

照度センサを用いた住環境における 生活状態パターンの抽出方法に関する基礎検討

有賀玲子[†] 浦哲也[†] 定方徹[†] 田中智博[†] 小林稔[†]

住環境には複数の照明が存在する。各照明の点灯には、住環境における行動の内容が反映されると考えられる。本研究では、照度センサのデータを用いて、住環境における生活状態が類似した日を抽出することを目的とする。20世帯のキッチン周辺に照度センサを設置し、40日間照度の計測を行った。本稿では、類似する生活状態パターンを抽出するために、照度センサの適切な設置場所の検討を行う。また、照度のクラスタリングにより、照明点灯パターンが類似する日を抽出可能であることを示す。

Fundamental Study on Extracting Method of Life Pattern in Living Environment Using Light Sensor

REIKO ARUGA[†] TETSUYA URA[†]
TORU SADAKATA[†] TOMOHIRO TANAKA[†] MINORU KOBAYASHI[†]

There are multiple lights in usual living environment. Each lighting could represent residentiary activities. We propose an extraction method which determine similar days by using only a light sensor. We measured illuminance data by setting a light sensor around the kitchen at 20 homes for 40 days. In this paper, we discuss appropriate place to put the sensor and the feasibility of the extraction method.

1. はじめに

センシングデバイスを用いて行動推定を行うアプリケーションが増加している。特に、高齢者見守りの分野では、見守られる側の抵抗感が少ない形態で生活状態を見守ることができる技術が求められている。本研究では、生活状態を、住人が住環境においてその日どのように過ごしたかを表すパターンと定義し、「いつもと同じ時間に帰宅し、いつもと同じ時間に夕飯を食べた」「帰りが遅かった」「ずっと家にいた」等といったような、住環境をベースとした生活状態を推定する方法を提案する。特に、センサ設置に対する心理的障壁と、センサ導入の簡易さを重視し、照度センサのみを用いて生活状態の推定を行うことを目指す。

家庭環境においてセンサデータを収集する場合、ユーザの心理的障壁の低い条件で行う必要があると考えられる。第3章で示すセンサ設置に対する許容度アンケートから、音声や画像等に比べると、温度、湿度、照度はセンサ設置に対する抵抗感が低いことが示された。照度は、照明の点灯/消灯等、人間が変化を加える頻度が高いため、温度等に比べて生活状態推定のための情報量が多いと考えられる。

一方、これまで行動推定を行うためのセンシングデバイスには、カメラ、マイク、加速度センサ、GPS等が主に用いられており、照度センサのみを用いて口バスタな行動推定をすることは困難であるとされてきた[1][2]。近年の携帯端末や家電製品の高機能化に伴い、様々なセンサが機器に搭載されるようになってきているが、これらに搭載された加速度センサやGPSを用いた行動記録のアプリケーション

が多く提案されている一方、照度センサを用いたものは少ない。しかし、携帯端末やテレビ等のユーザの身近な機器に搭載されている点で、行動記録に用いるセンサとして、照度センサもまた、導入が簡易である可能性がある。

以上のように、データ収集に対する抵抗感が低いこと、センサの導入が簡易であることから、本研究では照度のみを用いて住環境での生活状態を推定することを目指す。

気象条件や時刻等により部屋が暗くなると人は照明を点灯して生活をする。住環境には複数の照明が存在する。居住空間にはそれぞれ役割があるので、各空間における照明の点灯には、そこで過ごす人物の行動の大まかな意味が紐づいていると考えられる。例えば、キッチンの照明が点灯している場合には調理または片付け、ダイニングの照明が点灯している場合には食事、リビングの照明が点灯している場合には団らん、個人部屋の照明が点灯している場合には休息または勉強をしている等といったように、各照明の点灯の有無から、大局的な生活状態を推定できる可能性がある。中でも、キッチン、ダイニング、リビングは隣接している家庭が多く、キッチン周辺に照度センサを設置することにより、これら複数の居住空間の利用の有無を検出できると考えた。また、これらの居住空間は、調理や食事をする空間であるので、照明点灯にはパターンが生じると考えられる。このため、キッチン周辺の照明点灯のパターンから、生活状態の類似する日を抽出できる可能性がある。

本稿で示す実験では、キッチン周辺の照度に対象を絞って、合計20世帯のキッチン周辺に照度センサを設置してデータを収集し、照度データのみから、生活状態のパターンを記録するための基礎検討を行った。実際の住環境において、

[†]1 日本電信電話株式会社
Nippon Telegraph and Telephone Corporation.

