

漢字学習を対象とした環境型知的CAI

- ナビゲーションによる学習支援 -

林 敏浩 矢野 米雄

徳島大学 工学部

環境型CAIにナビゲーション機能を付加した環境型知的CAIと、そのシステムである外国人のための漢字学習CAIシステム“漢字工房”について論じる。環境型CAIは学習者に学習環境を与え自由学習が進行する形態である。しかし、環境型CAIでは学習者が必ずしも学習目標を満足する自由学習を行えるとは限らない。特に学習がある状態で進行しなくなる問題点に着目して我々はナビゲーション機能により自由学習の進行を支援するシステムを構築する。漢字工房は漢字の部分構造を組み立てて漢字を作る環境を持つCAIシステムである。漢字工房はナビゲーション機能により学習者に次の学習行動に有用な情報を提示して自由学習の進行を支援する。

ENVIRONMENTAL ICAI FOR KANJI LEARNING

- A LEARNING ASSISTANCE BY NAVIGATION -

Toshihiro Hayashi Yoneo Yano

Faculty of Engineering, Tokushima University

2-1, Minamijosanjima, Tokushima 770, Japan

This paper describes environmental ICAI with navigation function and Kanji Laboratory which is a kanji learning CAI system for foreigners. In the frame of environmental CAI, a student learns freely but the student does not always learn effectively with regard to the teaching aim. We are developing an environmental ICAI system with navigation function to assist free learning when progress has stalled due to a lack of direction. Kanji Laboratory has an environment in which a student constructs kanji by combining kanji parts. Kanji Laboratory performs the navigation function which makes suggestions for the next learning action.

1 まえがき

一般に CAI システムは教育方法の違いにより教授型教育システムと環境型教育システムに分類される [6]。近年は教授型教育システムを知的にした ITS(Intelligent Tutoring System) の研究が盛んである。一方近年環境型教授システムとして、open-ended な環境を用意して学習者の知識を積極的に取り込む開放型 CAI[8] や概念形成のための学習環境に着目したマイクロワールド型 CAI や、マイクロワールドと ITS の相互の利点を活かした *Bimodus*CAI[9] などが提案されている。我々は環境型教育システムの一形態である環境型 CAI を知的にした環境型知的 CAI の研究を行なっている。代表的な環境型教授システムである STEAMER[4] は概念的迫真性 (Conceptual Fidelity) などの設計思想に基づき動作モデルを効果的に学習できる学習環境に重点がおかれている。これに対して我々の提案する環境型知的 CAI は環境に対する教師の振る舞いに重点をおく CAI である。ITS はシステム主導の教え込み型の教授方法を採用しているのに対して、環境型 CAI システムは学習者主導による自由学習を主体とする。環境型 CAI システムは学習進行を補正してくれる教師に相当する機能を持たないため学習目標が不明確になったり、ある学習状態で学習が進行しなくなる問題点を持つ。しかし、システムが教師として積極的に学習者に tutoring を行なうのは自由学習に対して二律背反な関係にあり妥当ではない。この環境型 CAI には間接的に学習支援を行なえるシステムの振る舞いが重要になる。与えられた環境下で学習する学習者に対して WEST[4] はコーチングにより学習支援を行なう。我々は WEST のコーチングを環境型 CAI における教師の教育方法の一形態と考える。我々はこのような教師をアドバイザーと呼び、学習者の学習進行を支援するアドバイザー機能を導入した環境型知的 CAI を提案する。本稿で報告するアドバイザーは学習環境の知識伝達の不完全性を補完するナビゲーション機能を中心に学習支援を行なう。

本研究の対象領域は漢字教育であり対象となる学習者は外国人である。教育方法として日本の一般的なドリル式漢字学習ではなく漢字の部分構造に着目した字源式漢字学習法を参考にする。また学習環境は CHINESE LINKING-LEARNING CUBE と呼ばれる教具を参考にした基本環境を中心に漢字学習

に必要な教具を配置したデスクトップ環境を計算機上に実現する。この学習環境に学習支援のアドバイザーを付加して外国人の漢字学習を支援する漢字学習 CAI システム漢字工房 [1, 2] の構築を行なう。

2 環境型知的 CAI

環境型 CAI は計算機が学習環境を用意して、学習者が自由学習を通じて対象領域の知識を獲得したり操作手続きを理解する CAI である。ここで自由学習とは学習者主導により学習が進行する学習形態であり教師 (tutor) は存在しない。システムと学習者間の知識や情報の伝達手段と伝達方法に着目すると、環境型 CAI は、伝達手段には音声、グラフィクスなどの種々のメディアを利用して学習者は環境に対して行動 (action) により、一方環境は学習者に対して環境の変化などの反応 (reaction) により知識や情報を伝達して学習を進行する。ここで学習者の行動とは環境に対する操作系列である。

