

ICTを用いた インフラサウンド高密度観測の 実証実験

九州大学 大学院理学研究院
地球惑星科学部門 准教授 中島健介

「ICT研究開発支援セミナー2025」（九州総合通信局）
2025/2/12 @熊本城ホールA4会議室



九州大学
KYUSHU UNIVERSITY

自己紹介 中島健介

大学院理学研究院 准教授 地球惑星科学部門 大気流体力学研究室

惑星（太陽系外、地球も）の大気の理論、数値モデリング

雲のでき方、惑星全体大気の流れ、海の流れ方

大気の波動

大気・海洋の波動の理論・数値モデリング

気圧の精密観測

津波防災への応用

アウトリーチ

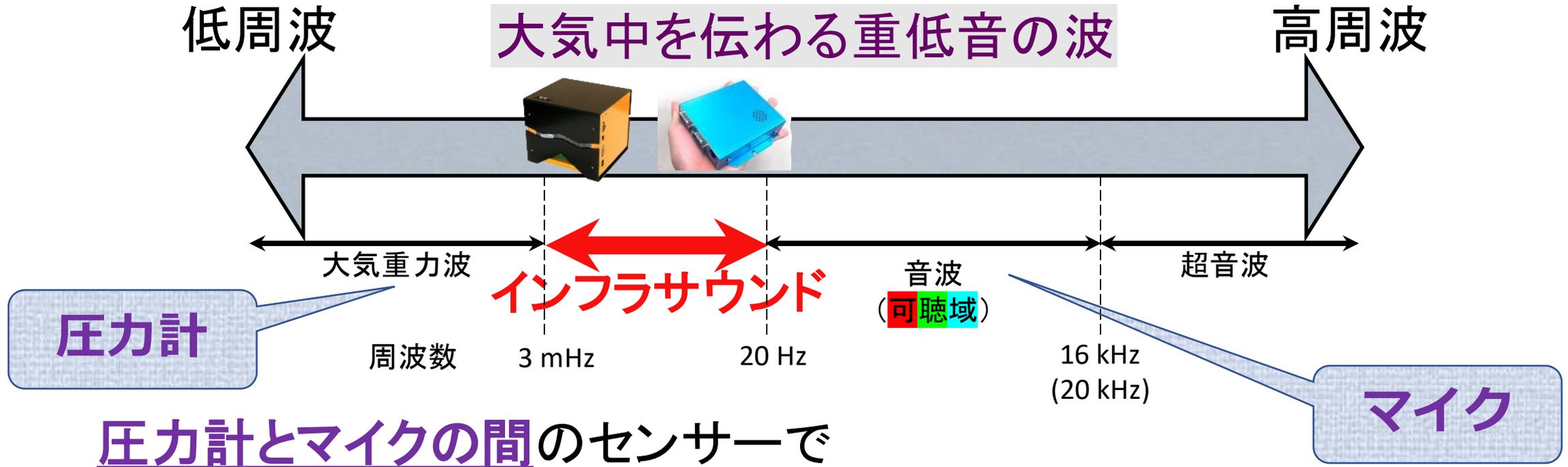
コリオリ力の体験実験、気象津波の実験、
低気圧はなぜ発達するのか、天体観測 etc.



はじめに

- 「インフラサウンド」とは
- これまでの研究の流れ

インフラサウンド(超低周波音)とは？



圧力計とマイクの間のセンサーで

津波、火山噴火、雷、土砂崩れ、雪崩、竜巻、隕石・・・の声を聴く！

遠くまで伝わる＝遠隔観測センサー

エネルギー(規模)が推定できる

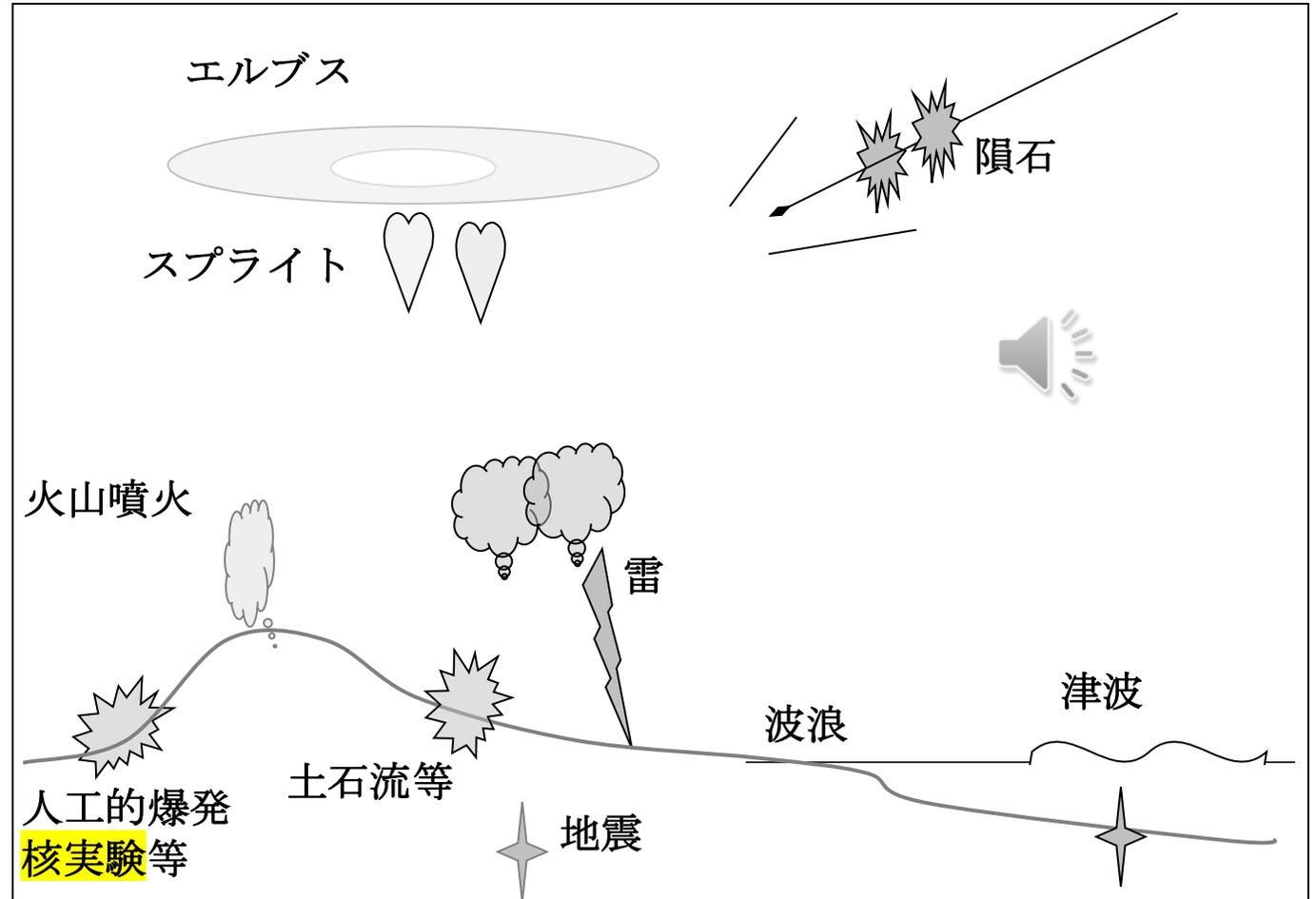
地球はインフラサウンドを奏でる楽器♪

「聞こえない音」の特徴

可聴音と違い
数千km先まで伝わる例も

ひそひそ声は近くに
しか伝わらないが、

爆発音は遠くまで届く



インフラサウンドの発生源

全国インフラサウンド観測コンソーシアム

参加・協力 研究機関・大学等 観測地点分布図

JpGU学会にて インフラサウンド関連 セッションを毎年開催

東大地震研共同研究
(2022-B-08ほか3件)



NICT 委託研究 22605

国立研究開発法人 情報通信研究機構（NICT） 委託研究

採択番号 : 22605

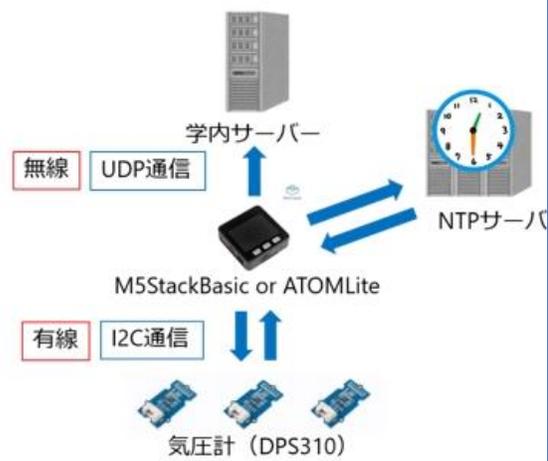
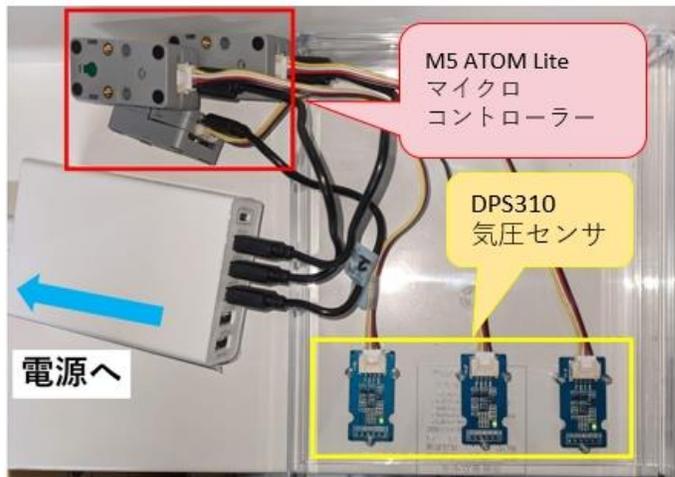
研究開発課題名 : データ利活用等のデジタル化の推進による社会課題・地域課題解決のための
実証型研究開発

副題 : 地域防災のための多地点微小気圧変動計測
パッケージの標準化と都市近郊・中山間部
における市民協力型実証実験

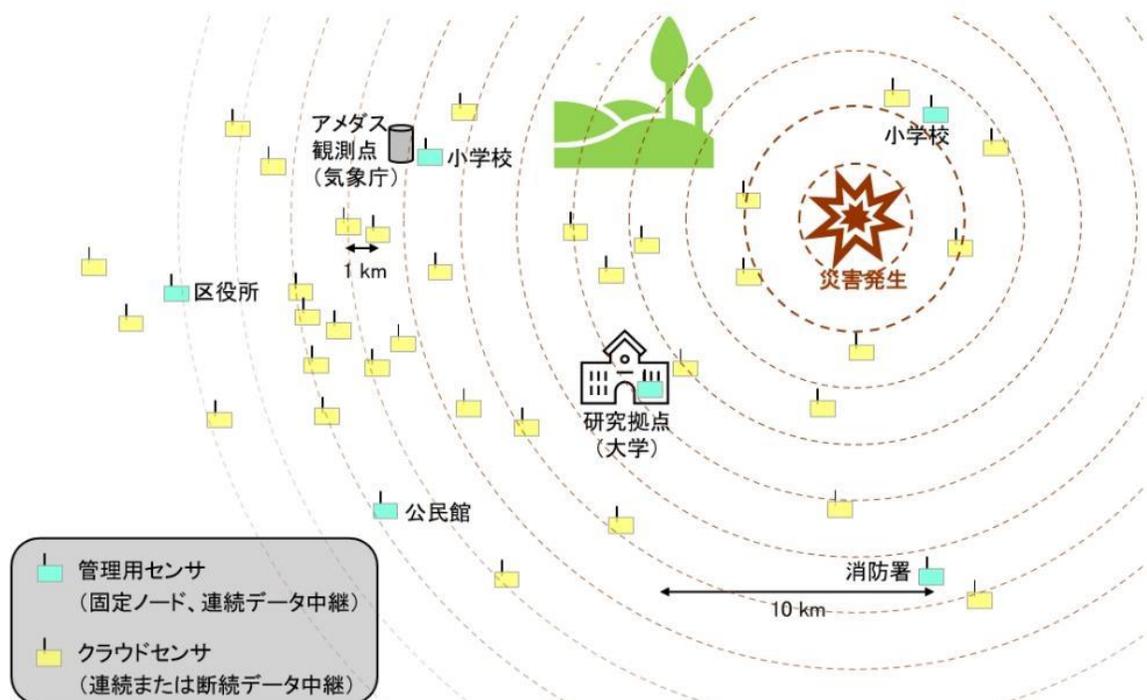
NICT
高度通信・放送研究開発委
託研究
課題226
採択番号22605

データ利活用等のデジタル化の推進による社会課題・地域課題解決のための 実証型研究開発

地域防災のための多地点微小気圧変動計測パッケージの標準化と 都市近郊・中山間部における市民協力型実証実験



微小気圧変動クラウド計測網の概念図



- 1 微小気圧変動稠密観測網の確立と災害検知実証実験
- 2 計測標準を用いた評価による低コスト圧力センサの計測信頼性確保
- 3 災害情報ニーズ探索を踏まえた危険度可視化ツール開発と実証

NICT 委託研究の参加者（概要）

高知工科大学	教授	山本 真行
	特任助手	山崎 みどり
産業技術総合研究所	主任研究員	高橋 弘宜
北海道情報大学	教授	柿並 義宏
	教授	安田 光孝
九州大学	准教授	中島 健介
大阪大学	准教授	杉本 めぐみ
京都産業大学	教授	瀬川 典久
日本気象協会	研究員	岩国 真紀子

参照標準器となる高精度圧力計の性能評価を行い、これを標準器として現場用MEMSセンサの各種特性評価を行う

●参照標準器となる高精度圧力計 (VAISALA社 PTU300) 3台の評価

●温度および湿度特性評価

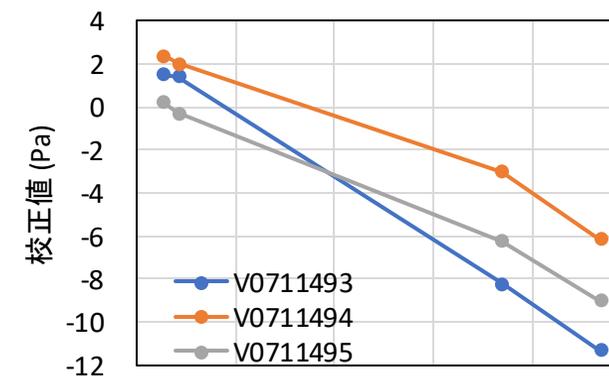
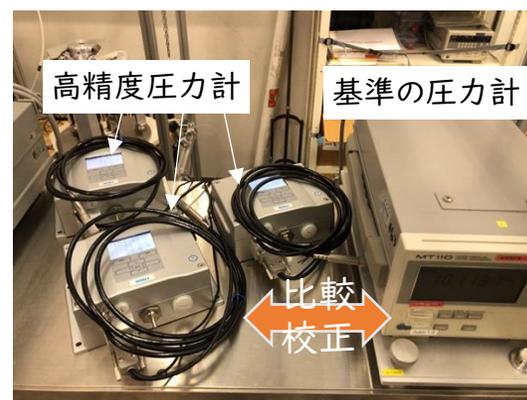
- 圧力計を恒温恒湿槽に入れて、内部の温度および湿度をそれぞれ変化させ、槽外の圧力計と出力を比較することで、出力の変化を検出
- 温度係数約0.08 Pa/K, 湿度係数約0.003 Pa/% の値を得た
- 環境変化への耐性が高いことが示された



●校正値の長期安定性評価

- 国家標準によって校正された基準の圧力計との比較によって校正
- ✓ 3台とも一方向へのドリフトが認められたが、実証実験中のドリフトはMEMSセンサの不確かさに対して小さい。また、補正可能。

