

避難施設の最適立地と 移動手段の確保



パネリスト： 広島大学 藤原 章正
ディスカッサント： 九州大学 塚原 健一

相乗型豪雨災害

2018年7月24日時点

- 斜面崩壊判読件数：7,448箇所
- 推定土石流氾濫域数：6,735箇所
- 交差道路箇所数：1,794箇所
- 災害による通行止め箇所・区間（広島国道事務所管理区間）：50箇所+6区間（7月8日時点）



平成30年7月豪雨災害の記憶

被災者だから
気づくこと

相乗型豪雨災害時の避難に課題

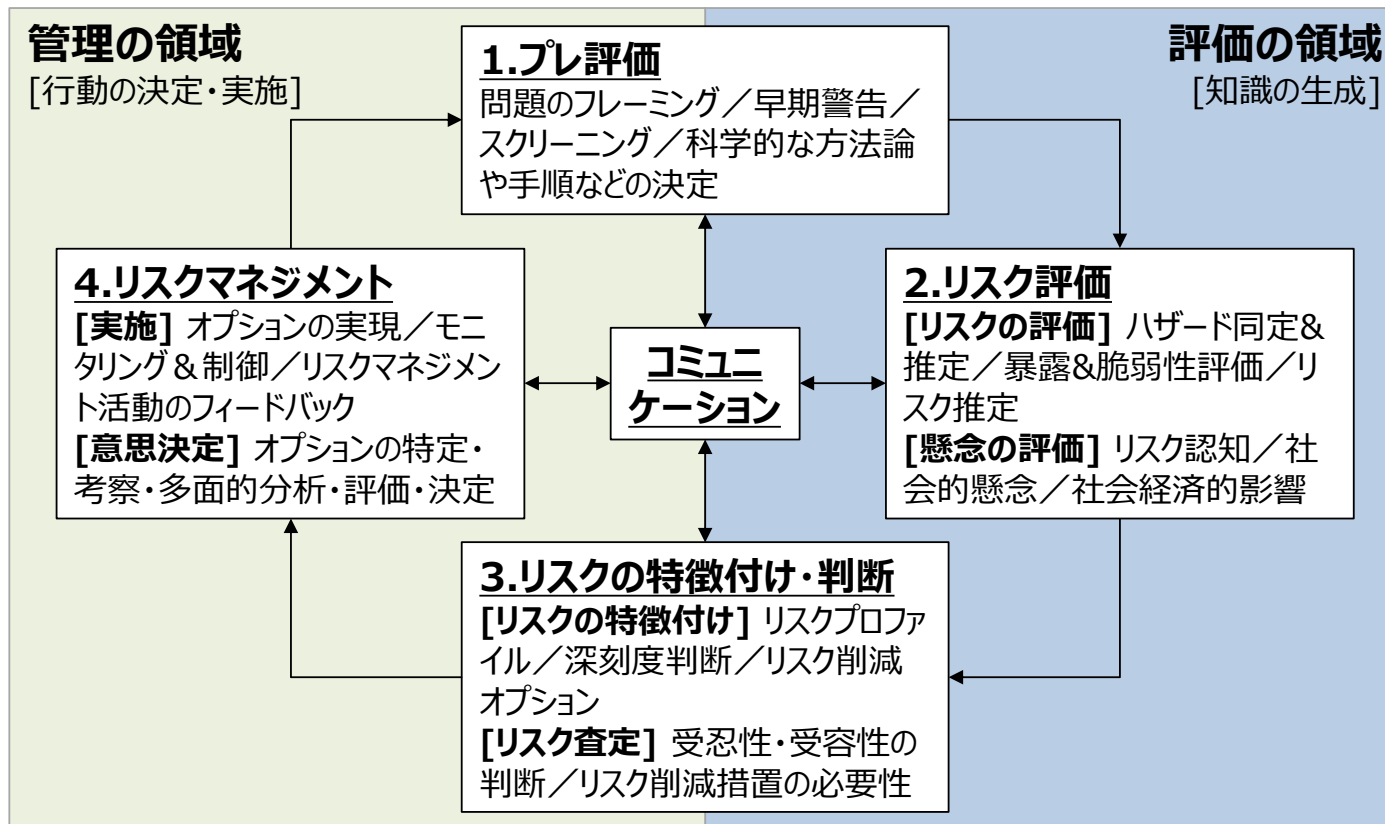
- **避難指示等を受けたのになぜ逃げないの？**
→避難率はわずか約5%
- **情報を受けた後の避難行動は合理的だったの？**
→いつ、どこへ、何で、どのようにして
- **避難行動を可能にするインフラの強靱化は？**
→避難先への経路（最短経路である保証はない）
→情報提供の手段（SNSが届かない）
- **過去の災害記憶は風化していない？**
→忘れ去られた災害碑、忘れさせない教材開発

