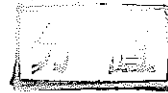


PNC-Y1605 95-001



限定資料

本資料は 年 月 日付けで登録区分、
変更する。

[技術情報室]

運転員のプラントに対する メンタルモデル獲得手法の研究

—— 知的教育システムにおける学習者モデルの位置付け ——

1996年3月

大阪大学産業科学研究所
動力炉・核燃料開発事業団

本資料の全部または一部を複写・複製・転載する場合は、下記にお問い合わせください。

〒319-1184 茨城県那珂郡東海村大字村松4番地49
核燃料サイクル開発機構
技術展開部 技術協力課

Inquiries about copyright and reproduction should be addressed to:
Technical Cooperation Section,
Technology Management Division,
Japan Nuclear Cycle Development Institute
4-49 Muramatsu, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki, 319-1184
Japan

© 核燃料サイクル開発機構 (Japan Nuclear Cycle Development Institute)

本資料についての問合せは下記に願います。

〒107 東京都港区赤坂1-9-13
動力炉・核燃料開発事業団
技術協力部 技術管理室



運転員のプラントに対するメンタルモデル獲得手法の研究
— 知的教育システムにおける学習者モデルの位置付け —

植田正彦¹⁾、笹島宗彦¹⁾、来村徳信¹⁾、池田満¹⁾、溝口理一郎¹⁾、
吉川信治²⁾、小澤健二²⁾

要旨

複雑で高い安全性／信頼性を要求される原子力プラントの運転員が、対象プラントに対してその診断や対応操作に関する的確な判断を行うための知識を有することは重要である。このような知識の形成を情報処理技術によって支援する技術の開発を目指した研究を平成6年度より開始した。この研究計画では、平成10年度に実プラントの一系統を対象として、その知識の形成を計算機との対話によって任意の運転員が行うことのできるプロトタイプシステムを開発することを当面の目標としている。このようなオフラインの教育システムの構築に必要な開発課題を整理した結果、システムと対話する運転員のその段階でのプラントに対する理解状況（学習者モデル）をシステムに取り込む技術開発が、最も難度の高い課題の一つであると予想された。本報告書では、複雑なプラントを運転する運転員に要求される判断能力と回避すべき誤謬、及び一般工学分野における教育システムに関する研究動向を分析し、知的教育システムにおける学習者モデルの位置付けとその要件を同定した。

1)大阪大学産業科学研究所 電子機器部門

2)大洗工学センター基盤技術開発部先進技術開発室



Acquisition Method of Operator's Mental Model for Target Plant
- Student Model as A Software Component Positioned within An Intelligent Tutoring System -

Masahiko Ueda¹⁾, Munehiko Sasajima¹⁾, Yoshinobu Kitamura¹⁾, Mitsuru Ikeda¹⁾,
Riichirou Mizoguchi¹⁾, Shinji Yoshikawa²⁾, Kenji Ozawa²⁾

Abstract

Appropriate decision making of nuclear plant operators in diagnosis and responding operation depends on their proper knowledge about the target plant, which is complex and is required high-level safety and reliability. PNC launched a research program to develop a software technology framework to support human operators in forming appropriately organized knowledge of the target nuclear plants in FY1994. The goal of this program is to build a prototype software system which helps an arbitrary operator to form and/or enhance her/his knowledge of particular system of an existing nuclear plant through interactive sessions with the system, in FY 1998. Acquisition technique of the system user(learning operator)'s state of plant understanding(student model acquisition) has been identified as one of the most challenging effort in this research program. This report discusses how a student model acquisition module should be positioned in an intelligent tutoring system and what kinds of criteria should be satisfied in such a module, after some analyses of what is requested and what should be avoided for plant operators and of general tendencies of the related research in other industrial fields.

1)Electronic Device Section, Institute of Science and Industrial Research, Osaka University

2)Frontier Technology Development Section, Advanced Technology Division, O-arai Engineering Center

目次

1章 序論	1
2章 知的教育システム	2
2.1 ITSの概要	5
2.2 教材知識モジュール	6
2.3 学習者モデルモジュール	7
2.4 個人指導モジュール	8
3章 ヒューマンエラーと運転員の行動モードの分類	10
3.2 Rasmussenの3つの行動モデル	12
3.3 運転員の3つの行動モデル特性比較	13
4章 訓練システムのための学習者モデルに関する基礎的検討	16
4.1 学習者モデル	16
4.2 問題の性質の分類	17
4.3 出題者の教授戦略の例	20
5章 結論	24

図表 目次

図 2. 1	ITSの一般的な構成	6
図 3. 1	ヒューマンエラーの分類	11
図 3. 2	Rasmussenの3つの行動モデル	12
表 3. 1	Rasmussenの3つの行動モデル特性比較	14
図 4. 1	問題の性質の分類	18
図 4. 3	解答の形の分類	19
図 4. 4	状況依存性の分類	19
図 4. 5	縦打ちと横打ちの判断に関する問題(1)	20
図 4. 6	縦打ちと横打ちの判断に関する問題(2)	22

第1章

序論

人工システムの巨大化にともない、システムの運転員に求められる能力は潜在的に大きくなってきている。マンマシンシステムの高度化により、安全性と効率を両立した自動運転が実現され、表面的には運転員の負荷は減少してきている。しかし、自動化には常に限界があり、システム運用の安全性が最終的に人間の理性的な判断によって保証されるという点で、予期しない事態における運転員の役割と責任は増大する一方であるというのが実情である。このような背景にあつて運転員訓練の質的向上に対する要請は「運転プロセスの品質保証」という側面を持っており、この問題に対する工学的貢献に対する社会的期待は小さくない。

訓練プロセスは、机上の学習と OJT/運転シミュレータとを有機的に結合して初めて成立する複雑な構造をもつ知識獲得・洗練プロセスである。本研究の目的はこのような学習プロセスを知的に支援する、訓練システム構築の方法論を確立することにある。運転員のアクティビティを大きく2つのカテゴリにわけて捉えることができる。

1. システムの状態を監視し、正常状態を維持する。必要に応じて保守業務を遂行する。
2. 異常状態を検出したら、原因を診断し、その解消のためのプランを策定し、実施する。

Rasmussen は、これらのアクティビティをメンタルプロセスと結び付ける過程でスキルベース、ルールベース、知識ベースに分類している。無意識のなかで半自動的に産み出される振る舞いをスキルベース、意識的に、状況認知に直結したルールが適用されて発現する振る舞いがルールベースである。知識ベースの振る舞いは、適用すべきルールがない状況において典型的に発現し、原理知識から演繹的に導かれる判断に基づく振る舞いを意味している。訓練システム的设计にあたっては、このような差異を考慮することが必要である。

直観的に、上記の2つのカテゴリとの対応を考えると、前者ではスキルベースとルールベースの振る舞いが支配的であり、後者は知識ベースの振る舞いが支配的になると考えられる。既存の運転員訓練システムでは、スキルベースとルールベースの振る舞いのパフォーマンスを向上させることを目的として開発されており、第一のカテゴリ、あるいは異常に対する定型的な対応を想定した第二のカテゴリを対象としている事例が多く、知識ベースの振る舞いを対象とした訓練システムの開発事例は極めて少ない。

