

津波災害を想定した避難所へのアクセシビリティ評価と課題把握 —大分県津久見市を対象として—

○木原 大志*¹ 緒方 雄基*¹
小林 祐司*²

キーワード：津波 小学校区 避難 被災想定 GIS

1. はじめに

平成28年熊本地震では、一連の地震活動で震度7を観測する地震が2度発生した。直下型地震であったため、津波による被害はないものの、家屋倒壊や地震を起因とした土砂災害による被害も多かった。さらに、車中泊などによるエコノミークラス症候群が問題となり、国は「車中泊避難」についての新たな指針の策定を検討する¹⁾など、避難所における生活の問題が浮き彫りとなった。平成23年3月11日に発生した東日本大震災では、津波により北海道から関東までの広範囲にわたる太平洋沿岸部に大規模な被害を及ぼし、ハード対策の限界や集落の孤立化などの問題が生じた。また、近年の少子高齢化に伴う人口構造の変化や市町村合併による集落構造の変化に伴い、地域内での防災機能・避難所機能の完結が難しい状況となっている。

これらのことから避難所の機能拡充や多様性が求められ、地域内での避難所へのアクセシビリティ評価や適切な避難所配置が再度見直されている。また、防災対策上の課題として、災害直後の集落あるいは生活圏内における災害対応力も重要となっている。

そこで本研究では、GISを用いて津波被害想定を行い、公的指定避難所を対象としたアクセシビリティ評価を行うことで、地域の生活圏、特に災害時の対応で基本となるであろう小学校区を基準に地域の課題を把握し、各小学校区の特徴を明らかにすることを目的とする。

2. 研究方法

河津ら²⁾は、避難所の収容人数と地域人口を比較し、充足率を求め、各地域の避難施設が、その地域の人口をカバーできているのかを明らかにしている。小立ら³⁾は、沿岸部集落の生活機能へのアクセス性評価と津波災害と土砂災害における避難可能人数の割合と目安標高以上の避難可能人数の割合などの指標からクラスター分析を行い、災害危険度評価を行うことで、各集落の地域特性を明らかにした。

讃岐ら⁴⁾は、災害時において商業施設等の地域施設に避難場所を開設する時の効果をアクセシビリティの観点から分析を行っている。しかし、県全域を対象としており、地域ごとに詳細な分析を行うことで地域特性を明らかにするまでは至っていない。

このように、防災・減災の観点からアクセシビリティを評価した研究は多数存在するが、日常生活単位である小学

校区を分析し、地域特性を把握した例は少ない。災害時の対応の拠点となる避難所への歩行によるアクセシビリティ評価を小学校区単位で行うことは重要であろう。

また、避難行動に関する研究の多くは、避難行動開始時間が一律に設定されている。しかし、実際は住民の防災意識などによって、避難行動の開始時間は異なることが考えられる。

そこで本研究では、南海トラフ巨大地震により甚大な被害が想定されている大分県津久見市において、津波浸水域外の公的指定避難所の位置や人口分布、時間毎の避難者推移に着目し各小学校区の津波災害における避難可能な人口をGISを用いて把握する。また、災害時の課題や地域特性を明らかにする。



図1 大分県における津久見市の位置



図2 各小学校区と字単位での人口分布

3. 研究対象地について

大分県南東部に位置する津久見市（図1）は、豊後水道に面した津久見湾の湾口部を囲うようにしてリアス海岸が伸び、三方を山地に囲まれた地形を有している。人口 18,724 人（平成 28 年 4 月末日）、面積 79.48 km²である。高齢化の進んだ集落もあり、集落間を結ぶ道路への被害が生じた場合は集落が孤立することも考えられる。また、土砂災害危険箇所を多数有している。

津久見市沿岸部は、平成 25 年 3 月の大分県地震津波被害想定調査報告⁵⁾において、約 30 年以内に東南海地震が 70～80%、南海地震が 60%程度と想定され、地震調査研究推進本部⁶⁾によると、それぞれが連動して発生する南海トラフ地震の発生確率は 60～70%とされている。その被害の多くは津波によるものと想定され、最大 1,957 人の死者数となり、内閣府防災情報ページ⁷⁾より最大津波高 9m と予想され、甚大な被害が予測されている。分析対象とする小学校区を図 2、表 1 に示す。

