

The goal specificity effect on strategy use and instructional efficiency during computer-based scientific discovery learning

Josef Unstring, Joachim Wirth, Fred Pass

Computer & Education, 2011, 56, 668-679

1. Introduction

◇ Goal specificity effect

- ▶ Nonspecific goal (e.g., “ill-defined goal”) のほうが Specific goal (e.g., “well-defined goal”) より高い (学習) パフォーマンス

◇ 使用方略への影響

- ▶ Nonspecific goal…学習方略の使用
- ▶ Specific goal…問題解決方略の使用
 - スキーマの獲得には不向き

◇ 研究に使われる 2 つの負荷

- ▶ effective load
 - スキーマの獲得や学習の促進につながる負荷
- ▶ ineffective load
 - 学習につながらない負荷

◇ 目的

- ▶ 認知負荷とパフォーマンスの向上の関係と使用方略の関連を調べる

◇ 教示の効果

- ▶ 状況：科学的学习環境 (SDL)
 - 仮説 → 実験 → 評価 のサイクルを通して学習を行う
 - 知識の獲得が促進される
 - 自分で実験を行ったり推論をすることが求められる = 高い認知負荷
- ▶ 帰納推論活動や動機付けが SDL に影響する
 - 認知負荷の観点から：effective load を主に起こすような教示が好ましい
 - ゴールの明確性から：nonspecific goal を与えるほうが好ましい
- ▶ 以下の検討が足りない

- 使用方略を従属変数にする
- ゴールのタイプの影響
- パフォーマンスと認知負荷の組み合わせ

1.1. Goal type and its co foundation with goal specificity

☆ ゴールのタイプの分類 (Schunk & Swartz, 1993)

- ▶ process goal ≡ 学習ゴール
 - 過程に関する知識の獲得に注意を向けさせる
- ▶ product goal ≡ 問題解決ゴール
 - 結果 (product) に関する知識の獲得に注意を向けさせる
- ▶ ゴールタイプ × ゴールの明確性の影響の検討
 - 質的な特性 ≠ 明確性

1.2. Specificity of problem solving goals

- ▶ Specific problem solving goal (変数 X の値を求めよ)
 - means-end analysis (問題解決方略) をとても引き起こしやすい
 - 認知負荷
 - ・ initial state, goal state, 現在の課題の状況, 現在とゴールの差分, 使用オペレータ, サブゴール
 - ・ → ineffective load
 - 知識を獲得するための負荷とあわせて過負荷となる
 - 問題についての知識が得られなくてもゴールの達成が可能
- ▶ Nonspecific problem solving goal (できるだけ多くの値を求めよ)
 - 参加者の注意を学習と関係する側面に向ける
 - ゴールに到達するまでの自由度の高さから problem solving goal を独自の learning goal に置き換えるチャンスがある
- ▶ ゴールの明確性は認知負荷, パフォーマンスともに影響するだろう

1.3. Specificity of learning goals

- ▶ 学習ゴール = 学習者の知識の内的状態
 - 達成のためには知識の再構築や獲得が必要
- ▶ Specific learning goal (どのように変数 X の値が求められるか学習し, 念頭に置く)

- 求め方の知識を獲得し、それを利用して課題を行う
- 認知負荷
 - ・ initial mental state, goal mental state, 現在の内的状況, 現在とゴールの差分, 使用オペレータ, サブゴール
 - ・ → ineffective load
- ▶ Nonspecific learning goal
 - 学習するのみなので ineffective load はかからない
- ▶ ゴールの明確性により
 - 認知負荷は影響される
 - パフォーマンスは大きく変わらない

1.4. Goal specificity and strategy use

- ▶ Specific problem solving goal
 - means-ends analysis を強く促進する
- ▶ Nonspecific problem solving goal
 - means-ends analysis を促進しない
 - 明確なゴールがないため
 - 学習方略の使用を引き起こす
 - ・ Control of variables-strategy (CVS) が使用されるだろう
- ▶ learning goal では明確性に関わらず CVS が使用されるだろう