この後、3台とも福岡市に送付し、現在は実証実験実施場所に設置

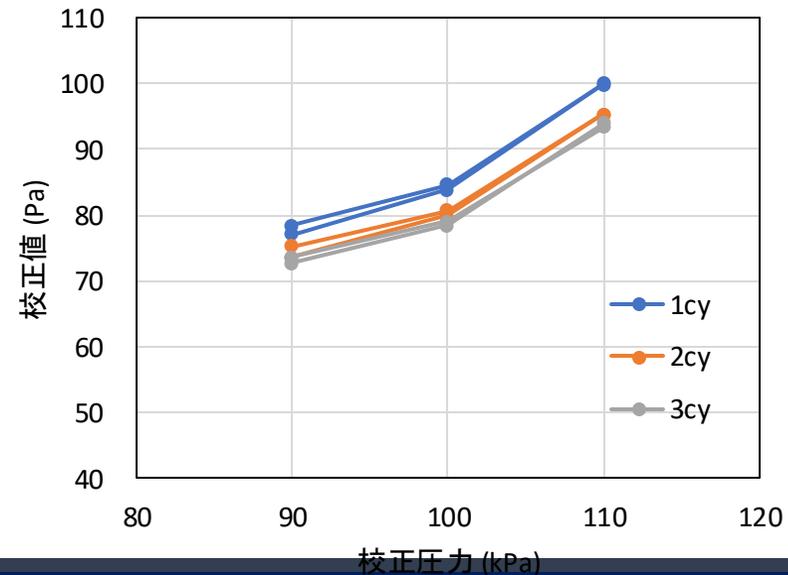
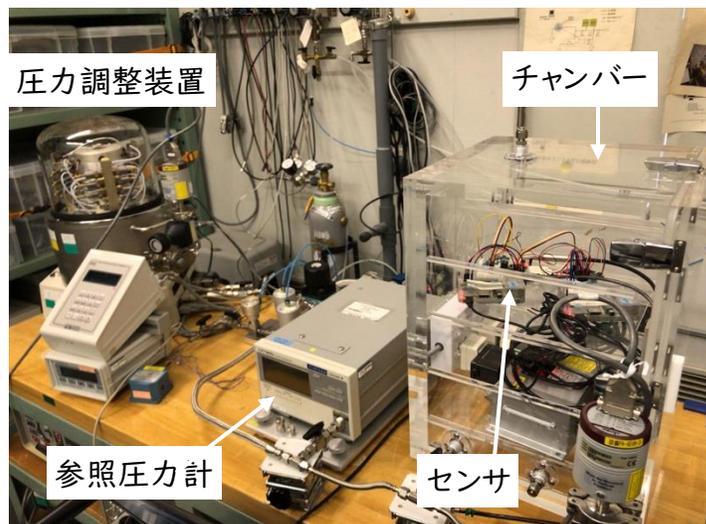


2023/3 2023/6 2023/9 2023/12 2024/4 2024/7

●現場用低コストMEMSセンサ (Infineon社 DPS310) の圧力特性評価

- センサをチャンバーに入れ, チャンバー内の圧力を90 kPa~110 kPaの範囲で変化させ, 参照圧力計と比較校正
- 標準不確かさ15 Pa

✓ 当初の目標である, 不確かさ30 Paよりも小さい不確かさを見込むことが可能



●現場用低コストMEMSセンサ (Infineon社 DPS310) の温度・湿度特性評価

● センサを恒温恒湿槽に入れて評価

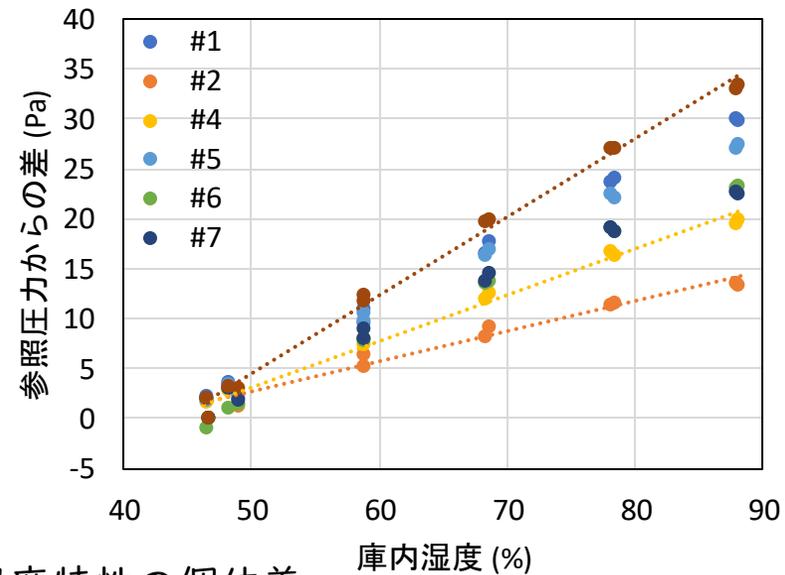
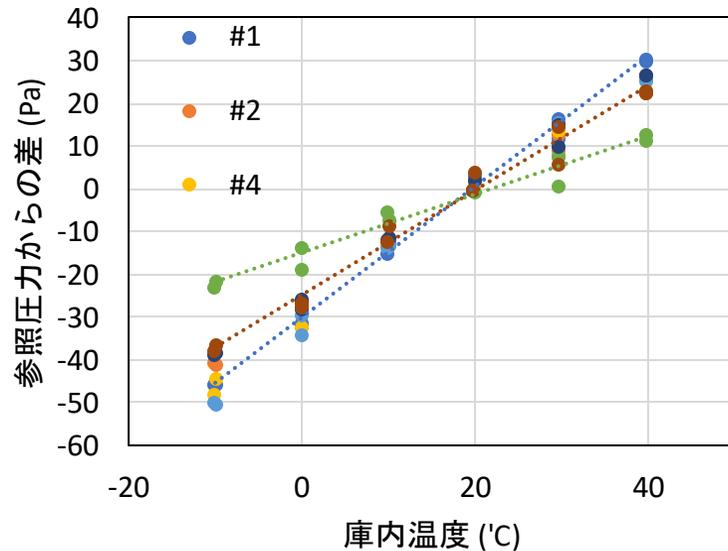
✓ 温度係数約1.5 Pa/K, 湿度係数約0.7 Pa/Kの値を得た(代表的な値)

✓ 複数個のセンサで同様に評価した結果,

温度係数は, (例外はあるものの) 概ね 1.3 Pa/K~1.5 Pa/K

湿度係数は, 0.3 Pa/%~0.8 Pa/% とばらつきがみられた

✓ インフラサウンド観測の時間オーダーでは, 環境変化による出力の影響は十分に小さい



DPS310センサの温湿度特性の個体差

研究開発項目2-3 集約データの計測信頼性確保

並行観測による計測データ信頼性の確認



- ① Chaparral
- ② SAYA INF03
- ③ Hakusan SI 104
- ④ DPS310
- ⑤ Vaisala PTU300
- ⑥ ParoScientific
- ⑦ SAYA INF01 LE
- ⑧ SAYA INF04 LE



- 参照標準器となる高精度圧力計（VAISALA社 PTU300）との同時計測を実施
- 利用可能な微気圧計・インフラサウンドセンサとの同時計測を実施
- イベント発生時の急激な変動への追従性、通常時の気圧測定値のバイアスを確認

最終的に、多地点稠密観測網で相対変動を議論する際に大きな問題なしと判断

小規模、中規模、大規模の実証実験

- R4 高知県香美市周辺での
小規模観測網の実証実験 ※3地点
- R5 北海道江別市周辺での
中規模観測網の実証実験 ※7地点
- **R6 福岡市主要部での大規模観測の実証実験**
※45地点



福岡市での高密度観測

展開中の観測網



馬出公民館、那珂公民館、月隈公民館、堅粕公民館、美野島公民館、御供所公民館、当仁公民館、簗子公民館、春吉公民館、平尾公民館、草ヶ江公民館、笹丘公民館、三宅公民館、大池公民館、西長住公民館、東花畑公民館、長尾公民館、七隈公民館、鳥飼公民館、城南公民館、片江公民館、堤公民館、西新公民館、百道公民館、高取公民館、原公民館、原西公民館、賀茂公民館、早良公民館、脇山公民館、壱岐南公民館、福重公民館、内浜公民館、玄界公民館、南区役所、さいとぴあ、福岡市科学館、Fukuoka Growth Next、HOOD天神、シェアオフィスSALT、光陽無線株式会社、九州大学（応用力学研究所、歯学部、農学部、理学部）
(福岡大学、福岡教育大学ほかに設置の気圧センサも参照しています。)

福岡市
実証実験
フルサポート事業

**地域防災に向けた
インフラサウンド多点測定**

国立大学法人 九州大学

2024.07.16

実証実験フルサポート事業採択式 FDC 石丸事務局長、九州大学中島、高島福岡市長



解決したい社会課題

局地的・突発的で予測困難な 災害現象への対応



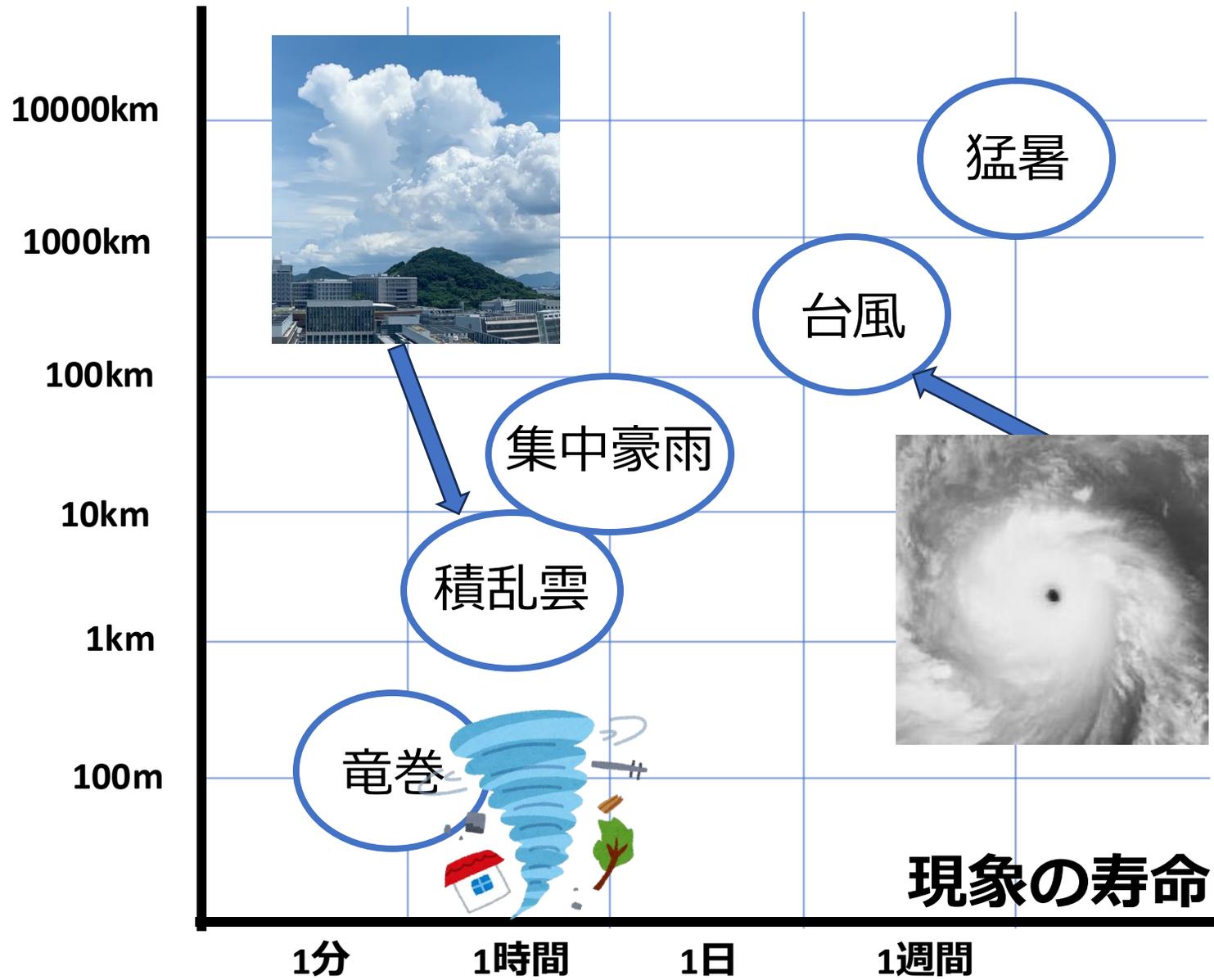
ゲリラ豪雨、竜巻のもととなる
「積乱雲」の寿命は1時間以下



写真：水害レポート2011より



現象の大きさ



実証実験の目的

災害現象の発生・予兆を
住民がその場で、即時に入手できれば
避難、防災に繋がる

今回行う実証実験：

インフラサウンドの観測によって、
災害現象のその場、即時把握の可能性を探る

-
- **「予測」を見据えた研究**を行うためには、基礎データとして、気象現象のもっと近くで、色々な方向から観測して土台となる**ビッグデータが必要。**
 - 最新の技術により、測定器は小型、高性能、安価となり、**場所さえあれば高密度の観測網の展開による実証実験が可能。**