生活状態の類似度を判定するのに十分な情報を取得するためのセンサ設置場所に関して検討する。また、照度のクラスタリングを行い、照明点灯パターンを解析することにより、類似する日を抽出する方法を示す。

2. 関連研究

センシングデバイスを用いて行動認識を行う方法には、大きく分けて、センサを人間に取り付ける方法、環境にセンサを設置する方法、携帯端末に搭載されたセンサを利用する方法がある。

人間にセンサを装着させる方法では、例えば、身体にセンサを取り付けて、歩く、走る等の行動を識別する方法[11]や、電車に乗るといった移動手段を識別する方法[4]、手首にカメラ、マイク、加速度センサを装着し、ココアを作る、歯磨きをする等の行動を識別する方法[10]が提案されている。これらの方法は、人間に直接センサを取り付けて計測するので精度は良いが、身につけるのが煩わしいという面もある。

環境に設置する方法では、住環境に多くのセンサを埋め込む方法[9]や、RFID を生活用品に貼り、人間が何を動かしたか計測することによって行動認識を行う方法[21, 10]が提案されている。これらの方法は、センサの携帯や装着の煩わしさはないが、導入やメンテナンスにコストが掛かるという問題がある。

その他に環境にセンサを設置する方法として、電気や水道等のインフラは1箇所でも多地点の使用量を計測することができることに着目した手法がある。これは、多くのセンサを設置するのではなく、インフラ使用量を計測できる場所にセンサを設置することで、住環境における行動を認識するアプローチである。例えば、電力消費量を計測することにより、照明点灯、TV 等の利用、オープン等の利用を検出する方法[5]、ガス使用量を計測することにより、給湯、暖房、暖炉等の利用を識別する方法[6]、キッチンとバスルームの水道使用量を計測することにより、手洗い、皿洗い、歯磨き等を識別する方法[1]が提案されている。これらの方法は、複数箇所にセンサを設置することなく住環境における行動を認識できるが、専用のセンサデバイスを設置する必要があり、どの住環境でも使えるとは限らない。

近年、携帯端末や家電製品に様々なセンサが搭載されるようになった。これに伴い、携帯端末内蔵のセンサを利用したアプリケーションが多く提案されている。例えば、スマートフォン内蔵の加速度センサを用いることにより睡眠状態を記録するアプリケーションや、GPS 情報を用いてランニング状態を記録するアプリケーション等がある。画面の明るさを調整するために、周囲の明るさを計測する照度センサも搭載されているが、照度データのみでは口バスタな行動認識には用いることができないと報告されている[4,3]。

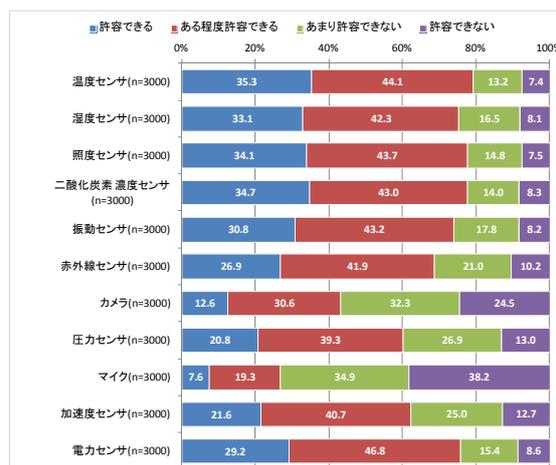


図 1 センサ許容度アンケートの結果

Figure 1 The result of questionnaire on tolerance for sensing.

