

Title	WWWにおける学習リソースのローカルインデクシング支援
Author(s)	長谷川, 忍; 柏原, 昭博; 豊田, 順一
Citation	電子情報通信学会論文誌 D, J84-D1(12): 1648-1658
Issue Date	2001-12-01
Type	Journal Article
Text version	publisher
URL	http://hdl.handle.net/10119/4671
Rights	Copyright (C)2001 IEICE. 長谷川忍, 柏原昭博, 豊田順一, 電子情報通信学会論文誌 D, J84-D1(12), 2001, 1648-1658. http://www.ieice.org/jpn/trans_online/
Description	

WWW における学習リソースのローカルインデクシング支援

長谷川 忍[†] 柏原 昭博[†] 豊田 順一[†]

A Local Indexing for Learning Resources on WWW

Shinobu HASEGAWA[†], Akihiro KASHIHARA[†], and Jun'ichi TOYODA[†]

あらまし 近年のインターネットの急速な普及に伴い、World Wide Web によって提供される学習リソースが増加してきており、学校教育だけでなく生涯学習、遠隔学習などにおいても利用される機会が今後ますます増えていくものと考えられる。しかしながら、WWW には既に膨大な数のリソースが存在しており、しかもリソースの特徴が不明確であることが多いため、学習者が自分の目的にあったリソースを選択して学習を進めることは非常に難しいのが現状である。そこで本研究では、従来から利用されている“何を”学習できるのかを表すインデックスに加えて、“どのような”学習に向いているのかを表すインデックスを用いて、リソースデータベースを構築する方法を提案している。本論文ではデータベースを構築する際に重要となる、既存の学習リソースに対するインデックス付けの方法として、個々の教師がそれぞれの見方で行うインデックス付けをローカルインデクシングと呼び、それを支援する枠組みを提案する。更に、今回開発したローカルインデクシング支援手法が有効に機能する可能性を調べる予備的な実験を行い、その結果、本支援手法の有効性が示唆された。

キーワード WWW, 学習リソース, リソースインデックス, リソースデータベース, ローカルインデクシング

1. ま え が き

近年のインターネットの急速な普及に伴い、World Wide Web(WWW) で提供される情報は著しく増加している。これらの中には学習や教育向けに作成されたホームページ(学習リソースと呼ぶ)が数多く存在しており、学校教育だけでなく生涯学習、遠隔学習などにおいて利用される機会が今後ますます増えるものと予想される。こうした状況の中で WWW は、単なる学習リソース作成・利用のためのプラットフォームではなく、従来の学習・教育環境における時間的・空間的な制約を軽減し、今後のネットワーク社会における新しい学習・教育環境を実現する、必要不可欠な基盤となりつつある。また、それと同時に、WWW 上の既存の学習リソースを効果的に利用するための支援の必要性が高まってきている [1]。

WWW の学習リソースは多くの場合、ページ及びページ間の関係をリンクとするハイパ空間と呼ばれるネットワーク構造をなす。このため、学習者は自らの

学習目的に応じて適切な学習リソースを選択し、そのリソースが提供するハイパ空間上で必要な情報を主体的に収集・再構成することによって、効果的に学習を進めることができる [2]。特に、ある学習トピックに対しても複数の作成者によって異なる視点から記述されたリソースが多数存在するため、それらを適切に選択して利用することによって学習者はそのトピックに対する理解をよりいっそう深めることが可能である。このことは WWW における既存のリソースを用いて学習する際の大きな利点である [3]。

しかしながら、WWW に存在するリソースの数は膨大であることに加え、「何を学習できるのか」、「どのような学習に向いているのか」などといったリソースの特徴が明記されていない場合が多いため、学習者が自分の目的にあったリソースを選択することは非常に難しくなっている。このような状況のもとで、学習者のリソース選択を支援することは、重要な研究課題であるといえる [4]。

以上のような観点から本研究ではこれまでに、WWW における既存の学習リソースの特徴を明記したインデックス(リソースインデックス)によって、学習者のリソース選択を支援する手法を提案してい

[†] 大阪大学産業科学研究所, 茨木市
The Institute of Scientific and Industrial Research, Osaka
University, 8-1 Mihogaoka, Ibaraki-shi, 567-0047 Japan

る [5]。本手法の特徴は、「学年」や「教科・単元」などといった、リソースで「何を学習できるか」を表す学習対象に関連するインデックスだけでなく、「どのような学習に向いているか」を表す学び方に関連するインデックスをも考慮している点にある。

本論文ではこれらのリソースインデックスを用いて学習リソースデータベースを実際に構築することを目的として、WWW の既存の学習リソースに対して、どのようにインデックス付け（リソースインデクシング）を行うかについての問題を取り扱う。理想的には、収集したリソースに対して利用者間で共有できるインデクシングを行うことが望ましいが、不特定多数の学習者が共有できるインデックスを付けることは非常に難しい [6]。本研究ではこうした問題に対する一つの解決方法として、個々の教師・インストラクタが特定の学習者を想定して行うインデクシングをローカルインデクシングと呼び、それを支援する枠組みを提案する。

通常、教師やインストラクタがインデクシングを行うためには、学習リソースが提供するハイパ空間の構成やその内容を詳細に調べることが必要となる。しかしながら、数多くのリソースに対してそれらの作業を行うことは、時間的制約の面から見ても、インデクシングの一貫性という面から見ても非常に難しいと思われる。そこで本研究では、簡便にかつ一貫した観点からのインデクシングを可能にするために、リソースが提供するハイパ空間の構造及び学習支援機能に関するチェックリストを教師に提供し、その評価をもとにリソースに付加すべきインデックスを推定する、ローカルインデクシング支援システムの開発を目指している。

