



# 巨大地震に備えて

～防災・減災に関する  
調査研究報告書～

2014

公益財団法人 八雲環境科学振興財団



## はじめに

環境科学に関する調査研究の推進や創造性豊かな研究者の養成を支援することにより、岡山県における学術および技術開発の進展並びに国際研究交流の増進に貢献していくことを目的として、平成10年7月29日、「財団法人 八雲環境科学振興財団」が設立され、おかげさまで16年目を迎えました。

自然災害が少なく「晴れの国」といわれる岡山県においては、大災害に対する防災意識の向上や防災・減災に対する備えなどは、決して高いとはいえない状況であります。

しかし、国が示した南海トラフ巨大地震では、岡山県においても、かつて無いような津波災害や地震災害の発生が危惧されています。また、今年8月、広島市では大規模な土砂災害が発生するなど、全国各地で、地球環境変化によると考えられる自然災害へのリスクが高まってきています。

この度、当財団では「巨大地震に対する防災・減災」をテーマに、岡山県内における地盤災害、津波災害、災害時の避難行動と情報通信技術、津波による塩害並びに水害廃棄物など様々な問題に対して、県内の大学の研究者を中心に調査研究を行いました。このレポートはその成果をとりまとめたものであります。

当財団が行ったこの調査研究が、岡山県における防災・減災に対する意識を高め、その対策の一助となれば幸甚であります。

皆様方におかれましては、今後とも当財団の育成につきまして、御協力、御支援を賜りますよう、よろしくお願い申し上げます。

平成26年11月  
公益財団法人 八雲環境科学振興財団  
代表理事 小谷 裕 司



# 目 次

1. 「防災・減災」に関する調査研究事業について	1
2. 提言と行動指針	3
3. 「防災・減災」に関する調査研究報告	5
3-1. 地盤災害対策に関する調査研究	7
3-2. 津波災害対策に関する調査研究	29
3-3. 災害時の避難行動と情報通信技術に関する調査研究	59
3-4. 津波による塩害並びに水害廃棄物に関する調査研究	91
4. 財団の概要	113
5. 役員等名簿	115
6. ご寄附のお願い	117



# 1. 「防災・減災」に関する調査研究事業について

これまで当財団は、環境研究助成事業を主として取り組んできたが、岡山県内の南海トラフ対応を喫緊の課題として、当財団独自に「巨大地震に対する防災・減災」をテーマに、平成 25 年度から調査研究事業をおこなってきた。

財団内に設置する調査研究委員会とその推薦を受けた岡山県内の研究者がチームとなって以下の 4 つの WG（ワーキンググループ）を立ち上げ、それぞれ 3～5 のテーマについて研究を行った。

- ①地盤災害対策に関する調査研究
- ②津波災害対策に関する調査研究
- ③津波避難計画と災害に強い情報通信技術の構築に関する調査研究
- ④津波による塩害並びに水害廃棄物に関する研究

上記の調査研究成果を本報告書にまとめた。また、その成果をもとに作成した防災・減災に向けての提言書も併せて掲載している。

今後もこのような調査研究事業を通じ、公共機関、県民等広く一般社会に還元していきたいと考える。

## 調査研究委員会

### 委員長

伊丹 文雄 公益財団法人八雲環境科学振興財団

### 委員

阿部 宏史 岡山大学大学院

大久保賢治 岡山大学大学院

沖 陽子 岡山大学大学院

熊澤 貴之 岡山県立大学（現職；茨城大学）

西垣 誠 岡山大学大学院

星野 卓二 岡山理科大学

山北 次郎 岡山県立大学

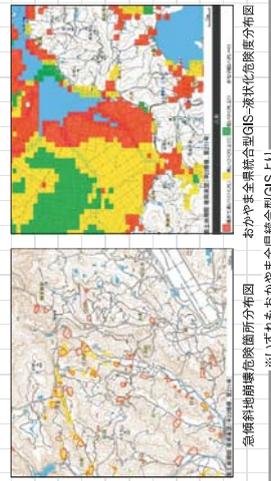


## 2. 提言と行動指針

# 行動指針(自ら考え、共に行動し、地域を支える)

## 地盤災害軽減に向けた提言

地域の特性を把握し 最新の技術と知見を活用してその土地の安全度を再検討することを提言する

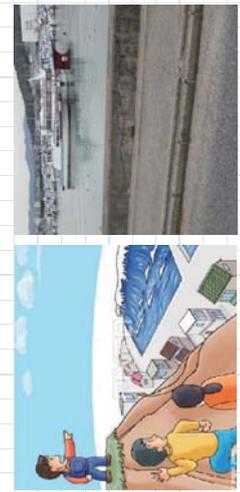


- 見島湖周辺の液状化マップをより詳細に再検討する。
- 急傾斜斜面に対して全域にわたって危険度の再評価を行う。
- 液状化のメカニズムをビジュアルに示す手法を活用して、住民の理解を深める。

※いずれもおかやま全県統合型GISより

## 津波災害軽減に向けた提言

津波や沿岸構造物に対し現地に即応した評価を行った上で公表し津波避難計画等の対策に反映させることを提言する

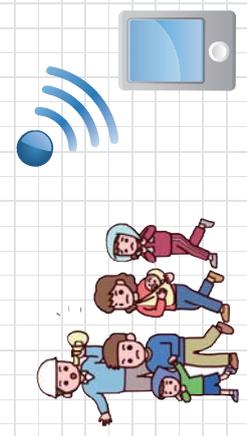


- 沿岸堤防・護岸の実態調査、液状化影響調査、河川からの津波遡上の再検討を行う。
- 各住区の氾濫の特徴(HF等)を考慮し、高上げ築高度や避難経路等の広報・訓練を行う。
- 干拓地区域では地震発生後の速やかな避難と潮時を踏まえた避難態勢維持に努める。

防波堤にみられるひび割れ (写真提供 岡山大学 藤井隆史准教授)

## 災害時の避難行動と情報通信技術に関する提言

地域版の避難行動計画を策定するとともに そのための強靱な情報通信技術を構築し その活用を図ることを提言する



- 避難訓練を通じた原則徒歩の周知徹底と、地域や個人を限定した自動車利用を検討する。
- 地域特性を踏まえた避難方向指示情報と、その効果的な情報伝達方法を確立する。
- 情報通信インフラの信頼性強化と、災害対策の効率的な優先順序について検討する。

## 津波による塩害並びに水害廃棄物に関する提言

被災農地における生物指標を加味した除塩システムの構築と 水害廃棄物の発生予測及び対応計画ツールを開発することを提言する



- 被災農地においては、津波堆積物の除去を速やかに行うとともに排水性確保が重要である。
- 最適な除塩計画の立案には、数値シミュレーションを活用する。
- 塩生植物あるいは耐塩性の高い植物を指標植物として、被災地の土壌中の塩分濃度のグレードを推定する。
- 水害廃棄物の発生量を予測し、仮置場の確保や廃棄物輸送に迅速に対応できるような計画ツールを開発する。

(写真提供 岡山大学 衛生管理学習研究室)

自分自身で考えよう

自分が住んでいるところの危険な個所を知っておこう／個人・世帯が自分自身の避難行動計画を考えよう

地域と共に考えよう

津波災害対策として 避難計画やハザードマップなどを活用して 近隣堤防の確認や避難時間の計測などの確認をしよう

また復旧に際しては

植物を見て判断し 使える施設を最大限に活用して効率的に除塩を進めよう

### 3. 「防災・減災」に関する調査研究報告

#### WG1 地盤災害対策に関する調査研究

研究テーマ	研究者名	ページ
児島湖周辺の液状化危険度分布図について	岡山大学大学院 西村伸一	8
岡山地域において懸念される津波災害	土質工学(株) 橘 徹	10
巨大地震による斜面崩壊の予測と対策	岡山大学大学院 鈴木茂之	15
巨大地震を引き金とする土砂災害の発生危険度評価	岡山理科大学 佐藤丈晴 岡山理科大学 西村敬一	18
簡便な液状化模型実験とその解析	岡山大学大学院 西村伸一	26

#### WG2 津波災害対策に関する調査研究

研究テーマ	研究者名	ページ
津波到達経路・時間および津波高の評価に関する研究	岡山大学大学院 大久保賢治	30
岡山沿岸の堤防・護岸の実態調査	岡山大学大学院 藤井隆史	38
南海トラフ巨大地震を想定した岡山市の津波遡上解析	岡山大学大学院 前野詩朗 岡山大学大学院 吉田圭介 岡山大学大学院 工代健太	48

#### WG3 災害時の避難行動と情報通信技術に関する調査研究

研究テーマ	研究者名	ページ
津波避難時における自動車利用意向とその抑制策の検討	岡山大学大学院 氏原岳人 岡山大学大学院 阿部宏史 岡山大学大学院 佐々木麻衣	60
防災行政無線放送の方向指示情報が避難行動に及ぼす影響	岡山県立大学 (現職；茨城大学) 熊澤貴之	72
情報通信における防災・減災に関する調査研究	岡山県立大学 山北次郎 岡山県立大学 稲井寛 岡山大学大学院 横平徳美 NPO 地域 ICT 普及協議会 新免國夫	80

WG4 津波による塩害並びに水害廃棄物に関する調査研究

研究テーマ	研究者名	ページ
津波による塩害被災土壌の化学的特徴と除塩対策	(株)エイト日本技術開発 岡山大学大学院 今田真治 諸泉利嗣	92
津波による塩害被災と除塩状況を指標植物から探る	岡山大学大学院 岡山大学大学院 沖 陽子 中嶋佳貴	101
水害廃棄物の発生量推計と処理対策	岡山大学大学院 藤原健史	107

### 3-1. 地盤災害対策に関する調査研究

## 児島湖周辺の液状化危険度分布図について

岡山大学 西村伸一

### 1. 液状化危険度分布図について

図-1 にホームページ上に公開されているおかやま全県統合型 GIS-液状化危険度分布図を示す。ウェブサイトは

<http://www.gis.pref.okayama.jp/map/top/index.asp> である。

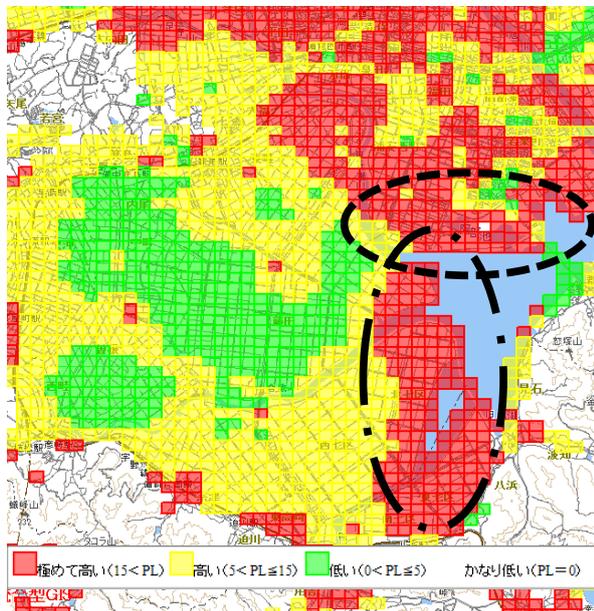


図1 おかやま全県統合型 GIS-液状化危険度分布図

図-1 は、南海トラフにおいて想定される最大クラスの地震が発生した場合を想定して作成されたものである。干拓地に焦点を絞り、図中の破線/一点鎖線の地域について、ボーリングデータに基づき検討を行う。

### 2. 検討に用いたデータ

液状化危険度分布図の検討に用いたデータは、岡山県地盤図（中国地方基礎地盤研究会 編集発行、1995年）より引用したものである。危険度が「極めて高い」と判定されている二つの地域（破線/一点鎖線の地域）について、検討を行う。

(1) 岡山南部地域（破線の地域）

この地域では、ボーリング柱状図と土質試験結果が一部得られている。

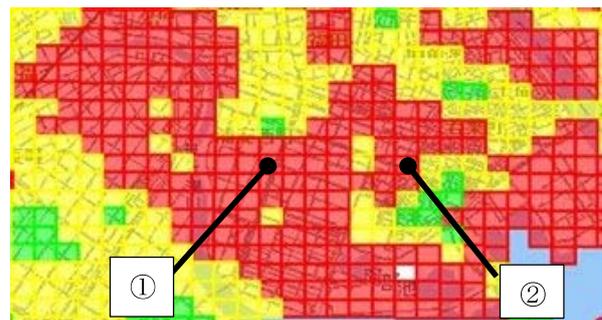


図2 岡山南部地域

図-2 は、図-1 の破線部の地域を拡大して示したものである。ボーリング柱状図は、上記範囲内で多数得られており、それぞれの地点の PL 値<sup>2)</sup>を計算すると、図-2 の液状化危険度と一致する。

次に①と②の点について、考察を加える。これらの点のボーリング柱状図では上層にシルトおよび粘土の層を確認することができる。このシルト・粘土層では、細粒分含有率 FC が 35% を超えているが、塑性指数  $I_p$  が 15 を超える値となっており、液状化判定の対象からははずれる層である。従って、PL 値も低い値が得られている（ $PL=1\sim3$  程度、つまり液状化危険度は「低い ( $0 < PL \leq 5$ )」)。しかし、①と②の地点の近傍では、液状化危険度が「極めて高い ( $PL < 15$ )」と判断されている。ボーリング柱状図が得られている①または②のところだけ周囲と地盤性状が異なっているとは考えにくいことから、周囲の地盤の液状化危険度を過大に（危険に）見積もっている可能性がある。

(2) 東七区・北七区・錦六区（一点鎖線の地域）

この地域のデータは、ボーリング柱状図のみ得られている。旧道路橋示方書に掲載されている、「土質分類と単位体積重量・平均粒径・細粒分含有率の概略値」を用いて計算すると、③および④では、危険度がそれぞれ「かなり低い ( $PL=0$ )」、「高い ( $5 < PL \leq 15$ )」となり、図-3 の「極めて高い」と

いう評価とは異なる結果となる。③では、ほぼすべて粘土層であるため、液状化危険度がかなり低いという結果が得られている。

図-3の液状化危険度が「極めて高い(15<PL)」領域には、ボーリング柱状図が19箇所で得られている。そのうち、「極めて高い(15<PL)」以外の判定が出た点が13点存在する。これらPL値が低く出た点は、(1)のケースと同様、上層に粘土・シルトの層が存在するためである。この地域においても、地盤の液状化危険度を過大に(危険に)見積もっている可能性がある。

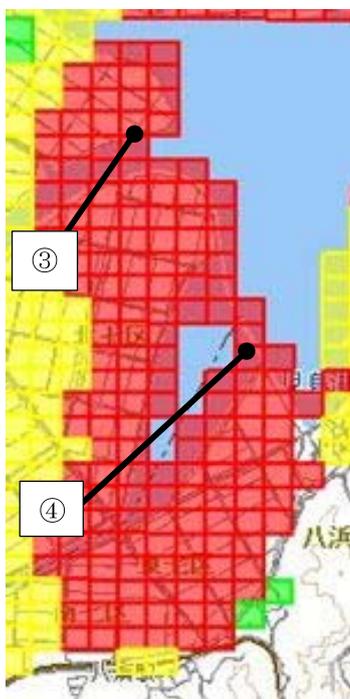


図3 東七区・北七区・錦六区

### 3. まとめ

Webで公開されている液状化危険度分布図は、過大に評価している場所がある。干拓地は、元々水面下に地盤があったため、液状化が発生しやすいというイメージを持たれることもあるため、液状化に対する正確な認識が重要である。

#### 参考文献

- 1) 岡山県地盤図、中国地方基礎地盤研究会、岡山県建築士会、日本建築構造技術者協会中国支部、1995.
- 2) 道路橋示方書・同解説 V 耐震設計編、社団法人日本道路協会、2012.

## 岡山地域において懸念される津波災害

土質工学株式会社 橋徹

### 1. はじめに

西南日本の沿岸地域、なかでも東海地域から四国南部にいたる太平洋沿岸地域はこれまでに幾度も津波災害を経験してきた。古文書記録によれば684年の白鳳地震津波から1944年昭和東南海地震・1946年の昭和南海地震津波まで10数回の津波が西南日本の沿岸部に襲来したことが知られており、これらの記録に基づけば大地震による津波はおよそ100数10年間隔で発生していることがわかる。さらには津波によって海岸付近に再堆積させられた砂礫層（津波堆積物）が東海地域、紀伊半島沿岸地域、四国南部地域から見ついている。これらの津波堆積物は古文書に記録された津波および先史時代の津波を記録している。こうした過去の地震および津波の記録は、西南日本の沿岸部にほぼ周期的に大きな津波が襲来したことを示している。それゆえ、近い未来に地震および津波が発生することは確実であり、西南日本の沿岸地域では南海トラフ地震による津波災害への対策が検討されてきた。

しかしながら、2011年の東日本大震災の発生により、これまでの検討は十分なものではないと考えられるようになった。東日本大震災を引き起こした地震は、東日本の太平洋沿岸部の津波対策において想定されていた地震の規模を大きく上回っており、避難所に指定されていた施設ですら被災する事態が発生した。南海トラフを震源域とする地震についても、これまでは震源域の違いにより、東海地震・東南海地震・南海地震と分けられていたものが、これらがすべて連動して超巨大地震が発生する可能性が否定できなくなった。この巨大地震（南海トラフ巨大地震）の規模は、これまで西南日本において検討されてきた最も大きな地震（宝永地震に相当する）を上回っている。それゆえ、従来の検討は十分ではないと認識されるようになり、南海トラフ巨大地震を想定した津波災害対策の検討が国および自治体によって進められることとなった。

本論の対象としている岡山県の瀬戸内海沿岸地域でも、想定すべき津波の高さがより高いものと

なった。岡山県瀬戸内海沿岸部には太平洋沿岸部ほどの津波は押し寄せないものの、標高の低い地域が広いこと、想定される津波高の上昇は、この地域における津波災害の対策に大きな影響を及ぼす。それゆえ南海トラフ巨大地震（M9クラス）を前提とした、岡山県瀬戸内海沿岸部における津波災害対策を検討することが喫緊の課題となっている。本論の目的は岡山県瀬戸内海沿岸部における津波災害対策の有り様について論じることである。本論では東日本大震災以降に見直された内閣府および岡山県危機管理課による南海トラフ地震・津波の防災対策を踏まえ、どのような対策がなされるべきか検討した。

### 2. 岡山地域における津波予測

津波災害対策の在り方については2011年の東日本震災により大きく変更、改善されることとなった。想定される津波を2つのレベルに区分し（最大級および高頻度）、それぞれの規模・頻度に応じた対策が目指されるようになってきている（表1）。最大級の津波（レベル2）については、低頻度ではあるが、甚大な被害が想定され、生命を守ることに対策の重点が行われている（減災）。高頻度の津波については人的災害だけでなく、津波保全施設を用いて建造物等の被害も防ぐことも目指されている（防災）。

表1 想定される津波のレベル区分

津波レベル	津波の概要	対策方針
最大級 (レベル2)	数100年～1000年程度に1度発生する津波。 発生頻度は極めて低いが、発生すれば甚大な被害をもたらす。	住民避難を柱とした総合的防災対策により減災を目指す。人的被害をなくすことを主眼とするとともに物的被害をなるべく小さくすることを目指す。ハザードマップの果たす役割が大きい。
高頻度 (レベル1)	数10年～100年程度に1度発生する津波。 発生頻度が高く、津波高は低いが、大きな被害をもたらす。	被害の発生を防ぐことを目的とする(防災)。海岸保全施設(防潮堤等)の果たす役割が大きい。海岸保全施設の設計で想定される津波。

### 3. 岡山地域における津波予測

南海トラフ地震が近い将来に発生することは予測されているが、その規模について予測することは困難である。それゆえ最大級の津波(レベル2)を想定した予測、対策が検討されている。内閣府南海トラフの巨大地震モデル検討会の資料によれば、南海トラフ巨大地震(想定マグニチュード9.1)によって、岡山県の沿岸部には最大で3～4m程度の高さの津波が押し寄せると推定されている(表2)。岡山県南部の平野の多くは干拓地であり、標高が低い。それゆえ岡山市南部では広い範囲が浸水する可能性がある(図1)。

表2 岡山県の最大津波高(内閣府資料より)

市町村別ケース別 最大津波高(浸水高)・地盤変動予測	ケース別										最大値 (m)	
	ケース1	ケース2	ケース3	ケース4	ケース5	ケース6	ケース7	ケース8	ケース9	ケース10		
岡山県	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
岡山市	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
岡山市東区	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
倉敷市	3	4	4	3	3	3	4	4	3	3	3	4
津山市	3	4	4	3	3	3	3	3	3	3	3	4
笠岡市	3	4	4	3	3	3	3	3	3	3	3	4
備前市	2	2	3	3	3	2	2	2	3	3	3	4
瀬戸内市	2	3	4	4	3	3	3	4	3	3	4	4

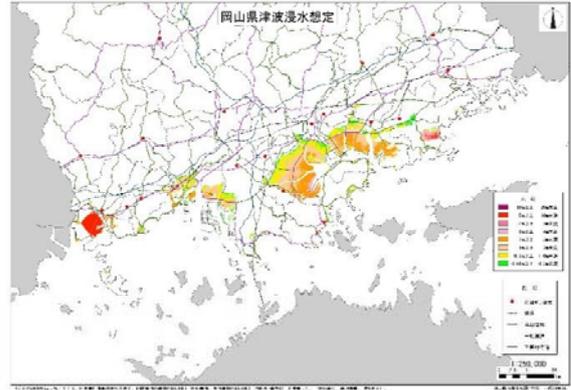


図1 岡山県の津波浸水想定図  
(岡山県HPより)

岡山県危機管理課の資料によれば、南海トラフ巨大地震による津波によって、最大で1m以上浸水する領域はおよそ12000ha、1cm以上浸水する領域は19000haと推定されている。津波による人的被害は最も多い想定で3000人程度(死亡者)、建物被害はおよそ9000戸とされている。

### 4. 岡山県瀬戸内海沿岸地域で懸念される津波による災害

津波がどのような災害をもたらすかについては、対象とする地域の地形や土地利用状況が大きく影響する。東日本大震災では三陸海岸に襲来した津波と仙台平野に襲来した津波とではそれらの挙動が大きく異なった。

津波災害に対する脆弱性の観点から見て、岡山県瀬戸内海沿岸部には以下のような特徴が読み取れる。

- (1) 規模の大きな河川(吉井川・旭川・高梁川)が流下し、海岸平野を形成している
- (2) 岡山市南部を中心として標高の低い土地(干拓地)が広がる
- (3) 水島地域(高梁川河口部)には工業地帯が広がる
- (4) 東部地域(瀬戸内市～備前市周辺)はリアス式海岸となっている



図2 岡山地域の津波脆弱性

(1) 河川を遡上した津波による被害

津波は河川沿いに最も早く遡上し、かつ最も内陸部まで到達する。それゆえ河川沿いでは津波による被害が大きくなることが多い。岡山県内には吉井川・旭川・高梁川といった規模の大きい1級河川が中国山地から瀬戸内海へ流入しており、河口付近は標高の低い平野が形成されている。それゆえ、これらの河川沿いの地域、特に河口付近では大きな被害が発生することが懸念される。

加えて、河川の制水機能は通常、内陸部へと逆流する流れを想定していない。河川の衝水部は流下する流れと遡上する流れでは異なる。それゆえ現状の河川では遡上により(予期しない箇所での)破堤の危険性がある。また支流の合流部においては、海側からの流れに対する対策がなされていない場合が多く、支流沿いにも津波は侵入しやすくなっている。



図3 河川沿いの遡上において想定される脆弱性(吉井川の例)

(2) 干拓地の浸水

岡山県瀬戸内海沿岸部、特に岡山市南部の平野の多くは干拓によって形成されたものであり、標高の低い地域(ゼロメートル地帯)が広がっている。このような地域では津波による浸水を受けやすいだけでなく、浸水した海水の排出も困難である(津波後の海への流出がおきにくい)。すなわち被災および復旧の長期化が予測される。

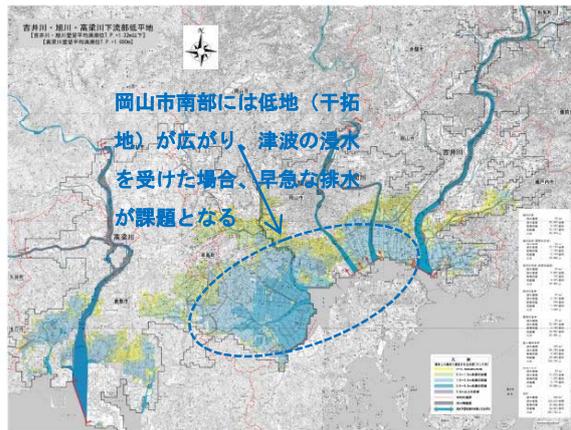


図4 岡山県南部の低地の分布(岡山県 HP より)  
(児島湖周辺に低地が広がる)

(3) 臨海工業地帯の津波災害

高梁川河口部にあたる水島地区(倉敷市)は石油化学工場群(水島コンビナート)が形成されている。現在工場の敷地となっている場所の多くは埋め立てによって形成された軟弱な土地であり、地震による揺れや液状化による被害が懸念されている。さらには津波による浸水や建物の破壊といった通常の津波災害だけでなく、臨海部の近代化・工業化によって生じるようになった津波火災や、汚染物質(重油など)・有害物質の拡散も懸念される。



図5 高梁川河口域に広がる水島臨海工業地帯

(4) リアス式海岸での津波高の増大

一般に津波は水深が浅くなるほど、その波高が増大するが、小規模な湾と岬が繰り返すリアス式海岸では増大の仕方が著しく、しばしば想定以上の高さとなる。岡山県瀬戸内海沿岸部の東部（瀬戸内市～備前市周辺）の海岸では丘陵が海岸付近まで迫り、リアス式海岸となっている。この地域では湾奥部に集落があることも多く、想定を超える津波高により被災する懸念がある。



図6 岡山県東部のリアス式海岸の例（瀬戸内市虫明地区）

5. 岡山県瀬戸内海沿岸地域の津波災害に対して取り組むべき課題

以下の図7に、様々な津波の災害対策について、被害内容および被害対策ごとにその有効性を分類した。この図において、地域の特性に基づき岡山県における津波災害対策の検討の緊急度・必要度を色分けした。

岡山県瀬戸内海沿岸部では津波保全施設の設置や、緊急避難施設の設置、および避難訓練等が喫緊の課題である。

被害対象	被害内容	災害対策 緊急避難施設 の設置	高台移転	都市計画・土地利用の見直し	ハザードマップ の作成	避難訓練・防災 教育	緊急避難施設 の設置	避難訓練・防災 支援体制の 拡充
人	人的被害	○	○	△	○	○	○	○
建物・構造物	建物の破壊	○	○	○	△	○	○	○
	インフラの破壊	○	○	○				
	津波火災	×	○	○				
土地・環境	土地の浸食・堆積	○	○	○	△	○	○	○
	塩害・汚染物質の拡散	○	(対象外)	○				
	生態系への影響	▽		+				
津波廃棄物 (瓦礫)	瓦礫の発生・移動	△	○	△	△	○	○	○
	海洋への流出	△	○	△				

○	被害内容の低減に有効な対策	△	検討が必要
△	被害内容の低減に一定程度有効な対策	○	検討が不要
×	被害内容の低減に有効でない対策	+	十分に検討済み
▽	被害内容の低減において有効性が明確でない対策	○	現時点では検討が困難
(対象外)	元来その被害内容で対象とされていない対策	△	検討の必要ない・対象外

図7 津波災害の区分

6. 津波災害対策

津波による災害は多様であり、その規模や被災地域の特性によっても大きく異なる。ここでは津波災害を被害対象に基づいて(1)人(人的被害)、(2)建物・構造物、(3)土地・環境に分けて考える。さらには被害対象とはやや異なるものの、被害の結果として発生し、東日本大震災では大きな問題となった(4)津波廃棄物(瓦礫)を加え、津波災害対策を検討することとする。それぞれの被害対象が被る被害内容は以下の表のようにまとめられるであろう。

表4 被害対象と被害内容

被害対象	被害内容
人	人的被害・生命の危険
建物・構造物	建物の破壊
	インフラの破壊
	津波火災
土地・環境	土地の浸食・堆積
	塩害・汚染物質の拡散
	生態系への影響
津波廃棄物(瓦礫)	瓦礫の発生・移動
	海洋への流出

このような被害内容に対する対策についても様々なものがある。ハザードマップのようなもっぱら人命を守るための対策もあれば、津波保全施設のような人命だけでなく建物等にも有効な対策もある。ここではハード的対策として津波保全施設の設置、高台移転、都市計画・土地利用の見直し、ソフト的対策としてハザードマップの作成、避難訓練・防災教育、ハード的かつソフト的

な対策として緊急避難施設（避難タワーや避難ビル等）の設置、救助・医療・生活支援体制の拡充を取り上げ、上記の被害内容との関連を表にまとめた（表5）。

- (2) 津波保全施設の設置
- (3) 避難訓練・防災教育および緊急避難施設の設置

表5 被害対象・被害内容と災害対策の関連

被害対象	被害内容	災害対策						
		津波保全施設 の設置	高台移転	都市計画・土 地利用の見直し	ハザードマップ の作成	避難訓練・災 害教育	緊急避難施設 の設置	救助・医療・生 活支援体制の 拡充
人	人的被害	○	○	△	○	○	○	○
建物・構造物	建物の破壊	○	○	○	（対象外）			
	インフラの被害	○	○	○				
	津波火災	×	○	○				
土地・環境	土地の浸食・覆被	○	（対象外）	○				
	塩害・汚染物質の拡散	○		○				
	生態系への影響	×		?				
津波廃棄物 （瓦礫）	瓦礫の発生・移動	△	○	△				
	海洋への流出	△	○	△				

○	被害内容の低減にあたって有効な対策
△	被害内容の低減にあたってある程度は有効な対策
×	被害内容の低減にあたって有効でない対策
?	被害内容の低減において有効性が明確でない対策
（対象外）	元来その被害内容を対象としていない対策

表5に示された対策について、岡山県瀬戸内海沿岸地域において検討が急務なもの等で区分を試みた（表6）。

表6 岡山県瀬戸内海沿岸地域における津波対策状況

被害対象	被害内容	災害対策						
		津波保全施設 の設置	高台移転	都市計画・土 地利用の見直し	ハザードマップ の作成	避難訓練・災 害教育	緊急避難施設 の設置	救助・医療・生 活支援体制の 拡充
人	人的被害	○	○	△	○	○	○	○
建物・構造物	建物の破壊	○	○	○	（対象外）			
	インフラの被害	○	○	○				
	津波火災	×	○	○				
土地・環境	土地の浸食・覆被	○	（対象外）	○				
	塩害・汚染物質の拡散	○		○				
	生態系への影響	×		?				
津波廃棄物 （瓦礫）	瓦礫の発生・移動	△	○	△				
	海洋への流出	△	○	△				

○	被害内容の低減にあたって有効な対策	黄色	検討が急務
△	被害内容の低減にあたってある程度は有効な対策	オレンジ	検討が必要
×	被害内容の低減にあたって有効でない対策	赤	十分に検討済み
?	被害内容の低減において有効性が明確でない対策	緑	現時点では検討が困難
（対象外）	元来その被害内容を対象としていない対策	灰色	検討の必要なし・対象外

岡山県瀬戸内海沿岸地域における津波災害の対策として、津波保全施設の設置および避難訓練・防災教育、緊急避難施設の設置が急務と思われる。

## 7. まとめ

岡山県瀬戸内海沿岸地域の津波災害対策として、今後取りくむべき課題として以下のことが挙げられる。

- (1) 津波の痕跡（津波堆積物）に基づく津波挙動の解明、津波シミュレーションの補間

## 参考資料

- 1) 内閣府 防災情報のページ 南海トラフ巨大地震対策  
<http://www.bousai.go.jp/jishin/nankai/index.html>
- 2) 岡山県危機管理課 HP  
<http://www.pref.okayama.jp/soshiki/12/>

## 巨大地震による斜面崩壊の予測と対策

岡山大学 鈴木茂之

### 1. はじめに

兵庫県南部地震や鳥取県西部地震など、内陸直下型の震源地周辺では急傾斜地の斜面崩壊が多く発生している。東北地方太平洋沖地震のような巨大地震でも、震源地から離れているにもかかわらず斜面崩壊が発生している。南海地震を想定した場合、岡山県は太平洋沿岸地域よりさらに数10km以上離れているが、後述するように斜面崩壊の発生する危険性のある場所がいくつか存在することが考えられる。岡山県南部の備前市周辺で検討を行ったが、そのうち危険と考えられる伊部屏風岩周辺の例を以下に示す。

### 2. 伊部屏風岩周辺地域の地形

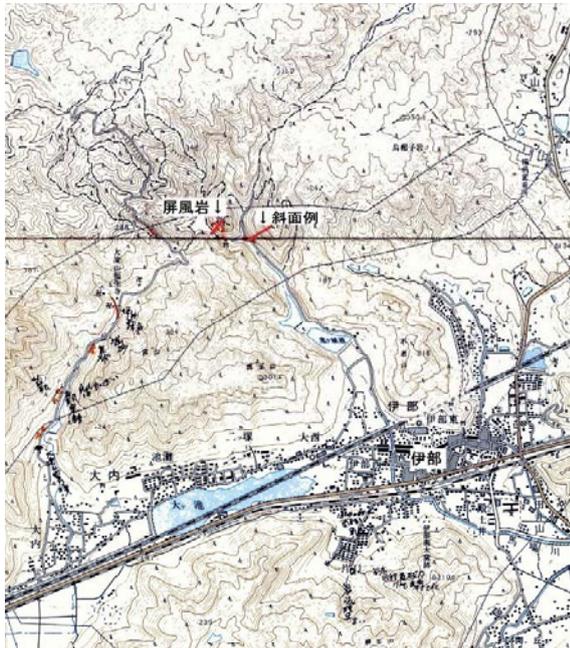


図1 伊部屏風岩周辺地域の地形  
(断面図、図2及び図3の位置を赤線で示す。)

標高200m付近より高い位置に、吉備高原をなす古い小起伏面が尾根部に残っている。この古い吉備高原地形を浸食した新しい地形が山地斜面をなしている。吉備高原地形との境界は遷急線をなし、その直下は急傾斜斜面をなす。特に伊部を流

れる馬場川上流の屏風岩周辺は急傾斜地が多く存在する。

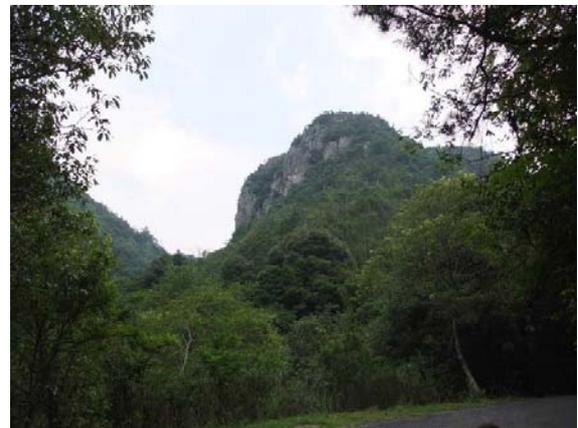
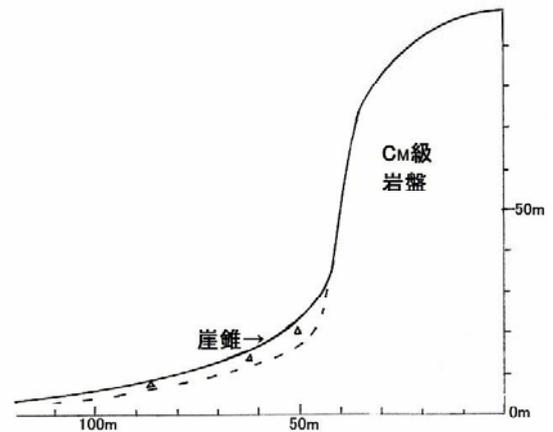


図2 屏風岩の地形断面および写真

屏風岩は図2に示されるように急な斜面をなしている。写真のように60°を超す崖をなしている。崖の高さは50m近くに達する。

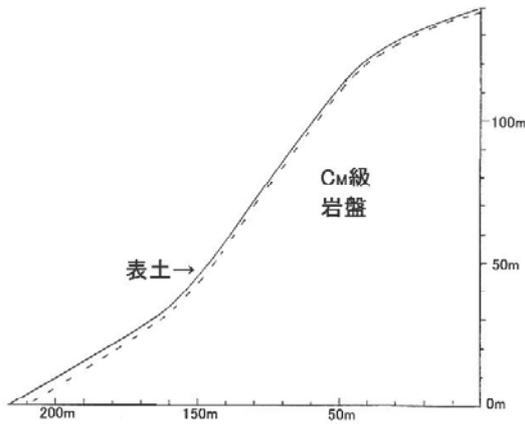


図3 屏風岩東方の斜面および写真

また図3にあるように、植生に被われた斜面でも、傾斜が $45^\circ$ に達するものがある。

### 3. 伊部屏風岩周辺地域の地質

広く白亜紀後期の火山活動で形成された流紋岩質火山岩が分布している。流紋岩質溶岩から凝灰岩からなる。いずれも珪質で堅硬な岩石をなし、強度が大きい。しかし節理が発達しており、場所によって方向や開口性が異なるが、露出している岩盤は一般にCM級である。

屏風岩の麓では幅数10cm間隔の明瞭な節理が発達している。節理の方向は崖斜面の面に沿っている(図4)。屏風岩を遠望すると、同様の節理が発達し、一部開口している。

植生が発達する斜面は表土に被われている。道路際では頻繁に表層崩壊が認められ、表土が露出している。厚さは1~2m程度で土砂および岩盤由来の角礫からなる。D級程度の強度と推測される。



図4 屏風岩麓の露岩：垂直な節理が明瞭



図5 斜面の表層崩壊の例

### 4. 伊部屏風岩周辺地域での斜面崩壊の可能性

南海地震がマグニチュード9で発生した場合、岡山県南部備前市における岩盤地域の震度予測は、岡山県<sup>1)</sup>によって震度5弱から5強が想定されている。岡山の地盤震動研究会<sup>2)</sup>の予測によると、南海トラフ断層中央部から破壊が同心円状に進行する仮定で求めた工学的基礎地盤位置での加速度は、地震のマグニチュードが8.4とした場合100Gal程度である。これまでの経験から震度5を超えたあたりから斜面崩壊発生の頻度が大きくなることから、何らかの災害がおこる可能性がある。

図2の屏風岩では、岩盤は堅硬であるが、斜面が $60^\circ$ を超える急傾斜をなしており、節理の方向は鉛直方向で一部トップリングをおこす方向にある。このことは比較的弱い揺れでも落石があり、強い揺れでは岩盤崩壊を起こす可能性が考えられる。この崖付近に民家はないが、神社の祠があることから、なんらかの対策が必要と思われる。

図3の斜面は約 $45^\circ$ の急傾斜部が広く存在する。周囲の露岩から推測して、地盤は堅硬であると考えられるが、ルーズな表層が1~2m程度被つ

ている。地震動による表層崩壊の可能性は否定できない。急傾斜部が広いことから、多量の崩壊土砂をなす可能性もある。この斜面の下には地方道がある。

#### 5. 岡山県で今後検討すべき対策

このように地震による斜面崩壊危険箇所は容易に見出すことができ、今後綿密な調査を岡山県全域に行って、ハザードマップを作成し、災害に備える必要がある。以下のように主な検討項目が考えられる。

- (1) 岡山県の地形や地質に対応した危険箇所の判定や危険性の程度を見積もる手法を検討する。
- (2) ある地区単位ごとに斜面災害危険箇所を抽出する。
- (3) 地区ごとの自治組織と連携して対策を検討する。

#### 引用文献

- 1) 岡山県ホームページ：  
[http://www.pref.okayama.jp/uploaded/life/311947\\_1422078\\_misc.pdf](http://www.pref.okayama.jp/uploaded/life/311947_1422078_misc.pdf)
- 2) 岡山の地盤震動研究会（1999）：岡山県南部地域の地震アセスメントに関する調査研究報告書

## 巨大地震を引き金とする土砂災害の発生危険度評価

岡山理科大学 佐藤 丈晴  
岡山理科大学 西村 敬一

### 1. はじめに

岡山県では、南海トラフ巨大地震によって甚大な被害が出ると想定されている。津波、液状化、ゆれやすさなどのハザードマップが発行され、住民に配布されている地域もある。土砂災害についても、岡山県や自治体によって独自の検討が進んでいる。

近年、中越地震、宮城岩手内陸地震といった地震によって、多くの地域で土砂災害が発生し、天然ダムなどの新たな課題も生じた。東日本大震災の被災事例研究より、傾斜量が急な箇所<sup>1)</sup>、斜面地形が凸状の箇所<sup>2)</sup>が災害発生の特徴と記されている。地震時における土砂災害の発生危険度評価については、国土技術政策総合研究所の研究<sup>3),4)</sup>によって危険度評価式（以下評価式と記述する）が提案されている。この評価式においても、危険度の評価に用いる要因として、傾斜量と曲率（地形の凹凸）と最大加速度が採用されており、東日本大震災で被災した災害箇所の特徴に合致した地形要因を採用している。提案された評価式は、平成7年の兵庫県南部地震の崩壊事例を基に設定された式であるが、東日本大震災において東北地方で再現解析が実施され、一定の適用性があることが既往の研究で示されている<sup>5)</sup>。

しかしながら、この評価式で採用されている地震時の加速度評価指標は、距離減衰式を採用している。距離があるほど、地震の影響は小さくなるという考えに基づいているが、実際の地震の影響は、地盤の状況に大きく依存している。今後想定される南海トラフ巨大地震を対象とした場合、内閣府の中央防災会議では、岡山県における定量的に算出された基盤震度<sup>6)</sup>を採用して揺れやすさや液状化範囲等、地震現象に基づく様々な検討が実施されている。中央防災会議で検討された複数のケースの中で、岡山県における揺れが最大になると想定される「陸側ケース」すなわち、特に強い地震波を放射する強震動生成域が、想定震源域の中の最も陸側に形成される場合である。このデータを採用することで、土砂災害の危険度評価にお

いても、岡山県の地盤状況に応じた信頼度の高い評価ができると考えられる。

本研究は、東日本大震災の被災事例にも適用した既往の評価式に基づき、最大加速度について改善提案を行うものである。適用地域は、岡山県南部地域でも山地が市街地にせまっている玉野市について評価を行い、危険度評価マップ(案)を作成した。

### 2. 採用した基礎データと危険度評価式

内田他(2004)<sup>3)</sup>では、急傾斜地崩壊危険箇所の範囲に対して代表断面を設定し、その斜面上部、中部、下部のメッシュに対して、傾斜度、平均曲率、最大加速度を計算する。そして、式(1)に示す評価式に代入して急傾斜地崩壊危険箇所ごとの危険度を算定している<sup>3),4)</sup>。

$$F=0.075 \times [\text{傾斜度}(\text{°})] - 8.9[\text{平均曲率}] + 0.0056 \times [\text{最大加速度}(\text{cm/s}^2)] - 3.2 \dots (1)$$

Fが大きくなるほど危険と判定される。

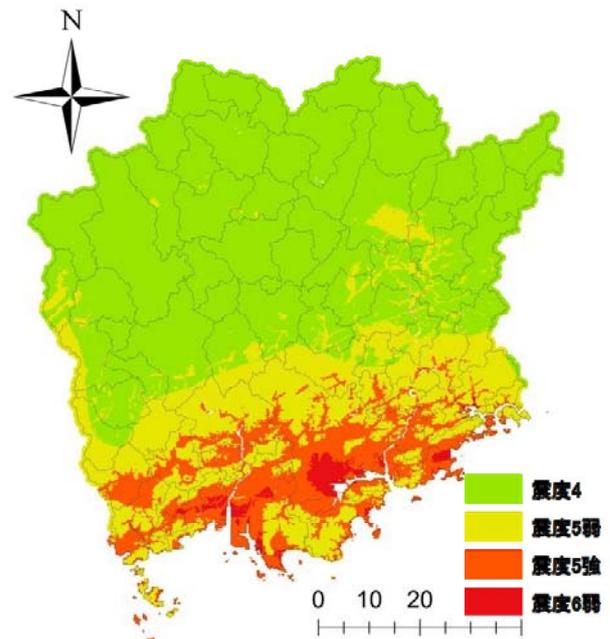


図-1 用いた震度(基盤深度に震度増分を追加)

しかしながら、地表での地盤のゆれは表層のやわらかい地盤の影響で深部よりも大きくゆれると想定されている<sup>6)</sup>。地表でのゆれが深部（工学的基盤）でのゆれに対して大きくなる割合（計測震度増分）を考慮した結果が、図-1に示した震度分布図である。図-1は、岡山県に最も大きな影響を与える陸側ケースである。南部の干拓地及び低平地では、最大震度6弱の揺れが想定されている。

本研究では、内閣府の中央防災会議で示された工学的基盤震度に平均S波速度(AVS30)<sup>8)</sup>の影響による震度増分を、横田他の式<sup>9)</sup>を用いて加算した。ここでAVS30は、ボーリング資料や微地形などから推定された深さ30mまでの平均S波速度である。岩盤露出斜面等AVS30mが計算できない場合は、工学的基盤震度をそのままを用いた。ここで得られた値から童、山崎の式を用いて最大加速度を算定した<sup>10)</sup>。なお上記算定に当たっては、1kmメッシュで与えられた工学的基盤震度から、岡山県全域で250mメッシュごとに内挿補完し、ボーリングデータ等の詳細な地盤情報に基づいた地表の加速度を算出した。

以上、地震動データの作成に関するフローを下に示した。

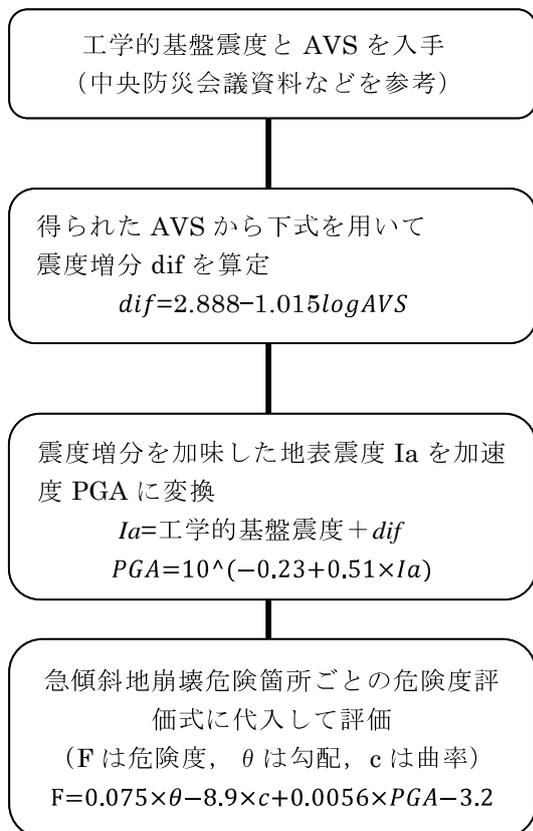


図-2 最大加速度データの作成手順

傾斜度や平均曲率は、国土交通省基盤地図情報の10mDEMデータ（標高）を用いて、地形量を算定した。

傾斜度は、下式に基づいて算定した<sup>12)</sup>。数式中のa~iについては、図-3に示した。下式は、中央に位置するセルeの傾斜度の算定式である。

$$(\text{傾斜度}) = \text{atan}(\alpha) \times 57.29578$$

$$\alpha = \sqrt{\left(\frac{dz}{dx}\right)^2 + \left(\frac{dz}{dy}\right)^2}$$

$$\frac{dz}{dx} = \frac{\{(c + 2f + i) + (a + 2d + g)\}}{8 \times l(x)}$$

$$\frac{dz}{dy} = \frac{\{(g + 2h + i) + (a + 2b + c)\}}{8 \times l(y)}$$

$l(x)$ : x方向のグリッドサイズ

$l(y)$ : y方向のグリッドサイズ

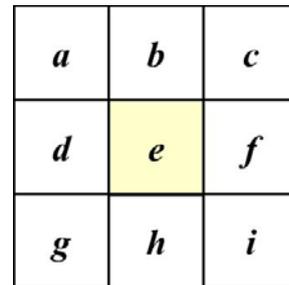


図-3 グリッドe周辺のグリッドの名称

玉野市全域の傾斜度について、算定した結果を図示した。

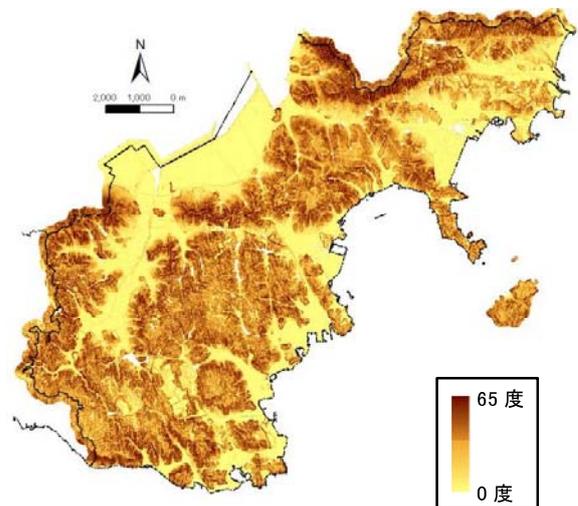


図-4 玉野市の傾斜度分布図

続いて曲率について、傾斜度と同様に図-3 を用いて算定式を以下に示した<sup>12)</sup>。

$$(\text{曲率}) = -2(D + E) * 100$$

$$D = \left( \frac{d+f}{2} - e \right) / l(x)^2$$

$$E = \left( \frac{b+h}{2} - e \right) / l(y)^2$$

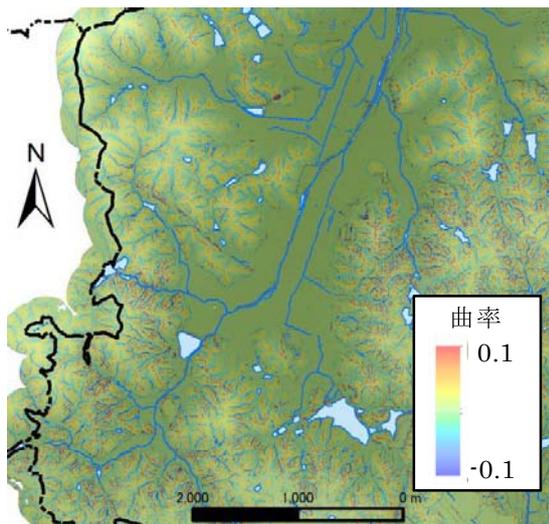


図-5 曲率の分布図（尾根が黄色、谷が水色）

急傾斜地崩壊危険箇所的位置と形状については、国土数値情報<sup>13)</sup>のデータを採用した。土砂災害危険箇所データから急傾斜地崩壊危険箇所を抽出し、地図上にプロットした。

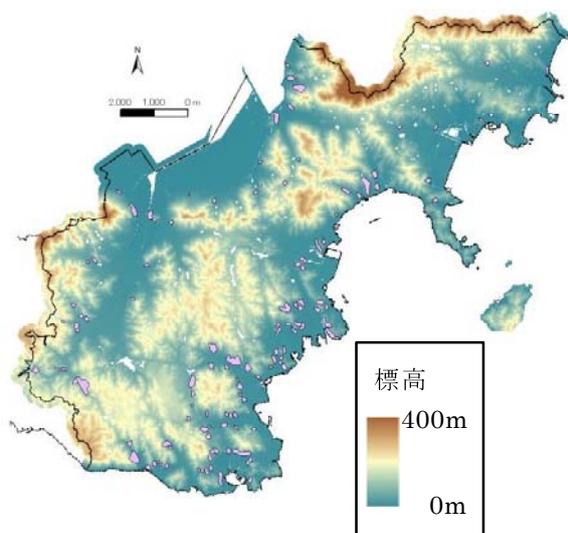


図-6 玉野市における急傾斜地崩壊危険箇所（図中ピンク色の位置が急傾斜地崩壊危険箇所）

このポリゴンデータを用いて、危険箇所ごとの計測座標を算定し、傾斜度、曲率、最大地震加速度のデータを抽出した。以下に、玉野市における急傾斜地崩壊危険箇所の分布図を示した。本研究では、119 箇所の急傾斜地崩壊危険箇所を対象に式(1)を用いて危険度評価を行った。

