



# 環境儀

NO. 79

December 2020

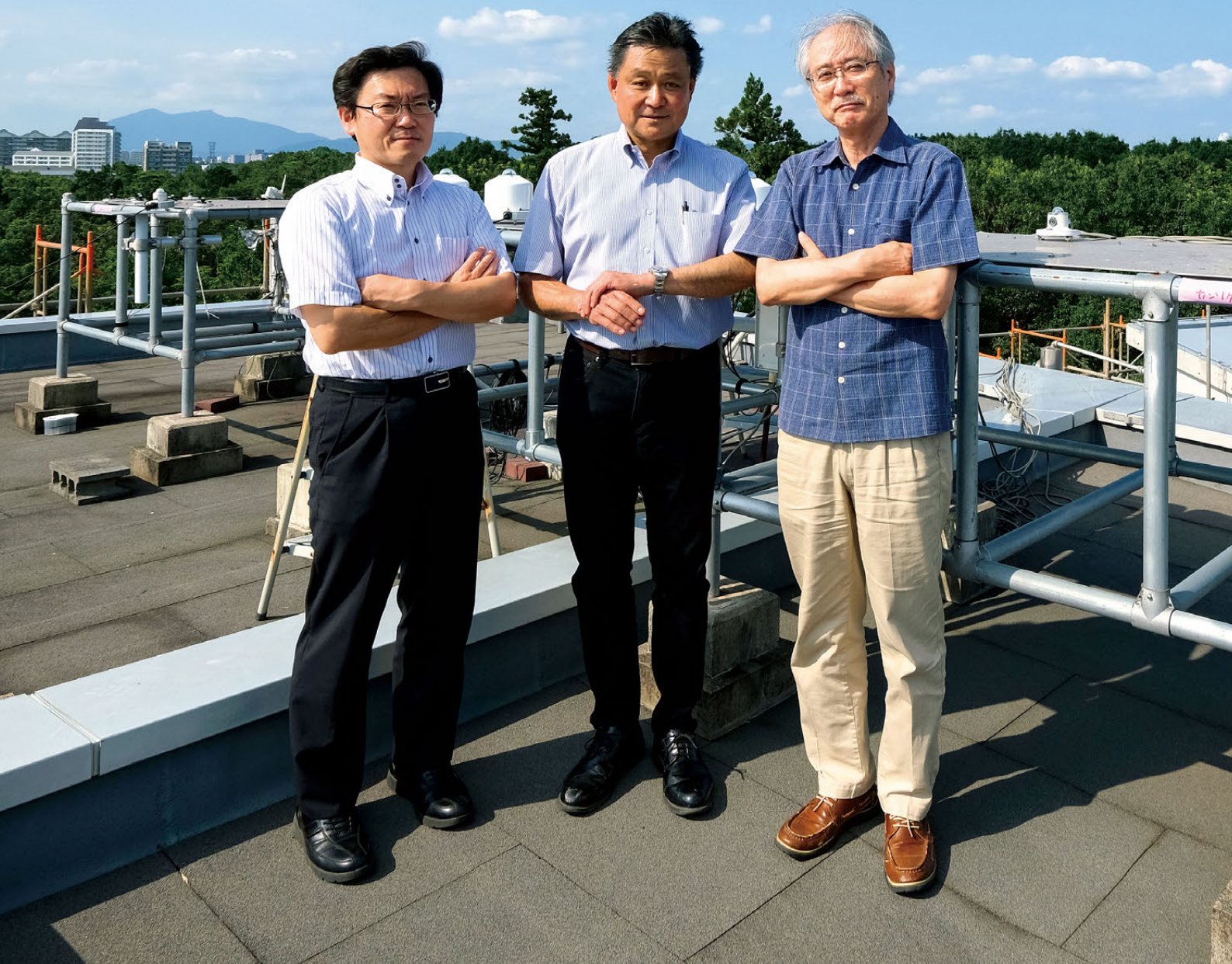
国立環境研究所の研究情報誌

## 健康のための 紫外線日光浴の すゝめ

～最適な日光浴時間大公開!～



太陽紫外線には、  
皮膚でビタミンDを生成する働きがあります。  
最近日本人の多くが、日光浴不足により  
ビタミンDが欠乏しているかもしれないという  
事実が明らかになってきました。





太陽紫外線には、皮膚でビタミンDを生成する働きがあります。一方、過度の紫外線照射は、日焼けやシミ・しわの原因になるなど、有害性もあります。1990年代に南極オゾンホールが発見され、紫外線の有害性が指摘されてきたこともあり、日本人の特に若年女性の間には、過度に紫外線を忌避する風潮が広まってきました。その結果、最近の調査では若年女性の8割以上が慢性的にビタミンD不足状態に陥っているという結果が明らかになってきました。

国立環境研究所では、場所や季節、時間によって大きく異なる紫外線強度を観測と計算によって求め、日焼けやシミ・しわの原因にならない範囲で、1日に必要なビタミンDを得ることができる日光浴時間（紫外線被照射時間）を、研究所ホームページ（HP）で提供するシステムをこれまでに構築してきました。

本号では、このような研究を行うに至った経緯や、研究所がこれまでに展開してきた「有害紫外線モニタリングネットワーク」から「ビタミンD生成・紅斑紫外線量情報」へと発展してきた紫外線観測の歴史、HPによる準リアルタイム情報提供の内容などについて紹介します。

## CONTENTS

### 健康のための 紫外線日光浴のすすめ

～最適な日光浴時間大公開！～

- Interview 研究者に聞く  
紫外線モニタリングデータを活用し、  
適切な日光浴で健康に ..... p4～9
- Summary  
肌にダメージを与えない範囲で、  
最適な紫外線照射時間を  
広く知らせる ..... p10～11
- 研究をめぐって  
紫外線による日焼けとビタミンD  
生成に関する研究の現状 ..... p12～13
- 国立環境研究所における  
「紫外線観測に関する研究」の  
あゆみ ..... p14

## 紫外線モニタリングデータを活用し、適切な日光浴で健康に

1980年代半ばに南極でオゾンホールが発見されると、オゾン層の破壊にともない増加した有害な紫外線による健康影響が懸念されるようになりました。以来、紫外線は有害なものという考えが広まり、いまでは紫外線や日光浴を避ける人が増えています。ところが、紫外線は体内でビタミンDを合成するためにも必要です。近年、日本人のビタミンD不足が増え、特に若い女性で深刻化しています。そこで、地球環境研究センターの中島英彰さんたちはビタミンD不足にならない、適切な日光浴の方法を検討しています。



中島 英彰(なかじま ひであき) 地球環境研究センター(気候モデリング・解析研究室) / 主席研究員



佐々木 徹(ささき とおる) 地球環境研究センター(気候モデリング・解析研究室) / 高度技能専門員



小野 雅司(おの まさじ) 環境リスク・健康研究センター 客員研究員



津田 憲次(つだ のりつぐ) 一般財団法人地球・人間環境フォーラム

### 深刻化するビタミンD不足

Q: ビタミンDにはどんな効果があるのですか。

中島: ビタミンDは「骨のビタミン」と呼ばれます。小腸でカルシウムやリンの吸収を促す働きがあり、骨の健康に欠かせません。主なものにビタミンD<sub>2</sub>とD<sub>3</sub>があり、D<sub>2</sub>はキノコ類に含まれており、D<sub>3</sub>は魚類に含まれるほかに、体内でも合成されます。ビタミンDは食事から十分にとるのがむずかしいので、体内でつくり出す必要があります。

Q: ビタミンDの合成には日光を浴びることが必要なのですか。

中島: はい。ビタミンDの合成には紫外線が必要な

ため、日光を浴びることにより、皮膚で合成されます。紫外線は波長の長い領域から順に、UV-A(315-400nm)、UV-B(280-315nm)、UV-C(200-280nm)に分類され、ビタミンD合成に必要なのはUV-Bになります。かつて、ヨーロッパなどの日照時間の短い地域では、ビタミンD欠乏症である「くる病」という骨の病気がたくさん発症しました。くる病の原因がビタミンDだとわかってから、ビタミンDを強化した牛乳やサプリメントなどで補うようになり欠乏症は解消しました。一方、日本人はビタミンDを含む魚やキノコをたくさん食べるし、日照にも恵まれているので通常の生活でビタミンDは足りていました。

