

Eliciting Self-explanations Improve Understanding

MICHELENE T.H.CHI, NICHOLAS DE LEEUW, MEI-HUNG CHIU & CHRISTIAN LAVANCHER

Cognitive Science, vol18, pp439–477 (1994)

● 導入

㊦ 手続き的スキルを獲得する2つのメカニズム

・知識の獲得

初期のスキル：指導ソースからのエンコード化

・知識の編集

エンコード化されたスキルがより有能なものにゆっくり変換される

※エンコード(encode)：データを一定の規則に基づいて変換すること。単なる変換ではなく、高次の意味のある変換

㊦ 宣言的、手続き的知識の教育

事例を挙げた説明や直接的にエンコード化された知識を与えるわけではない

既存知識と新しい情報の結合が必要

→生徒が何を学びどこまで理解しているかを結合過程から知ることが可能

㊦ Self-explanation

問題解決過程におけるスキルの獲得を促進させる効果がある (1989)

㊦ 本研究で示すこと

self-explanation を生徒にさせることで self-explanation の有益な効果を得られること。

5つの目的

- ・ self-explanation の効果の一般化 (異なる領域、課題、指標、年齢グループ) を示す
- ・ 複雑な質問に対する理解の評価を明らかにする
- ・ 何を理解できたのかを捕らえるための分析を進展させるため
(初期のメンタルモデルから最期のメンタルモデルの変化)
- ・ 理論を修正できる self-explanation の過程、特徴を調べるため
- ・ 学習の向上は、self-explanation が促進されたときに起こるものなのかどうかを調べる

㊦ self-explanation は個人が持つ能力に関わらず、理解を促進させることを検討する (本研究)

- 先行研究とは異なる点

- ・ 異なる領域を使用 (物理の代わりに生物領域)
- ・ 異なる年齢層 (大学生の代わりに8年生)
- ・ 例題を練習する代わりに解説の説明をする
- ・ 手続き的な学習に代わって、概念の宣言的理解に焦点を当てる

担当：頓部

(問題解決の評価の代わりに質問の答え方を評価する)

- ・ 自発的に説明をさせるだけでなく、生成された説明をさらに促進させる

● Method

Materials

㊦ 循環システムに関するトピック

システム内で起こった組織間の相互作用を理解する必要がある

- ・ 循環システム内を構成する要素の 3 つの特徴

1. 構造 (structure=S)
2. 機能 (function=F)
3. 行動 (behavior=B)

- 構成要素についての特徴、関係性を示した模式図【Figure.1】

- 中学、高校の教科書では、構成要素内や要素間の関係性をはっきりと示されていない

- それぞれの構成要素の全ての特徴を理解できれば、要素間、内の関係は推測可能

- 個々の要素間、内の関係性と循環システム全体との階層的關係性の把握も必要

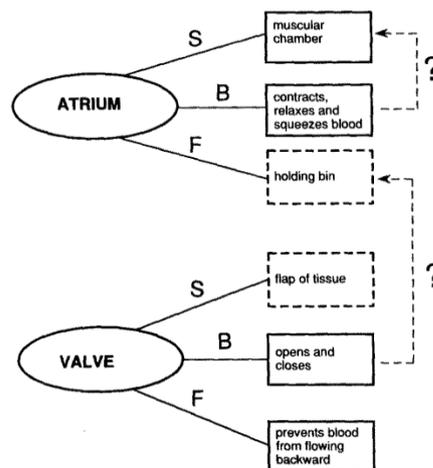


Figure 1. A schematic diagram of the knowledge pieces about components and their relations. Dotted lines and boxes indicate information missing from the text (S=structural property; F=function; B=behavior).

㊦ 質問のデザイン

- ・ プレ、ポストテスト

提示された情報から構成する新しい知識を取り出せることに焦点を合わせたデザイン

- ・ 4 つのセットで質問が構成

✓ Category1 “verbatim”

テキストベースの一问一答、テキストに明白に述べられた情報から作成された質問 (Table.1 例「ヘモグロビンを運んでいるのは何か」)

✓ Category2 “comprehension inference”

テキストに明白に述べられた情報から作成された質問、かつ 2 行以上の文から情報を

担当：頓部

統合しなければならない質問

✓ **Category3 “knowledge inference”**

新しい知識の生成が必要

かなりの理解が必要、常識的や日常的な知識のような事前知識も使用する

- ① 学習者が要素の何の機能について帰納させる（直接的に機能に関係したことは書かれていない）
- ② 要素の機能（行動、構造）と他の要素の特徴（機能、行動、構造）を帰納させる
- ③ システム全体の目的や拡散のようなプロセスの要素の特徴を帰納させる
- ④ 述べられた構造の説明をさせる