COVID-19と自然災害の複合リスク

- **COVID-19 × 地震 (クロアチア・ザグレブ)**
 - 2020年3月22日にマグニチュード5.3の地震発生
 - 災害後にCOVID-19の感染者数が増加 (因果は不明)
- **COVID-19 × サイクロン (ソロモン諸島)**
 - 2020年4月上旬, サイクロンがソロモン諸島を通過
 - 安全な避難施設の確保, 緊急物資運搬が課題に
- **COVID-19 × トルネード (アメリカ南部)**
 - 2020年4月12日に複数のトルネードが発生
 - 外出禁止令を一時解除する事態に
- **COVID-19 × 豪雨 (熊本豪雨)**
 - 2020年7月に熊本県南部に大雨、球磨川氾濫.
 - 避難所でクラスターが発生した場合のマニュアルが課題に

リスク・リスクトレードオフ

- 特定のリスクを削減する努力（e.g., 避難指示）が、他のリスクを増大（e.g., 感染症）させる。



リスクガバナンス

通常の自然災害に比べて複合災害で
注意すべきことは？



意思決定環境の不確実性

- 現時点でCOVID-19への対応は、予防原則に従った判断がなされている
 - 曖昧性下の意思決定 ≈ 確率的評価は現時点では難しい
 - 自然災害についてはある程度科学的／確率的な判断が可能 (e.g., R'指標に基づく避難指示)
- 現時点でリスク・リスクトレードオフを定量的に評価することは困難
 - 複合リスクに対しては、
 - ① リスク【COVID-19】の受容基準 (e.g., 避難施設：1人当たり収容面積) を定め、
 - ② その範囲内でリスク【自然災害】の最小化を図る (e.g., 避難時間を最小化する避難施設の最適配置)の方策が現実的？

COVID-19下での避難施設の問題点



https://www.koho.metro.tokyo.lg.jp/diary/news/stay_home.html



益城町総合体育館
(読売新聞 <https://www.yomiuri.co.jp/local/kumamoto/news/20200525-OYTNT50067/>)

- 密閉 : 機械換気、窓の開放 → 可
- 密集 : 人数制限 (誕生月規制) → ×
- 密接 : 社会的距離確保 1~3m → ×

ではどうすれば良い？



分散避難

近所の避難施設への移動では、、、

- 三密（密閉・密集・密接）を回避できない
- 社会距離を確保できない可能性あり
- 避難施設までの道路混雑の可能性高い



COVID19感染の拡大と避難遅れのリスクが高い



参照URL：NHK特設サイト新型コロナウイルス
<https://www3.nhk.or.jp/news/special/coronavirus/>

感染回避（スフィア基準遵守）と無事避難、両方の条件を満たすためには、

- ① 建設により、避難施設の数できるだけ多くする
- ✓ ② 建設により、避難施設の収容人数をできるだけ大きくする
- ③ 情報提供により、低密度の避難施設へと誘導する
- ④ 情報提供により、避難の経路とタイミングを分散させる
- ⑤ 情報提供により、個人にあった分散避難を適切に配分する

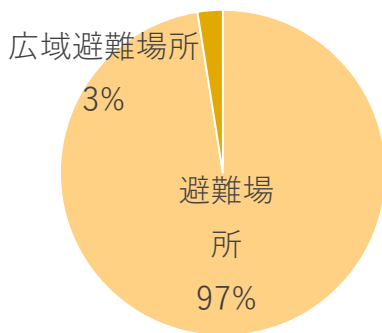
豪雨災害時の避難の検討

(H30豪雨災害の教訓と現状－東広島の場合)

- 常時開設避難施設（各地区）・・・・・・・・・・・・・・・・ 46箇所
- 車中泊用の避難施設（運動公園等 予定）・・・・・・・・ 6箇所
- 指定避難施設・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 240箇所

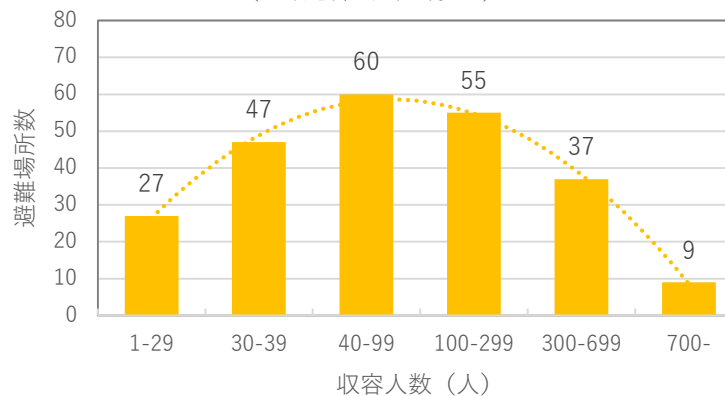
(出所：全国アレドコ<https://www.dokoda.net/hinanjo/hiroshima/34212/12.html>)