ところが、近年では、日本でも若い女性を中心にビタミンD不足の人が増えているのです。ビタミンDが不足すると子供ではくる病、成人では骨軟化症になります。高齢者では骨粗鬆症になりやすくなり、骨折による寝たきりのリスクも高まります。ただ、健康診断で調べることもないので、ビタミンDの状態を把握している人はほとんどいないでしょう。知らないうちにビタミンD欠乏症になり、突然骨折することがあるかもしれません。生活習慣病に似たような面もありますね。

**Q**：なぜビタミンD不足の人が増えているのですか。

**中島**：紫外線は危険とか日焼けはよくないという考えが広まり、日光を浴びなくなったり、冬でも日焼け止めを塗って紫外線を避けたりする人が増えているためだと思います。紫外線が有害であるといわれるようになったのはオゾン層の破壊がきっかけです。1980年代半ばに南極でオゾン層の破壊によるオゾンホールが見つかったと、盛んにその影響が研究されるようになりました。その結果、オゾン層破壊にもなって増加した有害紫外線による生態系や人体に対する影響が懸念されるようになったのです。

私は大気中のオゾン層の破壊について、とくにフロンガスがオゾン層の破壊につながることを中心に研究してきました。ビタミンD不足の人が増えていることを知って、これまで、紫外線が危険なことばかり言い過ぎたのではないかと気が付いたのです。それで、ビタミンD不足を防ぐためにはどれくらい

日光を浴びたらいいのかを考えるようになりました。

## 紫外線モニタリングを活用

**Q**：研究を始めたきっかけは何ですか。

**中島**：当時、東京家政大学教授だった宮内正厚先生の研究で、日本人のビタミンD不足を知りました。宮内先生は気象庁にいたときから紫外線を研究しており、大学でも学生と紫外線によるビタミンD生成について調べていました。先生が大学を退官後、今度は国立環境研究所で一緒に研究を続けることになったのです。研究所では、小野さんたちのグループの紫外線モニタリングのネットワークがありましたので、そのデータを使えば、ビタミンD合成に必要な紫外線の量やどれくらい紫外線を浴びればいいのか明らかにになると考えました。

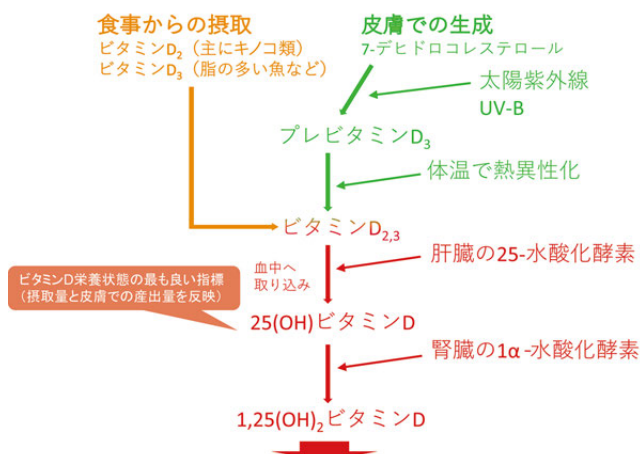
**Q**：紫外線のモニタリングはどのように行っているのですか。

**小野**：オゾン層の破壊により有害な紫外線が増加することが指摘されていたので、私たちのグループでは、紫外線の健康への影響について調べていました。紫外線の中でUV-Bはオゾン層の破壊の影響を強く受け、生物に有害なことから有害紫外線と呼ばれることがあります。UV-Bは、皮膚の表面に作用して赤い炎症を起こすほか、皮膚がんや白内障を引き起こす原因になっています。紫外線の影響を調べるには、その照射量を調べる必要があります。そこで1993年から紫

## コラム①

### ビタミンDとは？

天然由来のビタミンDは、キノコなど植物由来のビタミンD<sub>2</sub>(エルゴカルシフェロール)と、魚類の肝臓や魚肉、卵黄由来のビタミンD<sub>3</sub>(コレカルシフェロール)に分類されます。ビタミンD<sub>2</sub>とビタミンD<sub>3</sub>は構造の一部が異なる同族体ですが、通常まとめてビタミンDとして扱います。またビタミンD<sub>3</sub>は、体内においてコレステロール生合成の最終中間体である7-デヒドロコレステロール(プロビタミンD<sub>3</sub>)から生成されます。皮膚に存在する7-デヒドロコレステロールが紫外線(Ultra-Violet : UV)を受けるとステロイド骨格B環が開いて、プレビタミンD<sub>3</sub>となります。プレビタミンD<sub>3</sub>は体温で構造が変化し、ビタミンD<sub>3</sub>となります。ビタミンDは、肝臓で水酸化され、25-ヒドロキシビタミンD(25(OH)D; カルジジオール)へと変化し、ビタミンD結合タンパク質(DBP, GC-グロブリン)と結合し、血液中を長期間安定的に循環します。25(OH)Dはさらに腎臓で水酸化されることで1,25-ジヒドロキシビタミンD(1,25(OH)<sub>2</sub>D)となり、



腸管からのCa吸収促進、血中Ca濃度の上昇、骨形成に寄与  
**■** 図1 ビタミンDの食物からの摂取、皮膚での生成と体内での代謝

全身に運ばれ様々な生体効果を発現します。1,25(OH)<sub>2</sub>Dは、腸、骨、腎臓、副甲状腺の細胞でビタミンD受容体に結合し、特定の遺伝子の働きを介して、血中のカルシウムとリン酸濃度を調整し、骨密度の維持を司っています。図1に、ビタミンDの体内での代謝の様子を示します。

外線のモニタリングを始めました。気象庁が紫外線を測定していましたが、測定場所が全国にわずか5カ所しかなかったので、紫外線をモニタリングしている国内の研究機関と連携し、ネットワーク化するシステムをつくりました。データは有害紫外線モニタリングネットワークとしてホームページで公開しています。

**津田**：紫外線モニタリングに20年以上携わっています。気象庁の紫外線観測は、分光型紫外線計を使って波長ごとのエネルギー量を測定しています。私たちはUV-A、UV-Bそれぞれのエネルギー強度を測定する帯域型紫外線計による方法を取り入れ、観測データをリアルタイムで出せるようにするなど測定に改良を重ねてきました。分光型紫外線計は紫外線の観測を行うには理想的な観測器ですが、保守管理が大

変でとても高価なので、一般にはあまり普及していません。多くの観測地では、帯域型紫外線計を使っているので、情報を共有し、ネットワーク化するために工夫し、精度管理や計測器のメンテナンスも行っています。ただ、小型の分光型紫外線計が増えてきたり、校正の国際的な規格がまだ統一されていなかったりといくつかの問題があり、モニタリングを続けていくのも大変です。

