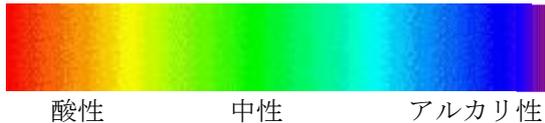


地下水の化学 pHを使って、気圏、水圏、生物圏、岩石圏をつなぐ

流れる‘地下水’に関する活動

この活動は野外で行うのが最適だが、教室でも実施できる。また、以下の質問と回答を通して生徒が議論を行うと最も効果的である。

まず初めに、生徒に pH について、および指示薬を使った pH の測定法について説明をする。色見本では、強酸は赤色、弱酸はオレンジ色～黄色、中性は緑、弱アルカリ性は緑がかった青、強いアルカリ性は紫色を示す。



水道水（雨水）

1. ボトルに入れた水道水（または採集した雨水）、コップ、指示薬を用意する。また、ストローと未開封の湧水（天然水）も用意しておく
2. コップに水道水を注ぐ。指示薬を加えると何色になるかを生徒に尋ねる - ほとんどの生徒は酸性でもアルカリ性でもなく、中性の緑色と予想するだろう
3. 指示薬を加えると通常は緑または少し青みがかかった緑色となり、中性かわずかにアルカリ性を示す
4. 地面に水をたらすとどうなるかを生徒に尋ねる - ほとんどの生徒は土壌にしみこむと答えるだろう

土壌水

5. 地面に水をたらし、土壌にしみこむ様子を観察する。土壌では水がどうなるかを生徒に質問する。その際、土壌は腐敗した植物を含むので酸を生成すること、土壌生物の呼吸によって二酸化炭素が放出されることを生徒に思い出させること - 生徒は水が酸性になると予想するだろう
6. 動物の呼気に含まれる二酸化炭素が水に溶け込んでいることを演示する方法を生徒に尋ねる - ストローを使って水に息を吹き込んで、指示薬を黄色にすると提案する生徒がいるかもしれない



7. コップに水と指示薬を入れ、ストローを取り出し、誰かに少しの間（例えば 30 秒）、水に息を吹き込むように指示する - 指示薬は通常黄色（時折オレンジ色）に代わり、弱酸性になったことがわかる
8. 土壌の酸性の水はどのようなようになるかを尋ねる - 土壌にとどまったり、植物の蒸散や土壌表面からの蒸発によって失われたり、地下水として岩石中にしみこんだりする

地下水

9. 酸性の水は岩石にどのような影響を及ぼすかと質問する - ほとんどの生徒は化学反応が起こり、水は中性に戻ると答えるだろう
10. 時間の経過とともに、この水がどうなるかと尋ねる。その際、水は岩石の隙間を伝って流れ、下の方へも流れるというヒントを与えても良い - 水は斜めに流れると答える生徒がいるだろう
11. この水は地面から出てくるかを質問する - 生徒は地下水が湧水として湧き出すと答えるだろう

湧水（天然水）

- すべての議論をもとに、湧水では指示薬が何色になるかを予想するよう指示する - ほとんどの生徒は中性の緑色になると予想するだろう
- 湧水が入ったボトルを取り出し、蓋を開けてコップに注いで、指示薬で試験する。通常は、中性の緑色か、わずかにアルカリ性の青みがかかった緑色になるだろう

地球の各圏との関係

- この議論は地球のどの部分、気圏、水圏、生物圏あるいは岩石圏に関するものかを尋ねる - 多くの生徒は、大気圏（雨水や水道水）、水圏（土壌水、地下水、湧水）、岩石圏（土壌や岩石）および生物圏（土壌中の動植物）の全てに関係すると気づくだろう

水道水の写真は Benutzer と Alex Anlicker が撮影。この画像は、the GNU Free Documentation License のもとで、複製、配布や修正が許可されている。

土壌の画像は米国の Department of Agriculture employee により作成された。米国連邦政府の著作物で、この画像はパブリックドメインである。

San Pellegrino mineral water のボトルの写真は Andrew Rendle が撮影。この画像は、the Creative Commons Attribution ShareAlike 2.5 Licence の条件下にある。

指導の要領：

題名：地下水の化学

副題：pH を使って、気圏、水圏、生物圏、岩石圏をつなぐ

概要：地下の水循環における pH の変化を演示して議論する

対象年齢：10-18 歳

活動時間：15 分

学習効果：

- 指示薬の色が溶液の pH をどのように示すかを記述することができる
- 地下の水循環における pH の変化を記述し、説明することができる

活動内容と関連事項：水の pH の変化をもとに、地下で水が循環するときに、どのように流れ、岩石や土壌とどのように相互作用するかを議論し、気圏、水圏、生物圏と地圏の統合について考える

