

## Effectiveness of holistic mental model confrontation in driving conceptual change

Soniya Gadgil, Timothy J. Nokes-Malach, Michelene T.H. Chi

Learning and Instruction vol.22 (2012) pp47-61

### ● 1. Introduction

- ・ Learning and Instruction 研究の核となる問題は、生徒が誤った概念から複雑な現象を正しくどのように理解させるかを明解にすること
  - ✓ 概念変換をサポートする教育
  - ✓ 概念変換を促進する認知メカニズム

#### 1.1 誤った知識レベル

知識は3つのレベルにおいて誤って理解される (Chi,2008)

##### ① False belief (basic level)

- ・ 述べられた1つの命題に対して、誤った1つの考えを持つこと  
例：「すべての血管は、弁がある」→「静脈のみ、弁がある」
- ・ 根本的なメンタルモデル構造を必要としないので、False belief は簡単に修正可能

##### ② Mental model (next level)

- ・ システムについての質的な推論により構成された知識(Gentner & Stevens, 1983;Johnson-Laird, 1980)
- ・ たくさんの特徴や命題、特徴間の相互関係から構成
  - ーメンタルモデルは個々の考えをただ集めたものではない
- ・ 命題間の複雑な相互関係を有するので、密接した統合構造をもつ
  - ー正しい個々の考えを持っていたとしても、欠如されたメンタルモデルを持っているかも

##### ③ Ontological categories (complex level)

- ・ 科学現象を1種のカテゴリーだと考えた時、誤った知識が生じる (Chi,1997,2005)
- ・ ontology： (存在論)システムや理論の背後にある存在に関する仮定
- ・ 2つの科学過程のオントロジカルカテゴリーを定義 (Chi,2005)

###### 1. Direct process

システムの要素が他のシステムの要素に直接変化をもたらす

例：心臓と身体、心臓と肺の血流が循環系システムの血流にどのような影響を与えるのか

###### 2. Emergent process

- ✓ システムレベルの活動は、同時に活動している他の要素の相互作用から現れる要素やパートの単体のみでは活動は起こらない

例：液体分子と色素分子の相互作用により構成された分子

- ✓ 直感では理解できず、活動が起こっていることに気づきにくい

## 1.2 概念変換と思考の修正を促進させる認知過程

- ・ 概念変換の定義  
学ぶべき概念に矛盾している事前知識を変換すること
- ・ gap filling のような学習過程と概念変換を区別する必要がある
  - ✓ gap filling とは、  
学習している題材についての事前知識が足りなかった時に、新しい知識を増やしギャップを埋めること
  - ✓ 既存の知識の変換や既存の誤った概念を取り除く必要はない
- ・ 思考を修正する認知過程は、推論や知識修正を含む概念変換に関係している
  - ✓ 推論  
事前知識を使用し、新しい知識を構成する高次な認知過程
  - ✓ 知識修正  
メタ認知モニタリングが必要になり、間違っただけに気づき、矛盾を排除し知識を修正 (Chi,2000; Winne & Hadwin, 1998; Zimmerman & Campillo, 2003)
- ・ 修正すべき知識レベルによって認知過程が異なる
- ・ 高次な認知過程の研究
  - ✓ 生徒の事前知識とエキスパートモデルの特徴の違いを示す
  - ✓ システムレベルの特徴間の相互関係も明らかにしている
- ・ メンタルモデルの特徴や関係性を明らかにすることで、システムの概念変換を促進させる

## 1.3 考えの修正や概念変換をサポートする教育

- ・ 反証 (refutational)  
反証が書かれたテキストを読んだ生徒の方が解説のみ書かれたテキストを読んだ生徒よりも成績が良い
  - ✓ False belief レベルの誤った知識：反証テキストは個々の命題を否定するから効果がある (Hynd & Alvermann, 1986; Kendeou & van den Broek, 2007)
  - ✓ Mental model レベルの誤った知識：システム間の関係性を考慮すべき物理を扱った問題で、反証テキストを読んだ生徒の方が概念変換された (Hynd, McWhorter, Phares & Suttles, 1994)
- ・ 自己説明 (self-explanation)  
既存の知識を科学知識と一致させるような知識の修正や推論が行われる
  - ✓ 自己説明を通じた正しい考えの積み重ねにより、正しいモデルに修正 (Chi, de Leeuw, et al., 1994; Chi, Slotta, et al., 1994)
- ・ 全体的対比 (holistic confrontation)

