

## センサの帯同場所を考慮した個人参加型センシングのための 環境センサモジュールと基盤ソフトウェア

村田 哲史<sup>†</sup> 細川 茂樹<sup>†</sup> 薛 媛<sup>†</sup>  
河内 智志<sup>†</sup> 藤波 香織<sup>†</sup>

近年のスマートフォンの高性能化は目覚ましく、搭載センサの種類も増加傾向にある。それに伴い、スマートフォンを個人参加型センシングの計測センサとして利用するケースが増えてきている。しかし、その場合には、スマートフォン端末の帯同場所が大きな問題となる。例えば、温度や湿度などは帯同場所によって得られる値の傾向が変わり、正しい計測が行えない可能性が考えられる。本稿では、センサの帯同場所を考慮した新たな個人参加型センシングシステムを提案する。また、環境情報を Android 端末でセンシングするための USB 接続型モジュール TALESEA の実装と消費電力に関する評価について述べる。そして、応用例として温度・湿度計測時のセンサ帯同場所をメタ情報として付加し、地図上で熱中症警告レベルを可視化するマップシステムについて述べる。

## Design and Implementation of Environmental Sensing Module and Middleware for On-body Placement-Aware Human Probe

SATOSHI MURATA,<sup>†</sup> SHIGEKI HOSOKAWA,<sup>†</sup> YUAN XUE,<sup>†</sup>  
SATOSHI KOUCHI<sup>†</sup> and KAORI FUJINAMI<sup>†</sup>

In recent years, various sensors are embedded into a mobile phone. Researchers in a Participatory Sensing community gradually begin to utilize a smartphone as an environmental sensing device because it allows users to participate sensing easily. However, on-body placement of a sensor is critical issue if we utilize a smartphone as a sensor. For instance, temperature or humidity values are affected significantly by on-body position of a sensor. In this paper, we propose a new participatory sensing paradigm that considers on-body placement of a sensor. A heatstroke alert map that visualizes a risk of heatstroke by taking into account on-body position of a sensor is implemented. Additionally, we introduce TALESEA, which is an external environmental sensing module for an Android smartphone.

### 1. はじめに

近年のセンサ技術や MEMS の発達により小型で帯同可能なセンサデバイスが登場し、多数の参加者の持つセンサによって大量に情報を蓄積し共有する個人参加型のセンシングパラダイム（ヒューマンプローブ）が注目を集めている<sup>1)~3)</sup>。また、スマートフォンの高機能・高性能化も急速に進んできており、それに伴ってスマートフォンを環境計測センサとして活用したヒューマンプローブの研究も増えつつある<sup>4)~7)</sup>。これは、普及率が高くユーザが日常的に利用する機器を用いることで、専用のセンサを帯同せずに計測への参加が可能になり、その粒度が上がるためである。

本稿ではさらにセンサの帯同場所を考慮した上で環境センシングを行う新たなヒューマンプローブシステムを提案する。これにより、スマートフォンを計測センサとして利用した場合の帯同場所の自由度が引き起こす問題を解決することができ、高精度・高信頼なヒューマンプローブの実現が期待される。

本論文の構成について述べる。2 節では、関連する既存研究について説明し、3 節にてセンサ帯同場所適応型のヒューマンプローブについての提案を行う。4 節では、Android 端末のセンサ機能を拡張し、日常利用において多様な環境情報の計測を可能にする Android 端末向け環境計測モジュール TALESEA の開発について述べる。そして、提案コンセプトの応用例として、個人参加型の熱中症警告マップシステムの実装について 5 節で解説する。また、それらのフレームワークや API など、アプリケーション開発者に提供される支援

<sup>†</sup> 東京農工大学 工学府 情報工学専攻  
Department of Computer and Information Sciences,  
Tokyo University of Agriculture and Technology

