

# ユビキタス環境における 複合的なセンサデータの特徴量化による行動評価

河村 愛<sup>†</sup> 富井 尚志<sup>‡</sup>

<sup>†</sup> 横浜国立大学大学院環境情報学府情報メディア環境学専攻

<sup>‡</sup> 横浜国立大学大学院環境情報研究院 〒240-8501 横浜市保土ヶ谷区常盤台 79-7

E-mail: <sup>†</sup> d08hc013@ynu.ac.jp, <sup>‡</sup> tommy@ynu.ac.jp

**あらまし** 近年の技術発達に伴い、多様なセンサから大量なデータの取得と長期的な蓄積が行えるようになったことを背景として、ユビキタス環境において、センサより取得した空間データの解析によるユーザ支援の研究が進められてきている。複数ユーザが生活する空間では、個人が持つ行動特性や行動実行時の環境の状態が、環境水準を保つためのユーザ共通作業の作業効率に及ぼす影響を考慮することが重要になってくる。本論文では、オフィス環境を想定したユーザ共通の作業に対するユーザ支援の実現可能性を示す。作業中に発生する空間データを複数種類のセンサから取得して行動データ集合として集約・モデル化した上で、比較に有意な特徴量を設定する。特徴量ベクトルとユーザ指定条件の比較結果を行動評価として直観的で多様な提示を行うことで、ユーザ個人の行動特性によって生じる行動データ取得量や作業による空間状態の変化の差の改善を試みた。また、センサデータの型や実行ユーザによらない行動評価の有用性を実験によって検証した。

**キーワード** ユビキタス環境 DB, 行動支援, 行動評価, 特徴量

## An Activity Evaluation by Introducing Feature Vector for Complex Sensor Data in a Ubiquitous Environment

Ai KAWAMURA<sup>†</sup> and Takashi TOMII<sup>‡</sup>

<sup>†</sup> Department of Information Media and Environment Sciences, Graduate School of Environment and Information Sciences, Yokohama National University

<sup>‡</sup> Graduate School of Environment and Information Sciences, Yokohama National University

79-7 Tokiwadai, Hodogaya-ku, Yokohama 240-8501 Japan

E-mail: <sup>†</sup> d08hc013@ynu.ac.jp, <sup>‡</sup> tommy@ynu.ac.jp

**Abstract** There are many researches for action support of ubiquitous environments by computers analyzing sensor data because of feasibility of acquiring and managing huge data by sensors. In an environment which some people live, we must think about the influence both of personal behavioral and of states of space in acting on the jobs common for keeping environmental standards. In this paper, we present the feasibility of action support intended for jobs common in a common space, e.g., an office. To achieve this, we first collect data set with various sensors during action done and aggregate them. Next, we set the significant feature vectors for comparing data the action. And then, we attempt to improve the jobs by showing the result of comparison in various ways. Furthermore, we present the utility of setting feature vectors and displaying result of comparison of complex sensor data by experiments.

**Keyword** Ubiquitous Environment Database, Action support, Activity Evaluation, Feature vectors

### 1. はじめに

近年のセンサ技術発達により、RFID や光センサ、赤外線センサなどを用いて情報取得が可能になってきた。例えば Suica などの IC カードは乗り物の乗降や買い物の履歴の管理ツールとして、赤外線センサは人やモノの存在の有無の確認として用いられている。これらのセンサデータは行動履歴や行動の前後の環境の変化の度合いを表すものとして用いられていると言える。

これに伴って、家電製品への、家事の負担減や自動化を目的としたセンサ技術搭載が進んできている。例

えば、掃除機にはゴミの量を検知するダストセンサがついていることが多くなってきている。センサ付き家電製品は、家電製品を用いた行動中にセンサデータが取得できることから、人間の行動や行動に伴って発生する環境の変化の度合いのデータを取得するツールとして利用可能であると言える。

また、生活空間に設置したセンサと計算機による、センサデータの取得・蓄積・分析から得た情報を用いて、ユーザの無意識化で支援を行うユビキタス環境[1]の実現可能性が高まってきている。

ユビキタス環境の適用対象の1つとして、学校やオフィスなど、複数の人間が共通の意識を持って生活するコミュニティ空間が考えられる。共通の意識とは、一定基準以上の長期的な環境維持のため、ユーザが明示的または暗黙的に共有する空間固有のルールや常識を指す。ユーザはこれらのルールや常識を考慮しながら行動選択を行うため、ユーザが行う行動の1つとして、ユーザ共通の作業の存在が考えられる。

一方で、一般に、個人の行動には特性や癖が存在する。例えば、姿勢や動作の仕方、小一時間外出する際に持ち出すモノの種類や数が挙げられる。コミュニティ空間のユーザ共通の作業においても、個人の行動特性や癖の存在が考えられる。例えば工場においては工員の動作の仕方に、また販売や物流においては棚卸や移動の方法やルートなどが挙げられる。これらの特性や癖はコミュニティ空間においてユーザ共通の作業の成果や方法のバラつきに繋がっていると言える。

しかし、コミュニティ空間において成果や方法のバラつきを共有しない場合、誰が何をどうしているのかが誰もわからない事態や、効率が悪い方法が行われていてもユーザ自身が誰も気が付かない事態が発生する可能性がある。例えば、部屋全体を複数ユーザでまんべんなく掃除しているつもりが、実は掃除されている場所とそうでない場所が偏っていた、ということなどが考えられる。このような事態の持続は、組織全体としての作業効率の低下や空間の環境水準の低下に繋がることがある。そこで、ユーザ共通の作業履歴や個々の作業の特性を共有・認識するためのシステムが必要になると考えられる。