この理由の一つに、複雑かつ大規模なシステムの運用プロセスをモデル化するための工学的基盤が確立していなかったという状況をあげることができる。しかしながら、現状は、人工システムのモデリングに関する要素技術の確立が進み、それを統括する様々な観点からの知識の表現と利用に関する体系（オントロジー）について、本格的な取り組みができるようになりつつある。本研究は、このような観点から、スキルベースから知識ベースまでの振る舞いを対象とした知的訓練システムの要素技術について再検討し、過去の研究資産を包括した体系化を最終的な目標としている。このために必要な主要な要素技術をまとめると以下のようなになる。

1. 対象モデルのオントロジーの構築
2. 知識レベルのモデル推論技術の開発
3. 運転業務のタスクオントロジーの構築
4. 訓練システムのタスクオントロジーの構築
5. 訓練システムのための学習者モデルの構築技術の開発

本研究プロジェクトにおいて、上記課題 1 及び 2 について基礎研究が収束段階にあり、その成果をオントロジーとして再定式化する段階に達している。本報告は、1,2 のオントロジーを踏まえた 3,4,5 の研究課題に関する第一報である。

本報告においては特に課題 5 の学習者モデル構築技術の基礎的検討を報告している。学習者モデルは訓練システムの動的な振る舞いの制御に根拠を与えると、いう点で中核的な役割を担う機能モジュールである。

以下、本報告では、2 章において知的教育システムの一般論を、3 章においてメンタルモデルに関する既存の理論を総括する、4 章において学習者モデル構築のための基礎的な検討を行う。

第 2 章 知的教育システム

教育システムの歴史を振り返ってみると、1950年代の後半から人間の学習支援に直接計算機が利用されるようになってきた。最も古く開発された CAI (Computer Assisted Instruction) はあらかじめ考えられる教育のシナリオを計算機に記述し、計算機は忠実にそのシナリオを再現することであった。しかしながら CAI は以下のような問題点を持っていた。

1. システム主導型制御のため、学習者の主体的な学習意欲を失わせる恐れがある。
2. 質問の一方通行なので、学習者は質問と応答のやりとりができず、学習者の

疑問を解消させて深い理解を得させることは難しい。

3. 解答の入力形式が限定されるので、システムが出題する問題の形式が制限される。
4. 同じような応答形式の繰り返しが多いため、学習者は飽きやすく学習意欲が削がれる恐れがある。
5. 状況に関係なく、同じ誤りにはいつも同じ処方がなされる。

以上のような問題点を解決することを目的として、新しい教育システムである ITS (Intelligent Tutoring System) が登場した。ITS は CAI に知識工学の成果を取り入れて人間のように高度で知的な教育行為を計算機によって実現することを目指すもので、将来の教育システムを展望する上で重要な役割を果たしている。CAI では実現できず、ITS において初めて実現することができた教育的機能には次のようなものがある¹⁾。

1. 適切に表現された領域知識を用いて問題を作成し、正しい解答を求めることができる。学習者から与えられた問題が対象領域内であれば、正しく解答することができる。
2. 問題解決過程を導出木にしたがって自然言語を用いて説明することができ、学習者の質問に答えることができる。
3. 問題解決過程において学習者が用いた正しい知識を同定できる。また、間違った解答をした場合、学習者が用いた間違った知識を同定することができ、さらに、誤りの原因を同定することができる。ただし、同定できる誤りの知識は、対象領域の知識と学習者モデルの内容から推定できる範囲に限られている。この範囲を外れた間違いには対処できないので、完全ではない。
4. 上の結果を用いて学習者モデルを構築し、対象領域に属する任意の問題について、学習者の問題解決過程を予測することができる。
5. 教師が用いるいろいろな教授戦略を知識表現し、学習者モデルの内容と学習状況に応じて、学習者ごとに適切な教授戦略を選択することができる。
6. 学習者モデルの知識の定着度と誤り原因、および学習進行中の文脈を参照することによって、その時点で最もふさわしい教育的対話のシナリオを生成することができる。

以上のように、シナリオ通りにしか動作しない CAI とは違い、ITS は学習者の理解状態を把握してその学習者に沿った柔軟な教育を施すことができる。しかしながら、一般に ITS の性能は学習者の知識構造とシステムの知識構造の類似性に大きく左右され、学習者とシステムの知識構造が類似していればいるほどコミュニケーションが円滑になり、知識伝達の効率が向上する。このような知識構造とインストラクタの技能を工学的に分析し、学習者の個々の理解状態に応じて柔軟に対応できる訓練機能を計算機上に実現することが本研究の目標で

ある。

本章では、ITS の一般論について述べ、現在までに開発されてきた ITS の幾つかを紹介しながら ITS の研究の現状について述べる。更には、そこに内在する問題点を明らかにしていく。

2.1 ITS の概要

教育は知識の相互伝達プロセスである。これを達成するためには従来の CAI システムの能力を越えた知性が計算機に要求される。人間同志の一般的な対話が相手の理解状態を把握することなしには成立しないことと同様に、学習者の理解状態を把握することなしに知的な教育を行うことはできない。また、個々の学習者の能力に適合した対話列の生成や教育すべき教材知識に関する問題解決能力なども知的な教育を行うために必要となる教育技能である。

このような認識の基に、知的教育システム (ITS: Intelligent Tutorial Systems) の研究では、従来からの教育システムでは混然一体に表現されていた教材知識と教育を制御するための知識を、教材知識モジュール、個人指導モジュール、学習者モデル構築モジュールという 3 つの構成要素へと独立した形で表現するという方法論が確立された。これにより、システムの構成が透明になっただけでなく、教育に必要となる様々な知識をそれぞれの適正を反映して記述できるため、知識工学的にも重要な発展をもたらしたといえる。

一般に ITS は図 2.1 に示すような、学習者モデルモジュール、教材知識モジュール、個人指導モジュールの 3 つのモジュールから構成される。この 3 つのモジュールは教育における最も高い抽象レベルにおけるタスクの分類を表している。ここでの”タスク”とは、教育に必要となる技能単位と定義している。学習者モデルモジュールは、教育課程の各時点における学習者の理解状態をモデル化し、学習者に与える最適な教育戦略の選択に様々な根拠を与える。教材知識モジュールは、各教材固有の知識を蓄えるモジュールであり、個人指導モジュールは、学習者モデルモジュールから与えられる学習者の理解状態に関する情報と、教材知識モジュールから与えられる教材固有の知識から、学習者に対する最適な教育戦略を選択し実行するモジュールである。以下、個々のモジュールごとにその設計理念とそれが抱えている問題点について述べる。

