

*Closing ceremony of the Kashima 34 meter telescope, 3 October 2020*

# 宇宙測地学：その始まりと最先端

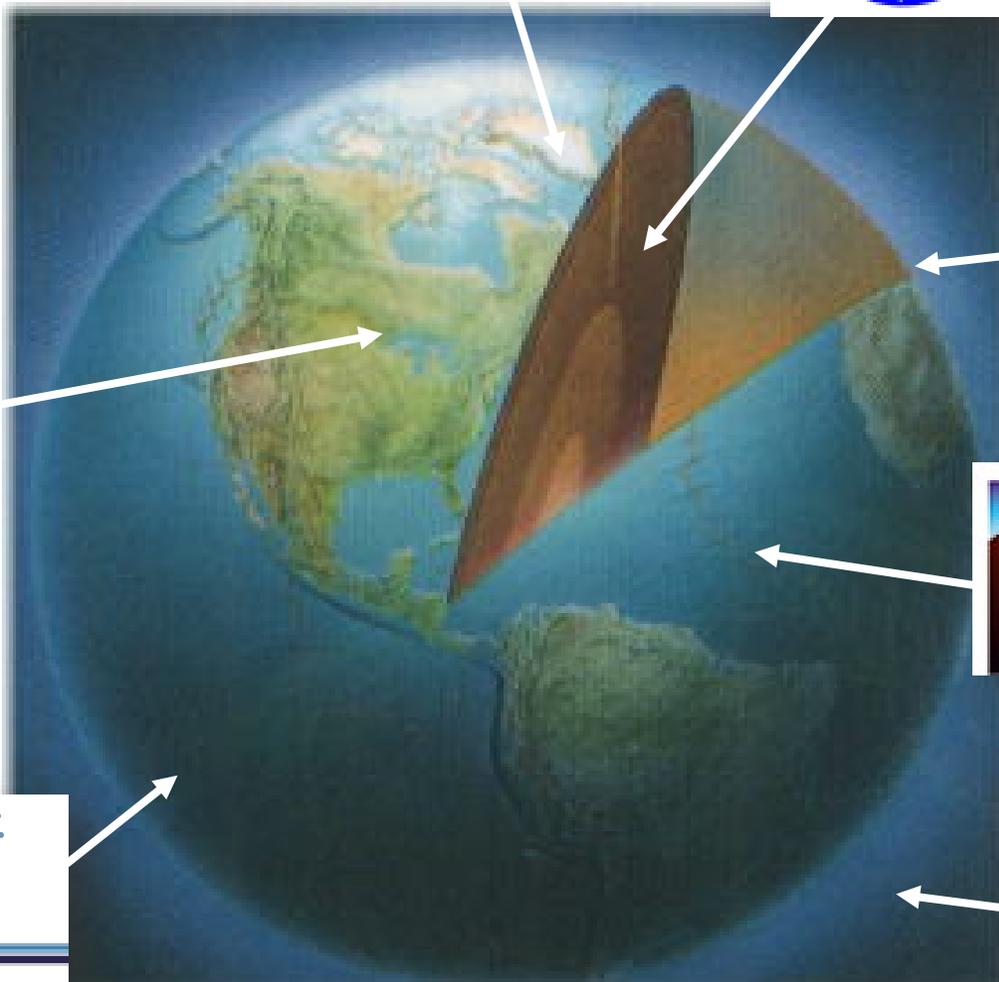


日置幸介 北海道大学理学研究院地球惑星科学部門

「地球物理学」の研究対象



**測地**  
(地球物理に必要な  
基準系を与える)



# 測地学は何を測る？

地球の形、重力、回転



伊能忠敬 (1745-1818)



測地学以後

大日本沿海輿地全図

# 地図をつくる 測地学以前

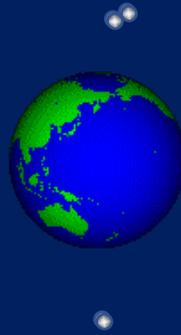


Gyoki (668-749)



# 宇宙時代の測地学：宇宙測地学

精度が上がると時間変化が見える



# ウェゲナーの大陸移動説

Continental Drift: A. Wegener (1912)



実際には海底と大陸が一緒に動く：プレート運動

Continents move together with ocean floors: Plate motion

LA HERDIKE ENTERPRINSE FAICT PAR LE SIGNEVR DRAECK D'AVOIR CIRQVIT TOVTE LA TERRE

La vraie description du voyage du s<sup>r</sup> françois draeck  
Chevalier lequel estant acompaigné de cinq navires deux  
desquel il oulra un aultre sen retourna et la quatre  
fuit peris il partit dang<sup>r</sup> Le 13 deembre 1577 passa  
oultre et fit le circuit de toute la terre et retourna audict  
royaume Le 26<sup>e</sup> septembre 1580

TERRA ART NO  
VA  
GROEN LAN  
premierement descouvert par le siegneur draeck  
saint julian 1579 fut le sig<sup>r</sup> couronne roy  
par les habitans dudit pays deux du siegneur

測地学以前



la magnif<sup>ic</sup> reception du roy des moluques  
faicte au sig<sup>r</sup> draeck le faisant tirer au port  
par quatre de ses galeres et luy mesme ostoyal  
des assistans dudit draeck et prenoit grand  
plaisir a oïr la musique

en que l'on peut voir les terres  
mises au jour par le siegneur draeck  
le 13 deembre 1577 et la route  
qu'il a faite par le monde  
a cette époque par le dict siegneur  
qui est le 26<sup>e</sup> septembre 1580

Carte venue et corrigee par le dict siegneur draeck

l'aveugle description du navire du  
dict siegneur draeck esthonne et hurtant contre  
le rock le 20 deembre 1580  
et la fin par la grace de dieu fait  
le 26 de septembre 1580

# プレート運動の直接計測の歴史

## 大陸移動説（大正時代）

ウェゲナー「大陸と海洋の起源」 1915

大陸の海岸線の形状、古生物、氷河跡の分布

## 日本における直接計測の試み（昭和初期）

天文測量による飛島の計測 1928

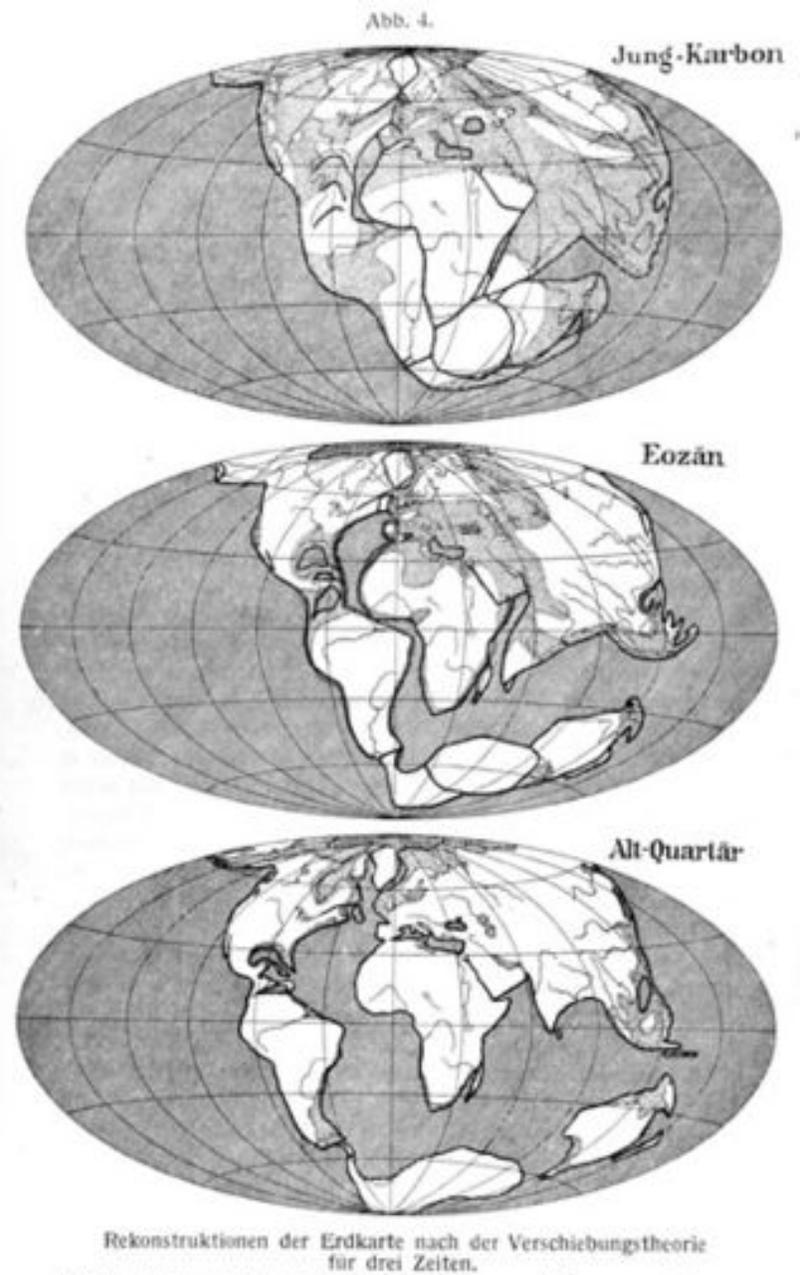
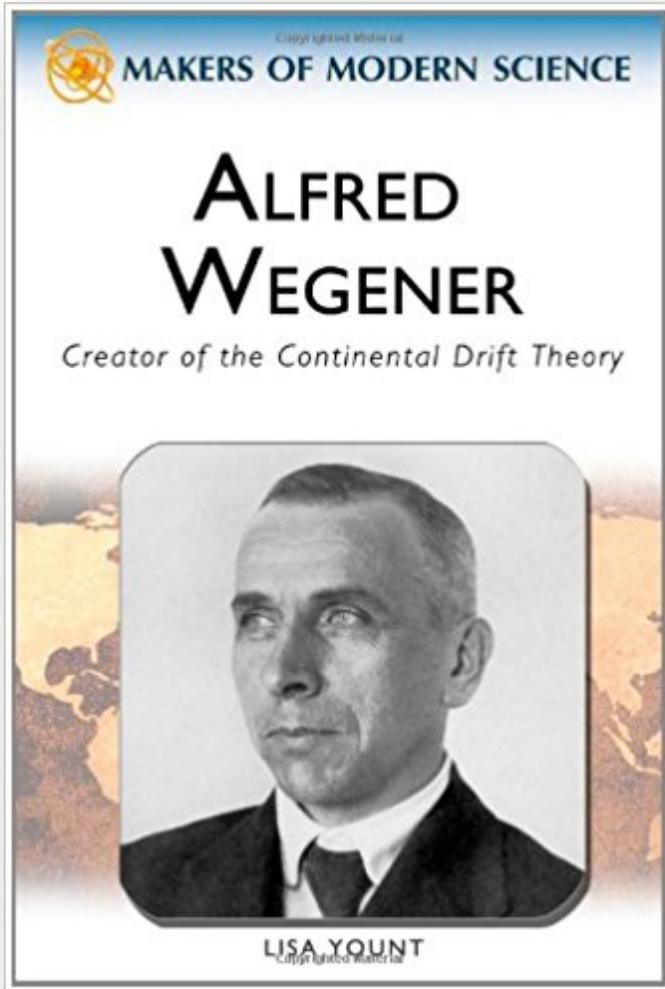
寺田寅彦博士の日本海拵大仮説 1927

## 宇宙技術を用いた国際観測で直接計測（昭和末期）

超長基線電波干渉法(VLBI) 1985

鹿嶋のパラボラアンテナ





学会発表が1912年、出版が1915年  
Talk in 1912, Published in 1915 (ver.1)

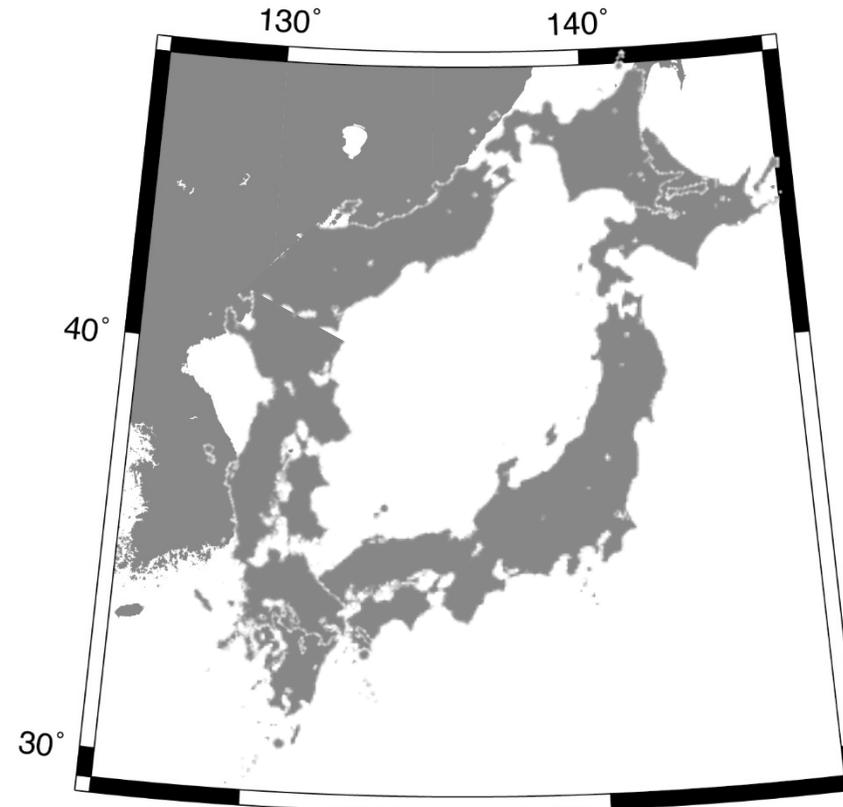
大陸と海洋の起源第4版より  
From "Die Entstehung der Kontinente und Ozeane" Ver.4 (1929)

# 寺田寅彦の日本海拡大仮説 (1927)



寺田寅彦 (1878-1935)

