

# 各種災害を想定した避難施設の現状の把握と新規避難施設の提案 - 大分県佐伯市を対象として -

岩野雄輝\*・小林祐司\*\*

## Grasping of the status of evacuation facilities for various type disasters and proposal of new evacuation facilities - Case Study on Saiki City, Oita Prefecture -

Yuki IWANO\*, Yuji KOBAYASHI\*\*

**Abstract:** In Saiki city, Oita Prefecture, there is concern that a complex disaster such as a Nankai Trough Earthquake may occur. In this situation, people live in various disaster hazard areas and there is concern about the lack of evacuation facilities and the number of people who can be accommodated when a disaster occurs. In this study, evacuation capability was evaluated by superimposing the location of evacuation facilities and disaster hazard. In addition to showing the necessity of developing evacuation facilities, new ways of evacuation facilities considering disaster risk and population decline were proposed.

**Keywords:** 避難施設 (Shelter), 人口 (Population), 洪水 (Flood), 津波 (Tsunami), 地震 (Earthquake)

### 1. 研究の背景と目的

大分県の佐伯市では南海トラフ巨大地震をはじめ、複合災害の危険性も懸念されており、各種災害ハザード内に多くの人が居住している現状がある。佐伯市は、そのような災害に対応できるよう災害ごとに避難施設を指定しているが、人口分布を配慮した避難施設の数、収容人数が設置されているのかの検討も必要である。先行研究として、小山ら (2015) は津波避難ビルを指定している施設の機能・用途・施設規模の現況及び津波避難ビルの建築的特徴と地域的傾向を捉えることで、津波避難ビル指定における地域的傾向を把握している。藤田ら (2016) は地域メッシュを用いて 構造物の信頼性評価の考えから被害確率を求め、人的被害を評価するとともに、避難施設の設置数と設置場所から人的被害の変化を評価している。しかし、これらの研究はいずれも避難施設の地域的傾向や避難施設、応急仮設住宅など避難生活を送る施設の不足を分析しており、避難施設

への収容の可否や新規避難施設設置の提案までには至っていない。

本研究では、まず、避難施設の立地状況と災害ハザードをオーバーレイすることで避難性の評価を行う。そして、避難施設数の充実を図る必要性を示すとともに、災害リスクと人口減少を考慮した新規避難施設の提案を行うことを目的とする。

### 2. 対象地域について

研究対象地の大分県佐伯市は、大分県南東部に位置し、北は津久見市、西は臼杵市及び豊後大野市、南は宮崎県境に面している。人口約 67,563 (人) (2022 年 8 月)、面積 903.14km<sup>2</sup>、海岸線延長約 270km の市であり、平成 17 年 3 月 3 日に大分県と大分県南海部郡 (上浦町、弥生町、本匠村、宇目町、直川村、鶴見町、米水津村、蒲江町) の 5 町 3 村が合併したことで、九州で最も広い面積を持つ市となった。域内は、番匠川下流域の平野部 (沖積平野) を中心に

---

\* 学生会員 大分大学大学院工学研究科 (Graduate School of Engineering, Oita University)

〒870-1192 大分県大分市旦野原 700 番地 Tel : 097-554-7922

\*\* 正会員 大分大学理工学部 (Oita University)

発展した市街地と北部、西部の山間部地域、リアス海岸が特徴的な南部、東部の沿岸部地域に大別される。(佐伯市ホームページ「佐伯市の概要について」)

### 3. 治水地形分類図と建築物

ここでは、佐伯市街地の地区構造の変遷と災害リスクを把握するため、国土地理院の治水地形分類図との比較を行う。佐伯市街地が含まれる治水地形分類図と建築物の変遷を GIS 上でオーバーレイした

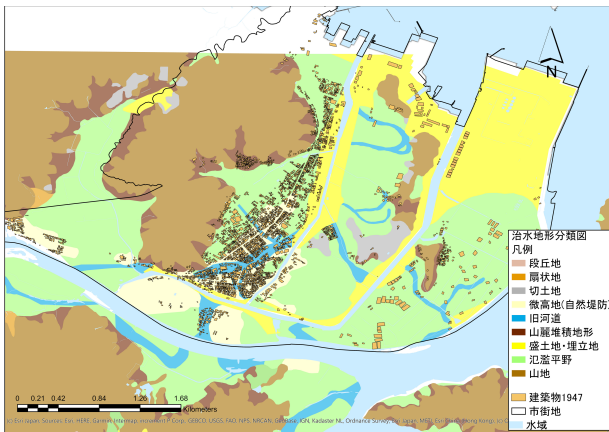


図1 治水地形分類図と建築物 (1947年)

