

A-4 紫外線の増加がヒトの健康に及ぼす影響に関する疫学的視点を中心とした研究  
(2) ライフスタイルを考慮した、標的部位における紫外線有効暴露量評価手法の  
開発に関する研究

研究代表者 国立環境研究所環境健康部環境疫学研究室 小野雅司

環境庁国立環境研究所

環境健康部 環境疫学研究室 小野雅司  
社会環境システム部 情報解析研究室 清水 明

[要旨]紫外線暴露による白内障発症への寄与を考えると重要となる、標的臓器(水晶体)への暴露量評価と、白内障発症に至る生涯暴露量の評価、を目的に、1)紫外線暴露量を評価するための実験モデルの開発、2)モデル実験による紫外線防御に関するパラメータの決定と水眼部における紫外線暴露量推定モデルの開発、3)紫外線の生涯暴露量評価モデル開発、そして、4)サブテーマ(3)で対象とした地域住民の紫外線暴露量推定と白内障発症に及ぼす紫外線暴露の影響解明、に関する研究を行った。

住民の紫外線暴露量測定と疫学調査へ応用可能な携帯可能な小型紫外線簡易測定装置の開発と、頭部マネキンモデル実験に供するための超小型紫外線計測システムを開発した。

各種の条件下でヒトの頭の動きに疑似してマネキンを連続作動させ、紫外線暴露量を計測するシステムを開発した。システムは、前後・左右・回転と複雑な動きを繰り返す、ヒトの頭の動作パターンを一連のデータとして収集するためのシステムと、収集したデータを用いて、ヒトの頭の動きを実験的に再現するための頭部マネキンモデル(パソコン制御によるマネキンの駆動システム)からなる。ヒトの頭に本装置を装着して、その動き(3次元)を連続してモニターするとともに、収集したデータを用いて、ヒトの頭の動きを実験的に再現することが可能となった。

本システムを使った実験により、眼部への紫外線暴露に関して、眼鏡の使用により85%、また帽子の使用により40%の紫外線をカットできることが明らかになった。

地域住民の紫外線暴露量を簡易に推定する方法について検討し、時刻別の戸外生活時間調査に替わりうる方法として、春から秋にかけての、午前9時から午後3時までの戸外滞在時間が、紫外線暴露量の最良の推定値を与えることが明らかになった。

最後に、本研究結果に基づいて、喜界島住民を対象に紫外線暴露量を推定した。比較的狭い範囲の地域に居住する人々であるにもかかわらず、推定値には大きな開きがみられた。さらに、得られた紫外線暴露量推定値と白内障発現との関連について予備的検討を行った。70歳以上の対象者についての結果では、皮質白内障、核白内障とも紫外線高暴露群に高率の傾向が見られた。

[キーワード]頭部マネキン、紫外線防御、戸外活動時間、暴露量推定モデル、生涯暴露量

## 1. はじめに

紫外線暴露と健康障害の発現との関連を疫学的に明らかにするために第一に必要なことは、対象集団における皮膚がんや白内障といった健康障害の実態を正確に把握することとともに対象集団の生活環境中での紫外線暴露量の正確な評価である。また、紫外線暴露による健康影響の多様性を考慮し、それぞれの影響部位における紫外線の有効暴露量の評価が必要となる。

これまでの研究により、人々の生活環境中での紫外線暴露量には、居住地域の紫外線照射量とともに、戸外での活動時間や紫外線防御対策の有無(メガネ、サングラス、帽子、等)といった個人のライフスタイルが関係することが、定性的ながら指摘されている。このうち、地表面における紫外線照射量に関しては、気象庁が10年前より観測を行っており、地理的分布、季節変化、日内変化、が明らかになっている。しかし、戸外での活動時間に関する情報は少なく、また各種の紫外線防御対策(メガネ、サングラス、帽子、等)の効果についても、十分な検証はなされていない。

国際的にも、地域住民の紫外線暴露量を推定しその結果に基づいて健康影響を論じる動きは始まったばかりであり、WHOが中心となって紫外線暴露による健康影響の評価作業を進めており(INTERNERSUN)、紫外線暴露量を評価するための実験モデル(頭部マネキンモデル)の開発と紫外線防御対策効果の評価、さらには、戸外活動時間に基づく紫外線暴露量推定モデル作成は重要と考えられる。

