

Title	ハイパー空間における適応的ナビゲーションプランニング支援
Author(s)	長谷川, 忍; 柏原, 昭博
Citation	人工知能学会論文誌, 21(4): 406-416
Issue Date	2006
Type	Journal Article
Text version	publisher
URL	<a href="http://hdl.handle.net/10119/7824">http://hdl.handle.net/10119/7824</a>
Rights	Copyright (C) 2006 人工知能学会. 長谷川忍, 柏原昭博, 人工知能学会論文誌, 21(4), 2006, 406-416.
Description	

# ハイパー空間における適応的ナビゲーションプランニング支援

## A Support for Adaptive Navigation Planning in Hyperspace

長谷川 忍  
Shinobu Hasegawa

北陸先端科学技術大学院大学遠隔教育研究センター  
Research Center for Distance Learning, JAIST  
hasegawa@jaist.ac.jp, <http://www.jaist.ac.jp/~hasegawa/>

柏原 昭博  
Akihiro Kashihara

電気通信大学  
The University of Electro-Communications  
kashihara@ice.uec.ac.jp, <http://wlgate.ice.uec.ac.jp/>

**keywords:** adaptive navigation planning, navigation path, hyperspace, self-directed learning

### Summary

The main topic addressed in this paper is how to help learners navigate in exploring hyperspace provided by existing web-based learning resources in which they can navigate Web pages in a self-directed way to learn the domain concepts/knowledge. Such self-directed navigation involves constructing knowledge from the contents embedded in the navigated pages, along what is called the navigation path, which has been demonstrated to enhance learning. Creation of a useful navigation path influences the knowledge construction process and plays an important role in self-directed learning in the hyperspace. On the other hand, learners often fail at creating a navigation path due to cognitive overload, which is caused by diverse cognitive efforts what may be viewed as meta-cognitive activities. Such meta-cognitive activities hold the key to success in self-directed learning. Our approach to this issue is to analyze the navigation planning tasks in order to design facilities that can more readily facilitate learners' planning activities. In this paper, we provide the learners with a navigation planning environment called Advanced Planning Assistant, which helps them plan a navigation path in an adaptive way before learning the hyperspace. This planning environment calls the learners' attention to establishing the navigation path prior to and separately from learning the hyperspace. We also report preliminary case study to evaluate the usefulness of the adaptive approach proposed. From the results of the case study, we have made sure that they are useful.

### 1. はじめに

World Wide Web (以下 Web と記す) においては、膨大な量の情報リソースがハイパーメディアあるいはハイパードキュメントの形式で公開されており、学習に利用可能な情報 (学習リソース) も数多く存在している。こうした学習リソースは、遠隔地からでも容易にかつ高速にアクセスできるインターネット環境が普及するにつれて、学校教育に大きなインパクトをもたらすとともに、生涯学習や遠隔学習の実現に今後ますます貢献することが予想される [文部省 98]。これらのことから、Web を学習活動のプラットフォームとみなす Web-based Learning は、学習支援の分野において非常に重要な研究課題となっている。本研究はその一環として、Web における既存の学習リソースを利用した学習者の主体的学習に対して、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一般に、ページ及び複数のページ間を結ぶリンクからなるハイパー空間を学習者に

提供する。ハイパー空間における学習の一つの特徴は、学習者がある学習目的を達成するために、このハイパー空間上で必要な情報や学習する経路 (ナビゲーションパス) を主体的に決定し、リンクに基づいて様々なページを関係付けることによって、知識や概念を構造的に学習することが可能な点にある [Thuering 95]。こうした主体的学習においては、学習者自身が学習目標を設定し、ページ間の意味的關係を捉え、適切に学習すべき経路を選択すること (ナビゲーションプランニング) や、過去のナビゲーションプロセスを振り返ってどの程度学習が行われたのかを認識すること (リフレクション) 等といった、ナビゲーションに対するメタ認知的な活動が学習者の理解を促進する上で非常に重要な役割を果たす [Kashihara 05]。本研究では特にナビゲーションプランニングを対象とする。一般に、学習においては、学習目標の設定および学習順序の決定といったプランニングは非常に重要なメタ認知的活動と考えられるが、本研究におけるナビゲーションプランニングもハイパー空間におけるナビゲーション

ンを伴う学習を対象とするメタ認知的活動と位置づけることができる。しかしながら、ハイパー空間においては通常、こうしたメタ認知的活動をナビゲーション中に維持・継続することは容易ではなく、しばしば適切な経路の選択に失敗するいわゆる「ナビゲーション問題」が発生する[柏原 02]。このことは、ハイパー空間における主体的学習に伴うメタ認知的活動が重要である反面、学習者にかかる負荷が多大なものとなることを意味する。

以上のような観点から筆者らは、Web における既存の学習リソースを利用した学習を、ナビゲーション及びそれに伴うページ内容の理解と、ナビゲーションプロセスにおけるメタ認知的活動とに明確に区別して捉え、学習者自身がシステム上でメタ認知的活動を制御できる環境を提案してきた[Kashihara 05]。その中でも、ナビゲーションプランニングに焦点を当てた支援環境においては、学習の主体性を重視する立場から学習者中心(Learner-Centred)の設計方針のもと、学習者が意識的にナビゲーションプランニングを行う場を提供した。また、ケーススタディを通じて、学習者によるナビゲーションプランニングが、ナビゲーション効率を向上させることを確認した[柏原 02]。

しかしながら、単にメタ認知的活動を具体化するだけでは、ナビゲーションプランニングが大きな負荷となる場合もある[長谷川 05]。例えば、プランニングに必要な情報が支援環境で十分に提供できない場合や、ナビゲーションパスの選択肢が多すぎる場合には、従来の支援機能では十分に対応することができなかった。こうした問題を解決するため本研究では、学習者のプランニングプロセスに応じて効果的なナビゲーションパスの見通しを立てることを支援する、すなわちメタ認知的活動を適応的に支援する手法について提案する。本研究の特徴は、ハイパー空間を対象としたメタ認知的活動を支援するアプローチの中でも、学習者が制御可能な環境を適応的に構成して提供することにより、より一層の活性化を図ろうとする点にある。本研究では、こうした支援手法を適応的ナビゲーションプランニング支援と呼ぶ。

