

各種センサを用いた家庭内行動と電力消費量の関係の分析

亀津達也^{1,a)} 潘 新程^{1,b)} 井上創造^{1,c)}

概要: 近年, 世界規模でのエネルギー消費量の増加が問題となっており, 一般家庭内においても電力消費量削減の必要性が高まっている. そこで, 我々は家庭内の住人の行動に着目した消費電力量の削減を目標としている. 本論文では, 家庭内の消費電力量と関係の深い住人の行動, 及び, 家庭内の環境を計測するセンサの種類を検出する手法を提案する. 本手法は家庭内の電力データ, 住人の行動データ, センサデータの3つのデータからそれぞれの確率を計算し, その確率を用いて, 電力と行動間, 及び, 電力とセンサ間の相互情報量を求める. また, 本手法を実際の3つの家庭で計測した, 住人の行動, 電力, 各種センサのデータに適用した結果, 消費電力量との関係が深い行動は「こたつを使う」「パソコンを使う」「テレビを見る」「外出する」「睡眠をとる」であることがわかった. また, 消費電力量との関係が深い家庭内の要因は「音」と「照度」であることが分かった.

Analysis of the Relationship between Electricity Consumption and Domestic Activities Using In-house Sensors

TATSUYA KAMETSU^{1,a)} XINCHENG PAN^{1,b)} Sozo INOUE^{1,c)}

1. はじめに

国連のIPCC(気候変動に関する政府間パネル)の第5次評価報告書[1]によると, 大気と海洋システムの温暖化には疑う余地はない. 海面上昇など, 関連する影響の多くは1950年以降に, 歴史上かつてなかった規模で発生している. 1983–2013年はこの1400年間で最も温度の高い30年間であった可能性が高い. 排出量の削減が遅れるほど, 削減のコストはより高くなる. 地球全体の放射強制力は, 1750年に対して正であり, その最も主要な原因は二酸化炭素である.

といった報告がされている. このように, 近年, 世界規模でのエネルギー消費量の急激な増加が大きな問題となっている. エネルギー消費量が増加することにより, 大気中の二酸化炭素濃度が上昇し, 地球温暖化が進行している. その結果, オゾン層の破壊, 酸性雨, 熱帯雨林の減少, 海洋汚染, 砂漠化, 野生動物の種の減少, 気汚染などの数多

くの環境問題が引き起こされている. 資源・エネルギーは人間が生活する上で必要不可欠なものであるが, それらの消費の抑制や, 計画的な資源消費, 公害対策などの適切な措置をとらない場合, 環境に様々な悪影響を及ぼし, 人間自身の健康や自然に被害が出る. そして, 環境問題は今や国内のみの問題に止まらず, 地球規模の問題として国際社会において重要な課題となっている. このような問題に対し, 主な原因であるエネルギー消費量を削減すべく, 世界各国で国レベルでの電力節約への取り組みや, 企業, 家庭などの個人レベルでの電力節約への取り組みが必要となっている.

本研究では, 家庭内の住人の行動種, 及び, 家庭内の環境を計測するセンサの種類から消費電力量と関係の深いものを検出する手法について提案する. 本手法は家庭内の電力データ, 住人の行動データ, センサデータの3つのデータからそれぞれの確率を計算し, その確率を用いて, 電力と行動間, 及び, 電力とセンサ間の相互情報量を求める. 本手法を実際の家庭3か所で計測した, データに適用した結果, 住人の行動については, 「こたつを使う」「パソコンを使う」「テレビを見る」「外出する」「睡眠をとる」といった行動と消費電力量との関係が深いことが分かった. また,

¹ 九州工業大学
〒804-8580, 北九州市戸畑区仙水町 1-1

a) tatsuya.kametsu@gmail.com

b) fukuokapan@gmail.com

c) sozo@mns.kyutech.ac.jp

家庭内の環境を計測するセンサについては、「音」「照度」が消費電力量との関係が深いことが分かった。

以下 2 章で関連研究について述べ、3 章で提案手法について述べ、4 章で評価方法について述べる。5 章で評価の結果とその結果についての考察を述べる。最後に 6 章でまとめる。

