

## 極域でのインフラサウンド・地震計で観測される非線形波動の比較

Comparison of nonlinear wavelets observed by both infrasound and seismometers in polar regions

\*金尾 政紀<sup>1</sup>、山本 真行<sup>2</sup>、石原 吉明<sup>3</sup>、村山 貴彦<sup>4</sup>、松島 健<sup>5</sup>、松村 充<sup>1</sup>

\*Masaki Kanao<sup>1</sup>, Masa-yuki Yamamoto<sup>2</sup>, Yoshiaki Ishihara<sup>3</sup>, Takahiko Murayama<sup>4</sup>, Takeshi Matsushima<sup>5</sup>, Mitsuru Matsumura<sup>1</sup>

1.国立極地研究所、2.高知工科大学、3.JAXA、4.日本気象協会、5.九州大学

1.National Institute of Polar Research, 2.Kochi University of Technology, 3.JAXA, 4.Japan Weather Association, 5.Kyushu University

現在進行中の地球表層環境変動、とりわけ「地球温暖化」に伴う極域（南極・北極）における大気・海洋・雪氷・固体地球の多圏間カップリングは重要である。本発表では、地球システムにおいて様々な励起源をもつ可聴下周波数帯域（数10～0.001 Hz）の波動（インフラサウンド及び地震波）の伝播特性に焦点を当て、極域の地球表層環境を構成する多圏サブシステムにおける物理相互作用に関する最近の研究動向を紹介する。特に、海洋波浪を起源とする固体地球表層の「脈動」、及び「微気圧の擾乱」の時空間変動に着目し、大洋域の海面擾乱と気圧変動による、極域の浅層大気と固体地球表層への応答について検討する。これら波動群の振幅強度や周波数特性の経年変化と気象情報・海水分布等との関連性を検討し、また多圏波動カップリングのモデリング等も含めて、地球温暖化の極域表層環境への影響についての総合的な判断材料の提供を試みる。具体的には、汎地球規模観測網における貢献・意義を踏まえつつ、極域観測点の概要、取得データの特徴、及び近年得られた成果について概観する。特に、2015年2～4月のデータを中心に、南極昭和基地で得られたインフラサウンドと地震計データの共鳴的非線形微動に注目し、それらの特徴を比較して議論する。

キーワード：infrasound、seismic waves、nonlinear wavelets、harmonic tremor、polar region

Keywords: infrasound, seismic waves, nonlinear wavelets, harmonic tremor, polar region

## 台湾での土砂災害および地震から発生するインフラサウンド観測 -初期結果-

## Detection of infrasound from the landslide and earthquakes in Taiwan -primary results

\*柿並 義宏<sup>1,2</sup>、山本 真行<sup>2</sup>、Chen Chun-Rong<sup>1</sup>、Horng-Yuan Yen<sup>1</sup>、J. J. Dong<sup>1</sup>、Chung-Pai Chang<sup>1</sup>

\*Yoshihiro Kakinami<sup>1,2</sup>, Masa-yuki Yamamoto<sup>2</sup>, Chun-Rong Chen<sup>1</sup>, Horng-Yuan Yen<sup>1</sup>, J. J. Dong<sup>1</sup>, Chung-Pai Chang<sup>1</sup>

1.台湾国立中央大学、2.高知工科大学

1.National Central University, 2.Kochi University of Technology

After large earthquakes and tsunamis occur, infrasound emitted from the epicenters and tsunami source areas are often observed. Using triangulation method, identification of the sources are being attempted. Since such phenomena accompanying large motion of ground/sea surface often emit infrasound, landslide is also highly expected to emit the infrasound. In fact, people often reported some uncertain noise just after the landslide occurred. Although less scientific report of infrasound observation from the landslide has been done so far, we try to detect the infrasound emitted from the landslide. In order to achieve the purpose, we started observation of the infrasound in Taoyuan (23.1607°N, 120.7658°E) and Dabu (23.3005°N, 120.6296°E), Taiwan from July 2015. In this paper, we introduce our observation sites and primary results of power spectrum and landslides identification from the infrasound. Furthermore, the infrasound emitted accompanying the M6.4 Kaohsiung (Meinong), Taiwan earthquake (22.871°N, 120.668°E) occurred 33 km away from the Taoyuan observatory at 19:57:27 UTC on 5 February 2016 was observed. The results before and after the earthquake are also shown.