✓ **Category4 “health”**

循環システムのシステム全体の関係の理解を評価する

● **Subjects**

- ・ 参加者 生物学コースをとっていない8年生
- ・ 実験群 14名、統制群 10名
- ・ 実験を受ける前に CAT（能力検定）を受けた

● **Procedure**

✧ **First phase**

- ①循環システムの23項目（心臓、肺など）について生徒が何を知っているのかを説明させる
例：それは何？体のどこにあるの？どのような構造？何のためにどのようなことをする？
- ②人間の体が描かれた図に血流を描かせる
- ③テスト（Category1-4の内の28問）に回答

✧ **Second phase**

101の文を読む（101文の中に22の循環システムの機能について書かれたトピックあり）
（実験群）

文はどのような意味であるのかを説明させる

- 曖昧な言葉を発したときはもっと詳しく説明させる

例：実験者「”それ”とはどういう意味？」

（統制群）

説明をさせず、22の機能について書かれたトピックはなし。2度同じ文を読ませる。

✧ **Third phase**

First phaseの①～③と同様

- とったメモやテキストを見直しても良い

少なくとも1週間空けて1フェーズずつ行われた

● Results

□ 参加者全員の結果

Category1-4に関するテスト問題のスコア 【Figure.2】

- それぞれの Category でプレ、ポスト間で有意な差があった ($p<.001$)
- プレテストに比べて、ポストテストでは理解が向上

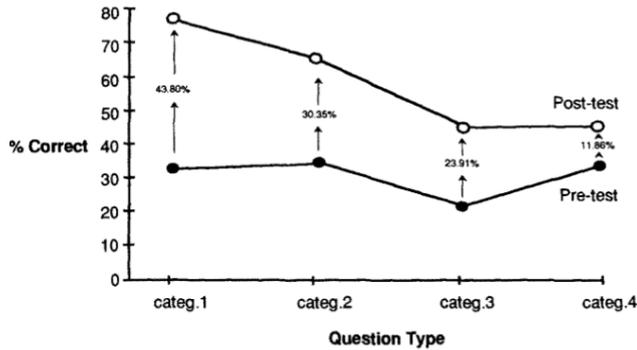


Figure 2. Percentage of correct answers on pre- and posttests across all 24 subjects for all four categories of questions (all gains are significant at the .001 level).

□ 統制群と実験群に分けた結果

- ・ 実験群、統制群ともにプレ・ポスト間でスコア向上
- ・ 実験群の方が統制群に比べ、理解が向上 【Figure.3】
- ・ 2 (群) × 2 (テスト) × 4 (カテゴリー) の ANOVA
群 (実験群 vs 統制群) とテスト (プレ vs ポスト) の間で交互作用あり ($F(1,22)=5.1, p<.05$)
群の主効果なし、テストとカテゴリーの主効果あり

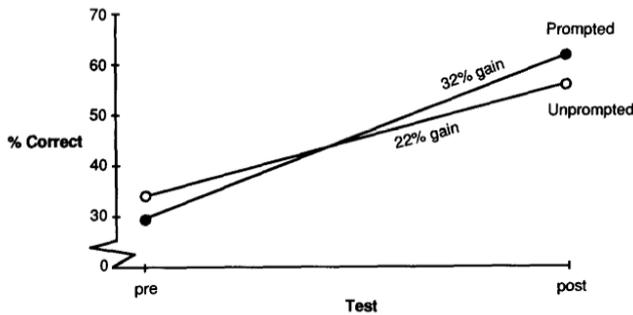


Figure 3. Percentage correct answers on pre- and posttests comparing prompted (n=14) and unprompted (n=10) students.

- ・ Category3, 4に関する問題のスコアでは2群間に差があった ($t(22)=2.64, p<.01$)
- 難しい問題では実験群の方が理解している

□ Self-explanation のコード化

- 発話：説明、解釈に区分 【Table.2】
- 説明：Coarser(粗い)Coding、Finer(細かい)Coding に区分 【Table.3】

TABLE 2
Example of Self-explanation Coding

| | | |
|-----------------------|---|---------------------------------|
| Sentence 118: | <u>These substances (including vitamins, minerals, amino acids and glucose), are absorbed from the digestive system and transported to the cells.</u> | |
| Student: | "Okay, so that's the point of what hepatic portal circulation [is]. To pick up these nutrients, I would guess." | Explanation 1 |
| Experimenter: | "Okay, why would you say that?" | |
| Student: | "Well because it says that it's absorbed from the digestive system, um vitamins, minerals, amino acids, and glucose, and so that's why it's important to eat a balanced diet, or else your cells won't get the right vitamins, minerals amino acids, and glucose." | Paraphrase Explanation 2 |
| Explanation 1: | Purpose of the hepatic portal circulation: to pick up nutrients from digestive system. | |
| Explanation 2: | Eating a balanced diet is important for your cells. | |

