Jxiv
[ジェイカイブ / dʒéikaiv]

Title	
Author(s)	
Citation	Journal title (Repository name etc.), Volume, Issue, Pages(Article number) etc. ・ジャーナル名（刊行物・サイト名）・巻号・ページ（その他論文番号等）： ・DOI (URL) Publication Date: yyyy/mm/dd ・出版日：　　年　　月　　日 Publisher ・出版者：
Declaration	This preprint is the　　of the above. ・本プレプリントは、上記論文の　　である。 All necessary permissions from the publisher have ・ジャーナル（出版者）から必要な許諾を
Notes	

日本の関東盆地の動的平坦化

関東フラグメントと *Mw* 8の深部地震を結びつける統一モデル

著者
平岡良一

所属
独立研究者、西宮市、日本

連絡先
hiraoka.yoshikazu@nifty.com

ORCID
https://orcid.org/0009-0006-9470-3373

日付
2026 年 8 月 1 日

本原稿は EarthArXiv に投稿されたプレプリントの日本語版です。翻訳は著者が行いました。
原版（英語版）は以下で公開されています：
DOI: https://doi.org/10.31223/X5ZF6V
URL: https://eartharxiv.org/repository/view/14254/
『Journal of Geophysical Research: Solid Earth』への投稿を予定しています。

要旨

日本中部の関東盆地は、日本列島弧の激しい圧縮テクトニクス環境にもかかわらず、100 万年以上にわたり異常に平坦な地表を維持してきた。従来の静的な堆積や海面変動のモデルでは、この長期にわたる平面的な安定性を十分に説明することはできない。本研究では、相互に作用する 2 つの深部テクトニック過程によって駆動される動的な平坦化メカニズムを提案する。その過程とは、盆地下に埋没した孤立した太平洋プレートスラブである剛体的な「関東フラグメント」の応力遮蔽効果と、その境界に沿って断続的に発生する *Mw 8* クラスの深部地震である。GNSS から得られた盆地の剛体運動と、液状化、側方流動、不均一な圧密といった地盤工学の原理を統合することで、盆地規模の動的再編成に関する統一的な概念モデルを構築した。大規模な深部地震は、厚さ 3～4 km の未圧密堆積層列に周期的な強制的流動化を引き起こし、重力ポテンシャル勾配によって支配される三次元的な側方流動、および堆積物の負荷差によって駆動される不均一な圧密をもたらす。これらのプロセスは相乗的に作用し、静的堆積によって生じた地形上の不規則性をリセットし、長期的な自然平坦化の原動力として機能する。このモデルは、かつて平坦化された地表の名残として、台地は保存地形として残存していることについて首尾一貫した説明を提供するとともに、関東盆地の地形学的進化を、地震に駆動される動的なシステムとして再定義するものである。

要点

- 関東盆地の異常に平坦な地形は、*Mw 8* 級の深部地震が繰り返し発生し、剛性を持つ関東フラグメントと相互作用したことによって説明される。
- 各深部地震サイクルにおいて、強制的流動化、側方流動、および不均一な圧密により、厚さ 3～4 km の未圧密堆積層序が再編成される。
- 台地は、かつて平坦化された地表の残存部分であるのに対し、低地は、将来的な深部地震による再編成の影響を受けやすい、現在も活動中の動的な平坦化帯である。

