

GPS 信号受信状態を用いた紫外線量推定手法の検討

日隈 壮一郎^{1,a)} 西山 勇毅^{1,b)} 瀬崎 薫^{1,2,c)}

概要：近年の都市構造の変容と急激なライフスタイルの変化に伴い、人間が屋内で過ごす時間は長時間化し、逆に屋外で直射日光を浴びる時間は年々短くなっている。過度な紫外線の被曝は皮膚癌やシワ、シミの発生可能性を高めるが、一方で適度な紫外線被曝は体内でのビタミン D の生成に必要不可欠である。また、基本的に野菜に含まれていないビタミン D の不足は、カルシウム不足や低カルシウム血症、骨の軟化やうつ病などに繋がる危険性があり、長期的な健康管理において、紫外線被曝量の管理は重要である。しかしながら、紫外線センサを常に携帯することはユーザの負担が大きく、長期的な利用には日常的に計測または推定可能な手法が必要である。そこで本研究では、スマートフォンに搭載された GPS モジュールを用いて、GPS 信号の受信状態から紫外線量を推定する手法の検討を行う。

キーワード：GPS 信号受信状態、紫外線量推定、モバイルセンシング

SOICHIRO HIGUMA^{1,a)} YUUKI NISHIYAMA^{1,b)} KAORU SEZAKI^{1,2,c)}

1. はじめに

コンパクトシティ [1] とは、「集約的な市街地」を意味し、持続可能な社会基盤の実現に向けて注目されている都市設計の概念である。コンパクトシティの実現は、交通効率の改善や、それに伴う二酸化炭素排出量の削減、平時・災害時における管理コストの削減などに繋がると考えられ、日本においても積極的にコンパクトシティが推進されている [2]。

また、近年のライフスタイルの変化に伴い、人間が屋内で過ごす時間は長時間化しており、屋外で直射日光を浴びる時間は年々短くなっている [3], [4]。特に、昨今の COVID-19 感染症の世界的流行による外出自粛や在宅勤務の推進により、屋外での生活時間はさらに短くなっていると考えられる [5]。

過度な紫外線 (UV:Ultraviolet) の被曝は皮膚癌やシワ、シミの発生可能性を高めるが、一方で適度な UV 被曝は体

内でのビタミン D の生成に必要不可欠である。ビタミン D の不足は、カルシウム不足や低カルシウム血症、骨の軟化に繋がる危険性がある。特に、加齢とともにビタミン D の合成効率は低下するため、屋内で過ごす時間が長くなる高齢者にとって大きな問題となっている [6]。さらに、ビタミン D 欠乏症はうつ病に繋がるリスクが高いことも報告 [7] されており、十分量のビタミン D 摂取は、身体的・精神的な健康管理において非常に重要である。しかしながら、ビタミン D が含まれている天然の食品は非常に限られており、十分量を食品から摂取することは難しい。その為、適度な紫外線被曝による体内でのビタミン D の生成が推奨されている [6]。

UV センサを常時携帯して紫外線量を計測することも可能ではあるが、それらの日常生活での長期利用はユーザの負担が大きく、計測が続かない可能性がある。そこで本研究では、ユーザが普段携帯しているスマートフォンに搭載された GPS モジュールを用いて、GPS 信号受信状態から紫外線量を推定する手法の検討を行った。

UV センサデータ (UV-A と-B, -Index) と GPS 信号状態 (C/No^{*1}) を同時に計測可能な、データ収集機構を設計・実装し、それらを用いて異なる 10 つの環境において前述のデータを計測した。分析結果より、全体では「UV-B-C/No 間」にやや弱い相関関係が見られ、日向と日陰に分けた場

^{*1} Carrier-to-noise density

¹ 東京大学生産技術研究所
Institute of Industrial Science, the University of Tokyo, Meguro, Tokyo 153-8505, Japan

² 東京大学空間情報科学研究センター
Center for Spatial Information Science, the University of Tokyo

a) soichiro_higuma@mcl.iis.u-tokyo.ac.jp

b) yuukin@iis.u-tokyo.ac.jp

c) sezaki@iis.u-tokyo.ac.jp

合には、UV センサデータと GPS 信号受信状態には、非常に強い相関関係が示された。

本論文の構成は以下の通りである。まず 2 章において UV の特徴と人体への影響指標を説明し、3 章において紫外線量の推定と GPS 信号受信状態の活用に関連する研究を整理する。4 章において、本研究の問題意識を述べる。5 章において、GPS 信号受信状態を用いた紫外線量推定手法の検討を行う。6 章において推定手法の検討の結果を示し、7 章において考察を行い、8 章においてまとめと今後の課題を述べる。

