

令和 6 年 6 月 22 日現在

機関番号：32644

研究種目：挑戦的研究（萌芽）

研究期間：2018～2023

課題番号：18K19758

研究課題名（和文）紫外線個人曝露量測定システムの構築および紫外線至適量通知システムの開発

研究課題名（英文）Development of a UV personal exposure measurement system and UV optimal dose notification system

研究代表者

衛藤 憲人（Eto, Norihito）

東海大学・工学部・准教授

研究者番号：60365228

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 4,900,000円

研究成果の概要（和文）：超高齢社会を迎え、施設入所者が増加し続けている現在、ビタミンD欠乏に伴う骨折リスクの増加、付随する認知症発症の危険性が大きな問題となっている。本研究は、任意の部位に装着した Wireless UVセンサにて、個人UV曝露量をreal-time計測し、血中ビタミンD量生成に必要なUV至適量を Smartphoneにて通知するシステムの構築を実現した。現在、引き続きデータの収集、精度の向上を行なっている同Applicationは、過剰なUV曝露を避けつつ、必要量を摂取（曝露）するという、世界的にみて全く新規の試みである。

研究成果の学術的意義や社会的意義

日常生活におけるUVの適切な皮膚曝露はビタミンD生成を行う一方、過剰な曝露は様々な皮膚疾患を引き起こすことが報告されている。しかしこれら有益・有害の線引き、いわゆるUV至適量は未だ不明である。本研究はこのUV至適量推定に資するデバイスの開発およびUV至適量通知システムの構築を目的とした。同システムの実現は、過剰なUV曝露を避けつつ、必要量を摂取（曝露）する一次予防の一助となる可能性を有し、日本人の健康増進に大きな貢献を行うものと考えた。

研究成果の概要（英文）：As the number of people living in institutions continues to increase in our super-aged society, the increased risk of bone fractures and dementia associated with vitamin D deficiency have become major issues. In this study, we developed a system that measures individual UV exposure in real-time using a wireless UV sensor attached to any part of the body, and notifies the user via Smartphone of the optimal UV dose required to produce vitamin D in the blood. This application, which is currently undergoing data collection and accuracy improvement, is a completely new attempt to avoid excessive UV exposure and to take (expose) the necessary amount of UV light.

研究分野：生体計測

キーワード：紫外線 曝露評価 至適量 通知システム ビタミンD 個人曝露量

## 1．研究開始当初の背景

超高齢社会を迎え、施設入所者が増加し続けている現在、ビタミンD欠乏に伴う骨折リスクの増加、付随する認知症発症の危険性が大きな問題となっている。ビタミンDは紫外線（以下UV）曝露および食事摂取により体内産生されるが、我が国においてビタミンD欠乏回避を念頭に設けられた食事摂取基準には、UV曝露により皮膚で産生されるビタミンD量は加味されていない。これはこれまで個人が受けるUV曝露量を一定の精度、妥当性を持って定量化する方法がほとんど存在しなかったためである。さらにUVの過剰な曝露は皮膚がん、白内障、翼状変等の様々な疾患を引き起こすことが報告されているが、同様の理由により、有益・有害の線引き、いわゆるUV至適量は未だ不明である。同量を明らかにすることが可能となれば、過剰なUV曝露を避けつつ、必要量を摂取（曝露）するという、世界的にみて全く新規の試みを実現でき、高齢者の屋外活動を促進、骨折・認知症を予防、さらには全年齢層における日本人の健康増進に大きな貢献を行うものと考えられる。

## 2．研究の目的

日常生活におけるUVの適切な皮膚曝露はビタミンD生成を行う一方、過剰な曝露は様々な皮膚疾患を引き起こすことが報告されている。しかしこれら有益・有害の線引き、いわゆるUV至適量は未だ不明である。本研究はこのUV至適量推定に資するデバイスの開発およびUV至適量通知システムの構築を目的としている。具体的には、これまで我々が構築してきた日光個人曝露量測定システムを更に発展させ、UV曝露量を完全非拘束かつ高い精度で測定する小型UV Sensorシステムを実現し、その実量を明らかにすること、さらにSmartphone等によりUV曝露の不足をReal-Time通知するApplicationを開発することを目的とする。本研究にて実現を目指すApplicationは、過剰なUV曝露を避けつつ、必要量を摂取（曝露）するという、世界的にみて全く新規の試みである。

