

論文の内容の要旨

論文題目 三次元地震探査記録を用いた超緩斜面における
大規模海底地すべりの構造解析

- 過去 600 万年にわたる下北半島沖の例 -

(3D structural analysis of ultra-low-angle submarine landslides
for the last 6 million years off Shimokita Peninsula, Northeast Japan)

氏 名 中村 祐貴

海底地すべりは、海底における堆積物の重要な運搬プロセスの 1 つであり、さらに海底や沿岸のインフラを破壊するとともに、大規模な場合には津波を発生させる危険性がある。現在、海底には多数の資源輸送用のパイプラインや通信用・電源供給用のケーブルが敷設されており、これらが破壊されることによる社会や経済への影響の大きさは計り知れない。日本は地震や津波、火山の噴火などが数多く発生するだけでなく、周辺海域にメタンハイドレートが大量に存在しているとされる。これらはいずれも海底地すべりと関係があると考えられることから、海底地すべりが「なぜ起きるのか」「次いつ起きるのか」「どの程度の規模なのか」を知ることは我々にとって重大な関心事である。その一方で、土砂崩れのような陸上の地すべりとは異なり、海底地すべりは地震探査を行わなければ崩壊個所の特定も困難であり、削剥などの影響で古い記録は残っていないことも多く、1 地点における長期観測記録が得にくいという課題もある。青森県下北半島沖では、多くの地震探査や掘削調査が実施されており、国内石油・天然ガス基礎調査（基礎物理探査）「三陸沖 3D」の地震探査記録を用いた先行研究によって鮮新統以浅の地層に複数の地すべり層が認定されている。同海域の地すべりは、円弧すべりではなく層面すべりの形態をとる。底面では逆断層が繰り返し覆瓦構造が発達し、地すべりに付随する特異な岩脈状構造も認められる。すべり面はある程度の厚みを持った弱振幅層に特徴づけられる、といった特徴が報告されている。しかし、先行研究では産状の報告までで、具体的な地すべりの発生回数、発生年代、規模、滑動方向、原因などは不明であった。そこで、本研究では「三陸沖 3D」だけでなく、その周辺海域で取得された三次元地震探査記録「三陸沖北西 3D」と「三陸沖東方 3D」や二次元地震探査記録「八戸沖 2D」まで含む広範囲の地震探査記録の観察を行い、下北半島沖の陸棚斜面に広がる海底地すべりの規模・方向・年代を解析し、その形成様式や発達の時空間分布の変化を明

らかにすることを目的としている。過去に発生した地すべりの規模・滑動方向・頻度などの基礎的な情報を集約することは重要であり、相関や傾向などが明らかになれば地すべりモデルなどの構築にも繋がるため、将来的な沿岸域の減災を考える上でも必要なことである。

三次元地震探査記録「三陸沖 3D」を用いて地すべりの形成様式（すべり面・地すべり体の上面・地すべり発生時の海底面）に関する認定基準を決定し、それを基に地すべり層の抽出を行った結果、下北半島沖において鮮新統に 4 回、第四系に 8 回の大規模な海底地すべり層が認められた。また、地震探査記録中には、地すべり層内に鉛直方向に発達する岩脈状構造が認められる。この岩脈状構造は、時間深度断面上において覆瓦構造に対して直交する特徴を有しているだけでなく、均等な間隔で平行に配列していることから、これらの特徴的な構造を用いて地すべり体の滑動方向と体積を推定した。卓越する滑動方向は 200 万年前頃を境に南西から北東方向に加えて、北西から南東方向のイベントも発生するようになり、 50 km^3 を上回る大規模なイベントが繰り返し発生している。さらに、地すべりの体積と発生間隔の関係について考察を行ったところ、同海域では大小様々な地すべりが発生してきたが、長期にわたって見れば一様な堆積物供給が行われてきたと言える。地すべりの発生間隔と体積の間に相関は見られなかったが、200 万年前付近を境に地すべりの頻度が上昇し、累積体積と発生時期の間により高い相関が見られるようになった。また、地すべり体の規模に影響を与える要素として、斜面傾斜角、最大層厚、地すべり体の長さ・幅の 4 項目に関する検証を行った。その結果、大きな特徴として、地すべり #1 を除くほとんどの地すべりの最大層厚が 100~200 ms と安定しており、地すべり体の長さや斜面傾斜角が規模の大小に影響を与えておらず、地すべり体の幅が規模との相関が高いことがわかった。これらの結果を、北大西洋の地すべり記録をまとめた論文と比較すると、下北半島沖の海底地すべりは低角のわりに規模が大きいという特徴がある。

従来の研究では、長期にわたる地すべりの発生履歴の記録が限られていたため、構造運動、地震、気候変動・海水準変動、さらにそれに伴う堆積物の種類・堆積速度・物理特性などの変化のうち、何が地すべり発生に大きく寄与するかを明確に出来ていない状況であった。200 万年前頃に生じる地すべりの発生頻度の上昇や滑動方向の変化に関する考察を行うため、すべり面の特性、メタンハイドレート、気候変動・海水準変動、構造運動、地震といった、地すべり発生に関する素因や誘因について検討を行った。活火山分布などとの比較から、200 万年前頃の構造運動によって地すべりの滑動方向に変化が生じたと考えられる。地すべりの規模は時間とともに幅広い変化を示すが、それらは高いメタンフラックスや繰り返し発生する沈み込み帯の地震と関連していると推測される。どちらも間隙水圧の上昇に寄与し、非常に緩やかな傾斜にも関わらず不安定な地盤を形成する。地すべりの発生間隔と比べると地震の周期は非常に短いため、地震のたびに地すべりが生じているとすると、過剰間隙水圧状態になるほど堆積物が供給源に溜まりきらない。200 万年前以降の地すべりの頻度上昇は、周辺での地殻変動の活発化だけでなく（内的要因）、気候変動や海水準変動の周期と一致したためであると考えられる（外的要因）。これらの条件を満たす場合にのみ、大規模

海底地すべりの発生に繋がり、その発生間隔が数 10 万年となるのだと考えられる。本研究では、600 万年間に及ぶ地すべりの滑動方向や発生頻度の変化の情報をもとに、地すべり発生に関する様々な素因や誘因について考察を行うことができた。結果として、地震が地すべりの直接的なトリガーである可能性は高いが、地すべりが発生しやすい環境を形成する「地盤不安定化要因」、すなわち準備過程が不可欠であり、それは単一の要因では説明が困難であるという結論に至った。

およそ 600 万年間にわたって継続的に発生する地すべりの記録が詳細に観察できる例は世界的にも珍しく、様々な条件が重なったことで本研究海域における地すべりの滑動史が明らかとなった。その条件として、第一に、泥質堆積物が主体の地層であることが挙げられる。本研究海域は中期中新世に陸成から海成に堆積環境が変化して以降、岩相に大きな変化はなく、80 万年近く泥質の地層が連続したことがあるなど、長期にわたる記録が保存されている。これほど連続的に泥質な堆積物が堆積する理由としては、陸源性碎屑物の主要な供給経路がないためであると考えられる。第二に、特異な岩脈状構造の存在が挙げられる。平行岩脈状構造によって地すべり体の認定が容易となっただけでなく、規模や滑動方向の推定まで可能となった。第三に、円弧すべりではなく層面すべりタイプの地すべりであることが挙げられる。層面すべりは比較的単純な形態なので、形成様式の復元や発生年代の推定に寄与した。これらの海底地すべりに関する基礎データを集積することは緩傾斜での堆積物移動のプロセスを理解するために有益であると同時に、同海域における将来的な減災へも貢献しうると考えられる。