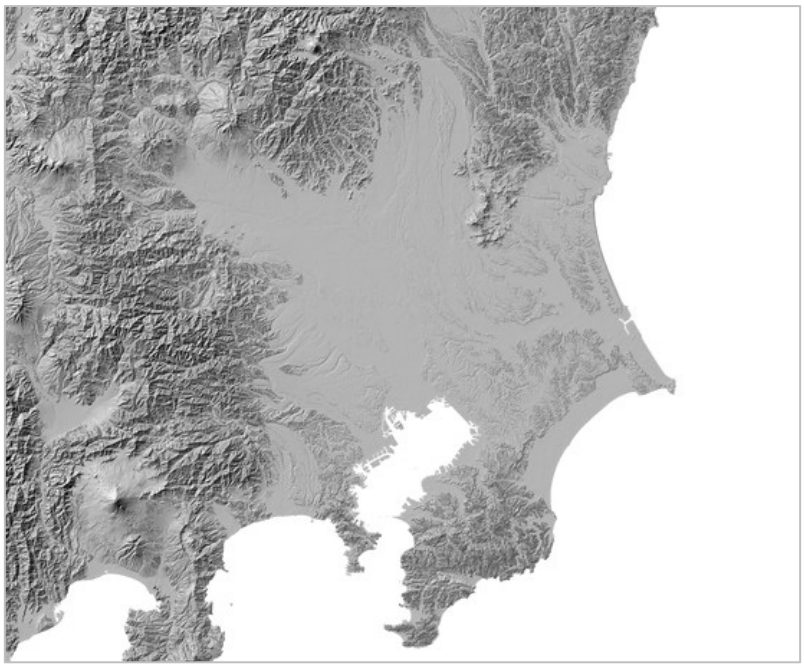
平易な言葉による要約

日本の関東盆地は、世界でも有数の地質学的に活発な地域に位置しているにもかかわらず、異常に平坦である。本研究では、この盆地の地下で発生する大規模な深発地震が、その厚い軟質堆積層を周期的に揺さぶり、再編成していると提唱している。こうした地震の際、堆積物は一時的に流体のように振る舞い、流動してより平坦な形状に落ち着く。盆地の地下にある「関東フラグメント」として知られる、古い海洋プレートの剛性スラブが、応力を集中させ、これらの地震を引き起こす一因となっている。数十万年にわたり、繰り返される深部地震は、まるで自然の「整地機」のように作用し、盆地を平坦な状態に保ってきた。盆地を取り囲む標高の高い台地は、その後の地形再形成を免れた、より古い地表である。このモデルは、東京圏における地震災害の理解を深める一助となる可能性がある。

1. はじめに

本研究は、地質学上の根本的なパラドックス、すなわち関東盆地が第四紀を通じて沈降を続けながらも、大規模な褶曲、反り、あるいは構造変形をほとんど示さずに、100 万年以上にわたり極めて平坦な地表を維持してきたという現象について論じる。この持続的な平坦さは、日本列島弧において最も強い圧縮性テクトニック環境の一つに位置する活動的な前弧盆地としては極めて異例である。

図 1. 関東盆地および周辺地域の陰影起伏図



出典: GSI Maps(国土地理院)
図の左下にある円錐形の山は富士山である。

関東盆地(地理的には関東平野として知られる)は、本州の中央部に位置する日本最大の低地であるだけでなく、世界の沈み込み帯の中でも特に異例なほど平坦な堆積盆地の一つでもある。典型的な地質学的条件下では、沈み込む太平洋プレート(約 8 cm/年)およびフィリピン海プレート(約 3～4 cm/年)からの強い水平圧縮を受ける未固結の第四紀堆積物は、数万年から数十万年の時間スケールで座屈、褶曲、隆起を起こすと予想される。このような盆地は通常、進行的な構造変形を通じて、稜線と谷からなる地形や低山脈へと変化していく。

しかし、関東盆地中央部では、そのような大規模な褶曲や逆断層地形は観察されない。従来の説明――周囲の山々からの河川堆積物の供給や、氷期・間氷期のサイクルに伴う海面変動――では、この盆地の長期にわたる平坦な安定性を説明しきれない。地盤工学の観点から見ると、未固結の砂、シルト、粘土は固有の安息角を有しており、純粋に静的な堆積の下では完全に平坦な表面を維持することはできず、自然堤防、扇状地の勾配、微地形が必然的に形成される。

関東盆地は三角州の先端部ではなく、3～4 km の未固結堆積物で満たされた巨大な堆積容器である。その並外れた平坦さは、人為的な整地によるものではなく、静的な堆積過程のみでは説明できない。地表の凹凸を周期的にリセットする大規模な物理的メカニズムが、地下に存在しているに違いない。