今回の実証実験

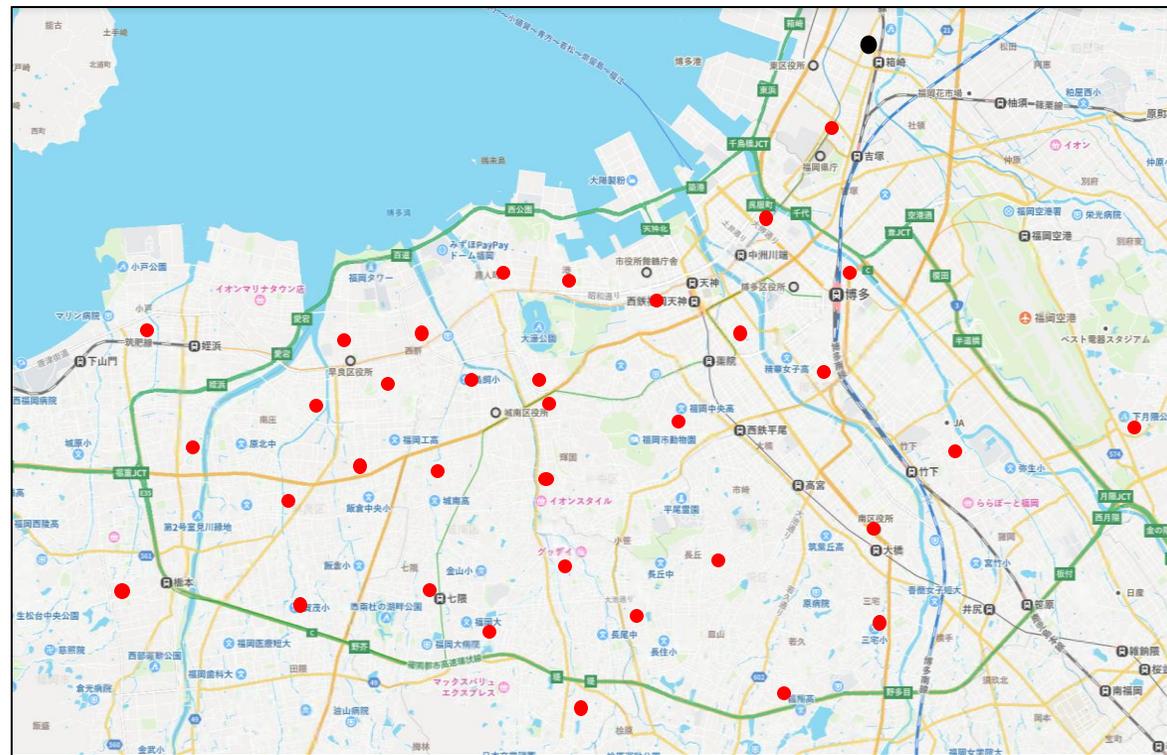
▶ **高感度**のセンサーで
高頻度・高密度の観測

▶ **約12か月間** 計測

▶ **検証項目**

- ・リアルタイムに検知できるか
- ・前兆を検出することが可能か

市内公民館等
約40か所に設置



既存の観測との違い

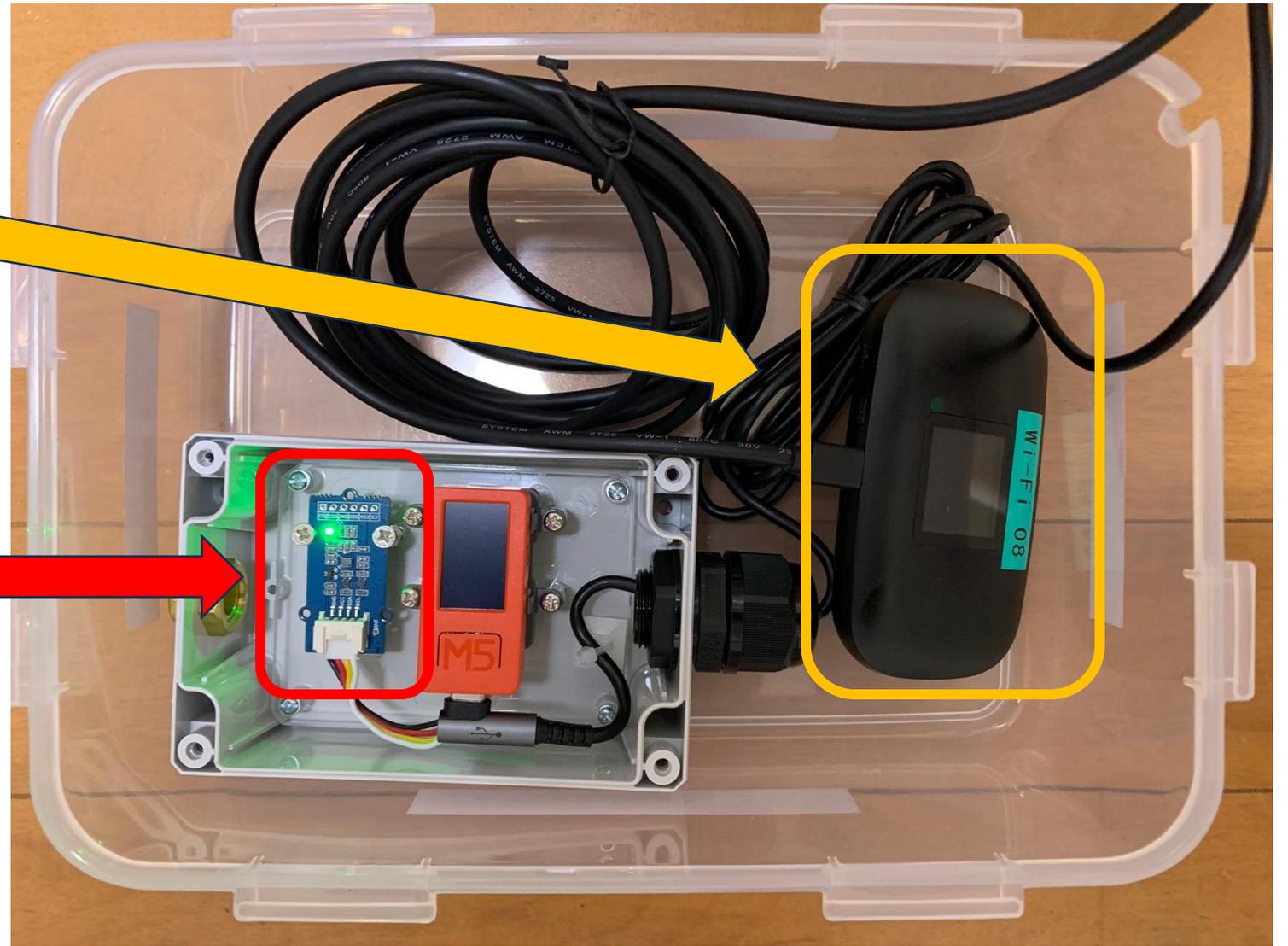
	設置密度	計測頻度	精度 (hPa)	一般公開	備考
本実証実験	1~2km 程度	1/10秒 最高 1/30秒	0.01	オープン化 を検討	比較的機器費 が安価のため、 大量導入の ハードルが低 く高密度に設 置可能
気象庁 (AMeDas)	間隔 約20km	1分 (一般公開は 10分)	0.1	公開	
ウェザーニュース 「ソラテナ」	10km程度	1分	0.1	契約者 のみ	
CTBTO	間隔 4000km	1秒	非公開 極めて高い	限定的	

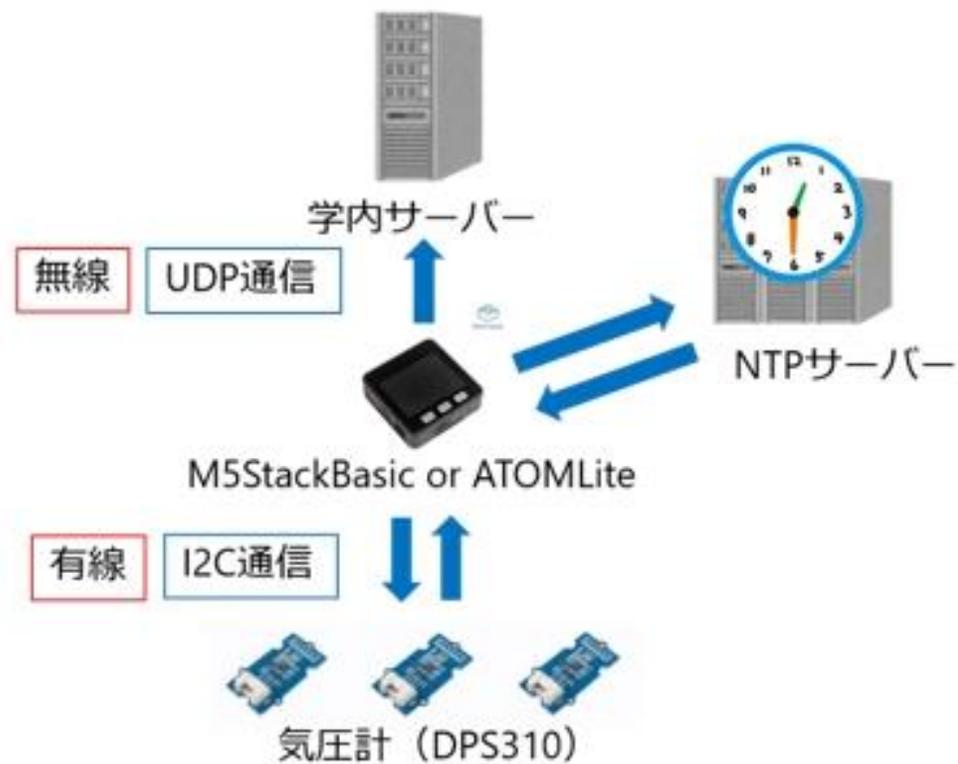
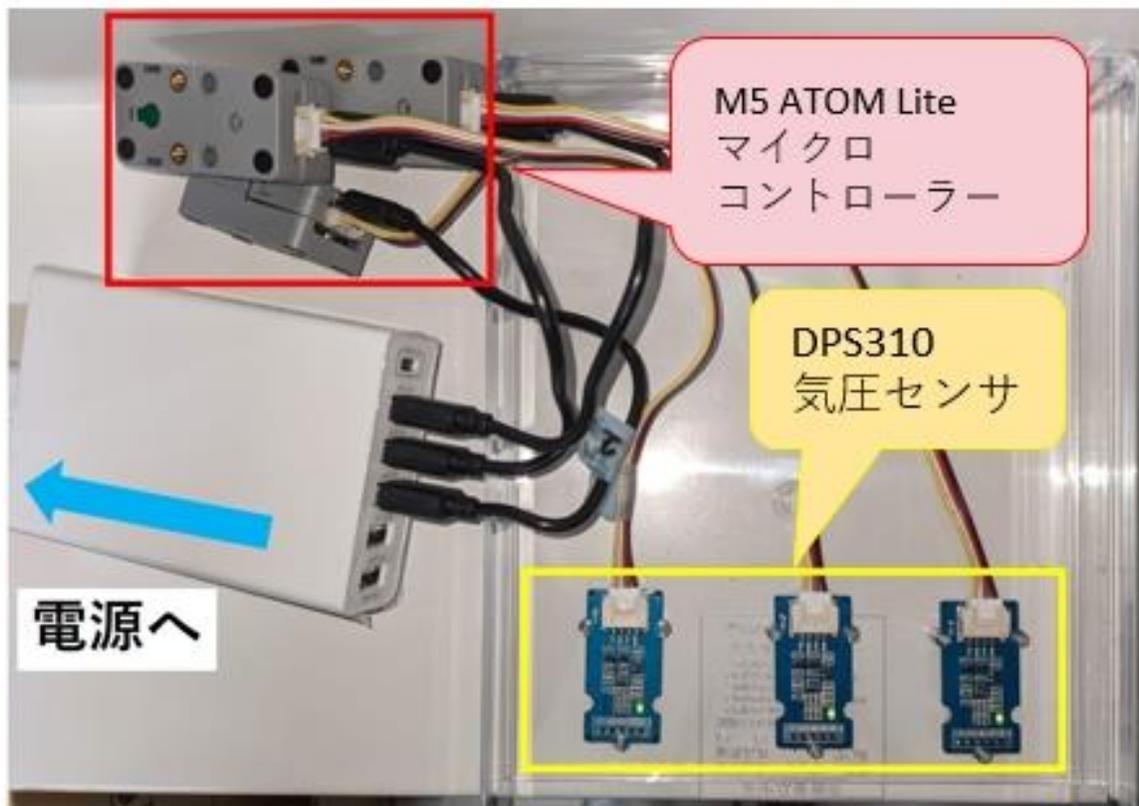
技術的な細目



モバイルルーター
測定データを
九大に送る

気圧センサー
スマホなどにも
使われている。





日付, 時刻, 気温, 気圧, 装置番号

```

2025/01/27 08:31:00.246,15.4,101019.7,92001
2025/01/27 08:31:00.296,15.4,101020.1,92001
2025/01/27 08:31:00.346,15.4,101019.7,92001
2025/01/27 08:31:00.396,15.4,101020.5,92001
2025/01/27 08:31:00.446,15.4,101020.1,92001
2025/01/27 08:31:00.496,15.4,101019.9,92001
2025/01/27 08:31:00.546,15.4,101020.1,92001
2025/01/27 08:31:00.596,15.4,101019.3,92001
2025/01/27 08:31:00.646,15.4,101019.8,92001
2025/01/27 08:31:00.696,15.4,101019.5,92001
    
```

通信量を節約するため
 独自プロトコルで約 1/10 に可逆圧縮
 (気圧変化の振幅が小さいほど高効率。)

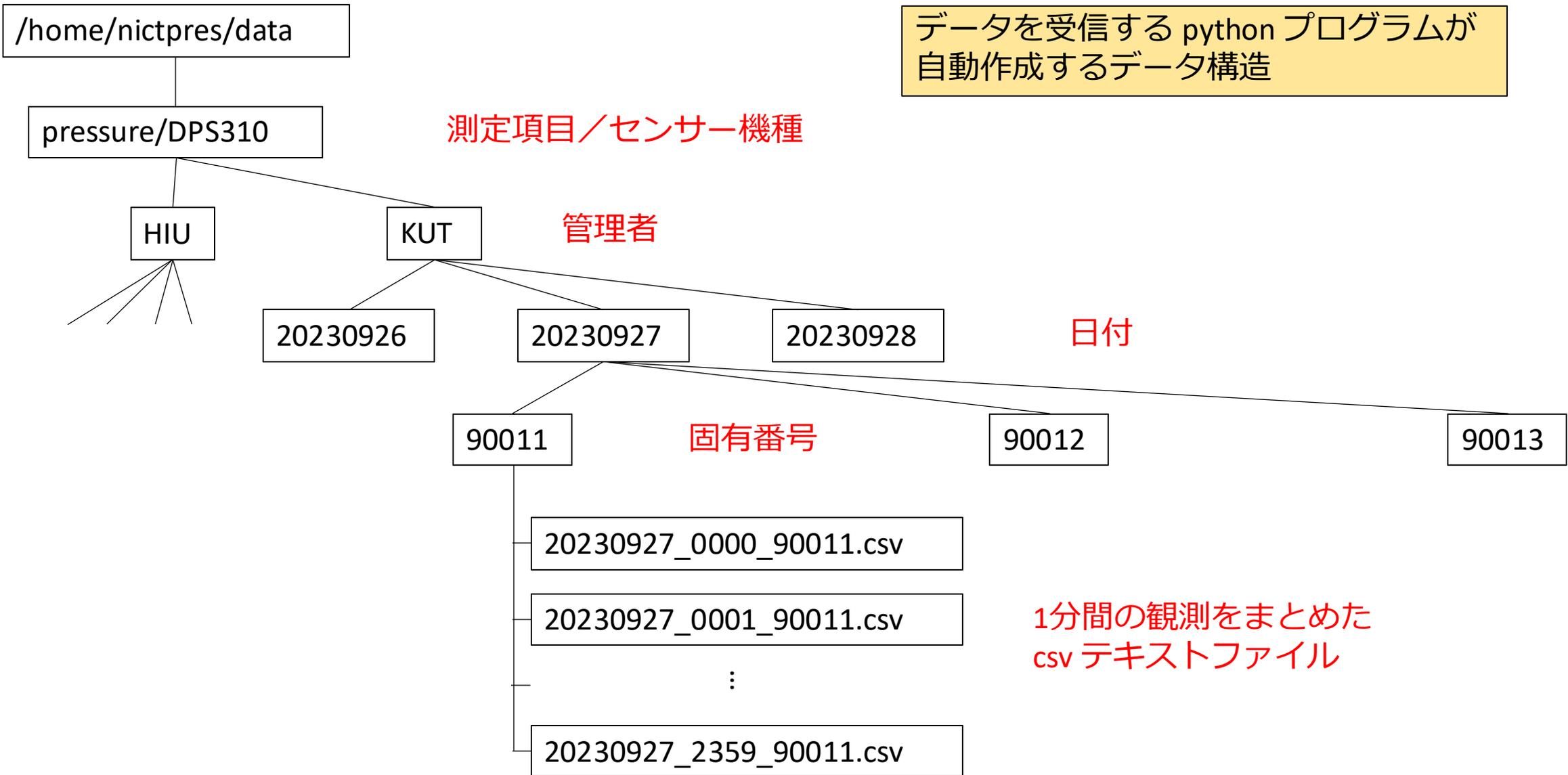
気圧変化

装置番号, 日付, 時刻, 気温, 瞬時気圧, 気圧平滑値 (短周期) (中周期) (長周期)