### 3. 危険度評価結果

以上の算定式を用いて整理したデータを基に式(1)に代入して急傾斜地崩壊危険箇所ごとの危険度を算定した。相対的な危険度を着色によって分類した図を示した(図-7)。また、併せて国土数値情報で整理されている避難施設（災害対策基本法に基づき都道府県及び市町村により作成された地域防災計画に示される避難施設）を併せてプロットした。

### 4. 避難施設が急傾斜地直下にある現地の状況

避難施設が急傾斜地崩壊危険箇所のポリゴンに含まれている箇所について現地の状況を確認した。現地の状況と調査結果については巻末に整理した。現地を確認した箇所は、図-7に記載した。

### 5. 今後の課題

今後の課題を以下に列挙する。

- ・式(1)は兵庫県南部地震に起因した急傾斜地崩壊危険箇所の災害状況に基づいた評価式である。近年の他の地震時に起因した土砂災害の発生状況で確認されているが、東日本大震災における土砂災害については、他の直下型地震と比較して、若干傾向が異なっていることが確認されている<sup>11)</sup>。

この点に関して、東日本大震災で発生した土砂災害箇所の地形と震度特性を確認し、式(1)の係数の見直しの検討が課題として残されている。

- ・併せて相対的に危険度の高い箇所を抽出したものの、どのくらいの確率で崩壊が発生するかについて、評価できなかった。この課題においても東日本大震災の崩壊データを収集整理し、傾向分析を行って、危険度得点と崩壊発生率の関係を分析したい。
- ・地震の震度データに関しては、今回内閣府が算定した 250m メッシュのデータを採用し、従前と比較して大幅に精度が向上したと考える。しかしながら、本データについても粗さが目立つことから、より詳細なデータが入手できれば、再度の改善を図っていきたい。

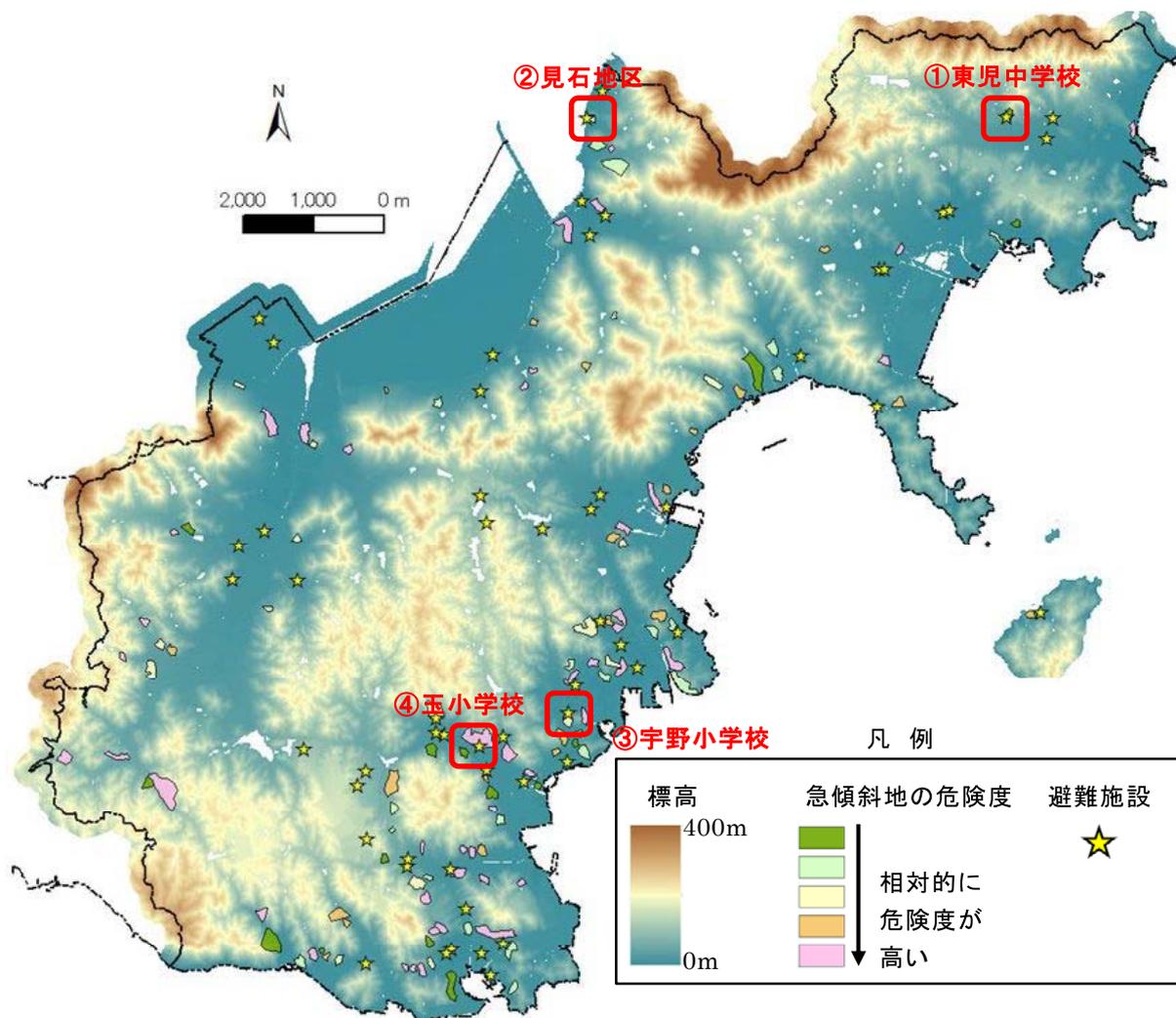


図-7 危険度評価結果と避難施設の分布

・本論文で用いた急傾斜地崩壊危険度の評価式(1)は、1995年兵庫県南部地震をはじめとするM6～7クラスの地震による斜面崩壊事例から導かれたものである。この式をM9クラスと想定される南海トラフ巨大地震に適用する場合には問題になるのは、地震動継続時間の影響が考慮されていないことである。斜面崩壊の危険度は、最大加速度の大きさだけでなく震動の継続時間の長さにも左右されると考えられるので、今後、各地の地震動継続時間が3分以上に及んだ東北地方太平洋沖地震による被害事例を、この観点からも分析したい。

<引用文献>

1) 千葉紀行, 檜垣大助, 宮城豊彦, 佐藤剛: 東北地方太平洋沖地震による南岸の崩壊の特徴, 第51回日本地すべり学会研究発表会講演集, pp204, 2012.8

2) 武士俊也, 石田孝司, 杉本宏之, 阿部大志, 宇都忠和, 坂野弘太郎, 本間宏樹: 平成23年東北太平洋沖地震によって福島県白河市で発生した地すべりの地形・地質的特徴, 第51回日本地すべり学会研究発表会講演集, pp185, 2012.8

3) 内田太郎, 片岡正次郎, 岩男忠明, 松尾修, 寺田秀樹, 中野泰雄, 杉浦信男, 小山内信智: 地震による斜面崩壊危険度評価手法に関する研究, 国土技術政策総合研究所資料 No204, 2004.11

4) 小山内信智, 秋山一弥, 松下智洋: 地震時の急傾斜地崩壊危険箇所危険度評価マニュアル(案)(個別箇所における危険度評価手法)に関する研究, 国土技術政策総合研究所資料 No511, 2009.1

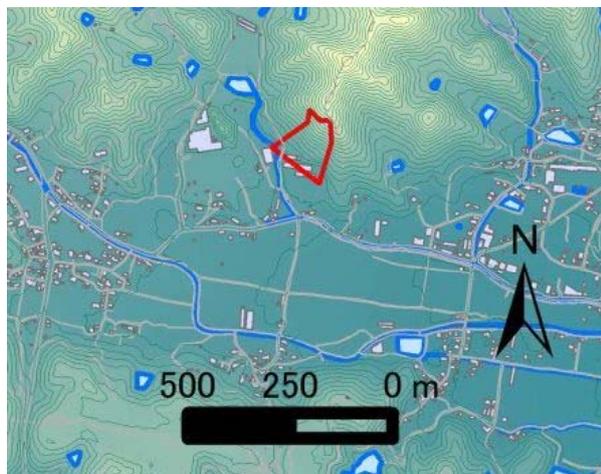
5) 奥山悠木, 野村康裕, 岡本敦, 高山陶子, 戸村健太郎: 地震時斜面崩壊危険度評価手法の高度

化に関する検討，平成 25 年度砂防学会研究発表会概要集，pp.B-371，2013.5

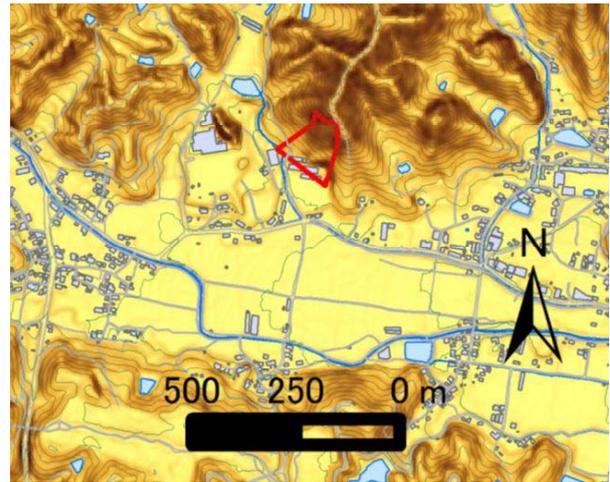
- 6) 中央防災会議：南海トラフ巨大地震の被害想定について(第二次報告)～ 施設等の被害 ～【定量的な被害量】 2013.3
- 7) 国土地理院：基盤地図情報サイト <http://www.gsi.go.jp/kiban/>
- 8) 南海トラフの巨大地震モデル検討会：第 15 回会合【定量的な被害量】 AVS30 と震度増分について 2012.3
- 9) 横田崇，稲垣賢亮，増田徹（2005）：数値実験による地盤特性と増幅率の関係，日本地震学会講演予稿集（2005 年度秋季大会），B064，86
- 10) 童華南，山崎文雄：地震動強さと新しい気象庁震度との対応関係 生産研究 vol48,No11,1996.11
- 11) 奥山悠木，内田太郎，秦雅之，蒲原潤一，高山陶子，松田昌之：地震による斜面崩壊危険度の絶対的評価に向けての検討，平成 26 年度砂防学会研究発表会概要集，pp.B-319，2014.5
- 12) ArcGIS10.2 ヘルプページ
- 13) 国土地理院：国土数値情報ダウンロードサービス <http://nlftp.mlit.go.jp/ksj/>

#### < 1. 東兎中学校裏斜面 >

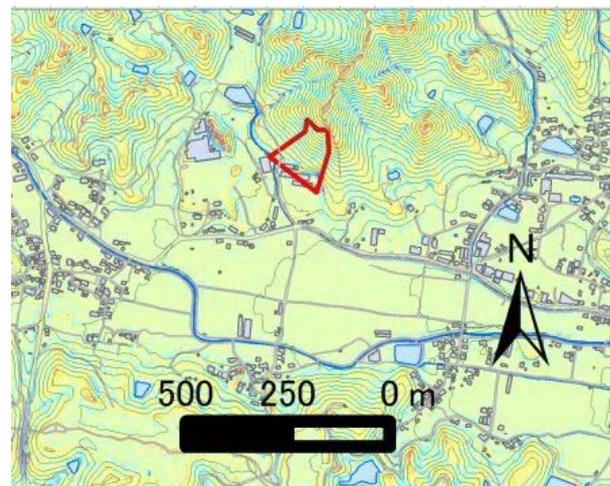
遠方から岩盤が露出した状況が確認できる平坦な斜面である。斜面の勾配は上部ほど急であり，斜面内の凹凸もそれほど顕著ではない。今回の評価では，相対的に危険度は低いと評価されたが，他か所と比較するとその評価は妥当と思われる。



参考図-1 周辺地域の地形図



参考図-2 周辺地域の傾斜区分図



参考図-3 周辺地域の曲率図

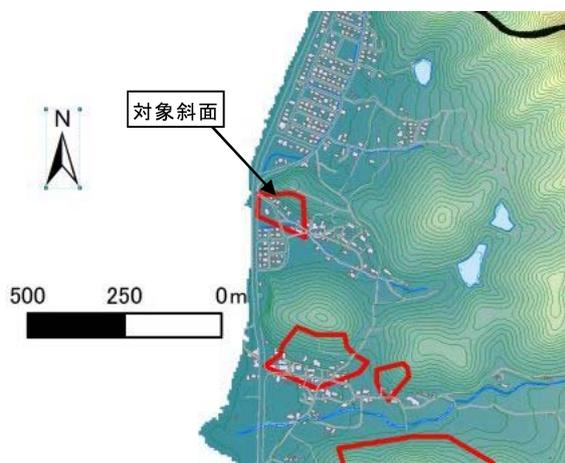


写真-1 対象斜面の状況

< 2. 八浜町見石地区 >

民家のすぐ裏の急崖である。民家裏に非常に近接した斜面であり、急傾斜の表面を法枠で防災対策が実施されている。

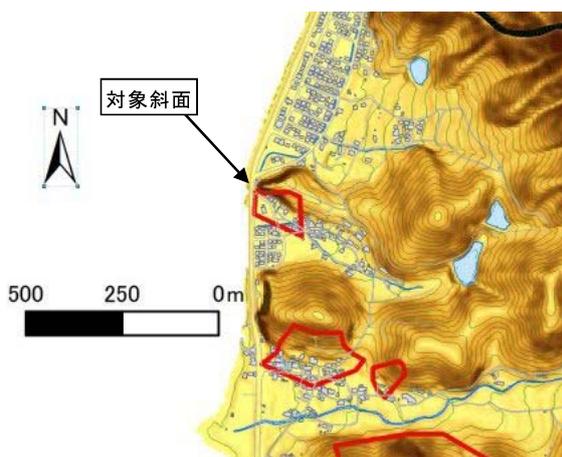
民家裏のため、近接して確認できなかったが、対策に変状はなかった。やや危険度が高いと評価されていたが、防災対策が実施されていることから、大幅に危険度は軽減されると考える。



参考図-4 周辺地域の地形図



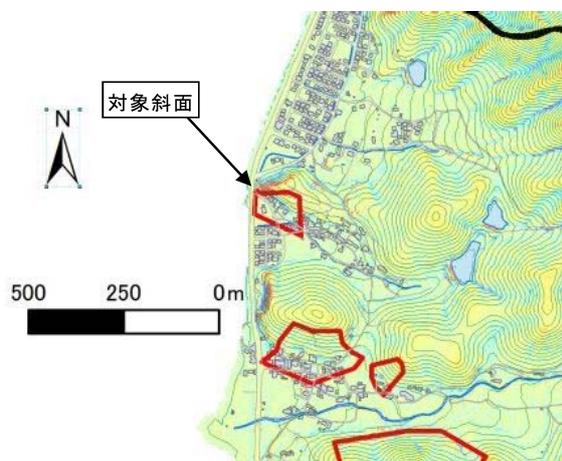
写真-2 民家裏の状況



参考図-5 周辺地域の傾斜区分図



写真-3 対象斜面の状況



参考図-6 周辺地域の曲率図

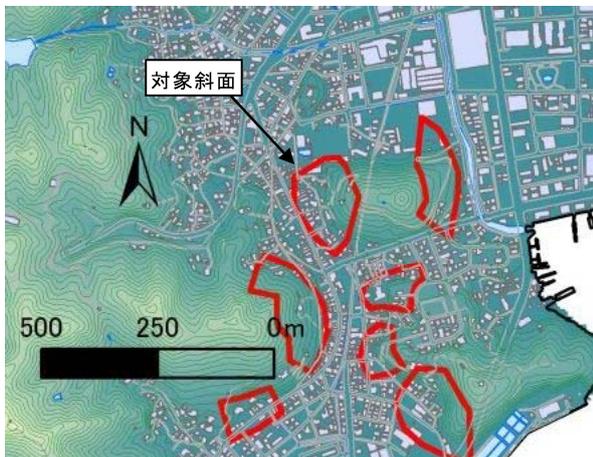


写真-4 対象斜面の正面遠景

< 3. 宇野中学校裏 >

お椀型の山体で民家及び小学校の裏が急崖となっている。一部で防災対策が実施されているものの、対策はほとんどない。民家の壁ははらみ出しが見られ、土砂流出の危険性が高い斜面である。

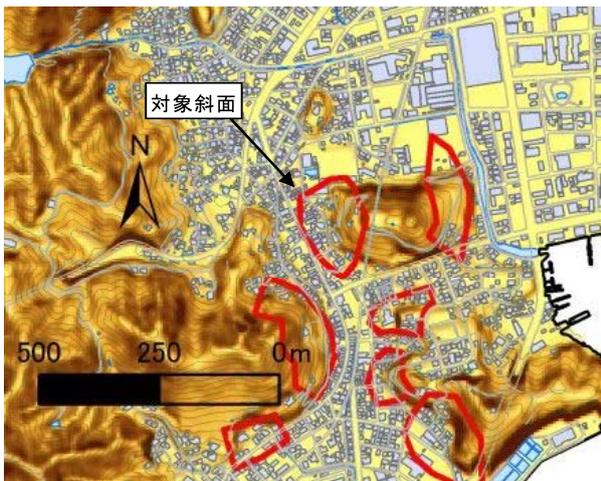
解析結果では、やや危険度が高いと評価されたが、2の箇所と比較して対策の状況から、この箇所の危険度がより高い。



参考図-7 周辺地域の地形図



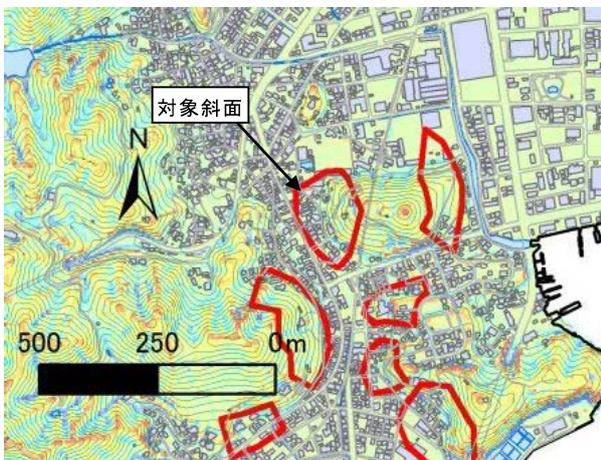
写真-5 急傾斜地崩壊危険箇所の看板



参考図-8 周辺地域の傾斜区分図



写真-6 対象斜面の正面遠景



参考図-9 周辺地域の曲率図



写真-7 対象斜面の防災対策

#### < 4. 玉小学校裏急傾斜地 >

住宅密集地にある斜面で、地形の凹凸が著しいことが、傾斜区分図と曲率図より見て取れる。斜面末端及び中腹にまで宅地が密集しており、対策もほとんど実施されていない。

斜面に迫っている民家裏は急崖となっているが、その他の斜面は、土砂の堆積が進んでおり、地震による崩壊が発生しやすいと考える。この急傾斜地は、最も危険な斜面と評価されており、現地を確認した4か所では最も危険度が高い箇所である。



参考図-10 周辺地域の地形図



写真-8 対象斜面の遠景



参考図-11 周辺地域の傾斜区分図



写真-9 対象斜面の状況



参考図-12 周辺地域の曲率図



写真-10 対象斜面の状況

## 簡便な液状化模型実験とその解析

岡山大学 西村伸一

### 1. はじめに

本論文では、簡便な動的模型実験装置を提案し、解析により検証を行う。本試験機は要素試験と同程度に簡便に実施することができるのが特徴である。本論文では開発した簡便な液状化試験機を用いて模型実験を行った。さらに既存の動的有効応力解析用有限要素法である LIQCA<sup>1)</sup> を利用し、実験結果と解析結果の比較を行った。模型試験結果を利用し、現在用いられている構成式に基づいた解析法を大幅に簡略化した解析法を提案することが最終的な目的である。

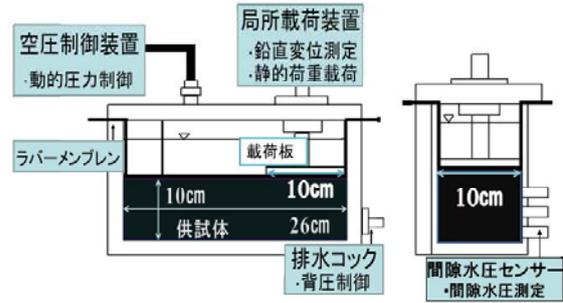


図1 試験機模式図

### 2. 実験概要

作成した液状化試験機の模式図を図1に示す。液状化は砂地盤で起きるため、珪砂を用いて奥行き10cm横26cm高さ10cm程度の供試体を作成した。本試験機は砂地盤の上にある盛土の液状化を模擬しようとするものである。本試験機は、空圧制御による動的荷重と、静的局所載荷が同時にできるようになっており、地震時の構造物の二次元的な挙動が模擬できる仕組みになっている。また、コンパクトな構造になっているため、振動台実験や遠心模型実験と比べて試験実施が極めて簡単である。

供試体には、ラバーメンブレンを通して表面全体に動的荷重が負荷される。また、ラバーメンブレンによって非排水状態が保たれる。今回は、動的荷重として図2に示すサイン波を用いている。載荷板を通して静的局所載荷がなされる構造となっており、動的試験では、動的載荷と一定の静的局所荷重を同時に負荷している。載荷板は奥行き10cm、横10cmで、載荷板の位置で鉛直変位を、その直下3カ所の高さで間隙水圧を測定している。

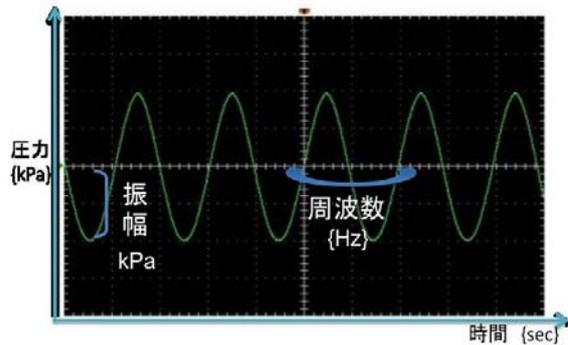


図2 繰り返し動的圧力模式図

### 3. 実験条件

空圧制御装置を用いてサイン波で繰り返し荷重を10分間載荷した。また、そのサイン波の振幅を40、70、100、130kPaの4通りとし、静的局所載荷重を0.4、0.8、1.2kNの3通り、合計12通りの実験を行った。

動的載荷をする前に、空気圧による拘束力を200kPa、背圧を150kPaと設定し、排水コックを開いて圧密を終了させ、初期有効拘束圧を50kPaとした。さらに、静的局所荷重を載荷して、圧密を終了させた。今回の実験では、サイン波の周波数を0.5Hzと固定した。間隙水圧、鉛直変位を0.5秒間隔で計測し、二次元変位は、動画を撮影した。その他初期条件として、平均供試体高さは0.107m、平均初期間隙比 $e_0$ は1.00、平均相対密度 $D_r$ は12.55であった。

#### 4. 解析結果との比較

本研究では、液状化挙動が表現できる動的有効応力解析用有限要素法である LIQCA を使って解析を行った。局所載荷板は弾性モデルを、珪砂層には繰返し弾塑性モデルを適用した。パラメータは、供試体作成時の計測結果や供試体材料の室内試験<sup>2)3)</sup>から表1のように設定した。また、今回、土質試験で設定できなかったパラメータについては、一般的な砂層パラメータの値とした<sup>1)</sup>。境界条件や排水条件、サイズなど詳細を図3に示す。メッシュサイズはすべて横1cm、高さ1cmである。

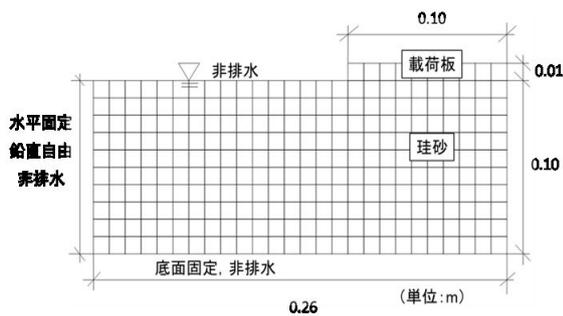


図3 解析モデル

表1 解析パラメータ

パラメータ名	記号	供試体
湿潤密度	$\rho_t \{g/cm^3\}$	1.82
透水係数	$k \{m/s\}$	2.48E-04
初期間隙比	$e_0$	1.0005
圧縮指数	$\lambda$	0.0988
膨潤指数	$\kappa$	0.0228
疑似過圧密比	OCR*	1
無次元化初期せん断係数	$G_0/\sigma'_m$	873
変相応力比	$M_m^*$	0.909
破壊応力比	$M_f^*$	1.122
硬化関数中のパラメータ	$B_0^*$	2200
	$B_1^*$	30
	$C_f$	0
規準ひずみ(塑性剛性)	$\gamma_r^{P*}$	0.005
規準ひずみ(弾性剛性)	$\gamma_r^{E*}$	0.01
ダイレイタンス係数	$D_0^*$	5
"	$n$	1.5
異方性消失のパラメータ	$C_d$	2000

図4、図5では、振幅130kPa、局所荷重1.2kNのときの、間隙水圧の比較を行っている。実験後の間隙水圧の値が実験前より初期有効拘束圧分の50kPa上昇することが観察された。これにより、初期有効拘束圧のみが載荷されている供試体の部分は有効応力が0となり、液状化していると推測される。解析結果も実験結果と同じように、加振後の間隙水圧の値が加振前より初期有効拘束圧分の約50kPa上昇している。しかし、実験結果は0秒から100秒以降は間隙水圧がほぼ一定になっているのに対し、解析結果は0秒から600秒まで間隙水圧が上昇し続けている。また、解析結果では、センサーの高さによる間隙水圧の違いはなかった。

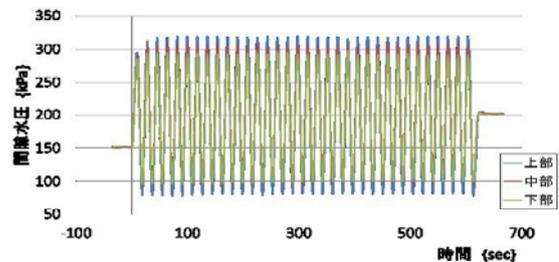


図4 間隙水圧 実験結果

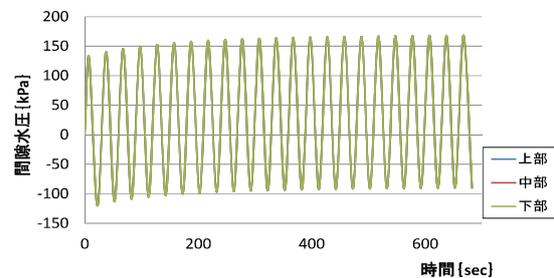


図5 間隙水圧 解析結果

図6、図7では、4種類の振幅と局所荷重1.2kNの場合を比較している。加振により鉛直変位が観察され、振幅に比例して鉛直変位が大きくなった。ただし、実験値では振幅130kPaの値が他の振幅から急激に大きくなっているが、解析値ではそのような結果は出ていない。これは局所荷重による拘束の影響と思われる、振幅がある大きさを超えなければ沈下が起こりにくいという現象を示唆していると考えられる。解析ではこのような現象を模擬できていない。また、沈下の絶対量を比較すると、解析値は実験値の6分の1から13分の1になるという結果が得られた。沈下量が大きいほど解析結果の適合度は低くなった。

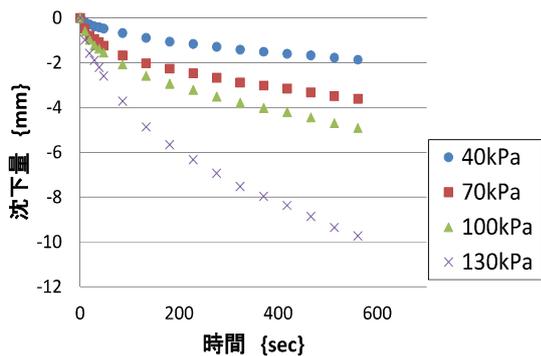


図6 沈下量 実験結果

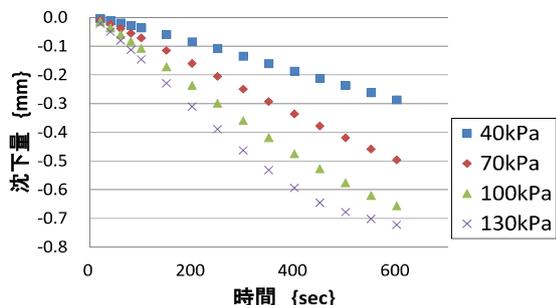
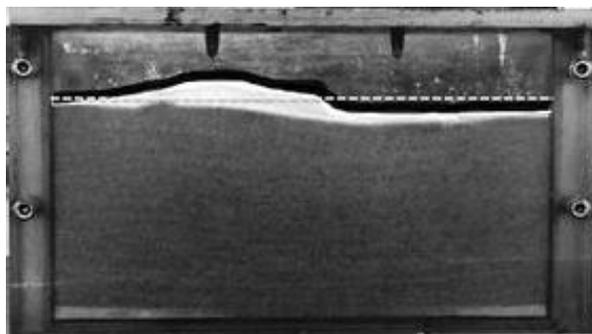


図7 沈下量解析結果

図8、図9では、振幅130kPa、局所荷重1.2kNの条件での変形モードの比較を行っている。局所荷重の載荷された位置が沈下し、供試体が側方へ変形するという変形の様子は解析・実験ともに同じであった。加振によって供試体の有効拘束圧が小さくなり、液状化した供試体が局所荷重によって変形したと考えられる。よって提案した試験機での、液状化現象の発現を確認できたと言える。

解析結果では、限界状態となる要素が大きく変形しているため、局所的に大きな変位が発生しているように見える(図9)。しかし、実験ではこのような局所的な変形は見られない。



実験前の高さ

図8 変形 実験結果

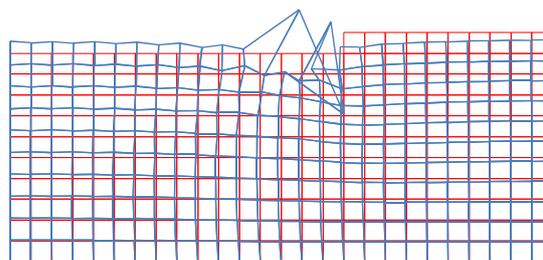


図9 変形 解析結果  
変位倍率 (5倍)

## 5. 結論

実験において加振により、供試体間隙水圧の上昇と側方への変形が見られた。よって液状化現象を発現できる試験機を作成できたと言える。これにより、解析手法の結果を検証する際に本試験機を用いることができる。しかし、解析結果と比較すると、傾向は模擬できているものの、値には大きな違いが見られ、解析パラメータの検討が必要である。

## 参考文献

- 1) 液状化解析手法 LIQCA 開発グループ:  
LIQCA2D11・LIQCA3D (2011年公開版)  
資料,pp. I-1, pp. II-1-II-5, pp. II-49-II-52,  
pp.III-1-1, 2011.
- 2) 地盤工学会: 土質試験 基本と手引き,pp.17-38, pp.59-64, pp.99-119, 2010.
- 3) 河上房義:土質力学 森北出版, pp.20-25,2011.

## 3-2. 津波災害対策に関する調査研究

## 津波到達経路・時間および津波高の評価に関する研究

岡山大学 大久保賢治

### 1. はじめに

瀬戸内海が我国最初の国立公園となって今年で80年を迎える。また去年は瀬戸内（瀬戸内海環境保全特別措置）法から40年、多くの問題を経験したが、昨今の複雑化・広域化に対応し生態系の豊かさも含めて見直しの時期にさしかかっている。近年は透明度・藻場回復のニュースもあり、潮流の自浄作用や潜在エネルギーにも注目され、再生の期待感が高まっている。一つの懸案事項は防災、特に津波対策である。

東日本大震災に伴う巨大津波の映像が国民に与えた衝撃は計り知れないものであった。外洋性津波によって住民の生命・財産が失われ、多くの港湾・海岸構造物に大きな被害が発生し、船舶の火災・座礁、また遡上によって建物・道路などに爪痕を残した。

想定外という新語が原発以外にまで拡張され、やがて独り歩きし津波対策に過大な閉塞感またはストレスを発生させていることもまた事実である。防災意識の向上のため多少は必要であるが、増大する外力に対しどこまでも長大重厚化を図ることには限界があり、20世紀の防災が結論とした減災と馴染まない考え方である。

連動地震という性格から通常津波の数倍の波高を考える必要性もその偶発性ゆえ受け入れにくい面もある。東海・東南海・南海地震が同時または連動して発生すると個々の津波が重なり、太平洋沿岸の複数の狭い範囲で10m近い高さに達することがあるとする数値解析結果や沿岸池沼の津波堆積物の年代測定から歴史的津波の掃流力を推定する実証的立場も判断に生かす必要がある。

沿岸海底地震であっても発生時の海況によって詳細な津波過程が異なるのは当然である。ここで対象とする瀬戸内海の潮汐は、奥に行くほど増幅され、波長によって共振状態になりやすいことから、津波について陸岸地形や浅水変形による波高変化を考える必要がある。

海に囲まれた我国に津波の聖域はなく瀬戸内海でも東日本大震災直後には多重反射や減衰時間の長さが指摘された。しかし平成24年8月第1次報告[1]の津波水位が平成25年3月第2次報告[2]

では児島湾で最大1m低下し、結果、岡山市内の津波侵入線は北区運動公園に達しない暫定結果の下方修正となった。その理由は基準になる（朔望平均）満潮位の地点選択に関係している。

さらに多島海であることが潮汐、高潮、津波の挙動をいっそう複雑なものにしている。来島海峡、鳴門海峡の急流や渦潮は島や半島の地形や瀬戸と灘の配列がないと説明できないし、東西水道から入潮して潮境を形成する潮流場は世界的にも類がない。瀬戸内海そのものが換えのきかない無二のインフラストラクチャーである。

ただし、ゲリラ豪雨・超大型台風・連動地震による洪水・高潮・津波のいずれをとっても、過去百年より規模が増大することは考えておかなければならない。そのために土木構造物の重要性が再認識されており、沿岸構造物が防災および環境のために機能し、調和的役割を果たすことで持続可能な沿岸環境が約束される。

東日本大震災においても、津波が海底から流送した高塩分汚泥は放射性物質と並んで復旧の初動を遅らせたことは確かである。その意味で浅海底をヘドロ・細粒化しないこともポイントになると考えられる。

東日本震災後は全国的に地震への備えがなされ、中央防災会議第1次報告[1]に基づき府県レベルで検討が行われ、岡山県でも昨夏の最終報告[3]に纏められた。瀬戸内中央部は高潮被害に比べて津波記録は少なく、津波高自体は高潮と同程度としながらも巨大連動地震への備えには未知の部分も多い。先行地震や津波の越流次第で堤防が被災するかどうか、この範囲を絞り込むことが重要となるであろう。さらに住民として災害に直面したときにどう振舞うべきかを想定される種々の状況に対し家族・近隣で話し合っておくことが不可欠である。

県は、南海トラフ巨大地震における浸水および被害想定について県独自のボーリングデータ等を加味した震度分布図や液状化危険度分布図を作成、平成25年3月津波防災地域づくり法に基づいて地震により堤防等が破壊される条件で津波浸水の想定を行うなど南海トラフ巨大地震に対する備え

の充実に向けて様々な検討を進めてきた[3]。県が地域防災計画の見直しを進めるに当たり、新たに国の被害想定に準じて津波越流後に堤防等が破壊される条件における津波浸水を想定するとともに、ここまでの結果を活用し南海トラフを震源とする巨大地震・津波が岡山県にもたらす可能性のある人的・物的被害に関する想定を行った。

このワーキンググループのサブテーマ SWG2では県内防波堤マップ（加筆）が示されており、一部の老朽化の実態が報告される。SWG1に関係する天端高不足に関して、これまで全ての防波堤が防潮堤として改修されてきたが、2004年台風16号災害以後も局所的浸水が発生して、さらなる強化対策が必要とされているが全堤防が計画高に達するまでには、今後最低30年の嵩上げ事業を待たねばならないといわれている。ただし昨今の台風大型化や迫りつつある東南海地震の津波にも効力を発揮する応急対策が期待される。

強い地震が発生すると津波来襲前に堤防が消失（初期沈下）する場合も想定しなければならない。岡山県による津波氾濫解析 P1：初期沈下（75%）と P2：越流破堤、ならびにサブテーマ SWG3で行われた一般堤防および児島湖締切堤の初期沈下（50%）有無の条件で行われた数値解析結果は、整合しており、そのことは、津波災害の被災過程は地震・地盤災害グループの情報が極めて重要であり初期沈下の予測精度に強く依存する。これを受けて避難・復旧ワーキングに対し、時間依存の氾濫・避難情報や海域汚泥流入量推定情報の提供形態を議論することが可能になる。

## 2. 津波災害対策

### 2.1 津波の到達経路

東日本震災直後の兵庫県潮位情報には淡路島の南と北の複数地点において1時間程度の波形が通常の潮汐に重なり観測された。鳴門および明石海峡経由では後者が距離の割に速く、播磨灘への侵入はほぼ同時であった。これにより地震発生時に和歌山が干潮（岡山は満潮）の方が被害甚大化しないことを前提に考えることができる。外洋に比べて潮汐が増幅される瀬戸内海に特有の過程を確認しておく必要がある。

瀬戸内海は面積 22,000 km<sup>2</sup>、体積 880 km<sup>3</sup>、平均 40 m の閉鎖性海域である。平均干満差 2m の場合は、満潮時の海水増加量 22 km<sup>3</sup> が 2 回潮の半周期（6 時間）で入潮するので（潮汐プリズム）、 $2Q=220 \text{ 億 m}^3/22,000 \text{ 秒}=10 \text{ 万 m}^3/\text{s}$  が、干満

に伴って発生する。なお、豊後水道と紀伊水道の潮流流量  $Q$  と潮流断面積  $A$  は同程度とする。 $A=10 \text{ km} \cdot 10 \text{ m}$  では、流速は 25 倍の 0.5 m/s になる。この場合、長波波速が、それぞれ  $c=22 \text{ m/s}$  および  $10 \text{ m/s}$ 、フルード数  $F=u/c=0.001$  または  $0.05$  と十分常流である。また、波速  $c$  と流速  $u$  をコリオリパラメータと海域幅  $b$  で除したロスビー数の値から、少なくとも両水道部は回転系にある可能性が示唆される。

柴木[4]の解析では豊後水道から侵入した津波が佐田岬半島南側海域でいったん捕捉され、半島先端を廻り込んで北進する状況が示された。また、岡山沿岸での目撃情報として報告される約 64 分の周期成分が播磨灘中央部における岡山と香川で逆位相になる横振動モードである可能性について過去 3 回の南海地震の再現計算結果から言及している。これらの知見は北半球では進行方向右手の沿岸で波高が増大するケルビン波、および回転系の横静振に対応するポアンカレ波の挙動と考えれば説明可能である。特に後者については播磨灘の水平長と水深をそれぞれ  $L=60 \text{ km}$ 、 $h=25 \text{ m}$ にとれば、周期 63.8 分が得られる。

宮本ら<sup>5)</sup>は津波高に及ぼす潮汐位相の影響を検討しているが、その際、鳴門海峡と明石海峡の入潮を同位相としている。紀伊水道と大阪湾潮位が同期するのに対し播磨灘の位相が逆転する事実は自転効果と無関係なのであろうか。これは津波の伝播時間と関係して重要である。

流速とコリオリパラメータから求まる沿岸流の幅すなわち変形半径  $U/f$  (km)は紀淡海峡の幅 20 km より十分小さい。北半球の流れが右に偏って入潮時は東側の紀淡海峡が主流に相当するといえれば、大阪湾潮時が播磨灘より進む事実を説明することができ、これは津波が重なっても基本的には同じ状態と考えられる。

### 2.2 津波高

図-2は岡山沿岸防波堤[6]の堤高を東（兵庫県境）から西（広島県境）に向って積算した堤防延長に対して示した。堤防延長（約 193 km）に島しょ施設は含まず本州県内海岸線延長より 50～60km 程度は短い。0.5 m 刻みに 3～6.5 m 範囲に分布する堤高は全て計画高であるが、基盤高を TP+0m にとっているので実際天端高に傾向を概ね表すものといえる。この設定で初期沈下 75%の P1 については沈下後の堤頂は図-2 の下方線になる。この高さは津波や高潮でなくても通常の潮汐かつ殆どの場所で越流が発生することになる。

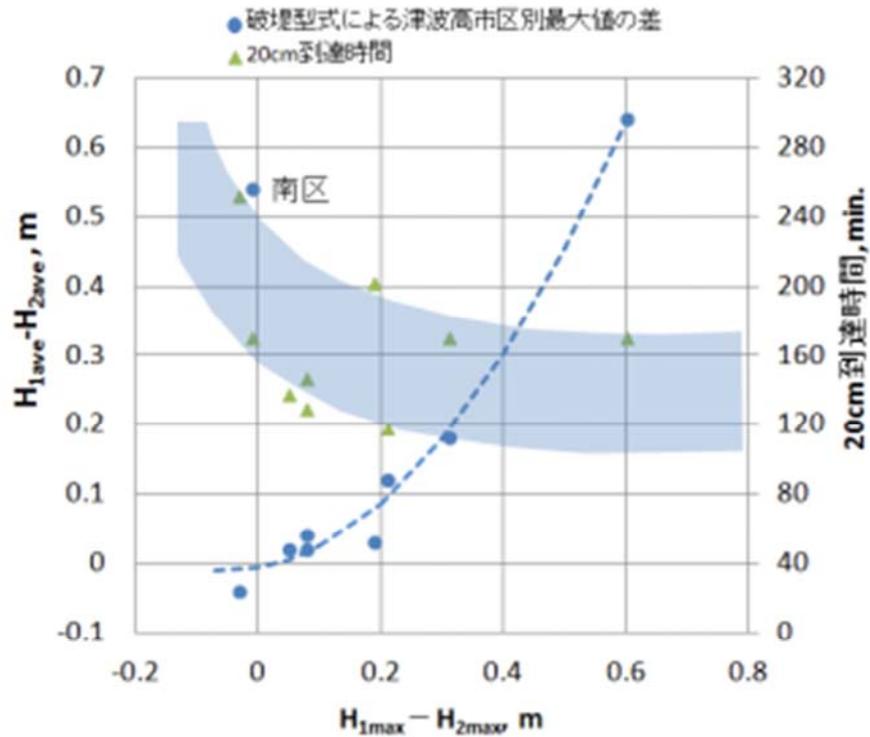


図-1 各市区代表点における，破堤型式による最大浸水深の差に対する各市区平均浸水深差および+20cm 潮位到達時間の関係

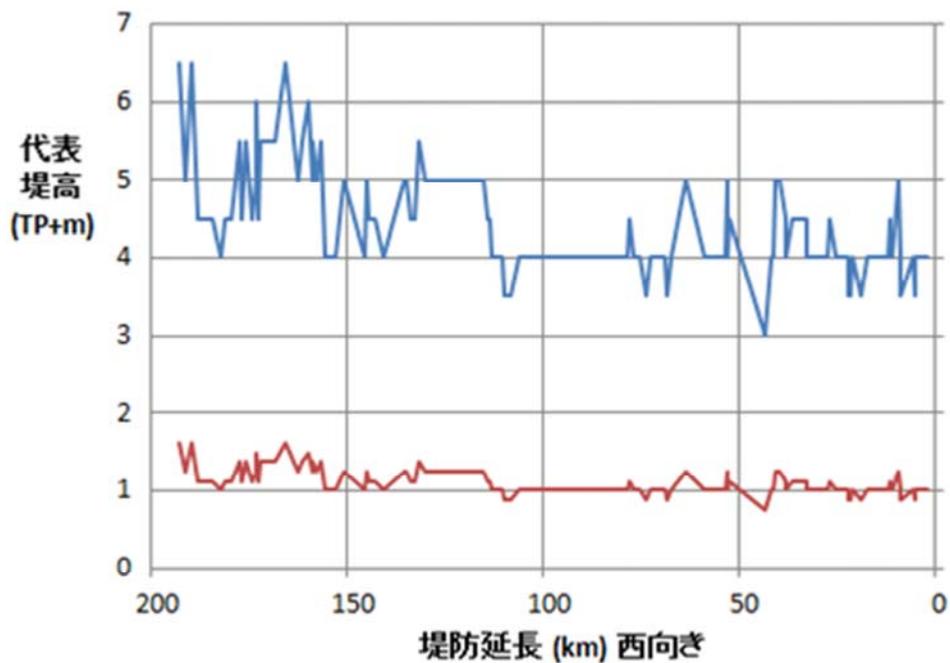


図-2 岡山県海岸線沿いの代表（計画）堤防高と初期75%沈下時の越流水位  
堤防延長には堤防間の間隔距離を含めておらず，島嶼部を除いている

### 3. 津波氾濫の範囲

#### 3.1 津波時堤防等条件

南海トラフの巨大地震モデル検討会で示されている解析結果のうち、岡山県内で最大級の影響を及ぼす津波時堤防等条件として下記の 2 ケースが検討された。想定された季節および時間帯は、冬の深夜であり多くの住民が自宅で就寝中に被災するため家屋倒壊による死者が発生する危険性が高く、また津波の避難は遅れるとされた。

- ・ P1：揺れ・液状化等によりすべての堤防等が破壊される。
- ・ P2：揺れ等で破壊されないが、津波が越流した場合に破壊される。

P1 は初期（地震直後）に堤高の 75%が沈下する（初期沈下）であり、満潮なら津波来襲前に越流が開始することも考えうる。これに対し、P2 は津波が到達して越流開始後、堤体の浸食あるいは基礎の洗掘・転倒によるもの（越流破堤）である。もちろん前者で初期沈下後、津波の衝撃や越流により、後者では堤体の切欠き・開口部、堤防間の不連続などによって敷高がさらに低下すること（二次破壊）も実際には対策が必要である。

沖新田や児島湾干拓地は、津波の新たな問題を突きつけられている。新規開発の面積はそれぞれ 19 (28) km<sup>2</sup> および 55 km<sup>2</sup>、上記二種氾濫解析結果の浸水面積 25 km<sup>2</sup> および 187 km<sup>2</sup> の数割を占める。すなわち排水制御施設により新たに農地に転化された土地であって、津波や高潮の侵入について脆弱な場所であり、避難場所まで最も遠く、避難自体が容易でない場所である。

沖新田は旭川の放水路として開削された百間川の河口に開かれた水田であり、下流端には唐樋と呼ばれる排水施設が設けられ、現在の河口水門が完成するまで使用され続けた。一方、児島湖縮切堤は児島湖を児島湾から切離して水道の西半分を農地に転用する大工事であった。

百間川唐樋は宝永（1707）、安政（1854）および昭和（1946）の 3 度の南海地震を経験し、実に 250 年以上、岡山を高潮や津波から守り続けた。児島湖縮切堤もまた 50 年にわたり台風時の高潮をくい止めてきた。台風や洪水で、排水「潮待ち」で内水被害もあるが、役割は果たしている。ただ、昨今のゲリラ豪雨の増加をみると問題はここでも複雑化していることは感じられる。

延長の数%程度は堤防不連続部分が津波侵入路となる可能性はある。結果的に、堤防耐震性が確保されず初期沈下が発生した場合の堤防天端高（図-1 破線）については津波が発生しない場合に

も満潮時に多くの箇所では越流が始まることにある。図で満潮時の TP+1~2m、初期沈下後の堤防天端と同程度である。一方、津波潮位は児島湾の内・外でそれぞれ TP+3 m~4 m であって、県東部の標準的堤高で初期沈下がない場合であっても場所によって越流が開始する。

図-2 は津波水位に堤防の地盤変動量を加えた津波高[7]を示し、TP 4 m を津波水位とみれば、そこからの下向き偏差が初期沈下（実線）および越流破堤（点線）のそれぞれの場合の地盤変動量となる。これらは最大値と平均値（参考）を示す。破堤様式による差があるのは南区最大値を除けば、最大・平均値ともに岡山市 3 区で顕著な差がみられる。この理由は児島湾沿いの津波潮位が湾外より低めに想定された結果とも考えられる。

図-3 は初期沈下 P1 と越流破堤 P2 との違いについて最大値と平均値の相関で最大値に選択した測点の代表性をみた。破堤型式による差が東部で大きい理由は、東部満潮位が西部より高めに設定され津波到達が早く越流時間も長いためと考える。右縦軸は+20cm 潮位の到達時間を表し、海域の津波に 1 時間程度の擬似周期性があることを示す。南区以外は両偏差に相関が認められ、破堤型式の違いが児島湾岸のような県中央部で顕著であり、すなわち越流の可能性が低めに想定された結果と考えられる。

岡山県によれば全県の浸水量、氾濫面積および平均水深は以下のようなものである。

初期沈下 75%：3.33 億 m<sup>3</sup>、187 km<sup>2</sup>、1.78 m  
越流破堤：0.230 億 m<sup>3</sup>、25.4 km<sup>2</sup>、0.902 m  
（初期沈下の 7%、14%および 51%）

岡山市 4 区については、

初期沈下 75%：1.45 億 m<sup>3</sup>、108 km<sup>2</sup>、1.34 m  
越流破堤：0.134 億 m<sup>3</sup>、13.1 km<sup>2</sup>、1.02 m  
（初期沈下の 9%、12%および 76%）

SWG3 では

初期沈下 50%：0.46 億 m<sup>3</sup>、44.0 km<sup>2</sup>、1.06 m  
ただし、児島湖縮切堤の沈下が 50%とした場合は湖水が 0.7m 程度上昇するが、干拓地への浸水は顕著ではない結果となり、25%の違いが、大きな差をもたらすといえる。

初期沈下の場合、市区町別には、岡山市南区の氾濫面積 64 km<sup>2</sup> が最大で、笠岡市、瀬戸内市で湛水深 2 m 以上の面積比率が高く、図-5 で水深はそれぞれ 5.0 m および 2.3 m であり、岡山市東区や備前市も越流破堤の水深が初期沈下の場合の 80%以上になる。図-6 では南区と倉敷市で浸水量全体の 55% (1.82 億 m<sup>3</sup>) を占める。