4. 研究対象施設の概要

本研究でアクセシビリティ評価の対象となる公的指定避難所は、津久見市ホームページ危機管理・防災情報⁸⁾に記載されている収容避難所及び一時避難所である。表 2 より対象施設が最も多い小学校区は日代小学校区の 59 箇所、堅徳小学校区と青江小学校区が 2 番目に多く 38 箇所となっている。対象施設が最も少ない小学校区は越智小学校区の 8 箇所である。また、津久見市の 81.3%の公的指定避難所が後述する津波浸水想定域外に立地していることがわかる。

表 1 小学校区ごとの人口・面積・人口密度

小学校区	人口(人)	面積(km ²)	人口密度(人/km ²)
堅徳小学校区	2,437	10.25	237.76
青江小学校区	4,112	19.98	205.81
津久見小学校区	7,913	25.59	309.22
千怒小学校区	2,644	6.42	411.84
日代小学校区	1,478	11.52	128.30
越智小学校区	293	3.75	78.13
合計	18,877	77.51	243.54

※1 保戸島、無垢島を除く

※2 人口は平成22年度国勢調査の町丁目別人口データを基に作成

表 2 地域ごとの対象施設

小学校区	指標	公的指定避難所		合計	津波浸水域外施設数の割合(%)
		収容避難場所	一時避難場所		
堅徳小学校区	対象施設	4	34	38	84.2%
	津波浸水域外施設	1	31	32	
青江小学校区	対象施設	5	33	38	84.2%
	津波浸水域外施設	5	27	32	
津久見小学校区	対象施設	13	21	34	64.7%
	津波浸水域外施設	5	17	22	
千怒小学校区	対象施設	3	18	21	85.7%
	津波浸水域外施設	2	16	18	
日代小学校区	対象施設	8	51	59	83.1%
	津波浸水域外施設	1	48	49	
越智小学校区	対象施設	3	5	8	100.0%
	津波浸水域外施設	3	5	8	
合計	対象施設	36	162	198	81.3%
	津波浸水域外施設	17	144	161	

5. 津波災害を想定したアクセシビリティ評価

5. 1 評価方法について

(1) 人口について

各小学校区の対象施設を除いた建物に各小学校区の人口を建物^{注1)}の面積比で按分し、250m メッシュに含まれる建物とその建物に与えられた人口を集計し、メッシュの重心をとって基準とした。

(2) 条件について

住民は、道路距離の最も近い公的指定避難所に歩行避難するものとする。道路データは、ArcGIS Data Collection⁹⁾を用いた。このとき、避難方向及び収容人数は考慮しない。また、津波高より高い建物であっても、津波浸水想定域内に立地している施設は利用しないものとする。

(3) 最短経路距離について

歩行による最短避難経路は、ArcGIS Network Analyst のルート検索機能を用いて行った。避難目的地を公的指定避難所、避難開始地点を 250m メッシュの重心とする。

(4) 避難人口の算出

歩行避難をもとにした避難人口を算出するにあたり、人の移動速度を国土交通省都市局における平成 24 年 4 月の津波被災市街地復興手法検討調査（とりまとめ）¹⁰⁾を参考に分速 44m とし、時間内に最寄り施設まで辿り着く人口を避難可能人数として集計する。その際、高齢化率が問題となるが把握困難なため、今回は分速 44m とした。また、避難開始時間の違いを、内閣府の「南海トラフの巨大地震建物被害・人的被害の被害想定項目及び手法の概要」¹¹⁾における「3. 人的被害」-「3.2 津波による被害」の避難行動の違いを基に、直接避難時間^{注2)}・用事後避難時間^{注3)}・切迫避難時間^{注4)}を設定する。また、その割合を Case1～Case3 として設定する。（図 3）。

