

2016/05/10

担当：頓部

## **Recognizing mechanistic reasoning in student scientific inquiry: A framework for discourse analysis developed from philosophy of science**

Rosemary S. Russ, Rachel E. Scherr, David Hammer and Jamie Mikeska

Science Education, vol92(3), pp499–525 (2008)

### ● 導入

- ・ 科学教育において、生徒のメカニズム推論の特徴を調査してきた研究が多い
- ・ 生徒の探求を評価することに焦点を当て、特に実験や議論に関する開発ツールを進展させてきた
- ・ Mechanistic reasoning は、科学探求を生み出す (Hammer,1995)
- ・ 現象の説明するために使用したメカニズムは、結果と原因間の過程を確認するものとして特徴付けられてきた

### Mechanistic Reasoning Describe Underlying or Relevant Structure

- ・ メカニズム推論を観察された現象に関係する構造や過程、説明的モデルとして定義(Schauble,1996)
- ・ メカニズム推論は、構成要素がどのような動きを引き起こしているのかを言い表す

### Limitations of Characterizations of Students Thinking

- ・ 心理、教育研究ではメカニズム推論の本質や重要性に注意が向けられてきた一方で、正確な定義は示されていなかった
- ・ 正確さの欠如  
原因、構造、過程を含むメカニズムの研究では、メカニズム説明で定義される要素を提案 (Spinger & Keil,1991)  
→しかし生徒の会話の分析を行う際、原因、構造、過程に分類した構成概念を使用していなかった

### Reliance on Causality

- ・ 物理の説明において、狭い因果関係と広い因果関係を区別した (Kuhn,1977)
  - 狭い因果関係：  
はじめに力を及ぼしたイベントから後に引き起こされたイベントに変化をもたらした媒介として定義  
物理領域で概念の因果は適切な説明を限定しすぎてしまう
  - 広い因果：  
メカニズム推論として定義  
結果と関係する原因は何であるかを考えるよりも、下層的な関係性の過程を考えること

### 科学哲学と歴史による科学者の思考の特徴

- ・ “メカニカル哲学”  
霊能やオカルトの力に頼らず、新しい方法で自然界は理解されてきた
- ・ ニュートンの時代から科学的説明の土台としてメカニズム推論の考えが精緻化されてきた

2016/05/10

担当：頓部

- ・ 現象の推論を促進させる科学的な実践を使用したり評価したりする説明形式の 1 つとしてメカニズム説明を挙げている
- ・ メカニズムの説明は物理世界についての従来の直感を利用できるように生徒に適切に働きかける

本論文では、MDC (Machamer, Darden, Craver)の科学哲学の考えを利用し、生徒の思考分析を説明する

生物科学者のメカニズム調査

- ・ 要素(entities)は活動(activities)に従事するものである
- ・ 活動と関係した要素は、メカニズムを構成し現象を引き起こす  
例) 生物要素：神経細胞、細胞核遺伝子、有機体（生命体）、個体群  
物理要素：電子、巨視的な物体、星
- ・ メカニズムは、空間と構成された要素に頼る (Craver,2002)
- ・ メカニズムを理解することは、始めから終わりまでの定型化された活動パターンを考え、どの要素が働き次の活動を導くのかを理解すること
  
- ・ 著者らの目的：生徒の思考を特徴づけ、メカニズム推論過程を述べること  
「観察した現象の新しいメカニズムについての推論をした時に、生徒はどのようなことを行って何を言うのか」
- ・ MDC の考え  
メカニズムが設定した条件から変化をもたらし、どのような現象が引き起こされるのか  
現象を引き起こすメカニズムは要素 (entities) が関係している  
要素 (entities)：性質、組織、状況
  
- メカニズム推論過程を分類する分析ツール  
生徒が自然現象について、理解した、もしくは理解しなかった進行を解明できるように会話のコード化を行う
- ・ The coding schema
  - 9つのスキーマをコーディングするカテゴリー
    1. DTP (describing the target phenomenon)  
現象や結果について述べた時  
例) コーラフロートが入った缶と通常のコーラを水に沈める
    2. SC (setup condition)  
現象を引き起こすメカニズムの環境や空間について述べた時  
例) 両方の缶を手離す前に水の中でつかんでいる
    3. IE (identifying entities)  
要素 (entities) は、現象を引き起こした影響を及ぼすもの  
現象の結果に影響する要素に関して述べた時  
例) 水分子の役割

