

Scaffolding Problem Solving with Annotated, Worked-Out Examples to Promote, Deep Learning

Michael A. Ringenberg and Kurt VanLehn

Intelligent Tutoring Systems, 2006, Vol.4053, pp. 625-634

1. 導入

- ほとんどの教育的研究の目的は、novice の指導の方法を改善することである
 - そのなかの一つの方法として有効なのは、1対1の指導である(Bloom, 1984)
 - ◇ 学習をさらに促すことが目的で、学習支援システムが使われる
 - 授業を補うためであったり、個別指導の代わりにするため

- 我々の研究でも、Andes(大学レベルの物理の学習支援システム)を使った研究を行う
 - Andes には、学習者から help の要求があった時に提示する多段階の hints の機能がある
 - ◇ 学習者がヒントを求めてきたときにのみ提示する
 - ◇ 学習者からさらに詳しいヒントの要求があったら、より具体的なヒントを提示する
 - ◇ 最も高いレベル(bottom-out hint)では、次のステップに進むための完全なヒントを与える
 - しかし、このような形式の hint を与えると、学習者は”help abuse”を行う
 - ◇ 途中のレベルの hint を無視して bottom-out hint を使おうとする (Alevan, Koedinger, 2001)
 - その結果、shallow learning¹を引き起こす
 - そのため、多段階の hint の代わりに worked-out example を使ったシステムの効果を確かめる
 - ◇ worked-out examples…問題を解くために使用した公式や法則、解に到達するまでのステップ、最終解法を含む例
 - ◇ 一連の研究結果で、段階的な hint を与えるよりも worked-out example は novice には効果的であるとされている

- worked-out example について
 - 以前の Andes を用いた研究において、何人かの学習者は hint abuse を行うことで問題の解決法を見つけていただろう
 - ◇ 要するに、彼らは最初の問題を worked-out example として使っていた

¹口耳の学…聞いたことをそのまま人に伝えるだけの身につかない学問

- 学習者は段階的な指導を受けることとは対照的に、例から学ぶことを好む傾向にある(LeFevre, Dixon, 1986)
- worked-out example の有効性はいくつかの場面で示されている
 - ◇ 手続き的な規則を与えるよりも worked-out example のほうが効果的である(Cooper, Sweller, 1987)
 - ◇ 問題を解くことと例を見ることを交互に行うことでより効果的になる
 - ずっと例から学ぶのは退屈になってしまうから
 - (Trafton, Reiser, 1993)
- 一方で、worked-out example がいつも効果的とは限らない
 - ◇ 例から学ぶことは、示されている問題解決ステップの自己説明を必要とする
 - ◇ 学習者は自己説明を自発的に行うことができない傾向にあり、多くの学生は自己説明が不十分である(Chi, VanLehn, 1991)
 - ”このステップはどこから来たのか?”
 - ”なぜこのステップが行われたのか?”
 - ◇ 学習者が自己説明をできないとき、彼らは学習内容の深い理解ができない傾向にある
 - novice は、worked-out example から図や問題文の言い回しのような表面的な特徴のみ読み取る傾向がある
 - しかし、エキスパートは、法則や深い仕組み理解して worked-out example を参照する(VanLehn, Johns, 1993)

2. Andes について

- 大学レベルの物理の学習支援システム(Fig. 1)
- 操作手順
 - Drawing Diagrams
 - ◇ ツール(Fig.1 画面左端)を使ってベクトルや角度などの作図を行う
 - Variable Definitions
 - ◇ 作図した物体の速度や重さにラベルを付けて定義する(Fig.1 画面右上)
 - Entering Equations
 - ◇ 問題を解いていくために、等式を入力していく(Fig.1 画面左下)
 - ◇ 入力されたら、合っているかどうかのフィードバックを提示される
- システムの機能
 - flag feedback
 - ◇ 学習者の入力に対してあっているかどうか示す
 - ◇ 2つのシステムで共通

— ヒントについて

☆ **graded hints**

- 多段階のヒント
- 入力のどこが間違っているか、次のステップで何をするのか提案する
- レベルが高いほど、次になにをすればいいのかの具体的なヒントを提示する
- 以下のような手順で提示される
 - ① 学習者がヒントを求めてきたときにのみ提示する
 - ② 学習者からさらに詳しいヒントの要求があったら、より具体的なヒントを提示する
 - ③ 最も高いレベル(**bottom-out hint**)では、次のステップに進むための完全なヒントを与える

