

地学領域のミスコンセプションリストとその特徴 －地球システムやSDGsとの関連とその意味－

The List of Earth Science Misconceptions and its Features

多賀 優 (龍谷大学農学部)
荒川 忠彦 (龍谷大学非常勤講師)
滋野 哲秀 (龍谷大学文学部)

【Abstract】

Earth science is divided into four fields, “Geology/Rock/Mineral,” “Astronomical,” “Meteorological,” and “Geophysical.” We made a list of misconceptions and examined them. The characteristics of each of the four fields of misconception were observed. For example, there are misconceptions in the formation process of geological phenomena, and misconceptions occur due to an insufficient basic understanding of physics and chemistry. These scientific concepts in the geological domain are about the understanding of the nature that surrounds people, but since these concepts make up the Earth system, correct scientific concepts in the geological domain enable a correct understanding of this Earth system, while misconceptions hinder it. Since the sustainable development goals (SDGs) are closely related to the Earth system, eliminating misconceptions would deepen the understanding of the Earth system and contribute to developing human resources to promote the SDGs.

【Keywords】 Misconception, Earth science, Naive concept, Scientific concept, SDGs, Earth system

I 問題の所在

児童・生徒は、育ってくる環境の中で獲得した様々な科学についてのミスコンセプション（誤概念）を持っている。Glynn et al. (1991) は児童・生徒が保持する理論やモデルは外部の世界について多くのミスコンセプションを含んでおり、理科の授業で学んだ事実を覚えたり再生したりはできるが、彼らの個人で獲得した理論やモデルは適用され続け、大人になってもミスコンセプションを容易に捨て去ることができないと指摘している。この概念は、日常経験から自分なりに形成されたもので、科学に関する素朴概念というミスコンセプションである。この素朴概念は簡単には修正することができないため、学校の理科の授業でも正しい科学的概念に修正されることなしに大人になっても保持し続けてしまう

ことが多い。一方, Barke et al. (2009) は学校の授業で新たにミスコンセプション (school-made misconception) ができることを指摘している。本来, 学校の授業では, 正しい概念を獲得させることが必要であるにもかかわらず, ミスコンセプションが形成されてしまうことは問題があるといえよう。理科の授業でも様々なミスコンセプションが形成されてしまう。多賀 (2019) は, 理科の授業でできるミスコンセプションを, (1) 教科書等の書籍や提示資料の記載によるもの, (2) 教師の指導法によるもの, (3) 教師自身の持つミスコンセプションによるもの, (4) 授業における生徒間で起こるミスコンセプションによるもの, (5) 上記の (1)~(4) のいずれかの複合型, の5つに分類されるとしている。これらのミスコンセプションは理科に限らず, 他の教科でも同様に形成される。

科学におけるミスコンセプションについては, 物理領域 (例えば McCloskey et al., 1983; Clement, 1982) や化学領域 (例えば Barke et al., 2009) においてよく調べられており, 生物領域においても研究例が見られる。しかしながら, 地学領域におけるミスコンセプションについては研究例が多くはない。地学領域のミスコンセプションの事例が明らかになっていると, 教える側もそれを参考にして生徒のミスコンセプションを修正したり, 新たなミスコンセプションを獲得しないようにしたりする準備と工夫ができる。そこで, 本論文では地学領域に絞って, 著者らが行ったアンケート調査から拾い上げたミスコンセプションや著者らの講義における学生のミスコンセプション, さらに日本における先行研究から拾い出したミスコンセプションをリストアップしてまとめ, その特徴について検証したので報告する。

Ⅱ ミスコンセプションの定義と本論の目的

本論文におけるミスコンセプションの定義としては, 「科学的事実や理論と矛盾する概念や信念」であり, これには素朴概念 (個人の日常経験からできた自分なりに一貫しているミスコンセプション) (例えば Clement, 1982) に加えて, school-made misconception (学校の授業でできたミスコンセプション) (Barke et al., 2009) に分類される概念を含むとする。従って, 学校で形成される様々な成因のミスコンセプションをも幅広く網羅する。ただし, 正しく計画され実施された学校の授業で, 自分が誤って理解してできたミスコンセプションは該当しない。この定義の基に児童・生徒のみならず学生や大人も含めた地学領域のミスコンセプションをとりあげることとする。

また, 本論文の目的は, 地学領域におけるミスコンセプションをリストとしてまとめ, その特徴を明らかにすること, また, 地球システムや SDGs の理解との関連について考

察を行うことである。

Ⅲ 地学領域のミスコンセプションのリスト

ここでは「A. 地質・岩石・鉱物分野」, 「B. 天体分野」, 「C. 気象分野」, 「D. 地球物理分野」に分けて, 著者3人によるアンケート調査や文献からのミスコンセプションをとりあげ, リスト化し本稿の最後に示した(資料1)。リスト化で用いた文献は主に日本地学教育学会で公表されたものを中心に用い, 特徴的と思われるミスコンセプションを記載した。そのため日本に限られており, 地学領域の全てのミスコンセプションを網羅している訳ではない。また, 著者の関心や意図により, 選んだミスコンセプションの種類に偏りがある可能性もある。資料1において school-made misconception (Barke et al., 2009) に分類されるものには, 番号に「*」を付した。また, 以下の本文中では資料1の各項目を, 「領域のアルファベット」と「項目の番号」で示した。次に4つの分野の特徴について検討する。

1 「A. 地質・岩石・鉱物分野」のミスコンセプションの特徴

「地質・岩石・鉱物分野」では, 地質等の形成過程におけるミスコンセプションが多く見られる(「地質・岩石・鉱物分野」におけるこのタイプの割合: 50%) ことが特徴である。例えば, A4の土石流の形成, A7の地層の形成, A8の円礫の形成やその変化過程, A9, A10の砂の形成, A14の化石の形成, A16のV字谷の形成が該当する。A8の「川のレキ(石)は上流では角張った大きな石が, 中流, 下流となるにつれて丸くなる。」は実際には数キロで石は丸くなる(古田, 2018)。またA9, A10の砂の形成では, 「川の石が, 水流によって削られ(侵食され)て砂になる。」や「川で石同士がぶつかり合って砕けて砂になる。」(川村・田口, 2011; 廣木ほか, 2011; 廣木ほか, 2016; 古田, 2018)はミスコンセプションであり, 小学校の理科の授業で形成される(多賀, 2019)。これについては「Ⅳ 考察」で詳述する。

