

ユーザ参加型センシングの割り込みに対する応答性調査 ～時空間データとタスク難易度およびユーザ属性による考察～

松田 裕貴^{1,2} 河中 祥吾¹ 諏訪 博彦¹ 荒川 豊^{1,3} 安本 慶一¹

概要: ユーザ参加型センシングは、一般ユーザに対しセンシングを依頼することによりデータ収集を行う仕組みであるため、多数ユーザの継続的な参加が重要となる。ユーザの参加促進や、離脱防止のため、体験や金銭といった「報酬」をタスク遂行の対価として与えることで、センシングに参加する“モチベーション”を与える手法が一般に多く導入されている。しかしながら、同じ「報酬」を与えたとしても、タスクを依頼するタイミングやその際のユーザの位置の関係性から、依頼したタスクを遂行してもらえないことが懸念される。このことから、効率の良いセンシングを行うためには、ユーザの時間的・空間的な状況を考慮した上で、タスクの内容やタイミング、依頼先ユーザを決定し、ユーザへの割り込みを行う必要があると考えられる。本稿では、一般ユーザを対象とした14日間の通知実験を通して、タスクを依頼する場所やタイミング、タスクの難易度などを変化させた際の、実環境の情報収集タスクを依頼する割り込み通知に対するユーザの応答性を調査した。本実験では、実験参加者83名に対し1476件のタスクを依頼し、804件の回答データおよび時空間データセットを収集した。収集したデータセットに対し、統計解析を行ったところ、依頼タスクに対する回答率は、タスク難易度およびユーザ属性（未確認通知数、通知の確認頻度）の影響を受けることが明らかとなった。さらに、有効回答率（回答データ内の有効であるデータの割合）は、タスク難易度およびタスク依頼位置・時間帯が影響すること、依頼タスクに対する応答時間は、タスクの難易度が影響することを明らかとした。

Interruptibility Investigation in Participatory Mobile Sensing: Consideration based on Spatio-Temporal Data, Difficulty of Tasks and User Attributes

YUKI MATSUDA^{1,2} SHOGO KAWANAKA¹ HIROHIKO SUWA¹ YUTAKA ARAKAWA^{1,3}
KEIICHI YASUMOTO¹

1. 研究背景

ユビキタスコンピューティングシステムの浸透により、いつでもどこでも環境や人の状況を把握、解析し、ユーザへと還元することが可能となりつつある。これを社会全体に適用するための、より効率よく環境や人をセンシングする手法として、ユーザ参加型センシングが広く用いられる

ようになってきた [1]。ユーザ参加型センシングとは、人に何かしらのセンシングを依頼し、ユーザが日常生活において利用する端末機器を用いて依頼された情報を収集、アップロードすることで、低コストで広域の情報を収集可能なクラウドソーシング (Crowd Sourcing) の1つである。

ユーザ参加型センシングを実環境において運用する場合、一般のユーザにセンシングを依頼することによりデータ収集を行うことで成り立つ仕組みであるがゆえに、参加者となるユーザに対してセンシングに参加する“モチベーション”を与えなければ、協力を得ることができない、また参加したとしても途中で離脱してしまうといった、「持続可能性」の問題が生じる [2]。この問題を解決するための一般的

¹ 奈良先端科学技術大学院大学 情報科学研究科
Graduate School of Information Science, Nara Institute of Science and Technology

² 日本学術振興会特別研究員 DC1
JSPS Research Fellowships for Young Scientists, DC1

³ JST さきがけ
JST Presto

な手法の一つとして、体験や金銭といった「報酬」を与えることにより、ユーザの“モチベーション”を高める方法が導入されている。ところが、同じ「報酬」を与えたとしても、タスクを依頼するユーザの状況（時間的な状況）やその際のユーザの位置（空間的な状況）の関係性から、遂行が困難であったり、報酬がコストと見合わない場合、依頼したタスクを遂行してもらえないことが懸念される。このことから、効率の良いセンシングを行うためには、前述のユーザの時間的・空間的な状況を考慮した上で、タスクの内容やタイミング、依頼先ユーザを決定し、ユーザへの割り込みを行う必要があると考えられる。

モバイル端末における割り込みや通知に関する研究としては、赤池らが時間的なコンテキストに基づいた通知によりユーザの応答性を向上させる手法を提案している [3] ほか、大越らは機械学習に基づき通知タイミングをユーザの行動の節目にずらすことで、ユーザの応答時間を短縮する手法を提案している [4]。ユーザ参加型センシングの依頼においては、ユーザは依頼を完了するために「(1) タスク通知の認知」「(2) タスク内容の確認」「(3) タスクの承諾・遂行」という3つのアクションを行わなければならない。しかし、先述の関連研究では、アクション (1) およびアクション (2) に焦点をあてていたり、依頼するタスクが実環境情報を収集するものではないことから、ユーザ参加型センシングにおけるアクション (3) を考慮した割り込み（タイミングや内容の決定）がなされていないといえる。

そこで本研究では、ユーザの時間的・空間的な状況に基づくタスク依頼による、ユーザのセンシングタスク遂行率を向上させるための割り込み方法を検討している。本稿では、一般ユーザを対象とした14日間の通知実験を通して、タスクを依頼する場所やタイミング、タスクの難易度などを変化させた際の、実環境の情報収集タスクを依頼する割り込み通知に対するユーザの応答性を調査した。応答性調査実験では、実験参加者83名に対し、14日間で1476件のタスクを依頼し、804件の回答データおよび時空間データセットを収集した。収集したデータセットに対し、統計解析を行ったところ、依頼タスクに対する回答率は、タスク難易度およびユーザ属性（未確認通知数、通知の確認頻度）の影響を受けることが明らかとなった。さらに、有効回答率（回答データ内の有効であるデータの割合）は、タスク難易度およびタスク依頼位置・時間帯が影響することを明らかにした。依頼タスクに対する応答時間は、本実験ではタスクの難易度のみ影響されることがわかった。さらに、本実験で得られたデータを用いた分析により、ユーザ参加型センシングシステムにおける割り込みを用いたタスク依頼における課題を整理するとともに、網羅的なタスク依頼を実現するための要件をまとめた。

