

第7章 まとめ

本資料では、住宅エネルギー消費の世帯間の差異およびその発生要因の解明を目的として、環境省による「家庭部門のCO₂排出実態統計調査（家庭CO₂統計）」²⁾の調査票情報を用い、統計的手法および機械学習により分析を実施した。

本資料で実施した分析の概要および主な結果は以下のとおりである。

(1) 特徴量データの作成および分析対象世帯の選定

6カ年度分（平成29年度～令和4年度）の家庭CO₂統計の調査票情報に基づき、付録Bに示す方法により、目的変数6変数、説明変数121変数から成る特徴量データの作成を行った。また、一定の条件の下に42,370世帯を分析対象世帯として選定した。

(2) 世帯間におけるエネルギー消費の差異に関する統計分析

① 分析方法

分析は、エネルギー消費構造に地域差が存在することを考慮し、地域の区分³⁾ごとに実施することとした。また、世帯を「世帯類型」および「居住人数」に基づいて分類し、これらの分類に基づくグループを“世帯群”と定義した。

その上で、年間一次エネルギー消費量および用途別構成比率を対象として、各種統計量を算出し、その結果に基づいて多重比較を行うことで世帯群間の差異の統計的有意性を検証した。分析において採用した統計量および群間差の検定方法を表7.1に整理して示す。なお、用途構成比率については、組成データであることを踏まえ、ILR（Isometric Log-Ratio）変換（等長対数比変換）を施した上で分析を行った。

表 7.1 分析対象および統計量・群間差の検定方法

分析対象	統計量	群間差の検定
年間一次エネルギー消費量	平均値、 平均値の95%信頼区間、 標準偏差、 25%値、50%値、75%値、 最小値、最大値	Steel-Dwass 検定
用途構成 (用途別構成 比率)	代表値 (Aitchison 幾何における中心)、 代表値の95% 信頼区間	PERMANOVA (permutational multivariate analysis of variance: 置換多変量分散分析)、 Holm 法

② 年間一次エネルギー消費量に関する分析結果

年間一次エネルギー消費量は、多くの地域において概ね単独世帯、夫婦のみ世帯、夫婦と子世帯の順に増加した。また、高齢世帯は非高齢世帯よりも年間一次エネルギー消費量が大きい傾向を示した。世帯群間の比較では統計的に有意な差が認められるケースが多く、特にサンプル数が十分な 6 地域ではこの傾向が明確に確認された。また、居住人数の増加に伴い平均値が増加し、ばらつきが拡大する傾向がみられ、子の人数が多い世帯ほど年間一次エネルギー消費量が大きく、成年の子を有する世帯で増加幅がより大きい傾向が示された。

③ 用途構成に関する分析結果

北から南へと移行するにつれて段階的に暖房比率・給湯比率が減少する一方で、冷房比率が増加した。一方、給湯および調理比率は、地域差よりも世帯類型および居住人数の影響を強く受け、特に居住人数の増加に伴い給湯比率が上昇する傾向が明確であった。6 地域を対象とした詳細分析でも多くの世帯群間で統計的有意差が確認され、単独世帯と夫婦と子世帯、ならびに世帯規模の異なる世帯間で用途構造の差異が顕著であった。また、高齢世帯では暖房比率が相対的に高く、小規模な高齢世帯間では用途構造が類似する傾向がみられた。以上より、暖房・冷房は主として地域気候の影響を受ける一方、給湯・調理は世帯規模および年代構成により規定されることが明らかとなった。

(3) 機械学習を用いたエネルギー消費の差異の発生要因に関する分析

① 分析方法

家庭 CO₂ 統計の調査票情報に基づき、年間一次エネルギー消費量または用途別構成比率を予測する機械学習モデルを作成し、そのモデルを SHAP により解釈することで各特微量の予測における寄与度と寄与の方向性を検討した。分析において採用した機械学習モデルおよび関連手法の構成を表 7.2 に整理して示す。なお、用途構成比率については、解釈性を優先し、CLR (Centered Log-Ratio) 変換 (中心対数比変換) を施した上で分析を行った。

表 7.2 本分析で採用した機械学習モデルおよび関連手法の構成

構成要素	採用内容
機械学習モデル	勾配ブースティング木 (Gradient Boosting Decision Tree、GBDT)
実装アルゴリズム	XGBoost (eXtreme Gradient Boosting)
検証方法	5 分割交差検証
探索方法	ランダムサーチ
性能指標	RMSE
モデル解釈手法	SHAP (SHapley Additive exPlanations)

② 年間一次エネルギー消費量に関する分析結果

年間一次エネルギー消費量の変動には、「居住人数」および「延床面積」が支配的に寄与しており、世帯規模および住宅規模が基礎的な決定要因であることが示された。上位 20 特徴量で全体の約 6 割の重要度を占め、特に暖房・給湯に関する設備仕様や使用時間等の変数が多く含まれたことから、日本の住宅においてこれらの用途が消費構造の中核を成すことが確認された。一方、冷房や家電関連の特徴量の寄与は相対的に小さかった。さらに、支配要因の世帯群間比較では、「世帯要因」が予測値を増減させる主要因であり、とりわけ夫婦と子世帯では人数増加に伴い正方向の寄与が拡大した。また、世帯構成が同じであっても高齢化や子の成年化といったライフステージの違いにより寄与構造が変化することが確認された。すなわち、年間一次エネルギー消費量の世帯間差は、「世帯規模の直接的効果」と「ライフステージに応じたエネルギー消費構造の差異」という二層構造によって説明されることが示された。

③ 用途構成に関する分析結果

暖房比率および冷房比率では、「暖房度日」「冷房度日」等の地域の気候に関連する特徴量が最も高い重要度を示し、さらに機器台数や使用時間などの運用状況が上位に位置したことから、用途構成は気候条件と使用強度の双方に依存する構造を有することが確認された。一方、給湯比率および調理比率では、ガス・電気コンロ等のエネルギー源の構成や機器の種類が支配的であり、用途構成がエネルギー源の選択に強く依存していることが示唆された。また、「冷房要因」に分類される特徴量が他用途にも影響を及ぼしている点は、CLR 変換の性質上、用途間の相対的再配分構造が作用していることを反映していた。さらに支配要因の世帯群間比較では、各用途で概ね共通しており、「地域要因」「世帯要因」「暖房要因」「冷房要因」が中心であるが、その大きさや方向は世帯類型により異なることが確認された。

以上、一連の分析により、世帯間における住宅エネルギー消費の差異を明らかにした。また、世帯間の差異を発生させる要因を特定し、その寄与度を定量的に示した。