

ハイパー空間における学習履歴マイニングに基づくナビゲーションガイド

Scaffolding Learning in Hyperspace with Navigation History Mining

柏原 昭博
Akihiro Kashihara

中谷 充敬
Mitsuyoshi Nakaya

太田 光一
Koichi Ota

電気通信大学 情報通信工学科

Dept. of Information and Communication Engineering, The University of Electro-Communications

Planning navigation process in hyperspace is an important activity for learning hypertext/hypermedia-based contents such as existing Web contents. However, it is quite hard for learners to plan their navigation process in a self-directed way. The main issue addressed in this paper is how to scaffold the navigation planning. Our approach to this issue is to provide learners with a guided map, which represents hyperspace, and which highlights representative pages and links to be learned in the hyperspace. We also propose a learning history mining technology that can extract these representative pages and links from navigation histories that could be gathered from peers. This paper, in addition, proposes adaptive scaffolding, which can adapt scaffolding levels to learners' capabilities of navigation planning.

1. 序論

Web コンテンツを用いて調べ学習を行うような場合、コンテンツが提供するハイパー空間において学ぶべきページの順序(ナビゲーションパス)を決めることが非常に重要である [柏原 02]. しかしながら、学習目的に応じてナビゲーションパスを見通すこと(ナビゲーションプランニング)は容易ではなく、しばしば学習プロセスに行き詰まりを生じることが知られている [Thuering 95].

こうした問題を解消するために、これまでハイパー空間地図などによりナビゲーションプランニングの足場を築く支援(Scaffolding)手法が提案されている [Huebscher 02], [Thuering 95]. 本研究でも、ハイパー空間地図だけでなく、学習者による地図上での操作に応じてページやナビゲーションパスの概要情報をプレビューする機能を実現し、学習者主体によるナビゲーションプランニングのための Scaffolding 手法を検討してきた [柏原 02].

一方、ナビゲーションプランニングは、ハイパー空間におけるコンテンツの学びに対するメタ認知的活動であり、Scaffolding を施しても学習者にかかる負荷は大きい。特に、はじめて学ぶコンテンツやハイパー空間が広大な場合、あるいは学習者がハイパーテキストを学び慣れていない場合、ハイパー空間地図やページ・パスプレビューを提供しても学習目的に適したナビゲーションパスを見いだすことは簡単ではない。

そこで、本稿では、他の学習者の集団から得られる学習履歴をマイニングすることによって、学習の要所と考えられるページやリンクを自動抽出し、ハイパー空間地図上で表示することでナビゲーションプランニングの足場を与える手法を提案する。このような地図表現を Guided Map と呼んでいる。

Guided Map の作成では、同一のコンテンツを同一の学習目的で学んだ他の学習者による学習履歴をマイニングの対象とするが、通常 Web ブラウザが生成するようなブラウジング履歴ではどのページをいかに学んだかという情報が明確に表現されていないため、学習の要所を同定することは困難である。つまり、ハイパー空間でのナビゲーションを伴った学習プロセスをできるだけの確に反映した履歴表現が不可欠となる。筆者らは、このプロセスを、学んだページ間の意味的關係づけの積み重ねと

捉え、学習者自身にページ間の関係をアノテーションさせて学習履歴として表現するツール Interactive History (IH)を開発している [柏原 03].

本稿では、この IH を用いることを前提に、他の学習者の集団から得られる学習履歴をマイニングする手法について述べる。また、学習履歴マイニングにより推定される学習の要所(ページやリンク)に対する支持度・信頼度を変更することで、Guided Map 上に表示しようとする学習の要所を制御できることを示すとともに、学習者の能力に合わせて Guided Map による足場の高さ(Scaffolding のレベル)を制御する手法(Adaptive Scaffolding)について検討したい。

2. ナビゲーションを伴う学習プロセスと IH

最初に、ハイパー空間でのナビゲーションを伴った調べ学習プロセス、およびそのプロセスを促進するツール IH について概観しておく [柏原 03].