個人の行動特性や癖に注目し、それらを利用したユーザ支援手法として、行動パターンを利用するものが提案されてきた。アプリケーション例としては、行動パターンと現時点の行動を比較した際に忘れていたと算出された行動の推薦提示[2]や、ユーザの現時点の行動から次に行くと予想される行動において、利用する可能性がある物品の管理[3][4]などがある。

行動パターンは個人によって異なるため、これを利用するユーザ支援は個人を対象に行われる。この支援では、個人の行動間に差や特徴が存在するにも関わらず、ユーザは行動選択時に他人の行動の特徴を認識・共有する必要がない。よって、行動パターンによる支援機構を、個人間の行動の差の改善を目的としたユーザ共通の作業支援に適用することはできないと考えられる。

ユーザ間でデータを認識・共有できるような仕組みとして、ユーザを選ばない行動履歴情報の提示が考えられる。しかし、センサから取得した生データはそのままでは意味を持たない数値の羅列である上に大量であり、全ての履歴データを提示しても各行動が持つ特徴の検索や把握が難しくなり、差の改善がされない可能性がある。

そこで本論文では、コミュニティ空間の一例として複数の人間が生活するオフィス環境を設置し、ユーザ共通の日常的な作業の成果の共有と効率化を図る。まず複数種類のセンサからユーザの行動に付随して発生したデータをモデル化した上でデータベースに全て蓄積しておき、それらの特徴量ベクトル化したものの比

較によるユーザの行動別評価を行い、その結果を直観的に提示する。詳細には、まず、個人の行動データと、行動に伴って変化する空間の状態を示すデータを複数種類のセンサで取得し、生データをデータベースに蓄積する。次に、ユーザに有意な情報が検出できるセンサデータを定義して作成した低次なイベントを、グループ化して高次なイベントとして扱う。高次なイベントを構成するセンサのデータ値を集約して特徴量ベクトル化し、行動データを比較可能にする。更に、行動データが持つ特徴量がユーザの指定条件に合うかどうかを計算することでユーザの行動を評価し、提示する情報の絞り込みを行う。この結果を元に、VRを用いて直観的で多様な提示を行う。

本論文で提案するモデル構築の際、評価対象となる行動を日常的に空間維持のために行われるユーザ共通の作業とした。このようにすることで、空間から取得できるデータの最大限の活用と、ユーザを問わない行動情報の比較と共有が可能になる。また、複数種類のセンサから取得したデータを、集約して複合的に特徴量を抽出することで、センサデータの形態に左右されない行動評価が可能になる。加えて、ユーザに直観的な提示を行うことで、評価結果や空間状態、行動における改善すべき点を共有することができ、ユーザ間の行動における差の解消を促進することができるようになる。これらのことを実験によって検証する。

## 2. 関連研究

### 2.1. データ解析によるユーザ支援アプリケーション

ユビキタス環境では、空間内やユーザの身体にセンサを取り付けて取得した行動データや、行動時点の空間の状態を示すデータを利用して支援を行う。

データはそのままでは意味のない数値の羅列であるため、支援を行うにあたり、取得したセンサデータが表す事物や状況の定義・注釈づけは重要であると考えられる。

文献[5]では、オフィス環境における実用的なユーザ支援のため、実験後にエキスパートによって定義づけられたセンサデータの取得パターンを学習データとして、新たに得たセンサデータからユーザの行動を正確に判定することを試みている。また文献[6]でも同様にオフィス環境において行われる行動を、『歩く』『飲む』などのあらかじめセンサデータに定義したアトミックな動作や場所の組み合わせと各動作の出現率を用いてモデル化することで、動作の意図の取得とデータへの自律的な注釈づけを試みている。そして文献[7]のTagged Worldでは、空間内の物体にRFIDタグを貼り付け、タグと物体の関連付けからユーザの物体接触パターンを取得し、ユーザの行動の意図を推測している。

これらの文献では、ユビキタス環境におけるユーザの行動認識に注力しており、認識結果を利用したアプリケーションの作成はされていない。

### 2.2. データ解析によるユーザ支援アプリケーション

ユビキタス環境におけるユーザ支援の設計には、まず支援対象者と支援対象行動の選定が必要になる。例えば文献[3]では、人間の行動の種類を意識レベルの高

さで分け、複数人が同じ機器を用いて行う意識レベルが比較的低い行動について、時間や場所などの指定条件を考慮した上で、機器の使用可能期間の自律的なスケジューリングを行っている。

また、ユーザ支援の実現には、取得データを支援に適用するためのアプリケーションの設計も必要である。このため、ユビキタス環境への適用を目的として、複数種類のセンサデータから抽出した行動情報を解析し、解析結果を情報提示するアプリケーションが提案されてきている。例えば文献[8]の mPATH システムでは取得データを移動軌跡と合わせた行動履歴に変換して解析し、地図上に視覚的に表示している。また文献[9]では、圧力センサやビデオデータなどを用いて時間ごとの人の移動履歴を取得し、その頻度を場所ごとにヒートマップで表示することで、小売店における商品やスタッフ配置への支援を図ろうとしている。

