

## Limitations of Student Control: Do Students Know when They Need Help?

Vincent Alevan and Kenneth R. Koedinger

Intelligent Tutoring System, Proceedings, 2000, Vol.1839, pp.292 - 303

### 1. 導入

- 学習支援システムでの学習において、合理的なヒントメッセージやフィードバックは学習者の非生産的な時間を減らし、その結果、学習の効率が高まる (Anderson, et al., 1989; McKendree, 1990)
  
- 学習支援システムの研究領域では以下のことが認識されている
  - システムは、学習者に彼ら自身の学習過程の管理をさせるべきである
    - 出来る限り少ない干渉でなければならない (Burton and Brown, 1982)
  - hint は学習者から求められたときにだけ提供するべきである
    - いつ hint が必要なのかどうかの判断はシステムより学習者の方がよりよくできるだろう (学習者の考えを知る十分な処理能力がない、観察されるすべての学習過程からなるモデルを用意できない)
  
- したがって、多くのシステムでは、hint は学習者が要求したときにのみ与えられる (例) Paolucci, et al, 1996; Katz, et al, 1998)
  
- hint の使用、自身の学習の仕方について
  - メタ認知的なスキルには個人差があり、学習者に自身の学習の制御 (hint がいつ必要なか等) をさせることがいつも最適とは限らない (Recker and Pirolli, 1992)
    - ◇ メタ認知能力が高い学習者は、自身で学習の仕方を制御する必要があるシステムでの学習の方がパフォーマンスはよかった
    - ◇ メタ認知能力が低い学習者は、システムが学習の仕方を制御するようなシステムでの学習の方がパフォーマンスはよかった
  - 事前知識をより持った学習者は持っていない学習者よりも hint の必要性の判断ができる (Wood and Wood, in press)
  - ⇒ 学習者に学習支援システムの制御をさせるのは望ましくない結果となりうる

## 2. Intelligent and Unintelligent Help in the Pact Geometry Tutor

- cognitive tutor(Anderson, et al., 1995)
  - 学習者の習熟状況を表す認知モデルを保持(プロダクションルールで記述)
    - 学習者へのフィードバック、hint の作成、次に行うべき問題の提供などを行うため
  
- 高校生を対象とした幾何学の学習支援システム
  - ピタゴラスの定理、角度、相似三角形、円、四角形の学習
  
- 学習者に、問題の「Answer」と「Reason」を行わせる(Fig.1の左のウィンドウ)
  - Answer：答えを導き出すこと  
角度や数値の入力
  - Reason：どの法則や定義から答えが導き出せるのかを説明すること  
解答の根拠となる法則等の入力
  - ⇒ AnswerとReasonが入力されると、システムは正しいかどうか判定する
  
- 機能について
  - glossary
    - ◇ 法則や定義などの解説集(Fig.2の中心のウィンドウ)  
例) 二等辺三角形の2角の大きさは等しい
    - ◇ 「Reason」の際に使用可能
    - ◇ 解説集から一つ選択し、「Select」ボタンを押すと、reasonのフォームに入力できる
  - hint(Table 1)
    - ◇ 「hint」ボタンが押された時にヒントを出す
    - ◇ 多段階存在(レベルが高くなるほどヒントレベルが高い)
    - ◇ 問題を解くにはどうしたらよいかのヒント提示する
  
- 熟達度について
  - システムは学習者のそれぞれの skill の熟達度を見積もり、マスターするまで問題を与える
  - errorをしたとき  
AnswerやReasonの入力が間違っていたら、熟達度の見積もりは下がる
  - hintを求めたとき  
学習者がhintを求めると、「error」としてカウントされ、熟達度の見積もりが下がる

- ① **hint** の要求は、学習者がその **skill** を習得していない証拠となる
- ② 学習者が各ステップ毎に **hint** を要求することで問題を解決していくことを避ける
  - **hint** を使ってばかりだと、いつまでも **skill** の習得が出来ない
- **glossary** を使ったとき
  - 熟達度の見積もりは下がらない
- **rational help-seeking strategy** (**Skill** をマスターするための合理的な行動)
  - ある問題に初めて取り組む場合
    - ① **Answer** と **Reason** が **hint** なしでわかったら、それを入力する
    - ② わからなかったら、**glossary** を使用し、使えそうな法則を探す
    - ③ さらにわからなければ、システムの **hint** を使う
  - **error** を起こした場合(入力した **Answer** や **Reason** が間違っていた場合)
    - ① 何が誤っていたのかわかったら **hint** なしで修正を行う
    - ② わからなかったら **hint** を使う

1. In this problem, you have Triangle OUT. What do you know about triangles that enables you to find the measure of Angle OUT?