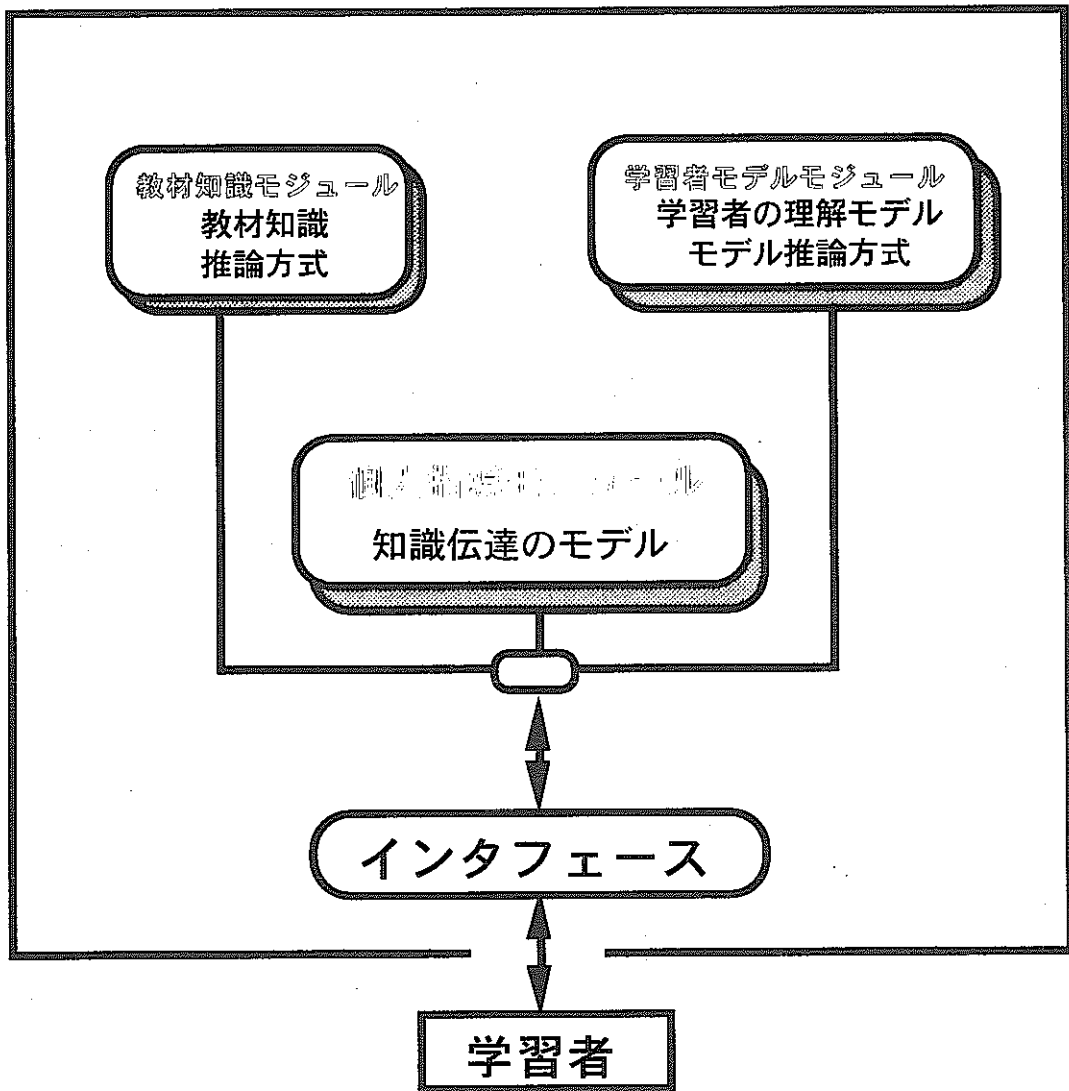


図 2.1 ITS の一般的な構成

2.2 教材知識モジュール

教材知識モジュールは、問題生成部と学習者の答えの評価部などからなる。この際に問題となるのが教材に関する教材知識の表現法である。例えば SCHOLAR 等では、因果または関係推論を含む質問の生成、および解答には意味ネットワーク（ノードで対象を、リンクで対象の関係を表し、この組み合わせのネットワークである概念の意味を表すようにした知識表現法）を用いた表現法という二つの点についてその有効性が示されている。プロダクションルールでは、ルールの条件部が、教育目標を達成するために学習者が習得しなければならない副目標に対応している。

さらに教材知識の問題解決として学習者にきめ細かい助言を行うため、ひとつ

の問題に対していくつかの方法で解けることが要求される。

また ITS の設計上、教えるべき課題である教材知識から教育戦略を分離することが重要である。この部分が後に述べる個人指導モジュールであり、個人指導戦略を明示的に表現することにより、従来の教育システムと比較して ITS は表現と制御の柔軟性およびモジュール性の点で飛躍的に向上した。

2.3 学習者モデルモジュール

学習者モデルモジュールは ITS の核であり、いかなる型のシステムでも必須のモジュールである。このモジュールは、学習者が教材のどの部分を理解し、どの部分を理解していないのか、また知識をどのように誤って理解しているのかを表している。学習者をモデル化する目的は学習者の理解の状態の仮説を形成することにある。これにより個人指導モジュールは学習者の誤りを指摘し、なぜ正しくないのかを示したり、学習者の誤り方を分析し誤った知識の修正方法自体を習得させることも可能になる。このような理由で、学習者モデルの生成と利用の問題は ITS の最も重要な課題のひとつになっている。

このモジュールに与えられるタスクは、学習者の理解の同定（学習者モデル構築）と学習者の誤った知識の同定（誤り診断）である。これら2つのタスクを分離せずに同一のものと見なすこともできる。バグモデル、オーバレイモデル、摂動モデルはいずれも、学習者モデル構築と診断を同時に扱っている。バグモデルでは使用したバグ知識が誤った知識を直接表しており、オーバレイモデルは欠落しているとされた知識が学習者の理解の誤りを直接表している。教材知識に摂動を与えて学習者モデルを構築する（教材知識を変形して誤った知識を形成する）摂動モデルにおいては、もとの正しい知識と摂動操作の種類によって誤りを同定することができる。しかしいずれの方法も学習者の誤りを正確に判断するという上で適切な方法とは思われない。なぜなら、バグモデル、オーバレイモデルでは、推定可能な学習者の理解を予め用意した知識に限定することになり、多様な学習者の理解に対応することができない。また摂動モデルにおいては、摂動操作がそのまま学習者の誤り生成過程（元の知識と誤った知識の対応関係）を表しているか否かに疑問が残る。

我々が整理した学習者モデルを構築する際に利用可能な情報には次の4つがある。

1. 学習者の問題解決の振る舞い
2. 学習者に出された質問に対する答え
3. 学習者のこれまでの経験
4. 課題の難しさなどの尺度に基づく教材知識の性質

学習者モデルモジュールは、これらの情報から、効率よく正確な学習者の理解

状態を表現し、かつ学習者の持っている誤りを精密に分析しなければならない。このことが達成された時、学習者の能力に応じた例題、説明の生成、より知的な知識の伝達が可能になる。

2.4 個人指導モジュール

個人指導モジュールは、学習者との対話から学習者に提示する問題の選択、学習者の振る舞いの監視評価、学習者からの要求に対する援助、補助教材の選択を行うモジュールである。つまり学習者モデルに基づいて適切な教育戦略を決定する役目を持つ。これについて Brown は、次のように述べている。

「教えることは、その課題領域を熟知していることはもちろん、それ以上の知識を必要とするひとつの技能である、という基本的な事実由来するいくつかの問題がまさに存在する。」