個々のモデルを見た時に焦点を当てなかった特徴や関係性に気づくことができる

- ✓ analogical comparison (Gentner et al., 2003; Kurtz, Miao, & Gentner, 2001; Nokes & VanLehn, 2008; Clement, 1993)
  - ー類推を利用し、個々の考えを修正させて概念変換を試みる
  - ーメンタルモデルでの領域で議論する必要性

#### 1.4 研究仮説

- ・ 過去の研究

analogical comparison は、重要な特徴、推論、スキーマ抽出のような認知過程を促進すると示された

  - ✓ 正しい図表のみ比較
- ・ 今回の実験

人間の循環系システムの内容

  - ✓ 正しいエキスパートの図のみを見る (Explain-diagram 条件)
  - ✓ 間違った図と正しいエキスパートの図を比較 (Compare 条件)

推論が行われ、システム間の重要な関係性に気づき、メンタルモデルレベルでの概念変換が可能
- ・ 仮説
  1. Diagram test
    - ✓ Compare 条件

既存のモデルと正しいモデルの相違点に気づき、既存のモデルを修正可能
    - ✓ Explain-diagram 条件

エキスパートモデルの特徴を説明することに焦点を当て、既存のモデルとエキスパートモデル間の相違にはあまり焦点を当てない

⇒ 学習の後、正しいメンタルモデルを持っていれば正しく図に書き込める

⇒ ポストテストで正しいモデル図を書く：Compare 条件
  2. Mental model test, 推論テスト

Compare 条件の参加者は、重要な特徴やモデルの関係性に気づき推論が進む

⇒ 成績の良さ：Compare 条件 > Explain-diagram 条件
  3. 循環系に関連した知識テスト

実験で使用したテキストに書かれている知識の量は同じ

⇒ 条件間による違いは無い
  4. 発話プロトコル

- ⇒ 構造的な発言をした数：Compare 条件 > Explain-diagram 条件  
構造的な発言…図に書かれたことの言い換えた以上の発言
- ⇒ 比較した発言の数：Compare 条件 > Explain-diagram 条件

5. 機能に関する推論発言

- 図表の比較は、全体的な特徴に気づきやすく、その特徴を統一させる
- ⇒ 機能に関する推論発言の数：Compare 条件 > Explain-diagram 条件

6. 発言の修正

- False belief レベルの知識の修正（個々の命題を修正）
- ⇒ 発言の修正数：Compare 条件 < Explain-diagram 条件

● 2. Method

・ 参加者

58名の学部生、大学院生

- ✓ Compare 条件 30名, Explain-diagram 条件 28名

・ 実験の流れ 【Table1】

1. プレテスト

Mental model test (0-20点), 知識テスト (0-22点)

—初期のメンタルモデルと循環系に関する事前知識を確認

- ✓ メンタルモデルの測定  
コード化された5種類のスキーマを使用  
誤ったモデル (Single-loop model) を記述していて、10点以下であった参加者に対して続けて実験を実施 (58名)
- ✓ フィードバックは一切なし

2. Learning

- ✓ Compare 条件  
循環系の間違ったモデルの図を提示し、エキスパートの図と比較するように指示  
—実験者に質問をされながら、参加者は声に出して比較する  
パソコン画面上に提示された循環システムについてのテキストを読む
- ✓ Explain-diagram 条件  
正しい図のみを見せられ、それについて説明する  
—実験者に質問をされながら、参加者は声に出して説明する  
パソコン画面上に提示された循環システムについてのテキストを読む

### 3. ポストテスト

説明を声に出しながら、空白の図に循環システムについて書き込むテスト、  
Mental model test, 知識テスト, 知識推論テスト (0-25 点)