### 季節や地域で異なる適切な日光浴時間

**Q**：研究はどのように進めましたか。

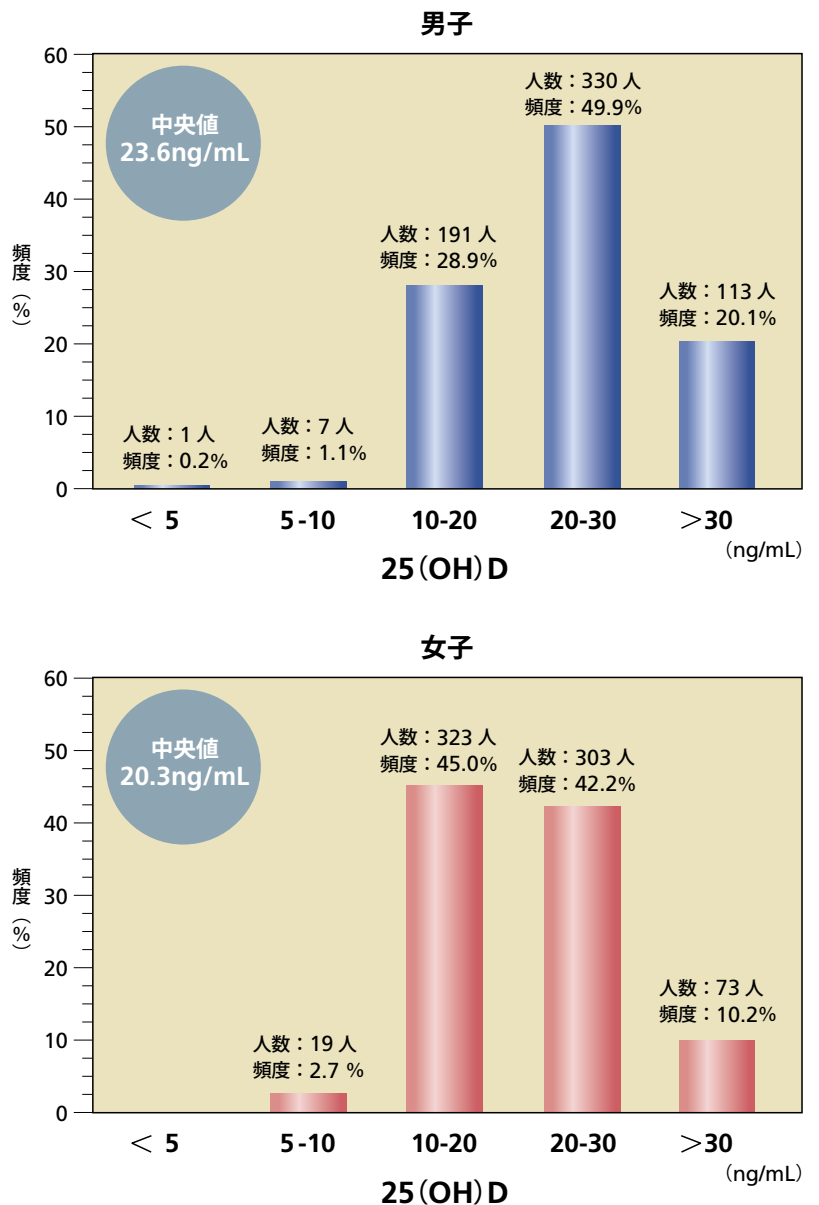
**中島**：紫外線の悪影響はよく知られるようになったものの、1日に必要なビタミンDを合成するために紫外線をどれくらい浴びなければいけないのかはよくわ

## コラム②

### 最近の日本人の ビタミンD欠乏

図1に示した通り、血中のビタミン25(OH)D濃度は、皮膚で生成されたビタミンDと、食物から摂取されたビタミンDの合計量を反映して変動します。一方、1,25(OH)<sub>2</sub>Dはカルシウム代謝を調節するホルモンで、通常その血中濃度はほぼ一定に調節されていることが知られています。よって、血中25(OH)D濃度を測ることで、ビタミンDの充足状況を知ることができます。現在は、血中25(OH)D濃度が30 ng/mL以上を「ビタミン充足」、30 ng/mL未満を「ビタミンD非充足」状態と判定し、そのうち20 ng/mL以上30 ng/mL未満を「ビタミンD不足」、20 ng/mL未満を「ビタミンD欠乏」と判断する基準が採用されています。

図2に、2003～2004年にかけて東京の12～18歳の中高生1360人を対象にした調査の結果を示します。この調査では、ビタミンD欠乏は男子で30.2%、女子で47.7%、ビタミンD非充足は男子で79.9%、女子で89.8%にみられ、特に女子では中学1年生から高校3年生へと成長するにつれ、ビタミンDの栄養状態は顕著に低下することが示されました。この研究では、思春期の踵骨(かかとの骨)骨量に対するビタミンD栄養状態とカルシウム摂取量の相互効果が、特に女子に現れやすいことも確認されました。



■ 図2 日本の中高生のビタミンD栄養状態 (Tsugawa et al. (2016), Fig.1 を改変)



■写真1 B領域紫外線(UV-B)観測装置(MS-212W)



■写真2 ブリューワー分光型紫外線計

かっていませんでした。必要なビタミンDを合成するには紫外線をどれくらい浴びればいいのかを調べてみても、15分とか30分とか、ざっくりとしたデータしかなく、そのデータも発表している機関によってまちまちです。実際、モニタリングのデータをみればよくわかるように、場所や季節によって太陽の高さや緯度が異なるので紫外線の照射量は同じではありません。たとえば、日本なら、沖縄と北海道で紫外線を浴びる時

間が同じでいいわけがないはず。そこでモニタリングのデータを活用して、場所や時刻に応じて必要な照射量を計算できるシステムをつくったのです。

**Q**：生体内で紫外線によってどれだけビタミンDが合成されるかはわかっているのですか。

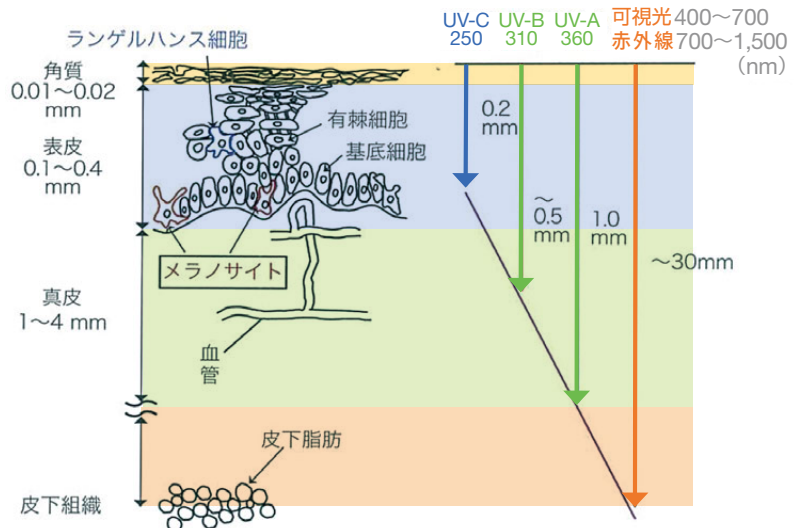
**中島**：それが欧米人のデータはあるのですが、日本人のデータがほとんどないのです。欧米ではビタミンD不足が大きな問題だったのでたくさん研究されました。

### コラム③

## 日光紫外線の人体への影響

280~315 nmのドルノ線と呼ばれるUV-Bによって、皮膚の中でビタミンDが生成されます。皮膚でUV-Bによって作られるプレビタミンD<sub>3</sub>のおよそ80%が表皮層と基底細胞で作られ、残りの20%程度が真皮層で作られます。図3に、皮膚の構造と光の波長別透過特性を示します。年齢によって皮膚で作られるビタミンD量は徐々に減少しますが、真皮層で作られるビタミンD量は年齢によってあまり変化しません。また、赤道付近の日光に照射された白人の皮膚中のプレビタミンD<sub>3</sub>量は、照射時間が約1時間を超えるとそれ以上は増えないことが実験で示されています。これは、日焼けなどの作用によって、ある程度以上のビタミンD生成が阻害されるためです。よって、UV-B照射によって皮膚で生成されるビタミンDではビタミンD取得過剰になることはありません。

人の皮膚はその色によってType IからType VIまで6段階のスキントypeに分類されます。番号が小さいほど皮膚の色が薄いことを表します。日本人に最も多いスキントypeはType IIIで約30%、次に多いのがType IIで約28%、Type Iが18%、Type IVが16%です。UV-Bの照射によって皮膚の中で生成されるプレビタミンD<sub>3</sub>量が最大値になるまでにかか



■図3 皮膚の構造と光の波長別透過特性(佐々木政子編著(2015)の図5.6を改変)

