

関東平野の地下深部に潜む巨大な凹み

地下構造による長周期地震動増幅の可能性

地表に露出している地層の調査と地下の物理探査記録を統合した結果、関東平野の地下深部に伏在する基盤には局所的に著しい起伏が存在することがわかった。これらの基盤の凹みは、およそ1,650～1,500万年前の日本海の拡大末期に形成された半地溝（ハーフグラベン）に起因する。シミュレーションによると、地下深部の基盤の起伏により、とくに長周期（周期4秒）の地震動が局所的に増幅される可能性が考えられる。この長周期地震動は、高さ200m程度の超高層建造物の固有周期にほぼ対応することから、高層建造物が林立する首都圏の地下深部の基盤構造の解明が早急に必要である。

Asymmetrical up-and-down structure of basement rocks beneath the western part of Kanto Plain has been first recognized, based on a new geological interpretation of geophysical data. Many half-grabens, formed when the Japan Sea opened (ca. 16.5-15.0 million years ago), cause this complicated basement structure. Simulation analysis strongly suggests that a long-period ground motion, especially of around 4s components, would be amplified by such deep geological structure. As this period (4s) matches the own period of high-rise buildings of about 200m tall, it is necessary to recognize subsurface geologic structure in the Tokyo metropolitan areas.

なかなか見えない関東平野の地下深部

わが国で最も広い関東平野には日本の総人口の1/3近くが居住しており、政治・経済の中心である首都圏が位置するなど、その地震防災の重要性はきわめて高い。首都圏直下型地震に対する防災はもとより、昨年の紀伊半島南東沖地震や新潟県中越地震など震源が遠い地震の際にも、関東

平野が他の地域とは異なる地震動特性を示すことが指摘され、その原因は平野の地下深部の基盤構造によるものと考えられている。基盤の深い場所ほど柔らかい堆積層が厚いので、とくに基盤深度が大きい関東平野の西部域が異常震動域となる（図1）。一般に、物理探査は地下の深部ほど分解能が低くなる。そのため地下深くに埋没している関東平