キーワード：インフラサウンド、土砂崩れ、台湾、高雄地震

Keywords: infrasound, landslide, Taiwan, Kaohsiung earthquake

## インフラサウンド・アレイ観測データを用いた雪崩発生箇所推定の試み

## Locating snow avalanches by using of infrasound array data

\*新井 伸夫<sup>1</sup>、今井 俊昭<sup>2</sup>、大槻 政哉<sup>2</sup>、斎藤 佳彦<sup>2</sup>、村山 貴彦<sup>3</sup>、岩國 真紀子<sup>3</sup>

\*Nobuo Arai<sup>1</sup>, Toshiaki Imai<sup>2</sup>, Masaya Otsuki<sup>2</sup>, Yoshihiko Saito<sup>2</sup>, Takahiko Murayama<sup>3</sup>, Makiko Iwakuni<sup>3</sup>

1.名古屋大学減災連携研究センター、2.雪研、3.日本気象協会

1.Disaster Mitigation Research Center, Nagoya University, 2.Yukiken Snow Eaters Inc., 3.Japan Weather Association

Infrasound observation measures the energy radiated by the snow avalanche in the atmosphere and is able to detect snow avalanches over large areas. The use of infrasound for snow avalanche monitoring has increased in the last decades, with significant improvements on snow avalanche dynamics research.

Our research team has conducted infrasound observation in the last 3 winter seasons in Tokamachi, Niigata. Firstly, we deployed an infrasound sensor in front of the specific slope between Jan. and April 2013 with visual observation by using a web camera and grasped infrasound signals characteristics generated by snow avalanches. And in the second season (2013-2014 winter season), we deployed two infrasound sensors with about 1 km distance and caught the distance attenuation characteristics of infrasound signals. In the last 2014-2015 winter season, we deployed 3 sensors with a triangular geometry spaced 1 to 2 km apart and tried to extract signals associated with snow avalanches from observed raw data automatically by using time domain processing. And for extracted signals, locations of snow avalanches were estimated by using cross-correlation method. 12 events were picked up and located. Estimated locations were in the area with many steep slopes. Infrasound array monitoring system with real time processing might deliver significant information on snow avalanche activity to us.

キーワード：雪崩、インフラサウンド、アレイ観測

Keywords: Snow avalanche, Infrasound, Array observation

## 微気圧計と広帯域加速度計で同時観測された地震波形について

Comparison of seismic waveforms observed by microbarograph with broadband accelerometer

\*岩國 真紀子<sup>1</sup>、村山 貴彦<sup>1</sup>、新井 伸夫<sup>2</sup>、市原 美恵<sup>3</sup>、萬年 一剛<sup>4</sup>、Jerome M. Paros<sup>5</sup>、大井 拓磨<sup>6</sup>\*Makiko Iwakuni<sup>1</sup>, Takahiko Murayama<sup>1</sup>, Nobuo Arai<sup>2</sup>, Mie Ichihara<sup>3</sup>, Kazutaka Mannen<sup>4</sup>, Jerome M. Paros<sup>5</sup>, Takuma Oi<sup>6</sup>

1.一般財団法人 日本気象協会、2.名古屋大学減災連携研究センター、3.東京大学地震研究所、4.神奈川県温泉地学研究所、5.Paroscientific, Inc. および、 Quartz Seismic Sensors, Inc.、6.東邦マーカンタイル株式会社

1.Japan Weather Association, 2.Disaster Mitigation Research Center, Nagoya University, 3.Earthquake Research Institute, University of Tokyo, 4.Hot Spring Research Institute of Kanagawa Prefecture, 5.Paroscientific, Inc. and Quartz Seismic Sensors, Inc., 6.Toho Mercantile co., Ltd.

