特集論文

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

A Learner-Centered Navigation Planning with Web-based Learning Resources

柏原 昭博

Akihiro Kashiwara

大阪大学産業科学研究所

The Institute of Scientific and Industrial Research, Osaka University

kashiwara@ai.sanken.osaka-u.ac.jp, <http://www.ai.sanken.osaka-u.ac.jp/thome2/kashiwara/>

鈴木 亮一

Ryoichi Suzuki

(同 上)

suzuki@ai.sanken.osaka-u.ac.jp, <http://www.ai.sanken.osaka-u.ac.jp/thome2/suzuki/>

長谷川 忍

Shinobu Hasegawa

(同 上)

hasegawa@ai.sanken.osaka-u.ac.jp, <http://www.ai.sanken.osaka-u.ac.jp/thome2/hasegawa/>

豊田 順一

Jun'ichi Toyoda

(同 上)

toyoda@ai.sanken.osaka-u.ac.jp, <http://www.ai.sanken.osaka-u.ac.jp/thome2/toyoda/toyoda.html>

keywords: navigation planning, path preview, web-based learning resources, hyperspace, self-directed learning environment

Summary

Web-based learning resources provide learners with hyperspace where they can navigate in a self-directed way to learn the contents included in the Web pages. The navigation involves making a sequence of the pages visited, which is called navigation path. However, learners often fail in making the navigation path due to a cognitive overload, which is caused by diverse cognitive efforts at comprehending the contents in Web pages, and monitoring the navigation process such as planning and reflection of navigation path. In the self-directed learning, in particular, it is difficult for learners to maintain the navigation monitoring. Focusing on navigation planning, this paper addresses the issue of how to facilitate learners' navigation monitoring to promote their learning in hyperspace provided by Web-based learning resources. Our approach to this issue is to provide learners with a space, in which they can see through the learning resources to plan a navigation path, apart from hyperspace. In this paper, we also demonstrate an assistant system for the navigation planning, which is composed of hyperspace map, page previewer, and path previewer. These facilities give learners an overview of Web pages and navigation path to help them make a navigation path plan without visiting Web pages in hyperspace. This paper also describes a case study with the assistant system. The results indicate that the system facilitates navigation particularly in a more complicated hyperspace.

1. はじめに

WWW (World Wide Web, 以下 Web と記す) には, 現在膨大な量の情報リソースが公開されており, これらの中には学習や教育に利用可能なリソース (学習リソースと呼ぶ) が数多く存在している. こうした学習リソースは, 利用時の時間的, 空間的制約が小さいというメリットから, 学校教育において, また遠隔学習や生涯学習を実現する手段としても, 今後ますます利用される機会が増えることが予想される. このように, Web を学習活動のプラットフォームとみなす Web-based Learning は, 学習支援の分野でも非常に重要な研究課題となっている. 本研究も, その一つとして, Web における既存の学習リソースを用いて学習者が主体的に行う学習に対し, 効果的な支援手法を提案することを目的としている.

Web 上の学習リソースは, 多くの場合, 複数の Web ページとページ間を連結するリンクからなるハイパー空間を学習者に提供する. 学習者は, ある学習目的のもとに, この空間内をナビゲーションしながら, 学ぶべきページおよびその順序 (ナビゲーションパス) を主体的に決め, 学習リソースが提供する学習内容を順次理解していくことができる [Nielsen 90, Thuering 95]. そのため, 個々の学習者に応じた理解が可能であり, 高い学習効果を期待することができる [Fischer 98].

一方, こうした主体性を伴う学習では, ページ内容の理解に加えて, そのメタ認知的な活動として, ナビゲーションパスの見通しを立てたり (ナビゲーションプランニング), これまでのナビゲーション過程を振り返ってどの程度学んだのかを認識する (リフレクション) といったナビゲーション過程のモニタリングを同時並行的に行う

必要がある [Cunningham 93, Kashiara 99]。しかしながら、モニタリングを維持・継続することは容易ではなく [Hammond 93]、しばしばナビゲーションに行き詰まりが生じる。このようなナビゲーションの行き詰まりは、ハイパー空間での学習支援において解決すべき中心的課題となっている [Thuring 95]。こうした問題を解決するためには、学習者によるナビゲーション過程のモニタリングを促進する方法を検討する必要がある [Hammond 93]。また、ハイパー空間における主体的学習ではモニタリングが重要な役割を担うことから、モニタリング能力を高めることも考慮する必要がある。

以上のような観点から、本研究では、Web における既存の学習リソースを用いた学習を、ページ内容の理解とナビゲーション過程のモニタリングに明確に区別し、モニタリングに学習者の注意を向けさせる方法を検討している [Kashiara 00, Suzuki 01]。特に、モニタリングの中でもナビゲーションプランニングに焦点を当て、ナビゲーションパスの見通しを立てることができるように支援する手法について検討している。なお、学習の主体性を重視する立場から、学習者中心 (Learner-Centered) の設計方針のもと、学習者自身がナビゲーションプランニングを行い、それを支援する環境を目指している。本研究では、こうした支援をナビゲーションプランニング支援と呼ぶ。

本論文では、このようなアプローチのもと、ナビゲーションプランニング支援手法および支援システムについて述べる。通常、ナビゲーションパスの見通しを立てるためには、Web ページの内容およびページ間の関係を把握することが必要である。そこで、本支援手法では、これらの情報を提供するために、ハイパー空間の地図から学習者が選択したページおよびナビゲーションパスの概要をプレビューとして表示し、学習者によるナビゲーションパスのプランニングを補助する。これによって、学習者は実際に Web ページの内容を学んでいく前に、先行オーガナイズとしてナビゲーションパスの概要を知ることができ [Ausubel 61]、ハイパー空間ではプランにそってページ内容を理解することに集中できると期待される。開発した支援システムでは、こうしたページ内容の理解に対する支援も提供している。

