

「みちびき」と「きく8号」を用いたGPS津波計による早期津波警戒システム」の成果について」

研究 開発 体制	主管研究機関	高知工業高等専門学校 東京大学 地震研究所	研究 開発 期間	平成25年度～ 平成26年度 (2年間)	研究 開発 規模	予算総額 (契約額) 30百万円		
	共同研究機関	JAXA, NICT, 日立造船 (株)				1年目	2年目	3年目
						20百万円	10百万円	0百万円

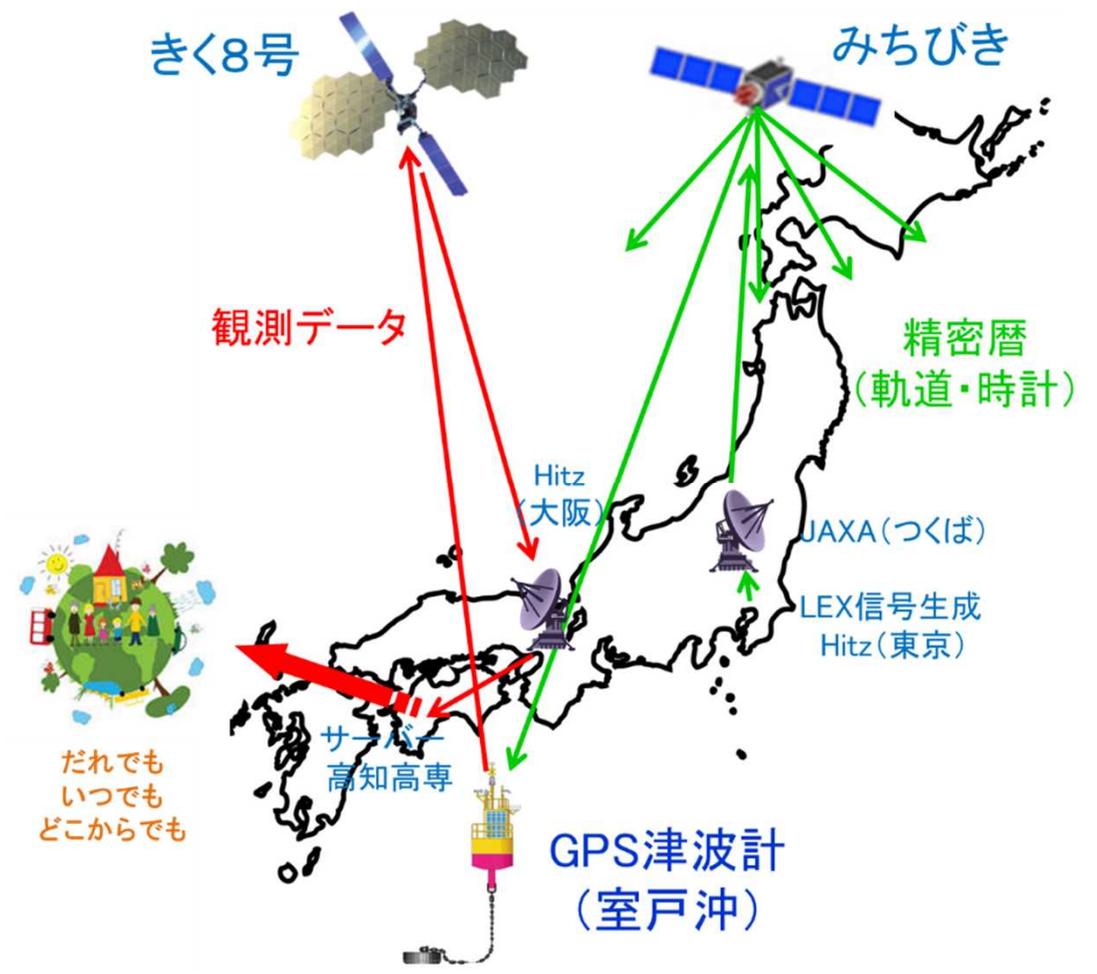
研究開発の背景・全体目標

津波の発生を止めることは出来ないが、その襲来の予測と情報の適切な伝達によって被害を少なくできる。この視点の津波防災システムが構築でき、正確な観測値に基づく津波の検知・伝達・監視によって避難・誘導に活用できるようになれば、津波災害の可能性のある住民に計り知れない安心感を与え、地域の発展基盤として大きい貢献が期待できる。

開発してきたGPS津波計は、東日本大震災における津波において津波予報に一定の貢献をした。一方で、課題も浮き彫りになった。すなわち、「もっと沖合に設置せよ」と「障害があってもデータ断とならないようにせよ」との要請であり、これらの克服が本提案の目標である。これには、GPS測位法とデータ通信方法の技術面での改善が必要である。GPS測位法については、本委託研究開始時点で既に解決済みであったことから、「みちびき」と「きく8号」を活用して通信機能面の改善に取り組み、今後の早期津波警報システムを飛躍的に機能向上させる基本技術を確立することを中心に研究を進めた。