本論文では、まず学習リソースの選択に必要なリソースインデックスについて説明するとともに、ローカルインデクシングの枠組み及びその支援手法について論じる。また、今回開発したローカルインデクシング支援手法が有効に機能する可能性を調べるために行った予備的な実験について述べる。この実験では、それぞれの教師やインストラクタが所望するインデクシングが可能であることを示すために、被験者がシステムを利用して付けたインデックスと、詳細にリソースを調べた上で主観的に付けたインデックスとの比較を行った。その結果、システムによるインデックスと主観によるインデックスはおおむね一致し、本手法の有効性が示唆された。

2. 学習リソースインデックス

2.1 WWW の学習リソースを利用した学習

本研究では、WWW の単一サイト内で、あるトピックの学習向けに記述されたホームページを学習リソースと呼ぶ。学習リソースは多くの場合、複数のページがネットワーク構造をなすハイパ空間と呼ばれる学習空間を学習者に提供する。

このようなリソースは、教科書のように内容が充実したリソースだけでなく、個人が発信した比較的小規模なリソースなども存在し、“こねっと goo [7]” などといった、学習リソースを収集したサイト（学習リソースリンク集）において数多く見つけることができる。本論文では、これらの学習リソースから、学習者が自らの学習目的に応じて適切なリソースを選択し、リソースが提供するハイパ空間で主体的に必要な情報を収集・再構成するような学習を対象としている。

WWW に存在するこうした学習リソースの中には一つのトピックについても、基本的な知識や概念の獲得に向いているリソース、図や例などによって理解を深めるのに役立つリソース、演習問題によって知識の定着を促すリソースなどといった多種多様なリソースが存在しており、学習者はリソースを適切に選択することによって、そのトピックに対して「新しい知識や概念を獲得する」、「問題を解くことによって知識の定着を図る」などといったいくつかの段階で学習を深めていくことができる。しかしながら、既存の学習リソースにはこうしたリソースの特徴が明記されていない場合が多いため、そのトピックに関連する数多くのリソースの中から、学習者が適切なものを選択することは非常に難しいのが現状である [3]。

2.2 リソース選択支援のアプローチ

WWW における学習リソースの選択支援については、これまでも数多くの研究が行われているが、リソースの設計を支援することによって、より効果的な選択支援を目指すアプローチ ([8], [9] など) と既存のリソースを収集・分類・整理することによって、より適切な選択支援を目指すアプローチに大別できる [5]。後者のアプローチは、リソースの内容をシステムに把握させることが難しいため、学習者の学習状態をとらえながら選択支援を行うことは容易ではない。しかしながら、WWW で学習向けのリソースが増え続けている現状ではこのようなアプローチは重要かつ実用的であると考えられるため、本研究でも同様のアプロー

チをとっている。

既に WWW では、学習リソースが対象としている「学年」や「教科・単元」などを主な分類基準（インデックス）としてリソースを収集・分類している学習リソースリンク集が存在する（[7],[10] など）。このため、学習者はリソースを選択する際に、それぞれのリソースを利用して「何を学習できるか」という情報をあらかじめ知ることができる。しかしながら、前節で述べたように、同一トピックに多種多様なリソースが存在する場合には、「どのような学習に向いているか」といった情報が不足しているために、学習者が期待している学び方で学習できないことがしばしば起こり得る。

2.3 リソースインデックス

これらの問題を考慮して本研究では表 1 に示すような、従来から利用されている学習対象（「何を学習できるか」）に関連する“what to learn”インデックス（以後、WTL インデックスと略す）に、学び方（「どのような学習に向いているか」）に関連する“how to learn”インデックス（以後、HTL インデックスと略す）を加え、これらを適切なリソース選択に必要なインデックスとして既存のリソースを分類・整理することを提案している[5]。以下では本論文で取り扱う HTL インデックスの中でも最も重要である「学習フェイズ」について説明する。

一般に、ある学習トピックについて学ぶ場合には、新しい知識や概念を獲得したり、それらに対する理解を深めたり、問題解決に応用するなど、いくつかの段階（以後、学習フェイズと呼ぶ）を想定することがで

きる。また、リソースの作成者は明示的あるいは暗黙的にこれらのフェイズを想定してリソースを設計するものと考えられる。このため、学習者がどのようなフェイズの達成を目的とするかによって、学習に適したリソースは異なったものとなる。そこで本研究では、リソースがどの「学習フェイズ」の達成に向いているかということ、HTL インデックスとして取り扱う。現在のところ「学習フェイズ」としては Bloom の理論[11]に基づき、「獲得」: 新しい知識や概念を獲得する段階、「理解」: 獲得した知識や概念の理解を深める段階、「定着」: 問題解決などによって知識・概念の定着を図る段階、の 3 段階を挙げている。

2.4 リソースデータベース構築とその問題点

本研究では、表 1 に示すインデックスを用いて WWW の学習リソースを特徴づけることによって、学習リソースデータベースの構築を目指す。図 1 に示すように、まずリソースは WTL インデックスで分類され、次に HTL インデックスで分類される。HTL インデックスでは、まず学習フェイズによってリソースが分類され、更に、動画や音声などといったリソースの内容を表現するメディアタイプや、シミュレーション環境における双方向性などといったリソースが学習者に提供するコミュニケーションタイプが、各リソースの属性として利用される。このような方針のもとでリソースデータベースを構築することにより、同一トピック内に多数のリソースが存在している場合には、「学習フェイズ」によって更に分類され、同じフェイズをもつリソースが複数ある場合も「メディアタイプ」、「コミュニケーションタイプ」によって更に分類されることになる。なお、一つのリソースに必ずしも一つの

表 1 リソースインデックス
Table 1 Resource index.