2 「B. 天体分野」のミスコンセプションの特徴

「天体分野」については, 前提として地球を中心に理解をしていくことが多くなるが, 地球と太陽や月等の他の天体との仕組みや相互関係の理解を要する。この分野でのミスコンセプションは, それらの空間認識ができず, また地球の視点と宇宙の視点を移動することができず(例えば, 久保田ほか, 2021)にミスコンセプションにつながるのが主な特徴

である（「天体分野」におけるこのタイプの割合：約79%）。例えばB33では、52.7%の高校生が『地球から太陽まで』と『地球から木星まで』とでは太陽のほうが遠い」という理解をしているが、正しい科学的概念としては「木星の方が遠い」である。これは教科書の図において惑星間の距離を考慮していない空間の天体配置図を見ることによって生じたミスコンセプションといえる（滋野，2020）。また，B12, B13は月の満ち欠けについて，地球の視点と宇宙の視点の入れ替えができないために生じたミスコンセプションといえる（宮脇・吉村，2009）。さらに，自然体験が不足しているために起こる場合もある。例えば，B1の月の出の時刻（滋野，2020）やB3の特定の季節に見える星座（滋野，2021）がそれに該当する。月や星座を見る自然体験の機会が多ければ，月の出の時刻が遅くなったり，冬にも夏の星座が見えたりすることに気付くであろう。

3 「C. 気象分野」のミスコンセプションの特徴

「気象分野」でのミスコンセプションは，化学・物理領域の基本的な理解・概念を欠くために自己の保持するミスコンセプション（時に素朴概念）を検証・修正できずに保持し続けているのが特徴である（「気象分野」におけるこのタイプの割合：約58%）。例えばC1の雲は水蒸気（気体），C4の湿った空気と乾いた空気の重さ，C6の窓ガラスの結露，C7, C8の雲と雨が該当する。C1では，「雲は気体（水蒸気）である」という理解をしているが，正しい科学的概念は「雲は気体の水蒸気ではなく，液体の水滴（液体の雲粒や固体の氷の粒）である」で（京都地学教育研究会，2019；多賀，未公表），化学領域の理解が必要である。また，C4では「乾いた空気と湿った空気では，湿った空気の方が重い」という理解をしているが，これは素朴概念で，正しい科学的概念は「乾いた空気が重い」である（滋野，2020）。同温，同圧，同体積中には同数の分子が存在するので，湿った空気は N_2 （分子量28）や O_2 （分子量32）のいくつかが軽い水分子（分子量18）に代わるために軽くなる。これも同様に化学領域の理解がいる。また，教科書の記載内容から起こるミスコンセプションもある。例えば，C3は「積乱雲は前線付近のみで発生する」という理解をしているが，正しい科学的概念は「大気の状態が不安定となれば至る所で積乱雲が発生する」で，教科書の図からミスコンセプションを保持している（滋野，2020）。

4 「D. 地球物理分野」のミスコンセプションの特徴

「地球物理分野」でのミスコンセプションは，物理領域，とくに地球に関する物理の基本的な概念を欠くため，自己の保持するミスコンセプション（時に素朴概念）を検証でき

ずに保持し続けているのが特徴である（「地球物理分野」におけるこのタイプの割合：約74%）。例えば、D1～D5の地磁気・偏角・磁極、D6、D7の重力、D13～D17の地震・震度・マグニチュード、D18の地球の形、D19の自然放射線が該当する。D1～D4の地磁気・偏角・磁極では、「磁石は真北を指す」や「北にN極がある」などの理解をしているが、正しい科学的概念としては「偏角の角度だけ真北からずれた方向を指す」や「北にS極がある」になる（荒川、未公表）。これは磁石の磁力線の性質の理解だけでなく、地球と仮想的な磁石の磁力線との関連が理解できていないことによるミスコンセプションである。

IV 考 察 – 地学領域のミスコンセプションから見えてくるもの –

1 地学領域のミスコンセプションの特徴と意味すること

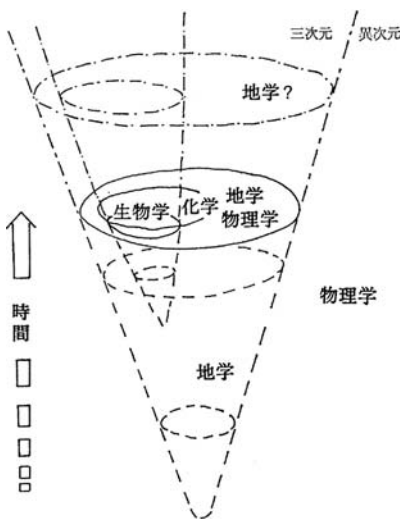


図1 地学領域の特徴（松川・林，1994）

地学とはどのような領域なのであろうか。学校教育での地学という教科は1947年に世界に先駆けて日本でできたが、松川・林（1994）は地学領域の位置づけについて、（1）自然界諸要素の存在形式や単位を識別し、その相互関係や秩序を認識する、（2）自然物を物理学・化学・生物学などの現在科学の手段により、また地学の独自の手段により観察・解析し、成因などを論理的に考察する、（3）自然界全体の長期にわたる変遷を直接の記録に基づき、理学的かつ歴史科学的に総合的に認識する、としている。また、図1のように自然科学の各分野の位置づけを示している。この図から

物理・化学・生物と関連しながら自然の仕組みを総合的に捉え、過去から現在への時間軸において自然の変化の過程を扱うのが地学領域であることがわかる。地学領域のミスコンセプションは、この地学領域の理解に必要な科学的概念に関するものであるため、図1に示すように、物理・化学・生物の領域と関連があると思われる（本論文のリストにおける生物領域に関するものとしては、A16の化石に関するミスコンセプションだけであった）。

