

All Other Things Being Equal: Acquisition and Transfer of the Control of Variables Strategy

Zhe Chen and David Klahr

Child Development (1999), 70(5), 1098–1120

★ INTRODUCTION

- ▶ 科学的推論の重要なスキルの1つ
 - Control of Variables Strategy (CVS)
- ▶ 手続き的
 - 実験条件間で1つの対比ができるような実験の生成方法
 - そのような交絡因子のない実験を見分ける能力も含まれる
- ▶ 論理的
 - 交絡因子のない実験の結果から適切な推論を行う能力

◇ Kuhn, Garcia-Mila, Zohar, & Andersen (1995)

- ▶ 小学校高学年は CVS について何となくしかわかっていない
- ▶ 妥当な推論を行えた割合
 - 成人 75%
 - 4年生 25%

◇ 重要な疑問点

- ▶ どのように CVS を教えるべきか？
- ▶ 年齢による効果の違いはあるか？

◇ 2つの先行研究

- ▶ Case (1974)
 - 7, 8歳であれば4週間にわたる4セッションで CVS を教えられる
- ▶ Kuhn & Angelev (1976)
 - 4, 5年生は変数のコントロールが必要とされる課題を行うことにより15週で学習可能

◇ 5つの疑問が残る

- ▶ CVS の理解に貢献する物は何か？

- 直接的な指導，単にその状況にさらされること，probe question？
 - ▶ 何歳くらいの小学生なら CVS を使って実験をデザインできるか？
 - ▶ 異なる年齢の児童は CVS を異なって学習，転移させるか？
 - ▶ CVS のトレーニングはドメイン固有の知識を向上させるか？
 - ▶ 学習における個人差の性質と範囲は何か？
- ◇ 目的 1 児童が CVS を学習できる条件を見つけること
- ◇ 目的 2 獲得された CVS を転移できる範囲を調べる
- ▶ 転移の距離
 - Very Near Transfer
 - ・ 元の問題と同様の材料を使った問題への転移
 - Near Transfer
 - ・ 全く同じではないが，同じ一般ドメインに属する材料を使った問題への転移
 - Remote Transfer
 - ・ ドメイン，フォーマット，文脈の異なる問題への遅延を挟んだ転移
- ◇ 目的 3 2つのレベルの指導を行った発見学習における CVS の獲得の比較
- ▶ Explicit training
 - 例を使って，一般的な方略を教える直接的な指導を与える
 - ▶ Implicit learning
 - 児童たちによる活動の後に，体系だった質問を与える
- ◇ 目的 4 獲得と転移の年齢と指導タイプによる違いを調べる
- ▶ Explicit instruction は年齢に関わらず有効だが，implicit instruction は年齢の高い児童に有効だろう
 - ▶ より遠い状況においては年齢の高い児童のみが CVS を転移できるだろう
- ◇ 目的 5 microgenetic method を用いて学習過程を調べる
- ▶ 同じ子供を短い期間に繰り返し調べる
- ◇ 目的 6 CVS のような domain-general な方略は domain-specific な知識の増加につながるか調べる
- ◇ 研究の構成
- ▶ Part I 実際の実験デザイン
 - Phase 1 (Exploration) ベースドメインにおける実験デザイン
 - Phase 2 (Assessment) 同じドメインでの評価

- Phase 3, 4 (Transfer 1, 2) 2つの異なるドメインで行う
- ▶ Part II 7ヶ月後の紙面によるポストテスト

★ METHOD

◇ Part I: Hands-On Study

◇ Participants

- ▶ 87名の2~4年生
- ▶ 3つのグループに分ける
 - Training-Probe
 - No Training-Probe
 - No Training-No Probe

◇ Design

- ▶ 3(条件) × 3(学年) × 4(Phase)

◇ Materials

- ▶ 3つの同型課題 (Table 1) バネ, 傾斜 (Figure 1), 沈み (カウンターバランス)
 - 各課題に2値を持つ4つの変数
 - 4つの変数が全て影響するような結果について調べる (Table 1 参照)
 - 1つの課題を Phase 1, 2 残りの課題を Phase 3, 4

