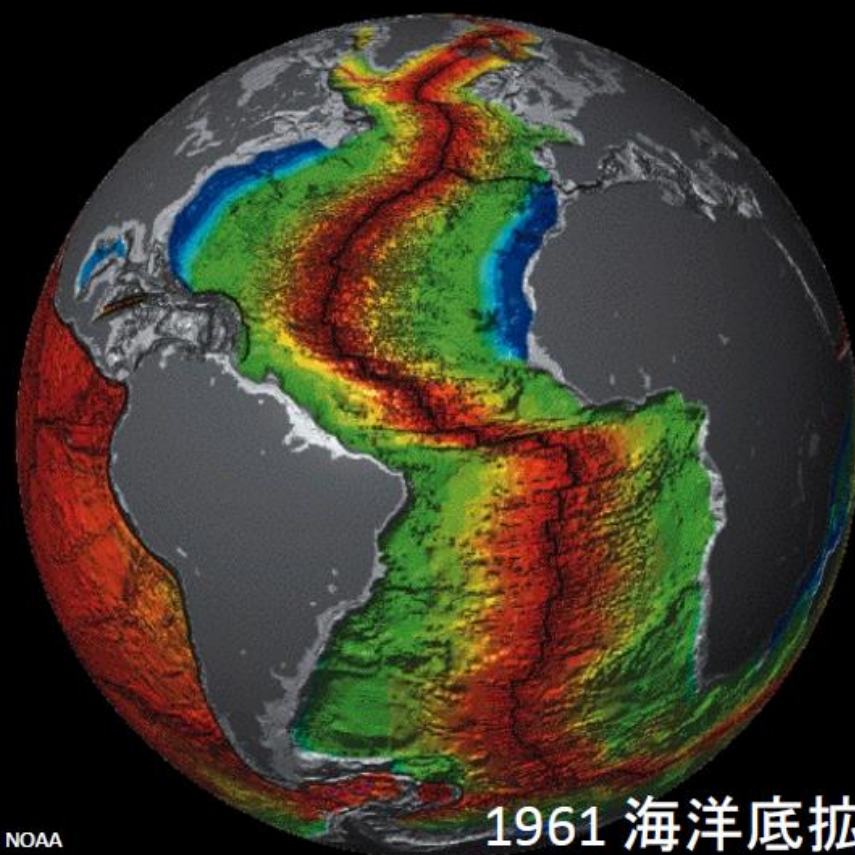


地球とは何者か—経験から思う不思議な世界 — 図説 —

2020年1月9日の講演
東京海洋大学教授 木村 学

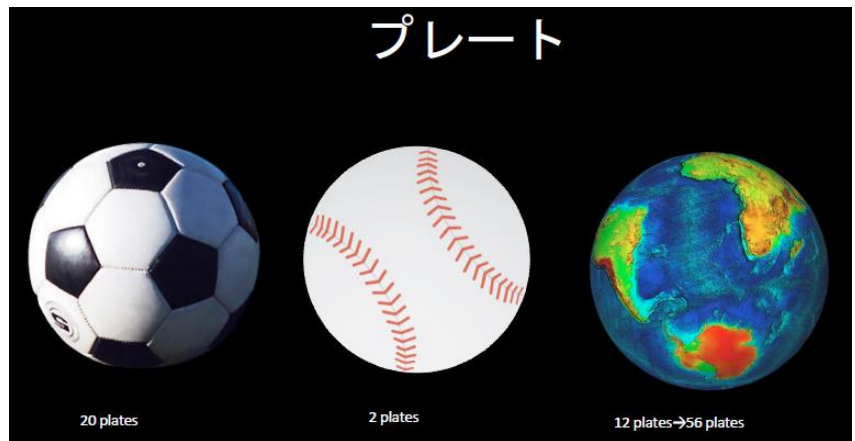
—20世紀後半の地球感 21世紀測地学と地球透視 変動するアジアと新日本列島論—
今世紀にないって地球を知るための手段、特に地球の内部を透視する技術と、大地の刻々の変動を測る測地の技術が飛躍的に進歩したことによって、新たに見えてきたプレートテクトニクス理論の現状について紹介したいと思います。



1961 海洋底拡大説

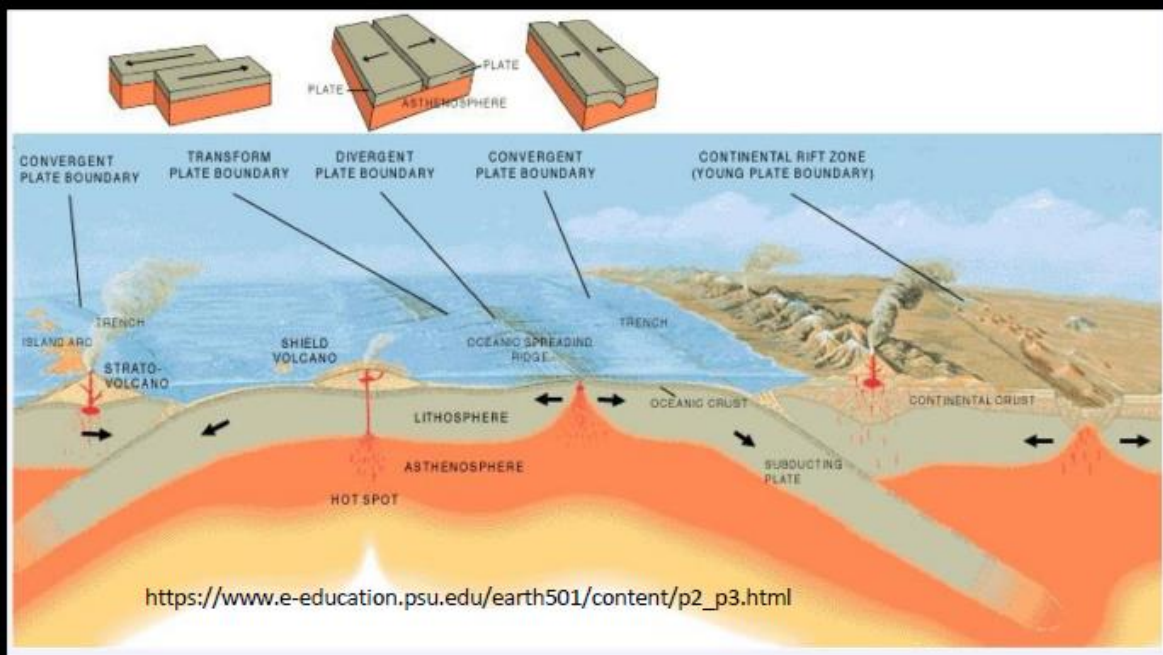
1) 第二次世界対戦が終わり平和の時代となりました。第二次世界大戦の特徴は海の戦争にありました。大きな軍艦がお互いにぶつかり合い、海の中には潜水艦が潜んでいました。軍艦や潜水艦は座礁するとひとたまりもありません。それを避けるためには海底の地形を徹底して知らねばなりません。アメリカ海軍の地質学者たちはひたすら海底を調査したのです。そしてそれを戦後になってまとめると大西洋の真ん中に大山脈が連なっていることなど海底の驚くべき姿が発見されました。海底なので水から顔を出してはいないのですが他の海底に比べると明らかに高いという意味での大山脈です。その大山脈こそがウェゲナーが述べていた大陸の分裂した傷跡だったのです。

