

NICT光原子時計の不確かさを軽減を 目的とした測地観測

①

市川隆一

情報通信研究機構

電磁波標準研究センター

時空標準研究室

2022.12.19

各観測及びデータ提供で多数の機関・研究者の方にお世話になっております。本来は皆さんに共著をお願いするところですが、本発表では勝手ながら謝辞での記載とさせて頂いております。



今日の内容

2

- 🌐 はじめに
- 🌐 NICTの光原子時計開発
- 🌐 光原子時計と重力ポテンシャル変化
- 🌐 NICT光原子時計の不確かさ軽減のための測地観測・データ
- 🌐 データ共有について
- 🌐 まとめ

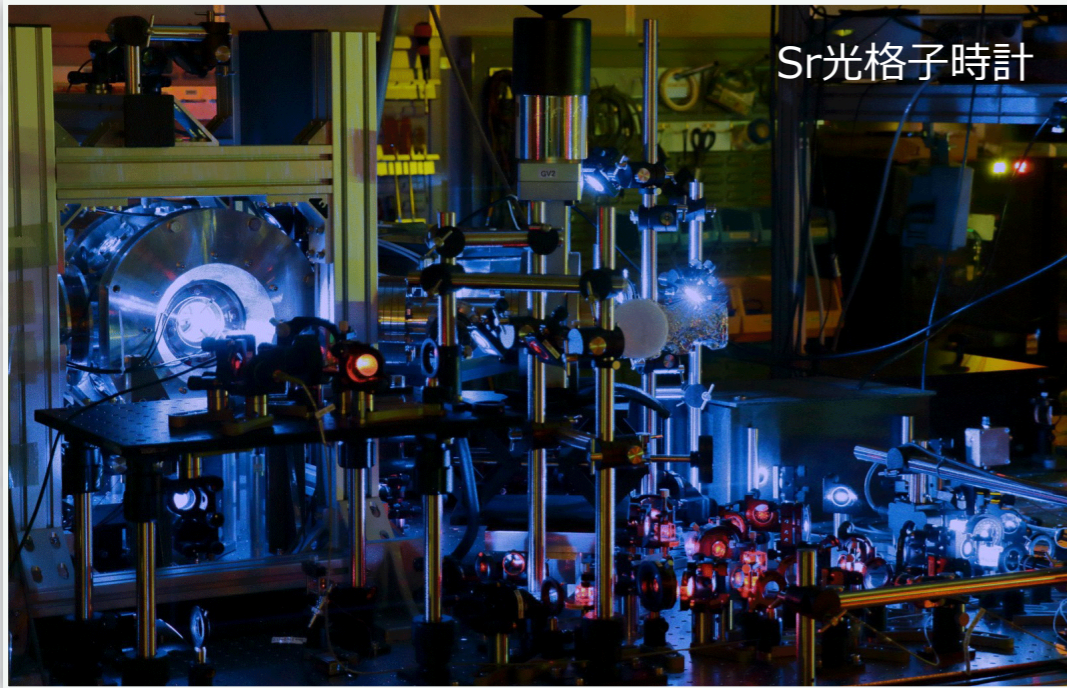
