

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 20 日現在

機関番号：14701

研究種目：基盤研究(A) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25242037

研究課題名(和文)平成23年台風12号豪雨災害情報に基づいた実効ある防災・減災対策の構築

研究課題名(英文)Construction of effective disaster prevention and mitigation measures based on information about heavy rain disaster by Typhoon No.12 in 2011

研究代表者

江種 伸之(EGUSA, Nobuyuki)

和歌山大学・システム工学部・教授

研究者番号：00283961

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 30,900,000円

研究成果の概要(和文)：平成23年台風12号による豪雨災害に関する調査を実施して災害の実態を明らかにするとともに、紀伊半島の豪雨災害特性や耐災性を評価した。さらに、豪雨を対象とした地域総合防災の実効性の強化のために、紀伊半島のように山間部が多く海岸線が長い地域に適した防災技術の開発や災害に強いまちづくりの構築を目指した。具体的には、平成23年台風12号により甚大な被害を受けた紀伊半島南部を対象とした災害情報高度利用システムの開発した。また、このシステムを用いた防災教育プログラムの検討を進めた。

研究成果の概要(英文)：This study investigated the heavy rain disaster caused by Typhoon No. 12 in 2011 and clarified its mechanisms and the disaster resistance of the Kii Peninsula. Moreover, in order to enhance the effectiveness of regional prevention plan for heavy rain disaster, we are aimed at developing disaster prevention technologies and creating communities strong against the natural disaster in the Kii Peninsula which has many mountains and long coastline. Specifically, it is the developments of an information and communication system to use various disaster information effectively and educational programs for disaster prevention using this system in the Kii Peninsula.

研究分野：水工学，地盤工学

キーワード：自然災害 土砂災害 洪水 防災 減災 防災情報共有 防災まちづくり 防災ジオツアー

1. 研究開始当初の背景

平成23年9月の台風12号では、中山間部を中心に広域で土砂災害や洪水が多発するとともに、避難指示の遅れ、正常化の偏見や情報不足による避難遅れ、中山間部集落の孤立など、防災・減災対策の脆弱性、特に災害情報が十分活用されていない現状が明らかになった。すなわち、地域防災力の向上においては『想定を超える』災害への対応が急務であるが、このためには土砂災害などの危険性を知らせる災害情報の高度利用、すなわち、雨量、斜面変動などのデータ取得・伝達、およびそこから得られる情報(土砂災害警戒情報など)を警報発令や避難判断に活かす仕組みの確立が求められている。

2. 研究の目的

本研究では、平成23年台風12号による豪雨災害(紀伊半島大水害)に関する調査を実施して災害の実態を明らかにするとともに、紀伊半島の豪雨災害特性や耐災性の評価を目的とする。さらに、豪雨を対象とした地域総合防災の実効性(地域防災力)の強化のために、紀伊半島のように山間部が多く海岸線が長い地域に適した防災技術の開発や災害に強いまちづくりの構築を目指す。特に、ここでは、社会基盤や危険箇所の耐災性強化、情報インフラ整備といったハード対策から、防災計画・防災教育などのソフト対策までを一体的な災害情報として捉え、このような災害情報の高度利用により地域防災力を向上させる仕組みの構築を目指す。

3. 研究の方法

図-1に災害情報の高度利用のイメージを示す。本研究では、災害情報のフロー(取得→伝達→解釈→利用)に従って、センシング技術(災害情報を取得するセンサ技術)、情報通信技術(災害情報を伝達・管理するネットワークシステム)、災害地理情報(災害情報を科学的に解釈し意味づけする手法)、災害情報利活用(科学的に意味づけられた災害情報を使った防災教育や避難訓練)の4テーマを設定し、1年目はテーマ毎に研究を進めた。2年目からは、各テーマを個別に進めるだけでなく、テーマ間の連携を図りながら、最終的に防災情報共有プラットフォームに集約させた。また、このプラットフォームを活用する方法(防災教育など)についての検討を行った。