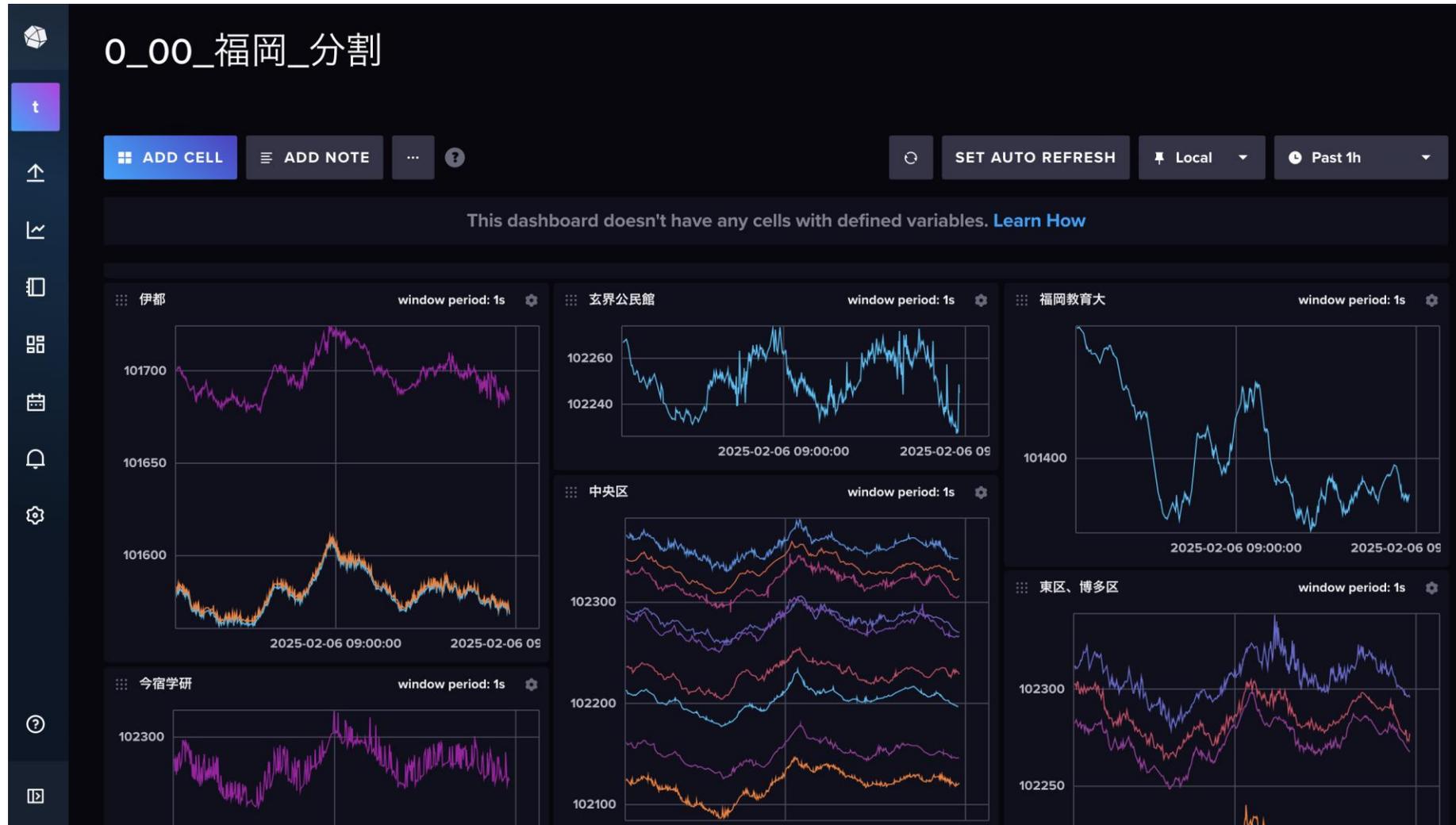
```

92030,2025/02/06 09:30:31.500000, 12.20,102201.75,102206.34, -0.31, -8.25, -4.28
92031,2025/02/06 09:30:31.500000, 18.30,102288.96,102292.05, 0.37, -7.14, -3.47
92032,2025/02/02 23:13:52.500000, 17.70,101504.68,101505.61, -0.27, 10.20, -0.66
92033,2025/02/06 09:30:31.500000, 10.10,101200.74,101203.05, -1.16, -3.18, -1.16
92034,2025/02/06 09:30:31.500000, 18.50,102308.56,102311.90, -0.79, -7.22, -2.55
92035,2025/02/06 09:30:31.500000, 17.40,102193.11,102192.81, -0.75, -2.96, 1.05
92036,2025/02/06 09:30:31.500000, 13.40,102259.86,102264.84, -1.27, -4.31, -3.71
92037,2025/02/05 11:05:32.500000, 23.40,101645.36,101659.24, -8.27, -6.64, -5.61
92038,2025/02/06 09:30:31.500000, 16.40,102031.81,102034.73, -0.97, -3.94, -1.95
92039,2025/02/06 09:30:31.500000, 11.90,102321.85,102327.52, -3.16, -5.43, -2.51
92040,2025/02/06 09:30:31.500000, 11.50,102233.46,102235.95, 1.02, -12.91, -3.52
92101,2025/02/06 09:30:31.500000, 12.00,101869.92,101867.67, 1.60, -5.27, 0.65
02102,2025/02/06 00:30:31.500000, 22.70,101560.88,101572.70, 0.20, 6.25, 2.53
    
```





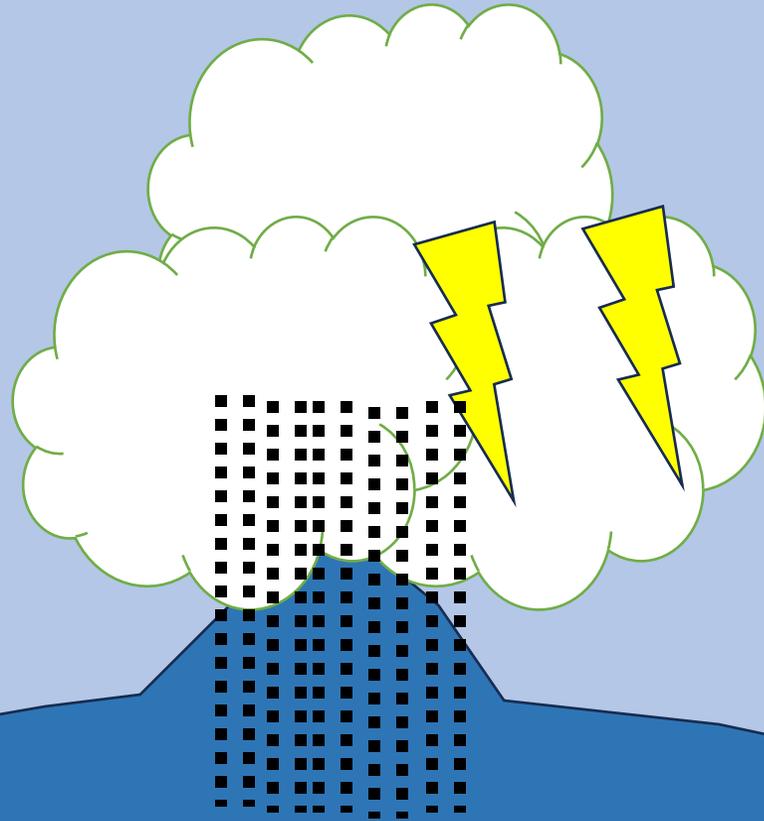
influxDB OSS + telegraf で日常的に分析



災害をもたらす現象が 出す インフラサウンド

積乱雲の接近

冷たい
空気



雷鳴



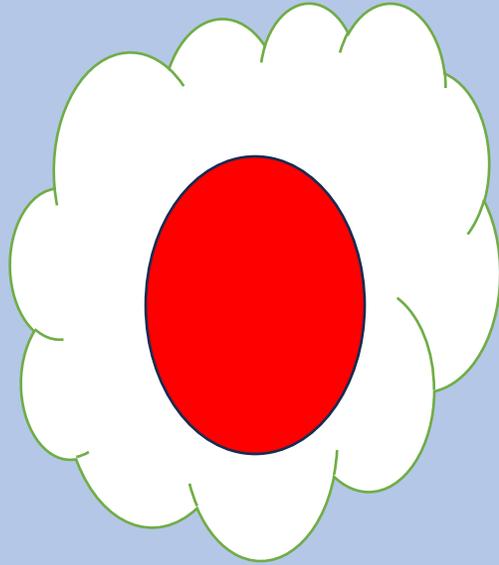
気圧の上昇



単発的な鋭い気圧変動

積乱雲の発生・発達、豪雨の前兆

水蒸気が
凝結して
熱が出る



気圧の低下



上空でできた
雨粒が
空気を押し下げる

気圧が上昇



雷雲から内部重力波が
東西南北に伝わっていく！



軽い空気

内部重力波

重い空気

竜巻の襲来、接近



急激で非常に強い気圧低下



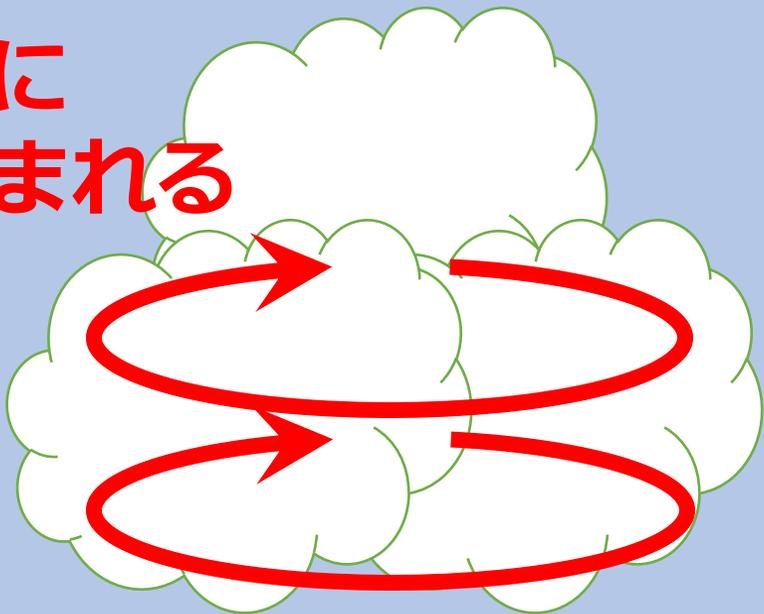
竜巻の規模に対応した
周期的な気圧変動

継続する気圧変動



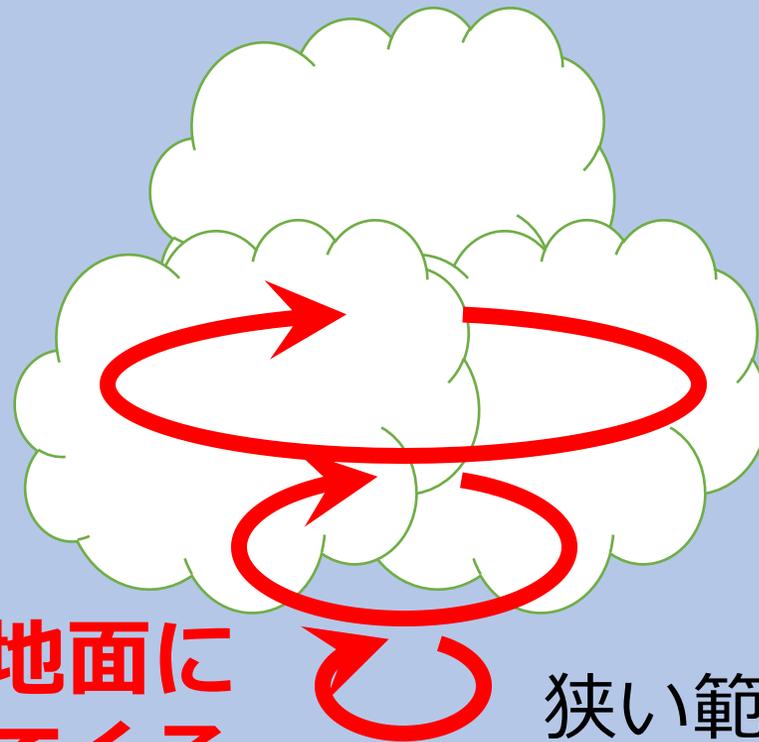
竜巻の前触れ

雲の中に
渦が生まれる



気圧低下

渦が地面に
降りてくる

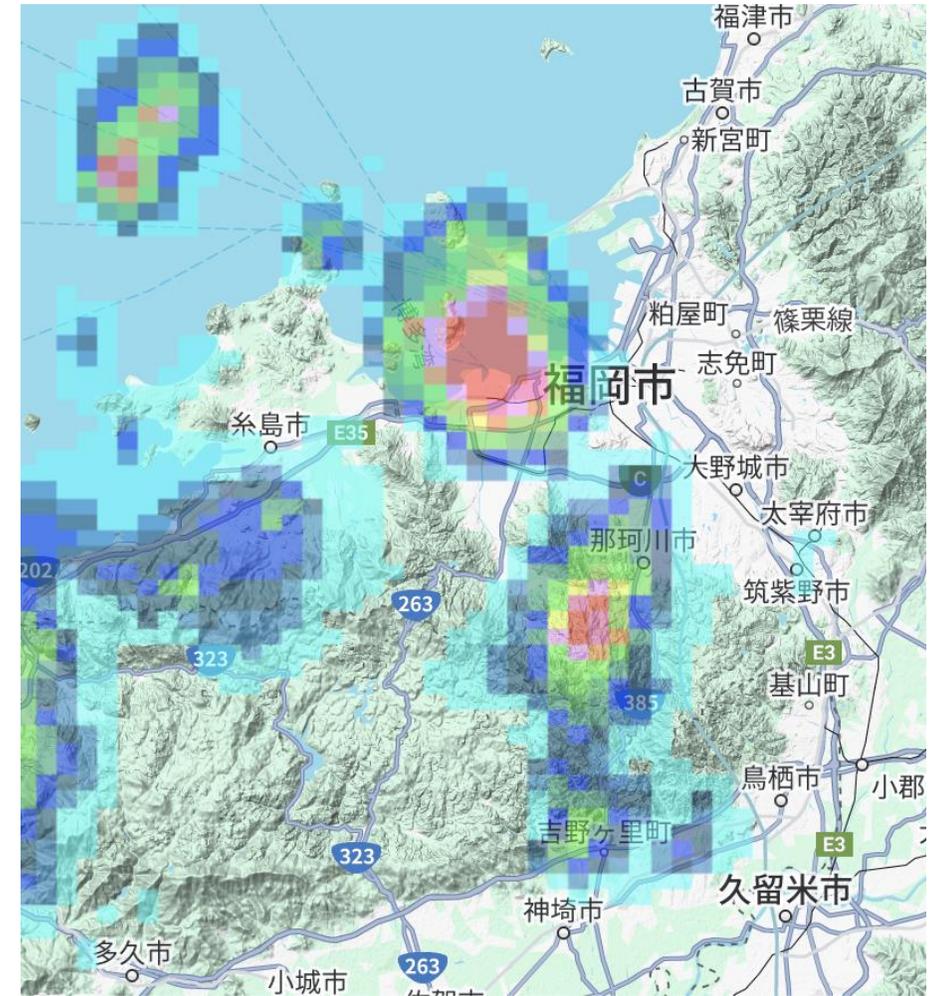
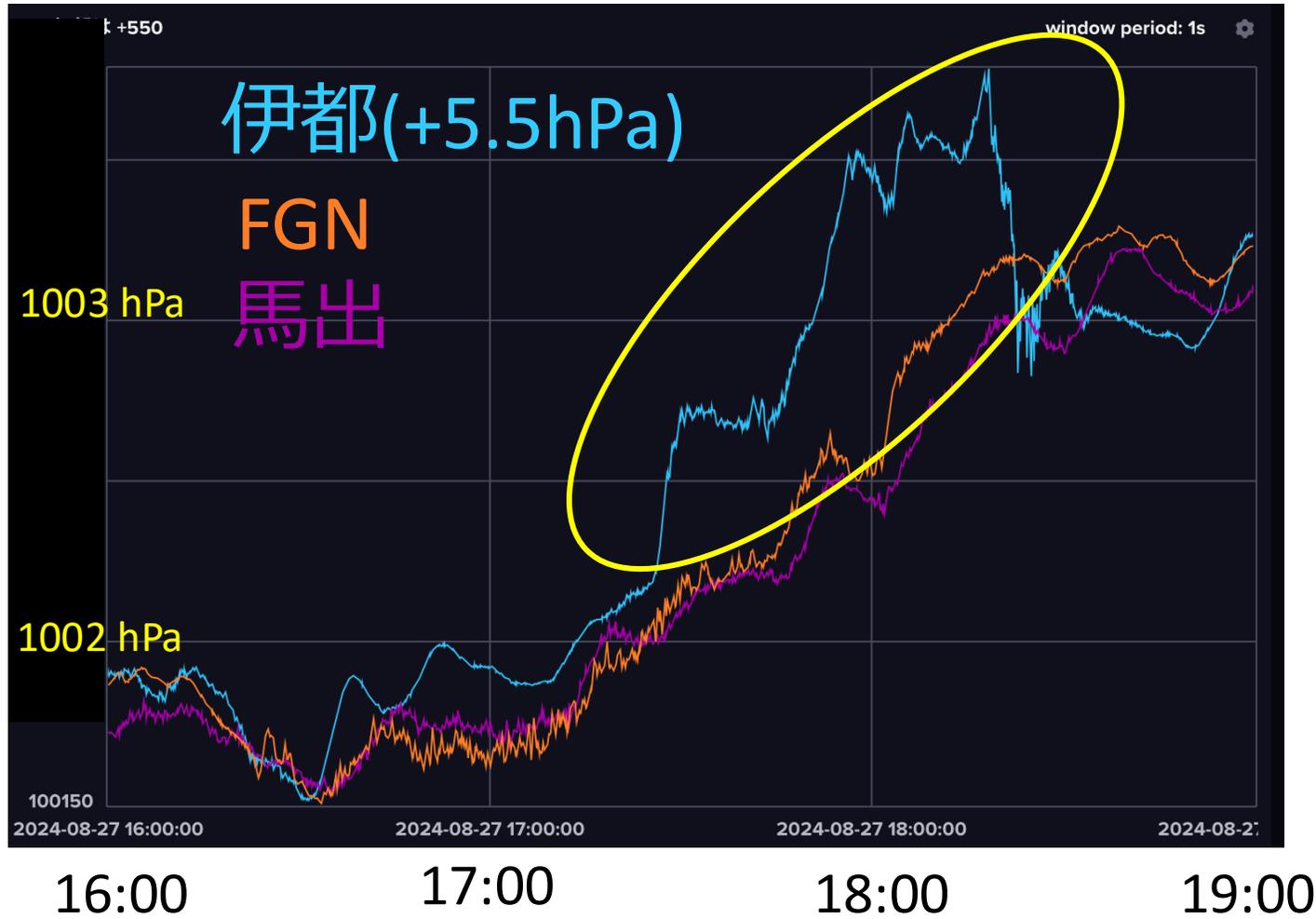