## 2. 研究目的

紫外線暴露による健康影響を評価する上で不可欠な、対象者の紫外線暴露量を正確に評価することを最終目的に、紫外線暴露による健康影響として白内障を想定し、白内障発現に対する紫外線暴露の寄与を明らかにするための研究を行う。白内障発症に及ぼす紫外線暴露の寄与を考え、1) 最終的な標的臓器としての眼部(水晶体)への暴露量評価手法の確立、2) 白内障発症に至る生涯暴露量評価手法の確立、を行う。

これらの目的を達成するため、まず、紫外線暴露量を評価するための実験モデル(ここでは、水晶体をターゲットにした頭部マネキンモデル)の開発と、対象住民の生活歴に対応した紫外線の生涯暴露量を簡易に推定するためのモデルの開発、そして、3) 疫学調査への応用を行う。

## 3. 研究内容

### 3.1 紫外線暴露量評価実験システムの開発

紫外線暴露量を効率的に測定し、併せて紫外線防御対策の効果を定量的に評価するために、①紫外線簡易測定装置の開発、②頭部マネキンモデルの開発、を行う

### 3.2 紫外線暴露量推定モデルの検討

地域住民の生活行動パターン特に戸外活動時間に基づく暴露量推定モデルの開発を行うため、暴露量推定の基礎となる戸外活動時間に関するデータを、いくつかの集団を対象に調査収集し、推定モデルへの適用を検討する。

### 3.3 眼科検診受診者を対象とした生活歴調査と紫外線暴露量推定

サブテーマ(3)において金沢医科大学が実施する眼科検診受診者を対象に戸外活動時間を中心に生活歴調査を実施し、上記結果に基づき紫外線暴露量を推定する。得られた紫外線暴露量推定値をもとに、紫外線暴露と白内障発症との関連について検討を行う。

#### 4. 結果と考察

##### 4.1 紫外線暴露量評価実験モデルの開発

###### 1) 紫外線簡易測定装置の製作

疫学調査への応用を考え、携帯可能な小型紫外線簡易測定装置を製作した。波長特性の異なる二つのセンサーを用いてUV-AとUV-Bを同時に測定し、バッテリーにより約1ヶ月間連続測定が可能である。形状等、若干の改良により生活環境中での紫外線暴露量測定に応用可能と考えられる。

さらに、本測定装置を改良し、微小部位への着脱が可能な超小型紫外線計測装置を製作した。本機器は頭部マネキンの任意の部位に装着し、様々な実験条件下で紫外線を連続測定可能なものである。

###### 2) 頭部マネキンモデルの開発

本実験装置の目的は、各種の条件下でヒトの頭の動きに疑似してマネキンを連続作動させ、紫外線暴露量を計測することである。そのためにはまず、日常生活におけるヒトの頭の動作パターンの収集が必要となる。ヒトの頭は前後・左右・回転と複雑な運動を繰り返す。そこで、これらの動作パターンを一連のデータとして収集するため、位置センサーを組み込んだシステムを開発した。本機器をヒトの頭に装着することにより、その動き(3次元)を連続してモニターすることが可能となった。次に、収集したデータを用いて、ヒトの頭の動きを実験的に再現するために、頭部マネキンモデルを開発した。本モデルは、パソコン制御によるマネキンの駆動システムと頭部動作パターン再現システムからなる。

本頭部マネキンモデルを用い、各種条件下で収集したヒトの頭の動きを再現させ、日常生活における紫外線暴露量の計測と、メガネ、サングラス、帽子等各種紫外線防御対策の効果について検討を行った。図1に実験風景を示した。