2. Some rules dealing with triangles are highlighted in the Glossary. Which of these reasons is appropriate?  
You can click on each reason in the Glossary to find out more.

3. The sum of the measures of the three interior angles of a triangle is 180 degrees.  
Angle OUT is an interior angle in a triangle. You know the measures of the other two interior angles: Angles UOT and OTU.

4. Can you write an equation that helps you find the measure of Angle OUT?

5. The sum of the measures of Angles OUT, UOT, and OTU equals  $180^\circ$ . So you have:  
 $m\text{DOUT} + m\text{DUOT} + m\text{DOTU} = 180$

6. In the previous hint, you saw that:  $m\text{DOUT} + m\text{DUOT} + m\text{DOTU} = 180$   
You can replace  $m\text{DUOT}$  by 79 and  $m\text{DOTU}$  by 79. Also, you can use a variable (say,  $x$ ) instead of  $m\text{DOUT}$ . This gives:  
 $x + 79 + 79 = 180$

7. Find the measure of Angle OUT by solving for  $x$ :  
 $x + 79 + 79 = 180$   
You can use the Equation Solver.

Table 1: A hint sequence generated by the PACT Geometry Tutor.

The screenshot displays the PACT Geometry Tutor interface. The main window shows a geometry problem titled "Problem 2.12" involving a mountain range diagram with points M, O, T, N on the ground and U at the peak. The problem asks to find the measures of angles UOT, OTU, OUT, and UTN given that triangle OUT is isosceles and angle NOU is 103.4 degrees.

The interface includes several panels:

- Messages:** A message box stating, "Some rules dealing with triangles are highlighted in the Glossary. Which of these reasons is appropriate? You can click on each reason in the Glossary to find out more." with a "More..." button.
- Glossary:** A search bar with "triangle" entered, showing 7 out of 21 items. The list includes: Angle in Equilateral Triangle, Converse of Isosceles Triangle, Isosceles Right Triangle, Isosceles Triangle, Right Triangle Complementary Angles, Triangle Exterior Angle, and Triangle Sum. Below the list is a definition: "If two sides of a triangle are congruent, then the angles opposite these sides are congruent." and an example: "Example Given:  $\triangle ABC$  is an isosceles triangle, with  $AB \cong AC$ . If  $m\angle 2 = 52^\circ$ , then  $m\angle 3 = 52^\circ$ ." with "Select" and "Show All" buttons.
- Equation Solver:** A panel titled "TRIANGLE-ISO\_MOUNTAIN" showing a diagram of the mountain range with input boxes for angle measures.
- Skills:** A list of skills with checkboxes: Complementary angles, Supplementary angles, Angle addition, Angle subtraction, Triangle sum, Isosceles triangle, base angle, Isosceles triangle, vertex angle, Exterior angle of triangle, and Equilateral triangle.
- Input Fields:** A table for recording student answers:
 

m<NOU	103.4	Reason	Given
m<UOT	76.6	Reason	Linear Pair
m<OTU	76.6	Reason	Isosceles Triangle
m<OUT			
m<UTN			

Fig.1: The PACT Geometry Tutor

### 3. 実験

- 目的
  - reason の機能を加えた the PACT Geometry Tutor での学習の効果を見るため
- 実験参加者
  - 高校生 53 名(分析対象は課題がすべて終了した 41 名)
- 課題
  - the PACT Geometry Tutor を使って角度についての学習
- 手続き
  - 以下の 2 つのシステムを使うグループに分ける
    - ◇ Reason version
      - 上述した the PACT Geometry Tutor
    - ◇ Answer Only version
      - the PACT Geometry Tutor から「Reason」をなくしたもの
      - ⇒ 分析は 2 条件まとめて実施
  - プレテスト

- システムを使っでの学習
  - ☆ 特定の skill が習得されるまで(Fig.2 の左下のウィンドウ)
- ポストテスト(プレテストと同等のもの)

## 4. 分析結果

### 4.1 Use of Unintelligent Help

- glossary を使った割合(Table 2)
  - Reason steps : 43%
  - Answer steps : 2.7%
  - ※step は Reason や Answer を 1 つ解答する必要がある毎に 1 step と数える
- Answer steps について(Table 2)
  - 答えを求める前に glossary を使用した割合 : 1.4%
  - Error の後に glossary を使用した割合 : 1.3%(2.7% - 1.4%)
- より難しい問題に対して、より glossary を使用するという事はなかった
  - Answer steps では、glossary の使用(答えを求める前)と問題の難易度の相関は 0.29 だった
  - ※問題の難易度 : success rate から計算