環境型 CAI では、学習者は“行動”を出力、“反応”を入力として、環境は“行動”を入力、“反応”を出力として相互に知識伝達を行なう。我々は特に学習者の出力を“試行 (try)”, 入力を“解釈 (interpretation)”として、学習者と環境の関係を環境型 CAI のモデルとする (図 1 の advisor を除いた部分)。本モデルでは、学習者は初期状態を除けば既に行なった行動とそれに対する環境の反応を関連づけて解釈して対象領域の知識を獲得したり環境の操作方法を理解する。この試行-解釈の過程が理想的に繰り返されると、学習目標を満足する学習が進行する。これは学習者が試行と解釈を常に正確に行ない、環境は“行動”から常に妥当な“反応”を生成することが前提である。しかし、環境型 CAI では一般的にこの前提が完全に成立しない。環境型 CAI の理想的な学習進行を妨げる要因を以下に示す。

- (1) 学習者と環境の知識伝達能力が不完全
- (2) 学習者の学習行動を立案する能力が不完全
- (3) 環境をシミュレートする能力が不完全

一般に (2) は学習者がその環境を利用して学習を行なえる知識状態に達していない場合であり、(3) は学習環境を計算機上に適切に実現できていない場合である。我々は特に (1) の問題点について考察する。テキストを知識伝達に利用する方法と比較して他のメディアを知識伝達に利用する方法では教育目標に

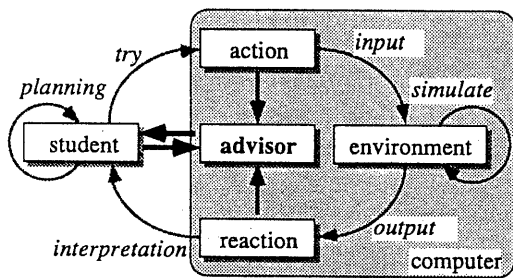


図1 環境型知的CAIのモデル

基づく完全な知識伝達機構を計算機上に実現するのは困難である。我々はこの不完全な知識伝達を補完する機能としてアドバイザーを環境型CAIの中に導入する(図1)。アドバイザーのテキストを伝達手段とするナビゲーションなどにより知識伝達を補完して学習進行を支援する。

3 システムの目的

外国のビジネスマン、学生、科学者は従来に増して日本人との意志交流を日本語で行なう必要性に迫られている。そのため日本語を習得する外国人数は年々増加している。しかし、日本語は以下に示す理由により外国人にとり難しい言語と言われる[5]。

- (1) 日本語文法は欧米言語文法と極端に異なる。
- (2) 日本語は敬卑表現が複雑である。
- (3) 日本語は複雑な文字体系を持つ。

特に(3)の文字体系に関して、日本語は平仮名、片仮名、漢字の3種類の文字を用いて表現する。平仮名と片仮名の文字数は各約50個であるが、漢字は日常生活で必要と考えられる常用漢字で約2000個ある。アルファベットの26文字に比較すると漢字の個数は非常に多い。ゆえに、漢字学習は日本語を習得しようとする外国人にとり困難な学習となる。

日本の学生は漢字を暗記、反復練習、試験の繰り返しで漢字学習を行なう。通常は小中学校の9年間でこの方法により漢字を学習する。この学習方法では漢字の瑣末な部分まで正確に学習する問題点を持つが日本人の漢字学習に効果を挙げている。しかし、この学習方法は外国人には適さない。なぜならば一般に日本語を学習する必要のある外国人は、漢字学習の期間は短く限定される。そのため短期間で効率

よく漢字学習できる方法が必要である。

本研究で対象とする外国人は子供ではなくて大人の場合が多い。彼らは常識と社会生活に必要な多くの知識をち、短期間で多くの事柄を系統立てて学習する能力がある。漢字は画と部首から構成されている。部首と基本となる画の個数は漢字の個数に比較すると少ない。我々は漢字の部分構造の理解を通して漢字学習を系統立てて行なえろと考える。漢字の部分構造を理解すれば外国人は漢字を簡単にかつ効率的に学習できる。しかし、従来の教材や辞書を用いたこのような学習環境を実現は困難なため我々は計算機を用いて新しい学習環境を実現する。

我々は漢字学習CAIシステム“漢字工房”[1]の構築を行う。一般に漢字学習は漢字の書写学習、漢字の意味と読みの学習、漢字の用法学習などの学習目標がある。既存の漢字学習CAIシステムでは漢字の書写技能学習を支援するシステム[3]などがあるが、漢字工房では漢字の部分構造を理解して漢字の意味や読みを学習できる環境を学習者に提供する。

4 システムの構成

漢字工房のシステム構成は、インタフェースモジュール、教授戦略モジュール、学習者モデルモジュール、領域知識モジュールの4つのモジュールからなる。図2に漢字工房のシステム構成を示す。

漢字工房は漢字学習のための学習環境とアドバイザーを実現する。学習環境はインタフェースモジュールと領域知識モジュールにより実現する。また、アドバイザーは教授戦略モジュール、学習者モデルモジュール、領域知識モジュール、およびインタフェースモジュールの一部により実現する。漢字工房では領域知識ベースモジュールは学習環境およびアドバイザーが共有する。各モジュールを以下に詳述する。