#### ✓ 知識推論テスト

Learning のテキストには直接的に書かれていなかった問題に回答

**Table 1**  
Description of materials.

		Materials	Description	Example
Pretest (about 25 min)		<ul style="list-style-type: none"> <li>Mental model test (Score: 0–20)</li> <li>Declarative knowledge test (Score: 0–22)</li> </ul>	6 short-answer questions  12 definition questions	Describe the path of blood from the heart to the various parts of the body. (See Appendix A for complete list) Aorta: What does it mean? Where is it located? What is its function? See Appendix B See Appendix C See Appendix E
Instructional intervention (about 25 min)	Compare Condition (Diagram comparison: 5–7 min)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Flawed single-loop diagram</li> <li>Correct double-loop diagram (Talk aloud while comparing diagrams; verbalizations recorded)</li> <li>Expository text describing human circulatory system; 72 sentences, presented on computer screen line by line.</li> </ul>	Diagram Diagram List of prompts  Text	See Appendix B See Appendix C See Appendix E  See Appendix D
	Explain-Diagram Condition (Studying correct diagram: 5–7 min)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Correct double-loop diagram (Talk aloud while explaining diagram; verbalizations recorded)</li> <li>Expository text describing human circulatory system; 72 sentences, presented on computer screen line by line.</li> </ul>	Diagram List of prompts  Text	See Appendix C See Appendix E  See Appendix D
Posttest (about 55 min)		<ul style="list-style-type: none"> <li>Blank diagram to be completed and explained while drawing; audio protocols were collected.</li> <li>Knowledge Inference test (Score:0–25)</li> <li>Mental model test (Score: 0–20); Same as pretest</li> <li>Declarative knowledge test (Score: 0–22); Same as pretest</li> </ul>	Diagram  18 short-answer questions  6 short-answer questions  12 definition questions	Why don't we have valves in pulmonary veins? Same as pretest; (See Appendix A for complete list) Same as pretest

## ● 3. Results

### ・ Diagram test

メンタルモデルのタイプをコード化 【Fig.2】

2人の評価者間信頼性 Kappa=0.94

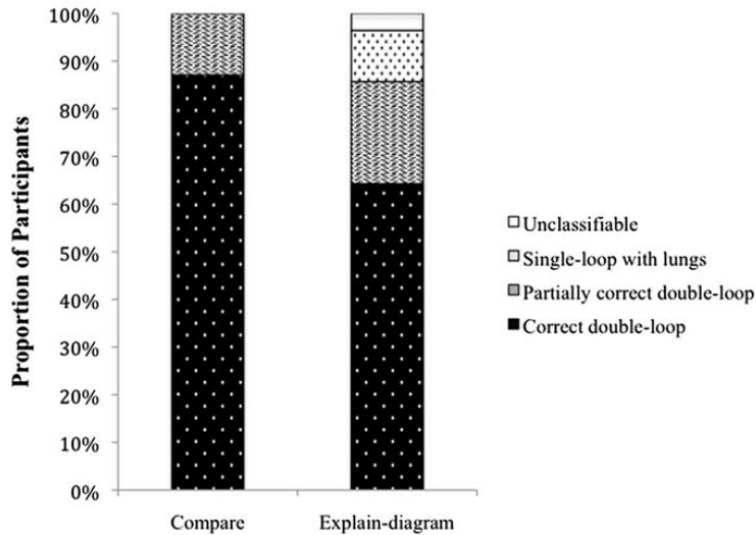


Fig. 2. Proportion of participants' diagrams for each category by condition.

- ✓ 正しいメンタルモデル図 (Correct double-loop) を作成  
Compare 条件 約 90%, Explain-diagram 条件 64%
- ✓ 両条件、初期で生成されたモデル (Single-loop model) はポストテストでは書かれなかった  
⇒ Learning 効果の証拠が得られた
- ✓ 正しい図 (Correct double-loop) を書いた割合と間違った図 (他 3 つ) を書いた割合を比較  
カイ二乗検定  $\chi^2(2, N = 58) = 7.12, p < .05; \phi = .29$   
⇒ Explain-diagram 条件よりも Compare 条件の方が全体的に概念変換を行った(仮説 1)

・ Mental model test

ポストテストの平均スコア 【Fig.3】

Instruction の効果を調べるため、共分散分析 (ANCOVA)

- ✓ プレとポスト  $F(1, 55) = 20.14, p < .05, \eta^2 = .27$
- ✓ 2 条件  $F(1, 55) = 4.00, p = .05, \eta^2 = .07$

⇒ Explain-diagram 条件よりも Compare 条件の方がスコア高い (仮説 2)  
Compare 条件はメンタルモデル修正ができた

・ 知識テスト

ポストテストの平均スコア 【Fig.3】

Instruction の効果を調べるため、共分散分析 (ANCOVA)

- ✓ プレとポスト  $F(1, 55) = 32.78, p < .05, \eta^2 = .37$
- ✓ 2 条件  $F(1, 55) = 5.80, p = .05, \eta^2 = .09$

⇒ Explain-diagram 説明条件よりも Compare 条件の方がスコア高い(仮説 3 と異なる)

Compare 条件は知識についての記述ができた

・ 知識推論テスト

ポストテストの平均スコア 【Fig.3】

Instruction の効果を調べるため、分散分析 (ANOVA)