本論文では、まず、ハイパー空間におけるナビゲーションプロセス及びそのメタ認知的活動であるプランニングタスクについて考察し、従来のナビゲーションプランニング支援の枠組み及び今回開発した適応的ナビゲーションプランニング支援手法とその支援環境について詳述する。また、メタ認知的活動の適応的支援機能がプランニング及びナビゲーションにそれぞれどのような影響を与えるかについて、従来の支援手法との比較を通して調査したケーススタディについて議論する。本ケーススタディの結果、プランニング時に学習者に提示する情報を、(i) 学習者自身にコントロールさせることで集約的なナビゲーションが行なわれること、(ii) プランニングプロセスに応じて生成することでプランニングの精度が向上すること、が示唆された。

## 2. ナビゲーションプロセスにおけるプランニングタスク

### 2.1 主体的学習におけるナビゲーションプロセス

本研究では、Web 上の単一サイト内で、ある学習トピックについて記述された学習向けハイパードキュメントを学習リソースと呼ぶ。こうした学習リソースは通常、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元でこの空間内をリソース作成者によって構成されたリンクに従って主体的にナビゲーションを行う。これにより、訪れたページ毎に学習した内容を関係づけて知識を構成していくことができる[Thuring 95, Fischer 98]。このため、学習者が構成する知識構造は、学習者が訪れるページの系列である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定することは、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[Hasegawa 04]。しかしながら、ハイパー空間においては、ナビゲーション可能なパスは多数存在する。このため、どのパスをナビゲーションすればよいかを学習者があらかじめ見通す活動である、ナビゲーションプランニングにかかる負荷は非常に大きなものとなる。さらに、このようなナビゲーションプランニングと実際のページ内容の理解を同時並行的に行わなければならない。これらのことから、学習者は達成しようとする目標に対して効果的にナビゲーションすることが非常に困難である。これは、ハイパーメディアシステムにおいて従来からよく知られたナビゲーション問題の一側面であり、主体的学習を成功に導く上で解決すべき中心的な課題の一つであると言える。

上記の問題を解決するためのポイントは、ナビゲーションプランニングに関わる負荷をいかに効果的に軽減できるかに集約される。そこで本研究では、学習者が主体的に学習する場面におけるナビゲーションプランニングタスクをモデル化し、そのタスクをシームレスに支援する環境を実現することを目指している。

### 2.2 プランニングタスクモデル

ナビゲーションプランニングモデルを検討する上で、本研究ではまず主体的学習を図 1 に示すように、ナビゲーション目標を達成するために訪れるべきページ及びパスを計画するプランニングタスクと実際にページを訪れて内容を理解するナビゲーションタスクに明確に区別することとした。これは 2.1 節で述べたように、主体的学習において学習者は様々なタスクを同時並行的に進めることが大きな負荷となっていると考えられるためである。さらに本研究では、プランニングタスクをプランニング目標設定タスクとナビゲーションパスプラン設定タスクとの 2 つのサブタスクからなるものとして、プランニングタスクモデルを構築した。なお、ここで取り上げた 2 つ

のサブタスクは必ずしもこの順序で行われるわけではなく、プランニングの進行に応じて前後するものである。

§1 プランニング目標設定タスク

主体的学習においては一般に、何をナビゲーションするかを決める、ナビゲーション目標の設定を学習者自身が行う必要がある。同様にプランニングにおいても、プランニング開始前に何を目標とするかを設定したり、プランニングを進める中で局所的な目標（プランニングサブ目標）を設定することが重要なサブタスクとなる。本研究ではこのようなサブタスクをプランニング目標設定タスクと呼ぶ。特に、多様なナビゲーションパスを持つハイパー空間においては、適切なプランニング目標の設定は重要なサブタスクであると考えられる。

§2 ナビゲーションパスプラン設定タスク

学習リソースが提供するハイパー空間で主体的にプランニングを行うためには、複数のナビゲーション可能なパスの中からどのパスを選択するかを決定するナビゲーションパスプラン設定タスクが必要不可欠である。このサブタスクを効果的に実行するためには、学習者が「どのようなパスをナビゲーションすればプランニング目標を達成できるか」について自分自身で絶えず評価することが必要となる。

2.3 関連研究

従来のナビゲーション支援における代表的な手法としては、ハイパー空間に内在する知識や概念間の関係を記述した概念地図 (Concept Map)[Gaines 95] や、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適応的ハイパーメディア (Adaptive Hypermedia)[Brusilovsky 96] などが挙げられる。これらの支援手法は、学習者に対してページ間の意味的關係に関する明確な見通しを与えることが可能である。このため、教育的

ハイパーメディア・ハイパーテキストにおいて極めて有効に機能することが知られている。しかしながら、Concept Map や Adaptive Hypermedia はより教育的な文脈で利用されることが多く、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言える。主体的学習の大きな特徴は、学習者自身が個々のページに記述された学習項目間の関係付けを行いながら知識を構成していく点にあるが、上記の支援手法は学習項目間の関係付けに対する制約があらかじめ教材作成者等によって記述されているため、主体的学習で期待される個々の学習者の自由度は比較的制限される側面がある [Hubscher 01]。また、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を支援システム側が把握しておくことが非常に難しい。これらのことから、ページ間の意味的關係を基盤情報として利用す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。したがって、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単純に与えるのではなく、学習の主体性をより促進するような支援手法を検討する必要がある。

一方、ハイパー空間の構造や内容に関する見通しを与えることによってナビゲーションを支援する手法としては、ハイパー空間の構造地図 (Spatial Map)[Domel 94] や、リンク先のページをサムネイル表示することによって局所的な見通しを与えるリンク先概要表示 (Visual Link Preview)[Kopetzky 99] などが挙げられる。これらの手法は、それぞれハイパー空間の全体的な見通しと局所的な見通しを提供することに役立つ。プランニングを行う際にパスの見通しを与えようとする場合には、プランニング目標やそれまでのプランニングプロセス等といった文脈情報に応じた見通しを与える必要があるが、上記の支援方法はこのような文脈に適應する機能を有していない場合が多い。つまり、主体的な学習においてはナビゲーションだけでなく、そのメタ認知的活動であるプランニングも学習者毎に異なったものとなる。このため、メタ認知的活動を支援するにあたっても適応的な支援を行う必要がある。

