

平成 22 年 6 月 9 日現在

研究種目： 基盤研究 (A)
 研究期間： 2006 年度～2009 年度
 課題番号： 18254002
 研究課題名 (和文) 長期的津波監視の維持を重視した総合的津波防災戦略モデルの提案と発展途上国への導入
 研究課題名 (英文) Propose of the overall tsunami disaster prevention strategy and introduce into developing country to maintain the long-term tsunami monitor.
 研究代表者
 目黒 公郎 (MEGURO KIMIRO)
 東京大学・生産技術研究所・教授
 研究者番号： 40222343

研究成果の概要 (和文) : 本研究は、津波災害経験の乏しい発展途上国を主な対象として、効果的な津波防災対策を実施する際に必要な総合的な津波防災戦略のモデルを提案するとともに、いくつかの発展途上国への具体的な導入考えた場合の課題を整理した上で、津波警報システムを構築するものである。その結果、津波を探知し、警報を出し、住民を避難させるまで、総合的に支援するシステムを長期的に維持する基盤が整った。

研究成果の概要 (英文) : This research proposes the model of the overall necessary tsunami disaster management strategy for the developing country where the tsunami disaster experience is insufficient and extracts the practical problems when introducing this model for general practice. The basic framework that maintained the total tsunami disaster management system for detect the tsunami, give the alert, and evacuate the resident was developed.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2006 年度	12,800,000	3,840,000	16,640,000
2007 年度	8,900,000	2,670,000	11,570,000
2008 年度	9,300,000	2,790,000	12,090,000
2009 年度	2,400,000	720,000	3,120,000
年度			
総計	33,400,000	10,020,000	43,420,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：社会・安全システム科学・自然災害科学

キーワード：津波、津波警報システム、リゾートホテル、平時利用、多目的海洋観測ブイ

1. 研究開始当初の背景

2004 年 12 月 26 日に発生したスマトラ沖地震 (M9.0) が引き起こした津波は、インド洋沿岸の広い地域に甚大な被害をもたらした。この災害以来、インド洋沿岸諸国では、津波防災対策へのニーズが急速に高まって

いるが、同じ震源で地震が発生するのは、百年～数百年後であり、次に発生する地震はスリダ海溝沿いの別の領域で発生する可能性が高い。その場合の津波災害の被災地は、2004 年 12 月のイベントとは異なるものと考えられる。そのような潜在的な別の津波災害シナリオを考慮することなく、拙速に津波防

災対策を実施すれば、再び「想定外」の津波災害に襲われることになる。

また、インド洋沿岸諸国では津波監視・警報システムの導入が検討されているが、これらのシステムは、これまで莫大な予算と時間を費やして、太平洋沿岸の津波監視システムとして開発されたものをインド洋沿岸に適用しようとするものである。先進的ではあるが、高コストで専門性の高い組織による維持管理が求められるこのようなシステムを、津波災害の経験が乏しく、人的・財政的資源が豊富とはいえないインド洋沿岸地域で、適切に維持管理し、運用し続けることが可能だろうか。またシステムの寿命と大規模津波災害の発生頻度を比較した場合に、導入されたシステムが本当に津波災害軽減に役立つ機会は何れほどあるのだろうか。さらに警報システムを導入しても、住民が警報を受けて安全に避難出来る体制が整備されていないことには、被害の軽減につながらない。地域の住民には、警報システムがどのような機能を持つもので、警報が出た場合にはどのように行動すればよいのかを理解してもらわなければならない。このように、効果的な津波防災対策を実施するためには、津波防災に関わる様々な要素を包括的に勘案した総合的な津波防災戦略が不可欠となる。

2. 研究の目的

本研究は、津波災害経験の乏しい発展途上国を主な対象として、効果的な津波防災対策を実施する際に必要な総合的な津波防災戦略のモデルを提案するとともに、いくつかの発展途上国への具体的な導入考えた場合の課題を整理した上で、津波警報システムを構築することを目的とする。

3. 研究の方法

我々が提案する津波警報システムは、1)シンプルかつ安価なシステムで、途上国でも問題なくメンテナンスできる点、2)平時利用を主目的とし、日常的に沿岸地域の人々に有益な情報を提供するとともに、拡張機能として津波発生時には津波警報システムとして機能する点、3)公的機関ではなく、国際的なネットワークを有するリゾートホテルが主体となって設置・運用を行う点、4)津波発生時に避難に適した施設がない場所では、集落ごとに存在する宗教施設を避難施設としてうまく活動する点である。津波シミュレーションに基づいて選定した安全な場所に津波外

