

# 地球の形と経度・緯度

～ 地図の根底にあるもの ～

令和元年 7月22日

国土地理院 地理地殻活動研究センター

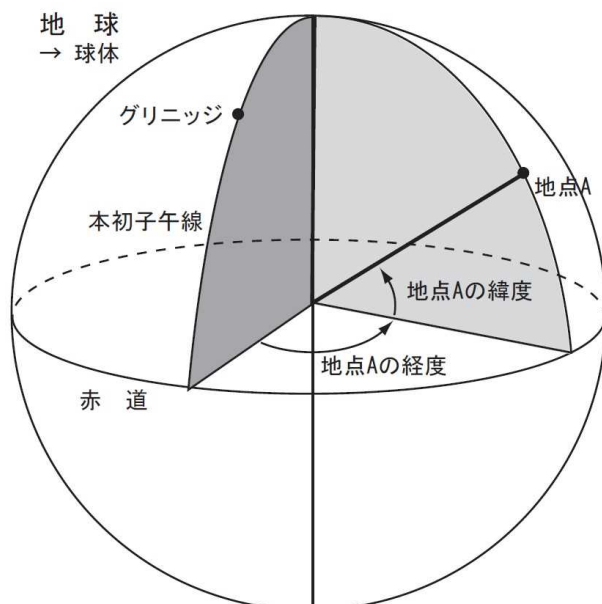
こじろい  
小白井 亮一



## 経度と緯度とは

経度と緯度はどのようなもの？

地球上での位置を表す座標の一つ



図では左のようになる  
でもこれは**不正確**  
正確なものは後ほど

では、経度と緯度という座標は、どのようにして構築される？

構築に必要な物と事

- ・地球の形に適合した、経線と緯線が引かれた球
- ・それをうまく地球にセットする（あてがう）こと

でも、その前に、

地球の形は、**はたして球？**

2

地球の大きさと形は、昔から**測量**で求められてきた  
ちなみに、

「測量」の語源：「**測**天**量**地（天をはかり、地をはかる）」

ギリシャ時代には、地球は球

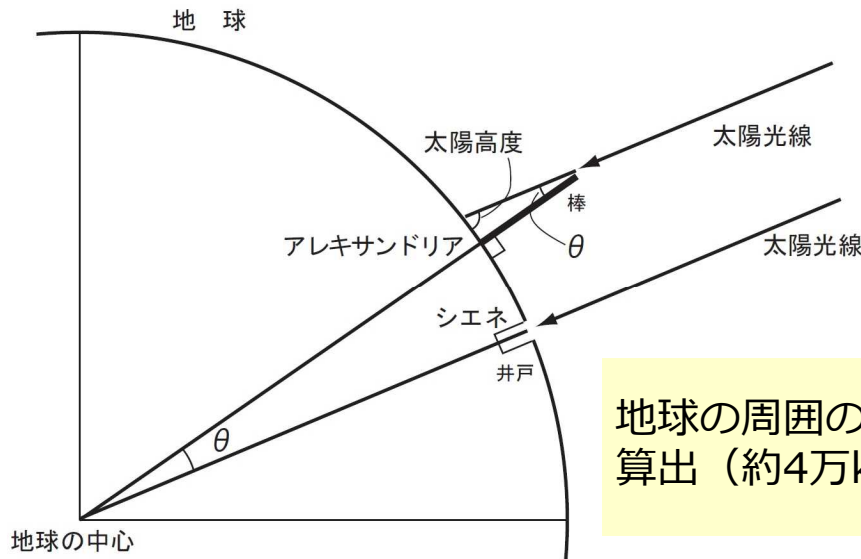
紀元前230年頃、エラトステネスは地球を球とみて、  
地球の大きさを計算

→ 「地学基礎」の教科書で最初に出てくる話

3

太陽高度を測定し、アレキサンドリアとシエネの距離も測って、地球の大きさを計算。→ まさに測天量地つまり測量

しかし、17世紀になると・・・



シエネ-アレキサンドリア間  
：約900km

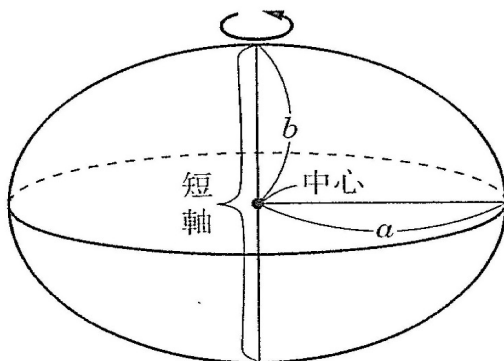
太陽高度：82.8°

$\theta$ ：7.2°

地球の周囲の長さを約4万5千kmと算出（約4万kmより12.5%程長い）

4

