

(2-5) 地殻の粘弾性的構造と応力に対する応答についての研究

古本宗充 (名古屋大学大学院環境学研究科)

furumoto@eps.nagoya-u.ac.jp

工藤健 (中部大学工学部)

kudo@isc.chubu.ac.jp

田中俊行 (地震予知総合研究振興会東濃地震科学研究所)

tanaka@tries.jp

(a) 業務の要約

地殻が応力変動に対してどのように応答するかを、粘弾性的構造の観点から調べ、断層運動や地震活動の推定に利用しようとする研究である。具体的内容としては①海水準変動などによる比較的長周期の応力変化に対応した断層活動の変化の検出、②海水準変動による地殻内の応力変化の定量的推定、③地殻の有効弾性厚を重力異常データなどから推定する、④地殻の歪み速度と重力異常などとの関係から、粘弾性構造を調べる、等である。①では主に、過去の断層運動と海水準変動との関係を明らかにした。②ではその関係を定量的に説明できる粘弾性構造を得ることを目指したが、解析途中である。③では、いくつかの手法を検討した。また重力の時間変動の精度などを検証した。④では歪み集中帯と重力異常の関係や、余震規模と地殻内の温度構造との関係などを明らかにした。

(b) 業務の実施方法

活断層の活動履歴については、各研究者や産業技術総合研究所および地方公共団体(地震調査研究推進本部、2006¹⁾)などにより報告された活断層調査の結果を網羅的に調査した。これまでに調査された活断層は100以上である。またこれらの活断層のトレンチ調査などにより、発掘された過去の断層イベントは延べで500回を超えている。これらを基礎データとして、その時間変化を調べた。解析時間幅として比較的データの多い過去2.5万年程度、そして時間分解幅として1000年程度での解析を試みた。ただし、トレンチ調査などにより得られたイベント年代は、特定の年ではなく比較的長い時間幅として与えられるのが普通である。また年代決定は主に¹⁴C年代決定法に基づいている。そこで活動の時間変動を推定する方法として以下のようにした。まず¹⁴C年代はINTERCAL89 (Stuiver,1998²⁾)により暦年に変換した。イベント発生年代が1000年以上の幅で与えられているものは、関係する幅1000年の時間窓の総数で割り算した値を、各窓ごとに割り当てた(つまり1窓当たりでは1回以下の数になる)。

活断層の活動データがより多く存在する過去1万年程度は、最終氷期終了後の海水準の上昇時期にあたり、特に6千年前に最大値を迎えている。この海水準の変動パターンと会う断層活動のパターンがないかを検討する。有るとすれば、どの程度の活動度変動がこの上昇期に起きているかを調べる。一方定常的な成分は、プレート運動などに伴い内陸部で発生している断層運動だと判断される。両者の活動度の差が、海水準変動による応力増加でもたらされたものと考えられる。

海水準が変動した場合に、日本列島の地殻においてどのような応力変化が生じるかにつ

いては、有限要素法を用いた数値計算によって研究することとした。地殻モデルとして、上部と下部で粘弾性が異なる水平成層モデルとする。日本列島を有限幅（200～300km）で奥行き無限長の板状構造とし、さらにこの列島が両側を海洋で挟まれているとして2次元モデルを考える。海水準が周期10万年程度で周期的な上昇下降を繰り返した場合の、地殻内での応力計算を行う。粘弾性構造を変化させた場合に、日本列島にどのような応力変動が現れるかを調べ、上で述べたような断層活動変化を説明しうる構造モデルを得る。

重力異常データなどを利用して地殻の粘弾性構造を推定する研究として、地殻の弾性構造を表す有効弾性厚分布とその性質を調べた。特にこれまで行ってきた重力異常データと地形の相関から弾性厚を推定する手法以外の検討も行った。その一つとして重力の時間変化の精密観測により、地殻の地球潮汐に対する応答を調べる手法を検討した。

重力異常や地殻熱流量分布は、前者が地殻の密度構造を後者が温度構造を表していると考えられる。これらは直接のおよび間接的に、地殻の粘弾性構造と関係しているはずである。日本列島でみられる歪み集中帯は地下構造が急変するなどの、構造的な特異領域になっているのではないかという観点から、重力異常分布と歪み集中帯の関係を調べた。基としたデータは、河野・古瀬(1989)³⁾によるもので、本多・河野(2005)⁴⁾による精密地形補正を施したブーグ重力異常データである。さらにFuruse and Kono (2003)⁵⁾による沈みこむスラブの影響を取り除いた値を利用した。特に重力異常の水平勾配に注目し、比較的長波長の帯域での勾配が大きい領域を抽出し、歪み集中帯との比較を行う。また、粘弾性は温度と深い関係に有るはずである。そこで地殻熱流量や地温勾配の値と、地震活動の比較を行った。地震活動の指標として、本年度はある地域における本震と最大余震のマグニチュード差に注目した。

