

センサーネットワークによる 災害関連事象の観測

西村 竜一
情報通信研究機構 (NICT)
耐災害ICT研究センター

講演内容

- 要約

- 火山噴火や津波、局所的集中豪雨などの発生前後には、大気中に何らかの観測可能な変化が生じる。その変化をセンサーネットワークにより観測することで、災害の早期検出や発生地域の特定の助けとなる情報が得られる。既に事象自体は発生しており、力学的な影響が伝搬するよりも早くに音波や電波が届くために、早期検出が可能となる。一種のリモートセンシングだが、現在の遠隔地の状況を知ることよりも、将来の現在地の状況の予測精度を高めることが目的である。これまでの取り組みと、今後の展望について紹介する。

日本海溝海底地震津波観測網 (S-net)

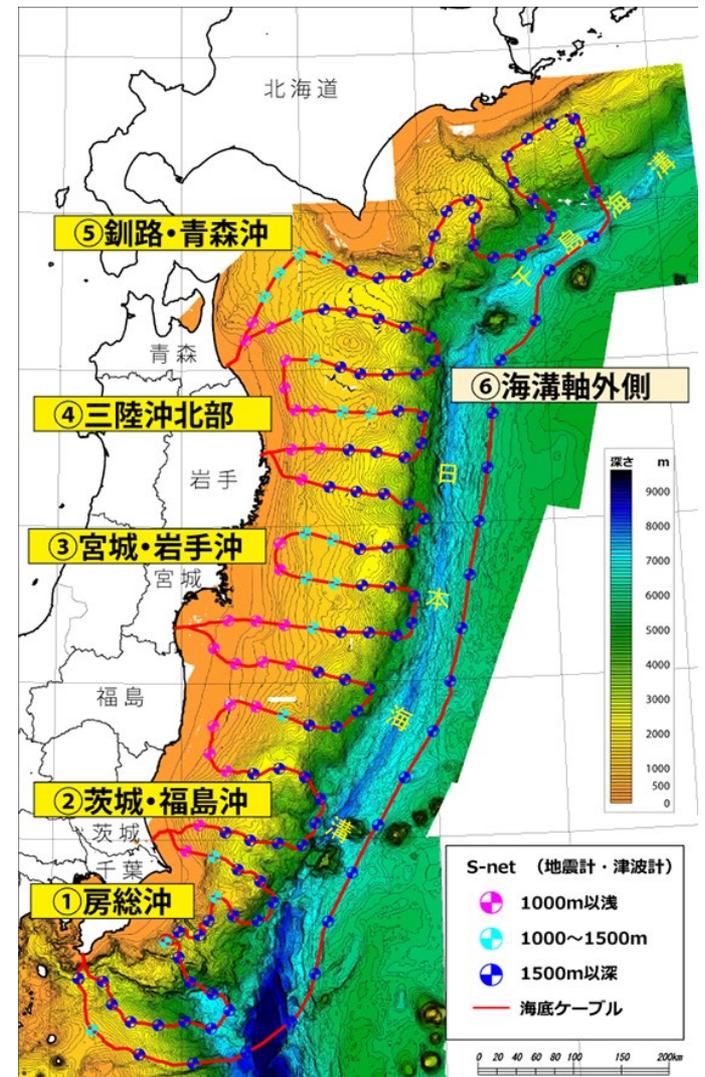
文部科学省所管



国立研究開発法人

- 防災科学技術研究所
 - 地震計・津波計 150ヶ所
 - 光海底ケーブル 5,700km

<http://www.bosai.go.jp/inline/seibi/seibi01.html>



地震・津波観測監視システム

文部科学省所管

国立研究開発法人



- 海洋研究開発機構

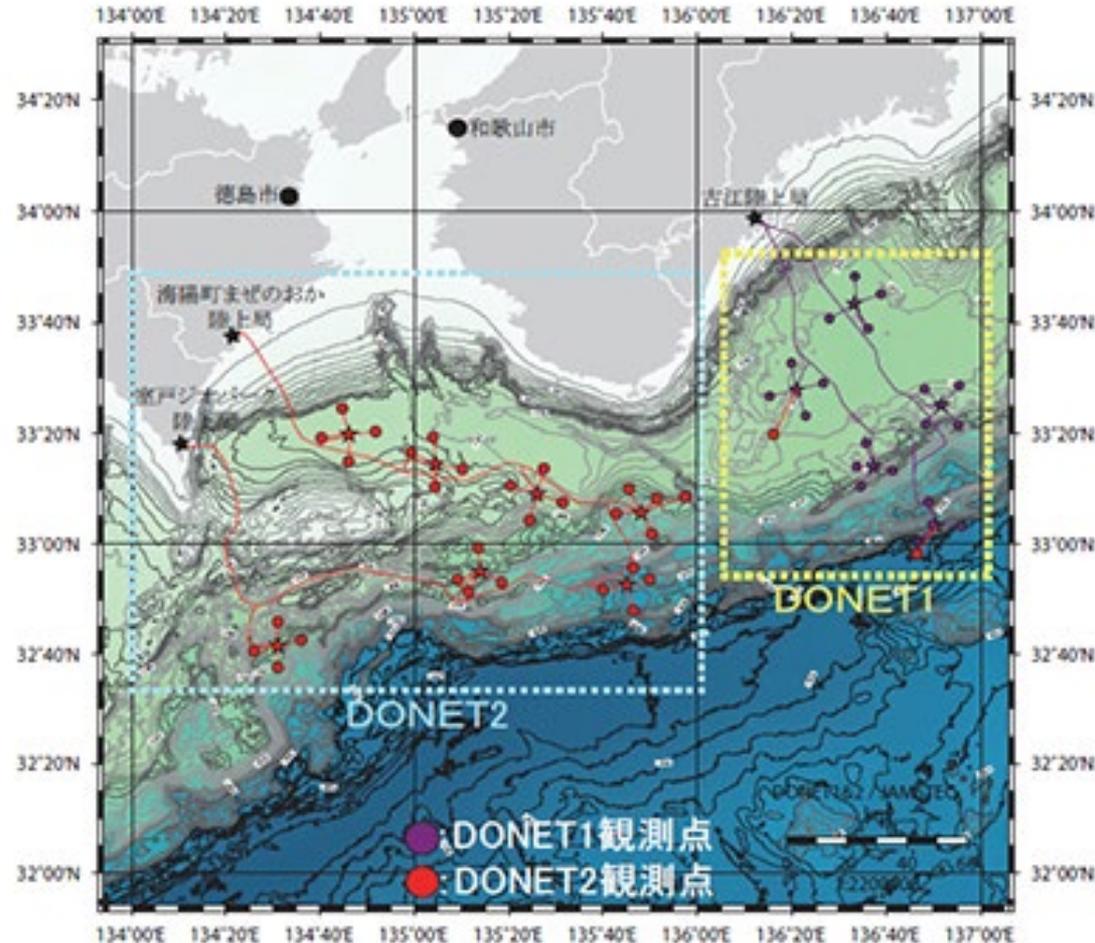
- DONET1

- 2011年8月完成

- DONET 2

- 2010年整備開始

<https://www.jamstec.go.jp/donet/j/donet/donet2.html>



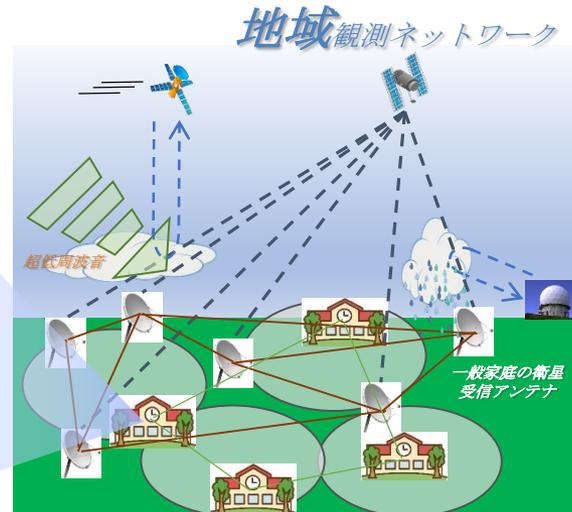
我々の取り組み

- 総務省戦略的情報通信研究開発推進制度 (SCOPE)
 - 「音波・電波センサネットワークによる早期災害検出に向けた研究開発」 (2017年度～2018年度)
 - インfrasound観測による津波検出
 - 家庭の衛星放送電波観測による降雨推定

