

# Sixth-Grade Students' Epistemologies of Science: The Impact of School Science Experiences on Epistemological Development

Smith, C.L., Maclin, D., Houghton, C., and Hennessey, M. G.,  
Cognition & Instruction 18(3), 349-422

## 研究目的

小学生は構成主義的教育論に基づく教示により科学に関する構成主義的認識論を発達し得るか？

- 科学に関する認識論：科学において知識がどのように獲得され、正統化されるのかに関するアイデアのネットワーク
- 構成主義的認識論：知識獲得におけるアイデアの役割の中心性にかんする気付き。アイデアが実験をガイドすることを知っていること
- 構成主義的教育論：共同作業を通じて生徒が活動的にアイデアをテストし、見なおすことを推奨する教育論。教師は足場を作ることで生徒の活動をガイドする。

## 先行研究 小学生が構成主義的認識論を発達させることは困難

一連のインタビュー「どのようにして科学者が知識を獲得するのか」(Carey & Smith, 1993)

小学生の科学に関する認識論：仮説検証における理論と証拠のサイクルを理解できない。アイデアと証拠を混在する。反証するデータが表れても自分のアイデアを棄却しない

### 困難さの原因

- 学校での教育に問題  
実験では言われたとおりの手続きで作業をこなすだけ。実験の目的を考えさせない。
- 日常的な認識論が問題  
学校での授業以前に生徒は日常的に事実主導の認識論を持っており、構成主義的認識論の発展を阻害している。構成主義的認識論を発達させるには日常的認識論の根本的な概念変化が必要
- 生物学的な問題  
形式操作期に達していないため、仮説を立てて検証することは不可能

認識論の発達を測る尺度 = Nature of Science インタビュー (Cary & Smith)

- Level 1 (knowledge unproblematic epistemology)  
科学的知識は正確な手続きにより獲得された真理である  
アイデアと活動の区別がつかない
- Level 2  
科学的知識は検証されたアイデアである  
説明と仮説検証のプロセスを認識している。しかし、理論と仮説の区別はついていない
- Level 3 knowledge problematic epistemology  
理論は現象を説明し、新たな出来事を予測するために用いられるもので、科学的知識とはよく検証された理論である  
理論が仮説を生み、手続きを選択し、データを解釈する。実験結果は理論を確め、ときに理論を棄却する。

Nature of Science インタビューに関する先行研究の結果

- 7年生の平均 = 1.0 (Carey ら) 教育により 1.5
- 11年生の平均 = 1.25 (Honda ら) 教育により 1.89

Hennessey のカリキュラムは構成主義的教育を実践している

- 概念変化のための教育 (自分自身のアイデアを明確に述べること)
- メタ認知活動の促進 (自分のもつアイデアについて議論すること)
- 新たな概念を構築するためにアナロジーやアンカーを適用すること
- 異なる文脈における新たな理解を適用すること
- 科学の本質や学習の本質に関する議論の時間を提供すること
- 数々の著書において、Hennessey のカリキュラムが有効であることが示されている

## 方法

### デザイン

#### 構成主義クラス

Hennessey が 6 年間にわたり受け持ってきた。1 週間に 3 回、科学の授業が行われている。

生徒が中心になって生徒自身のアイデアを発展させる。教師は小グループでの議論、クラス全体での議論を促進する。生徒は大抵、小グループで問題に取り組む。クラス全体が学習共同体になる。

教師と生徒の役割は 6 年間で段階的に変化する。1 年次には生徒は自身の視点を明確にし、視点を支持する理由を生成するように求められる。考えていることと、考える理由を区別することが目的。教師は生徒の活動の取っ掛かりとなる機会や経験を提供

4 年次～6 年次には生徒は自身のアイデアを評価する基準を発達させ始める。教師は新たなアイデアを紹介したり、概念変化のプロセスに従事させたりする。

Hennessey はカリキュラムの内容としてメタ概念的な目的の到達に必要な科学的な質問を与える (昼夜のサイクル) 生徒は減少に関する説明を小グループで探索し、議論やレポートを通じて説明的理解、理論構築に至る。

一つのクラスで 22 名の生徒。そのうち 18 人がインタビューに協力。

#### 比較クラス

5 年間、同じ教師が受け持ってきた。1 年生から 3 年生の時には 1 週間に 1 回、4 年生のときには 3 回、5 年生のときには 4 回、6 年生のときには 5 回、科学の授業が行われた。