(c) 業務の成果

活断層の調査データから求めた断層運動の頻度の時間変化を示したのが図1である。縦軸は1000年当たりの回数に相当する。当然すべての運動が発掘されている訳ではないので、相対的な値と考えるべきである。得られた頻度は時間が経つにつれ、つまり現代に向かうにつれて高くなっているが、これは古いイベントほど発掘しにくくなることを現してしていると考えられる。この全体的傾向は活動の定常状態を表しているとして、取り除いて考えると、約1万年前から5千年前にかけて弱いながらも頻度にピークがみられる。このピークの高さは統計的に有意である。全体の傾向からみると、このピークの高さは定常状態の約2倍の高さを持っている。つまり、この時期に、日本列島において比較的大きな断層の活動がそれ以外の定常活動時期に比べて倍増したことを表している。この時期は最終氷期が終わり、縄文海進と呼ばれるまでの間で、海水準が100m程度上昇した時期に相当する。この海進による海水加重の増加により、列島内の地殻の応力が増加し、断層運動を活発化したと推定される。また、頻度のピークの位置からみて、海水準の高さではなくその上昇率の大きい時期に断層活動が増加したように見える。これはこの現象から粘弾性構造を考える上で重要な点である。

上で観測された現象を説明できるような日本列島地殻の粘弾性構造モデルを、数値計算によって求めようとした。しかしながらこの課題では、計算機によって粘弾性問題の計算を試行的に行っている状態であり、まだ結果が出ていない。

重力データから地殻の弾性厚や変形を推定する研究では、手法やデータの現状と問題点をまとめた。これまで日本列島の大まかな弾性厚やその異方性を明らかにしてきたが、各断層付近での局所的な弾性厚を議論できるような狭い地域ごとの弾性厚分布を重力異常の空間的分布だけから推定するのは難しいことが分かった。そこで重力や傾斜などの時間的変動から得られるデータが欠点を補間してくれるかもしれないとの観点から、データや解析法の検討を始めた。その一環として、重力の時間変動から地殻内部の変形などを検出しよとして、絶対重力測定による精密連続測定を行ってきた。この測定においてコサイスマミックな時間変動の検出に成功した。ただし重力変化で地殻歪蓄積過程などを論じるには地下水変動の影響は無視できないことも明らかになった。

