

# ハイパーメディア教材における探究履歴の再考支援

## Supporting Rethink on Exploration History in Educational Hypermedia

柏原昭博，豊田順一

Akihiro Kashihara, and Jun'ichi Toyoda

大阪大学産業科学研究所

I.S.I.R., Osaka University, JAPAN

あらまし ハイパーメディアにおける構成的な学習支援において、「迷子の問題」は解決すべき重要な課題である。本研究では、ハイパー空間での迷子の状態をきっかけに、それまでの探求過程から学習者が積み上げた知識構造を予測し、それを可視化したり、学習者自身に外化させて、学習してきた内容への再考を促進する方法について述べる。本手法により、本来ハイパーメディア教材によって期待される高い学習効果を損なわずに、構成的な学習を適応的に支援することが可能になる。

キーワード：ハイパーメディア，構成的学習，知識構造，可視化，知識外化

### 1. はじめに

ハイパーメディア教材が急速に普及するのに伴い、それをを用いた学習に対する知的支援の必要性が高まっている [Brusilovsky 1996]。この教材が提供するハイパー空間は、個々の学習項目（ノード）と項目間を有機的につなぐリンクから構成され、学習者はこの空間内を自主的・構成的 (Constructive) な方法で学ぶことができる [Zeiliger et al. 1997; Kashihara et al. 1997]。このような学習では、必然的に学習の負荷も高くなるが、かえってそれが学習効果（学習の強化・促進）を高めるのに貢献することが指摘されている [Carroll et al. 1985; 柏原95]。

一方、探求が進むにつれて、次にたどるべき項目を選択できなくなってしまうことがしばしば起こる [Conklin 1988; Nielsen 1990]。これは、「迷子の問題」と呼ばれ、ハイパーメディアにおける学習支援の中心的な課題となっている。これまでも、迷子の問題を解決する方法が提案されており、主に迷子に陥らないようすることをねらいとして、次にたどるべき候補を学習者に提示したり、ハイパー空間の地図を提供することが検討されている。しかしながら、こうした支援は、探求中になされるため学習者の探求範囲を制約し、本来期

待される高い学習効果を減少させる恐れがある。そこで、本研究では、学習効果を損ねないことをねらいとして、ハイパー空間での学習者の行き詰まりをきっかけに、探求履歴を再考させる方法を提案する。

ハイパー空間における探求過程は、学習者が個々のノードに含まれた知識を積み上げながら知識構造を作り上げる過程と見ることができる。探求履歴を再考させる上で重要な点は、この知識構造に目を向けさせることである。本研究では、探求過程を考慮して、学習者が得ると予測される知識構造を表現する方法を検討し、その表現を用いて再考を支援する方法を検討している [柏原 1998b]。こうした支援は、単に迷子を解消するだけでなく、積み上げの学習を成功に導くためにも重要である。

本稿では、まずハイパーメディアにおける構成的な学習の特徴および従来の学習支援手法を概観しながら、ハイパー空間で探求してきたことを再考させる必要性を論じる。次に、探求過程から得た知識構造を表現する方法を提案し、これを可視化する、あるいは学習者に外化するように要求することによって、知識構造に対する再考を促す方法を示す。

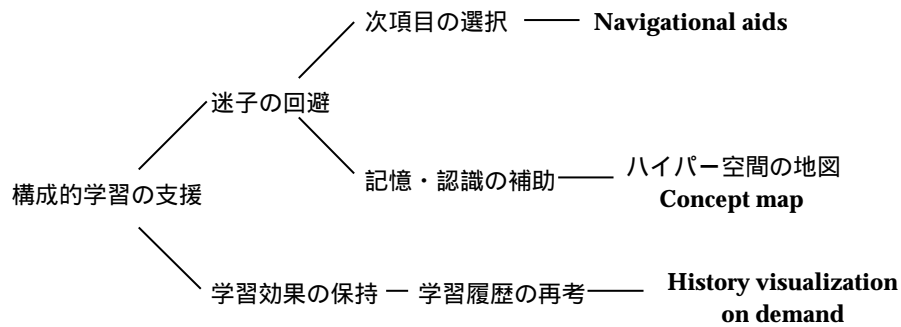


図1 学習支援の分類

## 2. ハイパーメディアにおける学習支援

### 2.1 構成的学習

ハイパーメディア教材が提供するハイパー空間では、学習者は個々の学習項目をたどりながら構成的に学習を進めていくことが期待される。ハイパー空間での学習(Exploratory Learning)の特徴をまとめると、次のようになる。