狭い範囲で
強い気圧低下

これまでで得られている 観測結果



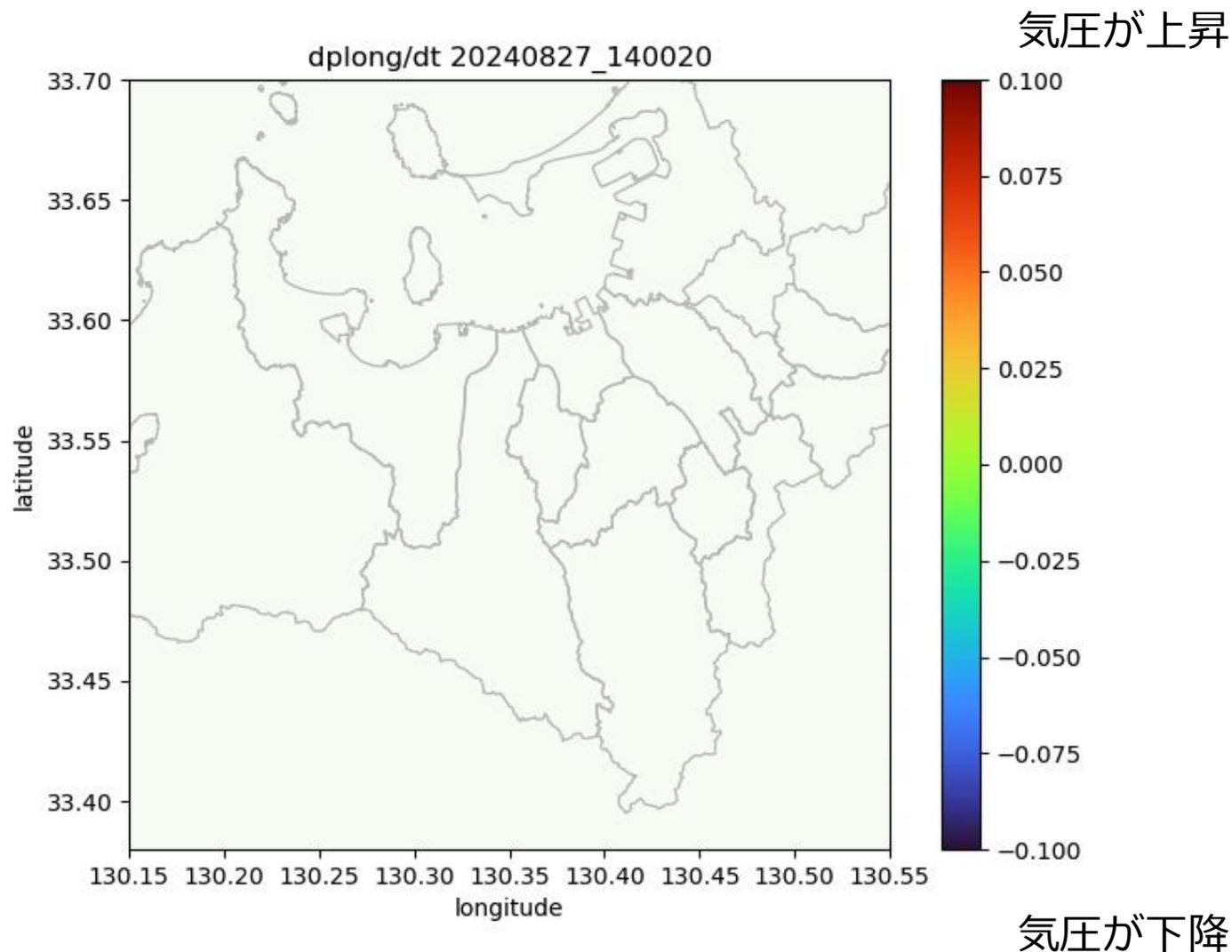
8月27日の雷雨



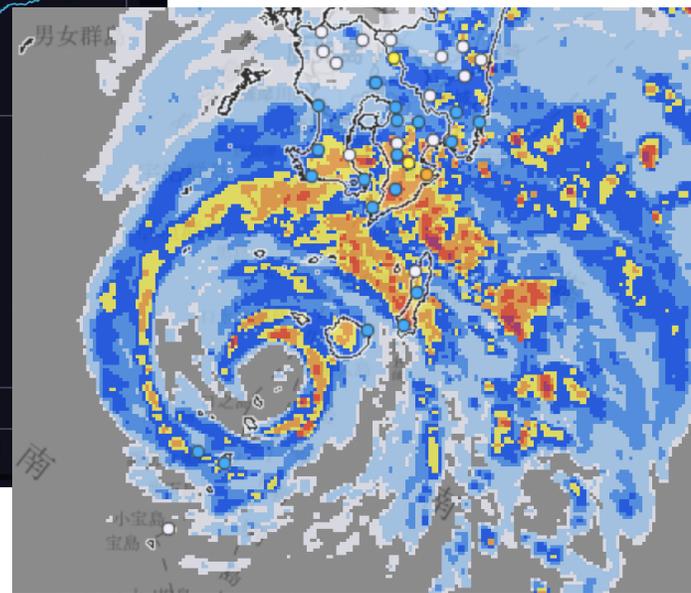
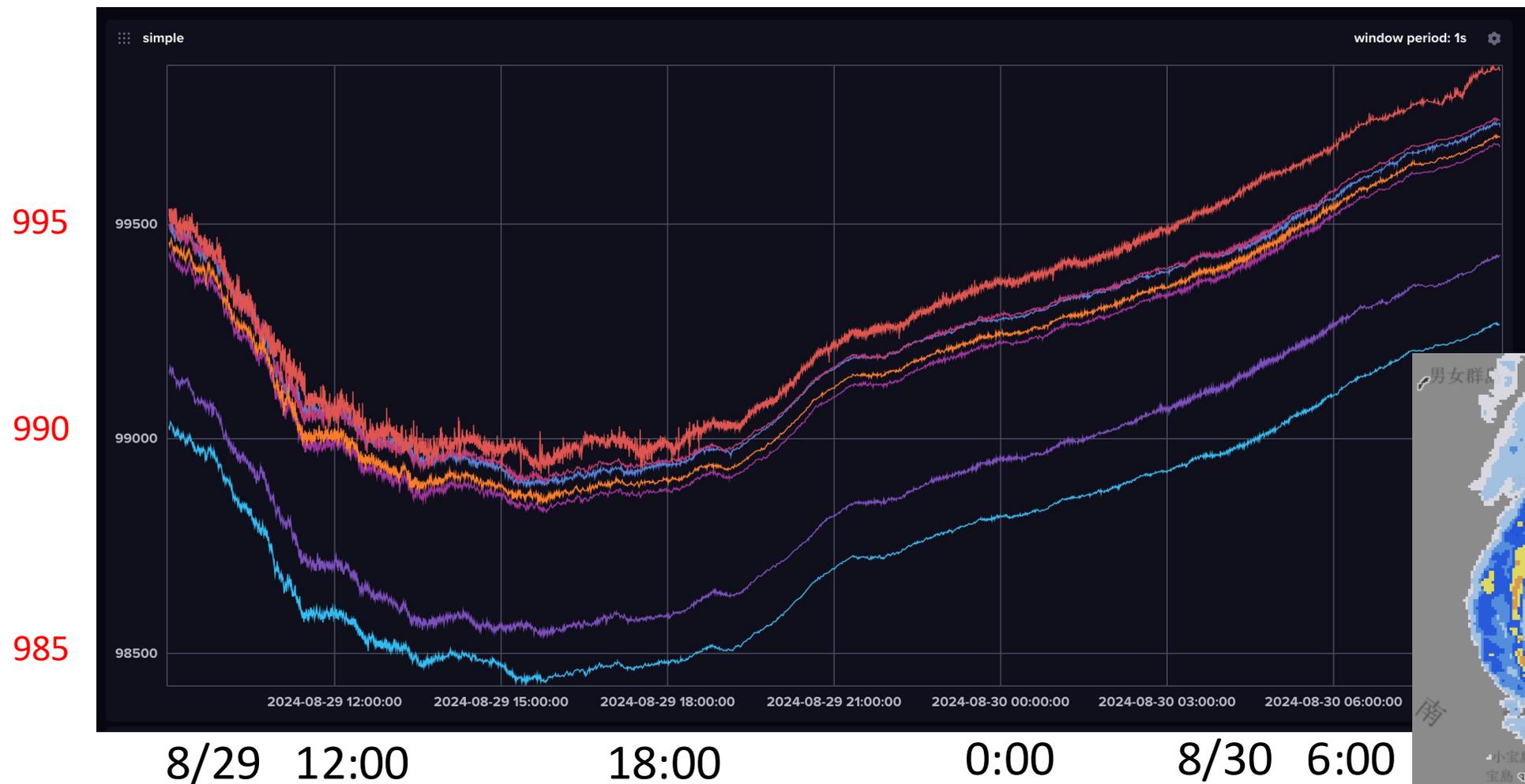
まだ観測点が少ないです。

大きな雷雲が発生しました。

近くで気圧が変動することが捉えられますが、全体として、どんな分布で変動が起こっているのかはわかりません。



台風：「ぎざぎざ」は風の強さと対応



気圧上昇

9月16日午後の雷雨 (センサー 35箇所)