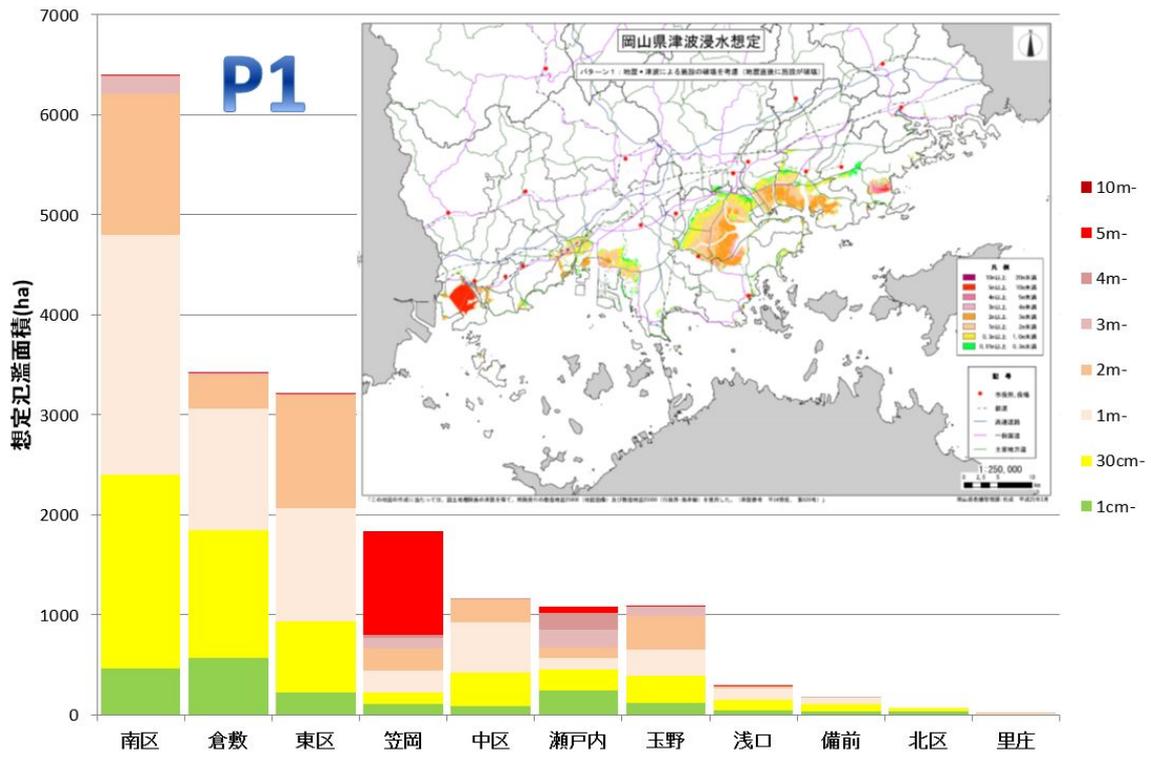


図-3 初期沈下の計算結果（岡山県）

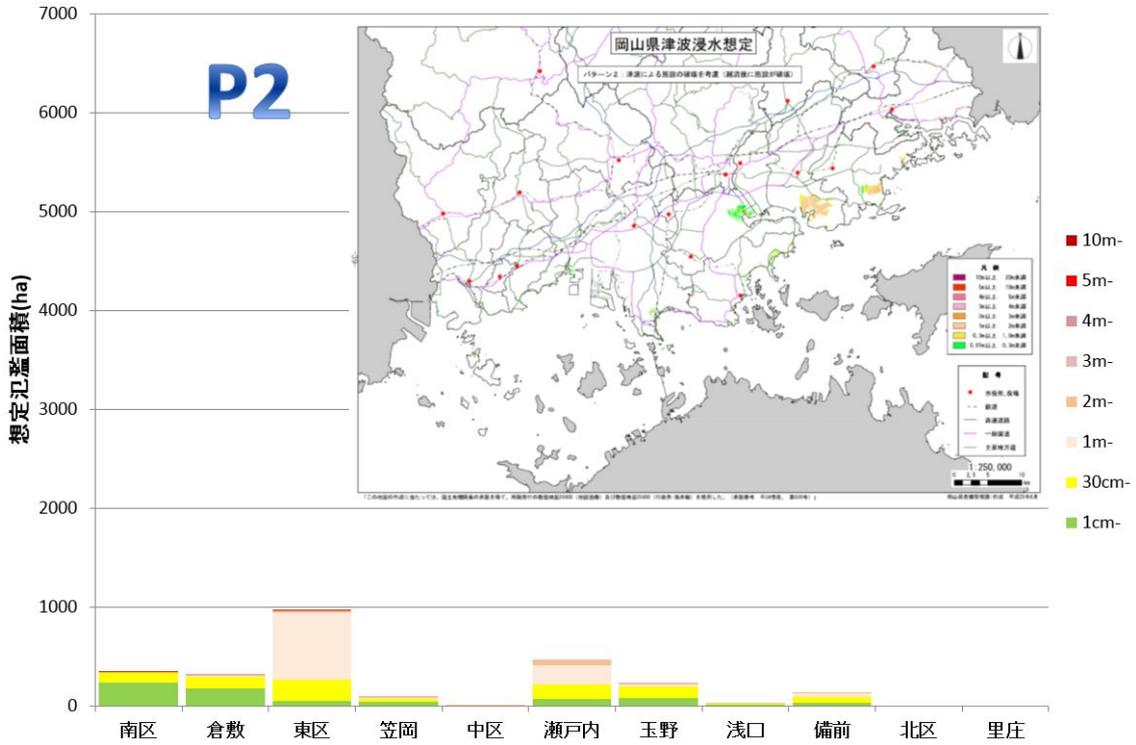


図-4 越流破堤の計算結果（岡山県）

初期沈下の浸水を12時間平均とすれば、海岸線全長で7,700 m<sup>3</sup>/sに相当する。ただし、実際には潮汐および1時間の擬似周期をもった断続的流入であり、半日周潮(2回潮)の上げ潮の6時間に重なった周期1時間の津波6半周期分=3時間に集中すると考えれば、流量は4倍の30,800 m<sup>3</sup>/sに相当し、越流幅200 kmで単位幅流量0.15 m<sup>2</sup>/sと等価になる。同じようにして、3時間内の氾濫水量をつぎの四角ぜきの越流公式で概算する。

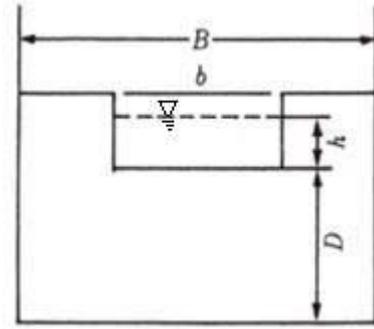


図-5 四角ぜきの記号説明

$$Q = Kbh^{3/2}$$

$$K = 107.1 + 0.177/h + 14.2h/D$$

$$- 25.7\sqrt{(B-b)h/(DB)} + 2.04\sqrt{B/D}$$

ここで、越流係数Kの右辺第5項が不合理に増大することを避けるため次の諸条件を全て満たす

$$B = 0.5 - 6.3(m), \quad b = 0.15 - 5.0(m);$$

$$D = 0.15 - 3.5(m), \quad bD/B^2 \geq 0.06;$$

$$h = (0.03 - 0.45)\sqrt{b}$$

初期沈下ケース P1 はほぼ全面越流になるので、越流水深hがあまり大きくなる。上述の単位幅流量0.15m<sup>2</sup>/sから限界水深h<sub>c</sub>を計算すると、

$$h_c = 0.13(m)$$

であり、しかも氾濫水量はほぼ上限に近い。

これと対極的な衝撃的な津波、あるいは実験では、越波に近い形態で堤防を乗越え堤内地を遡上する状況もある。

四角ぜきの越流に関する JIS 実験公式の適用にあたっては装置諸元の制約があるので、模型幅で越流量を計算、これを複数(原型幅/模型幅比)連結して総越流量に換算した。25km(/50km)を7cm, 3時間の越流で2.2億 m<sup>3</sup>の氾濫が発生する。P1では、200 km, 13 cmの越流で3.3億 m<sup>3</sup>(3時間), P2の0.23億 m<sup>3</sup>(3時間)の氾濫水量は18 km, 1.5cmの越流の結果である。

児島湾内の共振は全て内部静振が卓越している。

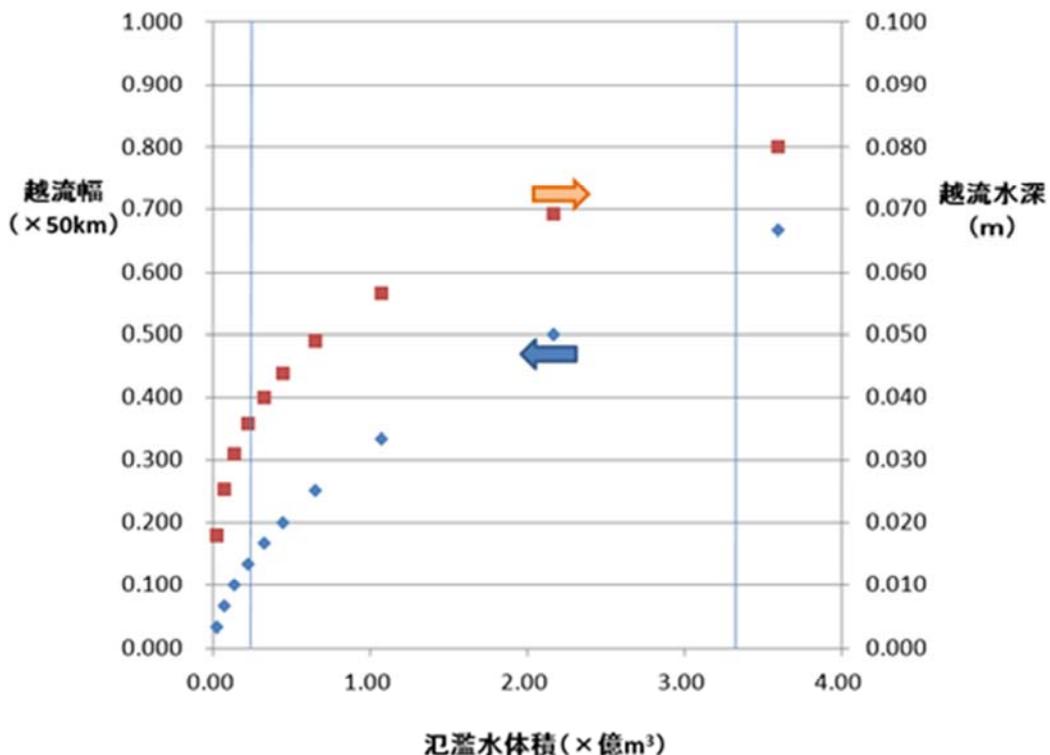


図-6 氾濫水量から越流幅、越流水深の推定

図-8には水温変動から求めた周波数スペクトルを示した[8]。ピークは殆どが潮汐成分に対応するが、宇野の分潮表にない5回潮がみられる。これらの変動要因は河川水と海水の密度差であり、日周潮すなわち1回潮は内部湾振動に相当し、2~6回潮は高次モードである。ただし、周期1~4時間の分潮(24~6回潮)は宇野主要60分潮(最小周期6時間=4回潮)には入らない。

連動地震は太平洋ベルト全域に被害が及び地域相互の救援・支援は実質不可能となる。地方自治体は連動型地震を視野に入れ対策を講じる必要がある。瀬戸内海沿岸でも外洋出入口である水道部の被害が著しいと予想されるので、岡山の果たすべき役割を平素から確認し、公報しておく必要がある。その他、4連動型や広域連動型地震では、津波高も宝永地震の1.5~2倍になり、瀬戸内海に大波高津波が侵入する確率も増大する[9]。

最近、沿岸池沼の津波堆積物の粒度や時代測定から連動地震やM9クラスの超巨大地震の発生についても言及されるようになってきている。

写真-1は日生諸島鶴島沖の消波堤である。その名のとおり消波機能に期待したものである。ここに述べてきたことは一貫して、瀬戸内海中央部の津波は分潮、すなわち非主要な準分潮成分として、主要分潮に抑制された形で混在する成分の一つと

みなしうるのではないかという点である。潮流の性質として挙げられるのは、導流堤や底面粗度の配置にも影響を受けることである。写真のような構造物を適正な間隔で配置すれば、海底の漁礁やカキ殻堆による潮流制御と同等の効果を、可視化して行うことも可能である。

現存の堤防に対して天端の嵩上げは必要であり老朽化部分や堤防空白部や開口部の影響も無視し得ない。これらの置換・補修・充填を同時に行うことができれば対策としては効率がよい。同時に底質、藻場などの制御と関連させ潮流制御を行うことで津波減勢に役立てることを考えていくことが望ましいといえよう。

陸域からの負荷による瀬戸内沿岸の環境問題は、大型化する台風時の高潮や巨大地震で想定される津波の防災対策・避難計画とともに進める必要があるだろう。東南海地震の津波が岡山沿岸まで達するのに、2時間以上要するのは潮汐の特性であり、紀伊水道の入潮が鳴門海峡よりも紀淡海峡に偏る傾向はわずかであるが地球自転と関係しており、また大阪湾の潮時が播磨灘より進む事実は津波が重なっても同じと考えられる。水位は高潮と同程度でも津波の場合には堤防が被災するかどうか重要である。

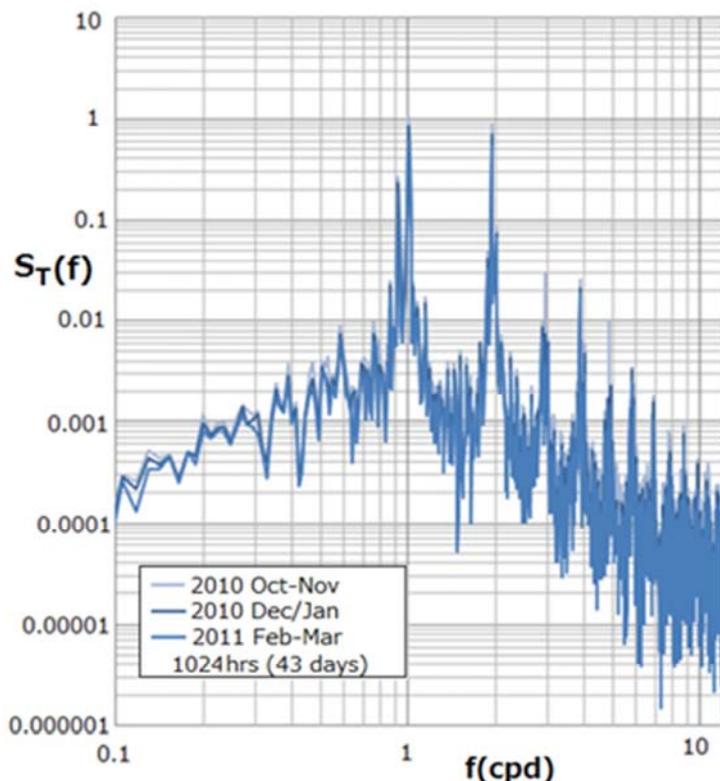


図-7 児島湾入口における水温変動の周期成分



写真-1

【参考文献】

- [1] 内閣府中央防災会議防災対策検討会議・南海トラフ巨大地震対策検討ワーキンググループ (2012) 南海トラフ巨大地震の被害想定について (第一次報告)
- [2] 内閣府中央防災会議 (2013) 南海トラフ巨大地震対なり策について (最終報告) ~南海トラフ巨大地震の地震像~, 17p.
- [3] 岡山県危機管理課 (2013) 岡山県地震・津波被害想定調査報告書, 186p.
- [4] 柴木秀之 (2012) 南海地震と瀬戸内沿岸の津波の挙動, 第 20 回瀬戸内海研究フォーラム (岡山), 瀬戸内海研究会議, pp.1-4.
- [5] 宮本大輔・村上仁士・上月康則・久保 喬 (2006) 瀬戸内海における津波挙動に及ぼす潮汐および入射波高, 周期の影響, 土木学会海岸工学論文集, 第 53 卷, pp. 261-265.
- [6] 岡山県 (2008) 岡山沿岸海岸保全基本計画 (改訂), 43p.
- [7] 大久保賢治 (2014) : 岡山沿岸の防災と環境に関する課題, 材料と施工, 52, 2014, 43-47.
- [8] 大久保賢治 (2013) : 岡山県児島湾における潮汐過程と底質移動, Laguna, 20, 31-44.

## 岡山沿岸の堤防・護岸の実態調査

岡山大学 藤井 隆史

## 1. はじめに

橋梁、トンネルなどのインフラストラクチャーにおいて、老朽化が社会問題として、昨今大きく取り上げられている。とくに、笹子トンネルにおける天井板落下事故が発生して以降、インフラストラクチャーの維持管理の重要性がとくに重要視されるようになった。また、ゲリラ豪雨や東日本大震災の発災により、我々の生命と財産を守るためにも、土木構造物の重要性が再認識されてきている。海岸に構築される構造物においても、東日本大震災に伴う巨大津波において、その機能の重要性が再認識されている。一方で、巨大津波により、多くの港湾・海岸構造物や橋梁構造物などに大きな被害が生じており、津波によって構造物に加わる力と適切に評価するとともに、津波による損傷を小さくする工夫も必要とされてきている。

防潮堤や水門といった海岸構造物は、台風等による大波や高潮、プレート地震に伴う津波から背後地を守るために重要な役割を担っている。防潮堤は、コンクリート、巨礫、鋼といった様々な材料で建設される。巨礫の多くは天然に存在するものであり、海水と接触しても化学的に安定したものである。一方で、礫間には空隙が存在するため、堤防に用いる場合の役割としては、波による侵食を防ぐことが主な役割とされる。鋼は、切断、溶接といった加工が容易で、また、変形能力が高いため、大きな力を受けた場合にも、靱性的な破壊形式になる。一方で、鋼は腐食する欠点がある。とくに、海水に含まれる塩分は、鋼の腐食を促進させるため、定期的な塗装や、防食対策が必要となる。コンクリートは、自由な形で形成することが可能であること、天然石と同程度の密度を有すること、鋼材のような腐食の恐れがないこと等から多くの海岸構造物に利用されてきた。一方で、海水成分によるエトリングタイトの生成などの化学的な侵食、波浪による物理的な侵食、アルカリ骨材反応によるひび割れの発生<sup>1)</sup>等、適切な材料選定や配合選定がなされない場合には、十分な耐久性が確保されないことも認識されてきている。

岡山県南部におけるコンクリート構造物が抱える問題として、海砂を用いることによる内部鋼材の腐食、反応性骨材の使用によるアルカリ骨材反応の発生が挙げられる。アルカリ骨材反応とは、反応性骨材に含まれる非晶質シリカとナトリウム、カリウムなどの金属アルカリとが反応し生成されるアルカリシリカゲルが、吸水することで膨張し、コンクリートにひび割れを生じさせる現象である。原因物質となる金属アルカリは、セメント中に含まれるもの等、構造物構築時からコンクリート中に含有されるものと、凍結防止剤や海水など、構造物を構築した後で構造物に侵入するものがある。海岸構造物においては、とくに海水からナトリウム、カリウムが供給されるため、多くのアルカリシリカゲルが生成されること、水分が多く供給されることで、被害が大きくなることがある。

本調査では、岡山県沿岸に構築されるコンクリート製の護岸ならびに防潮堤について、材料学的観点から劣化の状況を調査した。目視点検から、考えられる劣化の原因を調べた。また、一部の構造物では、テストハンマーを用いた反発度測定からのコンクリート強度の推定を行った。

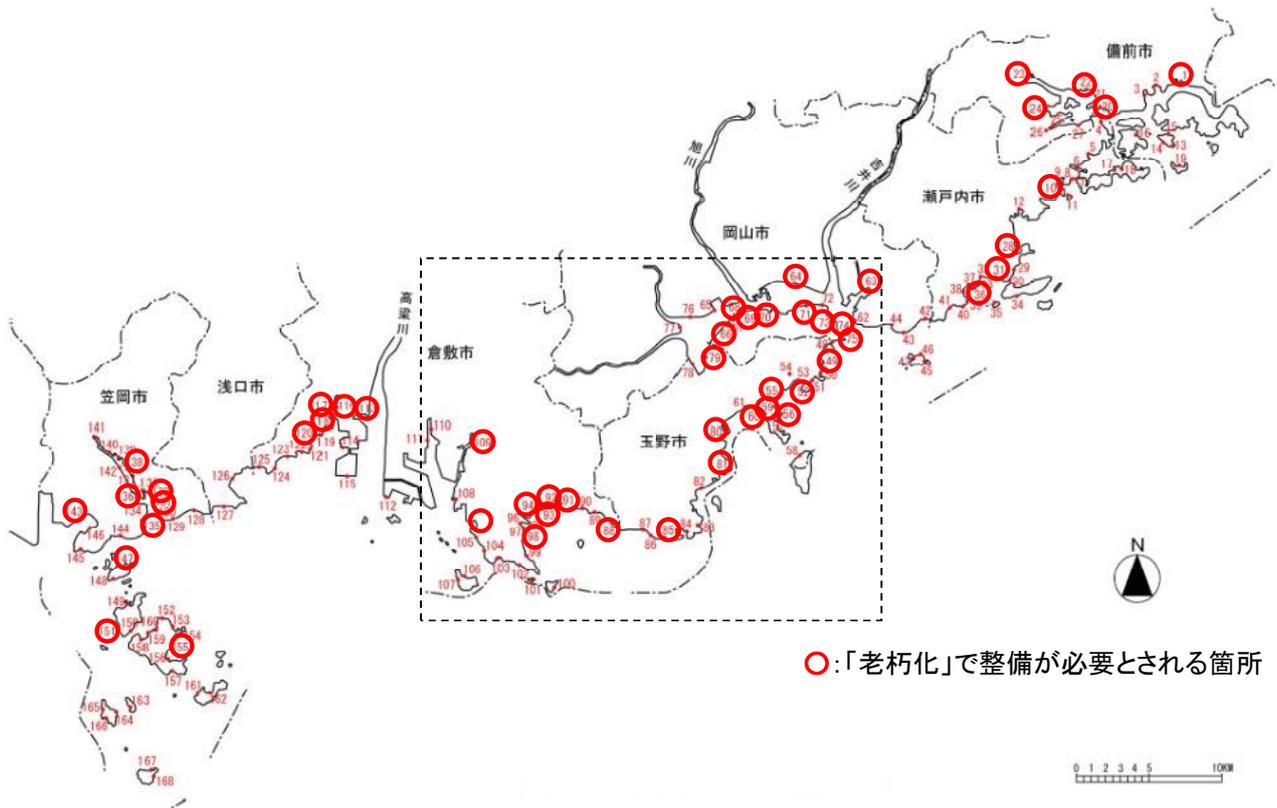
## 2. 調査の概要

## 2.1 調査の対象

図-1は、岡山県より発行されている「岡山県沿岸海岸保全基本計画」に示される「海岸保全施設を整備しようとする区域」である。図中の○は、「老朽化」として整備が必要とされた個所を示している。本調査では、とくにコンクリート構造物における老朽化について、老朽化の種類の調査を行った。実際に調査を行った地域を、図-2に示す。倉敷市児島塩生から玉野市八浜までの沿岸コンクリート構造物について調査を行った。

## 2.2 調査方法

コンクリート構造物の調査方法は、外観目視調査を主とした。構造物に近づけるものについては、近接目視点検を行った。また、一部の構造物では、



○:「老朽化」で整備が必要とされる箇所

図－１ 老朽化で整備が必要とされる箇所



図－２ 調査を実施した海岸



写真－１ テストハンマー

写真－１に示すテストハンマーによる反発度測定から、コンクリートの強度推定を行った。

### 3. 調査結果

#### 3.1 倉敷市児島地区の堤防の状況

##### (1) 倉敷市児島塩生

写真－２は、倉敷市児島塩生のサノヤス造船水島製造所の東側にある防波堤を撮影したものである。防波堤の継ぎ目にずれが生じているほか、コンクリート表面は粗骨材が露出した状態になっている。また、写真手前のケーソンでは、コンクリ

ート表面にひび割れが確認される。表面の侵食は、台風等の波浪による侵食や、工業地帯が近いことから、酸性雨による侵食が重なり生じたものと推察される。写真－３は、反対側からひび割れを撮影したものである。ケーソンがマスコンクリートであることから、水和熱による温度ひび割れと推察される。

##### (2) 倉敷市児島通生

写真－４は、倉敷市児島通生の防潮堤を撮影したものである。沖合には石積みの防波堤が整備されている。この地区の南側の防潮堤では、写真－



写真－２ 児島塩生の防波堤



写真－３ 防波堤コンクリートのひび割れ



写真－４ 児島通生の防潮堤



写真－５ 防潮堤に見られる表面の侵食

5に示すような表面の侵食はいくらか確認されるものの、大きなひび割れ等はなく、概ね健全であると思われる。一方で、中部から北側にかけての防潮堤には、写真－6から写真－9に示されるようなひび割れが、防潮堤全体に確認された。ひび割れが防潮堤全体にわたって発生していること、防潮堤の延長方向に大きなひび割れが発生していること、また、写真－9に示すように隅角部などで亀甲状のひび割れになっていること、海中部で大きなひび割れが確認されることから、アルカリ骨材反応によるひび割れと推察される。今後、ひび割れ数や幅の増加が確認される場合には、補修が必要となる可能性がある。また、海水と接する部分では、写真－10に示すような侵食が確認された。侵食部で白色の生成物も確認されることから、波浪による物理的な侵食に加えて、エトリングイト生成による化学的な侵食も生じているものと推察される。

### (3) 倉敷市児島下津井

写真－11は、倉敷市児島下津井吹上の下津井田



写真－６ 防潮堤に見られる表面の侵食

ノ浦港付近の防波堤を撮影したものである。写真手前側の防波堤は、かさ上げ工事が行われたものと推察され、写真奥側のコンクリートに比べて、表面がきれいである。一方写真奥側に見られるコンクリートには、ひび割れが確認される。写真－12は、写真－11奥側の防波堤を拡大したものであ

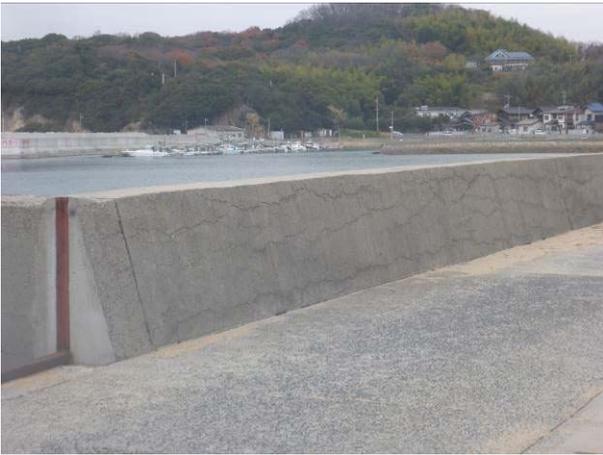


写真-7 防潮堤に見られる表面の侵食



写真-8 防潮堤に見られるひび割れ



写真-9 防潮堤に見られるひび割れ



写真-10 防潮堤に見られるひび割れ



写真-11 防潮堤に見られるひび割れ



写真-12 防潮堤に見られるひび割れ

るが、亀甲状のひび割れが確認できる。写真-13は、写真-11 付近の防潮堤を撮影したものである。この写真にも、亀甲状のひび割れが確認できる。波しぶきを受ける海側のひび割れが大きいこと、亀甲状のひび割れであることから、これらのひび割れは、アルカリ骨材反応によるものと思われる。

また、近年に嵩増しが行われたと思われる個所でも、写真-14 に示すように、海水に接する旧コンクリートの部分では、侵食が確認された。

#### (4) 倉敷市児島琴浦

写真-15 は、倉敷市児島琴浦の防潮堤を撮影したものである。延長方向にひび割れが確認できる。



写真-13 下津井港付近の防潮堤



写真-14 旧コンクリートの劣化状況



写真-15 琴浦港付近の防潮堤



写真-16 琴浦の防波堤に見られるひび割れ



写真-17 児島唐琴の防波堤



写真-18 児島唐琴の防波堤

写真-16に、拡大写真を示す。高さの低い防潮堤であるため、大きな鉄筋が配筋されていることは考えにくく、また、錆び汁も確認されないことから、鉄筋腐食によるひび割れとは考えにくい。このひび割れも、アルカリ骨材反応によるひび割れと推察される。

#### (5) 倉敷市児島唐琴

写真-17は、倉敷市児島唐琴の住宅地近くにある防潮堤である。大きなひび割れではないが、この防潮堤においても、アルカリ骨材反応のものと思われる亀甲状のひび割れが確認できる。

また、写真-18から写真-21は、倉敷市児島唐



写真-19 児島唐琴の防波堤



写真-20 児島唐琴の防波堤



写真-21 児島唐琴の防波堤



写真-22 下津井港の整備された防潮堤

琴の海岸にある展望台の防潮堤を撮影したものである。堤防の両面に亀甲状のひび割れが確認できる。写真-21より、海水に触れる堤防の下部でひび割れが著しくなっていることが分かる。ここでのひび割れも、アルカリ骨材反応によるひび割れであると推察される。

#### (6) 倉敷市児島地区のまとめ

倉敷市児島地区の防波堤、防潮堤で生じている劣化現象は主にアルカリ骨材反応によるものと思われる。この地区は、瀬戸内諸島で製造された砕石を利用していたことがあり、その骨材に反応性骨材が含まれていたものと思われる。また、高度経済成長期には、除塩を十分に行っていない海砂を使用したことも考えられる。さらに、海洋構造物であるため、海水からのアルカリ金属や水分の供給が行われ、アルカリ骨材反応によるひび割れが顕著になっていったと思われる。改修の予定のある個所では、亜硝酸リチウム注入等のアルカリ骨材反応抑制工法を実施したうえで、改修を実施するほうが望ましいと考えられる。また、定期的



写真-23 琴浦港の整備された防潮堤

なひび割れ幅の測定を行い、増加するようであれば、対策が必要と思われる。一方で、この地区は、平成16年の台風16号接近の際、高潮による浸水被害のあった個所でもある。写真-22や写真-23に示されるように、防潮堤の高増し等の改修工事が実施されている箇所が多数あり、大多数の構造



写真-24 山田港付近の防潮堤



写真-25 山田港付近の防潮堤



写真-26 大入海岸付近の防潮堤



写真-27 大入海岸付近の防潮堤

物のコンクリートは概ね良好と思われる。

### 3.2 玉野市から岡山市南区にかけての地区の堤防の状況

#### (1) 玉野市胸上（山田港）

写真-24 は、玉野市胸上の山田港付近の防潮堤を撮影したものである。ひび割れや侵食は確認されず、健全なコンクリートであった。この地域の防潮堤も、写真-25 のように、嵩上げ工事が行われている箇所があった。

#### (2) 玉野市番田

写真-26 は、玉野市番田の大入海岸付近の防潮堤を撮影したものである。こちらの防潮堤でもひび割れや侵食は確認されず、健全なコンクリートであった。しかし、写真-27 に示されるような、不等沈下等によるものと思われるずれの生じている箇所は見られた。

一方、写真-28 は、玉野市番田の弁天崎から岡山市南区小串にかけての海岸の防潮堤である。大他の近くに比べると、背後地の海拔が低い印象が



写真-28 玉野市番田～岡山市南区小串の防潮堤の全景

あり、比較的大きな防潮堤である。写真-29 から写真-31 は、防潮堤の外観を拡大して撮影したものであるが、粗骨材の露出がかなり多く確認された。写真-32 および写真-33 は、防潮堤表面を拡大したものであるが、今回、調査の対象とした地



写真-29 防潮堤の外観



写真-30 防潮堤の外観



写真-31 防潮堤の外観

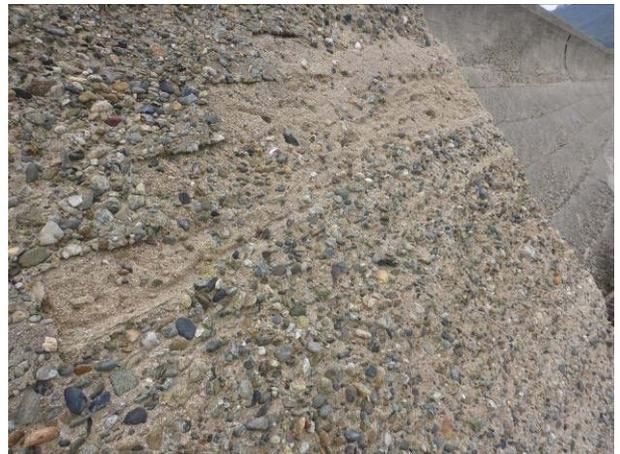


写真-32 防潮堤の表面



写真-33 防潮堤の表面



写真-34 防潮堤の表面に見られる施工不良

域の中では、最も表面の侵食が進んでいる地域であった。写真-34に示されるように、防潮堤表面には、ジャンカと見られる施工不良も確認された。施工性の悪いコンクリートを用いて施工されたことが推察される。そこで、写真-35に示すように、テストハンマーを用いた反発度の測定を行った。

表-1に、反発度の測定結果と、反発度から推定されるコンクリート強度を示す。多くの地点で推定強度として $20\text{N}/\text{mm}^2$ 程度の強度が算出されている。一方で、 $10\text{N}/\text{mm}^2$ 程度と他の半分程度の強度であるところもある。十分な品質管理および施工管理の行われていない状態で、コンクリート

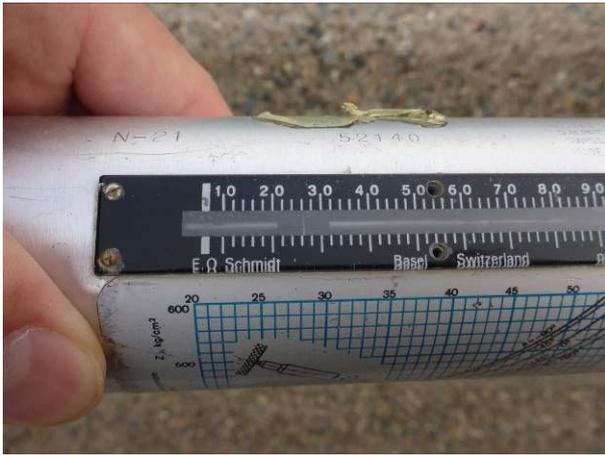


写真-35 テストハンマーによる反発度測定

表-1 反発度の測定結果と推定強度

No.	反発度	推定強度 (N/mm <sup>2</sup> )	平均 (N/mm <sup>2</sup> )
1	26	19.5	20.1
2	26	19.5	
3	18	9.1	
4	24	16.9	
5	33	28.6	
6	32	27.3	



写真-36 小串付近の防潮堤



写真-37 小串付近の堤防



写真-38 小串付近の防波堤



写真-39 宮浦付近の防潮堤

の製造および施工が行われたものと思われる。

### (3) 岡山市南区小串

写真-36 は、岡山市南区小串のポートオブ岡山付近の防潮堤を撮影したものである。コンクリート表面は粗骨材が露出した状態である。また、写真-37 は、同地区にある堤防であるが、水面近く

に施工不良と見られるジャンカがある。さらに、写真-38 に示すように、防波堤が基礎の沈下によると思われるずれが多く確認された。

### (4) 岡山市南区宮浦

写真-39 は、岡山市南区宮浦付近の防潮堤を撮影したものである。コンクリートには、ひび割れ



写真-40 郡付近の防潮堤



写真-41 郡付近の防潮堤



写真-42 八浜付近の堤防



写真-43 八浜付近の堤防

や粗骨材の露出は見られず、概ね健全と思われるが、継ぎ目部分の詰め材の劣化や消失に伴う隙間は確認された。

#### (5) 岡山市南区郡

写真-40 は、岡山市南区郡付近の防潮堤を撮影したものである。こちらのコンクリートには、ひび割れや粗骨材の露出は見られず、概ね健全と思われる。海側を撮影した写真-41 から、粗骨材の露出も見られず、目視からは、コンクリートは概ね健全と推定される。

#### (6) 玉野市八浜

写真-42 は、玉野市八浜付近の護岸を撮影したものである。ここは、コンクリートブロックによって堤防捕表面を保護している箇所である。コンクリートブロックの表面には、軽微な侵食は見られるが概ね健全と思われる。ただし、写真-43 にあるように、ブロック同士をつないでいる鋼材は腐食している。

#### (7) 玉野市および岡山市南区のまとめ

玉野市から岡山市南区の地区の防潮堤には、品

質管理が十分に行われていないコンクリートが使用されたり、十分な締固めが行われていないために生じたと思われる個所が散見された。一方で、アルカリ骨材反応と疑われるひび割れは、ほとんど確認されなかった。

#### 4. まとめ

倉敷市児島地区では、アルカリ骨材反応によるひび割れが生じた海岸構造物がある。一方、玉野市から岡山市南区にかけての海岸構造物では、アルカリ骨材反応によると思われるひび割れは少ないが、十分な品質管理を行われていないコンクリートを用いたり、十分な締固めが行われなかったりしたために生じたと思われる施工不良が見られた。

#### 参考文献

1) (公社)日本コンクリート工学会：コンクリート診断技術'14, 2014.2

## 南海トラフ巨大地震を想定した岡山市の津波遡上解析

岡山大学 環境生命科学研究科 前野詩朗  
 岡山大学 環境生命科学研究科 吉田圭介  
 岡山大学 環境生命科学研究科 工代健太

### 1. はじめに

東海地震，東南海地震，南海地震が連動して起きる南海トラフ巨大地震が発生した場合，2011年の東日本大震災を超える津波被害が予測されている．内閣府の中央防災会議（以下「内閣府」と呼ぶ）が2012年に実施した南海トラフ巨大地震発生時の津波シミュレーションでは瀬戸内海に面する岡山市においても波高が2mを超える津波が到達する可能性があることが分かった．児島湾，児島湖沿岸地域を含む岡山市の南部地域には標高が低く地盤が脆弱な干拓地が広がっており，この巨大地震の発生時に津波の浸水による被害が拡大する可能性が考えられる．岡山県の危機管理課では南海トラフ地震の最悪のシナリオを想定した津波浸水想定マップが公開されているが，津波がどの程度の時間でどの程度の浸水深や流速で拡大するのかといった遡上過程の詳細は現在のところ示されて

いない．そこで，南海トラフ巨大地震発生時の岡山市南部地域における津波の遡上過程と浸水範囲を具体的に明らかにし，津波避難計画の確立等，岡山市の津波対策に資することを目的とし，津波浸水想定の設定の手引き（以下「手引き」と呼ぶ）を参照し，岡山市南部地域において2次元の津波遡上シミュレーションを行った．

本報告書ではまず2. 数値シミュレーションの概要において津波シミュレーションの具体的な手法および初期・境界条件などの各条件設定について説明する．そして3. 解析結果において各解析ケースごとに結果を示しつつ，それらの比較から地震発生からの経過時間と浸水状況の変化の関係および後述する堤防高の条件設定と津波氾濫状況の関係に主に着目し結果についての考察を述べる．さらに4. おわりにでは本研究の主な結論と今後の課題について述べる．

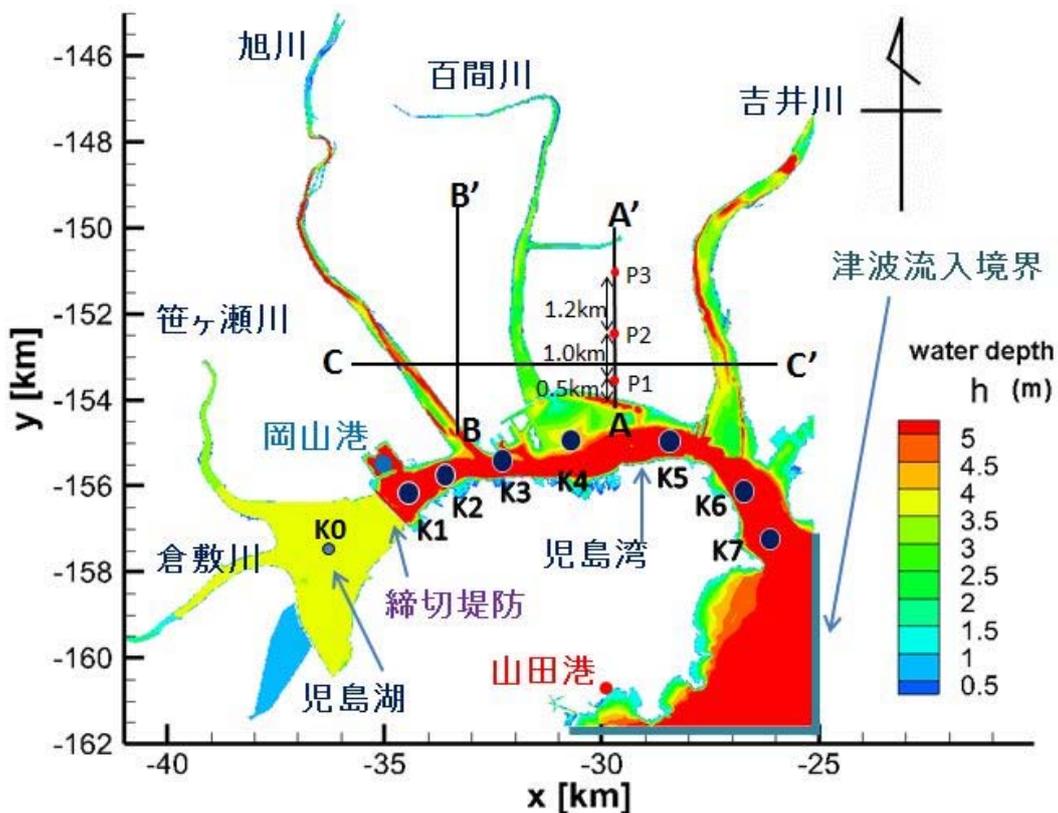


図-1 計算範囲の初期状況と主な地名

## 2. 数値シミュレーションの概要

### 2.1 計算対象範囲および地形データ

本研究では、岡山県危機管理課が公表している津波浸水想定（2013年）において浸水被害が大きいと予測されている児島湾北部の干拓地を含む東西方向に16.1km、南北方向に17kmの範囲を解析領域とした。図-1は計算範囲内の初期水深と主な地名を示している。解析は10mの構造格子を用いて行った。また、「手引き」に示されたとおりメッシュサイズよりも大きな地形については標高を与え、それよりも小さな家屋などの構造物については土地利用ついでのマニングの粗度データを与えることで地形を再現した。標高データおよびマニングの粗度係数のデータは内閣府が提供している10mごとのデータを用いた。

### 2.2 初期条件および境界条件

岡山県備前県民局によると児島湖の水位は年間を通して通常時は約T.P.-0.5mになるよう管理されているため、本解析の児島湖の初期水位もこの値に設定した。一方、児島湾側の初期水位は津波波形データの初期値に合わせ、「平成24年気象庁潮位表」の山田港における年間最高水位である

T.P.1.29mとした。

図-1に示す河川のうち、比較的大きな流量が観測されている一級河川の旭川、吉井川については計算範囲の上流端から境界条件としてそれぞれ42.6m<sup>3</sup>/s、27.4m<sup>3</sup>/sの流量を与えた。これらの流量は国土交通省管轄の各水位観測所、下牧（旭川河口から19km）、御休（吉井川河口から14km）にて観測された2006年から2010年の5年間の平水流量の平均値である。児島湾の初期水位をT.P.1.29mとして、上記の流量を各々の河川の上流端に与え解析開始時の初期状態(図-1参照)を作るための事前計算を行ったところ、旭川、吉井川の上流端付近の水位はそれぞれ約T.P.4.75m、T.P.1.28mで安定した。岡山河川事務所提供の旭川及び吉井川の縦断測量図と比較した結果、上流端境界地点の平水流量時の水位としての妥当性が確認されたため、両河川の上流端水位をそれらの値に合わせ本解析を行った。

### 2.3 数値モデルおよびその適用方法について

本研究では基本的に「手引き」に示されている非線形長波理論に基づく連続式および運動方程式(式(1)~(3))を支配方程式として用い、水際部での計算打ち切り水深を10cmに設定した。ただし、盛土

#### 連続式

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} + \frac{\partial M}{\partial x} + \frac{\partial N}{\partial y} = 0 \quad (1)$$

$\eta$ : 水位(m)  
 $M, N$ : 東西及び南北方向の流量フラックス(m<sup>3</sup>/s/m)  
 $h$ : 初期状態の水深(m)  
 $D$ : 全水深(m)  
 $G$ : 重力加速度(=9.8m/s<sup>2</sup>)  
 $n$ : マニングの粗度係数(m<sup>-1/3</sup>s)

#### 運動方程式

〈東西方向〉

$$\frac{\partial M}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{M^2}{D} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( \frac{MN}{D} \right) + gD \frac{\partial \eta}{\partial x} + \frac{gn^2}{D^{7/3}} M \sqrt{M^2 + N^2} = 0 \quad (2)$$

〈南北方向〉

$$\frac{\partial N}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{MN}{D} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( \frac{N^2}{D} \right) + gD \frac{\partial \eta}{\partial y} + \frac{gn^2}{D^{7/3}} N \sqrt{M^2 + N^2} = 0 \quad (3)$$

堤防上にかかるメッシュについては堤防越流をより正確に再現するため運動方程式の代わりに本間の越流公式により流量を計算し、堤防上の計算打ち切り水深を5cmに引き下げた。なお、タイムステップは「手引き」のCFL条件を十分満足するように0.05sに設定した。

## 2.4 解析ケース（津波波形，堤防条件）

内閣府の津波解析結果では南海トラフ巨大地震モデル検討会で決められた全11の地震ケースのうち、「ケース④の四国沖に大すべり域を設定した場合」に岡山県山田港（図-1参照）に到達する津波高が最も大きくなった。そこで、基本的に内閣府のケース④の津波解析により、山田港で得られた波形データを入力波形データ（図-2の標準波形）として用い、津波の氾濫がほぼ収束する津波発生後11時間を解析時間とした。児島湾湾口部への津波の侵入方向の検討が現時点では不十分であるため、図-1に示す通り、計算範囲の東端および南端の海域境界から山田港の津波波形を与えた。この条件で地震発生から8時間の検証計算をおこなったところ、図に示す通り、湾奥部の岡山港（図-1

参照）において得られた波形の傾向が内閣府の解析とほぼ一致したことから、この津波境界条件の妥当性を確認した。

解析は表-1に示す波形条件，堤防条件を変えた4ケース実施した。Case1では上記の内閣府の波形データ及び堤防の標高データをそのまま用いた。ただし、内閣府の解析では岡山県沿岸で最大のT.P.3.7mの津波が備前市に到達すると予測されている。このクラスの津波が児島湾に押し寄せる可能性も十分考えられるため、Case2ではこの最大水位を実現するため波形の各時間帯の水位と初期水位の差が標準波形のもの約2倍となるように拡大した波形データ（図-2の拡大波形）を使用した。

Case3, Case4では液状化による堤防沈下を想定した解析を行った。沈下対象堤防およびその沈下量については岡山県危機管理課が作成した岡山県液状化危険度マップ（図-3）を参考に以下の通り設定した。図から児島湾，児島湖の沿岸部および各河川部のほとんどが液状化危険度を示すPL値が15以上で極めて高い地域に属していることが確認できる。さらに児島湾と児島湖の北岸と各河川

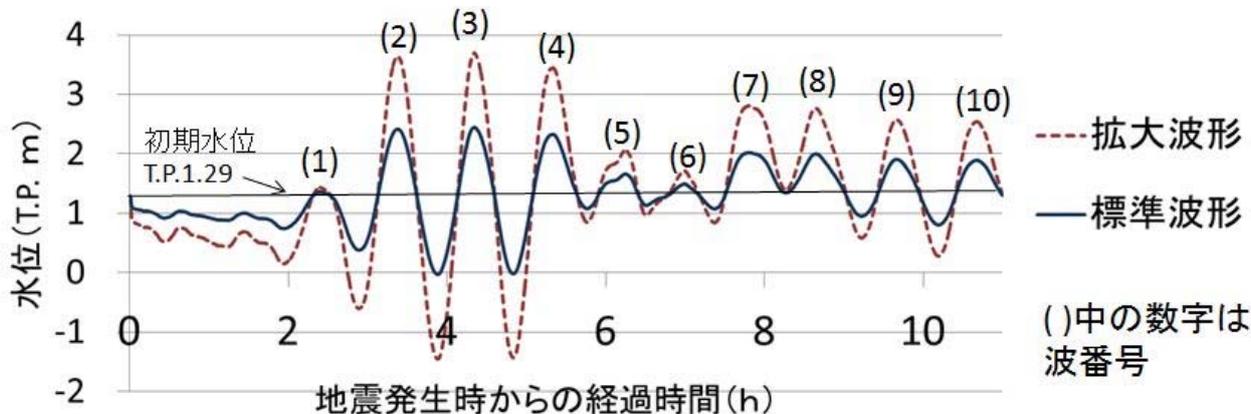


図-2 津波波形

表-1 解析ケース

ケース番号	津波振幅	堤防高	児島湖締切堤防
Case1	標準	変化なし	変化なし
Case2	拡大	変化なし	変化なし
Case3	標準	50%沈下	50%沈下
Case4	標準	50%沈下	50%沈下(水門部:T.P.0m)

両岸の盛土堤防及び児島湖締切堤防はいずれも耐震化対策がなされていないかもしくは対策中であるため、これらの堤防を沈下の対象とした。千葉県が公表している「平成19年度千葉県地震被害想定報告書」ではPL値が15を超える場合、堤防沈下量は堤防高の50%以上が目安とされている。また国土交通省により発表された「レベル2地震動に対する河川堤防の耐震点検マニュアル」は過去の地震の事例から液状化による堤防の沈下量は最大でも堤防高の75%以下におさまることを示している。そこで本研究ではこれらを踏まえて対象堤防の沈下量を一律に堤防高の50%とした。Case4については地震動による児島湖締切堤防の破堤を考慮するため、Case3と同じように堤防を50%沈下させたうえで児島湖締切堤防水門部の標高を地震発生時からT.P.0mとして解析を行った。

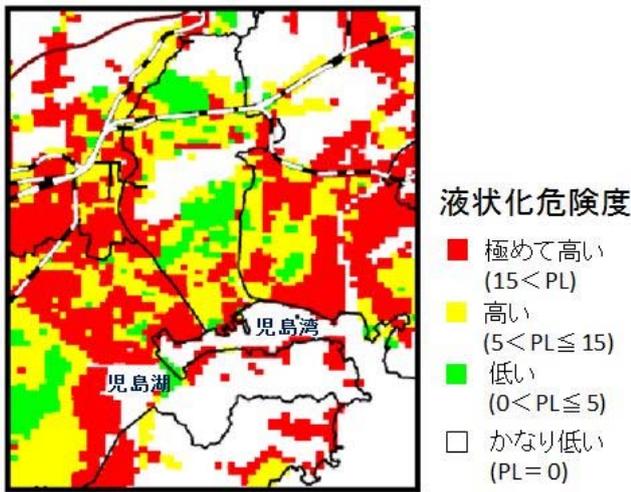


図-3 岡山県液状化危険度マップ

「手引き」では河川堤防、海岸堤防は津波越流開始時に破壊するものとして取り扱うことが基本とされている。しかし、渡辺らが実施した東日本大震災における東北地方の堤防の被害調査において越流水深が2m以下の箇所では盛土堤防の全壊はほぼ皆無であったことを示しているのに対し、本解析で確認された越流水深がほぼすべての堤防部で0.5mを下回っていたことや岡山市に到達すると予測されている津波高よりも水位の高い高潮を想定した海岸堤防および河川堤防の改修工事が岡山県および国土交通省により進められていることなどを勘案し、本解析では津波越流による堤防破壊は考慮しなかった。

### 3. 解析結果と考察

#### 3.1 津波波高の増大が浸水状況に与える影響 (Case1, Case2)

図-4はCase1の地震発生11時間後、図-5、図-6

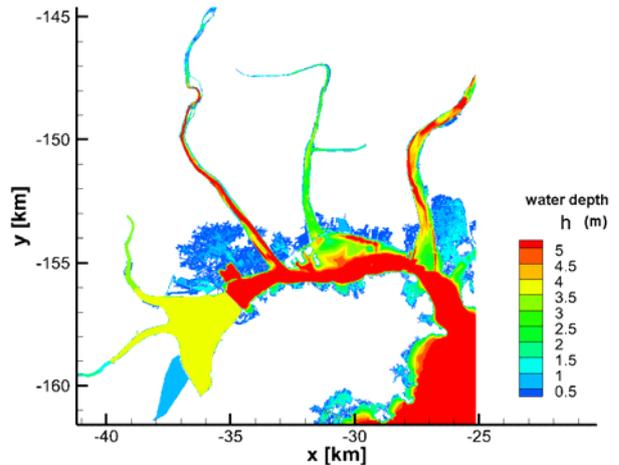


図-5 浸水状況 Case2 (6 時間後)

