

# 大衆の生活ノウハウの定量化とモデル化による 生活改善アドバイス生成システム

中村 笙子<sup>†</sup> 志垣沙衣子<sup>†</sup> 廣森 聡仁<sup>†</sup> 山口 弘純<sup>†</sup> 東野 輝夫<sup>†</sup>

<sup>†</sup> 大阪大学 大学院情報科学研究科  
大阪府吹田市山田丘 1-5

あらまし 本論文では、スマートホームにおける居住者の生活の“質”を向上させるための行動改善をアドバイスするシステムを提案する。提案手法では、スマートホームの居住者とその活動、ならびに家電や電気自動車などの稼働状況を表すモデルを導入し、そのモデルを用いて生活改善指標を定量化する。また、クラウドソーシングを活用した大規模なアンケート調査から“生活を充実させるための知恵やノウハウ”を抽出し、それに基づく生活改善指標と改善ルールを設計している。センサによる行動認識に基づき、上述のモデルから個々の居住者に適切な改善ルールを導出し、現実的かつ居住者の負担にならない生活改善アドバイスを提供する。評価実験では、34人の被験者の生活内容を基に生活改善アドバイスを生成し、各被験者から5段階で主観評価を得たところ、73.53%の被験者がアドバイスに満足したことを確認した。加えて、一般家庭にSLSAを導入して行動推定と生活改善アドバイスの導出を行い、実環境におけるシステムの有用性も確認している。

キーワード 生活改善アドバイス、生活改善指標、生活行動モデリング

## A Study on Designing Smart Advisor in Daily Life

Shoko NAKAMURA<sup>†</sup>, Saeko SHIGAKI<sup>†</sup>, Akihito HIROMORI<sup>†</sup>, Hirozumi YAMAGUCHI<sup>†</sup>, and  
Teruo HIGASHINO<sup>†</sup>

<sup>†</sup> Graduate School of Information Science and Technology, Osaka University  
1-5 Yamadaoka, Suita, Osaka

**Abstract** In this paper, we propose a smart home system to make human life better. Our system suggests home residents to change their activities in non-intrusive way. For this purpose, we define a new model to represent the activities of residents and operations of home appliances. Through several experiments, we have confirmed that 73.53% of subjects accepted our advices.

**Key words** Smart life advice, Smart life criteria, Daily activity modeling

### 1. はじめに

様々なセンサによるセンシング、及びそれらをつなげるネットワーク技術を家庭に導入することで、人々がより賢く、快適に暮らすことができるスマートホームが普及しつつある。特に、省エネルギーについては喫緊の課題であるため、スマートホームの中核的な機能である HEMS (Home Energy Management System) によるスマートグリッドと連動したデマンドレスポンスなど、様々な取り組みが為されている [1]。一方、省エネルギーのみならず豊かで充実した生活を送るためには、肥満防止や家族のコミュニケーションなど、家庭における生活を改善する生活支援においても IT 技術の活用が期待され、スマートホームは HEMS と生活支援の両方の機能を提供することが求められる [2]。このような取り組みにおいては、人の家庭内行動

や家電の稼働状況などを形式的にモデル化し、生活改善の程度をシステムとして把握することだけでなく、居住者の現在の生活パターンを基に、居住者にとってなるべく自然で受け入れやすい行動改善を推薦することが望まれる。

本論文では、居住者の生活全体の“質”を向上させるための行動改善をアドバイスするシステム SLSA (Smart Life Support Adviser) を提案する。提案手法では、まず、スマートホームにおける居住者とその行動、ならびに家電や家庭用バッテリーなどの稼働状況を表すモデルを定義するとともに、これらのモデルに基づき「エネルギーコスト」や快適度、健康度や時間の質といった生活改善指標を定量化する。また、クラウドソーシングによる大規模なアンケート調査から“生活を充実させるための知恵やノウハウ”を抽出し、それらに基づき、生活改善の指標と改善ルールを設計することで、現実的かつ居住者の負担

にならない生活改善アドバイスを提供する。評価実験においては、34人の被験者の行動内容を基にそれぞれ生活改善アドバイスを導出し、各被験者から5段階で主観評価を得たところ、73.53%の被験者がSLSAが導出する生活改善アドバイスに満足したことを確認した。また、一般家庭にSLSAを設置し、得られた電力データを基に、行動推定と生活改善アドバイスの導出を行い、実環境におけるシステムの有用性を確認した。