避難場所の種類



避難場所で収容できる人数

(広域避難場所を除く)



| 収容人数 | 場所数 |
|---------|----------|
| 1-29 | 27 |
| 30-39 | 47 |
| 40-99 | 60 |
| 100-299 | 55 |
| 300-699 | 37 |
| 700- | 9 |
| 総数 | 235箇所※ |
| 平均値 | 177人/場所 |
| 最小値 | 15人/場所 |
| 最大値 | 3000人/場所 |

※広域避難場所を除く

スフィア基準

一人当たりの収容面積 > 3.5m²/人

社会的距離は保持できるのか？ 11

問題点1 避難施設の収容量不足

避難しても避難施設に入れない人が続出する！

<東広島市全域>

- ・市内全域の人口・・・・・・・・約190,000人
- ・避難施設数・・・・・・・・240箇所

1 箇所あたりの平均避難者数：約790人/施設（需要）

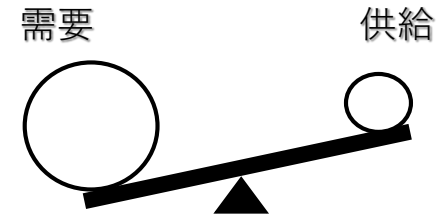
⇓
1 箇所あたりの平均収容数：約177人/施設（供給）

<土砂災害警戒区域・土砂災害特別警戒区域>

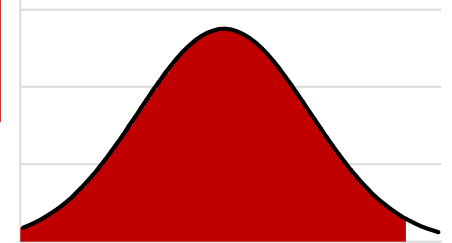
- ・土砂災害警戒区域の面積・・・・・・・・全域の約27%
- ・同区域の人口・・・・・・・・全体の32%
- ・避難者総数・・・・・・・・60,000人