物理学者、東京大学地震研にも所属、  
科学エッセイで有名



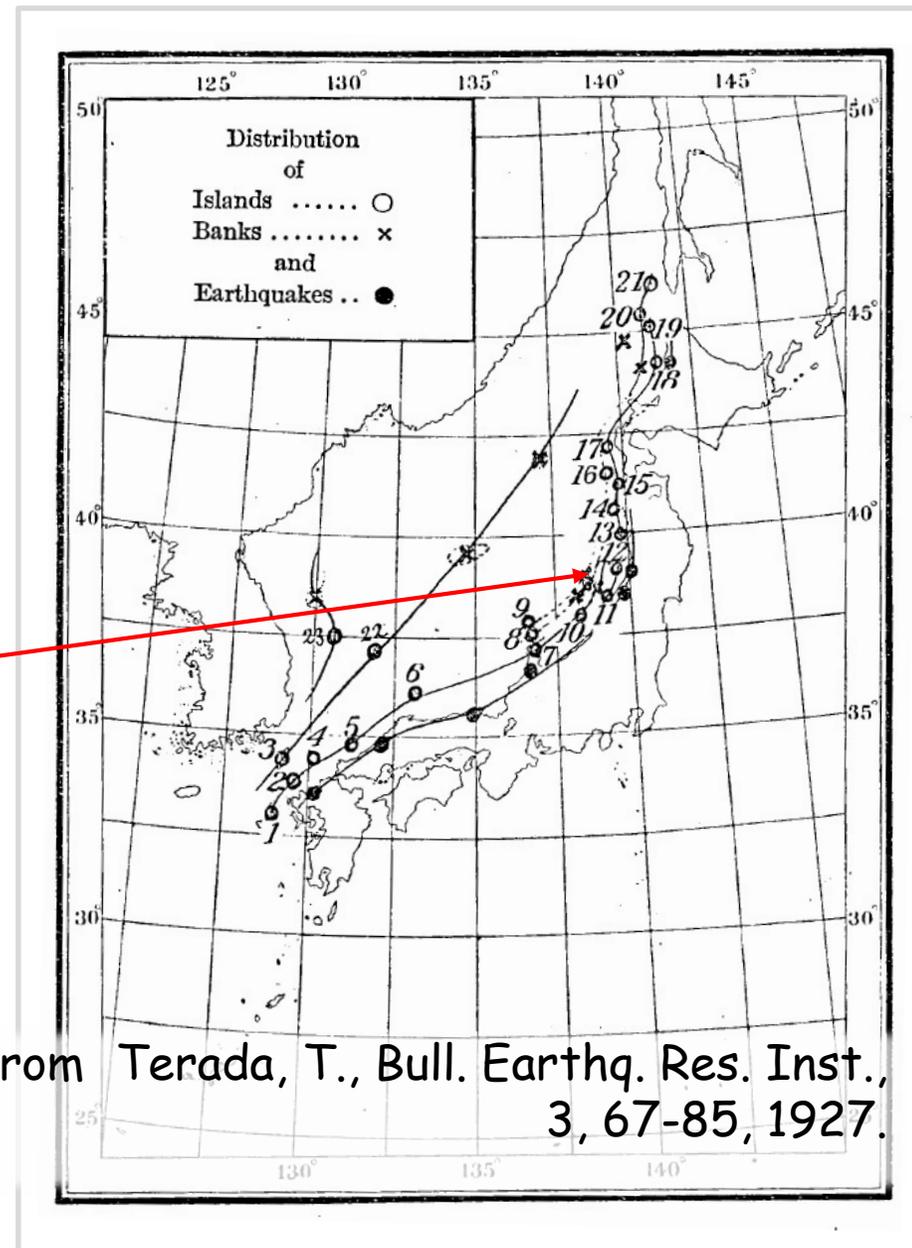
この説は正しいが、現在進行形ではなく1500万年前  
に終わっていることが古地磁気学からわかっている  
(e.g. Otofuji et al., 1994)

彼は拡大が現在進行中で  
検出可能と考えた



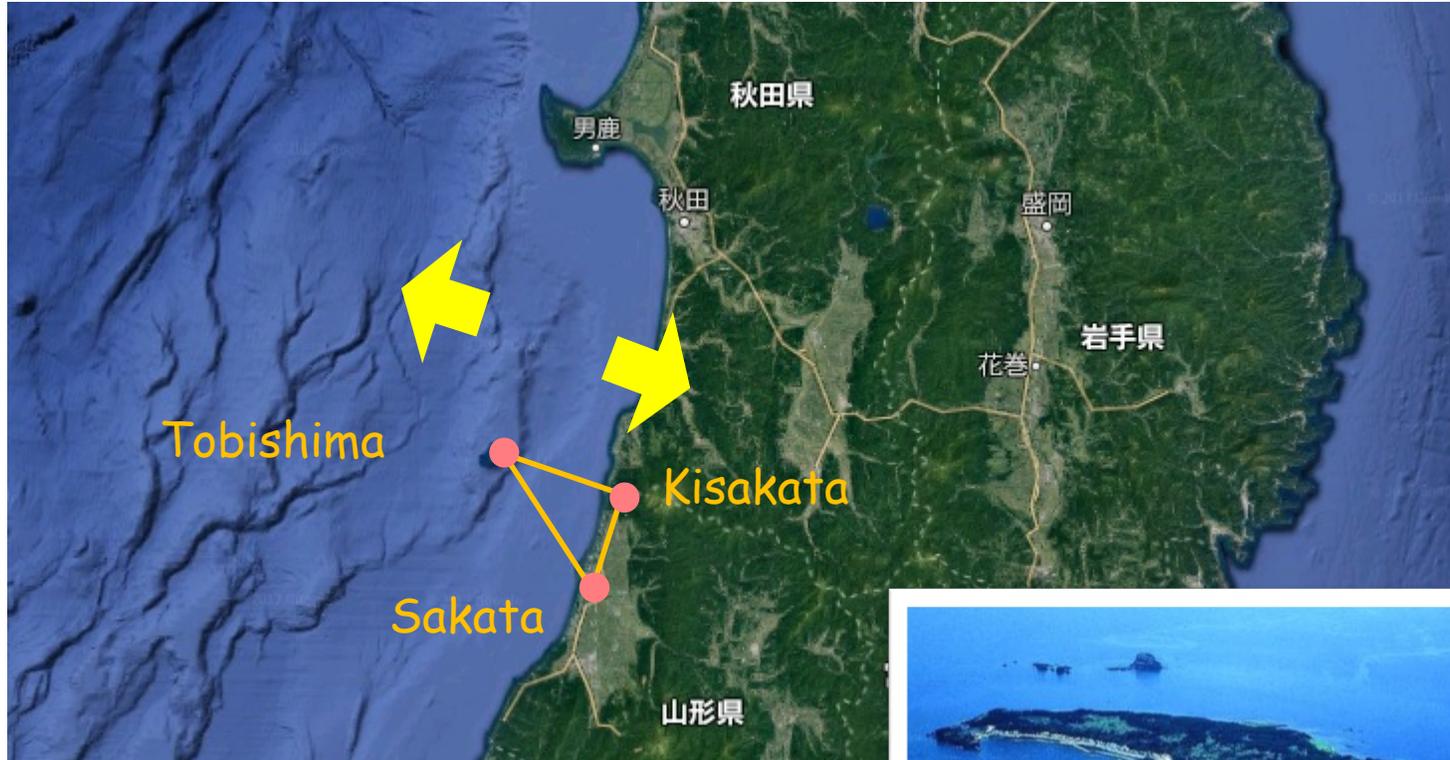
飛島  
(Flying Island)

拡大に「取り残された」  
島々の一つ



# 飛島と東北地方日本海沿岸の距離変化

## Extension of the distance between islands and the coast



寺田博士はなぜ日本海の拡大が当時の  
技術で測れると信じたのか？

1922.701

# Die Entstehung der Kontinente und Ozeane

Von  
Dr. Alfred Wegener  
o. ö. Professor der Meteorologie und Geophysik  
an der Universität Graz

Vierte umgearbeitete Auflage

Mit 63 Abbildungen



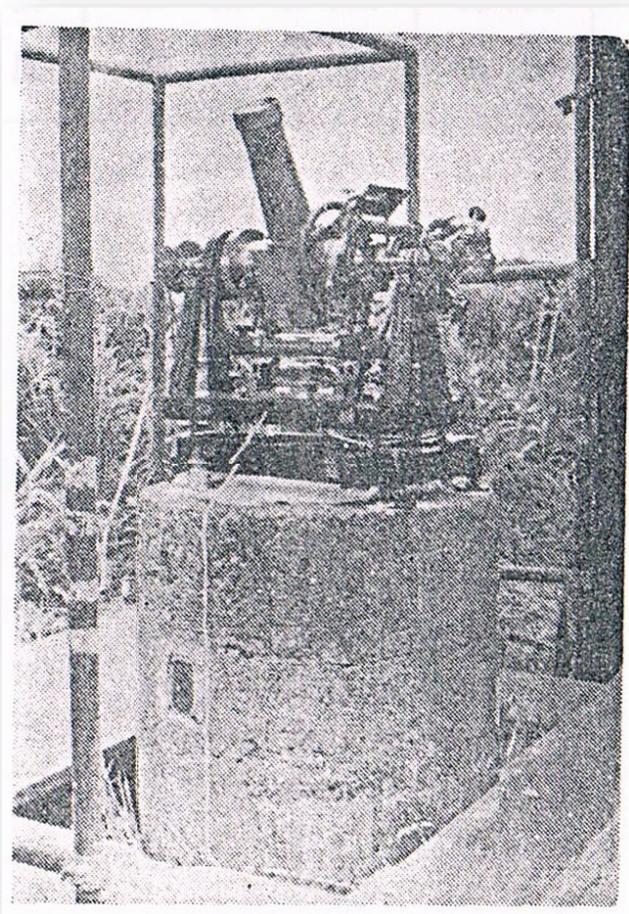
Braunschweig  
Druck und Verlag von Friedr. Vieweg & Sohn Akt.-Ges.  
1929

1922-1927の経度計測の結果からウェゲナー(1929)  
は "Greenland is moving **36 meters per year** westward relative to  
Europe..."と書いている

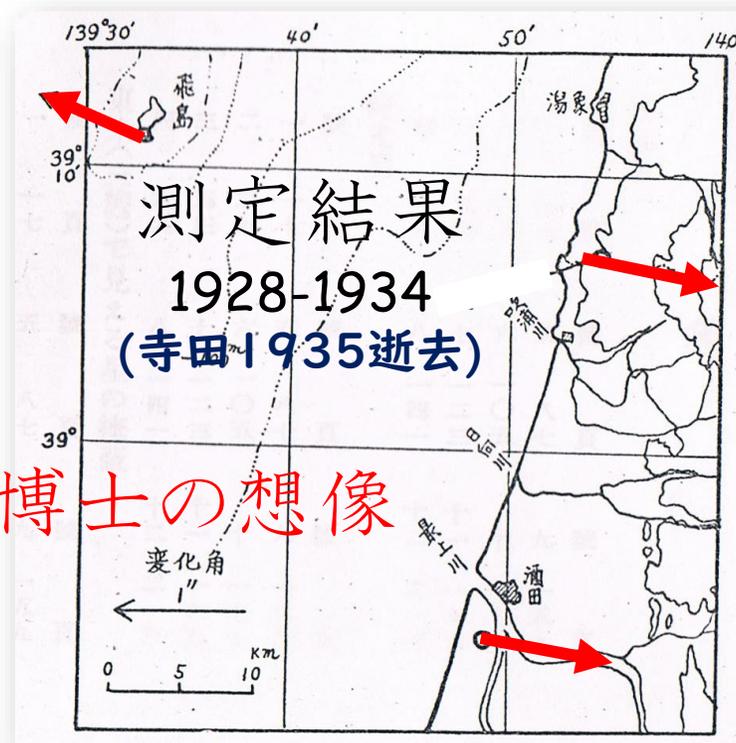


日本では1928に早くも飛島の測量開始

# 天文測量1928-1934と三角測量1934-1954



天文測量と三角測量の結果は不一致



寺田博士の想像

宮地政司、大陸移動と飛島の観測、  
天文月報、第28巻、第1号、1935.

奥田豊三、壇原毅、大塚義徳、飛島の測地並びに天文位置の再測、測地  
学会誌、第1巻、第2号、42-44, 1955.

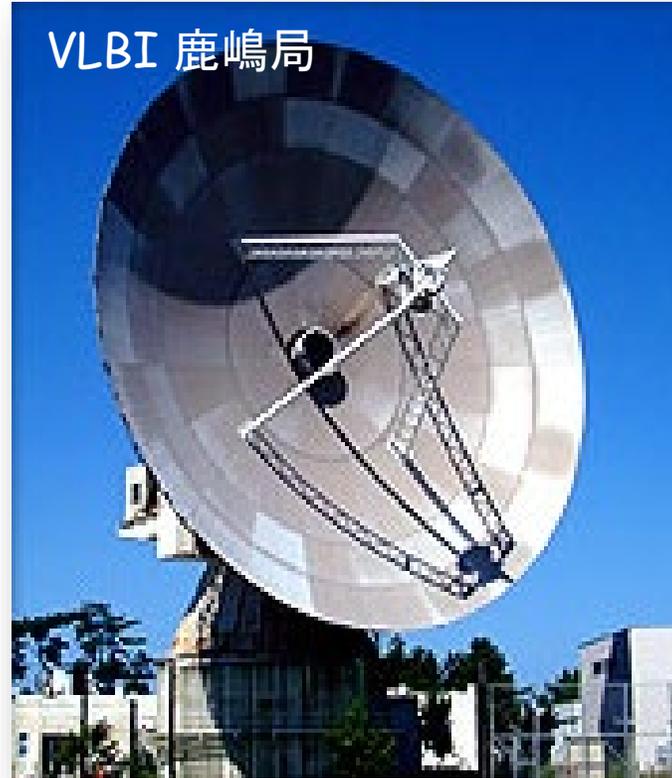
秋田県にかほ市象瀉三崎山  
Misaki-yama, Kusakata, Nikaho-city