WTL Index	Academic Year	
	Subject	
HTL Index	Learning Unit	
	Learning Phase	Accretion Understanding Stabilization
	Media Type	Text Only Graphics Animations Sounds Simulations E-Mails BBS, Chat Others
Communication Type	High Immediacy High Interactivity Questions and Answers	

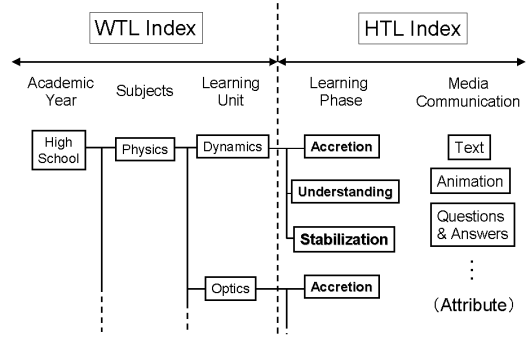


図 1 インデックスの階層
Fig. 1 Hierarchy of indexes.

フェイズが対応しているわけではなく、複数のフェイズで利用可能なリソースも数多く存在する。筆者らはこれまでに、ある学習トピックに対する理解を段階的に深めさせることを目的として、HTL インデックスを利用して順次学ぶべきリソースを推薦するリソースナビゲーション支援手法を開発しており、同一トピックに存在する多数のリソースの中から適切なリソースを選択する際に HTL インデックスが有用であることを確認している [5]。

本研究で構築を目指しているリソースデータベースは、WWW の既存の学習リソースを対象にリソース選択を支援しようとする点が大きな特徴となっている。このため、実際にリソースデータベースを構築する際には、既存のリソースをどのように収集し、収集したリソースに対してどのようにインデックス付けを行うかということが大きな問題となる。本論文では、後者の「いかにインデクシングを行うか」という問題を取り扱う。なお、リソースの収集に関しては、リソース作成者自身に登録を促すとともに、既に公開されている様々な学習リソースリンク集を参照するというアプローチをとっている。

次章では、個々の教師・インストラクタが、想定する学習者のリソース選択を容易にすることをねらいとして行うインデクシングを支援する枠組み、システムについて論じる。

3. ローカルインデクシング手法

3.1 ローカルインデクシングの必要性とその特徴

本論文では、既存の学習リソースの中で取り扱われているドメイン（教材内容）について十分な知識をもっている教師やインストラクタが、特定の学習者や学習目的を想定して、学習リソースにリソースインデックスを付加し、リソースデータベースに登録する作業をローカルインデクシングと呼んでいる。

これまでに述べてきたように、大多数の学習リソースではリソースインデックスに関する明確な記述がなされていないため、リソースデータベースの構築は利用者側で行う必要がある。しかしながら、従来から利用されている学年や教科などといった WTL インデックスについては利用者間で共有可能であるが、HTL インデックス、特に学習フェイズについてはどのような学習者が利用するかによって大きく異なるものであると考えられるため、利用者間で合意をしながら一意に決定、共有することは非常に困難である。したがって、

ローカルインデクシング支援では、リソース作成者による登録や公開されている学習リソースリンク集からリソースをあらかじめ収集して、WTL インデックスで分類したデータベースを準備しておき、その上で個々の教師やインストラクタが学習者を想定しながら、各リソースに対して適切な HTL インデックスを付けてデータベースを再構成する方法をとっている [6]。このため、ローカルインデクシングは想定された学習者に対してのみ有効であり、異なる教師がインデクシングを行えば、同一のリソースに対して異なるインデックスが付けられることも起こり得る。こうした観点から、本論文では教師間で同一のインデックスを付けるかどうかについては問題とせず、個々の教師が学習者を想定しながら、適切な HTL インデックスを付けるための支援手法について検討する。

3.2 アプローチ

ローカルインデクシングを行う場合、HTL インデックスのうち、メディアタイプ・コミュニケーションタイプに関しては、リソースを簡単に読むことによって、容易にインデクシングを行うことが可能である。しかしながら、学習フェイズのインデクシングについては、リソースの提供するハイパ空間内の各ページ及びページ間の関係を把握しながら、どのフェイズに向いているかを推定しなければならない。このため、多様なリソースに対して一貫した観点からのインデクシングを限られた時間で行うことは非常に難しい作業となる [12]。

このような問題を解決するために本研究では、学習リソースが提供するハイパ空間の構造及び学習支援機能が主にどのような学習フェイズに関与しているかを対応関係として整理することによって、簡便にかつ各リソースに対して一貫した観点から、そのリソースの学習フェイズインデックスを推定する方法を提案する。

3.3 枠組み

上述したアプローチにおいては、学習リソースの構造・機能と学習フェイズとの対応関係をどのように見つけるかが問題となる。通常、リソースの構造・機能は学習者に対して特定の認知負荷（心的作業の量）を適切に負わせるように設計される。例えば、図やアニメーションはわかりにくい知識や知識間の関係を学習者にとらえやすくするように、演習機能はこれまで学んできた知識を適切に適用できるように、などといった意図で設計される。つまり、リソースの構造・機能が異なれば、学習者に適切に負わせようとする認知負