また、本論文では、ナビゲーション過程に対する本支援手法の有効性を調べたケーススタディについても述べる。この調査では、本支援システムを用いて学習した場合と Web ブラウザのみで学習した場合における被験者のナビゲーション過程を比較した。その結果、本支援手法がより複雑なハイパー空間を有する学習リソースにおいて、学習者のナビゲーション効率を高める可能性があるという知見が得られた。

以下、2. では、ハイパー空間での学習および必要とされる支援手法について考察する。3. では、ナビゲーションプランニングを支援する枠組みおよび支援システム

について述べる。4. では、開発した支援システムを用いて、ナビゲーションプランニング支援手法の有効性を調べたケーススタディについて述べる。5. では、ハイパー空間における見通しの提供という点から、関連研究との比較を踏まえた本支援手法の位置づけ、ならびに問題点について議論する。最後に、6. では、本論文の結論および今後の課題について論じたい。

2. ハイパー空間における学習

ここでは、ハイパー空間での学習過程を概観し、これまでに提案されている支援手法を含めて、必要となるナビゲーション支援について考察する。

2.1 学習過程と難しさ

ハイパー空間における学習の特徴は、空間内でのナビゲーションを伴い、学んだ知識を構成的に積み上げていくことができる点にある。この過程では、学習目的の達成に向けて、学習者はページ間のリンクをたどりながら、主体的に学ぶべきページおよびナビゲーションパスを決めることになる。そして、訪れたページごとに学んだ内容と関係づけて知識を構成していくことができる。このように、知識の積み上げはナビゲーションパスに大きな影響を受ける。したがって、ナビゲーションパスを決めることは、ハイパー空間における学習の中でも非常に重要なプロセスであるといえる [Hammond 93]。

また、ハイパー空間における学習は、ナビゲーション中に訪れたページの内容の理解および理解した内容の関係づけと、そのメタ認知的な活動としてナビゲーション過程のモニタリングに分けて考えることができる [Hammond 93, Thuring 95]。モニタリングは、さらに以下の二つに大別することができる。

- ナビゲーションプランニング：学習目的達成のために訪れるべきページおよびその順序を計画する。
- リフレクション：これまでのナビゲーション過程を振り返って、学んだ知識・未学習の知識、学習目的の達成度などを確認する。

ハイパー空間では、これらの種類の異なる学習活動を同時並行的に行うことになる。そのため、学習にかかる負荷は大きく、しばしばナビゲーションに行き詰まりを生じる [Nielsen 90, Thuring 95]。これは、ハイパー空間が複雑すぎたり、ページ内容の理解に注意が奪われることでナビゲーション過程のモニタリングを維持・継続することが容易でなくなることが主な原因と考えられる。つまり、ナビゲーションパスの見通しを立てることが困難となったり、何を・どのように学んだのかが不明瞭になることで、次のページを選択できなくなってしまう [Suzuki 01, Kashiara 99]。こうした難しさを乗り越え、主体的に学習を進めるためにはナビゲーション過程のモニタリング能力が不可欠であるといえよう。また、行き詰まり

の解消を支援するためには、学習者によるモニタリングを促進することが必要である [Hammond 93] .

本論文では、モニタリングの中でもナビゲーションプランニングに着目する。ナビゲーションプランニングでは、学習目的を達成するために、いかにナビゲーションパスの見通しを立てるかが重要な問題となる。以下では、このような観点から、ナビゲーション支援手法について検討してみたい。

2.2 ナビゲーション支援

これまでの関連研究では、学習者の学習文脈を踏まえて次に学ぶべき適切なページを推薦するハイパーメディア (Adaptive Hypermedia) [Brusilovsky 96] や、ハイパー空間に内在する概念間の意味的關係を記述した概念地図 (Concept Map) [Gaines 95] が提案されている。これらは、ハイパー空間におけるナビゲーションの行き詰まりを解消するために、ナビゲーションパスの見通しを与える強力な手段と考えられる。ただし、基本的にはナビゲーションプランニングを学習者にできるだけ意識させずに、ページ内容の理解や理解した内容の関係づけに注意を促す手法であるといえる。また、学習者のナビゲーション過程を過度に誘導してしまって、本来期待される高い学習効果を損ねてしまうという問題が指摘されている [Thuering 95]。さらに、ハイパー空間でのモニタリング能力を高めるという教育的な観点も考慮されていない。

これらの問題点を解決するためには、ナビゲーションパスの見通しを与えるのではなく、学習の主体性をより助長するような支援手法を考える必要がある [Cunningham 93]。特に、Web における既存の学習リソースでは、ページ間の意味的關係が明記されていない場合が多いため、これを基盤情報として用いる従来の支援手法ではナビゲーションパスの見通しを提供することは困難である [Zeiliger 99]。したがって、こうした学習リソースでは、学習者による主体的なナビゲーションプランニングを助長する必要性は高いといえる。

このように、学習の主体性を重視する場合、ナビゲーションパスの見通しを立てることに集中できる場を学習者に提供して、ナビゲーションプランニングを促進することが必要であろう。こうした支援によって、プランニング能力の向上も期待することができる [Suzuki 01]。

この他、ナビゲーションパスの見通しを与えることが可能な従来の支援手法として、ページをノードで表現し、ページの連結関係をネットワーク表現したハイパー空間地図が挙げられる [Domel 94]。学習者は、実際にページを訪れる前に、この地図を見ながら、どのページを学ぼうとするのかを考えることができる。しかしながら、この地図は、本来ハイパー空間における現在の位置や、目標となるページまでの経路を確認するためのものであって、知識を積み上げるためのナビゲーションパスを見通すには十分な情報が与えられているとは言い難い。つま