本稿では、キッチン周辺に照度センサを1つ設置するだけで、生活状態を推定することを試みる。本研究のアプローチは、1箇所でも複数の住環境の状態を計測する点で、インフラの使用量を利用する方法と似ているが、専用のセンサデバイスを用いるのではなく、携帯端末搭載のセンサのように、より簡易的な導入が実現可能な方法である。

3. センサ許容度に関する予備調査

住環境にセンサを設置してデータを収集することに対して、センサの種類によっては利用者に心理的障壁があると考えられる。高齢者見守りサービスを想定した、生活状態の類似度を求める際に用いるセンサを検討するために、住環境におけるセンサ設置に対する許容度について、20代から60代の3000名(女性1668名、男性1332名)に対してアンケート調査を行った。質問対象とするセンサは家庭環境に設置可能であると考えられる11種類で、温度センサ、湿度センサ、照度センサ、二酸化炭素濃度センサ、振動センサ、赤外線センサ、カメラ、圧力センサ、マイク、加速度センサ、電力センサとした。高齢者見守りサービスのために上記センサを設置することに対して、「許容できる」「ある程度許容できる」「あまり許容できない」「許容できない」の4段階で回答を求めた。

結果を図1に示す。「許容できる」「ある程度許容できる」と回答された割合は、温度センサ(79.4%)、照度センサ(77.8%)、二酸化炭素濃度センサ(77.7%)、電力センサ(76.0%)、湿度センサ(75.4%)の順に多く、いずれも75%以上であった。これに対して、カメラ(42.6%)とマイク(26.9%)は回答の50%以下であった。

カメラや音声、加速度センサ等によって行動推定を行う場合、対象となる人物が取っている行動や体勢等を細かく推定することができるため、ある行動や場所に特化したアプリケーションを構築することが可能である。一方で、一般の家庭環境にセンサを設置することを考える場合は、

特定人物の細かな行動までは推定できないが、温度や照度のように、大まかな生活状態が把握可能である程度の情報の方が受け入れられやすいことが示された。

4. 照度センサによる類似日の抽出

本研究では、以下の点を重視したセンシング方法を用いて、住環境における生活状態の類似した日を抽出することを目指す。

- 住環境にセンサを設置することに対する心理的障壁が低いセンシング方法
- どのような住環境でも、だれでも簡単に扱うことができるセンシング方法

住環境にセンサを設置する際、プライバシーが問題となる。第3章に示した予備調査で示した通り、住環境でのセンサ設置に対する許容度は、カメラやマイクでは50%以下と低く、温度センサ、湿度センサ、照度センサ、二酸化炭素濃度センサ、電力センサでは75%以上と高かった。温度と湿度は、これらを変化させる行動(エアコンをつける等)を人間が取ることが必ずしも毎日起こらず、日常の生活状態を記録しようと考えた場合に情報量が少ない。電力センサは、住環境の構造によっては導入が困難である場合があり、また二酸化炭素濃度センサと同様にコストが掛かる。一方、照度センサは安価で小型であり、住環境に導入しやすいと考えられる。また、照度センサは携帯電話や家電製品の高機能化に伴い、携帯端末やTVにも搭載されてきており、これらの機器を用いて照度データを収集できる可能性がある。これらのことより、本研究では生活状態の類似した日を抽出するために照度センサを用いることとする。

居住空間には複数の照明が存在し、気象条件や時刻等により部屋が暗くなると、人は照明を点けて生活をする。居住空間にはそれぞれ役割があるので、各空間における照明の点灯には、そこで過ごす人物の行動の大まかな意味が紐づいていると考えられる。例えば、キッチンの照明が点灯している場合には調理または片付け、ダイニングの照明が点灯している場合には食事、リビングの照明が点灯している場合には団らん、個人部屋の照明が点灯している場合には休息または勉強をしている等といったような意味が現れている。中でも、キッチン、ダイニング、リビングは、調理や食事のように周期的な行動が現れる空間であるので、照明点灯にはパターンが生じると考えられる。キッチン周辺の照明点灯のパターンから、生活状態の類似する日を抽出できる可能性がある。

ここで、照度に対応する照明の位置(キッチン天井の照明、流しの上の照明等)の正解データを与えなくとも、照明点灯の時系列パターンの類似度を算出することにより、生活状態の類似を検出することが可能であると考えた。照明点灯パターンの比較を行うことにより、生活状態の類似した日を抽出可能であるか、検討を行う。

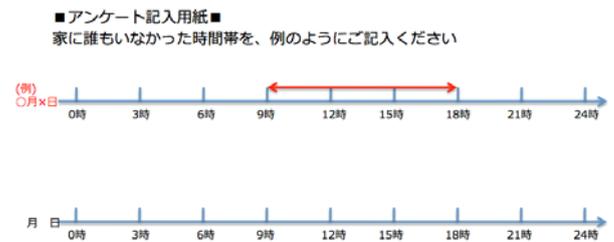


図2 スケジュール記入用紙
Figure 2 Schedule Questionnaire.

