

Title	行動履歴を用いた近未来の忙しさ予測法
Author(s)	衣笠, 雄気
Citation	
Issue Date	2011-03
Type	Thesis or Dissertation
Text version	author
URL	http://hdl.handle.net/10119/9616
Rights	
Description	Supervisor: 敷田幹文 准教授, 情報科学研究科, 修士

修 士 論 文

行動履歴を用いた近未来の忙しさ予測法

北陸先端科学技術大学院大学
情報科学研究科情報科学専攻

衣笠 雄気

2011年3月

修士論文

行動履歴を用いた近未来の忙しさ予測法

指導教官 敷田幹文 准教授

審査委員主査 敷田幹文 准教授
審査委員 篠田陽一 教授
審査委員 落水浩一郎 教授

北陸先端科学技術大学院大学
情報科学研究科情報科学専攻

0910019 衣笠 雄気

提出年月: 2011年2月

概要

現在、コミュニケーション支援のために個人の状況・状態を推測する研究が盛んに行われている。しかし、既存の研究では数分後に会議が始まるといったような、直後に重要なイベントがある場合、不適切なタイミングでのコミュニケーションが発生する可能性がある。そこで本研究では、複数のセンサ情報から得られる個人の行動履歴から近未来の忙しさを予測し、不適切なタイミングでのコミュニケーションの発生を低減することを目的としている。本論文では、近未来の忙しさを予測する手法について述べ、検証実験から分かったことについて議論を行う。

目次

第1章	はじめに	1
1.1	研究背景	1
1.2	研究目的	2
1.3	論文の構成	2
第2章	関連研究	3
2.1	近未来予測	3
2.2	忙しさ推定に関する研究	4
2.3	状況情報を利用した研究	4
2.4	研究目的との相違点	5
第3章	近未来の忙しさ予測方法	7
3.1	概要	7
3.2	提案手法を利用するときの流れ	8
3.3	内部構成	9
3.4	利用するセンサ情報	10
3.5	学習方法	11
3.6	近未来の忙しさ算出方法	13
第4章	評価実験	15
4.1	概要	15
4.2	データ収集	15
4.3	提案手法のシミュレーション	16
4.3.1	提案手法の正解率	17
4.3.2	忙しい割合	18
4.4	データ解析	19
4.4.1	近未来の定義変化による忙しさの正解率	19
4.4.2	近未来の忙しさ算出方法の違いによる正解率	20
4.4.3	個人の忙しさと正解率の関係	21
4.4.4	目的地と忙しさの関係	22

第5章 考察	23
5.1 正解との一致率	23
5.1.1 提案手法の正解との一致率	23
5.1.2 近未来の忙しさ算出方法の違いによる正解率の変化	24
5.1.3 近未来の定義変化による正解率の変化	25
5.2 実運用のための最適化	25
5.2.1 忙しさの初期値決定	25
5.2.2 近未来の定義	26
5.2.3 個人の目的地毎の忙しさと支援方法	26
5.3 目的地と忙しさの関係	28
5.4 コミュニケーション支援での利用	29
5.4.1 支援が有効な場面	29
5.4.1.1 スケジュール帳に情報がないとき	29
5.4.1.2 イベントが行われる場所への移動中	29
5.4.2 課題	30
5.4.2.1 利用者に動きがないとき	30
5.4.2.2 利用者の予想外の行動	30
5.4.3 応用例	31
5.4.3.1 電話の着信以外への対応	31
5.4.3.2 行動予測	31
5.4.4 プライバシー保護	32
5.4.4.1 リスク	32
5.4.4.2 保護方法	33
第6章 おわりに	35
6.1 まとめ	35
6.2 今後の課題	36

目 次

3.1	提案手法利用の流れ	8
3.2	内部構成	9
3.3	近未来の忙しさ予測方法	14
4.1	提案手法の正解率	18
4.2	提案手法の正解率の平均値	18
4.3	忙しい割合	19
4.4	近未来の定義変化による忙しさの変化	19
4.5	近未来の忙しさ算出方法の違いによる正解率	20
4.6	個人の忙しさと正解率の関係	21
4.7	目的地と忙しさの関係	22
5.1	ステータス情報	32

表 目 次

3.1	目的地の CPT	12
3.2	目的地ごとの忙しさの CPT	13
3.3	会話の盛り上がりの CPT	13
4.1	アンケート記入例	16
4.2	調査概要	17
5.1	学習データの違いによる正解率の変化	26
5.2	目的地の忙しさ	27

第1章 はじめに

本章では，本研究の背景と目的について述べ，最後に本論文の構成について述べる．

1.1 研究背景

近年，携帯電話やスマートフォンに代表される持ち運べる情報端末や，Skype に代表されるようなインスタントメッセージの普及によりユビキタスネットワークが発展した．ユビキタスネットワークの発展によりコミュニケーション相手と対面で会う必要がなくなり，気軽に時間や場所を問わないコミュニケーションの発生が可能となっている．

ユビキタスネットワークが発展する以前の時代ならば，遠くの人とコミュニケーションを取ることが出来ないと考えたデメリットがあったが，他人とコミュニケーションの取るために，相手と対面で会う必要があり，相手の状況を目視することで，コミュニケーションを取ることができかどうかを把握をすることが出来るといった利点があった．一方，近年はユビキタスネットワークの発展により，遠くの人と何時でも何処でも相手と連絡が取れるようになったのだが，相手の状況を目視できなくなったことから，相手が今コミュニケーションを取れる状況下にいるかどうかの把握できなくなった．そのような相手の状況を把握できなくなったことから，会議中や話しかけてほしくないとき，急いで移動中などといったコミュニケーションを取るには不適切なタイミングでの連絡が問題となっている [1-4]．また，インスタントメッセージを用いたコミュニケーションでは“何か他の作業をしながら会話を行う”ことが一般的であるため，連絡相手への話しかけが，意図せず作業を妨害する可能性がある [5]．

そこで，対面でない相手の状況が分からないことから発生する不適切なタイミングでのコミュニケーションの発生を低減し，割り込みによる作業の中断を減らすと言う目的のため，遠くにいる相手の状況・状態を把握するための研究が盛んに行われている [1, 5-10]．また，連絡をしてくる可能性のある人に対して，現在の状況を自己申告することにより状況情報を入力し，その情報を元にコミュニケーションの発生を支援するという研究も行われている [11-14]．

しかし、既存の研究のような現在の状況・状態を推測するだけでは，数分後に会議が始まるといったような直後に重要なイベントがある場合，不適切なタイミングでのコミュニケーションが発生する可能性がある．何故なら，現在コミュニケーションを取ることが出来ると推測しても，数分後に会議が始まるといった状況では会議の参加者は会場に向かう必要があり，移動中にコミュニケーションが発生すると，会議に遅刻する可能性があるた

めである．その事から，会議が行われる会場への移動中はコミュニケーションのための連絡を控える必要があると判断できる．また，自己申告による現在の状況共有では，情報を公開したい人は手動で現在の状況を入力する必要がある，その事がユーザの負担になっている．

以上のことから，既存の研究のような現在の状況・状態を推測したり，自己申告による現在の状況共有をするだけでなく，近未来の状況・状態を自動的に推測する必要があると考えられる．

1.2 研究目的

1.1 節で述べた背景から，本研究では，複数のセンサ情報から得られる個人の行動履歴から自動的に近未来の忙しさを推測することで，現在の個人の状況・状態のみを把握することで起こる不適切なタイミングでのコミュニケーション発生の低減し，割り込みによる作業の中断を減らすことを目的としている．また，本研究では「連絡をしてほしくない度合い」を「忙しさ」と定義し[2-4]，位置情報や発話の有無といったような各種センサから得られる情報を用いる[3,15]ことで連絡相手(以下，被参照者と定義する)の近未来の忙しさ推測を行う．

1.3 論文の構成

本論文では，関連研究について述べた後，近未来の忙しさ予測方法と検証実験の結果ついて述べ，考察で提案手法の利点と収集されたデータの解析から提案手法の有効性についての議論を行う．

第2章 関連研究

本章では、関連する研究について述べ、提案されている方式などについて説明を行う。本研究に関連する研究としては、各種センサ情報を用いた近未来の行動予測に関する研究や、各種センサ情報から個人の現在の忙しさを推定する研究が挙げられる。また、本章の最後では関連研究の問題点や本研究との違いについて述べる。

2.1 近未来予測

ユビキタス社会の到来に際して、各ユーザごとに現在の状況に適切なサービス(コンテキストウェアサービス)を提供する研究の一部に、センサ情報を用いた近未来の予測を行うといったものがある[15,16]。これらの研究では、未来を予測される対象にセンサを付与し、センサから得られる情報を元にシステムが対象の未来を予測することで、コミュニケーションや業務の支援に役立てている。

文献[15]の研究では、速度センサやRFIDといったセンサから得られる情報とコンテキストの適切な定義付けを行うことで人の行動予測を行っている。この研究では、個人の日常行動から得られる多種多様なセンサ情報からシステムが個人の状況や行動の変化を推測し、ユーザがその正当性を判断しながら必要に応じて修正するユーザ参加型コンテキスト抽出手法を提案している。そして、この研究の手法により抽出された過去のコンテキストの抽出履歴から、ユーザの日常行動に関する未来予測を行っている。また、この研究では朝、家を出て駅のホームにいるから次は学校に行くといったように日常的に繰り返される様な定義出来る行動を支援対象としている。しかし、日々繰り返される行動を支援対象としていることから、突然先生に呼び出さる、トイレに行くといったような突発的な行動や、未来の予測をするために、未来を予測される対象が過去に同じような行動を取った際のコンテキストの抽出順序履歴が必要になることから、過去に同じような行動を取っていない場合、未来予測は出来ないといった問題点がある。

文献[16]の研究では、未来の予測を行うことの有用性が述べられている。この研究では酪農家のために、乳牛の脚に付与した加速度センサの平易で統計的な特徴量(分単位の活動量評価と時間単位の活動頻度)を用いて、乳牛の発情時における行動をモニタリングすることで発情検知と予測を行っている。この研究により乳牛の発情検知が比較的容易に行えるようになった。しかし、未来の予測を行われる対象は人間ではないので本研究と支援対象が異なっている。

2.2 忙しさ推定に関する研究

コミュニケーション発生支援のためユーザの現在の忙しさ(コミュニケーションを取ることが出来るかどうか)を予測するといったアウェアネスの研究がなされている[2-4,8]. これらの研究では位置情報や見ている物,発話の有無を各種センサから取得することで現在の忙しさを推定することを研究目的としている.そして,忙しさの程度を連絡をする人(以下,参照者と定義する)に通知することで,コミュニケーション発生支援を行っている.

文献[2]の研究では,被参照者の動作状態やデバイスの操作状態,発話の有無などの出力情報,周囲の人などユーザを取り巻く環境などの状況情報に加え,ユーザの細かい状態に関する状態も使用して,被参照者の忙しさを推定している.そして,被参照者の忙しさをユーザ間で共有・提示することで,被参照者の状態を考慮した情報の通知や円滑なコミュニケーションを実現し,不適切なタイミングでの割り込みの削減を目指している.しかし,この研究では現在忙しいかどうかの推定を行っているので,1.1節で述べた,直後に会議などのような重要なイベントがある場合に不適切なタイミングでのコミュニケーションが発生する可能性があるという問題点がある.

文献[8]の研究では,デスクワーク,特に情報を出力しているときに着目し,被参照者の忙しさを推定することを目的としている.何故なら,情報を出力しているときに,その作業を中断されると出力すべき情報を忘れてしまう恐れがあるからである.以上のことから,被参照者のデスクワークにおける忙しさを推定するために,ペンの使用状況や会話の有無,コンピュータの使用状況としてキーボードの打鍵とマウスの操作を利用している.この研究では,デスクワークにおける忙しさの現在の推定を行っていることから,1.1節で述べた,直後に会議などのような重要なイベントがある場合に不適切なタイミングでのコミュニケーションが発生する可能性があるという問題に加え,デスクワークという位置情報が変化しない状況を想定して忙しさを推定していることが,本研究の目的および利用シチュエーションが異なっている.