荷も異なったものとなる。

一方、特定の認知負荷はあるフェイズでの学習を促進することにつながるものと考えられる。例えば、現在学習しようとしている内容と既有知識との関係付けを適切に行うことは、その学習内容に対する理解を促進することにつながると考えられる。つまり、学習者に適切に負わせようとしている負荷が予測できれば、促進されるフェイズが推定できることになる [13]。

以上のことを踏まえて本研究では、学習リソースの構造・機能から学習フェイズインデックスを推定するために、学習リソースの構造・機能が主にどの認知負荷に関与するかを整理するとともに、認知負荷が主に関与すると考えられる学習フェイズを整理した。これらの対応関係の整理によって、リソースの構造・機能を調べることによって、リソースが学習者に適切に負わせようとしている負荷を予測することができ、また予測した負荷から想定されているフェイズを推定することができる。

以上のような対応関係については、これまでの関連研究を参考に、理論的な妥当性を考慮しながら整理した。以下では、これらの対応関係について述べる。その前に認知負荷について説明しておく。

3.4 認知負荷

学習リソースが提供するハイパ空間では、学習者は個々の学習項目を単に学習するだけでなく、学習項目間を関係づけることや、学習項目と既有知識（記憶）との関係付けを行うことが重要となる。本研究では Eklund らの議論 [14] に基づき、ハイパ空間における学習で重要であると考えられている 4 種類の認知負荷を取り上げている。また表 2 に示すように、それぞれの負荷は更に細かく分類されている。選択負荷は、学習リソースを構成するあるノードから重要な情報を選択したり、次に学習するノードを選択したりすることに相当する。教材の構造化負荷はノード内に記述された個々の情報を関係づけたり、ノード間の情報を関係づけることに相当する。知識の構造化負荷は、既有知識と現在学習しているノードの内容を関係づけたり、学習してきた知識を実際に適用することに相当する。また、評価負荷は自分の学習状態を自己評価することに相当する [15], [16]。

3.5 対応関係

3.5.1 構造・機能と認知負荷

学習リソースの構造・機能を調べるポイントには、学習リソースの設計方法に関する研究分野で様々なも

表 2 認知負荷の種類
Table 2 Kinds of cognitive load.

Cognitive Load	
Selection	- Selecting necessary information in a page. - Selecting next pages.
Contents-Structuring	- Structuring information in a page. - Integrating between pages.
Knowledge-Structuring	- Integrating information into related knowledge. - Applying knowledge.
Reflection	- Evaluating learning process.

のが挙げられているが [17] ~ [19]、本研究では現在のところ、4 種類の認知負荷にかかわる構造・機能のチェックポイントとして重要であると考えられる 16 項目を挙げている。図 2 の各チェックポイントと認知負荷との対応関係は、例えば、図やアニメーションを適切に利用することによって、教材の構造化を促し [20]、演習機能を提供することによって学んだ知識の構造化を促す [21] などといったように、過去に個別に研究されてきた構造・機能と負荷の関係を、構造・機能の各項目が主にどの負荷を適切に負わせようとしているかという観点から整理したものである。なお、の中には複数の負荷に関与する構造・機能も存在している。例えば、「ノード内の情報量が適切である」という項目は、選択負荷と教材の構造化負荷に関与している。

3.5.2 認知負荷と学習フェイズ

本研究では、Weinstein らの学習過程の認知モデルに関する理論 [22] をもとに、それぞれの認知負荷によってどのフェイズでの学習が主に促進されるかについての対応関係を図 3 のように整理している。この図に示すように、認知負荷と学習フェイズの関係は必ずしも 1 対 1 ではなく、教材の構造化負荷のように複数のフェイズと対応している負荷も存在する。

以上の 2 種類の対応関係は理論的には妥当なものであると考えられるが、本研究はそれを実証することを目指すのではなく、これらの対応関係を組み合わせることによって実現した学習フェイズの推定が有効に行えるかどうか主に主眼をおいている。

3.6 ローカルインデクシング支援

本研究ではローカルインデクシング支援として、教師やインストラクタにリソースの構造・機能に関する 16 項目からなるチェックリストを提供し、実際のリソースを簡単に読んで、それらの構造・機能が実現されているかどうかを評価させる方法をとっている。教師・インストラクタはチェックリストを用いることに

Structure/Function Items (16 items)	What kind of cognitive load is properly imposed?	Cognitive Loads	
Nodes are easy to read.		Selecting necessary information in a page	Selection
Important information is emphasized.		Selecting next pages	
Quantity of information in each node is appropriate.		Structuring information in a page	Contents Structuring
Node layout is stable through all pages.		Integrating between pages	
The navigation between the node is easy.		Integrating information into related knowledge	Knowledge Structuring
Index of contents is provided.		Applying knowledge	
Index is easy to back anywhere.		Evaluating learning process	Reflection
Site structure is simple.			
Site structure is well-structured.			
Site structure is networked.			
Informative diagram is provided.			
Text and Diagram are integrated.			
Many comprehensible explanations are provided with example.			
Problem exercises are provided.			
Interactive environment is provided.			
Learning history is available.			

図 2 構造・機能と認知負荷との対応関係

Fig. 2 Correspondence of the structure/function to the cognitive load.

Cognitive Loads	Which learning phase is mainly facilitated?	Learning Phases
Selecting necessary information in a page		Accretion
Selecting learning pages		Understanding
Structuring information in a page		Stabilization
Integrating between page		
Integrating information into related knowledge		
Applying knowledge		
Evaluating learning process		

図 3 認知負荷と学習フェイズの対応関係

Fig. 3 Correspondence of the cognitive load to the learning phase.