✓ 2 条件  $F(1, 56) = 4.86, p = .05, \eta^2 = .08$

⇒ Explain-diagram 条件よりも Compare 条件の方がスコア高い (仮説 2)

Compare 条件は正しい推論ができた

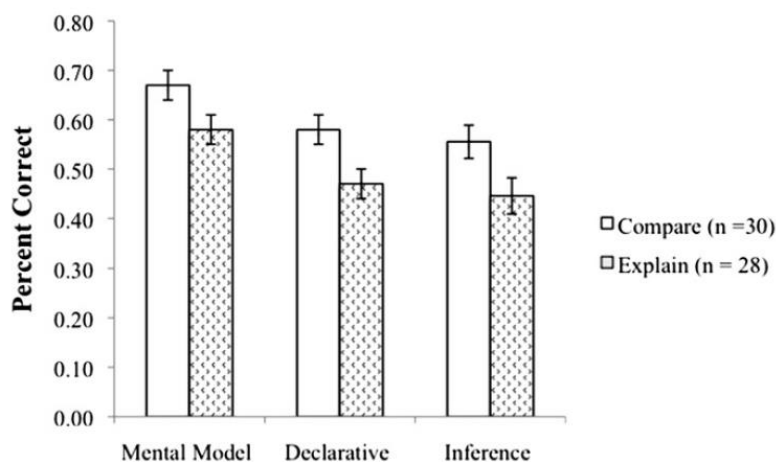


Fig. 3. Adjusted mean posttest performance and standard errors on mental model and declarative questions, and mean posttest performance on knowledge inference questions.

・ 発話プロトコル分析

Renkl's (1997)の発言タイプを分類したスキーマコードを利用

評定者間信頼性 Cohen's Kappa = 0.87

タイプ別の構造的発話数の平均 【Fig.4】

分散分析 (ANOVAs)

✓ 条件間の構造的発言数  $F(1, 42) = 17.59, p = .05, \eta^2 = .35$

⇒ Explain-diagram 条件よりも Compare 条件の方が構造的発言数、比較発言数が多い (仮説 4)

✓ Functional-Related における 2 条件  $F(1, 42) = 3.37, p = .07, \eta^2 = .07$

⇒ Explain-diagram 条件よりも Compare 条件の方が、循環系システムの異なるパートの機能について推論発言が多い (仮説 5)

(Functional-Related 発言は、特徴間の関係性を表現し正しいメンタルモデルの重要

性を示す)

- ✓ Revision における 2 条件  $F(1, 42) = 5.64, p = .05, \eta^2 = .19$   
⇒ Compare 条件よりも Explain-diagram 条件の方が発言の修正が多い (仮説 6)  
Explain-diagram 条件では、False belief レベルで知識の修正が行われていた

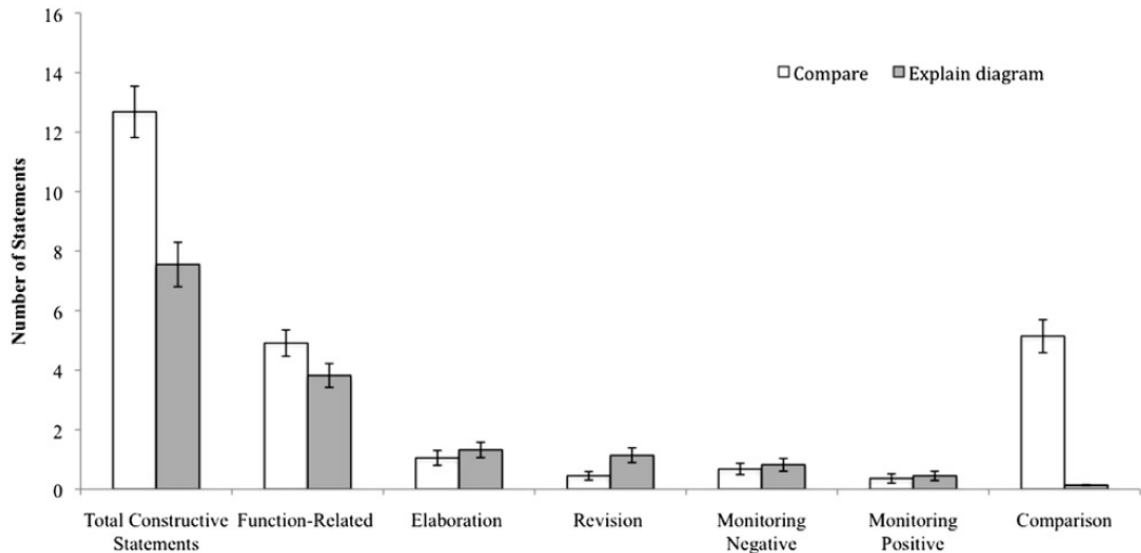


Fig. 4. Mean and standard errors for number of statements of each category.