2. 関連研究

日本では、2011 年 3 月 11 日の東日本大震災以来、節電に対する意識が高まっており、家庭内における、節電方法については、すでに多くの方法が知られている [2]。節電によって、電力消費が少なくなると発電設備にも余裕が生まれ、火力発電所では、限りあるといわれる化石燃料の消費量を低減し、同時に二酸化炭素排出量も低減でき、多くの環境問題を抑制することができる。

また、福岡県北九州市は、平成 23 年 12 月に国から「環境未来都市」[3]として選定され、我が国及び世界が直面する地球温暖化、資源・エネルギー不足といった環境問題に対し、「次世代クリーンエネルギーの拠点化の推進」、「北九州スマートコミュニティ創造事業の推進」の 2 つを行っている [4]。

「次世代クリーンエネルギーの拠点化の推進」では、大規模な風力発電所や太陽光発電所の設置をはじめ、工場から発生する熱や水素をエネルギーとして活用するなど、産業都市の特性を活かし、多様なエネルギー源の導入を目指している。

「北九州スマートコミュニティ創造事業の推進」では、北九州市八幡東区東田地区において、住民や事業所など需要家が太陽光発電などを設置することで、エネルギーの単なる消費者 (consumer) にとどまらず、生産消費者 (prosumer) へと変革すること、従来からのエネルギー供給者に加え、生産消費者 (prosumer) である市民や事業者が自ら「考え」「参加する」ことで、人々が自ら使うエネルギーを自ら管理する「デマンドサイド・セルフ・マネジメント」を実現すること、時間帯により電気料金を変動させるダイナミックプライシングやインセンティブプログラムの組み合わせによる快適性や経済性を考えた行動への変革といったことを目標としている。

また、東京大学の Green ICT プロジェクトでは、東京大学のキャンパスごとの電力使用量を削減目標値と共にリアルタイムでホームページに表示し、可視化による電力使用量の削減につなげている。部屋ごとの電力データの可視化も行い、その部屋の管理責任者が部屋の電力状況を常に確認できるシステムも導入している。このようにエネルギーを記録し、可視化により効率化する研究は頻繁に行われている [5]。

このように、節電に関する研究は、大学や自治体、国の機関などで様々な取り組みが行われているが、住人の行動

に着目した研究はあまり行われていない、そこで我々は、住人の行動を識別することによる、電力削減を最終目標としている。

3. 提案手法

我々は、住人の行動を識別することによる、電力消費量削減を最終目的としている。住人の行動を識別するためには、家庭内に様々なセンサを設置しなければならない。もし、住人の全ての行動をセンサを用いて、識別しようとすると、多くのセンサが必要となり、高いコストがかかってしまう。また、設置の負担や設備の維持が大変であり、部屋の景観を損なってしまう。そこで、本章では、住人の行動データ、センサデータおよび電力データから、相互情報量を用いて、消費電力量に影響を与える行動種およびセンサの優先度を算出する手法を述べる。これらの優先度の高い行動及びセンサを知ることができれば、なるべく少ないセンサで、電力消費量に影響を与える行動を識別することができる。

3.1 使用データ

本提案手法では、電力データ、行動データ、センサデータの 3 種類のデータを用いる。本節では、各データの詳細を記す。まず、電力データとは、任意の時間間隔で家庭内の消費電力量を記録したデータのことであり。続いて、行動データとは、任意の時間間隔で住人が行った行動を記録したデータの事である。最後に、センサデータとは、任意の時間間隔で、家庭内に設置した各種センサの値を記録したデータの事である。

3.2 電力に影響を与える行動種の検出手法

本節では、電力に影響を与える行動種の検出手法について述べる。

- (1) まず、行動データ、電力データから、行動 $a \in \{a_1, a_2, \dots\}$ (各 a_i は「睡眠」「食事」といった行動種)、消費電力 w に対して、それぞれ確率 $P(a)$ 、確率 $P(w)$ を構築する。
- (2) 次に、それぞれの行動 a_i について $P(a_i)$ と $P(w)$ の相互情報量 $I(a_i; w)$ を計算する。
- (3) 最後に、計算した $I(a_1; w)$, $I(a_2; w)$, $\dots$ の値が大きい順に行動クラスを並べ、これを優先順位とする。

これにより、電力に影響を与える大きさの順序で行動が出てくる。

3.3 電力に影響を与える要因の検出手法

本節では、電力に影響を与える要因の検出手法について述べる。電力に影響を与える要因として、家庭内の温度や湿度などが、考えられる。そこで、我々は温度や湿度などのセンサデータを用いる。