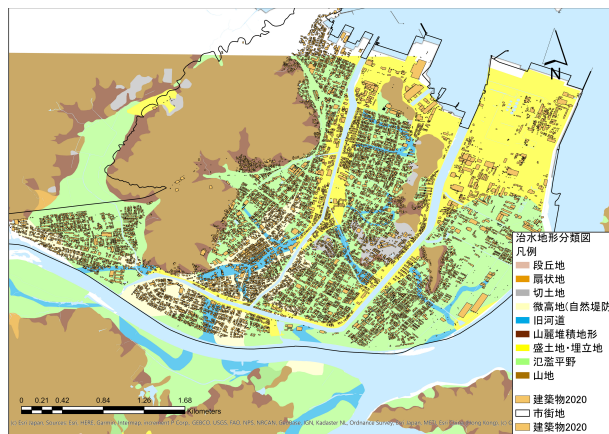


図2 治水地形分類図と建築物 (2020年)

表1 治水地形分類と建築物数の分布

分類項目	建築物数(1947)	割合(%)	建築物数(2020)	割合(%)
段丘地	0	0	0	0
扇状地	0	0	0	0
切土地	10	0.2	420	2.3
微高地(自然堤防)	1,572	36.3	2,842	15.9
旧河道	564	13	1,142	6.4
山麓堆積地形	288	6.7	620	3.5
盛土地・埋立地	252	5.8	2,278	12.7
氾濫平野	1,525	35.3	10,301	57.6
山地	115	2.7	282	1.6
合計	4,326	100	17,885	100

(図1, 2). 各年の治水地形分類項目に含まれる建築物数を集計し、表1に治水地形分類項目と建築物数・割合の推移を示す。ここでは各災害に着目して考察を行う。まず、洪水浸水、津波浸水の危険性がある「氾濫平野」「旧河道」をみよみる。「氾濫平野」は洪水の可能性が高く、洪水ではほぼ全域にわたって浸水する。低地では、高潮に対しても危険度が高い地域となっており、1947年と2020年を比較すると、建築物数・割合ともに増加傾向にあることがわかる。「旧河道」は、周囲の氾濫平野より1~2m程度(まれに3m以上)低いため、現在も地表水が集まりやすく、地下水位も非常に浅くなっている地域であり、1947年と2020年を比較すると割合は減少しているものの、建築物数が増加していることがわかる。これにより、浸水被害の可能性が高い場所にまちが拡大していったことが読み取れる。次に地震による被害が考えられる「盛土地・埋立地」をみよみる。原地形の傾斜・形状などによっては、地震動による流動化・崩壊の可能性のある「盛土地・埋立地」は建築物数・割合ともに増加傾向にあり、被災する可能性が高い場所に建築物が拡大していったことが読み取れる。次に、地震による液状化の可能性のある「氾濫平野」「旧河道」「扇状地」をみよみる。「氾濫平野」「旧河道」については、建築物数が増加傾向にあることがわかる。「扇状地」については、どの年代にも建築物が存在しなかった。

### 4. 避難施設の立地状況と災害リスクの比較

佐伯市が公表している避難施設(2021年)と、災害ハザードとの関係性を分析するために、国土数値情報ダウンロードサービスとG空間情報センターに公表されているデータを用いる。なお、洪水浸水想定区域においては、佐伯市街地に流れる番匠川のみとなっている。洪水浸水想定区域と風水害時指定避難施設をオーバーレイした分布図を図3、表2に示す。図3より、ほとんどの施設が洪水被害(0.5m以上)の影響を受けることが読み取れる。約8割が洪水浸水想定区域において被害を受けることが予測されるため、指定避難施設については、洪水に対して、嵩上げなどの効果的な対策を講じる必要がある。

次に、津波浸水想定区域と地震津波時指定避難施設をオーバーレイした分布図を図4に示す。図4より、被害が予想される津波浸水想定区域内に、指定避難施設が分布していないことが把握できた。また、風水害時指定避難施設数より少ないことが把握できた。この結果から、地震・津波時指定避難施設について、安全を確保出来る場所に新規指定避難施設を指定する必要がある。

