社団法人　電子情報通信学会
THE INSTITUTE OF ELECTRONICS,
INFORMATION AND COMMUNICATION ENGINEERS

信学技報
TECHNICAL REPORT OF IEICE.

街灯これくしょん：夜道の明るさをセンシングする参加型アプリケーション

松田　裕貴†　新井イスマイル††　荒川　豊†　安本　慶一†

† 奈良先端科学技術大学院大学 情報科学研究科
†† 明石工業高等専門学校 電気情報工学科

あらまし　防犯意識の向上に伴い，歩行者向けナビゲーションにおいても夜道の明るさなどの「安心・安全面」の情報整備が重要となることから，本研究ではスマートフォン搭載照度センサを用いてユーザ参加型センシングにより街灯照度を収集，集合知を形成することによる，夜道の安全判定手法を検討している．ユーザ参加型センシングにおいては，多くのユーザが継続的かつ意欲的に参加する仕組みを構築することが不可欠であるため，街灯照度収集アプリケーション「街灯これくしょん」に，ゲーミフィケーションの仕組みを導入し，一般公開し不特定多数のユーザを対象とした 4ヶ月間の実験を行った．実験の冒頭約 1ヶ月間において，ユーザ数 101 人，デバイス数 124 台，301 時間分のデータが収集されたが，アプリ公開から 1ヶ月程度でインストールユーザ数の減少が見られた．そこで，この利用状況を踏まえ，ユーザのモチベーションを高める更なる要素を追加実装した．

キーワード　位置情報サービス，モバイルアプリケーション，街灯照度，ゲーミフィケーション，参加型センシング

StreetlampCollection : Participatory Sensing Application for Collecting Brightness of the Sidewalk at Night.

Yuki MATSUDA†, Ismail ARAI††, Yutaka ARAKAWA†, and Keiichi YASUMOTO†

† Graduate School of Information Science, Nara Institute of Science and Technology
†† Department of Electrical and Computer Engineering, National Institute of Technology, Akashi College

Abstract　Along with the improvement of security awareness, a safety information such as brightness of sidewalk at night are required for pedestrian navigation systems. In this study, we propose and develop an illuminance inferring method by participatory sensing that utilizes a light sensor of the smartphone for assessing a safety level of sidewalks at night. Participatory sensing system requires continuously and enthusiastically participating of many user. Therefore in this paper, we develop the streetlamp's illuminance collecting application "StreetlampCollection" which has gamification mechanism. To evaluate the proposed system, we experimented for 4 months by publishing the application. As a result of the experiment, we succeeded to collect a data of the 101 users and 124 devices for 301 hours. However, we observed that the number of installed users started decreasing after about one month from the application publication. So, based on this usage, we additionally implemented the further elements to increase the motivation of the participants.

Key words　Location Based Services, Mobile Applications, Illuminance of Streetlamps, Gamification, Participatory Sensing

1. はじめに

GPS や加速度センサをはじめとし，多数のセンサを搭載したスマートフォンの普及により，位置情報を活用したアプリケーションは広く利用されるようになった．また，近年の防犯意識の向上は著しく，子ども見守りや災害対策アプリケーションなど，安心・安全面の情報と位置情報を組み合わせたアプリケーションの需要は増大している．歩行者ナビゲーションにおいて，従来の経路決定の大きな指標は目的地への到達速度を重視した情報であるが，今後は，それらの情報に加えて夜道の明るさや人通り，犯罪発生情報など，安心・安全面の情報を考慮することが求められる．

図 1　照度測定法（日本工業規格）

本研究では，この安心・安全面の情報として「夜道の明るさ」に着目した.「夜道の明るさ」は，街灯照度を測定し，日本防犯設備協会の定める防犯灯の照度基準 [1] と比較することにより，定量的に安全性判定が可能である．しかし，街灯照度を測定するためには，照度計を用い図 1 に示す，日本工業規格の定める照度測定法（JIS 照度測定法）[2] に基づく水平面照度および鉛直面照度を推定する必要がある．この測定法では，機材・手間にかかるコストが非常に大きく，網羅的な情報整備が困難である．

そこで本研究では，スマートフォンの一般ユーザ向けの街灯照度収集アプリケーションシステム「街灯これくしょん」を開発し，ユーザによる参加型センシングを行うことで網羅的な街灯照度収集を目指す．なお，収集した街灯照度測定データを元に，JIS 照度測定法に基づく街灯照度を推定する手法については，既に検討している [3]．しかしながら，ユーザ参加型センシングにおいては，多くのユーザが継続的かつ意欲的に参加する仕組みを構築することが不可欠である．そこで，ユーザのモチベーションを向上させる仕組みとして,「街灯これくしょん」にスコアおよびランキングを実装し，一般に公開し，不特定多数のユーザにより照度データを収集する実験を行った．インストール後のユーザの利用状況を調査し，その結果を元に，バッジ（勲章）や地図への重畳表示（オーバレイ）などのゲーミフィケーション要素を追加実装することによりアプリケーションの改良を行った．

