

# 2010年チリ地震における地震時および地震後の重力変化： 重力衛星GRACEによる観測

## 概要

古くからその存在が予測されていた科学的事実、地震に伴う重力の変動がある。その変動は断片的ではあるが21世紀に入ってから地上の精密重力観測で初めて検出された。さらに、2002年に打ち上げられた人工衛星を使うことで地震に伴う重力変化を二次元的に観測できるようになった。

本研究では、その人工衛星GRACEを用いて、2010年チリ地震における重力の変動を観測した。その結果、重力は地震に伴って瞬時に減少した後、ゆっくり回復した事を見出した。2004年スマトラ地震の地震後にも同様の重力変化が見いだされており、その原因は間隙水の拡散であると結論づけられている。本研究も、その結果を支持するものである。

### 1. 地震によって重力が変化するメカニズム

地震による重力の変化

二種類ある！

瞬時に起こる、地震時重力変化

ゆっくり進む、地震後重力変化

原因

原因

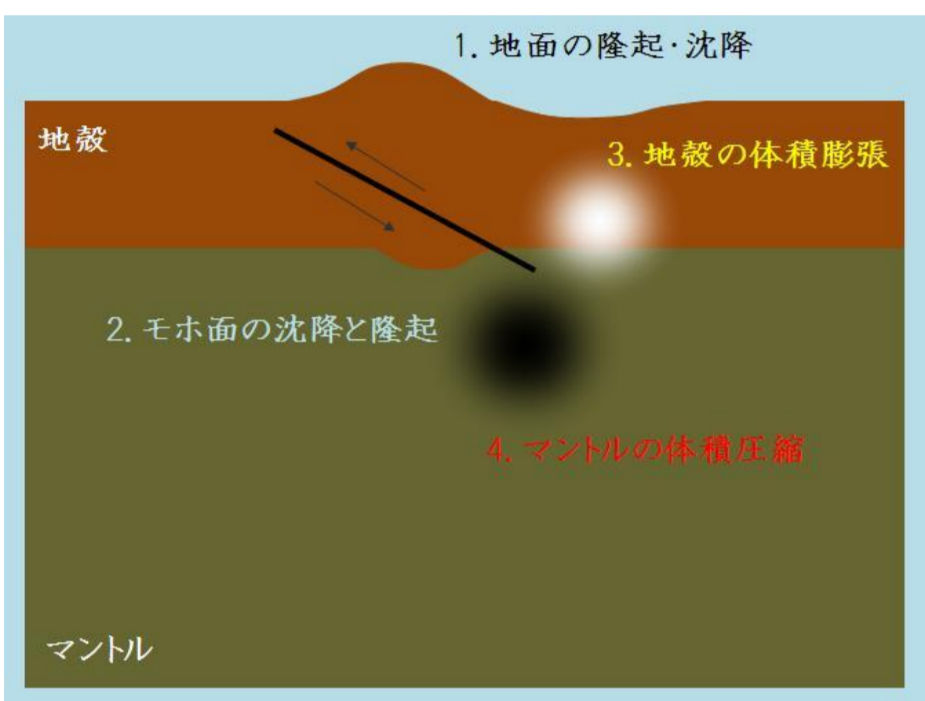


図1 地震時重力変化のメカニズム

- 断層が動いたことによる地面の隆起・沈降
- 断層が動いたことによるモホ面の隆起・沈降
- 地殻の体積膨張による密度の減少
- マンタルの体積圧縮による密度の増大