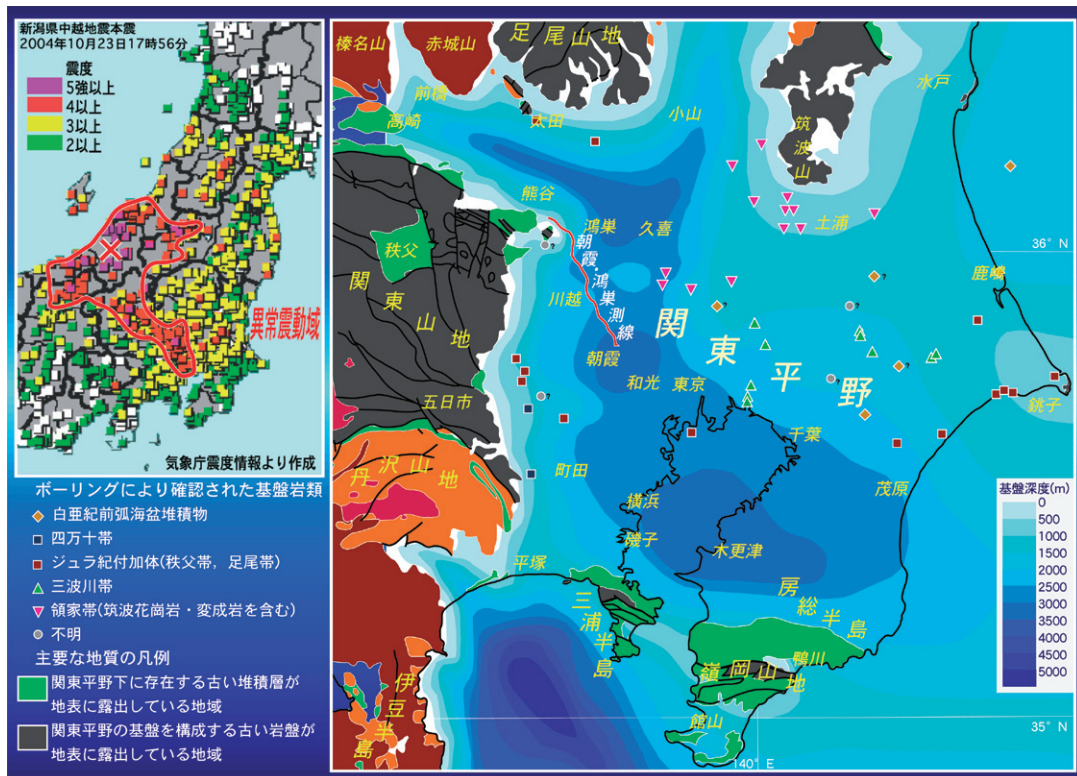


図1 新潟県中越地震（2004年10月23日）の際に認められた、関東平野西部の異常震動域（左上図の赤線の範囲）と関東平野の基盤構造（深度分布）の関係。

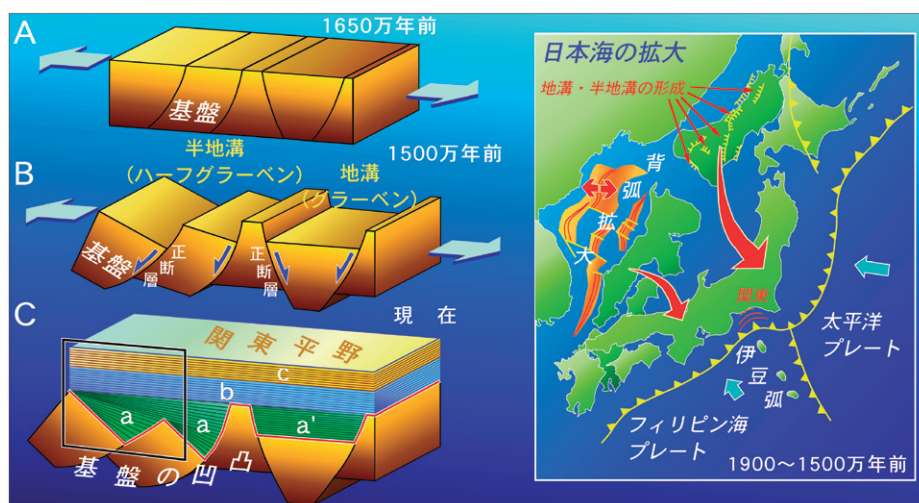


図2 日本列島の形成過程における関東平野の成り立ち（概念図）

関東平野の成り立ちは非常に古く、今からおよそ1,650万年前の日本海の拡大末期まで遡る。大阪平野や濃尾平野などの堆積層のほとんどが数100万年前以降の比較的新しい地層なのに対して、関東平野の基盤が深く構造が複雑なのは、これまでの歴史が大きく異なるからである。

野の基盤は、これまで起伏の少ないならかな形状と推定されてきた^{1) 2)}。基盤の形状が異なれば、地震動の評価も異なる結果が導き出されるので、まず器の形を決めなければならぬ。

地表地質からの新たな視点

関東平野周辺の山地や丘陵部は現在も隆起し続けており、そこでは平野の地下深くに埋没している古い堆積層や基盤岩の一部が地表に露出している。古い堆積層の地質学的特徴は、平野の地下も山地・丘陵部に露出している地表も同様のメカニズムに支配されてきたはずである。したがって、これら平野周辺に露出している地層を直接調査・観察することにより、関東平野の地下の地質を間接的に推定することができる。このような方法に基づいて地表に露出する地層を調べ、関東平野の基盤を埋めた堆積層の成り立ちを日本列島の形成過程の枠組みの中で復元した(図2)。

今からおよそ1,650万年前の日本海の拡大末期(図2右)に、日本列島は水平方向に強く引ばられ、地殻の上部は正断層によって分断されてブロック化し、全体として水平方向に延ばされながら沈降していった(図2AおよびB)。このとき、両側を正断層に挟まれたブロックが沈降してできた基盤の凹みを地溝(グラaben)、それに対し片側の正断層に沿ってブロックが傾きながら沈降してできた凹みを半地溝(ハーフグラaben)という(図2B)。局所的に発達したこれらの基盤の凹みは堆積物によって埋め尽くされるが、重要な特徴として半地溝では堆積層の断面が扇状になり、さらに扇の広がった側には落差の大きい正断層が必ず存在する(図2Cのa)。

1,500万年前に日本海の拡大が終了し、今度は日本列島全

体がゆっくりと沈降したため、堆積物は広く一様に堆積した(図2Cのb)。関東平野の内陸部では、およそ1,000万年前までこのような状況が続き、そして数100万年間の中断ののち300万年前になると、今度は関東平野だけが再度沈降して、新しい堆積物が古い堆積層を覆い尽くした(図2Cのc)。このように、日本列島の成り立ちに基づいて関東平野の地下の地質を推定すると、関東平野を埋積した堆積層は、(1)日本海の拡大に伴って形成された半地溝や地溝を埋積した堆積物(図2Cのaとa')、(2)1,500～1,000万年前に広い範囲に堆積した古い堆積層(同b)、(3)300万年前以降に関東平野だけに堆積した新しい堆積層(同c)、の3つのユニットからなると予想される。これらのうち、最も古いユニット(地溝や半地溝)が基盤の起伏の主要な原因であると予想される。

