

# 地殻変動予測の新たな突破口

東北大学大学院理学研究科

2011年の東北地方太平洋沖地震から10年以上が経過した現在も、東北地方では活発な地殻変動が続いており、沿岸部の漁港などで実際に生活への影響が出ています。地殻変動は全地球測位システム(GNSS)により記録されていますが、従来の解析手法は計算コストが高く、地盤の高さを予測すると、10年間で実測値と10センチメートル(年平均1センチメートル)

程度異なるという不確実さがありません。東北大学大学院理学研究科のダル・サムブツダ特任助教と武藤潤教授は、東北沖地震後の複雑な地殻変動を解析する革新的手法を開発しました。本手法では岩石の物性を数学的なモデルに組み込むことで、地震後の地殻変動をより正確に予測できるモデルを提案しました。

特に2年以上の時系列データセットがあれば、東

## 東北沖地震後の地殻変動解析に新たな進展 その鍵となったのは 新しい数理モデルの開発

### 大地震後の急激な地殻変動「余効変動」

余効変動は地震を起こした断層深部での揺れを起さないうつかりしたすべり(余効すべり)と、水船のように流動するマンテル(粘性緩和)の組み合わせが引き起こします。【図2】この複雑な動きは地震後の地殻変動を形成し、特に地盤の上下変動や時間経過に伴う変動の説明には困難を伴っていました。

これまで研究グループは、岩石の複雑な変形特性を含んだ3次元余効変動モデルを構築してきました。この余効変動モデルは、日本列島直下の温度構造や流体分布を考慮した地下の粘性構造と岩石変形実験から提唱されている摩擦法則を含んでいます。岩石の流動と摩擦特性を考慮した余効変動モデルを構築することで、水平変動・鉛直変動およびそれぞれの時系列を説明することができました。

計算された変動場をよく見てみると、現在観測されている太平洋沿岸部の隆起は、地震時に大きくすべり

北地方のGNSS観測によって地震後10年間の地殻変動を水平成分だけでなく、これまでうまく説明されてこなかった上下成分についても正確に予測できます。さらに本モデルは実験室での岩石の物性に基づいていることから、観測されたGNSS時系列データからマンテルでの流動やプレート境界でのゆっくすべりの様子を知ることが可能です。【図1】

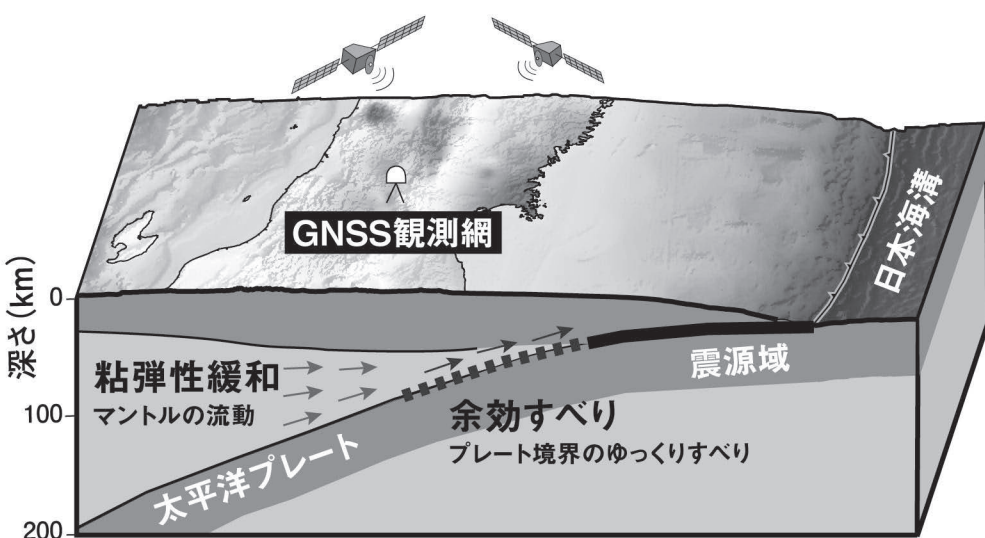
た断層深部での余効すべりが引き起こしていることが明らかになりました。

しかし、このような岩石の力学特性に基づくモデル化は、地下の変形特性を詳細に再現できません。一方で地下の温度や流体量の不均質性が不明な場合は、GNSSの変動を説明することができません。また、東北全域を含んだ3次元のモデルは計算コストが高

