博 士（理 学） スベシュ ギミレ

学 位 論 文 題 名

Spatio Temporal evolution of the state of stress in the Pacific slab subducting in Hokkaido, Japan, before and after the 2003 Tokachi Oki earthquake

（2003年十勝沖地震前後の北海道下に潜り込む
太平洋スラブの応力状態時空間変動）

学位論文内容の要旨

千島海溝南部および北海道は、太平洋スラブが年間 8-9cm の速度で潜り込んでいる地球上でも地震活動の最も活発な地域である。2003 年 9 月 26 日、海溝型の大地震である十勝沖地震（Mw=8.0）が発生した。この地震前後で、この地域の潜り込む太平洋スラブの応力状態の変動を明らかにすることは、潜り込みに伴う応力蓄積過程と解放後の緩和現象がどのように進展しているかを見るうえで重要であり、大地震発生のメカニズム解明にも寄与するものである。ここでは、1995 年から 2006 年までの北海道大学地震火山研究観測センター（以下、**ISV**）の震源データとハーバード大学（**HVU**）および防災科学技術研究所（**NIED**）のモーメントテンソル震源メカニズム解のデータを基にして、3 種の方法により潜り込む太平洋スラブの応力状態の時空間変動を明らかにした。

まづ、震源に関しては 3 次元速度構造による震源再決定を行い、より詳細な震源分布と地震活動の時間変化から、地震発生の摩擦構成則にしたがって、スラブ内部の応力変化の時空間分布を求めた。ここでは、千島海溝南部から北海道の下に潜り込む太平洋スラブを 5km 間隔の格子点を中心に半径 5km の領域での地震活動の時間変化から、それぞれの領域の応力開放率を見積もった。その結果、1995 年から 1997 年までは、やや応力蓄積が高い地域が見られるが、1998 年から十勝沖地震前までは、やや低調になっていたことが明らかになった。地震後は、余震域周辺に応力の高まりが見出され、特に、その結果として 2004 年の釧路沖地震（Mw7.0）の発生につながったと想定される。2003 年の地震直後の応力の高まりは、時間と共に拡散し、特に、2006 年には著しく低下している。また、2003 年十勝沖地震の影響を見るために、前後の 2 期間の応力レベルの空間的変化を見ると、潜り込む太平洋スラブの深部では、後の期間の活動度は低下しており、十勝沖地震の余効変動は地震時の運動の継続であって、潜り込むスラブの応力開放の方向であることと調和している。特に、鉛直断面で見られる 2 重深発地震面の下面の活動が低調であることは、このことを決定付けている。

次に、**HVU** と **NIED** のモーメントテンソル震源メカニズム解を基にして、応力場の類似

性からこの領域内の応力場の特徴を区分してみた。千島海溝南部から日本海溝北部のスラブ上面を、それぞれ海溝に垂直平行な 50ｋｍ辺のひし形で 47 個に区分し、メカニズム解の三角ダイアグラムプロットを用いて、各小区分同士の類似性をχ^2検定により、定量的に検定した。その結果、千島海溝陸側では、4 つの領域に、日本海溝陸側では、3 つの領域に、そして海溝の外側の領域の、8 つの同類応力場領域が抽出された。特に、千島海溝側では、地質学的に推定されているスラブの西進に伴う、日高山脈直下での衝突応力場を反映するように、海溝側の応力場とは異なる領域が明瞭に示された。

この区分けされた同類応力場の領域で、2003 年十勝沖地震でどのような変化があったかを、地震の前後に時期を分けて、メカニズム解より全ての場所で、偏差応力テンソルは等しく、地震のすべりは最大せんだん応力の方向に生じているという仮定の基で、応力テンソルインバージョンにより、主応力値の相対的指標を求めた。その結果、釧路沖に位置する同類応力場領域（Ｋｓ１）では、2003 年十勝沖地震の影響はほとんど見られない。これに反して、2003 年十勝沖地震の震源域の海溝側に位置する同類応力場領域（Ｋｓ２）では、地震前は、一次元方向（スラブの進行方向）に最大圧縮応力が卓越していたが、地震後は、中間主応力が増加し、相対的にスラブ進行方向の一次元的圧縮場が緩和している。次に、Ｋｓ２の陸側に位置する同類応力場領域（Ｋｓ３）、ここは 2003 年十勝沖地震の震源域である、では、地震前の 1 次元的圧縮応力場の卓越は完全に 2 次元的圧縮場に変わっている。さらに、陸よりに位置する日高山脈直下の領域（Ｋｓ４）では、地震前が、スラブの潜り込み方向とそれに直交する方向への 2 次元的圧縮応力場であったものが、直交方向の応力が減少している。Ｋｓ２からＫｓ４にかけての変化は、明らかに 2003 年十勝沖地震前の震源域でのプレート間固着状態と、その状態の解放とを意味していると解釈できる。同様の変化を海溝外側のアウターライズ（**OR**）領域でも見られた。日本海溝側の３つの領域（Ｊｓ１，Ｊｓ２，Ｊｓ３）では、程度は小さいが、それぞれ 2003 年十勝沖地震の影響を受けて、一軸方向の最大圧縮応力場が、千島海溝の 2003 年震源域同様、緩和するような変化を示している。