- (1) まず、電力データ、センサデータから、センサ $s \in \{s_1, s_2, \dots\}$ (各 s_i は「温度」「湿度」といったセンサの種類)、消費電力 w に対して、それぞれ確率 $P(s)$, 確率 $P(w)$ を構築する。
 - (2) 次に、それぞれのセンサ s_i について $P(s_i)$ と $P(w)$ の相互情報量 $I(s_i; w)$ を計算する。
 - (3) 最後に、計算した $I(s_1; w)$, $I(s_2; w)$, $\dots$ の値が大きい順にセンサクラスを並べ、これを優先順位とする。
- これにより、電力に影響を与える要因を検出するセンサの大きさの順序で行動が出てくる。

4. 評価

我々は、「行動と電力の関係」及び、「センサと電力の関係」を調べるために実際の一人暮らしの家庭3か所で、データの取得、及び本手法の適用を行った。本章では、各家庭での実験方法、及び、実験結果を示す。

4.1 実験方法

実験を行った3つの家庭をそれぞれ家庭A、家庭B、家庭Cとする。どの家庭も住人は、22歳、男性の学生である。それぞれの計測期間は、家庭Aが2014年1月14日～2014年1月19日の6日間。家庭Bが2014年1月29日～2014年1月30日の2日間。家庭Cが2014年4月21日～2014年4月29日の9日間である。

4.1.1 データの取得

各家庭で、電力データ、行動データ、センサデータを取得した。まず、スマートメーター（株式会社ユビキタス社製の「Navi-Ene Master」[6]）を配電盤に設置し、一時間毎の消費電力量を計測する。この計測値を電力データとする。図1に使用したスマートメーターの図を示す。

続いて、住人の行動を1時間ごとに、住人自身で記録する。記録する行動は、起床、洗顔、トイレ、食事、料理、パソコン、洗濯、テレビ、風呂、シャワー、ドライヤー、エアコン、こたつ、ケトル、レンジ、本、趣味・娯楽、外出、睡眠、照明、ゲームの21種類である。

表1に各種行動の定義を記す。

この記録を行動データとする。

最後に、スマートフォンに内蔵された、各種センサを用いてデータを取得する。スマートフォンは、部屋の中央にあるテーブルの上に固定した。使用したスマートフォンはサムスン社製のGALAXY Note 3である。使用したアプリは、「Sense-it」である。

計測に用いたセンサは、家庭Bについては、音センサ、温度センサ、湿度センサ、照度センサである。家庭Cについては、実験期間に入手できた気圧センサと住人の歩数計を測るセンサを追加し、値を取得した。計測周期は、音センサ、照度センサが15秒、温度センサ、湿度センサ、気圧センサ、が5分、歩数計が1分である。これらの計測値



図1 株式会社ユビキタス社製のスマートメーター「Navi-Ene Master」

表1 各種行動の定義

行動種	定義
起床	睡眠状態から目覚め、ベッドから立ち上がる
洗顔	洗面所で顔を洗う
トイレ	トイレにて用を足す
食事	テーブルでご飯を食べる
料理	キッチンにてご飯を作る
パソコン	テーブル上でパソコンを使用する
洗濯	洗濯機を使用する
テレビ	テレビをつけている状態
風呂	湯船にお湯をはり入浴する
シャワー	浴室にてシャワーを浴びる
ドライヤー	ドライヤーで髪を乾かす
エアコン	エアコンを使用する
こたつ	こたつを使用する
レンジ	電子レンジを使用する
本	読書をする
趣味・娯楽	住人の趣味 例 音楽を聴く
外出	家庭内に住人がいない状態
睡眠	寝ている状態
照明	リビングの照明を点けている状態
ゲーム	ゲーム機を起動している状態

をセンサデータとする。なお、家庭Aでは、実験期間にスマートフォンを準備できなかったため、センサデータの計測は行っていない。

家庭A,B,Cそれぞれの計測期間、取得したデータ、用いたセンサを表2にまとめた。

4.1.2 本手法の適用

取得した、電力データ、行動データ、センサデータの時間粒度を1時間に統一し、本手法に適用する。

表 2 各家庭の計測期間、及び、取得データ

	家庭 A	家庭 B	家庭 C
計測期間	6 日	2 日	9 日
電力データ	○	○	○
行動データ	○	○	○
センサデータ	×	音, 温度, 湿度, 照度	音, 温度, 湿度, 照度, 気圧, 歩数