2. 関連研究

2.1 モチベーション生成に関する関連研究

ユーザ参加型センシングにおけるユーザに参加を促すためのモチベーション生成の仕組みとして、ユーザがとった行動の対価として「金銭」での報酬を支払う「金銭的インセンティブ」、センシングタスクにゲーム性を持たせ、行動の対価としてユーザにある種の「体験」を報酬化する「ゲーミフィケーション」が挙げられる [2]。ゲーミフィケーションにおける「体験」とは、単純なゲームとしての「楽しみ」、仮想のバッジやシールなどといった「収集欲」を満たすものの、ランキングなどの「競争心」を与えるものをはじめ、多種多様な手法が提案されている。

しかしながら、同じ「報酬」を与えたとしても、タスクを依頼する（ゲームのミッションが生じる）タイミングやその際のユーザの位置の関係性から、遂行が困難であったり、報酬がコストと見合わない場合、依頼したタスクを遂行してもらえないことが懸念される。つまり、タスクの内容やタイミング、ユーザの状況を考慮した上で、ユーザへのタスク依頼を行うことが重要である [3]。

2.2 通知割り込みに関する関連研究

スマートフォンなどの情報端末から、タスク依頼を行う際に用いられる「通知」は、ユーザに対する「割り込み」と見なすことができる。この「割り込み」は、ユーザの作業の中断を生じさせるため、ユーザの集中力・生産性の低下を招いたり、ユーザの感じるストレスが高まるといった問題が先行研究にて明らかとなっている [5] [6]。参加型センシングでは、ユーザに対してセンシングを依頼することにより、データが不足している地域の情報収集を行うことが想定されるため、不適切なタイミングにセンシングを依頼すると、ユーザがシステムから離脱する可能性が生じる。

モバイル端末の通知による割り込みに関する既存研究として、赤池らは、タスクを依頼してから応答するまでの時間には、時間帯とその際のユーザの忙しさが影響をおよぼすことを明らかにしており、また、時間的なコンテキストに基づいた通知によりユーザの応答性を向上させる手法を提案している [3]。大越らは、ユーザ参加型センシングを目的とはしていないものの、モバイルセンシングと機械学習に基づき、ユーザが行動を中断することが可能な瞬間を検知し、通知タイミングを行動の節目に遅らせる手法を提案しており、ユーザの応答時間の大幅な短縮（49.7%）を実現している [4]。

ユーザ参加型センシングにおけるタスク依頼では、ユーザは依頼を完了するために「(1) タスク通知の認知」「(2) タスク内容の確認」「(3) タスクの承諾・遂行」という3つのアクションを行わなければならない。しかし、先述の関

連研究では、アクション(1)およびアクション(2)に焦点をあてていたり、依頼するタスクが実環境情報を収集するものではないことから、ユーザ参加型センシングにおけるアクション(3)を考慮した割り込み(タイミングや内容の決定)がなされていないといえる。

2.3 位置情報に基づくタスク依頼に関する関連研究

実環境におけるユーザ参加型センシングでは、位置情報と紐づく情報を収集することが多いと考えられるため、位置情報に基づくタスク依頼は依頼タスクの遂行率を高める上で重要である。水上らは、iBeacon*1機能を活用したセンサ主導の無意識参加型センシングを提案している[7][8]。この手法では、環境側にセンサを搭載したiBeaconデバイスを配置し、ビーコン領域内に存在する専用アプリケーションを有するスマートフォンを探索、そのモバイル回線を暗黙的に借りることで環境情報の収集を実現している。無意識のうちにセンサネットワークの機能の一部をユーザが担う仕組みとなっているため、一種のユーザ参加型センシングと見なすことができる。

2.2節で挙げた、通知割り込みを始めとするユーザの意識的な参加を想定したセンシングシステムには、ユーザの離脱を防ぐための機構を備えなければならない。この手法では、BLEを通信方式として用いることで省電力性を実現しており、さらに暗黙的なタスク依頼によりユーザの行動を中断させないため、システムに対する反感を与えにくく、既に参加しているユーザが離脱しにくい仕組みとなっているといえる。しかしながら、環境側にセンサを設置しなければならない点、通信容量をユーザに提供してもらうためのモチベーションの生成が難しい点において課題が依然として存在する。

2.4 本研究の位置づけ

本研究では、継続的なユーザ参加型センシングの実現にむけ、ゲーミフィケーションなどのモチベーション生成のアルゴリズムを有するシステムを用いた、ユーザの意識的な参加に基づく都市環境センシングを対象とする。このシステムのモチベーション生成効果を最大化するために、ユーザの時間的・空間的な状況と、ユーザ参加型センシングシステムのセンシング要求の双方を考慮したタスク生成により、最適なユーザに対し最適なタイミングでタスク依頼・割り込み通知を行う手法を検討している。

本稿の位置づけは、次章以降で述べる、実際の参加型センシングシステムを用い、タスクを依頼する場所やタイミング、タスクの難易度などを変化させた際の、割り込み通知に対するユーザの応答性を調査することで、本研究の課題を明らかにすることである。