り、学習目的の達成に向けて、どのパスをたどるべきかについての見通しを立てるためには、ハイパー空間にあるページの内容やページ間のつながりといった情報だけでなく、ページの内容やページ間の意味的な関係も把握することが不可欠である [Kashihara 00]。したがって、ナビゲーションプランニングに必要な情報として、これらを学習者が把握できるように支援する必要がある。

3. ナビゲーションプランニング支援

以上の考察を踏まえて、本研究では、Web 上の学習リソースに対して、学習の主体性を重視するという観点から、ハイパー空間におけるページ内容の理解とナビゲーションプランニングとを明確に区別し、学習者自身にナビゲーションパスのプランニングを行わせるような支援手法を提案している [Suzuki 01]。本支援手法では、学習リソースが提供するハイパー空間の地図を提示するとともに、学習者が地図上で選択した Web ページやパス (ページ列) の概要情報をプレビューとして表示することで、ページの内容やページ間の意味的な関係を把握することを補助する枠組みを提供している。本章では、こうした学習者主体によるナビゲーションプランニングに対する支援の枠組み、および支援システムについて述べる。なお、本研究では、Web の単一サイト内で、ある学習トピックを記述したハイパードキュメントを学習リソースと呼ぶ。

3.1 枠組み

本ナビゲーションプランニング支援では、概念的にはナビゲーションプランニングを行うための空間を、ページ内容の理解を行うハイパー空間から明確に区別して捉えている。ナビゲーションプランニングの空間では、学習者自身が学習目的を立て、その達成を可能とするナビゲーションパスの見通しを得るために、ハイパー空間地図上で学ぼうとするページやパスを選択する。この際、選択されたページの概要情報を表示 (ページプレビュー) して、学習者によるページ内容の把握を支援する。また、プレビューされたページを並べて表示 (パスプレビュー) することでページ間の意味的な関係の把握を促すとともに、ナビゲーションパスのプラン作成を支援する。さらに、立てられたプランにそって、ハイパー空間でページ内容を理解するように学習者を促し、途中でプランの修正・棄却が必要となった場合、ナビゲーションプランニングの空間に立ち戻ってリプランニングを行うことを可能にしている。

以上のような枠組みにしたがって、ナビゲーションプランニング支援システムを開発した。図 1 に、ユーザインタフェースを示す。本システムは、ハイパー空間地図、ページプレビューア、パスプレビューアから構成されている。まず、学習者が Web 上の学習リソースを選択すると、図 1 (a) のように、そのハイパー空間地図が自動生成される。この地図では、選択された学習リソース

図 1 ナビゲーションプランニング支援インタフェース

が置かれている Web サイト内に限定して、学習リソースに含まれるページが表現されており、その外部のサイトへのリンクは省略される。地図内の各ノードは、対応する Web ページを表し、その HTML ファイルの Title タグの情報がページタイトルとして記述されている。

ハイパー空間地図上において、任意のノードをマウスをクリックすると、ページプレビューが起動し、対応する Web ページの概要が図 1 (b) のように新しいウィンドウ（ページプレビューウィンドウ）に表示される。マウスで選択されたノードは、地図上では色づけされ、どのページのプレビューを表示しているのかが分かるようになっている。学習者は、いくつかのページのプレビューを繰り返し表示しながら、ナビゲーションパスの始点となるページを決めることになる。

ナビゲーションパスの始点が決まると、パスプレビューが起動し、ページプレビューウィンドウが図 1 (c) のようにパスプレビューウィンドウに変化する。このウィンドウ上で、学習者は始点ページから順次学ぼうとするページの列を作成することができる。このページ列がナビゲーションパスのプランを表現する。パスプレビューは、現在のページ（図 1 (c) では一番左端のページ）

プレビューの下に、そのページに隣接するページのタイトルをリスト表示（リンクリスト）する。このリストから任意のタイトルを選択すると、現在のページの右側に、選択ページのプレビューが表示される。このプレビューを見て学ぶべきページでないと判断した場合は、再度リンクリストからタイトルを選択し直す。所望のページであれば、パスプレビューウィンドウの右側に配置される Add ボタンを押すことで、そのページをナビゲーションパスに追加することができる。これらの操作を繰り返すことによって、プランが作成される。パスプレビューでは、このようにリンクリストによってハイパー空間地図に戻らず、学習者はナビゲーションパスのプラン作成に集中することができる。

さらに、本システムでは、学習者がプランにそって、ハイパー空間でページ内容の理解を進める過程を支援するために、ナビゲーションコントローラを提供する。図 2 に、その支援の様子を示す。

学習を開始すると、図 2 (a) のようにナビゲーションコントローラが現れるとともに、プランの始点ページが Web ブラウザ上に表示される。図 2 では、(b) に示されたプランの始点ページが (c) の Web ブラウザに表示され

(a) ナビゲーションコントローラ
図 2 プランに基づくページ内容の理解支援

ている。このコントローラにある *Next* ボタンを押すことで、プラン上の次のページがブラウザ上に表示される。また、*Back* ボタンを押せば、ブラウザで閲覧してきた一つ前のページに戻ることができる。なお、学習者は必ずしもプラン通りに学習を進める必要はなく、プランに含まれないページを Web ブラウザ上で閲覧していくこともできる。この場合は、ナビゲーションコントローラ上に、プランから外れたことを示すアイコンが現れ、学習者に注意を促す。プラン上のページに復帰したい場合は、ナビゲーションコントローラにある *Return* ボタンを押すことによって、プランから外れたページに戻ることができる。また、プラン実行中にプランを修正・棄却したい場合は、いつでもパスプレビューを起動して、Web ブラウザで閲覧している現在のページからリプランニングを開始することができる。