4. IA (identifying activities)

要素間で生じた相互関係や影響について述べた時

要素が関係していない場合でも、その周辺で起こった変化について述べた時

例) 個々の水分子が他の分子を押し上げる

5. IPE (identifying properties of entities)

現象を引き起こすのに不可欠な要素の性質を述べた時

例) 水分子は少し硬いボールなので、すべてのものをはじく

6. IOE (identifying organization of entities)

要素がどのように空間的に組織化されていて、どこに位置づけられていて、どのように構造化されているかという特徴を述べた時

例) 油の下にある水や、油の上にあるアルコールは油を押し上げる

7. C (chaining) : 後ろ向き推論、前向き推論

メカニズムの発見を助ける一般的な推論ストラテジーは、世界の因果構造に関する知識を用いて、以下のことを主張する

- ・ 以前起こったことが現在の状況を引き起こす (後ろ向き)
- ・ 次に起こりうるものが現在を引き起こしている (前向き)

◇ 後ろ向き推論 (要素→活動)

「要素を引き起こした活動は何であったか?」「活動が起こるために必要な要素は何か?」

◇ 前向き推論 (活動→要素)

「どのような活動がどの要素に従事させたと予想できるか」「活動が起こったならば、要素や特質の周辺でどのような変化が予想されるか」

※印 1~7 のコードは階層的になっており、7 (chaining)になるほどメカニズム推論レベルが高くなると考えた

8. A (analogy)

目的にした現象を他と比較した時

9. AM (animated model)

要素がメカニズムでどのように働いているのかを理解するためにジェスチャーや身体を動かし外在化を行った時

談話分析のためのスキーマをコード化

- ・ コード化は、談話の特徴を確認するためのツールとして使用
- ・ 認知的要素、スキル、能力のレベルは考慮しない

2016/05/10

担当：頓部

#### 評定者間信頼性

- ・ 2つの要素で評定者信頼性を行った
  - data identification : 0.88 (88%)  
コード化するため、会話ターンの区切り
  - coding : 0.86 (86%)
- 談話分析ツールを利用する背景
- ・ 落下物について小学1年生が行った議論のスキーマをコード化した
- ・ 1週間で45分の科学の授業を3回行う

#### 議論の内容

- ・ 本と平らな一枚の紙を同じ高さから同時に落下させた場合、どのようなことが起きるかを予測させる
  - ・ 丸められた紙と本を同じ高さから同時に落下させた場合、どのようなことが起きるかを予測させる
  - ・ 予測をさせた後、グループに分かれて実験を行い、結果を考察し、なぜそのような結果になったかを議論させる
- 
- 生徒の会話分析の有用性
  - ・ メカニズム推論の特徴や生徒の洞察を確認するためにスキーマのコード化を行う
  - ・ 会話分析からスキーマコード化の有用性を示す

#### ● 会話分析結果

##### メカニカル推論の Little Evidence

##### ➢ クラス議論

平らな1枚の紙と本を同じ高さから同時に落下させた場合、どのようなことが起きるかを予測し実験を行い、結果を観察後、議論を行った

- ・ 全員が本の方が早く落下すると予測
- ・ しかし、紙の方が速く落下するという意見に分かれた
- ・ 科学者とは大きく異なり、日常現象への興味が欠けており質的な科学推論ができていない

##### ➢ メカニズム推論

・ 2つの物体落下の観察をさせ、その結果の説明を生徒にさせたところ、DTP (describing the target phenomenon)が何度も繰り返された

- ・ DTPはメカニズム推論のレベルが低い

→説明できる現象（「紙が速く落下する」、「本が速く落下する」）だけを言い合い、科学的な考え方ができなかった

### メカニズム推論の Moderate Evidence

- クラス議論  
結果に関する説明を行い議論させたところ重力について意見を言った生徒がいた
- メカニズム推論
  - ・ IE：重力
  - ・ A：重力の性質を表そうと、ジャンプした時の状況を考える  
重力をマグネットに例えた
  - ・ AM：ジャンプを飛んで表現した
  - ・ IA：重力はものを引き下ろす力があると述べた
  
- ・ 会話からメカニズム思考の証拠が得られなかったコード  
SC、IPE（重力の一般的性質）、IOE（異なった速度で重力はものを引っ張る）、C

### メカニズム推論の Strong Evidence

- クラス議論  
丸められた紙と本を同じ高さから同時に落下させた場合、どのようなことが起きるかを予測し  
実験を行い、結果を観察  
同時に落下することを理解し、平らな1枚の紙と丸められた紙との違いの議論を行った
  - ・ 平らな紙と比較し、紙のボールの重さについて述べる
- メカニズム推論
  - ・ IPE：丸められた紙は重くなると考えた  
重いものほど早く落下するという日常現象から実験結果の説明をした
  
