

Title	Significance of fault geometry in earthquake rupture process( Abstract_要旨 )
Author(s)	Kase, Yuko
Citation	Kyoto University (京都大学)
Issue Date	2000-03-23
URL	<a href="http://hdl.handle.net/2433/181124">http://hdl.handle.net/2433/181124</a>
Right	
Type	Thesis or Dissertation
Textversion	none

氏名	加瀬祐子
学位(専攻分野)	博士(理学)
学位記番号	理博第2183号
学位授与の日付	平成12年3月23日
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当
研究科・専攻	理学研究科地球惑星科学専攻
学位論文題目	Significance of fault geometry in earthquake rupture process (破壊過程における断層幾何の重要性)

論文調査委員 (主査) 教授 尾池和夫 教授 竹本修三 教授 安藤雅孝

### 論文内容の要旨

震源断層の破壊はどのようなしくみで止まるのかということは地震の大きさを考える上で重要な問題である。破壊が止まるメカニズムとして、高速で伝播する破壊が自発的に彎曲し、自らの破壊が作り出す応力場が破壊を停止させることが示されている。一方で、地震の大きさを決めるものの候補として、断層面上の動的破壊パラメータ(応力降下量と強度)の不均質および断層の幾何学的な形の2つがあげられる。

断層面上の動的破壊パラメータの不均質が複雑な破壊過程を作り出すことは、多くの数値計算によって示されている。しかし、これらの数値計算で用いられた動的破壊パラメータの分布は仮定された単純なものであり、実際の地震について議論することはできない。

最近では、実際の地震の動的破壊パラメータの分布を知る試みが行われており、運動学的な破壊過程の解析結果から動的破壊パラメータの分布を見積もる方法と、観測された地震波形から直接に求める方法が提案されている。

従来、このような研究は、1つの地震を起こす断層は1つであるという仮定の下に行われてきた。現実には、1つの地震の破壊が複数の断層を次々と乗り移っていくことがあるということを、多くの観測結果が示している。そして、そのような地震では、断層の不連続の部分で破壊が減速したり加速したりすることも観測されている。これらの観測結果から、不均質だけでは、複雑な破壊過程を説明しきれないと考えられる。

断層の幾何に注目した研究としては、断層の走向の変化と破壊過程の関係が示され、断層の不連続が破壊を停止させたり、破壊の始まりを支配している可能性が示唆されている。破壊過程における断層の幾何の影響は、複数の断層間の相互作用の問題として研究されてきた。静的、もしくは準静的な問題では、1つの断層の破壊による応力変化が周囲の断層の破壊を抑制することが示されている。動的な相互作用の問題が扱われ始めたのは比較的最近のことであり、複数の断層の相互作用によって、動的な破壊が減速することや、破壊が乗り移れる距離や場所が、断層の位置関係に支配されていることが、2次元の平行な断層を扱った数値計算により示されている。

Kase and Kuge (1998) では、2次元のモデルを用いて、互いに平行、あるいは垂直な2つの断層上の破壊過程を求めた。その結果、乗り移る先の断層のわずかな位置の違い、走向の違いによって、破壊の乗り移りとその後の破壊過程に大きな差が生じることを示した。3次元のモデルで平行な断層を扱った数値計算も行われているが、実際に観測されている地震の破壊過程とは異なった特徴を示しており、断層の幾何だけが破壊過程を決定しているとは考えにくい。

申請論文の主論文は、以上述べたような背景のもとで、相互に平行あるいは垂直な2つの断層からなる震源での破壊過程を3次元モデルで論じたものであり、主論文は大きく分けて2つの部分からなっている。

第1部では、3次元のモデルを用いて、互いに平行あるいは垂直な2つの断層上の破壊過程を求めることにより、断層の不連続によって生じる破壊過程の特徴を調べた。これにより、断層の不連続が破壊過程をどの程度まで支配しているのかを考えることができ、また、特に地表面の効果に注目して、破壊の乗り移りを支配するパラメータは何かについても調べた。

一様な応力下にある3次元半無限均質弾性体中に、互いに平行あるいは垂直な2つの横ずれ断層があるモデルを考えた。この場合、一方の断層上にある初期クラックから破壊が始まり、伝播していく。この破壊による応力変化が、もう一方の断層の破壊を励起する。

破壊過程は、弾性体の波動方程式に断層面上の境界条件を与えることによって求めた。破壊は slip-weakening law に従って起こるものとする。強度と応力降下量は各断層上で一様であり、強度と応力降下量の比は、2つの断層で共通の値であるとする。数値計算には差分法を用いた。

これによって、破壊の乗り移りを扱う際に、断層の端の位置、上端の深さ、断層の配置が、重要なパラメータとなることを示した。また、破壊の乗り移りにおいて、地表面が大きな役割を果たすことを示した。破壊が乗り移るためには、初めの破壊が断層の端に達し、そこで十分な応力集中が起こることが必要となる。破壊の乗り移りが可能な応力状態になる領域は、初めに破壊が起こった断層の端付近に限られているため、2つの断層の端の相対的な位置が非常に重要になる。また、地表面付近では剪断応力の増加が効率よく起こるため、断層が地表に達しているか否かは、破壊が乗り移れるかどうかを決定する重要な要素となる。破壊が乗り移る場所は、乗り移る先の断層周辺の応力場が、初めの破壊によって圧縮場になるか伸長場になるかに依存していることも確かめられた。