4.1 インタフェースモジュール

インタフェースモジュールは自由学習環境とインタフェース管理機構の副モジュールから構成する。インタフェースモジュールを以下に詳述する。

4.1.1 自由学習環境

漢字工房は学習者が画や部首を組み立て漢字を作成できる学習環境を提供する。この環境に以下の学習に有効な補助機能を付加して学習環境を実現する。

- (a) 既に作成した漢字を参照できる機能
- (b) 作成漢字の意味や発音を検索できる機能

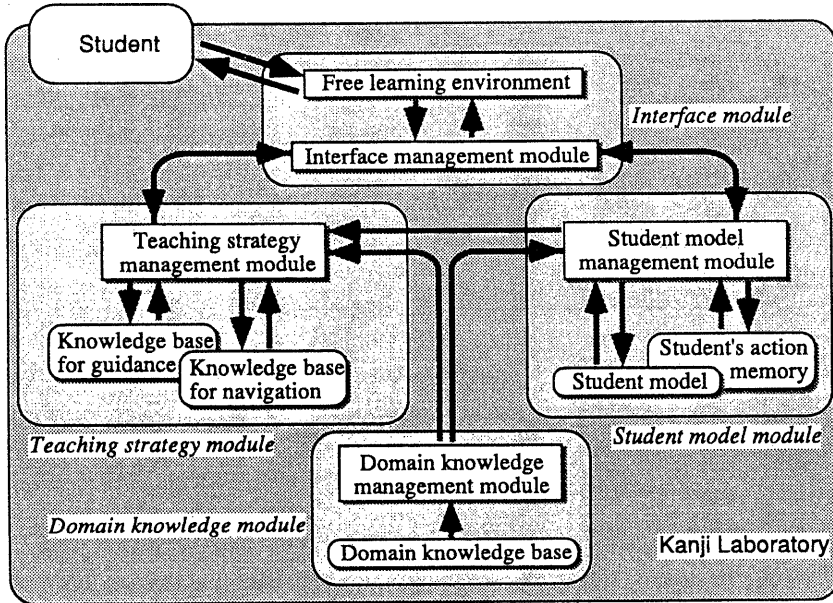


図2 漢字工場のシステム構成

(c) 学習進行を誘導する情報を提示する機能

これらの機能を付加した環境を自由学習環境と呼ぶ。

上述の機能は自由学習環境に電子教具として配置する。この電子教具をフィールドと呼ぶ。漢字工場は以下の5つのフィールドを持つ。

- (1) ノートブックフィールド (a) の機能
- (2) 漢字作成フィールド 基本環境
- (3) 辞書フィールド (b) の機能
- (4) 質問フィールド (c) の機能
- (5) 対話フィールド (c) の機能

以下に自由学習環境の各フィールドを詳述する。

[ノートブックフィールド] 学習者が漢字作成フィールドで作成した漢字や部分構造を保存するためのフィールドである。初期状態では本フィールドはシステム定義の画を格納しており、学習者はこれらの画を簡単な漢字や部分構造を作成するためにノートブックフィールドから取り出すことができる。作成された漢字はノートブックフィールドに再利用のために保存される。ノートブックフィールドは保存された漢字や部首を絵画数や読みなど条件により絞り込み検索する機能を持つ。これにより学習者は保存された漢字や部分構造を効率良く取り出すことができる。

[漢字作成フィールド] ノートブックフィールドから部分構造を入力して漢字を作成するフィールドである。漢字作成フィールドは入力した部分構造を検索条件として領域知識ベースから漢字を検索する。漢字が検索できた場合のみ漢字が作成されたとしてフィールド上に提示する。詳細には入力した部分構造と作成漢字は以下の関係を満たさなければならない。

- (i) 部分構造の配列が漢字の筆順と同等である
 - (ii) 部分構造が漢字の字源的部分構造に一致する
- この条件を満たさない場合、フィールドは漢字の提示を行わない。また、作成された漢字は自動的にノートブックフィールドに保存される。

[辞書フィールド] 漢字辞書に相当するフィールドである。辞書フィールドでは、学習者は検索目的の相違により以下に示す2種類の検索ができる。

- (i) 特定の漢字の意味や発音のデータ検索
 - (ii) 意味、発音などを条件とした漢字検索
- 特に (i) は付加的なデータ検索として対象の漢字の意味や発音を部分構造から説明文を生成できる。また、検索条件となる漢字や部分構造はノートブックフィールドから選択できる。

[質問フィールド] 問題集に相当するフィールドであ

る。実際の問題集と異なり、質問フィールドで提示する問題はあらかじめ用意した固定的な問題でなく質問フィールドは、漢字の作成状況に応じて動的に漢字の問題を生成する。質問フィールドはヒューリスティックな知識を用いて学習進行の支援を目的として問題生成を行なう。本稿は本機能の詳細な説明は省略する。学習者は質問フィールドで問題を参照して解くことができるが、学習者は任意に問題解答を止めることができる。つまり質問フィールドの問題は学習進行の目標として利用できる。

[対話フィールド] 学習者に学習進行の助言を与えるフィールドである。特に学習行動に対して助言を与えて漢字作成の支援を行なう。対話フィールドで行なわれる対話の詳細は後述する。また、対話フィールドは学習者からの典型的な質問に対して答えることができる。本稿は質問の解答機能の説明は省略する。