## 2. 関連研究

従来よりスマートな生活環境の実現を目指す研究が行われてきており[2]、家庭内の機器の自動制御や居住者の行動認識だけでなく、コンテキストウェアな家庭用サービスやアンビエント・インテリジェンスなど様々な研究が為されている。省エネルギーに関する研究では、スマートグリッドと連動することで、ピークシフトやデマンドレスポンスを実現し、より柔軟で動的なエネルギー供給ができるよう、電力価格の決定手法や送電方法などの問題に対して、様々な手法が提案されている[3],[4]。また、各家庭におけるエネルギー消費量の削減が強く訴えられていることや、一般世帯へのHEMS導入が進みつつあることから、個々のスマートホームにおける居住者の行動と家電の稼働に関する情報提供や制御方法についても注目されている。文献[5]においては、家電による消費電力量をモニタリングすることで、個々の居住者の消費電力量を推定する手法が提案されている。このシステムでは複数人が居住するような住居において、個人の行動とエネルギー消費量を紐付け、個々の居住者が自身の消費電力量に対し自覚を持ってもらうことを目的としている。スマートホームにおけるサービス高度化に不可欠な居住者の行動認識についても様々な取り組みが為されている。例えば、文献[6]においては、6世帯において10週間収集した家電の稼働データに基づき、家電の使用頻度を算出し、消費電力量から使用者の行動を推定するアルゴリズムが提案されている。一方、ユーザインターフェースを改善することにより、人々の気づきや行動の変化を促すアンビエント・インテリジェンスでもスマートホームを対象とした研究が行われている[7]。例えば、文献[8]では、冷蔵庫など人々が普段触れるような家電に取り付けるインターフェースを提案し、家電の制御や家族間での情報交換が簡単に行えることが示されている。これらのシステムでは、生活改善のための行動を促す点で提案手法と共通するものの、改善による効果の定量化や、居住者の現状の生活に基づく推薦を行っているものではない。

本論文では、居住者の行動に基づき、生活改善アドバイスを自動で導出する方法論を提案している点で既存研究と大きく異なる。方法論の設計にあたっては、クラウドソーシングを通じて1,000人を対象としたアンケート調査を基に、人々が改善を望む指標を明確化し、それらを定量化するとともに、行動改善のアイデアもアンケートから導出することで、なるべく多くの人に支持される自然な生活支援を実現する。提案手法による生活改善アドバイスの有用性を主張するため、34人の被験者から生活改善アドバイスに対する主観評価を得ただけでなく、父、母、子から構成される世帯の住居にシステムを導入し、実際のセンサ情報からアドバイスを導出する実験も行っている。

## 3. システム概要

本研究では、居住者の好みやライフスタイルに合わせ、ヘルスケアから省エネまで多様なアドバイスを取り扱うとともに、

アドバイスを居住者に提示することで、より良い生活のために改善すべき事項を気づかせることを目的とする。提案するSLSA (Smart Life Support Adviser) は、(i) SLSA カーネルコンポーネント、(ii) 居住者、(iii) スマート家電(もしくは従来の家電)、(iv) エネルギー供給源、そして(v) 行動検出ならびにエネルギー管理のためのセンサから構成される。

SLSA カーネルコンポーネントはシステムの中核であり、センサから得られたデータに基づき、居住者の行動や家電の稼働状況を把握し、UIを通じて、検出した行動と合わせて居住者に生活改善アドバイスを提示する。生活改善アドバイスの例として以下が挙げられる。

- 「今日は図書館で涼んでみるのはいかがでしょうか。歩いて行けばいい運動になりますし、エアコンを消すことで電気料金も削減できますよ。」

- 「今日の電力市場の予報によると、お昼ごろの電力価格が高騰するようですので、朝のうちに掃除を終わらせてしまいましょう。」

システムはこのような生活改善アドバイスをいくつか提示し、居住者は自分の好みに合う生活改善アドバイスを選択する。選択された生活改善アドバイスに、自動的に制御可能なスマート家電が含まれている場合には、SLSA カーネルコンポーネント側で生活改善アドバイスに従って、その家電を制御する。

居住者は日々の生活において家電を使用し、UIを通じてSLSAから提示された生活改善アドバイスや家庭内の状態(消費電力量や実施した行動内容など)を確認する。検出される行動内容は“食事”や“調理”、“掃除”などの家庭内で行うものと、“仕事”や“外出”のように家の外部で行うものの二種類に分類される。家庭内での行動内容は後述するセンサによって検出され、それ以外の行動は、スマートフォンなどにより検出されることを想定している。

家電は、居住者が操作して利用する従来の家電と、SLSAが自動で制御するスマート家電の両方を含む。スマート家電はECHONET Lite[9]のようなホームネットワークを通じてHEMSから制御されることを想定する。家電の稼働時状況や消費電力量はSLSAによってモニタリングされ、UIを通じて居住者に提示される。また、家電の稼働状況は、その家電のオン/オフの情報と、設定情報(e.g. エアコンにおける設定温度 $28^{\circ}\text{C}$ )で表現するものとする。

エネルギー供給源は家庭内における電力供給装置や電力会社を指す。家庭内におけるエネルギー供給源は、家庭用バッテリー、太陽光発電機やガス発電機、電気自動車などである。供給源に関して考慮すべきは、電力市場の状況によって電気料金の単価が変動することである。現状では、東京電力が提供する“ピークシフトプラン”[10]のように4~5時間毎に異なる価格が設定されているが、今後、デマンドレスポンスが導入されれば、15分単位や30分単位など、より細かい時間で電力需要量に応じた価格設定が為されることが想定される。そのため、より細かい価格変動にも、人の手間を介することなく適切に対応できるよう生活改善アドバイスを導出することが求められる。