階層化構造により分散処理可能な
スケーラブル観測ネットワーク構築

屋内観測モジュール

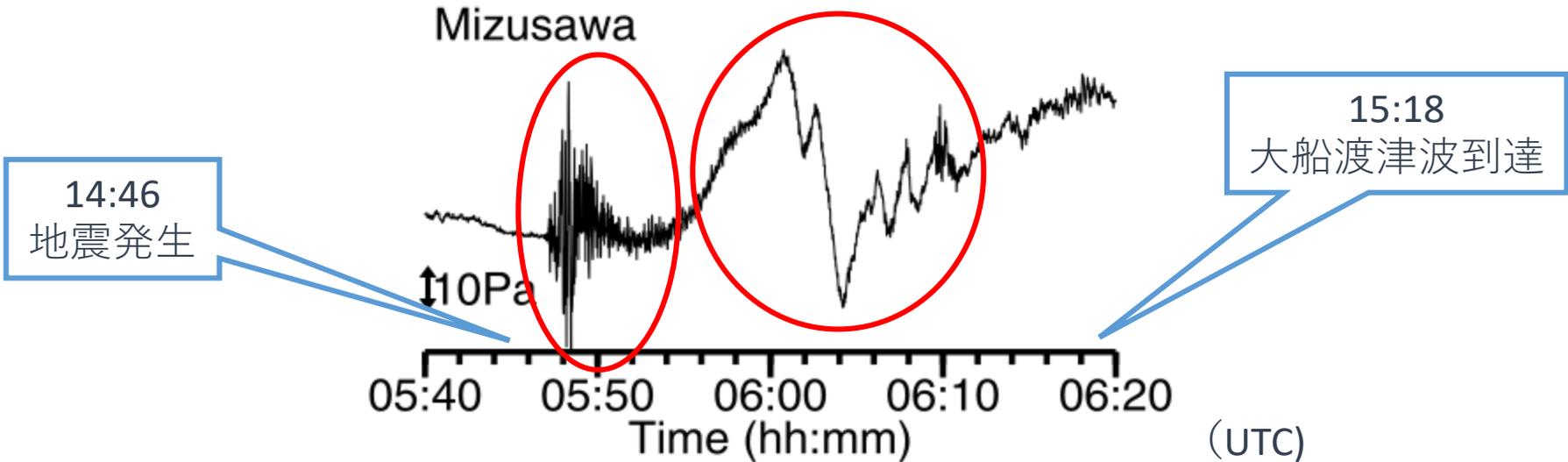
- ・気圧センサ
- ・レベルセンサ



津波起源のインフラサウンド

• 2011年3月11日

 1.7 min => 10 mHz
 5.6 min => 3 mHz



N. Arai, *et al.*, "Atmospheric boundary waves excited by the tsunami generation related to the 2011 great Tohoku-Oki earthquake," *Geophysical Research Letters*, vol. 38, L00G18, 2011.

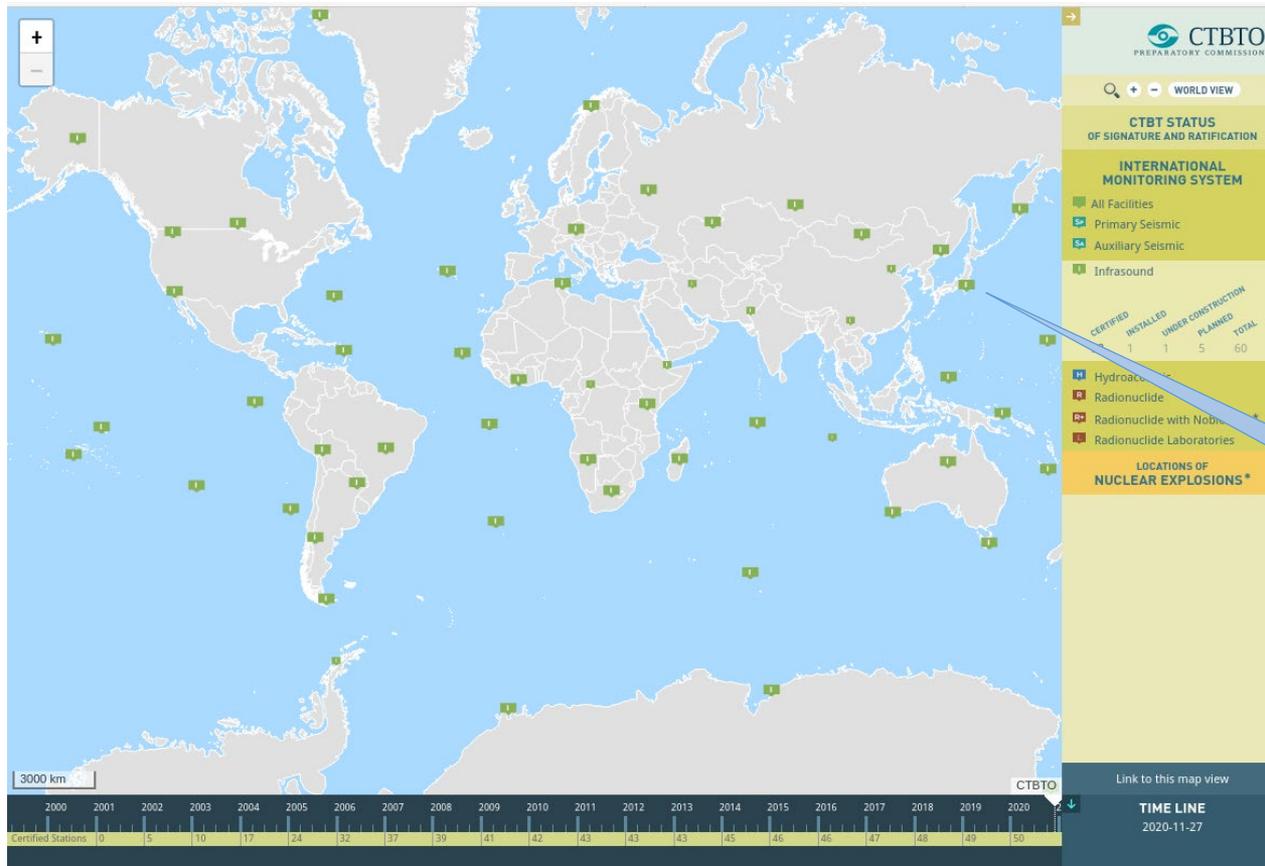
A. Le Pichon, et al. (Eds.), *Infrasound Monitoring for Atmospheric Studies*, Springer, 2010. p. 187, table 6.1.

Infrasound source	Frequency range [Hz]	Observed amplitude [Pa]
Atmospheric nuclear explosions	0.002-20	>20
Underground nuclear explosions	~1-20	~1
Mining explosions	0.05-20	~5
Other chemical explosions	0.05-20	~10
Bridges and other structures	~0.5-20	~0.5
Gas exhausts from industrial activity	1-20	~0.5
Launching of rockets and spacecraft	0.01-20	~5
Satellite and spacecraft re-entry	~0.1-10	~1
Subsonic aircraft	0.3-20	~2
Supersonic aircraft	0.3-20	~10

<u>Meteors</u>	0.01-20	>10
Auroral Infrasound	0.008-20	~2
Calving of Icebergs and Glaciers	0.5-8	~1
<u>Volcanic eruptions</u>	0.002-20	>20
Convective storms	0.01-0.1	~0.5
Earthquakes	~0.005-10	~4
Forest fires; large industrial fires	2-20	~2
Landslides; avalanches	~0.1-20	~1
<u>Microbaroms</u>	0.12-0.35	~5
Mountain associated waves	~0.007-0.1	~5
Surf	1-20	~0.2
<u>Lightning</u>	0.5-20	~2
Tornadoes	0.5-20	~0.5
<u>Tsunamis</u>	~0.5-2	~0.1
<u>Waterfalls</u>	0.5-20	~0.2