今回、地学領域を「A. 地質・岩石・鉱物分野」、「B. 天体分野」、「C. 気象分野」、「D. 地球物理分野」に分類してミスコンセプションを検討すると、概括的であるがそれ

ぞれの分野で特徴があることがわかった。すなわち「地質・岩石・鉱物分野」は「形成過程の誤解」によるミスコンセプション、「天体分野」は「空間認識や地球の視点と宇宙の視点の入れ替えの欠落」によるミスコンセプション、「気象分野」は「化学・物理領域の基本的な理解の欠落」によるミスコンセプション、「地球物理分野」は「物理領域と地球との関連の理解の欠落」によるミスコンセプションが多く見られる。これらはそれぞれの分野の特徴の違いを反映しており、各分野の理解に必要とされる科学的概念の性質に違いがあるためであると考えられる。とくに「気象分野」や「地球物理分野」のミスコンセプションは物理や化学領域と関連が深かった。一方、「地質・岩石・鉱物分野」のミスコンセプションは地学事象の形成過程についてのものが多いのが特徴的であった。この形成過程は松川・林(1994)のいう自然界諸要素の相互関係を示している。このように、同じ地学領域のミスコンセプションでも分野によって特徴が異なるのは、地学領域が長い時間、広い空間を対象とし、長い時間軸を持ち、扱う事象が多岐にわたる総合的な学問であることが理由であろう。

正しい科学的概念は児童・生徒の発達段階に応じて獲得されていくので、学校の理科の授業ではそれに応じた学習を進める。今回のミスコンセプションのリスト(資料1)では、その概念が獲得される年齢については調査していない。例えば、D18の地球の形は厳密には地球楕円体であるが、これは高等学校地学の学習内容であり学習するまでは「地球は完全な球体である」という理解が一般的であろう。しかし、Vosniadou & Brewer(1992)はアメリカの小学校1,3,5年生に地球の形の概念について調査を行い、地球の形が球形である以外に、円盤の形の平面、四角の平面、球形と平面が二重にある等の概念があることを指摘している。中島(2000)によると、これは日常の経験から自分なりの一貫した世界観を造りあげているためで、素朴概念といえよう。地球の形の概念についても、発達段階に応じて変化し、大人になると正しい科学的概念へと解釈の枠組みを変更し、この枠組みに基づいて日常経験を解釈し直す(中島, 2000)ということからも、概念は発達段階に応じて変化していき正しい科学的概念に行き着くことがわかる。「地球は完全な球体である」がミスコンセプションであるかどうかは議論の余地のあるところであるが、中学校までは地球楕円体を教える必要はないであろう。このように、学校の理科の授業でも発達段階に応じてミスコンセプションを経ていくこともあるが、最終的に学校の理科の授業でいかに正しい科学的概念に到達させていくのが常に問われている。

2 地学領域のミスコンセプションと地球システム

地球システムとは、地球を構成するいくつかの要素がいかに成立してきたのかや要素間

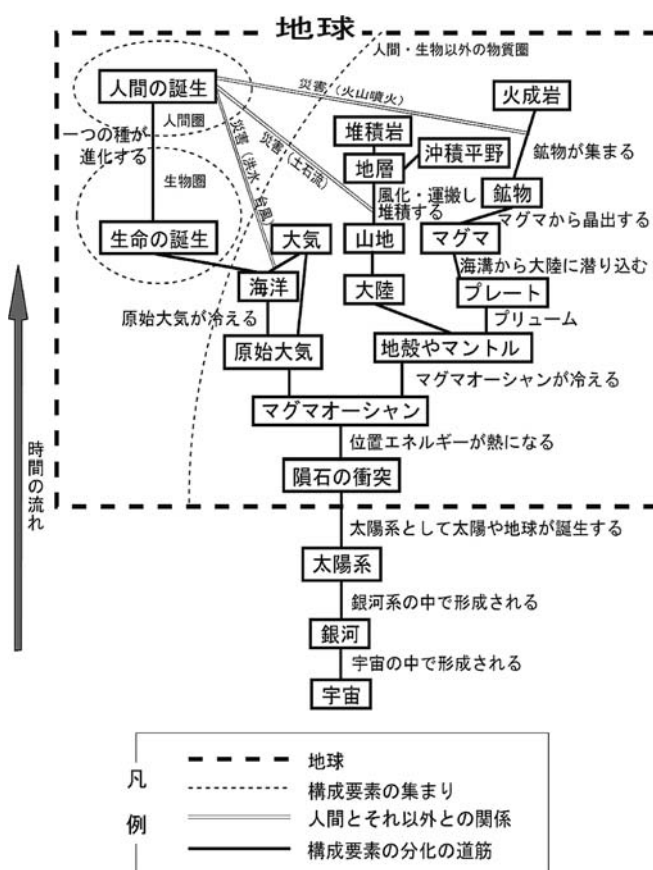


図2 コンセプトマップによる地球システムの概念 (多賀, 2008, 一部改変)

相互のエネルギーのやりとりなどから、システムとして地球を理解するものである (鳥海ほか, 1996)。例えば、気象については、海洋・大気・生物圏・人間圏等の性質の異なる部分 (サブシステム) が相互作用することで、気象のシステム全体を支配する。地学領域の科学的概念は、この地球システムの理解に密接に関連している。図2は、地学領域の事象を中心に、地球システムをコンセプトマップで描いたものである (多賀, 2008)。コンセプトマップ (Novak & Gowin, 1984) は概念地図法とも呼ばれ、構成要素を言葉 (概念) で示し、人の理解を言葉の結びつきで表現できる。図2は、地質・岩石・鉱物の視点で時間経過に伴う地球システムの構成要素の相互関係と分化の概念を表現したものである。

今回の地学領域のミスコンセプションリスト「地質・岩石・鉱物分野」のA9, A10の「川の石が、水流によって削られ (侵食され) て砂になる。」や「川で石同士がぶつかり合って砕けて砂になる。」というミスコンセプションの正しい科学的概念は、「岩石の風化作用により砂が形成され、この岩石露頭の風化部もしくは土壌中の砂が小さいと流されやす