センサは居住者の位置や行動内容、家電の稼働状況を認識するために用いられる。本研究では、赤外線センサやレーザーレンジスキャナ[11]等を用いた位置推定情報と、スマートタップ[12]を用いた家電の稼働情報によって居住者の生活行動を認識する。例えば、居住者がリビングに居ると推定され、かつテレビがオンになっていると分かれば、その人はテレビを見てい

ると推定できる。但し、プライバシーの観点から、居住者が自分の位置や行動をすべて知られることに抵抗がある場合も多いため、SLSA は不完全な位置、行動情報からでもアドバイスを生成できるような設計にしている。

#### 4. システム設計とアルゴリズム

提案システムが導出する生活改善アドバイスは、“掃除の時間を 10:00 から 8:00 に変更する”といった生活行動の変更内容と、“電気料金が 50 円削減できる”といった改善効果の 2 つで構成される。この生活改善アドバイスを自動で導出するにあたり、本章ではまず、行動と稼働において変更可能な要素を定めたモデルについて説明する(4.1 節)。次に、多くの人々が望む生活改善項目を調査し、それに基づき改善指標を定量的に定義する(4.2 節)。さらに、変更内容と改善効果を結びつけるための改善ルールを定義し(4.3 節)、この改善ルールを用いて生活改善アドバイスを導出する過程について述べる(4.4 節)。

##### 4.1 行動、稼働とタイムテーブルの定義

本節ではある期間における居住者の行動と家電の稼働を表現するモデルを示す。このモデルはいくつかの行動あるいは稼働の単位(これを以下 AOU: *Activity and Operation Unit* と呼ぶ)から成る SLSA タイムテーブルという形で定義される。AOU は単位時間あたりの居住者の行動や家電の稼働を表すものであり、次の 4 項目で表現する。

$$(Name, Time, Location, Activity(params)) \quad (1)$$

本研究では、居住者の行動や家電の稼働の変更を、これら 4 項目の値の変更として取り扱う。ここで、*Name* は居住者や家電の名称を表し、 $Time \in \{0, 1, 2, \dots, n\}$  はタイムスロット番号を表す。タイムスロットは深夜を 0 とする整数で管理し、30 分を単位時間とする場合は  $n = 47$ 、1 時間を単位時間とする場合は  $n = 23$  など、居住者の好みによってスロット総数を指定する。*Location* はスマートホーム内の部屋や屋外の場所の名称を表すもので、 $Location \in \{\text{living\_room, dining\_room, bedroom, office, school, store}\}$  のように定義される。*Activity(params)* は行動内容や稼働状態を表し、それぞれに固有のパラメータ *params* と組にして取り扱う。例えば、(A/C, 21, \*, ON(Temp=27°C)) という AOU は、タイムスロット 21 (午後 9 時から午後 10 時の間) にエアコンが設定温度 27°C でどこかの場所で稼働している状況を表している(アスタリスク表記は当該項目を特に指定しないことを意味する)。

SLSA タイムテーブルは複数の AOU からなり、複数タイムスロットにまたがる居住者の行動や家電稼働あるいは複数の居住者の行動が表現される。例えば、{(Dad, 21, living\_room, \*), (Mom, 21, living\_room, \*)} は、午後 9 時から午後 10 時の間に父親と母親が揃ってリビングにいるという状況を表す。我々はこの SLSA タイムテーブルを用いて生活改善アドバイスを生成するためのアルゴリズムを提案する。

##### 4.2 スマートライフのための改善指標

できるだけ多くの人に適用可能であるような生活改善指標を定義するため、本研究ではクラウドソーシングシステム[13]を利用して不特定の 1,000 人に対してアンケート調査を行い、より良い生活のために改善すべき事柄について自由記述形式で回答を得た上で、その中から日常的な生活改善に繋がるものとして以下の 4 項目を抽出した。

(1) 金銭：エネルギーコスト (*energy\_cost*)

(2) 快適：活動と空気環境による快適性 (*comfort*)

(3) 健康：日常生活で消費するカロリー (*calorie*)

(4) 生活満足：時間の質 (*QoT: Quality of Time*)

次に、AOU を用いてこれら 4 項目を指標として定義する。*energy\_cost* は、各 AOU のエネルギー消費に対して支払われる金銭的成本を表しており、電気料金の支払額として定義する。 $aou = (*, t, *, *, a)$  に対し、*energy\_cost* は式 (2) で与える。

$$energy\_cost(aou) = EP_t \cdot EC_a \quad (2)$$

ここで、 $EP_t$  はタイムスロット  $t$  における電気料金の単価(円/kWh)を表し、 $EC_a$  は行動または稼働  $a$  を 1 タイムスロット分実施した場合に消費する電力量を表す。