- ゆっくり地震 (アフタースリップ/スロースリップ)
- 岩石の粘性緩和
- 間隙水の拡散

～ゆっくり地震～  
別名「アフタースリップ」「スロースリップ」  
動いた断層が、その後もゆっくり動き続けること。

～岩石の粘性緩和～  
地殻やマンタル中で膨張(または圧縮)された岩石が、その粘性によって、もとの体積(密度)にもどっていくこと。

～間隙水の拡散～  
岩石が圧縮された所(図1の4)から、そこに含まれていた水分がにじみ出て、膨張した所(図1の3)に移動すること。

地震時重力変化を

時間スケールは

～ゆっくり地震～	進行させる	さまざま
～岩石の粘性緩和～	回復させる	数年以上
～間隙水の拡散～	回復させる	半年～1年

### 2. GRACEが重力を測定する仕組み

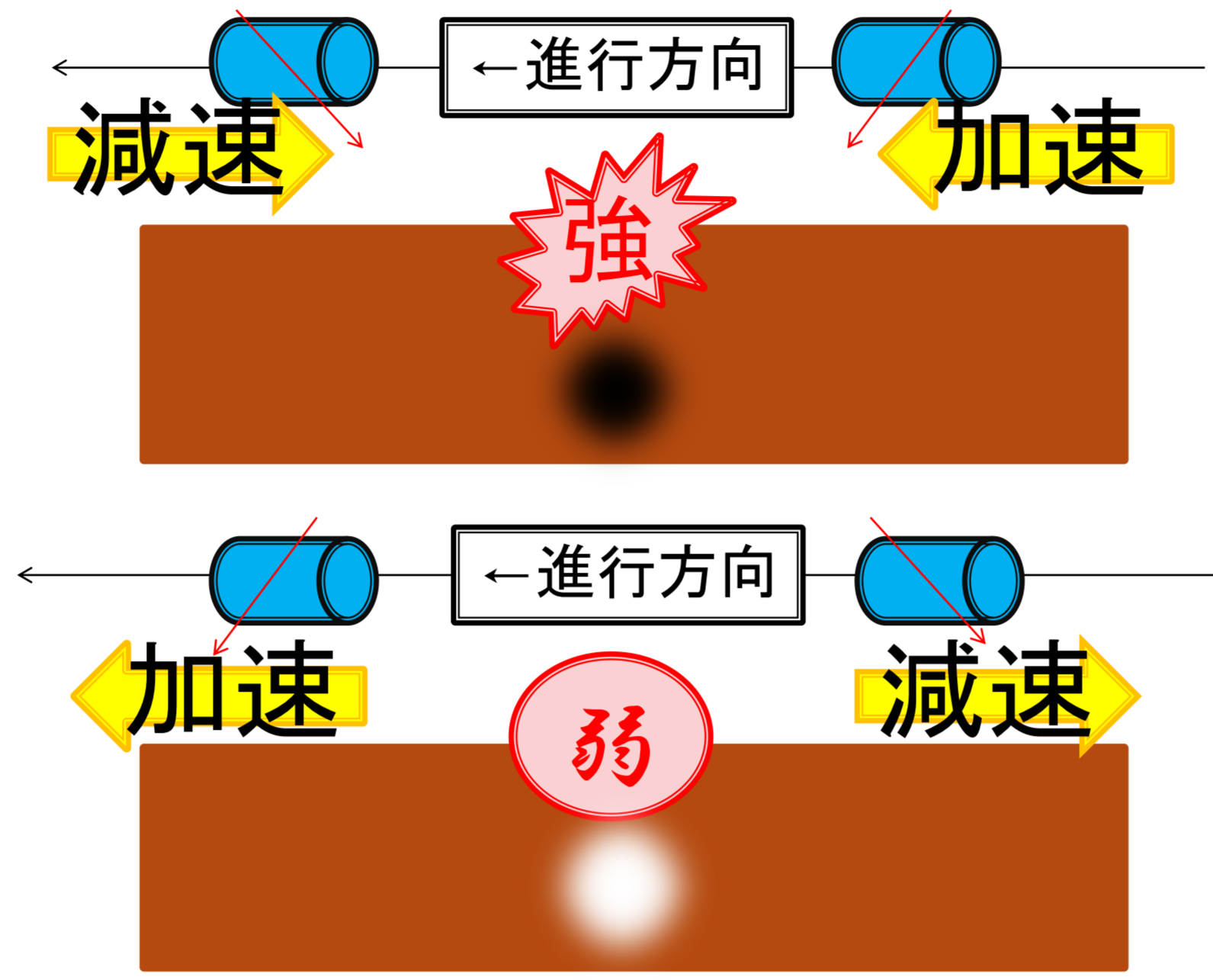


図2 人工衛星GRACEが重力を測定する仕組み。人工衛星GRACEは双子の衛星で、その衛星間距離を精密に測定し、その場の重力値を求めている。

### 3. 使用したデータ

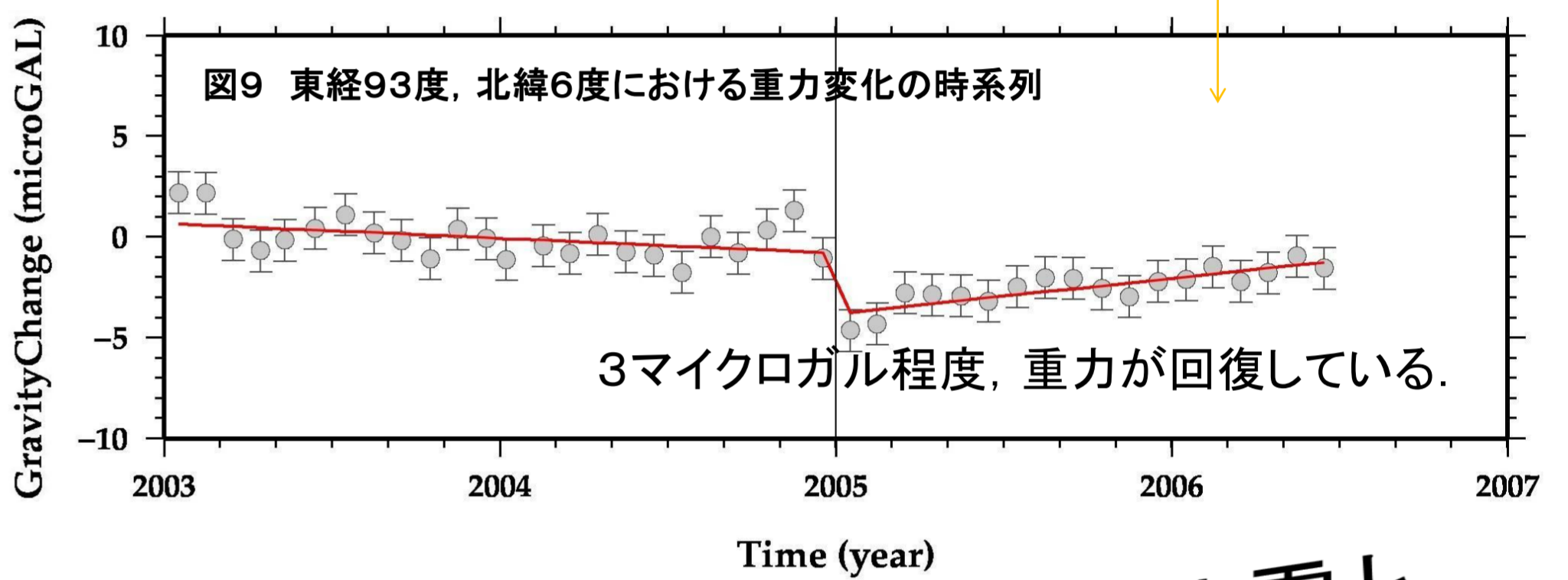
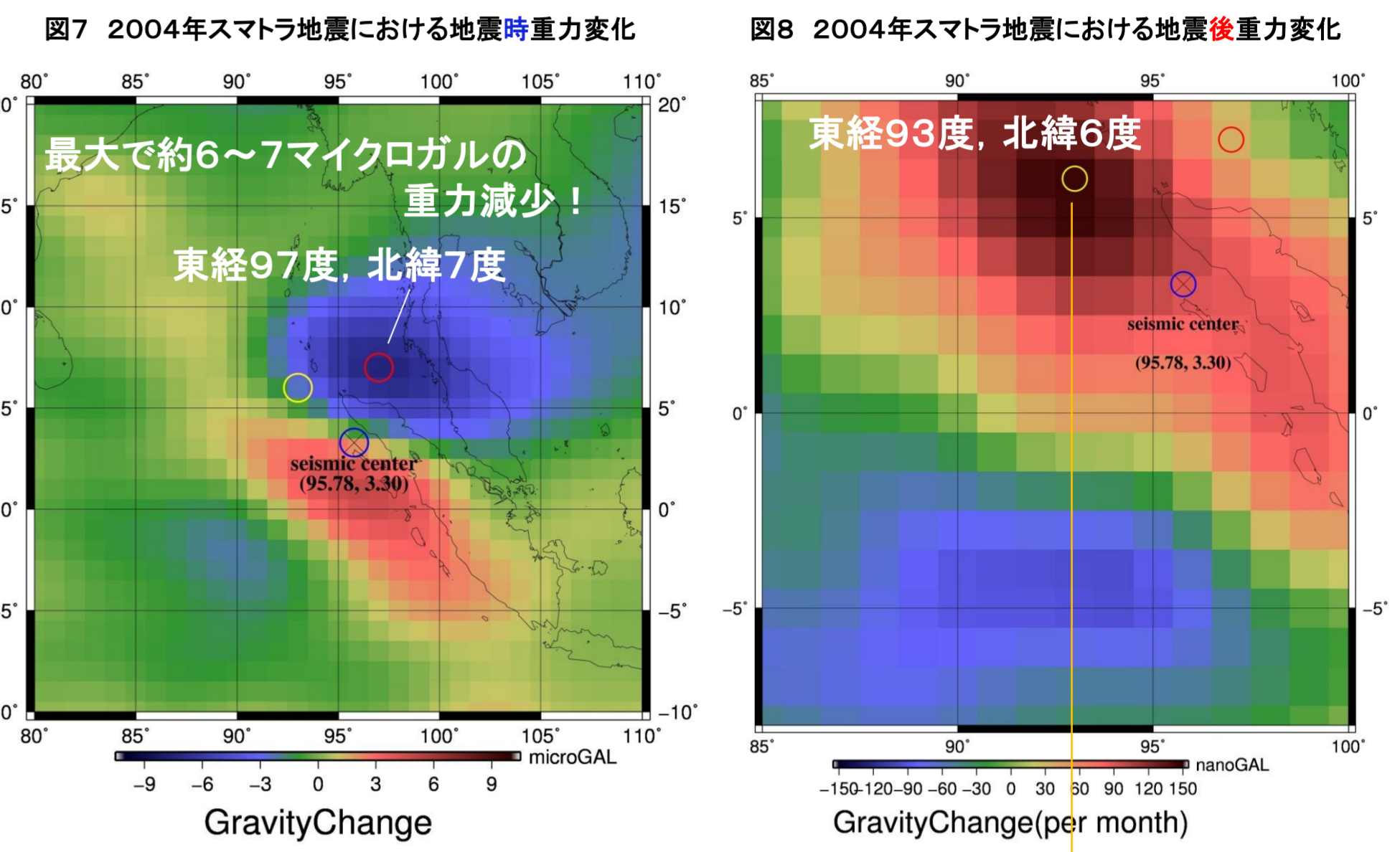
GRACEのデータは、解析センターの一つであるカリフォルニア工科大学ジェット推進研究所(JPL)のホームページ(<http://podaac.jpl.nasa.gov/>)で公開されている。本研究では、その中でもテキサス大学宇宙観測センター(CSR)が公開しているL2データを用いた。このデータでは重力場の値が球面調和関数の60次までのStokes係数(S,C)として1か月ごとに与えられている。このStokes係数の平均値からのずれ(ΔS, ΔC)を使えば、以下の式で重力場の空間変化を求めることができる。