センサから取得したデータを全て提示しては、ユーザが要求する情報を効率よく取得できない可能性があるため、提示データを比較して絞り込む必要がある。そのため、ユーザの過去の入力データを解析し、ユーザの指定条件に近い出力結果を得るための手法が研究されてきている。文献[10]では、WEB アプリケーションのフォームへのキーワード入力支援として、ユーザの行動データや過去の入力ワード間の類似度計算によって絞った入力候補の提示を行っている。

### 2.3. 移動するセンサの利用

ユビキタス環境を構築する際、場所を固定したセンサのみを設置して空間内の検知をくまなく行おうとすると、センサには検知範囲が存在するために大量のセンサが必要になる。大量のセンサの設置や管理には膨大なコストがかかるため、空間内を移動するセンサも用いて情報取得を図る研究が行われてきている。例えば、ユビキタス環境の一例である「概念共有環境 CONSENT (Concept Sharing Environment)[11]」では、自律的に移動する物体探索エージェント[12]が提案されている。床にIDが一意的なRFIDタグを埋め込み、DBによってタグとタグが存在する地点座標をあらかじめ関連付けることで、タグを検知した際にエージェントが存在する位置情報を知ることができる。更にその位置情報と過去の検知履歴を元にエージェントが周囲の探索を行うことで、固定センサでは限界がある空間の状態把握を正確に行うことを試みている[13]。

本研究ではエージェントを家電製品としてユーザ自身によって移動させることと、センサを装着したユーザを移動させることで、行動データと行動によって変化する空間の状態の取得を試みている。

## 3. 行動評価の設計

### 3.1. 基本設計

まず設計を行うにあたり、効果的なユーザ支援の条件を考えた。この条件とは(1)行動時の空間状態や行動状況に合うこと、(2)ユーザが把握しやすい情報量であること、(3)ユーザが理解しやすい情報形態であること、の3点だと考えた。従って各条件に沿って、本研究の設計段階を(1)行動情報の取得、(2)行動情報の比較、(3)

比較結果の提示、の3段階に分けることとした。

### 3.2. 行動情報の取得

空間状態や行動状況に合うユーザ支援の実現に当たり必要なこととして、空間状態や行動状況の正確な把握が挙げられる。しかしデータの粒度や形態はセンサの種類によって異なる可能性がある。よってセンサを用いて取得できるデータの最小構成要素を明確にする必要がある。またユーザが行動しているか否かに関わらず、空間の状態変化を常時正確に把握していることが望ましい。よって空間の状態変化は時間幅の最小単位と考えられる時点情報で取得し蓄積しておくべきであると考えられる。更にユーザの行動による空間状態の変化の把握には、変化の時点で行われた行動の取得が必要なため、空間の状態変化と空間から取得できる最小な行動情報の粒度を同じにする必要がある。そこで、空間から取得できる行動情報の最小単位を時点情報とするべく「操作」を定義する。

#### ● 定義 1. 操作

RFID タグの検知によって取得できる、アトミックな要素。誰が(who)、何で(what)、どこを(where)、いつ(when)、行った事柄で、どのようなセンサデータが並列で取得できたか(additional data)を表す。

RFID は安価化が進んできている電子タグであり、タグIDと検知リーダ、検知時点が取得できる。よってタグとリーダが表すモノが分かれば、そのモノを用いた瞬間の動作が取得可能であると考えられる。

RFID からの情報取得について述べる。いま、RFID タグの検知反応が起こると、計算機は予めDBに記述されている各RFIDが表すモノの情報を取得するためにDBに対して検索を行う。検索結果として取得した情報は、タグとリーダのIDと反応時点と共に「個人の一つの動作」を表す時点情報としてDBに蓄積される。これを本研究ではユーザから取得可能な空間データの最小単位とする。

例えば、ユーザAがRFIDリーダとゴミ発見を知らせるランプ付きの掃除機Bを用いて床掃除を行った際に、図1のようなRFID反応とランプ点灯反応がセンサ生データとして取得できたとする。この時、作業途中で取得したRFID反応の1つでは、床に埋め込まれたタグTag1を検知している。よって、Tag1を検知したRFID反応をトリガとして操作aを検出する。操作は属性(who, what, where, when, additional data)を持つため、操作aは具体的にはa=[who:ユーザA, what:掃除機B, where:タグTag1, when:2010/03/15/10:13:35, additional data:ゴミ発見ランプの点灯]で表わされる。

このようにして取得する一つ一つの操作は、センサ反応をトリガとして得るアトミックなデータであるため、操作はセンサ生データに近い情報を表す低次元イベントであると言える。例えば図1の操作aが表す情報は「2010年3月15日の10:13:35にユーザAが床のTag1上でゴミを発見した」となる。しかし低次元イベントが表す情報はあまりにも小さいため、センサデータの有効活用ができていない。一方、一連の操作の集合列には、個別の特徴や全体としての特徴など、有意で比較可能な量が存在すると考える。

本研究では、操作列に対してメタデータを付加することでグループ化して生成した有意なデータ列を「行動」と呼び、その特徴量を算出することにする。

● **定義 2. 行動**

家電製品のオン・オフによって付加される同一メタデータ(why)を持つ単数もしくは複数の連続した操作の列。センサ付きの家電製品をある目的で使用し続けた場合に取得できたデータ集合を表す。

時点情報である操作に対し操作取得の目的(why)を付加することにより、情報に時間長を持たせることができる。メタデータの付加の方法は、例えば行動に使用しているものが家電製品であれば電源スイッチのオンで付加開始時点を、オフで付加終了時点をそれぞれ取得することなどが考えられる。付加が開始された時点からの操作には属性 why の ID が追加され、終了時点からの操作には追加がされなくなるため、最小データ集合を一連の有意な情報を含むデータ列としてメタデータごとにグループ化することが可能になる。