これは、その課題領域や学習者の理解度の表現を越えた教え方についての知識の存在を指摘している。ほとんどの ITS の研究は、診断のモデル化を基にした教育方法を探求してきた。この方法は、システムが問題を提示し、学習者の応答を評価することによって学習者の誤りを修正するもので、人間の教師の持つ技法の一部を実現している。最近、学習者に対する適切な助言により学習者自身が誤りに気づき、そこから自己修正を試みるという方法に関心が持たれている。この方法を用いるためには、学習者の犯している誤りに正確に焦点を当て、的確にその誤りを特徴づけ、さらに適切な助言を行う必要があり、学習者の理解およびその過程（解を得るために学習者が使用した知識や方法）をできるだけ忠実に表現している学習者モデルを構築する必要がある。

いくつかのシステムで実現されているもうひとつの教育戦略に、“コーチ”と呼ばれる方法がある。この方法は、ある時間内にあらかじめ用意されている訓練計画をこなすことには重点を置かず、計算機上のゲームなどの活動に学習者を引き込むことにより、技能および一般的な問題解決能力を習得させることを目標としている。教育戦略は、学習者がゲームを行うのを観察して学習者に割り込み、新しい情報と新しいゲーム戦略を助言する。コーチ型の教育戦略でも、学習者がどんな技能や知識を得たいとしているかを正しく見分けたり、いつゲームに割り込んで助言すると効果的かを判断するため、やはり正確な学習者モデルが必要となる。

ここで述べた教育戦略は、いずれも単体で教師の技法の一部を実現したものである。知的な教師の実現のためには、これら複数の戦略を有機的に結合し機能させなければならない。そのための枠組みとして、Woolf らは、教育行動を階層的にネットワークとして表現することにより様々な教育戦略を実現するための汎用フレームワークである MEMO-Tutor を開発している。このネットワーク

(DMN:Discourse management network) は教育学レベル、方略レベル、戦術レベルの3つの階層からなり、対話のプランニングはこのネットワークを上位階層から下位階層へと精密化する過程として定義されている。MEMO-Tutor の汎用性は、

- 1) 教材知識や言語生成部とネットワークとの明確な分離
- 2) 局所的な情報に基づく状態遷移と大局的な情報に基づく状態遷移のための機構の分離により達成されており、これによりソクラテス式教授法やコーチなどの様々な教育戦略をこのフレームワーク上において実現できる。

第3章

ヒューマンエラーと運転員の行動モードの分類

知的訓練システムでは、従来のように知識を厳密に伝えることに主眼を置くだけではなく、伝えられた知識を実際の状況に合わせて適切に使いこなす能力を持たせることが重要である。そして状況を考えるときには3つのレイヤーと強く結びつけることが重要で、これが Rasmussen の3階層モデル(スキルベース・ルールベース・知識ベース)である³⁾。

最終的にこの研究の目的は、この3階層モデルを総合的に扱うような知的訓練システムを作ることにある。

3.1 ヒューマンエラーの分類

変電所のような巨大技術システムでは、マンマシンインターフェースを介してシステムに組み込まれた人間が犯すミス(ヒューマンエラー)がしばしば致命的な大事故の原因となっている。その要因として、システムの巨大化、複雑化によるシステムのブラックボックス化、変電所の異常や緊急事態での対処能力の低下やストレスの増加、やりがいの喪失などが挙げられる。このようなことを避けるために必要なことは、ヒューマンエラーの特徴を知りそれぞれのタイプを理解し、それを未然に防ぐ教育・訓練の体系を整備することである。それによって事故が減少し、もし仮に起きたとしても被害を最小限に抑えることができる考えた。これを達成するために Rasmussen の研究を参考にヒューマンエラーについて考察する。

まずヒューマンエラーは意識しない行動と、意識した行動に分類される。さらに意識しない行動はスリップとラプスに、意識した行動はミステイクと違反に分類される。またスリップ・ラプス・ミステイクは基本的なエラータイプとして違反と区別することができる。それぞれの例を挙げてエラーについて説明する。スリップはタイピングミスとか順序ミスなどのように、意図は正しいが操作を実行するときに無意識に犯すエラーであり、ラプスは実行そのもの、つまり意図を忘れてしまうといったエラーである。ミステイクは次章で述べる日頃の経験で頻度が高かったり、強い習慣の侵入によるパターン化されたエラーである。これら3つの基本的なエラータイプは、インターフェースでの人間の情報エラーに起因するものである。違反は完全に意識したエラーで、むしろ犯罪的な要素を有しているといえ、このタイプは組織的要因の影響が大きい。