研究開発の全体概要と期待される効果

ブイ上で計算する精密単独測位法のために必要とする精密暦（軌道と時計の情報）を「みちびき」のLEX信号に載せ、日本を取り巻く太平洋や日本海に今後多数の設置が期待されるGPS津波計に対して放送的に一斉のデータを供給し、沖合展開の距離に制限されることのない単独精密測位ができることを実証した。また、ブイ上の測位計算で取得できる津波の情報を含む観測結果を、「きく8号」を用いて地震・津波による停電が発生せずインターネットに接続できる地域に伝送することによって、洋上の海面変位のリアルタイムデータを常時継続的に世界に公開できるシステムの有用性を実証した。これらを通じて、将来の「防災等に資する情報通信衛星」の基本要件を明らかにすることができた。



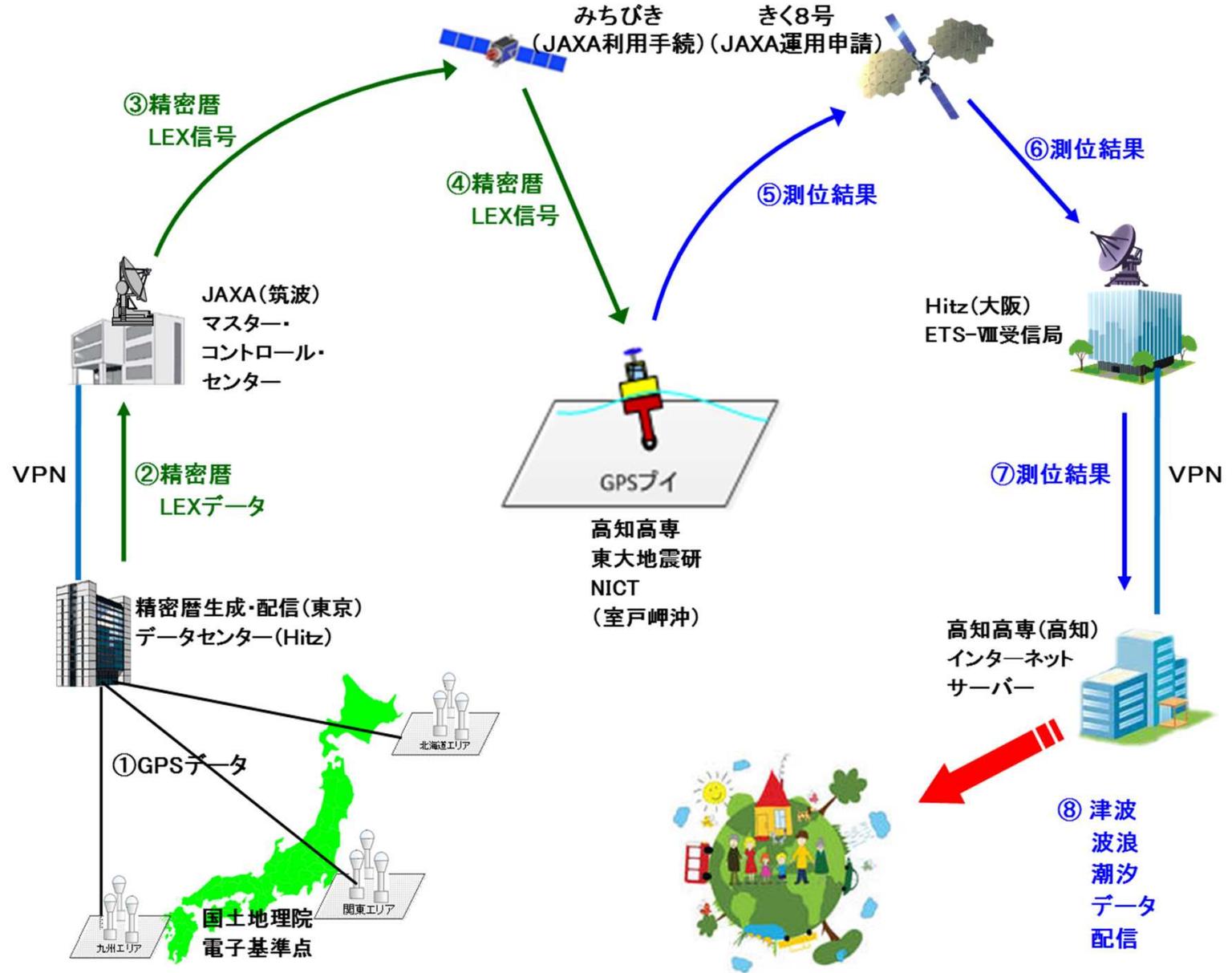
① 「「みちびき」と「きく8号」を用いたGPS津波計による早期津波警戒システム」の成果について」