経緯度観測点 昭和三年八月 文部省測地学委員会

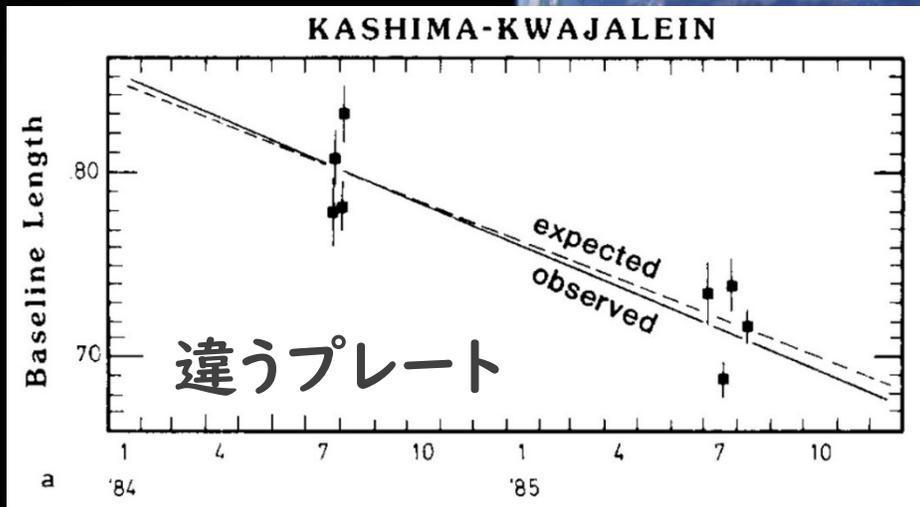
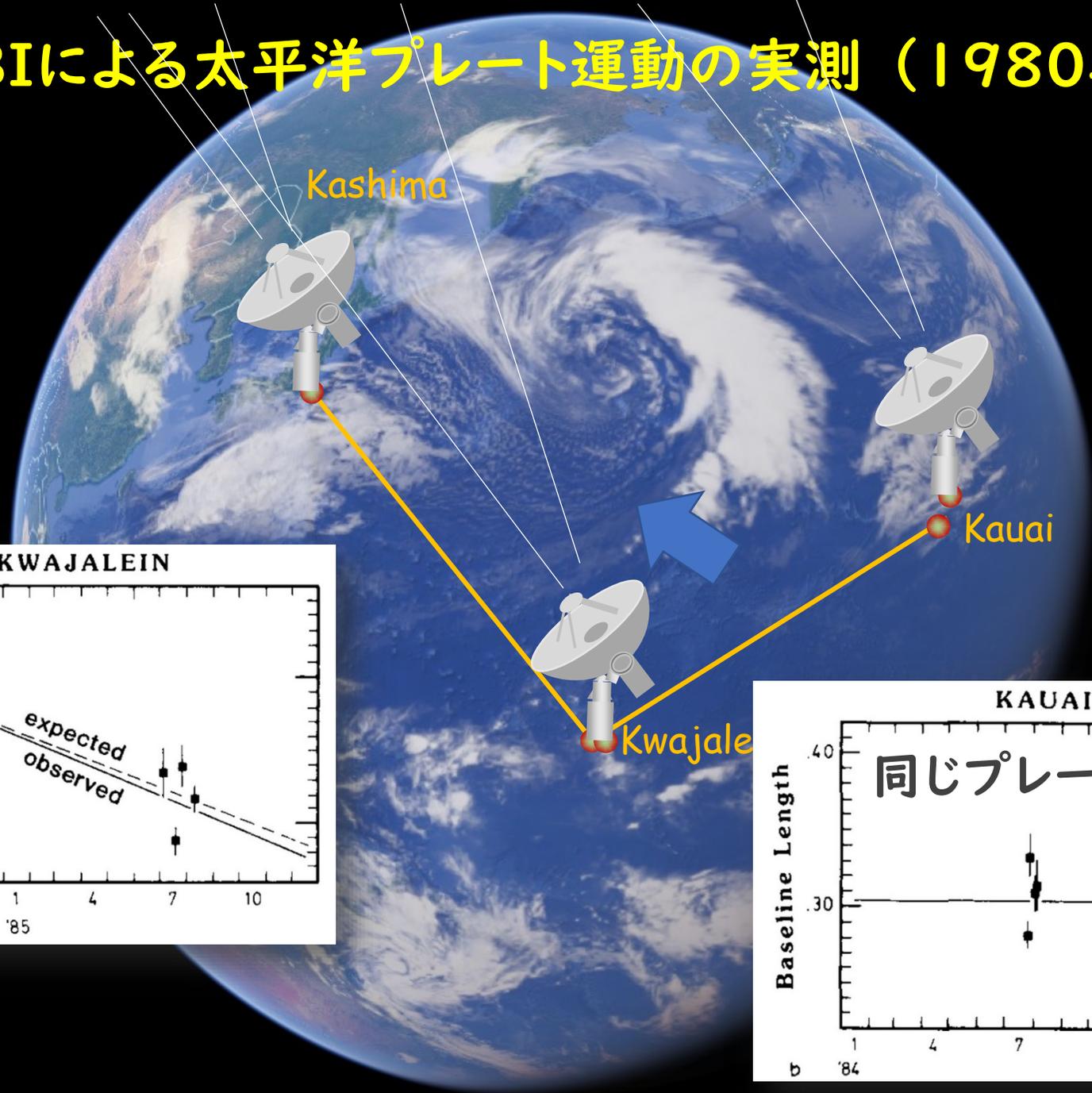


それでも地面は動いている…  
And yet it moves...

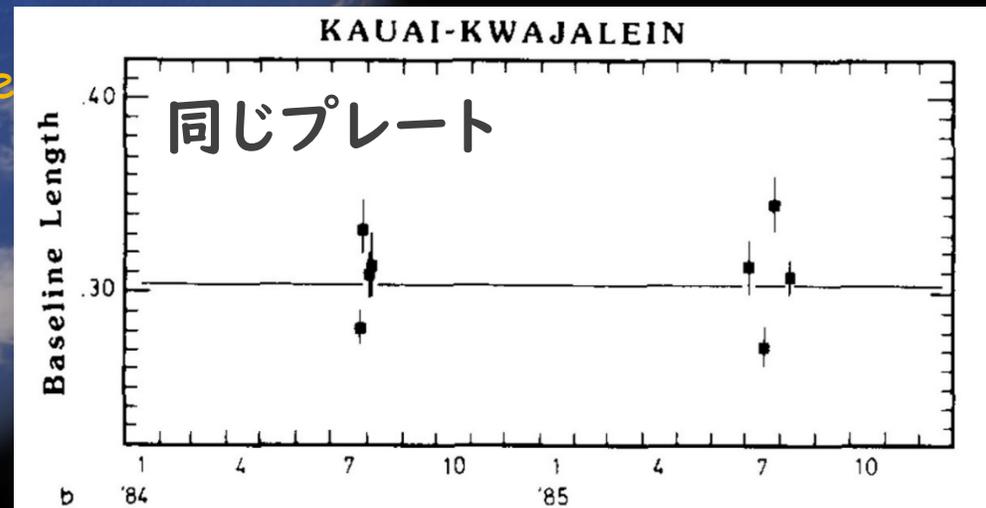


**二度目の飛島測量の50年後 1984**

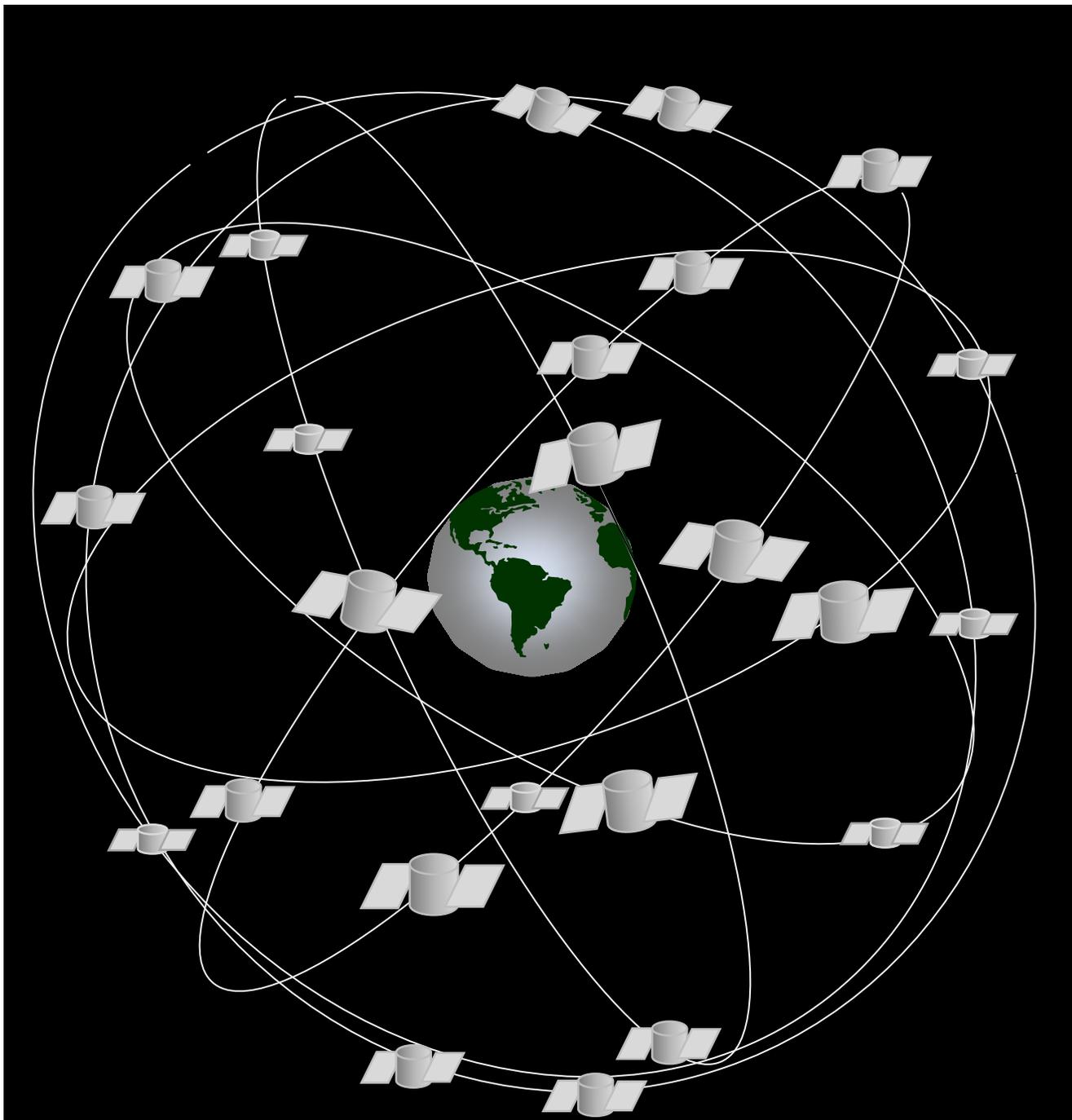
# VLBIによる太平洋プレート運動の実測 (1980年代)



Heki et al. (1987)







# GNSS/GPS

天然の星から人工衛星へ

## 固有名詞

GPS (全地球測位システム)

Global Positioning System

宅急便 (固有名詞)

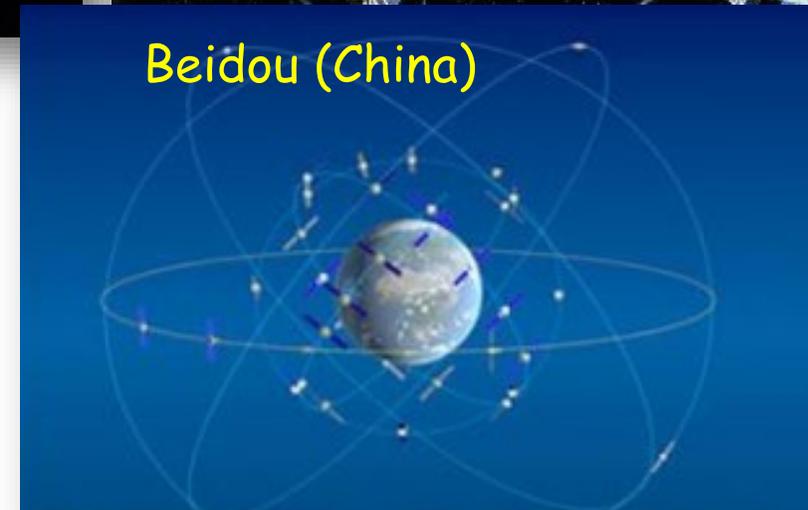
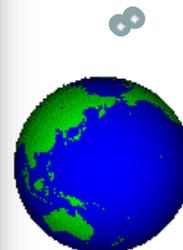
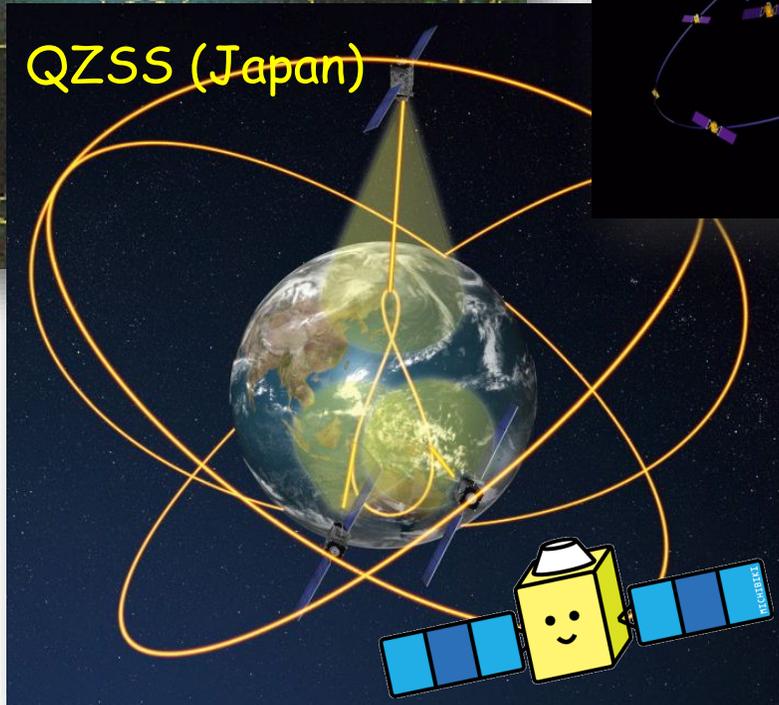
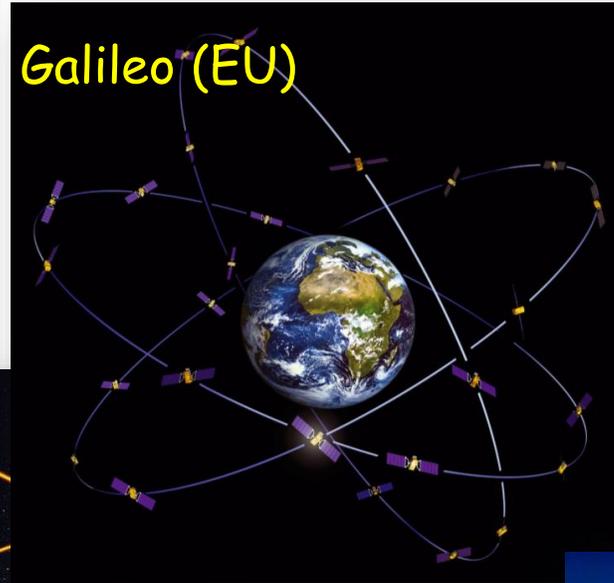
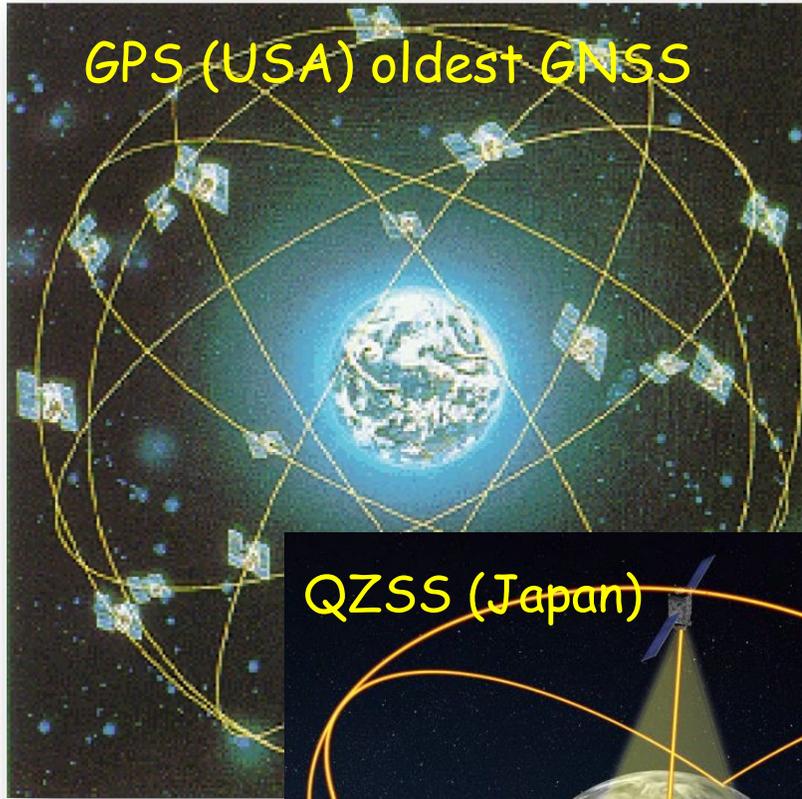
## 普通名詞

GNSS (全地球航法衛星システム)

Global Navigation Satellite System

宅配便 (普通名詞)

# マルチGNSSの時代: GPS的なものが世界中に

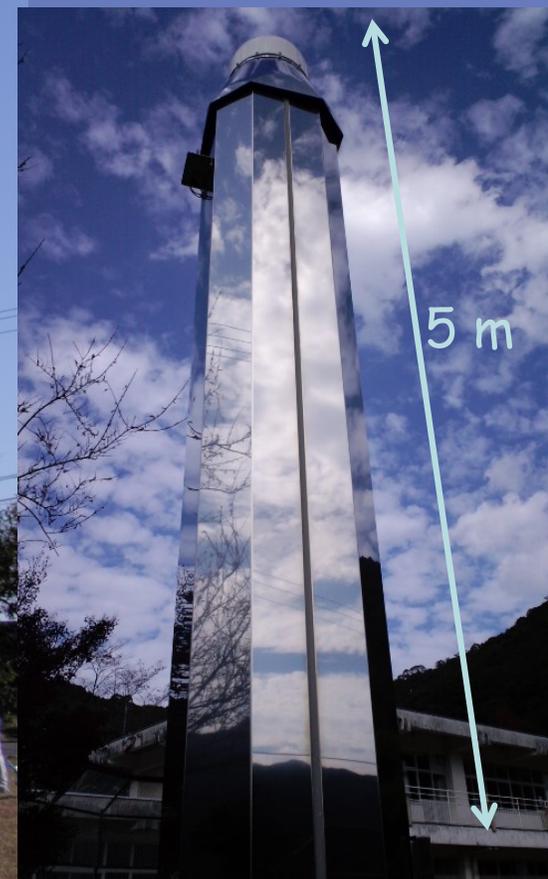


# 大きな父 (VLBI) と小さな息子 (GPS/GNSS)



準星からの弱い電波

安あがりな地上局



Kashima, Ibaraki  
Google  
Street View

93008



Map inset showing location in ACHIGATA (大字鉢形) and Hatonooka Nurs. Includes an 'Expand' button.