(5) 津波到達時間について

津波到達時間については、内閣府が公表した南海トラフの巨大地震に関する津波高、浸水域、被害想定の記事発表資料一式の都道府県別市町村別津波到達時間一覧表¹²⁾を

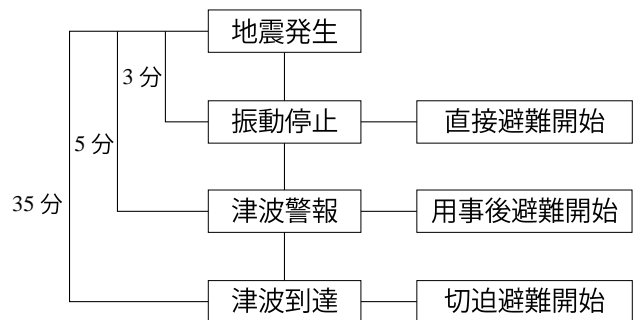


図 3 避難時間

表 3 避難人口の割合

	直接避難	用事後避難	切迫避難
Case1	70.0%	30.0%	0.0%
Case2	70.0%	20.0%	10.0%
Case3	20.0%	50.0%	30.0%

参考にして、津久見市への1mの津波到達時間35分(最短時間)で設定した。表4に「大分県津波浸水予想調査結果(確定値)について」における津久見市の代表地点における最大津波高および到達時間¹³⁾を示す。本研究では、より数値の小さい(津波到達時間の早い)内閣府の数値を参考とする。

(6) 時間軸について

内閣府の東北地方太平洋沖地震を教訓とした地震・津波対策に関する専門調査会第7回会合¹⁴⁾より、直接避難時間及び、用事後避難時間の時間を設定した。また、南海トラフ地震に備えるポータルサイト¹⁵⁾によると、高知県は震度3相当以上の揺れが1.5~3分程度続くとされている。そこで、振動時間を最大の3分とし、地震発生から、3分後に直接避難時間を設定する。また、気象庁の「津波警報・注意報・津波予報について」¹⁶⁾より、津波警報が発表される時間を地震発生から5分後と設定する。直接避難時間・用事後避難時間・切迫避難時間の避難時間は、それぞれ津波到達時間から振動時間・地震発生から津波警報発令までの時間・津波到達時間を除いた時間である(表3)。

表4 代表地点における最大津波高および到達時間

地点	小学校区	+1m波高到達時間	最大津波高到達時間	最大津波高(TP.m)
港町	津久見小学校	51分	1時間0分	4.56
長目	堅徳小学校	50分	57分	4.32
四浦字落の浦	越智小学校	46分	1時間6分	4.86

※1 最大津波高は小数点以下第二位まで表示

表5 各小学校における被害想定

小学校区	被災メッシュ数(A) ※津波浸水想定域に含まれるメッシュ数	校区メッシュ数(B) ※校区内に含まれるメッシュ数	被災メッシュ割合(%) (A/B) ※校区メッシュ内に含まれる被災メッシュの割合	被災人口数(C) ※被災メッシュに含まれる人口数	小学校区内総人口(D)	校区内被災人口割合(%) (C/D)
堅徳	60	90	66.7	2,279	2,437	93.5
青江	34	191	17.8	2,010	4,112	48.9
津久見	33	163	20.2	3,874	7,913	49.0
千怒	32	78	41.0	1,649	2,644	62.4
日代	51	65	78.5	1,336	1,478	90.4
越智	26	28	92.9	289	293	98.6

