

1 2 - 6 東北日本弧における応力・ひずみ集中, 地下構造と地震発生の関係

Relation among the stress-strain concentration, deep structure and seismogenesis in the northeastern Japan arc

東北大学大学院理学研究科

Graduate School of Science, Tohoku University

1. はじめに

東北日本弧では第1図に示すように, 脊梁山地に沿って火山が並び, その火山と火山の間では, 脊梁を挟むように活断層が存在している. このことは, 火山と活断層の間に因果関係が存在するか, あるいはどちらも共通の原因によって生じていることを示唆している. 本稿では, 火山と活断層の形成と内陸地震発生の原因が, 地下深部にあることを示した東北大学による成果を主として説明する.

2. 東北日本弧の深部構造

東北日本弧については, これまで様々な研究者によって深部構造が調べられてきた^{1), 2)}. それらの結果は, マントルウェッジ内に西に傾き下がる低速度・低Qの領域が存在しており, その上端が脊梁火山列の直下に来ていることを示している. 第1図(左)の深さ40kmにおけるVp/Vs構造の分布¹⁾は, 火山列に沿って最上部マントルに非常に柔らかい物質(おそらくは主としてマグマ)が存在していることを示している.

上記の解析結果をもとに, Hasegawa et al. (2005)³⁾は下記のようなモデルを考えた. 相転移に伴う脱水反応により, 沈み込むスラブからマントルウェッジにH₂Oが放出される. このH₂Oは, スラブにドラッグされて深部に持ち込まれるが, 熱いマントルの上昇流に供給されると, そこで岩石の融点を下げて部分熔融を生じさせる. この部分溶融体が低速度・低Qの領域として検出されていると考えられる. 部分溶融体は脊梁直下でモホ面に達し, それが下部地殻を熱すると同時に, それ自身は冷却されて固化することによりH₂Oを放出し, そのH₂Oが上部地殻に供給されることになる.

3. 地下構造とひずみ集中域の関係と応力集中機構

GPS観測によって推定された東北日本弧の東西短縮ひずみ速度分布と浅発微小地震の震央分布を重ねた図^{3), 4)}を第1図(右)に示す. 脊梁に沿った領域と日本海東縁と宮城県北部の3本の南北に伸びる「ひずみ集中帯」(東西短縮速度が大きい領域)が存在していて, 多くの地震がこの「ひずみ集中帯」の中で生じていることがわかる. 第1図(右)の中で宮城県北部の2本の「ひずみ集中帯」を横切る領域の構造を調べた結果, モホ面直下では, 低速度・高Vp/Vs域が火山フロント付近にあるが, それが下部地殻では二つに別れ, そのすぐ上で低周波地震が発生し, また, さらにその上にはS波反射体や地震活動が生じていることがわかった⁵⁾. このうち, 1962年宮城県北部地震(M6.5)の余震域直下は比抵抗が極めて小さく, 流体の存在が強く示唆される⁶⁾. 一方, 東北地方中央の脊梁部の下のVp/Vs構造の南北断面を見ると, 火山の下では高Vp/Vsの領域が浅部まで達しており, そこでは地震発生域の下限が浅くなっている⁷⁾.

Hasegawa et al. (2005)³⁾は, これらの結果から, 第2図のようなモデルを提案した. 地殻が水平方向に均質ではなく, 脊梁直下では, 深部から供給された溶融体の熱と, 溶融体の固結によって放出されたH₂Oの影響で下部地殻が局所的に軟化しており, この状況でプレート運動起源の東西圧縮

の応力が働くと、その軟化域の直上に応力とひずみが集中することになる。この短縮変形に伴って、地震活動と地殻の隆起が生じ、またその両側に存在する過去の正断層が逆断層として再活動⁸⁾して活断層を形成することになる。また、軟化域の分布は南北でも変化があり、火山の下では軟化が進み、火山と火山の間の領域では「変形遅れ」が生じて、そこに応力が集中して、やがて断層が動いて大地震として応力を解放することになる（第2図(b)）。

4. 断層周辺の構造と断層バルブモデル

前述のように東北地方では、過去の正断層が逆断層として再活動して大地震を生じていると考えられる。しかし、正断層はリトリック断層となっていて高角な断層のことが多く、通常ではその断層面が滑るのは難しいと考えられる。Sibson (2009)⁹⁾は、断層に沿って流体が上昇してくるが、シールされた領域があるとそこで間隙圧が上昇することにより、高角の断層でも強度が低下して滑りを生じることができる（断層バルブモデル）と主張している。東北地方で見られるS波反射体が、シル状に分布した流体を示すのであれば、そこでは間隙圧が静岩圧にほぼ等しいことを意味しており、断層にこのような流体が存在していれば、そこでの強度は極めて低くなっていることが期待される。これまで、日本各地の大地震の震源の直下には低速度域が存在していることが報告されており¹⁰⁾、このことも、断層バルブモデルをサポートしている。

