

# 地震津波を想定した地域防災力の把握と防災教育への展開

—大分県佐伯市の沿岸部集落を対象として—

○池田 聡志\*<sup>1</sup> 富田 羊亮\*<sup>1</sup>  
池部 仁哉\*<sup>1</sup> 小林 祐司\*<sup>2</sup>

キーワード：GIS 地震津波 シミュレーション 避難時間 防災教育

## 1. 研究の背景

南海トラフ巨大地震の規模は想像を絶するものであり、多くの被害の予測がされている。地震やそれによって発生する津波へのハード的対策に加え、地震が発生してから住民の対応や避難行動など、ソフト面での対策も重要である。沿岸部に位置する地域の住民は、巨大な地震による津波から避難する場合には早急な避難および高台への避難が求められ、そのためには地域の特性を知り、それに応じた対策をすすめる必要がある。

既往研究において、片田ら<sup>1)2)</sup>は津波常襲地域と津波警報未経験地域における行政と住民の対応に問題があると指摘し、防災訓練など迅速な対応の実現に向けた取り組みが必要だと述べており、さらに防災教育を行うことで地域住民の防災意識の向上に役立ったという結果を得ている。南ら<sup>3)</sup>は避難経路の高低差に着目し、高齢者や障害者を考慮すると避難経路は必ずしも最短距離である必要はないと述べている。渡辺ら<sup>4)</sup>は個人属性や避難開始のタイミングに関するアンケートを取り、マルチエージェントシステムを用いてシミュレーションを行うことで、避難の呼びかけが重要であることを明らかにした。太田ら<sup>5)</sup>は小中学校に対して防災教育に関するアンケートを行い、学校が海の近くにあることで内陸より防災教育が積極的に実施されていることや、内陸と沿岸では防災教育の重要性の位置づけに差はないことを明らかにし、今後は地域の実情に合った防災教育が必要と述べている。さらに陳ら<sup>6)</sup>は防災教育による話題の伝播や効果波及の存在について検討を行い、地域内で防災についての話題共有が重要であることを明らかにしている。

これらのことより、ハード、ソフトの両面から地域の防災について考察することが求められていることがわかる。既往研究では、防災教育で得た成果と対象地の分析結果を合わせ、今後の対策へつなげる取り組みをしている事例が少ないため、地域防災力を把握し防災意識の向上につながる工夫が必要であると考えられる。

## 2. 本研究について

### 2.1 目的と方法

本研究では、津波からの避難を考え、まず道路及び建物・オープンスペースの分布状況から対象地の空間的特

性の分析を行う。津波を想定した避難シミュレーションをもとに、住民の避難速度や避難開始までの時間に着目し、避難に要する時間と避難が困難となる範囲を抽出する。そして、対象地の小学校でワークショップを行うことにより、子供のリスク認知を把握し、分析結果と合わせた防災意識向上のための防災マップを作成する。これらをもとに情報共有としての防災マップ作成まで発展させることを目的とする。

### 2.2 研究対象地の概要

研究対象地の丸市尾浦は佐伯市蒲江地区の集落のひとつであり、大分県で最南端に位置する小学校を有している。対象地は建物が海岸部に集中し、山間部には畑が多い。現地調査を行い、市がハザードマップ上で指定している避難場所の整備状況や街路、災害時に危険となりうる要素やその位置を確認し、GISやGPSによる地形状況の確認から特徴を把握する。建物の位置と標高を図1に示す。

内閣府の発表<sup>注1)</sup>より、南海トラフ巨大地震によって発生する津波の最大津波高は佐伯市で15mであり、津波高1mの津波が到達する時間は最短で18分と予測されている。これは大分県で最も高く、早い津波到達予測である。研究対象地において標高が15mを上回っている住宅は全住宅(157件)のうちわずか9件(6%)だけであり、残りの148件(94%)は最大津波高を下回っていることになる。

