
東京都市大学
博士学位論文

集合住宅における
温熱環境・エネルギー使用・行動変容に関する研究
Study on thermal environment, energy use and behavior change
in condominium

東京都市大学大学院 環境情報学研究科 環境情報学専攻

阿部 寛人
Hiroto Abe

指導教員 リジャル ホム・バハドゥル 教授

2020 年 2 月

論文要旨

日本では建物性能の技術向上により、省エネルギー効果を高められている。一方で、住まい手の意識や行動は省エネルギー効果に大きく貢献していると考えられているが、今後は具体的な対策を必要としており、特に高度経済成長期以来増加し続ける集合住宅における住まい手の省エネルギー行動促進のための研究は必要とされている。しかしながら、住まい手が省エネルギーのために自ら行動を変容させ習慣化することは難しい。住まい手が小さなエネルギーで行動するためには、人間が本来、生理的に快適領域（空間や現状の安定している生活）を維持するために無意識に行動することを前提に考えなければいけない。そこで、住まい手が自然に行動変容し習慣化する影響要因である温熱環境と身近な生活課題や願望達成のための情報の在り方に着目した。つまり、快適かつ身近な生活に必要で省エネルギーに結び付く行動であれば、その行動は新たに習慣化することが可能となる。また、近年、エネルギー使用量に関しては詳細なデータ取得が可能となったため、住まい手の特徴との関係を明らかにするものとして分析する必要がある。

そこで、本研究は、小さなエネルギー使用で快適かつ住まい手の生活向上を実現するために、集合住宅の住まい手と住空間に関する温熱環境・エネルギー使用・行動変容をテーマとして省エネルギーに結び付く住まい手の行動や空間の在り方を明らかにすることを目的とする。

分析手法として、温熱環境については、気温・グローブ温度の関係の変化を分析し、エネルギーについては電気・ガス・水道の使用量と 657 の住まい手に関する特徴を決定木やランダムフォレストなどの統計学手法を用いて分析した。また、行動変容については、1030 人に対してアンケートにより性別・年代などの基本属性や 60 個の生活情報に関する認知度・実行度・情報取得意欲について調査し、分析を行った。

温熱環境では、緑のカーテンの成長が、バルコニーの温熱環境を時間の経過とともに緩和することを明らかにした。また、居住実態を伴う集合住宅の緑のカーテンによるバルコニーの温熱緩和効果と冷房使用時間との関係について明らかにした。具体的には、グリーンカーテンがある世帯は、ない世帯よりエアコンの使用時間が 40%少ないことや、グリーンカーテンがある世帯の方が、ない世帯よりもバルコニーの気温が 0.6℃低いことが明らかにした。よって、小さなエネルギーで快適な環境は住まい手自らの行動で作り出せることを明らか

にした。

エネルギー使用では、住まい手の様々な情報の中でも、住まい手の新居に入居する前の行動や環境、省エネルギーに対する意識、所有家電などがエネルギー使用に影響を及ぼしていることが明らかにした。また、機械学習の分析手法により、以前の住まいの間取りや仕様などの13個の住まい手に関する情報があれば、エネルギーの使用が多い世帯を抽出することができることを明らかにした。このように、エネルギー使用のデータを用いることにより、従来研究が行われてきた基本属性（家族人数・年代など）よりもエネルギー使用に影響する住まい手の特徴を明らかにすることができた。

行動変容では、住まい手の願望達成や課題解決のための行動かつ省エネルギー効果のあるものは、70%以上が積極的に行動変容する可能性があることが示唆された。また、生活情報の取得意欲は女性の意識が高いことや、50代において食生活や健康の情報に関する意識が高いことを明らかにした。このように、省エネルギーに結び付く身近な生活課題や願望達成に関する情報は住まい手の行動を変容させる可能性を高め得ることを明らかにした。

以上の結果の中でも、エネルギー使用は、以前の住まいの在り方が関係していることから、住まい手の行動は転居のような大きな環境の変化による影響があっても変容しにくいことを示唆している。一方で、本研究で明らかとなった住まい手が快適環境に関与することへの支援や、住まい手の特徴に合わせた情報提供を、住まい手の身近な生活に合わせて認知・実践・関連する情報取得のプロセスで行えば、新しい習慣が形成される可能性の一端を見出した。

今後は、増え続ける集合住宅ストックに対応するために、室内やバルコニー空間の温熱環境と住まい手のエネルギー使用のデータを十分に取得し、大学や企業が連携し分析考察した情報を、住まい手の行動が習慣化するための継続的なコミュニケーションの在り方を構築することが課題である。

本研究の成果が、このような社会システムが構築されることで環境情報分野の教育と住まい手の快適で豊かな暮らしの向上に役立つきっかけとなることを期待したい。

Abstract

In Japan, energy saving effect has been enhanced by improving building performance. On the other hand, consciousness and behavior of occupants are considered to greatly contribute to the energy saving effect, but specific provisions are needed in the future. Especially, the numbers of Japanese condominium are increasing since the high economic growth period. Thus, Japanese condominium and occupants need to study for energy saving behavior. However, it is difficult to change the occupants' behavior by themselves.

Therefore, we focused on the thermal environment in condominium and information about daily living. We consider that the thermal environment in condominium and information about daily living are influential factors to change their behaviors and become habitual. In other words, if the behavior become comfort and good for daily living, it becomes possible for energy saving. In addition, since it is possible to get the detailed data on the amount of energy use in recent years, which need to analyze the relationship with the characteristics of the occupants.

The aim of this study is to clarify the factor of the occupant's behavior and living space for energy saving. And, we focus on the thermal environment, energy use, and behavioral change of occupants in order to make comfortable and improved living of occupants with small energy use.

To examine the thermal mitigation effect of the green curtain for practical applicability in the condominium, the indoor and balcony temperatures for 48 days both in households with and without green curtains were analyzed. The balcony globe temperature of the households with green curtains was 0.6 ° C lower than that of the households without green curtains, during air-conditioner usage. Furthermore, the air-conditioner usage time of the households with green curtains was 40% less than that of the households without green curtains. The results showed that green curtains are effective for achieving both thermal mitigation and energy saving in a condominium.

The energy consumption including electricity, gas, and water, of occupants can be accurately predicted from their profiles obtained by a questionnaire without using the past energy consumption records. Moreover, we have analyzed the importance of profiles used in prediction and shown that the question about the submission date of the questionnaire and questions about not the current residence, but the previous residence is important for prediction. This is a surprising finding as previous literature studies basic attributes of occupants such as sex, age, and work style, and such questions have not been investigated before.

We have found the following results:1) If the information to be given is directly related to the problems and wishes of the residents, then, it is likely to be effective. If the level of recognition is high, the level of behavior and the willingness to acquire information are also high. If the level of recognition is low, but behavioral motivation is high, then motivation to acquire information is

found high. 2) Women have higher levels of recognition, behavior and willingness to acquire information. It was confirmed that the willingness of men taking actions is also high. Therefore, there is a possibility that men can also be expected to start behavior provided that appropriate information is given. The contents of information to motivate women is closely related to their lives. Those for men need to be in association with their interest. 3) The levels of recognition and behavior tend to be higher as the age increases. The motivation of behavior is higher in younger people. The level of willingness to acquire information becomes lower as the age is over 60 years. There is almost no difference between ages with respect to the desire of information. 4) Residents with children have higher recognition and behavior than those without children. Residents without children have slightly higher motivation of behavior, more willing to acquire information than those with children. The provision of information to residents without children is highly effective.

目次

目次.....	6
図目次	10
表目次	13
第 1 章 序論	1
1.1 はじめに	1
1.2 研究の背景	7
1.2.1 増加する集合住宅ストック数に対応する省エネルギー行動対策.....	7
1.2.2 集合住宅における住まい手の暑熱緩和対策関与の可能性.....	8
1.2.3 HEMS により可能となった多くのエネルギーデータ記録の分析活用.....	9
1.2.4 生活欲求とエネルギー使用低減を両立させる行動変容の可能性.....	10
1.3 研究の目的	10
1.4 論文の構成	11

第2章 集合住宅における緑のカーテンによる温熱緩和に関する研究	16
2.1 はじめに	16
2.1.1 研究の概要	16
2.1.2 先行研究の概観	18
2.2 調査の概要	19
2.2.1 調査地域と気候	19
2.2.2 日本の集合住宅の特徴	21
2.2.3 調査建物概要	22
2.2.4 現地調査概要	24
2.3 結果と考察	26
2.3.1 バルコニーのグローブ温度と気温の比較	26
2.3.2 バルコニー温度の時間による変動	27
2.3.3 緑のカーテンによるエアコン使用時間とバルコニー温度の影響	30
2.3.4 冷房使用の有無による屋内およびバルコニーの熱環境	32
2.3.5 他の研究との比較	34
2.3.6 緑のカーテン実施世帯の冷房使用実態と実施前後の意識	34
2.4 まとめ	37
第3章 集合住宅におけるエネルギー使用実態に関する研究	41
3.1 はじめに	41
3.2 調査対象と分析データと属性	43
3.3 結果	44
3.3.1 月別・平休日・曜日別平均エネルギー使用量分析	44
3.3.2 属性別エネルギー使用量分析	46
3.3.3 1日のエネルギー使用パターンの分類	52
3.3.4 利用量の上昇下降と最大ピーク値による分類	53
3.3.5 第2ピーク値とピーク値相互参照による最終パターン分類	54
3.3.6 生活パターン別エネルギー使用量分析	55
3.3.7 生活パターン別エネルギー使用量の属性分析	60
3.3.8 生活パターン別エネルギー削減目標値の推定	63
3.4 まとめ	68
第4章 大きなエネルギーを使用する住まい手の抽出に関する研究	71
4.1 はじめに	71

4.2	調査概要	72
4.3	エネルギーデータの概要.....	73
4.4	分析方法	74
4.4.1	大きなエネルギーを使用する住まい手の抽出.....	74
4.4.2	決定木分類.....	75
4.4.3	評価方法	75
4.4.4	分析手法	75
4.5	結果と考察	76
4.5.1	プロフィールのアンケートからの大きなエネルギーを使用する世帯の抽出.....	76
4.5.2	大きなエネルギーを使用する世帯の抽出における有益な情報の選択	78
4.5.3	決定木の分析	79
4.6	まとめ.....	83
 第5章 エネルギー使用予測による住まい手の特徴に関する研究.....		86
5.1	はじめに	86
5.2	既往研究比較.....	87
5.3	調査概要	88
5.3.1	分析手法	88
5.3.2	データセット	88
5.3.3	予測手法	89
5.4	結果	89
5.4.1	住まい手プロフィールを用いたエネルギー使用量の予測.....	89
5.4.2	抽出された情報の特徴	93
5.5	まとめ.....	99
 第6章 省エネルギーに関連した住まい手の意識・行動・情報欲求に関する研究		101
6.1	はじめに	101
6.2	調査の対象と方法.....	103
6.2.1	調査の対象.....	103
6.2.2	設問分野の決定	103
6.3	設問内容と回答方法並びに分析概要	104
6.3.1	設問内容	104
6.3.2	回答方法	108
6.3.3	分析概要	108
6.4	結果	109

6.4.1 回答者の属性	109
6.4.2 意識と行動について	110
6.4.3 省エネルギーに関連する意識・行動・情報欲求のモデル化	114
6.5 まとめ	120
第7章 結論	124
7.1 研究結果のまとめ	124
7.2 考察	127
7.3 課題と提案	129
発表論文リスト	131
謝辞	132
経歴	133

図目次

図 1.1	年別の家庭部門のエネルギー使用状況	2
図 1.2	住まい手の行動に関する影響・反応とエネルギー使用の関係	5
図 1.3	首都圏内のエリア別人口の推移	7
図 1.4	全国の集合住宅ストック推移	8
図 1.5	研究の体系	11
図 1.6	論文の構成	12
図 2.1	調査対象建物の緑のカーテン外観	17
図 2.2	調査対象地の外気温と湿度の年間推移	19
図 2.3	2018年の日本の気候状況	20
図 2.4	横浜市の2018年7、8月の気温計測結果	20
図 2.5	日本の集合住宅ストックの特徴	21
図 2.6	日本の集合住宅における建物形態の特徴	22
図 2.7	調査建物の概観と調査対象住戸の間取り	23
図 2.8	調査対象地域の過去10年間における	23
図 2.9	緑のカーテンの有無による放射環境の違い	24
図 2.10	調査対象住戸への計測機器の配置	25
図 2.11	エアコン使用時間のチェックリスト	25
図 2.12	緑のカーテン有無別のバルコニーのグローブ温度と気温	26
図 2.13	緑のカーテン有無別のバルコニーの	27
図 2.14	調査期間中のバルコニーグローブの温度と気温の差の変化	29
図 2.15	調査期間段階別のバルコニーグローブの温度と気温の差の変化	29
図 2.16	室内温度と冷房使用時間の変化の事例	31

図 2.1 7	調査期間中の空調使用時間.....	31
図 2.1 8	冷房使用と緑のカーテンの有無による.....	31
図 2.1 9	緑のカーテンの有無別の屋内グローブ温度と屋内空気温度の関係.....	33
図 2.2 0	空調使用の有無による緑のカーテンの有無による.....	33
図 2.2 1	緑のカーテンのある世帯の.....	34
図 3.1	調査対象者の属性.....	44
図 3.2	月別の平均エネルギー使用量.....	45
図 3.3	平日・休日別の平均エネルギー使用量.....	46
図 3.4	曜日別の平均エネルギー使用量.....	46
図 3.5	家族人数別の月別平均エネルギー使用量.....	48
図 3.6	家族人数別・平日休日別平均エネルギー使用量.....	49
図 3.7	家族人数別・曜日別平均エネルギー使用量.....	49
図 3.8	ライフステージ別・月別平均エネルギー使用量.....	50
図 3.9	ライフステージ別・平休日別平均エネルギー使用量.....	51
図 3.1 0	ライフステージ別・曜日別平均エネルギー使用量.....	51
図 3.1 1	24時間データのパターン分類手順.....	52
図 3.1 2	利用量の上昇下降と最大ピーク値による分類.....	53
図 3.1 3	最大ピーク値分類以降の最終パターン分類モデル.....	54
図 3.1 4	最大ピーク値の月別の傾向.....	55
図 3.1 5	24時間の各パターンの平均値.....	56
図 3.1 6	24時間の各パターンのばらつき.....	57
図 3.1 7	各パターンの循環回数と世帯数の関係.....	58
図 3.1 8	各パターンの月別の出現回数.....	59
図 3.1 9	家族人数によるパターン毎の1世帯当たりの出現数.....	60
図 3.2 0	各年代のパターン別出現回数.....	61
図 3.2 1	子供の年代別のパターン出現数.....	62
図 3.2 2	各パターンの平均以上の電力使用量世帯のパターン出現数.....	62
図 3.2 3	パターン別の24時間における最大・最小・平均のエネルギー使用量.....	64
図 3.2 4	調査期間内の24時間のエネルギー使用量(ELLE型).....	65
図 3.2 5	電力量削減目標値の算定ステップ.....	66
図 3.2 6	環境省調査との比較による電力使用の削減量推定.....	68
図 4.1	分析アプローチ.....	73
図 4.2	エネルギーデータの分析イメージ.....	74
図 4.3	大きなエネルギーと平均的なエネルギーの関係.....	77
図 4.4	分析に使用される上位20の質問の頻度.....	77
図 4.5	質問の数を1から20に増やしたときの精度と再現の割合変化.....	80

図 4.6	決定木による分類結果.....	81
図 4.7	決定木による分類結果.....	82
図 5.1	実際の年間平均各エネルギー使用量と予測値	90
図 5.2	全世帯の実際の各エネルギー使用量と予測値の関係	91
図 5.3	ランダムフォレストによるエネルギー別の質問重要度.....	92
図 5.4	重要な質問とエネルギー使用量の関係	96
図 6.1	分析概要.....	108
図 6.2	回答者の属性	109
図 6.3	選択肢に対する回答パターンと回答数	110
図 6.4	性別による認知度・実践度・情報取得意欲度の関係	112
図 6.5	年代別による認知度・実践度・情報取得意欲度の関係.....	113
図 6.6	子の有無別による認知度・実践度・情報取得意欲度の関係	114
図 6.7	意識・行動・情報欲求のモデル	116
図 6.8	性別の意識・行動モデル	117
図 6.9	年代別の意識・行動モデル.....	118
図 6.10	子供の有無別の意識・行動モデル.....	119
図 7.1	研究成果を応用した住まい手の行動変容支援プロセス.....	128
図 7.2	集合住宅における住まい手の快適な暮らし習慣化支援モデル.....	130

表目次

表 2.1	既往研究比較	18
表 2.2	計測機器の測定機能	25
表 2.3	調査対象住戸・世帯の概要.....	25
表 2.4	段階別の緑のカーテンがある場合とない場合のバルコニーグローブ温度と 気温の差の平均と標準偏差.....	30
表 2.5	冷房使用習慣における経験したことのある行為と回答数	35
表 3.1	調査対象データの概要	43
表 3.2	電力削減目標値の算定結果.....	67
表 4.1	分析に使用された上位 20 の質問内容.....	78
表 4.2	分析に使用された質問のカテゴリ分類	80
表 5.1	ランダムフォレストで使用した各エネルギー共通の質問内容	93
表 5.2	ランダムフォレストで使用した上位 25 個の質問内容.....	95
表 6.1	認知度・践度・情報取得意欲度に関する設問と省エネ関連性	104
表 6.2	認知度・践度・情報取得意欲度に関する設問例と具体的な設問内容一覧	105
表 6.3	質問に対する選択	108

第 1 章 序論

1.1 はじめに

住まい手が様々なエネルギーを効率よく使用しながら生活することは、理想的な社会である。そのため、我が国では、建物性能の向上により省エネルギー効果が高められてきた。具体的には、断熱性・気密性・冷暖房設備のエネルギー効率などを高める方法である。一方で、住まい手の意識や行動がエネルギーの効率的な使用に大きく貢献すると考えられているが、この分野における具体の手法や対策への取り組みは十分とは言えない。

なぜ対策が必要なのかを住まい手のエネルギー使用量の経年推移と現代社会的における住まい手の省エネルギー意識と行動の観点から述べる。

住まい手のエネルギー使用量の経年推移について、経済産業省の調査¹⁾による日本の家庭部門における年間エネルギー使用量を図 1.1 に示す。私たちの生活においては、戦後の高度経済成長の結果としての経済的余裕と環境教育がいまだ普及途上である影響などにより、節度のあるエネルギー使用の意識は低く、無駄なエネルギー使用の機会は増加したことは否定できず 2000 年度までは増加傾向であった。その後 2010 年度には、省エネルギー技術向上や環境意識の要因などによりエネルギー使用量は横ばいとなるものの、1974 年と比較して、およそ 2 倍の使用量となっている。そのため国・教育機関・企業などは、なるべくエネルギーを使用しないように省エネルギーとなる具体的な家庭内の行動を示し、普及啓発に取り組んできた。しかしながら、住まい手のエネルギー使用が大幅に減少したとは言い難

い。



図 1.1 年別の家庭部門のエネルギー使用状況

現代社会における住まい手の省エネルギー意識と行動について、東京都環境公社では、省エネルギー行動を阻害する要因を明らかにする調査を行った。調査では具体的な省エネルギー行動を 10 項目示し、各行動をしないと回答した者に理由を訊ねている。結果として、省エネルギー行動をしない理由として「面倒・手間だから」という回答が 10 項目中 8 項目で上位 5 位以内となっている。このことは、省エネルギーのための家庭内での行動は、住まい手の日常に必要不可欠な行為として習慣化されておらず、何らかのきっかけで意識的に行わなければならない行動であることを示している。

このような住まい手の意識と行動について、人間の意識や行動と環境の関係について、より深く考える必要があるため、事例を挙げながら述べる。

人間は異常な環境変化を感じる時、その原因を探る意識をもつ。具体的な例として異常気象がある。近年、今までにない規模の台風が日本列島に上陸し甚大な被害を及ぼすことや、平年の気温を大きく上回る最高気温を記録する地域が増加するなどが挙げられる。異常気象の原因の一つは温室効果ガスの増加によるものと言われている。人間は、このような自ら

の生命を脅かすような大きな環境変化を感じたときに、その変化が起こらないように原因を探り対策を講じようとする。対策の一つとして省エネルギー機器の使用や省エネルギーの行動がある。すなわち、このような大きな環境の変化が住まい手の意識や行動を省エネルギー効果のあるものに変えるきっかけとなる。

しかしながら、これらの大きな災害を直接受けない場合、メディアによるニュースで取り上げる数が減り時間が経つに伴い住まい手の災害直後の記憶は忘れられることが多い。つまり、大きな環境の変化が起こっても一過性であるならば、住まい手の意識や行動を変え持続させることは難しいと考えられる。よって、住まい手が様々なエネルギーを効率よく使用しながら生活することを持続可能にするために、どのような対策が必要かを考えるには人間が本来持つ意識や行動の在り方が重要であると考ええる。

そこで、まず人間の行動に関する意識や行動に関する先行研究を確認する。研究分野は行動科学が代表的で、人間の行動を科学的に研究しその法則性を解明しようとする学問である。行動科学の定義や範囲は Miller ²⁾や Berelson ³⁾によって論じられている。主には心理学、社会学、人類学、精神医学などが行動科学分野に含まれるが、極めて多様な領域で研究が行われてきた。なかでも前述した習慣化についての研究では心理学による研究が進められている。

ここで、「人間の意識や行動の変えづらさ」を考えるために着目する二つの概念について述べる。

一つは、「ホメオスタシス」である。ホメオスタシスとは、もともと生物有機体が常に生理学的にバランスのとれた状態を維持する傾向にあることを示す概念で、生理学者 Cannon ⁴⁾により提唱されたもので、日本では「均衡維持」や「恒常性維持」とも訳される。例えば、恒温動物が気温の上昇に対して体温をそのまま維持するため、発汗作用を起こすなどして体温の上昇を抑えるといったことがこれにあたる。他にも、体内の血圧・水分・浸透圧が保たれる、傷口がふさがる、ウィルスなど病原微生物を身体から排除するといったものがホメオスタシスの例として挙げられる。ホメオスタシスの制御は、主に、自律神経系、内分泌系、免疫系において行われている。この概念は、心理学において、生得的な一次的動因（生理的欲求）と考えられ、生理学的なストレス理論や学習理論におけるハル、C.L.の動因低減説の基礎となっているものでもある。

もう一つは、「コンフォートゾーン」である。White⁵⁾によれば、心理学などではストレス

や不安がなく、落ち着いた精神状態でいられる場所を指す。「コンフォートゾーン」とは、ひとつの心理的状态で、人がそれまでの習慣から快適で安全であると感じ、そこにいれば、その人を取り巻く周囲の環境との交流が容易にできると感じる、という領域である。よって、このゾーンでは、安定したレベルの生活が可能である。この「コンフォートゾーン」の条件は、個人ごとに異なり、また「コンフォートゾーン」を離れようとするための努力、さらに「コンフォートゾーン」を離れた場合の結果もそれぞれ各個人で異なるといわれている。

これら2つの概念を用いて「住まい手の意識や行動の変えづらさ」を説明すると、心理的かつ身体的な恒常性維持機能（ホメオスタシス）が作用し、慣れ親しんだ生活スタイル（コンフォートゾーン）から脱することに抵抗が生まれて、変化が起こりかけた時に元の慣れ親しんだ生活に戻ろうとする、それが変えづらさであると言える。

言い換えると、住まい手が家庭内でエネルギーを使用するのは、ホメオスタシスの作用によってコンフォートゾーンを維持するためであるということもできる。つまり、ホメオスタシスという機能は本来、体の内部において、体温や塩分濃度などを人間の意識とは無関係に調整し一定に保とうとする働きであるが、コンフォートゾーンの概念では、ある空間において人間のホメオスタシスの機能が体の外部空間が影響し調整行動をとることにも作用していると考えられる。そこで、改めて人間の生活におけるコンフォートゾーンを定義すると、それは住空間の温熱環境の快適性の他に、自分自身や家族という社会の中で、ストレスなく生活をする場所ということができる。つまり、住まい手は生活する中で何も行動をしないまま恒常性を保つのではなく、変化する温熱環境や身近な課題や願望に応じて行動を起こすという動的なふるまいによって平衡状態を保とうとしていると考えることができる。そこで、住まい手が家庭内の空間や生活をコンフォートゾーンにしようと試みる要因として「温熱環境」と「生活の課題解決や願望達成」があると考えた。図 1.2 (a, b)に事例を挙げながら住まい手が快適領域維持のためにとる行動の影響と反応の関係を示す。

家庭内を構成するのは、生活空間・住まい手とその家族である。事例のように暑い室内のように生活空間が快適領域でなければ、恒常性機能が作用し住まい手は涼しくするために冷房機器を使用する。また、空腹になれば食事をとるために調理をおこなう。これらの行動は結果として無意識にエネルギーを使用することになる。つまり、快適領域を維持し、不快な状態を避けるためにエネルギーを使用するのであるが、この行動は前述したホメオスタシスの作用によるものであることから、それを変容させることは難しい。すなわち、エネルギー

ギー使用を減らすために住まい手に不快が続く状況を許容させるのは難しいと考えられる。言い換えると、住まい手のエネルギー使用を減らすためには、生活空間が快適に維持できることと生活上の課題解決や願望達成が可能であることを前提として考えなければならない(図 1.2 (c))。エネルギー使用の削減と、住まい手の快適領域維持の行動とが両立しなければならないというわけである(図 1.2 (d))。

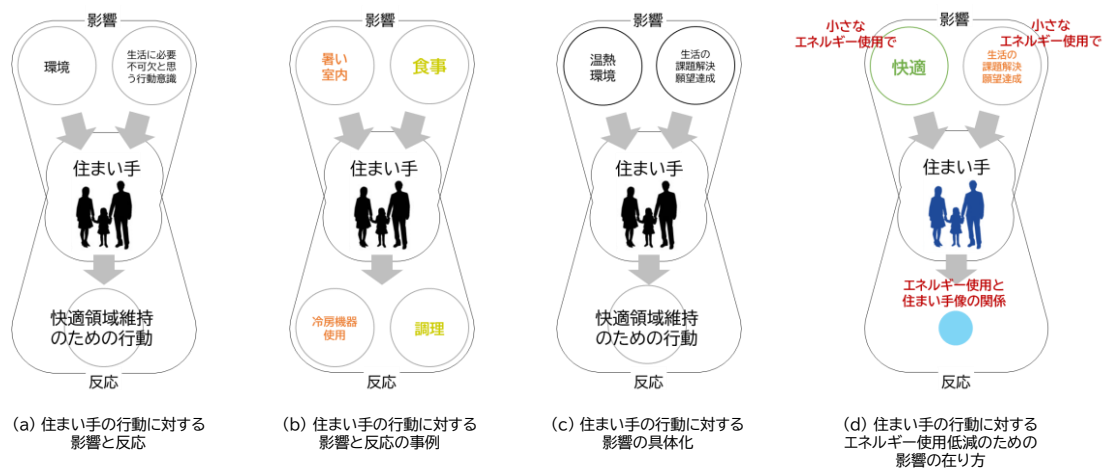


図 1.2 住まい手の行動に関する影響・反応とエネルギー使用の関係

そこで筆者は、以下の視点で研究するテーマの設定を試みた。

1. 住まい手のエネルギー使用低減効果の連鎖可能性のある住居形態
2. 大きなエネルギー使わない快適性維持方法
3. エネルギー使用に関する住まい手の特徴
4. エネルギー使用量を低減する身近な生活行動（課題解決・願望達成）

これらの視点で設定したテーマを以下に述べる。また詳しくは研究の背景で説明する。

家庭部門のエネルギー使用の低減は、「家族」という単位ごとに効果を期待するもので、その一つ一つの効果は社会全体の中では小さい。本研究で着目するテーマも、住まい手の意識や行動に関するものであるため、前述の 1 から 3 のテーマにおける研究成果は再現性が求められる。再現性は、住居形態による影響が大きいと考える。例えば、生活空間の大小に

より、温熱環境の快適性のために使用されるエネルギー量が異なる。わが国における居住形態については、集合住宅のストック数が増加傾向にある。このことは、エネルギー使用量においても集合住宅の割合の増加が避けられないことを示唆している。また、集合住宅は戸建て住宅ほど面積や形状等が多様ではなく、そこでの行為などの再現性が高いと考えられる。よって、1のテーマについては、本研究が対象とする居住空間を集合住宅として設定することとした。

日常生活空間においてはエアコンなどのエネルギーをできるだけ使用せず、快適に暮らすことができる。例えば、夏期における緑環境による温熱緩和効果や、冬期における日射の取得がある。つまり、これらの手法により住まい手の快適領域を維持しながらエネルギー使用を低減できるといえる。よって、2の視点については、住まい手の快適領域維持のために明らかにすべきテーマの一つを「温熱環境」とした。

エネルギーは住まい手が快適領域を維持するために使用したものであり、定量的に分析可能なものである。近年、エネルギー使用量の詳細な記録が技術的に発達したので、従来の基本属性（家族構成・性別・年代別）による傾向把握の他に、住まい手にまつわる様々な情報とエネルギー使用量との関係を明らかにする研究には余地がある。よって、「エネルギー使用」をテーマとして設定した。

4について、身近な生活課題や願望達成のための行動は、住まい手の快適領域を維持するためのものであり自然なふるまいである。これらの行動がエネルギー使用の低減に結び付くのであれば、住まい手の自然な行動が、省エネルギー行動にもなり得ると考えることが可能である。さらに、住まい手が現状の快適領域を維持する今までの行動よりも、より良い行動があることを知ることができれば、行動を変容する可能性がある。よって、エネルギー使用量が少ない生活課題や願望達成のための行動とはどのようなものか、またその行動に対して住まい手が取り組む可能性があるかを明らかにする必要がある。そこで「行動変容」をエネルギー使用の低減における重要な研究テーマと位置付けた。

以上により、本研究はエネルギー使用における住まい手の行動が、生理的な要因と身近な生活に関する要因に影響されているという仮説に基づくものである。次節で、研究の背景について、さらに詳しく述べることとする。

1.2 研究の背景

1.2.1 増加する集合住宅ストック数に対応する省エネルギー行動対策

我が国における居住地と住居形態は、エネルギー使用を低減する対策を講じるうえで重要な要素であると考え、内閣府による首都圏内の人口の推移の調査⁶⁾を図1.3に示す。1990年代前半まで郊外化に伴い人口が郊外へ流出超過であった都心部では、90年代半ばからは、郊外への転出が減少したことに加え、郊外からの転入も増加したため、90年代後半に両者がほぼ均衡し、その後、流入が超過する傾向に転じている。これは、人口の都心回帰の動きである。また土地面積の少ない都心部で人口が多くなっていることに伴い、国交省調査⁷⁾で図1.4に示すように集合住宅のストックは増加傾向にある。よって、エネルギー使用低減のために集合住宅という居住形態に焦点にすることの重要性は明らかである。

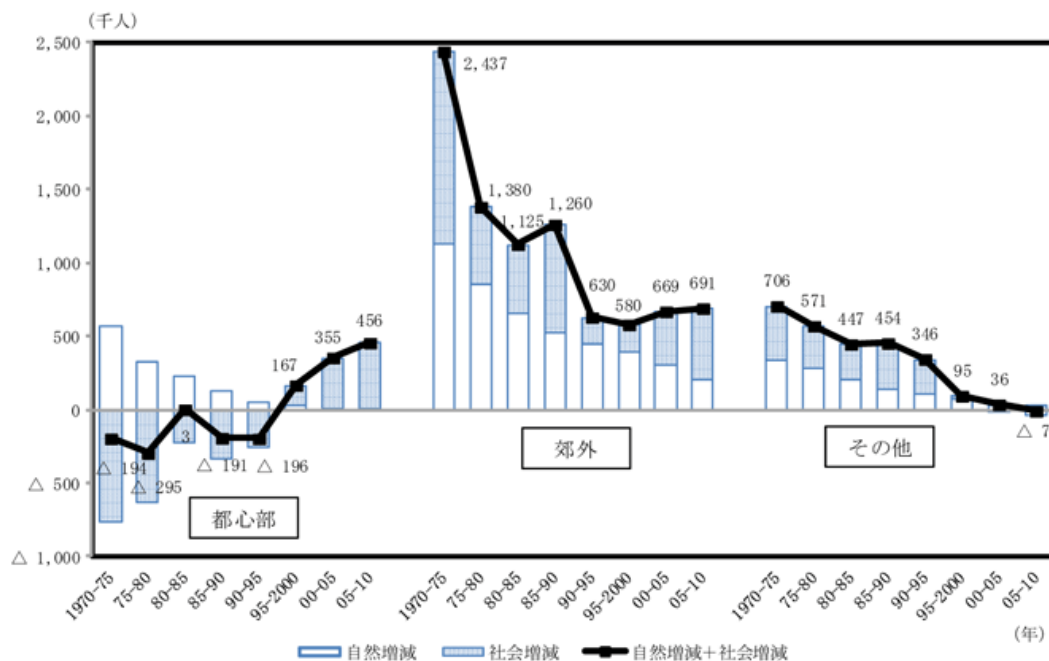


図 1.3 首都圏内のエリア別人口の推移

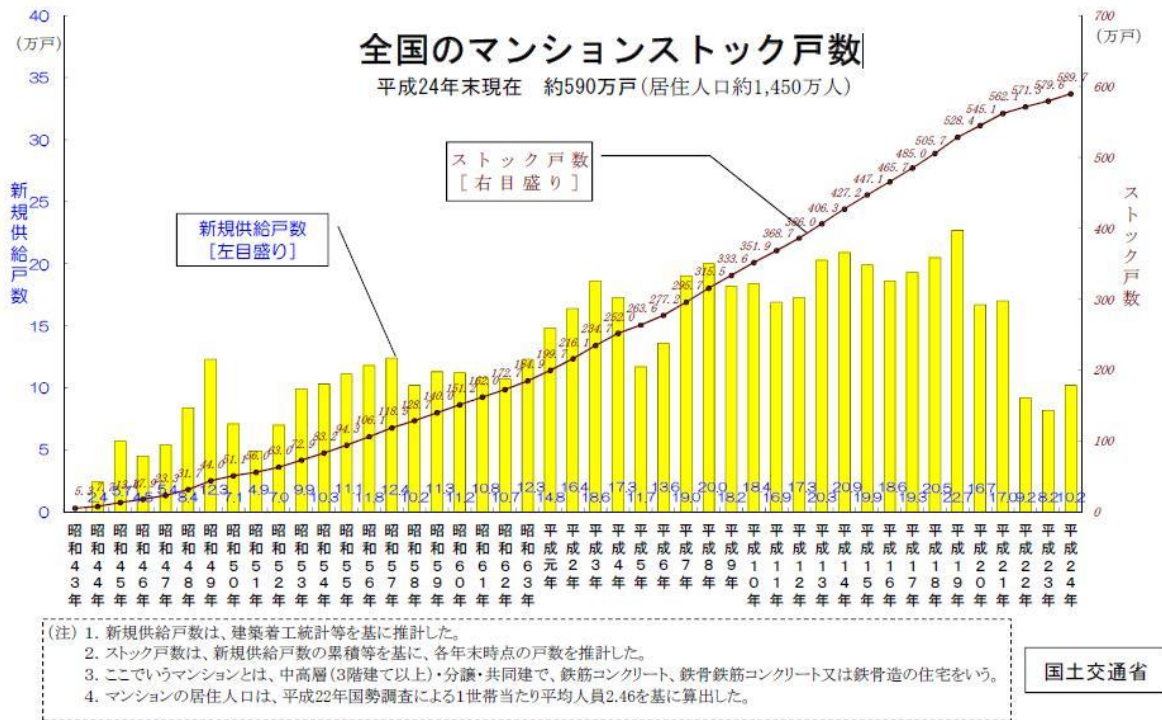


図 1.4 全国の集合住宅ストック推移

1.2.2 集合住宅における住まい手の暑熱緩和対策関与の可能性

我が国の住宅性能基準は、省エネルギー対策のために建物の断熱性や気密性を高めることを年々厳しく定めてきた。よって近年の建物は、建築や設備による省エネルギー効果と同時に快適性の向上も期待できる。このような建物性能の向上は、1.1でも述べたように快適環境維持の効果が高まり温熱環境が安定することで住まい手を感じる大きな不快感を避けることを助ける要素であるともいえる。

一方で、住まい手は快適環境で過ごすために、不快な暑さや寒さに対して様々な環境調整行動をとる。例えば、着衣量の変化、窓の開閉、空調設備のコントロールなどがある。現代の住宅において冬期に住まい手が寒さの対策のために生活空間を改善する余地はあるが、断熱性や気密性の向上により室内は安定した温熱環境が得られる場合が多くなりつつある。一方で夏期においては、居住空間の快適性が建物の窓面から日射の影響を受けることに対する住まい手の関与の一つとしてバルコニーなどの室内と室外の間による空間の緑環境に

よる日射遮蔽がある。第3章で詳しく述べるが、特に集合住宅ではバルコニーを有する居住空間が多く、暑熱緩和対策として緑のカーテンと呼ばれるバルコニーの鉛直面への住まい手による緑化が普及してきた。これは、快適性維持のために住まい手が温熱環境に働きかけることができる手法であるため、数ある快適環境形成のための住まい手の行動の中でも、効果が高く住まい手自らが自身の居住空間の快適性向上のために意欲をもって取り組むことができる。さらに、「エネルギーを多く使わなくても快適で暮らす方法はないか」という視点では重要であると考える。

緑環境育成は、自然に触れ成長を楽しむ収穫したものを味わうなどの生活の質の向上をもたらし、さらに暑熱緩和効果をもたらす。居住空間における室外の暑熱緩和効果が、室内の快適性に影響を及ぼすことは、様々な研究でも明らかにされている。それは、エアコンなどの空調設備の利用低減、すなわちエネルギー使用を抑制する効果もあると考える。

しかしながら、住宅かつ居住実態のある空間での暑熱緩和効果の研究⁸⁻¹⁵⁾は少ない。

よって、近年の気候変動により、我が国では猛暑日の日数が増加している影響も踏まえて住まい手にもたらされる緑育成による暑熱緩和効果について明らかにする必要がある。

1.2.3 HEMSにより可能となった多くのエネルギーデータ記録の分析活用

エネルギー使用量と住まい手にまつわる情報の関係を明らかにするためには、エネルギー使用量の詳しい把握が重要であると考える。詳しいエネルギー使用量の情報は、住まい手が、いつ、どのような行動をしたかを明らかにするきっかけとなる。

近年、HEMS（ホーム・エネルギー・マネジメント・システム）が導入される住宅が普及し、エネルギー使用の可視化のみならず、エネルギー使用量の詳細な記録が可能であることと、記録された利用量をインターネット通信により集約データ化が可能となった。

したがって、大量で詳細なデータの収集と活用が可能となり、エネルギー使用の詳細な実態把握が可能になった。近年これらのデータを活用した多くの研究¹⁶⁻²⁷⁾がなされているが、家電の最適化運転や電力使用量予測のための研究が多く、実際に利用されたデータを用いた研究は少ない。また、前述した国土交通省が実施した調査²⁸⁾が示したことは都市部への人口集中が継続し、集合住宅住まい手のエネルギー使用量増大の可能性を示唆するものであり、我が国の家庭部門のエネルギー使用量に影響を及ぼすことが考えられる。よって、集合住宅住まい手のエネルギー使用量に着目する必要がある。

1.2.4 生活欲求とエネルギー使用低減を両立させる行動変容の可能性

近年の住宅に導入されている HEMS は、モニター画面を有しており省エネルギーを目的とした行動を啓発する情報を閲覧することが可能である。しかし、入居後の HEMS 画面閲覧に関する研究²⁹⁾によれば、閲覧者がエネルギー使用を減らす行動をとるのに一定の効果（10%程度の省エネ）が期待できるが、閲覧の持続性に問題があり住まい手の省エネルギー行動の維持・促進のために機能していないことが明らかにされている。これは、省エネルギーを目的とした行動の情報提供がエネルギー削減効果は持続しづらいことを示している。よって、閲覧持続性を維持するためには、日常の暮らしの中で省エネルギー行動を誘導する情報提供の在り方について新たな視点が必要である。

そのため、序章で述べたように「身近な生活の欲求（課題解決・願望達成）行動がエネルギー使用量低減につながらないか」という視点で、まずは住まい手の身近な生活欲求を明らかにするために現代における住まい手の生活行動欲求を調査把握することが必要である。多様化する生活行動欲求は、個人の意識や行動に大きく影響されていると考えられる。そのため、住まい手行動欲求を満たしながらエネルギー使用の低減に結び付くものを多様な市場調査から選定し、住まい手が、これらの行動を知っているか、実行したいか、関連する情報が欲しいかなどの意識について明らかにする必要がある。

1.3 研究の目的

本研究の体系を図 1.5 に示す。

温熱環境については、住まい手の緑の育成を通じてもたらされる快適性を気温・グローブ温度に基づいて明らかにする。

エネルギー使用については、電力・ガス・水道の利用量を用いて住まい手の生活パターンを明らかにすることや、住まい手にまつわる情報とエネルギーデータから、エネルギー使用量の特徴を明らかにする。

行動変容については、身近な生活の課題解決や願望達成に有効かつ省エネルギー効果のある情報を提供することによる住まい手の意識や行動変容の可能性を明らかにし、認知・実践・関連する情報取得意欲の3要素によるモデルを構築する。

本研究の目的は、無理なく快適性を維持したまま、エネルギー使用が低減される行動に結びつく要因を「温熱環境」「エネルギー使用」「行動変容」のテーマごとに明らかにすること

である。

本研究が「エネルギー使用量を減らし、快適で幸せに暮らすこと」ができる社会形成のきっかけとなり、「温熱環境」「エネルギー使用」「行動変容」の3つのテーマを統合した新たな環境教育や住宅供給事業で応用されることを目指す。

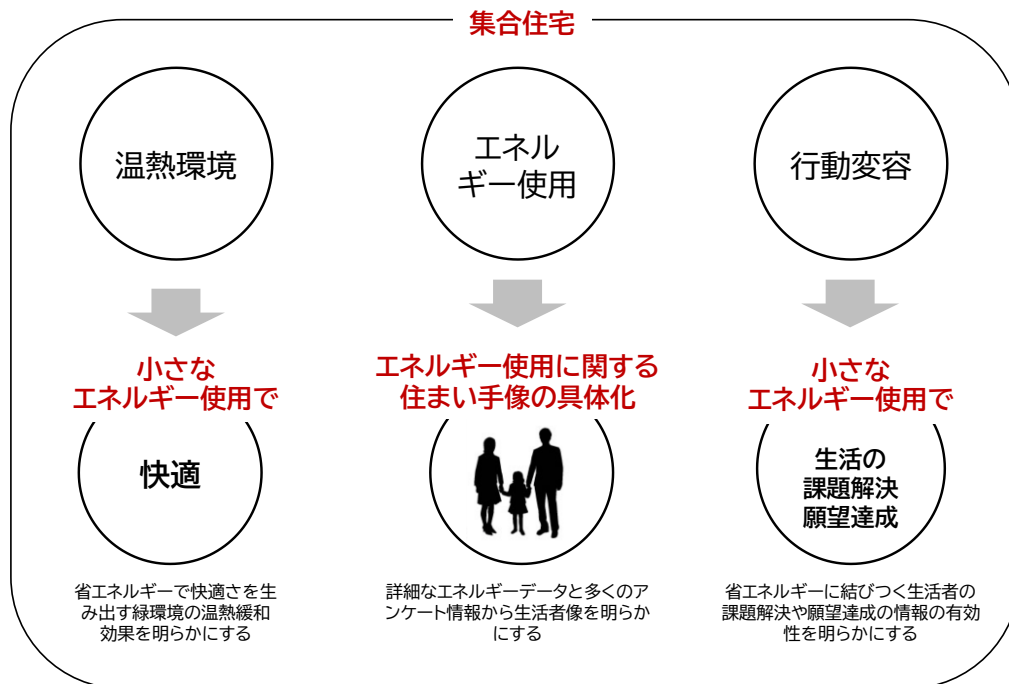


図 1.5 研究の体系

1.4 論文の構成

本研究の構成を図 1.6 に示す。第1章は序論であり、本研究の背景や先行研究の概観と課題意識を本研究の目的について述べる。第2章から第6章までが本論である。第2章が温熱環境についての研究であり、第3・4・5章がエネルギー使用について、第6章が行動変容についての研究である。

第2章にて、集合住宅における住まい手の緑環境育成による温熱緩和効果の分析について述べる。緑環境育成の有無による違い、緑の育成状況による温熱緩和効果の時間変動、冷房設備の使用の有無による³⁰⁾温熱緩和効果の違いを分析し、定量化することで明らかにする。

エネルギー使用に関する研究の第3・4・5章にて、第3章では、エネルギー使用量の24

時間の値をパターンの単位として、利用時間の特徴別に分類する。詳細なエネルギーデータを詳しく把握することで、生活時間内でどのようにエネルギーが利用されているかを分析する。第4章では、エネルギー使用の大きい世帯を住まい手にまつわる情報を用いることで抽出する。第5章では、エネルギー使用量を予測するために使われた住まい手にまつわる情報を明らかにする。第3・4・5章を通じてエネルギー使用の実態と基本属性による傾向だけではない住まい手にまつわる情報の特徴を明らかにする。

第6章では、省エネルギー効果のある身近な生活の課題解決や願望達成に関する情報が、住まい手の行動変容に有効であるかどうかを明らかにする。

第7章では、本研究の結論のまとめと考察・課題について述べる。

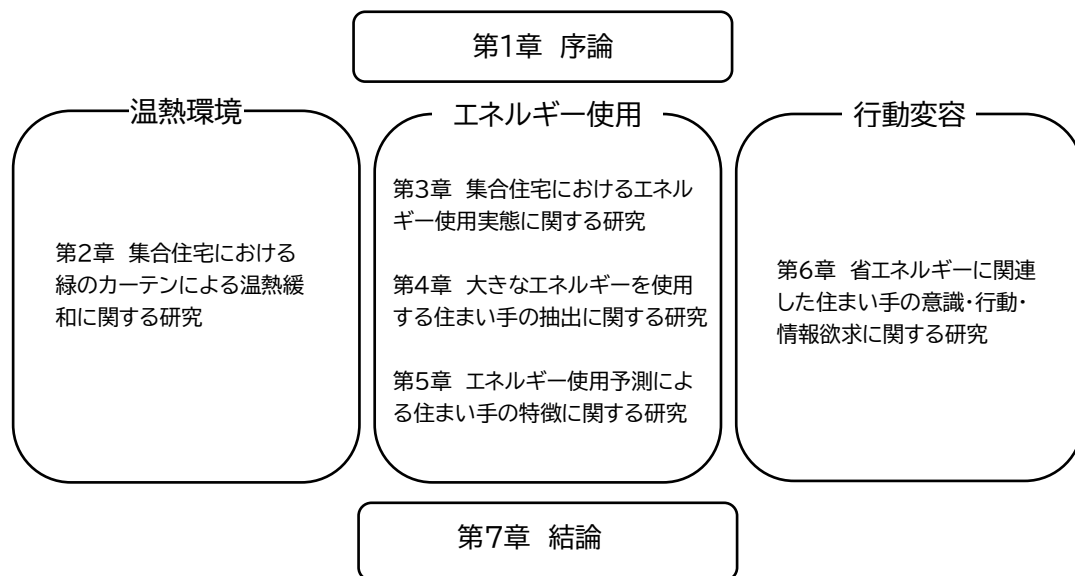


図 1.6 論文の構成

参考文献

- 1) 経済産業省 資源エネルギー庁：平成 30 年度エネルギーに関する年次報告，エネルギー白書 2019/10/1
- 2) Miller, J. G. : Culture and the development of everyday social explanation, Journal of Personality and Social Psychology, 46, pp. 961-978, 1984.
- 3) Berelson, B., Steiner, G. A. : Human behavior: An inventory of scientific findings Harcourt, Brace & World 1964
- 4) Cannon, W. B. : Organization for physiological homeostasis, Physiological Reviews, 9, pp. 399-431, 1929.
- 5) White, A. : From comfort zone to performance management, 2009.01/01
- 6) 内閣府：地域の経済 2011 補論 2.1 郊外化とその後の都市回帰，経済財政白書，pp.189,2011/11
- 7) 国土交通省住宅局市街地建築課マンション政策室：平成 30 年度マンション総合調査結果の概要，市街地再開発，pp. 34-40,2019/06
- 8) Maki, H., Sakakibara, Y., Hisanaga, N. : Preliminary investigation on the effect of wall greening on classroom temperature and humidity, Iris health : the bulletin of Center for Campus Health and Environment, Aichi University of Education, 10, pp. 43-56, 2011.
- 9) Nakamura, M., Sakakibara, Y., Ota, K., Hisanaga, N. : Effect of measures against westering sun using green curtain on indoor thermal environment, Iris health : the bulletin of Center for Campus Health and Environment, Aichi University of Education, 11, pp. 41-45, 2012.
- 10) Suzuki, H., Kato, M., Fujita, S. : Estimating the effects of green curtain on improving the thermal environment using the indices of MRT and WBGT, Journal of the Japanese Institute of Landscape Architecture, 78, pp.505-510, 2015.
- 11) Suzuki, H., Kato, S., Fujita, S. : The effects of green curtain on improving thermal environment estimating surface temperature and solar radiation, Journal of the Japanese Institute of Landscape Architecture, 79, pp. 459-464, 2016.
- 12) Narita, K. : Effects of green curtains on the thermal environment of the classroom, Papers on environmental information science, 21, pp. 501-506, 2007.
- 13) Okushima, L., Kaiho, A., Ishii, M., Moriyama, H., Sase, S., Takakura, T. : Comparative analysis of Green curtain cooling effects, Climate in Biosphere, 14, pp. 10-17, 2014.
- 14) Igarashi, T., Fujii, H., Takahashi, I., Kai, T. : Field survey on cooling realization process of apartment houses exploring greening method part 2. Substance quantity and consciousness about indoor thermal environment, Summaries of technical papers of annual meeting, Architectural Institute of Japan, pp. 517-518, 2008.

