

# 2004年スマトラ沖地震による地球自転軸の変化

## 1. はじめに

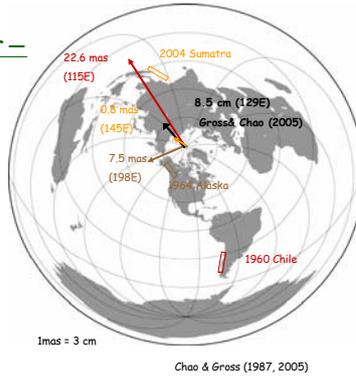
### ◆背景 ー地震は地球の自転軸をずらすー

地球の自転は様々な要因で変化しており、地震もその一つである。1960年のチリ地震では形状軸を 115° E へ 70 cm 移動させ、LOD (Length of day : 一日の長さ) を 8 ms 減少させ、また1964年のアラスカ地震についても同様の効果を与えたと考えられている。ただし、これらの値は現在の観測技術ならではの話であり、発生当時の技術では精度不足で検出できていなかった。

2004年スマトラ沖地震では、かつては形状軸の移動は 145° E へ 2.5 cm、LODは 2.68 μs の減少と報告されていた。ただし、これらの値は地震直後の推定 (Mw=9) のため低く見積もりすぎていたと考えられる。現在では断層運動が赤道から離れたアンダマン諸島のほうにまで伸びていたことがわかっており、マグニチュードは Mw=9.3 形状軸の移動は 129° E へ 8.5 cm に上方修正された (Gross & Chao 2005)。ただし、この値についても実証されているわけではない。

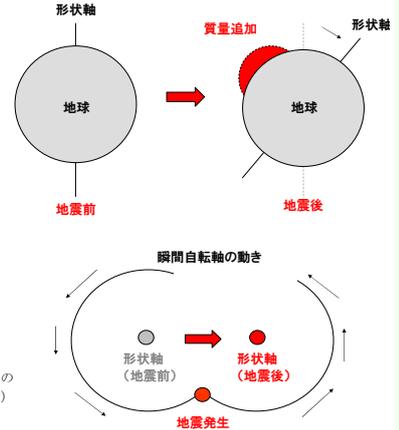
### ◆目的 ースマトラ沖地震のその後ー

前述の背景を踏まえ、本研究の目的は、(1)形状軸の移動を検出し、最新の予測値「129° E へ 8.5 cm」に一致することを示すこと、もしくは(2)新しい説、すなわち新たな形状軸移動の方向と距離を導き出すこと、とする。



## 2. 形状軸とは

形状軸とは地球の慣性モーメントが最大になる軸  
移動の原因は地震等による地球の質量配分の変化  
移動の方向は慣性モーメントを最大にする方向  
北半球での質量追加 or 南半球での質量欠損 → 変化部より離れる  
北半球での質量欠損 or 南半球での質量追加 → 変化部へ近づく  
(スマトラ沖地震は北半球での質量欠損?)  
いずれも中緯度域における地震が効果的である



移動の結果新しい軸の周りを地球の自転軸が回る (周期約14ヶ月: Chandler極運動)  
移動後の軸位置は周囲を回る自転軸 (瞬間自転軸) と地表の交点 (極) の運動 (極運動) の観測 (GPSやVLBIでmmの精度) により軌跡の中心 (平均極) として推定可能

## 3. 形状軸移動の検出手法

「地震後の極位置データ (地震後~2006年現在) による軌跡の中心としての形状軸の現在位置」及び「地震がなければ存在するはずであった形状軸の現在位置」の両者の比較により行う

### ◆軌跡の中心としての形状軸位置の推定

#### (1) 年周極運動の除去

極運動は「チャンドラー極運動」及び「年周極運動」成分の重なりから成る  
年周極運動とは季節変化に伴う地球の質量変化等によって起きる周期12ヶ月の極運動 (地震とは無関係)  
年周極運動除去の結果地震や大気、海洋の運動によって起きるチャンドラー極運動のみによる極運動を観測可能

図1: 自転軸の年周運動 (JEFFREYS 1970)

