

# 小型PM2.5計測器の製作

○山崎 高幸<sup>A)</sup>、笹子 宏史<sup>B)</sup>、松見 豊<sup>C)</sup>

<sup>A)</sup> 教育・研究技術支援室 計測・制御技術系

<sup>B)</sup> 宇宙地球環境研究所 技術支援員

<sup>C)</sup> 宇宙地球環境研究所 教授

## 概要

PM2.5とは粒子直径が2.5マイクロメートル以下の微小粒子状物質であり、アジアの発展途上国の都市で非常に高濃度になり、健康被害を引き起していると報告されている。宇宙地球環境研究所の我々のグループがパナソニックと共同開発したPM2.5センサは、LEDを光源として使って散乱光の受光により識別する手法を取り入れた小型化センサである。我々はこのセンサを使った計測器の試作に取り組み、一人でも運搬・設置が可能なPM2.5計測器を製作した。この計測器は超小型コンピュータ「Raspberry Pi」を使ってデータ取得を行っており、無人で計測することが可能である。数百万円～千万円の大型の装置と較べて十分な精度を持っており、10万円以下の安価で小型なので国内・国外の様々な場所に設置することが可能である。これまで国内及びインドネシア、ベトナム、モンゴル、ロシア、インドに設置し、現地の協力者と協力して観測を実施してきた。本稿では、この計測器の製作とインドネシアでのPM2.5計測器の設置、また電池を使った携帯PM2.5計測器について紹介する。

## 1 はじめに

PM2.5とは微小粒子状物質(Particle Matter:略してPM)で粒子直径がおよそ2.5マイクロメートル( $\mu\text{m}$ )以下の大きさの大気中に浮遊する固体や液体の微粒子をさす。PM2.5は呼吸とともに肺の奥の肺胞まで到達し、体に取り込まれるので健康影響が懸念されている<sup>[1]</sup>。PM2.5の濃度を測定する連続大気粒子モニターとしてはベータ線吸収法やフィルタ重量法などがあり全国の環境測定局や研究観測に用いられている。しかしながら、これらの測定法の装置は、非常に高価であり、長時間の積算時間が必要である。そこで、我々はパナソニック(株)との共同研究により、手のひらに載る大きさの小型でリアルタイム計測のPM2.5センサ開発している<sup>[2]</sup>。福岡、愛知、東京など日本の各地で、この小型PM2.5計測装置と最寄りの自治体の測定局の大型装置の計測値との比較も行い高い相関係数を得ている。小型で簡便なPM2.5計測装置は学術・環境応用として、様々な可能性をもつ。一つは、都市域で高密度に測定器を数多く配置して測定する応用がある。PM2.5には様々な局所的な排出源があることが予測される<sup>[3]</sup>が、それに対応する計測が可能になる。もう一つは発展途上国でのPM2.5計測への応用があげられる。多くの発展途上国では、高濃度なPM2.5が大きな環境問題となり健康影響が非常に心配されている。しかし、発展途上国の遠隔地では、安全の確保が難しく高価な機材は設置が難しい、頻繁なメンテナンスのアクセスが困難であり、電力事情が悪いなど観測のインフラの悪条件がある。このような厳しい条件では高価なPM2.5計測装置での測定は困難である。今回開発した小型装置では、このような環境での測定が可能である。PM2.5の高濃度な地域の村々での観測は、疫学的な調査にも最適である。名古屋大学で行っている小型PM2.5計測器の特性を活かした計測応用装置やインドネシアなどの発展途上国への展開の紹介も行う。

## 2 小型PM2.5センサ

宇宙地球環境研究所の我々のグループは、大気微量気体成分や微粒子（エアロゾル）の化学組成や光学特性を高感度に分析する新しい測定装置を開発し、室内実験や実大気観測に応用する研究を行っている。今回 PM2.5 を計測するセンサを開発し小型化に成功した。



図1 PM2.5 センサ

#### PM2.5 センサ概要

- ・サイズは 50mm × 45mm × 22mm
- ・光散乱による計測を用いており、光源は LED を使用
- ・粒子に当たった散乱光を受光して、非常に小さい粒子の光散乱まで計測できる。
- ・パナソニック株式会社との共同開発
- ・空気清浄機に使われる。
- ・中央の窓は清掃用の窓である。