はじめに

3

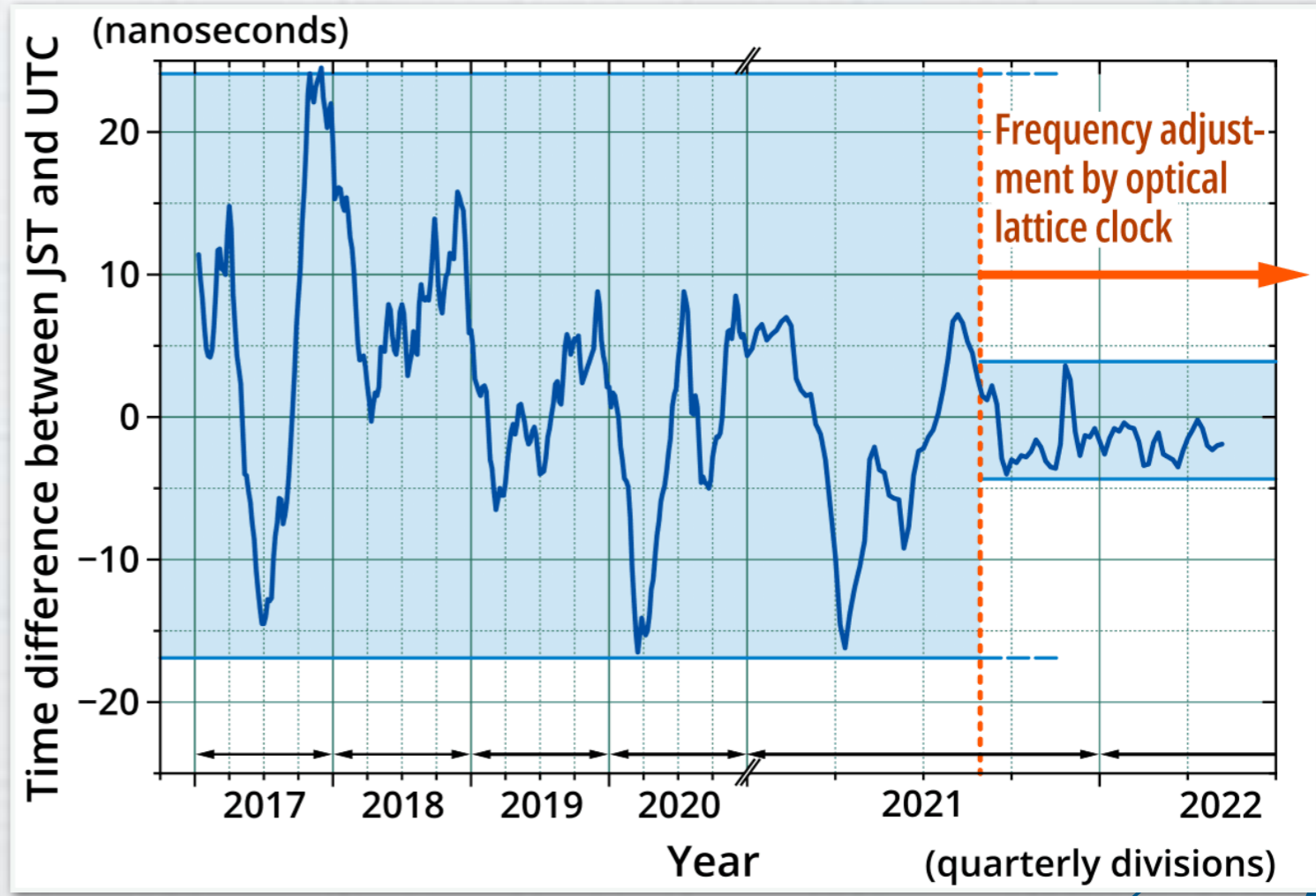
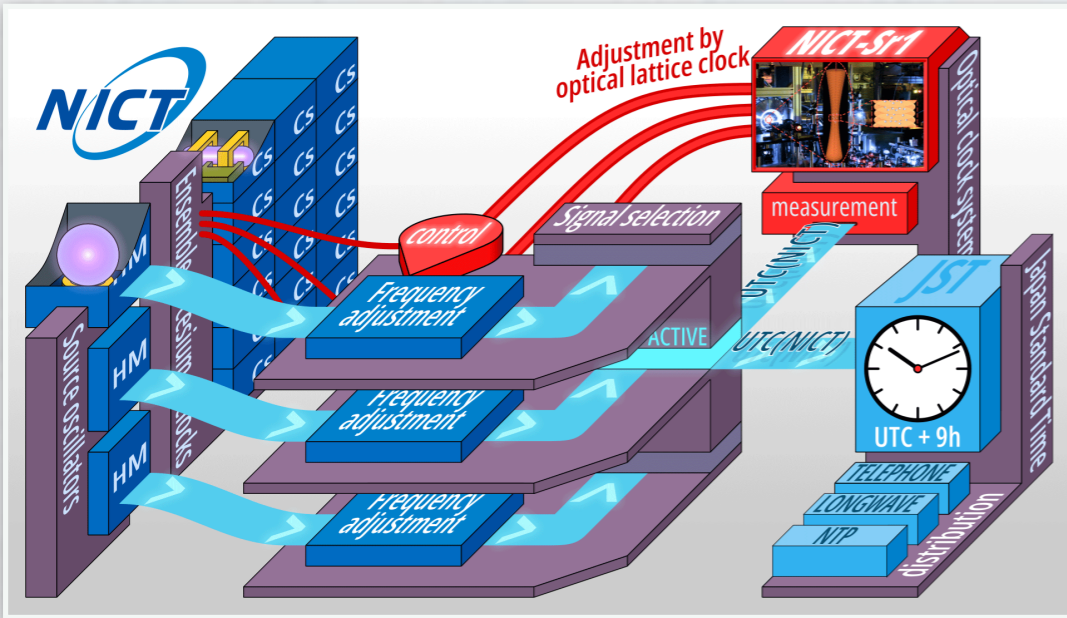
- 🌐 NICTでの光原子時計研究・開発
 - 🕒 2030年前後に想定される国際単位系の秒の定義改定(秒の再定義)に向けた光周波数標準器(光原子時計)の不確かさを低減する。
 - 🕒 高精度な周波数標準の測地センサとして光原子時計を利活用する。
- 🌐 不確かさ低減のために、光原子時計近傍での各種の測地観測が重要
 - 🕒 特に周波数変化を生じさせる重力ポテンシャルの変化量を定量的に把握する必要がある
 - 🌐 端的には地盤の上下変動