世界的な観測センサーネットワーク

- 包括的核実験禁止条約機関（CTBTO）



全世界60地点に
インフラサウンドを対象とする
国際観測ステーション

日本の観測
ステーション
IS30

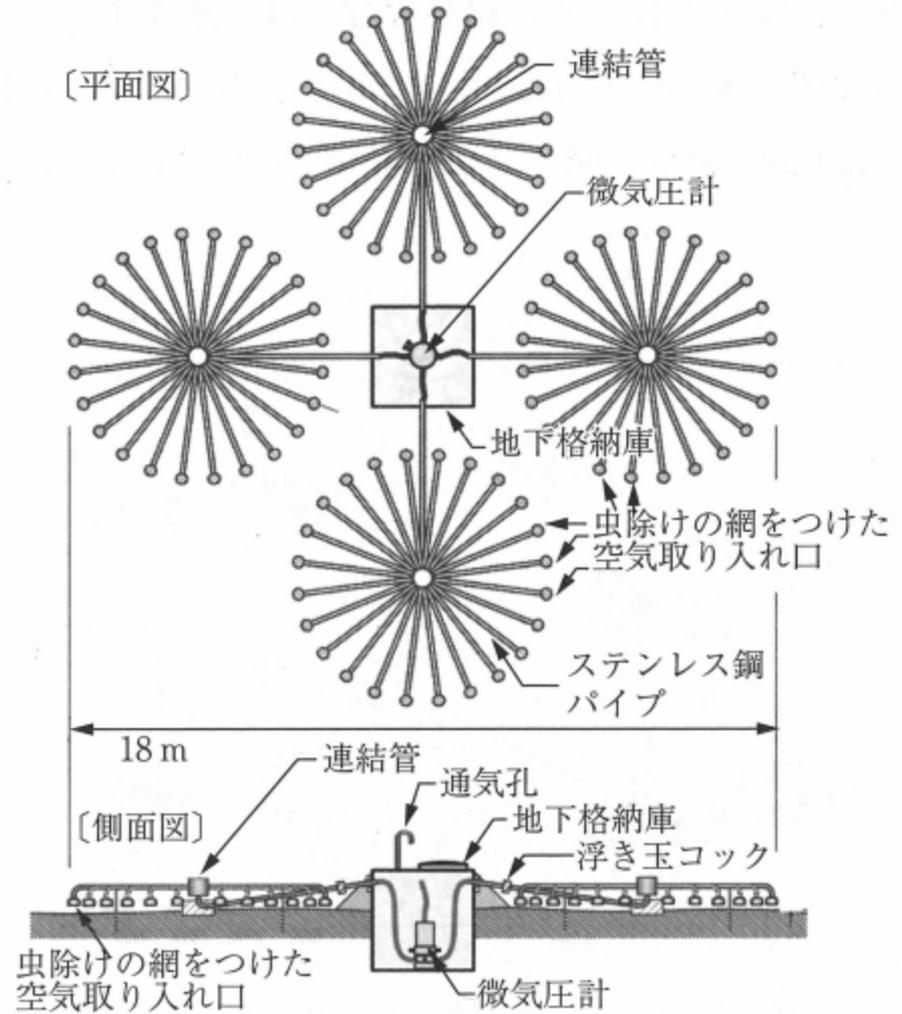
<https://www.ctbto.org/map/>

日本の観測ステーション (IS30)

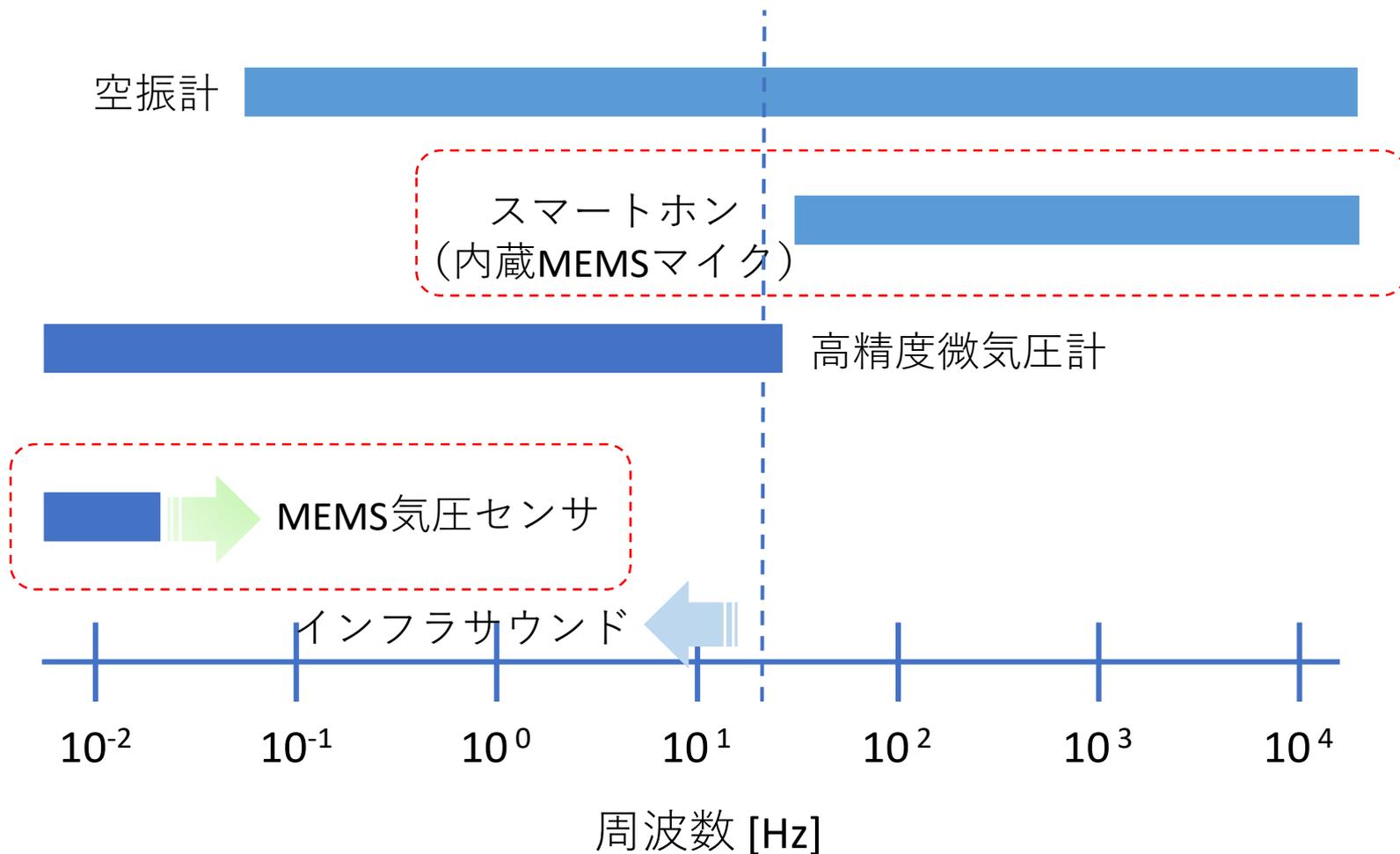
• ノードの構成

標本化周波数：20 Hz
 最小分解能： 2×10^{-3} Pa

日本音響学会編、土肥哲也編著、
 低周波音、コロナ社、2017年



各センサーの対象周波数範囲



MEMS気圧センサー一例

• BME280



気圧
温度
湿度

<https://www.switch-science.com/catalog/2236/>

分解能 (最大) : 0.18 Pa
 相対精度 : ± 0.12 hPa
 絶対精度 : ± 1 hPa
 測定範囲 : 300~1100 hPa
 測定温度 : $-40 \sim 85^{\circ}$ C
 電源電圧 : DC 1.8~3.3V
 通信方式 : I2C (最大3.4MHz) SPI
 (最大10MHz)

