衛隊の職員への内閣府による聴き取り調査。

あり、現場で緊急度を判断するのが難しい。

これらのことから、在宅の移動困難者については自宅に留まるのではなく、可能な限り予め定めた近距離避難施設に集まることが望ましい。ただし、寝たきり等、外出すら困難な移動困難者については、予め所在地や連絡方法を登録しておく等により、屋内安全確保措置をとることも選択肢とすることも考えられる。

【江東 5 区の場合】

まず、浸水区域にかかわらず江東 5 区全体の在宅移動困難者の候補となる人数について、統計資料を用いて算出する。

江東 5 区における要介護・要支援認定者は 10.9 万人である¹² (①)。

障害者については、要介護・要支援認定を受けている人も一定割合いることが考えられる。厚生労働省の調査結果¹³によると、身体障害者、知的障害者については要介護認定との間に高い相関がある一方で、精神障害者についてはあまり相関が高くないことが分かっている。他方、精神障害者については入院している人も多いため、入院患者との重複を控除する必要がある。そこで、身体・知的障害者については 40 歳未満のみを、精神障害者については入院していないのみを集計対象とすることとする。その結果、江東 5 区の身体障害者人口に対して全国の身体障害者全体に占める 40 歳未満の割合 7.9%¹⁴を乗じることで、身体障害者は 0.7 万人となる (②)。同様に、江東 5 区の知的障害者人口に対して全国の知的障害者全体に占める 40 歳未満の割合 62.9%¹⁵を乗じることで、知的障害者は 0.3 万人となる (③)。江東 5 区の精神障害者人口に対して全国の精神障害者に占める入院していない者の割合 89.9%¹⁶を乗じることで、精神障害者は 1.7 万人となる (④)。

後期高齢者については、入院患者 (= 病床数 0.7 万人)、①要介護・要支援認定者、④精神障害者との重複も多いことから、これらの人数を控除しなければならない。なお、先に算出した②身体障害者、③知的障害者については、40 歳未満のみを対象としているため、控除する必要はない。具体的には、江東 5 区内の後期高齢者人口から、次の 3 つの数値を控除することで、後期高齢者は 18.3 万人となる (⑤)。

- ・江東 5 区の病床数に対して入院患者における 75 歳以上の割合 49.3%¹⁷を乗じたもの、
- ・江東 5 区の要介護・要支援者人口に対して全国の要介護・要支援者における 75 歳以上の割合 82.9%¹⁸を乗じたもの、
- ・先に算出した④江東 5 区の精神障害者人口 (入院していない者) に対して全人口に占める 75

¹² 2017 年 6 月要介護 (要支援) 認定者数 (独立行政法人 福祉医療機構)

¹³ 障害者に対する要介護認定基準の有効性について (厚生労働省：社会保障審議会障害者部会 (平成 17 年 4 月))

¹⁴ 平成 18 年身体障害児・者実態調査結果 (厚生労働省)

¹⁵ 平成 17 年度知的障害児 (者) 基礎調査 (厚生労働省)

¹⁶ 平成 25 年障害者白書 (内閣府)

¹⁷ 平成 26 年患者調査 (厚生労働省)

¹⁸ 2017 年 6 月要介護 (要支援) 認定者数 (独立行政法人 福祉医療機構)

歳以上の割合 13.3%¹⁹を乗じたもの

乳幼児（0～5 歳）と妊産婦については上述の数値とほとんど相関がないと考える。乳幼児については 12.6 万人²⁰（⑥）、妊産婦については 2.4 万人²¹（⑦）となる。

以上の①～⑦を合計すると、46.9 万人になる。この数値は江東 5 区全体の人数であるため、立退き避難対象地域の人口に変換すると、32.5 万人（=45.8×174/251）となる。さらに、このうち福祉施設に入所している住民 1.4 万人を引くと、在宅の移動困難者は 31.1 万人となる。これに同数の付添支援者がいるため、その合計数は 62 万人となる。

ここで、これらの在宅移動困難者がどの程度の割合で近距離避難施設への避難を希望するのか、さらにこの統計値からの数値には表れないものの実態として避難行動が困難な人がどの程度いるのかを把握する必要がある。そこで、江東 5 区内にある葛飾区東新小岩 7 丁目町会の協力を得て、当該町会内におけるアンケート及び聴き取りによる調査（以下、「住民聴き取り調査」という。）²²を実施した。

まずアンケートを実施し、世帯内に移動困難者がいるかどうかを調査した結果、550 世帯のうち 116 世帯が「江東 5 区外への移動が困難な者がいる」という回答であった。移動困難者がいる世帯について、支援により江東 5 区外への避難が可能かどうかで分類し、さらに支援があっても 5 区外への避難が不可能な世帯のうち要介護・障害者の認定を受けているか否かに応じて分類した。この 116 世帯のうち、聴き取り調査に応じていただいた 41 世帯については、聴き取り調査時に浸水区域内に留まるリスクや自宅に留まった場合の周囲への影響を丁寧に説明した結果、1 世帯を除く 40 世帯が浸水区域外を避難先とする意向を示した。このことは、リスク認識については丁寧な説明が必要とされること、対象住民がリスクを正確に認識すると避難行動が根本的に変化し得ることを示している。

なお、長距離移動の条件としては、自動車利用を挙げる世帯が 6 割以上（40 世帯中 25 世帯）となっていることに留意が必要である。後述するように、避難時間を短縮しようとすると、自動車避難については極力抑制した方がよいという分析結果が出ており、移動困難者が長距離移動をするために自動車を利用できるようにするためには、一般住民については自動車以外の手段での避難を要請する必要がある。

¹⁹ 平成 29 年版高齢社会白書（内閣府）

²⁰ 住民基本台帳による東京都の世帯と人口 平成 29 年 1 月

²¹ 東京都福祉保健局 母子保健事業報告年報（平成 28 年版）

²² 先行して町会内にアンケート調査を実施し（配布 977 世帯、回収 621 世帯、有効回答 550 世帯）、その回答において「江東 5 区内に避難する」と回答した住民 158 世帯に対して、追加の聴き取り調査を依頼し、64 世帯に対して聴き取りを実施。

表 1 住民聴き取り調査の対象者

		5区外に避難	5区内に留まる	ヒアリングの有無
合計(550世帯)		392世帯 (71%)	158世帯 (29%)	
移動困難者あり (116世帯)	支援があっても5区外に避難不可(53世帯)	認定等あり	35世帯	ヒアリング対象(A)
		認定等なし	18世帯	ヒアリング対象(B)
	支援があれば5区外に避難可能(66世帯)	46世帯	17世帯	ヒアリング対象(C)
	5区外に避難可能だが留まる(88世帯)		88世帯	ヒアリング対象(D)
	5区外へ避難する(346世帯)	346世帯		ヒアリング対象としない
移動困難者なし (434世帯)				

A. 支援があっても5区外に避難不可 (認定等あり)
 35世帯のうち、14世帯に対してヒアリングを実施
 > 認定等を受けている人の状況とともに、5区外に避難できない理由、5区外避難の可能性を把握

B. 支援があっても5区外に避難不可 (認定等なし)
 18世帯のうち、14世帯に対してヒアリングを実施
 > 認定等を受けていない人はどのような方か、また、5区外避難の可能性を把握

C. 支援があれば5区外に避難可能
 63世帯のうち、13世帯に対してヒアリングを実施
 > 認定等を受けている場合、5区外へ避難する際の条件等を把握

D. 5区外に避難可能だが域内避難 (健常者のみ)
 88世帯のうち、23世帯に対してヒアリングを実施
 > 5区内に留まる理由、5区外へ避難する際の条件等を把握

※ヒアリングのサンプルに偏りがある可能性があることに留意

表 2 聴き取り調査前後の避難先の意向

ヒアリング前	世帯区分		A: 支援があっても5区外に避難不可【認定等あり】(14世帯)	B: 支援があっても5区外に避難不可【認定等なし】(14世帯)	C: 支援があれば5区外に避難可能(13世帯)	世帯数合計
	5区内	自宅	5	6	1	33
	公共施設	8	8	4		
	その他	1				
5区外	自主避難先			6	8	
	公共施設			2		
ヒアリング後	世帯区分		A: 支援があっても5区外に避難不可【認定等あり】(14世帯)	B: 支援があっても5区外に避難不可【認定等なし】(14世帯)	C: 支援があれば5区外に避難可能(13世帯)	世帯数合計
	5区内	自宅				1
		公共施設				
		その他	1			
	5区外	自主避難先	9	10	12	40
公共施設		4	4	1		

⇒40世帯中31世帯(78%)が自主避難先に避難すると回答

※移動困難者がいない23世帯(D:5区外に避難可能だが域内避難)についても同様の結果となった
 ⇒ヒアリング後は全世帯が5区外に避難すると回答
 ⇒23世帯中21世帯(91%)が自主避難先に避難すると回答

【アンケート時から5区外に避難すると回答した8世帯】
 > 家族の支援を受けられることから5区外へ避難可能と回答
 > 8世帯中7世帯で、大規模水害時に広域避難が求められることを知っている等、**リスク認識を持っていた**

【避難先を変更した理由】
 ■ アンケート時には、域内避難を行うことによる二次的な人的被害のリスクの認識が十分でなかった
 ⇒55世帯中52世帯 (具体例)
 > ヒアリング前には、**浸水しはじめてから逃げると思い込んでおり**、支援があっても5区外への避難は不可能だと考えていたが、早い段階で避難開始するということであれば5区外に避難することは可能
 > リスクを正しく認識したことで、支援が受けられるかを改めて考え直した結果、**別宅の親族の支援が受けられると判断**

■ アンケート時には、**自宅で域内避難を行うことによる周囲への影響が十分に認識できていなかった**
 ⇒55世帯中3世帯 (具体例)
 > ヒアリング前には、**立退き避難を行うと周囲に迷惑をかけると誤解**をしていたため自宅に留まるとしたが、そのことが救助活動を困難にすることを認識し、5区外へ避難すると判断

3. 3. 3 近距離避難可能人数の算出

在宅の移動困難者の移動リスクを最小限にするため、可能な限り近距離にある避難施設を在宅移動困難者のために提供することが望ましい。避難施設は公的な施設とは限らない。地域によっては、民間施設と協定を結ぶ等により、避難先として確保している場合がある。このような民間施設も含め、在宅移動困難者の避難先として適切と考えられる全ての避難施設について、避難可能人数を算出する。

算出に必要な係数を次のとおり設定する。一般に、最低限の一人あたり専有面積として 1.65 m² (一畳程度) とされている。この面積は横になって睡眠を採るための最低限の面積である。これとは別に通路等を確保しなければならない。通路等を含めると一人あたりに必要な面積はその倍の 3.3 m²となる

²³。また、施設には、玄関、廊下、階段、トイレ等の避難生活を送ることができない空間もあり、また部屋の中にも机や椅子等が置いてあるのが普通であることから、その分の面積が使用できないことも考慮した有効率を設定する必要がある。有効率については、施設の種類によって多少の違いがあるが、一般的な施設内の配置を想定すると、避難施設として使われることの多い学校の教室については有効率は 0.65 とし、広い空間を持つスポーツ施設では 0.74 であった²⁴。両数値に大きな差がなかったことから、有効率は 0.7 で統一することとする。

ただし、これらの数値については、各地域の実情に応じて細かく設定できるのであれば、その方が望ましい。例えば、浸水後の避難生活については非常に困難が予想されるとしても、浸水区域内に留まらざるを得ない移動困難者があまりにも多いようであれば、避難者を多く収容できるように設定することも考えられる。

近距離避難施設への避難可能人数の算出は次のように行う。

まず、避難施設を抽出する。その避難施設は、「家屋倒壊等氾濫想定区域」に立地しない施設であることが条件である。当該区域にあっても堅牢な建物であれば避難施設とすることも考えられるが、移動する途中で氾濫が始まるおそれもあるため、流体力が強く作用する当該区域内の建物を避難先とすることは避けるべきである。抽出後、想定浸水深を基に、浸水しない階層の面積を合算する。その面積に 0.7 を乗じ、3.3 m² で除せば、避難可能人数を算出することができる。

以上により、避難可能数が算出されるが、その数値と避難者数とを比較し、避難しきれないようであれば、近距離の避難施設を拡充する対策を採るか、避難者（在宅移動困難者とその付添支援者）を絞るかのいずれかを選択する必要がある。

また、移動困難者以外の住民が、浸水区域外へと立退き避難せずに近距離避難施設へと避難してしまうと、移動困難者の避難先が物理的に足りなくなるおそれがある。そのような事態を防ぐためには、各近距離避難施設へと避難する在宅移動困難者を予め登録しておく等の措置を執ることに加え、その周知と協力を地域住民に呼びかける等の対策を検討し、平時から実施しておく必要がある。

なお、地震等の他の災害を想定して、各地方公共団体で施設毎に避難可能数を既に設定している場合がある。しかし、上記のように、避難者数と避難施設とのバランスを考慮したりする等、大規模・広域避難が必要となる地域においては、統一した考え方で避難行動の方針をつくる必要があるため、避難者可能数についても地方公共団体間の考え方は統一しておく方が望ましい。

【江東 5 区の場合】

江東 5 区においては民間事業者や集合住宅等と協定を結び避難先として確保している区もあるが、その総数が不明であるため、ここでは江東 5 区の域内に立地する公的な避難施設のみを対象として、避難可能人数を算出する。

²³ 平成 28 年熊本地震で被災した益城町の全避難所において、睡眠場所等と通路等との比率の平均は 0.5 であった。

また、兵庫県「避難所管理運営指針（平成 25 年版）」において、「避難者一人あたりの就寝スペース（内部通路分を含む）は 3 m²以上」とされている。

²⁴ 教室とスポーツセンターのそれぞれについて、代表的な事例から有効率を算出して設定した。

江東 5 区の域内において「家屋倒壊等氾濫想定区域」に含まれない公的避難施設のうち、浸水しない階層の避難可能人数は 16 万人となる。

ここで、先に算出した在宅移動困難者数とその付添支援者数 62.2 万人と比較すると、近距離の公的避難施設の避難可能人数はその 3 分の 1 にも満たない。したがって、近距離の公的避難施設に避難するのは、在宅移動困難者のなかでも特に長距離移動が困難な人に限る必要がある。なお、調査数は少ないものの、先に見た住民聴き取り調査においては、浸水区域で孤立するリスクを認識すると、在宅移動困難者であっても自動車等を使って浸水区域外へと広域避難したいという意向を持つ人がほとんどであったことから、各個人の避難行動の意向も考慮した上で、近距離の公的避難施設への避難者数を想定しておく必要がある。

この想定を確度の高いものとするには相応の時間を要するため、以下の検討においては、近距離の公的避難施設を定員いっぱいまで使用する場合と、全く使用しない場合との 2 つのパターンで考えることとする。これは、入院・入所者を 2 つのパターンで考えるのと同様である。

3. 3. 4 避難施設等の改善

救助を待っている間の避難生活において人的被害の発生を未然に防ぐため、浸水区域内の病院・福祉施設・避難施設については、浸水時の孤立に備えた対策をしておく必要がある。例えば、浸水により停電した場合であっても一定の電力を確保するための非常用電源と燃料の整備、ボートが着岸しやすい構造、ヘリポートの設置等が挙げられる。

また、当然ではあるが、在宅の移動困難者数と比較して、避難施設の収容可能数が少なければ、量的な確保策を採る必要がある。高層建物への無秩序な垂直避難は搜索に労力がかかり、かえって救助に時間を要してしまう結果になりかねない点に留意しつつ、例えば、民間の大規模商業施設や企業、大規模集合住宅等と協定を結ぶことにより、物理的な面積を確保すること等が考えられる。

さらに、逃げ遅れて自宅等に取り残される人も少なからずいることが想定されるため、その対策として安否確認を円滑に実施する方法を検討しておくことも重要である。

- ・出入口が広い
- ・幅広のスロープや階段が構造物の外側にあり、どのような浸水深でも進入・接岸が可能
- ・手すり等をまたがずにボートに乗船可能
- ・周囲に障害物がない

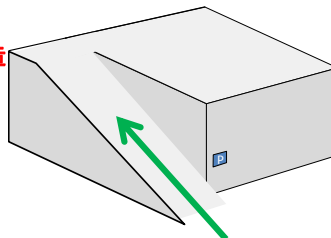


図 9 救助活動のしやすい建物構造

【江東 5 区の場合】

避難施設ではないが、墨田区庁舎では、600kW 規模のガスコージェネレーションシステムを導入しており、発電した電力は買電系統と連系され、全館を対象に供給される。この発電は、中圧ガス（中圧

導管からの直接供給) により、地区ガバナ²⁵よりも上流側からガス供給することができるため、浸水の影響を受けにくく、水害時においても供給が可能と考えられる。

江戸川区の松江小学校では、避難場所になる体育館を 2 階に設置するとともに、2 階の体育館や教室から校庭に直接連絡している階段を設けており、救助用のボートが階段に着岸しやすい構造となっている。20kw の発電量の太陽光発電と 3.2kw の蓄電池を備えており、停電時には商用電源から太陽光へ切り替えることができる。



図 10 テラスと繋がっている階段



図 11 体育館と校舎に接続している階段

江東区では区内の企業等と協定を締結し、水害時における一時避難施設を指定している。葛飾区では、広域避難（長距離の移動）が困難と考えられる要配慮者向けに、民間の大型商業施設とも協定を締結し、水害発生時には駐車場を一時避難場所として使用できるものとしている。