よって、短時間で評価を行うことができ、また評価すべきポイントが明確であるため、ほかのリソースでも一貫した観点からインデクシングを行うことが可能となる。

学習フェイズの推定は教師・インストラクタによるリソースの構造・機能に対する評価をもとに、前節で述べた対応関係をたどることによって行われる。具体的には、まずそれぞれの学習フェイズに対応するリソースの構造・機能のチェックポイントのうち、チェックされた割合を計算する。次に、その値がしきい値を超えたフェイズをインデックスとして出力する。例えば、あるリソースに対してチェックリストが図 4 に示すようにチェックされた場合には、獲得フェイズに關与する構造・機能のチェックポイントの総数 10 のう

ち七つがチェックされているため、獲得フェイズの値は 7/10 となる。同様に、理解フェイズ・定着フェイズの値は、それぞれ 7/13, 2/9 となる。しきい値を 0.6 とすると、これらの値の中で を超えるのは、獲得フェイズの値のみであるため、この場合は獲得フェイズがその学習リソースの HTL インデックスとなる。なお、一般の学習リソースには複数の学習フェイズで役立つものもあれば、どのフェイズでもあまり有用でないものも存在するため、本手法でも一つのリソースに対して複数のフェイズがインデックスとして出力される場合もあれば、一つも出力されない場合もある。

本手法においては、個々の教師・インストラクタごとに、同一リソースに対して異なったインデクシングが行われる可能性があるため、より本質的な問題は、

Mark	Structure/Function Checklist Items (16 items)	Cognitive Loads	Learning Phases
✓	- Nodes are easy to read. - Important information is emphasized. - Quantity of information in each node is appropriate.	Selecting necessary information in a page.	Accretion Score 7/10
✓	- The navigation between the node is easy. - Index is easy to back anywhere. - Site structure is simple.	Selecting learning pages.	
✓	- Important information is emphasized. - Quantity of information in each node is appropriate. - Informative diagram is provided. - Text and Diagram are integrated.	Structuring information in a page.	Understanding Score 7/13
✓	- Node layout is stable through all nodes. - The navigation between the node is easy. - Index of contents is provided. - Site structure is appropriate.	Integrating between pages.	
✓	- Informative diagram is provided. - Many comprehensible explanations are provided with examples. - Interactive environment is provided - Site structure is networked - Learning history is available	Integrating information into related knowledge.	Stabilization Score 2/9
	- Problem exercises is provided - Interactive environment is provided	Applying knowledge.	
	- Problem exercises is provided - Learning History is available	Evaluating learning process.	

図 4 インデクシングの例

Fig. 4 Example of indexing.

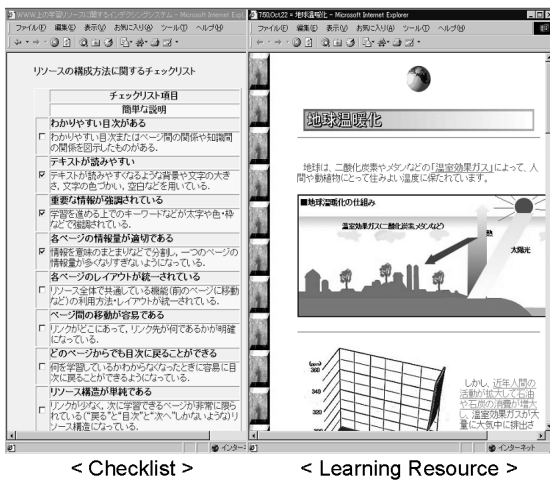


図 5 システムインタフェース

Fig. 5 Interface of the indexing system.

インデクシングの結果が個々の教師・インストラクタにとって妥当なものになっているかどうかである。

本研究ではこれまでの議論をもとに学習フェイズのローカルインデクシングを支援するシステムを開発している。本システムは図 5 に示すように、CGI で実装

されており、教師が必要に応じてインデクシングを行えるように、市販のブラウザ上で利用可能である。システムは既に収集した学習リソースを WTL インデックスで分類したデータベースをもち、個々の教師・インストラクタはこのデータベースからインデクシングを行うリソースを選択し、ローカルインデクシングを行って、データベースの再構成を行う。図では、右側のウィンドウで学習リソースを見ながら、左側のウィンドウで示された構造・機能に関するチェックリストをチェックしている場面を示している。

4. 実験

4.1 実験目的・方針

本実験の目的はこれまでに述べてきた学習フェイズに関するローカルインデクシング支援手法が有効に機能する可能性（教師の所望どおりにローカルインデクシングが行えるか）を調べ、その結果に基づいて本手法を考察することである。具体的には、支援手法の有効性を調べるために、リソースに対してシステムが出力したインデクシング結果と被験者が主観的に答えたインデクシング結果を比較した。また、今回提案したシステムは学習フェイズごとにインデックスを出力す

る形をとっているため、フェイズ単位でインデクシング結果を集計して、同様の比較を行い、考察した。

4.2 実験計画

4.2.1 実験条件

本実験では、各被験者にシステム利用の有・無という条件でインデクシングを行わせ、それらの結果を比較した。システムを利用する場合には、被験者はリソースの構造・機能に関するチェックリストが与えられ、リソースを簡単に読みながら、構造・機能に関する評価を行うよう指示された。この場合は、3.5 で述べた対応関係に基づいてインデックスが出力されることになる。一方、システムを利用しない場合には、被験者はリソースを内容まで詳細に読んだ後、3種類のフェイズそれぞれに対してリソースがどの程度役に立つかを教育的な観点から被験者の主観によって5段階で回答するよう指示された。