いので川の流れて下流まで運搬される。」であり（川村・田口, 2011; 廣木ほか, 2011; 廣木ほか, 2016; 古田, 2018), 岩石の風化が砂の形成に大きな役割を果たす。この砂が運搬され堆積すると砂の地層となる。これらは小学校5年生「流れる水の学習」でできるミスコンセプション (school-made misconception) である (廣木ほか, 2011)。

上記のミスコンセプションの一つをコンセプトマップで示すと図3のようになる。これは図2の「山地」-「地層」(山地の岩石が風化し砂ができて浸食・運搬され、堆積して砂の地層を形成する。正しい科学的概念を意味する。)の部分に該当するが、実は大学生の多くも図3のミスコンセプションを持っている。廣木ほか(2016)は中学生に花崗岩が風化したマサの観察により、岩石の風化から砂の形成を理解させ、ミスコンセプションを払拭できることを明らかにしている。これは地球システムの構成要素におけるミスコンセプションを正しく転換させ、地球システムの理解につなげる実践授業の好例であろう。これは一つの例であるが、地球システムの構成要素や構成要素の相互の関係、形成過程が正しく理解できていないという事実は、地球システムを正しく理解できていないことにつながると思われる。地学領域のミスコンセプションが形成されず、あるいはこれを正しい科学的概念に転換させる授業ができれば、より本来の地球システムを理解させることにつながるであろう。

地球惑星システム科学という学問領域があるが、これは地球システムに焦点をあて、地球や他の惑星を含む巨大システムについて解明しようとするものである。地球システムをさらに宇宙まで拡張した大きなシステムである。今回「天文分野」では、「空間認識や地球の視点と宇宙の視点の入れ替え」が欠けることによるミスコンセプションが見られたが、これは地球と地球以外の天体の相互関係の十分な理解に困難を伴うことを示す。急速に人類の宇宙への進出が進んでいる現在、児童・生徒に地球システムだけでなく、それを取り巻く宇宙や天体を全体として巨大システムとして捉えさせることは益々重要になってくると思われる。この意味で、今後学校の理科の授業でも「天文分野」のミスコンセプションを形成させず、地球システムと関連させる中で正しい科学的概念を獲得させていくことが一層重要になるであろう。

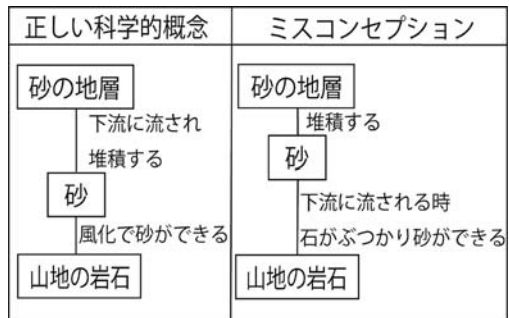


図3 砂の形成のコンセプトマップ
図2中の「山地」-「地層」での詳しい理解を示している。ここでは下から上に形成過程が進む。

3 地学領域のミスコンセプションと SDGs

産業革命以降、人間の活動によって温室効果ガスが増加し、地球温暖化の問題が人類に喫緊の課題として突きつけられている。これは地球システムにおける「大気」の気象領域と、「人間圏」の人間が重大な影響を及ぼし合っている関係の中で生じている（図2）。この状況に向けて SDGs（Sustainable Development Goals）が示されている。ここでの17の行動目標は自然環境に関わるものが多く、教育の取組み（ESD：Education for Sustainable Development）も重要性を増している。この SDGs や ESD と密接に関連しているという点で、地球システムの理解が一層重要になっている。加藤・加藤（2021）は気候変動や地学リテラシーを持つ人材を育成する視点から、教員養成のための SDGs の授業プログラムを提案している。その中で気候変動が狭義の気象・気候系の内部過程のみならず、比較的長い時間を要する地質学的現象も含めた様々な時空間スケールで発生する現象の相互作用の結果として生じることを認識する必要があるとしている。これにはまさしく地球システムの認識の重要性が含まれており、SDGs を理解するためには地球システムを理解することが必要であり、地球と人間との関係性を理解する必要があることを示唆している。また、地球システムの個々の構成要素の科学的概念や地球システムのサブシステム（大気圏、水圏、生物圏、人間圏、岩石圏等のこと）同士の関連性を理解することは、地球システムをより深く理解することにつながる。地学領域のミスコンセプションはこれらの理解を阻害するので、結果として誤った地球システムの理解につながってしまう。これは地学領域のミスコンセプションの特徴でもあるが、このミスコンセプションをなくすことで、結果的には SDGs の理解を推し進めることにつながるともいえる。学校教育で地学領域のミスコンセプションをなくすことは、地球をシステムの捉える理解につながり、この基本的理解の上に SDGs を推し進める人材を育てることにもつながるであろう。

V 最後に

本論文では、地学領域のミスコンセプションを細分化してリストを作成し、地学領域内の分野毎に検証した。その結果、同じ地学領域においても分野毎にミスコンセプションの性質が異なることが明らかになった。作成したリストでは、海洋分野のミスコンセプションはリストアップしなかったため検討されていない。今回のリストは全てのミスコンセプションを網羅している訳ではないし、ミスコンセプションとして妥当でないものもあると思われるので、今後は海外の事例も検討するなどを行い、さらに改訂・充実を進めること

が必要である。

また、地学領域の正しい科学的概念は、地球システムさらには SDGs と関連しており、これらの理解を進めていく上で重要である。この意味において、地学領域のミスコンセプションは地球システムさらには SDGs の理解にとって阻害要因になり得る可能性が大きいと思われる。そのため、今後は本論文の地学領域のミスコンセプションのリストも参考にして、発達段階に応じたそれぞれのミスコンセプションをさらに詳細に検討し、児童・生徒にミスコンセプションを形成しない、最終的に正しい科学的概念を獲得させる教授法の開発を行いたい。