葛飾区の東新小岩七丁目町会においては、自治会内の逃げ遅れた住民の救助や食糧支援を自治会組織で実施する計画を立案している。自治会内に救助・支援を担う専門組織を設置するとともに、自治会でボートを購入し、定期的に操舵訓練・避難訓練を実施している。また、安否確認の方法として、各自宅等で紅白の旗を掲げることを決め、赤旗が掲げられている家及び旗が掲げられていない家に声かけをすることにより、搜索の労力を少なくする工夫をしている。



図 12 自治会住民の乗船体験



図 13 救援標示旗

²⁵ 供給事業者への聴き取り調査によると、2 m程度の浸水で供給停止するケースが多い。

3. 4 手順4 決壊後における浸水区域内からの救助可能性の検証

本節では、浸水後の救助可能性を検証する。

立退き避難対象地域の住民については、原則として広域な立退き避難をすることとしているが、移動困難者については、施設の許容量の範囲内で、浸水域内に留まってもよいとした。しかし、移動困難者は、避難行動だけでなく避難生活についても一般的な人より高いリスクを抱えているため、避難施設の設備にも配慮が必要であり、容態が急変した場合に対応できる体制を整えておく必要がある。

特に、浸水域内の施設については、ライフラインが途絶した状況で浸水が解消するまで孤立を余儀なくされるため、二次的な人的被害が発生するおそれがあり、可能な限り短期間で救助が必要となる。

ここでは、水・食料等の備蓄状況の調査結果から、3日程度以内に救助することが望ましいことを示し、さらに、その実現可能性について検証する方法を提示する。これにより算出された救助に要する日数が、目標日数を上回るようであれば、近距離避難者数の限定、救助しやすいような建物構造への改善、排水の早期化等を実施する必要がある。

なお、ここで提案する算出手法は、あくまで常総救助実態等をあてはめた場合の参考値であり、対象とする地域の特性（救助の難易、人口密度等）が異なるうえ、災害発生時の天候等により、実際の救助可能人数が想定される救助可能人数を大幅に下回るおそれがあることに十分留意すべきである。

3. 4. 1 決壊後の救助完了の目標期間と救助手段

浸水区域内の病院・福祉施設の建物内に留まった入院・入所者、避難施設へと避難した在宅移動困難者については、長時間の避難生活は困難と考えられるため、3日程度での救助を目指す。

この日数については、施設ライフラインの耐水化状況、備蓄状況、避難者属性等の地域特性やに応じて短縮・延長することが可能である。なお、想定する救助日数に応じて、病院・福祉施設で備蓄等の対策を進めるとともに、自治体内の近距離避難施設へと避難する在宅移動困難者に対しては、水・食料・常用薬等の物資を自ら備蓄し持ち込むよう、平時から呼びかける必要がある。

救助手段については、ボートとヘリの2つの手段がある。浸水で孤立した被災者の救助に関しては、常総救助実態によると、次のような実態があったことが分かっている。

- ・救助に要する時間は、天候や氾濫流、漂流物や上空・水上の支障物の状況が大きく影響する。
- ・ボート・ヘリが着地・着岸する場所やその付近の状況（障害物の有無等）が救助速度に大きく影響する。
- ・救助対象者の身体状況により、ボート・ヘリへと移す時間が大きく異なる。
- ・救助を行う建物の構造等にもよるが、ヘリの風圧があるため、ボートとヘリが同時に同じエリアで救助活動を実施することは困難である。
- ・ボートは、水面から孤立者を検索することとなるため、上空から検索するヘリと比較すると、検索には不向きである。ボートでは船外機を使用できるとスムーズに救助ができるが、常総市の救助実績で

は、漂流物の絡みつきや水深不足等のため、手漕ぎや人手による牽引により救助を行った。救助が長時間となるならば、体力面から、多くの交代要員が必要である。

- ・ヘリは、上空で一定の離隔が必要であり、常総救助実態では救助活動がピークであった決壊 2 日目の上空での配備密度がヘリ救助の上限だと考えられる。このように、配備密度に限界があるため、ヘリは多数の避難者の救助に不向きである。

これらのことから、浸水区域内の病院・福祉施設の建物内に留まった入院・入所者、避難施設へと避難した在宅移動困難者の救助については、基本的にはボートにより実施するものとして推計する。ヘリについては、予め想定された病院・福祉施設・避難搜索以外の建物に取り残されてしまった孤立者を、搜索・救助するために活用するものとする。

【江東 5 区の場合】

江東 5 区内の病院・福祉施設調査において、水・食料の備蓄について、3 日分準備している割合と 4 日分以上準備している割合と比較してみると、病院では 90%→10%、福祉施設では 76%→22% となっており、3 日分は確保している割合が多いが、4 日目以降となるとその割合は大幅に減少することが分かる。さらに、非常用電源の運転継続時間について、非常用電源を未設置または 24 時間未満の割合は、病院では 67%、福祉施設では 85%となっている。

これらのことから、3 日以内を目標としつつも、可能な限り早期に救助することが望ましいと言える。ただし、後述するように救助期間の短縮には限界があるため、ライフラインの耐水化を中長期に進めることが望ましい。

3. 4. 2 ボートによる救助可能数の算出

十分な量のボートを確保できた場合、各救助地点においては到着したボート複数が待機し、先着ボートが避難者を救助した後、待機していたボートが順次救助を行うという状況となる。したがって、救助に要する時間はボートの移動時間等に依存せず、救助地点において係留・救助者乗船・係留解除に要する時間を基に算出可能となる。ボートによる 1 日あたりの救助可能は次式で求めることができる。

ボートによる 1 日あたりの救助可能人数（人/日）

= ①平均救助可能人数（人/艇）

÷ ②係留・救助者乗船・係留解除に要する時間（時/艇）

× ③救助可能箇所数 × ④1 日あたり活動時間（時/日） ……（式 1）

①平均救助可能人数

常総救助実態から移動困難者（入院・入所者、要介護認定者等が該当）については一般避難者（付添支援者等が該当）の倍の空間を必要としたとの実績があった。このことから、周辺地域におけるボートの平均乗船可能人数から救助者数を引いたものを基本とするが、移動困難者が乗船する場合には2名分の面積を要するものとして算出する。

②係留・救助者乗船・係留解除に要する時間

常総救助実態では4名の移動困難者の救助にあたり、係留後から係留解除まで15分程度を要した実績がある。このことから、移動困難者については一般避難者より乗船に時間を要すると考え、一般避難者については2分/人、移動困難者については4分/人と、乗船時間を仮定する。係留については、救助地点付近での進入経路や係留箇所にも迷ったり、浮遊物や標識、塀等が支障になったりすることが想定されるため、係留に要する時間は5分/艇とし、係留解除時間は1分/艇と仮定する。

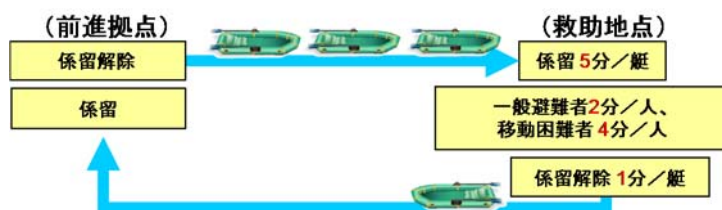


図 14 ポートによる救助活動の所要時間

③救助可能箇所数

各施設について複数の救助可能箇所があれば、それを考慮し、全体の救助可能箇所数を設定する。ボートを2艇着岸できるような形状であれば、その箇所は2として計上する。施設毎の救助可能箇所が不明であれば、各施設で1箇所と仮定する。

④1日あたり活動時間

日中の時間から12時間と設定する。

【荒川左岸 7kp 地点が決壊した場合】

ここでは、決壊後の救助活動の検証を取り扱うため、決壊前のどこが決壊するか不明な場合に備えた最大方絡で考えるのではなく、特定の地点が決壊した後の状況で議論をすることが適切である。そこで、左岸側で立退き避難対象者が最大となる荒川左岸 7k 地点が決壊した場合を事例とする。

荒川左岸 7kp 地点で浸水する地域には、入院・入所者 0.5 万人、在宅移動困難者 7.2 万人が立退き避難の対象者となり、さらにそれぞれの付添支援者は 0.3 万人、7.2 万人となる。すなわち、病院・福祉施設内に留まる可能性があるのは最大で 0.8 万人となり、近距離の公的避難施設に避難する可能性があるのは最大で 14.5 万人となる。

一方で、近距離の公的避難施設の避難可能人数は 2.6 万人にとどまる。すなわち、在宅移動困難

者とその付添避難者の 2 割程度しか収容できないということが分かる。

まず、ボートの仕様・性能諸元について、関東地方内の配備状況から、次表のとおり整理した。

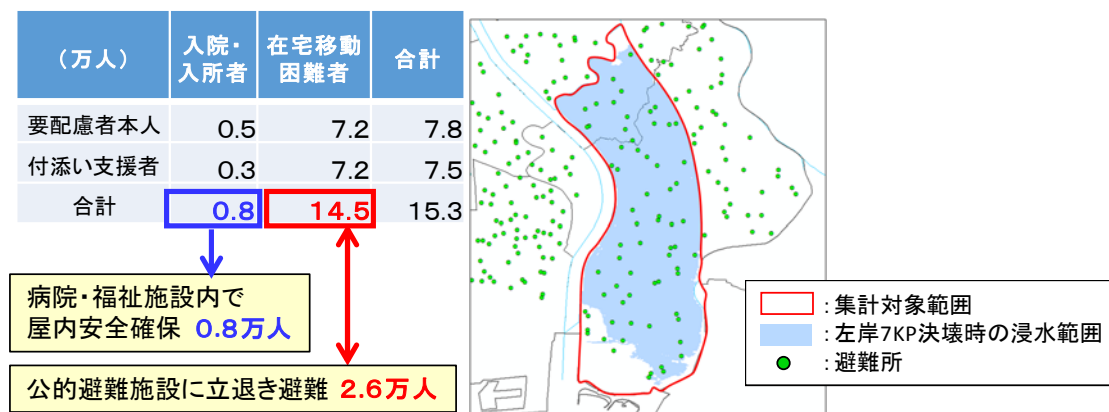


図 15 荒川左岸 7kp 地点が決壊した場合の浸水する地区における避難可能人数

表 3 各機関のボート仕様・性能諸元²⁶

機関名	乗船可能人数		船艇移動速度 ²⁷		ボート数 ²⁸
	避難所	福祉施設	往路	復路	
警察庁	2 人/艇	1 人/艇	2.0 km/時	1.2 km/時	約 600 艇
消防庁	2 人/艇	1 人/艇	2.0 km/時	1.2 km/時	約 1,000 艇
自衛隊	11 人/艇 ²⁹	5 人/艇	2.6 km/時	2.0 km/時	約 300 艇

1 艇あたりの救助可能人数は、ボート定員から操作者・救助作業従事者の分を引いて、警察庁・消防庁は 2 名、自衛隊は 11 名乗りとした。これを加重平均すると、救助定員は 3.42 人/艇となる。なお、これは一般避難者を救助した場合であり、移動困難者を救助する場合には、救助定員は 1.63 人/艇になる。

$$2 \times 1600 \text{ 艇} / 1900 \text{ 艇} + 11 \times 300 \text{ 艇} / 1900 \text{ 艇} = 3.42 \text{ 人/艇 (一般避難者救助)}$$

$$1 \times 1600 \text{ 艇} / 1900 \text{ 艇} + 5 \times 300 \text{ 艇} / 1900 \text{ 艇} = 1.63 \text{ 人/艇 (移動困難者救助)}$$

1 艇あたりの乗船時間は、2 分/人（移動困難者は 4 分/人）であり、係留に 5 分、係留解除に 1 分を要することから、乗船時間は 12.84 分/艇となる。移動困難者については 12.52 分/艇となる。

²⁶ 内閣府「大規模水害対策に関する専門調査会」資料を参考に作成

²⁷ 多数の流木等の障害物があるおそれがあることから、手こぎによる移動速度を想定

²⁸ 警察庁及び消防庁は 茨城、栃木、群馬、埼玉、千葉、東京、神奈川の保有台数。自衛隊は東部方面隊管内（陸上自衛隊）、横須賀地方隊管内（海上自衛隊）の保有台数

²⁹ 偵察ボート（救助者 2 人乗船）、偵察ボート（同 3 人）、渡河ボート（同 23 人）をボート数により加重平均

$$3.42 \text{ 人/艇} \times 2 \text{ 分/人} + 5 \text{ 分/艇} + 1 \text{ 分/艇} = 12.84 \text{ 分/艇 (一般避難者救助)}$$

$$1.63 \text{ 人/艇} \times 4 \text{ 分/人} + 5 \text{ 分/艇} + 1 \text{ 分/艇} = 12.52 \text{ 分/艇 (移動困難者救助)}$$

荒川左岸 7kp 決壊により浸水する区域内に、病院・福祉施設は 78 施設、公的避難施設は 54 施設ある。各施設の救助可能箇所数が不明であるため、各施設につき 1 箇所であると仮定する。

病院・福祉施設については、入院・入所者の半分の付添支援者がいるため、1 艇あたりの救助可能人数は、2.23 人/艇 (= (3.42 + 2 × 1.63) ÷ 3) となる。また、1 艇あたりの乗船時間は 12.63 分/艇 (= (12.84 + 2 × 12.52) ÷ 3) となる。したがって、公的避難施設におけるボートによる 1 日あたりの救助可能人数は、9916 人/日となる。

$$(2.23 \text{ 人/艇} \div 12.63 \text{ 分/艇}) \times 60 \text{ 分/時} \times 78 \text{ 施設} \times 12 \text{ 時/日} = 9916 \text{ 人/日}$$

病院・福祉施設内で屋内安全確保をしている人は、最大で 0.8 万人であるから、順調にいけば、ボートでは 1 日で救助可能ということが分かる。

同様に、公的避難施設については、移動困難者と同数の付添支援者がいるため、1 艇あたりの救助可能人数は、2.53 人/艇 (= (3.42 + 1.63) ÷ 2) となる。また、1 艇あたりの乗船時間は 12.68 分/艇 (= (12.84 + 2 × 12.52) ÷ 2) となる。したがって、公的避難施設におけるボートによる 1 日あたりの救助可能人数は、7758 人/日となる。

$$(2.53 \text{ 人/艇} \div 12.68 \text{ 分/艇}) \times 60 \text{ 分/時} \times 54 \text{ 施設} \times 12 \text{ 時/日} = 7758 \text{ 人/日}$$

公的避難施設内に屋内安全確保をしている人は、最大で 2.6 万人である。しかし、当該地域の立退き避難対象住民が逃げ込む近距離の公的避難施設には高台に立地し、浸水しなかったり、決壊後 3 日未済で浸水が解消するような施設もある。そのような施設については、積極的に救助に行く必要がない。3 日程度以内での孤立解消を目指した場合、浸水継続 3 日以上となる地域にある避難施設が救助対象となり、そのような施設に身を寄せている避難者は、最大で 1.8 万人である。順調にいけば、ボートでは 3 日で救助可能ということが分かる。

ただし、これらの数値は全体を平均的にみた場合のものであり、施設によっては救助しにくい構造であったり、大人数を収容していたり等、救助に時間を要する場合がある。そのような施設については、重点的な対応やヘリの活用等の工夫が求められることとなる。

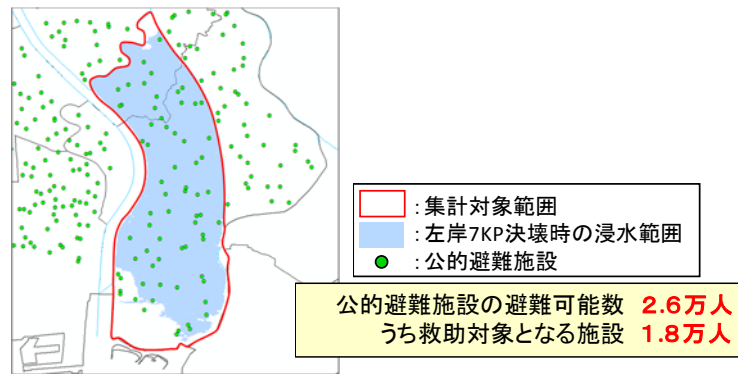


図 16 荒川左岸 7kp 地点が決壊の場合の浸水範囲と公的避難施設

3. 4. 3 ヘリによる救助可能数の算出

ヘリによる救助では、安全面から一定面積内に飛行可能な数が限られる。このことから、単位面積当たりの活動機数を想定し、1日あたりの救助可能人数を算出する。常総救助実態における決壊2日目の上空での配備密度がヘリ救助の上限だと考えられるため、それを参考に算出する。ヘリによる1日あたりの救助可能数は次式で求めることができる。

$$\begin{aligned}
 & \text{ヘリによる1日あたりの救助可能人数 (人/日)} \\
 & = \text{①単位面積あたりの救助者数 (人/日} \cdot \text{k m}^2\text{)} \\
 & \quad \times \text{②救助対象者が避難している地域の面積 (k m}^2\text{)} \quad \dots \text{(式 2)}
 \end{aligned}$$

①単位面積あたりの救助者数

常総水害において決壊2日目のヘリによる救助人数は646人であり、その際のヘリの活動範囲は、7.5 k m²であったことから、単位面積あたりの救助者数は86人/日・k m² (= 646 ÷ 7.5) となる。