そして、地震の震度と地震津波時指定避難施設をオーバーレイした分布図を図5に示す。本研究で想定する地震は、近い将来に起きる可能性の高い南海トラフ大地震を想定する。地震と液状化に関しては、G空間情報センターの「南海トラフ地震における最大地震動及び液状化指数」(2018)を参考にした。図5より、計4箇所の指定避難施設で震度6,7の被害を受けることが把握できた。「旧耐震基準」で建設された建築物であれば、容易に倒壊する恐れがあるため、1981年以前に建設された指定避難施設は、耐震補強を施すなどの対策を講じる必要がある。また、防災管理者などの関係者立会いのもと、定期的な建

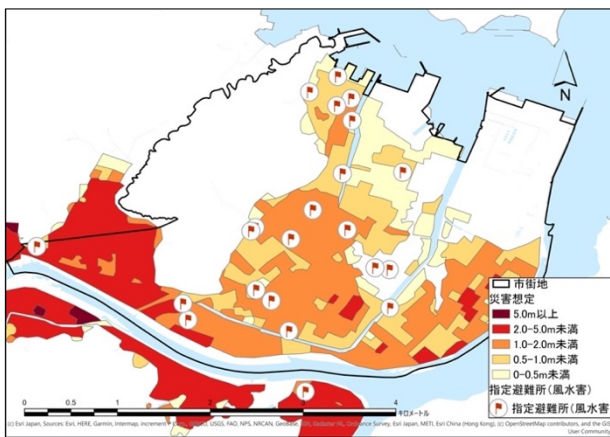


図3 洪水浸水想定と風水害時指定避難施設の分布

表2 洪水浸水想定と風水害時指定避難施設数

洪水浸水深	施設数	割合 (%)
0-0.5m未満	5	23.8
0.5-1.0m未満	6	28.6
1.0-2.0m未満	9	42.9
2.0-5.0m未満	1	4.8
5.0m以上	0	0
合計	21	100

築物の点検を行うことで、指定避難施設の維持を行う必要がある。

最後に、地震による液状化指数(PL値)と地震津波時指定避難施設をオーバーレイした分布図を図6に示す。PL値の設定については「地震時地盤液状化の程度の予測について」を参考にしている(岩崎,

