

論文の要旨

題目 制御工学的アプローチに基づく学習者の習熟度モデルの構築に関する研究

(Research on Constructing a Learner's Skill Evaluation Model Based on a Control Engineering Approach)

氏名 長松 正康

教師が学習者に支援を行う際には、学習者の習熟モデルに基づく効率的な方法を考える必要がある。しかし、このようなモデルには確立されたものがなく、教師の経験的な知見に基づく支援が中心である。したがって、最近の知見に基づいて学習者の習熟度を定量的に評価することができる習熟度モデルを構築することは、極めて重要である。本論文では、学習者の習熟度モデルの構築とそれに基づく習熟度の評価について考察する。

まず、従来の研究に関して簡潔に述べる。習熟度は、課題遂行時間の短縮で計測され、中期から長期にわたる習熟過程を最も良く記述可能なモデルは、べき関数 $N^{-\alpha}$ （ここで α は学習率）を用いて表されたとする知見がほぼ確立している。しかし、(1) べき関数では、習熟に終わりがなく、非常に長期にわたる習熟では矛盾が生じ得ること、(2) 習熟の初期段階においては、しばしば停滞する時期があり、これに次いで急速な向上が見られ、習熟後期では再び平坦化する現象（学習のS字曲線などと表現される）をモデル化でき、しかも一定の妥当性のある数式が見当たらないこと、の二点が未解決の問題として指摘されている。なお、生産技能のモデル等については指数関数 $e^{-\beta N}$ （ここで β は学習率）によって表すモデルも考察されている。これら従来の研究では、いずれも試行回数(N)に基づくモデル化が行われてきた。離散的な回数(N)のかわりに連続的な時間(t)を用いて習熟度をモデル化するアプローチとして、技術移転の観点から、生産技能の習熟度を「一次遅れ+むだ時間」系として捉え、数週間から数年程度の期間における個人や生産組織としての習熟過程を説明するモデルが報告されている。しかしながら、経験的な知見に基づいており、スキル獲得の個人モデルとしてみた場合、最近の研究との関連性については十分な考察が与えられていない。

これに対して、習熟度のモデルを制御工学の分野で用いられている「一次遅れ+むだ時間(TKL)」系と捉えると、システムゲイン(K)は習熟の到達度、時定数(T)は、その到達度に至るまでの時間にそれぞれ対応する。さらに、むだ時間(L)は、そのシステムにおける伝送の遅れなどとして説明されるが、習熟のプロセスとして見た場合は、学習を開始した時刻(t_0)から実際にパフォーマンスの向上が起きる時刻(t_1)までの時間差($t_1 - t_0$)に対応する。これら3つのパラメータを用いることにより、学習者の習熟特性に関する重要な側面をモデル化することが可能となる。システムゲイン(K)は、学習者に対して支援を行わない場合に到達し得る習熟度を示しており、学習初期の習熟状況をオンラインで推定することにより教師は学習者の到達度を予測し、これに応じた支援を考えることができる。時定数(T)は学習者によって異なる習熟進行の速さを表す。さらに、むだ時間(L)は、上述の($t_1 - t_0$)で計測され、従来の試行回数に基づく研究ではほとんど検討の対象

とされなかった値である。むだ時間の導入により、習熟初期に見られる停滞現象をうまくモデル化できるようになった。

さらに、学習においては、単に習熟に専念するだけでなく、方法の妥当性を考えたり、より良い方法を求めて考えたり試行錯誤するなど探索的な活動に費やされる時間等が含まれる。このような活動の時間は、習熟に直接寄与しないことが判明しているため、上述のむだ時間の定義に含まれる。全学習時間のうちどれだけの割合をこのような探索的活動に費やすかについては大きな個人差があると予想されるため、学習者の習熟特性の個人差を表す重要なパラメータの一つとなり得る。ただし、算出時には若干の工夫が必要となる。なぜなら、(1)このような探索的な活動に要する時間は一定でないため、試行ごとの計測値にばらつきが生じること、(2)そのばらつきは各試行時間を必ず延長する方向に働くため、非対称の歪みのある分布となることが予想されることによる。

以上の点に加えて、制御工学的なモデル化を行うことにより、最適な学習支援のために制御工学に関する知見を利用できる場合がある。その一例として、むだ時間 L の値を時定数 T との比で正規化した L/T の値は、制御のし易さを表す指標として用いられ、この値が0.5を超えるものは制御が難しくなることが知られている。同様に、 K/T の値は、時間あたりの習熟量の大きさを表す指標となる。したがってこれらの指標の個人値を算出することは習熟の個人特性のモデル化と、それに基づく支援を考えるうえで重要な示唆となる可能性がある。

本論文は、以下のように構成される。

まず、第1章では、研究の背景として試行回数に基づく既存の習熟過程モデルの概要と、モデリングに関して指摘されている問題点について述べ、連続的な時間に基づく「一次遅れ+むだ時間」系による習熟モデルについて述べる。

第2章では、制御工学的アプローチに基づく「教師-学習者間モデル」について述べる。次に、既存の研究における知見から習熟度モデルを導き、 TKL モデルとの対応関係を示す。具体的な数値例として、整理分類課題を対象とした計測例への適用を示す。

第3章では、習熟度を定義した後、 TKL によるモデルとモデル化に関連するその他の要因について説明する。次に、プログラミングにおける誤り発見課題を対象として、学習者個別のパラメータ推定例を示し、支援のしやすさに関する指標、スキル獲得過程からみた各パラメータの意味について述べる。さらに、このような個体差の要因と、それに応じた支援方法の具体例について述べる。

第4章では、習熟初期における少数のデータからその後の習熟状況のオンライン推定を行う。計測されたデータの分布には歪みが予想されるため、通常の最小二乗法ではなく、実数値型遺伝的アルゴリズムを用いる。このとき、習熟過程の特性を考慮した適応度関数を設定することで、個人の習熟特性を評価する方法について述べる。これにより、教師は初期の学習状況に基づいて逐次、学習の進行中に適切に支援方法を変更することが可能と考えられる。

第5章では本研究を総括するとともに、この習熟度モデルによって実現し得る最適な学習支援の方法について展望し、残された問題点について言及する。