

32

地球温暖化により活発化する地殻ポンピング運動に対する 積雪荷重と海水位と気圧の影響を解明するスポンジ断層構造モデル

会員 ○ 鈴木高広 (近畿大学), 坂本 勝 (近畿大学)

Sponge fault structural model to elucidate the effects of snow load, sea level and air pressure on crustal pumping movement activated by global warming

Takahiro SUZUKI and Masaru SAKAMOTO

Kindai University
930 Nishimitani, Kinokawa, Wakayama, 649-6493, Japan
E-mail: tkusuzuki@waka.kindai.ac.jp

ABSTRACT

The spongy fault zones containing a large amount of water are supposed to have been involved in the frequent occurrence of earthquakes due to global warming. After the land uplift in Japan stopped in 1985, the sea level has risen at an average rate of 2.8 mm/year, and small and medium-sized earthquakes of M5 or less have occurred frequently in proportion to the sea level. On the other hand, it was suggested that the crustal pumping motion that causes large earthquakes of M5 or more are caused by the highly pressurized water in the fault zone by the snow load, to rise up the Tohoku region after snowmelt. Therefore, we analyzed changes in land height, snow cover and sea level changes in various parts of Japan, and found that the crustal pumping movement is promoting the starting off the coast of Sanriku and moving eastward while rising onto the Pacific plate. Based on this mechanism, we improved the model for estimating the amount of crustal deformation that triggers large earthquakes, and investigated earthquake prediction methods.

キーワード: 温暖化, 地震予知, 地殻ポンピング運動, スポンジ断層構造モデル

Keywords: global warming, earthquake prediction, crustal pumping, spongy fault structure model

1. はじめに

地球温暖化の影響により世界の海水位が 100 年間上昇し続けているにも関わらず, 日本は 1985 年まで海水位が低下し, 陸地が浮上したことを示す (Fig. 1)。1985 年以降は, 日本の海水位も世界と同様に 2.8 mm/yr のペースで上昇しており, 比例的に地震が多発化している。

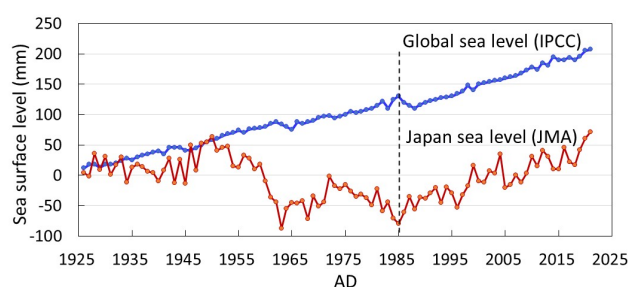


Fig.1 Changes in sea water levels of globe and Japan.

浮かんだ船に荷物を積み降ろしすると上下に浮沈するように, 海水位の上昇により浮上した日本列島は積雪荷重の増減より地殻が上下動しやすくなるため地震が増える。また, 豪雪により大きく沈降すると断層帯に変形歪が蓄積し, 台風や強い低気圧や高潮位がトリガーとなり巨大地震が発生することをこれまでに報告した^{1,2)}。

一方, 観測技術の発展により日本の地殻と太平洋プレートが接する断層帯には多量の水が含まれていることが明らかとなった³⁾。海水を多量に含む断層はスポンジや水ベッドのような弾性構造体であると考察される。融雪と低気圧と高潮位により荷重応力が急減すると, 収縮した断層が復元する反動で日本列島が跳ね上げられ, 巨大地震が起きたり, 太平洋プレート上を東方にせり上がる地殻ポンピング運動の規模が拡大することが理解できる。