地球の形は、自転による遠心力のため、扁平な回転楕円体では？



扁平な回転楕円体

a: 赤道半径（長半径）

b: 極半径（短半径）

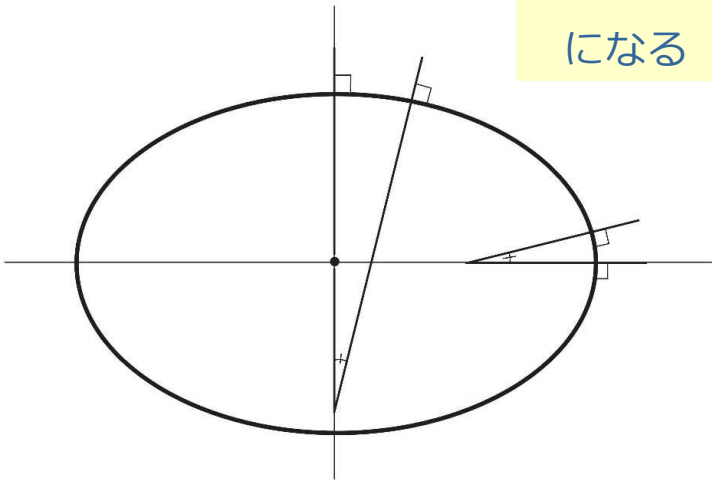
扁平率  $f = (a - b)/a$

扁平率が小さいほど球に近づく。

球では扁平率は0になる。

何がわかれば、地球は扁平な回転楕円体といえるか？

扁平な回転楕円体では、  
同じ測地緯度差の距離（子午線長）は  
低緯度での距離 < 高緯度での距離  
になる



6

18世紀前半にフランスは、低緯度地域（ペルー）と高緯度地域（北欧）に測量隊を派遣し、天文緯度1°あたりの距離を測定  
その結果、高緯度の方が1kmあまり長いことが判明

→ 地球の形は、扁平な回転楕円体

ちなみに、緯度は天文観測、距離は地上で測る

→ これは、測天量地、すなわち測量

7

地球の形は、**扁平な回転楕円体**！

19世紀には、かなり正確な回転楕円体の形状が決まる

国内で2002年3月まで使用されていた**ベッセル楕円体**は、**1841年**に算出されたもの

赤道半径a: **6,377.397155km**, 極半径b: **6356.0789km**

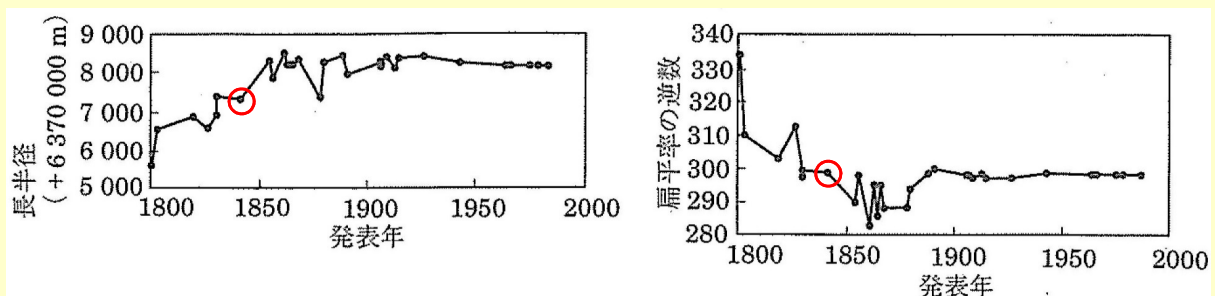
aとbの差:**21.31825km**

扁平率f: **1/299.152813**

8

20世紀後半になると、人工衛星を使った**宇宙測地技術**の進展で、算出される回転楕円体の**形状は急速に収束**

回転楕円体の変遷



長半径(赤道半径) a

扁平率(の逆数)

