

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 9 日現在

機関番号：13901

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25282111

研究課題名(和文)科学的知見をより良く反映し利用者にも伝わり易い地震発生長期評価法の提案

研究課題名(英文) Proposal of a use-friendly long-term earthquake forecast method that better reflects scientific knowledge

研究代表者

鷺谷 威 (Sagiya, Takeshi)

名古屋大学・減災連携研究センター・教授

研究者番号：50362299

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 12,700,000円

研究成果の概要(和文)：地震の長期確率評価を改良するため、地震の発生ポテンシャルを反映する観測量である地殻歪みを用いた長期評価手法について検討した。測地学的に観測される地殻歪みには地震発生につながらない非弾性的な歪みがある。地殻歪みから地震発生回数の予測を試みると、やや過大評価ではあるが良好な結果が得られた。一方、地震の長期評価が人々の防災行動を喚起するか調査した。リスク認知において一定の効果はあるが、防災行動誘発には地震の評価だけでは不十分であり、付加的な情報が必要であることが明らかとなった。

研究成果の概要(英文)：We investigate long-term earthquake forecast method using crustal strain data that can reflect seismic potential. We found that a part of geodetic crustal strain contains inelastic strain that does not cause earthquakes. A trial to forecast earthquake numbers was successful although the number was a little overestimated. We also investigate how the long-term forecast can be used to promote people's preventing actions. Though the forecast information is effective in people's recognition of the earthquake risk, it is not sufficient to make people act for preventing disasters without additional information.

研究分野：固体地球物理学

キーワード：地震発生長期評価 地震発生確率 地殻歪み リスクコミュニケーション 表現手法 リスク認知

1. 研究開始当初の背景

将来の大地震発生ポテンシャルを定量的に評価することは地震防災上重要である。しかし、2011年東北地方太平洋沖地震の発生により、現行の地震の長期発生確率評価の様々な問題が明らかになった。現在、政府が行っている地震の長期評価は歴史地震や地質学的痕跡の限られた情報から推定された過去の地震発生履歴に基づいており、データの不完全さに起因する見落としが避けられない。また、推定された結果は30年間の地震発生確率や地震動予測地図として公表されているが、これらの表現が利用者たる市民にとって分かりにくく、地震のリスクを理解する上で最適なものとなっていない、という問題点も指摘されていた。

2. 研究の目的

本研究ではこうした諸問題の解決を目指し、過去の地震発生履歴に加えて、地震を引き起こす歪みエネルギーの蓄積状況の指標である、地殻歪みを用いた地震発生ポテンシャル評価の手法を開発することを試みた。また、公表された地震の長期評価や地震動予測地図が、市民にどのように受け取られているかをリスク・コミュニケーションの視点から明らかにし、より適切な地震リスクの表現手法について検討することを目的とした。

3. 研究の方法

日本列島の地殻歪みに関する情報を地震の長期評価に利用する目的で、地殻歪みが実際にどのように分布しており、それらが物理的にどのように解釈されるのか、地震ポテンシャルをどう評価するかを念頭に調査を行った。さらに、地殻歪み速度と地震発生率の関係式を利用して、地殻歪み速度データに基づく地震発生確率の評価を行い、実際の観測データとの比較を実施した。

長期評価結果の表現方法に関しては、インターネットを利用した社会調査の手法を利用して、地震のリスクが市民にどのように受け取られているか、地震動予測地図等を利用することで、リスク認知がどのように改善されるか、といった視点で調査を行った。

4. 研究成果

(1) 弾性歪みと非弾性歪みの分離

地殻歪みには、将来の大地震発生につながる弾性的な歪みと、長期的に累積して地形・地質構造を形成する非弾性的な歪みが存在する。しかし、測地観測からはこの両者を区別することができず、地殻歪みを地震ポテンシャル評価に利用する上での大きな障害となってきた。