グループ化してできた時間長情報では、同じメタデータを持つセンサデータの取得時間合計や取得回数合計などのカウントが可能になる。よって、データ集約対象になる時間幅を複数種類のセンサデータ間で合わせれば、センサデータの形態に依らないデータの集約ができるようになる。このことから、比較手法に関わらず、複数種類のセンサの全ての生データを同時並行で蓄積できるようになる。センサの生データから検出した低次なイベントをこのようにグループ化したものを高次なイベントとして扱う。グループ化すると、例えば図 1 の操作 a, b, c, d は全て同じ行動である掃除 1 の実行中に、操作 a→b→c→d の順番で取得されたものであることが分かる。

3.3. 行動情報の比較

取得された多数の行動情報を全て提示すると、行動情報の蓄積量が増加した場合、ユーザは大量の行動情報から条件に合うものを自ら選択しなければならず、適切な支援を受容しにくくなる。そこでユーザの選択肢となりうる情報の絞り込みと、そのための比較基準が必要になると考える。

本研究では、行動の実行と共に取得される複数種類のセンサデータの集約結果に対して定義を行い、あらかじめ特徴量として抽出できるようにし、これを情報の絞り込みのための比較基準とした。これによって集約演算クエリで行動データごとに特徴量ベクトルを形成した上で、各行動情報の同一要素どうしを比較して行動評価を行うことができると考えた。ここで言う特徴量とは、図 1 に要素名として示すようなものである。以下のように特徴量を定義する。

● **定義 3. 行動特徴量**

行動を実行する空間ユーザによって差や特徴、バラつきが出る行動情報の要素。家電製品の使用目的ごとに要素の種類と算出方法が決まる。また、操作列や操作列と並列に取得された別の空間データを併せて集約した値の組として表される。

表 1 行動特徴量の設定対象

|  |
|--|
| 操作の要素(action, what, where)の種類や種類数, 変化の順序 |
| 行動の開始時点と終了時点の間の実行時間                      |
| 行動に含まれる操作の数                              |
| 移動軌跡や履歴                                  |
| 行動を行う前と行った後の空間の状態の 変化の度合い                |

ゴミを発見すると光るランプとリーダを持つ掃除機で電子タグ付きの床を掃除した場合

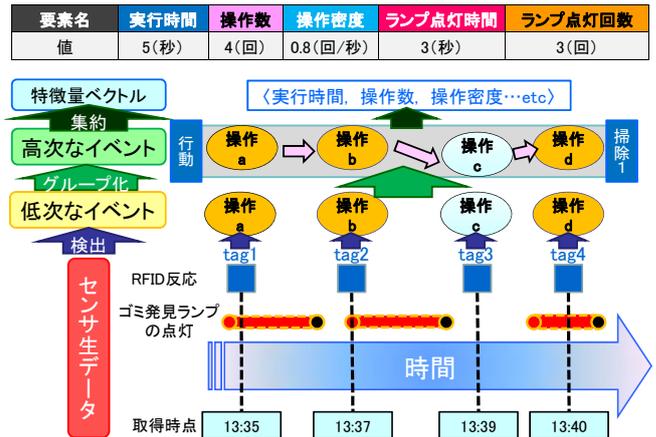


図 1 行動情報の取得と行動特徴量の抽出例

表 2 掃除の実行時に有意な情報の例

| 行動に有意なデータ                       | データが表す情報            |
|---------------------------------|---------------------|
| RFID タグ地点の最近の検出時点からの経過時間        | 再び掃除をする必要性の高低       |
| RFID タグ地点での過去の操作回数              | タグ地点が掃除される頻度の多少     |
| RFID タグ地点でのゴミ発見光センサが点滅してからの経過時間 | 再びゴミが発生している可能性の高低   |
| RFID タグ地点における過去のゴミ発見光センサ反応回数    | ゴミが発生するまでの期間や発生量の大小 |

行動特徴量の設定対象としては、表 1 のようなものが考えられる。図 1 に行動『掃除 1』における行動特徴量の抽出例を示す。図 1 では、掃除 1 の実行中に 4 回操作が取得されたので、掃除 1 の行動特徴量の要素『操作数』は 4 回となる。また掃除 1 が行われていた期間は 2010 年 3 月 15 日 10:13:35~10:13:40 であるため、要素『実行時間』は 5 秒間となる。このようにして高次なイベントから取得できる有意な情報の特徴量として定義することで、特徴量ベクトルが算出できる。

3.4. 比較結果の提示

クエリによって取得された比較結果は数値的もしくは文字列的なデータの羅列であり、そのまま提示する支援では DB についての知識がないユーザにとって

は理解しづらい。よってユーザがさまざまな視点から比較結果を把握することができる、直観的で多様な表現方法を用いた提示を行う。例えば行動『掃除』を行うユーザにとって有意な情報として考えられる要素を表2に示す。

これらの情報が空間のどの位置でどれ位の量になっているのかをVRを利用して提示することで有効なユーザ支援が可能であると考えた。

## 4. 行動評価の実装

### 4.1. 行動情報の取得

本研究では、操作にメタデータを付加する手段としてGUIを使用した。行動の目的であるメタデータ(why)の種類と、行動開始・終了の合図をユーザに入力させ、時間長を持つ行動情報を取得した。

