

経験知に基づく重み付けを取り入れた HITL 型重回帰モデルの提案

A Human-in-the-Loop Multiple Regression Model with Experience-Based Variable Weighting

村瀬 颯登[†] 浅田 勝義[†] 山本 佑樹[†]

Hayato Murase Katsuyoshi Asada Yuki Yamamoto

1. はじめに

アルミ圧延加工を行うような素材産業では、顧客要求品質に対応すべく複数の合金種を少量多品種で製造している。こういった少量多品種製造では製造する合金種ごとに最適な製造方法を適用する必要がある、量産条件に限られることで成分およびプロセスデータが特定領域に偏在する[1]。その結果変数間に多重共線性を含む構造となることが多く、従来の重回帰分析では外挿領域での予測精度が低下し、実運用における信頼性に課題がある[2][3]。本研究では、ユーザーの経験知に基づき変数の相対的重要度を指定し、その重みに応じて係数を調整する Human-in-the-Loop(HITL) 型の重回帰手法を提案する。説明可能性を維持したまま、既存データでは不十分な部分を知識で補完することで、外挿性能の向上と現場での納得感を両立する。さらに、ユーザーの知見をモデルに蓄積・反映する仕組みにより、継続的な精度改善と意思決定支援を実現する。

2. HITL 型重回帰予測モデル構築手法

2.1 経験知のモデルへの反映

本研究では、ユーザーの経験知を活用する HITL 型の重回帰モデルを提案する。従来の重回帰分析では、相関の高い変数が複数存在する場合、係数推定が不安定となり、外挿領域における予測精度が低下することが多い。本手法では、こうした課題に対し、変数間の関係構造を定量的に把握し、ユーザーの知見を数値化してモデルに反映する仕組みを導入する。まず、説明変数群の相関係数行列をもとに、しきい値(本研究では、一般的な目安として $|r| \geq 0.6$ を採用)以上の強い相関を持つ変数ペアを抽出し、互いに多重

データからは MN 値、CU 値の影響を正確に見積もることができません。あなたの知恵をお借りしたいです。YS への影響度の比率を教えてください(合計が100になるように)

MN 値:

0~100

CU 値:

0~100

送信

図 1 ユーザーが変数の重要度を入力する UI 例

[†]株式会社 UACJ UACJ Corporation

共線性のある変数群(クラスター)を抽出する。得られた変数クラスターごとに、ユーザーは各変数の重要度を比率で入力(図 1)し、その重みに基づいて重み付き線形和から代表変数を構成する。たとえば $\{X1, X2, X3\}$ というクラスターに対して、ユーザーが「50:30:20」と回答した場合、対応する重みベクトルにより新たな変数 $X_{rep} = 0.5X1 + 0.3X2 + 0.2X3$ を生成する。このようにして構成された代表変数と、クラスター化されなかった元の変数とを合わせた新しい説明変数群を用いて重回帰モデルを学習する。学習後は、各代表変数の係数をユーザーが指定した比率に基づき元の変数に再分配することで、従来の変数単位での係数解釈が可能となる。これにより、多重共線性による不安定性を緩和しつつ、ユーザーの経験知を明示的にモデルに統合し、説明可能性と現場での納得感を両立する。

2.2 経験知の蓄積および活用システムの構想

本手法の特徴は、ユーザーが入力する各変数の相対的重要度を示す情報(=経験知)を、モデル構築の都度の一時的な補助情報としてではなく、継続的な知識資産として活用できる点にある。具体的には、以下の 2 点により、知識の蓄積と再利用を実現する。

- 知識の履歴保存
各ユーザーが入力した変数クラスターに対する重要度比率を、日時・製品種別・条件などと共にデータベースに保存する。これにより、過去の判断と照らし合わせて、新規モデル構築時に参考情報を提示できる。また、複数ユーザーの意見が蓄積されることで、組織的な共通認識や合意の抽出にもつながる。
- 知識の活用によるモデル初期化
新たな製品や条件に対してモデルを構築する際、類似条件における過去の比率情報を自動で参照し、デフォルトの重みとして提示する。ユーザーはこれをそのまま採用するか、微修正するだけでよくなり、作業負担を軽減できる。これにより、属人的判断を形式知化しつつ、半自動的な知識継承が可能となる。結果として、新規モデル構築の効率化や、組織全体の知識レベルの底上げに貢献しうる。

このような仕組みにより、HITL 型の重回帰モデルは単なる予測モデルにとどまらず、人間の知見を蓄積・再活用できる意思決定支援基盤としての役割を果たすことが期待される。

3. HITL 型重回帰予測モデル構築結果

3.1 予測精度の評価

提案手法の評価にあたっては、実績データをもとに多重共線性を意図的に含むような範囲選定により学習データを

作成した。その後、残りのデータ群を評価用データとして予測精度を検証した。なお、筆者自身が変数の影響度に対する専門的知見を持たないため、学習データ上で多重共線性が認められた変数クラスタに対し、評価用データから算出された係数比率を「ユーザーが与える知識」と仮定してモデルを再構築した。したがって、ここでの評価は、もし理想的な専門知識が提供された場合に、提案手法がどの程度の性能ポテンシャルを持つかを示すための概念実証 (Proof of Concept) と位置づけられる。