- 15) Kato, S., Kuwasawa, Y., Ishii, Y., Okeno, K., Hashimoto, T., Ikeda, K. : Study on the improvement effect of the thermal environment of green curtains in apartment houses, Journal of the Japanese Society of Revegetation Technology, 38, pp. 39-44, 2012.8.31
- 16) 栗誠悟, 井上隆, 松木義也, 高瀬幸造, 菅原清峻: 集合住宅における用途別エネルギー消費実態 その4 世帯属性に着目したエネルギー・水道の消費量分析, 環境工学 I, pp. 1057-1058, 2017.7.20
- 17) 下田吉之, 山口幸男, 岡村朋, 谷口綾子, 山口容平: 家庭用エネルギーエンドユースモデルを用いた我が国民生家庭部門の温室効果ガス削減ポテンシャル予測, エネルギー・資源学会論文誌, 30, pp. 1-9, 2009.
- 18) 小澤暁人: 生活行動の再現による家庭のエネルギー需要の推定, エネルギー・資源 = Energy and resources, 34, pp. 57-60, 2013.1.5
- 19) 小澤暁人, 吉田好邦: マルコフ連鎖を用いた生活行動再現による家庭エネルギー需要の推定, 環境情報科学論文集, 27, pp. 97-102, 2013.
- 20) 菅原清峻, 井上隆, 高瀬幸造, 松木義也, 細井里紗: 集合住宅における用途別エネルギー消費実態の把握 ライフスタイルの違いによるエネルギー消費傾向の分析, 空気調和・衛生工学会大会 学術講演論文集, 2015, pp. 105-108, 2015.
- 21) 大月雅也, 松岡綾子, 山口容平, 下田吉之: 家庭用エネルギーエンドユースモデルを用いた電力負荷曲線の推計および精度検証, 空気調和・衛生工学会大会 学術講演論文集, pp. 117-120, 2016.
- 22) 中江俊博, 雪島正敏: 各家庭での電力消費予測と適切な省エネアドバイス(マーケティング・データ解析(1)), 日本オペレーションズ・リサーチ学会秋季研究発表会アブストラクト集, pp. 106-107, 2004.9.8
- 23) 中村笙子, 廣森聡仁, 山口弘純, 東野輝夫, 山口容平, 下田吉之: 世帯におけるエネルギー消費行動の最適化支援システム, マルチメディア, 分散協調とモバイルシンポジウム 2013 論文集, pp. 1995-2007, 2013.7.3
- 24) 萩島理, 谷本潤, 池谷直樹, 藤原優也: 居住者の生活スケジュールの多様性を考慮した負荷計算に基づく省エネ行動の評価, 空気調和・衛生工学会 論文集, 39, pp. 17-24, 2014.
- 25) 平野勇二郎, 戸川卓哉: 家庭部門における CO₂ 排出量推定モデル(エネルギー消費(住宅)), 環境工学 I, 2013 年度日本建築学会大会(北海道)学術講演会・建築デザイン発表会, 環境工学 I, pp. 671-672, 2013.8.30
- 26) 野田圭祐, 盛岡通, 尾崎平: 世帯属性別の電力需要の再現モデルの開発: 外出・帰宅・就寝行動の時間幅を考慮して, 地球環境研究論文集 = Global environment engineering research: 地球環境シンポジウム, 22, pp. 147-156, 2014.

- 27) 矢野順子, 井階美歩, 高橋彰子, 中川慶一郎, 生田目崇, 山中啓之: 電力消費行動分析 : 消費行動から探る省エネアドバイスの提案(マーケティング・データ解析(1)), 日本オペレーションズ・リサーチ学会秋季研究発表会アブストラクト集, pp.104-105, 2004.9.8
- 28) 建設省住宅局住宅政策課: 平成 30 年度 住宅経済関連データ, 住宅経済データ集, < 1 > 住宅整備の現状, 2018.11.22
- 29) 中島裕輔, 佐藤光太郎: 住宅における環境・エネルギー情報提供システムの構築に関する研究 : (その 5) システムの使用状況と効果の検討, 日本建築学会学術講演梗概集. D-1, 環境工学 I, pp. 67-68, 2009.7.20
- 30) Malys, L., Musy, M., Inard, C. : A hydrothermal model to assess the impact of green walls on urban microclimate and building energy consumption , Building and Environment, 73, pp.187-197, 2014.

第2章 集合住宅における緑のカーテンによる温熱緩和に関する研究

2.1 はじめに

2.1.1 研究の概要

建物壁面の熱負荷を減らすことは、夏期が長い国々の環境問題に対する最も重要な解決策の1つである。建物の外壁の熱負荷を減らすことができれば、部屋の熱環境は改善される。つまり、建物壁面の熱負荷を減らすことは、住まい手にとって重要な取り組みの1つである。建設技術による熱緩和の方法には、壁、屋根、窓の断熱性能を向上させることがある。一方、緑化もまた熱緩和方法の1つである。壁面緑化は、垂直の支持フレームと成長した植物で構成され、一般に内壁または外壁に取り付けられるが、場合によっては自立することもできる。多くの緑化屋根と同様に、壁面緑化には、植生、灌漑、排水が単一のシステムに組み込まれている。

壁面緑化は、「リビングウォール」、「バイオウォール」、または「垂直庭園」とも呼ばれ、これらの壁面緑化は広く研究されている¹⁻⁹⁾。Kontoleon ら¹⁾は、壁面緑化による熱緩和効果を明らかにした。省エネと壁面緑化の関係は、Perini ら²⁻⁴⁾によって示されている。小山ら^{5, 6)}は、壁面緑化によって壁面温度が低下することを明らかにした。気候データによる壁面緑化に関する効果的な計画は、Hunter ら⁷⁾によって明らかにされている。Eumorfopoulou ら⁸⁾は、植物で覆われた壁部分が建物の外皮の熱挙動を改善できることを明らかにした。Köhler⁹⁾は、都市の微気候と建物のエネルギー使用効率を改善するには緑のファサードの可能性が高いことを示している。垂直緑化は、夏に高い日射を受ける窓、バルコニーの床、壁からの直接または間接の日射を緩和するために不可欠である。都市部のほとんどの集合住宅には大きな窓に面したバルコニーがあり、緑のカーテンは屋内の熱の緩和に適している。垂直緑

化による屋内の熱緩和効果は、多くの研究で示されている¹⁰⁻¹⁴⁾。Ip ら¹⁰⁾は、緑のカーテンが室内への熱の流入を防ぐ効果が高いことを示した。加藤ら¹¹⁾は、集合住宅の垂直緑化の実験により、室内の温熱環境の改善を実証した。他の研究者ら¹³⁻¹⁵⁾は、垂直緑化が熱緩和効果を持ち、住まい手の意識に良い影響を与えることを示した。Wong ら¹⁵⁾によると、熱帯地域の高層集合住宅用の垂直緑化は、熱の緩和と省エネルギーのために利用可能であることを明らかにした。図 2.1 はバルコニーの垂直緑化の写真で、バルコニーの床、壁、窓の表面温度を下げるために有効である。日本では、この垂直緑化は「緑のカーテン」と呼ばれている。緑のカーテンは 2004 年に日本の環境省の白書に掲載された。以来、住まい手が簡単にできる熱緩和の手法として普及してきた。緑のカーテンによりバルコニーが快適になれば住まい手は、より積極的に屋外を活用することが可能になり住まい手が以前よりも緑のカーテンを育てる行動をとる可能性がある。よって緑のカーテンに取り組む住まい手が増えることは、より大きな省エネルギー効果を生み出すことも考えられる。

このように、緑のカーテンは散水のために自動的に制御される垂直緑化や緑化屋根とは異なるため、住まい手の育成が快適性と省エネルギー効果を生み出すことが期待できる。一般的に、住まい手は熱的快適性のためにさまざまな行動をとることが明らかにされている。Rijal ら¹⁶⁾は、人々がさまざまな適応メカニズムを使用して屋内の熱環境を調節していることを示した。Rijal ら¹⁷⁾はまた、住まい手が窓を開けることにより熱的快適性を得ていることを明らかにした。これは、住まい手が都市の温暖化防止活動の一環として、良好な屋内温熱環境づくりに参加することを意味している。バルコニーの緑化で緑のカーテンの数を増やすと、建物全体の緑のファサードが形成される。



図 2.1 調査対象建物の緑のカーテン外観

2.1.2 先行研究の概観

表 2.1¹⁸⁻²⁵⁾に示すように、日本の緑のカーテンによる熱緩和効果に関する文献レビューを実施した。ほとんどの調査建物が学校や研究所など住宅ではない建物で実施されている。五十嵐ら²⁴⁾の調査建物では、快適性を生み出すための緑環境は十分に形成されているが、一般的な集合住宅と比べて特殊な技術が使用されており、日本の集合住宅としての代表性とすることは難しい。加藤ら²⁵⁾の研究に使用された建物は1964年に建築されたものであり、現代の集合住宅と比べ性能が劣るために、温熱環境の影響が現代の建物と比較し十分ではない。奥島ら²³⁾の研究では、緑のカーテンとその他の日射遮蔽物の温熱緩和効果の比較をしているが、緑のカーテンの有無による温熱緩和効果を調査する必要がある。したがって、居住実態のある空間の緑のカーテンの調査を実施することが必要であり、かつエアコンが夏期に使用されることを考慮して調査する必要があるが、これらの研究はすべて、重要な問題である可能性のあるエアコンの使用の有無別による緑のカーテンの効果を比較していない。よってさらに詳しく調査をする必要があることが明らかである。

表 2.1 既往研究比較

Reference	Investigation space	Investigation period	Thermal mitigation effect
Maki et al. ¹⁸⁾	Classroom (University)	22 - 26 Sept. 2011	Indoor air temperature decreased by up to 1 °C.
Nakamura et al. ¹⁹⁾	Classroom (University)	11 - 19 Aug. 2012	The average indoor air temperature decreased by 0.7 °C.
Suzuki et al. ²⁰⁾	Classroom (University)	6 - 19 Aug. 2012	The maximum indoor air temperature decreased by 4.1 °C.
Suzuki et al. ²¹⁾	Classroom (University)	4 - 17 Aug. 2013	The maximum indoor air temperature decreased by 2.1 °C.
Narita et al. ²²⁾	Classroom (Primary school)	21 Aug. - 10 Sept. 2006	The maximum indoor air temperature decreased by 4.0 °C.
Okushima et al. ²³⁾	Institute	23 Jul. - 8 Aug. 2012	The maximum indoor surface temperature decreased by 4.0 °C.
Igarashi et al. ²⁴⁾	Condominium	21 Jul. - 28 Aug. 2007	The maximum indoor air temperature decreased by 3.0 °C.
Kato et al. ²⁵⁾	Condominium	8 Aug. - 16 Sept. 2011	Green curtains tend to be cooler than Bamboo blinds.

2.2 調査の概要

2.2.1 調査地域と気候

建物は、日本の関東地方の横浜北部に位置する。この地域の気候は温暖である。年間を通してかなりの降水量があり年間降水量は 1571 mm である。最も暑い月は 8 月で、平均最高気温は 30.6°C で 1 月の平均最低気温は 5.9°C である (図 2.2)。月間平均最大相対湿度は、7 月が 76%，1 月が 53% である。調査は最も暑い月に実施された。

調査した 2018 年の夏の平均外気温度は、通常の年よりも高いことがわかる (図 2.3 (a))。また、近年と比較し最高温度が 35°C 以上の観測点がより多いことがわかる (図 2.3 (b))。さらに図 2.4 に示すように、調査対象地域 (横浜) では最高気温が 30°C 以上の日は約 50 日間、夕方から翌朝までの気温が 25°C 以上の日は約 47 日間で、測定期間の 80% であった。よって調査年は、熱緩和効果を調査するのに十分な暑い年であることが確認された。

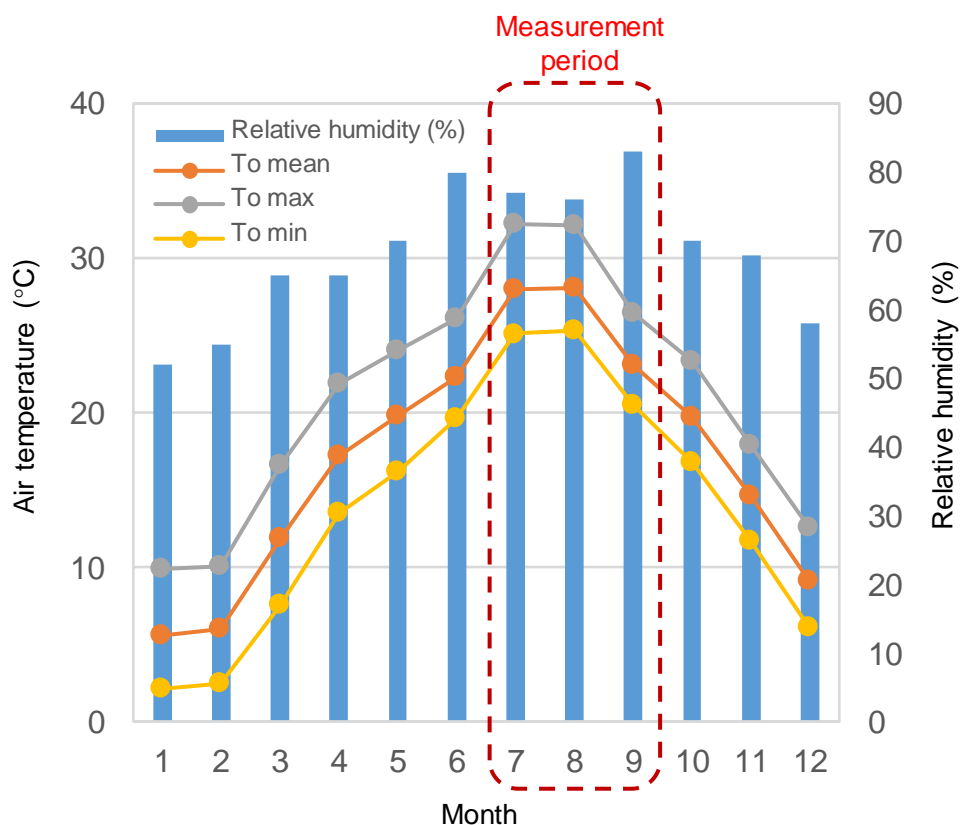
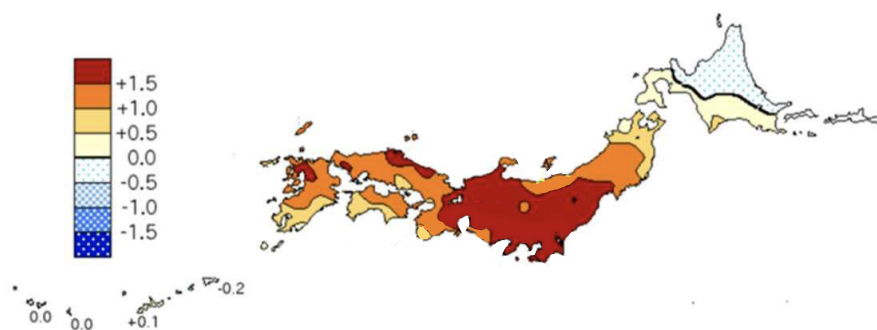
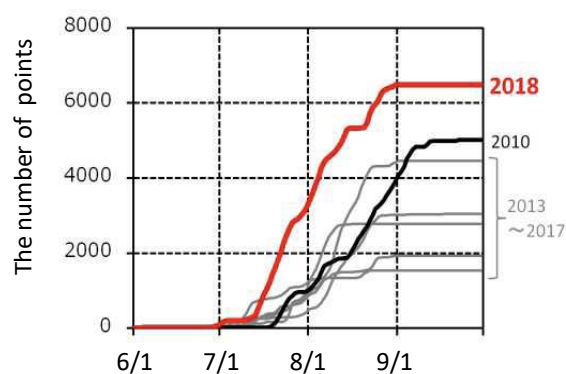


図 2.2 調査対象地の外気温と湿度の年間推移



(a) 2018 年と平年の平均気温との差



(b) 35℃以上の気温を計測した日本の観測所地点数の比較

図 2.3 2018 年の日本の気候状況

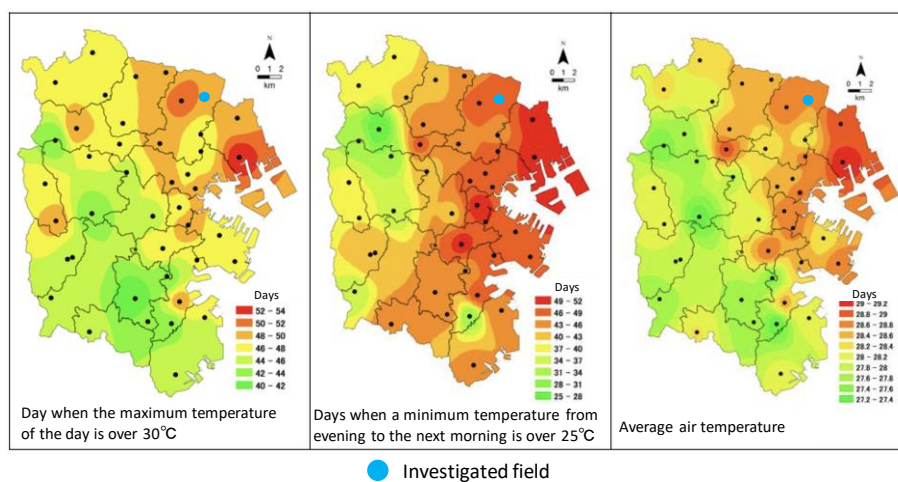
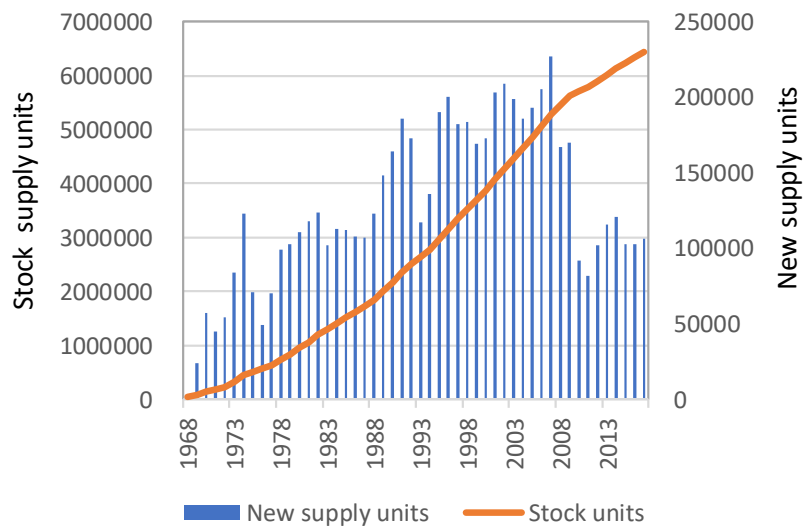


図 2.4 横浜市の 2018 年 7, 8 月の気温計測結果

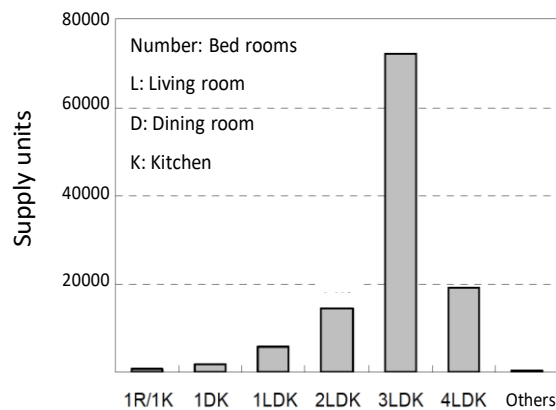
2.2.2 日本の集合住宅の特徴

緑のカーテンを広く導入するには、序論でも述べたように調査対象の建物が代表的な集合住宅でなければならない。

図 2.5 (a) に示すように、日本ではマンションのストックユニットと新規供給ユニットの数が増加している²⁶⁾。集合住宅が今後増加するため、まずこの調査が必要であると考ええる。住戸のレイアウト²⁷⁾については、図 2.5 (b)に示すように3LDKが最も一般的であり、全体で約70%である。首都圏（横浜を含む）のマンションのタイプ²⁷⁾を図 2.6 に示す。マンションの約80%は片側廊下で調査対象と同タイプある。

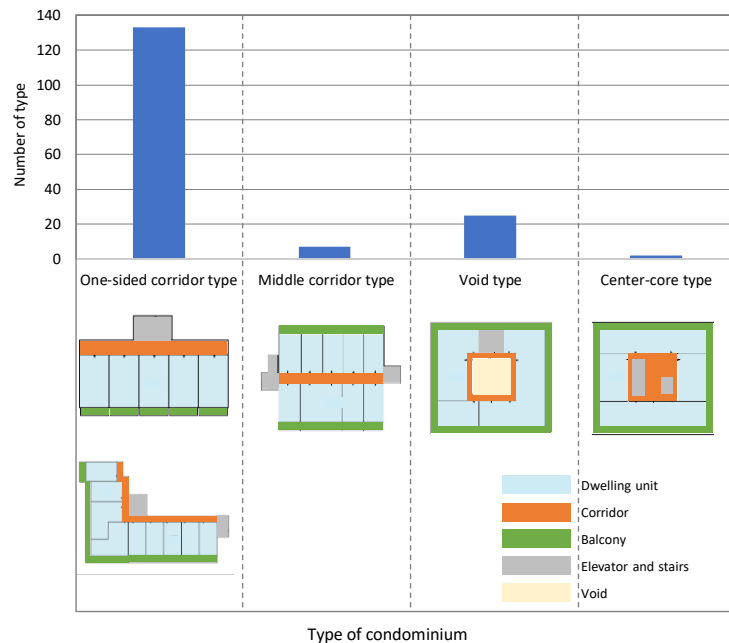


(a) 日本の集合住宅ストック数の推移



(b) 日本の集合住宅住戸タイプ分類別供給数

図 2.5 日本の集合住宅ストックの特徴



(b) 集合住宅の建物形態別の供給数

図 2.6 日本の集合住宅における建物形態の特徴

2.2.3 調査建物概要

調査建物は2018年に新築された鉄筋コンクリート（RC）構造の7階建て集合住宅で66世帯が居住している。調査対象は緑のカーテンのある2世帯（G1, G2）と緑のカーテンのない2世帯（N1, N2）の計4住戸とした。図2.7に各住戸の平面図を示す。間取りは、3つの寝室、リビングルーム、キッチン付きのダイニングルームがある3LDKタイプと言われるものである。これらの建物と間取りは前述の日本の集合住宅の特徴と一致する。よって本研究の調査対象建物は日本の集合住宅において代表性があるといえる。

また、対象住戸のバルコニーの向きについて、図2.7(c)に示すように調査対象のバルコニーは、西と南どちらもバルコニーの壁とバルコニーの天井によって囲われている。したがってバルコニーへの日射の影響は鉛直面によるものである。そこで、調査対象地域の西側と南側の鉛直面における1日の垂直日射量の関係を図2.8に示す。西の垂直日射量は南よりも多い。また、図2.7(a, b)に示すように、両方のファサードの前に調査対象の建物が日陰になるような建物はない。したがって、緑のカーテンの温熱緩和効果を分析するにあたり、緑のカーテンのある住戸に有利に働く要素はない。

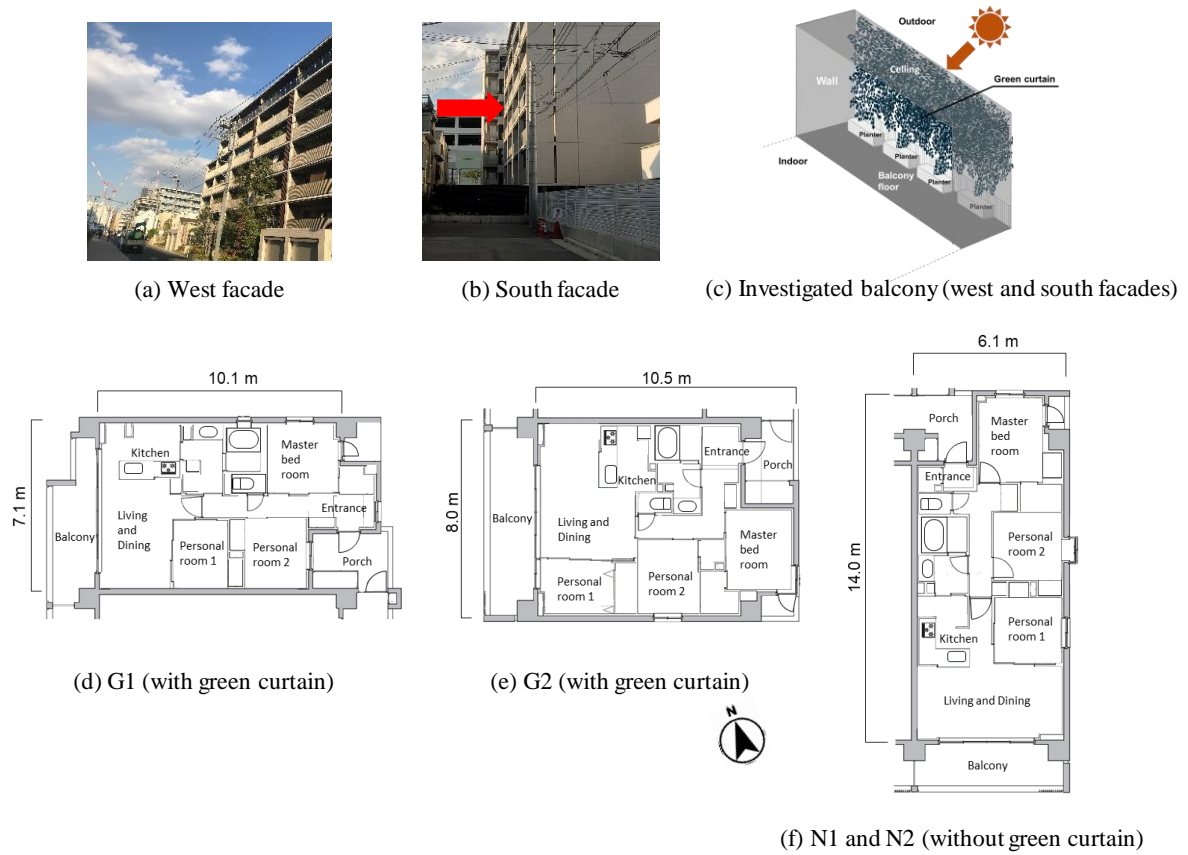


図 2.7 調査建物の概観と調査対象住戸の間取り

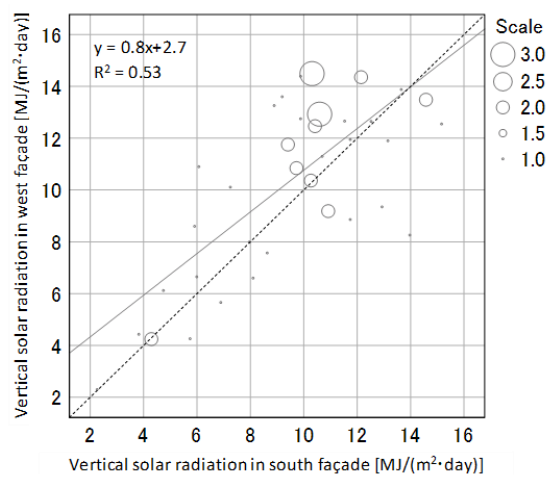


図 2.8 調査対象地域の過去10年間における
夏の西面と南面の鉛直日射量の関係

2.2.4 現地調査概要

屋内と屋外の快適性に影響する要因について、図 2.9 は、緑のカーテンがある場合とない場合の熱環境の違いを示している。緑のカーテンがなければ、バルコニーの手すり、床、窓は直接日射を受け、この熱は再放射されて屋内に伝達される。一方、緑のカーテンがある状態では、直接日射が遮られ、植物も葉からの蒸散作用により熱は気化され蓄熱することはない。緑のカーテンがある場合とない場合の熱放射は大きく異なることがわかる。

また測定機器の詳細を表 2.2 に示す。屋内とバルコニーの気温、屋内とバルコニーのグローブ温度を 48 日間、10 分間隔で測定した。緑のカーテンによる熱緩和効果を明確にするために、測定に最も暑い月を選択した。室内温度は、リビングルームの床面から約 90 cm（範囲 60～120 cm）の高さで測定した（図 2.10 (a)）。バルコニーの温度は、バルコニーのレベルから約 140 cm（120～160 cm の範囲）の高さで測定した（図 2.10 (b)）。グローブ温度の黒球は、直径 4 cm のものを採用した。表 2.3 では、調査対象世帯の基本属性を示す。世帯年齢に差はないが、緑のカーテン無しの世帯が子供を有している。子供の有無による夏期の電力使用については、坊垣らの研究²⁸⁾により差がないことが示されている。よって緑のカーテンと冷房使用時間の関係に影響はないと考える。

図 2.11 は、調査世帯の申告によるエアコン使用時間のチェックリストを示す。バルコニーとリビングの両方での日射の影響を検証するために、住民は晴れた日のエアコン使用時間を記録した。エアコンの使用時間は、この申告と実際の室内空気温度と比較することで推定している。

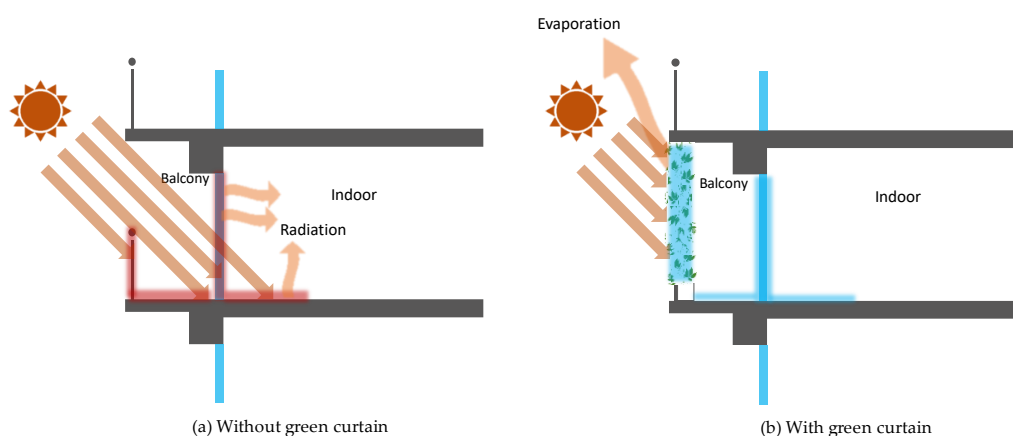


図 2.9 緑のカーテンの有無による放射環境の違い

表 2.2 計測機器の測定機能

Trade name	Measurement variable	Range	Accuracy
TR74Ui	Air temperature	0・55 ° C	±0.5 ° C
TR-52i	Globe temperature	-20・80 ° C	±0.3 ° C

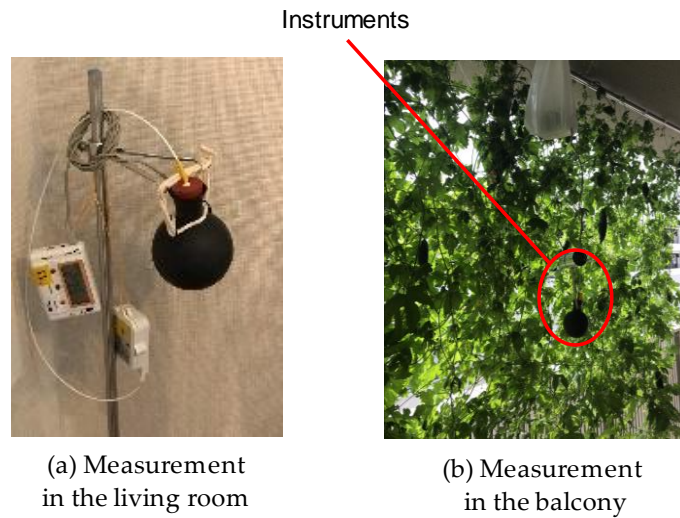


図 2.10 調査対象住戸への計測機器の配置

表 2.3 調査対象住戸・世帯の概要

Green curtainID	Floor	Orientation of balcony	Horizontal position of flat	Family number	Age (year)			
					Husband	Wife	Child	
With	G1	2	West	North corner	2	37	35	-
	G2	5	West	South corner	2	33	34	-
Without	N1	3	South	Southeast corner	3	36	32	3
	N2	6	South	Southeast corner	3	39	38	3

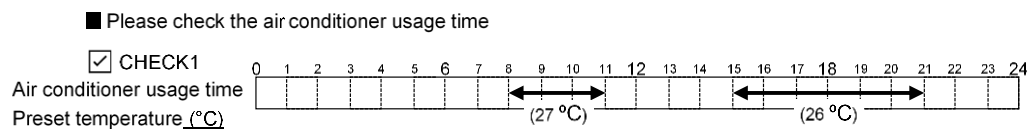


図 2.11 エアコン使用時間のチェックリスト

2.3 結果と考察

2.3.1 バルコニーのグローブ温度と気温の比較

図 2.1 2 は、緑のカーテンがある世帯とない世帯のバルコニーのグローブ温度と気温の平均値を示している。両方の条件の気温はほぼ同じであった（図 2.1 2 (a)）。ただし、緑のカーテンのない世帯のバルコニーグローブの温度は、緑のカーテンのある世帯のグローブの温度よりも高くなる傾向がある（図 2.1 2 (b)）。緑のカーテンのない世帯のグローブ温度は、7月と8月の28～32℃である。したがって、図 2.1 3 に示すように、緑のカーテンがある世帯とない世帯のバルコニーグローブ温度（ T_{gb} ）と気温（ T_{ob} ）を比較した。緑のカーテンがあるグローブ温度は、14:00 から 15:00 に約2℃差があるが、バルコニーグローブ温度と気温の間にほとんど差はない（図 2.1 3 (a)）。一方、緑のカーテンのない世帯では、グローブ温度は、5:30 から 17:30 まで、気温よりも高くなっている。さらにグローブ温度は日中に徐々に上昇する（図 2.1 3 (b)）。これらの結果は、緑のカーテンのない世帯のバルコニーグローブ温度は、直達日射の影響を受けやすいことを示している。

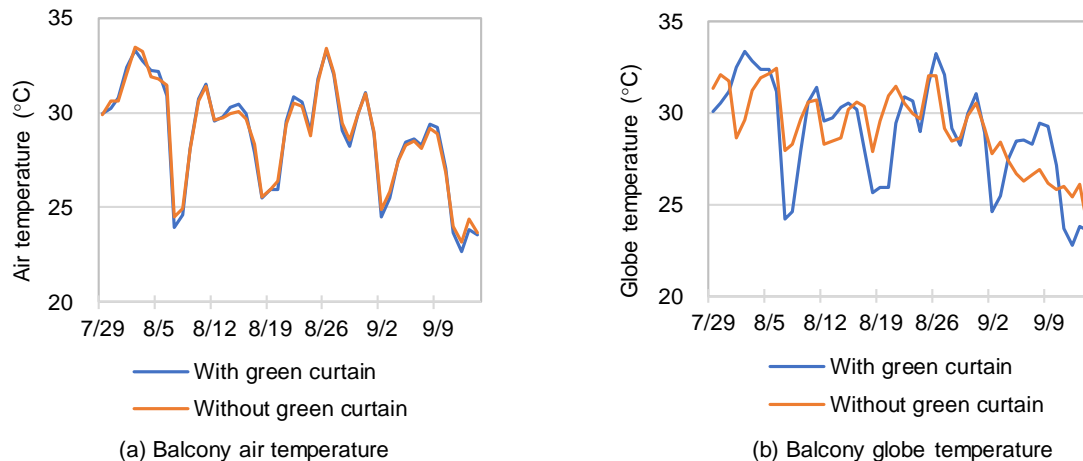


図 2.1 2 緑のカーテン有無別のバルコニーのグローブ温度と気温

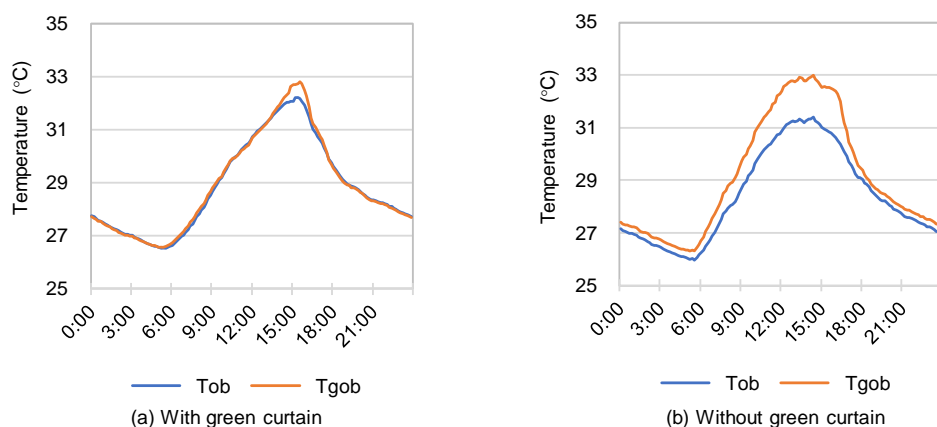


図 2.13 緑のカーテン有無別のバルコニーの
グローブ温度 (T_{gb}) と気温 (T_{ob}) の比較

2.3.2 バルコニー温度の時間による変動

図 2.14 に示すように、緑のカーテンによる熱緩和を明らかにするために、バルコニーのグローブ温度と気温の差を分析した。

初期の測定期間では、緑のカーテンのある世帯の温度差は緑のカーテンのない世帯よりも大きくなることが明らかである。緑のカーテンがある世帯のバルコニーは西に面しており、緑のカーテンがない世帯のバルコニーは南に面している。周囲の建物による日影はない。

したがって、緑のカーテンのあるバルコニーは、調査初期段階ではバルコニーの床と壁に直射日光の影響を受けていたと考えられる。中期から後期では、バルコニーのグローブ温度と緑のカーテンのある気温の差は徐々に小さくなる。具体的には、11 日から最終日まで、温度差は 2°C 以内となっている。

一方、緑のカーテンのないバルコニーグローブの温度と気温の差は、初期の段階で増加する。バルコニーの床と壁からの日射の影響が非常に高いことを示唆している。

これらの結果は、緑のカーテンが成長するにつれて、緑のカーテンによる熱緩和効果も強化されることを示唆している。

バルコニーの熱環境を明確にするために、図 2.15 および表 2.4 に示すように、分析期間を初期、中期、後期に対応するように第 1 期 (7/29-8/13)、第 2 期 (8/14-8/29)、および第 3 期 (8/30-9/14) に分割した。温度差 ($\Delta t = T_{gb} - T_{ob}$) とバルコニーの関係を分析した 3

段階の気温について、次の回帰式が得られた。

With green (1st stage):

$$\Delta t = 0.037 T_{ob} - 0.8 \quad (n=4,608, R^2=0.03, S.E.=0.003, p<0.001) \quad (2.1)$$

With green (2nd stage):

$$\Delta t = 0.009 T_{ob} - 0.1 \quad (n=4,608, R^2=0.003, S.E.=0.003, p=0.001) \quad (2.2)$$

With green (3rd stage):

$$\Delta t = -0.009 T_{ob} + 0.4 \quad (n=4,608, R^2=0.01, S.E.=0.002, p<0.001) \quad (2.3)$$

Without green (1st stage):

$$\Delta t = 0.082 T_{ob} - 1.7 \quad (n=4,608, R^2=0.20, S.E.=0.002, p<0.001) \quad (2.4)$$

Without green (2nd stage):

$$\Delta t = 0.111 T_{ob} - 2.5 \quad (n=4,608, R^2=0.15, S.E.=0.004, p<0.001) \quad (2.5)$$

Without green (3rd stage):

$$\Delta t = 0.111 T_{ob} - 2.2 \quad (n=4,608, R^2=0.15, S.E.=0.004, p<0.001) \quad (2.6)$$

すべての段階で、バルコニーの気温については緑のカーテンがある世帯とない世帯の有意な差は観察されなかった。第1期では、バルコニーの気温は約 40°C の値があり第2期からの温度は徐々に低下し最後に、第3期で約 35°C になった。

次に、バルコニーグローブの温度と気温の差を観察した。第1期では、緑のカーテンのある世帯の温度差は 8°C であった。日射の影響でグローブ温度が高くなることを示した。ただし、バルコニーグローブの温度と気温の差は、第2期で減少し始め、第3期では、4°C 以下の差がある。

緑のカーテンのない世帯について、バルコニーグローブの温度と気温の差は段階2で徐々に増加し、最大差は 10°C 近くになる。第3期では、バルコニーの気温が低い場合でも、バルコニーのグローブ温度はバルコニーの気温より 8°C 高くなる。

これらの結果から、緑のカーテンが第1期から第3期まで大きく成長したと考えられ、バルコニー空間は計測期間中に徐々に緑のカーテンで覆われていると言える。これは、直接日射を制御するのに効果的である。一方、緑のカーテンのないバルコニーは、直射日光の影響を受ける。このような状況では、日中は壁とバルコニーの床が熱を蓄えるため、バルコニーの気温が下がっても夜間は放射が続き、バルコニー空間の快適性はないと考えることができる。

