

Using Conceptual Models to Facilitate Conceptual Change : The Case of Weight-Density Differentiation

Carol Smith, Joseph Snir, Lorraine Grosslight

Cognition&Instruction, 1992, 9(3)

Abstract

目的： 重さと密度の区別ができるのか 概念モデルを利用した授業により概念変化が起こるのか

研究1：6年生 18人、浮力理解に対する密度概念、8時間の授業

研究2：6年生 12人、7年生 10人、16時間の授業、熱による拡張と密度の変化

科学教育に関する最近の研究：科学者のフレームワークへの同和失敗

ステレオタイプ化された教室文脈から日常的現象へ。

概念変化が起きるためには、現在の概念に不満を感じさせる必要がある。

本研究では生徒自身の「概念モデル」を作らせると同時に、新概念も紹介する。

Conceptual Change Goals : Weight-Density Differentiation

密度概念のために必要な理解：割合と比例、密度に関する数学、より質的レベルの理解。

物理学者のフレームワーク：mass, density, weight の区別、物理的変換による量的拡張

子どもによって重さとは：感じる重さ、物の特性としての重さ

先行研究：異なる物の密度差、浮かびと沈み、熱による拡張

絶対的重さとサイズに対する重さの間で揺れる

8から10歳の間、分解的分析(各ポイントにおける物質の構成を想像)を適用

Conceptual Change Strategies

: Building on Intuitive Theories and Using Conceptual Computer Simulations

- * 伝統的アプローチの限界：大学生を対象にした浮力の原則理解(Cole ら、1969)
高校生を対象にした沈みと浮かびの理解(Hewson、1986)
- * 解説的アプローチを超えた試み：
生徒の初期概念と物理学者の概念差を議論させる(Hewson ら、1983)。
手触りのある活動、グラフによる推論(Rowell ら、1977)。
- * 本研究のアプローチ：視覚的な概念表象のために生徒自身の概念モデルを作成、
実験者の grid&dots モデルを紹介、密度の質的理解から量的理解へ。

Study 1

概要

目的： 重さと密度の概念の区別、 computer-based modeling 教材の有効性

方法論： clinical interview format

課題： 重さと密度により物の順番を立て、その理由を聞いてもらう。

材料： より構造化されたオブジェクトのセット

先行研究による浮かびに関する生徒の傾向： 溶液の種類役割について考えない。
物質の固有の特性として捕らえる。

視覚的モデルの役割： 量としての重さと密度の区別ができるのかを判断

評価の3つのタイプ： 密度の理解、 Flotation ルール、 重さと密度を描く能力

方法

対象： 11 から 13 歳までの 6 年生 18 人

The Clinical Interview

実際の物質、介入前後、総時間 45 分

1. The Ordering & Explanation of Weight Differences Tasks

重さ、体積、密度により順序をつける

1) 刺激と手続き

2 つの課題セット

small equal-size cubes(rubber, steel, aluminum, copper)

重さの順序： 1al, 7r, 1cu, 5al(5al-t), 3st

サイズの順序： 1al(1cu), 3st, 5al, 7r

密度の順序： 7r, 1al(5al,5al-t),3st, 1cu

その他、はかり、ものざし

3 つの異なるサイズの cylinders： al 2 つ(7.6 & 15.2), st 1 つ(5)

重さは $al(15.2) = st(5)$

3 つの同じサイズの cylinders： st, al, wax

2) 評定

2 種類の根拠： 判断のパターン、説明

サイズに比べてより重い場合と絶対的に重い場合

評定にのける 3 つのパターン： 重さと密度の未区別、区別と未区別の中間段階、
明確な区別

2. The Sink & Float Tasks

1) 刺激と手続き

4 つの異なる物質でできた 8 つのオブジェクトのセット

： 2 つは水より重い粘土と木、2 つは水より軽い固まった接触剤と松ノ木

それぞれ大きいものと小さいもの。

水に浮かぶ wax のかけら より大きいサイズ予測

水に沈む中間サイズのアルミ アルミのペーパークリップ予測

水には沈み、塩水には浮かぶルサイトのかけら予測

2) 評定

3つのパターン：

weight intrusion(物の絶対的な重さ、以外にもサイズ、穴、物質の種類も考慮

the kind of material(物質の種類による重さ)

density(オブジェクトと溶液の関係)

3. The Modeling Task

5つのシリンダー：1つは wax、2つは al、2つは st

同じサイズバージョン、同じ重さバージョン (How could that be?)

