

インフラサウンドセンサ製作と多地点観測による津波減災警報システムについて

山本 真行 [1]
[1] 高知工科大

On a Tsunami alert system by multiple-sites infrasound observation with making low-cost sensors

Masa-yuki Yamamoto[1]
[1] Kochi Univ. of Tech.

Infrasound is low frequency sound below 20 Hz. The infrasound, existing between the audible sound and atmospheric gravity waves, is quite useful as a remote-sensing tool for geophysical events and strong explosions because it can propagate long-distant as well as vertically in the atmosphere without strong attenuation, thus it has been used as one of the CTBTO nuclear test monitoring systems. Here is a proposal for Tsunami disaster reduction by making a quasi-real-time forecast of exact arrival time and intensity of Tsunami by using multiple-sites infrasound observation. Infrasound can propagate at sound speed and Tsunami propagation depends on depth of the sea, therefore, it means infrasound can arrive twice earlier than Tsunami for off-coast earthquake cases in East and Southern Japan area. If we can use multiple infrasound observatories at several capes of Japanese southern seashore, for example, we can alert Tsunami warning at 30 minutes before or earlier than the real disaster in the high population city/town areas usually exist on closed-off section of a bay. By constructing a satellite-like self controlling system with onboard warning logics, communication tools with data centers and each observatory, linking tools for local alert systems, collaboration with seismometer and GPS-TEC observation networks, we believe that a new Tsunami disaster prevention system can be realized.

At the time of the Great East-Japan earthquake and Tsunami disasters on March 11, 2011, infrasound generated by Tsunami was clearly observed as about 20 Pa pressure waves with source direction information at multiple-sites of the CTBTO infrasound monitoring network, Isumi (IS30), Chiba, Japan, and other two sites (IS44, IS45) in far east Russia (Arai et al., 2011). Usually used infrasound sensors have a capability of sensing for 0.001 Pa range, therefore, the 20 Pa pressure is quite abnormal amplitude. Unfortunately, the IS30 is only one permanent infrasound observatory existing in Japan. If we can construct infrasound observatory network with a separation of 100 km or less for each along the seashore, and process real time data reduction mainly for correlation calculation among multiple infrasound signals, a new quasi-real-time Tsunami forecast system can be realized in low-cost comparing with the multiple GPS buoys on the sea surface. Infrasound Tsunami alert system has a great advantage for using by local city/town governments on demand owing to its low-cost feature.

For example, Kochi prefecture, one of the most dangerous regions for Tsunami disasters in Japan, is a good test field for infrasound systems. Constructing of 3 infrasound observatories at 3 capes (Muroto and Ashizuri capes in Kochi, and Shionomisaki cape in Wakayama) enables us to initiate the proposed Tsunami disaster prevention system in a couple of years, if we have enough fund for that. Combining with the GPS buoys, the infrasound system becomes more powerful tools for Tsunami warning, because we can put an infrasound sensor also on the off-shore sea front. They are complimentary, vice-versa.

We have been studying on the infrasound characteristics and experienced for infrasound observation in Japan, Australia, and Antarctica from 2004, by using many artificial and geophysical events: aerial fireworks, volcanic eruptions, sounding rocket launches, the HAYABUSA reentry in 2010, and ice-quakes. A new optical non-contact sensor was also successfully developed by our group in 2009, targeting mainly for low-cost distribution of the infrasound sensors in Japan. Software technique and algorithms have been also developed in these years for experimental data reductions. With combining these useful items, on-site experiences, and precious geophysical information derived by the 3.11 Tsunami, we propose the infrasound monitoring network in Japan, at a time to initiate.

