

## 12 - 14 海底地殻変動観測から見た地震前後の地殻変動

### Crustal deformation before and after the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake revealed by ocean bottom observation

東北大学大学院理学研究科

Graduate school of science, Tohoku University

海上保安庁海洋情報部

Japan Coast Guard

2011年東北地方太平洋沖地震の震源が位置する宮城県沖とその周辺海域では、近い将来発生することが想定されていた宮城県沖地震に関連した地殻変動検知を目的として、海底地殻変動観測網が数年前から展開されていた。本稿では、こうした海底地殻変動観測によって捉えられた、2011年東北地方太平洋沖地震の震源域内における地殻変動について報告する。

宮城県沖で実施されていた海底地殻変動観測は、GPS/音響結合式海底地殻変動（GPS/A観測）と海底水圧観測（OBP観測）からなる。前者は、海底に設置した基準点の3次元的な動きを捉えることができるが、現時点では1年間に数回の測定を繰り返すキャンペーン方式の観測となっている。一方、海底での水圧の変化から海底面の鉛直方向の動きを捉えるための海底水圧観測は、自由落下・自己浮上式の装置による連続記録が得られる。

図1はGPS/A観測により求められた2011年東北地方太平洋沖地震前後での海底基準点の変位である<sup>1),2)</sup>。震源が位置する宮城県沖を中心に非常に大きな東ないし東南東方向の変位が捉えられている。観測点間で変位の方向は調和的であって、地震時のプレート境界での大きなすべりによる海底地殻の変動を反映していると考えられる。変位量は日本海溝に近づくにつれ大きくなる傾向にあって、このことはプレート境界でのすべりが震源からみて海溝側でより大きいことを示す。ここで示した地震前後での変位量は、これらを求める際に基準となった地震前の位置の測定が2010年の観測で求められたものである一方、地震後の位置は地震発生から数週間後の観測で求められたものであり、純粋な「地震時変動」だけではなく、地震発生前後に生じた変動成分を含んでいることに注意が必要である。

図2はOBP観測による海底水圧の連続記録で、2011年3月1日から3月15日までのものである。海底水圧データに含まれる、海洋潮汐や非潮汐性の海洋変動による海面の上下変動の影響と圧力センサーのドリフトに起因する変動は、いずれも表示した時系列からは除外されてある。海底圧力変動をみると、3月11日の本震時に非常に大きな変動があっただけでなく、その2日前の3月9日に発生したM7.3の地震とその後の余効変動、ならびに3月11日の地震後の余効変動も明瞭に捉えられている。

3月9日の地震に伴う地殻変動とそれに引き続く余効変動は、OBP観測データだけでなく、陸上のGPS観測によっても捉えられている。海陸の観測データをあわせて用いることにより、これらの変動源となったプレート境界面上のすべりの位置と大きさを、高い分解能を推定することが可能となった。3月9日の地震時地殻変動を逆解析した結果、観測された地殻変動のパターンは、この地震の震源（破壊の開始点）より西ないし西北西側に分布するプレート境界面上のすべりで説明することができる。推定されたすべり量は最大で1.7mであり、推定されたすべり分布の広がり（約30 x 40 km<sup>2</sup>）とMw=7.2に相当する地震モーメントが解放されたこととなる。なお、地殻変動から

推定された震源のサイズは地震波形から推定されたマグニチュードとおおむね一致している。一方、地震の余効変動源としてプレート境界面上での余効すべりを仮定した場合、すべりの量は最大で0.9 mであった。余効すべり域の面積は3月9日の地震時すべり域と同程度かやや広く、余効すべりの規模はMwに換算すると7.1となった。余効すべりを観測した期間が3月11日にM9.0の本震が発生するまでの2日間であり、その間に本震の半分以上の規模のモーメント解放を伴っていることになる。余効すべりの範囲は3月9日の地震の震源からみて南側に広がっており、震源の西北西側にある地震時すべりの範囲とは重ならない。3月9日の地震の余震活動域がM9.0の本震震源の側に向かって拡大したことが指摘されているが、こうした余震活動の範囲と余効すべり域の範囲がほぼ対応することから、余効すべりが3月9日の地震の震源から本震震源側に拡大した可能性が指摘できる。