(1) から (3) のフィールドは学習者の理想的な自由学習を想定したフィールドである。しかし、このような環境下において学習者が必ず理想的な学習を行なえるわけではない。ある学習者には漢字学習の適切な方向性をシステムが与えてやる必要がある。漢字工房ではこの機能をアドバイザーが実現する。しかし、アドバイザーは学習者の能動的な学習を妨げてはならない。(4) と (5) のフィールドをアドバイザーは学習支援のために利用する。アドバイザーは学習進行に対して質問フィールドを大局的な視点から、対話フィールドを局所的な視点から学習支援に利用する。対象領域の漢字学習では、大局的な学習進行の支援方法は教育学的に明確ではない。漢字工房では特に局所的な学習進行に重点をおいた学習支援を行なう。

4.1.2 インタフェイス管理機構

インタフェイス管理機構は自由学習環境と他のモジュールとの入出力を管理する機構である。

出力としてインタフェイス管理機構は学習者が自由学習環境中で行う振舞い(以下、学習行動と呼ぶ)を学習行動情報として抽出、教授戦略制御機構と学習者モデル管理機構に伝達する機能を持つ。学習行動情報とは学習者の学習行動を表現するイベントとイベントの付随情報の多項組である。つまりインタフェイス管理機構はイベント駆動で学習行動情報を各機構に出力する。漢字工房は自由学習環境の各フィールドに学習行動伝達のトリガとなるボタンを設定する。ボタンの押下により学習行動情報を教授戦略制御機

構などに伝達する。具体例として、漢字作成フィールドには漢字作成ボタンが設定されており、ボタンの押下によりインタフェイス管理機構は学習行動情報を生成する。漢字作成フィールドの学習行動情報は(漢字作成, 部分構造 1, ..., 部分構造 n , 生成漢字)の多項組として生成されて他の機構に伝達される¹。

入力としてインタフェイス管理機構は、教授戦略制御機構からアドバイザーのナビゲーション情報を、学習者モデル管理機構から学習者モデルの状態を受け取り自由学習環境を介して学習者にこれらの情報を提示する。漢字工房では、自由学習環境のノートブックフィールドは学習者が既に作成した漢字を学習者モデルモジュールから獲得する。

4.2 教授戦略モジュール

教授戦略モジュールは、教授戦略制御機構と教授戦略知識ベース部から構成する。本モジュールはアドバイザーの学習支援の推論部として機能する。漢字工房のアドバイザーは学習者の自由学習に対して

- (1) 誘導による学習支援(ナビゲーション)
- (2) 指導による学習支援(ガイダンス)

の2種類の学習支援を行なう。教授戦略知識ベースは学習支援方法の違いから指導戦略知識ベースと誘導戦略知識ベースに分類する。

4.2.1 教授戦略制御モジュール

漢字工房は学習者主導の自由学習により漢字学習を行なう環境を提供するが、完全に学習者主導にすると効果と効率の点で理想的な学習が実現しにくい。

漢字工房における理想的な学習の効果とは、学習者が獲得すべき漢字知識を学習することである。完全な学習者主導であれば部分的な漢字知識の獲得で学習が終了すると予想される。学習すべき漢字知識全体に占める学習者の獲得した漢字知識が低いならば、学習効果は低いと考える。

漢字工房における理想的な学習の効率とは、学習者が漢字を高確率で作成できることである。完全な学習者主導であれば学習者は頻繁に学習の停滞状態になることが予想される。学習の停滞とは、部分構造の組み合わせで漢字が作成できる確率が低い状態、つまり学習者からみると種々の組み合わせを試行するが漢字ができにくい状態である。この状態が頻繁に起こるのならば学習効率が悪いと考える。

漢字工房では特に学習の効率を高めるために、ナ

¹入力した部分構造から漢字が生成されない場合は学習行動情報の最終項に空リストが挿入される。

ナビゲーション機能により、学習進行に有効な情報を学習者に提示して学習支援を行う。また、ガイダンス機能により、学習者主導でシステムから学習指導を受けれる。教授戦略制御機構は自由学習形態を損なわないアドバイザーの学習支援を制御する。

教授戦略制御機構はインタフェース管理機構から局所的な学習行動情報と、学習者モデル管理機構から学習行動情報の履歴と学習者モデルを参照して学習支援情報を生成してインタフェース管理機構に出力する。学習支援情報は教授戦略知識ベース中の誘導戦略または指導戦略の知識ベースを教授戦略制御機構が参照して生成される。

4.2.2 教授戦略知識ベース

教授戦略知識ベースは教授戦略モジュールが学習支援情報を生成するために参照する知識ベースである。特に誘導戦略知識ベースはナビゲーションによる学習支援情報を生成するために

(1) ナビゲーション情報生成のための視点

(2) ナビゲーション情報のテンプレート

(3) ナビゲーション情報による学習行動パターン

の知識が記述されておりナビゲーション機能実行時に参照する。誘導戦略知識ベースの詳細とナビゲーション機能実行時の参照は5章で論じる。

4.3 領域知識モジュール

領域知識モジュールは、以下に詳述する領域知識ベースと領域知識管理機構から構成される。

4.3.1 領域知識ベース

漢字工房が提供する環境下では、学習者が漢字の部分構造(部首、画)を適当に組み合わせて漢字を作成するので、領域知識モジュールは漢字の部分構造知識に着目した領域知識ベースは漢字の知識を構造知識と属性知識の2種類で表現する。漢字の領域知識は3重組[7]で知識表現する。