Google Street-viewでアンテナ探し

Navigation controls including a compass, zoom in (+) and zoom out (-) buttons, and a street view pegman icon.



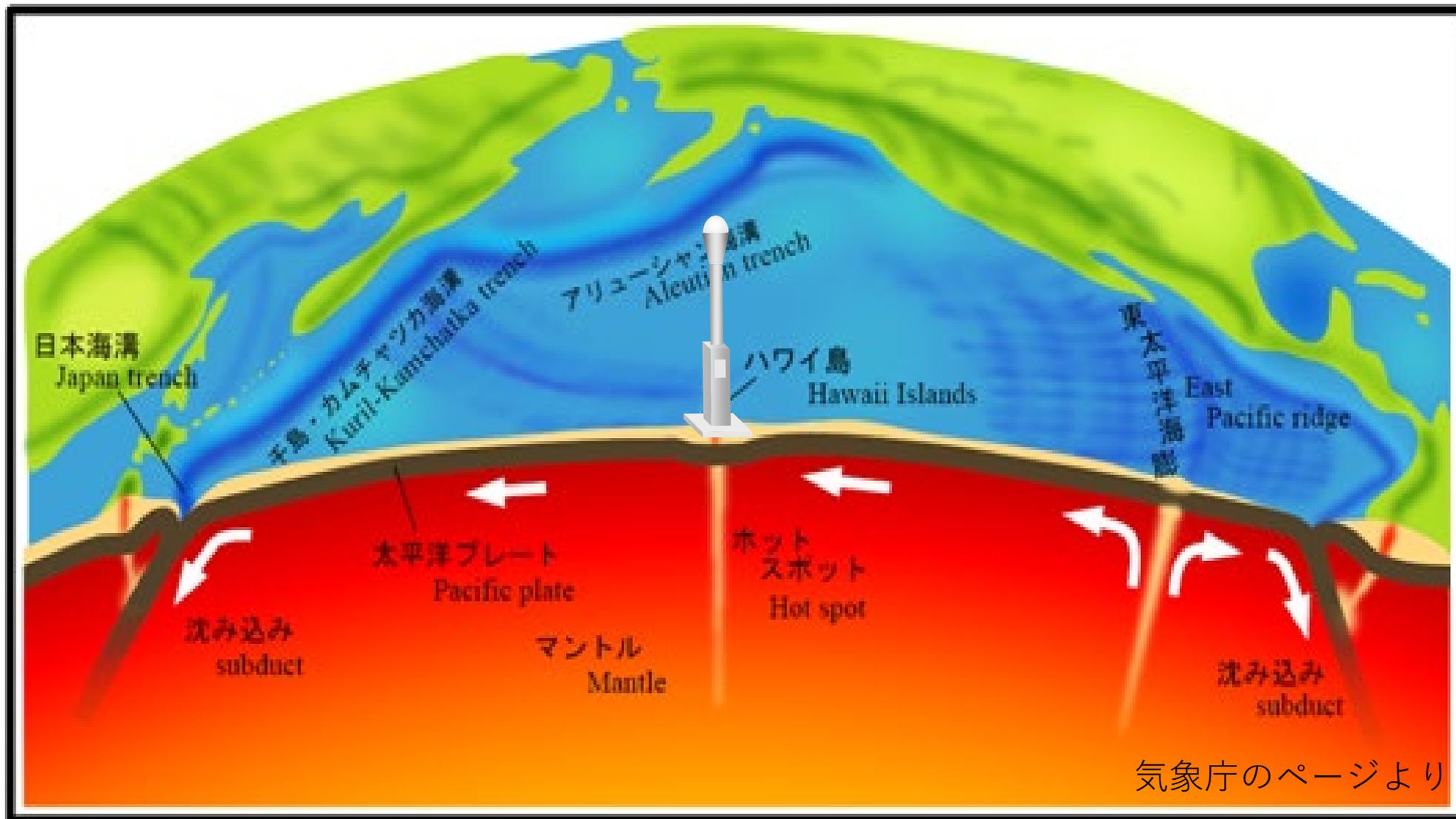
# GPS/GNSSによる 地殻変動の研究

Tadataka Ino (1745-1818)

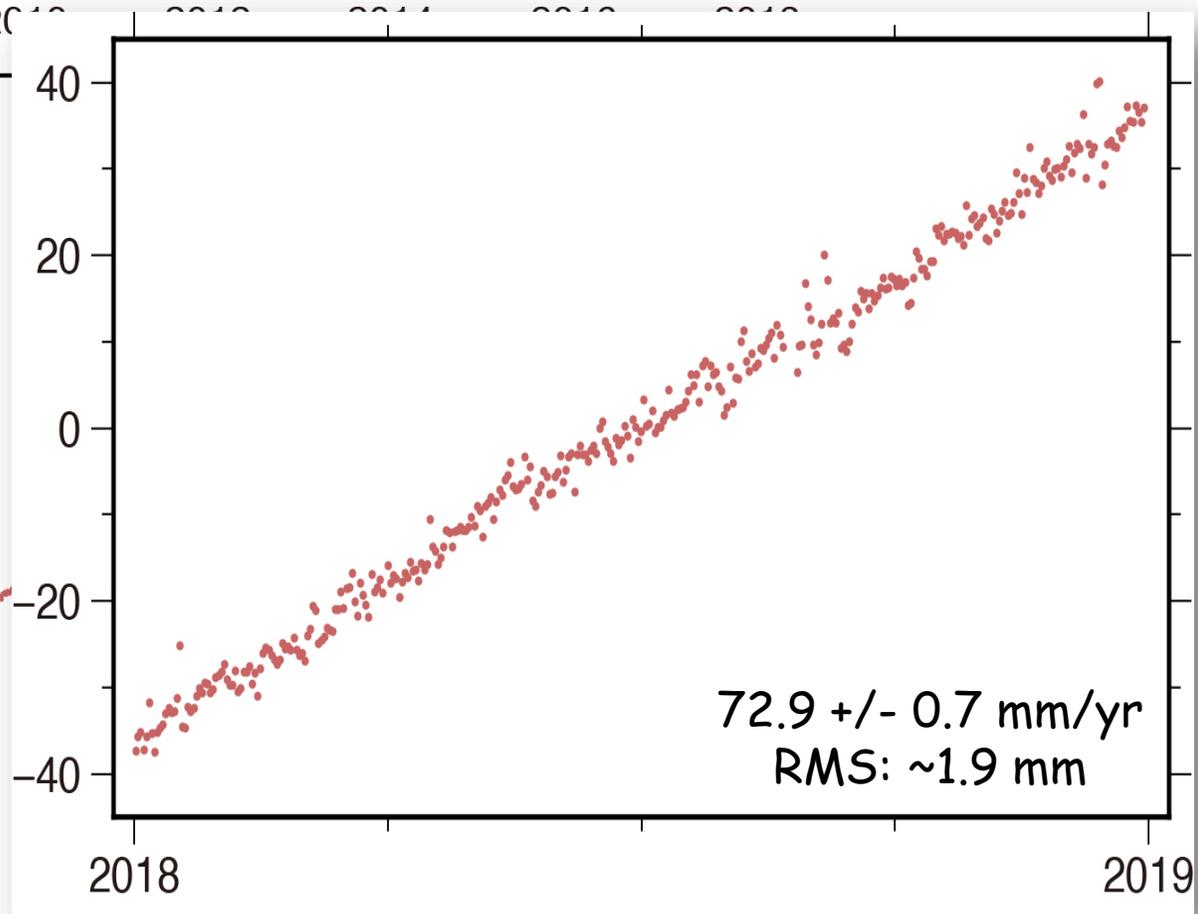
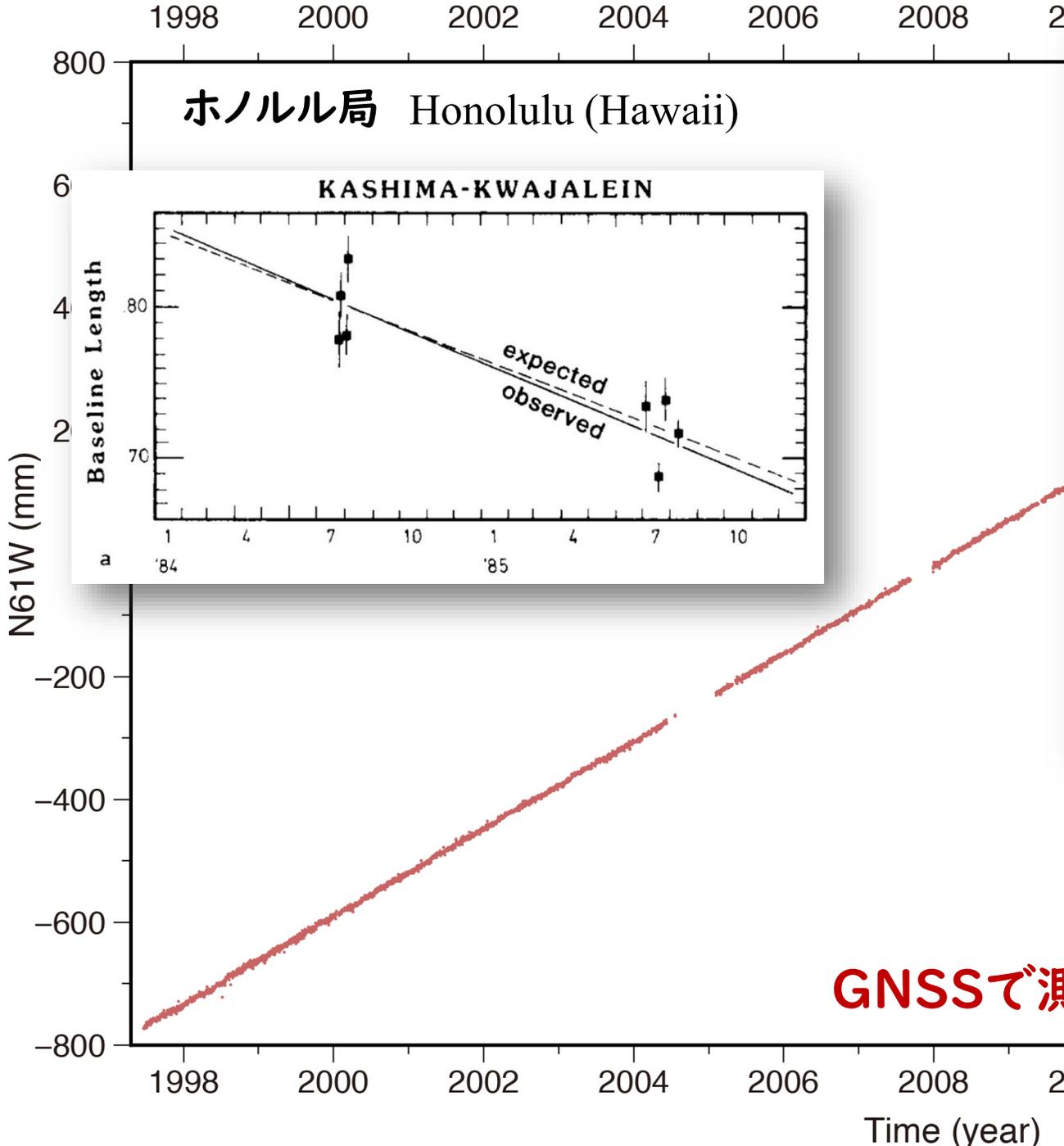
宇宙測地学以簡