2011年東北地方太平洋沖地震は、それまで東西短縮変形下にあった日本列島に大きな地殻変動をもたらし、地震後5年が経過した現在も、大規模な余効変動によって東西方向

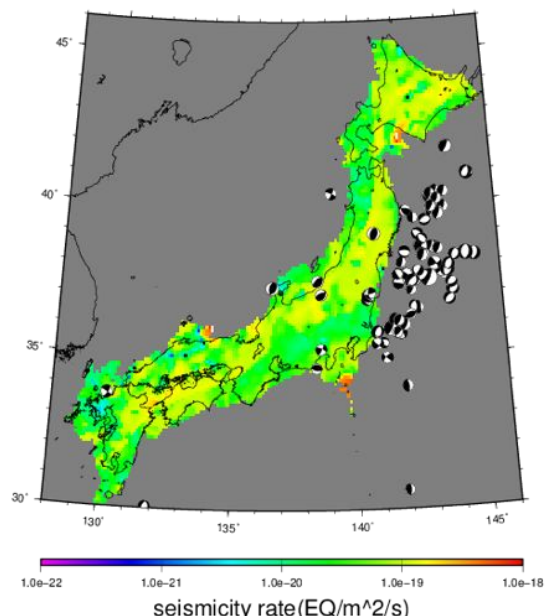
の伸張が続いている。こうした地震前後の地殻変動パターンの変化に注目し、測地観測データから非弾性歪みの抽出を試みた。具体的には、GPS観測から得られる歪み速度分布を長波長成分と短波長成分に分けたところ、長波長成分が地震前後で短縮から伸張へと逆転していたのに対し、短波長成分は短縮が継続しており、後者は主として非弾性的な歪みを反映しているものと評価される。地震発生ポテンシャルについては、主として前者を評価すれば良い。このように、測地的なデータに基づく地震発生ポテンシャル評価に向けて一定の見通しが得られたことは大きな成果である。

(2) 地殻歪み速度データを用いた地震発生予測の試み

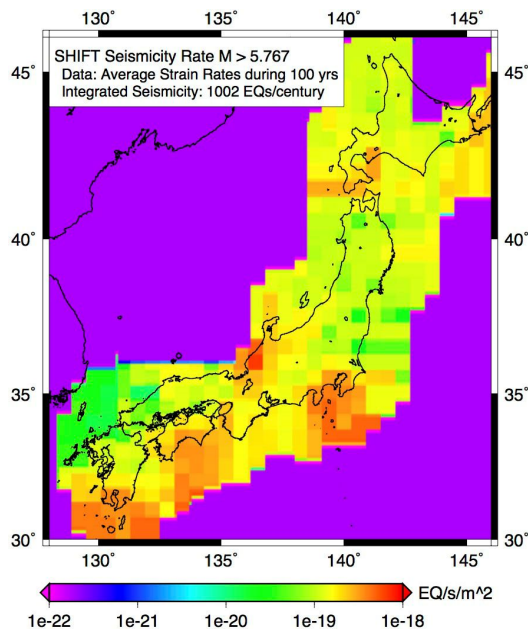
UCLAのグループが開発した、歪み速度から地震活動度を推定するSHIFTモデル(Seismic Hazard Inferred from Tectonics model; Bird and Liu, 2007)を、日本列島のGPSによる地殻歪み速度データ(Sagiya, 2004)および明治以来の100年間の三角・三辺測量データから求めた歪速度データ(石川・橋本, 1999)に適用し、日本列島周辺の地震活動度の推定を試みた。手順は、下記の通りである。

1)GPSデータについては、等間隔の格子点で計算された歪み速度データを入力とし、三角・三辺測量データについては、石川・橋本(1999)によるひずみ速度の軸をGMTのnearneighborプログラムを用いて内挿した。SHIFTモデルでは、テクトニック区分毎に異なる地震活動特性を仮定するが、日本列島のほぼ全域を沈み込み帯として扱い、九州の一部を大陸の変動帯、北海道の一部をプレート内部として扱った。