◇ Procedure

- ▶ 2日に分けて行われる (間隔は約1週間)
 - 1日目: Exploration と Assessment
 - 2日目: Transfer 1,2
- ▶ Table 2 に概要のまとめを示す

◇ Phase 1a—Exploration (Day 1)

- ▶ 最初の課題の紹介
- ▶ 概念知識の測定 (丸い物と四角い物のどちらが速く沈むかなど)
- ▶ 実験者があげた2つの変数においてそれぞれ2つの比較を生成する
- ▶ 選択理由、結果から何がわかるかに関する質問に答える

- ◇ *Phase 1b—Training (Day 1)*
 - ▶ CVS の指導を受ける
 - 事例を与えられ、どちらがよい比較かを判断、説明する
 - その後、実験者による説明を受ける

- ◇ *Phase 2—Assessment (Day 1).*
 - ▶ 2 つの変数（片方は新しい変数）について 2 つの比較を生成、説明する

- ◇ *Phase 3—Transfer-1 (Day 2)*
 - ▶ 2 つ目の課題の紹介
 - ▶ 変数の区別とそれがどう結果に影響するかの事前知識の調査
 - ▶ 各変数において、2 つの比較とその説明を行う

- ◇ *Phase 4—Transfer-2 (Day 2)*
 - ▶ Phase 3 と同様

 - ▶ No Training-Probe
 - Training がない
 - Exploration と Assessment で 3 つの比較の生成を求められる
 - ▶ No Training-No Probe
 - 比較の生成のみで、理由の説明は求められない
 - Exploration と Assessment で 4 つの比較の生成を求められる

 - ▶ 全問題の終了後にいくつかの質問に答える
 - 2 日目の転移課題で 1 日目の課題のことを何か思い起こしたか
 - どのように 3 つの課題が似ている/異なっているか説明する
 - 1 日目に 2 日転移課題の遂行を助ける何かを学習したか答える

- ◇ **Part II: Posttest**
- ◇ Participants and Timing
 - ▶ Part I の 7 ヶ月後
 - ▶ 55 名の 4, 5 年生
 - No Training 条件では終了後にトレーニングを受けている

- ▶ 統制群 31名の Part I に参加していない学生

◇ Design and Materials

- ▶ Part I と異なる 5つのドメインを含む 15 ページの問題集
 - 植物, クッキー作り, 飛行機模型, ドリンク売り, ランニングスピード
- ▶ 全てのドメインにおいて
 - 最初のページで変数や結果の導入
 - 次の 3 ページで書かれている比較が良いか悪いか判定する
 - 4 種類の比較が含まれる
 - ・ 交絡因子のない比較
 - ・ 1つの交絡因子を含む比較
 - ・ 3つ全ての変数が異なる比較
 - ・ 対照にならない比較
- ▶ ページの例は Figure 2

◇ Procedure

- ▶ Part I との関連性は教えずに実施
- ▶ 最初にやり方の説明を受け, 自分のペースで行う

★ RESULTS

◇ Measures

◇ Use of CVS

- ▶ 妥当な比較デザイン
 - 焦点となる 1つの変数のみ変化させている
- ▶ 1つの妥当なデザインにつき 1点 (0~4点)

◇ Robust Use of CVS

- ▶ Probe question への回答
 - なぜこのような比較を作ったのか?
 - この比較から何がわかったか?
- ▶ 4つのタイプ分け
- ▶ CVS への言及を含む説明
 - “You just need to make the surface different, but put the gates in the same

places, set the ramps the same height, and use the same kind of balls”

- ▶ 全てではないがいくつかの変数の統制を含む説明
 - “Cause they’re both metal but one was round and one was square”
- ▶ 焦点となる変数の比較に関する言及を含む説明
 - “Cause I had to make the surfaces different”
- ▶ CVS とは関係のない説明
- ▶ 交絡因子がなく他の変数の統制について言及した場合 1 点 (0~4 点)

◇ **Strategy Similarity Awareness**

- ▶ 類似性の質問に対する答え
 - CVS に言及した類似性について答えたら 1 点

◇ **Domain Knowledge**

- ▶ 実験デザイン前後の変数、結果間に関する質問への回答から判断
- ▶ 正しい判断や予測に対して 1 点

◇ **Grade Differences in Initial Performance in Using the Control of Variables Strategy**