### 3 小型 PM2.5 センサを応用した計測器の試作

#### 3.1 Raspberry Pi によるデータ収集する PM2.5 計測器

製作している PM2.5 計測器のデータロガーには、Raspberry Pi（ラズベリーパイ）を CPU として使用している。ラズベリーパイは 2012 年に英国で誕生した名刺サイズの超小型コンピュータである<sup>[4]</sup>。最近の電子工作系の雑誌にも良く取り上げられており、OS はソフトウェアが充実している Raspbian（ラズビアン）が良く使われる<sup>[5]</sup>。我々の計測器に使ったモデル基本仕様等は以下の通りである。

使用モデル：Raspberry Pi 2 Model B V1.1 OS：ラズビアン

記録媒体：USB メモリ

表示：HDMI モニタ 9 インチモニター（SONICE 製）

電源：AC/DC[12V]コンバータ（FIRE STAR 製：W-T5000）[AC 100V～240V]



図2 製作した PM2.5 計測器

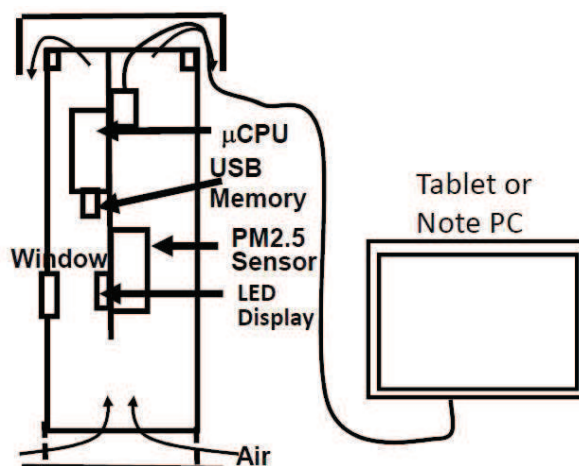


図3 システム概要図

今回の装置で求められた仕様は、発展途上国での計測を目標としているため、第1に簡便に動作する事である。これは我々自身が設置に行けないこともあるため、電源を入れたら動作しなければならない。次に一人でも設置に行けるという軽量性があげられる。図2のように片手で持てるサイズ（15cm×15cm×40cm）であり重さは2Kg程度（モニタを除く）である。