☆ **worked-out example**

- 問題を解くために使用した公式や法則、解に到達するまでのステップ、最終解法を含む例
- 学習者がヒントを求めてきたときにのみ提示する
- 以下のような規則で用意されている
 - ◆ 各問題に1つの **worked-out example** をマッピング
 - ◆ 似たような深さの構造を持った問題なら、同じ **worked-out example** にマッピング
 - ◆ 問題と比べて変数の値などのいくつかの表面的な要素が変更されている

例) $V = IR$ (オームの法則: $V =$ 電圧, $I =$ 電流, $R =$ 抵抗)の問題

問題 A

V と R から I を求める

問題 B

V と I から R を求める

worked-out example

I と R から V を求める

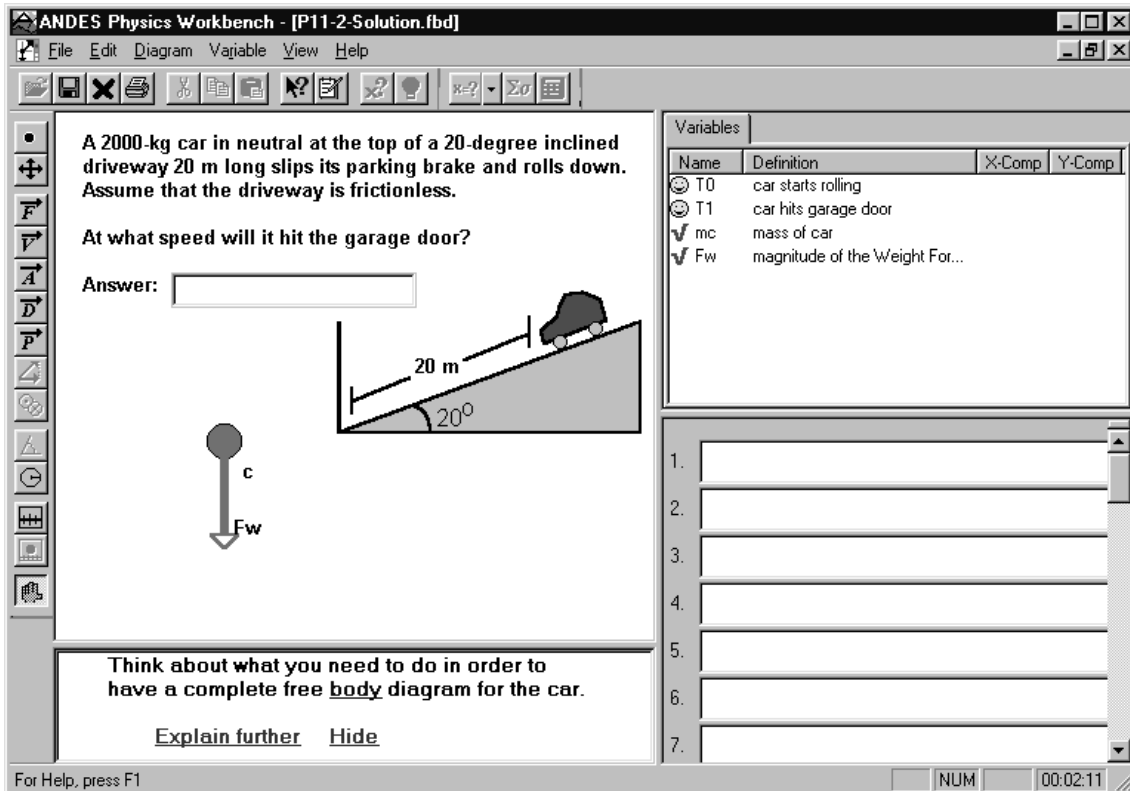


Fig.1. The Andes problem solving interface

3. 実験

- 目的
 - システムをサポートを Hints から Examples にしたときの学習効果を確認する
- 実験参加者
 - 物理の基礎知識を持っている学生 43 名(4 名除外)
 - ◇ Examples 条件：9 名
 - ◇ Hints 条件：12 名
 - ◇ No-Training 条件：18 名
- 課題
 - 物理に関する問題
- 特記事項
 - 授業の中で実施
 - 以前に Andes を使ったことのある学生を募集
 - ホームワークとして、Andes を使って自由な時間に学習を行う
- 手続き
 - 以下の 3 つのグループに分ける
 - ◇ Examples 条件