ロ 実験群内の結果

- ・ 説明推論の数によるランク分け
 - 実験群 **High explainer** (4名), **Low explainer** (4名) を分析対象【Table.5】
- ・ Self-explanation inference
 - テキストに書かれている以上のことを推論できる
 - 解釈や理解のモニタリング、推論の bridging 化
- ・ コード化された Self-explanation を比較
 - ✓ Coarser Coding
 - 誤った説明を除いた場合
 - High($M=61$)の方が Low($M=14$)に比べて有意に説明が多い ($t(6)=5.89, p<.001$)
 - ✓ Finer Coding
 - High($M=117$)の方が Low($M=60$)に比べて有意に説明が多い ($t(6)=4.42, p<.01$)
- ・ プレ・ポストテストのスコアを比較
 - ✓ プレからポストで得たスコア (=プレ・ポストのスコアの差)【Figure.4】
 - Highの方がLowに比べてポストテストで上がった ($t(6)=2.14, p<.07$)
 - 特に Category3, 4 に関する問題では、Highの方が上がった ($t(6)=3.02, p<.05$)

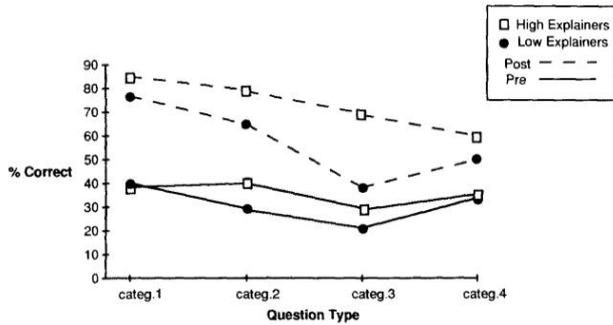


Figure 4. Percentage of correct answers for Category 1-4 questions on pre- and posttests comparing high explainers ($n=4$) and low explainers ($n=4$).

- ・ ポストテストでテキストを参照した平均回数
 - ✓ High よりも Low の方がテキストを参照
 - High はテキストを読みながら説明をしたことで理解をより深めていた
 - ✓ テキストを見て正答した問題を除いたテストスコアの比較
 - High の方が Low より高い ($t(6)=3.22, p<.02$)
- ・ Category3, 4 に関する発話
 - Low テキストを見て発話した数の内 35%が Category3, 4 であった
 - High たった1つ
 - High はテキストを見返す必要のない知識を生成
- ・ 書き込んだ図の数
 - High 平均 18 個 ($SD=22.0$) と Low1 平均 1 個 ($SD=1.4$) で差はなし
 - High は分散が大きいが、図を描くことで構造的な理解を促進
 - 比較できるデータ数が少ないため、Self-explanation と関連付けた議論は難しい
- ・ 能力の低い、高いグループの比較 (CAT の結果より)
 - 実験群で、CAT スコアにより低い能力 (5 人)、高い能力 (5 人) に分類
 - プレ・ポストテストの結果 【Figure.5】

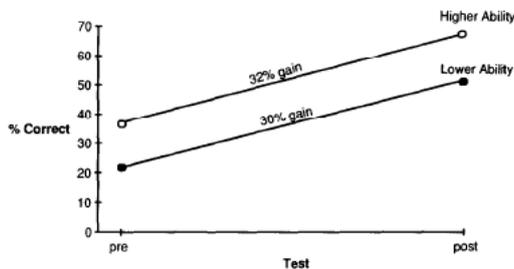


Figure 5. Percentage of correct answers on pre- and posttests comparing higher ability ($n=5$) and lower ability ($n=5$) prompted students.

