

泥玉から地球の内部構造へ (ELI+)

地球の内部構造を調べるために使われる物理学に関する議論

泥玉を使って重要な質問をする

各班に同じ大きさの泥玉2個ずつを用意し、一方の中心部にボールベアリングの玉を入れる。これについて一連の質問をする。

1. 2つの泥玉 - 何が違うか?

班に泥玉を2個渡し、ボールを壊さずに、感覚を使って両者の違いを見つけるよう指示する。ほとんどの生徒は片方が重いことにすぐに気づく。

2. 違いをどう説明するか?

一方のボールがもう一方より重いことを確かめる。次に、この理由を尋ね、少なくとも3つの異なる考えを示すように指示する。

生徒が考える仮説:

- 一方の中心部に重いものがある (例. 金属片)
- 一方の中心部に軽いものがある (例. 穴やポリスチレンのかげら)
- 一方はもう一方より重い粘土でできている

上記以外の生徒が提案しそうな仮説:

- 一方のボールが (gobstopper という球体の飴のように成層し) 中心に向かって徐々に重くなる
- 一方のボールが中心に向かって軽くなる



3. どの仮説が正しいかをどのように確かめるか?

考えた仮説のどれが正しいかを確認するため、**泥玉を壊さずに**、調べる方法を考えるよう指示する。生徒は学校や町にある道具を使うことができる。

通常思いつく方法:

- ボールを何かで突き刺す
- ボールから粘土を少量取り出して量る
- 磁石 (や磁気センサー)
- 超音波 (出生前の赤ちゃんの検査に使われる)
- 電磁共鳴 (多くの病院にこの機械 - MRI が設置されており、金属探知機にも用いられる)
- X線
- 放射線 (正確には電離放射線 - アルファ線、ベータ線やガンマ線)

この他にも、ボールを転がしたり回転させたりして違いを確認しようと提案する可能性がある。

誤った方法として、ボールが浮くか沈むか、あるいはボールの質量を量るという提案も予想されるが、これらは一方はもう一方よりも重いという既知の事実を確かめるだけにすぎない。

思いついた方法の結果

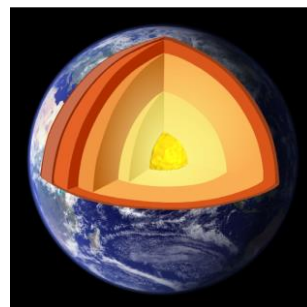
- ボールを何かで突き刺す - マッチ棒を刺してみると、一方は貫通し、もう一方はボールベアリングの玉にあたって止まる
- ボールから粘土を少量取り出して量る - 粘土の密度は変わらない
- 磁石 (磁気センサー)、超音波、電磁共鳴とX線 - すべてにおいて、ボールベアリングの玉が検出される
- 放射線 - アルファ線とベータ線は粘土を貫通しないが、ボールベアリングの玉はガンマ線で検出される
- ボールベアリングの玉が入ったボールを転がしても回転させても、通常は検知されない

4. これらの方法のうちどれが地球の核を見つけるのに利用できるか?

地球の核の探査に用いることができる方法を班で話し合うよう指示する。答えは以下の通り。

- ボールを何かで突き刺す - 地球の最深の掘削記録は12kmで、核の外縁は地表から約3000kmも下にあるので、これは不可能である
- ボールから粘土を少量取り出して量る - 地球の重さを量ることは可能で、相対密度は約5.5、一方、地殻の岩石の相対密度は約3だとわかっており、地球内部に高密度のものがあることが示唆される
- 磁石 (磁気センサー) - これらは地球磁場を検知するので、地球内部にその原因となるものがなければならぬ
- 超音波 - 地球を貫通するには周波数が高すぎるが、(インfrasoundとよばれる) 低周波の音や地震波では地球内部を調べることができ、核の位置や特徴について最良の証拠が得られる
- 磁気共鳴とX線 - 地球を伝えることができない
- 電離放射線 - ガンマ線でさえ厚さ数メートルのコンクリートを貫通するのがやっとなので、地球を貫通することはできない
- 地球の回転の仕方 (回転の慣性) - これは地球が密度の高い核を持っていることを示唆する