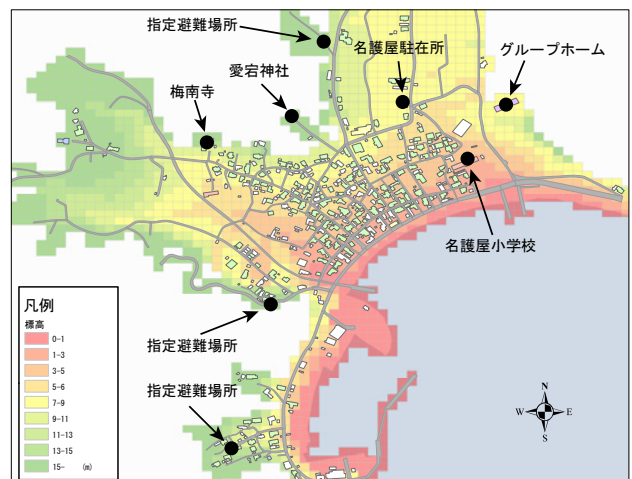


図1 標高別建物分布

### 3. ネットワーク性評価と住民避難時間の分析

#### 3.1 メッシュデータからみる対象地の空間的特性

まず、対象集落の可住地において50mメッシュを集計単位<sup>註2)</sup>とし、道路、ブロック塀の分布状況に関する各指標によって集落の空間的特性を把握する。ブロック塀の位置を把握し、地震による倒壊を想定して全ブロック塀が倒壊した場合の道路の閉塞面積率を算出する。なお、高さは全て1.2mであると仮定し倒壊時の散らばりは考慮しない(図2)。道路網の特徴は住宅群において密で、そこから山間部に向かって放射状に広がっている。ブロック塀については、中心部の住宅群に多く分布しており、幅員が狭いところでは道路の閉塞面積率が高くなっている。

#### 3.2 集落内のネットワーク性の評価

避難する際は道路だけでなくオープンスペースを通して避難することも考えられるため、集落内の面的なネットワーク性の分析を行う。小林ら<sup>7)</sup>の提案する平均連結度数(C値)を評価値として採用し、メッシュ単位でみる道路ネットワークの連続性、およびオープンスペースの連担性を把握する。なお、本分析におけるオープンスペースとは、建物の存在しない部分とし、ブロック塀などの工作物や樹木は避難を阻害しないものとする。道路ネットワークの連続性