4. 研究成果

(1)災害情報の高度利用システム

図-2に災害情報の高度利用システムのイメージを示す。防災情報の共有は災害前後(平時)と発災時の両方で必要となるため、ここでは、WEB上に平時の災害情報共有(非即時情報共有)および発災時の情報伝達(即時情報伝達)に役立つ防災情報共有プラットフォームを構築することを最終目標とする。非即時情報は災害地理情報に関する本研究成果や行

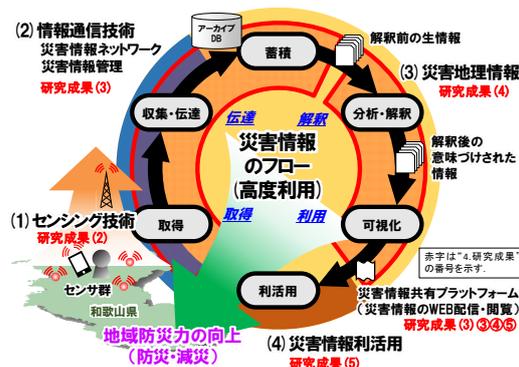


図-1 災害情報の高度利用とそれを活用した地域防災力の向上のイメージ



図-2 災害情報高度利用システムのイメージ

政・住民からの提供情報になるので、これらを電子地図上に集約するシステムにする。一方、即時情報としてはブログやツイッターなどを利用した文字情報の有効性が認識されつつあるが、より客観性のある水文気象情報や危険箇所監視情報といったセンサデータも重要な情報源である。そこで、文字情報に加えてセンサデータも随時アップされるシステムを組み込む。なお、センサデータとしては、降水量、斜面変動、構造物変形などが考えられるので、これらの計測データをネットワーク経由で収集するシステムを開発する。さらに、紀伊半島の地理特性(山間部が多く海岸線が長い)や地域特性(観光地が多い)を考えると、災害時に情報通信手段の断絶が起こっても、住民だけでなく土地勘のない観光客なども速やかに避難できなければならない。このため、各種災害情報をオフライン時にも携帯情報端末で利用できるようなシステムを開発する。これにより、情報通信手段断絶時にも携帯情報端末内の防災情報を確認しながら避難できるようになる。

(2)センシング技術

①自然斜面・変位/構造物・変位

サンプリングモアレカメラを用いて屋外の構造物や斜面の微小な変位を遠隔から長時間計測できる微小変位定点観測システムの試作し、まずは屋内で予備実験を行った。その結果、実際の橋梁計測で想定される計測距離で計測を行っても、サブミリメートル以下の精度で変位量が計測できることを確認した。そこで、和歌山大学構内において渡り廊下の変位計測を対象とした長期実証試験を開始した(継続中。図-3)。なお、この試験



図-3 屋外における長期実証試験風景

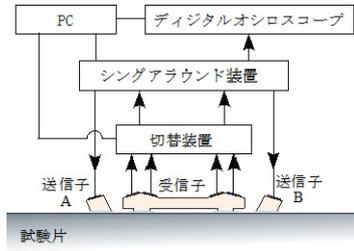


図-4 T形表面SH波センサを用いた音弾性応力測定システム

では、計測データをネットワーク経由でセンサデータサーバに収集し、防災情報共有プラットフォームで閲覧できるようにしている。

② 構造物・強度

超音波検査技術(表面SH波音弾性法)を用いて構造物を非破壊で内部の健全性を評価する技術の開発を行った。開発を進めてきたT形表面SH波センサ(図-4)は、接触媒質の影響を除去することで高精度な応力測定可能にする画期的なセンサである。ここでは、表面SH波音弾性法を実構造物に適用するために、被検体表面の簡便かつ迅速な平滑化処理を可能とするフライス式ポータブル研磨装置を新たに開発した。結果として、水力発電ダムの洪水吐ゲートにおける実証実験において、その有効性が確認された。一方で、鉄道レールに表面SH波音弾性法の適用をはかり、非破壊での残留応力測定や破断や座屈の原因となる軸応力測定に有用であることも実証した。今後は、円柱面を有する鉄塔や配管などにも適用を拡大していく。