赤丸はベッセル楕円体

国土地理院時報91より

9

1979年、国際測地学地球物理学連合（IUGG）が回転楕円体に関する勧告を決議

### GRS80楕円体

赤道半径  $a = 6,378.137\text{km}$   $b = 6,356.752\text{km}$

$a$ と $b$ の差  $21.385\text{km}$

扁平率  $f = 1 / 298.257222101$

### ベッセル楕円体

赤道半径  $a = 6,377.397155\text{km}$

扁平率  $f = 1 / 299.152813$

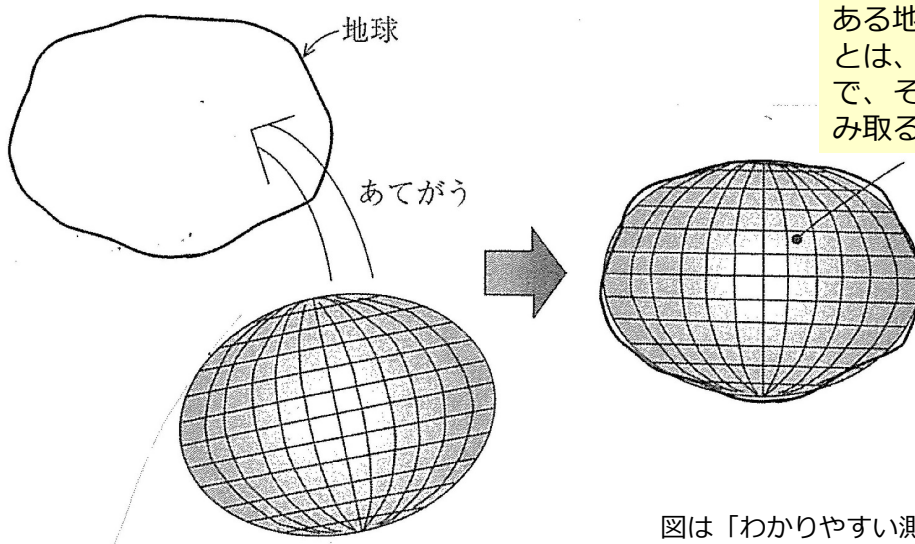
GRS80楕円体は2002年4月以降、国内で使用

10

## 地球にセット

経度・緯度の構築に必要な物と事

- ・地球の形に適合した（経線・緯線が引かれた）回転楕円体  
→ GRS80楕円体
- ・それをうまく地球にセットする（あてがう）こと



ある地点の経度・緯度を求める  
とは、あてがったGRS80楕円体  
で、その地点の経度・緯度を  
読み取ること

では、ベッセル楕円体は、どのようにして地球にセットされたのか

まず、明治初期に実施された精密な天文観測で、現在の「日本経緯度原点」付近の天文経緯度を決定

天文緯度 恒星が子午線を通過するときの高度角から求める  
明治9年（1876年）の天文観測で決定

天文経度 恒星が子午線を通過するときの時刻差から求める  
明治7年（1874年）の天文観測と電信による時刻差測定で、長崎・東京間の経度差が決定され、その後ロシア経由でグリニッジとの間の経度差（経度）が求まる