4.2 実験結果

本節では、3 つの実際の家庭で行った実験のそれぞれの結果を示す。

4.2.1 家庭 A

図 2 に、家庭 A の住人の行動と消費電力量間の相互情報量を示す。

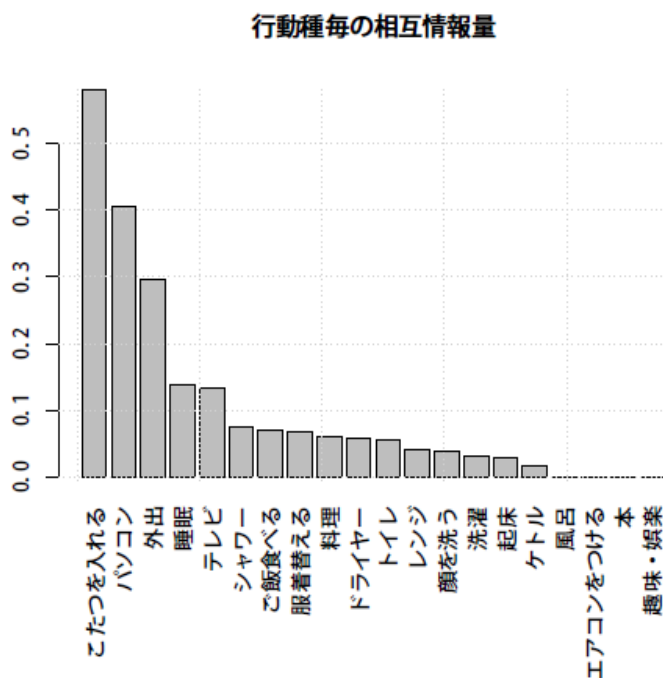


図 2 家庭 A の電力と行動間の相互情報量

図 2 より、消費電力量との相互情報量が大きい行動を上から 5 つ書き出すと、「こたつを入れる」「パソコンを使う」「外出する」「睡眠をとる」「テレビを見る」であることが分かる。

4.2.2 家庭 B

図 3 は、家庭 B の住人の行動と消費電力量間の相互情報量である。図 4 は、家庭 B で計測した各種センサと消費電力量間の相互情報量である。

図 3 より、消費電力量との相互情報量が大きい行動を上から 5 つ書き出すと、「外出をする」「こたつを入れる」「テレビを見る」「睡眠をとる」「趣味娯楽をする」であることが分かる。