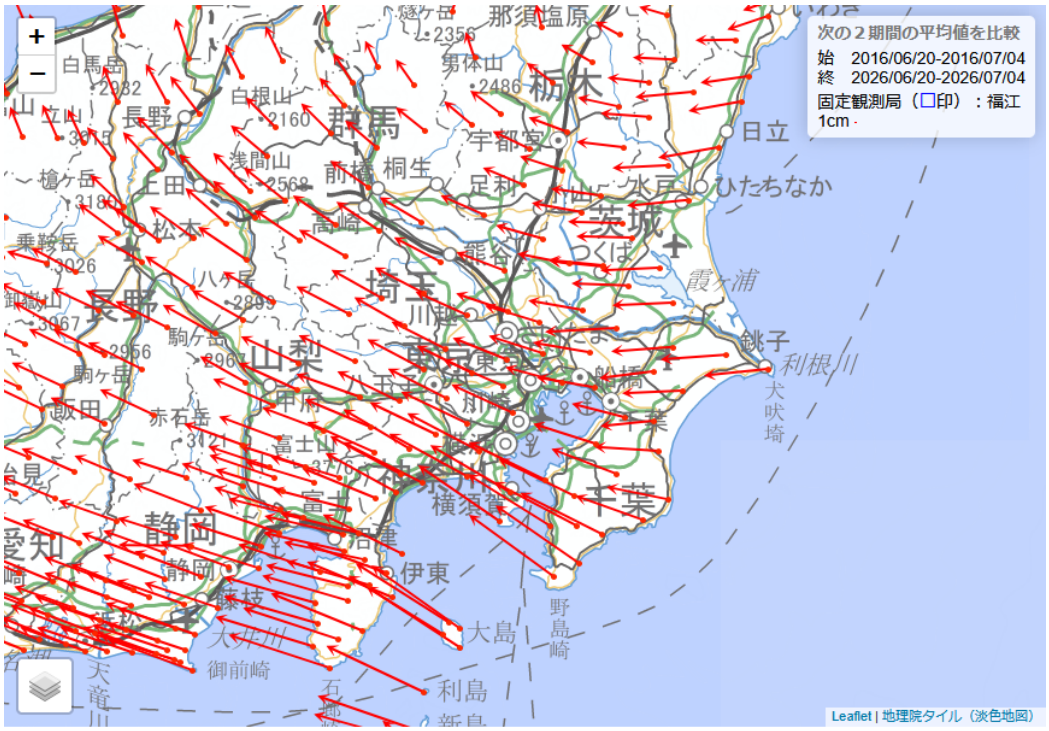
現代の測地学的観測は、この異常現象について重要な知見を提供している。GEONET による連続的な GNSS データは、関東盆地が一体となった剛体ブロックとして移動しており、内部ひずみが無視できるほど小

さく、北西方向への均一な変位を示していることを明らかにしている。この挙動は、厚く剛性の低い堆積盆地としては力学的に異常である。
この剛体運動の根本的な原因は、「関東フラグメント」の存在にある。これは、関東盆地の地下 40～100 km の深さに位置する、太平洋プレート起源の水平に埋没した高剛性スラブである。このフラグメントは構造的なシールドとして機能し、地域的な圧縮応力を吸収・転向させることで、上部の堆積物が地質学的座屈を起こすのを防いでいる。
本研究は、関東フラグメントが水平方向の圧縮に対する静的な保護機能を持つだけでなく、*Mw 8* 級規模の深部地震が断続的に発生することで、関東盆地の地表の動的な平坦化を促進しているという仮説に基づいている。測地学的観測データと、液状化、側方流動、不均一圧密といった地盤工学の原理を統合することにより、我々は、関東盆地の長期的な平坦性を、静的な堆積ではなく、地震によって引き起こされる繰り返しの再編成の結果として説明する統一的な動的モデルを提案する。

2. 地質学的および地球物理学的背景

関東盆地は、新第三紀後期から第四紀にかけて堆積した厚い未固結堆積物から構成されており、これには上総群、成田群、およびその上部に堆積した沖積層が含まれる。盆地の中央部――埼玉県、春日部市、および東京湾北縁の下――では、これらの堆積物の最大厚さは 3,000～4,000 m に達する。地盤工学の観点から見ると、これらの地層は部分的にしか固結しておらず、弾性係数が低く、機械的には広大な軟弱堆積物塊として振る舞う。
通常の地質構造条件下では、沈み込む太平洋プレートからの強い水平圧縮（約 8 cm/年）を受けるこのような厚い未固結堆積物の堆積層は、著しい内部ひずみを発生させるはずである。地質学的な時間スケールにおいて、このひずみは通常、褶曲、逆断層、および大規模な座屈を引き起こし、最終的には稜線と谷からなる地形や低山脈を形成する。これが、持続的な多軸圧縮下にある前弧盆地において予想される力学的応答である。
しかし、現代の測地学的観測結果は、この予想と矛盾している。GEONET による継続的な GNSS 測定によると、関東盆地は内部変形がごくわずかであり、北西方向への極めて均一な変位を示している。この盆地は、数キロメートルの厚さを持つ低剛性の堆積物で構成されているにもかかわらず、一貫した剛体ブロックとして振る舞っている。この剛体運動は力学的に異常であり、構造的な説明が必要とされる。