表6 各小学校区ごとの避難人口及び避難可能率

小学校区	避難目的地	Case	避難人数と避難可能人数			避難メッシュ			
			A 避難人数 ()内は地震発生から5分以内の避難人数	B 避難可能人数 ()内は地震発生から5分以内の避難可能人数	避難可能率 B/A (%)	地震発生から5分以内の避難可能メッシュ数	避難可能メッシュ数	避難困難メッシュ数	メッシュ合計
堅徳小学校区	公的指定避難所	1	2,437(1,706)	2132(404)	87.5%	21 (23.3%)	59 (65.6%)	10 (11.1%)	90
		2	2,193(1,535)	1918(363)	87.4%				
		3	1,706(487)	1430(149)	83.8%				
青江小学校区	公的指定避難所	1	4,112(2,878)	4002(274)	97.3%	10 (5.2%)	119 (62.3%)	62 (32.5%)	191
		2	3,701(2,591)	3593(247)	97.1%				
		3	2,878(822)	2701(57)	93.8%				
津久見小学校区	公的指定避難所	1	7,913(5,539)	7688(450)	97.2%	9 (5.5%)	111 (68.1%)	43 (26.4%)	163
		2	7,122(4,985)	6827(404)	95.9%				
		3	5,539(1,583)	5143(39)	92.8%				
千怒小学校区	公的指定避難所	1	2,644(1,851)	2638(284)	99.8%	9 (11.5%)	64 (82.1%)	5 (6.4%)	78
		2	2,380(1,666)	2367(255)	99.5%				
		3	1,851(529)	1832(22)	99.0%				
日代小学校区	公的指定避難所	1	1,478(1,035)	1453(476)	98.3%	28 (43.1%)	35 (53.8%)	2 (3.1%)	65
		2	1,330(931)	1291(428)	97.1%				
		3	1,035(296)	1005(130)	97.1%				
越智小学校区	公的指定避難所	1	293(205)	286(29)	97.6%	4 (14.3%)	21 (75.0%)	3 (10.7%)	28
		2	264(185)	258(26)	97.8%				
		3	205(59)	200(11)	97.5%				

(7) 津波浸水想定域について

津波浸水想定域については、「大分県津波浸水予想調査結果(確定値)について」における浸水予想図「堤防が機能しない」とした場合¹²⁾の南海トラフ巨大地震を参考にする。このとき、津波高より高い建物であっても、津波浸水域内に立地している避難所は利用できないものとする。

5. 2 各小学校区における津波災害を想定したアクセシビリティ評価

前節の方法を用いて解析を行った結果を表6に示し、各小学校区のアクセシビリティマップを図4~9に示す。また、表5は各小学校における被害想定を示す。

(1) 堅徳小学校区

各小学校区の中で最も低い避難可能率となった。海岸線が長く、堅徳小学校区の南側には公的指定避難所がないためと考えられる。また、小学校区内総人口の約93.5%が被害を受け、甚大な被害が予想される。

(2) 青江小学校区

校区メッシュが191と最も多い小学校区である。各小学校区で最も避難困難メッシュ数が多く(32.5%)、地震発生から5分以内の避難可能メッシュ数が最も少ない(5.2%)。よって、迅速な避難と早急な避難所適正配置が必要な小学校区である。小学校区内総人口に対する被災人口数が最も

少なく (48.88%), 同様に被災メッシュ割合も最も少ない。

(3) 津久見小学校区

津久見市役所や津久見駅など行政機能や交通機能の集まる、いわば津久見市中心部である。各小学校区で最も避難者数が多い地域であり、Case1 で 7,913 人、Case2 で 7,122 人、Case3 で 5,539 人である。地震発生から 5 分以内の避難可能メッシュ数は 5.5%と低い。また、青江小学校区に次いで、避難困難メッシュ数が多い。

(4) 千怒小学校区

避難が困難なメッシュの割合は 6.4%と低く、また避難可能率もすべての Case で高く、99%を超える結果となった。千怒小学校区は面積が狭く、公的指定避難所の数は少ないが、適切に配置されているため、避難可能率が高くなったと考えられる。

(5) 日代小学校区

地震発生後 5 分以内で避難が可能メッシュの割合が 43.1%と各小学校区で最大となっており、また避難が困難なメッシュも 3.1%と低い値を示した。しかし、メッシュが点在しているため、孤立する可能性が高い。

(6) 越智小学校区

被災人口は小学校区内で最も高い 98.6%とであった。津波災害による被害は甚大であり、早急な対策が必要である。

以上のように、全小学校区で避難可能人数が 100%にならず、用事後避難・切迫避難による被害が大きいと考えられる。このことから、直接避難を行うことで、避難可能率が向上する可能性が高くなる。