使用データの特徴は次の通り。

目的変数：引張強さ

説明変数：成分量および製造プロセスに関する変数

学習データ：相関の強い変数群が存在する不均衡データ

評価データ：学習データでは現れていない範囲 (外挿領域) を含む新条件データ

図2に評価データに対する実測値と予測値をプロットした結果を示す。通常の重回帰と HITL 型重回帰の精度は

(a) 通常の重回帰： $R^2=0.37$

(b) HITL 型重回帰： $R^2=0.53$

となり、HITL 型重回帰により R^2 の向上、つまり予測精度の向上が確認できた。

このことは、ユーザーの経験知を反映することで、外挿領域においても高い予測性能を発揮できる可能性を示唆している。さらに、評価データを学習データとしたモデルは予測精度が高いことから ($R^2=0.83$)、将来的に知識の蓄積 (ユーザー比率の記録・再利用) とデータの蓄積によるモデル修正によって、さらなる HITL 型モデルの精度向上が期待できる。以上の結果は、HITL の枠組みによる継続的なモデル進化と、実運用における柔軟な意思決定支援の可能性を裏付けるものである。

3.2 今後の展望

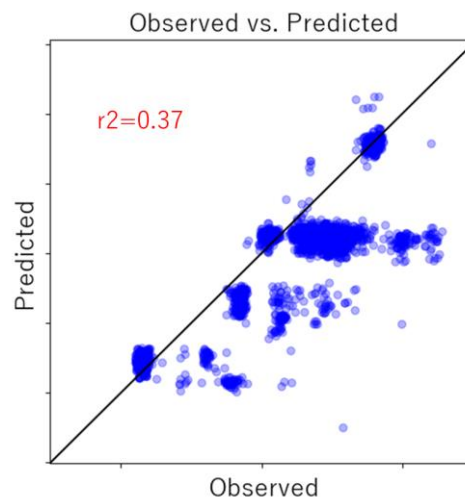
今回はユーザー知識を明示的に蓄積・再利用する仕組みの実装には至っていないが、実績データを用いた仮想的な知識入力を通じて、HITL 型重回帰の有効性が示された。今後、各変数の相対的な重要度比率の履歴蓄積や類似条件下での再活用を通じて、知識の継続的な学習とモデルの進化を進めたい。提案手法は、単純な統計的最適化による係数推定ではなく、人の判断を明示的に反映する構造を持つことで、外挿への耐性を高めることができる。また、モデル出力の解釈可能性が高く、「なぜその予測になるのか」について現場が納得しやすいという利点も確認された。この納得感は現場での予測モデル活用に重要である[4]。一方で、精度が各変数の相対的な重要度比率の設定に依存するため、初期導入時には適切な知見の収集と反映の支援が重要である。今後は、ユーザー入力を誘導・補完するインターフェースの高度化に取り組む予定である。

4. おわりに

本研究では、製造業における実データに内在する多重共線性や偏在性といった課題に対して、ユーザーの経験知を活用する HITL 型重回帰モデルを提案した。ユーザーによる変数の相対的重要度の指定を通じて、学習データ外の予測性能を向上させるとともに、モデルの説明可能性と現場での納得感の両立を実現した。評価実験では、従来の重回

帰手法と比較して、外挿領域において高い予測精度を示し、提案手法の有効性を確認した。今後は、各変数の相対的な重要度比率の入力支援や知識の蓄積・再利用の仕組みを拡充し、HITL を活用した継続的なモデリング支援と意思決定支援の高度化を目指す。

(a)



(b)

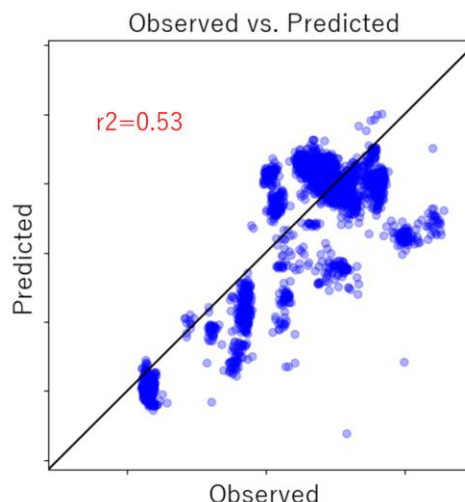


図2 各モデルによる外挿領域での予実プロット
(a) 通常の重回帰、(b) 提案手法(HITL 型重回帰)

参考文献

- [1] ネットワンシステムズ, 「製造業のデータ分析で目指すものと落とし穴②」, 2019年12月9日, <https://www.netone.co.jp/media/detail/20191209-1/>
- [2] 天坂格郎, 大岩洋之, 神尾信, 「多重共線性の影響と新変数選択法の提案: 変動要因解析のための重回帰分析活用に関する研究」 日本経営工学会誌, vol.46, no.6, pp.573-584, 1996.
- [3] 応用力学論文編集委員会, 「多重共線性に対する適切化手法とその実証的比較研究」 応用力学論文集, vol.1, pp.137-145, 1998.
- [4] 村瀬 颯登, 山本 佑樹, 2025. 「経験知を取り込んだ機械学習とデジタルツールに対する心理的障壁の低減」 AIoT 行動変容学会 第9回研究会論文集, p. 78-84. https://www.sig-bti.jp/event/pdf/BTI-09_Proceedings.pdf