

## Cognitive development and Science Education : ship that Pass in the Night or Beacons of Mutual Illumination?

### 要約

この論文は、心理実験の知見を理科授業で適用することを試みたものである。以下の流れで展開される。

(1)最初に心理実験の知見を理科授業に適用するときの問題点と改善案

(2)心理学で得られた知見として CVS の紹介とこれを用いた実験

(3)CVS を用いた授業実践と分析

(4)今後の心理実験と授業研究について

・ 実験の区別

心理実験：被験者の行動やパフォーマンスを分析する実験

実験：被験者が行う理科の実験

### はじめに

(1) 筆者らの2つの信念

1)認知心理学、発達心理学における理論的進歩は授業改良に対して硬い基礎を与える

2)授業における新しいアイデアに対する試みは基本的な認知研究に対して疑問を与える

(2) Passing in the night(同じ夜の海を通過して同じ港につくけれど照明が違う)

1)認知研究と教育研究に対する比喩

・ 同じことを研究していても互いに関連がない

・ 認知心理学者は理科教師の興味にめったに関心を持たない(Strass,1998)

2)Strass の見解

・ 共通領域が少ない

・ 心理学者は普遍で変わらない教師の興味とは関係のないことに焦点を当てる

・ 心理学者は子どもを個々に扱い、教師は統合的に扱う

・ 心理学者は子どものことについてはよく知っているが、自然科学については理解が乏しい。それに対して、教師は自然科学については良く知っているが、思考、学習、発達といった心理学の内容には理解が乏しい。

3)2つの領域は分割する必要がない

・ 心理学で得られた知見は教育では適用しきれない

・ 境界線の研究者も別々に扱う(Brown,1992,1997;Fennema,carpenter, Franke,Levi,Jacobs&Empson1996;White&Frederiksen)

・ 心理実験で得られた知見も異なる研究者によって用いられる

(Chritensen&Cooper,1991:Dass-Smaal,Klapwijk,&van det Leij,1996)

(3)2つの改善策

1)理科授業に関連したラインに沿って子どもの思考のフレームワークを分類する

2)Strass への反例：心理学、理科授業の2つを橋渡しする筆者らが取り組んできた研究に基づいた例

### 科学的思考の研究

(1)科学的思考：特殊な領域の表現と一般的な領域の表現

(2)発見の過程(表 3.1)：仮説の生成 実験方法の考案 結果の評価

1)各場面は一連の授業の中で繰り返し現れる 同時に研究することは難しい

ゆえに、心理実験では場面を1つか2つに搾って行われてきた(表 3-2)

心理実験に対して価値があると思う教師はほとんどいない

(3)最近では、多くの研究者が心理実験で得られた知見が科学的発見過程(理科授業)では十分に生かしきれない問題がある一方で、表 3-1 のプロセスを統合することで解決するとい  
い始めた。(Dunbar,1993;Klahr&Dunbar,1988;Klahr,Fay&  
Dunbar,1993;Kuhn,1989;Kuhn,Amsel&O'Loughlin,1988;Kuhn,Schauble&Garcia-Mila  
,1992;Kuhn,Garcia-Mila,Zohar&Anderson,1995;Schauble,1990;Schauble,Glaser,Ragh  
avan,&Reiner,1991)

### 研究の目的

- (1)特殊な領域と一般的な領域知識の相互作用を理解するために表 3-1 の境界線を交差する。
- (2)相互の影響を調べるため仮説の生成、実験方法の考案、結果の評価を統合する
- (3)プロセススキルに焦点を当てる。
  - ・特殊な技能は実験方法の考案と関係がある。(セル E)
  - ・しかし、実験の実行、実験の評価を特殊な領域を含むため、セル B、C、F も含む
- (4)この研究で心理実験と理科授業の理解にこの分類がどのように有効か示すことを試みる。
- (5)心理実験の研究成果を少しずつ修正しながら授業に適用する。
- (6)心理実験で行った教授を実際の理科教育のカリキュラムで行う。(2つの教育方法：直接教授と発見的教授)
- (8)授業の基礎となる直接教授の使用を導く心理実験の教授をまとめる。
- (9)心理実験の知見を確かめる授業のデザイン
- (9)認知と教育の相互関係に立ち返る