③ レスキューロボット

土石流などによって運ばれてきた多量に水を含んだ泥濁と瓦礫などが混在する土砂災害現場を走行するロボット用の車輪を開発した。ここでは、周期操舵による車輪の沈下低減を目指し、単輪実験装置(図-5)を製作して基礎実験を行った。乾燥した真砂土上で周期操舵走行と直進走行を比較したところ、周期操舵走行の沈下量が直進走行よりも小さくなったことを確認した。今後は、泥濁地を模擬した実験環境での性能評価を行いながら、実用化を目指していく。

また、ロボットの走行性能の向上と同時に、ロボットを活用した地域被災情報の随時反映可能な屋外避難誘導地図自動生成システムの開発も平行した。ここでは、シミュレ-



図-5 単輪実験装置

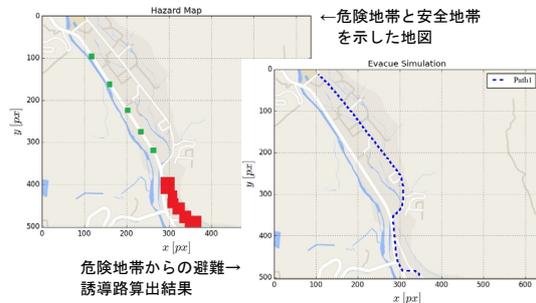


図-6 シミュレーション結果



図-7 実証試験風景

(左：太陽電池，右：無線LAN装置)

ションを行って、A*探索アルゴリズムにより導出した避難経路に対し、障害物と危険領域を回避しながら経路を進むベクトル場を用いて避難誘導ロボットを動作させることが安全性の面で有効であることを示せた。また、この屋外避難誘導地図の自動生成シミュレーションの実施結果から、安全性が高い河川から離れた道路を選択する提示例を作成することができた(図-6)。本システムにより、発災直後からの被災情報を地図に反映させることが可能になれば、避難誘導地図を算出することができ、将来のロボット機器などによる自動誘導に活かせるものと期待される。

(3) 情報通信技術

① 自律式情報通信システム

発災後の各種インフラの断絶や集落の孤立化を想定した情報通信システムの開発を進めた。ここでは、中山間部を対象に、被災しても自立して電力を供給できる独立した電力インフラと自律してネットワークを運用できる通信インフラを統合させている(図-7)。電力インフラは、日照時間に左右されずに安定供給できるように、太陽光パネルと蓄電池によるハイブリッド式とした。通信インフラは、免許や登録が不要で、誰でも運用可能な無線LAN(IEEE802.11g)装置で構成した。本システムは、一般に利用可能な技術、かつ入手可能な機材を用いている。和歌山県内で実施している実証試験においては、立地・気候などの条件が良ければ、被災地と非



図-8 災害時避難支援システム上での地図表示

被災地の間で十分実用性ある通信が可能であることを確認できた。今後は、実証実験を継続しながら、立地・気候条件に左右されないシステムへの改良を進めていく。

②センサデータサーバ

センサデータサーバとは、大きく分けて次の2つの機能を持つサーバである。1つは、センサノードからセンサ情報を受け取り、そのセンサ情報を一定の規則に基づいて変換、保存するセンサ側の機能である。もう1つは、アプリケーションまたは他の中間サーバからの要求に対して適切なセンサデータを選択、出力するアプリケーション側の機能である、これらの機能により、センサデータは加工された後保存され、アプリケーションは生データの加工などを気にせずにセンサデータを使用することが可能である。今回は、サンプリングモアレカメラの実証試験現場(図-3)から得られたデータを使った長期運用試験を実施している。今後は、試験を継続して、センサの種類や数を増やしても安定動作できるシステムへの改良を進める。