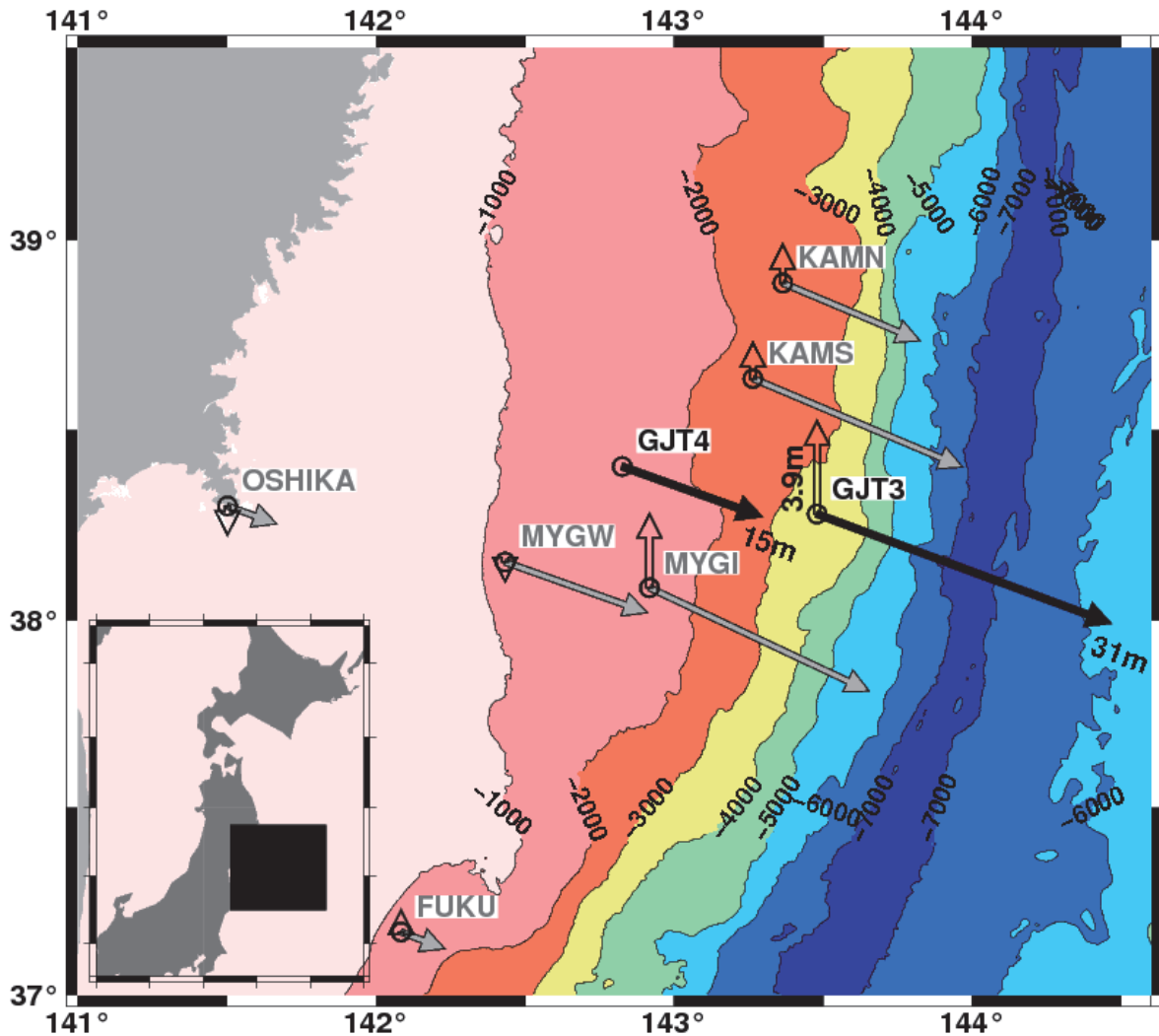
海底地殻変動観測で得られた本震に伴う極めて大きな地震時変動は、この地震によるすべり分布の推定精度向上に大きく貢献する。図3は海底地殻変動で捉えられた地震時変動のデータと陸上GPS観測点のデータをあわせて逆解析することによって求められた地震時すべり量分布である。陸上観測点のデータのみを用いてすべり量分布を推定した場合<sup>3)</sup>と比べると、海溝に近い領域に大きなすべり量が推定されるようになっていく。このような大きなすべりが海溝に近く浅いプレート境界で発生したことが、今回の地震に伴って巨大な津波を励起した最大の要因であると考えられる。この大きなすべりがあった範囲の海溝軸に沿う方向の広がりには150 km程度である。解像可能なすべり量が推定された範囲として定義される震源域は非常に広域にわたるが、その中で大きなすべりが狭い領域に局在していることがわかる。この地震時すべりが局在化している領域では、地震発生前までの小繰り返し地震活動がほとんど見られず<sup>4)</sup>、この範囲ではプレート境界が強く固着していたことが示唆され、またそのためにここで大きなすべりの解放に至ったと考えることができる。