これらを全て総合してみると、北海道下に潜り込む太平洋スラブの応力状態は、2003 年十勝沖地震を前後して、深い部分では緩和しており、浅い部分での増加が顕著であった。この地域の類似的応力場の区分を行った結果、海溝外側、および千島海溝側日本海溝側ともに海溝からの深さにしたがって区分できることが示された。特に、千島弧では、日高山脈直下に千島弧の西進に関連してもうひとつ別の領域を区分できることを明らかにした。それぞれの領域の、2003 年十勝沖地震による影響はストレスインバージョン法により明らかにできたが、2003 年十勝沖地震前のプレート間固着状態とその開放とによく対応して物であることが明らかになった。この地域のプレートカップリングとそれに伴う応力場の地域性と、海溝型大地震後の応力場の再配分の時間変化を明らかにした。

学位論文審査の要旨

主　査　　教　授　　笠　原　　稔

副　査　　教　授　　蓬　田　　清

副　査　　准教授　　谷　岡　勇市郎

学 位 論 文 題 名

Spatio Temporal evolution of the state of stress in the Pacific slab subducting in Hokkaido, Japan, before and after the 2003 Tokachi Oki earthquake

（2003年十勝沖地震前後の北海道下に潜り込む
太平洋スラブの応力状態時空間変動）

この論文では、太平洋プレートが年間 8-9cm の速度で潜り込んでいる地球上でも地震活動の最も活発な地域である千島海溝南部を対象として、ここに発生した海溝型の大地震である 2003 年十勝沖地震（Mw=8.0）の前後で、この地域に潜り込む太平洋スラブの応力状態の変動を明らかにすることにより、潜り込みに伴う応力蓄積過程と解放後の緩和現象がどのように進展しているかを明らかにしている。

ここでは、1993 年から 2006 年までの北海道大学地震火山研究観測センター（以下、**ISV**）の震源データとハーバード大学（**HVU**）および防災科学技術研究所（**NIED**）のモーメントテンソル震源メカニズム解のデータを基にして、3 種の方法により潜り込む太平洋スラブの応力状態の時空間変動を明らかにした。

まず、3 次元速度構造による **ISV** 震源データの震源再決定を行い詳細な震源分布と地震活動の時間変化から、地震断層の摩擦構成則にしたがって、スラブ内部の応力変化の時空間分布を求めた。空間的には北海道の下に潜り込む太平洋スラブを 5km 間隔の格子点を中心に半径 5km の円柱領域で、時間的には 1 年単位の地震活動の変化から、それぞれの領域の応力開放率を見積もった。その結果、1995 年から 1997 年までは、やや応力蓄積が高い地域が見られるが、1998 年から十勝沖地震前までは、やや低調になっていたことを明らかにしている。地震後は、余震域周辺に応力の高まりが見出され、特に、その結果として 2004 年の釧路沖地震（Mw7.0）の発生につながったと想定されることを指摘している。また、2003 年十勝沖地震の影響を見るために、前後の 2 期間の応力レベルの空間的変化を見ると、潜り込む太平洋スラブの深部では、後の期間の活動度は低下しており、十勝沖地震の余効変動は地震時の運動の継続であって、潜り込むスラブの応力開放の方向であることと調和している。特に、鉛直断面で見られる 2 重深発地震面の下面の活動が低調であることは、

このことを決定付けているといえよう。

次に、**HVU** と **NIED** のモーメントテンソル震源メカニズム解を基にして、応力テンソルの空間分布を明らかにしている。千島海溝南部から日本海溝北部のスラブ上面を、それぞれ海溝に垂直平行な 50ｋｍ辺のひし形に区分して、合計 47 小領域についてメカニズム解の三角ダイアグラムプロットを用いて、各小領域同士の類似性について χ^2 検定を行い、定量的に同類応力場領域を決定した。その結果、海溝の外側と千島海溝では 4 つに、日本海溝では 3 つに分けられた。こうした 8 つの同類応力場領域に分離したのは初めてのことであり、それぞれの領域のテクトニックな意味付けを示している。

最後に、この区分けされた同類応力場の領域で、2003 年十勝沖地震前後に時期を分けて、応力テンソルインバージョンにより、主応力値の相対的指標の変化を求めた。その結果、釧路沖に位置する同類応力場領域、**Ks1**、では、2003 年十勝沖地震の影響はほとんど見られない。これに反して、2003 年十勝沖地震の震源域の海溝側に位置する **Ks2** では、地震前は、一軸方向（スラブの進行方向）に最大圧縮応力が卓越していたが、地震後は、中間主応力が増加し、相対的にスラブ進行方向の一軸的圧縮場が緩和している。次に、Ks2 の陸側に位置する **Ks3**、ここは 2003 年十勝沖地震の震源域である、では、地震前の 1 軸的圧縮応力場の卓越は完全に 2 軸的圧縮場に変わっている。さらに、陸寄りに位置する日高山脈直下の領域、**Ks4**、では、地震前が、スラブの潜り込み方向とそれに直交する方向への 2 次元的圧縮応力場であったものが、直交方向の応力が減少している。日本海溝側の 3 つの領域（**Js1**, **Js2**, **Js3**）では、程度は小さいが、それぞれ 2003 年十勝沖地震の影響を受けて、一軸方向の最大圧縮応力場が、千島海溝の 2003 年震源域同様、緩和するような変化を示している。海溝軸の外側、**OR**、領域では、地震後のデータが少なく、地震前後の変化は論じられていないが、明らかに海溝陸よりのほかの領域とは異なる応力場であることを明らかにしている。

これらを全て総合してみると、この地域の応力状態の時空間変化から、この地域のプレートカップリングとそれに伴う応力場の地域性と、海溝型大地震後の応力場の再配分の時間変化を明らかにした点を大いに評価できる。

よって、本論文は、北海道大学博士（理学）の学位申請論文として審査に値するものと認めます。