る時間はスキントypeによって異なり、Type VIはType IIIの約2倍、Type VIはType IIIの約3倍の時間がかかることが実験によって明らかになっています。

代表的な紫外線による人体への悪影響には、日焼け、シミ、しわ、皮膚がん、白内障、免疫機能の低下などが挙げられます。日焼けはさらに、短期間に皮膚が赤くなる紅斑生成(sunburn)と、それに引き続いて起こる色素沈着(suntan)に分けられます。スキントype Type I、II、IIIの人は、sunburnの日焼けを引き起こしやすく、一方スキントype Type III、IV、V、VIの人は、suntanタイプの日焼けを起こしやすいといわれています。

ところが日本では、ビタミンDが不足するなんて考えられていなかった結果です。そこで欧米人のデータをもとに計算を進めましたが、そのままでは日本人にあてはまらないので工夫が必要です。たとえば、欧米人と日本人では皮膚のタイプが違い、紫外線に対する感受性が異なりますから…。

**Q**：計算の結果はどうでしたか。

**中島**：1日に必要とされるビタミンDの量、10 $\mu$ g (マイクロは100万分の1)を合成するのに必要な日光浴の時間を計算してみると、地域や季節で異なることが示されました。たとえば、紫外線の弱い冬では、那覇で14分、つくばで41分でしたが、札幌ではつくばの3倍以上の139分必要でした。札幌ではかなりの時間の日光浴をしないと必要なビタミンDが合成されないこととなります。ですから、冬は積極的に日光浴をして、食事からのビタミンDの摂取も必要なことがわかります。

### 紫外線のメリットとデメリット

**Q**：紫外線を浴びすぎれば皮膚に悪影響がでるのではないですか。

**中島**：はい。だから、有害にならない適切な時間を求めることが必要なのです。紫外線を浴びすぎると紅斑と呼ばれる日焼けが生じます。ビタミンDの合成に必要な時間と紅斑の生じる時間は異なるので、紅斑を生じさせる紫外線の量を超えない程度の紫外線を浴びるのが適切だと考えています。たとえば、長そでシャツ・長ズボンを着て手と顔を出している場合、関東地域の5月から8月の夏の時期なら、浴びるのは10分以上30分以下がおすすめです。12月から2月の冬なら、40分以上2時間以下がおすすめです。ただ、紫外線はガラスで遮られてしまうので、ガラス窓の中だと光を浴びていてもビタミンDは合成されません。

**佐々木**：紫外線を浴びるのはどの程度がいいのか、場所によってリアルタイムにわかるシステムの「スマートフォンアプリ」を開発しました。全国10カ所のモニタリングデータの中から、自分の住んでいるところに近いデータを見ることで、今どれくらい日光を浴びるといいのかがわかります。日焼けをせずに必要なビタミンDを合成する時間を計算し、リアルタイムに情報を出しています。親しみやすいキャラクターもデザイン

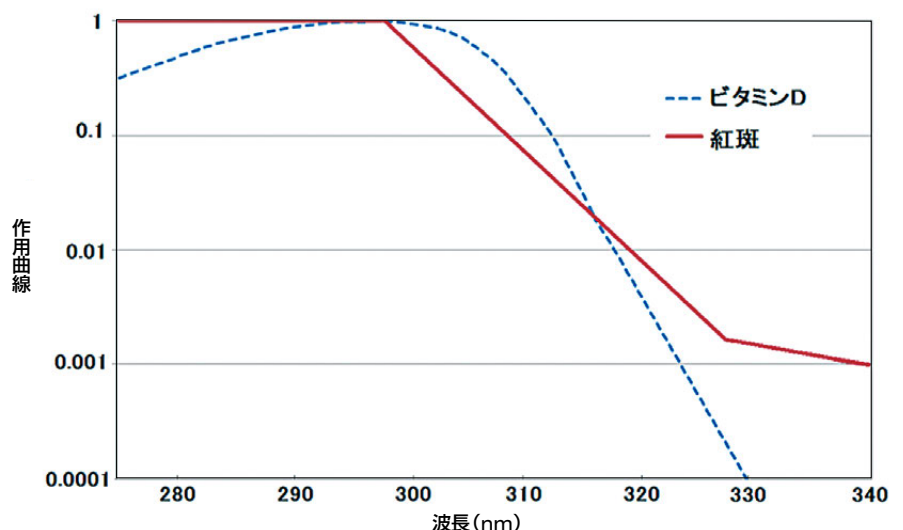
#### コラム④

### 日光紫外線による ビタミンDの生成

ビタミンDを効果的に生成するUV-Bは、皮膚のDNAを損傷させ、日焼け(sunburn：紅斑)を生じさせます。皮膚に紅斑を生じさせる最少の紫外線量を、最少紅斑紫外線量(Minimal Erythema Dose: MED; 単位は[mJ/cm<sup>2</sup>])と呼び、スキントypesや性別、年齢などによって人ごとに異なった値となります。スキントype Iの人がMEDに達するまでの時間を1としたとき、スキントype IIの人は1.25倍、Type IIIの人は1.5倍、Type IVの人は2倍のUV-B照射量でMEDに達する関係があります。

紫外線の人体への影響度は、波長によって異なります。波長ごとの人体への相対影響度については、国際照明委員会(Commission internationale de l'éclairage: CIE)が定義した紅斑作用スペクトルが一般的に用いられています。図4に、紅斑紫外線と、肌でビタミンDを生成

する紫外線の作用スペクトル曲線を示します。CIE紅斑作用スペクトルは、人の皮膚に紅斑(赤い日焼け:sunburn)を引き起こす作用曲線です。両者はそれぞれ波長290~300 nm付近で作用が最大となりますが、長波長側で効率が異なります。UV-B領域内の波長280~300 nmでは双方ともに相対影響度が高く、同領域内の波長300 nmからUV-A領域に入った320 nmにかけて急激に低くなります。330 nm以上の波長ではビタミンDの生成量はほとんど0になりますが、紅斑生成の効果は330 nm以上の長波長側でも少し残っています。



■図4 紅斑紫外線とビタミンD生成紫外線の作用スペクトル



して、気軽に利用してもらえようとしています。

**小野**：私たちは紫外線の有害性というデメリットについて、中島さんたちはビタミンD合成というメリットについて相反する研究をしているので、どのように研究を進め、情報を公開するのにはずいぶん議論しましたね。そこで、「有害紫外線モニタリングネットワーク」では両方の紫外線の情報を出しています。ただ日本人では、紫外線の強い地域に住んでいる人ほど皮膚がんになりやすいという明確なデータはありません。また日本人は、白人と比べて皮膚がんの致死率は非常に低いことも示されています。

**中島**：近年、くる病の発症が増えています。くる病は子供に起こるビタミンD欠乏症です。O脚など骨の変形もビタミンDの不足によるものです。くる病が増えているのは妊婦のビタミンD不足や生まれた子供の日光浴不足が影響していると考えられます。いま順天堂大学や大阪府立大学といっしょに、新生児や妊婦の血液中のビタミンD量について、食生活や外出時間との相関を調べています。妊婦と新生児のビタミンD不足や日光浴との相関が示されつつあります。

## 適切に紫外線を浴びることを広めていきたい

**Q**：研究の手ごたえは感じていますか。

**中島**：8年くらい研究してきて、ようやく日光浴の必要性の科学的な根拠がみえてきました。私たちの研究やアプリなどが、女性誌や週刊誌などで取り上げられることが増えました。その記事を見るまで、ビタミンD不足について知らない人が多いですね。また、美白が健康に悪いというショックを受ける人も多いのですが、両立する範囲で紫外線を浴びるといいと説明するとわかってくれます。健康な生活には紫外線を浴びることが必要なことを広めていきたいです。そのためにも、開発したアプリをどんどん活用してもらいたいです。