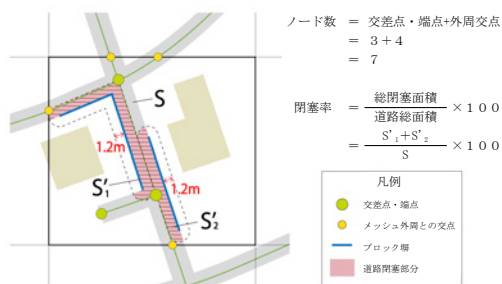


図2 メッシュ内の道路ノード数と道路閉塞率

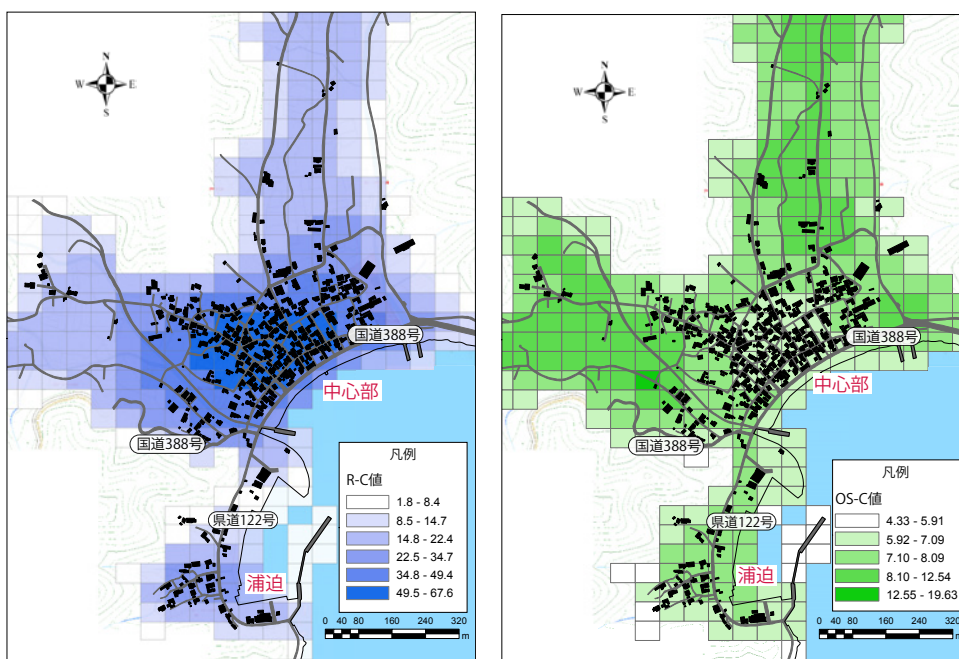


図3 道路ネットワークの連続性(左)とオープンスペースの連担性(右)

についてはメッシュ内の道路ノード数、オープンスペースの連担性についてはオープンスペース面積率を用いて、それぞれでC値を算出する。

メッシュ単位でみる道路ネットワークの連続性(R-C値、図3左)については、中心部の住宅群において特に連続性が高くなっており、多様な経路選択が可能であると考えられるが一方で、複雑な道路網による避難時の混乱が予想される。また、中心部と浦迫地区との間は連続性が低くなっていることから、避難場所は別々に設けることが望ましい。メッシュ単位でみるオープンスペースの連担性(OS-C値、図3右)については、中心部外縁の田畑において連担性が高く、集落の中心部にいくほど低くなる傾向にある。また、公共施設や教育施設の周辺においては比較的連担性が高く、駐車場や校庭によるものと考えられる。これらのオープンスペースは、ある程度整備されていることから平常時であっても避難に有効なオープンスペースであるといえる。以上のことから、実際に中心部から避難する際は、まず住宅群からは道路を通して退避し、中心部外縁の田畑のオープンスペースを利用しながら高台まで避難することが望ましい。

#### 3.3 住民の避難シミュレーション

南海トラフ巨大地震を想定した津波が到達する前に避難できるかを判断するための避難シミュレーションを行い、避難が困難なエリアを抽出する。シミュレーションはArcGIS Desktop Network Analystを用いた。最短の避難時間を算出するために、ここでは閉塞は考慮せず評価を行ってみる。東日本大震災でも多くの人々が高台や標高の高い社寺に逃げたという事例もあり、標高の高い場所へ逃げるシミュレーションを行う。今回のシミュレーションでは住民が標高のより高いところを目指すと仮定し、住民が逃げる地点として避難目的地を設定する。こ

こでいう避難目的地とは最大津波高(15m)を考慮し、標高15mの地点とする。避難を開始する場所は住宅の重心からとし、避難目的地まで街路を通った時の最短距離を解析する。今回は避難の終着点を避難目的地としているため、標高15m以上に位置している住宅は避難しない、あるいはそれ以上の標高に避難するものとしてシミュレーション対象外とする。さらに、地震での破損や津波の影響を考え、避難シミュレーションに影響する橋を

通行不可とする。

避難目的地は 11 か所指定することができ、住宅数は 147 戸が対象となる(図 4)。避難ルートは 8 つの避難目的地へ向かうという解析の結果が得られた。それぞれの避難目的地に到達する住宅数を比較すると、②に 64 戸(約 43%)、③に 61 戸(約 41%) が集中している。②では、避難した先が梅南寺であり、整備された場所のため住民の約半数が避難しても収容できるだろう。しかし、背後が山となっているため、山崩れの発生、さらなる高台への避難の困難が予測される。③に関しては、小学校が指定している一時避難場所のひとつであることから児童の多くが避難する可能性があるが、整備されていない。