## 3．研究の方法

本研究は、任意の部位に装着したWireless UVセンサにて、個人UV曝露量をreal-time計測し、血中ビタミンD量生成に必要なUV至適量をSmartphoneにて通知するシステムの構築を目標としている。同目標を達成するにあたり、以下三項目を実施した。

### (1) UV曝露に関する医学・生理学データの収集

最終目標であるUV至適量通知システム実現に必要な医学・生理学基礎データ（具体的にはUV曝露に伴う血中25(OH)D濃度等の生理データ）を研究分担者（西脇教授，東邦大学）・研究協力者（朝倉准教授，今村助教，東邦大学）の有するField（北海道，熊本県）にて、研究分担・協力者の協力のもと収集した。

## (2) 完全非拘束 UV センサの開発

上記、医学・生理学データの収集と並行し、小型化した Wearable Sensor の Prototype を構築した。ビタミン D 生成に関連する UV 量を高い妥当性にて測定するには、皮膚露出部位全てにセンサを装着し測定する必要がある。しかし過大なセンサの装着はヒト行動に影響を及ぼし、正確な測定の妨げとなる。我々は、任意部位に装着可能な小型の Wireless UV センサを開発し、ボランティアの協力のもと、その妥当性を検討した。加えて、行動時の任意の装着部位（例：手腕部）UV 量から他部位（例：顔部）の UV 曝露量の換算可能性について検討を行った。

## (3) UV 至適量通知システムの構築

これまで得られた研究成果を基に、Smartphone 上に real-time にて UV 至適量（暫定値）を通知するシステムの構築を行った。具体的には、上記（2）にて作成した UV 部位曝露量を求めた換算式により個人 UV 総曝露量を算出し、上記（1）で明らかにした基礎データより見積もった生成ビタミン D 量を Smartphone 上に real-time 通知するシステムである。

加えて、研究を進めるに従い UV センサの装着率（アドヒアランス）の低さの問題が露呈した。如何にセンサを小型化しようとも、装着に煩雑性を有する場合、装着アドヒアランスの低下は避けられない。そこで我々は、人々が常時携帯する Smartphone に着目し、UV センサの装着状況を real-time 監視し、センサ非装着者には装着を促すアプリケーションの開発を行った。さらに非装着率の正確な見積もりより、データ欠落を補完する手法の開発を新たな課題として検討した。

## 4. 研究成果

申請者らの研究チームは、これまで開発してきた日光個人曝露量評価の機器とその Know-How に加え、共同研究の医師、疫学研究者、栄養学研究者、社会医学研究者との協力のもと、疫学調査での最新知見を基に上記のシステム・アプリケーションの構築を実施した。

ビタミン D 生成に関連する UV 量を高い妥当性にて測定するには、皮膚露出部位全てにセンサを装着し測定する必要がある。我々は、任意の部位に装着可能な小型の Wireless UV センサを開発し、ボランティアの協力のもと、その妥当性を検討した。試作デバイス（表面積  $2\text{cm}^2$  程度、厚さ数 mm）には、I<sup>2</sup>C UV センサ（VEML6070）、無線モジュール（TWELITE）および制御プロセッサ（ATmega328）を使用し、Wireless にて各部位における UV 曝露量の同期測定を実現した。同技術により、ヒト行動に影響を及ぼさず、あらゆる部位の UV 量の測定を高精度かつ比較的長時間（Sampling 周波数:1kHz、記録周波数:1Hz、連続測定時間:24 時間）測定可能とした。