*1 Apple社によって提案されているBLE(Bluetooth Low Energy)を利用した近接位置計測法

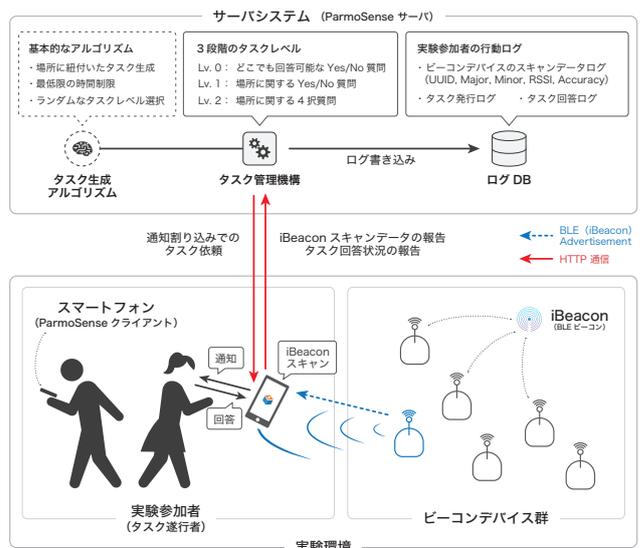


図1 通知への応答性調査実験システム



図2 調査実験フィールド

3. ユーザ参加型センシングの割り込みに対する応答性調査実験

本調査実験では、時間的・空間的な状況(時間帯や依頼場所など)、依頼タスクの難易度、およびユーザ属性(通知の確認頻度など)の違いによる、参加型センシングにおける割り込み通知の応答性を調査することを目的とする。3.1節で応答性調査実験の概要について述べ、3.2節にて本実験で依頼するタスクについて詳述する。また、調査結果の考察を行うための時空間データやユーザの属性の収集に関して3.3節にて述べる。

3.1 応答性調査実験の概要

図1に調査実験の全体構成を示す。本実験は参加型センシングプラットフォームである「ParmoSense [9]」上で実施し、実験フィールドは奈良先端科学技術大学院大学の構内全域(図2)、実験参加者(タスク遂行者)は同大学院の学生または教員を対象とした。



図 3 通知割り込み例

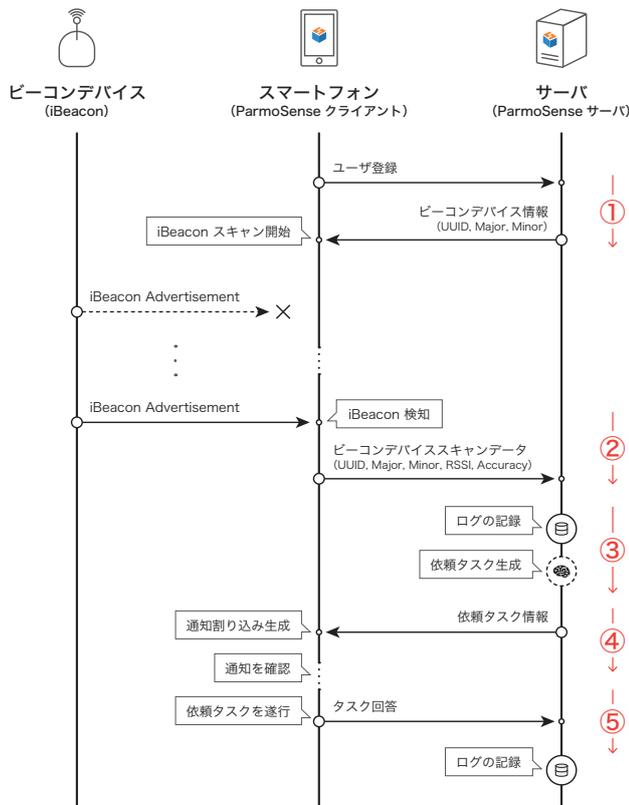


図 4 応答性調査実験システムの通信手順

実験フィールドには、空間的な状況データの取得、および位置情報に基づいたタスクの生成を行うため、iBeacon 機能を有するビーコンデバイスとして Aplix 社製 MyBeacon (形式：汎用型、型番：MB004Ac-DR1) を配置した。図 2 に示すマークはそれぞれビーコンデバイスの配置状況を表している。星記号 (★) がついたビーコンデバイスは本実験で依頼するタスク内容に紐付いた地点、無印のビーコンデバイスはそれらの間を補間する地点に配置されている。なお、これらのビーコンの設置位置については、人の往来が多く、かつ「通過」や「着席」、「購買」、「運動」を始めとする多様な行動が行われる地点を採用した。

実験参加者は、スマートフォンアプリケーション (Par-

moSense クライアント*2) を介して本実験に参加する。この ParmoSense クライアントは、バックグラウンドで常時起動するシステムであり、上記ビーコンデバイスのスキャン、サーバシステム (ParmoSense サーバ) との通信を担っている。また、ParmoSense サーバからのタスク依頼に応じ、図 3 に示すように通知を発生させ実験参加者へと割り込みを行う。実験参加者は通知上の回答ボタンをタップするか、通知をタップすることで表示されるダイアログから回答を選択することにより回答する。

図 4 は、応答性調査実験システムの通信手順を示している。それぞれの詳細について以下に述べる。

- ① 実験参加者が ParmoSense クライアントでユーザ登録およびシナリオの選択を行うと、ParmoSense サーバから、ビーコンデバイス情報が送付される。この際、バックグラウンドサービスにて BLE の監視を開始する。
- ② ParmoSense クライアントが iBeacon Advertisement を受信すると、ビーコンデバイススキャンデータを ParmoSense サーバへと送信する。
- ③ ParmoSense サーバは受け取ったデータをもとに、タスクの依頼可否判定および依頼内容を決定する (アルゴリズムについては後述)。これらの一連の手続きの結果はログ DB に記録される。
- ④ タスクが依頼される場合、ParmoSense クライアントへ送信された依頼タスク情報を基に、通知が生成されユーザへと割り込みを行う。
- ⑤ ユーザが通知に気づいて依頼タスクを遂行した場合、タスクの回答結果を ParmoSense サーバに送付する。回答結果はログ DB に記録される。

ステップ③のタスク依頼アルゴリズムについては、本実験では必要最低限の機能のみでシステムを構成している。タスク依頼において考慮する制約を以下に列挙する。

- あるタスクを依頼してから 3 時間以内は同一の場所に紐づくタスクは依頼しない
- あるタスクを依頼してから 30 分以内は次のタスクは依頼しない
- あるタスクを回答完了してから 1 分以内は次のタスクは依頼しない

