

The influence of domain knowledge on strategy use during simulation-based inquiry learning

Ard W. Lazonder, Pascal Wilhem, Mieke G. Hagemans

Learning and Instruction, 2008, Vol. 18, 580-592

1. Introduction

- ◇ 探究学習：学習者が仮説の生成と実験のデザイン，実行により，ドメインについての知識を推論する
 - ▶ 適切なサポートが必要
 - 事前知識の少ない生徒の学習ニーズに探究学習をどうあわせるか？
 - ▶ 問題解決における事前知識
 - Alexander & Judy (1988)
 - ・ より知識のある学習者は，より洗練された効果的な方略を適切に実行することができる
 - ▶ 探究学習にも当てはまる
 - 洗練された初期概念，高い事前知識→洗練された方略，実験結果の予測に成功 (Schauble, Glaser, Raghavan, & Reiner, 1991; Lavoie & Good, 1988; Hmelo, Nagarajan, and Roger, 2000)
 - 発達的研究でも年齢レベル間で同様の結果 (e.g., Veenman, Wilhelm, & Beishuizen, 2004; Zimmerman, 2007)

- ◇ 知識の変化に敏感な知識獲得の認知モデルが必要
 - 生徒は探求中に知識を蓄積させる
 - ▶ Klahr and Dunbar (1988)の SDDS モデルが要求に合う
 - 仮説空間と実験空間の探索のサイクル
 - もし，テストに値する仮説が見つけられなかったら，実験空間を探索する
 - ▶ Van Joolingen and De Jong (1997, see also Gijlers& De Jong, 2005)
 - SDDS を複雑なドメインにおける探究学習に拡張
 - 仮説空間の改良 (Fig. 1)
 - universal hypothesis space
 - ・ ドメインにおける全ての可能な仮説を含む
 - learner hypothesis space
 - ・ ドメインについて生徒が生成可能な全ての仮説を含む
 - learner domain space
 - ・ 生徒のドメインにおける変数間の関係についての考え
 - target conceptual model

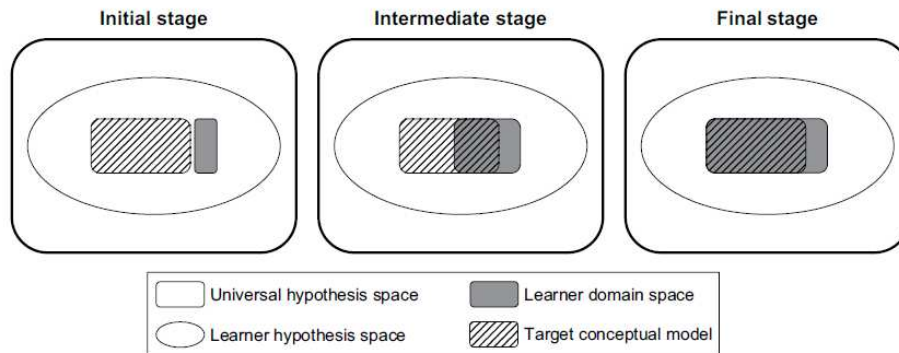


Fig. 1. Example of changes in the hypothesis space during the inquiry learning process. The experiment space, which contains all possible experiments learners can perform with a simulation, remains unchanged through time and is, therefore, not included in this figure.

- ・ 生徒が推測すべきシミュレーションにおける変数間の関係
- ▶ 知識の構築 = learner domain space における変化 (Fig. 1)
 - 初期ステージ
 - ・ 課題に関する生徒の事前知識のみを含む
 - ・ target conceptual model との重なりはない
シミュレーションにおける変数や関係についての事前知識がない
 - target conceptual model が learner hypothesis space に含まれれば, target conceptual model についての情報を推論するために, 関係する仮説を生成することができる
 - learner domain space が target conceptual model のほうへシフトしていく
 - 最終的に完全に重なる
- ◇ Klahr and Dunbar (1988)の Theorist と Experimenter
 - ▶ Theorist
 - 新しい仮説を求めて仮説空間の探索を行う
 - ▶ Experimenter
 - データ駆動のアプローチを用い, 実験結果から規則性を見つけられないか, 実験空間の探索を行う
 - ▶ Theorist は事前知識が豊富であると考えられる
- ◇ 統合が必要
 - 事前知識は効果的な方略の使用を促進する
 - 発展する知識が方略を形作る
 - ▶ Klahr and Dunbar (1988)の実験に基づき, 事前知識を被験者内で操作する
 - ▶ abstract task
 - 4つの幾何学図形が得点にどう影響するか調べる

- 事前知識なし
- ▶ concrete task
 - 4 つのうち 3 つの変数について十分な事前知識を持つ
 - 4 つ目の変数=mystery factor