1.5. Instructional efficiency of learning conditions

◇ Instructional efficiency

- ▶ 認知負荷とパフォーマンスの比率
- ▶ 認知負荷 低 & パフォーマンス 高 ⇨ instructional efficiency 高
 - = ineffective load が減少
- ▶ 問題解決ゴールにおける instructional efficiency
 - specific < nonspecific goal
- ▶ 学習ゴールにおける instructional efficiency
 - specific < nonspecific goal (問題解決ゴールと同等か少し小さい)

1.6. Research questions and deriving of hypotheses

1.6.1. Starting point

- ▶ Wirth et al. (2009)
 - Problem solving goal
 - ・ パフォーマンス：SG < NSG
 - ・ 認知負荷：SG > NSG
 - Learning goal
 - ・ パフォーマンス：SG = NSG
 - ・ 認知負荷：SG > NSG

1.6.2. Problem solving goals

- ▶ nonspecific problem solving goal においてより CVS が観察されるだろう
- ▶ Instructional efficiency：SG < NSG

1.6.3. Learning goals

- ▶ ゴールの明確性は使用方略に影響しないだろう
⇒ CVS 使用におけるゴールの明確性とゴールタイプの交互作用
- ▶ Instructional efficiency：SG < NSG
- ▶ 問題解決ゴールより影響は小さいだろう

2. Method

2.1. Design and participants

- ▶ 233 名の中学生 (M = 14.459, SD = .771)
- ▶ 2×2 の参加者間計画
 - ゴールの明確性 (nonspecific vs. specific goals)
 - ゴールタイプ (問題解決 vs. 学習ゴール)

2.2. Material – computer-based learning environment

- ☆ コンピュータベースの学習環境 (CBLE)
 - ▶ 液体の浮力の物理ラボのシミュレーション
 - 架空の科学者キャラクターがガイドする (Fig. 1)
 - ▶ 実験空間 (左側; Fig. 2)
 - 360 の異なる実験が可能
 - キューブをどちらかのタンク (異なる密度) に入れる

- キューブの状態と働く力が表示される
- ▶ 仮説空間（右側; Fig. 2）
 - 仮説や結論を書く
 - ノートをとる

2.3. Independent and dependent variables

2.3.1. Goals

- ▶ Table 1 にまとめ
 - 2 グループ：3つの nonspecific problem solving または learning goal
 - 2 グループ：14の specific problem solving または learning goal
 - 14の探索可能な関係性に違いはない

2.3.2. Strategy use

- ▶ 行動データに基づいて学習方略を取得
- ▶ 学習者が連続する2つの実験で独立変数を1つだけ変化させていた場合 CVS を使用したとする

2.3.3. Performance

- ▶ 17の複数選択肢からなるテスト（事前テストと事後テスト）
 - 内的整合性の高い13項目を使用
 - ・ 探索可能な14の関係性のうち13を網羅
- ▶ 単回帰分析を用いて standard residual performance を算出し，利用

2.3.4. Cognitive load

- ☆ 主観評価尺度を利用（回顧報告）
 - ▶ 学習直後に10項目の7点評価（Baard, 2001; Hart & Staveland, 1988; Tsang & Velazquez, 1996）
 - 平均得点を利用
 - ▶ 知能と使用方略と負の相関あり
 - 高い知能，CVSの使用 → 低い認知負荷
 - ▶ パフォーマンスとの相関なし
 - 認知負荷を費やすことは良いとも悪いとも言えない
 - ・ effective load と ineffective load がある

2.3.5. Instructional efficiency

- ▶ Paas & Van Merriënboer (1993, 1994) の式を改変して利用
 - $IE = [z\text{-score Performance gain}] - [z\text{-score Cognitive load}]$

2.3.6. Intelligence and current motivation

- ▶ 標準的な知能検査である **figural analogies** を用いて知能を測定
 - → 個人差の統制に利用
- ▶ 2つの質問でモチベーションを測定

2.4. Procedure

- ▶ 関係のないテスト
- ▶ 知能テスト
- ▶ 事前テスト
- ▶ トレーニング
- ▶ モチベーションの質問紙
- ▶ CBLE の実行 20 分間
- ▶ 認知負荷の評価
- ▶ 事後テスト

