

( 続紙 1 )

京都大学	博士 ( 理学 )	氏名	並木 由香
論文題目	Effects of biogenic amorphous silica component in materials entering subduction zones on frictional properties of interplate megathrust		

(論文内容の要旨)

プレート沈み込み帯では、巨大地震やサイレント地震などの様々なタイプの地震が観測されている。このような多様なすべり挙動について、プレート境界断層面上における摩擦の安定性が、空間的に不均質な分布をしていることを反映していると考えられるモデルが提唱され注目されている (Bilek and Lay 1998 など)。しかしながら、沈み込み帯に持ち込まれる物質の摩擦研究は、粘土質物質を対象にしたものがほとんどであり、物質に依存した摩擦特性変化に関する体系的な理解には至っていない。本研究では、石灰質軟泥や珪質軟泥などの生物起源堆積物の摩擦特性を明らかにすることを目的とした研究を行った。

まず、中米海溝コスタリカ沖で採取された生物起源堆積物の摩擦特性を、同一地域の粘土質堆積物および玄武岩の摩擦特性と比較し、明らかにした。次に、生物起源非晶質シリカが堆積物の摩擦特性に与える影響を調べるため、生物起源堆積物の特徴の一部を再現した模擬試料、および生物起源堆積物から酸処理によって得た生物起源非晶質シリカを用いて摩擦実験を行った。さらに、高温条件下で非晶質シリカが結晶化することによる堆積物の摩擦特性変化を調べるため、生物起源堆積物を水熱反応させた試料を用いて摩擦実験を行った。そして、これらの摩擦実験から明らかになった摩擦特性を支配する要因を探るため、生物起源堆積物および生物起源非晶質シリカの摩擦実験後の剪断組織を観察した。

摩擦実験の結果、珪質・石灰質軟泥は粘土質堆積物や玄武岩に比べて摩擦強度が高く、低速で摩擦が負の速度依存性を示すことが明らかになった。珪質・石灰質軟泥の摩擦速度依存性はすべり速度が増加するとニュートラルに近付き、数 mm/s のすべり速度において正の速度依存性を示す。粘土質堆積物の摩擦は常に正の速度依存性を示し、玄武岩の摩擦は速度依存性をほとんど示さないことから、これらの試料の摩擦特性は、物質ごとに顕著に異なることが示された。

生物起源非晶質シリカは、珪質・石灰質軟泥と同程度の高い摩擦強度を示し、摩擦の速度依存性は常に負を示した。このような特徴を、最大粒径の近い人工非晶質シリカが再現しなかったことから、非晶質シリカの生物の殻の形は摩擦強度および摩擦の速度依存性を決める重要な要素であると考えられる。一方、生物の殻の形を保った模擬物質である珪藻土は、珪質・石灰質軟泥と異なる鉱物を含んでいながら、類似の摩擦特性を示した。さらに、非晶質シリカをほとんど含まない水熱反応試料は、摩擦が常に正の速度依存性を示した。これらの結果は、生物起源非晶質シリカに第二成分が混合すると、数 mm/s 程度のすべり速度で摩擦の速度依存性が正に変化し、さらに生物起源非晶質シリカが減少すると、より遅いすべり速度においても摩擦の速度依存性が正に変化することを意味する。

摩擦実験の後の剪断組織観察において、非晶質シリカを含有する試料には剪断が局所化した細粒なゾーンが見られた。この局所化ゾーン以外の部分には、粒子の定向配列が認められる。剪断の局所化は摩擦の負の速度依存性を引き起こすと考えられていたが (Ikari et al. 2011)、本研究の結果はこのことを支持しない。すなわち、珪質・石灰質軟泥は、変形の局所化ゾーンを有しながらも、正・負両方の摩擦の速度依存性を示すことが明らかになった。珪質・石灰質軟泥の局所化ゾーンは、摩擦が常に負の速度依存性を示した生物起源非晶質シリカの局所化ゾーンより粒子密度が高いなどの特徴を持つ。このことから、局所化の有無だけでなく、局所化ゾーンの持つ変形の性質が摩擦の速度依存性を支配する可能性が示唆された。

以上のように、本研究は、沈み込み帯に持ち込まれる物質の違いが、プレート境界断層面上の摩擦特性の不均質な分布の要因となり得ることを示した。特に、堆積物が生物起源非晶質シリカを含むと断層の摩擦を不安定化させる傾向があることを示した。さらに、このような堆積物が深部に持ち込まれ、生物起源非晶質シリカが結晶化すると、断層の摩擦を安定化させる可能性を示した。また、すべり速度の増大により摩擦の速度依存性が負から正へ変化する物質が沈み込み帯に持ち込まれていることを示した。このことは、プレート境界断層面上の摩擦特性の分布において、空間的不均質性に加え、すべり速度の変化に伴う断層摩擦の安定性の変化についても考慮する必要があることを示唆する。

( 続紙 2 )

( 論文審査の結果の要旨 )

本学位申請論文は、プレート沈み込み帯に持ち込まれる物質の多様性が、プレート境界断層の摩擦特性に与える影響を明らかにすることを目的として、コストリカ沖中米海溝に持ち込まれる断層前駆物質や模擬物質を用いた摩擦実験と詳細な変形構造観察をおこない、生物起源堆積物中の非晶質シリカが断層の摩擦特性に及ぼす影響を明らかにしたものである。

南海トラフや中米海溝などの沈み込み帯で発生する地震について、日・月・年単位の様々な時定数で破壊が進行する非地震性すべりや低周波地震の存在が近年明らかになってきた。このようなプレート境界における多様な断層すべり挙動をモデル化するためには、プレート境界断層を構成する物質について、断層摩擦の性質を記述する必要がある。しかしながら、これまでに行われてきた岩石摩擦の研究は、花崗岩質な岩石あるいは粘土質断層物質を対象としたものに限られており、中米海溝のような、生物起源堆積物が持ち込まれる場におけるプレート境界型地震発生の問題を、実際の断層物質について実験で得られた摩擦特性に基づいて議論することができない状況にあった。並木氏は、コストリカ沖ココスプレート上堆積物であるシルト質粘土、珪質軟泥、および模擬断層物質を用いた摩擦実験と、詳細な変形構造観察をおこなうことでこの課題に取り組み、生物起源物質の摩擦特性と、断層すべりの進行に伴う断層内部剪断構造の発達過程を明らかにした。

本研究により、( 1 ) プレート沈み込み帯に持ち込まれる生物起源堆積物の組成、特に非晶質シリカの存在が断層のすべり安定性を支配する重要な要素であること、( 2 ) 非晶質シリカが断層物質に含有されることにより、断層摩擦の性質が不安定化すること、さらに( 3 ) 続成作用を受けて生物起源非晶質シリカが結晶化すると、断層の摩擦を安定化させる傾向があることが明らかになった。変形構造の詳細観察の結果からは、( 4 ) 珪質・石灰質軟泥は、変形の局所化ゾーンを有しながら正負両方の摩擦の速度依存性を示すことが明らかになった。

非晶質シリカを含む珪質・石灰質軟泥中の断層摩擦の性質が、比較的浅部条件であっても地震性すべりを発生し得るものであること、また、沈み込みによる温度上昇により非晶質シリカが結晶化すると、安定すべりの性質に摩擦特性が変化することを示した点は特に重要である。この結果は、これまでに広く受け入れられてきた、プレート沈み込み帯浅部を非地震性領域とする断層モデルの修正をせまるものである。

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、平成30年1月23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