

インターネットにおける学習リソースのローカルインデクシング支援

柏原 昭博 大阪大学産業科学研究所講師

1. 序論

近年のインターネットの急速な普及に伴い、World Wide Web(WWW)で提供される情報リソースは著しく増加している。これらの中には学習向けのリソース（学習リソースと呼ぶ）も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[1]。

一方、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[1]。

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る[2]。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。

本報告では、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、どのようにインデクスづけ（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つけることは非常に難しい[4]。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・インストラクター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ー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ー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ー空間の構造およ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。

本報告では、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およびその支援手法について論じる。また、ローカルインデクシング支援手法の有用性を評価するために行った実験について述べる。

2. 学習リソースインデックス

WWWには、ある学習トピックに対して、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いる。そのため、WWWではそのトピックに対していくつかの段階での学習が可能であり、リソースを適切に選択することができれば、トピックに対する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、学習者が適切なリソースを選択することは非常に難しいのが現状である[1,3]。

そこで、本研究では、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[2]。以下では本研究で取り扱う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、といったいくつかの段階（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、「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。

表1 リソースインデックス

| | | |
|-----------|--------------------|--|
| WTL Index | Academic Year | |
| | Subject | |
| HTL Index | Learning Phase | Acquisition Understanding Stabilization |
| | Media Type | Texts only Graphics Animations Sounds Simulations E-Mail BBS, Chat Others |
| | Communication Type | High Immediacy High Interactivity Questions and Answers |

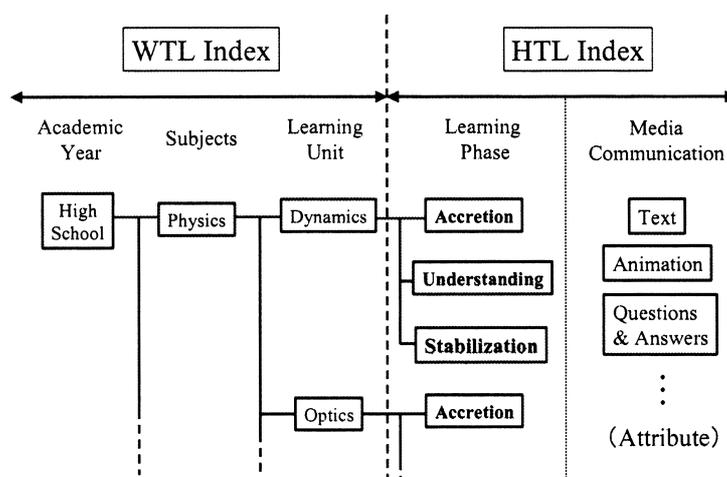


図1 リソースインデックスの階層

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、最初に学習フェイズによってリソースが分類され、次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。

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

本研究では、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持っている教師やインストラクターが、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。

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、あらかじめWTLインデックスでリソースを分類したデータベースを準備しておき、個々の教師やインストラクターが利用する学習者などを想定した上で、各リソースに対して適切なHTLインデックスをつけてデータベースを再構成する方法をとる。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、同一のリソースに対して複数のインデックスが付けられることも起こりうる。

特に、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が、学習フェイズについては、リソースの提供するハイパー空間内の各ノードおよびノード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。そこで、本研究では、学習リソースが提供するハイパー空間の構造および学習支援機能がどの学習フェイズでの学習に主に関与す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開発した。

3.2 枠組み

学習フェイズの推定には、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捉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づ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思われる。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[4]。