- ・ 構成的 (Constructive)
- ・ 自分で学習方向を決める (Self-directed)
- ・ 自分で管理・調整する (Self-regulated)

これらの特徴からも分かるように、学習にはかなりの認知負荷を伴うが、この負荷が学習効果を高めるのに大きな貢献をしていることが指摘されている。このような高い学習効果(学習の強化・促進)が得られることこそ、ハイパーメディア教材を用いることの最大の利点といえよう。しかしながら、探求過程においては、困難な面もある。

### 2.2 迷子の問題

ハイパー空間では、学習目的を達成する上で、次にたどるべき学習項目を選択できず、探求に行き詰まってしまうことがしばしば起こる。これは、ハイパー空間における迷子の問題としてよく知られた問題であり、解決すべき中心的な課題となっている。その原因には、主に以下のものが考えられる [Thuring, Hannemann, and Haake 1995]。

- (1) 次にたどる項目がどこにあるのかが分からない
  - (2) 次にたどるべき項目自体が分からない
- (2)については、探求が進むにつれて何をなぜ辿ってきたかが徐々に不明瞭になり(記憶の限界)、ついには学習目的を達成する上で次に何を辿ればいいのか分からなくなってしまう(認識の限界)ことが原因と考えられる [柏原 1998]。

従来の関連研究では、(1)が原因で起こる迷子に

対して、学習履歴を踏まえて学習者が次に辿ろうとする項目を予測・提示する支援が盛んに行われている [Kobsa, Mueller, and Nill 1994; Hohl, Boecker, and Gunzenhaeuser 1996; Brusilovsky 1996]。このようなナビゲーション支援も重要であるが、構成的な学習では(2)が原因で起こる迷子は深刻である。つまり、(2)は構成的な学習そのものが失敗していることを示唆するものである。そのため、支援の必要性は一層高いといえる。

### 2.3 学習支援

これまでにハイパー空間での学習を支援する様々な手法が提案されている。図1にその代表的な手法を示す。ハイパーメディアでの構成的な学習の支援では、教材が本来提供することのできる高い学習効果を損なわないことが重要である。この観点から、ここでは迷子の問題を解決する従来の支援手法について述べ、その問題点を指摘しながら本研究で提案する手法を導入したい。

#### 2.3.1 記憶・認識の補助

従来の関連研究では、ハイパー空間で学習者が迷子にならないようにすることに力点が置かれている。このアプローチでは、次に探求すべき項目を提示したり(ナビゲーション支援)、探求してきたことの記憶や、学習目的の達成度の認識を補助する支援を探求中に提供することが行われる。なかでも記憶・認識の補助では、ハイパー空間の地図(Overview diagrams) [Mukherjea, Foley, and Hudson 1995; Domel 1994] や教材に内在する概念・概念間の関係を記述した Concept Map [Zeiliger et al. 1997; Gaines and Shaw 1995] を学習者に与えながら探求させる方法が提案されている。これらの方法では、地図やConcept Map上で、学習者が探求してきた範囲を視覚化して記憶を補助するとともに、ハイパー空間の全体像と探求範囲との差異を見せることで、学習目的の達成度の認識を支援