6. 総括

大分県津久見市は、発生が懸念されている南海トラフ巨大地震による被害が甚大であると想定されていることから、GIS を用いて避難所へアクセシビリティ評価を行い、地域特性の把握を行った。公的指定避難所を対象としたアクセシビリティ評価を行うことで、各小学校区の避難可能率は全ての Case の場合も 80%以上と高い結果となったが、地震発生から 5 分以内の避難可能人数が少ないことや、小学校区ごとの被災メッシュ割合や被災人口割合の違いなどから

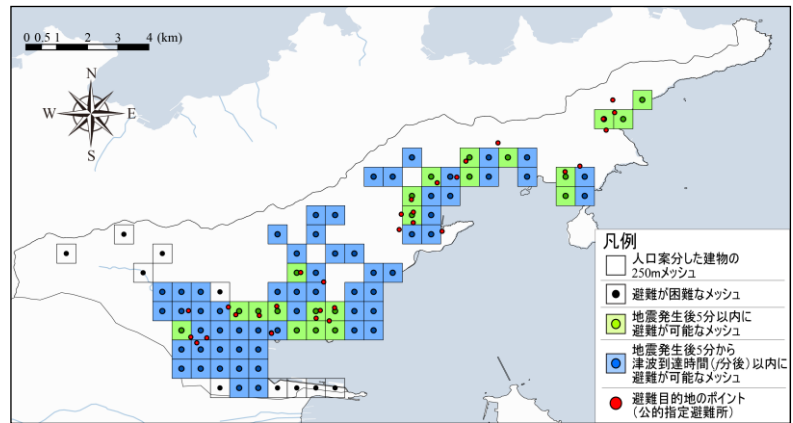


図4 堅徳小学校区のアクセシビリティマップ

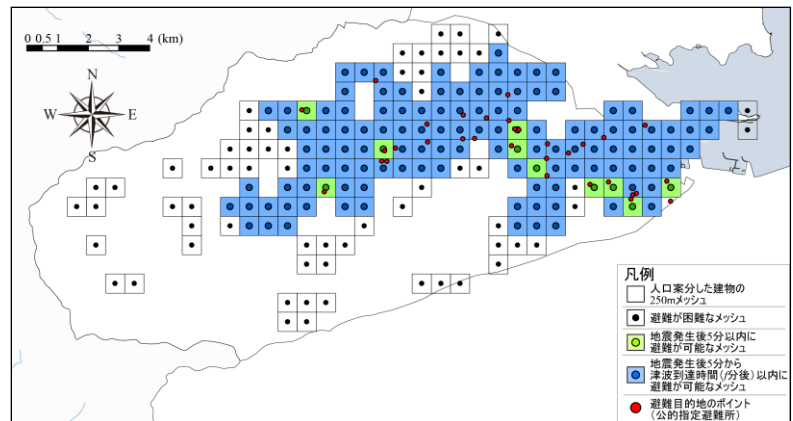


図5 青江小学校区のアクセシビリティマップ

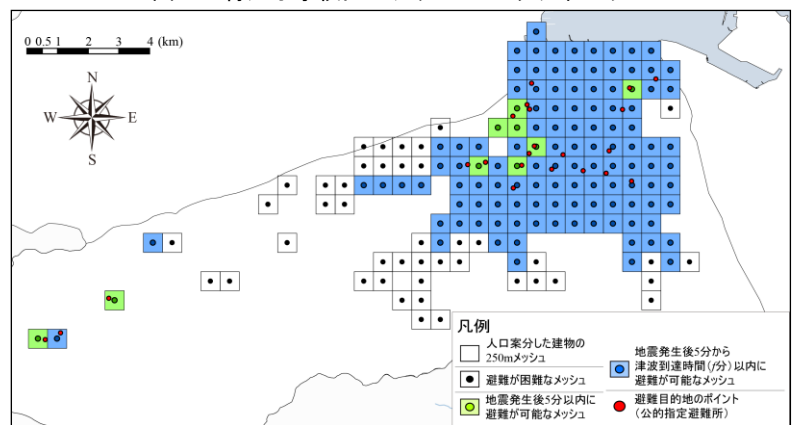


図6 津久見小学校区のアクセシビリティマップ

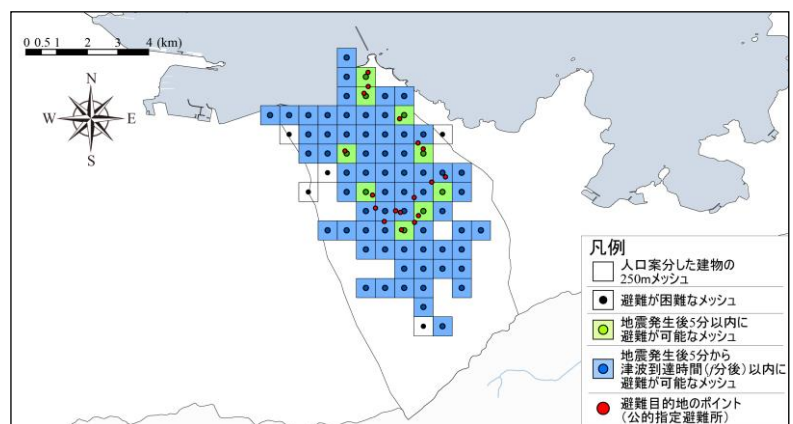


図7 千怒小学校区のアクセシビリティマップ

被災規模などの違いも明らかとなった。

今後は、商業施設や医療施設などの施設を避難所として開設した場合の住民のアクセシビリティ評価や代替性評価を行うこととして、この分析結果を考慮した災害時に利用が想定される各種施設の適正配置に関する分析も必要である。さらに、津波災害に加えて土砂災害などの各種災害も想定し、総合的に地域の安全性を評価することが必要であろう。とりわけ、福祉避難所の設置状況、収容可能人数も含めた評価、さらに小学校区だけでなく行政域を超えた避難も想定した評価も求められる。今後の分析対象および課題とした。

【謝辞】

本研究は、科学研究費補助金（基盤研究C・課題番号16K06648）及び平成27年度・29年度大分大学学長戦略経費（「地域課題解決型」若者研究者支援プロジェクト）による助成を受けて実施した。

【注釈】

- 注1) 基盤地図情報が提供する建物外形データ。
- 注2) 地震の揺れが収まった直後に避難開始する時間。
- 注3) 津波警報や用事などの外的要因後に避難開始する時間。
- 注4) 津波が迫っていることを確認し、避難開始する時間。