1～3 年次に教師は生徒にトピックを示し、生徒はトピックを学習する。

日常的な経験であるのなら、野外や家にて実践的な活動に従事する

4～6 年次に教師はトピックの講義をし、生徒はテキストを読むことを割り当てられる

5、6 年次では 1 年に 1 度の学校が主催する科学祭に参加。トピックを選択し、仮説をたて、実験をデザインし、実施し、結果をイベントで公表する。

時に教師は生徒にビデオをみせ、ニュースに出てくる科学トピックについて議論させ、グループでディスカッションさせる

2 つのクラスで合計 36 名の生徒。そのうち 27 人がインタビューに協力。

### 被験者

両クラスともに、白人、中から中の上、私立、カトリック、男女共学

### 評価尺度

Nature of Science インタビュー

生徒 1 名につき 20 分～30 分の実施時間

## 7 クラスター（科学の目的・問題のタイプ・実験の本質と目的・仮説と理論・予期せぬ結果・変化のプロセスの本質・目的の達成とミス） 23 の質問

### 分析

以下、4つの質問クラスターについて

- 科学の目的
- 問題のタイプ
- 実験の目的と本質
- 変化のプロセスの本質

回答をレベル1～レベル3に振り分ける

レベル1：単純な活動と手続き・事実に知識の獲得・実験と結果の区別がない

レベル1.5：レベル1かレベル2の区別が曖昧なカテゴリ

レベル2：物事がどのように働くか、なぜ働くかに関する説明・アイデア、仮説の検証、アイデアの発展、アイデアの理解

レベル2.5：レベル2よりも複雑で洗練されている表現。2つ以上のレベル2のアイデアを組み合わせている

レベル3：理論は説明ネットワークであり、仮説構成、実験デザイン、結果の解釈をガイドする。理論は仮説のテストと更新のサイクルから生じるアイデア

全ての回答を読む 生徒のアイデンティティ・クラスを知らぬままコーディングスキーマの作成（クラスター&レベル） Ceary の議論とデータからの探索を両立させてコーディングスキーマを作成 コーダー2名によるレベル付け

## 結果

### 質問クラスターの分析

クラスター1：科学の目的

質問「科学とは一体なんだと思いますか？」「科学者は何をしていますか？彼らは科学の目的をどのように果たしていると思いますか？」

回答の分類

- レベル1：物事を行っている・情報を集めている
- レベル1.5：アイデアやデータについて考えている・物事がどのように働くか考えている
- レベル2：説明を発見する・アイデアをテストする・アイデアを愛する・アイデアを発展させる

図1：各アイデアタイプの出現率

それぞれの平均値をクラス間でtテスト

構成主義のクラスはレベル2が多く比較クラスはレベル1が多い

各生徒をレベルスコア（最も高い回答）に基づきグループ化

構成主義クラスの平均（2.1）は比較クラスの平均（1.4）よりも高い（ $t=5.36, p<.0001$  両側検定）

クラスター2：問題のタイプ

質問「科学者はどのような問題に取り組むと思いますか？」「科学者は問題にどのように取り組んでいると思いますか？」

回答の分類

レベル1：手続き的な問題・ジャーナリスティックな問題

レベル1.5：2つの変数間の関係（音楽を聴くことは宿題にかかる時間に影響するか？）・問題に関する説明・理論的校生物に関する説明・メタ認知

レベル2：例を伴う説明・目に見えない理論的構成体に関する説明・メタ認知

図2：アイデアの出現率

構成主義のクラスはレベル2が多く比較クラスはレベル1が多い

各生徒をレベルスコア（最も高い回答）に基づき振り分け

構成主義クラスの平均（2.3）は比較クラスの平均（1.5）よりも高い（ $t=5.62, p<.0001$  両側検定）構成主義のレンジは1.5～2.5、最頻値は2.5。比較クラスのレンジは1～2.5、最頻値は1.5

クラスター3：実験の本質と目的

質問「実験とは何ですか？」「なぜ科学者は実験をするのでしょうか？」

回答の分類

- レベル1：解決策の発見につとめる・解法の探索
- レベル1.5：説明の探索（洗練されていないもの）
- レベル2：説明の探索（洗練されているもの）・アイデアのテスト・アイデアの発展
- レベル2.5：レベル2の組み合わせ

図3：アイデアの出現率

構成主義クラスはレベル2が多く比較クラスはレベル1が多い

長期にわたる授業でのアイデア検証の経験を反映しているのでは？

各生徒をレベルスコアに基づき振り分け

構成主義クラスの平均（2.0）は比較クラスの平均（1.2）よりも高い（ $t=4.59, p<.0001$  両側検定）構成主義のレンジは1～2.5、最頻値は2.5。比較クラスのレンジは1～2、最頻値は1