*comfort* は、温度と湿度を主とした空気環境と居住者の活動レベルから算出される快適性を表す。本論文では、ISO 規格である *Predicted Mean Vote (PMV)*[14] の値を *comfort* の評価値として使用する。PMV は代謝量、着衣量、空気温度、平均放射温度、平均風速、相対湿度から算出され、値が 0 より大きいほど暑さによる不快感を感じる人の割合、0 より小さいほど寒さによる不快感を感じる人の割合がそれぞれ上昇する。簡単のため、着衣量は行動内容に依存した定数値、平均風速は場所に依存した定数値とし、平均放射温度は空気温度と同じ値であると仮定する。代謝量は居住者の行動の METs (後述) より算出し、空気温度、相対湿度はエアコンなど冷暖房家電の稼働に応じて変動する値とする。なお、ここでは算出式の説明は割愛するため、詳しくは文献[14]を参照されたい。

*calorie* は、日常生活で居住者がどの程度カロリーを消費しているかを表す指標である。 $aou = (u, *, *, *, a)$  に対し、市販の活動量計でも利用される METs [15] を用いて式 (3) で与える。

$$calorie(aou) = 1.05 \cdot W_u \cdot METs_a \quad (3)$$

ここで、 $W_u$  は居住者  $u$  の体重を表し、 $METs_a$  は行動  $a$  で消費される酸素量を表している。METs の値は行動ごとに規定されており、詳しい値に関しては文献[15]を参照されたい。

QoT は、人が過ごす時間の質や生活に対する満足度を表現する指標である。これまでの指標とは異なり、QoT は SLSA タイムテーブルに対して定義する。SLSA タイムテーブル  $X = \{(u_1, t_1, l_1, a_1), (u_2, t_2, l_2, a_2), \dots, (u_n, t_n, l_n, a_n)\}$  に対し、 $X$  の関数 (QoT 関数) を考える。これは  $X$  の“価値”を定めるものであり、例えば、家族が同じ場所で一緒に過ごす時間を評価する関数  $f(X)$  は、式 (4) のような 2 値関数で定義できる。

$$\begin{aligned} f(X) &= 1 \quad \text{iff } \exists X' \subseteq X \text{ where} \\ &\quad \forall (u_i, t_i, l_i, a_i), (u_j, t_j, l_j, a_j) \in X' \\ &\quad \quad t_i = t_j \wedge l_i = l_j \\ &\quad \text{and } \bigcup_i u_i \text{ is the set of family members} \\ &= 0 \quad \text{otherwise} \end{aligned} \quad (4)$$

関数  $f(X)$  は、集合  $X$  に含まれる AOU を実施する居住者全員が、あるタイムスロットにおいて同じ場所で時間を共有している場合に  $f(X) = 1$  となり、そうでなければ  $f(X) = 0$  となる。内閣府によると、家族団らんの時間がここ数十年で減少し続けていることが問題となっている[16]ことから、今回は QoT の評価関数として家族団らんに関する関数を用いたが、こういった価値観に関わる指標は個人差が大きいため、QoT 関数は多

様な評価指標として各自設定できるものとする。

#### 4.3 生活改善アドバイス生成のための改善ルール群

続いて、行動や稼働の変更内容と改善効果に対応付ける改善ルールについて検討を行った。提案手法では、一般に人が保有している省エネや健康などに対する自分なりの経験や知識を定式化することで、居住者にとって自然な生活改善アドバイスが生成できると考え、前述の同じ1,000人の回答者に対して生活の知恵や生活改善案を伺った。こちらも、日常的に居住者が気をつけることで生活改善が可能な案に絞り、それぞれをSLSAタイムテーブルにおけるAOUの値を変更する下記の8つのルールとして定義した。

**Peak\_shift** ルールはAOUの実施時間をシフトすることによって、電気料金のピーク時間帯の電力使用を避ける状態に変更するルールである。**Cool\_share** ルールはすべての居住者が一箇所に集まって時間を共有するとともに、空室となった場所のエアコンをオフ状態に変更するルールである。**Power\_saving** ルールはエアコンや掃除機といった家電のエネルギーコストを削減するように稼働時の設定を変更するルールである。**Time\_share** ルールは“食事”のような行動を家族全員で楽しむために、それらの行動の実施時間と実施場所を統一した状態に変更するルールである。**Relaxing** ルールは任意の行動をくつろぎの時間や趣味活動等の“余暇”行動に変更するルールである。**Exercise** ルールは任意の行動を“運動”行動に変更するルールである。**Transpiration** ルールは環境保全や健康の観点から、外出時の自家用車での移動を徒歩や自転車、公共交通機関を利用するように変更するルールである。**Achieving\_regular\_life** ルールは“睡眠”や“食事”といった行動を規則正しくするルールや、生活上好ましくない行動（*e.g.* 睡眠の直前にパソコンを使用することは安眠を妨げる）を防ぐようなルールを含む。それぞれ当該行動の実施時間帯を、前者であれば普段の実施頻度の高いスロットに、後者であれば実施しても問題のない時間帯に変更する。

