

[研究助成 (B)]

屋外作業員のための多方位からの紅斑紫外線リアルタイム計測用 IoT システムの実現

A Realization of an IoT system for real-time erythematic UV measurement from
multiple directions for outdoor workers



2211901

研究代表者	東京電機大学 大学院未来科学部 情報メディア学研究科	准教授	岩 井 将 行
共同研究者	大同大学 建築学科学研究科	教 授	渡 邊 慎 一

[研究の目的]

紫外線は長期間にわたってばく暴露することで皮膚がんや白内障、翼状片などの発症可能性を増加させるため、特に屋外活動ではばく露量を適切に管理することが必要である。しかし日本における紫外線対策に対する意識は低く、紫外線対策に寄与するシステムも少ない。さらに紫外線対策に効果的な日焼け止めクリームは有効活用されておらず、気象庁と国立環境研究所が公開している紫外線情報も実際の実環境において異なる可能性が考えられ、紫外線対策を行うことが難しい環境であることが推測される。そこで我々は紫外線対策に寄与するシステムとして屋外作業員や学校の部活動など日常的に屋外で活動する人を監督するユーザに向けた、周辺の紫外線情報に簡単に入手できるシステムの開発を行った。本システムは広範囲に複数設置可能な多方位紫外線量を計測する装置と紫外線情報を可視化するシステムで構成されている。多方位紫外線計測装置はGPS モジュールとケースの6面に紫外線センサが取り付けられており、設置地点の情報（緯度、経度）と6方位の紫外線量のデータが取得可能となっている。取得したデータは長距離無線通信であるLoRa通信を用いて遠隔にある受信機に送信する。受信機側ではデータのグラフ化および地図上に設置地点のマッピングを行う。これらの機能によ

り遠隔でユーザが紫外線を把握することができる。これらのシステムの評価実験を行い、紫外線対策に寄与することが可能であることを確認した。

[研究の内容、成果]

1 背景

紫外線は長期間にわたって暴露することで皮膚がんや白内障、翼状片などの発症可能性を増加させる[1]。わが国における年齢調整の罹患率と死亡率は緩やかに増加傾向にある[2]。工事現場の作業員や学校の部活動を行う学生など屋外での活動が日常的にある人は特に対策を講じる必要がある。しかし後藤ら[3]の研究において大学生にアンケートを実施したところ、紫外線が人体に与える影響について知識が不十分であることが分かった。また現状、工事現場において熱中症対策を支援するシステムは多く存在するが紫外線対策に関するシステムは少ない。このことから日本における紫外線対策が進んでいないことが推察される。

1.1 紫外線ばく露リスク指標であるUVIndex [4] はWHO（世界保健機関）が定めた紫外線が人体に与える影響を指標化したものである。これは地上に到達する紫外線の波長ごとの強さと、人体への影響度（CIE作用スペクトル）を掛け合わせ、これを波長積分して求めた紅斑紫

外線量から 25 mW/m^2 で除し、0 から 11+ で指標化したものである。本研究では、この UVIndex の推定を行う。

1.2 紫外線対策方法とその課題

紫外線対策に有効な対策方法として日焼け止めクリームの使用と公開されている紫外線情報の入手が挙げられる。日焼け止めクリームは防御効果が高いものを使用したとしてもムラのある塗り方や汗でクリームが落ちてしまった場合、正しく効果は発揮されない。よって日焼け止めクリームは生活シーンに合わせて選ぶ必要がある。

後藤ら[3]の研究において日焼け止めクリームの選び方に関するアンケートでは、約 47% が「知らなかった」と回答しており、日焼け止めクリームに関する知識が不足していることも明らかになっており、うまく活用されていないことが分かった。

現在我々が入手できる紫外線情報として主に気象庁が公開している全国の UVIndex[5] と国立環境研究所が公開している観測局で測定したビタミン D 生成・紅斑紫外線量[6] の 2 つがある。