- ▶ Exploration Phase 比較の内容を調べる
- ▶ 焦点となる変数の対照はチャンスレベルより有意に多い
 - 2 年: 73%, $p < .05$; 3 年: 87%, $p < .001$; 4 年: 89%, $p < .001$, 全体: 84%
- ▶ 交絡因子のないデザインはチャンスレベル (.083) より有意に多い
 - 2 年: 26%, 3 年: 34%, 4 年: 48% $ps < .01$
- ▶ 学年による差がある ($F(2, 84) = 3.53, p < .05$)
 - 2 年 < 4 年 ($p < .01$)
 - 3 年 < 4 年 (傾向 $p = .067$)

◇ **Acquisition and Transfer of CVS**

- ▶ 条件により実験デザイン方略にどのような変化が見られたか (Figure 3, 4)
- ▶ CVS 使用の頻度において 3 (条件) × 3 (学年) × 4 (Phase) の ANOVA
- ▶ Phase の主効果 ($F(3, 234) = 6.51, p < .001$)
 - 4 つの Phase の間に増加していく
- ▶ 学年の主効果 ($F(2, 78) = 7.15, p < .005$)

- 学年が高いほうが多く CVS を使う
- ▶ 条件と Phase の交互作用 ($F(3, 234) = 2.25, p < .05$)
 - Training-Probe 条件では有意な向上を示す ($F(3, 87) = 12.8, p < .001$)
 - Exploration < Assessment = Transfer 1, 2
 - その他の条件では向上なし
- ▶ 各学年における 1 要因の分散分析
- ▶ Training-Probe 条件
 - 3, 4 年においてのみ Phase 間の向上が見られる ($ps < .005$)
 - どちらの学年も Assessment 以降において Exploration より良いパフォーマンス
 - 2 年における分散分析は有意傾向 ($p = .10$)
 - Exploration と Assessment の間にのみ有意傾向が見られる ($p = .084$)
- ▶ No Training-Probe 条件
 - 全学年において Phase の効果はない
 - 4 年生において Exploration と Transfer 2 の間に有意傾向 ($p = .075$)
- ▶ No Training-No Probe 条件
 - 分散分析においても 1 対比較においても差は認められない
- ▶ 個人ごとの転移を見るために”Good experimenter”を定義
 - Transfer 1 と 2 において, 8 個中 7 個以上で交絡因子のないデザインを行った児童
 - 既に Exploration の時点で good experimenter だった児童を除く
- ▶ 78 名中
 - 44%が Training-Probe 条件
 - 22%が No Training-Probe 条件
 - 13%が No Training-No Probe 条件
- ▶ 条件間に有意差あり ($\chi^2(2, N = 78) = 7.05, p < .05$)
 - No Training-Probe < Training-Probe ($\chi^2(1, N = 53) = 3.00, p = .083$)
 - No Training-No Probe < Training-Probe ($\chi^2(1, N = 52) = 6.25, p < .05$)

◇ Interpretation of Similarities across Tasks in Terms of CVS

- ▶ 類似性への気づき (CVS への言及)

- Training-Probe (5/20)
- No Training = No Training-Probe (1/20) + No Training-No Probe (1/18)
- ▶ No Training < Training-Probe ($p = .04$)

◇ Relations between the Use of CVS and Domain Knowledge

- ▶ 事前の概念知識の正しさに違いはない
 - Training-Probe 76%
 - No Training-Probe 76%
 - No Training-No Probe 79%
- ▶ ドメイン知識に関して 2 (時期: 事前 vs. 事後) × 3 (条件) の ANOVA
- ▶ 時期の主効果 ($F(2, 54) = 6.64, p < .05$)
 - 事前 < 事後
- ▶ 条件と時期の交互作用 ($F(2, 54) = 2.49, p < .093$; Figure 5)
 - Training-Probe の児童のみドメイン知識が有意に向上 ($t(18) = 4.62, p < .001$)
 - 残りの 2 条件は向上なし
 - CVS の使用と一致した結果
- ▶ CVS のパフォーマンスと最終的なドメイン知識の関係
- ▶ 2 つの stepwise regression
- ▶ 全条件
 - Good experimenter: 12 以上の交絡要因のないデザインをした
 - Good experimenter は最終的なドメイン知識の 9% を説明する
- ▶ Training 条件のみでは 21% を説明する