以上をまとめてシステムと人間の関わりにおいて必要なヒューマンエラー形式の分類を示すと図3.1のようになる。

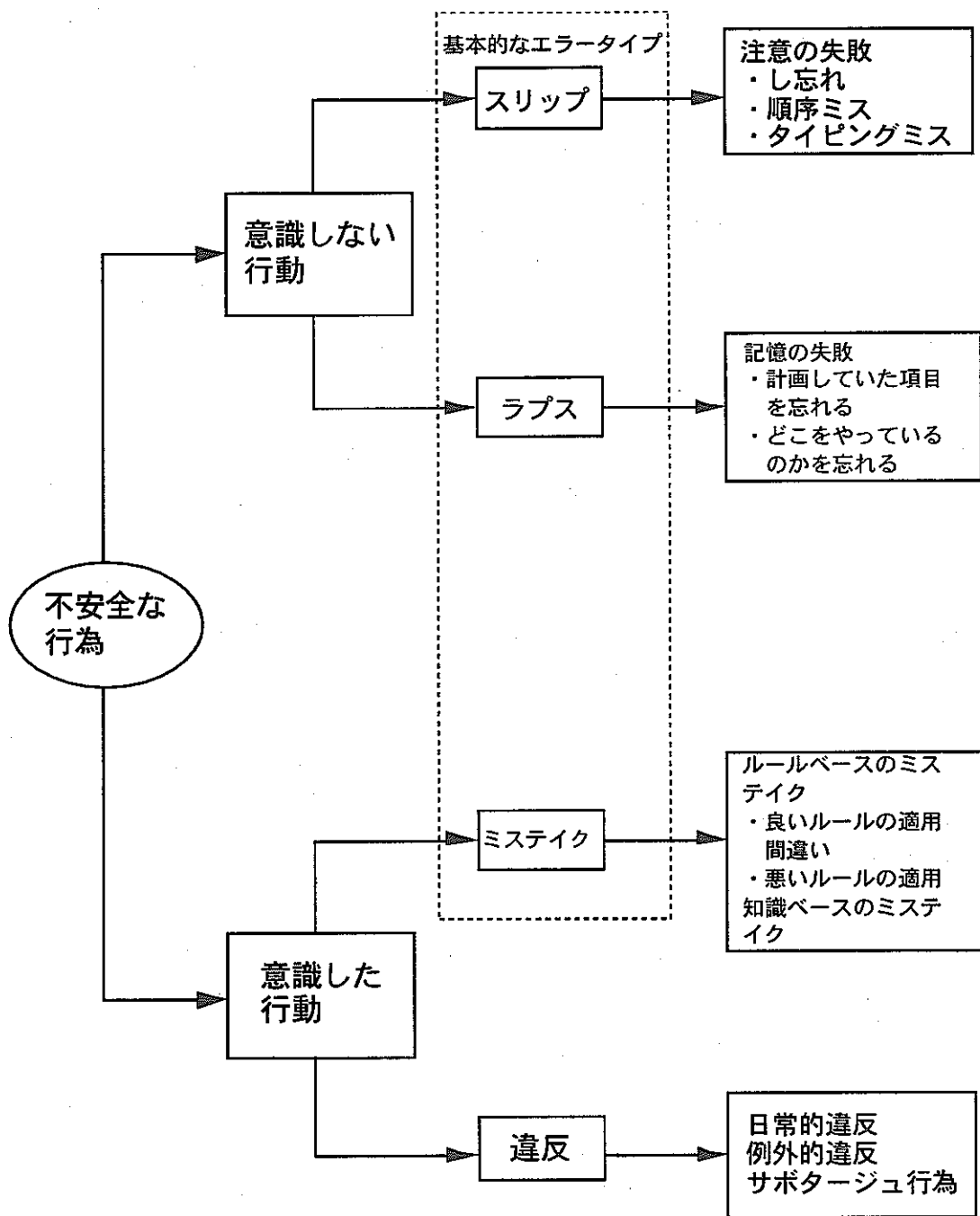


図 3.1 ヒューマンエラーの分類

3.2 Rasmussen の3つの行動モデル

前節でヒューマンエラーについて述べたが、それぞれのヒューマンエラータイプがどのような状況の下で起こっているのかが分かれば、本研究で対象としている知的訓練システムのための基本的知識の性質が明らかになる。ここでは、その目的のもとで先に述べた Rasmussen の分析した3階層モデルについて様々な角度から考察する。

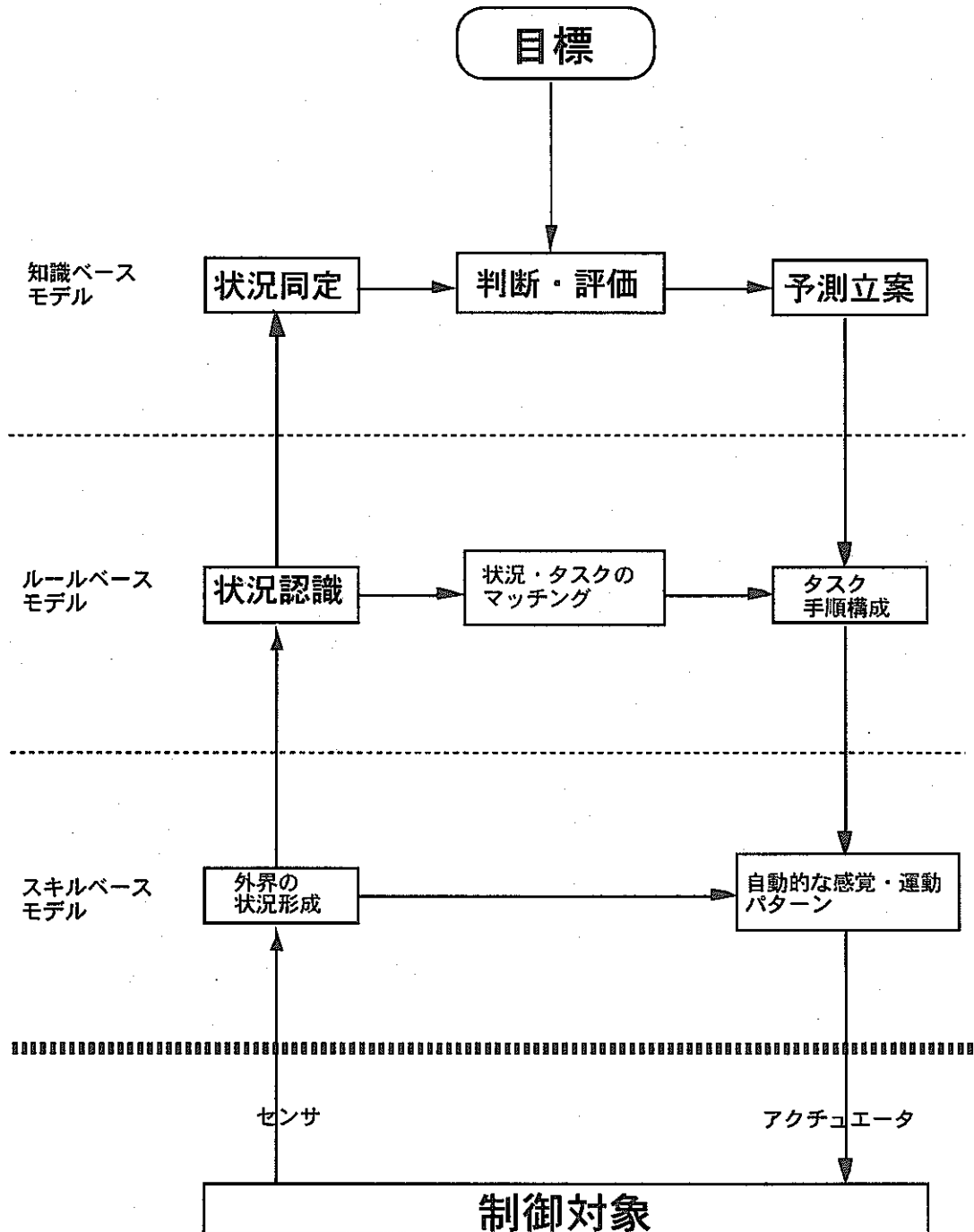


図 3.2 Rasmussen の3つの行動モデル

Rasmussen は、運転員の行動モードを分析し、運転員の認知行動は、無意識な反射運動としてのスキルベース行動、意識的ではあるがパターン化されたルールベース行動、意識的で抽象的論理的思考操作を行う知識ベース行動に分類した。

ある制御対象があるとする、スキルベース程度のレベルではその状況を形成し自動的な感覚または運動パターンとして出力するに留まっているが、ルールベースレベルになると状況を認識し、状況とタスクをパターンのではあるがマッチングさせることができる。そして知識ベースのモデルになると状況を同定し、目標のもとに適切に判断・評価して予測立案することもできる。つまり配電用変電所における運転員は意識の浅いスキルベース行動では、事故を事前に防止することはできず事故が発生して初めてその状況を認識することになり、復旧が主な操作になる。しかし明確な意識下にある知識ベース行動では状況を予測できるため、事故を事前に防ぐことが操作の主な目的となる。スキルベース行動と知識ベース行動の中間に存在しているルールベース行動では、防止と復旧の中間的な制御である診断や監視がメインとなる。今述べたような3階層モデルをわかりやすく図にすると、前頁の図 3.2 のようになる。

3.3 運転員の3つの行動モデル特性比較

無意識的なスキルベース行動と意識的な知識ベース行動の違いは明確であるが、2つの行動の中間に置かれたルールベース行動の存在はわかりにくい。Rasmussen は3階層モデルを様々な項目によって比較し、その特性の違いを明確にした。本節ではそれについて述べる。

まず意識と無意識という観点では、スキルベース行動はルーチン行動、ルールベース行動と知識ベース行動は問題解決行動であるといえる。しかしパターンで比較すれば、スキルベース行動とルールベース行動はなじみのある状況が多く、なじみのない新規な状況が多い知識ベース行動と区別することができる。