②救助対象者が避難している地域の面積

算出対象としている地域の面積を代入する。

【荒川左岸 7kp 地点が決壊した場合】

荒川左岸 7kp 決壊による3日以上浸水継続する面積は24k m²であることから、ヘリによる1日あたりの救助可能人数は2064人/日 (= 86 × 24) である。

3. 4. 4 ボートの必要数の算出

避難可能箇所毎に必要なボート数については、ボートが救助地点から前進拠点に移動して避難者を下ろし、再び救助拠点まで移動に要する時間を、救助地点における係留・救助者乗船・係留解除に要する時間で除して、1 艇を加えたものとなる。したがって、ボートの必要総数は次式で求めることができる。

$$\begin{aligned} & \text{ボートの必要数 (艇)} \\ = & \{ (\text{①平均移動距離 (km)} \div \text{②往路速度 (km/時)} + \text{①平均移動距離 (km)} \\ & \div \text{復路速度 (km/時)} + \text{③救助者下船時間 (時)}) \\ & \div \text{④係留・救助者乗船・係留解除に要する時間 (時/艇)} + 1 \text{ (艇)} \} \\ & \times \text{避難可能箇所数} \qquad \dots \text{ (式 3)} \end{aligned}$$

①平均移動距離

各救助可能箇所と浸水していない前進拠点との間の距離を考慮し、平均距離を求める。

②往路速度、復路速度

浮遊物等で船外機が使用できない可能性が高いことも踏まえ、手こぎの速度を設定する。また、復路は乗船人数が多いため、往路よりも速度が低下することも考慮する。さらに、障害物の回避・除去、救助隊員の疲労等により、好条件よりも大幅に速度が低下することも考慮する。

③救助者下船時間

乗船とは逆に、下船は狭い場所から広い場所への移動となること、下船地点では多くの救助部隊が待機しており下船作業を支援できることから、乗船よりも時間は短縮されと考えられる。ここでは乗船の半分程度の時間と仮定し、一般避難者については1分/人、移動困難者については2分/人とする。なお、前進拠点では、救助部隊が周辺の支障物を撤去する等し、係留しやすい状況にしていると考えられることから、係留・係留解除に要する時間は考慮しない。

④係留・救助者乗船・係留解除に要する時間

救助時間を求めるものと同値である。

【荒川左岸 7kp 地点が決壊した場合】

次図より、片道移動距離については、最大でも 1.6km 程度であることが分かるため、平均距離を 0.8km と設定する。移動速度については、表 3 のとおりであるため、重み付け平均をすると、次式のようになる。

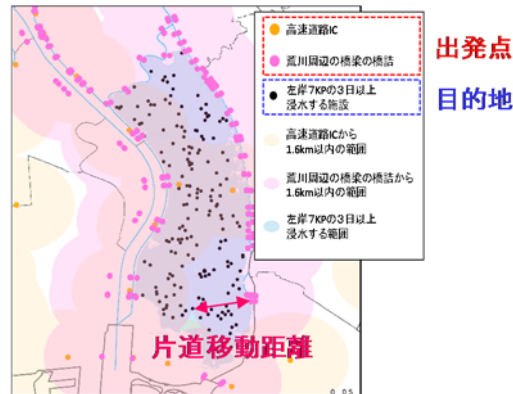


図 17 救助の出発点から目的地までの移動距離の例（荒川左岸 7kp 地点決壊の場合）

$$2\text{km/時} \times 600 \text{ 艇}/1900 \text{ 艇} + 2\text{km/時} \times 1000 \text{ 艇}/1900 \text{ 艇} + 2.6\text{km/時} \times 300 \text{ 艇}/1900 \text{ 艇} = 2.09 \text{ km/時 (往路)}$$

$$1.2\text{km/時} \times 600 \text{ 艇}/1900 \text{ 艇} + 1.2\text{km/時} \times 1000 \text{ 艇}/1900 \text{ 艇} + 2\text{km/時} \times 300 \text{ 艇}/1900 \text{ 艇} = 1.33 \text{ km/時 (復路)}$$

さらに、障害物の回避・除去、救助隊員の疲労等を考慮し、好条件の場合の速度の半分となるものとする。そうすると、往路 1.05 km/時、復路 0.66 km/時となる。

1 艇あたりの下船時間は、1 分/人だから、下船時間は 3.42 分/艇となる。移動困難者については、1 艇あたりの下船時間は 2 分/人のため、下船時間は 3.26 分/艇となる。

$$3.42 \text{ 人/艇} \times 1 \text{ 分/人} = 3.42 \text{ 分/艇 (一般避難者救助)}$$

$$1.63 \text{ 人/艇} \times 2 \text{ 分/人} = 3.26 \text{ 分/艇 (移動困難者救助)}$$

病院・福祉施設については、入院・入所者の半分の付添支援者がいるため、1 艇あたりの下船時間は、3.31 分/艇（ $= (3.42 + 2 \times 3.26) \div 3$ ）となる。また、係留・救助者乗船・係留解除に要する時間は 12.63 分/艇（ $= 12.84 + 2 \times 12.52 \div 3$ ）となる。したがって、病院・福祉施設におけるボートの必要数は、830 艇となる。

$$\{ (0.8 \text{ km} \div 1.05 \text{ km/時} + 0.8 \text{ km} \div 0.66 \text{ km/時} + 3.31 \text{ 分/艇} \div 60 \text{ 分/時}) \div 12.63 \text{ 分/艇} \times 60 \text{ 分/時} + 1 \} \times 78 \text{ 施設} = 830 \text{ 艇}$$

同様に、公的避難施設については、移動困難者と同数の付添支援者がいるため、1 艇あたりの下船時間は、3.34 人/艇（ $= (3.42 + 3.26) \div 2$ ）となる。また、係留・救助者乗船・係留解除に要する時間は 12.68 分/艇（ $= 12.84 + 12.52 \div 2$ ）となる。したがって、公的避難施設におけるボート

の必要数は、573 艇となる。

$$\begin{aligned} & \{ (0.8\text{km} \div 1.05 \text{ km/時} + 0.8\text{km} \div 0.66 \text{ km/時} \\ & + 3.34 \text{ 分/艇} \div 60 \text{ 分/時}) \div 12.68 \text{ 分/艇} \times 60 \text{ 分/時} + 1 \} \times 54 \text{ 施設} \\ & = 573 \text{ 艇} \end{aligned}$$

以上から、ボートの必要数は 1,403 艇と求められる。

3. 4. 5 ヘリの必要数の算出

ヘリによる救助では、単位面積あたりの活動機数に、対象範囲の面積を乗じれば、求めることができる。

$$\begin{aligned} \text{ヘリの必要数 (機)} &= \text{①単位面積あたりの活動機数 (機/k m}^2\text{)} \\ &\times \text{②救助対象者が避難している地域の面積 (k m}^2\text{)} \quad \dots \text{(式 4)} \end{aligned}$$

①単位面積あたりの活動機数

H27 常総水害においては約 40k m²が浸水したが、田畑が多く宅地面積は明らかではない。そこで、常総市全体の宅地面積割合 23%と同程度だと仮定すると、常総水害時の宅地の浸水面積は 9.2k m²となる。決壊後 2 日目には約 50 機のヘリが出勤していたことから、単位面積あたりの活動機数は約 5.4 機/k m²となる。

②救助対象者が避難している地域の面積

救助時間を求めるものと同値である。

【荒川左岸 7kp 地点が決壊した場合】

必要機数は、130 機 (= 24k m²×5.4 機/k m²) となる。

3. 5 手順5 大規模・広域避難に要する時間の算出

通常の避難であれば数時間内に立退き避難を完了することが可能であるが、大規模・広域避難が必要とされる地域においては数時間内の立退き避難は不可能であり、どの程度の時間を要するのかということも明確でないことがほとんどである。避難に要する時間（以下、「避難時間」という。）については、交通手段・経路別の避難人口の配分によって変化することから、避難者個人の自由意思に委ねた場合の避難時間と、避難時間を最短にするための最適配分を行った場合との2通りでの算出方法を提案する。

両方の手法で避難時間を計算することにより、自由意思に基づく避難ではかなり早い段階での避難開始をしなければならないことが判明し、実現可能性を高めるためには何らかの最適化を図ることが必要となるのが分かる。最適化をする場合、その程度が緩やかに厳格にかという差こそあれ、居住地域や家族構成等の違いに基づいて避難手段・経路等を行政から指定し、その指定に基づいて住民が避難することが必要となる。したがって、避難計画の立案にあたっては、大多数の住民が理解し、協力が可能な程度のものでするとともに、立案・公表後には行政と地域住民が一体となって計画の実効性を高めるための努力が必要となる。

避難時間の具体的な算出方法として、詳細な交通シミュレーションを実施することも考えられるが、計算精度を保ったままで、かつ簡易に算出できる方法を、本稿では提案する。この算出方法は次のようなものである。まず、交通の供給量として、交通手段・経路別に交通容量が最も小さい地点（以下、「ボトルネック」という。）を特定し、その交通容量を設定する。次に、需要量として、立退き避難の総量と、避難に無関係な非避難交通量とを設定する。個人の自由意思に委ねると、交通手段・経路別の交通需要が必ずしもその交通容量に比例して配分されるわけではないため、混雑の不均衡が生じてしまうことから、避難時間が長期化してしまう。つまり、避難時間を最短にするには、交通手段・経路別の交通容量に比例して交通需要を割り振れば良い。さらに、交通容量を増やす手段を採れば、避難時間をより短くすることも可能となる。このように、簡便な方法を採用することで、計算資源を節約できるだけでなく、どのような対策を講じれば、避難時間を短縮することができるのか、直感的にも分かりやすくなるという利点もある。

一方で、避難する際には混雑が発生するため、それに起因する事故が生じないような措置を執る必要がある。具体的には、ボトルネックにおける大混雑、駅への避難者集中等により、歩行者の将棋倒し・群衆雪崩等が発生したり、線路への落下等のおそれがある。最適な交通手段・経路への避難者の配分に加え、これらの事故に対する安全措置対策も重要になる。

なお、簡便のため、江東5区の事例における避難時間の算出にあたっては、入院・入所者と在宅移動困難者については、浸水区域内に留まるのではなく、全て浸水区域外へと立退き避難した場合のみを示している。

3. 5. 1 ボトルネック箇所の特定

避難時間の算出にあたっては、電車、自動車、徒歩といった各交通手段について、各経路別で交通容量（供給量）を設定することが必要である。ある交通手段・経路に着目すると、当該手段・経路を経て浸水区域外に至るまでには多くの通過点があり、その各地点において交通容量があるが、当該手段・経路の始点から終点までを通した全体の交通容量については、その手段・経路においてボトルネックの交通容量で規定される。これは例えば一般の道路交通が交差点部の交通容量で規定されるのと同様の論理である。なお、迂回することでボトルネックを回避できるのであれば、その地点はボトルネックではない。つまり、別の見方から定義すれば、浸水区域外への移動にあたり、できる限り交通容量を大きくするような経路を選択したとしても、通過せざるを得ない地点のうち交通容量が最小となる地点が、当該経路のボトルネックとなる。この定義に基づけば、ボトルネック以外をどのように迂回しても、当該経路全体の交通容量は変化しなくなる。このように、経路とボトルネックは一對一の対応となっていることから、ボトルネックを特定することにより、全経路を設定していく。

交通手段が徒歩の場合、ボトルネックは地形によって規定される場合が多い。一般に、対象地域は河川に囲まれた低地であることから、河川を渡る橋梁、または丘陵地に上がる坂路等がボトルネックになることがほとんどである。橋梁や坂路前後には道が複数あるのが一般的であり、交通容量が局所的に小さくなるのが当該部分であるからである。

交通手段が自動車（自家用車・バス・タクシー等）の場合、徒歩と同様に橋梁や坂路等をボトルネックとする。ただし、自動車専用道路については、自動車専用道路に接続する一般道の接続車線、JCT等の交通容量が局所的に小さくなる箇所の2つのボトルネック候補が存在し、各経路においてこれらのうち交通容量がより小さなものがボトルネックとなる。なお、入口付近については、入口料金所もボトルネックとなり得るように思えるが、一般道の接続車線は信号による待ち時間や横車線からの流入がある一方で、入口料金所のブースは2つ設けられていることも多くまたETCも普及していることから、接続車線の方が交通容量が小さくなるため、入口付近については一般道の接続車線がボトルネックだと考えられる³⁰。また、出口付近については、混雑している出口を選ぶ必要はなく、すいている出口まで移動すればよいから、通過ボトルネックとはならない。

交通手段が鉄道の場合、一度乗車すれば事故等がない限り浸水区域外まで移動できるため、ボトルネックは駅での乗車となる。

【江東5区の場合】

江東5区は、西を隅田川、東を江戸川に囲まれていることから、徒歩及び自動車のボトルネックは基本的に西方面は隅田川を渡る橋梁、東方面は江戸川を渡る橋梁となる。北方面については、足立区では新芝川、毛長川、綾瀬川、桁川、葛飾区では大場川を渡る橋梁がボトルネックとなる。南方面については、江東区と江戸川区の双方に浸水しない高台が存在するため、その高台に移動するための道路

³⁰ 接続道路の交通容量と料金所の交通容量を書く

の経路上で最も交通容量の小さな箇所がボトルネックとなる。江東区では豊洲運河、砂町運河を、江戸川区では新川、旧江戸川を渡る橋梁がそれに該当する。なお、荒川・中川・綾瀬川等の江東 5 区内の河川を渡る橋梁がボトルネックになる可能性もあるが、検証した結果、江東 5 区における徒歩・自動車避難のボトルネックについては、外縁部近辺となることがほとんどであった。

自動車の場合は、さらに避難経路として首都高速道路もあるため、入口への一般道の接続車線、混雑する JCT もボトルネックとなる。

鉄道については、ボトルネックは浸水区域内の駅での乗車となる。

3. 5. 2 交通手段別の需要量の算出

まず、避難行動を避難者個人の自由意思に委ねた場合の、浸水区域外へと移動しようとする人の交通手段別・経路別の需要量（人数・自動車台数）を算出する。この需要量は、立退き避難の対象者に加え、避難者以外にも、対象地区を訪れている地区外の人、対象地区を通過する人の移動もある。

次に、立退き避難の対象地域にいる避難者による需要量を設定する。立退き避難を開始する時間帯に対象地域内にいる人口について、大きく分類すると徒歩、自動車、鉄道という 3 つの交通手段に振り分けることとなる。交通手段については、自家用車を保有していれば自動車を使用する傾向が顕著になり、居住地が駅に近いと多くの人々は鉄道を使うと考えられる。しかし、その割合を事前に設定するには、何らかのよりどころが必要となるため、アンケート等により設定する。

交通手段の需要量を設定した後、交通手段毎に経路別の需要量を設定しなければならない。経路については、居住地から浸水区域外にまで移動するのに最も近い経路を選択するものと仮定する。計算を簡便にするために、交通手段別・経路別に一意に定まる各ボトルネックを基点とする Thiessen（ティーン）分割³¹で与えられる領域を設定し、その領域内の立退き避難者数が各ボトルネックの交通需要量とする。

続いて、避難開始時点において対象地域内にいない人による交通需要については、次のように考える。

避難対象人口に含まれてはいないものの、地域外から対象地域を通過して別の地域へと移動する需要（以下、「通過交通」という。）があれば、それは立退き避難者と同じボトルネックを通過することになるため、需要量に計上しておく必要がある。

さらに、対象地域の住民であるものの避難開始時点では地域外に出ている人については、家族の迎えや荷物の取得のために、一度住所に戻ってから再び地域外へと出る行動をとる人もいると考えられる（以下、「一時帰宅交通」という。）。

以上から、避難開始時点において対象地域内に居て地域外へと立退き避難する者と、避難開始時

³¹ 全基点（橋梁）を直線で結ぶことにより三角形網をつくり、各辺の垂直二等分線によりできる多角形を当該基点が分担する面積とする。

点で避難対象地域にはいないものの対象地域を経由して地域外へと出る者とを合算した数値が、需要量となる。なお、避難対象地域外から対象地域へと入ってくる時の交通は、反対方向の移動であるため、需要量として計上する必要はない。ただし、ボトルネックとなる箇所を一方通行にする等の措置をとるのであれば、対象地域へ入ってくる時についても、反対方向の需要量として特殊な計算が必要となる。

ここで、一時帰宅交通とは避難開始時点において地域外に出ている住民であるから、関係を整理すると、次式を得る。

$$\begin{aligned} \text{総需要量} &= \text{避難開始時点で対象地域に居る人数} + \text{通過交通} + \text{一時帰宅交通} \\ &= (\text{避難対象人口} - \text{地域外に出ている者} + \text{地域外からの訪問者}) \\ &\quad + \text{通過交通} + \text{一時帰宅交通} \dots (\text{式 5}) \end{aligned}$$

ここで、「一時帰宅交通」とは、最大で「地域外に出ている者」であることから、「一時帰宅交通」を「 $A \times$ 地域外に出ている者」と表現すると、次式を得る。ただし、 $0 \leq A \leq 1$ である。

$$\begin{aligned} \text{総需要量} &= \text{避難対象人口} + (A - 1) \times \text{地域外に出ている住民} \\ &\quad + \text{地域外からの訪問者 (訪問交通)} + \text{通過交通} \dots (\text{式 6}) \end{aligned}$$