#### ● 4. Discussion

- analogical comparison  
メンタルモデルの概念変換に効果がある  
モデルの特徴間の関係性に気づくことにより誤った命題を修正させる  
⇒ 図の書き込みテストや推論テストの実験結果により確認
- 図の書き込みテストで約 90%の Compare 条件の参加者が正しいモデルを生成 (仮説 1 を支持)
  - ✓ 比較は、概念変換に効果的であることを確認
- Mental model test で Compare 条件の方が、成績が良い (仮説 2 を支持)
  - ✓ 比較は、システム全体のメンタルモデル修正を導き、モデルの異なる命題や特徴間の関係性への気づきを促進させる
- 比較条件の方が知識テストの成績が良い (仮説 3 に反した結果)
  - ✓ 後に行われる学習では、初期の学習活動が有効 (Schwartz & Bransford, 1998; Schwartz, Bransford, & Sears, 2005; Schwartz & Martin, 2004)
    - 今回の実験 (Learning フェーズ)  
テキスト学習の前に行われた、図を比較した学習活動が知識テストに影響した



- ✓ 比較させる活動は、(比較をせずにただ要約を読んでいる活動よりも)次に何かを学ぶ準備をさせる(Schwartz & Bransford, 1998)
- ✓ 比較により識別化、明瞭化された知識構造を獲得
- ✓ 獲得した知識構造は、講義などで出てきた情報を区別したり理解するために使用される
  - ー今回の実験
  - Compare 条件では、識別できた知識構造を生成したことでメンタルモデルを修正生成した知識構造を使用して、後のテキスト学習で出てきた情報を理解できた

- ・ Compare 条件の方が知識推論テストの成績が良く、関連した機能の推論が行われる (仮説 2・仮説 5 を支持)
- ・ Compare 条件では、比較発言やシステム間の関係性の発言があった (仮説 4・5 を支持)
  - ✓ 比較は、全体的な特徴に気づきやすく、推論を発生させる
- ・ この研究は、学習における *analogical comparison* の効果や教育分野の概念変換の重要性を示した
- ・ *analogical comparison*  
事前モデルの特徴間の関係を再構成させようとした時、概念変換を引き起こすのに有用情報の矛盾を突き詰めさせるというより、事前知識を再構成するために必要なリソースを与える
  - ✓ 教育 (特に科学教育) に重要な影響を与える
- ・ 現在の科学カリキュラムは、科学的モデルと自身の事前知識を比較、対比させる過程を強調していない (Richland, Zur, & Holyoak, 2007)
- ・ 教育への *analogical comparison* の組み込みは、生徒の事前科学概念の根本的な再構成を実現するのに効果的
- ・ 説明、比較、対比の関係性をさらに調べる必要がある

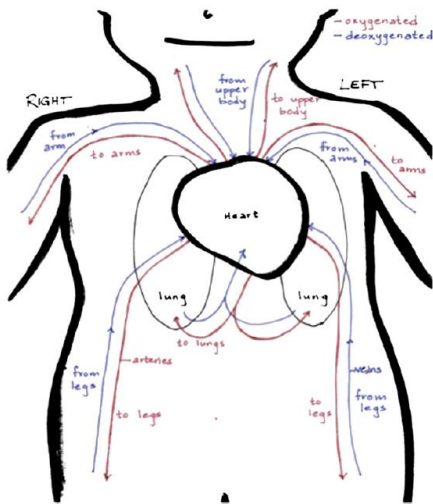
### 【Appendix A】

#### Appendix A. Mental model questions

1. Describe in a few lines the path of the blood in the circulatory system.
2. What types of blood vessels are present in the circulatory system and what are their functions?
3. Describe the structure of the heart in a few lines and explain the functions of each part.
4. What are important components of the circulatory system and what role do they play in circulation?
5. What are the primary and secondary functions of blood? 6. What is the main function of the heart?

### 【Appendix B】

Appendix B. Single-loop model (Flawed)



### 【Appendix C】

Appendix C. Double-loop model (Correct)