1.1. Hypotheses

◇ concrete task

- ▶ learner domain space
 - 事前知識とミステリーファクターに関する最初の考え方
- ▶ target conceptual model と大部分が重なる
 - 推測する属性が少ない
 - 十分に備えられた learner domain space が特定の仮説の生成とテストを容易にする
 - Theorist アプローチを取る

◇ abstract task

- ▶ learner domain space は空
- ▶ Experimenter アプローチから始めて Theorist アプローチへ

◇ 仮説 1

- ▶ concrete task : Theorist アプローチ
- ▶ abstract task : Experimenter アプローチから Theorist アプローチへ

◇ 仮説 2

- ▶ concrete task のほうがうまく、効果的に行われる
 - 少ない鍵となる実験, 短い時間で関係を発見する (Klahr and Dunbar (1988)より)

2. Method

2.1. Participants

- ▶ 40 名の 1 年生

2.2. Inquiry tasks

- ▶ FILE を用いて作成した, 2 つのシミュレーションベースの探究課題(Fig. 2)
- ▶ concrete task
 - 4 つの要因が 10,000m のタイムにどう影響するか
 - ベースラインは 45 分(0 回・喫煙・普通の食事・no)

トレーニング (週に)	0回	1回 -1	3回 -3
タバコ	喫煙	禁煙 -4	
栄養	スポーツ食品 -2	普通の食品	ジャンクフード +2
Xelam	yes トレーニング 0 → +4 トレーニング 1 → ±0 トレーニング 3 → -3	no	

- ▶ プレテスト (後述)
 - 各要因がどのような傾向で働くか確認
- ▶ abstract task
 - 4つの図形の得点への影響を調べる
 - 構造は concrete task と同様
 - ・ ただし、変化の程度は異なる
- ▶ 操作方法は両課題同様

2.3. Instruments

- ▶ バックグラウンド アンケート
- ▶ 色覚テスト
- ▶ プレテスト
 - 10のアイテムについて”what-if”質問
 - e.g. 週に1度トレーニングをしてきました。もし、週に3度トレーニングしたら
[1] 早くなる [2] 変わらない [3] 遅くなる

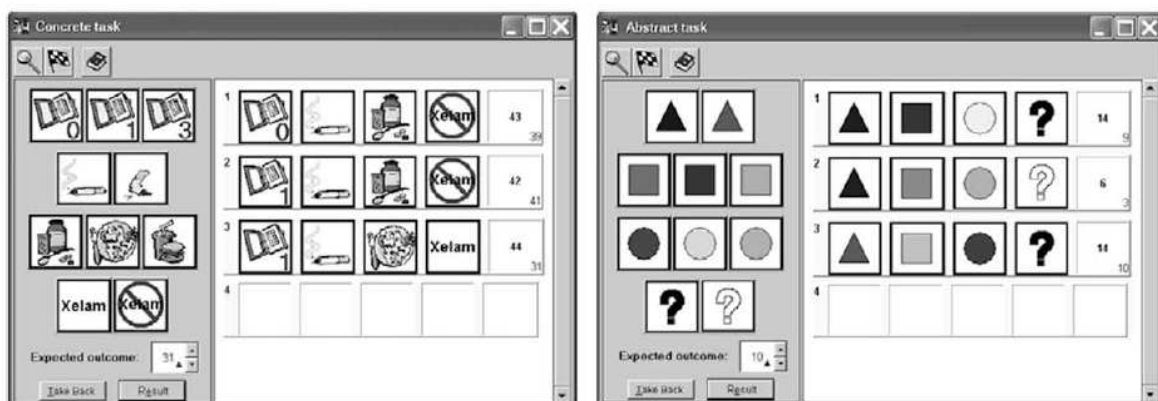


Fig. 2. Simulation interface of the concrete task (left panel) and abstract task (right panel).

- 2つのオープン クエスチョン
 - ・ Xelam はなんだと思うか？
 - ・ Xelam は 10,000m のタイムにどう影響すると思うか？

2.4. Procedure

- 2つの課題の順番はカウンターバランスがとられた

☆ 課題の手順

- ▶ カバーストーリーの説明
- ▶ 探究課題
 - アンサー シート
 - ・ 最終解答を書く
 - 最大 40 分
- ▶ 探究課題中
 - 仮説を聞く
 - ・ 「何を調べるつもりですか？」
 - ・ 「結果はどうなると思いますか？」

2.5. Coding and Scoring

- ▶ time
- ▶ prior knowledge
 - “what-if”質問
 - ・ 正答→1 ポイント
 - オープン クエスチョン
 - ・ 効果の傾向
- ▶ experiment space
 - 全部で 36 の可能な実験がある
 - ・ **unique experiment** : 行われた実験の種類 / 36
 - ・ **duplicated experiment** : 2 度以上行われた実験 / 行われた全実験
- ▶ learner hypothesis space
 - 質問の答えからドメインの **specificity** のレベルで分類
 - ・ **fully** : 要因の傾向と程度についての仮説
 - ・ **partially** : 要因の傾向についての仮説
 - ・ **unspecified** : 要因が影響するであろうという仮説
 - ・ 実験プラン, アイデアなしは仮説としない
- ▶ learner domain space
 - アンサー シートから評価