一般に、ハイパー空間では、学習目的を達成するべく順次ページをナビゲーションしながら、ページごとに学んだ内容を関係づけ、構成的に知識を構築していくことができる。この際、ページの選択はランダムではなく局所的に立てられた目的を満たすように行われる。このような局所的な目的は、学習目的のサブゴールとみることができ、本研究ではこれをナビゲーション目的と呼んでいる。ナビゲーション目的は、ハイパー空間における知識構築プロセスに大きな影響を与えると考えられる。例えば、現在のページから次のページを学ぼうとする場合、「未知の用語を調べるため」か、あるいは「詳細な説明を見るため」かで同一ページ間でも学ばれる知識の關係づけは異なったものになるであろう。このように、学習者はあるページ(始点ページ)で学んだ知識をいかに洗練・展開するかをナビゲーション目的として、それを満たすページ(終点ページ)を見つけることでナビゲーションを進めると考えることができる。本研究では、こうした始点ページから終点ページに至る過程を基本ナビゲーションプロセスと呼び、複数の基本ナビゲーションプロセスを積み重ねることで知識が構築されると考えている。

一方、ハイパー空間では学習が進むにつれてそれまでの知識構築プロセスが不明瞭になりやすく、しばしば行き詰まりが生じる。特に、ナビゲーション目的が不明瞭になるとナビゲーションが盲目的に進まず、訪れるページも分散しはじめて構成的に