2) 大陸が海底が動くということは、地球の表面に近い岩石の板が水平方向に動いているということを意味しています。地球の硬い岩石の板、それをプレートと呼ぶことになったのです。例えばサッカーボールは五角形と六角形の板が球を覆ったものです。野球

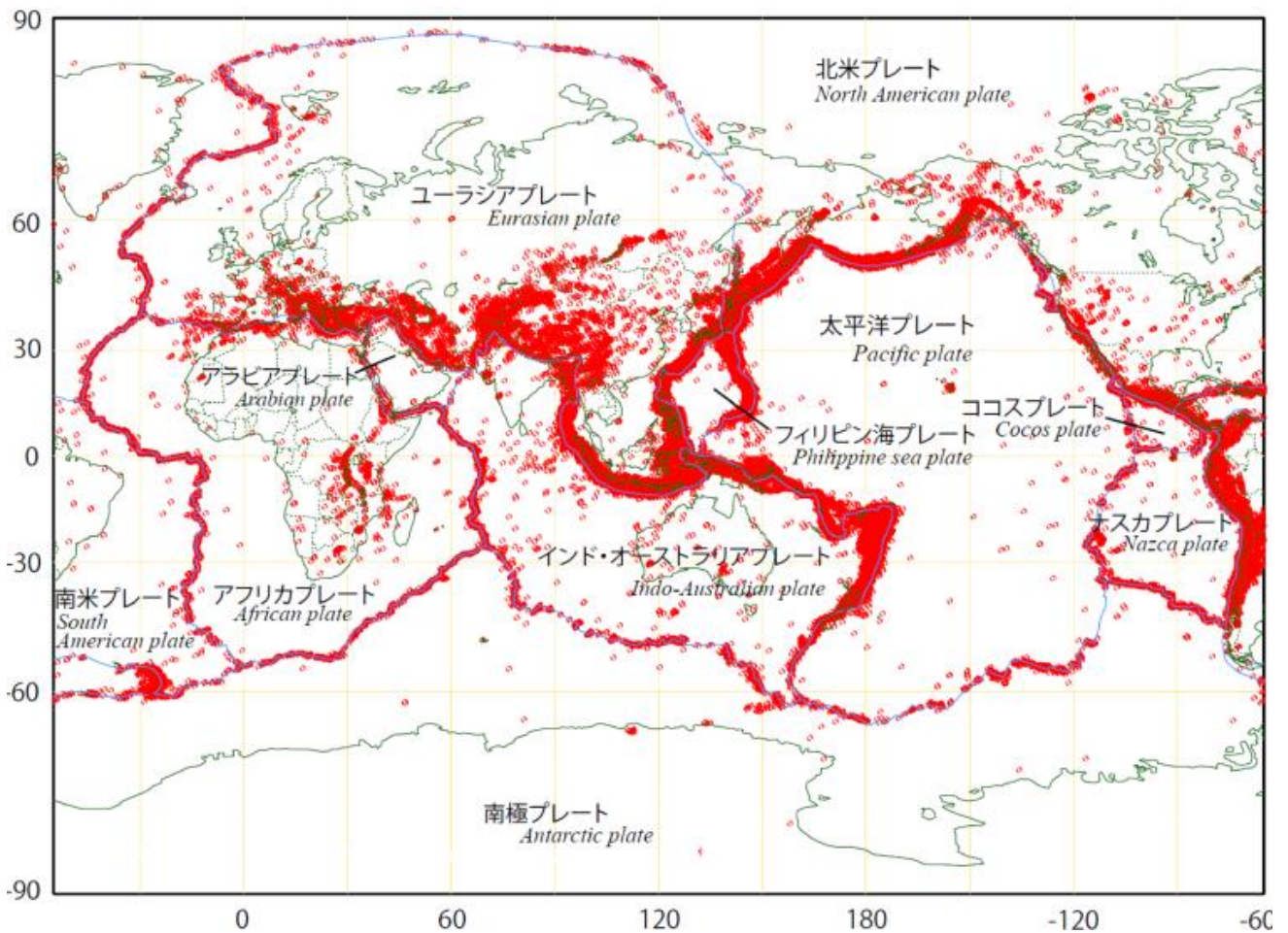


やテニスボールは 2 枚のプレートが球を覆ったものです。地球は規則的な形ではありませんが 12 枚のプレートが地球の表面に広がったものです。

1960年代末 プレートテクトニクス理論の成立 地震、火山、地殻変動の統一的理解

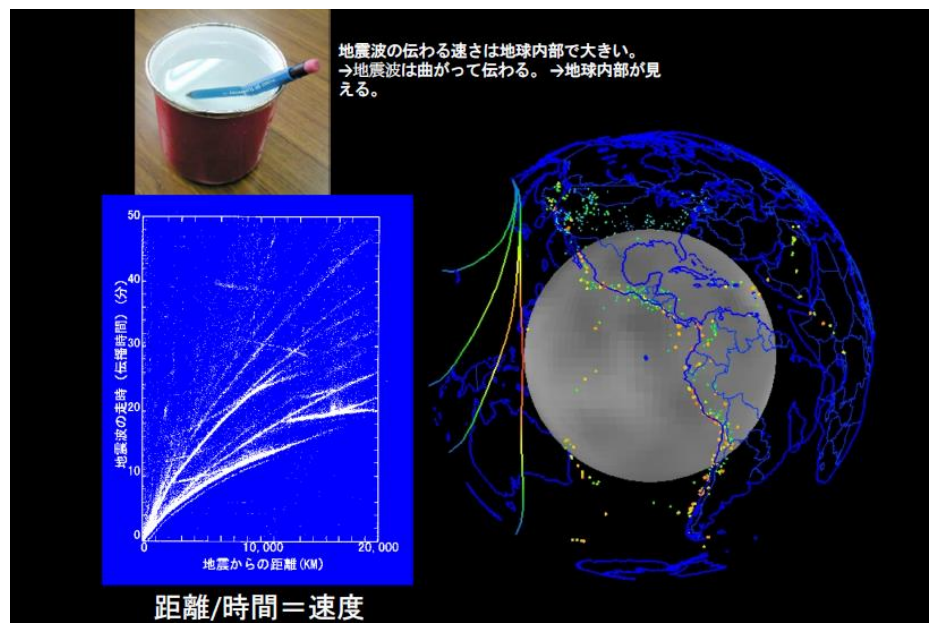


3) プレート境界は三つに分類されましたが、そこには地球の変動が集中し、地震火山地殻変動などが活発に起こっていることと合わせて地球に対する理解の基本的な事柄がわかったと言えたのです。