実施内容及び主な研究開発成果

高知高専と東大地震研を中心にして、宇宙航空研究開発機構（JAXA）、情報通信研究機構（NICT）などの多くの研究者の協力の下に推進した。実験の結果は、衛星通信技術とこれまで開発してきた最新のGPS測位技術とを融合すれば、GPS津波計は距離制限のない沖合展開が実現できることを実証した。

実験では、室戸岬沖のブイ上で精密に測位するために必要な精密暦（衛星毎の軌道と時計データ）を国土地理院の電子基準点網を用いて計算し、「みちびき」のLEX（L-band experiment）信号に乗せて送った。海面変動を含む精密測位データは、「きく8号」を経由して、観測地点から遠く離れた大阪（被害地域外と想定）で受信した。実験の状況は、先行研究の科研費研究で構築したGPS津波計データ公開システムを使って、リアルタイムに公開した。

研究成果は、国内外の学会（計測自動制御学会、電子情報通信学会、地震学会、測地学会）、シンポジウム（GENAH2014、AOGS2014）などに発表した。また、多くの新聞、テレビのニュースで大きく報道され、津波防災技術の向上に対する国民の期待の大きさが示された。



② 「「みちびき」と「きく8号」を用いたGPS津波計による早期津波警戒システム」の成果について」

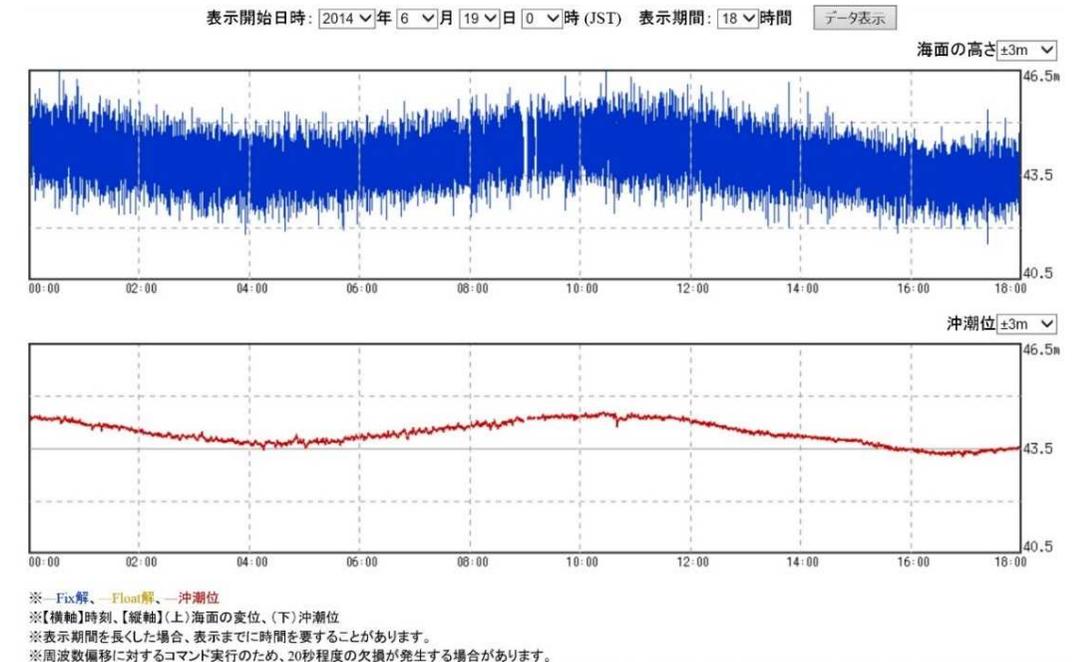
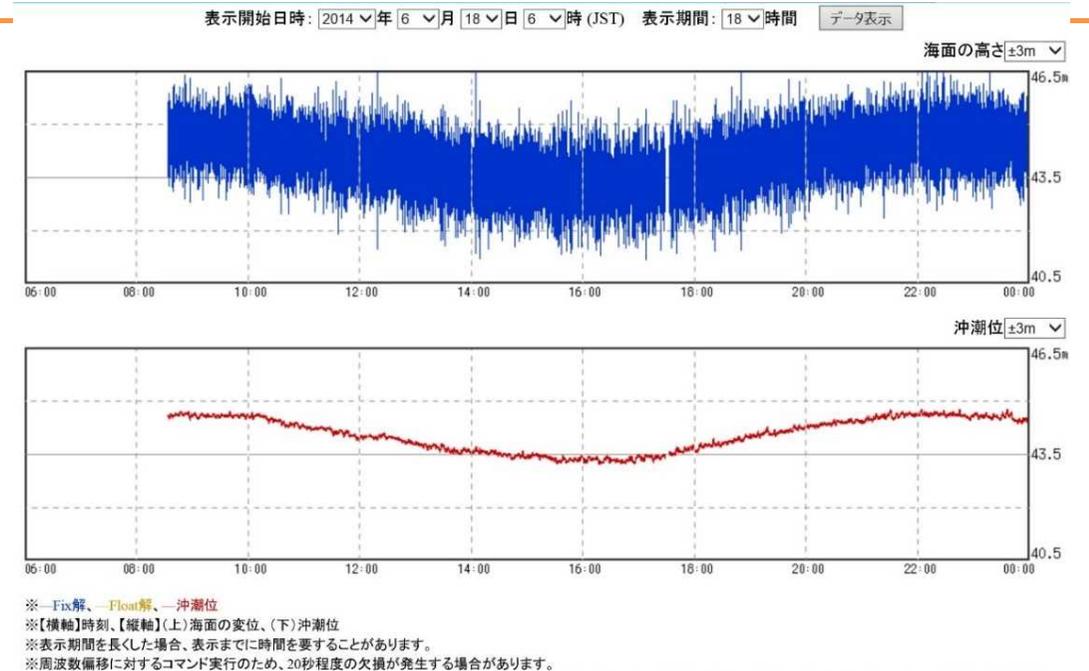
実施内容及び主な研究開発成果