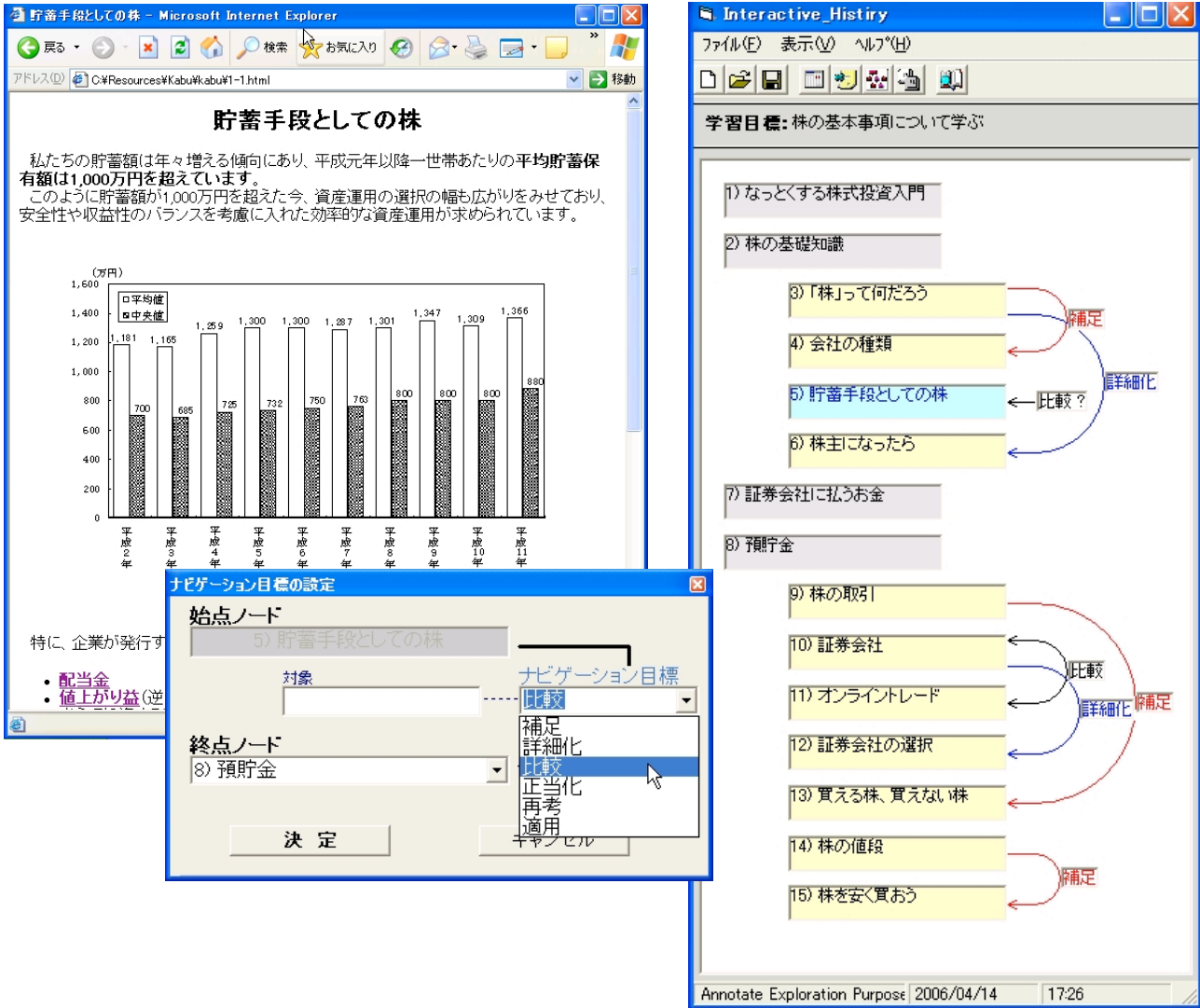


図1 IHのユーザインタフェース

知識を積み上げることが難しくなる。こうした行き詰まりを回避するためには、自らの学習履歴などを参考に知識構築プロセスを見直したり、必要に応じて再構成することが必要となる。こうした見直し・再構成をリフレクションと呼ぶ。しかしながら、通常のWebブラウザが提供するブラウジング履歴では、どのページ間で基本ナビゲーションプロセスを実行したかが明確に表現できないためリフレクションは非常に困難である。

そこで、ハイパー空間における知識構築プロセスを、基本ナビゲーションプロセス単位でリフレクションする場を提供するIHを開発した。図1に、IHのユーザインタフェースを示す。IHでは、Webブラウザ上での学習者によるナビゲーションに応じて、訪れたページの時系列を生成するとともに、あらかじめ分類したナビゲーション目的のリストから学習者に所望の目的を選択させて、任意のページ間にリンクアノテーションを行わせ、基本ナビゲーションプロセスを記録する機能を実現している。図1の右側ウィンドウでは、いくつかのナビゲーション目的を立て基本ナビゲーションプロセスを遂行している様子を示している。このナビゲーションプロセス履歴ウィンドウの各ノードは、訪問したページを表し、そのタイトル情報が記述される。学習者は、必要に応じて基本ナビゲーションプロセスのアノテーションを行うことができる。こ

の際、図1に示す基本ナビゲーションプロセス設定ウィンドウを介してナビゲーション目的および始点・終点ページを入力すると、ナビゲーションプロセス履歴には始点ページと終点ページに対応するノード間にアークが貼られ、アーク上にはナビゲーション目的が記述される。

筆者らは、これまでケーススタディを通して、ページ間へのアノテーション操作により知識構築プロセスが促進されることを確かめ、IHの有用性を検証してきた[柏原03]。一方、ハイパー空間での知識構築プロセスを効果的・効率的に進めるためには、学習目的を満たしそうなナビゲーションパスをあらかじめ見通しておくことが不可欠であるという知見を得ている。特に、ハイパー空間でのナビゲーション開始早々は、ナビゲーションプランニングが知識構築プロセスの成否の鍵を握る。しかしながら、学習者にとってはWebコンテンツが提供するハイパー空間でナビゲーションパスの見通しを得ることは容易ではない。