大地震でシールが破れてしまった後、地下から流体が供給され続けて、シールが復活するまで時間がかかる場合には、断層に沿って低速度となっていることが期待される。東北大学が「ひずみ集中帯の重点的調査観測・研究」（文部科学省科学技術振興費）によって庄内平野東縁断層帯周辺に展開した観測網のデータから、地表の断層から東に傾き下がる面状に低速度域が見つかった¹¹⁾。またこの低速度域とほぼ同様に東に傾き下がる低比抵抗分布も見つかっており¹²⁾、この断層帯北部では1894年にM7.0の庄内地震が生じたと考えられ¹³⁾、それからまだ100年程度しか経過していないために、断層内がシールされずにその流体が地震波速度異常や比抵抗異常として見えているのかもしれない。

5. おわりに

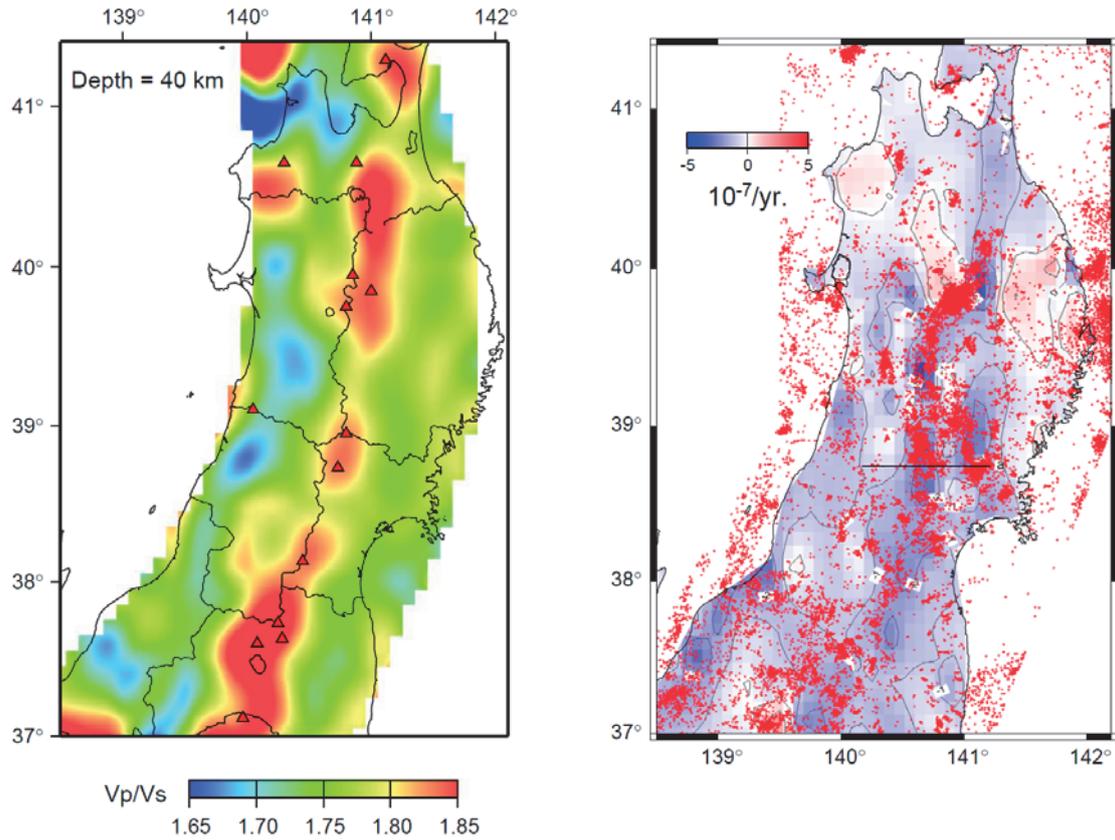
大地震は日本中どこでも発生するわけではなく、特徴的な構造のところで生じている可能性が高くなってきている。このことは、活断層が認められていない場所においても地下構造を調べることによって地震発生のポテンシャルを評価できることを意味しており、今後、地震発生と地下構造の関係の詳細な研究が必要となっている。

(松澤 暢)