3. 適応的パスプランニング支援環境

以上の考察を踏まえて、ここでは筆者らがこれまでに開発してきたパスプランニング支援環境 PlanningAssistant[柏原 02] について概説するとともに、提案したプランニングタスクモデルに基づき拡張した Advanced Planning Assistant について詳説する。

3.1 PlanningAssistant

2.2 節で整理した 2 つのサブタスクを支援するために、PlanningAssistant ではまず図 1 に示すように、プラン

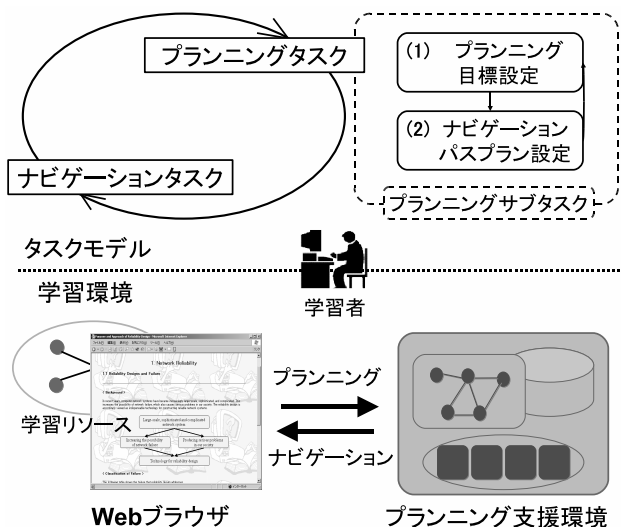


図 1 プランニングタスクモデルと支援方針



ニングタスクをナビゲーションタスクそのものと明確に切り分けて支援を行うアプローチを採用した。これにより、プランニング及びナビゲーションそれぞれのタスクに集中することができるという効果が期待できる。さらに、学習者自身があらかじめプランニングを行うことによって、ナビゲーションパスの見通しを前もって得ることが可能となる。これにより、ナビゲーションが集約的に進むだけでなく、先行オーガナイザーとしての役割を果たすことも期待できる [Ausubel 61]。PlanningAssistantのインタフェースを図2に示す。個々のサブタスクに対する支援機能は以下の通りである。

§1 プランニング目標設定タスク支援

プランニング目標設定タスクを支援するためには、まずハイパー空間の構造に関する情報を学習者に提供することで、学習リソース全体において「何を学習できるか」を見通すことができるようにする必要がある。そこで、プランニング目標の設定を支援するためのベースとなる機能として、学習リソースが提供するハイパー空間をネットワーク表現したリソースマップを提供する。具体的には、学習リソースの自動収集機能及びマップ生成機能、学習者によるマップの再配置機能を実現している。これにより、学習者はハイパー空間の全体像を俯瞰し、学習リソースにおける現在の位置や目標となるページまでのパスを確認することが可能である。

さらに、プランニングサブ目標の設定に対しては、プランニングプロセスに応じて、それぞれのページにおいて「何を学習できるか」を見通すための概要情報を提供できることが重要となる。そこで本研究では、多くのWebページが文書の論理構造や表示方法を記述できるHyper Text Markup Language (HTML) 言語 [W3C 99] を利用していることに注目している。具体的には、表1に示す論理構造や表示方法を規定するタグによって強調された情報を重要度の高い情報であるとみなすことにより、リソースマップで選択したWebページの概要情報(プレビュー)を生成するページプレビューを開発している。

表1 プレビューに利用する主なHTMLタグ

HTML タグ	タグの意味
Title	ページのタイトル
H1 to H6	見出し文字
OL/UL/DL	リスト(箇条書き)
B/Strong	強調文字
I/EM	斜体文字
U	アンダーライン
Big	大きな文字
Font	フォント関連の制御
DD/TH	定義/テーブル見出し
Img	イメージファイル表示
A href	他ページへのリンク

なお、概要情報の量が多すぎるとプランニング時の学習者の負荷が大きくなると考えられる。そこで、抽出された情報数が多い場合には表示する情報数や画像の数を制限し、文章が長い場合には先頭から数文字までを取り出し、プレビューとして表示している。

これにより、学習者はリソースマップにおいてページタイトルから対象ページを絞り込み、ページプレビューで生成される選択ページのプレビュー情報を元にプランニングサブ目標を設定することが可能となる。

§2 ナビゲーションパスプラン設定タスク支援

ナビゲーションパスプラン設定タスクを支援するためには、複数のページ間の関係を学習者自身が比較し、自らのプランニング目標にあったページを見通すために、パスに関する概要情報を適切に提供できることが必要となる。そこで本研究では、ページ間の関係を示すハイパー空間のリンクに基づいて、学習者自身がプレビューを順次追加することによって、適切なページ系列をナビゲーションパスプラン(以下、パスプランと呼ぶ)としてプランニングすることを可能にするパスプレビューを提供することにより、ページ間の意味的な関係の把握が容易になる枠組みを実現している。具体的には、ページプレビューによって収集された隣接ページへのリンクのアンカー情報をリンクリストとして、ドロップダウンリストの形式で現在注目しているプレビューの下部に表示し、このリンクリストから次に学習するページの候補を選択することを繰り返すことでパスプランの作成を支援する。また、パスプランの分岐や削除を行うことも可能となっている。

§3 ナビゲーションタスク支援

ナビゲーションタスクを支援する観点からは、学習者が作成したパスプランに沿ったブラウジングを支援するナビゲーションコントローラを提供している。

本機能を利用することにより、作成したパスプランに沿って、ハイパー空間でページ内容を理解するだけでなく、ナビゲーション途中でパスプランの修正・棄却が必要となった場合、プランニング支援環境に立ち戻ってリブ

