

極端高温下における移動取りやめの転換点に関する研究

A study on the tipping point of travel cancellation under extreme heat condition

八十島 将
(立命館大学大学院)

塩見 康博
(立命館大学)

1. 背景と目的

近年、地球温暖化の進行に伴い、猛暑や豪雨、突風などの極端気象の観測頻度が増加している¹⁾。特に気温の上昇は、健康リスクの増加や、認知・判断力の低下に影響することが解明されている。国外の既往研究では、気温の上昇は、人々の外出頻度の減少や利用交通手段の変更等の行動変容をもたらす、その程度は個人属性ごとに異なる可能性が指摘されている²⁾。そこで本研究は、国内を対象に気温の変化が日常的な外出行動に与える影響を、地域属性と個人属性の双方を考慮して明らかにすることを目的とした。具体的には、外出の取りやめを判断する気温についての設問を含むwebアンケート調査を実施した。それに対し、一般化加法モデルを適用し、気温変化が外出行動に与える非線形な影響を表現することにより、気温をパラメータに持つ外出行動予測モデルの構築を試みた。

2. 方法

2.1. 対象地と被験者

対象地は、気候条件は大きく異なるが、人口規模や都市構造、交通需要が類似する^{3,4)}札幌市と福岡市を選定した。被験者は、各都市に在住する18歳以上の者とし、個人属性を加味した分析のために、男女比や年齢階層ごとの目標回答数を均等に割り付けた。

2.2. 設問の詳細

アンケートは、シナリオベースの設問を中心に構成した。想定されるシナリオは平日と休日に大別される。平日は、最も日常的な外出について、休日は、直近の休日の外出について、それぞれ晴天時を想定させ、各シナリオで、①外出の中止、②交通手段の変更をそれぞれ判断する気温を、1℃刻みの選択肢（高温:25~40℃以上、低温:5~10℃以下、共通:移動を取りやめない）から回答させた。さらに、外出の目的・重要度、利用交通機関、個人属性などを回答させる設問を設置し、最後に、アンケートの内容と異なる意味を持つ選択肢を答えるスクリーニング設問を設置し、誤答を無効とした。

また、気温を回答させる設問は、回答の具体性・妥当性

を確保するために、各地域の最高・最低気温の季節変化をグラフで示し、非現実的な回答の抑制を図った。

2.3. 一般化加法モデル

気温変動による交通行動予測モデルには、一般化加法モデル (Generalized Additive Model: GAM) を導入する。GAMは線形モデルを拡張し、説明変数の効果を平滑関数の形式で導入することで、非線形構造を表現可能なモデルである。具体的には式(1)~(3)で表される。

$$P_{in} = \frac{\exp(V_{in})}{\exp(V_{in}) + \exp(V_{jn})} \quad (1)$$

$$U_{in} = V_{in} + \varepsilon_{in} \quad (2)$$

$$V_{in} = f(T) + \sum_{k=1}^K \beta_k x_{kin} \quad (3)$$

ただし、各変数は以下の通りである。

P_{in} : 個人 n が移動を取りやめる行動 i を選択する確率

U_{in} : 個人 n が行動 i を選択する時の効用関数

V_{in} : 個人 n が行動 i を選択する時の効用の確定項

β_k : k 番目の説明変数に対するパラメータ

x_{kin} : 個人 n が行動 i を選択する時の説明変数

$f(T)$ は、気温 T の非線形効果を表すスプライン型の平滑関数であり、その他の個人属性については末尾の線形形で表す。また、算出される有効自由度は、平滑化関数の複雑さの指標であり、値が1の場合は線形、値が1より大きいほど非線形性が強いことを意味する。

気温データは、「外出を取りやめる」と考える気温を問う設問で各回答者が選択した「外出を取りやめる気温 (T_{cn})」を閾値として整理した。すなわち、ある気温 T に対して、

$$y_{nT} = \begin{cases} 1 & (T \geq T_{cn}) \\ 0 & (T < T_{cn}) \end{cases} \quad (4)$$

と定義し、個人 n の気温 T における外出取りやめ行動を表す二値データを生成した。この変換により、各個人について複数の気温条件に対する二値観測データを作成した。

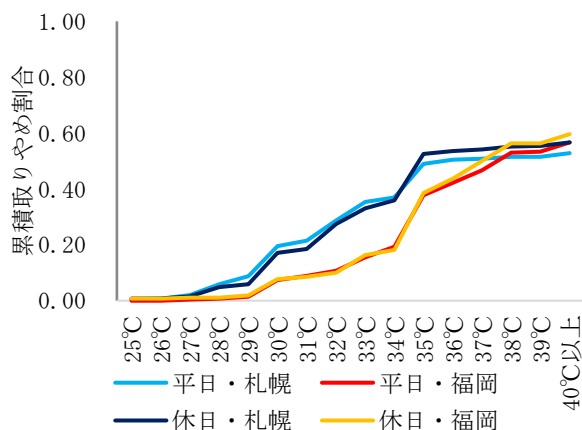


図-1 平日・休日の地域別外出取りやめ累積度数分布

表-1 解析結果 (平・休比較 高温条件)