しかし紫外線は天気のみならず、高度、周辺の建物の配置、地表面の種類による反射率の違いによる周辺環境の影響を受けるため、公開されている情報と自身の周辺紫外線量が必ずしも一致するとは限らない。よってこれらを利用した紫外線量の把握は困難である。

1.3 目的と提案システム

我々は前節の課題に対して紫外線対策システムには以下の要件が必要であると定義した。

1. 紫外線計測装置を身近な位置に設置可能
2. 計測装置の紫外線データを遠隔把握可能

紫外線の周辺環境の影響を考慮するにはなるべく計測したい地点の近くに設置することが望ましく、また紫外線対策を促すには屋外活動の監督者が周辺紫外線量を正しく認識することが必要だと考えたためこの 2 つを要件とした。そこで我々はこれらを解決するために提案システ

ムとして複数地点に設置可能な多方位紫外線計測装置とそれらのデータを可視化するシステムを開発した。

2 関連研究

紫外線を監視するシステムを本研究と比較する。Kim ら[7]の研究では、有害な環境要素に関する情報（粒子状物質、紫外線）を IoT プラットフォームを利用して警告するシステムを提案している。ユーザの位置と環境情報を測定する IoT スマートデバイスを用いて測定データを統合し、環境情報を共有する IoT プラットフォームから環境情報をリアルタイムで表示を行う。

Park ら[8]の研究では、一般の人々が UV 関連情報に簡単にアクセスできる UVIndex センサベースの携帯型測定装置を開発した。開発したデバイスは UVIndex センサ、BLE (Bluetooth Low Energy) モジュール、操作作用のマイクロコントローラユニット (MCU) から構成される。取得した紫外線データは BLE 通信を介してスマートフォンで確認できる。

しかしこれらの紫外線測定は 1 方位のみの計測にとどまっており、人体があらゆる方位から紫外線をばく露することを考慮できていない。本研究では 6 方位紫外線計測を行うことで解決を図った。6 方位計測にすることで太陽光の向きに対応することが可能で、日中の計測において常に最も高い紫外線量の方位を捉えることができる。

3 多方位紫外線計測装置と可視化システム

我々が開発した多方位紫外線計測装置 (UV-LoRa) と可視化システム全体のシステム構成図を図 1 に示す。

3.1 多方位紫外線計測装置のプロトタイプ開発

初めに我々は複数地点に設置可能な多方位紫外線計測装置（以下初期型 UV-LoRa）の開発 [9] を行った。初期型 UV-LoRa では横田ら [10] の研究で提案された紫外線の 6 方位計測

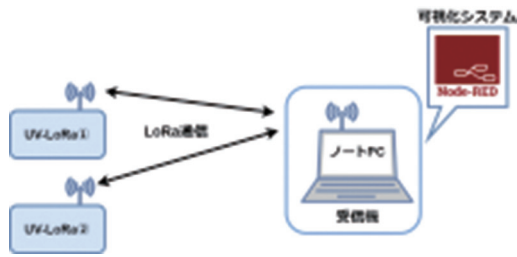


図1 全体のシステム構成図

手法を取り入れ、紫外線の反射成分、太陽光の向きを捉えられるようにした。計測装置と受信機はLoRa 通信[11] でデータの送受信を行い、安定して 400 m の通信が可能であることが分かった。また使用する紫外線センサは複数地点に設置する関係から低コスト化と小型化が必要であったため安価なセンサ（Spark Fun Electronics 社の UV Light Sensor Breakout-VEML 6075, \$7.50, 330 nm にピーク波長）を用いて高精度センサ（Davis Instruments 社の Vantage Pro UV Sensor (6490), \$425.00) の UVIndex を推定することに取り組んだ。

荒川河川敷にて距離性能実験と紫外線センサ比較実験を実施したところ、2 台の初期型 UV-LoRa から安定して 400 m の通信が可能であることが分かった。しかし初期型 UV-LoRa は日が差している方位では推定が可能であるがそれ以外の方位では推定ができない結果となり十分な推定精度が得られなかった。