As already discussed in the papers, sensitive Microbarographs can detect seismic waves without going off the scale and supplemental measurements made with accelerometers.

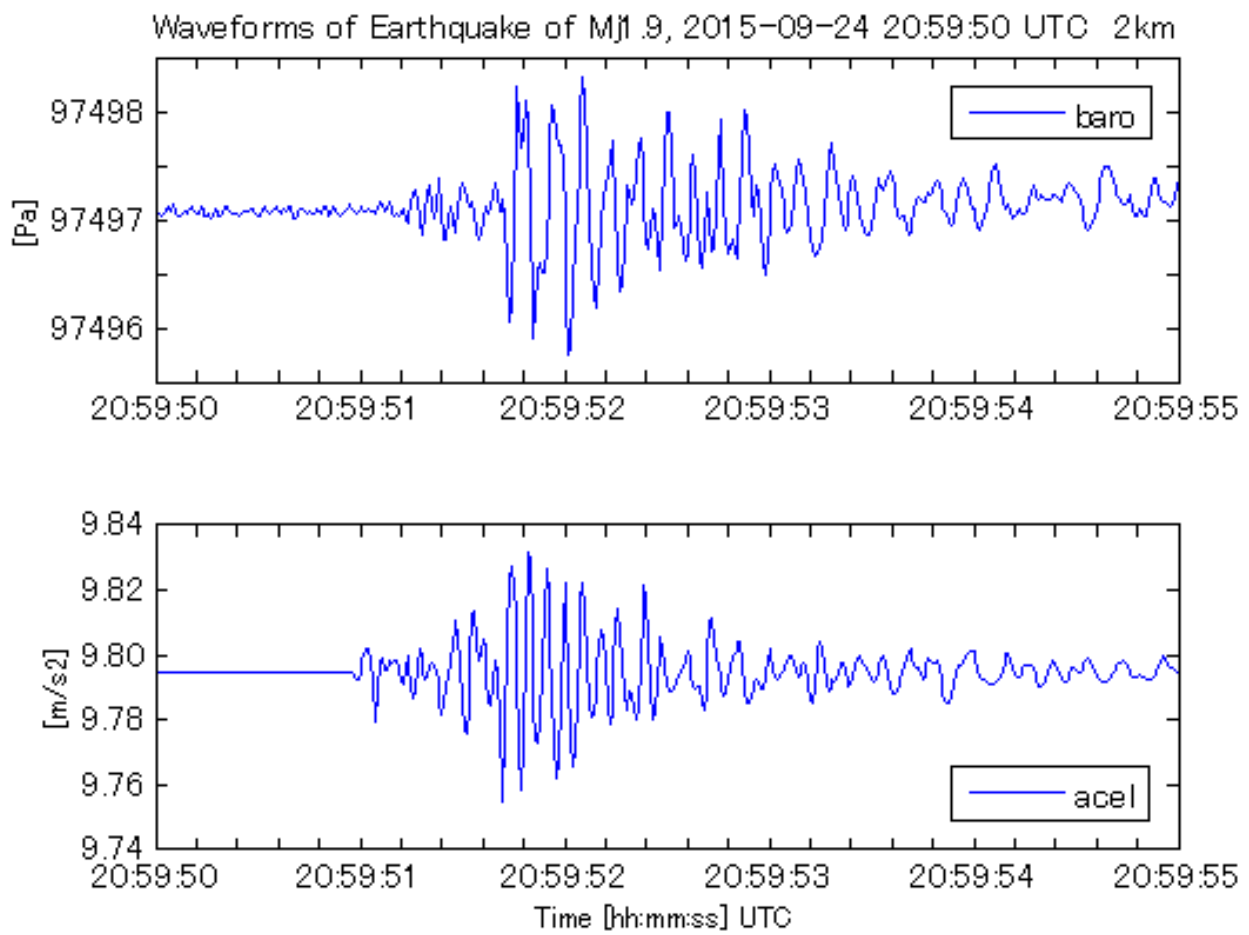
Hakone volcanic activity increased from April 2015. To monitor Hakone volcanic activity, we started to measure seismic and pressure signals using a seismo-acoustic sensor that is a combination of a Broadband Accelerometer (Developed by Quartz Seismic Sensors, Inc., USA) and a Sensitive Microbarograph (Manufactured by Paroscientific, Inc., USA) in August. Both sensors use precise quartz crystal resonators to archive parts-per-billion resolution. The single axis accelerometer records the vertical component of ground accelerations.