日本列島は海のプレートと陸のプレートがぶつかり合い海溝から海のプレートが地球内部へ沈んでいく場所であることもこの時から明瞭に認識されるようになったわけです。



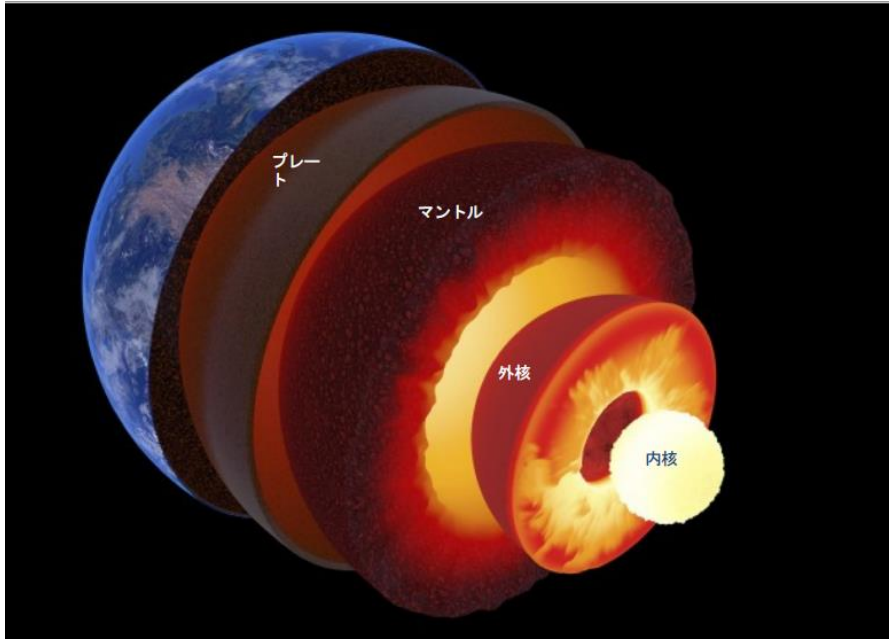
4) 上の図は地球における地震活動の活発なところを記したのですが、ほとんど全てがプレート境界で起こっています特に海溝地域では地球上の90%以上の地震が起こっています。12枚の大きなプレートがそれらに取り囲まれています。

5) 地球を透視する技術の中でも特に地震の波を使ったことを紹介します。コップに水を入れてそこに鉛筆を入れると曲がて見えることは皆さん経験しますね。これは波である光が水の進路が曲がって目に入ってくるのでこう見えるのです。波の伝わる媒体の中での速度が異なると進路が曲が