2011年東北沖地震による  
地殻変動



プレートの動きは不変？



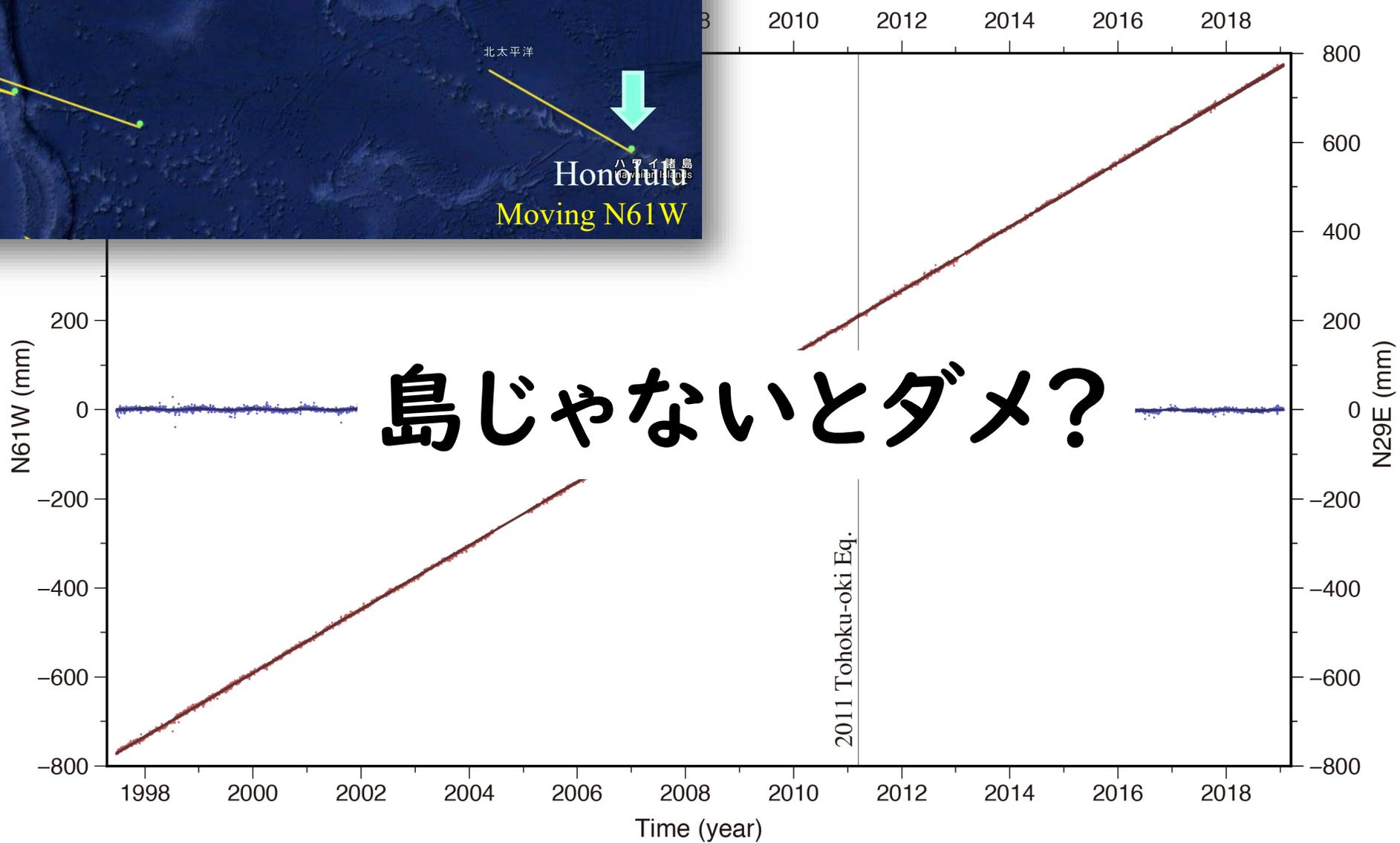
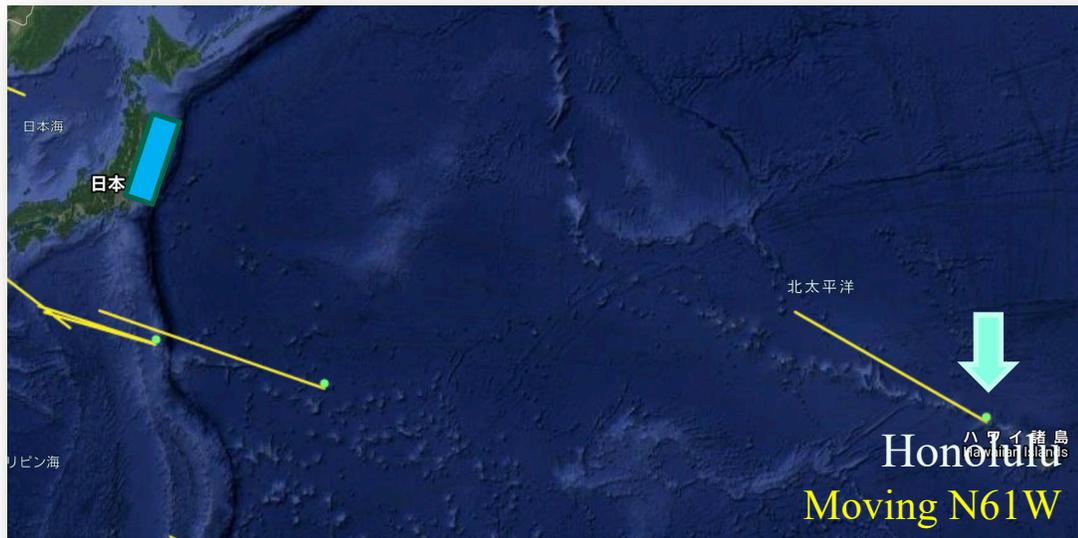


# 2011 Tohoku-oki M<sub>w</sub>9.0

ハワイ諸島  
Hawaiian Islands

Honolulu

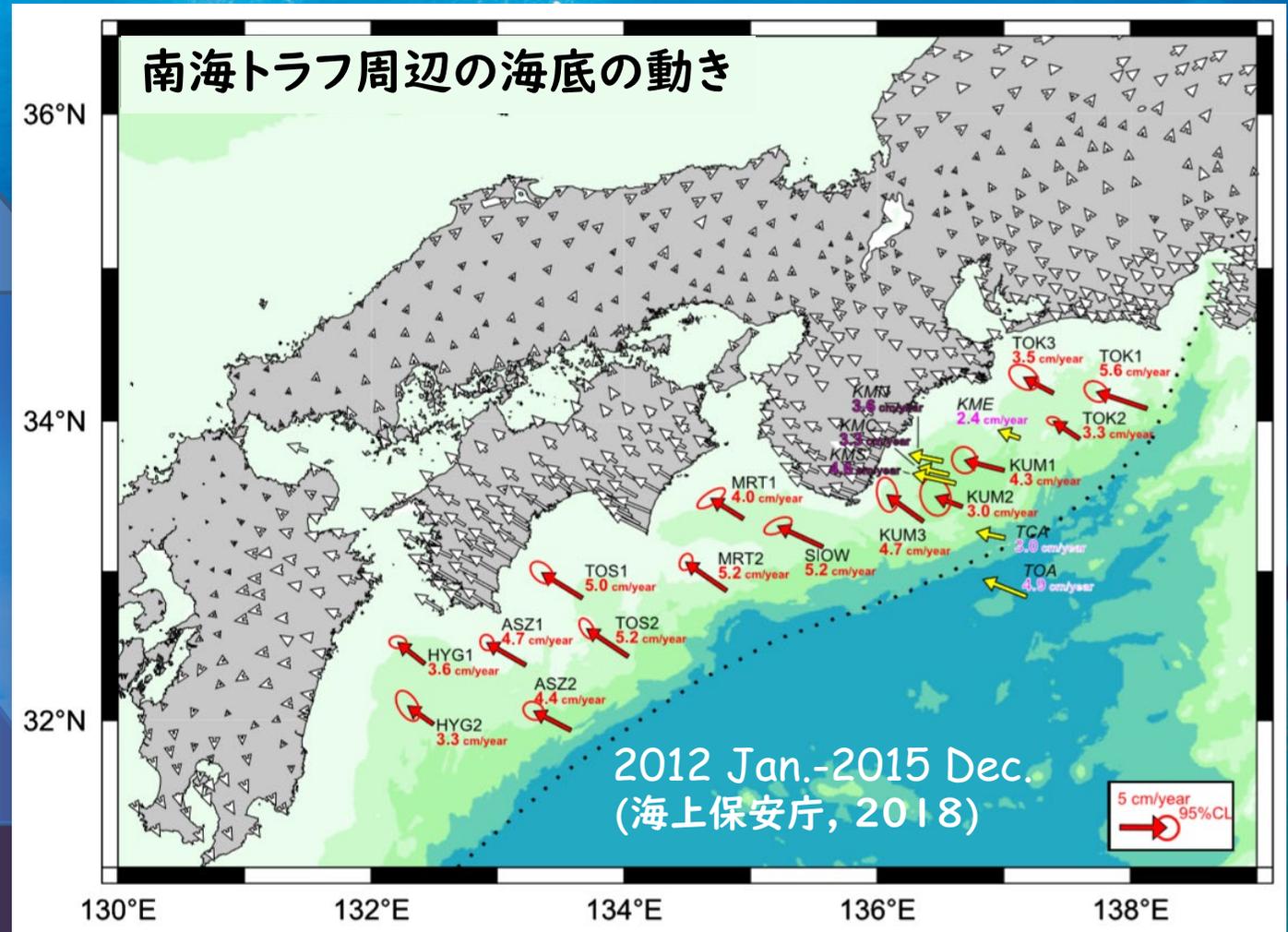
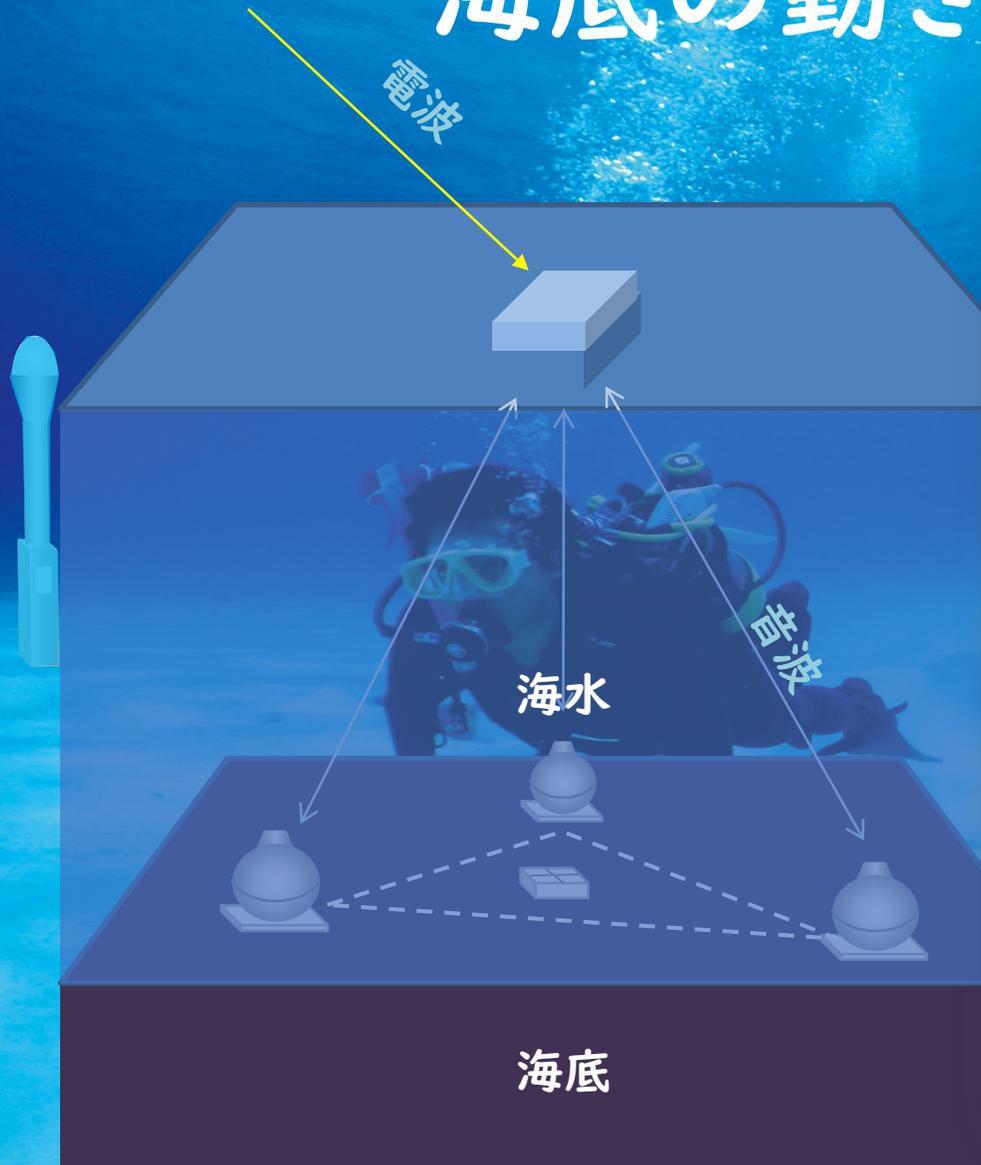




島じゃないとダメ?

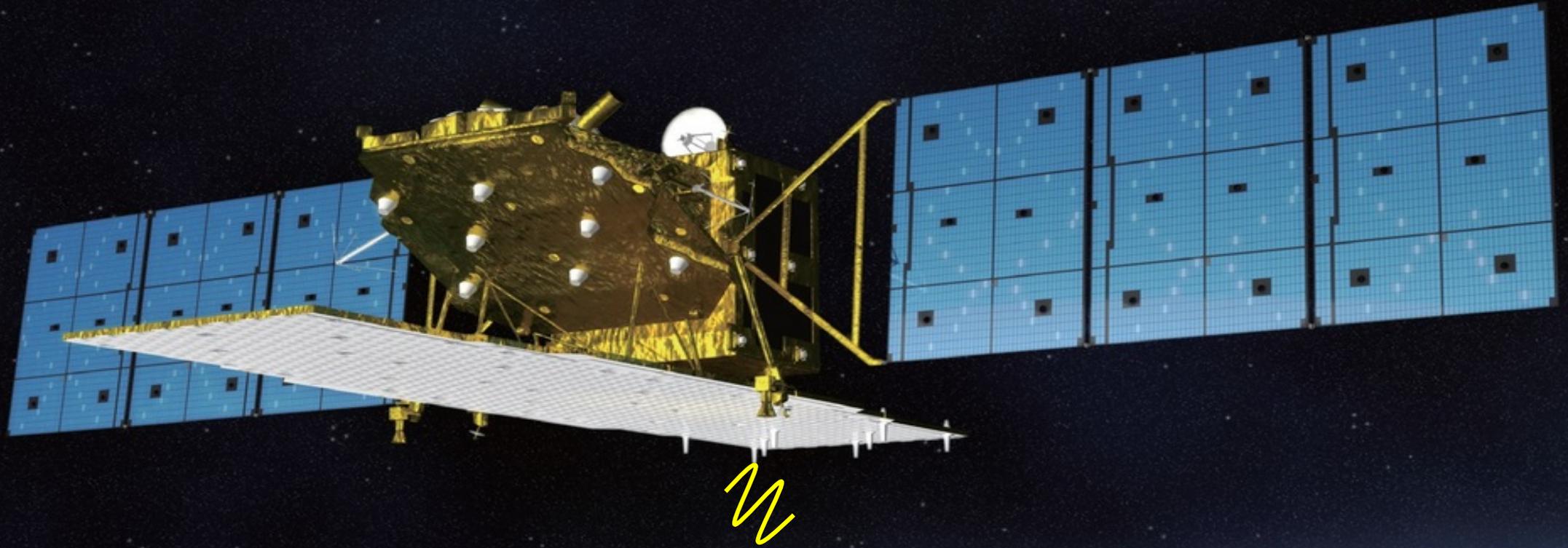
東北沖地震で動きは変わった?  
ハワイ少し速くなった気もする...

# 海底の動きもわかる時代に



もし海水中でも電波が使えれば...