なお、いずれの場合も、同一の実験参加者における制約であり、ある実験参加者におけるタスク依頼状況が、他の実験参加者に対する制約として考慮されることはない設定となっている。

*2 動作環境は、Android スマートフォン (Android バージョン 5.0 以降)、および iPhone (iOS バージョン 10.0 以降) である。

表 1 依頼するタスク一覧

ID	レベル	タスク内容
0	1	食堂の座席は混雑していますか？
1	2	食堂の座席はどのくらい混雑していますか？
2	1	食堂に行列はできていますか？
3	2	食堂の行列は何人ぐらいできていますか？
4	1	コンビニ（デイリー）は混雑していますか？
5	2	コンビニ（デイリー）に客は何人いますか？
6	1	駐車場に空きはありますか？
7	2	どのくらい駐車場の空きがありますか？
8	1	バス停は混雑していますか？
9	2	何人がバス停で待っていますか？
10	1	ジムは混雑していますか？
11	2	何人がジムに居ますか？
12	1	図書館は混雑していますか？
13	2	何人が図書館に居ますか？
14	1	L1 教室は混雑していますか？
15	2	どのくらい L1 教室は混雑していますか？
16	1	L2 教室は混雑していますか？
17	2	どのくらい L2 教室は混雑していますか？
18	1	L3 教室は混雑していますか？
19	2	どのくらい L3 教室は混雑していますか？
20	0	今、お腹が空いていますか？
21	0	この後、予定（授業など）はありますか？
22	0	明日は NAIST に来ますか？
23	0	今日、NAIST に電車で来ましたか？
24	0	今週は運動（スポーツなど）しましたか？
25	0	今日は朝ごはんを食べましたか？
26	0	図書館から本を借りていますか？
27	0	今、眠いですか？
28	0	今日はもう研究室に行きましたか？
29	0	スマホの電池が 50%以上残っていますか？

3.2 依頼タスク内容

本実験で依頼するタスクを表 1 に示す。依頼するタスクは難易度別に 3 段階のレベルに分類しており、それぞれ次のように設定した。

レベル 0 : どこでも回答可能な 2 択質問 (Yes/No)

レベル 1 : 場所に関する 2 択質問 (Yes/No)

レベル 2 : 場所に関する 4 択質問 (順序尺度^{*3})

同レベルでの難易度の平滑化のため、レベル 1, 2 に関してはそれぞれの場所に紐付いた「混雑度」に関する質問に統一している。また、レベル 0 に関してはユーザ自身に関する質問を設定しているが、これは場所に依存しないタスク（参加型センシングの想定タスク以外）を依頼した際の反応を調査するために、どのような場所でも回答することが可能な内容となっている。

なお、ユーザが回答できない（その場所の状況を確認することができない、またはユーザ自身が忙しい）場合を想定し、全てのレベルの質問には「回答不可」という選択肢を設けている。この選択肢は、ユーザが回答できない場合に

^{*3} 座席などの稼働率（パーセンテージ）や空間内のユーザ数（階級）

適当な回答をすることを防ぐこと、また、回答できなかった理由が「通知割り込みに気付かなかった」なのか「気付いた上で回答できなかった」なのか、どちらであるかの切り分けを目的としている。

3.3 時空間データ・ユーザ属性の収集

本実験の目的は、時間的・空間的な状況、依頼タスクの難易度、ユーザ属性の違いにおける、通知割り込みに対する応答性の評価であるため、応答性調査実験システムとのインタラクションを起したタイミングにおいて、ユーザがどのような状態であったかという時空間データ、そして、ユーザ属性（通知に対するアクションの傾向）を収集する必要がある。

■ 時空間データの項目と収集方法

時空間データを収集するため、バックグラウンドで以下に示す情報を取得し、ParomoSense サーバに送信する機能を ParomoSense クライアントに実装した。

- ビーコンデバイスのスキャンデータログ
(ログ時間, UUID, Major, Minor, RSSI)
- 依頼タスクの依頼状況
(依頼時間, タスク難易度, 依頼内容)
- 依頼タスクの回答状況
(回答時間, 回答内容)

■ ユーザ属性の項目と収集方法

ユーザの属性に紐付いた考察を行うため、実験終了後に実験参加者に対してアンケート調査を行った。アンケート内容に関しては以下に示すとおりである。

- 未確認通知数
(5 段階: 通知領域に溜まっている通知の数)
- 通知の確認頻度
(4 段階: 1 日あたりの通知確認回数)

4. 応答性調査実験結果と考察

3 章にて述べた応答性調査実験システムを用い、実験参加者 83 名（学生 81 名、教員 2 名）による 14 日間の実験を行った。表 2 に実験結果の概要を示す。本実験では、1476 件のタスクを依頼し 804 件の回答を得た。回答データの内訳は、依頼タスクへの回答情報が含まれるデータは 591 件（有効回答数）で、「回答不可」と回答したデータは 213 件（回答不可数）であった。なお、本研究ではユーザ参加型センシングを対象としているため、長時間（1 時間以上）経過した後の回答については、有効ではない回答データとして取り扱うこととした。また、実験参加者ごとのタスク依頼数図 5 に示すとおりである。

以降では、4.1 節にて時空間データやタスク難易度、4.2 節にてユーザ属性を加え、応答性（回答率や応答時間）に関してより詳細に考察する。

表 2 実験結果の概要

項目	結果	備考
依頼タスク総数	1476	1 時間以内の回答のみ } 回答数
回答数	804	
有効回答数	591	
回答不可数	213	
非回答数	672	
回答率	54.5 %	(回答数) ÷ (総数)
回答不可率	26.5 %	(回答不可数) ÷ (総数)