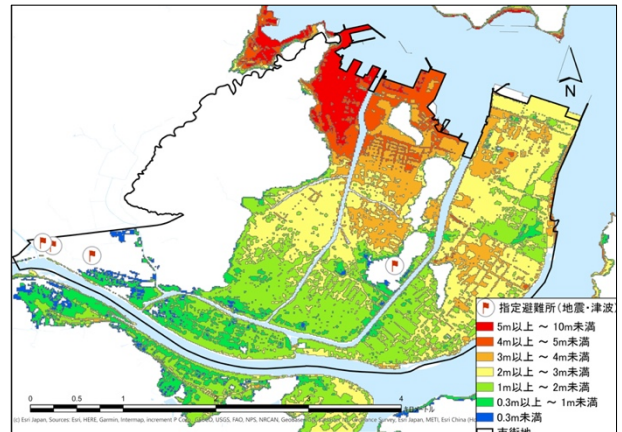


図4 津波浸水想定と地震・津波時指定避難施設の分布

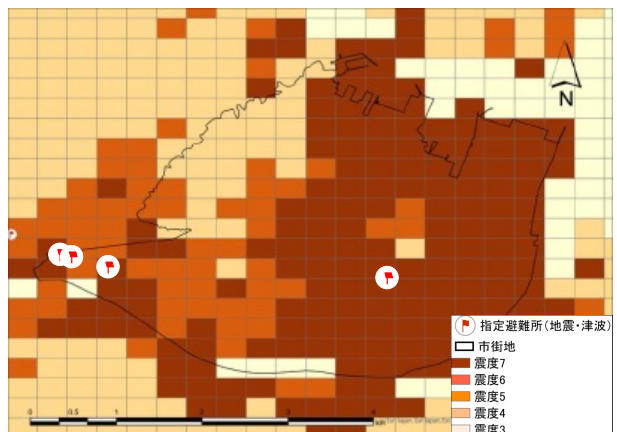


図5 最大震度と地震・津波時指定避難施設の分布

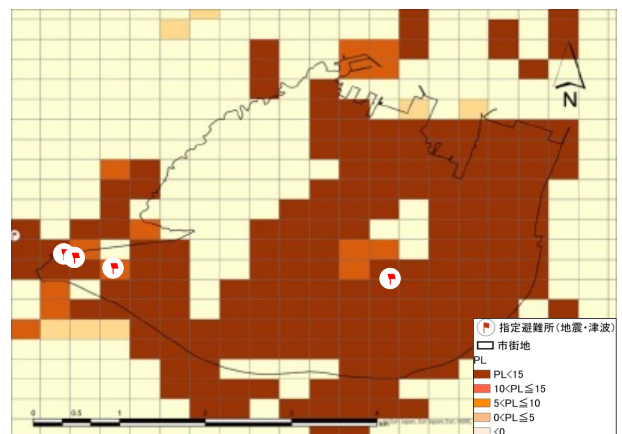


図6 液状化指数と地震・津波時指定避難施設の分布



1980). 図6より, 4施設の指定避難施設の内, 3施設において液状化危険度が高く, 詳細な調査と液状化対策が必要な, PL値15以上の場所に位置していることが把握できた. 山地を除く, ほぼ全ての地域においてPL値が高い数値を示しており, 適切な液状化対策を講じる必要がある.

## 5. 新規避難施設の提案

### 5.1. 既存避難施設のランク評価 (危険性)

新規避難施設を提案するにあたり, まず現状の指定避難施設のランク評価 (危険性) を行う. これは, 災害リスクの低い場所や現在の人口, 将来の人口減少などを加味したランク評価 (危険性) となっている. 風水害時避難施設のランク評価 (危険性) の概要を表3に, 地震・津波時避難施設のランク評価 (危険性) の概要を表4に示す. ランク評価 (危険性) について, それぞれの項目に対応したランクの点数を乗じた値から, 総合的なランク付けを行うため,

表3 風水害時避難施設のランク評価 (危険性) の概要

項目/ランク	1	2	3	4	5
洪水浸水想定 (m)	0	0~5	0.5~1	1~2	2~5
H27人口 (人)	100~	50~100	30~50	15~30	0~15
人口増減率 (H27~R27) (%)	~0	0~-20	-20~-40	-40~-60	-60~

表4 地震・津波時避難施設のランク評価 (危険性) の概要

項目/ランク	1	2	3	4	5
洪水浸水想定 (m)	0	0~5	0.5~1	1~2	2~5
H27人口 (人)	100~	50~100	30~50	15~30	0~15
人口増減率 (H27~R27) (%)	~0	0~-20	-20~-40	-40~-60	-60~
PL値	0	0~0.3	0.3~1	1~2	2~3

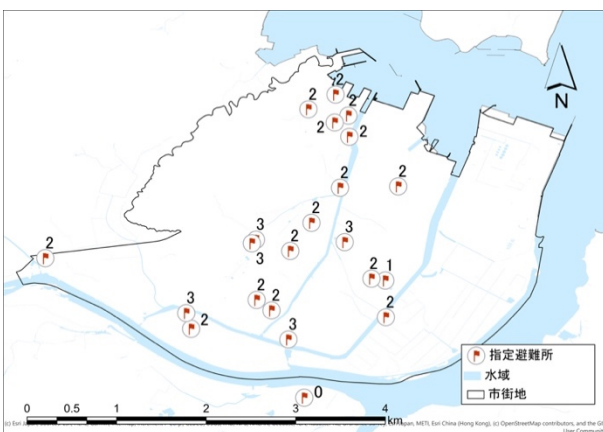


図7 風水害時避難施設のランク

点数が高い方が新規避難施設として適していないといえる. また, 乗じたランクの合計点数に応じて, 総合的なランク付けを行う. ランク付けとしては,  $5^5$ =ランク5,  $5^4$ =ランク4,  $5^3$ =ランク3,  $5^2$ =ランク2,  $5^1$ =ランク1として評価を行う. 既存避難施設のランク評価の結果として, 風水害時避難施設を図7に, 地震・津波時避難施設を図8に示す. 風水害時避難施設のランク評価 (危険性) を行った結果, ほとんどの施設において災害リスクの少ない, 市街地中心周辺に指定避難施設が分布していることが把握できた. しかし, 佐伯市街地地区の5箇所の避難施設において, ランクが3であった. これは主に現在の人口が少ない地域, または, 洪水浸水想定が0.5m以上であることが原因と考えられる.