図1 紫外線暴露量評価システムによる実験風景  
(1) 実験システムの全景

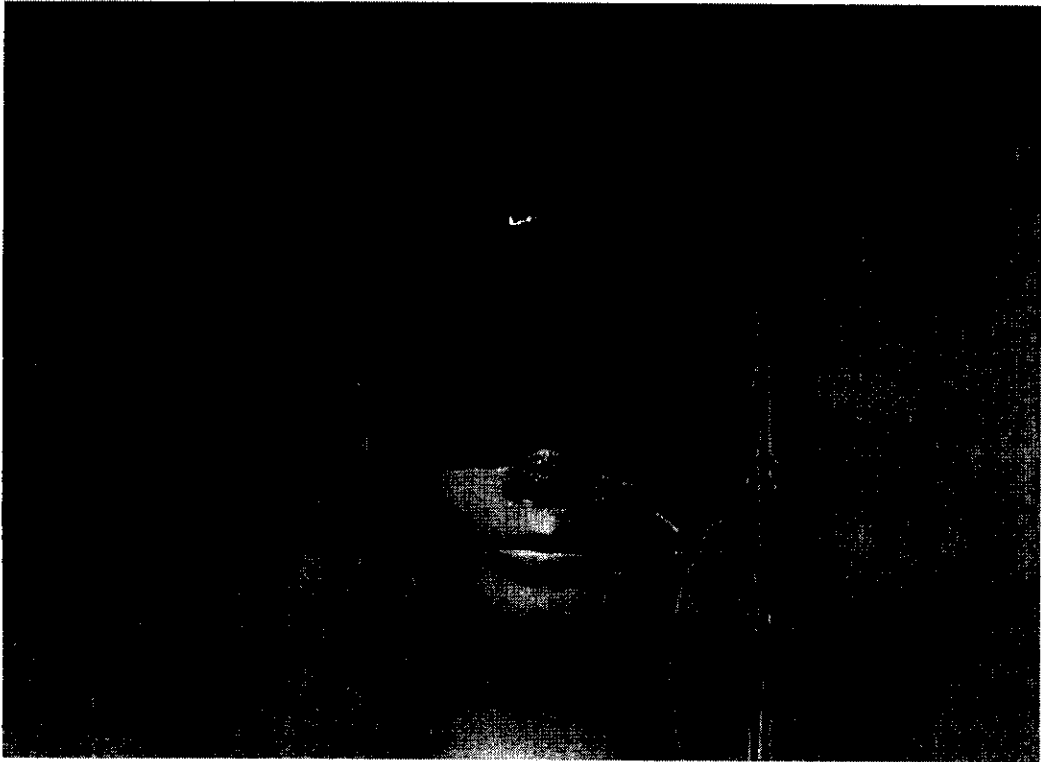


図1 紫外線暴露量評価システムによる実験風景  
(2) 帽子と眼鏡による遮蔽効果

戸外での紫外線カット眼鏡・サングラスの装用は我が国でも若年代で普及している。その白内障予防効果については肯定的な研究結果も得られているが、紫外線カット眼鏡・サングラス装用に関する基本的、実証的な研究はほとんどない。人々が生活環境中で暴露する紫外線量は、対象者の行動パターンの変化に伴い時々刻々と変化する。また、紫外線照射量も季節、時刻により常に変化する。そのため、異なる対象者について、同一の条件下で紫外線暴露量を測定・評価することは非常に難しくなる。頭部マネキンモデルを用いて実験的に紫外線暴露量を測定する意義はここにある。これまでも頭部マネキンモデルを使った研究は行われているが、静的な条件下での限られた実験に止まっている。メガネ、サングラスの装用、帽子の着用、など各種紫外線防御対策の効果についても、いくつかの値が提案がされているが、いずれもごく限られた条件下でのデータによるものであり、不都合な点が少なくない。今回開発したマネキンモデルで、普段の生活中的ヒトの頭の動きに疑似した動的な実験を体系的に行うことにより、これら紫外線防御に係るパラメータの定量的評価が可能になった。本実験に使用した眼鏡の紫外線透過率は1%以下である。図2、図3に実験結果の一部を、また表1にこれらの結果をまとめたものを示した。眼鏡の装用により眼への紫外線暴露量が84%防止できることが明らかになった。また、帽子の装用によっても40%近く紫外線が低減できることが示された。