環境についても述べる。6 節にて今後の展望を述べ、7 節で本論文をまとめる。

## 2. 関連研究

近年のスマートフォンの高性能化や内蔵センサの増加により、スマートフォンを計測用センサとして活用したヒューマンプロブの研究が多く行われている。

例えば、齊藤らはスマートフォンを自転車に装着して走行状態を認識し、収集データを参加者間で共有するシステム sBike を開発した<sup>4)</sup>。sBike では、計測参加への容易さを実現させるため、特殊なセンサを自転車に装着するのではなく、スマートフォンのみを利用して計測を行っている。また、傘に取り付けた加速度センサとスマートフォンを無線通信させることで個人参加型の天気マップを作成するシステム<sup>5)</sup>もある。

上述の既存研究では、計測用センサが何らかのデバイス（自転車、傘など）に設置されるためセンサの帯同場所の自由度は低い、もしくは計測に無関係であると言える。一方で、スマートフォン単体、または端末に直接計測センサを接続することで、ユーザが日常的にスマートフォンを帯同しながらヒューマンプロブを行うことを目指した研究もある。例えば、Miyaki, et al.<sup>6)</sup>の開発した Parasitic Ambient Logger には CO<sub>2</sub> や温度などの環境計測センサが搭載されており、都市の環境情報を収集し可視化するアプリケーションを開発している。しかし、この研究では、モジュールが接続された端末の帯同場所を考慮していないため、計測結果にはユーザごとに誤差が生じることが予想される。また、Eimanm, et al.<sup>7)</sup>の開発した MobGeoSen システムでは、スマートフォン内蔵のマイクロフォンを用いて騒音を収集し可視化する。しかし、この研究においても、端末の帯同場所に関する深い考慮はされておらず、計測された音情報は帯同場所によって特性が異なると考えられる。これらの既存研究に対し、我々はセンサ（端末）の帯同場所を考慮したうえで環境計測と共有を行う新たなヒューマンプロブを提案する。

## 3. センサ帯同場所適応型ヒューマンプロブシステムの提案

### 3.1 スマートフォン利用時の問題点

近年の技術発展が目覚ましいスマートフォンを利用したヒューマンプロブはその普及率の高さや常時帯同が可能であるなどの点から実用可能性の面において大きな利点を持つ。しかし、スマートフォンを計測センサとして用いた場合の問題点として、帯同方法の自由度が高く、計測データに対して影響を与え得ることが挙げられる。例えば、加速度、角速度、音、温度、

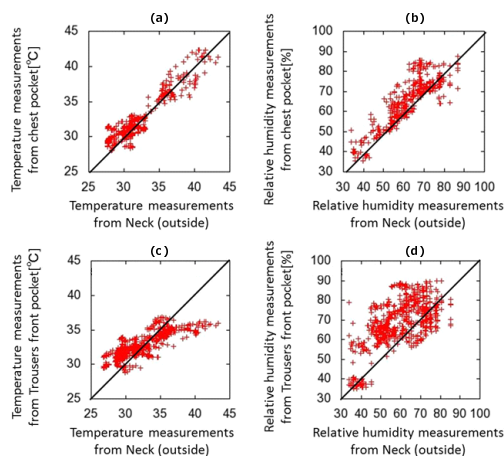


図 1 格納場所による計測温度・湿度の比較  
上段：首と胸ポケット ((a) 温度, (b) 湿度)  
下段：首とズボン前ポケット ((c) 温度, (d) 湿度)  
Fig. 1 Comparison of Temperature and Humidity Sensor Readings Between Neck (Outside) and Chest Pocket/ Trousers Front Pocket

湿度、紫外線などの環境情報は端末をどこに帯同するかによって計測結果の傾向が変わり得る。一例として、温度と湿度値のセンサ帯同場所による違いを図 1 に示す。本データは、2011 年 8 月に屋外において首、胸ポケット、ズボン前ポケットの 3 種類の帯同場所で温度湿度を計測した結果である（被験者 6 名）<sup>8)</sup>。

図 1 上段は首と胸ポケットによる (a) 温度と (b) 湿度の分布、下段は首とズボン前ポケットによる (c) 温度と (d) 湿度の分布を示している。これらのグラフは値の縦軸と横軸の対角線上に近いほど、帯同場所別の違いが小さいことを意味している。図 1 の結果から、帯同場所によって計測される温度湿度が異なる傾向があることが分かる。このような傾向の違いは集められた大量のデータによって蓄積され、計測の精度や信頼性を著しく低下させることが予想される。よって、スマートフォンのように帯同方法が自由なセンサデバイスをヒューマンプロブにおいて扱う場合、センサ（端末）の帯同場所を考慮することが必要となる。