構造知識は漢字を、画、部首、漢字の3レベルで構造表現した知識である。漢字工房では画、部首、漢字の部分構造は以下のように定義する。

[画の定義] 1画で書写できる漢字の部分構造で意味や発音の属性を持たない²。

[部首の定義] 漢字の意味や発音に影響を与える属性を持つ部分構造で単独では漢字にならない。

[漢字の定義] 画や部首の組合せにより構成できる記号で意味や発音の属性を持つ。ある漢字は他の漢字

²画の一と乙は漢字として意味や発音の属性を持つが例外

の部分構造になる。

属性知識は漢字の意味や発音を表現した知識と、部首の漢字の属性に影響を与える意味情報と発音情報を表現した知識により構成する。一般に漢字の意味や発音は歴史的な変化を伴っており、一般の漢字辞書のようなテキスト表現では、検索のための条件として利用することが困難である。領域知識ベースは漢字の属性知識の歴史的な変化の特徴に応じて知識表現する。例えば意味であれば、源義、転義、引伸義などに細分して知識表現する。

4.3.2 領域知識管理機構

領域知識管理機構は他の機構からの検索要求の処理と検索結果を適当に構造化された知識に変形する処理を行なう。前者は基本的な3重組検索処理としてTRIAS[7]を用いて管理する。後者に関して、漢字工房が学習者に部分構造の知識を教授するために、漢字の意味や発音を部分構造の視点から説明する必要がある。しかし、属性知識は細分化されて知識表現されているので、漢字工房の領域知識管理機構は必要な知識を検索してからテンプレートを用いて説明用のテキストを生成する。

4.4 学習者モデルモジュール

学習者モデルモジュールは、学習者モデル管理機構と学習者モデルと学習行動メモリから構成する。以下に学習者モデルモジュールを詳述する。

4.4.1 学習者モデル管理機構

学習者モデル管理機構はインタフェース管理機構から学習行動情報を入力として学習者モデルと学習行動メモリの内容を更新する機能と教授戦略制御機構へそれらの内容を伝達する機能を持つ。

4.4.2 学習者モデル

漢字工房では学習者が任意の漢字を作成した時点でその漢字は学習されたという前提にたつ。そのために学習者モデルは作成した漢字のリストで表現される。学習者モデルは領域知識ベースを漢字の専門家の知識状態としてオーバーレイモデルで表現する。

4.4.3 学習行動メモリ

学習行動メモリは学習者の自由学習環境での振る舞いを格納する短期記憶メモリである。学習行動メモリはアドバイザーが学習支援を行うために参照する情報である。学習者の振る舞いはインタフェース管理機構から、学習行動情報として伝達されて学習行動メモリに時系列に配置されている。

5 ナビゲーション

5.1 学習環境の考察

アドバイザの学習支援機能の実現のために漢字工房が学習者に提供する学習環境を知識伝達の点から考察すると、学習者が漢字作成に失敗した場合、なぜ漢字作成に失敗したか認識できない問題点がある。この場合、漢字作成フィールドから何の出力も得ない、逆に出力がないことは漢字が作成不可能なことを表現する環境の反応であるが学習者は漢字ができない理由を獲得できない、学習者は失敗の理由が獲得できないので次の学習行動の最適なプランニングができない。このために学習の効率が悪化する。

これに対して漢字工房では環境型知的CAIシステムのモデルに基づき、自由学習環境の漢字作成フィールドに漢字作成失敗の理由を提示する表現能力を持たせず、システム内のアドバイザに表現能力を持たせて環境の知識伝達を補完する。知識伝達失敗は基本的には学習環境の設計の不完全さに依る場合があるが、環境の改良による知識伝達向上が学習環境の直感的理解を疎外するものであればアドバイザの導入の方が学習環境としては自然である³。漢字工房の場合は実在の教具を電子化した環境を実現しているので、知識伝達失敗の原因は漢字作成フィールドの雛形となる教具の欠点である。過度の学習環境の改良は電子教具の直感的理解を妨げると考える。

アドバイザは漢字作成フィールドで漢字ができない理由を自由学習環境の対話フィールドから学習者に提示して、学習者が次の行動を効果的にプランニングするためのナビゲーション支援を行なう。

5.2 ナビゲーションの原理

漢字工房のアドバイザは以下に示す原理に基づき、ナビゲーションによる学習支援を行なう。

- (1) 漢字作成時にナビゲーションの視点を設定する
 - (2) ナビゲーションの視点は高々1個のみ設定する
 - (3) ナビゲーションの失敗により視点を再設定する
- これらのナビゲーションに原理について説明する。

[原理(1)] 学習者は学習環境の各フィールドで種々の学習行動を行なうが学習環境の考察により、ナビゲーションの対象となる学習行動は漢字作成フィールドのみに限定する。ナビゲーションの視点の設定

³ただし、現研究段階では環境改良による知識伝達向上と学習環境の直感的理解の疎外とのトレードオフは、理論的に論じることができない。漢字工房では人間が通常行なうと考えられる学習支援はアドバイザが行なうという主観的な判断規準を採用する。