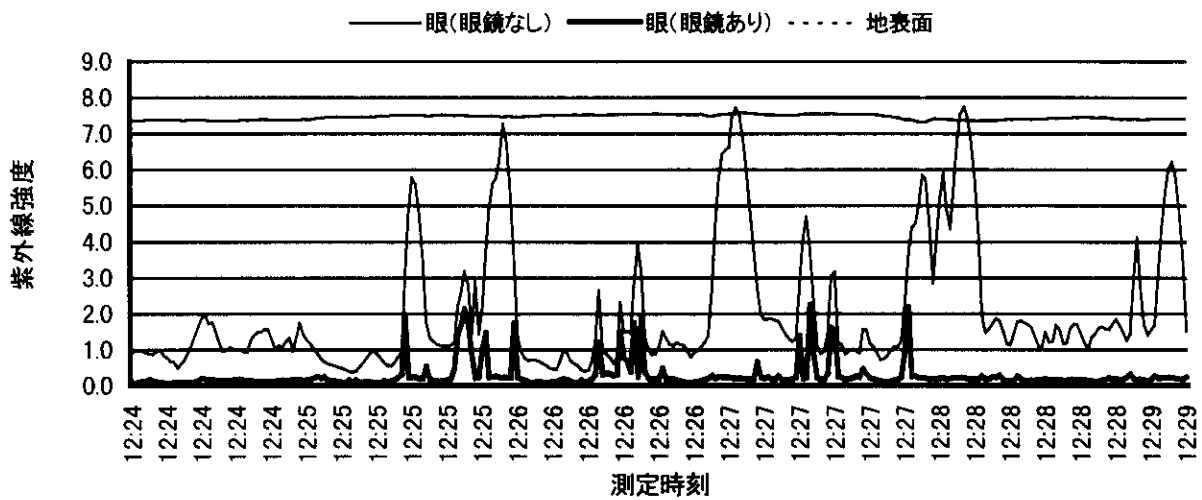


図2 眼鏡による紫外線防御効果

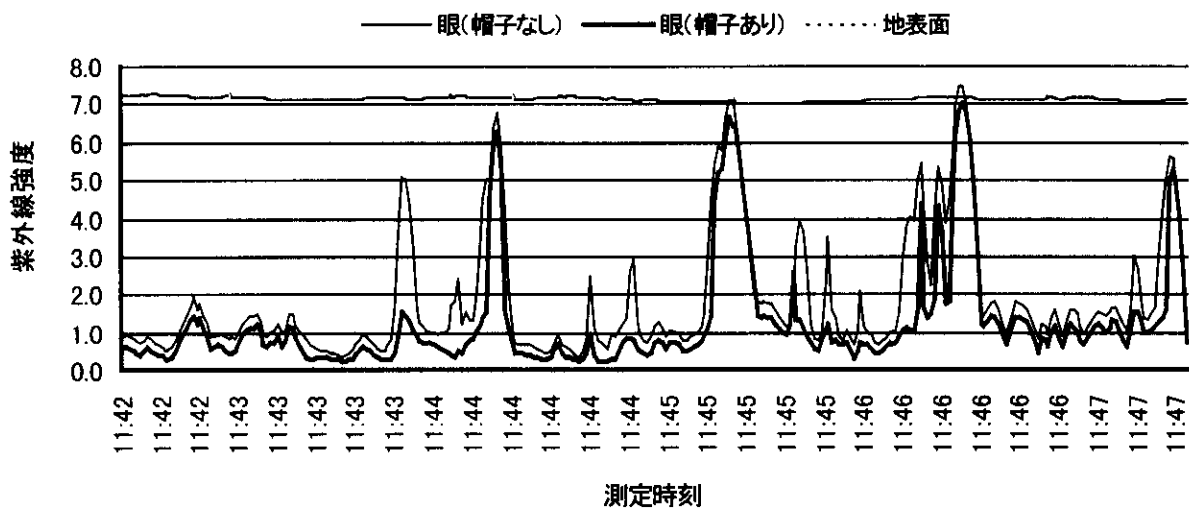


図3 帽子による紫外線の防御効果

表1 眼に対する眼鏡、帽子の紫外線防御効果

	紫外線相対強度	(低減率)
眼鏡、帽子なし	100.0%	0
眼鏡あり	17.3%	-82.7%
帽子あり	61.2%	-38.8%
眼鏡、帽子あり	4.3%	-95.7%