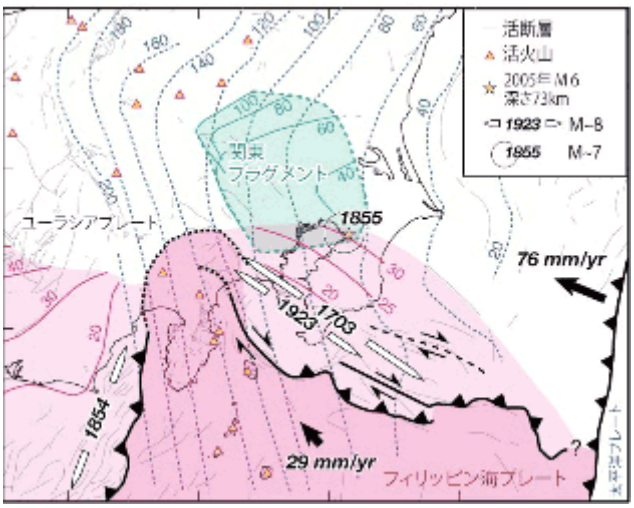
図 2. 2016 年から 2026 年にかけての関東平野および周辺地域における水平地殻変形ベクトル



出典：国土地理院「地殻変形可視化システム」

この挙動の鍵となるのは、「関東フラグメント」の存在である。これは、日本の関東地方南部および中央部の地下約 40～100 km の深さに位置する、太平洋プレートに由来する水平に埋没した高剛性のスラブである。このフラグメントは、長さ約 100 km、幅約 100 km、厚さ約 25 km と推定されている。地質学的および地球物理学的研究によると、このフラグメントは、太平洋プレート、フィリピン海プレート、北米プレートの間の複雑な三重接合部の相互作用に起因し、分離して盆地下の上部マントル内に固定されたものとされている。

図 3. 関東フラグメントを組み込んだ改訂版プレートモデル。等高線と数値ラベルは、各プレートの上面までの深さを示している。



薄緑色の陰影は関東フラグメントの地表投影を表している。薄赤色の陰影は太平洋プレート、濃い赤色の陰影はフィリピン海プレートを示している。等高線と数値ラベルは、各プレートの上面までの深さを示している。
出典：遠田晋次「首都圏直下に潜むプレートの断片と地震発生」

関東フラグメントは、上部の堆積物を直接的な地殻圧縮から保護する静的応力遮蔽構造として機能する。その力学的効果は次のように要約できる。

- 水平方向の地殻応力の遮蔽
  太平洋プレートによって加えられる巨大な圧縮力は、堆積盆地に直接伝達されることなく、フラグメントの東縁によって遮断される。このフラグメントは、この応力を吸収・再分配し、上部の堆積物における大規模な褶曲の発生を防ぐ。
- 剛性基盤による保護
  フラグメントおよびそれに関連する基盤岩は、盆地の底部に機械的に強固な「土台」を形成している。この土台は水平方向の圧縮下でも変形しないため、その上にある未固結の堆積物は座屈から保護され、地域的な地殻変動によるひずみから機械的に隔離された状態を維持する。

したがって、GNSS データで観測される剛体運動は、堆積物自体が剛体であることを意味するものではない。むしろ、それは、内部のひずみの蓄積を防ぐ、深部にある高剛性の構造プレートの上で、盆地全体が移動していることを示している。

しかし、この静的な保護によって、地殻変動応力が排除されるわけではない。圧縮応力は、関東フラグメントの境界沿い、特に沈み込む太平洋プレートと接触する部分で蓄積し続けている。地質学的な時間スケールにおいて、この応力は弾性限界まで蓄積し、*Mw 8* クラスの深発地震として断続的に解放される。これらの地震は、上部の堆積盆地を垂直方向に伝播する強力な地震パルスを発生させ、盆地表面を再編成する動的プロセスを引き起こす。

この地質学的および地球物理学的枠組みが、本研究で提案する動的平坦化モデルの基礎を確立している。

3. 動的平坦化モデル

関東フラグメントによる静的な応力遮蔽効果により、関東盆地の厚い未固結堆積物は構造的な座屈を起こさない。しかし、この遮蔽効果によって地域的な圧縮応力が完全に排除されるわけではない。むしろ、地質学的な時間スケールにおいて、断片の境界沿い――特に沈み込む太平洋プレートとの境界面――にひずみが蓄積していく。このひずみが弾性限界に達すると、*Mw 8* クラスの深発地震として断続的に解放され、上部の厚さ 3～4 km の堆積層序へと上方へ伝播する強力な地震パルスを発生させる。