参 考 文 献

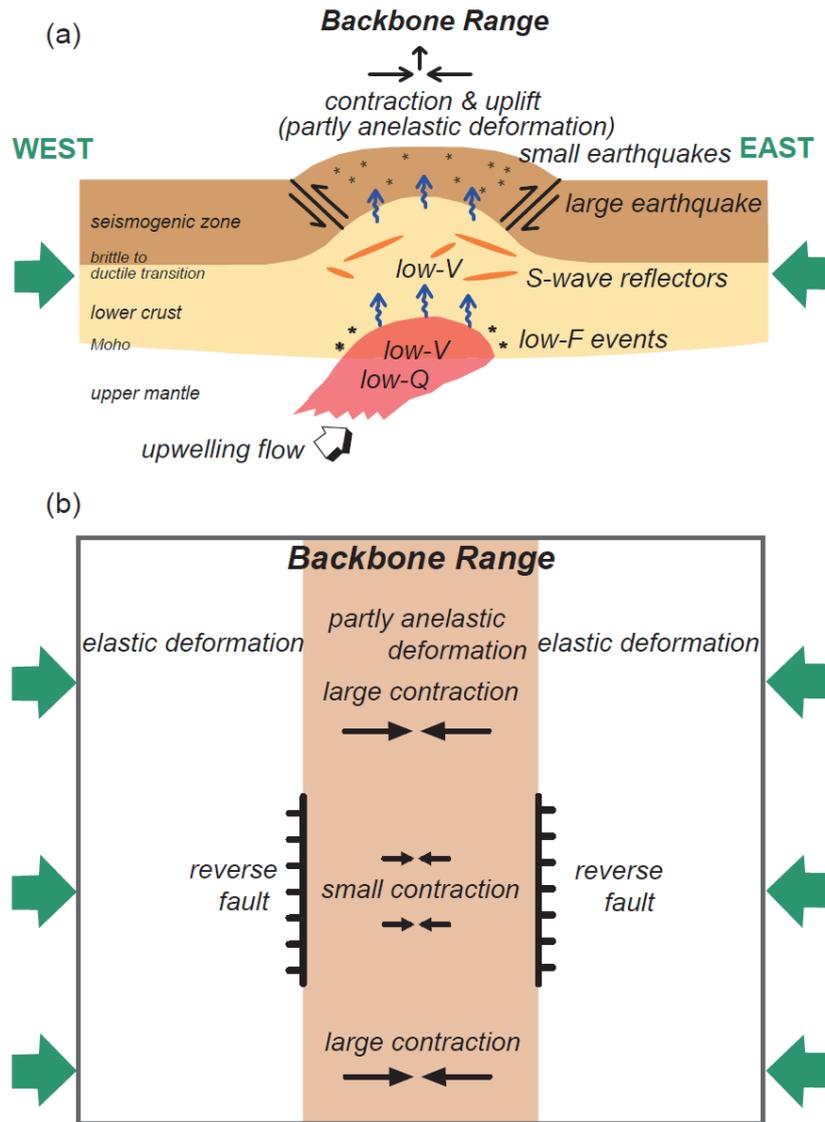
- 1) Nakajima et al., J. Geophys. Res., 106, 843–857, 2001a.
- 2) Tsumura et al., Tectonophysics, 319, 241-260, 2000.
- 3) Hasegawa et al., Tectonophys., 403, 59-75, 2005.
- 4) 佐藤・他, 地震2, 55, 181-191, 2002.
- 5) Nakajima and Hasegawa, J. Volcanol. Geotherm. Res. 127, 1-18. 2003.
- 6) Mitsuhata et al., Geophys. Res. Lett., 28, 4371-4374, 2002.
- 7) Nakajima et al., Tectonophysics, 341, 1 -17, 2001b.

- 8) Kato et al, *J. Struct. Geol.*, 28, 2011-2022, doi:10.1016/j.jsg.2006.08.004, 2006.
- 9) Sibson, *Tectonophysics*, 473, 404-416, doi:10.1016/j.tecto.2009.03.016, 2009.
- 10) Hasegawa et al, *Gondwana Research*, 16, 370-400, doi:10.1016/j.gr.2009.03.007, 2009.
- 11) 松澤・他, 日本地震学会講演予稿集, 2009 年度秋季大会, P2-37, 2009.
- 12) 市原・他, 日本地球惑星科学連合 2009 年大会予稿集, J245-007, 2009.
- 13) 地震調査委員会, http://www.jishin.go.jp/main/chousa/09oct_shonai/index.htm, 2009.



第1図. 東北地方の地震波速度構造とひずみと地震活動の関係. (左) 深さ40kmでの V_p/V_s 比¹⁾. (右) 1997年から2001年までの期間におけるGPS観測によって推定された東西短縮ひずみ速度と浅発微小地震の震央分布^{3), 4)}.

Fig.1 Seismic velocity structure, strain distribution and seismicity in northeastern Honshu, Japan. (Left) V_p/V_s ratio at the depth of 40 km¹⁾. (Right) East-west contraction rate and epicenter distribution for the microearthquakes in the period from 1997 to 2001^{3), 4)}.



第2図 Hasegawa et al. (2005)³⁾による東北日本弧における応力・ひずみ集中，地下構造と地震発生との関係の模式図。(a) 東西断面図。(b) 平面図。

Fig.2 Schematic representation of the relation among the stress-strain concentration, deep structure and seismogenesis in the northeastern Japan arc proposed by Hasegawa et al. (2005)³⁾. (a) East-west vertical cross-sectional view. (b) Top view.