

# Using Explanatory Knowledge During Collaborative Problem Solving in Science

The journal of the learning science 7(3&4), 387-427

Elaine B.Coleman

## 1. はじめに

説明は科学者にとって不可欠な活動

近年の教育では問題に基づく学習 (problem-based learning) がトレンド

- 科学者を演じる
- 学習は状況内で起きる
- どのような状況・文脈が説明能力の向上を促進するのか不明

### 1.1. 科学学習に関する先行研究

議論の重要性を示す研究は存在するが、問題解決スキルとディスコースの関係を十分に調べていない

説明が重要だという研究は存在するが、説明が関与する程度を明らかにしていない

### 1.2. 共同学習に関する先行研究

学習における相互作用の質に関する研究、精緻化の程度を示す研究はあり、説明に基づく相互作用が個人の学習の達成に重要であることは示されている

...説明の内容とプロセスに関する研究はあまり行われておらず、必要とされている

### 1.3. 促し (prompt) に関する先行研究

共同学習における質問のガイドが学習の達成を高める (King)

説明を促す群は促さない群よりも学習成績が高い。

説明を促す群には単一の言葉での促しとより一般的な促しの群があったが、より一般的な促し群の方が良かった。

促しが効果的であること促し方で成績に差があらわれることを明らかにした。また、生徒は自発的に説明を行わないことや説明的知識 (いつ、どのように説明を適用するか) が用いられないことがわかった。

### 1.4. 学習における意図性に関する先行研究

意図的学習者 = プランを立て、ゴールを更新する。問題を自身で発見し、問題への説明を自律的に考察  
多様な問題状況への参加を通して意味が構成。referent 中心の知識ではなく problem 中心の知識が重要。  
しかし、多くの学習者は促されなければ意図的に問題を解決しない

...意図的であるように促す指示によってより学習が進むのでは？

### 1.5. 科学の学習における説明の役割

教室において生徒は教師の説明を聞いたり、教科書の説明を読んだりするだけで、自分で説明することはほとんどない

説明させるための工夫が実験や授業時の手作業：データ収集や測定方法の学習に偏りがち

生徒は日常で科学的な考えについて議論することがほとんどない

普段の会話は推論を行ったり、結論を導いたりするのに不適切な形式

説明は理解の指標

1. 自身、他者の理解がモニターできる
2. 先行知識の適用と評価ができる
3. 知っていることと知らないことの折り合いを付けられる

また、説明はスキルでもある：メタ認知的ストラテジー、高次思考スキルと関連

## 1.6. 本研究の目的

科学における概念理解にアプローチするために、共同での説明が潜在的にもつ効用を検討すること  
プロンプト（説明、正当化、評価、比較、先行知識との対比）が概念理解を促進するか？  
プロンプトが問題解決と知識の統合、より概念的で構造化された精緻な説明と内容の記憶を促進するか？

## 2. 方法

### 2.1. 被験者

48人（9.5歳～11歳）

2つの学校、2つの学年の4/5のクラス

潜在的学習理論に関するインタビューから群分け

- HIL (High Intentional Learner) 12名：80%以上の得点
- AI (Average Intervention) 13名：80%以下の得点
- AC (Average Control) 13名

各群の被験者を3人の共同グループにランダムに振り分け

### 2.2. 材料

■ 潜在的学習理論に関するインタビュー (Steinbach, Scardmalia, Burtis, and Bereiter 1987)

学習スタイルを問うインタビュー（どのようにして自身のプランを実装し評価しているか）

質問例）誰かが、あなたに毎週1時間の学習時間をくれたのならば、何を学びますか。なぜですか？

コーディングスキーマ：1（一般的なトピックのレベル）2（特定のトピックのレベル）3（推移レベル）4（一般問題解決レベル）5 エキスパート問題レベル

回答例）数学を学びたい（= 1）

■ 光合成に関する教示ユニット “The Power Plant” (Roth & Anderson 1987)