これらの断続的なパルスは、盆地表面を再編成する動的強制事象として作用する。本研究で提案された動的平坦化メカニズムは、3 つの相互に作用する地盤工学的なプロセスから構成されており、それぞれが大規模な深発地震によって引き起こされ、総合的に盆地規模の地形を平坦化することができる。

これらのプロセスについて論じる前に、関東盆地の厚さ 3～4 km の未固結堆積層に侵入する地震波は、盆地縁辺効果により強く増幅されることに留意することが重要である。波が盆地縁辺での急激なインピーダンスの不連続に遭遇すると、地震エネルギーは閉じ込められ、低速度の堆積物内で繰り返し反射される。この反響により、入射した振動は長周期・大振幅の揺れへと変換され、数分間持続することがある。その結果生じる持続的な周期的せん断応力は堆積層全体に伝播し、間隙水圧を急速に上昇させ、堆積物を有効応力がほぼゼロの状態へと追い込む。これは、盆地全域にわたる液状化および強制的流動化の重要な前兆である。

3.1 強制的流動化と内部摩擦の喪失

静的な河川堆積下では、未固結の砂、シルト、粘土は固有の安息角を持ち、扇状地の勾配や堤防の稜線といった自然な微地形を形成する。しかし、*Mw 8*の深部地震の際、堆積層序は数分間続く激しい周期的なせん断応力にさらされる。これらの応力は粒子間の噛み合いを破壊し、過剰間隙水圧を総覆土応力に近づくまで爆発的に上昇させる。

この時点で、堆積物内の有効応力はゼロに近づき、それによって完全な液状化および流動化が引き起こされる。この状態では、堆積物は有効安息角がゼロの摩擦抵抗を失った粒状流体として振る舞う。その結果、液状化した堆積物は重力ポテンシャル勾配に従って下り斜面へと流れ、盆地の堆積中心や東京湾の低圧域に向かって三次元的な側方流動を生じさせる。

この強制的な流動化により、摩擦強度の安定化作用が失われ、それまで安定していた微地形が崩壊し、再分布することになる。

3.2 堆積物負荷の差異に起因する不均一な圧密

静的な堆積作用により、空間的に変動する堆積物負荷が生じ、堆積層が厚い箇所では局所的な地形的高地が形成される。大規模な深発地震の際、液状化や堆積層の乱れにより、垂直および水平の排水経路を通じて過剰な間隙水圧が急速に消失する。この過程には激しい脱水および脱ガス（メタン放出を含む）が伴い、その結果、体積収縮が生じる。

圧密の程度（ΔH）は、堆積物柱の厚さと差分有効応力の両方に比例する。したがって、初期の堆積物負荷が大きい領域ではより大きな圧密が生じ、一方、堆積層が薄い領域や負荷の小さい領域では沈下が小さくなる。この負のフィードバック機構により、地形的な高低差は自動的に減少する。すなわち、厚く隆起した堆積物はより大きく沈下する一方で、薄い堆積物は比較的変化しないままである。

地震サイクルの繰り返しを通じて、不均一な圧密により盆地表面は徐々に平坦化される。

3.3 側方流動と不均一な圧密の階層的相乗効果

不均一な圧密は、繰り返される地震サイクルを通じて地形的な高低差を軽減するが、それ自体では盆地表面を平坦化させることはない。圧密の大きさ（ΔH）は初期の堆積物の厚さ（H）に比例するため、盆地の震源付近にある最も厚い堆積物が最大の沈下を受ける。この過程は、平坦な表面を作り出すのではなく、盆地中央部を深く掘り下げる結果となる。したがって、盆地規模の平坦化は主に側方流動によって支配されており、この過程では液状化した堆積物が重力による低地に向かって流れ、局所的な窪みを埋める。不均一な圧密は、その後、二次的な平滑化メカニズムとして作用し、横方向の再分布が起こった後に残る微細な起伏を減少させる。このプロセスの階層関係――水平拡散が主要な平坦化要因であり、不均一な圧密が長期的な微調整として機能する――を明らかにすることで、荷重依存的な沈下と平坦な盆地表面の保存との間に見られる一見矛盾する現象が解決される。

3.4 地質学的証拠：スランプ構造と層状の乱れ

この動的平坦化モデルは、関東盆地中央部のボーリングコアから得られた地質学的証拠によって強く裏付けられている。静的な海洋堆積下では整然とした水平層理を示すはずの上総層群等の堆積序列には、頻繁にスラ