NICTの光原子時計開発

4

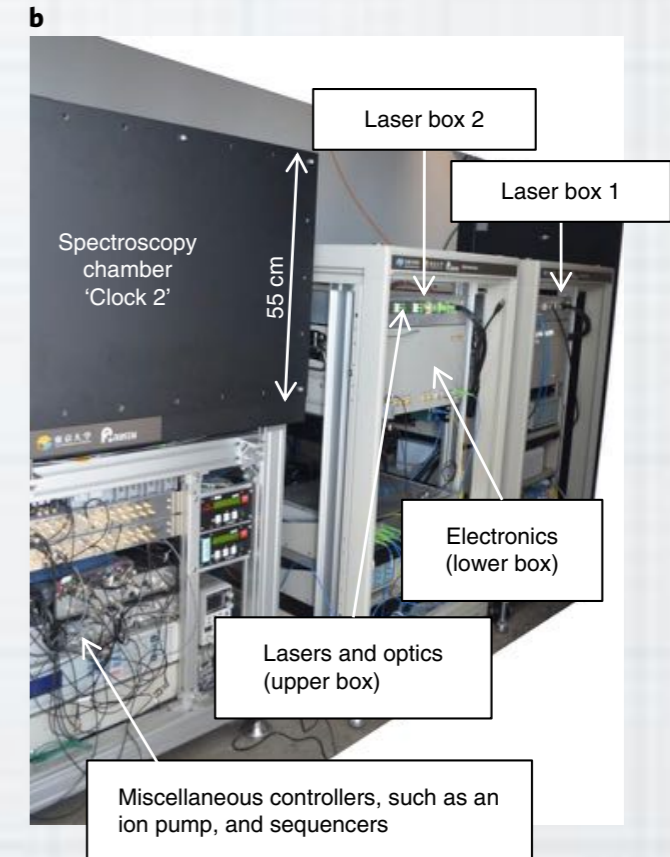
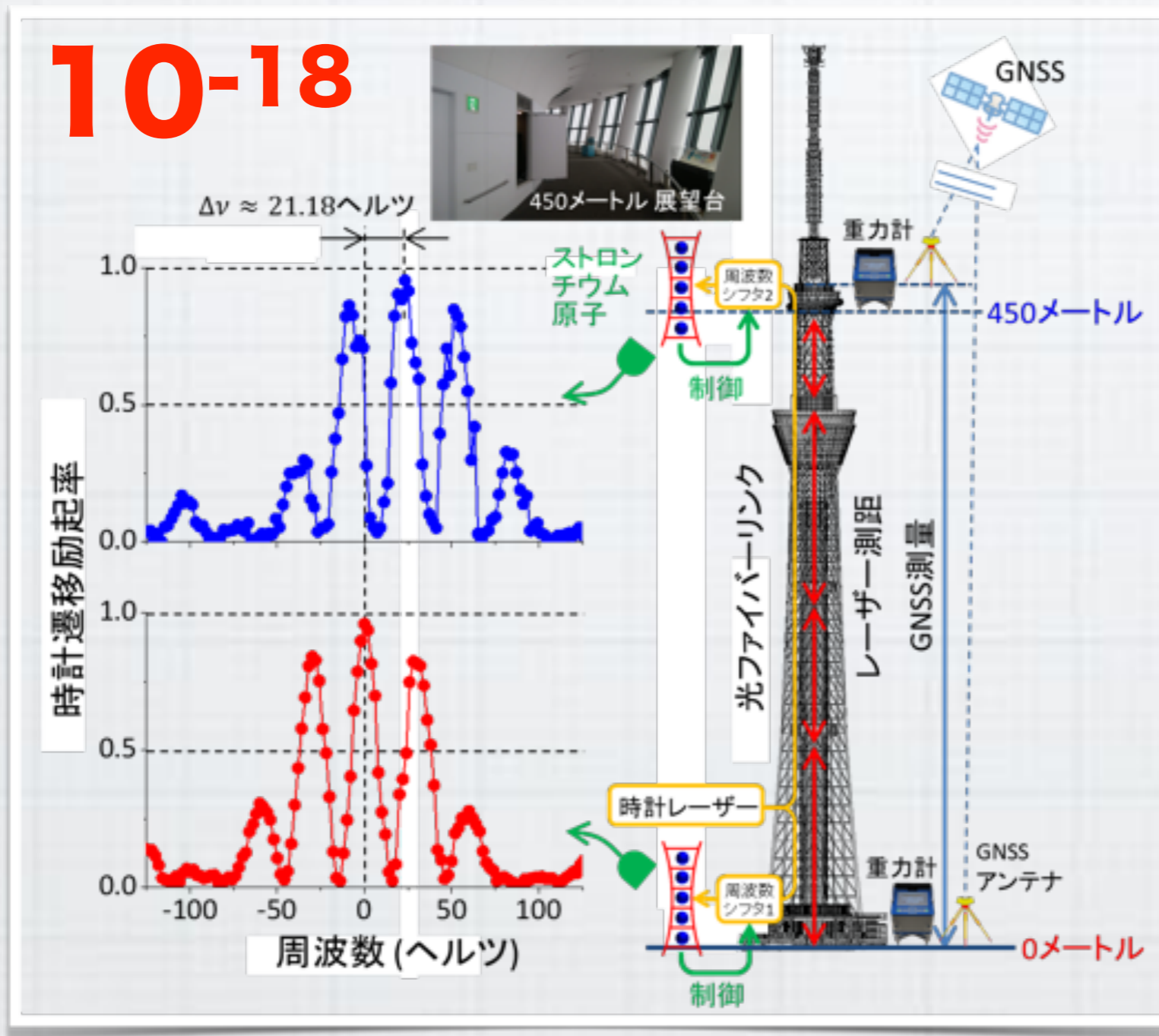


2022年6月9日プレスリリース
「世界初、国家標準時の維持に光格子時計を利用」
(<https://www.nict.go.jp/press/2022/06/09-1.html>)



光原子時計と重力ポテンシャル変化

5



可搬型Sr光格子時計

Takamoto et al. [2020]

<https://www.jst.go.jp/pr/announce/20200407/pdf/20200407.pdf>



地盤の上下変動をもたらす要因

6

	変化量(振幅)	想定される周波数変化	観測手法	備考
coseismic crustal deformation	数cm~数10cm/分	$10^{-18} \sim 10^{-17}$	GNSS	e.g. 3.11発生時の上下変動
postseismic crustal deformation	数mm~数cm/年	$10^{-19} \sim 10^{-18}$	GNSS、水準測量	e.g. 3.11巨大地震後の余効変動
solid earth tide	数cm~20cm/日	$10^{-18} \sim 10^{-19}$	歪計、伸縮計、重力計等	精度の良いモデルあり
ocean loading	0~3mm/年	10^{-19}	現時点では検知難しい	精度の良いモデルあり
non-tidal ocean loading	数mm~10mm/数日~年	$10^{-19} \sim 10^{-18}$	連続GNSS観測で見えるか見えないか	地域性あり~海岸近くで振幅大
atmospheric pressure loading	1.5~3mm/年	10^{-19}	現時点では検知難しい	大気圧の計測値で補正可能
Ground water	10~20mm/年	$\sim 10^{-18}$	観測井戸の水位変化を他のデータと比較...	地域性あり(定量的評価は簡単ではない)
Snow	10~20mm/年	$\sim 10^{-18}$	GNSS(Heki, 2001)	地域性あり