### 心理実験

(1)小さい子どもでさえ、何が事実や判断を構成するのか学習できることを理科教師は同意している。

(2) CVS

- ・条件を 1 つだけ制約して実験計画をたてる方法
- ・複雑な実験の結果についても推論できる

(3) CVS に関する研究

1)Meta-analysis(Ross,1988)

- ・1970年代から80年代にかけて小学校低学年を対象に行った。
- ・低学年以下のわずかな分析から改良点を見つけた
- ・CVSを理解して用いることへの拡張を与える。
- ・実験群と統制群で有意差があった。

下記2つのことは Bullock&Ziegler,1999;Case,1974;Kuhn,et

al,1995;Khun&Angelev,1976;Schauble,1996の研究からも示唆される。

2)筆者らの初期の研究(Chen&Klahr,1999)

- ・小学校理科カリキュラムの中で CVS の構成要素が繰り返し行われる。
- ・小4で複雑な実験を構成できた被験者は50%以下

(4)実験条件

発見的学習と直接教授

- ・CVSがどんなものか説明する場合と発見的にこれを行わせる場合
- 発見的学習と直接教授では前者の方が内容について関連付けや適用ができる。

(Jacoby,1978;McDaniel&Schlager,1990)

これに対してコンピュータープログラミングの学習(Klahr & Carver,1998)のよう

な多段階のステップを踏む方略では直接教授の方が効果的である

1)Explicit training (Training-probe 群)

- ・隠れた統制条件や実験計画についての説明がある
- ・実験前後に調査課題が出される

2)Implicit training (No-Training-probe 群)

- ・1)のような教授は行われず、実験前後に調査課題が出される

3)Discovery learning (No-Training-no-probe 群)

- ・教授も調査課題も与えられない

(5)課題

1)バネ：バネにおもりをつるしたときばねを長く伸ばす要因は何か？

- ・線の太さ、バネの厚さ、長さが異なる 8 つのバネ
- ・重い立方体のおもりと軽い円形のおもり

2)沈殿：水に物体を沈めたら早く沈む要因は何か？

3)傾斜：ボールを斜面で転がしたとき最も遠くまで転がる要因は何か？

- ・ゴムボールとゴルフボール、木の斜面とゴムの斜面、斜面の長さが統制条件

(沈殿、傾斜について詳しくは Chen&Klahr1999)

(6)被験者：2 つの私立学校の 2、3、4 年生(87 人)

- ・3 つの教授に割り当てられる

(6)手続き：Part 1 と Part2 からなる

1)Part1：4 つのフェイス(各フェイスで実験を計画することが求められる)

・初日

Exploration：実験計画能力の育成を目的。この中で教授と、探索課題が出される群はこれを行う。

- ・ある領域について実験を計画する(バネの伸びの長さの要因)

Assessment：被験者が他の要因について実験計画できるか調べる(バネの伸びの長さの要因に関する 以外の要因)

・数日後

Transfer1：被験者が他の領域(沈殿)について実験計画ができるか調べる

Transfer2：被験者が他の領域(傾斜)について実験計画ができるか調べる

(2)Part2

- ・ポストテスト：7 ヶ月後に筆記試験により 15 個の実験計画が良いか悪いか判断

(7)分析方法

1)CVS score

- ・良い実験計画には 1 点、悪い実験計画には 0 点(良い実験計画とは、しっかり条件を統制して計画したもの)
- ・Score range は 0 から 4 点(各フェイスで 4 つの実験)

2)Robust use of CVS(CVS を正しく用いたかどうか)