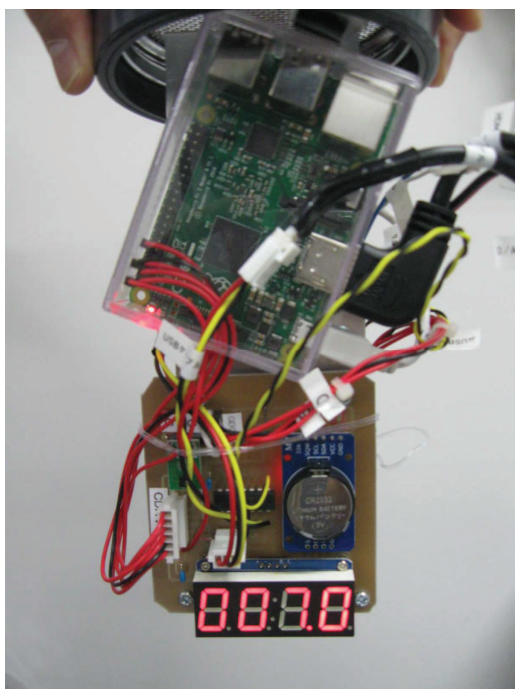


図4 ラズベリーパイ及び表示クロック

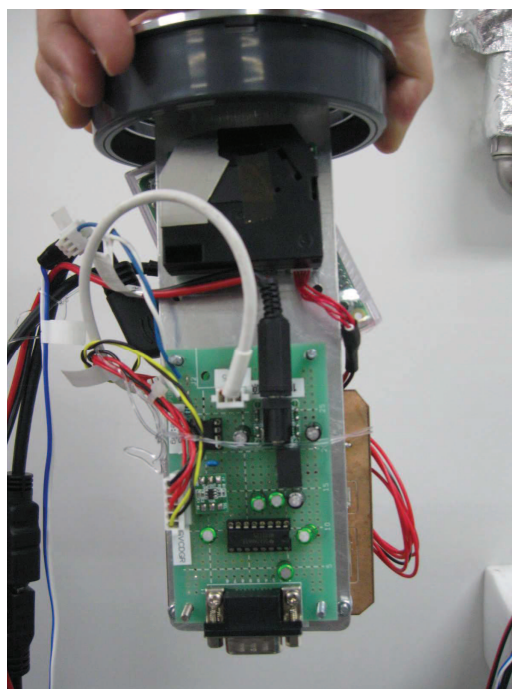


図5 センサ（上部）及びRS232C変換基板

### 3.2 ハードウェア

今回計測器で使用したICデバイス等は、表1の通りである。

表1. PM2.5計測器に用いた電子部品

	IC名称	メーカー	型番
表示クロック回路基板	温度・湿度計	SENSIRION	SHT-21
	ハードウェアクロック	Maxim	DS3231
	7セグメントLED表示器	Adafruit	HT16K33
RS232C変換基板	DC-DCコンバータ	MINMAX	M78AR05-0.5
	RS232C変換	Maxim	MAX232N
	D/Aコンバータ	Microchip	MCP4725
	オペアンプ	National Semiconductor	LM358N

電源は拡張基板で、12V-5V変換しラズベリーパイへ供給した。なお、発展途上国などの僻地では電源の供給が不安定である場所で測定することがあるので、太陽電池での駆動も可能としている。50cm角の太陽電池パネルとリチウム電池を使用して、開発したラズベリーパイ応用のPM2.5計測器を商用電源無しで数ヶ月連続運用している。また、低消費電力の特徴を生かして、無人で発電機なしの冬季の富士山の山頂や、乗鞍岳の山頂でのPM2.5計測をディープサイクルバッテリーで通年計測することを計画している。

### 3.3 表示回路基板・拡張基板

表1の表示回路基板（図4）は我々が作るラズベリーパイで動作する計測器に用いた電子部品であり、回路図は図8に示す。工夫したポイントは、直径12cmの塩ビパイプの中に収めること、7セグメントLEDを見

やすくしたことである。我々はいくつか試作を重ねており初期バージョンにはセグメント表示が無かった。モニタ表示は時折フリーズしていてもグラフがそのまま表示されており止まっていることが判りづらかったが、7セグメント LED 表示があることでリアルタイムに動作確認ができるようになった。今回紹介するタイプは拡張性を備えており、RS232C 変換基板 (図 5) には他の計測器での使用が可能なような IC を搭載しており、別途フィールドルーター<sup>[6]</sup>を購入してデータの転送ができるようになっている。また小型 PM2.5 センサは、UART 信号を出しておりパソコンでの計測も可能である。その為 USB シリアル変換ケーブル (図 6) を使用出来るように拡張端子を付けている (図 8 : CN2)。さらに、I2C<sup>[7]</sup>接続のデジタル信号からアナログに変換する D/A コンバータを搭載しているのでアナログログャーでの計測も可能となっている。



図 6 USB シリアル変換ケーブル (FTDI 社)

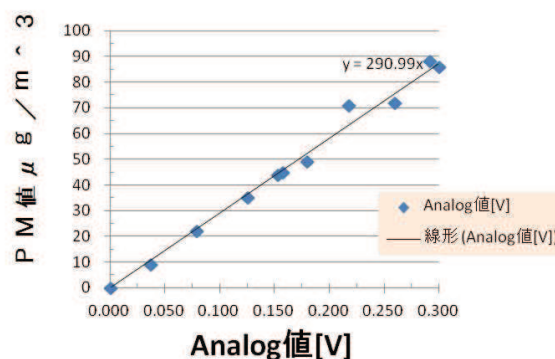


図 7 12bit D/A 変換の電圧-測定値実測図

### 3.4 動作プログラム

電源を入れるとラズビアン OS が起動し、プログラムを順次スタートする。起動時に、接続されている USB メモリを自動認識し、マウントする。この USB メモリはあらかじめ FAT32 で初期化され、/data フォルダを作成しておく必要がある。データはここに書き込まれる。7セグメント LED 表示器にはデータ取得を開始すると表示を始める。表示の下 1 桁はカウンタとしており正常動作時は計測値に関わらず増加していく。起動シーケンスの最後には、X Windows システム及びブラウザが自動的に起動する。ラズベリーパイの HDMI 出力に外部モニタが接続されている場合は、グラフ及び文字による出力表示がされる (図 10)。プログラムは Python で記述している。