### 3.2 システムデザイン

前節で述べた問題点に対し、本研究では各ユーザが保有する携帯端末の帯同場所を考慮した上で計測結果を利用する「センサ帯同場所適応型ヒューマンプロブシステム」を提案する。提案システムの内容を図 2 により説明する。システムは主としてユーザの保有するスマートフォン、センサデータ共有プラットフォーム、情報共有プラットフォームという 3 要素から構成される。スマートフォン上では、対象センサによる環境計測

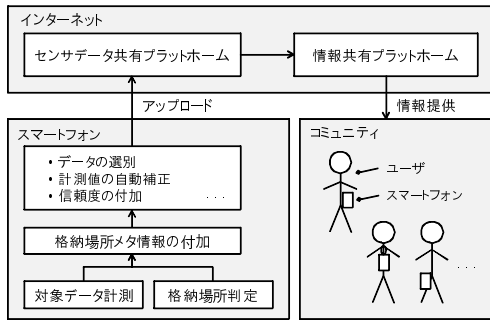


図 2 センサ帯同場所適応型ヒューマンプローブシステム  
Fig. 2 Basic Framework of an On-body Localization-Aware Human-Probe System

が行われる。また、それとは独立に端末内蔵のセンサによる帯同場所判定処理が行われる。判定された帯同場所情報はメタデータとして計測データとともに利用することができる。これにより、アプリケーション開発者は、特定の帯同場所で計測されたデータのみを利用し、それ以外のデータは除外する仕組みの導入が可能となる。また、帯同場所に応じて処理を動的に変化させ、計測結果を自動補正することや、計測結果に対する信頼性の情報を新たに付加することも実現できる。

帯同場所メタデータを用いて特定の処理を施された計測データは、インターネット上のセンサデータ共有プラットフォームに送信され、蓄積される。そして、情報提供プラットフォームを介して蓄積された計測データを可視化し、参加者への情報提供を行う。

帯同場所判定処理では、歩行中の加速度データ (25Hz) からウィンドウを生成 (256 サンプル, 25% オーバーラップ) し、合計 29 種類の特徴量を抽出してニューラルネットワークにより学習を行う。現状では、首 (ネクストラップ)、胸ポケット、ジャケットポケット、ズボン前/後ポケットの身体上 5ヶ所について分類を行うことが可能である。なお、10 分割交差検定法による実験評価から歩行者本人のデータを学習、分類した場合には平均 91.0%、歩行者グループのデータを用いて学習と分類を行った場合には平均 72.3%の精度で 5 クラスを判定できることが分かっている<sup>9)</sup>。

#### 4. 小型環境計測モジュール TALESEA

##### 4.1 開発目的と機能概要

近年、スマートフォンの搭載センサの種類は増加傾向にある。しかし、温度や湿度、紫外線、ガスなどのセンサは搭載されておらず、現状ではマイクロフォンや輝度センサ程度である。そこで、Android 端末向け外部環境計測モジュール TALESEA (Tiny, Adjunctive and

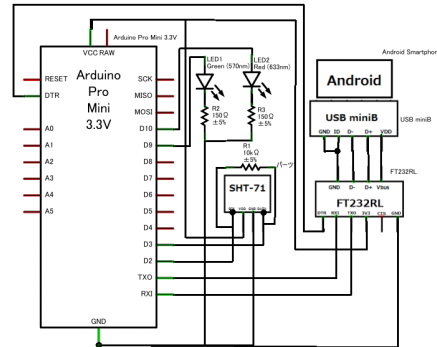


図 3 TALESEA の回路構成図  
Fig. 3 Circuit Diagram of TALESEA

Lightweight Environmental-Sensing for Extending Android: テレサ) を開発し、環境計測ヒューマンプローブにおけるセンサとして利用することとした。今回は提案コンセプトの応用例として、熱中症やインフルエンザなど環境リスクを計測するシステムの実現に向け、温度湿度センサを搭載することとした。