生徒自身の先行する知識と科学的説明を統合させ、概念変化を起こさせることが目的  
教師が生徒に教える

4章から構成（理解の障害になるであろう部分を含み、それに対する教授法が記載されている）

障害の例）植物は生産者ではなく消費者であるという思いこみ

教授法の例）生徒自身のナイーブな説明が予測できない観察事例を挙げて説明する

■ scaffoldされた説明ベースの介入

AIグループに実施

パイロットスタディにおける生徒の行う説明、Scardmaliaらの研究から作成

1. 自身の思考や理解を説明により評価する（それを自分の言葉で説明できますか）
2. 説明による自身や他者の反応の評価（自分の回答を正解、不正解だと思う根拠を説明しなさい）
3. 日常生活における言葉ではなく、教室で獲得された用語で説明する（教室で学んだ科学的情報からこのことを説明できますか）
4. 科学的説明と日常的説明があること（その説明は科学的説明？それとも日常的説明？）
5. 科学的情報と物事の見えが必ずしも一致しないこと（物事が世界でどのように見えているのかということと、科学的情報の違いを比較できる？）

■ 光合成に関する理解テスト

テキストと植物学者のプロトコルから構成

- 宣言的知識を測定する10の多肢選択式質問（プレ・ポストで実施）  
例）光合成の間、植物から放出されるのは [ 2 酸化炭素, 太陽光, ミネラル, 炭素 ]
- 推論を要する16の多肢選択式質問（ポストのみで実施）

例)木が食物を最も構成しない季節は何時ですか[冬,春,夏,秋]

■ 光合成に関する概念地図課題

概念(ノード)と関係(リンク)によって概念理解を表現  
トロント大学植物学科教授が描いた概念地図(Figure1)  
リンクを削除(リンクのラベルを別の用紙にて提示,選択)

■ 光合成に関する問題説明課題(Appendix C)

教示ユニットの間で実施

以下の知識を問う

1. 植物は2酸化炭素と太陽の光を食物の構成に必要とする
2. 植物は食物のために他のソースを必要としない
3. 水と二酸化炭素は派を通過して,食物の構成を行う
4. 植物が自分で作る食物はエネルギーのソースとなる
5. 光合成の間,植物は太陽のエネルギーを水と二酸化炭素に変換し食物(グルコース)を構成する
6. 食物はまた,食物の健康に必要なミネラルを必要とする

### 3. 手続き

#### 3.1. 手続きの全体

1. プレテスト(理解テスト・暗黙的学習理論に関するインタビュー)
2. 教示フェーズ1(2週間)
3. 学習セッション1(概念地図課題の教示・個人で概念地図課題(AIグループのみプロンプト))
4. 2日後に共同概念地図課題と問題説明課題(AIグループのみプロンプト)
5. 教示フェーズ2(2週間)
6. 学習セッション2(概念地図課題(AIグループのみプロンプト))
7. 2日後に共同概念地図課題と問題説明課題(AIグループのみプロンプト)
8. ポストテスト(理解テスト)

#### 3.2. 教示フェーズ

1週間につき3時間の授業

10分~20分のレクチャー 10~20分のクラス全体での議論 10分~20分の共同作業(ワークシート)

#### 3.3. 学習セッション1

概念地図課題の教示を例に即して1時間 個人で光合成に関する概念地図課題を30分

#### 3.4. 共同での概念地図課題

2日後に個人で行った概念地図を返却,共同で概念地図課題を実施  
もし共同相手が違う地図を作った場合はどうなるか  
個人と共同でどのように成績が変わるか

#### 3.5. 共同での問題説明課題

4問(AppendixC)

各問題15分

共同の様子はビデオカメラとオーディオレコーダーで記録

#### 3.6. 説明ベースの介入

プロンプトを示すカードを用意し,生徒の前に置く

個人学習:

少なくとも一つのカードを選んで,カードの文面を読み上げ,それに答える

解を記述するたびに実施

プロンプトへの説明は概念地図の例を用いて説明

共同学習

プロンプト係を決める

概念地図課題ではそれぞれの決定の度にプロンプトを選択

問題説明課題では任意の時にプロンプトを選択

解に関する合意が得られたときにもプロンプトを選択

他の係：筆記係，説明係

係は 15 分ごとにローテーションする

不適切なプロンプトの選択時に実験者が介入

### 3.7. 概念地図課題のスコアリング

正解（科学的リンク・直感的リンク）・不正解

科学的リンクは教科書や植物学者のプロトコルに登場する言葉

- 科学的の例) 葉の細胞は水を吸収する・葉の細胞は酸素を放出する
- 直感的の例) 葉の細胞は水を取り、吸う・葉の細胞は酸素を外に出す

### 3.8. 問題説明課題のスコアリング

概念的スコアリング（例は「どのように植物は食物を得るか」に対する回答）

- 間違い（植物は根から食物を得る．土に雨水を得る）
- 部分的に科学的説明（2 酸化炭素，水，太陽の光が結合してグルコースができる．水と太陽の光と 2 酸化炭素は食物になる．植物は 2 酸化炭素と水と太陽の光で構成される食物を得る．それらはグルコースを作る）
- 完璧に科学的説明（植物は食物を得ない．彼らは食物を作る．食物を作るために，二酸化炭素と太陽の光と水を必要とする．大気から二酸化炭素を得て，それを葉にある小さな穴に入れる．太陽の光は同じように小さな穴から入る．クロロフィルと土から吸収した水を変化させる．そしてエネルギーと他の全てが結合してグルコースが構成される）

構造的スコアリング：概念と関係を表す言葉がいくつ含まれるか

- 概念の例) 二酸化炭素，太陽の光，水
- 関係の例) 構成，作成，結合，必要，トラベル

## 4. 結果

### 4.1. 理解テストの正答率の平均

グループ	プレ		ポスト 1		ポスト 2	
	M	SD	M	SD	M	SD
HIL	.31	.10	.85	.15	.71	.13
AI	.29	.11	.84	.17	.65	.08
AC	.31	.13	.74	.19	.53	.18

各テストの平均値を群（3）を要因として分散分析

プレテスト：F = .066, p < .93.

ポストテスト 1：F = 2.28, p > .11 天井効果？ HIL と AI をまとめて AC と t 検定...t = -2.14, p < .04

ポストテスト 2：F = 6.6, p < .003 多重比較：HIL・AI > AC

#### 4.2. 個人での概念地図課題の成績

グループ	学習セッション 1				学習セッション 2			
	直感的リンク		科学的リンク		直感的リンク		科学的リンク	
	M	SD	M	SD	M	SD	M	SD
HIL	.49	.10	.32	.09	.41	.05	.41	.08
AI	.48	.08	.24	.06	.44	.05	.39	.05
AC	.31	.09	.14	.08	.38	.05	.24	.04

群（被験者間）×セッション（被験者内）での分散分析

直感的リンクを指標とした分散分析

群に主効果（ $F=19.25, p<.001$ ）

群と学習セッションの交互作用（ $F=12.94, p<.001$ ）

HIL, AI は AC よりも高い

学習セッション 2 は学習セッション 1 に比べて群間の差が少ない

科学的リンクを指標とした分散分析

群に主効果（ $F=35.86, p<.001$ ）

群と学習セッションに交互作用（ $F=6.17, p<.004$ ）

HIL, AI は AC よりも高い

全てのグループが学習セッション 2 で上がっている

個人での概念学習課題において AI 群は AC 群よりも高い

AI 群と HIL 群で差はなかった

#### 4.3. 共同での概念地図課題の成績

グループ	学習セッション 1				学習セッション 2			
	直感的リンク		科学的リンク		直感的リンク		科学的リンク	
	M	SD	M	SD	M	SD	M	SD
HIL	.58	.05	.37	.03	.51	.05	.47	.04
AI	.55	.03	.29	.08	.52	.05	.42	.08
AC	.33	.07	.17	.08	.47	.05	.25	.05

