

巨大スラブ内地震の震源特性に関する研究

学位論文内容の要旨

これまで、プレート沈み込み地域で発生するマグニチュードが 8 クラスの巨大地震は、そのほとんどがプレート間地震であると考えられていた。しかし、1993 年釧路沖地震 ($M_{JMA}=7.8$: 気象庁マグニチュード)、1994 年北海道東方沖地震 ($M_{JMA}=8.1$) と、北海道東部—千島列島南部地域で相次いで発生した巨大地震は、ともにスラブ自身の破壊による「スラブ内地震」であった。これら 2 つのスラブ内地震において、震源から 100km 以上も離れた地域でも強い地震動による大きな被害が生じた。一方、広帯域強震動観測網の展開によって震源に近い観測点での強震動記録が得られるようになると、地震の震源過程の研究において、1Hz 付近の「やや高周波数地震波」に関する解析が行われるようになってきた。この周波数帯の地震波放出過程を知ることは、震源における詳細な破壊過程を理解するためだけではなく、建築物にもっとも大きな影響を与えることから、地震動災害軽減のための強震動予測を行う上で重要な要素となっているからである。しかしながら、これまで高周波数地震波の研究を行うことができる地震動記録は、内陸地殻内地震のみでしか得られていなかったため、他のカテゴリー地震に関しては行われていなかった。そのような中、1993 年釧路沖地震、1994 年北海道東方沖地震では、比較的震源に近い複数の観測点において広帯域強震動記録が得られている。本研究は、これらの記録を解析することによって、巨大スラブ内地震の震源特性、特に 0.1Hz から 10Hz のやや高周波数地震波の放出特性を定量的に評価し、その特徴および要因を明らかにすることを目的としている。

はじめに、震度分布および最大地動加速度分布を調査し、巨大スラブ内地震において、同じマグニチュードのプレート間地震よりも、有感域、震度、最大地動加速度が大きくなっていることから、これらの観測値に大きな影響を与える 1Hz から 10Hz の高周波数地震波が強く励起されていたことを指摘した。

続いて、1993 年釧路沖地震、1994 年北海道東方沖地震の近地広帯域強震動記録の周波数領域における解析を行った。強震動観測記録から震源特性（震源スペクトル）を評価するためには、伝播経路特性および観測点近傍のサイト特性を取り除く必要がある。本研究では、比較的伝播経路が単純な 1993 年釧路沖地震については、サイト特性が単純である岩盤上の観測点の記録を用いて理論的に評価した。一方、伝播経路特性が複雑な 1994 年北海道東方沖地震については、同一観測点において、同じ震源域内で発生した 1969 年北海道東方沖地震 ($M_{JMA}=7.8$) の記録との比をとることによって震源スペクトルを相対的に評価することを提案し、その有効性を示した。震源スペクトルモデルとしてこれまでに多くの地震に対して適用されている ω^{-2} モデルを基準として比較を行った結果、観測スペクトルの振幅

が、1Hz 以下の低周波数地震波の解析から求められた震源パラメーターによって、0.1Hz 以下の低周波数領域についてはこのモデルで説明できるものの、1Hz 以上の高周波数領域では、観測値のほうが約 10 倍大きく、説明できないことを明らかにした。

次に、この高周波数地震波の特異な励起を説明するための震源モデルの推定を行った。本研究では、10Hz までの高周波数地震波を含めた観測記録を説明できる理論地震動記録の合成に成功している、経験的グリーン関数法を用いた。この方法は、対象とする大地震の震源域内で発生した小地震の観測記録が、大地震の伝播経路特性およびサイト特性を含んでいるということから、これをグリーン関数として用いて理論地震動記録を合成するというものである。Forward Fitting による震源モデルの推定を行った結果、1993 年釧路沖地震、1994 年北海道東方沖地震のいずれも、一様なすべりを仮定した均質な破壊過程によるモデルでは観測記録を満足に説明することができないことを示し、両地震の破壊過程が不均質なものであったことを明らかにした。また、不均質な破壊のパラメーターとして、局所的に 400MPa にもおよぶきわめて大きな応力降下量を伴う、10m 以上の大きなすべりを生じていた領域（アスペリティ）があり、そこから放出された地震波が強震動観測記録における高周波数、特に 1Hz 以上の領域の振幅を支配していることを明らかにした。

本研究において推定された巨大スラブ内地震の震源モデルと 1Hz 以下の低周波数地震波の解析によってこれまでに示されている震源モデルとの比較を行った結果、アスペリティの位置は両者ではほぼ一致していることが確認された。しかしながら、アスペリティにおけるすべり量や応力降下量はこれまでの震源モデルでは過小評価されており、そのために観測スペクトルの高周波数領域における大振幅をこれまでの震源モデルでは説明できなかったことを明らかにした。

さらに、本研究で求められた震源パラメーターと内陸地殻内地震およびプレート間地震の震源パラメーターとの比較を行い、スラブ内地震における破壊領域やアスペリティ領域の面積が他の地震の 1/4 以下ときわめて小さいこと、また、アスペリティにおけるすべり量が 3 倍以上大きいことを明らかにした。このことは、スラブ内地震において、狭い領域から短時間のうちにきわめて多くの地震波エネルギーが放出されることを表すものであり、結果として震度や最大地動加速度が同規模のプレート間地震よりも大きくなる要因となっている。