「地球を測った科学者の群像（日測協会刊）」などを参照

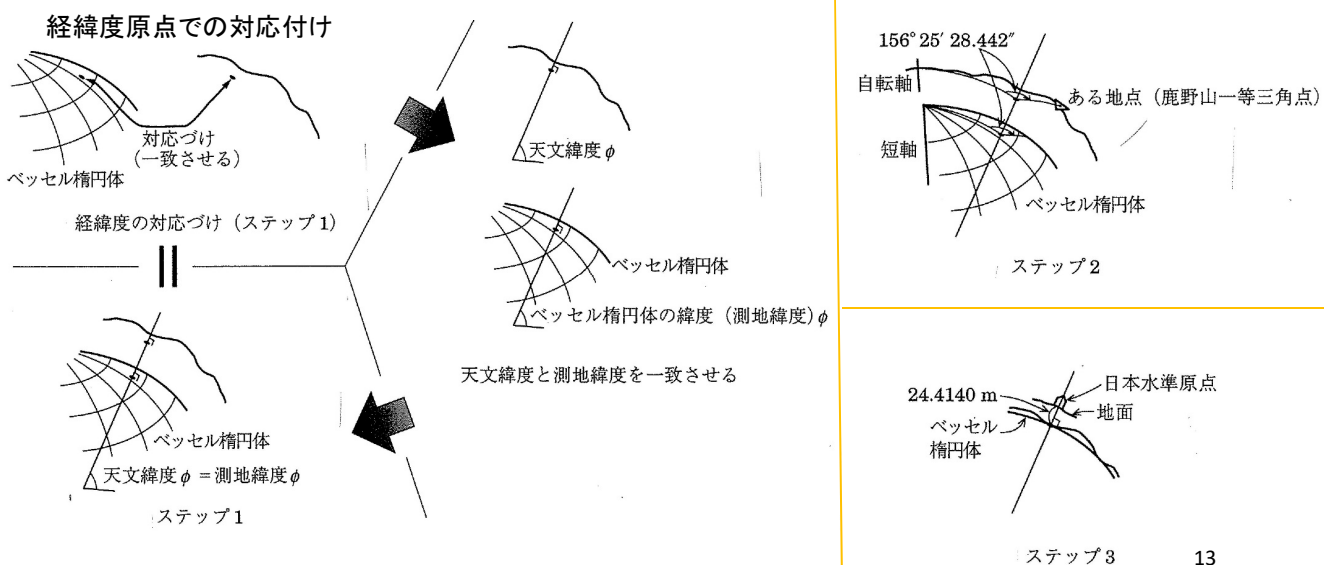
12

## 地球にセット

地球に回転楕円体をセットするためのステップ

下図のステップ1から3を実施（このステップは測天量地つまり測量）  
→ これによりセット完了

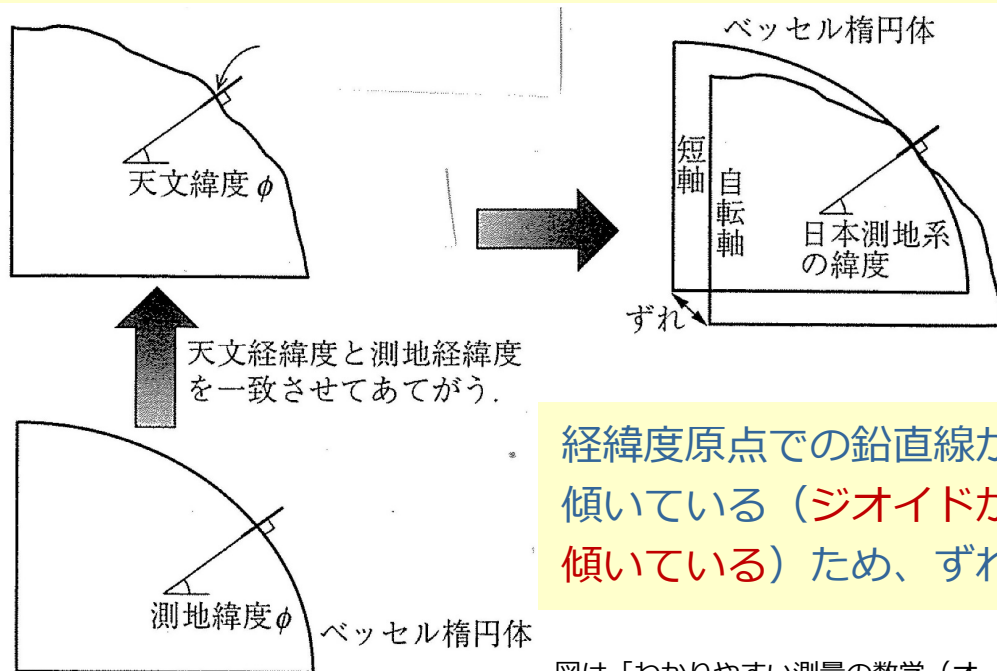
このようにして、構築されたものを「日本測地系」という



13

それでは、日本測地系ではベッセル楕円体をうまくセットできたか

実はズレが・・・



図は「わかりやすい測量の数学（オーム社刊）<sup>14</sup>」より

- ・ズレが明らかになったのは戦後（戦前から多少は知られていた？）
  - ・経度・緯度は世の中で広く使われ、簡単に変更できない
  - ・国内の基準であれば、実用上の問題はほぼなかった
- 戦後も、測量の基準として、日本測地系は、測量法に明記されて使われ続けた

## その一方で、測地学に関する進展 宇宙測地技術の導入と成果

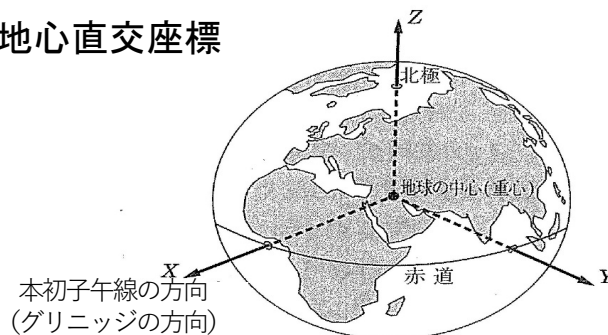
## 宇宙測地技術とは

- ・人工衛星の軌道観測
- ・準星（クエーサー）からの電波を使うVLBI技術
