

歴史の知識構造化を支援する知的教育システムの開発

堀口知也*, 平嶋宗*, 柏原昭博*, 豊田順一*

A Learning Environment for Knowledge-Structuring in History

Tomoya HORIGUCHI*, Tsukasa HIRASHIMA*, Akihiro KASHIHARA*,
Jun'ichi TOYODA*

It is important for a student to structurize his/her acquired knowledge in order to understand it deeply. However, the student scarcely does such a task spontaneously. Therefore, it is necessary to explicitly help the student construct his/her knowledge structure.

In this paper, we present a system which explicitly helps a student structurize his/her knowledge in history, which is the subject a student tends to learn by rote. In this system, we use two strategies to help a student: "knowledge-structuring by visualization" and "knowledge-structuring by reasoning". The former enables the system to communicate with a student smoothly by using the visualization tool. The latter enables a student to memorize his/her knowledge steadily by acquiring it through his/her own reasoning. We have implemented the system on Sun SPARCstation10, and ten subjects learned history by this system. As a result, seven of them reported that this system contributed to understanding the knowledge in history deeply.

1. はじめに

教育においては、単に知識を暗記するだけでなく、学習者が新たに獲得した一連の知識を互いに関係付けて構造化することが、その知識を深く理解し記憶するために不可欠である⁽¹⁾。しかしながらこのような知識の構造化は、学習者の自発的な作業に任せていたので一般に起こりにくい。そこで知識を伝達する側からの、積極的な支援が必要となる。

ここでは、一般に暗記科目の典型と見なされている歴史⁽²⁾を取り上げる。歴史においては、学習者は通常、主として歴史上の事件名とその年代を個別に記憶しが

ちであり、それらの事件間の関係はあまり考慮しない場合が多い。しかしながら、本来歴史においては、ある事件が歴史上どのような意味をもっているのかを位置付けることが重要であり、そのためにはそれが他の事件とどのような関係にあるかを理解することが必要となる。さらに、このことは個々の事件を他の事件と深く結びつけることになるため、記憶への定着を良くすることにもなる。

そこで本研究では、歴史を対象領域に選び、知識の構造化を支援するシステムを設計・開発した。本システムは、学習者が歴史の知識を互いに関係付けて獲得することを促進することにより、単に知識を個別的に暗記するだけでなく、それが何を意味するかを理解させ、記憶に定着させることを指向している。具体的には、システムは学習者にいくつかの歴史上の事件を年代順に並べ換える問題を課する。正しい年代順に並べ

* 大阪大学産業科学研究所, 茨木市
The Institute of Scientific and Industrial Research, Osaka
University, Ibaraki City

換えるためには、学習者はそれらの事件間の様々な関係を正しく理解する必要がある。したがってこのような問題演習を通して、システムは学習者が歴史の知識を互いに関係付けること、すなわち知識の構造化を支援することができる。

本システムでは知識の構造化を支援するために、①学習者の知識状態をシステム側に取り込んで学習者モデルを構成し、②それに基づいた診断によって学習者が知らない関係を同定してその説明を提示するという手順をとる。このような支援を効果的に行うために、「視覚化による知識の構造化支援」、および「推論による知識の構造化支援」という手法を用いる。前者は、上記①、②の手順を視覚的な手段によって行う手法である。つまり、学習者に自己の知識状態を図的に記述させ、またシステムからの説明を学習者に図的な方法で提示する。この手法では、学習者は自己の知識状態を図示することによって既知知識を整理でき、またそのような知識状態の図的な記述は、システムが学習者モデルを構築するのを容易にする。さらに、システムからの説明が図的に提示されることにより、学習者が説明を解釈する際の負担が軽減されるという効果が期待される⁽³⁾。本システムではこのような手法を実現するためのグラフィカル・ユーザ・インターフェースを提供している。一方、後者は、上記の手順②において知識同士の関係を学習者に説明する際に、その関係を直接教えるのではなく、それらの知識の持つ様々な属性から、その関係を学習者が推論できるように誘導する手法である。この手法では学習者に自ら考えさせるため、獲得される関係が強化されるという効果が期待される^{(4) (5) (6) (7)}。

このような手法を用いて歴史の知識の構造化を支援するシステムを、Sun SPARCstation10上に実装した。システムの有効性を検証するため、10名の大学院生に本システムを試用して貰いアンケート調査をしたところ、7名の被験者から、本システムが歴史の学習に有効であるとのコメントを得た。また、10名中4名の被験者が、従来歴史を学習するのにこのような手法を用いず、暗記のみによって機械的に学習してきたと回答した。したがって、歴史のような機械的暗記が行われがちな科目において、本システムが充分有効であることが示された。ただしここでの検証は、上述の2つの

知識構造化支援手法の設計理念の妥当性を検証するものであり、学習効果の定量的な測定ではない。したがってこれはあくまでも予備的な検証であることを注記しておく。

以下本稿では、2章において本システムの概要と教授方略について述べ、さらに本システムにおいて用いた知識構造化支援手法の位置付けを行う。また関連研究について言及し、従来開発されてきた歴史教育のためのCAIシステムに比しての、本システムの位置付けについて述べる。3章においてはシステムの検証方法について述べ、その結果を分析する。そして最後に4章で総括を行い、今後の課題について述べる。