く、地盤の高さを予測すると実測値と異なるという不確実さがありません。

一方、今回開発された新しい数理モデルは、粘性緩和と余効すべりの時間依存性を表す関数の組み合わせで構成されています。そのため、従来の複雑な力学モデルが必要とされていた地下の温度や流体量などの情報は一切必要とせず、観測された地殻変動の時系列

【図2】余効変動(大地震後の地殻変動)のメカニズム



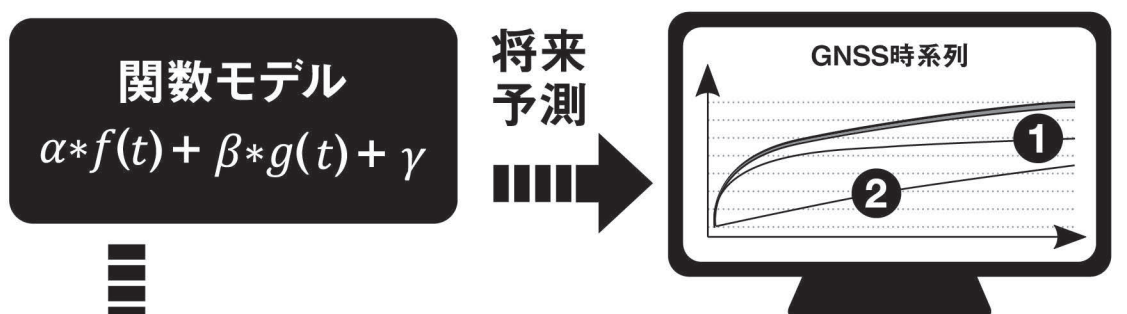
大地震後には、プレート境界面でのゆっくすべりである余効すべりと周辺のマンテルの流動による粘弾性緩和が起こる。

大地震後には、プレート境界面でのゆっくすべりである余効すべりと周辺のマンテルの流動による粘弾性緩和が起こる。

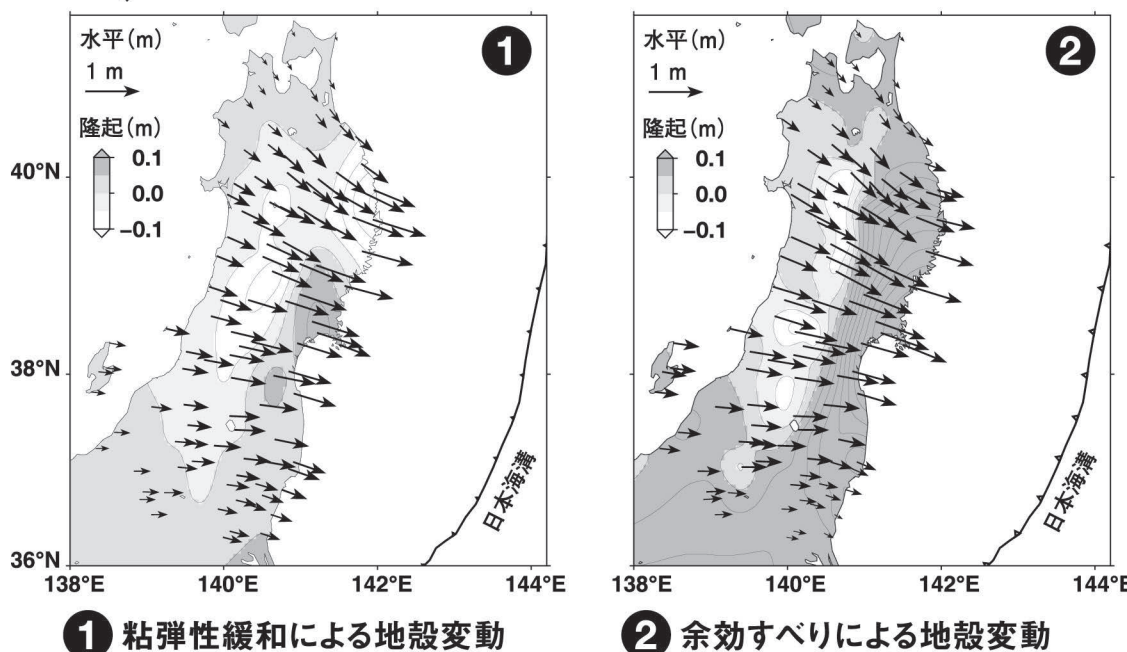
今回のモデルでは実験室から報告されている岩石の変形の時依存性のみを考慮することで、現在活発に起こっている東北地方沿岸部の隆起を説明することができました。しかし、東北沖地震後12年が経過しましたが、未だ地震時に沈降した多くの沿岸部は地震前の地面の高さを回復していません。