本稿では，関連研究について 2 章，照度収集アプリの概要について 3 章にて述べ，収集されたデータやアプリの利用状況についての考察を 4 章に示す．さらに，5 章にてユーザの利用状況を踏まえたアプリケーションの改良状況について報告する．最後に 6 章にてまとめる．

2.　関 連 研 究

ユーザの行動を促す要因に関する調査研究では「Fun（楽しさ）」,「Ideology（信念）」,「Values（価値）」という 3 つの項目の重要度が高いと報告されている [4].「Fun」については，Ingress(注1) などに代表されるゲーム性のあるシステムがあり，岩手県や横須賀市において観光振興に Ingress が活用される事例がある．また，副次的な効果として Ingress ダイエットが広まるなど「Fun」の与える効果は大きい．この他，Foursquare(注2) や AppleWatch(注3) をはじめ，バッジなどのゲーミフィケーションを導入している事例は多数存在する.「Ideology」については，Wikipedia などのボランタリーなシステムがあるほか,「Values」については，オープンソース・ソフトウェア開発などのユーザの承認欲求を満たすシステムがあげられ，ランキングなどの評価もこれに該当する．

「Ideology」や「Values」が強い効果を示している先行研究としては，ユーザー提供型の時刻表データベースである駅.Locky [5] があげられる．このシステムは，ユーザが時刻表の投稿を行い，網羅的な時刻表データベースを構築するユーザ参加型のシステムであり，現在日本に存在する 10,929 の駅時刻表の 84% のデータ収集をユーザによって実現している (注4)．

「Fun」に着目した先行研究としては，上山らが金銭的インセンティブにゲーミフィケーションの概念を取り入れたユーザ参加型センシングシステムが挙げられる [6]．ユーザ参加型センシングシステムにゲーミフィケーションを導入することにより，報酬支払額を最大 45%削減することを達成していることから,「Fun」がユーザのモチベーション向上に大きく寄与しているといえる．

本研究でこれまで利用してきた街灯照度収集アプリケーションは，主体として，自身の住む地域を安全にしたいという「Ideology」に頼ったものとなっているため，サステイナブルなシステムを実現するためには，ユーザのモチベーションを向上させる他の要素との複合が課題といえる．

3.　街灯照度収集アプリケーション「街灯これくしょん」の開発

日本や世界各地に点在する一般ユーザの持つスマートフォン搭載照度センサによって，街灯照度データを収集する体制を整えることは，本研究を実現するために必要となる要件である．これを達成するためには，特定のユーザによって収集する体制ではなく，不特定多数のユーザが参加することにより収集する体制が望ましい．

前述のとおり，本研究でこれまで利用してきた街灯照度収集アプリケーションは，主体として「Ideology」に頼ったものとなっているため，本研究では，街灯照度収集アプリケーションに 2 章にて述べた,「Fun（楽しさ）」要素としてスコア機能,「Values（価値）」要素としてランキング機能を取り入れることにより，不特定多数のユーザが利用可能な街灯照度収集アプリケーション「街灯これくしょん」(以降，当アプリ）を実装した．

以降では，3.1 節にてシステム構成，3.2 節にてインタフェースおよびゲーミフィケーションについて詳述する．

(注1)：https://www.ingress.com/
(注2)：https://ja.foursquare.com/
(注3)：https://www.apple.com/watch/
(注4)：http://eki.locky.jp/

表 1 「街灯これくしょん」システム構成

	サーバ	スマートフォン
OS	CentOS release 6.6	Android 4.0〜
データベース	MySQL Ver 14.14	SQLite 3.7.4〜
使用言語	PHP 5.5.18	Java 1.7〜

図 2 「街灯これくしょん」システム構成

表 3 「街灯これくしょん」メッセージ領域表示

メッセージ	状態	測定状態
ロギングを開始しよう！	測定を停止している	停止
位置情報を検索中...	現在位置を検索している	停止
歩きましょう！	停止中と認識されている	停止
ロギング中です...	測定を開始している	測定中
夜になったら始まるよ！	測定可能時間外である	停止

図 3 「街灯これくしょん」インタフェース

3.1 システム構成

当アプリのシステム構成を図 2 および表 1 に示す．当アプリはロギングを行うスマートフォンとデータを統括管理するサーバで構成される．データは HTTP により相互通信し，それぞれ内部データベースを持つものとする．測定されたセンサデータは，一度データベース内に保管され，通信確立時に逐次送信するため，オフラインでの測定も可能である．