生徒は自分の考え方を「picture code」で表現、彼らが表象した dimension を評定

The Teaching Intervention

1. The Software

3つのコンピュータプログラム：Modeling With Dots, Archimedes, Sink the Raft

(1) Modeling With Dots：オブジェクトを立てる、物質を追加・除外することができる。

オブジェクトは2つの方法で表現

(pictorially, conceptually using a grid-and-dots model)

最初立てるブロックの種類を選択、ブロックの数を選択

特定なデータを要求可能 (図2参照)

(2) Archimedes：モデルを使って沈み・浮かびの実験

物質、オブジェクト、溶液の選択は自由

オブジェクトのサイズは一定にし、密度を変えながらルールを発見

(3) Sink the Raft：より複雑な沈み・浮かびの実験、物質の種類とサイズを同時に変化。

2. Real-World Materials

st と al でできた同じサイズのシリンダー、cubes

大きなアルミシリンダー、小さいシリンダー (木、ゴム、銅)

銅キューブ、コルク、木、粘土など

その他、ものざし、ペン、2つのはかり、溶液を測定するコンテナ

3つの溶液 (オイル、水、水銀)

3. Organization of Class Sessions

8回の授業 (1時間から1時間半)、グループ単位で活動、全体で議論

結果

1. 密度に関する理解

キューブとシリンダーのセットの順序、順序に関する説明、
異なる材料とサイズがなぜ同じ重さになるのかに関する説明

表1：生徒の理解の変化（3つのカテゴリー）

2. 浮かびと沈みに関する理解

ルールを形式化する能力 予測と説明(水より軽いものと重いものに対する)
説明(1つの溶液には沈むものが別の溶液にはなぜ浮かぶのか)