2.3 状況情報を利用した研究

不適切なタイミングでのコミュニケーションの発生を低減し,円滑なコミュニケーションの発生を実現する方法として,状況情報を利用したものがある[11-14].これらの研究では,WWW(World Wide Web)上に公開された行き先ボードやグループ内で共有しているカレンダーに手動で現在や未来の状況を書き込み,状況情報を共有しているユーザに被参照者の状況を通知することで不適切なタイミングでのコミュニケーション発生を低減を目的としている.

しかし,入力は手動または半手動で行われるため,ユーザに負荷を強い事になってしまい,ユーザによっては入力することを止めてしまう可能性がある.ユーザが状況情報を書き込まなければ,情報を共有できなくなるため,研究の目的である不適切なタイミン

グでのコミュニケーションの発生を低減することが、出来なくなってしまうという問題がある。

カレンダーには、未来に何処にいるか何をしているかが書きこまれているので、近未来にコミュニケーションを取ることが出来るかどうかを知ることが出来るのだが、カレンダーには、手動で状況情報書きこむ必要があるので書き忘れや、書きこむことを止めてしまうユーザがいるという問題があることに加え、カレンダーに書かれている情報は前もって分かっている事なので、突発的に先生のところへ行く、また図書館に行くといったような、被参照者の突発的な行動には対処できないという問題がある。

2.4 研究目的との相違点

1. ユーザの細かな情報を利用

本研究では、数種類のセンサ情報を用いることで被参照者の細かい情報を利用し、近未来の忙しさの予測を行っている。一方、2.1節で述べた方式では、今何処にいるかや何処に向かおうとしているのか、どう移動しているかという“位置”情報のみから分かる情報を用いることで近未来の予測を行なっている。その事が本研究との違いである。位置情報からでも近未来を予測することが出来るのだが、それは近未来において何処にいるかという位置に関することであり、その情報を元にコミュニケーションを取ることが出来るかどうかを判断する作業は参照者に委ねられる。そして、同じ場所であってもユーザの主観によってコミュニケーションを取ることが出来るかどうかは変化するので、不適切なタイミングでのコミュニケーションの発生が起こる可能性がある。本研究が目的としているのは、近未来においてコミュニケーションを取ることが出来るかどうかを予測することであり、その目的を実現するためには位置情報のみならず、さらに細かな被参照者の状況情報を取得する必要がある。

2. 近未来を見ている

本研究では、被参照者の近未来の忙しさを予測することで、不適切なタイミングでのコミュニケーション発生の低減を目的としている。2.2節で述べた方式では、被参照者の現在の忙しさの予測を行なっている。現在の忙しさを予測するだけでは、今は忙しくないが、直後に会議やゼミなどの重要なイベントが入っており、これから忙しくなるといったような状況では、不適切なタイミングでのコミュニケーションが発生する可能性があり、コミュニケーション発生支援が十分とは言い難い。そこで、本研究では、近未来の忙しさを予測することで、直後に重要なイベントがある場合に発生する可能性があるコミュニケーション要求を減らすことで、円滑なコミュニケーションを支援することが出来るようになる。また、本研究と2.2節で述べた研究を組み合わせることで、現在よりもさらに円滑なコミュニケーションの発生を支援することが出来るようになると思われる。

3. 自動予測

本研究では、各種センサ情報をから得られる個人の行動履歴から近未来を予測するというプロセスを自動的に行なっている。自動的に行っていることから、2.3節で述べた、入力の手動または半手動で行われるため、ユーザに負荷を強いる事になってしまい、ユーザによっては入力することを止めてしまう可能性があるといった問題に対処できる。本研究では、近未来の忙しさを予測される被参照者は各種センサを身につけるだけでよいので、手動で状況情報を書き込む必要がない。また、手動で状況情報を書きこむ必要がないので、書き忘れや記入ミスを起こすこともない。さらに、状況情報を書きこんでも被参照者は書き込んだ通りの行動を行わない[17]ことがある。しかし、本研究ではユーザの近未来の忙しさを自動で予測を行っているため、書き込んでいても違う行動をとるといった問題へも対処できる。

第3章 近未来の忙しさ予測方法

本章では、不適切なタイミングでのコミュニケーションの発生を低減することを目的とした近未来の忙しさ予測方法についての説明を行う。構成はまず、近未来の忙しさ予測方法の概要について述べ、その後システムを利用するときの流れ、そして、提案手法の内部構成や利用するセンサ情報、学習方法という流れで説明した後、最後に近未来の忙しさ算出方法について説明を行う。

3.1 概要

本論文で提案する近未来の忙しさ予測手法(以下、提案手法)では、近未来の忙しさの予測を行うためにベイジアンネットワーク[18–21]を利用する。ベイジアンネットワークを利用する理由は、予め行動のルール(例えば、Aという行動を取ったなら次はBという行動を取る)を定めていても、被参照者は自分で定めたルール通りの行動を行わない[17]、かつ被参照者は人間なので機械のように定められたルール通りの行動しかしないという事はない[17]という理由と、ある瞬間における全物質の状態を把握しそれらを解析できる知性があれば未来は確定的に予測できるというラプラスの悪魔の概念[22,23]と、ラプラスの悪魔を否定した測定する物理量にはばらつきがあるという不確定性原理[24]の考えにより大量の情報を集めても未来を確定的に予測できないことから、近未来の忙しさを確率的に算出する為である。提案手法では被参照者が携帯している各種センサから必要なセンサ情報を1分ごとに取得し、取得された前日までの行動履歴を用いて近未来の忙しさ予測に必要な学習を行う。そして、参照者から被参照者の近未来の忙しさを予測して欲しいという要求があった場合、学習したデータを用いることで、被参照者の近未来の忙しさを予測し、参照者に通知を行う。

提案手法で対象にしているのは被参照者が移動しているときであり、会議中や授業中、パソコンを用いて作業中など移動に関する動きがないときは対象外である。また、提案手法がサービスを提供するのは被参照者が屋内にいるときを想定している。

必要なセンサ情報や学習方法、近未来の忙しさ予測方法については後の3.4,3.5,3.6節にて説明を行う。

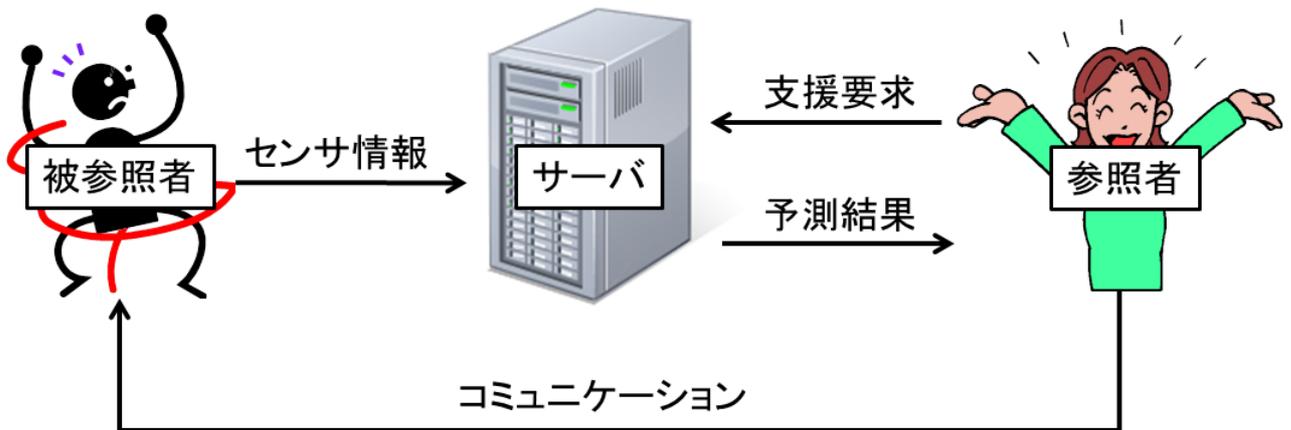


図 3.1: 提案手法利用の流れ

3.2 提案手法を利用するときの流れ

提案手法を利用するときの流れを図 3.1 に示す。

提案手法を初めて利用する際、被参照者はサーバに名前や所属するグループといったようなユーザ情報を登録する。そして、提案手法が近未来の忙しさを予測するために必要なセンサ情報を取得するため、被参照者は必要なセンサを携帯する。被参照者の携帯しているセンサから 1 分ごとにサーバへセンサから得られる情報を送信し、サーバがセンサ情報を受け取ったら、その情報をデータベースに格納する。そして、データベースに格納されているセンサ情報を用い、1 日 1 回、前日までのデータを用い、近未来の忙しさを予測するために必要な学習を行う。

提案手法が被参照者の近未来の忙しさを予測するタイミングは、参照者から被参照者の近未来の忙しさを予測してほしいという要求があった時である。参照者から要求があったとき、サーバでは学習したデータを用い被参照者の近未来の忙しさを予測し、その結果を参照者に通知する。予測された被参照者の状態が忙しくないと判断され、その旨を参照者に通知を行った場合、参照者は被参照者とコミュニケーションを試み、コミュニケーションが発生したならシステムは何もせず、コミュニケーションが発生しなかったなら参照者はサーバへコミュニケーションが発生しなかった旨を通知し、サーバでは学習した結果の修正を行う。一方、予測された被参照者の状態が忙しいと判断された場合、その旨を参照者に通知を行う。もし、被参照者が忙しいと判断された旨を受け取った参照者が、被参照者とコミュニケーションを試み、コミュニケーションが発生したならば、その旨をサーバへ連絡を行い、サーバでは学習した結果の修正を行う。

なお、提案手法が通知する内容は被参照者が忙しいか忙しくないかという状態なので、最終的に提案手法を利用した参照者が連絡を行うかどうかは、参照者本人に委ねられる。

本研究の目的は不適切なタイミングでのコミュニケーション発生を低減することであるので、忙しいと誤判断するよりも忙しくないと誤判断する確率を減らすことに重きをおい

ている。

3.3 内部構成

提案手法が近未来の忙しさを予測するためには，“センサから必要な情報を収集する”，“収集されたデータを用いて予測に必要な学習を行う”，“参照者から支援要求があったとき被参照者の近未来の忙しさを予測し結果を通知する”，という機能が必要である．また，センサから収集した情報を保存するためのデータベースも必要である．

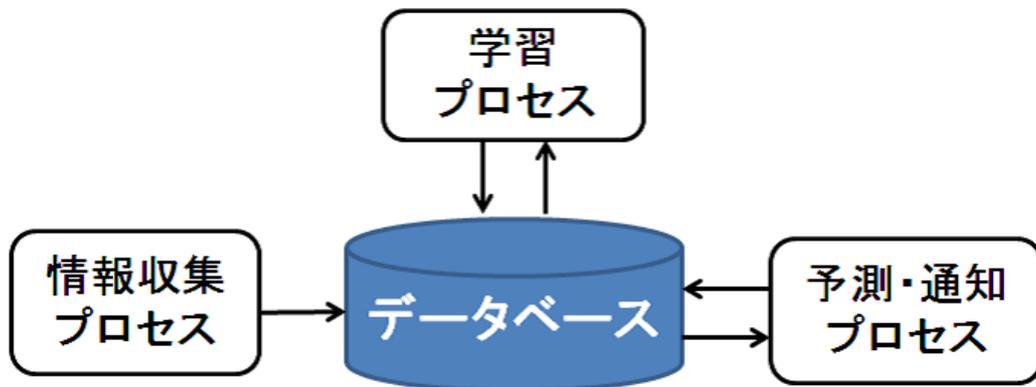


図 3.2: 内部構成

システムの内部構成を図 3.2 に示す．システムは

- データベース
- 情報収集プロセス
- 学習プロセス
- 予測通知プロセス

に分けられる．

データベースには，各被参照者ごとの近未来の忙しさを予測するために必要な学習データと，各種センサから得られた情報を生データのまま時系列順に保存する．

情報収集プロセスでは被参照者が携帯している各種センサから 1 分ごとに送信されるセンサ情報を収集し，データベースへの格納を行う．

学習プロセスでは情報収集プロセスで取得されデータベースに保存されている被参照者のセンサ情報を用い，一日一回予測通知プロセスで用いる条件付き確率分布表 (以下，CPT) の編集 (以下，学習) を行う．