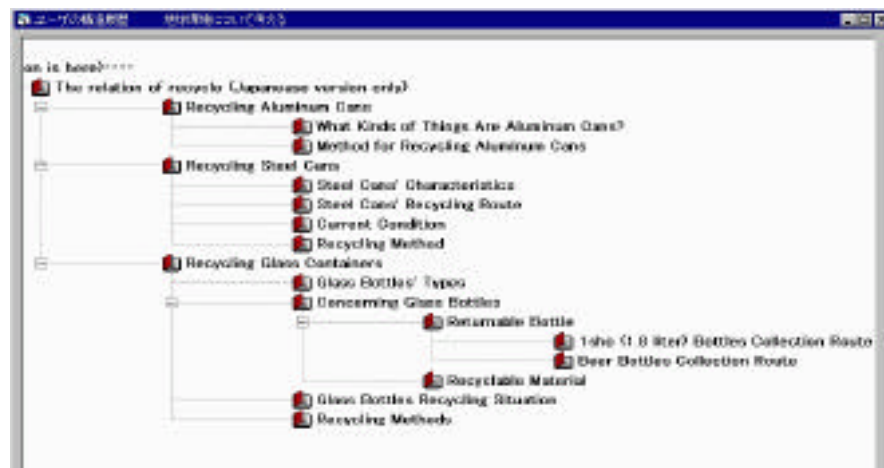


図2 学習履歴の構造表現

する。この方法は、構成的に学習する能力が比較的低い学習者にとって特に効果的であるが、次のような問題がある。

ハイパー空間の地図や Concept Map は、ハイパー空間の概略図であることが多いため、実際にはノードに存在するはずのリンクが省略されていたりする [Mukherjea, Foley, and Hudson 1995]。こうした概略図を見ながら学習を進めることは、学習者の探求範囲にバイアスをかけ、学習者による探求活動を制限してしまうことになる。そのため、教材によって本来期待できる高い学習効果を得ることが難しくなる。また、地図上で探求した項目および項目間のリンクが描く構造（経路構造と呼ぶ）が、必ずしも学習者が探求の結果得た知識構造と一致するとは限らない。この場合、学んだ内容を整理して構成的な学習を続行できるかどうかは学習者自身の能力に委ねられた形になる。

### 2.3.2 再考の促進

本研究では、迷子の状態を起こさないように支援するのではなく、迷子の状態をきっかけに探求してきた過程や内容を再考する機会を与え、できるだけ高い学習効果を得ることができるように支援する方法を検討している。その一手法として、これまでに探求履歴を可視化する方法を提案した [Kashihara, Satake, and Toyoda 1998; 柏原 1998a]。この手法は、基本的には従来のハイパー空間の地図や Concept Map と同様に、ハイパー空間の構造を利用して学習者の履歴を可視化するものであるが、可視化表現の役割を細分化するとともに、学習者の探求活動を制限しないように迷子に陥ったときに可視化するものである (Visualization on Demand)。ここでは、(1) 探求文脈の想起、(2) 履歴の再考、(3) 目的達成度の認識、を促進するため

に、(a) 文脈情報を含む履歴の時系列表現、(b) 履歴の構造表現、(c) 履歴と教材構造の重ね合わせ表現、を用いて履歴を可視化している。図2に履歴構造表現を用いた可視化の例を示す。

これらの可視化表現は、確かに学習効果を損なわずに、履歴を再考させるのに役に立つが、2.3.1でも述べたように、可視化した経路構造が必ずしも学習者が得てきた知識構造と一致しないことが考えられる。図2では、教材のハイパー空間の部分構造として、学習者による探求範囲を可視化して、学習者がたどった経路構造を表すが、これが学習者の知識構造を必ずしも反映しない。そのため、この表現から自分自身の知識構造に対する再考が十分に行われない可能性がある。したがって、学習効果を高めるためには、学習者が得た知識構造を予測し、それをを用いた支援が望まれる。

## 3. 再考支援

### 3.1 枠組み

ここでは、ハイパー空間での探求から学習者が得ると予測される知識構造を明示的に表現し、それをを用いて学習履歴の再考を支援する方法について述べる。

図3に本再考支援の枠組みを示す。本枠組みでは、ハイパー空間での行き詰まりをきっかけに、それまでの探求から学習者が得た知識構造を予測するとともに、それを外化するよう学習者に要求したり、可視化して見せる。このとき、重要な役割を果たすのが知識構造の表現であり、また再考を支援する上でどのように利用するかを検討する必要がある。まず、支援について述べる前に、知識構造の表現方法について議論しておく。