結果の要約 - 核に関する一番の証拠は地震波によるものだが、密度の測定や慣性、磁気もその役割を担う



地球の核 - 黄色の部分

指導の要領

題名：泥玉から地球の内部構造へ

副題：地球の内部構造を調べるために使われる物理学に関する議論

概要：質問を通して班内で議論を行い、思考力を高めるとともに、地球の内部構造や物理的な方法の利用に関する理解を深める

対象年齢：14 - 18 歳

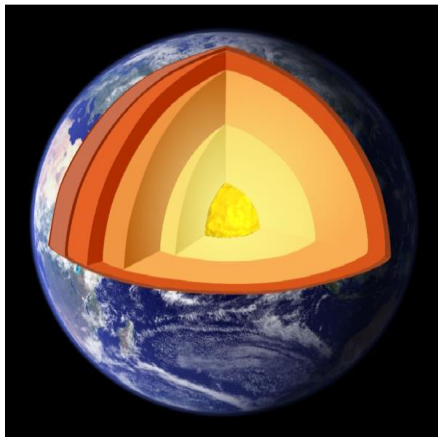
活動時間：20 分

学習効果：

- 議論を通して仮説を発展させることができる
- 仮説を検証する方法を示すことができる
- 地球探査に利用される物理学の方法を示すことができる
- 地球の核が存在する証拠を示唆するために用いる方法を説明することができる

活動内容と関連事項：

核が描かれた図を示すか、図を写させるかして、地球に核があることを簡単に単純な方法で教えることができる。または、上述の質問を通して、地球に核がある証拠への生徒の理解を深めることもできる。



核を黄色で示した地球の断面図

この画像の著作権者である Charles C は、the Creative Commons Attribution-ShareAlike 3.0 license のもとで画像を公開する

泥玉について議論するほうが、生徒に図を描かせるよりも時間がかかるだろうが、多くの物理学の知見が得られ、思考力が発達し、核に関する証拠をより深く理解することができる。

発展的な活動：

地球の核の密度の推定方法と同じやり方で、ボールベアリングの玉の密度を求める。

- ボールベアリングの玉が入っていないほうのボールの重さを量る
- 半径を測り、次の式からこのボールの体積を求める

$$\text{球の体積} = \frac{4}{3} \pi r^3$$

- ボールの密度を計算し、次の式から粘土の密度を求める

$$\text{密度} = \text{質量} \div \text{体積}$$

- ボールベアリングの玉入りのボールの重さを量る
- 2つのボールの重さを差し引いて、ボールベアリングの玉の重さを求める
- ボールベアリングの玉入りのボールにマッチ棒を指し、ボールの半径からその値を差し引いて、ボールベアリングの玉の半径を求める
- ボールベアリングの玉の体積を計算する
- 2つのボール重さを差し引いた値をその体積で割って、ボールベアリングの玉の密度を求める
- この値を粘土の密度にたす

これらの原理は、地球内部の各層の密度を計算するのに用いられてきた。これらの計算から、核の相対密度は、外核外縁部の約 9.9 から中心部の約 13 の範囲にあると推定される。一方、地殻は相対密度が約 3 なので、地球全体の相対密度は約 5.5 である。

この活動に関する原理・原則：

- これは密度、慣性、磁気、電磁気、音（超音波と地震波）および放射線（X線と電離放射線）を含む物理的な方法と特徴の理解を確実なものにする
- 核の位置と特徴の最適な証拠を得るには地震波を用いるが、密度の測定、慣性や磁気からも有益な情報が得られる

思考力の発達：

建設的に思考を行って仮説を発展させる。班での話し合いでは、理由を説明する必要があり、認知の矛盾が生じるとともに客観的な把握が促される。泥玉から地球への移行には関連付けて考える必要がある。

準備するもの：

- 各班に粘土（または工作用粘土）のボール2個 - ボールの直径は2～3cmで、一つには真ん中に直径の半分ほどのボールベアリングの玉（またはその他の金属）を入れる、活動後に区別しやすいように、ボールベアリングの玉を入れたボールの粘土の色を別の色にする
- 使用済みのマッチ棒1本（または楊枝か針）
- 強力磁石
- 任意で、発展活動用のはかりと定規（または正確に測るためにはカリパスが好ましい）

参考になるサイト：

米国地質調査所発行の地球とプレートテクトニクスに関する冊子「*This dynamic Earth: the story of plate tectonics*」で、以下からダウンロードが可能。
<http://pubs.usgs.gov/gip/dynamic/dynamic.html>

原典 : King, C. (2002) の The secrets of Plasticine balls and the structure of the Earth: investigation through discussion (*Physics Education*, 37 (6), 485 – 491) および、King, C. & York, P. (1996) の Investigating the science of the Earth, SoE2:

geological changes – Earth's structure and plate tectonics (*Sheffield: Earth Science Teachers' Association*) 中の John Reynolds と Maggie Williams の アイデアに基づく

© 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。

The Earthlearningidea team の連絡先 : info@earthlearningidea.com