③携帯情報端末

発災後のネットワークが利用不可能な状態(オフライン時)でも利用を可能、かつ災害前から利用することを目的とした災害時避難支援システム「あかりマップ」を開発した(図-8)。本システムは携帯情報端末(Android端末)で動作し、避難支援情報閲覧機能、避難支援情報のキャッシュ機能、避難支援情報の詳細情報閲覧機能、浸水域予測および液状化予測表示機能などの災害時避難支援機能だけでなく、平時での利用も想定して、危険箇所などの写真登録機能も有している。また、ゲーミフィケーション機能などシステムの継続利用を促進させる付加機能も付けている。研究期間内には、開発したシステムの実証試験を学生や地域住民の協力を得て複数回実施して、システムの実用化を図った。今後は、防災情報共有プラットフォームと連動したデータベース機能、およびデジタル防災マップ作成機能を追加して、より実用性の高いシステムにしていく。

④災害情報・記事収集

防災・減災についての情報を入手する手段の一つに、インターネットを用いてブログ記事など、Web上の記事を取得し閲覧すること



図-9 防災情報共有プラットフォーム

が考えられる。しかし、Web上には災害についての記事が多数存在し、必ずしも欲しい情報が手に入るとは限りらない。また、その内容が有益であるかの判断がすぐにはできないものもある。そこで、災害に関して読む価値のある記事を集約し、全文検索をはじめ様々な方法で容易に記事にアクセスできるようにすること、および記事分析を効率良く行えるためのプラットフォームの構築を目的として、災害記事データベースシステムを開発した。本システムは、防災情報共有プラットフォームのトップページ(図-9)にリンクして実証実験を継続しながら、システムの安定性の評価を行っている。

⑤防災情報共有プラットフォーム

”地域の防災情報の共有”を目的としたWEBサイトとして防災情報共有プラットフォーム「あから防災」を構築した(図-9)。ここでは、防災の基本を「①災害に備えた事前の準備」と「②避難のタイミング」であると考え、災害情報高度利用システムとしてだけでなく、地域総合防災のポータルサイトとして機能するように、自治体が公表しているハザードマップや避難所、警戒情報や警報・注意報などの情報を集約して、すばやくアクセスできるようにしている。また、用語解説や防災に関する一般知識などを載せることで、使いやすいものになっている。さらに、バーチャル地球儀ソフトのGoogle Earth上で防災マップを作成する機能や文字情報や画像情報を公開する機能も備えることで、様々な防災情報を共有できるようにしている。現時点では暫定版としての公開のため、今後は機能やコンテンツの拡充を図ってから、できるだけ早い時期に実運用を開始する。

(4)災害地理情報

①紀伊半島大水害に関する調査・分析

平成23年台風12号により大規模な土砂災害が発生した約30箇所の現場を調査した。また、得られた成果を使った数値解析やGIS分析などを行った。その結果、(1)付加体が分布する日高・西牟婁地域で深層崩壊を含む大規

模斜面崩壊、火成岩体と堆積岩体が分布する東牟婁地域で表層崩壊・土石流が多発した、(2)付加体では、積算雨量が700mmを超えると、その後の時間雨量が強くなくても大規模斜面崩壊が発生した、(3)火成岩体および前弧海盆堆積体では、650mmの先行降雨があった後に70mm/h以上の激しい雨が降ることによって表層崩壊・土石流が発生した、(4)ただし、前弧海盆堆積の九重、火成岩体の色川3地点では、東牟婁地域の他の崩壊地と比べて土砂災害発生時の時間雨量が少なく、積算雨量が多い傾向を示した、など土砂災害と素因・誘因の関係を明らかにできた。

②災害情報のアーカイブ化・データベース化
 災害の記録や記憶は時間の経過とともに風化していくことが普通であり、これが防災・減災対策の妨げになることも多い。そこで、防災教育に利用可能なアーカイブにすることを旨とし、紀伊半島大水害の調査・分析結果を防災情報共有プラットフォーム上でデータベース化した。ここでは、他の様々なデータと地図上で重ね、デジタル防災マップ作成にも利用できるようにGoogle Earth上で閲覧できるようにした(図-10)。