本論文の貢献は以下の 3 点である。

- UV センサデータと GPS 生データの同時計測機構の設計・実装したこと
- 異なる場所と環境における UV センサデータと GPS 生データを計測し分析したこと
- それぞれの場所・環境におけるデータの特徴量を分析し、GPS 信号受信状態を用いた UV センサデータ推定の可能性について議論したこと

2. UV: Ultraviolet

UV は UV-A,B,C の大きく 3 種類に分けられ、それぞれ人体への影響が異なり、人体への影響を一般化した指数として UV インデックスが使われている。本章では、UV の種類とその影響、UV インデックスの算出方法について説明する。

2.1 UV の種類とその影響

UV は UV-A (波長 315~400nm)、UV-B (波長 280~315nm)、UV-C (波長 100~280nm) の 3 つの波長に分けられる [8]。UV は、太陽から地球に到達した後、大気を進む間に、成層圏オゾンによる吸収や空気分子、エアロゾル^{*2}による散乱などを受けてしだいに減衰する。短い波長の UV ほど減衰し、最も波長の短い UV-C は地上では全く観測されず、UV-B も大きく減衰する。UV の中でも、ビタミン D の生成には UV-B が関わっている。UV-B が皮膚に直接当たることによって、皮膚の 7-デヒドロコレステロール (7-dehydrocholesterol) がプレビタミン D3 に変換され、そこからビタミン D が生成される。UV-A は UV-B に比べて波長が長いので、皮膚深くに入り込み真皮にまで到達する性質を有している [9] が、UV-A と UV-B 共に、過度の被曝は、日焼け (紅斑) やシミ、皮膚癌など人体に有害となる可能性がある。そのため、ビタミン D の生成と過度の被曝予防の観点から、UV-A と UV-B の被曝量のモニタリングは重要である。

^{*2} 大気中に浮遊する液体や固体の微粒子

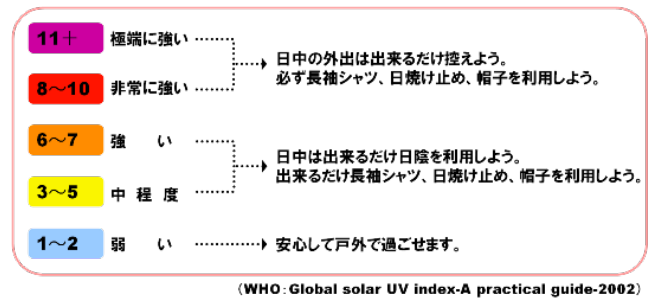


図 1 UV インデックスに応じた紫外線対策 [10]

2.2 UV インデックスの算出

UV インデックスとは、世界共通の指標で値が大きいほど人体への影響が大きいことを意味する。図 1 に WHO (World Health Organization) が推奨する UV インデックスに応じた紫外線対策を示す。UV インデックス 1 から 11+まで設定されており、各インデックスに応じた対策が示されている。

UV インデックスは、式 (1)–(3) を用いて算出される。波長毎の人体への相対影響度として、国際照明委員会 (CIE^{*3}) により定義された CIE 作用スペクトルがある。この相対影響度を、地上で観測される紫外線強度に波長毎にかけると、人体への影響の大きさの視点で見た波長毎の強度が求められる。人体への総合的な影響度は、この強度を 250~400nm にわたって波長積分することにより得られる^{*4}。ここで求められた値は紅斑紫外線量 (1) と呼ばれ、この値を $25\text{mW}/\text{m}^2$ で割って^{*5}指標化した値が UV インデックスである。

$$I_{CIE} = \int_{250\text{nm}}^{400\text{nm}} E_{\lambda} \cdot S_{er} d\lambda [\text{mW}/\text{m}^2] \quad (1)$$

$$S_{er} = \begin{cases} 1 & (250\text{nm} < \lambda < 298\text{nm}) \\ 10^{0.004(298-\lambda)} & (298\text{nm} \leq \lambda \leq 328\text{nm}) \\ 10^{0.015(139-\lambda)} & (328\text{nm} < \lambda < 400\text{nm}) \end{cases} \quad (2)$$

$$I_{UV} = I_{CIE}/25 \quad (3)$$

3. 関連研究

適度な UV 被曝は健康管理において重要であり、これまでも滞在場所からビタミン D 生成量を推定する研究が行われている。また、GPS 信号受信状態を用いた状態推定の研究も行われており、本章ではそれらの関連研究を整理する。