| 説明変数 | 平日 | | 休日 | |
|------------------------|----------|----------|----------|----------|
| | 札幌 係数 | 福岡 係数 | 札幌 係数 | 福岡 係数 |
| 切片 | -2.08*** | -2.46*** | -1.82*** | -2.16*** |
| 女性 D | 0.55*** | 0.00 | 0.05 | -0.32*** |
| 若年層 D | 0.10 | 0.50*** | 0.00 | 0.59*** |
| 中年層 D | -0.25* | 0.24 | -0.03 | 0.14 |
| 高齢層 D | 0.33 | -0.32 | 0.24 | -0.63*** |
| 低所得層 D | 0.33*** | -0.50*** | 0.08 | -0.25* |
| 高所得層 D | -0.19 | -0.70*** | -0.50** | 0.06 |
| 高齢者・低 所得層 交互 作用項 | 0.25 | 0.87** | 0.39* | 0.02 |
| 有効自由度 | 4.75*** | 5.78*** | 4.75*** | 6.07*** |
| R ² | 0.226 | 0.292 | 0.234 | 0.283 |
| 尤度比 | 1699.0 | 1331.3 | 1720.2 | 1308.5 |
| サンプル数 | 390 | 270 | 390 | 270 |

有意性記号: *p<0.05, **p<0.01, ***p<0.001

3. 結果と考察

3.1. アンケートの実施

アンケートは、2025年7月7日~9日に実施し、660件の有効回答を得た。なお、交通手段変更と低温条件については、本稿の分析の対象外とする。

3.2. 累積度数分布

平日・休日シナリオでの地域別の外出取りやめ累積度数分布を図-1に示した。概形から、平日・休日に関係なく、気温変化が移動取りやめに与える影響は、非線形的であること、福岡に比べて札幌では同気温であっても取りやめ割合が高くなるのがわかる。また、35℃以上の気温域では、両都市で休日の取りやめ率が高い傾向が確認できる。

3.3. モデル推定結果

表-1に、GAMの推定結果を示した。年齢階層は、若年層:18~39歳、中年層:40~59歳、高年層:60~64歳、高齢層:65歳以上とし、所得階層は、低所得層:400万円未満、所得不明、中所得層:400~799万円、高所得層:800万円以上とした。

また、目的変数は、外出取りやめを1、その他を0とした。説明変数は、気温を連続変数とし、個人属性をダミー変数化して与え、年齢層は高年層、所得層は中所得層を基準群とし、性別は、男性:0、女性:1とした。

定数項は、都市やシナリオに関係なく負に有意であり、基本的に外出を取りやめない傾向が確認できる。また、両都市で、休日の絶対値は平日に比べて小さく、平日と比較して休日は外出を取りやめやすい傾向があり、これはシナリオごとの移動の重要度が影響していると考えられる。

平日の外出行動について、地域属性と個人属性に着目すると、札幌では女性や低所得層が外出を取りやめやすい傾向が確認された。また、福岡では、若年層が外出を取りやめやすく、低所得層と高所得層は取りやめにくい傾向がみられた。さらに高齢者と低所得層の交互作用が福岡でのみ有意であることから温暖地域では、交通弱者が気温上昇の影響を受けやすい可能性が示唆される。一方、若年層については、移動をオンラインへ代替可能である場合が多いため、取りやめを判断しやすい可能性が考えられる。

次に平休の違いに着目すると、札幌では平日では、女性や低所得層が取りやめやすい傾向が強いが、休日になると全体的に気温上昇による取りやめが緩和される傾向がみられた。一方、福岡では平日には、所得層に関係なく取りやめやすい傾向がみられたが、休日では低所得層のみが取りやめにくい傾向が確認された。また、年齢層では、休日は若年層に加え高齢層で外出抑制傾向が強まることが確認された。これらの結果から、気温変化が外出抑制に与える影響は、シナリオごとに異なる可能性が示唆される。

4. 結論

本研究では、札幌市と福岡市を対象に平日の高温条件下での外出取りやめ行動を分析した。その結果、気温変化が外出取りやめ行動に与える影響は非線形的である可能性が示唆された。また、地域属性や個人属性に加え、シナリオによる差異も確認された。特に温暖地域では、高齢者や低所得者等の交通弱者、寒冷地域では性別による影響差があり、女性が影響を受けやすい傾向が示唆された。

今後は、交通手段変更の解析結果を追加すると共にモデルの精緻化を進め、気象条件を考慮した交通需要の変動特性の解明を目指す。

参考文献

- 1) IPCC, AR6 Synthesis Report Climate Change 2023: Summary for Policymakers | IPCC, 2023.
- 2) Renninger et al., Extreme heat reduces and reshapes urban mobility, arXiv preprint, arXiv:2501.03978, 2025.
- 3) 国土交通省都市局都市計画課 都市計画調査室: 都市における人の動きとその変化 ~令和3年度全国都市交通特性調査集計結果より~, 国土交通省, 2023.
- 4) 第4回 都市交通調査の深度化に向けた検討委員会: 全国PT調査データによるアクティビティベースモデルの推定, 国土技術政策総合研究所, 2023.12