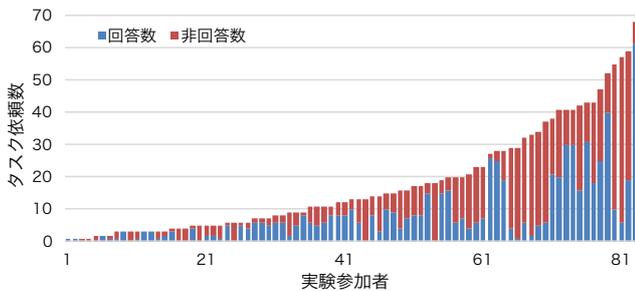


図 5 実験参加者ごとのタスク依頼数

4.1 時空間データ・タスク難易度による応答性評価

サーバに自動収集した依頼タスクログに基づき、応答性調査実験結果を考察する。

■ タスク難易度の応答性への影響

タスク難易度ごとの回答率および応答時間を図 6 に示す。

回答率および回答不可率に関して Pearson の χ^2 検定を行った結果、回答率では $p = 0.063$ となり有意差が確認でき ($p < 0.1$)、回答不可率では $p = 0.000$ となりこちらも有意差が確認できた ($p < 0.05$)。さらに、2つの難易度同士で χ^2 二乗検定を行った結果、回答率・回答不可率ともにレベル 1 とレベル 2 の間には有意差が確認できなかった ($p > 0.1$) が、場所に関係のないタスク (レベル 0) と場所に関係するタスク (レベル 1, 2) の間にはそれぞれ有意差が確認できた ($p < 0.05$)。この結果から、位置情報に関するタスクに関しては回答率が下がるとともに、有効なデータが得られにくくなるのが統計的に明らかとなった。

また、平均応答時間についてはそれぞれ 274 秒 (レベル 1)、302 秒 (レベル 2)、242 秒 (レベル 3) となった。平均応答時間に関して、自由度 2 のクラスカル・ウォリス検定*4を行った結果、 $p = 0.007$ が得られた。このことから、レベルが異なることによる平均応答時間の有意差が確認できた ($p < 0.05$)。この結果から、依頼タスク難易度が上昇するにつれて必要な回答時間が長くなっていることが明らかとなった。レベル 1, 2 については、タスクの対象地点への移動時間や返答を考慮するための時間が必要となっていることが要因ではないかと考えられる。タスク依頼位置や時間帯がおよぼす影響に関しては、次項以降でより詳細に考察する。

*4 ノンパラメトリックにおける一元配置分散分析を行う検定法

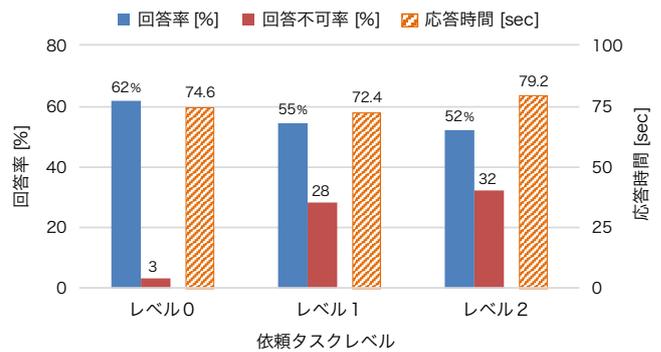


図 6 タスク難易度と回答率の関係

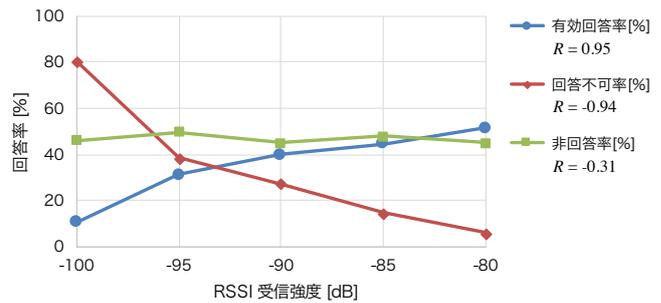


図 7 RSSI と回答率の関係 (レベル 1, 2)



図 8 RSSI と回答率の関係 (レベル 1)

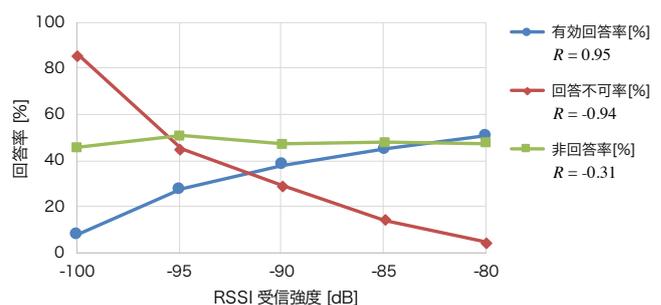


図 9 RSSI と回答率の関係 (レベル 2)

■ タスク依頼位置の応答性への影響

依頼タスク (レベル 1, 2) は位置情報に紐づくものとなっているため、タスクを依頼する際のユーザの位置が回答率へと影響を及ぼすことが考えられる。

図 7 は、タスク依頼時のユーザ端末における RSSI 受信強度ごとの回答率を示したものである。この結果から、有効回答率 (回答不可率) について相関係数が 0.9 以上となっており強い相関をしめしていることから、RSSI 受信

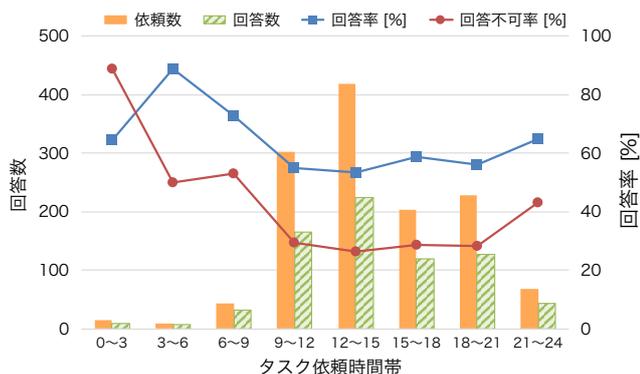


図 10 タスク依頼時間帯の回答率への影響 (3 時間幅)