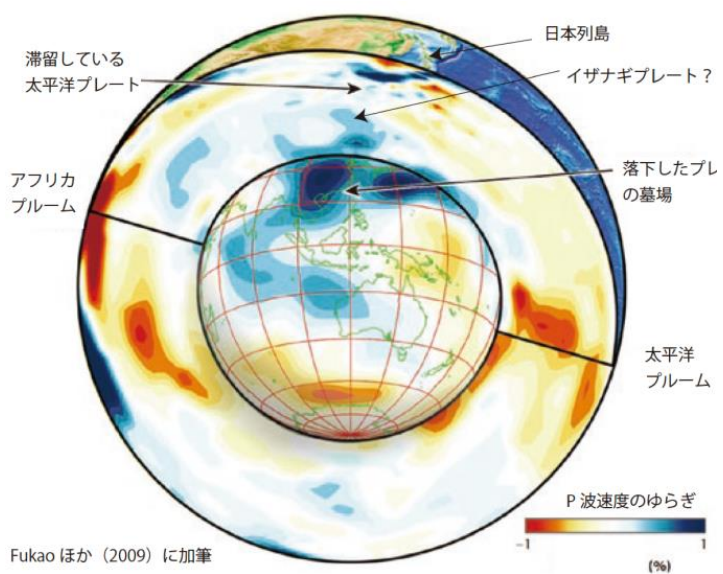
るのです。4輪の車で走っている時に片側の車輪の回転が遅くなるが、もう一方の車輪はそのままの速さで回ったままの場合、車は曲がります。それと同じ原理です。地震が起こり、その波が地球内部へ伝わった時、地球内部はより硬く波の伝わる速度が速いので、波は曲がって戻ってきます。どこまで入った波がどこを通過して戻ってきたかを調べると地球の内部が透けて見えるのです。

6) 20世紀の早い段階ですでに地球内部は層状の構造をしていることは分かっていたいました。地球地表に近い所は地殻、その下はマントルそして地球の中心部は核、その外側は溶けている外核、そして中心部は温度が高いが圧力も異常に高いので固体であることは分かっていたいました。マントルの一番外側はよく見るとその下のマントルよりさらに硬いので地殻と一緒にプレートと呼ぶようになりました。



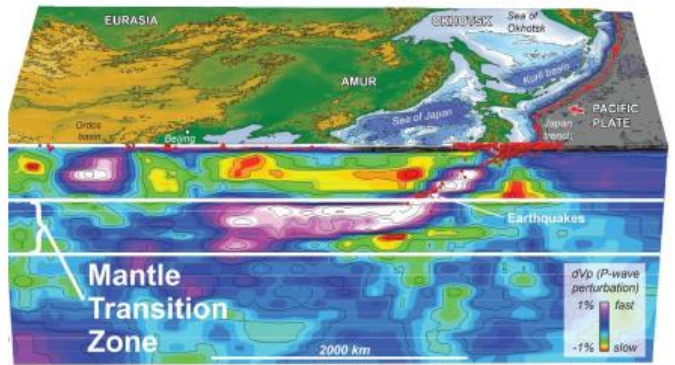
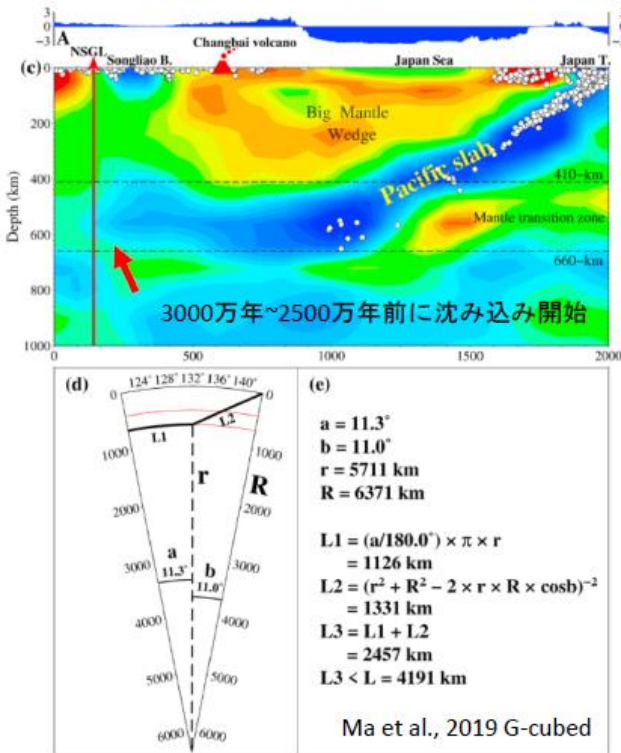
マントルとは日本語では外套という意味です。スーパーマンのマントのmantleです。地球の中心核を包み込む外套というわけです。

7) 地震は無数に観測されるのでそれらをスーパーコンピュータを使って通ってきた地球内部の通路の速度を復元すると同じマントルでもより速いところと、より遅いところがあることも分かってきました。これは主に1990年代後半以降の大きな成果です。大量のデータ処理ができるようになって初めて可能になった地球投手の技術です。日本海溝から沈み込む太平洋プレートの様子もよく見えるようになってきました。またアジア大陸東部のマントル深部には高速度のマントルが存在することも明らかとなりました。



Fukaoほか(2009)に加筆

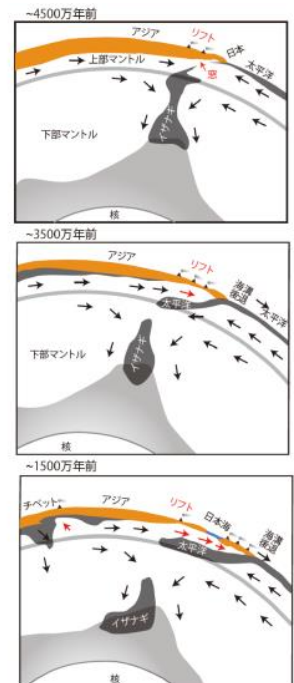
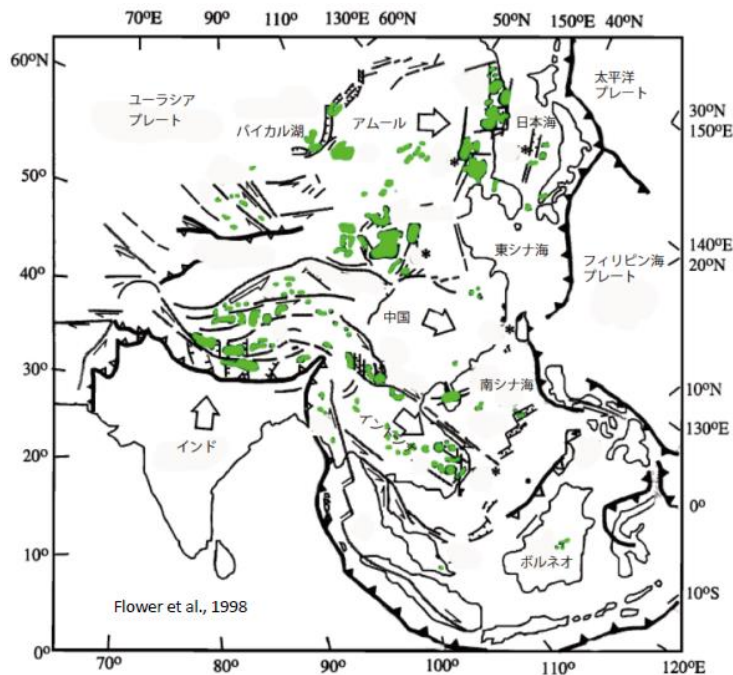
白頭（長白）火山