5. 実験

キッチン、ダイニング、リビングは隣接している家庭が多く、キッチン周辺に照度センサを設置することにより、これら複数の居住空間の利用の有無を検出できると考えた。本稿で示す実験では、キッチン周辺の照度に対象を絞り、照度データのみから、生活状態のパターンを記録するための基礎検討として、照度センサの適切な設置場所の検討に関する実験と、照明点灯パターンの類似性の検討に関する実験を行った。

5.1 前処理

照度センサの位置と向きが変化しない前提のもとで、人工光による照度は一定である。このため、ある照明の点灯状態とある照度を対応付けることが可能である。一方、自然光による照度は太陽の傾きや雲の動きにより、不規則かつ連続的に変化し、照明の点灯パターンを抽出する際にノイズとなる。ここでは簡単化のため、収集された照度データのうち、実験期間(2012年11月~12月)における日出から日没の間のデータを除外して、日没である16:30から、翌朝の日出である6:30を1日のデータとした。

5.2 照度センサ設置場所に関する実験

照度は、光源の強度、光源からセンサまでの距離、センサへの光の入射角が影響する。実際の住環境において照度データを収集する際に、センサ設置場所に応じて収集されるデータにどのような特徴が生じるか、検討を行う。センサの設置場所としては、床や棚の上、住環境の美観を損なわないために冷蔵庫等の上と考えられる。このうち、床は荷物が置かれる等して他の物体の陰になりやすいと考えて条件から除外し、腰の高さ程度の棚の上にセンサを設置した場合と、冷蔵庫の上にセンサを設置した場合で比較した。

15世帯において、各世帯のキッチン周辺に照度センサを設置し、40日間計測を行った。このとき、7世帯は背の低い棚等の上(高さ100cm前後)に設置し、8世帯は冷蔵庫の上(高さ180cm前後)に設置した。利用した照度センサにはセイコーインスツル社製の照度センサ(SW-3210-1104)を用いた。物を取りに行く等の短時間の行動は含まずに、調理や団らん等、ある期間続く行動を抽出するために、サンプリング間隔は1分とした。

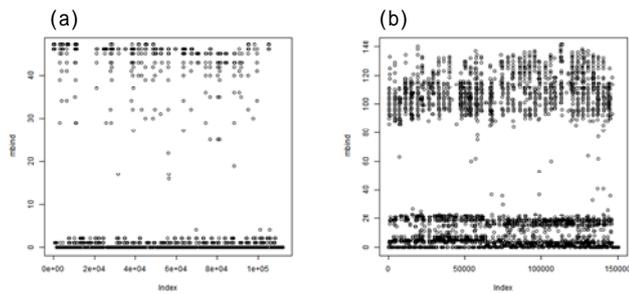


図3 40日間の夜間の照度データ (a)高さ180cmにセンサを設置した場合 (b)高さ100cmに設置した場合
 Figure 3 Illuminance data of 40 nights. (a) The sensor is put on 180cm height. (b) The sensor is put on 100cm height.

5.3 照明点灯パターンの類似性に関する実験

住環境によってキッチンにおける照明の数や配置は異なる。どのような住環境であっても、生活する中で照明の点灯状態にパターンがあり、照明点灯パターンの類似する日を抽出可能であることを確認する。

6世帯において、キッチン周辺に照度センサを設置し、40日間計測を行った。このうち30日間、図2のようなスケジュール記入用紙に、家に人がいたかどうかの在/不在状況を記入させた。また、照度センサを設置したキッチン周辺の間取りと照明の位置を記入させた。

収集された40日間のデータのうち照明点灯パターンが類似する日を抽出するために以下の2種類の解析を行った。

5.3.1 ユークリッド距離の算出による類似度解析

収集された40日間のデータのうち、 i 番目の日の時系列データを $x_i(t)$ とする。収集されたデータに対して、式(1)に示すように、 i 番目の日と j 番目の日の時刻 t における照度の距離の総和 $d_{i,j}$ を計算する。

$$d_{i,j} = \sum_{t=0}^T \|x_i(t) - x_j(t)\| \quad (1)$$

ここで、 $t=0$ は解析開始時刻、 $t=T$ は解析終了時刻である。 $d_{i,j}$ は、 i 番目と j 番目の類似度の逆数であると定義し、 $d_{i,j}$ が小さいほど類似度は高くなる。 i 番目の日の照明点灯パターンと似ている日を抽出するには、 i 番目に対するすべての j に関して $d_{i,j}$ を計算し、 $d_{i,j}$ が小さくなる j 番目の日を求める。