プロセス制御にあたる運転員には入力となる情報は、スキルベース行動では連続的な Signal として、ルールベース行動では行動を変更ないし活性化される Sign として、知識ベース行動ではメンタルモデルを駆使する Symbol として使用される。よってストレスに対する感度は、メンタルモデルを駆使する知識ベース行動ではヒューマンエラーの起こる割合も高くなると考えられる。一方、スキルベース行動では連続的でありストレスにはあまり影響されない。

また注意の焦点は、スキルベース行動は目下のタスク以外のものに、ルールベース行動と知識ベース行動は関与している問題に向いている。

制御のモードは、スキルベース行動とルールベース行動は主として並列的な自動処理であり、知識ベース行動では資源制約的で意識的な直列処理である。よってエラーはスキルベース行動とルールベース行動では大抵迅速かつ効率的に

予測検出することができ、反対に知識ベース行動では予測が困難であり外からの介入によって検出されることが多い。

表 3.1 Rasmussen の 3 つの行動モデル特性比較

項目	スキルベース行動	ルールベース行動	知識ベース行動
行動のタイプ	ルーチン行動	問題解決行動	
	なじみのある状況 滑らかで労力がかからない		なじみのない 新規な状況 遅くて断続的
入力となる情報	連続的な Signalと して使用	行動プランを変更 ないし活性化される Signとして使用	メンタルモデルを 駆使する Symbolと して使用
注意の焦点	目下のタスク以外 のもの	関与している問題に向いている	
制御のモード	主として並列的な自動処理 (スキーマ) (内蔵ルール)		資源制約的で意識 的な直列処理
エラータイプ の予測性	大抵予測可能、強い習慣の侵入による "strong-but-wrong" エラー (行為)	(ルール)	変動的、 初心者のエラー
ストレスに対する 感度	低い	中程度	高い
エラー発生の潜在 的機会数と実際の 生起回数との比	実際の生起回数の絶対数は高い。 しかし、エラーの潜在的機会数との 比は小さい。		絶対数は小さい。 しかし、比で見ると 大きい。
状況要因の影響	低いか中程度 内在的要因（以前の使用頻度）が 支配的		外的要因が 支配的
エラー生起の引 金となる外界の 変化との関連性	外界変化に関する 知識が適切なタイ ミングで活性化さ れない	想定される外界変化 がいつどのように起 こるかの知識が欠如 している	外界変化に関する 知識がないか、想 定していない
検出の容易さ	大抵迅速かつ効率的に検出		困難。外からの 介入によって検出 されることが多い

以上のように、ルールベースモデル行動はスキルベース行動により近い存在でありながら、意識と無意識で分ければ知識ベース行動に近い存在となるという矛盾した特質を持っている。

前頁の表 3.1 に今述べたような Rasmussen の 3 つの行動モデルの特性比較とそれぞれのモデルでのヒューマンエラーの性質を示す。

第4章

訓練システムのための学習者モデルに関する基礎的検討

学習者モデルは知的訓練システムの核となるモデルの一つである。システム全体の振る舞いは、基本的にこの学習者モデルの状態を拠り所として決定される。ここでは、第3章で述べたような3階層モデルを、知的訓練システムのための学習者モデルに展開するために、既存の（知的機能のない）訓練システムに実装されている問題を分析する。

ある問題が出されて学習者が出題者の思った通りに答えたときには、それが正答にしる誤答にしる、その教材を作った人の意図の通りに学習者が振る舞ったという仮説が成り立つ。学習者の応答に対する出題者の振る舞いは、その仮説に対するシステムの処方である。訓練システムに実装されたシナリオを分析し、出題の意図と学習者モデルの関係、学習者モデルとシステムの振る舞い（教育戦略）の関係を抜き出すことによって、「学習者モデルに基づいた教授戦略の運用」という知的教育システムに一般的な図式を考えることができる。このような図式を、変電所の事故時運転業務から読みとり、一般化することが本章の目的である。

4.1 学習者モデル

学習者モデルについて従来の知的教育システムに関する研究を振り返ってみると、正しい知識あるいは誤った知識を学習者がどのような理由で考えたかということを知識として表現することが目標に置かれていた。知的訓練システムでもこの点は基本的には同じで、学習者がどのような理由でどういう誤りを犯したかということモデル化する必要がある。

ただし、訓練の対象となるような教材、例えば、電力システムの復旧・業務などでは他の知識主導の問題解決、例えば、数学・物理などの問題を解くやり方とは違って、「状況」を分析してその状況のもので最良のものを導き出す演繹的な手法というよりは、経験に基づいた総合判断という形で事故復旧案を作っていく必要がある。そのような能力を形成するためには様々な状況を設定して、その中で自分の持っている知識をどう運用するかということ教える必要がある。通常の教材であれば、簡単あるいは基礎的な問題から複雑な問題へという配列

が普通であるが、訓練システムではむしろ多くの知識形成という観点から系統的に配列された状況を経験させて、自分の持っている知識の細かい断片を総合的に運用する能力を作るのが目的である。

そのような目的のために制御所の専門家が初心者に教える過程を分析してみると、いろいろな事故状況を設定して、そこに様々な教育的意図を込めて総合判断にとって重要な原理的知識と対応づけた説明を設ける点に多くの努力が注がれていることが分かる。このことは、訓練システムのための学習者モデルを作るにあたっては、訓練システムがどういう設問を設定して、その設問に対する応答に対してどういう反応をする（処置を行う）かということ进行分析し、そこから学習者モデルをどう作ればいいのかということ考察することの重要性を示唆している。

本研究で分析対象とした訓練システムに実装されたシナリオの例はそれほど多くなく、研究対象が限定されてはいるが、最初のステップとして分類の観点を整理することを試みた。

4.2 問題の性質の分類

問題の性質は問い方・解答の形・状況に分類される。問題の問い方には記述型・選択（ $N \rightarrow m$ ）型・訂正型がある。解答の形には数式型・図形型・導出過程型・順序型があり、導出過程型には formal と informal がある。状況依存性による分類では、地域依存型・位置依存型・時間帯依存型・運転状態依存型・業務経験依存型というように、各対象業務に依存して依存性を類別する必要がある。これらの分類を複合することによって、訓練システムの問題の性質を特定することになる。それぞれの型の代表的な問題の例を示しながら説明する。

記述型は、小論文を書くような対象や過程の特質を客観的に秩序正しく記載するような問題形式であり、説明や論証の予備段階として必要である。

選択（ $N \rightarrow m$ ）型は N 個の選択肢の中から m ($1 \leq m \leq N-1$) 個の解答を選び出すような問題形式で、意図的に $N-m$ 個の誤りが含まれる。

訂正型は正誤問題のように誤りを正し改めるような問題形式である。

数式型は三角形の面積を求めるような問題形式であり、時には例外もあるが、国語の文章題と違って解答は唯一つしか存在しないので、問題解決の性質としてはパターン化しており、限られた数の形式でしか問題が作成できない。例えば、選択型で数式型の問題と記述型で数式型の問題を比較すると、学習者が問題解決中に消費する思考のためのリソースに大きな差があり、結果として学習効果に差が生じる。つまり選択型では深く考えることなく回答することがあり、問題への集中の度合いが相対的に小さい場合が多くなりうる。よって数式型の問題には記述型の回答様式が組み合わされることが多い。物理などの分野