ンプ構造、層理の乱れ、および水平方向に伸長または均質化した層単位が含まれている。
これらの特徴は、繰り返される大規模な地震活動と一致する、盆地全域にわたる液状化、側方流動、および内部変形を示している。これらが広範囲に認められることは、*Mw 8* クラスの深部地震が数十万年から数百万年にわたり、堆積盆地を繰り返し再編成してきたことを示唆している。
さらに、関東平野の並外れた平坦さは、この地域が歴史的に大規模な農業による改変を受けていなかったことから、人為的な土地の整地によるものとは考えられない。したがって、この平面的な地形が維持されていることは、深部地殻変動プロセスによって駆動される、自然の長期的な動的平坦化システムを反映している。

動的平坦化メカニズムの概要
強制的流動化、三次元的な側方流動、および不均一な圧密という 3 つのプロセスが相まって、相乗効果を持つ動的平坦化メカニズムを形成している。各地震は盆地全体にわたるリセット機構として機能し、静的な堆積によって生じた微地形を排除して平坦な表面を回復させる。地質学的な時間スケールにおいて、繰り返される *Mw 8* 級の深部地震が、今日関東盆地全域で観察される異常なほど平坦な地形を生み出している。

4. 考察

本研究で提案した動的平坦化モデルは、関東盆地の地形学的進化を、深部の地殻変動プロセスと地表の再編成とを結びつける長期的なエネルギー変換システムとして概念化している。この枠組みは、盆地を単に河川堆積や海面変動によって形成された受動的な堆積容器として解釈するのではなく、断続的に発生する深部地震が地形のリセットをもたらす能動的な要因としての役割を強調している。
典型的な前弧条件下では、太平洋プレートおよびフィリピン海プレートからの多軸的な水平圧縮により、盆地の未固結堆積物内に著しい内部ひずみが生じ、褶曲、逆断層、および漸進的な隆起を引き起こすことになる。しかし、関東フラグメントの存在は、この予想される経過を根本的に変える。剛性のある構造的土台および応力シールドとして機能するこの断片は、地域的な構造圧縮を遮断・吸収し、上部の堆積物におけるひずみの蓄積を防ぐ。その結果、盆地は直接的な構造変形から力学的に隔離された状態を維持している。
しかし、構造エネルギーが消滅するわけではなく、蓄積されるのである。圧縮力は断片の境界へと伝達され、そこでひずみが蓄積し、最終的に *Mw 8* クラスの深発地震として解放される。これらの地震は、長期的な構造応力が短時間の地震パルスへと動的に変換される現象を表している。これらのパルスが厚さ 3～4 km の堆積層序へと上方へ伝播すると、強制的流動化、側方流動、および不均一な圧密を引き起こし、これらのプロセスが総合的に作用して盆地表面を平坦化する。
したがって、関東盆地の長期的な平坦性は、次のような周期的なエネルギー経路の結果として理解することができる。
構造的な水平圧縮 → 関東フラグメントにおけるひずみの蓄積 → *Mw 8* 級の深部地震 → 盆地規模の動的平坦化。
この 3 段階のシステムは、深部テクトニクス、中深度のスラブ断片、および地表地形を、一貫したエネルギー散逸メカニズムとして結びつけている。

4.1 盆地規模のプロセスとしての地震駆動型地表再編成

動的平坦化メカニズムは、盆地全体の規模で作用する。*Mw 8* の深部地震はそれぞれ、静的な堆積によって生成された微地形を排除する、盆地全域にわたるリセット事象として機能する。数十万年から数百万年という

時間スケールにおいて、液状化、側方流動、および圧密の繰り返されるサイクルが、今日観察される異常に平坦な地形を生み出している。
この解釈は、関東盆地を静的な堆積環境ではなく、深部テクトニックパルスによって周期的に再形成される動的に再編成された景観として再定義するものである。したがって、この盆地の平坦さは受動的な結果ではなく、繰り返される地震的強制力による能動的な産物である。