予測通知プロセスでは参照者から被参照者の近未来の忙しさ予測要求があった時、学習プロセスにより学習されたCPTを用い、被参照者の近未来の忙しさを予測する。その後、予測された結果を参照者に通知を行う。さらに予測結果が間違っており、適切なタイミングでのコミュニケーションを支援できなかったという旨の通知を参照者から受け取った場合、誤判断したときのセンサ情報と判断を間違った旨を学習プロセスに通知する。

3.4 利用するセンサ情報

近年、人の状態を把握するためのセンサは小型・高性能化している。その為、提案手法で利用するセンサ情報を収集するためのセンサは数多く存在する。

ここで、近未来の忙しさに少しでも関連があると考えられる人間の行動や状態の例を示す。例えば、位置情報が挙げられる。図書館など一般的にコミュニケーションを取るのに不適切な場所がある。それらの場所では携帯電話を使用しないようにアナウンスされているので、位置情報からそれらの場所に向かっているならば、連絡を控えるべきであると判断できる。したがって、位置情報は近未来の忙しさに関連があると考えられる。また、音声情報や集中度も挙げられる。廊下など一般的にコミュニケーションを取ることが出来る場所を移動中であっても、移動中に誰かと話していたり、考え事をしていて集中しているならば割り込みが行われるのは好ましくないと考えられる。それらの情報は位置情報だけでは分からないので、音声情報や集中度も近未来の忙しさに関連があると考えられる。

以上のことから、提案手法では

- 位置情報
- 音声情報
- 集中度

といった、センサから得られる情報を用いる。

位置情報は被参照者の移動経路や移動している方角、現在地、さらに目的地を算出するために利用する。位置情報を得るために使用するセンサの例としてはRFID(Radio Frequency Identification)やGPS(Global Positioning System)が挙げられる。北陸先端科学技術大学院大学ではRFIDリーダを学内の天井に設置しているので、被参照者の大まかな位置が特定できる。提案手法では被参照者がどの部屋にいるか、さらにどの辺を移動しているかを用いるのでRFIDを利用出来る。近年の事例ではNTTドコモが博物館などの施設での運用を想定し、お客さまが立ち寄った場所や時間などの情報をRFIDリーダが内蔵されている携帯電話で収集し、行動を把握することで、お客さまに応じて配信される情報を選択できる情報配信システムを開発した[25]。

音声情報は被参照者が移動中、他人と会話しながら移動しているかを算出するために利用する。音声情報を得るために使用するセンサの例としては小型マイクが挙げられる。最近ではBluetoothを用いたワイヤレスマイクが存在し、また、マイクを携帯していても

気に掛からないくらい小型化が進んでいるため、被参照者が会話しているかどうかを容易に取得出来る。会話の有無は発話している (1) か、していない (0) かの 2 値で表す。

集中度は被参照者が移動中、何かに集中しているかを算出するために利用する。例えば、音声情報があり集中しているなら会話に集中している。また、音声情報は無いが集中しているなら考え事をしながら移動していると推測できる。集中度を得るためのセンサの例としては脳波測定器が挙げられる。正常成人覚醒時の脳波において、精神安定時には α 波が検出され、物事に集中しているときには β 波が検出される。そこで、 α 波が抑制され、 β 波が出現した状況を「集中している」と判断する [26]。今日では、東芝が脳波センサを搭載したヘッドホン “MindTune” を発表するなど [27]、脳波センサが一般的に普及し始めている。したがって、今は脳波の情報も用意に取得可能である。集中しているかどうか、集中している (1) か、していないか (0) の 2 値で表す。

3.5 学習方法

提案手法では 3.4 節で吟味した、被参照者から得られた前日までのセンサ情報を用い、被参照の近未来の忙しさを予測するために必要な CPT を学習する。

CPT の種類は

- 目的地
- 目的地ごとの忙しさ
- 会話の盛り上がり

の 3 種類がある。

目的地の CPT は被参照者の移動履歴から目的地を算出するために用いる。そして、行動履歴から判断できる目的地の候補のうち最も向かう確率が高いものを選択する。例えば、研究室 講義棟 図書館で今、東に向かっていているという行動履歴が得られた場合、寮と購買が目的地の候補に上がっており、寮へ行く確率が $1/3$ 、購買へ行く確率が $2/3$ である場合、購買が目的地として選択される。目的地の CPT の例を表 3.1 に示す。

目的地ごとの忙しさという CPT は目的地ごとの忙しさを示している。例えば、目的地が図書館である場合、学習により図書館が目的地の時の忙しさが 0.75 である場合、0.75 という値を目的地ごとの忙しさとして、近未来の忙しさ予測の計算に使用する。目的地ごとの忙しさの CPT の例を表 3.2 に示す。

会話の盛り上がりという CPT は会話の音声情報と集中度からその会話が盛り上がっているか、また、集中しているかを示している。また、本研究において、会話の状態から予測される近未来の忙しさを会話の盛り上がりと定義している。例えば、会話をしており、その時に集中度しているときの忙しさの値が 0.6 である場合、0.6 という値を会話の盛り上がりとして、近未来の忙しさ予測の計算に使用する。会話の盛り上がりの CPT の例を表 3.3 に示す。

表 3.1: 目的地の CPT

	ユーザルーム	講義室	家	購買	研究室	トイレ	ゼミ室
未 外-外-廊下(学)	0.400	0	0	0	0.600	0	0
北 外-廊下(学)-廊下(キ)	0.400	0	0	0	0.600	0	0
西 廊下(学)-廊下(キ)-ユーザルーム	1	0	0	0	0	0	0
東 ユーザルーム-ユーザルーム-廊下(キ)	0	1	0	0	0	0	0
南 ユーザルーム-廊下(キ)-講義室	0	1	0	0	0	0	0
南 講義室-講義室-廊下(学)	0	0	1	0	0	0	0
南 講義室-廊下(学)-外	0	0	1	0	0	0	0
未 廊下(学)-外-外	0	0	1	0	0	0	0
未 外-外-購買	0	0	0	1	0	0	0
北 購買-購買-廊下(知)	0	0	0	0	0.955	0	0
西 購買-廊下(知)-廊下(学)	0	0	0	0	0.955	0	0
北 廊下(知)-廊下(学)-廊下(キ)	0	0	0	0	0.971	0	0
西 廊下(学)-廊下(キ)-研究室	0	0	0	0	1	0	0
南 研究室-研究室-廊下(2F情2)	0	0	0	0	0	0.882	0
南 研究室-廊下(2F情2)-トイレ	0	0	0	0	0	1	0
北 トイレ-トイレ-廊下(2F情2)	0	0	0	0	1	0	0
北 トイレ-廊下(2F情2)-研究室	0	0	0	0	1	0	0
西 研究室-研究室-廊下(2F情2)	0	0	0	0	0	0	0.750
西 研究室-廊下(2F情2)-エレベーター	0	0	0	0	0	0	1
西 廊下(2F情2)-エレベーター-廊下(5F情2)	0	0	0	0	0	0	1

CPT の学習方法は

1. 各被参照者と全被参照者ごとに目的地，目的地の忙しさ，会話の盛り上がりの CPT を作成する
2. CPT 内の全ての項目別にカウンタを設定する
3. センサ・デバイス情報に基づく忙しさ推定 [2]の方法により各時刻における忙しさを求める
4. ある任意の時刻 (t_1) から 4 分後までの忙しさを求め教師データとする
5. 4 分後までに忙しくなると判断されたとき，時刻 t_1 のセンサ情報を，用意してある各 CPT の対応する項目のカウンタに 1 を加算する
6. 4，5 を繰り返し保存しているデータが無くなったら項目ごとに確率 (忙しかった回数/全回数) を求め CPT 内に挿入する

である．

また，被参照者が近未来の忙しさを予測するために全体のデータで学習したものをを用いるか，個人ごとに学習されたものをを用いるかを判断するため，1 日 1 回学習した目的地の忙しさの合計を計算し目的地数で割る．その値が閾値より大きい小さいかで，近未来の忙しさを予測するために全体のデータで学習したものをを用いるか，個人ごとに学習されたものをを用いるかを決定する．閾値の決定については 5.2.3 節で議論を行う．

表 3.2: 目的地ごとの忙しさの CPT

	忙しさ
ユーザルーム	0
講義室	1
家	0.364
購買	0.125
研究室	0.066
トイレ	0.065
ゼミ室	0.904
他研究室	0.500
先生	1
キャリア支援室	0.444
自動販売機	0.111
廊下(2F情2)	1
図書館	0.333
ゴミ箱	0
外	0
廊下(キ)	1

表 3.3: 会話の盛り上がりの CPT

会話量	集中度	忙しさ
0	0	0.151
	1	0.730
1	0	0.435
	1	0.730

3.6 近未来の忙しさ算出方法

近未来の忙しさを予測するために 3.5 節で学習した，“目的地ごとの忙しさ”と“会話の盛り上がり”という CPT 内の値を利用する．計算式は 4 章により収集されたデータを元に 5 章の考察で算出されたものである．

参照者から被参照者の近未来の忙しさ予測要求があったとき，後述する計算式を用いて被参照者の近未来の忙しさを算出し，算出された結果を参照者に通知を行う．

近未来の忙しさを予測するための計算式は

$$\text{近未来の忙しさ} = \frac{\text{目的地毎の忙しさ} + \text{会話の盛り上がり}}{2}$$

である．

近未来の忙しさを算出するための手順の概略を図 3.3 に示す．以下に概略図内の図形の意味を示す．

- 青色で塗りつぶされた円：センサから得られる情報
- 黄色で塗りつぶされた円：センサ情報から算出される情報
- 紫色で塗りつぶされた円：センサ情報を用い学習した CPT
- 赤色で塗りつぶされた円：近未来の忙しさ

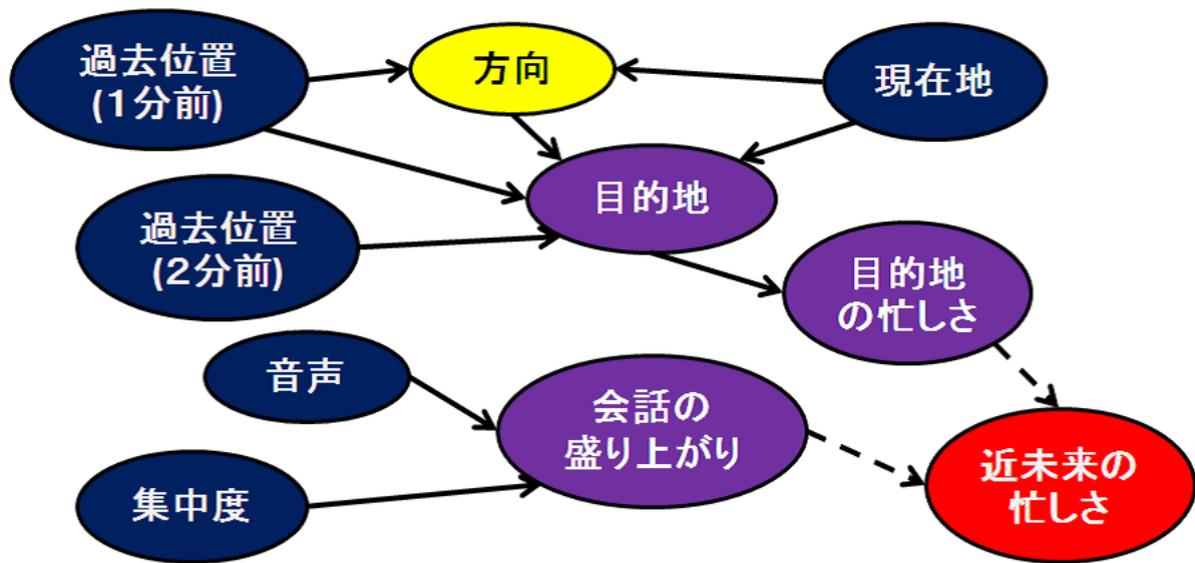


図 3.3: 近未来の忙しさ予測方法

- 実線の矢印 : データの流れ
- 点線の矢印 : 計算に用いるデータの流れ

近未来の忙しさを予測するために必要な情報は、目的地の忙しさと会話の盛り上がりである。目的地を算出するために過去 2 分間の位置と現在地 (青色で塗りつぶされた円) を用い移動経路を算出し、また現在地と直前の位置から移動方向 (黄色で塗りつぶされた円) を算出する。その結果とサーバ内に保存してある目的地の CPT (紫色で塗りつぶされた円) から、目的地ごとの向かっている確率を算出し、確率が最も高かった地点を目的地とする。本研究では、確率の高い地点が目的地として選ばれる方式なので同じ方向に 2 つの目的地が存在する場合、目的地予測を間違える可能性があるのだが、本研究では正確に目的地を予測することが目的ではない。しかし、目的地は近未来の忙しさに影響をするので、目的地を正確に予測する方法を考察することは今後の課題となる。そのようにして求めた目的地と目的地の忙しさの CPT (紫色で塗りつぶされた円) を用い、目的地の忙しさを算出する。その値と、音声情報と集中度から求めた会話の盛り上がり (紫色で塗りつぶされた円) との平均値を求め、その値を近未来の忙しさとする (赤色で塗りつぶされた円)。