#### 4.2 紫外線暴露量推定モデルの検討

ある時点における地域住民の紫外線暴露量は、基本的には、居住地の紫外線照射強度と戸外での活動時間により決定されると考えられる。最も簡単なモデルで表すと、次式のようになる。

$$UVest = \sum_{t=0}^{23} (UV_t \times Tout_t)$$

$UVest$  : 紫外線暴露量推定値

$UV_t$  : 時刻  $t$  における紫外線強度

$Tout_t$  : 時刻  $t$  における戸外活動時間

しかし、このモデルにおいても、全生活史を通じての時刻別の戸外生活時間が必要になるが、実際には不可能である。そこで、これに替わり得る簡便な方法について検討した。

$$UVest^* = \left( \sum_{t_1}^{t_2} Tout_{t_1} \right) \times UVave$$

$UVest^*$  : 紫外線暴露量推定値\*

$UVave$  : 時刻  $(t_1)$  と  $(t_2)$  の間の平均紫外線強度

$Tout^*$  : 時刻  $(t_1)$  と  $(t_2)$  の間の戸外活動時間

小学生を対象にした紫外線暴露量調査に併せて、行動時間調査を実施し、上記方法について検討した。図4に結果を示したが、午前9時から午後3時までの戸外滞在時間が、時刻別戸外生活時間に替わる紫外線暴露量の最良の推定値を与えることが明らかになった。ちなみに全日の戸外活動時間による推定値は時刻別の戸外活動から推定される暴露量よりも大幅に小さくなることが明らかになった。また1年をとおしての紫外線暴露量については春から秋にかけての紫外線強度を用いることにより、より正確な推定量が得られることが明らかになった。

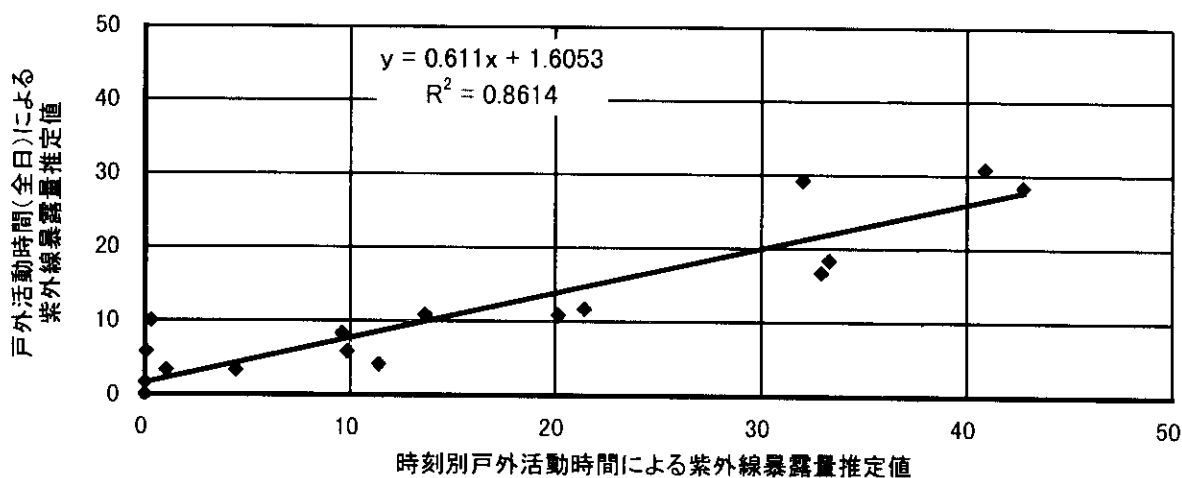


図4 二つの紫外線暴露量推定値の比較(1)