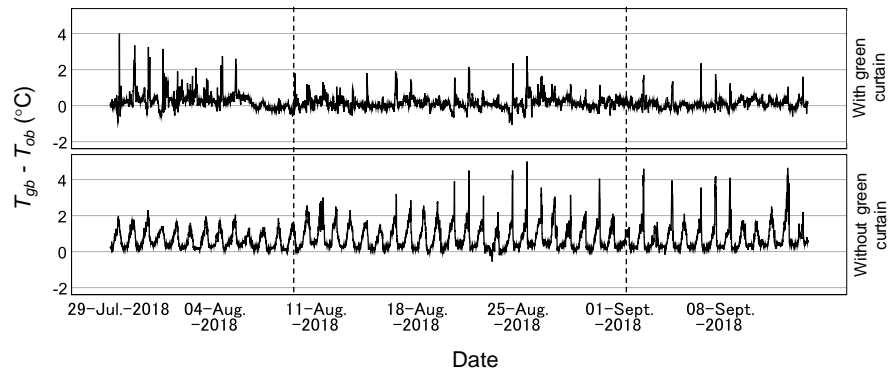


図 2.14 調査期間中のバルコニーグローブの温度と気温の差の変化

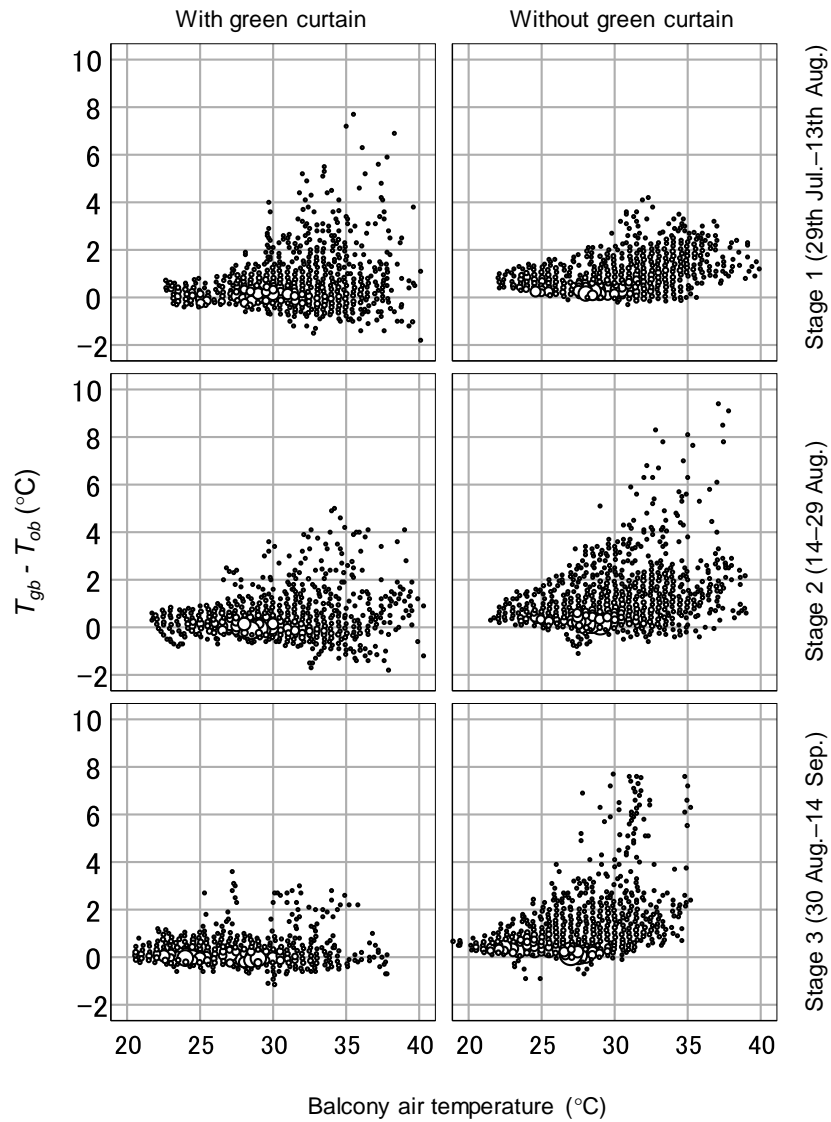


図 2.15 調査期間段階別のバルコニーグローブの温度と気温

表 2.4 段階別の緑のカーテンがある場合とない場合のバルコニーグローブ温度と気温の差の平均と標準偏差

$T_{gb}-T_{ob}$ (°C)	1st stage		2nd stage		3rd stage	
	With green curtain	Without green curtain	With green curtain	Without green curtain	With green curtain	Without green curtain
Number	4608	4608	4608	4608	4608	4608
Average (°C)	0.3	0.7	0.2	0.8	0.1	0.7
S. D. (°C)	0.7	0.6	0.6	0.9	0.4	0.9

T_{gb} : Balcony globe temperature, T_{ob} : Balcony air temperature, S.D.: Standard deviation

2.3.3 緑のカーテンによるエアコン使用時間とバルコニー温度の影響

図 2.1 6 に室内温度と冷房使用時間の変化を示す。それらを観察すると、室温はエアコンの運転開始後 10 分間で約 2°C 以上低下する。エアコンをオフにすると、室内の空気温度は元の値に戻る。室温低下から上昇までの間がエアコンの使用時間であると定義する。

調査期間中の空調使用時間を図 2.1 7 に示す。緑のカーテンのある世帯の冷房使用時間 248 時間で、緑のカーテンのない世帯の 143 時間よりも 40% 短いことが明らかとなった。したがって、緑のカーテンは、冷房使用時間を短縮するのに効果的であると言える。

図 2.1 8 は、バルコニーの気温とグローブ温度の差を 95% の信頼区間（平均 $\pm 2S.E.$ ）で示している。この図を利用して、緑のカーテンとエアコンの使用が室内の気温低下に影響するかどうかを分析した。エアコンを使用する時間帯においては、緑のカーテンがある世帯のバルコニーのグローブ温度は、緑のカーテンがない世帯よりも 0.6°C 低くなっている。一方、エアコンを使用しない時間帯でも、緑のカーテンがある世帯のバルコニーグローブの温度は、緑のカーテンがない世帯よりも 0.2°C 低い。これらは、冷房の有無にかかわらず、緑のカーテンがある方がバルコニーのグローブ温度は低く、緑のカーテンが室内の気温を緩和するのに有効であることを示唆している。エアコン使用の時間帯の方が緑のカーテンの有無による温度差が大きいことは、暑熱条件が厳しいほど緑のカーテンによる温度低下効果が大きいことを示している。

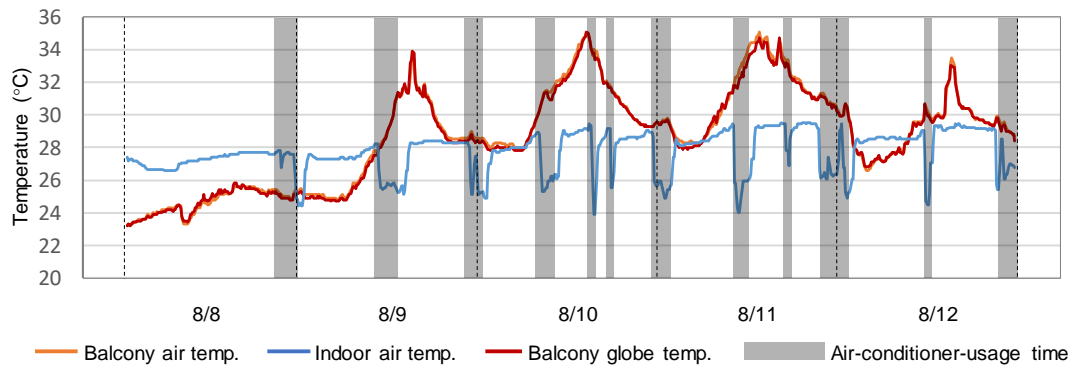


図 2.16 室内温度と冷房使用時間の変化の事例

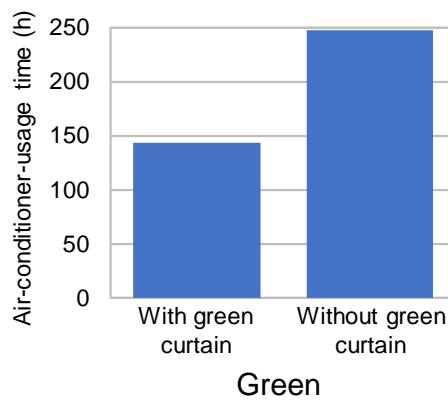


図 2.17 調査期間中の空調使用時間

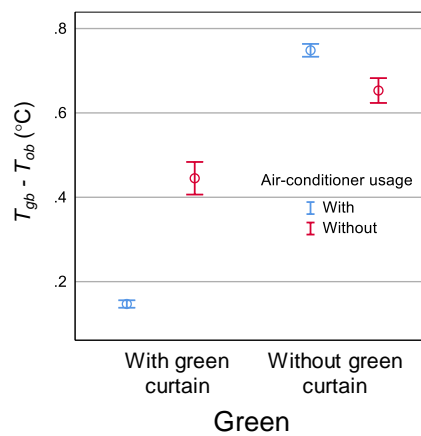


図 2.18 冷房使用と緑のカーテンの有無によるバルコニーの気温とグローブ温度の差

2.3.4 冷房使用の有無による屋内およびバルコニーの熱環境

図 2.19 は、緑のカーテンがある世帯とない世帯の屋内グローブ温度と屋内空気温度の関係を示している。緑のカーテンのある世帯では、室内使用時の気温とグローブ温度は調査期間を通じてほぼ同じである。

緑のカーテンのない世帯では、屋内グローブの温度は室内の気温よりも高くなる。また、空調を使用しない時のグローブ温度と室温は空調を使用する時よりも高くなっている。エアコンを使用する場合には、室内の気温が 26°C を超えると一部の室内グローブ温度は最大 46°C になり、エアコンを使用しない場合には、室内の気温が 31°C のときグローブの温度は最大 49°C になっている。

これらの結果から、窓から入ってきた直達日射が緑のカーテンのない世帯の室内温度を上昇させる主な原因であることがわかる。緑のカーテンがない世帯がカーテンを開けたままにすると、屋内のグローブの温度は日射の影響を受けやすくなるが、これらの世帯がバルコニーで緑のカーテンを育てれば、通常のカーテンと比較して窓から入る日射を減らすことができるのは明らかである。

図 2.20 に、空調使用の有無による緑のカーテンの有無による温度差 ($T_{gb}-T_i$) と室内空気温度の関係を示す。室内の気温がバルコニーの温度を超えている場合、緑のカーテンを持つ世帯はほとんどエアコンを使用していなかった。緑のカーテンのない世帯では、バルコニーの温度が室内の気温よりも $0\sim 5^{\circ}\text{C}$ 低いにもかかわらず、エアコンを使用している。これは、緑のカーテンのない世帯が低い屋外温度に気付かなかったことを示唆している。したがって、彼らは低い屋外温度を使用することで屋内の熱環境を緩和する機会を逃しているとも考えられる。

緑のカーテンのある世帯のエアコンを使用しているとき、室内の気温はバルコニーの温度 (5°C 以上) を超えていない。緑のカーテンのない家庭では、バルコニーの温度の変動が大きいことが確認できる (10°C 近く)。緑のあるリビングルームの温熱環境は、緑のカーテンがない世帯よりもはるかに快適であることが明らかである。

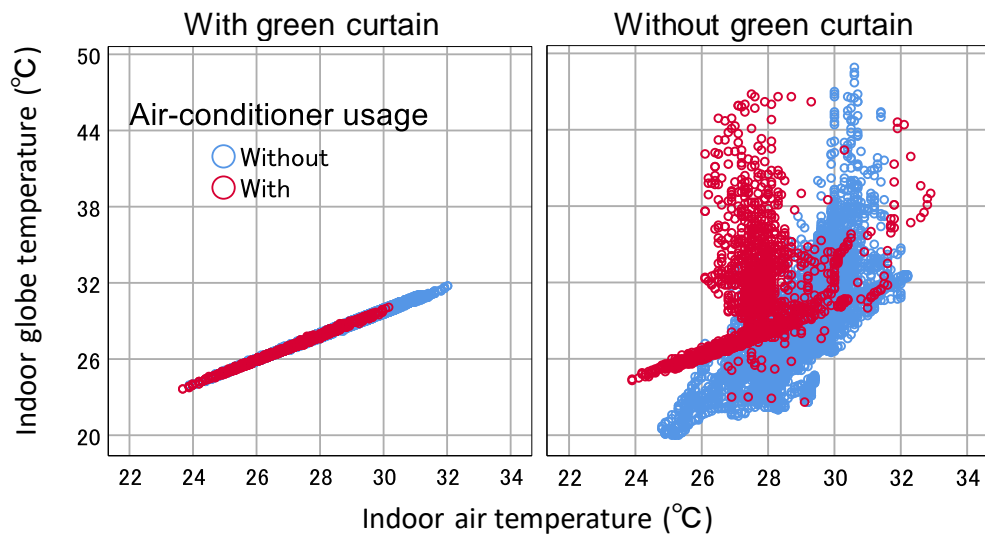


図 2.19 緑のカーテンの有無別の屋内グローブ温度と屋内空気温度の関係

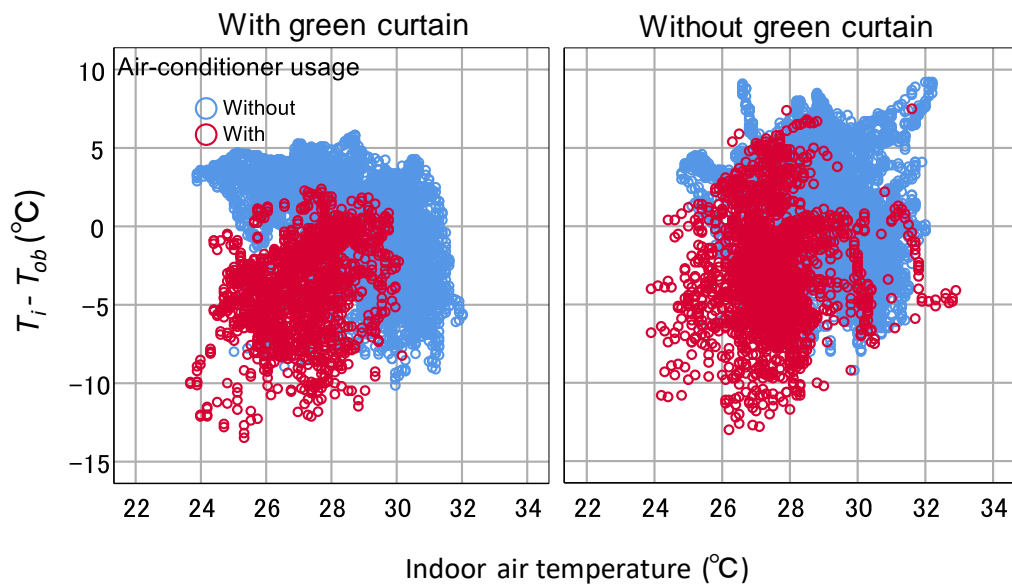


図 2.20 空調使用の有無による緑のカーテンの有無による
温度差 ($T_i - T_{ob}$) と室内空気温度の関係

2.3.5 他の研究との比較

他の研究と比較して、緑のカーテンの熱緩和効果を評価する。図 2.21 は、7月と8月に冷房を使用しなかったときの緑のカーテンのある世帯の屋内およびバルコニーの気温差の分布を示している。-5℃未満の温度差が多くある。結果は、我々の研究が他の研究^{18, 20, 22-24)}よりも効果的であることを示した。したがって、集合住宅の緑のカーテンは、他の研究と同様に、熱の緩和に役立つと言える。

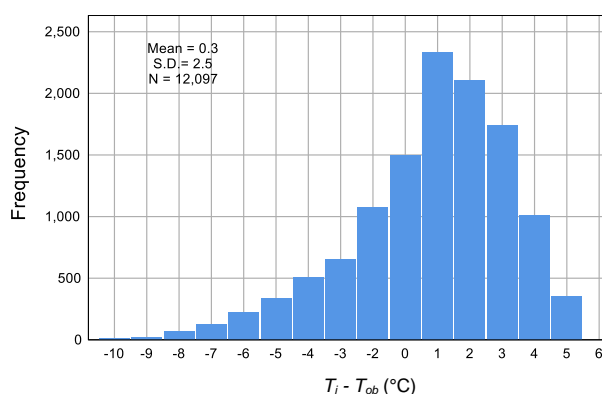


図 2.21 緑のカーテンのある世帯の
屋内およびバルコニーの気温差の分布（冷房無し・7, 8月）

2.3.6 緑のカーテン実施世帯の冷房使用実態と実施前後の意識

緑のカーテン実施世帯が冷房使用について、どのような経験があるかを明らかにするために温熱環境測定対象住戸 2 世帯を含む緑のカーテン実施 7 世帯にアンケート調査を行った。表 2.5 に質問内容と回答数を示す。「エアコンなどの冷暖房設備に頼りすぎて体調を崩すなどのため、できるだけ使用しない工夫をしている」という設問に 4 世帯が当てはまるとしており、エアコンが健康面に良くないと認識していることがわかる。また、「外が涼しい（または温かい）ことを知らずに冷房（または暖房）機器を使用し、後から気づいた事がある」という設問にも 3 世帯が当てはまるとしており、夏期における窓の締め切りの影響で室外の気温が室内より低い場合でも気づくことがない場合もあることを示唆している。

表 2.5 では、環境省が実施したアンケート²⁹⁾と同様の質問による比較を行った。グリーンカーテンを始めた理由については本調査と同様の傾向がみられた。グリーンカーテンを

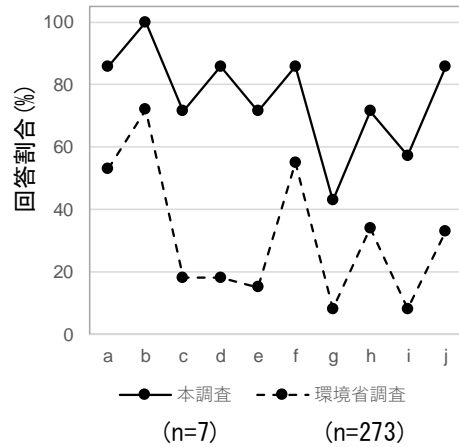
育てて良かった点については、「外観がきれいになった」という点について、本調査の回答数の傾向が環境省調査よりも高い傾向にある。本調査で実施した緑のカーテンの育成が十分だったために美観についての印象が良かった可能性があるといえる。グリーンカーテンを育てて困った・煩わしかった点については、「育てた後の土の片づけが面倒・大変だった」という回答の割合が環境省の結果よりも高い。しかしながら、本調査後、次年度にも7世帯すべて緑のカーテンを継続して実施しているため、面倒・大変さを上回る満足感を得ている可能性があるといえる。

このように、緑のカーテン実施前は、環境省と同様の傾向を示したが、実施後における「美観」や「満足度」について違いがみられた。また緑のカーテン実施の継続の実態がみられるため、より詳しく緑のカーテンに対する意識を研究することは重要である。

表 2.5 冷房使用習慣における経験したことのある行為と回答数

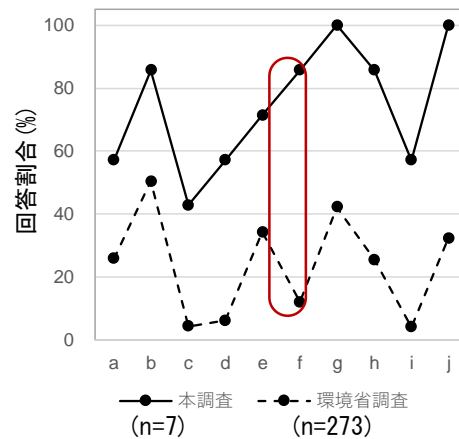
あなた、家族の普段の生活	回答数
a 自分または同居者が暑がり（または寒がり）なため、冷暖房設備の設定温度は他の人より低め（または高め）にしている	0
b 家に誰もいない時間が多いため、帰宅時の室内が暑く（または寒く）冷暖房設備を急速運転させる	1
c 自分や同居者は体感温度が異なるため、個別に好みの設定ができる個室に滞在しがちだ	2
d エアコンなどの冷暖房設備に頼りすぎて体調を崩すなどのため、できるだけ使用しない工夫をしている	4
e エアコンの自動運転では快適にならない場合が多い（例：夏、運転をやめると暑く、運転すると寒くなる等）	2
f 生活の中で、エアコンの設定を急激に変化させることがある（例：お風呂上り、調理中等）	1
g 外が涼しい（または温かい）ことを知らずに冷房（または暖房）機器を使用し、後から気づいた事がある	3
h 冷暖房機器を操作できない同居者がいるため、冷暖房機器を運転させて外出している	0
i 子供やペットの健康状態維持（熱中症対策）のため、冷暖房機器を運転させて外出している	1

選択肢
a 部屋を涼しくしたかった
b 植物の栽培を楽しみたかった
c 節電に貢献したかった
d 電気代を節約したかった
e 地球温暖化対策などの環境問題に貢献したかった
f 直射日光を遮りたかった
g 他の家が行っているのを見たことがあり、やりたくなった
h 実や花を利用したかった
i 外観をきれいに飾りたかった
j 植物による癒しを得たかった



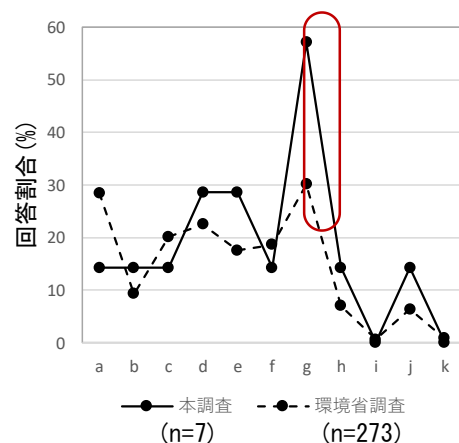
(a) グリーンカーテンを始めた理由 (複数回答)

選択肢
a 部屋を涼しくなった
b 植物の栽培を楽しめた
c 電力消費量・電気代が減った
d 地球温暖化対策などの環境問題への意識が高まった
e 直射日光を遮ることができた
f 外観がきれいになった
g 植物による癒しを得た
h 家族間でのコミュニケーションが増えた
i 他の家とのコミュニケーションが増えた
j 実や花を利用できた



(b) グリーンカーテンを育てて良かった点 (複数回答)

選択肢
a うまく育たなかった
b 育て方が良く分からなかった
c 水やりや肥料やりなどの世話が面倒・大変だった
d 虫が増えた
e 部屋が思ったほど涼しくならなかった
f ネットの設置・管理が大変だった
g 育てた後の植物・土の後片付けが面倒・大変だった
h 実や花が採れ過ぎて困った
i 部屋が暗くなりすぎた
j 電力消費量・電気代が減らなかった
k 子供がネットを登る等によって危険が生じた



(c) グリーンカーテンを育てて困った・煩わしかった (複数回答)

図 2. 2 2 緑のカーテン実施前後の意識

2.4 まとめ

本研究で、夏に日本の集合住宅の緑のカーテンの温熱環境を測定し、以下の結論が得られた。

- 1) 緑のカーテンの熱緩和効果は、第1期から第3期まで大幅に増加する。
- 2) 緑のカーテンのある世帯のエアコンの使用時間は、ない世帯の40%である。
- 3) エアコンを使用する場合、緑のカーテンがある世帯のバルコニーグローブの温度は、
緑のカーテンがない世帯よりも0.6°C低くなる。
- 4) バルコニーの温度が屋内の気温よりも低い場合、緑のカーテンがある家庭では
空調の使用が大幅に少なくなる。

今後、緑のカーテンによる省エネルギー効果を明確にする必要がある。また、緑のカーテンの熱緩和効果を一般に知らせるには、環境教育を広く実施する必要がある。

参考文献

- 1) Kontoleon, K. J., Eumorfopoulou, E. A. : The effect of the orientation and proportion of a plant-covered wall layer on the thermal performance of a building zone, *Building and Environment*, 45, pp. 1287-1303, 2010.
- 2) Perini, K., Ottel , M., Fraaij, A. L. A., Haas, E. M., Raiteri, Rossana : Vertical greening systems and the effect on air flow and temperature on the building envelope, *Building and Environment*, 46, pp. 2287-2294, 2011.
- 3) Perini, K., Ottel , M., Haas, E. M., Raiteri, R. : Greening the building envelope, façade greening and living wall systems, *Open Journal of Ecology*, 1, pp. 1, 2011.
- 4) Susorova, I., Azimi, P., Stephens, B. : The effects of climbing vegetation on the local microclimate, thermal performance, and air infiltration of four building facade orientations, *Building and Environment*, 76, pp. 113-124, 2014.
- 5) Koyama, T., Yoshinaga, M., Hayashi, H., Maeda, K., Yamauchi, A. : Identification of key plant traits contributing to the cooling effects of green façades using freestanding walls, *Building and Environment*, 66, pp. 96-103, 2013.
- 6) Cameron, R. W. F., Taylor, J. E., Emmett, M. R. : What's ‘cool’ in the world of green façades? How plant choice influences the cooling properties of green walls, *Building and Environment*, 73, pp. 198-207, 2014.
- 7) Hunter, A. M., Williams, N. S. G., Rayner, J. P., Aye, L., Hes, D., Livesley, S. J. : Quantifying the thermal performance of green façades: a critical review, *Ecological Engineering*, 63, pp. 102-113, 2014.
- 8) Eumorfopoulou, E. A., Kontoleon, K. J. : Experimental approach to the contribution of plant-covered walls to the thermal behaviour of building envelopes, *Building and Environment*, 44, pp. 1024-1038, 2009.
- 9) K hler, M. : Green facades—a view back and some visions, *Urban Ecosystems*, 11, pp. 423, 2008.
- 10) Ip, K., Lam, M., Miller, A. : Shading performance of a vertical deciduous climbing plant canopy, *Building and Environment*, 45, pp. 81-88, 2010.
- 11) Kato, M., Kuwasawa, Y., Ishii, N., Hino, K., Hashimoto, T., Ikeda, K. : The cooling effect of green curtain on the indoor thermal environment in the apartment building, *Journal of the Japanese Society of Revegetation Technology*, 38, pp. 39-44, 2012.
- 12) Inoue, H., Nishizaka, Y. : Consciousness analysis for growing green curtain using keygraph and its application to social research, *Proceedings of the Fuzzy System Symposium*, 28, pp. 773-778, 2012.

- 13) Suzuki, H., Kato, M., Kuwasawa, Y., Fujita, S. : The thermal environment improvement effects of a green curtain on an outdoor balcony using the indices of SET* and PMV, *Journal of the Japanese Society of Revegetation Technology*, 41, pp.175-180, 2015.
- 14) Kato, M., Ishii, N., Kuwasawa, Y., Hashimoto, T., Kurihara, M. : The influence of visual stimulation by installing green curtain on the evaluation of indoor thermal environment, *AIJ Journal of Technology and Design*, 22, pp. 559-564, 2016.
- 15) Wong, I., Baldwin, A. N. : Investigating the potential of applying vertical green walls to high-rise residential buildings for energy-saving in sub-tropical region, *Building and Environment*, 97, pp. 34-39, 2016.
- 16) Rijal, H. B., Humphreys, M. A., Nicol, J. F. : Adaptive model and the adaptive mechanisms for thermal comfort in Japanese dwellings, *Energy and Buildings*, 202, pp. 109371, 2019.2019/11/01/
- 17) Rijal, H. B., Humphreys, M. A., Nicol, J. F. : Development of a window opening algorithm based on adaptive thermal comfort to predict occupant behavior in Japanese dwellings, *Japan Architectural Review*, 1, pp. 310-321, 2018.
- 18) Maki, H, Sakakibara, Y, Hisanaga, N : Preliminary investigation on the effect of wall greening on classroom temperature and humidity, *Iris health : the bulletin of Center for Campus Health and Environment, Aichi University of Education*, 10, pp. 43-56, 2011.
- 19) Nakamura, M, Sakakibara, Y, Ota, K, Hisanaga, N : Effect of measures against westering sun using green curtain on indoor thermal environment, *Iris health : the bulletin of Center for Campus Health and Environment, Aichi University of Education*, 11, pp.41-45, 2012.
- 20) Suzuki, H., Kato, M., Fujita, S. : Estimating the effects of green curtain on improving the thermal environment using the indices of MRT and WBGT, *Journal of the Japanese Institute of Landscape Architecture*, 78, pp. 505-510, 2015.
- 21) Suzuki, H., Kato, S., Fujita, S. : The effects of green curtain on improving thermal environment estimating surface temperature and solar radiation, *Journal of the Japanese Institute of Landscape Architecture*, 79, pp. 459-464, 2016.
- 22) Narita, K. : Effects of green curtains on the thermal environment of the classroom, *Papers on environmental information science*, 21, pp. 501-506, 2007.
- 23) Okushima, L., Kaiho, A., Ishii, M., Moriyama, H., Sase, S., Takakura, T. : Comparative analysis of Green curtain cooling effects, *Climate in Biosphere*, 14, pp. 10-17, 2014.
- 24) Igarashi, T., Fujii, H., Takahashi, I., Kai, T. : Field survey on cooling realization process of apartment houses exploring greening method part 2. Substance quantity and

- consciousness about indoor thermal environment, Summaries of technical papers of annual meeting, Architectural Institute of Japan, pp. 517-518, 2008.
- 25) Kato, S., Kuwasawa, Y., Ishii, Y., Okeno, K., Hashimoto, T., Ikeda, K. : Study on the improvement effect of the thermal environment of green curtains in apartment houses, Journal of the Japanese Society of Revegetation Technology, 38, pp.39-44, 2012.8.31
- 26) 国土交通省住宅局市街地建築課マンション政策室：平成 30 年度マンション総合調査結果の概要，市街地再開発，pp.34-40,2019/06
- 27) The Building Research Institute (BRI: National Research and Development Agency) : Investigation on living and equipment status of apartment houses, Architecture research materials, 155, pp.577, 2016.6
- 28) 坊垣和明，吉田一居，三神彩子，リジャル H. B.，阿部寛人：家庭内における省エネルギー行動と意識に関する研究 その11 エネファーム設置マンションにおけるエネルギー消費実績に関する分析，空気調和・衛生工学会大会 学術講演論文集，2018，pp.265-268, 2018.2018
- 29) 環境省，：グリーンカーテンに関するアンケート結果，2014/3

第3章 集合住宅におけるエネルギー使用実態に関する研究

3.1 はじめに

わが国では、エネルギー使用実態に関して様々なアプローチで研究が進められてきた。第一オイルショック（1973 年）以後に研究の端緒がみられるが地域や対象が限定的で、全国規模での研究は 2000 年以降に多く発表されている。一方、2000 年代に入って HEMS（ヘムス：ホーム・エネルギー・マネジメント・システム）が普及しはじめると、それを反映して 2004 年頃から HEMS 関連研究が発表され始めた。

エネルギー使用実態について、井上ら¹⁾によれば、地域別年間エネルギー使用量は、調査実施 1 年目より 2 年目が大きいことが明らかにされている。また、全国的に電力使用量は春・秋を除く夏期及び冬期において、エネルギー使用量が大きくその値はほぼ同じであることも明らかにした。長谷川ら²⁾は、エネルギー使用量と建築の関係について、戸建と集合住宅は年間エネルギー使用量が戸建の方が多く集合住宅の約 35GJ/世帯・年に対し、戸建が約 45GJ/世帯・年であることが明らかにされている。これらを季節要因で比較すると、冬期においては、戸建の方が集合住宅より、約 1.5 倍のエネルギー使用量であることも明らかにされている。これらの差に影響を及ぼした因子は、世帯人数、延べ床面積、家電保有数であることも明らかにした。また、集合住宅においては、住戸位置が最上階よりも中間階はエネルギー使用量が少ないことが明らかにされている。設備については、古いエアコンはエネルギー使用量が大きいことは、定量的に示され明らかにされている。住まい手の属性とエネルギー使用量については、1 世帯当たりの延床面積と家族人数は多く、所得は高くなるほど、エネルギー使用量は多くなる傾向を明らかにした。1 人当たりのエネルギー使用量は、家族人

数が多くなるにつれて、低くなる傾向が明らかにされている。

このように、エネルギー使用量を基本的な住まい手の属性の関係は、おおよそ把握されている。しかしながら、具体的な住まい手像との関係を明らかにするまでには至っていない。

HEMS に関する研究^{3,4)}では、石田ら⁴⁾によれば、HEMS と家電のエネルギー使用量削減について、不在制御の効果としてエアコンで最大 13%、平均 2.3%、照明で平均 4.3%の削減と総エネルギー比で-0.6%の削減効果を明らかにした。また、省エネルギーナビによる省エネルギー効果については、およそ 20 個の省エネルギー行動による削減量の検証により、総エネルギー比で-4.2%の効果があったが、ほとんどが灯油やガスによるものであったことを明らかにした。HEMS 設置によるエネルギー削減効果についても研究⁵⁻⁹⁾されてきた。特に納富ら⁵⁾によれば、札幌市の HEMS 装備住宅 34 戸において、HEMS の日常的利用は 3 戸であり、エネルギー削減効果は 10~20%あるが、住戸によって異なるとしている。また畑ら⁸⁾によれば、関東の太陽光発電設置のオール電化住宅 35 戸で、電力及び光熱費が 50~60%の住宅で減少した結果が明らかになったが、HEMS 閲覧回数は時間と共に減少する一方、閲覧頻度の高い家は低い家よりエネルギー削減効果が約 10%高いことを明らかにしている。他に、首都圏の HEMS 設置 20 戸と非設置 11 戸の住宅の比較検証を行い、設置で 7%の削減されたことを明らかにしている。設置は快適性、非設置は経済性を重視している事を明らかにしている。エネルギー使用量と行動の関係については、「エアコンと扇風機の併用」「日射遮蔽」「残り湯利用」「照明交換」の削減効果との強い相関を明らかにしている。このように、HEMS の普及により、住まい手のエネルギー使用について明らかにされたことは多いが、省エネルギーのため HEMS が大きな効果をもたらしたとは言い難い。

住まい手行動によるエネルギー使用量の推定と予測について、山田ら¹⁰⁾は、生活空間における電気機器の電力利用量パターンから、人為的な電気機器の操作と人物の位置を推定する手法と人物が家電に対して行う人為的操作と人物の位置との間には相互依存関係が存在するため、両者に整合性のある解を推定する方法を提案している。スマート集合住宅ルームにおいて、実際に被験者が生活したデータを用いて実験を行い、限定的な状況ながら、有意な結果を示せた、としている。伊原ら¹¹⁾によれば、HEMS によるエネルギー使用量データと NHK 生活時間調査を基に重回帰分析し、CO₂削減ポテンシャルの推定と電力波形パターンによる類型化している。結果として、日中に在宅している世帯に対して行動改善を促したほうがより有効であると考えられるとしている。市川ら^{12) 13)}は、目標達成型の HEMS

において、住まい手ができる限り快適に過ごしながら自ら設定した目標を達成するために、必要な電力需要予測手法を提案した。提案手法では、住まい手の行動履歴や環境情報家電操作履歴などを考慮し、電力需要予測を短期電力需要予測と長期電力需要予測の2つに分けて予測を行い、住まい手の在室予測に関しては統計的手法を用いて各部屋の人々の在室の有無のモデル化した。

以上のように、HEMS のデータは需要予測に用いられ研究され始めているが、住まい手の行動を変容するための研究として用いられることは少ない。

よって、本章では、集合住宅におけるエネルギー使用量の実態について傾向を把握する。具体的には、エネルギー使用の月別・曜日別・平休日別や、性別・子供の有無別などの属性にも着目し分析する。さらに、HEMS（ホーム・エネルギー・マネジメント・システム）によって詳細に計測可能なエネルギー使用量について、24時間を1つのパターンとして分類する。

3.2 調査対象と分析データと属性

分析データの詳細を表 3.1 に示す。対象地は、東京都品川区にあり、対象住居形態は集合住宅である。総住戸数は356戸で、竣工年月は2015年9月である。本調査対象住戸数の条件は属性がわかるアンケートに回答し、かつエネルギーデータの利用に同意した84戸である。また図 3.1 に、調査対象の属性を示す。なお、世帯数が4世帯以下のものについては、本分析には含まない。含むものは、巻末に資料として記載する。

表 3.1 調査対象データの概要

項目	内容
世帯数	84世帯
調査期間	12か月(2015.11 - 2016.10)
データ計測間隔	30分
総データ数	1,451,520 (30分×48個/日×12か月×84世帯)
1か月単位の分析データ数	1,080 (12か月×84世帯)

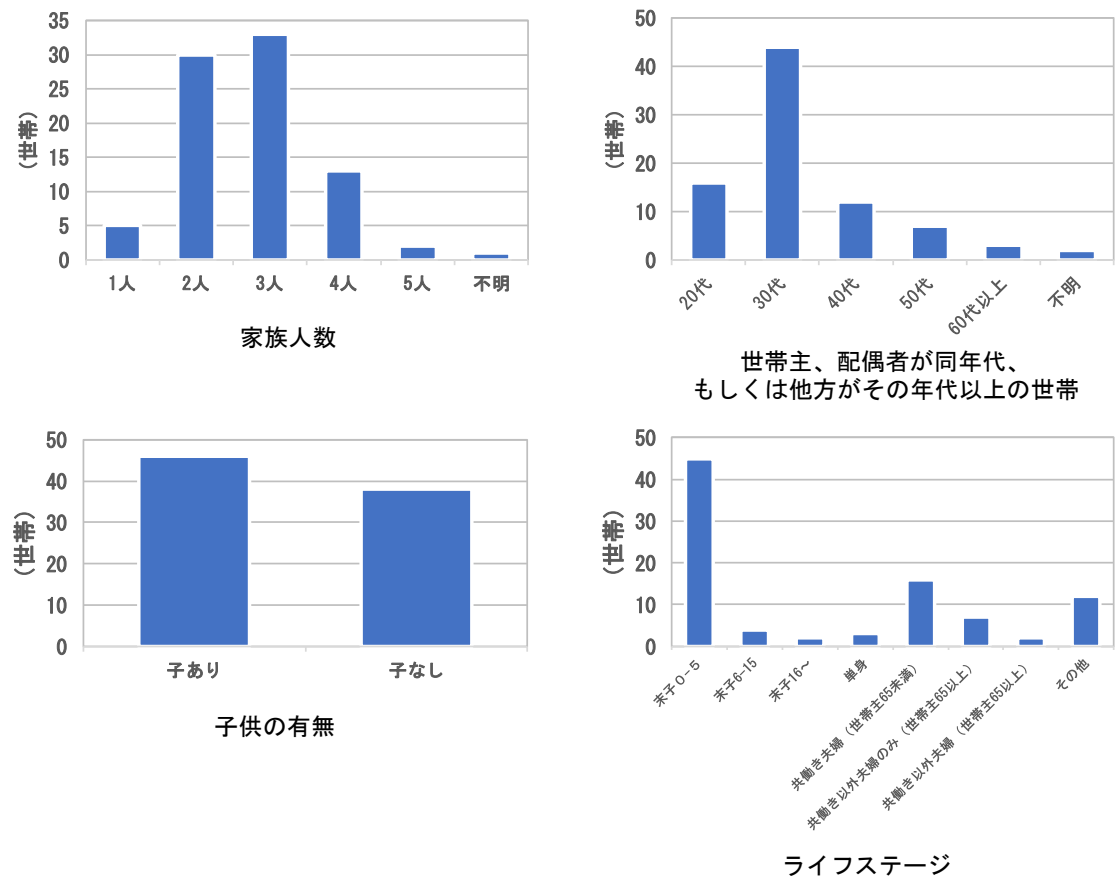


図 3.1 調査対象者の属性

3.3 結果

3.3.1 月別・平休日・曜日別平均エネルギー使用量分析

図 3.2 に月別の平均エネルギー使用量を示す。図 3.2 の 1 次エネルギー使用量は、電気、ガスの利用量を 1 次エネルギー換算し、合計したものである。月別平均 1 次エネルギー使用量については冬期に最も大きい値を示し、次いで夏期となっている。これらの結果は、過去の研究結果と比較し、同様の傾向を示している。

電力の月別平均利用量については、夏期において最も大きい値を示し、次いで冬期となっている。中間期よりも、夏期、冬期にエネルギー使用量が上昇する要因は、暖冷房による影響が大きいものと考えられる。

ガスの月別平均利用量については、冬期が最も高く、夏期に最も低い値を示している。冬

期におけるエネルギー使用量の増大は暖房に加えて、給湯の影響が大きいと考えられる。

水道の月別平均利用量については、夏期、冬期、中間期と年間を通じた変化は見られない。対象調査物件が、過去調査研究と比較し、同じ傾向があり、夏期、冬期のピークダウンや、年間を通じたエネルギー使用量の低減の必要性が明らかであると言える。

図 3.3 に、平日、休日別の平均エネルギー使用量を示す。電気、ガス、水道共、平日よりも休日の方が、エネルギー使用量が大きいことがわかる。これらの結果から、平日よりも休日の在宅時間が長いことが影響していると考えられることは可能である。

図 3.4 に、曜日別の平均エネルギー使用量を示す。まず、全体を通じて、平日の何れの曜日よりも、土日のエネルギー使用量が大きいことがわかる。一方で、電力利用量については、土日と比較し、約 0.5kWh 低くなっている。要因を特定することはできないが、祝日の在宅時間が短いと考えることは可能である。次に、平日の曜日について、エネルギー使用量は、月曜日から火曜日にかけて上昇し、火曜日から金曜日にかけて、下降している。最も低い値は、いずれも金曜日となった。月曜日から火曜日にかけての上昇について、調印特定や推察は難しい。一方で、金曜日が平日で最も低い値を示したことは、週末の在宅時間が少ないことが影響していると考えられることは可能である。

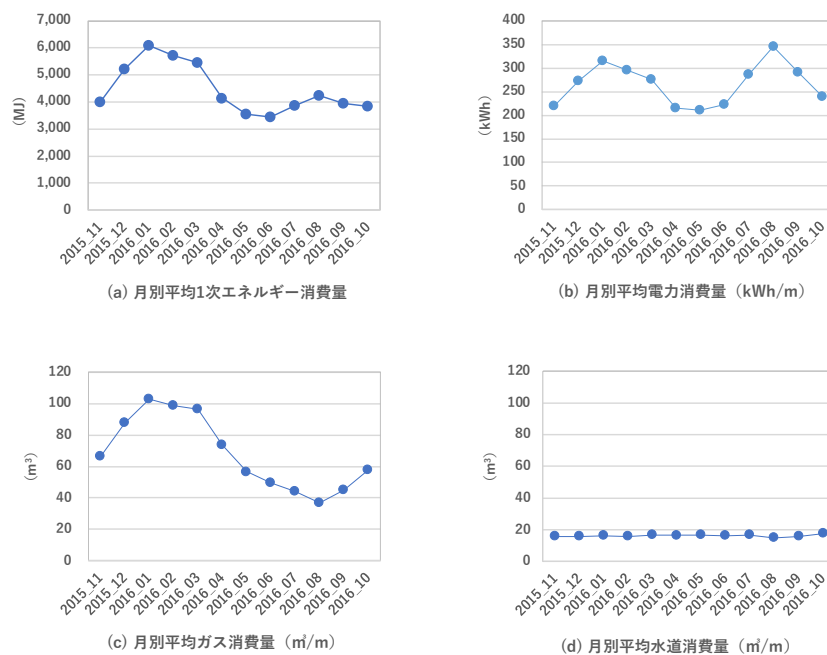


図 3.2 月別の平均エネルギー使用量

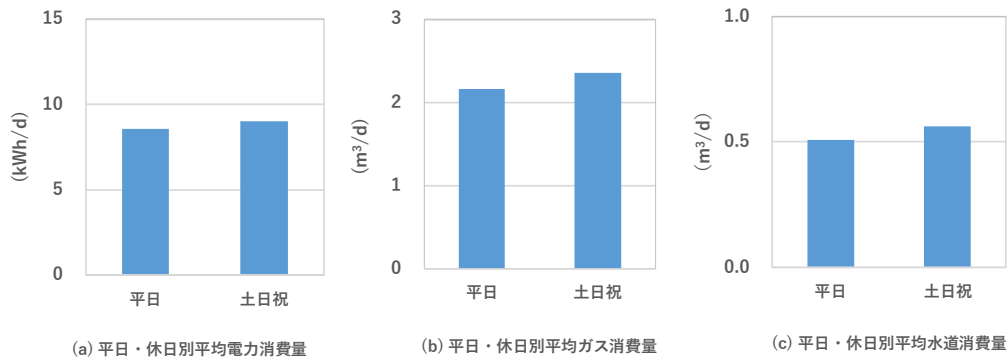


図 3.3 平日・休日別の平均エネルギー使用量

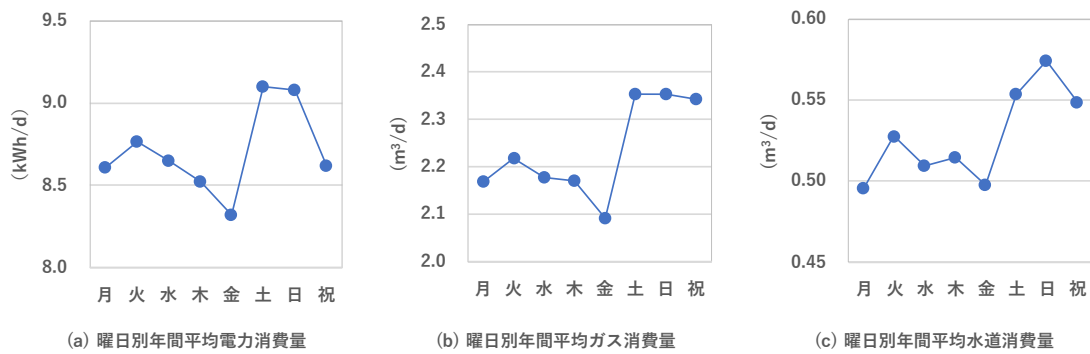


図 3.4 曜日別の平均エネルギー使用量

3.3.2 属性別エネルギー使用量分析

3.3.2.1 家族人数別の月別平均エネルギー使用量分析

図 3.5 に、家族人数別の月別平均エネルギー使用量を示す。いずれの利用量も年間を通じて、家族人数が増加するにつれてエネルギー使用量が多くなる傾向がみられる。電気およびガスのエネルギー使用量（図 3.5 (a, b)）について、家族人数が 2 人と 3 人の差はきわめて小さく、2 人世帯が 3 人世帯を上回る月があることがわかる。これらの結果から、要因の特定は難しいが、2 人世帯が多利用量傾向にあることがわかる。

図 3.6 に、家族人数別、平日休日別の月別平均エネルギー使用量を示す。電力、ガス、水道共に家族人数の増加につれて、エネルギー使用量も増加する傾向にあるが、水道以外は、2 人、3 人世帯において、ガスの平日を除き、2 人世帯が 3 人世帯のエネルギー使用量を上

回っている。これは、2人世帯の方が、3人世帯より一人当たりのエネルギー使用量が大きいことを示していると言える。

図 3.7 に、家族人数別、曜日別の月別平均エネルギー使用量を示す。電力利用量においては、1人、2人、3人世帯について、月曜日から金曜日まで、ほぼ、7~8kWh/日の範囲で、推移するが、土日になると、家族人数の増加につれて、エネルギー使用量が増加し、その差が開く傾向がある。ガスにおいては、1週間を通じて、1人世帯と2人、3人世帯に明らかに差がある。水道においては、家族人数ごとに、約 0.05 m³の差が1週間を通じて見られる。