断層帯を水ベッドに喩えると, 積雪荷重応力に依存して水ベッドが沈降し変形歪が増す。融雪により荷重圧が低下すると変形した水ベッドの弾性復元力により地殻が突き上げられる。このとき, 強い低気圧や大潮により浮力が増すと, 水ベッドが急激に復元し地殻プレートを勢いよく跳ね上げる²⁾。この地殻ポンピング運動が, 2011年3月11日に日本プレート末端の跳ね返り型超巨大地震と大津波を誘発したと考察される。そこで, 地殻ポンピング運動に対する断層弾性の影響の解明に取り組んだところ, 日本周辺4海域の高低差が示す陸地の浮沈挙動に一定の経年ズレパターンがあり, 三陸沖を先頭に太平洋プレートをせり上げる日本列島の東方移動速度のズレを示すことを見出した。また, 海水位上昇による浮力の増大が積雪荷重を緩和し, 断層帯の地震エネルギーの蓄積を低減する重要な指標となることが明らかとなった。

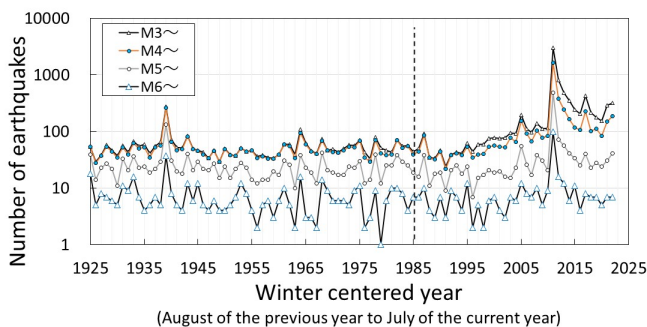


Fig. 2 Changes in the number of earthquakes.

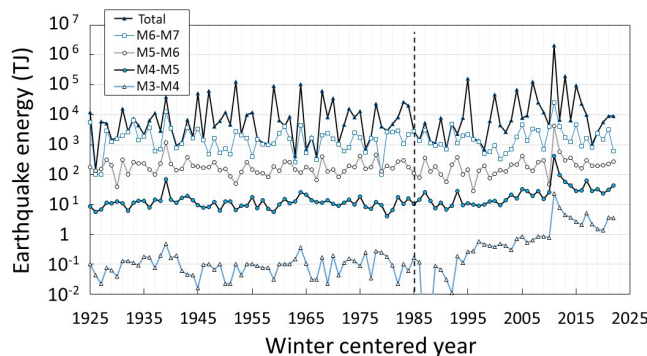


Fig. 3 Trends in released energy due to earthquakes.

2. 地震発生数と放出エネルギーの推移

気象庁の地震データベースを用いて、福島県で観測された震度1以上の地震の件数、発生日、規模、震源を調べ、放出された地震エネルギー量(E)を、マグニチュード(M)を用いて下記式により算出し、寒候年(winter centered year, 前年8月~当年7月)ごとに積算した。

$$E [J] = 10^{(4.8 + 1.5M)}$$

Fig. 2 は、1925 年以降の地震件数を示し、Fig. 3 は、放出エネルギーの推移を示す。地震件数は、一時的な多発年はあるものの、1985 年まで定常的に推移した。一方、1985 年以降は M5 以下の地震の発生数が年々増加している。放出エネルギーも、地震規模が低いほど顕著な増加傾向を示し、海水位の上昇に伴い中小規模の地震が多発化していることが分かる。

Table 1 は、1988 年 8 月から 2022 年 7 月に観測された M3 以上の地震 8,403 件について、M 規模ごとに件数と放出エネルギーを集計した結果を示す。地震件数は M3~M6 が全体の 96.2%を占めたが、放出エネルギーは M6 以上の地震が 99.6%を占めた。地震被害を防ぐためには、M6 以上の大地震の発生規模と時期と震源地域を予測する必要がある。これまでに積雪量と海水位と前年の地震発生数を指標として、M6 以上の地震の年間発生数を予測する方法を考案した¹⁾。しかし、直近 3 年間は予測値と実測値のズレが拡大した。この原因を解明することで、M5 以上の地震エネルギーの蓄積量を推定する方法を再検討し、巨大地震の年間放出エネルギーの予測精度を検証した。

