

1.はじめに

地震の発生時期は一概ではなく、周期的に変動するさまざまな現象が地震をトリガーするという議論がこれまで数多くなされてきた。特に、南海・相模トラフで過去に発生したマグニチュード7.9以上の大地震にも発生時期に偏りがあることが知られている。本研究はその原因を追究したOhtake and Nakahara (1999)の研究を紹介し、次に発生時期と海底圧力との相関を考察する。

2.地震の発生時期が偏る原理(日置、2006より)

地震は、プレート運動等のテクトニックな作用によってプレート間に応力が蓄積し、それが開放するために断層がすべって生じる現象であり、一定の速さで蓄積する応力に周期的な変動(ΔCFS、CFSについては右記)を与えると、地震の発生時期に周期的な偏りが生じる。正のΔCFSは次の地震を早め、負では遅らせる。一年周期のΔCFSがある場合を考えると、擾乱による年周変動の振幅が永年変化成分の1/10程度であった場合でも、ΔCFS / dt はかなりの影響を受け、地震の発生確率に季節変動が生じる。この場合発生確率の極大は ΔCFS / dt の極大と一致し、ΔCFS 自体の極大より1/4年早く訪れる(図1(a))。一方周期成分が永年上昇に比べて大きい場合は、地震の発生確率の極大は ΔCFS / dt の極大より ΔCFS 自身の極大の方に若干ずれる(図1(b))。

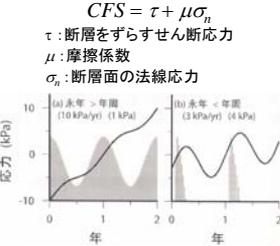


図1. 永年的に増加する応力と周期的な変動の組み合わせ(黒の曲線)(日置、2006より)。灰色のヒストグラムは応力の変動から予測される地震活動度の変化。(a)は応力の永年増加が比較的大きい場合で、(b)はその逆。

3.Ohtake and Nakahara (1999)の概要

Ohtake and Nakahara (1999)によると、表1より、過去に起こったマグニチュード7.9以上の地震13件(震源地は図1)の全てが8~2月の7ヶ月間に発生している。しかも、そのうち12月は5件で最も多い。統計的な検定を施すとこのような偏りが発生する確率はわずか2%である。

表1. 過去に南海・相模トラフで発生した地震 (M≧7.9)

No.	年	月/日	震源 (°N)	震源 (°E)	マグニチュード
1	684	11/29	32.14-33.14	133.5-135.0	8.14
2	887	8/26	33.0	135.0	8.0-8.5
3	1096	12/17	33.34-34.14	137-138	8.0-8.5
4	1099	2/22	32.5-33.5	135-136	8.0-8.3
5	1361	8/3	33.0	135.0	8.14-8.5
6	1498	9/20	34.0	138.0	8.2-8.4
7A	1605	2/3	33.5	138.5	7.9
7B	1605	2/3	33.0	134.9	7.9
8	1703	12/31	34.7	139.8	7.9-8.2
9	1707	10/28	33.2	135.9	8.4
10	1854	12/23	34.0	137.8	8.4
11	1923	9/1	35.1	139.5	7.9
12	1944	12/7	33.57	136.18	7.9
13	1946	12/21	33.03	135.62	8.0

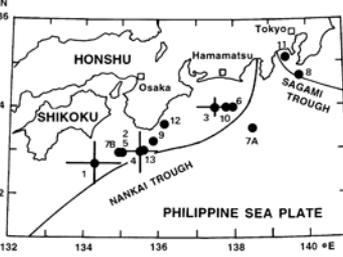


図2. 南海・相模トラフでの地震の震源地 (Ohtake and Nakahara (1999)より)。図中の数字は表1のNo.に対応する。十字線は誤差を示す。

そこでOhtake and Nakaharaは大気圧の年変動が約10³ Paであることに注目し、それが地震の発生に偏りを持たせていると考えた。縦1000km、横200kmと見立てた日本列島に10³ Paの大気圧の年変動を与えたとし、逆断層のすべを促進する方向に最大30 Pa加わるといふ計算結果を得た。しかし、今回の地震を引き起こすには10³ Pa程度以上の応力変動が必要とされ、このモデルでは1~2桁小さいため、この問題を説明することはできなかった。

4.潮位の年変動と海底圧力

日本各地の観潮所のデータによると図3の3地点において潮位に30cm前後の季節変化を確認できる。これが仮に海底圧力に直接効けばその変動量は3 kPaである。しかも、潮位が最も落ち込むのは3月前後で、表1の地震の発生時期と合致する。海底圧力の年変動はプレートに直接効くと考えられるので、節2で述べたモデルより大幅な改良が見込める。しかしながら、潮位の高い時期は水温の高い夏にあたるため、潮位の高さは熱膨張による効果が大いと考えられる。また、海中では傾圧性があるため、海底圧力に変化しないと考えられる。したがって海底圧力に年変動があるかは不透明で、詳しい研究も最近までされていなかった。