#### 4.4 生活改善アドバイスの導出

前節で述べた改善ルールを用いて生活改善アドバイスを導出するアルゴリズムを示す。アルゴリズムの入力として、現状の行動を表すAOU集合を $X$ 、行動改善により変更されたAOU集合を $G$ で表すとす。生活改善アドバイスは $G$ の行動を促すものとして得られる。

我々は現在の生活状況 $X$ をセンサ等により検出することを想定しているが、前述の通り、一般的には居住者の生活内容を完全に認識することは難しい。そこで、 $X$ はある時間や場所、居住者に限られた一部のAOUのみで構成されるタイムテーブル、もしくはセンシングを利用せず、居住者によって一日のはじめに登録されたその日の行動予定を $X$ として扱うこととする。以下にCool\_shareルールを適用した $G$ の導出例を示す。以降、集合 $X$ は午後8時から9時の間に検出されたAOUの集合とする。

$$X = \{a_1, a_2, a_3, a_4, a_5, a_6\}$$

$$a_1 = (\text{Dad}, 20, \text{study\_room}, \text{Work}(\text{device}=\text{PC}))$$

$$a_2 = (\text{Mom}, 20, \text{living\_room}, \text{Relaxing})$$

$$a_3 = (\text{Child}, 20, \text{child's\_room}, \text{Study})$$

$$a_4 = (\text{AC}, 20, \text{living\_room},$$

$$\text{ON}(\text{mode} = \text{cooling}, \text{temp} = 26^\circ\text{C}))$$

$$a_5 = (\text{AC}, 20, \text{study\_room},$$

$$\text{ON}(\text{mode} = \text{cooling}, \text{temp} = 27^\circ\text{C}))$$

$$a_6 = (\text{AC}, 20, \text{child's\_room}, \text{OFF})$$

$a_1$  に対して  $l \leftarrow \text{living\_room}$  を適用して  $a'_1 = (\text{Dad}, 20, \text{living\_room}, \text{Work}(\text{device}=\text{PC}))$ 、 $a_3$  に対して  $l \leftarrow \text{living\_room}$  を適用して  $a'_3 = (\text{Child}, 20, \text{living\_room}, \text{Study})$ 、 $a_5$  に対して  $a \leftarrow \text{OFF}$  を適用して  $a'_5 = (\text{AC}, 20, \text{study\_room}, \text{OFF})$  とし、 $X' = \{a'_1, a_2, a'_3, a_4, a'_5, a_6\}$  を得ると、集合 $X'$ は $G$ の一候補となる。 $G$ では、居住者がすべてリビングに集まり、リビングのエアコンはオン、それ以外の場所のエアコンはオフの状態となっている。

但し、ルールの適用方法とそれにより得られる $G$ は一通りではないため、本研究では不要な導出を避けるために2つの手法を採用している。一つは、導出の各ステップにおいて、いわゆる“常識”から逸脱するような変更や居住者の好みに反するような変更を却下する。提案手法ではAOUに対する論理式の形で記述した禁止規則をデータベースに保持しておき、生活改善アドバイスの導出時に参照することで、上記の例で言えば「子供部屋に家族全員が集まってクールシェアを行う」といった不自然な生活改善アドバイスを除外できる。

もう一つは、居住者の生活を極端に変えるような生活改善アドバイスを自動で除外する。提案手法では、2つのSLSAタイムテーブル間の距離を定義し、ルールの適用中に元のAOU集合 $X$ からの距離がある閾値を超えた場合は、そのルール適用を中止することで、居住者にとって無理のある（変更前後のタイムテーブル間の距離が大きい）生活改善アドバイスを生成しないようにする。

実際に生成した生活改善アドバイスは、行動や稼働の変更内容としてSLSAタイムテーブル $X$ および $G$ の各候補 $G_i$ を組にして提示するとともに、 $G_i$ ごとに改善効果（4指標の値）を  $(\text{energy\_cost}, \text{comfort}, \text{calorie}, \text{QoT}) = (-103\text{yen}, -0.57, 230\text{kcal}, 1\text{hour})$  のような形で提示する。また、類似する2つの生活改善アドバイスに対し、一方の効果が他方よりも小さい場合には、効果の小さい生活改善アドバイスを推薦しないことによって、居住者の混乱を避ける。

## 5. 性能評価

SLSAが実用的なアドバイスを導出できることを確認するためには、利用者のフィードバックが不可欠である。本論文では、34人の被験者それぞれの実際の生活状況と家族構成、家電の所有情報に基づいて導出したアドバイスに対し、フィードバックを得る実験（実験1）を行った。次に、実在する3人家族の自宅に電力計センサを設置し、1ヶ月以上計測したデータを基に行動推定を行い、アドバイスを導出する実験（実験2）を行った。いずれの実験においても、タイムスロットは30分単位、電力価格は東京電力のピークシフトプラン[10]を利用している。