本研究では評価をしやすくする為、求められた近未来の忙しさを 2 値数に変換し評価している。2 値数に変換するときの閾値は 0.5 で、0.5 以上なら忙しい、0.5 未満なら忙しくないと判断している。

第4章 評価実験

本章では，提案手法の評価実験について説明する．

4.1 概要

3章で述べた近未来の忙しさ予測方法の有効性を検証するため，提案手法のシミュレーションを行うことで，センサから得られる情報と忙しさの教師データを収集した．評価内容は，シミュレーションを行うことでわかった“提案手法の正解率”と“忙しい割合”について評価した後，“データ解析”でシミュレーションを行うことで算出された，正解率や忙しさの関係について述べる．

4.2 データ収集

収集期間は土日を除く10月21日(木)～10月29日(金)の7日間である．また，データ収集に参加してくれた被験者の人数は5人であり，この5人は同じ研究室のメンバーである．

検証データは，被験者にデータ収集期間中も普段と同じように活動してもらい，アンケート形式で移動中忙しかったかと目的地，音声情報といったセンサから得られる情報を収集した．そのデータから1分ごとにセンサから得られる情報を抽出し解析を行った．

アンケート形式によりデータを収集し，1分毎にセンサから得られる情報を抽出した理由は，データを収集するためのシステムや環境作りの実現はほぼ不可能であるからである．なぜなら，本提案方式は場所を限定せずに，ある組織に属するユーザの支援を行うことを想定しているからである．関連研究も含めて，実際にセンサやデバイスを用意して環境整備し実験したものは場所を限定している．また，本検証実験では，近未来の忙しさにはどのような要因が関わるか，計算方式の違いや近未来と定義する数分後の時間の変化を解析することが目的なので，実装し被験者に使用してもらうことで，使いやすかったかなどを解析するよりも優先した．

また，本検証実験では何パターンもの解析を行うことで，提案手法が予測する近未来の忙しさの精度が最もよくなるパラメータについて検証を行った．アンケート形式のデータ収集により得られたデータを用いて，提案手法の支援シミュレーションを行うことで，数10パターンの検証を行い提案手法の有効性について検証を行った．

そこで、本研究では行動履歴をアンケート方式により収集し、センサから得られる情報と近未来の忙しさの教師データを抽出した。理由としては、近未来の忙しさに直接関係があると考えられる状況や状態を確実に取得できるからである。

アンケートは被験者の負担を減らすため、アンケート記入時に口頭で答えてもらい実験者が手動でアンケート入力フォームに入力を行った。しかし、実験者が研究室に居ないときもあったので、その時は被験者自身がアンケート入力フォームに入力を行ってもらった。アンケート内容は

- 移動経路：研究室に来るまでに、どのような経路を通ってきたか
- 移動中の忙しさ（5段階）：移動中忙しかったか（正解とする）
- 会話量（5段階）：移動中どれくらいの時間、会話をしていたか
- 作業の集中度（5段階）：移動中どれくらいの時間、集中をしていたか
- 移動時間（分）：地点間の移動時間

である。5段階の意味は、移動中の忙しさでは“5”が最も忙しく“1”がまったく忙しくない、会話量では“5”が最も会話時間が多く“1”がまったく会話をしていない、作業の集中度では“5”が最も集中しており“1”がまったく収集していない、ということである。例えば、研究室から図書館へ向かい帰ってきた場合のアンケート記入例は、表4.1となる。この表からは、図書館までの移動時間は3分で移動中は会話も集中もしていないので着信を受けることができる。また、図書館には90分間滞在しているという事がわかる。そして、図書館では作業に集中しているのので着信を受けられない。

表 4.1: アンケート記入例

経路	忙しさ	会話量	作業の集中度	移動時間
研究室				
↓	1	1	1	3
図書館	5	1	5	90
↓	1	1	1	3
研究室				

収集されたデータに関する詳しい考察は5章にて議論を行う。

4.3 提案手法のシミュレーション

本節では、4.2節でアンケートにより収集したデータを用い、提案手法のシミュレーションを行うことで、正解率を計算し有効性の検証するためのデータを作成した。また、5.1.1

表 4.2: 調査概要

被験者	研究室の学生5人
収集期間	10月21日(木)～29日(金) 土日除く7日間
アンケート項目	移動経路, 移動中の忙しさ, 会話量, 作業の集中度, 移動時間
データ数	745分ぶん, 745個
5段階評価(移動中の忙しさ)	(5) 電話に出たくない (4) 緊急の電話は受け付ける (3) 出来れば電話をしてほしくない (2) 電話に出れない可能性があるが大丈夫 (1) いつでも電話可能
5段階評価(会話量)	(5) 常に会話 (4) 少しの時間, 話しをしてない (3) 半分くらいの時間, 話しをしていた (2) 少しの時間, 話しをしていた (1) 話をしていない(1人でいた) *挨拶程度は“1”
5段階評価(作業の集中度)	(5) 一心不乱 (4) 先生との話し合いくらいの集中度 (3) 研究中くらいの集中度 (2) 本を読んでいるくらいの集中度 (1) まったく集中をしていない

節で用いる, 全体から占める経過日数毎の忙しさを算出する.

4.3.1 提案手法の正解率

提案手法が予測した近未来の忙しさの正解率を求めることで, 提案手法の有効性の検証を行う. 近未来の忙しさの正解はデータ収集により集めた“移動中の忙しさ”とする. 正解率が高ければ提案手法は有効であり実世界で使用できると判断でき, 正解率が低ければ使用できないと判断できる. ここで言う, 提案手法の正解率とは予測した近未来の忙しさがアンケートから得られた近未来の忙しさの正解と, どの程度一致しているかというものである.

計算方法は

$$\text{提案手法の正解率} = \frac{\text{提案手法が予測した近未来の忙しさ}}{\text{正解}}$$

である.

提案手法の正解率に関するグラフを図 4.1 に示す.

このグラフの縦軸は提案手法の正解率を, 横軸はデータ収集時の経過日数を示している. また, このグラフにはデータ収集に参加してくれた被験者と全被験者のデータを合わせた物, 求められた正解率の平均値を載せている.

さらに, 提案手法の正解率の平均値に関するグラフを図 4.2 に示す. このグラフは図 4.1 に示した提案手法の正解率の平均値と収集されたデータ量を示している. このグラフの横軸は経過日数, 縦軸左は正解率, 縦軸右はデータ量を表示している.

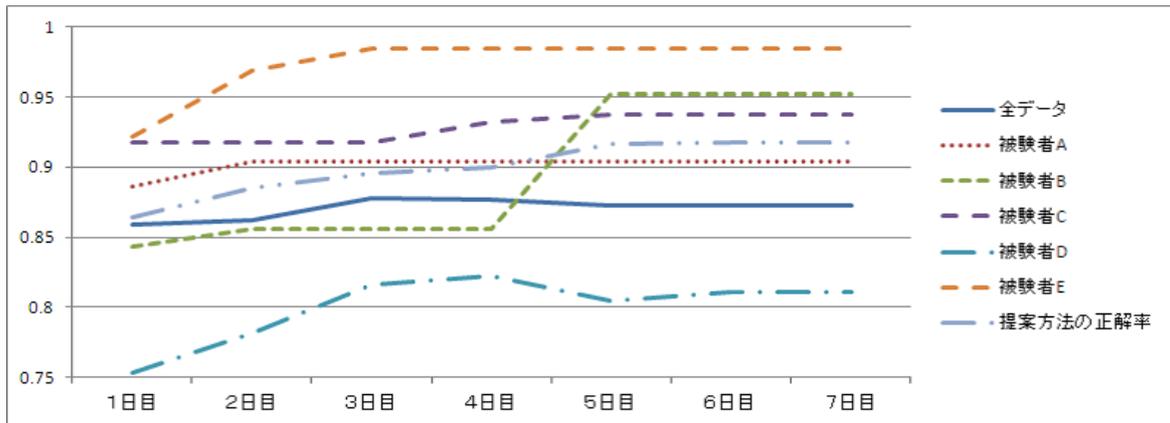


図 4.1: 提案手法の正解率

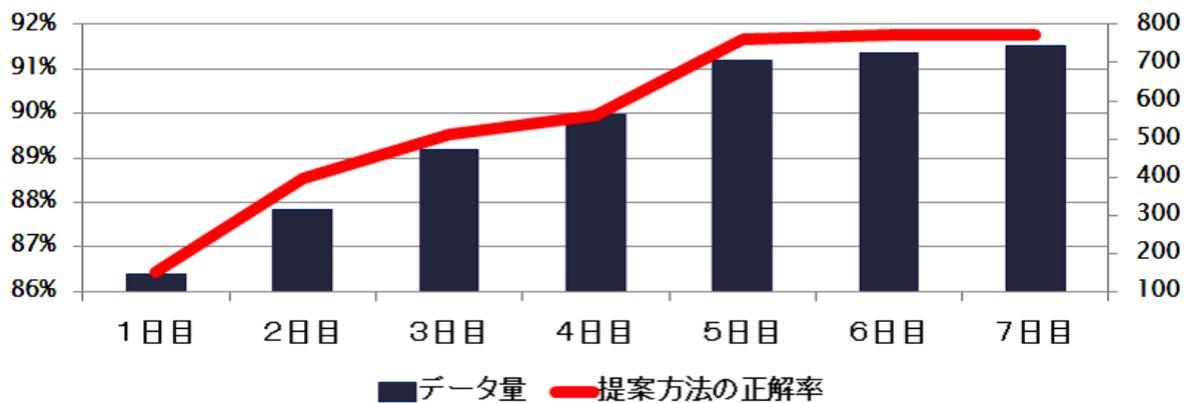


図 4.2: 提案手法の正解率の平均値

4.3.2 忙しい割合

被験者が感じている忙しさが、提案手法の近未来の忙しさ予測にどのように影響を与えているかを調べるために、全体から占める経過日数毎の忙しさを算出した。ここで言う、忙しい割合とは被験者毎かつ経過日数毎の全データ数から占める忙しさの割合である。