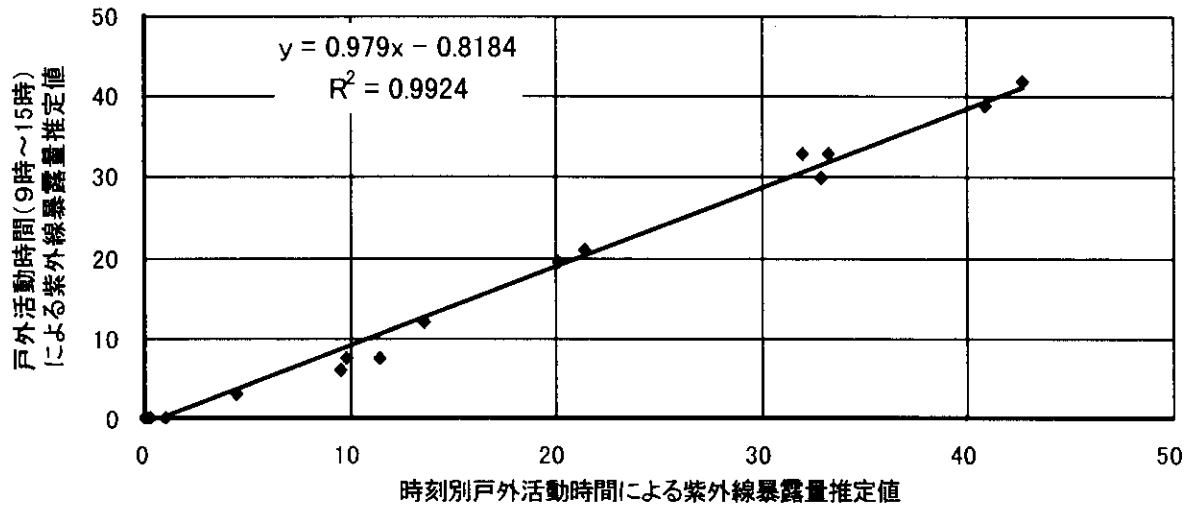


図4 二つの紫外線暴露量推定値の比較(2)

#### 4.3 疫学調査対象者を対象とした生活歴調査

サブテーマ(3)において金沢医科大学が実施するフィールド調査(喜界島、レイキャビク:アイスランド、シンガポール、他)と並行して、眼科検診受診者を対象に戸外活動時間を中心に生活歴調査を実施した。前述のモデルを用い紫外線暴露量を推定した。まず、図5に戸外活動時間の分布を示した。職業にもよると考えられるが、1日3時間未満の者から、10時間以上の者まで、大きな開きが見られた。さらに、紫外線暴露量(推定値)の分布を図6に示した。比較的狭い地域に居住する人々であるにもかかわらず、紫外線暴露量推定値には大きな開きがみられた。