なお，収集する端末情報およびセンサデータは表 2 のとおりであり，歩行方位と端末保持角度については地磁気センサと加速度センサを合わせて算出した方位角を使用するものとする．

3.2 インタフェースおよびゲーミフィケーション

当アプリのインタフェースを図 3 に示す．ロギングアプリケーションとして必要なインタフェースを図中赤字，ゲームアプリケーションとしてのインタフェースを図中青字で示した．以下に操作手順を述べる．

（1） 端末の GPS 機能を有効にする（高精度モード）．

（2） ログイン/新規登録する（初回起動時のみ）．

（3） 測定開始ボタンをタップする．

（4） メッセージ領域に「歩きましょう！」と表示されるまで待機する．

（5） 端末を片手に持った状態で歩行する（しばらく歩行すると「ロギング中です...」と表示され照度測定が開始される）．

（6） 端末を片手に持った状態を維持しつつ，街灯周辺を歩行する．

なお，夜間（18 時〜5 時）にユーザが歩行している場合にのみ測定が開始され，時間外や高速移動時（10 [m/s] 以上），停止時（0 [m/s]）には測定を停止する．メッセージ領域の表示と測定状態の対応を表 3 に示す．

当アプリでは，ユーザのモチベーション向上のために「スコア機能」および「ランキング機能」を実装した．まず，スコア機能は，ユーザの街灯収集状況や行動に応じ，スコアが上昇することで，ユーザの収集意欲を高め，積極的なプレイを促す仕組みである．本システムで取り扱うスコアを以下に挙げる．

- 歩行距離
- 歩行面積
- 収集した街灯数（合計数，ユニーク数）

次に，ランキング機能は，データの収集量に応じてユーザのランキングがつくことで，ユーザがお互いに意識・競争しながらプレイすることが可能な仕組みである．なおランキングは前述のスコアに基づき，式 1 により算出される総合スコアにより決定する．本研究ではより網羅的に多くの街灯を収集することが望ましいため，面積と街灯数の比重が大きいスコア算出式となっている．

$$
\begin{aligned}
(\text{スコア}) = {} & 0.01 \times \left(\sqrt{(\text{歩行面積})} + \sqrt{(\text{歩行距離})} \right) \\
& + (\text{合計街灯数}) + (\text{ユニーク街灯数}) \\
& + (\text{貢献指数})
\end{aligned} \tag{1}
$$

$$
(\text{貢献指数}) = 10 \times \frac{(\text{合計街灯数})}{(\text{歩行距離})} \tag{2}
$$

表 2 「街灯これくしょん」で収集するデータ

項目名	収集データ仕様	用途
端末情報	型番, OS バージョン, 製品番号	データ整理・解析時の分類
時間	UNIX Time	距離系列への変換
GPS（位置情報）	緯度，経度，速度，精度	街灯位置の推定
照度センサ	照度	街灯照度の推定
加速度センサ	X,Y,Z 軸加速度	スマホ保持角度の推定
地磁気センサ	X,Y,Z 軸地磁気	歩行方位の推定
近接センサ	距離	照度センサの隠蔽状態の検知
ジャイロセンサ	X,Y,Z 軸回転角	スマホ保持角度の推定

図 4　Android バージョンの割合

図 5 「街灯これくしょん」の利用状況

4. 不特定多数のユーザによる照度収集実験と結果および考察

不特定多数のユーザによる照度測定データを収集するため，当アプリを GooglePlay に公開し，2014 年 12 月〜2015 年 3 月の約 4ヶ月間に渡り実証実験を行った．なお，実験フィールドには制限を設けず，またユーザの自然な測定状況を得るため，端末保持角度や歩行ルート，歩行速度などはユーザの任意で設定できるものとした．

実験の冒頭約 1ヶ月間において，ユーザ数 101 人，デバイス数 124 台，301 時間分のデータが収集された．ここで，照度収集アプリ内においてユーザスコア算出のために用いた簡易的な街灯検知（一定間隔のパルスを計数する方法）による抽出街灯数は，12,846 サンプルであった．しかしながら，これらのデータには街灯照度測定値ではない，つまり不適切なデータも含まれると考えられる．そこで，これらのデータに対し，著者の先行研究 [3] に基づき，街灯下通過時データを抽出した上で各街灯ごとに分離，距離系列データへと変換した結果，10,777 サンプル，つまり 80% が解析に利用可能であるデータとして抽出できた．なお，ユーザが利用している Android デバイスの OS バージョンの割合は図 4 に示すとおりであった．

次に，当アプリの利用状況を図 5 に示す．アプリ公開当初はインストールユーザ数は増加傾向にあったものの，1 月頃からインストールユーザ数の増加は緩やかとなり，さらにインストールユーザ数の減少が見られる．このことから，ユーザに継続的な利用を促す仕組みが不足していると考えられる．