また支援対象は、日常の中でよく行われるが対象領域が広く、更に参加人数が増えるとその内容(量, 質)にバラつきが生じる行動である『掃除』とした。

またあらかじめRFID以外のセンサが搭載された家電製品にRFIDリーダやタグを取り付けることによって、家電製品を利用した行動時点の空間の状態と行動データを同時に取得できるようにした。例えばゴミを発見すると光るランプが搭載されている掃除機には、吸い込み口にRFIDリーダを取り付け、掃除機に搭載された光センサの点灯状態を照度センサモジュールで検知できるようにすることで、床のタグを検知して掃除した時点や地点でゴミの有無やその発見回数、ランプの点灯時間を行動データと並列に蓄積できるようにした。更に、電源を電力計に接続し、行動の前後における掃除機の消費電力が取得できるようにした。

以上を実装したものを図2に、使用した機器を表3に示す。

上記に示した掃除機を使用して複数人のユーザに掃除をさせた結果、床に設置したRFIDタグの検知例、すなわち、3.2節で定義した「操作」の列が得られる。あわせて、ゴミ発見センサの検知・非検知(ゴミ発見ランプの点灯/消灯)のデータも得られる。これらのデータをそのままデータベースに蓄積した。尚、操作取得のためのスキーマと取得方法については文献[14],[15]に詳しい。

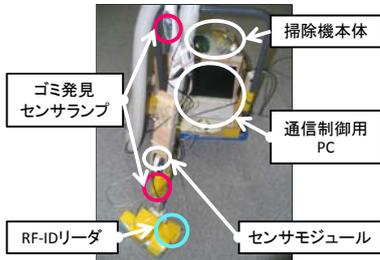


図2 複合的なセンサデータが取得可能な掃除機

表3 掃除機に使用した機器

| デバイスの種類   | 使用したもの   |
|-----------|--|
| 掃除機       | National社 MC-F200NXM                                 |
| 光センサモジュール | Freescale Semiconductor MC9S08QG8 + Sunhayato CT-298 |
| RFIDリーダ   | FUJITSURFID タグリーダライタ ショートレンジ(F3972T130)              |

### 4.2. 行動特徴量を用いた比較

3.3節に示したように、一連の操作列のデータを集約し、有意な特徴量を算出する。具体的な行動特徴量とその意味の例を表4に示す。

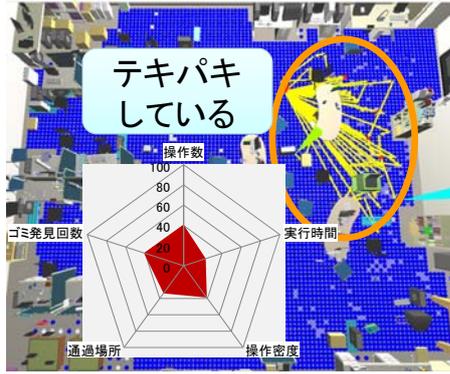
取得した行動データを集約演算クエリで集約し、各行動特徴量の要素をその要素の最大値で正規化した値に変換した。変換したものをレーダーチャートで表現したものを図3に示す。レーダーチャート化すると、例えば掃除している地点集合の位置や地点ごとのゴミの発見量などにおいて、視覚的に特徴ある行動が取得可能になる。図3の(a)は実行時間が少ないが操作密度が大きいのでテキパキした掃除を、(b)はゴミを発見した回数の割合が高いのでゴミを多く発見した掃除を、(c)は掃除をした地点は少ないが、実行時間が地点と比較すると多いので丁寧な掃除を表している。各行動は、視覚化すると行動範囲も取得データ量にもバラつきが出ていくことがわかる。比較段階においては、このように正規化した値を用いて、ユーザが指定した検索条件との類似度計算を行い行動評価とした。

表4 「掃除」の行動特徴量

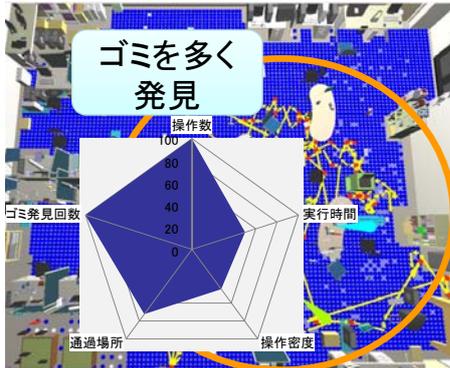
| 要素名          | 定義  | 特徴                    |
|--------------|---|-----------------------|
| 操作数          | ある行動ID(why)を持つ操作の数                          | 値が高いほど運動量が多い          |
| 実行時間         | ある行動ID(why)を持った行動が開始されてから終了されるまでの時間         | 値が低いほど効率的<br>値が高いほど丁寧 |
| 操作密度         | 単位時間当たりに行われたある行動ID(why)を持つ操作の数              | 値が高いほど効率的             |
| 通過場所数        | ある掃除行動が実行時間内に通過した場所の位置座標の数                  | 値が高いほど広範囲             |
| ゴミ発見ランプの点滅回数 | ある掃除行動の実行時間内に掃除機のゴミ発見ランプから光センサによって光が検出された回数 | 値が高いほどゴミが多い地点を発見している  |