忙しい割合の計算方法は

$$\text{全体から占める忙しい割合} = \frac{\text{忙しい数}}{\text{全データ}}$$

である。

忙しい割合に関するグラフを図 4.3 に示す。

このグラフの縦軸は全体から占める忙しい割合で横軸は経過日数を示している。また、このグラフにはデータ収集に参加してくれた被験者と全被験者のデータを合わせた物、求

められた忙しさの平均値を載せている．なお，被験者Bと被験者Eは1日目にはデータを収集できなかったため，忙しい割合は0となっている．

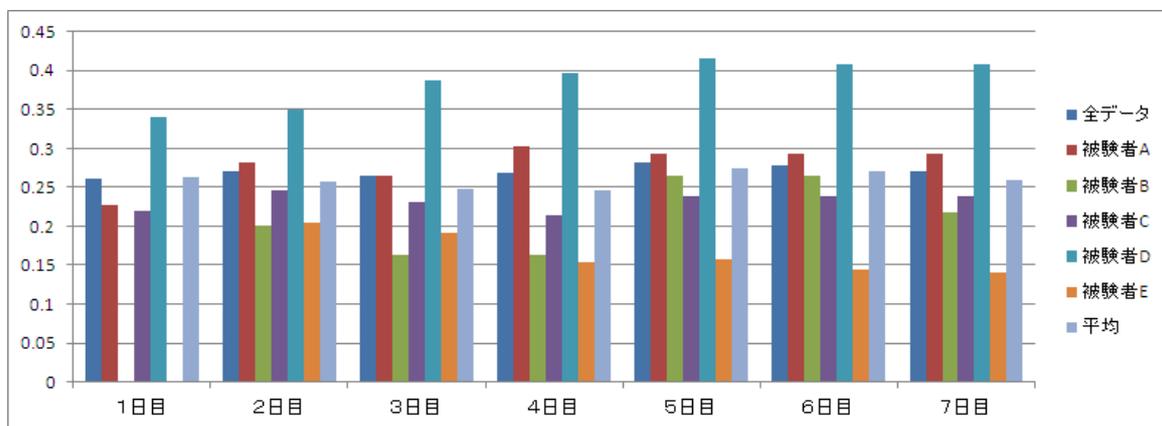


図 4.3: 忙しい割合

4.4 データ解析

本節では，提案手法のシミュレーションを行ったことで算出された，正解率や忙しさの関係について述べる．

4.4.1 近未来の定義変化による忙しさの正解率

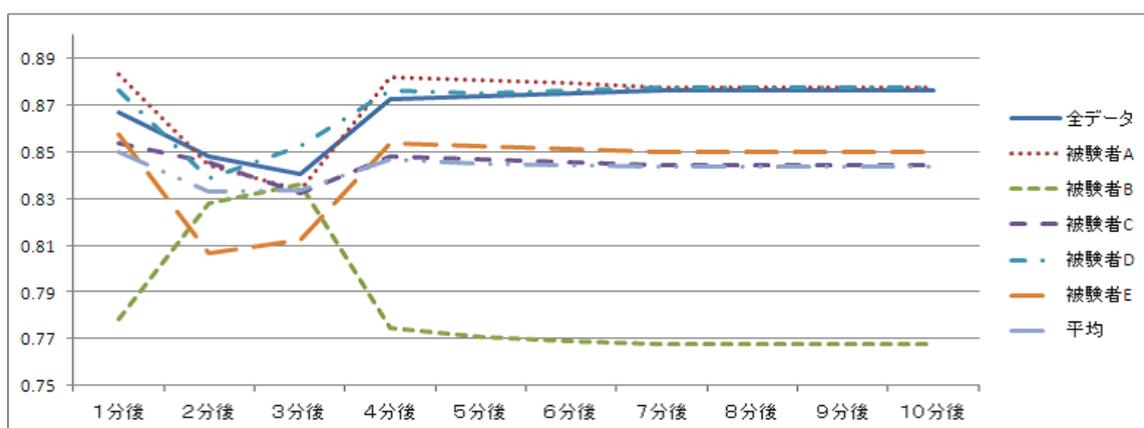


図 4.4: 近未来の定義変化による忙しさの変化

提案手法では4分後までを近未来と定義している．本節では提案手法で用いている近未来の定義が，最も正解率が高いことを検証するため，近未来の時間定義を変えて検証を行った．近未来の定義を変化させることで，提案手法の正解率がどのように変化するかを調べるためにデータの解析を行った．一番正解率の高い時間を近未来と定義することで，提案手法が組織に導入された際最も信頼性の高い予測結果を提供できるようになる．

近未来の定義変化による忙しさの変化を図 4.4 に示す．

このグラフの縦軸は正解率，横軸は近未来として定義する時間を表している．ここで言う近未来の定義変化と言うのは，提案手法が学習時や近未来の忙しさを予測する時に参照する近未来の時間の違いである．例えば，横軸が5分後なら現時点から5分後までを見て忙しい状態があるかどうかを見て学習を行い，近未来の忙しさ予測要求があったとき参照者に，“被参照者は5分後までに忙しいかどうか”，の通知を行う．

4.4.2 近未来の忙しさ算出方法の違いによる正解率

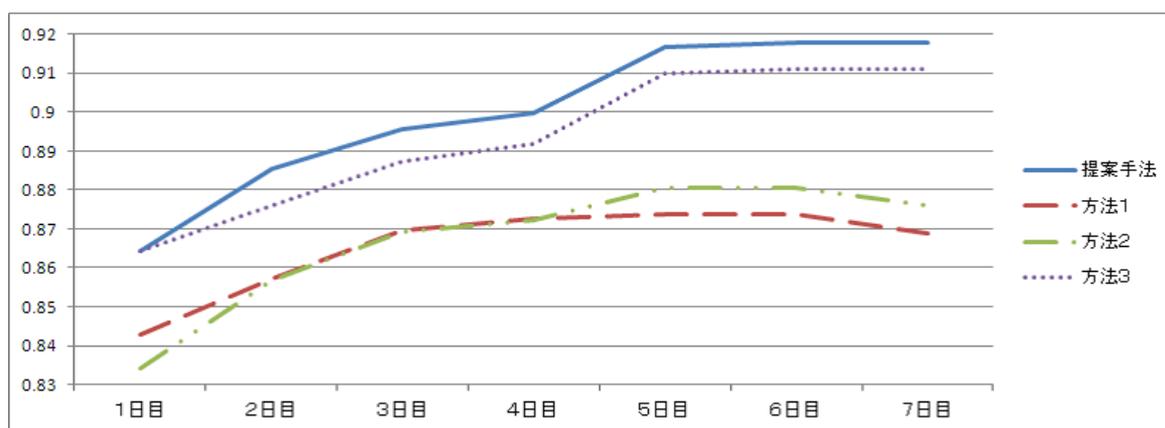


図 4.5: 近未来の忙しさ算出方法の違いによる正解率

提案手法で用いる近未来の忙しさ予測を行う計算式を検証するため，学習した CPT から得られる情報を用いた様々な組み合わせの数式について正解率を求め検証を行った．

近未来の忙しさ算出方法の違いによる正解率を図 4.5 に示す．

このグラフは各算出方法で求めた被験者全員の正解率の平均値を示し，グラフの縦軸は正解率，横軸は経過日数を示している．また，計算法の検証において，日，時間，計算法の全パターンにおいて検証を行い，グラフに載せている計算式は正解率が高かった4つの方法を載せている．さらに，このグラフは提案手法で採用している近未来の定義（4分後まで）を用いて計算を行ったグラフである．他の近未来として定義する時間においても，提案手法の正解率は常に1番良かった．なお，本研究では会話状態から予測される近未来の忙しさを会話量と定義している．

各計算方法について以下に示す．

- 提案手法 : $(\text{目的地の忙しさ} + \text{会話量}) / 2$
- 方法 1 : $((\text{目的地確率} * \text{目的地の忙しさ}) + \text{会話量}) / 2$
- 方法 2 : $\text{目的地確率} * \text{目的地の忙しさ}$
- 方法 3 : 目的地の忙しさ

4.4.3 個人の忙しさと正解率の関係

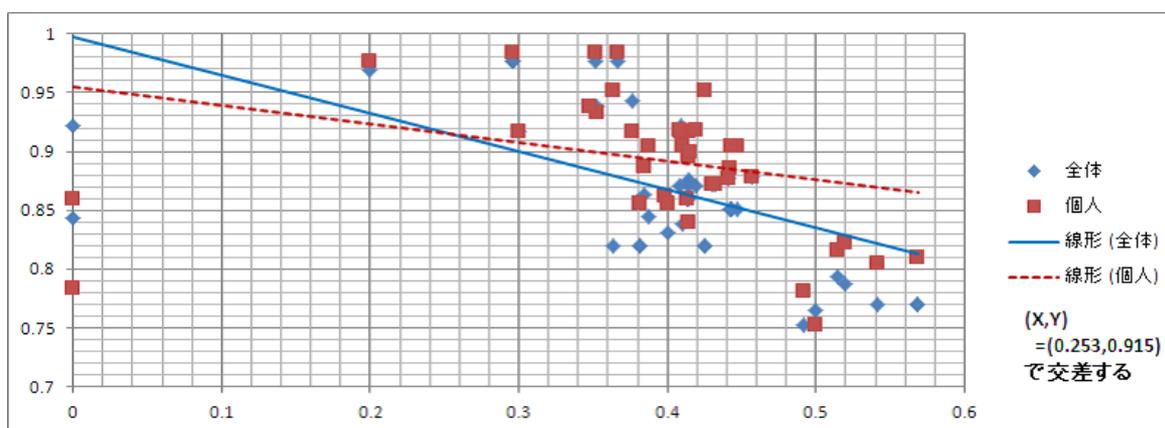


図 4.6: 個人の忙しさと正解率の関係

人間にはさまざまなタイプがいて、人によっては近未来の忙しさを予測する際、個人のデータで学習した CPT を用いて計算した方が正解率が高くなる人がいれば、一方で全データを用いて学習を行った CPT を用いて計算した方が正解率が高くなる人もいる。そのような理由から提案手法が被参照者の近未来の忙しさを予測する際、個人のデータで学習した CPT を用いて計算を行うか、全データを用いて学習を行った CPT を用いて計算を行うかを判断するときの判断材料を調べるためにデータの解析を行った。

個人の忙しさと正解率の関係のグラフを図 4.6 に示す。

このグラフの縦軸は正解率、横軸は目的地の忙しさの合計を計算し目的地数で割った値を表している。また、“全体” というのは全被験者のデータで学習したものをを用いて個人の行動を問題として与えた結果、“個人” というのは各個人のデータで学習したものをを用いて個人の行動を問題として与えた結果を表している。

このグラフの散布図から算出した 2 種類の近似線は $(X, Y) = (0.253, 0.915)$ で交差していることがわかる。

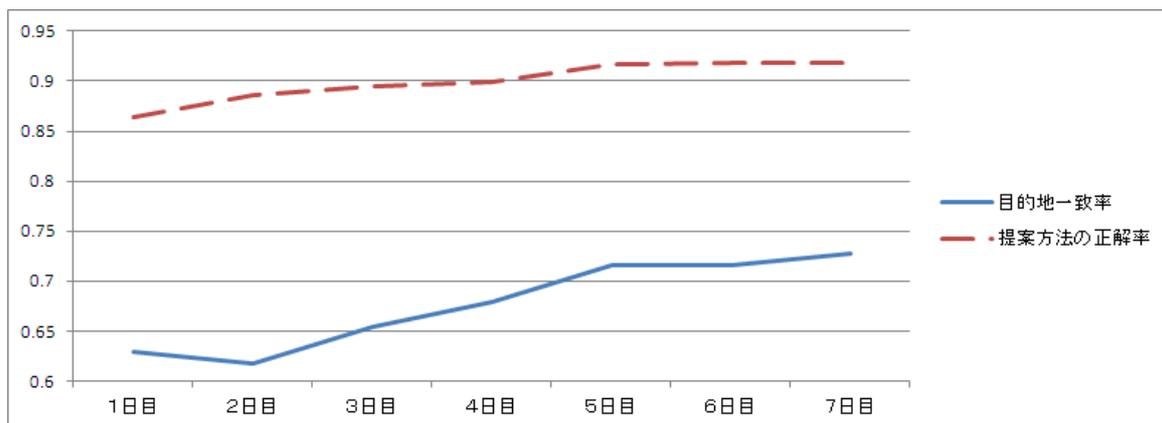


図 4.7: 目的地と忙しさの関係

4.4.4 目的地と忙しさの関係

被参照者の目的地が，近未来の忙しさにどのように影響を及ぼすのかを調べるために，データの解析を行った．表 3.2 からわかるように目的地によって忙しさの程度が違う．