平成25年度の実験は、「みちびき」から送出した測位用補正 (LEX) 信号を用いたGPS津波計ブイ上での精密測位と、「きく8号」による測位結果の伝送が出来ることを実証的に確認した。平成26年度では、実用上の課題と解決策を明確にすることとした。

右図は、2014年6月18日9時前から開始し、6月19日18時過ぎまでの33時間の連続実験を行った結果を2分割して示している。青線は数秒周期で海面高が変化する波浪を示しており、上下方向のフルスケールは6 mに設定していることから、最大4 m程度の波高であることが判る。赤線は、青線で示した波浪成分をフィルタリングして得られた結果であり、約12時間周期で変位する潮汐成分が表記されている。津波が発生すれば、このデータに津波波形が重畳して観測されることになる。

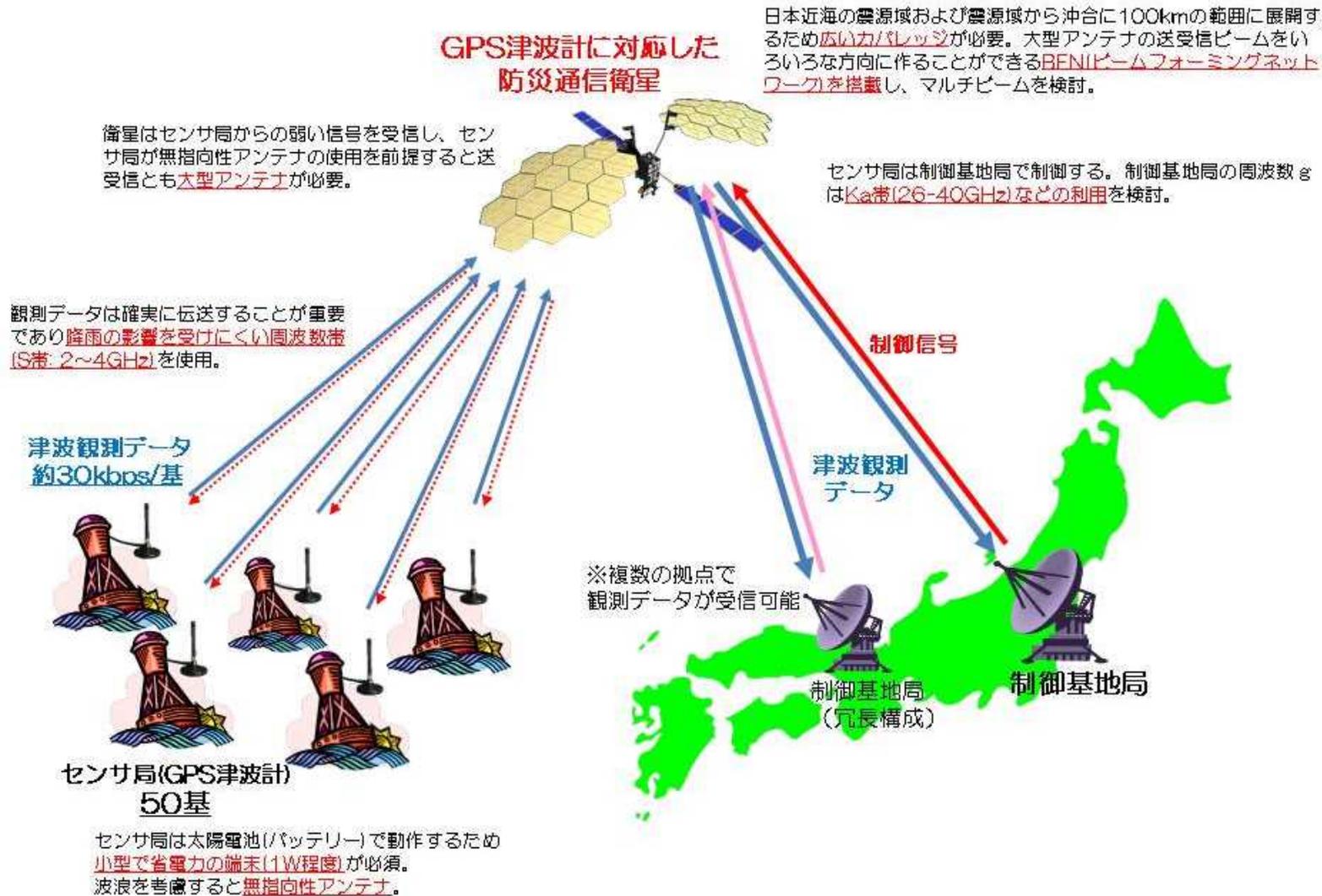
この実験では、「きく8号」の陸上基地局の複数化を図り、非常時への対応力の強化を試行した。これには、衛星通信実験の陸上基地局を大阪とつくばに設置し、伝送路の複線化の機能確認を行った。この検討項目は、本実験期間中に津波の発生などの非常事態が生じた場合のリアルタイムデータ公開対応への備えでもある。今回の実験では、陸上基地局の切り替えを2回実施した。まず、6月18日17時頃に大阪基地局を筑波基地局に切り替えた。続いて、6月19日9時頃に筑波基地局から大阪基地局に戻した。切り換えに要する時間は数分であり、伝送路の複線化の有効性を実証できた。