は漢字作成フィールドの漢字作成ボタンの押下により学習行動情報が生成された時のみ駆動する。

[原理(2)] ナビゲーションの視点は制限を設けなければ複数個設定できる場合があるが、学習者に複数の視点によるナビゲーションを与えられた場合、適切な学習行動のプランニングが困難と考えられる。アドバイザはどのような場合でも、ナビゲーションの視点を1個として学習支援を行なう。

[原理(3)] 漢字工房は自由学習のための環境を提供するため、ナビゲーションによる学習支援は学習者の学習行動に対して誘導はするが、学習者はナビゲーションに必ずしも従う必要はない。そのため、アドバイザはナビゲーションが失敗した場合、以前の視点を棄却して新しい視点設定を行なう。

5.3 ナビゲーションの視点

我々は学習者にどのようなナビゲーションを行なえば効果的な学習行動が取れるか考察してナビゲーションの視点を抽出した。漢字工房は

- (1) 環境の操作方法に基づくナビゲーションの視点
- (2) 漢字の知識に基づくナビゲーションの視点
- (3) 教育目標に基づくナビゲーション視点

をアドバイザのナビゲーションの視点とする。以下にナビゲーションの各視点について詳述する。

[視点(1)] 環境に対する操作誤りにより設定する視点である。漢字工房では漢字作成フィールドの漢字の部分構造の入力が不正な場合に設定する視点である。例えば部分構造がまったく入力されていない場合や部分構造列に空リストがある場合に設定される。

[視点(2)] 領域知識に基づき特定の事例や一般化された事実により設定する視点である。特に領域知識の負事例に着目して設定する。アドバイザは

- (2-a) 漢字の造字パターンに基づく視点
- (2-b) 非部首漢字に基づく視点

の視点を持つ。視点(2-a)は漢字の造字法より、正当な部分構造入力パターンが限定されることを利用する視点である。視点(2-b)は、部首にならない漢字を負事例として利用する視点である。

[視点(3)] 漢字工房は部分構造からの漢字の理解が教育目標であり、正しい部首理解と部首レベルの書写順序把握を視点設定に利用する。アドバイザは

- (3-a) 部分構造の過度の構造化に基づく視点
- (3-b) 部分構造の冗長性に基づく視点
- (3-c) 部分構造の書写順序に基づく視点

の視点を持つ。視点(2-a)と(2-b)は正しい部首理解の教育目標による視点である。視点(2-a)は画のみから構成される漢字を部首と画(部首)で構成する場合に設定する視点である。視点(2-b)は部首と部首(画)から構成される漢字を画のみで構成する場合に設定する視点である。視点(2-c)は部分構造の組は正しいが配列が不正な場合設定する視点である。

5.4 ナビゲーションの駆動タイミング

ナビゲーションは駆動タイミングにより逐次ナビゲーションと遅延ナビゲーションの2種類がある。

逐次ナビゲーションは学習行動情報に基づいて視点を生成して即時にナビゲーションが駆動する。

逐次ナビゲーションに対して学習行動情報から視点が設定できず、学習行動履歴から学習行動が一般化できる場合に誘導を行なうのが遅延ナビゲーションである。例えば、部分構造として任意の部首と部首を入力として漢字作成を行って漢字作成が失敗しても、ナビゲーションのための視点が設定されない場合がある。ここで学習者が特定の部首に着目して他の部分を種々の部首で試行している場合、着目している部首から漢字が作成できるならば、作成方法として良い方法をとっていることを学習者に示唆するようなナビゲーションが有効であると考えられる。逐次ナビゲーションで学習支援できない学習行動に対する支援を、参照される学習行動情報の生成タイミングとの関係から遅延ナビゲーションと呼ぶ。

5.5 ナビゲーション機構

漢字工場のナビゲーション機構は教授戦略制御機構のサブモジュールである。ナビゲーション機構は誘導評価モジュール、誘導視点設定モジュール、誘導制御モジュール、学習行動推定モジュールから構成されており、各機構の関係を図3に示す。以下にナビゲーション機構を詳述する。

5.5.1 誘導視点設定モジュール

誘導視点設定モジュールは、アドバイザーのナビゲーションの視点を設定するモジュールである。学習者がナビゲーションに従った学習行動を取っている間は誘導視点設定モジュールの処理はパスされる。

ナビゲーションが行なわれていない状態で学習者が学習行動を行なった時、誘導視点設定機構により誘導の視点が設定される。また、ナビゲーションが失敗した場合、その学習行動に対してナビゲーションの視点が設定される。ナビゲーションの視点とそ