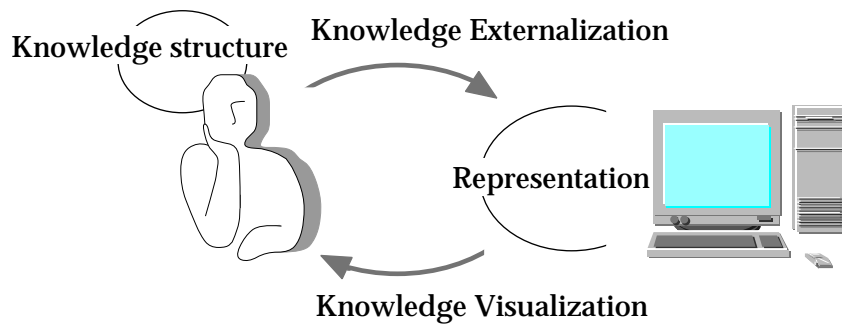


図3 再考支援の枠組み

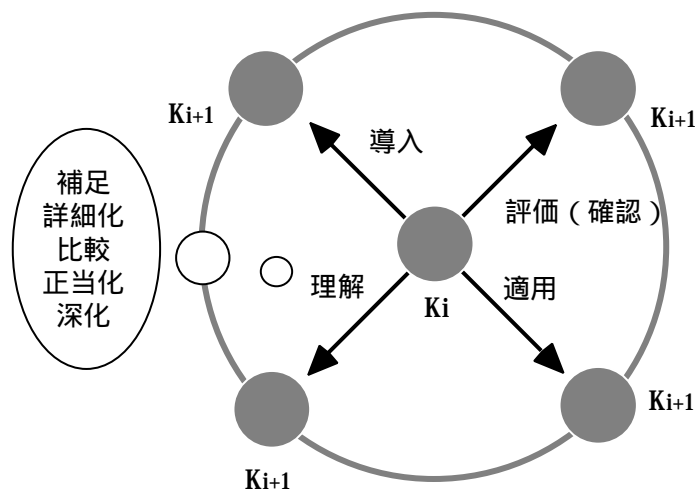


図4 探求理由の分類

### 3.2 知識構造

本来、学習者が探求中に心的に作り上げる知識構造は、実際に学んできたドメイン(ノード内)の内容についてであるが、学習したドメインの内容にまで注意を向けて再考することは非常に負荷が高いと考えられる。そこで、ノード内の内容を意味的にひとまとまりと考え、ノードを単位としたノード間の関係構造を、知識構造の表現に用いる。概念的には、この表現は、ドメインについて学んだ内容の概略と考えることができる。

#### 3.2.1 探求過程

探求中に作り上げられる知識構造は、探求過程に大きな影響を受けると考えられる。探求過程は、知識  $K_i$  を含むノードから知識  $K_{i+1}$  を含むノードへの推移として表現することができるが、 $K_{i+1}$  を訪れる際に「 $K_i$ をどうしたいのか」という探求理由が、積み上げられる知識の構造化の方向を規定するものになると考えられる。

本研究では、このような考え方のもとに、図4に示すように探求理由を分類した。「導入」は、知

識  $K_i$ とは異なる新たな知識を導入するために  $K_{i+1}$  をたどることを意味する。「理解」は、知識  $K_i$  についての理解を促進するために次をたどることを意味し、 $K_i$  を記述する用語に関する意味の「補足」、 $K_i$  の構成要素に関する「詳細化」、 $K_i$  と同様の知識との「比較」、 $K_i$  に関する「正当化」、 $K_i$  の知識を「深める」といった理由に細分化される。その他、 $K_i$  の「応用」や「確認」といった探求理由も数え上げている。

#### 3.2.2 表現方法

本研究では、学習者が探求したノードが描く経路構造のリンクに探求理由を付加したものを知識構造として表現する。具体的な例を挙げながら、表現方法について説明しよう。

ここでは、「地震のしくみ・原因を探る」ことを目的として、WWW上のあるホームページ (<http://www3.justnet.ne.jp/m-nasuno/nyumon.htm>) から探求する場面を想定している。実際に本学の学生に探求させたところ、「地震のしくみ」や「断層」、「プレートテクトロニクス」を調べ、その結果図5に示すような探求履歴が得られた。これを知識構