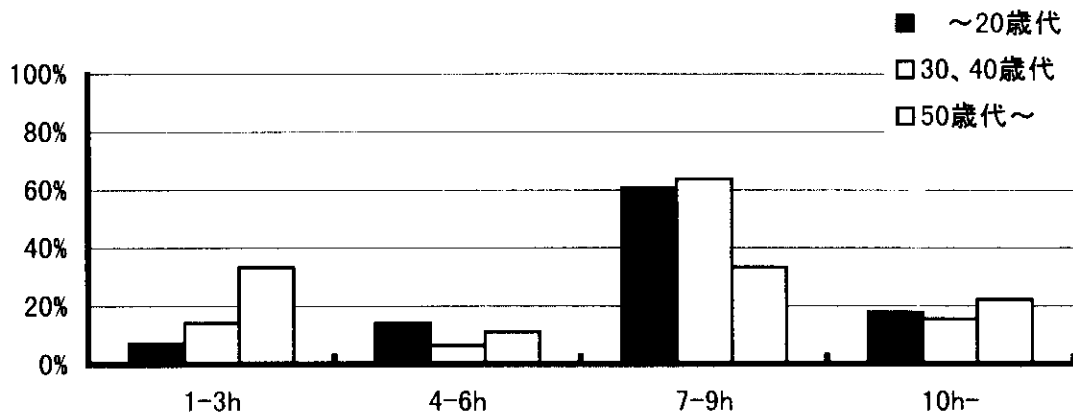


図5 戸外活動時間の分布(喜界島)－平日・女性

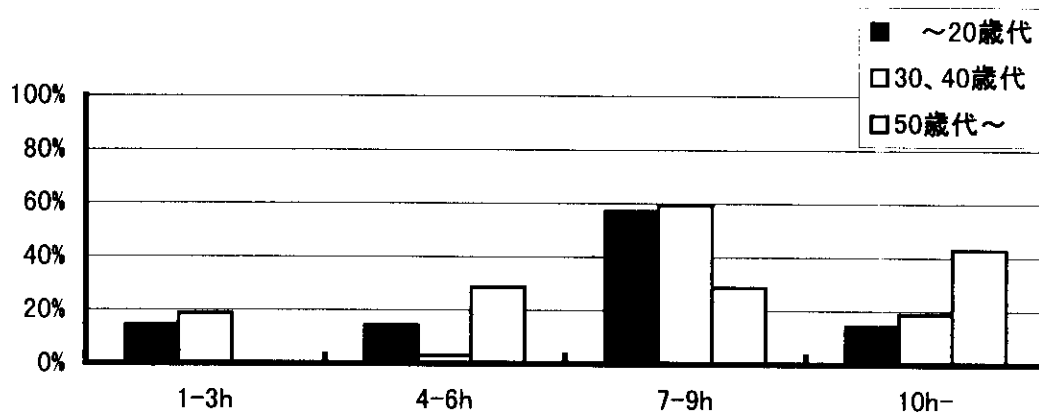


図5 戸外活動時間の分布(喜界島)－平日・男性

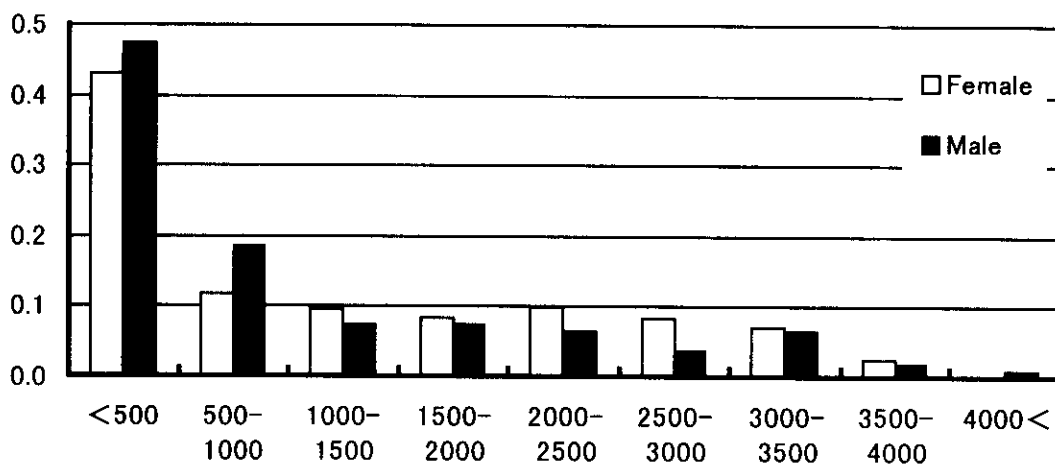


図6 生涯紫外線暴露量推定値(喜界島)

得られた紫外線暴露量推定値と白内障発現との関連について予備的検討を行った。年齢群別に検討すると対象数が少なくなるため、70歳代以上のみにについて検討した。図7に示すように、皮質白内障、核白内障とも、紫外線高暴露群(3,000単位以上)にGrade II以上の有症者の割合が高くなる傾向が見られた。