図 3.8 に、ライフステージ別、月別平均1次エネルギー使用量を示す。1次エネルギー使用量にて、年間の傾向をみると、冬期において、「子あり末子0~5歳」が最も大きい値を示している。一方、夏期においては、共働き夫婦 65 才未満が8月に最も大きい値を示し、共働き夫婦のみ 65 歳以上と、それ以外の差が開いている。電力については、65 歳以上の共働き以外夫婦が冬期の利用量はもっとも大きいですが、夏期では、最も低くなっている。高齢者のエアコン嫌いが影響したと考えることは可能であろう。ガス、水道においては、月の推移から特徴的な差が見られなかった。

図 3.9 に、ライフステージ別、月別平均1次エネルギー使用量を示す。全般に、子あり世帯の利用量が多く、高齢世帯の利用量が少ない傾向が見られる。

図 3.10 にライフステージ別、曜日別平均1次エネルギー使用量を示す。共働き世帯において、平日より土日の増加傾向が顕著である。年間のエネルギー使用量合計（電力+ガス）は、全住戸（84戸）平均で 29.5GJ/年となった。これを既存データ（関東地域の集合住宅）と比較すると、環境省データ（27GJ/年）よりは約 9.2%大きい値となった。

月別のエネルギー使用量について、過去研究によるエネルギー使用量実態調査と比較し、同様の傾向がみられたが、平日休日別、曜日別のエネルギー使用量分析においては、今まで明らかにされていない結果が得られた。具体的には、以下の4つが明らかになった。平日、休日のエネルギー使用量に著しい差がない。月曜日から火曜日にかけてエネルギー使用量は一旦上昇するが、水曜日から金曜日にかけて減少する。土曜日、日曜日より、祝日のエネルギー使用量が低い。2人世帯と3人世帯では、エネルギー使用量の差はなく、電力は2人世帯が3人世帯を上回る。

これらの結果から、以下の考察が可能になる。住まい手には、平休日というセグメントに

よらない多様な生活パターンがある。1世帯当たりのエネルギー使用量は、家族人数による影響以外の要因が考えられる。よって、本研究の目的である省エネルギー使用量における住まい手への省エネルギー効果を生み出す行動の情報の在り方は、広義で一般的なもの、個人にとって合致することが難しい、と考えることができる。全世帯における平均値を中心に、平日、休日、曜日別という1日当たりのエネルギー使用量に着目し、傾向分析を行い、特徴を明らかにした。その為、さらに踏み込んで生活実態を把握分析することが必要であり、エネルギー使用量を別のアプローチから分析する必要があることがわかった。

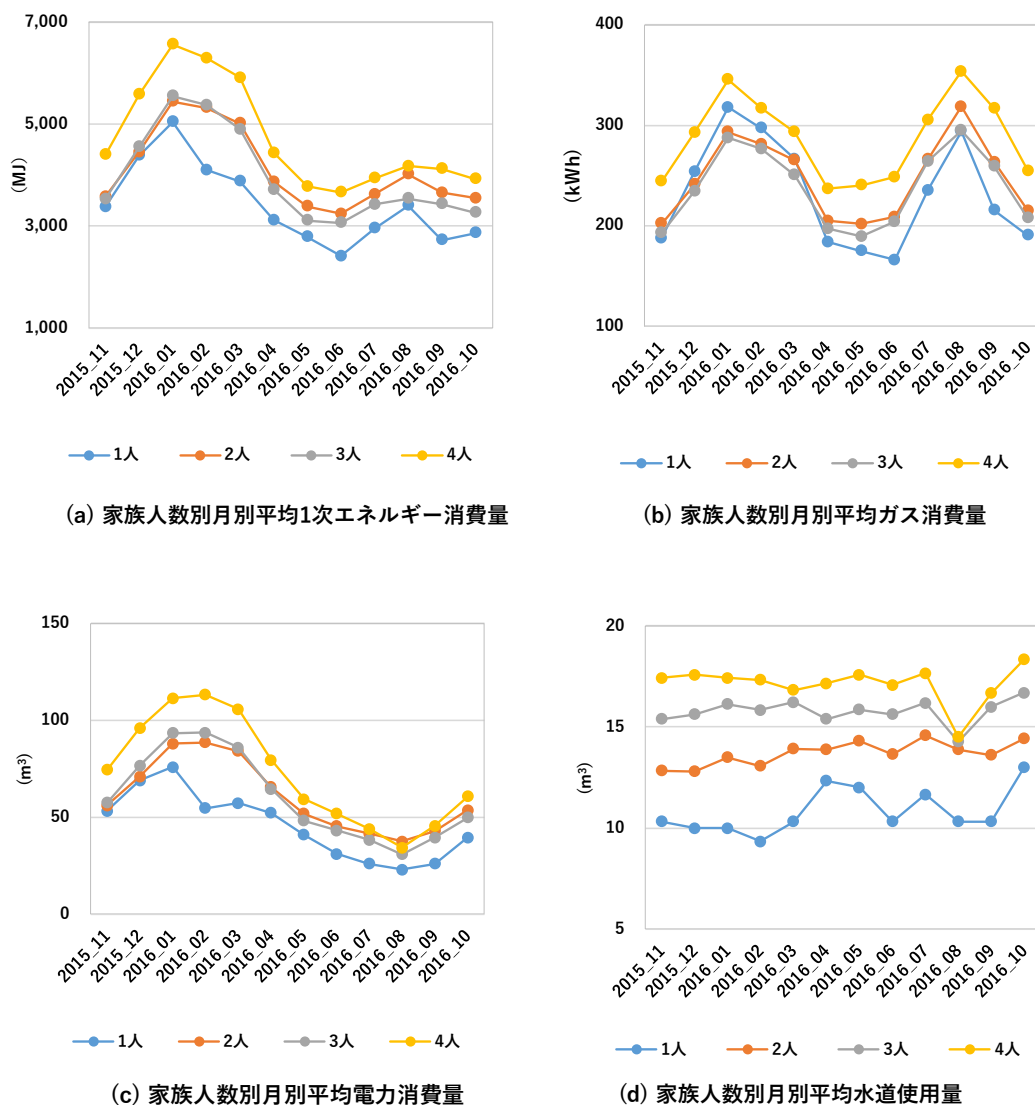


図 3.5 家族人数別の月別平均エネルギー使用量

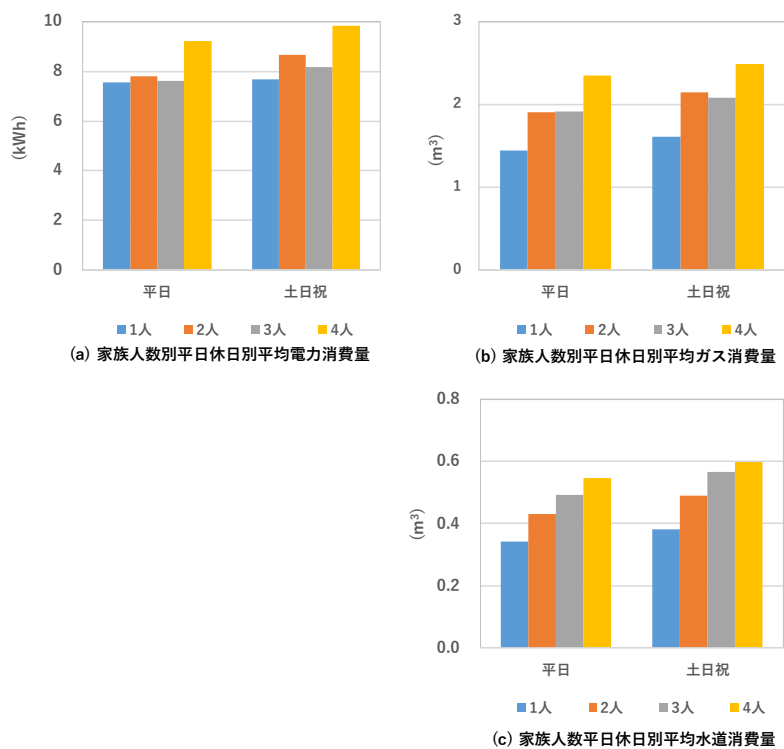


図 3.6 家族人数別・平日休日別平均エネルギー使用量

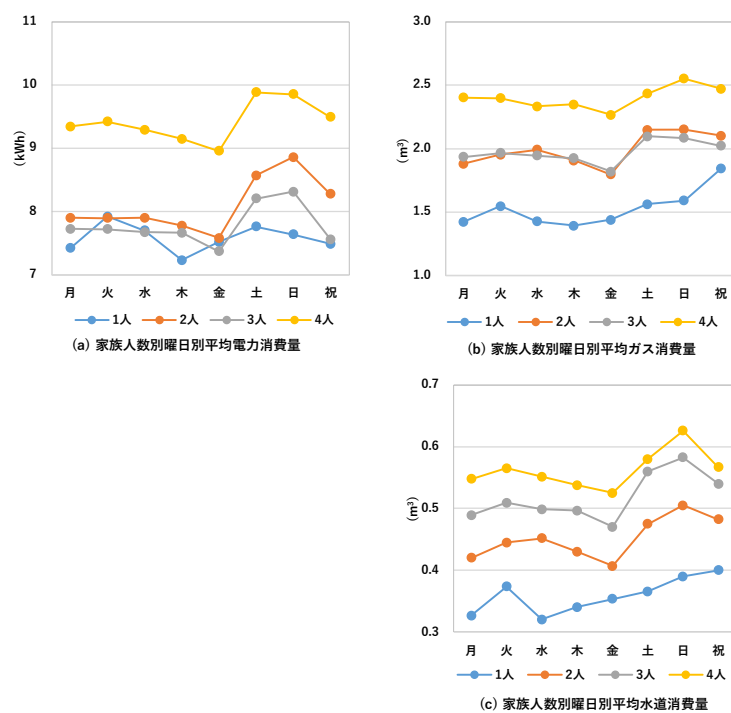


図 3.7 家族人数別・曜日別平均エネルギー使用量

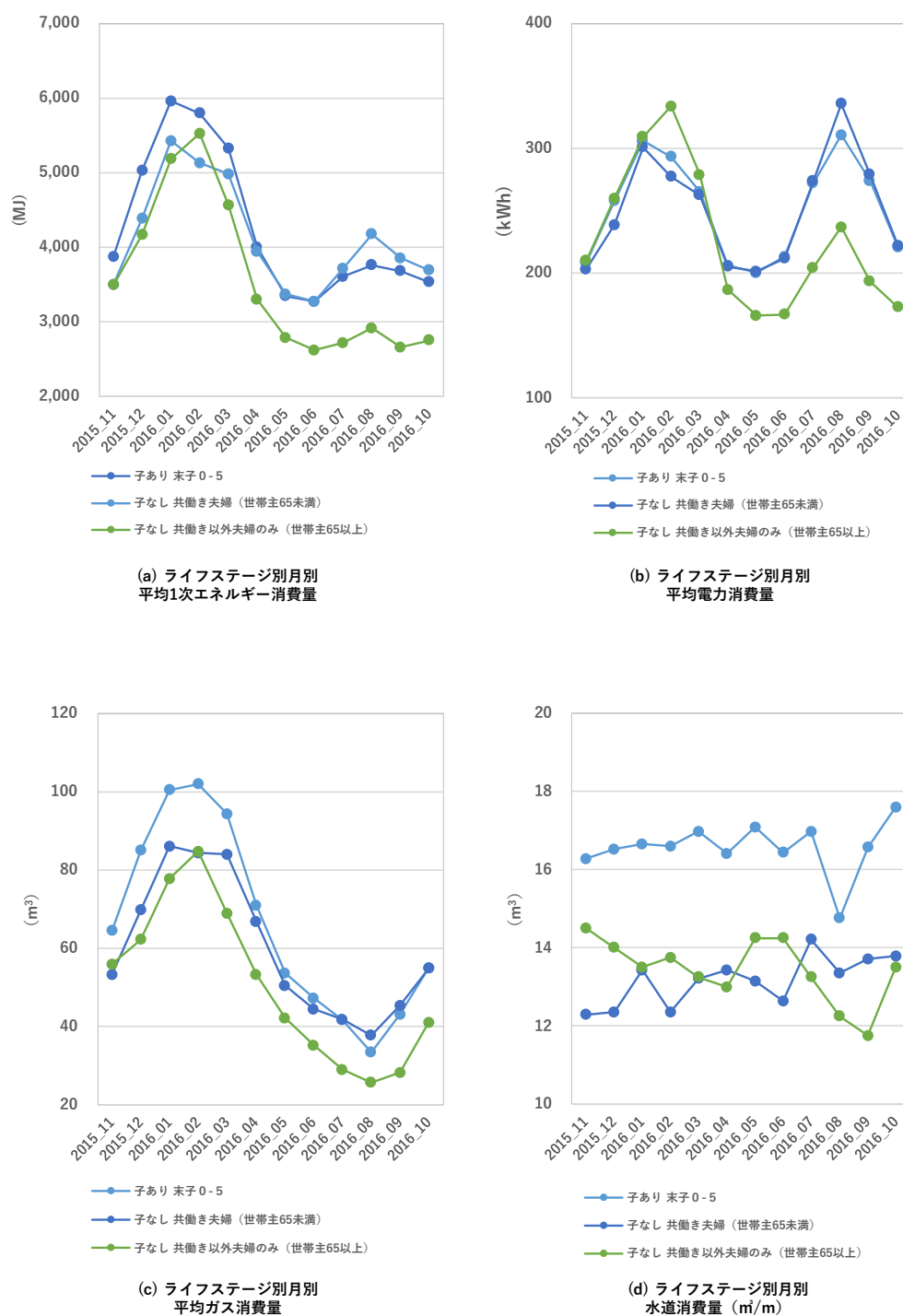


図 3.8 ライフステージ別・月別平均エネルギー使用量

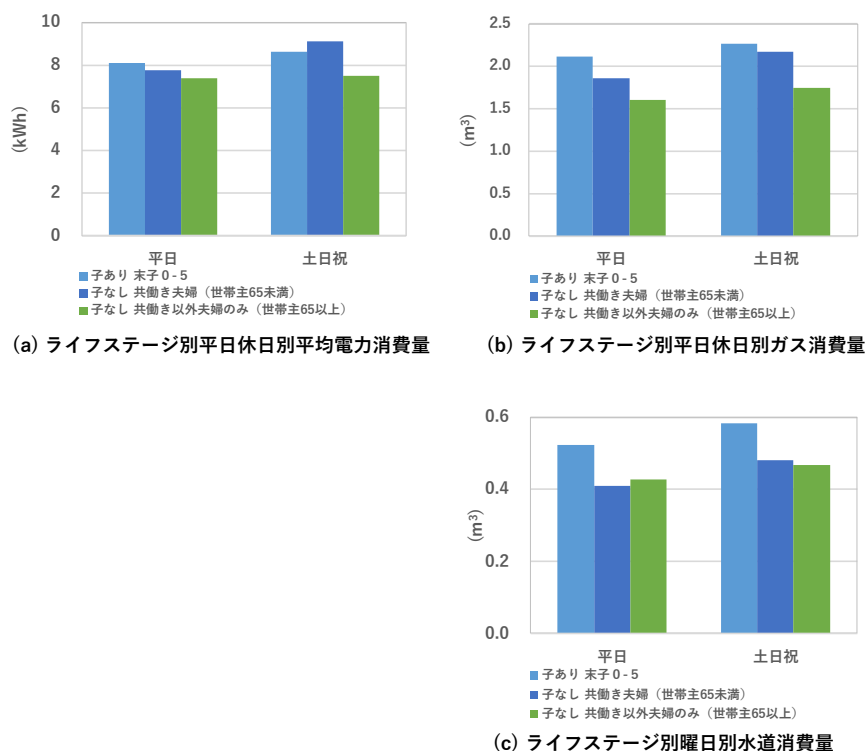


図 3.9 ライフステージ別・平休日別平均エネルギー使用量

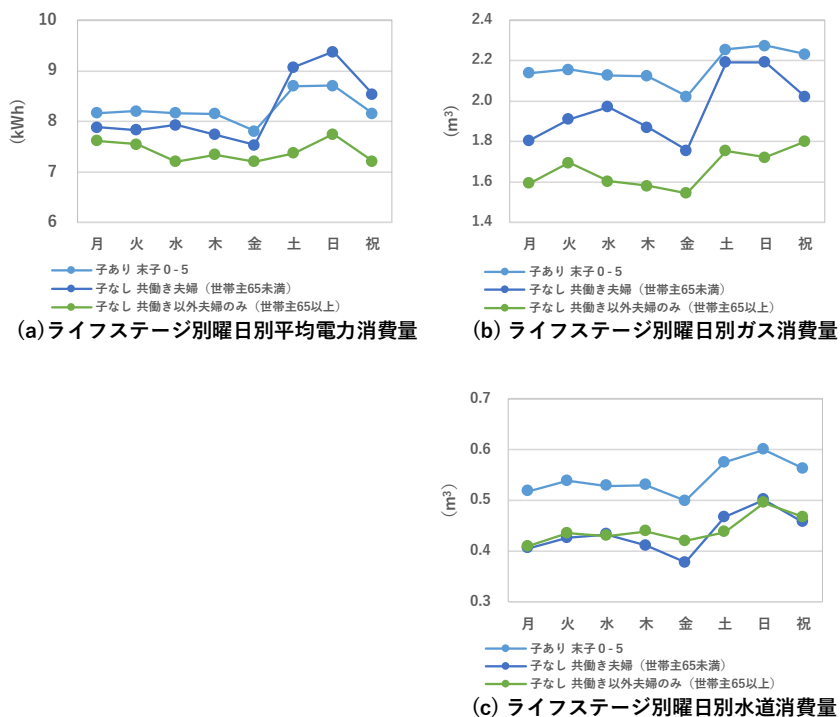


図 3.10 ライフステージ別・曜日別平均エネルギー使用量

3.3.3 1日のエネルギー使用パターンの分類

本研究データの30分毎のエネルギー使用量という最大の特徴を活かし、24時間エネルギー使用量の分類をする。分類は、習慣や反復傾向がみられる可能性のある平日で、エネルギー使用量の影響が大きい電気のエネルギー使用量に特化して行った。

図3.11に分類手法の具体的な手順を示す。まず、全体の傾向を把握するために、全84世帯の1か月平均電力利用量を30分単位で算出した。この電力利用量は、エネファーム設置住戸であるため、主幹電力（購入電力）とエネファームによる発電量を合算したものとなる。次に、24時間の電力利用量パターン进行分类するために、30分毎の時系列データを以下の中心化移動平均法により調整した。

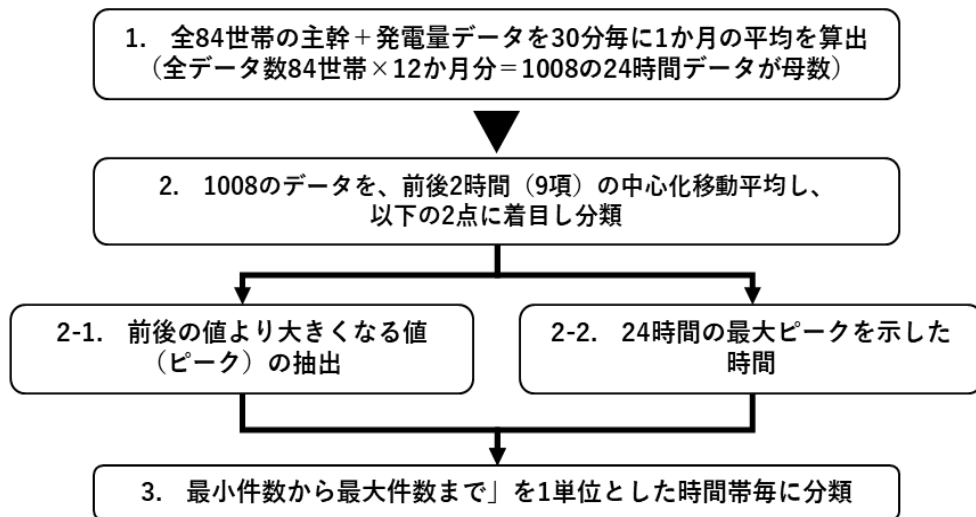


図 3.11 24時間データのパターン分類手順

下記の中心化移動法の調整結果に基づいて、電力利用量傾向の特徴である、利用量の上昇下降と最大ピーク値に着目し、分類を行なうこととした。最後に、24時間の最大ピーク値を取る時間帯の相違に着目し、クラスター毎に仕分けることでパターン分類を試みる。

$$MAVC_t = \frac{0.5X_{t-2.0h} + X_{t-1.5h} + X_{t-1.0h} + X_{t-0.5h} + X_t + X_{t+0.5h} + X_{t+1.0h} + X_{t+1.5h} + X_{t+2.0h}}{9} \quad \dots (3.1)$$

$MAVC_t$: 中心化移動平均法による調整済エネルギー消費量 (kWh)
 X_t : 24時間中の30分単位の平均エネルギー消費量 (kWh)

3.3.4 利用量の上昇下降と最大ピーク値による分類

利用量の上昇下降と最大ピーク値による分類結果を図 3.12 に示す。これは、84 世帯毎に月別に最大ピークが出た時間帯をカウントしたものである。

朝、昼、夜にピークが出現する状況が確認できるが、19 時以降の夜間に出現する割合が圧倒的に多いことがわかる。その夜間にも、20 時と 23 時 30 分の 2 回の山がみられる。

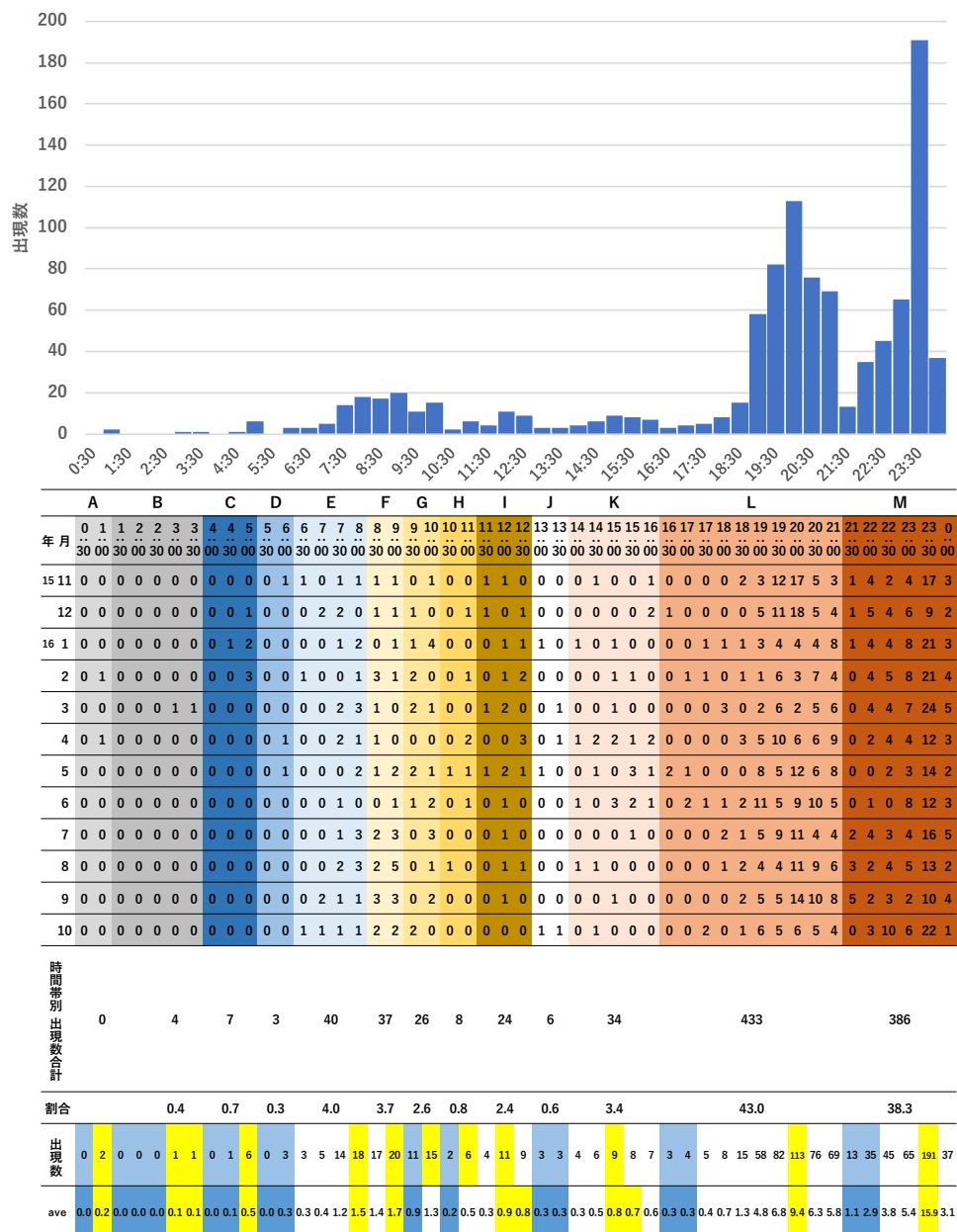


図 3.12 利用量の上昇下降と最大ピーク値による分類

3.3.5 第2ピーク値とピーク値相互参照による最終パターン分類

図 3.1 3 に、最大ピーク値分類以降の最終パターン分類モデルを示す。まず、各世帯の月データから最大ピークの出現時間帯をカウントし、それから世帯×月=1008 個の時系列データを作った。次にそのデータの出現状況からピークの出現時間帯を分類した。カウント数の変化からカウント数の山一つを一つの時間帯として分類した。結果、26 のパターンに分類されたが、最大ピークと第 2 ピークを相互に同時時間帯で持つものについては、生活パターンが同一の可能性があると考えた。そのため、同一パターンとする根拠として、下限値（下降のピーク）について、下降ピークの時間帯が、1 時間以内に重複するかを分析した結果、すべてのパターンで、1 時間以内に重複したことから、これらを統合し、同一パターンとみなした。最終的には、8 パターンに分類され、生活パターンを特徴的、かつ明確に分類することができた。

図 3.1 4 に、最大ピーク値の月別の傾向を示す。A から K 時間帯の月別最大ピーク値件数について、7 月から 10 月の間に、時間帯 F に最大ピーク値件数が多い。また、4 月から 6 月の間で、時間帯 K に最大ピーク値件数が多いことがわかる。しかし、規則性や傾向は見られない。L および M 時間帯の月別最大ピーク値件数については、1,2,3,10 月で、明らかに時間帯 M の件数が多い。また、4,5,6,9,11,12 月で、明らかに時間帯 L の件数が多いことがわかる。しかし、規則性や傾向は見られない。

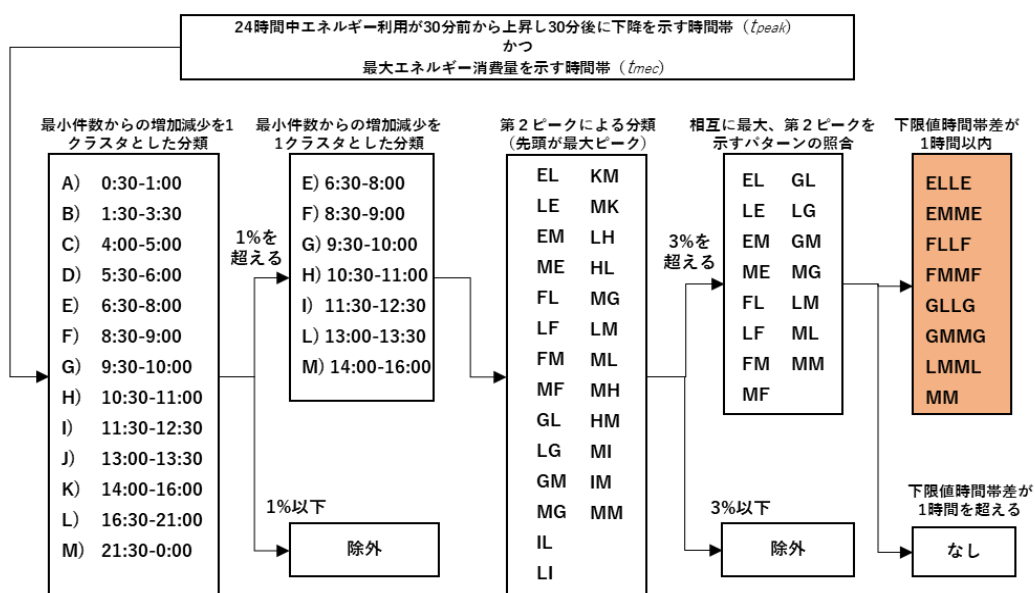


図 3.1 3 最大ピーク値分類以降の最終パターン分類モデル

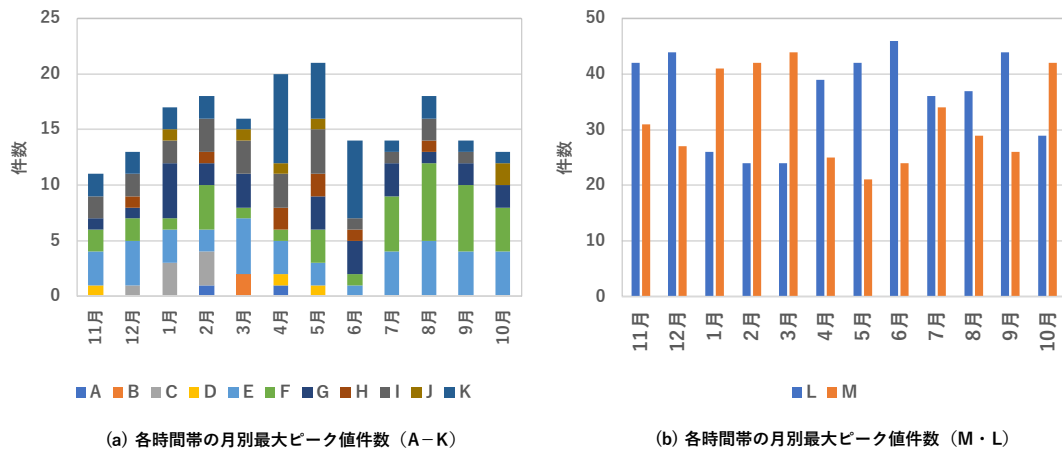


図 3.14 最大ピーク値の月別の傾向

3.3.6 生活パターン別エネルギー使用量分析

図 3.15 に、各パターンの平均値を示す。最大ピーク値が最も多いのは EMME であり、次いで ELLE となった。これら 2 つは、ピークである E (6:30-7:30) の時間帯が同一である。最大ピーク値が最も低いのは、GLLG であり、次いで GMMG となった。これら 2 つは、ピークである G (9:30-10:00) の時間帯が同一である。これらの結果では、平日の電力利用量ということから、E と G の時間帯の差に、出勤や通学時間が関係している可能性があると言える。ピークの最大と最小の差が最も小さいパターンは FLLF であり、次いで、GLLG となった。午前中のピークが午後に近づくにつれて、1 日を通じたエネルギー使用量の増減の差が小さくなっていることがわかる。LMML や MM は、分類によって、短い時間帯に 2 度ピークを持つものとして、興味深い。これらは、家族の帰宅時間の差や、生活イベントの回数に影響されている事を示唆している。LMML, MM は、最大ピークと第 2 ピークの増減が小さいこと、第 3 ピークとして、午前中にピークがあることから、1 日を通じて、すべてのパターンで午前中と午後に電力使用のピークが起こるという事は可能である。同時に、ピークが 1 つのみのパターンは、除外され多くの住まい手にとって日常的なパターンではないことも明らかになった。

各パターン別にエネルギー使用量のばらつきがどのような状態であるかを分析するために図 3.16 に、各パターンの 30 分毎の箱ひげ図を示す。ELLE, FLLF, FMMF, LMML

は、1 または 2 の下降ピークを除いたすべての時間帯で、外れ値を示している。中でも ELLE の E 時間帯の外れ値が最も多く、早朝電力利用の多様化があると言える。EMME は、上昇時に外れ値が無く、ピークから下降にかけてばらつく傾向を示した。GLLG、GMMG、MM はばらつきが少ない。これらのパターンは、エネルギー使用量の波も他のパターンと比較し緩やかであることが特徴であると言える。

図 3.17 に、各パターンの循環回数と世帯数を示す。循環回数とは、各世帯が、該当するパターンの月を繰り返した回数である。全パターンを通じて、7 か月以上同一パターンを繰り返す世帯は存在しないことが明らかになった。5 世帯以上に限ってみれば、4 回以上繰り返すことはないことがわかる。この結果から、1 年通じた生活パターンは常に変化をしているということは可能である。また、世帯数が少ないほど、循環回数も少ないことも明らかである。

図 3.18 に、各パターンの月別出現数を示す。全パターンを通じて、出現回数に季節性がないことが明らかである。EMME については、同一ピークを持つ ELLE と比較して、そう出現数が少ないにも関わらず、循環回数が 5 回の世帯があり、EMME を繰り返す世帯が多いと言えることが可能である。LMML では、そう出現数の多さの要因に循環回数が影響していることを示唆している。

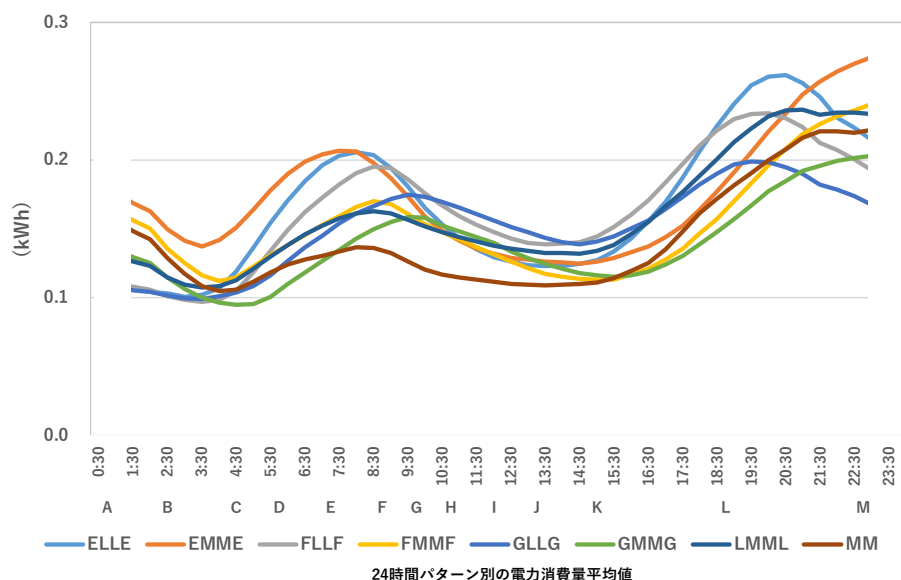


図 3.15 24時間の各パターンの平均値

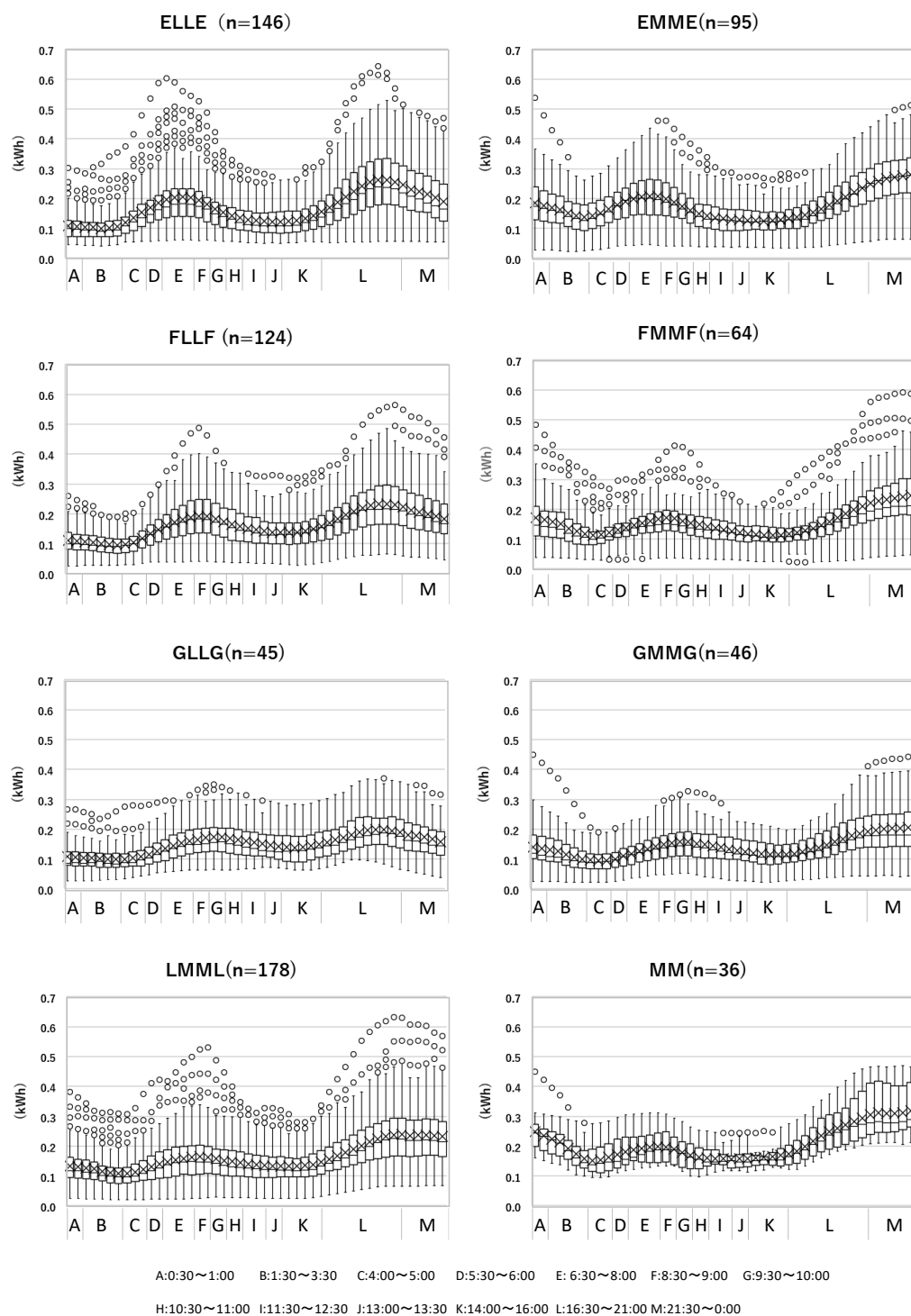


図 3.16 24時間の各パターンのばらつき

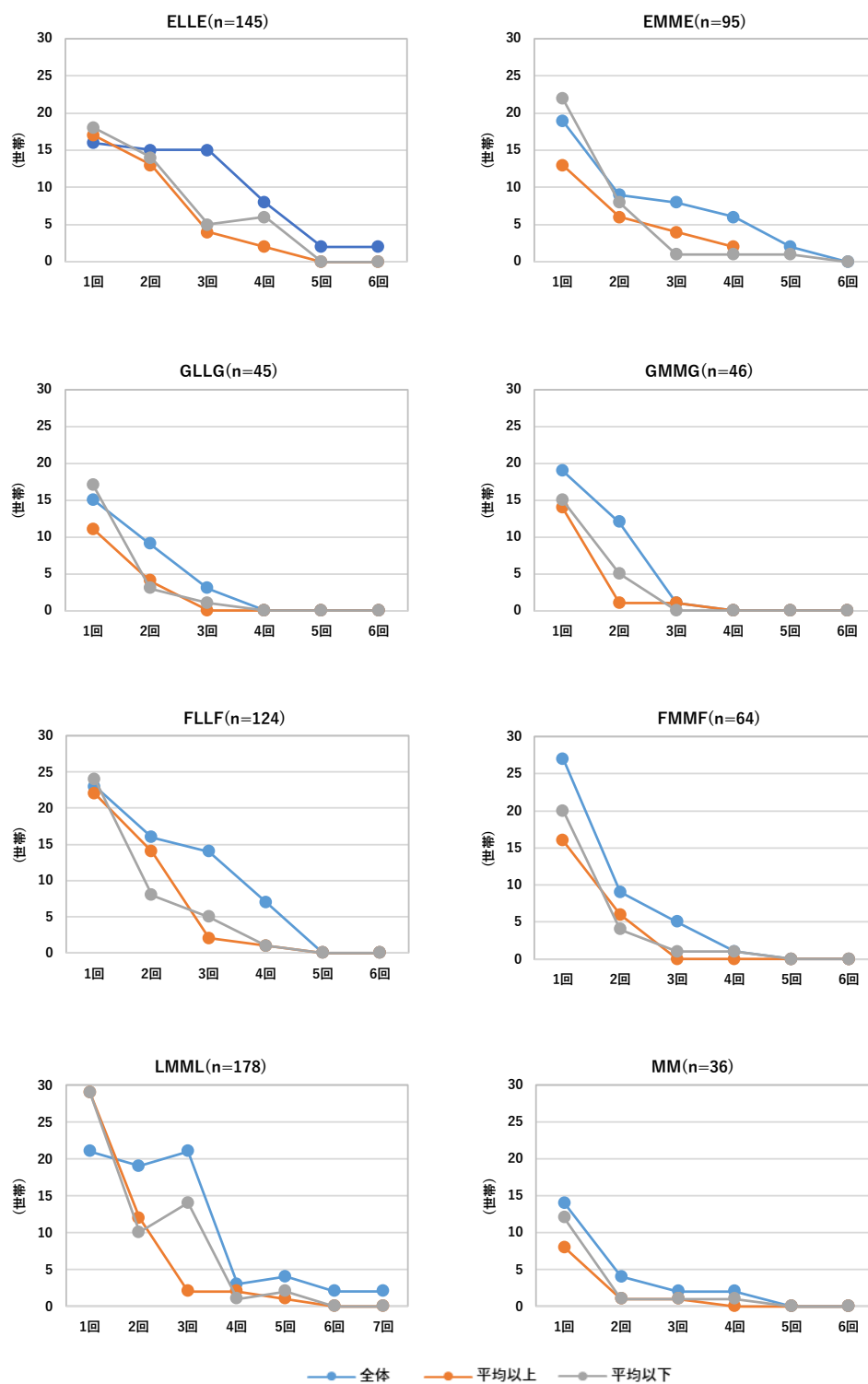


図 3.17 各パターンの循環回数と世帯数の関係

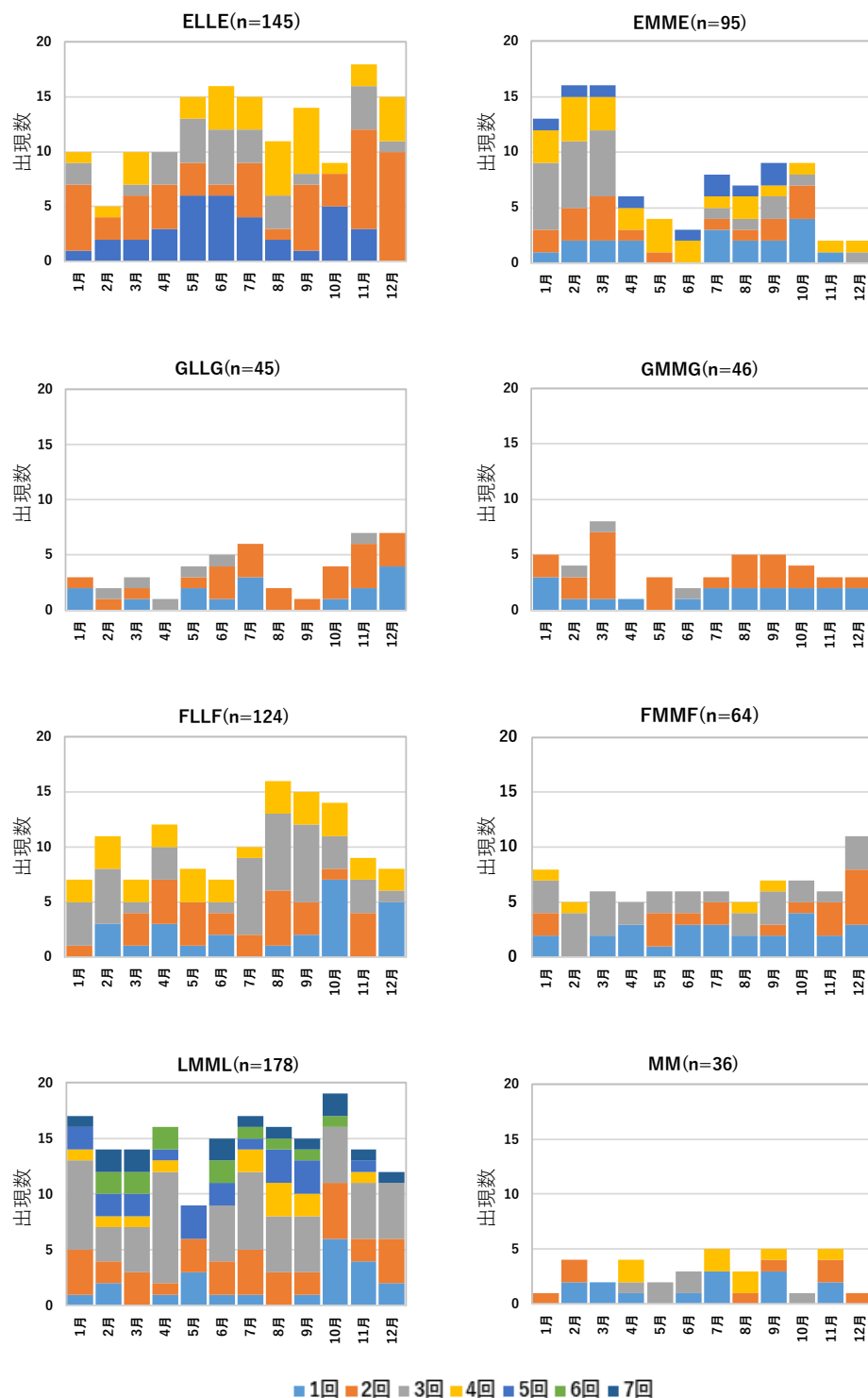


図 3.18 各パターンの月別の出現回数

3.3.7 生活パターン別エネルギー使用量の属性分析

図 3.19 に、各パターンの家族人数別の世帯数、出現数および1世帯当たりの出現数を示す。1世帯当たりの出現数が最も多いのは、4人世帯の LMML である。上位10位に入る割合を見ると、2人世帯で4パターン、3人世帯で2パターン、4人世帯で3パターンとなり、世帯人数による影響がないことが言える。ELLE, EMME, LMML は、1世帯当たりの出現数が、いずれの世帯でも上位10位以内に入り、E, L, M の時間帯が年間を通じた繰り返しに影響があることを示唆している。

