

( 続紙 1 )

京都大学	博士 ( 理学 )	氏名	彭 鴻
論文題目	INVESTIGATION OF FORESHOCKS FOR Mj3.0 TO Mj7.4 MAINSHOCKS IN JAPAN FROM 2001 TO 2021 (2001年から2021年までの日本におけるMj3.0からMj7.4の本震に対する前震の研究)		
(論文内容の要旨) <p>本震と呼ばれる地震の前には、前震と呼ばれる規模のより小さな地震が発生することがある。前震に関する既往研究は数多くあるものの、観測事例数が十分に多いとは言えない中で、その特徴について不明な点が多く残されている。そこで日本列島において観測された地震を記載した高品質な気象庁一元化震源カタログや、波形記録を用い、2001年1月から2021年3月までに発生した気象庁マグニチュード(Mj)1.0以上の地震を解析することで、Mj3.0からMj7.4を本震とする前震活動の調査を行った。</p> <p>日本列島の内陸で発生した地震に対する研究では、震源カタログに対して余震活動を取り除くデクラスタリングの処理を施した後、2,066個のMj3.0以上の本震に対して前震の有無が調べられた。この数は前震活動に関する従来の研究の多くに比べて一桁以上多い数である。本震に先行する、マグニチュードのより小さな地震活動のうち、本震から10日以内かつ3km以内で発生した地震は、背景地震活動よりも十分に発生率が高く、この距離と時間が前震の発生域と定義された。約38%の本震に前震を伴うことが明らかにされた。これは調査数が少なかった既往研究で示された30-40%という値に類似しており、それを支持する結果となった。本震が逆断層型の場合、正断層型に比べ前震発生割合が少ないことや、本震が深くなるほど前震発生割合が少ないことも再現され、応力場との関連性も指摘された。一方で、前震活動と本震のマグニチュードとの間には明確な関係が認められなかった。更に、震源カタログに対してデクラスタリング処理ではなく、地震活動の標準的なモデルとなりつつあるETASモデルを活用し、震源カタログの中から因果関係を持たない地震活動を確率論的に抽出することで、同様の解析を行った。この結果、先のデクラスタリングの処理と同様の結果が得られ、結果の信頼性が確認された。</p> <p>日本列島の海域で発生する地震を対象とした調査も行われ、Mj2.0以上の地震を用い、1,346個の本震について調査が行われた。本震から10日以内かつ7km以内で発生した地震が前震と定義され、24%の本震に前震が伴っていることが分かったが、内陸を対象とした場合に比べ、深い地震と逆断層型地震を多く用いていることに注意が必要である。また内陸地震と同様に余震活動と本震のマグニチュードとの間に明確な関係は見られなかった。</p> <p>前震と本震との関係について、前震と本震の間の距離の違いや、前震から本震発生までの時間差について調べられた。特に地震間の距離を求める際には、地震波到達時刻の読み取りを必要とせず、地震波形の相関から決定する方法を独自に提唱し、479個の本震と前震の主滑り域の相対距離を高精度に決め直した。震源カタログのみによる解析では、前震-本震間距離が前震のマグニチュードに依存する傾向が見えたが、再決定の結果、この依存性は消え、震源カタログ解析結果は見掛け上のものであることも分かった。一方で、前震のマグニチュードが大きいほど、本震発生までの時間が短くなる特徴を見出した。</p> <p>以上の通り、幅広いマグニチュードの数多くの本震に対して、前震を伴う割合を定</p>			

量的に明らかにした一方で、前震活動が本震のマグニチュードを規定する活動であることを積極的にサポートする証拠が見つからなかった。ここで注意すべきは、本震として用いている殆どの地震のマグニチュードは3から5であり、マグニチュードが6を超えるような大地震を本震とする前震については、この結論が当てはまらない可能性がある。この結果は、マグニチュードが3から5程度の本震が発生に至るまでの過程として、地震活動が偶発的に本震を誘発するカスケード・モデルと呼ばれる地震発生過程を、部分的にサポートする結果である。また、ある地震後に、マグニチュードが2以上大きな本震の発生率は約5%以下と小さく、その時間を予測することはできるかもしれないが不確実性が高い上に、その発生距離やマグニチュードを事前推定することは難しいと結論付けた。