**Q**：研究の成果が生かされるようになってきましたね。

**中島**：はい。厚生労働省が定めている日本人の食事摂取基準では、ビタミンDの摂取目安量の推奨値は1日5.5 $\mu$ gでした。でもこの量は欧米に比べて少なすぎます。欧米では15 $\mu$ g、高齢者では20 $\mu$ g以上ですから、3倍くらい開きがあります。ビタミンDが不足している実情やビタミンD不足の人は日光を浴びていないことも推定されたので、摂取基準を見直すことになりました。5年ごとに改訂される「2020年版」では目安量が8.5 $\mu$ gに引き上げられ、適度に日光を浴びよう注釈もつけられました。オゾン層破壊の問題で紫外線への注意喚起をしたことが、ビタミンD不足発見のきっかけの一端になったかもしれないと思うと、少しほっとした気持ちになります。

**Q**：ちなみに現在のオゾン層の状態はどうなっているのでしょうか。

**中島**：1987年にモントリオール議定書(オゾン層を破壊する物質に関するモントリオール議定書)が採択されたのち、オゾン層を破壊するフロンが全廃されました。おかげでオゾン層の破壊はストップし、オゾン層は回復しつつあります。オゾン層が回復していることはあまりニュースになりませんが、オゾン層破壊は現象の発見によって研究が進み、回復に結びついたので、環境問題のサクセスストーリーです。ですから、環境問題の研究者にとっては、オゾン層研究に関わっていたことは自慢できる話です。今オゾン層の破壊が問題になっているのは南半球の一部だけです。実際の日本上空の紫外線量は、最近わずかずつ増えています。これはオゾン層が破壊されているせいではなく、ディーゼル車等が規制されて大気汚染が改善し、空気中のちりが減ったためだと考えられています。

## 紫外線モニタリングデータを有効に

**Q**：今後はどのように研究を進めていきたいですか。

**中島**：今後は共同研究を進めて、血液中のビタミンD実測値をもとに、紫外線によるビタミンD合成量を調べることを目指しています。実測値を見ると、紫外線を浴びた時間から想定される体内のビタミンD合成量は想定した量より少ないようで、紫外線を思ったほどうまく浴びられていないようです。しっかりと紫外線を浴びる方法も含めて周知が必要です。たとえば、半そでになると日に当たる皮膚の部分が増えるので、日光にあたるのはもっと短い時間ですみます。健康的に効率よく紫外線を浴びる方法を提案したいです。

**佐々木**：いま公開している紫外線のデータは観測点のものしかないので、全国各地のどこでも、その時の天気に応じてどれくらい紫外線を浴びたらいかががスマートフォンですぐにわかるようにしたいです。ビタミンDから健康のためのいろいろなメリットが得られるように、データを公開しているホームページを改善していきたいです。

**小野**：紫外線に対する関心は低く、モニタリングしたデータがどう使われているのかが気になります。モニタリングしただけではもったいないので、有効に使われるといいですね。熱中症対策として、暑さ指数などを組み込んだ端末の開発が始まっています。その端末の情報に紫外線量を組み込みたいです。

**津田**：皮膚が赤くなるなどの有害性対策のためのウェアラブルなデバイスがほしいですね。そのためにはデータが必要ですから、モニタリングがいっそう充実することを期待しています。

## 肌にダメージを与えない範囲で、最適な紫外線照射時間を広く知らせる

オゾンホールが発見以降、危険な太陽の紫外線をなるべく避けるような生活が一般的になったせいで、特に最近若年女性の間でビタミンDの欠乏が広がっています。私たちは、健康に害を及ぼさない範囲で10 $\mu$ gのビタミンDを生成するのに必要な紫外線照射時間の情報を、HPやスマホから準リアルタイムで提供しています。

### 2000年代以降、日本国民の間にビタミンD不足が顕在化

ビタミンDは、魚類やキノコなどの食品に含まれますが、食品からの取得だけでは不足しやすいので、適度な日光浴による皮膚での補給が不可欠です。カナダや北欧など、太陽があまり高く昇らない高緯度地域の国々では、特に冬は太陽光を浴びるだけでは皮膚からのビタミンDが十分に生成されず、骨関連の疾患を防止するため、ビタミンDを含んだサプリメントの摂取が必須です。一方、日本などの中緯度や低緯度に位置する国々では太陽高度が十分高いため、外に出て通常の太陽光を浴びる生活をしている限り、ビタミンD欠乏はあまり起こらないと従来は考えられていました。

ところが、2000年代あたりから、日本人の特に若年女性の間で、ビタミンDが不足もしくは欠乏し、骨関係の疾患(O脚、くる病、圧迫骨折、骨粗鬆症など)が増加しているという報告が増えてきました。この時期は、1985年の南極オゾンホールが発見に端を発した、紫外線は皮膚に有害で最悪の場合には、皮膚がん

などの原因になるといった情報が世の中に広がった時期と重なります。実際、それまで「母子手帳」にあった「赤ちゃんには日光浴をさせましょう」という記述が、1998年以降は「外気浴」に変更されました。その結果、美白ブームなどもあいまって、最近では若年女性の間でビタミンD欠乏が発生したと考えられます。

実際には、肌や目に悪影響を及ぼさない範囲で、必要なビタミンDを日光浴によって生成させることは可能です。しかしこれまで、関連する機関や学会等は1日の日光浴の目安として、図5のような大ざっぱな推奨時間しか示していませんでした。皮膚で生成するビタミンDの量は浴びる紫外線強度にほぼ比例し、紫外線強度はその場所の緯度・経度、季節(月日)、時刻(これらにより、太陽の天頂角が決まる)、天候、上空のオゾンやエアロゾルの量などに依存して、大きく変化します。日本だけに限ってみても、場所や各季節に有効な単一の日光浴目安時間を示すことは困難です。そこで、私たちはこの「もっともふさわしい」日光浴時間の情報を、何らかの形で提供することができないかと考え、研究を始めました。

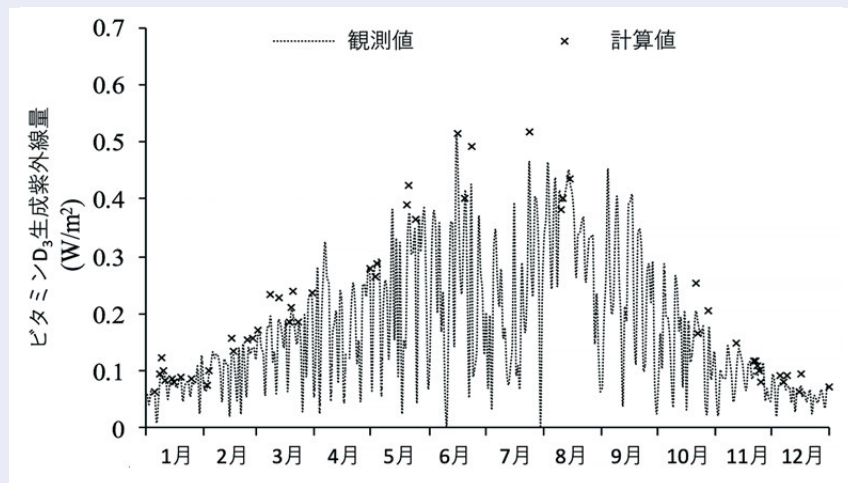
### 放射伝達計算によるビタミンD生成量の見積もり

地上に到達するビタミンDを生成するB領域紫外線(UV-B)強度の計算は、SMARTS2と呼ばれる放射伝達計算モデルを用いて、ある日、ある時刻、ある場所での太陽から地表に達する波長別紫外線強度(W/m<sup>2</sup> nm)を計算しました。その際、上空のオゾン量とエアロゾル量は、直近の気