次に, 地震・津波時避難施設のランク評価 (危険性) を行った結果, 風水害時避難施設同様にほとんどの施設において災害リスクの少ない, 市街地中心周辺に指定避難施設が分布していることが把握できた.

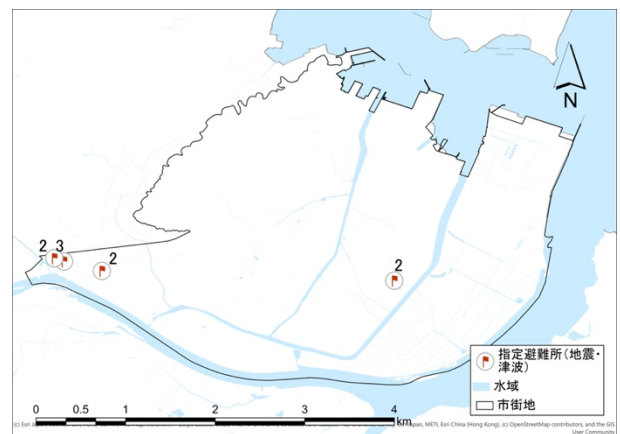


図8 地震・津波時避難施設のランク

### 5.2. 既存避難施設の勢力圏から新規避難施設の提案

ここでは, 新規避難施設を提案するため, 現在指定されている指定避難施設からのネットワークボロノイ図を作成する. 端点と各地区における避難可能距離にポイントを配置し, 5.1でも行ったランク評価を行い, 新規避難施設の提案を行う.



### 5.2.1. 各地区における避難可能距離について

避難可能距離の式を以下に示す。

$$+1\text{m 波高到達時間} - \text{避難準備時間 (10分)} = T \quad \dots (1)$$

$$\text{避難可能距離} = \text{歩行速度} * T \quad \dots (2)$$

歩行速度については、国土交通省の「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」(2013)を参考にした。今回は、高齢者も含めた歩行困難な同行者がいる 1.88km/h に設定する。+1m 波高到達時間、避難準備時間については、それぞれ、南海トラフ地震の発生に伴う佐伯市の影響(2013)、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(2013)を参考にし、+1m 波高到達時間を46分、避難準備時間を10分とした。これらの値を式(1)、(2)に代入した結果、佐伯市街地では1,128m おきにポイントを作成する。

### 5.2.2. 避難可能距離から作成したポイントの分布

5.2.1 で示した避難可能距離から作成したポイントの分布を図9、10に示す。設定したポイントのランク付けをする前に、新規避難施設を検討するポイントの設定を行う。検討するポイントについては、現在整備されている道路からの距離によって設定する。設定として、国土交通省の「都市構造の評価に関するハンドブック」(2014)を参考に、高齢者の徒歩圏を算出した。そこから、山地にも新規避難施設が検討されることを考慮し、代謝的換算距離(村林, 2008)によって、道路からの距離を算出する。その結果、高齢者の徒歩圏は500mであり、代謝的換算距離を加味すると約半分の距離になるため、道路から250m以上離れているポイントをランク評価から除外した。使用するポイントの設定後、表3、4のランク評価を基に、ランク付けを行った。その結果を図11、12に示す。結果より、危険度の低いランク1、2となったポイントを検討し、新規避難施設を提案する(図13、14)。

## 6. 総括

### 6.1. 各章のまとめ

本研究では、大分県佐伯市において、これまでのまちの変遷をたどることで、災害を考慮したまちづくりが行われていたのかの検証、既存指定避難施設のランク評価を行い、ネットワークボロノイ図の作成から、新規避難施設の提案をした。

3章では、各年代の建築物と治水地形分類図をオーバーレイすることで、各種災害に対して建築物がどのように立地していったのかを分析した。その結果、洪水浸水、津波浸水の可能性がある「氾濫平野」「旧河道」、地震によって流動化・崩壊の可能性がある「盛土地・埋立地」、地震による液状化の可能性がある「氾濫平野」「旧河道」「扇状地」のすべての治水分類項目において、建築物数の増加が確認された。これにより、まちは拡大し、災害リスクが高まっていったことが読み取れた。

4章では、現在佐伯市が指定している指定避難施設の立地状況と、災害リスクとのオーバーレイによる避難施設への影響把握を行った。その結果、ほとんどの風水害時指定避難施設において、床上浸水の影響を受ける0.5m以上の洪水被害が発生することが把握できた。約8割が洪水浸水想定区域において被害を受けることが予測されるため、指定避難施設については、洪水に対して嵩上げなどの効果的な対策を講じる必要がある。