1 箇所あたりの平均避難者数：約250人/施設（需要）

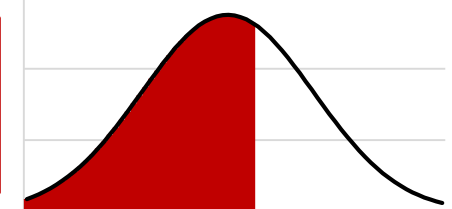
⇓
1 箇所あたりの平均収容数：約177人/施設（供給）



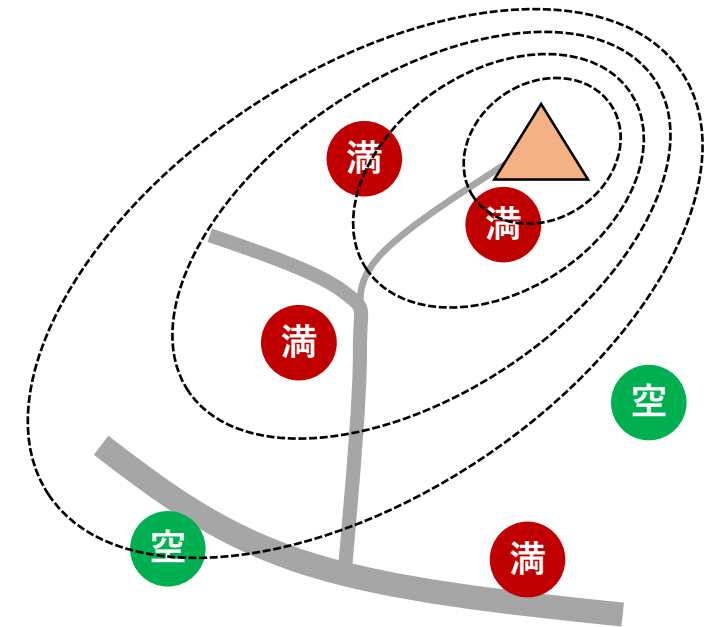
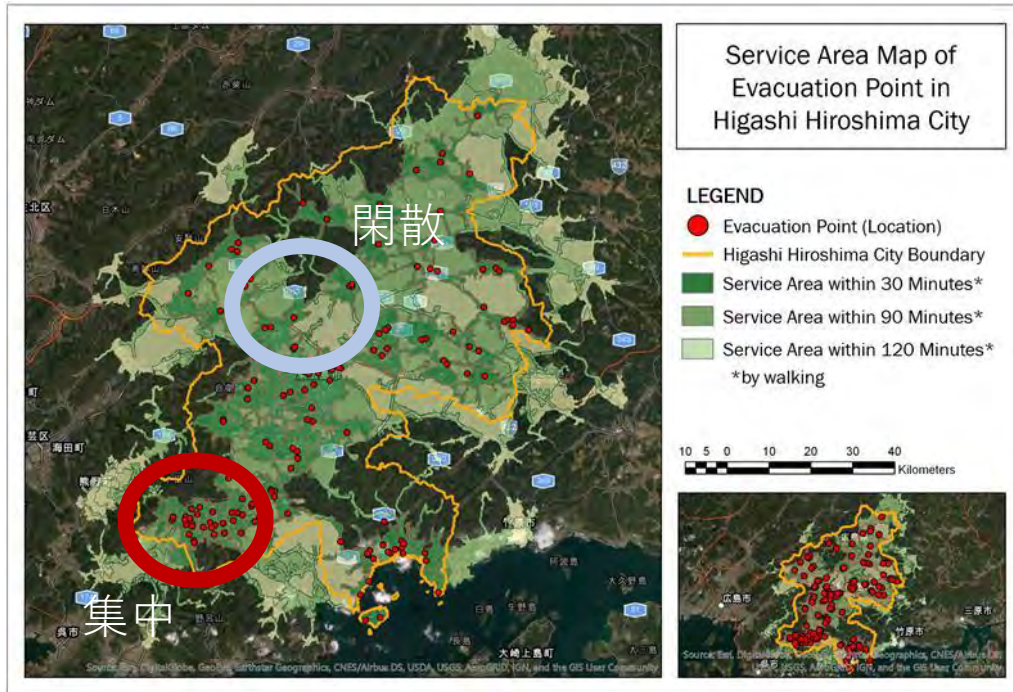
98%の避難者があふれる



60%の避難者があふれる



問題点2 避難施設までの長距離移動



【COVID-19】 リスクのもとに分散避難するとき、
収容可能な避難施設がわかったとしても、
避難施設の空間分布が人口分布と不一致なため、
多くの避難者が長距離移動を強いられる。

問題点3 介入政策への対応の個人間異質性

感染拡大を防ぐ行動

リスクが高い環境

•互いに手を伸ばしたら届くほどの近い距離



•会話などが一定時間続く

•多くの人と交流する



•満員電車



•立食などのパーティー

•閉鎖的な場所で多くの人が集まるイベント

•大人数が集まる会議

•病院などの待合室

推奨

•早朝など混んでいる時間を避けて時差通勤する



•在宅勤務

•インターネットを使った診療や会議の実施

•風邪の症状がある場合は休暇を取得するなど外出を自粛する

ウィルス感染のリスクは誰にとっても等しい

でも

自粛、自宅隔離、社会的距離の保持は、誰しものが等しく実践できるわけではない

読売新聞 <https://www.yomiuri.co.jp/commentary/20200225-OYT8T50247/>

分散避難の車中泊が難しい人

自動車を持たない人（高齢者、子ども、留学生、、、など）

6歳未満の子どものいる世帯
65歳以上の高齢者のいる世帯



<https://www.furusato-tax.jp/gcf/785>



<https://www.sankeibiz.jp/econome/news/200321/ecb2003210815001-n1.htm>

事例分析 避難行動計画の評価

- ある土砂災害警戒区域を対象（エリア総面積に占める土砂災害警戒区域の面積割合が50%以上）
- 最寄り避難施設での収容可能人数の割合を算出（車中泊可能世帯と車中泊困難世帯に分けて）

車中泊が困難な世帯とは、

6歳未満を含む世帯 + 65歳以上を含む世帯 + 65歳以上のみの世帯

<ウィズコロナの避難所の受容基準>

- 収容人数が収容量の1/3以下
- 収容面積が3.5m²/人以上
- 収容面積が7m²/人以上

果たして何%の避難者を収容できるのか？

八本松西地区の特徴

- 八本松西地区に居住する人は 2,251人
- うち土砂災害警戒区域・特別警戒区域が5割以上を占める場所に居住する人は 約2,020名 (9割)
- 同地区に避難施設はなく，八本松町内の他地区あるいは隣町まで避難 長距離避難 要
- 八本松町全体の避難施設の収容人数は 1,493人

| 八本松西地区 | | | | 八本松町 |
|--------------------|---------------------|---------------------|--------------|----------------|
| 車中泊が困難な世帯 | | | | |
| 6歳以下の子ども のいる世数数 | 65歳以上の高齢 者がいる世帯数 | 65歳以上の高齢 者のみの世帯数 | 八本松西地区全 体 | 八本松全体の収 容人数 |
| 183人 | 906人 | 497人 | 2,251人 | 1,493人 |