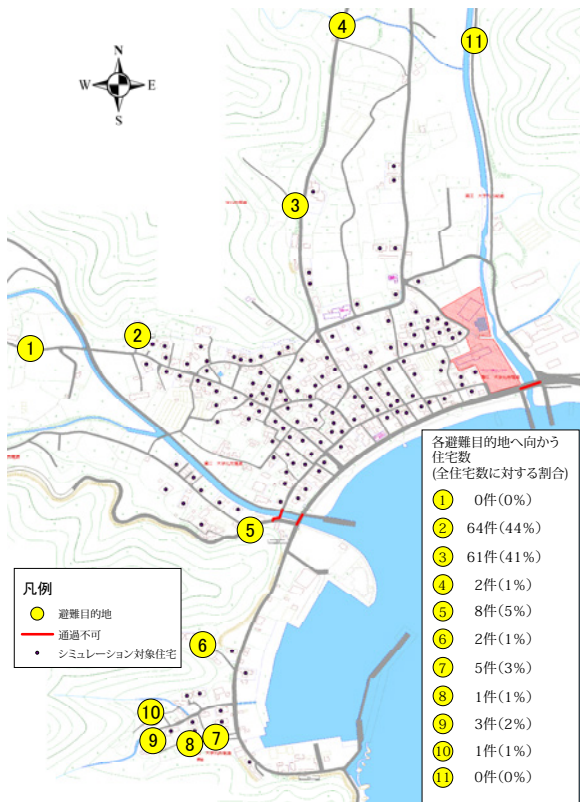


図 4 シミュレーション結果

### 3.4 住民避難時間の分析

地震が発生してから避難までに要する時間(以下、初動時間)と住民の避難速度を考慮し、地震が発生してから 18 分(津波高 1m の津波到達予測時間)以内で避難目的地に到達できる住宅数を導き出すことによって、住民の災害リスクの現状を明らかにする。実際には車で避難している例もあるが、対象地は車で避難するには幅員が十分ではないため、徒歩で避難することとする。避難所要時間は、シミュレーションで解析された住宅から避難目的地までの距離と住民の避難速度を用いて算出する。避難所要時間とは「避難を開始してから避難目的地に到達するまでの時間」のことをいう。住民の避難速度に関しては、40m/分、60m/分、80m/分の 3 種類について分析を行

う。東日本大震災の津波からの避難について国土交通省が調査した結果<sup>8)</sup>によると、避難速度は徒歩で平均 2.3km/時であり、これを分速に直すと約 38m/分であるため、40m/分とした。80m/分は片田<sup>2)</sup>がシナリオ・シミュレータを使用する際に設定していた速度である。そして、60m/分はその間の値をとった速度である。表 1 をみると、速度が 40m/分のときに避難所要時間が 10 分以上かかっていた住宅は 48 件(33%)あったが、速度が 60m/分と速くなったときは、避難所要時間が 10 分以上かかっていた住宅は 0 件に減少している。

地震が発生してから避難目的地に到達するまでの時間(以下、総避難時間)が津波到達予測時間(18 分)よりも短ければ避難目的地に到達できたと判断する。ここで、総避難時間は「初動時間と避難所要時間を合計した時間」とする(図 5)。佐伯市が公表しているハザードマップ<sup>9)</sup>では災害時の情報を収集して避難する時間が 5 分とされている。しかし、実際には避難開始するまでに、それ以上の時間を要すると考え、初動時間を 1 分から 10 分までを 1 分刻みで変化させ、総避難時間を算出する。

避難速度が 40m/分で初動時間が 10 分の場合、シミュレーション対象となった住宅のうち 77 戸(約 52%)が総避難時間 18 分以上という結果で、約半数が 18 分以内に避難目的地に到達できないことになる。これらの住宅の多くは標高が 7m 以下に立地しており、海岸に近い場所に集中している。避難速度が速い場合は初動時間が 10 分であっても、前の条件と比べて、18 分以内に避難目的地に到達できない住宅数が減少する結果となった。避難速度が 40m/分の場合、18 分以内に避難目的地に到達できない住宅数が多かったため、詳細に分析を行う。ここでは初動時間の増減による住民の総避難時間の変化をみ