では解答導出過程を誘導する形式の選択問題が出題されることがある。これは二つの側面で意味がある。一つには、ともすれば直感的になりがちな解答導出過程に、その明示化を強いることで論理性を要求するという効果が期待できること。もう一つは、学習者モデルのため情報源として解答単体よりも、情報量が大きいことを期待できる点である。

図形型はグラフの概形を描かせるような問題形式であり、記述型との組み合わせが典型的である。

導出過程型は三角形の合同を証明するような問題形式であり、前提された命題から論理の法則に従って必然的な結論を導き出す思考の手続きである。出題形式は比較的自由度が高く、典型としては順序型の導出過程型の問題、数式型で導出過程型の問題である。

順序型は、訓練対象の操作系列（例えば、事故発生時の復旧操作）に関する出題に多く現れる。操作系列を秩序立てて筋が通るように並び替えるような問題形式である。また操作群に誤答を混入させておけば、 $N \rightarrow m$ 型の順序型の問題となる。実際、事故発生時のシナリオでは様々な誤りパターンを想定し、それに応じて様々な形態で適応的に教育戦略を運用している。

状況依存性については状況依存型・状況非依存（独立）型に大分類される。状況依存型は、訓練対象の業務に応じて地域依存型・位置依存型・時間帯依存型・運転状態依存型・業務経験依存型に類型化される。しかしながら、状況依存型は経験によって暗黙的に形成される知識であって、その妥当性を一般的な観点から学習者に説明することは困難である。むしろ出題者は様々な状況を与えて、その経験から学習者自らが修得することを期待しているのである。

以上で述べたような問題の性質の分類を図 4.1～図 4.4 に示す。

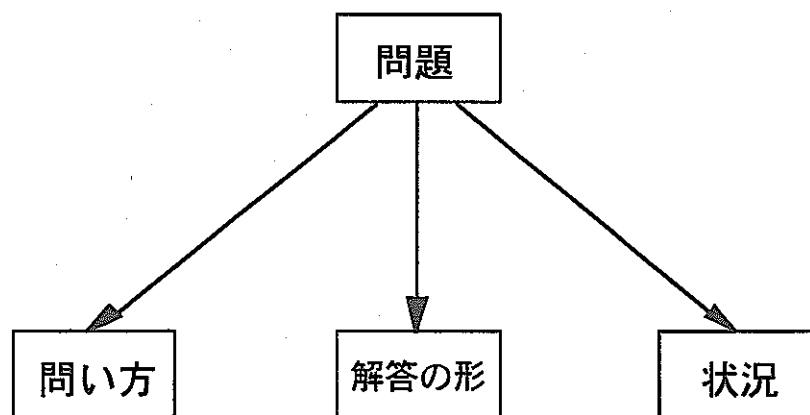


図 4.1 問題の性質の分類

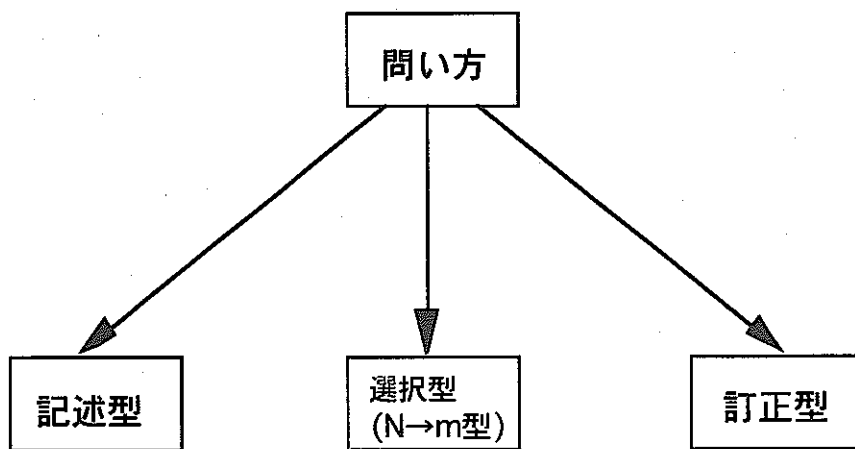


図 4.2 問題の問い方の分類

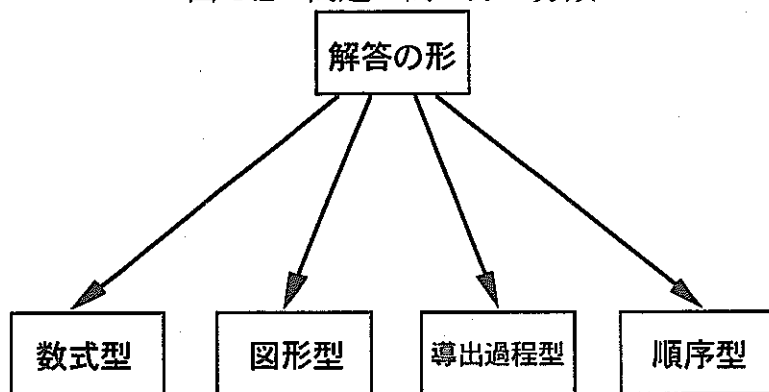


図 4.3 解答の形の分類

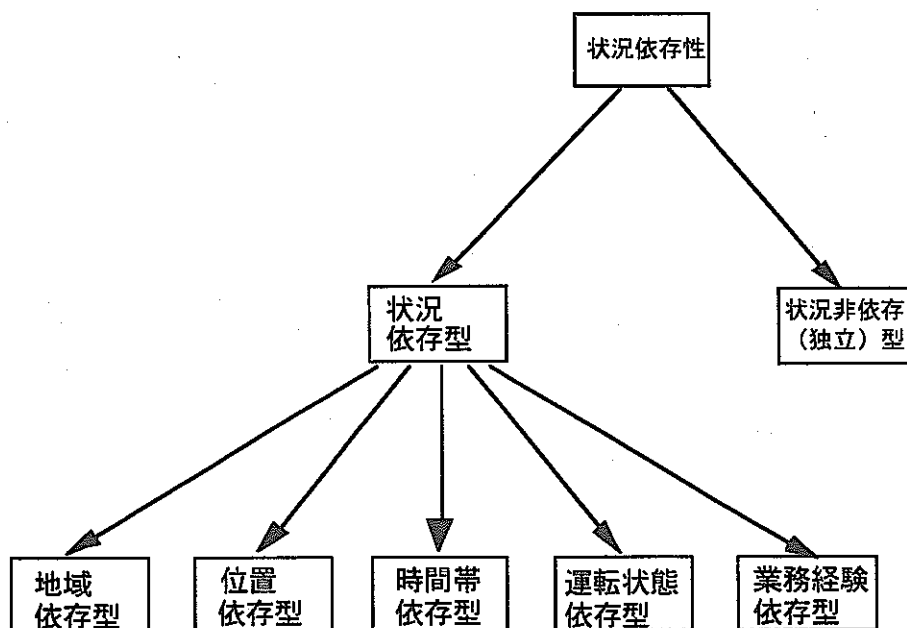


図 4.4 状況依存性の分類

4.3 出題者の教授戦略の例

本節では実際に前節で分類した問題の例を挙げて、学習者の解答に対する出題者の処方について述べる。まず変電所における「横打ちと縦打ちの判断」に関するシナリオを図4.5に示して説明する。