ヒントを求めたときに、worked-out example が提示されるシステムで学習を行うグループ

◇ Hints 条件

ヒントを求めたときに、graded hints が提示されるシステムで学習を行うグループ

◇ No-Training

システムでの学習を行わないグループ

— プレテスト

回路に関する問題

— システムを使っての学習(ホームワーク)

— ポストテスト

◇ 問題構造を深く理解しているか測定するため

◇ similarity judgment task(Dufresne, 1992)を使用

◇ 20 問の多肢選択式の問題

◇ 答えを選択肢の中から 1 問につき 1 つ答える

◇ 30 分間のテスト

◇ 図と問題文の与えられた、モデル問題と 2 つの比較問題(選択肢)が与えられる

→ 2 つの比較問題のうち、モデル問題と構造が似ている方を答える

4. 実験結果

● プレテストの結果(Fig.2)

— 条件間に有意差なし($F(2, 36) = 0.57, p = 0.5684$)

◇ 学習前に条件間に差はない

● 学習時間(Fig.2)

— Examples と Hints の間に有意傾向あり($t(19) = 1.90, p = 0.0735$)

● 1 問当たりにかかった時間(Fig.2)

— 条件間に有意差なし($t(19) = 1.18, p = 0.2540$)

● 問題解決数(Fig.2)

— Examples よりも Hints の方が有意に多かった($t(19) = 2.17, p = 0.0427$)

● ポストテスト(Fig.2, Fig.3)

— 問題ごとに難易度が様々である

- No-Training グループの結果を使い、ポストテストの各問題に対して難易度の重みづけを行う
 - ◇ $1 - \#correct/18$
 - ※ $\#correct$ は、No-Training グループ内で正答した人数
- 条件間で有意差が見られた($F(2, 36) = 8.49, p = 0.0010$)
 - ◇ No-training よりも Examples の方が有意にスコアは高かった ($t(25) = 3.98, p = 0.0009$)
 - ◇ No-training よりも Hints の方が有意にスコアは高かった ($t(28) = 2.45, p = 0.0496$)
 - ◇ Example と Hints の間には差は見られなかった ($t(19) = 1.61, p = 0.2525$)
- 学習の効率性(Fig.2 , Fig.4)
 - ポストテストスコア/学習フェーズで行った問題
 - Hints よりも Examples の方が有意に高かった($t = 3.34, p = 0.0034$)
 - 学習フェーズで取り組んだ問題数を共変量としたときの共分散分析(Fig.5)
 - ◇ Hints と Examples の間に有意差なし($p = 0.8290$)
 - 学習フェーズで条件間(Hints と Examples)で同じ問題数を行った場合
 - ◇ Hints と Examples 全体の問題解決数 $\mu_* = 9.76$ でそれぞれのポストテストのスコアを補正する
 - ◇ 補正後の Hints のポストテストスコア($\mu_{\text{Hints}} = 4.14 \pm 0.50$)と Examples のポストテストスコア($\mu_{\text{Examples}} = 4.14 \pm 0.50$)の比較
 - Hints よりも Examples の方が有為に高かった ($t(19) = 2.30, p = 0.0338$)
 - 学習フェーズで取り組む問題数が同じならば、Examples の学習者の方がポストテストのパフォーマンスがよくなる

Variable Averages	No-Training	Hints	Examples	<i>p</i>
In-Class Circuit Exam	187 ± 21	178 ± 34	201 ± 38	0.5684
Total Training Time (s)	-	7942 ± 3681	4189 ± 2407	0.0735
Time per Problem (s)	-	672 ± 238	508 ± 162	0.2540
# of Problems Solved	-	11 ± 1.53	8.1 ± 2.8	0.0427
Weighted Post-Test	3.56 ± 0.49	4.30 ± 0.37	4.88 ± 0.56	0.0010
Problem Efficiency	-	0.413 ± 0.076	0.711 ± 0.215	0.0034