以上のような枠組みで、学習者はナビゲーションプランニングを行い、プランにそった学習を行うことができる。以下では、本支援手法の中心的役割を担うページプレビューおよびパスプレビューについて詳述する。

3.2 ページプレビュー

Web ページの内容を代表する情報は、その HTML ファイル内の主要なタグで示されているという仮定のもとで、

表 1 ページプレビューに用いる HTML ファイルのタグ

タグの種類	意味
テキスト情報 - Title - H1 ~ H3 - Font Size/Color/Face	ページのタイトル 見出し フォントのサイズ/色/種類
イメージ情報 - Img	画像ファイル
リンク情報 - A href	他のページへのリンク

表 1 に示すタグを検索し、タグ付けされた情報を取り出して、ページプレビューとして表示する。

Web ページから抽出される情報は、テキスト情報、イメージ情報、他のページへのリンクに分けることができる。まず、テキスト情報については、HTML ファイル内で、*Title* タグ、*H1* ~ *H3* タグ、*Font* (サイズ、色、種類) タグに着目し、タグ付けされた語彙・文章や、色づけされたり、フォントの種類が異なる部分を抽出する。取り出そうとする文章が長い場合は、先頭から数文字までを取り出す。また、HTML ファイル中に、これらのタグ数が多い場合は、抽出するタグの数を決めておいて、*Title* タグ、*H1* ~ *H3* タグの順に優先して情報を取り出す。

イメージ情報については、現在のところ、*Img* タグにつ

けられた画像ファイルのサイズが最も大きいファイルを抽出するようにしている．リンク情報については，HTML ファイル内のすべての *A href* タグを検索し，タグ付けされた URL 情報を取り出す．そのうち，ハイパー空間地図の範囲で，URL が指す Web ページ（現在のページに隣接しているページ）の *Title* タグからタイトル情報を抽出する．この情報は，ページプレビューの情報としてではなく，次のページへのリンクとしてパスプレビューアが利用する．

ハイパー空間地図において任意のノードが選択されると，ページプレビューアが起動し，そのページプレビューを表示する．図 1 (b) のように，ページプレビューウィンドウの右下には *Detail* ボタンがあり，表示されたプレビューでページの内容を把握できない場合，このボタンを押すことで Web ブラウザにそのページの全内容を閲覧することができる．また，ナビゲーションパスの始点が決まると，*Path* ボタンを押すことでページプレビューウィンドウがパスプレビューウィンドウに切り替わり，ページ列の作成を開始することができる．

3.3 パスプレビュー

パスプレビューウィンドウでは，プレビューされたページを学習者が順次ウィンドウ内に追加することによって，ページ列が作成される．その際，ページプレビューアによって作成された隣接ページのタイトル情報をリンクリストとして，図 1 (c) のようにドロップダウンメニューの形で現在のページプレビューの下部に表示する．このリストによって，パスプレビューウィンドウでのページ列の作成を支援する．

まず，リンクリストから学ぼうとするページを選択すると，ページプレビューアによってそのページプレビューが生成され，図 1 (c) のように現在のページの右側に表示される．このページプレビューを見て，プランに含める場合はパスプレビューウィンドウ右端にあるボタン群の中から *Add* ボタンを選択する．プランに含めない場合は，リンクリストから再度別のページを選択することになる．また，*Delete* ボタンを押すことによって，一度パスに含めたページを削除することも可能である．さらに，あるページからナビゲーションパスを分岐させたり，プランを実行する前に新たに別のナビゲーションパスのプランをたてることもできる．

以上の操作を繰り返し行うことによって，ナビゲーションパスのプランを作成し，パスプレビューウィンドウ右端にある *End* ボタンでプラン作成を終了することができる．また，*Learn* ボタンを押すと，ナビゲーションコントローラが起動し，プランにそったページ内容の理解を開始することができる．

表 2 実験で用いた学習リソース

	Learning Resource1	Learning Resource2
ページ数	32	161
1 ページあたりのリンク数	1.2	2.2
ホームページから末端ページまでの最長距離	3	7

Learning Resource1の学習トピック：生命の進化と宇宙論
Learning Resource2の学習トピック：地球と生物の誕生

表 3 実験条件

	条件名	実験条件	
		ハイパー空間	支援システム
ケーススタディ I	Simple-With	簡単	有
	Simple-Without	簡単	無
ケーススタディ II	Complicated-With	複雑	有
	Complicated-Without	複雑	無

4. ケーススタディ

4.1 目的

本ケーススタディの目的は，Web 上に既存の学習リソースを用いて，本支援手法がハイパー空間での主体的学習におけるナビゲーションの促進に貢献する可能性を調査することにある．ここでは，本支援システム利用の有無のもと，ハイパー空間で学習目的を達成するためにナビゲーションパスを見出すまでの効率（ナビゲーション効率）を比較して，本支援手法の有効性を調べた．なお，ハイパー空間がより複雑な学習リソースを用いた場合とより簡単な学習リソースを用いた場合に分けてこの調査を実施し，本支援手法が有効に働く範囲についても調べた．本調査では，前者をケーススタディ I，後者をケーススタディ II と呼ぶことにする．

4.2 準備・条件

本調査では，表 2 に示すように，Web 上の学習リソースを二つ用意した．各リソースに含まれるページ数，1 ページあたりのリンク数（Next や Back などのナビゲーションを誘導するようなリンクは除いて数えている．），および各リソースのホームページから最も離れた末端となるページまでの距離は表に示すとおりである．これらの数値をもとに，本調査では *Learning Resource 2* のほうがより複雑なハイパー空間を持っていると判断した．