力に対して十分な耐力を持つ宗教施設を移設し、これを避難施設として利用することで、避難施設の位置の住民への周知と建造物のメンテナンスの問題を解決するものである。また地域の基幹産業を支えるリゾートホテル群が中心となって、国際的な津波監視ネットワークを構成することで、非科学的な流言を打破し、地域の津波防災に貢献するビーチリゾートとしてのブランド価値を高めるとともに、スマトラ地震津波災害からの復興を促進することができる。また、平時には沿岸部の環境を継続的に観測し、リゾート客、沿岸部住民・産業に対し、気象情報、レジャーコンディション情報、海洋資源監視、海洋環境監視に利用できるため、新たなビジネスチャンスを生み出すことができる。

平行して、特に津波災害の経験が乏しい地域の住民に対する地域の津波災害リスク・津波防災対策に関する教育・啓発活動のあり方を検討する。また、津波防災対策が実効性を持つためには、その対策により守られる地域の利害関係者が、自分たちが作った計画であるという感覚 (Sense of Ownership) を関係者間で共有すること、計画が実行に移されることが重要である。そこで、ステークホルダー参画ワークショップによる津波防災計画の立案・実施・監視プロセスのあり方について検討を行う。

4. 研究成果

(1) 多目的海洋観測ブイの開発と

その運用実験

多目的海洋観測ブイを神奈川県平塚沖約1kmの位置にある、神奈川県波浪等観測塔(旧防災科学技術研究所波浪等観測塔)から約30m離れた位置に設置し観測した(図1)。

使用したブイは株式会社ゼニライトブイ社製のブイである。そして、その観測ブイに精密音響測深機 TDM-9000A(タマヤ計測システム株式会社製)を搭載し波高計測を行った。なお、本実験で計測されたデータは実験ブイに搭載したハードディスクにより保存した。観測ブイの諸元を表1に示す。

表1 観測ブイ詳細

使用機器	約1130mm
高さ	約1130mm
最大幅	約1400mm
重量	約200kg
使用電源	大容量リチウム1次電池



図1 多目的海洋観測ブイ写真

本実験では神奈川県波浪等観測塔の空中式超音波波高計によって計測された波高と観測ブイの計測値を比較検証した。「ゼロアップクロス法」により、波を定義し有義波高 $H_{1/3}$ により有義波高を求めた。まず、両者の有義波高と時系列を図2に示す。図より、両者は時間的な波の発達、減衰を含め非常によく一致しているが、波高に若干の違いが見られた。そこで、この違いの原因を探るために、観測ブイと観測塔の計測値の差と風速の関係調べた(図3)。この図より、特に2月23日や2月26日のように風速が高く波が高い時に観測ブイと観測塔の差が大きくなる傾向があることが判明した。一方、2月27日のように波が高くても、風速が低い場合(うねり)には差が小さいこともわかった。さらに、両者の波高について、散布図を用いて比較した結果(図4)、音響測深機を用いた観測ブイの観測値は、神奈川県波浪等観測塔の観測値より、約19%高く波高を観測していたことがわかった。また、波高が低い場合には、高い精度の観測結果が得られるが、波高が高い場合には精度が少し低くなることを確認された。

以上より、観測ブイは風速の高い時(波高も高くなる場合が多いが)、実際よりも高めの計測値を得ていることがわかった。これは、観測ブイのサイズが小さいため、風が強い場合に、実験ブイ自体が傾くことでブイの真下の水深(海底までの最短距離)ではなく、ブイの位置から周辺の海底までの距離を計測することが原因と考えられる。