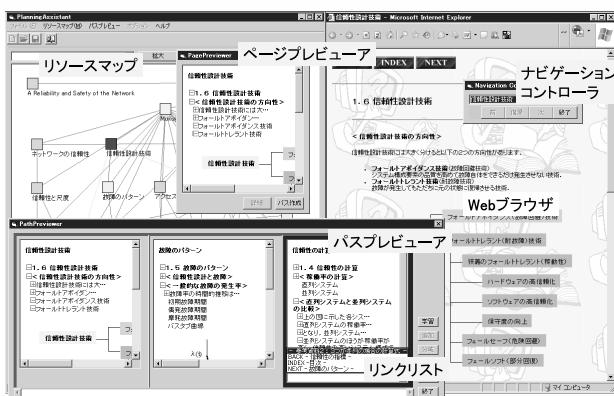


図2 PlanningAssistant/Advanced PlanningAssistantのインタフェース

ランニングを行うことが可能となっている。つまり、学習者はハイパー空間においてページ間のリンクを意識しなくてもパスプランに含まれるページを順にナビゲーションすることができ、またハイパー空間で閲覧したページをプランニング空間であるリソースマップ上で表示することにより、リプランニングのための支援情報を与えることができる。このように、学習中のプランニングとナビゲーションという二種類のタスクをシームレスに支援することが可能である。また、ケーススタディの結果、特に構造が複雑なハイパー空間において、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ことができることを確認している [柏原 02]。

しかしながら、一般に公開されている Web ページには一つのページに複数のトピックが記述されていることが少なくない。このため、プランニングタスクを学習者が適切に実行するためには、支援環境における学習者の操作対象となるプレビューをどのように生成・利用するかが重要な問題となる。ここで、PlanningAssistant において学習者が行ったプランニングサブタスクの系列、特にプランニング目標設定タスク及びナビゲーションパスプラン設定タスクの実行系列をプランニング文脈と呼ぶことにすると、プランニング目標を設定するために選択されたページのタイトル及びプレビュー情報、パスプランを設定するために選択されたアンカー情報及びプランニングされたページのプレビュー情報の系列を学習者のプランニング時の文脈情報とみなすことができる。これらのことから、プランニング時にプレビューとして見通すべき情報はプランニング文脈情報によって異なったものとなると考えられる。

そこで本研究では、PlanningAssistant の設計思想はそのままに、学習者のメタ認知的活動をより効果的に支援する環境として、プレビューに対する学習者のインタラクションを可能にするとともに、プランニング文脈情報と関連性が高いものを優先して提示できる Advanced Planning Assistant を提案する。以下にその枠組みと提案する機能を示す。

### 3.2 枠 組 み

プランニング目標設定タスクを適応的に支援するために、リソースマップとページプレビューアに加えて、生成されたプレビューに対して、学習者自身が必要な情報をプランニング時にさらに詳細に確認したり、不必要な情報を非表示にするストレッチプレビュー機能を実現する。これにより、プランニング時の学習者の目標をより明確に表現することができる環境を提供できる。

一方、ナビゲーションパスプラン設定タスクに対しては、パスプレビューアでも同様にストレッチプレビュー機能を利用できることに加えて、プランニングプロセスに応じて適応的にパスプラン情報を表示できるアダプティ

ブプレビュー機能を実現する。これにより、プランニング文脈に応じたページ間の意味的な関係の把握が容易になる枠組みを提供する。

Advanced PlanningAssistant は PlanningAssistant と同様、プランニング目標設定タスク及びナビゲーションパスプラン設定タスクを支援し、インタフェースも共通のものとなっている。なお、Advanced Planning Assistant のシステム開発には Microsoft 社 Visual Basic 6.0 を利用しており、Microsoft 社 Internet Explorer 6(IE) と連携して動作する。以下に両支援機能の詳細を述べる。

### 3.3 ストレッチプレビュー

ページプレビューアによって生成されたプレビューはあくまでも HTML タグが表現する文書の論理構造や表示方法を利用した重要情報の推定に基づくものである。しかしながら、特に既存の Web ページを対象とする場合は、リソースの作成者が自由にページを記述することができるため、一つのページに複数のトピックが含まれたり、情報量が多くなる場合があり、すべてのケースで学習者が必要とするプレビューを提供できるとは限らない [松田 02]。このような問題を解決するために、本研究では論理構造を表現できる HTML の特徴を利用して、Web ページを分割し、ページプレビューアにおいて学習者自身が必要な情報を選択することができるストレッチプレビュー機能を開発した。

本機能は図 3 に示すように、HTML で書かれたページを Heading タグに基づき階層構造に分割し、ページプレビューアまたはパスプレビューアによって生成された概要情報をストレッチテキスト形式で表示する。ここで、分割された部分をセクションと呼ぶことにすると、学習者はプランニング中にプレビュー画面の”+”をクリックすることによって、Heading 情報の場合はその情報を中心とするセクションに含まれる概要情報及び下位セクションの Heading 情報が表示でき、それ以外の概要情報の場合は、そのタグに含まれる詳細情報(すべての文字列)を表示できる。反対に、”-”をクリックすると、Heading 情報の場合はその情報を中心とするセクションに含まれる概要情報を非表示とし、それ以外の詳細情報の場合は概要情報(先頭から数文字)を表示する。

プランニング目標設定タスクにおいては、プランニング目標を達成するために、局所的なプランニング目標(プランニングサブ目標)を立て、それを達成することができるページを見つけるためにパスプランの選択を行うといった過程を繰り返して、プランニングを進めていくものと考えられる。こうした活動においては、始点ページから終点ページをプランニングする間にプランニングサブ目標を明確にしなければならないこともしばしば起こる。このことからストレッチプレビュー機能は、目標を持ってプランニングを行う場面で、プランニング中に変化するサブ目標をプレビューに反映することが出来るツール

であると言える。

### 3.4 アダプティブプレビュー

アダプティブプレビューは、パスプレビューにおいてプレビューを生成する際に、プランニング時の文脈情報との関連性が高いものを優先して表示することによって、より効果的なプレビューを提供する機能を実現したものである。

通常、学習者はハイパー空間においてリンクによって関係付けられた多数の選択肢の中から、リンクのアンカー情報をもとに学習目標の達成に必要なページかどうかを判断しながら、ページの選択を行う。同様に、ナビゲーションパスプラン設定タスク支援環境において学習者は、リンクのアンカー情報に基づいてパスプランを作成するためにページの選択を行う。つまり、アンカー情報は学習者がナビゲーションパスプラン設定タスクを実行する際、次にたどるべきページを決めるためのプリミティブなプランニング文脈情報であり、図4に示すように、たとえ同じページをナビゲーションする場合でも、異なるページの異なるアンカーからナビゲーションした場合には、そのアンカー情報を反映した概要情報を生成すべきである。そこで本研究では、3.3節で述べたHTMLの論理構造を利用したセクション分割をベースに、アンカー情報との関連性が高いものを優先的に表示する方法をとっている。