3.2 UV-LoRa の推定精度改善

初期型 UV-LoRa の課題として UVIndex の推定精度の向上が必要であった。そこで我々は紫外線センサの中で比較的安価（\$24.00）で CIE 作用スペクトルに分光感度特性に近いセンサである Mikro Elektronika 社の UVBClick（以下現センサ）に取り替えることで改善ができるか予備実験を行い確認した。

予備実験 3 類の紫外線センサの同時計測を行い、測定値から回帰分析を行い精度向上が図れるのか比較実験をした。高精度センサの UVIndex を目的変数、初期型のセンサ（以下前センサ）と現センサの値を説明変数としてそ

表1 予備実験の回帰分析結果

紫外線センサ	決定係数
現センサ-1	0.9406
現センサ-2	0.8900
現センサ-3	0.7885
前センサ-1	0.7845
前センサ-2	0.7739
前センサ-3	0.8092

れぞれ回帰分析を行い決定係数を求めた。

実験結果実験結果を表1に示す。現センサの決定係数は平均 0.8730 となり、前センサの決定係数の平均 0.7892 と比べ決定係数が高いことが分かった。これは前述した分光感度特性が影響しているものだと考えられる。よって紫外線センサを変更することで少しかコストは高くなるが、精度向上が図れる。

3.3 UV-LoRa の構成

3.1, 3.2 節を踏まえ改善した UV-LoRa の構成を図2, 外観を図3に示す。センシングマイコンで接続された各センサやモジュールのデータ取得を行い、各データを JSON 形式のデー



図2 UV-LoRa の構成図



図3 UV-LoRa の外観

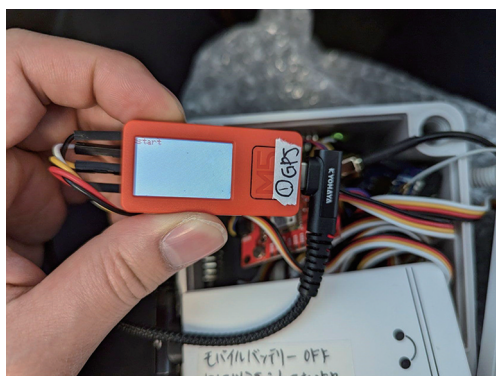
タとしてまとめ LoRa 通信デバイスに送る。LoRa 通信デバイスは受け取ったデータをアンテナを通じて LoRa 通信で受信機に送信する。センシングマイコンに搭載されている 2つのボタンを押下することで位置情報（緯度、経度）を取得する GPS モードと紫外線、温湿度センサのデータを周期的に取得して送信する紫外線モードを切り替える。時刻、日付の初期化は GPS モード時の位置情報に含まれる。

紫外線計測

M5StickC 側面の②ボタンを押すと 30 秒ごとに送信する

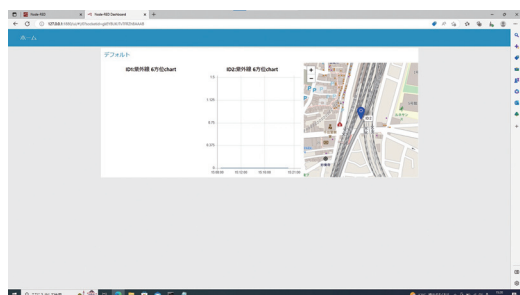


計測ボタン（側面）



紫外線計測モードの画面（start と表示）

正しく送信されているとノート PC の可視化画面以下の画面のようになる。



3.4 可視化システム

可視化システムは Node-RED[12] を用いて実装し、ライブラリは node-red-dashboard を使用した。可視化システムはノート PC 上で立ち上げておき、LoRa 通信デバイスからシリアル通信で受け取った JSON データを処理し、Web ブラウザ上で表示を行う。またデータは同時にデータベース（MongoDB）に保存する。可視化システム内の JSON データの処理の流れを図 4 に示す。