3.1 ビタミン D 生成紫外線量の推算

成人が 1 日に必要なビタミン D 摂取量は $5.5 \mu\text{g}$ とされており、Miyachi [11], [12] らの研究では、必要摂取量をす

^{*3} Commission Internationale de l'Eclairage

^{*4} 地上での 290nm 以下の紫外線は実質的に 0 と見なせるので、実際には 290~400nm にわたる波長積分で十分に精度よく求められる

^{*5} 紅斑紫外線量の単位が W/m^2 の時には 40 を掛ける

べて体内で生成した場合に必要な日光浴時間を推定している。Miyauchiらの研究成果から、UV インデックスから算出される红斑紫外線量が判れば、ビタミン D 生成に必要な日光照射時間を推定可能なことが明らかになっている [13]。Miyauchiらの研究は、UV インデックスに応じた十分量のビタミン D 生成に必要な時間を推定しているが、UV インデックス自体は UV センサを使って計測しており、提案モデルの日常利用には UV センサを使用する必要がある。

3.2 GPS を活用した状態推定

勝田ら [14] は、GPS 信号受信状態を示す C/No を用いて、その C/No 値の違いから端末が屋内か屋外のどちらに存在するかを判定する手法を提案した。屋内外が切り替わってから 7 秒で 90% の精度で判定可能であることを明らかにした。また、上嶋ら [15] は、C/No と三次元都市モデルを組み合わせ、携帯端末の存在領域判定を行っている。検知率、正解率はともに 84% 以上だった。

GPS 信号受信状態を用いた状態判定に関する取組は行われているが、UV 値を推定する研究はまだ行われていない。

4. 問題意識

モバイル携帯端末は 90% 以上の人が所有 [16] しており、そのほぼ全ての端末には GPS モジュールが搭載されている。ユーザが日常的に使用する携帯端末を用いて、ユーザが浴びた、またリアルタイムに浴びている UV 値を自動的に推定できれば、必要量の UV 値のリマインドや逆に屋内への退避の通知、長期的な UV 被曝量の記録など様々な応用アプリケーションが実現可能になる。

既存研究では、ビタミン D の生成に必要な日光浴時間の算出が行われているが、UV センサでの直接的な UV 値計測が必要である。また、GPS の信号強度を用いて、端末の携帯端末の存在位置（屋内・屋外など）を推定する研究も行われているが、UV 値を推定する研究はまだ行われていない。

本論文では、スマートフォンの GPS 信号受信強度を用いた UV 値の推定手法の検討として、「計測場所の違いによる UV 値と信号強度 (C/No) の違い」を分析する。

5. GPS 信号受信状態を用いた紫外線量推定手法の検討

UV データとして、2 章で述べたとおり UV-A、-B、-Index が一般的に利用されている。本研究では、スマートフォンに搭載された GPS モジュールの信号受信状態を用いて、UV データの値を推定することを目的とする。

本論文ではまず、UV データの推定に向けて、(1) UV データと GPS 生データの同時計測機構の設計・実装と (2) 異なる場所と環境における UV データと GPS 生データを計測し、(3) それぞれの場所・環境におけるデータの特徴量

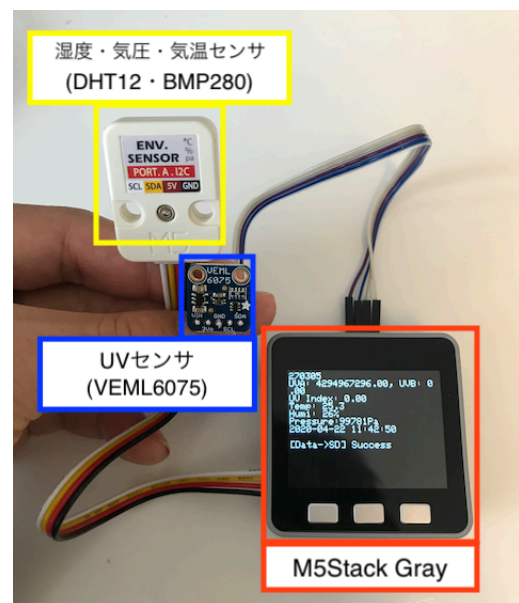


図 2 紫外線データ収集機構

カラム名	単位	データ形式
デバイス時間	マイクロ秒	Long
時刻	yyyy-MM-dd HH:mm:ss	String
UV-Index	UV-Index (1-10)	Float
UV-A	W/m^2	Float
UV-B	W/m^2	Float
気温	$^{\circ}C$	Float
湿度	%	Float
気圧	Pa	Float