さらに、第 2～4 項については、平成 20 年の東京都市圏パーソナルトリップ調査（以下、「PT 調査」という。）におけるトリップの発着点で分類すると、地域外に出ている住民は内外交通（出発点が地域内、到着点が地域外）、訪問交通は外内交通（出発点が地域外、到着点が地域内）であり、通過交通は外外交通（発着点ともに地域外）であることと、それぞれの交通については抑制が可能であり、平時交通に一定の率を乗じたものとなることから、次式を得る。ただし、 $0 \leq B \leq 1$, $0 \leq C \leq 1$ である。

$$\begin{aligned} \text{総需要量} &= \text{避難対象人口} + (A - 1) \times \text{内外交通} \\ &\quad + B \times \text{外内交通} + C \times \text{外外交通} \dots (\text{式 7}) \end{aligned}$$

これらの係数については、広報活動や周辺地域住民・企業の協力等によって大きく変化するため、適宜状況に応じて設定する。また、徒歩については、通過・訪問交通の絶対量が少ないため、無視し得るほどの量であれば、考慮せずともかまわない。

ここで、係数設定の一例を紹介する。係数 A については、外に出ている住民全員が一度住所に戻ってから再び地域外へと避難すると考えると、 $A=1$ となる。B と C については、周辺地域の住民による非避難交通であるため、平常時の半分程度に抑制されると考えると、 $B=C=0.5$ となる。なお、これらの係数については、周知活動等の対策をすることにより、減少させることが可能である。

$$\text{総需要量} = \text{避難対象人口} + 0.5 \times (\text{外内交通} + \text{外外交通}) \dots (\text{式 8})$$

なお、内外交通は内外交通とほぼ同等である³²ことを考慮すると、総需要量は、住民と内外交通と外外交通の合計となる。ここで、平時におけるボトルネックの交通量は内外交通と外外交通を足したものであることに注目すると、単純に平時の交通量の半分が避難者以外の交通ということになり、分析が簡便となる。設定の詳細については、各交通手段における避難時間算出の際に説明する。

$$\text{総需要量} = \text{避難対象人口} + 0.5 \times (\text{内外交通} + \text{外外交通}) \quad \dots (\text{式 9})$$

$$\text{各交通手段・経路別の需要量} = \text{各手段・経路の避難者}$$

$$+ \text{各手段・経路によりボトルネックを地域内から地域外へと抜ける平時の交通量} \quad \dots (\text{式 10})$$

また、式 8 では、一時帰宅交通は地域外に出ている者と同数として取り扱ったが、避難開始時点で避難対象地域外に出ている住民が自宅に戻らないように平時から周知することにより、大幅に縮減することが可能である。特に、避難開始時間が昼間となる場合には、予め避難の準備をした上で通勤・通学する等の措置を呼びかけることが有効と考えられる。

本稿においては、通過・訪問交通については通常時の半分程度と仮定し、一時帰宅交通については地域外にいる住民の全てと仮定しているが、施策の浸透状況によって、この割合を変化させていくことが望ましい。

なお、ここでいう自由意思は、上記で示した通り、各ボトルネックを基点とする Thiessen (ティーゼン) 分割で与えられる領域を設定し、その領域内の立退き避難者数を各ボトルネックの交通需要量としたものであり、避難先の状況によっては特定のボトルネックに想定している交通需要量以上の避難者が集中するおそれがあることに留意が必要である。

【江東 5 区の場合】

立退き避難者の総数は先に算出したとおり 155～174 万人であり、これを交通手段別に割り振る。住民インターネット調査において、浸水区域外への避難をする意向を示した 1242 票を分類すると、避難時の交通手段については徒歩 32%、自動車 28%、鉄道 40%であった³³。これに基づくと自動車の利用台数は最大で約 23 万台 (= 174 万人×28%÷平均世帯人数³⁴2.16) となり、江東 5 区における自家用車数約 45 万台³⁵を下回っていることが確認できる。各地区における橋梁・首都高入口・駅までの距離、自動車保有率によって、これらの交通手段選択率は異なると考えられるが、簡便さのため今回の検討では全地区一律とする。

次に、非避難交通を設定する。PT 調査による江東 5 区の 1 日あたりの総量については、鉄道 511 万トリップ、自動車 121 万トリップ、徒歩 124 万トリップである。このうち、通過交通である外外交通

³² 同数でなければ特定地域の人口が日を追う毎に増加してしまうことになる。

³³ 避難先として浸水区域内を答えている回答は集計対象としていない。回答における「自転車」は「徒歩」に含め、「バイク」と「他家の車に同乗」は「自動車」に含め、「バス」と「タクシー」は「鉄道」に含めた。

³⁴ 平成 22 年国勢調査 (総務省統計局) 人口等基本集計 第 2 表

³⁵ 関東運輸局管内自動車保有車両数 (平成 28 年 4 月時点)。

(出発点・到着点ともに地域外) については、鉄道 241 万トリップ、自動車 22 万トリップ、徒歩が 2 万トリップである。訪問交通である外内交通 (出発点が地域外、到着点が地域内) については、鉄道 120 万トリップ、自動車 26 万トリップ、徒歩 2 万トリップである。ここで分かるように、徒歩については総量と比較して、通過交通、訪問交通が少量であるため、本稿では徒歩の通過・訪問交通は計上しないこととする。鉄道、自動車については、それぞれの避難時間算出の際に個別に設定するが、おおよそこれら平時のトリップの半数を計上することとなる。半数と言えども、非避難者によるトリップ数 205 万となり、立退き避難人口 155~174 万人よりも多いことが分かり、非避難交通の抑制が避難時間の短縮には効果的であることが理解できる。

3. 5. 3 徒歩による避難時間の算出 (自由意思に委ねた場合)

徒歩避難のボトルネックは、河川を渡る橋梁、または丘陵地に上がる坂路等である。ここでは、それらのボトルネックに着目して、各経路の避難時間を算出する。

各経路の避難時間は次式で示される。

$$\begin{aligned} \text{各経路の避難時間} &= \text{①各ボトルネックの避難者数 (人)} \\ &\div \text{②各ボトルネックの時間交通容量 (人/h)} \\ &+ \text{③各ボトルネックから先の移動時間 (h)} \quad \dots \text{(式 11)} \end{aligned}$$

①各ボトルネックの避難者数

避難行動を避難者の自由意思に委ねた場合、最も近いボトルネックを経由して避難するものとする。そうすると、各ボトルネックの交通需要は、各ボトルネックを基点とする Thiessen 分割で求める。

②各橋梁の時間交通容量

次式で求めることができ、各項については、以下のとおり設定する。

$$\begin{aligned} \text{時間交通容量 (人/h)} &= \text{A:密度 (人/m}^2\text{)} \times \text{B:速度 (m/h)} \\ &\times \text{C:歩道幅員 (m)} \\ &\times \text{D:荷物による低減率} \quad \dots \text{(式 12)} \end{aligned}$$

A:密度

歩行者の安全を確保するためには密度をできるだけ低く抑える必要がある。一方で、避難時において安全確保に充てることのできる警察官・民間警備員等の数は限られている。文献によって事故が発生する閾値となる密度は異なるものの、次を参考に、事故を防ぐために安全確保措置を採ることにより、3.5 人/m²に抑えるものと設定した。

<参考となる文献等>

密度 1.5 人/m²程度で自由歩行の限界³⁶

密度 4 人/m²程度で渋滞の始まり³⁶、または停止時の限界密度³⁷

密度 3～5 人/m²程度で、「将棋倒し」（隊列後方から前方へのドミノ倒しに似た転倒形態）発生のおそれ³⁸

密度 6 人/m²程度で群集移動の停止³⁶、またはラッシュ時の満員電車の状態³⁷

密度 6 人/m²超³⁹、または 10 人/m²超³⁸で、「群衆なだれ」（隊列前方から後方への積み木崩しに似た転倒形態）発生のおそれ

神戸市のルミナリエでは、安全を確保のため、待ち行列の最後尾を延伸する等により、密度を 3 人/m²以下としている⁴⁰

B:速度

速度と密度の関係を表した Fruin（フルーイン）式³⁹（速度 $V = 1.356 - 0.341 \times \text{密度 } \rho$ ）を適用する。速度と密度の関係式はいくつか提案されているが、本稿では、密度増加にしたがって速度が直線的に減少していくこと（時間交通容量は密度を説明変数とする二次関数となる。）、密度 4 人/m²が群衆での歩行の限界としていることから、Fruin 式を採用した。Fruin 式に、密度 3.5 人/m²を代入して、速度を算出する。ただし、避難者は長期の避難生活に備え、大きめの荷物（リュックサックやキャリーケース等）をもって避難すると考えられることから、それによる速度低下を見込めるように、Fruin 式を改良する。速度低下は 5%減として設定する。

$$\begin{aligned} \text{速度} &= \{ 1.356 - 0.341 \times \text{密度 } 3.5 \text{ (人/m}^2\text{)} \} \times 3600 \text{ (秒を時間に換算)} \\ &\quad \times \text{荷物による速度低下 } 0.95 \quad \dots \text{ (式 13)} \\ &= 556 \text{ (m/h)} \end{aligned}$$

³⁶ 火災便覧第 3 版、共立出版

³⁷ 社団法人全国警備業協会：雑踏警備業務の手引き

³⁸ 明石市民夏まつり事故調査委員会 報告書

³⁹ Dr.John, J. Fruin : Crowd Dynamics and Auditorium Management

⁴⁰ 警察からの聴取による。

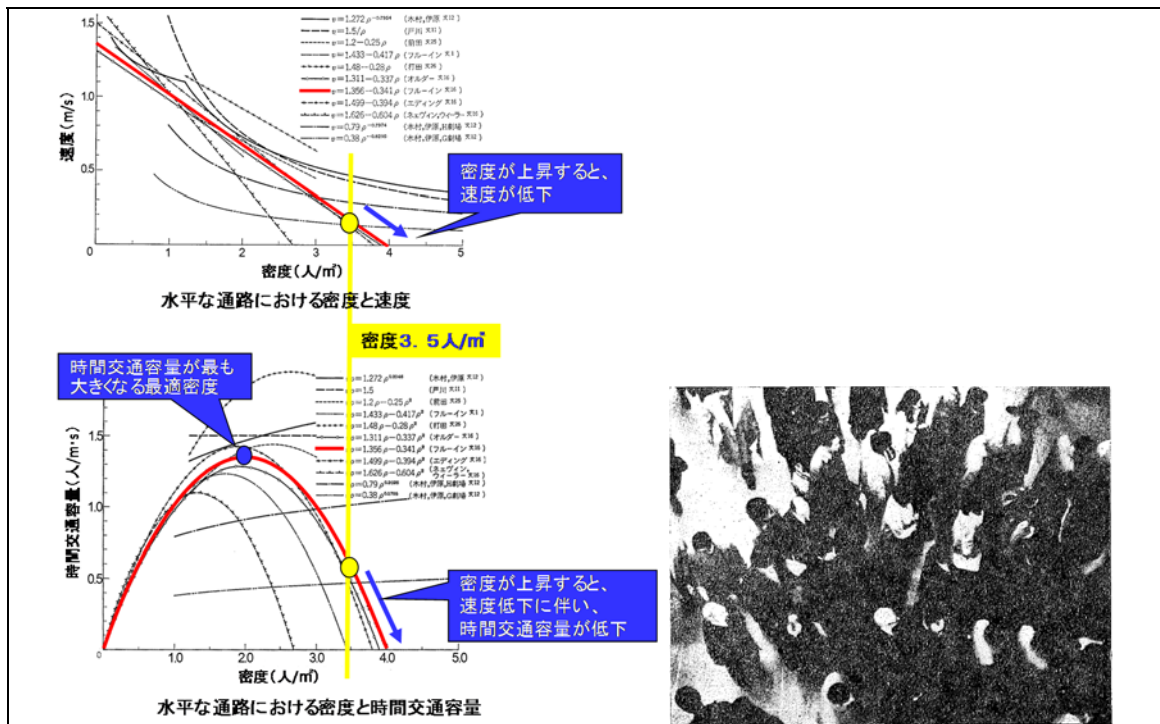


図 18 歩行時の密度と速度と時間交通容量⁴¹

図 19 密度 1.5～3.5 人/m²程度の混雑⁴²

C: 歩道幅員

ボトルネック毎に地理院地図オルソ画像から計測する。逆方向からの交通が排除できない限り、歩道は片側のみとする。両側の歩道を用いて避難することも不可能ではないが、別方向に向かう歩行者が狭い範囲に集中すると、将棋倒しや群衆雪崩のような歩行者事故の発生するおそれが格段に高まるため、交通整理を厳格にすることが求められる。なお、歩車道が分離されていない場合には 0.5m 等と設定する。

D: 荷物による低減率

大きな荷物を携行していることから、避難者 1 人につき 2 人分のスペースを占有するものと仮定し、低減率を 50% とする。荷物が全くなければ 100% であり、荷物が身体の半分程度であれば 75% となるため、荷物の携行量を少なくすれば、値が大きくなり、より円滑に避難できるようになる。

③ 各ボトルネックから先の移動時間

ボトルネックを通過した後は、浸水想定区域外まで渋滞なしで移動できるものとする。自由歩行速度

⁴¹ 岡田, 吉田, 柏原, 辻: 建築と都市の人間工学 - 空間と行動のしくみ -, 鹿島出版会, 1977

⁴² J. Fruin, 歩行者の空間, 鹿島出版会, 1974

となることを想定し、歩行速度は 3km/h と設定する。この根拠としては、東日本大震災の避難に関する調査結果 2.2km/h⁴³、老人自由歩行速度 3.6km/h⁴⁴、過去の避難シミュレーション 3.2km/h⁴⁵、2.9km/h⁴⁶等がある。

【江東5区の場合】

先に設定した浸水区域外へと脱出する経路上にあるボトルネックを基点として、Thiessen 分割した各地区において、上記に基づいて算出した避難時間に基づき地図を色分けすると、図 20 のようになる。これにより、葛飾区及び江戸川区から東方面へと避難するために経路する国道 6 号が避難に 24 時間、国道 14 号が 30 時間要するボトルネックとなっていることが分かる。一方で、避難時間が 6 時間を切るのは西部と北部に多いことが分かる。東方面へと渡る橋梁の数は、西方面・北方面へと分かる橋梁の数に比較して、極端に少ないからである。なお、歩道幅員は片側のみとしている。

このように、避難者が自らの居住地に最も近いボトルネックを経由して避難すると、徒歩では 30 時間を要することとなる。しかし、図を見れば明白であるが、国道 6 号、14 号に隣接しているボトルネックについては、避難時間が 6 時間未満であるものもあるため、交通誘導を適切にすることにより、江東 5 区全体で避難時間を短縮することが可能である。

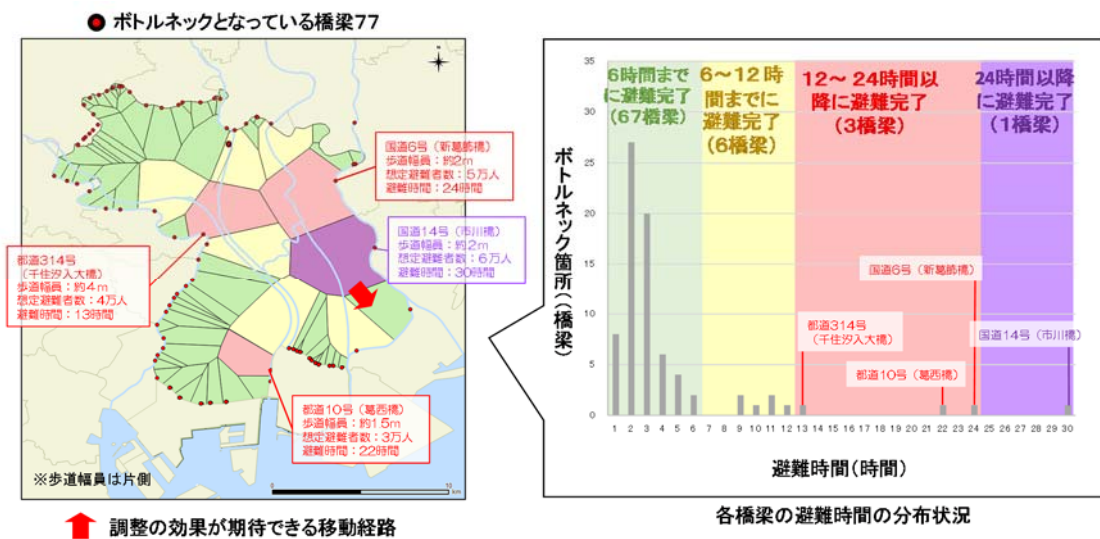


図 20 徒歩避難時のボトルネック毎の避難時間

43 国土交通省都市局：「津波避難を想定した避難路、避難施設の配置及び避難誘導について（改定版）」、平成 24 年 12 月

44 岡田光正・浅野博光・俵元吉：自由歩行速度と歩幅に関する調査・研究：主として老人や子供の場合について（建築計画）、1978

45 桑沢敬行・片田敏孝・及川康・児玉真：洪水を対象とした災害総合シナリオ・シミュレータの開発とその防災教育への適用、2007

46 首都直下地震避難対策等専門調査会 第 14 回(最終回)資料「帰宅行動シミュレーション結果について」

3. 5. 4 自動車による避難時間の算出（自由意思に委ねた場合）

自動車避難のボトルネックは、一般道については徒歩と同様に河川を渡る橋梁、丘陵地に上がる坂路等である。自動車専用道については、入口接続部の一般道と JCT 付近となる。ここでは、それらのボトルネックに着目して、各経路の避難時間を算出する。