図 4 可視化システム内のデータ処理フロー

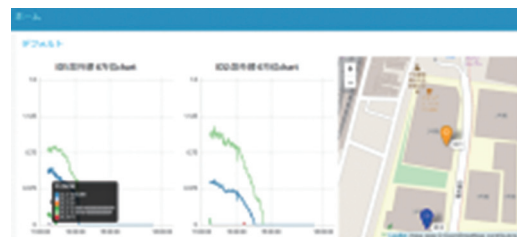


図 5 可視化システムの画面

まず JSON データはデータ内の各端末で割り振られている ID やデータの種類によって処理が分岐する。GPS データの場合、緯度、経度の情報を地図上にマッピングする。紫外線データの場合、各センサの補正式を用いて補正値を算出した後に、6 方位の紫外線データを時系列順にグラフ化する。また紫外線データの中から最も大きな値を計算し、その値からあと何分で日焼けするかを計算する。またマッピングされたアイコンをクリックした時にこれらの情報が表示できるようにした。実際に Web ブラウザ上で表示されている画面を図 5 に示す。マッピングされたアイコンをクリックした時の画面を図 6 に示す。また地図には Open Street Map[13] を使用した。今回はあと何分で日焼

けするか指標として WHO が定義した肌に紅斑を生じさせる最少の紫外線量 (Minimal Erythema Dose) [14] を用いた。日本人の多くが分類されるスキントypes III では、UVIndex が 8 のときに 25 分後に炎症を起こすとされている。

UVIndex と時間は反比例関係にあり、今回のシステムでの日焼けする時間の算出は 6 方位紫外線量の中から最も高い値を用いて行った (時間 = $t[\text{min}]$)。

$$t = 200 / \text{UVIndex}$$

4 システムの評価実験

我々が実装した UV-LoRa と可視化システムが実環境において正しく動作するか評価実験を行った。



図6 アイコンをクリックした時の画面

4.1 補正式算出実験

紫外線センサは個体差により若干の感度特性の違いがあるため、各センサごとに補正を行う。実験方法現センサ 12 個と高精度センサの同時計測を行い、高精度センサの出力する UVIndex を目的変数として各現センサ値を説明変数として回帰分析を行い、求めた回帰式を補正式として可視化システムに反映させる。東京電機大学 5 号館 6 階ルーフガーデンで 2022 年 12 月 19 日の 9: 33: 00~12: 02: 00 に計測を行った。実験結果回帰分析の結果、決定係数はどのセンサでも 0.9 以上であり、補正式の当てはまりの良さが高いことが確認できた。後述す

る動作検証実験では求めた補正式の係数、切片を可視化システムに反映させた。

4.2 動作検証実験

開発した UV-LoRa および可視化システムが正常に動作するか実環境において動作検証実験を行った。実験方法装置の設置地点は図 7 であり、受信機は ID2 地点付近の室内に設置した。2023 年 1 月 7 日の 11: 30: 00~17: 30: 00 の計測を行い、以下の項目を確認した。

(機能 1) 受信機で想定数のデータが受信できたか

(機能 2) 可視化システム上でのデータの欠損されていないか

(機能 3) 可視化システムの Web ブラウザ上の画面の変化

機能 1, 2 を確認するために可視化システムに入力されるデータとグラフ化、マッピングするノードに入力されるデータをそれぞれデータベースに保存する。また機能 3 では PC 画面の録画を行い、画面の変化を確認する。実験結果と考察動作検証実験の項目 1 の結果を表 2、項目 2 の結果を表 3、機能 3 の結果を図 8 に示す。

表 2 より 99% 以上受信に成功したことが確認できた。一部受信できなかったのは建物による電波干渉によるものだと考えられる。表 3 より、可視化システム上でのデータの欠損はなかった。図 8 より、画面が変化していることが確認できたため、上記より可視化システムが正