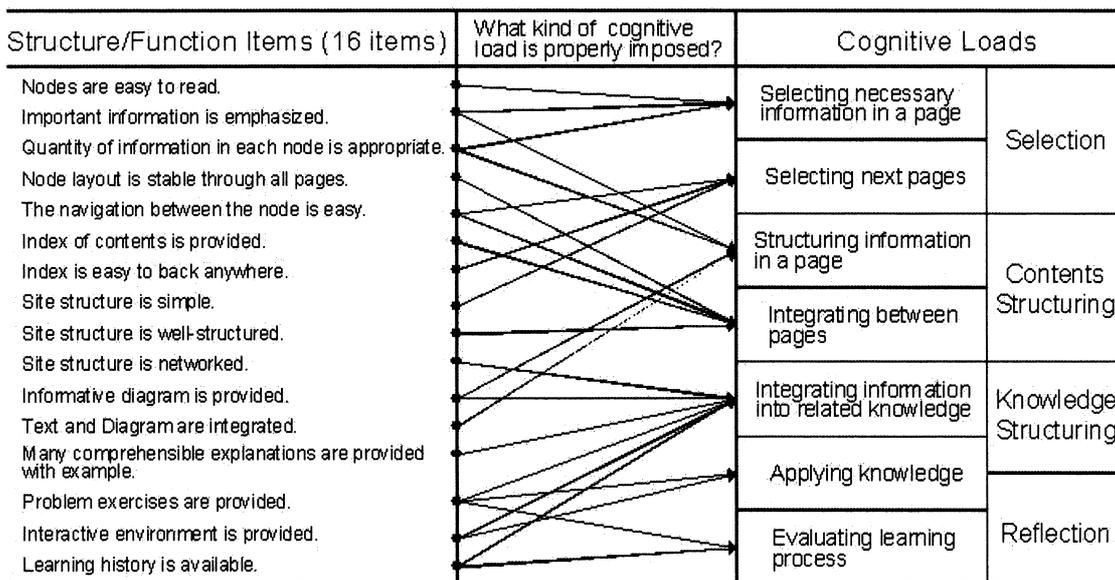


図2 構造・機能と認知負荷の対応関係

以上のことを踏まえて本研究では、図2に示すように、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検討した。また、図3に示すように、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。なお、学習リソース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)との関係づけを行うことが重要となることから、次の4種類の認知負荷を取り上げている。まず、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。

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

図3 認知負荷と学習フェイズの対応関係

以上のような対応関係の理論的な整理に基づくことで、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。

3.3 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ーにリソースの構造・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・インストラクターはチェックリストを用いることによって、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、他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。

| Mark | Structure/Function | Cognitive Loads | Learning Phases |
|------|---|---|---|
| | Checklist Items (16items) | | |
| | <ul style="list-style-type: none"> - Nodes are easy to read. - Important information is emphasized. - Quantity of information in each node is appropriate. | Selecting necessary information in a page. | Acquisition Score 7/10 |
| | <ul style="list-style-type: none"> - The navigation between the node is easy. - Index is easy to back anywhere. - Site structure is simple. | Selecting learning pages. | |
| | <ul style="list-style-type: none"> - 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 |
| | <ul style="list-style-type: none"> - 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. | |
| | <ul style="list-style-type: none"> - 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 |
| | <ul style="list-style-type: none"> - Problem exercises is provided - Interactive environment is provided | Applying knowledge. | |
| | <ul style="list-style-type: none"> - Problem exercises is provided - Learning History is available | Evaluating learning process. | |
| | | | |

図4 ローカルインデクシングの例

学習フェイズの推定は教師・インストラクター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、それぞれの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し、閾値 を超えたものをそのリソースの学習フェイズ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7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。閾値 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。このため、1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、1つも出力されない場合も起こりうる。