2. システムの概要と教授方略

本章においては、まず本システムを用いて学習者が歴史を学習する手順を説明し、その際に用いる2つの知識構造化支援手法について具体的に述べる。次にITSの設計において従来から指摘されているいくつかの課題について述べ、これらに対して本システムで用いた2つの手法に期待される学習効果と、これらの手法の位置付けについて述べる。さらに関連研究について言及し、従来開発されてきた歴史教育のためのCAIシステムに比しての、本システムの位置付けについて述べる。

2.1 問題設定

本システムは、学習者に歴史上の事件を年代順に並べ換える問題を課し、その問題演習を通して学習者が事件間の様々な関係を理解することを支援する。具体的には、①学習者は提示された問題に対して事件を年代順に並べ換えた解答を作成し、②システムはその解答を診断して学習者に教授すべき事件間の関係を同定しその説明の提示を行う。

本システムではこのような学習者-システム間のやりとりを、グラフィカル・ユーザ・インターフェースを介して行う。図1にその画面を示す。学習者はこの視覚化ツールを用いて、歴史上の事件をノード、それらの時間順序関係をリンクとする意味ネットワークを構成する。同図では、クレタ文明、ミケーネ文明、ギリシア文化、ローマ文化を時間順序に並べる問題が与

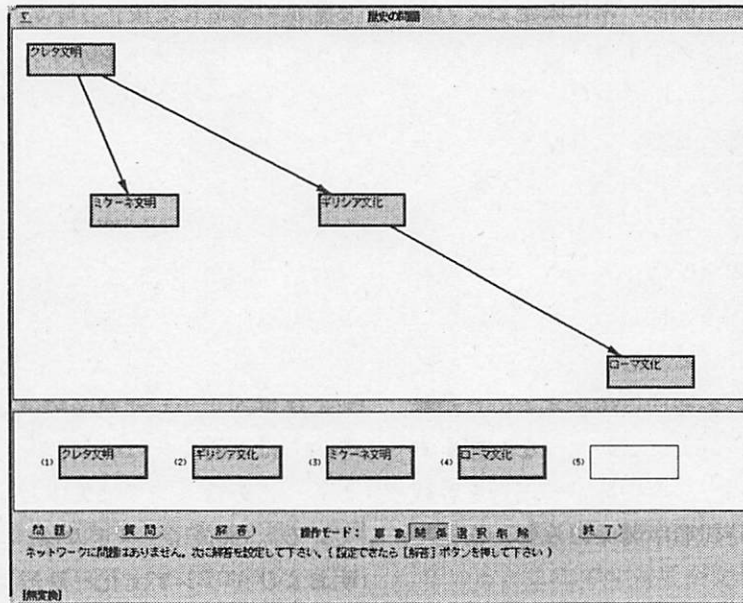


図1 視覚化による知識の構造化支援

えられている。学習者は、時間順序を知っているノード同士を時間順序関係リンク（図では矢印で表されている）によって結合し、意味ネットワークを構成する。そしてこの意味ネットワークに基づいて、各事件を年代順に並べた解答を作成する（図中、下欄に示されている）。

しかしながら、このように線形化された解答のみからでは、システムは学習者の知識状態を正確に把握することができない。例えば同図において、解答ではミケーネ文明がギリシア文化の後とされているが、システムは、学習者が両者の時間順序関係を知っていてこの順序に並べたのかどうかを判断することができない。しかしここで学習者の構成した意味ネットワークを見ると、両者の間には時間順序関係リンクが張られていないため、学習者は両者の時間順序関係を知らず、たまたま解答のような順序に並べたに過ぎないと予想される。このように、システムは学習者の解答のみでなく、意味ネットワークをも参照することによって学習者の知識状態についてより多くの情報を得ることができる。そこでシステムはこの意味ネットワークに基づいて診断を行い、学習者が知らない時間順序関係があれば、それを教授する。

2. 2 知識構造化支援手法

(1) 視覚化による知識の構造化支援

図1に示すような視覚化ツールを用いることによって、学習者は自己の既有知識を確認するだけでなく、自己にとって何が未知であるかをも明らかにすることができる。同図において、学習者はクレタ文明とミケーネ文明、クレタ文明とギリシア文化、ギリシア文化とローマ文化の時間順序関係は知っているが、その他の関係、例えばミケーネ文明とギリシア文化の時間順序関係は知らないことが明らかとなる。このように学習者は意味ネットワークを構成することによって自己の知識を整理することができるため、知識の構造化が促進されると期待される。このことを「視覚化による知識の構造化支援」と呼ぶ。

またシステムは、この意味ネットワークを学習者の知識状態を表現するための学習者モデルとして用いることができる。例えば図1では、システムは学習者がミケーネ文明とギリシア文化の時間順序関係を知らないで教授する必要があると診断することができる。

ただしここで、視覚化による知識の構造化支援の枠組みが適用できるためには、扱う対象となる歴史事象が、その時間順序関係を比較できるようなものでなければならない。本システムでは、意味ネットワークを