表 1 UV データ保存形式

を分析し、GPS 信号受信状態を用いた UV データ推定の可能性について議論する。

5.1 計測機器

紫外線計測機器として、図 2 に示す計測機器を実装した。UV データの計測には、UV-A と UV-B の値を同時に出力し、UV-Index を算出可能な VEML6075 を使用した。同時に計測場所の環境データとして湿度と気圧、気温データを DHT12 と BMP280 用いて計測した。計測データは、M5Stack に I2C 経由で収集し microSD に保存した。M5Stack は、Arduino 言語での開発が可能で、カラーディスプレイや microSD カードスロット、無線通信モジュール (WiFi と Bluetooth)、スピーカ、電池等を搭載した開発モジュールで容易に機能を拡張できる。本研究においても、Arduino 言語で開発を行った*6。

UV データ計測時には、M5Stack の WiFi モジュールを用いて NTP (Network Time Protocol) サーバにアクセスし時刻同期を行った。UV データは、一秒毎に計測し、CSV 形式で保存した。データの保存形式を表 1 に示す。

GPS 信号計測機器として、Android 10 を搭載した Google

*6 https://github.com/sezakilab/M5Stack_UVLogger

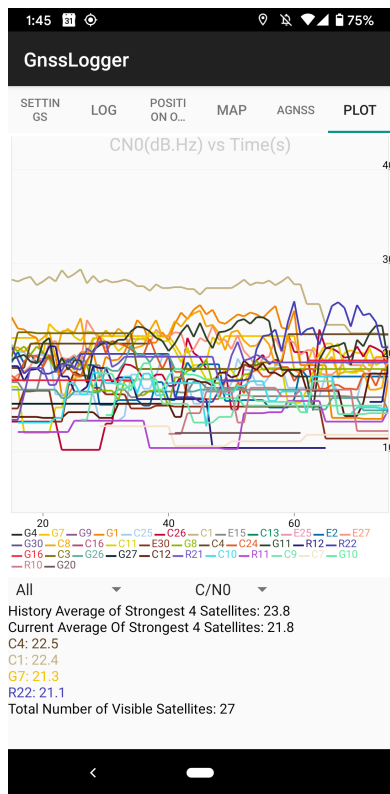


図 3 GnsLogger アプリの測定画面

カラム名	単位	データ形式
デバイス時間	マイクロ秒	Long
時刻	HH:mm:ss	String
Latitude	°, ', " (度, 分, 秒)	String
Longitude	°, ', " (度, 分, 秒)	String
Altitude	°, ', " (度, 分, 秒)	String
Accuracy	メートル (m)	Float
C/No	dBHz	Float
Available Satellites	個	Int

表 2 GPS データ保存形式

Pixel 3a を使用した。Google Pixel 3a の位置情報モジュールは、GPS、GLONASS、Beidou、GALILEO、QZSS(みちびき) の 5 種類の測位衛星の信号を受信し、位置測位に活用できる。本端末 GPS の生データを出力可能なアプリケーションである、GnsLogger^{*7}をインストールし、GPS の受信状態を測定した(図 3)。GnsLogger の計測した生データを、GNSS Analysis^{*8}で処理し、一秒毎の GPS 受信状態データとして txt 形式で書き出した。データの保存フォーマットを表 2 に記述する。

5.2 データ収集場所

表 3 に、データ収集場所の一覧を示す。データ収集は高速道路下と土手、マンション横、民家横、屋内の 5 か所で

^{*7} <https://github.com/google/gps-measurement-tools/tree/master/GNSSLogger>

^{*8} https://developer.android.com/guide/topics/sensors/gnss?hl=ja#supl_client_sample_code

	日向	日陰
高速道路下	図 4(a)	図 4(b)
土手	図 4(c)	図 4(d)
マンション横	図 4(e)	図 4(f)
民家横	図 4(g)	図 4(h)
屋内	図 4(i)	図 4(j)

表 3 データ収集場所一覧



(a) 高速道路下 (日向)

(b) 高速道路下 (日陰)



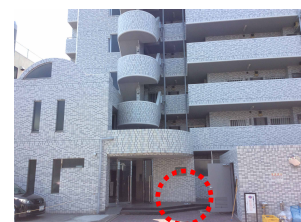
(c) 土手 (日向)



(d) 土手 (日陰)



(e) マンション横 (日向)



