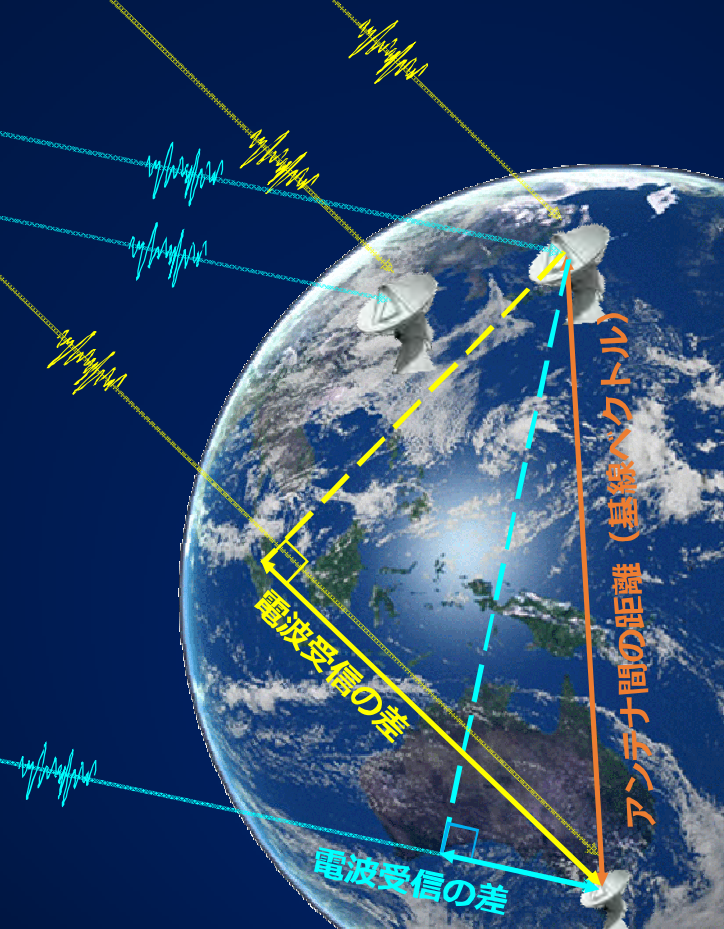


VLBIとは

VLBIとは、Very Long Baseline Interferometry（超長基線電波干渉法）の略で、はるか数十億光年の彼方にある天体（クエーサー）から地球に届く電波を利用し、数千kmも離れたアンテナの距離を、わずか数mmの誤差で測る測量技術です。

3つ以上のクエーサーを観測することで、アンテナの3次元的な位置関係がわかります。世界各地のアンテナが観測に参加すれば、地球の大きさや形状、地球の自転の様子などがわかります。