本実験では、システムによるインデクシングが主観的なインデクシングと一致するかどうかを調べた。なお、被験者には、中学生が学習する場面を想定させて実験を行った。

4.2.2 ドメイン・被験者

本実験では、同じリソースに対しても被験者ごとに異なるインデックスを付ける可能性があることに対して、本手法が対応できるかどうかを確かめることを主眼としている。このことを調べるためには、複数の学習フェイズをもつと想定されるリソースを選択することが望ましいと考えられる。そこで本実験では、複数の学習フェイズをもつリソースが多く存在するドメインとして「地球温暖化問題」を選定した。また、三つの学習フェイズが被験者によってインデクシングされる可能性があるように、表3に示すような二つの学習フェイズをもっていると想定される2種類の既存の学習リソースを準備した。各リソースの規模は、表3のとおりである。なお、今回対象にしたリソースは環

境問題について扱った単一サイト内のリソースで、地球温暖化問題以外の記述も含まれていたが、それらのページについては評価の対象とはしないように被験者にあらかじめ指示しておいた。

被験者は10名の理工系大学生・大学院生とした。今回の実験では、実際の教師・インストラクタがもつ教授経験や教授戦略の程度を考慮せず、ドメインに対する十分な知識をもっている学生を対象とした。そのため、あらかじめドメイン知識を調べるための予備テストを行い、成績の良い学生のみを被験者とした。また、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、2種類のリソースの実験順序に関してはカウンターバランスをとって、各被験者に割り当てた。更に、本実験で用いられるリソースの構造・機能に関する用語については各被験者にあらかじめ説明しておいた。

4.3 実験手順

以上のような設定のもとで、各被験者に対して次の手順で実験を行った。

Step 1: システムによるインデクシング

被験者にリソースの構造・機能に関するチェックリストを提示し、指定した二つの学習リソースを簡単に読ませ、チェックリスト項目を評価させた。システムはこの評価を入力とすることによって学習フェイズインデックスを出力した。具体的にはしきい値 $=0.6$ とし、6割以上の項目がチェックされたフェイズがインデックスとして出力された。このため、一つのリソースに複数のインデックスが出力されたり、一つも出力されなかったりする現象も見られた。なお、どのインデックスが出力されたかについては被験者には伝えられなかった。

Step 2: 主観的なインデクシング

被験者に先ほどの二つの学習リソースを内容まで熟読させ、3種類の学習フェイズそれぞれについて、実

表3 実験に用いた学習リソース
Table 3 The learning resource for experiment.

	Resource A	Resource B
Title	Eco-Life Guide -The Issue of Global Warming-	Kyoto-Earth's Homepage -Environment/Global Warming-
URL	http://www.eic.or.jp/ecolife/t001.html	http://www.pref.kyoto.jp/intro/21cent/kankyo/globe_prob/earthwarm/index.html
Author	National Institute for Environmental Studies	Kyoto Prefecture
Number of Pages	22 (except for CGI pages)	14
Number of Links	43	55
Learning Phase	Understanding, Stabilization	Accretion, Understanding

表 4 実験結果
Table 4 Results of experiment.

	System			Subjects			Cases	
	A	U	S	A	U	S		
Correspondence	-	-	-	-	-	-	5	7
	+	-	-	+	-	-	2	(35%)
Partial Match	+	+	+	-	+	+	1	7 (35%)
	+	+	-	-	+	-	2	
	+	+	-	+	-	-	1	
	+	+	-	-	+	+	1	
	-	+	-	+	+	-	1	
Difference	+	-	-	-	-	-	1	6 (30%)
	-	-	+	-	+	-	1	
	-	-	-	+	-	-	2	
	-	-	-	+	+	-	1	

(A:Accretion, U:Understanding, S:Stabilization, +:Indexing, -:NoIndexing)

際に想定する学習者が学習した場合にどの程度役に立つかを5段階(非常に向いている, かなり向いている, ある程度向いている, あまり向いていない, 全く向いていない, から選択)で回答させた。そして「非常に向いている」あるいは「かなり向いている」という回答がなされたフェイズをその被験者の主観によるインデックスとみなした。このため, システムによるインデックスと同様に, 一つのリソースに対して複数のフェイズがインデックスとして付けられる場合もあれば, インデックスが付けられない場合もあった。

このような実験設定のもとで「システムによるインデックスと主観的なインデックスの結果がおおむね一致する」という仮説を立て, 各被験者のシステムによるインデックス結果と主観によるインデックス結果との関連性を分析した。実験結果は以下のとおりである。

4.4 実験結果

表4に, 各被験者のリソースに対するシステムによるインデックス結果(System)と被験者による主観的なインデックス結果(Subject)を集計したものを示す。Correspondenceとは両者の出力したインデックスが完全に一致した場合であり, Differenceとは両者の出力したインデックスが全く一致しなかった場合, Partial Matchとは両者の出力したインデックスの一部が一致した場合を表す。また, Casesはそれぞれのインデックス結果の場合の数であり, 例えば, Partial Matchにおいて“System: + + -, Subject: - + - 2”はシステムが獲得及び理解フェイズをインデックスとして出力した際に, 被験者が理解フェイズに向いてい

表 5 実験結果(学習フェイズ)
Table 5 Results of learning phase indexing.