- ・GPS衛星などからの電波を使う衛星測位技術

## 宇宙測地技術の成果

- ・回転楕円体の正確な形状の決定 → GRS80楕円体
- ・地球重心の位置の正確な決定
- ・地心直交座標（地球重心が原点の直交座標）の設定が可能に

地心直交座標



16

## 20世紀前半までの状況と20世紀後半以降の状況をまとめると・・・

## 20世紀前半まで

- ・各国が独自に回転楕円体をセットして経度・緯度を決定
- ・これは当時の技術的な限界からくるもの
- ・各国間の経度・緯度は整合性がとれないが、国内での使用には大きな問題はなし

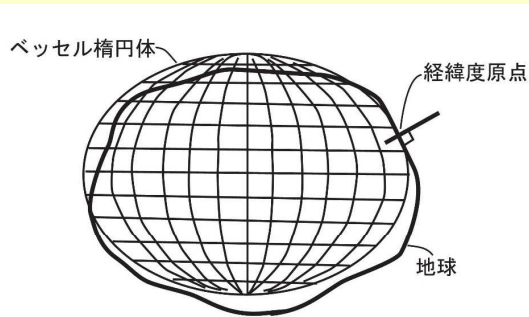
## 20世紀後半以降

- ・宇宙測地技術の進展で、決定版の回転楕円体が求まり、地球への合理的なセッティングも可能に
- ・国際化の進展で、国境をまたいだ測量や地図の必要性が高まる
- ・IT技術の進展で、世界共通の経度・緯度に基づく地理情報（デジタルデータ）整備の必要性が高まる

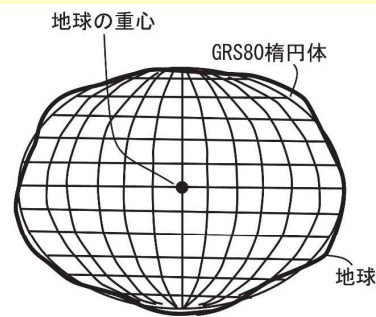
背景には・・・地球環境問題の顕在化、国際協力・国際ビジネスの進展、GPS・GIS・RSなどを活用した新産業の創出など