図 6 「街灯これくしょん」新インタフェース

5. 利用状況を踏まえたゲーミフィケーション改善

前述のとおり，参加するモチベーションを高める工夫は現状では不足していると考えられるため，さらにユーザの参加意識を向上させるために，図 6 に示す，新しいインタフェースを実装した．新しいインタフェースでは，ゲーミフィケーション要素として新たに「地図への重畳表示（オーバレイ）機能」および「バッジ（勲章）機能」,「ランキングの一覧機能」を追加実装した．

地図への重畳表示（オーバレイ）

3 章で提案したアプリでは，ユーザが歩行することにより収集した街灯情報のフィードバックが「スコア」だけであるため，

図 7　リアルタイムな表示反映の例（新規街灯取得時）

図 8　バッジ一覧の例

ユーザは実績の積み上がりを体感することが難しいと考えられる．そこで，インタフェースに地図を導入し，ユーザが収集した情報をリアルタイムに反映する重畳表示機能を実装した．地図上に付加される情報については図 6 に示すとおりである．これにより，図 7 に示すように，ユーザ位置や既取得街灯位置などを動的に付加していくことが可能である．

バッジ（勲章）

ユーザが継続的にセンシングに参加するためには，瞬間的なモチベーション向上の仕組みだけでは不十分である．そこで，継続的なモチベーション向上を図るための仕組みとして，図 8 に示すように，データの収集量に応じてバッジを付与，収集欲や達成感を与える機能を実装した．この機能は，一度収集して終了するだけでなく，図 9 に示すように，収集量によってバッジのレベルが上昇する．

ランキング一覧

3 章で提案したアプリでは，ユーザ自身の順位を表示するのみに留まっていた．しかしながら，前後のユーザの情報が不明であるため，ユーザの競争心を高めるには不十分であると考えた．そこで，図 10 に示すように，ランキング一覧表示し，順位に加えて各ユーザのスコアを表示する機能を実装した．

このように，ユーザの継続的かつ意欲的なセンシングへの参加を促す仕組みを実装した．今後は新たにゲーミフィケーションを実装した「街灯これくしょん」にて，不特定多数のユーザを対象とした実験を行い，ユーザの利用状況を調査，モチベーションを高める要素がどこにあるかについて追求していきたい．

図 9　バッジの例（Walker）

図 10　ランキング一覧の例

6. ま と め

本研究では，スマートフォン搭載照度センサを用いてユーザ参加型センシングにより街灯照度を収集，集合知を形成することによる，夜道の安全判定手法を検討している．ユーザ参加型センシングにおいては，多くのユーザが継続的かつ意欲的に参加する仕組みを構築することが不可欠である．

そこで，ユーザのモチベーションを向上させる仕組みとして，「街灯これくしょん」にスコアおよびランキングを実装し，一般に公開し，不特定多数のユーザにより照度データを収集する

実験を行った．インストール後のユーザの利用状況を調査し，現状のゲーミフィケーションでは不十分であるという結果が得られた．その結果を元に，バッジ（勲章）や地図への重畳表示（オーバレイ）などのゲーミフィケーション要素を追加実装することによりアプリケーションの改良を行った．

今後は，改良を施したアプリケーションによる，不特定多数のユーザを対象とした実証実験を行い，ユーザの利用状況を調査，モチベーションを高める要素を追求する．

謝辞　本研究の一部は，戦略的情報通信研究開発推進事業 (SCOPE) で得られた知見を利用したものである．ここに記して謝意を示す．

文　　献

[1] 日本防犯設備協会 技術部会規格調査委員会，“防犯灯の照度基準,” 日本防犯設備協会技術標準 SES E 1901-3，pp.1–9，2012.

[2] 日本工業標準調査会，“照度測定方法,” JIS C 7612:1985，pp.1–17，1985.

[3] 松田裕貴，新井イスマイル，“スマートフォン搭載照度センサの集合知によるセンサ入光特性を考慮した夜道の安全性判定システムの構築,” マルチメディア，分散協調とモバイルシンポジウム 2014 論文集，第 2014 巻，pp.966–974，2014.

[4] N. Oded, “What motivates wikipedians?,” Communications of the ACM, vol.50, no.11, pp.60–64, 2007.

[5] 矢野幹樹，岩崎陽平，河口信夫，“駅.locky: 無線 lan 位置推定を用いた時刻表アプリの開発,” 全国大会講演論文集，vol.72，pp.289–290，mar 2010.

[6] Y. Ueyama, M. Tamai, Y. Arakawa, and K. Yasumoto, “Gamification-based incentive mechanism for participatory sensing,” IEEE CROWDSENSING 2014 (First International Workshop on Crowdsensing Methods, Techniques, and Applications) in conjunction with IEEE PerCom 2014, pp.98–103, 2014.