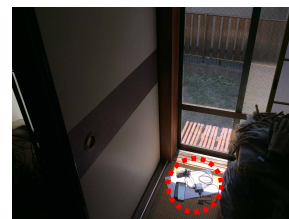
(f) マンション横 (日陰)



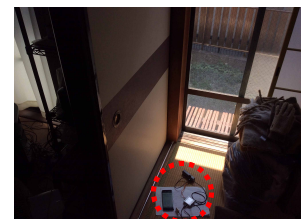
(g) 民家横 (日向)



(h) 民家横 (日陰)



(i) 屋内 (日向)



(j) 屋内 (日陰)

図 4 計測場所

行い、それぞれ日向と日陰での計測を行った。計測場所における計測機器の設置位置を図 4 に示す。

5.3 計測手順

これらの測定機器を用いて、以下の手順で UV と GPS

信号受信状態の計測を行った。

- (1) 各計測機器を所定の場所に設置
- (2) 3分間、計測機器を用いて UV と GPS 受信状態の計測を行う
- (3) 上記 2 つの手順を、表 3 で示した 10 ヶ所で繰り返す

6. 実験結果

前章において説明したデータ収集手法を用いて、10 ヶ所（表 3 参照）の UV と GPS 信号受信状態データ収集した。6.1 節において各場所のデータ毎の特徴を示す。さらに 6.2 節において、各値同士の相関関係を示す。尚、収集した 3 分間の UV と GPS 信号受信状態データは、分析時に手動で計測開始時刻と終了時刻を秒単位で時刻同期した上で分析を行っている。

6.1 収集データ毎の特徴

図 5 はデータ計測場所毎の C/No と UV-A,-B,-Index データを示す。図 5(a) では、民家横の C/No のデータの散らばりが目立つ。また、高速道路下や屋内といった遮蔽物が大きいところでは C/No は小さくなっていることが確認できた。図 5(b),5(c),5(d) において、UV-A,-B,-Index 値は共に屋内や高速道路下よりも、ひらけている土手やマンション横、民家横の方が値が大きいことが分かった。特に屋内において UV 値は著しく低下することが見て取れる。また、各計測場所における日向と日陰の値を比べると、日向の方が、UV-A,-B,-Index の値がともに高くなることが示された。

6.2 収集データ間の相関関係

計測した UV-A,-B,-Index と C/No の相関関係を図 6 に示す。全ての計測場所の計測データを一つのデータにまとめた場合、図 6(a) の「C/No—UV-Index 間」では $R^2 = 0.37$ 、図 6(b) の「C/NO – UV-A 間」では $R^2 = 0.27$ と、弱い相関関係が見られた。また、図 6(c) の「C/NO—UV-B」では、 $R^2 = 0.46$ とやや相関ありの傾向が見られた。

図 7 に、収集データを「日陰」と「日向」に分けた場合の、それぞれらの相関を示す。「日向」においては、UV-Index,-A,-B と C/No には $R^2 = 0.8$ 以上の非常に強い相関関係が見られた。一方「日陰」においては、UV-Index,-A,-B ともに、 $R^2 = 0.7$ 以上の、「日向」と同様の非常に強い相関を示した。

7. 考察

7.1 紫外線量の推定

「日向」と「日陰」で分けて C/No と各種 UV 値を分析した場合、「日向」と「日陰」それぞれにおいて $R^2 = 0.7$ 以上の非常に強い相関関係を示した。これはつまり、天候や時刻、季節等の環境が計測日と同じ条件であれば、C/No

の値が分かれば、ある程度その場所での UV 値を算出できることを示している。しかし、現実空間においては、UV は後述するように様々な環境変数によって変化し、GPS 信号の計測値も計測機器の所持位置や移動状態によって変わることが想定される。本論文では、研究の初期段階として理想的な環境でのデータ計測と分析を行ったが、現実空間での利用には、より多くの環境における計測と評価実験が必要であると考えられる。

7.2 日向・日陰検知

図 7 に示すように、日向と日陰に分けて分析を行うことで、UV データと C/NO には高い相関関係を示すことが明らかになった。位置情報を測位する為の衛星は、GPS、GLONASS、Beidou、GALILEO、QZSS など様々な種類と特徴があり、今回の実験で利用した Android Pixel 3a においても 5 種類の測位衛星信号を受信できる。今回の実験では衛星の測位数や衛星角度、期待される衛星数などは一切考慮していない。これらの情報から日向・日陰の情報を検知することができれば、高い精度での UV 値推定が可能になると考えられる。