図 4 より、消費電力量との相互情報量が大きいセンサは

行動種毎の相互情報量

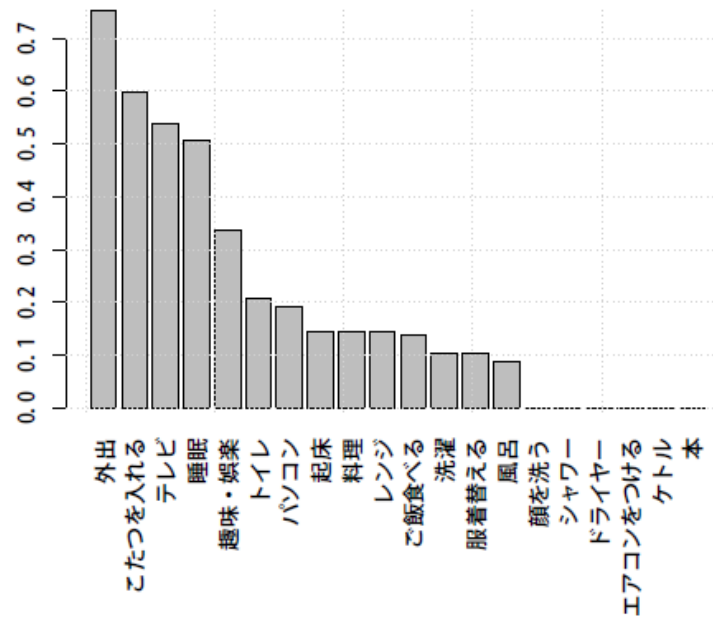


図 3 家庭 B の電力と行動間の相互情報量

センサ毎の相互情報量

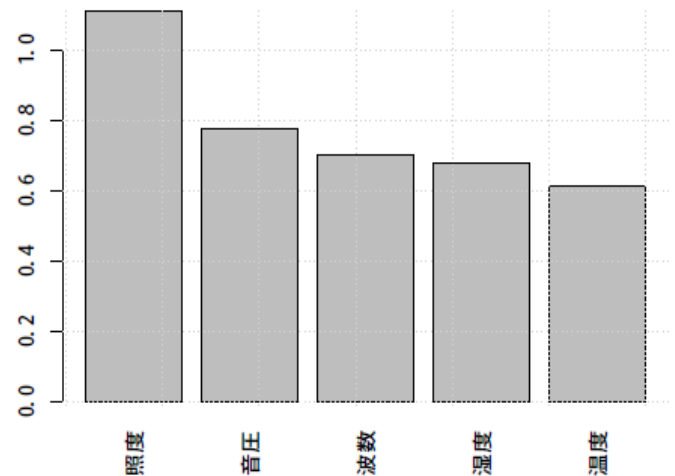


図 4 家庭 B の電力とセンサ間の相互情報量

上から順に、「照度」「音圧」「音の周波数」「湿度」「温度」であることが分かる。

4.2.3 家庭 C

図 5 は、家庭 C の住人の行動と消費電力量間の相互情報量である。図 6 は、家庭 C で計測した各種センサと消費電

力量間の相互情報量である．図 7 は，家庭 C の住人の行動と消費電力量の変化量間の相互情報量である．図 8 は，家庭 C で計測した各種センサと消費電力量の変化量間の相互情報量である．