• DPS310



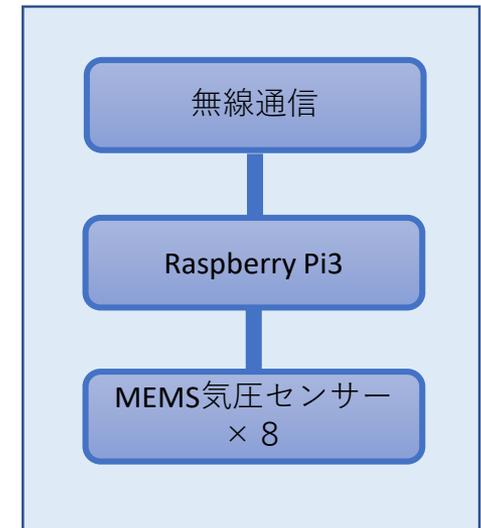
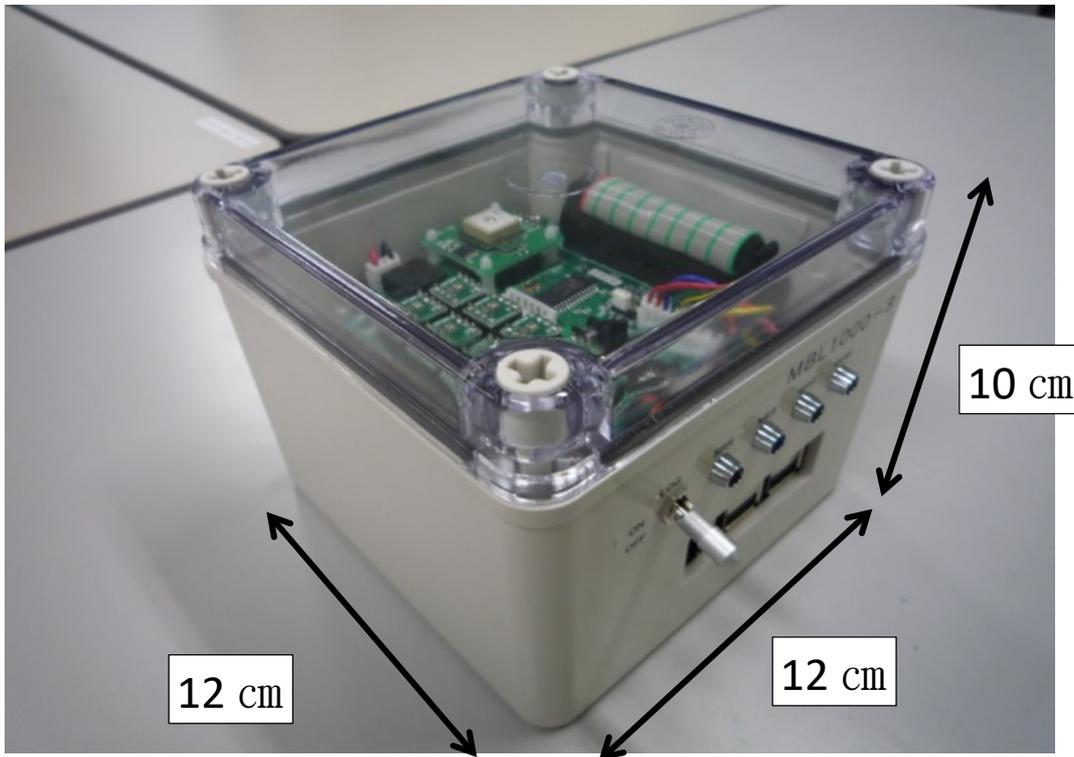
気圧
温度

<https://www.switch-science.com/catalog/6286/>

分解能 (最大) : ± 0.2 Pa (± 2 cm)
 相対精度 : ± 0.06 hPa (± 50 cm)
 絶対精度 : ± 1 hPa (± 8 m)
 測定範囲 : 300~1200 hPa
 測定温度 : $-40 \sim 85^{\circ}$ C
 電源 : 3.3 / 5 V
 インターフェース : Grove I2C (割込付き) / SPI

小型インフラサウンド観測装置

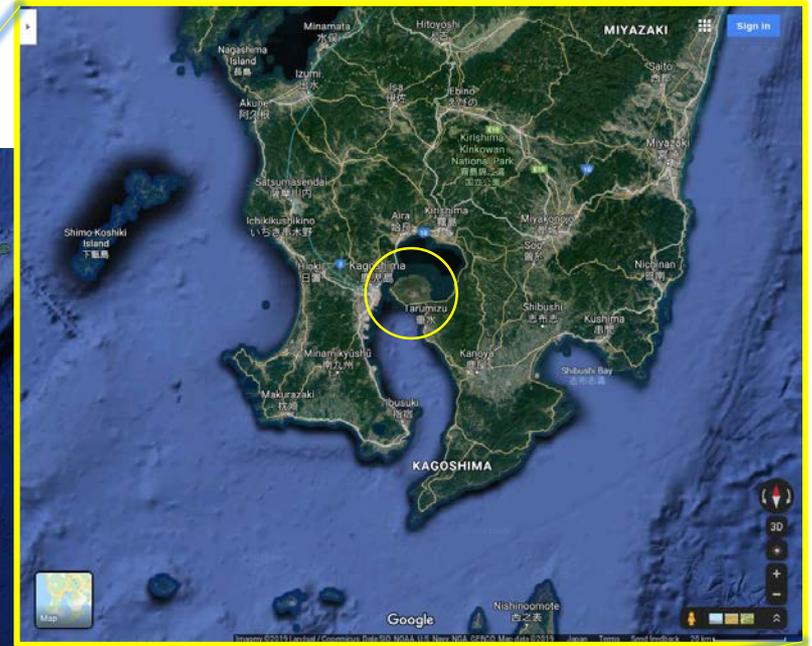
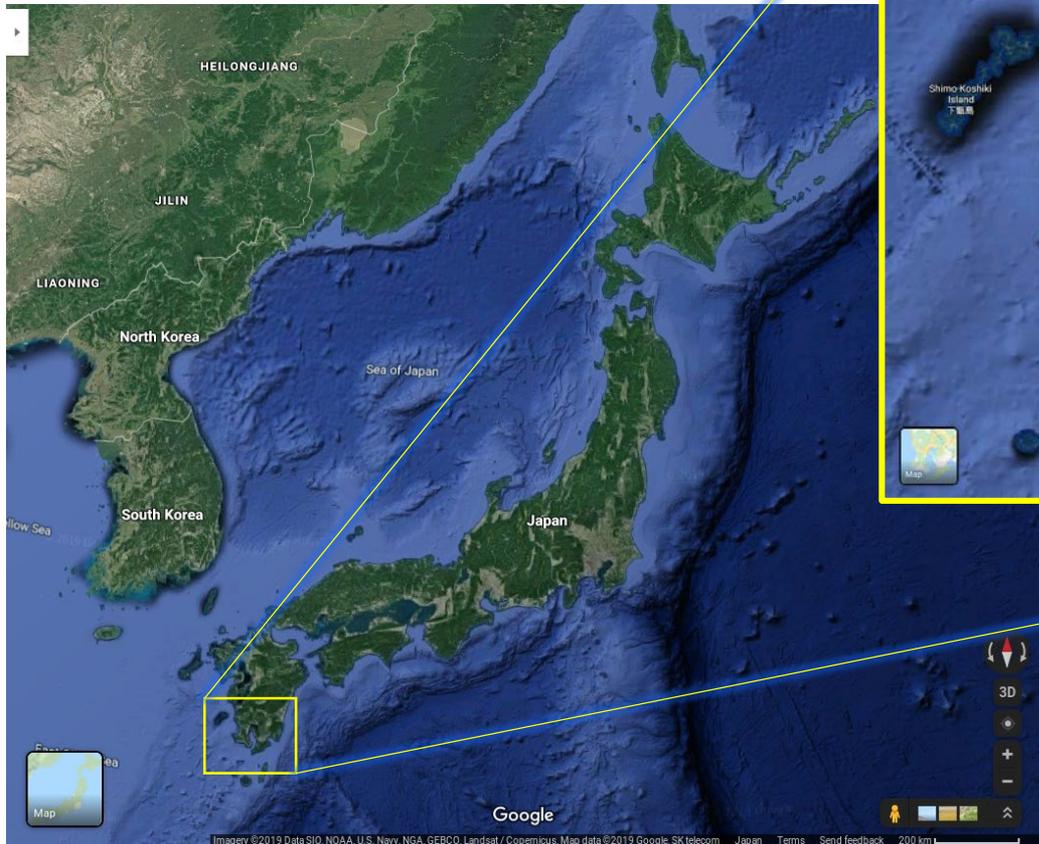
- BML1000-8