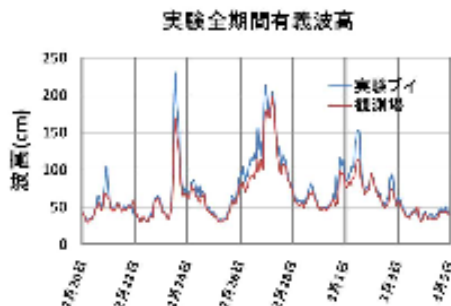


図2 実験全期間有義波高比較

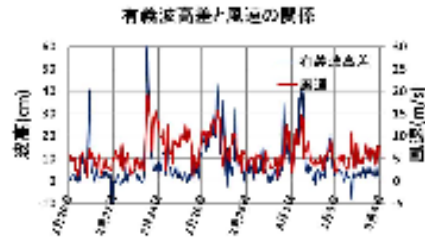


図3 有義波高差と風速関係図

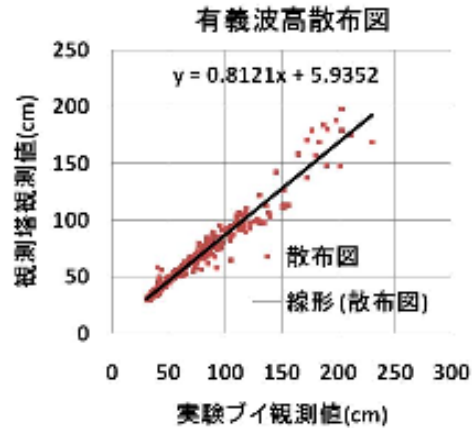


図4 実験全期間有義波高比較散布図

最後に、本実験の観測ブイによる計測値の取得率を示し、継続的な津波監視の可能性の検証を行う。図5はそれぞれ観測ブイが計測した値について99.9%信頼区間で検定を行った値である。この図より、全実験期間中で約99%のデータ取得率を示している。この結果、本実験で用いた音響測深機を計測装置とする、観測ブイによる、観測値の取得率は非常に高いことから電源が確保されれば、安定した観測を続けることが可能なことがわかった。

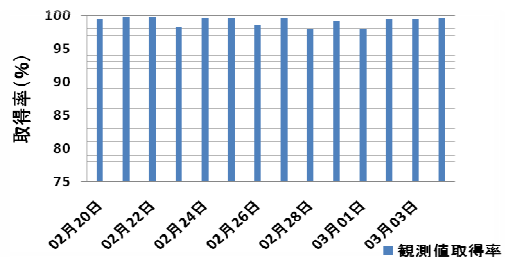


図5 観測値取得率図

本実験により得られた計測値を用いて、津波の検知可能性を検証した。本実験期間中には津波は発生していないため、神奈川県のホームページで公開されている神奈川県西部地震津波伝播のシミュレーション結果を観測値に重ねることで、実験区域内の津波を想定した。図6は2008年2月21日午前1時10分から観測ブイにより神奈川県西部地震による津波を観測した事を想定したもので

ある。そして、このデータにバンドパスフィルタをかける事により津波を抽出し、観測ブイを利用した津波警報システムの可能性の検証を行う。本研究では、津波の周期は一般的に数分以上とされているため、1分～1時間の周期の波が通過する事ができるバンドパスフィルタを利用した。図6のデータにバンドパスフィルタをかけ津波の検出を行った結果を図7に示す。

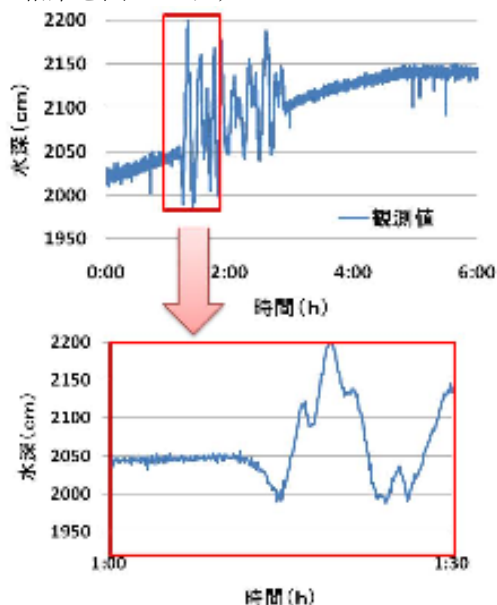


図6 想定津波時の津波観測図

図7よりバンドパスフィルタをかけた際に、平常時の波では、観測値は±10cm以内で推移するが、津波を観測した際には大きな値となり、津波を検知する事ができ、音響測深機を用いたブイでも十分に津波を検知できる事がわかった。