Table 1 Number of earthquakes with a seismic intensity of 1 or higher observed in Fukushima Prefecture from August 1988 to July 2022 and the amount of released energy

	M3~M4	M4~M5	M5~M6	M6~M7	M7~	total
Number of earthquakes	3,616	3,434	1,029	272	52	8,403
ratio	43.03%	40.87%	12.25%	3.24%	0.62%	100%
	M3~M4 (TJ)	M4~M5 (TJ)	M5~M6 (TJ)	M6~M7 (TJ)	M7~ (TJ)	total (TJ)
Energy of earthquakes	71	1,229	10,931	85,656	2,886,009	2,983,896
ratio	0.002%	0.04%	0.37%	2.87%	96.72%	100%

Source: Earthquake database, Japan Meteorological Agency

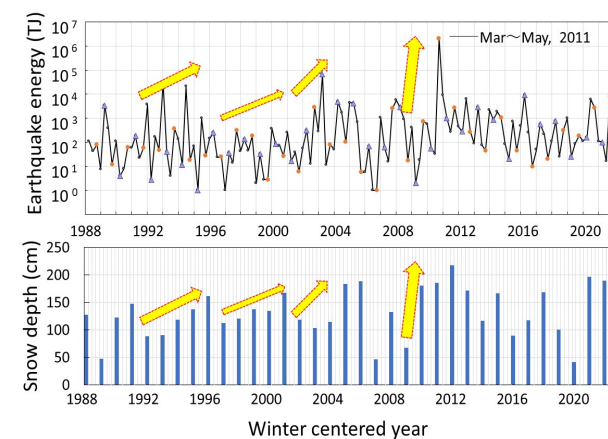


Fig. 4 Seasonal trends in release energy for earthquakes of M5 or higher that occurred from August 1988 to July 2022 and the maximum snow depth (average value at 6 locations) in Niigata Prefecture.

3. 積雪荷重と海水位と地震エネルギーの推移

福島県で観測された M5 以上の地震のうち、地殻ポンピング運動による短期誘発型地震として、震源が北緯 34.0°~42.6°、東経 137.5°~146.0°、震源深さが 100km 未満の地震を抽出し、放出エネルギーを季節ごと(冬; 12 月~2 月, 春; 3 月~5 月, 夏; 6 月~8 月, 秋; 9 月~11 月)に集計した結果を Fig. 4 示す。

1989 年から 1996 年は、大地震が発生した後、地震規模が大幅に縮小する経年変化が 1~2 年の周期で繰り返されており、地殻の変形歪が大地震によって解消されたと示唆される。1996 年から 2002 年、および 2004 年から 2010 年の各 7 年間は地震規模が小さい期間を経て、2003 年に大地震、2011 年に超巨大地震が発生した。これらの期間は、地殻の変形歪が数年間蓄積されたのちに大地震が発生し、歪が解消されたと考察される。そこで、積雪荷重と海水位の経年変化を解析し、地殻の変形歪から地震エネルギー量を推定する方法を検討した。

同図には、新潟県内 6 観測所(新潟、十日町、長岡、下関、能生、津南)の最大積雪深さ(平均値)の推移も示す。

1992年から2006年までは5年周期で各年の積雪深さの増減が類似パターンを3回繰り返したのち、2007年から3年間は積雪量が少なく、2010年と2011年は豪雪となった。2007年から2009年の3年間に陸地が高位に浮上したのち、2010年の豪雪により大きく沈降したと考察されるが、2010年は融雪後も大地震が発生しなかったため断層帯に変形歪が蓄積されたと考察される。