表2：Flotation と関連する生徒の考え方の変化

3つのパターン： absolute weight material kind
オブジェクトと溶液の相対的な密度

3. 生徒の自発的なモデルにおける変化

picture code の使用、表象に関する説明 表象の dimension を分析

自発的モデル：preinterview と postinterview

コンピュータモデル：postinterview のみ

表3参照

事前：殆どの生徒がオブジェクトのサイズと重さを表象、
二人のみ密度を表象(自発的モデル)。

影の色で物の密度を表現：暗い色はより密度の重いことを象徴。

事後：7人(自発的モデル)、13人(コンピュータモデル)が密度を表象。

5つのオブジェクト：3つは同じサイズ、2つは同じ重さ

議論

目的 6年生には重さと密度の区別が難しい、教材の有効性が確認。

伝統的な解説的教材では7年生にもなかった向上(Coleら、1969)がコンピュータモデルを使った表象では現れた。

研究2では、生徒に臨時の混乱よりモデリング課題に関してより考えさせることが必要。

実験者のモデルに同和した生徒でも数学的関係まで深く理解しなかった。

生徒の自発的モデルは量的関係なしに質的關係に止まった。

Study 2

概要

2つのユニット

ユニット1：研究1と同じソフト使用、Flotationにより集中、量的な現象に焦点。

ユニット2：熱による拡張現象(新ソフト開発) 密度の量的な考え方を動機付ける。

2つの方法で評定：daily worksheets と pre-postinterviews

方法

対象

6年生 20人のうち 12人、7年生 17人のうち 10人が事前事後を受ける。

6年生の数学的能力は均等、7年生はより優秀なクラス。

The Clinical Interview

基本的な部分は研究 1 と類似、できるだけ曖昧な部分をなくして、評価システムを改良。

1. Understanding the Density of Materials

: Inferences From the Ordering and Modeling Tasks

(1) 刺激と手続き

キューブセットを除外（より現実的なアイテムが必要）

ペアの比較、4つのオブジェクトセットの順序づけ。

ペアの比較：6つのペア（al, st, wood のシリンダー）

2つは材料の密度が異なる、4つは重さと密度が共変しない。

絶対的重さを無視し、相対的な材料の密度に気づくかどうか。

感じる重さをチェックするためにはかりを用意。

4つのオブジェクトセットの順序づけ：st・al キューブ、

al・lu(高)シリンダー(重さ同じ)

Lucite シリンダーは青いペアで隠され、生徒はどんな種類の材料か知らない。

アルミより密度の低い材料であることに気づくかどうか。

順序づけの後、生徒は color モデルを作る

4つのオブジェクトのサイズ・重さ・密度を描写、説明。

(2) 評価

ペア比較と順序づけ課題における2つのパターン

Undifferentiated と Differentiated weight-density

weight intrusion errors 絶対的な重さに依存しないが、一貫していない。

自発的モデルにおける2つのレベル： dimension の分離 dimension の間の関係

Undifferentiated weight-density

1つの dimension - 重さのみ、材料の種類というカテゴリーを追加(図3参照)
重さと密度の間の区別が欠けている(レベル1)

二つの dimension - 直感的な重さの判断、heavy for size と heavy が混在
不完全だが2つの区別に対する洞察が始まる(レベル2)

Differentiated weight-density

レベル1 - 独立したコードで表象

レベル2 - 2つの量の関係を掴む(図4参照)