また，調査に関わる要因として，ケーススタディ I および II のいずれにおいてもシステム利用をあげ，利用の有・無の 2 水準とした．表 3 に，各ケーススタディでの 1 要因 2 水準の実験条件を示す．

被験者については，理工系大学生・大学院生 40 人を選び，各ケーススタディに対して 20 人ずつ割り当てた．

各ケーススタディでは、被験者間計画となるように、各実験条件に 10 人ずつ割り当てた。いずれの条件においても、Web ページ内容を閲覧するために、Web ブラウザを提供した。

なお、学習内容についての既有知識の程度やインターネット利用経験が被験者間で大きく異なると、調査結果に影響を与えることになる。そこで、本調査では、これを避けるために、学習対象について馴染みが薄く、Web ブラウザの利用経験が 2 年以上の理工系の大学生・大学院生を被験者として選定し、ケーススタディ I・II およびケーススタディ内の実験条件に対してランダムに割り当てた。このような割り当てによって、各実験条件の被験者グループ間における既有知識やインターネット利用経験の差異が実験結果に影響を及ぼさないと仮定し、本調査を実施した。

また、各条件下での調査を開始する前に、各被験者には学習目的として、学習リソースごとに問題を与えた。問題は、ページに記述された学習項目間の関係を説明するように問うもので、ハイパー空間において隣接する 2 ページあるいは 3 ページを関連づけてその答えを見つけることができるものである。このため、個々のページ内容だけではなく、ページ間の関係を考えなければ答えることができないものとなっている。また、本支援システムを用いる場合、ハイパー空間地図、ページプレビュー、パスプレビューだけで問題の答えとなるページを特定することはできないようになっている。

例えば、実際に用いた問題として、以下の問題がある。

- マグマができる場所を挙げ、それらについてマグマとの関連を説明せよ。

この問題を解決するためには、マグマができる場所としての海嶺、プレートを見つけ、それらがどのようにマグマと関わるかを説明する必要がある。この例では、「マグマができる場所」という記述を含むマグマ形成プロセスのページと海嶺やプレートのページの 3 つのページは隣接している（海嶺とプレート間にもリンクがある）が、海嶺やプレートのページだけを見てもマグマができる場所であるとは特定できず、マグマ形成プロセスのページからこれらのページを眺めるナビゲーションパスを通して問題に対する答えを得ることができる。

また、この例ではハイパー空間地図に「マグマができる場所」という明確な記述はないが、マグマに関連する複数のページに対するページプレビューやパスプレビューを参照することによって、マグマができる場所およびその候補についての情報を得ることができる。しかしながら、それらの候補のうちマグマができる場所はどれなのか、またマグマとどのように関わるのかといった情報は実際に Web ページを閲覧しないと得られないようになっている。このように、ナビゲーションプランニングを通して問題解決の手がかりは得られるものの、問題の答えを見つけるためには Web ページを閲覧することが必要と

なるような問題を与えた。

4.3 手順

各被験者に対する調査の手順は、ケーススタディ I および II とともに以下のとおりである。

(1) 支援システム有りの条件では、システムの使い方の説明を提示した。

(2) 問題を 2 問与えて、解答するように指示した。この際、答えに必要となる内容を含む Web ページを特定させ、そのページの URL をコピーするメモを提供した。また、支援システム利用有りの条件では、支援システムを用いてナビゲーションパスのプランを立て、Web ブラウザ上で Web ページ内容を閲覧しながら解答するように指示した。

(3) 与えた全問題の解答を終えたとき学習者が自己申告した場合、あるいは制限時間を経過した場合、学習を終了したと見なした。そして、ナビゲーション効率を図るデータとして、その時点でのメモの内容を取得した。また、Web ブラウザで閲覧したページ数のデータを取得した。

各条件とも、解答の制限時間を 15 分とした。また、本調査では、学ぶべき内容を記憶することではなく、ナビゲーションの結果見つけることができたかどうかを調べることを重視し、問題の答えとなる内容が記載されたページを特定させて問題に対する解答とした。

ナビゲーション効率を図るデータとしては、問題に対する解答率と、閲覧した Web ページ数およびページへの再訪問回数を取り上げた [Tauscher 97]。解答率については、次の 3 つの指標に分けた。まず、*Achievement* は、全体的問題数に対する制限時間以内に解答した問題数の割合である。*Accuracy* は、解答した問題数に対する正解の割合である。*Efficiency* は、全体的問題数に対する正解の割合であり、*Achievement* と *Accuracy* の積として表現される。なお、正解は、問題の答えを含む複数ページのうち、被験者によって特定された割合で表現した。

以上の設定のもとで、「本支援手法は、より複雑なハイパー空間においてナビゲーション効率を高めることに貢献する」という仮説を立てた。

4.4 結果

表 4 (a) と表 5 (a) に、ケーススタディ I と II の各条件下での解答率の平均を示す。これらの表からも分かるように、より簡単なハイパー空間を有する学習リソースでは、システムを用いた場合 (*Simple-With*) と用いなかった場合 (*Simple-Without*) では、解答率に有意な差異は見られなかった。一方、より複雑なハイパー空間を持つ学習リソースでのナビゲーションにおいて、システムを用いた場合 (*Complicated-With*) のほうが、用いなかった場合 (*Complicated-Without*) に比べて解答率の値が大きくなっており、分散分析の結果有意な差が見

表 4 ケーススタディ I の実験結果

(a) 問題に対する平均解答率

実験条件	Achievement	Accuracy	Efficiency
Simple-With	90%	96%	86%
Simple-Without	98%	98%	96%

(b) 全ページ数に対する閲覧ページの割合

実験条件	
Simple-With	32%
Simple-Without	47%

(c) 閲覧ページの平均再訪問回数

実験条件	
Simple-With	2.71
Simple-Without	3.72

表 5 ケーススタディ II の実験結果

(a) 問題に対する平均解答率

実験条件	Achievement	Accuracy	Efficiency
Complicated-With	100%	90%	90%
Complicated-Without	72%	48%	32%

(b) 全ページ数に対する閲覧ページの割合

実験条件	
Complicated-With	7%
Complicated-Without	25%

(c) 閲覧ページの平均再訪問回数

実験条件	
Complicated-With	2.61
Complicated-Without	3.09

られた (*Achievement* については $F=8.62$, $p<.01$, *Accuracy* については $F=9.30$, $p<.01$, *Efficiency* については $F=32.60$, $p<.01$) .