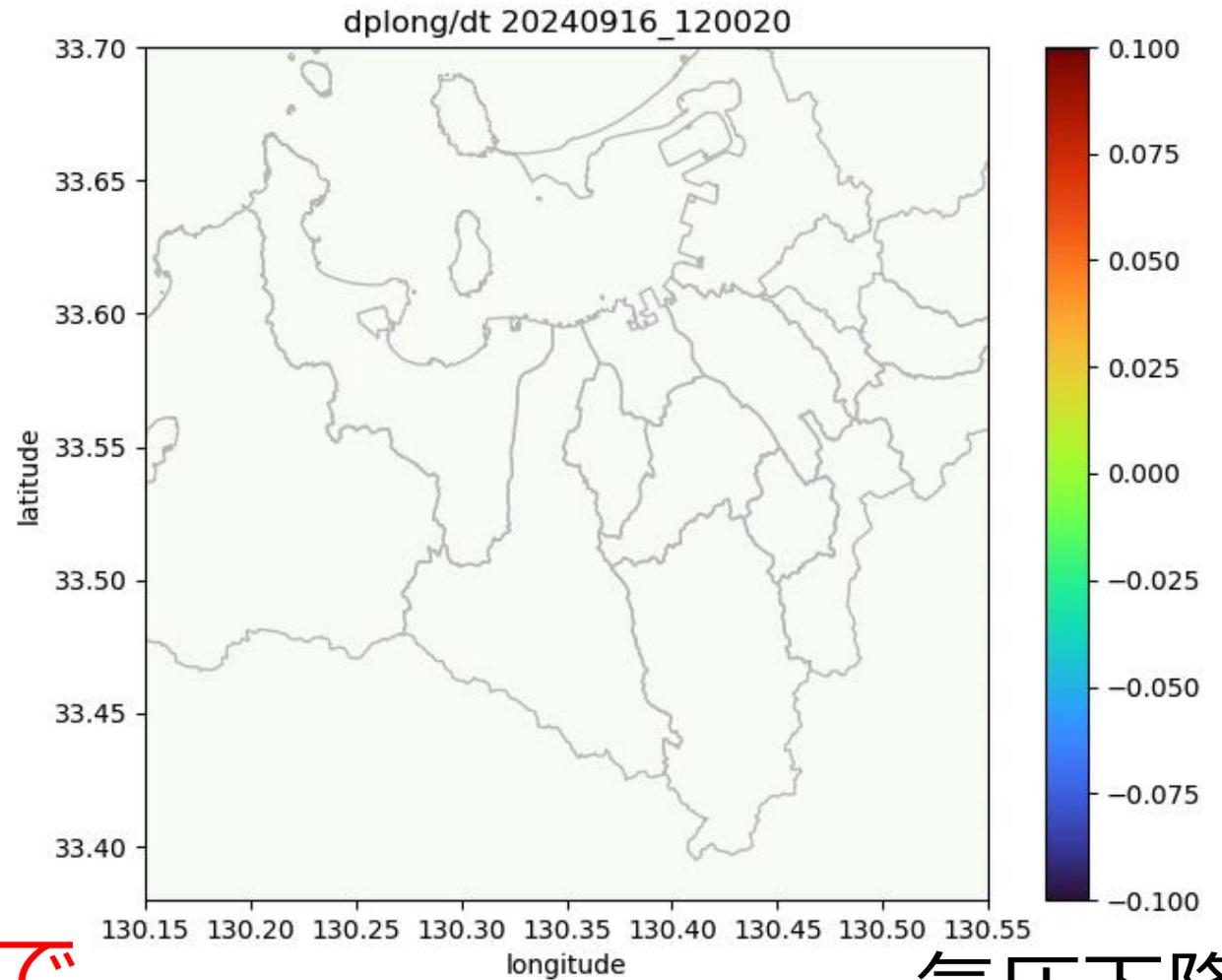
1400~ 春日市付近の雷雲から
西向きに伝わる波

1520~ 脊振山地の雷雲群から
北向きに伝わる波

1650~ 福岡市上空に雷雲
全域で激しい変動

高感度・高密度・高頻度で
はじめて明らかに

緑色：レーダー降水強度



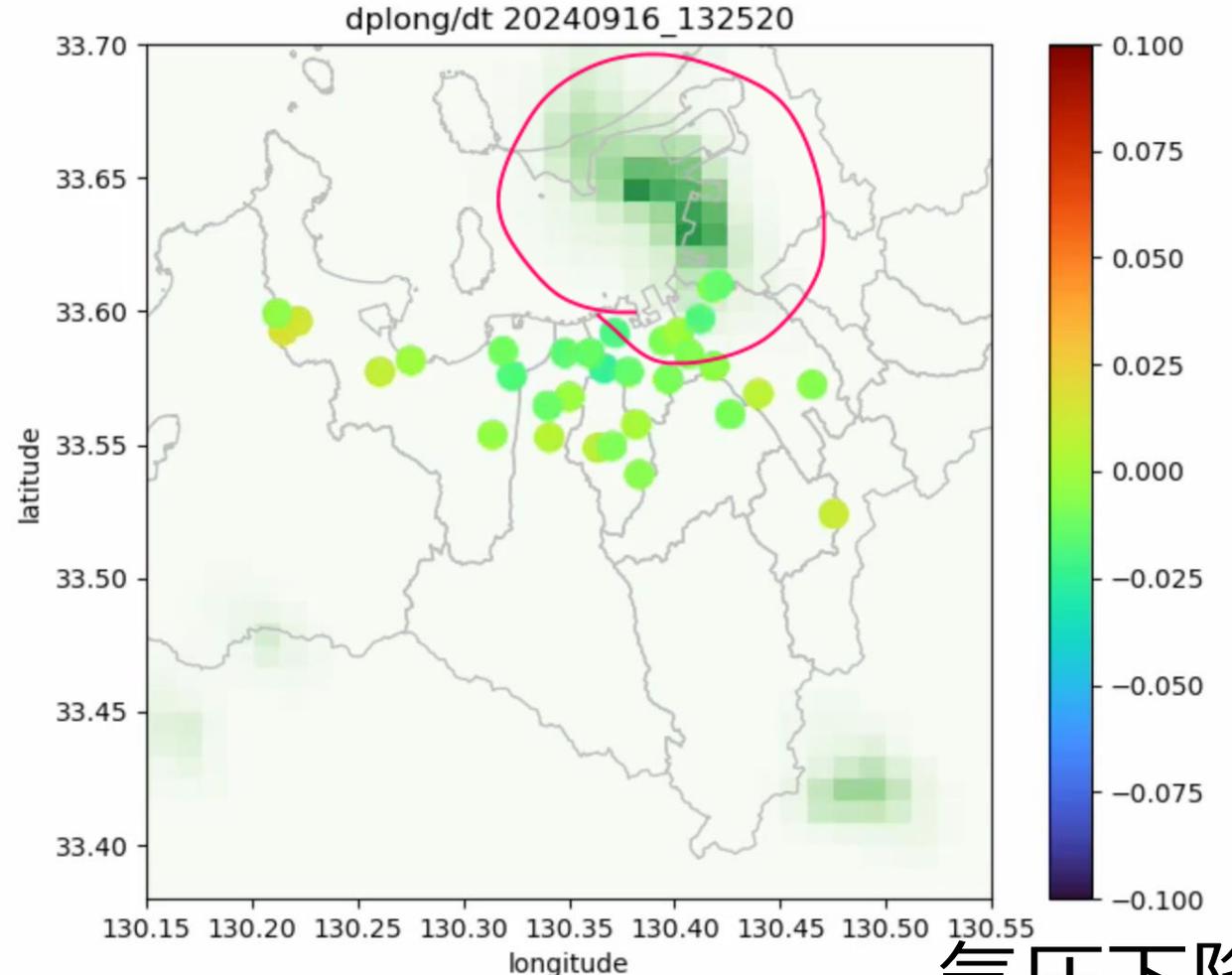
気圧下降

気圧上昇

1400~ 春日市付近の雷雲から
西向きに伝わる波

1520~ 脊振山地の雷雲群から
北向きに伝わる波

1650~ 福岡市上空に雷雲
全域で激しい変動



気圧下降

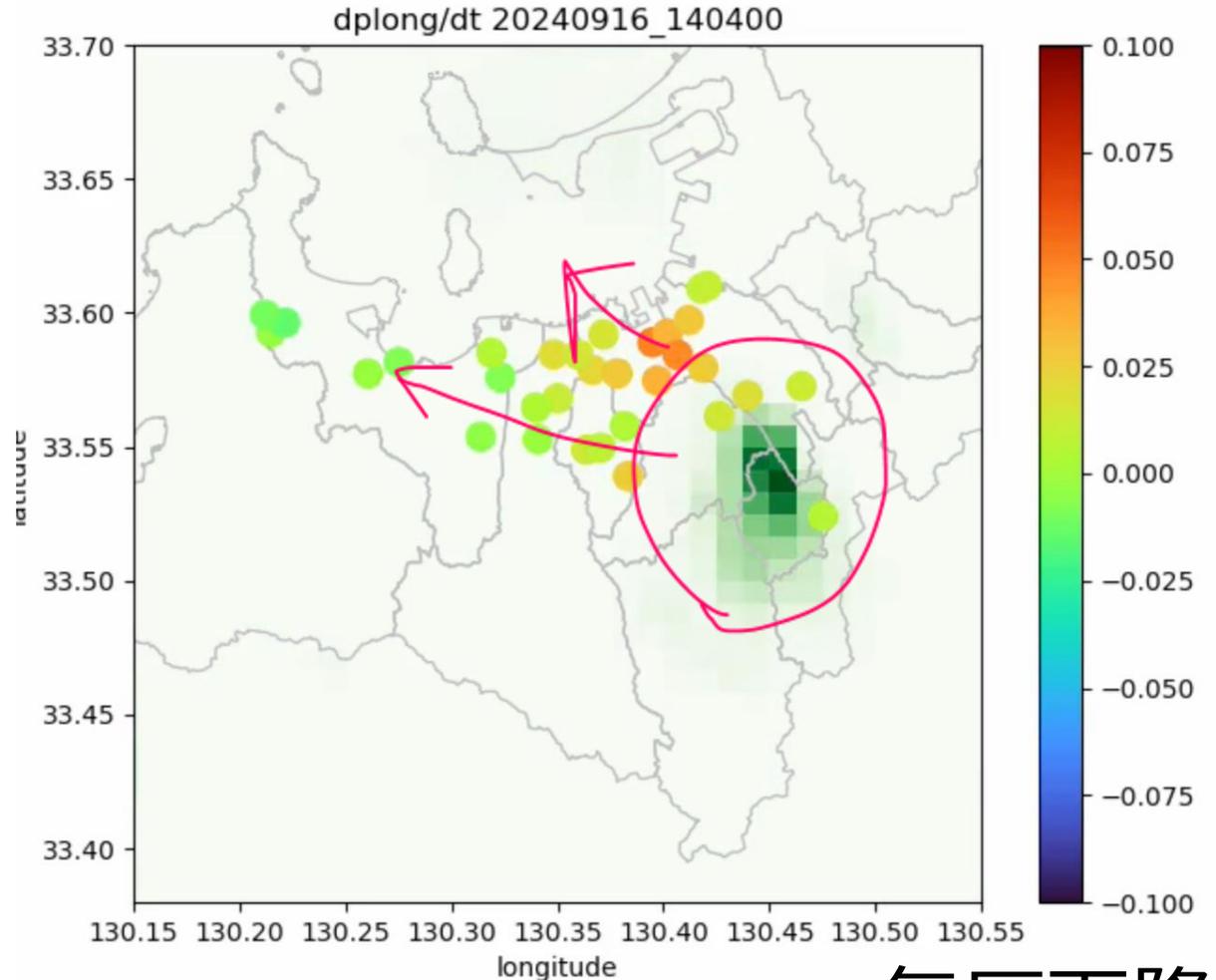
緑色：レーダー降水強度

気圧上昇

1400~ 春日市付近の雷雲から
西向きに伝わる波

1520~ 脊振山地の雷雲群から
北向きに伝わる波

1650~ 福岡市上空に雷雲
全域で激しい変動



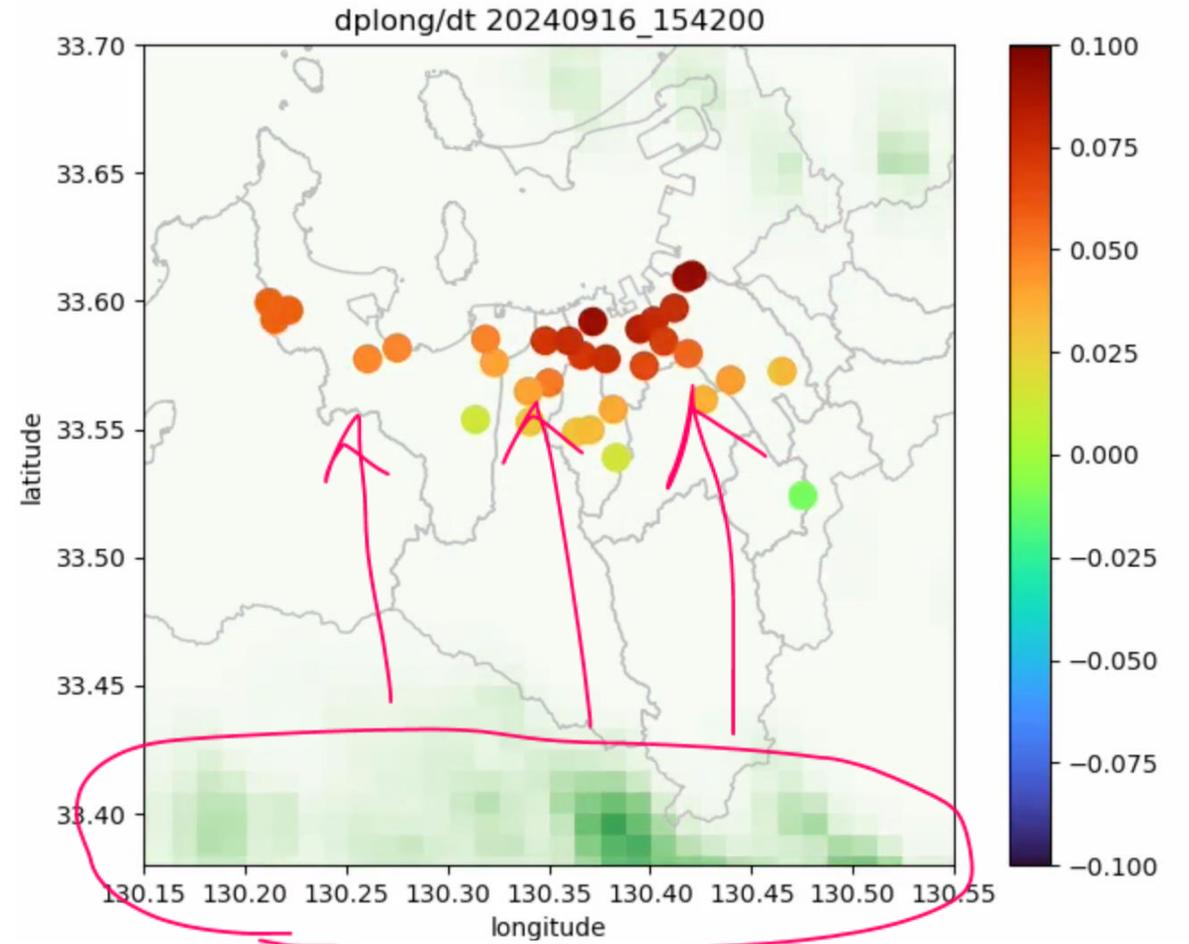
気圧下降

気圧上昇

1400~ 春日市付近の雷雲から