5.3.2 クラスタ一致の判定による類似度解析

収集された40日間のデータに対してクラスタリングを行った。クラスタリングには k-means 法を用いた。クラスタ数の設定は手動で行った。 i 番目の日の時刻 t_0 における照度データ $x_i(t)$ に対して、最も重心が近いクラスタ番号を $c_i(t_0)$ とする。このようにクラスタ番号を時系列に並べたデータを $c_i(t)$ とする。式(2)に示すように、 i 番目の日と j 番目の日の時刻 t におけるクラスタ番号 $c_i(t)$ と $c_j(t)$ の一致/不一致を判定し、総和 S を算出する。

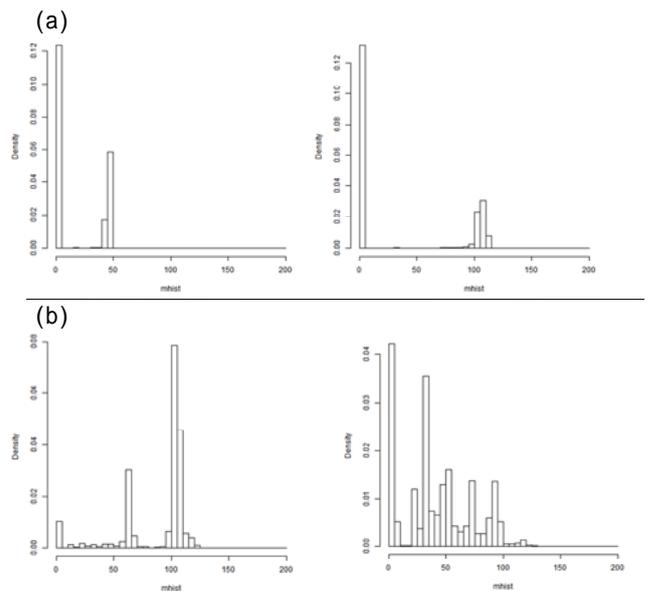


図4 40日間の夜間照度のヒストグラム (a)高さ180cmにセンサを設置した場合 (b)高さ100cmに設置した場合
 Figure 4 Histogram of illuminance data of 40 nights. (a) The sensor is put on 180cm height. (b) The sensor is put on 100cm height.

$$S_{i,j} = \sum_{t=0}^T s_{i,j}(t) \quad (2)$$

ただし、

$$s_{i,j} = \begin{cases} 0 & (c_i(t) \neq c_j(t)) \\ 1 & (c_i(t) = c_j(t)) \end{cases}$$

ここで、 $S_{i,j}$ は、 i 番目と j 番目の日における照度点灯パターンの類似度であると定義し、 $S_{i,j}$ が大きいほど類似度は高くなる。 i 番目の日の照明点灯パターンと似ている日を抽出するには、 i 番目に対するすべての j に関して $S_{i,j}$ を計算し、 $S_{i,j}$ が大きくなる j 番目の日を求める。

6. 解析

6.1 照度センサ設置場所に関する解析

図3は、40日間の16:30から翌朝6:30までの夜間のデータを連結させて表示したものである。図3(a)は高さ180cm前後に照度センサを設置した場合の代表的な世帯のデータ、図3(b)は高さ100cm前後に設置した場合の代表的な世帯のデータである。40日間の夜間に現れた照度をヒストグラムで示したのが図4である。高さ180cm前後に設置した場合、8世帯中6世帯において、データには図4(a)のように、10ルクス以下の小さな値と、10ルクス以上の大きな値の2つの分布が現れた。一方、高さ100cm前後に設置した場合、7世帯すべてにおいて、図4(b)のように、重心が10ルクス以上離れたクラスタが複数現れた。

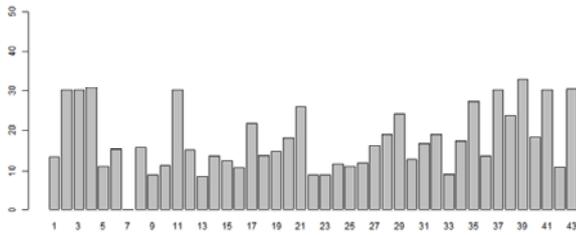


図5 $d_{7,j}$ の結果

Figure 5 Result of Summation $d_{7,j}$.