2. The Sink & Float Tasks

(1) 刺激と手続き

一般的ルール形成の課題：8つのオブジェクト

2つの予測問題：水に浮かぶ小さいwaxと沈む大きなアルミ

大きなwaxと小さいアルミを予測

塩水では浮び、水では沈むルサイトに対する説明 オイルでは？

実験 新しい説明（密度と溶液の粘着性の区別ができるのか）

密度に関する推論課題：3つのオブジェクト

小さい粘土、中間の混在、大きいwax

重さをはかり、水に入れる

(2) 評定

4つの反応パターン

絶対的な重さ：少なくとも1つの予測が重さになる(weight intrusion)。

材料の種類：反例に遭遇すると判断を修正する

材料の密度：絶対的密度を無視、一貫性がない。

オブジェクトと溶液の密度の関係

3. The Transformations Tasks

(1) 刺激と手続き：粘土のボールに粘土を加える 重さは？ 密度は？

アルコールが冷たい水から暑い水へ移るとき、いかにアルコールが拡張するのかを

観察 アルコールの量が変わるとアルコールの量は？ 密度は？

(2) 評定

4つのカテゴリー

密度を extensive 量として考える（材料、重さ、体積の区別が明確でない）

1つの文脈では重さと密度を対比するが、別の文脈ではしない。

密度を材料の intensive 特性として扱う

重さと密度の区別、サイズ・重さ・密度の間の関連が理解できる。

The Teaching Intervention

ユニット1：10回のレッスン

研究1のような Flotation, 密度、実世界の材料、概念モデル

ユニット2：6回のレッスン

熱による拡張の効果、新ソフトの開発（図5参照）

結果

1. The Worksheet Data

(1) Initial Explorations of Sinking and Floating

実の材料で予測後、実験。

5年生のデータは6年生のものと類似。

仮説を洗練させ、一貫したルールを形成するように支援。

二日後、生徒の殆どは材料の種類に注目

(2) Introduction of Modeling

同じサイズのオブジェクト3つのセットから始まり、2つ追加。

主なテクニック：影の強さで密度の差を描写

異なるアイデア：ドットの密度

殆どが相対的な密度を指摘できなかった。

影の強さモデルの限界：総体的な重さの表象が明示的にできない。

ドットモデルを紹介

(3) Introduction of the Computer Simulation of Sinking and Floating

密度 1dot/box から 5dot/box までの5つの材料、溶液を生徒が選択、
実験、ルールを形成。

コンピュータ実験後、密度に注目した生徒：初期 25% 70%

オブジェクトと溶液の関係に注目：初期 0% 50%

(4) Drawing Out the Implications of the Grid-and-Dots Models

同じサイズの al と st に対して、一方の密度がより高い場合、いかに表象するか。
生徒は最初質的に問題にアプローチ より量的に考えるような情報を提供。

3つのセールのアルミと1つのセールの鉄

宿題3つの問題：異なる物質がはかりで均衡になるとき、どちらの密度が高い？

生徒の一部のモデルは質的にのみ正しかったが、

殆どが量的にも正しい推論をした モデルのマッピングを理解した。

最終的に 2/3 の生徒が division の用語でルールを一般化。

この時点で実験者は密度に関する科学的アイデアを紹介

：内的特性としての密度、重さからサイズを割ったもの

(5) Extending Models to Account for a New Phenomenon : Thermal Expansion

metal ボールとリングの実験：冷たいとき 熱を加えたとき

重さが変わったのかどうかはかり使用。

起こったことに関して議論、モデルを書く。

1/3 の生徒が自発的に grid-dots モデルを使用。

grid-dots の使用を学習させた後、殆どの生徒がモデルを変化させた。

多様なモデル (box-swelling モデル、standard size unit モデルなど) の利点と

不利点についてクラスの議論。

Box のなかで dots がより広がることについて生徒たちの注意を描く。

(6) A Challenging Problem

暑い水には沈んで冷たい水には浮かぶ clay-covered styrofoam。

生徒の 2/3 が Flotation に関する理解と熱による拡張の coordinate ができた。

また、その生徒の殆どが hot 水より cold 水の密度が高いことを想定、

説明と共にドットモデルを使用。

(7) A Concluding Discussion : Maps and Modeling

生徒にモデルの一般的な議論をさせる。

ボストン地域の 4 つの異なる地図

2. The Clinical Interview

(1) The Ordering and Modeling Tasks

表 4 参照

事前で 6 年生 75% (9/12) が重さと密度の区別ができない。

事後ではそのうち 77% (7/9) が向上。

事前で 7 年生 80% (7/10) が向上。

(2) The Flotation Tasks

表 5 参照

4 つの反応パターン

事前では 6 年生の 3/4、7 年生半分以上が flotation 概念化に密度の使用をしていない。

事後では殆どの生徒が転移過程と相対的密度パターンへ向上。

(3) The Transformation Tasks

表 6 参照

4 つのパターン

密度は外延的な量(重さなど)のように活動すると理由付ける

ある文脈では外延的で、他の文脈では内包的に理解

重さは外延的で密度は内包的、密度を物質の変化しない特性であると理解

密度が重さとサイズの関係であることを理解

総括的議論

1. 概念的難しさ

量的理解の難しさのみならず、質的レベルでも出現。

研究 1 では 6 年生 95% が順序付けでエラー。

認知負荷を減らした研究 2 でも 6 年生 75%、7 年生 50% がエラー。

生徒の理解の欠如は順序付けのみならず、Flotation 課題、転移課題にも一貫。

しかし、研究 2 のデータシートの分析や clinical インタビューから

一部の生徒は最初のレッスン四日後から(コンピュータモデルの紹介前)
社会的サポートにより重さ(weight)と物質の重さ(heaviness)の間、直感的区別を洗練。

2. 教材の有効性

概念モデル使用のプロセスにおける複雑性によりすべての生徒に有効であることではなかった。

研究1では区別の欠如パターンのうち30%、転移パターンのうち50%が理解の達成。

研究2では区別の欠如における2つのレベルのうち、

one dimension レベルは25%、two dimension レベルは83%が密度理解を達成。

概念モデルの役割：具体的な理解、視覚的類推を提供。

質的理解の再構築、より量的な理解を助ける。

生徒自身の自発的モデルの限界(質的レベル)を明らかにし、

より量的概念へ発展させた。