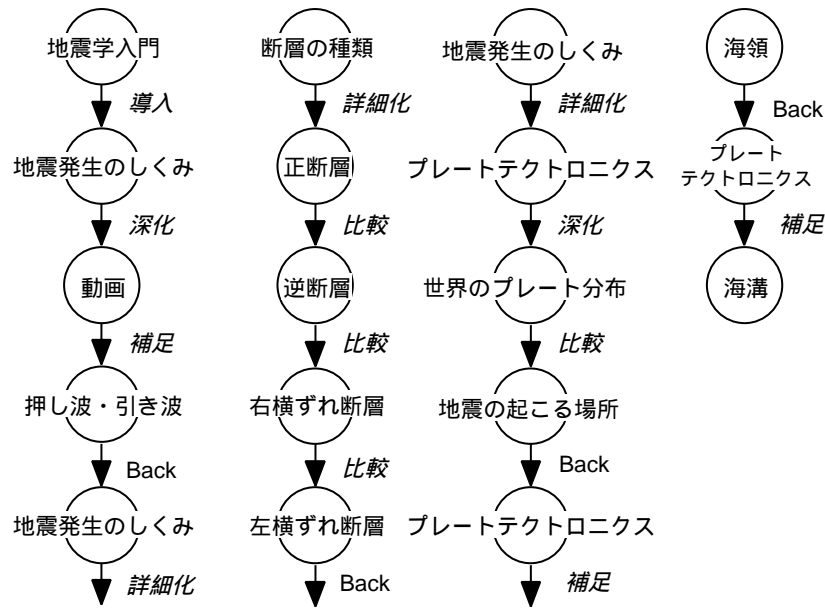


図5 探求履歴情報

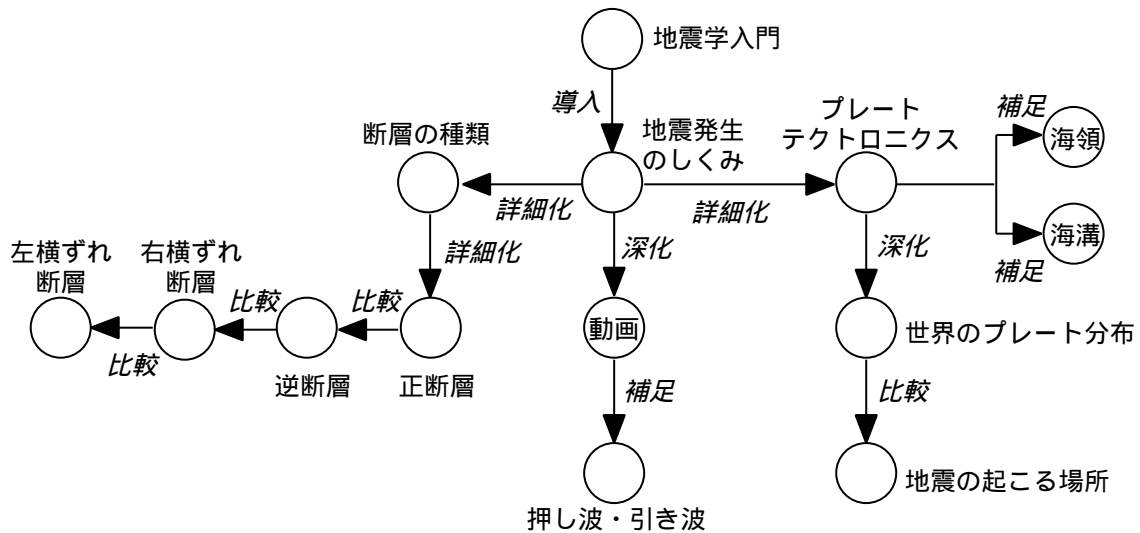


図6 知識構造の表現

造表現したものが、図6である。この図から分かるように、「地震の発生のおくみ」を中心として、そのおくみを動画で見ることによって理解を深めたり、動画中に出てくる押し波・引き波という用語を調べて理解を補足していることが反映されている。また、その構成要素である「断層の種類」と「プレートテクトロニクス」を詳細に調べたこともうかがえる。

なお、探求理由については、あらかじめメニュー形式で用意しておき、学習者が次のノードを選択しようとする度に、どの理由かを選択させている。これは、煩わしい作業ではあるが、積み上げていく学習を意識させることができるため、学習の促進に役立つ。

