

平成 22 年 6 月 10 日現在

研究種目：若手研究（B）
 研究期間：2008～2009
 課題番号：20740258
 研究課題名（和文） 余震の精密解析に基づく地震発生前の絶対応力場復元に関する研究
 研究課題名（英文） Reconstruction of absolute stress fields before earthquake based on a detailed aftershock analysis
 研究代表者
 今西 和俊（IMANISHI KAZUTOSHI）
 独立行政法人産業技術総合研究所・活断層・地震研究センター・主任研究員
 研究者番号：70356517

研究成果の概要（和文）：

大地震の発生過程を理解するためには、絶対値まで含めた応力場の情報が欠かせない。そこで、余震のメカニズム解と本震断層のすべり量分布を用いて震源域における絶対応力場を推定する方法を提案し、それを4つの地震（1995年兵庫県南部地震、2007年新潟県中越沖地震、2007年能登半島地震、2009年駿河湾の地震）に適用した。推定結果は色々な観測事例とも調和的であり、手法の有効性も確認できた。

研究成果の概要（英文）：

I proposed a method to determine absolute stress field based on aftershock focal mechanisms as well as co-seismic slip distribution of mainshock, and applied it to four large earthquakes occurred in Japan. The estimated results agree with various observations and the effectiveness of the technique was confirmed.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	2,900,000	870,000	3,770,000
2009年度	500,000	150,000	650,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,400,000	1,020,000	4,420,000

研究分野：数物系科学

科研費の分科・細目：地球惑星科学・固体地球惑星物理学

キーワード：絶対応力場、余震、メカニズム解、応力テンソルインバージョン、1995年兵庫県南部地震、2007年能登半島地震、2007年新潟県中越沖地震、2009年駿河湾の地震

1. 研究開始当初の背景

地震とは、断層に蓄積された応力がある強度を超えたときに一気に解放される現象である。この地震の発生過程を理解するためには、断層にどれくらいの大きさの応力がどの方向から加わっているのかという応力場の

情報が欠かせない。通常、絶対応力場を求めるためには、掘削孔を利用した原位置応力測定が行われている。直接的で有効な方法であるが、技術的な制約により測定できる範囲は深さ数 km までで、地震発生層（内陸では深さ 10-15km 以浅）の極浅部に限られる問題

点があった。さらに、掘削に非常に時間が掛かることや費用の面から測定は数点に限られるため、面的な分布を得られないという本質的な欠点もあった。このように、様々な観測機器の開発や解析方法が発展してきた現在においても、絶対値まで含めた応力場の情報が地震発生層全体に渡って明らかになっている断層は、現在までのところ無い。

本研究では、余震のメカニズム解と本震の断層運動で生じた応力変化を組み合わせることで地震発生前の絶対応力場を推定できるのではないかと考えた。ここで、余震のメカニズム解と本震の断層運動は、どちらも地震計のデータのみから推定ができる点がポイントである。地震計は地震学で使われる観測機器の中で最も普及しており、現実的で適用範囲が広いアプローチといえる。

2. 研究の目的

地震のメカニズム解は地下で断層がどのように動いたのかを表しており、応力場の指標として古くからの研究で使われてきた。特に、対象とする領域内で複数のメカニズム解が得られていれば、3つの主応力の方向とその応力比の情報を抽出することができる。これは応力テンソルインバージョン法と呼ばれている手法で、断層すべりは断層面に作用するせん断応力の方向におこる (Wallace-Bott 仮説) という仮定のもと、全てのメカニズム解のすべり方向と計算される断層面上のせん断応力の方向との残差が最小になる応力場を推定するものである。この手法を高度化し地震発生層全体に渡る応力場を推定するためには、できるだけ小さな地震までメカニズム解を高精度に決定することが必要となる。ここ最近の地震観測網の稠密化や解析手法の高度化により、従来よりも非常に詳細に主応力の方向と応力比の空間分布を求めることが実現されるようになったが、メカニズム解には応力の相対値の情報しか含まれておらず、応力の絶対値まで推定するためには、他の情報を加味する必要がある。