東邦マーカントイル (株)
製作

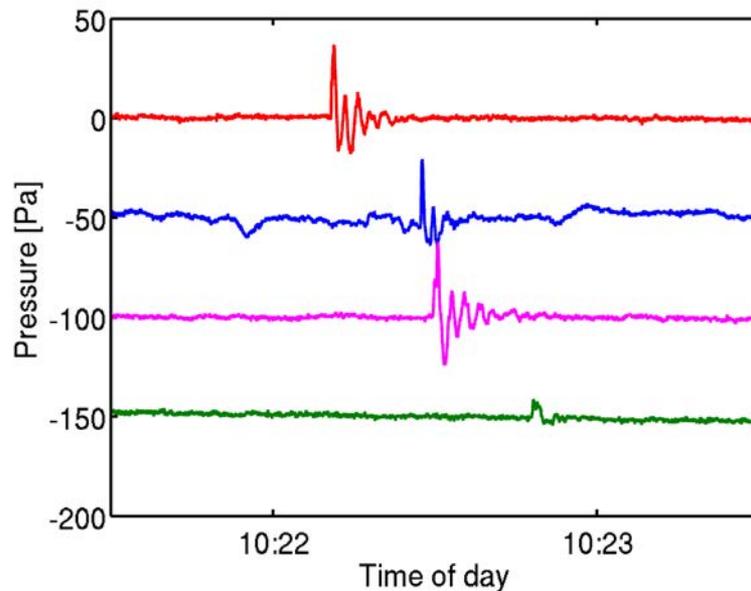
発生位置推定のフィールド試験

- 桜島火山



火山のインフラサウンド信号

- 爆発的噴火
 - 小型インフラサウンド観測装置による観測



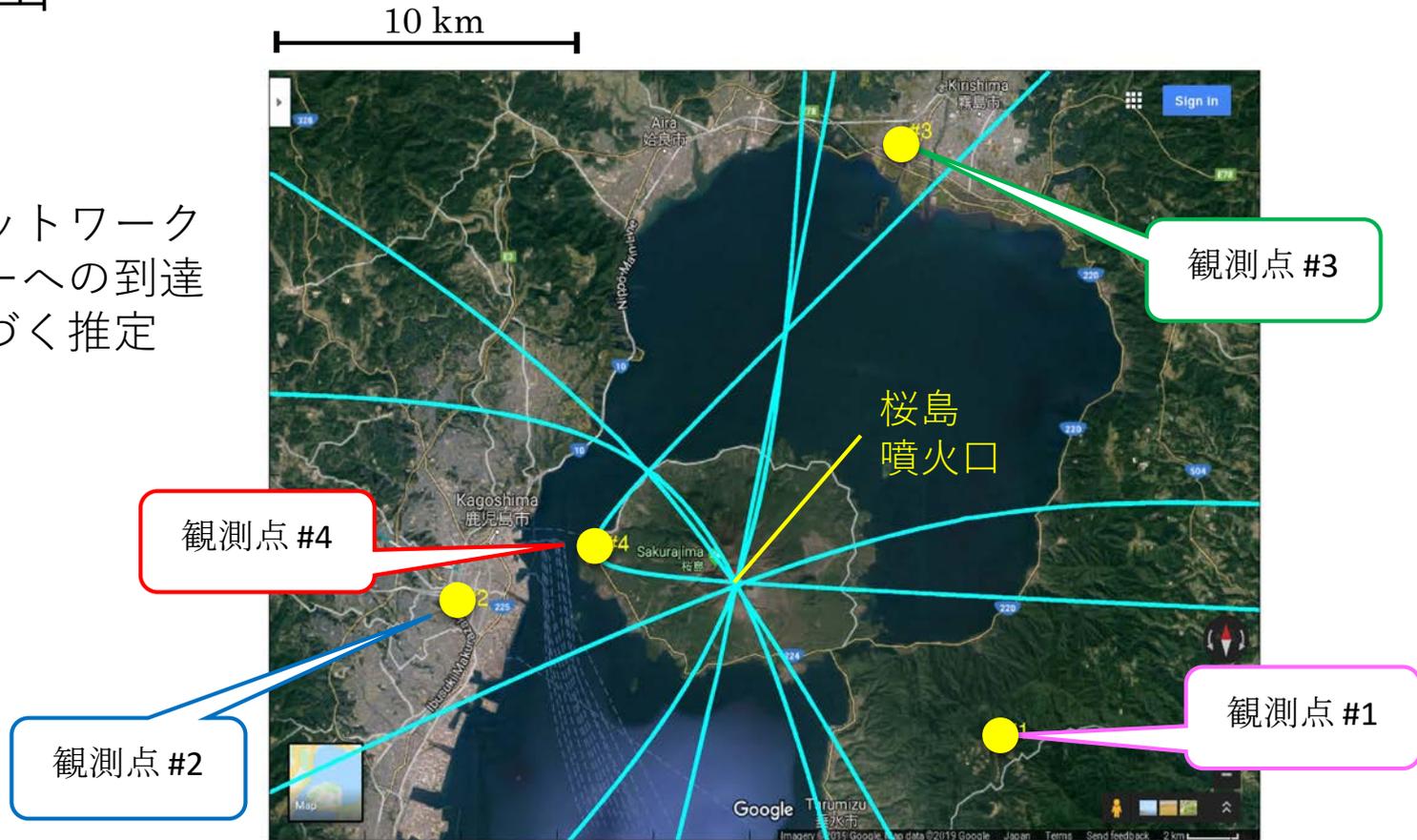
観測地点

No.	距離 [km]	火山からの方角
#4	5.3	西南西
#2	10.9	西
#1	12.5	南東
#3	18.0	北北東

推定結果 (その1)

● 桜島火山

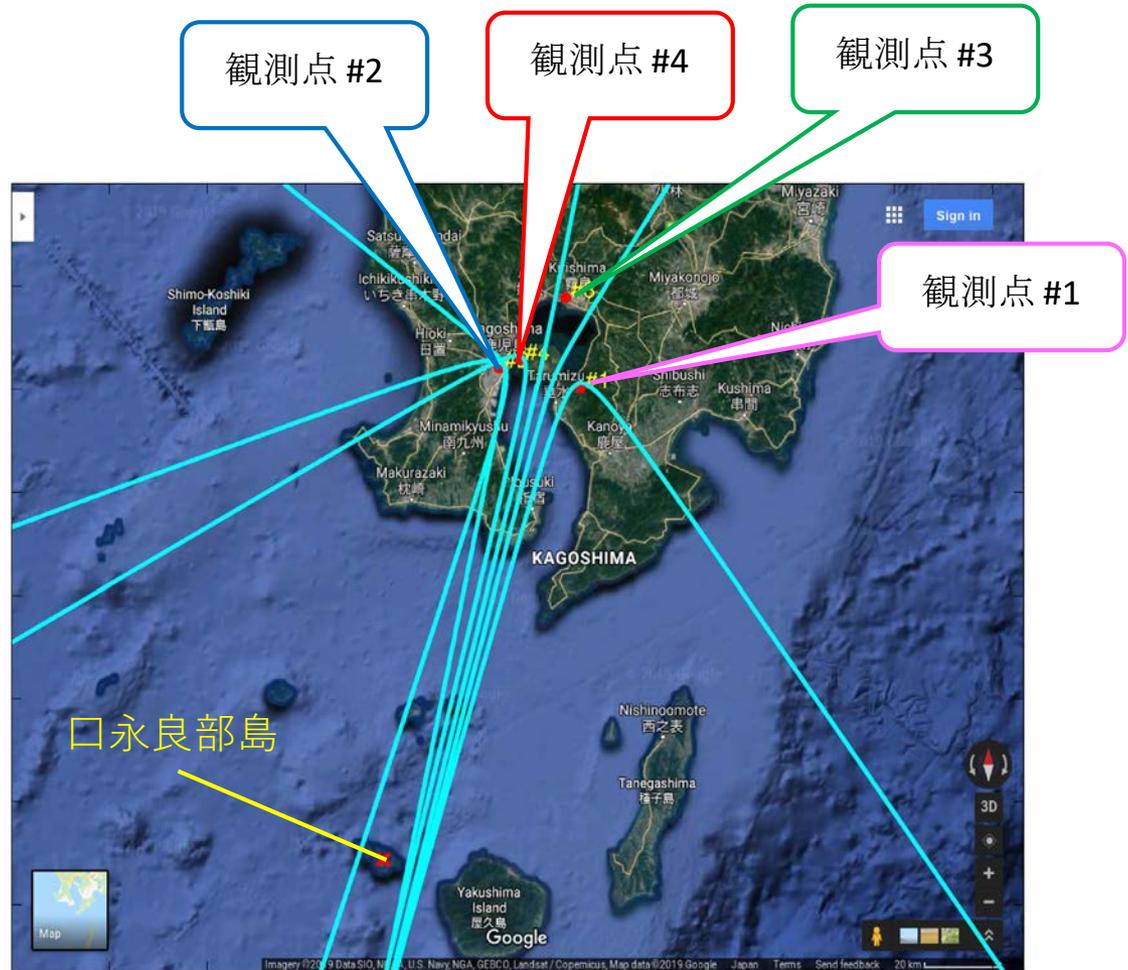
センサーネットワーク
の各センサーへの到達
時間差に基づく推定



推定結果 (その2)