1. はじめに

周波数 20 Hz 以下の低周波音波をインフラサウンド（微気圧波）と呼ぶ。可聴音と大気重力波の間の周波数領域であり、大気中をほとんど減衰せず長距離および上下に伝搬できるため地球物理学現象や大規模爆発を遠隔計測でき、CTBTO 国際核実験検知網の一手法として活用されている。本稿は、音速で到来するインフラサウンドを多地点観測し、津波到達前に波源・規模を準リアルタイム予測する一提案である。津波伝搬速度は水深依存で陸地に近いほど遅れるため、日本列島沖の巨大海底地震の場合、音波は平均的な津波伝搬速度に対し数倍以上速く沿岸に届くと予測される。津波到来時刻は地震波と音波の到来時刻差から、津波規模は微気圧振幅から予測する。複数の岬に観測点を設置すれば、湾内に分布する沿岸人口密集地への津波到達に対し 30 分以上先行して時刻・規模を予測し、規模に応じた地域レベル津波警報が可能となる。センサのみでなく、人工衛星のような自立システムを構築し、オンボード判断、センサ相互間・データセンターへの通信、地域防災無線等への中継、地震計・GPS-TEC 観測網等との連携等を順次整備し、津波減災システムが構築できる。

2. インフラサウンド利用のメリット

国内の恒久的インフラサウンド観測点として、千葉県いすみ市に 6 台のセンサ群から成る CTBTO 観測点 IS30 が運用

中で、2011年3月11日の東日本大震災では約20 Paの津波励起波が十分な波源方向決定精度を有して観測された（Arai et al., 2011）。GPS-TEC計測でも、波源上空を中心に明瞭な同心円状波動伝搬が報告され（Saito et al., 2011）、海上GPSブイは三陸沖にて津波自体を捉えた（寺田 他, 2012）。微気圧センサの最小検出感度0.001 Paに対し、20 Paの振幅は十分な異常振幅と判断できる。海上GPSブイ技術は沖合への展開距離を稼ぐには難点があり、新設や施設維持も高コストである。一方、本観測網を100 km間隔程度（地域防災では10 kmが理想）でメッシュまたは沿岸設置し、同時観測データを相関解析すれば、低コストに津波の波源・到達時刻・規模の準リアルタイム予測が可能となる。本システムは、1）1地点3台のセンサで到来時刻差から方向探知可能、2）2地点6台で波源位置決定が可能である。大規模予算が必須の海上GPSブイに比べたメリットは、3）市町村規模で導入可能、4）観測点増に伴い高精度化が促進できる点にある。さらに、5）緊急整備が進む海上GPSブイと連携できれば海上でのインフラサウンド観測による早期警戒が可能で、6）2種類の観測は相補的に活用可能である。

3. これまでの取組み

2004年度より、打上花火、火山噴火、ロケット実験、はやぶさ帰還、氷河地震等の波源を活用して、国内、豪州、南極での観測を蓄積してきた。2009年には、導入障壁であるセンサ価格解決のため光学非接触式の計測技術を開発し、試作品ながら0.001 Hzまでの帯域と0.001 Paの検出感度を確立した（山本・石原, 2009）。上述1）2）の精度検証では、2010年6月の豪州での「はやぶさ」帰還観測、2012年1月のロケット実験時の桜島噴火を波源とした観測を実施し、6台以下のセンサで10 km程度の波源位置精度を得た（Yamamoto et al., 2011; 小松, 2012）。2012年8月には、S-310-41号ロケット搭載PDIを用い高層大気中の音波伝搬特性計測を予定しており（木原他, 2012）、実験データと知見の蓄積は、津波警報に貢献できる。

4. 整備計画

東南海・南海連動地震による津波被害予測から、防災意識が高まっている高知県内は最適な試験フィールドであり、高知工科大では既に津波災害リスクマネジメント専門家を含む教員9名により研究チームを構成、県内の防災関連会合等の機会を用い自治体防災担当者との連携を深めるフェーズにあり、S-310-41号ロケット実験後に室戸岬に第1観測点（センサ3台）を整備する。予算的バックアップが得られれば、地震計や気象観測センサ群を同時接続し、第2観測点を足摺岬を整備して、高知湾の形状を活用した第1次定常観測体制を得る。第3観測点は和歌山県の潮岬周辺に早期整備すべきである。コスト面では、本年度内に試作品と既存センサとの並行観測を実施しつつ、光学非接触式の量産型センサ製作を進める。従来比半額以下で国内沿岸域に津波観測網を構築する準備が整う。自動集約するデータ集積システムは確立済、クイックルックや到来方向探知も昨年度の実験成果として基本アルゴリズムは構築済である。データサーバを本学に構築し、以上を組合せて本年度中に津波警報システムの前段階を実現したい。