パフォーマンスや発話から分析

- ・CVS について言及した説明
- ・いくつかを統制した説明
- ・統制条件の比較について言及したもの
- ・CVS とは関係ない発話

3)Domain knowledge

- ・実験の前後で各々の条件が結果にどのように影響してくるか質問

(8)結果

1)初期(Exploration のフェイス)の実験計画

- ・よくできた被験者：2年生：26%、3年生：34%、4年生：48%
- 2)CVS を正しく使用した被験者(図 3.2 参照)
- ・ Training-probe 群は training の後急激に上昇
  - ・ その他の群はフェイスごとに少しずつ上昇
- 3)2)について学年ごとの変化(図 3.3 参照)
- ・ 3年生と4年生の Training-probe 群のみ training の後急激に上昇
- 4)良い実験者：Transfer1、2において最低7、8つの実験を考えた被験者
- ・ Training-probe 群:44%
  - ・ No-Training-probe 群:22%
  - ・ No-Training-no-probe 群:13%
- 5)CVS と領域知識の関連
- ・ Training を受けた被験者のみが増加していた。(図 3.4)
- 6)ポストテストの結果
- Training を受けた被験者が実験群で、受けてない被験者が統制群
- 良い議論をした被験者：15問中13問正答(図 3.5)
- ・ 3年生実験群 40%、統制群 22%
  - ・ 4年生実験群 79%、統制群 15% (4年生のみ有意)
- 7)心理実験のまとめ
- ・ 教授を行わなかった被験者は CVS を発見できなかった
  - ・ 教授を行った被験者は実験計画と活動を結びつけることができた
  - ・ 近い領域や離れた領域に転移させることができた
  - ・ これらが、授業研究を行うための準備となる

#### 授業研究への移行

- (1)心理実験で得られた知見を授業で使えることができるよう改良した研究
- ・ 工学の学習で応用(Brown,1992;Collins,1992)
- (2)改良された知見の評価基準
- ・ 被験者が直接教授を行う授業の中で CVS を学び、転移できるか？
  - ・ CVS の学習について授業の中で問題点を指摘できるか？
  - ・ 被験者同士で実験計画の評価ができるか？
  - ・ 実験技術と領域知識の関連は？
- (3)心理実験と授業研究の相違点(方法や評価の仕方：表 3.5)
- ・ 心理実験は1人の学習者に対して教授を行うが、授業研究は複数の学習者を対象に行う
  - ・ 実験記録(心理実験)の記入者が異なる
    - 心理実験：実験者
    - 授業研究：被験者がワークシートに記録(Appendix：被験者は記録の仕方を習う。また、記録した内容を実験前に議論する)
  - ・ 領域知識のテスト：心理実験：面接、授業研究：被験者がワークシートに記入
- (4)課題：2つの傾斜を作る。(各グループ3から5人ずつ)
- ・ パネ、沈殿は個別テストに用いる
- (3)被験者：4年生77名 43名が面接調査を受ける(プレ21人でポスト22人)
- ・ 前の心理実験には参加していない
- (4)評価方法
- 1)評価の全体図(図 3.6)
- ・ 実験時のパフォーマンスと実験を評価する能力を測定
  - ・ 内側は主に記述による評価(ワークシートや7ヵ月後に行うポストテスト)

・外側は面接調査を行う(被験者は実験計画しそれを評価することを求められる)

## 2)授業の前後で行うプレ・ポストテスト

・子どもたちは実験の評価を行う

・4種類の実験があり、被験者は、良い実験か悪い実験かワークシートの記入欄に記述(図

3.7は課題の1つ)

## 3)分析方法

### 1)CVS performance score

・実験計画が妥当であれば1点、妥当でなければ0点

### 2)Robust CVS use score

・理論的に正しいものに1点

### 3)Certainty measure

・心理実験では行われなかった。実験結果に確信がもてるかどうか

### 4)Experiment evaluation score

・実験計画に対して正しい評価ができれば1点、できなければ0点

### 5)Domain Knowledge

・各条件に対する失敗を予測できれば1点、できなければ0点

## (5)授業

・授業の進行にともない知識のテストを行う

授業の流れ

### 1)Exploratory

4つの実験を計画するよう指示される

・ワークシート：設置した実験と、実験結果と統制した要因が異なる結果を与えているか記述する(Appendix)