八本松西地区

(木褐色箇所：土砂災害警戒区域)



Map of Disaster Area and Evacuation Point of Higashi Hiroshima City

LEGEND
 ● Evacuation Point (Location)
 — Village Boundary
 ■ Disaster Area

LOCATION
 34212112001
 広島県
 東広島市
 八本松西

0 5 10 20 30 40 Kilometers



Map of Disaster Area and Evacuation Point of Higashi Hiroshima City

LEGEND
 ● Evacuation Point (Location)
 — Village Boundary
 ■ Disaster Area

LOCATION
 34212112002
 広島県
 東広島市
 八本松西

0 5 10 20 30 40 Kilometers



Map of Disaster Area and Evacuation Point of Higashi Hiroshima City

LEGEND
 ● Evacuation Point (Location)
 — Village Boundary
 ■ Disaster Area

LOCATION
 34212112003
 広島県
 東広島市
 八本松西

0 5 10 20 30 40 Kilometers



Map of Disaster Area and Evacuation Point of Higashi Hiroshima City

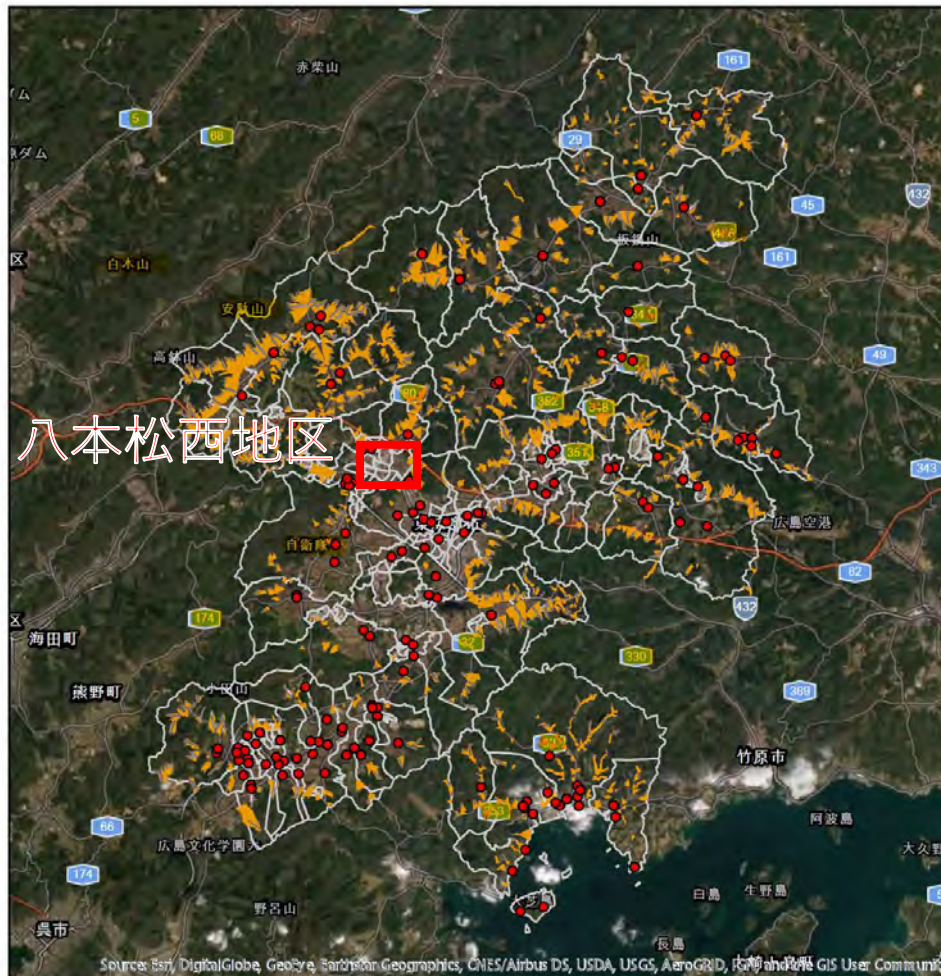
LEGEND
 ● Evacuation Point (Location)
 — Village Boundary
 ■ Disaster Area

LOCATION
 34212112004
 広島県
 東広島市
 八本松西

0 5 10 20 30 40 Kilometers



最寄の避難施設までの 移動距離・移動時間（現状）

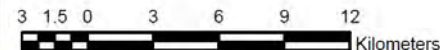


Disaster Map and Evacuation Point of Higashi Hiroshima City

- Evacuation Point
- Disaster Line
- Disaster Area
- Disaster Zone
- City Boundary (Village)