7.3 UV 値の変動性

UV 値は「場所」だけでなく、「時間帯」や「季節」、「天気」によって変動する [17]。本論文では、「一日のある時間」を対象に UV 値と GPS 信号受信状態の分析を行ったが、上記の要素に対応し柔軟に UV 値を予測する為に、本論文におけるデータだけでは不十分である。それら要素に対応する為には、ベースライン地域全体の UV と組み合わせが必要であり、それらの実現は今後の課題である。

7.4 GPS 信号の計測手法

本論文では、GPS 信号の受信を「地面に 3 分間静止させた状態」と言う、非常に理想的な環境でのデータ収集を行った。しかしながら、現実空間において、ユーザは様々な位置で携帯を所有し、頻繁に移動する。これらの要素が与える影響についても本論文では明らかになっておらず、今後の研究課題である。

8. おわりに

近年のライフスタイルの変化に伴い、人間が屋内で過ごす時間は長時間化し、屋外で直射日光 (UV) を浴びる時間は年々短くなっている。過度な UV 被曝は皮膚癌やシワ、シミの発生可能性を高めるが、一方で適度な UV 被曝は体内でのビタミン D の生成に必要不可欠である。ビタミン D の不足は骨の軟化と言った身体的リスクや、うつ病発症リスクを高めるため、十分量のビタミン D 摂取は、身体的・精神的な健康管理において非常に重要である。UV センサを常時携帯し計測することも可能ではあるが、それらの長