もっと細かい地殻変動を見るには？



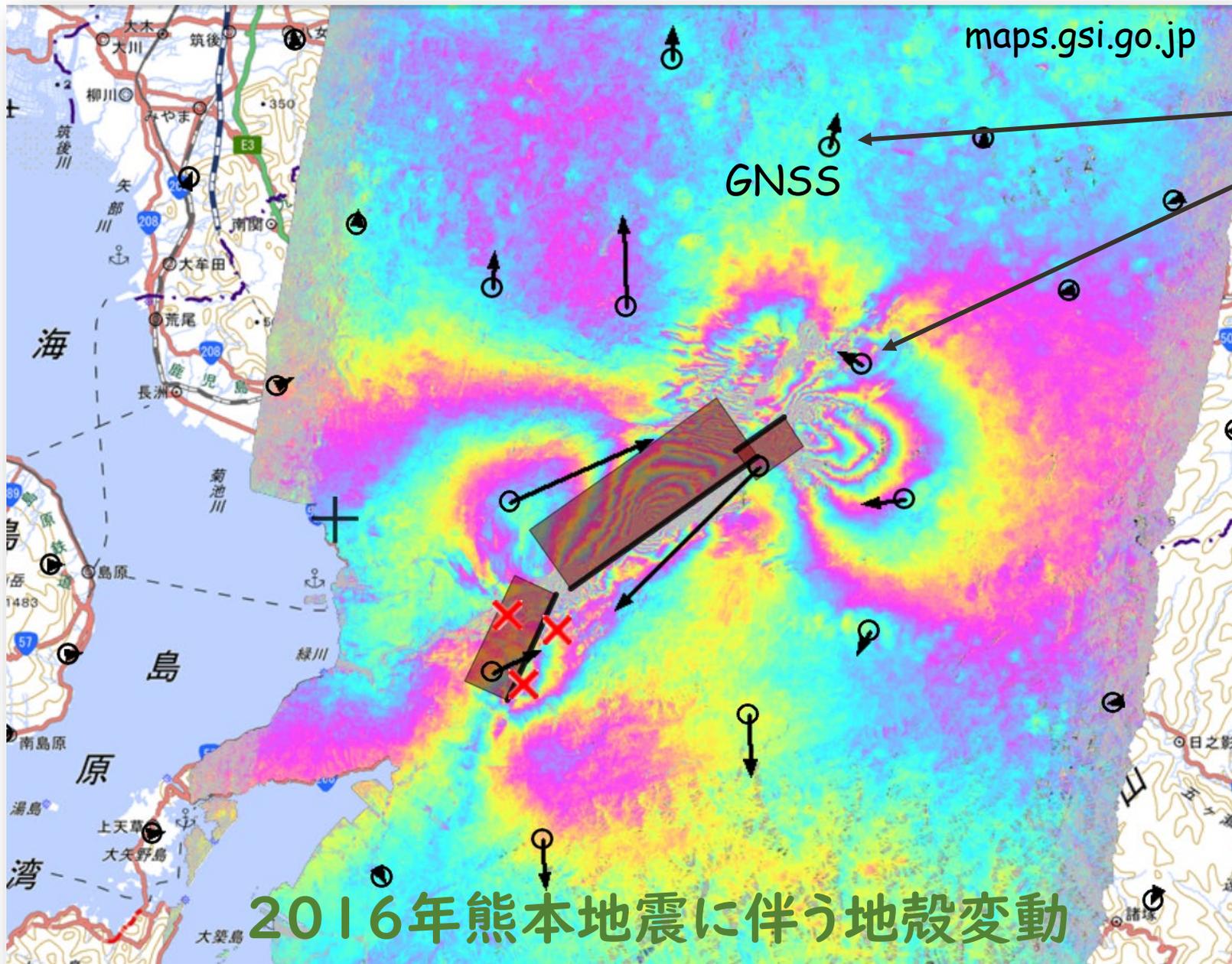
衛星に搭載した合成開口レーダ



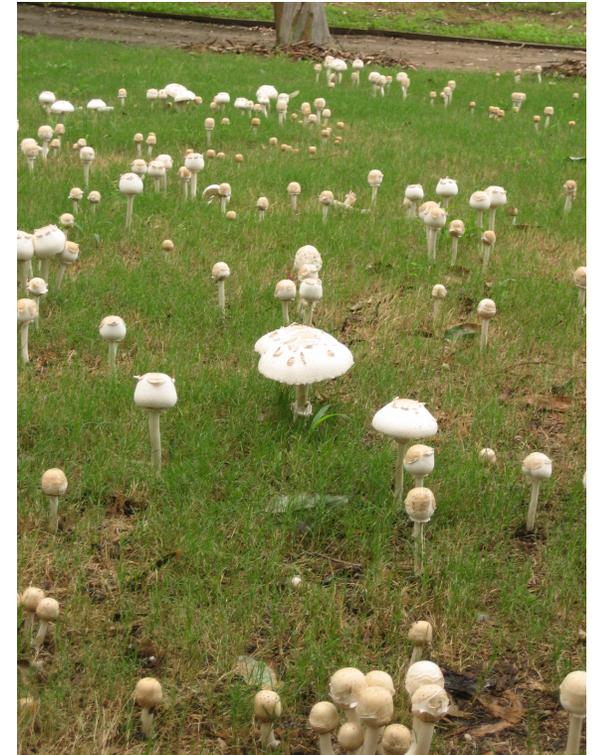
色が距離の変化量を示す

ピクセル





**GNSS局の動き**  
(日本が誇るGNSS網でも不十分)



# GNSS/GPS は十徳ナイフ

対流圏の水蒸気（可降水量）

地殻変動

衛星軌道決定

航法

地震計

地球回転

時刻同期

電離圏全電子数

雪の深さ

ミサイル追跡



# 令和元年台風15号



**Typhoon Faxai**



サイトトップ

ニュース

つくば案内

イベント

地図

読み物

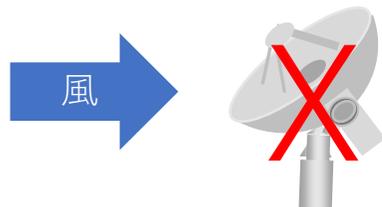
リンク

つくばもん ニュース つくば市の最新情報をお伝えします。

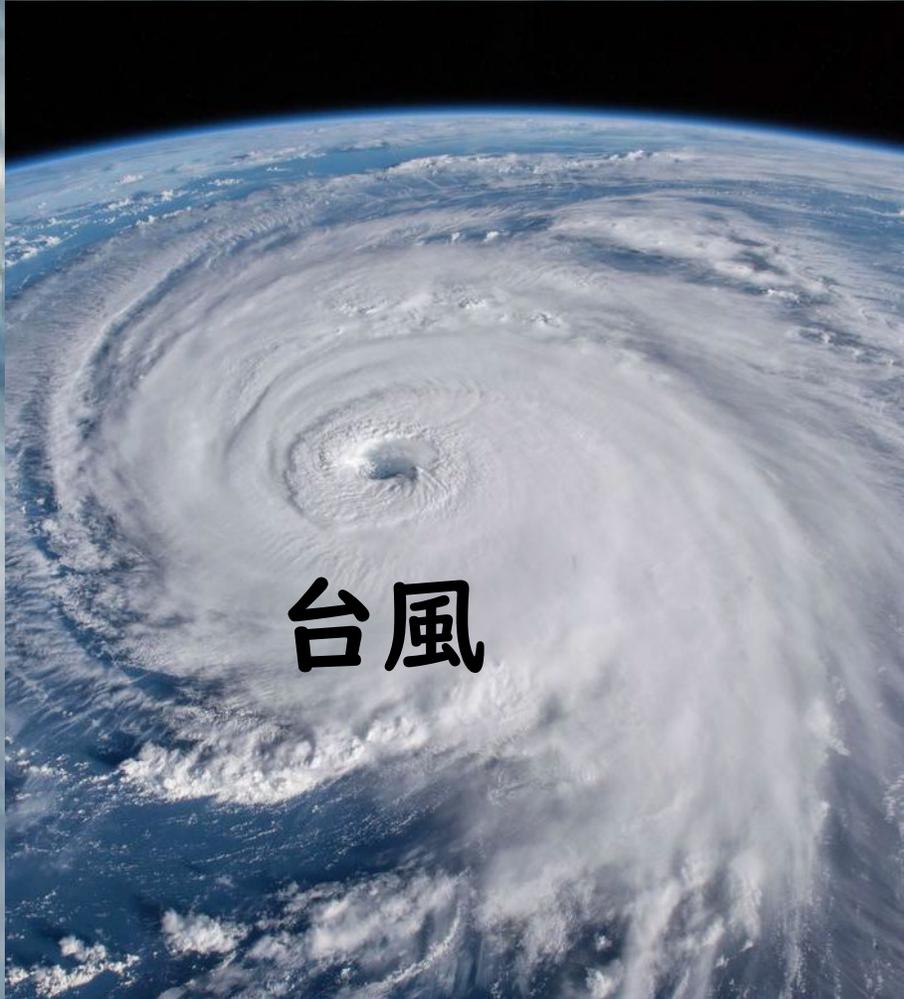
提供:茨城新聞社

### 2019/09/25 鹿嶋の巨大アンテナ故障、骨組みに

鹿嶋市平井の情報通信研究機構・鹿島宇宙技術センターで、直径34メートルのパラボラアンテナが骨組みをあらわにしている。台風15号の強風でアンテナを制御する駆動モーターが故障。復旧のめどが立たず、風の影響を最小限に抑えるため、10月18日から主反射鏡のパネル約340枚を取り外す工事が行われている。



# GNSSで大気を測る



対流圏遅延(非分散性) : 可降水量(PWV)

ラジオゾンデ(一日二回)



# 台風、21河川で堤防決壊

## 東日本、広範囲で氾濫

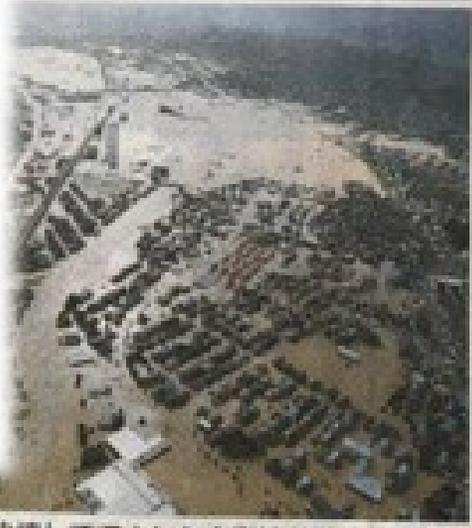
台風19号は12日夜から13日未明にかけて、東日本を縦断した。記録的な大雨で長野市の千曲川など21河川24カ所で堤防が決壊し、周辺が大規模浸水した。14日午前0時時点で36人が死亡し、17人が行方不明。災害復旧要請を受けた自治体などが住民らの救助を進めている。北陸新幹線の車両基地が浸水するなど、企業活動や生活への影響が甚しく恐れも出ている。

### 死者35人・不明17人

台風19号による被害状況 (14日午前0時時点)

死者	35人
不明	17人
浸水	52万戸
被害	約100億円

台風19号は東日本を縦断して太平洋へ抜けた。正午、千曲川で堤防決壊



千曲川の堤防が決壊して浸水した市街地(13日、長野県)

# 測地学で台風の何が見えるか？



初の首脳進出を決め、誓いを新たにする日本代表

## 日本、初の8強

### ラグビーW杯 スコットランド破る

大会で1次リーグA組の日本は13日、横浜市の横浜国際総合競技場で行われた1次リーグ最終戦でスコットランドを28-21で退け、4連勝でA組1位となり、目標としていた初のW杯8強入りを達成した。(関連記事をスポーツ、社会面に)

1987年の第1回大会からW杯に毎回出場する日本は、アジア初の開催国として盛んだ9度目の出場で大きな足跡を残した。日本は20日の準々決勝で南アフリカと対戦する。

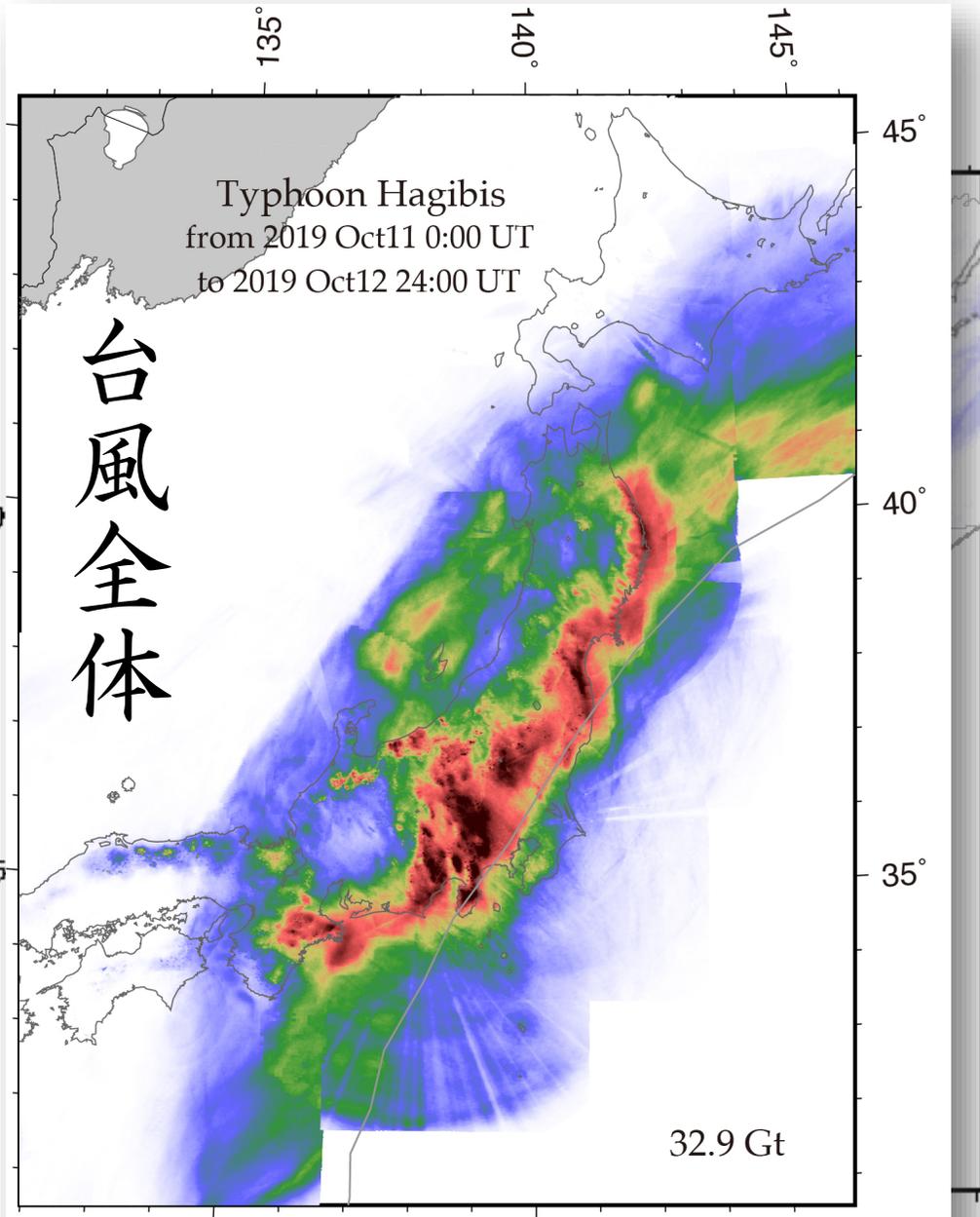
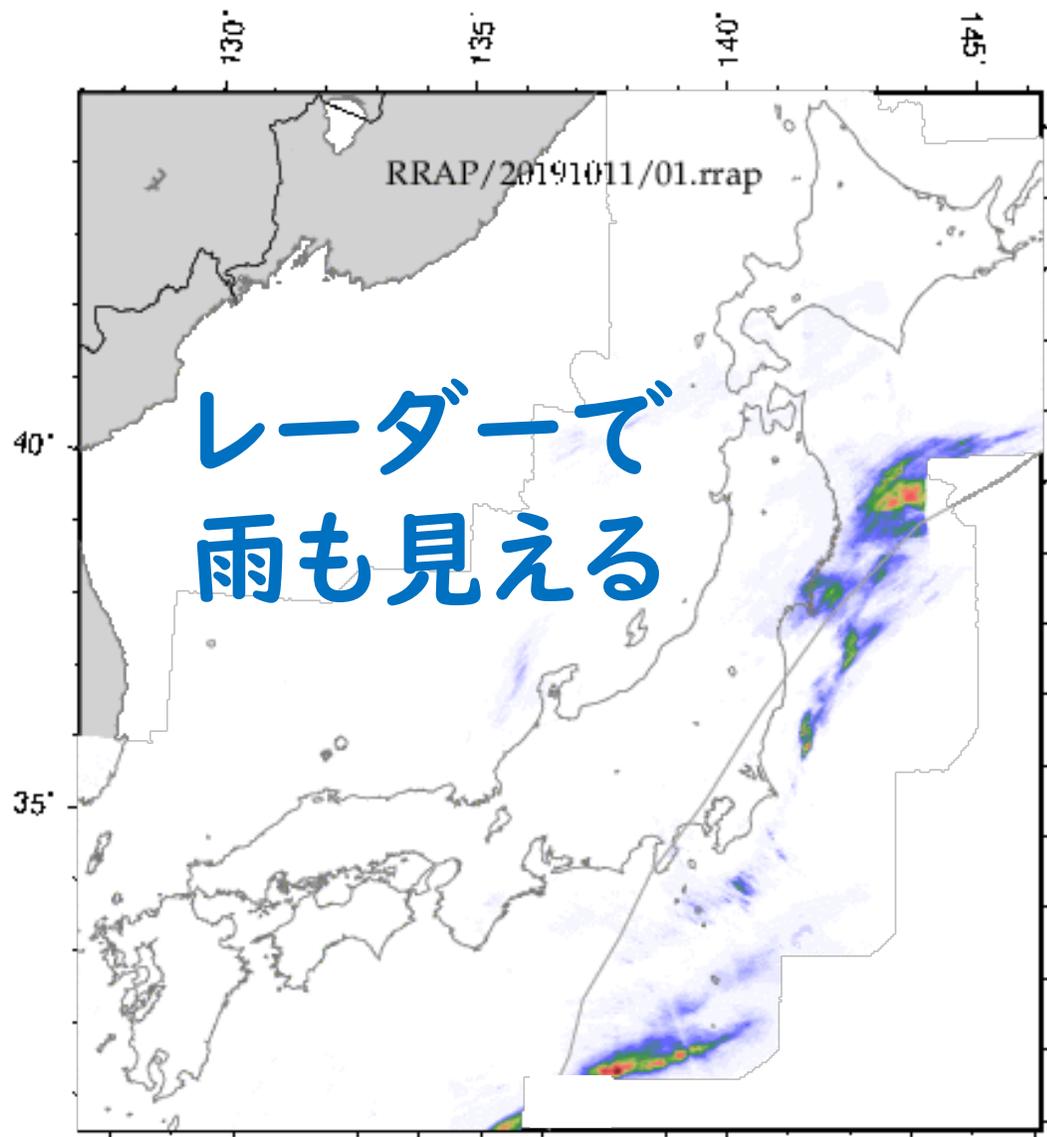
日本は5年大会でニュージーランドに17-14の大敗を喫するなど苦戦が続いた。2015年の前回は初戦で強豪の南アフリカから金星を挙げるなど健闘したが、1次リーグで敗退した。