TALESEA は制御用マイコンおよび温度湿度センサから構成され、Android 端末との通信を行う。通信形態に関しては、無線ではなく USB による直接接続とした。その理由として、無線通信を用いる場合、服を替える際の移し忘れが起こり易いと考えたためである。

##### 4.2 ハードウェア構成

図 3 に TALESEA の回路構成図を示す。マイコンには小型で制御が容易な Arduino Pro-mini (3.3V, 8MHz) を用いており、小型 USB シリアルアダプタ (FT232RL 搭載) およびマイクロ USB 端子コネクタと接続されている。温度湿度センサには、高い計測精度を持ち、かつ小型である Sensirion Inc. SHT-71 を選択した。また、チップ LED によって稼働状態 (計測中/エラー発生) を可視化する。

図 4 に TALESEA の外観を示す。寸法は 30×48×15 mm、重量は 19 g である。ケースについては軽量かつ頑丈なものが必要であるため、厚さ 1mm の硬質塩ビ版を直方体に加工した。

##### 4.3 ソフトウェア構成

Android 端末と制御用マイコンの通信には、Android OS 3.1 以降で提供されている USB ホストモードを利用している。TALESEA のソフトウェア構成を図 5 に示す。計測制御用のアプリケーションは Android プラットホームにおける「サービス」として存在し、バックグラウンドでモジュールとのシリアル通信を行う。FT232RL を認識し通信処理を行うプログラムである FTDriver を介して計測制御サービスから

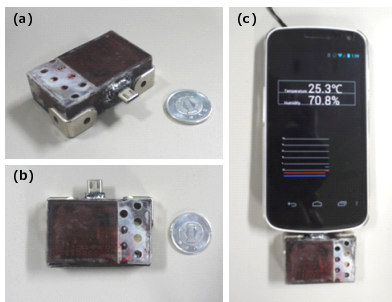


図4 (a), (b) TALESEA 外観, (c) Android 端末装着時  
Fig.4 (a), (b) Appearance of TALESEA and (c) an Android Terminal Connected with TALESEA

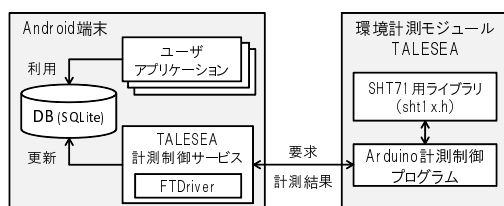


図5 TALESEA のソフトウェア構成  
Fig.5 Software Components of TALESEA

制御用マイコンへ計測要求が送られる (10 sec 間隔) と、制御用マイコンは SHT-71 用ライブラリを介して温度湿度センサにアクセスし、計測を開始する。その際には、平滑化のため 1 sec 間隔で計測結果 10 回分の平均値を返信する。計測された最新の温度湿度データは Android のコンテンツプロバイダ API を介して DB (SQLite) に格納される。

また、TALESEA 計測制御サービスが提供する URI を用いて DB にアクセスすることで、ユーザアプリケーションから、計測された温度湿度データを利用することができる。その際には、温度・湿度値へのアクセス用 API を提供しているため開発者は DB へのアクセスを意識することなく情報の取得が可能である。

#### 4.4 消費電力評価実験

TALESEA と帯同場所判定機能を利用したセンサ帯同場所適応型ヒューマンプロープにおける基盤ソフトウェア部分の消費電力を調査するため、計測実験を行った。Android 端末として Samsung Inc. の Galaxy Nexus (Texas Instruments OMAP4460 CPU 1.2GHz, バッテリ 1750mAh) を選択し、各処理を独立して稼働させた状態と全機能を稼働させた状態で消費電力を計測した。具体的には、モジュールへの電源供給、モジュールへのポーリング、Web サーバへのアップロード処理 (3G 回線)、位置計測 (GPS, 20sec 間隔)、帯同場所判定処理、および全機能稼働の