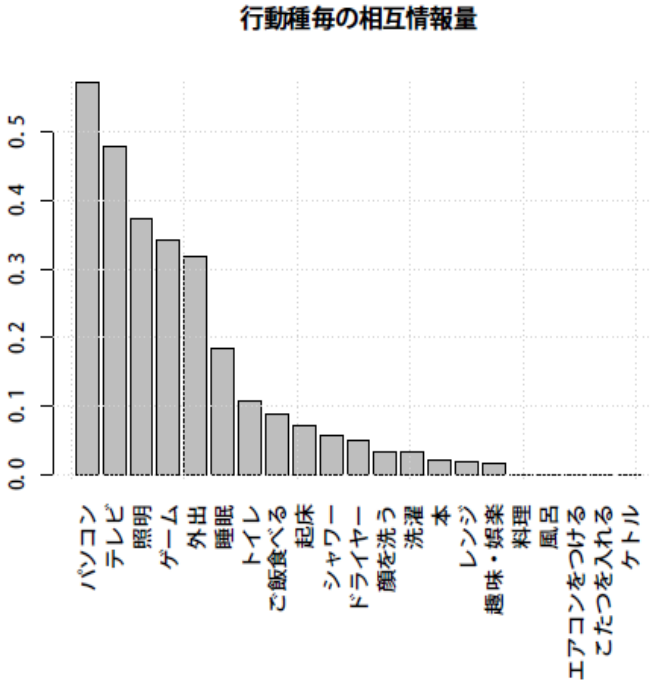


図 5 家庭 C の電力と行動間の相互情報量

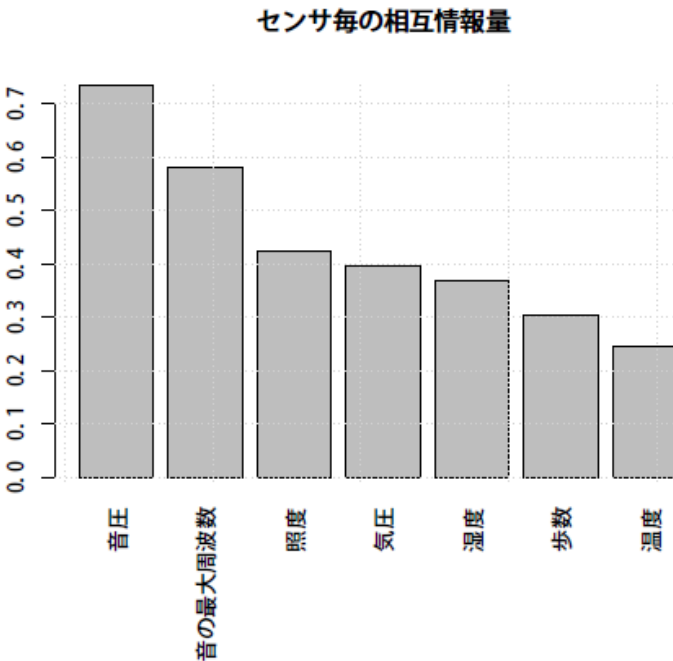


図 6 家庭 C の電力とセンサ間の相互情報量

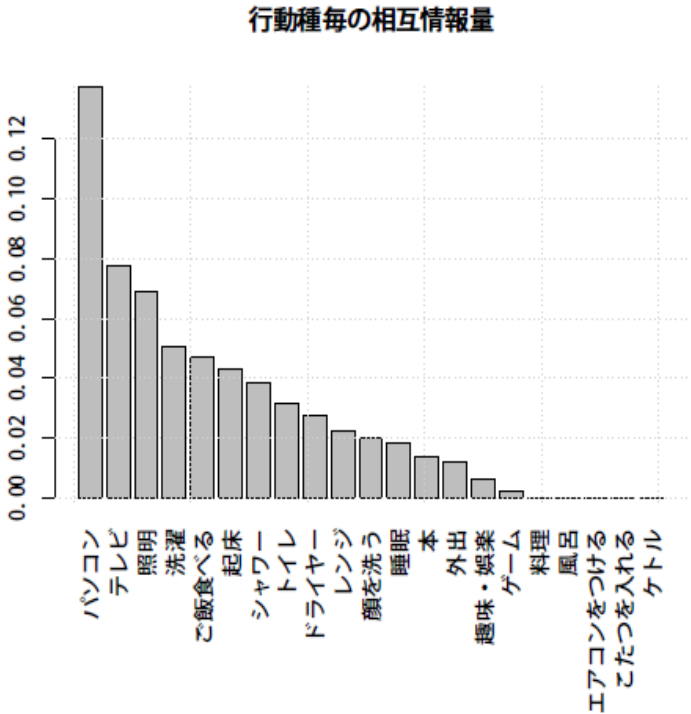


図 7 家庭 C の電力の変化量と行動間の相互情報量

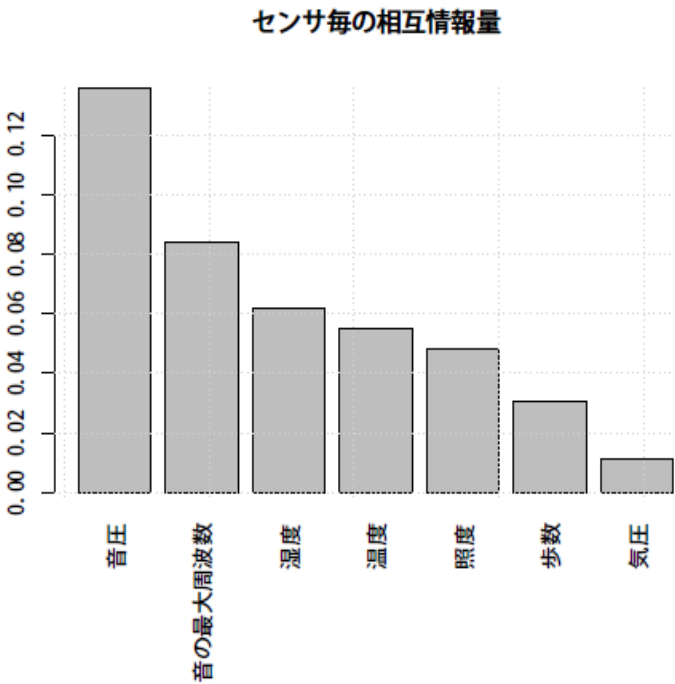


図 8 家庭 C の電力の変化量とセンサ間の相互情報量

図 5 より，消費電力量との相互情報量が高い行動を上から 6 つ書き出すと，「パソコン」「テレビ」「照明」「ゲーム」「外出」「睡眠」であることが分かる．

図 6 より，消費電力量との相互情報量が高いセンサは上から順に，「音圧」「音の最大周波数」「照度」「気圧」「湿

度」「歩数」「温度」であることが分かる。

図7より、消費電力量の変化量との相互情報量が大きい行動を上から5つ書き出すと、「パソコン」「テレビ」「照明」「洗濯」「食事」であることが分かる。

図8より、消費電力量との相互情報量が大きいセンサは上から順に、「音圧」「音の最大周波数」「湿度」「温度」「照度」「歩数」「気圧」であることが分かる。

5. 考察

まず、消費電力量と各種行動間の関係について考える。家庭Aの一番目、家庭Bの二番目に「こたつを入れる」が入っているが、家庭Cには、入っていない、これは、家庭A、Bのデータの取得は1月、家庭Cのデータの取得は4月に行い、季節が異なるためである、このことから、消費電力量に影響を与える行動は季節ごとに、大きく異なることが言える。また、全ての家庭の5番以内に入っている行動は、「テレビを見る」、「外出する」である。この二つの行動は、一般的に、消費電力量との関係が深く、住人がこれらの行動をしているのか、いないのかが分かれば、電力消費量の値を予想しやすいと言える。また、3つの家庭のうち、二つの家庭で5番以内に入っているしている行動が、「パソコンを使う」「睡眠をとる」である。また、家庭Cの3番目には、「照明をつける」が入っている。これも消費電力量と関係の深い行動だと考えられる。

また、「パソコンを使う」「テレビを見る」「照明をつける」といった行動は、家庭Cの住人の行動と消費電力量の変化量との間の相互情報量の結果の上位3つに入っている。よって、これら3つの行動を行っているのか、いないのかが分かれば、電力の絶対値、変化量の両方について多くの情報を得ることができるといえる。