### 3.3 知識構造の可視化

次に、知識構造を可視化して、学習者の再考を促す方法について述べる。知識構造は、図6に示すように表現されるが、そのまま提示すると学習者にとっては分かりにくい。そこで、探求ノード間の関係ごとに、それを分かりやすく可視化する表現を整理した。

図7に、探求ノードの可視化表現を示す。例えば、詳細化の関係にある場合には、集合表現や part-of階層表現を用いて、ノード $K_i$ とノード $K_{i+1}$ との関係を可視化する。この表に基づいて図6を可視化した結果を図8に示す。この図からも分かるように、図6よりも探求したノード間の関係が視覚的で理解しやすくなっているといえる。

探求理由	可視化表現
補足	Ki内でKi+1を点（ボタン）表現
詳細化	Ki -- Ki+1: 集合表現，part-of 階層
比較	双方向矢印
正当化	Ki+1からKiへの矢印
深化	Kiの下にKi+1を重ねて表現

図7 探求理由に応じた可視化表現

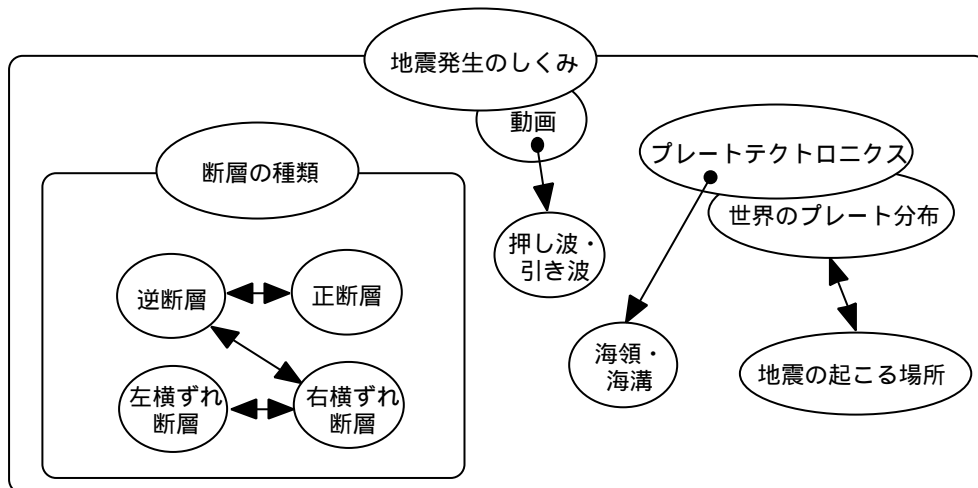


図8 知識構造の可視化表現

### 3.4 知識構造の外化支援

次に、知識構造を見せるのではなく、学習者自身に外化させることによって、さらに注意深く知識構造を再考させる方法について述べる。本支援の特徴は、学習者の知識構造を、探求過程を考慮した探求ノード間の関係構造として表現する枠組みを与えると同時に、探求履歴を与えることで外化の負荷を軽減しようと試みることにある。支援について述べる前に、知識外化の効果および難しさについて簡単に述べておく。

#### 3.4.1 効果

筆者らは、これまで「知識（学習した内容）に対する内省に関して記述すること」を知識外化とし、学習した内容を外化表現を用いて記述するフェイズ（表現作成）と、記述した表現を解釈（表現解釈）するフェイズに分けて外化過程を捉えてきた。また、この二つのフェイズが相互作用することで学習効果が高まると考えて、外化支援について検討してきた [Kashihara et al. 1996]。特に、外化内容を視覚化するような外化表現を用いることで、表現作成を容易にし、かつ記述内容を解釈しやすくするとともに、表現作成にかかる心的作業

（認知負荷）を適切に制御する方法を提案した [柏原 1999]。

また、外化を通して、何が学習できていて何ができていないかを明瞭に意識する機会が得られたり（学習状態の顕在化）、自分自身の知識構造の整理が促進されたり（内省の促進）、さらなる学習のきっかけとなった（学習の深化）ことを確認している。これらの外化の効果は、これまでの認知科学の研究でも確かめられている [Chi et al. 1994; VanLehn 1992]。