クラスター4：変化のプロセスの本質

質問「科学者がテストをしたらアイデアに何が起きるか？」「科学者は彼らのアイデアを変化させるのか？」

回答の分類

- レベル1：科学者はアイデアを破棄するか、保持するかである
- レベル1.5：変化はより多くの思考と努力を必要とする
- レベル2：アイデアの発展を伴う変化・複雑な証拠に基づく変化・よりよい説明の発見を伴う変化・先行するアイデアに制約された変化

図4：アイデアの出現率

構成主義クラスはレベル2が多く比較クラスはレベル1が多い

各生徒をレベルスコアに基づき振り分け

構成主義クラスの平均（2.1）は比較クラスの平均（1.3）よりも高い（ $t=6.98, p<.0001$  両側検定）構成主義のレンジは1.5～2.5、最頻値は2。比較クラスのレンジは1～2、最頻値は1

一貫性の分析

レベル間の一貫性

図5：4つの質問クラスターを平均した分布

構成主義クラスはレベル2が多く、比較クラスはレベル1～1.37がほとんど  
2つのクラスはほとんどオーバーラップしない

#### レベル2 アイディア間の一貫性

おなじレベル2のアイディアをクラス間で重複して答えていたのかもしれない

この可能性を排除するために...

4 クラスターからレベル2の回答を抜き出し、グルーピング(理解・説明・テスト・発展を区別 図7の楕円で囲まれた項目)。レベル2のアイディア数を各生徒ごとにカウントし、平均レベルスコアとの関係を見る 図6

レベルスコアと強い関係

#### 構成主義クラスのモーダル認識論

構成主義クラスの55%の生徒が4つの異なるレベル2のアイディアに言及していた。

83%の生徒が4つのアイディアのうち3つに言及していた。

構成主義クラスの大多数の生徒は図7のような認識論を持っていたのでは？

#### 比較クラスのモーダル認識論

レベル1のアイディアを4つにグループ化(図8)

52%の生徒が4つのカテゴリを言及

89%の生徒が4つのうち3つのカテゴリを言及

#### 補足的分析

科学における深い説明的な問題への気づきがあったか

深い説明：不可視な因果関係に関する説明 直接的な因果関係

分析：全てのインタビューに目をとおり、how、whyで答えている回答を抽出 不可視の因果メカニズムに関する言及をしているものを抽出 複雑な問題であることを認識しているものを抽出 深い説明的な問題に気付いていた生徒とみなす

結果：構成主義クラス(83%)は比較クラス(37%)よりも多い人数の生徒が深い説明に気付いていた( $\chi^2=9.36, p<.01$ )

生徒が挙げた深い説明を要する問題の例

- アトムはどのように動くのか
- 病気の原因は何か
- なぜものは動き、何が原因でものは離れるのか？
- どのようにして人は学び、アイディアを思いつくのか？

複雑な評価基準への言及があったか

複雑な評価基準 正しいか、間違いか

分析：全てのインタビューに目をとおり、複雑な評価基準に関する言及があった回答を抽出

結果：構成主義クラスの72%が一つ以上の評価基準によってデータを評価すると述べていた。対する比較クラスは7%のみが複雑な評価基準に言及していた

さらに...

- 科学は単純な正解を見つけるプロセスではないと4人の生徒が明確に言及  
何かを見つけるだけではないと思う。研究をしなければ成らないし、発見をするだけでなく、自分の頭の中で正解を見つけなければ成らない。そこにあるわけではなくて、自分で抽出するものだ。自分の頭の中であって、それを何とか明確にするようにしなければならない。
- 理論の本質に関する質問に対して2人の生徒が事実と理論の区別を行っていた
- 2人の生徒が理論は曖昧な結果のバイアスのかかった解釈によって影響されると答えていた
- 4人の生徒が理論は変わりづらく、複数の実験を必要とすると答えていた

社会的相互作用に関するアイデアがあったか  
構成主義クラスは普段から共同学習を重視していた 共同学習が比較クラスと異なる社会的相互作用に関する認識論を発達させたのか？

分析：社会的相互作用に関する言及を抽出 2名のコーダーがコーディングシステムを作成(レベル1~レベル2.5)

- レベル1：科学者はお互いに知識を共有し、確かな相互作用をしている
- レベル1.5：アイデアを共有し、一緒に考え、アイデアを比較している
- レベル2：アイデアを共有するだけでなく、説明し、検証し、発展させ、理解するために共同作業をする
- レベル2.5：2つ以上のレベル2の組み合わせ、より複雑な社会的相互作用(アイデアを他者に説得するプロセス等)