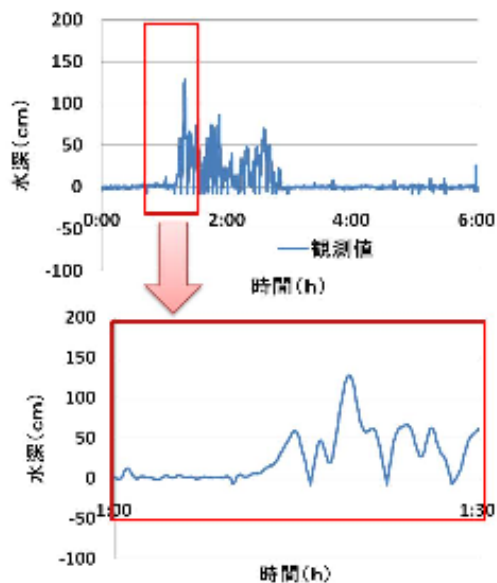


図7 津波検出図

なお、提案システムの設置は、平塚市の漁協組合にお願いした。特に特別な装置や機材がなくても、地元の2名の漁師さんが小さな漁船を利用して設置できることが確認できた。

本報告では、紙面の制約から、蓄電池を電源とした音響測深機を用いたシステムによる検討例を示したが、この改良版として、次のようなシステムについても検討と開発を行った。これらについては、本報告書を参照されたい。

ソーラーシステムを電源とした継続計測が可能なGPSを用いた波高観測システム。これは音響測深機に比べて、観測地点の水深による計測誤差が少ない。さらに水位の計測の代わりに、海底断層の鉛直変位運動の結果として発生し水中を伝播するT-フェーズによる水圧変化から津波を評価する観測システム。これは水深を計測するよりも早期に津波の発生を評価できるだけでなく、その規模まで評価することが可能なものである。

(2) 津波シミュレーションを用いたブイの最適配置

インド洋沿岸において、津波による人的被害の軽減に効果的な多目的ブイの設置位置を推定した。主にミャンマー、ニコバル、インドネシアが津波観測情報発信国となればインド洋全体での人的被害の軽減が可能であることが分かった。各地の人的被害軽減率を推計した結果、広範囲に多目的ブイのネットワークを構築することで人的被害の大幅削減が可能であることが分かった。特にインド・スリランカ・バングラディッシュ・タイなどでは最大96%の軽減が可能である。

また、多目的ブイネットワークによる人的被害軽減率の期待値は、沿岸各地のブイ設置・維持費用負担率を決める際にも活用できる。国毎の多目的ブイのネットワーク化の効果を、人的被害軽減率を尺度にして、自国内のみでネットワーク化する場合と、インド洋全体で共有する場合に分けて評価した。その結果、インド洋全体で観測ネットワークを整備した場合には、自国のみの場合に比べて最大9倍程度の人的被害軽減が見込めることが分かった。多目的ブイによる観測ネットワークが津波警報システムとして十分な効果を持つことが分かった。

(3) 津波避難シミュレーションに基づく津波避難態勢の構築

本研究では、津波災害時の避難行動モデルに力学的な手法で人的被害を算出するモデ

ルを組み込んだ。それと同時に、5m メッシュの津波浸水シミュレーション結果を補間し、1m メッシュにした津波浸水データを災害ポテンシャルとして、避難行動シミュレーションを行った。この結果、河川の湖上までも表現することが可能になり、河川付近で人的被害が発生してしまっていることがわかった。なおこの検討においては、限られた時間内で、地形や道路ネットワーク、人口分布などの詳細な情報を入手する必要があることから、データ入手が可能であった三重県尾鷲市を対象としたが、手法としては、他の地域にも適用可能である。

次に作成した津波浸水データを用いて防潮堤の効果の検証を行った。この結果、防潮堤に十分強度があり、水門や陸閘が完全に閉められるような場合にはその効果は非常に大きく、大幅な被害軽減が期待できることが明らかになった。

また、人的被害を評価する際に、各メッシュにおける浸水深、津波による波力、水の流れに対する抵抗力を算出した。それらのデータに加えて、その土地の属性情報、避難場所に関する情報を簡単に表示するアプリケーションの作成を行った。

地域の災害対応の実情を考慮した実用性の高いシステムを構築するために、本研究で対象とした三重県尾鷲市において、避難計画および津波発生時の対応について聞き取り調査を行った。その結果、このシステムは地域住民に津波災害時の避難方法や避難ルート、避難開始のタイミングなどの理解してもらう上で非常に有効であること、津波災害に関してリスクコミュニケーションを行う効果的なツールであることがわかった。

また提案する津波災害マネジメントシステムの主要な設備となる多目的ブイは、価格(1,000~2,000万円)と利用期間(3~5年)、リゾートビーチごとに存在するホテルの部屋数と年間平均利用率を対象とすると、最大でも1泊あたりの宿泊費に2~3ドルを上乗せするだけで、維持管理、更新に十分な経費がまかなえることがわかった。