朝霞—鴻巣反射断面の地質学的解釈

このような視点から、関東平野の西部にある朝霞—鴻巣間(図1の赤線の測線)の荒川に沿って行われた反射法地震波探査記録³⁾を地質学的に解釈した⁴⁾。図3Aのように、基盤の上面と考えられる明瞭な反射面が測線の北側(鴻巣付近)では深さ1,000m付近に、また南半部では深さ2,000～3,500m付近に確認されるが、川越付近では反射面が途切れている。これまでの、鴻巣から南に傾く基盤の上面と川越の南側に見られる反射面の間には、両者をつなぐならかな基盤があるものと推定されてきた⁵⁾。

これに対して、周辺で掘削されたボーリングのデータを勘案しながら日本列島の成り立ちに基づいてこの反射断面を解釈すると、次のように考えられる。鴻巣から朝霞の地下1,000m付近にかけて厚くなる最上部の堆積層は、300万

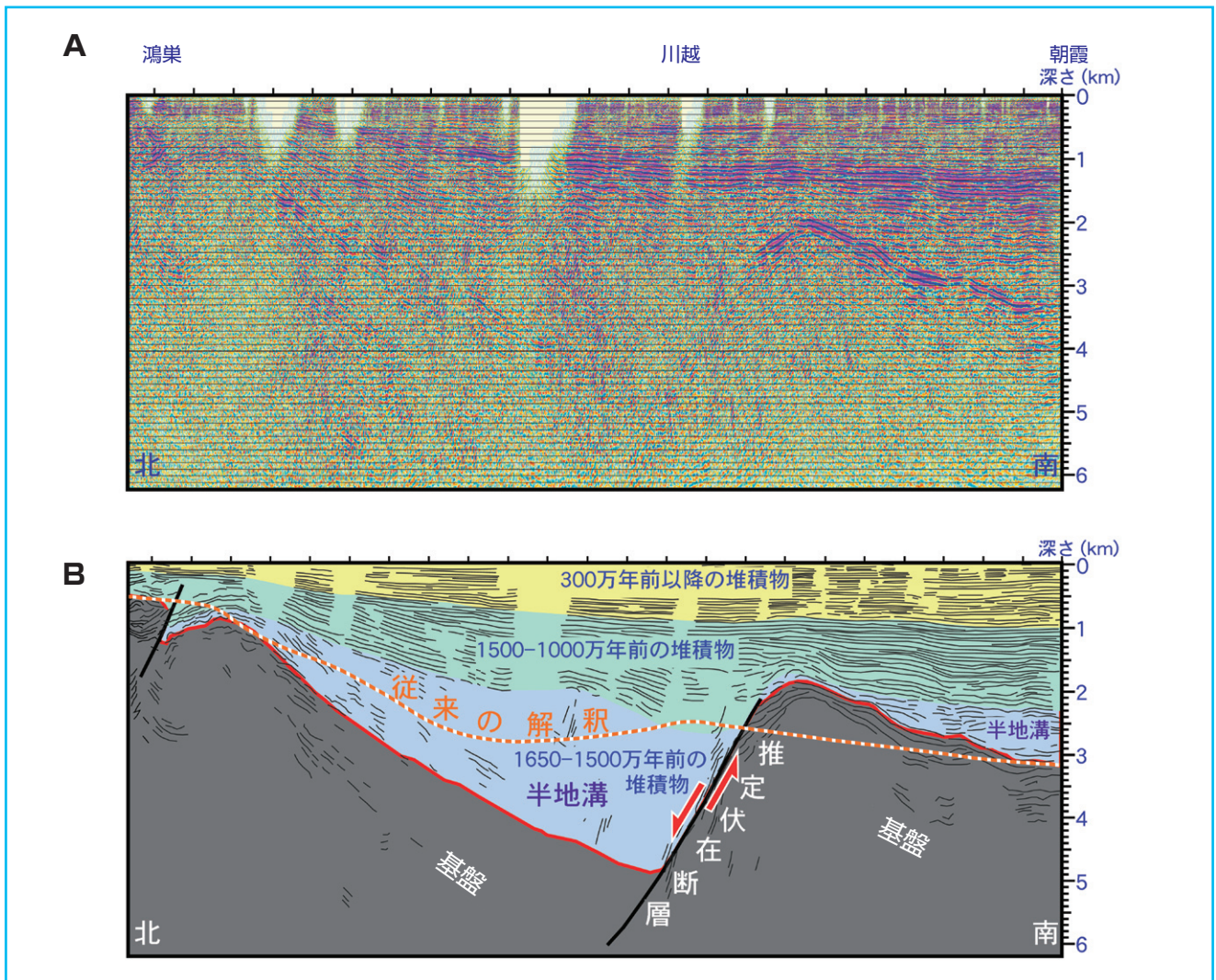


図3 関東平野西部の朝霞-鴻巣間の荒川に沿って行われた、反射地震波探査断面 (A) とその地質学的解釈 (B)

年前以降に堆積した地層(上総・下総層群)である(図2Cのcに相当)。その下には比較的一様に堆積した地層が存在しており、ボーリングによる年代では1,500~1,000万年前に堆積した古い堆積層であると判断される(図2Cのbに相当)。さらに深い部分には地溝や半地溝を埋めた古い堆積層が局所的に分布しているはずであり、反射面を細かくトレースしていくと、地下深くに存在する2つの半地溝(ハーフグ