16年、ニュージーランド出身のジェイミー・ジョセフ氏がヘッドコーチに就任し、「ワンチーム」というスローガンを掲げ、メンバー31人のうち海外出身選手が15人を占める国際色豊かな集団が結成し、開幕からロシア、アイルランド、サモアと連続してトビ

05日09時

衛星から雲が  
見える

令和元年台風十九号



雨のピーク 十月十二日夕方七時

衛星やレーダーやアメダスで

1.雨が見える

2.雲の動きが見える

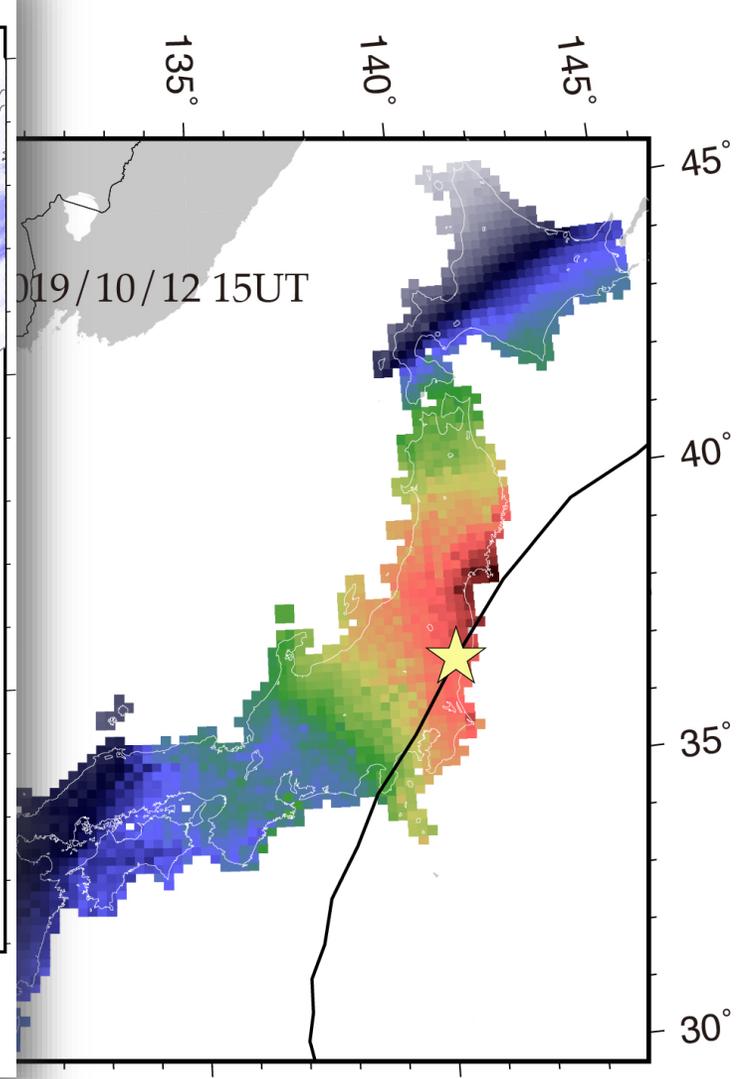
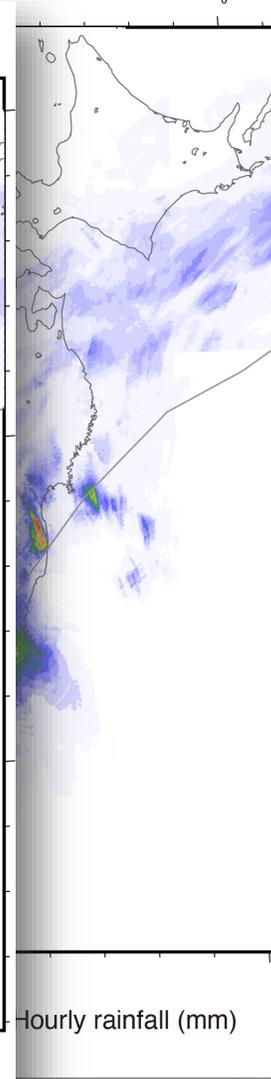
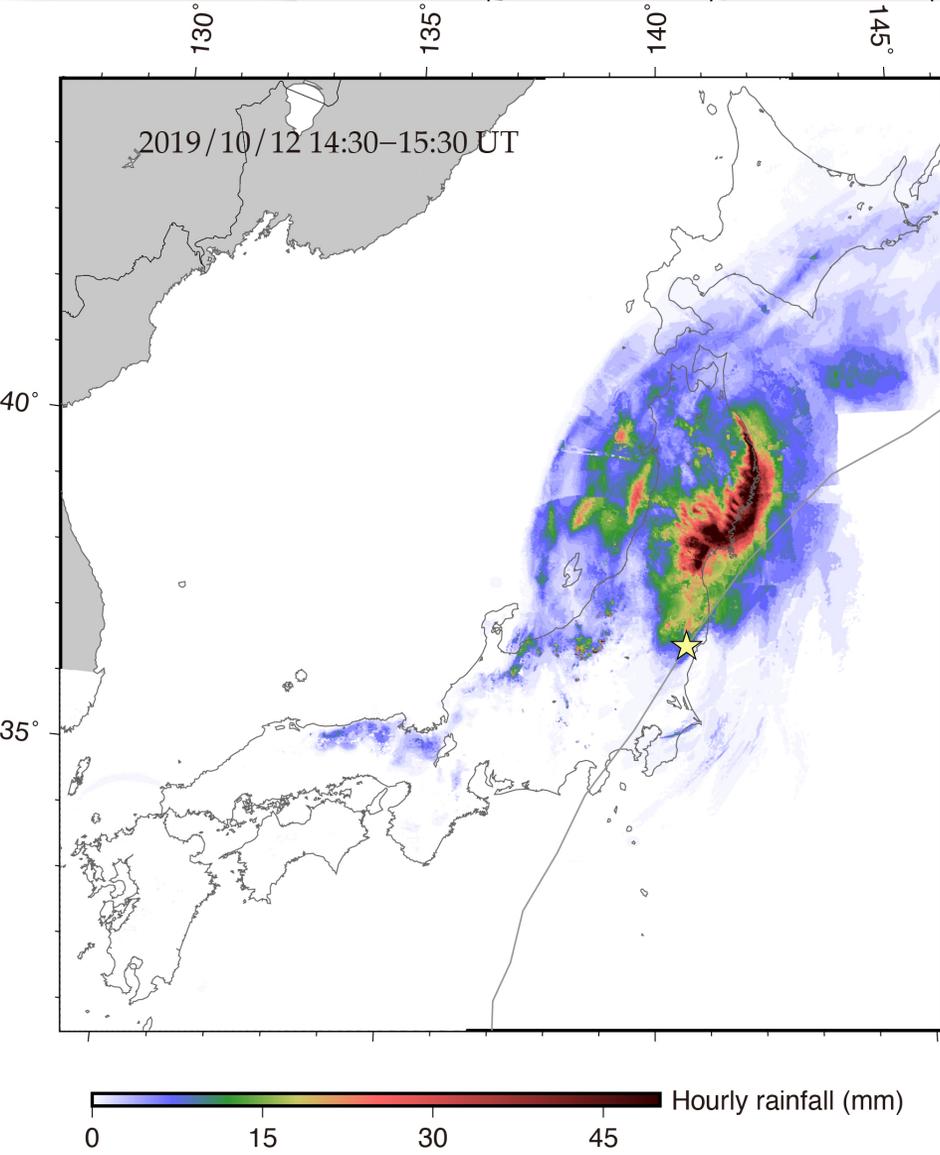
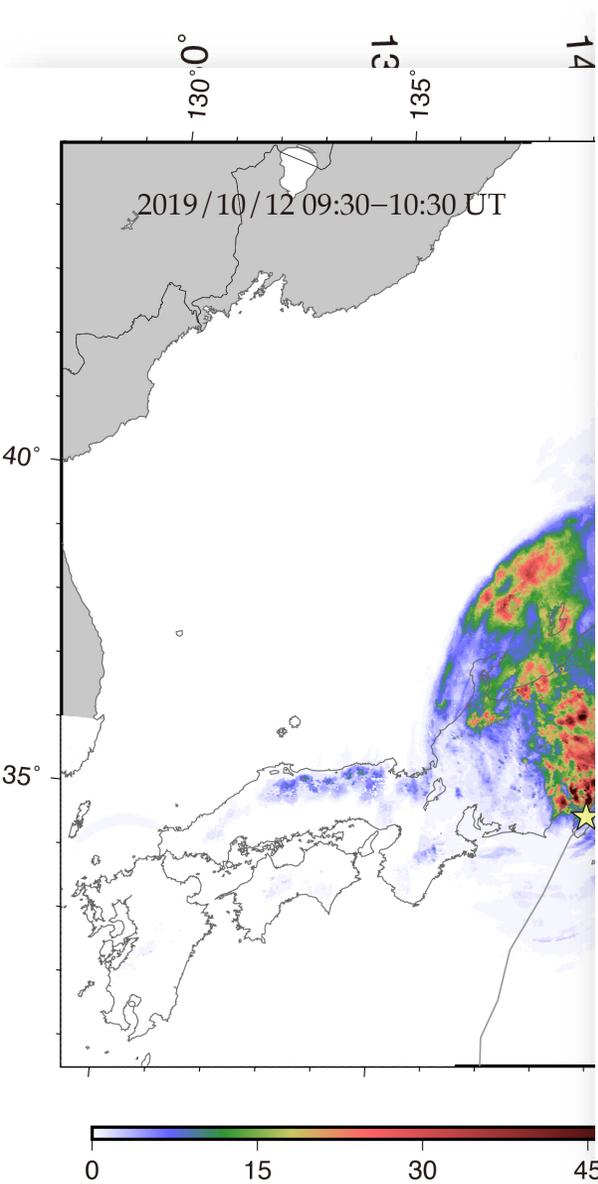
GNSS／GPSを使うと

1.雨になる前の水（水蒸気）が見える

2.降った後の地上の水が見える



# 大気中の水蒸気量(これから水になる)の推移



ホーム > 気象庁について > 報道発表資料 > 平成21年報道発表資料 >

国土地理院

国土データをと

報道発表

平成21

概要

気象庁  
院が選  
MSM

本文

本文に

問い合わせ

気象庁  
電子基

資料全文

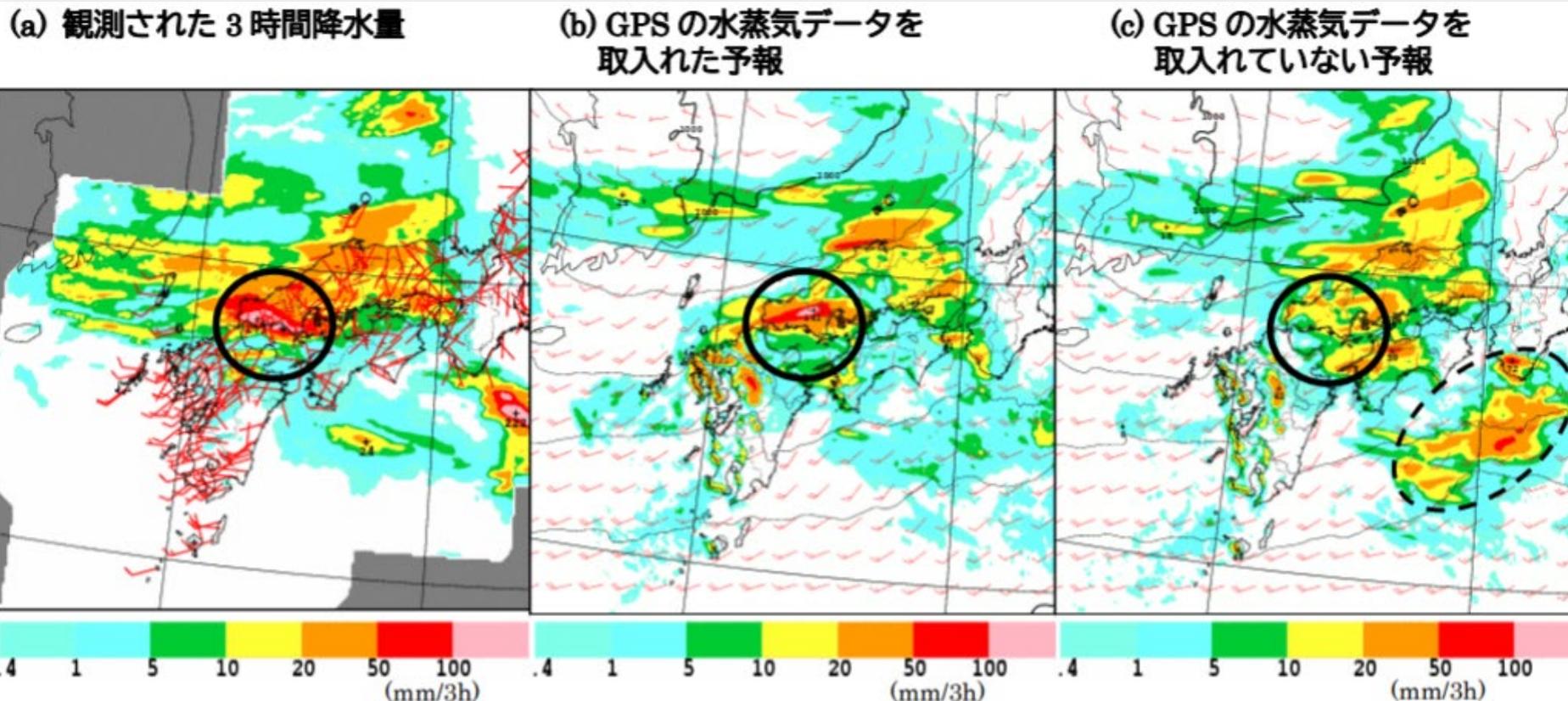


図1. 平成21年7月21日6時を初期値とする3時間予報の3時間降水量予報。(a)解析雨量、(b) GPSの水蒸気データを取入れた初期値からの予報、(c) GPSの水蒸気データを取入れていない初期値からの予報。予報(c)での過剰な降水域を破線で示す。