図 3.20 に、各パターンの世帯年代別の世帯数、出現数および1世帯当たりの出現数を示す。1世帯当たりの出現数が最も多いのは、20代世帯の LMML である。上位10位に入る割合を見ると、20代から50代まで、広範囲に及ぶことから、固有の年代に偏った傾向は見られない。20代世帯においては、LMML が明らかに多い値を示している。夜間における電力需要が大きいと言える。30代世帯においては、ELLE が最も多い値を示し、朝型の生活パターンが多いと言える。40代世帯においては、20代世帯と同様、LMML が他のパターンと比べて明らかに多い値を示した。

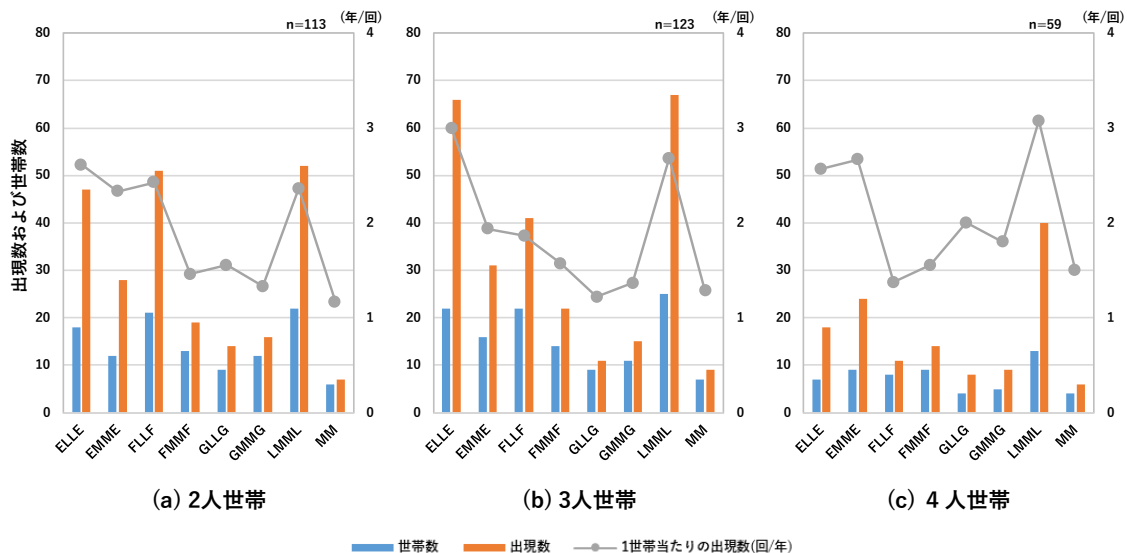


図 3.19 家族人数によるパターン毎の1世帯当たりの出現数

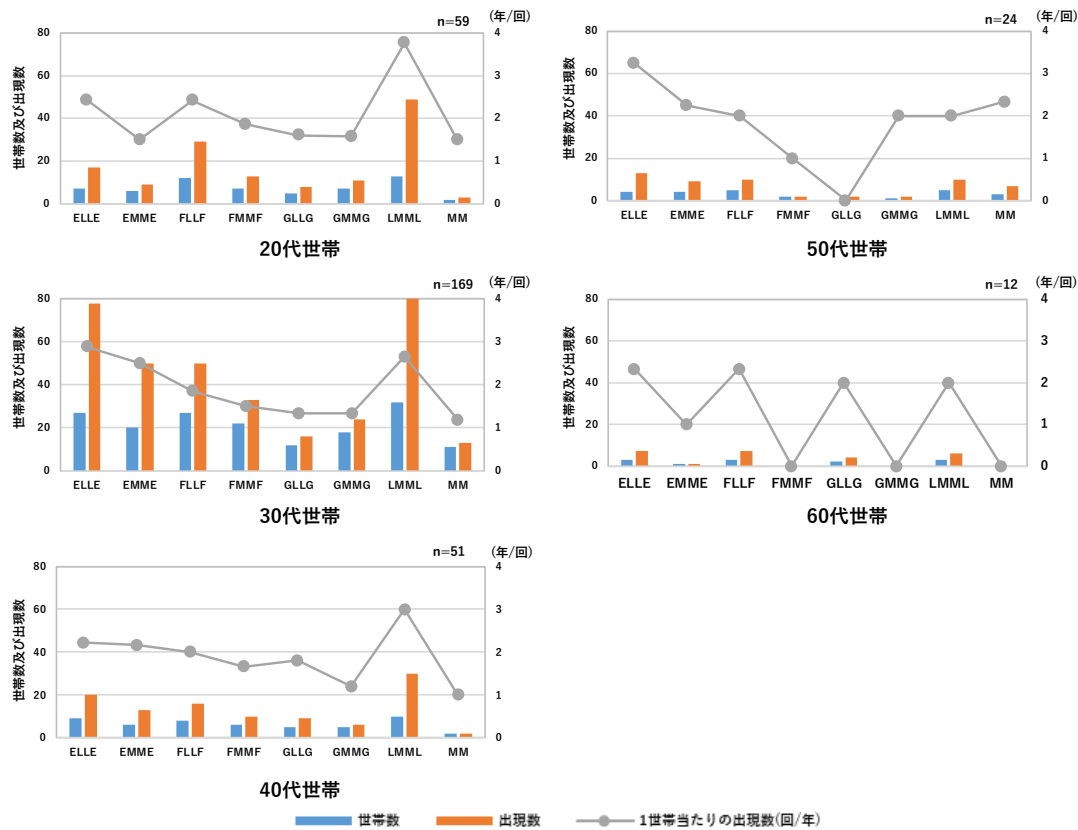


図 3.20 各年代のパターン別出現回数

図 3.21 に、各パターンの子どもの有無別、子あり末子 0～5 才の世帯数、出現数および 1 世帯当たりの出現数を示す。子供の有無によって、1 世帯当たりの出現数は、全パターンにおいて差はみられない。末子 0～5 才の世帯を見ても、明確な特徴は見られない。

図 3.22 に、各パターンの電力利用量が平均以上の世帯数とその合計値および 1 日当たりのエネルギー使用量を示す。全パターンにおいて出現数の順位と合計値の順位は同じであった。1 世帯当たりの電力利用量は、MM 型で最も多い値を示した。

出現数、合計値が大きい ELLE, LMML を除けば、1 世帯当たりの電力利用量は合計値の多少に影響していないことがわかる。

具体的な例として、EMME の電力利用量合計値は、全パターン中 3 番目であるが、1 世帯当たりの電力利用量は、7 番目となっている。

すなわち、出現数が少ないパターンについても、削減目標を設定することは有効であるという事は可能であると言える。

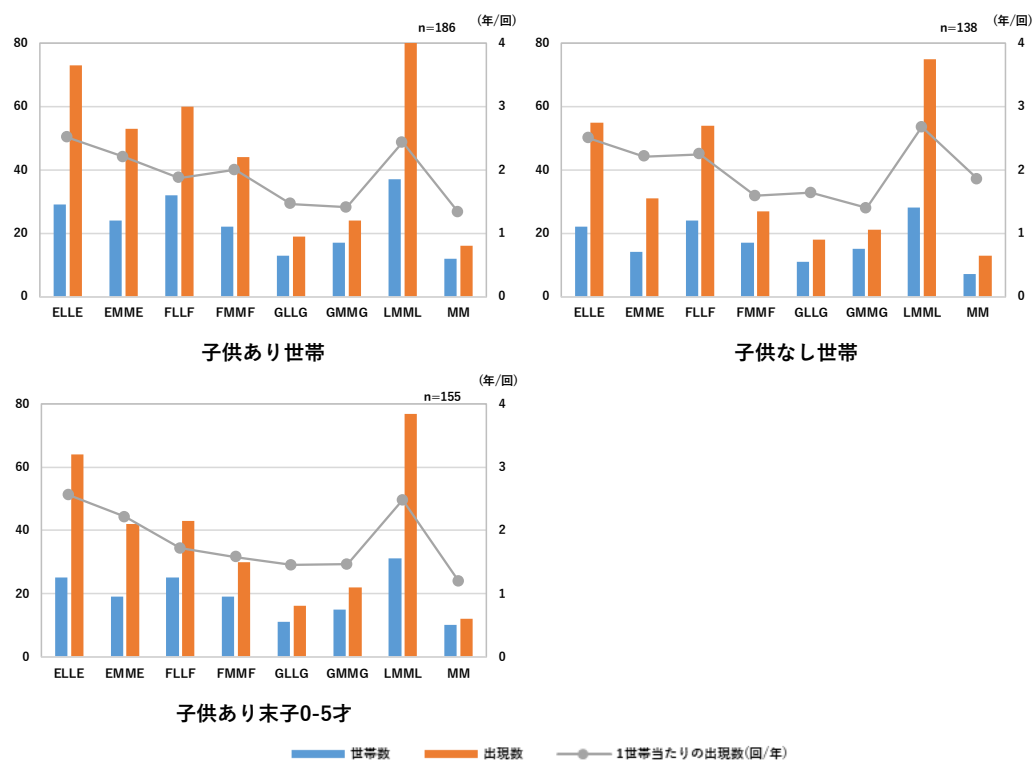


図 3.2.1 子供の年代別のパターン出現数

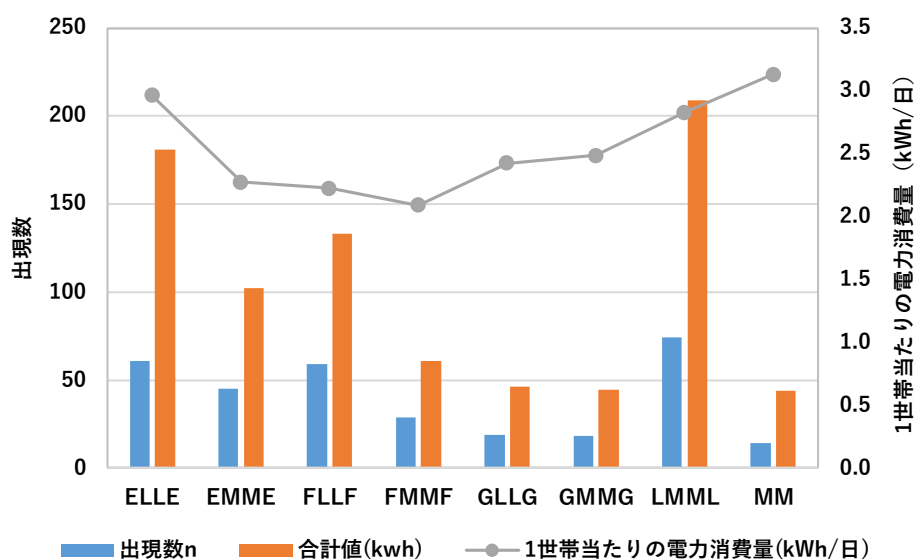


図 3.2.2 各パターンの平均以上の電力使用量世帯のパターン出現数

3.3.8 生活パターン別エネルギー削減目標値の推定

3.3.8.1 電力利用量最大、最小世帯と平均値比較分析

住まい手に自身のパターンを認識させ、省エネルギー行動の動機づけを狙う際、より効果的な認識方法として、エネルギー削減の目標を設定することは有効である。削減目標を、単なるエネルギー使用量の合計値ではなく、24 時間中のどの時間帯に削減の余地があるのか、をエネルギー使用量の固有世帯の大小を分析しながら算出する方法を推定する。

図 3.23 に、電力利用量のパターン別最大、最小世帯、および平均値を示す。全てのパターンで、FLLF 型の 0:30 から 2:30 の間を除く全時間帯で最大値世帯が平均値を下回ることとはなく、すべての時間帯で平均値を上回った。最小世帯においても、平均値を上回る時間帯はなかった。最大世帯は、上限値と平均値の差よりも下限値と平均値の差が小さい。ELLE, EMME, FLLF, GMMG, LMML においては、最大世帯において、上限値が平均値を大幅に上回っている。また、最大値世帯と平均値を比較し、全パターンを見ると、以下のように大別される。

- ① 最大値世帯の最大ピーク値または第 2 ピーク値が、同時刻の平均と大きく乖離する。
- ② 最大値世帯と平均値の 24 時間を通じたエネルギー使用量の差分が等しい。

以上の①に該当するパターンは、ELLE, EMME, FLLF, GMMG, LMML である。中でも、ELLE の最大値世帯は、下降ピークにおいても平均値より 0.1kWh 程度上回っている。その他のパターンは、下降ピークにおいては、平均値とほぼ同じ値を示している。このパターンの電力削減は、最大ピーク値と第 2 ピークの時間帯における重点的なアプローチが有効であると言える。②に該当するパターンは、FMMF, GLLG, MM である。これらのパターンは、最大ピーク値は、①と比較し、0.1kWh 程度低い値を示している。一方で下降ピーク値においては、①と比較し、約 0.1kWh 程度大きい。②の方が、エネルギー使用量の波が緩やかであると言える。このパターンの電力削減は、24 時間を通じた継続的な電力使用源の特定することのアプローチが有効と言える。

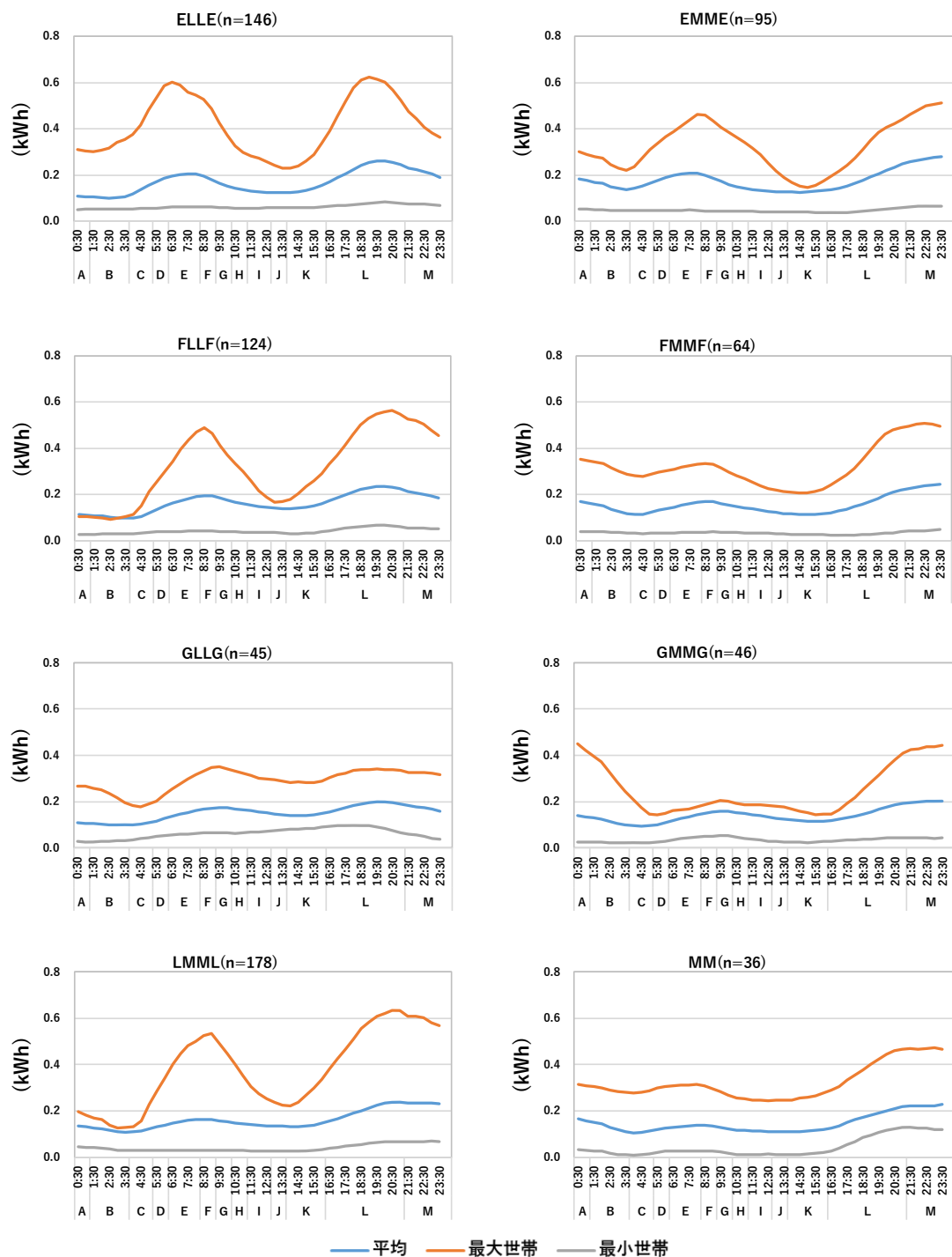


図 3.23 パターン別の24時間における最大・最小・平均のエネルギー使用量

3.3.8.2 パターン別による電力削減目標の算定

図 3.2 4 に、ELLE 型の全出現を加えたものを 1 例として示す。電力削減目標の算定を行う目的は、以下の 2 つである。

1. 住まい手個人のエネルギー削減の動機づけを向上させること
2. パターン毎のエネルギー削減目標値を明確にすること

① は、各パターン住まい手個人と、他の個人との比較を可能にして、相対化することで、各個人が、自身の生活パターンのみを知る以上に、興味喚起を促すことを狙っている。②は、各パターンに属する世帯が、「共にエネルギー削減に取り組む」という意識を芽生えさせ、エネルギー削減のための住まい手主体の「集合知」の基盤となるものを狙っている。よって、最大値世帯と平均値の間に位置する世帯のエネルギー使用量削減を目標とすることとした。以上の前提で、エネルギー削減目標の算定を試みる。

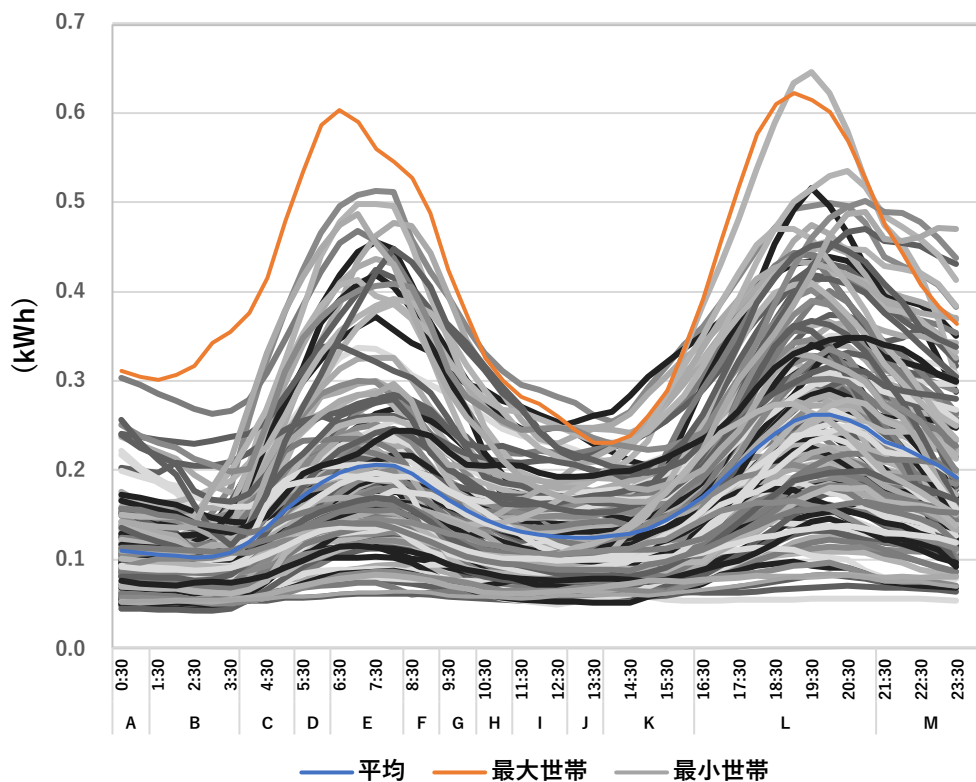


図 3.2 4 調査期間内の 24 時間のエネルギー使用量 (ELLE 型)

3.3.8.3 電力削減目標算定ステップ

図 3.25 に電力削減目標算定ステップを示す。パターン毎の平均値を上回る出現数の抽出し、平均値との差分を算出することをベースとする。平均値との差分は、個人の電力利用量に帰するものであり、個人の目標として設定できる。平均値との差分の平均値は、各パターンが目標とすべき電力削減目標値となり、各パターンに属する対象者全体の目標として設定できる。平均値との差分の合計値は、全パターン、すなわち集合住宅全体の目標値として設定できる。

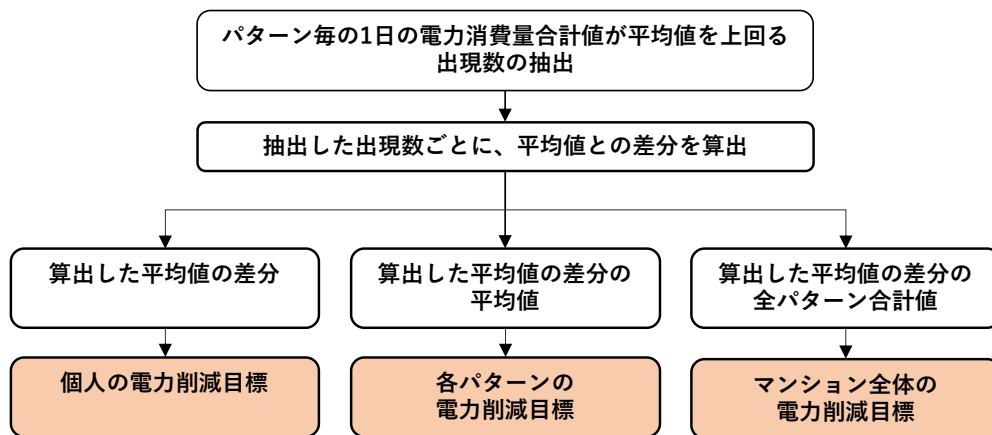


図 3.25 電力量削減目標値の算定ステップ

3.3.8.4 目標値の算定

以下に、目標値算定式を示す。算定式に基づき、電力削減目標値の算定結果を表 3.2 に示す。Pe 値が最も大きい値を示したのは、EMME で、最も低い値を示したのは、GMMG である。E の時間帯に関連する ELLE, EMME で Pe 値が 8kWh を上回っている。Pgg 値については、最も大きい値を示したのは、LMML であり、最も低い値を示したのは、MM である。これは、Pe 値と異なる順位結果となった。Pcg 値は 104,603kWh となり、集合住宅全体の電力削減目標を明らかにすることが出来た。

$$\text{個人の1日当たりの電力削減目標値} \quad P_{pg} = P_{aa} - P_e \quad \dots (3.2)$$

$$\text{各パターンの電力削減目標値} \quad P_{gg} = \sum_{k=1}^n P_{pg} \quad \dots (3.3)$$

$$\text{マンション全体の電力削減目標値} \quad P_{cg} = \sum_{k=1}^n P_{gg} \quad \dots (3.4)$$

パターン毎の1日の電力消費量合計値が平均値を上回る各電力消費量： P_{aa}

パターン毎の平均値： P_e

電力削減目標算定式

表 3.2 電力削減目標値の算定結果

(n/年)									
a	マンション総戸数356世帯の出現数	4272							
b	調査対象84世帯の全出現数	1008							
c	全8パターン出現数	734							
d	全8パターン平均以上出現数	321							
			ELLE	EMME	FLLF	FMMF	GLLG	GMMG	LMML
f	総出現数		146	95	124	64	45	46	178
g	平均以上出現数		61	45	60	29	19	19	74
h	各パターンの平均以上世帯の1日当たりの平均電力消費量	PekWh/1D)	8.08	8.47	7.84	7.44	7.20	6.74	7.70
i	平均以上世帯における差分合計	$\Sigma Ppg(kWh/1D)$	180.58	102.29	133.46	60.63	46.13	46.49	209.28
j	各パターン毎の年間平均値超過電力消費量	$Pgg = \Sigma Ppg \times 30(kWh)$	5417.4	3068.7	4003.8	1818.9	1383.9	1394.7	6278.4
k	調査対象中の各パターン平均以上の出現率	b/g	0.06	0.04	0.06	0.03	0.02	0.02	0.07
l	マンション全体での各パターン平均以上の年間出現数予測	a*k	259	191	254	123	81	81	314
m	マンション全体での各パターン年間平均値超過電力消費量予測	$Pgg * g / l(kWh/1Y)$	22,959	13,005	16,968	7,709	5,865	5,911	26,608
n	マンション全体での年間平均値超過電力消費量予測	$Pcg(kWh/1Y)$	104,603						

3.3.8.5 環境省調査との比較による電力使用の削減量推定

これまで分類されたパターン別に環境省の調査によって明らかにされている世帯当たりの年間エネルギー使用量との比較を行った結果を図 3.26 に示す。ELLE 型、EMME 型を除き本調査の電力使用量が環境省調査結果を下回る。これは、調査対象マンションの省エネルギー配慮設備や仕様の影響による可能性があるといえる。また、パターンごとに平均値以上の電力使用量を算出し、平均電力使用量との差分から削減可能な電力使用量の推定をし

た．最も多く削減できる可能性があるパターンはMM型で45%となっている．最も低い割合のEMME型でも約25%の削減を目標にすることは可能である．

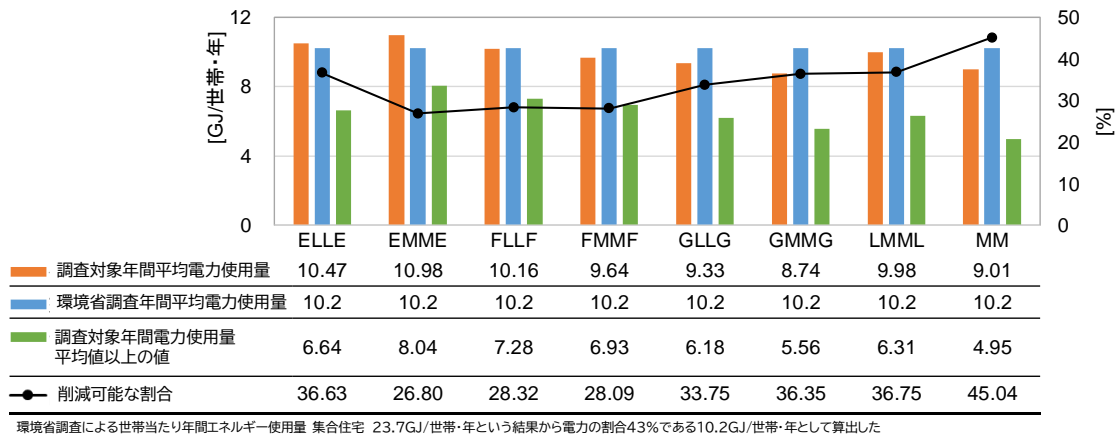


図 3.26 環境省調査との比較による電力使用の削減量推定

3.4 まとめ

本章では、24時間の生活パターンを分類する手法を試みた結果、以下の結論が得られた。

- 1) 24時間のエネルギー使用の特徴は8つに分類することができる。
- 2) 1日のエネルギー使用の最大ピークは2または3である。
- 3) 電力利用量ピークは夜間に集中している。
- 4) パターン毎の基本属性別の特徴に明確な差が見られない。
- 5) パターンによっては平均値より大きく外れたエネルギー使用量が多い世帯がある。

以上により、おおまかなエネルギー使用のパターンは複雑で無数にあるのではないことがわかる。一方で、基本属性によって特徴がみられないことは、住まい手のライフスタイルは、個々によるものである可能性があると言える。また、本章の分析を通じて、平均値から大きく外れたエネルギー使用の大きい世帯の発見により、これらの世帯の抽出とエネルギー使用の低減が必要であることも明らかとなった。よって、第4章、第5章で、基本属性によらない住まい手のエネルギー使用の特徴を分析する。

参考文献

- 1) 井上隆, 水谷傑, 田中俊彦: 全国規模アンケートによる住宅内エネルギー消費の実態に関する研究: 影響を及ぼす要因に関する分析 その2, 日本建築学会環境系論文集, 71, pp.75-80, 2006.
- 2) 長谷川善明, 井上隆: 全国規模アンケートによる住宅内エネルギー消費の実態に関する研究: 世帯特性の影響と世帯間のばらつきに関する考察 その1, 日本建築学会環境系論文集, 69, pp.23-28, 2004.
- 3) 佐藤誠, 石田建一: HEMS による家庭用エネルギー消費量削減効果の検証: (第2報) 省エネルギー効果の推定, 空気調和・衛生工学会大会 学術講演論文集, pp.1571-1574, 2004.3
- 4) 石田建一, 佐藤誠: HEMS を用いたエアコンの最適制御による省エネルギー効果: その1)実験概要, 学術講演梗概集. D-2, 環境工学 II, pp.1227-1228, 2004.7.31
- 5) 納富昭光, 放生孝弘, 中島裕輔: 戸建住宅団地における HEMS を活用したエネルギー需要マネジメントに関する研究: (その2) HEMS による省エネルギー効果の分析, 学術講演梗概集. D-1, 環境工学 I, pp.983-984, 2005.7.31
- 6) 納富昭光, 近藤牧朝, 荻谷公洋, 中島裕輔: 戸建住宅団地における HEMS を活用したエネルギー需要マネジメントに関する研究: (その3)省エネルギー効果の経年分析, 学術講演梗概集. D-1, 環境工学 I, pp.1065-1066, 2007.7.31
- 7) 佐藤光太郎, 中島裕輔: 住宅における環境・エネルギー情報提供システムの構築に関する研究: (その4)調査アパートにおけるエネルギー使用状況分析, 学術講演梗概集. D-1, 環境工学 I, pp.65-66, 2009.7.20
- 8) 畑泰彦, 久和原裕輝, 長岐淳, 太田真人, 須永修通: 太陽光発電住宅におけるコミュニケーション型 HEMS に関する研究: その1 調査およびエネルギー消費の概要, 学術講演梗概集. D-2, 環境工学 II, pp.281-282, 2011.7.20
- 9) 畑泰彦, 久和原裕輝, 長岐淳, 一ノ瀬雅之, 太田真人, 須永修通: 41247 コミュニケーション型 HEMS に関する研究: (その1) 調査と冬季エネルギー消費の概要(住宅の省エネルギー(2),環境工学 II,2012 年度大会(東海)学術講演会・建築デザイン発表会プログラム), 環境工学 II, pp.493-494, 2012.9.12
- 10) 山田祐輔, 加藤丈和, 松山隆司: スマートタップネットワークを用いた家電の電力消費パターン解析に基づく人物行動推定, 電子情報通信学会技術研究報告. USN, ユビキタス・センサネットワーク: IEICE technical report, 111, pp.25-30, 2011.7.7
- 11) 伊原克将, 永田勝也, 小野田弘士, 中嶋崇史, 佐藤雄: HEMS データを活用した生活パターンの類型化に基づく CO2 削減ポテンシャルの推定, 日本エネルギー学会大会講演要旨集, 21, pp.272-273, 2012.

- 12) 市川昌宏, 向井政貴, 安積卓也, 西尾信彦: 目標達成型 HEMS のための在室予測と環境依存型家電の需要度の導出, マルチメディア, 分散協調とモバイルシンポジウム 2013 論文集, pp.1457-1466, 2013.7.3
- 13) 市川昌宏, 向井政貴, 西尾信彦: 家庭内生活パターンを考慮した電力需要予測手法, 研究報告ユビキタスコンピューティングシステム (UBI), 2012, pp.1-5, 2012.10.25

第4章 大きなエネルギーを使用する住まい手の抽出に関する研究

4.1 はじめに

近年、電気エネルギー使用量の大幅な増加は各国の深刻な問題である。いくつかの国では、エネルギー使用量の削減の目標を設定している。たとえば、我が国の家庭部門における目標は39%のエネルギー削減に設定されている¹⁾。

エネルギー使用量の削減を達成するために住まい手に推奨される行動がある。通常、推奨される行動には、こまめに照明を消し、暖冷房機器の温度を低く設定する（またはより高くする）必要がある。しかし、そのような行動を住まい手に強要する手法は、日常生活において住まい手に多くの忍耐を必要とするため持続可能ではない。

一方で、別の手法としては部屋の快適さを維持しながらエネルギー使用量を削減するために、インターネットを介したエアコンや洗濯機などの家電の自動制御がある²⁻⁷⁾。たとえば、Tso ら⁸⁾は、機械学習技術を使用してエネルギー使用量の予測モデルを構築した。また Figueiredo ら⁹⁻¹¹⁾は、パターンマイニングや決定木などのデータマイニングアプローチを使用して、エネルギー使用量と住まい手の行動との関連を明らかにした。ただし、エネルギー使用量と室内の快適性を同時に達成する特定の制御ルールを学習するには、エネルギー使用量に関する膨大な量のデータが必要である。このようなルールは住まい手によって異なるため、個々の住まい手ごとに効果的な制御システムを実現するには、長い機械学習期間が必要である。この状況は、エネルギーの浪費を避けるためにできるだけ早く抽出して通知する必要があるため、エネルギー使用量の大きい世帯にとっては特に深刻な問題である。

この章では、大きいエネルギーを使用する世帯に注目する。これは、前章で明らかになったようにエネルギー使用量が平均的なよりもはるかに大きいエネルギーを使用するため

ある。データマイニング手法を使用することで、大きいエネルギーを使用する世帯を選び出すことができれば、実際のエネルギー使用に関する情報を使用せずに、限られた住まい手の情報を使用して抽出が可能であるといえる。具体的には、エネルギー使用のばらつきは、エネルギー使用の24時間監視の時系列からの異常値抽出手法¹²⁾によって自動的に決定される。次に、プロファイルに関するアンケートから決定木¹³⁾を構築する。決定木の構築によって大きなエネルギーを使用する世帯を他の世帯と正確に区別することができる。現在までに、エネルギー使用を予測する試みはいくつかある⁸⁾が、住まい手情報からエネルギー使用を予測することを試みた研究はない。

本章の試みを応用すれば、大きいエネルギーを使用する世帯が新しい住まいに転居直後からアドバイスをを行うことにより、日常生活をすぐに支援ことができる。彼らのプロファイルは、実際のエネルギー使用を観察することなくそれを判断できる。さらに、本研究の成果があきらかになれば、入居前に世帯のプロファイルから過度なエネルギー使用を未然に防ぐための情報提供支援が可能になるため、住宅事業者にと住まい手に新たなコミュニケーションの在り方を提案できる。本章では、個々の住まい手から住宅建設業者までのエネルギー制御に対するデータマイニングアプローチの有効性を示す。

4.2 調査概要

本研究は大きく2つの分析アプローチで構成されている。

先ず大きなエネルギーを使用する住まい手を特定する。これらのデータは、教師なし異常値抽出によるエネルギー使用の記録からのものである。これは、決定木分類の根拠ラベルとして使用される。

第二に、大きなエネルギーを使用する世帯とエネルギー使用量が平均的な世帯を分類する住まい手情報から決定木を構築する。学習した決定木を分析し、どの情報が分類に役立つかを特定する。図4.1に研究のアプローチをまとめる。このアプローチの注目すべき特徴は、大きなエネルギー使用とそれ以外のエネルギー使用の分類にエネルギー使用データを使用しないことである。さらに、エネルギー使用の記録を見ることなく、住まい手の属性やアンケートデータのみを使用して分類段階が達成される。

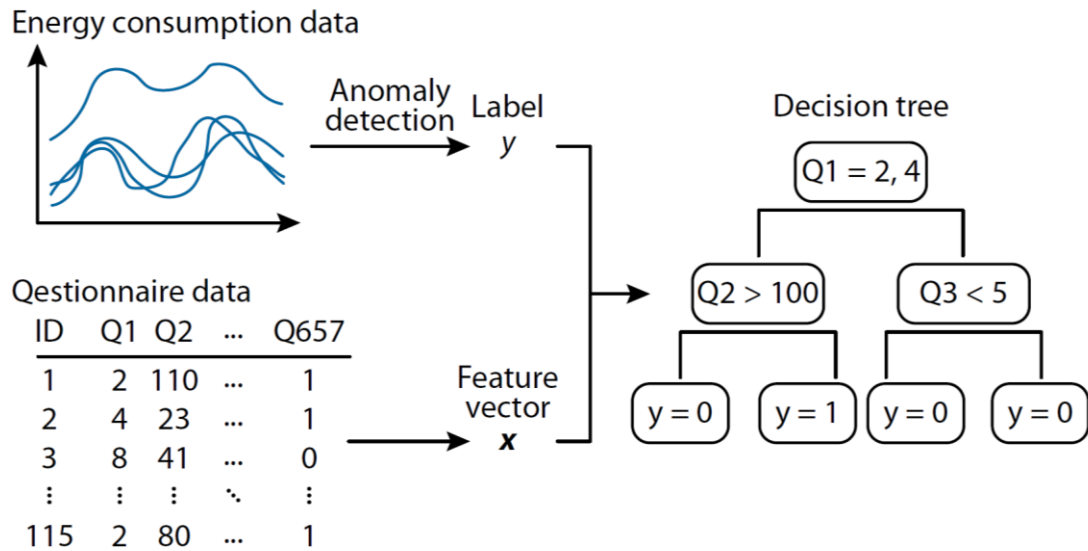


図 4.1 分析アプローチ

4.3 エネルギーデータの概要

電気エネルギー使用データとアンケートデータの2種類のデータを使用する。電力使用量は季節や曜日（平日または週末）によって大きく異なるため、エネルギー使用データを平日と休日に分割した。エネルギー使用データは、358世帯を含む日本の東京の品川にある新築集合住宅から収集された。各家庭では、2017年1月から2017年12月までの24時間、30分ごとに電気利用量が記録されており、記録デバイスのエラーを除去して、データをクリーンアップした。祝日は休日に含まれ、月ごとに分割された（図4.2）。その結果、合計24個のデータセットを準備し、各データセットは48m次元の358個のデータポイントで構成されている。mは各月の日数である。

アンケートデータは調査対象と同様の集合住宅の住まい手から取得されており、部屋IDはエネルギー使用データのIDと一致している。アンケートは657の質問で構成されている。これらは、性別、年齢、家族形態、働き方などの基本的なプロフィールから、以前の住居、所有する家電製品、省エネルギー意識、日常生活などの詳細な情報まで、幅広い質問とした。このアンケートは、各世帯の集合住宅での生活開始から3年後に行われ、115世帯か

ら得られた。その結果、115 個のデータポイントがあり、各データポイントは 657 次元のベクトルとなる

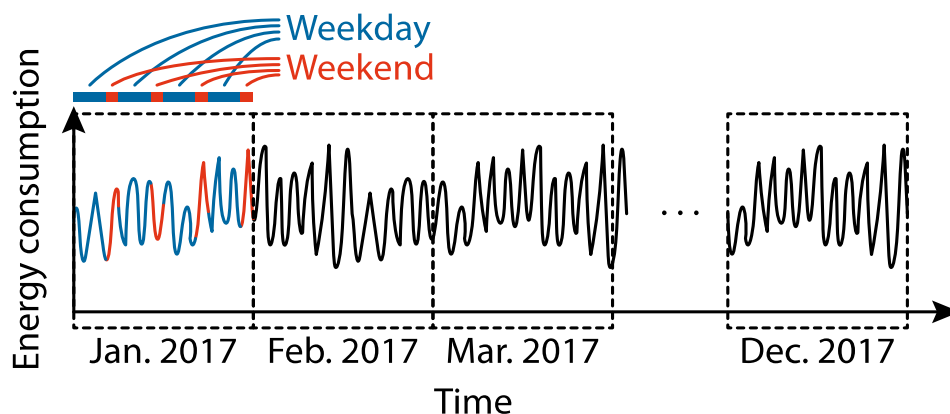


図 4.2 エネルギーデータの分析イメージ

4.4 分析方法

4.4.1 大きなエネルギーを使用する住まい手の抽出

大きなエネルギー使用する世帯を特定するため、エネルギー使用データセットに Sugiyama¹²⁾らによって提案された最新の異常値抽出方法を適用した。教師なし異常値抽出においてアクティブで効率的であることが示されました。データセット $T = \{t_1, t_2, \dots, t_n\}$, $t_i \in \mathbb{R}^d$, が与えられた場合、各データポイント $t \in T$ の外れ値スコアは次のように定義される。

$$q(t) = \min_{t' \in S(T)} D(t, t')$$

ここで、 $S(T) \subset T$ は T からランダムに独立してサンプリングされ、 $D(t, t')$ は t と t' の間の距離である。この論文では、次のように定義されるユークリッド距離を一貫して使用する。

$$D(\mathbf{t}, \mathbf{t}') = \sqrt{\sum_{i=1}^d (t_i - t'_i)^2}$$

$\mathbf{t} = (t_1, t_2, \dots, t_d)$ および $\mathbf{t}' = (t'_1, t'_2, \dots, t'_d)$ の場合. サンプルサイズ $|S(T)| = 20$ を設定した. より重要なスコアはより高い異常性に対応するため, T のデータポイントはスコアに従って降順でソートされ, top- k のデータポイントは異常として抽出される. 本分析では $k=10$ を設定する. R パッケージ spoutlier を使用した.

4.4.2 決定木分類

大きなエネルギーを使用する世帯を見つける手法を定式化する. さらに, 決定木法 CART¹³⁾ を使用する. 結果の決定木は解釈可能であるため, 標準の決定木法であることが知られている. 各機能が特定の情報に対応する $n = 115$ のアンケートデータセット $X = \{\mathbf{x}_1, \mathbf{x}_2, \dots, \mathbf{x}_n\}$ を考えると, 最初に上記の異常値抽出方法によってラベルを取得す. より正確には, 各データポイント \mathbf{x}_i について, 上位 k 個の外れ値 ($k = 10$) に含まれている場合はラベル $y_i = 1$, そうでない場合は $y_i = 0$ である. 次に, ラベル付きデータセットから決定木が構築される. R パッケージ rpart を使用した.

4.4.3 評価方法

精度と適合率を使用して, 決定木の成果を評価する. これは, データセットが大きく不均衡な場合でも評価に使用できる¹⁴⁾. $A = \{\mathbf{x}_i \in X \mid y_i = 1\} \subseteq X$ を異常のセットとし, $B \subseteq X$ を構築された決定木によって異常に分類されるデータポイントのセットとする. 次に, 精度は $\text{precision} = |A \cap B|/|B|$ として定義される. そして, リコールは $\text{recall} = |A \cap B|/|A|$ として定義される. 両方のスコアは 0 から 1 であり, 高いほど優れている.

4.4.4 分析手法

以上のプロセスをエネルギー使用とアンケートのデータセットに適用する. macOS 10.36.6 を使用し, 4.0 GHz Intel Core i7 および 32 GB のメモリであるすべての実験を実行した. すべての分析は, R バージョン 3.5.1 (R Core Team 2018) で実行される.