3. Results

- ▶ 事前テスト, 知能, モチベーションに有意差なし
 $(.177 \leq F(3, 226) \leq 1.26, .288 \leq p \leq .912)$
- ▶ 共分散分析
 - 知能とモチベーションを共変数として使用
- ▶ **Specific problem solving goal** でネガティブな学習
- ▶ その他のグループではパフォーマンスの向上
- ▶ Instructional efficiency と知能 ($r = .279, p < .01$), 使用方略の正の相関 ($r = .272, p < .01$)
- ▶ 4条件の比較 (Fig. 3)

3.1. Strategy use

- ▶ データの欠落により分析対象は 146 データ

3.1.1. Hypothesis 1

- ◇ ゴールの明確性の使用方略への効果は問題解決ゴールでのみ観察されるだろう
 - ▶ ゴールの明確性の主効果 ($F(1, 140) = 10.854, p < .001, \eta^2 = .072$)
 - ▶ ゴールの明確性とゴールタイプの交互作用
($F(1, 140) = 6.151, p = .007(\text{one-tailed}), \eta^2 = .042$)
 - Nonspecific goal は問題解決ゴールにおいてのみ specific goal より CVS 方略の使用が有意に多い ($p = .005, d = 1.122$)
 - 学習ゴールにおいては観察されない ($p = .562$)
 - ▶ ゴールのタイプの主効果は有意ではない ($F(1, 142) = .496, p = .483$)

3.2. Instructional efficiency

3.2.1. Hypothesis 2

- ◇ ゴールの明確性の効果は両タイプのゴールで見られるだろう
- ◇ 学習ゴールのほうが小さいだろう
 - ▶ ゴールの明確性の主効果
 - Specific < nonspecific goal ($F(1, 218) = 19.210, p < .001, \eta^2 = .081$)
 - ▶ 交互作用なし ($F(1, 218) = .642, p = .424$)
 - ▶ 問題解決ゴールにおける効果のほうがわずかに大きい (十分ではない)
 - 問題解決ゴール ($p < .001, d = .601$) > 学習ゴール ($p = .019, d = .485$)
 - ▶ ゴールタイプの主効果はない ($F(1, 218) = .506, p = .477$)

4. Discussion

- ◇ 使用方略 (CVS)
 - ▶ ゴールの明確性とゴールタイプの交互作用を確認
 - 問題解決ゴールにおいてのみゴールの明確性の効果が見られる
- ◇ Instructional efficiency (認知負荷と学習量)
 - ▶ 問題解決ゴールにおけるゴールの明確性の効果
 - Specific < nonspecific goal
 - ▶ Nonspecific problem solving goal のほうが少ない認知負荷で高いパフォーマンスを示す
 - Nonspecific problem solving goal は means-ends analysis の代わりに CVS の使用を促す
 - → effective load がかった

- ◇ 学習ゴールにおけるゴールの明確性の効果
 - Instructional efficiency : Specific < nonspecific goal
 - 使用方略：ゴールの明確性による有意差なし
 - パフォーマンス：ゴールの明確性による有意差なし
- ▶ Nonspecific learning goal における認知負荷が低かったため Instructional efficiency に差が見られた
 - Ineffective load が少ないため
 - Specific learning goal ではゴールの保持などの ineffective load も生じた
 - どちらのゴールタイプの場合も nonspecific goal のほうが ineffective load が少なく，学習の余地が増える
- ▶ Ineffective load が減ったのか， effective load が増えたのかはわからない

4.1. Ineffective specific problem solving goals

- ▶ Specific problem solving goal は特殊なケースであった
 - 低いパフォーマンスと高い ineffective load
 - Specific goal により間違った知識を身につけた可能性がある
- ◇ 異なる参加者や分野での追試が必要

Table 1

Examples for the goals of the four experimental groups.

| | | Goal specificity | |
|-----------|-----------------|---|--|
| | | Specific | Nonspecific |
| Goal type | Problem solving | "Throw into a water tank: A cube of a volume that will bring the smallest possible buoyancy force in water" | "Throw directly in succession into a water tank: Nine cubes that all sink" |
| | Learning | "Find out how the volume of a cube and its buoyancy force are related to each other, and keep it in mind" | "Find out why some cubes sink in water, and keep it in mind" |