(a) ID11 号館 6 階

(b) ID25 号館 6 階

図7 動作検証実験の UV-LoRa を設置した様子 (東京電機大学内ルーフガーデン)

表 2 受信機での受信データ数

	ID1	ID2
想定数	GPS:1, UV:721	GPS:1, UV:721
実際の数	GPS:1, UV:715	GPS:1, UV:720

表3 可視化システムの各ノードに入力されるデータ数
ID1ID2

グラフ化ノード想定数 715720 グラフ化ノードの実際の数 715720 マッピングノードの想定数 715720 マッピングノードの実際の数 715720

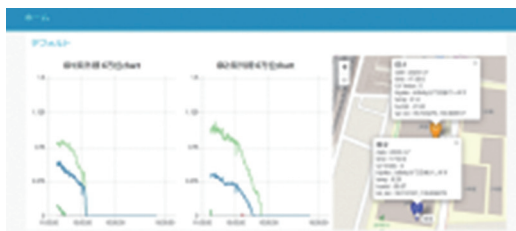


図8 6時間経過後の可視化システムの画面

常に動作していることが分かった。また ID1 と ID2 のグラフの 13 時以降の変化を見てみると急激に ID1 が減少していることが分かる。これは ID1 の地点において太陽光が建物によって遮られたためである。これより同時刻でも周辺環境により紫外線量が異なることが確認できた。

5 まとめ

本研究では、紫外線対策を促すことを目的として 6 方位紫外線計測装置である UV-LoRa と取得データを可視化するシステムを開発した。

UV-LoRa は複数地点に設置することが可能で、紫外線の計測データは LoRa 通信を用いて遠隔にある受信機に送信される。受信機上の可視化システムでは受信したデータから 6 方位紫外線量のグラフ化と設置地点のマッピングを行い、Web ブラウザ上で一覧できる。システム評価実験より、2 地点に設置した UV-LoRa でシステムが正常に動作することが確認できた。また計測を行った 2 地点では同じ時間帯であったが異なる UVIndex を示した。これは周辺の建物による影響だと考えられ、紫外線計測において複数地点に設置する重要性が確認できた。これらの機能から紫外線対策に寄与することが可能であると。

[参考文献]

- [1] 環境省. 紫外線環境保健マニュアル 2020. <https://www.env.go.jp/content/900410650.pdf>.
- [2] 国立研究開発法人国立がん研究センター. がん種別統計情報皮膚. https://ganjoho.jp/reg_stat/statistics/stat/cancer/13_skin.html.
- [3] 後藤知己, 執行愛美, 高倉愛海, 戸高友美子. 紫外線障害に関する学生の認知度と教育の現状. 熊本大学教育学部紀要, Vol. 68, pp. 181-188, 122019.
- [4] 気象庁. UV インデックスとは. https://www.data.jma.go.jp/gmd/env/uvhp/3-50uvindex_manual.html.
- [5] 気象庁. 紫外線情報 (分布図). <https://www.data.jma.go.jp/env/uvindex/>.
- [6] 国立環境研究所. ビタミン d 生成・紅斑紫外線量情報. https://db.cger.nies.go.jp/dataset/uv_vitaminD/ja/index.html.
- [7] Hyeong-Seok Kim, Seung-Taek Oh, and Jae-Hyun Lim. Development of local area alert system against particulate matter and ultraviolet rays based on open IoT platform with P2P. Peer-to-Peer Networking and Applications, Vol. 11, pp. 1240-1251, 2018.
- [8] Dae-Hwan Park, Seung-Taek Oh, and Jae-Hyun Lim. Development of a UV Index Sensor-Based Portable Measurement Device with the EUVB Ratio of Natural Light, Sensors, Vol. 19, No. 4, 2019.
- [9] 島田友憲, 岩井将行. LoRa 通信を用いた複数方位および複数地点による UVIndex の推定同時計測システムの検討. 研究報告ユビキタスコンピューティングシステム (UBI), Vol. 2022-UBI-73, No. 2, pp. 1-6, 2022.
- [10] 横田知樹, 近藤亮磨, 渡邊慎一, 森川博之, 岩井将行. UV-Cube: 屋外作業員のための紅斑紫外線量 6 方向同時計測システム. 情報処理学会論文誌, Vol. 59, No. 10, pp. 1794-1801, 2018.
- [11] Semtech 社. LoRa (PHY). <https://www.semtech.com/lora/what-is-lora>.
- [12] Open JS Foundation & Contributors. Node-red. <https://nodered.org>.
- [13] OpenStreetMap 財団. 著作権とライセンス. <https://www.openstreetmap.org/copyright/>.
- [14] 国立環境研究所. 用語解説. https://db.cger.nies.go.jp/dataset/uv_vitaminD/ja/glossary.html#glossary04.