各経路の避難時間は次式で示される。

$$\begin{aligned} \text{各経路の避難時間} &= \text{①各ボトルネックの通過車両数（台）} \\ &\quad \div \text{②各ボトルネックの時間交通容量（台/h）} \\ &\quad + \text{③各ボトルネックから先の移動時間（h）} \quad \dots \text{（式 14）} \end{aligned}$$

①各ボトルネックの通過車両数

避難行動を避難者の自由意思に委ねた場合、最も近いボトルネックを経由して避難するものとする。各ボトルネックが担当する領域は、Thiessen 分割で求める。なお、一般道路と高速道路との振分については、平均的な高速道路分担率である 13%⁴⁷を用いることが考えられる。この数値については、地域の実情に応じて柔軟に設定すべきである。

1 台の自家用車に 1 世帯の避難者が乗車して避難するものとする。自動車保有と世帯人数には正の相関があると考えられるが、各自動車に平均世帯人数が乗車するものとして設定する。

なお、これに非避難交通量も加える必要がある。各ボトルネックでの非避難交通の総量は、平常時における各ボトルネックでの江東 5 区内から 5 区外へと出る方向の交通量を避難時間あたりに換算したものとなる。しかし、避難時間は非避難交通を設定しないと算出できない。そこで、仮の避難時間を設定して、非避難交通を算出し、それをもとに、避難時間算出→非避難交通量算出→避難時間算出→…と、収束計算を実施することが必要となる。

まず、直近の道路交通センサスの昼間 12 時間自動車類交通量（下表②）において、各ボトルネックを含む区間の交通量を抽出し、それに抑制率（本稿で提案した標準的な場合は 0.5）を乗じたものを 12 時間で除して、時間あたりの非避難交通（下表③）を算出する。ここで、仮の避難時間（下表④）を設定し、時間あたりの非避難交通に仮避難時間を乗じることで、各ボトルネックにおける非避難交通の総量を算出する。避難交通（下表①）に平時交通を加え総交通量を算定し（下表⑤）、これを交通容量（下表⑥）で除して避難時間を算出する（下表⑦）。算出した避難時間で非避難交通の総量を再度設定し、上記を繰り返して避難時間の収束計算を実施する（下表⑧）。

⁴⁷ 第 4 回使えるハイウェイ推進協議会資料「高速道路の利用状況」（国土交通省）

避難時間の算出手順(①→⑧)

ボトルネック箇所	①避難交通(要避難区域内の人口より算定)	②平時の交通量(H22道路交通センサス/昼間12時間自動車類交通量)	③時間あたりの通過交通(②÷12×0.5)	④仮避難時間(通過交通算定用に仮設定)	⑤総交通量(①+③×④)	⑥時間交通容量(渋滞時の速度・車間距離・車線数から設定)	⑦避難時間(⑤÷⑥)
A橋	10,000台	20,000台/12時間	833台/hr	10hr	18,330台	2,000台/hr	9.2hr
B橋	9,000台	10,000台/12時間	416台/hr	10hr	13,160台	1800台/hr	7.3hr
C橋	7,000台	10,000台/12時間	416台/hr	10hr	11,160台	1500台/hr	7.4hr
.....

⑧収束計算

表 4 自動車による避難時間の算出手順

②各ボトルネックの時間交通容量

次式で求めることができ、各項については、以下のとおり設定する。

$$\text{時間交通容量 (台/h)} = \frac{A : \text{速度 (km/h)} \times B : \text{車線数}}{\div \{ C : \text{車長 (m)} + D : \text{車間距離 (m)} \} \times 1000 \text{ (km を m に換算)}} \dots \text{(式 15)}$$

A:速度

自動車においても、徒歩における Fruin 式と同様に、速度と密度の関係を表現した一般的な数式は知られている。しかし、本稿において必要とされるような、極めて高密度な状況における密度と速度の関係については、過去の観測データが乏しいため、それらの数式の信頼性は高くなく、適用することは不適切であると判断した。ここでは、東日本大震災の実績値から、3 km/h と設定する。

この根拠としては、発災当日のプロブデータ（ナビゲーションシステムから得られる自動車の走行軌跡データ）等より分析した結果、16 時～23 時台の平均旅行速度は特別区内で 6.2km/h 程度であったこと⁴⁸、発災当日の警視庁の管制データを基に整理した自動車の平均速度は、21 時ごろに下限値のピークとなっており、時速 5km 程度を記録していたこと⁴⁹、発災当日のタクシーにおける都心の主要区間の通過に要する時間を分析したところ⁵⁰、国道 1 号大手町～五反田間で時速 1.0km 程度、国道 246 号隼町～瀬田間で時速 2.6 km 程度、国道 6 号本町～東向島間で時速 1.3 km 程度であつ

⁴⁸ 上坂克巳・橋本浩良・塚田幸広：プロブデータから見た道路ネットワークの課題、2012

⁴⁹ 大口敬・伊藤麻紀・水田 隆三・堀口良太：東京 23 区を対象とした大規模災害時交通シミュレーションと交通渋滞緩和策の評価

⁵⁰ 大震災が都内のタクシーに与えた影響【東日本大震災における都心の交通渋滞状況の検証】

(社) 東京乗用旅客自動車協会、無線委員会、東京無線協同組合、富士通（株）、富士通デン（株）

たこと等が挙げられる。

B:車線数

最新の道路交通センサスの調査結果を用いて設定する。

C:車長

小型自動車相当として 4.7m を採用する⁵¹。

D:車間距離

まず、反応時間を設定する。反応時間とは、対象物を発見した後、運転者がブレーキを踏むかどうか判断する判断時間と、判断してからブレーキを踏むまでの反動時間の合計である。ここでは「道路構造例の解説と運用」を参考に、AASHTO⁵²で用いている数値と同様に判断時間として 1.5 秒、反動時間を 1.0 秒とし、反応時間を 2.5 秒とする⁵¹。

これを基に、車間距離は空走距離相当として、次式で求める。

$$\begin{aligned} \text{空走距離 (m)} &= \text{反応時間 (s)} \times \text{速度 (m/s)} \\ &= 2.5 \text{ (s)} \times 3000 \text{ (m/h)} \div 3600 \text{ (時間を秒に換算)} \\ &\dots \text{ (式 16)} \end{aligned}$$

③各ボトルネックから先の移動時間

ボトルネック通過後は浸水想定区域外まで渋滞なしで移動できるものとし、当該地区の平均的な混雑時速度を基に設定する。

【江東 5 区の場合】

各車両に乗車する平均世帯人数は 2.16 名である。また、各ボトルネックから先の移動速度については、既往の調査結果等を参考に 16km/h とする。この根拠として、東京都特別区の一般国道（直轄）の混雑時旅行速度 16.4km/h⁵³、東京都心（千代田区、中央区、港区）の平均旅行速度が 16km/h⁵⁴が挙げられる。なお、車道幅員は片側のみとしている。

徒歩とは違い、自動車避難の経路には首都高速道路もあるため、橋梁以外のボトルネックとして首都高入口への接続車線がある。首都高入口が受け持つ Thiessen 領域内の自動車避難のうち一定数が首都高入口から首都高速道路を利用するものとし、残りについては隣接する Thiessen 領域の橋

⁵¹ 道路構造令の解説と運用

⁵² AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials) 米国全州道路交通運輸行政官協会米国の高速道路の規格に関する基準設定機関

⁵³ 平成 22 年度道路交通センサス 一般交通量調査 集計結果整理表 表 5 旅行速度整理表

⁵⁴ 関東地方整備局 HP (平成 21 年 4 月～平成 22 年 3 月 (昼間 12 時間帯) のトラフィックカウンターによる交通データ及びプローブ・カー・システムによる速度データ)

梁から避難するものとした。隣接領域への避難者の配分には、接する辺の長さ按比例させた。この際、江東5区全体で高速道路の分担率が13%となるように、首都高入口が受け持つThiessen領域内の首都高速道路利用率を設定するようにする。

徒歩と同様に、避難時間に基づき地図を色分けする。避難に24時間以上を要する経路は、徒歩でも時間を要していた国道6号と14号の東方面に加え、北千住周辺の都道3本、江戸川区南部へと抜ける都道1本となった。住民の自動車選択割合に比して、交通容量が小さいため、長時間を要する経路は徒歩よりも多くなっている。

自らの居住地に最も近いボトルネックを経由して避難すると、自動車避難では58時間を要することとなる。徒歩と同様に周辺のボトルネックは避難時間が短いものが多いため、交通誘導により避難時間の短縮が可能である。

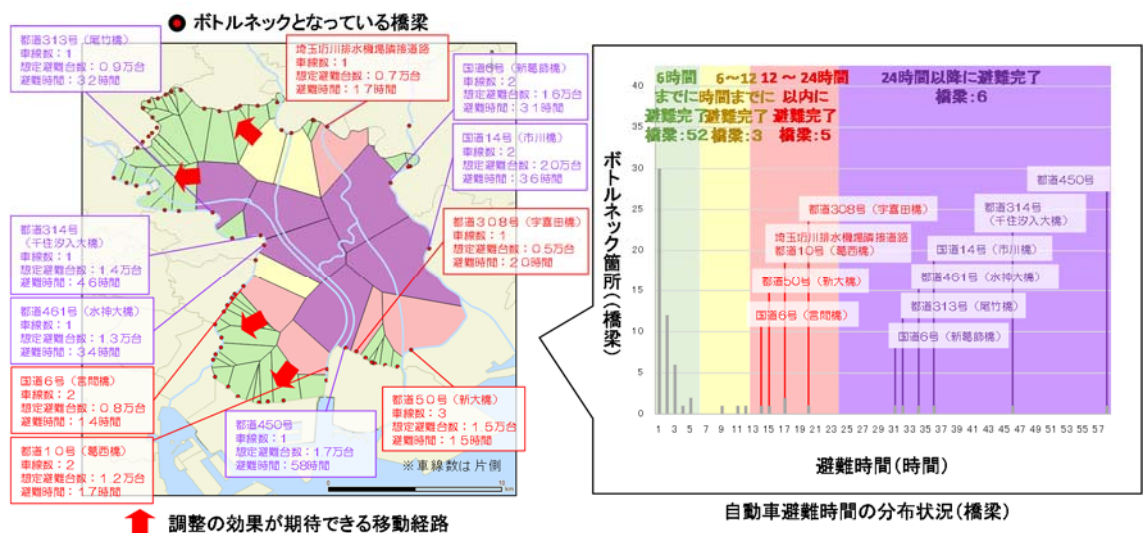


図 21 自動車避難時(一般道)のボトルネック毎の避難時間

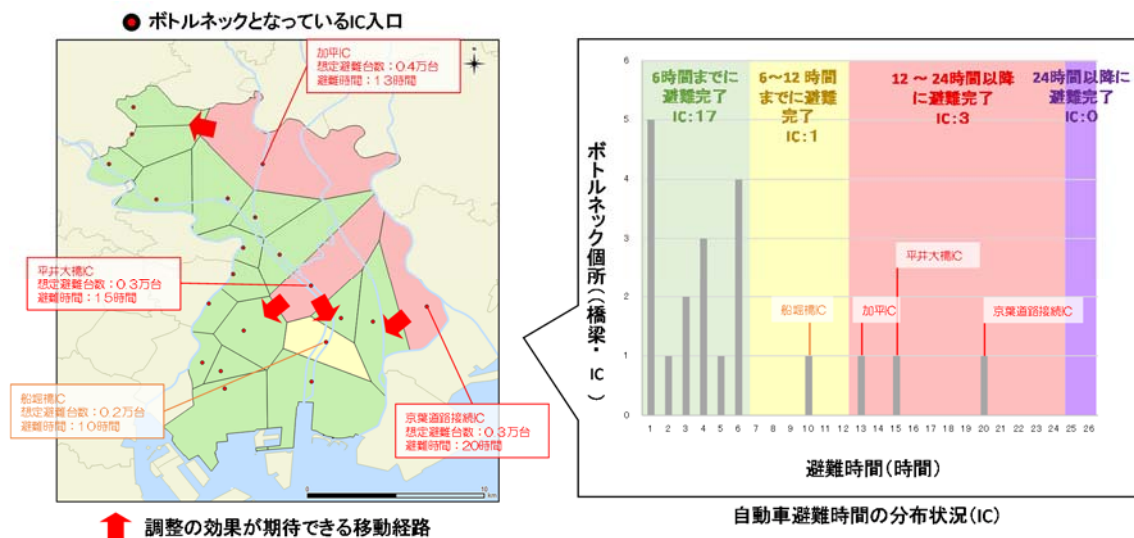


図 22 自動車避難時（高速道路）のボトルネック毎の避難時間

3. 5. 5 鉄道による避難時間の算出（自由意思に委ねた場合）

交通手段が鉄道の場合、路線別・方面別に交通容量が規定される。鉄道では、一部の途中駅停車の便を除き、多くが始発駅から終着駅まで運行される。したがって、路線別・方面別（上り・下り）に交通容量が規定されることとなる（方面別はほぼ同じ交通容量となる）。なお、急行、快速（以下、「急行等」という。）等の通過駅がある路線については、各駅停車ダイヤと急行等ダイヤとを別路線と見なす。

厳密には、駅構造や避難対象地域内の位置により、交通容量は変化するが、ここでは計算の簡便化のため、路線別・方面別の交通容量を算出した後、当該路線が停車する全駅に交通容量を等分に配分することにより、各駅の交通容量を算出する。駅・路線・方面別の避難時間は次式で示される。

$$\begin{aligned} \text{駅・路線・方面別の避難時間} &= \text{① 駅・路線・方面別の乗車人数（人）} \\ &\div \text{② 駅・路線・方面別の時間輸送力（人/h）} \\ &+ \text{③ 乗車時間（h）} \quad \dots \text{（式 17）} \end{aligned}$$

① 駅・路線・方面別の乗車人数

避難行動を避難者の自由意思に委ねた場合、最も近い駅を経由して避難するものとする。なお、各駅においては「路線別・方面別の時間輸送力」に応じた割合で、乗車する路線・方面を選択するものとする。浸水区域内で乗換が必要となる場合は、乗換駅においても同様に配分するものとする。

なお、これに非避難交通量も加える必要がある。

自動車避難においては、江東 5 区外から来た非避難者は江東 5 区内からの避難者といっしょになってボトルネック箇所である橋梁等に進出するため、収束計算が必要となる。一方で、鉄道避難においては、避難対象地域外から来た非避難者は降車することなく対象地域を通過することができる。つまり、非

避難者は避難時の混雑状況にかかわらず移動することができる。そこで、平常時の1日あたりの非避難交通から単純に時間あたりに変換する。厳密には内外交通については自動車避難と同様の収束計算が必要となるが、鉄道の非避難交通においては外外交通が内外交通よりも圧倒的に多いため、平常時の交通量から一律に時間あたりの非避難交通を設定することとした。このような考えに基づき、非避難交通は次式のように考慮し、路線に急行等がある場合には急行等に全ての非避難交通が乗車することとする。これは、外外交通のような長距離トリップでは急行等に乗車することが大部分と考えられるためである。

$$\begin{aligned} \text{時間あたりの非避難交通 (人/h)} &= \text{駅・路線・方面別の1日あたりの通過人数}^{55} \text{ (人/d)} \\ &\quad \times \text{平時の全トリップにおける外外交通と内外交通の比率}^{56} \\ &\quad \div 18 \text{ (1日あたり営業時間)} \quad \dots \text{(式 18)} \end{aligned}$$

② 駅・路線・方面別の時間輸送力

次式で求めることができ、各項については、以下のとおり設定する。

$$\begin{aligned} \text{路線別・方面別の時間輸送力 (人/h)} \\ &= \text{A: 路線別・方面別の1日あたり乗車定員 (人/d)} \times \text{B: 運行率} \times \text{C: 乗車率} \\ &\quad \div \text{D: 1日あたり運行時間 (h/d)} \quad \dots \text{(式 19)} \end{aligned}$$

A: 路線別・方面別の1日あたり乗車定員

大都市交通センサスの路線別着時間帯別駅間輸送定員表を基に、浸水区域内の最外縁の駅における路線別・方面別の値を代表値として設定する。いくら途中駅の定員が大きかったとしても外縁部で低いと浸水域外へと移動できなくなるため、立退き避難対象区域の外縁の駅における乗車定員がボトルネックとなるからである。なお、ここでは、各駅停車や急行・快速等を区別して設定する。

路線別着時間帯別駅間輸送定員表は駅間を通過することができる定員を示しており、各駅停車や急行・快速等の区別がなされていない路線については、急行等が停車しない駅であっても急行等の定員を含んだ値となっている。これを各駅停車と急行等とに配分するにあたっては、次の方法を採用する。まず、各駅の各駅停車と急行等の運行本数の比を算出する。次に、一般的に各駅停車の車両数はその他と比較し編成数が少ないため、各駅停車とその他の編成数の比を設定する。不明であれば2 : 3等と仮定する。運行本数の比と、車両編成の比を乗じ、その比によって各駅停車と急行等に乗車定員を配分する。