そして、2011年の豪雪により再び大きく沈降することで、前年の浮上を妨げた断層が緩み、融雪により浮上しかけた2011年3月上旬に、前報で解説したように強い低気圧が東北一帯を1週間激しく揺さぶったため、超巨大地震が誘発されたと考察される²⁾。同図に矢印で示すように、年次間の積雪量の増減幅が大きく変化し、陸地の上下動の振幅と加速度が拡大した場合に、地震放出エネルギーが増大する傾向が認められる。

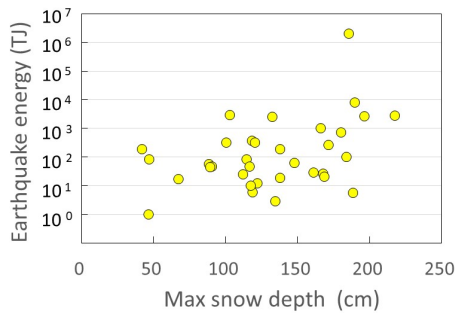


Fig. 5 Maximum snow depth in the winter and seismic energy released from March to May of the year.

Fig. 5 は、冬季(前年12月～2月)の最大積雪深さに対し、融雪により積雪荷重が低減する同年の3月～5月の3カ月間に発生した地震の放出エネルギー量を示す。積雪深さが130 cmを超えると、積雪深さに依存して地震が大型化する傾向があることが分かる¹⁾。

Fig. 6 上段は、M5以上の地震の放出エネルギーを寒候年ごとに示す。地殻変形歪の経年蓄積を考慮し、地震エネルギーの2年移動平均も示した。同下段は、積雪深さと海水位の変化を示す。2020年は2007年と同様に積雪深さが低い。2021年と2022年は、2010年と2011年と同程度の豪雪だったため、従来の予測モデルに基づく、2022年は2011年と同様に超巨大地震が発生することが予測された¹⁾。しかし、2021年2月16日にM7.3、2022年3月16日にM7.4の地震がいずれも福島県沖で発生したのが最大であり、積雪深さに対する変形歪量が、2011年よりも2022年の方が低下したことが示唆された。

この予測モデルのズレの原因を分析した結果、海水位上昇による浮力の増大が、積雪荷重応力を低下したため東北地方の沈降距離が縮小し、積雪量に対する断層の変形歪の増加量が低下した可能性が示唆された。

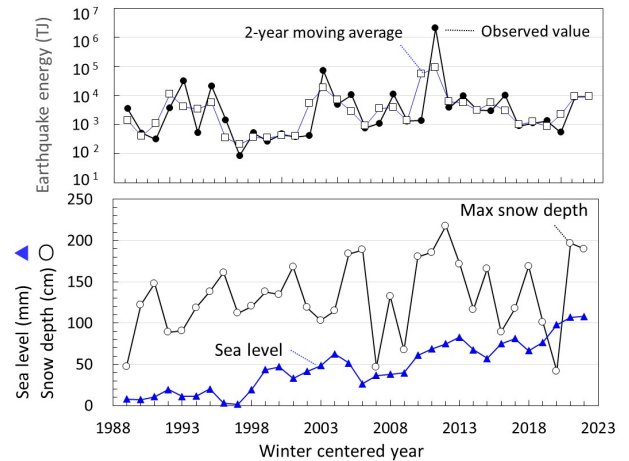


Fig. 6 Changes in the maximum snow depth in Niigata Prefecture and sea level around Japan.

Fig. 7 は、海水位上昇に伴う浮力増大により日本列島の積雪荷重応力が低減されるメカニズムと、融雪後にスポンジ状断層の弾性復元力により三陸沖を先頭に東北地方が太平洋プレート上を東方にせり上がるイメージ図を示す。

高水位の場合は浮力により積雪荷重応力が軽減され、沈降時に太平洋プレートと接する断層に発生する変形歪が低減する。一方、浮力が少ない低水位の場合は、同量の積雪荷重により大きく沈降するため地殻の収縮変形歪が増大し、巨大地震が発生すると考察される。