次に, 表 4 (b) と表 5 (b) に, 学習リソースに含まれる全ページ数に対して Web ブラウザで閲覧したページ数の割合の平均を示す. 分散分析の結果, *Simple-With* と *Simple-Without* との間 ($F=14.20$, $p<.01$) および *Complicated-With* と *Complicated-Without* との間 ($F=107.00$, $p<.01$) に有意な差が見られた. また, 表 4 (c) と表 5 (c) に, 各条件下での Web ページの再訪問回数の平均を示す. 分散分析の結果, *Simple-With* と *Simple-Without* との間 ($F=7.79$, $p<.05$) に有意な差が見られた. *Complicated-With* と *Complicated-Without* との間には, 有意差は見られなかったが, *Complicated-With* のほうが平均再訪問数が少なくなっている. これらの結果から, ハイパー空間の複雑さによらず, システムを用いた場合のほうが Web ブラウザで閲覧したページ数が有意に少なく, また再訪問回数についても少なくなっていることが分かる.

以上の結果から, 表 2 に示した 2 つの学習リソースに限定して, 仮説は検証されたことになる. 本調査結果が

表 6 ページの平均訪問回数

実験条件	訪問回数
Simple-With	38.0 (32 × 0.32 × 3.71)
Simple-Without	71.0 (32 × 0.47 × 4.72)
Complicated-With	40.7 (161 × 0.07 × 3.61)
Complicated-Without	164.6 (161 × 0.25 × 4.09)

括弧内は 全ページ数 × 閲覧ページの割合 × (1 + 平均再訪問回数)

ら, 他の学習リソースにおいても有効な支援が可能であることが期待できるが, このことについては 5・2 で議論する.

4・5 考 察

本節では, 4・4 の結果について考察し, 本ナビゲーションプランニング支援の有効性について考えてみたい. 特に, 学習目的達成に向けてのナビゲーションパスの見通しの提供およびナビゲーションの作業 (ナビゲーション負荷) の軽減という点から検討する. なお, ナビゲーション負荷については Web ページの訪問回数という点から考察する.

まず, ナビゲーションパスの見通しの提供については, 表 5 (a), (b) の結果から, より複雑なハイパー空間において本支援手法は学習目的の達成を促進するとともに, ハイパー空間では訪問するページ数を減少させ, ナビゲーション過程をより集約的にすることがうかがわれる. これは, 本支援手法が学習目的の達成に向けてナビゲーションパスを見通すことに役立つものとなっており, さらに学習者はナビゲーションパスに対する良い見通しを持ってハイパー空間内をナビゲーションしていることを示唆していると考えられる.

また, より簡単なハイパー空間では, 表 4 (a), (b) の結果から, 本支援手法はナビゲーション過程をより集約的にするものの, 本支援システムがなくてもナビゲーションパスの見通しを立てることが困難ではないことがうかがわれる. 同時に, 本支援システムを利用することがハイパー空間でのナビゲーションに対して悪影響を及ぼさず, ナビゲーションに対する見通しを与えることができるといえる.

次に, 本支援システムを利用した場合のナビゲーション負荷については, 表 4 (b), (c) および表 5 (b), (c) の結果から, システムを利用しない場合に比べて, ナビゲーション負荷はハイパー空間の複雑さに関わらず軽減されていることがうかがわれる. 表 6 に, 各実験条件での再訪問を含めたページの平均訪問回数を示す. この表からも分かるように, ハイパー空間が複雑になるほど, ナビゲーション負荷はより効果的に軽減されることが示唆される. なお, 本支援システムの利用には, ナビゲーション負荷だけでなく, ナビゲーションプランニングの作業 (プランニング負荷) を伴う. プランニング負荷は, ハイパー空間が複雑になるにつれて増加し, ナビゲーションにも悪影響を及ぼす可能性があるが, ハイパー空間地図を見やす

くするなどの工夫を導入することで、ナビゲーションに悪影響を及ぼさない程度に抑えることが期待できる。こうしたプランニング負荷の軽減については、さらに詳細な検討が必要であり、今後の課題としたい。

また、本支援システムを利用しない場合、ハイパー空間でのナビゲーションに備えて、どのようにナビゲーションすべきかを考えなければならないという学習者の心理的な負担は小さくないと考えられる。特に、ハイパー空間が複雑なほど、こうした負担は大きくなると考えられる。一方、本支援手法では、ナビゲーションプランニングを行う環境を与えることによって、学習者はこれから学ぼうとするナビゲーションパスの見通しを得ることができるため、ナビゲーションに備える際の心理的な負担も軽減され、ハイパー空間における学習が促進されることが期待できる [Ausubel 61]。こうした心理的な負担の軽減による効果は、ハイパー空間が複雑になるほど大きくなり、ナビゲーションの促進に良い影響をもたらすと予想される。