- 口永良部島

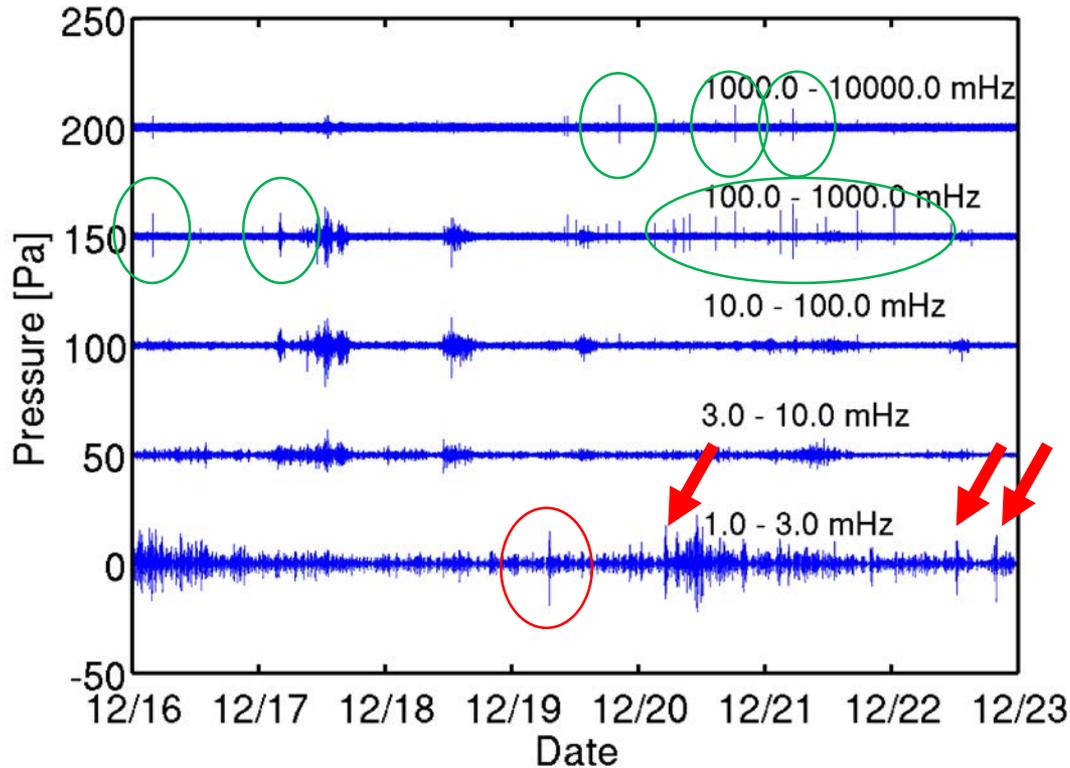
観測地点からの距離は
およそ 100 km 以上



極超低周波音

- 周波数帯域分析

火山噴火に伴う信号



全土を見守る観測網に向けて

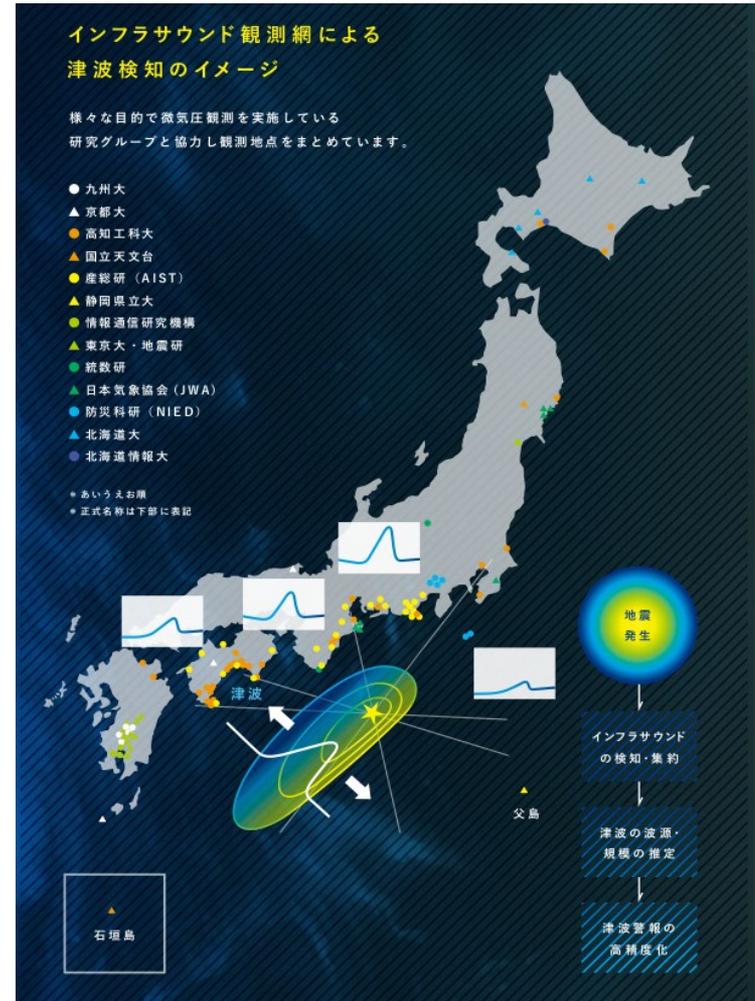
● 機関間連携

現在でも100近い地点において
インフラサウンドは常時観測
されている



これらを連結できれば
センサーネット
ワークが構築可能

リーフレット
から抜粋



自然環境の変化

- 水災害の増加
 - 局所的大雨、集中豪雨
 - 西日本集中豪雨（2018年7月）



広島県呉市の72時間降雨量：
465 mm

『日本経済新聞から』

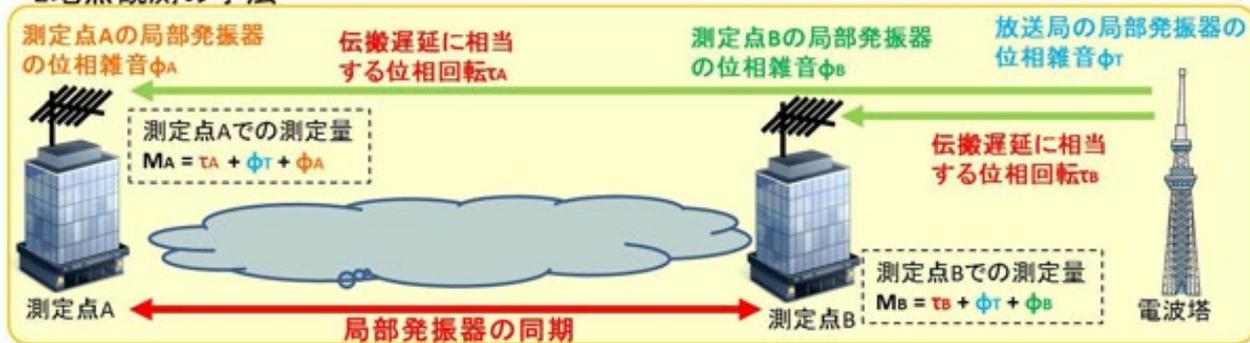
日本における降雨観測

- 気象庁
 - 自動気象データ収集システム（AMeDAS）
 - 転倒ます型雨量計（0.5 mm 単位）
 - 約 17 km 間隔
 - 気象ドップラーレーダー
 - 全国 20 か所
 - 半径数百 km の範囲をカバー
- 国土交通省
 - 高性能レーダー雨量計ネットワーク（XRAIN）
 - 全国 55 か所
 - 半径 60 km 程度（Xバンド）、250 m 間隔
- 情報通信研究機構
 - フェーズドアレイ気象レーダー（PAWR）