Wu, 2019

8) これは最新の日本列島とアジア大陸下のマンツルの一例です。日本海溝から沈んだ太平洋プレートは3000万年から2500万年程度かけてアジア大陸の下の深さ400kmから600kmに横たわるようになりました。そしてその沈んだ太平洋プレートの上は逆に速度の遅いマンツルが横たわっていることが見えてきました。大陸内部には北朝鮮と中国の国境の白頭（長白）山あるいは大陸内部にも活火山があります。それらはこの速度の遅いマンツルから上が

ってきたマグマが吹き出したものとみられるようになってきたのです。何故そここのように火山ができるのか大いに議論の呼んでいるところです。

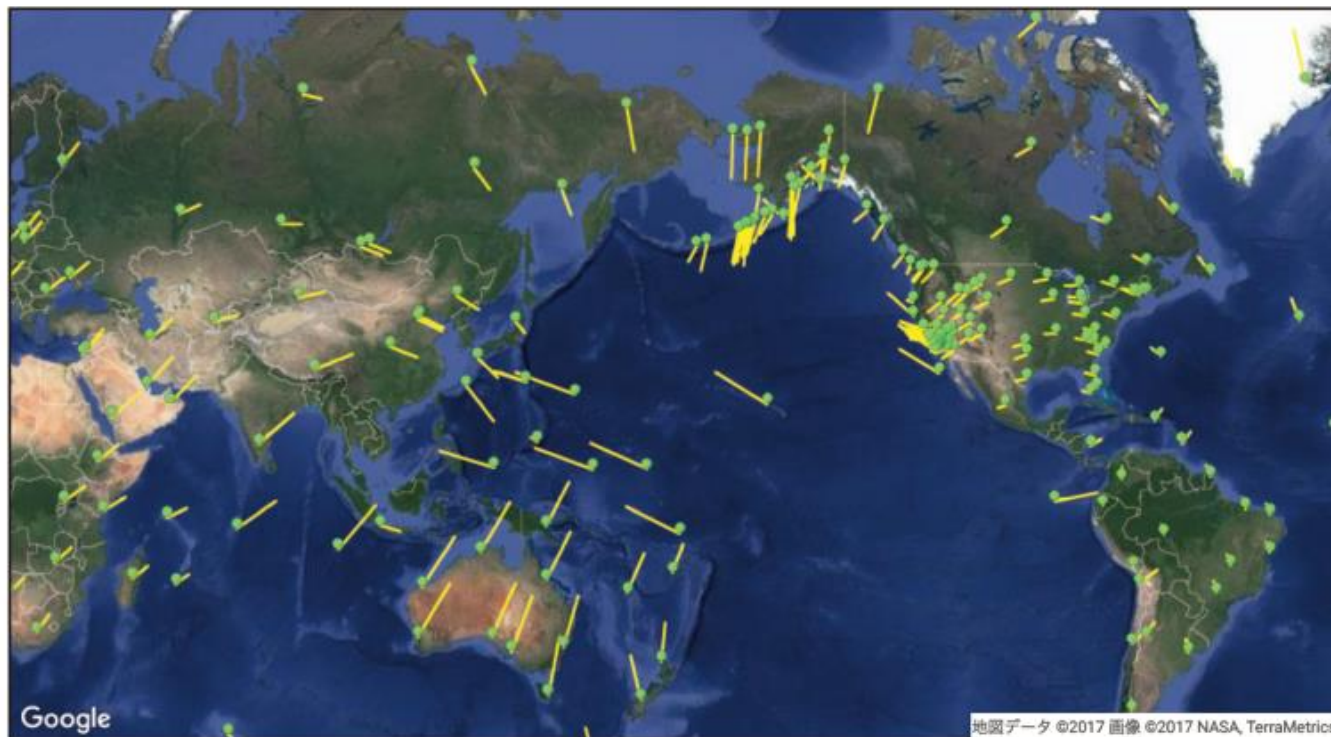


9) アジア大陸の東の端では

太平洋プレートの沈み込みによる影響が大陸の奥深くまで及んでいると議論されています。が同時にアジア大陸ではもう一つのプレートの衝突が大きな影響を及ぼしています。それはインド大陸がアジア大陸にぶつかっていることによります。インドとアジアの衝突はヒマラヤ山脈を作りチベットを天高く突き上げました。が、そこにとどまらずアジア大陸の奥地まで遠くにまで及んでいるとみなされるのです。アジア大陸は変形しないプレートとはとても言い切れず、昔のようなプレートテクトニクス理論ではうまくいかないことも最近の大きな議論の焦点です。中国の研究の大きな進歩で地球に対する見方もこれから大いに変わっていくでしょう。