B: 運行率



駅での乗降混雑による遅延の発生を考慮する。本稿では平常時比 70%の運転本数と仮定する。こ

⁵⁵ 大都市交通センサス 駅別発着・駅間通過人員表を用いて集計する。

⁵⁶ PT 調査において、全トリップ中、通過交通とするトリップの割合を適用する。

の数値は、避難時の混雑対策をすることで向上させることが可能である。

C:乗車率

通勤・通学時間帯のピーク乗車率⁵⁷である 200%を参考に、大量の荷物を持った避難者が乗車した場合の乗車率を設定する。輸送定員 153 名（座席 54）席の車両を想定（例：東京メトロ東西線 05 系 new）した場合、乗車率 200%では 1 車両に 306 名が乗車することとなる。座っている避難者 54 名（）は、膝の上に荷物を置くものとする。座席の前に立っている避難者 54 名（）は、網棚の上に荷物を置くものとする。残り 198 名が乗車できるはずであるが、荷物の影響で 1 人につき 2 人分のスペースを占有すると仮定すると、198 名から 99 名に減少する。この場合、輸送定員の 153 名に対し乗車人数は 207 名となり、乗車率は 135%となる。

以上から、避難者が自分の身体と同程度の空間を占有するような荷物を携行していると、乗車率は 135%が限界となる。これから分かるように、荷物の携行量を少なくすれば、乗車率は向上することとなる。なお、網棚等の荷物収容設備が整っていない車両を用いている路線については、乗車率が低くなるため、必要に応じて別途設定する。

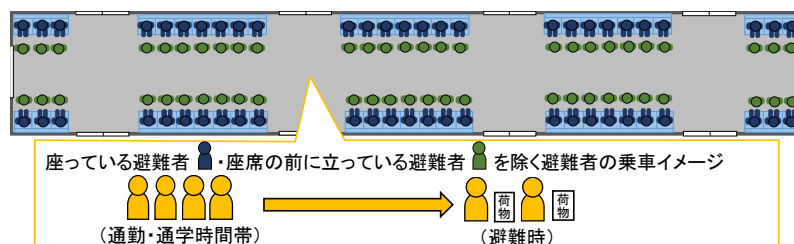


図 23 鉄道避難者の乗車イメージ

D: 1 日あたり運行時間

鉄道の一般的な運行時間帯である 6:00~24:00 を考慮し、18 時間とする。本稿においては、時間帯別の輸送力の変化を考慮せずに、単純に 1 日あたりの輸送力を 18 時間で除している。これは、出勤ラッシュのピークである午前 8 時前後と、鉄道運行のない夜間を除けば、鉄道避難の輸送力は時間帯に依存しないことが分かっているからである。理由は次のとおりである。

詳細なデータのある日比谷線（伊勢崎線相互直通）北千住駅における時間帯別の輸送力と平常時の鉄道乗車中人数⁵⁸を比較すると、利用者が極端に増加する朝の通勤時間帯のみ、鉄道乗車中人数が輸送力を上回っている。立退き避難時の条件設定を考慮した輸送力（乗車率 135%、運行率 70%）と、非避難交通（外外交通と内外交通）とを比較すると、午前 8 時前後以外は一定の差を保ちながら推移している。

なお、計算が複雑になるが、地域特性に応じて、時間帯別の輸送力を設定してもかまわない。

⁵⁷ 東京圏における主要区間の混雑率（H27 国土交通省）の最大値は 199%である。

⁵⁸ 平成 24 年度大都市交通センサス分析調査報告書における北千住駅の隣接駅間（小菅・南千住）の乗車人数の平均値。輸送力についても、これと比較するために、小菅方面・南千住方面の輸送力の平均値としている。

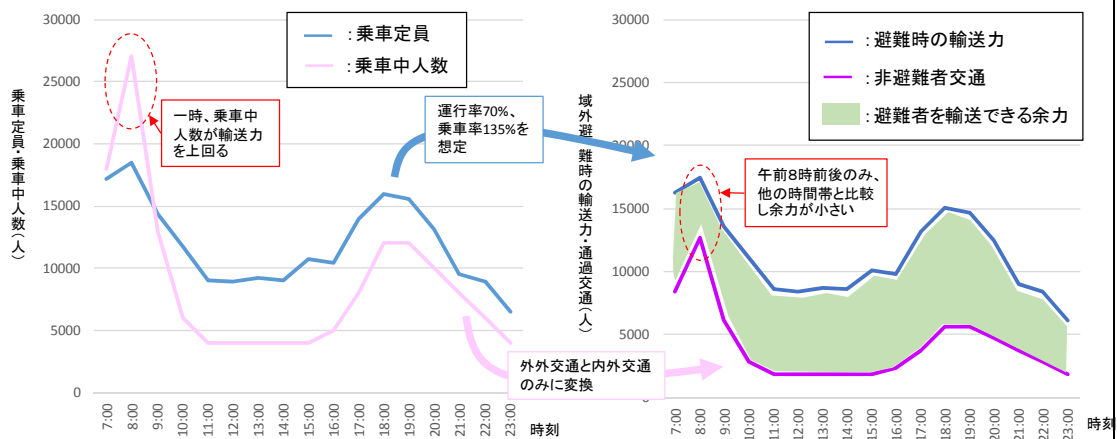


図 24 乗車定員・乗車中人数（平常時）と輸送量（避難時）の時間推移

③乗車時間

乗車した後は、浸水区域外の駅まで輸送されることとなり、乗車時間は次式で求めることができる。

$$\text{乗車時間} = \text{乗車駅から路線別・方面別の浸水区域外の駅までの乗車距離} \div \text{速度} \dots (\text{式 20})$$

乗車距離は営業キロとする。速度については、混雑等により平常時の速度よりも遅くなると想定されること、途中で乗換えもあると考えられるため、表定速度を参考としつつ設定する。各路線・方向で個別に設定することも可能であるが、ここでは公表されている首都圏主要路線の表定速度⁵⁹を参考としつつ、下限側の値として全路線・方向で一律に 30km/h ととする。

【江東 5 区の場合】

自動案内軌条式旅客輸送システム（AGT）である日暮里・舎人ライナーの乗車率については、網棚がないこと等から 120%とした。

徒歩や自動車と同様に、避難時間に基づき地図を色分けする。鉄道は交通容量が大きいことから、避難に 24 時間以上を要する経路はなく、最も時間を要するのは日暮里・舎人ライナー、京成本線普通の 11 時間である。

自らの居住地に最も近いボトルネックを経由して避難すると、鉄道避難では 11 時間を要することとなる。徒歩や自動車以上に全体的に避難時間が短いため、駅間の交通誘導により避難時間の短縮が可能である。また、徒歩や自動車から交通手段を転換させることにより、避難時間を短縮させることができる。

⁵⁹ 速達性の向上の現状と今後の取組のあり方について（国土交通省）

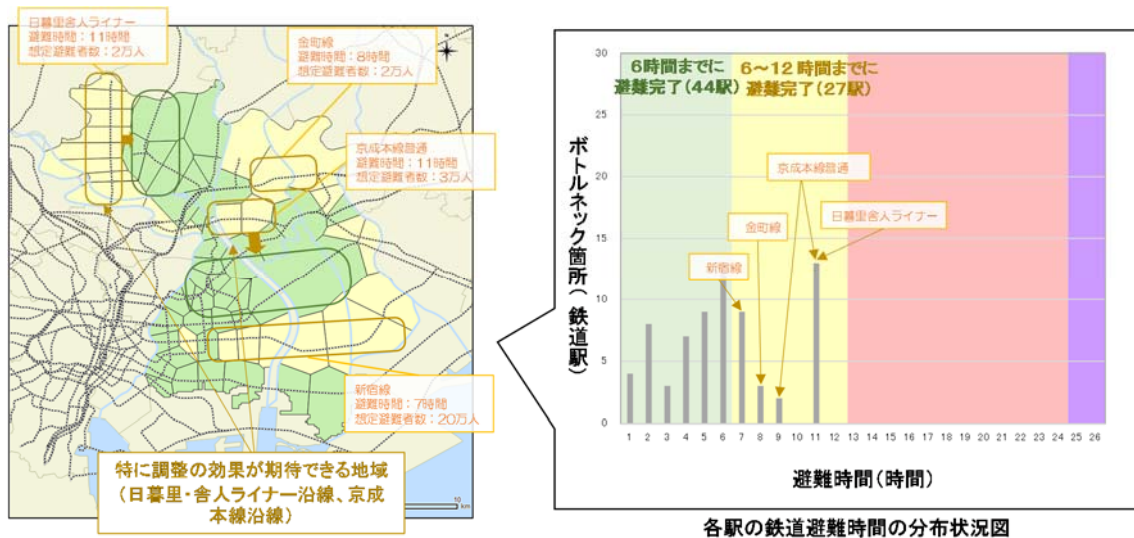


図 25 鉄道避難時のボトルネック毎の避難時間

3. 5. 6 避難時の事故対策

これまでに述べた避難時間については、避難時に交通誘導等により一定の混雑制御が可能であるという前提に立っているが、極端な混雑状況になると、人命にかかわるような事故が発生するおそれもある。交通手段別で事故を防ぐための対策を述べる。

<徒歩>

以下の 2 つの方法が主となる。これらを実現するために、予想されるボトルネックでどのような警備体制をとるか事前に検討しておく必要がある。しかし、膨大な避難者数に対して、出動できる警官の数には限度があるため、普段から避難訓練を定期的実施し、避難者が自発的に整列して避難できるようにしておくべきである。

(1) 交通誘導措置

ボトルネックの大部分は橋梁である。幅員の狭い橋梁の歩道部に避難者が集中すると、滞留や雑踏事故の原因となる。一定方向に一定速度で歩行者が動いていると事故は起きにくい、速度の急激な変化や別方向からの流入があると、歩行者にかかる圧力が変化して身体のバランスを失い転倒し、雑踏事故につながるおそれが増す⁶⁰。したがって、歩道部は一方通行とし、可能な限り速度変化を少なくする工夫をするとともに、側方からの流入を抑制することが望ましい。さらに、歩行者に余計な圧力が加からないように整列して歩くことが重要となる。

⁶⁰ 明石市民夏まつり事故調査委員会：第 32 回明石市民夏まつりにおける花火大会事故調査報告書、平成 14 年

(2) 避難者列の折り返し措置

橋梁等を目指してきた避難者が、可能な限り橋梁の近くで列の最後尾につけるよう、列を折り返す措置を行う。これをしないと、避難者が遠くまで引き返して最後尾に並ぶことを避け、側方から無理に流入しようとするおそれがあり、雑踏事故を招きやすくなる。



図 26 徒歩避難時の事故を防ぐための対策

<自動車>

混雑の発生により事故発生のおそれはあるものの、速度が遅いため、事故が発生しても人命にかかわるような事態まで及ぶおそれは小さい。

<鉄道>

鉄道による避難では、避難者が集中してしまうと駅構内・ホームで混乱が生じるおそれがある。特にホームによる混乱は、運行の遅延や停止に至った場合、避難時間が増加することに加え、停止した路線の鉄道駅における避難者の誘導も課題となる。また、駅の外まで避難者の行例が延びた場合、徒歩避難・自動車避難を阻害し、新たなボトルネック箇所を生じるおそれもある。このような事態を防ぐためには、駅への避難者の一斉集中を抑制する必要がある。

駅への集中が大きな問題となることを理解するために、次のような思考実験をする。

避難者輸送力は 1.2 万人/h の 1 路線が乗り入れる駅を中心とする半径 1 km の同心円の領域に、4 万人の避難者が一様に分布 (人口密度 1.27 万人/k²) していると仮定する。ここで、住民が一斉に避難を開始し、移動速度 3km/h で駅に向かうものとする。

この仮定に基づくと、避難者は鉄道の避難者輸送力を上回るペースで駅に集まることになる。避難開始 10 分後には、1 万人が駅に到着している一方で、0.2 万人が乗車することとなり、駅内には 0.8 万

人が滞留することになる。避難開始 20 分後には、4 万人が駅に到着している一方で、0.4 万人が乗車することとなり、駅内には 3.6 万人が滞留することになる。この滞留状況では、駅構内に留まらず駅外まで避難者の待ち行列となるおそれもある。その後、徐々に避難者の輸送が進み、避難開始から 3 時間 20 分後に全員の乗車が完了する。

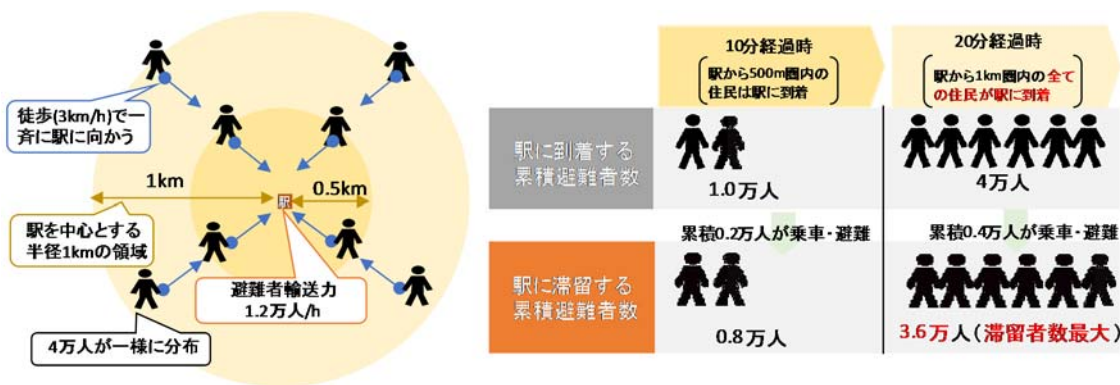


図 27 駅への一斉集中による滞留

このように、駅への到着者数は時間の二次関数である一方で、乗車人数は時間の一次関数であることから、駅への到着時刻をうまく分散させないと、以下のような課題が発生する。

- 多くの避難者が一度に到着すると、異常な滞留が生じ、雑踏事故等のおそれ
- 電車の輸送力未満の到着ペースだと、輸送力を最大限に活用できず、避難時間が長期化する
- 夜間や氾濫発生の一一定時間前には鉄道の運行が停止されるが（詳細後述）、停止直前に避難者が一斉に押し寄せた場合には、その時点から移動手段を鉄道から徒歩等に転じざるを得ないことによる避難時間の増加や、混雑を収集し運行停止に至るまでに想定以上の時間を要し、避難者と鉄道事業者の避難時間を確保できないおそれ

すなわち、大規模・広域避難においては、早期の避難開始を呼びかける必要がある一方で、特定の時刻に駅に避難者が集中する事態も避けなければならないという、技術的に難度の高いオペレーションが求められる。

このような課題を少しでも解消するため、駅到着時刻の分散対策や駅付近の混雑対策について検討し、避難者及び関係機関に協力を要請したり、夜間や氾濫直前における鉄道運行停止時間を可能な限り短縮できるような措置を検討するよう鉄道事業者に要請したりすること等が、対策として考えられる。

3. 5. 7 避難時間の短縮方策

これまで提案してきた避難時間の算出は、避難者の自由意思に委ねた場合を想定したものである。しかし、容易に想像がつくように、自由意思に委ねて避難者が自らの近場の経路を選択すると、例えば徒歩であれば混雑する橋梁とさほど混雑しない橋梁とで避難時間に大きな差が出ることとなる。また、交

通手段の別でも、鉄道に比較的余裕があるのに、自家用車保有者は自動車避難をしようとしてしまうと
 いった事態も生じる。すなわち、避難者の自由意思に委ねると、交通手段・経路別で避難時間に大きな
 差が生じる。

このような事態を解消するため、立退き避難の対象地域全体の総避難時間を最短化する方法を提
 案する。3つの橋梁での避難を考えてみる。他よりも避難時間を要するボトルネックから、避難時間が比
 較的短いボトルネックへと避難者を誘導することとなるため、最終的にどのボトルネックの避難時間も等しく
 なった時に、総避難時間は最短化されたと言える。

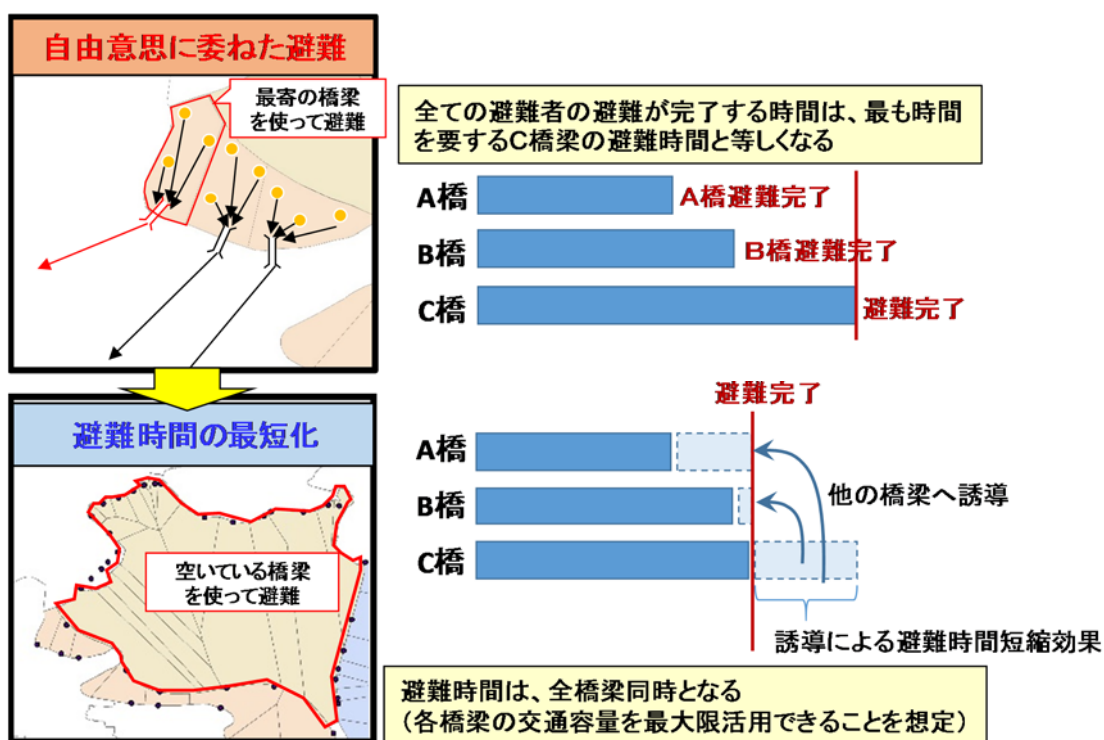


図 28 避難時間最短化の考え方

立退き避難の対象地域全体の交通手段・経路においてこの作業を実施すれば、全避難者の避難行
 動を全体で最適化することで、避難時間の総計を最小化した場合の避難時間を算出することができる。
 最小化した避難時間は、地域全体を一つと見なして、全ての立退き避難者と非避難交通を、全てのボ
 トルネックの時間交通容量の総和で除したものとなる。さらに、交通手段別・経路別の時間交通容量か
 ら非避難交通を引き、それに最適化された避難時間を乗じると、交通手段別・経路別の最適な避難者
 配分量が得られる。