具体的には、学習者のプランニング過程におけるキー

ワードの重要度を以下の式に基づいて表現し、この重要度に基づきプレビューの中でセクションの重要度を順位付け、重要度の高いセクションを中心に表示する。なお本研究では、漢字、カタカナ、アルファベットの4文字以上連続した列を一つのキーワードとみなし、それぞれのページから抽出している。

$$KI(i) = \sum_{l=1}^{m-1} KI_l(i)$$

$$KI_l(i) = (ApA_l(i) + BpB_l(i) + SpS_l(i))/2^{m-l}$$

$KI(i)$ : プレビュー  $m$  のキーワード  $i$  の重要度

$KI_l(i)$ : プレビュー  $l$  単体のキーワード  $i$  の重要度

$Ap$ : アンカーポイント (デフォルト値: 10)

$A_l(i)$ : プレビュー  $l$  で選択されたアンカーに含まれるキーワード  $i$  の個数

$Bp$ : 関連キーワード (選択されたアンカーが存在するセクションに含まれるキーワード) ポイント (デフォルト値: 1)

$B_l(i)$ : プレビュー  $l$  の関連キーワード  $i$  の個数

$Sp$ : ストレッチキーワード (ストレッチプレビューで明示的に表示された情報に含まれるキーワード) ポイント (デフォルト値: 2)

$S_l(i)$ : プレビュー  $l$  のストレッチキーワード  $i$  の個数

このため、プランニング文脈を反映することによって、図4上部に示すように同じページCに対してページAからのパスプラン(1)とページBからのパスプラン(2)におけるページCのプレビューは異なるものとなる。例えば、アンカーがプレビューAのように「ネットワークシステムの情報セキュリティ」だった場合には、「ネットワークシステム」「セキュリティ」を含むセクションがプランニング文脈と関連性が強いと判断され、プレビューC-1のように優先表示される。一方、アンカーがプレビューBのように「不正行為」の場合には、「不正行為」を含むセクションがプランニング文脈と関連性が強いと判断され、プレビューC-2のように優先的に表示されることになる。また、リンクリストについても、この重要度を利用してプランニング文脈と関連性の強いアンカーを上位に表示している。

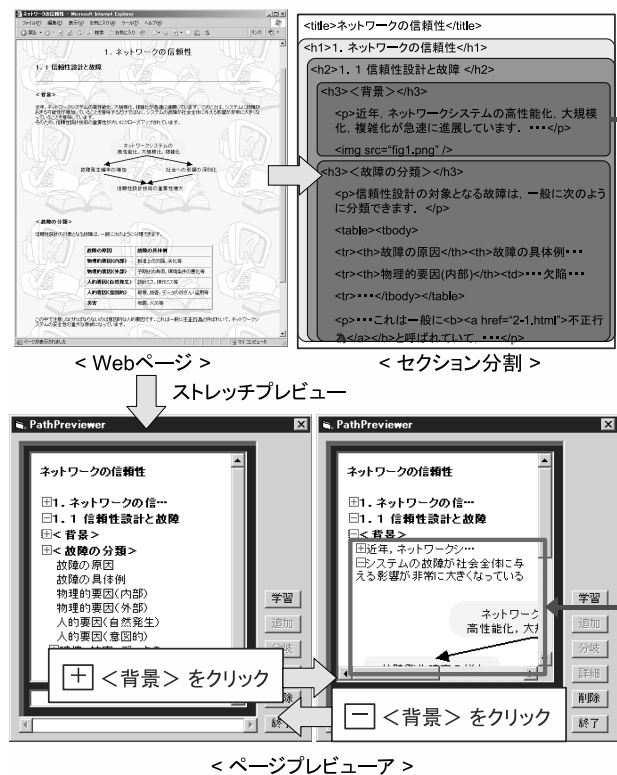


図3 ストレッチプレビューの例

## 4. ケーススタディ

### 4.1 目的・方針

本ケーススタディの目的は、学習者のナビゲーションプランニング文脈を反映した適応的な支援機能が主体的学習におけるプランニング及びナビゲーションにどのような影響を与えるかについて検証することにある。ここでは、従来のプレビューの利用 (*Normal*)、適応的なプレビューの利用 (*Adaptive*)、被験者によるインタラクション可能なプレビューの利用 (*Stretch*, ただし機能としては3.3節ストレッチプレビュー機能, 3.4節アダプティブプレビュー機能の両方を提供したもの) の三条件