4.5 結果と考察

4.5.1 プロファイルのアンケートからの大きなエネルギーを使用する世帯の抽出

まず、24 のエネルギー使用データセットから大きなエネルギーを使用する世帯を特定した。358 世帯のうち 115 世帯のアンケートデータがあるため、抽出に使用したのは 115 世帯のみで、上位 10 の大きなエネルギーを使用する世帯を特定した。

図 4.3 では、8 月と 2 月の 24 時間のエネルギー使用を平日と週末に示し、それぞれ大きなエネルギーを使用する世帯とそれ以外の世帯のエネルギー使用量を平均を表している。これらのデータセットでは、すべての大きなエネルギーを使用する世帯はそれ以外の世帯よりもはるかに大きなエネルギーを使用していることが明らかである。

次に、CART を適用し、月と平日または週末に関係なく、決定木によって大きなエネルギーを使用する世帯を常に正確に分類できることは精度とリコールの両方が 1 である結果によって確認された。

さらに重要な分析は、657 個の回答のうち、大きなエネルギーを使用する世帯の分類に不可欠な情報はどれであることを明らかにすることである。

そこで、まず 24 のデータセット（12 か月×平日または週末）で使用された情報の頻度を分析した。頻繁に使用される上位 20 の質問のヒストグラムを図 4.4 に、各情報を表 4.1 に示す。657 の情報のうちトップ 20 の情報は、次のように分類される。

前の住居について : 6

省エネルギーの意識と行動について : 7

所有家電について : 5

人の年齢について : 1

平日の室内滞在時間について : 1

これは、以前の居住、省エネルギーの意識と行動、家電の 3 つの住まい手に関する情報が、性別、年齢範囲、家族の数などの個人の基本的な属性よりも大きなエネルギーを使用する世帯と強く関連している可能性があることを示唆している。また、さまざまな手法の分析で使用される基本的な住まい手に関する情報は、これまで大きなエネルギーを使用する世帯の予測に必ずしも有効とは言えなかったことにも関連している可能性がある。

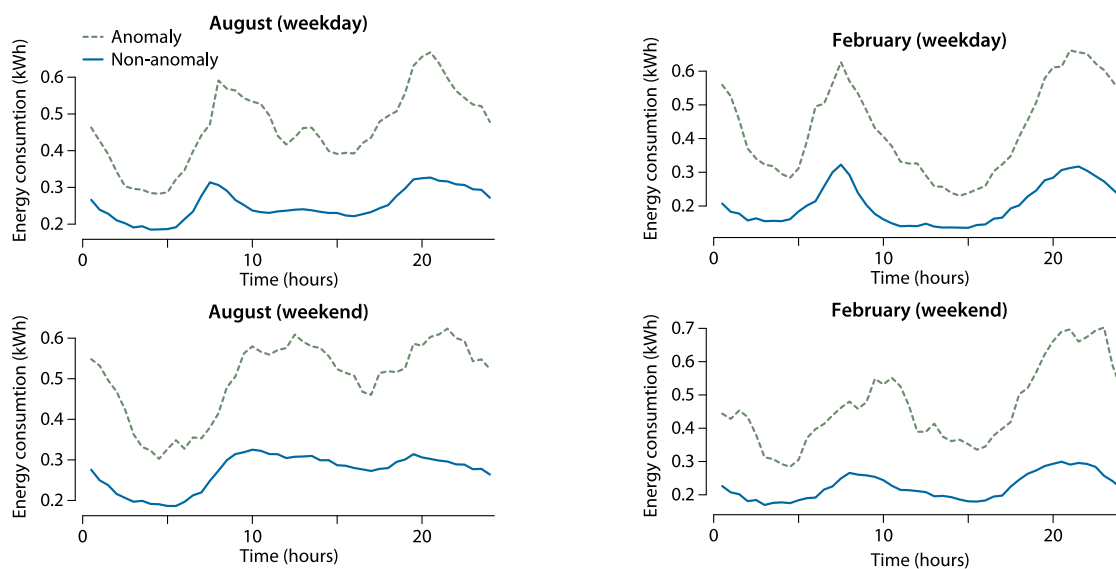


図 4.3 大きなエネルギーと平均的なエネルギーの関係

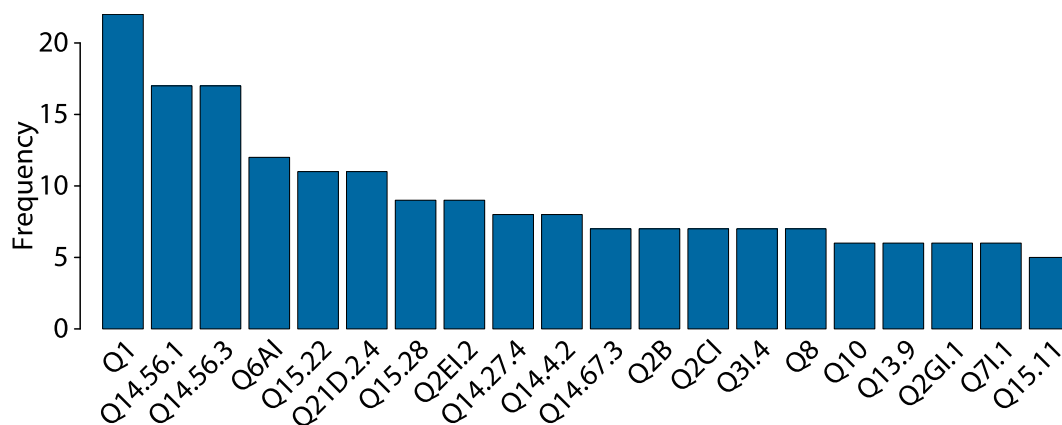


図 4.4 分析に使用される上位 20 の質問の頻度

表 4.1 分析に使用された上位 20 の質問内容

Questions about previous residence		Type	Description
Q1	Housing type	Nominal	1 (owned house), 2 (owned apartment), 3 (rented house), 4 (rented apartment), 5 (UR), 6 (public house), 7 (rented small apartment), 8 (company housing), 9 (dormitory), 10 (parents' house), 11 (others)
Q2B	Construction type	Nominal	1 (wood), 2 (steel), 3 (reinforced concrete), 4 (unknown)
Q2CI	Size of the room	Numerical	Value
Q2EI.2	Number of air conditioners (AC)	Numerical	Value
Q2GI.1	Age of a building	Numerical	Value
Q3I.4	Annual gasoline consumption	Numerical	Value
Questions about home electronics		Type	Description
Q14.4.2	Use air conditioners from previous residence	Binary	1 (yes), 0 (no)
Q14.27.4	Have a second energy saving desktop PC	Binary	1 (yes), 0 (no)
Q14.56.1	Do not have a table top dishwasher	Binary	1 (no), 0 (yes)
Q14.56.3	Newly buy a table top dishwasher	Binary	1 (yes), 0 (no)
Q14.67.3	Newly buy a private room lighting	Binary	1 (yes), 0 (no)
Questions about energy saving consciousness and behavior		Type	Description
Q8	Have daily energy saving consciousness	Ordinal	1 (yes) – 4 (no)
Q10	Reason not to act on energy saving	Nominal	1 (no time), 2 (bothering), 3 (costly), 4 (no merit), 5 (others)
Q13.9	Energy saving information source	Binary	1 (do not obtain), 0 (obtain)
Q15.11	Use ventilation by opening of windows	Ordinal	1 (yes) – 4 (no)
Q15.22	Use a gas stove	Ordinal	1 (yes) – 4 (no)
Q15.28	Use a heating toilet seat	Ordinal	1 (yes) – 4 (no)
Q21.D.2.4	Opportunities to see the HEMS (home energy management system) screen	Binary	1 (before bath), 0 (not before bath)
Other questions		Type	Description
Q6AI	Age	Numerical	Value
Q7I.1	Absence hours of weekday	Numerical	Value

4.5.2 大きなエネルギーを使用する世帯の抽出における有益な情報の選択

次に、頻繁に使用されるこれらの上位 20 の住まい手に関する情報のみを使用して、大きなエネルギーを使用する住まい手の抽出を試みた。つまり、元の 657 次元ではなく k 次元の特徴ベクトルから決定木を構築した。ここでは、住まい手の特徴に関する上位 k 個の情報を取り上げ、 $k = 1, 2, \dots, 20$ として k を変化させた。したがって、 $k = 1$ の場合は情報 Q1 のみが使用され、 $k = 20$ の場合は表 4.1 のすべての情報が使用される。図 4.5 は、情報

の数を 1 から 20 に増やしたときの精度と再現の割合を示している。これらのスコアは 24 のエネルギー使用データセットにわたって平均されている。この結果は、決定木の構築に 12 を超える情報が使用される場合、特徴（情報）の数が増加し、両方とも 1.0 に達すると精度と再現率が増加することを示している。

したがって、分析では、大きなエネルギーを使用する世帯を特徴付けることができるのは 13 の情報だけであることが示されている。これらの 13 の情報は次のとおりである。

前の住居について：4

省エネルギーの意識と行動について：3

家電について：5

年齢について：1

特に、省エネルギーの意識と行動に関する 3 つの情報は次のとおりである。

Q15. 22：ガストーブを使用する

Q15. 28：暖房便座を使用する

Q21. D. 2. 4：HEM 画面を表示する機会

これらの情報は、住まい手の省エネルギー意識に関わらず、省エネルギー行動が必要な項目である。この結果は、住まい手の生活に関する情報が省エネルギーに不可欠であることを示しているが、住まい手の意識に関する直接的な情報は予測では有効ではなかった。

以上により、人々が省エネルギーの意識についての良い回答を試みる傾向がある可能性があるといえる。さらに、そのような答えは実際の生活と一致していない可能性がある。さらに、住まい手の年齢の情報（Q6AI）が 4 番目のよくある情報であることが確認された。

この情報を追加すると、スコア（精度と再現率の両方）が大幅に増加するため、パフォーマンスに影響する（図 4.5 に示す 3 番目と 4 番目のポイントを参照）。したがって、これは必要な住まい手に関する情報に不可欠であることも明らかになった。

4.5.3 決定木の分析

13 の情報により、すべての大きなエネルギーを使用する世帯とそのほかの世帯とを区別できることを示した。エネルギー使用に最も影響があると考えられるものの 1 つは、冷暖房設備の使用である。そこで最高気温と最低気温の 8 月と 2 月の決定木の詳細な分析を行っている。

図 4.6, 7 に, 平日と週末を含む 8 月と 2 月の決定木を示す. 表 4.2 の情報タイプに従って, 決定木のノードの分布を提供する. すべての場合において, ノードの 50%以上が以前の居住地に関する情報が選択されている. エネルギー使用の大部分は冷暖房設備の影響が大きいにも関わらず, このアンケートは集合住宅での生活開始から 3 年以上経過した後に行われたが, この結果は, 以前の住まい手のライフスタイルが現在のライフスタイルに依然として強く影響していることを意味する.

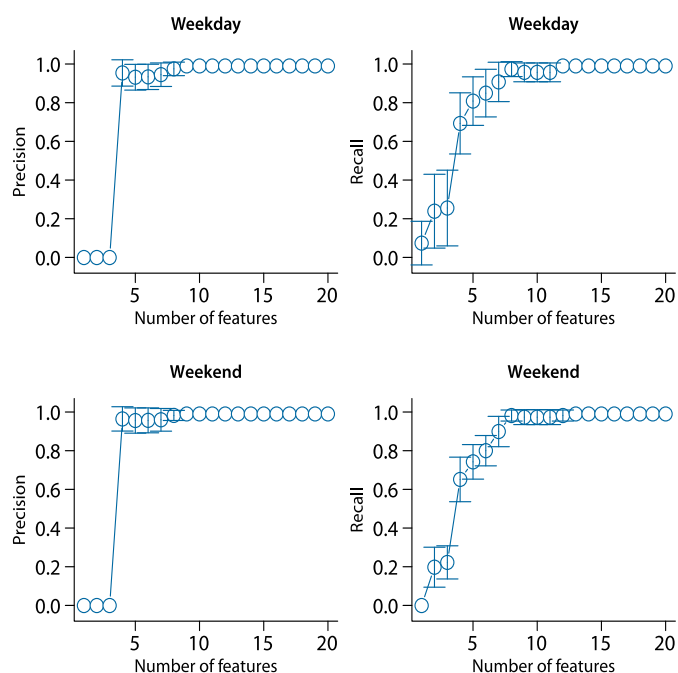
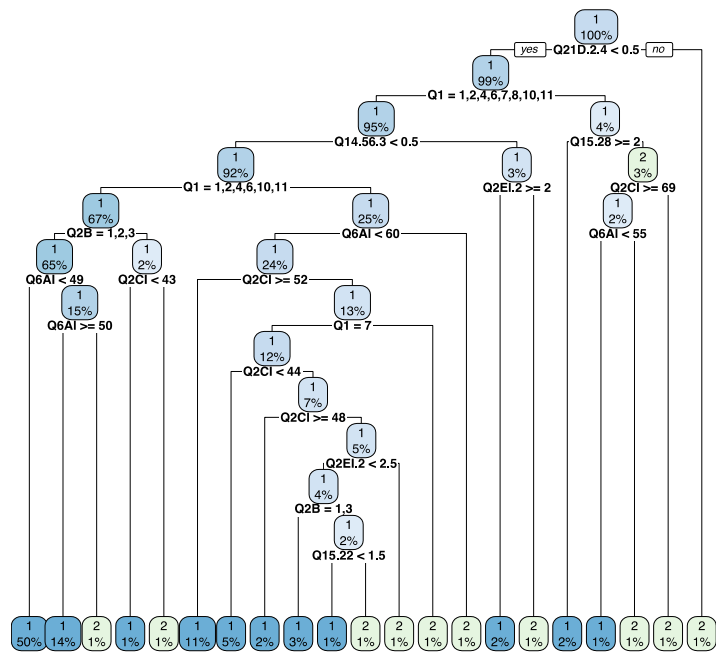


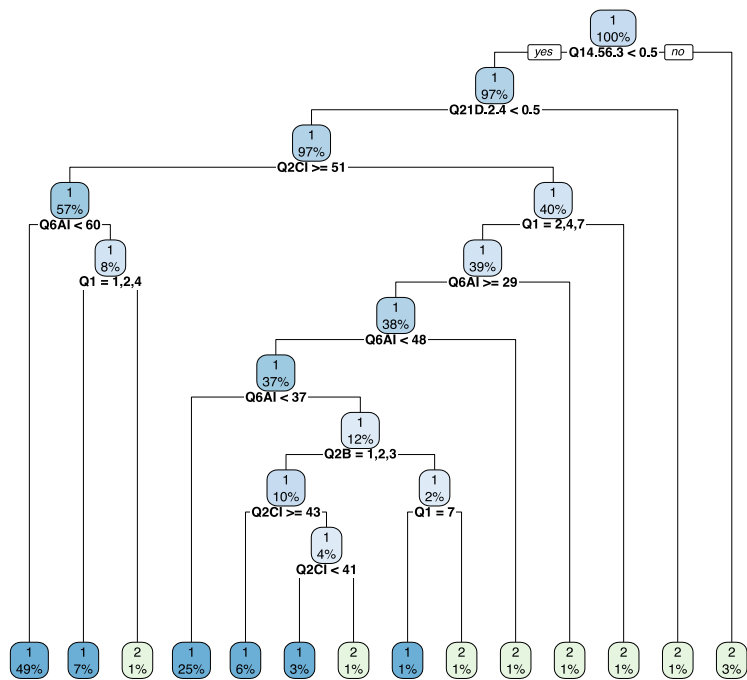
図 4.5 質問の数を 1 から 20 に増やしたときの精度と再現の割合変化

表 4.2 分析に使用された質問のカテゴリ分類

August (weekday)		August (weekend)	
The number of nodes	20	The number of nodes	13
Previous residence	12	Previous residence	7
Energy saving consciousness and behavior	3	Energy saving consciousness and behavior	1
Home electronics	1	Home electronics	1
Age	4	Age	4
February (weekday)		February (weekend)	
The number of nodes	16	The number of nodes	16
Previous residence	8	Previous residence	8
Energy saving consciousness and behavior	1	Energy saving consciousness and behavior	1
Home electronics	3	Home electronics	3
Age	4	Age	4

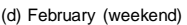
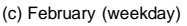


(a) August (weekday)



(b) August (weekend)

図 4.6 決定木による分類結果



4.6 まとめ

この章では、実際のエネルギー使用データを使用しなくても、住まい手のプロファイルに関するわずか13の情報で、大きなエネルギーを使用する世帯を精度高く特徴付けることができることを明らかにした。さらに、使用された13の情報の大部分は以前の住居に関するものであり、これは過去の生活様式が依然として住まい手のエネルギー使用の方法に影響を及ぼす可能性があることを意味する。本研究のアプローチは単純なデータマイニング手法に基づいているため、このアプローチは集合住宅市場で実装できる可能性がある。また、不動産開発事業者またはエネルギー供給事業者と住宅購入者との間のコミュニケーションで使用されるアプローチの実装シナリオは、次の5つのステップに分けることができる。

1. 集合住宅を購入したい住まい手が住宅供給業者に接触。
2. 住宅供給業者は、本研究示で明らかとなった情報を使用して住まい手情報を取得する。
3. 取得情報と学習した決定木により大きな電力を使用する可能性のある住まい手を分類。
4. エネルギー節約情報は、大きな電力を使用する可能性のある住まい手へ提供。
5. 住まい手は、集合住宅転居前に、省エネルギーに関する情報を取得可能。

以上のステップにより、住まい手は大きな電力の使用を避けストレスのない満足のいく生活をはじめることができる。省エネルギーに関する情報には有効な事例としてエアコンの効率的な使用、エアコンの過度の使用を抑制することによる健康状態への好ましい影響、および自然風の快適性が挙げられる。さらに、住まい手は、新しい家に転居した際に家電を新しく購入または交換する傾向がある。よってエネルギー使用家庭用機器の交換に対処するために、省エネルギーに関するそのような情報を提供することが有用である。

つまり、本研究の成果を応用すれば、大きなエネルギーを使用する少数の住まい手を抽出し、省エネルギーに関する有用な情報を通知することにより、集合住宅での全体的なエネルギー使用を効果的に削減できる。したがって、本研究の社会的実装は省エネルギー効果に大きな影響を与える可能性がある。

今後は、平均的なエネルギー使用の分析も必要である。同じ集合住宅での各世帯の分岐回路ごとの電気エネルギー使用量、ガス利用量、水の利用量に関するデータはすでに取得している。これらのデータセットを使用して詳細なエネルギー使用パターンを見つけ、そのような利用パターンと住まい手プロファイルとの関連を発見すると、より高度な省エネルギー技術につながる。

参考文献

- 1) Nagura, Y. : On future global warming countermeasures of Japan that received the COP 21 agreement., In Global Warming Forum, pp. 1–13, 2015.
- 2) Yu, Z., Fung, B. C. M., Haghighat, F., Yoshino, H., Morofsky, E. : A systematic procedure to study the influence of occupant behavior on building energy consumption, Energy and Buildings, 43, pp. 1409-1417, 2011.
- 3) Hargreaves, T., Nye, M., Burgess, J. : Making energy visible: A qualitative field study of how householders interact with feedback from smart energy monitors, Energy policy, 38, pp. 6111-6119, 2010.
- 4) Monacchi, A., Egarter, D., Elmenreich, W., D'Alessandro, S., Tonello, A. M. : GREEND: An energy consumption dataset of households in Italy and Austria IEEE 2014, 511-516
- 5) Hong, T., Koo, C., Park, S. : A decision support model for improving a multi-family housing complex based on CO2 emission from gas energy consumption, Building and Environment, 52, pp. 142-151, 2012.
- 6) Gouveia, J. P., Seixas, J., Long, G. : Mining households' energy data to disclose fuel poverty: Lessons for Southern Europe, Journal of Cleaner Production, 178, pp. 534-550, 2018.
- 7) Ebrahim, A., Mohammed, O. : Pre-processing of energy demand disaggregation based data mining techniques for household load demand forecasting, Inventions, 3, pp. 45, 2018.
- 8) Tso, G. K. F., Yau, K. K. W. : Predicting electricity energy consumption: A comparison of regression analysis, decision tree and neural networks, Energy, 32, pp. 1761-1768, 2007.
- 9) Figueiredo, V., Rodrigues, F., Vale, Z., Gouveia, J. B. : An electric energy consumer characterization framework based on data mining techniques, IEEE Transactions on power systems, 20, pp. 596-602, 2005.
- 10) Ashouri, M., Haghighat, F., Fung, B. C. M., Lazrak, A., Yoshino, H. : Development of building energy saving advisory: A data mining approach, Energy and Buildings, 172, pp. 139-151, 2018.
- 11) Wang, F., Li, K., Duić, N., Mi, Z., Hodge, B. M., Shafie-khah, M., Catalão, J. P. S. : Association rule mining based quantitative analysis approach of household characteristics impacts on residential electricity consumption patterns, Energy conversion and management, 171, pp. 839-854, 2018.
- 12) Sugiyama, M., Borgwardt, K. : Rapid distance-based outlier detection via sampling 2013, 467-475

- 13) Breiman, L., Friedman, J., Olshen, R., Stone, C. : Classification and Regression T rees (Monterey, California: Wadsworth) Inc 1984,
- 14) Aggarwal, C. C. : Outlier ensembles: position paper, SIGKDD Explor. Newsl., 14, pp.49-58, 2013.

第5章 エネルギー使用予測による住まい手の特徴に関する研究

5.1 はじめに

電気、ガス、水などのエネルギー使用を予測することは、住まい手の生活を改善するために経済学、環境学、都市工学などの幅広い分野で不可欠な研究となりつつある。特にわが国でストック数が増加している集合住宅での日常生活では、エネルギー使用を予測することができれば、さまざまな機器の省エネルギー行動を個々の住まい手にアドバイスできる可能性が見込める。例えばエネルギー使用を分析するためのアプローチに、3章で述べた集合住宅を備えたホームエネルギー管理システム HEMS（ヘムス：ホーム・エネルギー・マネジメント・システム）を使用する方法がある。HEMS は各世帯のエネルギー使用量を記録し、取得した過去の記録は将来のエネルギー使用量を予測するために使用できる¹⁾。ただし、この手法では、4章で述べたように個々の住まい手の予測モデルの学習期間が必要であり、既存の集合住宅での実装は困難である。

本研究では、各個人の過去のエネルギー記録を使用せずに、住まい手に関する情報からエネルギー使用を予測することを試みた。これは住まい手に関する情報からエネルギー使用量を正確に予測するため、過去のエネルギー記録による学習の期間を必要としない。例えば、このアプローチにより大きなエネルギーを使用すると特定された住まい手に省エネルギーについて助言することが可能となる。

本研究では2つのデータセットを使用して、アプローチの有効性を示す。

一つは、集合住宅のエネルギー使用データで、もう一つは同じ集合住宅の住まい手のアンケート回答データである。各住まい手の住戸では、HEMS により電気・水道・ガスの3種類のエネルギー使用が記録されている。アンケートは657個の質問で構成され、性別、年

齢、働き方などの基本的なプロフィールから、以前の住居や省エネルギー意識などのより詳細な情報まで、幅広い質問が含まれている。本研究のステップとして、アンケートデータ利用して、エネルギー使用の推定値を出力する予測モデルを機械学習することである。アンケートデータには離散的特徴と連続的特徴の両方が含まれているため、予測モデルとしてランダムフォレストを使用する。

ランダムフォレストによって取得された特徴の重要性を分析し、今まで重要視されていなかった特徴の発見を試みる。本研究の結果により、省エネルギー研究への新しい洞察と、エネルギー使用低減の手法の一つとしてのきっかけとなることを目指す。

本研究の構成は、セクション2では、エネルギー使用予測の関連作業について説明する。セクション3は、提案されたアプローチを示している。実際のデータセットを使用してセクション4で結果を示し、セクション5で実験結果について説明する。セクション6で考察を述べる。

5.2 既往研究比較

これまでの研究では、エネルギー予測のためにさまざまな分析が行われてきた。電気エネルギーの使用については、決定木やニューラルネットワークなどの機械学習技術に基づく予測方法が提案されている^{1,2)}。利用の過去の記録から、Arghira ら³⁾は、翌日の電気エネルギー使用の予測を試みた。しかしながら、このアプローチは過去の記録を使用した予測モデルの学習期間が必要であり、エネルギー使用や住まい手プロファイルとの関係については明らかにしていない。

他の研究では、エネルギー使用と家のタイプや行動などの住まい手のさまざまな属性との関係が研究されている^{4,5)}。特に、Baker ら⁴⁾は電気とガスの両方の利用を分析し、住まい手のクラスタリングを実行している。Hong ら⁵⁾は住まい手の行動とエネルギー使用を関連付ける数学モデルを構築した。また、Martinaitis ら⁶⁾は、家族の規模がエネルギー使用に及ぼす影響を示している。これらの研究は今までのアプローチの延長とみなすことができる。

省エネルギーと快適な生活を同時に実現するために、機械学習技術を使用した制御システムがZhang ら⁷⁾によって研究されており、Gerarden ら⁸⁾は、省エネルギー機器の設置の

難しさを指摘している。

住まい手の意識とエネルギー使用との関係が Seligman ら⁹⁾によって分析されている。Seligman ら⁹⁾は、意識によるエネルギー使用予測は議論されていません、しかしながら、住まい手の意識を研究することもエネルギー制御にとって重要であるとしている。Frederiks ら¹⁰⁾は、住まい手の意識と省エネルギー行動の意識との間に矛盾があることを示している。本研究の予測方法によりエネルギー使用量の大きい潜在的な住まい手を抽出できることを目指す。本研究の成果を応用すればこのような機器を建物全体に設置することなく、省エネルギーを求める対象にできる。

よって本章では、ガス・水道の使用量に関するデータと、以前の居住地などの住まい手のさまざまな情報を含めて分析を行う。さらに、アンケートから得られたさまざまな属性からエネルギー使用の正確な予測を試みる。

5.3 調査概要

5.3.1 分析手法

集合住宅のエネルギーデータセットとランダムフォレストを使用したアプローチを示す。実験を通して、macOS 10.13.6 を使用し、4.0 GHz Intel Core i7 と 32 GB のメモリであるすべての実験を実行した。すべての分析は、R バージョン 3.5.1¹¹⁾で実行した。

5.3.2 データセット

2種類のデータセットを使用する。具体的には、電気、ガス、水のエネルギー使用量データと、住まい手に関する情報のアンケート回答データである。エネルギー使用量データは、358世帯の日本の東京の集合住宅から提供された。測定期間は2017年1月から12月である。また、測定間隔は30分である。この研究の目的はエネルギー使用の総量を予測することであるため、各世帯のエネルギー使用量の平均値を計算し、目的変数として使用した。プロフィールアンケートデータは同じ集合住宅から取得されており、部屋IDはエネルギー使用データに対応し匿名化されている。アンケートは657の質問で構成され、性別、年齢、家族形態、働き方などの基本的なプロフィールからの幅広い質問と、以前の住居、所有する家電製品、省エネルギー意識、日々の生活などのより詳細な情報が含まれる。このアンケート

は、集合住宅での生活開始から3年以上経過した後に実施され、115世帯から得られた。その結果、115個のデータポイントを持つデータセットがあり、各データポイントは657次元のベクトルである。よって、本分析は、657次元の入力ベクトルから平均エネルギー使用を予測することである。予測方法

5.3.3 予測手法

入力データセットには、離散（名義または順序）および連続（間隔または比率）の両方の特徴が含まれているため、単独の予測方法としてランダムフォレストを使用する。さらに、ランダムフォレストは機能の重要性を測定できる。これは、エネルギー使用と住まい手の属性の関係をさらに分析するのに有効であると考えられる。エネルギー使用量の推定は、10倍の相互検証によって得られた。実験を通して、各分割で試行されるツリーの数と変数の数は、それぞれ500と210に固定されている。ランダムフォレストには、パッケージ¹²⁾を使用した。

5.4 結果

5.4.1 住まい手プロフィールを用いたエネルギー使用量の予測

まず、図5.1に予測結果を示す。ここでは、実際のエネルギー使用量と、電気、ガス、水に関する各世帯の予測使用量を、これらの予測値を表している。予測値は各世帯の過去の利用データなしで取得されるが、予測はすべてのエネルギーに対して合理的で正確であることがわかる。二乗平均平方根誤差(RM-SE)は、電気、ガス、および水に対してそれぞれ0.037, 9.59, および2.25である。さらに、予測エネルギー使用値を実際の値に対してプロットする(図5.2)。実際の値と予測値の間のピアソンの相関係数は、それぞれ0.99, 0.99, 0.98である。

これらの結果は、住まい手に関する情報からのランダムフォレストのアプローチがエネルギー使用量を正常に予測できることを示している。次に、図5.3でランダムフォレストによって得られた特徴の重要性(Gini係数の減少を意味する)を示す。赤字で示された情報は複数のエネルギータイプで共有されている。また、表5.1に複数のエネルギータイプで共有されるこのような情報をすべてリスト化した。これらは次の大きな5つのカテゴリに分類される。

1. 住まい手の以前の居住地：部屋数，築年数，部屋面積，居住年数，エネルギーの支払いなどについて
2. 住まい手の属性：年齢や家族構成などについて.
3. 住まい手の行動：エアコンの設定温度や窓の開閉タイミングなどについて
4. 住まい手の意識：新居の魅力や省エネルギー機器の理解の深さなどについて

図 5.3 からわかるように，アンケートの提出日に関する情報 X.3 は，予測にとって最も重要である．また，多くの高ランクの情報（Q2 から Q5）は，現在の居住地ではなく，以前の居住地に関するものである．これらの情報については，次のセクションで詳しく分析する．

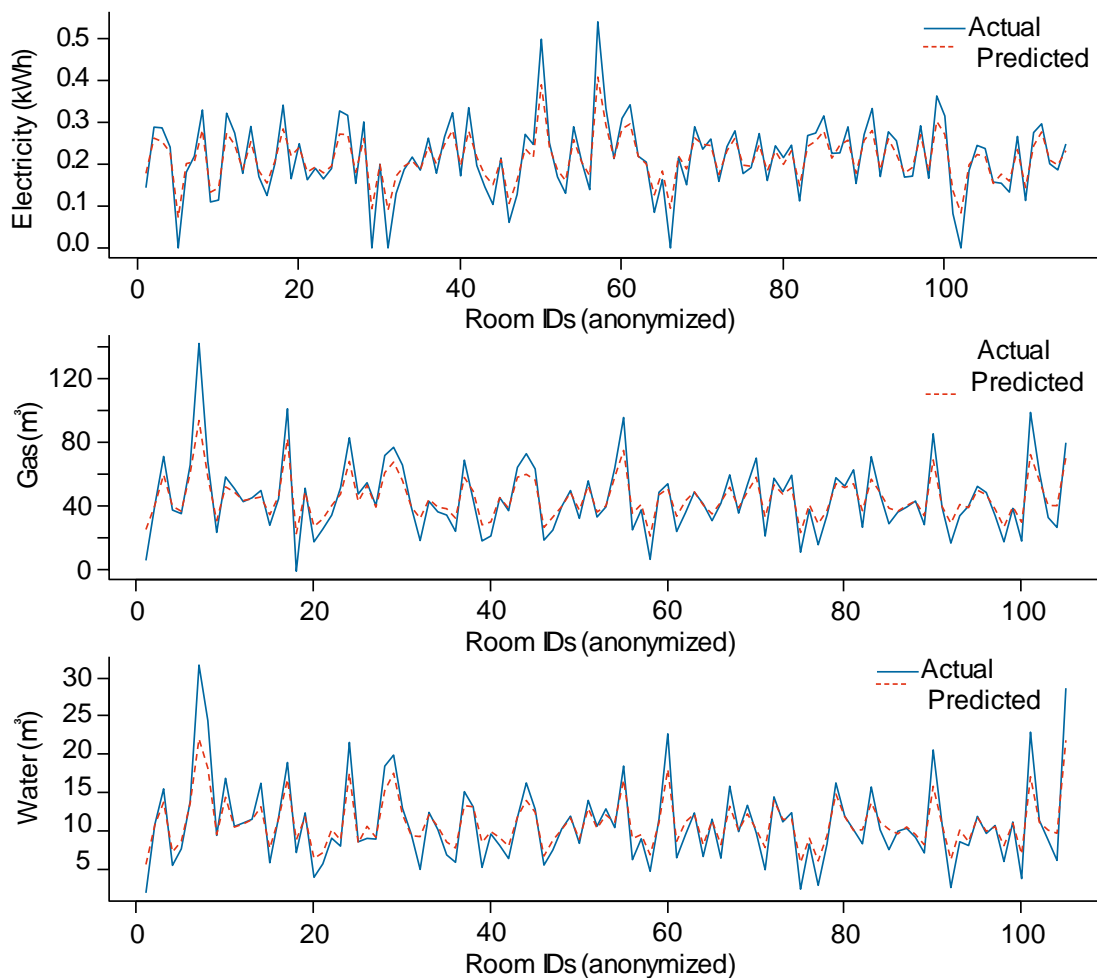
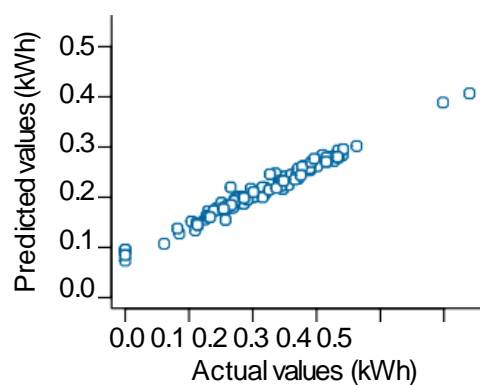
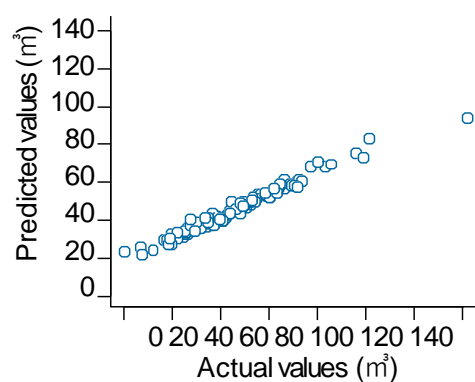


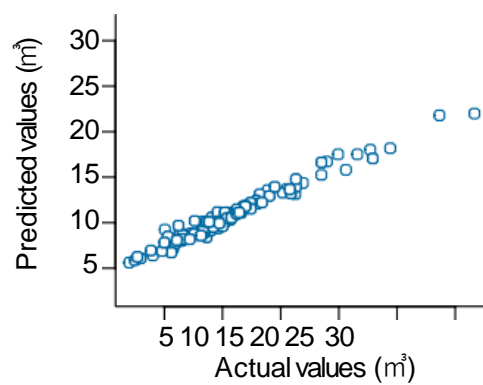
図 5.1 実際の年間平均各エネルギー使用量と予測値



(a) Electricity energy consumption



(b) Gas energy consumption



(c) Water energy consumption

図 5.2 全世帯の実際の各エネルギー使用量と予測値の関係

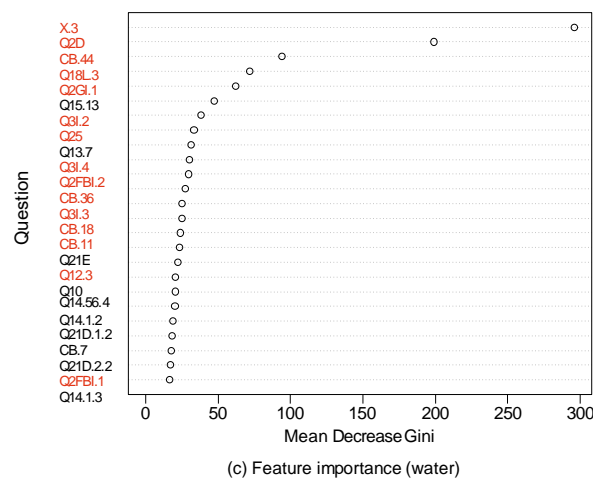
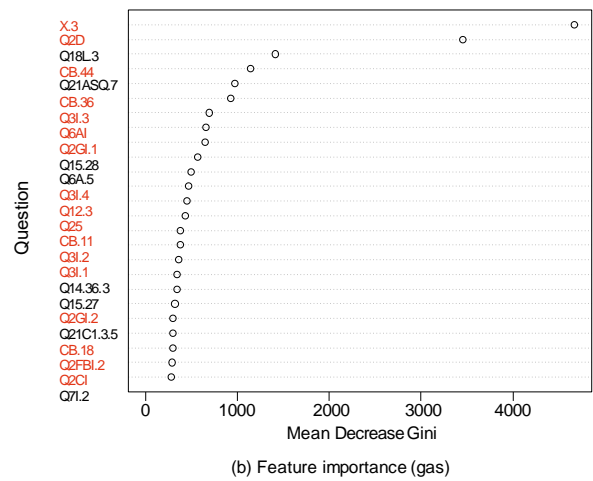
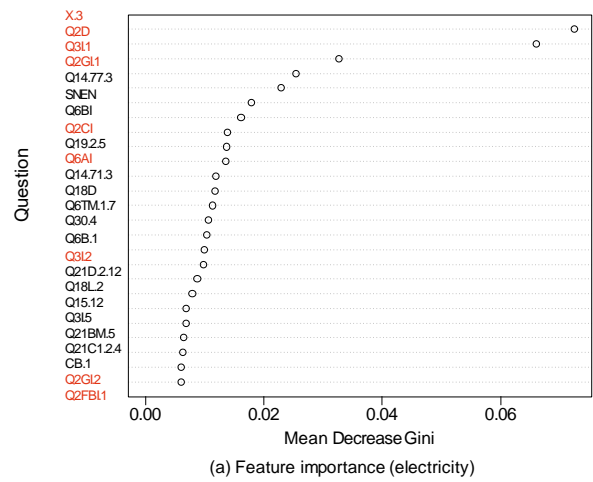


図 5.3 ランダムフォレストによるエネルギー別の質問重要度

表 5.1 ランダムフォレストで使用した各エネルギー共通の質問内容

Question type	Type	Description
Questions about previous residence		
Q2D	Type of room	Nominal single, 1K, 1DK, 1LDK, 2K, 2DK, 2LDK, 3LD, 3DK, 3LDK, 4LDK, 4SLDK, 6LDK, 7LDK
Q2CI	Size of the room	Numerical Value
Q2FBI.1	Number of floors	Numerical Value
Q2FBI.2	Living floor	Numerical Value
Q2GI.1	Age of a building	Numerical Value
Q2GI.2	Duration of living	Numerical Value
Q3I.1	Payments of electricity per year	Numerical Value
Q3I.2	Payments of water per year	Numerical Value
Q3I.3	Payments of gas per year	Numerical Value
Q3I.4	Annual gasoline consumption	Numerical Value
Questions about attributes		
Q6AI	Age	Numerical Value
Questions about behavior		
Q12.3	Save energy due to rules with neighborhood	Nominal 1 (yes), 0 (no)
Q18L.3	Set temperature of floor heating	Numerical Value
CB.11	Cannot sleep in winter as it is too cold	Ordinal 1 (yes) – 4 (no)
CB.18	Funny position due to small rooms	Ordinal 1 (yes) – 4 (no)
CB.36	glide at corridor	Ordinal 1 (yes) – 4 (no)
CB.44	glide at terrace	Ordinal 1 (yes) – 4 (no)
Questions about consciousness		
Q25	Use hot water by heat recovery system	Ordinal 1 (yes) – 4 (no)
Others		
X.3	Submission date of questionnaire	Nominal Dates

5.4.2 抽出された情報の特徴

図 5.3 に示されているランダムフォレストによって得られた情報の重要性から、以下表 5.2 に上位 25 の情報を示す。

まず、アンケートの提出日に関する情報が、すべてのエネルギータイプで最も重要な機能であることが明らかとなった。提出日はエネルギー使用と関係がないように思われるため、これらは直感に反する。これまでエネルギー使用に関するほとんどの文献は、性別、年齢、働き方、提出日の情報など、住まい手の本質的な属性に焦点を当てていたが、これらの属性はまだ分析されていない。したがって、これはランダムフォレストアプローチによって発見された新しい特徴としてさらに分析が必要である。

電気エネルギー使用量の予測では、以前の住居に関する情報が過半数であり、行動と属性に関する情報も多く抽出されている。また、ガスと水のエネルギーと比較により、住まい手の年齢が関係していることがわかる、これは、電気エネルギーと住まい手の基本的な属性と

の間のより強い関係を示唆している。

ガスの使用量予測では、情報の 70%以上は以前の居住地に関するものである。したがって、ガス利用は、住まい手の生活または環境の経験とより強い関連性を持っている可能性がある。この傾向は、これまで知られていなかった電力使用量の分析結果とは異なるため、興味深いものである。

水の使用量予測では、機能の重要性の一般的な傾向はガスエネルギーの傾向と同じであるが、動作に関する情報が大半である。水の利用と住まい手の行動との関係を具体的に分析することは今後の課題である。

エネルギー別の情報の比較については、Q2D（以前の住居の部屋のタイプ）、Q2GI.1（以前の住居の建物の年齢）、および Q3I.2（以前の住居の年ごとの水の支払い）は、すべてのタイプの上位 25 の情報の 1 つである。これらは 3 つの情報はすべて以前の居住地に関するものである。

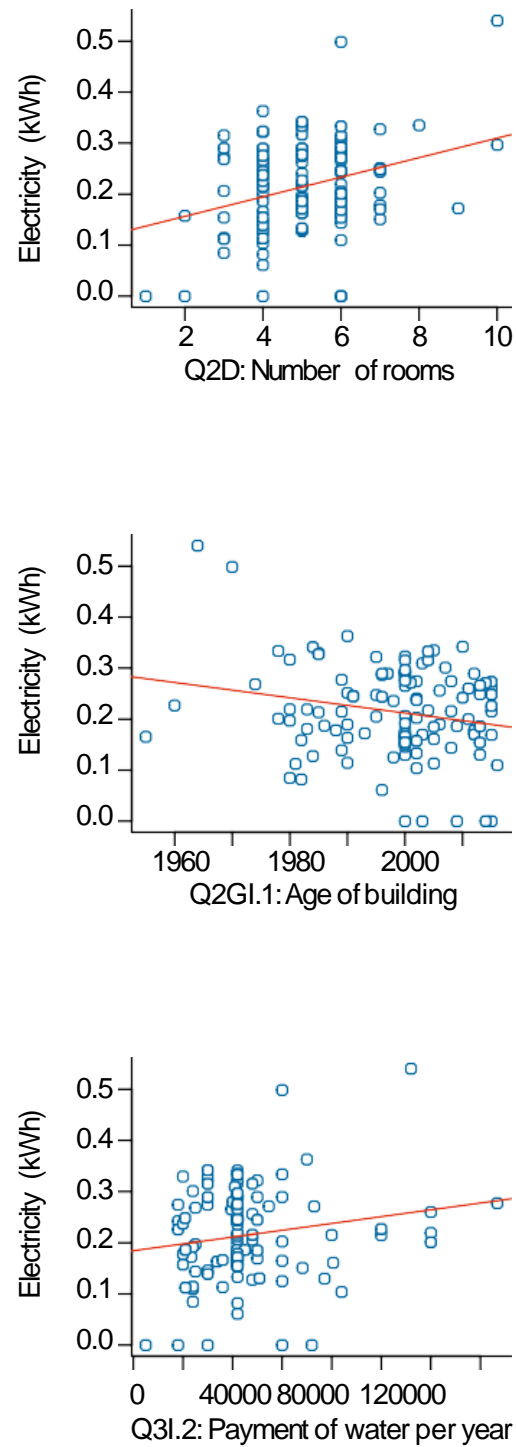
このような住まい手に関する情報とエネルギー使用量の間のより複雑な関係を見るために、電気、ガス、および水のそれぞれについて、図 5.4 にエネルギー使用量の実際の値に対する特徴値の散布図を示す。ガスと水のエネルギー使用量の間には明確な関係は見られないが、電気エネルギー使用量には正の相関関係が見られる。ピアソンの相関係数は、以前の住居の部屋数、以前の住居の年齢、以前の住居での年間の水の支払いに対してそれぞれ 0.31, 0.21, 0.17 である。さらに、以前の住居の部屋数と以前の住居の年齢は、有意水準 $\alpha = 0.05$ で統計的に有意である。

したがって、住まい手が以前の住居でより多くの部屋数を持っている場合、彼らは現在の住居でもより多くの電気エネルギーを使用する傾向がある。さらに、住まい手が古い住居に住んでいた場合、より多くの電気エネルギーを使用して室温を維持する必要がある。彼らは、現在の住居で必要とされるよりも多くの電気エネルギーを使用する傾向がある。

上位 25 個の情報では、電気とガスが 4 つの情報を共有し、電気と水が 1 つの情報を共有し、ガスと水が 10 の情報を共有する。この結果は、給湯にガスと水が同時使用されているためである可能性がある。さらに、これは、ランダムフォレストに基づく特徴の分析が効果的であることも示唆している。

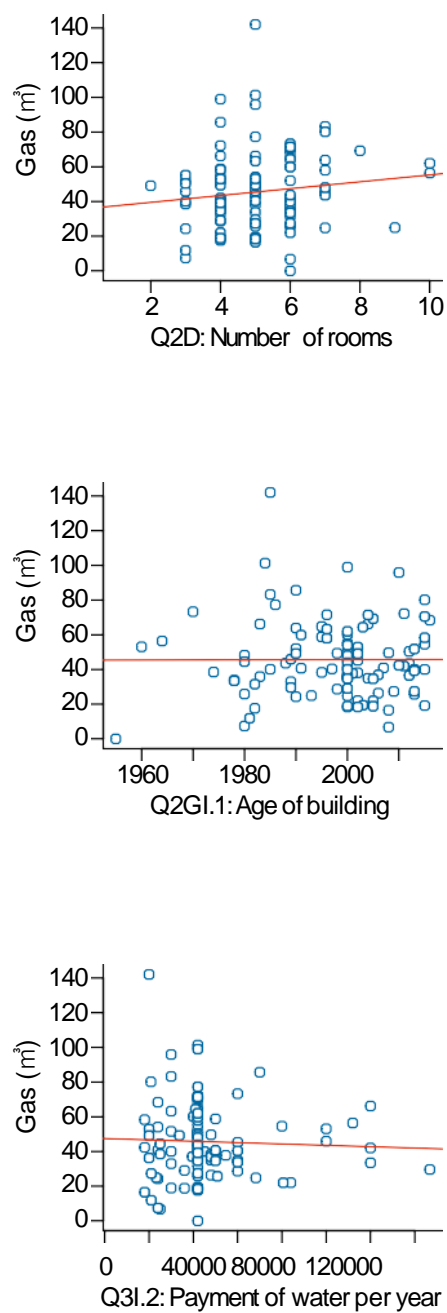
表 5.2 ランダムフォレストで使用した上位25個の質問内容

Question type		Type	Description
Questions about previous residence			
Q3I.5	Payments of gasoline per year	Numerical	Value
Questions about attributes			
Q6B.1	Relationship with family member	Nominal	head of household, spouse/partner, child, grandchild, father/mother, grandfather/grandmother, others
Q6BI	Age of family	Numerical	Value
Q6TM.1.7	Other family member exists	Nominal	1 (yes), 0 (no)
SNEN	Age of head of household	Numerical	Value
Questions about behavior			
Q6A.5	Duration of stay at home (weekday)	Numerical	Value
Q7I.2	Duration of empty of home (weekend)	Numerical	Value
Q10	Reason of not saving energy	Nominal	time consuming, bothering, expensive, no merit, others
Q15.12	Clean air conditioner filter	Ordinal	1 (yes) – 4 (no)
Q15.13	Turn off lights of unused rooms	Ordinal	1 (yes) – 4 (no)
Q15.27	Adjust set temperature of heating toilet seat	Ordinal	1 (yes) – 4 (no)
Q15.28	Close toilet lid	Ordinal	1 (yes) – 4 (no)
Q18D	Often go out	Ordinal	1 (yes) – 4 (no)
Q18L.2	Set temperature of heating system	Numerical	Value
Q21BM.5	Use laptop to see HEMS message	Nominal	1 (yes), 0 (no)
Q21C1.2.4	See HEMS message of “open window”	Nominal	1 (yes), 0 (no)
Q21D.1.2	See HEMS message before going out (weekday)	Nominal	1 (yes), 0 (no)
Q21D.2.2	See HEMS message before going out (weekend)	Nominal	1 (yes), 0 (no)
Q21D.2.12	See HEMS message during cleaning	Nominal	1 (yes), 0 (no)
CB.1	Close window without using air conditioner in summer	Ordinal	1 (yes) – 4 (no)
CB.7	glide at floor	Ordinal	1 (yes) – 4 (no)
Questions about possession			
Q14.1.2	Bring air conditioner from the previous residence	Nominal	1 (yes), 0 (no)
Q14.1.3	Newly buy air conditioner	Nominal	1 (yes), 0 (no)
Q14.36.3	Newly buy clothes dryer	Nominal	1 (yes), 0 (no)
Q14.56.4	Newly buy energy saving dishwasher	Nominal	1 (yes), 0 (no)
Q14.71.3	Newly buy lighting device	Nominal	1 (yes), 0 (no)
Q14.77.3	Newly buy shaver	Nominal	1 (yes), 0 (no)
Q19.2.5	Current car is neither gas, hybrid, diesel, nor electricity	Nominal	1 (yes), 0 (no)
Questions about consciousness			
Q13.7	Get information of energy saving from local community	Nominal	1 (yes), 0 (no)
Q21ASQ.7	Do not see HEMS message due to other reasons	Nominal	1 (yes), 0 (no)
Q21C1.3.5	Use HEMS for heatstroke prevention message	Nominal	1 (yes), 0 (no)
Q21E	Visualization is effective for energy saving	Ordinal	1 (yes) – 4 (no)
Q30.4	Local environment is attractive when buying the condominium	Nominal	1 (yes), 0 (no)



(a) Electricity energy consumption against number of rooms (top-left), age of building (top-right), and payment of water per year (bottom) at the previous residence.