2)Bird and Liu(2007)のアルゴリズムで、歪速度から地震活動度を計算した。



上の図は、GPS の歪み速度と 2004 年以前の地震活動データに基づく 2005 年～2012 年の地震発生数(M5.8 以上)の予測である。日本列島の歪みは陸上しかデータが存在しないため、主たる地震活動域である海域で比較ができないのが問題である。内陸では、東北地方や新潟県付近など、歪み速度の大きい場所で高めの地震活動度が推定されており、整合性の高い結果が得られていると考えることもできる。



より長期間のデータとして、三角・三辺測量に基づく歪み速度データを用いた地震発生予測の結果を図に示す。計算された地震活動度では、日本列 100 年間に約 1000 個の M5.8 以上の地震の発生が予測される。ただし、これは観測期間終了後である 1986 年以降の地震活動と比較することが適当であると、1986 年から 2014 年の 29 年間に浅発地震(深さ 40km 以浅、M5.8 以上)の地震発生数は 331 個(100 年換算で 1141 個)であり、ほぼ予測とおりの発生数であった。しかし、2011 年東北地方太平洋沖地震直前までは 189 個にとどまる(100 年換算で 750 個)。また、その地域性を見ると、必ずしも地震発生率の高さと実際の発生数とは一致しない。2011 年の東北地方太平洋沖地震とこれに伴う余震や誘発地震などが東北地方沖で多く発生しているが、予測では東北地方の地震発生率は低い。これは、図 1 の歪速度図で東北地方の歪速度が小さいことに起因するが、日本海溝からの太平洋プレートの沈み込みによる変動を十分に反映していないと考える。また、新潟県中越地震・中越沖地震の震源域付近では、GPS と逆に地震発生率が低く予測されている。福井周辺や四国周辺での地震発生率は高く予想されているが、実際にはこれらの地域では M5.8 より大きい地震は発生していない。前者は 1948 年福井地震の余効変動を反映

し、地震発生に向けた歪蓄積に寄与しない変動を含んでいる可能性がある。後者は南海トラフからのフィリピン海プレートの沈み込みにより地殻変動を反映しているが、南海トラフでは繰り返す M8 級の南海地震で蓄積された歪のほとんどが解放されると考えられており、歪蓄積・解放の特性による違いと考えられる。

以上より、歪速度から予測した日本列島全域の地震活動度は、オーダーでは概ね一致するかやや過大評価であった。また、地域的には不一致が多く認められる。この原因として、プレート沈み込みに伴う歪エネルギーの評価の問題、過去の地震の余効変動の影響などが考えられる。

(3) 現行の地震長期評価の問題点

本研究では、現行の長期評価の問題点についても議論を行った。そこで指摘されたのが南海トラフの長期評価に関する問題である。地震調査研究推進本部によれば南海トラフでは今後 30 年間に大地震の発生する確率が 70%と評価されており、その結果は地震動予測地図でも強調されている。確かに、東北沖地震に続くプレート境界の大地震として、南海トラフ地震に対する備えが重要なのは間違いない。しかし、この 70%という確率は、地震の発生時期に関して時間予測モデルという特殊なモデルを用いて算出されている。このモデルは、発生した地震の規模に応じて次の地震までの間隔が変化すると考えるモデルであり、最後に発生した 1944 年東南海地震と 1946 年南海地震が一連の南海トラフ地震の中で最小規模と考えられることから、次の地震までの発生期間について、約 88 年と過去に記録されたことの内短い値で仮定されている。他の地震については平均的な地震発生間隔が用いられているので、南海トラフ地震だけが特別扱いをされていることになる。まず、時間予測モデルは、十分に科学的な検証を経て確率した定説とは言えず、あくまで仮説のレベルに過ぎないものであり、実際の大地震の繰り返しに対してどう適用するかも任意性が大きい。また、地震動予測地図のように、全国を同一基準で比較することを目的とした情報の中で南海トラフが特別扱いされることにより、公平な地域比較が不可能となっている。その結果、南海トラフ地震のみに注目が集まってしまい、他地域の地震に対する警戒を弱めることは、東海地震に注目を集めた中で兵庫県南部地震が発生したことの反省が全く生かされていないことを意味している。