NICT光原子時計の不確かさを軽減のための測地観測・データ

7

- ① 水準測量(国土地理院)
- ② 相対重力観測(国土地理院、NICT、富士山研)
- ③ 絶対重力観測(極地研、京都大学、東京大学地震研究所)
- ④ GNSS連続観測(国土地理院、NICT)
- ⑤ 地下水の水位変化データ(東京都)

各観測及びデータ提供に深く
感謝いたします。



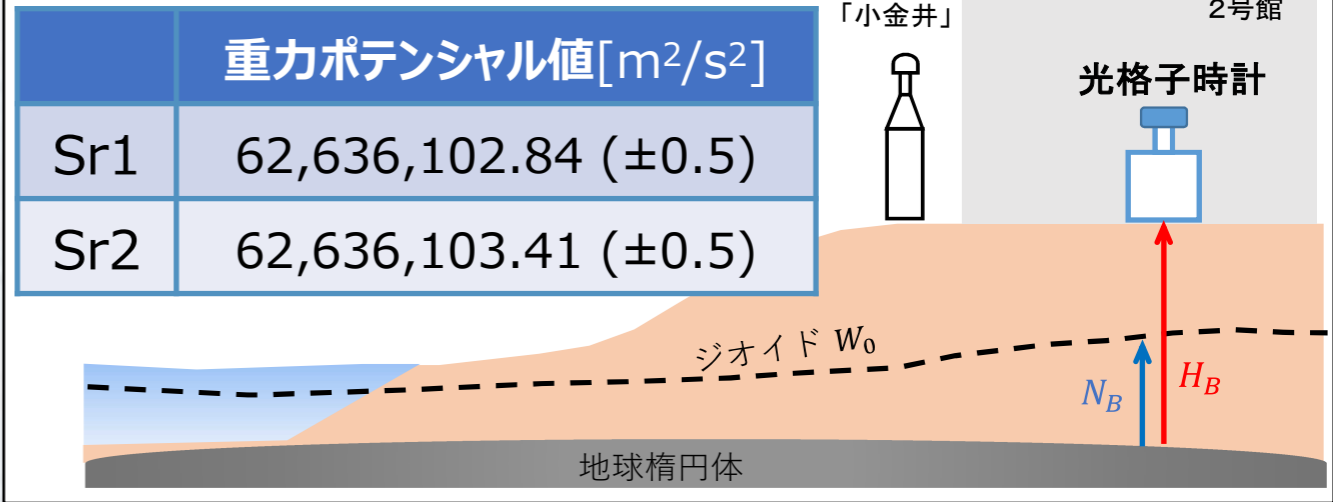
国土地理院による測地測量

8



$$W(P) = W_0^{IAG2015} - (H_B - N_B) \cdot \tilde{g}_B$$

- $W_0^{IAG2015}$: ジオイドの重力ポテンシャル (=62,636,853.40 [m^2/s^2])
- H_B : 光格子時計の楕円体高
- N_B : 光格子時計のジオイド高
- \tilde{g}_B : 光格子時計からジオイドまでの鉛直平均重力値
($\tilde{g}_B = g_{surface} + 0.424 \times 10^{-6} \times (H - N)$)



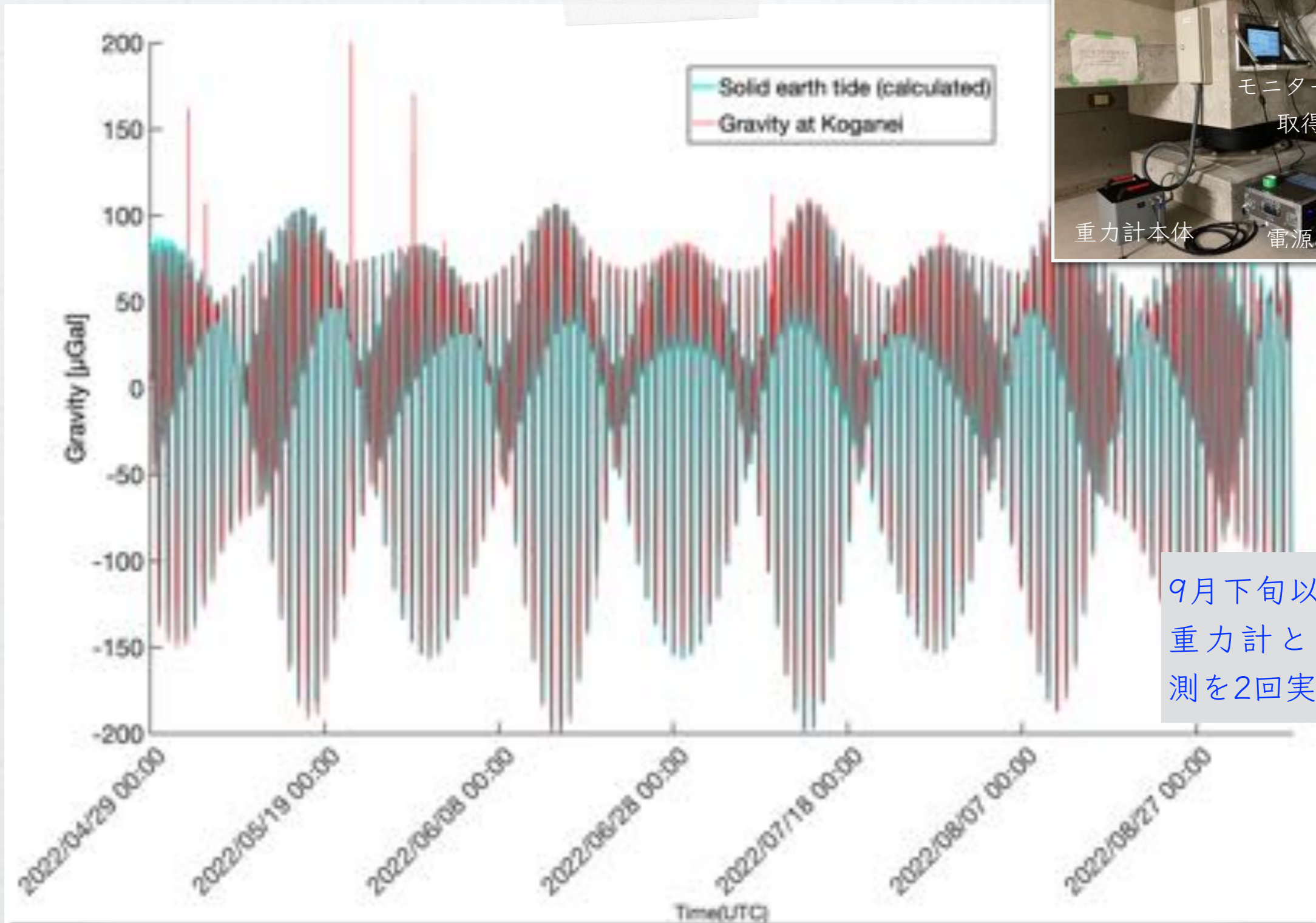
国土地理院による水準測量 及び相対重力測定 [2021年1月~4月]

