

順序ロジスティック回帰と IPTW を用いた 物件情報の質が他者推薦に与える因果効果の推定

Estimating the Causal Effect of Property Information Quality on Recommendation Intention
Using Ordinal Logistic Regression and Inverse Probability of Treatment Weighting

久保田 涼斗[†]
Ryoto Kubota

伏見 卓恭[†]
Takayasu Fushimi

1. はじめに

近年、賃貸情報サイトにおけるユーザ体験の質が、物件そのものの情報と同等もしくはそれ以上に、ユーザ自身の意思決定や他者に対する推薦行動に影響を与えている。

本研究では、賃貸情報サイトにおける物件情報の質に対する満足度がユーザの他者推薦に与える因果関係を分析する。具体的には、物件情報の質が高い/低いに対して傾向スコアを推定し、IPTW (Inverse Probability of Treatment Weighting) による重み付けを通じて交絡の影響を調整し、因果効果を推定する。また、順序ロジスティックモデルや平均処置効果 (Average Treatment Effect) により他者推薦に与える影響を評価するだけでなく、ブートストラップにおける信頼区間や標準化平均差 SMD (Standardized Mean Difference) の分析で因果関係の総合的な信頼度を示し、サイト内の情報がサービス向上や他者推薦に与える影響を明らかにする。

2. 手法

本研究では、交絡因子の影響を調整するために、介入を受ける確率 (傾向スコア) を推定し、逆確率重み付け (IPTW) を適用した上で順序ロジスティック回帰を実施する。処置 (介入) および結果の両方に影響を与える可能性のある要因を交絡因子 X とする。以下の式を用いて、ある交絡因子の組み合わせ X を持つサンプル (回答者) が、介入群 ($T = 1$) に属する確率を計算する [1] :

$$p(T = 1|X) = \frac{1}{1 + \exp(-X\beta)}$$

ここで、 β は交絡因子に対する (重み調整前) ロジスティック回帰の係数である。この傾向スコアを用いて、介入群 ($T = 1$) と対照群 ($T = 0$) に属するサンプルに対する重み (IPTW) を計算する :

$$w_i = \begin{cases} p(T_i = 1|X_i)^{-1} & T_i = 1 \\ (1 - p(T_i = 1|X_i))^{-1} & T_i = 0 \end{cases}$$

この IPTW の重みを各サンプルに割り当て、順序ロジスティック回帰モデルを学習させること

で、交絡因子によるバイアスを除去し、因果効果をより公平に推定する。

順序ロジスティック回帰では、目的変数 Y が順序カテゴリ j 以下である累積確率 $P(Y \leq j|X)$ と、それより大きい確率 $P(Y > j|X)$ の比 (オッズ) に対してロジット変換を行う [2] :

$$\log \left(\frac{P(Y \leq j|X)}{P(Y > j|X)} \right) = \theta_j - \beta X.$$

ここで θ_j は順序カテゴリごとのしきい値 (カットポイント)、 β は説明変数 X の効果を表し、すべてのカテゴリに対して共通である。回帰係数 β の符号と大きさは、説明変数が目的変数のカテゴリが高くなる方向に与える影響 (オッズ比) を示している。順序ロジスティック回帰モデルを最適化するために、IPTW を使用して重みづけされたデータをモデルに適用し、最尤法で回帰係数を推定する。

次に、介入が全体に与える因果的な平均的効果を ATE を用いて測る。各サンプルの介入が引き起こす結果を Y_i 、介入に対する IPTW の重みを w_i 、介入群のサンプル数 N_1 、対照群のサンプル数を N_0 とし、介入群と対照群の加重平均の差を求め、介入の影響を定量化する :

$$ATE = \frac{1}{N_1} \sum_{i \in \text{treated}} Y_i w_i - \frac{1}{N_0} \sum_{i \in \text{control}} Y_i w_i.$$

続いて、交絡因子のバランスを SMD を用いて評価する。SMD は、介入群と対照群の平均の差をプールされた標準偏差 (Pooled Standard Deviation) で割ったものである。プールは異なるグループを統合する手法で、2つの群間の差を標準化し、定量的に示す。介入群と対照群の平均を求めた後、分散の計算を行い、プール化された標準偏差で分散の加重平均を計算する。介入群と対照群の平均値の差と、プール化された標準偏差を割った値から共変量の可視化を行う [3]。

3. 評価実験

本研究では、国立情報学研究所の IDR データセット提供サービスにより、株式会社 Oricon ME から提供いただいたオリコンデータセットを利用する。「賃貸情報サイト」に関するアンケートを対象とし、調査期間は 2018 年 6 月 15 日から 6 月 19 日、対象者は過去 1 年以内に賃貸