Earthquake of Mj1.9 occurred at a depth of 2km in Hakone volcano area at 20:59:50 UTC on the 24th of September 2015, and its seismic signal was observed by both the microbarograph and accelerometer. The distance between the epicenter and the observation site is approximately 2.4 km. The microbarograph recorded similar waveforms to that of the accelerometer.

In this presentation, we discuss the similarities and differences of the seismic signals observed by the microbarograph and accelerometer.

キーワード：微気圧計、広帯域加速度計、地震動応答

Keywords: Sensitive Microbarograph, Broadband Accelerometer, seismic response



## 電離圏擾乱による火山爆発スケール: ブルカノ式火山噴火に伴う空振とそれに伴う電離圏TEC擾乱の比較

### Relationship Between Amplitudes of Infrasound and Ionospheric TEC Disturbances by Vulcanian Volcanic Explosions

\*中島 悠貴<sup>1</sup>、青木 陽介<sup>2</sup>、西田 究<sup>2</sup>、藤田 進悟<sup>1</sup>、日置 幸介<sup>1</sup>

\*Yuki Nakashima<sup>1</sup>, Yosuke Aoki<sup>2</sup>, Kiwamu Nishida<sup>2</sup>, Shingo Fujita<sup>1</sup>, Kosuke Heki<sup>1</sup>

1.北海道大学大学院理学院自然史科学専攻地球惑星ダイナミクス講座、2.東京大学地震研究所

1.Natural History Sciences, Graduate School of Science, Hokkaido University, Earth and Planetary Dynamics, 2.Earthquake Research Institute, University of Tokyo

本講演では、2015年口永良部島火山噴火に伴う気圧振動とTEC (Total Electron Content; 電離圏全電子数) 擾乱の解析結果とその結果を利用して校正した電離圏擾乱から見た火山噴火のスケールの利用可能性について報告する。

ブルカノ式火山噴火による空振でもごく低い周波数のもの (~0.01 Hz) は、上空約300 kmの電離圏中の電子を揺さぶることがある。Heki (2006, GRL) は、2004年の浅間山火山のブルカノ式噴火に伴う電離圏擾乱についてGNSS-TEC法によってはじめて調査し、爆発に伴うエネルギーを見積もった。我々は、このような電離圏擾乱について火山学的な観測量との関連を見出すため、その起源であるブルカノ式火山噴火に伴う空振との比較を試みた。

我々はまず、日本で起こった五つのブルカノ式火山噴火 (2004年浅間山、2009年桜島、2011年新燃岳 (2)、2015年口永良部島) に伴う擾乱の斜めTECの振幅をGIM (Global Ionospheric Maps) から得られる鉛直TECで規格化した値 (Fスケールと命名; 竜巻のスケールとは別物) と気象庁の火山解説資料の空振々幅とを比較した。その結果、相関係数0.5を得ている。