### 5.1 実験1: 34人の被験者に対するシステム適用と評価

我々は34人の被験者に対し、クラウドソーシングシステムを介してアドバイスの評価を依頼した。まず、各被験者は自身の典型的な平日のスケジュール（1日分）を回答する。次に、SLSAは報告された各スケジュールに対してアドバイスを導出するが、このときの温度と湿度（気象庁の発表値）、電化製品の消費電力量は事前に用意した計測値を利用した。導出後、各アドバイスを対応する被験者に提示し、アドバイスに対して満

表 1 推薦アドバイスに対する平均評価 (実験 1)

改善方策	総合	満足度	動機	興味
peak_shift	3.35	3.61	3.26	4.00
cool_share	3.30	3.48	3.41	3.93
power_saving	3.95	3.75	3.63	3.99
time_share	2.50	2.60	2.40	4.45
relaxing	2.78	2.76	2.76	4.13
exercise	3.07	3.27	3.23	4.34
transportation	2.78	2.85	2.70	3.82
achieving_regular_life	2.51	2.75	2.69	3.50
平均評価	3.12	3.22	3.08	4.05
最高評価	4.09	3.84	3.84	4.63

足できるかの主観評価を得た。評価項目として、(i) 行動改善アドバイスに対する総合評価、(ii) アドバイスを実施することで得られる改善効果に対する満足度、(iii) アドバイスを実行することに対するモチベーションの高さ (動機) を挙げている。(ii) と (iii) に関しては、アドバイス実行の利益と手間に関する評価を確認するためであり、これらのバランスを考慮し、最終的に被験者がそのアドバイスを良いと思えたかを (i) の結果とあわせて判断する。また、被験者の嗜好を把握するために、(iv) 4. 章であげたアドバイス導出ルール (クールシェアや節電など) に対する興味についても調査している。これら 4 つの項目は 5 段階評価で被験者に採点され、5 が「非常に良い、満足である、実行したい、興味がある」、3 が「普通」、1 が「非常に悪い、不満である、実行したくない、興味が無い」を表す。

この実験で実際に導出したアドバイスの例を以下に示す。

- Power\_saving ルールにより、「13:00 ~ 14:30 に使用している掃除機の稼働モードを Strong から Weak に変更すれば、一日あたり 56.25 円 (月換算で 1687.5 円) の節約になります」というアドバイスが、Peak\_shift ルールにより、「掃除の時間を 9:30 から 7:00 に変更すると、一日あたり 15.13 円、一月あたり 453.9 円削減できます」というアドバイスが推薦された。

- 消費カロリーの改善効果が大きかったものとしては、Transportation ルールによる「お父さんの通勤手段として自家用車を使うのを止めると、一日につき、徒歩で通勤すれば 110.25kcal、自転車で通勤すれば 220.50kcal 多く消費できます」の他、Exercise ルールによる「お母さんは普段朝に家事をしていますが、その時間帯、30 分運動すると、52.50kcal 消費できます」といったアドバイスが導出された。

- Cool\_share ルールのアドバイス例としては、「夕食後、家族全員でリビングに集まれば、PMV の値が 1.65(59.02% の人が不快と感じる暑さ) から 0.79(同 18.29%) まで下がりますし、エアコン稼働台数を減らすことで 20.78 円 (月あたり約 600 円) 節約できます。さらに、一部屋に集まれば家族の団らん時間が増加します」、「13:00 に家でくつろぐのをやめて外部の施設に行くと、エアコンオフにより一日あたり 23.40 円 (一月あたり 702 円) 節電できます」というものが導出された。

- Time\_share ルールにより、「お父さんとお母さんが息子さんの帰宅を待っていつもより 1 時間遅く夕食を取るようになれば、家族全員で夕食の時間を楽しむことができます」などのアドバイスが見受けられた。

- Achieving\_regular\_life ルールにより、「入浴時間を 23:30 から 20:00 にずらしてみたいかがでしょう。睡眠の直前の入浴は快眠を妨げる原因となり得ます」といったアドバイスが推薦された。

表 1 は 5 段階評価の結果を示している。表 1 において、「平均評価」は提示したアドバイスの平均評価 (全被験者平均)、「最高評価」は提示したアドバイスのうちの最高評価 (全被験者平均)