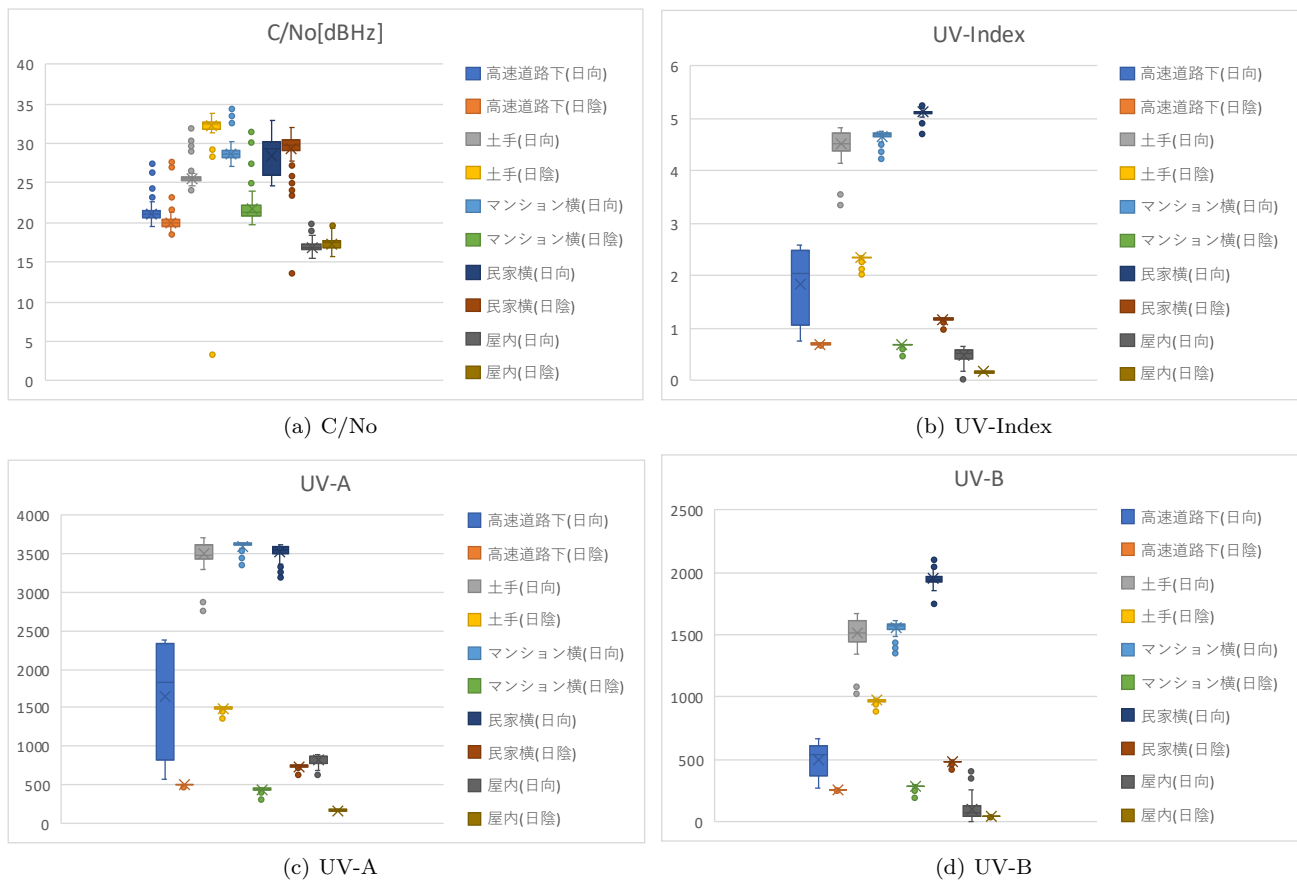


図 5 ケース毎の C/No と UV-A,-B,-Index データ特性

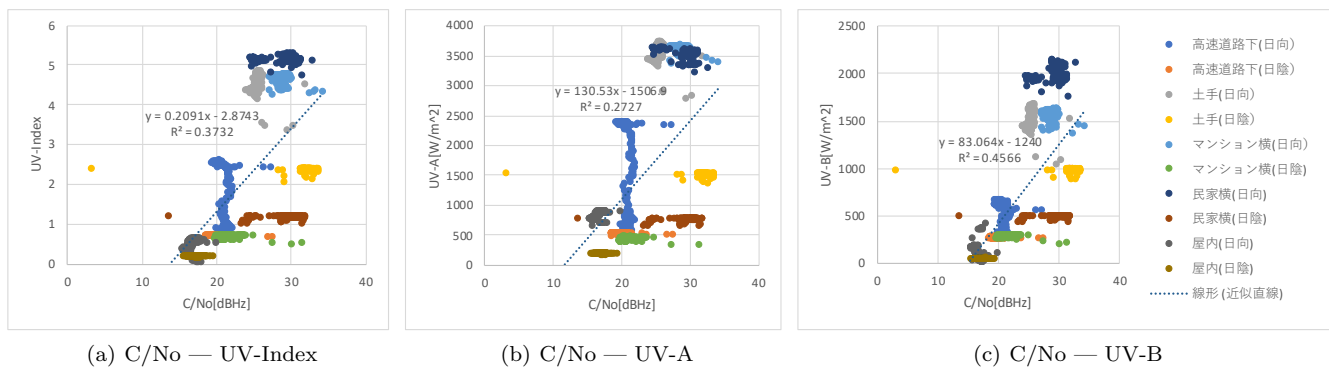


図 6 UV-A,-B,-Index と C/No の相関関係

期利用はユーザへの負担が大きく利用が続かない可能性がある。

そこで本研究では、ユーザが普段携帯しているスマートフォンに搭載された GPS モジュールを用いて、GPS 信号受信状態から紫外線量を推定することを目的とした。本論文では、その目標達成の為に、(1)UV センサデータ (UV-A,-B,-Index) と GPS 信号受信状態データの同時計測機構を設計・実装し、(2)10 ヲ所での異なる環境における UV センサデータと GPS 生データを計測・分析を行った。分析結果より、全体では「UV-B-C/No 間」にやや弱い相関関係 ($R^2 = 0.46$) が見られ、日向と日陰に分けた場合には、UV センサデータと GPS 信号状態には、非常に強い相

関関係 ($R^2 = 0.7$ 以上) が示された。最後に (3)GPS 信号受信状態を用いた紫外線量推定の実現可能性と今後の課題について議論した。

UV 値は「場所」や「時間帯」「季節」「天気」によって変動 [17] し、GPS 信号受信状態も衛星の位置やユーザのデバイス所有位置、利用端末によって変化する可能性がある。本論文では、研究の初期段階として理想的な環境でのデータ計測と分析を行ったが、上記の要素に対応し柔軟に UV 値を予測する為には、本論文におけるデータだけでは不十分であり、それら要素への対応は今後の課題である。