$$\Delta g(\theta, \phi, t) = \frac{GM}{R^2} \sum_{n=2}^{60} (n-1) W_n \sum_{m=0}^n W_m (\Delta C_{nm}(t) \cos m\phi + \Delta S_{nm}(t) \sin m\phi) P_n^m(\cos \theta)$$

ただし、Rは地球の平均半径(6378 km)、Gは万有引力定数、Mは地球の質量、 $P_n^m$ はルジャンドル陪関数、nは次数、mは位数で、Wは次数や位数が高い所を軽く扱い、低い所を重く扱う事で空間的な平滑化を行う重み付け関数である。また、本研究では、もう1つ縦線除去フィルターというフィルターを用いた。

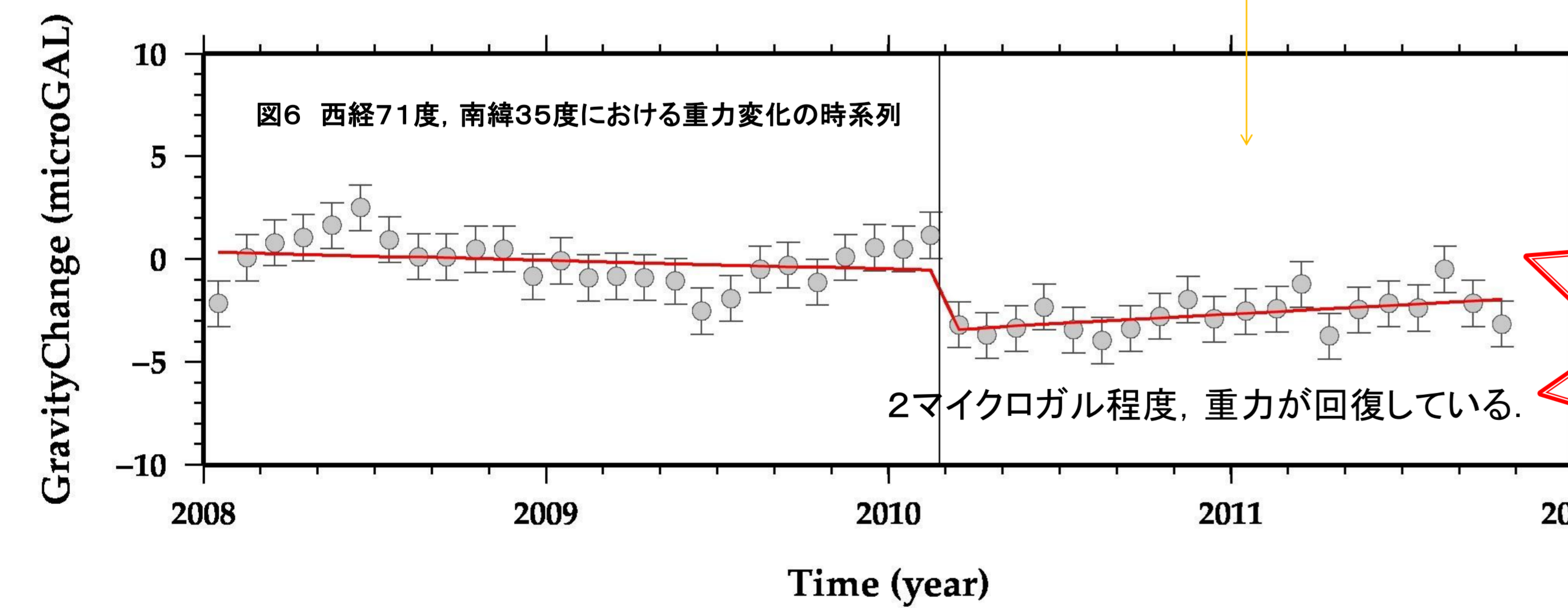
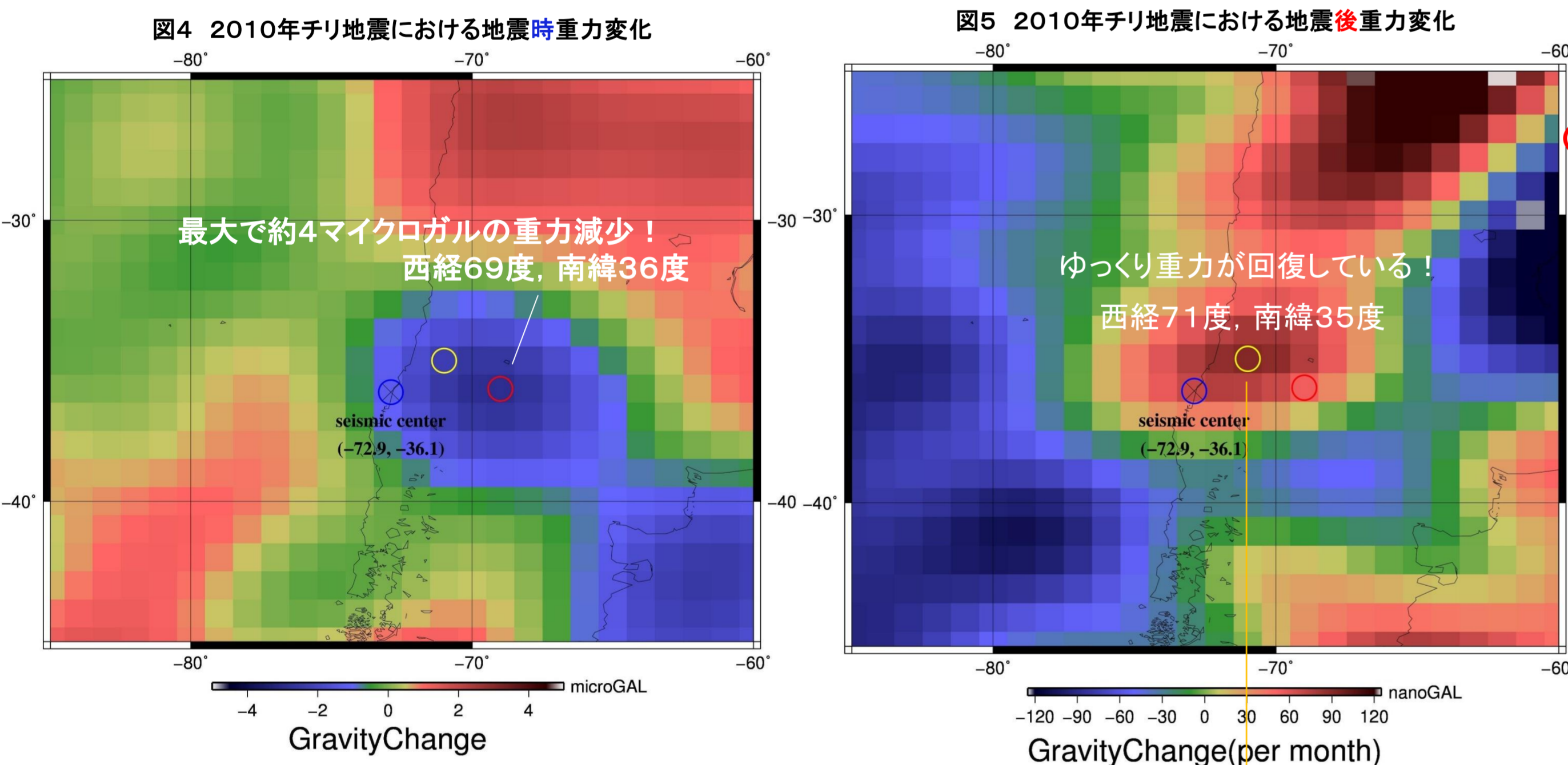
### 6. 他の地震との比較