3. Scaffolding

次に、ハイパー空間におけるナビゲーションプランニングのためのScaffoldingについて論じる。

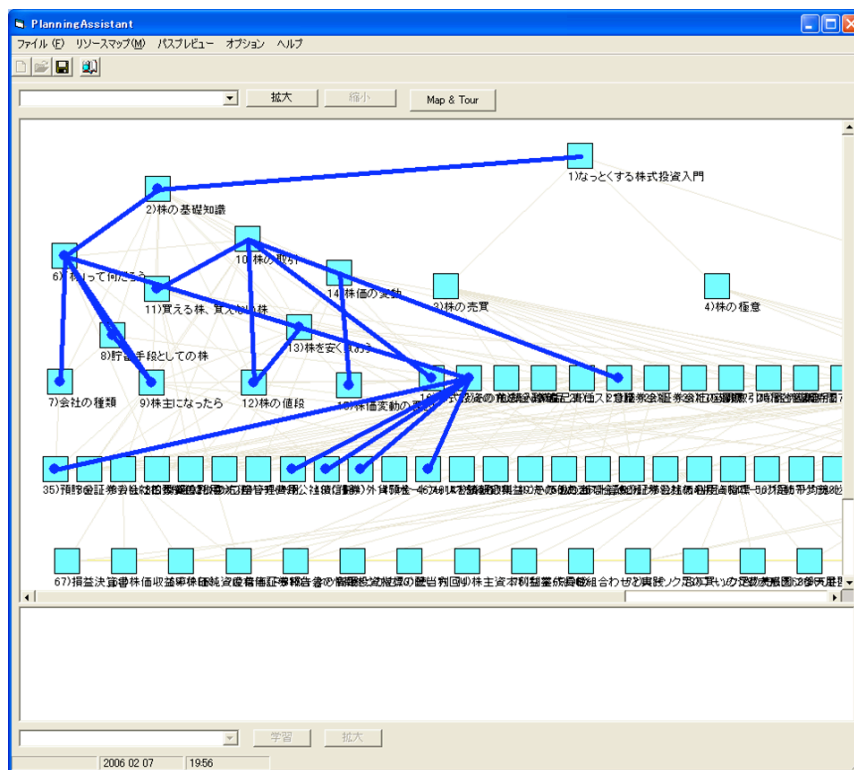


図2 Guided Map の例 (Support=25%, Confidence=25%)

3.1 枠組み

本研究では、IH を利用した学習者の集団から得られる学習履歴をマイニングし、学習の要所になると考えられる基本ナビゲーションプロセスを推定するとともに、ハイパー空間地図上で表示すること(Guided Map)によって、学習者によるナビゲーションプランニングの足場を築く枠組みを提案する。

本枠組みでは、まず IH から得られる他の学習者の学習履歴情報を、Web コンテンツと学習目的ごとに分類してリポジトリ(History Repository)に保存する。そして、支援対象の学習者と同じの Web コンテンツ、同一の学習目的から得られた学習履歴をリポジトリから取り出して、学習履歴マイニングの入力とする。

学習履歴マイニングでは、基本ナビゲーションプロセスを、始点ページの学習事象(Pa)と終点ページの学習事象(Pb)が同時に起こる関係性の強い事象とみなし、相関ルール(Pa⇒Pb)として表現する。そして、複数の学習者の履歴情報から得られる基本ナビゲーションプロセスの集合を入力する。ここでは、ある一定数以上の学習者が実行した基本ナビゲーションプロセスを学習の要所とみなすために、支持度(Support)・信頼度(Confidence)という2つの指標を導入している。学習履歴マイニングでは、あらかじめ支持度の閾値・信頼度の閾値を設定しておき、閾値以上の値を持つ基本ナビゲーションプロセスを学習の要所として出力する。

出力された基本ナビゲーションプロセスは、図2に示すように Guided Map としてハイパー空間地図に強調表示され、学習者に提供される。学習者は、強調表示されたノードやリンクを参考に、筆者らのこれまでの研究で開発してきたページプレビューアやパスプレビューアを併用しながら、自らの学習目的を満たすナビゲーションパスの見通しを立てることができる[柏原 02]。

また、学習履歴マイニングにおいて、基本ナビゲーションプロセスの支持度・信頼度の閾値を増減することによって、Guided

Map に表示されるべき要所を変えることができる。学習者のナビゲーションプランニング能力に応じてこれらの閾値を設定することによって、学習者に適応したプランニングの足場を築くこと(Adaptive Scaffolding)が可能となっている。