表 1 基盤機能の消費電力

Table 1 Electricity Consumption of Middle-ware

機能	バッテリー減少率/h
モジュールへの給電	13.7%
モジュールへのポーリング	0.1%
アップロード処理 (3G 回線)	8.5%
GPS 計測 (20sec 間隔)	5.5%
帯同場所判定処理	9.2%
全機能を稼働	37.0%

6 種類である。なお、消費電力の計測には、Android 搭載の API を用いてバッテリー残量 (単位: %) をテキストファイルに出力するアプリケーションを用いた。計測時間は 1 時間とし、バッテリーの減少は線形であると仮定して計測終了時のバッテリー残量の減少率を比較した。表 1 に結果を示す。

表 1 より、全基盤機能を稼働させた場合には 1h あたり 37.0% のバッテリーを消費し、概算では 3 時間弱でバッテリーが切れることが予想される。よって、現状の提供機能による消費電力は高く、日常利用においてバッテリーがもたなくなる可能性が示唆された。次に、その内訳を見てみると、最も消費電力が大きいのはモジュールへの電源供給であることが分かる。また、帯同場所判定処理の消費電力が 1/4 を占めており、次いでサーバへのアップロード処理の減少率が大きいことが確認できる。モジュールへの給電に関して、構成部品の消費電流を調査したところ、温度湿度センサ (測定中 0.55mA) に比べてマイコン本体 (40mA per I/Opin) と USB シリアルアダプタ (最大 50mA) の消費電力が大きいことが分かった。今回の実験から明らかになった消費電力の高い処理機能について、今後、低消費電力化の仕組みを検討していく予定である。

## 5. 熱中症警告マップシステム

### 5.1 システム概要

本節では、TALESEA を活用した環境計測ヒューマンプロープの応用例について述べる。本研究では単なる値だけでなく、インフルエンザや熱中症などの環境リスクの計測を行うシステムの実現を目指す。その一例として、本稿ではセンサ帯同場所を考慮した個人参加型の熱中症警告マップシステムを紹介する。

熱中症警告マップシステムの構成について説明する。本システムでは、Android 端末に装着した TALESEA により計測された温度湿度データに対し、帯同場所判定で識別された計測時の帯同場所メタ情報が付加される。メタ情報が付与された計測データはインターネット上に蓄積され、それらを地図上で可視化することで利用者間での情報共有が行われる。

### (1) 熱中症警告指標

熱中症とは、暑熱環境下で体内の水分や塩分のバランスが崩れることで発生する障害のことであり、めまいや頭痛、吐き気を引き起こす。消防庁の調査によれば、2010年度の7月～9月の期間に全国で53,843人が熱中症で病院に搬送されている<sup>\*</sup>。

熱中症の危険度を表現する場合には、WBGT(Wet-Bulb Globe Temperature: 湿球黒球温度)<sup>\*\*</sup>と呼ばれる指標が使われる。WBGTは黒球温度、乾球温度、湿球温度によって決定される指標である(単位: °C)が、装置の大型化のため、市販のポータブル熱中症指標計では気温と湿度による近似算出が一般的に用いられている。熱中症危険度は、このWBGTの値によって5段階のレベルに分けられている。今回実装を行った熱中症警告マップにおいても、WBGT値の近似を行い熱中症危険度を算出する。

### (2) 熱中症警告に対する帯同場所情報の活用

Android 端末上では、TALESEA を介した温度湿度値の収集および内蔵加速度センサによる帯同場所判定が行われる。温度湿度値はWBGT値に変換されるが、3.1節で述べたようにこれらの値は端末の帯同場所によって誤差を含む。そこで、得られた帯同場所情報をもとに、WBGT近似値に対して特定の処理を施すことで、熱中症警告マップの精度や信頼度を向上させることを目指す。

帯同場所情報の利用方法としては、場所に応じたWBGTの自動補正や首での計測データのみを利用することなどが考えられる。しかし、現状では計測データ数が少なく、また、衣服や個人差の影響について明らかにされていないため、より詳細な計測実験が必要となる。そこで、今回はより簡易的に帯同場所情報を活用することを目的として、WBGT値から算出された熱中症危険度レベルに端末の帯同場所情報を付加したうえでマップ上に可視化する方法を選択した。この手法では、直接的に熱中症警告マップの高精度化には繋がっていないが、ユーザが計測された情報に対して信用するかどうか判断するための材料を提供しており、帯同場所メタデータがなければ実現できない信頼度向上のための仕組みの一例であると言える。