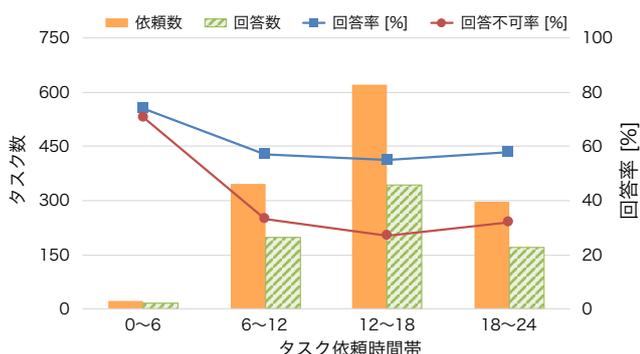


図 11 タスク依頼時間帯の回答率への影響 (6 時間幅)

強度が大きくなるほど有効回答率が向上 (回答不可率が減少) するということがいえる。しかしながら、非回答率に関しては相関はあまりなく、いずれの RSSI 受信強度においても約 50% 弱のユーザが通知に気付いていない (非回答となっている) ことがわかった。

また、レベル別に回答率を算出した結果、図 8 (タスク難易度 1)、図 9 (タスク難易度 2) に示すとおりとなった。各相関係数を比較すると、タスク難易度 1 よりもタスク難易度 2 の方が相関係数が大きくなっていることから、難易度が高い場合、有効回答率 (回答不可率) が依頼位置の影響を強く受ける可能性が示唆された。

■ タスク依頼時間帯の応答性への影響

タスク依頼を行う時間帯ごとのタスク依頼数および回答率を図 10 (3 時間幅) および図 11 (6 時間幅) に示す。6 時間幅における回答率、回答不可率に対し、Pearson の χ^2 検定を行った結果、回答率では $p = 0.311$ となり有意差が確認できなかったが ($p > 0.1$)、回答不可率では $p = 0.001$ となり有意差が確認できた ($p < 0.05$)。また、実際の環境を想定すると、深夜 (0~6 時) の時間帯のタスク依頼の重要度は他に比べると低いため、6~24 時まで限定し、Pearson の χ^2 検定を行った結果、回答率、回答不可率ともに有意差は確認できなかった ($p < 0.05$)。

タスク依頼時間帯ごとの平均応答時間を図 12 に示す。平均応答時間に対し、自由度 3 のクラスカル・ウォリス検定を行った結果 $p = 0.032$ となり、タスク依頼時間帯によ

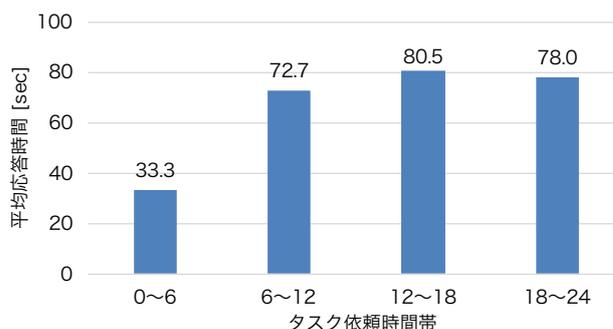


図 12 タスク依頼時間帯の応答時間への影響 (6 時間幅)

る平均応答時間の有意差が確認できた ($p < 0.05$)。また、実際の環境を想定すると、深夜 (0~6 時) の時間帯のタスク依頼の重要度は他に比べると低いため、6~24 時まで限定し、自由度 3 のクラスカル・ウォリス検定を行った。結果は $p = 0.859$ となり、深夜を除く場合においては、有意差が確認できなかった ($p > 0.05$)。

以上の結果から、回答率および回答不可率、応答時間においては、深夜に大幅な変動がみられるものの、朝~夜にかけては大きな変動が見られないことがわかった。しかしながら、タスクの依頼数を見ると時間帯ごとに大きな差があるといえるため、同様の回答率でも得られる情報には偏りが生じる結果となった。

4.2 ユーザの属性による応答性評価

アンケートによって収集したユーザ属性に基づき、応答性調査実験結果を考察する。

■ 未確認通知数の応答性への影響

日常生活を送る中で通知領域に通知をどのくらい溜めているか、つまり未確認通知数は、ユーザ参加型センシングの依頼が気づかれず埋もれてしまうかどうかに関係する要因であると考えられる。図 13 は、未確認通知数ごとの回答率および平均応答時間を示したものである。

まず、回答率に関して Pearson の χ^2 検定を行った結果、回答率では $p = 0.014$ となり有意差が確認できた ($p < 0.05$)。このことから、未確認通知数が少ない人、すなわち比較的短期間の中に通知を確認する人ほど、本実験の通知に気づきやすく、また高い確率で回答が得られることがわかった。

また、平均応答時間に関して、自由度 4 のクラスカル・ウォリス検定を行った結果、 $p = 0.616$ が得られた。このことから、未確認通知数が異なることによる平均応答時間の有意差は確認できなかった ($p > 0.05$)。

■ 通知確認頻度の応答性への影響

1 日の中で通知を何回確認するか、つまり通知確認頻度は、未確認通知数と同様に、依頼が気づかれず埋もれてしまうかどうかに関係する要因であると考えられる。図 14 は、通知確認頻度ごとの回答率および平均応答時間を示したものである。