- ・ Self-explanation の構造
 - 3 つの結合パターン

1. 新しい知識と常識や背景知識と統合させた説明 =30%
2. アナロジーや論理的推論などを用い、新しい知識と関連性の低い経験を結合させた説明 =29%
3. 新しい知識と前のセンテンスを結合させた説明 =41%
 - High トピック内 ($M=34$ links) , トピック間 ($M=17$ links)
 - Low トピック内 ($M=18$ links) , トピック間 ($M=3$ links)トピック間による新しい知識の生成は、個々のメンタルモデルを区別したうえで一貫性のあるメンタルモデルを生成していたことを示唆

・ 循環機能についての帰納的な考え方

テキストに明確に書かれていない機能に関する問題の正答【Figure.6】

- High の方が Low に比べて帰納的な考えができていた ($t(6)=3.05, p<.05$)

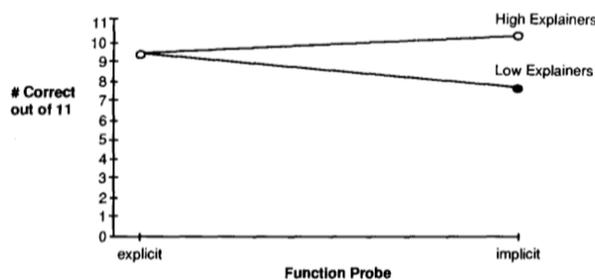


Figure 6. Number of correct answers to explicit and implicit function probes comparing high ($n=4$) and low ($n=4$) explainers (the interaction is significant at the .01 level).

ロ メンタルモデル

人間の体に描いた図と発話から 6 つのメンタルモデルタイプに分類【Table.4】

—double Loop-2 モデルが完全に正しいモデルタイプ

- ・ First Phase (Pretest) と Third Phase (Posttest) における参加者全員のメンタルモデル【Table.5】

Pretest : 21%(no loop モデル), 50%(single loop モデル)

Posttest : 25%(double loop-1 モデル), 46%(double loop-2 モデル)

- テキストを読んだことと self-explanation により正しいメンタルモデルに変換

- ・ 実験群と統制群の比較 (Posttest)

実験群 : 57%が double loop-2 モデルに変換

統制群 : 22%が double loop-2 モデルに変換

- ・ 実験群内 (Posttest)

High : 100%が double loop-2 モデルに変換

Low : 25%が double loop-2 モデルに変換

- 説明量の多い High グループの方が正しい循環構造を理解した

● Discussion

- ・ 実験群と統制群の比較、実験群の High グループと Low グループの比較から、self-explanation は学習の強化や理解の促進をさせることを評価できた
- ・ High グループが複雑な問題に回答できた結果より、self-explanation は深い理解を促進させたり、潜在的な機能を帰納できるようになる
- ・ 実験群では、Posttest で正しいメンタルモデルに変換できた
- ・ self-explanation の 3 つの特徴
 1. 問題解決に必要な宣言的、手続き的知識を構成させる
 2. 既存知識と新しく学習した知識を結合させる
 3. 断続に段階を踏んで行われるため、不完全で断片的な説明となってしまう
 - 展開してきたメンタル構造と真実間の矛盾を見つけ出す機会を作る
- ・ 実験群が多くの説明を生成した
説明生成を促進させる潜在的な要因があった？
 - ✓ 新しい知識と背景知識の統合した説明結果より
 - 一般知識が大きな役割を果たした
 - ✓ High explainer はトピック間で説明を生成
 - テキストに書かれた情報と新しく学ぶべき知識を結合させる戦略があったのか
- ・ 学習を促進させるための self-explanation を自動的に上手く引き出せるように研究を進めていく

TABLE 1
Examples of Category 1-4 Questions
and the Corresponding Lines of Text Needed to Answer Them (Towle, 1989)