(4) 地震リスクの表現方法に関する検討

地震の確率情報が市民のリスク認知にどう影響するかインターネットを用いたアンケートで調査した結果、以下のような結果が得られた。

約 8 割の人は、地震本部が現在定める震度 6 弱よりも一段階低い震度 5 強で恐怖を感じて対策をしたいと思うということが明

らかになった。また、地震動予測地図は予測確率が高い地域の住民にはリスク認知の向上を促すものの、予測確率が中程度の地域の住民にはリスク認知の向上を促すことはできていないこともわかった。一方で、リスク認知が上昇したとしても、防災行動はおろか防災行動意図にすら結びついていないことも明らかになった。対処行動の変化については性別、年齢、所得等が影響を与えていることも明らかとなった。これらのことは、専門家が用意する被害予測情報だけでは人々に防災行動を促すことは困難であり、より具体的な付加情報が必要であることを示唆している。

(5) まとめ

地震調査研究推進本部は、長期評価や地震動予測地図を作成する目的として、防災意識の向上を掲げている。しかし、従来のような一方的な情報提供では、意図したような防災意識の改善にはつながらず、かえって前述したような誤解を招くケースもあることから、長期評価手法およびその表現・公表手法について根本的に見直しを行っていく必要のあることは明らかである。

本研究では、情報提供を改善する手法を具体的に提案するまでには至っていないが、改善するためのいくつかのポイントは指摘することができた。今後、具体的な方法の提案を含め、研究を継続していきたいと考えている。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計 11 件)

Hirai, T., and T. Sagiya, Biased geodetic inference on asperity distribution on a subducted plate interface: a quantitative study, *Earth Planets Space*, 査読有, 65, 311-321, 2013.

Duong, N. A., T. Sagiya, F. Kimata, T. D. To, V. Q. Hai, D. C. Cong, N. X. Binh, and N. D. Xuyen, Contemporary horizontal crustal movement estimation for northwestern Vietnam inferred from repeated GPS measurements, *Earth Planets Space*, 査読有, 65, 1399-1410, 2013.

Gunawan, E., T. Sagiya, T. Ito, F. Kimata, T. Tabei, Y. Ohta, I. Meilano, H. Z. Abidin, Agustan, I. Nurdin, and D. Sugiyanto, A comprehensive model of postseismic deformation of the 2004 Sumatra-Andaman earthquake deduced from GPS observations in northern Sumatra, *J. Asian Earth Sci.*, 査読有, 88, 218-229, 2014.

橋本学, 「だいち」合成開口レーダーで観

測された京都盆地と大阪平野の地盤変動, *自然災害科学*, 査読有, 33, 115-126, 2014.
広田すみれ, 事故・災害生起確立の集団・時間表現によるリスク認知の違い, *社会心理学研究*, 査読有, 30, 121-131, 2014.
Nishimura, T., M. Sato, and T. Sagiya, Global Positioning System (GPS) and GPS/Acoustic observations: insight into slip along the subduction zones around Japan, *Ann. Rev. Earth Planet. Sci.*, 査読有, 42, 635-674, 2014.

Hanifa, N.R., T. Sagiya, F. Kimata, J. Effendi, H.Z. Abidin, and I. Meilano, Interplate coupling model off the southwestern coast of Java, Indonesia, based on continuous GPS data in 2008-2010, *Earth Planet. Sci. Lett.*, 査読有, 401, 159-171, 2014.

Sagiya, T., Paradoxical vertical crustal movement along the Pacific coast of northeast Japan, *International Association of Geodesy Symposia*, 査読有, doi:10.1007/1345_2015_189, 2015.