図 5.4 重要な質問とエネルギー使用量の関係



(b) Gas energy consumption against number of rooms (top), age of building (middle), and payment of water per year (bottom) at the previous residence.

図 5.4 重要な質問とエネルギー使用量の関係

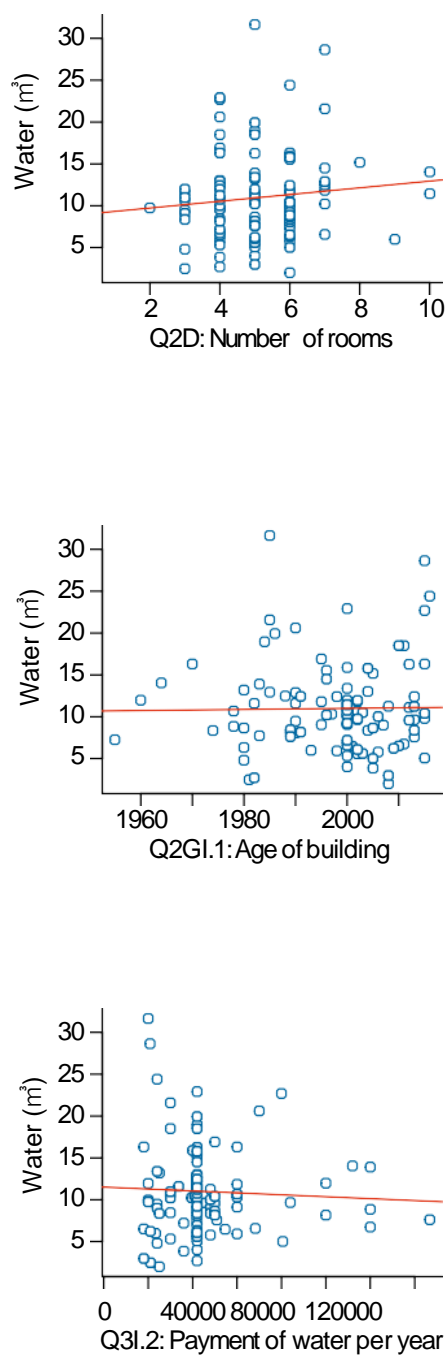


Figure 8: Water energy consumption against number of rooms (top), age of building (middle), and payment of water per year (bottom) at the previous residence.

図 5.4 重要な質問とエネルギー使用量の関係

5.5 まとめ

本章では、過去のエネルギー使用記録を使用せずに、アンケートで得られた住まい手に関する情報からエネルギー使用量を正確に予測できることを示した。

さらに、予測で利用される情報の重要性を分析し、アンケートの提出日に関する情報と現在の居住地だけでなく、以前の居住地に関する情報も予測に不可欠であることを示した。

これらの結果は、以前の文献が性別、年齢、就労形態などの住まい手の本質的な属性を研究しているものと比較し新しい発見であり、これまで調査されていないものである。

今後は、異なる集合住宅から得られる他のエネルギー使用量データを使用して本研究のアプローチを検討し、社会的な実装を行うことである。また、本章に示されている情報を使用して、新しい住まい手のエネルギー使用を予測できるため住宅事業者と協力し、住まい手向けの情報提供を行うことも可能であると考ええる。

さらに、このアプローチを使用して、エネルギー使用量の大きい住まい手を抽出できるため住まい手に有益なアドバイスを提供できれば、省エネルギーを促進することが可能であると考ええる。

参考文献

- 1) El-Baz, W., Tzscheutschler, P. : Short-term smart learning electrical load prediction algorithm for home energy management systems, *Applied Energy*, 147, pp.10-19, 2015.
- 2) Tso, G. K. F., Yau, K. K. W. : Predicting electricity energy consumption: A comparison of regression analysis, decision tree and neural networks, *Energy*, 32, pp.1761-1768, 2007.
- 3) Arghira, N., Hawarah, L., Ploix, S., Jacomino, M. : Prediction of appliances energy use in smart homes, *Energy*, 48, pp.128-134, 2012.
- 4) Baker, K. J., Rylatt, R. M. : Improving the prediction of UK domestic energy-demand using annual consumption-data, *Applied Energy*, 85, pp.475-482, 2008.
- 5) Hong, T., Taylor, L., Sarah C., D'Oca, S., Yan, D., Corngati, S. P. : Advances in research and applications of energy-related occupant behavior in buildings, *Energy and Buildings*, 116, pp.694-702, 2016.
- 6) Martinaitis, V., Zavadskas, E. K., Motuzienė, V., Vilutienė, T. : Importance of occupancy information when simulating energy demand of energy efficient house: A case study, *Energy and Buildings*, 101, pp.64-75, 2015.
- 7) Zhang, D., Li, S., Sun, M., O'Neill, Z. : An optimal and learning-based demand response and home energy management system, *IEEE Transactions on Smart Grid*, 7, pp.1790-1801, 2016.
- 8) Gerarden, T. D., Newell, R. G., Stavins, R. N. : Assessing the energy-efficiency gap, *Journal of Economic Literature*, 55, pp.1486-1525, 2017.
- 9) Seligman, C., Kriss, M., Darley, J. M., Fazio, R. H., Becker, L. J., Pryor, J. B. : Predicting Summer Energy Consumption from Homeowners' Attitudes 1, *Journal of Applied Social Psychology*, 9, pp.70-90, 1979.
- 10) Frederiks, E. R., Stenner, K., Hobman, E. V. : Household energy use: Applying behavioural economics to understand consumer decision-making and behaviour, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 41, pp.1385-1394, 2015.
- 11) Team, R. C. : R: a language and environment for statistical computing [online]. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria 2018,
- 12) Liaw, A., Wiener, M. : Classification and regression by randomForest, *R news*, 2, pp.18-22, 2002.

第6章 省エネルギーに関連した住まい手の意識・行動・情報欲求に

関する研究

6.1 はじめに

近年、エネルギー使用量の増加傾向が続く民生部門では大きな削減目標が設定され、家庭部門では 39%減が目標とされている¹⁾。住宅の断熱・気密を高めるとともに、エアコンや床暖房などの設備機器の性能を上げることは重要であるが、加えて住まい手の行動が省エネルギー的になることが重要である。電灯を細めに消す、室温の調整を暖房では低めに、冷房では高めにするなど住まい手行動の典型であるが、これらは住まい手に我慢を強いる傾向が強いので、省エネルギー効果を持続させることが難しいと考えられる。

そこで、省エネルギー行動を誘発し、しかも持続させるための方法として、住まい手にモニター画面を通して、エネルギー使用量や生活情報を知らせることにより、エネルギーの適切な使い方を知らせ、使い過ぎを認識させるためのホームエネルギーマネジメントシステム(HEMS)と呼ばれる仕掛けがある。HEMS を閲覧した人は、閲覧する前と比較してエネルギー使用量が小さくなるが、その一方で、HEMS の閲覧頻度は、導入時点からの時間経過とともに徐々に減少するという研究結果もある²⁾。したがって、現段階では HEMS が省エネルギー行動を持続させるとは断言できない。

そこで、住まい手の住居内での振る舞いは個々人の自由なのだから、エアコンや洗濯機などの設備をコンピューター・インターネットと接続して、住居内の温度湿度や家電の運転時間を、快適性を損なわないように、しかもエネルギー使用量が小さくなるような制御方法を見出すための研究³⁻⁶⁾も行われてきた。例えば、塚本ら⁶⁾は、そのような制御機能付きの設

備機器による省エネルギー効果がどの程度あるかを研究している。

一方、制御機能付きの設備機器ではなく住まい手の行動による省エネルギー効果がどの程度あるかの研究⁷⁻¹³⁾も行われている。上野ら¹⁰⁾は、節約意識を促すための情報を与えると、約20%の省エネルギー効果のある行動が現れたと報告している。しかし、与えた情報が「節約」のみで、その情報が本当に省エネルギー効果を増加させたかどうかは不明である。したがって、住まい手の行動が意識と関係しているのか否か、関係しているのであれば、どのようにかを研究した例は少なく、特に意識の在り様が省エネルギー行動とどのように関係するかを取り上げた例はない。

したがって、住まい手の行動と意識の関係を研究する必要がある。特に、現代生活全般に関して与えられる情報が省エネルギー効果にどのように関係するかの研究が必要である。テキストマイニング¹⁴⁾の手法を用いて行動変容効果を分析する研究¹⁵⁾や、行動経済学におけるナッジ¹⁶⁾に注目した研究¹⁷⁾によると、住まい手に省エネルギーになる行動の情報を提供し啓発するという直接的な方法ではなく、住まい手の心理を探り、住まい手が省エネルギー効果のある行動をするための動機を明らかにし、その動機を刺激することで自然に無理なく省エネルギー効果のある行動をしてしまう方法を明らかにしようとする試みが注目されつつある。

これらの研究は、エネルギー使用量削減を住まい手に促すための意識を発現させる手法を見出すことを目指したものであるが、これらの研究で取り上げられている住まい手への情報は、省エネルギーに特化した内容であり、住まい手がもともと認識している自身の生活の課題や願望は含まれていない。

以上のことから、住まい手に敢えて「省エネルギー」を意識させることなく、しかし、実のところ、省エネルギー効果を創発させるにはどうしたらよいかは重要だと筆者らは考えるに至った。そこで、筆者らは、住まい手が省エネルギー効果のある行動をとるためには、住まい手が日常生活で課題としていることの解決や願望の達成を目的とした情報提供をきっかけとすれば、そのための行動をとる可能性はとても高いはずである。そして、住まい手に与えられる情報が、日常生活の課題解決や願望達成という目標に直接関係し、しかもエネルギー削減につながるような内容とすることができれば、住まい手は、省エネルギーを意識せずして、省エネルギー効果のある行動をとることができると考えた。

そこで本研究では、住まい手の課題解決や願望達成のための情報への興味喚起が期待でき

る行動を抽出し、その中で省エネルギー効果と関連のある生活行動を対象に、住まい手が興味を示してから行動をとるまでの変容の可能性とその容易度を知るために、認知（知っているか）、実践（実行しているか）、情報取得意欲（関連する情報が欲しいか）に対する住まい手の意識の在り様を対象とした調査を行い、省エネルギーと関連する行動が、意識とどのように関係しているかを分析・検証することにした。

6.2 調査の対象と方法

6.2.1 調査の対象

調査対象は、現代の都市住まい手実態に即した結果を得るために、近年戸建住宅と比較し増加傾向にある新築集合住宅への入居者を想定した。近い将来標準となる先導性の高い建築・設備仕様を有した集合住宅を供給予定の事業者が、より効率的に入居者を募るために実施した購入者属性を推定する分析結果¹⁸⁾を参照し、事前に以下の様にスクリーニング条件を設定し、解析に十分な数として取得目標サンプル数を1030とした。①男女比(1:1)、②首都圏在住者(1都3県)、③年代(30代:40%, 40代:40%, 50代・60代:20%)、④既婚、⑤持ち家集合住宅住まい手(住宅購入時価格3000-7000万円、2000年以降購入) 調査方法は、インターネットによるアンケート方式(WEB調査)を採用し、省エネルギー意識は問わない事とした。調査会社¹⁹⁾は、厳正な調査を実施するため、品質管理ポリシーを精査し、決定した。調査期間は、2014年12月19日(金)~21日(日)とした。

6.2.2 設問分野の決定

どのような生活行動に興味・関心をもっているか、どのような省エネルギー関連情報が望ましいかを念頭に、生活にまつわる情報として各種市場調査を確認し、家事の時短、食生活、美容、健康、節約、快適の6分野を設定・分類した。6つの分野は、既往の市場調査結果²⁰⁾²¹⁻²⁵⁾から検討・決定し、分野毎の設問数を10とし、設問数合計60設問とした。

6.3 設問内容と回答方法並びに分析概要

6.3.1 設問内容

設問は、省エネルギー効果のある行動変容を起こす可能性がある情報として、直接省エネルギーを訴える情報ではなく、結果的に省エネルギーに関連する生活情報・設問を多く設定している点に特徴がある。さらに、回答者へ省エネルギーを意識させることがないように、アンケート全体の題目を「ご自身に関するアンケート」として回答者を募り、本設問の冒頭に「時短・食生活・健康・美容・節約・快適に関する質問に対してお伺いす。」とした。具体的な省エネルギーとの関連性を表 6.1 に、具体的な設問内容を表 6.2 に示す。設問(行動)毎に省エネルギーの関連性は異なる。例えば、「3. 健康」の設問5や、「4. 美容」の設問2などは、住まい手自身の生活習慣から体と環境の関係への興味喚起のきっかけとなり、省エネルギーとの関連性は間接的ではありながら全く認知されなかった場合より、住まい手自身が、省エネルギーへの関わりへ近づくことを狙い設定している。また、「3. 健康」の設問3のように一義的には省エネルギー行動ではないものの、断熱強化への気づきに期待するものや、「4. 美容」の設問8の行動により、加湿器の過剰な利用を低減することになるものは、行動と省エネルギーの関わりが比較的強いものである。

表 6.1 認知度・践度・情報取得意欲度に関する設問と省エネ関連性

各行動と省エネルギーとの関係(重複の場合あり)					
	a 家電使用時間の低減	b 利用量の低減	c 利用量の低減(住宅以外)	d 省エネ機器の選定	e 住宅の省エネ性能認知
1 家事の時短	1.2.3.5.6.7.8.9.10	4			
2 食生活	1.2.3.4.8.10	6.7.9			5*
3 健康	1.4.10	8	6*7*	2.3	3*.8*
4 美容	5*.8*.9*	1.6.7.10		3.10	2*.4*
5 節約	5*.9*	1.2.3.4.6.7.8	10*	8	
6 快適	1.2.3.9*.10		4*.5*.6*.7*.8*		
上記の事例					
カテゴリ番号	関係種別	設問番号			
2	f	5	自然・四季を活かした生活の知恵の習得		
3	c	6	交通エネルギーの不利用・外出によるエアコン未使用		
3	c	7	物流エネルギーの不利用		
3	e	3,8	建物全体の断熱性能課題認知		
3	f	5	自然・四季を活かした生活の知恵の習得		
3	f	9	生活習慣の見直しをきっかけ		
4	a	5,8	加湿器利用の低減		
4	a	9	交通エネルギーの不利用・外出によるエアコン未使用		
4	f	2,4	生活習慣の見直しをきっかけ		
5	c	10	交通エネルギーの低減		
6	a	9	個室暖房利用の低減		
6	a	4-8	製造エネルギーの低減		

表 6.2 認知度・践度・情報取得意欲度に関する設問例と具体的な設問内容一覧

質問と選択肢の例			
質問	認知度選択肢	実践度選択肢	情報取得意欲度選択肢
使用後のお風呂にスーツをつる 1 すと湯気でしわが取れて、アイロ ンがけの手間が省ける。	1 知っている	1 実行している	1 関連する情報がほしい
	2 知らない	2 実行したい 3 実行しない 4 当てはまらない	2 関連する情報はほしくない
質問一覧			
1. 家事の時短			
1 使用後のお風呂にスーツをつるすと湯気でしわが取れて、アイロンがけの手間が省ける。			
2 乾燥機にかけるとき、乾いたバスタオルを1枚一緒に入れると乾燥時間が短縮できる。			
3 マットはまっすぐより斜めにずらして干すと早く乾くので、浴室乾燥や室内乾燥時に時間短縮できる。			
4 無洗米を使うと、とぎ汁が出ないので4.5L(3カップ時)の水を節約でき、洗う手間も省け簡単になる。			
5 なんとなく習慣で回している洗濯機、容量に合わせてまとめ洗いをすることで洗濯回数が減らせる。			
6 部屋を片付けてから掃除するだけで、掃除機がけ5分短縮、集塵バックを適宜交換で効率もアップする。			
7 やかんや鍋での加熱、タイマーを上手に使用えば加熱し過ぎを防げて、時間も上手に使える。			
8 食器洗い乾燥機は使う水の量が1/6、さらに洗っている時間に他の家事を済ませることができる。			
9 ガスコンロの自動炊飯キーなら、お鍋の直火炊きが20分で炊きあがる。食べる量をその都度炊いておいしく、しかも早くできる。			
10 冷凍グラタンや冷凍ピザは、オーブントースターよりもグリルで温めると早くおいしく仕上がる。			
2. 食生活			
1 ゆで卵は、水から卵を入れて沸騰したらすぐに火を止め、ふたをして5分で半熟卵が、もっと長く置けば完熟卵ができる。アルデンテパスタも同じようにできる。			
2 ガスコンロのグリルでプレートを使ってトーストを焼くと、約2分で外はパリッと中はもちっとした喫茶店のようなトーストができる。			
3 フライパンの上で15cmの円を書いたら大さじ1杯の油、塩小さじ1/2なら3本指でつまんで4回、目分量を覚えたら料理が早く上手になる。			
4 煮物料理で落し蓋をすると調理時間が半分に、さらに普通の調理時にも蓋を活用すると熱が上手に使える。			
5 美味しい旬の野菜は、新鮮で体のバランスを整えるのにも役立つ。			
6 ひたひたの水で蒸し茹でにすると、水の節約だけでなく、食材がふっくらおいしく仕上がりがり栄養素も丸ごと取れる。			
7 炎をなべ底からはみ出さないようにすると、鍋の取手が熱くなったり焦げる心配もなく、省エネになる。			
8 やかんや鍋を洗った後、鍋底についた水滴を拭き取ってから火にかけると、ガス量の節約と加熱時間の短縮になる。			
9 冷蔵庫は容量に合わせて適切な設定温度(例えば強→中)にすると、節電と上手な保存ができる。			
10 肉や魚をグリルで調理する時、付け合せの野菜も同時に焼くと、味が凝縮され美味しく時間も節約できる。			

3. 健康

- 1 ベッドは窓に面していない壁側に壁から少し離して置くと、夏は涼しく、冬も寒くなく快眠できる。
- 2 床暖房は、床からの放射熱で壁/天井の表面温度も上がり、足元が暖かいので“頭寒足熱”の快適な環境ができる。
- 3 寒い冬に裸になる脱衣室や浴室を暖房するとヒートショックを和らげ体への負担が減らせる。
- 4 お風呂から上がる前に、足元を中心にシャワーを使ってマッサージすると、風呂上がりの温かさが持続する。
- 5 ユネスコ無形文化遺産に登録された和食のバランスの良さを生かせば、体の中から健康増進に役立つ。
- 6 ちょっとした外出をマイカーから自転車や公共機関に切り替えれば、歩く距離も増えて健康にも役立つ。
- 7 ラベルチェックで産地を確認し、近くで取れた新鮮な食材を用いれば、健康にも役立つ。
- 8 ホットカーベットの下に断熱シートを敷くと熱が逃げないので暖かく過ごせる。
- 9 8020(80歳に20本の歯)を目標に、正しい歯磨きで健康な歯を長持ちさせることができる。
- 10 湯船につかって体の芯からあったまれば、血液の流れがよくなり免疫力が高まって、病気を防ぐのに役立つ。

4. 美容

- 1 冬の給湯温度設定は高くしがちだが、洗い物は38度で十分、この温度なら手荒れも防げる。
 - 2 口角をきゅっとあげるのを1日30回、1週間続けると表情が変わり上手なスマイルが出来るようになる。
 - 3 気流が生じない床暖房などを上手に使うと、睡眠効率も上がって、良い睡眠と「キレイ」につながる。
 - 4 野菜の必要量は1日350g、温野菜なら片手、生野菜なら両手いっぱい、それぞれ100g程度、目安を覚えれば上手に野菜が取れる。
 - 5 手洗後はしっかり水気を拭き、クリームを塗るときには手をグーにして、しわの間までしっかり塗ると手荒れを防げる。
 - 6 しっかりすすいでからシャンプーすることでシャンプーもよく泡立ち、モチ髪が作りやすくなる。
 - 7 グリルを使って揚げ物のあたため直しをすると、油が程よく落ちて手軽でヘルシーになる。
 - 8 3歳若返る肌の手入れは、基本に忠実に汚れを落とし、化粧水などで水分を補給し、乳液などで膜を作る。
 - 9 1日1万歩歩けば、筋肉の70%がある下半身が鍛えられ、背筋を伸ばし大股でさっそうと歩くとスタイルもよくなる。
 - 10 ミストサウナ浴は、シャワー浴より毛穴が広がり汚れが取れやすく、頭皮の血行も促進されて頭皮ケアにも役立つ。
-

5. 節約

- 1 通常の混合水栓は、真ん中にしておくと水とお湯の混合水になるので、お湯と水はしっかり使い分けるようにする。
 - 2 お風呂を沸かすときや入浴後は、蓋をすることでお湯が冷めにくく節約にもなる。
 - 3 シャワー1分で12リットルもお湯を使うので、シャワー時間を短くすれば大幅な節約になる。
 - 4 セーター1枚で2度の効果があるので、少し厚着をして暖房設定温度を下げれば、大幅な節約が可能になる。
 - 5 扇風機やうちわで体感温度を下げれば、設定温度を上げたり冷房時間を減らせて節約になる。
 - 6 エアコンフィルターを定期掃除すれば、目詰まりが解消されて効きが良くなるだけでなく省エネにもなる。
 - 7 暖房便座の蓋を開けたままにすると便座からの放熱でエネルギーを消費するので、使わない時は蓋をする。
 - 8 電球は、白熱電球より電球型蛍光灯ランプ、さらにLEDを選ぶと省エネ&節約になる。
 - 9 家電の待機電力は意外に大きいので、使わない時はプラグを抜く。省エネモード利用や機器本体の主電源オフでも省エネになる。
 - 10 カーナビやスマートフォン等で交通渋滞情報をチェックし道を選択すると、時間とガソリンの節約になる。
-

6. 快適

- 1 風上側の窓は細く、風下側の窓を大きく開けると、風が強く感じられて涼しくなる。
 - 2 フローリングワイパーを使うと、ほこりが立たずに手軽に掃除ができる。
 - 3 洗面所や台所にハンドタオルを用意し、ちょっとした汚れをすぐに拭き取るようにすれば、ひどい汚れにならないので週に1度の掃除が簡単になる。
 - 4 家で使わない割り箸やスプーン、レジ袋、粗品などはもらわず、無駄なものをため込まなければ家を快適に保てる。
 - 5 野菜の食べられる部分は切り方を工夫して全部利用すれば、ごみも少なくごみ捨ても楽になる。
 - 6 生ごみをぬらさずに新聞やチラシで作ったごみ入れに捨てれば、水分が早く蒸発するのでごみの量が削減できて、臭いも少なく快適になる。
 - 7 長く使う物は、いい物を買えば、耐久性もあり丁寧に使う習慣もつき、結局は安物買いの銭失いを防ぎ家計も助かる。
 - 8 断捨離(だんしゃり)は、まずはみ出している食器や服を処分から始め、収納の買い足しはその後を考える。
 - 9 リビングルームを床暖房にすると、埃もたたないので快適に過ごせるだけでなく、家族が集まるようになる。
 - 10 夏は日差しをよけるためにレースのカーテンやブラインドを下ろし、冬は長めのカーテンで冷気を防ぐことで快適に過ごすことができる。
-

6.3.2 回答方法

各設問に対し、表 6.3 の選択肢を設定し、回答を求めた。これらの選択肢は、先ず、生活情報を知っているか否かという「認知度」、次に、実行事実または意欲の有無という「実践度」、さらに、関連する生活情報がほしいか否かという「情報取得意欲度」という、住まい手の意識と行動の流れを想定して設定している。

表 6.3 質問に対する選択

Choices of questionnaire					
Recognition		Behavior		Information	
Category	1	Well-known	1	Practicing	1
			2	Want to practice	
	2	Unknown	3	Don't practice	2
			4	Not applicable	

6.3.3 分析概要

これらの回答結果に基づく分析概要を図 6.1 に示す。分析の一つは、生活行動全体について意識と行動の関係を明らかにすること、もう一点は、意識と行動の差を属性別に分析しようとするものである。

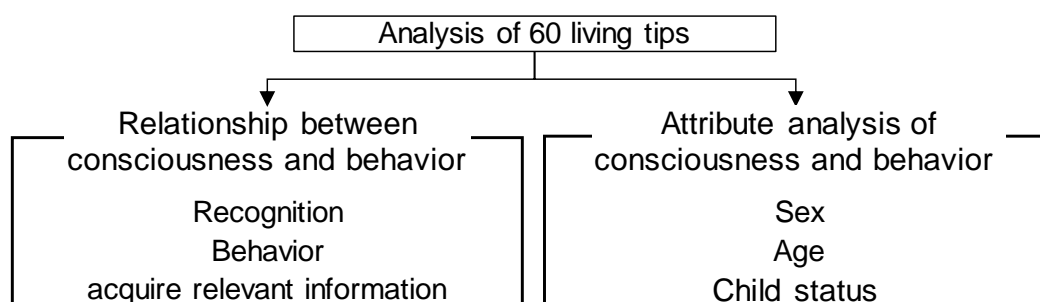


図 6.1 分析概要

6.4 結果

6.4.1 回答者の属性

回答者の属性を図 6.2 に示す。男女比 (a)、年代 (c, d) は、スクリーニング条件通りであり、首都圏在住者、既婚、持家集合住宅住まい手の条件も満たしている。子供の有無 (b) では、子供有世帯 70%、無世帯 30%である。平均年収は約 840 万円でやや高い所得層 (e) と言える。職種構成 (f) は、会社員 50%、専業主婦 (夫) 30%、パートタイマー10%、となっている。

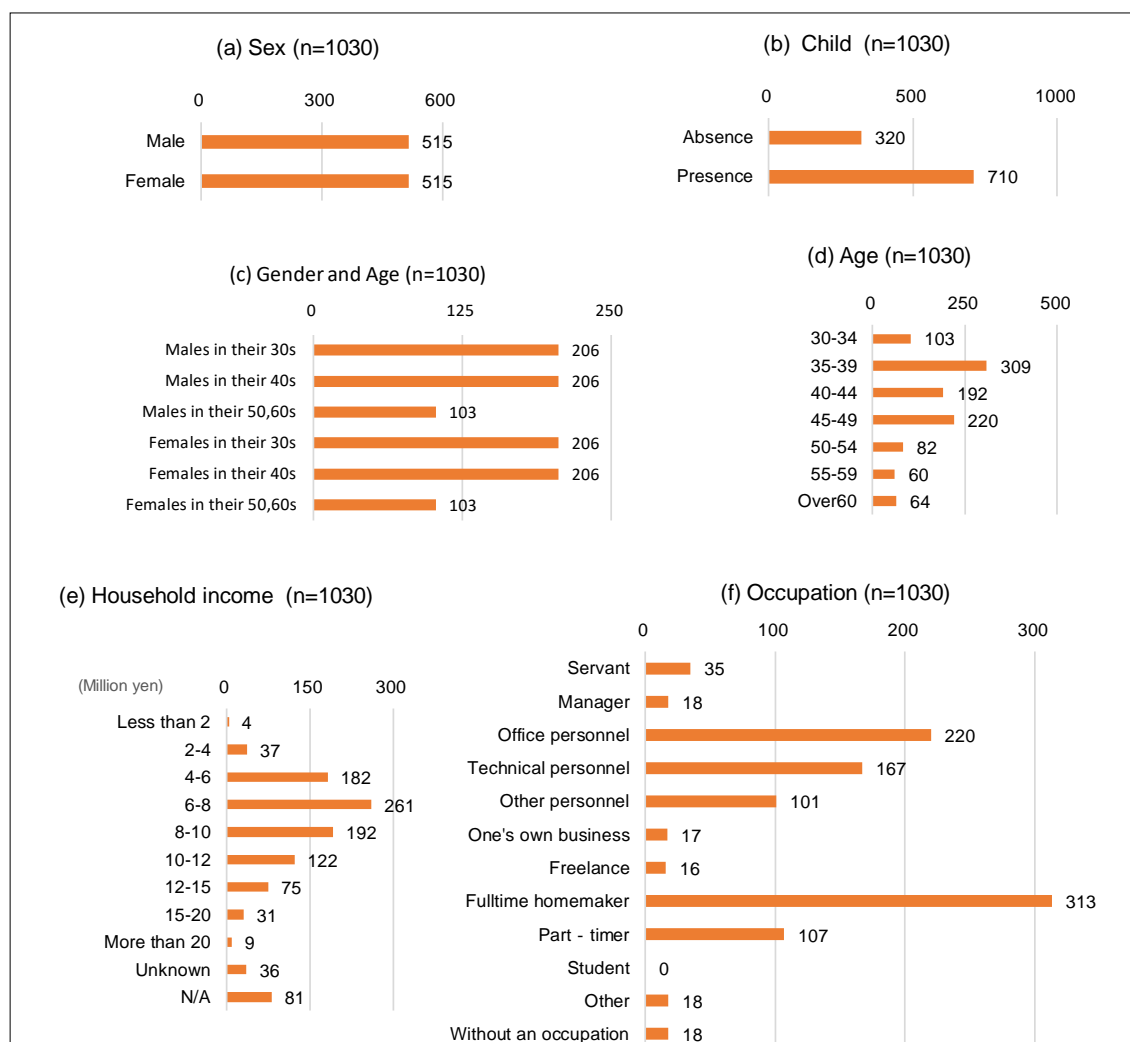


図 6.2 回答者の属性

6.4.2 意識と行動について

6.4.2.1 回答パターンと回答数について

図 6.3 に表 6.3 で示した選択肢に対する回答パターンと回答数を示す。60 の設問に対して 1030 人の回答により、61800 の回答を得た。認知度、実践度、情報取得意欲度の組合せによる回答パターンは 16 あり、最多パターンは、「知っている－実行している－情報がほしい」が 12377 で全回答の 20.0%，次いで、「知らない－実行したい－情報がほしい」が 8811(14.3%)，「知っている－実行したい－情報がほしい」が 8254(13.4%)と、行動意欲を示すパターンが続く、この 2 つを合わせた割合も 30% 近くとなった。一方で、「知らない－実行しない／当てはまらない－情報は要らない」のパターンが合わせて 9108 で、14.7% 存在している。認知度、情報取得意欲度の回答には考慮せず、実践度で「実行している／実行したい」を積極型、「実行しない／当てはまらない」を消極型とすると、前者が 72%，後者が 28% であり、積極性の高い意識を持つ人が多い傾向がうかがえる。

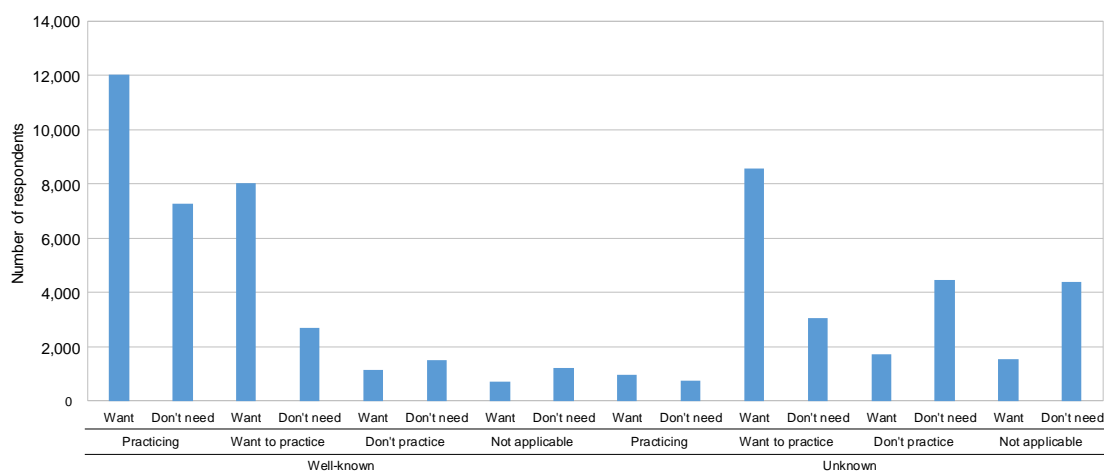


図 6.3 選択肢に対する回答パターンと回答数

6.4.2.2 意識・行動と性別の関係

認知、実践、情報取得意欲の各々について性別との関係を分析する。図 6.4 では、性別毎の回答数の差と、性別の回答比率を比較し検定を行った結果を示す。認知度、実践度、情報取得意欲度は、性別による有意差が認められた($p < 0.01$)。性別の回答比率の検定には、 z 検定を用いた。 z 検定は、正規分布を用いる統計学的検定法で、標本と母集団との比率の比較が統計学的にみて有意に異なるかどうかを検定する方法である。図 7 では、「知っている」

「知らない」の回答において男性と女性の回答率に有意差が認められた場合に、低い方から高い方へ向かう矢印を示している。具体的には、「知っている」という回答では、男性の回答から女性の回答に矢印が向かい、男性よりも女性の方が回答している割合が多いと認められた、という事を示している。以降のz検定結果の見方も同様である。有意差が認められない場合は、矢印は示していない。

認知度、実践度、情報取得意欲度は、性別による有意差が認められた($p<0.01$)。「知っている」、「実行している」、「情報がほしい」では、女性の方が多く、「知らない」、「実行したい」、「情報は要らない」では、反対に男性の方が多かった。2.2で分野設定の参照とした既往の意識調査²⁶⁻³³⁾と比較すると、各分野において女性の方が男性より意識が高い結果となっている。これら既往の調査結果は、本調査結果である女性の意識の高さと一致する。これらの結果より、省エネルギーに関連した生活行動は、意識が高い女性を対象とすることが有効と考える

6.4.2.3 意識・行動と年代の関係

認知、実践、情報取得意欲と年代との関係について分析する。図6.5では、年代別の意識、行動の差を示す。年代間の比率を比較し、z検定を行った結果も示す。

認知度の年代間の比較では、高年代ほど認知度・実践度ともに高く60才以上が最高で、最低の30代よりもそれぞれ約10%高くなっている。一方で、実行意欲(実行したい)は実践度とは逆に、30代で最も高くなっている。情報取得意欲度では、全ての年代で「情報がほしい」が多かったが、50代が他の年代に比べて「情報がほしい」割合がやや高い傾向であった。前述の既往の年代別意識調査²⁶⁻³⁵⁾では、家事の時短と快適については意識の年代差は見られない。食生活と健康については年代が高くなるにつれて意識が高くなっているが、特に50代が他の年代と比べて高いことは、本調査結果で「情報がほしい」の割合が50代でやや高いことと一致する。美容と節約については20代が最も高く、年代が高くなるにつれて低くなる。既往調査と本調査の結果を総合すると、生活行動への意識と年代の関係については分野によって異なる傾向があることが示唆される。

6.4.2.4 意識・行動と子供の有無の関係

認知、実践、情報取得意欲の意識・行動と、子供の有無との関係を分析する。図6.6では、子供の有無毎の回答差を示し、回答数の比率を比較し、z検定を行った結果を示す。

認知度、実践度、情報取得意欲度は、子供の有無による有意差が認められた($p<0.01$)。子供がいる世帯の方が、認知度、実践度ともに高く、一方で、実行意欲（実行したい）と情報取得意欲（情報がほしい）は、子供がいない世帯の方が高かった。

既往の子供の有無別意識調査^{33,36-42)}によれば、家事の時短、食生活、節約、快適については、子供なしより、子供ありの意識が高い。一方、健康管理の実践度と美容の意識は、子供ありより、子供なしの方が高い。このように既往調査では、家事の時短、食生活、節約、快適の4分野と健康、美容と2分野では、異なる傾向がみられた。本調査結果では、子供の有無による認知度・実践度、情報取得意欲度が異なることを示したが、分野別の分析には至っておらず、より詳細の分析が今後の課題と言える。

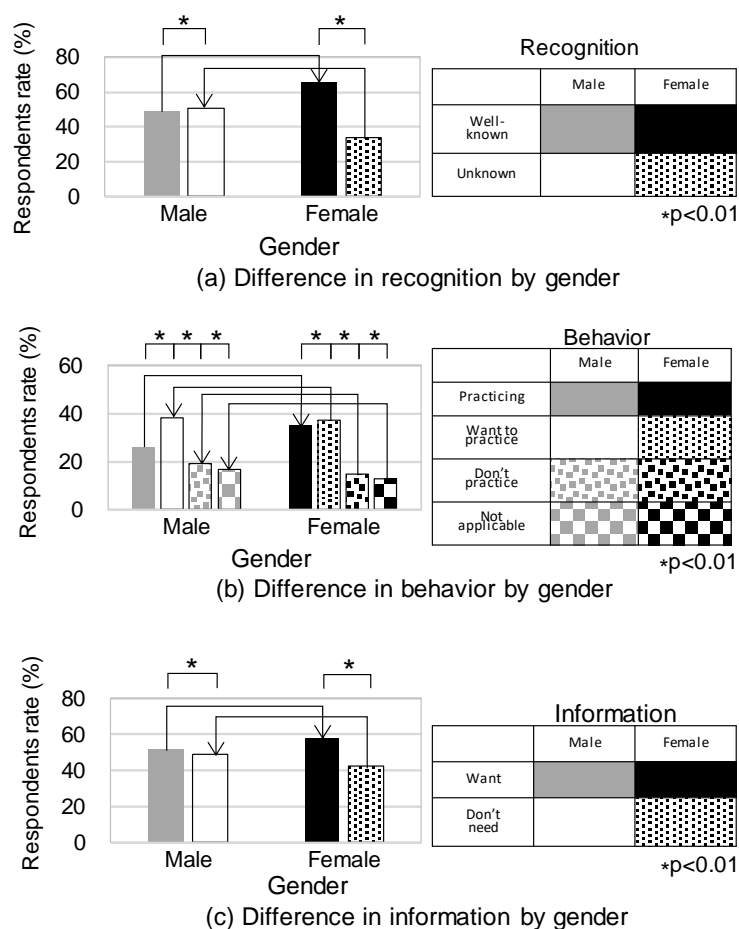
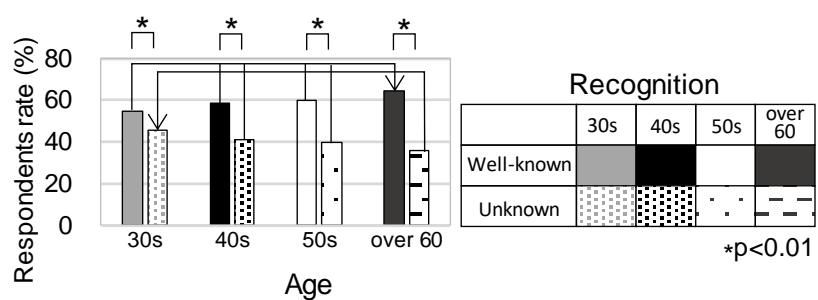
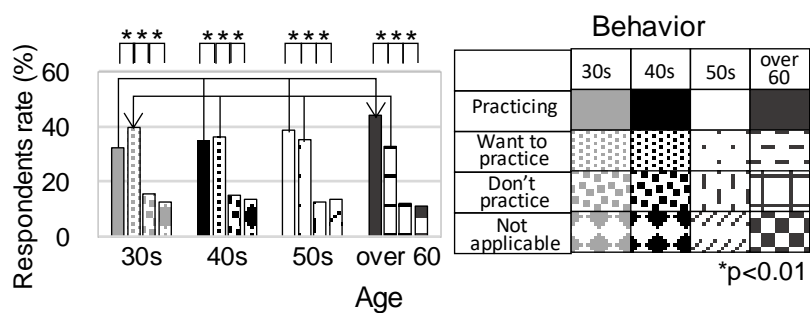


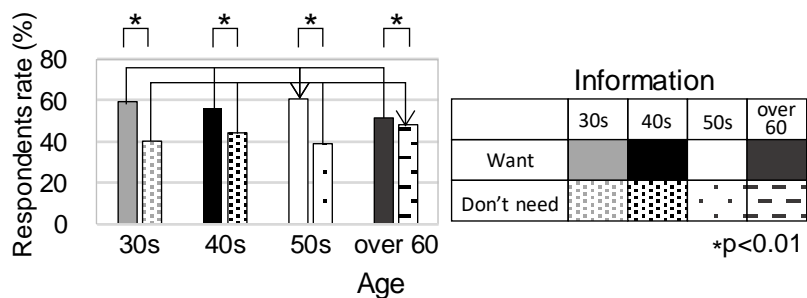
図 6.4 性別による認知度・実践度・情報取得意欲度の関係



(a) difference in recognition by age



(b) Difference in behavior by age



(c) Difference in information by age

図 6.5 年代別による認知度・実践度・情報取得意欲度の関係

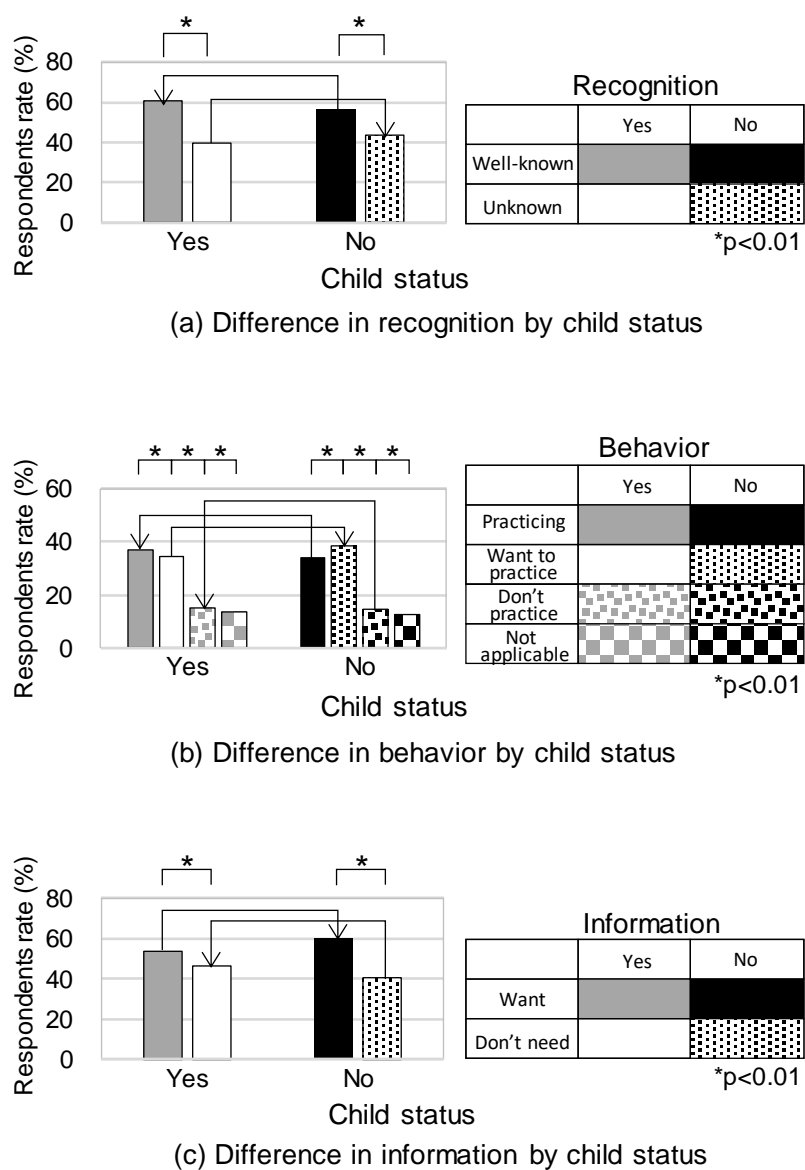


図 6.6 子の有無別による認知度・実践度・情報取得意欲度の関係

6.4.3 省エネルギーに関連する意識・行動・情報欲求のモデル化

以上の結果より、省エネルギー効果のある行動に係る意識や実践等について以下のような結果が得られた。

- 1) 知っている人の中では、実行している人が最も多い。
- 2) 知らない人の中では、実行したい人が最も多い。
- 3) 実行している、実行したい人は、情報取得意欲が高い。

4) 知っている人, 知らない人共に情報がほしい.

1)~4)の結果から考えられる, 意識と行動の関係について整理し, 意識・行動・情報欲求モデルとして可視化し, 図 6.7 に示す.

前節の結果から, 認知度, 実践度, 情報取得意欲度の各々の選択肢同士を結び, 関係を表す. 図中, 回答数の多い割合の関係を太線で示す. 明らかに意識に差がある傾向は, 太い実線と太い点線に大別される. 前者(太実線4パターン)を「意識行動積極型」, 後者(太点線2パターン)を「意識行動消極型」と呼ぶことにする.

意識行動積極型は, 全体の約60%で過半を超える回答数であり, 意識行動消極型は約15%である. 3.2.1で既に表示したが, 積極型を「実行している/実行したい」(細実線含む), 消極型を「実行しない/あてはまらない」(細破線含む)の全てにそれぞれ拡張すると, 前者は約72%, 後者は約28%となる.

意識行動積極型の内, 「知っている-実行している-情報がほしい」のパターンは, 既に実行済だけでなく, 情報取得によって, 省エネルギー効果のある行動種類を拡張させる意欲がある可能性が考えられる. 「知らない-実行したい-情報がほしい」のパターンは, アンケートによって知り得た生活情報に興味喚起し, 実行意欲が湧き, 関連情報の取得意欲を持つ, という一連の意識と行動の変容プロセスを形成する可能性を示唆している.

「知っている-実行したい-情報が欲しい」のパターンは, 実行はしていないが実行に移る確度が極めて高いと推察される.

一方, 拡張した意識行動消極型は全体の28%存在し, この回答者に行動変容を促すのは難しいと考えられるが, この中で情報が欲しい人の割合が約9%あり, これらの人たちに何らかの興味喚起を促す情報を提供することは可能である. 問題は残りの19%であり, これらの人たちへの働きかけが課題と言える.