地震発生直後10日間の余効変動は宮城県沖に設置されていたOBPの連続記録(図2)から読み取ることができる。海溝に最も近い(海溝軸から約25 km)観測点では明瞭な隆起が見られる一方で、それより少し西側(海溝軸から約50 km)では変動量は小さく、わずかに沈降の傾向を示す。本震の震源より西側の観測点ではいずれも明瞭な沈降が観測された。宮城県の沿岸部分では、この期間すでに余効変動による隆起が観測されている。このように、海溝側から西側に向かって、隆起-沈降-隆起という複雑な上下変動のパターンは、プレート境界面での均質のすべりでは説明することができず、余効すべりの分布が非常に不均質であることを意味する。さらに長期間の余効変動は、地震後のGPS/A観測の結果から明らかになっている。それによると、震源域の南側に位置する福島沖の観測点とOBPと共通の観測点であるGJT3で大きな東方向の変位が観測されている一方で、沈降が観測されているOBPの設置点周辺や、震源域北部の岩手県沖の観測点では余効変動量が顕著に小さい。こうしたGPS/Aの観測結果もまた、余効すべりの複雑な空間分布を反映したものと解釈できる。特に、海溝から約50 kmにあるGJT3で大きな東向き水平変動が観測される一方で上下変動がほとんどみられないことは、海溝軸に近い領域に局在する余効すべりの存在を強く示唆するものである。

(日野亮太・木戸元之・太田雄策・飯沼卓史・伊藤喜宏・稲津大祐・長田幸仁・藤本博己・佐藤まりこ・石川直史)