構成するリンクを、時間順序関係のみに限定しているため、学習対象をそのような歴史事象に限定する必要がある。本来、歴史事象同士の関係には、時間順序関係以外にも、例えば因果関係など、より歴史学の本質をなすような関係が考えられるが、そのような関係は、歴史観の違いによって様々な異なった関係付けが可能である。またそのような場合には、そもそも何を歴史事象として一つの概念とするかについても、解釈によって異なった見解が生じてくる。したがって、学習者の作成した解答の正否を、客観的に診断することが難しくなる。そこで本システムではこのような問題を避けるため、対象とする関係を、その解答の正否を客観的、一意的に決定し得る時間順序関係のみに、あえて限定して取り扱っている。

(2) 推論による知識の構造化支援

学習者が構成した意味ネットワークを診断することによって、システムは学習者にどの事件間の時間順序関係を教授すべきかを決定する。しかし本システムはこのような関係を直接的に教授することはしない。その代わりにシステムは、対象となる事件の持つ様々な属性から、それらの間の関係を学習者が推論できるように誘導するという教授方略をとる。これを「推論による知識の構造化支援」と呼ぶ。

る知識の構造化支援」と呼ぶ。

図2にその具体例を示す。ここでは、システムは学習者にミケーネ文明とギリシア文化の時間順序関係を教授しようとしている。システムは最初に、ミケーネ文明とギリシア文化のそれぞれの属性を学習者に提示し、それらのうち時間順序関係を付けることのできる属性を学習者に選択させる。ここではそれぞれ青銅器文明と鉄器文化とが選択されている(図では太枠によって表されている)。次にシステムは学習者に、選択された属性同士の時間順序関係を答えさせる。ここでは学習者は鉄器文化は青銅器文明よりも時代が後であると答えている(図では矢印とその方向によって表されている)。最後にシステムは、ミケーネ文明-青銅器文明およびギリシア文化-鉄器文化がそれぞれ主体-属性関係にあり、かつ鉄器文化が青銅器文化よりも時代が後であることを指摘して、学習者にミケーネ文明とギリシア文化の時間順序関係を推論させる。このような誘導によって、学習者はギリシア文化がミケーネ文明よりも時代が後であると判定することができる(このとき、属性同士の時間順序関係が主体同士においても保存される、という性質を用いている)。このように、システムは学習者にギリシア文化とミケーネ文明の時間順序関係という教授目標である関係の直接的な説明

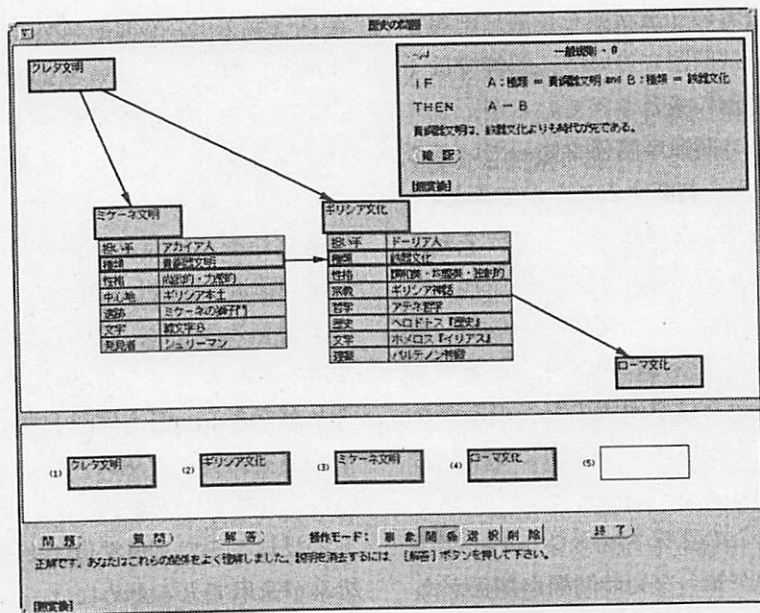


図2 推論による知識の構造化支援 (1)

の代わりに間接的な説明を与えており、このような間接的説明から学習者自身が教授目標である関係を推論することによって導出することを誘導している。このような推論を行うことによって学習者の理解はより深まり、知識が構造化されることが期待される。これが「推論による知識の構造化支援」である。

ただしここで、推論による知識の構造化支援の枠組みが適用できるためには、上述の説明からも明らかのように、扱う対象となる歴史事象は、その時間順序関係を比較できるようなものであり、かつ、それが属性-属性値リストに展開できるような概念である必要がある。そして当該の属性-属性値リストの中に、その時間順序関係をつけることのできる性質を持った属性が含まれているようなものでなければならない。本システムでは、歴史事象間の関係として、時間順序関係のみを扱っているので、主体同士の時間順序関係を、その属性同士の時間順序関係に置き換えて考えることが可能となっている。

本手法を効果的に運用するためには、学習者の既有知識を同定することが重要となる。例えば図2において、システムの説明が学習者に受け入れられるためには、学習者にとって青銅器文明と鉄器文化との時間順序関係が既知であるか、あるいは常識的に誰もが持つ