表 1 速度別にみる避難所要時間ごとの住宅件数

| 総避難時間<br>(分) | 初動時間<br>(分) | 避難所要時間<br>(分) | 住宅件数 (件) |       |       |
|--------------|-------------|---------------|----------|-------|-------|
|              |             |               | 40m/分    | 60m/分 | 80m/分 |
| 10           | 10          | 0             | 5        | 7     | 12    |
| 11           |             | 1             | 7        | 16    | 19    |
| 12           |             | 2             | 11       | 12    | 11    |
| 13           |             | 3             | 8        | 7     | 28    |
| 14           |             | 4             | 6        | 21    | 19    |
| 15           |             | 5             | 5        | 16    | 25    |
| 16           |             | 6             | 11       | 28    | 19    |
| 17           |             | 7             | 17       | 17    | 4     |
| 18           |             | 8             | 9        | 16    | 0     |
| 19           |             | 9             | 20       | 7     | 0     |
| 20           |             | 10            | 13       | 0     | 0     |
| 21           |             | 11            | 12       | 0     | 0     |
| 22           |             | 12            | 10       | 0     | 0     |
| 23           |             | 13            | 9        | 0     | 0     |
| 24           | 14          | 4             | 0        | 0     |       |

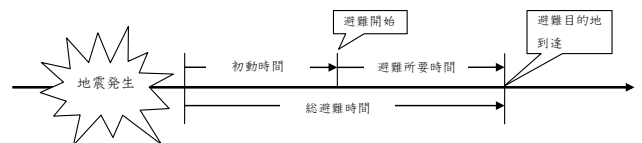


図 5 総避難時間の考え方



る。初動時間4分の時点で避難目的地に到達できない住宅数が4件で、8分までは約10件ずつ1分おきに増加している。初動時間が10分のときには77件が到達できない結果となった。これより、初動時間が1分でも早ければ避難目的地に到達できる住宅数が増加することから、早期避難の判断は津波から逃れるために重要であるということが再認識できた。

#### 4. 防災教育（ワークショップ）と防災マップの作成

##### 4.1 防災ワークショップについて

対象地にある佐伯市立名護屋小学校において、全児童を対象に防災教育を3回実施した。最初に家庭内のリスク点検、次に学校内のリスク点検、最後に地域内のリスク点検の内容を含んだワークショップを行った。そして、普段の生活において地震が発生した際の避難行動について考えるDIG<sup>注3)</sup>を含めた内容も取り入れた。ワークショップの目的は危険箇所や避難行動を児童に認知してもらうこととしており、ワークショップの成果として、児童のリスク認知や避難行動を把握する。

##### 4.2 家庭内リスク点検ワークショップ

最初のワークショップによって、児童と保護者が一緒に自宅で発生する危険を認識した(平成24年6月)。自宅の見取り図に家具の位置を記入してきてもらい、固定していない家具や背より高い本棚の位置にシールを貼ることで危険がある場所を表現した。また、いつもいる場所や寝ている部屋にもシールを貼り、そこから避難する途中に危険がないか確認した。

さらに、帰宅後に実際に危険箇所の確認を行ってもらって、自宅内のリスクを再認識してもらった。

##### 4.3 学内リスク点検ワークショップ

続いて、児童と先生が学内でよくいる場所やよく利用する教室を中心に危険を探した(平成24年7月)。児童はデジタルカメラで災害時に危険となる物や役に立ちそうな物を撮影したり、学内の図面にどこに何が合ったかを記入したりしていた。まとめの作業において児童は、棚やテレビなどの倒れてくるものや落ちてくるものを危険要素として多く挙げていた。これらをポストイットに書いて学校の図面に貼ることで、本ワークショップの成果物とした。そして、この成果をもとにして、学内の防災対策を実施するに至っている。