組織・論文 (出典)	環境省 ( <a href="http://www.env.go.jp/chemi/uv/uv_pdf/02.pdf">http://www.env.go.jp/chemi/uv/uv_pdf/02.pdf</a> )	日本ビタミン学会 ( <a href="http://web.kyoto-inet.or.jp/people/vsojkn/kaisetu/kaisetu-1.html">http://web.kyoto-inet.or.jp/people/vsojkn/kaisetu/kaisetu-1.html</a> )	(財)骨粗しょう症財団 ( <a href="http://www.jpof.or.jp/prevention-sunbathing.html">http://www.jpof.or.jp/prevention-sunbathing.html</a> )	宮崎県薬剤師会 <a href="http://www.miyayaku.or.jp/">http://www.miyayaku.or.jp/</a>	世界保健機関 World Health Organization ( <a href="http://www.who.int/uv/faq/uvhealth/ac/en/index1.html">http://www.who.int/uv/faq/uvhealth/ac/en/index1.html</a> )	Holick論文 (Holick, M. F., <i>N. Engl. J. Med.</i> , 357, 266-281, 2007)
日光照射部位	両手の甲	-	-	顔と手	顔と両手両腕	両手両足
対象地域	日本	日本	-	-	-	-
日光照射回数	1日1回	1日1回	1日1回	1日1回	1週2,3回	1週2回
照射推奨時刻	-	-	-	-	-	10~15時
その他の要件	平均的な食事の摂取	-	-	早朝または昼下がり	肌の色、生活習慣	冬季を除く
日光照射推奨時間	約15分(日向)または約30分(日陰)	夏期は約30分 冬季は約1時間	夏期は約30分(木陰) 冬季は約1時間	約15分	夏期は約5~15分(低緯度はさらに短時間)	約5~30分(*)

(\*) 時刻、季節、緯度(場所)、スキンタイプに依存する

■ 図5 各機関のHP等に示されているビタミンD生成に必要な紫外線照射時間



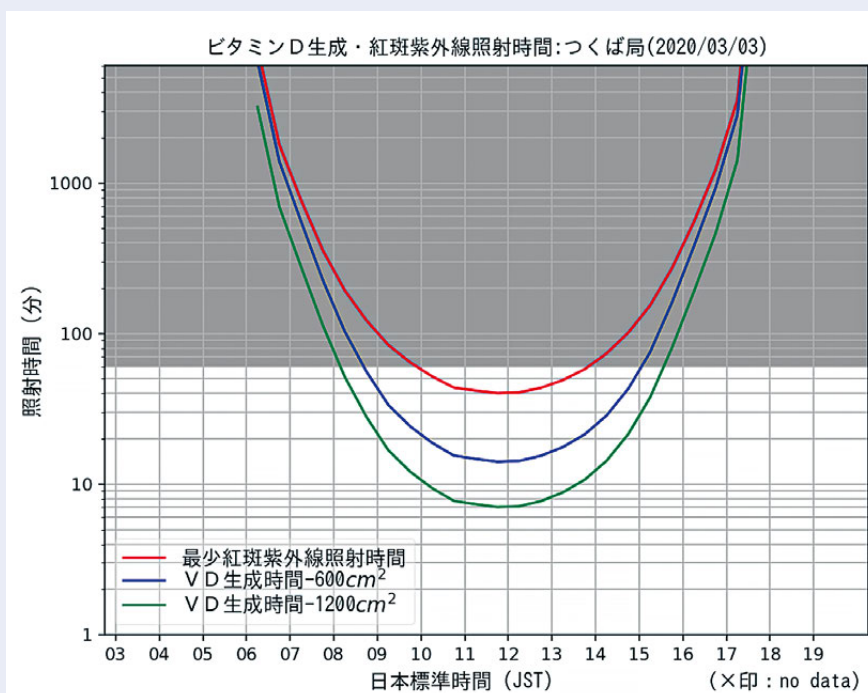
■図6 2007年つくば市の12時におけるビタミンD生成紫外線量の観測値と計算値の比較  
計算は快晴日についてのみ行っている。

象庁の観測データから引用しました。皮膚でのビタミンD生成量は、上記の計算で求めたUV-B強度にコラム④の図4のCIEによるビタミンD生成作用曲線をかけ、波長範囲で積分することによって求められます。このようにして求めた晴天日におけるビタミンD生成紫外線量の計算値を、2007年の茨城県つくば市の高層気象台におけるブリューワー分光光度計による各日の観測値から求めたものと比較した結果を、図6に示します。図で見る通り、両者の間には良い一致をみることが出来ました。

さらに、単位紫外線量当たりの皮膚でのビタミンD生成量の値を過去の文献から採用し、太陽光に露出した肌の面積をかけ、スキントypesの補正を行うことで、ビタミンD生成量の見積もりが可能となります。このようにして、実際のヒトの皮膚でのビタミンD生成量の見積もりが可能となりました。計算では同様に、UV-B照射により肌に紅斑が生じ始める最少紅斑紫外線量(1 MED:

■図7 2020年3月3日のつくば市におけるUV-B/UV-A観測データをもとに計算した、10 $\mu$ gのビタミンDを生成するのに必要な紫外線照射時間(青:長そで、緑:半そで)と、1MEDに達するまでの日光照射時間

日本時間12時の場合、スキントype IIIの人なら半そで7分、長そで15分間の日光浴をすることで、約10 $\mu$ gのビタミンDを生成することができます。一方、日焼けが始まる最少紅斑紫外線量(MED)に達するまでの時間は40分で、それ以下の時間の紫外線照射であれば、日焼け止めを塗らなくても日焼けやシミ・しわを心配する必要はありません。



Minimal Erythemal Dose) に達するまでの時間も、同様に求めることが出来ました。

### 「有害紫外線モニタリングネットワーク」の紫外線観測データの活用

国立環境研究所では地球環境モニタリングの一環として、1990年代から簡易の紫外線測定装置を利用した有害紫外線照射量のモニタリングを行ってきました。この紫外線計は、コラム④にある紅斑紫外線量を測るものですが、ビタミンD生成量の計測にも活用でき

ることが計算からわかっていました。そこで、私たちは放射伝達計算から求めた紅斑紫外線量とビタミンD生成紫外線量の関係をもとに、有害紫外線モニタリングネットワークのデータから、ビタミンDを生成する紫外線照射時間を導出することが可能になりました。この結果をもとに、実際の紫外線観測データから、その観測地点において1日に必要だと見込まれる10 $\mu$ gのビタミンDを体内で生成するのに必要な時間と、1MEDに達するまでの時間をリアルタイムで求め、研究所のHPから即時提供するシステムを構築しました。図7に、2020年3月3日のつくば市におけるデータを示します。また過去の観測データを集計し、その季節の典型的な紫外線照射時間を表の形で提供しています。

# 紫外線による日焼けと ビタミンD生成に関する研究の現状

紫外線の健康への影響の研究は、1985年の南極オゾンホールが発見後、活発に行われるようになりました。紫外線増加に伴う皮膚がんや白内障へのおそれから、健康への悪影響を評価する研究から始まり、最近では、ビタミンD生成による健康への正の側面に焦点を当てた研究も徐々に広がってきています。

## 世界では

地上20 km付近の成層圏に存在するオゾン層は、太陽からの有害な紫外線のうち特に人体や生物に危険なUV-CやUV-Bを吸収し、私たち陸上生物が地上で生活する環境を作っています。1985年の南極オゾンホールが発見は、このオゾン層の破壊を示しており、地上にやってくる紫外線量の増加が懸念されました。南半球中緯度に位置するオーストラリアやニュージーランドは、ヨーロッパや北米に比べて低緯度に位置し、通常でも紫外線強度が強い場所に肌の色の白い白人系の欧米からの移民が多く住んでいるため、もともと紫外線が原因で皮膚に出来る「皮膚がん」の罹患率が高く、紫外線の動向への関心が高いです。それが、オゾンホールが発見以降、より紫外線に関する関心が高まり、この2カ国がホスト国となって、1997年から約4年に1回「紫外線国際会議 (International UV Workshop)」が開催されています。会議では、初期のころはオゾン層破壊に伴う紫外線増加が中心的な話題でしたが、最近では紫外線によるビタミンD生成に関する話題も少しずつ取り上げられています。

米国、ノルウェー、ドイツ、ロシアなどでも、紫外線によるビタミンD生成に関する研究が多く行われています。ちなみに、黄色人種や黒色人種に関しては、太陽紫外線によって皮膚がんが発生することはほとんどないと考えられています。