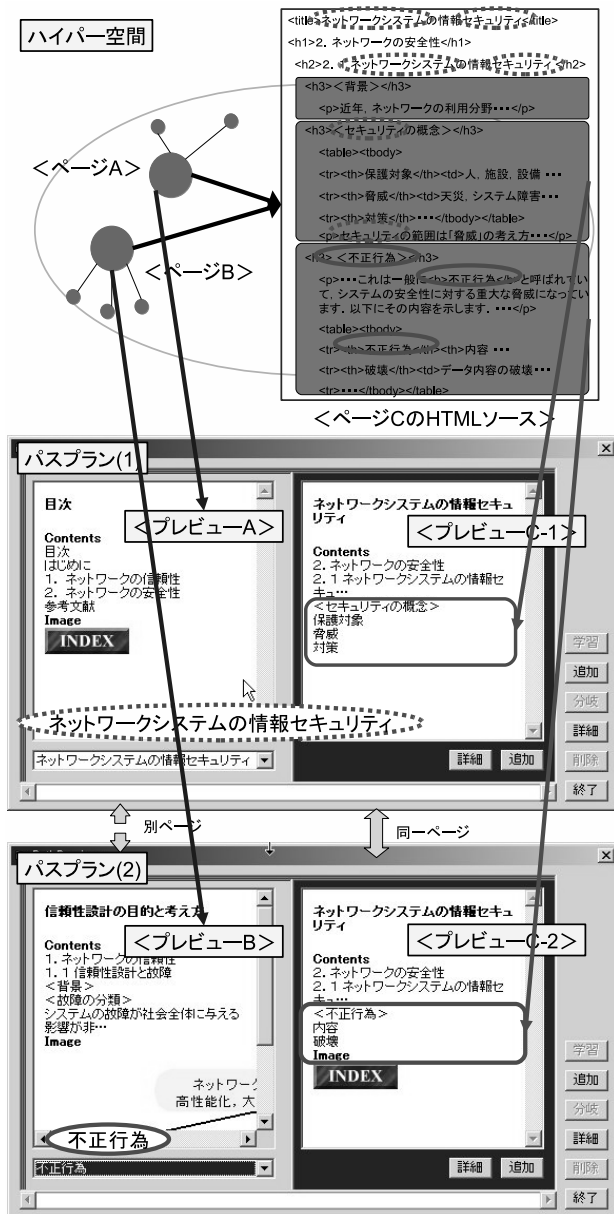


図 4 アダプティブプレビューの例

のもと、ある学習目的を達成するためのプランニングとナビゲーションを行い、その達成率及び適合率を比較することにより、支援手法の効果を調査した。

## 4.2 計画

### §1 条件・手順

各被験者は *Normal*, *Adaptive*, *Stretch* の三条件において、それぞれ異なる学習リソース上でプランニング及びナビゲーションを行う被験者内計画のケーススタディタスクを、以下の手順で実施した。

- (1) 割り当てられた条件の支援システムを利用して与えられた問題に解答するためのナビゲーションプランニングを行う。
- (2) 作成したプランに基づき、実際の Web ページ

をナビゲーションしながら解答を行う。ただし、作成したプランの外部をナビゲーションしてもよいこととする。

- (3) 問題の解答を終えたと学習者が自己申告した場合、あるいは 10 分間の制限時間を経過した場合はナビゲーションを終了したとみなし次の問題に進む。

それぞれの条件における学習目的として各被験者には三問の問題が出題され、各 10 分間の制限時間の中でプランニング、ナビゲーション、解答を行った。また、本実験では、学習すべき内容を記憶するのではなく、ナビゲーションの結果有効な情報を見つけることができたかどうかを重視する立場から、問題の解答にあたっては被験者が解答に当たると考える部分を Web ページからコピー & ペーストすることによって解答させた。なお、それぞれの問題に対する正解は複数のページに分散して記述されており、解答にあたってはそれらのページの内容を関係付けて答える必要があるものとした。例えば、「ゴミの処理過程における汚染環境のうち焼却過程で発生する化学物質について示せ。また、これが原因で問題となっている三種類の汚染の名称とその対策について示せ。」という問題に対しては、「ダイオキシン」について書かれたページを中心にナビゲーションを行い、5 つのページに分散して記述された内容をコピー & ペーストすることになる。この際、プランニングによって問題解決の手がかりは得られるものの、問題の答えそのものを見つけて解答するためには Web ページを実際にナビゲーションすることが必要となっている。なお、ケーススタディに使用したシステムは概要情報を生成するためのエンジンは条件により異なるものの、各条件で生成されるページプレビューの情報数は最大 10 個で構成され、文字情報の場合は一情報で最大 10 文字が表示されるように統一した。ただし、Stretch 条件の場合は学習者の操作によってプレビュー情報量の増減を学習者がプランニング中に操作することが可能であった。

### §2 ドメイン・被験者

実験にあたっては、表 2 に示す三種類の学習リソースを用意した。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はほぼ同数であり、プランニング及びナビゲーションに大きな影響を与えるハイパー空間の複雑さは同レベルであると判断した。

被験者としては主体的な学習を十分に行うことが出来る学習者として 18 名の理工系大学生・大学院生を選んだ。なお、今回のケーススタディでは、実験を試行する順序が被験者に影響を与えることが考えられるため、三条件の順序及び学習リソースに関してはカウンターバランスを考慮して、各被験者に割り当てた。なお、実験前にはシステムの利用方法の説明を兼ねて、「情報科学の基礎知識」に関するリソースにおいて 30 分間の練習問題を与えた。



表 2 ケーススタディに利用したリソース

タイトル	ページ数	リンク数
エジプトの地理と歴史	50	234
天文学入門	50	280
地球環境問題	50	232

表 3 ページナビゲーションに関する実験結果

Page	Normal	Adaptive	Stretch
Recall	45.7%	55.8%	57.2%
Precision	30.0%	37.2%	39.2%
Average	12.4pages	11.8pages	7.4pages

#### 4.3 結 果

ナビゲーション及びプランニングの効果を観測するため、ページ、パスプラン、キーワードの三つのレベルに対して、ケーススタディタスクの達成率 (*Recall*) 及び適合率 (*Precision*) の観点から分析した。表 3 に被験者がナビゲーションプランニング後に行ったページナビゲーションに関する実験結果を示す。まず、ページ達成率 (*PageRecall*) とは、正解ページ全体に対して被験者が解答したページに含まれる正解ページの割合であり、ページ適合率 (*PagePrecision*) は、被験者がナビゲーションしたページ全体に対して被験者が解答したページに含まれる正解ページの割合を示す。これらの指標が高ければ、ナビゲーションプロセスにおいてより効果的な活動ができたと考えることができる。また、*PageAverage* は被験者が一問につきナビゲーションした平均ページ数である。分散分析の結果、*PageRecall* 及び *PageAverage* には有意な差が見られたため (*PageRecall* については  $F = 3.10, p < .05$ , *PageAverage* については  $F = 4.78, p < .05$ ), LSD 法を用いた多重比較を行った。その結果、*PageRecall* は  $Normal < Adaptive = Stretch$  ( $MSe = 0.069$ , 5% 水準), *PageAverage* は  $Normal = Adaptive < Stretch$  ( $MSe = 87.4$ , 5% 水準) となった。

表 4 に被験者が作成したパスプランに関連する実験結果を示す。パス達成率 (*PathRecall*) は、正解ページ全体に対して被験者が生成したパスプランに含まれる正解ページの割合であり、パス適合率 (*PathPrecision*) は、被験者がプランニングしたパスプラン全体に対してそのパスプランに含まれる正解ページの割合を示す。この指標が高ければ、プランニングプロセスにおいてより効果的なパスプランの作成ができたと考えることができる。なお、*PathAverage* は被験者が一問につき作成したパスプランの平均の長さであり、*PlanTime* は被験者がプランニングにかけた時間の平均である。分散分析の結果、*PathRecall* については有意な差が見られたため ( $F = 3.09, p < .05$ ), LSD 法を用いた多重比較を行った結果、その大小関係は  $Normal < Adaptive$  ( $MSe = 0.087$ , 5% 水準) であった。