ラーベン)を見出すことができる(図3B)。いずれの半地溝も、基盤のブロックが南側に傾きながら形成された非対称な三角形の構造をしており、図2Cの黒枠で示した部分に相当すると考えられる。

半地溝を埋め尽くした堆積層の断面は扇状をしており、またその広がった前面は正断層を境にして基盤と接しているはずである。したがって、川越付近の地下深くには、こ

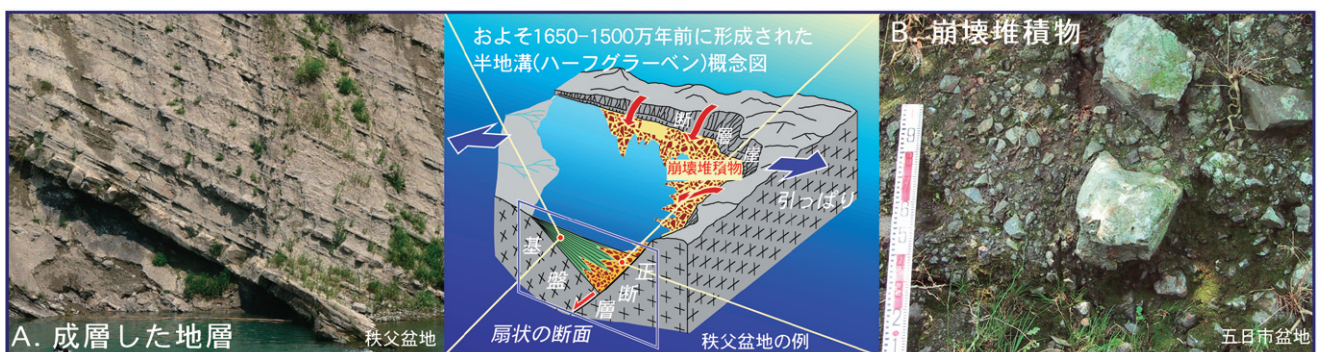


図4 半地溝(ハーフグラベン)の形成過程の概念図(秩父盆地の例)と、基盤の凹みを埋積した堆積層の露頭の写真

の2つの半地溝を形成させる原因となった基盤ブロックを区切る正断層が存在しているものと考えられる。この正断層は落差が2,000m以上に達すると思われるが、新しい地層を切っただけで、活断層ではなく基盤の古傷であろう。

ところで、なぜ探査記録の反射画像にはこのような規模の大きい断層やその北側(図の左側)の堆積層の反射面が認められないのだろうか。その理由は、やはり地表の地質を観察すれば容易に理解される。図4は典型的な半地溝である秩父盆地(図1)の形成過程の概念図で、半地溝を埋積した堆積層の特徴は場所によって大きく異なることが分かる。堆積層には地層面(図4写真A)が発達するので、反射法地震波探査記録には明瞭な反射面として記録される。ところが、地溝や半地溝の境界にある正断層に沿っては、断層崖から崩落した角礫岩(図4写真B)が堆積するため、ふつうは反射面は認められないはずである。つまり、川越付近の地下の深部に反射面が認められないのは、地層面がほとんどない崩壊堆積物が存在しているからであろう。