以上のことから、本支援手法は、より複雑なハイパー空間において、学習者がナビゲーションパスの見通しを立てることを有効に支援するとともに、ナビゲーション負荷を軽減し、ハイパー空間でのナビゲーション効率を高めることに貢献することができると考えられる。

5. 議 論

ここでは、ハイパー空間の見通しという観点から、まず関連研究との比較を通して、本ナビゲーションプランニング支援手法の位置づけを試みる。次に、ナビゲーションパスを見通す際の本支援手法の問題点および改善策について考えてみたい。

5.1 関連研究との比較

これまでに提案されているハイパー空間の見通しを提供する方法は、(1) 大域的な見通しを与える方法、(2) 局所的な見通しを与える方法、に大別することができる。前者は、ハイパー空間全体を眺める表現を与えるもので、ハイパー空間地図がその代表例である。これは、ハイパー空間全体から見て現在学んでいるページの位置を確認したり、目標となるページの選定やそのページにいたるまでの経路を確認するために用いられる。後者は、現在のページから次のページの内容を見せようとするもので、適応的ハイパーメディアやリンク先概要表示 [Kopetzky 99] がその代表例である。これらは、次のページを学習文脈に合わせて推薦したり、次のページ内容をサムネイル化することで、次のページの選択を支援することを目的としている。

一方、ハイパー空間において学習目的を達成するために学習を進める場合、ナビゲーションパスを決めることが非常に重要であり、いかにナビゲーションパスの見通

しを立てるが問題となる。しかしながら、2・2でも述べたように、従来の支援手法ではこうしたパスの見通しを与えるには十分ではない。

本研究では、ハイパー空間地図およびページプレビューによって大域的な見通しと局所的な見通しも与えるが、独創的な点はこれらの中間的な見通しとしてナビゲーションパスを明示的に見通す方法を提案したところにある。こうしたパスを見通す支援は、ハイパー空間での主体的学習では必要性が高く、その意義は大きいと考えられる。

5.2 問題点と改善策

本支援手法によって、学習者がナビゲーションパスの見通しを得ることができるかどうかは、どの程度ページプレビューがページ内容をうまく反映するかにかかっているといえる。3・2でも述べたように、ページプレビューの生成では、HTML ファイルの主要なタグにつけられた情報がそのページ内容を代表することを仮定している。この仮定をできるだけ満たすようにページ内容が記述された学習リソースであれば、ページプレビューがうまく機能し、適切にナビゲーションパスを見通すことができる可能性は高くなる。4. で述べたケーススタディでの学習リソースは、おおむねこの仮定を満たすようにページ内容が記述されていたと考えられる。また、ケーススタディの結果から、この仮定を満たすような学習リソースであれば有効な支援を提供できるといえよう。

しかしながら、この仮定を満たさない Web 上の学習リソースも少なくはないと考えられる。本支援手法では、こうしたリソースにおいてナビゲーションパスを適切に見通すための情報を与えることは難しい。ただし、これは本支援手法で扱えない範囲を示すものであって、手法自体の有用性を損ねるものではない。つまり、経験的に、HTML ファイルの主要なタグにつけられた情報がページ内容を代表するような学習リソースは Web 上に数多く見受けられ、これらに対して有効な支援が可能であると考えられるためである。こうした学習リソースが統計的にどの程度あるのかを調査することは必要であるが、これについては今後の課題である。

一方、より広範囲の学習リソースに対して、ナビゲーションパスの見通しをより確実に学習者が得ることができるように、ページプレビューを改善することは重要である。その改善策として、HTML ファイル中の主要なタグにだけ着目するのではなく、知的情報検索などの分野で用いられているページ内容の分析技術を応用し [河野 01]、ページ内容全体を代表する情報をページプレビューとして抽出することがあげられる。

また、Web ページの場合、必ずしも 1 ページに 1 つの学習項目ではなく、複数の項目が記述されている場合もある [松田 01]。現在のページプレビューでは、このことを明確に考慮せず、プレビューされた情報から学習者自身が学ぶべき項目を選択することに委ねている。しかし

ながら、よりの確なプレビューを生成するという観点からすれば、どの項目に着目しているのかを判断し、ページプレビューに反映させることが望ましい。このためには、あるページのプレビューを生成する際に、どのページから見通そうとしているのかなどのプランニング文脈を考慮することが必要となる。現在、プランニング文脈の情報を分類し、ページプレビューの生成方法を検討している [長谷川 01]。

6. ま と め

本論文では、Web にある既存の学習リソースを用いた主体的学習を支援する上で、ハイパー空間におけるナビゲーション過程のモニタリングを促進する重要性について述べ、ナビゲーションプランニング支援手法を提案した。本手法の特徴は、ハイパー空間での学習を、ページ内容の理解とナビゲーションプランニングに区別し、学習者自身にナビゲーションパスのプランニングを意識的に行わせる点にある。このような支援によって、プランニング能力の向上も期待でき、またハイパー空間ではページ内容の理解により多くの注意を向けさせることができるため、学習を促進することも期待できる。

また、本論文では、この支援手法を実現するシステムについても述べた。本支援システムでは、ハイパー空間地図を与えるとともに、学習者が地図上で選択したページやパスの概要情報を表示するページプレビューおよびパスプレビュー機能を提供し、学習者がナビゲーションパスの見通しを立てることを補助する枠組みを実現している。

また、本支援システムを用いたケーススタディについても述べた。その結果、より複雑なハイパー空間において、本支援手法は学習者によるナビゲーションプランニングを有効に支援し、ナビゲーション効率を高める可能性があることを確認した。

今後は、Web 上にあるより多くの学習リソースについて実験を行い、本支援手法の有効性を評価する。また、より確実に、かつ的確にナビゲーションパスのプレビューを行う機能を実現することで、本支援手法を洗練することも今後の重要な課題の一つである。さらに、本支援システムを継続的に利用させる実験を通して、本支援手法がナビゲーションプランニング能力の向上にも貢献することを調査したいと考えている。