ている一般法則から容易にそれらの時間順序関係が導出できなければならない。注目した属性が学習者の既有知識や常識的一般法則に結びつかないとき（すなわちそれらの属性間の時間順序関係を学習者が知らず、またそれを判定できる常識的一般法則を持たないとき）、本システムはその属性を主体としてさらにその属性を提示して、時間順序関係を付けるために注目すべき属性を学習者に選択させる。そして学習者の既有知識や常識的一般法則によって時間順序関係を判定できるレベルに到るまで、この属性提示を繰り返す、という戦略をとる。例えば図3においては、クレタ文明とミケーネ文明との時間順序関係を考えるため、最初にそれらの担い手であるクレタ人とアカイア人に注目している。ここで学習者がクレタ人とアカイア人の時間順序関係を知っていれば、説明はこのレベルで打ち切られるが、同図では学習者はこれを知らず、間違った時間順序関係を答えている。そこでシステムはさらにクレタ人とアカイア人の属性を提示して、注目すべき属性を学習者に選択させている。ここで学習者は、クレタ人の被征服民族がアカイア人であり、またアカイア人の征服民族がクレタ人であることに注目している。これらの属性に注目すれば、学習者はクレタ人とアカイア人についての既有知識を持たなくても、「征服民族

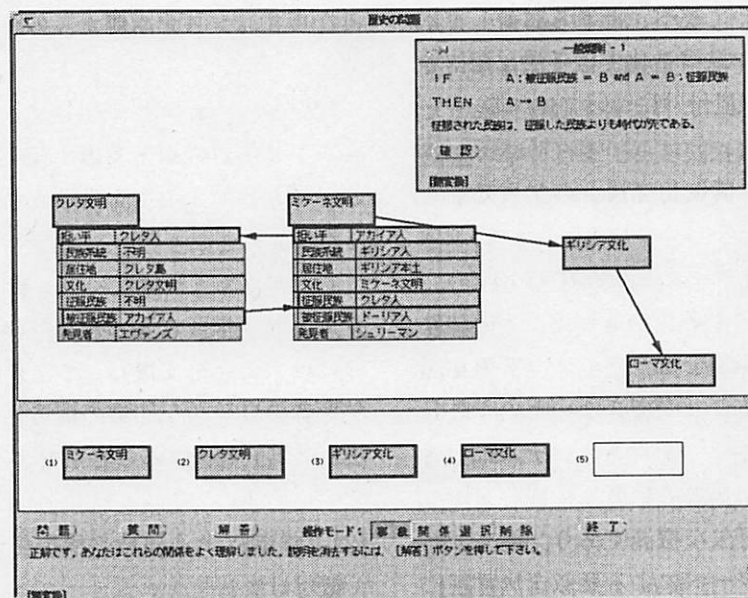


図3 推論による知識の構造化支援 (2)

は被征服民族よりも時代が後である」という常識的な一般法則によって、両者の時間順序関係を判定することができる。このように、本手法では目標関係を推論させるために学習者の既有知識や常識的一般法則を利用するため、学習者がどんな既有知識や常識的一般法則を持っているかについての情報が不可欠であり、適切な学習者モデルを構成する必要がある。それによってシステムは、どのレベルでの説明を学習者に与えるかを決定することができる。

さらにシステムが「推論による知識の構造化支援」を用いる際に、次の2つの方法を使い分けることを現在検討中である。すなわち、1つは学習者が目標関係を知らない場合、それについての間接的な説明を与えて教授目標である関係を推論によって導出させる方法(これを知識のcompileと呼ぶ)、もう1つは学習者が教授目標である関係を知っている場合、それについての間接的な説明を行わせて既有知識を強化する方法(これを知識のde-compileと呼ぶ)である。これらの方法を学習者の状態に合わせて適宜使い分けることにより、知識の構造化を効果的に促進することができると考えられる。

2.3 本システムの知識構造化支援による学習効果とその位置付け

ここでは、ITSの設計において従来から指摘されているいくつかの課題について述べ、それらに対して本システムで用いた2つの知識構造化支援手法に期待される学習効果とこれらの位置付けについて述べる。

(1)「視覚化による知識の構造化支援」の学習効果と位置付け

ITSの設計において指摘されている問題点の1つに、従来のシステムにおける穴埋め式や選択式などの特殊な形式に制限された入力環境では、学習者はその意図をシステムへ充分伝達することができないということがある⁽⁸⁾。学習者の意図や思考過程をシステムに伝達することは、システムが学習者の状態を把握し適切な教授行動をとるために不可欠な機能であり、従来より自然言語、あるいはキーワードによる疑似自然言語による入力方式などが研究されてきた。しかしながらこのような自然言語による入力は一般に煩雑になり、学

習者に少なからぬ負荷をかけることになるため、学習者の思考が阻害されるという悪影響が発生することになる。そこで学習者の思考を阻害することなく、かつシステムによる診断に十分な情報を提供することのできるように、適切なレベルにおいて学習者の意図や思考過程を表現する記述言語の必要性が指摘され⁽⁹⁾、そのような試みがいくつか提案されている⁽¹⁰⁾⁽¹¹⁾。