### 3.5 動作確認

PM2.5 値及び温度・湿度を確認して、計測器の時刻合わせ及び PM2.5 値の検証を見て動作確認する。計測器の時刻合わせ、表示合わせ等とあわせて以下に箇条書きする。拡張機能のアナログ出力を測定し (図 7) RS232C 出力はパソコンに接続し Tera Term で確認した。

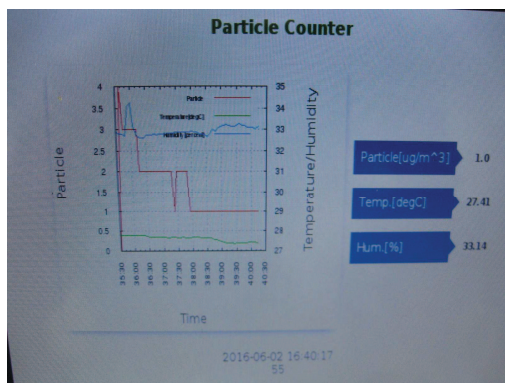


図 10 HDMI 出力した場合の外部モニタの表示



図 11 携帯 PM2.5 計測器

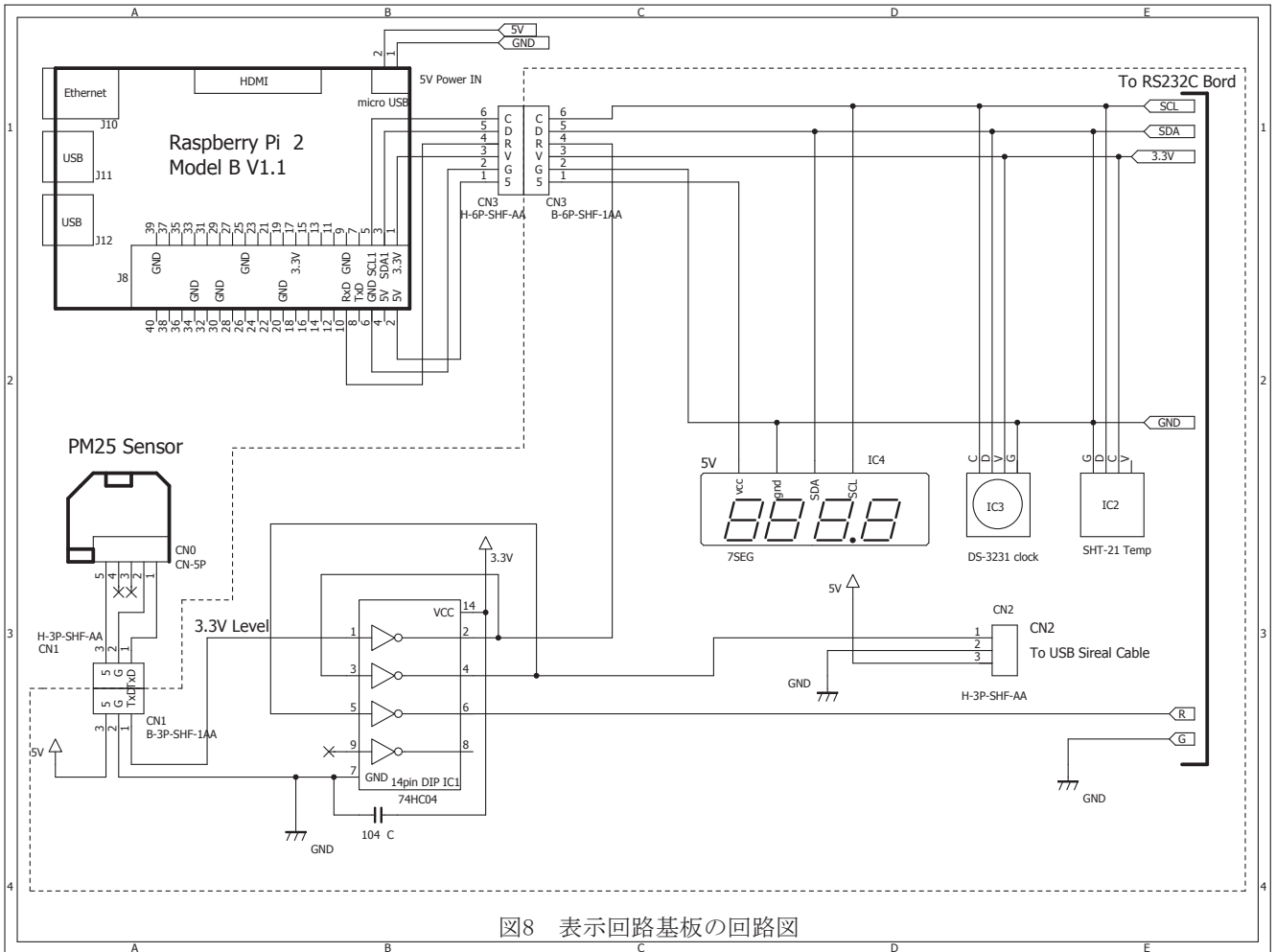


図8 表示回路基板の回路図

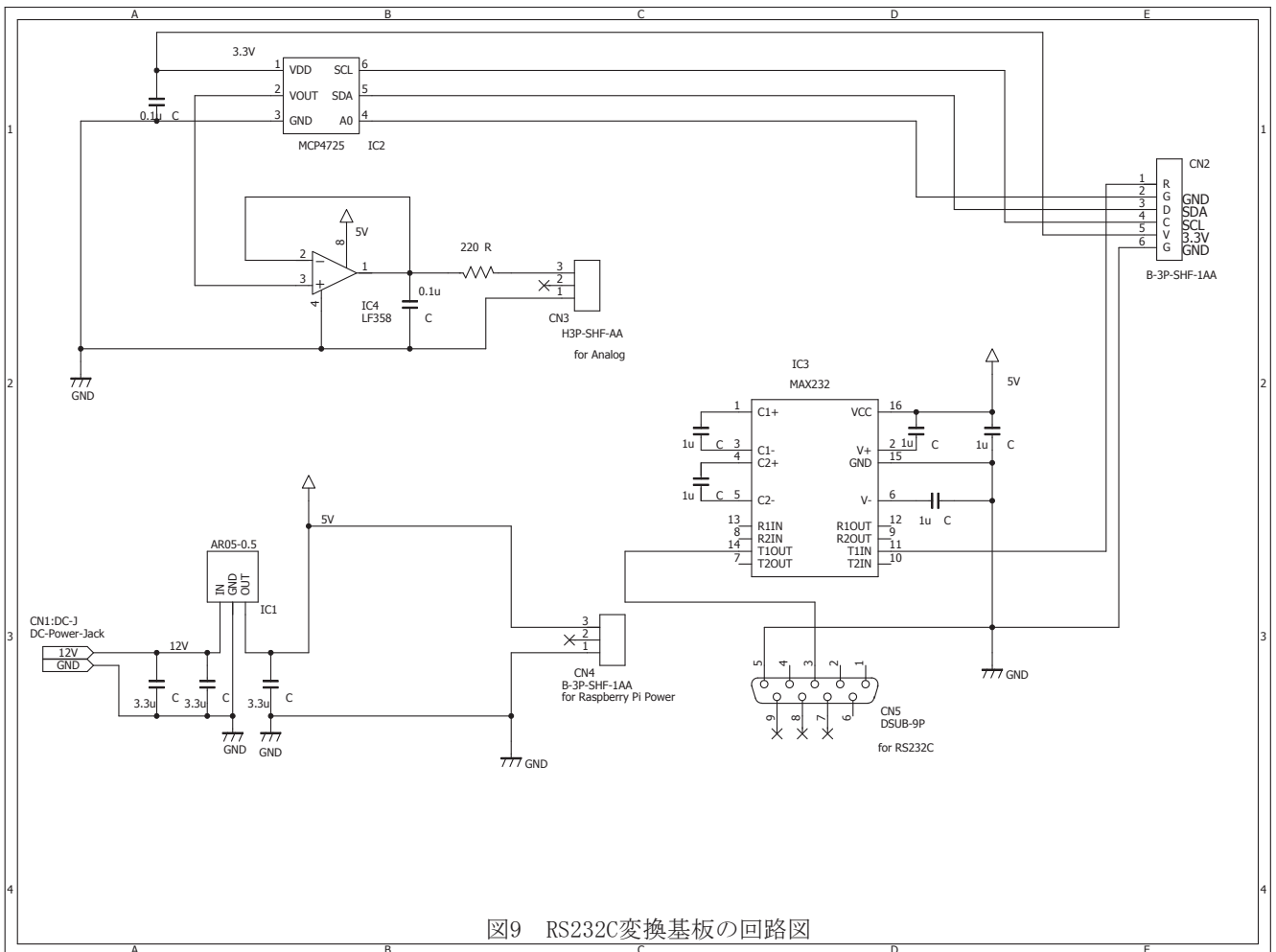


図9 RS232C変換基板の回路図

- 表示関係

ラズベリーパイを接続した HDMI モニタが HDMI ケーブルを 1m から、5m に変更したときにモニタに何も映らないという現象が起きた。下記のように設定する事で解決した。設定した書き換えは以下の通り。

/boot/config.txt を書き換えた。

```
hdmi_safe=1
framebuffer_width=800
framebuffer_height=480
```

- PM2.5 の値の妥当性