#### 参 考 文 献

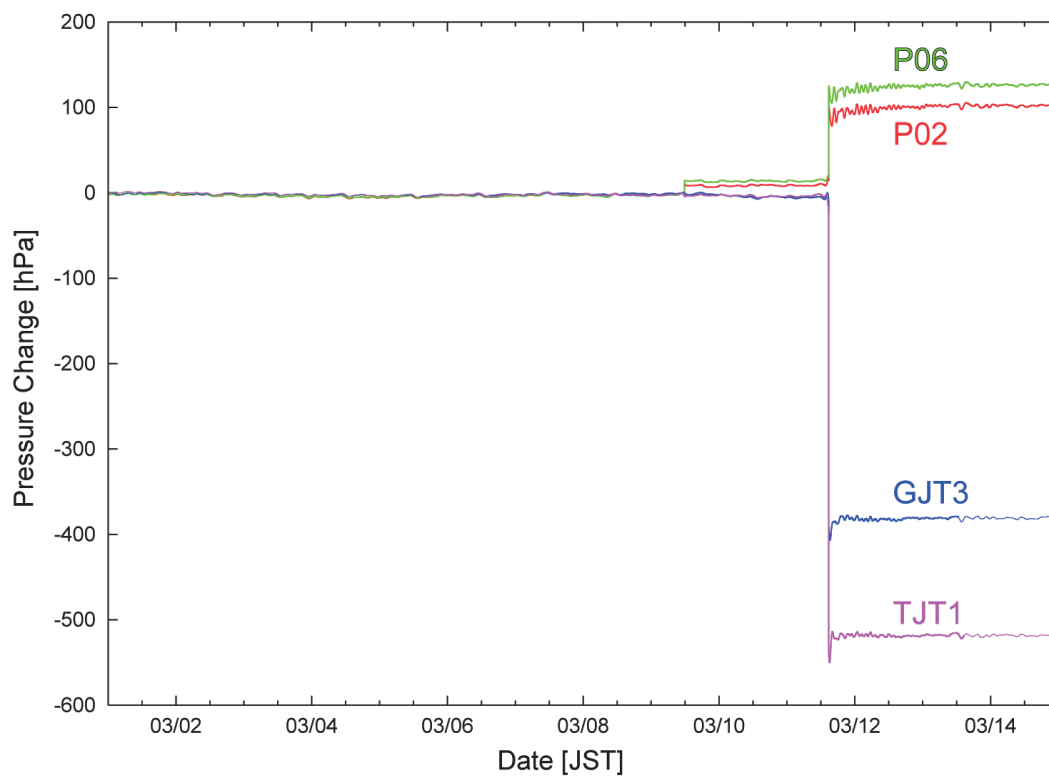
- 1) Sato, M., T. Ishikawa, N. Ujihara, S. Yoshida, M. Fujita, M. Mochizuki, and A. Asada, Displacement above the hypocenter of the 2011 Tohoku-Oki earthquake, *Science*, 332, 1395, doi:10.1126/science.1207401, 2011.
- 2) Kido, M., Y. Osada, H. Fujimoto, R. Hino, and Y. Ito, Trench-normal variation in observed seafloor displacements associated with the 2011 Tohoku-Oki earthquake, *Geophys. Res. Lett.*, doi:10.1029/2011GL050057, in press.
- 3) Inuma, T., O. Mako, Y. Ohta, and S. Miura, Coseismic slip distribution of the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake (M 9.0) estimated based on GPS data—Was the asperity in Miyagi-oki ruptured? *Earth Planets Space*, 63, 643-648, 2011
- 4) Uchida and Matsuzawa, Coupling coefficient, hierarchical structure, and earthquake cycle for the source area of the 2011 off the Pacific coast of Tohoku earthquake inferred from small repeating earthquake data, *Earth Planets Space*, 63, 675-679, 2011



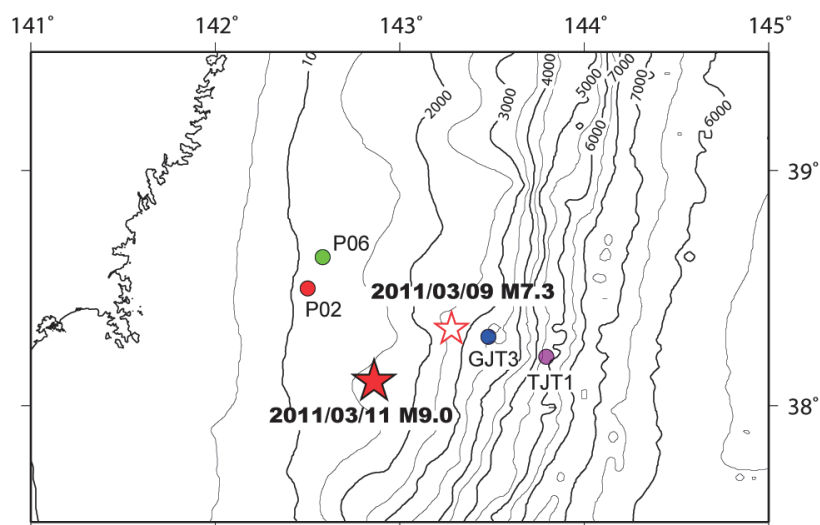
第1図 GPS/音響結合式海底地殻変動観測により観測された2011年東北地方太平洋沖地震による地震時変位。灰色と黒の矢印で海上保安庁と東北大学それぞれの観測点での水平変位ベクトルを示す。国土地理院電子基準点（牡鹿）における水平変位量もあわせて示した。

Fig. 1 Coseismic displacement associated with the 2011 off the Pacific coast of Tohoku earthquake (M 9.0) observed by GPS/Acoustic seafloor geodetic observation. Gray and black arrows shows horizontal displacement vectors obtained by stations operated by Japan Coast Guard and Tohoku University, respectively. Displacement at Oshika run by Geospatial Information authority of Japan is also shown.