均、満足度と動機については総合評価が最大であったアドバイスに対する評価値) を表している。総合平均評価の値が 3 (普通) を超えていることから、被験者は SLISA が提案したアドバイスに概ね満足していると考えられる。加えて、総合最高評価は 4 を超えており、改善効果と実行動機に対する最大評価はそれぞれ 3.84 であった。我々は、人によって自身の生活に望む改善内容が異なっていたとしても、どの居住者に対してもそれぞれ何かしらの好ましいアドバイスを提示できるシステムを目指し、多様なアドバイスの導出方法について検討してきたが、これらの評価結果より、SLISA は少なくとも 1 つは各被験者に魅力的なアドバイスを提案していると考えられ、SLISA は目標とするシステムの在り方を実現できたと言える。また、改善ルールそのものに対する評価値は 4.63 だった (この評価値はあくまで改善ルールに対する好みあるいは受容であり、回答の際に改善ルールの効果を提示しているわけではない)。このことから、基本的に各被験者は生活改善に対して興味を持っており、各個人の行動に沿った生活改善をアドバイスする本システムは需要があると考えられる。全体として、アドバイスに対する総合最高評価が 4 以上であった人の割合は 73.53% であり、多くの人が SLISA の提案するアドバイスに満足しているという結果が得られた。

## 5.2 実験 2: 実家庭における行動把握とアドバイス生成

実験 2 に際し、我々は SLISA のプロトタイプを実装した。プロトタイプは、(a) 居住者と SLISA とを繋ぐためのユーザーインターフェース (タブレットなどで提供される)、(b) 北陽製レーザーレンジスキャナ [17] を用いた居住者の位置情報を可視化するトラッキングシステム、(c) 電化製品の消費電力量を可視化するためのシステムの 3 つの機能を有している。実験 2 では、ECHONET-Lite 基準 [9] であるスマートエコワット [12] を、3 人家族 (両親と 11 歳の男児) が居住している 2 階建ての住居 (120m<sup>3</sup>, キッチン, リビング, 書斎, 寝室 2 部屋, 子供部屋と洗面所/浴室を有する) の各コンセントに取り付けている。データの計測は、2014 年 8 月 24 日から 2014 年 10 月 1 日までの 1 ヶ月以上の期間実施した。機能 (c) に関して簡単なルール (掃除機がリビングで稼働していれば、居住者はリビングに居ると考えられるなど) を定義することで部屋レベルでの居住者の位置情報を知ることができるため、今回は機能 (c) で得られたデータのみから居住者の行動や位置を推定するという、簡易的な行動検出を行っている。実際に電力を計測した家電と、そこから推測される居住者の行動の対応 (推定ルール) を表 2 に示す。なお、機能 (b) により、居住者の位置は部屋ごとの特定の空間レベルで計測することができるが、これらのセンサは高価であり一般家庭に容易に導入できるものではないため、本実験ではこの位置情報を用いずに行動推定を行い、正解データの取得用途に留めている。加えて、家電使用情報だけでは完全に行動が特定できない場合は、「夜間電化製品が稼働していない時間帯は、居住者は睡眠中とみなす」、「昼間電化製品が稼働していない時間帯は、居住者は仕事や学校に出かけているとみなす」、「テレビが稼働していて、かつ表 2 の推定ルールに当てはまらない場合は、居住者はくつろいでいるものとみなす」という 3 つの行動推定ルールを定義することで行動情報の補完を行っている。実際に検出された電力量と、そのデータから推定した行動内容の一例については表 3 に示しており、電力データのみからでも、妥当なスケジュールを推定できていることが分かる。

表 2 計測電力量と推定される行動内容の対応 (実験 2)

家電	設置位置	推定行動内容
エアコン	リビング	エアコン : ON
エアコン	子供部屋	エアコン : ON
洗濯機	洗面所/浴室	洗濯機 : ON
炊飯器	キッチン	炊飯器 : ON
テレビ	リビング	テレビ : ON
電子レンジ	キッチン	お母さん : 調理
パソコン	寝室	不特定 : パソコン
デスクライト	子供部屋	子ども : 勉強
扇風機	リビング	不特定 : くつろぐ
扇風機	ダイニング	不特定 : 食事
扇風機	子供部屋	子ども : 睡眠
扇風機	洗面所/浴室	不特定 : 入浴
ドライヤー	洗面所/浴室	不特定 : 入浴

表 3 センシング結果と推定スケジュールの一例 (実験 2)

8/27のセンシングデータ(30分間の最大瞬間電力[W])

	洗濯機	テレビ	炊飯器	電子レンジ	扇風機(的)	扇風機(子)	デスクライト	パソコン	ドライヤー	扇風機(洗)
6:30	0	0	1	0	1	22	0	0	0	0
7:00	0	373	1	1287	19	0	0	0	0	0
7:30	253	312	1	1	19	0	0	1110	0	31
8:00	268	349	1	0	1	0	0	0	0	31
8:30	0	0	1	0	1	0	0	0	0	31

8/27の推定スケジュール

	お父さん		お母さん		子ども		洗濯機	テレビ	炊飯器			
6:30	睡眠	寝室	-	睡眠	寝室	-	睡眠	子供部屋	-	OFF	OFF	OFF
7:00	くつろぐ	リビング	-	調理	キッチン	ON	くつろぐ	リビング	-	OFF	ON	OFF
7:30	朝食	ダイニング	-	朝食	ダイニング	-	朝食	ダイニング	-	ON	ON	OFF
8:00	くつろぐ	リビング	-	くつろぐ	リビング	-	くつろぐ	リビング	-	ON	ON	OFF
8:30	仕事	会社	車	仕事	会社	車	学校	学校	徒歩	OFF	OFF	OFF