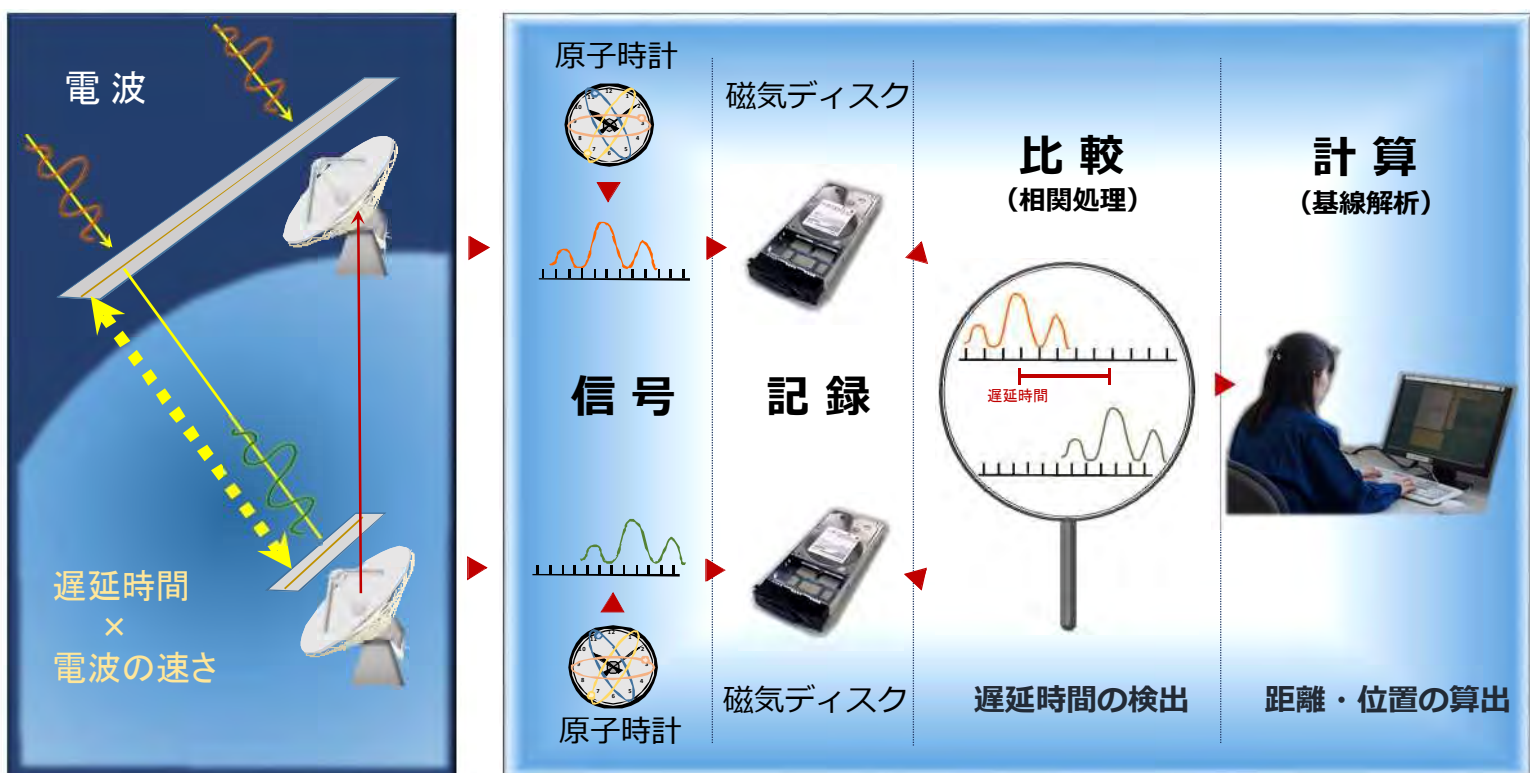
通常のVLBIでは、24時間で延べ500個程度のクエーサーを観測します。測量では200個程度のクエーサーを使いますが、現在分かっているクエーサーの数は20万個くらいあると言われています。



VLBIの原理

VLBIでは、数十億光年離れたクエーサーが放つ非常に弱い電波を、いくつかのパラボラアンテナで同時に受信します。特定の電波を受信した時刻は、2つのアンテナ間でわずかに(0-0.02秒)異なります。この時刻の差(遅延時間)を、非常に正確な時計(水素メーザー原子時計)で1000億分の1秒まで測ります。

この時刻の差に電波の速さ(秒速30万km)をかけると、2つのアンテナが電波のやってくる方向から見て、どれだけ離れているかがわかります。



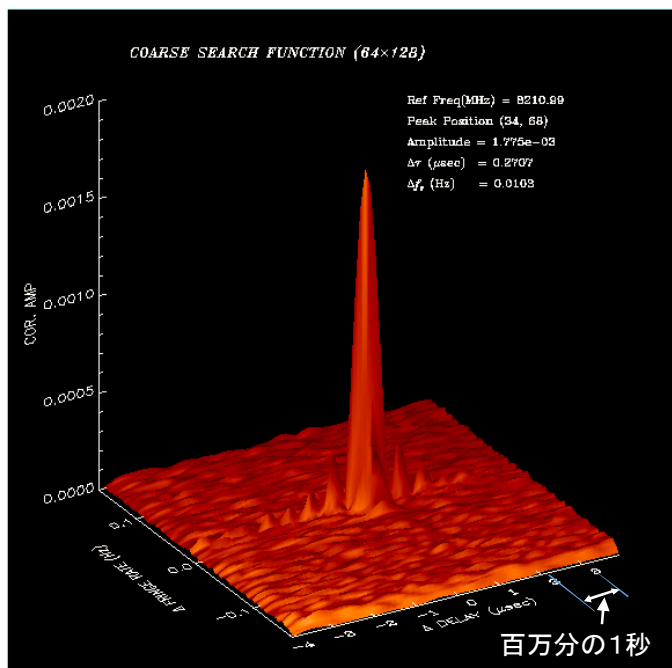
遅延時間は、非常に正確な水素メーザー原子時計を使って計測します。1億年に1秒しか狂わないこの時計の精度がVLBIの命です。