### Discussion

- Answer step では、rational help-seeking strategy を行っていなかった
  - もし学習者がある方略を取っていたなら、
    - ① 彼らの能力を超えた問題に対して glossary を使用する
    - ② 最初の試みの前に glossary を使っていなければ、error をしない
  - しかし、学習者は glossary を全体としてもほとんど使用していない(2.7%)
  - 学習者は、最初の試みの前に glossary を使わず、error を多く行っていた
    - glossary の使用は、error の割合よりはるかに低い(error の割合 46%に比べて glossary の使用は 2.7%)
- Reason step では、学習者は glossary からの選択により、reason の入力が出ていた(All use が 43%)
  - しかし、よく考えての使用とはいえなかった(deliberate use が 15%)

	Rate of Glossary use		Rate of Glossary use prior to first attempt		Success rate
	All use	Deliberate use only	All use	Deliberate use only	
Answer Steps	2.7%	2.0%	1.4%	0.8%	54%
Reason Steps	43%	15%	36%	12%	55%

Table 2: Rate of Glossary use, as compared to the success rate. The rate of Glossary use is the percentage of steps for which the Glossary was used. The success rate is the percentage of steps where students got the answer right, without errors or hints.

※ deliberate use only は、よく考えて glossary を使った割合で、ひとつの glossary に対して少なくとも 1 秒以上見ていた場合。明らかにそのような短い時間で完璧に読み、理解するのは不可能である。しかしながら、以前呼んだことのある記述なら、それが関係あるかどうかの認識には 1 秒で十分であろう。

## 4.2 Use of Intelligent Help

- hint を使った割合
  - Answer steps : 29%
  - Reason steps : 22%
- 答えを入力する前に hint を使用した割合
  - Answer steps : 12%
  - Reason steps : 9%
- Hint を使用したときに、最も高いレベルまで使用した割合
  - Answer steps : 82%
  - Reason steps : 89%
- N 回エラーした後、hint を使う割合
  - 学習者は、エラー数に関わらず、エラーした後も Answer や Reason を入力することを試みる傾向にある (Fig. 2)

### Discussion

- 学習者が rational help-seeking strategy に則って学習していたか?
  - もしそうなら、2つの場面で hint を使用することが考えられる
    - ① error をして、その修正が困難な時
    - ② どのように問題を解いていけばいいかわからないとき
  - 合理的に学習を行うなら、1 step 内で hint を求めるまでに 1, 2 回以上の error をすべきでない
    - error を 2, 3 回以上行った後も hint をあまり使用していない (Fig. 2)

- 学習者の help の使い方について
  - 学習者は、hint を使用した際に最も高いレベルまで使用した割合が非常に高い(Answer step では 82%、Reason step では 89%)
  - 中間レベルの help は無視している
  
- hint の効果について
  - 1 step 内で 1、2 回 error をした後に hint を使用すると、直後に error をする回数が減る(Fig. 3)
  - また、その step を終える時間も短くなる(Fig. 4)

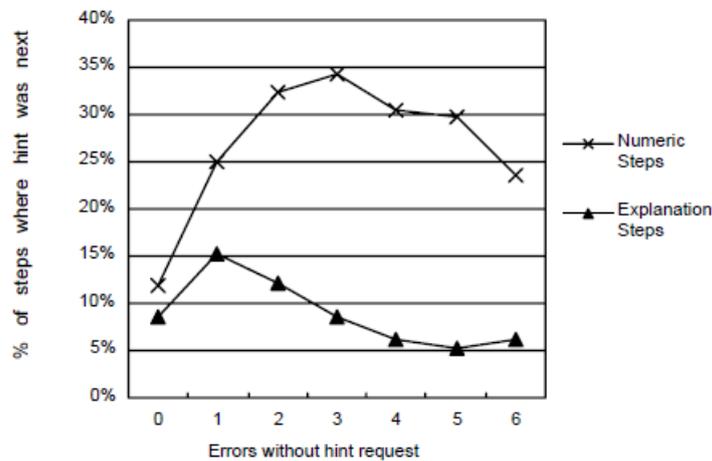


Fig.2: Frequency of help use after N errors without help—that is, given that a student had made N errors on a step without asking for help, how often was the next action on that step a help request and not another attempt at answering?