Table 2

Descriptives of the dependent variables and covariates.

| | Problem solving goals | | | | Learning goals | | | |
|------------------------------|-----------------------|-------|-------------|-------|----------------|-------|-------------|-------|
| | Specific | | Nonspecific | | Specific | | Nonspecific | |
| | M | SD | M | SD | M | SD | M | SD |
| Intelligence (covariate) | .779 | .118 | .746 | .153 | .722 | .164 | .759 | .172 |
| Motivation (covariate) | .497 | .209 | .531 | .222 | .571 | .232 | .556 | .244 |
| Performance gain (z) | -.355 | .823 | .091 | .922 | .145 | 1.072 | .117 | 1.115 |
| Strategy use (CVS) | .197 | .087 | .286 | .068 | .227 | .117 | .241 | .116 |
| Cognitive load Instructional | .546 | .206 | .452 | .218 | .606 | .162 | .450 | .191 |
| efficiency (z) | -.468 | 1.403 | .401 | 1.488 | -.269 | 1.393 | .443 | 1.442 |

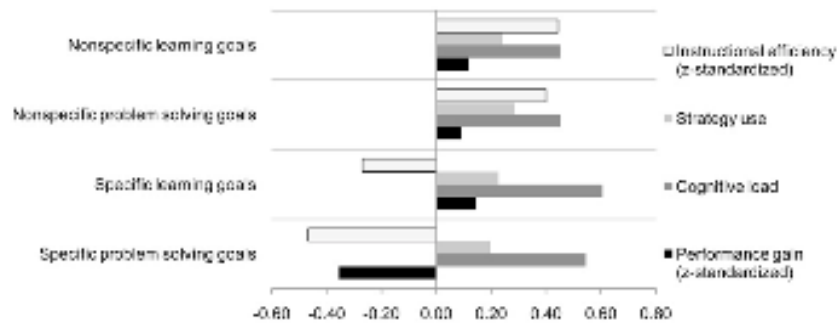


Fig. 3. Illustration of comparisons between the four conditions for the dependent variables (the means of strategy use and cognitive load are standardized as a range from zero to one).



Fig. 1. An example of the text-windows as part of the contextual embedded guidance within the CBLE.

The screenshot displays two main panels: "Experiment space" and "Hypothesis space".

Experiment space: This panel features a laboratory setting. On the left, a shelf is labeled "Cubes to drag out of the shelf." and contains three shelves of blue cubes. A table above the shelf lists "Masse" (Mass) and "Volumen" (Volume) for three different cube sizes. Below the shelf, two large cylindrical containers are shown, labeled "Schwamm (ρ_{sw} = 0.2 g/cm³)" and "Schwamm (ρ_{sw} = 3 g/cm³)". A small cube is shown being submerged in the second container, with labels for its mass (m = 2.8g) and volume (V = 2.8 cm³).

Hypothesis space: This panel contains a "Notizblock" (Note block) with a table structure:

| Körper | Fisikalisch | Werte | Verhalten | Beobachtung |
|--------|-------------|-------------|-----------|-------------|
| | | ρ_{sw} | | |
| | | ρ_{cb} | sinken | |

Below the table are various control buttons, including arrows and a "sinken" button. A flowchart on the right shows the relationship between variables: "Masse (m)" leads to "Volumen (V)", which leads to "Dichte (ρ_y)", which leads to "Dichte (ρ_z)", which leads to "sinken". Another flowchart below shows "Volumen" leading to "sinken", which is influenced by "ρ_z".

A central dialog box titled "Auftrag 3" contains the text: "Willst du ein Objekt in einen Körper mit einer Vorratsliste verschieben? (Wähle die Masse (m) und das Volumen (V), bei dem die Dichte (ρ_y) des Körpers am geringsten ist." and a button that says "Auftrag nicht erfüllt - trotzdem weiter".

Fig. 2. A screenshot of the computer-based learning environment (CBLE).