## (論文審査の結果の要旨)

本論文は、本震に先行する前震活動の抽出とその記録解析を通じて、本震が発生に至る物理メカニズムの解明に貢献した研究である。そもそも前震と本震との関係は、一連の地震活動が終了したのちに定義づけられるものであり、潜在的な前震をその時点で見出すことは地震ハザード評価に直結させることができるが、一般的に難しいと考えられている。通常発生している地震活動中において、より規模の大きな地震がいつ、どこで、どのようにして発生し、何がそのマグニチュードを支配しているのかを解明するためには、前震の有無を含めた本震発生直前の物理過程を理解することが必要である。しかし本震がどのような物理過程を辿ってその発生に至るのかと言う問題は、地震学において長年議論されているものの未解決の研究課題である。この本震発生に至る物理メカニズムに関して、これまでに様々なモデルが提唱されているが、大きく二分して「カスケード・モデル」と「プレスリップ・モデル」と呼ばれる考え方が存在する。定義にもよるが、前者は小さな地震が連なり偶発的に大きな地震の発生に至るという考え方であり、後者は大きな地震の発生には因果関係のある前駆過程が存在し最終的な本震のサイズを規定しているという考え方である。

彭氏は、日本で観測され蓄積されつつある地震に関する大規模記録を用いることで、この論争に加わった。とりわけ世界の中でも最高品質の気象庁一元化震源カタログのうち、過去20年間の記録を精査し、本震の前に先行する、より規模の小さな地震の検出を行った。これまで前震活動を調べる際に、大地震を本震とした調査が行われることが多かったのに対し、高品質な震源カタログの利点を活用し、本震のマグニチュードが3.0から7.4という幅広い規模の本震に対して前震活動の調査を行った点において、研究の新規性が認められる。これにより過去に行われた同様の研究に比べて調査した数が格段に多くなり、前震の発生に関する統計学的調査が可能となった。本震に先行する地震活動が、時空間的に本震に近づくほど高いことから、定量的に前震域を定義した。これに基づき、過去の研究から指摘されていた、本震のメカニズム解や深さに応じた前震発生率についても検証し、その値を裏付けることに成功した。検出された前震と本震について、相対的な位置決定を行う手法を独自に提案し、これを地震波形記録に適用することで、より空間精度の高い議論を行なった。前震や本震のマグニチュードに関わらず、前震と本震との距離との間に明確な相関が見られなかった。得られた殆どの結果は、潜在的な前震から本震の震源要素を予測することは困難であるという結論であった。一方で、前震のマグニチュードが大きいほど、前震と本震の発生間隔が短いという関係性を新たに見出すことに成功した。この要因については議論の余地が残されている上、実際にある地震後に、マグニチュードが2以上大きな本震が発生する確率は数%程度と小さいことから、地震ハザード評価に適用できるほどではない。

地震がどのような物理過程を辿りその発生に至るかは、地震学上解明されていない中で、本論文では、地震に関する大規模記録から、前震活動はその後発生する本震についての情報を充分持ち合わせていないことが示された。これは即ち、地震発生過程におけるカスケード・モデルを支持する証拠を見出したことに対応する。ただし、これらの結果は解析数の多いマグニチュード3から5程度の本震の性質を主に反映しているものであり、マグニチュード6程度以上の本震については前震を明確に定義することはできなかった。そのため、大地震を含めた本震の規模と前震活動との関係については、今後の詳細な検討が必要である。しかし地震学における未解決論争を進展させる意味において、重要な結果を提供し、地震学の発展に貢献す

ることが期待される内容である。よって本論文は博士（理学）の学位論文として価値のあるものと認める。また、令和4年7月22日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行った結果、合格と認めた。

要旨公表可能日： \_\_\_\_\_ 年 \_\_\_\_\_ 月 \_\_\_\_\_ 日以降