最後に表 5 に被験者が作成したパスプランに含まれる

表 4 ナビゲーションプランニングに関する実験結果

Path	Normal	Adaptive	Stretch
Recall	37.8%	51.5%	47.3%
Precision	29.1%	38.2%	38.1%
Average	5.2pages	5.8pages	5.3pages
PlanTime	5 : 14	4 : 41	5 : 25

表 5 パスプランに含まれるキーワードに関する実験結果

AnswerKeyword	Normal	Adaptive	Stretch
Recall	17.9%	22.6%	31.5%
Precision	39.7%	43.1%	38.5%
SubjectKeyword	Normal	Adaptive	Stretch
Recall	22.4%	25.2%	35.7%
Precision	27.6%	33.1%	30.1%

キーワードに関する実験結果を示す。ここでは、模範解答に含まれる全キーワードに対するパスプランに含まれる模範解答のキーワードの割合を示す正解キーワード達成率 (*Answer Keyword Recall*), 被験者が作成したパスプランに含まれる全キーワードに対するパスプランに含まれる模範解答のキーワードの割合を示す正解キーワード適合率 (*Answer Keyword Precision*) に加えて、被験者の解答に含まれる全キーワードに対するパスプランに含まれる模範解答のキーワードの割合を示した被験者キーワード達成率 (*Subject Keyword Recall*) 及び被験者が作成したパスプランに含まれる全キーワードに対するパスプランに含まれる被験者の解答のキーワードの割合を示す、被験者キーワード適合率 (*Subject Keyword Precision*) を用いた。前者は正解に含まれる情報をどの程度パスプランで表現できているかを示し、後者は被験者の解答にパスプランの情報がどの程度寄与しているかを示すことができる。分散分析の結果、*Answer Keyword Recall* 及び *Subject Keyword Recall* には有意な差が見られたため (*Answer Keyword Recall* については  $F = 9.41, p < .01$ , *Subject Keyword Recall* については  $F = 6.20, p < .01$ ), LSD 法を用いた多重比較を行い、*Answer Keyword Recall* は  $Normal = Adaptive < Stretch$  ( $MSe = 0.027$ , 5% 水準), *Subject Keyword Recall* についても同様に、 $Normal = Adaptive < Stretch$  ( $MSe = 0.043$ , 5% 水準) となった。なお、*Stretch* 条件における各問題でのストレッチ機能の利用回数の平均は 10.6 回だった。

以上の結果から、表 2 に示した 3 つの学習リソースに限定すれば、適応的な概要生成手法がナビゲーション及びプランニングにおいてケーススタディタスクの達成度を高めることに貢献することが検証されたことになる。それぞれの実験結果に関する詳細な考察は次節で詳述する。

#### 4.4 考 察

柏原ら [柏原 02] により, 本実験で利用した *Normal* 条件に基づくナビゲーションプランニング支援の有効性は示されているため, 本節では, 今回の実験結果に基づいて, 適応的な概要生成手法を利用したナビゲーションプランニング支援の有効性を *Normal* 条件と比較することによって検討する. 特に, 実際のナビゲーションに対する効果及びプランニングによる問題解決のための見通しの提供という点から議論する.

##### §1 ナビゲーションに対する影響

表 3 の結果より, ナビゲーション支援の観点からは *Normal* 条件と比較すると, *Adaptive* 条件と *Stretch* 条件の双方が効果的であったことがわかる. *Normal* と *Adaptive* の差については, *Page Average* や表 4 の *Path Average* がほぼ同数であることから, 両条件のシステムの利用方法はそれほど差がなく, 表 4 の *Path Recall* の差がほぼそのまま観測されたものと考えられる. このことは, プランニングにおけるプレビューの精度の良し悪しがナビゲーションに影響を与えることを示唆するものである. 一方, *Stretch* については, 表 4 の *PlanTime* に有意差が見られなかったにもかかわらず, *Page Average* において *Normal*, *Adaptive* と比較して有意に少ない結果となった. このことは, プランニングを行ったページの近辺で適切に正解ページを見つけることができた結果であり, 適切なプランニング目標の設定がナビゲーションを集約的に行わせることを示唆するものと言える.

また, 表 5 の *Subject Keyword Recall* の値についても, *Stretch* は *Normal*, *Adaptive* に比較して有意に高いことがわかる. ここで対象とする被験者の解答は, 実際に被験者が作成したパスプランに基づいてナビゲートしたページの中から問題の解答として重要な部分を解答欄にコピー & ペーストしたものであり, 問題に対して被験者が学習した内容, すなわち被験者の問題に対する最終的な意図を示すものであると考えられる. つまり, *Subject Keyword Recall* の結果は, *Stretch* 条件において, プランニング時に被験者の意図をより詳しく表現することができることを示すものであると言える. このことは, *Normal* 及び *Adaptive* 条件において, プランニングにおける被験者の意図を反映できる部分がパスプランに採用するページの選択のみであることに対して, *Stretch* 条件ではパスプラン内部のそれぞれのプレビューに対しても被験者の意図を反映できることが大きな要因であると考えられる.

##### §2 プランニングに対する影響

表 4 の結果より, メタ認知的活動であるプランニングを効率よく支援する上では, *Adaptive* 条件が最も効果的であったことがわかる. これはやはり, *Normal* と比較して被験者のプランニング過程に適応したプレビューが生成されたことが, 正解ページをパスプランとして採用する上で効果的であったと考えられる. 一方, *Stretch* はプレ

ビューに対して被験者が操作を行い, さらに詳細な情報を表示したり, 不要な情報を非表示とすることによって, よりプランニング過程に適応したプレビューを生成するものである. このように生成されたプレビューそのものは表 5 の *Answer Keyword Recall* の値が *Normal*, *Adaptive* と比較して有意に高いという結果から, 被験者が作成したパスプランには模範解答に含まれるキーワードが多く含まれていたことがわかる. しかしながら, *Stretch* 条件は表 4 においては他の条件に対して有意差は見られなかった. まず, *Path Average* 及び *PlanTime* に他条件との有意差が見られなかったことから, ストレッチ操作によるプランニングプロセスの被験者の作業量の増加はそれほど大きな影響を与えなかったものと考えられる. むしろ, *Stretch* 条件では表 3 で示される通り, 少ないページナビゲーションで *Adaptive* 条件と同等数の正解ページに到達することができていることに注目すると, *Stretch* 条件で作成されたパスプランの近傍 (ナビゲーションしやすい形) に正解ページが存在していたことを示唆するものであり, プレビューの情報量の増加が, 正解ページそのものではなく, 正解ページ周辺でかつ関連キーワードの多いページをプランニングするという現象につながったものと考えられる.