発展的な活動：

- 地下水での議論の時に、酸性の水が岩石にどのような影響を与えるかを、黄色の弱酸性の水にチョークの粉（小さな指の爪の大きさ程度）を入れて確認する。水を混ぜるとすぐに、くもった緑色になる。くもったのはチョークの影響で、緑色になったのは、酸とチョークが反応して中性の溶液になったためである
- 沿岸の地域では、海水についても活動を行う
 - 酸性の土壌水は海に流れ出たらどのようなになるか？ - 生徒はたぶん中性になると答えるだろう
 - これは、酸性の‘土壌水’に塩 (NaCl) を加えても再現できるか？ - 生徒は‘はい’と答えるだろう
 - 黄色い水に塩を加えると、しばしば、ほんの一瞬緑色に変わって再び黄色に戻る。これは塩水が中性の水溶液で、塩は pH に影響を及ぼさないからである
 - 海水を指示薬で試験するとどのようなになるか？ - 生徒は上記を見た後なので、おそらく黄色になると答えるだろう
 - 海水に指示薬を加えると、通常は緑色～わずかにアルカリ性を示す青みがかった緑色になるだろう。酸性の土壌水が海に流れ出ると、塩化ナトリウム (NaCl) に加えて、溶解している多くの物質が可逆反応を起こすことを説明する。これらの反応は、土壌水の酸性度を調整して吸収し、海水が酸性になることはない。これと同じように、海洋は人間活動によって大気中に放出された二酸化炭素を吸収し、温室効果ガスの二酸化炭素を減らす

- 海に流れ出た酸性の土壌水の影響をどのように再現するか？ 生徒は指示薬を加えた海水にストローで息を吹き込み、どのくらい素早く海水の pH が変化するかを示してはどうかと提案するだろう
- ストローを使い、指示薬を加えた海水に息を吹き込む。淡水と比べると、二酸化炭素を‘最大限’まで吸収する可逆反応のために、海水の pH の変化にはより時間がかかることがわかる。海水中での可逆反応によるこの‘緩衝’作用は、我々の惑星がよい環境であるには必要不可欠である。海洋が二酸化炭素を最大限に取り込んで酸性になったら、地球の環境は非常に厳しいものになるだろう
- 海水についてのこの議論は、地球システムのどの部分に関するものか？ 全て（気圏（大気中の二酸化炭素）、水圏（土壌水、海水）、地圏（土壌からの水）と生物圏（人間活動による二酸化炭素））に関係する
- 店で売られている天然水のボトルのラベルを見て、どのような化学物質が含まれているか話し合うように指示する
- Earthlearningidea のウェブサイトにある活動「雨から泉へ：地下水の流れ」を行う http://www.earthlearningidea.com/English/Resources_and_Environment

この活動に関する原理・原則：

- 溶液の pH は指示薬を使って調べることができる
- 土壌や岩石中を流れると、地下水の pH は生物の作用（呼吸や分解など）や化学的な作用（岩石や土壌との反応）によって変化する
- 海水の pH は可逆反応が幅広く起こって緩衝されるので、二酸化炭素がたくさん溶け込んでも酸性にはならない

思考力の発達：

生徒は、地下の岩石サイクルの各段階で、水の pH がどのように変化するかを理解する。海水の例でよく起こるように、予想したことが外れると**認知の矛盾**が起こる。注意深く議論をすることで、生徒は**客観的に把握**できるようになる。議論した内容と、湧水を試験した時のような‘**実際の世界**’とを**結び付けて考える**ようになる

準備するもの：

- 水道水（蛇口からまたはボトル入りのもの）
または雨水
- 指示薬（健康と安全に関する情報：目を保護するものを着用、可燃性、飲み込んではいけない）
- 目の保護具
- コップやワイングラス
- ストロー
- 天然水のボトル
- 任意で、発展的な活動 1 用のチョークの粉（小さい指の爪の大きさ程度）
- 任意で、発展的な活動 2 用の海水とティースプーン一杯の塩（NaCl）

参考になるサイト：

対話式の水に関するゲーム：

<http://www.scottishwater.co.uk/education/html/aboutWater/aboutWater7.html>

原典：Chris King の論文 'The watery world of underground chemistry' in King, C. (2009) および 'Bring and Share' ideas from the post-16 day at the ESTA Conference, Liverpool, 2008. *Teaching Earth Sciences*, 34.1, 43-56 がもとになっている

©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

