

## 論文審査の結果の要旨

氏名 直井 誠

本論文は、巨視的な地震に関連して起こる小さな破壊を研究するために、採掘による応力集中で最大 M3 級の地震が多発する南アフリカ金鉱山地下に AE 観測網を構築し、マグニチュード 2 の地震の発生前後の地震活動を震源近傍で捉え、その余震活動を調べることにより、本震破壊面の詳細な構造と本震断層面を描き出す余震の性質を明らかにした。本研究で行った観測は、室内岩石破壊実験と自然地震との間を埋める空間スケールでの観測であり、断層破壊過程とそのスケールリング則を解明する上でも重要な意義がある。本研究で明らかになった本震断層面を描き出す余震の性質は、断層破壊面近傍の統計的短波長擾乱による余震発生の仮説を支持するものであり、地震に伴う余震発生機構を解明する上で、新たな知見を加えるものである。

本論文の構成は、第 2 章で AE 観測網の詳細について説明すると共に、得られた観測データから AE の震源と規模を決定する独自の手法について述べている。第 3 章では、マグニチュード 2 の地震に伴う余震 (AE) の詳細な震源分布とその系列の特長について記述し、第 4 章でこの余震系列が描き出した本震 (M2 地震) 断層破壊面の幾何学形状を明らかにしている。さらに、第 5 章でこれらの詳細な余震分布と規模分布をベースに、本震断層を描き出す余震の性質を明らかに、その発生メカニズムについて議論を進め、統計的短波長擾乱による余震発生の仮説が有力であることを論証している。

まず、マグニチュード 2 という小地震に伴う余震活動がどのような性質を持つものであるかを解明するためには、本震破壊領域 (高々、数百 m) の極近傍で高周波まで観測できる AE 観測網を展開する必要がある。このような条件を満たすフィールドとしては、掘削が進みつつある大深度の鉱山が考えられる。しかし、高周波まで観測できる AE センサーは、その振幅特性に強い指向性や共振帯域があるため、微小地震の震源や規模についてはあまり多くの知見が得られていなかった。本論文では、適切な観測網のデザインと独自の工夫によりこのような AE センサーの限界を克服して、小地震に伴う余震の震源分布と規模別頻度分布を決定することに成功した。その

結果、マグニチュード2の地震でも非常に多くの余震を伴うことが明らかになると同時に、本震断層サイズは約100 mで、その本震断層面を描き出すような余震の厚みは1 m以下であることを明らかにした。さらに、このような詳細な余震分布が得られたことにより、本震の断層破壊面の相対変位により直接的に引き起こされたと考えられる本震断層面を描き出すような余震活動と、それ以外の余震活動を識別することに成功し、それぞれの余震活動の特長を明らかにした。また、本震断層直近は、CFF (Coulomb Failure Function) の増減を論じるモデルではCFFが減少する領域であるため、そこで余震が発生する要因を説明できない。そのため、本震断層面とその近傍で発生する余震の成因を説明するためにいくつかの仮説が提唱されているが、本論文の解析結果により、それらの仮説の検証が可能となった。本論文では、その一つである統計的短波長擾乱による余震発生の仮説に焦点を当て、この仮説から期待される現象の検証を試みて、断層法線方向の余震の個数分布とb-値の変化が同仮説から期待される性質と一致することを見出した。具体的かつ緻密な観測・解析結果からこのような仮説の検証が行われた例は、本研究がほとんど初めてであり、本論文の学術的価値は高いと言える。

なお、本論文の一部は、中谷正生、五十嵐俊博、矢部康男、渡辺貴善、小笠原宏、川方裕則、桂泰史、Joachim Philipp, Grzegorz Kwiatek, Gilbert Morema, Dresen Georg との共同研究であるが、論文提出者が中心となって独自の震源決定や規模決定の手法を開発し、詳細な震源分布、規模別頻度分布を得ることに成功しており、その寄与は十分であると判断する。

したがって、審査員全員一致で博士（理学）の学位を授与できると認める。