表5 表示に用いたパラメータとその実装方法

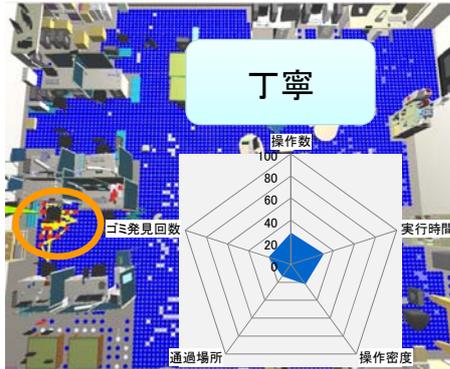
| パラメータの種類 | 表現する情報                        | 実装したもの   |
|----------|-------------------------------|--|
| 色の濃淡     | あるタグ地点が最後に行動取得に利用されてからの経過日数   | ●濃い<br>その地点で優先的に行動することを推奨  |
| 色        | 行動特徴量の要素の種類                   | ●青<br>経過日数<br>●黄色<br>現在行われている行動<br>●緑<br>RFID反応<br>●赤<br>光センサ反応  |
| 形状       | 評価データの種類の                     | ●タイル<br>各タグ地点のデータ取得量を正規化した値<br>●柱<br>センサ反応の絶対量<br>●矢印<br>移動方向と距離 |
| 柱の高さ     | あるタグ地点における行動中に起こった何らかのセンサ反応回数 | ●高い<br>その地点で過去のセンサ反応取得が多い  |



(a) テキパキした掃除



(b) ゴミを多く発見した掃除



(c) 丁寧な掃除

図 3 特徴ある掃除のレーダーチャートの例

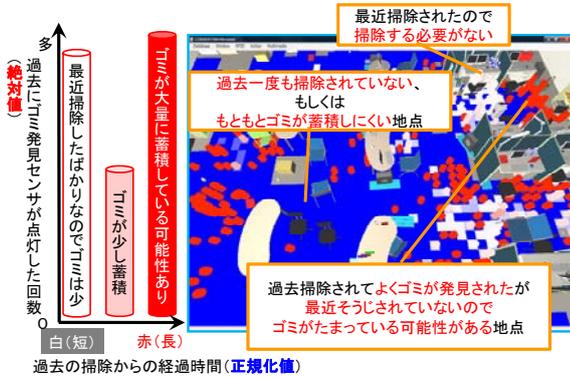


図 4 RFID タグ地点の過去のゴミ発見回数と最新の検知時点からの経過時間

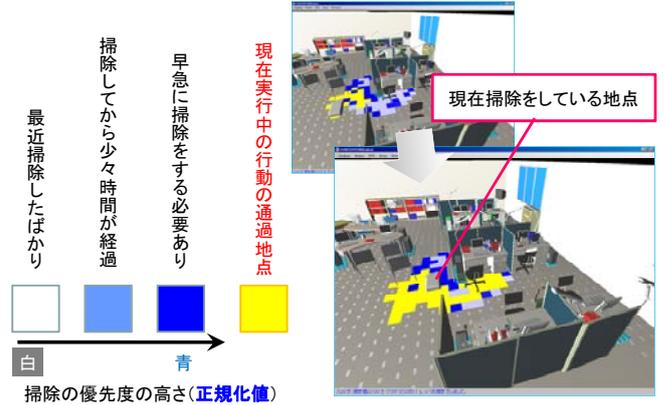


図 5 過去の RFID 検知からの経過時間と現在実行中の行動の通過地点

### 4.3. 直観的で多様な提示

本研究では、VR による仮想空間内表示のパラメータを表 5 のように設定した。設定したパラメータを組み合わせて提示を行った。パラメータの組み合わせと提示した情報については、次項 4.3.1 項～4.3.4 項に記す。

#### 4.3.1. 色つき円柱によるデータ取得量と最新の取得時間の提示

提示例を図 4 に示す。それぞれが示す情報は次の通りである。

- 赤い柱  
最近の RFID タグの検知と並列に取得したゴミセンサ反応時から十分に時間が経過しているため、再び掃除をした方が良い
- 白い柱  
最近 RFID タグの検知と並列にゴミセンサ反応が取得されたので、現在は優先して掃除をする必要がない
- 高い柱  
過去のゴミセンサ反応回数が多く、よく掃除がされている
- 低い柱  
過去のゴミセンサ反応回数が少なくあまり掃除がされていない
- 柱がない  
過去全くゴミセンサ反応がなく掃除がされた事がないため、早急に掃除をする必要がある

#### 4.3.2. 色つきタイルによる地点ごとの最新データ取得時間の提示

過去の行動の行動特徴量と併せて現在実行中の行動の通過地点を VR で表示した(図 5)。それぞれ次のような情報を示す。

- 青のタイル  
RFID タグの検知がされてから十分に時間が経過しているため、再び掃除をした方がよい地点
- 青色が薄いタイル  
RFID タグの検知がされてから少し時間が経過しているため、最優先ではないが掃除をした方がよい地点