### (3) 計測データのアップロード

端末の格納場所メタデータが付加された熱中症警告

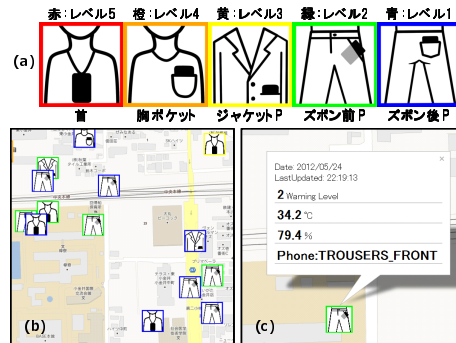


図6 (a) アイコンデザイン, (b) 可視化された熱中症警告マップ, (c) アイコンクリック時の詳細情報  
Fig. 6 (a) Design of Visual Icons, (b) Visualization of Heatstroke Alert on GoogleMap and (c) Detailed Information that is Displayed When a User Click

レベルを含む計測情報はインターネット上のセンサーデータ共有プラットフォームにアップロードされ、蓄積される。今回はフリーのセンサーデータ共有プラットフォームであるPachube<sup>\*\*\*</sup>を利用した。Pachubeでは、計測位置や温度湿度、WBGTなどのデータ群が保持される。Pachubeへデータを転送する際にはjPachubeと呼ばれるJava言語用APIを利用した。

### (4) 熱中症警告レベルの可視化

Pachubeに蓄積された計測情報はGoogleMapを用いて可視化され、参加者に情報共有される。GoogleMap上では、WBGT値に応じて定義された5段階の熱中症警告レベルをデータが計測された位置に色枠付きのアイコンで表現する(図6(a))。アイコン枠の色に関しては、熱中症警告レベルの各段階を5種類の色で表わすこととした(レベルが高いほど危険度が高い)。図6(b)(c)は、実際にGoogleMap上で可視化された熱中症警告マップの様子である。各アイコンは枠の色によってその計測地点の熱中症警告レベルを示し、同時にアイコンに描かれたイラストにより計測時の端末帯同場所を表現している。

### 5.2 APIの利用例

熱中症警告マップの実装にあたり、TALESEAおよび帯同場所判定機能から提供されるAPIの利用例について図7を用いて説明する。

図7内の下線部が基盤ソフトウェアから提供されたAPIを利用している部分である。1行～5行目は、PhonePosHandlerクラスを実装し、ハンドラを帯同場所判定サービスに渡すことで結果を受け取る処理を示している。また、8行目では温度湿度DBへアクセス

<sup>\*</sup> 総務省消防庁: 熱中症情報, [http://www.fdma.go.jp/neuter/topics/fieldList9\\_2.html](http://www.fdma.go.jp/neuter/topics/fieldList9_2.html) (2012/05/25 閲覧).

<sup>\*\*</sup> 国立環境研究所: 熱中症予防情報, <http://www.nies.go.jp/wbgt/note.html> (2012/05/25 閲覧).

<sup>\*\*\*</sup> Pachube, <https://pachube.com/> (2012/05/25 閲覧).

```

1: private Handler handler = new PhonePosHandler() {
2:     public void onReceive(String pos, String com, double conf) {
3:         this.pos = pos;
4:     }
5: }
6:
7: public void run() {
8:     TALESEA talesea = new TALESEA();
9:     Pachube p = new Pachube(API_KEY);
10:    while(true) {
11:        long t0 = System.currentTimeMillis();
12:        talesea.accessDB();
13:        double tem = talesea.getTemperature();
14:        double hum = talesea.getHumidity();
15:        int level = calcHeatstrokeRiskLevel(tem, hum);
16:        p.sendToPachube(tem, hum, level, this.pos);
17:        waitInterval(10000, t0);
18:    }
19: }

```

図 7 TALESEA と帯同場所判定用 API を利用したコード例  
Fig. 7 A Snippet of Application-specific Code