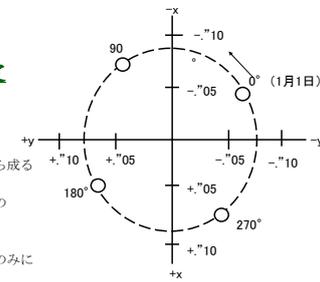
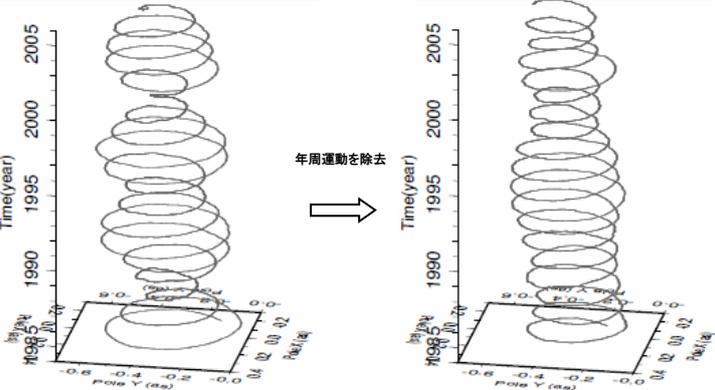


図2(a): 極位置の変化 (年周+チャンドラー極運動)

図2(b): 極位置の変化 (チャンドラー極運動)



12ヶ月周期と14ヶ月周期の運動 (年周、チャンドラー) の重なりにより6年ごとに振幅の大小の変化が見られる

中心の左 (-y) 方向への傾きは平均極の永年移動によるかつて氷床に覆われていた地域がアイソスタシーの回復のために隆起しつつあることが原因  
60° W へ一年に約10cm移動 (日本測地学会, 1974)

#### (2) 最小二乗法による中心座標の推定

年周極運動成分を除いた極位置データについてチャンドラー周期を435日 (内藤, 2001) に固定  
最小二乗法により中心位置を推定  
方程式  $x = a \cos(\omega t + \alpha) + x_0$   
 $y = a \sin(\omega t + \alpha) + y_0$   
パラメータ  $a \cos \alpha, a \sin \alpha, x_0, y_0$   
 $\omega = 2\pi/435 \text{ (day}^{-1}\text{)}$   
誤差  $x_0, y_0: 0 \sim 1\text{cm}$

図3(a): 極位置の変化と形状軸 (1995-1996)

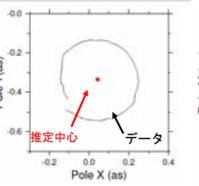
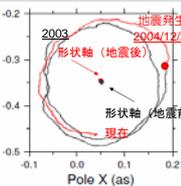
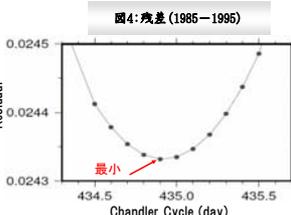


図3(b): 極位置と形状軸の変化 (2003-現在)



#### (3) チャンドラー周期の確認

最小二乗法を用いて軌跡の中心を推定する際に出てくる残差 (推定されたモデルから計算される極位置と観測された極位置の差) が最小となる周期が435日に一致  
「チャンドラー周期を435日とすることは適切」  
結果: 434.9日  
ほぼ変わらない値が得られた → 「435日は適切」