##### 4.4 地域内リスク点検ワークショップ

地域内リスク点検ワークショップ(平成24年11月)では、地域において災害時に危険物となる可能性のあるものをマーカーで直接写真に書き込む作業を行い、児童が自分たちで危険だと思うものにマークをつけていった。写真は事前に現地調査を行ったときに撮影したものを使用した。特に電柱やブロック塀に関しては、すぐにマークをつけていたため危険要素を理解しているよううかが

がえた。しかし、災害時を想定した避難行動をイメージさせるDIGを行ったときには、災害時の想像ができていない児童が多く、どのように避難行動をとったらよいか悩んでいた。また、危険要素が危険となる原因をポストイットに書く作業では、「倒れる」や「崩れる」といった記述が多く、倒れた後の危険性については記述されていなかった。最後は、児童が住んでいる地域の地図に危険要素にチェックをいれた写真や、何が危険なのか、なぜ危険なのかを書いたポストイットなどを貼って、まとめの作業を行った。

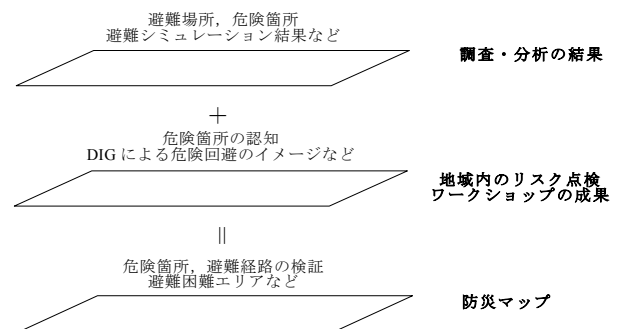
今回のワークショップより、本小学校の児童は危険となる可能性のある要素についての認知はあると判断できる。したがって、災害時はそれらを回避しながら避難ができるのではないかと考えられる。しかし、危険要素と災害時の対応とのリンクがはかれていないため、その点の教育が必要である。



写真1 学内(左)、地域(右)点検ワークショップの様子

##### 4.5 防災マップの作成

最終的に、図6で示しているように、対象地の空間分析やシミュレーションの結果と、地域内のリスク点検を行ったワークショップで得られた児童のリスク認知をもとに、防災マップ(後掲図7)を作成した。調査や分析で明らかになった集落内の危険箇所や避難困難エリアを言葉やメッシュで表現し、児童が気づいた危険な場所やものを写真や地図上で整理した。さらに、佐伯市がハザードマップで記しているがけ崩れや土石流の危険があるエリアをポリゴンで示した。これらにより児童の意見が含まれた災害対策全般に関する防災マップが作成できた。名護屋小学校区の7集落分の同マップも作成しており、今後はこれらを地域に還元することで、より防災意識が向



※名護屋小学校の児童が居住する7集落分を作成

図6 防災マップ作成の概念

上することが期待される。なお、防災マップについては、ベースが更新や追加が容易なように、汎用性のある GIS データ(shape 形式)で整備を行っている。

## 5. 研究成果と今後の課題

本研究では、南海トラフ巨大地震で発生する津波が、大分県で最も早く到達すると予測されている佐伯市の沿岸部集落において、道路やオープンスペースの分布状況から集落の空間的特性について分析を行った。対象地の住宅群内は道路ネットワーク性が高いため、多様な経路選択が可能だが、道路閉塞や狭い街路による危険が想定される。また、避難距離をもとに、避難所要時間、避難速度、初動時間の時間軸からみた津波からの避難の実態について明らかにした。これにより、初動時間を1分でも早くすることが重要であることを再認識できた。しかし、避難シミュレーションでは、住民の特性を考慮できず、具体的な対策につながるような個人属性に基づく評価が必要である。

対象地の小学校で行ったワークショップでは、自分が住んでいる地域にひそむ危険要素について児童の認知度を把握し、避難行動をイメージさせる DIG を行った結果、避難のイメージができていないことを把握した。そして最終的に、調査・分析結果と合わせた防災マップを作成した。図7は名護屋小学校が位置する丸市尾浦防災マップである。この防災マップはこれが完成形ではなく、様々