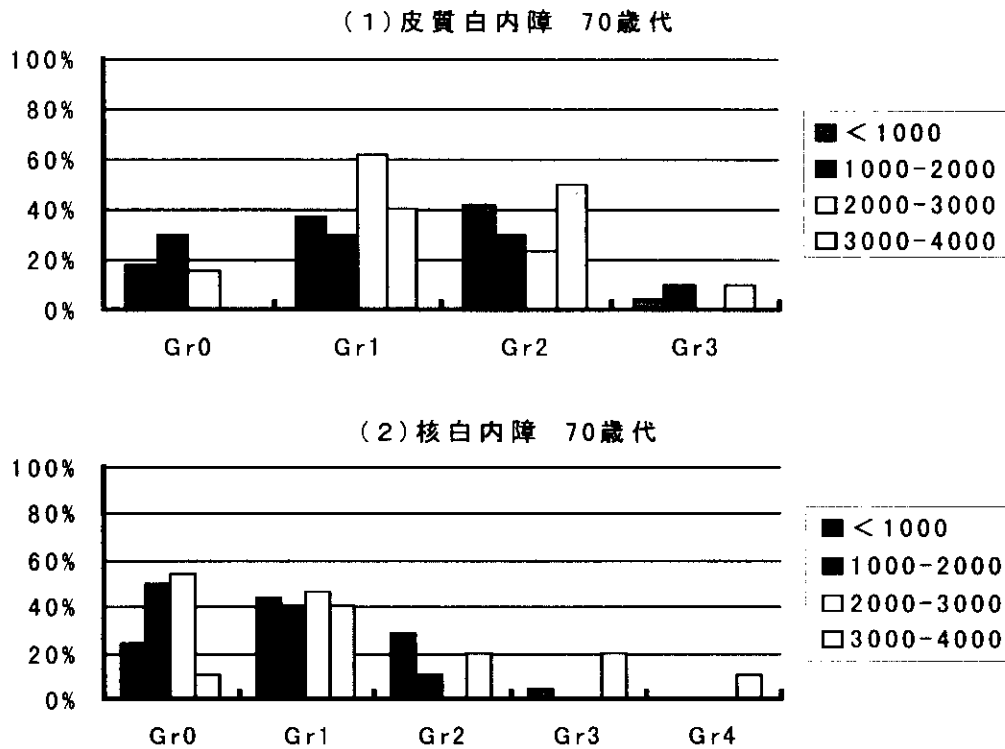


図7 紫外線暴露量別にみた白内障有所見率(喜界島)

## 5. まとめ

白内障発症に対する紫外線暴露の寄与を明らかにすることを目的に、眼部、特にTarget Organとしての水晶体への暴露量評価と生涯暴露量推定モデルの開発、のための研究を実施した。これら二つの目的に達成するため、紫外線暴露量を評価するための実験システム(頭部マネキンモデル)の開発と紫外線の生涯暴露量推定モデルの開発を行った。併せて、サブテーマ(3)で眼科検診の対象となった地域住民一人一人の紫外線暴露量を推定し、白内障発症に及ぼす紫外線暴露の影響を明らかにするための予備的検討を行った。

健康影響、さらにはオゾン層減少に伴う紫外線増加による影響予測、といった二つの観点から、地域住民の紫外線暴露量評価と、疫学調査への応用を考え、携帯可能な小型紫外線簡易測定装置を製作した。さらに、本測定装置を改良し、微小部位への着脱が可能な超小型紫外線計測装置を製作した。本機器は頭部マネキンの任意の部位に装着し、様々な実験条件下で紫外線を連続測定可能なものである。

各種の条件下でヒトの頭の動きに疑似してマネキンを連続作動させ、紫外線暴露量を計測するシステムを開発した。システムは、前後・左右・回転と複雑な動きを繰り返す、ヒトの頭の動作パターンを一連のデータとして収集するためのシステムと、収集したデータを用いて、ヒトの頭の動きを実験的に再現するための頭部マネキンモデル(パソコン制御によるマネキンの駆動システム)からなる。ヒトの頭に本装置を装着して、その動き(3次元)を連続してモニターするとともに、収集したデータを用い

て、ヒトの頭の動きを実験的に再現することが可能となった。本システムを使った実験により、眼部への紫外線暴露に関して、眼鏡の使用により85%、また帽子の使用により40%の紫外線をカットできることが明らかになった。

地域住民の紫外線暴露量は、基本的には、居住地域の紫外線照射強度と戸外での活動時間により決定されると考えられるが、長い生活史にわたって時刻別の戸外生活時間調査を行うことは不可能である。そこで、時刻別の戸外生活時間調査に替わりうる方法について検討した結果、春から秋にかけての、午前9時から午後3時までの戸外滞在時間が、紫外線暴露量の最良の推定値を与えることが明らかになった。

最後に、本研究結果に基づいて、喜界島住民を対象に紫外線暴露量を推定した。比較的狭い範囲の地域に居住する人々であるにもかかわらず、推定値には大きな開きがみられた。さらに、得られた紫外線暴露量推定値と白内障発現との関連について予備的検討を行った。70歳以上の対象者についての結果では、皮質白内障、核白内障とも紫外線高暴露群に高率の傾向が見られた。

#### 研究発表の状況

- 1) 小野雅司: 紫外線の簡易測定、環境技術、25(11)、45-50、1996.
- 2) Masaji Ono: Preliminary study on exposure measurement of ultraviolet radiation, Development Ophthalmology, 27, 81-88, 1997.
- 3) Y.SAKAMOTO, M.KOJIMA, et al.: Ultraviolet Dosimetry Utilizing a Mannequin Model, Development Ophthalmology, 27, 50-55, 1997.
- 4) N.MUNAKATA, M.ONO and S.WATANABE: Monitoring of solar-UV exposure among schoolchildren in five Japanese cities using spore dosimeter and UV-coloring labels, Jpn. J. Cancer Res., 89, 235-245, 1998.

#### 国際共同研究等の状況

INTERSUN (WHOの国際共同プロジェクト) に参画