=0.6	Subjects-Noindex	Subjects-Index
System-Index	7	10
System-NoIndex	35	8

=0.40

ると答えた場合が2回あったことを示す。

表4の実験結果から, 本実験でシステムと被験者のインデックス結果が完全に一致した場合の数は7回(35%)だったが, おおむね一致するという仮説の立場から見ると, Partial Matchの7回(35%)についても, 教師の所望するインデックスをシステムが出力することができたとみなすことができる。したがって, 全体の70%(14回)について仮説は検証されたことになる。

次に, 表5にシステム及び主観によるインデックス結果をフェイズ単位で集計したものを示す。縦軸はシステムによるインデックス結果である。System-Indexは, 学習フェイズごとに計算される構造・機能のチェック項目の割合がしきい値を超えた場合の数であり, System-NoIndexはその割合を超えなかった場合の数である。横軸は主観によるインデックス結果である。横軸のSubjects-Indexは, 学習フェイズがインデックスとみなされた場合の数であり, Subjects-NoIndexはみなされなかった場合の数である。フィッシャーの検定を行った結果, システムによるインデックスと主観によるインデックスの間には有意な関連性が認められた(両側検定: $p = 0.0042$)。係数は0.40であり, 相関の強さは中程度であった。

表5の結果から, 学習フェイズ単位で見た場合も, システムと被験者のインデックス結果は, おおむね一致する傾向にあり, 仮説は検証されたと考えられる。

なお, 以上の結果は, 今回対象とした2種類のリソースに限定していえることであり, また教師が有する知識の中でも, ドメインにかかわる知識のみに着目した場合に限定していえることである。より一般的に本支援手法の有効性を示すためには, 更なる詳細な実験が必要である。

4.5 考察

今回の実験結果から本手法を更に改善するために, 表5において, システム及び被験者のインデックス結果が一致しなかったSystem-Index・Subjects-NoIndex, System-NoIndex・Subjects-Indexの二つのケースについて考察し, 今後の方針を検討する。

4.5.1 System-Index・Subjects-NoIndex の場合
 このようなケースは、表 5 に示すように全部で 7 回見られたが、その内訳は、獲得フェイズに関するものが 5 回でそれ以外が 1 回ずつであった。この結果から、獲得フェイズに関しては、チェックリスト項目が被験者に多くチェックされたにもかかわらず、主観的にはその学習フェイズをインデックスとして出力する価値が低いと見積もられたと考えられる。

こうした見積りを本支援手法の枠組みの中で実現するためには、チェックされた構造・機能の項目の数が多くてもインデックスとして出力する価値が低いとみなせばよく、ここでは獲得フェイズについてのしきい値をより高く設定することに対応する。実際、獲得フェイズに関するしきい値の値を 0.7 に変更すると、表 6 のようにインデクシング結果がある程度改善されることがわかる。

以上のような問題はほかの学習フェイズでも見られる可能性が十分にあると考えられる。このため、ユーザによる構造・機能のチェック傾向などを考慮して、フェイズごとに独立してインデクシングのしきい値を設定する必要がある。

また、現在のシステムでは、それぞれの学習フェイズに關与する各構造・機能の重要度については考慮していないが、実際には各フェイズを促進する構造・機能の間にもある程度の重要度の差があるのではないかと考えられる。

これらの点を調査し、更に適切な推定方法を検討していくことは今後の課題である

4.5.2 System-NoIndex・Subjects-Index の場合
 被験者の主観的な判断としては、ある学習フェイズにおいて役に立つと判断していたにもかかわらず、システムがそのフェイズをインデックスとみなさなかつたケースである。表 5 に示すように、このようなケースは全部で 8 回見られたが、この不一致の一つの原因として、被験者がチェックリストの評価を十分に行えなかつた可能性が考えられる。現在のインデクシング支援システムは、構造・機能の評価するためのチェ

ックリストを提供しているにすぎず、実際のリソースにどのような構造・機能が含まれているかを評価する際には、被験者がそれらの構造・機能にたどり着けるかどうかが大きく影響する。今回の実験においても、実際には存在する学習支援機能を見つけることができずに評価を行えないケースが何人かの被験者で見られた。

こうした問題を改善するために本研究では、学習リソースの構造・機能の評価するために必要なリソースの概要情報をあらかじめ収集し、整理して提示する方法を検討している。例えば、ページ数やリンク数、あるいは使われている図表の一覧などを評価者に提供することによって、すべてのページを参照することなくチェックリストの評価を行うことが可能になる。更に、同一の WTL インデックスをもつ複数のリソースの概要情報を取得し、比較することによって、更に適切な構造・機能の評価も期待できる。このため、リソースの構造・機能を自動収集し、必要な概要情報を抽出し、表示するシステムを構築することは、より簡便にかつ一貫した観点からのインデクシングを実現するための重要な支援となる。

5. む す び

本論文では、WWW における学習リソースの選択を支援するために、WTL, HTL インデックスを用いた学習リソースデータベースを提案した。また、データベース構築支援として、インデックス付けを行うための新しい方法論であるローカルインデクシングを提案し、リソースの構造・機能に着目した学習フェイズインデクシング支援システムを開発した。本支援手法の特徴は、リソースの内容に踏み込まずに、リソースの構造・機能のみを利用して簡便に学習フェイズを推定できる点にあり、より実用性を重視した手法であるといえる。更に、ローカルインデクシング支援が機能する可能性を調べるために、二つの学習リソースを取り上げて実験を行った。その結果、システムによるインデクシングは被験者の主観的なインデクシングとおおむね一致し、本手法が有効に機能することが示唆された。今後は、本支援システムを WWW 上で運用する過程において、様々なリソースに対して実際の教師・インストラクタが行うインデクシングを調査するとともに、教師のもつ教授経験や教授戦略を含めたインデクシングを検討しながら、インデクシングの簡便さと一貫性、精度に関する問題などに注目しつつ、本手法の評価・洗練を行い、より実用的なシステムの開発を

表 6 しきい値の変更
 Table 6 Change of threshold values.