研究段階の手法

- 大気中の水蒸気量

2地点観測の手法



電波の伝搬遅延を利用

反射波を使う手法

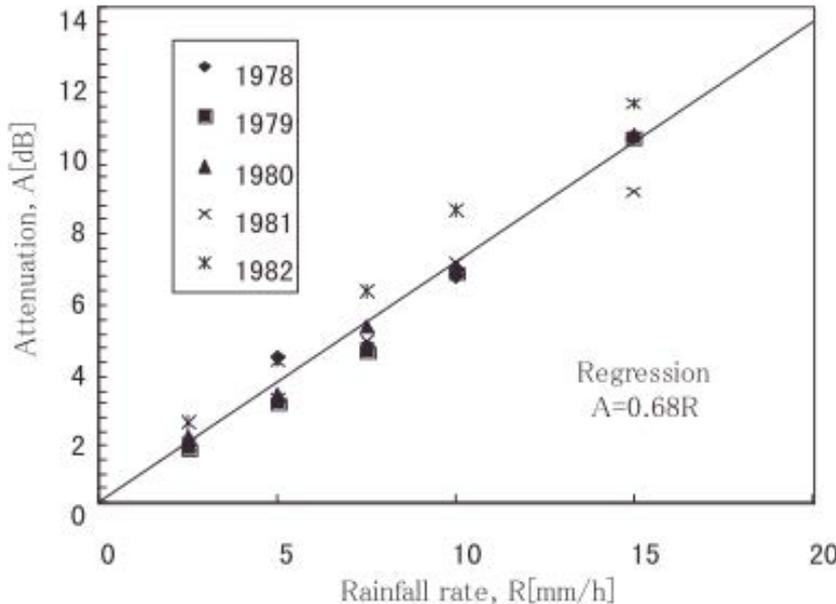


<https://www.nict.go.jp/press/2017/03/09-1.html>

降雨域の観測

- 衛星電波強度の降雨減衰

- 伊藤士郎、“22 GHz 帯衛星放送回線における降雨時の降雨および大気ガス吸収による減衰特性、” 電子情報通信学会論文誌、Vol. J69-B、No. 11、 pp. 1548-1555、 1986



$$A = \alpha R^\beta$$

A : 降雨減衰係数 [dB/km]

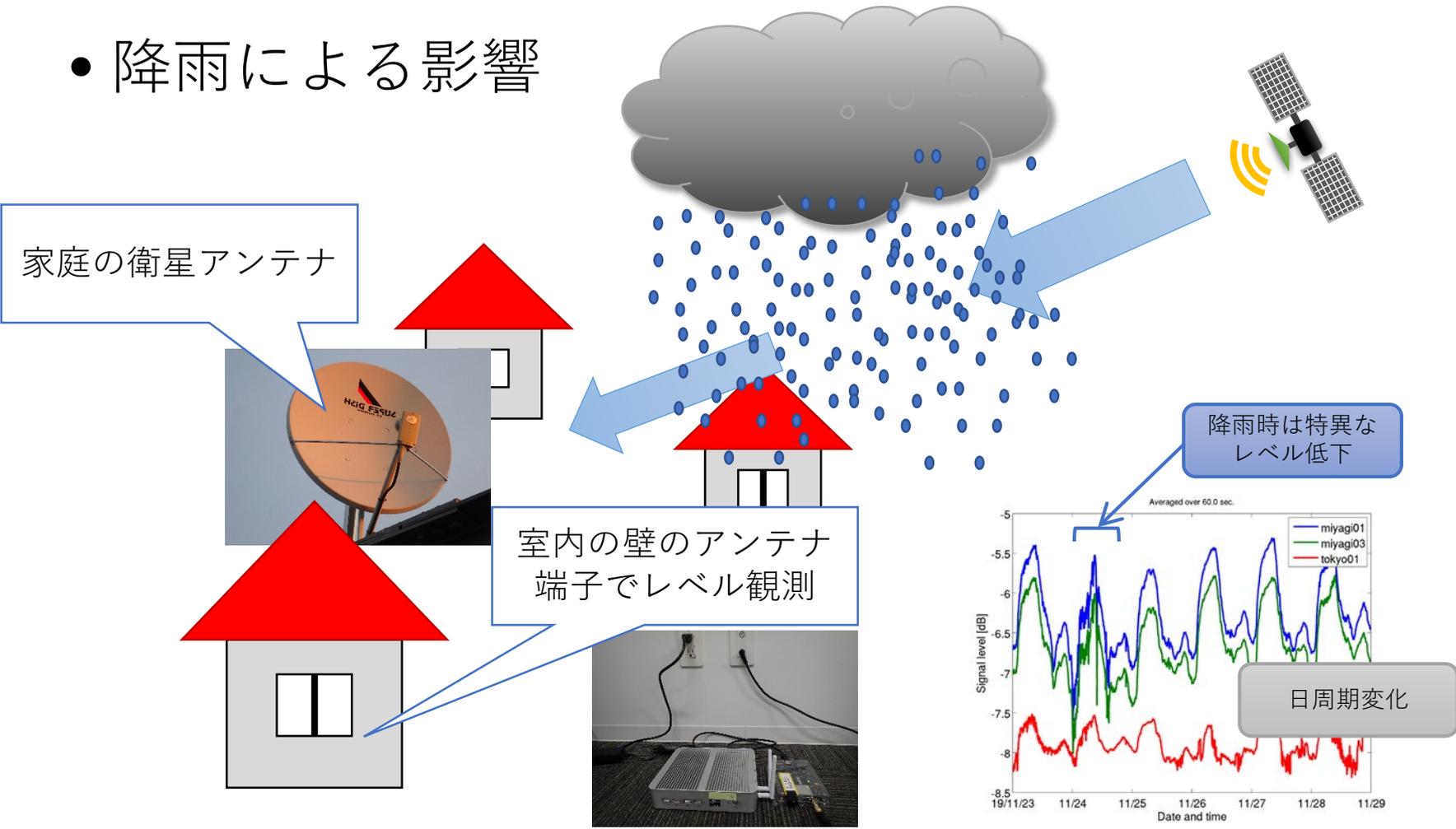
R : 降雨強度 [mm/h]

α, β : パラメータ

吉野孝、伊藤士郎、“AMeDASデータを利用したマルチビーム型衛星放送における増力ビームの選択方法、” Vol. J82-B、No. 1、 pp. 64-70、 1999 から引用

衛星放送の電波

- 降雨による影響



降雨量との並行観測

- 研究センター屋上

感度：
1パルスあたり
0.01 mm
(最大5パルス/秒)