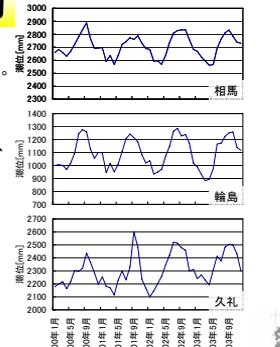


図3. 3ヶ所の観潮所の潮位の時間変化と地図上の位置。潮位の値は相対値である。

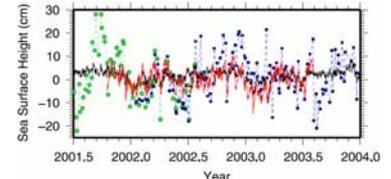


図4. (Matsumoto et al., 2006より) (上) 衛星高度計(線: TOPEX/POSEIDON、青: JASON-1)、海底圧力計(赤)、ECCO + 大気圧モデル(黒)による、海面高度の比較。海底圧力計 + ECCO + 大気圧モデルは海底圧力を海面高度に換算している。海面高度は相対値。(右) 設置されている海底圧力計の位置。上のグラフは OBPR-B を採用している。

ところが、最近の演算技術の向上により、数値モデルの利用の幅が広がった。そのひとつのECCO (Estimating the Circulation and Climate of the Ocean)を利用すると、任意の海域の海底圧力の時間変化を求めることができる。ECCOは駆動力として風応力、熱塩分フラックスを含む、データ同化を施した海洋大循環モデルである。Matsumoto, et al, 2006はECCOと海底圧力計による現実の海底圧力との比較を行っており、図4に示す。図4より、ECCOは海底圧力計に比べ、時間変化による量的な海底圧力の振幅が若干小さく見られるものの、質的な極大と極小を迎える時期についてはおおむね一致しているといえる。よってECCOが算出した海底圧力は概ね信頼できるといえる。

参考文献

Estimating the Circulation and Climate of the Ocean (ECCO), <http://www.ecco-group.org/> 2007年1月23日アクセス
日置幸介, 2006, 地震と荷重の微妙な関係, 地震ジャーナル, 41, 5-11
Matsumoto, K., T. Sato, H. Fujimoto, Y. Tamura, M. Nishino, R. Hino, T. Higashi, and T. Kanazawa, 2006, Ocean bottom pressure observation off Sanriku and comparison with ocean tide models, altimetry, and barotropic signals from ocean models, Geophysical Research Letters, 33, L16602
Ohtake, M. and H. Nakahara, 1999, Seasonality of Great Earthquake Occurrence at the Northwestern Margin of the Philippine Sea Plate, Pure and Applied Geophysics, 155, 689-700

5.ECCO を利用した海底圧力の計算結果

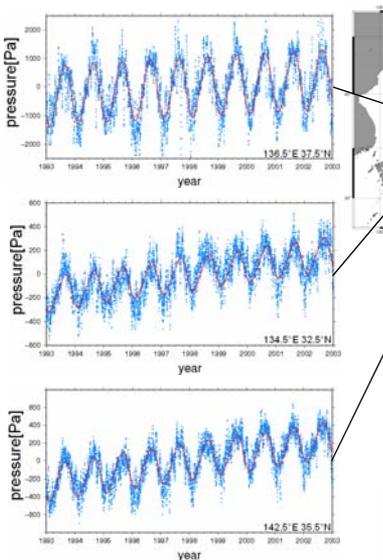


図5はECCOが算出した日本近海の3地点における海底圧力の時系列データである。これによると、図の3箇所いずれも年周期的な変動が見られ、概ね、夏に極大、冬に極小をとる。特に日本海側は振幅が大きく、年間の変動量は約2000 Paである。また南海では約300 Pa、三陸沖より南では約400 Paの変動がある。そこで経緯度1°のグリッド毎の年間の海底圧力の変動量(図5)と海底圧力の減少率が一番大きい時期(図6)について調べた。

図6より、日本海では1年間の海底圧力の変動量が極大で大きく、1600 Paを超える。それに比べると、三陸沖、南海では小さく、それぞれ400 Pa、300 Pa前後である。図7より、一部を除くと10~12月に海底圧力の減少率が最大となり、特に今回取り上げている南海・相模トラフで例に漏れる場所は存在しない。以上のことが地震の発生時期に寄与しているかを調べるにはプレートに働くCFSを求めなければならない。Ohtake and Nakahara (1999)と取り扱う現象以外を同様にしてCFSを求めたものが図8である。図8からプレート境界付近のCFSは200 Pa程度である。