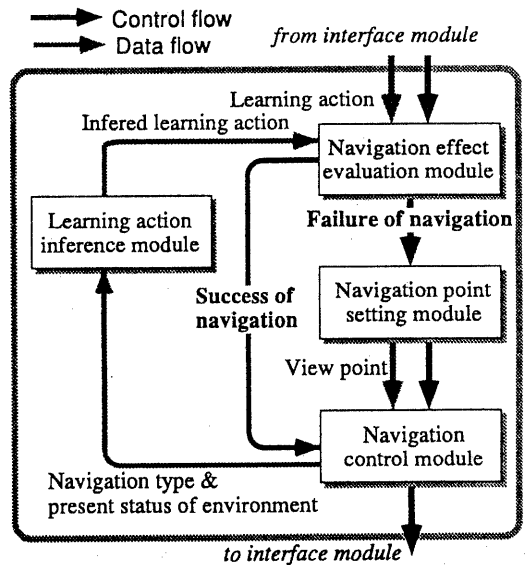


図3 ナビゲーション機構

の設定方法は誘導戦略知識ベースに記述されており、漢字工場の視点設定過程は図4のように表現できる。図中の Type1 から Type3 は部分構造の入力列のパターンを表現しており、Type1 は象形文字型の部分構造列、Type2 は指事文字型の部分構造列、Type3 は会意・形声文字型の部分構造列を表現する。例えば、視点(3-b)の視点設定では、入力された画から漢字を検索して該当漢字が部首レベルの構造を含んでいるか検索して判断する。全ての視点設定の検査に該当しない場合、学習行動は遅延ナビゲーションの対象として誘導制御モジュールで処理される。

5.5.2 誘導制御モジュール

誘導制御モジュールは逐次ナビゲーションと遅延ナビゲーションの学習支援情報を生成してインタフェイス管理モジュールに伝達するモジュールである。

ナビゲーションの視点が設定されれば、誘導制御モジュールにより逐次ナビゲーションが駆動される。誘導制御モジュールは設定された視点に従い、誘導戦略知識ベースよりナビゲーション情報のテンプレート知識を参照して学習支援情報を生成する。

ナビゲーションの視点が設定されていない場合、学習行動メモリの学習行動情報の履歴より学習行動の一般化を試行する。一般化できた場合、遅延ナビゲ

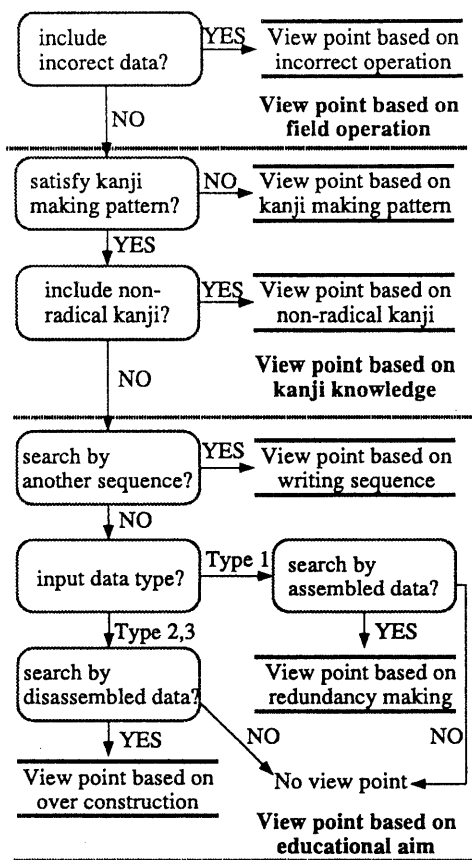


図 4 視点導出過程

```

### phase1 ###
student: tate,yoko,hidariharai,migiharai
system[MF]: construct no kanji
system[AD]: *navigation effect -> nothing
             *navigation point -> wrong sequence
             *navigation information generation
system[DF]: "You can construct kanji "木"
             by changing of data sequence"

### phase2 ###
student: yoko,hidariharai,migiharai,tate
system[MF]: construct no kanji
system[AD]: *navigation effect -> success
             *navigation information generation
system[DF]: "Your way is good but that sequence
             isn't right."

### phase3 ###
student: tate,yoko,hidariharai,migiharai
system[MF]: construct kanji "木"
  
```

図 5 ナビゲーションの例

ションの生成タイミングを満足していれば遅延ナビゲーションが駆動される。遅延ナビゲーションも逐次ナビゲーションと同様にナビゲーション情報のテンプレート知識を参照して学習支援情報を生成する。

それ以外の場合はナビゲーションによる学習支援情報の生成が見送られる。またナビゲーションが既に駆動されてかつ学習者がナビゲーションに従った行動を取っている場合、既に設定されている視点に基づき継続する学習支援情報を生成する。

5.5.3 学習行動推定モジュール

学習行動推定モジュールはナビゲーションに従った場合の学習者の行動を推定する。学習行動推定モジュールは誘導戦略知識ベースから、ナビゲーション情報による学習行動パターン知識を参照して、学習者の次の学習行動を予測する。

5.5.4 誘導評価モジュール

誘導評価モジュールは、ナビゲーションの視点の設定されている場合、学習行動の推定予測と学習者の実際の行動を比較して誘導が成功しているかどうか判断するモジュールである。ナビゲーションが成功している場合は誘導視点設定モジュールをバスして誘導制御モジュールに処理を移行する。ナビゲーションの視点は漢字作成が成功またはナビゲーションに従わない行動を学習者が行なった場合、誘導視点設定モジュールに処理が移行する。また、ナビゲーションの視点の設定されていない場合も誘導視点設定モジュールに処理が移行する。