最後に、北海道東部から千島列島南部にかけてのプレーと沈み込み地域において過去に発生した巨大地震の震度分布の再調査を行った。その結果、1958 年エトロフ島沖地震 ($M_{JMA}=8.1$) の震度分布が 1994 年北海道東方沖地震によるものと類似していることが分かった。これまで、この地震はプレート間地震であったと考えられていたが、地震モーメントに対して余震域が狭く、グローバルな応力降下量が通常のプレート間地震よりも大きいことが示されており (Fukao and Furumoto, 1979)、本研究によって明らかにされたスラブ内地震の特徴に当てはまることから、この地震が巨大スラブ内地震であった可能性が高いことを指摘した。

学位論文審査の要旨

主査	教授	西田	泰典
副査	教授	小山	順二
副査	教授	笠原	稔
副査	教授	蓬田	清
副査	助教授	笹谷	努

学位論文題名

巨大スラブ内地震の震源特性に関する研究

プレート沈み込み地域では、海洋側プレートと陸側プレートとの境界にそって、マグニチュード8クラスの巨大地震がしばしば発生する。これらの巨大地震は、「プレート間地震」と呼ばれている。ところが、千島列島南部から北海道にかけて発生した1993年釧路沖地震(M=7.8)と1994年北海道東方沖地震(M=8.1)は、これらとは異なり、沈み込んだ海洋プレート(これをスラブと言う)の内部で発生した「スラブ内地震」である。本研究は、広帯域強震動記録の解析から、これらの巨大スラブ内地震の震源特性を広い周波数範囲(0.1~10Hz)にわたって検討し、その特徴を明らかにしたものである。

申請者は、まず、これらの地震による震度分布および最大加速度と震源距離との関係を調べた。そして、スラブ内地震による有感域、最大加速度が、プレート間地震によるそれらに比べて、はるかに大きいことを指摘した。これは、これらの観測値に大きな影響を与える高周波数(1Hzから10Hz)地震波の励起特性が、プレート間地震とスラブ内地震とで異なっていることを定性的に表わしている。

次に、近地広帯域強震動記録の周波数領域における解析から、1993年釧路沖地震と1994年北海道東方沖地震の震源スペクトルを評価した。スラブ内地震の震源スペクトルは、既存の震源モデルに基づく理論震源スペクトルに比べて、1Hz以上の高周波数領域で約10倍大きいことを示し、上記の特徴の要因が震源特性にあることを観測記録から明らかにした。震源スペクトルを評価する際には、観測スペクトルから伝播経路特性と観測点近傍のサイト特性を取り除く必要がある。申請者は、ほぼ同一震源域を有する2つの地震による同一観測点での記録のスペクトル比をとることで、これらの特性を取り除く工夫も行っている。

続いて、広い周波数範囲(0.1~10Hz)にわたる観測記録を説明する、巨大スラブ内地震の震源モデルを推定した。ここで、申請者は、小地震による観測記録をグリーン関数として大地震による強震動を合成する、いわゆる経験的グリーン関数法を採用した。この方法では、まず大地震の断層面を小地震に相当する小断層に分割する。そして、ある観測点におけ

る断層面全体からの強震動は、破壊の伝播に応じて時間をずらしながら各小断層からの小地震記録を足し合わせることで得られる。ただし、ここで足し合わされる小地震記録は、大地震と小地震の震源時間関数の違いを考慮して修正されている。各小断層の断層パラメータは、合成記録が観測記録に合うように Forward fitting によって決定された。申請者は、推定された巨大スラブ内地震の震源モデルが次の特徴を有することを明らかにした。震源モデルは、大きなすべりを有する領域（アスペリティ）が断層面上に複数存在する不均質断層モデルであり、このアスペリティから強い高周波数地震波が励起されている。また、アスペリティの面積は余震域よりもはるかに小さい。そして、スラブ内地震の震源モデルを同じ大きさ（地震モーメント）の内陸地殻内地震およびプレート間地震の震源モデルと比較すると、スラブ内地震のアスペリティ面積が他の地震に比べてきわめて小さく、逆にすべり量のはるかに大きいことを明らかにした。つまり、巨大スラブ内地震は、他の地震と比べて、狭い領域から短時間のうちに大きな地震波エネルギーを放出する特性を有している。これが、最初に述べた、巨大スラブ内地震による震度や最大加速度が同規模のプレート間地震よりもはるかに大きくなる主要な要因と考えられ、申請者による重要な発見である。

最後に、千島列島南部から北海道にかけてのプレート沈み込み地域において過去に発生した巨大地震について、そのスラブ内地震の可能性について検討した。過去の巨大地震に関しては、強震動記録が存在しないので、ここでは、それぞれの地震による震度分布の再調査を行った。その結果、1958 年エトロフ島沖地震（ $M=8.1$ ）の震度分布が 1994 年北海道東方沖地震によるものと類似していることから、この地震が巨大スラブ内地震であった可能性を指摘した。

この成果は、プレート沈み込み地域での巨大スラブ内地震の震源特性を明らかにしたもので、地球惑星科学分野に大きな貢献をしたものと高く評価できる。

よって、著者は北海道大学博士（理学）の学位を授与される資格あるものと認める。