## 日本では

日本では1970年代から、神戸女子薬科大学のグループが中心となって、日光照射とビタミンD生成に関する研究が精力的に行われてきました。1994年から共学となり、名称が神戸薬科大学となってもなお、長いことビタミンD研究の日本の核の一つになっています。その他にもビタミンDに関連した研究者は、京都女子大学、京都大学、大阪樟蔭女子大学、東京家政大学、新潟大学、徳島大学、順天堂大学、慶應義塾大学、岩手医科大学、大阪府立大学など、全国各

地の大学に存在しています。研究者たちの所属学会も、日本ビタミン学会のほかに、骨代謝・整形外科関連や小児科、産婦人科関連の医学系学会、薬学系の学会、照明や紫外線関連の学会など、多岐にわたっています。

2000年代半ばごろから、日本人のビタミンD不足や欠乏に関する報告が少しずつ増えており、その原因として栄養の偏り(魚を食べない生活)や、紫外線照射不足が指摘されています。血中ビタミンD濃度の測定には専用の測定器を用いる必要があり、通常の人間ドックや血液検査などではビタミンD濃度を知ることはできません。しかし、コラム②で示した通り、日本人の多くはくる病や骨粗鬆症になる一歩手前のビタミンD欠乏、もしくは不足状態にあるといわれています。このような状況は、血液の高脂血症や高血圧と同様に、病気になる寸前の生活習慣病状態にあると考えられます。

最近、普段の食生活や通常の紫外線照射頻度をもとに、10項目程度の質問に答えることで、ビタミンD充足状態を簡便に推定する手法が大阪府立大学の研究者を中心として開発されました。読者のみなさんもぜひ骨の健康のため、ご自分のビタミンD健康状態に留意し、その日の紫外線強度に合った適度な時間での日光浴を心がけていただきたいと思います。

## 国立環境研究所では

国立環境研究所では、2012年から紫外線によるビタミンD生成に関する研究を開始しました。東京家政大学を定年退官した宮内正厚先生を迎え、大学で行っていた紫外線によるビタミンD生成に関する研究を発展させて、4報の論文にまとめました。さらに、以前から地球環境モニタリングの一環として1990年代から行ってきた「有害紫外線モニタリングネットワーク」の紫外線観測データを活用し、その日、その場所、その時刻に体内で生成するであろうビタミンD量を、準リアルタイムに計算によって求め、研究所のHPから即時提供するシステムを構築しました。また、スマートフォンなどの携帯端末でも確認できるようなページも作成しました。おかげで、最近ではマス

## HPからの最適な日光照射時間の提供

私たちは、有害紫外線モニタリングネットワークによってUV-B、UV-A計から観測された紅斑紫外線量をもとに、ビタミンD生成紫外線量の計算を行いました。その結果得られた、日本国内11地点における10 μgのビタミンD生成に必要な時間や、単位時間当たりビタミンD生成量に関する準リアルタイム情報を、2014年11月より「ビタミンD生成・紅斑紫外線量情報」というHPで提供しています。図8に、このHPのトップページ画面を示します。このHPへは、以下のURLで参照できます。

[https://db.cger.nies.go.jp/dataset/uv\\_vitaminD/ja/index.html](https://db.cger.nies.go.jp/dataset/uv_vitaminD/ja/index.html)

このHPは、以下のようなサブページから構成されています。

- ① ビタミンD生成・紅斑紫外線量情報(速報値)：日本国内11地点における、1分おき、及び30分おきの、ビタミンD生成紫外線量(W/m<sup>2</sup>)、及び半そで(1200 cm<sup>2</sup>)・長そで(600 cm<sup>2</sup>)での30分ごとのビタミンD生成量(μg)。1分おき、及び30分おきの、紅斑紫外線量(W/m<sup>2</sup>)。
- ② ビタミンD生成・紅斑紫外線照射時間(速報値)：日本国内11地点における30分おきの、半そで・長そでの10 μgのビタミンD生成に必要な日光照射時間(分)、及び1 MEDに到達するまでの日光照射時間(分)。
- ③ 過去数年間の実観測データに基づく、日本各地12地点における各月上・中・下旬10日ごとの、半そで・長そでの10 μgのビタミンD生成に必要な日光照射時間(分)、及び1 MEDに到達するまでの日光照射

時間(分)の気候値(過去の平均的な値)。

- ④ 日本各地12地点における過去のビタミンD生成紫外線量(W/m<sup>2</sup>)と紅斑紫外線量(W/m<sup>2</sup>)観測データの表示。

なお、このHPには、携帯端末用の「モバイル用ページ」も用意しており、上記のうち必要最小限度の情報を準リアルタイム、及び過去の気候値データを外出先等でも携帯端末等で簡単に確認できます。



■ 図8 「ビタミンD生成・紅斑紫外線量情報」HPのトップページ

コミやメディアでも少しずつ、紫外線によるビタミンD生成の重要性が取り上げられています。1987年締結の「オゾン層を破壊する物質に関するモントリオール議定書」が功を奏し、成層圏オゾン層は回復への道筋がつけられ、それにともなって全国に展開していた紫外線観測ネットワークが最近では縮小傾向にありま

す。しかし、紫外線によるビタミンD生成という別の観点からの紫外線データの活用のため、今後とも全国での紫外線観測をできる限り継続していきたいです。

今後は他の大学の研究者と共同で、実際の人を対象に、紫外線照射と体内ビタミンD量の相関関係を調べる研究も進めていきたいと考えています。

# 国立環境研究所における 「紫外線観測に関する研究」のあゆみ

国立環境研究所では、オゾン層破壊や紫外線に関する研究を行っています。  
ここでは、その中から、紫外線観測に関するものについて、そのあゆみを紹介します。

年度	課題名
1993～1995	紫外線の増加が人の健康に及ぼす影響に関する研究（地球環境研究総合推進費）
1996～1998	紫外線の増加が人に及ぼす影響に関する疫学的視点を中心とした研究（地球環境研究総合推進費）
1999～2001	紫外線の健康影響のリスク評価と効果的な予防法の確立に関する研究（地球環境研究総合推進費）
1998～2002	紫外線暴露量モニタリング（地球環境モニタリング公募事業）
2003～現在	有害紫外線モニタリングネットワーク事業（地球環境センター・モニタリング事業）

本号で紹介した研究は、以下の機関、スタッフにより実施されました（所属は当時、敬称略、順不同）。

## 【研究担当者】

国立環境研究所：中島英彰、宮内正厚、清水美香、佐々木徹、宮川幸治、小野雅司、藤沼康実、町田敏暢、笹川基樹、杉田考史

地球・人間環境フォーラム：津田憲次

東京家政大学：平井千津子

順天堂大学：坂本優子

慶應義塾大学：大越匡、本田由佳

大阪樟蔭女子大学：津川尚子

大阪府立大学：桑原晶子

神戸学院大学：田中清

## ● 過去の環境儀から ●

これまでの環境儀から、オゾン層やモニタリングステーションに関するものを紹介します。

### No.62 「地球環境100年モニタリング～波照間と落石岬での大気質監視～」

地球の温暖化を監視するため、大気中の温室効果ガス濃度を世界各地で観測する必要があります。地球環境研究センターでは、1995年から日本の南端（沖縄県波照間島）や北東端（北海道落石岬）で長期観測をしています。本号では、沖縄県波照間島ならびに北海道落石岬で行われている温室効果ガスの長期モニタリングについて、最新の研究成果を交えながら紹介します。

### No.26 「成層圏オゾン層の行方 — 3次元化学モデルで見るオゾン層回復予測」

国立環境研究所では、東京大学気候システム研究センターと共同で3次元化学モデルを日本で初めて開発し、その研究成果は国連傘下の世界気象機関（WMO）が発行する「オゾン層破壊の科学的アセスメント」に掲載されるなど、世界的にも評価されています。本号では、3次元化学モデル（化学輸送モデル、化学気候モデル）を使った成層圏オゾン層モデリング研究の概要と成果を紹介します。