この結果をよりよいものとするために、2015年5月29日0:58UTに発生した口永良部島火山のブルカノ式噴火について、爆発時の波動の周波数成分について見直した。一般的に、火山爆発による空振は周期2-3秒が卓越することが知られている (坂井他, 2000, 験震時報) が、数十mHzより高い周波数を持つ気圧波動は電離圏へ到達するまでに減衰する (Blanc, 1984, Ann. Geophys.)。そのため、爆発による気圧波動の周波数成分が各々のブルカノ式噴火によってどの程度変動するのかを理解することで、電離圏擾乱からの爆発規模推定の誤差を考えることができる可能性がある。

今回、Fスケールとの比較で使った口永良部島における気象庁の新岳北東山麓観測所 (火口から北東約2.3 km; 最大振幅 62.2Pa以上) 及び本村東観測所 (北西2.8 km; 13.9 Pa) の大気振動観測機器は空振計 (ACO社 超低周波マイクロフォンTYPE7144・空振計TYPE3348) で、0.1-100 Hzの周波数特性を持っていた。それに対して、防災科学技術研究所が火山近傍で展開するV-netの観測点、七釜 (南東約1.7 km; 350 Pa) と古岳西 (南西約1.5 km; 280 Pa) では気圧計 (Vaisala社 PTB100) を使っている。サンプリング間隔は1 sec である。TECの振動についても、1HzサンプリングのRINEXファイルを手し、その波形の詳細について解析を進めている。こちらも鉛直TECへの変換や伝搬距離に応じた減衰を補正することで、スケールの改善を望めるはずである。

キーワード: GNSS、GPS、火山、電離圏、地震

Keywords: GNSS, GPS, Volcano, Ionosphere, Earthquake

重力音波モードから内部重力波モードへの遷移周期帯付近の微気圧変動パワースペクトル  
Power spectral density distribution of micro-barometric variation around the transition  
region between acoustic mode and internal mode gravity waves

\*家森 俊彦<sup>1</sup>、小田木 洋子<sup>2</sup>、青山 忠司<sup>3</sup>、佐納 康治<sup>2</sup>、田中 良和<sup>3</sup>

\*Toshihiko Iyemori<sup>1</sup>, Yoko Odagi<sup>2</sup>, Tadashi Aoyama<sup>3</sup>, Yasuharu Sano<sup>2</sup>, Yoshikazu Tanaka<sup>3</sup>

1.京都大学大学院理学研究科付属地磁気世界資料解析センター、2.朝日大学、3.京都大学大学院理学研究科  
1.Data Analysis Center for Geomagnetism and Space Magnetism, Graduate School of Science, Kyoto  
University, 2.Asahi University, 3.Graduate School of Science, Kyoto University

地震や火山噴火、竜巻などの際に、地球表面と超高層の間でしばしば200秒から280秒程度の間で3種類の共鳴周期を持つ音波共鳴現象が観測されてきた。(Kanamori and Mori, 1992; Iyemori et al., 2005; Saito et al., 2011; Nishioka et al., 2013) これら周期は、Brunt-Väisälä周期より短く重力音波のカットオフ周期に近い。一方、地上での微気圧変動では、7分程度から10分、あるいは20分程度のゆっくりした内部重力波モードの変動がしばしば観測される。重力音波モードから内部重力波モードへの遷移周期帯付近の微気圧変動パワースペクトル密度分布がどのようになっているのかを、国内数ヶ所およびタイに設置した微気圧観測装置データを基に統計的に調べた結果を示す。

キーワード：微気圧変動、重力音波、内部重力波、パワースペクトル密度

Keywords: Micro-barometric variation, acoustic gravity waves, internal gravity waves, power spectral density

宇宙用真空装置を用いたインフラサウンドセンサーの較正実験  
Calibration experiment for infrasound sensors by a space chamber