ただし、このように算出した避難時間は理想的な状況を仮定した場合であり、実際には自由意思に
 委ねた場合と最適化した場合との間の避難時間となると考えられる。

また、全体を最適化することで、遠方のボトルネック箇所まで迂回を強いられる地区や希望しない方面
 への避難を求められる避難者が生じるおそれがある等、個人単位・地区単位でみると自由に避難した方

が明らかに望ましい場合も出現し得るため、避難者が避難方針に協力するような意識醸成やインセンティブ付与を検討しておく必要がある。例えば、地域別の長距離の迂回を強いられる地区については、ボトルネックの容量増強、バス等による駅間移動の誘導等の対策をとることが考えられる。

さらに、歩行者密度の低減、自動車速度の向上、鉄道運行率の向上、携行荷物量の縮減、非避難交通の抑制等、避難時間短縮のための対策については、避難時間算出のための係数を変更することで、その効果を分析することもできる。避難訓練による習熟や関係者の協力体制に応じて、これらの係数を変化させ、避難計画を高度化していくことが考えられる。

一方で、次節において避難開始のタイミングを設定することとなるが、避難時間があまりにも長くなり災害予測の精度が極端に落ちるような状況になるのであれば、多少の無理をしてでも避難時間を短縮するか、予測精度の低い状況であっても避難開始を判断するか、いずれかあるいはその双方を選択する必要が出てくる。このように、大規模・広域避難の実現性を確保するためには、避難時間の長さや災害予測の精度とが相互に影響しているため、全体として実効性のある避難計画とするためには両者を適切な範囲まで向上させることが必要となる。

【江東5区の場合】

避難時間の最短化を図るために、まず各交通手段において立退き避難者が利用可能な交通容量（以下、「時間あたり避難可能人数」という。）を整理する。この数値は各交通手段において全交通容量から非避難交通量を差し引くことで求められ、徒歩 26 万人/h、自動車 9 万人/h、鉄道 33 万人/h の合計 69 万人/h となる。各交通手段別の避難可能人数に比例して避難者を分配することで、避難時間の最短化を図ることができる（厳密には、自動車の非避難交通が避難者数に依存して変化するため、避難時間の最短化にあたっては何度かの収束計算が必要である。）。自由意思に委ねた場合の交通手段では自動車が多くなっているが、自動車による避難可能人数は小さいため、自動車避難を抑制する必要がある。一方で、移動困難者のように、自動車でなければ浸水区域外までの移動が困難な避難者も存在するため、自動車避難の抑制が移動困難者の避難行動に支障がないかを確認する必要がある。

同様に、各交通手段における避難経路別の時間あたり避難可能人数を算出し、それに応じて避難者を分配することで、各経路の避難時間も最短化することができる。こうして、全交通手段・全経路の避難時間を短縮すると、約 3 時間で立退き避難の対象者全員の避難を完了することができる。一方、自由意思に委ねた場合は、先に見たとおり自動車避難の最も混雑する経路で 58 時間を要している。参考のために 9 割が避難完了する時間を見てみると、約 17 時間となっている。このように、交通手段・経路別に避難者を計画的に配分することにより、避難時間を大幅に短縮することができる。

表 5 避難時間の最短化の効果

	自由意思に委ねた避難	避難時間の最短化
徒歩	56万人(32%)	67万人(39%)
自動車	49万人(28%)	24万人(13%)
鉄道	70万人(40%)	83万人(48%)
合計	174万人	

自由意思に委ねた場合の避難時間 約17時間(避難者の9割が避難完了する時間)

- ・渋滞状況にかかわらず、自分で決めた交通手段により、最短距離で避難
- ・交通手段・経路を途中変更しないと仮定しているため、**実際にはより少ない時間で避難可能**

避難時間を最短化した場合の避難時間 約3時間

- ・避難時間の総計が最短となるよう、交通手段と経路の誘導・分散
- ・**理想的な状況を仮定(非効率なし)**しているため、様々な不確定要因から、**実際にはより多くの時間が必要**

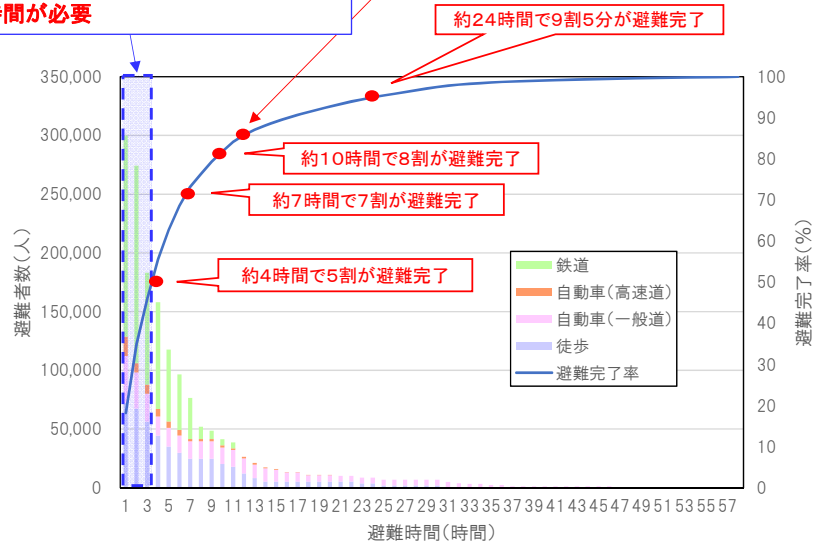


図 29 自由意思による避難と最短化した場合の避難時間の比較

さらに、これまで設定してきた各種係数を変化させた場合の避難時間の変化を観察することにより、採り得る対策の効果を検証する。元々、交通容量が大きい徒歩と鉄道については、歩行者密度の最適化、鉄道運行率の維持等により、数割の避難時間短縮を見込むことができることが分かる。一方、自動車についてはあまり大きな時間短縮効果は見込めない。これを参考にして、効果の高い対策に重点的に取り組むことが可能となる。

表 6 交通容量を増強させる対策とその効果

	各交通手段の時間あたり避難可能人数の変化	時間あたり避難可能人数69(万人/h)の変化(倍率)	避難時間の変化
歩行者密度の最適化 3.5 → 2.0 (人/m ²)	徒歩 26 → 63	105 (1.53倍)	35%減
自動車速度の向上 3 → 5 (km/h)	自動車 9 → 18	77 (1.12倍)	11%減
鉄道運行率の維持 70 → 100 (%)	鉄道 33 → 50	86 (1.26倍)	20%減
荷物量の半減	徒歩 26 → 40	82 (1.19倍)	16%減
	鉄道 33 → 39	75 (1.10倍)	9%減
非避難交通の抑制 50 → 0(%)	自動車 9 → 13	72 (1.05倍)	5%減
	鉄道 33 → 41	77 (1.12倍)	11%減
上記全ての対策を実施	徒歩 26 → 94 自動車 9 → 21 鉄道 33 → 68	184 (2.68倍)	63%減
鉄道の完全運休	鉄道 33 → 0	36 (0.52倍)	91%増

3. 6 手順6 避難勧告等の判断基準の設定

避難時点での対象地域における気象条件・交通条件を把握する。強風雨や周辺の中小河川の氾濫等により、鉄道等が使用できなくなる場合があるからである。また、氾濫のおそれがある前や夜間には鉄道は運休していることも、考慮する必要がある。これらと、先に求めた避難時間との双方を踏まえ、避難勧告をどのタイミングで発令すべきか、そのためにはどのような災害予測手法が考えられるか、ということをも提案する。この手法で避難勧告の判断基準を一度決めておいて、その後の避難時間短縮の実現可能性や災害予測精度との関係から、両者をともに向上させつつ、バランスをとっていくということになる。

災害予測については、洪水と高潮では発生する現象も、関係する防災機関も異なるため、対象災害に応じて災害予測を担当している河川管理者、海岸管理者、気象機関の助言を求め、これらの関係機関とともに避難計画の立案と改善をしていく。

3. 6. 1 交通条件を考慮した避難開始時間の設定

避難時間の算出は先に述べたとおりであるが、これは気象条件が非常に良い場合であり、実際には強風雨による交通状況の悪化や中小河川が先に氾濫する等により、より長時間を要することとなる。また、鉄道は夜間は運行されず、また決壊のおそれがある時には前もって運行停止となる。これらの状況を把握することが必要となる。

まず、気象条件を把握する。大規模・広域避難が必要となる災害の場合、一般には流域面積の大きな大河川の洪水、または大規模な台風による高潮からの避難である。したがって、対象災害が巨大であつても避難をしている最中には対象地域にはほとんど風雨が来ないような気象状況の場合もある。その一方で、対象地域内の中小河川が先に氾濫する等により、避難が困難になる状況も想定される。このようなことを念頭におき、対象地域の風雨、中小河川の状況等を確認することとなる。

平均風速 10~15m/s になると風に向かって歩けにくく、傘がさせなくなり、さらに 15~20m/s になると風に向かって歩けなくなると言われている。雨量 20~50mm/h になると傘をさしていても濡れ、ワイパーを速くしても車からの視界見づらくなり、さらに 50mm/h 以上になると傘は全く役に立たなくなり、車の運転が危険になる⁶¹。なお、鉄道については、鉄道事業者によって点検・運行基準等が異なったり、別地域での強風による点検・運行停止が相互直通運転や車両の融通等の影響により別路線へと波及することがあつたりするため、個別に確認が必要となる。

これらを基に、時間別に徒歩・自動車の速度設定、鉄道の運行速度・運休等の条件を設定する。さらに、中小河川や下水道からの氾濫がある場合には、それらも考慮して交通条件を設定する。

また、乗客・乗務員の安全を確保するため、鉄道等の公共交通機関は決壊前に十分な時間的余

⁶¹ 気象庁ホームページより

裕をもって運行を停止する。特に、地下鉄については、地下トンネルを経由して氾濫水が拡散することを防止するため、入口の止水対策やトンネル内の止水壁の設置等をする場合がある。このような場合には、さらに前もった運休をすることがある。加えて、前もって協議・計画をしていない限りは、夜間運行が困難であるため、夜間についてはダイヤ通り運休するものとする。

避難に要する時間と、これらの気象条件・交通条件とを総合的に踏まえ、避難開始時間を設定する。

【江東5区の場合】

江東5区におけるカスリーン台風時の気象状況等は先に見たとおりである。荒川と江戸川以外の周辺河川の洪水及び沿岸部の高潮に関しては、顕著な水位変動はない。また、岩淵地点の水位がピークとなる時刻の7~10時間前に時間雨量19~35ミリ、平均風速10~14m/sとなっており、「傘をさしたままでの歩行が困難」となる程度の風雨である。これらの記録は都心部でのものであるため、沿岸部や渡河部においては風はさらに強かったおそれがある。

この数値を基にすると、決壊7~10時間前には強風雨により、沿岸部、渡河部を中心に、歩行速度が低下するとともに、鉄道の大幅な遅延や運行停止、それに伴う事業者間の相互直通運転のとりやめによる運行本数の減少が発生すると、想定することができる。

また、鉄道については、聴き取り調査の結果から、次のような条件であることが分かっている。決壊のおそれがある6時間程度前には、乗客・乗員の安全確保、車両退避等のために、全鉄道が運行停止する。さらに、地下鉄については、氾濫流拡散防止のための止水措置のため、決壊のおそれがある12時間程度前には運行停止する。また、夜間においては最大6時間、運行されない。

最適化された避難時間は、鉄道が利用できる場合は3時間程度であるが、徒歩・自動車のみであると6時間程度となる。また、避難者の自由意思に委ねると、9割の避難者が避難完了するのにそれぞれ最適化時間の5倍程度を要することとなる。実際の避難時間は自由意思による避難と最適化された避難との両者の間になると考えられる。このことと、気象条件・交通条件を考慮すると、氾濫のおそれがある24時間程度前には避難開始することが望ましいことが分かる。

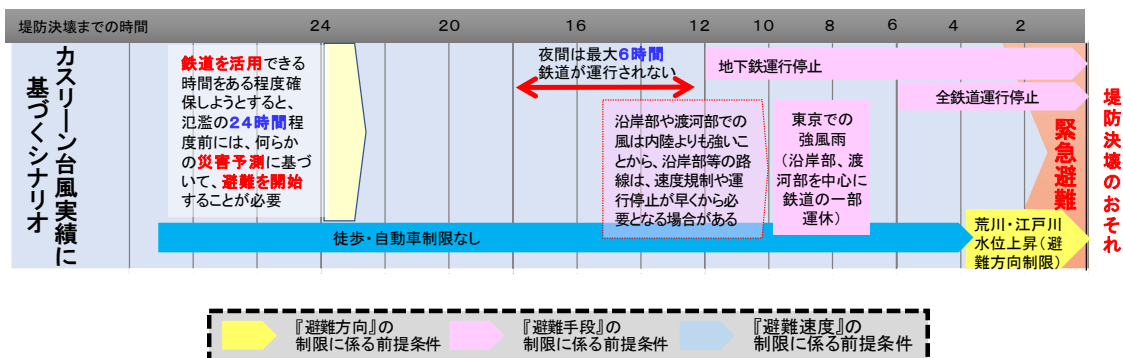


図 30 堤防決壊までの時間と交通条件の整理

3. 6. 1 避難開始を判断するための災害予測の検討

先に決めた避難開始時間を実現するためには、避難勧告等を適切な時間的余裕をもって発令できるかどうかの検証、すなわち対象とする災害の長期予測の精度の検証が必要となる。避難開始のための災害予測の精度があまりにも低い場合には、多少の無理をしてでも避難時間の短縮が必要となるからである。

高潮については、「伊勢湾台風」級⁶²の台風等により、これまで経験したことのないような高潮になることが予想される場合には、気象庁から高潮特別警報が発表される。この場合、早ければ上陸する24時間前に、特別警報発表の可能性がある旨が、府県気象情報や気象庁の記者会見等により周知される。特別警報発表の判断は台風上陸の12時間前に行われ、その時点で発表済みの高潮警報が全て特別警報として発表される。その時点で高潮警報が発表されていない市町村についても、台風が近づくと従い潮位が警報基準に達すると予想される約3～6時間前のタイミングで高潮特別警報が発表される。現状提供されている情報の中では、これを基に避難開始を判断することとなるが、大規模・広域避難の開始を判断すると、膨大な人数が長距離移動することとなるため、気圧・風速・進路の組合せで高潮被害が発生し得るのかを予めシミュレーション等を実施しておくことで、その地域の特性に応じた定量的な判断基準を設定しておくことが望ましい。

一方、洪水については、洪水予報河川における洪水予報は3時間程度先までであることが多い。しかし、大規模・広域避難においては、3時間先までの洪水予報のみで避難することは不可能であり、長時間先の災害予測は必須である。一方で、河川の特徴から、一定以上の時間の予測精度が急激に低下することもある。他方、地域の特性から、避難時間を一定以上に短縮させようとすると、相当な無理をしなければならない場合もある。このようなことから、双方のバランスをとりながら、長時間先の災害予測を試みる必要がある。

長時間先の災害予測については、河川管理者（または海岸管理者）及び気象台に開発を要請することとなるが、長時間になるほど予測精度は大きく低下する。予測の長時間化に伴う精度低下の情報と避難時間の短縮の困難度とを考慮して、どの程度の精度で避難開始とするのかを予め決定することが必要となる。

また、高潮と洪水のどちらの場合においても、避難開始の判断には暴風の期間も考慮する必要がある。

【江東5区の場合】

先に見たとおり、江東5区における大規模・広域避難は、氾濫のおそれのある24時間程度前に開始する必要がある。

ここで、カスリーン台風時における上流から下流への水位伝播をみると、最上流の水位観測所から対象地点までのピーク水位の時間差は約10時間半であった。すなわち、カスリーン台風時には10時