また、今回の実験では、「きく8号」の受信大型展開アンテナ (LDR) が低雑音増幅器 (LNC) の不具合で使用できず、本実験ではアンテナゲインが約15dB低い代替の小型パラボラアンテナ (HAC) を使って受信しているため、予備実験において悪天候下で受診率の低下が見られた。これに対して、複数の復調器 (DEMOD) を用いて同じ信号を受信し、正常に同期が行われた復調器のデータを利用することについての有効性が予備実験結果で示されていた。そこで、復調器3チャンネルの受信データから正常データを抽出するソフトウェアを実装し、その効果を確認した。



③ 「「みちびき」と「きく8号」を用いたGPS津波計による早期津波警戒システム」の成果について」

実施内容及び主な研究開発成果



「きく8号」Iの衛星通信実験で培われた知見をもとに、「災害等に資する情報通信衛星」の概要を示している。S帯によるセンサからの情報収集と、収集した多数のデータの伝送をKa帯などの広帯域で可能とする機能が基本となる。この機能を次世代通信衛星が備えることが、GPS津波計の有効活用を行う上で好ましく、津波被害の減災に貢献できることになる。

その他の研究開発成果

これまで得られた成果 (特許出願や論文発表数等)	特許出願	査読付き 投稿論文	その他研究発表	実用化事業	プレスリリース・取材対応	展示会展展
	国内 : 0 国際 : 0	国内 : 0 国際 : 1	国内 : 11 国際 : 2	国内 : 0 国際 : 0	国内 : 9 国際 : 1	国内 : 2 国際 : 0
受賞・表彰リスト			(1) (一社) 電子情報通信学会 2014年度衛星通信研究賞 (2) 総務省四国総合通信局長「情報通信月間」表彰 (2015)			

成果展開の状況について

今回の研究開発成果は、GPS精密単独測位法と衛星通信によるデータ伝送の有効性を実証的に示した。これによって、これまでに解決できていなかった沖合展開における課題をクリアするとともに、3.11の東北地方の大津波で新たに提起された課題にも技術的に対応できることを示した。