4.2 平坦面の時間的モザイクとしての台地と低地

このモデルは、日本の関東地方にある武蔵野台地、大宮台地、下総台地などの台地と、それらを隔てる低地の空間的配置についても、統一的な説明を提供している。これらの台地は、過去の深部地震サイクル中に形成された、かつての平坦面の残存部分として解釈することができる。
平坦化面が隆起したり、河川の浸食や局所的な構造運動によって隔離されたりすると、それ以降は横方向の流路や液状化ゾーンから物理的に隔てられることになる。その結果、これらの高台は、その後の動的な平坦化現象の影響を受けず、以前のサイクルによる地形学的特徴を保持することになる。
地形的な隔離に加え、これらの台地は、深発地震の際に盆地全域にわたる液状化の影響を著しく受けにくい地盤工学的特性を備えている。台地下の地下水位は、一般的に周囲の低地よりもはるかに低いため、周期的な揺れによる間隙水圧の上昇が抑制される。さらに、成田群および関連層の上部は、低地を支配するより新しい沖積層に比べて、比較的密度が高く、より固結している。これらの要因により、台地の液状化抵抗性が高まり、深さ 3～4 km の堆積層が強制的な流動化や側方流動を生じても、台地は力学的に安定した状態を維持することができる。その結果、いったん隆起または隔離されると、台地はその後の盆地規模の堆積物の再分布に巻き込まれることなく、過去の平坦化サイクルの地形学的特徴を保存することになる。
対照的に、現在の低地――特に主要河川流域や沿岸域――は、進行中の堆積作用によって絶えず再編成され、深発地震の際に将来的な動的平坦化の影響を受けやすい、活動的な平坦化面である。
このように、保存された平坦化面と活動的な平坦化面が時間的にモザイク状に混在していることが、複雑な地殻変動による隆起や不均一侵食のモデルを仮定することなく、この盆地特有の台地と低地のパターンを説明している。

4.3 盆地の進化と地震ハザードへの示唆

この動的平坦化モデルは、地形学と地震ハザード評価の両方に重要な示唆を与える。それによると、以下のことが示唆される。

- 関東盆地の平坦さは、静的な堆積作用ではなく、繰り返される深部地震の作用によるものである。
- 台地は、過去の平坦化事象の地形学的記録である。
- 低地は現在の動的表面であり、将来発生する *Mw* 8級の深部地震の際に再編成される。
- 同盆地の厚い未固結堆積物は、深部地震のパルスに対して極めて敏感であり、広範囲にわたる液状化、側方流動、および固結が生じる可能性がある。

これらの知見は、特に首都圏において、深部地震の力学を盆地進化モデルおよび都市の地震リスクモデルに組み込む必要性を浮き彫りにしている。

5. 結論

本研究では、関東盆地の長期的な平面地形を説明するために、地球物理学的、地質学的、および地盤工学的なプロセスを統合した動的平坦化モデルを提案する。関東盆地は、日本列島弧において最も強い圧縮性テクトニック環境の一つに位置しているにもかかわらず、100 万年以上にわたり異常に平坦な地表を維持してきた。従来の静的な堆積モデルや海面変動モデルでは、この持続的な平坦さを説明することはできない。

本研究で提示するモデルでは、深さ 40～100 km に埋没した太平洋プレート由来の剛性スラブである「関東フラグメント」を、盆地の厚い未固結堆積物を直接的な構造的圧縮から保護する主要な構造要素として特定している。盆地全域にわたる剛体運動を示す GNSS 観測結果は、このフラグメントが深部構造パレットおよび応力シールドとして機能しているという解釈を裏付けている。

しかし、地質学的応力が完全に排除されるわけではない。応力はフラグメントの境界に沿って蓄積され、*Mw 8* クラスの深発地震として断続的に解放される。これらの地震は、長期的な地質学的圧縮を短時間の地震パルスに変換し、そのパルスは厚さ 3～4 km の堆積層序へと上方へ伝播する。その結果生じる強制的流動化、三次元的な側方流動、および不均一な圧密が相乗的に作用し、盆地表面を平坦化する。地質学的な時間スケールにおいて、動的平坦化の繰り返されるサイクルが、この盆地の現在の平面的な地形を形成してきた。

この枠組みは、隆起した台地と隣接する低地との間の地形的対比についても、首尾一貫した説明を提供する。台地は、その後の動的平坦化から隔離された、かつて平坦化された地表の保存された残骸であるのに対し、低地は、進行中の堆積作用によって継続的に再編成され、将来的な深部地震の作用を受けやすい、活動的な平坦化面を構成している。

この動的平坦化モデルは、関東盆地の進化に関する長年の理解の空白を埋め、同地域を静的な堆積環境ではなく、断続的な深部地殻変動のパルスによって形成された地形として再定義するものである。また、厚い未固結堆積物が、将来の *Mw 8* 級の深部地震の際に広範囲にわたる液状化、側方流動、および固結を起こす可能性がある日本の首都圏における地震ハザード評価にとっても、重要な示唆を与えるものである。