Lindsay, E., R. Natsuaki, X. Xu, M. Shimada, M. Hashimoto, D. Melgar and D. Sandwell, Line-of-sight displacement from ALOS-2 interferometry: Mw7.8 Gorkha earthquake and Mw7.3 aftershock, *Geophys. Res. Lett.*, 査読有, 42, 6655-6661, 2015.

纏綿一起・大木聖子, ラクイラ地震裁判-災害科学の不定性と科学者の責任-, *科学技術社会論研究*, 査読有, 11, 50-67, 2015.

広田すみれ, 日本の一般市民のニューメラーシーや教育水準が意思決定バイアスに与える影響, *認知科学*, 査読有, 22, 2015

[学会発表](計 30 件)

鷺谷威, How elastic is the island arc crust? 日本地球惑星科学連合 2013 年大会, 幕張メッセ(千葉市), 2013 年 5 月 23 日

Sagiya, T., Lessons of the 2011 Tohoku-oki earthquake for estimating seismic hazard along plate subduction zones: observation data and modeling perspective, IAG2013 Assembly, Potsdam, 2013 年 9 月 5 日

鷺谷威, A simple model for the vertical crustal movement associated with the earthquake cycle along the Pacific coast of northeast Japan, AGU2013 Fall Meeting, San Francisco, 2013 年 12 月 12 日

Hashimoto, M., Issues on the Japanese earthquake hazard evaluation, AGU 2013 Fall Meeting, San Francisco, 2013 年 12 月 11 日

Hirota, S., Is the probabilistic earthquake forecast helpful for all Japanese? Relationship between citizens,

SPUDM24, Barcelona, 2013年8月18日～23日

広田すみれ, 地震の確立予測を人はどう判断しているか?～ニューメラシーによる違い～, 日本心理学会第77回大会, 北海道医療大学, 2013年9月19日～21日

広田すみれ, 不確実性への判断・態度とニューメラシー, 日本行動計量学会第54回大会, 東邦大学, 2013年9月3日～6日

広田すみれ, リスクリテラシーとしてのニューメラシーと地震の確立予測及び専門家への責任帰属との関係, 日本リスク研究学会第26回大会, 中央大学, 2013年11月15日～17日

橋本学, ALOS/PALSAR 干渉画像の誤差評価, 日本地球惑星科学連合 2014年大会, パシフィコ横浜, 2014年4月29日

Hashimoto, M., Ground deformations in the Kyoto and Osaka area during recent 19 years detected with InSAR, GENAH2014, Matsushima, 2014年7月24日

橋本学, 衛星搭載合成開口レーダーによる20年間の京都盆地～大阪平野の地盤変動, 日本自然災害学会平成26年度学術講演会, 鹿児島大学, 2014年9月25日

橋本学, 南海トラフの地震に関する評価の科学的合理性, 日本自然災害学会平成26年度学術講演会, 鹿児島大学, 2014年9月25日

橋本学・小澤拓, 衛星搭載合成開口レーダーによる20年間の京都盆地～大阪平野の地盤変動, 日本測地学会第122回講演会, つくばサイエンス・インフォメーションセンター, 2014年11月6日

Hashimoto, M. and T. Ozawa, Postseismic deformation from the 1995 Kobe earthquake detected with InSAR, AGU 2014 Fall Meeting, San Francisco, 2014年12月17日

Hashimoto, M., Coseismic deformation for the 2014 Northern Nagano earthquake detected by ALOS-2/PALSAR-2, Hokudan 2015 International Symposium on Active Faulting, 淡路夢舞台国際会議場, 2015年1月12日～17日

Hashimoto, M., Toward mutual understanding between earthquake science and society, Hokudan 2015 International Symposium on Active Faulting, 淡路夢舞台国際会議場, 2015年1月12日～17日

広田すみれ, 地震の確率的予測講評を人はどう評価しているのか～属性による評価の違い～, 日本心理学会第78回大会, 同志社大学, 2014年9月10日～12日

鷺谷威, A. Meneses, 中部地域の地殻変動に基づく歪み集中機構の考察, 日本地球惑星科学連合 2014年大会, パシフィコ横浜, 2014年4月30日

Sagiya, T., Crustal deformation of

northeast Japan associated with earthquake recurrence at the Japan Trench: Are paradoxes solved?, GENAR2014, Matsushima, 2014年7月23日