今後は、得られたモデルをさらに未来へと延長することで、どの程度の時間をかけて地震時の沈降を回復していくかを検討していきます。

【図1】岩石の物性に基づく関数モデル



震災後10年間での変形の様子



（今回提案したモデルの成果）岩石の物性に基づくモデルは、東北沖地震後のGNSS時系列を正確に予測できるだけでなく、地下で起こる粘弾性緩和と余効すべりの様子を知ることができます。

## 未来の地震対策へ

岩石物性に基づく数理モデルと新しい観測技術が両輪

今回開発した新しいモデルは発生が懸念される南海地震や首都直下型地震などの余効変動にも適応可能で、未来の大地震後の余効変動を高精度で予測することが可能になります。

さらに、東北大学大学院理学研究科の太田雄策准教授は、より高精度なGNSS観測網の地殻変動への応用に着目し、ソフトバンク株式会社の高密度独自基準点のデータと既存の観測網を組み合わせて、これまでにならぬ高精度で地殻変動解析が可能になることを示しました。

地震や火山活動に伴う地殻変動や、対流圏における水蒸気量などを高い時間・空間分解能で把握することは、現象の理解のみならず、それらの活動に関連する自然災害(ツオハザード)の発生予測を実現する上で非常に重要です。日本の研究機関では、国土地理院が運用する全国約1300カ所のGNSS観測網(電子基準点)のデータを活用し、高い精度で地殻変動場が調査されています。

一方、ソフトバンクはGNSSの信号を利用したRTK測位により高精度な測位が可能なサービス

今回開発した新しいモデルは発生が懸念される南海地震や首都直下型地震などの余効変動にも適応可能で、未来の大地震後の余効変動を高精度で予測することが可能になります。

さらに、東北大学大学院理学研究科の太田雄策准教授は、より高精度なGNSS観測網の地殻変動への応用に着目し、ソフトバンク株式会社の高密度独自基準点のデータと既存の観測網を組み合わせて、これまでにならぬ高精度で地殻変動解析が可能になることを示しました。

地震や火山活動に伴う地殻変動や、対流圏における水蒸気量などを高い時間・空間分解能で把握することは、現象の理解のみならず、それらの活動に関連する自然災害(ツオハザード)の発生予測を実現する上で非常に重要です。日本の研究機関では、国土地理院が運用する全国約1300カ所のGNSS観測網(電子基準点)のデータを活用し、高い精度で地殻変動場が調査されています。

一方、ソフトバンクはGNSSの信号を利用したRTK測位により高精度な測位が可能なサービス

「Ichimaru (イチマル)」を2019年11月から提供しており、GNSSの信号を受信する固定局として全国3300カ所以上に独自のGNSS観測網(独自基準点)を設置して運用を行っています。