2つの断層が垂直な場合には、圧縮場と伸長場との差は更に顕著となり、圧縮場にある断層に破壊が乗り移ることは非常に困難となる。また、破壊の乗り移りが可能な応力状態となる領域は、初めに破壊が起こった断層の端周辺に限られていることから、破壊が乗り移れるかどうかは、乗り移る先の断層の位置に非常に依存している。

破壊が断層の不連続を乗り越えられるのは、ごく限られた場合に限られることから、断層の不連続は破壊の停止に大きな役割を果たしていることがわかる。また、破壊が乗り移れるかどうかの決定に地表面が大きく関わっているため、破壊の乗り移りは地表付近で起こることを示した。これは断層の幾何によって生じる破壊過程の特徴である。実際にそのような乗り移りが観測されていないことから、破壊伝播過程全体は断層の幾何だけではなく、強度や応力降下量の不均質にも大きく依存していると考えられる。

第1部の結果から、破壊過程の全体は断層の幾何だけではなく、強度や応力降下量の不均質にも大きく依存していると考えられ、破壊過程の再現、および次の地震の予測には、動的破壊パラメータの分布を知る必要があることがわかる。しかし、断層の幾何を考慮せずに推定した強度や応力降下量の分布には、断層の幾何によって生じる見かけの不均質が含まれていることになる。

第2部では、数値実験により、断層の幾何がどのような強度や応力降下量の見かけの不均質を生じさせるかについて調べた。また逆に、運動学的震源パラメータ（破壊時刻とすべり量）から動的破壊パラメータを推定することによって、断層モデルに関する情報を取り出すことを試みた。第1部で用いた数値計算手法により、2つの断層のあるモデルを用いて破壊過程を求めた。得られた破壊過程から、別のモデルを用いて動的破壊パラメータの推定を行い、どのような見かけの不均質が現れるかを調べた。また、いくつかの断層モデルを用いて動的破壊パラメータの推定を行い、そこから再現された破壊過程をもとの破壊過程と比較することにより、どのモデルがより破壊過程をよく説明するかを判別することができるかどうか試みた。

その結果、断層の不連続によって生じる見かけの不均質は、特に強度と応力降下量の比に顕著に現れた。このとき見られる不均質が、本当に存在するものか、断層の不連続による見かけのものなのかを区別できるかどうかの数値実験を試みた結果、推定された動的破壊パラメータから再現されるすべり量ともとのすべり量との残差を指標として判別可能であることを示した。

いくつかの断層モデルを用いて動的破壊パラメータの推定を行い、すべり量の残差を指標として、2つの断層のオーバーラップの量などの断層モデルに関する情報を得られる可能性を数値実験によって示し、この方法を1992年 Landers 地震と1997年5月の鹿児島県北西部地震に適用した。Landers 地震では、Homestead Valley 断層と Emerson 断層とのオーバーラップが、地表に現れた断層のトレースから求められている値（9 km）よりも少なく、3 km 程度とした方が動力学的な破壊過程をよく説明できることを示した。また、これまで鹿児島県北西部地震については、直交する2つの断層と震源との位置関係についていくつかの説があったが、直交する2つの断層のうち、南北に走向を持つ断層が東西に走向を持つ断層上の震源よりも西にある方が動力学的な破壊過程をよく説明できるという結果を得た。

## 論文審査の結果の要旨

申請論文の研究は、断層の幾何が地震の破壊過程にどの程度寄与しているのかを、数値計算によって調べたものである。その結果以下のことを示した。

破壊が断層の不連続を乗り越えられるのは、条件のよい場合に限られることから、断層の不連続は破壊の停止に大きな役割を果たしていること、また、破壊が乗り移れるかどうかの決定に地表面が大きく関わっているため、破壊の乗り移りは地表付近で起こること、そのような破壊過程が観測された場合には、その地震の破壊過程において、断層の幾何が重要な役割を果たしたと考えることができることを示した。また、これまで現実にそのような乗り移りが観測されていないことと合わせて、破壊過程は動的破壊パラメータの不均質に大きく依存していると考えられることを示した。

断層の幾何は、動的破壊パラメータの見かけの不均質の原因ともなるため、破壊過程を完全に再現するためには、断層の幾何に関する情報は欠かせないことから、いくつかの断層モデルを用いて動的破壊パラメータの推定を行い、その結果得られた破壊過程を実際の破壊過程と比較することにより、より詳しい断層の幾何に関する情報を得られる可能性を示した。これまで、断層モデルの推定には、主に余震分布と地表に現れた断層のトレースが用いられてきた。申請論文が提案している方法は、これらとは全く違う視点、つまり観測された破壊過程を再現し得る断層モデルを求めるという立場に立ったものであり、詳細な断層モデルを提供し、より詳細な震源過程の解析に、また次の地震の予測に対しても貢献できるものである。主論文では、実際にこの方法を1992年 Landers 地震と1997年5月の鹿児島県北西部地震に適用し、断層モデルの推定を行い、2つの断層面上の破壊過程を明らかにした。

以上述べたように、主論文は2つの断層面の破壊の乗り移るしくみを数値計算によって解析し、重要な結果を示した。参考論文とともに、地震学の分野の発展に貢献したものであり、よって申請論文は、博士（理学）の称号に十分値するものであると認める。

なお、主論文及び参考論文に報告されている研究業績を中心とし、これに関連した分野について平成12年1月24日に試問を行った結果、合格と認めた。