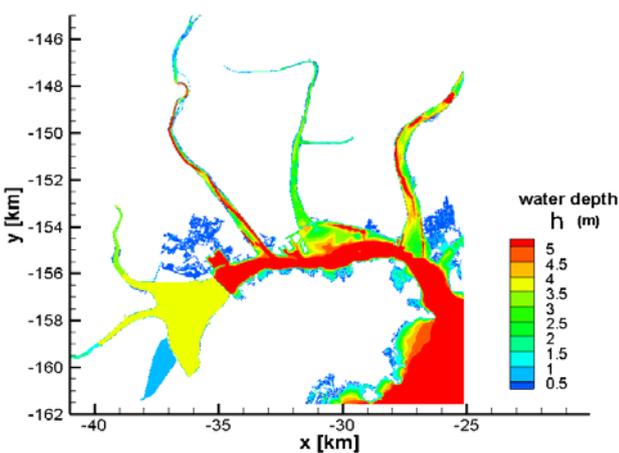


図-4 浸水状況 Case1 (11 時間後)

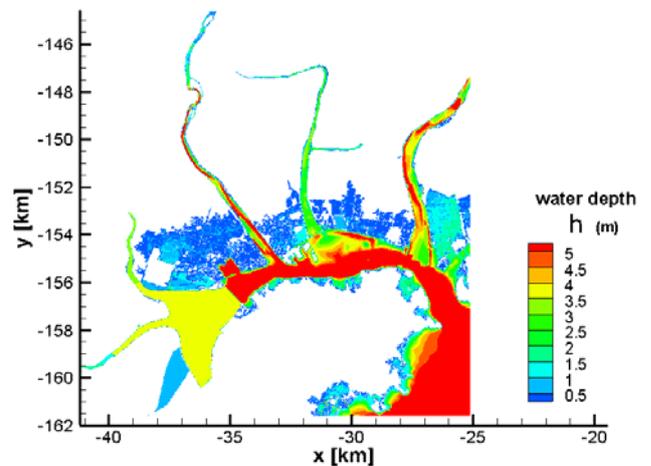


図-6 浸水状況 Case2 (11 時間後)

はCase2のそれぞれ地震発生後6時間、11時間後の浸水状況を示している。Case1では地震発生11時間後においても浸水は限られた場所で見られず最大浸水面積は約4km<sup>2</sup>に留まった(図-4参照)。これは、標準波形の最大波高が2.5mに満たないのに対して、上述したとおり沿岸部および河口部にはT.P.3.0m～4.0mの盛土堤防が築かれているため、津波氾濫があまりおこらなかったためであると考えられる。一方で波高を拡大したCase2では、堤防を沈下させていないにもかかわらず全体的な浸水面積の増加が見られ、地震発生11時間後では特に児島湾の湾奥部に面する干拓地西部の旭川右岸地域において浸水が広い範囲で見られた(図-6参照)。またこの地域の浸水は第2波～第4波の波高が大きな3波が到来した地震発生後6時間後の段階でかなり進行していることが分かる(図-5参照)。図-7は図-1に示した児島湾のK1～K7地点の地震発生3.5～4.0時間後の水位変化をグラフに示したものである。ここでは各地点の水位がピークになるタイミングの違いから時間経過に伴い津波の第2波が湾奥部へ向かって進んでいる様子がうかがえる。さらに地震発生3.7～4.0時間後の約20分間にわたり、児島湾縮切堤防に近いK1とK2地点の水位が2m～3m近くまで押し上げられていることが分かる。これは津波が児島湖縮切堤防にせき止められることによるものであると考えられ、このような縮切堤防からの反射波に伴う湾奥部の一時的な水位上昇が数波に渡って繰り返し起こることによって旭川の西側地域に浸水が広がったと考えられ

る。この地域は図の航空写真でも確認できるように臨海部や旭川河口付近に工場施設や住宅地が比較的多く存在しており、津波氾濫による被害が拡大する可能性が考えられる。最大浸水深はCase1が約0.8mだったのに対し、Case2では吉井川下流の左岸側で約1.5m以上の箇所が見られた。しかし、全体的にはどちらのケースも浸水深が0.5m以下のところが多く見受けられた。

### 3.2 地盤沈下発生時の津波遡上状況 (Case3, Case4)

図-8～図-10は、液状化による地盤沈下を想定し、堤防高を50%にしたCase3における地震発生からの各経過時間ごとの浸水状況を示している。図-8については吉井川河口部から児島湾の三幡九幡海岸の東側を含む流速分布図を上部に示す。図-8より、波高の大きな第2波が到達した地震発生4.7時間後には吉井川と旭川の河口部から浸水が広がっている様子が見られる。さらに浸水は、図-9と図-10の比較から地震発生約6時間後までの波高が大きな津波だけで拡大するのではなくてその後の数波に渡って拡大していることが分かる。地震発生11時間後において浸水面積は堤防沈下を考慮しなかったCase1のほぼ10倍にあたる約40km<sup>2</sup>となり、浸水深も多くの場所で1mを上回ることが分かる。このことから地震発生時の堤防高の標高の違いが岡山平野における津波浸水状況に非常に大きな影響をもたらすことが確認できた。

本ケースについては場所ごとの水位変化や流速

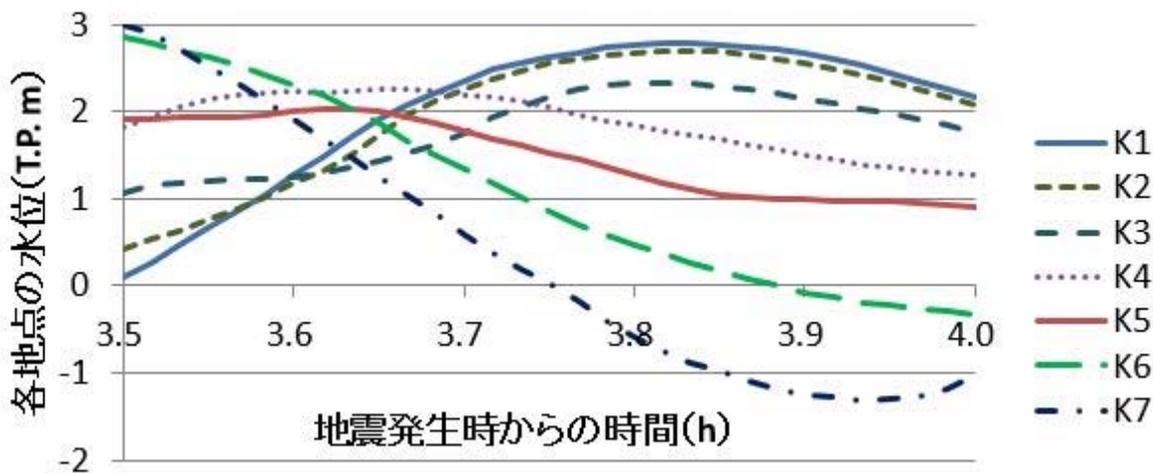


図-7 児島湾水位分布の時間変化 (Case2)

変化などを示し、津波の遡上状況をより具体的に述べる。図-11は図-1で示した AA'断面、BB'断面、CC'断面の時間ごとの水位変化を示したものである。これらの図から干拓地の大部分の標高が T.P.0m を下回っていることや3河川が天井川になっていることが分かる。地震発生3.7時間後と4.7時間後に吉井川の水位が上昇し、両岸から氾濫が起きていることが確認できる。また、AA'断面を見ると同じ時点において児島湾側から津波高が堤防より高くなり浸水が広がっていることが分かる。図-8中の流速分布図からも、地震発生4.7時間後には吉井川と百間川の間干拓地では吉井川と児島湾の両側から内陸部へ向かって浸水が進んでいることが分かる。なお、BB'断面図から、この時間帯において旭川河口部においても氾濫が起きていることが確認できる。図-11のAA'断面、BB'断面から地震発生6時間後には堤防からそれぞれ約2.5km、3.0kmの範囲が浸水し、それ以降も児島湾側から氾濫し、浸水域の北上と浸水深の増加が進んでいることが分かる。特に地震発生9時間後には児島湾、旭川河口、吉井川での水位が高くなり、地震発生6時間後から9時間後までの3時間で浸水深が増加する。さらに9時間後の陸域の水位を見ると、後から氾濫した津波がすでに浸水した場所を段波として北方に伝播している様子も見る事ができる。

図-12はAA'断面上のP1、P2、P3の3地点にお

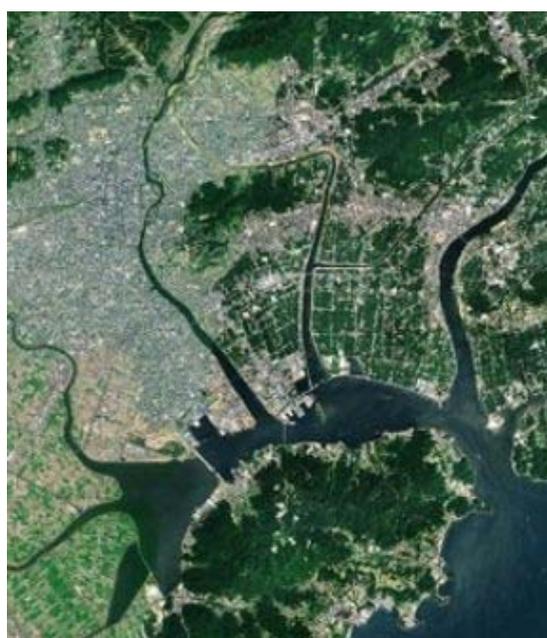


写真1 計算範囲の航空写真

る水位、流速の時間変化を示したものである。この図から津波はそれぞれ約0.75m/s、0.5m/s、0.85m/sの速度で到達することが分かる。水深は3地点ともに津波到達直後一気に数10cm増加している。これは津波の先端部が段波状に進むことを示しており、図-9のAA'、BB'断面の津波遡上先端付近で水面勾配が大きくなっていることから分かる。解析結果から得られた津波到達時の水深と流速の津波に巻き込まれると特に子供や高齢者は歩行困難となる可能性があるため確実な避難が必要である。浸水深は、津波到達後、一端緩やかな水位減少に転じた後さらに増加するという2段階の上昇傾向が見られた。2回目の水位上昇は津波発生8時間経過後から始まっており、地震発生長時間後も避難体制を継続する必要があることが分かる。図-13は児島湾と児島湖の水位の時間変化を示している。図から児島湖西岸側の干拓地への浸水は見られなかったが波高が大きな津波が到達した際、児島湾側のK1地点(図-1参照)の潮位が締切堤防の地盤高を超えていることが分かる。さらに波高が大きい波が到達した地震発生3.5時間後以降にCase3においても児島湖側のK0地点(図-1参照)の水位の上昇も確認できる。以上から締切堤防が50%沈下した場合に津波による越流が起きることが明らかとなった。

堤防沈下に加え地震発生直後に児島湖締切堤防の水門部が破壊されることを想定したCase4では

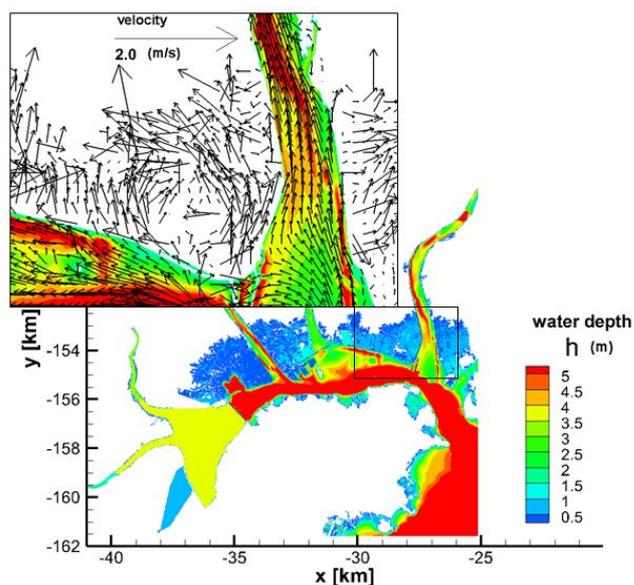


図-8 浸水状況および拡大流速分布図  
Case3(4.7時間後)

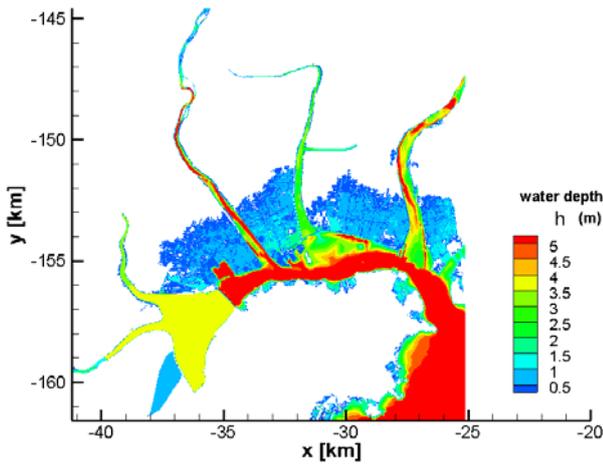


図-9 浸水状況 Case3 (6時間後)

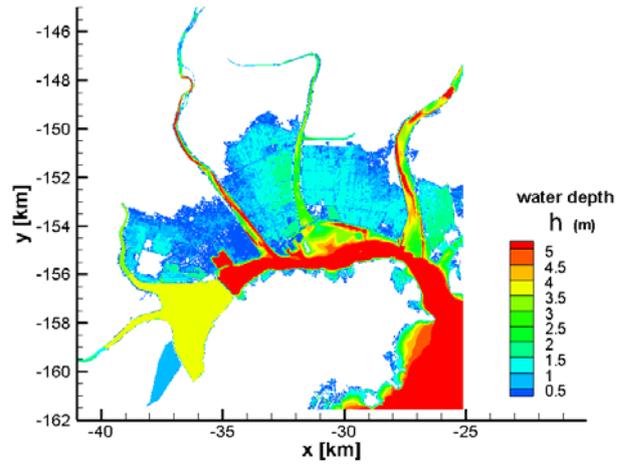


図-10 浸水状況 Case3 (11時間後)

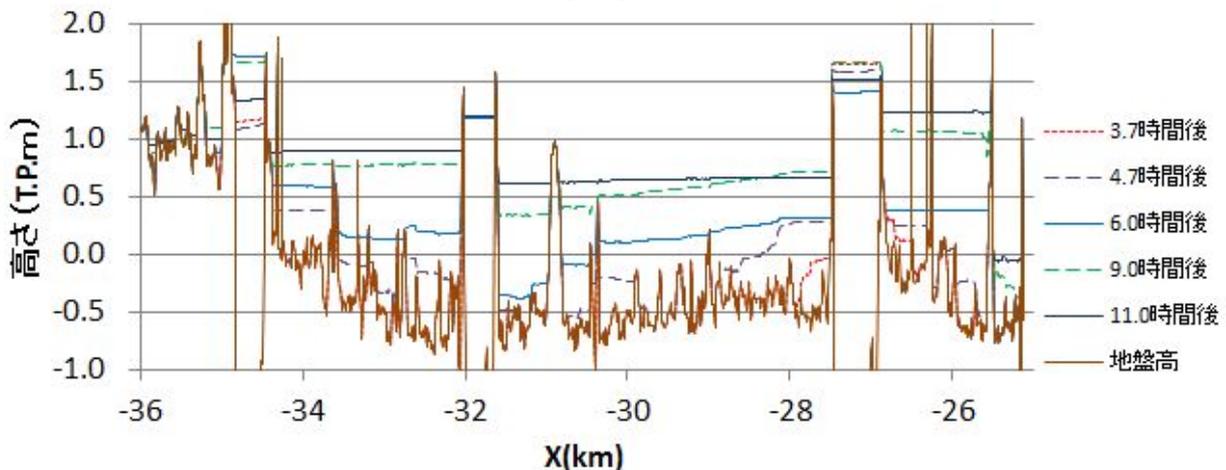
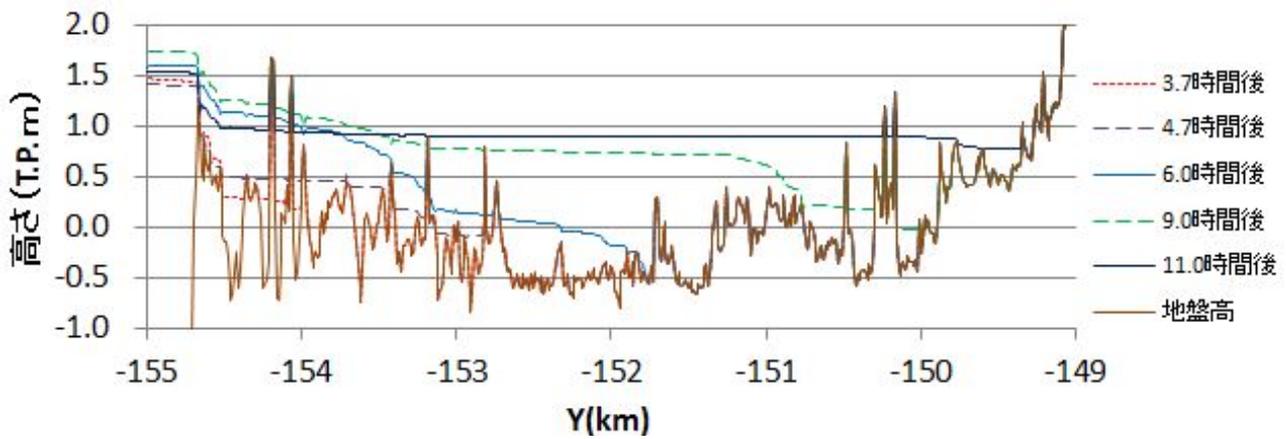
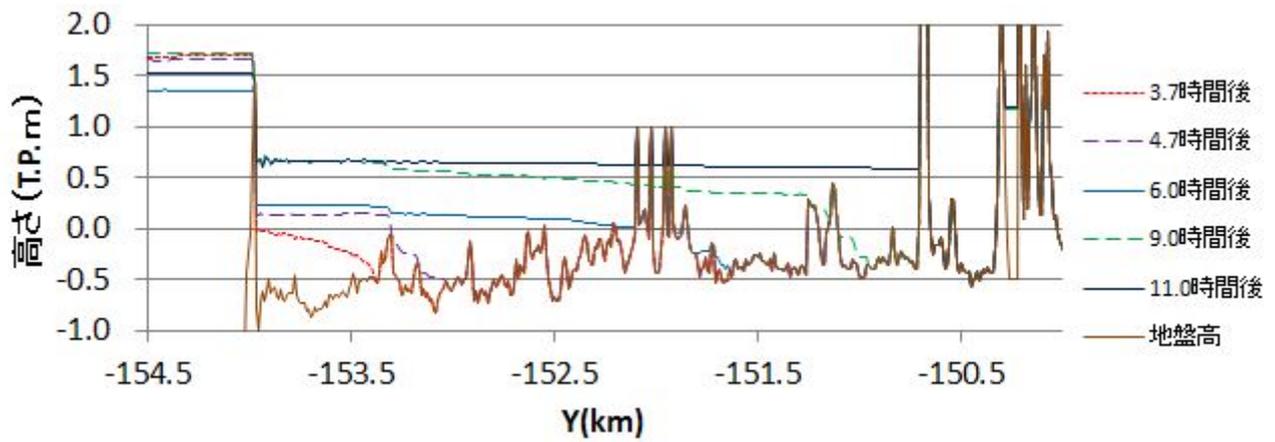


図-11 各断面ごとの水位分布変化 Case3 (上から AA' , BB' , CC' 断面)

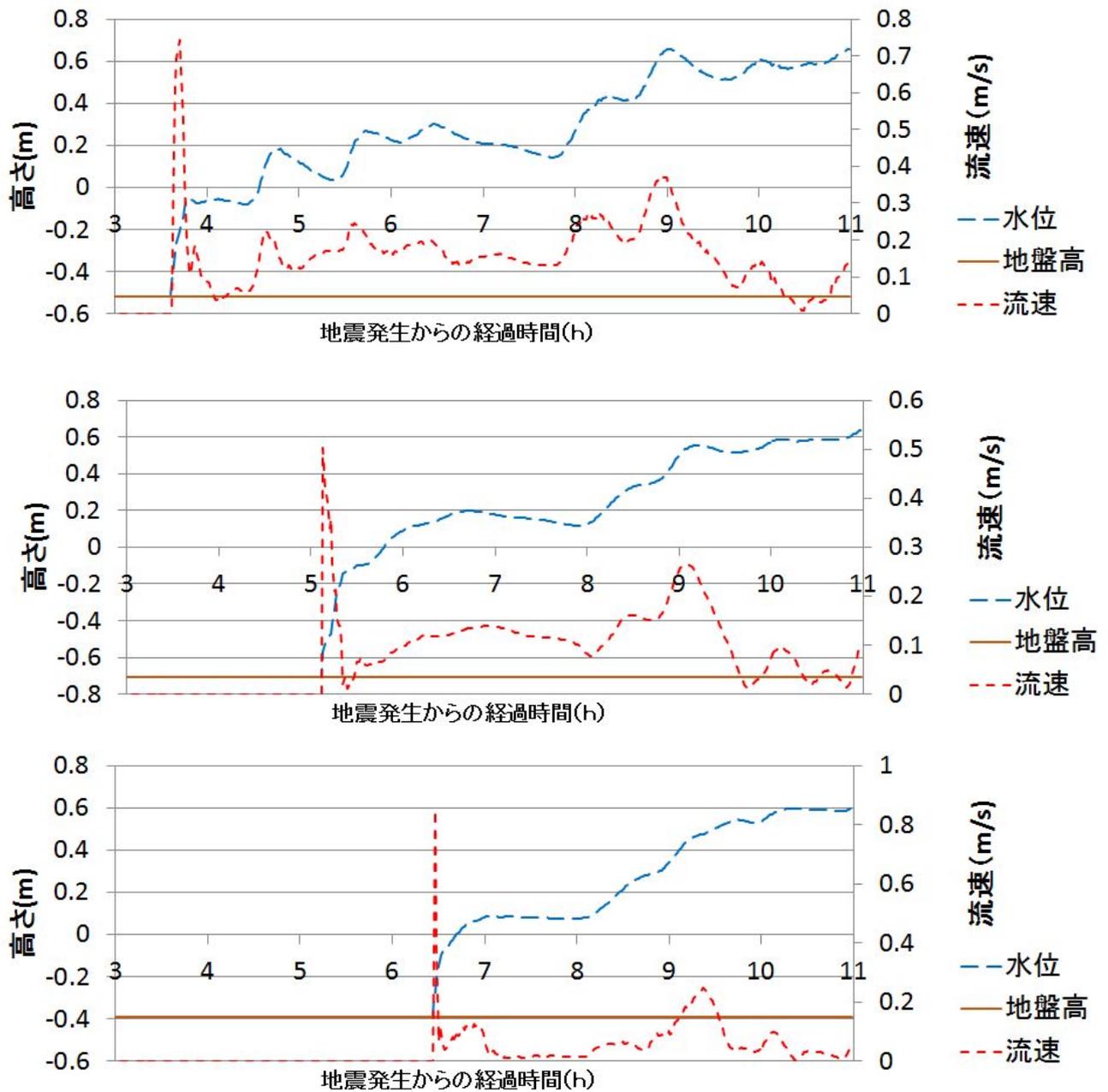


図-12 水位・流速変化 Case3 (上から P1, P2, P3)



写真 2 児島湖締切堤防

図-15に示す通り，地震発生11時間後には児島湾の北部だけでなく児島湖西部の干拓地にも広い範囲で浸水が見られる．図-13より水位差から生じる児島湾側からの潮の流入により，児島湖の水位は地震発生直後から始まり，地震発生約6時間後にかけて約0.7m増加していることが確認できる．一方で図-14から児島湖西岸の干拓地の浸水は地震発生6時間後の時点ではまだ始まったばかりであり，図-15との比較からその後5時間で浸水域が西方へ広がったことが分かる．締切堤防の破堤を考えなかったCase3と比較したところ，児島湾北部の干拓地の浸水開始時点および浸水面積に大きな違いは見られなかった．以上のことから児島湖締切堤防が破堤した場合，児島湾西部の干拓地では児島湖の水位が約T.P.0.2mまで上昇した後に浸水が本格的に始まり，児島湾北部の干拓地よりも遅れて浸水域が拡大する可能性があることが明らかとなっ

た．

#### 4. おわりに

本報告書では岡山市南部の干拓地における津波遡上解析の研究について基に報告を行った．最後に本研究で得られた主な結論を述べる．

地震発生時の堤防沈下を考慮して盛土堤防が50%沈下した場合，児島湾北部の干拓地が北方まで広範囲にわたって浸水し，浸水面積は堤防沈下を考えない場合の約10倍に達することが分かった．また堤防部での津波越流は津波の一波目だけではなく数波に渡って起こり，干拓地において長時間かけて津波浸水域の拡大が進むことも判明した．さらに地震発生後の児島湖締切堤防の状態が児島湖西部地域における津波浸水被害の大小に大きく影響し，締切堤防の水門部が地震発生時に破

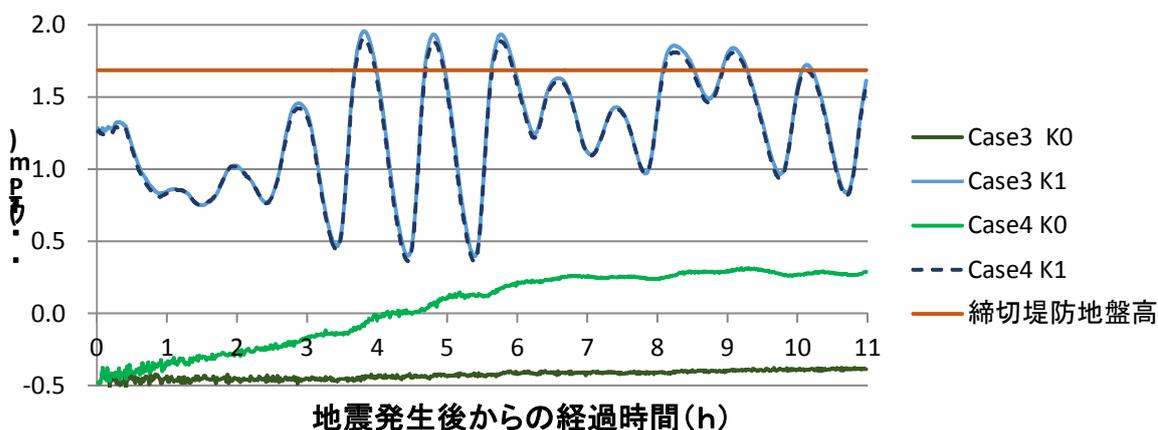


図-13 児島湾(K1)および児島湖(K0)の水位変化

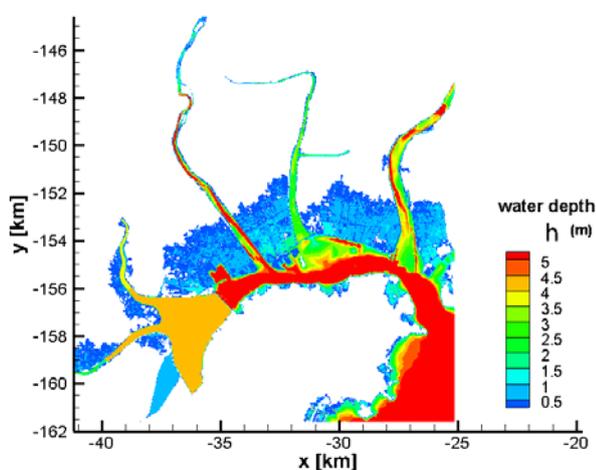


図-14 浸水状況 Case4(6時間後)

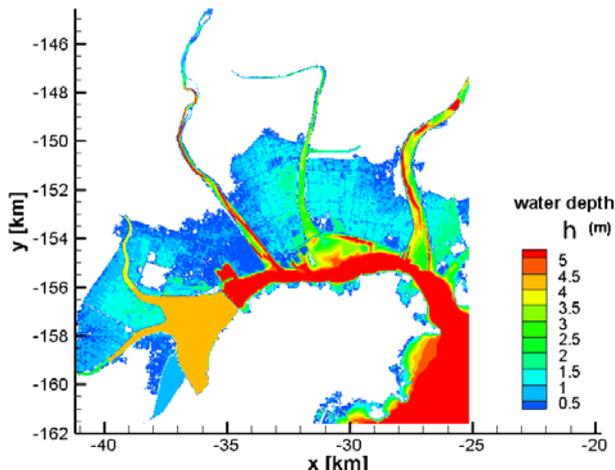


図-15 浸水状況 Case4(11時間後)

堤した場合、この地域では児島湖の水位上昇に伴い児島湾北部の地域よりも遅れて津波氾濫が起こることが明らかとなった。液状化による堤防沈下を想定したケースではいずれも干拓地のほとんどの部分に浸水が及んでおり、確実に津波被害を避けるには干拓地の区域から早めに避難することが必要であることが分かった。

なお、岡山への津波浸水は地震発生後約3時間半遅れて始まるが、本解析において津波浸水規模が特に大きかった児島湾北側の干拓地には自力で避難することが難しい高齢者や要介護者の方々も比較的高い割合で在住されており、近くに安全な避難場所となる高台も少ないことから避難計画を日頃から綿密に練っておくことが今後の津波被害の最小化に向けて不可欠である。

### 参考文献

/・国土交通省水管理・国土保全局海岸室，国土交通省国土技術政策総合研究所河川研究部海岸研究室：津波浸水想定設定の手引き，Ver.2.0，2012

・岡山県HP

URL:[http://www.pref.okayama.jp/uploaded/life/311947\\_1421964\\_misc.pdf](http://www.pref.okayama.jp/uploaded/life/311947_1421964_misc.pdf)

・渡邊国広，諏訪義雄，加藤史訓，藤田光一：東北地方太平洋地震津波による海岸堤防の被災分析，土木学会論文集B2，Vol68，No.2，I\_356 - I\_360，2012.



### 3-3. 災害時の避難行動と情報通信技術に関する 調査研究

## 津波避難時における自動車利用意向とその抑制策の検討

岡山大学大学院環境生命科学研究科 氏原 岳人  
 岡山大学大学院環境生命科学研究科 阿部 宏史  
 岡山大学大学院環境生命科学研究科 佐々木 麻衣

### 1. はじめに

東日本大震災以降、地域住民による津波防災に関する知識の伝承の重要性がとりあげられた。しかし、岡山県はこれまで大きな津波に襲われた経験がなく、津波防災に関する知識の蓄積が全くない。また、南海トラフ巨大地震を想定した場合、津波到着まで3時間ほどかかると言われているが、この津波襲来までの長い時間が地域住民に誤解や過信を生んでいる。さらに、岡山市の沿岸部は広大な干拓地から構成されており、津波避難に時間を要することも課題となる。

内閣府中央防災会議では、東日本大震災で助かった人の過半数が自動車を利用していただけをふまえて、2011年9月に津波避難方法を「原則自動車禁止」から「原則徒歩」と変更し、原則徒歩だが、やむを得ない場合には例外的に自動車避難を認めるとした<sup>1)</sup>。これを機に、各自治体では津波避難計画の見直しや新たな策定が積極的に行われている。しかし、津波避難計画等での自動車避難に関する記述は、本研究の研究対象地域である岡山市をはじめ、多くの地方自治体で抽象的な表現に留まっている。一方、自動車避難について、具体的な対応を講じている自治体は青森県三沢市<sup>2)</sup>が挙げられるが数少ない。また、研究レベルにおいても、津波避難行動に関する調査・研究<sup>3) 4) 5)</sup>の中で、自動車避難に対する課題などが得られているもの、その研究蓄積は不十分と言える。

本研究では、まず、1)津波避難は、「徒歩避難で浸水想定区域外へ」とされていることから、岡山市沿岸部の居住者を対象とした徒歩避難シミュレーションを実施することで、徒歩避難の検討課題を浮き彫りにする。さらに、その分析結果を受けて、2)今後の巨大地震を想定した津波避難行動のアンケート調査を岡山市沿岸部の住民を対象に実施し、避難行動の中でも特に自動車避難に着目し、自動車利用意向とその抑制策について検討する。

### 2. 分析対象地域及び分析の構成

#### 2.1 分析対象地域

本研究では、分析対象地域を図-1に示す岡山県岡山市とする。岡山市は、瀬戸内海に面しており、気候や地形から自然災害の少ない地域である。また、過去に津波被災経験がない一方で、南海トラフ巨大地震が発生した場合には、沿岸部に津波が来襲すると予想されている。また、岡山市沿岸部は平坦な土地が広がっており、高台や高い建物がない地域が存在しない地域も多く、広域に渡る避難が想定され、避難時の過剰な自動車利用が懸念される。また、図-1に岡山市津波防災マニュアルに掲載されている津波避難所を示しているが<sup>6)</sup>、浸水予想区域内は避難所が少ないことが分かる。

岡山市の津波防災マニュアルには、自動車避難に関して「『車で避難』は検討課題」と記述されており、自動車での避難に関する具体的な政策は未だ講じられていない<sup>6)</sup>。また岡山市沿岸部では、津波高が最大約2.6m、津波到達時間が約3時間と予想されているが<sup>7)</sup>、比較的津波到達時間が遅く、過剰な自動車避難を事前に抑制することができれば、計画的避難が十分可能な地域といえる。

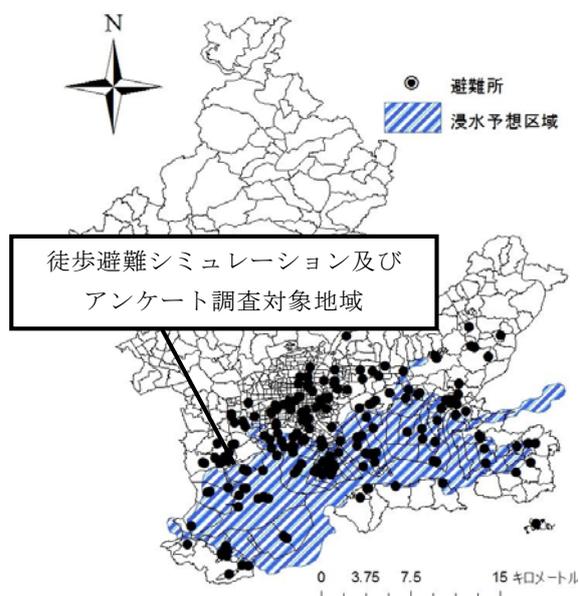


図-1 分析対象地域（岡山市沿岸部）

## 2.2 分析の構成

第3章では、岡山市沿岸部を対象とした徒歩避難シミュレーションを実施する。この分析から、国や地方自治体によって、「原則徒歩」で浸水想定区域外へ避難する場合の現実性について検証する。つまり、実際に浸水想定区域外へ徒歩避難する場合には、どの程度の時間がかかるのか、そのような地域はどこかを具体的に抽出する。その分析結果を受けて、実施された津波避難に対するアンケート調査の概要を第4章では説明する。5章では、津波からの自動車避難を想定した居住者の利用特性を明らかにするとともに、6章では、自動車利用意向の動機を明らかにする。第7章では、過剰な自動車利用に対する効果的な抑制策について検討し、第8章では、これら分析結果に基づいて、岡山市沿岸部における津波避難時の課題を述べる。

## 3. 岡山市沿岸部を対象とした徒歩避難シミュレーション

### 3.1 シミュレーションの概要

本章では、災害時の避難手段の原則である「徒歩」の避難に着目し、南海トラフ巨大地震を想定した徒歩避難ネットワーク解析を行うことで、岡山市沿岸部の徒歩避難における課題を明らかにする。対象地域は、岡山県が公表した「南海トラフの巨大地震による津波高・浸水域」に基づいて作成した津波ハザードマップの浸水区域とする<sup>7)</sup>。岡山市沿岸部は、地震による液状化の影響が懸念されており、かつ平野部が広大であることから避難距離が長くなる可能性が高い。対象建物は、対象地域内の学校、商業施設、病院等の施設と一般住宅を合わせた全建物としており、85,671棟の建

物を対象に分析を行った。

具体的には、①南海トラフ巨大地震時の浸水想定区域、②岡山市沿岸部の浸水想定区域内の全建物データ（ゼンリン住宅地図）③道路ネットワークデータ（拡張版全国デジタル道路地図データベース）を用いて、地理情報システム（GIS）上にデータベースを構築した。また、内閣府<sup>8)</sup>や和歌山県<sup>9)</sup>のガイドライン等を参考にして、高齢者以外の徒歩避難速度を3.6km/h（1.0m/s）、高齢者を1.8km/h（0.5m/s）とした。さらに、地震による建物の倒壊や液状化、疲労などの影響に配慮するため、高齢者以外と高齢者それぞれの場合について、徒歩速度が20%低下するシナリオも設定した。これら設定条件に基づいて、「浸水想定区域外まで逃げるのにどれくらいかかるか、またどの程度の移動距離が必要になるのか」を、8万棟を超える建物を対象とした徒歩避難シミュレーションにより明らかにする。

### 3.2 分析結果

図-2に対象建物ベースの避難移動距離を示す。その結果、浸水想定区域外に逃げる場合、3km以上の避難が必要になる住民が9%（7,710棟）存在するが分かった。これは、岡山市南部は平野部が広く、高台が少ないことが起因している。また、仮に津波来襲までを3時間と仮定し、「3時間で逃げ切れない可能性の高い建物数」を「浸水区域内建物数」で除した数値を「危険建物率」として、避難開始のタイミングと危険建物率の関係性を図-3に示した。それによると、高齢者とそれ以外の住民とでは、避難開始のタイミングによって危険率が大きく異なること、さらに避難開始が遅れて1時間後の場合、高齢者の徒歩速度が20%低下す

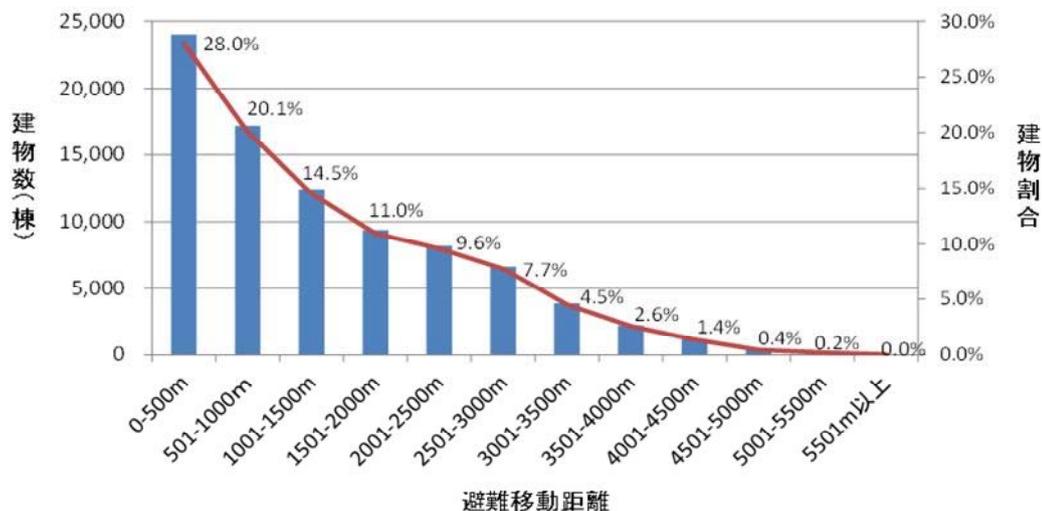


図-2 各建物からの避難移動距離

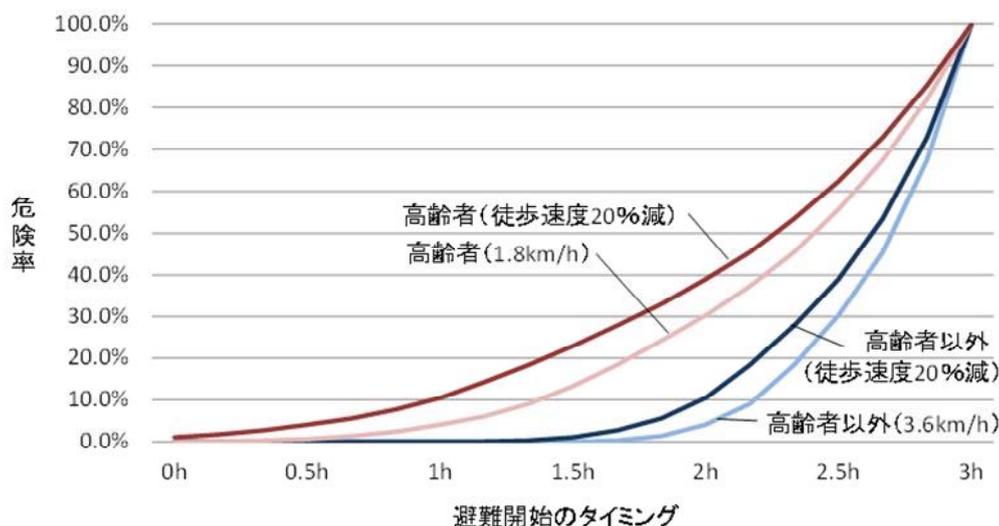


図-3 避難開始のタイミングと危険建物率

ると、危険建物率が2倍近く上昇することが明らかになった。つまり、液状化や建物倒壊の程度によって被害がより甚大になる可能性が示された。図-4には、高齢者以外を対象とした地域別の避難所要時間（徒歩速度時速3.6km）を示す。南区及び東区の沿岸部で浸水想定区域までの避難に1時間以上を要する地域が存在する。図-5には、高齢者を対象とした地域別の避難所要時間（徒歩速度時速1.8km）を示す。津波来襲が3時間後の場合には、揺れてすぐ逃げたとしても、逃げ切れない可能性のある建物が岡山市藤田周辺に存在することがわかる。また、それぞれの速度が20%低下した場合の結果を図-6、7に示す。高齢者以外の場合でも、南区の比較的人口が集中した地域において避難に1時間以上要する地域が広範に存在している。また、高齢者の場合では、3時間以上要する地域が南区の幅広い地域に渡っている。岡山市南区は岡山市内でも液状化のしやすい地域とされ、実際に巨大地震が発生した場合には、円滑な避難が容易でないことが想定される。

以上より、岡山市沿岸部では「原則徒歩」で「浸水想定区域外」に避難する場合には、長距離を移動する必要性のある居住者が多く存在しており、液状化や建物倒壊の程度によってはその規模が倍増する可能性も明らかとなった。

#### 4. 岡山市沿岸部を対象とした津波避難アンケート調査の概要

第3章の結果を受けて実施した、津波避難アンケート調査の概要を表-1に示す。2013年12月12日と14日の2日間で岡山市の浸水想定区域<sup>6)</sup>（図-1）を対象に、建物密度や居住形態（一戸建て・

集合住宅）、居住階数に配慮して、5,000部を配布し、1,694部を郵送回収した。アンケート抽出率は、アンケート調査対象地域の人口ベースで約1%、世帯ベースで約2%となっている。なお、アンケートでは、表-1に示す通り、南海トラフ巨大地震を想定した津波避難行動について尋ねており、各家庭で災害時の避難経路や避難場所を決定するのは世帯主となる場合が多いと考えられるため、回答者を世帯主とした。

アンケート調査項目は合計15問で構成されており、個人・世帯属性や日常の交通行動、津波避難時の自動車利用、巨大地震を想定した津波避難行動について尋ねている。また、津波避難行動に関しては、内閣府の想定<sup>10)</sup>を参考にして以下の仮定を提示し、その状況下での避難行動を尋ねている。

<仮定>南海トラフ沿いで巨大地震が発生し、岡山市沿岸部では震度6強の揺れが観測されました。地震発生から数分後に、あなたの居住する地域にも津波警報が発令され、高さ3mの津波が約3時間後に到達すると発表されました。また、市町村からの避難指示も出ています。なお、このとき、あなたは自宅にいて、同居している家族全員と一緒にいる状況です。



図-4 高齢者以外を対象とした避難所要時間  
(徒歩速度時速 3.6 km)

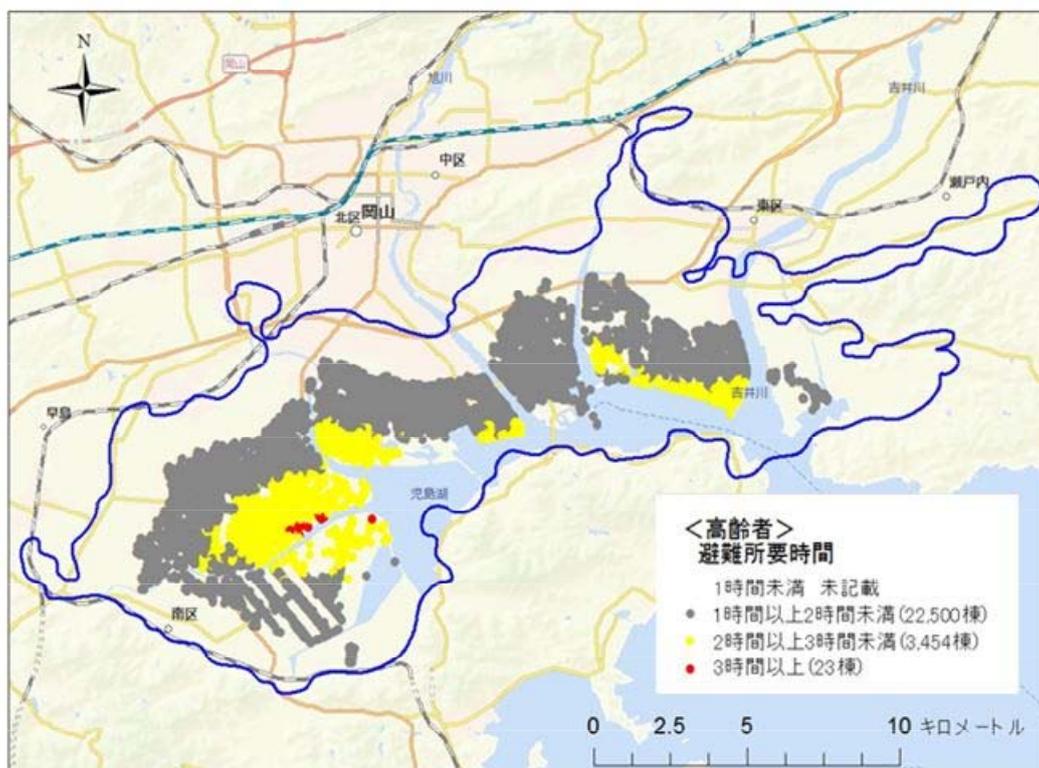


図-5 高齢者を対象とした避難所要時間  
(徒歩速度時速 1.8 km)



図-6 高齢者以外を対象とした避難所要時間  
 (徒歩速度時速 3.6 kmから 20%減のケース)

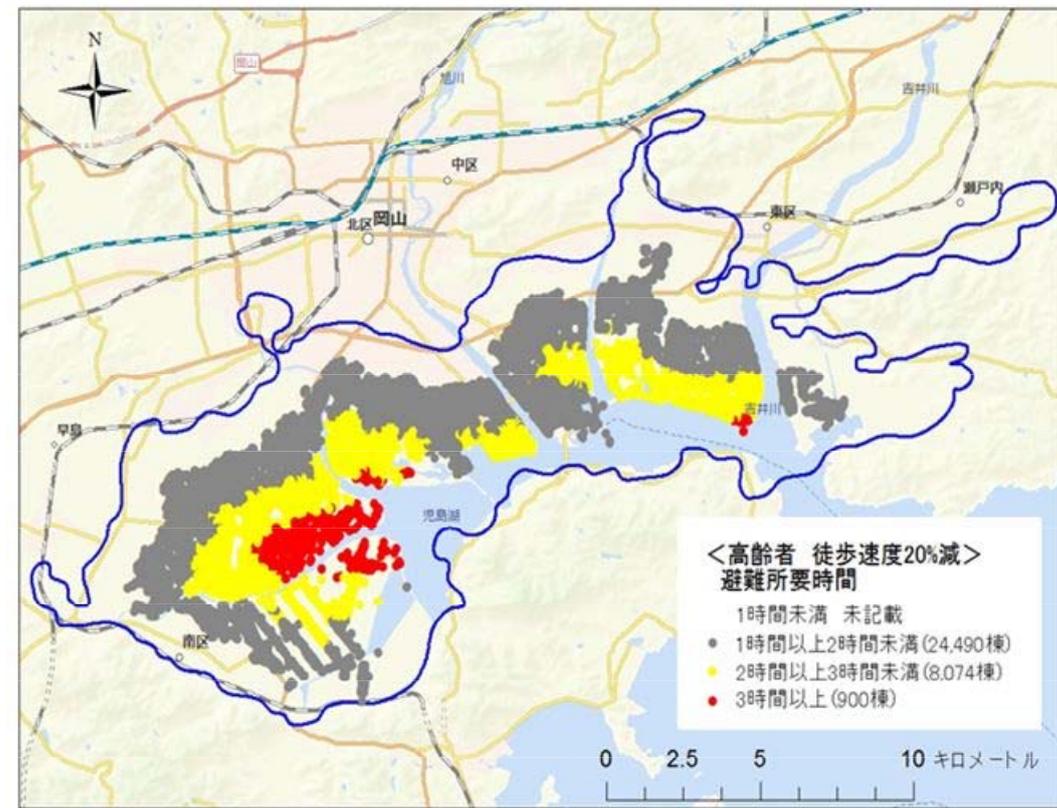


図-7 高齢者を対象とした避難所要時間  
 (徒歩速度時速 1.8 kmから 20%減のケース)

表-1 アンケート調査の概要

調査方法	直接配布、郵送回収
調査票配布場所	岡山市の浸水区域の住宅
対象者	世帯主
調査票配布日	2013年12月12日(木)、14日(土)の2日間
配布部数	5,000部
回収部数	1,694部(回収率33.9%)
調査項目	①南海トラフ巨大地震を想定した津波避難行動について ②津波避難時の自動車利用について ③日常の交通行動について ④あなた自身について