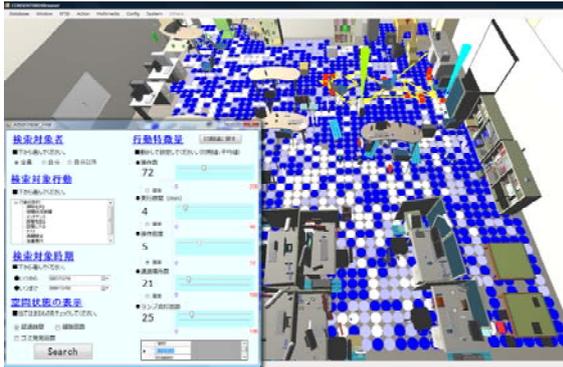


図 6 指定条件との類似度が高い行動データの取得時点における空間状況と取得データ量再現

- 黄色のタイル  
現在実行中の行動中に RFID タグの検知がされ掃除がされた地点
- 掃除機オブジェクトがあるタイル  
現在、掃除をしている地点

なお、図 5 では表示領域をユーザの机周りに限定している。

#### 4.3.3. 矢印による移動軌跡再現

同じメタデータを持つ行動データ取得の際に通過した地点の座標履歴を矢印で再現した。再現の様子を図 6 に示す。

- 矢印の起点、終点  
前のタグ反応地点と次のタグ反応地点
- 矢印の長さ  
移動距離
- 矢印の向き  
移動方向

#### 4.3.4. 指定条件との類似度が高い行動データのデータ取得状況再現

期間や行動特徴量の値などのユーザの指定条件と類似度が高い行動データの取得量を、データ取得時点の空間状況と合わせて再現した。再現例を図 6 に示す。

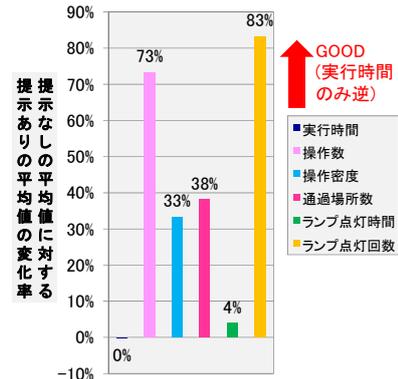
### 5. 行動評価の効果検証

前章で実装した環境において、実際に行動を取得し行動評価の効果検証を行った。

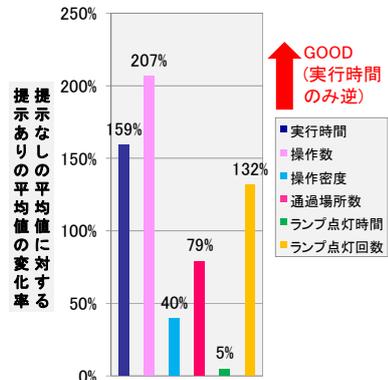
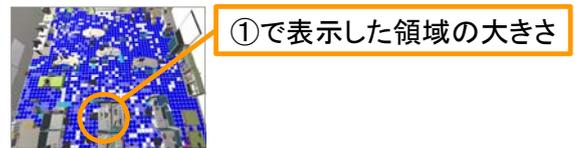
支援対象行動を『掃除』とした。この行動は生活空間を清潔に保つために実行者に関わらず一定の頻度で行われるべき日常の行動であるが、いろいろな操作が実行されることが考えられ、ユーザ共通の行動として比較する意義がある。

情報提示を受けて行った掃除行動と受けずに行った掃除行動のそれぞれについて行動特徴量の平均値を要素別に算出し、提示を受けずに行った行動特徴量の平均値を 100%として要素別に正規化し、その差分をグラフ化した。

提示した情報は 2 種類で検証した。



(a) ①ユーザの机周りのみ



(b) ②部屋全体

図 7 情報提示なしの平均値に対する情報提示ありの平均値の変化

#### 5.1. 現在の空間状態の提示

まず地点ごとに最後に RFID 検知が行われてからの経過時間のみを提示した。その際、情報提示領域を

①ユーザの机周りのみ(図 5)

②空間全体

の 2 種類として、それぞれ期間を別にして検証した。

被験者 6 名に対する検証結果を図 7 に示す。

①のように提示場所を限定した場合には実行した時間に変化がないが他の行動特徴量は取得量が増加しており、データの取得効率が上昇していると言える。また②では実行した時間は提示しない場合の約 2.6 倍になっているが、他の行動特徴量に関しても増加しており、提示場所を空間全体にすることでユーザが時間をかけてじっくり掃除をするようになったと言える。よってこれはデータ取得の促進につながったと言える。従って①、②のいずれの場合も、情報提示による行動の改善が見られる、と言える。

これらの結果から、ユーザ共通の行動データを収集してデータベース化し、特徴量を視覚的に表示する行動評価によって有効なユーザ支援が可能であることが示された。

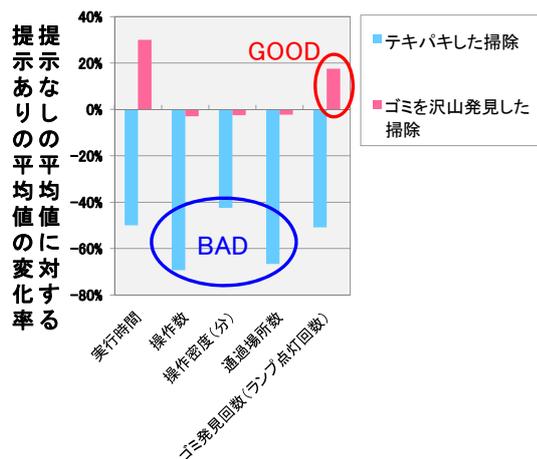


図 8 特徴ある行動の例示の有無による行動特徴量の平均値の変化率

## 5.2. 過去の特徴ある行動の例示

次に、過去の特徴ある行動を行動時の空間状態と共に例示する情報提示における、行動特徴量の変化率を調査した。例示した特徴は次の2点である。

- テキパキした掃除(図 3(a))
- ゴミを沢山発見した掃除(図 3(b))