### No.10 「オゾン層変動の機構解明 — 宇宙から探る 地球の大気を探る」

国立環境研究所では、1988年から開始した北極や南極付近の成層圏を対象とした「衛星観測プロジェクト」に、ADEOSに搭載する改良型大気周縁赤外分光計（ILAS:Improved Limb Atmospheric Spectrometer）の開発段階から参加しており、成層圏オゾン層の変動に関連した研究に取り組んでいます。本号では、「オゾン層とその機構解明」の最新の研究から得られた新しい知見を紹介します。

## 環境儀 No.79

—国立環境研究所の研究情報誌—

2020年12月28日発行

編集 国立環境研究所編集分科会

（担当WG:遠嶋康徳、中島英彰、小熊宏之、山岸隆博、岩崎一弘、滝村朗）

発行 国立研究開発法人 国立環境研究所

〒305-8506 茨城県つくば市小野川16-2

問合せ先 国立環境研究所情報企画室 pub@nies.go.jp

編集協力 有限会社サイテック・コミュニケーションズ

印刷製本 株式会社イセブ

無断転載を禁じます

## 「環境儀」既刊の紹介

<b>No.33</b> 2009年 7月	越境大気汚染の日本への影響—光化学オキシダント増加の謎	<b>No.56</b> 2015年 3月	大気環境中の化学物質の健康リスク評価—実験研究を環境行政につなげる
<b>No.34</b> 2010年 3月	セリング型洋上風力発電システム構想—海を旅するウィンドファーム	<b>No.57</b> 2015年 6月	使用済み電気製品の国際資源循環—日本とアジアで目指す E-waste の適正管理
<b>No.35</b> 2010年 1月	環境負荷を低減する産業・生活排水の処理システム—低濃度有機性排水処理の「省」「創」エネ化—	<b>No.58</b> 2015年 9月	被災地の環境再生をめざして—放射性物質による環境汚染からの回復研究
<b>No.36</b> 2010年 4月	日本低炭素社会シナリオ研究—2050年温室効果ガス70%削減への道筋	<b>No.59</b> 2015年 12月	未来に続く健康を守るために—環境化学物質の継世代影響とエビジェネティクス
<b>No.37</b> 2010年 7月	科学の目で見る生物多様性—空の目とミクロの目	<b>No.60</b> 2016年 3月	災害からの復興が未来の環境創造につながるまちづくりを目指して—福島発の社会システムイノベーション
<b>No.38</b> 2010年 10月	バイオアッセイによって環境をはかる—持続可能な生態系を目指して	<b>No.61</b> 2016年 6月	「適応」で拓く新時代!—気候変動による影響に備える
<b>No.39</b> 2011年 1月	「シリカ欠損仮説」と海域生態系の変質—フェリーを利用してそれらの因果関係を探る	<b>No.62</b> 2016年 9月	地球環境100年モニタリング—波照間と落石岬での大気質監視
<b>No.40</b> 2011年 3月	VOCと地球環境—大気中揮発性有機化合物の実態解明を目指して	<b>No.63</b> 2016年 12月	「世界の屋根」から地球温暖化を探る—青海・チベット草原の炭素収支
<b>No.41</b> 2011年 7月	宇宙から地球の息吹を探る—炭素循環の解明を目指して	<b>No.64</b> 2017年 3月	PM <sub>2.5</sub> の観測とシミュレーション—天気予報のように信頼できる予測を目指して
<b>No.42</b> 2011年 10月	環境研究 for Asia/in Asia/with Asia —持続可能なアジアに向けて	<b>No.65</b> 2017年 6月	化学物質の正確なヒト健康への影響評価を目指して—新しい発達神経毒性試験法の開発
<b>No.43</b> 2012年 1月	藻類の系統保存—微細藻類と絶滅が危惧される藻類	<b>No.66</b> 2017年 9月	土壌は温暖化を加速するのか?—アジアの森林土壌が握る膨大な炭素の将来
<b>No.44</b> 2012年 4月	試験管内生命で環境汚染を視る—環境毒性の <i>in vitro</i> バイオアッセイ	<b>No.67</b> 2017年 12月	遺伝子から植物のストレスにせまる—オゾンに対する植物の応答機構の解明
<b>No.45</b> 2012年 7月	干潟の生き物のはたらきを探る—浅海域の環境変動が生物に及ぼす影響	<b>No.68</b> 2018年 3月	スモッグの正体を追いかける—VOCからエアロゾルまで
<b>No.46</b> 2012年 10月	ナノ粒子・ナノマテリアルの生体への影響—分子サイズにまで小さくなった超微小粒子と生体との反応	<b>No.69</b> 2018年 6月	宇宙と地上から温室効果ガスを捉える—太陽光による高精度観測への挑戦
<b>No.47</b> 2013年 1月	化学物質の形から毒性を予測する—計算化学によるアプローチ	<b>No.70</b> 2018年 9月	和風スマートシティづくりを目指して
<b>No.48</b> 2013年 4月	環境スペシメンバンキング—環境の今を封じ込め未来に伝えるバトンリレー	<b>No.71</b> 2018年 12月	人口分布と環境—コンパクトなまちづくり
<b>No.49</b> 2013年 7月	東日本大震災—環境研究者はいかに取り組むか	<b>No.72</b> 2019年 4月	うみの見張り番—植物プランクトンを使った海洋開発現場の水質監視
<b>No.50</b> 2013年 10月	環境多媒体モデル—大気・水・土壌をめぐる有害化学物質の可視化	<b>No.73</b> 2019年 6月	アオコの実像—シアバクテリアの遺伝子解析からわかること
<b>No.51</b> 2014年 1月	旅客機を使って大気を測る—国際線で世界をカバー	<b>No.74</b> 2019年 9月	アジアの研究者とともに築く脱炭素社会—統合評価モデル AIM の開発を通じた国際協力
<b>No.52</b> 2014年 4月	アオコの有毒物質を探る—構造解析と分析法の開発	<b>No.75</b> 2019年 12月	GMO アンダーザブリッジ—除草剤耐性ナタネの生物多様性影響調査
<b>No.53</b> 2014年 6月	サンゴ礁の過去・現在・未来—環境変化との関わりから保全へ	<b>No.76</b> 2020年 3月	社会対話「環境カフェ」—科学者と市民の相互理解と共感を目指す新たな手法
<b>No.54</b> 2014年 9月	環境と人々の健康との関わりを探る—環境疫学	<b>No.77</b> 2020年 6月	エアロゾルのエイジングを研究する—大気中のエアロゾル粒子はどのように変質していくのか?
<b>No.55</b> 2014年 12月	未来につながる都市であるために—資源とエネルギーを有効利用するしくみ	<b>No.78</b> 2020年 9月	正しいゴミ管理で都市を水害から守る—熱帯アジアの都市型水害の原因と解決策

●環境儀のバックナンバーは、国立環境研究所のホームページでご覧になれます。  
<https://www.nies.go.jp/kanko/kankyogi/index.html>

### 「環境儀」



地球儀が地球上の自分の位置を知るための道具であるように、「環境儀」という命名には、われわれを取り巻く多様な環境問題の中で、われわれは今どこに位置するのか、どこに向かおうとしているのか、それを明確に指し示すべしという意図が込められています。「環境儀」に正確な地図・行路を書き込んでいくことが、環境研究に携わる者の任務であると考えています。

2001年7月 合志 陽一  
 (環境儀第1号「発刊に当たって」より抜粋)



このロゴマークは国立環境研究所の英語文字 N.I.E.S で構成されています。N=波(大気と水)、I=木(生命)、E.Sで構成される○で地球(世界)を表現しています。ロゴマーク全体が風を切った左側に進むようにする動きは、研究所の躍動性・進歩・向上・発展を表現しています。

**リサイクル適性 (A)**

この印刷物は、印刷用の紙へリサイクルできます。