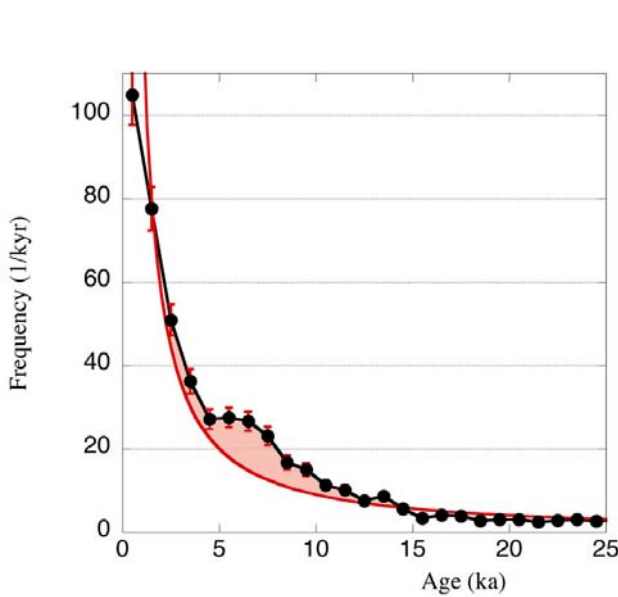


図1 断層活動頻度の時間分布。丸印は観測値、滑らかな曲線は定常状態を表す。

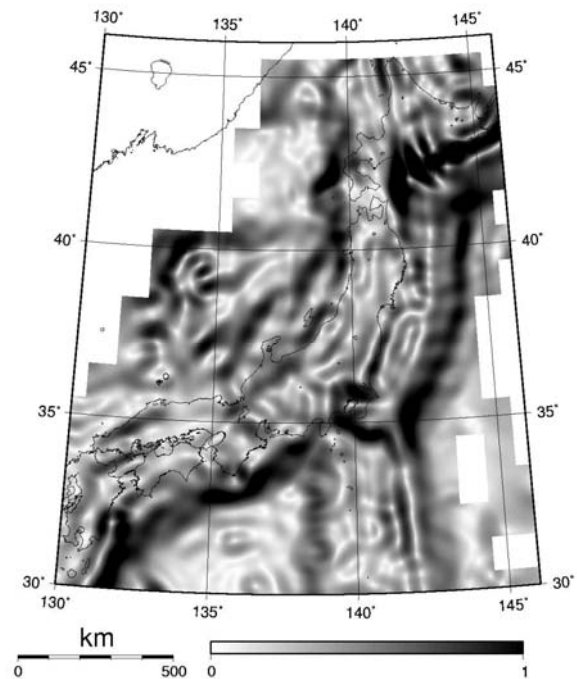


図2 重力異常の水平勾配分布。値は最大値で正規化してある。

重力異常分布から歪み集中帯などの性質を調べる研究として、重力異常の水平勾配との関係を調べた。その解析結果の一例を図2に示す。これは波長80 km以下の成分を取り除いた重力異常水平勾配分布である。水平勾配の大きい領域は、新潟から琵琶湖にかけての帯状の領域、関東平野を取り囲む領域、そして山陰西部地方などであることが分かった。これらはその規模からいって、数十km以上の波長をもつ構造を反映していると考えられる。特に新潟から琵琶湖にかけての帯状の領域は、新潟から神戸にかけての歪み集中帯(橋本、1990⁶⁾ ; Sagiya et al., 2000⁷⁾)と一致する。このことは、歪み集中が地下の何らかの大規模な構造変化、特に密度変化を伴う構造変化をしている領域で発生していることを示している。ただ、今年度の解析からはこの構造が具体的にどのようなものであるかは分かっていない。

地殻の粘弾性的性質は強く温度構造に依存していると考えられる。この依存の様子と地震発生の関係を調べる目的で、本震と最大余震のマグニチュード差と地殻熱流量および地下温度勾配との関係を調べた。図3に示したのはマグニチュード差と温度勾配の関係であ

る。図に示されるように、マグニチュード差は温度勾配の大きい、すなわち地下温度が比較的高い地域ほど小さくなる。この関係がどのような物理的プロセスを反映しているかは不明であるが、温度勾配の高い地域では変形が起きやすく、地殻の脆性破壊領域での不均質が強くなっていることが考えられる(Mogi, 1967⁸⁾)。

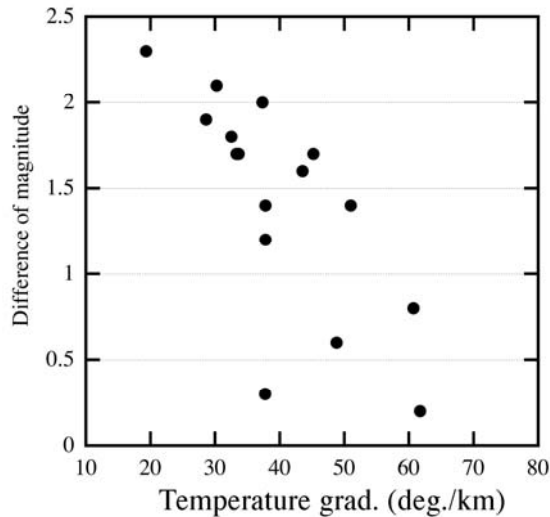


図3 本震と最大余震のマグニチュード差と地温勾配。

(d) 結論ならびに今後の課題

本年度の解析の結果、海水準が急速に上昇した時期に、日本列島内陸部において断層運動の活発化がみられた。その度合いは、定常的な活動のほぼ2倍になっていることがわかった。このことは海水の加重の増加により、テクトニックな応力増加量にオーダーとして匹敵するような応力変化が地殻にさらに加えられたことを意味している。オーダー的な議論としては、常識的な列島地殻の粘弾性構造で説明が可能ながわかった。ただし、より正確な計算や様々な地下構造モデルの場合での比較検討がまだできていない。こうした変動から、より妥当な構造モデルを推定することが、今後の課題として残っている。