#### 3.4.2 難しさ

知識の外化は、以上のような学習効果を生む反面、そう簡単ではない [Chi et al. 1994]。難しさの原因には様々考えられるが、主に、

- ・ 動機づけが低い
  - ・ 道具立てがない
  - ・ 外化過程に認知的過負荷がかかる
- が挙げられる。外化による学習効果は高いということは分かっているが、学習した内容を外化することは通常煩雑なため、必要性がなければ一度学んだ教材に関する外化は起こりにくいといえる。また、外化しようとしても、教材に関して何をど

のように外化すればいいのかが分からなかったり [Cox 1997]、分かっているにもかかわらず過度の負荷がかかることもある [Kashihara et al. 1996]。外化支援を考える場合、こうした難しさをどのように扱うかを検討しなければならない。

### 3.4.3 ハイパーメディア教材での知識外化

以上の外化の難しさに関する考察を、ハイパーメディアにおける迷子の問題を解消する場面での知識外化に当てはめて考えてみたい。まず、動機づけであるが、この場合、迷子の解消という明確な必要性があるため、外化しようとする動機は自ずと高いものになると期待できる。しかしながら、ハイパー空間の探求中における記憶の限界のため、「何を外化するか」が不明瞭であり、また「どのように表現するか」ということも問題となる。さらには、外化にかかる負荷についても考慮して支援することが必要となる。

以下ではこれらの点に注意しながら、ハイパーメディア教材における知識外化を支援する方針について述べてみたい。

### 3.4.5 外化支援ツール

まず、外化にあたり、知識構造を記述する枠組みを与えることが必要になる。現在のところ、図7の表現を外化表現として用いて知識構造を記述させるツールを提供することを考えている。ただし、この場合、予測したとおりの知識構造を学習者が記述しない場合も考えられるが、それに対する対応については今後の課題である。

### 3.4.6 外化負荷の制御

知識構造の外化には、「何を」、「何故」探求してきたのかを想起し(想起負荷)、探求時の文脈に応じてノード間の関係性を表現(構造化負荷)しなければならない。これらの負荷を自力で乗り越えることは、探求してきた内容の再考を促すことにつながるが、過負荷となる場合には、負荷を軽減する必要がある。現在のところ、図5に示すような履歴情報を示すとともに(想起負荷の軽減)、図8の表現を用いて、予測した知識構造の断片を提示し、外化を誘導する(構造化負荷の軽減)ことを検討している。このような断片提示については、負荷の軽減とともに、外化の効果を生み出すのに有用な手段であることをすでに確かめている [柏原 1999]。

## 4. まとめ

ハイパーメディア教材は、自主的・構成的に学ぶことができる環境を提供するとともに、高い学

習効果をもたらすと期待される教材である。しかしながら、ハイパー空間での迷子の問題は深刻であり、これをいかに解消するかが重要な課題となる。本稿では、期待される学習効果を損なわないことを重視して、迷子をきっかけにそれまで探求して得られた知識構造を予測し、それを可視化したり、外化を促す方法を提案した。本手法では、探求経路の構造としてではなく、探求過程を踏まえて知識構造を表現しており、これを分かりやすく可視化する・外化させることで、学習した内容への再考を適切に促す方法を実現している。

現在のところ、支援の枠組みについて検討している段階であり、今後枠組みを洗練する予定である。具体的には、探求理由と可視化(外化)表現の対応関係を整理して、知識構造を用いた支援方法を洗練する。また、支援の枠組みを実装する知的学習支援システムを開発する予定である。