【参考文献】

- 1) 毎日新聞：「車中泊避難」で指針 政府が策定検討 <https://mainichi.jp/articles/20160512/k00/00e/040/235000c> (2016.5.25 閲覧)
- 2) 河津恭平, 小林祐司, 佐藤誠治：集落と防災拠点間のアクセシビリティ評価に着目した安全性の地域的傾向と評価 - 大分県佐伯市を対象として -, 日本建築学会大会学術講演梗概集, F-1 分冊, pp.379-380, 2009.7
- 3) 小立雄大, 池部仁哉, 小林祐司：災害を想定した佐伯市沿岸部集落の自律分散性評価と防災対策の課題, 第38回情報・システム・利用・技術シンポジウム論文集, pp.115-120, 2015.12
- 4) 讃岐亮, 佐藤栄治, 鈴木達也, 吉川徹, 牧紀男：避難場所としての商業施設の立地ポテンシャル評価 - 紀伊半島の食料を供する施設を対象として -, 日本建築学会計画系論文集, No.692, pp.2127-2134, 2013.10
- 5) 大分県防災危機管理課：大分県地震津波被害想定調査報告について, http://www.pref.oita.jp/uploaded/life/287382_350103_misc.pdf, (2016.6.18 閲覧)
- 6) 南海トラフの地震活動の長期評価（第二版）について（平成25年5月24日発表）, (2017.9.27 閲覧) http://www.jishin.go.jp/mai/chousa/13may_nankai/nankai2_shubun.pdf
- 7) 内閣府：南海トラフ巨大地震に関する津波高、浸水域、被害想定公表について（平成24年8月29日発表）, 資料1-2 都道府県別市町村最大津波高一覧表〈満潮位〉, http://www.bousai.go.jp/jishin/nankai/nankaitrough_info.html (2016.5.25 閲覧)
- 8) 津久見市ホームページ：危機管理・防災, <http://www.city.tsukumi.oita.jp/life/1/9/47/>, (2016.5.26 閲覧)