なニーズや課題に対応した地域独自の防災マップへと発展させていくことが求められる。また、今回は子どもが対象であったが大人と実施する場合、研究成果を議論、検討することでさらに充実した防災マップの作成ができると考える。

このような防災教育を通して、危険の少ない避難経路の検討や危険を認知させる取り組みを継続的に行っていかなければならないと考える。そして、行政と協働で取り組みを行うことで活動のネットワークが広がり、地域全体の防災力向上が期待される。

### 【謝辞】

本研究の成果の一部は、科学研究費補助金（基盤研究 C・課題番号 25420638）および公益財団法人高橋産業経済研究財団（平成 25 年度）による研究助成のもと実施した。

### 【注】

- 注1) 内閣府(<http://www.bousai.go.jp/jishin/nankai/>)によって平成 24 年 8 月 29 日に報道発表されたものであり、資料 1-2(都府県別市町村別災害津波高一覧表<満潮位>)及び資料 1-5(都府県別市町村別津波到達時間一覧表)を参考としている。
- 注2) 50m メッシュを採用した理由は、道路閉塞率算定のためには、10m, 25m メッシュでは小さすぎ、50m メッシュが最も適しているためである。
- 注3) DIG とは災害図上訓練(Disaster Imagination Game)の略。

### 【参考文献】

- 1) 片田敏孝, 村澤直樹:遠地地震にたいする行政と住民の対応にかかわる現状と課題, 日本災害情報誌, NO.7, pp.99~102, 2009.3
- 2) 片田敏孝, 桑沢敬行, 金井昌信, 細井教平:津波災害シナリオ・シミュレータを用いた尾鷲市民への防災教育の実施とその評価, 社会技術研究論文集, Vol.2, pp.199~208, 2004.10
- 3) 南正昭, 中嶋雄介, 安藤昭, 赤谷隆一:避難経路の高低差が津波避難者に与える負荷に関する基礎研究, 日本都市計画学会都市計画論文集, No.40-3, 2005.10
- 4) 渡辺次郎, 近藤光男:津波防災まちづくり計画支援のための由波避難シミュレーションモデルの開発, 日本建築学会計画論文集, 第 637 号, pp.627~634, 2009.3
- 5) 太田好乃, 牛山素行:地域特性と学校教育の関係について, 自然災害科学, J.JSNDS 28-3, pp.249~257, 2009
- 6) 陳雅奴, 糸井川栄一, 梅本通孝:小学校児童に対する防災教育の地域への効果波及に関する研究, 日本建築学会都市計画論文集, Vol.48, No.1, pp.39~49, 2013.4
- 7) 小林祐司, 佐藤誠治, 有馬隆文, 姫野由香:ランドサット TM データを利用した緑地分布傾向の把握手法に関する研究, 日本都市計画学会学術研究論文集, No.35, pp.1009~1014, 2000.11
- 8) <http://www.mlit.go.jp/common/000186474.pdf> 国土交通省
- 9) <http://www.city.saiki.oita.jp/index.html> 佐伯市ホームページ