西向きに伝わる波

1520~ 脊振山地の雷雲群から
北向きに伝わる波

1650~ 福岡市上空に雷雲
全域で激しい変動



気圧下降

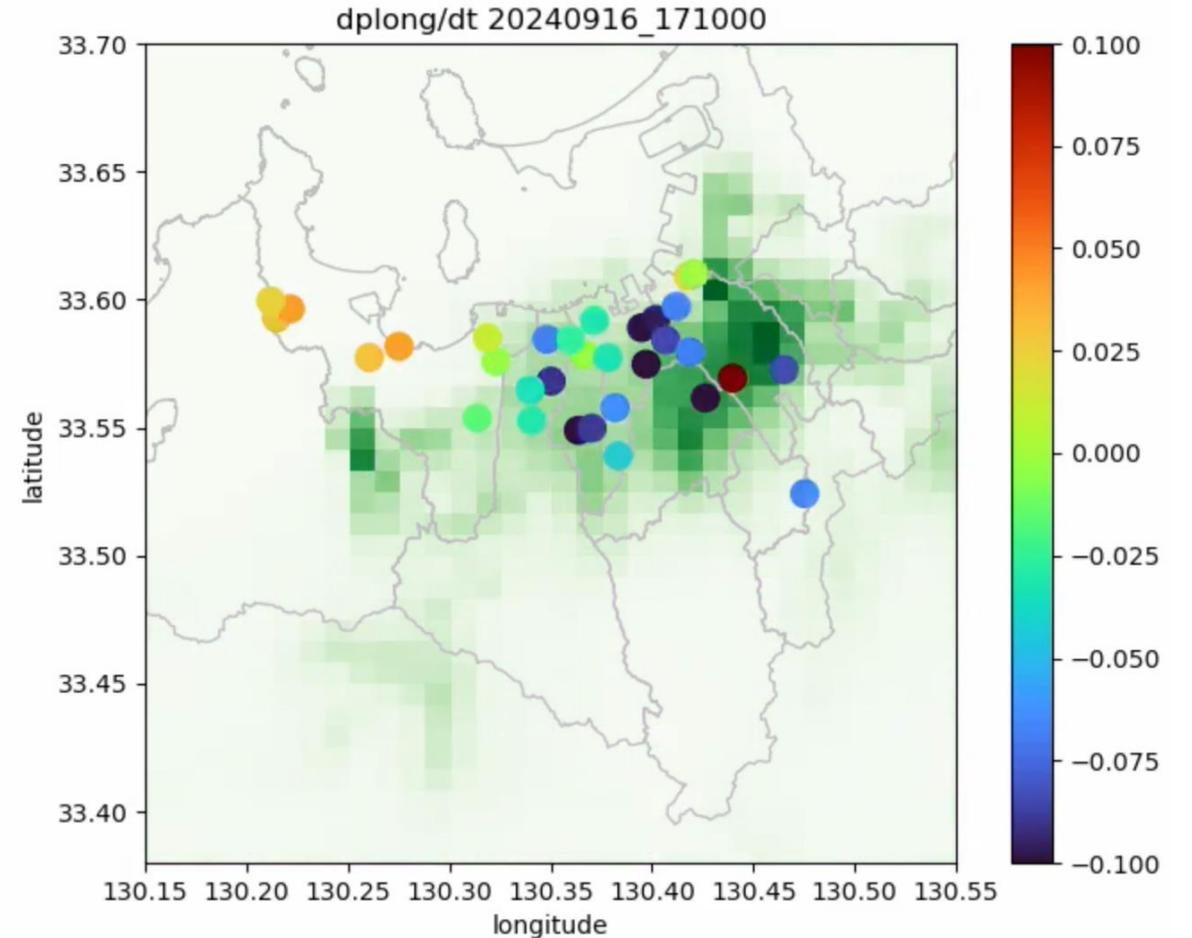
緑色：レーダー降水強度

気圧上昇

1400~ 春日市付近の雷雲から
西向きに伝わる波

1520~ 脊振山地の雷雲群から
北向きに伝わる波

1650~ 福岡市上空に雷雲
全域で激しい変動



気圧下降

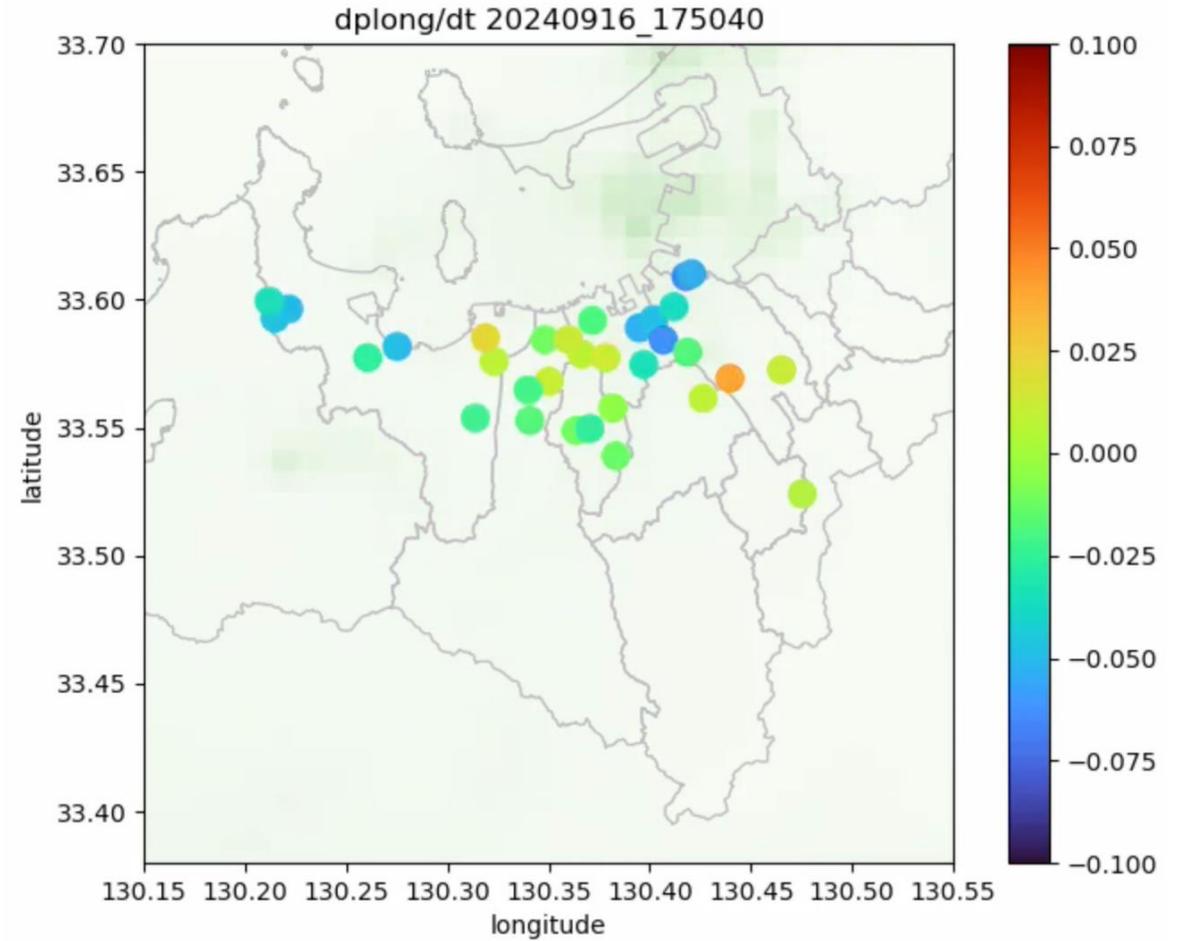
緑色：レーダー降水強度

気圧上昇

1400~ 春日市付近の雷雲から
西向きに伝わる波

1520~ 脊振山地の雷雲群から
北向きに伝わる波

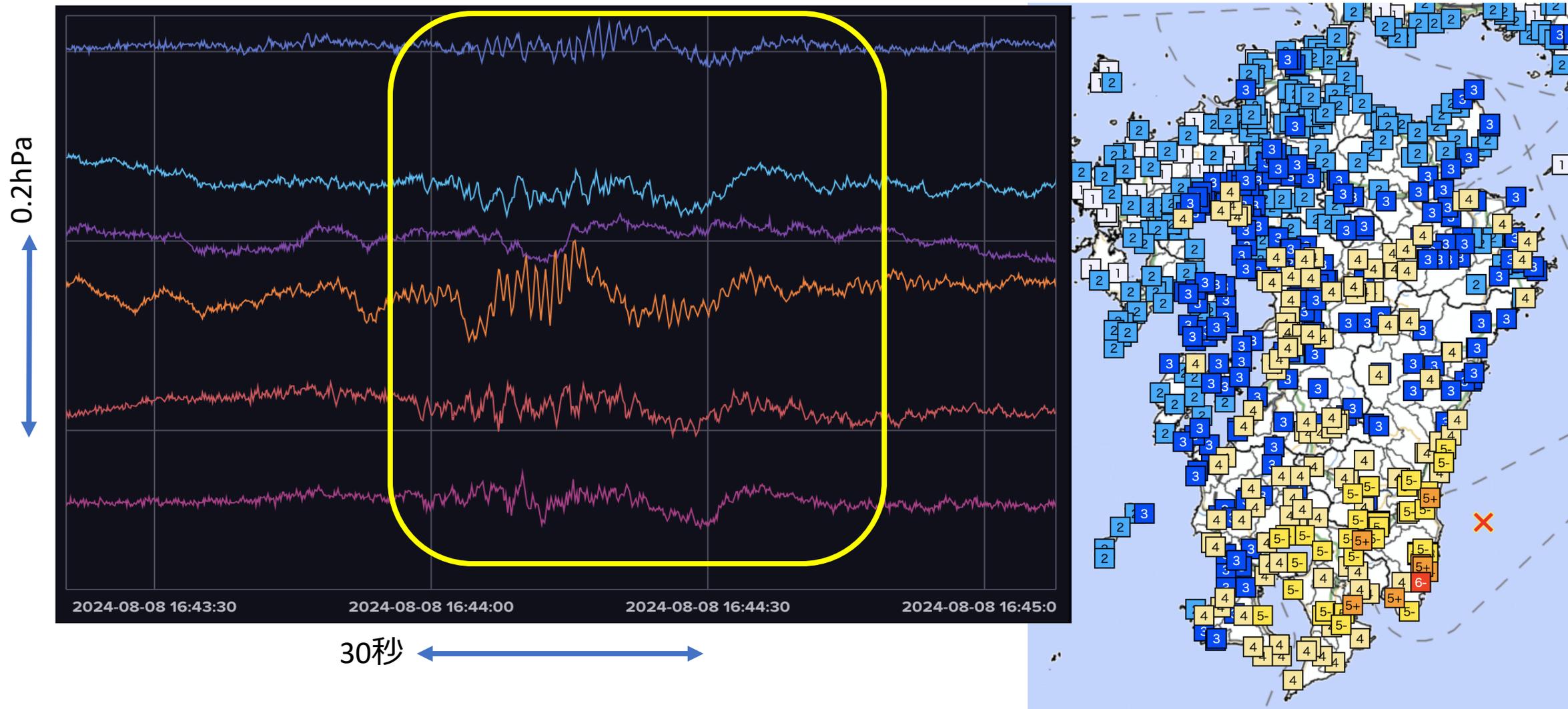
1650~ 福岡市上空に雷雲
全域で激しい変動



気圧下降

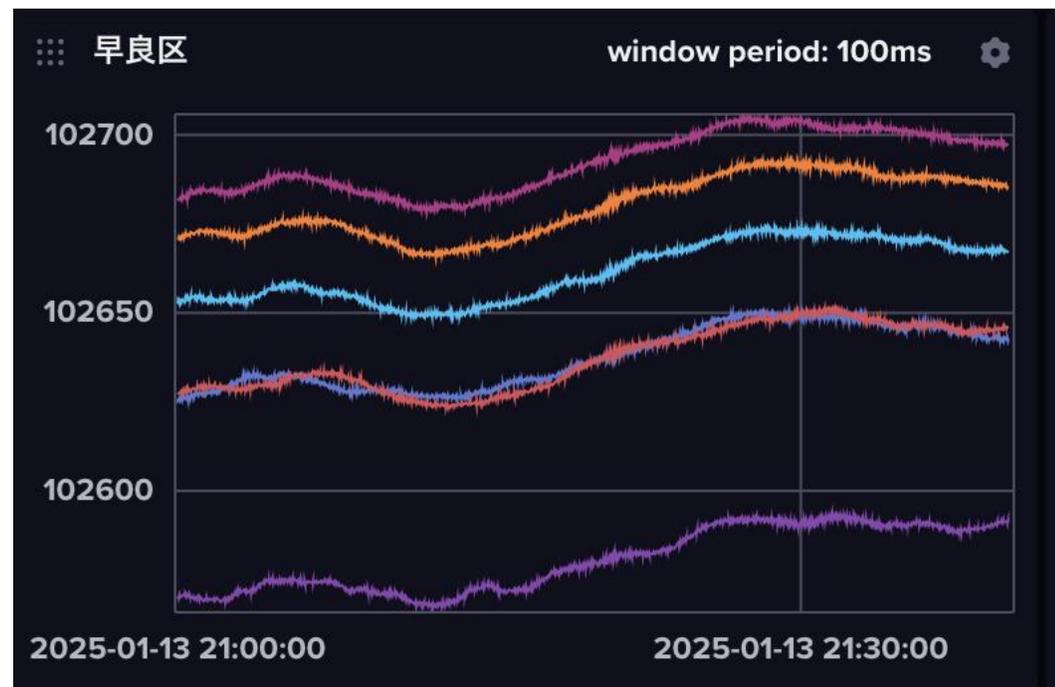
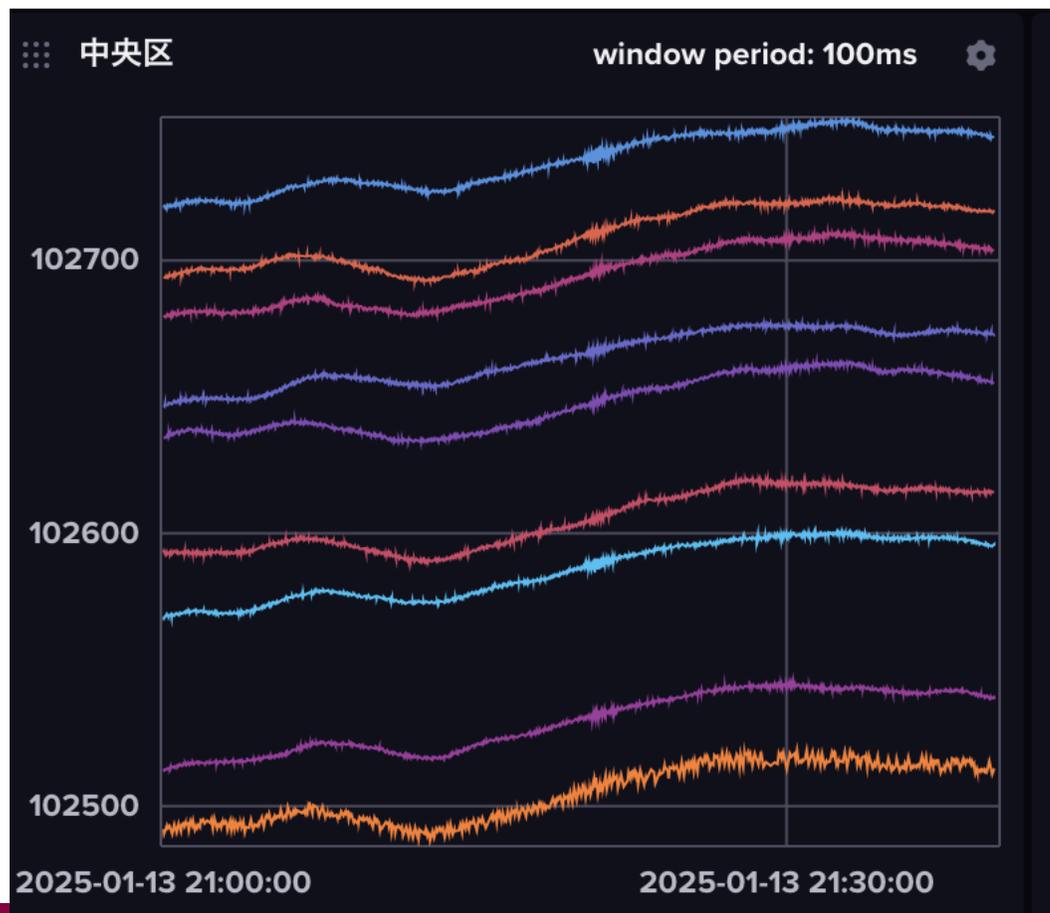
緑色：レーダー降水強度

