

バナナを曲げる 地質構造を再現するためにバナナを使う

岩石は褶曲によって様々な形に曲げられ、断層によって壊れる。こうした褶曲と断層構造は、山脈スケールから露頭・標本スケールでもみられる。バナナを使って、こうした構造がどのように作られるかを、バナナを使って試してみよう。

それぞれの生徒グループに1本のバナナを配る。

生徒に質問

- バナナをむき、その両端をしっかりと持つ。ゆっくりとその手をバナナの向きに、形が変わり始めるまで押す。注意：両方の手を一緒に押すことが重要。そのためには、最初に十分に水平な力で押す必要がある。バナナの形をスケッチまたは写真を撮る。次の図に従って、スケッチ／写真に出来る限りたくさんのラベルを貼り付ける。

次のラベルをつけよう:-

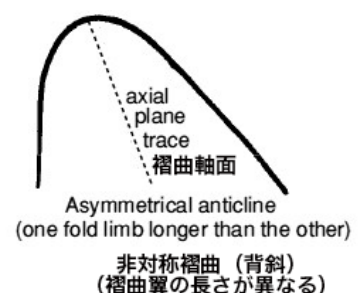
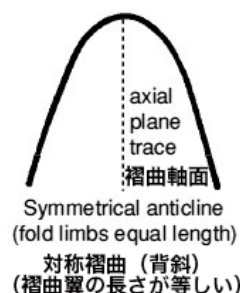
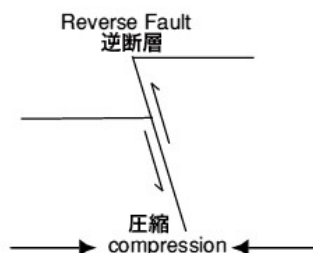
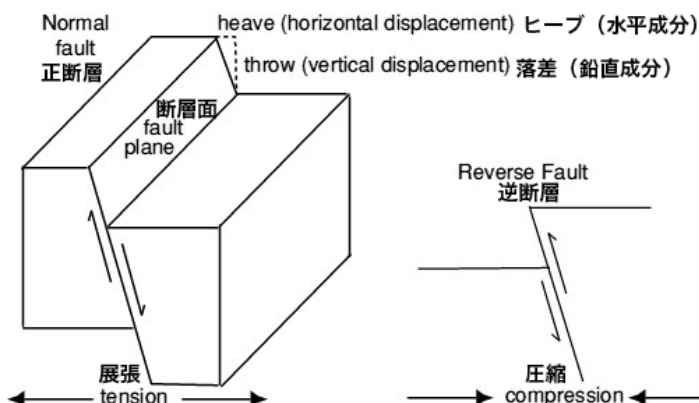
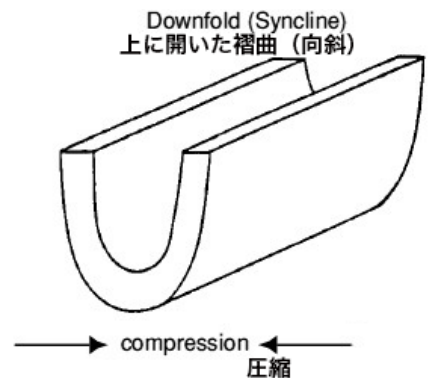
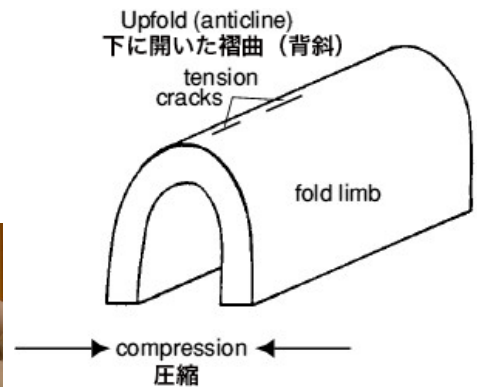
- 褶曲：褶曲軸面のトレース、褶曲の翼、破断が起きる直前の最大角度、上に凸（背斜）か下に凸（向斜）か、対称か非対称褶曲か？
- 展張割れ目、変形領域
- 断層、断層面、水平変位、垂直変位、正断層か逆断層か？上に動いたのはどちら側？
- 天然の岩石にみられる実際の構造と比較をして、これらが形成されるために必要な条件を考えてみましょう。圧縮、展張、剪断が関わっています。
- バナナを食べよう。