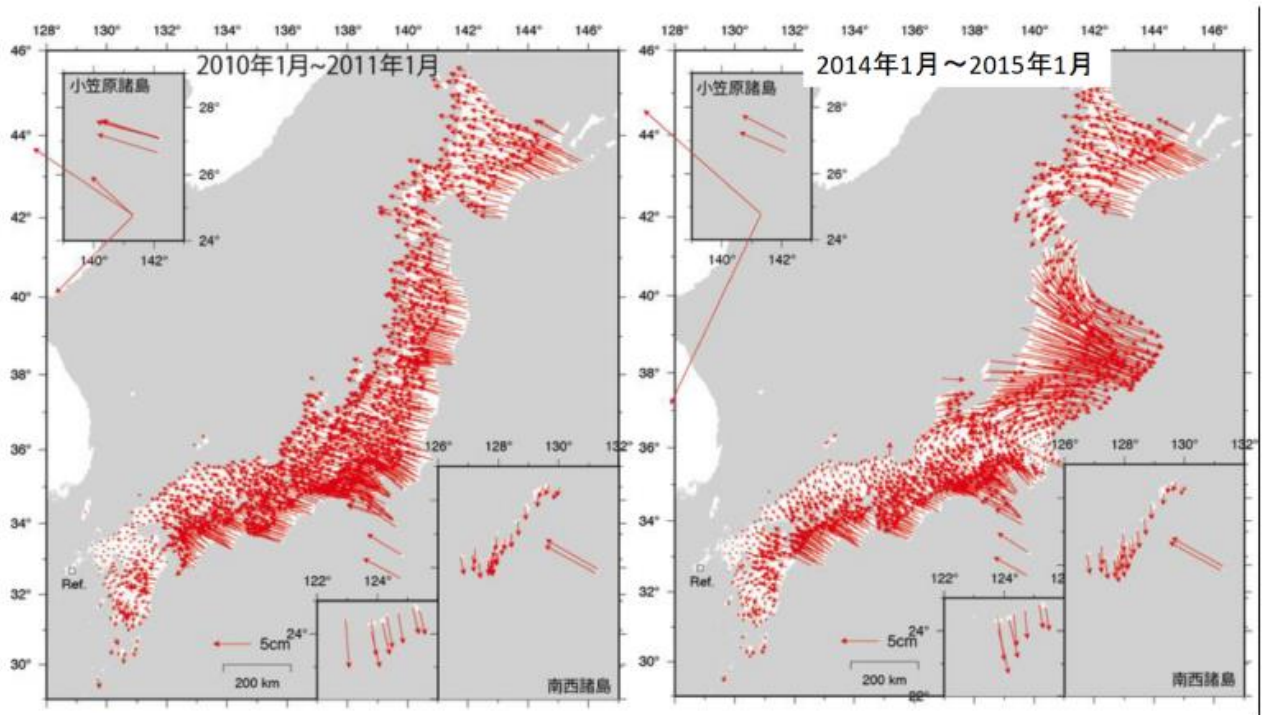
10) 今世紀に入ってからのもうひとつの技術革命は人工衛星を使った時々刻々の大地の動きの観察です。これは20世紀の末に示された模式図です。ある点を基準にして地球上の地点での一年間の動き、あるいは一か月間の動き、あるいはもっと短く一年間の動きが観測され、それがスーパーコンピュータを駆使して全て見る事ができるのです。この結果が数百万年間の平均としてプレートテクトニクスが予想をした大地の動きと現在進行形の地殻変動がどのような関係にあるのかを検討する研究が飛躍的に前進してし続けています。

Geodetic Positions and Velocities II Cartesian Positions and Velocities
Break Estimates II Seasonal Estimates
FTP Time Series II FTP Residuals
Methods



<http://sideshow.jpl.nasa.gov/post/series.html>

1 1) これは日本列島の観測結果です。1995年阪神淡路大震災の後に、日本列島を覆うGPS観測点が急速に配備されました。2011年の東北地震の前までは日本列島のほとんどが北西方向へ動いていました。南海トラフではフィリピン海プレートと西南日本