5章では、既存指定避難施設のランク評価(危険性)を行い、ネットワークボロノイ図の作成から新規避難施設の提案を行った。ほとんどの既存避難施設が災害リスクの少ない、市街地中心周辺に分布していることが把握できた。一方で、地震・津波時避難施設数が少なく、風水害時避難施設数と比較して、大差があることも把握できた。

### 6.2. 今後の課題

本研究で提案した新規避難施設だけでは、収容人数が不足する可能性があるため、今後は町丁目単位で収容人数が充足しているかを検討することで、より実態に即した提案に繋がるのではないかと考える。

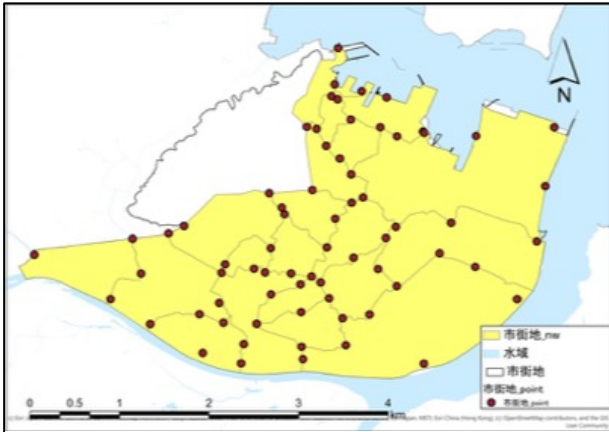


図9 風水害時避難施設のネットワークポロノイ図とポイントの分布

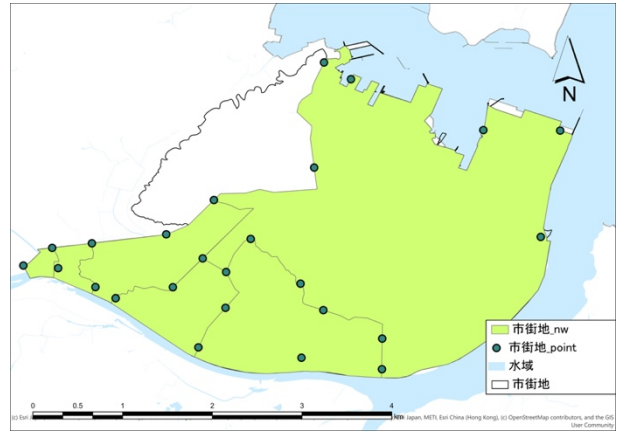


図10 地震・津波時避難施設のネットワークポロノイ図とポイントの分布

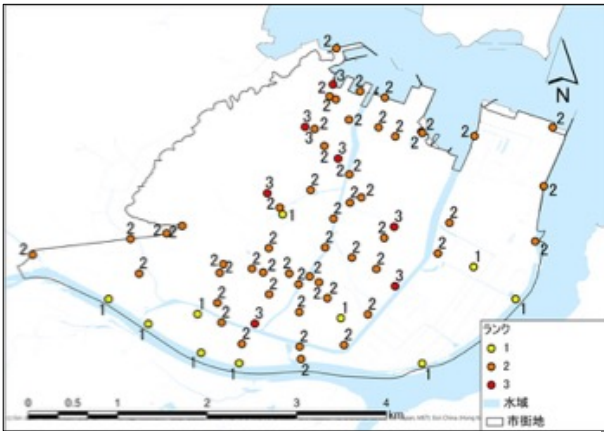


図11 新規風水害時避難施設のポイントランク評価

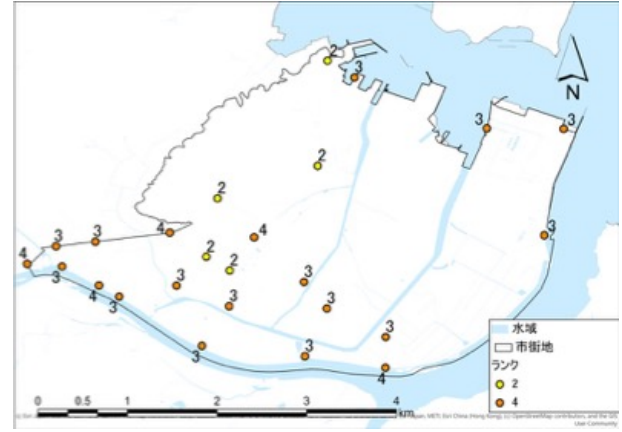


図12 新規地震・津波時避難施設のポイントランク評価

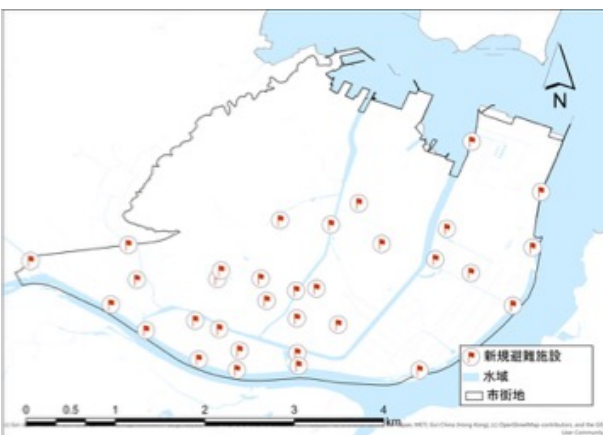


図13 新規風水害時避難施設検討結果

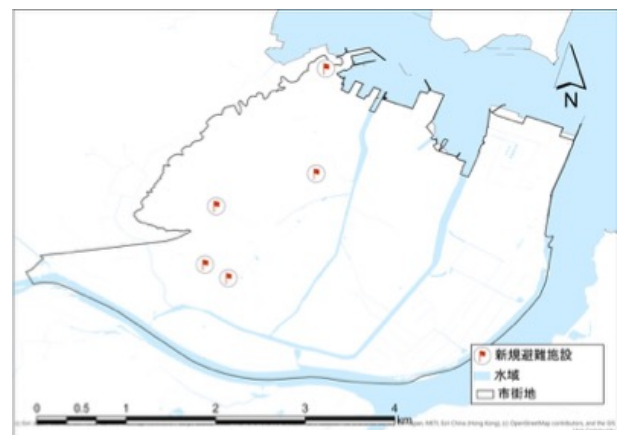


図14 新規地震・津波時避難施設検討結果

## 謝辞

本論は、本学大学院修了生（2021年度）の大磯伊織氏による修士論文の成果を含んでいる。記して感謝の意を表する。

## 参考文献

- 小山雅人（2015）津波避難ビルの建築的特徴と地域的傾向に関する研究-南海トラフ巨大地震に伴う避難想定地域を対象として-。「地域安全学会論文集」, **800**, 221-230.
- 藤田謙一（2016）地域メッシュを用いた津波避難施設の設置数と設置場所の検討, **72**, 151-156.
- 岩崎敏男（1980）地震時地盤液状化の程度と予測について。「地盤工学会誌」, **28**, 23-29.