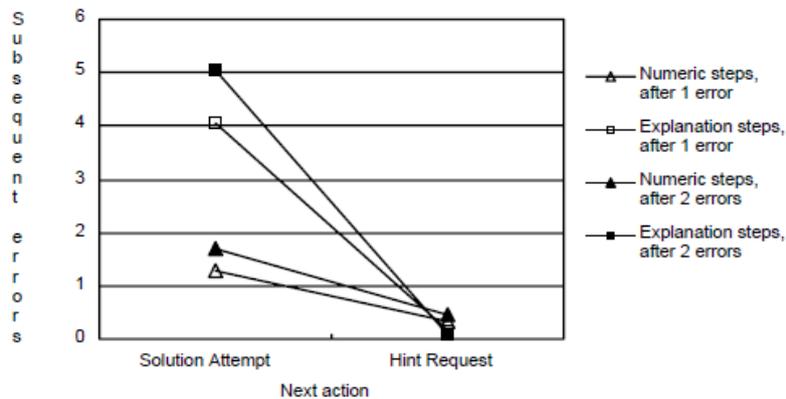


Fig.3: Subsequent errors on a step, given that the student had already made 1 or 2 errors on that step without asking for a hint, and then attempted another solution (“solution attempt”) or asked for a hint (“hint request”).

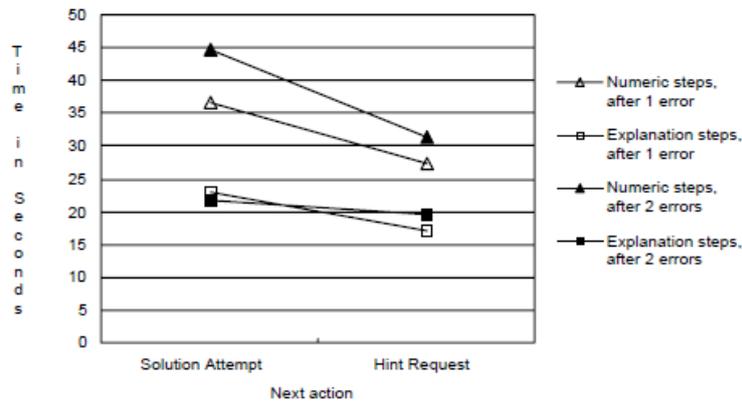


Fig.4: Time to complete the step, given that the student had already done one of the following four things: made 1 or 2 errors without asking for a hint, and then either asked for a hint (“hint request”) or entered another solution (“solution attempt”).

## 5. Discussion and Conclusion

- 学習支援システムを使った学習において、一般的に、学習者に学習の制御をさせることはよいといわれている
  - 多くのシステムは、学習者の要求に応じてのみ **hint** を与える
  - そのため、学習者はいつどのようなレベルの **hint** を使うのかを決定しなければならない
    - 学習者は本当に効果的に **hint** を使うことができるのか調査するために、今回実験と分析を行った
- 学習者は我々の予想に反して、**Glossary** を使わなかった
  - 難しい **step** では **Glossary** をより使うということはなった(**glossary** の使用と問題の難易度の相関は 0.29)
  - 一般的に考えて、**error** が増えるにつれて、システムから割り当てられる問題が増えるだろうことはわかるはずなのに、なぜ、**Glossary** を使おうとしないのか?
    - おそらく彼らは、
      - ① **Glossary** を使えば効果的なのかの判断をするためのメタ認知能力が十分ではない
      - ② ストラテジーが分からなかった
      - ③ **Glossary** から使える情報を読み取れなかった
- 学習者の **hint** の使用について
  - 学習者は、**hint** を非常に頻繁に使用した

- ◇ ほとんどの step で学習者は最も高いレベルまで **hint** を要求していた (Answer step では 82%、Reason step では 89%)
  - 彼らは中間レベルの **hint** をほとんど読まず、最も高いレベルの **hint** のヒントのみ読んでいた
- ◇ 最も高いレベルの **hint** からのみの学習だと、学習者はなぜその答えになるのかのプロセスを理解しなくなる
  - それを防ぐために、中間レベルの **hint** を使わせる必要がある

- まとめ

- 今回の分析結果から、学習支援システムは学習者をよりサポートするべきであるといえる
  - いつも学習者に「いつ **hint** を使うのが効果的かの判断を行わせること」を任せるべきではない
- システムについて
  - ◇ メタ認知レベルで学習者モデルを構築できるようにする
    - **Glossary** のより有効的な使い方を学習者に提供するため
    - 学習者のレベルに合った **hint** を使わせるため