#### 6.1. 2004年スマトラ地震との比較



2010年チリ地震とよく一致している!

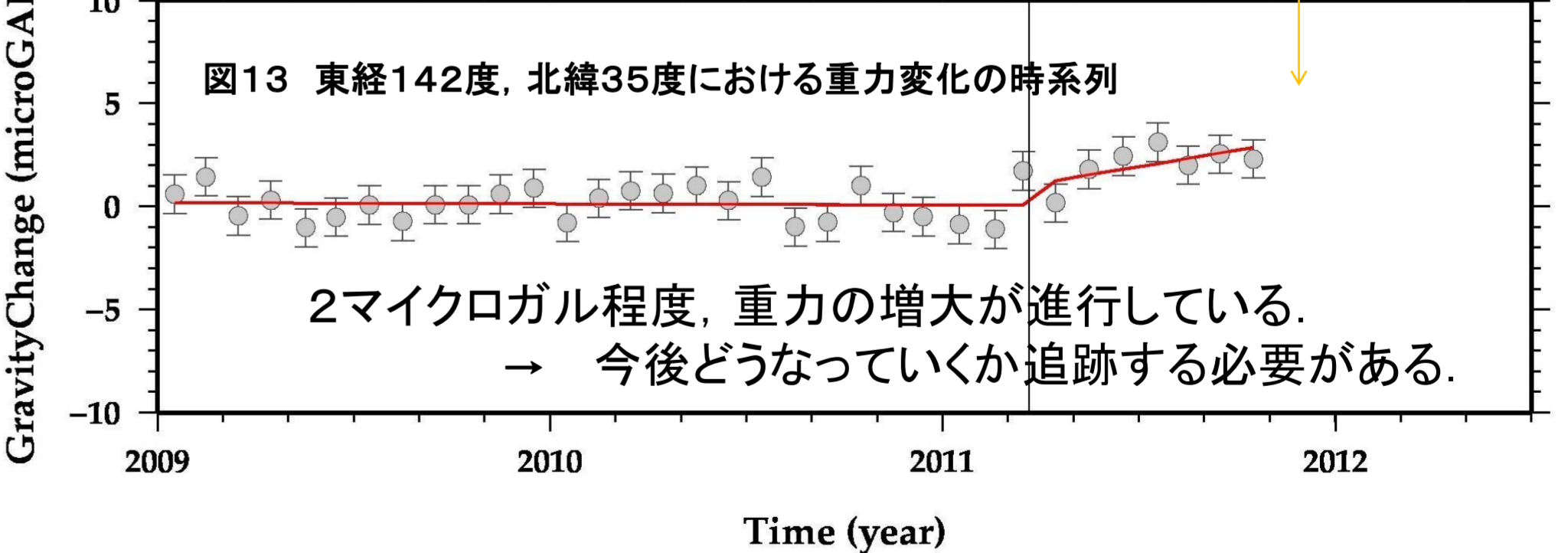