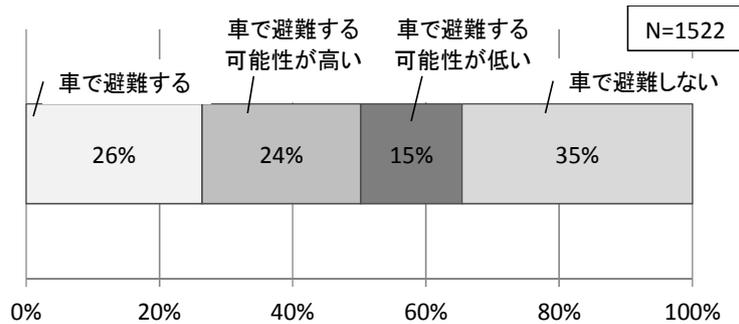
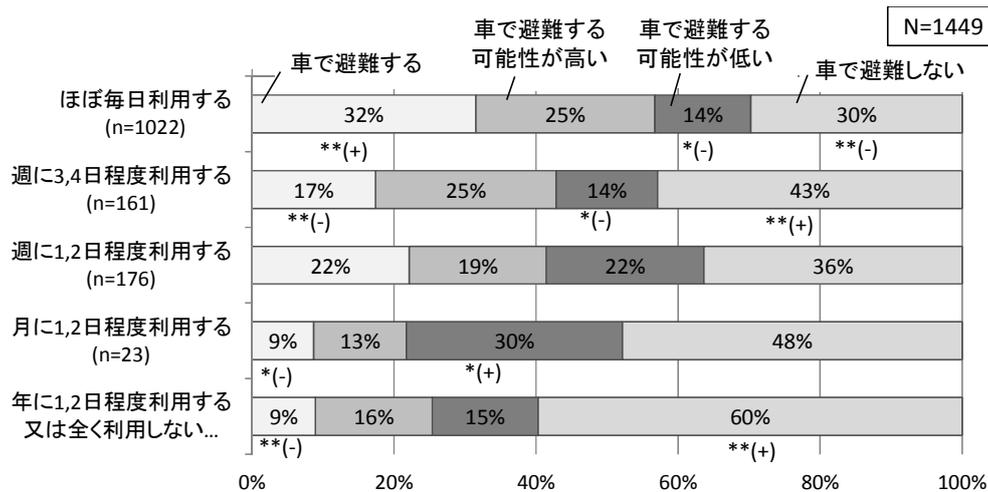


図-8 避難時の自動車利用の可能性



(p値:0.0000) 独立性の検定1%有意  
<残差分析> \*\*1%有意 \*5%有意 (+)割合が高い (-)割合が低い

図-9 避難時の自動車利用の可能性と日常の自動車利用頻度

### 5. 津波避難時の自動車利用意向の実態

本研究で実施したアンケート調査では、巨大地震を想定した津波避難時の自動車利用意向について尋ねている。本章では、アンケート調査の基礎集計結果から、津波避難時の自動車利用意向の実態及び、自動車での避難を想定する住民の特徴を把握する。

まず、津波避難時の自動車利用の可能性を図-8に示す。「車で避難する」、「車で避難する可能性が高い」を合わせると50%となり、約半数の住民が自動車での避難を想定していることが明らかとな

った。次に、避難時の自動車利用の可能性と日常の自動車利用頻度の関係を図-9に示す。日常の自動車利用頻度に関して、「ほぼ毎日利用する」と回答した人の32%が「車で避難する」としており、日常の自動車利用頻度が高いほど、避難時に自動車を利用する可能性が高い傾向にあることが統計的に明らかとなった。

また、クロス集計及び統計的検定(独立性の検定、残差分析)により、自動車避難を想定する住民の特徴として、以下の傾向が明らかとなった。なお、紙数の都合により分析結果の図示は省略する。

表-2 自動車利用意向動機タイプの類型化

クラスター		①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	
n		69	55	46	137	138	86	120	67	54	
自動車利用意向動機項目	個人に理由する	1. 徒歩で安全な場所まで避難できる体力がないから	0.96	0.95	1.98	1.75	0.70	1.37	1.44	0.60	0.44
		2. 同居していないが一緒に避難したい人がいるから	0.90	0.56	1.13	1.32	1.30	0.52	1.32	0.46	0.39
		3. ペットと一緒に避難したいから	2.45	0.33	2.57	0.36	0.07	0.12	0.69	1.16	0.43
	世帯に理由する	4. 同居している人に自力での避難が困難な人がいるから	0.23	2.51	2.37	2.52	0.17	0.48	0.10	0.15	0.50
		5. 同居している人全員で避難したいから	2.58	2.24	2.63	2.82	2.09	1.81	2.39	0.75	0.72
		6. 徒歩で移動できる距離に避難所がないから	1.10	0.78	2.28	1.62	0.71	2.08	1.75	0.78	0.57
	自立する理由	7. 傾斜のある道が多いから	0.49	0.42	0.48	0.59	0.40	0.16	0.65	0.30	0.15
		8. 車も財産で守りたいから	1.59	0.56	1.07	1.65	1.16	0.40	2.31	0.99	0.22
		9. 荷物を運べるから	2.72	1.89	2.00	2.50	2.33	1.09	2.81	2.04	0.35
	車に関する理由	10. 避難しながらラジオ等で情報を得られるから	2.72	1.62	2.09	2.46	2.22	1.57	2.83	1.84	0.30
		11. 携帯電話等の充電ができるから	2.00	0.82	1.61	2.03	1.22	0.44	2.33	1.51	0.07
		12. 寒さや暑さをしのげるから	2.64	1.78	2.30	2.62	2.04	1.59	2.93	2.27	0.44
		13. 避難後にプライバシーを守るため車中泊したいから	2.00	1.18	1.91	2.16	1.31	1.23	2.63	1.99	0.09
		14. 避難後の移動手段として便利だから	2.67	1.65	2.57	2.59	2.46	1.95	2.88	2.09	0.44
		15. 車での避難が一番早く安全で手取り早いから	2.30	1.20	2.41	2.37	2.02	1.84	2.62	0.76	0.41
	その他の理由	16. 歩くのが面倒だから	0.88	0.31	0.96	1.47	0.85	0.87	1.45	0.28	0.07
		17. 日常の移動には車を使っているから	2.00	1.04	2.46	2.45	1.91	1.98	2.69	0.69	0.09
		18. なんとなく	0.46	0.33	0.37	1.09	0.84	0.55	1.28	0.30	0.00
自動車利用意向		1.41	0.96	1.52	1.43	1.07	1.12	1.53	0.69	0.56	
タイプ		家族志向・徒歩避難可能タイプ	要援護者タイプ	家族志向・必要利用・車依存タイプ	家族志向・要援護者・車依存タイプ	快適避難志向・徒歩避難可能タイプ	避難所到達困難タイプ	強車依存タイプ	単独避難・徒歩避難可能タイプ	無反応タイプ	

動機項目の得点の平均値：最大3.00 最小0.00(当てはまる…3点、少し当てはまる…2点、あまり当てはまらない…1点、当てはまらない…0点)

自動車利用意向：最大2.00 最小0.00(車で避難する…2点、車で避難する可能性が高い…1点、車で避難する可能性が低い…0点) ※車で避難しない：対象外

2.0以上

1.5以上2.0未満

- 「車で避難する」と回答した人が、世帯人数が1人では18%であるのに対し、5人になると35%に増加し、世帯人数が多いほど、避難時に自動車を利用する可能性が高くなる傾向にある。
- 「世帯に要援護者がいる」と回答した人の30%が「車で避難する」と回答しており、世帯に要援護者がいると自動車避難を想定する傾向にある。
- 世帯における幼児(6歳未満)の人数が0あるいは1人では、「車で避難する」とした人が少ない(0人:24%、1人:26%)一方で、2人以上になるとその割合が多くなる(2人:52%、3人:50%)。世帯における幼児の人数が、複数かどうかにより、自動車利用意向が異なる。

## 6. 自動車利用意向動機特性

### 6.1 自動車利用意向動機タイプの類型化

本分析では、巨大地震が発生した場合の津波避難を想定した際の自動車利用の可能性について、「車で避難する」、「車で避難する可能性が高い」、「車で避難する可能性が低い」と回答し、かつ、表-2に示す自動車利用意向動機項目18個全てに回答した772サンプルを対象とする。自動車利用意向動機の各項目について、「当てはまる」を3点、「少し当てはまる」を2点、「あまり当てはまらない」を1点、「当てはまらない」を0点のように得点化した結果をもとに、クラスター分析のward法を用いて類型化を行った<sup>(1)</sup>。また、クラス

ター分析の距離計算には平方ユークリッド法を用いている。

各クラスターの1~18の動機項目の得点の平均値を算出した結果を表-2に示す。平均値の最大値が3.00、最小値は0.00であり、数値が大きいほどその動機項目に当てはまることを表している。この結果を基に、①~⑨の各クラスターの特徴を相対的に評価し、以下のようにネーミングする。  
**クラスター①：家族志向・徒歩避難可能タイプ**

同居している人やペットと一緒に逃げたい、自動車の便利さを活用したいという意識が高い。また、動機項目1、4、6、7の平均値の低さから、距離や体力等の問題で自動車を利用するわけではないと考えられる。

#### クラスター②：要援護者タイプ

同居している人と逃げたいという意識が高く、同居している人に自力での避難が困難な人がいるという特徴が見られる。

#### クラスター③：家族志向・必要利用・車依存タイプ

距離や体力等の問題で自動車を利用しなければならないという動機が強く効いており、同居している人皆で逃げたいという意識も高い。また、日常からよく自動車を使う傾向にある。

#### クラスター④：家族志向・要援護者・車依存タイプ

クラスター③との主な違いは、徒歩で移動できる距離に避難所がないわけではないということである。加えて、同居している人に自力での避難が困難な人がいるという動機が各クラスター間で最も強く効いている。

クラスター⑤：快適避難志向・徒歩避難可能タイプ

距離や体力等の問題で、自動車を利用するわけではなく、自動車依存傾向もあまり大きくはない。しかし、自動車の便利さを活用したいという意識は高い。

クラスター⑥：避難所到達困難タイプ

全体を通して、数値の高い項目が少ないが、徒歩で移動できる距離に避難所がないという項目が相対的に高くなっている。

クラスター⑦：強車依存タイプ

自動車の便利さを活用したい、自動車を守りたいという意識が高く、日常の移動に自動車を使う傾向が、他のタイプと比較しても顕著に高い。

クラスター⑧：単独避難・徒歩避難可能タイプ

他のタイプと比較して、大きな特徴があまり得られない。しかし、平均値が特に低い項目に着目

してみると、誰かと一緒に避難したいわけではなく、さらに、距離や体力等の問題で自動車を利用するわけでもない。

クラスター⑨：無反応タイプ

どの項目に対しても平均値が低く、主な特徴が得られない。また、なんとなく自動車を利用しているというわけでもない。

6.2 自動車利用意向動機タイプ特性

前節で類型化した各タイプに対して、表-3に示す個人・世帯属性別の指標とクロス集計、独立性の検定、残差分析を行うことで、各タイプの特性を把握する。なお、残差分析は独立性の検定で有意となった指標のみに行った。表-3には独立性の検定結果を示しており、検討指標のうち、年齢や職業、世帯における高齢者の有無、幼児の有無、世帯構成、居住年数の指標で有意な結果が得られた。それら指標を特性指標として採用し、さらなる詳細な分析（残差分析）を実施した結果を表-4に示す。

自動車利用意向動機タイプ別にその特性を見ていくと、「①家族志向・徒歩避難可能タイプ」では、世帯主に後期高齢者は少ないという傾向が見られたものの、あまり特徴はない。「②要援護者タイプ」は、核家族で、世帯主が30代以下と若く、さらに世帯に幼児がおり、居住年数が5年未満という傾向が見られた。よって、このタイプでの要援護者は、核家族の6歳未満の幼児を指す。「③家族志向・必要利用・車依存タイプ」は、三世帯同居世帯である傾向にあった。また、世帯に高齢者がいる傾向が見られた。世帯人数の多さや高齢者の存在が、自動車を使って家族全員で避難したいと

表-3 自動車利用意向動機特性分析の検討指標

指標	分類	カイ二乗値	P値	採用
性別	男、女	3.39	0.91	不可
年齢	30代以下、40代、50代、60～64歳、65～74歳、75歳以上	100.57	0.00	可
職業	職業従事者、無職	16.17	0.04	可
高齢者の有無	いる、いない	43.15	0.00	可
幼児の有無	いる、いない	122.75	0.00	可
世帯構成	3世代同居、核家族、夫婦のみ、単身世帯	87.10	0.00	可
居住形態	一戸建て、集合住宅	5.42	0.71	不可
居住年数	5年以内、6-10年、11-20年、21-30年、31-40年、41-50年、50年より長い	73.97	0.01	可

表-4 自動車利用意向動機タイプ特性

		年齢**	職業*	高齢者有無**	幼児の有無**	世帯構成**	居住年数**
①家族志向・徒歩避難可能タイプ (n=69)	有意						
	高低	75歳以上					
②要援護者タイプ (n=55)	有意				いる	核家族	5年以内
	高低	30代以下			いない	夫婦のみ	
③家族志向・必要利用・車依存タイプ (n=46)	有意			いる		三世帯同居	
	高低	50代		いない			
④家族志向・要援護者・車依存タイプ (n=137)	有意		職業従事者	いる	いる	三世帯同居 核家族	5年以内
	高低	30代以下	無職	いない	いない	夫婦のみ、単身世帯	11-20年、31-40年
⑤快適避難志向・徒歩避難可能タイプ (n=138)	有意						
	高低	50代					50年より長い
⑥避難所到達困難タイプ (n=86)	有意		無職	いる	いない	夫婦のみ	41-50年
	高低	75歳以上	職業従事者	いない	いる	核家族	5年以内
⑦強車依存タイプ (n=120)	有意			いない	いない		31-40年
	高低			いる	いる	三世帯同居	
⑧単独避難・徒歩避難可能タイプ (n=67)	有意			いない	いない	単身世帯	
	高低			いる	いる	三世帯同居	
⑨無反応タイプ (n=54)	有意				いない		
	高低				いる		

<独立性の検定> \*\*:1%有意 \* :5%有意 <残差分析> ■ :1%有意 □ :5%有意

いう動機に繋がっていると考えられる。「④家族志向・要援護者・車依存タイプ」では、世帯主の年齢が30代と若く、職業従事者である傾向が強い。世帯構成は三世同居や核家族で、「③家族志向・必要利用・車依存タイプ」と同様に、世帯人数が比較的多いことが、家族全員でまとまって自動車を利用して避難したいという動機に繋がっていると推察される。また、家族内に高齢者や幼児がいる。「⑤快適避難志向・徒歩避難可能タイプ」では、統計的に明確な傾向があまりみられなかった。つまり、「本当は徒歩で避難できるが、快適に避難したいから自動車を利用する」と考える人（本来自動車を利用すべきではない人）が、どのような層においても偏りなく存在することがわかった。なお、世帯主は50代が少なく、居住年数が50年より長い人は少ないという傾向は見られた。「⑥避難所到達困難タイプ」は、世帯主が後期高齢者で、無職である傾向が強い。また、夫婦のみ世帯であり、居住年数が長い傾向にもある。その地域に古くから居住する高齢夫婦世帯であると考えられ、体力的には問題はなく(3)、徒歩移動はできるが近くに避難所がなく自動車をやむをえず利用する層である。「⑦強車依存タイプ」では、世帯に高齢者も幼児もおらず、三世同居の世帯は少ないという傾向にあることから、比較的世帯人数が少ない可能性が高い。また、居住年数は30~40年が多く、長い傾向にある。「⑧単独避難・徒歩避難可能タイプ」は、単身世帯であるという傾向が、統計的にも明確に示された。「⑨無反応タイプ」は、統計的に明確な傾向があまりみられなかったためサンプルにばらつきがあると考えられるが、世帯に幼児はいないという傾向は見られた。

## 7. 各種政策の抑制可能性

本章では、前章で設定した自動車利用意向動機タイプを用いて、津波避難時の自動車利用抑制政策への反応に関する集計分析を行う。このことから、自動車利用意向動機タイプの違いが政策効果に及ぼす影響を評価する。なお、本研究は、津波避難時の過剰な自動車利用の抑制を念頭に置く一方で、身体的あるいは地理的な要因によっては、必要に応じて自動車利用も検討すべきという考えに基づいている。具体的な自動車利用の方策については、地域レベルや個人レベルでの細かな検討が求められると考えており、本研究は、そのための第1段階としての位置づけにある。

まず、表-5に示す7個の自動車利用抑制政策の各項目に対して、「徒歩避難する」を3点、「徒歩

避難する可能性が高い」を2点、「徒歩避難する可能性が低い」を1点、「徒歩避難しない」を0点のように得点化し、各自動車利用意向動機タイプの得点の平均値を政策受容度として算出した。全自動車利用意向動機タイプの政策受容度の平均値を、政策ごとに表-6に示す。また、クラスター間及びクラスター内での相対的な効果を把握するため、それぞれの受容度が同政策の全タイプ平均からどれだけ離れているか(タイプ間相対効果)と、同タイプの全政策平均からどれだけ離れているか(タイプ内相対効果)も合わせて算出している。以上の分析の主要な結果を政策毎に、図-10~図-12に示す。そのほかの政策受容度の図については、紙数の制約上、省略する。左軸が政策受容度を示し、数値が3.00に近いほど、政策によって自動車避難から徒歩避難へ転換する可能性が高いことを表し、棒グラフで表現している。右軸は相対効果を表わしており、0%が平均である、相対効果が正の方向に大きいほど、相対的に徒歩避難に転換する割合が高いことを意味しており、タイプ間相対効果を実線、タイプ内相対効果を点線の折れ線グラフで表わしている。主要な分析結果について、以下に述べる。なお、各種政策はそれぞれ独立したものとして徒歩避難の可能性を尋ねているため、本分析における政策効果は、複合的な効果を表したのではない点に留意する必要がある。

- ・ タイプ間で比較した場合、どの政策でも相対的に高い効果が得られたタイプは、自動車利用意向動機タイプ⑤⑧⑨であった。このことから、もともと徒歩避難可能であったりや規模の小さい世帯では、徒歩避難への高い転換可能性を有している。
- ・ その一方で、自動車利用意向動機タイプ①③④に関しては、どの政策においても政策受容度が低い。つまり、自動車を利用して家族全員で避難したいという動機が強い場合には、徒歩避難に転換しにくい傾向にある。
- ・ 図-10は津波避難タワー設置の政策効果を示しており、自動車利用意向動機タイプ②⑥では、タイプ間、タイプ内のいずれにおいても相対的に高い効果が得られた。これらタイプは、“自動車をやむをえず”利用する世帯であり、避難タワーの設置というハード面の整備によって徒歩避難への転換可能性が示された。一方、先に述べたように、“自動車をやむをえず”利用している世帯の中でも、世帯人数が比較的多く、家族でまとまって避難したい世帯(タイプ③④)では、タイプ間

表-5 政策項目

政策項目	政策項目の質問内容
政策Ⅰ：津波避難タワーの設置	自宅の近所に津波避難タワーが設けられるとしたら、津波避難時にあなたは徒歩で避難しますか。
政策Ⅱ：徒歩避難の呼びかけ	津波避難時、近所の人や町内会役員の人、または防災行政無線等により徒歩で避難するよう呼びかけられた場合、あなたは徒歩で避難しますか。
政策Ⅲ：「原則徒歩」の周知	東日本大震災を踏まえ、内閣府では2011年9月に津波避難方法を「原則徒歩」とし、やむを得ない場合を除いて徒歩での避難を呼び掛けています。そのことを事前を知っていたとしたら、あなたは津波避難時に徒歩で避難しますか。
政策Ⅳ：自動車の限定利用	行政が津波避難時に、車での避難が認められる人（高齢者、障害者、妊婦などの要援護者）やエリア（沿岸部など）を指定し、それ以外の人には徒歩で避難するよう指示されたとしたら、あなたは津波避難時に徒歩で避難しますか。
政策Ⅴ：要援護者支援体制の強化	地区ごとに防災組織を立ち上げ、災害時に援護が必要な人の名簿の作成や安否確認できるネットワークづくり、搬送体制づくり等を行い、自力での避難が困難な人も含め、近所の人達で助け合い避難できるとしたら、あなたは津波避難時に徒歩で避難しますか。
政策Ⅵ：地域での徒歩避難訓練	地区ごとの防災活動で、安全な場所までの徒歩による避難訓練を定期的に行うことで、徒歩での避難経路を確認し、徒歩での避難が地域で定着するとしたら、あなたは津波避難時に徒歩で避難しますか。
政策Ⅶ：危険性の周知	津波避難時の車の利用は、道路の破損や液化化、ガレキ、信号や踏切の機能停止などによりかえって危険にさらされる恐れがあり、また緊急車両の妨げや徒歩避難者などの安全性も脅かします。岡山市では最大で震度6強の地震によりこれらが起こることが予想されます。実際に東日本大震災では、渋滞や立ち往生した多くの車が津波に襲われ、被害が拡大しました。この事実を踏まえて、あなたは津波避難時に徒歩で避難しますか。

表-6 政策項目

政策受容度 平均値	政策Ⅰ	政策Ⅱ	政策Ⅲ	政策Ⅳ	政策Ⅴ	政策Ⅵ	政策Ⅶ
	2.28	2.27	2.09	2.17	2.25	2.33	2.21

で見た場合の政策効果は低いことが示された。ただし、タイプ内での政策間の相対効果を見ると、タイプ③では高い効果が見込まれることも示された。

- 図-11 は、要援護者支援体制の強化の効果を表している。要援護者や体力的な問題を抱えた者を含む自動車利用意向動機タイプ②③④に着目すると、タイプ内相対効果では、いずれのタイプにおいても高い効果が示された。一方で、タイプ間相対効果を見ると、要援護者が幼児を指す（場合が多い）タイプ②では相対的な効果が高いが、高齢者を指すタイプ③④では相対的な効果は低い。つまり、要援護者支援体制の強化による効果は、要援護者のタイプによって異なり、高齢者の場合には、要援護者支援体制を確立させたとしても、全体として見た場合、徒歩避難への高い転換効果が期待できるとは限らない。
- 図-12 に示す政策Ⅵは、徒歩での避難訓練の実施によって徒歩避難を促す政策であるが、表-6 より、受容度の平均値が7つの政策の中で最も高い。また、タイプ内での相対的な政策効果を見ても、ほぼ全てのタイプで高い効果が示され、安定した効果が見込まれる。

## 8. おわりに（結論）

本研究の分析結果に基づいて、岡山市沿岸部における津波避難の課題を整理する。

- 国の指針によって「原則徒歩」とされている

一方で、岡山市沿岸部においては平野部が広く、浸水想定区域外に避難する場合には3.0km以上の避難が必要となる建物が約9%にのぼっている。また、高齢者の場合には、3時間以上の避難が必要になるケースもある。このため、1) 巨大地震発生時には、速やかな避難が大前提になるとともに、2) 浸水想定区域内における津波避難ビルの選定を急ぐ必要がある。さらには、3) 徒歩での避難が非現実的な地域も存在しており、これら地域においては、自動車での避難の可能性も検討すべきである。

その一方で、巨大地震発生時には約5割の居住者が自動車での避難を想定しており、過剰な自動車利用が交通渋滞を引き起こす可能性も懸念される。また、自動車避難を選択する居住者は、日頃から自動車を習慣的に利用している層であり、自動車依存型の地域であるほど、自動車での避難の割合が高くなることが示唆される。無秩序な自動車利用ではなく、どうしても自動車利用を検討せねばならない地域では、地域単位での明確なルールづくりが必要となる。

過剰な自動車利用を抑制させるための政策に対しては、単身世帯や小家族は徒歩への転換可能性が高いが、ファミリー層や三世帯家族などは自動車を利用して家族全員でまわって避難したいという強い意向を持つ傾向にあり、それらの効果は低い。

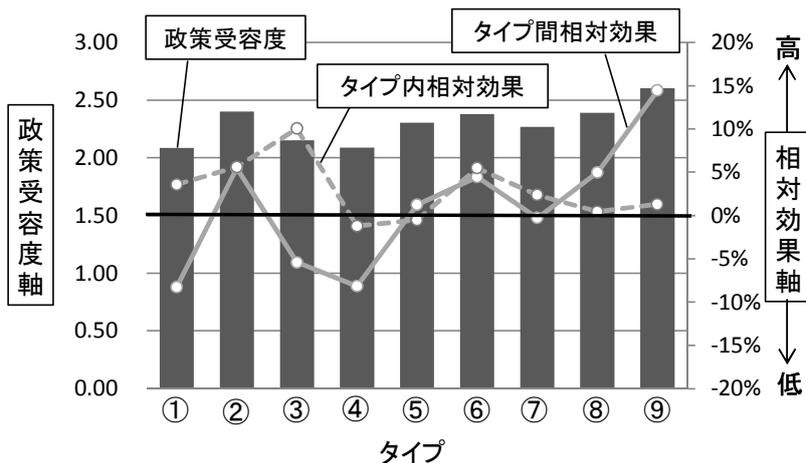


図-10 自動車利用意向動機タイプ別政策受容度（政策Ⅰ）

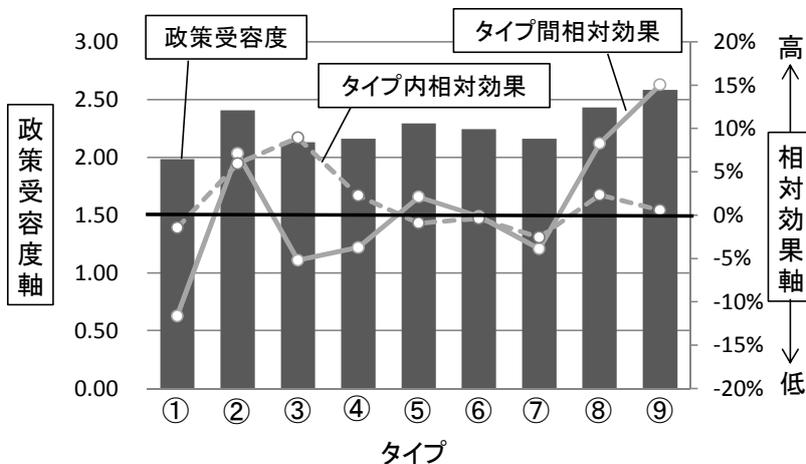


図-11 自動車利用意向動機タイプ別政策受容度（政策Ⅴ）

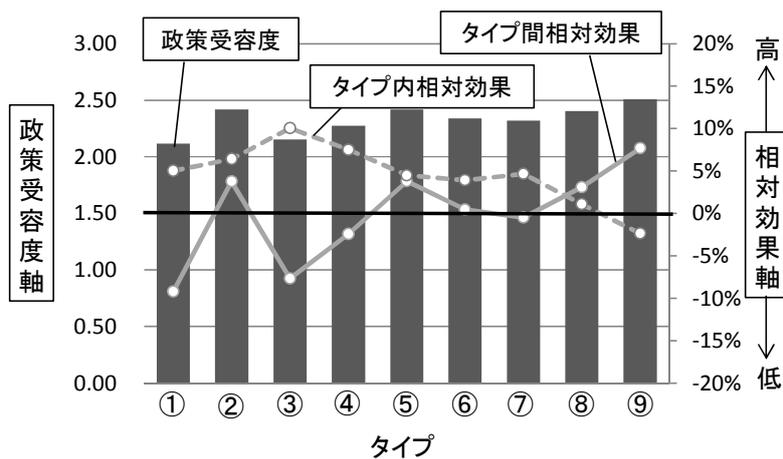


図-12 自動車利用意向動機タイプ別政策受容度（政策Ⅵ）

要援護者支援体制の強化による抑制効果は、要援護者のタイプにより異なる。要援護者が幼児の場合には徒歩への転換可能性は高いが、単独では移動困難な高齢者の場合には、地域住民が一体となって要援護者支援体制を整えたとしても、その可能性は高いとは

限らない。

以上のように、徒歩避難への転換可能性は、“世帯人数”や“要援護者”の状況によって異なるものの、東日本大震災以降、全国各地で積極的に実施されている徒歩での避難訓練は、どのタイプにおいても、偏りなくある

一定の転換効果が見込まれることも明らかとなった。

## 補注

(1) クラスタ分析による類型化の前段階として、主成分分析を試みたが、固有値が1以上の主成分の累積寄与率が6割も得られなかった。このため、データ情報量を保持するためクラスタ分析のみによる類型化を行った。

(2)実際には年齢的な体力の衰えが多少あると考えられるが、少なくとも本人は体力的な問題はあまりないと思っていると類推される。このような傾向は、わが研究グループの他のヒアリング調査でも見られた。

## 参考文献

- 1) 警視庁ホームページ「東日本大震災について」：<http://www.npa.go.jp/archive/keibi/biki/index.htm>, 2014.01.17 最終閲覧
- 2) 青森県三沢市：平成24年度津波避難計画, 2013.03.
- 3) 片田敏孝, 児玉真, 桑沢敬行, 越村俊一：住民の避難行動にみる津波防災の現状と課題—2003年宮城県沖の地震・気仙沼市民意識調査から—, 土木学会論文集, No.789/II-71, pp.93-104, 2005
- 4) 本間正勝, 森健二, 木戸伴雄, 斎藤威：大規模災害時の交通行動実態—阪神・淡路大震災を例として—, 土木計画学研究・論文集, No.14, 1997
- 5) 西畑剛, 森屋陽一, 安野浩一郎, 今村文彦：津波からの避難車両のモデル化と渋滞などの評価, 土木学会論文集 B2(海洋工学), Vol.68, No.2, I\_1316-I\_1320, 2011
- 6) 岡山市:防災マニュアル(詳細版),2013.08
- 7) 岡山市ホームページ「津波ハザードマップについて」：[http://www.city.okayama.jp/soumu/bousai/bousai\\_00180.html](http://www.city.okayama.jp/soumu/bousai/bousai_00180.html), 2014.01.17 最終閲覧
- 8) 内閣府：津波避難ビル等に係るガイドライン検討会「津波避難ビル等に係るガイドライン」, 2005.
- 9) 和歌山県：和歌山県津波避難計画策定指針, 2005.
- 10) 内閣府中央防災会議：南海トラフ巨大地震モデル検討会（第二次報告）, 2012.

## 防災行政無線放送の方向指示情報が避難行動に及ぼす影響

茨城大学 熊澤 貴之

### 1. はじめに

津波による人的被害は人々の避難行動によって大きく左右されるが、東日本大震災の場合も避難の遅れや不適切な移動により犠牲になった人が多く見られた。震災から1カ月後に宮城県内の被災者に対する調査では4割以上が津波警報を聞いていなかったこと<sup>1)</sup>、岩手、宮城、福島で地震から4カ月後に実施した面接調査では避難情報を入力しても約4割が直ちに避難せず、家族や知人の安否確認のため避難が遅れたこと、車を利用した避難が6割近く居たこと<sup>2)</sup>が報告されている。住民の避難率が低い原因は、津波の程度を認識できなかったこと、日常性から抜けられない正常性のバイアスによる楽観視、自分の所在地は海面から高い場所だから安全であるという思い込みなどがあると言われている<sup>3)</sup>。そもそも避難情報を受け入れるかどうかは、被災した際の人々の活動状況に大きく異なるが、避難情報を入力しても、人間は直ちに反応して避難を開始するとは限らない。安否確認のために避難が遅れた事例では、現場において家族や知人の安否確認と自らの避難行動がトレードオフの関係にあり、次に取るべき行動を意志決定するためにも空間状況に応じた避難情報が重要である。津波発生時における初期避難行動は避難情報を基に意思決定されるが、被災事後の報告書によると実際には大部分の地域で避難率が低いことから、避難者は適切な避難情報を入力できているとは言えない。

しかしながら東日本大震災による津波発生時、茨城県大洗町は防災行政無線放送（以下、放送と記す。）で「大至急、高台に避難せよ」等という命令調の文言と空間状況に応じて刻々と変化させた内容を用い、住民を避難させた。その結果、4mの津波に襲われながら、津波による死者を1名も出さなかった事が報告されている<sup>4)</sup>。これは放送内容が避難行動を強く促した事実である。

従来から津波避難研究では、個別の事例に基づく分析を行うことが重視され、被災した人々の行動をその人の属性やおかれた場所との関連で論じ

ることが多く、それらが避難行動の研究報告の多くを占めている（宮野<sup>5)</sup>）。また近年、シミュレーション手法を用いた研究に、群集の避難行動を俯瞰的に見て避難所要時間や滞留の偏りを分析するもの（渡辺<sup>6)</sup>）、視覚シミュレーション（VRやウォークスルー）により、人のアイレベルから実際の空間を再現し、その構成を変化させた場合の避難行動の傾向を求める研究（安福<sup>7)</sup>）、携帯端末などを念頭においたマルチメディア技術を利用した避難誘導システムの開発（掛井<sup>8)</sup>）がある。以上、既往の避難行動研究は被災現場の事後調査、実験室実験やシミュレーションという方法で実施されているが、本研究のように実際の沿岸地域という状況下で放送内容が初期避難行動に及ぼす影響を、個々人の行動分析で明らかにする研究はない。その上、これまで主に音声で伝えられてきた放送内容は今後、通信のデジタル化により、多様化することが予測される。よって本研究の意義も益々重要性を増す。

本研究と類似する、避難行動に影響を及ぼす情報伝達を研究したものに、佐古<sup>9)</sup>の火災時の避難誘導支援に関する研究がある。この研究は主にホテル利用者を念頭に緊急時に伝えるべき情報伝達タイプと場面に応じて伝達されるべき情報の整理を行っている。また大野<sup>10)</sup>は地下鉄駅の空間構成等を考慮した放送内容が避難行動に及ぼす影響を論じ、被験者に異なる放送内容を聞かせ、地下鉄駅においていかなる初期避難行動を行うのかを空間構成及びサインシステムから相違点を明らかにしている。これらの研究は津波避難行動や誘導情報を取り上げていないが、本研究を進める上で多大なヒントを得た。

しかし、初期避難行動を対象にしており、避難所までの行動を取り扱っていない。そこで本研究では、実験場所を避難所から半径1km以内の地域とし、避難方向伝達を考慮した放送内容に焦点を当て、個々人の避難行動における方向選択に着目し、津波発生時の沿岸地域における放送内容が避難行動に及ぼす影響を実験的に検討する。

放送内容は「避難方向指示を含まない情報」「避難方向指示を含まない、障害物の有無の情報」「避難方向指示を含む情報」「避難方向指示を含み、避難経路の決定のしやすさの情報」で構成された。

## 2. 実験方法

商店街通りを持つ岡山駅西側にある木造建造物密集地区の歩行実験を行う。付与された情報は異なるが、評価と注視先の抽出方法、歩行開始地点の商店街入口と目標地点の石井小学校は統一した。

津波避難行動と避難を促す放送との関係を求めるためには、沿岸地域における初期避難時の人間側の行動特性として、高台や高さのある建物や場所に向かう傾向、広い空間に向かう傾向、見通しのよい場所に向かう傾向、海から離れようとする傾向、避難場所を目指し、最も近い経路を避難しようとする傾向、避難場所への案内情報を確認しようとする傾向を考慮する必要がある。本研究では、人間側の行動特性として、特に、広い空間に向かう傾向と見通しのよい場所に向かう傾向に焦点を当てることとした。また、物理環境が避難行動に与える影響も大きく、物理的な空間構成、避難経路、案内サイン、眺望、避難場所との位置関係などがあげられる。しかし、これらのすべての要因の影響を一度に調べることは難しいため、本研究では、避難場所に至る経路の選択肢が多岐に渡るが、各街路の特徴が類似した雰囲気を持つ地区を対象とすることで、諸条件を統一した。これらの内容が比較的類似した地区において、そこで、本研究では、避難場所に至る経路の選択肢が多岐に渡るが、他の要因の影響は高くない状況とし、岡山市北区奉還町地区と実験場所として選定した。被験者に津波避難を想定させるためには、ヘッドフォンで、被災状況を促す音を聞かせ、臨場感を高めた。

実験内容と放送内容を表1に示す。実験は1～5で構成された。実験1では、実験者が被験者の日常生活における経路探索行動を把握する。避難行動という不安要素を含まず、被験者が実験2以降を行うにあたるまちの周囲環境や道路状況、建物の位置関係等を把握する役割を持つ。避難誘導を行わない状況において、目的地まで被験者が行動する様子を記録した。

実験2では、実験者は被験者に「避難方向指示を含まない情報」を与え、避難行動をさせた。つまり、放送内容は「避難方向指示を含まない情報」とし、この放送内容を聞いたのちに避難行動をするさまを抽出した。

実験3では、実験者は被験者に「避難方向指示を含まないが、障害物の有無の情報」を与え、避難行動させた。

実験4では、実験者は被験者に「避難方向指示を含む情報」を与え、避難行動させた。

実験5では「避難方向指示を含み、避難経路の決定のしやすさの情報」とし、それぞれの放送内容を聞いたのち、避難行動を抽出する実験を行った。つまり、実験者は被験者に「印刷物による経路表示に加え、避難方向指示を含む情報」を与え、避難行動させた。

実験1～5において、実験場所と実験方法は同様である。但し、被験者に視聴させる放送内容は異なる。実験の準備として、実験要因と実験変数の組合せに基づく具体的な視聴覚コンテンツを作成した。

全ての実験では、避難開始場所と避難する場所を共通とし、避難経路や避難にかかる時間は被験者が選択できる状況を設けた。そのまず、被験者はウェアラブルセンサを身につける。次に実験者に誘導されて実験地点に至り、被験者は携帯型視聴覚コンテンツ再生機とヘッドフォンで放送内容を視聴し、その後、自分で状況を判断して避難行動を行った。実験者は行動選択内容と行動選択行



図-1 実験の様子  
行動理由を抽出し、また、被験者が身に付けた

センサで位置、加速度、高度等を計測し、得られたデータを分析した。

実験者は被験者の眼球周辺にウェアラブルカメラを装着し、注視先を動画像で撮影することで被験者の注視箇所を抽出した(図1)。実験は計5種類実施し、実験2以降は被験者に地震が発生したサイレンと避難誘導する放送をヘッドフォンで聞かせ、避難行動を促した。具体的には通りを折れ曲がった地点及び感覚が変わった地点において、実験者は被験者に「歩きやすい—歩きにくい」「安全—危険」「見通しが良い—見通しが悪い」が刻まれた5段階の評価尺度から該当する箇所を言わせた。避難場所に到着後、実験1では「目的地の見つけやすさ」、実験2~5では「避難のしやすさ」が刻まれた5段階の評価尺度から該当する箇所を言わせた。

被験者は日常的に実験場所を利用することの少ない20代から60代の7名である。一つの実験に要した時間は6~8分程度である。一人の被験者が実験1~実験5までに要した時間は、合計で合計1時間30分程度である。実験中には休憩を挟みながら行った。実験を実施した時間帯は午前11時から17時の間で、街路照明が点灯する前の時間帯である。実験の実施は、2014年3月である。

各被験者が歩行した経路と各通りにおける印象評価とカメラの動画から得られた視点の変化、被験者の発言から分析する。



図-2 実験2における経路と交差点番号

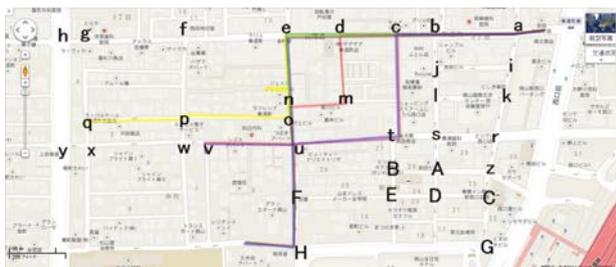


図-3 実験4における経路と交差点番号

表-1 実験1~5の内容

	実験内容	防災行政無線放送内容
実験1	実験者が被験者の日常生活における経路探索行動を把握する。避難行動という不安要素を含まず、被験者が実験2以降を行うにあたるまわりの周囲環境や道路状況、建物の位置関係等を把握する役割を持つ。	放送はなし。
実験2	実験者は被験者に「避難方向指示を含まない情報」を与え、避難行動をさせる。	只今、徳島県沖でマグニチュード7.9の地震が発生しました。今後岡山県でも津波の発生が予想されます。直ちに近くの避難所石井小学校まで避難せよ。
実験3	実験者は被験者に「避難方向指示を含まないが、障害物の有無の情報」を与え、避難行動させる。	只今、徳島県沖でマグニチュード7.9の地震が発生しました。今後岡山県でも津波の発生が予想されます。直ちに近くの避難所石井小学校まで避難せよ。なお、地震の影響でショッピングセンターでは家屋が崩壊し道を塞いでいる。そこを避けて避難せよ。
実験4	実験者は被験者に「避難方向指示を含む情報」を与え、避難行動させる。	只今、徳島県沖でマグニチュード7.9の地震が発生しました。今後岡山県でも津波の発生が予想されます。直ちに近くの避難所石井小学校まで避難せよ。なお、ここから3番目の通りを左折して避難せよ。
実験5	実験者は被験者に「印刷物による経路表示に加え、避難方向指示を含む情報」を与え、避難行動させる。	只今、徳島県沖でマグニチュード7.9の地震が発生しました。今後岡山県でも津波の発生が予想されます。直ちに近くの避難所石井小学校まで避難せよ。なお、広い交差点まで出た後、避難せよ。

### 3. 実験結果及び考察

実験 1～5 の被験者別の結果を図に示す。横軸には避難開始場所から避難場所に至った時間、アルファベットは交差点の位置、縦軸における棒グラフは、視野移動の大きさ（首振り角度）、折れ線グラフは、歩きやすさ評価、安全評価、見通しの良さを表す 5 段階評定の値、右端の棒グラフは避難行動の総合評価を表している。

実験 1 の結果を、図 4～10 に、実験 2 の結果を図 11～17 に示す。この実験群は同じ目的に向けて歩行するが、避難のための行動かどうかが異なる。被験者別に比較すると、視野移動をする頻度が異なることがわかる。これは避難行動の方が周辺状況を把握しようとする傾向が高いことがわかる。安全性や見通しの良さの評価の変動が避難行動の場合の方が大きいことから、避難行動は周辺状況を把握しようとする傾向が高いことがわかる。図 2 に実験 2 における経路と交差点番号を示す。図 3 に実験 4 における経路と交差点番号を示す。これらの図を比較すると、方向指示を含まないことで経路選択にバラツキが見られる。また、印象評価尺度が低い通りを選択した場合を除き、ほとんどの被験者は自動車が走行する広い交差点に差し掛かったときに、大きな視野移動が見られ、視点を変化させていることが確認できる。

次に、実験 3 の結果を図 18～24 に示す。実験 2 の結果と実験 3 の結果を比較すると、障害物があるかどうかの情報を与えた場合、視野移動が少ないことがわかる。これは障害物があるということ予測しているため、一定の視野を保ち、視野移動を少なくしていることがわかる。

実験 4 の結果を図 25～31 に示す。図 3 に、実験 4 における経路と交差点番号を示す。この図を見ると、歩行経路が限定されていることから、方向指示を含むことである程度、歩行経路を限定することにつながる事がわかる。具体的には、被験者 7 名中 3 名が指示通りの歩行を行った結果、目的地までが同じ経路となった。また、通りの印象の良し悪しに関わらず、指示された通りを目標に歩行している。そのため、実験 2 と比較して頻繁に視点が変わっていることが明らかとなった。それは、避難行動をする以外に「3 番目の通りを左折」する指示が加えられ、通りの存在を確認する行為をしたためだと考察できる。また、実験時間が長くなったことから、歩行中の探索時間が加味されたと考えられる。これは、方向指示を含めることで、通りの存在を確認する行為が発生し、小さな視野移動が頻繁に見られ、視点を変化させ

ていることが確認できた。また、方向指示を含まない場合と比較して実験時間は長くなったが、慎重な経路選択につながった。さらに、歩行経路の選択肢が限定され、避難時に経路を選択する迷いを軽減する効果が検証された。

実験 5 の結果を図 32～38 に示す。印刷物による経路表示情報を付与した場合、景色を見る視野移動は少ないことがわかる。印刷物による避難経路の情報付与は視野を固定し、空間情報を収集する水準が下がることが推察される。