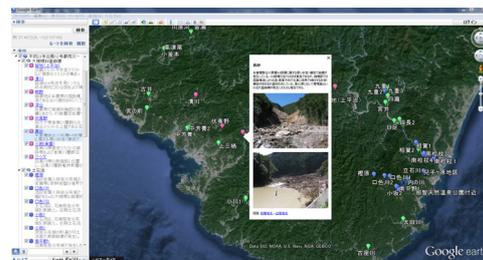


図-10 データベース化した調査結果の閲覧画面

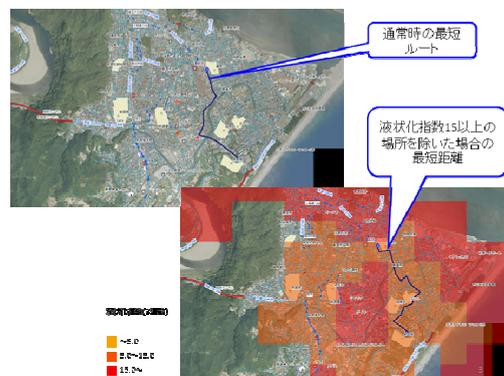


図-11 通常時と災害時の避難経路作成例

(5)災害情報利活用

①防災マップ作成支援システム

防災情報共有プラットフォーム「あがら防災」を使ったデジタル防災マップ作成に関する防災教育プログラムを考案した。ここでは、デジタルカメラで撮影した危険箇所の写真をあがら防災にアップし、これらの写真とあがら防災のデータベース(ハザードマップなど)を使って、パソコン上でデジタル防災マップを作成することが可能である(図-11)。今後は、あがら防災とあかりマップを連動させ、あかりマップで登録した写真をあがら防災と同期させたり、あがら防災で作成したデジタル防災マップをあかりマップで閲覧できるようにしたりするなどの機能を追加して、システムの完成度を高めていく。

②防災ジオツアー

地域社会は防災意識の高い人だけで構成されているわけではないため、“防災意識はあるがどうしたらいいかわからない人”や“防災そのものに関心が低い人”への対応も課題である。そこで、防災に対する意識の低い人にも参加してもらえような防災教育プログラムとして、南紀熊野ジオパークを対象に、ジオ(地球)と災害現場を組み合わせ、自然の脅威だけでなくその恩恵に着目し、現場で体験して学ぶことの出来る“防災ジオツアー”を開発した。ここでは、紀伊半島大水害で甚大な被害を受けた那智勝浦町や串本町を対象とした防災ジオツアーを考案し、一般住民の協力を得た実証試験(図-12)を3回実施した。その結果、新たな防災教育手法としての可能性を示すことができたが、ツアーと



図-12 2015年12月12日に実施した防災ジオツアー(左：土砂災害現場、右：ジオサイト)

して自立するためには参加費が課題になることが示唆された。そこで、今後は、教育面だけでなく、観光としての側面も充実させながら、より魅力的なツアーおよび他地域を対象としたツアーの開発を進めていく。

③防災まちづくり

防災上危険な密集市街地を対象に、住民参加による防災まちづくりの手法について検討した。防災まちづくりの第一歩としては、住民が地区の安全性や危険性を点検するワークショップなどがある。しかし、このようなワークショップでは自治体の判定式(詳細式)が利用されることも多く、地域住民が容易に作業できない事態が発生する。そこで、ここではワークショップなどで地域住民が容易に計算できる計算式(簡易式)を開発し、都市災害危険度判定をまちづくりに活用する方法を検討した。和歌山県和歌山市今福地区を対象に実測調査を行い、その結果を使って開発した簡易式と詳細式を比較した。その結果、簡易式でも都市の災害危険度を全て計算でき、一定の評価が可能であることがわかった。ただし、簡易式の結果が危険側に出るなど、実用化に向けた改良点も明らかになった。

(6)まとめ

本研究では、実効ある防災・減災対策とは、災害情報の高度利用による地域防災力の向上であるとの考えに基づいて、平成23年台風12号により甚大な被害を受けた紀伊半島南部を対象とした災害情報高度利用システムの開発した。また、このシステムを用いた防災教育プログラムの検討を進めた。今後は、研究成果を集約した防災情報共有プラットフォーム「あがら防災」の安定性向上や機能追加を図るとともに、本システムを使った防災教育プログラムの充実に取り組んでいく。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計25件)

①塚田晃司, 岡裕大: RGB 3色LEDの加法混色を用いた色変調可視光通信の提案と非常時通信への適用, 情報処理学会論文誌, 査読有, 57(1), 134-144, 2016.