6.考察

今回取り扱う地震は応力の年周成分による変動が永年変化成分より小さいので図1(a)のようになっている。図7より、南海・相模トラフでは概ね11月から12月に海底圧力の減少率が最大となる。これは節1.でみた地震の発生が集中する時期と一致する。海底圧力からCFSを計算すると、逆断層を進める方向に200 Pa程度(図8)の応力変動がある。しかしこれでは節3で述べた地震の発生に偏りを持たせるのに必要な10³ Paには0.5~1桁程度、定量的に不足している。対照的に、日本海側では10³ Paに近い値を得ている。ところが、1983年日本海中部地震(5月)、1993年北海道南西沖地震(7月)など、南海トラフで発生した大地震のような季節性は見えない。従って海底圧力の季節変化が地震発生時期の季節性の原因となっているという主張は成り立ちにくい。

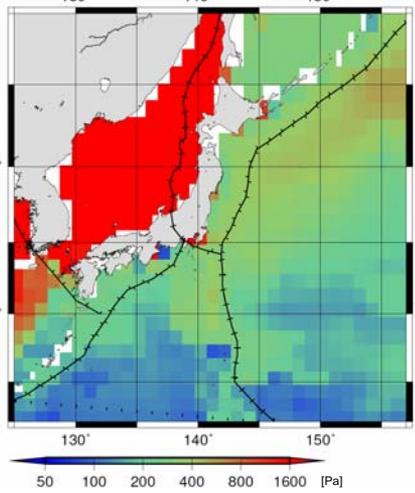


図6. 日本近海の1年の海底圧力の変動量。経緯度1°のグリッド毎の計算結果。海底圧力の極大値から極小値を引いた差を示す。50 Pa未満は50 Paと同じ色、1600 Pa超は1600 Paと同じ色を示す。++はプレート境界を示す。

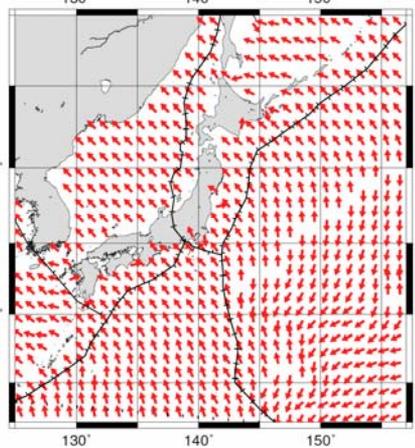


図7. 日本近海の海底圧力の減少率が最も大きい時期。経緯度1°のグリッド毎の計算結果。矢印の向きは真上を1月として右回りを正とする(下図参照)。++はプレート境界を示す。

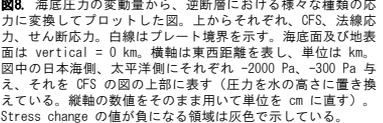


図8. 海底圧力の変動量から、逆断層における様々な種類の応力に変換してプロットした図。上からそれぞれ、CFS、法線応力、せん断応力。白線はプレート境界を示す。海面及び地表面は vertical = 0 km。横軸は東西距離を表し、単位は km。図中の日本海側、太平洋側にそれぞれ -2000 Pa、-300 Pa 与え、それを OFS の図の上部に表す(圧力を水の高さに置き換えている。縦軸の数値をそのまま用いて単位を cm に直す)。Stress change の値が負になる領域は灰色で示している。

7.結論

Ohtake and Nakaharaの大気圧変動にしても本研究の海底圧力変動にしても、地震の発生時期について定性的な一致がみられるものの、その変動量は定量的に不足する。よって、南海・相模トラフで発生する大地震の発生時期に偏りを持たせる原因を突き止めることはできない。発生時期の偏りが偶然である2%の確率は、無視できるほど小さい値ではないことから、偶然である可能性も否定できない。ただし、図4によると、ECCOモデルが算出した海底圧力変動は、海底圧力計による実際の海底圧力変動より小さめであることがわかってきた。したがって、現実の海底圧力はECCOモデルが算出した値を上方修正できる余地はあり、定量的な不足を克服できる可能性はある。重力ミッションのひとつであるGRACE(Gravity Recovery and Climate Experiment)衛星は2002年に打ち上げられ、陸水と海洋の質量変化による重力の季節変化の研究に多大な貢献をしようとする。GRACE衛星による海底圧力分布のグローバルな計測結果を観測することによって、日本近海の荷重の季節変化について実測という新しい観点からの研究が近い将来可能になるであろう。