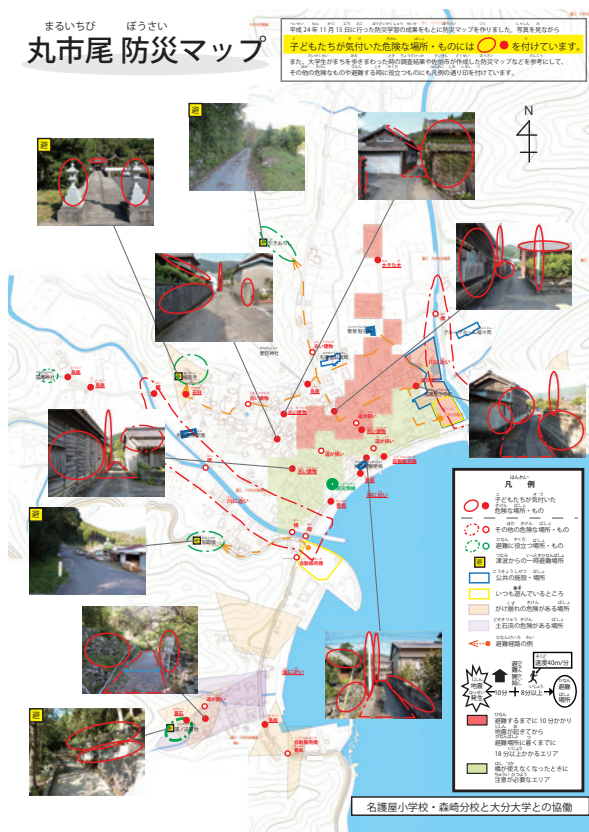


図7 防災マップ(丸市尾)

\*1 大分大学大学院工学研究科博士前期課程 大学院生  
\*2 大分大学工学部福祉環境工学科 准教授・博士(工学)

# Grasping Regional Safety Factor Assuming Tsunami and Development of Disaster Prevention Education

- Case study on Village in Coast at Saiki City, Oita Prefecture -

○Satoshi IKEDA\*<sup>1</sup>      Yosuke TOMITA\*<sup>1</sup>  
Masaya IKEBE\*<sup>1</sup>      Yuji KOBAYASHI\*<sup>2</sup>

Keywords : GIS, Tsunami , Simulation, Evacuation Time, Disaster Prevention Education

Japan is one of the countries occurring many earthquakes. There are also the earthquakes that suffered serious damage. It is important to evacuate in heights quickly from the tsunami generation. For that, residents need to understand the detail of regional characteristics. In this study, first, the regional characteristics were investigated by field survey and GIS. Next, the resident evacuation behavior from the tsunami assuming Nankai Trough Great Earthquake were simulated in object area (Maruichibi, Saiki City, Oita Prefecture, Japan). Further, disaster prevention education and workshop was carried out at Nagoya elementary school. Finally, disaster prevention maps that include the risk perception of the children and the simulation results and spatial analysis were made.

The road network was analyzed, because it is predicted that residents use not only the road but also the open space when the residents evacuate. The continuity of road network and the attribute of open space are grasped with mesh. The continuity of road (R-C index) value is particularly high in the residential area, so that it is considered to be possible to select various routes, although confusion of the evacuation by complex road networks is expected. The attribute of open space (OS-C index) value is high in the fields surrounding, and low in the central part.

Japan Cabinet Office predicted the one meter tall tsunami arrives the coast in Saiki city in 18 minutes and maximum tsunami height is 15m. The refuge simulation how residents reach altitude 15m places as refuge destination was performed. Next, the evacuation time which focuses evacuation speed and start time was analyzed in the study area. The places which need over 18 minutes to arrive the refuge destination from inhabitant's houses were extracted. It was found that the evacuation difficult area depends on by evacuation speed and start time. When the initial behavior time is four minutes, there are four houses that will not able to arrive at the refuge destination; about the number of 10 houses increase every minute until eight minutes. If the initial behavior time is as early as even one minute, the number of houses that are able to arrive at the refuge destination, therefore the decision of early evacuation is important to escape from tsunami.

On disaster prevention education for all three times. First workshop, children and their parents check their danger element in their home. Second workshop, children and teachers find danger elements in the elementary school. Third workshop, children found the dangerous elements in the area where they live. Children especially checked utility poles and concrete block wall. Children know what danger elements are. So, even if the disaster happens, children are able to avoid the dangerous elements. And DIG was done to imagine of the evacuation behavior, but they couldn't imagine evacuation behavior.

As a result, it is required to evacuate quickly after an earthquake and it is important to maintain structure. The disaster prevention map has to develop the original disaster prevention map that corresponded the subjects and various needs. For the future, we would like to go on to share these results of study with residents.

---

\*1 Graduate Student, Graduate School of Oita Univ.

\*2 Associate Professor, Dept.of Architecture, Faculty of Eng, Oita Univ., Dr. Eng.