[†]東京工科大学コンピュータサイエンス学部

情報サイトで住宅を探して入居した人である。アンケートの回答数(サンプル数)は1325件である。物件情報の質に関する4項目(正確性, 更新頻度, 詳細さ, 豊富さ)に対する満足度, 比較に用いる総合満足度を抽出した。いずれも1~10点であり, 10点が最も満足していることを表す。他者推薦に関する質問項目として, 「そのサイトを実際に利用したい人がいた場合, どの程度薦めたいか」という質問項目(1~5点)を用いる。物件情報の質に関する4つの質問項目の満足度それぞれを介入変数とし, 介入群と対照群を中央値で分類し, 傾向スコアを算出する。交絡因子は, 介入変数として選んだ1つの満足度以外の3つの満足度と総合満足度とした。目的変数は他社推薦の点数とした。

4. 実験結果

4.1. SMDによる比較

SMDを用いてそれぞれの共変量に対する重みづけ前後の比較を行う。値が大きいほど介入群と対照群で差が大きいことを示し, 0.1未満の場合はバランスが取れているとみなされる。表1に, 「豊富さ」に関する重みづけ前後のSMDの値を示す。表より, 重みづけ後の方が値が小さい, すなわち, 介入群と対照群の群間差が大きく解消された。

| 満足度 | 重みづけ前 | 重みづけ後 |
|-------|-------|-------|
| 正確性 | 1.28 | 0.08 |
| 更新頻度 | 1.53 | 0.09 |
| 詳細さ | 1.93 | 0.14 |
| 総合満足度 | 1.47 | 0.09 |

4.2. 順序ロジスティック予測による比較

順序ロジスティック回帰により, 物件情報の質が他者推薦に与える影響を分析する。介入群と対照群の確率を各順序カテゴリに分けて比較し, 各スコアにおける確率の差を評価する。表2に, 「豊富さ」に関する予測結果を示す。表から, 3点と4点の間で顕著な変化が見られ, 3点では物件情報の質が低い割合が大きいのに対して, 4点では物件情報の質が高い割合が大きくなっている。一方で2点以下では物件情報の質が低い割合が大きい, 回答者の割合が少なく, 差分は大きくない。これは, 意思決定に迷うユーザに対し, 物件情報の質が前向きな影響を与えることを示している。

| 他者推薦 | 物件情報の質 低 | 物件情報の質 高 |
|------|----------|----------|
| 1点 | 0.02 | 0.002 |
| 2点 | 0.05 | 0.01 |
| 3点 | 0.59 | 0.16 |
| 4点 | 0.32 | 0.70 |
| 5点 | 0.02 | 0.13 |

4.3. 平均処置効果による他者推薦に与える効果

ATEの推定値の信頼性を評価するために, ブートストラップ法による信頼区間と他者推薦に与える平均的な影響を示す。表3の95%信頼区間の上限と下限から, 「豊富さ」と「詳細さ」では信頼下限が0以上になっており, 他者推薦に与える影響が有意であると評価できる。一方, 正確性と更新頻度では0が含まれていることから影響を与えない可能性がある。また, 満足度が1点増加するごとに他者推薦の平均増加幅を定量的に示しており, 表3のATEから, 豊富さは0.25と一番高く, 他者推薦を高める要因であると考えられる。詳細さも高く豊かな情報提供も強い推薦に直結する。情報量や中身の充実度が影響を与える一方, 正確性や更新頻度では限定的な効果になると考えられる。

表3: ATEの推定値と評価

| 満足度 | ATE | 95%信頼下限 | 95%信頼上限 |
|------|------|---------|---------|
| 正確性 | 0.11 | -0.08 | 0.29 |
| 更新頻度 | 0.10 | -0.05 | 0.27 |
| 豊富さ | 0.25 | 0.10 | 0.41 |
| 詳細さ | 0.19 | 0.08 | 0.32 |

5. おわりに

本研究では, 物件情報の質が他社への推薦意向に与える影響や信頼性を評価するために, 順序ロジスティック回帰とIPTWを用いた因果推論を行った。現在のモデルでは線形モデルのみで行っているため, 今後非線形モデルを用いてより幅広いデータ関係を捉えることが課題となる。

謝辞 本研究では, 国立情報学研究所のIDRデータセット提供サービスにより株式会社 oricon ME から提供を受けた「オリコンデータセット」を利用した。

参考文献

- [1] Austin, P. C. and Stuart, E. A.: Moving towards best practice when using inverse probability of treatment weighting (IPTW) using the propensity score to estimate causal treatment effects in observational studies, *Statistics in Medicine*, Vol. 34, No. 28, pp. 3661–3679 (2015).
- [2] Hirano, K. and Imbens, G. W.: Estimation of causal effects using propensity score weighting, *Econometrica*, Vol. 69, No. 1, pp. 119–161 (2001).
- [3] Austin, P. C.: Balance diagnostics for comparing the distribution of baseline covariates between treatment groups in propensity-score matched samples, *Statistics in Medicine*, Vol. 28, No. 25, pp. 3083–3107 (2009).