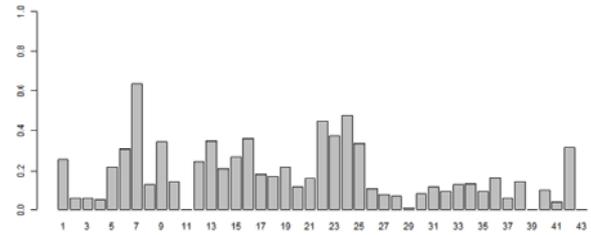


図7 総和 $S_{7,j}$ の結果

Figure 7 Result of Summation $S_{7,j}$.

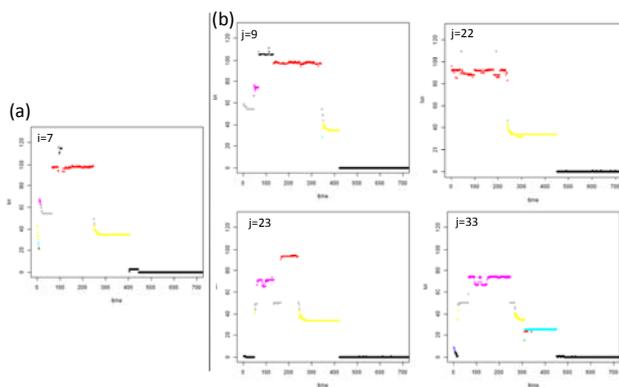


図6 (a)7番目の日のデータ (b)距離計算の総和 $d_{7,j}$ より7番目の日と類似すると判定された日のデータ

Figure 6 (a) Data in 7th day. (b) Extracted data as similar to 7th day by calculation of $d_{7,j}$.

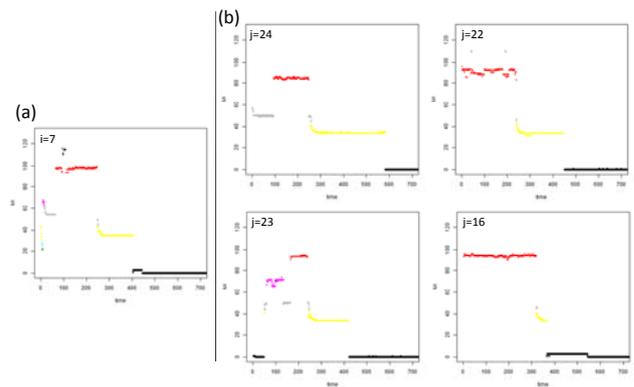


図8 (a)7番目の日のデータ (b)クラスター一致判定の総和 $S_{7,j}$ より7番目の日と類似すると判定された日のデータ

Figure 8 (a) Data in 7th day. (b) Extracted data as similar to 7th day by calculation of $S_{7,j}$.

高さ180cm前後の水平台上にセンサが設置されると、付近の天井の照明からの光は届くが、それ以外の照明からの光は入射角が非常に大きい、または遮蔽物が多いために、異なる照明点灯条件での照度に差が出にくくなったものと考えられる。照度の差が小さいと、クラスタリングを行う際に重心が近くなり、異なる照明点灯条件が同一クラスタとして判定されやすくなってしまふ。照度の弁別をやすくするために、照度センサの置き場所としては、複数の光源からの光の入射角が十分に小さい、高さ100cm前後の場所に設置した方が良かった。

6.2 照明点灯パターンの類似度解析

ここでは、ユークリッド距離の算出による類似度解析と、クラスター一致の判定による類似度解析を比較するために、6世帯のうち、ある世帯のデータを代表的なデータとして用いて、 $i=7$ とし、 $d_{7,j}$ と $S_{7,j}$ を求めて7番目の日と照度点灯パターンが類似する日を抽出する。

図5は、ユークリッド距離の算出によって求められた類似度の逆数 $d_{7,j}$ である。図6(a)に示す7番目の日の照度点灯パターンと類似度が高い順、すなわち、 $d_{7,j}$ が小さい順に4日分($j=9, 22, 23, 33$)、図6(b)に示す。ユークリッド距離の総和により類似性を判定する場合、図6(b)上段に示す