【謝辞】

本稿は JSPS 科研費 JP18K02596 および JP21K02616 の助成を受けたものである。

【引用文献】（資料1の引用文献も含む）

- Barke, H. D., Hazari, A., & Yitbarek, S. (2009) *Misconceptions in Chemistry Addressing Perceptions in Chemical Education*. Springer, p.294.
- Clement, J. (1982) Students'preconception in introductory mechanics, *Am. Jour. of Phys.*, 50, pp.66-71.
- 古田靖志 (2018) 「美しい長良川の川原で礫の真実に迫る」『地学教育』第 71 巻 2 号, 45-46 頁。
- Glynn, M. S., Yeany, H. R., & Britton, K. B. (1991) *The Psychology of Learning Science*. Routledge, p.280.
- 日向宏伸・佐藤鋭一 (2017) 「マグマの粘性と火山体の形状に関する教育実践：スライムを用いたかんたん実験とその学習効果」『地学教育』, 第 69 巻 4 号, 185-198 頁。
- 廣木義久 (2017) 「教員養成学部学生の野外実習レポートにおける誤記述とその要因：礫層の堆積環境に関して」『地学教育』, 第 70 巻 2 号, 79-87 頁。
- 廣木義久 (2019) 「小学校の地層形成実験における問題点」『地学教育』第 71 巻 4 号, 117-128 頁。
- 廣木義久・藤井宏明・平田豊誠 (2016) 「中学生に岩石の風化作用による土砂形成を理解させるための土に関する授業－花崗岩の風化物（マサ）を使用して－」『地学教育』第 68 巻 3 号, 119-128 頁。
- 廣木義久・山崎聡・平田豊誠 (2011) 「砂の形成に関する小・中・大学生の理解と風化の学習における問題点」『理科教育学研究』第 52 巻 1 号, 47-56 頁。
- 加藤悠爾・加藤内蔵進 (2021) 「気候変動に関する ESD 教師教育開発へ向けて：様々な時間スケールの地学現象の俯瞰」『Okayama University Earth Science Report』第 27 巻 1 号, 1-17 頁。
- 川村教一・明石和大 (2013) 「中学校理科教員の津波とその学習に関する認識：2010 年および 2011 年の秋田県におけるアンケート調査から」『地学教育』第 66 巻 3 号, 73-86 頁。
- 川村教一・田口瑞穂 (2011) 「児童の河川砂成因認識への野外学習による影響の検討：河床および岩石露頭での学習例をもとに」『秋田大学教育文化学部教育実践研究紀要』第 33 巻, 59-66 頁。
- 久保田善彦・中野博幸・小松祐貴 (2021) 「月の満ち欠けの学習における空間的視点取得の特徴」『理科教育学研究』第 61 巻 3 号, 429-442 頁。
- 京都地学教育研究会 (2019) 「気象分野におけるミスコンセプションを生起させない再現実験教材」『京都地学』第 36 号, 2-6 頁。
- 松川正樹・林 慶一 (1994) 「地学とはどのような科学か？－地学教育の目標を考えるために－」『地

- 学教育』第47巻1号, 3-9頁。
- 松森靖夫 (2005)「我が国における天文教育の危機的状況：季節変化に対する小学校教員志望学生の認識状態とその変容に基づいて」『地学教育』第58巻4号, 113-132頁。
- McCloskey, M., Washburn, A., & Felch, L. (1983) Intuitive Physics: The straight-down belief and its origin. *Jour. of Exp. Psych. : Learning, Memory, and Cognition*, 9, pp.636-649.
- 宮脇亮介・吉村未希 (2009)「月の満ち欠けについての子供の観念－その後の展開」『地学教育』第62巻4号, 115-126頁。
- 中島伸子 (2000)『知識獲得の過程：科学的概念の獲得と教育』風間書房, 204頁。
- 中田聖月・多賀優 (2021)「地学教科書における「カリ長石」に係わる用語の変遷－明治時代の教科書を中心として」『日本理科教育学会全国大会発表論文集』第19号, 212頁。
- Novak, J. D. & Gowin, D. B. (1984) *Learning How to Learn*. Cambridge University Press, P.216. (福岡敏行・弓野憲一監訳 (1992)『子どもが学ぶ新しい学習法－概念地図によるメタ学習－』東洋館出版社, 220頁。)
- 滋野哲秀 (2020)「地学分野におけるミスコンセプション形成のメカニズム－学生の手体・気象分野の苦手意識はどうして生じるのか－」『龍谷紀要』第42巻1号, 69-80頁。
- 滋野哲秀 (2021)「ミスコンセプションからシチズンサイエンスへ－地学分野におけるミスコンセプション研究を生かした授業改善の試み－」『龍谷教職ジャーナル』第8号, 51-62頁。
- 下井倉ともみ・土橋一仁 (2013)「東京学芸大学の教員志望学生を対象とした金環日食観察会とその教育効果」『地学教育』第66巻1号, 1-11頁。
- 下井倉ともみ・土橋一仁 (2017)「理科を専攻としない教員志望学生への「月の満ち欠け」の教育の必要性」『地学教育』第69巻4号, 211-227頁。
- 多賀優 (2008)「アケボノゾウの足跡化石の授業実践での概念変容と地球システム」『地学教育』第61巻2号, 35-47頁。
- 多賀優 (2019)「School-Made Misconception の成因と獲得後の変化－凸レンズの授業で獲得したミスコンセプションの年代別調査から－」『龍谷教職ジャーナル』第6号, 113-125頁。
- 多賀優・久保田善彦・西川純 (2009)「古琵琶湖層群中の土石流堆積物の教材化と生徒の理解の変容：高校での観察授業「角ばったレキと丸いレキ」」『理科教育学研究』第49巻3号, 67-78頁。
- 鳥海光弘・吉田茂生・和田英太郎・松井孝典・田近英一・住明正・大河内直彦 (1996)『岩波講座 地球惑星科学2 地球システム科学』岩波書店, 220頁。
- Vosniadou, S., & Brewer, W. F. (1992) Mental models of the earth: A study of conceptual change in childhood. *Cognitive Psychology*, 24, pp.535-583.
- 柳本高秀 (2015)「天文分野における日周運動と年周運動に関する一考察」『研究紀要 北海道立教育研究所附属理科教育センター』第27号, 50-53頁。
- 吉本直弘・松尾亮太郎 (2017)「雨滴の大きさの違いを捉える雨音の簡易観察装置の開発」『地学教育』第70巻1号, 1-13頁。