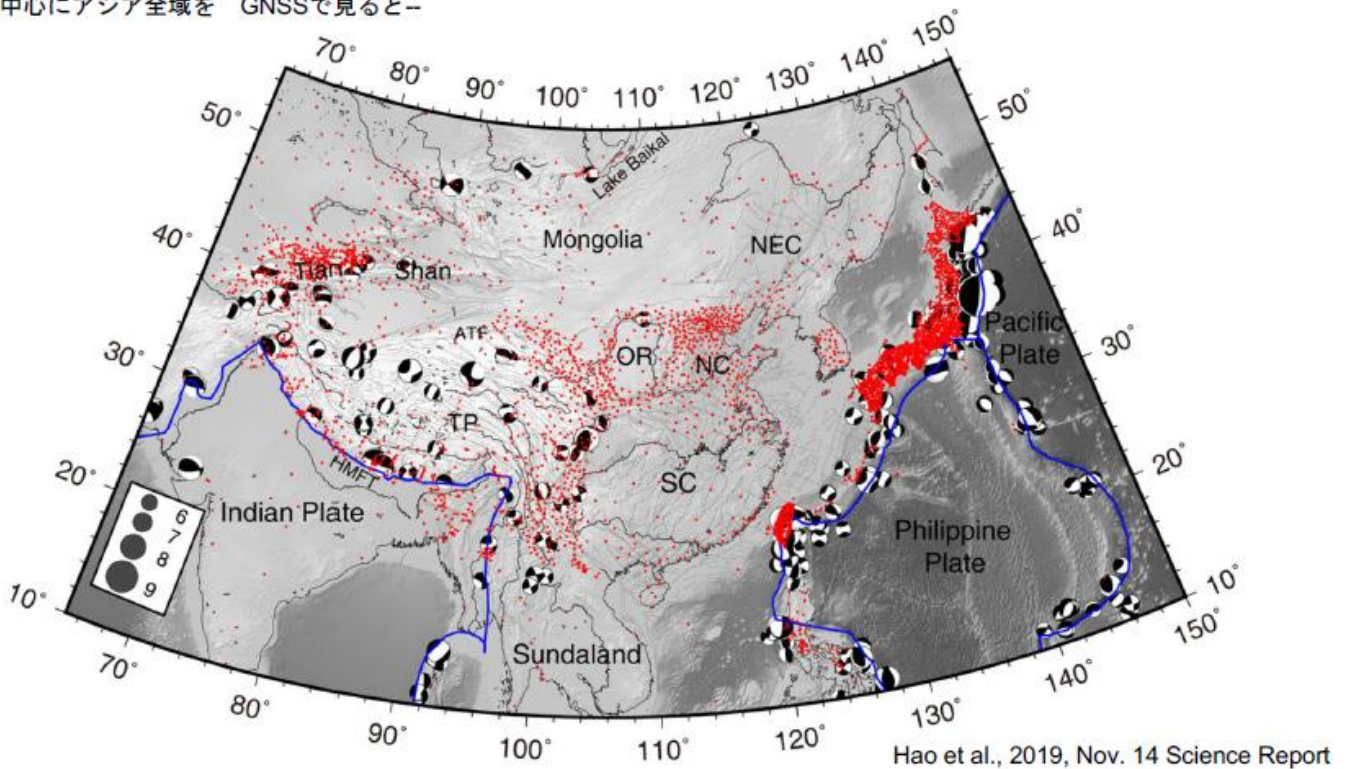
Nishimura, 2015

の間の運動の方向に動いていました。ところが東北地震が起きて仙台近傍の東北日本は一斉に東へ向きを変えて動きました。このデータは2014年から2015年の間の1年間ですが地震が終わった後5年も経とうという時にまだ東へ動き続けていました。これは地震の前まで、太平洋プレートと東北日本は固着していたのですが地震によって一気にそのタガが外れた。そしてその結果として東北日本は東へ動いたのです。5年経ってもまだ東北地震の余りの運動が続いていることを意味しています。長らく余震が続いたことによっても分かります。今は西向きに戻っています。この地震前後のGPSを使った東北の動きは南海トラフの未来を考える上でも重要です。南海トラフでは動きは変化していませんね。いざ南海地震が起こるとどうなるか想像できますね。

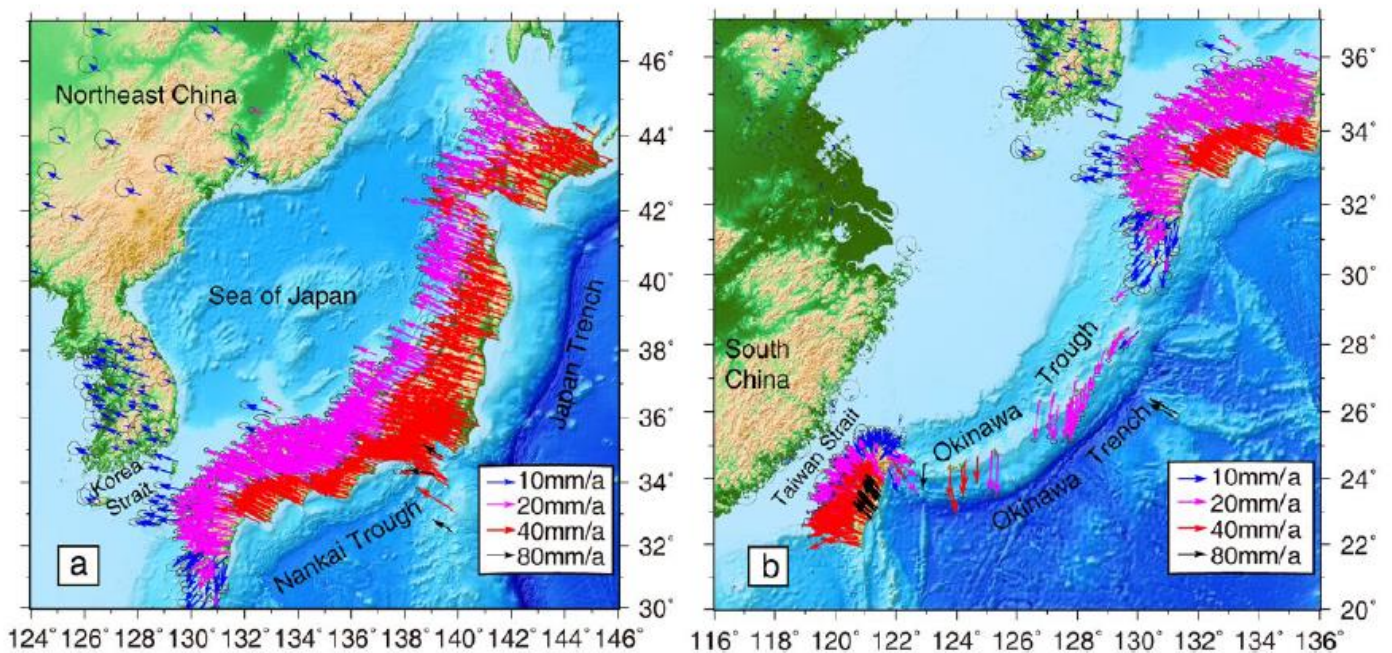
1 2) 次は2019年11月に公表されたアジア大陸全域のGPSの結果です。大陸の中の赤い点が観測点です。白黒の丸で示されたものは地震です。。丸の大きさが地震の大きさ、白と黒の区分によって地震がどのような断層によって起きたかを示しています。ヒマラヤ山脈の北と日本から台湾に至る領域で活発な地震が起きていることがわかります。そしてGPSの観測点が、日本と台湾に極めて多く配置されていることもわかります。