Photo Series 1



Photo Series 2



指導要領

題名:バナナを曲げる

副題:バナナの曲げと破断から地質構造を再現する。

トピック:このシミュレーションは、標本、露頭スケールから造山作用のような大きなスケールまで含んだ、岩石の変形を議論する授業で利用できる。

対象年齢: 8 - 80 歳

活動時間: 30分

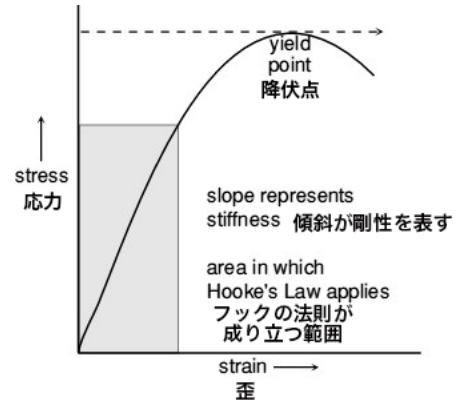
学習効果:

- ・ 圧縮変形によって形成される様々な構造をみる。
- ・ これらの構造を、作り、記述し、分析し、レポートする。
- ・ これらの構造を、スケッチ／写真に正しくラベルする。
- ・ バナナが、もっと大きなシステムや異なる物質のモデルとなることをきちんと理解する。
- ・ 岩石が曲げられるためには、地表付近よりも高い温度と圧力が必要であることに気がつく。
- ・ バナナは非封圧下であったが、岩石は周りや上位の岩石によって封圧下におかれていることを正しく理解する。
- ・ バナナが単層しか表していないことを正しく理解する。異なる岩石からなる地層が褶曲・破断するとき、それぞれのそうは異なった振る舞いをする。ある層は、他の層よりも弱く（インコンピテン）、容易に変形する。
- ・ r 岩石の変形速度と比べて、バナナの変形速度は著しく速いことに気づく。しかし、断層運動は時に急激におこり、しばしば破滅的な地震をおこす。

活動内容と関連事項

バナナは簡単に手に入り、容易に変形する物質でできた棒状のもので、天然の褶曲や断層の一連の構造を再現することができる。バナナは室温で変形させることができ、熟れ具合によって降伏点は異なるが、一貫して同じ結果が得られる。

バナナをその長さ方向に平行に圧縮すると、果物の天然の曲がりによって曲がり始める。地質学者や技術者はこれと同じような実験を行い、岩石やビルや建築物に使われる鉄や木材のような素材の強度や弾力性を調べる。ある物体が押しや曲げる力にどのように反応するかという理論は、19世紀の終わりまでにオイラー（Euler）によって定式化された（裏面の図を参照）。一定以下の応力では、その物体の剛性に依存して曲げがおこり（応力／歪み曲線の傾き）、圧縮の強度には依存しないことをオイラーは示した。破断するまでは、変形した形は正弦曲線の半波長である。



注意：図の単純な褶曲構造は、地層が逆転していないことを仮定している。この場合、上に凸の褶曲は真の背斜構造で、下に凸の褶曲は真の向斜構造である。厳密に言えば、地層が逆転していないことが確認されていなければ、「アンチフォーム」と「シンフォーム」の言葉を用いるべきである。最もよい背斜の定義としては、古い岩石が中心に露出している褶曲で、向斜の場合は、若い岩石が中心に露出する褶曲である。

写真1と写真2の結果

- ・ まず始めに、バナナはその長い方向に平行に加えられた力に抵抗する。
- ・ 力を強くすると、バナナは曲がり始める。このステージで、バナナはアンチフォーム（上に凸）を再現している。曲がりは急速に大きくなる。そしてすぐに、褶曲の上部に展張割れ目が発達する。バナナの熟れ具合によって、2つかそれ以上の展張割れ目が生じる。
- ・ ほぼ同時に、曲がりの内側の部分はくしゃくしゃになり、膝の形をした曲がりやキンクゾーンが生じる。
- ・ 圧縮する力を加え続けると、断層が生じ、バナナの欠片が断層面の upper side に移動する（写真1の両側、写真2の片一方）。
- ・ 最も曲がった部分の直上に、小さい弓の形をした放射状の断層が見える。