結果：

構成主義クラスは全員が社会的相互作用に関する何らかの言及を行っていた。それに対し、比較クラスは30%のみが言及。

構成主義クラスは23の質問のうち平均して6つの質問で社会的相互作用に言及。それに対し、比較クラスは平均1.1で少ない( $t = 6.97, p < .001$ )

内容に関しても違い(表2) 構成主義はレベル2以上が多く、比較クラスはレベル1

仮説と理論に関する概念

質問「理論と仮説という言葉聞いたことがありますか？仮説と理論とはどのようなものだと思いますか？」

比較クラス

仮説：ほぼ全員が「知識に基づく推測(授業で習った定義)」1人のみが説明と答えた

理論：ほとんどが低いレベル(よく分からない・何かに関するアイデア)1人が「なぜそれが起きるのかにに関するアイデア」他の1人が「視点」

構成主義クラス

仮説：ほぼ全員が知らない(授業で扱ってこなかった)

理論：高いレベル(2名が「問題解決の方法」55%が「何かに関するアイデアでアイデアの本質が明らかでないもの」33%が「どのように物事が働くかにに関するアイデア」

質問「理論は実験に影響を与えますか」

両クラスともに困難。しかし構成主義クラスの39%は「理論から仮説が導かれて実験を行い、解釈をするというサイクル」に言及

構成主義クラスの1/3は理論が実験における特別なアイデアを構築すること

構成主義クラスの1/3は理論が心的プロセスに影響することを認識

比較クラスのほぼ全員は理論を直接的なアイデアとみなしていた。

議論

構成主義クラスのデータから小学生6年生が構成主義的認識論を発達させ得ることがわかった ピアジェ派が主張するような生物学的制約はないのではないか

構成主義クラスのデータは洗練された構成主義的認識論を発達させていた

アイデアの理解 複数の視点からの説明 アイディアを検証 アイディアの発展というサイクル  
さらに、それらのサイクルが社会的相互作用に基づいて進行していること

#### Hennessey の先行研究

同じ小学 6 年生の生徒に「科学の本質」「学習の本質」に関する作文を書かせる

「科学の本質」に関する作文では Nature of Science インタビューに示されたことが記述されていた( アイディアの重要性、アイデアを理解することの重要性、アイデアが調査プロセスをガイドすること )

「学習の本質」に関する作文には、学習がアイデアを発展させる構成主義的活動であること、共同学習の重要性が記述されていた

さらに Carey ( 7 年生 ) や Honda ( 11 年生 ) に比べて、構成主義クラスの生徒は洗練した構成主義的認識論を発展させていた

比較クラスは Carey や Honda の研究と同様

しかし、構成主義クラスはレベル 3 に達することはできなかった

科学理論に関する領域固有の知識が足りない・洗練された科学的な手続きを実践していないことが原因か？

なぜ、比較クラスと構成主義クラスは異なる認識論を発達させたのか？

異なる学校経験が原因では？ ( 同じ年齢 = 生物学的要因は同一、人口統計学的にも類似 = 学校外の要因は同一 )

さらに言えば、教師のもつ科学認識論がもっとも大きな違い

#### Hennessey の授業の特徴

- 正統化された質問：自分自身の調査に対して多くの観点から責任を持って遂行するようにさせる。生徒は自分で問題を記録し、現象を自分で所持し、問題を選択し、調査のプランを立てる。  
生徒が自分自身で問題を意識し、動機が向上し、認識論的発達を促進するのは？
- 問題の生成：生徒のもつ常識と科学的なアイデアが異なる問題を与える ( 季節が移り変わるのとはなぜか、昼夜のサイクルの原因は )  
生徒は葛藤状態に陥り、自身のアイデアを見なおす
- アイディアを複数の方法で見せること：様々な方法 ( ポスター、概念地図、物理モデル、概念モデル、ワープロ ) でアイデアをパブリックに記録  
概念変化、メタ認知の促進
- 学習共同体の形成とメタ認知な会話：調査を共同で計画し、実施する・単語の概念を共同で決定する・他者の視点に対して、聞くこと、共有すること、問題を提起することを学ぶ・教師は学習を促進させ、足場を作る  
視点の多様性、自己と他者のアイデアを理解する・アイデアの幅を広げる  
メタ認知的な会話が教室に飛び交うようになる ( 自身の概念について聞く、概念を支持する証拠を考える、概念の適用を考える )
- その他の特徴：Hennessey 自身が知識豊かな科学者であること、Hennessey 自身が洗練された構成主義的認識論を持っていること、経験豊かな教師であること、同じ生徒を 6 年にもわたって受け持っていること