11月14日付 最新情報！

南中国を中心にアジア全域を GNSSで見るとー

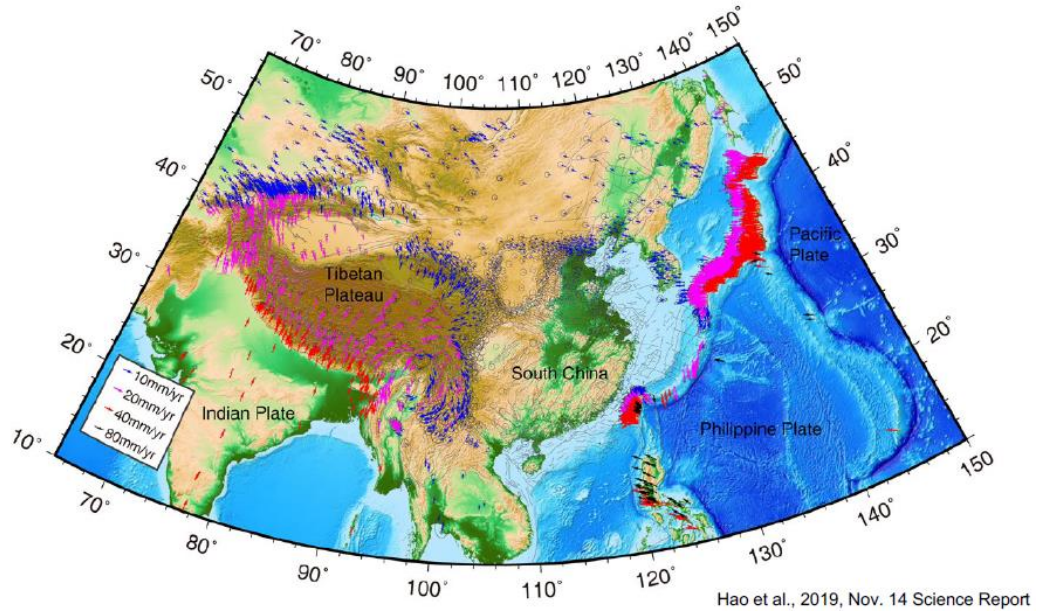


1 3) 日本列島近傍を拡大してみましょう。上海近郊固定して見たときの動きです。矢印の大きさは動きの速さ、矢印の色は動きの大きさを示しています。日本海溝や南海トラフに近いところは速く、日本海側では遅く、大陸の内部ではもっと遅くなっている、と見ることができます。



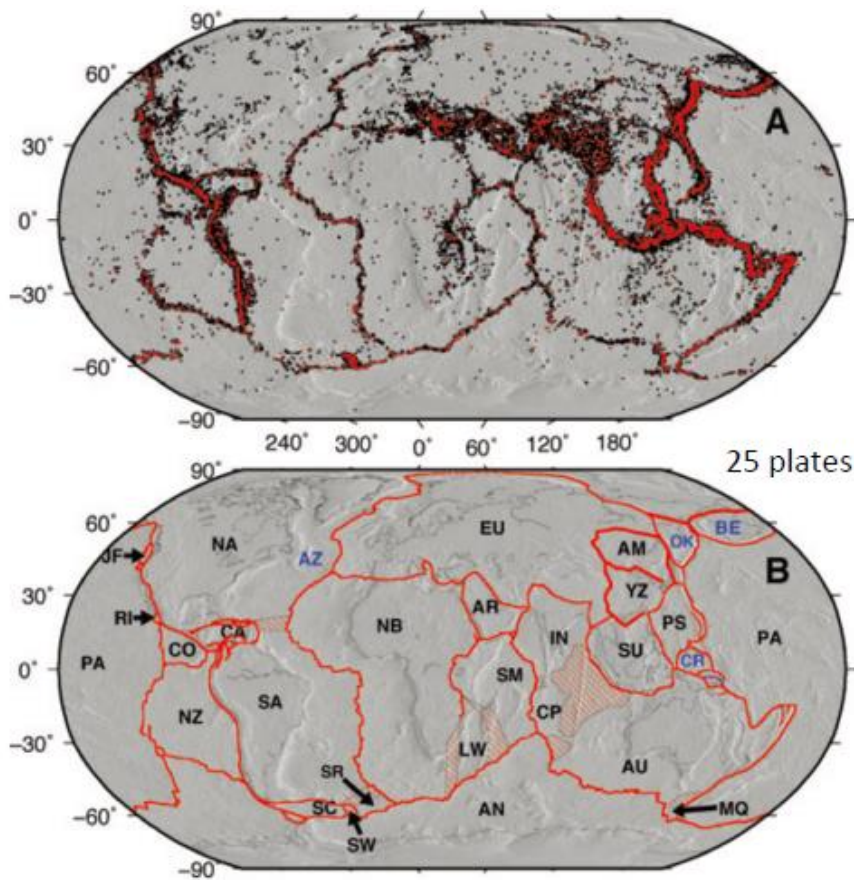
Hao et al., 2019, Nov. 14 Science Report

14) アジア地域は日本列島に沿う海洋プレートとヒマラヤ山脈におけるインド大陸と中国大陸の衝突によって羽交い締めになれ、内部が変形することによって地殻変動が起きていると見ることができます。



Hao et al., 2019, Nov. 14 Science Report

15) そして今では地球上のプレートは56枚として理解した方がよろしいと、モデルで計算されるようになりました。プレートテクトニクス理論の始まりの時には12枚だったわけですからどんどん細くかつ動きがより正確に捉えられるようになってきていると言えます。多くの書物やマスコミで日本列島はユーラシアプレートと北米プレートの境界に位置すると示されていますがその認識は50年前のものです。



De Mets et al., 2010 MORVEL 25 plates

NNR MORVEL 56
(Argus et al., 2011)

最初は12枚のプレート
2010年は25枚のプレート
2011年には56枚のプレート
で計算