PM2.5 の値の妥当性は、近くのサイトの環境計測点（千種区鹿子殿 <http://pm25news.com/283>）や実験室の値と比較する。室内では PM 値は低く、計測値が小さい為強制的に線香を焚いて反応を見る事も行う。

- ハードウェアクロックの日時・時計あわせ

ハードウェアクロックの時計合わせは各計測器毎に行った。“root”でログインし、terminal を起動し、hwclock コマンドで時計合わせを行う。オプションに `--set --date` を追加することで行う。

```
#hwclock --set --date “dd mmm yyyy HH:MM” [dd: 日, mm: 月, yyyy: 西暦年]
#hwclock --hctosys
```

- イメージコピー

複数機製作するため、プログラム及びラズビアンを一体としてパソコンに一度イメージとしてバックアップを取り、それを各計測器の SD カードにコピーする事で機器を生産した。イメージコピーソフトは Win32DiskImager(Version:0.9.5)を使用した。

## 4 計測結果

### 4.1 データ補正

PM2.5 には大型の自動測定器を使った公定法<sup>[8]</sup>がありそれとの評価を行った結果高い相関が得られた<sup>[2]</sup>。データ補正はその結果を使う事で実際の PM2.5 質量濃度となる。つまり比重 1.4 を掛ける事により PM2.5 濃度値となる。

### 4.2 遠隔での設置先の動作確認

インターネットが使える場所では、設置先の動作確認を併設した Windows パソコンと Team Viewer (ver.11)<sup>[9]</sup>にて確認している。リアルタイムでデータを得るためには、ネットワーク環境がある事は必須である。有線の LAN が無い所は、Wifi の電波が来ていれば無線で繋げることになる。Team Viewer はインストール時 PC に自動で付加される 9 桁の ID で管理され、商用でなければ無料で使える。遠隔コントロール及びファイル転送に使っている。ラズベリーパイのインターネットからのデータ取得の機能の追加は、現在取組中である。インターネットの使えないところでは、ラズベリーパイの USB メモリに蓄積したデータを研究協力者が現地に行ったときに取得している。

### 4.3 海外での計測例

海外とくに PM2.5 が問題になっている発展途上国にこの PM2.5 計測器を設置している。これまで、インドネシア、ベトナム、モンゴル、インド、ロシアなどに設置して、現地の研究者と協力して PM2.5 のデータを取得している。マレーシア、タイでの設置を 2017 年 2-3 月に予定している。インドネシアのスマトラ島中部リアウ州のプカンバルでの計測の様子を示す。設置は、協力研究者に依頼した。現地に行く研究