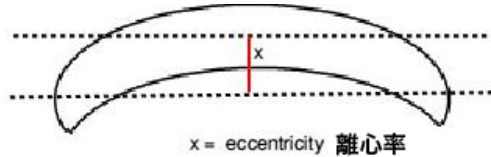
発展的な活動

生徒は、熟れ方の異なるいくつかのバナナを用いて、結果を予測しながら、繰り返し実験をおこなってみる。インターネットを使って、褶曲や断層の画像を探し、バナナの実験を類似物としてそれらがどのようにして形成されたかを説明する。

この活動に関する原理・原則:

- ・ 物体は圧縮応力下では予測可能な振る舞いをする。

- ・ 圧縮する力は、力が加えられた物体の断面領域すべてにおいて均等な圧縮応力となる。
- ・ バナナは自然に曲がっているの、圧縮する力は、バナナの離心率に比例した有効応力と等しい曲げの影響（モーメント）を生じる。（離心率とは、バナナの両端を結んだ中心線とバナナの中心との距離である。）



- ・ この曲がりの影響は、カーブの内側でより大きな圧縮応力となり、外側では反対の展張応力となる。
- ・ 力を増加させると、離心率も増加し、曲がりによって応力は、加えた力の増加率よりも速く増加する。
- ・ カーブの外側では、曲がりによる展張応力が、軸圧縮による圧縮応力を超えたときに、展張割れ目が発達する。
- ・ カーブの内側では、曲がりと軸圧縮の力による圧縮応力によって、物質の圧縮強度を超え、1つ以上の主応力面に沿って降伏（破断）する。
- ・ 山脈のような大規模構造で見られる岩石の圧縮破断は、この小さなスケールでの“バナナ曲げ実験”によっても実に正確に再現できる。

思考力の発達

様々な構造が発達するのと同じように、繰り返し同じようなパターンがでてくる。認知的葛藤としては、岩石が褶曲するためには、ある一時期、高い温度・圧力条件に置かれていたはずである。何が起きているかを議論することは、メタ認知を含む。バナナに見られた構造を、造山帯や標本スケールで見られる褶曲や断層岩に関連づけるためには、ブリッジスキルが必要である。

準備するもの:

- ・ バナナ
- ・ 使い捨て手袋（オプション）
- ・ 褶曲と断層の写真（オプション）
- ・ 微小構造を説明できる標本（オプション）

参考になるサイト:

このアクティビティを学習の流れに組み込むには、ELI “窓から見たプレートテクトニクス” と “衝突たいの大陸” を一緒に行く。関連したELIとしては、“マーガリン造山運動” と “30秒でヒマラヤ山脈” がある。

原典:

南アフリカ大学のPatrick James と Ian Clarkのアイデアから、Elizabeth and Martin Devonが改作
全ての図と写真: Martin and Elizabeth Devon

© Earthlearningidea team. The Earthlearningidea teamは、学校教育程度の地理や科学を通じて地学を教える教員指導者や教員のために、最小限の資金と手段で、毎週、教材開発をしようと努めるとともに、国際的な支援ネットワークを発展させるために各教材についてオンラインでの議論も行っています。‘Earthlearningidea’ はほとんど資金提供を受けていませんが、自発的な努力によって大きな成果を上げています。

この活動に含まれる著作物の著作権は、教室や実験室での授業に使用する場合に限り、放棄されており、一緒に掲載されている他の発行者からの著作物についても同様です。この著作物の利用を希望する場合は、いかなる組織の方も、the Earthlearningidea team に連絡をお願いします。

この活動に含まれる著作物の著作権者には許可を得よう努めていますが、万が一、著作権を侵害している可能性がある場合は改訂などを行いますので、我々に連絡をおねがいします。どのような情報でも構いませんので、お気づきの点がありましたら情報をお寄せください。

また、これらの文書に関して不明な点などございましたら、the Earthlearningidea teamにご連絡ください。