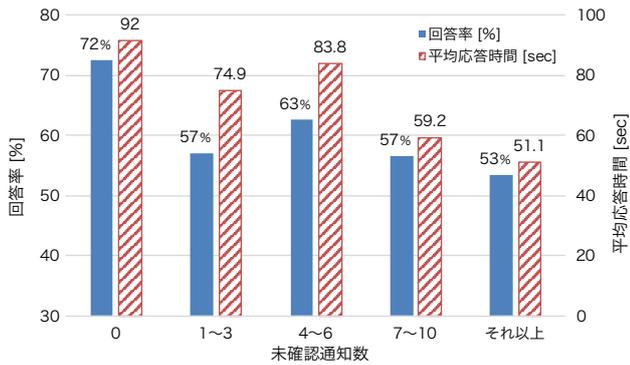


図 13 回答率・応答時間への未確認通知数の影響

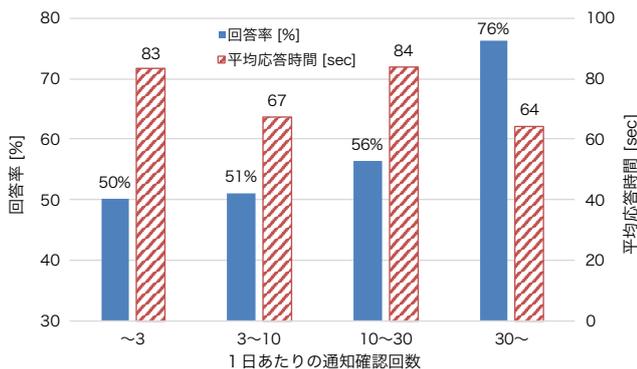


図 14 回答率・応答時間への通知の確認頻度の影響

まず、回答率に関して Pearson の χ^2 検定を行った結果、回答率では $p = 0.00$ となり有意差が確認できた ($p < 0.05$)。このことから、通知を確認する頻度が多い、つまり確認と確認の時間間隔が短い人ほど、本実験の通知に気づきやすく、また高い確率で回答が得られることがわかった。

また、平均応答時間に関して、自由度 3 のクラスカル・ウォリス検定を行った結果、 $p = 0.813$ が得られた。このことから、通知確認頻度が異なることによる平均応答時間の有意差は確認できなかった ($p > 0.05$)。

5. 網羅的なタスク依頼の実現に向けた検討

ユーザ参加型センシングにおいては、ユーザの回答率(有効回答率)を向上させるだけではなく、空間的・時間的な情報の網羅性を向上させなければならない。

5.1 タスク依頼における課題の整理

図 15 および図 16 は、本実験の全期間における依頼タスク数および有効回答率を、時間帯・タスク対象地点(タスクの内容)ごとに示したものである。有効回答率が -1 となっている箇所は、タスクが依頼されていない、または回答率が 0% となっていることを示している。

タスクの依頼(図 15)に関しては、3 章で示した通り、タスク生成アルゴリズムは時間制約とある程度のランダム性を持つ程度のシステムであるため、時間帯および空間の両軸ともに実験参加者に対するタスク依頼の偏りが大きい

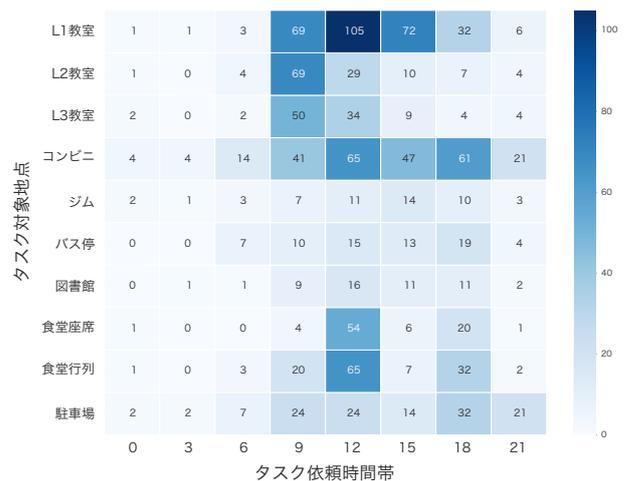


図 15 時間帯ごとのタスク依頼件数(レベル 1, 2)

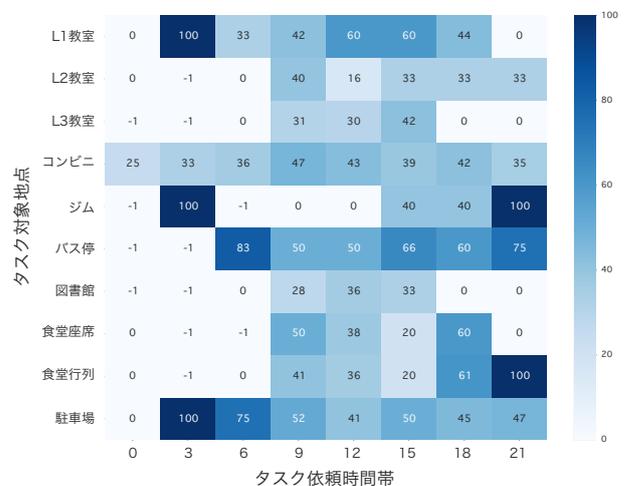


図 16 時間帯ごとの有効回答率(レベル 1, 2)

ことが分かる。また、図 5 に示すように、実験参加者間においてもタスク依頼数に大きな偏りが生じている。これは、実験参加者間のタスク依頼数の偏りに関する制約を設けていないため、よりタスクの対象地点の近くに滞在すればするほどタスクが依頼されやすくなるためである。

タスク依頼の偏りを解決する方法として、不足している場所・時間帯に対して単純にタスク依頼数を増加させる場合、実験参加者間におけるタスク依頼数に偏りが生じたり、同一実験参加者に対し短時間に連続で依頼を行う必要が生じると予想される。しかしながら、実験参加者のモチベーションの維持を考慮すると、回答不可率や非回答率が高い実験参加者などへの連続的な依頼は反感の要因となり、システムからの離脱の原因となる可能性がある [10]。

また、タスクの有効回答率(図 16)に関しては、タスク依頼数が多いにも関わらず有効回答率が低くなっている場所・時間帯が存在する(例: 18 時における図書館は、依頼数 11 件に対し有効回答率 0% となっている)。これは、建物の内外情報やユーザの移動速度・移動方向といったものが加味されていないことから、タスクの対象地点に向かっ