このように避難誘導情報に具体的な方向指示を加えるかどうか、また具体的な方向指示をどのように行うかによって、避難行動が異なることが明らかになった。

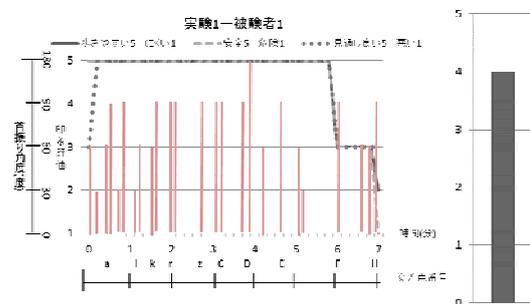


図-4 実験 1-1 結果

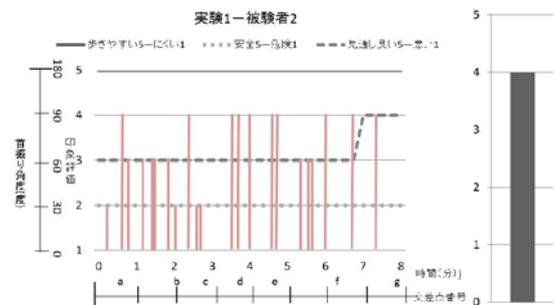


図-5 実験 1-2 結果

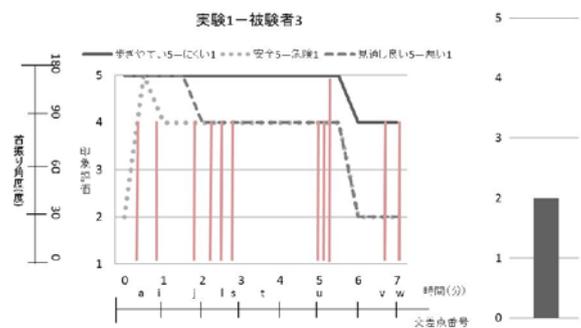


図-6 実験 1-3 結果

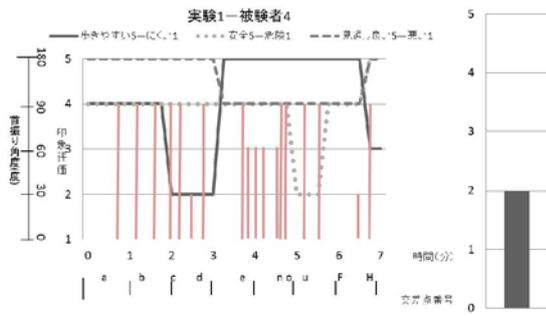


図-7 実験 1-4 結果

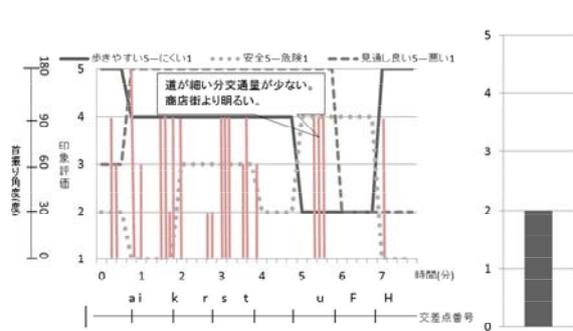


図-12 実験 2-2 結果

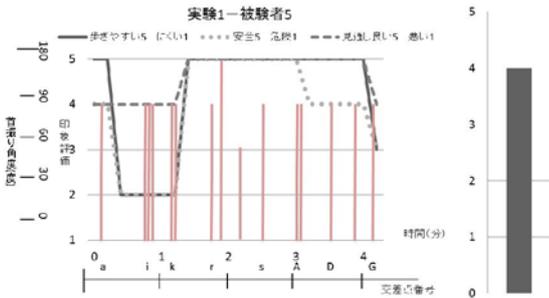


図-8 実験 1-5 結果

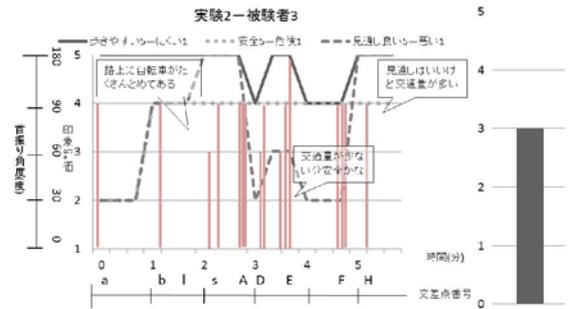


図-13 実験 2-3 結果

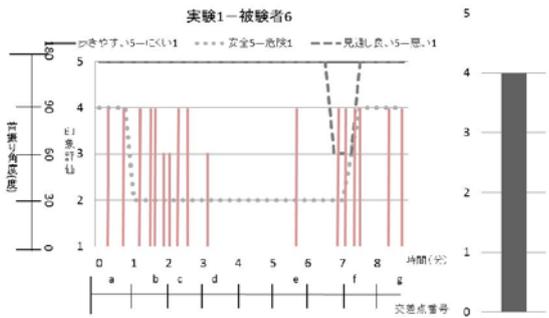


図-9 実験 1-6 結果

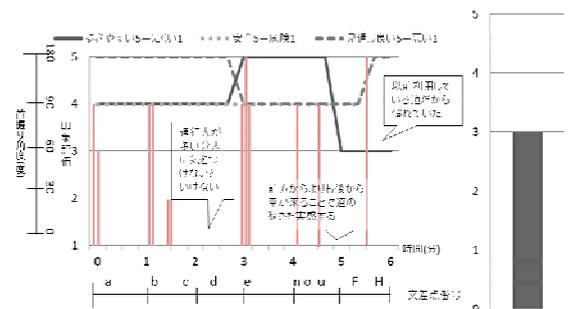


図-14 実験 2-4 結果

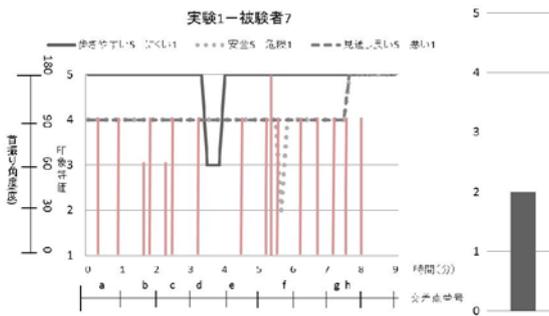


図-10 実験 1-7 結果

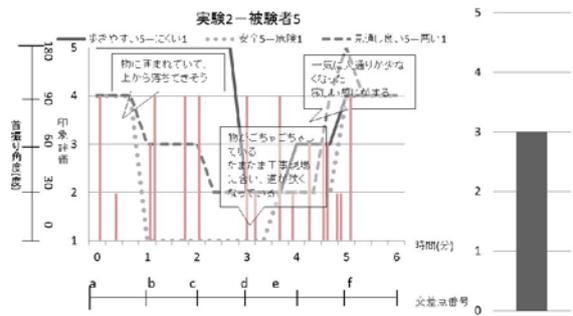


図-15 実験 2-5 結果

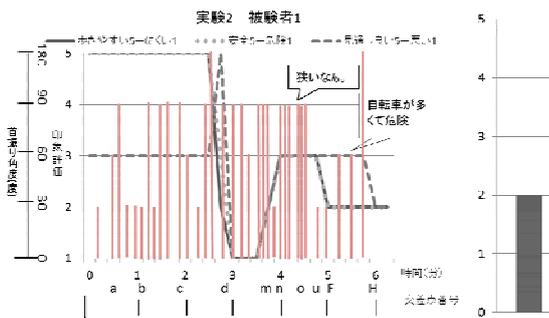


図-11 実験 2-1 結果

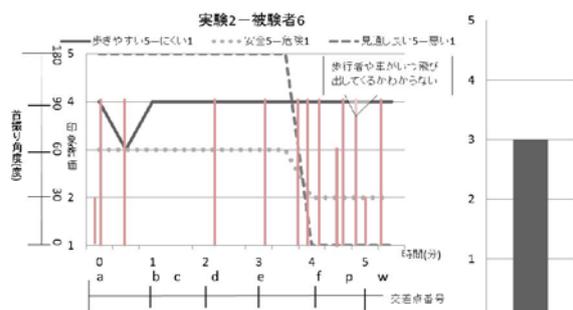


図-16 実験 2-6 結果

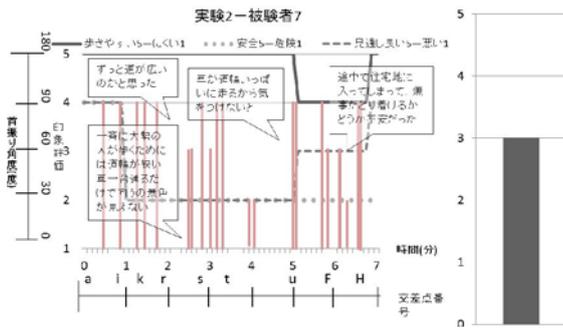


図-17 実験 2-7 結果

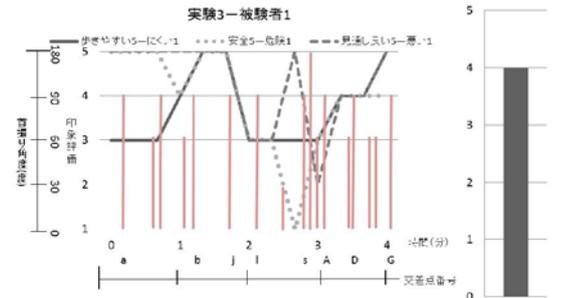


図-18 実験 3-1 結果

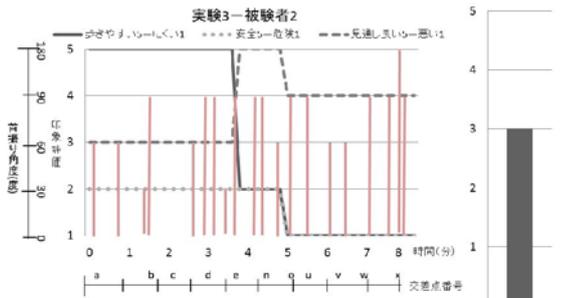


図-19 実験 3-2 結果

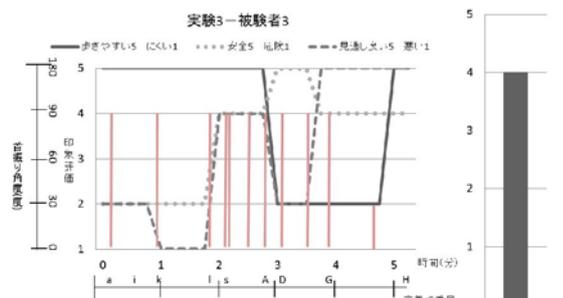


図-20 実験 3-3 結果

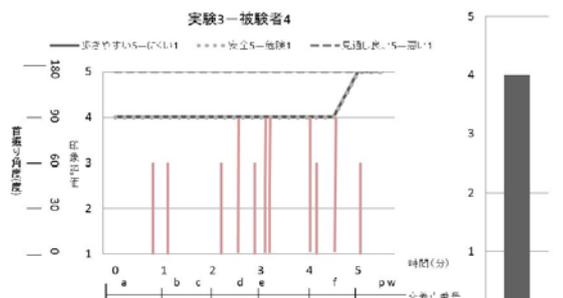


図-21 実験 3-4 結果

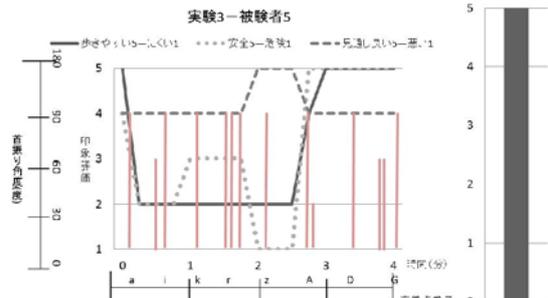


図-22 実験 3-5 結果

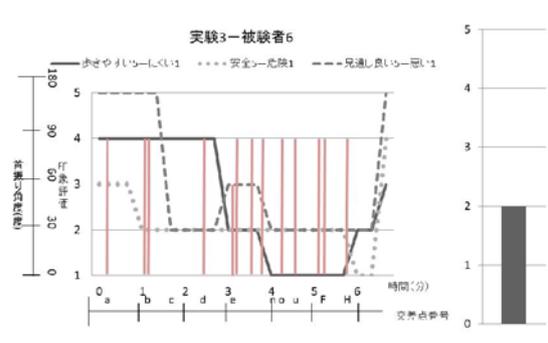


図-23 実験 3-6 結果

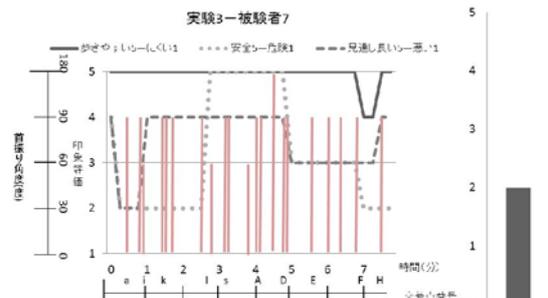


図-24 実験 3-7 結果

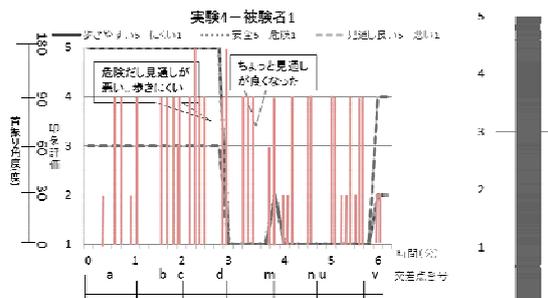


図-25 実験 4-1 結果

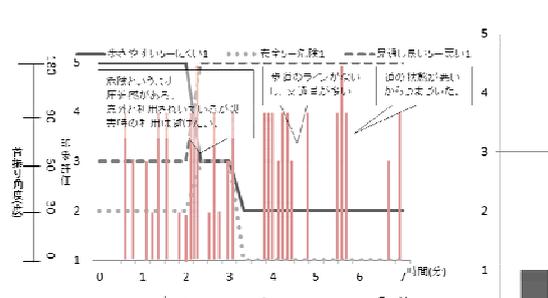


図-26 実験 4-2 結果

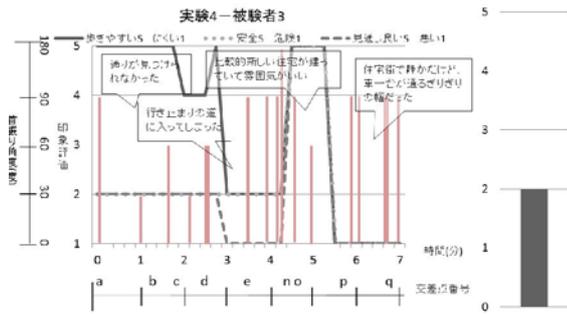


図-27 実験 4-3 結果

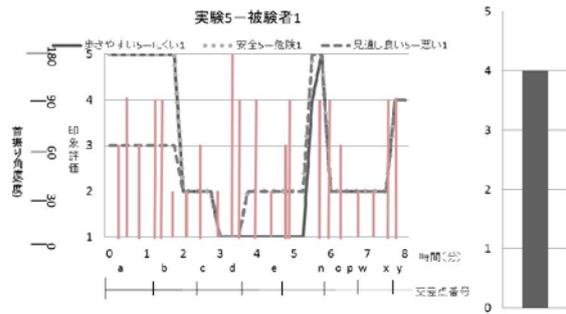


図-32 実験 5-1 結果

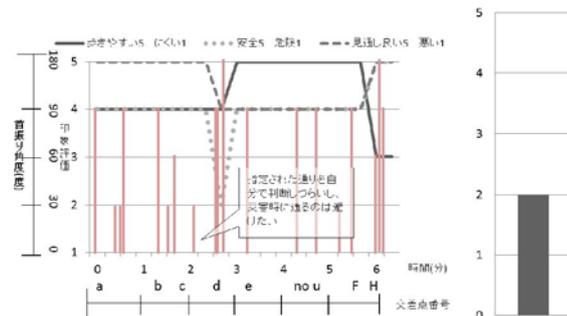


図-28 実験 4-4 結果

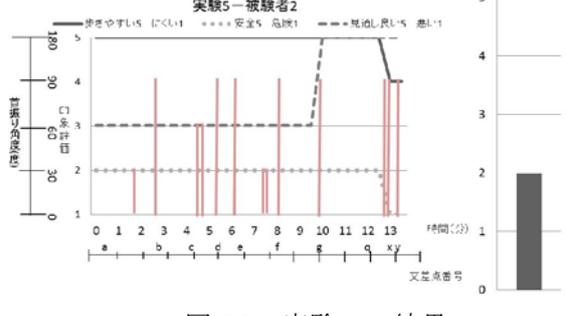


図-33 実験 5-2 結果

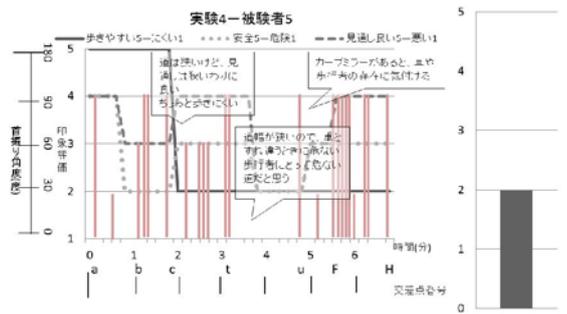


図-29 実験 4-5 結果

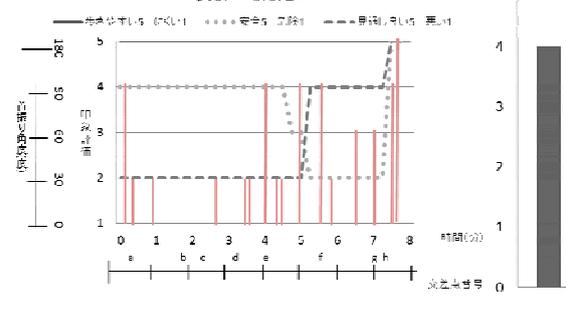


図-34 実験 5-3 結果

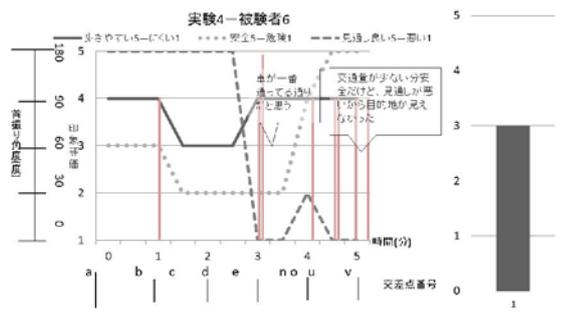


図-30 実験 4-6 結果

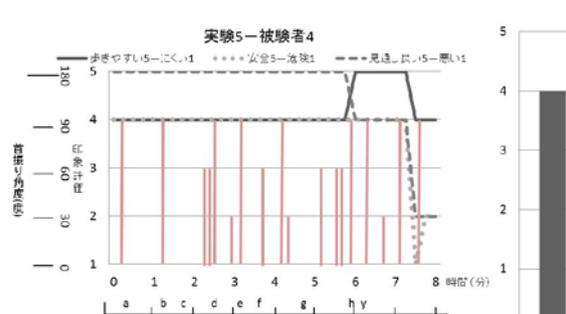


図-35 実験 5-4 結果

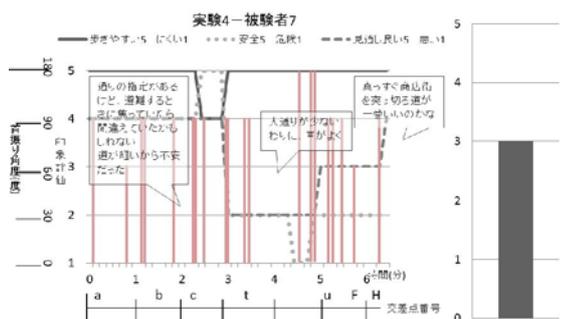


図-31 実験 4-7 結果

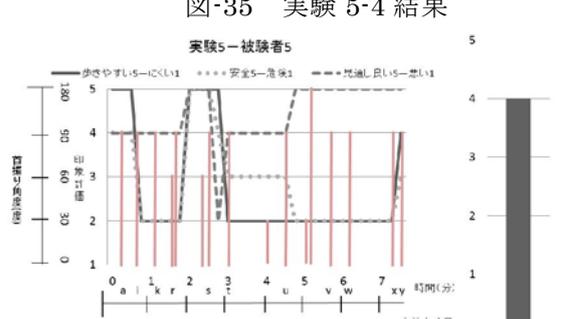


図-36 実験 5-5 結果

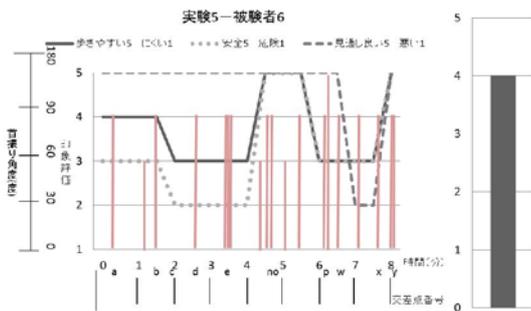


図-37 実験 5-6 結果

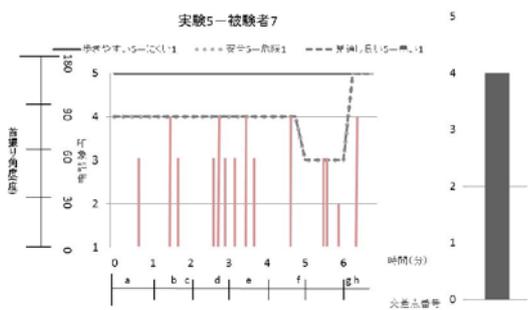


図-38 実験 5-7 結果

#### 4. まとめ

避難所周辺地区における避難行動実験により、以下の三点が把握された。

- ・方向指示を含まない場合、歩行経路は一定でなく、交差点に差し掛かり経路を選択する時、大きな視野移動が見られ、視点を変化させていることが確認された。

- ・方向指示を含む場合、歩行経路の限定につながるが、指定された方向指示を探す行為が発生する。つまり、通りの存在を確認する行為が付加され、避難方向に指示を含まない場合と比較して、小さな視野移動が頻繁に見られ、視点を変化させていることが確認された。

- ・方向指示情報を伝達する方法によって避難行動が異なることが確認された。

このように、防災行政無線放送の方向指示情報に具体的な方向指示を含めることで、通りの存在を確認する行為が発生し、方向指示を含まない場合と比較して多少実験時間は長くなったが、慎重な経路選択につながった。さらに、歩行経路の選択肢が限定され、避難時に経路を選択する迷いを軽減したことも考えられた。具体的な方向指示情報を伝達する方法によって避難行動も異なる。

以上の知見から、防災行政無線の放送内容に、地域の特徴に応じた方向指示情報を入れるなど、避難方向指示情報を入れた効果的な情報伝達方法を検討するべきである。

#### 謝辞

本研究における実験は、岡山県立大学大学院デザイン学研究科修士課程の横山裕子氏をはじめ、被験者として協力していただいた方々によるところが大きい。ここに記し、感謝する。

#### 参考文献

- 1)サーベイリサーチセンター：自主研究「宮城県沿岸部における被災地アンケート調査報告書」、2011.5
- 2)内閣府など：平成23年東日本大震災における避難行動等に関する面接調査（住民）分析結果、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 資料1、2011.8
- 3)片田敏孝ら：住民の避難行動にみる津波防災の現状と課題-2003年宮城県沖の地震・気仙沼市民意識調査から-、土木学会論文集、No.789、pp.93-104、2005.5
- 4)井上裕之：大洗町はなぜ「避難せよ」と呼びかけたのか～東日本大震災で防災行政無線放送に使われた呼びかけ表現の事例報告～、放送研究と調査、pp.32-53、2011.9
- 5)宮野道雄ら：1946年南海地震の被害追跡調査-津波被災地の人的被害と人間行動、総合都市研究、35、pp.75-86、1988.12
- 6)渡辺公次郎ら：津波防災まちづくり計画支援のための津波避難シミュレーションモデルの開発、日本建築学会計画系論文集、No.637、pp.627-634、2000.3
- 7)安福健祐ら：高精細没入型避難シミュレータの開発と避難経路選択に関する分析、日本建築学会計画系論文集、No.640、pp.1265-1272、2009.6
- 8)掛井秀一ら：避難行動に事前学習・誘導学習が与える影響に関する心理学的考察 マルチメディア技術を利用した避難誘導システムの開発 その1、日本建築学会計画系論文集、No.535、pp.139-146、2000.9
- 9)佐古順彦ら：火災時の避難のための情報伝達不特定多数利用施設における避難誘導支援システムの構築 その1、日本建築学会大会学術講演梗概集、A、pp.1343-1344、1993.9
- 10)大野隆造ら：地下鉄駅の空間構成等を考慮した放送内容が初期避難行動に及ぼす影響、日本建築学会計画系論文集、第74巻、No.635、pp.59-146、2009.1

## 情報通信における防災・減災に関する調査研究

岡山県立大学情報工学部 山北 次郎<sup>Y</sup>  
岡山県立大学情報工学部 稲井 寛  
岡山大学大学院自然科学研究科 横平 徳美  
NPO 地域 ICT 普及協議会 新免 國夫

<sup>Y</sup> 現在 岡山県立大学名誉教授

### 1 はじめに

電気・水道などの社会インフラに比べ、情報通信ネットワークは自然災害に対して比較的堅牢なインフラであると考えられていた。特にパケット通信を基本とする自立分散型の通信ネットワークは大災害時においても十分にその能力を発揮すると通信に携わる技術者は考えていた。しかし、東日本大震災<sup>1)2)</sup>では、基地局の倒壊、通信機器の水没、電源の喪失、電柱の倒壊による伝送路の損傷などによって通信サービスの提供が不可能となり、災害対策や災害復旧に支障を来した。また、震災直後から安否確認、震災情報収集など音声通話が殺到し、回線容量の逼迫によって、最大70~95%の音声通話の発信規制が通信事業者において実施された。

自治体においては、庁舎の倒壊、情報通信ネットワークの寸断や通信機器の損壊、住民情報データの消失等により行政事務の継続が困難となった自治体も出現した。また、福島県や岩手県では、被災関連情報を求めるアクセスの集中によりホームページが閲覧できない事態が発生した。情報通信ネットワークが一旦機能障害を起こせば、個人生活への障害だけでなく行政機関や民間企業の業務継続が不可能になるような状況に直面し、情報通信関連インフラの地震・震災に対する施策を根本的に見直し考え直す機会の必要性を認識した。

岡山県においても、東日本大震災を教訓に、防災・減災に関係する地域情報通信ネットワークを再点検し、個々の問題ごとに詳しく調査・検討する必要性を認識し、直ちに実行すべき災害対策、中長期的に移行・改善すべき対策などについて検討する委員会<sup>\*1</sup>を設置し、岡山県の情報通信インフラの信頼性強化について検討した。岡山県は自治体として最初に通信業者に認定された実績を有し、県が運営する岡山情報ハイウェイに、

県内市町村の行政ネットワークが接続・依存し、更に民間通信事業者の通信ネットワークとの相互接続、各種接続団体の独自接続など広範囲に渾然一体となって利用されている。このため岡山情報ハイウェイの責務は重く、さらなる運用の効率化と同時に、災害時における信頼性強化、障害復旧の迅速化および災害対策の優先度等についての継続的な検討と技術開発が必要である。

東海、東南海、南海地震の震源域とされる南海トラフの巨大地震について、国から津波高・浸水域等の被害想定が公表され、岡山県においても、これに相応した経済的被害を含めた地域防災計画の見直しと全体像について検討<sup>3)</sup>されている。この中で、東日本大震災の経験から情報通信インフラがライフラインであることが再認識され、県民生活の利便性向上のための一層の利活用と災害に対する信頼性強化策が求められている。

本調査研究報告では、東日本大震災における情報通信インフラの被災状況を概説し、この被災状況を踏まえて、岡山県における情報通信インフラの現状とその信頼性および岡山情報ハイウェイの特徴とその信頼性強化策について述べる。また、情報通信インフラの災害対策における優先順位について考察し、岡山情報ハイウェイや大学のSINETをバックホール回線とする公衆無線LANスポットの推進、防災インフラの状態監視システムへのパッシブセンサネットワークの利用等について提案している。

### 2 東日本大震災における情報通信インフラ

平成23年3月11日の東日本大震災は、防災白書H24年度版<sup>2)</sup>等によれば、マグニチュード9.0、最大震度7、死者・行方不明者2万人以上、全壊・半壊家屋37万戸以上、避難者数約47万人、停電影響数延べ約891万戸に及ぶ史上空前の災害であり、情報通信インフラにも想定し得なかった被災を及ぼした。東日本大震災によるICT分野の被害も甚大であり、自治体においては、庁舎の倒壊、情報通信ネットワークの寸断、機器

<sup>\*1</sup> 本報告は、岡山県の委員会「新たなIT戦略プログラム策定に関する有識者会議」および「岡山情報ハイウェイ活用ワーキンググループ」において検討した防災・減災に関する議論内容に、その後の調査研究結果を追加したものである。

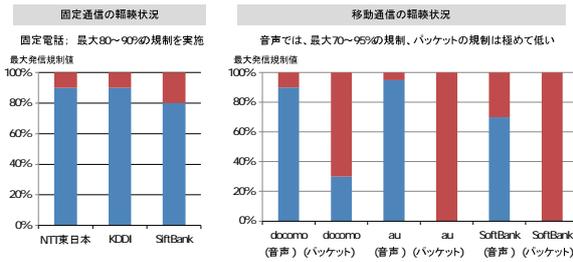


図1 固定及び移動通信の輻輳規制

の損壊、住民情報データの消失による行政事務の継続困難、災害関連情報を求めるアクセス集中による輻輳、閲覧不可能等による被害を被った。

## 2.1 情報通信インフラの被災状況

通信インフラ関連の被災状況はNTT東日本によれば

- 機能停止 NTT ビル 385(全壊 16、浸水 12)
- 罹障回線数 約 150 万回線 (中継伝送路約 90 ルート)
- サービス回復までに要した機関 約 50 日
- 電柱倒壊 約 28,000 本、架空ケーブル 約 2,700Km
- 携帯電話 (PHP) の基地局機能停止 約 29,000 局

であり、通信インフラは自然災害に対して比較的堅牢なシステムと考えていた関係者にとっては根底が覆される程ショッキングな被害状況であった。取り分け、サービス回復に 50 日以上時間を要したことに、従来の防災・減災対策に欠陥と大きな反省を残した。

## 2.2 震災による通信規制

民間通信事業者においては、基地局の全壊、浸水、電柱の倒壊、電源の遮断等により

- 固定および携帯電話の音声通話で発信規制実施
- 罹障回線数 約 150 万回線 (中継伝送路約 90 ルート)
- パケットの規制は音声に比べ低い割合となって、通常のサービスが著しく低下した。また、安

否確認や情報収集のための音声通話が殺到し、通常の 50~60 倍となって回線容量が逼迫した。図 1 に示すように、携帯電話事業者は最大 70 から 95 % の音声通話の発信規制<sup>4)</sup>を実施し、災害対策や災害復旧の大きな支障となった。パケット通信である電子メールは災害時においても比較的良好で問題なく使用できた。

## 2.3 地域 ICT および行政ネットワークの被災

### 2.3.1 東北 3 県の ICT 部門の被害状況

東北 3 県 (岩手県、宮城県、福島県) の被害状況<sup>5)</sup> は表 1 のとおりである。岩手県と宮城県は、県が運用するいわて情報ハイウェイ、みやぎハイパーウェブを有していたが、NTT 東日本の回線サービスによる全県ネットワークであるため、その復旧作業は NTT の対応待ちとなり、約 1 ヶ月半後に復旧した。各県のセンター設備は基本的には業務システム機器を含めて被害なしであった。県が管理運用する HP 防災サイトはアクセス集中し閲覧不可な状態であった。特に福島県は原発事故の影響を受け、県民サービスである"環境放射線の公表"には、数ヶ月分に相当するアクセスが 1 日に集中したと報告されている。県のインターネット回線帯域の臨時的な拡張や、民間事業者によるキャッシュサーバ、ミラーサーバの設置、IT ベンダーによるミラーサイトの立ち上げ等によって対応した。

### 2.3.2 自治体の ICT 被害・復旧状況の例

代表的な自治体の ICT 関連被害状況<sup>6)</sup> は以下のようであるが、自治体において最も重要な住民情報データの喪失にまで及んでいる。

- 宮古市；1 階は水没したがサーバ室は被災を免れた。地域イントラネットは支障なかったが停電で使用不可。非常用発電機のある事務所にサーバー移設。固定電話はビジネスイサ上の IP 電話であり不通。FOMA 網

表 1 東北 3 県の ICT 部門の被害状況と緊急対策

県名	地震・津波による情報通信関連部門の被害状況	備考
岩手県	<ul style="list-style-type: none"> <li>沿岸地区の通信施設浸水、機器の流出。4 合同庁舎と 53 カ所の公所が通信不能</li> <li>県全体で約 4 割の回線が不通。復旧は NTT が対応 (1 ヶ月半後に復旧)</li> <li>行政通信ネットワーク、いわて情報ハイウェイの VLAN 上で稼働する全庁通信網が回線切断により 76 の公所で利用不可</li> <li>センター設備、業務システム機器は被害なし。自家発電にて運用 (30/60 システムが計画停止)</li> <li>県民サービス：県 HP 防災サイトはアクセス集中し閲覧不可</li> <li>県のインターネット回線帯域を 2 倍に拡張。IT ベンダーによるミラーサイトの立ち上げ</li> </ul>	いわて情報ハイウェイ NTT 東日本の回線 サービスによる全県 ネットワーク
宮城県	<ul style="list-style-type: none"> <li>みやぎハイパーウェブを利用した IGWAN が県を含む 28 団体に接続不能</li> <li>3 合同庁舎、8 単独事務所、2 県立学校、2 町が被災しサーバー水没により利用不能</li> <li>センター設備；県庁やデータセンターの業務サーバに大きな被害なし                県庁は自家発電にて運用 (3 日後に復電)</li> </ul>	みやぎハイパーウェブ 通信事業者が提供する 高速インターネット網 を利用
福島県	<ul style="list-style-type: none"> <li>庁舎が地震により立ち入り禁止、執務室を移動し県庁と無線 LAN によるネットワーク構築</li> <li>県庁重要システムは庁舎停電により防災用電源で運用 (10 日後に復旧)</li> <li>センター設備は基本的に被害なし、データセンターの業務サーバも障害なし</li> <li>主回線にも障害なし、グループウェアやインターネットに支障なし</li> <li>県民サービス；データセンターの HP に環境放射線データを公表、数ヶ月分相当するアクセスが 1 日に集中、民間事業者によるキャッシュサーバ、ミラーサーバの設置</li> </ul>	震災・津波に加え 原発事故に関係する 部分あり

の VLAN サービスにより通信回線を確保。

- 釜石市；地階の庁内ネットワーク機器が水没。上層階のサーバ室は浸水なし。非常用発電装置は未設置。衛星携帯電話を使用。

- 南三陸町；庁舎倒壊流出。防災対策庁舎は鉄骨のみ残存。地震の揺れでサーバーラックが転倒。住民情報のバックアップテープも流出。内部情報系は全てデータ滅失。仮庁舎に NTT が通信設備を設置してインターネットを復旧。

- 大槌町；庁舎 2 階天井付近まで水没。2 階サーバー室も水没。中央公民館に移転し衛星携帯電話が通信手段。非常用発電機で給電。1 週間後からは電源車により給電。インターネットは衛星通信回線と USB スティック型データ通信端末を利用。サーバは業者が回収し復旧。戸籍は法務局の副本により再製。

- 陸前高田市；4 階部分まで水没。サーバ室からハードディスクを回収。バックアップテープはロッカーにあり流失せず回収。移転先では通信衛星によるインターネット接続装置を設置。電話は衛星携帯電話を使用。無線 LAN による仮ネットワークを構築。

## 2.4 民間通信事業者等による復旧・支援

### 2.4.1 通信インフラ復旧に係る取り組み

固定および携帯電話事業者による臨時的な復旧対策の主たる取り組みは

【固定通信各社】移動基地局車の配備、衛星利用の臨時基地局の設置。

【携帯各社】移動電源車の配備。衛星通信回線の提供。復旧エリアマップの公開や復旧情報の提供。

【移動無線センター】MCA 無線エリア外の地域に臨時の中継局を設置。

等であると報告<sup>1)</sup>されているが、東日本大震災のような災害に対して、絶対的な数量不足を呈していた。

### 2.4.2 被災者の通信手段確保に係る取り組み

被災者に対する臨時的な情報通信サービスは

- 各種通信機器の無償提供

公衆電話の無料化。特設公衆電話の設置。携帯電話端末および充電器の無償貸与。衛星携帯電話の無償貸与。MCA 無線機の無償貸与。避難所等におけるインターネット接続環境の無償提供。公衆無線 LAN エリアの無料開放。

- 情報収集（安否確認、災害情報）の支援

災害用伝言ダイヤル。災害用 Web 伝言板の提供。安否情報を登録・検索できるサイトの開放。震災関連情報をまとめた特集サイトの設置。東北 6 県の FM 局等を放送エリアに関係なく PC やスマートフォンから無料で聴取できるサイトの開設。

- 情報発信のための支援

アクセスの集中した公共機関等の Web サイトのミラーサイトの提供 (IBM、Google、Microsoft、Yahoo)。被災地域の自治体や NPO 等に対するクラウドサービスの無償提供 (IBM、NEC-biglobe、Google、Microsoft)。

のような通信手段確保に関する取り組みが実行された。

## 2.5 大震災の教訓を踏まえての共通認識

東日本大震災のような大震災の教訓として、情報通信インフラに関する最低限の共通認識として

- 音声通信（固定および携帯電話）は発信規制され、大災害時には、使用不能の確率が大。

- 携帯電話のデータ通信（パケット通信）については発信規制が低く、電子メールやソーシャルメディア等を活用。ただし、通信施設・設備（携帯電話の基地局）が被災しなかった場合。

- スマートフォンや PC による Internet は災害時においても比較的有効。電源確保の問題があるが、Internet は自律分散型のネットワークであり全てが同時に被災し動作不能になる確率は小さい。

のような事柄を、一般住民に広く認識される効果を、結果論として、東日本大震災は与えた。

## 3 岡山県における情報通信インフラ

岡山県の情報通信基盤は、民間通信事業者が提供する通信ネットワークだけでなく、県が直接運用管理する岡山情報ハイウェイが存在する。県内市町村を含む岡山県の行政ネットワークは、この岡山情報ハイウェイに接続・依存すると同時に、民間通信事業者をはじめ、多数の接続団体によって相互接続され、渾然一体となって運用されている点に特色がある。岡山情報ハイウェイは高速大容量の基幹回線であるだけでなく一般にも無料開放しており、インターネット接続サービスを展開している ISP を利用する一般世帯や県内企業のインターネット接続コストの低減化に寄与している。

岡山情報ハイウェイの存在は、災害に対して情報通信網の多ルート化という面で、他県に比べ優位性を持つと考えられるが、災害復旧や災害対策という面では責任体制が曖昧となりかねない。岡山県は、自治体として認定された通信事業者の第 1 号である。情報通信インフラの安心・安全、大災害に対する対策という面において、岡山県は大きな責務を受け持つことになる。情報通信インフラの防災対策や信頼性についての議論・検討に際しては、岡山情報ハイウェイに関する理解とその全容を把握する必要がある。



図2 岡山情報ハイウェイと市町村接続回線

### 3.1 岡山情報ハイウェイ

岡山情報ハイウェイは、図2に示すような県内全域を8字型に結んだ高速大容量の光ファイバ基幹回線網（Ether網は1~10Gbps、総延長約509km）である。この岡山情報ハイウェイに県内の市町村は独自接続または民間通信事業者ネットワークを介して接続し、全県的な市町村行政ネットワークを構成している。さらに、岡山情報ハイウェイは一般に無料開放されており、その利用団体は表2に示すように非常に広範囲に及んでいる。岡山情報ハイウェイの取り組みは、全国に先駆けたものであったので、他県はもとより、民間通信事業者、さらには国のIT施策にまで大きな影響を与え、岡山県の貴重なインフラ財産となっている。

### 3.2 ネットワーク管理センタと接続拠点

岡山情報ハイウェイには、ネットワーク管理センタ（NOC, Network Operation Center）と13の接続拠点

表2 岡山情報ハイウェイの利用団体

岡山情報ハイウェイの接続利用団体		
区分	団体数	備考
ISP事業者	13	1次ISP事業者5、地域ISP事業者8
通信事業者	5	NTT西日本など
ケーブルテレビ事業者	10	県内ケーブルテレビ事業者
放送機関	5	NHK、地元民放局
行政機関	30	県内市町村および鳥取県内
教育機関	8	大学、高专
医療機関	4	県内医療機関
研究機関	3	
産業機関	60	
合計	141	

岡山情報ハイウェイが接続している県有施設		
種別	施設数	
本庁・出先事務所	115	
高校	55	
特別支援学校	13	
福祉施設	2	
図書館	1	
社会教育施設	5	
体育施設	1	
その他	3	
合計	195	

岡山情報ハイウェイを經由した市町村公共ネットワーク接続施設		
種別	施設数	
本支所	154	
幼保	445	
小学校	394	
中学校	155	
高校(市立)	12	
特別支援学校	1	
病院	37	
福祉施設	88	
公民館	193	
図書館	56	
社会教育施設	68	
体育施設	48	
商工会	6	
その他	434	
合計	2191	

（POP, Point of Presence, 1. 倉敷, 2. 井笠, 3. 高梁, 4. 阿新, 5. 真庭, 6. 津山, 7. 勝英, 8. 東備, 9. 県庁, 10. 部, 11. 総社, 12. リサーチパーク, 13. 今村）があり管理運用されている。これらのNOCおよびPOPを介して、外部ネットワークへの接続され、県庁の行政通信ネットワークだけでなく、市町村が整備する公共ネットワークの大半、各CATV、企業、大学等が岡山情報ハイウェイに接続・依存している。このため県が責任を持って継続的な安全性・信頼性の強化策を実行し、今後の需要予測を考慮した計画的な大容量化と効率的な運営を推進する必要がある。

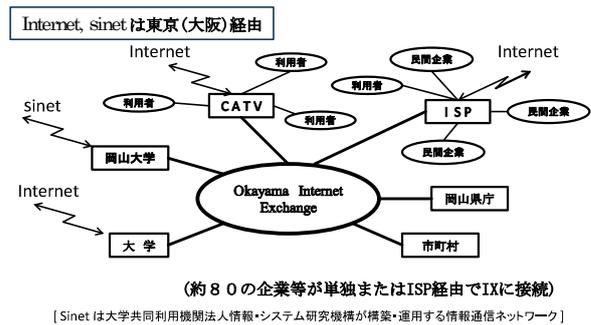


図3 岡山情報ハイウェイ OKIX

## 4 岡山情報ハイウェイの信頼性強化

岡山情報ハイウェイは県および市町村の行政ネットワークだけでなく民間通信事業者、一般企業、大学等が利用または接続・経由し、広範囲で渾然一体となって活用されている。この複雑性はインターネットの特徴ではあるが、信頼性強化への責務は重く、運用の効率化と同時に、災害時における障害復旧の迅速化及び災害対策の優先度等<sup>7)</sup>についての不断の研究努力が必要である。図4に東日本大震災におけるICT関係の被害とその対策例との対応関係を示すが、東日本大震災を契機にICTがライフラインとして再認識されていることを踏まえると同時に、ICT関連分野の進展に伴い、今後とも継続するであろう通信需要の大幅増にも対応して行かねばならない。

### 4.1 接続拠点施設（POP）の災害対策

岡山情報ハイウェイは、大規模災害発生時においても、ライフラインとして重要な役割が求められている。主要な通信機器等を收容し、市町村をはじめとする団体との接続機能を有する接続拠点施設\*2(POP)につい

\*2 NOCは岡山情報ハイウェイ構想の準備段階において災害対策が講じられていたが、POPに対しては、平成24年8月に国から示された南海トラフ巨大地震の被害想定の見直しを受け、災害対策の必要性を認識し、既に井笠POP、東部POPについてはH24年度末に災害対策実施済みである。

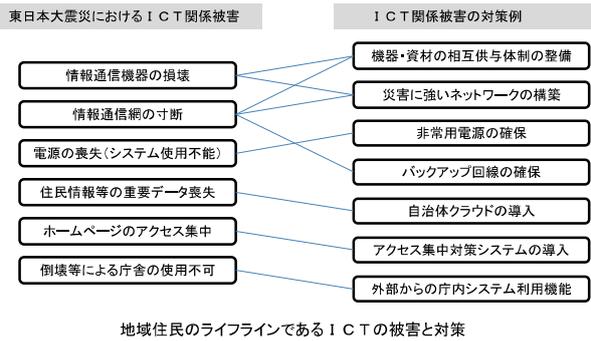


図 4 ライフラインである IT の被害

て、地震や津波、大雨等による浸水被害に備え、一部施設の移転や局舎のかさ上げ、非常用電源の充実等、接続拠点施設の被害想定や立地条件に応じた効果的な災害対策を早急に実施する必要がある。

POP 局舎の役割を列挙すれば

- 接続団体は情報ハイウェイに接続するための機器を自由に設置することができ、メンテナンスも昼夜を問わず行うことが可能
- POP 局舎は機械警備により強固なセキュリティが保たれている。
- POP は独立した非常用発電機により、停電時の電源供給が保たれている。
- 局舎の管理は情報政策課が行っており、緊急時には庁舎管理のルールに依らない臨機の対応が可能

となっており、POP に対する岡山県の役割は

- 情報ハイウェイの民間への開放
- 情報ハイウェイの接続性の確保
- 接続団体が設置した機器の保護

であるが、同時に、安全対策が利便性の支障とならないようにすること、迅速な復旧対応体制を確立しておくこと等への留意が必要である。

#### 4.2 光ケーブル幹線の災害対策

災害や障害時に光ファイバケーブルの断線等が発生した場合、早期復旧するためには独自に最小限の光ケーブルや資材を蓄積しておく必要がある。光ケーブル等の資材は、現在、東備地域事務所、備中県民局、美作県民局、高梁地域事務所に分散して備蓄されている。

岡山情報ハイウェイは、構築当初から 8 の字型に結んだ光ファイバ基幹回線網によって、災害時の障害箇所を迂回し通信経路を確保するトポロジー構造を持っているが、新たに、データセンター等が立地するリサーチパークと総社 POP 間に光ファイバ基幹を構築し、ループ化による信頼性強化策が計画されている。

なお、既存設備の二重化・ループ化だけでは対応できないような大規模災害が発生した場合に備えて、宇宙航

空研究開発機構 (JAXA) の衛星回線を利用する災害対策がある。



図 5 鳥取県との情報ハイウェイの接続

#### 4.3 鳥取県との連携

自然災害のリスクは、中国山脈を挟んで山陽と山陰では相互に異なる様相を呈する確立が高いと考えられ、山陽の岡山県と山陰の鳥取県が連携すればリスクヘッジできる可能性がある。情報通信インフラにおいても岡山情報ハイウェイと鳥取県の鳥取情報ハイウェイとの相互接続によって、災害発生時の迂回幹線の実現や将来的な通信量の増大に対処できる可能性がある。既に、両県の情報ハイウェイが図 5 に示すように、津山 POP - 智頭中継所間、阿新 POP - 日南 POP 間の 2 地点で相互接続されている。

東日本大震災の教訓を踏まえ、相互接続された両県の情報通信インフラを利用し、相互の連携により実現可能となる ICT 部門の災害対策として

- 地震等により情報通信網が寸断するリスク、又はケーブルの切断や機器の故障等により応急復旧資材が不足するリスク
- 地震の衝撃や津波により、県が保有するデータが消失するリスク
- ホームページへのアクセス集中により閲覧できないリスク
- データの復旧と情報システムの復旧対策
- 情報ハイウェイの冗長化

等の事項について検討されている。特に、鳥取県のサーバから岡山県の仮想ストレージ領域に対してデータ転送実験を行い

- サーバと仮想ストレージへのファイルの書き・読み込みに係る性能比較
- バックアップと復元の転送速度および遅延時間の測定試験

等に関する実測データを得て、その有効性・実効性について検証した。

連携自治体ホームページに関しては、災害発生時の医療や介護、避難所など関わる情報、救援物資、ボラ

ンティア支援者向けの情報提供の方法等が検討課題になっている。また、災害発生時に、これらの情報を求めて県ホームページにアクセスが集中する問題を、相互接続された岡山・鳥取情報ハイウェイを用いて負荷軽減する方法についても研究課題となっている。なお、アクセス集中の軽減対策については、民間通信事業者による数多く技術開発が進行中である。

#### 4.4 Okayama Internet Exchange

一般に、インターネット上の情報データは、すべて大手のプロバイダから東京（又は大阪）にある NSP/ IXP (Network Service Provider/ Internet Exchange Point) で受け渡されて相手に到達する。岡山情報ハイウェイでは、図 3 に示すような地域機能、すなわち岡山県内の情報は県内で受け渡しできる仕組み『OKIX』(Okayama Internet eXchange) を構築し、県内の情報データの交換は、東京（大阪）を経由することなく岡山情報ハイウェイの中で処理される。これは災害時におけるリスク分散という面で、重要な災害対策の一つである。

また、岡山情報ハイウェイの利用者間は、東京や大阪を経由せずに効率的な高速大容量の通信を行うことができるほか、IPv6 への対応や情報通信研究機構のネットワーク (JGN-X) との接続など、最新の技術に対応し、先端的な技術開発への利活用が可能になっている。

#### 4.5 全線 10 ギガ化

国内のインターネット上のトラフィック量は 3 年で約 2.1 倍になると云われ、インターネット上のトラフィック量は増加の一途をたどっている。岡山情報ハイウェイのトラフィック量は平常時は最大で約 3 Gbps 程度であるが、災害発生時には、この数倍程度の通信量が発生することが想定される。災害に強く、更なる安全性・信頼性が強化されたネットワークにするためには、より高性能な基幹スイッチやルータ等に更新し、高速・大容量化を図る必要がある。岡山情報ハイウェイの主要通信機器の予定更新時期は平成 24～26 年度である。その機器更新の機会を捉え、情報ハイウェイ接続団体と十分な連携を図り、図 6 に示すように、全線の回線容量を全国でもトップクラスとなる 10Gbps に統一することが望まれる。

#### 4.6 災害対策における優先順位

岡山情報ハイウェイの災害対策の実行に際しては、その対策の優先順位について検討する必要がある。一般に、システムの信頼性を強化するための基本理念は

- まず第一に壊れないようにすること。
  - それでも壊れた時を想定して代替策を講じておく。
- の 2 点にあると考えられるが、信頼性強化策を考える場合、「どこまで経費をかけるか」、「どこまでの災害に

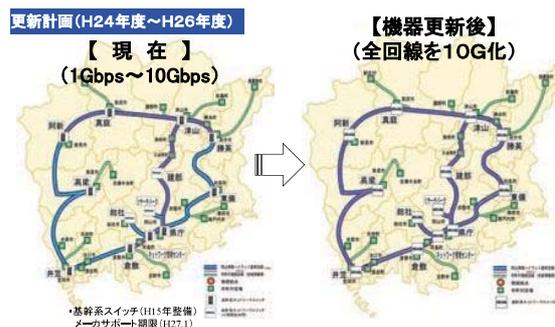


図 6 岡山情報ハイウェイ全線 10 ギガ化

耐えられるものにするか」についても常に頭の隅に置いておくことが重要である。

岡山情報ハイウェイは、通信機器および設置費用の自己負担を別にすれば、一般企業・団体に無料で開放された、原則無料の通信ネットワークである。災害対策経費のために、課金し有料ネットワークに転落すれば、民間通信事業者と全く区別できず、情報通信インフラに対する岡山県の優位性がたちまち消失し、地域の総合的な産業経済力に影響を与えかねない。

自治体が直面する厳しい財政状況下において、原則無料の通信ネットワークを前提として信頼性強化策を推進するには、災害対策に厳格な優先順位を付け、岡山情報ハイウェイの利用者だけでなく一般県民への説明と県民の理解を得ながら必要不可欠な災害対策から着実に実行していくことが重要である。

## 5 防災対策における情報通信技術

情報通信インフラに対する直接の防災対策は、通信事業者と国、自治体が分担・連携して対処することになる。しかし、そのインフラを利活用した対策に関しては、地域住民や各種民間企業が日頃から関与すべき対策である。災害時に、情報空白地域が断片的に発生したり、情報通信インフラが利用可能であっても、その使い方が分からず利活用できないような状態<sup>8)</sup>が発生しないような防災対策が必要がある。

### 5.1 民間事業者による復旧・支援

東日本大震災での、民間通信事業者による復旧や通信手段の確保などの取り組みは、総務省の"大規模災害等緊急事態における通信確保の在り方について"<sup>9)</sup>によって以下のようにまとめられている。

○ 通信インフラ復旧に係る取組

- 移動基地局車の配備、衛星利用の臨時基地局等の設置
- 移動電源車の配備 (NTT 東日本, NTTdocomo, KDDI, SoftBankMobile 等)

- 衛星通信回線の提供 (SkyPerfectJSAT)
  - MCA 無線エリア外の地域に臨時の中継局を設置
  - 復旧エリアマップの公開や復旧情報等の提供 (携帯・PHS 各社)
- 被災者等の通信手段確保に係る取組
- 公衆電話の無料化、特設公衆電話の設置 (NTT)
  - 携帯電話端末、充電器等の無償貸与 (携帯・PHS 各社)
  - 衛星携帯電話等の無償貸与 (NTTdocomo, KDDI 等)
  - MCA 無線機の無償貸与 (移動無線等)
  - 復旧エリアマップの公開や復旧情報等の提供 (携帯・PHS 各社)
  - 避難所等におけるインターネット接続環境の無償提供 (NTT 東日本, NTTdocomo, SkyPerfectJSAT, MicroSoft, UQ 等)
  - 公衆無線 LAN エリアの無料開放 (NTT 東日本, NTTdocomo, SoftBankMobile 等)
- 情報収集 (安否確認、震災情報等) の支援
- 災害用伝言ダイヤル、災害用 Web 伝言板の提供 (NTT 東日本, 携帯, PHS 各社等)
  - 安否情報を登録・検索できるサイトの開設 (Google)
  - 震災関連情報をまとめた特集サイトの設置 (NECbiglobe, Google, MicroSoft, Yahoo)
  - 東北 6 県の FM 局等を放送エリアに関係なく、PC やスマートフォンから無料で聴取できるサイトの開設 (KDDI)
- 情報発信のための支援
- アクセスの集中した公共機関等のウェブサイトのミラーサイトの提供 (IBM, Google, MicroSoft, Yahoo)
  - 被災地域の自治体や NPO 等に対するクラウドサービスの無償提供 (IBM, NECbiglobe, Google, MicroSoft)
- また、東日本大震災後、通信ケーブル、通信システムを

はじめ情報通信機器関連メーカーによる防災・減災関連の技術開発努力<sup>10)</sup>や、衛星通信や無線端末を組み合わせた機動的な臨時インターネット環境実現<sup>11)</sup>への民間企業各社の協力が注目を集めた。

## 5.2 災害時における国、自治体、事業者の役割

東日本大震災の教訓を踏まえた ICT 災害対策の強化策は、総務省によって

1. 国等が中心となり取り組むべき事項
  2. 国・電気通信事業者等が連携・協力しながら取り組むべき事項
  3. 電気通信事業者等が中心となり取り組むべき事項
- のように、その役割分担を明示した表 3 によって今後取り組むべき事項<sup>12)</sup>が示されている。表 3 を見れば、情報通信インフラに関する災害対策は、国および通信事業者によって全て対処してくれるように見えるが、官庁用語である"等"の存在や事業者の定義の不明確さに留意しなければならない。

## 5.3 公共施設における公衆無線 LAN の整備

スマートフォンやタブレット端末をはじめモバイル機器の急速な普及を背景に、都市部の商業施設や大学キャンパス内において無線 LAN 接続拠点 (公衆無線 LAN スポット、Wi-Fi スポット) の整備が急増している。また、近年、商業施設だけでなく観光客の利便性向上を目的とした観光地においても公衆無線 LAN スポットが急速に増加している。

本県においても、図 7 に示すように、民間事業者の参入が見込めない公共施設を中心に、岡山情報ハイウェイをバックホール回線とする公衆無線 LAN サービス「おかもまモバイル SPOT」の整備が進められている。公衆無線 LAN スポットでは、スマートフォンやタブレット端末の利用者は、高額な携帯電話等の移動通信ネット

表 3 総務省における対応 (H24 情報通信白書<sup>12)</sup>)

<p><b>1. 緊急時の輻そう状態への対応の在り方</b></p> <p>1. 音声通話の確保          &lt;例&gt;交換機等の設計容量の見直し等による疎通能力の向上 <b>国等</b> <b>事業者</b>          災害時優先電話の安定的な利用確保 <b>国等</b></p> <p>2. 音声通話以外の通話手段の充実・改善          &lt;例&gt;災害用伝言サービスの高度化 (横断的な検索) <b>国</b>・<b>事業者</b></p> <p>3. 災害時の通話手段に関する利用者等への情報提供          &lt;例&gt;輻そう時に音声ガイダンスによる災害用伝言板等への誘導 <b>事業者</b></p> <p>4. 輻そうに強いネットワークの実現          &lt;例&gt;耐輻そう性を重視した新技術の開発・検証 <b>国等</b></p>	<p><b>2. 基地局や中継局が被災した場合等における通信手段確保の在り方</b></p> <p>1. 被災した通信設備の応急復旧対応          &lt;例&gt;緊急通報のローミングの早期実現に向け、課題の解決等を図るための検討 <b>国</b>・<b>事業者</b></p> <p>2. 被災地や避難場所等における通話手段の確保・提供等          &lt;例&gt;自治体等への衛星携帯電話等の速やかな貸与 <b>国等</b>          災害時等における通信手段として重要な公衆電話についての取組</p> <p>3. 電源の安定的な確保          &lt;例&gt;燃料確保・輸送に関する関係行政機関の連携 <b>国等</b> <b>国</b>・<b>事業者</b></p> <p>4. 緊急情報や被災状況等の情報提供          &lt;例&gt;携帯電話の緊急速報メールの有効活用 <b>事業者</b></p>
<p><b>3. 今回の震災を踏まえた今後のネットワークインフラの在り方</b></p> <p>1. ネットワークの耐災害性向上          &lt;例&gt;ネットワークの安全・信頼性確保の在り方についての検討結果を技術基準に反映 <b>国等</b>          ネットワークの耐災害性向上のための研究開発 <b>国等</b></p> <p>2. 災害に即応できる体制整備          &lt;例&gt;非常通信協議会の見直し <b>国</b>・<b>事業者</b></p>	<p><b>4. 今回の震災を踏まえた今後のインターネット活用の在り方</b></p> <p>1. インターネット接続機能の確保          &lt;例&gt;通信全体の疎通性の確保のため帯域制御の運用基準に関するガイドラインの見直し <b>国</b>・<b>事業者</b></p> <p>2. インターネットの効果的な活用          &lt;例&gt;インターネットの効果的な活用事例の収集・共有 <b>国</b>・<b>事業者</b></p> <p>3. クラウドサービスの活用          &lt;例&gt;自治体クラウドへの移行支援 <b>国等</b></p> <p>4. 災害発生時に備えた通信事業者の協力体制の構築          &lt;例&gt;異なる通信サービス間での効率的かつ即時の通信リソース融通のための研究開発 <b>国等</b></p>

ワーク料金を負担することなく、IEEE802 の 11 g、11n や 11ac 規格の無線 LAN を通じて、より高速で安定なインターネット回線に接続することができる。このようなユーザに対する利便性の良さから、公衆無線 LAN スポットは、商業施設や観光地において、今後も確実に増加するであろう。

公衆無線 LAN スポットは、東日本大震災では、被災地や避難所において、積極的な通信手段としての確保・提供が行われ、その有効性が立証された。これは、大災害時において、確実性の高く安心できる通信手段は