  - ・ C：前向き推論を行った  
紙を丸めた行動(IA)は紙の重さの大きさ(IPE)を変化させないという議論を進めながら  
行動から特質へと前向き推論(C)を行った
    - ・ AM：平らな紙を丸めた  
メカニズムを理解する認知的作業を軽減させた

### ● 推論レベル間の推移

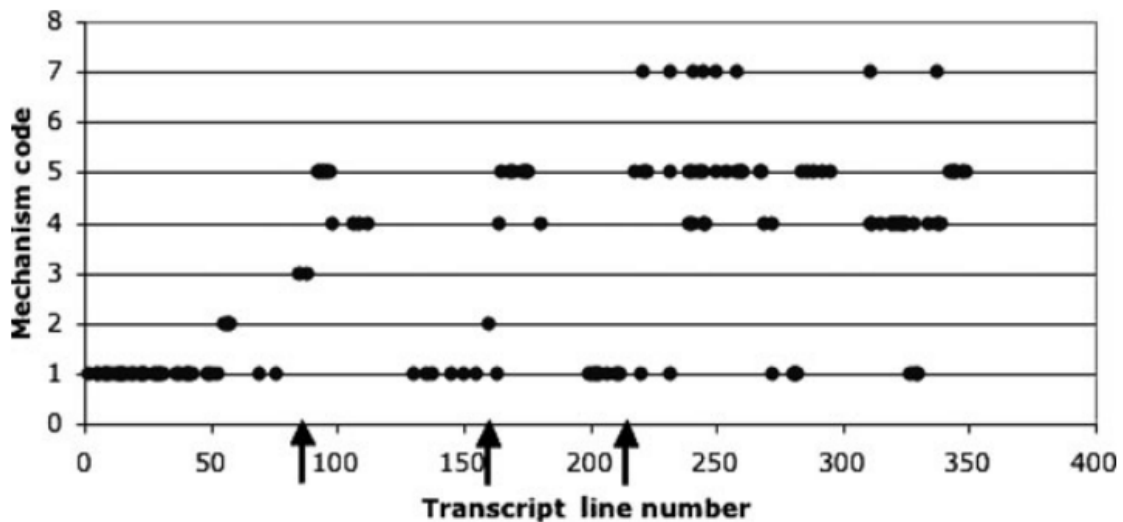
- ・ 会話からのメカニズム推論のコード化は、生徒の思考パターンを明らかにする(Fig.1)
  - 1つ目の矢印 (line 82)  
low レベルコードから high レベルコードに推移  
→先生がなぜそのような結果になったのかを問うとメカニズム推論レベルが上がる
  - line82 後の line130 あたり  
low レベルコードに戻る  
→親しみのない「重力」という要素により high レベルのメカニズム推論を妨げた
  - 2つ目の矢印 (line175)

結果の説明を求めると再び code レベルがあがる

➤ 3つ目の矢印 (line215 あたり)

- ・丸めた紙と本が同時に落下すると予測した後、high レベルコード(code7)に推移
- ・code3 (IE), code4 (IA), code5 (IPE)と code7(C)を行き来する傾向
- ・code3 (IE), code4 (IA), code5 (IPE)が high レベルのメカニズム推論への推移を妨害していたと考えられる

- ・スキーマのコード化は、生徒の推論プロセスの推移を確認できるだけでなく、推移が起こった理由を予想できる情報を与えてくれる



**Figure 1.** Mechanism coding of student conversation about falling objects. Arrows indicate apparent shifts in the quality of the conversation. The mechanism codes are as follows: (1) describing target phenomenon, (2) setup conditions, (3) identifying entities, (4) identifying activities, (5) identifying properties of entities, (6) identifying organization of entities, and (7) chaining (backward and forward).

● 結論

- ・生徒のメカニズムの役割や機能を示した研究はあったが、メカニズムの進行や、メカニズムがいつどのように引き起こされるかという組織的な分析をサポートする考えは示されていなかった
- ・会話のコード化は、メカニズム推論を分析できる最も信頼あるツールというわけではない
- ・先生が生徒の考え方がわかり、対応できるような科学的探究の特徴を明確にできる
- ・将来の研究の可能性を示す  
言語データは、分析ツールや分析方法としての多様性や実行可能性があり、言語分析の展開を示した

2016/05/10

担当：頓部

- ・ 機会を与えれば、とても小さな子供でさえ現実のメカニズム推論を行うことができる
- ・ 物理世界を理解するためにこの種類の推論を使用し練習できるように、メカニズムが引き起こされる題目を使用した科学教育を行うことがふさわしい
- ・ メカニズムのスキーマのコード化は、教育目的とする研究をサポートし調査の主目的をはっきりとさせる