目的地と忙しさの関係の関係についてのグラフを図 5.3 に示す．

このグラフの縦軸は正解率，横軸は経過日数を表している．また，目的地の一致率というのは予測した目的地がどの程度正解しているか，提案手法の正解率というのは提案手法が予測した近未来の忙しさがどの程度正解しているかを示している．なお，このグラフで示している数値は，全被験者から得られた目的地の一致率と提案手法が予測した忙しさの一致率の平均値である．

第5章 考察

本章では、4章で得られたデータの解析から分かったことについて考察を行う。そして、本提案方式を実社会に適用した場合の効用や応用について議論を行う。

5.1 正解との一致率

本節では、4章のアンケートにより得られた近未来の忙しさに関する正解と提案手法が予測した近未来の忙しさの正解率について議論を行う。

5.1.1 提案手法の正解との一致率

提案手法が予測する近未来の忙しさがデータ収集により得られた正解とどれくらい一致しているかの検証を行う。正解率とは、近未来の忙しさにおける提案手法が予測した忙しさと、データ収集により得られた忙しさの正解との一致率である。

提案手法が予測した近未来の忙しさとアンケートから得られた近未来の忙しさの正解の一致率を図 4.1 に示す。

このグラフから提案手法では高い正解率を出していること、データを収集するほど正解率が高くなることがわかる。

正解率が高い理由は初期値として与えた値によるものだと考えられる。提案手法では支援を開始した直後は、近未来の忙しさを計算するのに必要なデータが少ないので初期値を返すようにしている。本実験では、初期値として忙しくない(0)を返すようにしている。その理由としては、データ収集時に忙しくないと答える被験者とデータが多かったからである(図 4.3)。この結果から、初期値をうまく与えてやることでシステムのサービス提供時から高い確率で近未来の忙しさの予測が出来ることがわかる。初期値については 5.2.1 節で議論を行う。

また、初期値を 0 としていることから、全体から占める忙しさの割合が、最も低い順に正解率が高くなっている。さらに、正解率が右肩上がりが高くなっていることから収集されたデータ数が多くなるほど正解率は高くなるということがわかる。以上の結果から、提案手法の正解率は忙しさの割合が初期値に近いかどうかとデータ数に左右されることが分かった。

さらに、提案手法の正解率の平均値とデータ量のグラフを図 4.2 に示す。このグラフにおけるデータ量は 5 日目以降あまり伸びてない。それは 5 日目以降、各々の予定により被

験者がデータ収集にあまり参加してくれず，データを収集することができなかったからである．

このグラフから，データ量が増えると，それに比例して正解率も向上することが分かる．また，本検証実験から得られたデータの解析から，被験者の全移動中におけるスケジュール帳に書き込んでいない予定にない行動は発生する頻度は大きいですが，行動の種類自体は少ない．以上のことから，本提案方式は数日で十分実用的な正解率を出すことができるといえる．

5.1.2 近未来の忙しさ算出方法の違いによる正解率の変化

近未来の忙しさ算出方法の違いによって，予測する近未来の忙しさの正解率がどのように変化するかを検証を行う．

図 4.5 に算出方法の違いによる正解率を示している．

このグラフより方法 1 の計算方法が最も正解率が高くなっていることが分かる．その結果から，近未来の忙しさを予測するために必要な情報は，“目的地の忙しさ”と“会話量”であると言える．

正解率の順序を以下に示す．

1. 提案手法 : $(\text{目的地の忙しさ} + \text{会話量}) / 2$
2. 方法 3 : 目的地の忙しさ
3. 方法 2 : $\text{目的地確率} * \text{目的地の忙しさ}$
4. 方法 1 : $((\text{目的地確率} * \text{目的地の忙しさ}) + \text{会話量}) / 2$

この結果より，近未来の忙しさを予測するためには目的地の忙しさ情報だけでなく，会話量も必要であり，また，被参照者が何処に向かっているかを算出する目的地確率は，近未来の忙しさ予測の計算に使用しないほうが良いということが言える．なぜなら，目的地確率は被参照者が何処に向かっているかを算出するために利用し，忙しさとは意味合いが違うからである．

以上の結果から，本提案手法では近未来の忙しさを予測するための算出方法を

$$\text{近未来の忙しさ} = (\text{目的地の忙しさ} + \text{会話量}) / 2$$

とした．

この数式が最も正解率が高くなる理由を以下に述べる．本検証実験のデータ解析から目的地から忙しさを算出する場合の利点と，会話量から忙しさを算出する利点があった．目的地から忙しさを算出する利点は，忙しくないときに高い確率で忙しいと予測できることである．また，会話量から忙しさを算出する利点は，忙しいときに忙しいと高い確率で

予測できることである．以上の結果から，本提案手法の算出方法では両者の利点を組み合わせたものを利用することで，高い正解率出すことができると考えられる．

本論文の検証についても，上記の算出方法により得られた近未来の忙しさから算出された値を用いて検証を行なっている．

5.1.3 近未来の定義変化による正解率の変化

提案手法では何分後までを近未来と定義し，近未来の忙しさを予測すれば最も精度の高い予測結果を出すことができるかの検証を行った．

近未来の定義変化による正解率の変化のグラフを図 4.4 に示す．

このグラフの平均値より 4 分後までを見て学習を行う方法が最も正解率が高くなることがわかる．

4 分後までを見て学習を行うのが最も正解率が高くなる理由は，殆どの移動は 4 分以内に終了したことで 5 分以上の先の未来を見て学習を行うと余計なノイズが入るからであると考えられる．また，1 分後を見て学習を行った時も正解率が高い理由は，1 分後だと現在の状況とあまり変化が無いからであると考えられる．一方，2 分後，3 分後までのデータを見て学習を行うと正解率が下がる理由は，時間が短く目的地を正確に把握できないことから低くなっていると考えられる．

ただ，被験者 B だけが 3 分後までを見て学習を行った最も良い正解率を出している．その理由としては，被験者 B は殆どの移動は 3 分以内で終わっているからである．

5.2 実運用のための最適化

本節では提案手法を実現するために必要なパラメータ設定について議論を行う．

5.2.1 忙しさの初期値決定

初期値をうまく与えてやることで提案手法では高い正解率を出すことが出来ることを 5.1.1 節で述べた．

今回のデータ収集では学生が被験者だったので，忙しくないと答える人が多かった．その結果から初期値を 0(忙しくない)としたのだが，この値はシステムを利用する組織やグループによって変わる可能性がある．例えば，利用するグループが学生ではなく，一般企業の社員なら初期値は 1(忙しい)になるかも知れない．何故なら，仕事中は仕事に集中する必要があるのでプライベートなことに関する着信を受けられないと考えられるからである．

以上の理由から初期値はシステムを利用する組織やグループによって変わる可能性がある．よって，システムの導入時にシステムの管理者は適切な初期値を与える必要がある．

5.2.2 近未来の定義

提案手法では近未来を予測するための学習と予測には4分後までを見るのが最も良いということを示した。5.1.3節で述べた。

但し、4分後まで見るのが最も良いのは被験者のグループだけであると考えられる。何故なら、組織やグループによって拠点は変化し、また拠点が変化することから移動にかかる時間が変わるからである。例えば、本実験の被験者は皆同じ研究室の学生であるので目的地はほぼ同じで、拠点は研究室となっている事から移動時間は変わらない。しかし、被験者のグループを変えると、おのずと拠点や目的地が変化するので移動にかかる時間が変わる。

近未来の定義は移動にかかる時間に左右されるので、システム導入時に利用者に目的地ごとの移動に何分くらい掛かるかを聞いて最も多い時間を近未来と定義する必要がある。また、ユーザは自分の決めたルール通りの行動を行わない[17]という理由から、システムの管理者は1週間分のデータが揃った時点で、移動にかかった時間で最も多い時間を近未来と定義しなおす必要がある。

5.2.3 個人の目的地毎の忙しさと支援方法

検証実験時、近未来の忙しさの予測に用いる学習データの違いによりグルーピングできることが分かった(表5.1)。この表の被験者Cと被験者Eには高い数値に優位性があまり見られない。それは、本検証実験に参加してくれた被験者が全員学生ということで、個人ごとに特徴のある行動を取ることが多かったためだと考えられる。しかし、提案手法を導入する組織やグループによって、平均的な行動をする人が多い組織があったり、個人ごとに特徴的な行動をする人が多い組織がある。さらに、2種類の行動が混ざっている組織も有るかもしれない。そのような組織において、どちらか一方を用いるだけで支援するのは様々なタイプの人に対応はできない。以上のことからグループ分けを行うことに意味はあると考えられ本考察を行った。この結果から、

表 5.1: 学習データの違いによる正解率の変化

	被験者A	被験者B	被験者C	被験者D	被験者E
個人のデータで学習(%)	90.2	88.6	92.8	80.0	96.5
全員のデータで学習(%)	84.8	82.4	93.3	77.3	96.8

- 個人ごとに特徴のある行動をするグループ：個人のデータで学習
- 平均的な行動をするグループ：全員のデータで学習

という，2つのグループに分けられると考えた．そして，各グループ毎に学習データを切り替える事で，提案手法の正解率が向上する，また平均的な行動をするグループに属する人は，その人があまり行動をせず多くのデータを収集できなくても全員分のデータで学習をした結果を用いて支援を行うので個人のデータのみから学習したデータを用いるよりも早い段階から支援が可能であると考え，グルーピングを行うことに意味があると考えた．本章ではグループ分けを行うに当たり，どのようなデータを用いればグルーピングを出来るかの考察を行った．

グルーピング方法について考察を行うとき，被験者の性格や学年を考慮に入れ様々な方法を試すことで考察を行った．考察の結果，個人の目的地毎の正解率の平均値(以下，個人の忙しさ)と閾値によりグルーピングを行うと良いことが分かった．以下で，個人の忙しさと閾値の算出方法について述べる．

個人の忙しさの算出方法は

$$\text{個人の忙しさ} = \Sigma \text{忙しい確率} / \text{目的地数}$$

である．

ここで，個人の忙しさの算出例を示す．表 5.2 は，ある被参照の目的地 (A,B,C) と各目的地に対応する忙しさを示している．表 5.2 を用いた，個人の忙しさの算出すると

$$\begin{aligned} \text{個人の忙しさ} &= (0.8 + 0.2 + 0.5) / 3 \\ &= 0.5 \end{aligned}$$

となる．

表 5.2: 目的地の忙しさ

目的地	忙しさ
A	0.8
B	0.2
C	0.5

個人の忙しさと正解率の関係についてのグラフを図 4.6 に示す．

このグラフから被参照者が近未来の忙しさを予測するために全体のデータで学習したものをを用いるか，個人ごとに学習されたものをを用いるかを判断することが出来る．

2種類の近似線の交点が $(X, Y) = (0.253, 0.915)$ であることから，個人の忙しさが 0.253 未満なら全体のデータで学習したもの，個人の忙しさが 0.253 以上なら個人ごとに学習されたものをを用いる方が良いということがわかる．

以上の結果より，各被参照者ごとに前日までのデータを用い個人の忙しさを求め，その値が 0.253 未満か以上かにより，その日の近未来の忙しさを予測するために，全データで

学習したものをを用いるのか個人ごとに学習されたものをを用いるのかを決定する．この方法により算出した正解率のグラフを図 4.1 に示している．

しかし，近未来の忙しさ予測に全データで学習したものをを用いるか個人ごとに学習されたものをを用いるかを決定するための閾値は組織やグループによって変わる．何故なら対象とするグループが変わると忙しさや正解率が変化するからだ．よって，システムの導入時には1週間分のデータを用い閾値を計算する必要がある．閾値の計算方法は

1. 被参照毎に忙しさ (Σ 忙しい確率/目的地数) を計算
2. 計算した値に対応する，“全体のデータで学習”の正解率と“個人のデータで学習”の正解率を用いた散布図を作成
3. 散布図から求められる2種類の近似線の交点を算出