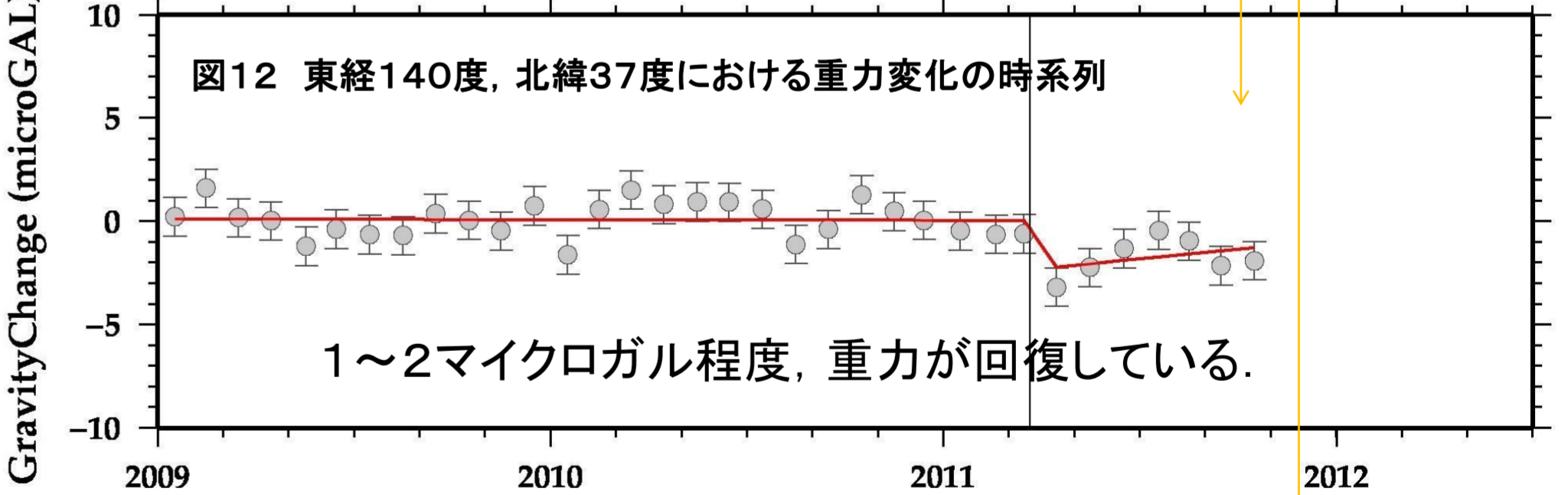
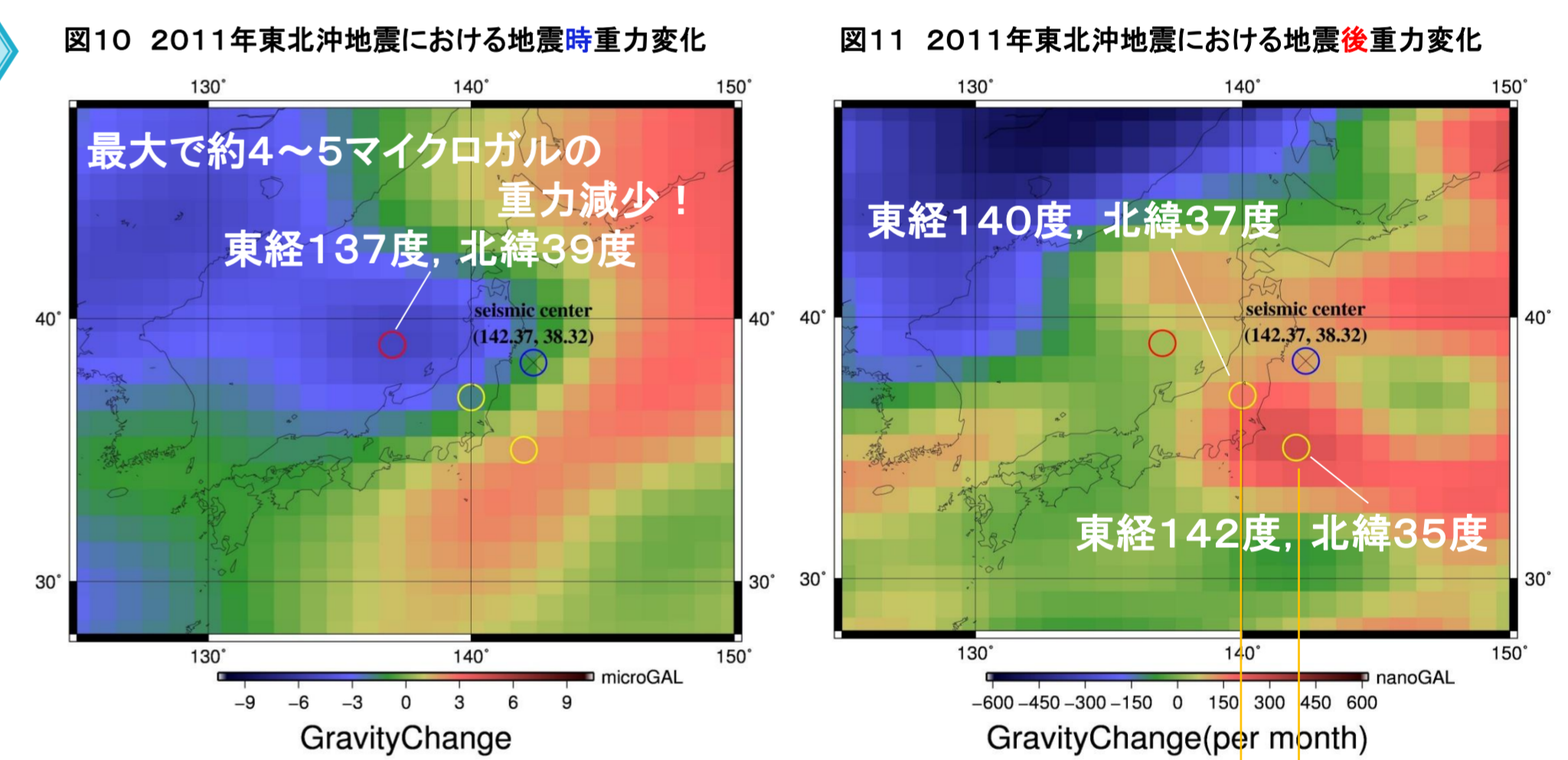
### 4. 結果