群（被験者間）×セッション（被験者内）での分散分析

直感的リンクを指標とした分散分析

群に主効果（ $F=17.61, p<.001$ ）

群と学習セッションの交互作用（ $F=14.56, p<.001$ ）

HIL, AI は AC よりも高い

学習セッション 2 は学習セッション 1 に比べて群間の差が少ない

科学的リンクを指標とした分散分析

群に主効果（ $F=15.59, p<.001$ ）

セッションに主効果（ $F=60.78, p<.001$ ）

HIL, AI は AC よりも高い

全てのグループが学習セッション 2 で上がっている

全てのデータで AI は AC よりも高かった（プロンプトの効果）

直感的リンクではなく、科学的リンクでセッション間に差が現れた（教示の効果）

HIL と AI はセッション 2 で直感的リンクが少なくなっている

共同のほうが単独よりも正答率が高くなっている（共同の効果？）

#### 4.4. 問題説明課題の成績

グループ	学習セッション 1				学習セッション 2			
	概念的		構造的		概念的		構造的	
	M	SD	M	SD	M	SD	M	SD
HIL	1.10	.22	4.13	2.10	1.10	.43	4.25	1.70
AI	1.12	.38	3.11	.55	1.30	.20	3.30	.50
AC	.61	.32	2.35	1.04	.92	.17	2.75	.65

概念的レベルを指標とした分散分析：群の主効果 ( $F=4.73, p<.03$ ) HIL, AI は AC よりも高い

構造的レベルを指標とした分散分析：群の主効果 ( $F=2.96, p<.09$ )

AI は AC よりもより概念的に優れた説明を行ったことが確められた

AI は AC よりもより構造的に複雑な説明を行うという仮説は確められなかった

#### 4.5. 各指標間の関係

- 概念的レベルと直感的リンクの相関係数 ( $r = .51$ )
- 概念的レベルと科学的リンクの相関係数 ( $r = .72$ )
- ポストテスト 2 と直感的リンクの相関係数 ( $r = .31$ )
- ポストテスト 2 と科学的リンクの相関係数 ( $r = .42$ )

より正しいリンクを回答したものは、より概念的に優れた説明を行い、光合成に関するよりよい理解をしていた。さらに、直感的リンクよりも科学的リンクの方が他の指標と関連していることは、科学的な用語でリンクを作ることが重要であることを示している。

#### 4.6. 説明プロンプトの質的分析

##### プロンプトへの回答の分類

1. 効果なし（説明者のみが回答）
2. 議論をひきだすが（説明者のほかの人物が回答にコメント）、途中で議論が途中でそれる
3. 関連する議論を引き出すが説明はされない
4. 貧弱な議論の後に興味深い説明が構成される
5. 関連する議論が引き出され、説明の一部に類推が含まれる

例 1：議論が引き出されたが話が途中でそれている（6～14 行）

例 2：貧弱な議論の後に興味深い説明が構成される

例 3：説明が構成され、植物と火の類推を行おうとする

プロンプト係は適切なプロンプトを選択するのが困難だったよう

実験者からの介入が時々あった

他のメンバーからの訂正があった

HIL 群はプロンプトがないのに自身で説明活動を行っていた

- 人間と植物の類推の妥当性を議論している。
- 先行知識との関連を述べる（36 行）。
- 相手に説明を求める（15 行：プロンプトと同じ機能）。
- ただし、相手の意見を認めるのは苦手なよう...相手の意見を認めさせるプロンプトが必要か？

プロンプト「それは科学的説明か、日常的説明か」への回答のタイプ

- 全てを説明するかどうか
- 誰かが学ぶ何かかどうか
- 全ての人知っている情報を含むのか、それとも自身の目で見えるものなのか
- 発見されるものか、説明されるものか

生徒は科学を、全ての人知っているわけではなくて、目に見えるものでなくて、発見される必要があって、より関係的な情報を含むものだと考えている  
関係情報は Thagard の科学観に似ているが、一方で全ての人知っているのなら科学ではないと思いきんでしまっている