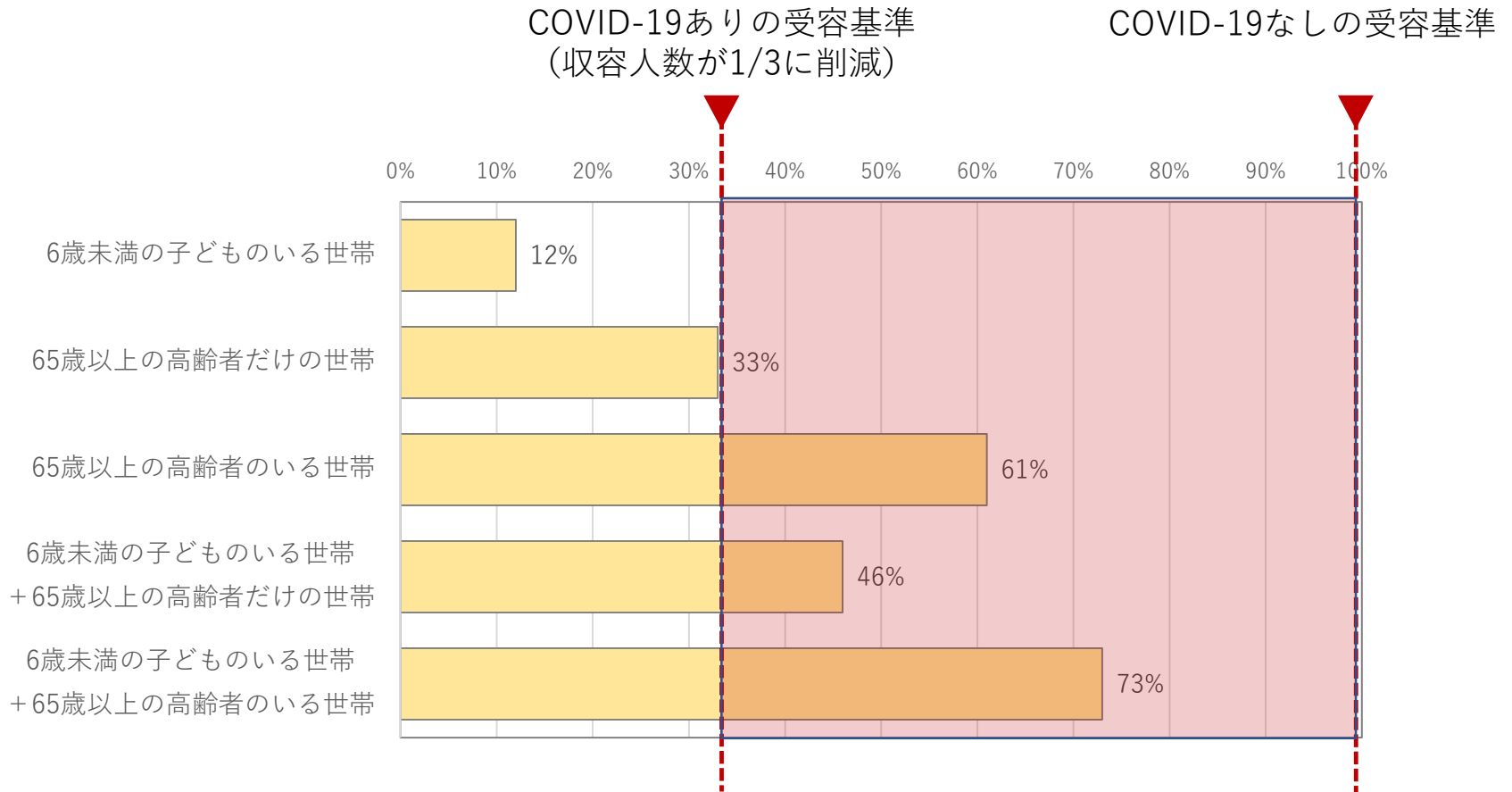
| 指標 | 地区 | 最大 | 最小 | 平均 |
|-----------|------|-------|------|-------|
| 移動距離 [m] | 市全域 | 5,802 | 20 | 1,093 |
| | 八本松西 | 1,850 | -- | 1,380 |
| 移動時間* [分] | 市全域 | 72.5 | 0.25 | 13.7 |
| | 八本松西 | 30.8 | -- | 23.0 |