地震：局所的な「ゆれやすさ」の情報？



2025年1月13日の日向灘地震

地面の上下動に伴う気圧変動

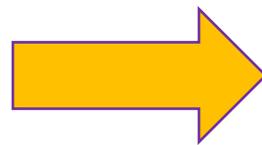


今後の展望



実現したい未来

一般家庭・店舗・企業
自治体官署などにセンサーが普及



災害事象のシグナルを
もれなく探知

To B

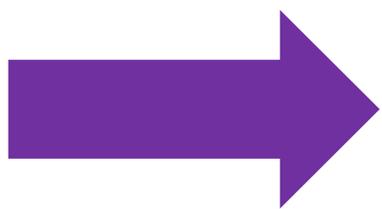
民間気象予報事業者との連携、
企業への情報提供

To C

一般市民向けのアプリ

To G

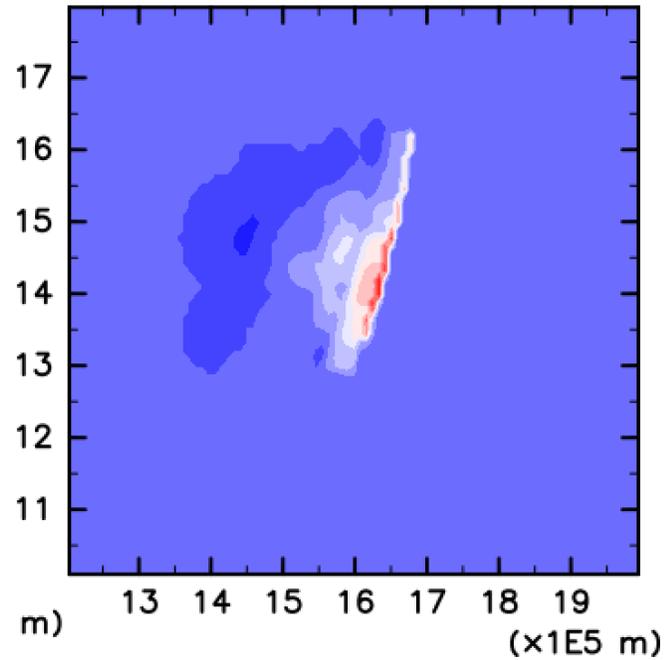
国（気象庁）など



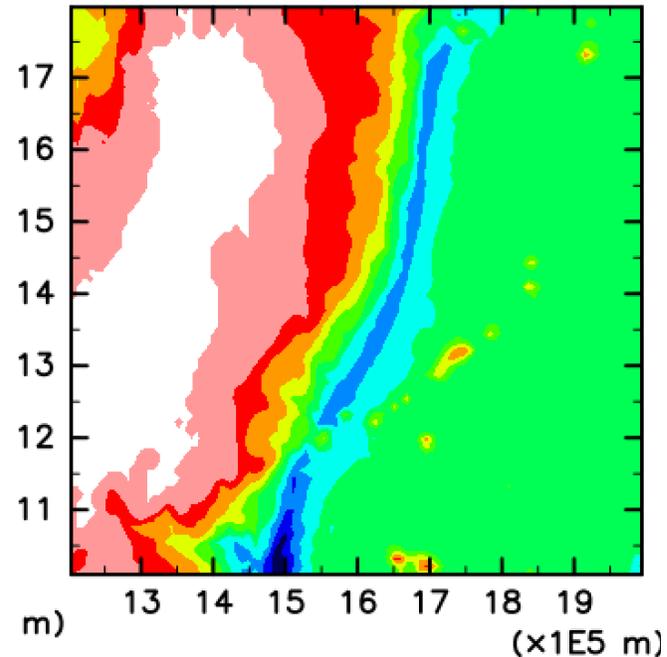
地域に密着した災害事象情報を
市民がいつでも入手できる社会へ

津波の早期警戒への応用可能性

final sea surface rise

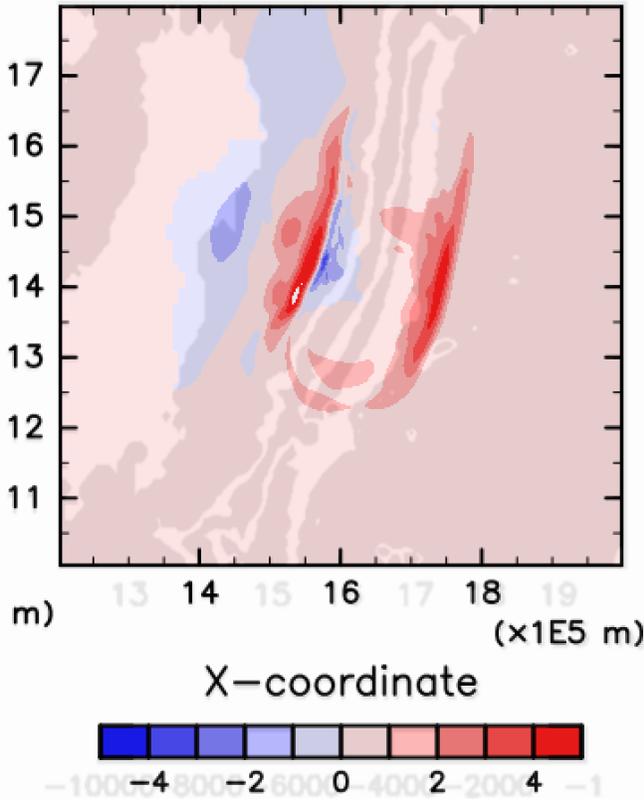


ocean depth

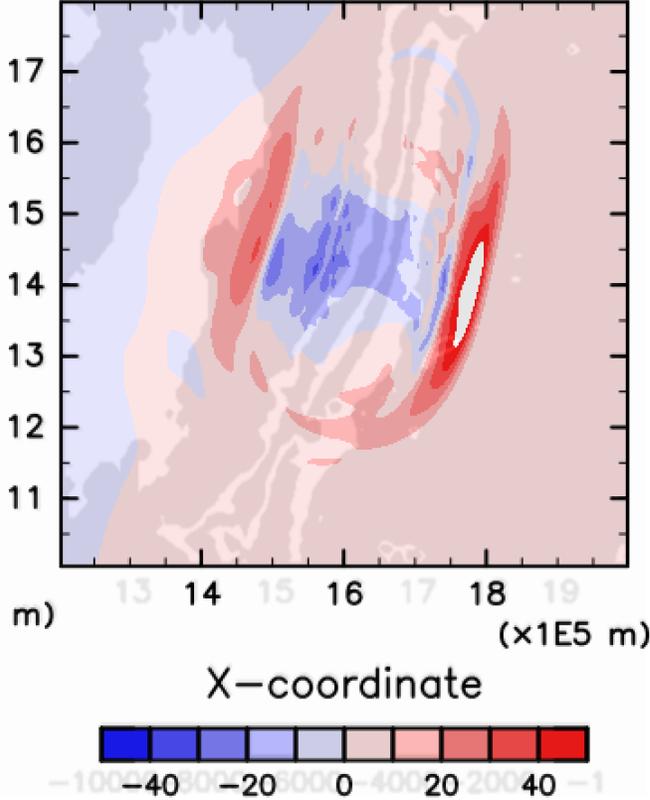


600秒後

津波 (海面高度)

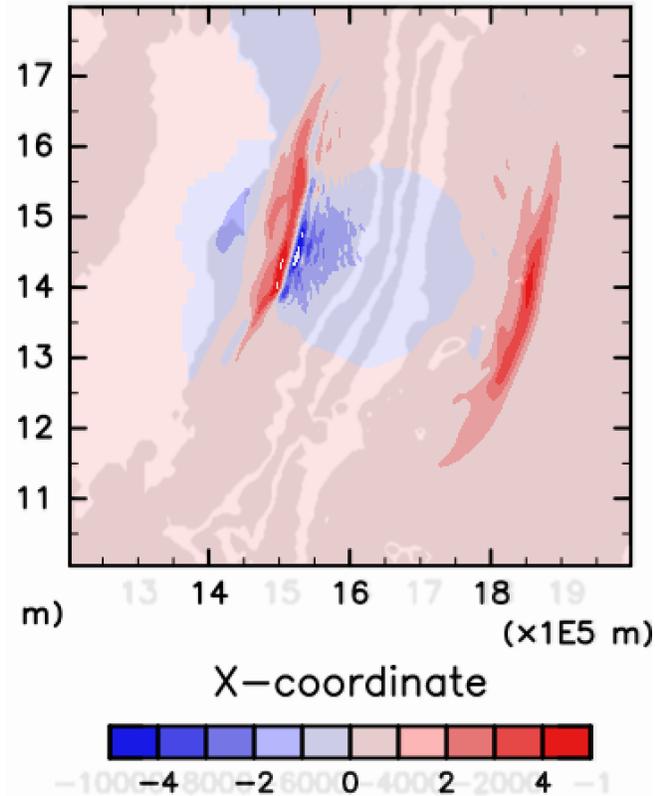


気圧 (海面深度)

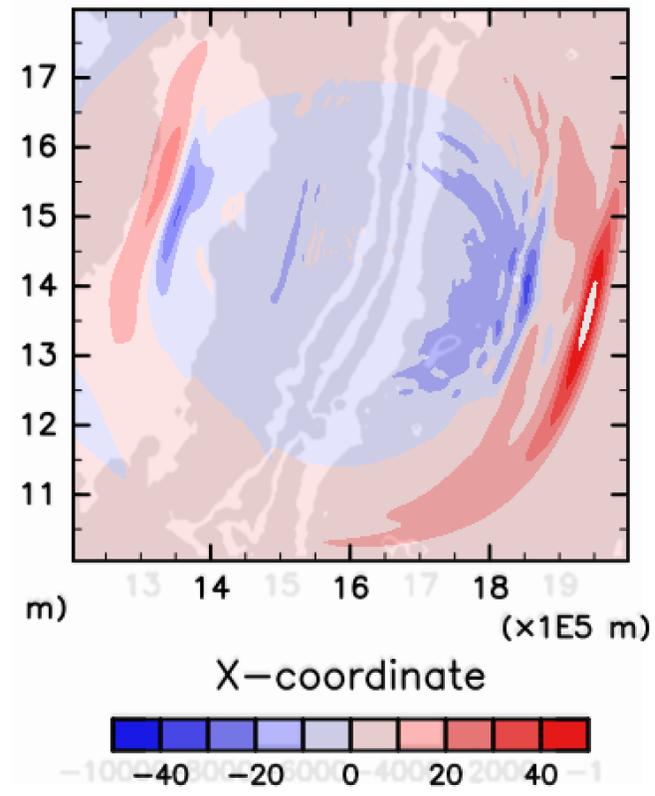


1000秒後

津波 (海面高度)

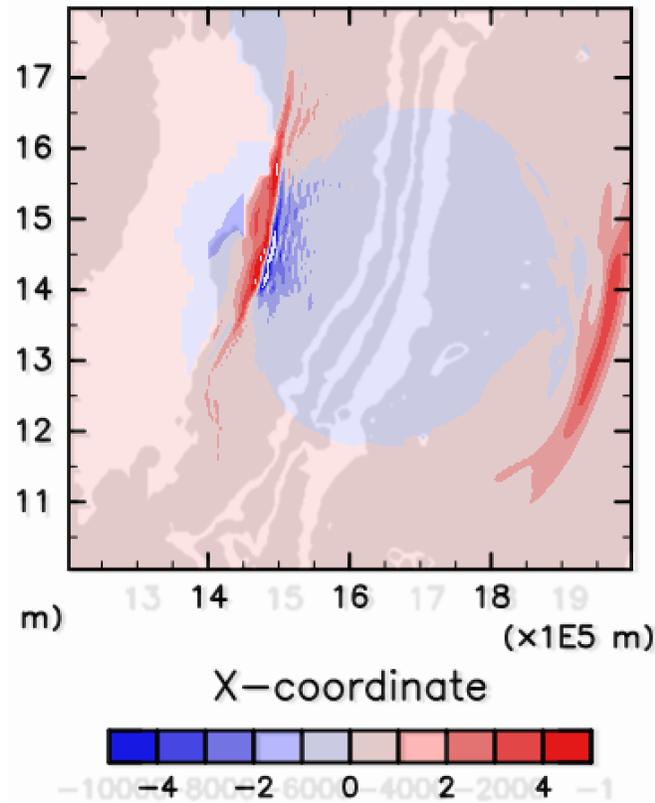


気圧 (海面高度)

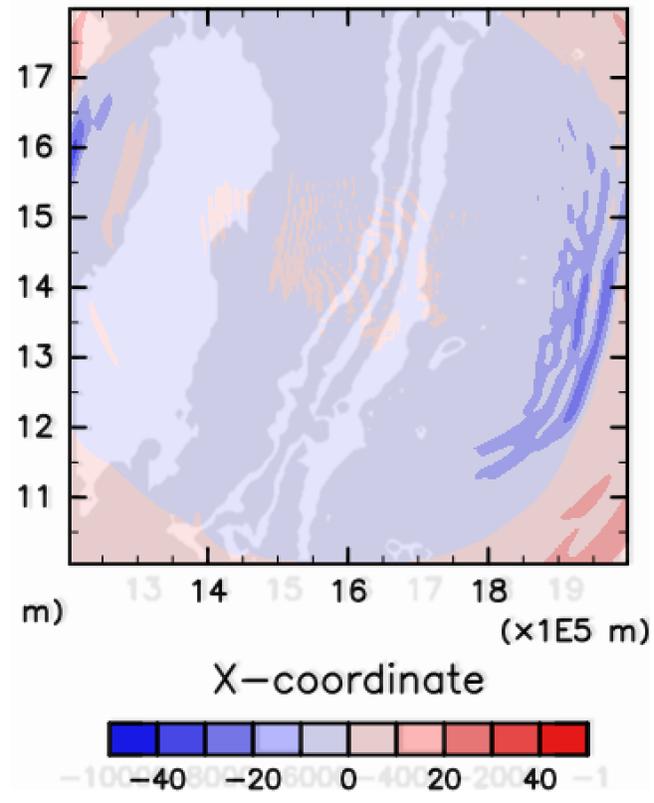


1500秒後

津波 (海面高度)



気圧



我々の課題：B to G以外を模索したい

トリリオン・センサー（1兆個のIoTセンサー）の仲間に！

MEMSチップ化も可能かもしれない（圧力計とマイクの間！）

我々が考案中以外の「**何らかの用途**」があるはず！

地域住民、自治体への B to C

学校、駅、コンビニ、自販機、交通信号、基地局などへの設置・・・

B to Bもあり得るか？ 新規建造物（建設業界・建設コンサル？）

インフラサウンドは大気中のリモートセンシング手段！

- ・ 圧力計タイプ：低周波センサー（数km～数1000 km）
- ・ マイクタイプ：高周波センサー（数km～数10 km）



全国・世界へインフラサウンドIoT観測網を広げ
「地球の声を聴く」近未来社会を創造！

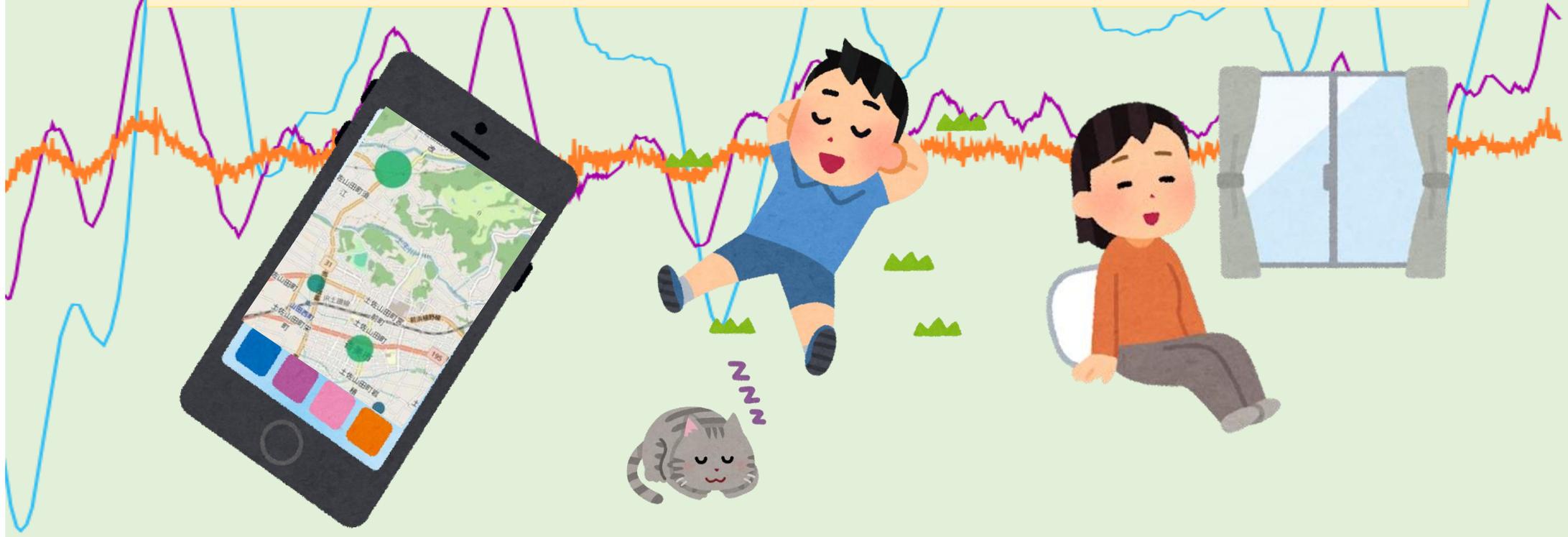
地域に1台、一家に1台、
重低音センサーが当たり前
役に立つ未来を！

一緒に世界を変える
共創事業者を求む！



「防災対策」の下地として日常は 自然のリズムを感じるデバイス

心地よい画像、音響に変換することも可能。
日頃から馴染んでいれば、異常時に自分で気づける。



ご清聴ありがとうございました。

Kyushu University

VISION 2030

総合知で社会変革を牽引する大学へ