Fig.2. Results are reported as mean ± 95% confidence limits

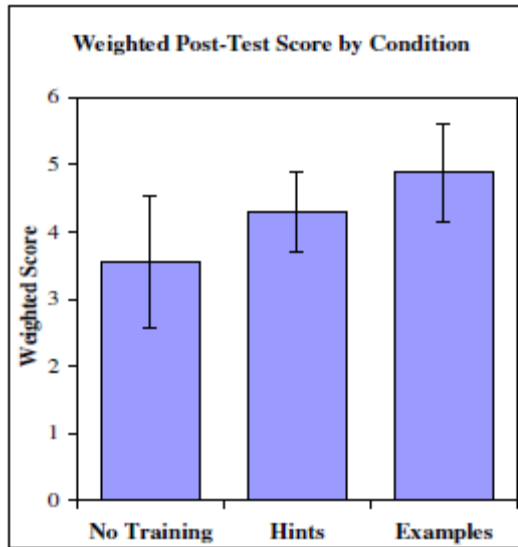


Fig.3. Weighted Post-Test Score

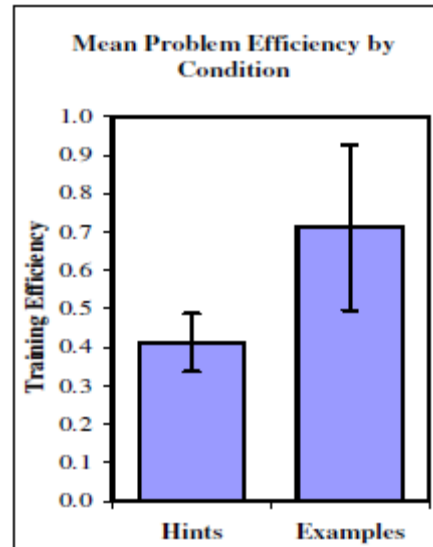


Fig.4. Mean Problem Efficiency

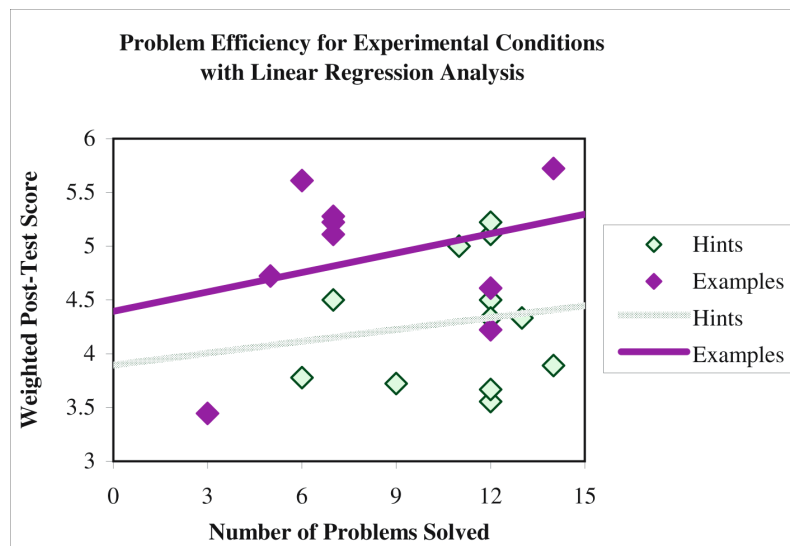


Fig.5. Problem Efficiency for Experimental Conditions with Linear Regression Analysis

5. Discussion

- 本研究では、Examples と Hints のどちらが学習効果をより改善するのか調べた
 - Examples の方が Hints よりも学習時間が短く、かつ、解いた問題数が少ないにも関わらず、ポストテストの結果に差は見られなかった
 - graded hints よりも worked-out example の方が効果的
- 実験参加者が少なかったため、適正処遇交互作用は確かめられなかった
 - 大規模な実験により、逆転作用が見られるかもしれない

(Kalyuga, et al, 2003)

- ◇ 初学者には worked-out examples の方が hints よりも効果的
- ◇ エキスパートには hints の方が worked-out examples よりも効果的

- 先行研究では、worked-out examples は shallow learning を引き起こしかねないとされてきたが、本研究では graded hints よりも効果的であった
 - 学習支援システムに worked-out examples を導入することは有益であろう
 - しかも、システムに組み込むのは非常に容易である
- graded hints では、学習者に合わせたサポートは非常に困難になりうる
 - もし、支援システムが hints を学習者に合わせて提供できなければ、hints は効果的ではない
 - うまく学習者の状態を分析できない場合などは、worked-out example を使った方がいいかもしれない
- graded hints と worked-out example を組み合わせた学習支援システム
 - 例えば、graded hints の bottom-out hint を worked-out example に置き換える
 - hint abuse を避け、shallow learning が防げるかもしれない