時間(秒)	電波が進む距離(m)	距離
1	300,000,000	30万km
1/100	3,000,000	300km
1/100,000,000	3	3m
1/100,000,000,000	0.003	3mm

1000億分の1秒まで測ると、mm単位の正確さでアンテナ間の距離がわかります。

相関処理と基線解析

各VLBIアンテナで受信した電波は磁気ディスクに記録され、観測終了後に相関局へ集められます。相関局では、到達した時刻を少しずつずらしながら2つの信号のパターンを比較します。このパターンが最もよく一致するときの時刻のずれが、遅延時間です。（相関処理）



左の図は、信号のパターンが一致している割合を示したもので、ピークの位置が遅延時間を示します。

この遅延時間は1つのクエーサーの測定で1つ得られます。VLBI観測は24時間で数百のクエーサーを測定しますので、遅延時間も測定した数だけ求められます。

得られた数百のデータ（遅延時間）を使用して、2つのアンテナ間の位置関係を計算します。（基線解析）



1998年つくば観測局開設当時の設備
(大きな磁気テープが見えます)



以前は、この磁気テープを飛行機や船で輸送していました。



近年のつくば観測局の設備
(データは磁気ディスクに記録)



記録データは、ネットワークを使い送受信しています。

VLBIデータの記録媒体

磁気テープ ⇒ 磁気ディスク



期間：1998年～2005年
容量：300GB
時間：約10.7時間分
価格：約20万円
(1997年当時)

国際観測に使用し、テープは米国等へ輸送し、解析していました。



期間：1989年～2005年
容量：96GB
時間：約3.4時間分
価格：約12万円
(1995年当時)

主に国内観測に使用し、テープはつくばに送り解析していました。



期間：2006年～現在
容量：250GB～1TB (1,000GB)
時間：約8.9時間分～約24時間分
価格：約1万円

国際観測はネットワークで米国等へ送り、国内観測ではつくばにディスクを輸送し、解析していました。

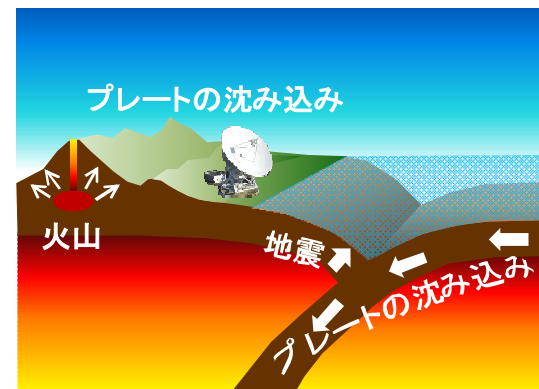
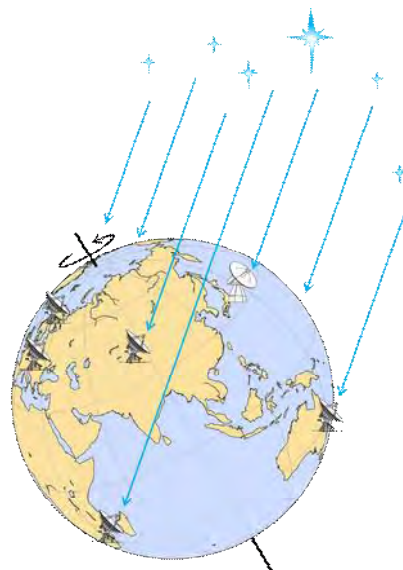
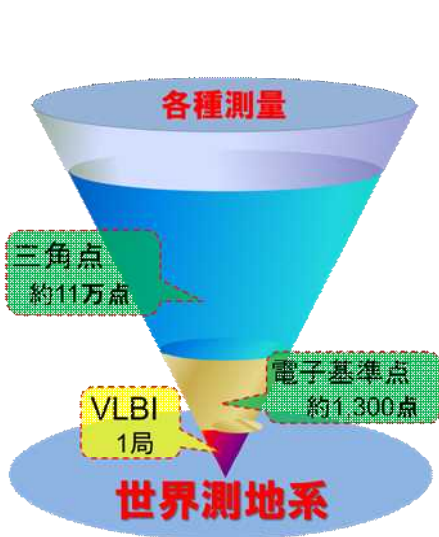