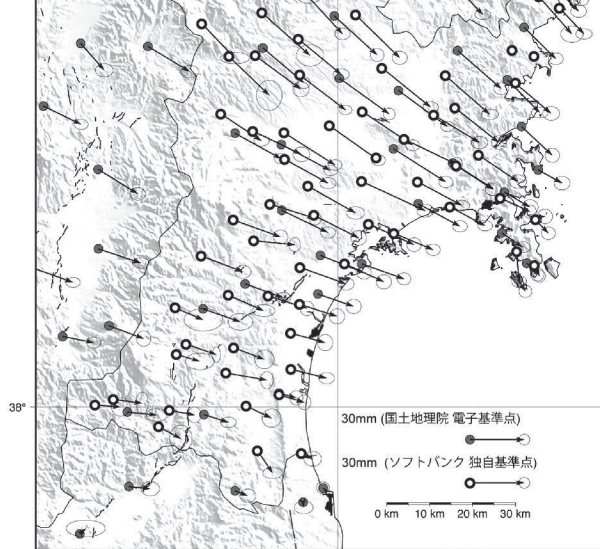
太田准教授は2021年6月よりソフトバンクの独自基準点におけるGNSS観測データの提供を受け、同独自基準点のデータによって高い精度で地殻変動を把握することが可能であり、国土地理院の電子基準点を補完する重要なインフラとして防災・減災に貢献しうることが示されています。【図3】

さらに太田准教授は、これらデータをより広範な地

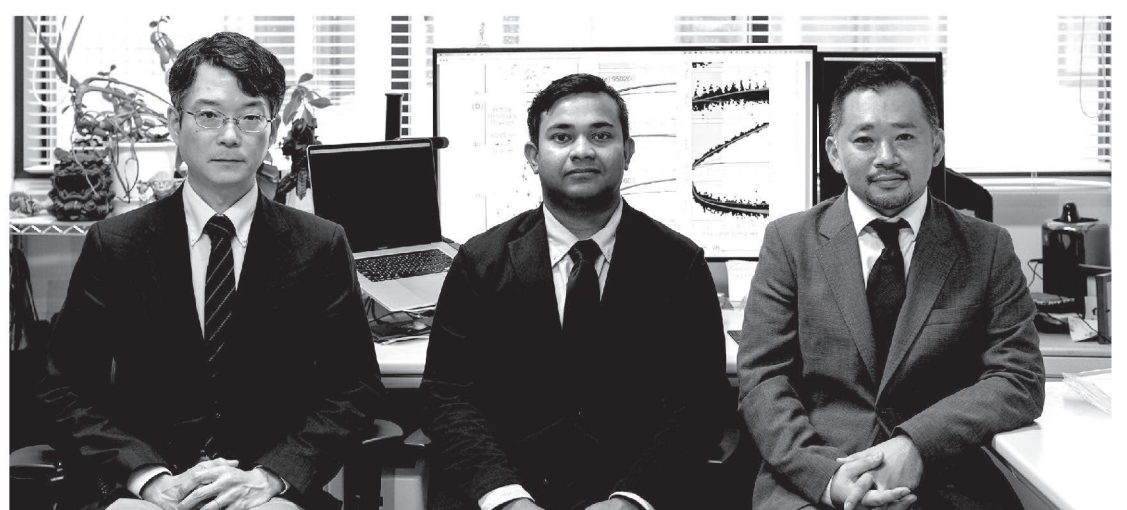
球科学分野で活用することを目指した「ソフトバンク独自基準点データの宇宙地球科学用途活用コンソーシアム」(2022年8月設立)の構築をソフトバンク株式会社等の協力のもと主導し、幅広い地球科学の研究者とともに同データを活用した研究を進めています。

これらの成果は、地震やそれにとらぬ津波の発生予測の精度向上に貢献するとともに、地震の影響を受けやすい地域のリスク評価や防災対策の策定に役立つ情報が得られると注目されています。岩石物性に基づく数理モデルと新しい観測技術の両輪により、未来の地震対策に一層の進展が期待されます。

【図3】水平方向の地殻変動



(2020年9月~2021年3月)



【左】太田雄策准教授 【中央】ダル・サムブツダ特任助教 【右】武藤潤教授