⁶² 中心気圧 930hPa 以下又は最大風速 50m/s 以上（ただし沖縄地方、奄美地方及び小笠原諸島を除く）

間半前には上流で異常に高い水位となっており、大規模な洪水の発生を覚知できたものと推測される。さらに、ほぼ同時刻には上流の山間部での降雨は終わっており、累加雨量は 600mm 超となっており、大規模洪水の発生も予測される降雨量となっている。しかし、下流のピーク水位の 24 時間前となると、上流の山間部で累加雨量 240mm となっており、中規模の出水は想定されるものの、大規模洪水が発生するかどうかは、この時点では不確実性が高い。このように、24 時間前の災害予測の精度を上げようとすると、長時間先の降雨予測の制度を向上させるとともに、降雨から河川への流出過程、上流から下流への伝播過程に存在する様々な不確実性を低減させることが必要となり、これまでの 3 時間程度先の災害予測よりも、はるかに精度が低くなるのが分かる。

これまでの 3 時間程度先から 24 時間程度先まで予測時間を長期化させるため、まずは、「上流山間部の累加雨量が ●●mm と予想される時」というような目安を設定することが必要である。

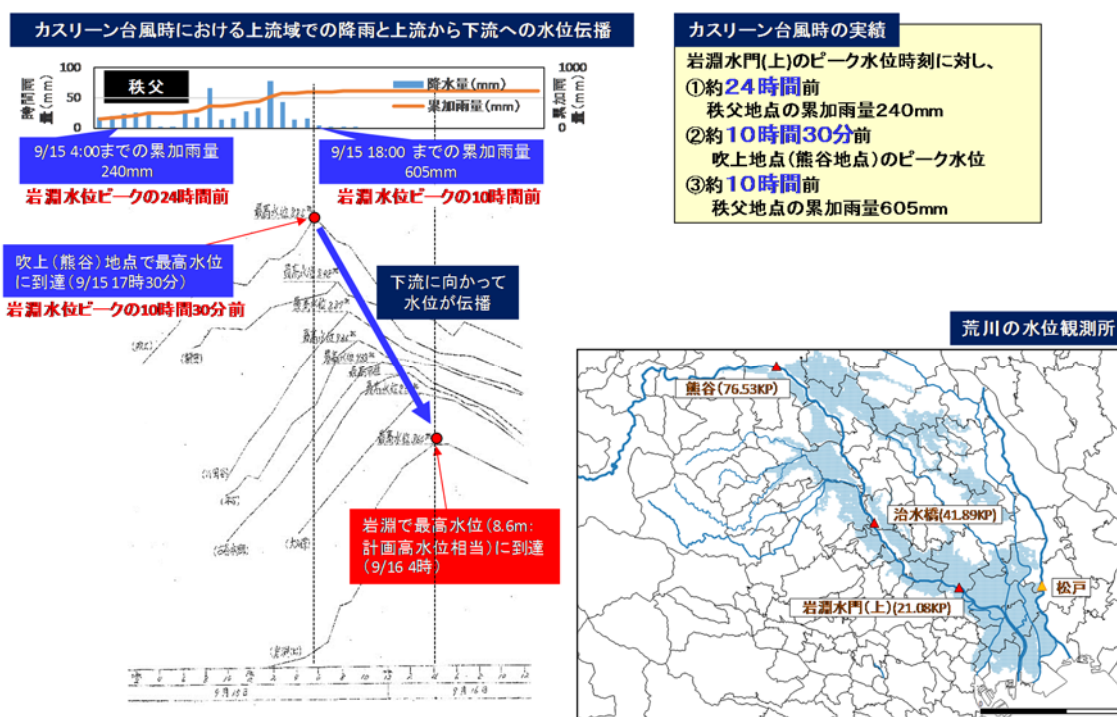


図 31 カスリーン台風時における時系列の気象状況

3. 7 手順7 大規模・広域避難の避難先の確保

大規模・広域避難においては、立退き避難の対象者が数十万～百万人以上にも及ぶ膨大な数になる。このような膨大な人数を公的な避難施設のみで収容しようとする、周辺自治体との調整が難航することに加え、結果的に避難距離が長くなり立退き避難に対する抵抗感を高めてしまうおそれがある。

そこで、大規模・広域避難においては、避難者自身において自主避難先を確保することを積極的に推奨し、自主避難先への避難を前提とし、それへの支援策をとることを基本とする。

3. 7. 1 自主避難先の確保

浸水区域外への避難先について、公的避難施設のみで対応しようとする、周辺自治体との調整難航や避難の長距離化を招くおそれがある。具体的には、多くの周辺自治体に避難者の受入の協力依頼を求めることとなるが、受入側の自治体は被災していないにもかかわらず受入期間中は学校使用に支障がある等、住民の日常生活にも大きな影響を及ぼすこととなり、調整が難航することが予想される。

加えて、避難者数があまりにも膨大だと、隣接自治体に留まらず、さらに遠隔地の自治体に公的避難施設への受入協力依頼をする必要も出てくる。これにより、調整先が多くなることにより調整がますます難航したり、避難距離が長くなることにより避難者の立退き避難に対する抵抗感を増したりするおそれがある。

また、避難先となっている周辺自治体は浸水のおそれ比較的小さい地域であることが必須条件であり、浸水のおそれの高い自治体から、おそれのない自治体に協力を依頼することになる。つまり、相互協力ではなく片務的な協力依頼となるため、地震等の他の災害と併せて協力関係の均衡をとる等の策を採らない限りは、調整が進まないおそれが高い。

このようなことから、大規模・広域避難においては、避難者に対して自らで避難先を確保するように求めることとする。例えば、常総水害調査においては、浸水区域外への立退き避難をした住民は 48% であり、その避難先の内訳として、公的な避難施設が 41%、親戚・友人宅が 38%、その他（宿泊施設、勤務先等）が 21% であった。このように、浸水区域外への避難先として、避難者自らで確保したのは約 6 割であり、大規模・広域避難においても、避難者に対して自らで避難先を確保するように求めることには現実性があると言える。

また、自主避難先の確保について、住民のみならず、企業や学校、宿泊施設等に協力してもらえよう社会気運を高める必要がある。

なお、縁故がない、資力がない等の事情がある避難者への対策として、浸水区域外の公的避難施設をどのように確保・調整していくか、または、宿泊補助制度⁶³等の自主避難先確保の推奨策について

⁶³ 和歌山県那智勝浦町市野々地区においては、地区独自の取組として、町内のホテル等の宿泊施設と協定を結んでおり、避難勧告等が発令された場合には割引料金で宿泊できるようになっている。その中にはペットを同伴できる宿泊施設もある。

は、今後のWGにおいて検討する予定である。

【江東 5 区の場合】

江東 5 区住民を対象にした住民インターネット調査においては、5 区外に自ら避難先を確保することができる人と回答した人は、45%⁶⁴であった。また、浸水区域内に留まるリスク及び自主避難先を確保することの必要性について、啓発活動を進めることにより、この割合をさらに増加させることが可能であると考えられる。

例えば、江東 5 区の場合、次のような手順で計算することで、全人口の約 39%が 5 区外への通勤先を有していると推計することができる。まず、全世帯数 115 万⁶⁵に占める共働き世帯の割合は 20%⁶⁶、非就労世帯の割合 7%⁶⁶である。また、5 区から 5 区外への通勤者は 48 万人⁶⁷である。これらを基に、共働き世帯については 2 人、共働きでも非就労のみでもない世帯には 1 人の就労者がいるものと仮定し、さらに 5 区外への通勤者が全就労者の分類に等分布するものと仮定する。加えて、全世帯のうち一人でも 5 区外への通勤者がいる世帯については通勤先に避難可能とする。なお、5 区外への通学者については、5 区外の通勤世帯と重複がある可能性が高いことから、計上しないこととする。この推計が正しいとすると、5 区外に自ら避難先を確保することができる人と回答しなかった人の割合 55%のうち 39%は勤務先が 5 区外にあるということであるから、21%が新たに 5 区外に避難先を有しているということになる。元々 5 区外に避難先があると回答した 45%と足して、66%が 5 区外に自主避難先を有していることとなる。

このように、どの程度の住民が浸水区域外に自主避難先を確保できる可能性があるかをアンケート調査や統計調査結果からの推計し、周辺自治体に公的避難施設を依頼する数量の目処をつけておくことで、調整を円滑に進めることができる。

さらに、前に紹介した住民聴き取り調査においては、浸水区域内に留まる意向を持っていた住民であっても、居住地区が抱える浸水リスクの説明を聞くことで、江東 5 区外の浸水しない地域へと避難する意向へと変わっている。リスクを認識した後に江東 5 区外への避難意向を示したのは、移動困難者を抱える世帯では聴き取り調査に応じた 41 世帯中 40 世帯であり、移動困難者はおらず物理的には 5 区外に避難可能なものの 5 区内に留まる意向を示した世帯で聴き取り調査に応じた 23 世帯については全世帯であった。ただし、この聴き取り調査に応じてくれた世帯は行政に対して協力的な傾向を持っている可能性が高く、この割合をそのまま 5 区全体に適用することは慎重であるべきであるが、浸水リスクに対する普及啓発活動により、避難行動は大きく変わり得るということである。

自主避難先の確保を奨励したとしても、避難先を自らでは確保できない避難者も存在するため、5 区外の公的避難施設を一定数確保することが必要である。江東 5 区、離島を除く地域において、今回の水害により浸水するおそれのある地域にない公的施設における収容人数は、先に示したとおりに計算す

⁶⁴ 床上浸水継続 3 日以上に住所がある人を対象に集計した。

⁶⁵ 平成 22 年国勢調査（総務省統計局）人口等基本集計 第 2 表

⁶⁶ 平成 22 年国勢調査（総務省統計局）産業等基本集計 第 23 表

⁶⁷ 平成 22 年国勢調査（総務省統計局）従業地・通学地集計 従業地・通学地による人口・産業等集計 第 2 表

ると250万人となる。ただし、この数値には、東京湾高潮、多摩川水系や神田川水系の洪水氾濫を考慮したものとはなっていないため、今後、これらの影響を考慮したものとする必要がある。数値上は東京都内の公的施設の避難可能人数は江東5区からの立退き避難者を大きく上回ることが確認できたが、受入先となる区市町村や周辺住民との調整が必要となるほか、江東5区以外からも立退き避難者が発生することに留意が必要である。

3. 7. 2 浸水解消後の早期帰還

氾濫が発生するまでは、どこの堤防が決壊するのか、事前に予想することは困難であり、立退き避難者数が膨大となるため、自主避難先を持たない住民や移動困難者が存在することから、自らの自治体内の公的避難施設のみでは不十分であり、周辺自治体にも公的避難施設供与の協力を依頼せざるを得ない。これは先に見たとおりである。一方で、氾濫発生後に河川水位が低下し、浸水が解消していくにしたいが、現に浸水していない地域、浸水が解消した地域の住民は、自宅に戻ることが可能となる。このように、災害が一定程度収まった後は早期に帰還することで、周辺自治体での公的避難施設の開設日数を短期間にとどめることが可能となり、公的避難施設の供与協力を求める調整がより円滑になることが期待される。

ただし、ひとたび浸水してしまうと浸水解消後であっても、全居室が水没したため自宅では生活できなかったり、仮に浸水していない階層があったとしても、ライフラインが復旧し、氾濫水が残した泥の撤去・清掃が十分にできるまでは、自宅では生活したくないと感じる住民もいると想定される。しかし、先に述べたような理由から、周辺自治体の公的避難施設については、その総量を少なくすることに加え、開設期間についても短くすることが求められるため、可能な限り避難住民が居住する自治体内における公的避難施設を活用することが考えられる。

【江東5区の場合】

事前の立退き避難ではどこが決壊するか不明であるため、155～174万人が立退き避難の対象となる。ここで、174万人が立退き避難した場合における、各決壊地点別の避難人口を分析してみる。

荒川堤防の代表的な決壊地点12点で見ると、決壊後3日までに浸水している人口は2～48万人となっており、最も多い場合であっても最大包絡の28%に留まる。すなわち、決壊後3日経過した時は最大で48万人が自宅に帰還することができないということであるが、このうち自主避難先に身を寄せている住民がそのうちの66%いることを考慮すると、5区外の公的避難施設で避難生活を送っているのは、15万人と想定される。この人数であれば、5区内の浸水していない公的避難施設に収容可能である。

これらのことから、5区外の公的避難施設で避難生活を送る住民は、決壊3日経過後を目処に、5区内の公的避難施設へと戻ることを奨励すれば、その全てを5区内の公的避難施設に収容することが可能であるため、5区外の公的避難施設供与は3日間のみとすることができる。このような対

応方針とすることで、周辺自治体との調整をより円滑に進めることが可能となる。

ただし、たとえ浸水が解消していたとしてもライフラインが復旧せず泥が撤去されていない状況では住めないという住民もいると考えられるため、自主避難先確保をさらに推奨したり、5 区内の公的避難施設の拡充したりすること等の検討が必要となる。

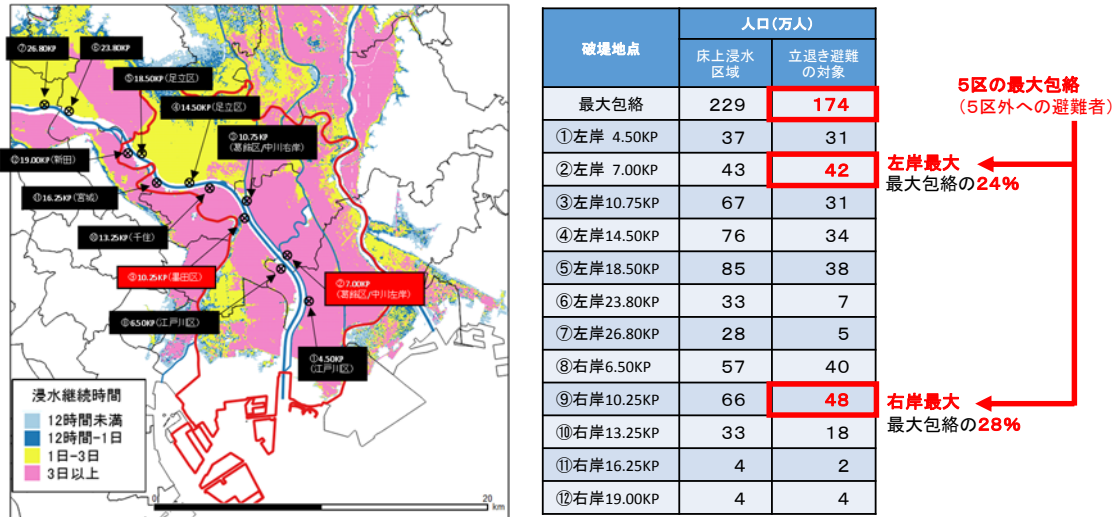


図 32 決壊地点別の立退き避難対象人口⁶⁸

⁶⁸ KP (キロポスト) とは河川の河口からの距離を Km 単位で示したものであり、立退き避難の対象とは床上浸水継続 3 日以上、全居室水没、家屋倒壊とを重ねあわせた地域である。

4. これをもとに実地で検証する事項

これまでに述べたことを踏まえ、今後は、これらの考え方・算出方法について実地で検証をしていく必要がある。下図に、実地での検証や、関係機関において技術開発等が必要と考えられる事項を示す。

本WGで提示した基本的な考え方と定量的な算出方法を踏まえ、今後、実地での検証や、関係機関において技術開発等が必要と考えられる事項を以下に記載する。

※必要に応じて内閣府等が支援

域内避難・域外避難の両方に関すること
<ul style="list-style-type: none"> ■ 立退き避難の対象者を「浸水継続時間3日以上」または「全居室水没」または「家屋倒壊等氾濫想定区域」に該当する住民とすることの実現可能性 ■ 入院患者や施設入所者をはじめとした移動困難者の立退き避難及び屋内安全確保それぞれの避難行動の実態把握と実現可能性
域内避難に関すること
<ul style="list-style-type: none"> ■ 浸水域内に留まった人を可能な限り短時間に救助するための方法や、救助しやすい建物構造への改善
域外避難に関すること
<ul style="list-style-type: none"> ■ 各交通手段別で交通事故や群集雪崩等の事故を防ぐための具体的な対策（例えば、駅到着時刻の分散、駅前・構内の誘導、橋梁付近の誘導方法） ■ 混雑を緩和し避難時間を短縮するための対策 <ul style="list-style-type: none"> ・ 比較的余裕のある交通手段・経路への分散計画 ・ 非避難者による道路・鉄道の利用を極力抑制する方策 ・ 携行荷物の最小化、整然とした歩行 ・ 移動困難者が自動車避難できるような対策 ・ 長距離迂回者に対する措置 ■ 鉄道運行を延長することの必要性とその方法 ■ 親戚宅や通勤先等の自主避難先の確保の積極的な推奨（住民のみならず企業や学校、宿泊施設等に対して協力を求める）
計画の実効性に関すること
<ul style="list-style-type: none"> ■ 地域全体の最適な避難行動が実現されるよう、災害リスクやとるべき避難行動等について、周知活動や普及活動の効率的かつ効果的な方法 ■ 従来と比べて精度が低い予測に基づく避難判断となることについて社会合意を得るための方法 ■ 河川管理者（または海岸管理者）や気象庁による長時間先の予測精度を向上するための技術開発

図 33 実地での検証が必要と考えられる事項

これらの事項について、本稿で先に示したような考え方・方法を適用して、各地で検討を進めることと並行して、各地域における実態把握も必要である。具体的には、江東5区で実施したような各種調査を実施・分析することにより、各地域の住民や病院・福祉施設等における課題認識や避難意向、備えの状況等について実態を把握する。さらに、調査結果を分析することにより、周知活動等によって、実行性をどの程度向上させることができるのかについても把握することで、避難計画の立案に活かすことが重要である。