注. 記録容量と記録時間は、その時代によって1秒間の記録容量が異なるため、一概には比較できない。

VLBIの役割

VLBIでは、数千kmも離れたアンテナの距離を、わずか数mmの誤差で測れるため、地球規模で起こるさまざまな変動を捉えることができます。例えば、アンテナ同士の位置関係の変化から、プレート運動を捉えることができます。

また、地球の回転をはじめ地球の運動を捉えることもでき、その変化の様子から地球内部などで起こる諸現象を解明することに役立ちます。加えて、地球の回転は、GNSSなどのように人工衛星を用いて正確な位置を測定する際や、宇宙探査機の軌道を正確に決定する際にも、必要不可欠になっています。



地球上の正確な位置 (緯度・経度) を測る

日本では、すべての位置はVLBIで測定した正確な緯度・経度を基準に測られています。

これまで18年間、日本のVLBI観測は、つくばVLBI観測局が担ってきました。

地球の自転速度を測る

地球の自転は、一定ではなく、常にわずかに変化しています。VLBIは、自転など地球の回転を精密に測ることができます。この情報は「うるう秒」挿入の決定にも使われます。

プレートの運動 (地球の形) を捉える

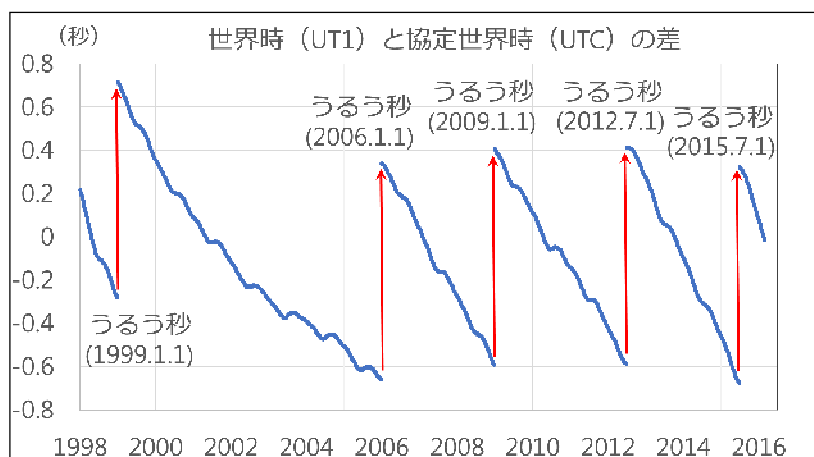
VLBIは、プレート運動など地球の形の変化も正確に測ることができます。VLBIの観測から、ハワイと日本が一年に6cmずつ近づいていることが分かっています。

地球の自転速度を測る

時間は、私たちの生活に欠かすことのできない情報です。時間は、もともと地球の自転や公転を元に決められていましたが、科学技術の進歩により、原子時計を元に時刻を決めることができるようになりました。これを「国際原子時」と呼びます。

ところが、地球の自転速度は不規則であるため、地球の自転に基づく時刻「世界時 (UT 1)」と国際原子時の間には、ずれが生じてしまいます。この差が0.9秒以内になるように、「うるう秒」として国際原子時に1秒挿入して時刻を調整します。これを「協定世界時 (UTC)」と呼びます。現在、この時刻が世界の標準時として一般に使われています。

うるう秒挿入を決定するためには、地球の回転の様子を常に監視する必要があります。この監視を行っているのがVLBIです。



VLBIで測った地球の自転の変化と「うるう秒」

現在、この観測を行っているのは、つくば、ドイツ及びハワイの観測施設です。この3局によるVLBI観測でUT 1を求めています。そして、それを国際原子時と比較することによって、うるう秒の挿入が決定されています。