謝辞 本研究は JSPS 科研費 JP20H00622 の助成を受けたものである。

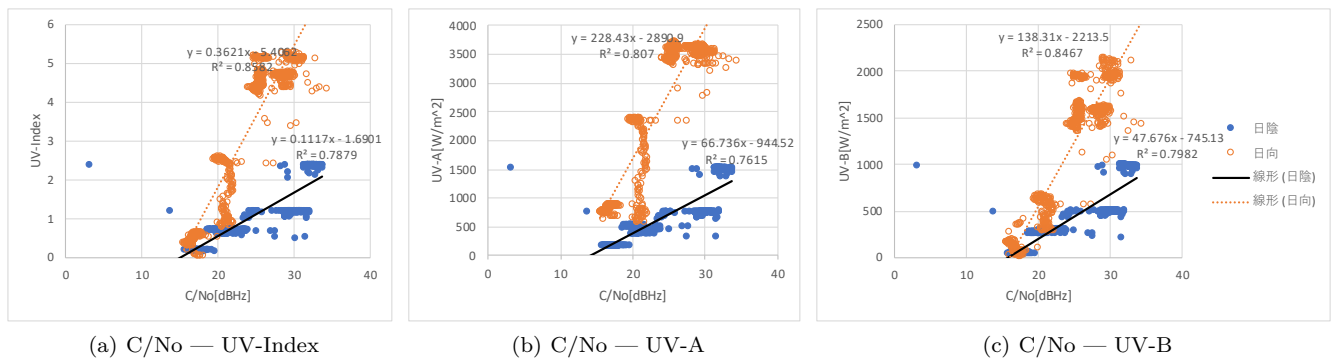


図 7 日向と日陰における UV-A,-B,-Index と C/No の相関関係

参考文献

[1] 松橋啓介: コンパクトシティ 特集 環境都市研究の先端と未来【環境問題基礎知識】(2013). <https://www.nies.go.jp/kanko/news/32/32-3/32-3-03.html>.

[2] 国土交通省: コンパクトシティの形成に向けて, 平成 27 年, Vol. 4 (2015).

[3] 日本学術会議: 我が国の子どもの育成環境の改善にむけて—育成時間の課題と提言— (2013). <http://www.scj.go.jp/ja/info/kohyo/pdf/kohyo-22-t169-3.pdf>.

[4] NHK 放送文化研究所 (世論調査部: 2015 年国民生活時間調査報告書 (2015)). https://www.nhk.or.jp/bunken/research/yoron/pdf/20160217_1.pdf.

[5] Google: COVID-19 Community Mobility Report (2020). https://www.gstatic.com/covid19/mobility/2020-04-11_JP_Mobility_Report_en.pdf.

[6] 厚生労働省: ビタミン D (2020). <https://www.ejim.ncgg.go.jp/pro/overseas/c03/17.html>.

[7] Schaad, K. A., Bukhari, A. S., Brooks, D. I., Kocher, J. D. and Barringer, N. D.: The relationship between vitamin D status and depression in a tactical athlete population, *Journal of the International Society of Sports Nutrition*, Vol. 16, No. 1, pp. 1–9 (2019).

[8] 気象庁: UV インデックスを求めるには (2019). https://www.data.jma.go.jp/gmd/env/uvhp/3-51uvindex_define.html.

[9] 日本皮膚科学会: Q3UVB と UVA はどう違いますか? (2014). <https://www.dermatol.or.jp/qa/qa2/q03.html>.

[10] 気象庁: UV インデックスとは (2020). https://www.data.jma.go.jp/gmd/env/uvhp/3-50uvindex_manual.html.

[11] Miyauchi, M. and Nakajima, H.: Determining an effective UV radiation exposure time for vitamin D synthesis in the skin without risk to health: Simplified estimations from UV observations, *Photochemistry and photobiology*, Vol. 92, No. 6, pp. 863–869 (2016).

[12] Miyauchi, M., Hirai, C. and Nakajima, H.: The solar exposure time required for vitamin D3 synthesis in the human body estimated by numerical simulation and observation in Japan, *Journal of nutritional science and vitaminology*, Vol. 59, No. 4, pp. 257–263 (2013).

[13] 国立研究開発法人国立環境研究所: ビタミン D 生成・紅斑紫外線について (2018). http://db.cger.nies.go.jp/dataset/uv_vitaminD/ja/exposition.html.

[14] 勝田悦子, 内山彰, 山口弘純, 東野輝夫ほか: GPS 受信状態を用いた屋内外判定法, 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. 2011, No. 18, pp. 1–8 (2011).

[15] 上嶋祐紀, 内山彰, 山口弘純, 東野輝夫ほか: 三次元都市モデルと GPS 信号の SNR を用いた携帯端末の存在領域判定, 研究報告ユビキタスコンピューティングシステム (UBI), Vol. 2014, No. 32, pp. 1–8 (2014).

[16] 総務省: 情報通信機器の保有状況 (2019). <https://www.soumu.go.jp/johotsusintokei/whitepaper/ja/h30/html/nd252110.html>.

[17] 環境省紫外線: 紫外線環境保健マニュアル 2015 (2015). http://www.env.go.jp/chemi/matsigaisen2015/full/matsigaisen2015_full.pdf.