以上の結果を持った上で、インド洋沿岸地域の行政、リゾートホテル関係者や漁業関係者に提案する多目的ブイの平時利用の対象になる海洋モニタリングのニーズ調査、提案する津波災害マネジメントシステムの有効性の説明、採用の可能性などを確認する聞き取り調査を行った。その結果、現地では、多目的ブイによる海洋モニタリングのニーズが高いことがわかった。また現地の関係者にとって、提案する津波災害マネジメントシ

テムの有効性が高く、採用の意思が高いこともわかった。これらの結果から、提案システムが現地で受け入れられる可能性が非常に高いことが確認された。

(4) 得られた成果の位置づけとインパクト

従来も、「巨大地震・津波による太平洋沿岸巨大連担都市圏の総合的対応シミュレーションと活用手法の開発(平成14~18年度)等において包括的な津波防災対策のあり方に関する研究は実施されてきている。しかし、それは津波災害の経験、津波防災に関する豊富な学術的知見、高度な津波防災技術が前提となったもので、それらの乏しい発展途上国にそのまま適用可能なものではない。

一方、本研究で提案する多目的海洋観測ブイと宗教施設などを利用した避難施設を合わせた津波災害マネジメントシステムは、上述の前提条件が乏しい発展途上国を対象として、特に長期的な津波監視の維持を重視した形での総合的津波防災戦略のモデルを提供できる点で意義は大きい。

低頻度巨大災害の典型である津波災害に対する備えは、専門性の高い人々や機関のみが対応できる、めったに利用されないシステムを前提にしたのでは機能しにくい。特に津波災害の経験が少なく、専門家や専門機関に乏しく、財政的に問題を抱えるインド洋沿岸の途上国を対象とした場合にはなおさらである。地域の人々の日常生活の中に織り込んだシステムとして機能することが重要である。その意味で、海が生活に密着している人々が、自分達の手で多目的海洋観測ブイを利用・維持していくことで、地元の海に対する理解をさらに深め、生産性や生活の質を向上させ、いざという時に備えるという、本研究で確立したフレームワークの考え方は大きなインパクトを与えるものである。

(5) 今後の展望

本研究の成果により、津波を感知し、警報を出し、住民を避難させるに至るまでの全プロセスを総合的に支援するシステムを長期的に維持するフレームワークの基盤が整ったと考えている。今後必要なのは、具体的にフィールドを決めて、このフレームワークに則った総合的な津波減災システムを導入し、長期に渡る実運用を通じて、知見の蓄積と検証を進めていくことである。

本研究で確立したフレームワークは、平常時のシステムの利活用まで視野に入れていたため、前述した実地検証までの道のりは遠くないであろう。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計2件)

- ①竹内雅彦, 越村俊一, 目黒公郎: 多目的ブイを用いた津波警報システムの人的被害軽減効果と要求性能に関する研究, 生産研究, 査読無, Vol.60, No.3, pp.271-274, 2008.
- ②竹内雅彦, 越村俊一, 目黒公郎: 多目的ブイを用いたネットワーク型津波警報システムの人的被害軽減効果に関する研究, 海岸工学論文集, 査読有, 第55巻, pp.1416-1420, 2008.

[学会発表] (計1件)

- ①竹内雅彦, 目黒公郎: 多目的ブイを用いた津波警報システムの人的被害軽減効果の推計, 土木学会年次学術講演会, 2008.9.11. 東北大学

[図書] (計0件)

[産業財産権]

- 出願状況 (計0件)
○取得状況 (計0件)

[その他]

- ①目黒公郎・高島正典・越村俊一・庄司学・村尾修・岡村睦・竹内雅彦・高石孟・花谷仁志: 長期的津波監視の維持を重視した総合的津波防災戦略モデルの提案と発展途上国への導入, 東京大学生産技術研究所都市基盤安全工学国際研究センター研究報告書, No.46, p377, 2010.3.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

目黒 公郎 (MEGURO KIMIRO)
東京大学・生産技術研究所・教授
研究者番号: 40222343

(2) 研究分担者

越村 俊一 (KOSHIMURA SHUNICHI)
東北大学・工学系研究科・准教授
研究者番号: 50360847

高島 正典 (TAKASHIMA MASASUKE)
富士常葉大学・環境学部・准教授
研究者番号: 60424909
近藤 伸也 (KONDO SHINYA)

人と防災未来センター・主任研究員
研究者番号: 50426532

村尾 修 (MURAO OSAMU)
筑波大学大学院・システム情報工学研究科・准教授
研究者番号: 70292753

庄司 学 (SHOJI MANABU)
筑波大学大学院・システム情報工学研究科・講師
研究者番号: 60282836