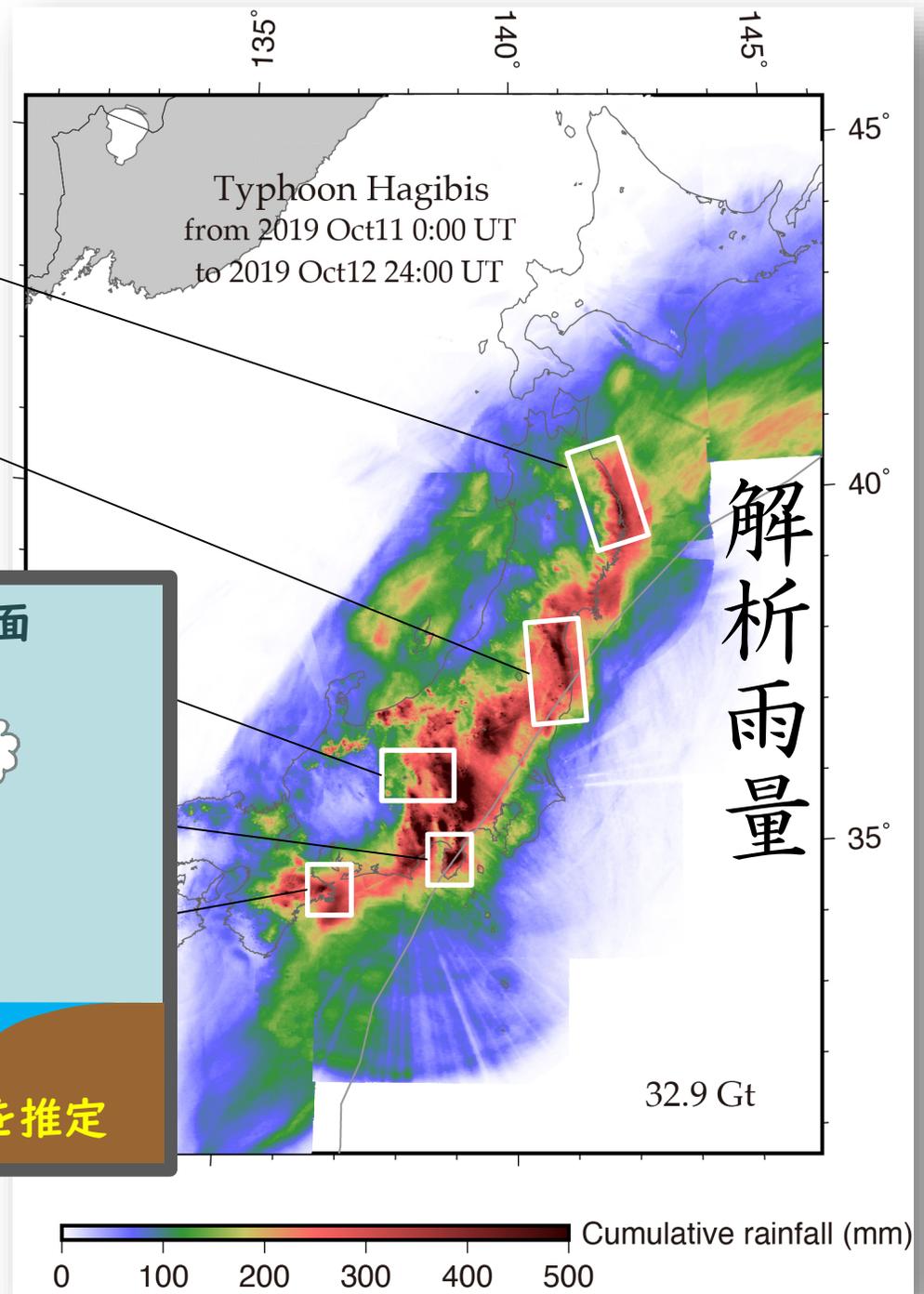
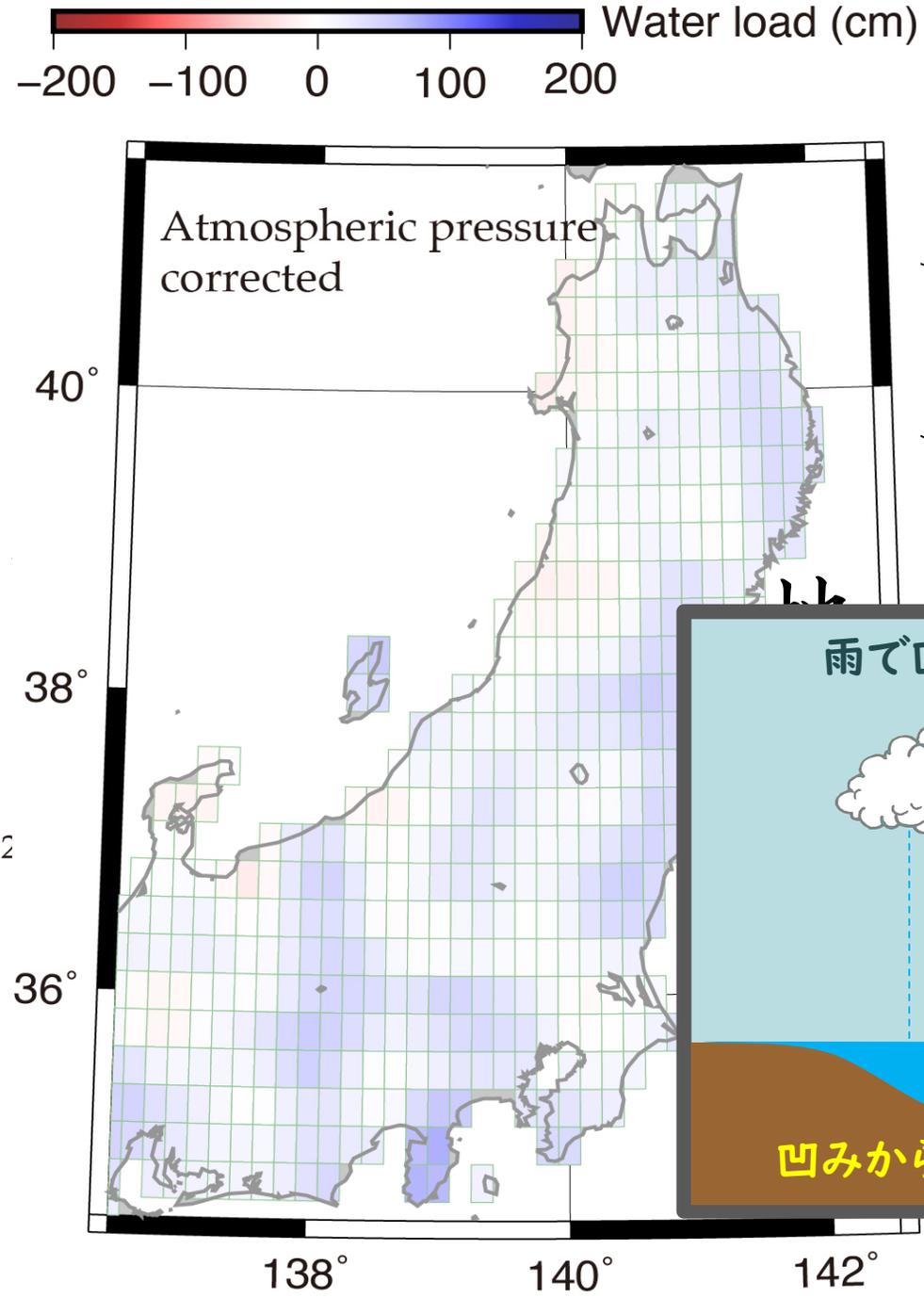
水蒸気情報は  
天気予報に役立つ  
(平成二十一年には実用化)

Flood in central Japan by Typhoon Hagibis (2019 Oct.12)



雨の重みで  
地面は凹まないのか？

雨が特に多かった地域で一〜二センチの沈降



小さい

# 様々な荷重 (量が変)



大きい



家 約30t  
(一億人分でも600 Mt)



人 約0.05t  
(一億人でも5 Mt)



ダム 最大で  
660Mt

積雪の重みによって冬季には日本列島の地盤が本州中央部の山脈に沿って0・五―一移程度沈み込んでいると、国立天文台地球回転研究系の日置幸介教授が十三日、横浜で開かれた日本地震学会で発表した。

北日本の地震は春から夏にかけて発生することが多いとされ、日置教授

## 積雪の重みで日本列島沈降

国立天文台教授が発表

は「積雪で抑えられている地盤が雪解けで緩むことが影響している」とみている。

日置教授は国土地理院が全国に設置している全地球測位システム(GPS)の観測点九百カ所のデータを解析、一九九六年から今年夏までの地盤

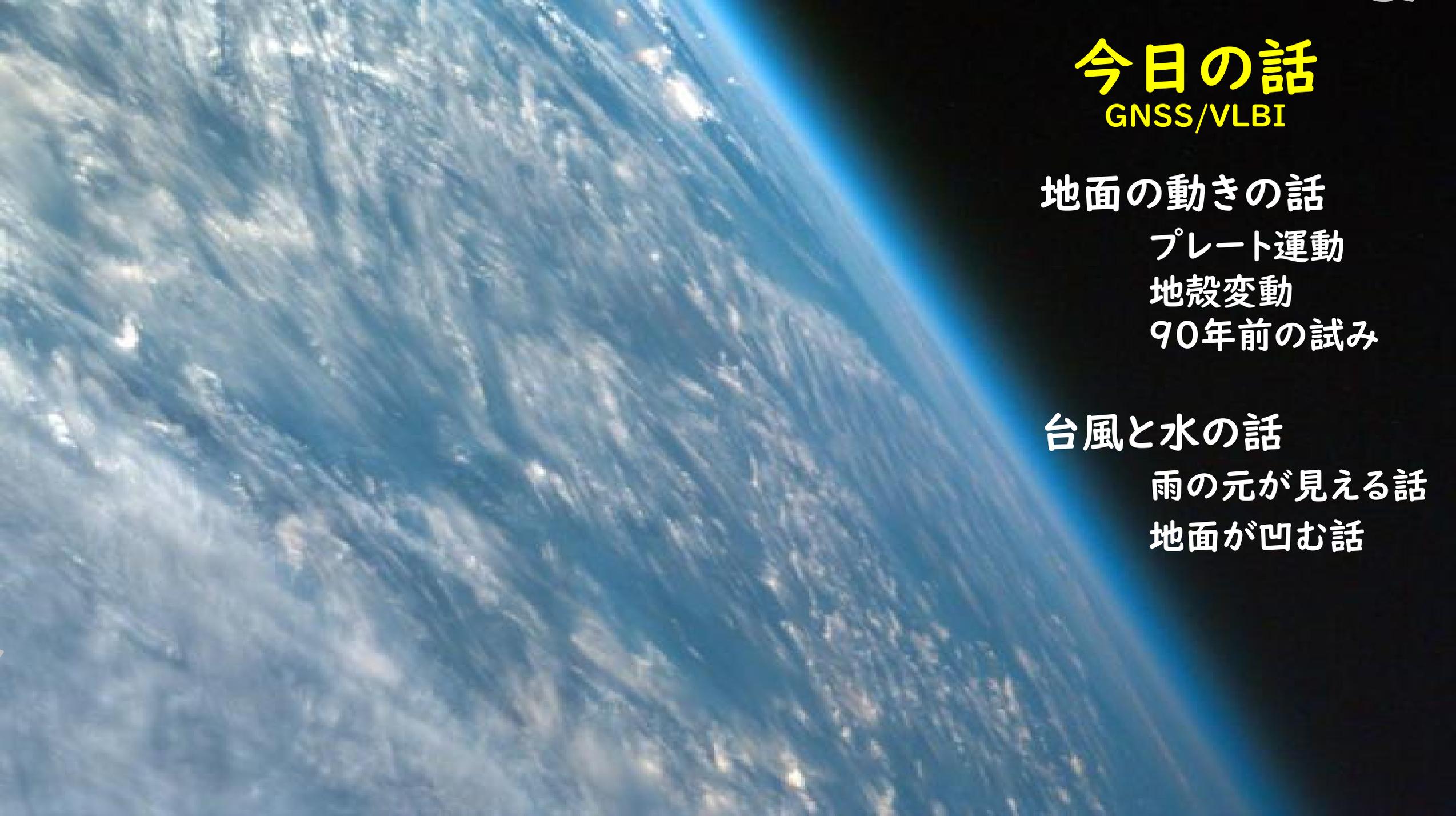
北日本の地震に影響か

この結果、夏から冬にかけて豪雪地帯の本州中央部の山脈や日本海側に向けて地盤が沈降し、夏には元に戻っていることを確認。GPSデータを基に各地の地盤への荷重を推計したところ、気象庁の積雪データともほぼ一致した。

# 地球の変形



積雪 約74Gt  
(74000000000t by GRACE)  
季節的地殻変動

A satellite view of Earth from space, showing the curvature of the planet and the blue atmosphere. The landmasses are visible in shades of brown and green, and the oceans are a deep blue. The text is overlaid on the right side of the image.

# 今日の話

GNSS/VLBI

## 地面の動きの話

プレート運動

地殻変動

90年前の試み

## 台風と水の話

雨の元が見える話

地面が凹む話

# 科学の進歩