である．ここで言う，“全体のデータで学習”とは，全員分のデータを用いて学習を行ったデータ，“個人のデータで学習”とは個人のデータを用いて学習を行ったデータである．

データが揃ってないときに閾値をどうするかは今後の課題であるが，対応策として閾値を0.5にする，全員，個人ごとに学習されたものをを用いるなどの案が考えられる．

5.3 目的地と忙しさの関係

目的地によって近未来の忙しさが左右されると考えられる．例えば，一般的に目的地が図書館であれば着信を受けることが出来ない．そのような理由から，目的地の一致率が提案手法の予測する近未来の忙しさにどう影響を与えるのかを検証した．

目的地と忙しさの関係を図 4.7 に示す．

このグラフから，提案手法が予測する目的地の一致率が低くても，予測される近未来の忙しさの正解率が高いことがわかる．その理由は，初期値による近未来の忙しさの正解率が高いので，提案手法の初期値が目的地の一致率の低さを許容したためだと考えられる．

また，目的地の一致率は右肩上がりには上昇している．その理由としては，日数が経過するたびに取得されたデータが多くなるためである．その結果から，提案手法は使い込むほど目的地の一致率が上昇していくと判断できる．ただ，2日目で目的地の一致率が下がっている．その理由は，グラフの値は平均値を示しており，1日目にデータを収集出来なかった2名の被験者のデータが平均値の計算に入ったからであると考えられる．1日目にデータを収集できなかった2名の目的地の一致率は残りの3名に比べて低かった．また，5日目以降，伸び率がほぼ横ばいなのは5日目以降あまり多くのデータを収集できなかった為であると考えられる．

5.4 コミュニケーション支援での利用

本節では提案手法がコミュニケーション支援をする時に、有効に働く場合と、苦手とする状況とその対策案について述べる。

5.4.1 支援が有効な場面

本節では、提案手法による支援が有効な場面として、“スケジュール帳に情報がないとき”と“イベント間の移動中”の2点について述べる。

5.4.1.1 スケジュール帳に情報がないとき

スケジュール帳に予定(未来の情報)が書きこんであれば被参照者の未来の行動を知ることができるが、書きこんでなければ被参照者の未来の状況を知ることが出来ない。

本提案手法では、スケジュール帳への記載の有無に問わず近未来の忙しさの予測を行っており、正解率は0.918と高い値を出している。その結果から、提案手法ではスケジュール帳に予定が書き込まれていない状況であってもコミュニケーションの支援が可能であると言える。

本提案手法では、被参照者が付与している各種センサから得られる行動履歴を用いて学習を行うことで、近未来の忙しさを予測している。行動履歴を用いることで、被参照者の行動パターンを学習できるので、被参照者がスケジュール帳に無いような突発的な行動(例、先生からの突然の呼び出し)を取ったとしても提案手法は近未来の忙しさを予測することが出来る。なぜなら、提案手法では移動経路から目的地の算出を行っているので、突然先生から呼び出されたとしても、移動経路から先生の居室に向かっていると判断でき、先生の居室が目的地の場合は忙しいと提案手法では判断するからである。

以上の考察により、本提案手法では被参照者がスケジュール帳に予定が書き込まれていない突発的な行動を取ったとしても近未来の忙しさを予測することができ、コミュニケーションの支援が可能となる。

5.4.1.2 イベントが行われる場所への移動中

本提案手法が最も有効に使用される場面は会議などのイベントが行われる場所への移動中である。

スケジュール帳に、会議などのような一般的に連絡をするべきでない今後の予定が書きこんでであっても、ある参加者が時間通りに会場に行くとは限らない。また、参加者によっては時間より前に会場入りする人が居るかも知れないし、会議に参加しないかもしれない。

現在では、スケジュール帳に書きこんである情報から、被参照者に連絡を取ることが出来るかどうかを参照者が判断している。その判断を行うには、被参照者の性格(会議室に

早く行く、遅れていく)や、居室と会議室までの距離を加味した上で、参照者が経験点的な判断をしなければならない。以上のことから、連絡できるかどうかの判断は曖昧となり、不適切なタイミングでの連絡が発生する可能性がある。

一方、本研究では被参照者の行動から近未来の忙しさを予測しているので、被参照者の性格や会議室までの距離が分からなくても、連絡ができるかどうかを判断する。そのことから、連絡できるかどうかの判断に参照者の経験は必要なくなり、誰でも容易に連絡できるかどうかを知ることができる。

さらに、既存の研究[2-4]では単純に移動中ということから、連絡ができるかどうかの判断を行っているのだが、本研究では目的地などから忙しさを判断しているので、同じ移動中でも連絡ができるかどうかの判断は分かれる。例えば、研究室への移動中や会議室への移動中というシチュエーションでは、既存の研究ならば共に連絡できないと画一的に判断されてしまうが、本研究ならば、目的地が研究室の場合は連絡できる、会議室の場合は連絡できないと判断され、イベント会場への移動中では既存の研究よりも推測精度が向上する。

以上のことから、イベント会場への移動中は本研究による支援が有効な場面であり、本研究の目的である、“直後に重要なイベントがある場合に発生する可能性がある不適切なタイミングでのコミュニケーションの発生を低減する”ということを達成することができる。

5.4.2 課題

本節では提案手法の苦手とする状況とその対策案について議論を行う。

5.4.2.1 利用者に動きがないとき

提案手法では被参照者に動きがないとき、近未来の忙しさを予測することが苦手である。何故なら、提案手法では被参照者の移動経路や会話の盛り上がりから近未来の忙しさを予測するからである。例えば、被参照者が授業を受けていた時、位置情報は変化することがなく発話や集中度も変化がない。そのような場合だと、得られるセンサ情報は変化がなく、変化がないのである程度正確な予測が出来ない。

この弱点に対する解決案としては、授業や会議など時間が決まっているイベントでは、イベントが終了するまでの残り時間を考慮に入れることで、近未来の忙しさを予測することが出来ると考えられる。例えば、イベントの残り時間に応じて、予測される近未来の忙しさの値に重みを付けると言う方法である。

5.4.2.2 利用者の予想外の行動

提案手法では被参照者の行動履歴から学習を行い、近未来の忙しさを予測しているので、被参照者が予想外の行動を取ったとき、予測した近未来の忙しさと実際の忙しさが違

う場合がある．例えば，廊下にあるソファとテーブルでご飯を食べていて，被参照者が忙しいと感じている場合である．本実験で上記の例が発生したことがあり，提案手法では学習したデータから目的地を正しく予測し，また，過去に廊下のソファとテーブルで忙しかったデータが無かったことから忙しくないと判断をした．しかし，実際にはご飯を食べるから忙しいと被参照者は感じており，その結果予測結果を間違った．

この弱点の解決案としては，被参照者だけでなく食品など被参照者の手によって移動する物の位置情報を取得するという方法が考えられる．上記の例では食品に位置情報を取得するセンサを取り付け，その食品が何処に移動しているかまた，誰が移動させているかを判断することで対応できると考えられる．例えば，被参照者がセンサが取り付けられている食品を廊下のソファとテーブルに持って行った場合，食事をすると推測できる．

5.4.3 応用例

本節では，本研究の応用例について述べる．

5.4.3.1 電話の着信以外への対応

本研究ではデータの収集の簡易さから，電話の着信を受けられるかを忙しさと定義した．しかし，本研究で出力されるデータは忙しさの度合いなので，出力されるデータを用いれば，電話の着信だけでなく，インスタントメッセージなどの，連絡による割り込みが発生するようなデバイスを用いたコミュニケーションにおける，コミュニケーション発生支援が可能となると考えられる．例えば，インスタントメッセージにはステータス情報図 5.1 があるが，その情報を提案手法が動的に書き換えるということである．現在のステータス情報は手動で変更するか，PC の操作が設定時間なされてないかを判断基準としている．さらに，近年スマートフォンが普及したことにより，インスタントメッセージを PC だけでなくスマートフォンを用いて使用する場面も増えてきている．そこで，本研究を用いることで，連絡をしてほしくないときには“連絡不可”というようなステータスを表示することで，インスタントメッセージによる割り込みを減らすことが出来ると考えられる．一方，Twitter のような，ただ情報を垂れ流すようなツールには，ツイートにより作業が中断されることが無いので，本研究の応用には不向きであると考えられる．

5.4.3.2 行動予測

本研究の応用として，被参照者の行動を予測することが挙げられる．例えば，ある人 (X) が A という行動を取ったら B という行動を取ることが多い，また，ある人は C という状況ならば D という行動を取ることが多いということが分かれば，X という人の行動を予測することが可能であると考えられる．

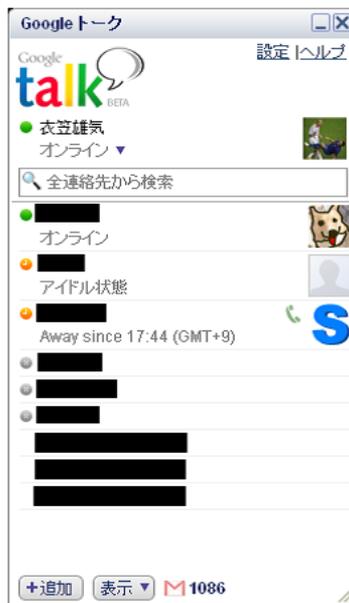


図 5.1: ステータス情報

例として、対面でのコミュニケーション発生支援が挙げられる。現在インターネットが普及したことによりインスタントメッセンジャーでのチャットのような非対面でのコミュニケーションが可能となっている。しかし、非対面でのコミュニケーションは表情や仕草などの非言語情報が伝わらないことから、情報量や理解度という点で対面のコミュニケーションには及ばない[28,29]。そこで、被参照者の行動を予測することで、被参照者が何処に向かっているか、どのような行動を取ろうとしているのかを予測することで、被参照者に効率よく会いに行くことができ、対面でのコミュニケーション発生を支援することができるようになると思われる。

5.4.4 プライバシー保護

本提案方式では、被参照者の近未来の忙しさを予測するため、センサ情報を収集することを前提としているため、プライバシーへの影響が懸念される。一般的に、自分の状況に関する情報を多く収集されることは、プライバシーを気にかける要因となっている。

そこで、本節では被参照者が懸念するプライバシーの問題と保護方法について述べる。

5.4.4.1 リスク

本研究では、被参照者の行動履歴というプライバシーを扱っていることから、プライバシーに関する情報漏洩というリスクがある。また、個人の行動履歴を用いることから、プ

プライバシーに敏感な人が使用してくれないという恐れもある．そこで，何が問題となっているかを本節で洗い出しを行う．

プライバシー保護に関する懸念とリスクとして以下ものが挙げられる．

- 出力情報
- 情報漏洩
- 盗聴

1点目の“出力情報”に関しては，集めたデータを生データのまま参照者に公開するのではないか？誰でも簡単に自分の行動履歴を見られてしまうのではないのか？というプライバシー保護に関する懸念である．

2点目の“情報漏洩”に関しては，収集したデータをサーバ内に保存しているので，サーバがクラッキングされ収集されたデータが盗み出されてしまうというリスクである．

3点目の“盗聴”に関しては，センサから得られるセンサ情報はネットワークを通してサーバへ送信されるので，通信中に盗聴されデータが盗み出されてしまうというリスクである．

以上に述べた，プライバシー保護に関する懸念とリスクについて，5.4.4.2 節で保護方法について述べる．

5.4.4.2 保護方法

5.4.4.1 節で挙げた，3点のプライバシー保護に関する懸念とリスクについて，本節で保護法について述べる．

1点目の“出力情報”に関しては，本研究で参照者に公開する情報というものは“忙しさ”という情報のみである，ということからプライバシーを保護できる．被参照者の状況情報を提供する既存の研究 [30 ,31]では，被参照者の状況情報をそのまま提供している．その為，参照者に被参照者が今現在どのような状況なのかが十分に伝わるという利点があるのだが，公開される情報が明確であり過ぎるため，利用者のプライバシーに関する懸念が大きくなる．一方，本研究では“忙しさ”という加工されたデータを参照者に対し公開するので，被参照者がどのような行動を取っているのかを把握する事は出来ない．また，状況情報を誰にでも参照されてしまうのではないかという懸念に対しては，システム導入時に誰に対して公開を行うのかというアクセス制御を行うことで，公開する相手を限定することができ，プライバシーを保護することができる．