<横打ちと縦打ち>

質問：
横打ちをするか縦打ちをするかという判断に関係しているものはどれか？

選択肢：

- (1) 事故発生の6.6kV設備の負荷の大きさ
- (2) 支店大、電力所大の運用方針
- (3) 6.6kV設備の母線形態
- (4) 6.6kV設備の保守、点検状況
- (5) Tr 二次電力ケーブルの敷設など設備の構成や構造

対応：

- [1] (1) or (3) を選択したら横打ちと縦打ちの判断に(1)と(3)が無関係である理由を説明する。
- [2] (2) を選択したら運用方針について説明する。
- [3] (5) を選択したらケーブル敷設について説明する。
- [4] (4) を選択したら設備の状況について説明する。

図4.5 縦打ちと横打ちの判断に関する問題(1)

「縦打ちと横打ち」は、変電所事故において原因を同定する際の戦略の呼称である。上下方向に供給側と消費側を配置し、下左右方向に消費者の地域の広がり配置した配電系統図において、縦打は供給と需要を速やかに結合するための戦略、横打ちとは需要内で電力を融通する戦略である。

前者が即時復旧を狙っているのに対し、後者は暫定復旧を狙う戦略という点で対照的である。縦打ちでは配電が不可能になった場合に配電線が切れた場所を過去の例や直感などから特定し充電することで、横打ちのように丹念に原因を同定するやり方とは違って高速性に優れているが、特定した場所が誤った場合には横打ちをしなければならず、時間を浪費してしまう可能性が高い。

上で挙げた問題は誤りを含む解答群の中から正解を選び出すというものである。これは問題の性質でいえば、(選択型/導出過程型・informal/状況依存型)

に該当する。ここで出題者は解答群の中に（１）事故発生の 6.6kV 設備の負荷の大きさ、（３）6.6kV 設備の母線形態という 2 つの誤答を混入しているが、（１）や（３）は事故後の復旧の際に必要なことであって横打ちと縦打ちの判断には関係ない。

誤答に対するシステムの対応をみてみよう。例えば [1] では（１）や（３）を選択したらなぜ横打ちと縦打ちに（１）と（３）が無関係であるかを説明するより前に、事故後の復旧の際には（１）や（３）が必要かどうか質問し、必要ならば縦打ちと横打ちには無関係であることを理解させ、もう一度横打ちと縦打ちについての質問に戻って正しい答えを見つけさせるといった教授戦略を行う。（２）や（４）や（５）を選択したらそれがなぜ正しいか質問し、学習者が明確な理由を持っているならば横打ちと縦打ちの判断に関する説明を提供し、より深い理解を得ることができる。もしたまたま正解を選択して理由が不適切であれば、図 4.6 のような（２）や（４）や（５）に関する適当な問題を新たに学習者に与えて理解したところで、横打ちと縦打ちの判断に関する説明を提供する。

このような教授行動の根拠となるのが学習者モデルである。次節では、出題から学習者の理解を推定するうえで重要となる出題の意図を分析する。

〔4〕設備の状況を選択した場合

質問：設備の状況を確認するためにはどれを参考にしますか？

選択肢：

- (1) 給電系統図
- (2) 補修点検記録
- (3) 電力ケーブル EIC 記録
- (4) 運転所則
- (5) 障害メモ
- (6) %インピーダンス、マップ図

対応：

- 【1】 (2) を選択したら補修点検記録について説明する。
- 【2】 (5) を選択したら障害メモについて説明する。
- 【3】 (3) を選択したら電力ケーブルについて説明する。
- 【4】 (1) (4) (6) を選択したらまとめて横打ちと縦打ちの特質について説明する。

図 4.6 縦打ちと横打ちの判断に関する問題 (2)

出題者は上で述べたような軸(特徴)を組み合わせて問題を作るわけであるが、そこには様々な意図が込められている。この意図と学習者モデルの関係を明らかにすることが本研究の目的である。

例えば、順序・運転状態依存型の問題には、「運転状態への依存性について学習者がどの程度理解しているかということ調べ、その理解度に応じて教育的処方決定する」という意図が込められている。また、 $N \rightarrow m$ 型・地域依存型の出題において、正しくない($N-m$)個の選択肢に、その地域によって想起しやすいが実は正しくないというようなもの設定することによって、その決定がどういう好ましくない事態を引き起こすか?、その決定を否定する原理知識は何か?ということ教授する状況を「仕掛け」しておくことができる。

このように、問題の型、状況依存性、意図を基本的な類型パターンとし、その組み合わせで出題の意図を明らかにすることによって「知識を伝える状況」を知識レベルで明示的に取り扱うことが可能になる。もちろん、このような意図は既存のシステムの中で必ずしも明確であるとは言えず、分析が困難な場合が多い。この点について、現在、分析の方法論を策定している段階である。基本的には対象モデル(系のモデル)に即して学習者に伝えるべき原理的知識を設

定し、その知識に関する設問を訓練シナリオに組み入れる過程で出題意図を分析するという方法を考えている。この点については現在、検討を加えている段階である。

5 結論

本研究では学習者モデルの特性について考察し、問題形式を分類して出題者の意図を分析した。現状ではまだ小規模の訓練システムで採用したシナリオを分析した段階に留まっている。さらに分析対象するとともに学習者モデルの事例を豊富にして包括的な学習者モデルを作ることを見後の目標としている。

本報告では割愛しているが、ここで示した記号処理を中心にした学習者モデル構築法と確率論的な学習者モデル構築法とを統合し、ハイブリッド学習者モデルを開発するという研究課題に取り組みを初めている。このモデルは、2つの点で優れた特長を備えている。一つは、学習者の平均的な特性を先験的確率として組み入れることができる点、もう一つは学習者モデルと教授戦略の関係に確率モデルを導入して柔軟な振る舞いを実現すると同時に、教授戦略運用モデルの学習を期待できる点である。この方向については、今後も研究を継続する予定である。

知的教育システムの研究は、従来までの教育システムの延長線上としてのみに留まらず、様々な他の研究分野の出発点あるいは集結点と位置付けられる。例えば、認識学・心理学・認知科学の分野との間には「人間は如何に知り、学び、問題を解くか」という観点において、教育学、教育心理学との間には「学習者に如何に教授すべきか」という観点において、言語学との間には「人間の発話行為と知識伝達」という観点において、ヒューマン・コンピュータインタラクションの間には「人間とコンピュータとの知識の相互伝達」という観点において、それぞれと共通した研究目標を ITS の研究は持っている。このことから ITS の研究は多様な研究分野の成果を集約することを必要としており、一方では ITS の研究成果は他の研究分野へフィードバックされていかなければならず、重要な研究テーマであるといえる。

特に本研究で対象としている「訓練」は、単に知識を伝達することが目的ではなく、実際的なタスクの実行を通じてそのタスクに習熟させ、知識の原理的な意義を理解させることが目的である。序論でのべたように、この目的の達成には、様々な知識を定式化しシステムに実装する必要がある。次年度からは、診断と訓練のタスクオートロジーに研究対象を拡大し、目的の達成をめざす予定である。