失敗に対して

心理実験：やり直しをさせることができる

授業研究：実験結果そのものが議論の対象となるため、やり直しが不可

失敗に対する議論は授業ではじめて浮き上がる問題点

## 2)Direct instruction(この前後でプレ・ポストテストを行う)

悪い実験を計画した後に、教師により、議論をさせる

・例：他の観点を教師が示す

良い実験、悪い実験とは何か説明をする

生徒の理解を調べる

悪い実験における失敗を指摘して理解を強めさせる

CVSの理論の要約

CVSの理論を与える

## 3)Application experiments

・授業内容を基に再び実験計画をして、実行する

## (6)結果

### 1)CVS performance score(面接調査による)

・平均点がプレで30%、ポストで96%

・好ましい実験を計画した被験者

プレ：1人(21人中)、ポスト：20人(22人中)

### 1)CVS performance score(ワークシートによる)

・平均点がプレで61%、ポストで97%

### 2)Robust CVS use score

・平均点がブレで6%、ポストで78%

・良い実験計画実験

ブレ：0人(21人中)、ポスト：12人(22人中)

3) Certainty measure(面接調査による実験に対する確信度の測定)

・ブレ

良い実験計画をした被験者：70%、悪い実験計画した被験者：60%が実験結果に対して確信をもっていた。

・ポスト

良い実験計画をした被験者：84%、悪い実験計画した被験者：46%

に対して

・CVSの理論を理解しなくても良い実験計画ができる

・良い実験計画が確かな結果に導かなかったことが考えられる。

3) Certainty measure(ワークシートによる)

・20%の子どもがポストでも実験結果に確信が持てないままだった。

4) Domain knowledge

・ブレでは79%が正答、ポストでは全員が正答

5) Evaluation score

・平均点がブレでは61%、ポストでは97%

・少なくとも9から10個正しく評価できた被験者

ブレ：28%、ポスト：75%

### 授業研究の考察

(1)統計的な面だけでなく、絶対的なレベルのパフォーマンスが見られたことにおいて成功

した。

(2)被験者はCVSの使い方、これの説明、他人の計画した実験の評価を学習した。

(3)CVSを用いるには形式操作の思考が必要で低学年にはできないと考えられていたが、この実験では実験にかかわる教授を行えばそれができる

### CVSの問題点

(1)1つの要因を統制しても付随する隠れた要因があること(1つの要因を調べただけでなく、繰り返さなければならない)

例：表3.6

・カビの成長の要因を調べる実験(答え：温度に依存)

光の量について比較実験を行う

結果は光が多いほうが成長していた。

しかし、光が多いと温度が高い

そこで、同じ温度のもとで光の量を変えて実験を行う

結果は差がなかった。

この場合、光でなく、温度が成長の要因であった。

(2)要因が多い場合は発見できない

例：ミミズの生息については要因が多く、NSESを用いると効果的

### 科学的思考の研究のこれから

これまで、心理実験から授業研究への移行を考察したが、授業における問題点と今後の心理実験における問題点を統合しながらその他の移行について考える。

(1)授業での分析はワークシートを用いて行った。

#### 授業の問題点

- ・ 授業研究は授業の進行を妨げてしまうためにさまざまな制約がある。
- ・ 被験者が組み立てた器具とワークシート上の記述が一致するよう手続きが必要(授業では被験者に自己報告をさせるため) これは理科教育の目的の1つ
- ・ 良い実験を計画したにもかかわらず、実験結果に対する確信度が低い
- ・ 授業では実験の失敗から考察することも課題に対する理解を深める。

しかし、この研究の中では、実験を失敗したときの考慮がなされていない。

(2)これらの研究は、今後の心理実験だけでなく、授業研究の中でも話題となる。

(3)心理実験が計画の途中でも、それを少し改良して、授業での研究をするときの問題点を見つけている。

(4)授業研究で得られた知見をさらに統制して心理実験を行う。

最初の比喻に立ち返るためには理科教育と認知発達研究が互いに関連しあう必要がある。