国土地理院私信[2021]より
また、表中の重力ポテンシャル値は、JPGU2022予稿「測地学的手法に基づく光格子時計における重力ポテンシャル値の決定(中島他、2022)」より引用



NICTでの相対重力測定

9



9月下旬以降、絶対重力計との比較観測を2回実施



相対重力計の感度検定観測(富士山)

10

富士山5合目

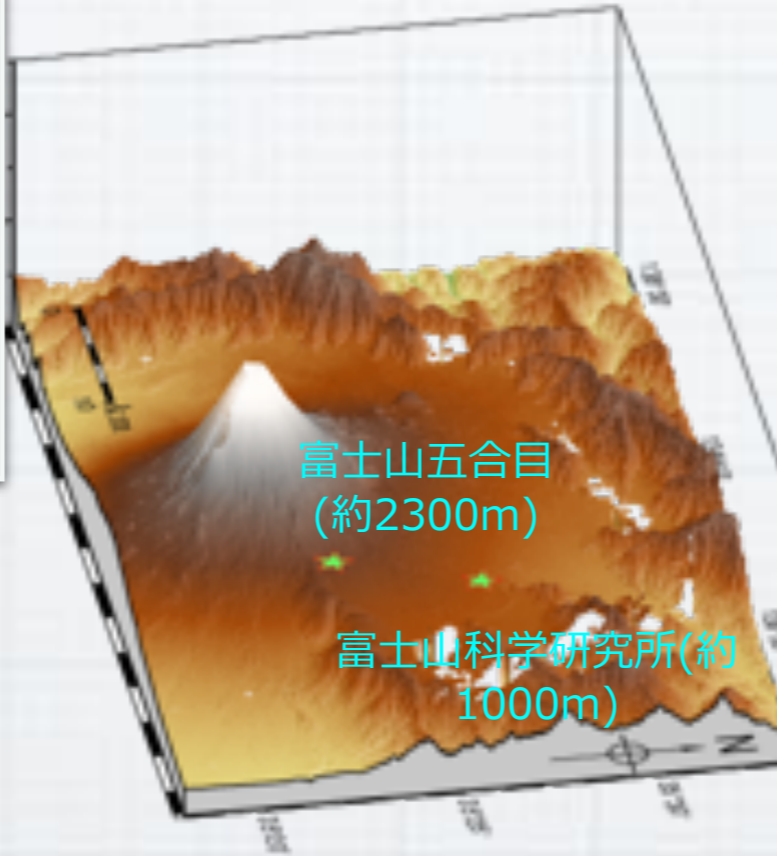


富士山科学研究所



富士山五合目
(約2300m)

富士山科学研究所(約
1000m)



今西さん@東大震研

本多さん@富士山研

富士山研
相対重力計

NICT重力計

休憩所内で観測



研究所内の重力観測室

東大震研
絶対重力計

241west

109east

NICT重力計



相対重力計の感度検定観測(石岡)