本研究では、このような試みの1つとして、グラフィカル・ユーザ・インターフェースを用いた意味ネットワーク構築環境を提案した。このような視覚化ツールを用いれば、学習者は思考を阻害する要因となるような負荷を受けることなく自己の知識状態を記述することができ、またその記述は意味ネットワークで表現されているため、システム側が取り込むのに適している。さらに意味ネットワークの特徴である、豊かな表現力・汎用性などの利点を生かすことができるため、システム-学習者間の豊かな対話を可能にすることができる。また、自己の知識状態を図的に記述することが人間の認知にとって良い影響を与えることは従来から指摘されている⁽³⁾。すなわち学習者は視覚化ツールによって意味ネットワークを構成することで、自己の既有知識のみならず、自己にとって何が未知であるかも確認することができ、自発的な知識の構造化が促進されることが期待される。

また本システムでは、学習者からの入力の視覚化のみならず、システム側からの説明をも図的な方法で提示している。このことによって学習者は、テキスト形式の説明を与えられる場合に比べて、説明のわかりにくさ等の学習の阻害要因となる負荷を受けることを免れ、より容易に説明を受け入れることができると期待される。

したがって「視覚化による知識の構造化支援」とは、システム-学習者間の双方向の知識伝達を円滑かつ充分に行うことを支援し、さらに図示することによって学習者の自発的な知識の構造化を促進するための一手法として位置付けることができる。

(2)「推論による知識の構造化支援」の学習効果と位置付け

ある一連の知識を記憶する際、それらを互いに無関係なものとして学習するよりも、意味的に関係付けて

学習するときの方が知識の定着が良く、また大量に記憶できることは良く知られている。また互いに無関係な対象でも、それらを意味的に関係付けるようにして学習すれば、意味付けをするための知識の分だけ学習量が増加するにもかかわらず、効果的に学習することができる。従ってどのような学習対象にせよ、意味的に関係付けるように、すなわち対象間に妥当性を付け加えるようにして学習することが記憶にとって重要である⁽¹⁾。しかしながらある種の科目においては、学習者は大量の学習対象を機械的に暗記するという方法(すなわち意味的に無関係なものとしての学習)をしばしば用いがちである。歴史においては、歴史上の事件名とその年代を、他の事件と関係付けることなく暗記することなどがこれにあたる。

本システムは、学習者に歴史上の事件の時間順序関係を教授する際、単にその年代に対応させて暗記させるのではなく、学習者がその事件同士を意味的に関係付け、妥当性を持ったものとして記憶することを促進する。例えば図2においては、目標関係であるミケーネ文明とギリシア文化の関係を、学習者の既有知識である青銅器文明と鉄器文化の関係に結びつけることによって妥当性を付け加えている。このとき、学習対象は意味付けするための知識(ミケーネ文明-青銅器文明およびギリシア文化-鉄器文化の主体-属性関係)の分だけ増加しているが、これは記憶にとって障害にはならないことは西林によって指摘されている⁽¹⁾。むしろ、ミケーネ文明とギリシア文化の関係を青銅器文明と鉄器文化の関係に対応付けて記憶することで、既有知識である青銅器文明と鉄器文化の関係自身も強化されるという効果が現れると考えられる。また、本システムは学習者が自らの推論によって学習対象に妥当性を付け加えることを促しているが、このような学習者の積極的な思考を促すような適度な負荷を与えることによって知識の定着が良くなることはVanLehnらによって指摘されている^{(4) (5) (6) (7)}。

したがって「推論による知識の構造化支援」とは、学習対象と学習者の既有知識とを結び付けるための知識を手がかりとして与えて学習対象を意味的に関係付けることを支援し、またそのような心的作業を学習者自らの推論によって行わせることで適度な負荷を与えて知識の定着を図ることにより、知識の構造化を促進

するための一手法として位置付けることができる。

2.4 関連研究

ここでは本研究に関連する研究として、従来開発されてきたいくつかの歴史教育のためのCAIシステムについて触れ、それらと比較することによって、本システムがどのように位置付けられるかについて述べる。

杉山らは、中学生の歴史学習がしばしば単なる暗記学習に陥りがちであることを指摘し、歴史学習においては、歴史事象間の関係を有機的に把握する学習技能を育成することが重要であることを示した⁽²⁾。そしてこのような学習を実現するために、歴史資料の効率的な検索を支援する、様々なハイパー・メディア教材が研究・開発されてきた^{(12) (13) (14)}。また波多野らは、システムに推論機能を持たせることにより、単に従来のハイパー・メディアのように固定されたリンクをたどるのではなく、学習者に必要な情報を適宜システムが推論して提示するシステムを設計・開発した⁽¹⁵⁾。このシステムではデータ構造に柔軟性を持たせることによって、より柔軟な検索が可能となり、またより複雑な知識を扱えるようになっている。

これらはいずれも学習者に比較的大きな自由度を与えているため、学生は興味を引かれる事項を次々に調べることができ、良い動機づけの下で学習を進めることができる。反面、当初の学習目標を見失わないよう、人間の教師が指導してやる必要がある。すなわち、これらは情報検索ツールとしての性格が強く、システム自身は学習進行のための制御はあまり行わない。所定の学習目標である知識は、学生が自由な検索をしているうちに自発的に形成されるのに任せるという方針を採っている。