重力異常の急変帯が、新潟・神戸歪み集中帯などによく一致していることがわかった。ただし両者の一致が地下のどのような状態を反映しているかについてはまだ不明である。今後粘弾性構造モデルでの数値計算による解析や、また他の地下構造の情報も含めたり、世界の他の地域での様子を比較検討するなどして、地下構造と歪みの関係を明らかにする必要がある。

内陸部のある地域における地震の規模は、地殻の温度構造を反映していることがわかった。この結果を日本列島全体に適用することで、ある地域で想定される最大の地震や余震の規模を推定することができる。今後こうしたマップ作成を行う。

(e) 引用文献

- 1) 地震調査研究推進本部： <http://www.jishin.go.jp/main/koufu/00/koufu00.htm>, 2006.
- 2) Stuiver, M. et al.: 1998, INTERCAL98 Radiocarbon Age Calibration, 24,000- cal BP, Radiocarbon, Vol.40, pp.1041-1083, 1998.
- 3) 河野芳輝, 瀬慶博：100万分の1日本列島重力異常図, 東京大学出版会, pp.76, 1989.

- 4) 本多亮, 河野芳輝: 日本列島周辺の海陸統合 50Mメッシュ地形データの作成とそれを用いた海陸重力地形補正, 測地学会誌, Vol.51, pp. 33-44, 2005.
- 5) Furuse, K. and Y. Kono: Slab residual gravity anomaly: gravity reduction due to subducting plates beneath the Japan Islands, J. Geodynamics, Vol.36, pp.497-514, 2003.
- 6) 橋本学: 測地測量より求めた日本列島の地震間の平均的な地殻水平歪み速度 (I): 本州・四国・九州, 地震, Vol.43, pp.12-26, 1990.
- 7) Sagiya, T., Miyazaki, S., and Tada, T.: Continuous GPS array and present-day crustal deformation of Japan, Pure Appl. Geophys., Vol.157, pp.2003-2322, 2000.
- 8) Mogi, K.: Earthquakes and fractures, Tectonophysics, Vol.5, pp.35-55, 1967.

(f) 成果の論文発表・口頭発表等

著者	題名	発表先	発表年月日
田中俊行, 工藤健	重力データを用いた大陸ダイナミクス研究の現状	月刊地球, 804-807	平成 17 年 10 月 1 日
古本宗充	本震と最大余震のマグニチュード差と地殻熱流量	地震, 58, 221-224	平成 17 年 12 月 25 日
本多亮, 平松良浩, 古本宗充, 河野芳輝	重力異常の水平勾配と歪み集中帯の関係	地震, 58, 371-373.	平成 17 年 12 月 25 日
Tanaka, T., Salden, W., Asai, Y., Fujita, Y., Aoki, H.	Variations of absolute gravity accompanying earthquake-induced changes in subsurface pore water pressure at the Mizunami Underground Research Institute construction site, central Japan	Geochem. Geophys. Geosyst., In press	平成 18 年 3 月

Shichi, R, Yamamoto, A., Kudo, T. (他 1 5 名)	A Gravity Database of Southwest Japan: Application to Bouguer Gravity, Imaging in Kyushu District, Southwest Japan.	in A Window on the Future of Geodesy, Vol.128 of International Association of Geodesy Symposia, ed. F. Sanso, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 236-241.	平成 1 7 年
---	---	---	----------

(g) 特許出願，ソフトウェア開発，仕様・標準等の策定

1) 特許出願

なし

2) ソフトウェア開発

名称	機能
なし	

3) 仕様・標準等の策定

なし

(3) 平成18年度業務計画案

平成17年度に引き続き、重力データ、活断層データ、そして地殻内の温度データを総合して、地殻の粘弾性構造の推定を行うとともに、粘弾性構造とその応力への応答や地震活動の関係を調べる。特にこの年度で重視するのは、①海水準上昇による断層運動の活発化を説明できる粘弾性構造の解明、②重力時間変化の検出や潮汐の解析から弾性厚などの推定、③重力データから、断層の内部構造とくにアスペリテリの位置の特定ができる可能性の検討、そして④温度構造から推定される日本列島における最大地震規模分布図の作製、などである。さらに、数値モデルによる近畿圏および周辺の活断層への歪集中過程のシミュレーションや、スローイベントの検出の結果をまとめ、当該地域の活断層における内陸地震の発生ポテンシャルについて検討する。