重力回復域は、震央の周囲に広がっている。  
震央付近の重力回復は、地震に関係しているはずだ!

震央付近!  
1年程度で回復傾向!!

#### 6.2. 2011年東北沖地震との比較



2010年チリ地震とだいたい一致しているが、今後追跡する必要がある!

### 5. 考察・結論

地震時重力変化を	時間スケールは	
～ゆっくり地震～	進行させる	さまざま
～岩石の粘性緩和～	回復させる	数年以上
～間隙水の拡散～	回復させる	半年～1年

震央付近の重力回復は、地震に関係しているはずだ!  
震央付近!  
1年程度で回復傾向!!

間隙水の拡散が地震後重力変化の原因かもしれない!

### 7. 参考文献

Wahr, J., and Molenaar, M., and F. Bryan (1998). Time variability of the Earth's gravity field: Hydrological and oceanic effects and their possible detection using GRACE. *JOURNAL OF GEOPHYSICAL RESEARCH*, VOL. 103, PAGES 30,205-30,229.

Han, S.-C., C. K. Shum, M. Bevis, C. Ji, and C.-Y. Kuo (2006). Crustal Dilatation Observed by GRACE After the 2004 Sumatra-Andaman Earthquake. *Science* 313, 658, doi: 10.1126/science.1128661.

Ogawa, R. and Heki, K. (2007). Slow postseismic recovery of geoid depression formed by the 2004 Sumatra-Andaman Earthquake by mantle water diffusion. *GEOPHYSICAL RESEARCH LETTERS*, VOL. 34, L06313, doi:10.1029/2006GL029340,2007.

Ogawa, R. (2010). Transient, seasonal and inter-annual gravity changes from GRACE data: Geophysical modeling. [http://www.ep.sci.hokudai.ac.jp/~geodesy/pdf/Ogawa\\_Dsc\\_Thesis.pdf](http://www.ep.sci.hokudai.ac.jp/~geodesy/pdf/Ogawa_Dsc_Thesis.pdf)

Heki, K. and Matsuo, R. (2010). Cosismic gravity changes of 2010 earthquake in central Chile from satellite gravimetry. *GEOPHYSICAL RESEARCH LETTERS*, VOL. 37, L24306, doi:10.1029/2010GL04335,2010.

Swenson, S. and Wahr, J. (2006). Post-processing removal of correlated errors in GRACE data. *GEOPHYSICAL RESEARCH LETTERS*, VOL. 33, L08402, doi:10.1029/2005GL025285,2006.