- 各要因につき 3 ポイントずつ, 最大 12 ポイント
 - ・ 3 ポイント：要因の各水準において, 傾向と程度が正しい
 - ・ 2 ポイント：要因の傾向は正しいが, 程度は(一部)間違っている
 - ・ 1 ポイント：要因が影響するという事は正しい

2.6. Design and data analysis

- ▶ concrete と abstract task における, パフォーマンスの被験者内比較
 - time · prior knowledge · experiment space · learner hypothesis space · learner domain space において
- ▶ 各課題における仮説の評価
 - 仮説を順番に 4 等分し, 各 1/4 の specificity の算出
 - 時間経過によりどのようなパターンをとるか分析

3. Result

- ▶ 色覚テストにより 2 名を除外
- ▶ プレテストの得点は十分に高い(9.13, SD = 1.27)
 - プレテストの成績が平均から 2SD 以上離れた 2 名を除外
- ▶ ほぼ全員が Xelam をプラスの効果があると推測(35 名)

- ▶ Time
 - concrete task : 27.55 分(SD = 10.48)
 - abstract task : 28.42 分(SD = 11.25)
 - 有意差なし ($F(1, 35) = 0.26, p = 0.62$)
- ▶ experiment space
 - unique experiment : 有意差なし ($F(1, 35) = 1.47, p = .23$)
 - duplicated experiment : concrete < abstract
($F(1, 35) = 4.70, p < 0.05, \text{partial } \eta^2 = 0.12$)

Table 1
Summary of performance on the concrete and abstract tasks

	Concrete task		Abstract task	
	M	SD	M	SD
Experiment space				
Coverage (%)	46.22	15.45	49.15	18.01
Duplicated experiments (%)	14.90	14.38	20.17	18.44
Learner hypothesis space				
No hypotheses (%)	16.92	17.04	56.95	23.68
Unspecified hypotheses (%)	4.18	5.76	4.83	7.90
Partially specified hypotheses (%)	62.61	20.24	12.98	20.49
Fully specified hypotheses (%)	16.51	18.09	25.24	20.48
Learner domain space				
Performance success ^a	10.08	1.99	9.17	2.40

^a Maximum score = 12; $N = 36$.

- ▶ learner hypothesis space
 - 発話内容
 - 仮説なし : concrete < abstract
($F(1, 35) = 105.58, p < 0.01, \text{partial } \eta^2 = 0.75$)
 - unspecified : concrete \doteq abstract ($F(1, 35) = 0.15, p = 0.70$)
 - partially : concrete > abstract
($F(1, 35) = 137.93, p < .01, \text{partial } \eta^2 = 0.80$)
 - fully : concrete < abstract ($F(1, 35) = 6.02, p < 0.05, \text{partial } \eta^2 = 0.15$)
- ▶ learner hypothesis space
 - パフォーマンス成功得点 : concrete > abstract
($F(1, 35) = 7.52, p < 0.05, \text{partial } \eta^2 = 0.18$)
- ▶ 4 等分 specificity
 - 最初の 1/4 : concrete > abstract
- ▶ concrete task :
 - 10 名が仮説なしの実験から始めた
 - 23 名の参加者は 10,000m のタイムを最高／最低にする環境についての仮説の生成, 検証
 - 3 名は特定の変数についての仮説を生成, 検証
 - specificity の得点はほぼ一定
- ▶ abstract task :
 - 36 名中 32 名が探索的実験(仮説なし)からはじめる
 - 約 4 回の実験の後には最初の仮説を立てる
 - だんだん specific になっていく
- ▶ 標準偏差が大きい
 - 全ての参加者が同様の傾向を持たなかった

Table 2
Mean domain specificity of participants' hypotheses on the concrete and abstract tasks

	Concrete task		Abstract task	
	<i>M</i>	SD	<i>M</i>	SD
First quartile (Q1)	1.74	.52	.47	.53
Second quartile (Q2)	1.97	.61	1.33	.96
Third quartile (Q3)	1.80	.69	1.33	.96
Fourth quartile (Q4)	1.78	.74	1.47	.99

Scores could range from 0 to 3.