[成果一覧]

論文誌

渡邊慎一, 石井智也, 石井仁, 岩井将行

論文題目：雪洞「かまくら」内の温熱・空気・紫外線
環境の実測調査

受付日：2022年6月4日

受理日：2022年11月9日

掲載巻号：「人間と生活環境」第30巻 第1号（2023
年5月発刊）

研究会論文発表一覧

1. 島田友憲，渡邊慎一，岩井将行，“紫外線計測デバイス開発の小型化に向けた調査”，電子情報通信学会 ヒューマンプロブ研究会，9月28日，2021，オンライン開催。
2. 島田友憲，岩井将行，“LoRa 通信を用いた複数方位および複数地点による UV Index の推定同時計測システムの検討”，電子情報通信学会 センサネットワークとモバイルインテリジェンス研究会，3月7-8日，2022，オンライン開催。
3. 島田友憲，岩井将行，“LoRa 通信を用いた複数の多方位紫外線計測デバイスからのデータ収集とグラフ化システム”，電子情報通信学会 ヒューマンプロブ研究会，9月22日，2022。
4. 島田友憲，岩井将行，“LoRa 通信を用いた複数の多方位紫外線計測デバイスによる UV Index の推定同時計測と紫外線危険度の可視化システム”，情報処理学会 コンシューマ・デバイス & システム研究会，1月23-24日，2023，南淡路。
5. 屋内の3次元モデルを用いた再構築可能なモバイル向けアイテム追跡システム 石出宗己・中村快・岩井将行 情報処理学会 第77回 ユビキタスコンピューティングシステム研究会 2023/02/28，

2023/03/01

6. Teto：エッジ AI カメラと振動デバイスを内蔵する歩行者向け安全 IoT ベストシステム 野田翔太郎・岩井将行 情報処理学会 第77回 ユビキタスコンピューティングシステム研究会 2023/02/28，2023/03/01
7. Node-RED と気圧センサを用いた高層ビルにおける底面からの高さ推定による物品位置管理システム 日高継大・中村快・石出宗己・岩井将行 情報処理学会第85回全国大会 2023/03/02-04
8. RTK-GNSS と IMU センサを内蔵する自己位置推定を用いた水位計測用 IoT ノードの研究 飛塚大翔・岩井将行 日本地理学会 2023/03/25-27
9. 道路工事情報共有のための BLE ビーコン立て看板の検討 中村快，岩井将行 情報処理学会第84回全国大会 オンライン開催 2022/03/03-05

[学生発表受賞]

10. 位置情報及び高低差管理を目的とした GNSS 信号のブラウザ解析ツール 桑田 司，岩井将行 第26回ヒューマンプロブ研究会 オンライン開催 2022/02/28
11. ハイブリッド発電型のフィールドセンサ杭システム 立野倫太郎，岩井将行 情報処理学会 第73回ユビキタスコンピューティングシステム研究会 (UBI) オンライン開催 2022/03/01
12. 環境センサを用いたデジタルツイン活用手法の提案 ウラタ英寿，岩井将行 第25回ヒューマンプロブ研究会 オンライン開催 2021/09/28