資料1 地学領域のミスコンセプションと正しい科学的概念

(番号右上の「*」は school-made misconception に分類されるもの)

A. 地質・岩石・鉱物			
	ミスコンセプション	文献	「正しい科学的概念」あるいは【理由・説明】
1	地層は固結した岩石である。	荒川, 未公表; 多賀, 未公表	【地層は固結したものでないといけないと思っているが, 未固結の(柔らかい)地層もある。】
2	地層は硬い。	多賀, 未公表	「未固結の地層は柔らかい。」
3	堆積岩は柔らかい。	多賀, 未公表	「堆積岩は固結しているので硬い。」
4	土石流は丸い石や砂や泥が水と混ざってできる。	多賀ほか, 2009	「土石流は, 角礫が砂や泥と水が混ざってできる(密度流である)。」
5	マグマ溜まりのマグマ(深成岩をつくるマグマ)の冷却期間は数千万年より長い, あるいは数万年やそれより短い。	平田・多賀・吉川・小川, 2020	「マグマの冷却期間は約1千万年~数十万年である。」
6*	アルカリ長石のことをカリ長石であると理解している(アルカリ長石とカリ長石を混同している)。	中田・多賀, 2021	【「カリ長石(Or)」はアルカリ長石固溶体系列の端成分のことで, 「アルカリ長石」はカリ長石(Or)と曹長石(Ab)の固溶体のことである。これは高等学校の教科書に, 「アルカリ長石」のことを「カリ長石」と記載されていることに起因する。】
7	地層は上から堆積する。	廣木ほか, 2011; 廣木, 2019; 荒川, 未公表	【地層の形成が, 上からの堆積物の降下によるものとのみ考えており, 水流による水平方向への運搬が意識されていない。(水流の作用が意識されていない)】
8*	川のレキ(石)は上流では角張った大きな石が, 中流, 下流となるにつれて丸くなる。	古田, 2018	【上流から下流まで流れる必要はなく, 数キロで十分, 石は丸くなる。】
9*	川の石が, 水流によって削られ(侵食され)て砂になる。	川村・田口, 2011; 廣木ほか, 2011; 廣木ほか, 2016; 古田, 2018	「岩石の風化作用により砂が形成され, この岩石露頭の風化部もしくは土壌中の砂が小さいと流されやすいので川の流れて下流まで運搬される。」 【岩石の風化作用と砂の形成との結びつきが意識されていない。】
10*	川で石同士がぶつかり合って砕けて砂になる。	川村・田口, 2011; 廣木ほか, 2011; 廣木ほか, 2016; 古田, 2018	「岩石の風化作用により砂が形成され, この岩石露頭の風化部もしくは土壌中の砂が小さいと流されやすいので川の流れて下流まで運搬される。」 【岩石の風化作用と砂の形成との結びつきが意識されていない。】
11	礫を含む地層なのに, 礫として含まれる岩石と区別ができない。	廣木, 2017; 荒川, 未公表	【礫層と含まれる礫の示す地質学的情報を混同する。例えば, 以下のいくつかの例があげられる。1. 流紋岩や安山岩の礫を含む堆積層なのに, 過去に火山活動があったことしか, 推定できない。2. 地層に含まれる礫の岩石名を地層そのものの岩石名としている。3. 地層に含まれる礫をなす岩石ができた環境(礫の母岩のできた環境)を地層ができた環境としている。4. 現在の堆積環境を地層が堆積した堆積環境としている。】
12	マグマも溶岩も同じである。	日向・佐藤, 2017	【マグマと溶岩の区別がつかない。】
13	火山体の形とマグマの粘性の関係性が結びつかない。	日向・佐藤, 2017	【マグマの粘性により, 火山の形が特徴付けられる。】
14	化石は生物の遺体が石になって地層中に残されたものである。	荒川, 未公表	「化石は必ずしも石化・固結していなくてもよい。」【体化石でない生痕化石なども化石に含まれる。】
15	川の流れる速さは, (川の断面で)どこでも同じである。	荒川, 未公表	「川の流速分布は様々ではない。」【河川では, 中心部と周辺部, あるいは深さにより流速は異なる。】

地学領域のミスコンセプションリストとその特徴

16	V字谷は川が削ってつくった形である。	荒川, 未公表	「V字谷は、岩盤の風化作用も関係し、速い川の流れて川底を激しく侵食し、削るので、川岸が崩れてV字谷ができる。」【浸食地形は風化作用を受けた表層部が重力により崩落し、それを河川が運搬するという総合的な関わりでできる。】
----	--------------------	---------	--