続いて、消費電力量とセンサ間の関係について考える。家庭Bの結果が大きい順に、「照度」「音圧」「音の最大周波数」「湿度」「温度」となっている。家庭Cの結果は、大きい順に、「音圧」「音の最大周波数」「照度」「気圧」「湿度」「歩数」「温度」となっている。両方の家庭に共通して言えることは、上位3つが「音圧」「音の最大周波数」「照度」であることである。すなわち、家庭内の消費電力量は、家庭内の「音」「照度」と関係が深いと考えられる。「音」の相互情報量が大きいのは、音センサによって「テレビ」の音をひろい、「テレビ」がついているのか、ついていないのかを、判別することができるためだと思われる。また「照度」と消費電力量との相互情報量が大きいのは、「照度」センサによって、「照明」がついているのか、いないのかを判別することができるからだと考えられる。

6. まとめ

本論文では、家庭内における消費電力量と関係の深い、住人の行動、及び、家庭内の環境を計測するセンサの種類

を相互情報量を計算することにより検出する手法を提案した。実際に、3つの家庭で、データを計測し、本手法を適用した結果、「こたつを入れる」「パソコンを使う」「テレビをつける」「外出する」「睡眠する」「照明をつける」といった行動が消費電力量との関係が深いことが判明した。「こたつ」は季節により、使用頻度が大きく異なるので、消費電力量との関係性も季節により大きく異なる。また、消費電力量と関係の深いセンサは、「音」「照度」であることが分かった。これらの結果をふまえ、なるべく少ないセンサで、消費電力量と関係の深い行動を検出するには、「テレビ」の音をセンサが拾える範囲に、「照度センサ」と「音センサ」を設置するのが好ましいと考えられる。

謝辞

本研究の一部は、CREST 分散協調型エネルギー管理システム構築のための理論及び基盤技術の創出と融合展開「需要家の行動変容に影響を与える要因に関する基礎的研究（研究代表者:日高一義）」および基盤研究(A)「人間行動理解のための装着型センサによる大規模データベースの構築（研究代表者:河口信夫）」による。

参考文献

- [1] IPCC, "第5次評価報告書", <http://www.ipcc.ch/report/ar5/>
- [2] 電力中央研究所, "ESAS-R 省エネ行動一覧", http://criepi.denken.or.jp/pieceeco/piece_eco/esasr_1.html
- [3] 北九州市, "北九州市環境未来都市", <http://www.city.kitakyushu.lg.jp/soumu/02000009.html>
- [4] 北九州市, "北九州スマートコミュニティ創造授業", <http://www.kitakyushu-smart.jp/cmsmiddlegroups/listview?nn=SMT&lg=1>
- [5] 東京大学, "GreenICT プロジェクト", <http://www.gutp.jp/>
- [6] 株式会社ユビキタス社, "NaviEneMaster", <http://www.ubiquitous.co.jp/products/clo/hems/navi-ene/>