11

国土地理院石岡測地観測局

✓ 観測期間: 2022.11.21-25(※)
※21日に機器トラブル発生。実際のデータ取得は22日より25日まで。



13m VLBIアンテナ

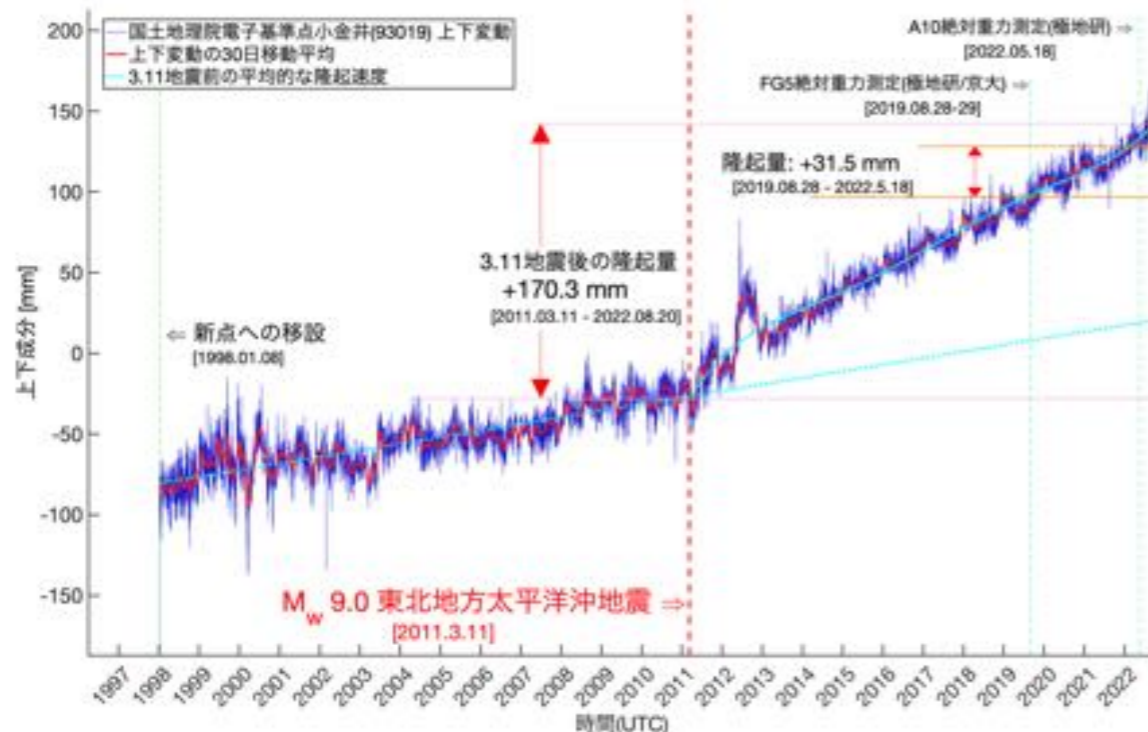
データ解析中

極地研による絶対重力測定

12

目的

- 相対重力計で計測される重力値の絶対値を知りたい
- 3.11地震の余効変動による重力変化を確認したい
 - ⊗ 3年間で約3cm



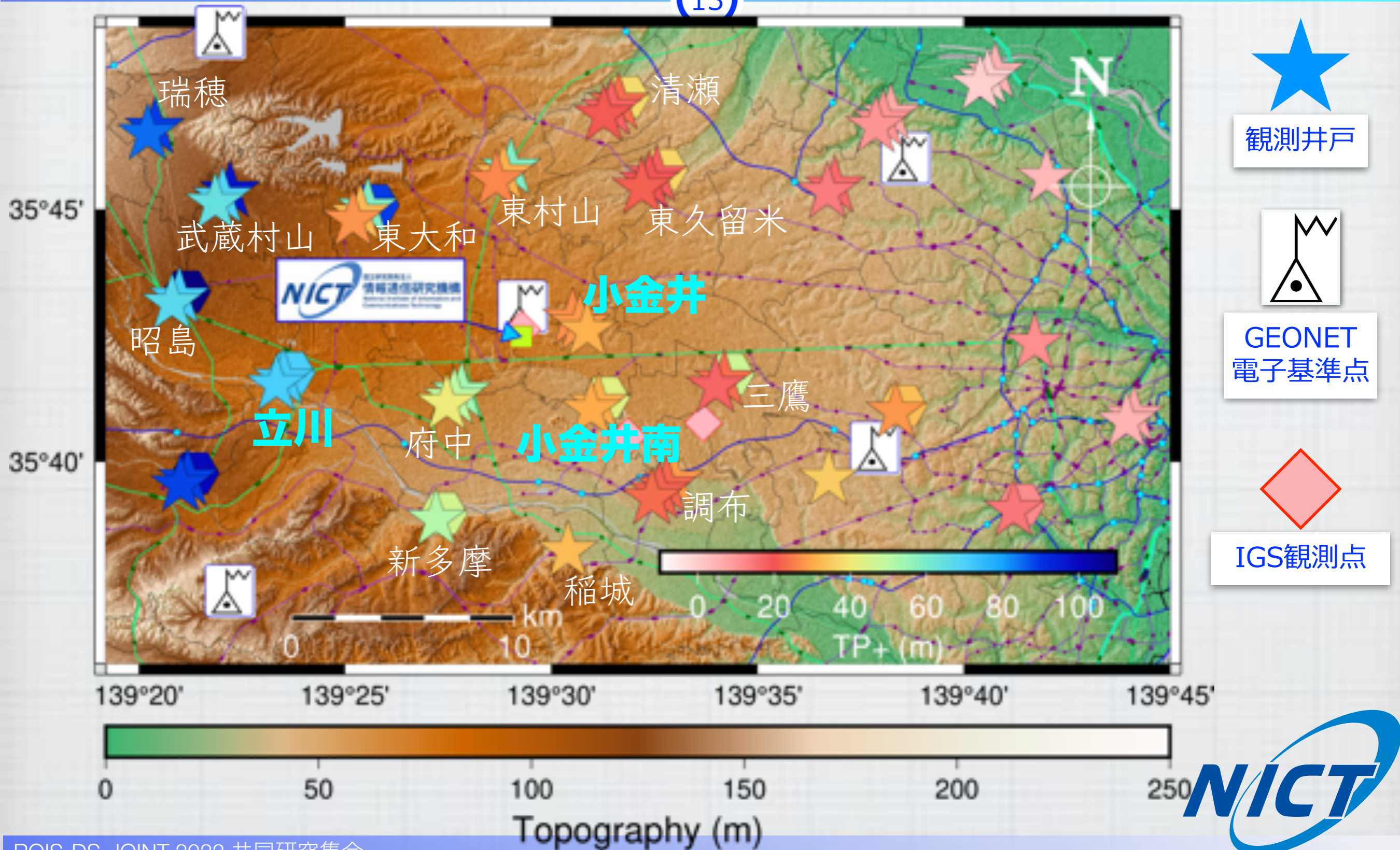
測定結果：-43.79 μGal

値はやや大きめだが、センスは合う。



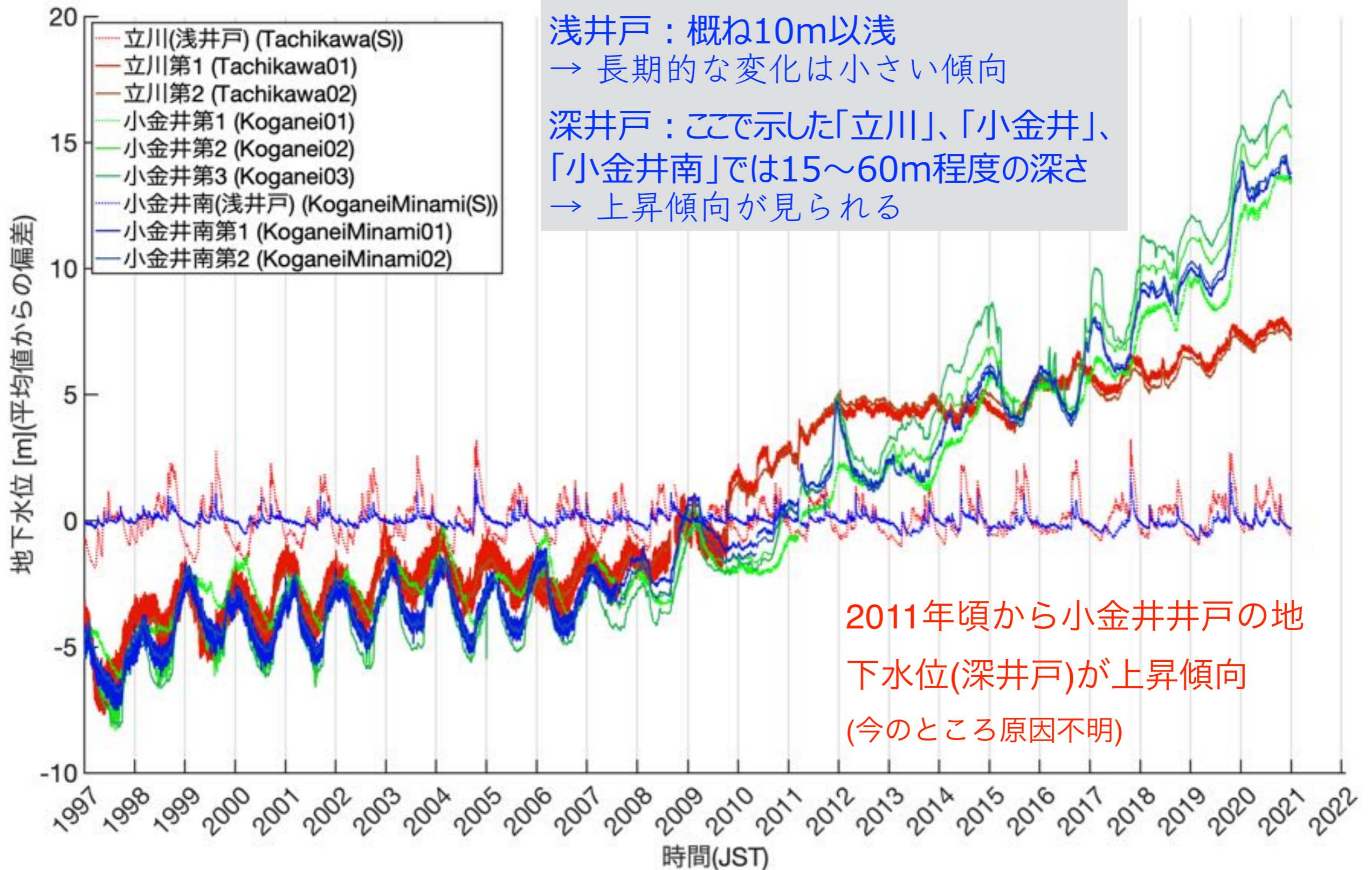
東京都による地下水観測

13



地下水観測～続き～




14





データ共有について

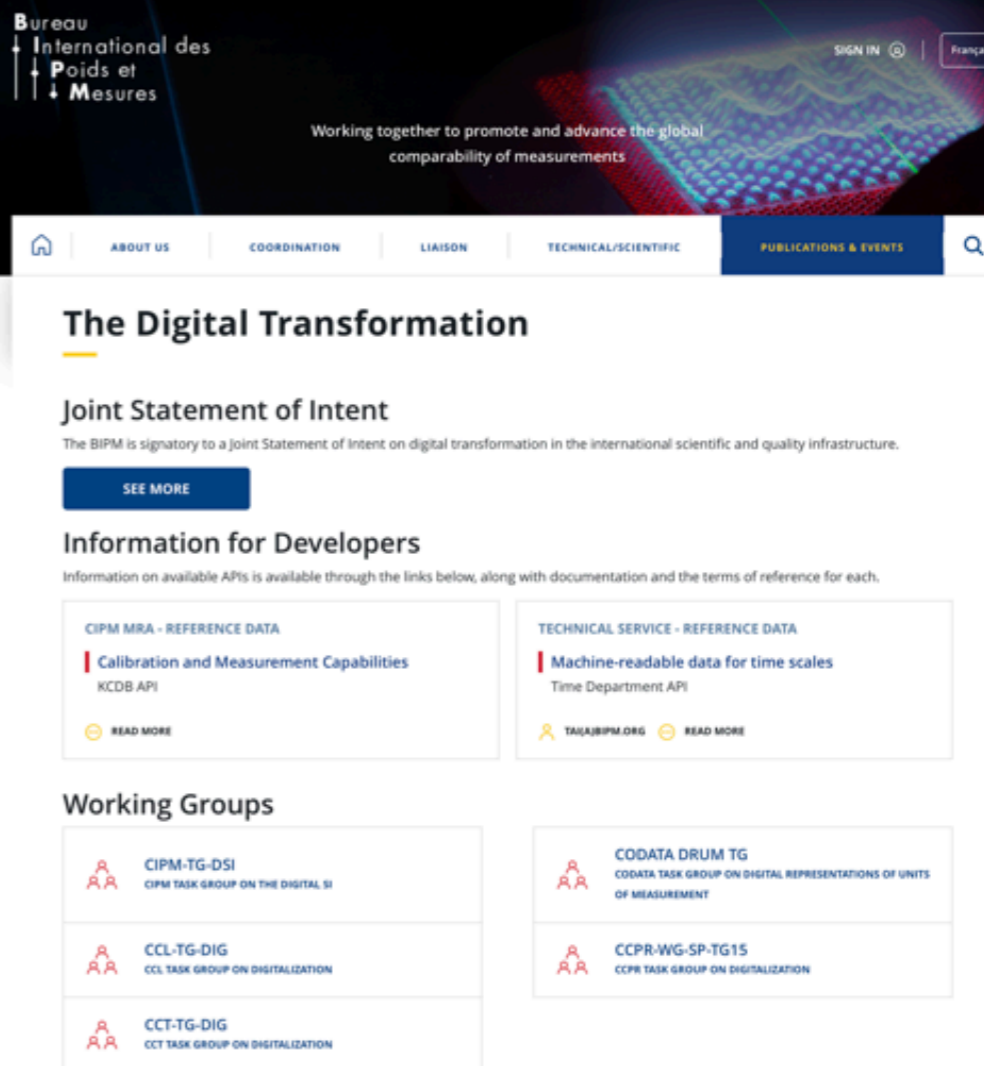
15

NICTの観測で取得している測地データ

-  GNSS
-  相対重力計
 -  原則としてこれらは公開可能なデータと考えている。

光原子時計のデータ

-  現状では光格子時計によって調整されたUTC(NICT)を国際度量衡局(BIPM)に定期的に提供。
-  元データの共有に関する議論はまだ。



Bureau International des Poids et Mesures

Working together to promote and advance the global comparability of measurements