B. 天文分野			
	ミスコンセプション	文献	「正しい科学的概念」あるいは【理由・説明】
1	月の出の時間は毎日同じである。(一日後には遅くなると思っていない。)	滋野, 2020	「月の出は一日後に遅くなる。」【正答率は、高校生 16.1%, 大学生 19.3%。実際の空を見ておらず、教科書の図と実際の自然現象とが結びついていない。】
2	流星は星座をつくっている星が動いて見える現象である。	滋野, 2020	「流星は宇宙空間のチリが地球大気に突入して発熱し輝く。」【流星とはどのようなものですかという問いに、星座をつくっている星が動いて見える現象であると答えたのは高校生 11.9%, 大学生 11.4%。「ふたご座流星群」など、流星群に星座名が付いていることから生じるミスコンセプションである。】
3*	夏の星座は冬には見えない・冬の星座は夏には見えない。	滋野, 2021	「明け方や暮れた後には、冬に夏の星座や夏に冬の星座も見える。」【小学校の教科書に「夏の星座、冬の星座」として扱われていることからの思い込みによるミスコンセプションである。】
4	月は自ら光っている。	多賀, 未公表	「月は太陽の光を反射して光っている。」
5	星の光はリアルタイムで見えている。	多賀, 未公表	【光には速さ (30 万 km/秒) があり、星から目に届くまで時間がかかる。】
6	太陽は地球の周りをまわって (公転して) いる。	多賀, 未公表	「地球が太陽の周りを公転している。」
7	全世界では同じ時期に四季が存在する。	多賀, 未公表	「北半球と南半球では、反対の季節となる。」
8	惑星は地球の周りを動いて (公転して) いる。	多賀, 未公表	「惑星は太陽を中心に公転している。」
9	南半球 (南アフリカ) のオリオン座 (星座) は、北半球と同じ見え方をする。	多賀, 未公表	「南半球 (南アフリカ) では、オリオン座 (星座) は上下反対に見える。」
10	南半球の月は、北半球で見える月と同じ。	多賀, 未公表	「南半球では北半球の月と上下が逆に見える。」
11	南半球の月は、北半球の月と同じ欠け方をする。	多賀, 未公表	「月は南半球では、北半球と逆の方向から欠ける。」
12	三日月は、月が地球の影に隠されることで起こる。	宮脇・吉村, 2009	「月の公転により地球と月と太陽の位置関係が変化し、月の満ち欠けが起こる。」 【月の満ち欠けと月食とを混同している。実際は地球の影に隠れて月が欠けるのではない。】
13	様々な形の月が存在しているため、地球の自転によって月の満ち欠けが起こる。	宮脇・吉村, 2009	「様々な形の月は存在しない。」 【太陽の光があたっている一つの月が地球を公転し、地球からの様々な方角で見えるために満ち欠けが起こる。】
14	月は西から昇る。	下井倉・土橋, 2017	「月は東から昇る。」 【月が西から東へと (天球上を) 移動することと混同している。】
15	月を惑星と勘違いしている。	下井倉・土橋, 2017	「月は衛星である。」【衛星と惑星の区別がつかない。】
16	満月が見られるのは、太陽-月-地球と並んだ時である。	下井倉・土橋, 2017	「満月が見られるのは、太陽-地球-月と並んだ時である。」

17	地球の自転方向は東から西である。	下井倉・土橋, 2017; 荒川, 未公表	「自転方向は西から東である。」 【日周運動と自転運動の区別がつかない。】
18	日食は月が太陽に隠される。	下井倉・土橋, 2013	「日食は、太陽が月に隠される現象である。」
19	日食は、太陽が、地球の影に隠される。	下井倉・土橋, 2013	「日食は、太陽が月に隠される現象である。」
20	太陽の光が当たる方が夏であり、反対側が冬である。	松森, 2005	【昼と夜を季節変化と混同している。】
21	地球と太陽との距離が短くなるから、夏は暑い。	松森, 2005	【季節変化に太陽との距離の違いは影響しない。】
22	冬は地軸が太陽と離れるように傾くから寒く、夏は近づくように傾くから暑い。	松森, 2005	【季節変化に太陽との距離の違いは影響しない。】
23	地球の傾き分だけ、地球と太陽の距離が近くなるから夏になる。	松森, 2005	【季節変化に太陽との距離の違いは影響しない。】
24	宇宙の膨張とともに、銀河が膨張している。	荒川, 未公表	「宇宙が膨張は銀河と銀河の距離が伸びているからで、銀河は膨張していない。」
25	星座の形が変わっていくのは、宇宙の膨張のせいである。	荒川, 未公表	【星座の形が変化していく主な原因は、銀河の周りを回転することによって生じる恒星間の位置関係の変化である。】
26	微惑星と小惑星はおなじもの。	荒川, 未公表	【微惑星は太陽系生成時に原始太陽系雲中に生じ、惑星形成のもとになった天体。小惑星は現在の太陽系内に、主に木星の軌道周辺より内側に存在する小天体のことである。】
27	彗星の尾の向きは、彗星の進行方向とは逆向きになる。	荒川, 未公表	「彗星の尾は、太陽の方向と逆向きになる。」
28	金星の満ち欠けの形で、欠ける部分の境界が直線で境されている。	荒川, 未公表	「金星は球体であるから、満ち欠けの境界は曲線となる。」
29	月の沈む地平線に対する角度が理解されていない。	荒川, 未公表	「月は地平線に対して斜めに沈む。」
30	天体望遠鏡で、画像はそのまま（反転せずに）見える。	荒川, 未公表	「天体望遠鏡で見ると画像が反転する。」
31	月は夜にしか見えない。	荒川, 未公表	「昼にも薄い月が白く見える。」
32	昼の長さ日照時間は同じことである。	荒川, 未公表	【昼の長さは日の出から日の入りまでの時間であるが、日照時間は直達日射量が 120 w/m^2 以上の時間である。】
33*	『地球から太陽まで』と『地球から木星まで』とでは太陽のほうが遠い。	滋野, 2020	「『地球から太陽まで』と『地球から木星まで』とでは木星のほうが遠い。」
34	太陽は全ての季節で真東から上り真西に沈む。	柳本, 2015	「日周運動は季節により異なり、太陽は春分・秋分に真東から上り真西に沈む。」