\*山本 真行<sup>1</sup>

\*Masa-yuki Yamamoto<sup>1</sup>

1.高知工科大学 システム工学群

1.School of Systems Engineering, Kochi University of Technology

Infrasound monitoring is important for atmospheric study and disaster prevention for destructive geophysical events such as volcanic eruptions, thunderstorms, landslides, tsunamis, etc. We have been developed a kind of infrasound sensor in our laboratory since 2007, then most recently, a combined type infrasound sensor was successfully developed, collaborating with a company of *RESONA ALES* in 2015. At a time of infrasound sensor construction, precise calibration with simulated infrasonic waves is significant for evaluation. Here we introduce a method of calibrating infrasonic waves with precise pressure amplitude and frequency with using a space chamber in laboratory. The space chamber is usually used at a scene of testing rocket-borne instruments and satellites in extremely severe rarefied environment before the launch with using multiple vacuum pumps to create space environment in laboratory. However, we use the chamber as an extremely rigid volume without having any surrounded surface change during the calibrating experiments. The infrasound is understood as pressure waves in the atmosphere, thus the same kind of waves can be simulated if we inject a fixed small volume into the fixed amount of atmospheric volume enveloped by the rigid chamber. The simulated pressure level can easily be calculated by using a ration between the injected small volumes per the large amount of enveloped space. A small space chamber in Kochi University of technology (KUT) with 240 litter volume was used for this kind of calibration with a small syringe with giving  $1/10^8$  of the 240 litter per a fixed time constant. The syringe can be accurately controlled by a motor-driven push-pull motion mechanics with a long time period up to 1000 s. Therefore, sinusoidal pressure waves with a pressure level of 0.001 Pa as well as extremely slow frequency of 0.001 Hz was realized for calibration. By using such facilities in KUT, precise calibration with the developed infrasound sensor as well as any other infrasound sensors, microphones, and barometers can be realized. In this paper, calibrating datasets for various types of sensors will be shown.

キーワード：インフラサウンド、較正、宇宙用真空装置

Keywords: Infrasound, Calibration, Space chamber



## インフラサウンドN型波形イベント自動検出ソフトウェアの開発

## Development of automatic detection software for N-type waveform events of infrasound

\*反町 玲聖<sup>1</sup>、山本 真行<sup>1</sup>、柿並 義宏<sup>1</sup>

\*ryosei sorimachi<sup>1</sup>, Masa-yuki Yamamoto<sup>1</sup>, Yoshihiro Kakinami<sup>1</sup>

1.高知工科大学

1.Kochi University of Technology

## 1. 背景

周波数20 Hz以下の低周波音波であるインフラサウンドは、大気中を伝搬する際の減衰を受けづらく長距離伝搬する特徴があり、また火山の噴火や津波などのリモートセンシング技術として注目されている。高知工科大学山本研究室では、2005年からインフラサウンドについての研究が行われており到来方向探知を視野に入れた観測やシステム開発が行われ、小松(2012)により音波源位置推定が行われた。インフラサウンドの計測を防災に役だてるためには、火山噴火などの爆発的自然現象の際発せられるN型波形イベントの自動検出が必要不可欠である。

## 2. 研究の目的

本研究ではインフラサウンドのN型波形イベントを高精度に自動検出するソフトウェアの開発を行うとともに、同ソフトウェアのN型波形イベント検出精度の検証を目的とする。

## 3. 開発したソフトウェアについて

本研究で作製したソフトウェアは、N型波形イベントを検出する際のトリガ値など5つのパラメータを入力することで長時間の観測波形データの中から複数のN型波形イベントを自動検出しそれらの時刻とイベント検出数を表示する。また、今後インフラサウンドについての統計的研究を行ううえで有用な、波形の描画やスペクトログラムの表示を行う機能を持つ。火山の噴火や落雷などのように瞬時的かつ爆発的なイベントの際発せられたN型波形イベントは、波形に周期性がほとんどなく幅広い周波数成分が含まれている。そのため長時間の波形データを短い時間ブロックに分割し順次FFT (Fast Fourier Transform)を行い、周波数方向に積分したスペクトル強度の平均値が大きくなる点(時刻)を探しN型波形イベントを検出する。