3.2 学習履歴マイニング

学習履歴マイニングの入力は、支援対象の学習者と同一の Web コンテンツ・同一の学習目的から得られた複数の学習者の履歴(基本ナビゲーションプロセスのみ含む情報)である。ここで、履歴リポジトリから得られる学習者個々の履歴をトランザクションと呼ぶ。リポジトリから得られた学習者の数がトランザクション数となる。まず、個々のトランザクションから基本ナビゲーションプロセスを取り出し、その支持度・信頼度を計算する。これらの値があらかじめ設定した閾値(最小支持度 S_{th}, 最小信頼度 C_{th})よりも大きいものを学習の要所として出力する。支持度・信頼度は、以下の式を用いて計算される。

Pi⇒Pj について

$$\text{Support (Pi} \Rightarrow \text{Pj)} = \frac{(\text{Pi} \Rightarrow \text{Pj} \text{ を含むトランザクション数})}{\text{全トランザクション数}}$$

$$\text{Confidence (Pi} \Rightarrow \text{Pj)} = \frac{(\text{Pi} \Rightarrow \text{Pj} \text{ を含むトランザクション数})}{\text{始点ページに Pi を持つ基本ナビゲーションプロセスを含むトランザクション数}}$$

計算式からわかるように、支持度は学習履歴マイニングの対象となった学習者のうち、Pi⇒Pj を実行した学習者の割合を表す。信頼度は、始点ページを Pi とする基本ナビゲーションを実行した学習者のうち、終点ページを Pj とした学習者の割合を表している。基本ナビゲーションプロセスの支持度が高いということは、より多くの学習者が実行していることを意味し、信頼度が高いと

いうことはページ Pi から局所的にみた場合、その基本ナビゲーションプロセスが実行される割合が高いことを意味している。

3.3 Guided Map

図2は、「株式投資」に関するコンテンツについて、株式投資の基礎知識を学ぶという目的のもと IH を用いて学んだ学習者 16 人の学習履歴を対象に、支持度・信頼度の閾値をともに 25%として求めた Guided Map を示している。

Guided Map は、同一のコンテンツを同一の学習目標で学んだ学習者 (Peers) のうち、基本的により多くの学習者が学んだ部分を表示しており、学習者にとってはナビゲーションプランニングの先行オーガナイザーとなり、非常に参考になる可能性を有しているといえる。ただし、以下に示す点に注意する必要がある。

図2をみても分かるとおり、強調表示されている基本ナビゲーションプロセスはある程度つながりを持っているように表示される場合が多いが、学習履歴マイニングでは各基本ナビゲーションプロセスを独立して扱い、支持度・信頼度が高いものを取り出しているため、このつながりをたどっても必ずしも意味のあるプランニング文脈を構成できるとは限らない。つまり、Guided Map の意義は学ぶべき要所となるノードやリンクを示唆することにあり、それらをどう関係づけてどのような知識を構築していくかは学習者自身が考える必要がある。

しかし、ハイパー空間における初学者を支援する場合、要所となるノードやリンクを示唆するだけでは不十分で、知識構築プロセスをも示唆する方法が望まれる。そこで、3.2 と同様に学習の要所となる基本ナビゲーションプロセスを推定した後、推定されたプロセスをできるだけ多く含む履歴を生成した学習者 (Peer) を特定し、その履歴を Guided Map 上に表示する手法を開発した。表示される基本ナビゲーションプロセスはすべてその Peer によって実行されたものであるため、基本ナビゲーションプロセスのつながりは知識構築プロセスを構成していると考えられる。そのため、知識構築プロセスを見通すための Guided Tour として利用することができる。

3.4 Adaptive Scaffolding

ここでは、学習者のナビゲーションプランニング能力に応じた Scaffolding について考えてみたい。まず、プランニング能力が非常に高い場合は、Guided Map よりも、ハイパー空間地図だけを与えてプランニングさせたほうが学習の主体性を助長するためにも望ましいといえる。一方、能力が非常に低い初学者のような場合は、Guided Map よりも Guided Tour を与えて、知識構築プロセスの見通しまで与えることが必要と考えられる。