a)



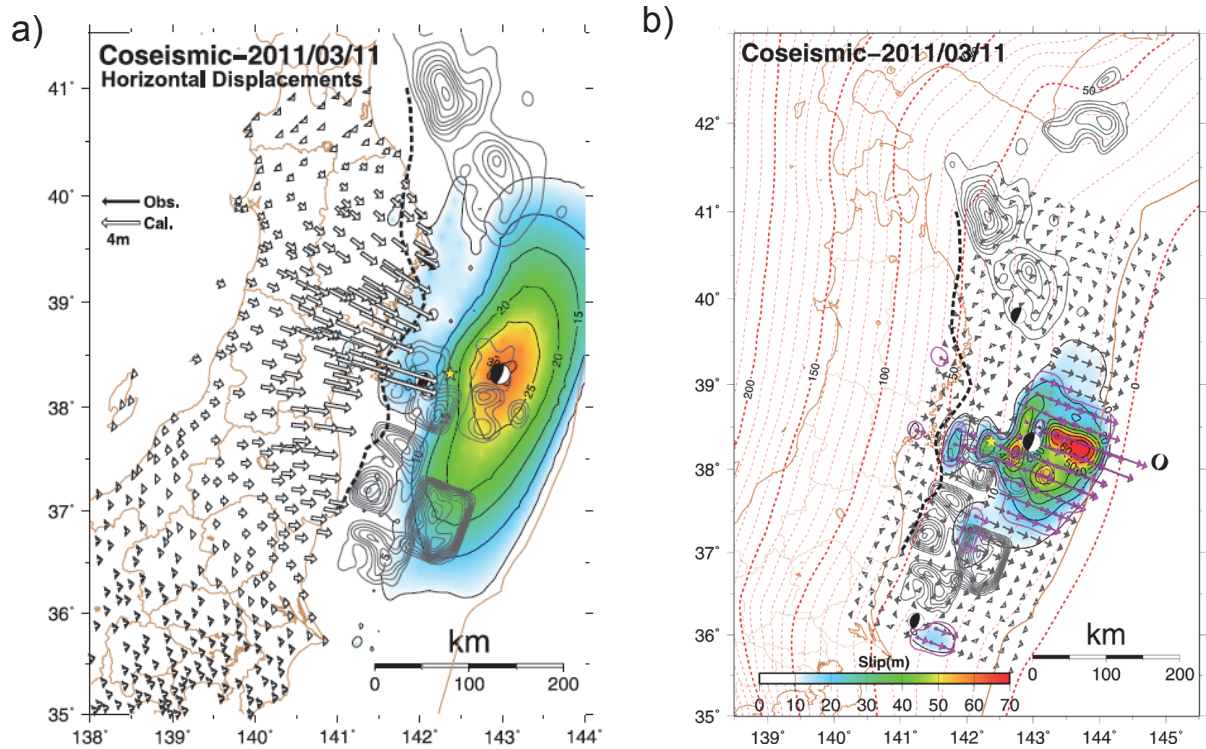
b)



第2図 a) 宮城県沖に設置された海底水圧計で捉えられた水圧変化の連続記録。2011年3月1日から15日までの記録を示す。b) 観測点配置。白星と赤星はそれぞれ、3/9に発生したM7.3の前震と3/11の本震の震央。

Fig. 2 a) Continuous records of bottom pressure observed in the off-Miyagi seafloor from Mar. 1 to Mar. 15. b) Map showing instrument locations. Open and solid stars are the epicenters of M 7.3 foreshock (Mar. 9) and the mainshock (Mar. 11) .





第3図 2011年東北地方太平洋沖地震の地震時すべり分布. a) 陸上GPS観測点のデータのみを用いて推定されたもの (Inuma et al., 2011). b) a) を推定する際に用いたデータに加えて, 図1, 2に示した海底観測の結果を加えて解析した結果.

Fig. 3 Coseismic slip distribution of the 2011 off the Pacific coast Tohoku earthquake. a) Estimated by using onshore GPS data. b) Estimated by on- and offshore geodetic data.