

(続紙 1)

京都大学	博士 (理 学)	氏名	王 墩
論文題目	Determination of Rupture Propagation for Large Earthquakes from Back-Projection Analyses Using Large Arrays (大規模地震計アレイを用いたバックプロジェクション解析による大地震の破壊伝播過程の研究)		
(論文内容の要旨)			
This thesis applies back-projection methods to analyze the high-frequency source characteristics for 15 recent large earthquakes. Back-projection is a technique that combines data in waveform stacks for closely spaced stations of a seismic array, in order to estimate the locations of the sources of radiation. For large earthquakes, these moving sources are often interpreted to represent the rupture front. So, this method can provide a powerful and robust way to determine the direction and speed of rupture propagation. Various factors that can affect the accuracy of the back-projection results were evaluated. These include the effects of depth phases, structure heterogeneity in the source region, uncertainty in the assumed earthquake location, and parameter choices for the back-projection analyses. The resolution tests indicate that the effect of the structure heterogeneity in the source region, is one of the largest causes for error and produces uncertainty in the source locations of about 20 to 40 km. In the results from the various earthquakes, there is new and interesting information about the high-frequency energy radiation and rupture propagation. One important finding is the identification of two strike-slip earthquakes with very fast rupture speeds, which were faster than the local S-wave velocity. Observations of such supershear earthquakes are rare, and previously only three other earthquakes in the world had been recognized. At the opposite end of the spectrum, the rupture velocities of two tsunami earthquakes were shown to be very slow, about 20% of the shear-wave velocity. Rupture speed is an important parameter for understanding the physical process of large earthquakes. The fast rupture of supershear earthquakes contributes to enhanced high-frequency shaking, which can cause greater damage. In contrast, the slow ruptures of tsunami earthquakes are associated with low levels of felt shaking, but large fault displacements causing large tsunamis. Another interesting result from the back-projection analyses is the strong frequency dependence for locations of the sources, in some earthquakes. For the 2002 Alaska, 2010 Chile, and 2011 Tohoku-Oki earthquakes, the locations for strong high-frequency radiation are quite different from the locations for the low-frequency seismic waves. This thesis also proposes a new technique to improve the spatial resolution of the back-projection results, using an empirical correction for the network effects. This smear, which is the spatial pattern caused by variations in waveforms and travel times, can be estimated using a small earthquake, which is assumed to be a point source in time and space. The pattern of stack amplitudes for the small earthquake is deconvolved from the stack amplitudes of the large earthquake, to produce a better estimate of the spatial distribution of the source of the large earthquake. This new technique was used to analyze the 2012 Off Sumatra earthquake, and able to show that the complex rupture progressed on a series of four conjugate faults. The results in this thesis show that back-projection methods are very effective for analyzing the high-frequency data of large earthquakes, as recorded on large regional arrays. The results give new information about rupture speeds and locations of high-frequency radiation, which have not been previously obtainable from standard teleseismic analyses.			
(論文審査の結果の要旨)			
地震断層の破壊伝播過程を詳細に知ることは、断層破壊現象の物理的性質を知るために有益である。近年、陸域で起きた横ずれ断層の地震において破壊伝播速度が震源域の S 波速度を越えていること(以下、supershear rupture)を示唆する分析結果が見つかってきており、この解析結果の精度や系統的な特徴を調べることが重要となっている。			

(続紙 2)

申請者は近年整備されつつある日本、米国及びヨーロッパの高品質高感度地震観測網を大規模地震計アレイと見立て、遠地の地震記録を用いて、遠地で起きた大地震の断層破壊伝播として高周波地震動の生成域を推定可能なバックプロジェクション法を用いて、大地震 15 イベントに適用し、その破壊伝播の特徴を調べた。まず、解析の前に、バックプロジェクション法の精度に影響を及ぼす変換波や伝播経路の不均質速度構造等に関する感度チェックを行い、その分解能を踏まえ、15 のイベントのうち 2 つの巨大横ずれ断層地震において、supershear rupture が起きている結果を得た。一つは陸域で起きた地震で、既往研究により supershear rupture が確認されていたものである。もう一つの事例は海洋プレート内地震であった。海洋プレート内地震でも、陸域の地震と同様に supershear rupture が起きるイベントを発見したことは、地震の発生環境を考える上で貴重な知見を与えている。また、2 つの津波地震の破壊伝播が、震源域の S 波速度の約 20% ということをもとめ、津波地震の破壊伝播の定量的な評価を行うことができた。

申請者は次に、地震波をいくつかの周期帯に分けてバックプロジェクション法を適用し、長周期の地震波生成域と短周期の地震波生成域の場所が異なることを示した。プレート境界で起きた 2010 年チリ地震、2011 年東北地方太平洋沖地震といった巨大地震においては、この分析結果と既往の長周期地震波から推定されたすべり分布を組み合わせ、チリの地震では、海溝軸沿いに長周期地震動と短周期地震動の生成域の棲み分けが、2011 年東北地方太平洋沖地震では、海溝寄りの浅い部分とプレート境界の深い部分とに棲み分けがあることを示した。このような研究成果は、プレート境界の物性情報や特性を考えるのに重要な知見を与えている。

申請者はまた、既往のバックプロジェクション法の空間的分解能をあげるため、震源域で起きた中規模地震記録を経験的グリーン関数とみなして、中規模地震の射影結果を巨大地震の射影結果に対して空間的にデコンボリューションすることによる手法の改良を行った。これを 2012 年スマトラ沖で起きた地震に適用し、4 枚の共役な断層面が連鎖的に破壊していく様子を知ることになった。この地震は、余震分布からは非常に複雑な断層面であることが示唆されたが、こういった破壊様式で破壊が進んだかについての知見は、申請者による高解像度化された分析によって初めて明らかになった。

このように申請者は同様の手法により 15 イベントの分析を行って破壊伝播特性を丹念に調べ、super-shear rupture が起きていることを新たに発見した。また手法の改良に関しては、モデル実験などが必要であるものの、申請者の提案する改良バックプロジェクション法が複雑な震源過程を推定するのに有効であることを示した。

よって、本論文は博士（理学）の学位論文として価値があるものと認める。また、平成 25 年 1 月 21 日に、論文の内容および地球物理学の学識に関する試問を行った結果、合格と認めた。

要旨公開可能日： 年 月 日以降