	Subjects-Noindex	Subjects-Index
System-Index	5	10
System-NoIndex	37	8

=0.46

(Change of =0.7 with Accretion Phase)

目指していく。

謝辞 本研究の一部は(財)国際コミュニケーション基金(財)電気通信普及財団の助成による。

文 献

- [1] 文部省, 教育改革プログラム, 1998.
- [2] D. Dee-Lucas, "Effects of overview structure on study strategies and text representations for instructional hypertext," in *Hypertext and Cognition*, ed. J.F. Rouet, J.J. Levonen, A. Dillon, and J.R. Spiro, pp.73-108, Mahwah NJ: LEA Publishers, 1996.
- [3] 水口誠司, 柏原昭博, 豊田順一, "インターネットにおける学習資源の適応的選択による自習支援," 信学技報, ET98-105, Dec. 1998.
- [4] A. Kashiwara and J. Toyoda, "Report on experiences of telelearning in Japan," *Informatik Forum*, vol.12, no.1, pp.39-44, Wien, March 1998.
- [5] 長谷川忍, 柏原昭博, 豊田順一, "WWW における学習リソース組織化とナビゲーション支援," 信学論 (D-I), vol.J83-D-I, no.6, pp.671-681, June 2000.
- [6] 長谷川忍, 柏原昭博, 豊田順一, "WWW における学習リソースのローカルインデクシング支援とその評価," 信学技報, ET 99-114, 2000.
- [7] NTT 東日本, "こねっと goo," <http://www.goo.wnn.or.jp/>.
- [8] IEEE Learning Technology Standards Committee, <http://ltsc.ieee.org/ltsc/>.
- [9] ARIADNE Project, <http://ariadne.unil.ch/metadadata/>.
- [10] 東京工業大学教育学開発センター, "インターネットで学習しよう!" <http://gakusyu.cradle.titech.ac.jp/>.
- [11] B.S. Bloom, *Taxonomy of Educational Objective*, David McKay Company, 1956.
- [12] S. Hasegawa, A. Kashiwara, and J. Toyoda, "Estimating design scenario of educational hypermedia on WWW," *Proc. 7th International Conference on Computers in Education (ICCE 99)*, vol.2, pp.229-236, 1999.
- [13] 柏原昭博, 長谷川忍, 豊田順一, "ハイパーメディア教材の有用性見積もり手法," 人工知能研資, SIG-IES-9803-5, pp.33-38, 1998.
- [14] J. Eklund, "Cognitive models for structuring hypermedia and implications for learning from the worldwide web," *Proc. Ausweb95*, pp.111-116, 1995.
- [15] A. Kashiwara, T. Hirashima, and J. Toyoda, "A cognitive load application in tutoring," *J. User Modeling and User-Adapted Interaction*, vol.4, no.4, 279-303, 1995.
- [16] T.W. Chan, C.C. Lin, S.J. Lin, and H.C. Kuo, "OCTR: A model of learning stages," *Proc. 6th World Conference on Artificial Intelligence in Education '93 (AI-ED 93)*, pp.257-264, 1993.
- [17] R. Paolucci, "The effects of cognitive style and knowledge structure on performance using a hypermedia learning system," *Jl. Educational Multimedia and*

Hypermedia (1998), vol.7, nos.2/3, pp.123-150, 1998.

- [18] M. Thuring, J. Hannemann, and J.M. Haake, "Hypermedia and cognition: Designing for comprehension," *Commun. ACM*, vol.38, no.8, pp.57-66, 1995.
- [19] A. Kashiwara, Y. Satake, and J. Toyoda, "A history visualization for learning-by-exploration in hypermedia on WWW," *Proc. WebNet 98*, pp.497-502, 1998.
- [20] S. Kalyuga, P. Chandler, and J. Sweller, "Levels of expertise and user-adapted formats of instructional presentations: A cognitive load approach," *Proc. User Modeling '97*, pp.261-272, 1997.
- [21] 長谷川忍, 柏原昭博, 豊田順一, "認知負荷を考慮したハイパーメディア教材の評価ガイドライン," 人工知能研資, SIG-IES-9801-2, pp.17-24, 1998.
- [22] C.E. Weinstein and R. Mayer, "The teaching of learning strategies," in *Handbook of Research of Teaching* (3rd ed.), ed. M.C. Wittrock, Macmillan.
(平成 12 年 12 月 27 日受付, 13 年 6 月 4 日再受付)



長谷川 忍 (学生員)

1998 阪大・基礎工・システム卒。現在、同大学院博士後期課程在学中。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受賞。人工知能学会, 教育システム情報学会各会員。



柏原 昭博 (正員)

1987 徳島大・工・情報卒。1989 同大学院修士課程了。1992 阪大大学院博士課程了。同年, 大阪大学産業科学研究所助手。1999 同講師。1996~1997, ドイツ GMD 客員研究員。博士(工学)。人間の知性を生かす CHI に興味をもち, 特に知的学習支援の研究に従事している。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・98 年度人工知能学会研究奨励賞各受賞。人工知能学会, 情報処理学会, 教育システム情報学会, IAIED 各会員。



豊田 順一 (正員)

1961 阪大・工卒。1966 同大学院博士後期課程単位取得退学。同年, 同大基礎工学部助手。1969 助教授。1982 大阪大学産業科学研究所教授。工博。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。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・98 年度人工知能学会研究奨励賞各受賞。人工知能学会, 情報処理学会, 日本認知科学学会各会員。