②濱村朱里, 福島拓, 吉野孝, 江種伸之: 日常利用可能なオフライン対応型災害時避難支援システム“あかりマップ”の実環境における利用可能性, 情報処理学会論文誌, 査読有, 57(1), 319-330, 2016.

③村田頼信, 宮崎秀史, 松丸和貴, 千代 誠, 藤垣元治: 鉄道ロングレールの軸応力測定に対する表面SH波音弾性の適用, 実験力学, 査読有, 16(1), 47-52, 2016.

④K. Tokuda: The Application of Robot Technologies to Disasters from Torrential Rains on Japan's Kii Peninsula, J. Robotics and Mechatronics, 査読有, 26(4), 449-453, 2014.

〔学会発表〕(計103件)

①江種伸之, 本塚智貴, 吉野孝, 後誠介: 紀伊半島におけるジオツーリズムを通じた防災教育の可能性, 第51回土木計画学研究発表会, 福岡県, 2015年6月7日.

②永井琢也, 満田成紀, 福安直樹, 松延拓生, 鯨坂恒夫: センサデータサーバにおける空間情報を用いたデータ分散手法の検討, 情報処理学会グループウェアとネットワークサービス研究会, 静岡県, 2014年11月28日.

③碓石浩文, 村川猛彦: 防災・減災に関するWeb上の記事を対象とした分類の試み, 情報知識学会, 和歌山県, 2014年5月25日.

〔産業財産権〕

○出願状況 (計3件)

①名称: 計測装置及び橋梁検査方法

発明者: 藤垣元治, ほか3名

権利者: 和歌山大学, ジェイアール西日本コンサルティング(株), (株)ヒカリ

種類: 特許

番号: 2014-015269

出願年月日: 2014年1月30日

国内外の別: 国内

〔その他〕

ホームページ等 (計2件)

①あがら防災, URL: <http://agara-bousai.jp/>

②和歌山大学災害研究プロジェクト, URL: <http://www.wakayama-u.ac.jp/~egusa/ds/>

6. 研究組織

(1)研究代表者

江種 伸之 (EGUSA, Nobuyuki)

和歌山大学・システム工学部・教授

研究者番号: 00283961

(2)研究分担者

小川 宏樹 (OGAWA, Hiroki)

和歌山大学・システム工学部・准教授

研究者番号: 20425375

満田 成紀 (MITSUDA, Naruki)

和歌山大学・システム工学部・准教授

研究者番号: 10283954

此松 昌彦 (KONOMATSU, Masahiko)

和歌山大学・教育学部・教授

研究者番号: 50314547

塚田 晃司 (TSUKADA, Kouji)

和歌山大学・システム工学部・准教授

研究者番号: 80372671

徳田 献一 (TOKUDA, Kenichi)

和歌山大学・システム工学部・助教

研究者番号: 60335411

林 和幸 (HAYASHI, Kazuyuki)

和歌山工業高等専門学校・環境都市工学科・准教授

研究者番号: 30587853

平田 隆行 (HIRATA, Takayuki)

和歌山大学・システム工学部・准教授

研究者番号: 60362860

藤垣 元治 (FUJIGAKI, Motoharu)

福井大学大学院・工学研究科・教授

研究者番号: 40273875

村川 猛彦 (MURAKAWA, Takehiko)

和歌山大学・システム工学部・准教授

研究者番号: 90304154

村田 頼信 (MURATA, Yorinobu)

和歌山大学・システム工学部・准教授

研究者番号: 50283958

吉野 孝 (YOSHINO, Takashi)

和歌山大学・システム工学部・教授

研究者番号: 90274860