## 4. ソフトウェアの検証方法

作製したN型波形イベント検出ソフトウェアの検出精度を、小松(2012)により計測された打ち上げ花火によって発せられたインフラサウンド観測データを用いて行った。2分間のデータには目視にて11例のN型波形が明瞭に確認でき、検証にはこの波形に疑似的に生成したノイズを加算したデータを作り、同データに対する自動処理にて検出数がちょうど11例となるようにトリガ値を微調整しながら加えるノイズの大きさを増やしていき、ノイズを加算する前の検出時刻と加算後の検出時刻との変化を比較した。

## 5. 検証結果からの考察

検証の結果からS/N比が1を下回ってもN型波形イベントを全体の半分程度は検出できていることがわかる。また目視による確認が困難なイベントも一部検出できることがわかった。

## 6. 結論

今回作製したイベント検出ソフトウェアは波形や条件によってはS/N比が1を下回っていても全体の半分程度のN型イベントが検出できており目視による確認が困難なほどのS/N比であっても正しく検出することの出来たイベントもあることから目的は達成できたと結論づける。

## 参考文献:

小松孝康、インフラサウンド多地点アレイ観測システムの構築と音波源位置の推定、平成23年度 高知工科大学大学院特別研究報告、2012.

キーワード：インフラサウンド、N型波形、イベント検出

Keywords: infrasound, N-type waveform event, automatic detection

## 津波早期検知に向けた精密気圧観測網の整備状況

The current status of the infrasound observation network for improving the tsunami warning system

村山 貴彦<sup>1</sup>、新井 伸夫<sup>2</sup>、\*岩國 真紀子<sup>1</sup>、今西 祐一<sup>3</sup>、綿田 辰吾<sup>3</sup>

Takahiko Murayama<sup>1</sup>, Nobuo Arai<sup>2</sup>, \*Makiko Iwakuni<sup>1</sup>, Yuichi Imanishi<sup>3</sup>, Shingo Watada<sup>3</sup>

1.日本気象協会、2.名古屋大学減災連携研究センター、3.東京大学地震研究所

1.Japan Weather Association, 2.Disaster Mitigation Research Center, Nagoya University, 3.Earthquake Research Institute, University of Tokyo

Sensitive microbarographs in and around Japan recorded unequivocal signals associated with the 2011 Off the Pacific Coast of Tohoku, Japan earthquake (Mw = 9.0).

We identify them as atmospheric boundary waves excited by the uplift and subsidence of the ocean surface (tsunami generation), on the basis of the waveform characteristics as well as similarity with the data from ocean-bottom pressure gauges.

It is noted that the atmospheric boundary waves, once excited, travel in the atmosphere significantly faster than the tsunami waves in the ocean. In addition, they retain the original shape of the tsunami, because they are little dispersive. Establishment of a network of infrasound observation along the coast line facing the subduction zone would improve the tsunami warning system, because it would provide information on the tsunami source.

In order to achieve this conception, we have developed a prototype system of the infrasound observation network and started to observe the atmospheric pressure changes associated with tsunami generation by deploying of three infrasound observation sites in Ofunato city of Tohoku region on July 2013. In addition we caused expansion of this network by newly deploying of infrasound observation sites in Mie prefecture of Tokai region on Jun 2015.

Now, based on the findings of the observation, we are discussing what the observation network should be, where and how a prototype system would be deployed.

In this presentation, we would introduce our discussing.

## [References]

[1] Arai, N., M. Iwakuni, S. Watada, Y. Imanishi, T. Murayama, M. Nogami (2011), Atmospheric boundary waves excited by the tsunami generation related to the 2011 great Tohoku-Oki earthquake, *Geophys. Res. Lett.*, 38, L00G18, doi:10.1029/2011GL049146.

キーワード：大気境界波、津波波源、インフラサウンド、微気圧計

Keywords: Atmospheric boundary wave, Tsunami source, Infrasound, Microbarograph