17

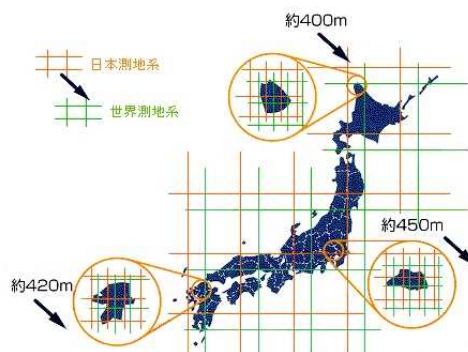
## そして、世界測地系の導入へ！ (2002年4月～)



日本測地系  
経緯度原点での天文経緯度などを使って  
ベッセル楕円体を地球にセット



世界測地系  
宇宙測地技術で求めた地球の重心などを使っ  
て、GRS80楕円体を地球にセット



日本測地系と世界測地系では、  
400m以上のズレがある。

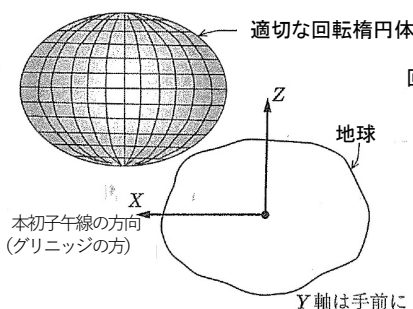
国土地理院パンフレットより

18

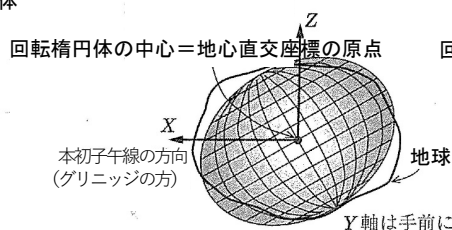
# 地球にセット

## 世界測地系（新しい経度・緯度）の構築

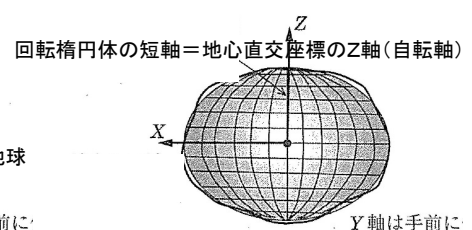
- ・VLBIなどの宇宙測地技術で求められた、地球上のとても離れた地点間の正確な距離などを使って、膨大な計算を繰り返して構築。  
→ この計算で求められるものは、基準となる地点の正確な地心直交座標の値や世界測地系での経度・緯度
- ・ただし、世界測地系構築のイメージは、次の通りシンプル



ステップ1: 適切な回転楕円体の用意  
と地心直交座標の設定



ステップ2: 回転楕円体の中心と地心  
直交座標の原点の一致  
回転楕円体の経度0°はX軸の方向



ステップ3: 回転楕円体の短軸と  
地心直交座標のZ軸(自転軸)の一致

## 2002年4月、世界測地系を規定した改正測量法が施行 条文には、世界測地系構築イメージのステップが書かれている

測量法(昭和二十四年法律第百八十八号)(抄)  
(測量の基準)

第十一条 基本測量及び公共測量は、次に掲げる測量の基準に従って行わなければならない。

1 項（位置の表示方法、原点など）は略

2 前項第一号の地理学的経緯度は、世界測地系に従って測定しなければならない。

3 前項の「世界測地系」とは、地球を次に掲げる要件を満たす扁平な回転楕円体であると想定して行う地理学的経緯度の測定に関する測量の基準をいう。

一 その長半径及び扁平率が、地理学的経緯度の測定に関する国際的な決定に基づき政令で定める値であるものであること。

二 その中心が、地球の重心と一致するものであること。

三 その短軸が、地球の自転軸と一致するものであること。

20

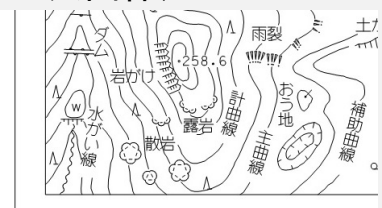
## まとめ

- 経度・緯度は、自然科学の法則ではない
- 人間社会の決めごと → 法律で規定される
- 経度・緯度は、社会を支える基盤的なもの  
最近では、ナビなどのGISにおいて情報を重ねるときに必須
- 世界測地系（扁平な回転楕円体の経度・緯度）の重要性を考えてみませんか