今後の研究では、次の 2 つの主要分野に焦点を当てるべきである：

(1) 深部ボーリングコア中のスランプ構造や乱層の年代学的分析を行い、過去の深部地震サイクルとの相関関係を確立すること、および

(2) *Mw 8* の地震パルスによって生じる地表の平坦化の程度を定量化するための、流体・固体の 3 次元連成数値シミュレーションを行うこと。

これらの取り組みを総合することで、動的平坦化モデルの精緻化と検証が進み、関東盆地を形成する地質構造的および地形学的プロセスに対する理解が深まるだろう。

謝辞

本研究の概念的基盤は、1995 年の兵庫県南部（神戸）地震における筆者の個人的体験に深く根ざしている。この体験を通じて、地震現象の圧倒的な威力と人間社会の脆弱性が浮き彫りとなった。それ以来、地殻変形や地震発生の根底にある物理的メカニズム――特に科学的に未解明な領域――を理解したいという持続的な想いが、筆者の長年にわたる探究を導いてきた。

筆者は地震学、地質学、あるいは地盤工学の学術機関に正式には所属していないが、本研究は、一般に公開されている高精度の地球物理データと土質力学の基本原理を統合することで実現した。国土地理院（GSI）が GEONET ネットワークを通じて提供している継続的な GNSS 観測データは、本研究で提示された考え方を

形作る上で不可欠であった。著者は、一般の科学的理解を深めるために不可欠な地球物理学的および地質学的データセットを維持・公開している国土地理院、産業技術総合研究所（AIST）、ならびにすべての研究機関に対し、深く感謝の意を表する。
また、関東地方のテクトニック構造、深発地震、堆積盆地のダイナミクスに関する研究を通じて、重要な文脈とインスピレーションを与えてくれた数多くの研究者の貢献にも謝意を表する。彼らの研究は、本研究の科学的基盤を形成している。
最後に、本稿で提示した知見が、首都圏の地下構造をより深く理解するための継続的な取り組みや、将来の地震災害軽減および災害レジリエンス向上のための取り組みに、たとえささやかなものであっても寄与することを願っている。

データの利用可能性に関する声明

本研究で使用したすべてのデータは、以下の情報源から一般に公開されています。
国土地理院（GSI）：地殻変動情報
https://mekira.gsi.go.jp/index.html
気象庁（JMA）：月別地震活動概要
https://www.data.jma.go.jp/eqev/data/gaikyo/index.html#monthly
本研究で参照されたその他のデータはすべて、参考文献に記載された情報源から入手可能です。
本研究のために新たに生成されたデータやコードはありません。

利益相反に関する声明

本研究に関して、開示すべき利益相反はありません。

資金提供に関する声明

本研究は外部からの資金提供を受けていません。

著者の貢献に関する声明

著者は、本研究の構想を立案し、分析を実施し、原稿を執筆しました。

AI 利用に関する声明

本翻訳にあたり、機械翻訳ツールを補助的に使用しましたが、内容の正確性については著者が全責任を負います。

参考文献

内閣府 防災情報のページ「2. 断層のモデル化」

https://www.bousai.go.jp/jishin/chubu_kinki/syousai/pdf/sankousiryou2.pdf
鈴木宏芳「関東平野の地下地質構造」。防災科学技術研究所研究報告 第 63 号
https://nied-repo.bosai.go.jp/record/470/files/l131_22_1.pdf
国土地理院 (2011–2026): GEONET(GNSS 連続観測システム)による日本列島の地殻変動観測データ(定期報告・電子基準点時系列データ)
https://www.gsi.go.jp/denshi/denshi_38136.html
遠田晋次「首都直下のプレート構造と想定される地震像」。日本地震工学会誌 第 20 号
https://www.jaee.gr.jp/jp/wp-content/uploads/2014/11/kaishi20.pdf
遠田晋次「首都圏直下に潜むプレートの断片と地震発生」。産業技術総合研究所 (AIST)
https://www.aist.go.jp/ より取得
北田宗一郎 他「柏崎平野の地震後地盤沈下発生メカニズムに関する基礎的研究」。長岡技術科学大学 環境社会基盤工学分野 修士論文・卒業論文要旨集
https://cee.nagaokaut.ac.jp/HTML/yoshisyu/2015/infra/pdf/ken15204.pdf

EarthArXiv プレプリントに関する声明

本原稿は EarthArXiv に投稿されたプレプリントであり、査読を受けていません。