$j=9, 22$ は $i=7$ と似ていると判断できるが、図6(b)下段に示す $j=23, 33$ のように、異なるクラスタに所属する照度であるにも関わらず、照度の上下パターンが似ているために類似性の高い日として抽出されてしまう場合があった。

これに対して、クラスター一致の判定により類似度を算出する場合、こうした抽出エラーは生じなかった。図7は、クラスター一致の判定によって求められた類似度 $S_{7,j}$ である。図8(a)に示す7番目の日の照度点灯パターンと類似度が高い順、すなわち、 $S_{7,j}$ が大きい順に4日分($j=24, 22, 23, 16$)を図8(b)に示す。ユークリッド距離の総和により類似性を判定する場合、図8(b)に示すように、照明点灯パターンの類似した日をよく抽出することができた。

6.3 スケジュールを用いた評価

クラスター一致の判定により算出した類似度をもとに抽出された日が、実際のスケジュールと似ていたか判定するために、6世帯に対して記入させた30日間のスケジュールとの照合を行った。そのうち、収集されたスケジュールは、2世帯で30日間すべて、他の4世帯では記入忘れがあり、2世帯で5日間、残り2世帯で25日間、13日間であった。すべての家庭で、日常的に帰宅時間はほぼ一定であり、「帰宅時間がいつもより遅い」または「外泊で終日不在」とい

う日は稀で、全世帯で回収されたスケジュール合計 103 日間のうち、19 日間であった。各世帯において、スケジュール上、「帰宅時間がいつもより遅い」及び「外泊で終日不在」である日に関して、クラスター一致判定による類似度を算出したところ、19 日中 13 日において、類似度が非常に低いという結果、または、同一世帯で「遅い帰宅」または「終日不在」が発生している場合には、互いに類似度が高いという結果になった。少なくとも「帰宅時間がいつもより遅い」及び「外泊で終日不在」である日のうち 68.4%を、照明点灯パターンの類似度から抽出することができた。

7. おわりに

本稿では、実際の住環境におけるキッチン周辺に照度センサを設置して照度データを収集することにより、日常生活を送る際に照明の点灯状態にパターンが表出することを確認した。また、照度をクラスタリングし、クラスター一致の判定を行うことにより、類似する照明点灯パターンを抽出できることを示した。

本稿で示した実験内容では、照明点灯状態の類似する日が、「忙しかった日」「ゆっくり過ごした日」といったように質的にも類似する日であったかの評価はできていない。今後、こうした質的調査と合わせて研究を進めていく。

参考文献

- 1) Maurer, U. et al.: Activity Recognition and Monitoring Using Multiple Sensors on Different Body Positions, Wearable and Implantable Body Sensor Network 2006, pp. 113-116 (2006). (2012).
- 2) Cho, K. et al.: Human Activity Recognizer for Mobile Devices with multiple sensors, In Proc. 2009 Symposia and Workshops on Ubiquitous, Autonomic and Trusted Computing, pp.114-119 (2009).
- 3) Makikawa, M. et al.: Development of an ambulatory physical activity monitoring device and its application for categorization of actions in daily life, MEDINFO, pp.747-750 (1995).
- 4) Maekawa, T. et al.: Object-based Activity Recognition with Heterogeneous Sensors on Wrist, In Proc 8th international conference on Pervasive Computing, pp.246-264(2010).
- 5) Intille, S. S. et al.: Using a live-in laboratory for ubiquitous computing research, In Proc. In Proc. 4th international conference on Pervasive Computing, pp.349-365(2006).
- 6) Philipose, M. et al.: Inferring activities from interactions with objects, Pervasive Computing, vol.3(4), pp. 50-57(2004).
- 7) Bates, O. et al.: According for Energy-reliant Services within Everyday Life at Home, In Proc. 10th international conference on Pervasive Computing, pp.107-124 (2012).
- 8) Cohn, G. et al.: GasSense: Appliance-Level, Single-Point Sensing of Gas Activity in the Home, In Proc. 8th international conference on Pervasive Computing, pp.265-282 (2010).
- 9) Thomaz, E. et al.: Recognizing Water-Based Activities in the Home Through Infrastructure-Mediated Sensing, In Proc. UbiComp 2012, pp.85-94 (2012).