地形図(国土地理院)



都市計画図(地方公共団体)



平成14年国土交通省告示第九号の規定による  
第VI座標系(世界測地系に準拠)  
投影は横メルカトル図法  
図表に表示してある座標値はキロメートル単位  
方眼は0.5キロメートル間隔  
高さの基準は東京湾の平均海面  
等高線の間隔は2メートル

注目

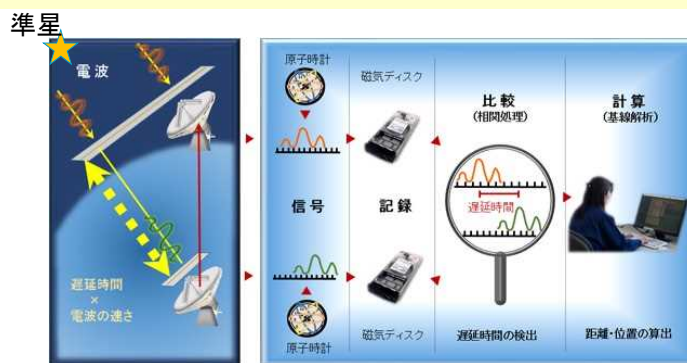
21

060F561

## VLBIについて

- ・数十億光年にある準星（クエーサ）が放った電波を地球上のいくつかのパラボラアンテナで受信
- ・地球上のアンテナの位置によって電波を受信する時刻も少し（0.02秒以下）異なる
- ・VLBIでは、原子時計でそれぞれのアンテナで電波を受信した時刻を非常に正確に測定
- ・それぞれのアンテナで記録した時刻を比較して、電波を受信した時刻の差（遅延時間）を割り出す。
- ・遅延時間に電波の速さをかけ、天体の方向も考慮して、アンテナ間の距離を測定
- ・数千キロメートル離れたアンテナの距離も、誤差はわずか数ミリメートル程度

### VLBIも、測天量地！

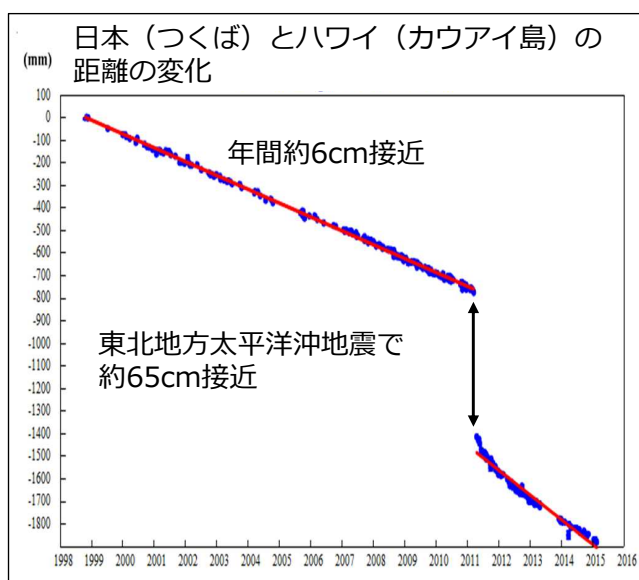


国土地理院 石岡観測局

国土地理院HP、パンフレットなどによる

## VLBIでプレート運動等（地球の動き）を捉える

- ハワイと日本が年間6cm接近していることを検出。
- 東北地方太平洋沖地震では、日本の位置の正確な変化を捉えた。



国土地理院HP、パンフレットなどによる