## 5. 議論

### 5.1. まとめ

足場の作られた説明ベースの介入が生徒の光合成に関する知識を変化させ、説明の質を改善することを示した

説明プロンプトを受けた生徒はより概念的に優れた説明を行い、適切な科学的リンクを構成し、光合成に関するより多くの情報を記憶することに成功した。

AI 群は HIL 群と類似していた

### 5.2. 概念地図課題におけるパフォーマンス

- 直感的から科学的になった。これは教師による教示の後におこった。
  - 直感的から科学的になった生徒は光合成に関する知識をより覚えていた
- まとめると介入を受けた生徒はより関係的で科学的な理解をしていた

次のようなプロセスがあるのでは？

- 領域知識を得る 科学的用語を直感的用語に付け加える 科学的用語を度々、聞き使用する 用語を理解する ポキャブラリーに付け加えられる
- 関係的リンクの変化は少なかったが、これは日常的用語から科学的用語への移行を反映しているのかも？

移行の要因は？

理解とは関係なく反復提示の効果かも

しかし、科学的用語を用いた頻度と理解は相関しているからこの解釈はありえない

科学的用語を用いたことが原因で概念の理解が促進したのでは？

あらかじめ持っている概念が先駆者 (precursor) として働いた？あらかじめ持っている概念構造 (内-外関係・動物-非動物など) に新たな概念が組み込まれた？

はじめ生徒はオブジェクトの人格化や意図に関する言及を行っている

「根は土から水を吸う」「茎はグルコースを動かす」...人間とのアナロジー？

「水は土から取りこむ」「グルコースは茎を通して転送される」に変化

生徒は言葉に対してオーナーシップを持った？

深い探求を進めるに従って、より自分自身で科学者らしくなったと思ひ、言葉もそれらしくなる。

### 5.3. 問題説明課題におけるパフォーマンス

AI 群が概念的により進んだ説明をしたこと

共同でより多く説明をすることで、より進んだ説明が構成される

ただ、プロンプトは生徒の説明の構造には何も影響を与えていない

この結果は介入の一時的な効果かもしれない

どんなタイプの介入が構造的な差異を引き出せるのかは難しいところ

セッション間で説明が変わっていない

概念地図課題の成績が変わっていることからすれば驚くべきこと

1 回目の説明のちょっとした更新でとどめてしまった可能性はある

言葉で説明させたら違ったのではないか

以前とは異なる回答を求めていることを言えば違ったのではないか

#### 5.4. 研究の限界

プロンプトが適切に働かないときがあった．10%以下だが，何の効果もないときがあった．議論を引き出したが，議論が見当違いのところになってしまうこともあった．

しかし，もっとも多かったのは関連する議論が引き出され，説明が構成されることだった（80%以上）

選ばれるプロンプトに偏りがあった．

「自分の言葉で説明して下さい」「答えが正しいか，間違っているか，なぜそのように思うのか説明して下さい」は良く選択された．

「物事が世界でどのように見えているのかということと，クラスで学んだ科学的情報の違いを比較できる？」はほとんど無視された．なんらかのトレーニングが必要か

概念地図の限界は科学的知識の動的な性質を捉えられないこと．

また，エキスパートの概念地図に個人差があったかもしれない．

質問や説明が理解できなかったこともあったかもしれない

現象の親しみやすさや，抽象度，明白さが説明に影響したかもしれない

光合成は AI の生徒にとって難しかったのかもしれない

HIL 群がプロンプトを与えられたときに AI 群と同じようにプロンプトからポジティブな結果を引き出せたかは分からない

生徒はグループにいるだけではない．問題を効率的に解くだけではない．過去の研究では問題空間の探索における足場作りを重視してきたが，この研究はアイデアの構造化をサポートするフレームワークとしての説明プロンプト，会話を支えるものとしての説明プロンプトを提案した．他者前で説明をおこなうことは，その説明を，評価してもらい，批判してもらうこと．これは科学者のコミュニティにおける説明とおなじ．

問題解決における説明は自身の認識を自覚する役割も持っている．今後，認識論的自覚の役割，問題解決的能力に関する自身の思考，より一般的な科学学習に関する研究が必要

また，本研究では説明と理論の再構成，信念体系，オントロジー的なカテゴリとの関係を検討することができなかったが，これも今後重要な検討課題