この結果を踏まえ、右図に示すように、日本のEEZをカバーできる西太平洋全域へのGPS津波計のアレイ配置を社会実装の目標とする。

今後の研究開発計画

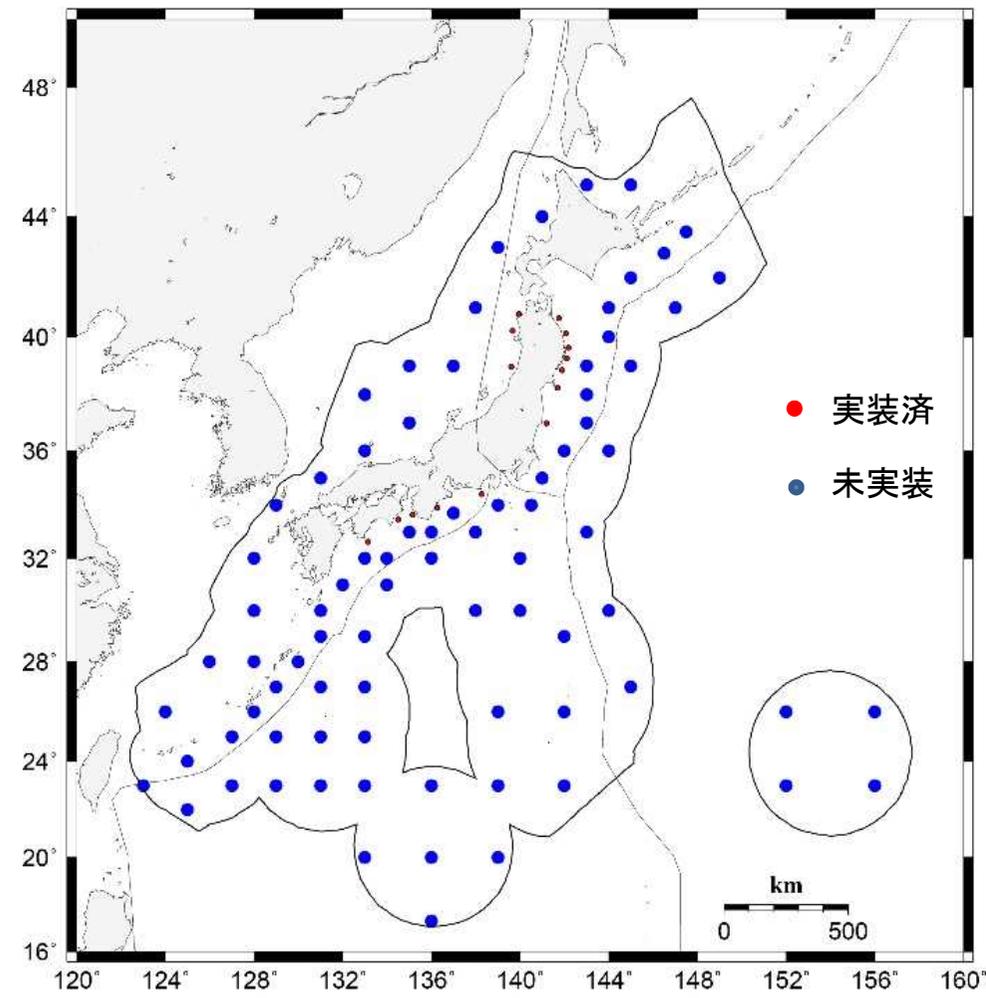
本研究の成果を人々の安全と安心の確保に活かすには、社会実装を進める必要がある。このための足がかりとなる科研費研究の提案申請をしている。

- ・ 科研費基盤研究S 研究代表者：加藤照之（東大地震研）
海洋GNNSブイを用いた津波観測の高機能化と海底地殻変動連続観測への挑戦
- ・ 科研費基盤研究A（一般） 研究代表者：加藤照之（東大地震研）
海洋GNNSブイを用いた総合防災システムの開発

また、GPS津波計の海外での活用を目指した科研費の提案申請も行っている。ここでは準天頂衛星「みちびき」の海外利用も視野に入れている。これらを通じて、GPS津波計・波浪計を全世界で活用できる状況への展開を図る。

- ・ 科研費基盤研究A（海外学術調査） 研究代表者：寺田幸博（高知高専）
インドネシアにおける津波早期警戒システム

右図の西太平洋全域への展開の実現には、「防災等に資する情報通信衛星」が不可欠であり、更なる研究成果を積み重ねて関係機関への働きかけを行っていく予定である。



事後評価票

※「4.（2）成果」以外については平成27年3月末現在で記載

1. 課題名 「みちびき」と「きく8号」を用いたGPS津波計による早期津波警戒システム
2. 主管研究機関 独立行政法人国立高等専門学校機構高知工業高等専門学校
3. 事業期間 平成25年度～平成26年度
4. 総事業費 30百万円
5. 課題の実施結果
(1) 課題の達成状況
「所期の目標に対する達成度」 <p>高知工業高等専門学校らが開発してきたGPS津波計は、東日本大震災における津波予報に一定の貢献をした。一方で、課題も浮き彫りになった。すなわち、「もっと沖合に設置せよ」と「障害があってもデータ断とならないようにせよ」との要請であり、これらの克服が本提案の目標であった。これには、GPS測位法とデータ通信方法の技術面での改善が必要である。GPS測位法については、本課題開始時点で既に解決済みであったことから、「みちびき」と「きく8号」を活用して通信機能面の改善に取り組み、今後の早期津波警報システムを飛躍的に機能向上させる基本技術を確立することにした。</p> <p>具体的には、ブイ上で解析する精密単独測位法のために必要な精密暦（軌道と時計の情報）を「みちびき」のLEX（L-band experiment）信号に載せ、日本を取り巻く太平洋や日本海に今後多数の設置が期待されるGPS津波計に対して放送的に一斉のデータを供給し、沖合展開の距離に制限されることのない単独精密測位ができることを実証した。また、ブイ上の測位計算で取得できる津波の情報を含む観測結果を、「きく8号」を用いて、地震・津波による停電が発生せずインターネットに接続できる地域に伝送することによって、洋上の海面変位のリアルタイムデータを常時継続的に世界に公開できるシステムの有用性を実証した。これらを通じて、将来の「防災等に資する情報通信衛星」の基本要求を明らかにすることができた。</p>
「必要性」 <p>津波の発生を止めることは出来ないが、その襲来の予測と情報の適切な伝達によって、被害を少なくできる。この視点の津波防災システムが構築でき、正確な観測値に基づく津波の検知・伝達・監視によって避難・誘導に活用できるようになれば、津波災害の可能性のある住民に計り知れない安心感を与え、地域の発展基盤として大きい貢献が期待できる。このための開発コンセプトは、「いつでも、だれでも、どこからでも」このデータにアクセスでき、防災の三助（自助、互助、公助）に役立てられるシステムを構築することである。また、日本だけでなく世界の大洋上に多数設置してネットワー</p>