謝 辞

本研究の一部は(財)ソフトウェア工学研究財団(RISE)の援助による。また、本研究を進めるにあたり有益なコメントをいただいた大阪大学産業科学研究所のLBP研究メンバーに感謝する。

◇ 参 考 文 献 ◇

- [Ausubel 61] Ausubel, D. and Fitzgerald, D.: The role of discriminability in meaningful verbal learning and retention, *Journal of Educational Psychology*, Vol.52, pp.266-274 (1961).
- [Brusilovsky 96] Brusilovsky, P.: Methods and Techniques of Adaptive Hypermedia, *Journal of User Modeling and User-Adapted Interaction*, Vol.6, pp.87-129 (1996) .
- [Cunningham 93] Cunningham, D.J., Duffy, T.M., and Knuth, R.A.: The Textbook of the Future, in McKnight, C., Dillon, A., and Richardson, J. (eds): *HYPERTEXT A Psychological Perspective*, Ellis Horwood Limited, pp.19-49 (1993).
- [Domel 94] Domel, P.: WebMap-A Graphical Hypertext Navigation Tool, *Proc. of Second International WWW Conference* (1994).
- [Fischer 98] Fischer, G., and Scharff, E.: Learning Technologies in Support of Self-Directed Learning, *Journal of Interactive Media in Education*, 98 (4) (1998).
- [Gaines 95] Gaines, B.R. and Shaw M.L.G. WebMap: Concept Mapping on the Web, *Proc. of Second International WWW Conference* (1995).
- [Hammond 93] Hammond, N. Learning with Hypertext: Problems, Principles and Prospects, in McKnight, C., Dillon, A., and Richardson, J. (eds): *HYPERTEXT A Psychological Perspective*, Ellis Horwood Limited, pp.51-69 (1993).
- [長谷川 01] 長谷川忍, 鈴木亮一, 柏原昭博, 豊田順一: 適応的パスプレビュー -ハイパー空間における探究学習のためのナビゲーション支援, *人工知能学会研究会資料 SIG-IES-A101-6*, pp.33-40 (2001).
- [Kashihara 99] Kashihara, A., Ujii, H., and Toyoda, J.: Reflection Support for Learning in Hyperspace, *Educational Technology*, Vol.39, No.5, pp.19-22 (1999).
- [Kashihara 00] Kashihara, A., Suzuki, R., Hasegawa, S., and Toyoda, J. A Navigation Path Planning on the Web, *Proc. of IEEE International Workshop on Advanced Learning Technologies*, pp.25-26 (2000).
- [河野 01] 河野浩之: 特集「Web システムにおける情報獲得支援技術」, *人工知能学会誌* Vol 16, No. 4 (2001).
- [Kopetzky 99] Kopetzky, T., and Muehlhaeuser, M.: Visual Preview for Link Traversal on the WWW, *Proc. of WWW8* (1999).
- [松田 01] 松田憲幸, 野本豊裕, 平嶋宗, 豊田順一: Web ブラウジングを対象としたページ分割による情報フィルタリング手法の提案と評価, *システム制御情報学会論文誌*, Vol.15, No.4 (2001).
- [Nielsen 90] Nielsen, J. The Art of Navigating Hypertext, *Communication of the ACM*, Vol.33, No.3, pp.297-310, ACM Press (1990).
- [Suzuki 01] Suzuki, R., Hasegawa, S., Kashihara, A., and Toyoda, J.: A Navigation Path Planning Assistant for Web-based Learning, *Proc. of World Conference on Educational Multimedia, Hypermedia & Telecommunications*, pp.1851-1856 (2001).
- [Tauscher 97] Tauscher, L., and Greenberg, S.: How people revisit web pages: empirical findings and implications for the design of history systems, *International Journal of Human-Computer Studies*, Vol.47, No.1, pp.97-137 (1997).
- [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).
- [Zeiliger 99] Zeiliger, R., Belisle, C., and Cerratto, T.: Implementing a Constructivist Approach to Web Navigation Support, *Proc. of World Conference on Educational Multimedia and Hypermedia 99* (1999).

[担当委員: 伊藤紘二]

2001 年 11 月 16 日 受理

 著 者 紹 介

柏原 昭博(正会員)

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。1999 年同講師。2002 年同助教授。1996 年～1997 年、ドイツ国立研究所 GMD-FIT 客員研究員。博士(工学)。人間の知性を活かす CHI に興味を持ち、特に学習支援に関する研究に従事。1993 年度人工知能学会全国大会優秀論文賞、ED-MEDIA'95 優秀論文賞、1996 年度・1998 年度人工知能学会研究奨励賞、IJAIED、AACE、電子情報通信学会、情報処理学会、教育システム情報学会各会員。

鈴木 亮一(学生会員)

2000 年大阪大学基礎工学部卒業。2002 年同大学院修士課程修了。現在(株)リクルート勤務。在学中、ハイパー空間における主体的学習に関する研究に従事。

長谷川 忍(学生会員)

1998 年大阪大学基礎工学部卒業、2002 年同大学院博士後期課程修了。同年北陸先端科学技術大学院大学情報科学センター助手。博士(工学)。ハイパーメディアの教育利用に関する研究に従事。1998 年度人工知能学会研究奨励賞。電子情報通信学会、教育システム情報学会各会員。

豊田 順一(正会員)

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。2002 年金蘭短期大学教授。工学博士。人工知能研究を Enabling Technology と割り切り、新しい知性のモデル作成を目標とする。電子情報通信学会、情報処理学会、日本認知科学会各会員。