◇ Individual Differences in Strategy Change

- ▶ 各試行における robust use of CVS の割合を比較 (Figure 6)
 - No Training-No Probe 条件は含まない
- ▶ 大多数の児童は非常に低い Robust CVS 得点から始まる
- ▶ トレーニングの直後に上昇し, transfer Phase まで保たれる
- ▶ トレーニングがないとずっと低いまま
- ▶ 大きく 2 つ, 細かく 7 つの特徴的なパターンがある (Figure 7)
 - Gain-by-end
 - Gradual gain: Transfer Phase まで向上が見られない
 - Fast gain: トレーニングの後すぐに向上が見られる

- Up down up: 増加 → 減少 → 増加
 - High constant: スタートからずっと高い
- Lose-by-end
 - Steady decline: 比較的高いところから始まって、だんだん低下
 - Up and down: 一度増加してから低下
 - Low constant: 最初からずっと低い
- ▶ Gain-by-end に含まれる児童の割合
 - Training-Probe 条件 53%
 - No Training-Probe 条件 13%
- ▶ 特に Fast gain に含まれる割合
 - Training-Probe 条件 30%
 - No Training-Probe 条件 0%
- ▶ 始めに使用されたより後に CVS が使われなかった割合
 - Training-Probe 条件 24%
 - No Training-Probe 条件 68%
- ▶ 最後の 3 Phase において 90%のトレーニングされていない児童がより劣った方略へ逆戻りしている (トレーニングありでは 55%)
- ▶ トレーニングと経験が CVS の使用を強固にすることを示している

☆ Posttest Performance

- ▶ 学習した方略を転移できるか
 - ポストテストは 3, 4 年のデータのみ
- ▶ Part I に参加し、最終的にトレーニングを受けた児童と、参加していないクラスメートを比較
- ▶ 従属変数: 正答数 (最大 15 点)
- ▶ 2 (グループ) × 2 (学年) の ANOVA
 - グループの主効果 ($F(1, 51) = 6.61, p < .05$)
 - 学年の主効果傾向 ($F(1, 51) = 2.88, p < .096$)
 - グループと学年の交互作用が有意傾向 ($F(1, 51) = 2.77, p < .10$)
 - 4 年のみ 統制条件 < 実験条件
- ▶ Good experimenter による比較
 - ポストテストでは 15 問中 13 問以上で正しい判断ができた児童を good reasoner

とする

- ▶ Good reasoner の割合
 - 実験条件: 3年 40%, 4年 79%
 - 統制条件: 3年 22%, 4年 15%
 - 4年生においてのみ有意差あり ($\chi^2(1, N = 55) = 10.78, p < .001$)

★ DISCUSSION

- ▶ CVS 得点は最初からチャンスレベルより高い
 - 先行研究と同様
- ▶ 適切な指導があれば、小学生は基本的な方略を理解、学習、転移することができる
- ▶ Training-Probe 条件で最も効果が出た
 - 明確な指導と probe question の組み合わせが CVS を教えるのに最も効果的
- ▶ Probe のみでは有意な CVS の増加はない
- ▶ 学習した方略を良く転移することができた
- ▶ 方略のトレーニングは domain-specific な知識の獲得も促進する
- ▶ 年齢の効果
 - 2年: 同じドメインにおいてのみ転移が可能
 - 3年: ドメインの異なる問題に転移可能 (1週間)
 - 4年: 期間があいていても異なるドメインに転移が可能
- ▶ 明確な指導は CVS の継続的な使用を促進する

◇ Effects of Explicit Instructions on the Acquisition of CVS

- ▶ Probe question は発見学習と関連づけられる
- ▶ 発見学習の先行研究 (e.g., Guthrie, 1952; Katona, 1940)
 - 概念や規則の獲得に直接的な指導より有効
- ▶ 本研究の Probe question は CVS の発見に役立たない
 - 発見学習は直接的な指導なしではゆっくり進むため (e.g., Kuhn et al., 1995; Schauble, 1996)
- ▶ 指導だけでは、児童の自発的な活動を必要としないため、汎化が限られる
- ▶ 本研究の結果は、指導と probe を組み合わせることで科学的スキルを教えることにより高い効果が得られることを示している