ていない、または通過予定のユーザに対しタスクを依頼してしまっていることが原因であると考えられる。

5.2 網羅的なタスク依頼の要件

網羅的なタスク依頼を実現するためのアルゴリズム構築の要件として、次の点が上げられる。

- **要件 1** 実験参加者個人および実験参加者間における時間的・空間的偏りを制約条件として、依頼数が集中しないように場所・時間帯の依頼を制御する
- **要件 2** 不足した場所・時間帯へのタスク依頼を行うために、実験参加者の空間的・時間的なコンテキスト（移動の方向や速度、滞在時間など）の推定に基づいて依頼先ユーザを選定する
- **要件 3** ユーザ属性を考慮した適切なタイミングや位置でのタスク依頼（割り込み通知）の生成

要件 1 については、本応答性調査実験の結果から、回答率および回答不可率に関する傾向が明らかとなったため、依頼を制御（削減）するための回答率予測アルゴリズムを今後検討する。要件 2 および要件 3 のアルゴリズムについても同様に、本実験の結果を組み込むことが可能であると考えられる。なお、実験参加者の空間的・時間的なコンテキストに関しては、ビーコンデバイスのスキャン情報（RSSI など）の時系列データを対象とした追加の分析が必要である。また、本実験から得られなかった応答時間の傾向に関しても、時系列データやユーザ属性を複数組み合わせた分析を通して傾向を明らかにするとともに、各要件へ適用することが必要である。

6. まとめ

本研究では、継続的なユーザ参加型センシングの実現にむけ、ユーザの意識的な参加に基づく都市環境センシングを対象としている。実現には、ユーザがセンシングに参加するモチベーションを与える必要があり、ユーザの時間的・空間的な状況と、ユーザ参加型センシングシステムのセンシング要求の双方を考慮したタスク生成により、最適なユーザに対し最適なタイミングでタスク依頼・割り込み通知を行う手法を検討している。

本稿では、実際の参加型センシングシステムを用い、タスクを依頼する場所やタイミング、タスクの難易度などを変化させた際の、割り込み通知に対する実験参加者の応答性を調査した。実験参加者 83 名に対し、14 日間で 1476 件のタスクを依頼し、804 件の回答データおよび時空間データセットを収集した。収集したデータセットに対し、統計解析を行ったところ、依頼タスクに対する回答率は、タスク難易度およびユーザ属性（未確認通知数、通知の確認頻度）の影響を受けることが明らかとなった。さらに、有効回答率（回答データ内の有効であるデータの割合）は、タスク難易度およびタスク依頼位置・時間帯が影響すること

を明らかにした。依頼タスクに対する応答時間は、本実験ではタスクの難易度によりのみ影響されることがわかった。しかしながら、応答時間は即時性が求められるユーザ参加型センシングにおいて重要な項目となりうるため、ビーコンデバイスのスキャン情報（RSSI など）の時系列データを対象としたり、ユーザ属性を組み合わせるなどといった追加分析により、傾向を明らかにする。

今後は、本実験で得られた傾向を踏まえたタスク依頼のアルゴリズムを構築するとともに、ゲーミフィケーションなどのモチベーション生成機構と連携したユーザ参加型センシングシステムの実現を目指す。

謝辞 本研究は JST さきがけ、JSPS 特別研究員奨励費 16J09670 および科学研究費補助金 16H01721 の助成を受けたものである。

参考文献

- [1] J. A. Burke, D. Estrin, M. Hansen, A. Parker, N. Ramanathan, S. Reddy, and M. B. Srivastava. Participatory sensing. *Center for Embedded Network Sensing*, 2006.
- [2] Y. Arakawa and Y. Matsuda. Gamification mechanism for enhancing a participatory urban sensing: survey and practical results. *Journal of Information Processing*, Vol. 57, No. 1, 2016.
- [3] 赤池勇磨, 荒川豊, 諏訪博彦, 安本慶一. 参加型センシングの効率化に向けたコンテキストに基づく応答の推定. *情報処理学会論文誌*, Vol. 57, No. 2, pp. 543-552, 2016.
- [4] T. Okoshi, K. Tsubouchi, M. Taji, T. Ichikawa, and H. Tokuda. Attention and engagement-awareness in the wild: A large-scale study with adaptive notifications. in *Proceedings of IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications 2017 (PerCom'17)*, 2017.
- [5] E. Cutrell, M. Czerwinski, and E. Horvitz. Notification, disruption, and memory: Effects of messaging interruptions on memory and performance. In *Human-Computer Interaction-Interact'01*, pp. 263-269, 2001.
- [6] G. Mark, S. Iqbal, M. Czerwinski, P. Johns, and A. Sano. Email duration, batching and self-interruption: Patterns of email use on productivity and stress. In *Proceedings of the 2016 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, pp. 1717-1728. ACM, 2016.
- [7] 水上貴晶, 内藤克浩, 土井千章, 中川智尋, 太田賢, 稲村浩, 菱田隆彰, 水野忠則. センサ主導の無意識参加型センシングシステムの基礎設計. 研究報告モバイルコンピューティングとユビキタス通信 (MBL), Vol. 2014, No. 3, pp. 1-6, 2014.
- [8] 水上貴晶, 堀将之, 古謝佑次, 土井千章, 太田賢, 稲村浩, 梶克彦, 内藤克浩, 菱田隆彰, 水野忠則. 無意識参加型センシングシステムの有効性の検証. *電子情報通信学会技術研究報告 (信学技報)*, Vol. 115, No. 467, pp. 33-38, 2016.
- [9] 松田裕貴, 荒川豊, 安本慶一. 多様なユースケースに対応可能なユーザ参加型モバイルセンシング基盤の実装と評価. マルチメディア, 分散, 協調とモバイル (DICOMO 2016) シンポジウム論文集, pp. 1042-1050, 2016.
- [10] 松田裕貴, A. Elder, K. Cedric, 中村優吾, 前田直樹, 千住琴音, 荒川豊. 位置情報サービスにおける個人特化型ゲーミフィケーション～スタンプラリーイベントを通じた「慣れ」「飽き」の調査～. *社会システムと情報技術研究ワークショップ (WSSIT17)*, 2017.