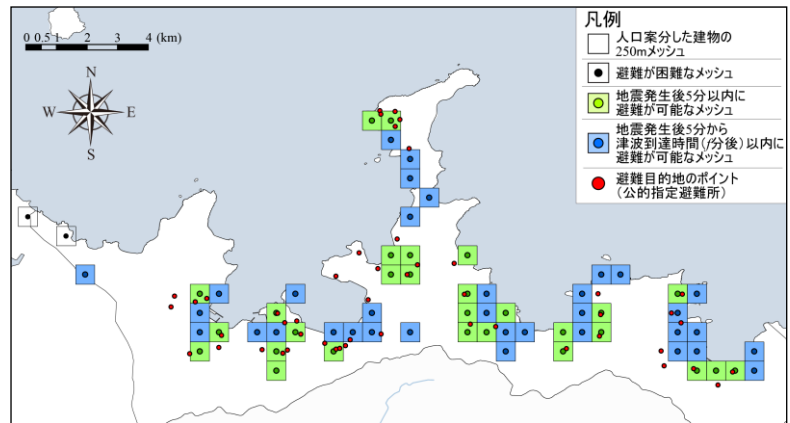


図8 日代小学校区のアクセシビリティマップ

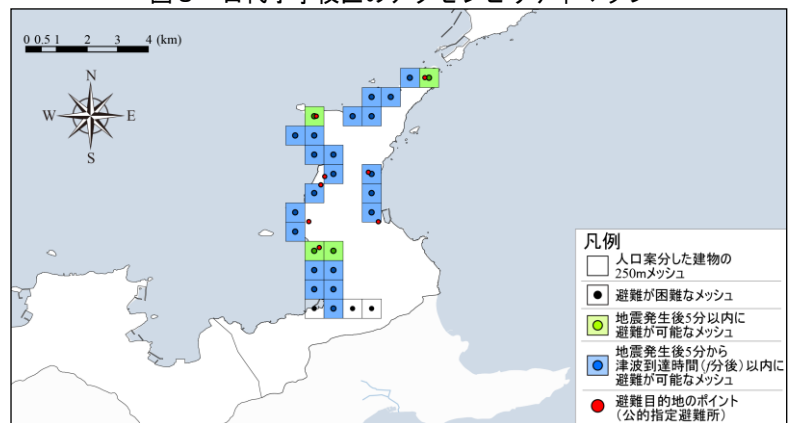


図9 越智小学校区のアクセシビリティマップ

- 9) ESRI Japan, ArcGIS Data Collection 道路網 (2011) 大分県版
- 10) 国土交通省都市局：津波被災市街地復興手法検討調査平成24年4月, <http://www.mlit.go.jp/common/00209868.pdf> (2016.11.12 閲覧)
- 11) 内閣府：南海トラフ巨大地震建物被害・人的被害の被害想定項目及び手法の概要, http://www.bousai.go.jp/jishin/nankai/taisaku_wg/8/pdf/sub2.pdf, (2016.9.13 閲覧)
- 12) 内閣府：南海トラフ巨大地震に関する津波高、浸水域、被害想定公表について（平成24年8月29日発表）, 資料1-5 都道府県別市町村別津波到達時間一覧表〈満潮位〉, http://www.bousai.go.jp/jishin/taisaku/pdf/1_5.pdf, (2016.7.7 閲覧)
- 13) 内閣府：防災情報のページ, 東北地方太平洋沖地震を教訓とした地震・津波対策に関する専門調査会（第7回）, <http://www.bousai.go.jp/kaigirep/chousakai/tohokukyokun/7/>, (2016.12.11 閲覧)
- 14) 南海トラフ地震に備えるポータルサイト, <http://www.pref.kochi.lg.jp/sonae-portal/>, (2016.10.2 閲覧)
- 15) 気象庁：津波警報・注意報・津波予報について, <http://www.data.jma.go.jp/svd/eqev/data/joho/tsunamiinfo.html>, (2016.12.11 閲覧)
- 16) 大分県ホームページ：大分県津波浸水予想調査結果（確定値）について [浸水予測図「堤防が機能しない」とした場合], http://www.pref.oita.jp/uploaded/life/287381_350080_misc.pdf, (2016.12.11 閲覧)