これに対して本システムは、システムの教授機能を重視し、システム主導による学習を指向している。すなわち学習者は、システム(設計者)によって明示的に設定された知識構造を形成すべく、システムによる制御の下で学習を進めていく。したがって本システムでは、学習者は自由な情報検索は許されていないが、反面、所定のカリキュラムに従って一定の学習目標をこなしていくという場面には適していると思われる。このように、文献検索ツールとしての従来のシステムと、本システムとは、それぞれに長所、短所を持って

おり、学習者にどのくらいの自由度を与えるかについては、両者の間にはトレードオフがある。したがって、システムを設計する際には、それがどういう使われ方をするのかを見極めてシステムの目標とするところを決定し、実際に即した機能を達成するように考えていく必要があると思われる。

3. 検証

前章において説明した2つの教授方略を用いて歴史の知識の構造化を支援するシステムを、Sun SPARCstation10上の実装した。そしてこれらの手法の有効性を検証するため、10名の大学院生を被験者として本システムを試用して貰い、アンケート調査を行った。本システムは学校における歴史教育を想定しているため、本来、中・高校生を被験者に選ぶことが望ましいが、ここでの被験者である大学院生はいずれも工学部の学生であり、事前に予備調査を行って、全員が高校の授業以来、歴史を特別に勉強した経験がないように選んでいる。したがって、歴史の知識と学習法とに関する限り、彼らは中・高校生と比較してもそれほど差異はなく、妥当な学習者像であると見なすことができる。ただし、今後より実用的なシステムを指向して、実際の学習効果を定量的に測定する比較実験を行うに当たっては、一般的な学習者像として、中・高校生を被験者に選ぶ必要がある。

また、ここで実装したのは、意味ネットワーク構築ツールおよび属性提示・選択・関係付けツールなど、「視覚化による知識の構造化支援」、「推論による知識の構造化支援」の最も基本的な機能に限られており、2.2節(2)で述べたような、学習者の既有知識同定機構やそれに基づく知識のcompile/de-compileの使い分け機構などは実装されていない。したがって、実験に用いたシステムは、あくまでも「視覚化による知識の構造化支援」、「推論による知識の構造化支援」の設計理念の妥当性を検証するためのものである。

3.1 調査内容

アンケートにおいては、次のような質問を設定して、回答を求めた。

(1) 本システムの視覚化ツールは、歴史の知識を理解

するのに役立つか。

- (2) 本システムの視覚化ツールは、歴史の知識を記憶するのに役立つか。
- (3) 歴史上の事件間の関係をそれらの属性に置き換えて説明することは、その関係の理解に役立つか。
- (4) 歴史上の事件間の関係をそれらの属性に置き換えて説明することは、その関係の記憶に役立つか。
- (5) 従来の歴史の教科書/教師は本システムのような事件間の関係の説明を用いていたか。
- (6) 従来、歴史を自習するとき、本システムのような事件間の関係の説明を用いたか。

(1)～(4)は、本システムにおいて用いた2つの知識の構造化支援手法の有効性を検証するための質問である。ここでの「理解」、「記憶」という語は、被験者が主観的に(事件間の関係が)「わかった」、「記憶できた」と感じたか否か、という意味で捉えるようにと予め説明している。(5)、(6)は、本研究の手法との比較のため、従来の学校教育において歴史がどのように教えられていたかを調査するための質問である。それぞれ、本システムのような教育法を行っていた歴史の教科書/教師がどのくらいあったか、また歴史を自習する際、本システムのような方法を用いたかどうかを質問した。ここで学校教育と学習者の自習とを区別したのは、前者によって奨励される学習法が、必ずしも後者の方法と一致するとは限らないと考えたためである。

3.2 調査結果

アンケートの結果を表1～表4に示す。表1では、9名の被験者が、「視覚化による知識の構造化支援」が歴史の知識の理解に役立つと回答し、7名の被験者が、「視覚化による知識の構造化支援」が歴史の知識の記憶に役立つと回答している。回答を保留した被験者が若干名いたが、「視覚化による知識の構造化支援」の有効性を否定する者はいなかった。有効性を認めた被験者のコメントには、「自己の知識の曖昧な部分がはっきりする」、「図的な表現は人間の認知にとって自然な理解・記憶法である」など「視覚化による知識の構造化支援」の設計理念を裏付けるものが多くみられた。また回答を保留した被験者の代表的なコメントは、「意味ネットワークのノード数が多くなると煩雑になって全