スするための TALESEA クラスを実体化している。その後は、このインスタンスを用いて定期的に温度・湿度データを取得する。12 行目で一旦 DB へアクセスし、現在のデータをインスタンス変数に確保しており、13, 14 行目でデータ取得 API により値を得ている。図 7 のように、提供された API を用いることで帯同場所判定機能および TALESEA の計測データ取得は容易になる。これにより、アプリケーション開発者はセンサ帯同場所適応型ヒューマンプローブシステムを容易に開発することができる。

## 6. 今後の展望

4 節にて述べた計測実験より、本研究で開発した基盤ソフトウェアの消費電力量とその内訳が明らかになった。最も消費電力が大きかったモジュールへの電源供給に対しては、Arduino の持つスリープモードと呼ばれる機能を利用することで改善を図る。スリープモードは Arduino の持つ機能を一部制限することで電力削減を図る機能であり、外部割込みによって処理を再開することができる。加速度情報などに比べて温度湿度は高い計測頻度が要求されない情報である。そこで、計測と計測の合間にスリープ機能を適用し、一定間隔のタイマ割込みにより計測することでモジュールへの給電を抑える手法を実装する予定である。

本研究では、これらの手法を組み合わせることで提供機能の低消費電力化について検討を進める。具体的には、15 時間程度（バッテリー減少率 6.7%/h）のバッテリーの維持を目標とし、日常生活においてセンサ帯同場所適応型ヒューマンプローブのアプリケーションを利用可能にすることを旨とする。

## 7. おわりに

本稿では、スマートフォンを計測用センサに利用した場合の問題点である帯同場所の自由度に着目し、帯同場所判定を行った上で情報共有に利用する新たなヒューマンプローブシステムのコンセプトを提案した。そして、現状の Android 端末でも温度湿度センサが容易に扱える小型の環境計測モジュール TALESEA の実装と Android 用の API について説明した。

また、TALESEA を利用した環境リスク計測システムの一例として、熱中症警告レベルの可視化時にデータ計測時のセンサ帯同場所情報を活用する、個人参加型マップシステムの実装について述べた。今後は、ソフトウェア・ハードウェア両面から提供機能の低消費電力化の仕組みを考案するとともに、実装したマップシステムのユーザ評価実験を通じて、環境リスク計測におけるセンサ帯同場所適応型ヒューマンプローブの有効性について検証していく予定である。

謝辞 本研究は、科学研究費補助金（基盤研究 (A): 23240014）の助成を受けたものである。

## 参考文献

- 1) Jeff Burke, et al.: Participatory Sensing, In *Proc. WSW'06* (2006).
- 2) Andrew Campbell, et al.: People-Centric Urban Sensing, In *Proc. WICON'06*, pp.2-5 (2006).
- 3) Raghu Ganti, et al.: GreenGPS: a participatory sensing fuel-efficient maps application, In *Proc. MobiSys'10*, pp.151-164 (2010).
- 4) 斉藤祐樹, 他: sBike: 参加型センシングを志向したモバイルセンシングによる自転車走行状態収集・共有機構, *情報処理学会論文誌*, Vol.53, No.2, pp.770-782 (2012).
- 5) 安藤允人, 他: ヒューマンプローブによる降雨観測システム「Umbrella Map」, *インタラクショナル 2012*, pp.801-806 (2012).
- 6) Takashi Miyaki and Jun Rekimoto: Sensor-omy: Envisioning folksonomic urban sensing, In *Proc. Workshop on Ubicomp'08* (2008).
- 7) Eiman Kanjo, et al.: MobGeoSen: facilitating personal geosensor data collection and visualization using mobile phones, In *Personal and Ubiquitous Computing*, Vol.12, No.8, pp.599-607 (2008).
- 8) 薛 媛: 帯同場所に適応した高信頼な可搬型環境計測と危険警告に関する研究, *東京農工大学 工学府 平成 23 年度 修士論文* (2012).
- 9) Kaori Fujinami, et al.: Design and Implementation of an On-body Placement-aware Smartphone, In *Proc. Phonedom'12*, pp.69-74 (2012).