5.6 ナビゲーションによる学習支援

本節は図 5 の逐次ナビゲーション例を用いてアドバイザーのナビゲーションによる学習支援例を説明する。なお、学習者の学習行動は図中ではコマンドラインで表現しているが、実際にはダイレクトマニピュレーションによる非テキスト操作である。

[phase 1] 学習者が漢字作成フィールドに画を入力して漢字作成ボタンを押下する。しかし、その組合せからは漢字が作成できないので漢字作成フィールドは何も表示しない。学習行動情報は教授戦略モジュールに伝達されて、ナビゲーション機構でナビゲーションの効果が半断される。この学習行動の前にはナビゲーションの視点の設定されていないと仮定する。誘導効果評価モジュールはナビゲーションの視点の設定されていないことを判断して、誘導視点設定モジュールに処理を移行して、視点の設定を行なう。この例の場

合は視点(2-c)の漢字の筆順に基づく視点が設定されて、処理が誘導制御モジュールに移行する。誘導制御モジュールは誘導戦略知識ベースからテンプレート知識を参照して“You can construct kanji "木" by changing of data sequence”なる学習支援情報を生成して対話フィールドから出力する。

[phase 2] 学習者は誘導に従い画の配列を変化させて、漢字作成フィールドの漢字作成ボタンの押下する。また、その組合せからは漢字が作成できないので漢字作成フィールドは何も表示しない(Construct no kanji)。学習行動情報は教授戦略モジュールに伝達されて、ナビゲーション機構でナビゲーションの効果が判断される。学習行動は学習行動推定モジュールで予測した行動パターンと一致するのでナビゲーションは成功したと判断され、誘導視点設定モジュールがパスされて誘導制御モジュールに移行する。誘導制御モジュールは誘導戦略知識ベースからテンプレート知識を参照して“Your way is good but that sequence isn't right”なる学習支援情報を生成して対話フィールドから出力する。

[phase 3] 再び学習者は誘導に従い画の配列を変化させて、漢字作成フィールドの漢字作成ボタンの押下する。今回は漢字‘木’が検索できたので漢字作成フィールドは‘木’を出力する。この時点で設定されていたナビゲーションの視点が解除される。

6 まとめ

本稿はナビゲーション機能を持つ環境型知的CAIについて論じた。この環境型知的CAIは学習環境とアドバイザーにより構成される。アドバイザーは学習環境の知識伝達の不完全性を補正する枠組みとしてCAIシステムに実現されて学習者の自由学習を支援する。実際の領域への応用として我々は漢字工房の構築を行なう。漢字工房は部分構造を組み立てて漢字を作成できる学習環境と、局所的な学習行動に対してナビゲーションによる学習支援を中心に行なうアドバイザーを実現した環境型知的CAIシステムである。学習者は漢字作成の過程を通して漢字学習が行なえ、学習が停滞した場合アドバイザーのナビゲーションによる学習支援により学習を効果的に進行できる。漢字工房のアドバイザーはナビゲーションを中心とした学習支援を行なうが、自由学習を疎外しない支援方法が他にも存在する。今後の課題は種々の

支援方法の抽出とその汎用化、および高度化である。

本研究の一部は平成4年度科学研究費補助金重点領域研究(1)(課題番号03245106)と同一般研究(C)(課題番号03680248)の補助を受けている。

参考文献

- [1] Hayashi T. and Yano Y.:“Development of a Kanji Dictionary Focusing on the Method of Constructing Japanese Kanji”, *International Conference on Multi-Media in Education and Training ICOMMET'91*, pp.121-126(1991).
- [2] Hayashi T. and Yano Y.: “Open structured CAI system for Kanji Learning”, *4th International Conference on Computers and Learning ICCAL'92*, I. Tomek(Ed.),“Lecture Notes in Computer Science 602, Computer Assisted Learning”, pp.271-282, Springer-Verlag(1992).
- [3] Yamasaki T., Yamamoto M. and Inokuchi S.:“Computer Coaching for Beautiful Handwriting of Japanese Characters in Elementary School”, *5th World Conference on Computers in Education WCCE'90*, pp.725-728(1990).
- [4] Wenger E.:“Artificial Intelligence and Tutoring Systems”, Morgan Kaufmann Publishers Inc.(1987); 岡本敏雄, 溝口理一郎 監訳, “知的CAIシステム”, オーム社, 東京(1990).
- [5] Halpern J.:“NEW JAPANESE-ENGLISH CHARACTER DICTIONARY 新漢英字典”, 研究社, 東京(1990).
- [6] 豊田順一, 中村祐一:“知的CAIにおける知識獲得と教授法”, *情報処理*, Vol.29, No.11, pp.1266-1274(1988).
- [7] 山本米雄, 柏原昭博, 川岸圭介, 塚本信宏: “個人用データベース構築ツール TRIAS の開発”, *情報処理*, Vol.30, No.6, pp.733-742(1989).
- [8] 山本米雄, 柏原昭博: “知識定着を目的とした開放型CAIのモデル化”, *信学論*, Vol.J72-D-II, No.9, pp.1459-1471(1989).
- [9] 竹内章, 大槻説平, 新ヶ江登美夫: “帰納学習と演繹学習を支援する統合環境 -Bimodus CAI-”, *信学技報*, Vol.91, No.441, pp.79-85(1991).