ABOUT US | COORDINATION | LIAISON | TECHNICAL/SCIENTIFIC | PUBLICATIONS & EVENTS

The Digital Transformation

Joint Statement of Intent

The BIPM is signatory to a joint Statement of Intent on digital transformation in the international scientific and quality infrastructure.

SEE MORE

Information for Developers

Information on available APIs is available through the links below, along with documentation and the terms of reference for each.

CIPM MRA - REFERENCE DATA	TECHNICAL SERVICE - REFERENCE DATA
Calibration and Measurement Capabilities KCDB API	Machine-readable data for time scales Time Department API
READ MORE	TALABIPM.ORG READ MORE

Working Groups

CIPM-TG-DSI CIPM TASK GROUP ON THE DIGITAL SI	CODATA DRUM TG CODATA TASK GROUP ON DIGITAL REPRESENTATIONS OF UNITS OF MEASUREMENT
CCL-TG-DIG CCL TASK GROUP ON DIGITALIZATION	CCPR-WG-SP-TG15 CCPR TASK GROUP ON DIGITALIZATION
CCT-TG-DIG CCT TASK GROUP ON DIGITALIZATION	

<https://www.bipm.org/en/digital-transformation>

DXの動きと今後連携するのかも…?



まとめ

16

- 🌐 光原子時計の不確かさを軽減のため、影響を及ぼす可能性のある地盤上下変動を把握するために各種測地観測を実施
 - 🕒 水準測量、GNSS、相対重力計、絶対重力計、及び地下水水位変化の各データを突き合わせて調査中
- 🌐 NICT相対重力計の性能評価のため感度検定を実施
- 🌐 光原子時計に関してデータ共有の動きはまだ無いが、今後測地データとの連携が出てくる可能性はあるかも(私見)。

謝辞

17

- 国土地理院にはNICT小金井本部での水準測量・相対重力測定を実施頂きました。
- 国立極地研究所には同本部での絶対重力測定を実施頂きました。
- 富士山科学研究所の本多氏には観測で様々な便宜をはかって頂きました。
- 富士山観測での比較で使わせて頂いた絶対重力計のデータは、東大震研今西氏の観測によるものです。
- 富士山観測キャンペーンの企画・準備では京大風間氏にお世話になりました。
- 富士山五合目休憩所の利用では山梨県総合管理センターに便宜をはかって頂きました。
- 石岡観測局での観測実施及び絶対重力計データ等の提供について、国土地理院に深く感謝します。