巨大地震や大地震、マグニチュード6クラスの中規模地震が発生すると、本震の断層運動による影響で震源域周辺の応力場が地震発生前後で変化することが容易に想像できる。これを関係式で表すと、

$$a_{ij} = B_{ij} + S_{ij} \quad (1)$$

となる。ここで、 a_{ij} は地震発生後の絶対応力テンソル (λ は係数)、 B_{ij} は地震発生前の絶対応力テンソル、 S_{ij} は本震の断層運動による応力変化である。 a_{ij} は余震のメカニズム解の応力テンソルインバージョンから推定でき、 S_{ij} は本震断層のすべり量分布から推

定できる。従って、様々な地震発生前の絶対応力場 B_{ij} に対して地震発生後の絶対応力場の理論値 ($B_{ij} + S_{ij}$) を計算し、その主応力の方向と応力比を余震のメカニズム解による応力テンソルインバージョン結果と比較することで、適切な地震発生前の絶対応力場の推定が可能になる。 S_{ij} の大きさと方向を基準にすることで、地震発生前の絶対値を制約できるわけである。類似の概念を用いた解析手法は1991年に発表されたが (Michael, A., *J. Geophys. Res.*, 96, 6303-6319, 1991), その当時は本震のすべり量分布は断層面上で一様なものを仮定せざるを得なかったこと、余震のメカニズム解の精度の問題や解析に使えるメカニズム解の個数が制限されていたことが要因で、実データへの適用はうまくいかなかった。

Michaelの論文が発表されてから10年以上経過した現在では、状況はかなり変わってきた。ここ最近の地震観測網の稠密化は目覚しく、マグニチュード6クラスの中規模地震さえ、地震波の解析により断層面上のすべり量分布を精度良く推定できるようになってきた。さらに、数多くの地震に適用して有効性を確認してきた微小地震の解析手法により、当時とは比較にならないほど小さな余震のメカニズム解を高精度に推定することも可能となった。また、計算機の演算能力が飛躍的に向上したことにより、地震発生前の絶対応力場をグリッドサーチで探索することが現実的となってきた。

このように、計算機能力の向上と解析に耐えうるデータセットを用意することができるようになってきた今、ようやく地震発生前の絶対応力場を推定する準備が整ったといえる。余震のメカニズム解と本震の断層運動による応力変化を組み合わせた解析手法を確立し、地震発生前の絶対応力場を復元しようというのが本研究の目的である。

3. 研究の方法

本研究の手法に適用制限はないが、検証の意味も含めて複数の地震を取り扱う。具体的には、1995年兵庫県南部地震、2007年能登半島地震、2007年新潟県中越沖地震、2009年駿河湾の地震である。研究の方法は以下の通りである。

(1) 余震のメカニズム解決定

余震の応力テンソルインバージョン解析を行うため、余震のメカニズム解を多数決定する。メカニズム解は通常、P波初動の押し引きの情報を使って決定する。しかし、地震が小さくなるにつれてP波初動の押し引きデータも少なくなり、一意に解を決定することが難しくなる。また、2007年能登半島地震、2007年新潟県中越沖地震、2009年駿河湾の地震のように震源が解域に位置している場

合には観測点配置が偏ってしまうため、P波初動のみを用いた解析手法ではメカニズム解の決定は困難となる。そこで、自身がこれまで数多くの地震に適用しその有効性を実証してきたP波初動に加えて振幅値の情報も同時に利用したメカニズム解決定法を使う。この方法では上記問題点を克服できるだけでなく、解の決定精度を向上させることができることも確認している。1995年兵庫県南部地震については内陸で発生し観測点配置も良好であることから、既存研究による推定結果を利用した。

(2) 地震発生前の絶対応力場の復元

余震のメカニズム解の特徴や余震分布を参考にして、余震域を複数の小領域に分割する。次に小領域毎に余震のメカニズム解を用いた応力テンソルインバージョンを行い、応力テンソル((1)式の a_{ij})を求める。本震の断層運動による応力変化((1)式の S_{ij})は半無限均質媒質を仮定し、余震域を覆うような領域に対して3次的に計算する。

次に、様々な地震発生前の絶対応力場((1)式の B_{ij})を仮定して地震発生後の絶対応力場の理論値($B_{ij} + S_{ij}$)を計算する。理論的な応力テンソルと余震から推定した応力テンソルを比較することで、最も妥当な地震発生前の絶対応力場を推定する。

(3) 成果の公表

成果の公表は国内外の主要な学会で発表するとともに、欧文誌に投稿する。

4. 研究成果

(1) 研究の主な成果

助成期間中に4つの地震(1995年兵庫県南部地震、2007年新潟県中越沖地震、2007年能登半島地震、2009年駿河湾の地震)について調査を行った。主な成果は以下のとおりである。