また、初学者よりもやや能力のある学習者に対しては、Guided Map を与えて学習の要所となるノードやリンクを示唆し、自力で知識構築プロセスを考えさせることになるが、要所が量的に多いと、学習目的を達成するために見通すべきナビゲーションパスの選択肢が増え、学習者にかかるプランニング負荷が大きくなる恐れがある。こうした場合、学習履歴マイニングに際して、学習の要所に対する支持度・信頼度の閾値を高めに設定して、支持度・信頼度も高い基本ナビゲーションプロセスだけを表示することで対処することが可能である。

さらに、非常に能力が高いとはいえないまでもある程度プランニングを行えるような学習者の場合は、見通すべきナビゲーションパスの選択肢が多くなるように、学習の要所といえる部分を量的に増やしておくのが望まれる。このような場合は、学習の要所に対する支持度・信頼度を逆に低めに設定しておくことで対処することが可能である。

以上のような学習者の能力に応じた Scaffolding をまとめると図3ようになる。この Adaptive Scaffolding を実現するためには、学習者のプランニング能力を同定する必要がある。現在、ナビゲーションプランニング支援ツール [柏原 02]を用いて、こうした能力をモデル化する手法について検討を進めている。

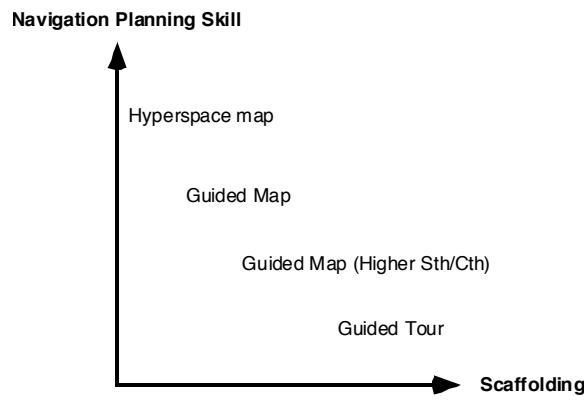


図3 Scaffolding のレベル制御

4. 結論

本稿では、ハイパー空間におけるナビゲーションプランニングの重要性および難しさについて論じるとともに、その Scaffolding を目的とした学習履歴マイニング手法および Guided Map について述べた。また、学習者のプランニング能力に応じてナビゲーションプランニングの足場の高さを制御する手法について述べた。本 Scaffolding の特徴は、筆者らの開発した Interactive History により生成される学習履歴を用いることで学習の要所となっているページやリンクを推定でき、Guided Map として学習者に提供できる点にある。さらに、提案した学習履歴マイニング手法は、Scaffolding のレベルを制御することができる点にある。

今後は、Guided Map の有用性を検証したいと考えている。また、学習者のナビゲーションプランニング能力のモデリングを実現して、Adaptive Scaffolding の有効性についても確かめたいと考えている。

参考文献

- [Huebscher 02] Huebscher, R. and Puntambekar, S.: Adaptive Navigation for Learners in Hypermedia is Scaffolding Navigation, Proc. of International Conference on Adaptive Hypermedia and Adaptive Web-based Systems, pp. 184-192 (2002).
- [柏原 02] 柏原昭博, 鈴木亮一, 長谷川忍, 豊田順一: Web における学習者のナビゲーションプランニングを支援する環境について, 人工知能学会学会誌, Vol.17, No.4, pp.510-520 (2002).
- [柏原 03] 柏原昭博, 坂本雅直, 長谷川忍, 豊田順一: ハイパー空間における主体的学習プロセスのリフレクション支援, 人工知能学会論文誌, Vol.18, No.5, pp.245-256 (2003).
- [Thuring 95] Thuring, M., Hannemann, J., and Haake, J.M.: Hypermedia and Cognition: Designing for Comprehension. Communication of the ACM, Vol.38, No.8, pp.57-66, ACM Press (1995).