次回のうるう秒挿入は、**2017年1月1日**です。



ドイツ ヴェッツェル



UT1観測局



ハワイ コキー



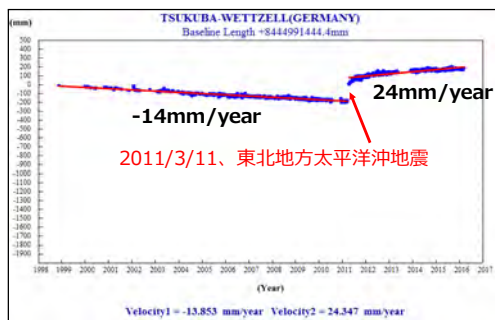
日本 つくば

国際VLBI観測結果

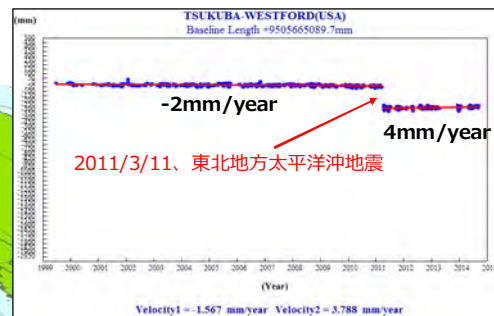
日本の位置やプレート運動の監視などの観測

国土地理院では、IVS(国際VLBI事業)のもとで国際VLBI観測を行い、日本の位置やプレート運動を監視しています。ここでは、その結果の一部を紹介します。

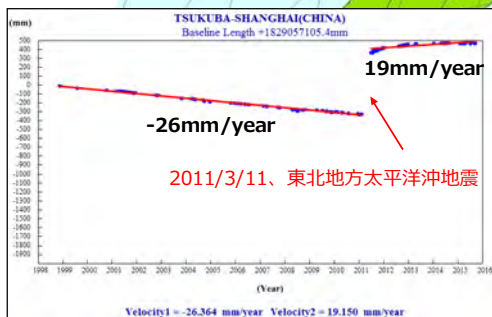
つくば-ヴェッツェル (ドイツ)



つくば-ウェストフォード (米国)

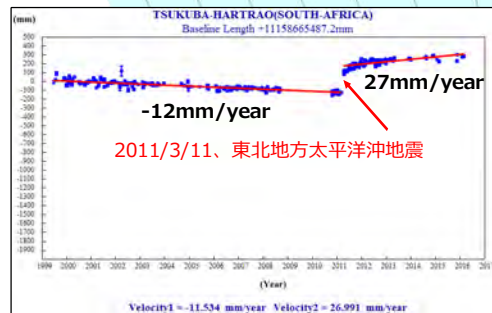


つくば-上海 (中国)

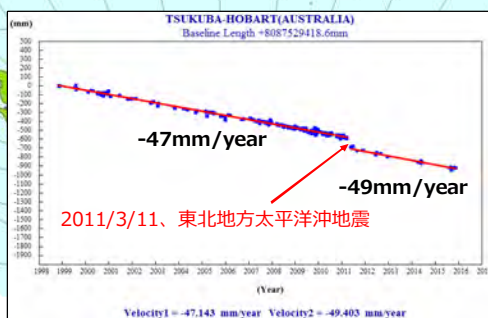


ハートラオ

つくば-ハートラオ (南アフリカ)



つくば-ホバート (タスマニア)



ココキパーク

つくば-ココキパーク (ハワイ)