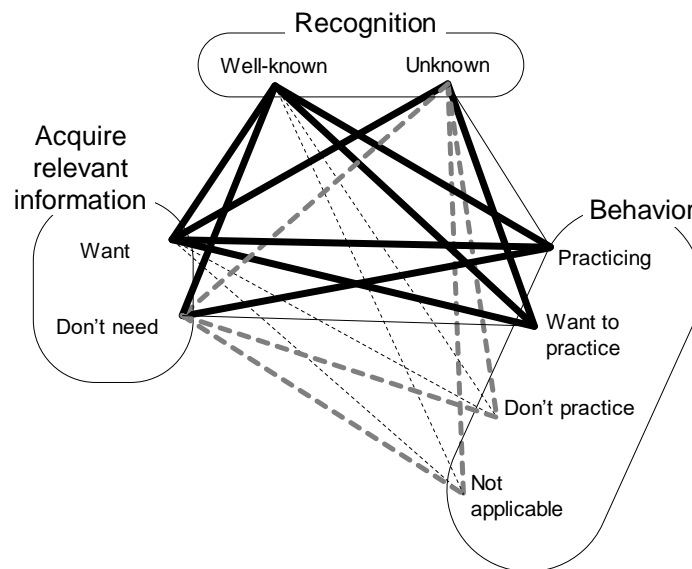


図 6.7 意識・行動・情報欲求のモデル

6.4.3.1 モデルにおける性別の特徴

省エネルギー効果のある行動に係る意識・実践等について以下のような男女別の特徴が得られた。

- 1) 男女それぞれ、「意識行動積極型」の割合が多い。
- 2) 男女の比較では、「意識行動消極型」の男性の割合が多い。
- 3) 「知っている」、「実行している」、「情報がほしい」は、女性が多い。

図 6.7 をベースとして、1)～3)の結果から考えられる、男女別の意識と行動の関係について整理し、図 6.8 として属性別に意識と行動の関係を具体化した。6.4.2.2 の分析結果（図 6.4）に対応した選択肢にそれぞれ着色し、回答数を着色した帯の横幅で表している。これらの結果から考え得る情報提供の在り方を示す。

- 1) 女性は認知度、実践度が高く、さらに情報を欲しており、住居内での生活密着度の高い情報提供が有効
 - 2) 男性は、認知度は低いが実行意欲はあるので、住居内生活行動への興味喚起を促す情報提供が有効
- 1)は、従来の生活スタイルの延長上で考えられるが、認知度に乏しい男性に対しても、現代の生活スタイルが変化してきていることを起点に、興味喚起を引き起こす適切で有効な情

報提供のあり方が提案できると考える。これらの結果は、生活密着度が高い設問であることから、女性の方が生活行動全般に対して日常から密着度が高い可能性があることを示唆している。また、女性は、情報取得意欲も高いことから生活行動をより良くしようとする意思がうかがえる。一方で、男性の「実行したい」という回答数の高さは、生活行動に関与したい潜在的な意識が表れたと考えることが可能であり、そのような意識に訴えかけることの有効性が示唆される。

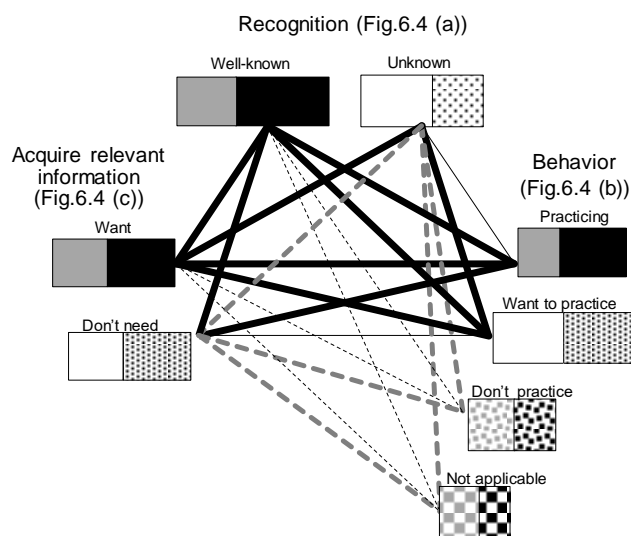


図 6.8 性別の意識・行動モデル

6.4.3.2 モデルにおける年代別の特徴

年代別について以下のような結果が得られた。

- 1) 全ての年代それぞれで、「意識行動積極型」が最も多い。
- 2) 30代は、他の年代と比べて「知らない」の割合が最も高い。
- 3) 30代、40代で、「実行したい」が最も多い。
- 4) 全ての年代で、「情報がほしい」が多い。
- 5) 50代が他の年代に比べて、「情報がほしい」の割合が高い。

図 6.7 をベースとして、1)～5)の結果から考えられる、年代別の意識と行動の関係について整理し、図 6.9 に示す。表記方法は、男女別と同様である。

これらの結果から考察できることを次に示す。

- 1) 生活経験年数の差に拘らず、情報取得意欲が高い。
- 2) 30・40代で、実行意欲が高いことから行動変容の可能性が高い。

1)について、生活行動の認知と実践には、生活経験年数の影響が認められる一方で、50代の情報取得意欲が高いことから、単に生活経験が長くなることで情報取得意欲が低下するものではないことがわかる。これは、年代に応じて生活で直面する課題が変化し、その都度、新しい生活行動へ対応する必要性が生じ、実践する楽しさを経験した結果に基づくと考えられることは可能である。

2)については、この世代が、家族の誕生や成長など変化の多い時期であるため、他の世代と比較して未知・未経験ないしはそれに近い状況に置かれることが多く、常に新しい行動や情報等への意欲が高く、それが行動変容に結び付けられるのではないかと考えることは可能である。

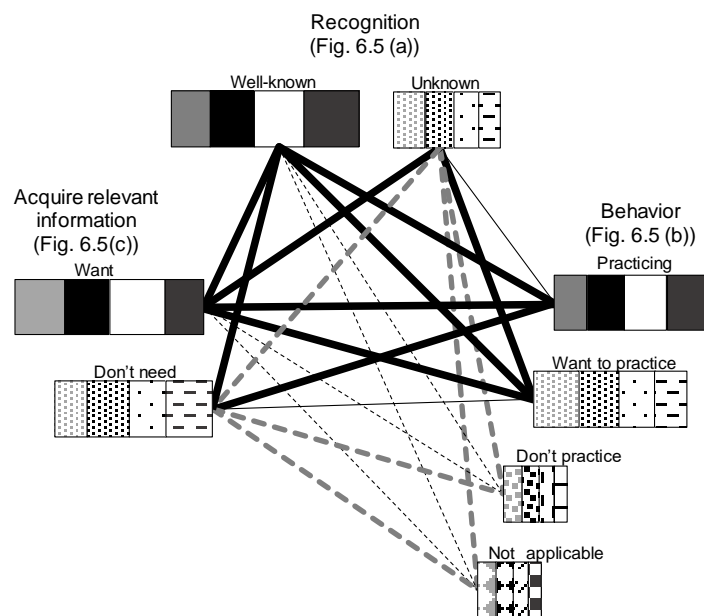


図 6.9 年代別の意識・行動モデル

6.4.3.3 モデルにおける子供有無別の特徴

子供の有無別に生活行動に対する意識・行動について以下のような結果が得られた。

- 1) 子供のいる、いない世帯それぞれ、「意識行動積極型」の割合が最も多い。
- 2) 「実行している」の割合は、子供のいる世帯の方が多い。
- 3) 「実行したい」の割合は、子供がいない世帯の方が多い。

4) 情報がほしい人の割合は、子供がいない世帯の方が多い。

図 6.7 をベースとして、1)～4)の結果から考えられる、子供の有無別の意識と行動の関係について整理し、図 6.10 に示す。表記方法は、男女別と同様である。

子供がいる世帯の情報取得意欲については、必要としない割合が多い(図 12)ことから、興味喚起を促す情報の在り方の吟味が必要と思われる。子供のいない世帯については、意識積極型の中でも実行したい割合が多い(図 11)ことから省エネルギー効果のある生活行動へと促すことが可能と考えられる。これらの結果から考察できることを示す。

1) 子供がいる世帯は生活経験の多様さ・豊かさの中で認知度、実践度等が高くなっている

2) 子供がいない世帯では、新しい生活経験への試み意欲が高い

1)については、子供の誕生で家族構成が著しく変化し、通常的生活情報だけではなく、子育てに関する情報の必要性が強く、子供の存在が行動変容を促す機会として大きいと考えることは可能である。一方で、情報取得意欲については、子育てに忙しくて時間的余裕がない等とも考えられるので、詳しく要因を分析することは今後の課題である。

2)については、子供がいない世帯では生活時間にも余裕があると考えられ、実行意欲・情報取得意欲の高さから、新しい行動への試み意欲が高いと考えることは可能である。但し、共働きで忙しく認知や実践に至らない、結婚して時間のたっていない状況では、生活行動全般が未経験なために認知度、実践度が低い、などが考えられる。これらを実証し、適切な情報提供のあり方に結び付けていく必要があると考える。

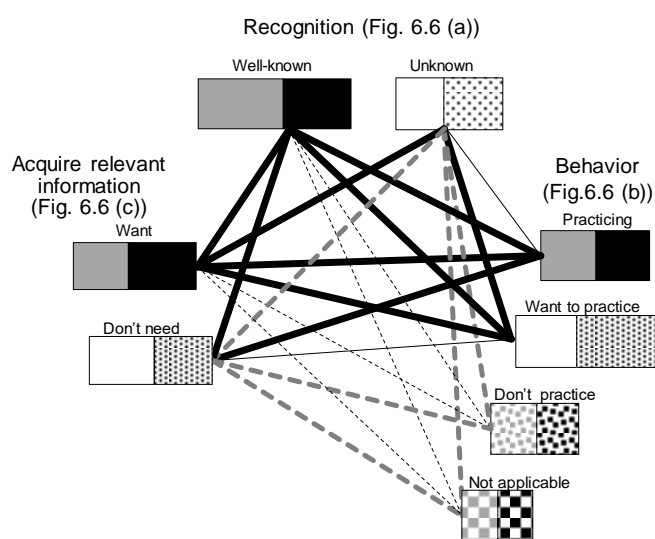


図 6.10 子供の有無別の意識・行動モデル

6.5 まとめ

本研究では、省エネルギーに関連する生活情報が、住まい手にとって有効かどうかを明らかにするために、現代生活全般にわたる行動の情報提供に関する意識についてアンケート調査を行ない、その結果を分析した結果、次のことが明らかとなった。

住まい手の課題解決や願望達成に関する情報を提供することは、行動する意欲を高め得る。①認知度が高ければ実践度も高く、情報取得意欲も高い。②認知度が低くても実践意欲は高く、情報取得意欲も高い。①に該当する回答者は、現在の自身の生活をより向上させるために情報取得の意欲があり、②に該当する回答者は、知らなかった情報が、本アンケートによる情報提供により認知されたことで、実践意欲と情報取得意欲が湧いた、と言える。したがって、①、②の回答者ともに、省エネルギー効果のある行動へ誘導できる可能性がある。

女性は、認知度・実践度・情報取得意欲度が高い。男性も実行したいという意欲が高いことは確認された。したがって、男性も何らかのきっかけがあれば、行動が現われ始めることに期待できると思われる。意欲を高める情報の内容は、女性には、生活に密着した情報提供が有効である一方、男性には、興味喚起を促す分野や内容を明らかにする必要があることがわかった。

認知度・実践度は年代が高くなるにつれて高くなる傾向があるが、実行意欲は若年層の方が高いことがわかった。情報取得意欲度は60歳以上になるとやや低かった。情報取得意欲に年代の差はほとんど見られなかったので、年代を問わず、情報提供は有効であると言える。

子供がいる人の方が、子供がいない人より認知度・実践度は高く、子供がいない人は子供がいる人より実践意欲・情報取得意欲がやや高かった。子供がいない人への情報提供の有効性が高いことは明らかである。

以上により、省エネルギーに関連した住まい手の課題解決や願望達成に関する情報提供によって、行動する意欲を高める可能性があることがわかった。したがって、本研究で試みた住まい手の意識・行動・情報欲求の関係性の分析に基づいて行動意欲を促す情報提供の在り方を明らかにすることで、快適で豊かな暮らしを犠牲にすることなく、エネルギー使用量の削減が誘導できる可能性を見出したと考える。また、属性別に認知、実践、情報取得意欲に有意な差を見出し、それらのモデル化により、属性別の行動変容の容易度を測るきっかけを示した。今後は、属性に合わせた情報提供の在り方や具体的な情報内容を明らかにすることが課題であると考えられる。

参考文献

- 1) Nagura, Y : On Future Global Warming Countermeasures of Japan That Received the COP 21 Agreement., In Global Warming Forum, pp.1-13, 2015.
- 2) Nodomi, A. Hojo, T. Nakajima, H. : Energy management using HEMS in housing complex (Part2) Analysis of energy saving effect by HEMS, Architectural Institute of Japan, Summaries of Technical Papers of Annual Meeting, pp.983-984, 2005.7
- 3) Miyazawa, S. Ishikawa, M. Hayama, T. Okamoto, K. Sekiya, K. Sugimura, H. Okuyama, T. Isshiki, M. : Development of next-generation HEMS services - utilization of the data from smart electric power meters, Research report of information processing society of 2015, pp.1-4, 2015.5
- 4) Kashimoto, Y. Hata, K. Nakagawa, A. Suwa, H. Fujimoto, M. Arakawa, Y. Shigezumi, K. Komiya, K. Konishi, K. Yasumoto, K. : A living activity recognition system based on power consumption of appliances and energy harvesting pir and door sensors, Journal of information processing society of japan, pp.409-418, 2017.2
- 5) Ueda, K. Tamai, M. Arakawa, Y. Suwa, H. Yasumoto, K. : A living activity recognition system based on power consumption of appliances and inhabitant's location information, Journal of information processing society of japan, pp.PP. 416-425, 2016.2
- 6) Tsukamoto, M. Fujita, N. Yoshihisa, T. : A framework of rule controlled ubiquitous system for in-home EoD, Proceedings of the IPSJ Kansai chapter branch proceedings, pp.F-17, 2011.9
- 7) Nakamura, S. Hiromori, A. Yamaguchi, H. Higashino, T. Yamaguchi, Y. and Shimoda, Y. : Living behavior recommendation system utilizing sensing in smart house, Multimedia distributed cooperation and mobile symposium 2014 proceedings, 1557-1566, 2014.7
- 8) Kashimoto, Y. Ohno, A. Tamai, M. Yasumoto, K. : Sensing energy-saving activities for smart energy consumption , Proceedings of multimedia communication and distributed processing workshop, pp.124-129, 2012.10
- 9) Morita, M. : Verification of actual state of energy saving behavior and effective means of information means in household sector - Analysis using survey data in Soka city, Saitama prefecture before the earthquake -, Environmental science journal, pp.161-170, 2017.
- 10) Ueno, T. Tsuji, K. : Energy Saving activities induced by an energy consumption information system in the residential houses, Proceedings of the academic lecture of the society of air and sanitation engineering, pp.1497-1500, 2005.7

- 11) Mikami, A. Nagao, K. : Analysis of energy conservation behavior change effect and energy saving behavior obstruction factor due to “energy conservation behavior degree of practice” and “degree of interest in the environment”, Japanese home economics education society meeting seminar research presentation abstract, pp.80, 2015.
 - 12) Mikami, A. Akaish, N. Hisamatsu, Y. Nagao, K. : Environmental and energy saving behavior transformation effect by seminars as home garbage weight loss support measures, Summary of research presentations by the Japanese home economics association, pp.66, 2015.
 - 13) Araki, Y. Sasahara, M. Mikami, A. Nagao, K. : Possibility of transformation of energy conservation behavior through water-saving behavior during dishwashing, Japanese home economics education society meeting・seminar research presentation abstract, pp.73, 2014.
 - 14) 小木しのぶ：テキストマイニングとは、大量のテキストデータから新たな事実や傾向を発見することを支援する技術であるという., テキストマイニングの技術と動向, 計算機統計学, 28, pp.31-40, 2015.
 - 15) Kobayashi, T. Ohnuma, S. Mori, Y. : A text-mining-based investigation of longitudinal energy saving behavior: A case study of asahikawa “Ene-Eco project”, Papers on environmental information science, pp.37-42, 2014.
 - 16) 正木宏長：注2) ナッジ(nudge)とは、直訳すると「ひじで軽く突く」という意味である。行動経済学や行動科学分野において、人々が強制によってではなく自発的に望ましい行動を選択するよう促す仕掛けや手法を示す用語として用いられている。これは、その物や現象の良しあしに対する客観的な絶対評価よりも、物事をどう感じるかという主観的な比較評価により人間の選択が左右される心理傾向を利用したものである。、情報を聞いた誘導への一視座—行動経済学, ナッジ, 行政法—, 立命館法学, 4, 2015.
 - 17) Komatsu, H. Nishio, K. : Recent developments of information provision policy to promote energy conservation and power saving aiming to appeal to intuition, Behavioral economics, 6, pp.97-103, 2013.
 - 18) 国土交通省 住宅・建築物省 CO2 先導事業に採択された東急グループで取り組む省 CO2 推進プロジェクト第一号物件 ブランズシティ品川勝島の購入者推定属性分析を参考とした。、
 - 19) 株式会社マクロミル（英文社名：Macromill, Inc.）
 - 20) Softbrain Field Co., Ltd. : Survey on housework situation of housewives, 2012.12
 - 21) Agency, Consumer : Consumer white paper 2014, pp.6, 2014.
 - 22) Ministry of Health, Labor and Welfare : Survey on health consciousness, 2014.2
 - 23) My Voicecom Co., Ltd. : Beauty awareness and behavior survey (2nd) , 2015.7
-

- 24) Asahi Group Holdings Co., Ltd. : Consciousness Survey on Conservation, 2016.2
- 25) Land, Ministry of : Infrastructure, Transport and Tourism, Living life survey, 2013.12
- 26) Office, Cabinet : User's intention survey for inspection and evaluation of declining birthrate measures via the internet, etc. [HTML Version] Chapter 2 4. (4) Share of share of couples' Housework and Child Care, 2009.11
- 27) Ministry of Agriculture, Forestry and Fisheries : Awareness survey on food education 3.1. (1). (2), 2016.11
- 28) Ministry of Health, Labor and Welfare : Low birthrate and elderly society survey study project report (Health consciousness survey edition), pp.3, 2014.
- 29) Association, Research institute of Japan Efficiency : Health needs survey 2015, 2016.1
- 30) Inc., Macro Mill : Questionnaire on health consciousness, 2003.3
- 31) Recruit lifestyle Co., Ltd. : Beauty census 2015 second half perception survey (Beauty consciousness edition), 2015.12
- 32) Research, Hakuhodo Institute of Life : Life survey (Beauty No. 1248), 2016.
- 33) IT Realize Co., Ltd. : Survey on actual savings, 2017.5
- 34) Inc., LIXIL : "Living life that I want to realize" questionnaire survey, 2017.10
- 35) Asahi Group Holdings Co., Ltd., No. 620 times : Weekly questionnaire survey, 2017.2
- 36) Institute, Belle Maison Lifestyle : Questionnaire survey on your current feelings, 2016.10
- 37) Recruit Marketing Partners, Inc. : Couple relationship survey, 2017.7
- 38) Hirasawa, Y. Oyama, Y. Araki, Y. Fujii, N. Wakabayashi, C. Yoshinaka, Y. Fukuda, R. Tanaka, N. : Working women's dietary survey ~ Relationship with the presence of children, age of children ~, Journal of the japan occupational and disaster medical association JJOMT, 62, pp.399-403, 2014.5
- 39) Bureau, Tokyo Metropolitan Life Culture : Public opinion survey on dietary habits and education, 2014.10
- 40) Inc., Dai-ichi Life Economic Research Institute : Survey on anxiety and preparation in the 40s and 50s, 2014.12
- 41) Inc., Neo Marketing : Women's consumer behavior / lifestyle survey, 2016.8
- 42) secretariat, Major Seven : New condominium portal site MAJOR 7 the 4th condominium trend survey, 2006.1

第7章 結論

7.1 研究結果のまとめ

本研究で、「温熱環境」「エネルギー使用」「行動変容」に関して以下の結論が得られた。

先ず小さなエネルギー使用で快適な居住空間となり得るのかを検討した第2章では、以下が明らかとなった。

- 1) 緑のカーテンの暑熱緩和効果は、緑のカーテンの成長に伴い第1期から第3期に進むに従って大幅に増加する。
- 2) 緑のカーテンのある世帯のエアコンの使用時間は、ない世帯より約40%減少した。
- 3) エアコンを使用している状態では、緑のカーテンがある世帯のバルコニーグローブ温度は、緑のカーテンがない場合よりも約0.6℃低くなる
- 4) バルコニーの温度が屋内の気温よりも低い場合、緑のカーテンがある家庭では空調の使用が大幅に少なくなる。
- 5) 緑のカーテンに取り組む住まい手は、快適性だけではなく面倒・大変さを上回る満足度を得ている。

以上のように、緑のカーテンによる暑熱緩和効果が明らかとなった。植物による暑熱緩和効果は既知の事実であるが、比較的最近の集合住宅に居住する住まい手自らが育成した緑のカーテンによって既知と同様の結果が得られたことは、本研究の目的である小さなエネルギー使用で快適な温熱環境を形成することに住まい手の行動が関わったという点で意義は大きい。また、緑のカーテンによる冷房使用時間の減少が確認されたことは、植物の効果でエネルギー使用を小さく抑えることができることを示したものだといえる。

2章で確認された小さなエネルギー使用で快適な温熱環境を形成する可能性を見出した

ことを活かすために、現状のエネルギー使用の実態を明らかにするため取り組んだ研究である第3章では、以下のことが明らかとなった

- 1) 24時間のエネルギー使用パターンの特徴は8つに分類することができる。
- 2) エネルギー使用のピークは、1日に2回または3回出現する。
- 3) 電力利用量ピークは夜間に集中している。
- 4) パターン毎の基本属性別の特徴に明確な差が見られない。
- 5) パターンによっては平均値より大きく外れたエネルギー使用量が大きい世帯がある。

このように、エネルギー使用のパターンについて24時間単位で特徴を把握することができたことにより、朝や夜のエネルギー使用の在り方についての研究を進めるきっかけとなった。一方で、基本属性（家族人数・年代など）における特徴を明らかにすることが難しいことも明らかになり、次の研究を進めるための課題が見出されたといえる。住まい手の特徴を検討した第4章・第5章では、以下のことが明らかとなった。

- 1) 13の住まい手にまつわる情報からエネルギー使用の大きい世帯が抽出できる。
- 2) 抽出に必要な情報のうち50%が以前の住まいに関する情報である。
- 3) 電気・ガス・水道のエネルギー使用予測に共通して使用された住まい手情報は、「以前の住居の部屋のタイプ」、「以前の住居の建物の築年数」である。

以上により、第3章では明らかにすることができなかった住まい手像について、今までの研究にはない特徴を明らかにすることができた。特に、以前の住まいに関する情報がエネルギー使用量と関係があることが明らかにされたことは、静的な属性（性別・年代）だけではなく、住まい手自身が経験してきた動的な生活環境が影響していると考えることができる。さらに、以上の結果を踏まえて社会実装に向けて住まい手に省エネルギーのための有効な情報提供を行うことを想定した第6章の研究では以下のことが明らかとなった。

- 1) 認知度が高ければ実践度も高く、情報取得意欲も高い
- 2) 認知度が低くても実践意欲は高く、情報取得意欲も高い
- 3) 女性は、認知度・実践度・情報取得意欲度が高い
- 4) 認知度・実践度は年代とともに高くなる傾向があるが、実行意欲は若年層の方が高い
- 5) 子供がいる人の方が、子供がいない人より認知度・実践度は高く、子供がいない人は子供がいる人より実践意欲・情報取得意欲がやや高い。

このように、第6章の結果によって、住まい手が持つ生活の課題や願望達成に関わる情報が小さなエネルギーを使用することと両立できることが明らかとなった。つまり、社会実

装場面においては、第6章で設定した生活情報と関係する情報を住まい手に提供することによってエネルギー使用を低減することにつながる可能性を見出した。また、将来の日本の住宅ストックの在り方を考慮し、増加傾向にある集合住宅を調査対象としたことで、本研究の成果がこれらに応用されて、小さなエネルギー使用で暮らす住まい手が多くなる可能性をも示すことができた。

序論で述べたように、住まい手のエネルギー使用を減らすためには、生活空間が快適であることと生活上の課題解決や願望達成を前提として考える必要があり、第2章から第6章ではその実現に向けての可能性を検証し具体化を試みた。その結果として、無理なく快適性を維持したままエネルギー使用が低減される行動に結びつく要因を、「緑のカーテンによる暑熱緩和効果」「エネルギー使用低減のための住まい手にまつわる情報の明確化」「エネルギー使用低減のための行動変容のモデル化」として明らかにすることができた。本研究のこれらの成果が住まい手との暮らし方に関するより良いコミュニケーションツールとして応用されることにより、集合住宅にとどまらないエネルギー使用低減の効果に結びついていくことを期待したい。

7.2 考察

前節の結果を踏まえて、集合住宅の住まい手が転居し生活する一連の過程を想起しながら、より具体的な社会実装場面で重要と考えられる各章の研究成果の応用方法について考察したい。図 7.1 の上部に示したのは一般的な住まい手の転居から生活に至るまでのプロセスであるが、第 4・5 章の結果から、「転居」という環境の変化が起こっても住まい手は無意識に今までの行動パターンを持続させる傾向が強いのではないかと考える。具体的には、前住居が古く断熱性や気密性が低い場合、住まい手は、夏期には暑さを、冬期には寒さを強く感じ、エアコンなどの暖冷房機器への依存を強めると考えられる。この一連の行動は、先ず暑さ・寒さを知覚し不快を避ける行動やプロセスを学習し、次に類似の多様な経験を積み重ねることにより記憶され習慣化されていると考えることができる。

つまり、複数回経験した行動が「くせ」となり無意識に快適領域維持のために行われている。第 4・5 章で明らかになったエネルギー使用と以前の住まいとの関係性は、この性質の一端を示していると考えられる。

このように人は、一度習慣化した快適領域維持のための行動を、転居のような大きな環境の変化があっても変容しにくいことを示唆している。

図 7.1 の下部には、本研究の成果が過去の習慣化した行動が変容するきっかけとしてどのように応用可能なのかを示す。

2 章の結論で述べたように、緑のカーテンによる暑熱緩和効果は明らかなので、バルコニー等に緑のカーテンの育成が可能な設えを整えることが必要である。加えて、転居前または転居直後に緑のカーテンの育成方法や効果に関する情報を提供することも有効である。また、緑のカーテンの経験者の感想や緑空間の体験は、住まい手に新たな気づきや知覚をもたらすことになり得る。

さらに 4・5 章の結果に基づいて住まい手の特徴をつかむことができれば、新居における生活を開始する前に住まい手に合わせた事前支援も可能になると考える。特に大きなエネルギーを使用する住まい手を事前に知ることができれば、エネルギー使用の抑制のために重点的な支援を行うことも可能である。

6 章で示した省エネルギーに関連した認知・実践・情報提供のモデルを応用すれば、住まい手の新たな生活における新たな行動を習慣化させ、エネルギー使用を小さくすることも可能になると考えられる。

このように、住まい手の転居から生活に至るプロセスにおいて、適切な時期に支援や情報提供を継続的に実施することで、前住居で習慣化された行動が新しい習慣へ変容することの可能性が徐々に高められると考える。そのためには、集合住宅供給者や住まい手への情報提供者の在り方が重要であり、その具体化が今後の課題であるといえる。この課題については次節にてより詳しく述べる。

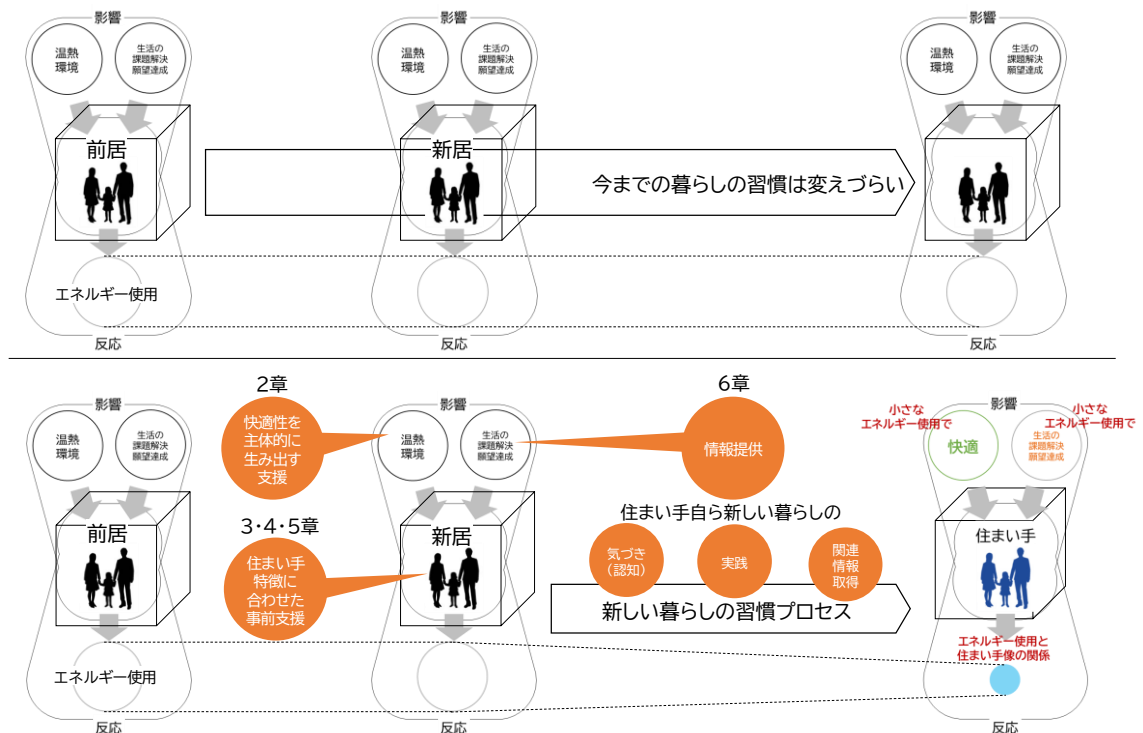


図 7.1 研究成果を応用した住まい手の行動変容支援プロセス

7.3 課題と提案

最後に、筆者が環境・住宅事業分野に社会人として従事した経験と本研究の結論と考察を踏まえて、課題と提案を述べる。

前節でも述べたように、住まい手の行動が新たな習慣となるためには、住まい手の環境と生活に対する支援が必要である。そこで、支援の在り方と住まい手との関係を図 7.2 で示し、以下の3つの課題とその解決に関する提案を述べる。(1) から 3) は図 7.2 に対応する)

1) 温熱環境とエネルギー使用量に関するデータの取得と調査

序論でも述べたように、エネルギーデータは使用量の可視化のみならず、エネルギー使用量の予測としても用いられているが、本研究結果で示したように、住まい手への情報提供の在り方を具体化するためにも有効である。近年、電気量についてはスマートメーターの普及により 30 分程度の間隔で使用量が確認可能だが、データの蓄積とデータの活用策については未成熟であり、統一された運用も行われていない。今後、前節で示したような住まい手への支援をより具体的にするためにも、十分な調査が必要であると考え。温熱環境のデータについても、十分なデータを調査する仕組みは整っていない。7.1 で述べたように個々の住まい手の暑熱緩和効果のみならず、集合住宅内における複数の温熱環境データを調査することで、住まい手が関与した快適環境とその実態をより具体的に調査し、データの蓄積をすることが求められる。

2) 取得した温熱環境とエネルギー使用量のデータ分析と住まい手支援組織の運営

前述の調査に基づいて、データを分析することの継続性を高めるとともに、分析結果を応用し住まい手に対する支援策を具体化し、支援を行う組織の運営が重要である。今後はこのような組織が確立され、住まい手が新しい行動をとり、習慣化するまで支援することが課題である。

3) 集合住宅の快適性向上のために住まい手が関与可能な設えと情報提供

本研究の結果より、快適性の向上は住まい手が緑のカーテンを育成することで可能であることがわかった。その緑のカーテンの育成のための建築的設えは緑のカーテン育成のためのネットの固定金具やバルコニー水栓の設置など、集合住宅供給事業者にとって大きな負担を強いるものではない。今後は、このような設えを標準化することが必要である。また、住まい手支援の具体的な実施のために、ウェブを活用した情報

提供や、直接コミュニケーションが可能な集合住宅内でのセミナーやワークショップなどのプログラムを計画・運用することも重要な課題である。

以上の3つの課題を解決するために、大学や企業が連携した組織として運営され、人材を育成する機関として住まい手と関わりを持ち続けることができれば、家庭部門のエネルギー問題に対する一つの在り方を社会に示すことが可能になると考える。また、このような動的な仕組みが確立されることによって、社会の変化の中で住まい手の生活様式も変化することへ柔軟に対応することもできる、

今後、本研究の成果が住まい手の新たな習慣と住まい手を支援する担い手の関係構築のきっかけとなり、より良い社会となることを期待したい。

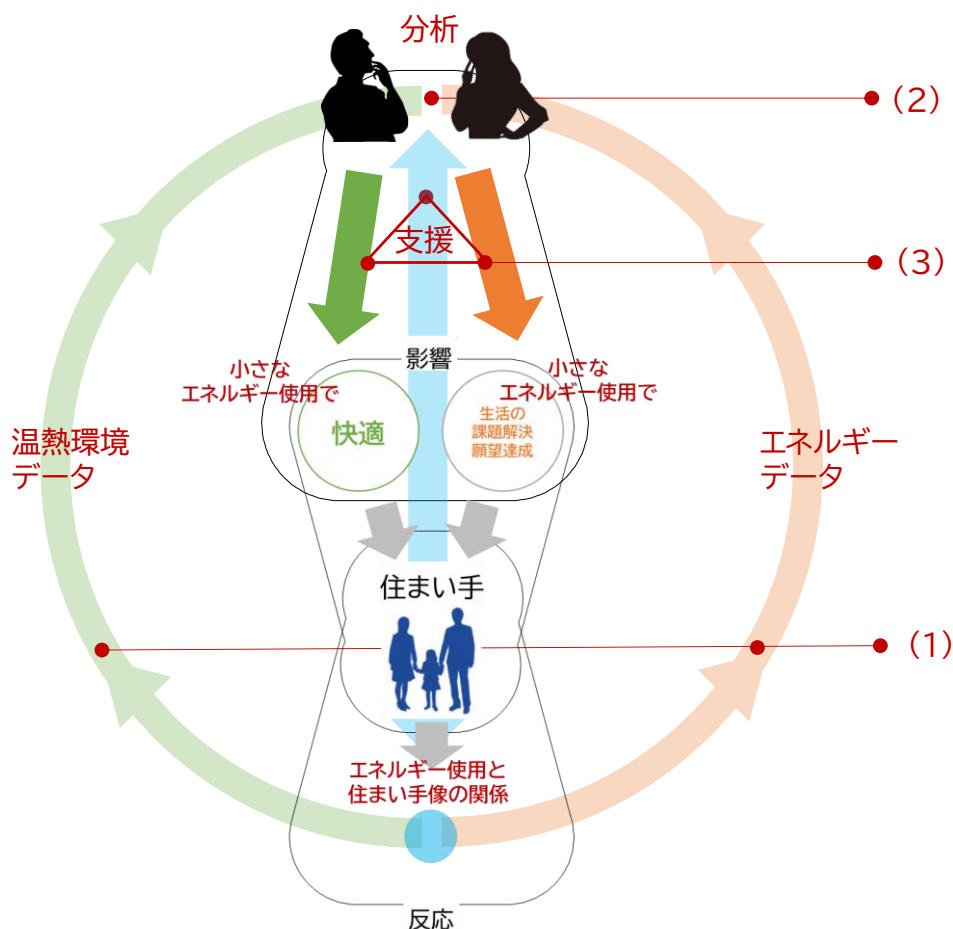


図 7.2 集合住宅における住まい手の快適な暮らし習慣化支援モデル

発表論文リスト

学 術 論 文	論 文 名	発 表 誌 名	発表年月 日
	Abe, H; Rijal, H.B.; Hiroki, R; Iijima, K; Ohta, A. Thermal Mitigation of the Indoor and Outdoor Climate by Green Curtains in Japanese Condominiums	Climate	2020 年 1 月 7 日
	阿部寛人, リジャル H.B., 坊垣和明, 宿谷昌則, 三神彩子: 省エネルギーに関連した居住者の意識・行動・情報欲求のモデル化に関する研究	日本建築学会環境系論文集 第 84 巻 第 755 号, pp.93-101	2019 年 1 月 30 日
研 究 発 表	題 名	発 表 機 関	発表年月 日
	吉田一居, 坊垣和明, 三神彩子, 阿部寛人: 家庭内における省エネルギー行動と意識に関する研究 その 8 新築マンション居住者に対する入居前後ならびに入居 1 年後のアンケート調査結果	日本建築学会大会学術講演梗概集, 環境工学 I, pp. 1059-1060	2017 年 9 月 1 日
	三神彩子, 坊垣和明, 吉田一居, 阿部寛人: 家庭内における省エネルギー行動と意識に関する研究 その 9 エネファームを設置したマンションにおけるエネルギー使用量の調査	日本建築学会大会学術講演梗概集, 環境工学 I, pp. 1061-1062	2017 年 9 月 1 日
	阿部寛人, 吉田一居, 三神彩子, 坊垣和明: 家庭内における省エネルギー行動と意識に関する研究 その 10 新築マンション電力使用量による生活パターン分類と電力削減目標の算定,	日本建築学会大会学術講演梗概集, 環境工学 I, pp. 1063-1064	2017 年 9 月 1 日
	坊垣和明, 吉田一居, 三神彩子, 阿部寛人: 家庭内における省エネルギー行動と意識に関する研究 その 11 WEB アンケートの分析と暮らし方塾について	日本建築学会大会学術講演梗概集, 環境工学 I, pp. 1065-1066	2017 年 9 月 1 日
	吉田一居, 坊垣和明, 三神彩子, 阿部寛人: 家庭内における省エネルギー行動と意識に関する研究 その 6 新築マンション居住者に対する入居前後ならびに入居 1 年後のアンケート調査結果	空気調和・衛生工学会大会 学術講演 論文集, pp. 261-264,	2017 年 9 月 14 日
	三神彩子, 坊垣和明, 吉田一居, 阿部寛人: 家庭内における省エネルギー行動と意識に関する研究 その 7 エネファームを設置したマンションにおけるエネルギー使用量の調査	空気調和・衛生工学会大会 学術講演 論文集, pp. 265-268	2017 年 9 月 14 日
	阿部寛人, 吉田一居, 三神彩子, 坊垣和明: 家庭内における省エネルギー行動と意識に関する研究 その 8 新築マンション電力使用量による生活パターン分類と電力削減目標の算定	空気調和・衛生工学会大会 学術講演 論文集, pp. 269-272	2017 年 9 月 14 日
	坊垣和明, 吉田一居, 三神彩子, 阿部寛人: 家庭内における省エネルギー行動と意識に関する研究 その 9 WEB アンケートの分析と暮らし方塾について	空気調和・衛生工学会大会 学術講演 論文集, pp. 272-275	2017 年 9 月 14 日
	吉田一居, 坊垣和明, 三神彩子, 阿部寛人: 家庭内における省エネルギー行動と意識に関する研究 その 12 各種マンション居住者のエネルギー消費実績に関する比較分析	日本建築学会大会学術講演梗概集, 環境工学 I, pp. 1071-1072	2018 年 9 月 6 日
	坊垣和明, 吉田一居, 三神彩子, 阿部寛人: 家庭内における省エネルギー行動と意識に関する研究 その 13 エネファーム全戸設置マンションにおける電力消費実績に関する分析	日本建築学会大会学術講演梗概集, 環境工学 I, pp. 1073-1074	2018 年 9 月 6 日
	阿部寛人, 吉田一居, 三神彩子, 坊垣和明: 家庭内における省エネルギー行動と意識に関する研究 その 14 家庭内における省エネルギー効果に結びつく生活行動情報の有効性検証	日本建築学会大会学術講演梗概集, 環境工学 I, pp. 1075-1076	2018 年 9 月 6 日
	吉田一居, 坊垣和明, 三神彩子, 阿部寛人, リジャル H.B.: 家庭内における省エネルギー行動と意識 に関する研究 その 10 各種マンション居住者のエネルギー消費実績に関する比較分析,	空気調和・衛生工学会大会 学術講演 論文集, pp. 261-264	2018 年 9 月 14 日
	坊垣和明, 吉田一居, 三神彩子, リジャル H.B., 阿部寛人: 家庭内における省エネルギー行動と意識 に関する研究 その 11 家庭内における省エネルギー効果に結びつく生活行動情報の有効性検証	空気調和・衛生工学会大会 学術講演 論文集, pp. 265-268	2018 年 9 月 14 日
	阿部寛人, リジャル H.B., 吉田一居, 三神彩子, 坊垣和明: 家庭内における省エネルギー行動と意識 に関する研究 その 12 家庭内における省エネルギー効果に結びつく生活行動情報の有効性検証	空気調和・衛生工学会大会 学術講演 論文集, pp. 269-272	2018 年 9 月 14 日
	Abe, H; Bogaki, K; Rijal, H.B.; Sugiyama, M. Detecting Anomalous Energy Consumption from Profiles	Sustainable Built Environment Conference 2019, Theme 5, 012072	2019 年 8 月 6 日
	廣木亮哉, リジャル H.B., 阿部寛人, 飯島健太郎, 太田明: 集合住宅におけるグリーンカーテンに関 する研究 その 1 室内の温熱緩和効果の検討	日本建築学会大会学術講演梗概集, 環境工学 II, pp. 169-170	2019 年 9 月 3 日
	阿部寛人, リジャル H.B., 廣木亮哉, 飯島健太郎, 太田明: 集合住宅におけるグリーンカーテンに関 する研究 その 2 冷房使用の有無における室内とバルコニーの温熱緩和効果の検討	日本建築学会大会学術講演梗概集, 環境工学 II, pp. 171-172	2019 年 9 月 3 日
	阿部寛人, リジャル H.B., 廣木亮哉, 飯島健太郎, 太田明: 集合住宅におけるグリーンカーテンに関 する研究 その 3 その 3 実施者の意識・行動と冷房使用の有無における室内とバルコニーの温熱緩和 効果の検討	空気調和・衛生工学会大会 学術講 演論文集, pp. 253-256	2019 年 9 月 18 日
	廣木亮哉, リジャル H.B., 阿部寛人, 飯島健太郎, 太田明: 集合住宅におけるグリーンカーテンに関 する研究 その 4 MRT と作用温度による温熱緩和効果の評価	空気調和・衛生工学会大会 学術講 演論文集, pp. 257-260	2019 年 9 月 18 日
	吉田一居, 坊垣和明, 三神彩子, 阿部寛人: 家庭内における省エネルギー行動と意識に関する研究 その 15 集合住宅における 2 年間のエネルギー消費実績比較と月平均気温の変動との相関に関する 考察	日本建築学会大会学術講演梗概集, 環境工学 I, pp. 1173-1174	2019 年 9 月 3 日
	吉田一居, 坊垣和明, 阿部寛人, 三神彩子, リジャル H.B.: 家庭内における省エネルギー行動と意識 に関する研究 その 13 集合住宅のエネルギー消費と外気温/住戸・家族タイプとの相関に関する 考察	空気調和・衛生工学会大会 学術講 演論文集, pp. 41-44	2019 年 9 月 18 日
	坊垣和明, 三神彩子, 吉田一居, リジャル H.B., 阿部寛人: 家庭内における省エネルギー行動と意識 に関する研究 その 14 集合住宅におけるエネファームの効果に関する分析	空気調和・衛生工学会大会 学術講 演論文集, pp. 45-48	2019 年 9 月 18 日

謝辞

本論文は筆者が東京都市大学大学院環境情報学研究科環境情報専攻博士後期課程に在籍中の研究成果をまとめたものである。同専攻教授 リジャル ホム・バハドゥル先生には指導教員として本研究の実施の機会を与えて戴き、その遂行にあたって終始、ご指導を戴いた。ここに深謝の意を表する。

同専攻教授 伊坪徳宏先生には副査として丁寧なご助言を戴いた。並びに、同専攻教授 飯島健太郎先生には副査としてご助言を戴くとともに、特に本論文の第 2 章において細部にわたりご指導を戴いた。ここに深謝の意を表する。

同名誉教授 宿谷昌則先生には審査員としてご助言を戴くとともに、特に本論文の第 6 章において細部にわたりご指導を戴いた。ここに深謝の意を表する。

同名誉教授 坊垣和明先生には審査員としてご助言を戴くとともに、特に本論文の第 3・4・5・6 章において細部にわたりご指導を戴いた。ここに深謝の意を表する。

本研究の第 4・5 章の統計学の分析手法においては、国立情報研究所 杉山磨人准教授に細部にわたりご指導を戴いた。ここに深謝の意を表する。

第 2 章の調査対象建物において株式会社明和地所の太田明氏をはじめ様々な部署の方々に資料を提供して戴くとともに有益なご助言を戴いた。ここに同社に対して感謝の意を表する。

第 3・4・5 章の調査対象建物においては株式会社東急不動産 R&D センターの吉田一居氏をはじめ様々な方々に資料を提供して戴くとともに有益なご助言を戴いた。ここに同社に対して感謝の意を表する。

本専攻 リジャル研究室の各位には研究遂行にあたり日頃より有益なご討論ご助言を戴いた。ここに感謝の意を表する。

第 2 章においては、明和地所株式会社と東京都市大学との共同研究の一環として実施したものである。関係各位のご協力に深甚の謝意を表する。

第 6 章においては、(株)東急不動産 R&D センターおよび (一社)日本ガス協会の研究の一環として実施したものである。関係各位のご協力に深甚の謝意を表する。

本研究の調査対象で、アンケートへの回答、計測機器の設置にご協力いただいた住まい手すべての方々へ深甚の謝意を表する。

経歴

最終学歴

平成29年 3月 31日

東京都市大学大学院環境情報学研究科 都市生活学専攻 修士課程修了

研究歴

平成30年 4月 13日～

国立情報研究所 特別共同利用研究員 杉山准教授研究室にて機械学習によるエネルギー使用量の解析に従事

職歴

平成10年 4月 1日 積水ハウス株式会社 入社

平成18年 5月 10日 積水ハウス株式会社 退社

平成18年 5月 14日 株式会社チームネット 入社

平成26年 4月 1日 同上 取締役 現在に至る