Sagiya, T., Paradoxical vertical crustal movement along the Pacific coast of northeast Japan, AOGS 11th Ann. Meeting, ロイトン札幌, 2014年7月30日

⑲ 鷺谷威, 地球科学の社会的役割とその限界, 日本地質学会 2014年大会 (招待講演), 鹿児島大学, 2014年9月14日

⑳ 鷺谷威, 関根秀太郎, 長岡平野西縁断層帯周辺における稠密GPS観測 (その2) 2011年東北地方太平洋沖地震の余効変動の詳細な時空間変化, 日本測地学会第122回講演会, つくばサイエンス・インフォメーションセンター, 2014年11月7日

㉑ Sagiya, T., Crustal deformation of northeast Japan associated with earthquake recurrence at the Japan Trench: Are paradoxes solved? ASC 10th assembly, Makati (Philippines), 2014年11月19日

㉒ 鷺谷威・関根秀太郎, 日本海東縁ひずみ集中帯における東北沖地震後の地殻変動, 日本地震学会 2014年秋季大会, 朱鷺メッセ, 2014年11月24日

㉓ Sagiya, T., Crustal deformation and interplate coupling associated with the 2011 Tohoku-oki earthquake based on a viscoelastic model of earthquake deformation cycle, AGU 2014 Fall Meeting (招待講演), San Francisco, 2014年12月15日

㉔ Sagiya, T., Crustal deformation and interplate coupling associated with the 2011 Tohoku-oki earthquake based on a viscoelastic model of earthquake deformation cycle, Hokudan 2015 International Symposium on Active Faulting (招待講演), 淡路夢舞台国際会議場, 2015年1月13日

㉕ 鷺谷威, 地震長期評価の問題点, 日本地球惑星科学連合 2015年大会, 幕張メッセ, 2015年5月26日

㉖ 鷺谷威, 地殻歪み速度を用いた地震の長期発生予測の提唱と課題, 日本地震学会 2015年秋季大会, 神戸国際会議場, 2015年10月27日

㉗ 大木聖子・飯沼貴朗・尾崎拓・中谷内一也, 「首都直下型4年以内70%」報道で人々は備えたのか, 日本地震学会 2015年秋季大会, 神戸国際会議場, 2015年10月26日

㉘ 永松冬青・大木聖子・飯沼貴朗・大伴季央・広田すみれ, 地震動予測地図の確率はどうか認知されているのか, 日本地震学会 2015年秋季大会, 神戸国際会議場, 2015年10月26日

[図書](計 0 件)

〔産業財産権〕
出願状況（計 0 件）

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
出願年月日：
国内外の別：

取得状況（計 0 件）

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
取得年月日：
国内外の別：

〔その他〕
ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

鷺谷 威 (SAGIYA Takeshi)
名古屋大学・減災連携研究センター・教授
研究者番号：50362299

(2) 研究分担者

橋本 学 (HASHIMOTO Manabu)
京都大学・防災研究所・教授
研究者番号：20293962

大木聖子 (OKI Satoko)
慶應義塾大学・環境情報学部・准教授
研究者番号：40443337

広田すみれ (HIROTA Sumire)
東京都市大学・環境情報学部・教授
研究者番号：90279703

(3) 連携研究者

中谷内一也 (NAKAYACHI Kazuya)
同志社大学・心理学部・教授
研究者番号：50212105

瀧澤一也 (KOKETSU Kazuki)
東京大学・地震研究所・教授
研究者番号：90134634

西村卓也 (NISHIMURA Takuya)
京都大学・防災研究所・准教授
研究者番号：90370808

堀高峰 (HORI Takane)

海洋研究開発機構・地震津波予測研究グループ・主任研究員
研究者番号：00359176