表1 視覚化による知識の構造化の検証

	大変役立つ	役立つ	役立たない	全然役立たない	何とも言えない
知識の理解	2	7	0	0	1
知識の記憶	2	5	0	0	3

表2 推論による知識の構造化の検証

	大変役立つ	役立つ	場合によっては役立つ	役立たない	全然役立たない	何とも言えない
関係の理解	3	7	0	0	0	0
関係の記憶	2	3	5	0	0	0

体を把握しにくい」というものであったが、これは一時に提示される情報の量が多ければ、図的な表現に限らずどのような表現法でも共通に起こる問題である。解決策としては、情報量に応じて表現手段を使い分ける、あるいは大量の情報を扱うときにはセグメンテーションを行い、一時に提示する情報量を調整する、などが考えられる。本システムにおいては後者の方法をとることで（すなわち学習内容を複数の単元に分けることになる）、この問題は比較的容易に解決可能であると思われる。ここで本システムは厳密なカリキュラムに従うことを想定しているため、単元に分けることによる学習者の混乱は起こらないものとする。

表2では、ほぼ全員の被験者が、「推論による知識の構造化支援」の有効性を認めている。表中、「場合によっては記憶に役立つ」と回答した被験者のコメントの代表的なものは、「推論に用いた属性が学習者にとってどれだけ記憶しやすいかで効果が左右される」というものであった。これは前章で議論したように、「推論による知識の構造化支援」が有効であるためには、事件間の関係の説明に用いる知識が学習者にとってできるだけ既存知識に近いものであることが必要であること

を意味しており、「推論による知識の構造化支援」の設計理念を裏付けている。このことから、「推論による知識の構造化支援」を効果的に運用するためには、学習者の既存知識を同定して適切な学習者モデルを構成することが重要であることがわかる。

表3では、歴史の教科書／教師共、本システムのような教育法を行っていたかどうかの回答にばらつきがあり、一定の傾向がみられない。この原因は次にように推察される。すなわち教師の側では、少なくともトピックによっては本システムのような教育法を行う意図があったが、それが実際の教科書や授業の場で明示的な方法で行われなかったために、学習者によって受け取り方が異なったのであると思われる。つまり教師側の非明示的な意図を汲み取る学習者もいるが、そうでない学習者もいるということである。このことはまた、表4において本システムのような学習法を用いなかった被験者が10名中4名にもものぼることをも説明している。たとえ教師側が奨励する学習法が本システムのような方法を指向していたとしても、それが非明示的な形でしか伝えられなかったため、その意図を汲み取ることができない学習者は、機械的な暗記に頼らざ

表3 教科書・参考書/教師の教授法

	数多くあり	少しあり	トピックによっ てはあり	殆どなし	全然なし	その他 (無回答)
教科書 参考書	1	1	2	2	2	2
人間の教師	1	0	5	2	0	2

表4 自習時の学習法

常に用いた	場合によっては 用いた	用いなかった	その他
0	6	4	0

るを得なかったのだと考えられる。これに対して本システムはこのような学習法を明示的な形で学習者に提示するため、学習者に効果的な学習法を伝えるという意味での意義も大きいといえる。

以上の結果をまとめると、本システムにおいて用いた2つの知識の構造化支援手法はいずれも、学習量を適切に調整し、適切な学習者モデルと共に用いるならば、十分に有効であるといえる。また本システムはその学習法を明示的な形で学習者に提示するため、従来学習者に効果的な学習法を伝えることが困難であった歴史のような「暗記科目」において特に有効であると考えられる。ただし学習法の伝達が実際によく行われているかどうかについては、現段階では推察の域を出ないため、今後、検証実験を行う必要がある。

4. おわりに

一連の知識を学習する際には、それらを互いに関係付けて知識を構造化することが、その知識を深く理解し記憶するために重要である⁽¹⁾。しかしながら知識を伝達する側からの積極的な支援がなければ、学習者が通常、個々の知識をそれぞれ孤立した形で機械的に暗

記するという学習法をとりがちである科目が少なからず存在する。

本研究では、そのような暗記科目の典型とみなされている歴史⁽²⁾の領域において、知識の構造化を支援するシステムを設計・開発した。そしてそこで用いる2つの知識構造化支援手法について予想される効果を分析し、これらの手法の位置付けを行った。さらにこれらの手法の有効性を検証するためのアンケート調査を行って予想された効果が得られるであろうとのコメントを得、これらが知識の構造化を支援するために充分妥当な手法であることを示した。

今後の課題としては、第一に本システムへの詳細な学習者モデル構築機構の追加が挙げられる。2章でも述べたように、「推論による知識の構造化支援」を効果的に運用するためには学習者の既有知識を同定する必要がある。システムが学習者にどういう説明を与えるかは、学習者の既有知識に依存しているため、その同定機構は不可欠である。またそのような機能が備わって初めて、知識のcompile/de-compileの手法を使い分けることができ、より有効な知識構造化支援が実現できる。第二には、本システムで用いた2つの知識構造化支援手法「視覚化による知識の構造化支援」、「推論