被験者4名に対する検証結果を図8に示す。

ゴミを沢山発見した掃除の提示では、ゴミ発見ランプの点灯回数の上昇を目的としている。図8においても、変化率が正の値を示しており20%近く増加しているため、情報提示の効果があったと言える。一方、テキパキした掃除を例示した場合は、1分間に取得される情報量、つまり操作密度の増加を目的としている。しかし操作数、操作密度共に減少してしまっており、情報提示の効果は見られなかった。

行動の例示を考えた場合、行動特徴量の取得量の関係や比から特徴を決定する方法に関しては課題が残る。

## 6. まとめ

本論文では、複数のユーザが存在するオフィス空間において、複数種類のセンサデータからユーザを選ばずに行った行動評価の提示により、ユーザ共通の作業のスキルや成果のバラつきの改善を図る支援モデルを設計、実装した。

同時並行で取得・蓄積した複数種類のセンサデータに対して、同一のメタデータ(why)を付加することで、センサデータの型によらずに全ての生データの取得が行えるようにした。また同一のメタデータを持つセンサデータの集約を行動特徴量の要素として、行動情報を特徴量化し、時間や実行者に関わらず比較が行えるようにした。各行動特徴量をユーザの指定条件と比較して行動評価を行い、その結果を視覚的に提示するよう設計した。また、実際にユーザ共通の行動を指定して実験を行い、行動評価の有用性を示した。

今後の課題としては、意図が異なる複数の最小動作が含まれる行動へのモデルの適用や、使用するセンサの種類増加、行動特徴量から特徴ある行動を決定する方法の確定などが考えられる。

## 謝辞

本研究の一部は科学研究費補助金(若手研究(B):課題番号21700102、および特定領域研究(情報爆発IT基盤):課題番号21013023)の助成を受けて行った。

## 参考文献

- [1] M. Weiser, "The Computer for the 21st Century", Scientific American, 265 (3), pp. 94-104, 1991.
- [2] 麦嶋慎也, 小川倂知, 富井尚志, "概念共有環境における頻出行動を用いた行動支援", 第51回システム制御情報学会研究発表講演会(SCI'07), 4F4-5, 2007.5.
- [3] 毛利有貴, 高田秀志, 島川博光, "ユーザの行動予定とエリアの資源に基づくサービスの選定", 電子情報通信学会第18回データ工学ワークショップ(DEWS2007), D7-8, 2007.3.
- [4] B. Kim, E. Choi, Y. Nam, and W. Cho, "Incremental Statistical Methods for Activity Daily Pattern Extraction and User Intention Inference", Journal of Ubiquitous Convergence Technology, Vol.3, No. 1, pp. 27-34, 2009.2.
- [5] D. Minder, P. Marrón, A. Lachenmann, and K. Rothermel, "Experimental Construction of a Meeting Model for Smart Office Environments", Proceedings of the First Workshop on Real-World Wireless Sensor Networks (REALWSN 2005), SICS Technical Report T2005:09, 2005.6.
- [6] T. Huynh, M. Fritz, and B. Schiele, "Discovery of Activity Patterns using Topic Models", UbiComp 2008, pp.10-19, 2008.
- [7] 楓仁志, 山原裕之, 藤原聡子, 野口豊司, 東辰輔, 島川博光, "タグ付けられた世界における個人の行動特性を用いた意図推測", 組み込みソフトウェアシンポジウム2005, pp.126-133, 2005.
- [8] 伊藤昌毅, 徳田英幸, "位置適応サービスのパーソナライズを容易に実現する行動履歴解析システムの設計と実装", 第7回プログラミングおよび応用のシステムに関するワークショップ(SPA2004), pp.185-192, 2004.3.
- [9] A. Girgensohn, F. Shipman, and L. Wilcox, "Determining activity patterns in retail spaces through video analysis", Proceeding of the 16th ACM international conference on Multimedia, pp.889-892, 2008.10.
- [10] M. Hartmann, and M. Mühlhäuser, "Context-Aware Form Filling for Web Applications" ICSC, 2009 IEEE International Conference on Semantic Computing, pp.221-228, 2009.
- [11] 渡邊優作, 佐々木貴司, 富井尚志, "クエリフィードバックによる意味情報推奨機構を有する成長型ユビキタス環境データベースの実装と評価" 情報処理学会論文誌:データベース, Vol.48, No.SIG20 (TOD36), pp.1-13, 2007.12.
- [12] 那須洋之, 草野弘行, 富井尚志, "ユビキタス環境データベースによるエージェントの物体状況探索制御手法", 電子情報通信学会データ工学研究専門委員会主催第18回データ工学ワークショップ(DEWS2007), Proc. of Data Engineering Workshop, DEWS2007 D7-6, 2007.3.
- [13] 草野弘行, 山下啓太, 富井尚志, "ユビキタス環境DBのための能動的センサ移動による実空間状況獲得", 第1回データ工学と情報マネジメントに関するフォーラム(DEIM2009), B4-4, 2009.3.
- [14] 麦嶋慎也, 清水隆司, 富井尚志, "ユビキタス環境DBにおける利用者の概念を利用した行動支援手法", 日本データベース学会論文誌, Vol.7, No.1, pp.221-226, 2008.6.
- [15] 清水隆司, 古賀浩史, 富井尚志, "大量のRFIDデータを扱う概念共有環境 CONSENT の運用による実用性の評価", 日本データベース学会論文誌, Vol.8, No.1, pp.41-46, 2009.6.