*1m/sで移動と仮定



受容基準（人数）から見た 避難者の収容可能性

（八本松西の当該世帯の人数／八本松町全域の避難施設収容人数）



車中泊できない人の数が受容基準を大きく超える

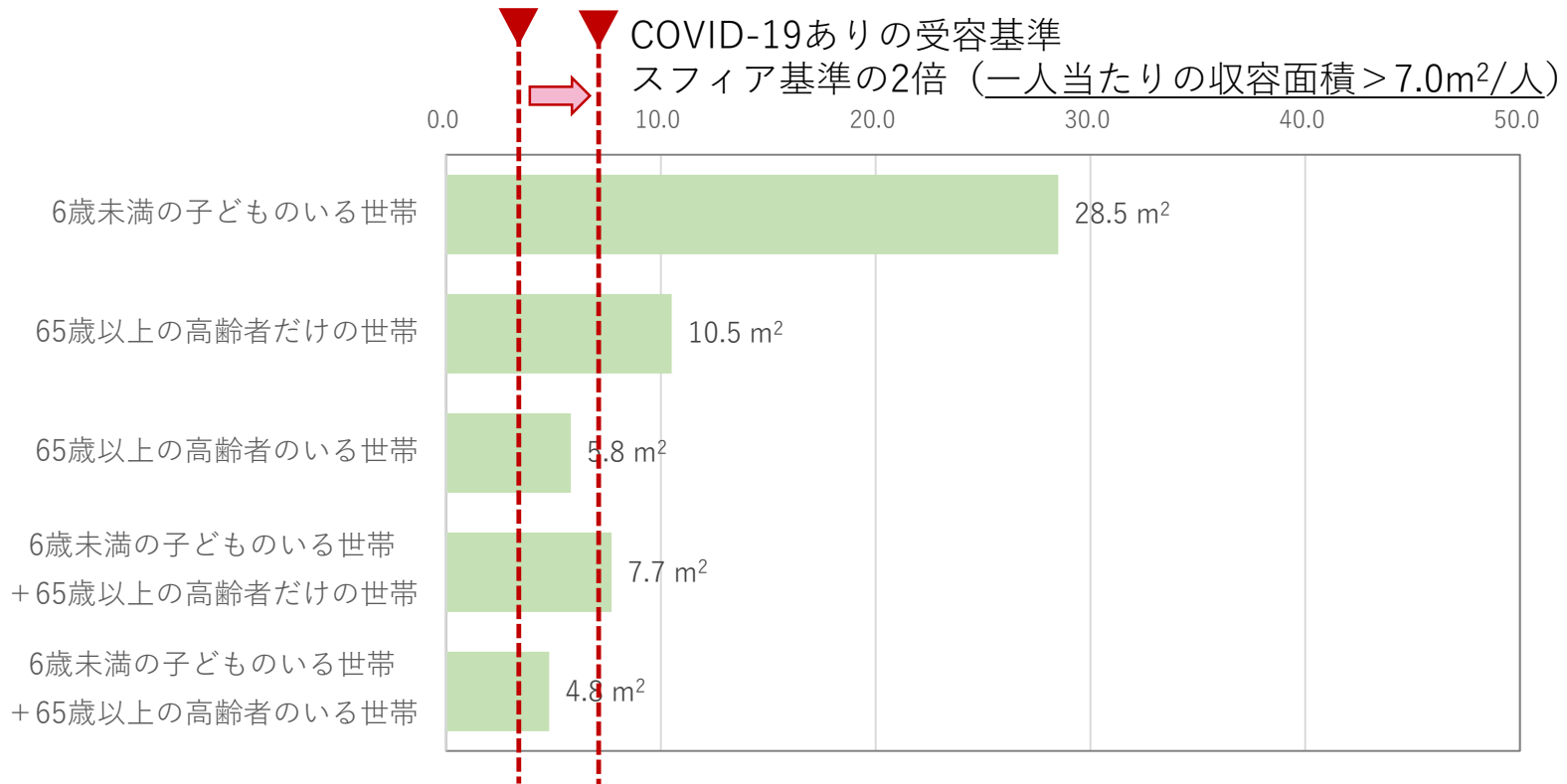
受容基準（1人当たりの面積）から見た 避難者の収容可能性

COVID-19なしの受容基準

スフィア基準（一人当たりの収容面積 $> 3.5\text{m}^2/\text{人}$ ）

COVID-19ありの受容基準

スフィア基準の2倍（一人当たりの収容面積 $> 7.0\text{m}^2/\text{人}$ ）

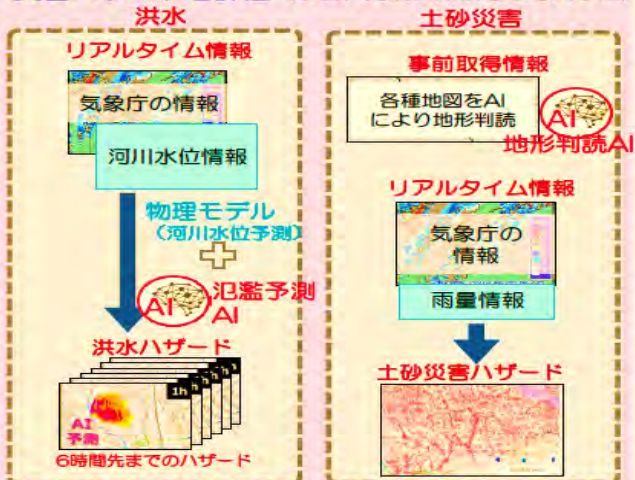


車中泊できない人の面積が受容基準に満たない



ハザード評価

物理モデルとAIモデルを組み合わせ、各種災害ハザードを評価（今後、高潮、津波等も導入予定）



日本全国の既存の洪水予測モデルと氾濫予測AIを組み合わせ、浸水深予測を可能にします。

AIにより地形判読した情報とリアルタイムの降雨情報を基に危険箇所の危険度予測を可能にします。

脆弱性評価

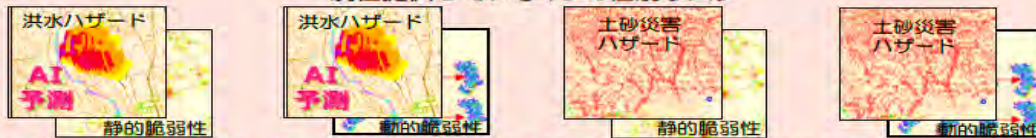
暴露量※と避難所要時間を用いて脆弱性を評価

※ 暴露量：ある地点にどのくらいの人や建物があるかを示す



リスク評価

「各種災害ハザード」と「静的・動的脆弱性」を重ね合わせて、各災害の「個別リスク」を評価
 現在提供している4つの個別リスク



各種災害ハザード、静的・動的脆弱性にはそれぞれ250mメッシュ、10分更新、6時間先までのリスク予測情報が含まれます

複数の個別リスクを統合した総合リスクコンターを基に避難判断支援情報を提供します。

各メッシュにおいてリスクの高い箇所を発令基準をベースに表示



- 避難（レベル4以上）
- 準備（レベル3）
- 注意（レベル2以下）

分散避難

避難所要時間

ハザードの影響を考慮した最適避難経路を探索



