

( 続紙 1 )

京都大学	博士 ( 理 学 )	氏名	MPUANG Admore Phindani
論文題目	Seismotectonics of Botswana: New insights from seismic velocity and anisotropy structure of the upper lithosphere (ボツワナの地震テクトニクス：リソスフェア上部における地震波速度と異方性の構造にもとづく新しい考察)		
<p>(論文内容の要旨)</p> <p>ボツワナの北西部にはコンゴクラトンがあり、南東部にはカラハリクラトンがある。その間の変動帯の北西部にはオカバンゴリフト帯が位置している。このオカバンゴリフト帯は東アフリカリフト系の南西端に当たる。オカバンゴリフト帯には北東-南西走向の正断層系が発達し、1952年にはMw5.9の地震を含む群発地震が発生した。南東部のカラハリクラトンは、リンポポ変動帯により北部のジンバブエクラトンと南部のカープバルクラトンに分けられる。2017年4月にはボツワナ中央部のリンポポ変動帯の南端付近でMw6.5の地震が発生した。この地震も正断層型のメカニズム解をもつが、その断層走向はオカバンゴリフト帯の正断層とはほぼ直交している。ボツワナの主な地震発生域であるこの2地域のテクトニクスや地球ダイナミクスにおける関係はほとんどわかっていない。本論文では地殻と最上部マンテルの構造を調べることにより、この2つの地震発生域を中心としてボツワナの地震テクトニクスについて考察した。</p> <p>まず、ボツワナに展開されている39点の広帯域地震観測点で記録された多数の遠地震の3成分波形を用いて、到来方向ごとのレシーバ関数を求め、それらのラジアル成分をインバージョンすることによりS波速度の水平成層構造モデルを推定した。各観測点における到来方向ごとのS波速度モデルから上部地殻、中部地殻、下部地殻のS波速度と厚さを同定し、それらをマッピングした。この結果、オカバンゴリフト帯とボツワナ中央部の地震発生域を結ぶ地域では、地殻が最大で6kmほど薄くなっている、中部地殻が低速度異常を示すことがわかった。低速度異常を示すことから流体が存在していると考えられ、この地域は強度が弱いことが示唆される。</p> <p>次に、レシーバ関数の初動10秒分のラジアル成分とトランスバース成分をハーモニクデコンポジションして得られる波形をインバージョンすることにより、堆積層と最上部地殻についての傾斜境界面と地震波速度の異方性を含む速度構造モデルを推定した。ボツワナ中央部のMw6.5の地震の発生域に近い2つの観測点では、深さ約4kmにはほぼ東-西の走向をもつ約50°の傾斜境界面が推定された。この走向は周辺の活断層の走向と調和的であり、これらの傾斜境界が活断層と関係していることが示唆された。</p> <p>さらに、観測点ペア間の背景ノイズの相互相関関数からレイリー波の位相速度の分散曲線を求め、15秒～50秒の範囲のいくつかの周期に対してアイコンルトモグラフィにより等方的な位相速度と位相速度の速い軸の方向を推定した。上部地殻～中部地殻では速い軸の方向がメカニズム解の節面の方向と表層地質の方向に平行であることがわかった。このことはこの深さの異方性の成因が地震発生域の応力場によるクラックの選択的配列によるものであることを示唆する。速い軸の方向は深さとともに徐々に回転し、マンテル最上部ではプレート内の相対運動に調和的な方向を向く。この深さの異方性の成因はアフリカプレート内部の相対運動のトラクションによるオリビンなどの異方性鉱物の選択配向と考えられる。</p> <p>以上をまとめて、オカバンゴリフト帯とボツワナ中央部の2つの地域の地震活動</p>			

は、これらの発生域を結ぶ強度の弱い領域にプレート内相対運動に起因するテクトニックな応力が蓄積することにより発生したと結論付けた。また、先行研究が指摘したカラハリクラトンやコンゴクラトンの深い根っこで曲げられたマントル流がアフリカプレート内部の相対運動を引き起こすという地球ダイナミクスモデルを提唱した。

(続紙 2)

(論文審査の結果の要旨)

地震活動が比較的到低く、観測網もスパースであるボツワナにおいては、1952年に Mw5.9 の群発地震が発生した北西部のオカバンゴリフト帯と、2017年に Mw6.5 の地震が発生した中央部のリンポポ変動帯南端部の2つの地震発生域のテクトニクスや地球ダイナミクスにおける関係はほとんどわかっていない。本論文ではこれら2つの地震発生域を結ぶ地域に焦点を当て、ボツワナの地震テクトニクスについて最上部マントルまでの地震波速度構造にもとづき考察を行った。

まず、ボツワナの広帯域地震観測点で観測された地震波形データを用いてレシーバ関数解析を行った。先行研究が地殻の厚さと平均的な S 波速度しか求めていなかったのに対し、本論文では遺伝アルゴリズムを用いて S 波速度の深さプロファイルを求めた。そこから堆積層、上部地殻、中部地殻、下部地殻、最上部マントルの厚さと平均的な S 波速度を読み取り、マッピングを行った。これにより2つの地震発生域を結ぶ地域では地殻の厚さが薄いことだけでなく、中部地殻の S 波速度も低速度異常を示すことがわかった。この結果はボツワナでは初めての知見であった。

次に、レシーバ関数のラジアル成分とトランスバース成分をハーモニックデコンポジションして得られる波形をインバージョンする解析を行った。このような解析はボツワナ以外でも最初の試みである。また、このために「絶滅」プロセスを組み込んだ遺伝アルゴリズムを開発した。この解析では堆積層～最上部地殻の傾斜境界面と地震波速度の異方性を推定できる。実際の解析では、ボツワナ中央部の Mw6.5 の地震の発生域に近い2つの観測点において深さ約 4km にほぼ東-西の走向をもつ約 50° の傾斜境界面が推定され、これらの傾斜境界が活断層と関係していることが示唆された。

さらに、観測点ペア間の背景ノイズの相互相関関数からレイリー波の位相速度の分散曲線を求め、15秒～50秒の範囲のいくつかの周期に対してアイコンルトモグラフィにより方位異方性の空間分布を推定した。上部地殻～中部地殻の異方性の成因は地震発生域の応力場によるクラックの選択的配列によるものであるのに対し、マントル最上部の異方性の成因はアフリカプレート内部の相対運動のトラクションによるオリビンなどの異方性鉱物の選択配向であることがわかった。このような解析はボツワナでは初めての試みであり、中部地殻以浅と下部地殻以深で異方性の成因が異なるという知見も初めて得られた。

以上、マントル最上部までの地震波速度とその異方性の構造にもとづき、ボツワナの地震テクトニクスについて、オカバンゴリフト帯とボツワナ中央部の2つの地域の地震活動は、これらの発生域を結ぶ強度の弱い領域にプレート内相対運動に起因するテクトニックな応力が蓄積することにより発生するという考えを示したことは高く評価できる。

よって、本論文は博士(理学)の学位論文として価値あるものと認める。また、令和5年10月2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