ここまでの議論を総括すると, 適応的な概要生成手法を利用したナビゲーションプランニング支援は主体的学習支援として十分に有効であり, *Adaptive* 条件はプランニング過程を効果的に支援し, *Stretch* 条件はプランニング過程での被験者の作業量は多くなるものの, ナビゲーション過程において学習をより集約的に進めることを支援することができると言える. また, 本システムの適用範囲については, 筆者らが行った先行研究において, 単純なハイパー空間と比較して複雑なハイパー空間においてプランニングの効果が見られたこと [柏原 02] を考慮すると, 手続き的知識の学習のような学習順序の自由度が低い学習課題よりも, 学習順序が一定でない Open-ended な課題や, 問題解決タスクにおいて複数の手続き的知識を組み合わせて解決する課題のような学習順序の自由度が高い学習課題においてより効果が期待できるものと言える.

## 5. ま と め

本稿では, Web 上の既存の学習リソースを利用し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メタ認知的活動に当たるプランニングを促進する重要性について述べ, 適応的な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た従来手法を踏まえ, 学習者自身によるナビゲーションパスプランの作成を適応的に支援する点にある. こうした支援環境を提供することによ

り、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可能となるため、学習を促進することが期待できる。加えて、学習者にプランニングを意識的に行わせることにより、その積み重ねがプランニング能力を向上させるきっかけとなることも期待される。

さらに本稿では、提案する支援手法を実現するシステム Advanced Planning Assistant についても詳述した。本支援システムは、ハイパー空間の全体像をリソースマップとして与えるとともに、学習者がマップ上で選択したページやパスプラン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を提供し、学習者のプランニング過程に応じた支援を実現するストレッチプレビュー機能とアダプティブプレビュー機能を実装して、パスプランの見通しを立てることを支援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、ストレッチプレビュー機能とアダプティブプレビュー機能が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。

本研究では、学習者の主体性を重視したナビゲーションプランニング支援環境を提案しているが、初めてプランニングを行う学習者やまったく新しいドメインに取り組む学習者にとっては、プランニングそのものが必ずしも容易ではないと思われる。そこで今後は、教師や他の学習者が作成したパスプランを学習コミュニティで共有することによって、他者のパスプランを修正しながら自身のナビゲーションプランニングを進めることを可能にする枠組みへの拡張が必要となる。また、本支援環境は学習リソースに限定したナビゲーション支援を実現したが、実際の Web を利用した学習では、様々な観点から記述された数多くの学習リソースを横断的に利用して、学習者が主体的に学習を進めることも本質的な特徴と言える。こうしたリソースの横断（リソースナビゲーション）を伴う膨大なハイパー空間を対象とする場合には、学習すべきパスプランの候補が爆発的に増加するため、リソースナビゲーションに対応したプランニングタスクモデル及び支援機能の拡張が不可欠である。これに加えて、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し、本支援手法を洗練することも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どの程度貢献するかについて調査したいと考えている。

謝 辞

本研究の一部は、文部科学省科学研究費若手研究 B(#15700507) による。

## ◇ 参 考 文 献 ◇

- [Ausubel 61] Ausubel, D. P. and Fitzgerald, D.: The role of discriminability in meaningful verbal learning and retention, *Journal of Educational Psychology*, 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)
- [Domel 94] Domel, P.: Web Map - A Graphical Hypertext Navigation Tool, *Proc. of Second International WWW Conference*, pp.785-789 (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 Fourth International WWW Conference* (1995)
- [Hasegawa 04] Hasegawa, S., and Kashihara, A.: Designing Navigation Path Planning Environment with Planning Task Analysis, *Proc. of World Conference on Educational Multimedia, Hypermedia, and Telecommunications (ED-MEDIA2004)*, pp.1796-1803 (2004)
- [長谷川 05] 長谷川忍, 柏原昭博: ナビゲーションパスプランニングの適応的支援の評価, *人工知能学会研究会資料 SIG-ALST-A502-05*, pp.29-34 (2005)
- [Hubscher 01] Hubscher, R., Puntambekar, S.: Navigation Support for Learners in Hypertext Systems: Is More Indeed Better?, in *Artificial Intelligence in Education: AI-ED in the Wired and Wireless Future*, pp.13-20 (2001)
- [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, *人工知能学会会誌*, Vol.17, No.4, pp.510-520 (2002)
- [Kashihara 05] Kashihara, A., and Hasegawa, S.: A Model of Meta-Learning for Web-based Navigational Learning, *International Journal of Advanced Technology for Learning*, Vol.2, No.4, ACTA Press, pp.198-206 (2005)
- [Kopetzky 99] Kopetzky, T., and Muhlhauser, M.: Visual Preview for Link Traversal on the WWW, *Proc. of Eighth International WWW Conference*, pp.447-454 (1999).
- [松田 02] 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 pp.175-183 (2002)
- [文部省 98] 文部省:教育改革プログラム (1998)
- [Thuring 95] Thuring, M., Hannemann, J., and Haake, J.M.: Hypermedia and Cognition: Designing for Comprehension, *Communication of the ACM*, 38, 8, ACM Press, pp.57-66 (1995)
- [W3C 99] W3C: HTML 4.01 Specification, <http://www.w3.org/TR/REC-html40/> (1999)

〔担当委員：三輪 和久〕

2005 年 12 月 13 日 受理

## 著 者 紹 介



長谷川 忍(正会員)

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。2004 年同大学遠隔教育研究センター助教授。博士(工学)。遠隔教育・学習環境の研究・開発・企画・運用全般、特にハイパーメディアの教育・学習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、AACE、電子情報通信学会、教育工学会、教育システム情報学会各会員。





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。同講師・助教授を経て、2003年電気通信大学情報通信工学科助教授。1996年～1997年、ドイツ GMD-FIT 客員研究員。博士(工学)。学習プロセスのモデル化に興味を持ち、Learning Creation 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、AAACE、電子情報通信学会、情報処理学会、教育工学会、教育システム情報学会各会員。