インターネット > 携帯電話回線 > 固定電話回線の順であることから推測できる。災害対策としての公衆無線 LAN スポットの特徴や有効性を列挙すれば

1. 携帯電話等の移動通信網には発信規制の可能性
2. 民間通信事業者のインターネットをバックホール回線とする公衆無線 LAN スポットは商業・観光目的から自然に増加する
3. 岡山情報ハイウェイをバックホール回線とする公衆無線 LAN スポット (おかやまモバイル SPOT)
4. 大学等の SINET をバックホール回線とする公衆無線 LAN スポット
5. 公衆無線 LAN スポットの非常用電源確保
6. 災害時には、"認証なし"で、誰でも簡易に接続できる"仕組み"作り

のようになが、大災害時においては、取り分け 6 の"認証なしで接続できる仕組み"が重要である。避難訓練等の機会に併せて、"認証なしで接続できる仕組み"を広く公開し、その有効性を一般市民に浸透・認知してもらうことが必要である。

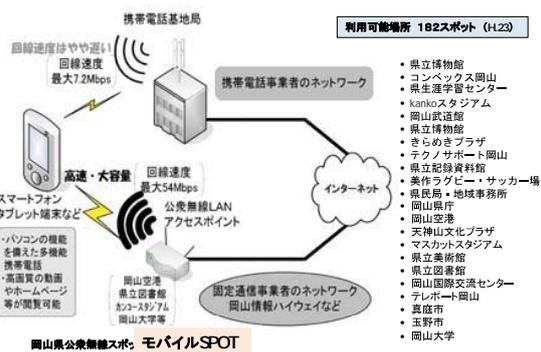


図 7 公衆無線 LAN の拡充整備 (モバイル SPOT)

#### 5.4 ソーシャルメディアの普及と活用

スマートフォンやタブレット端末は、PC と同等の性能を有しながら携帯性に優れ、タッチパネル操作できることなどから、急速に普及が進んでいる。

昨年度の間民間調査によれば、携帯電話の出荷台数に占

めるスマートフォンの比率は約 7 割である。これに対応して携帯電話等の通信事業者も、4G や LTE といった高速移動通信ネットワークのサービスエリアを拡大する傾向にある。

一方、フェイスブックやツイッター等のソーシャルメディアの利用者は、スマートフォンやタブレット端末の普及と高速通信ネットワーク拡大を受け、近年、特に急増し、個人はもとより、企業の情報発信手段としても積極的に利用されている。フェイスブックの利用者は、全世界で 10 億人に達したとされ、また我が国のソーシャルメディア利用者も 5 千万人を越えているようである。

東日本大震災発生時においては、災害関連情報のタイムリーな発信手段として注目を集め、災害時の情報伝達手段としての無視し得ないツールであることを立証した。情報源の絶対的な信頼性を無視すれば、ソーシャルメディア情報は官民間問わず災害時における情報発信力の強化に欠かせない手段となっている。さらに公共無線 LAN スポットの増設が進展すれば、一層強力な情報発信手段として利活用することが可能となる。

#### 5.5 自治体クラウドと BCP 対策

東日本大震災においては、自治体の庁舎が損壊し、住民情報等のデータが消失する被害が発生し、業務継続が困難なケースが発生した。自治体クラウドは庁舎から離れた場所にあるデータセンターに置かれた住民データ等の情報データを活用して業務を行うものであり、仮に災害等で業務継続ができない事態になっても、仮庁舎と当該データセンターとの間を通信回線で結ぶことにより、業務の再開が可能となるサービスで

1. コストの削減； 情報システムを共同化・集約化することで「割り勘」の効果が働き、システムの運用コストの大幅な削減が見込める
2. 業務の軽減； 情報システムを共同化・集約化することで、システム管理・運用に必要な人員や業務の負担が軽減できる
3. セキュリティの向上； 24 時間、365 日の有人監視、厳重な入退室管理などにより、行政情報の高いセキュリティが確保できる
4. サービスの向上； 行財政運営の効率化が実現し、浮いた資源を住民向けのサービスに再投資できる
5. 災害に強い； 堅牢なデータセンターを利用することで、重要情報の保全性が高まり、震災時にも迅速な復旧が可能となる。

のようなメリット<sup>13)14)</sup>があるとされている。

岡山県においても、緊急事態の発生時、災害対策業務や優先度の高い通常業務についても継続が求められることから、全庁的な業務継続計画や IT 部門の業務継続計画 (IT-BCP) が策定されている。また、市町村と連

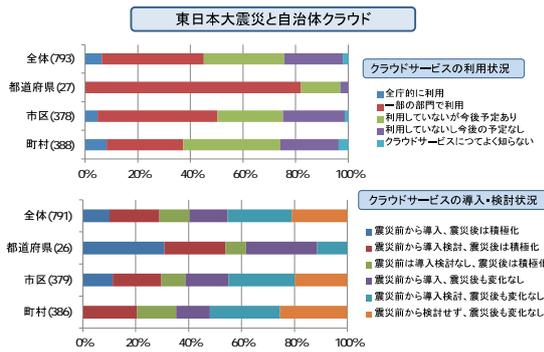


表4 自治体クラウドの利用と検討状況

携した「自治体クラウド」の推進により、情報システムの効率化やコスト削減はもとより、安全なデータセンターへのシステム設置により、住民データなど重要データの消失や情報システムの被災を防ぎ、災害発生時にも必要な業務の継続又は早期再開を図るとともに情報セキュリティ対策の強化が考えられている。この場合、岡山県では、岡山情報ハイウェイに接続された市町村公共ネットワークが災害時においても、致命的な損傷なしに稼働していることが前提となり、情報通信インフラの信頼性強化が必要不可欠な施策<sup>3) 5) 13)</sup> になっている。

また、複数の市町村を対象とした業務システムのクラウド化は、大きな事業規模となる可能性があり、クラウドに関する技術導入が、地域のIT産業の活性化<sup>3)</sup> につながるとも言われている。

自治体クラウドを利用または検討している自治体の割合は図4に示すように、全庁的な利用は6.3%と低いが、一部の部門における利用を含めると45%に及ぶ。導入検討は79%で、都道府県では全ての自治体で検討している。東日本大震災を踏まえた導入検討は40.2%、市区町村でも約4割が検討となっており、今後、自治体クラウドは着実に推進すると考えられる。

一方、民間企業においては、高速広帯域通信網の普及やコンピュータ処理性能の飛躍的な向上を背景に、クラウドコンピューティングの普及が進んでいる。クラウドコンピューティングは、業務の効率化やコスト削減手法として、東日本大震災を契機に、遠隔地にあるデータセンターへのデータやシステムの安全なバックアップ手段としても注目され、事業継続計画(BCP、Business Continuity Plan)対策の一つとして捉えられ、国内においては、既に約3割の企業が利用していると言われている。

東日本大震災を契機に、企業が災害発生時等に中核事業を継続するためBCP策定の必要性が認識されるとともに、事業継続の手段として、通信ネットワークはもとより、データの電子化とバックアップ、クラウドなど

ITの活用が注目されるようになっている。

東日本大震災の経験から、被災地の企業の操業停止が全国の取引先企業の生産活動や事業活動に影響を及ぼすなど、企業が緊急時に中核事業を継続できなければ、被災企業だけでなく、社会的に大きな損失を与えることが改めて認識された。

本県においては、地震災害のリスクは相対的に低い土壌の上に、BCPの策定により、事業継続上のリスクを更に低くすることが、企業価値を一層高め、企業の優位性の更なる向上にもつながるものと考えられる。

このため、緊急事態にあっても企業が事業資産の損害を最小限にとどめつつ、事業を継続(早期再開)していくためのBCPが注目され、最近では、その策定が取引の条件とされる場合があるなど、企業経営にとって、必須のものとなっている。

一方、情報システムやネットワークは、今やICT関連企業だけでなく、あらゆる企業にとって事業継続に不可欠の事業資産となっており、緊急事態発生時に重要データの消失やシステムの被災を防ぐことはもちろん、データセンターやクラウド技術等、ICTの積極的な活用により、緊急事態が発生しても速やかに事業を継続できる体制を整え、企業の信頼性や競争力を高めることが求められるようになった。

クラウドサービスの普及や東日本大震災を契機としたBCPの需要増加などにより、また震災後の首都圏での電力供給事情の悪化等により全国的にデータセンターの立地が相次いでいる。本県も、地震等の自然災害の少など、情報通信インフラの整備・充実等の理由で、リサーチパークエリアに地方型データセンターが立地している。地方型データセンターは本県の他、石狩市、白河市、松江市、北九州市、沖縄県に設置されている。

### 5.6 防災・減災インフラの状態監視

河川洪水、土砂災害、竜巻注意や大雨警戒などの防災情報を収集する防災監視システムは、今日では観測地点から遙か遠方に置かれた監視事務所に通信インフラを通じて観測データを集め集計処理するシステム形態になっている。したがって、震災時においても通信インフラが正常に機能することが前提となっている。

東日本大震災前にはあまり注目されなかったことであるが、図8(a)に示すように、CCTVカメラをや各種センサー類には、観測地点の近傍に必ず電源が必要である。東日本大震災の最大教訓は電源の消失であり、今日の通信ケーブルは光ファイバー化されているため観測事務所からの電源供給は期待できない。このため、東日本大震災後、観測地点での電源が不要な図8(b)に示すような光ファイバーセンサーシステムの考え方が注目を集めている。

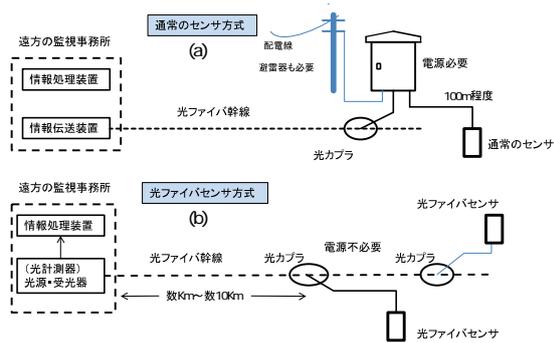


図8 光ファイバーセンサーシステム

光ファイバーセンサーは、センサー素子と光波の反射、透過、屈折、散乱等の本質的な性質、光ファイバグテーティング構造等を一体利用した機能素子であり、その理論的解析<sup>15)</sup>は完了していた技術<sup>16)</sup>であるが、東日本大震災前には殆ど注目されなかった。なお、光ファイバーセンサーシステムは、観測地点で電源不要なためパッシブセンサネットワークとも呼ばれている。

情報通信ネットワークを利用した防災監視システムとして

- 防災カメラ、水位計、雨量計、浸水検知センサ等による河川の24時間監視
- リアルタイム映像を含む水位情報の複合情報のインターネット公開
- 水位情報と連動した土砂災害警戒情報の配信

などが実用化しているが、大震災にた対しては、図8に示すようなパッシブセンサネットワークへ移行することがシステムの信頼性強化になる。

## 6 おわりに

情報通信技術は防災・減災に関して直接的な役割は演じ得ないが、他の防災・減災システムのソフトウェア的な役割を担い、震災対策にとって必要不可欠な基礎技術である。これは、東日本大震災を契機に、震災時における情報通信インフラの復旧・確保が最重要課題になり、今や、ICTが地域住民のライフラインであることは共通認識となっている。岡山県の情報通信インフラは、民間事業者の通信ネットワークだけでなく、県が直接運用する岡山情報ハイウェイが共存し、バックアップ回線や多ルート化等の側面で、それだけ冗長度が高く信頼性の高いインフラであるが、東日本大震災の教訓を踏まえて強化策によって、一層信頼度の高い強固な情報通信インフラへと脱皮成長することを期待する。また、このような他県と比べての優位性を、継続的に維持するための積極的な努力を岡山県に期待する。

最後に、大災害時における被害の拡大防止や迅速な復

旧活動には、最悪状態でも最小限の情報伝達手段が確保されていることが重要である。このため、スマートフォンやタブレット機器の急速な普及、災害時においてもインターネットが利用可能な通信環境にあること等を考え、避難および待避所等において、大災害時に"認証なしで誰もが接続できる仕組み"を持った公衆無線LANスポットの全県的な整備拡充を切望する。

謝辞 本調査研究にあたり、岡山情報ハイウェイの現状把握と他府県の防災・減災に関する情報収集に熱意を持って奔走して頂いたNPO地域ICT普及協議会の方々、並びに東日本大震災における通信インフラ関連の詳細な被害状況を提供して下さった岡山県庁の情報政策課の皆様へ深く感謝の意を表す。

## 文献

- [1] 平成23年度情報通信白書，総務省 2012.
- [2] 平成24年度防災白書，内閣府 2013.
- [3] 第5次おかやまIT戦略プログラム，岡山県，2013.
- [4] 東日本大震災に関する被害状況等について，総務省，東日本大震災に関する被害状況等について（3月11日17時現在），2011
- [5] 都道府県CIOフォーラム資料，日経BPガバメントテクノロジー，2014.
- [6] 東日本大震災における地方公共団体情報部門の災害時の取り組みと今後の対応のあり方に関する調査研究報告，J-LIS地方公共団体情報システム機構，2014.
- [7] 岡山情報ハイウェイ利活用ワーキンググループ取りまとめ等の会議資料，岡山県，2012.
- [8] 大江，植原；"東日本大震災被災地における情報格差解消への取組"，IEICE，Vol.95，No.3，pp.213-218，2012.
- [9] 大規模災害等緊急事態における通信確保の在り方について，総務省，大規模災害等緊急事態における通信確保の在り方に関する検討会 最終取りまとめ，2012.
- [10] 常田他；"大規模災害時での移動通信ネットワーク動的制御技術の研究開発"，日立ソリューションズ東日本技法，第19号，pp35-43，2013.
- [11] 木下剛；"東日本大震災におけるインターネットが果たした役割と今後の期待"，IAJapan Review，NEWS REPORT，Vol.11 No.4，pp.4-5，2012.
- [12] 平成24年度情報通信白書，総務省 2013.
- [13] 自治体クラウドで行政が変わる，総務省，自治体クラウド解説用リーフレット，[http://www.soumu.go.jp/nai\\_n\\_content/000153859.pdf](http://www.soumu.go.jp/nai_n_content/000153859.pdf)
- [14] 災害に強い地方公共団体の情報システムの在り方に関する調査研究，財団法人地方自治情報センター，2013.
- [15] 例えば，大下，山北，松本，浅居"空間高調波展開による多層Fiber Bragg Gratingの解析"，ICE & IEICE技術研究会資料，EMT-06-102，2006.
- [16] 藤原，宮本，奥津（晃），奥津（大）"光ファイバセンシング技術を用いた防災分野への取り組み"，NTT技術ジャーナル，2007.



### 3-4. 津波による塩害並びに水害廃棄物に関する 調査研究

## 津波による塩害被災土壌の化学的特徴と除塩対策

(株)エイト日本技術開発 今田 真治  
 岡山大学大学院環境生命科学研究科 諸泉 利嗣

### 1. 津波堆積物による塩害被災土壌の化学的特徴と対策

#### 1.1 はじめに

農林水産省の報告<sup>i)</sup>によれば、東日本大震災で23,600 haの農地が津波による流出や冠水の被害を受けている。

津波によるガレキの流入や農作物の流出など直接的な被害が発生していない農地でも、海水の冠水の影響で土壌中に塩分が過剰に存在すると、土壌溶液の浸透圧が増加して、植物の根の吸水機能の低下や植物体外への水分流出が起こり、水分不足（生育障害）となって植物が枯死する可能性がある。さらに海水が土壌中に浸入すると、土壌の単粒化や緊硬度を高め、土壌の透水性が著しく低下し、排水不良による作物の根腐れが発生する懸念がある。

これらを踏まえ、農林水産省では除塩の作業手順や技術的な留意事項等について整理して、平成23年6月に「農地の除塩マニュアル」<sup>ii)</sup>として公表している。

本研究では、津波堆積物による塩害被災土壌の化学的特徴と対策について、同マニュアルを含め既往の文献調査を行った。

#### (1) 岡山地域における被害予測

図-1に岡山県の主要農地の一つである児島湖周辺の干拓地周辺の標高区分図を示す。児島湖周辺の干拓地及びその周辺は標高1~2m程度の平坦な低地が広がり、笹が瀬川周辺では局所的に標高0mのエリアが存在している。

図-2に示す岡山県危機管理課が公表する「岡山県津波浸水予測図」<sup>iii)</sup>によれば、この低地には南海トラフ巨大地震発生の際、2~3m程度の津波浸水被害が想定されている。また、同資料によれば、岡山県東部の笠岡湾干拓地でも5m以上の津波被害予測が示されている。また、津波ではないが、瀬戸内海においては平成16年台風16号により高潮による塩害が発生している。

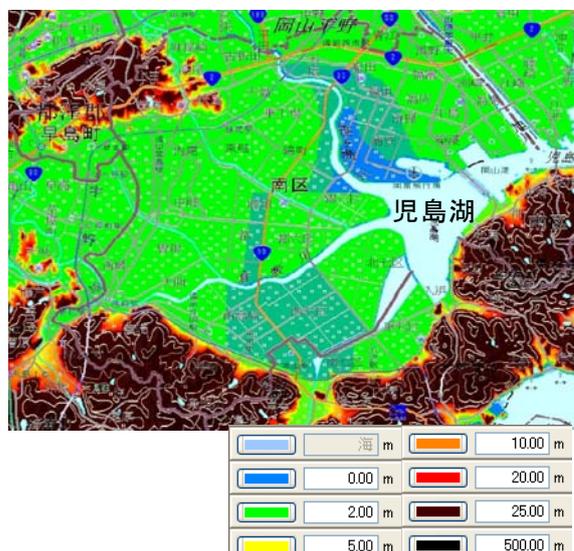


図-1 児島湖周辺の地形区分図  
 (国土地理院電子国土データをカシミール 3D  
 (<http://www.kashmir3d.com>)を用いて図化)

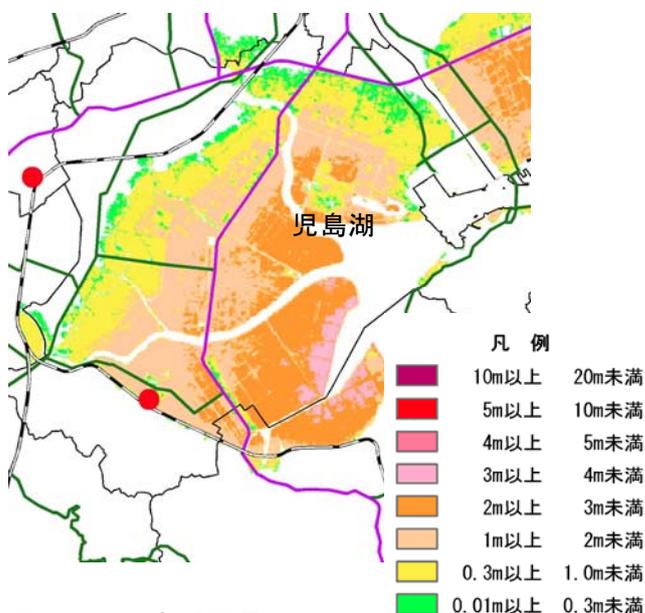


図-2 児島湖周辺での  
 津波被害想定

#### 1.2 東日本大震災被災地での除塩研究事例

##### (1) 津波堆積物の化学的特徴

研究の一環として東日本大震災被災地で調査された津波堆積物の化学的特徴について文献による事例収集を行った。

東北大学南條教授による報告<sup>v</sup>によれば、仙台平野における津波堆積物には以下の様な特徴が見られたと報告されている。

- ・仙台平野の海岸沿いでは4～5 km 内陸まで津波が到達した。被災した箇所では、場所により大きく異なるが、建築破砕物、樹木、その他の瓦礫が見られた。
- ・瓦礫類は次第に除去された後、夏には特に内陸側で雑草が繁茂していた。
- ・内陸部の水田の津波堆積物は、0～20cm 程度堆積しており、最表層は泥質物でその下に砂質物があるという規則性が認められた。
- ・この泥質物は、浅海堆積物を起源とするものと津波の影響により海岸付近の水田から浸食された作土を起源とするものとの2つが考えられる。
- ・泥質堆積物の表面に見られる塩類の結晶を電子顕微鏡と X 線回折法で調べると、塩化ナトリウムの立方体状の結晶の他に、棒状の石こう（硫酸カルシウム）の結晶が確認された。石こうは水田土壌に多く存在しているカルシウムが、海水中のナトリウムイオンと交換し、海水中の硫酸イオンと反応して生成されたものと推察される。土壌中に交換性ナトリウムが過度に存在すると、粘土鉱物や腐植は集合体から次第にバラ

バラの状態に変わり、多量の水があると濁り水になりやすく、乾くと土壌固結が顕著となり、多くの作物の生育も悪くなりがちとなる。ただし、津波堆積物中のナトリウム濃度はこの状態に近いものが認められたが、その下の土壌の交換性ナトリウムの増加はわずかであった。

- ・水田土壌の電気伝導率(EC)は津波堆積物の EC の数分の 1 以下であった。畑地で透水性の高い土壌では、被災後数百ミリ程度の降雨を受け、作物生育可能な程度まで EC が低下しているところもある。津波堆積物のうち砂質堆積物では EC の低下傾向がある。

また、東京農業大学後藤逸男教授らの報告<sup>v</sup>によれば、津波被害を受けた農地に堆積した津波堆積物の電気伝導率(EC)は 12～24mS/cm であり、多量の交換性マグネシウムとカリウム、可給態ホウ素が含まれていた。加えて、津波堆積物には、1%程度の全イオンが含まれていることから、長期的に土壌が酸性化する可能性が指摘されている。

農村工学研究所北川主任研究員らの報告<sup>vi</sup>でも、津波堆積物の pH は一時的に高い値(アルカリ側)を示しているが、過酸化水素を用いた pH 試験(pH(H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>))が低いことから酸性硫酸塩土に分類

表 1 宮城県福島県内の農地での津波堆積物の化学的特徴(文献-vi より抜粋)

	非被災農地	被災農地(被災 3 ヶ月後)		農作物への影響
	表層土壌	泥質堆積物(ヘドロ)	堆砂	
pH(H <sub>2</sub> O)	5.0～6.1	5.7～7.0	5.6～7.9	※pH(H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> )が低く、被災農地は今後酸性化する
pH(H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> )	5.0～5.3	2.3～5.5	3.9～7.0	
EC(mS/cm)	0.08 程度	3.6～14.1	1.0～9.5	塩害発生の目安 水稲:0.3～0.7 以下
Cl-(mg/kg)	12～17	6361～95233	1320～22235	塩害発生の目安 水稲:500～1000 野菜:4000～1500
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (mg/kg)	49～75	679～12680	109～4152	記載なし
0.1N 可溶性 Zn (mg/kg)	4.7～5.5	2.9～41.6	0.7～13.9	畑作物野生育の適正範囲の目安 2～40 →被災農地ではやや高い
0.1N 可溶性 Cu (mg/kg)	4.1～4.6	0.4～6.0	20.4～4.8	畑作物野生育の適正範囲の目安 0.5～8.0 →被災農地ではやや高い
0.1N 可溶性 Cd(mg/kg)	0.10～0.18	0.19～0.75	0～0.30	0.3 未満ではリスクが低い

されることから、長期的には酸性化を呈すると考えられ、EC 塩害発生の目安となる 0.7ms/cm を超える値(3.6~14.1ms/cm)であったとしている。また、Cl<sup>-</sup>イオンの濃度は塩害発生の目安(水稲:500~1000、野菜:4000~1500mg/kg)を大きく超える値(最大 95233 mg/kg)であったとしている。

一方、亜鉛、銅、鉛については、ほぼ農作物の適正範囲であったと示されている。(表-1)

## (2) 塩害対策の例

### 1) 東北農政局による報告<sup>vii</sup>

東北農政局が宮城県名取市で実施した津波堆積物を撤去した農場における除塩実証実験では、水田では暗渠未使用の場合でも最大 0.24% (2400ppm)であった塩素濃度が 2 回の除塩作業(湛水~排水)により塩分濃度を目標値(0.1%)以下に低下させることができたことが報告されている。

また、降雨は除塩を促進するものの、ほ場条件によりその効果にはバラツキがあることから、土壌中に残留した塩分を確実に除去するためには人為的な除塩作業が必要であるとしている。

畑においては予め耕起し、ほ場の排水を良好に保つことにより、一定のかん水量(雨量換算 180mm)で当初 0.4%程度あった土壌中の塩素濃度が 0.03%以下に低下できることが明らかとなり、降雨により除塩効果が促進されたと報告されている。ただし、この実証実験が行われた農地の表層はいずれも砂質土であり、粘質土系土壌の耕作地と比較すると除塩効果が得られやすかった可能性もあるとされている。また、土壌中に残留した塩分は、表層に比べ下層の塩分濃度が高い傾向にあるため、除塩の必要性を評価する場合には作土層深部についても塩素濃度を測定する必要があるとしている。

### 2) 農村工学研究所による報告<sup>viii</sup>

農村工学研究所瑞慶村研究員らの報告によれば、亘理町の水田を対象とした検討において以下のとおり示されている。

水稲の地上部の生育障害においては、土壌の塩素含量よりもナトリウム含量の方が高い相関があるとされ、一般的にナトリウムは交換性塩基の 1 つとして土壌に保持されるため、塩素イオンより土壌から溶脱・除去されるのに時間がかかるといわれている。

このため、塩害土壌中のナトリウム濃度を評価する必要があるが、土壌 EC を目標値として除塩を行った場合でも、塩素イオンだけでなく、ナト

リウムも十分に溶脱されたことが確認された。ただし、除塩工事を行っても、心土層に塩素イオンやナトリウムが残留する場合もある。

立地や暗渠の施工など排水が促進されやすい条件が確保されれば、被災から 13 ヶ月間の降雨のみで塩素イオンもナトリウムも十分に溶脱できる可能性がある。

堆積したヘドロをはぎ取ることにより塩素イオンやナトリウムが効率的に除去されることが確認された。

ただし、「農地の除塩マニュアル」では、海水に含まれるナトリウムイオンの影響で土壌がナトリウム粘土化し、土壌構造の単粒化や固結化などの進行により、土壌の透水性が著しく低下している場合は、石灰質資材を散布し、悪化した土壌の物理性を改善した上で除塩することを提唱している。

### 1.3 岡山地域における作物の耐塩性

香川県による資料<sup>ix</sup>に示される作物ごとの耐塩性に関する資料を表-2に示す。

岡山県の主要な農産地である児島湖周辺の干拓地では、水稲のほか、全国 13 位<sup>x</sup>の生産量を誇るナス(千両ナス)などが栽培されている。

表-2を参考にすれば、ナスの土壌中の Cl<sup>-</sup>濃度 50~60mg/100g(500~600mg/kg、すなわち 0.05~0.06%)を目安とし、用水中の Cl<sup>-</sup>濃度は 300ppm 以内とされている。文献<sup>vii</sup>を参考とすれば、この 60mg/100g という値は、津波堆積物の除去を行った後、雨量 180mm 程度のかん水を行う程度で十分にクリアできる濃度である。なお、岡山気象台観測の平年の降雨量観測値<sup>xi</sup>は 1100mm 程度であり、180mm は約 2 ヶ月程度の雨量となる。

また、文献<sup>vi</sup>に示される畑における塩素濃度と電気伝導率の関係では下式の通りとなっている。

$$\text{塩素濃度 } Cl^{-}(\%) = 0.16 \times EC(\text{ms/cm}) - 0.03$$

ナスの塩害発生時の塩素イオン濃度 Cl<sup>-</sup>を 60mg/100g とすると、上式より EC は 0.56(ms/cm) 程度となる。

実際の現場においては、測定が簡易に行うことが可能である電気伝導率による塩分濃度管理を行っていくことも考えられる。

ただし、児島湖周辺の干拓地では、図-3に示す通り、表層を除けば透水性の低い粘性土が厚く堆積している。このため、文献<sup>vii</sup>の条件よりも排水性が劣ると考えられるため、暗渠などの併用

が必要と考えられる。

表-2 作物ごとの耐塩性 (文献-ix より抜粋、原典は熊本県資料)

分類	作物名	土壌中 Cl mg/100g	用事中 Cl ppm
弱	メロン	40～50mg を目安	200ppm 以内を目安
	イチゴ・インゲン・ニンジン	40～50mg を目安	210ppm 以内を目安
	レタス	104.160mg 不可	210ppm 以内を目安
中	タマネギ	100mg でも健全	250ppm 以内を目安
	トウガラシ・サツマイモ・ソラマメ・バレイショ・ショウガ・ゴボウ・エンドウ	50～60mg を目安	250ppm 以内を目安
	ナス	品質では 50～60mg を目安	300ppm 以内
	アオジソ	50mg 以下を目安	170ppm で障害
強	ハウレンソウ	100mg を目安	300ppm 以内を目安
	キャベツ	120mg を目安	300ppm 以内を目安
	スイカ・カボチャ・サトイモ・トウモロコシ	60～70mg を目安	300ppm 以内を目安
	トマト	70～100mg 以下を目安	300ppm 以内を目安
	ブロッコリー	90mg 以下を目安	210ppm 程度
	アスパラガス	90mg 以下を目安	300ppm 程度
	ダイコン	150mg 以下を目安	300ppm 程度
	ネギ	150mg 以下を目安	700ppm 程度
極強	ハクサイ	150mg 以下を目安	300ppm 程度
	ササゲ	80～90mg を目安	350ppm 以内を目安
	ダイズ	90～110mg を目安	同上



深度(GL-m)	土質
0.0～0.45	埋土(真砂土)
0.45～1.5	粘土
1.5～12.25	シルト質粘土
12.25～14.7	粘土
14.7～15.45	砂質粘土
15.45～17.75	砂

図-3 児島湖周辺(興陽高校周辺：赤丸)での調査ボーリング結果(深部を省略)

「おokayama 全県統合型 GIS の地盤情報」より引用

#### 1.4 被災農地の塩分管理のためのモニタリング技術

被災農地のモニタリングをスムーズに行うための手法についての文献資料を以下に示す。

##### (1) 電磁探査法による農地の塩分測定技術

(独)農業・食品産業技術総合研究機構により公表されている「農業の震災復興に向けた提言(第2版) xii」では、電磁探査装置を持ち、ほ場内を歩くことにより、ほ場の塩分分布を測定し、GPS 情報との併用により農地の面的な塩分分布を測定する技術が紹介されている。この手法自体は地盤の比抵抗を直接測る電気探査などと比較すると精度は下がるが、簡易に実施できることから、水源開発や法面調査などに利用されている手法と同様なものである。

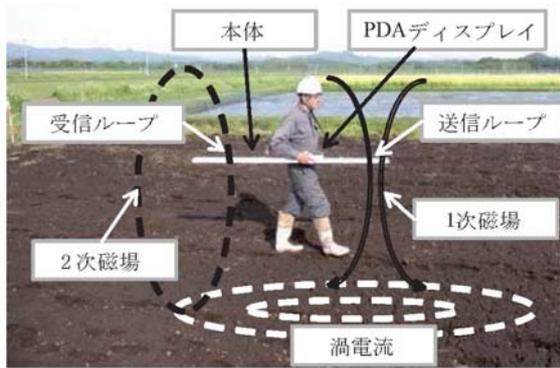


図-4 測定の概要(文献-xii より引用)

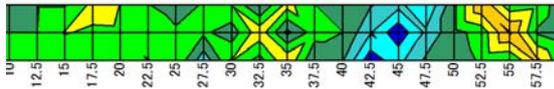


図-5 測定例

## (2) 現場で実施可能な簡易土壌塩分測定技術

「農業の震災復興に向けた提言(第2版)」では、海水浸水農地の簡易な土壌塩分測定法として市販の土壌 EC センサが利用の紹介している。土壌 EC センサは、ペースト状か湿潤状態の土壌を圧密して測定すると測定値が安定する。土壌 EC センサ測定値から慣行法へ読み替えて除塩の指標とする方法である。



図-6 測定の概要(文献-xii より引用)

### 1.5 まとめ

本研究では、津波堆積物による塩害被災土壌の化学的特徴と対策について既往文献の調査を行った。

その結果、以下のことが確認された。

- ・東日本大震災による津波堆積物は、作物に影響を及ぼす電気伝導率(EC)を呈し、多量の交換性マグネシウムとカリウム、可給態ホウ素が含まれていた。
- ・3ヶ月程度後の pH は問題なかったが、 $\text{pH}(\text{H}_2\text{O}_2)$  が高く硫酸酸性塩土に分類されることから、長期的な酸性化の懸念がある。
- ・水田では湛水～排水を繰り返すことにより、津

波堆積物の除去水稻の生育に支障のない程度の塩分濃度まで低下することができる。

- ・ナスを例に取れば、速やかに津波堆積物の除去を行った上で、排水性を確保することにより、2ヶ月程度のかん水により生育に支障のない程度の塩分濃度となる。

(今田 真治)

## 2. 数値シミュレーションを用いた津波による塩害被災土壌の除塩対策

### 2.1 はじめに

津波によって被災した塩害土壌に対しては、「農地の除塩マニュアル」<sup>ii</sup>等をもとに、現地土壌に適した除塩対策を確立することが重要である。低コストで最適な除塩対策を立てるためには、現地調査、要素試験により塩害被災土壌の特性を精査するとともに、数値モデルを用いてリーチング水量やリーチング期間、暗渠間隔及び暗渠埋設深などを予めシミュレーションしておくことが有効な手段となる。

農地の除塩対策には、農地に湛水した水が降下浸透した際に土壌中の塩分を下方に押し流すことにより除塩する方法(縦浸透法)と、土壌中の塩分を湛水中に溶出させ落水する方法(溶出法)がある。そこで、津波による塩害被災土壌に対して、縦浸透法と溶出法の効果を数値シミュレーションを用いて検討した。また、津波による土壌の塩害化プロセスを明らかにするために、津波による土壌への海水浸入過程および海水浸入終了後の塩類集積についても同時に明らかにした。

### 2.2 シミュレーションモデルの概要

土壌中の水分・溶質移動モデルとして公開されている汎用コードの中から、本研究では、HYDRUS を用いた。HYDRUS は、アメリカ農務省塩類研究所(U. S. Salinity Laboratory)において開発され、現在はカリフォルニア大学リバーサイド校において改良が続けられている不飽和土壌中の水分・化学物質・熱移動プログラムである。農耕地への適用だけでなく、農耕地以外の対象(例えば、廃棄物処分場、核廃棄物地層処分等)においても多数の適用実績がある。HYDRUS には2次元および3次元のバージョンもあるが、本研究では無償で利用することができる1次元のHYDRUS-1Dを用いた。

#### (1) 共通の計算条件

湛水による土壌への海水浸入、海水浸入後の塩

類集積、除塩方法等、検討項目によってによってシミュレーションの条件は異なるが、共通の計算条件は以下の通りである。

### 1) 土壌水分特性

土性はシルト質粘土ロームとした。これは、笠岡湾干拓地で多く見られる土性と同じである。

土壌水分保持曲線および透水係数のモデルパラメータは、HYDRUS に実装されているデータベースよりシルト質粘土ロームに対応する van Genuchten パラメータを用いた。本研究で用いた土壌水分保持曲線を図-7に示す。

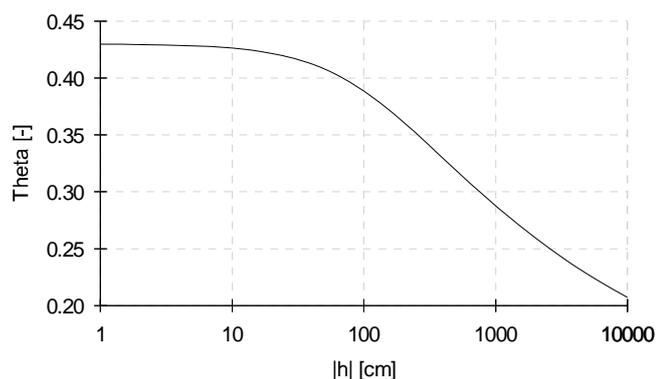


図-7 土壌水分保持曲線

### 2) 溶質移動特性

海水中には様々な化学物質が含まれているが、ここでは主成分である塩化ナトリウムのみが含まれていると仮定した。また、海水濃度は約 3% (0.53 mmol cm<sup>-3</sup>) とした。

溶質移動特性として、分散長は 1 cm<sup>xiii</sup>、水中での分子拡散係数は 1.75 cm<sup>2</sup> day<sup>-1</sup> とした。

### 3) 初期条件

津波湛水による海水浸透時における土壌水分の初期条件は圃場容水量 (-1,000 cmH<sub>2</sub>O) とし、除塩開始時の初期条件は土壌全層が海水で飽和されているものとした。また、土壌中の塩濃度の初期条件は、海水浸透開始時はゼロとし、塩類集積および除塩シミュレーションでは土壌全層が海水濃度に等しいとした。

### 4) 境界条件

既に述べたように、上端の境界条件は、湛水による土壌への海水浸入、海水浸入後の塩類集積、除塩方法等、検討項目によって異なるため、当該シミュレーションの項目で述べることとする。

下端の境界条件は、深さ 200 cm の位置に地下水面があるとした。これは、国土交通省が岡山市にある沖新田北東で観測している金岡東 No.2 の 2012 年の平均地下水位 (-263 cm) を参考に設定

した。2012 年の月平均地下水位と降雨量の変化を図-8に示す。5月の地下水位が約 -550 cm と他の月に比べて非常に低いのは、降水量が少なかったことに加えて灌漑水として用いられていたためであると考えられる。6月および7月には、梅雨時で降水量が多かったため地下水位は回復している。

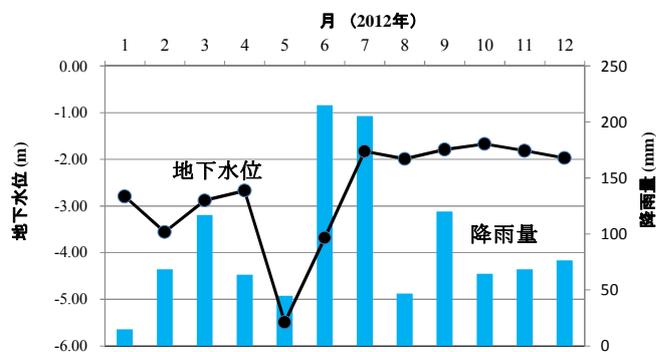


図-8 地下水位と降雨量の変化 (金岡東 No.2)

## 2.3 シミュレーションとその結果

### (1) 海水浸入過程と塩水集積

#### 1) 海水浸入過程

東日本大震災クラスの津波の場合、津波高さは数 m～数十 m に及ぶが、この高さのままで農地に長時間湛水するケースはそう多くはないと考えられる。そこで、湛水深を 50 cm と仮定し、これをシミュレーションの上端境界条件とした。

次に、湛水期間をどの程度とるのが問題となる。湛水期間は、地形によるところが大きいと考えられるが、排水施設の能力にも左右される。東日本大震災の場合は、5日間程度<sup>xiv</sup>から数100日程度<sup>xv</sup>と様々である。本研究では、湛水期間を 60 日間と仮定してシミュレーションを行った。

結果を図-9に示す。深さ 40 cm の塩分濃度は約 10 日ほどで海水と同じ濃度となった。この深さは、普通畑の主要根群域に相当する<sup>xvi</sup>。また、深さ 200 cm での塩分濃度変化より、全層が海水濃度

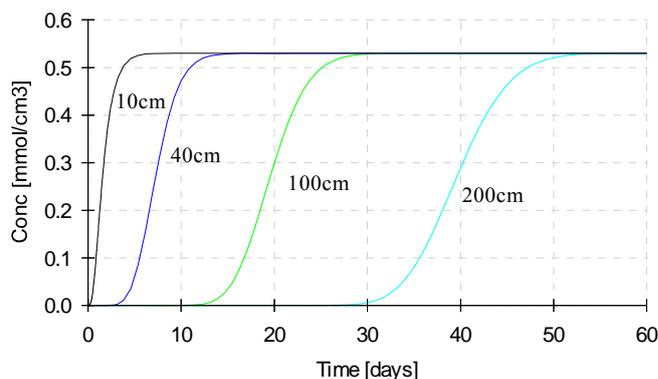


図-9 海水湛水による塩分濃度の経日変化

と同じになるのは湛水開始から 50 日後であることが分かる。

## 2) 塩類集積過程

津波による海水湛水の終了後に除塩対策を行わなかった場合に、土壌面蒸発による塩類集積がどのように進行するかを検討した。上端境界条件となる土壌面蒸発強度は、山本の研究成果<sup>xvii</sup>を参考に、 $2.5 \text{ mm day}^{-1}$ とした。

シミュレーション結果を図-10、図-11に示す。地表面の塩分濃度は、湛水終了後 10 日ほどで急激に上昇し、10~20 日にかけて  $6.5 \text{ mmol cm}^{-3}$  前後となった。20 日以降は徐々に低下していった。これは、地表面濃度の急激な上昇により、地表面濃度とそれより深い位置での濃度との間に深さ方向に向かう濃度勾配ができたため分子拡散により深さ方向に塩が拡散移動したためと考えられる。ま

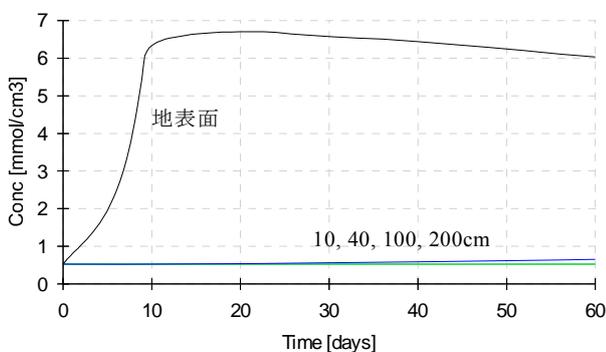


図-10 海水湛水終了後の塩分濃度変化

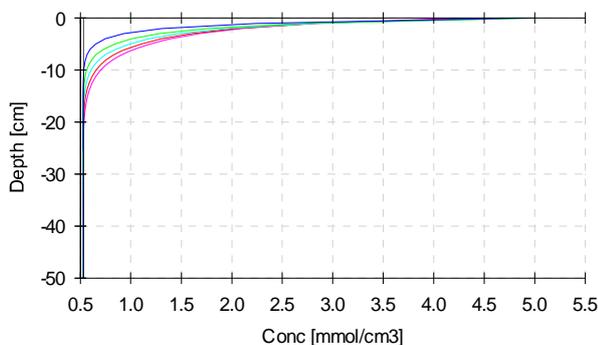


図-11 海水湛水終了後の塩分濃度プロファイル

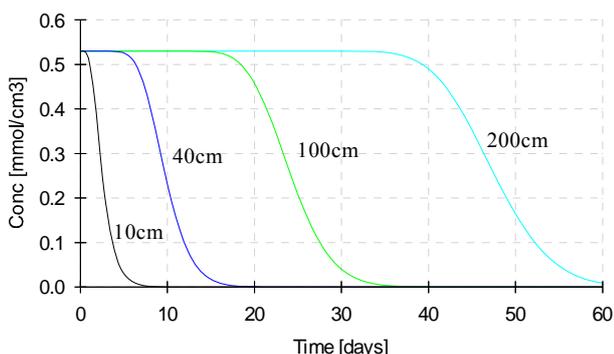


図-12 縦浸透法による塩分の濃度の経日変化

た、深さ 10 cm 以深では、60 日経過後も海水濃度のままであり、塩類集積は深さ 20 cm よりも浅い層で主に生じることが分かる (図-11)。

## (2) 除塩対策

縦浸透法、溶出法のいずれの場合も、除塩に必要な用水は、耕起した土壌の表面が完全に水没するまで湛水させるものとして、その 1 回の湛水量は代かき用水量相当とされている<sup>ii</sup>。そこで、本研究では湛水深を 15 cm とした。

### 1) 縦浸透法

湛水期間を 60 日としたときの土壌中の塩分濃度変化を図-12に示す。深さ 10 cm の塩分は 10 日までに、ほとんど洗い流されている。また、根群域の末端である深さ 40 cm では、20 日までに塩分濃度はゼロとなっている。全層で塩分濃度がゼロとなるのは 60 日後であることが分かる。

ここでは、下端の境界条件は深さ 200 cm の位置に地下水面があるとしてシミュレーションを行っているが、深さ 200 cm に暗渠があると仮定して計算した結果も図-12とほとんど同じとなった。

深さ 50 cm に暗渠がある条件でシミュレーションした結果を図-13に示す。深さ 40 cm の塩分濃度は約 13 日後にはゼロとなり、深さ 200 cm に案強がある場合よりも 7 日程度速く除塩が可能となる。したがって、迅速な除塩を行うためには、通常の暗渠と同じように、深さ 50 cm 前後に暗渠を施工することが有効であると言える。

### 2) 溶出法

60 日間湛水させ続けた場合の塩分濃度変化を図-14に示す。水中での濃度は、約 8 日後にピーク ( $7.6 \text{ mmol cm}^{-3}$ ) を迎え、その後徐々に低下し、60 日経過時には  $5.7 \text{ mmol cm}^{-3}$  となった。これは、分子拡散により水中での濃度が一様に向かったためであると考えられる。土壌中の深さ 10 cm の濃度は徐々に上昇し、 $3.3 \text{ mmol cm}^{-3}$  でほぼ平衡状態となった。また、40 日以降は、水中およ

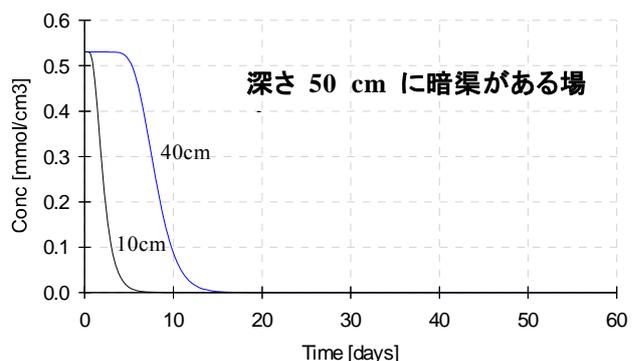


図-13 縦浸透法による塩分の濃度の経日変化

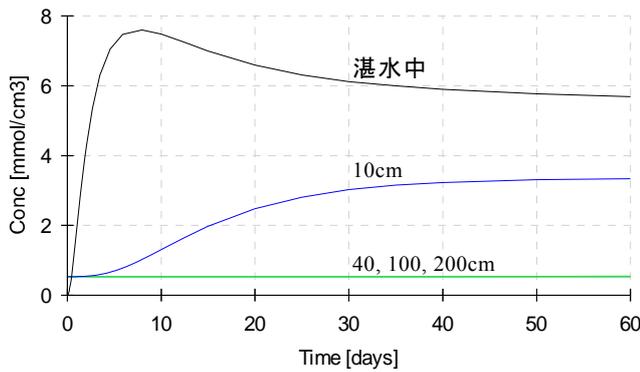


図-1-4 溶出法による塩分の濃度の経日変化

び土壌の各深さでの濃度がほぼ平衡状態になっていることから、除塩を促進させるためには、水中濃度がピークを迎える8日までに塩分を含んだ湛水を一旦排水し、新たな淡水を農地に導入することが必要である。これは、浸出法は、塩分濃度の高い土壌から濃度が低い湛水中へ分子拡散により塩が移動するメカニズムに基づく方法であるからである。

### (3) 自然環境下での除塩過程

前述した除塩方法は灌漑用水を必要とするが、津波災害の場合、用・排水路が破壊され、灌漑水を農地に導水できない事例が報告されている<sup>xiv</sup>。そこで、自然の降水のみによる除塩の効果を検討した。岡山市における2012年の日降水量を上端境界条件として与えた。また、蒸発散量は海水浸入過程の場合と同じ $2.5 \text{ mm day}^{-1}$ とした。

シミュレーション結果を図-1-5に示す。深さ10 cmの塩分濃度は200日までにほぼゼロとなった。深さ40 cmの濃度は200日前後で急激に低下し、最終的に初期濃度の1/10以下となった。また、100 cm以深では濃度の低下はほとんど無かった。

図-1-6は、深さ50 cmに暗渠を施した場合の結果である。図-1-5と比較すると、180日ほどで深さ40 cmの塩分濃度はほとんどゼロとなり、暗渠の効果が認められる。これより、暗渠の施工は、自然の降雨を利用する場合においても縦浸透法の場合と同様に、重要であることが明らかとなった。

## 2.4 課題

### (1) 除塩対策の前に必要なこと

縦浸透法、溶出法のいずれの方法も対象となる農地に大量の灌漑水を導水し、大量の水とともに土壌中の塩類を農地外に排出することが基本となる。そのため、その実施にあたっては、用水路と排水路が必要となる。しかし、例えば東日本大震

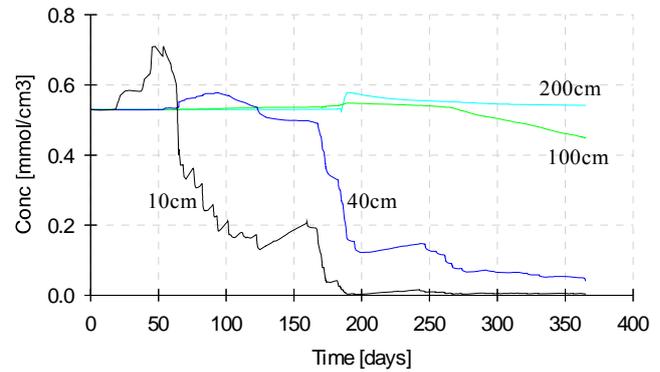


図-1-5 降水による塩分の濃度の経日変化

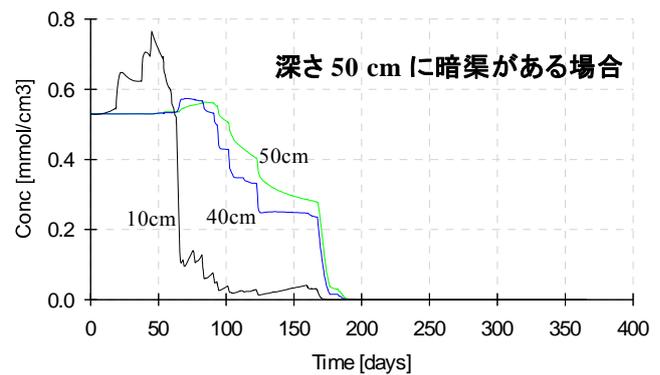


図-1-6 降水による塩分の濃度の経日変化

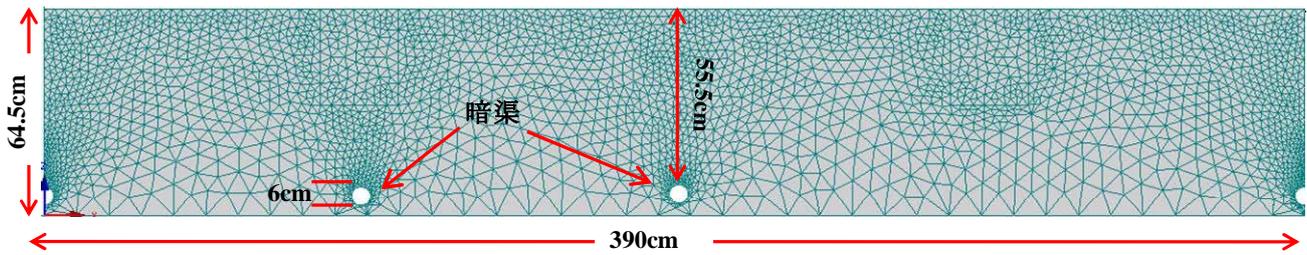
災では、排水機場などの主要な排水施設が甚大な被害を受けたため排水機能の著しい低下が生じた。このような状況では、ほとんどの津波被災農地は排水施設が復旧するまで除塩が実施できない状況であった。

縦浸透法と溶出法の実施にあたっては、用排水路施設の確保または速やかな復旧が重要である。

### (2) 数値シミュレーション

今回のシミュレーションは鉛直1次元で行った。その結果は単位面積当たりとして考えられることができる。例えば、暗渠に関しては単位面積当たりとして解釈できる。しかし、実際の農地では、暗渠は一定の間隔で施工されるのが一般的であるため2次元以上の数値モデルでシミュレーションを行い、暗渠の埋設深さに加えて、埋設間隔も検討することが重要である。図-1-7は、2次元モデルを用いて作成した圃場スケールにおける有限要素メッシュと暗渠間隔および暗渠埋設深を示している。あらかじめ暗渠間隔や暗渠埋設深を変えてシミュレーションすることで、低コストで最適な除塩対策のより精密な立案が可能になる。

また、今回は除塩用水および地下水面は塩分を含まないものとしてシミュレーションを行ったが、実際の除塩用水や地下水は真水ということはありません、いくらかの塩を含んでいる。こうした塩を



図－17 圃場スケールにおける FEM メッシュと暗渠間隔および埋設深

考慮した場合、除塩にかかる期間は若干長くなると考えられる。

(諸泉 利嗣)

<引用文献>

- i 東日本大震災（津波）による農地の推定被害面積 平成 23 年 3 月 農林水産省統計部農村振興局 <http://www.maff.go.jp/j/tokei/saigai/pdf/shinsai.pdf>
- ii 農地の除塩マニュアル 平成23年3月 農林水産省 <http://www.maff.go.jp/j/press/nousin/sekkei/pdf/110624-01.pdf>
- iii 岡山県津波浸水想定について 岡山県危機管理課 <http://www.pref.okayama.jp/page/329011.html>に  
加筆
- iv 農地土壌に対する東日本大震災の影響と対策 東北大学 南條正巳 <http://www.agri.tohoku.ac.jp/agri-revival/ocu6bi0000002cz-att/a1322803240058.pdf>
- v 東日本大震災における津波被災農地の塩害対策 東京農業大学後藤逸男他 [http://www.academy.nougaku.jp/annual%20report/kaiho16/10\\_rondan.pdf](http://www.academy.nougaku.jp/annual%20report/kaiho16/10_rondan.pdf)
- vi 平成 23 年(2011 年)東北地方太平洋沖地震による津波被災農地の堆積物・土壌の理化学的特徴 北川巖他 農工研技報 213 p.39～51, 2012 [http://www.naro.affrc.go.jp/publicity\\_report/publication/files/213No4.pdf](http://www.naro.affrc.go.jp/publicity_report/publication/files/213No4.pdf)
- vii 農地の除塩現地実証試験の結果について 平成 23 年 3 月 東北農政局 <http://www.maff.go.jp/tohoku/press/seibi/bousai/110929.html>
- viii 平成 23 年東北地方太平洋沖地震による津波被災農地の 1 年経過後の除塩の進行状況 瑞慶村知佳他 農工研技報 214 p. 9～16, 2013 <http://www.maff.go.jp/tohoku/press/seibi/bousai/110929.html>
- ix 農地への海水の流入が農作物に及ぼす影響とその対策 平成 16 年 12 月香川県農業経営課 <http://www.pref.kagawa.jp/agrinet/files/saigai/engai.pdf>
- x 岡山県農林水産部ホームページ <http://www.pref.okayama.jp/page/detail-26752.html>
- xi 岡山県の気象年報平成 25 年岡山地方气象台 <http://www.jma-net.go.jp/okayama/guide/geppo/npo25.pdf>
- xii 農業の震災復興に向けた提言(第 2 版)「復興を支える新技術」平成 25 年 4 月(独)農業・食品産業技術総合研究機構 [http://www.naro.affrc.go.jp/disaster/files/disaster\\_teigen\\_2012.pdf](http://www.naro.affrc.go.jp/disaster/files/disaster_teigen_2012.pdf)
- xiii 中村公人・取出伸夫, 形態変化を 1 次反応式により考慮した土中の窒素移動モデル, 土壌の物理性, 105, 83-97, 2007.
- xiv 千葉克己・加藤徹・富樫千之・冠秀明, 縦浸透除塩の有効性と宮城県の津波被災農地の除塩対策, 水土の知(農業農村工学会誌), 80(7), 527-530, 2012.
- xv 国土交通省東北地方整備局, 東日本大震災における活動記録(報告)～全国からの排水ポンプ車や TEC-FORCE の応援が貢献～, <http://www.thr.mlit.go.jp/bumon/b00037/.../H231202houkoku.pdf>, 2011 (参照日: 2014/8/20).
- xvi 農林水産省構造改善局, 土地改良事業計画設計基準計画「農業用水(畑)」, (社)農業土木学会, 1997.6.
- xvii 山本将也, 岡山県 3 河川流域における実蒸発散量と水収支の推定, 岡山大学環境理工学部環境管理工学科卒業論文, 77p, 2006.