地学領域のミスコンセプションリストとその特徴

C. 気象分野			
	ミスコンセプション	文献	「正しい科学的概念」あるいは【理由・説明】
1	雲は水蒸気（気体）である。	京都地学教育研究会, 2019; 多賀, 未公表	「雲は気体の水蒸気ではなく、液体の水滴（液体の雲粒や固体の水の粒）である。」 【雲は大気中に浮かんでいるのでそう考えると推察されるが、「水滴だから液体」と答えた学生にそう答えた理由を尋ねると、「小学校や中学校で雲を作る実験をした」と答えた。こうした回答からも再現実験の有効性が理解できる。】
2	雷は身体につけている金属を外し、身体から遠ざけたりすると金属を身に付けているより安全だ。	京都地学教育研究会, 2019	「雷は電気を通しやすいものが危険で、電気を通さないものが安全とは限らない。」
3*	積乱雲は寒冷前線付近で発生し、その他では発生しない。	滋野, 2020	「積乱雲は前線だけでなくいたるところで発生し「大気の状態が不安定」となれば積乱雲が発生しやすい状態になる。」【教科書の図「寒冷前線付近で、積乱雲が発達し強い雨が降り、強い風が吹く」から、温暖前線付近でも発生しないと思いこんでいる。】
4	乾いた空気と湿った空気では、湿った空気の方が重い。	滋野, 2020	「乾いた空気の方が湿った空気より重い。」 【同温、同圧、同体積中には同数の分子が存在するので、湿った空気は N ₂ （分子量 28）や O ₂ （分子量 32）のいくつかが軽い水分子（分子量 18）に代わるので、乾いた空気の方が重い。】
5	台風は内側に吹き込む風ではなく、外側に吹きだしている。	多賀, 未公表	「地上付近では台風は中心に向けて風が吹く。」
6	窓ガラスの結露は外の水分が移動している。	多賀, 未公表	「窓ガラスの結露は、空気中の水蒸気が窓ガラスで露点に達し、水滴となることができる。」
7	雨と雲とは無関係である。	吉本・松尾, 2017	「雲の雲粒から雨滴ができ、雨となる。」 【雨や雲について、水の状態変化との関係が理解されていない。】
8	雨は雲が蒸発すると空から降ってくる。	吉本・松尾, 2017	「雲の雲粒から雨滴ができ、雨となる。」 【雨や雲について、水の状態変化との関係が理解されていない。】
9	氷河期は、地球全体が凍り付くほどの寒冷な気候である。	荒川, 未公表	「氷河期とはいえ、赤道付近など凍り付いていない地域もある。」
10	氷河期に大陸と日本が陸続きになったのは、海が凍りついたからである。	荒川, 未公表	「氷河期に陸続きになったのは、氷河・氷床ができて海面低下が起こったからである。」 【氷河期は、今の海がそのまま凍ると思っており、海面低下との因果関係が意識されていない。】
11	温暖化なのに、日本で豪雪被害がでるのはおかしい。	荒川, 未公表	「温暖化により、水蒸気量が増えるため、気温の低い地域では、かえって豪雪になることがある。」
12	沖縄でも降雪があったのだから、温暖化ではない。	荒川, 未公表	「沖縄で降雪があるからと言って、温暖化とは言えない。」 【一時的な気象現象と、長期的な気象現象との区別がつかない。】

D. 地球物理分野			
	ミスコンセプション	文献	「正しい科学的概念」あるいは【理由・説明】
1	磁石は真北を指す。	荒川, 未公表	「偏角だけ真北からずれた方向を指す。」
2	北に N 極がある。	荒川, 未公表	「北に S 極がある。」
3	磁極と地磁気極とは同じものである。(両者の区別がついていない。)	荒川, 未公表	【地磁気極は地磁気を地球中心にある 1 本の棒磁石で近似した時, その棒磁石の軸と地表とが交わる 2 点のことで, 磁極は伏角が 90° になる地点, すなわち磁石の針が垂直になる地点のこと。】
4	日本での偏角は西に 5° から 10° であるから, 磁北極は日本から見て北北西の方向にある。	荒川, 未公表	【実際の磁北極は北から数° 東にあり, 非双極子磁場の影響で, 西に偏角が生じている。】
5	磁極の位置は一定であり, 変化しない。(磁場の向きは変化しない)	荒川, 未公表	「過去には何度も地場の向きが逆転した時代がある。」
6	重力は地球の表面においてのみ働く力である。(内部や上空では働かない。)	荒川, 未公表	「地球の重力は内部や上空にも働く。」
7	重力の方向は, 地球の中心に向かう。	荒川, 未公表	「遠心力が働くため, 重力の方向は地球の中心に向かわない。」 【重力は遠心力と引力との合力であるため。】
8	津波と高波は同じものである。	荒川, 未公表	「津波は地震による波であり, 高波は台風や低気圧による海面の吸い上げによる。」
9	波浪と津波は同じものである。	荒川, 未公表	「波浪は水面の表面波で, 津波は地震などの海底地形の急変で海洋にできる波である。」 【成因の違いを認識していない。】
10	津波の到達した高さは, 波そのものの高さである。	川村・明石, 2013	【津波の波高と遡上高の区別がつかない。】
11	津波の高さは, 第 1 波がもっとも高い。	川村・明石, 2013	「必ずしも第 1 波が高いわけではない。」
12	津波の原因は, 地震だけである。	荒川, 未公表	「雲仙岳の眉山の崩壊により津波が起こるなど, 山や氷山の崩落, 隕石の落下などでも津波は起こる。」
13	地震は全て横に揺れている。	多賀, 未公表	「地震の揺れは, 縦揺れや横揺れが複合した揺れである。」
14	地震波の縦波は地面を上下方向に揺らし, 横波は水平方向に揺らす。	荒川, 未公表	「縦波は波の進行方向と平行な方向に振動する波で, 横波は進行方向と垂直に振動する波である。」
15	地震の後に生じる地割れと断層は同じものである。	荒川, 未公表	「断層は地殻が力を受けて割れ, 岩盤にずれが生じたもの。地割れは, 岩盤がその場でひびが入ったもの。【地震以外にも多様な原因がある。】
16	震度の大きな地震ほどエネルギーが大きい。	荒川, 未公表	「地震のエネルギーは同じ地震では変わらないが, 震源からの距離により震度は異なる。」
17	マグニチュードの値は, 場所によって違う。(震度とマグニチュードとの区別がされない。)	荒川, 未公表	「マグニチュードは地震のエネルギーを表し, 同じ地震では同じ値である。」
18	地球は完全な球体である	多賀, 未公表	「地球は地球楕円体をしている。」
19	私たちの周りの空間には, 一切放射線は存在していない。	荒川, 未公表	「自然放射線が存在する。」