雨量計

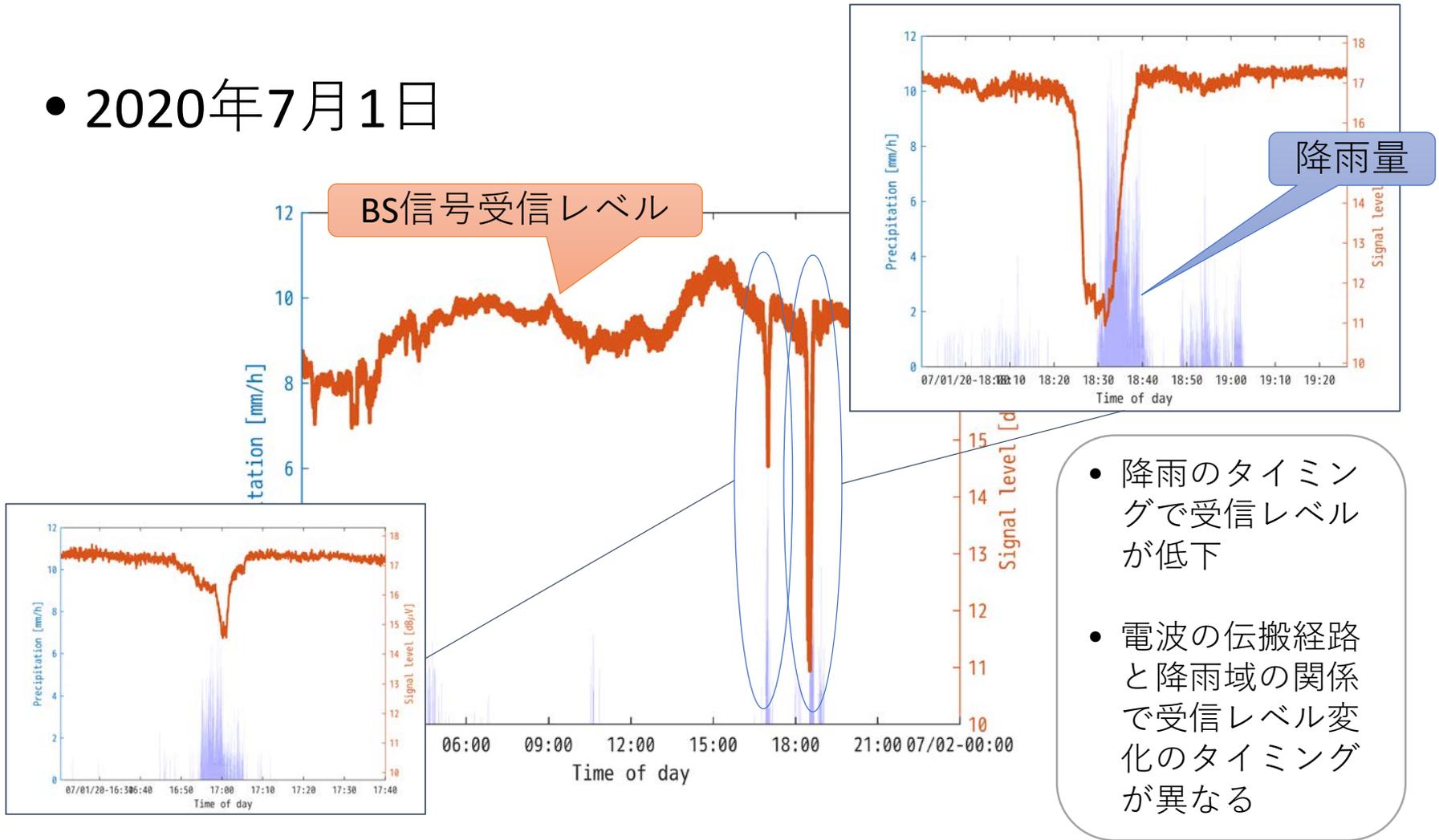
アンテナ



機器収納
ボックス

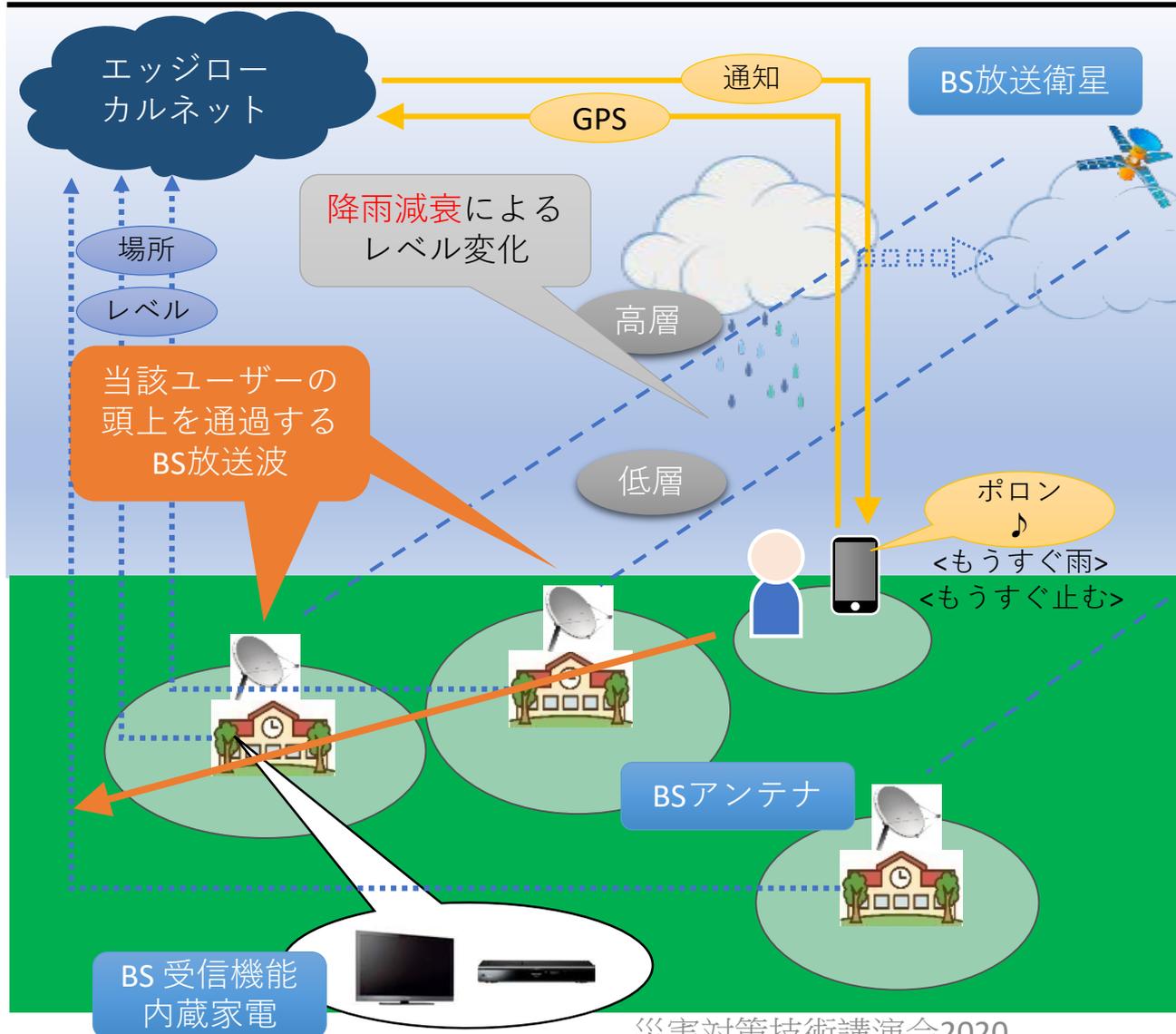
観測結果の例

- 2020年7月1日



- 降雨のタイミングで受信レベルが低下
- 電波の伝搬経路と降雨域の関係で受信レベル変化のタイミングが異なる

BSアンテナを利用した降雨域推定

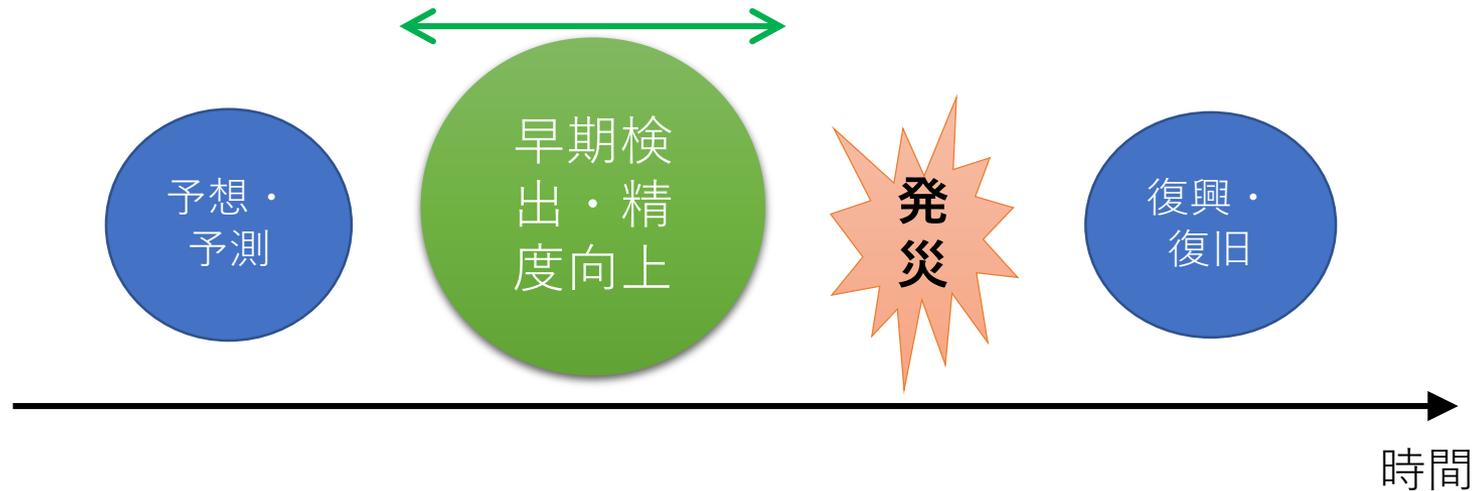


数分先の直上での降雨予測を通知！

- 地域循環（地産地消）型の情報ネットワークモデル
- 観測装置とユーザー間距離が近いことによる空間精度の向上
- 降雨レーダーが届かない山影や離島での利用

おわりに

- センサーネットワークの特長
 - 耐災害効果を発揮するタイミング



- スケーラビリティ
 - (海洋域を除いて) 地域拡張が比較的容易

ご清聴、ありがとうございます。