さらに、推定した行動内容に対し、行動改善アドバイスを導出した。表 2 から明らかな通り、今回の実験では想定する生活行動のうちの一部しか推定できないにもかかわらず、2014 年 8 月 27 日のスケジュールを例に取ると、「食事の間にテレビを消すようにすれば、5.8 円（一月あたり 174 円）節約することができます」、「息子さんは自室でエアコンを付けて勉強しているようですが、図書館に行って勉強するようにすれば、一日あたり 19.14 円、一月にして約 600 円の節約になります」、「21:30（就寝前 3 時間以内）にパソコンを使用するのは、快適な睡眠に良くありません」などのアドバイスを推薦できた。これらの結果から、センサの精度やプライバシーの観点から完全なタイムテーブルを取得できない状況においても、SLSA によるアドバイスの導出が可能であることと、実環境における SLSA の有用性を確認できた。

## 6. おわりに

本論文では、居住者の生活改善アドバイスを導出するスマートホームシステム SLSA を提案した。クラウドソーシングを用いた生活改善アドバイスの生成やスマートホームにおける生活改善システムの提案という観点において、本研究は新しい要素を多く含んでいる。

## 謝 辞

本研究は文部科学省国家課題対応型研究開発推進事業「社会システム・サービスの最適化のための IT 統合システムの構築」(2012 年度～2016 年度)の助成を受けたものです。

## 文 献

[1] J. Byun, I. Hong, and S. Park, "Intelligent cloud home energy management system using household appliance priority based scheduling based on prediction of renewable energy

capability," IEEE Transactions on Consumer Electronics, pp.1194-1201, Nov. 2012.

[2] W.K. Edwards and R.E. Grinter, "At home with ubiquitous computing: Seven challenges," Proceedings of the 3rd International Conference on Ubiquitous Computing (UbiComp '01), pp.256-272, 2001.

[3] M. Jahn, M. Jentsch, C.R. Prause, F. Pramudianto, A. Al-Akkad, and R. Reiners, "The energy aware smart home," Proceedings of 5th International Conference on Future Information Technology (FutureTech 2010), pp.1-8, 2010.

[4] H.Farhangi, "The path of the smart grid," IEEE Power and Energy Magazine, vol.8, pp.18-28, January-February 2010.

[5] S. Lee, D. Ahn, S. Lee, R. Ha, and H. Cha, "Personalized energy auditor: Estimating personal electricity usage," Proceedings of 2014 IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications (PerCom 2014), pp.44-49, 2014.

[6] S. Rollins and N. Banerjee, "Using rule mining to understand appliance energy consumption patterns," Proceedings of 2014 IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications (PerCom 2014), pp.29-37, 2014.

[7] F. Sadri, "Ambient intelligence: A survey," ACM Computing Survey, vol.43, no.4, pp.36:1-36:66, 2011.

[8] A.S. Taylor, R. Harper, L. Swan, S. Izadi, A. Sellen, and M. Perry, "Homes that make us smart," Personal Ubiquitous Computing, vol.11, no.5, pp.383-393, June 2007.

[9] エコネットコンソーシアム, "ECHONET". <http://www.echonnet.gr.jp/>.

[10] 東京電力, "ピークシフトプラン". <http://www.tepco.co.jp/e-rates/individual/menu/home/home06-j.html>.

[11] Y. Wada, T. Higuchi, H. Yamaguchi, and T. Higashino, "Accurate positioning of mobile phones in a crowd using laser range scanners," Proceedings of 2013 IEEE 9th International Conference on Wireless and Mobile Computing, Networking and Communications (WiMob 2013), pp.430-435, 2013.

[12] Enegate, "スマートエコワット". [https://www.enegate.co.jp/smarteco\\_portal/](https://www.enegate.co.jp/smarteco_portal/).

[13] Yahoo! Japan, "Yahoo! Japan クラウドソーシング". <http://crowdsourcing.yahoo.co.jp>.

[14] International Standard Organization, "Moderate Thermal Environments - Determination of the PMV and PPD indices and specification of the conditions for thermal comfort," ISO 7730, Second Edition, 1994.

[15] B. Ainsworth, W. Haskell, S. Herrmann, N. Meckes, D. Bassett Jr, C. Tudor-Locke, J. Greer, J. Vezina, M. Whitt-Glover, and A. Leon, "2011 compendium of physical activities: a second update of codes and met values.," Medicine and science in sports and exercise, vol.43, no.8, pp.1575-1581, 2011.

[16] S. Kuroda, "Do Japanese Work Shorter Hours than before? Measuring trends in market work and leisure using 1976-2006 Japanese time-use survey," Journal of the Japanese and International Economies, vol.24, no.4, pp.481-502, 2010.

[17] 北陽電機株式会社, "測域センサ, UTM-30LX".