

論理式証明戦略の形成支援のための助言タイプについて

3Q-3

森広 浩一郎†

池田 満‡

溝口 理一郎‡

†兵庫教育大学

‡大阪大学

学校教育研究センター

産業科学研究所

1 はじめに

人間は問題解決の経験から、より一般的な戦略概念を自分の知識として同化する能力を生得的に持っている。学習者の学習能力を前提とした経験からの学習の支援の形態は、多かれ少なかれ学習者が直面する“状況の制御”という側面を持っている。本研究では個別モニタが可能な計算機環境で、適度な粒度の“状況”を適切に制御し、学習者による“状況の汎化”を支援する論理式証明戦略の知的教育システムを実現することを目指している。

本稿では、学習者が論理式証明に成功する経験を積み重ねる過程での行き詰まりで、行き詰まりの解消方法を学習者が自発的に想起可能な助言について述べる。助言の生成には想起パターン知識を用いる。想起パターンは、学習者が戦略を想起可能であると思われる状況、その状況に含まれる特徴、学習者が想起するであろう戦略、の3要素から構成される。システムは想起パターンに記述された状況と学習者の行き詰まりから、想起の過程で学習者にかかる負荷を見積ったうえで、想起パターンに記述された特徴を利用した助言を学習者に与える。

2 システムの概要

戦略概念の形成支援を目指した教育では、問題解決の状況を学習者が知覚し、それらの経験を重ねる中で学習者による自発的な汎化を促し、支援する教育行動を実現することが重要である。このためには、学習者が問題解決の状況を知覚する“状況”を制御し、その汎化を促す適切な助言を与える必要がある。このような考察を踏まえて、本研究では論理式の自然演繹による証明を対象タスクとして、学習者の問題解決の行き詰まり“状況”に着目した戦略概念の形成支援のための助言の提示方法を検討した。

A Classification of Hints for Strategic Concept Formation in Logical Proof
Koichiro MORIHIRO†, Mitsuru IKEDA‡, Riichiro MI-ZOGUCHI‡
Center for School Education Research, Hyogo University of Teacher Education†
I.S.I.R., Osaka University‡

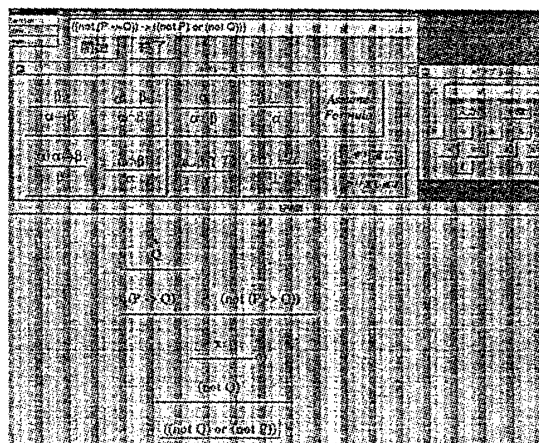


図 1: インタフェイス

自然演繹による証明では、含意、連言、選言、否定それぞれの論理演算子を論理式に導入する、あるいは論理式から削除する推論規則が利用される。自然演繹による証明は、これらの推論規則と証明で利用する仮定の設定をオペレータ、証明過程で現れる導出された論理式と導出に利用した仮定の組を状態とする問題解決である。我々が開発しているシステムでは図1に示すように、推論規則や証明に使われる論理式がインタフェイス上のボタンとして学習者に与えられる。学習者は適切なボタンを選択していくことで論理式の証明を進める。このようなインタフェイスを用いることで、推論規則の誤りを防ぎ、ケアレスミスの発生を抑えることができるため、学習者の証明が行き詰まる原因を戦略知識に基づくものと限定して考えることができる。

3 戦略概念の形成支援

3.1 想起パターン知識

本システムでは、想起パターンと呼ぶ教授知識を用意し、学習者に助言を与える。想起パターン知識の個々を想起パターンと呼ぶ。想起パターンには、学習者に教育すべき戦略 *Str* に関して、その戦略を想起しやすい状況 *Sit* と、その戦略を思い出すキーとなるもの *Key*、を記述する。この想起パターン知識を利用して、以下の手順に従って状況 *R* において行き詰まり状態にある学習者に対して助言を与える。