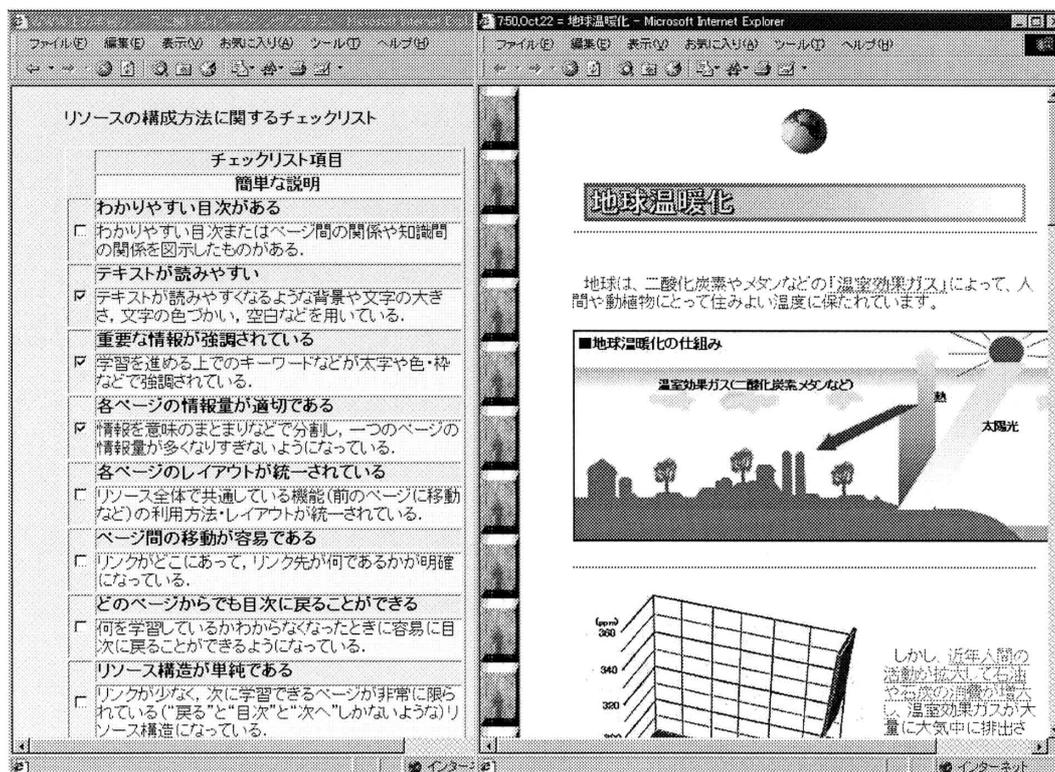


図5 ユーザインタフェース

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。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、ローカルインデクシング支援手法の有用性を確かめるために、開発したシステムを利用することによって、教師によるリソースの構造・機能の評価だけで教師の所望するインデクシングが行えるかどうかを調査することにある。

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、3.3節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。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

実験に利用したドメインは「地球温暖化問題」であり、2種類の既存の学習リソースを各被験者に与え、各被験者はそれぞれのリソースに対して、システム利用の有・無という2条件のもとで実験を行った。被験者には、ドメインに対して十分な知識を持っている10名の理工系大学生・大学院生を選んだ。また、実験の試行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。さらに、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

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2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。具体的には閾値 $\alpha=0.6$ 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。

Step 2：主観的なインデクシング

被験者に2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、まったく向いていない、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。

このような実験設定のもとで、「システムによるインデクシングと主観的なインデクシング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クシング結果と主観によるインデクシング結果との関連性を分析した。

4.4 実験結果

表2に、各被験者のシステムによるインデクシング結果と主観的なインデクシング結果を集計したものを示す。縦軸はシステムによるインデクシング結果である。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閾値 α 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クシング結果である。横軸のSubjects-Indexは、学習フェイズがインデックスと見なされた場合の数であり、Subjects-NoIndexは見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2 実験結果

| $\alpha=0.6$ | Subjects-NoIndex | Subjects-Index |
|----------------|------------------|----------------|
| System-Index | 7 | 10 |
| System-NoIndex | 35 | 8 |

$\phi=0.40$ （両側検定： $p=0.0042$ ）

以上の結果から、双方によるインデクシングの結果はおおむね一致する傾向があり、今回利用した2種類のリソースについては仮説が検証されたことになる。

5. 結論

本報告では、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

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、インデックスづ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。さらに、実験の結果、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、本手法の有用性を確認することができた。

今後は、インデクシングを行う際の簡便さと一貫性、精度の問題に注目しつつ、さらに実験を重ね、より多くのリソースに対して本手法を適用し、評価・洗練を行っていくとともに、システムを運用し教師やインストラクターに実際に利用してもらうことによって、より実用的なシステムの開発を目指していく。

参考文献

- [1] Kashihara, A., and Toyoda, J. (1998). Report on Experiences of Telelearning in Japan, Informatik Forum, Wien, Vol.12, No.1, 39-44.
- [2] 長谷川, 柏原, 豊田: “ WWWにおける学習リソース組織化とナビゲーション支援 ”, 電子情報通信学会論文誌 Vol.j83-D-I No.6 , pp.671-681 (2000) .
- [3] 水口, 柏原, 豊田: “ 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 ”, 電子情報通信学会研究会技術報告 ET98-105, pp.97-104 (1998).
- [4] 柏原, 長谷川, 豊田: “ ハイパーメディア教材の有用性見積もり手法 ”, 人工知能学会研究会資料 SIG-IES-9803-5, pp.33-38 (1998).

< 発 表 資 料 >

| 題 名 | 掲載誌・学会名等 | 発表年月 |
|---|--|-----------|
| An Adaptive Navigation Support with Local Indexing for Web-based Learning | Proceedings of World Conference on Computers in Education 2001 | 2001年 7 月 |
| A Local Indexing for Web-based Learning Resources | Proceedings of World Conference on Educational Multimedia, Hypermedia, and Telecommunications (ED-MEDIA2001) | 2001年 6 月 |
| An Adaptive Navigation Support with Reorganized Learning Resources for Web-based Learning | Proceedings of International Conference on Computers in Education 2000 | 2000年11月 |
| Learning Bench: Web 空間での主体的学習を支援する環境 | 人工知能学会全国大会（第14回）論文集 | 2000年 7 月 |
| 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 | 人工知能学会全国大会（第14回）論文集 | 2000年 7 月 |