- ▶ 3 つのパターンに分かれる
- ▶ k 平均法を用いたクラスター分析
- ▶ concrete task
 - theorist アプローチ : 高い specificity と増加(21 名)
 - experimenter アプローチ : 徐々にデータ駆動モードの実験へ(11 名)

- その他：4名
- ▶ abstract task
 - experimenter から theorist アプローチへ：23名
 - experimenter アプローチ：5名
 - その他：8名

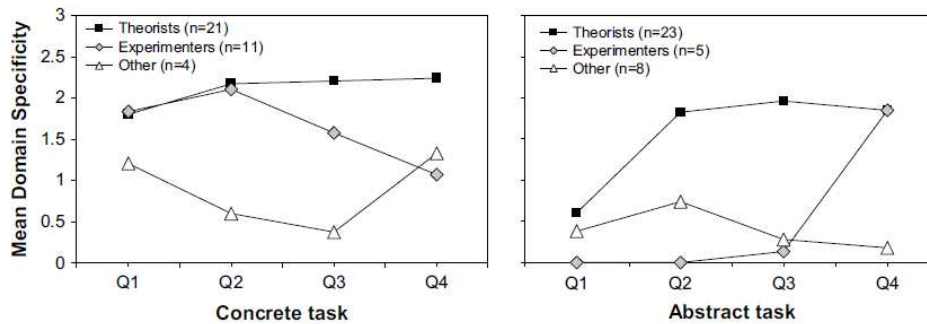


Fig. 3. Classification of participants' approaches to the concrete and abstract tasks on the basis of the domain specificity of their hypotheses in each quartile interval.

- ▶ 両課題における参加者のアプローチに有意な相関関係 ($p < 0.05$)
 - 34名*中 20名が両課題で一貫したアプローチ
 - ・ 17名が両課題において theorist アプローチを用いた
 - 3名が両課題において experimenter アプローチを用いた

Table 3
Participants' approaches to the concrete and abstract tasks

Concrete task	Abstract task			Total
	Theorist	Experimenter	Other	
Theorist	17	2	2	21
Experimenter	4	3	4	11
Other	2	0	2	4
Total	23	5	8	36

4. Discussion

- ▶ 仮説1: 参加者は concrete task では、セオリー駆動のアプローチを行い、abstract task では、データ駆動からセオリー駆動のアプローチにシフトする
- ▶ 仮説2: 参加者は abstract task より、concrete task をよりうまく、効果的に行う
 - 両予測は概して支持された
- ▶ 参加者は concrete task において、abstract task より高いパフォーマンスをした
 - どちらの課題でも参加者は課題の構造を学習している = どちらも効果的
 - ・ 予測されたほどの差は見られなかった

* 少なくともどちらかの課題で theorist か experimenter アプローチを使用

- ▶ どちらの課題でも同じアプローチがとられた
 - **theorist** への切り替えが早かった

- ▶ 参加者の仮説の内容は仮説 1 と一致する
- ▶ **fully specified** な仮説は **abstract task** のほうが多かった
 - **explanatory mechanism** による
 - ・ **abstract task** では、ゼロからの知識の構築のため、新しく考えた知識が正しいかどうか、十分に **specified** な仮説を生成、検証する
 - ・ **concrete task** では事前知識が結果の評価のフレームワークとなるため、余り関係しない
- ▶ 不正確な事前知識は、実験結果から正しくない結論を引き起こす危険がある
 - そのため、予測したほどの効果が見られなかった

- ▶ **Klahr & Dunbar (1988)** との比較
 - 全体的なドメイン **specificity** 得点は事前、及び発展する知識に基づく方略使用により予測された違いを示した
- ▶ **concrete task** でも **theorist** アプローチを用いない参加者、分類されない参加者がいた
- ▶ 分類手法の違い
 - **Klahr** らは 8 つの **common hypotheses** と呼ばれるサブセットを用いて分類した
 - 本研究では参加者の仮説全てに基づいて分類した
 - ・ アプローチからのかすかな逸脱も捉える
- ▶ 探究課題のスコープが異なる
 - 複数の影響しあう要因を用いた
 - 複雑になるため、混乱が起こったり、**experimenter** アプローチへ戻る
 - ドメインにおける規則性に迷っている学習者は、系統だった、ゴール志向な探究により利益を受けることができることを示した

- ▶ ドメイン情報はセオリー駆動のアプローチを使用することを促進する
- ▶ ドメイン情報の内容と提示は学習者の課題への親和性とアプローチによる
 - 事前のドメイン知識の少ない学習者、特に、**theorist** アプローチに従わない人は、シミュレーション前のドメイン情報から利益を受ける
 - ・ 空の **learner domain space** を埋め、セオリー駆動の実験モードへの従事を可能にする
- ▶ ドメインに親しい時、ドメインサポートは重要ではない
 - 事前知識から仮説を生成できなかった時、この情報は仮説の生成、検証をアシス

トする

- ▶ ドメイン情報提示のタイミングは学習者ごとに異なる
- ▶ 他のサポートとのインタラクションを考慮する必要がある
 - 複数のサポートは学習者の認知負荷を越えることがある