解釈された基盤構造に基づく地震動評価

このような解釈は、従来の基盤構造モデルと大きく異なり、より顕著な基盤の起伏と非対称な形態が特徴である(図3B)。つぎに、新しい基盤構造モデルと従来のモデルのそれぞれについて、地震動増幅のシミュレーションをおこなった(図5)。

新潟県中越地震を模して震源を鴻巣の北西方150kmの地下13kmに仮定して計算し、図5には周期2秒、4秒、6秒の速度応答スペクトルを示した。周期2秒では、場所による地震動の増幅パターンは従来のモデルと大差はないが、より長周期の場合には今回のモデルの方が振幅が大きくなり、とくに周期4秒の場合に両者の違いが著しい。図の左側(北西方)からの地震動を想定した場合、いずれのモデルでも川越-朝霞間の基盤深度が急激に浅くなる場所の近くで地震動は増幅するが、周期4秒の地震動は従来の予測のさらに1.6~1.7倍に増幅される可能性が示唆される。高さが200m程度の超高層ビルの震動の固有周期がおおよそ4秒であるので、今回明らかとなった地下深部の基盤構造はとくに超高層建造物の揺れに影響を与えるだろうと予想される。したがって、首都圏が長周期地震動に襲われた際の固有周期の長い超高層建造物や石油タンクなどの地震防災においては、地下深部の基盤構造の把握が重要と考えられる。

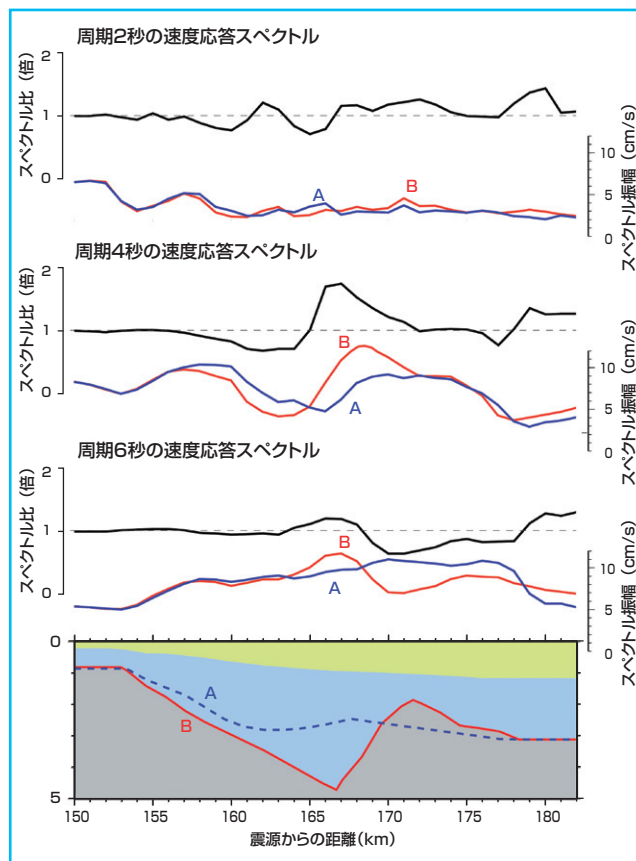


図5 朝霞-鴻巣測線に沿う基盤構造について、従来のモデル¹⁾(A)と今回の解釈(B)のそれぞれについて行った地震動のシミュレーション結果

参考資料

- 1) 山中浩明ら：物理探査, Vol.55, 53-65 (2002).
- 2) 駒澤正夫ら：地質学論集, No.31, 57-74 (1987).
- 3) 笠原敬司：月刊地球, No.34, 165-179 (2001).
- 4) 高橋雅紀ら：防災科研研報, No.67, 13-27 (2005).
- 5) 鈴木宏芳：防災科研研報, No.63, 1-19 (2002).

● 問い合わせ先

独立行政法人 産業技術総合研究所 つくばセンター

地質情報研究部門 地球変動史研究グループ

主任研究員 高橋 雅紀

E-mail: msk.takahashi@aist.go.jp

〒305-8567 つくば市東 1-1-1 中央第7

活断層研究センター 地震災害予測研究チーム

研究員 関口 春子

E-mail: haruko.sekiguchi@aist.go.jp

〒305-8567 つくば市東 1-1-1 中央第7

独立行政法人 防災科学技術研究所

防災研究情報センター

センター長 笠原 敬司

E-mail: kasa@bosai.go.jp

〒305-0006 つくば市天王台 3-1