## 謝辞

本研究の一部は、(財)カシオ科学振興財団、文部省科学研究費(No. 09780333)の援助による。

## 参考文献

- [Brusilovsky 1996] Brusilovsky, P. (1996). Methods and Techniques of Adaptive Hypermedia, *Journal of User Modeling and User-Adapted Interaction*, 6, 87-129.
- [Carroll et al. 1985] Carroll, J., Mack, R., Lewis, C., Grischowsky N., & Robertson S., (1985). Exploring exploring a word processor, *Journal of Human-Computer Interaction*, 1, 283-307.
- [Chi et al. 1994] Chi, M.T., Leeuw, N., Chiu, M.H., and LaVancher, C. (1994). Eliciting Self-Explanations Improves Understanding, *Journal of Cognitive Science*, Vol.18, 439-477.
- [Conklin 1988] Conklin, J. (1988). Hypertext: An Introduction and Survey, *Computer* 20 (9), 17-41.
- [Cox 1997] Cox, R. (1997). Representation Interpretation versus Representation Construction: An ILE-Based Study Using switchERII, *Proc. of AI-ED '97*, 434-441.
- [Domei 1994] Domei, P. (1994). WebMap - A Graphical Hypertext Navigation Tool,
- [Gaines and Shaw 1995] Gaines, B.R. and Shaw M.L. G. (1995). WebMap: Concept Mapping on the Web, *Proc. of Second International WWW Conference*.
- [Hohl, Boecker, and Gunzenhaeuser 1996] Hohl, H., Boecker, D., and Gunzenhaeuser, R. (1996).

Hyperadapter : An Adaptive Hypertext System for Exploratory Learning and Programming. *Journal of User Modeling and User-Adapted Interaction*, 6, 131-156.

[柏原 1995] 柏原昭博, 菅野昭博, 平嶋宗, 豊田順一. (1995): 説明における認知的負荷の適用と実験的評価, *人工知能学会誌*, Vol.10, No.3, 393-402.

[Kashihara et al. 1996] Kashihara, A., Okabe, M., Hirashima, T., and Toyoda, J. (1996) . A Self-Explanation Assistance with Diagram Tailoring, *Proc. of European Conference on Artificial Intelligence in Education*, 122-128.

[Kashihara et al. 1997] Kashihara, A., Kinshuk, Oppermann, R., Rashev, R., & Simm, H. (1997) . An Exploration Space Control as Intelligent Assistance in Enabling Systems, *Proc. of International Conference on Computers in Education '97*, 114-121.

[Kashihara, Satake, and Toyoda 1998] Kashihara, A., Satake, Y., and Toyoda, J. (1998 in press) . A History Visualization for Learning-by-Exploration in Hypermedia on WWW, *Proc. of WebNet 98*.

[柏原 1998a] 柏原昭博, 佐竹義智, 豊田順一.(1998) . ハイパーメディア教材における履歴の可視化と知識整理支援, *人工知能学会研究会資料 SIG-IES-9801-4*, 25-32.

[柏原 1998b] 柏原昭博, 雲林院宏, 豊田順一 . (1998) ハイパーメディア教材における学習履歴の再構成支援, *人工知能学会研究会資料 SIG-IES-9802-10*, 57-62.

[柏原 1999] 柏原昭博, 松井紀夫, 平嶋宗, 豊田順一 (採録決定). *ダイアグラムを用いた知識構造の外化支援について*, *人工知能学会学会誌*, Vol. 14, No.2.

[Kobsa, Mueller, and Nill 1994] Kobsa, A., Mueller, D., & Nill, A. (1994) . KN-AHS : An Adaptive Hypertext Client of the User Modeling System BGP-MS, *User Modeling 94*, Hyannis, Mass., 99-105.

[Mukherjea, Foley, and Hudson 1995] Mukherjea, S., Foley, J., & Hudson, S. (1995) . Visualizing Complex Hypermedia Networks through Multiple Hierarchical Views, *ACM SIGCHI '95*.

[Nielsen 1990] Nielsen, J. (1990) . The Art of Navigating Hypertext, *Communication of the ACM*, 33 (3) , ACM Press, 297-310.

[Thuring, Hannemann, and Haake 1995] Thuring, M., Hannemann, J., and Haake, J.M. (1995) . Hypermedia and Cognition : Designing for Comprehension. *Communication of the ACM*, Vol.38, No.8, 57-66.

[VanLehn et al. 1992] VanLehn, K., Jones, R.M., and Chi, M.T.H. (1992) . A Model of the Self-Explanation Effect, *Journal of Learning Science*, Vol.2, No.1, 1-59.

[Zeiliger et al. 1997] Zeiliger, R., Reggers, T., Baldewyns, L., & Jans, V. (1997) . Facilitating Web Navigation : Integrated Tools for Active and Cooperative Learners, *Proc. of International Conference on Computers in Education '97*, 529-537.