

侵食作用が地形形成過程に与える影響：広域圧縮場での層構造非線形粘性流体中の周期的不安定

Effect of Erosion on Topographic Evolution Process: Periodical Instability of Non-linear Viscous Fluid

高田 陽一郎 [1]; Molnar Peter[2]

Youichiro Takada[1]; Peter Molnar[2]

[1] オックスフォード大・地球科学; [2] コロラド大・地質学

[1] Earth Sciences, Univ. Oxford; [2] Geological Sciences, Univ. Colorado

<http://www.earth.ox.ac.uk/staff/staffinfo.php3?name=yopan>

侵食作用が地質学的時間スケールでの地形形成過程に大きな影響を与えることは、多くの研究者に共通の考えであろう。しかし、その物理的かつ定量的な理解は未だに極めて限られている。その理由の一つは地形自体の複雑さにある。そこで、我々は侵食作用が周期的不安定構造（褶曲、プーディングなど）の広域圧縮場における発達にどのような影響を与えるのかを調べた。周期的不安定構造の発達過程は半解析的に扱うことが可能であり、従って直接的に物理的解釈を得ることが出来る。因みに、圧縮応力場における周期的不安定構造としては Zagros 山脈の褶曲帯が特に良く知られている。

長い時間スケールの地形発達過程を理解するためには、まず発達開始時の地形を研究する必要がある。また、地質学的時間スケールでは地殻・マントル物質は巨視的にべき乗クリープ則に従う非線形粘性流体として振舞う。これらの点に留意して、侵食作用が一様な短縮速度場で発達する周期的不安定に与える影響を数値計算するための2次元物理モデルを以下のように構築した。まず、媒質を大きな実効粘性率を持つ表層と、小さな実効粘性率を持つ基盤層から成る二層構造モデルで表現した。このモデルは岩塩層、下部地殻、アセノスフェアといった低粘性層の存在を伴う様々な空間スケールの問題に広く適用できる。境界条件としては、地表面に隆起・沈降に伴う地形荷重を与え、層境界では変位・応力が連続とし、基盤層底面で変位ゼロとした。周期的不安定構造（例えば褶曲）の隆起部が部分的に侵食を受けて沈降部が部分的に堆積物で埋まった状態を一波長あたりで平均すれば、地殻物質と周辺物質の密度差は地殻物質と空気のそれよりも小さい。侵食作用の影響をこのように取り入れるべく、地表境界条件中の地殻物質密度に侵食速度の大きさをスケールするパラメータ D を乗ずる。 D が小さいほど侵食速度が大きい場合に対応し、 $D=1$ は侵食が全く無い場合に相当する。次に、広域圧縮応力に起因する水平短縮を媒質内に一様かつ一定速度で与え（バックグラウンド）、応力と歪速度をバックグラウンドに伴う部分とそこからの擾乱の和で記述する。擾乱がバックグラウンドに比べて遥かに小さいことから、我々は歪速度と応力の擾乱成分に関する線形化された構成方程式 (Smith, 1977) を使用した。

このモデルの地表面と層境界に時刻ゼロで微小な周期的擾乱を与え、不安定成長する擾乱のモード、波長、発達速度を計算し、パラメータ D を変えることでそれらに対する侵食作用の影響を調べた。擾乱の振幅ベクトルの時間微分は、ある正方行列と擾乱の振幅ベクトルの積で表される。この正方行列の固有値と固有ベクトルを数値計算することで、擾乱の発達速度とモードを得た。

昨年の発表では、侵食速度が大きくなると褶曲が非常に速く発達すること、またその波長が大きくなることを報告した。今回我々は、2層間の密度コントラスト等幾つかのパラメータを固定し、表層と基盤層の粘性率比および厚さ比がシステム全体の挙動に与える影響に焦点を絞った。その結果、褶曲の波長・発達速度が全く異なる振る舞いを示す2つのパラメータ領域を発見した。2つの領域は互いに隣接している。1つ目は、依存性自体が極めて低い領域。2つ目は、非常に強いパラメータ依存性を示し、コンターの傾斜と間隔の一定性からチャンネル・フローが引き起こされていると推定される領域である。そして、侵食・堆積に伴う内部応力場の改変は、これら2つの領域の分布を大きく改変することが分かった。この結果は、表層作用が内作用を大きくコントロールし得ることを非常に良く示している。