- Silverman, B. W. (1986) Density estimation for statistics and data analysis. *New York: Chapman and Hall*,76.
- 佐伯市（2022）佐伯市の概要について。  
<<https://www.city.saiki.oita.jp/list00569.html>>.
- 佐伯市（2021）佐伯市防災サイト。  
<[https://www.city.saiki.oita.jp/bousai/kiji0033184/3\\_3184\\_up\\_5a0zxgia.pdf](https://www.city.saiki.oita.jp/bousai/kiji0033184/3_3184_up_5a0zxgia.pdf)>.
- 国土数値情報（2021）治水地形分類図。  
<<https://www.gsi.go.jp/bousaichiri/bousaichiri41043.html>>.
- G空間情報センター（2018）。  
<[https://www.geospatial.jp/gp\\_front](https://www.geospatial.jp/gp_front)>.
- 国土交通省（2013）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。  
<<https://www.mlit.go.jp/common/000233464.pdf>>.
- 佐伯市（2013）南海トラフ地震の発生に伴う佐伯市の影響  
<[https://www.city.saiki.oita.jp/bousai/kiji0031581/3\\_1581\\_5\\_c.pdf](https://www.city.saiki.oita.jp/bousai/kiji0031581/3_1581_5_c.pdf)>.
- 村林正隆（2008）斜面を考慮した瀬戸市における歩行マップ。<<http://www.st.nanzan-u.ac.jp/info/gr-thesis/ms/2011/08mi151.pdf>>.
- 国土交通省（2014）都市構造の評価に関するハンドブック。  
<<https://www.mlit.go.jp/common/001104012.pdf>>.