ヒトの皮膚露出部位は一般に、顔部・頸部・胸部・腕部・脚部があげられ、その全ての部位において UV 曝露の可能性がある。一方、一般的にヒトの基本構造は大差なく、これら皮

皮膚露出部位の空間的な位置には幾何学的な関連がある。この関係性を基に、任意部位の UV 測定値より他部位の UV 曝露量を推定できれば、少ないセンサで、煩雑性を抑え、体全体の UV 曝露量を推定することが可能であると考えた。具体的には、開発した個人 UV 曝露量測定装置を用いて、ヒト皮膚への UV 曝露の相関を計算し、部位別換算可能性および換算係数（線形回帰係数、 $\beta$ -coefficients）の算出、さらに同係数に各種パラメータ（天候・行動等）が与える影響について詳細に検討した。結果、腕部（UV センサ装着の可能性が高い部位）に対する各装着部位はいずれも高い相関（顔部（ $r=0.94$ ）、胸部（ $r=0.95$ ）、脚部（ $r=0.95$ ）、肩部（ $r=0.96$ ））が認められ、回帰直線の傾き係数（各  $\beta$ -coefficients は、顔部（0.48）、胸部（0.78）、脚部（0.29）、肩部（0.91））を用いて、腕部から他部位の曝露量を換算できる可能性が示された。この換算式に皮膚露出量、UV 防御状況（日傘や Sunscreen 剤等の使用状況）を加えることで、より高い精度の個人 UV 曝露量の推定が可能になると考えた。実際、我々のグループで実施している疫学調査の測定結果（個人 UV 曝露量と血中 VD 量の重相関）に適応したところ、従来のデバイスを用いた結果と比較し、決定係数の向上（ $r^2=0.43$  →  $r^2=0.48$ ）が認められた。

一方、実証実験の結果、UV センサ装着率（アドヒアランス）の低さの問題が露呈した。如何にセンサを小型化しようとも、装着に煩雑性を有する場合、アドヒアランスの低下は避けられない。この新たに認められた問題に対し我々は、人々が常時携帯する Smartphone に注目した。Smartphone はその性質上、日々生活において肌身離さず、装着率が極めて高い特長を有する。さらに Smartphone には GPS や気圧計、加速度計等の高精度センサが内包されていることから、これら各種センサを駆使することでヒト行動（例えば屋内/屋外判別）の推定が可能となり、特に屋内/屋外で明らかに曝露量の異なる要因（紫外線や PM2.5、外気温等）の大規模な疫学調査を極めて安価に実施できる可能性を秘めている。

新たに構築した Smartphone プログラムを用いて、1 時間の自由行動（屋内、屋外、地下街移動）時の屋内/屋外判別を行ったところ、約 95%の精度で屋外/屋内判別が可能であることが確認できた。約 5%の誤分類は主に高架橋下、高層ビル間の歩行に由来するものであった。同区間は GPS 電波が減弱しやすく、屋内と判定される傾向が存在した。なお、これらの区間は天空面積が非常に小さいことから、UV 曝露評価を主眼とした調査では屋内と判断することも可能であるが、純粋な屋内/屋外評価が必要な調査では、更なるプログラムの改良が必要である。具体的には、その他のセンサ情報（加速度、気圧情報等）を積極的に使用し、環境の推定を加えることで、より精度は高まると考えられる。一方、普段誰もが携帯する Smartphone を用いて、特別な装置等を用いずに、大規模に UV 曝露調査ができる点は大きな特長であり、各種公衆衛生上の課題解決のためにも早期のシステム実現を目指したいと考える。

現在、同デバイスを発展させ、Smartphone 等により UV 曝露の過剰・不足を real-time 通知するアプリケーションの実証実験を引き続き実施している。同アプリケーションの実現は、過剰な UV 曝露を避けつつ、必要量を摂取（曝露）する一次予防の一助となる可能性を