2点目の“情報漏洩”に関しては，サーバ内に保存する被参照者のデータを暗号化 [32]する，またはサーバを外部に公開しないという方法がある．暗号化に関しては，暗号化を行い適切な鍵を設定することで，たとえデータが盗み出されても復号できないことから，情報の漏洩を防ぐという保護方法である．外部公開しないということに関しては，データを保存しているサーバを内部ネットワークに置き NAT (Network Address Port Translation)

による IP アドレスの隠蔽を行うことで、サーバを外部から隠蔽するという保護方法である。また、外部からの攻撃に対応するため、収集されたデータにアクセスできるアプリケーションを限定する、サーバに不要なアプリケーションをインストールしないということも重要であるし、サーバでは予め定められたアプリケーションしか動作しないように設定することも重要である。

3点目の”盗聴”に関しては、ネットワークを通してデータのやり取りを行うことから、通信データを暗号化 [32]する事でプライバシーの保護を行う。通信データの暗号化を行うことで、データ通信中に盗聴をされても情報は攻撃者に伝わらない。データ通信にインターネットを利用する場合は、VPN(Virtual Private Network) を用いて通信をすることで盗聴のリスクを軽減する。

第6章 おわりに

本章では、これまでのまとめと、今後の課題について述べる。

6.1 まとめ

本論文では、人と人とのコミュニケーション支援の為に、センサ情報から得られる個人の行動履歴から近未来の忙しさを予測する方法の提案と、提案手法の有効性を検証するための議論を行った。

近年、携帯電話やスマートフォンといったモバイル端末の普及に伴い、非対面でのコミュニケーションの機会が増大した。時間や場所を気にすることなくコミュニケーションを取れるようになるといった利点の一方で、コミュニケーション相手の状況が分からないことから発生する、電話の着信やインスタントメッセージの呼び出しといったような、不適切なタイミングでのコミュニケーションが発生してしまい、連絡を受ける側に、進行中のタスクの妨害してしまう、また忙しい時にコミュニケーションが発生してしまうことから感じる心理的な苛立ちを与えるといった欠点も存在する。上記のような欠点を解決するために、遠隔にいる連絡相手の状況を把握するための研究が盛んに行われている[2-4]。しかし、既存の研究では現在の状況のみを推定していることから、これから忙しくなるといったような状況下において、不適切なタイミングでのコミュニケーションが発生してしまう可能性がある。

そこで、本研究では、“直後に重要なイベントがある場合に発生する可能性のある不適切なタイミングでのコミュニケーションの発生を低減する”ということを目的として、位置情報・音声情報・集中度といった、各種センサから得られる被参照者の行動履歴を用いることで、被参照者の近未来の忙しさを予測するというを行った。そして、アンケートによりセンサから得られる情報を収集し、様々なパターンの支援シミュレーションを行うことで提案手法の有効性についての検証と解析を行った。

解析の結果から近未来の忙しさを予測するための学習には何分後までのデータを用いて学習を行い、近未来の忙しさを予測するのが最も正解率が高くなるのか、また、初期値を適切に与えることでシステムの導入時から高い正解率を算出することが出来るのがわかった。さらに、全体のデータを用いて学習を行ったCPTを用いて近未来の忙しさを予測するのが良いのか、個人毎に学習されたCPTを用いて近未来の忙しさを予測するのが良いのかの考察を行ったところ、各被参照者毎に前日までのデータを用い個人の忙しさ

を求め、その値が閾値未満なら全体のデータで学習をしたもの、個人の忙しさが閾値以上なら個人ごとに学習されたものを用いる方が良いということがわかった。

以上より本論文で述べたの提案手法の有効性を確認することができた。よって、本提案手法を用いることにより、現在の個人の状況・状態のみを把握することで起こる、不適切なタイミングでのコミュニケーションの発生を低減することができるようになる。

6.2 今後の課題

本研究ではシミュレーションにより提案手法の有効性の検証を行った。今後は提案手法を実装し実運用を行いデータの解析を行うことで、有効性の確認を行いたい。

また、様々な組織やグループでデータ収集を行い、収集した組織やグループ毎の特徴を抽出することで、組織やグループの特徴に応じた近未来の時間の定義や初期値および閾値を調査することも今後の課題となる。

謝辞

本研究を進めるにあたり，指導教員である北陸先端科学技術大学院大学情報科学センター准教授 敷田幹文先生には日頃より御指導，御助言，および御助力を承り心より感謝致します．また田町キャンパスから御助言を頂いた窪田清氏，多くの励ましを頂いた同期の北中悠嗣氏，藤澤恵一朗氏，および敷田研究室の後輩達，また北陸先端科学技術大学院大学で出会った友人，及びIT-Keysでお世話になった多くの方々に心より感謝致します．

研究業績

口頭発表

衣笠雄気, 敷田幹文. センサ情報から得られる個人の行動履歴を用いた近未来の忙しさ予測. 情報処理学会研究報告. GN, Vol. 2011, No. 78, pp. 1-8, 2011. 鹿児島県甬島薩摩川内里公民館. 平成 23 年 1 月 21 日 (金) ~ 22 日 (土)

参考文献

- [1] 衣笠雄気, 敷田幹文. センサ情報から得られる個人の行動履歴を用いた近未来の忙しさ予測. 情報処理学会研究報告. GN, Vol. 2011, No. 78, pp. 1–8, 2011.
- [2] 川口弘暁. センサ・デバイス情報に基づく忙しさ推定. Master's thesis, 北陸先端科学技術大学院大学, 2009.
- [3] 宮柱知愛, 堤大輔, 倉本到, 渋谷雄, 辻野嘉宏. スケジュール情報に基づく忙閑度の推定. 情報処理学会研究報告. HI, Vol. 2006, No. 72, pp. 39–46, 2006.
- [4] 宮柱知愛, 倉本到, 渋谷雄, 辻野嘉宏. 6F-4 オフィス環境における「忙しさ」と複数タスクによる時間的切迫感との関係 (オフィス・教育支援, 一般セッション, インターフェース). 情報処理学会全国大会講演論文集, Vol. 70, No. 4, 2008.
- [5] 田中貴紘, 藤田欣也. ユーザの割り込み拒否度を考慮した円滑な会話開始支援エージェント. 電子情報通信学会論文誌. A, 基礎・境界, Vol. 92, No. 11, pp. 852–863, 2009.
- [6] 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. 情報処理学会組込みソフトウェアシンポジウム 2005 論文集, pp. 126–133, 2005.
- [7] 深澤佑介, 長沼武史, 藤井邦浩, 倉掛正治. タスクモデルを利用したユーザの行動予測に基づくサービス提示システムの提案. 情報処理学会研究報告. ICS, Vol. 2006, No. 2, pp. 35–42, 2006.
- [8] 水口充, 竹内友則, 倉本到, 渋谷雄, 辻野嘉宏. デスクワークにおける忙しさの自動推定. ヒューマンインタフェース学会論文誌, Vol. 6, No. 1, pp. 69–74, 2004.
- [9] 田中貴紘, 藤田欣也. ワークスペース切り替えに着目したユーザの割り込み許容度の推定. 全国大会講演論文集, Vol. 70, No. 4, 2008.
- [10] 鈴木和宏, 小笠原直人, 佐藤究, 布川博士. 位置情報とスケジュール情報を用いた人の行動推測に関する研究. 情報処理学会研究報告. GN, Vol. 2004, No. 2, pp. 37–42, 2004.

- [11] 中山良幸, 野中尚道, 星徹. WWW上に公開された“行先ボード”から最適な通信メディアを直接選択できるコンタクト支援システム. 情報処理学会論文誌, Vol. 39, No. 10, pp. 2811–2819, 1998.
- [12] 吉野孝, 牟田智宏, 森直人, 宗森純. PDAを用いた疎な連帯感支援システムの開発. 情報処理学会 64回全国大会講演論文集(4), pp. 425–426, 2002.
- [13] 宗森純. 状況の半自動自己申告機能を備える疎な連帯支援システムの開発と運用. 情報処理学会論文誌, Vol. 45, No. 1, pp. 188–201, 2004.
- [14] 小山英剛, 小笠原直人, 佐藤究, 布川博士. グループにおけるプライバシーを考慮した位置情報共有方法に関する研究. 情報処理学会研究報告. GN, [グループウェアとネットワークサービス], Vol. 2008, No. 7, pp. 97–102, 2008.
- [15] 首藤幸司, 西尾信彦. センサフュージョンを利用した個人行動の未来予測機構. 情報処理学会研究報告. UBI, Vol. 2006, No. 116, pp. 79–84, 2006.
- [16] 渡辺敏雄, 北崎宏平. 加速度センサを用いた乳牛発情検知の検討. 電子情報通信学会技術研究報告. USN, Vol. 109, No. 131, pp. 135–139, 2009.
- [17] 金子浩平, 内田達人, 敷田幹文. ユーザモデルを利用したルールの自動的な学習・推論によるプライバシー保護手法の提案. 情報処理学会グループウェアとネットワークサービス・ワークショップ: 論文集. 2007, pp. 101–106, 2007.
- [18] 本村陽一. ベイジアンネットソフトウェア. 人工知能学会誌, Vol. 17, No. 5, pp. 559–565, 2002.
- [19] 志賀元紀. ベイジアンネットワーク. 2005.
- [20] 繁樹算男, 本村陽一, 植野真臣. ベイジアンネットワーク概説. 培風館, 7 2006.
- [21] 本村陽一, 岩崎弘利. ベイジアンネットワーク技術 ユーザ・顧客のモデル化と不確実性推論. 東京電機大学出版局, 7 2006.
- [22] ニュートン編集部. みるみる理解できる量子論 (ニュートンムック Newton 別冊サイエンステキストシリーズ). ニュートンプレス, 3 2009.
- [23] 佐藤勝彦 (編). 「量子論」を楽しむ本 - ミクロの世界から宇宙まで最先端物理学が図解でわかる! (PHP文庫). PHP研究所, 4 2000.
- [24] 都筑卓司. 新装版 不確定性原理 (ブルーバックス). 講談社, 9 2002.
- [25] NTTドコモ. 行動推定プログラムを利用した情報配信システムを開発. http://www.nttdocomo.co.jp/info/news_release/page/20060911a.html, 9 2006.

- [26] 本田新九郎, 富岡展也, 木村尚亮, 大澤隆治, 岡田謙一, 松下温. 作業者の集中度に応じた在宅勤務環境の提供: 仮想オフィスシステム Valentine. 情報処理学会論文誌, Vol. 39, No. 5, pp. 1472–1483, 1998.
- [27] 東芝パソコンシステム株式会社. 東芝製 生体信号センサー付 Bluetooth ワイヤレスヘッドホン MindTune. http://www.toshiba-tops.co.jp/e_shop/acessories/mindtune/, 2010.
- [28] 福井健太郎, 喜多野美鈴, 岡田謙一. 仮想空間を使った多地点遠隔会議システム: e-MulCS (<特集> グループウェアとネットワークサービス). 情報処理学会論文誌, Vol. 43, No. 11, pp. 3375–3384, 2002.
- [29] 岡田謙一, 松下温. 臨場感のある多地点テレビ会議システム:MAJIC. 情報処理学会論文誌, Vol. 36, No. 3, pp. 775–783, 1995.
- [30] 大西健治, 敷田幹文. 状況アウェアネスの実現に向けた複数資源利用法の提案. 情報処理学会研究報告. GN, Vol. 2002, No. 97, pp. 83–88, 2002.
- [31] 敷田幹文, 大西健治. 複数情報の一元管理による状況アウェアネス提供機構の提案と評価. 情報処理学会論文誌, Vol. 46, No. 1, pp. 80–88, 2005.
- [32] 宮地充子, 菊池浩明. 情報セキュリティ. オーム社, 10 2003.