- *1 大分大学大学院工学研究科 博士前期課程
- *2 大分大学理工学部創生工学科 准教授・博士（工学）

Evaluation of Accessibility to Shelter and Grasping Issue Assuming Tsunami Disaster - A Case Study of Tsukumi City, Oita Prefecture -

○Taishi KIHARA*¹
Yuji KOBAYASHI*²

Yuki OGATA*¹

Keywords : Tsunami, Elementary School District, Evacuation, Damage Assessment, GIS

By the East Japan Great Earthquake and the Kumamoto Earthquake, problem of living at shelter, isolation of villages and urban or regional structures and so on were revealed. In addition, it was difficult to complete the disaster prevention function and shelter function within the area by demographic change has been influenced decreasing birthrate and aging of the population and changes in the village structure by Municipal merger. Therefore, the evacuation centers are required to expand functions and diversity, accessibility evaluation to evacuation centers and proper placement of evacuation shelters should be reviewed again within the area. In this study, we estimate damage by using GIS, and perform accessibility evaluation for official designated shelters. Furthermore, we grasp a issues in elementary school districts and analyze characteristics of each elementary school district.

Tsukumi city has the rias coast, and it is assumed that tremendous damage will be occurred by the Nankai Trough Huge Earthquake, it is expected to occur in about 70% of probability within 30 years. the tsunami arrival time of 1 m is 35 minutes. If the transportation network suffered damage, Tsukumi City is isolated. 81.3% of Tsukumi City official designated shelters are located outside the tsunami inundation zone.

This analysis is analyzed by mesh data, and the population data, standards for evacuation target spots and so on are maintained based on mesh data. Residents evacuate to official designated shelters that are closest to the road distance, and the shortest route distance are calculated using ArcGIS Network Analyst. The evacuation destination is a official designated shelters, and the evacuation starting point is the center of gravity of 250 m mesh. The number of people reaching the nearest facility within the time is counted as the number of evacuable persons. Also, set the difference in evacuation start time as direct evacuation time, evacuation time after evacuation, urgent evacuation time, based on the difference in evacuation behavior. And sets the ratio as Case 1 to Case 3.

Tsukumi City is a high evacuation rate for official designated shelters, and for evacuation possible within 5 minutes from the occurrence of the earthquake, both the number of people and the number of meshes can be improved. Also, because the number of evacuable persons did not reach 100% in all elementary school districts, the damage due to evacuation time and urgent evacuation time is considered to be significant. From this result, it is obvious highly likely that evacuation will be improved by carrying out early evacuation like evacuation time immediately afterwards.

By the evaluation of accessibility to public evacuation area is revealed that evacuation possible rate of each elementary school district having over 80% in all case. But, this study is revealed few evacuable number of people in the 5 minute from earthquakes occurred.

From now on, it is important that evaluation of accessibility when established facility like commercial and medical as evacuation area and analysis on facility arrangement considering result of study. Furthermore, to evaluate comprehensively safety of region is necessary assuming various disaster. In particular, the situation of welfare shelter, consideration of the number of people who can be accommodated and evaluation of evacuation beyond administrative area is also necessary.

*1 Graduate Student, Graduate School of Oita Univ.

*2 Associate Professor, Div. of Archit, Fac. of Sci. and Technol., Oita Univ., Dr.Eng.