1. 正解から外れている時はそのもととなる箇所を指摘する。
例: 「～から間違ってます。」
2. 学習者の行き詰まり状況と学習者のレベルとから, 学習者に教えようとする戦略(以下, ターゲット戦略と呼ぶ)を決定[Morihiro94a]する。
3. ターゲット戦略と同じ戦略名 *Str* を持つ想起パターンの中から, 学習者の解を含む状況 *Sit* を持つ想起パターンのみを選択する。
4. 3の想起パターンに基づく助言を与えることで学習者が問題解決を再開し, 戦略の目標を達成する可能性を見積もる[森広94b]。
5. 4の結果, 達成可能性が学習者のレベルに適した想起パターンを1つ選ぶ。
6. 5で選択した想起パターンに記述されている想起キー *Key* から助言を作成して学習者に提示する。
7. 想起パターン知識が適用できない, または想起パターン知識による助言の達成可能性が低い状況では, 学習者が次にとり得る行動を指示する。
例: 「～に…のオペレータを使って～を導いて下さい。」

3.2 助言の種類

本研究で対象とした命題論理式の自然演繹による証明問題では, 6で想起キー *Key* から助言を作成する時に, 想起キーの種類によって, (イ)目的式型, (ロ)仮定生成型, (ハ)仮定消去型, の3つに分類して助言を作成する。それぞれ, 中間ゴールを設定してからオペレータを選択する, 消去方法をあらかじめ考えた上で仮定を置く, オペレータの特徴を考慮にいれて中間ゴールを設定する, ことが学習者に期待されている。このような助言を与えることで, 証明の方向性を定めてからオペレータ選択を行うという戦略的概念の形成に貢献すると考えられる。

(イ)目的式型 a「*Key*を導きましょう。」

b「*Key*に注目しましょう。」

(ロ)仮定生成型 a「仮定 *Key*を置きましょう。」

b「仮定 *Key*に注目しましょう。」

(ハ)仮定消去型 a「仮定 *Key*を消去しましょう。」

学習者が想起キー *Key* を含む部分証明を達成していない状況ではaの助言を作成する。学習者が想起キー *Key* を含む部分証明を達成している状況ではbの助言を作成する。なお, (ハ)のbの仮定消去が達成していることを指摘する助言は, その部分証明が完成している状況であるため不必要である。

想起キー *Key* にあたる部分の助言文における表現は, 学習者の状態に応じて異なる表現となる。学習者による状況の汎化を支援することを優先する場合には, 想起キーの記述に用いた抽象レベルでの語彙表現からなる助言を与えることで学習者自身による状況の汎化を支援する。この助言では状況汎化ができな

(問題) $\sim(P \rightarrow Q) \rightarrow (\sim PV \sim Q)$ を証明せよ。

$$\begin{array}{c}
 \frac{Q}{P \rightarrow Q} \quad \sim(P \rightarrow Q) \\
 \hline
 \perp \\
 \hline
 \sim Q \\
 \hline
 \sim PV \sim Q \\
 \hline
 \sim(P \rightarrow Q) \rightarrow (\sim PV \sim Q)
 \end{array}$$

図 2: 証明の例

想起パターン = (戦略名 *Str*, 状況 *Sit*, 想起キー *Key*)

Str: 背理法と条件証明の合成

Sit: 背理法の仮定から矛盾の直前まで完成

Key: 条件証明で仮定消去する含意式の前件

図 3: 想起パターンの例

かった学習者には, 具体的な語彙レベルでの助言文を与え証明に成功する経験を与えることを優先する。具体的な語彙レベルでの助言文は, 個々の問題に応じて具体的な論理式を代入することで構成する。具体的な語彙レベルでの助言文を得ることで証明に成功する経験を一定回数以上経験した学習者に対しては, 状況の汎化を支援することを再び優先する。

生成される助言文の違いを具体的な証明の行き詰まり例で説明する。図2で正解が与えられる問題に対して, 背理法で用いる仮定 *Q* を仮定して $P \rightarrow Q$ を導いた段階で学習者が証明に行き詰まったとする。この学習者に対する助言の生成には, 図3に示す想起パターンが利用され, (ハ)a型の助言が与えられる。想起キーを用いて生成される抽象的なレベルの助言は, 「仮定“条件証明で仮定消去する含意式の前件”を置きましょう」である。また論理式の代入を行った結果得られる具体的なレベルの助言は, 「仮定“ $\sim(P \rightarrow Q)$ ”を置きましょう」である。

4 おわりに

本稿では, 論理式の自然演繹による証明で行き詰まった学習者に対して, 学習者が自発的に戦略概念を形成するための支援を目指した助言の方法と, その具体例について述べた。

参考文献

- [Morihiro94a] Morihiro, K., Ikeda, M. and Mizoguchi, R., "Design of an ITS for Strategic Knowledge in Proving Logical Formulas", *IEICE Trans. on Information and Systems*, Vol.E77-D, No.1, pp. 98-107, Jan. 1994.
- [森広94b] 森広 浩一郎, 池田 満, 溝口 理一郎, "論理式証明における戦略概念の形成支援について", 1994年度人工知能学会全国大会論文集, pp. 737-740, June 1994.