本震発生後、最大主応力の方位に有意な変化は確認できなかった。一方、全ての地震において、逆断層場から横ずれ場(2007年新潟県中越沖地震、2007年能登半島地震)、またはその逆の変化(1995年兵庫県南部地震、2009年駿河湾の地震)が確認された。これらは本震による応力変化の影響で概ね説明できた。

1995年兵庫県南部地震の震源域における本震発生前の差応力は5MPa程度であり、野島断層の強度は岩石実験から予想されているレベルに比べて弱いという複数の先行研究を支持する結果となった。また、差応力に顕著な深さ変化は確認されなかった。

2007年新潟県中越沖地震の余震の応力テンソルインバージョン解析によると、広域応力場(逆断層)とは異なる横ず

れの応力場が余震域の広い範囲にわたって生じたことが明らかになった。これを説明するためには、本震発生前の応力場が以下の条件を満たす必要がある。(a) 最大主応力はWNW-ESE方向を向いており、他の2つの主応力より卓越していること、(b) 差応力は10MPa以上、(c) 中間主応力と最小主応力の絶対値の差は2MPa程度。ここで、最大主応力が卓越しているという結果は、この領域が歪集中帯であることと関係していると考えている。以上の結果はEarth Planets and Space誌に掲載された。

余震のメカニズム解と本震断層のすべり量分布のみから震源域の絶対応力場を推定することは十分可能であることが確認された。

(2) 得られた成果の国内外における位置づけとインパクト

本研究では地震計データのみから絶対応力場の推定が可能であることを示した。地震計は地震学で最も普及している観測機器であり、今や世界中の至る所に設置されている。とても現実的で適用範囲が広い方法であり、今後、国内外の複数の地震に対して適用が可能である。

(3) 今後の展望

さらに解析結果を積み重ねることにより、以下のような地殻応力場についての重要な疑問に答えることができるであろう。

- ・本震の破壊開始点付近の応力場は周りに比べて特異であったか?
- ・断層の強度は岩石実験から予想されているレベル(100MPaオーダー)か、それとも米国サンアンドレアス断層で指摘されているように低いレベル(10MPaオーダー)か?
- ・本震の破壊過程と応力場の関係は?
- ・内陸活断層を活動させる応力の起源は断層深部延長部など局所的な部分にあるのか? という問題である。これらは全て、地震発生プロセスのモデル化に強い拘束条件を与える。

現在行われている大地震の長期予測は過去の地震の活動履歴データに基づくものである。内陸地震に関しては地震の発生間隔は一般に千年以上であり、この方法に基づく長期予測の精度には数百年程度の幅があることから必ずしも社会に役立つ情報とはなっていない。絶対応力場はこの現状を改善するために最も必要とされている情報であり、社会的な視点からも重要な意義を持つであろう。

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2件)

Imanishi, K. and Y. Kuwahara, Stress field in the source region after the 2007 Mw 6.6 Niigataken Chuetsu-oki earthquake deduced from aftershock focal mechanisms: Implication for a pre-mainshock stress field, **Earth Planets and Space** 誌, 査読有, 61巻, 2009, 1053-1065.

今西和俊・桑原保人, 2007年新潟県中越沖地震の余震のメカニズム解の特徴, 地震予知連絡会会報, 査読無, 79巻, 2009, 365-368.

[学会発表](計3件)

今西和俊・武田直人・松下レイケン, 2009年駿河湾の地震の余震を用いた応力場解析, 日本地震学会 2009年度秋季大会, 2009年10月21日, 京都大学

今西和俊・桑原保人, 余震のメカニズム解と本震の断層モデルを組み合わせた本震発生前の応力場復元, 日本地球惑星科学連合 2009年大会, 2009年5月18日, 幕張

今西和俊・桑原保人, 2007年新潟県中越沖地震発生後の震源域における応力場の特徴と本震破壊との関係, 日本地球惑星科学連合 2008年大会, 2008年5月26日, 幕張

6. 研究組織

(1) 研究代表者

今西 和俊 (IMANISHI KAZUTOSHI)

独立行政法人産業技術総合研究所・活断層・地震研究センター・主任研究員

研究者番号: 70356517