者に東京で機器を渡し、使用方法を説明し設置をしてもらった。図 12 が現地 PC よりデータを転送して取得したデータ、図 13 がインドネシアのプカンバルの設置している様子である。インドネシアのスマトラ島ではパームヤシの焼き畑問題で、大気微粒子が大量に発生して、インドネシア国内のみならず、国際的に問題になっている。このような状況をきちんと定量的に捉えてその解決を目指すプロジェクトの一環として計測を行っている。

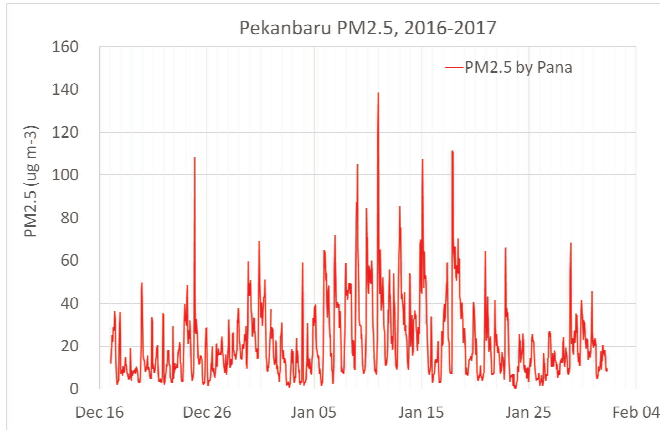


図 12 プカンバル（インドネシア）の PM2.5 値の実測



図 13 インドネシア観測サイト  
(スマトラ島プカンバル)

## 5 まとめ

今回小型 PM2.5 センサを使い Raspberry Pi による計測が行える計測器を製作した。応用としてリチウム電池でも動く携帯版 PM2.5 計測器も製作中（図 11）である。今後も更なる小型化を進めていく。PM2.5 の濃度が日本の環境基準上限の 20–30 倍程度まで上昇するアジアの発展途上国では PM2.5 の健康影響が焦眉の課題である。電源、設置場所、安全など計測条件が困難なこれらの国々で、本稿で紹介したような安価で簡便で精度のある PM2.5 計測器を多数展開して、PM2.5 の排出の原因解明と対策に役立てたい。

## 参考文献

- [1] 饒村 曜 “最新図解 PM2.5 と大気汚染がわかる本” ISBN-10: 4274504735 オーム社
- [2] 名古屋大学プレスリリース “小型で精度の高い大気中の微粒子(PM2.5)計測器による開発と実用化” ([http://www.nagoya-u.ac.jp/about-nu/public-relations/researchinfo/upload\\_images/20150806\\_stelab.pdf](http://www.nagoya-u.ac.jp/about-nu/public-relations/researchinfo/upload_images/20150806_stelab.pdf))
- [3] 畠山史郎、野口 亘 “もっと知りたい PM2.5 の科学” ISBN 978-4-526-07509-4 日刊工業新聞社
- [4] 金丸隆志 “Raspberry Pi で学ぶ電子工作～超小型コンピュータで電子回路を制御する～” ISBN978-4-06-257891-2 講談社
- [5] 石井モルナ・江崎徳秀 “みんなの Raspberry Pi 入門 [対応言語: Python] 第 2 版” ISBN 978-4-89797-994-6 リックテレコム
- [6] X-Ability 社 フィールドルーター <http://x-ability.co.jp/index.html>
- [7] I2C とは Inter-Integrated Circuit の略でアイ・スクエア・シー、アイ・ツー・シーと読むインタフェース ([http://www.neko.ne.jp/~freewing/raspberry\\_pi/raspberry\\_pi\\_3\\_gpio\\_enable\\_i2c/](http://www.neko.ne.jp/~freewing/raspberry_pi/raspberry_pi_3_gpio_enable_i2c/))
- [8] 環境省 J.Poole, et al, “微小粒子状物質曝露影響調査報告書”, 環境省 Homepage (<https://www.env.go.jp/air/report/h19-03/>)
- [9] Team Viewer ([www.teamviewer.com/](http://www.teamviewer.com/))