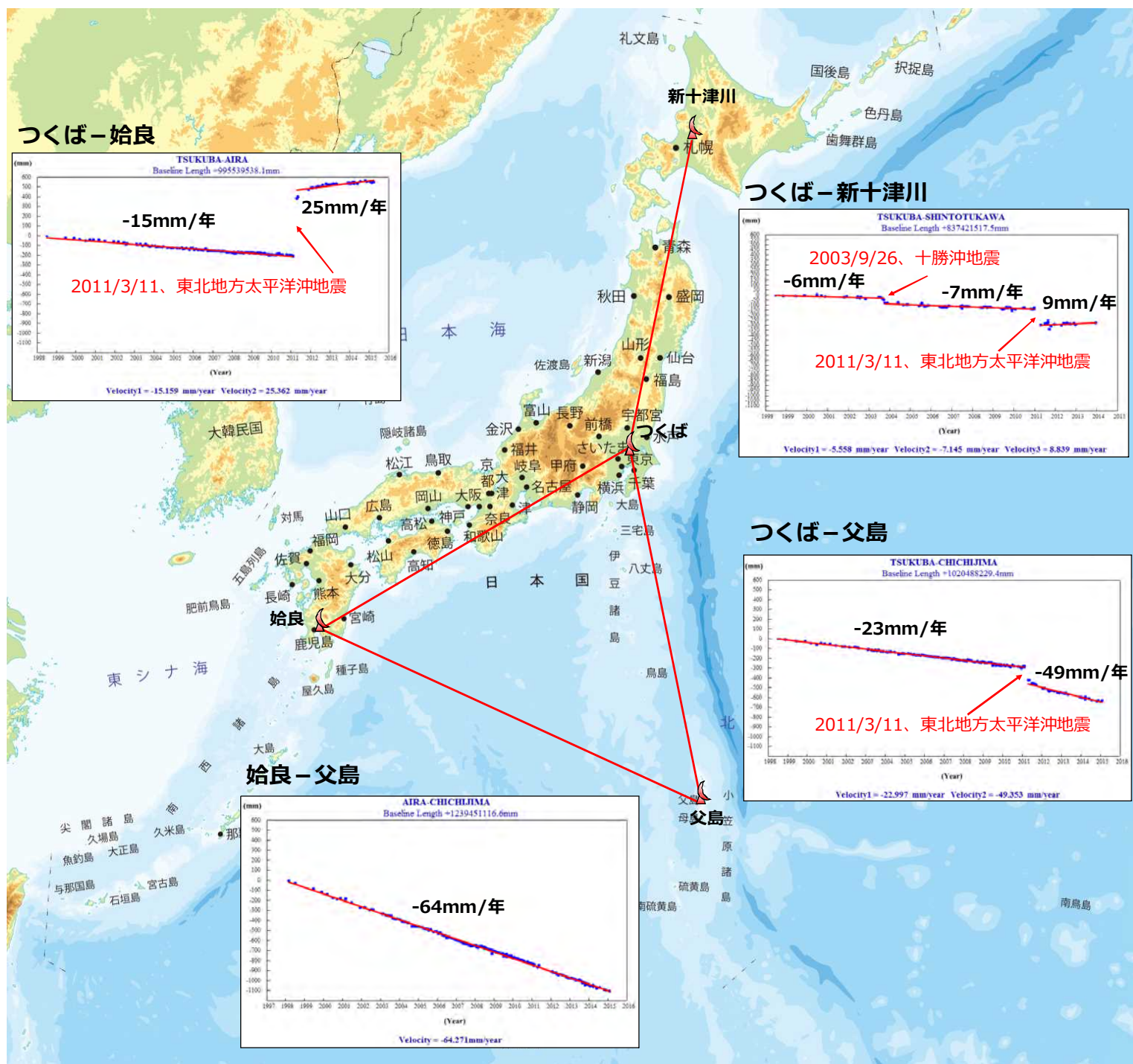


背景とした世界地図は、東京を中心とした正距方位図法による

つくばとハワイの間は1年間に約6cm距離が短くなっています。一方、北米のウェストフォードとではほとんど変化がありません。これは、同じプレートの上にあるためと考えられています。

国内VLBI観測の結果

国内4ヶ所の固定観測局間の距離の変化を、定期的に公表してきました。



4観測局のうち父島は、唯一フィリピン海プレート上にあります。フィリピン海プレートは本州沿岸でユーラシアプレートの下に沈み込むと考えられています。国内VLBI観測が捉えた年間6cmという「非常に速い」動きは日本の東海～西南日本の沿岸沿いに発生する地震の原因の1つと考えられています。

父島がこのままの速度で移動すると、およそ2,000万年後には、四国沖の南海トラフに達することになります。