クで結べば世界的な災害軽減にも貢献でき、衛星通信の利用拡大が図れるとともに、日本の防災情報技術の輸出にもつながることになる。

このようにして開発した GPS 津波計を最大限に活用するためには、津波ブイから得られた防災に関するセンサ情報を効率的かつ的確に伝送を行うことが必要である。加えて、これらの防災に資する通信衛星システムが実現すれば、海域における対流圏水蒸気量の推定を行う GPS 気象予測及び電離圏電子数の消長のモニタリングに基づく宇宙天気予報の精度向上への貢献が期待出来る。

また、安全と安心に直結する防災技術への人々の関心は高く、研究実施期間中に発したプレスリリースでは、多くの新聞、TV、Web ニュースで報道がなされた。これは、本研究推進への期待と研究成果への社会的認知の証である。

「有効性」

海上における GPS 津波計の運用、精密単独測位を行うために必要とする精密暦を放送的に多数のブイに送信できる「みちびき」を利用した。また、電力の供給に制限があり、揺れ動くブイと衛星との通信を実現するためには、無指向性アンテナと小型かつ省電力の衛星通信装置を必要とし、汎用性の高い小型無指向性アンテナを通信実験に供した。このことから、性能の低い地球側の衛星通信装置との通信に対応できる大型アンテナを有している「きく8号」を、ブイ上から陸上へ測位結果を伝送するための基本的なインフラとして使用した。このために必要とする機器材の提供を受けるための諸手続を行い、実験期間中の両衛星は、本実験目的に沿う運用を行った。「きく8号」によって送られてきた海面変動の解析結果は、リアルタイムにインターネットで公開した。実験の計画と結果の解析を通じて、将来の「防災等に資する情報通信衛星」の通信機能面を主体にした要求仕様を明らかにした。

「効率性」

本課題において、GPS 津波計を西太平洋全域に展開できる基本技術として通信衛星を利用することが重要であり、その有効性を実証的に示すことが必須であった。また、この共同研究契約によって、受託研究機関として保有してない地上側の衛星通信設備の支援を得ることができ、予算内で目標を達成することができた。

(2) 成果

※平成27年11月1日現在で記載

「アウトプット」

本課題における成果を要約すると次のとおりであり、高知工業高等専門学校は、所期の目標を達成した。

- [1] GPS 津波計の沖合展開を可能にする GPS 測位方法と海面変動解析結果の衛星通信を実証的に提示した。実験は、インターネットによるリアルタイムデータ公開の形でマスコミを含めて全て公開で実施し、早期津波警戒システムの有効性を提示した。達成時期：2014年6月30日
- [2] 津波発生震源域を中心にした西太平洋全域に GPS 津波計アレイを構築することを前提とし、実験結果に基づいて、将来装備する必要のある「防災等に資する情報通信衛星」への基本要求进行を提示した。達成時期：2015年3月31日