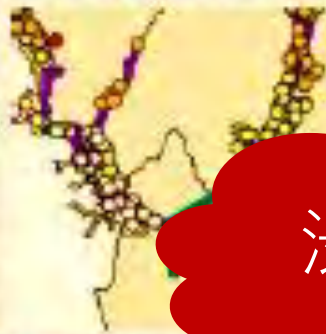
手段選択

混雑回避



所要時間

避難所要時間を推定



崖崩れなど避難路が通行不能になった場合も考慮し、最適経路を自動で選定し、避難所要時間を予測します。

渋滞予測

推定された避難所要時間：静的脆弱性
予測された避難所要時間：動的脆弱性



まとめ

< 確認済み >

パンデミック + 自然災害の複合災害の時は、

- 避難施設の立地条件を見直すべき
- 疫学的に受容される面積基準（スフィア基準の2倍）を設定

< 未確認 >

- 問題点②と問題点③について引き続き検討



ご静聴ありがとうございました

課題

1. 道路が閉塞されても確実にたどり着ける避難施設にするには？

- 分散避難により避難場所までの移動距離が長くなり、避難指示等のタイミングを早める
- 人命を守るために、道が閉塞されても、確実にたどり着ける避難施設立地計画の見直し
- どの避難施設に逃げれば良いのか？交通量配分モデルと避難施設最適立地選択モデルの二段階最適化問題として定式化
- 避難時の渋滞発生を抑制するため、避難の段階的開始、避難カーシェアリングの推奨

2. 長期的に取るべき施策は？

- 避難などの心配がない適正な居住地の整備あるいは移住促進
- 避難路（細街路）が壊れても直ぐに復旧できる応急対応設備・備品の配置

3. コロナ禍の避難所に求められる機能は？

- 避難所の環境改善：アクセス（道路・交通），生活空間
- 避難所のコロナ対策：レイアウト，新技術
- 収容量を超える避難者への対応？
- 時々刻々変わるリスクマップ？

4. コロナ禍でどうすれば分散避難が進むのか？

- ホテル：年に数回のお出かけ（旅行）をする気分で
- 知人宅：他都市で暮らす親戚の避難を受け入れる？
- 多様な選択肢が用意されている
- 避難者，行政，住民（SNS），誰が選ぶのか？

5. 社会の分断や差別に終わりは？

- 県外ボランティアお断り→熊大病院の粹な取り組み
- ワクチンが普及すればすべてが終わるわけではない