◇ Near and Remote Transfer of Scientific Reasoning Strategies

- ▶ 新しいドメインの実験デザインには類推が利用される (Dunbar, 1997)
 - ソース問題の表象の形成
 - 類似の問題にであったとき, ソースの情報にアクセスし, 類似性に気づく
 - ソースの解決や方略が拡張される
 - 関係する解決法が新しい文脈に適用される
- ▶ CVS の転移も同様である
- ▶ ソースと新しい文脈が離れるほど, 学年により違いが出た
- ▶ 2 年生は新しい問題への転移はできなかったが, トレーニングを受ければ CVS についての言及は行った
 - 学習した CVS へのアクセスには問題がなかっただろう
- ▶ 3 年生がポストテストで転移できなかったのは学習した CVS へのアクセスに困難があったのだろう
 - 評価課題であり, 実際の装置の操作は必要なかったので適用の困難とは考えにくい

☆ **Developmental Differences in Strategy Acquisition and Transfer**

- ▶ CVS に関するはっきりとしたトレーニングと, 暗に存在するトレーニングの効果
 - はっきりとしたトレーニング (指導) は全学年の児童に効果があった
 - 暗に存在するトレーニング (Probe question) は学年が高い児童に効果があった
 - 学年が上の児童は初歩的な科学的スキルを持っていたと考えられる
 - ・ 体系的な質問により CVS の使用が引き出された
- ▶ 学習された方略を転移できる範囲
 - 先行研究 (e.g., Flick, 1991; Gentner & Gentner, 1983)
 - ・ 年下の児童のソース問題の表象は学習文脈と深く結びついている
 - 本研究の結果は先行研究と一致する
- ▶ 実験の方略の十分な把握や方略の学習は年齢に伴いよくなっていく

☆ **Process of Change**

- ▶ 児童の実験デザインにおける処理技能の変化の過程を明らかにした
- ▶ Path of change
 - グループ, 個人により様々なレベルから始め, 様々な流れを通る
- ▶ Rate of change
 - はっきりとした指導がなければ, 突然の方略変化は起こらない

- ゆっくりとした学習は所々に見られた
- 方略変化のスピードははっきりした指導を受けたかと年齢による
- ▶ **Breath of change**
 - はっきりしたトレーニングを受けた児童は他の文脈にまで方略を転移できた
- ▶ **Source of change**
 - 年下の児童は自分で行う実験を通して短期間では CVS を学習できなかった
 - はっきりした指導と probe question を組み合わせれば、そこから学習できる

◇ **Effects of CVS on the Acquisition of Domain-Specific Knowledge**

- ▶ Training-Probe 条件の児童は domain-specific な知識をより獲得した
- ▶ 他の条件ではなかった
- ▶ domain-general なスキルの獲得は domain-specific な知識の獲得を促進する

◇ **Educational Implications**

- ▶ 科学教育への含蓄
 - 低学年の小学生でも CVS を理解するために訓練できる
 - 長く行ったり、様々な例を体験すれば 2 年生でも学習、転移が可能かもしれない
- ▶ 各種の指導のタイプの効果は学習内容による
 - CVS のフェイードバックは自分で正しいか（うまく方略を使えたか）が判断しにくい
 - 普通の知識獲得のように自分で気づかせるのではなく、はっきりした指導が必要
- ▶ 各種の指導の効果は年齢と初期知識により異なる
 - 児童の中には（特に 4 年生）probe question のみの条件でも CVS を学習できた児童もいた
 - ・ 年上の児童は既に初歩の CVS についての理解があったためだろう

★ **Conclusions**

- ▶ 小学生児童は CVS の知識を獲得し、方略を転移させることができる
- ▶ はっきりとした指導と probe の組み合わせが CVS の獲得を促進する
- ▶ 学年による CVS の転移に関する違いが見られた
- ▶ 年下の児童たちの学習した方略へのアクセスと様々な転移状況への適用の困難を感じている