西側が大陸プレートに接続する日本列島は、スポンジ状断層の弾性により浮上するたびに、太平洋プレートを日本の地殻の下に潜りこませるようにして、三陸沖を先頭に東方に進む。そして、関東地域は遅れて東に進むため、あたかも太平洋プレートが日本列島下に自律的に潜り込んでいると錯覚させる。現代の地震学は、地殻ポンピング運動説と真逆の「太平洋プレート自律潜り込み説」を唱え、プレート駆動力も不明なまま地震の解析に取り組んでいるため、地震予知は不可能であると考察される。

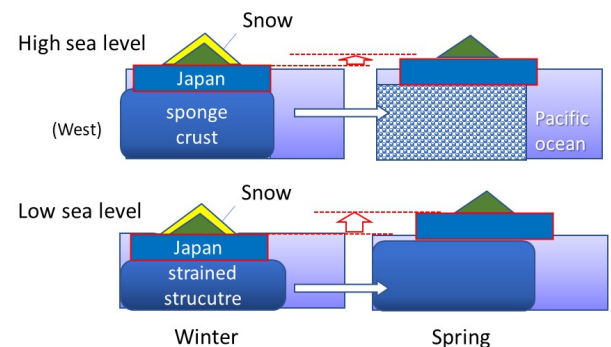


Fig. 7 Comparative image of the crustal deformation stress caused by changes in sea level and snow cover and the crustal pumping motion mechanism in which Japan's crust moving eastward while rising on the Pacific plate surface.

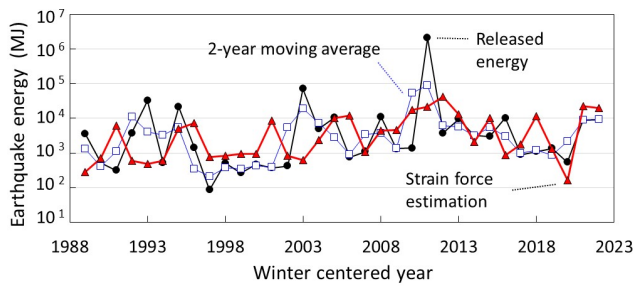


Fig. 8 Changes in calculated and measured values of seismic energy using a crustal strain estimation model under the effect of seawater buoyancy on reducing snow load.

Fig. 8 は、積雪深さ、前年に放出された地震エネルギー、および海水位の変化を指標とした地殻歪量推定モデルによる地震エネルギー蓄積量の推定値を示す。2022 年は 2011 年よりも海水位が上昇し、積雪荷重による陸地の沈降応力が低減し地殻の変形歪も縮小されたことを考慮した結果、同図に示すように 2012 年以降の実際の地震エネルギーと類似した予測値を得ることが可能となった。

4. 積雪荷重と海水位と地震エネルギーの推移

Fig. 9 は、1988 年以降 2.8 mm/yr のペースで上昇した日本の基準水位に対し、4 海域(北海道・東北、関東・東海、近畿・九州東南、北陸・九州西南)の海水位の偏差を求めた結果を積雪深さと共に示す。偏差が正值の場合は陸地が沈降し、負の場合は陸地が浮上したことを示す。

北海道・東北沿岸は、短期的に上下動はあるものの長期的に海水位が低下し続けており、陸地が隆起していることが分かる。関東・東海沿岸は、大幅に隆起したのち徐々に沈降する変化を繰り返しており、2014 年に大きく隆起したのち沈降している。近畿・九州沿岸は、関東・東海の変動パターンを、規模を縮小し追随する傾向がある。北陸・九州は沈降し続けていることが分かる。