| | |
|--------------------------------------|--|
| Category 1: Verbatim | |
| Sentence 127: | <u>Hemoglobin is the molecule that actually transports oxygen and carbon dioxide.</u> |
| Question: | <u>What does hemoglobin transport?</u> |
| Category 2: Comprehension Inferences | |
| Sentence 71: | <u>Many veins pass through the skeletal muscles.</u> |
| Sentence 72: | <u>During movement, these muscles contract, squeezing blood through the veins.</u> |
| Question: | <u>Besides the role of valves in the veins, what keeps blood from the lower parts of the body moving up toward the heart through the veins, against gravity?</u> |
| Category 3a: Knowledge Inferences | |
| Sentence 17: | <u>The septum divides the heart lengthwise into two sides.</u> |
| Sentence 18: | <u>The right side pumps blood to the lungs, and the left side pumps blood to other parts of the body.</u> |
| Sentence 30: | <u>Blood returning to the heart, which has a high concentration of carbon dioxide and a low concentration of oxygen, enters the right atrium.</u> |
| Sentence 33: | <u>In the lungs, carbon dioxide leaves the circulating blood and oxygen enters it.</u> |
| Sentence 34: | <u>The oxygenated blood returns to the left atrium of the heart.</u> |
| Question: | <u>Why would the distribution of oxygen (a systemwide function) be less efficient if there is a hole in the septum (a structure of the septum)?</u> |
| Category 3b: Knowledge Inferences | |
| Sentence 73: | <u>Valves prevent the blood from moving backward or downward.</u> |
| Sentence 80: | <u>Pulmonary circulation is the movement of blood from the heart to the lungs and then back to the heart.</u> |
| Sentence 86: | <u>Oxygenated blood then flows into venules, which merge into the pulmonary veins that lead to the left atrium of the heart.</u> |
| Sentence 87: | <u>The pulmonary veins are the only veins that carry oxygenated blood.</u> |
| Question: | <u>Why doesn't the pulmonary vein have a valve in it?</u> |
| Category 4: Health | |
| Sentence 3: | <u>The blood moving through the vessels serves as the transport medium for oxygen, nutrients, and other substances.</u> |
| Sentence 64: | <u>Several venules in turn unite to form a vein, a large blood vessel that carries blood to the heart.</u> |
| Sentence 76: | <u>The English scientist William Harvey first showed the heart and blood vessels formed one continuous, closed system of circulation.</u> |
| Question: | <u>Some snake bites can be dangerous because the snake venom causes muscle paralysis (muscles become immobile—can't move). How is it that a person can die in a short amount of time from such a snake bite, even when the bite is on the ankle?</u> |

TABLE 4
Necessary Features for Each Type of Mental Model

| | |
|------------------------|---|
| No Loop | 1. Blood is pumped from the heart to the body. 2. Blood does not return to the heart. |
| Ebb and Flow | 1. Blood is primarily contained in blood vessels. 2. Blood is pumped from the heart to the body. 3. Blood returns to the heart by way of the same blood vessel. |
| Single Loop | 1. Blood is primarily contained in blood vessels. 2. Blood is pumped from the heart to the body. 3. Blood returns to the heart from the body. |
| Single Loop with Lungs | 1. Blood is primarily contained in blood vessels. 2. Heart pumps blood to body or to lungs. 3. Blood returns to heart from body or from lungs. 4. Blood flows from lungs to body or from body to lungs without return to heart in between. 5. Lungs play a role in the oxygenation of blood. |
| Double Loop—1 | 1. Blood is primarily contained in blood vessels. 2. Heart pumps blood to body. 3. Blood returns to heart from body. 4. Heart pumps blood to lungs. 5. Blood returns to heart from lungs. 6. Lungs play a role in the oxygenation of blood. |
| Double Loop—2 | 1. All features from Double Loop—1 2. Heart has four chambers 3. Septum divides heart lengthwise—sense of preventing mixing of blood. 4. Blood flow through heart is top to bottom. 5. At least three of the following: Blood flows from right ventricle to the lungs. Blood flows from lungs to left atrium. Blood flows from left ventricle to body. Blood flows from body to right atrium. |

TABLE 5
Prompted and Unprompted Students' Pre- and Posttest Mental Models

| Student | Inferences | Pretest Model | Posttest Model |
|-------------------|------------|-------------------|------------------------------|
| Prompted | | | |
| High | | | |
| 1 | 111 | Single loop | Double loop—2 |
| 2 | 87 | Single loop—lungs | Double loop—2 |
| 3 | 84 | Single loop | Double loop—2 |
| 4 | 64 | Single loop | Double loop—2 |
| Medium | | | |
| 5 | 47 | Single loop | Single loop—lungs |
| 6 | 47 | Single loop | Double loop—2 |
| 7 | 42 | Ebb and flow | Double loop—2 |
| 8 | 40 | Single loop | Double loop—2 |
| Low | | | |
| 9 | 35 | Single loop—lungs | Double loop—2 |
| 10 | 33 | No loop | Single loop—lungs |
| 11 | 28 | Single loop | Double loop—1 |
| 12 | 20 | Single loop—lungs | Double loop—1 |
| Excluded | | | |
| 13 | 20 | Single loop | Single loop (no CAT score) |
| 14 | 7 | No loop | No loop (outlying CAT score) |
| Unprompted | | | |
| 15 | | Single loop | Undeterminable |
| 16 | | Single loop—lungs | Double loop—2 |
| 17 | | No loop | Double loop—1 |
| 18 | | Single loop | Double loop—1 |
| 19 | | Double loop—2 | Double loop—2 |
| 20 | | Ebb and flow | Double loop—1 |
| 21 | | No loop | No loop |
| 22 | | Single loop | Double loop—1 |
| 23 | | No loop | No loop |
| 24 | | Single loop | Double loop—2 |