による知識の構造化支援」の有効性を実験的に検証することが挙げられる。本稿ではこれらの有効性の検証方法としてアンケート調査を用いた。しかしこのような方法では一般的な傾向としての妥当性は確認できるが、それが実際に学習効果を上げるかどうかについての判断はできない。そのためには比較実験による検証が不可欠である。またそのような検証実験を行うことによって、システムの教授方略をより詳細に設計する上での指針を得ることができる。厳密な検証実験を行うためには、これらの知識構造化支援手法を分析してより詳細なファクターを抽出し、それぞれのファクターが学習者の認知にどのような影響を及ぼすかを詳細に検討する必要がある。その上で各ファクター間の量的関係を仮説として提出し、実験によって検証していくことが望ましい。そのような知見を得て初めて、学習者に与える負荷を制御した運用が実現可能になる⁽⁷⁾。最後に、学習者にメタ知識を獲得させる機能の検討が挙げられる。3章で述べた検証結果から推察されるように、本システムは単に学習対象となる知識の構造化を支援するだけでなく、その学習方法というメタ知識を学習者に獲得させるという効果もあると考えられる。この点を検証実験によって確認し、さらに推し進めて知識構造化におけるメタ知識の分類を行い、それらの効果的な教授法についての検討も行っていく方針である。

(1994年11月29日受付)

参 考 文 献

- (1) 西林克彦：“間違いだらけの学習論”，新曜社（1994）
- (2) 杉山隆，小林福太郎，渥美文：“歴史学習における学習技能開発のための指導と評価”，信学技報，ET87-7, PP.1-6（1987）
- (3) 西田豊明，安西祐一郎編：“特集「図による推論」”，人工知能学会誌，Vol.9, No.2, pp.182-215（1994）
- (4) Burton, R. R. and Brown, J. S.：“An investigation of computer coaching for informal learning activities”，in Sleeman, D. and Brown, J. S. (Eds.)，Intelligent Tutoring Systems, Academic Press, pp.79-98（1982）
- (5) Fox, B. A.：“Cognitive and interactional aspects of correction in tutoring”，Goodyear, P. (Ed.)，Intelligent Tutoring System：Evolutions in Design, Teaching Knowledge and Intelligent Tutoring, Albex Publishing Corporation, pp.149-172（1991）
- (6) VanLehn, K., Jones, R. M. and Chi, M. T. H.：“A model of the self-explanation effect”，Journal of the Learning Science, 2（1）, pp.1-59（1992）
- (7) Kashihara, A., Matsumura, K. and Hirashima, T. et al.：“Load-oriented tutoring to enhance student's explanation understanding - an explanation planner and a self-explanation environment -”，IEICE Trans. Inf. & Syst., Vol.E77-D, No.1, pp.27-38（1994）
- (8) 大槻説平，山本米雄：“知的CAIのパラダイムと実現環境”，情報処理，Vol.29, No.11, pp.1255-1265（1988）
- (9) Self, J.：“The role of student models in learning environments”，IEICE Trans. Inf. & Syst., Vol.E77-D, No.1, pp.3-8（1994）
- (10) Twidale, M. B.：“Improving error diagnosis using intermediate representations”，Instructional Science, Vol.20, pp.359-387（1991）
- (11) 石本佳孝，金西計英，森本由香，矢野米雄：“地理学習を支援するITSの構築—説明による学習者の理解状態の表現について—”，信学技報，ET93-125, pp.9-16（1994）
- (12) 宇佐美信，大下眞二郎：“社会科における発見的学習のためのCAI”，信学技報，ET87-9, pp.19-24（1988）
- (13) 加藤誠巳，中條有規，飯島由紀久：“マルチメディアを用いた日本史ハイパー辞典”，信学技報，ET91-28, pp.31-36（1991）
- (14) 丸山裕輔，須貝克徳：“歴史学習におけるハイパーメディア活用単元の構成”，教育工学関連学協会連合第4回全国大会講演論文集，pp.139-140（1994）
- (15) 波多野和彦，坂元昂，“歴史事象の構造と類似性を考慮した教育支援システムの開発”，信学技報，ET87-1, pp.75-80（1987）

著者略歴



堀口知也

1987年早稲田大学工学部電気工学科卒業。1989年同大学院修士課程修了。1994年大阪大学大学院博士課程入学，現在同大学院博士課程に在籍。知識工学，特にその教育応用の研究に従事。情報処理学会，人工知能学会，教育システム情報学会各会員。



平嶋 宗

1986年大阪大学工学部応用物理学科卒業。1991年同大学院博士課程修了。同年，大阪大学産業科学研究所助手。工学博士。現在，人工知能，特に知識工学に興味を持ち，主にITSの研究に従事。電子情報通信学会，情報処理学会，人工知能学会，教育工学会，教育システム情報学会各会員。



柏原昭博

1987年徳島大学工学部情報工学科卒業。1989年同大学院修士課程修了。1992年大阪大学大学院博士課程修了。同年，大阪大学産業科学研究所助手，現在に至る。工学博士。人工知能，特に説明，ITS，プログラム理解の研究に従事。1993年度人工知能学会全国大会（第7回）優秀論文賞受賞。電子情報通信学会，情報処理学会，人工知能学会，教育システム情報学会各会員。



豊田順一

1961年大阪大学工学部卒業。1966年同大学院博士課程単位取得退学。同年同大基礎工学部助手。1969年助教授。1982年大阪大学産業科学研究所教授。工学博士。現在，概念形成，Visual Fidelity，マニュアルのわかりにくさに関する研究に従事。電子情報通信学会，情報処理学会，人工知能学会，日本認知科学会各会員。