Fig.10 に日本列島の東方移動の概要を示す。新潟周辺を重心として東北地域の地盤が上下動を繰り返す、日本海溝が扇状に形成されたことが分かる。2011 年以降は、三陸沖が太平洋プレート上を東進し、引きずられた関東地方は太平洋プレートの逆圧により 2014 年にいったん隆起したが、東北地方に引っ張られてしだいに地滑りしつつ沈降していることが分かる。関東平野が拡張しながら沈降していることも矛盾なく説明ができる。同様に富士山から阿蘇山に至る中央構造線の南側は、太平洋プレートの逆圧を受け、北側の移動速度との間にズレが生じる。北陸から九州の沈降は、日本列島が三陸沖を先頭に大陸から離れながら日本海を形成したメカニズムが持続されていることを示す沈降現象であることが理解できる。

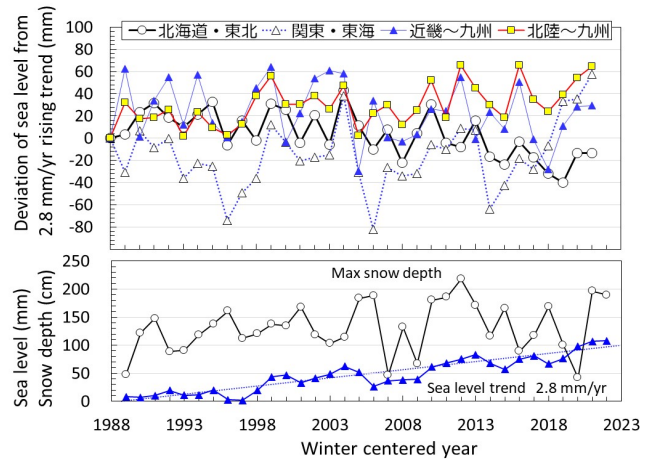


Fig. 9 Changes in sea level in the four sea areas around Japan; comparison of yearly deviations from the global sea level rising trend (2.8 mm/yr) as the standard sea level.

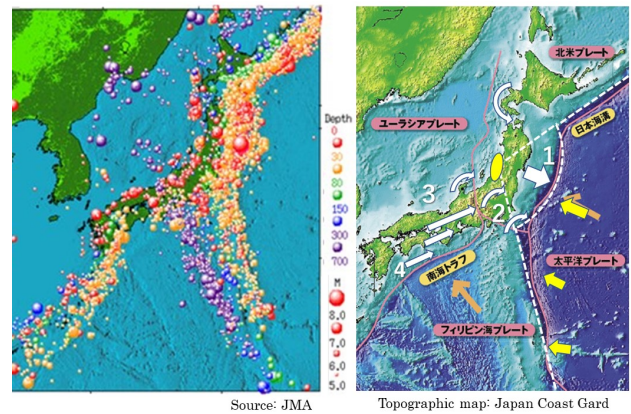


Fig.10 The epicenter distribution map of the earthquake that occurred in the vicinity of Japan from 1960 to 2011, and the seafloor topographic map. Dashed lines and numbered white arrows in movement order are added by the authors.

5. おわりに

地球温暖化による海水位上昇が地震を多発化する一方、浮力の増大は積雪荷重の影響を緩和し、大地震を誘発する断層歪エネルギーを低減する。だが、強い寒波が予測されるこの冬は、海水温が上昇した日本海が降雪量を増大する。浮力効果を上回る大規模積雪は、三陸沖を震源とする超巨大地震の再発を懸念させる。

参考文献

- 1) 鈴木高広, 地球温暖化による巨大地震発生メカニズムの解明とサツマ芋メタンの大量生産による化石燃料代替市場の創出, 太陽エネルギー, 252, 45(4), 30-37, 2019
- 2) 鈴木高広, 坂本勝, 地球温暖化に起因する福島県沖巨大地震の再発メカニズムの検証と芋メタン発酵条件の検討, 日本太陽エネルギー学会研究発表会講演要旨集, 222-225, 2019
- 3) 吉田圭佑, 地殻深部から上昇する流体が地震の発生に及ぼす影響の研究, 地震 第2輯, 74, 95-116, 2021