[3] 本研究開始以降、次の研究発表・論文発表を行った。達成時期：2015年10月31日

- 1) Terada, Y., T. Kato, T. Nagai, S. Koshimura, N. Imada, H. Sakaue, and K. Tadokoro, Recent developments of GPS tsunami meter for a far offshore observations, Proc. GENAH 2014, IAG Symposia 145, 2015, in press
- 2) 寺田幸博, 加藤照之; GPS 津波計の開発, 日本高専学会誌, Vol.20, No4, pp.49-54, 2015
- 3) 川崎和義, 山本伸一, 寺田幸博, 加藤照之, 本橋修, 橋本剛正, 齊田優一, 松澤亮; 海上からの衛星データ伝送と今後の展望 ~ 災害の早期検出を目指して ~, 信学技報, Vol.115, No. 180, SAT2015-23, PP. 71-76, 2015
- 4) 加藤照之, 寺田幸博, 山本伸一, 橋本剛正, 本橋修, 松下泰弘, 和田晃; GPS 津波計に関する最近の開発研究, 2014年度日本地震学会秋季大会予稿集, pp.74, 2014
- 5) 加藤照之, 寺田幸博, 山本伸一, 橋本剛正, 本橋修, 松下泰弘, 和田晃; GPS 津波計に関する最近の開発研究, 日本測地学会第122回講演会予稿集, pp.75-76, 2014
- 6) T. Kato, Y. Terada, T. Nagai, S. Koshimura, N. Imada, H. Sakaue, and K. Tadokoro, Recent developments of a GPS buoy for measuring tsunami the ocean bottom crustal movements, Sapporo, AOGS2014
- 7) Terada, Y., T. Kato, T. Nagai, S. Koshimura, N. Imada, H. Sakaue, and K. Tadokoro, GPS tsunami meter using satellite communication system with a function which measures ocean bottom crustal movements, Matsushima, GENAH2014.
- 8) 寺田幸博, 橋本剛正, 本橋修, 山本伸一, 和田晃, 加藤照之; 「みちびき」と「きく8号」を用いたGPS津波計の沖合展開, 日本地球惑星科学連合大会予稿集, 2014
- 9) 寺田幸博; GPS津波計・波浪計を用いた防災システム, 計測と制御, 53(6), 488-493, 2014
- 10) 寺田幸博, 加藤照之, 山本伸一, 中尾正博, 西村史睦; 通信衛星を用いたGPS津波計・波浪計・潮位計の沖合展開, 電子情報通信学会2014年総合大会公園概要集, pp.ss66-ss67, 2014
- 11) 山本伸一・川崎和義・寺田幸博・加藤照之・橋本剛正・本橋修・齊田優一・松澤亮, 技術試験衛星VIII型(ETS-VIII)を用いた海上ブイからのデータ伝送実験—津波の早期検出を目指して—, 信学技報, 2014-8, 5-10, 2014.
- 12) 寺田幸博, 山本伸一, 加藤照之, 中尾正博, 林稔, 永井紀彦; 沖合展開距離制限のないGPS津波計の開発, 第57回宇宙科学技術連合講演会講演集, 3D10, 2013
- 13) 山本伸一, 寺田幸博, 橋本剛正, 加藤照之, 林稔; 衛星センサネットワーク—災害の早期検出を目指して—, 第57回宇宙科学技術連合講演会講演集, 3D09 2013
- 14) 山本伸一, 川崎和義, 寺田幸博, 今田成之, 橋本剛正, 加藤照之, 林稔, ETS ETS-VIIIを用いた海上ブイからのデータ伝送実験, 電子情報通信学会, 総合大会講演論文集 講演番号 B-3-8, 2013

「アウトカム」

[1] 研究成果の学会発表の中で、次の賞を受けた。達成時期：2015年8月31日

(一社) 電子情報通信学会 2014年度衛星通信研究賞

[2] 本課題は、毎年6月に行われる「電波の日」・「情報通信月間」で次の表彰を受けた。達成時期：2015年6月30日

総務省四国総合通信局長表彰

- [3] 情報通信研究機構が主催する次世代安心・安全 ICT フォーラムにブイ分科会を設置し、次世代の「防災等に資する情報通信衛星」の議論を重ねている。達成時期：2015年3月31日
- [4] 総務省が主催した「国として当面取り組むべき技術開発プロジェクト」フォーラムにおいて、本研究成果を盛り込んだ「海洋ブイを活用した総合防災情報の伝達に関する研究開発」の提案発表を行った。達成時期：2014年7月31日

(3) 今後の展望

本課題の成果を人々の安全と安心の確保に活かすには、社会実装を進める必要がある。このための足がかりとなる科研費研究の提案申請をしている。

また、GPS 津波計・波浪計の海外での活用を目指した科研費研究の提案申請も行っている。この中では、準天頂衛星「みちびき」の海外での利用も視野に入れている。

これらを通じて、GPS 津波計・波浪計を全世界で活用できる状況へ展開を図りたい。これの実現には、「防災等に資する情報通信衛星」が不可欠であり、さらに研究成果を積み重ねて関係機関への働きかけを行っていく予定である。

6. 評価点

S

評価を以下の5段階評価とする。

- S) 優れた成果を挙げ、宇宙航空利用の促進に著しく貢献した。
- A) 相応の成果を挙げ、宇宙航空利用の促進に貢献した。
- B) 相応の成果を挙げ、宇宙航空利用の促進に貢献しているが、一部の成果は得られておらず、その合理的な理由が説明されていない。
- C) 一部の成果を挙げているが、宇宙航空利用の明確な促進につながっていない。
- D) 成果はほとんど得られていない。

評価理由

開発してきた GPS 津波計・波浪計は、国土交通省港湾局によって沿岸域に配備が進められている。平成 23 年 3 月 11 日の東日本大震災時点で釜石沖に設置されていた GPS 津波計・波浪計の観測結果等から、津波警報は最大級に引き上げられた。このような経緯を経て、平成 25 年 3 月 7 日から開始された気象庁の「新しい津波予報」の中では、全国に配備されている 18 基の GPS 波浪計・津波計が活用されている。

本課題を通じて、この GPS 津波計を西太平洋全域に展開できる基本技術の有用性を実証的に明らかにし、大洋上においても津波の高精度リアルタイム観測が可能になったことの意義は大きい。さらに、GPS に加えて、準天頂衛星や通信衛星の活用も実用できる見通しが得られており、宇宙航空利用の促進に著しく貢献している。