有し，日本人の健康増進に大きな貢献を行うものとする。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計3件（うち査読付論文 3件／うち国際共著 0件／うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 Michitaka Yoshimura, Shingo Kitamura, Norihito Eto, Akiko Hida, Ruri Katsunuma, Naoko Ayabe, Yuki Motomura, Yuji Nishiwaki, Kazuno Negishi, Kazuo Tsubota, Kazuo Mishima	4. 巻 -
2. 論文標題 Relationship between Indoor Daytime Light Exposure and Circadian Phase Response under Laboratory Free-Living Conditions	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 BIOLOGICAL RHYTHM RESEARCH	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1080/09291016.2020.1782691	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 Norihito Eto, Keiko Asakura, Yuji Nishiwaki	4. 巻 6
2. 論文標題 Relationships between Solar Ultraviolet Exposure Levels at Different Sites around the Body	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Toho Journal of Medicine.	6. 最初と最後の頁 30-40
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.14994/tohojmed.2019-010	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Asakura, K. Etoh, N. Imamura, H. Michikawa, T. Nakamura, T. Takeda, Y. Mori, S. Nishiwaki, Y.	4. 巻 12
2. 論文標題 Vitamin D Status in Japanese Adults: Relationship of Serum 25-Hydroxyvitamin D with Simultaneously Measured Dietary Vitamin D Intake and Ultraviolet Ray Exposure	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Nutrients	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3390/nu12030743	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

〔学会発表〕 計9件（うち招待講演 0件／うち国際学会 2件）

1. 発表者名 衛藤憲人
2. 発表標題 大規模疫学調査を目的とした紫外線個人曝露量測定法の検討
3. 学会等名 日本人間公学会システム大会
4. 発表年 2022年～2023年

1. 発表者名 衛藤憲人, 朝倉敬子, 西脇祐司
2. 発表標題 紫外線個人曝露量測定・通知システムの構築 (第一報)
3. 学会等名 第90回日本衛生学会学術総会
4. 発表年 2019年～2020年

1. 発表者名 朝倉敬子, 衛藤憲人, 西脇祐司
2. 発表標題 日本人のビタミンD充足状況とビタミンD摂取量・紫外線曝露の関連
3. 学会等名 第90回日本衛生学会学術総会
4. 発表年 2019年～2020年

1. 発表者名 Yuji Nishiwaki, Keiko Asakura, Haruhiko Imamura, Norihito Eto
2. 発表標題 Investigation of Factors Associated with Measurements of Personal Light (Including UV) Exposure Levels
3. 学会等名 ISES-ISEE 2018 Joint Annual Meeting (国際学会)
4. 発表年 2018年～2019年

1. 発表者名 衛藤憲人, 朝倉敬子, 西脇祐司
2. 発表標題 ビタミンD生成量推定に資する紫外線個人曝露量測定法の検討 (第二報)
3. 学会等名 第89回日本衛生学会学術総会
4. 発表年 2018年～2019年

1. 発表者名 朝倉敬子, 衛藤憲人, 西脇祐司
2. 発表標題 日本人のビタミン D 充足状況と食事・紫外線曝露の寄与の推定
3. 学会等名 第89回日本衛生学会学術総会
4. 発表年 2018年～2019年

1. 発表者名 Erte Harada, Norihito Eto
2. 発表標題 To propose measurements of personal Ultraviolet exposure for large scale epidemiological studies
3. 学会等名 The 8th Lux Pacifica (国際学会)
4. 発表年 2018年～2019年

1. 発表者名 衛藤憲人, 朝倉敬子, 西脇祐司
2. 発表標題 ビタミンD生成量推定に資する紫外線個人曝露量の検討
3. 学会等名 第88回日本衛生学会学術総会
4. 発表年 2018年～2019年

1. 発表者名 原田エルテ, 衛藤憲人
2. 発表標題 ビタミンD生成量推定に資する紫外線個人曝露量の実測
3. 学会等名 日本人間工学会システム大会
4. 発表年 2018年～2019年



〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究 分担 者	西脇 祐司  (Nishiwaki Yuji)  (40237764)	東邦大学・医学部・教授    (32661)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------