## 津波による塩害被災と除塩状況を指標植物から探る

岡山大学大学院環境生命科学研究科 沖 陽子  
岡山大学大学院環境生命科学研究科 中嶋佳貴

### 1. はじめに

東日本大震災が発生してはや3年半が過ぎ去った。2011年3月11日に発生した東日本大震災では、農林水産業関係にも大きな被害が生じ、太平洋沿岸地域を中心に2万ha以上の農地が津波による冠水や流失等の被害を受けた。海水は約3.5%の塩分を含んでおり、津波で冠水した農地では塩害が問題となった。現在まで、灌水による除塩対策等が行われてきたが、除塩に必要な用水を確保するのが困難な地域もあり、他の方法による除塩対策が望まれており、その一つに植物を利用した除塩対策が考えられる。

これまで耐塩性に関する研究は多く行われているが、Naを対象とした塩類集積土壌のファイトレメディエーション技術の研究はあまり行われていない。今後、津波被災農地の除塩対策に植物を利用するに当たり、耐塩性が強く、またNa吸収能の大きな植物を選抜する必要がある。そこで、植物の耐塩性等に関する既往の研究から、津波由来塩害地の除塩に利

用できる植物の検討を作物、飼料作物及び雑草別に行う。そして、それらの植物の中から指標植物として活用可能な草種を選抜する。また、選抜種の耐塩性や好塩性を検証することにより、岡南地域において津波による塩害被害が生じた場合の指標植物への可能性並びに除塩効果を検討し、その活用に向けた提言を行う。

### 2. ファイトレメディエーションとは？

植物を用いた環境修復技術はファイトレメディエーションと呼ばれ、その機能からphytoextraction（除去）、phytotransformation（分解）、phytovolatilization（拡散）、phyto-stabilization（固定）及びphytostimulation（分解）の大きく5つに分けられる。これら5つの手法のうち、塩類や重金属、放射性物質を対象とした場合に有効な手法はphytoextractionとphytostabilizationである。

高橋ら（1998）が行ったNaの有用性に関する研

究の結果から、塩害農地のphytoextractionに利用できる植物を推測し、それらを中心に、過去に行われた耐塩性等に関する研究から、塩害農地のphytoextractionに適する植物の検討を行った（表1）。

塩害農地のphytoextractionに利用できると思われる植物は、イネ科の大麥、イタリアンライグラス、ローズグラス及びトウモロコシ、アカザ科植物、アブラナ科植物、キク科のヒマワリである。特に、アカザ科植物は好塩性作物の一種であるテンサイや塩生植物のアッケシソウを含み、極めて耐塩性が強く、Na吸収能も大きいことから、塩害農地のphytoextractionに有効であると考えられる。アブラナ科植物は、比較的速やかに地上部へのNa移行が行われるため塩害農地のphyto-extractionに適すると考えられるが、作物種間及び品種間に差がみられること、葉菜類は害徴が生じやすいことから、事前に適切な作物及び品種の選抜試験を行う必要がある。キク科植物は地上部へのNa移行抑制によって耐塩性を獲得しているためphytoextractionに適さないと考えられるが、ヒマワリは高収量を見込めるため、利用できる可能性はある。雑草はNaの吸収あるいは地上部への移行を抑制することによって耐塩性を獲得しているものが多いと思われることから、塩害農地のphytoextractionに利用することは難しいと思われる。ただし、ギョウギシバは系統によって利用できる可能性があり、ヨシも塩害被害が生じた場合の指標植物への可能性が高く、研究対象として興味のある草種となる。なお、表1においては、雑草の除塩への利用可能性は不可とされているが、筆者らはギョウギシバのようなC<sub>4</sub>植物においては、十分に可能性はあると考えている。

そこで、塩生植物であるアッケシソウ群落と耐塩性の高い中生植物であるヨシ群落が混成する錦海塩田跡地を対象に、その土壤環境における塩分濃度と両草種の生育状況の検証調査を実施したので、その結果を次項で報告する。

表—1 津波由来塩害農地の除塩に利用できる植物

	科名	植物名	耐塩性	除塩への 利用可能 性	備考
作物	イネ科	大麦	強	○	
	アカサ科	テンサイ (サトウダイコン)	極めて強	◎	
		アッケシソウ	極めて強	◎	
	アブラナ科			△	・事前に適切な作物及び品種の選抜試験が必要
	キク科		比較的強	×	
飼料作物	イネ科	トウモロコシ	中程度	○	
		イタリアライグラス	極めて強	○	・飼料として利用する場合は注意が必要
		ローズグラス	強	○	・飼料として利用する場合は注意が必要
	キク科	ヒマワリ	中程度	○	
雑草	イネ科	ヨシ	強	×	
		キョウキシハ	強	×	・系統によっては利用できる可能性がある
	キク科	モギ	中程度	×	

### 3 塩田跡地に自生するヨシとアッケシソウの指標植物としての可能性

#### 3.1 はじめに

ヨシ(*Phragmites communis*)は日本の湖沼や河川下流域の沿岸帯において、最も一般的にみられる多年生の大型抽水雑草である。ヨシは多少の塩分環境にも耐えることができる耐塩性機構を有していることが知られている。本研究では、塩田跡地に自生する耐塩性を有するヨシ群落と好塩性を有する塩生植物のアッケシソウ(*Salicornia herbacea*)群落下の土壌環境を比較することで、両草種が形成される土壌環境を把握し、塩分濃度等の生物指標として活用する可能性を検討した(増田ら, 2014)。

#### 3.2 調査地点および方法

図—1に示す錦海塩田跡地内(岡山県瀬戸内市

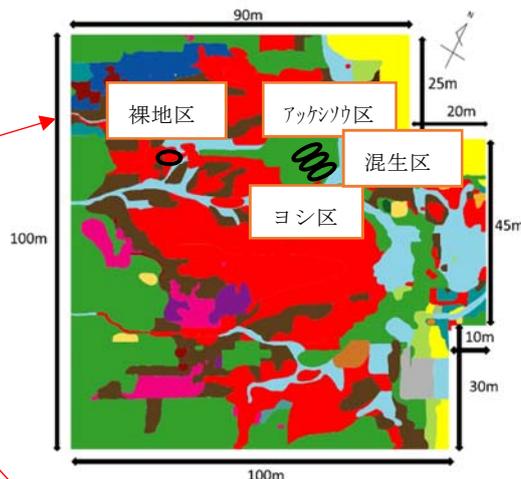
牛窓町)において、隣接するヨシ群落(以下ヨシ区)、ヨ

シ・アッケシソウ混生群落(以下混生区:写真—1)、アッケシソウ群落(以下アッケシソウ区)および裸地(以下裸地区)の4調査区を設定し(図—2)、植物体調査および土壌環境調査を実施した。土壌表面積400cm<sup>2</sup>(20cm×20cm)、土深10cmの直方体の土壌ブロックを2013年11月21日に採取し、土壌および植物体のサンプリングを実施した。各々3反復とした。植物体についてはヨシおよびアッケシソウの草高、地上部および地下部別現存量の測定と共に、ヨシの稈数とアッケシソウの個体数も測定した。土壌環境については土壌ブロックを0~3cm層(以下表層)、3~6cm層(以下中間層)、6~10cm層(以下下層)の3層に分割し、各々含水比と酸化還元電位を測定した。さらに土壌:水=1:5の

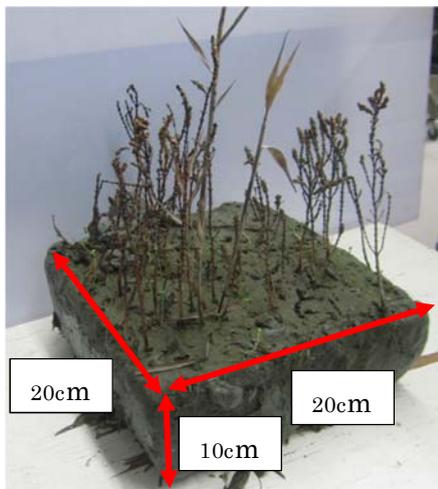
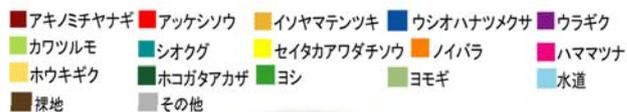
土壌溶液を作成し pH, EC, 塩分濃度を測定した。



図—1 錦海塩田跡地(岡山県瀬戸内市)  
(出典：錦海塩田跡地活用基本計画 瀬戸内市)



図—2 調査区域植生分布図



図—3 土壌のサンプリング方法



写真—1 ヨシ・アッケシソウ混生群落  
(2013年8月1日撮影)

### 3.3 結果及び考察

ヨシ区におけるヨシの平均草高は 29.1cm, 平均地上部現存量は 210gDW/m<sup>2</sup>であった。同時期の児島湖人工干潟内におけるヨシ群落の平均草高は 200cm, 平均地上部現存量は 659gDW/m<sup>2</sup>であり, 塩田跡地内のヨシは著しく生育が制限されていることが明らかとなった(表—2)。一方, 図—4に各調査区の深度別ヨシ生存地下茎の現存量を示し

た。それによると, ヨシ区の下層で生存地下茎の分布が確認されたことなどから, ヨシは下層の塩分濃度が低い土壌において地下茎を形成し, 生育することが示唆された。また, 土壌ブロックの土壌塩分濃度は裸地区では 0.53~0.69%, 他の植生がある 3 調査区では 0.18~0.29%の範囲であった(図—5)。そして, ヨシ区における下層の塩分濃度は 0.20%とアッケシソウ区の 0.24%よりも有意

に低い( $P < 0.05$ )ことが明らかになった。一方、ヨシ区とアッケシソウ区の酸化還元電位を比較すると中間層( $p < 0.05$ )および下層( $p < 0.001$ )において

有意差が生じた。このことからヨシは比較的還元状態の土壤に地下茎を分布することが認められた。

表-2 錦海塩田跡地および児島湖人工干潟におけるヨシ地上部現存量の比較

調査地	調査区	茎部	葉身部	花部	新芽		枯死部	合計 (gDW/m <sup>2</sup> )
					茎部	葉身部		
錦海塩田	ヨシ区	54.48±9.02	1.25	—	9.06±5.96	0.80±0.39	144.60±36.21	210.19
	混生区	16.61±6.59	—	—	8.13±5.62	1.88±1.06	29.29±10.15	55.90
児島湖	人工干潟	403.53±139.79	100.53±40.37	26.59±20.03	11.31±10.48	5.97±4.57	111.34±55.58	659.27

注1) 児島湖人工干潟内での植生調査は2013年11月13日に実施。

注2) —は3反復全て0gDW/m<sup>2</sup>であることを示す。

注3) 数値は3反復の平均±標準偏差。ただし、現存量が0gDW/m<sup>2</sup>の場合はそれを除く平均(±標準偏差)を示す。

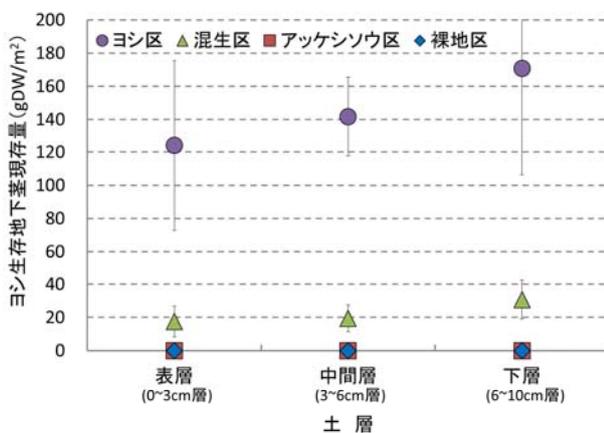


図-4 各調査区の深度別ヨシ生存地下茎の現存量

注) 3反復の平均値および標準偏差(エラーバー)を示す。

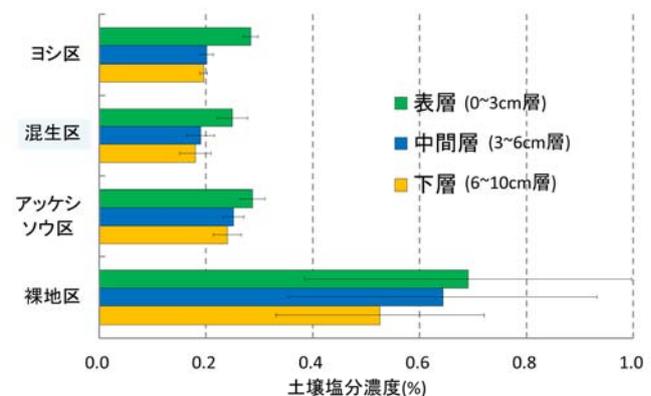


図-5 各調査区における土壤塩分濃度の比較

注1) 3反復の平均値および標準偏差(エラーバー)を示す。

注2) 土壌:水=1:5の土壤溶液を作成し、塩分濃度を測定した。

#### 4. まとめ

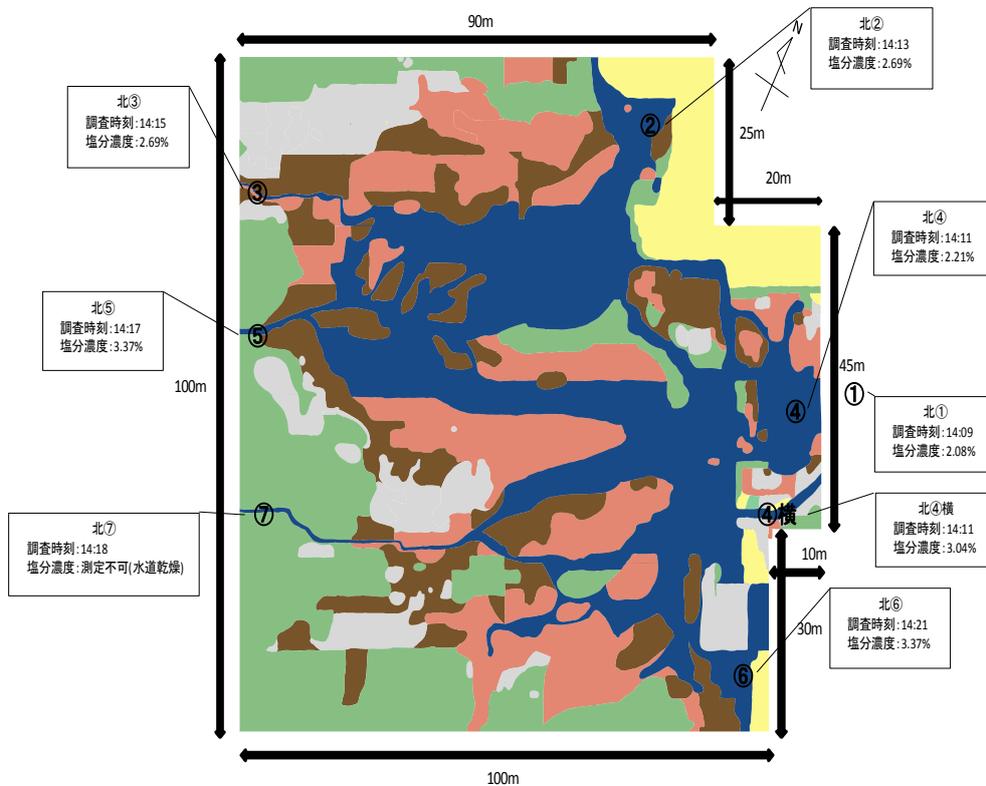
以上の結果から、錦海塩田跡地に自生するヨシは、塩分が含まれない児島湖人工干潟に生育するヨシと比較して、土壤塩分の影響を受けて著しく生育が制限されることが把握された。すなわち、図-6に示した通り、防波堤から海水が滲出することにより、水道の塩分濃度が2.08~3.37%を推移する塩性湿地で育つヨシは、塩分が含まれない土壤で生育したヨシの地上部バイオマス量を100%とした場合の31.9%、混生区のヨシは8.5%しか茎葉部を生産していないことが把握された。また、草高は平常値の14.6%しかなく矮性化している。また、秋季になっても開花・結実が確認されず種子生産は不可能であることが把握された。また、ヨシの地下茎の生育はアッケシソウの有無で大きく異なり、特に塩分濃度が低い下層に分布させることで、また還元が進んだ土壤でも中空の稈により地下茎に酸素を輸送することで、繁殖に

重要な地下茎の枯死を防ぐ適応戦略をとっているものと推察された。

立地条件としての土壤塩分濃度を層別に検討した結果、0~3cmにおける表層では、ヨシ区で必ずしも低濃度ではなく0.27~0.30%の値はアッケシソウ区と有意差が無かった。しかしながら、深度3~6cm並びに6~10cmにおいてのヨシ区は0.19~0.21%の範囲で、混生区はさらに低い0.15~0.22%であった。一方、アッケシソウ区の間層と下層は0.21~0.27%の範囲であった。裸地区の表層が0.41~1.02%、中間層が0.37~0.95%、下層が0.35~0.73%であることを考えると、津波等の被災後にヨシ群落が確認された場合は、その時点で表層から深度10cmまでの土壤塩分は30~40%が除塩されていると推測できる。一方、塩生植物のアッケシソウについては図-5で示した値は小型の植物群落下のものである。生育晩期の11月では中型や大型植物も発生するが、それらの群

落下の土壤塩分濃度は表層から下層にかけて非常に低く、中型で0.07~0.10%, 大型で0.02%であ

った。この結果は土壤中の塩分がアッケシソウの成育中に吸収されたと推測されるが、さらに再調



図—6 現地水質調査 (2013年10月31日)

■ 水道 ■ アッケシソウ ■ ヨシ  
 ■ セイタカアワダテソウ ■ 裸地 ■ その他

注1) 図中の①~⑦および④横は水質調査地点を表す。  
 注2) 水道を最前面に配置し、不透明度100%で表示している。裸地は不透明度70%、その他の項目は不透明度50%で表示している。

査等が必要と考える。植物が Na 濃度の高い土壤に生育する場合には、細胞質の Na 濃度が高まらないようにする必要がある。そのために植物が取る手段としては、a) 根が Na の吸収を抑制する、b) 根が吸収した Na を再び根から排出するか、地上部の特定の組織から排出する、c) 根が吸収した Na を細胞の液胞中に隔離する、の3つが挙げられる。ヨシは淡水域から河口などの塩分濃度の高い汽水域まで分布する広塩性植物であるが、土壤溶液の塩分濃度の高いところでも、体内の Na 濃度は低く抑えられている。このヨシに比べて耐塩性の劣るイネとヨシを比較したところ、ヨシではイネよりも Na の根への流入速度が小さく、地上部への移行

率も低いだけでなく、地上部の Na が根に再輸送されて排出され、地上部への Na の集積が低く抑えられていることが報告されている。ヨシの根を代謝阻害剤で処理すると、吸収した Na の排出減少し、Na の吸収が著しく増加した。この結果から、ヨシにはエネルギーに依存した Na 排出系のあることが示唆されている (高橋, 1989・1991)。

一方、塩生植物の浸透圧調節には、Na を吸収して浸透圧調節に利用する双子葉塩生植物と、K によって浸透圧調節を行い、Na の吸収を抑える単子葉塩生植物の2種類がある。Na を吸収して浸透圧調節を行う双子葉塩生植物では、吸収した Na を液胞へ隔離して代謝が乱されないようにし、

細胞質にはベタインなど不活性な溶質を蓄積して液胞との浸透圧バランスを取っている（間藤，1997・侯野，1983）。以上の見解を踏まえた上で、

津波被災地の現場でいかに指標植物を活用するかを具体的に提言する。

## 5. 課題

指標植物を導入することは、津波被災農地における耐塩性の強い雑草の侵入及び繁茂を招くこともある。宮城県の農地を対象とした植生状況調査では、イヌビエやコウキヤガラ等耐塩性の強い雑草の侵入や優占が確認された。除塩作業を実施するまでの期間が長くなる可能性がある農地では、耐塩性植物以外の植物も徐々に再生してくることが予想される。そのため、農地復旧後の雑草管理を容易にする視点から、干拓地における植生遷移系列などと比較しながら、除塩作業に着手するまでの期間の植生管理（除草剤や耕起など）のあり方を検討する必要がある（嶺田・友正，2011）。今後、指標植物を用いた除塩実証試験を行い、被災農地の修復をより効果的に進めるマニュアルを整備することが望まれる。

## 6. 謝辞

本研究を実施するにあたり、岡山大学大学院環境生命科学研究科植生管理学分野の修士課程を修了した寺内綾香氏並びに修士課程在籍中の増田孝宏氏に多大の協力を得た。ここに心から感謝の意を表す。さらに、現地調査等でお世話になった植生管理学研究室の諸氏に謝意を表す。また、錦海塩田跡地を調査地として許可して頂いた瀬戸内市長に御礼申し上げる。

\*なお、アッケシソウ群落は絶滅危惧種Ⅱ類（絶滅の危険性が增大している種）であるので、留意していただきたい。

### <引用文献>

1. 高橋英一・前嶋一宏 1998. ナトリウムの有用性に関する比較植物栄養学的研究，近畿大学農学部紀要 31, 57-72.
2. 増田孝宏・中嶋佳貴・沖陽子 2014. 塩田跡地に自生するヨシの適応戦略に関する基礎研究，雑草研究 59 (別号), pp. .
3. 間藤徹 1997. 植物の耐塩性メカニズム，植物の化学調節 32 (2), 198-206.
4. 但野利秋 1983. 作物の耐塩性とその機構，化学と生物 21 (7), 439-445.
5. 高橋英一 1989. 作物における塩害発生の機構と耐塩性，日本土壌肥料学会講演要旨集 (35), 201-202.
6. 高橋英一 1991. 植物における塩害発生の機構と耐塩性，日本土壌肥料学会編「塩集積土壌と農業」，博友社，東京，pp.123-154.
7. 嶺田拓也・友正達美 2011年7月20日. 東日本大震災による津波被災農地の植生状況調査報告，[http://www.naro.affrc.go.jp/org/nkk/2011fukkoushien/fukkyuuhouhou/nouchi/syokusei\\_11070](http://www.naro.affrc.go.jp/org/nkk/2011fukkoushien/fukkyuuhouhou/nouchi/syokusei_11070).

## 水害廃棄物の発生量推計と処理対策

岡山大学大学院環境生命科学研究科 藤原健史

## 1. はじめに

日本は豪雨や洪水などの水害の多い国である。近年、ゲリラ豪雨のように、短時間で狭い範囲に多量の降水をもたらす集中豪雨が増えている。そのため高潮や洪水の危険性も増している。平成 23 年 3 月の東日本大震災では、津波による災害が大きく 2,802 万トンの災害廃棄物と 1,102 万トンの津波堆積物が発生した。同規模の巨大地震が南海トラフ沖で発生すれば、瀬戸内海沿岸部でも津波が押し寄せ、岡山市においては平均高さ 2m 程度の波が来ると予想されている。岡山市の平地面積が広いために津波による全壊・半壊家屋が発生し、床上・床下浸水も入れると大量の水害廃棄物が発生すると考えられる。その水害対策に関して、災害発生時に発生する廃棄物量を正確に予想することができれば、対策が円滑に進められ、都市復旧が早くなると考えられる。本研究では、岡山市の災害マップを利用して、GIS を援用しながら水害により被災する建築物を把握し、水害廃棄物の発生量を推計することを試みる。また、仮置場の適地選定や仮置場への輸送計画についても検討した。

## 2. 研究方法

本研究では災害マップと建物情報を重ね合わせ、被災家屋を選定し、発生量を推計する。次にその結果を活用し、仮置場設置候補地の選定を行う。最後に収集輸送の計画を立てる。

## 2.1 水害廃棄物発生量推計の流れ

まず以下の手順で発生量の推計を行う。

- 1) 洪水被災範囲の特定(災害マップ)
- 2) 建物情報の収集(基盤地図情報)
- 3) 被災範囲の一般住居の選定(GIS)
- 4) 原単位の変換
- 5) 原単位を用いて水害廃棄物発生量を算出

## 2.1.1 被災領域の特定

自治体が配布している防災マップを洪水発生時の被災範囲とし、水害廃棄物の発生量を推計する。防災マップにある深さ別の浸水範囲をもとに、災害廃棄物を推計する。

## 2.2.2 建物形状の収集

GIS を用いて、国土地理院が公開している建物外周線対象地域の建築物外周線のデータから、建物の棟数と建物ごとの建築面積を計算する。ここで外周線は全ての建築物について作成されており、住居タイプの区別はない。そこで、建築面積が 50～99m<sup>2</sup> の建物を一般住宅、178～228m<sup>2</sup> の建物を集合住宅と仮定する。表 1 に計算に使用した総務省統計局が発表している住宅・土地統計調査(H20)の値を示す。

表 1：岡山市の棟数、世帯数、世帯当たり面積

	棟数	世帯数	延べ床面積(m <sup>2</sup> )	建築面積(m <sup>2</sup> )
一般家屋	115,970	115,900	90.2	74.5
集合住宅	16,700	174,487	44.5	44.5

## 2.1.3 被災範囲の一般住居の選定

災害マップから得られる被災領域地図と、建築物の外周線データから得られる建物形状地図を GIS 上でまとめ、被災建築物の棟数と建築面積をカウントする。その結果、図 1 に示すように浸水深ごとの被災領域(ピンク、緑、黄色)と建築物の影が重なった地図ができる。GIS 上でその地図を 500m メッシュに区切ってカウントする。



図 1：災害マップと建築物外周線を重ねた地図

## 2.1.4 原単位の変換

水害廃棄物の発生量原単位として次の 2 種類を考える

### 1) 兵庫県原単位

岡山市は水害廃棄物発生量原単位を定めていないことから、(財)ひょうご震災記念 21 世紀研究機関)が定めている 1 棟当たりの排出量原単位を用いる。

### 2) 統計原単位

表 2 は兵庫県と岡山市の建築物についての全棟数、全世帯数、そして戸別の延床面積及び建築面積を表している。この建築統計を用いて次のように災害廃棄物発生量を求める。

- ① 一般家屋：建築物の建築面積から延床面積を推計し、それに延床面積当たりの災害廃棄物発生量を掛けて 1 戸からの災害廃棄物量を求める。
- ② 集合住宅：戸別建築面積と戸別延床面積は同じである。建築物の建築面積を延床面積と仮定してごみ量を求め、水深が 2m を超える場合には 2 階の 2 倍で考える。

表 2：岡山県と岡山市の建築統計

	棟数	世帯数	戸別延床面積 (m <sup>2</sup> /戸)	戸別建築面積 (m <sup>2</sup> /戸)
一般家屋	115,970	115,900	90.2	74.5
集合住宅	16,700	174,487	44.5	44.5

表 3：被害の規模ごとの水害廃棄物原単位

	浸水深 (m)	兵庫県原単位 (t/世帯)	岡山市原単位 (t/世帯)	岡山市原単位 (t/m <sup>2</sup> )
全壊	0-0.5	12.9	12.45	1.1153
大規模半壊	0.5-1.0	9.8	9.46	0.0876
半壊	1.0-2.0	6.5	6.27	0.0581
床上浸水	2.0-5.0	4.6	4.44	0.0411
床下浸水	5.0-	0.62	0.60	0.0055

#### 2.1.5 水害廃棄物量の推計

一般家屋と集合住宅に分け、世帯数や棟数に着目して計算する方式 (方式 1) と、建築面積に着目して計算する方式 (方式 2) の両方で、水害廃棄物量を計算する。

一般家屋と判断される建築物について、(方式 1)、(方式 2) に係らず、浸水深ごとの水害廃棄物原単位を乗算して計算する。

集合住宅と判断される建築物について、(方式 1)

では階当たりの世帯数を掛けること、浸水深が 2m を超える場合は 2 階の世帯も浸水すると考える。

(方式 2) では、階段などの建築面積を引くこと、浸水深が 2m を超える場合は 2 倍ことを考慮する。

以上の条件を考慮し、浸水深ごとの水害廃棄物原単位は表 3 を用いて、水害廃棄物量を下のよう

- ① 一般住宅の発生量
  - (方式 1)=棟数(世帯)
    - ×浸水深ごとの岡山市原単位 (t/ 世帯)
  - (方式 2)=建築面積 (m<sup>2</sup>)
    - ×浸水深ごとの岡山市原単位 (t/ m<sup>2</sup>)
- ② 集合住宅の発生量
  - (方式 1)=棟数(棟)
    - ×1 棟あたりの平均世帯数：10.44(世帯/棟)
    - ÷1 棟あたりの平均階数：2.79(階/棟)
    - ×岡山市原単位 (t/世帯)
    - ×浸水する階数(階)
  - (方式 2)=建築面積 (m<sup>2</sup>)
    - ×岡山市原単位 (t/ m<sup>2</sup>)
    - ÷係数：(R=1.192)
    - ×浸水深ごとの係数(1or2)

#### 2.2 仮置場候補地選定の流れ

被災地から水害廃棄物を撤去する際に、それらを貯留・選別するための仮置場が必要となる。仮置き場は水害廃棄物の発生源に近いと便利である反面、仮置場で作業する重機の騒音や巻き上がる粉じんなど周囲に与える影響が大きい。そこで、仮置場を適正に配置することは大きな意味をもつ。

本研究では、被災地周辺の仮置場候補地として挙げられる場所を、種々の制約条件のもとでふるいにかき、絞り込んでいく。仮置場設置候補の検討手順を以下に示す。

- 1) 仮置場候補地区画の選定
- 2) 適正候補地による選定
- 3) 地図情報による選定
- 4) 許容量の計算

##### 2.2.1 仮置場候補地区画の選定

まず仮置場を設置する可能性のある場所を区画で決定する。仮置場は被災現場から離れすぎるとアクセスが悪くなり、運搬車両が出す環境負荷も多くなるため、仮置場の候補区画はがれきが発

生した区画から 2km 以内に限定する。

### 2.2.2 適正候補地による選定

9 都県市廃棄物問題検討委員会による震災廃棄物の適正処理に関する調査報告書では、仮置場に適していない土地として、河川敷と山麓地域を挙げている。よって、国土地理院から入手した河川ベクトルデータ並びに山麓地域ベクトルデータに含まれる仮置場区画は除外する。

### 2.2.3 地図情報による選定

上記の調査報告書より、仮置場に適している場所として、住宅密集地域（特にオープンスペースである学校や公園）や空港跡地などが挙げられる。よって、学校や公園のある区画や、空港跡地などの面積が広く、環境への影響少なく、同意が得られやすい場所を ZENRIN の地図情報で調べ、仮置場区画として選定する。

### 2.2.4 許容量の計算

仮置場の候補とする学校校庭や公園敷地などはそれぞれ面積が異なるため貯留可能量が違ってくる。そこで、仮置場候補の敷地に沿ったポリゴンを形成して貯留可能量を計算する。

面積から貯留可能量を計算する方法として、得られた面積  $S$  (m<sup>2</sup>) と外周線の長さ  $l$  (m) を元に、容量  $V$  (m<sup>3</sup>) を以下の式で計算する。

$$V = \frac{Sl}{48} \left[ 1 - \left( 1 - \frac{80}{l} \right)^3 \right]$$

この式では、堆積高さを 5m、法面勾配が 2 割（垂直高さ 1 に対して水平距離 2）となる矩形面積の仮置場を想定している。求められる容量に水害廃棄物の平均比重  $P=0.30$  (t/m<sup>3</sup>) をかけて、許容重量 (t) を求める。

## 2.3 収集輸送計画

水害廃棄物の発生場所と発生量、そして仮置場の場所と許容量から、最適な輸送先を計算する方法を与える。水害の発生した区画の廃棄物量 (t) と仮置場までの距離 (km) を掛け合わせた仕事量 (トンキロ) が最小となるように水害廃棄物の収集先と輸送先を決定する。その手順を以下に示す。

- 1) 収集先の選定
- 2) 支援システムの開発
- 3) 収集期間の推計

### 2.3.1 収集先の選定

発生した廃棄物をどこの仮置場に運搬するかについては、GAMS を用いて LP 問題として解く。

### 2.3.2 支援システムの開発

最適解に拘らず、がれき輸送の判断を迅速に行えるように、コスト最小となる仮置場候補を自分で探せる探索支援システムを作成する。これにより、自分が住んでいる場所を指定したときに、水害廃棄物をどこの仮置場に輸送すれば良いかが視覚的に分かるようになる。

### 2.3.3 収集期間の推計

推計結果を元に発生した廃棄物を全て仮置場に運搬するのに必要な日数を計算する。今回の計算では、発生区域につき 2t トラックを 5 台、5t トラックを 3 台ずつ割り当てるとし、運搬能力 ( $M=25t$ ) とする。また、積み上げ積み込み時間を ( $W=1.5h$ )、平均速度 ( $v=30km/h$ )、一日の作業時間 ( $W=8h$ ) とする。以下に推計式を示す。

$$U_{i,j} = \left\{ (2r_{i,j} \div v) + T \right\} \times \frac{m_{i,j}}{WM}$$

$U_{i,j}$  :  $i$  で発生した廃棄物を  $j$  に輸送し終わるまでの日数

$m_{i,j}$  :  $i$  で発生した廃棄物を収集し  $j$  に輸送する量 (t)

$r_{i,j}$  :  $i$  から  $j$  までの距離 (km)

$U_{i,j}$  が最大となる値を求め、発生水害廃棄物を収集し終わるまでの期間とする。

## 3 研究結果と考察

### 3.1 水害廃棄物発生量の推計結果

外周線と災害マップ、水害発生物発生量原単位によって導かれた結果を表 4 に示す。世帯ベースの計算では面積ベースの計算に比べて大きな値となった。

岡山市の発表している「平成 23 年度一般廃棄物処理実地計画」によると、平成 23 年に岡山市内で発生した一般廃棄物量は 240,926 トンとなっている。本研究において、世帯単位で計算した発生量であれば一般廃棄物量の 38% に相当し、面積単位で計算した発生量であれば、65% に相当する。このことから、一度の洪水で多くの廃棄物が発生し、通常の廃棄物処理では対応しきれないことが分かる。

次にこれらの廃棄物を処理するのにかかる日数を計算した。計算には、岡山市が発表している「岡

山市一般廃棄物（ごみ）処理基本計画」に記載された値を利用する。それによると、岡山市の一般廃棄物の処理能力は 260,610 (t/年) であり、そのうち 201,480 (t/年) が通常ごみの処理量であることから、差の 59,130 (t/年) が災害廃棄物の対応分となる。

水害廃棄物発生量を、災害廃棄物の対応処理能力で割ることで処理にかかる年数を計算すると、世帯単位の発生量は 10.8 年で処理することになり、面積単位の発生量だと 6.4 年で処理することになる。

表 4：各区の水害廃棄物発生量推計

	住宅数 (棟)	面積(m2)	世帯ベース発生量 (t)	面積ベース発生量 (t)
北区	31,595	2,781,179	235,095	136,955
中区	19,543	1,686,247	169,930	102,700
東区	13,069	1,173,659	130,160	74,936
南区	21,653	189,376	105,934	63,882
合計	85,860	5,830,461	641,120	378,473

### 3.2 仮置場候補地選定の結果

選定を行い、仮置場設置候補地の選定を進めた。その結果、廃棄物が発生する区画が 1,201 箇所、発生した場所から 2km 以内を対象とした候補地 2,078 箇所となった。ここから適正值選定により 470 箇所に絞り、最後に地図情報による選定で 65 箇所(オレンジ色)が残った。それらの結果を図 2 に示す。

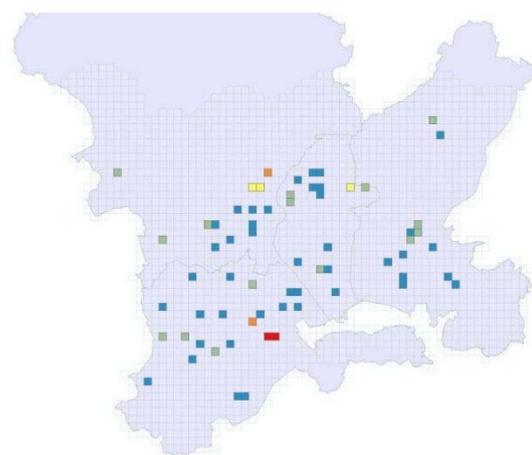


図 2：仮置場 65 箇所の許容量(t)による色分け

### 3.3 収集輸送計画

発生区画と、仮置場区画それぞれに ID をつけ、その ID を検索することで、どこの仮置場にどれだけ運搬することで、コストが最も小さくなるのかを表示するようにした(図 3)。分散率とは持ち込み先候補ごとに、発生総量から何%持って行くのかを表したものである。

発生源ID	777 (入力: 1~1201)		
持ち込み先候補	1	2	3
持ち込み先ID	38	39	-
分散率	87%	13%	0%

図 3：支援システムの結果

また、道路線を利用した収集経路を図 5 に示す。



図 4：777 区画で発生した廃棄物を 739 区画と 744 区画に運搬する経路

## 4 終わりに

本研究では、災害マップをもとに水害廃棄物の

発生量を推計し、それを仮置場に運ぶための最適な収集輸送を計算するための支援システムの開発を行った。岡山市では災害マップに示される水害が発生した場合、世帯単位で計算すると 641,120 トン、面積単位で計算すると 378,473 トンの水害廃棄物が発生することとなり、それらの水害廃棄物の発生分布を GIS 上で示すことができた。2つの推計値に大きな差が出たことは、原単位のとり方や計算方法の違いに基づくが、推計精度については他の計算手法も比較しながらさらに深く検討する必要がある。

収集輸送に関しては、岡山市において各仮置場に 2 トントラック 5 台、5 トントラック 3 台で作業を行うとすると、全ての発生区画から水害廃棄物を仮置場に運ぶまでに、最小でも 185 日かかることがわかった。

自治体が配布している防災マップや、基盤地図情報、延べ面積などの統計値といった、誰でも入手できる情報から一般廃棄物量の推計手法を確立したことが、本研究の成果といえる。

今後の改善点としては、本研究手法において、自治体ごとに差があることにより発生する誤差を修正することである。災害発生から時間が経過すると、発生した水害廃棄物の量が確定する。確定した水害廃棄物の発生量と本研究手法によって推計された発生量の間で、およそどれくらいの差があるか確認を行い、今後の推計に活かしていくことが必要である。

## 参考文献

- 1)国土交通省 水害対策を考える  
[http://www.mlit.go.jp/river/pamphlet\\_jirei/bousai/saigai/kiroku/suigai/suigai\\_3-3-2.html](http://www.mlit.go.jp/river/pamphlet_jirei/bousai/saigai/kiroku/suigai/suigai_3-3-2.html)
- 2)平山修久、島岡隆行、藤原健史、岡山朋子 (H21.3) : 災害廃棄物フローを考慮した大規模水が時における水害廃棄物処理計画策定手法の開発 平成 20 年度調査報告書  
島岡隆行、山本耕平 (H21.3) : 廃棄物資源循環学会シリーズ③ 災害廃棄物
- 2)国土交通省国土政策局国土情報課 GIS ホームページ 国土数値情報ダウンロードサービス :  
<http://nlftp.mlit.go.jp/ksj/index.html>
- 3)環境省 水害対策廃棄物対策指針  
[http://www.env.go.jp/press/file\\_view.php?serial=6839&hou\\_id=60593](http://www.env.go.jp/press/file_view.php?serial=6839&hou_id=60593) e-Stat 政府統計の総合窓口 :

<http://www.e-stat.go.jp/SG1/estat/eStatTopPortal.do>

4)岡山市 公式ホームページ :

<http://www.city.okayama.jp/>

5)兵庫県農政環境部環境部環境管理局 築谷尚嗣 廃棄物資源循環学会シリーズ 3 災害廃棄物 豪雨災害により発生する廃棄物の処理 6) 国土交通省国土政策局国土情報課 GIS ホームページ 国土数値情報ダウンロードサービス :

<http://nlftp.mlit.go.jp/ksj/index.html>

7) 株式会社ゼンリンホームページ :

<http://www.zenrin.co.jp/>

8)岡山市 岡山市一般廃棄物 (ごみ) 処理基本計画:

[http://www.city.okayama.jp/kankyoku/kankyousoumu/kankyousoumu\\_t00015.html](http://www.city.okayama.jp/kankyoku/kankyousoumu/kankyousoumu_t00015.html)

9)岡山市 建築行政年報:

[http://www.city.okayama.jp/toshi/.../kenchikudou\\_00081.htm](http://www.city.okayama.jp/toshi/.../kenchikudou_00081.htm)

10)国土交通省 主要都市の不動産市場基本データ:

<http://tochi.mlit.go.jp/chiiki/cities/index.html>

11)震災廃棄物の適正処理に関する調査報告書

[http://www.re-square.jp/data/1211\\_03\\_08.html](http://www.re-square.jp/data/1211_03_08.html)

12)九都県市廃棄物問題検討委員会:

<http://www.re-square.jp/data/index.html>

13)内閣府防災情報のページ:

<http://www.bousai.go.jp/>

14)Net science :

<http://www.hulinks.co.jp/netscience/software/GAMS/index.html>



## 4. 財団の概要

名 称	公益財団法人 八雲環境科学振興財団
所 在 地	岡山県岡山市北区津島京町三丁目 1 番21号 (株式会社エイト日本技術開発内)
主務官庁	岡山県教育委員会
設立許可	平成10年 7 月29日 (平成14年 8 月26日 特定公益増進法人に認定) (平成24年10月1日 公益財団法人に移行)
出 捐 者	株式会社エイト日本技術開発 他
基本財産	2億 5, 279 万円 (平成26年 3 月末現在)
事業概要	(1) 環境研究助成事業 環境科学に関する研究費用の助成 (年間 12 件程度) ①特定研究 (テーマ指定) 一件当たり 100 万円以内 ②一般研究 (テーマ自由) 一件当たり 50 万円以内 (2) 国際研究交流助成事業 環境科学に関わる海外渡航費用の助成及び海外研究者招聘費用の 助成 (年間 4 件程度) 一件当たり 20 万円以内 (3) 研究集会助成事業 環境科学に関する研究集会等の開催費用の助成 (年間 2 件程度) 一件当たり 30 万円以内
助成対象	岡山県内の大学等の研究機関に所属する研究者又は研究グループ



## 5. 役員等名簿

役職名	氏 名	現 職 等
代表理事	小谷 裕司	(株)エイト日本技術開発 代表取締役社長
理 事	河野伊一郎	岡山大学名誉教授 (元学長)
	赤木 靖春	学校法人加計学園専務理事
	沖 陽子	岡山大学大学院環境生命科学研究科教授
	辻 英明	岡山県立大学学長
	佐藤 豊信	岡山大学大学院環境生命科学研究科教授
	伊丹 文雄	E・Jホールディングス(株) 顧問
監 事	西田 秀史	弁護士
	石村 顕示	税理士
	小谷 浩治	E・Jホールディングス(株) 管理本部副本部長
評 議 員	本水 昌二	岡山大学名誉教授
	杉尾 剛	岡山大学名誉教授・杉尾化学合成独立栄養細菌研究所所長
	波田 善夫	岡山理科大学学長
	西垣 誠	岡山大学大学院環境生命科学研究科教授
	阿部 宏史	岡山大学理事・副学長
	鳥越 良光	岡山商科大学大学院商学研究科教授
	岩田 正晴	ロック地域計画事務所 代表
	谷本 俊夫	E・Jホールディングス(株) 顧問
	藤井 勉	(株)エイト日本技術開発 取締役
選考委員	稲井 寛	岡山県立大学情報工学部教授
	坂本 圭児	岡山大学大学院環境生命科学研究科教授
	星野 卓二	岡山理科大学総合情報学部教授
	大久保賢治	岡山大学大学院環境生命科学研究科教授
	永井 泉治	(株)エイト日本技術開発 事業推進企画部長



## 6. ご寄附のお願い

公益財団法人八雲環境科学振興財団は、平成10年に設立され、これまでに、省資源・リサイクル、環境計測、生態系保全をはじめ環境科学に関する多くの助成事業を行ってまいりました。今後、当財団の事業をより実りあるものにするため、広い分野の多くの方々に財団設立の主旨をご理解いただくとともに、ご指導・ご支援をいただくことが必要と考えております。

この寄附金は、事業目的の達成のために運用財産として使用させていただきます。

なお、当財団は、平成24年10月に公益財団法人として認定されており、このご寄附については、優遇措置（免税）を受けることができます。

また、岡山県下で開催される研究集会等につきまして、企業等から寄附を受ける場合、あるいは研究者個人またはグループを指定し、企業から寄附を受ける場合において、当財団が同意する場合は上記と同様に優遇措置（免税）を受けることができます。

上記の主旨をご理解いただき、ご寄附にご協力をお願い致します。

### 1. 募集の内容及び特典

募集期間	随時
対象	個人・法人
寄付金	個人1口 5,000円、法人1口 10,000円 特定指定寄付金(事務局までお問い合わせ下さい)
特典	・財団が発行する研究レポート集、財団ニュースの配付 ・財団が主催する研究発表会、その他事業企画等のご案内 ・その他理事長が必要と認める資料の配付

### 2. 税制上の優遇措置について

当財団は、公益財団法人の認定を受けております。当財団に対する寄付金には、税制上の優遇措置が適用されます。詳細は所轄の税務署又は税理士にお尋ねください。

個人寄付の場合	「所得控除」が受けられます。 (寄付金額-2,000円)の金額が所得金額から控除されます。 控除額は所得金額の40%が限度となります。
法人寄付の場合	通常の一般寄付金の損金算入限度額と別枠で、損金算入が認められます。

### 3. 寄附金申込み手続き

寄附申込書をダウンロードのうえ、郵送にて当財団事務局宛に送付後、ご送金手続きをお願いいたします。 当財団ホームページ → <http://www.ej-hds.co.jp/zaidan/>

#### 4. お振込先

銀行名	三井住友銀行岡山支店
預金種類	普通預金
口座番号	6497055
口座名義	公益財団法人八雲環境科学振興財団 (フリガナ) コウエキザイダンホウジンヤクモカンキョウカガクシンコウザイダン

☆ご不明な点は事務局までお問い合わせ下さい。

公益財団法人 八雲環境科学振興財団

〒700-8617 岡山市北区津島京町 3-1-21 (株式会社エイト日本技術開発内)

TEL : 086-252-7670

FAX : 086-252-8918

e-mail : [yakumo@e.j-hds.co.jp](mailto:yakumo@e.j-hds.co.jp)



公益財団法人 八雲環境科学振興財団  
巨大地震に備えて  
防災・減災害に関する調査研究報告書  
2014

平成 26 年 11 月発行

発行 公益財団法人八雲環境科学振興財団  
岡山市北区津島京町 3 丁目 1 - 2 1  
(株エイト日本技術開発内)  
TEL (086) 252-7670

印刷 吉備サプライ株式会社  
岡山市北区野田 4 丁目 2 - 2 0  
TEL (086) 805-2111





## 公益財団法人 八雲環境科学振興財団

〒700-8617 岡山市北区津島京町三丁目1番21号 (株)エイト日本技術開発内

TEL.086-252-7670 FAX.086-252-8918

<http://www.ej-hds.co.jp/zaidan/>