

## 摩擦熱と変形の相互作用モデルによる構成則モデル化の試み

## Thermal-mechanical coupling in shear deformation of viscoelastic material as a model of frictional constitutive relations

# 亀山 真典[1], 金田 義行[2]

# Masanori Kameyama[1], Yoshiyuki Kaneda[2]

[1] 海洋科学技術センター, [2] 海技センター・フロンティア

[1] JAMSTEC, [2] JAMSTEC, Frontier

熱と変形の相互作用を考えた Maxwell 粘弾性体の剪断変形シミュレーションモデルを用いて、摩擦構成則の温度依存性を検討した。粘性変形による歪速度は温度にも依存するとし、温度は粘性散逸(摩擦)による発熱と熱伝導による冷却の競合で決まるとする。定常状態及び時間発展シミュレーションを行なった結果、このモデルの挙動は状態に依存する摩擦構成則でのすべりの挙動に極めてよく似ていることが分かった。このことから、我々のモデルをさらに拡張することにより、温度依存性をより自然な形で含んだ断層やプレート境界でのすべりの構成則を構築できる可能性が示唆される。

地震の発生過程はその場の応力状態だけでなく、温度、圧力、あるいは流体分率といった地学的な環境条件にも規定されていると考えられている。また、構造探査や、熱構造シミュレーションといった他のモデリングの近年の進歩により、環境条件の分布をある程度推定することが可能になってきた。よって、地学的環境条件がどのように断層のすべりを規定しているかを知ることにより、地震発生帯の場所や深度を拘束することが可能になると期待できる。種々の環境条件の中でも、温度はすべりの安定性を決める最も重要なものであると考えられるので、本研究では第1段階として温度の効果に注目し、「摩擦熱と変形の相互作用」という観点から、温度がどのように断層のすべりを規定しているかを検討した。

Prandtl 数(動粘性率と熱拡散率の比)無限大の Maxwell 粘弾性体からなる1次元領域の剪断変形を考える。外側境界での温度を固定し、かつ一定の剪断速度をかけて変形させ、内部の温度、歪速度、剪断応力の時間変化を追跡する。粘性変形による歪速度は温度に Arrhenius 的に依存するとし、温度が高くなれば粘性率が低下するようにとる。系内の温度変化は摩擦熱による温度上昇と、熱伝導による冷却の双方で決まるとする。

定常状態及び時間発展シミュレーションを行なったところ、このモデルの挙動は、状態に依存する摩擦構成則でのすべりの挙動に極めてよく似ていることが分かった。定常状態を求める計算の結果、(1)剪断速度が小さいうちは剪断速度が増加すると剪断応力も増加する「すべり速度強化」の状態にあるが、剪断速度が大きくなると剪断速度が増加すれば剪断応力が減少する「すべり速度弱化」の状態に変化すること、(2)その変化が起きる剪断速度は、外側境界の温度が高くなるほど大きくなること、が示された。(1)の原因は、剪断速度の増加が剪断応力の変化に及ぼす2つの効果、即ち温度変化にかかわらず剪断速度の増加に応じて剪断応力が増加する効果と、発生する摩擦熱による温度上昇が引き起こす粘性率の低下の効果の競合である。剪断速度が小さいうちは摩擦熱による温度上昇が小さいために前者が卓越するが、剪断速度が大きくなると温度が大きく上昇して後者が卓越するようになるからである。また(2)の理由は、境界の温度が高いと、十分な粘性率の低下を起こすのにそれだけ大きな剪断速度が必要になるからである。一方、時間発展を求める計算によって、有限振幅の擾乱に対する定常状態の安定性を調べた結果、すべり速度弱化の場合でも必ずしも不安定にはならず、弾性定数が十分小さい場合にのみ不安定になることが示された。不安定の起こる場合には、摩擦熱と変形の相互作用によって両者の間に正のフィードバックが起こる。すなわち、あらかじめ温度の高いところでは強度が弱いために大きく変形し、発熱量が大きくなってさらに温度が上昇するようになる。その結果、領域の中心付近の薄い領域内でのみ爆発的に温度が上昇し、そこでの歪速度が非常に大きくなって、いわば「すべり面」に似た構造が形成される。さらに、この系の不安定は、応力の低下によって解放された弾性エネルギーが急速に熱エネルギーに変換されることによって引き起こされることも分かった。

ここで得られた計算の結果から、摩擦熱と変形の相互作用を考慮することにより、粘性変形の構成関係さえ与えてやれば定常すべり状態の安定性が温度とすべり速度の関数として自動的に定められる、言い換えれば、構成パラメータの温度依存性を自動的に決定できる可能性が示唆される。よって、このモデルをさらに発展させることにより、温度依存性をより自然な形で含んだ、断層あるいはプレート境界面上での構成関係を構築する際の重要な手がかりになると期待できる。