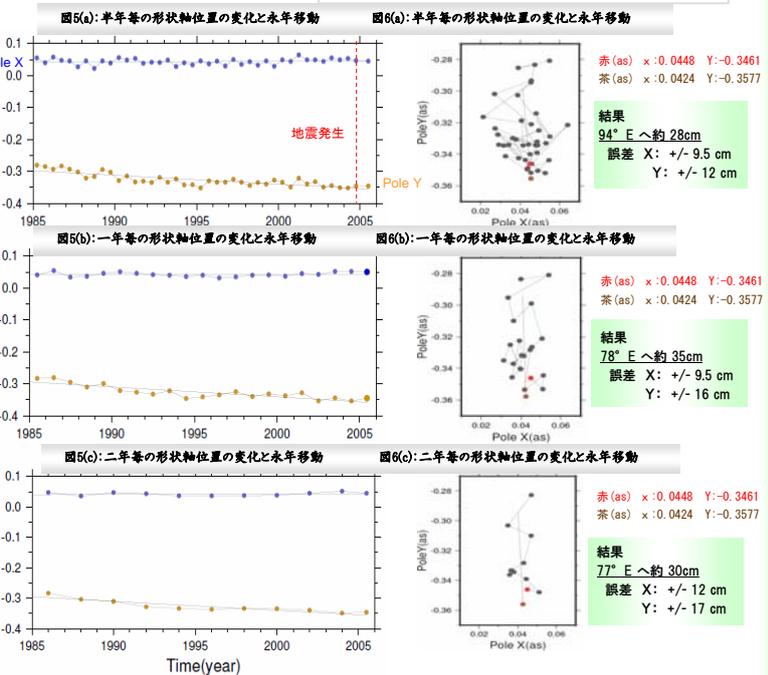
\* 1985~1995年の10年という期間を選んだ理由は、短い期間では期間ごとに残差の値が最小となるチャンドラー周期の値がやや不安定であったからである。その原因として期間内にチャンドラー極運動が励起され軌跡の半径が変動した場合、期間が短いとそれによる誤差がチャンドラー周期の誤差にもれこむためと考えられる。

### ◆永年移動による形状軸位置の推定

- (1) 1985年~地震前の極位置データについて、(a)半年間毎、(b)一年間毎、(c)二年間毎に分けた極運動の軌跡からそれぞれの場合についての形状軸位置を推定する
- (2) (a)、(b)、(c)それぞれの場合についての推定位置の近似直線の傾きから形状軸の永年移動速度を求める
- (3) (a)、(b)、(c)それぞれの場合についての永年移動速度による現在の形状軸位置を推定する

## 4. 検出結果

黒: 各期間における軌跡の中心としての形状軸位置  
赤: 地震後~現在の軌跡の中心としての形状軸位置  
茶: 永年移動に際しての現在の形状軸位置



## 5. 考察

### 予測値と推定値の比較

	方角	移動距離
理論予測値	129° E	8.5 cm
推定値 (半年)	94° E	28 cm
推定値 (一年)	78° E	35 cm
推定値 (二年)	77° E	30 cm
予測値との差 (半年)	35°	+19.5 cm
予測値との差 (一年)	51°	+26.5 cm
予測値との差 (二年)	50°	+21.5 cm

### ◆差の理由 (1) 推定モデルの不備

チャンドラー運動の励起源、励起タイミングがよくわかっていない  
地震を励起源とすることは間違っていない (日本測地学会) ものを用いたデータには励起によって振幅が変化しているものがその数、時期ともに特定できない形で含まれている可能性が高い  
形状軸の推定位置に誤差を与え各期間における検出結果にばらつきを生む  
予測値と推定値の差を生み出した!

\* 半年、一年、二年という様に、軌跡の中心として形状軸位置を推定する際に用いる極位置データを分けたのは、その中ではチャンドラー極運動の励起が起っていないことを、すなわち振幅が一定であると仮定して行ったことであったが残念ながら有効な結果を導くことはできなかった。

### ◆差の理由 (2) 理論予測値の誤り

今回行ったような形状軸移動の検出は世界中の多くの研究者の間で行われているにも関わらずスマトラ沖地震発生後一年が過ぎる現在においても未だ予測値と一致するという成果は得られていない  
予測値はあくまで理論的な考察で演繹された値であり実証されてはいない  
予測値が間違っている可能性も考えられる!

## 6. 参考文献

- R.S. Gross & B.F. Chao, G24A-01 2005 AGU Fall Meeting
- Chao, B.F. and R. Gross, Did the 26 December 2004 Sumatra, Indonesia, Earthquake Disrupt the Earth's Rotation as the Mass Media Have Said?, Eos, Vol.86, No.1.4, January 2005.
- IERS (国際地球回転・基準座標系サービス) <http://hpiers.obspm.fr/eop-pc/>
- 内藤勲夫 バリテイ 2001.02 vol.16 No.2 地球自転軸の自由振動
- 日本測地学会 1974年 測地学の概観
- 測地学テキスト <http://www.soc.nii.ac.jp/geod-soc/web-text/index.html>