

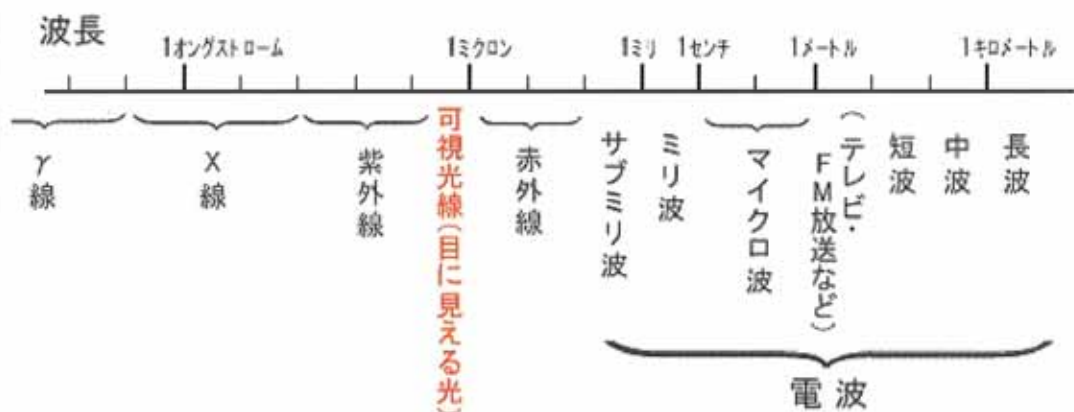
# —第1章—

## 紫外線とオゾン層、そして環境問題

### 1-1 紫外線とは

紫外線とは太陽に由来する光線(電磁波)のうち、波長200nmから380nmの波長帯の光線を称します。一般に紫外線を示すUVという表現はultra-violetの頭文字をとったものであり、白色光を分光した虹の七色ではもっとも波長の短い紫色の光の、さらに短い領域の光という意味があります。ちなみに波長の長い赤外線は虹の赤色のさらに長い波長域であることからinfra-red、IRと呼ばれます。紫外線と赤外線間の波長帯の電磁波は可視光線visible-rayと呼ばれ、ヒトの目では視認することができます。紫外線や赤外線は可視光線の域を外れるので、人間の目では視認することができません。

この紫外線はさらにその波長領域によってA、BおよびC領域に区分されます。図1は、太陽光線の波長別の区分を示したもので、視認可能な可視光線は虹の七色で区分されている領域に相当します。図中には、地上で観測されるそれぞれの波長帯のエネルギー量(強度)も示しており、可視光線が夏に $1000\text{Wm}^{-2}$ にも達する一方で、A領域紫外線は $30\text{Wm}^{-2}$ 程度、B領域紫外線は $1\sim 2\text{Wm}^{-2}$ 程度で、C領域紫外線は地上ではまったく観測されません。このことは、紫外線が可視光線に比べてエネルギー量(強度)が小さい一方、よく知られているように紫外線は生物に対して反応性が高く、たとえば日焼けやシミ・ソバカスの発生、皮膚がんの発症などの元凶であるとされています。C領域紫外線はもっとも反応性が高く、換言すると危険な波長帯の光線ですが、大気圏(成層圏)のオゾン層によりすべてが吸収されているために、現在は地上には降り注いでいません。現在、紫外線問題として最も注目されている紫外線の領域はB領域です。



紫外線の領域	A B C
エネルギーの強さ	0 1-2 30 300(冬) 200(大気由来含む) -1000(夏)
	(単位 $\text{Wm}^{-2}$ )

(1オングストローム: 1000万分の1ミリ、1ミクロン: 1000分の1ミリ)

図1 太陽放射の構成

([http://wwwj.vsop.isas.ac.jp/yougo/k01\\_visible.html](http://wwwj.vsop.isas.ac.jp/yougo/k01_visible.html)から引用、一部改図)



紫外線各領域の生物に対する影響を、波長の短いほうから概観してみます。

#### C領域紫外線 (UV-C) (200~280nm)

上層大気中の酸素及びオゾンにより吸収され、地表には到達しない。生物に対する反応性は極めて高く、もし照射されれば生物のDNAを損傷し、非常に有害である。この特性を利用して、UV-Cを発する特殊な蛍光灯「殺菌灯」は微生物の殺菌消毒に使われている。

#### B領域紫外線 (UV-B) (280~315nm)

成層圏のオゾン層により吸収されるが、一部は地表に到達する。UV-Bも生物の表層のDNAに損傷を与えたり、日焼け・皮膚の老化の原因となり、皮膚癌や白内障などの疾患を引き起こす。免疫機能を低下させるという報告もある。「有害紫外線」と呼ばれる一方、300nm付近は、ビタミンD生成に働く「健康線」でもあるとも言われてきた。ただし現在では健康線としての認識は薄れ、医学的には「百害あって一利もなし」と称される。オゾン層破壊によって地上到達量が増えつつあり、生物学的な影響が懸念される。

#### A領域紫外線 (UV-A) (315~380nm)

地球大気上縁に達したUV-Aは、そのほとんどが地表に到達する。皮膚の深くまで貫通し、日焼けなどの原因となる。

このように、生物に対して反応性の高い領域の紫外線はB領域およびC領域であり、近年話題となるオゾン層の衰退により特にB領域紫外線の強度が強まりつつあり、人間のみならず生物全般への影響が懸念されています。

## 1-2 紫外線の基礎的な物理性について

先に述べたように、地上で $1000\text{Wm}^{-2}$ に達する太陽放射の中でもUV-Bの占める割合はごくわずかで、エネルギー総量としても非常に小さいのですが、波長が短くなるほど光子（放射には「波」としての性質のほか「粒子」としての性質も持ち合わせています。放射を粒子の数であらわすとき、これを光子（こうりょうし）数と呼びます）ひとつあたりのエネルギー量は大きくなるという原則により、生物のDNAに損傷を与えるなどの高い反応性を示します。また反応性の高さは生物に対してのみならず、物体表面の退色を招くなど非生物のものを劣化させる原因にもなっています。

紫外線は可視光線と比較すると波長が短いため、大気中の気体分子やチリに当たることによって進行方向が変わりやすいという特性があります。この現象は放射の散乱と呼



ばれ、散乱によって地上へ降り注ぐ紫外線の量は減少します。標高の高いところでは相対的に通過してくる大気の層が薄いので、紫外線は低地と比較して散乱の影響が少ないのです。標高の低いところでは太陽放射が厚い大気の層を通り抜けてくることで紫外線は散乱を受け、強度は減衰します。これが経験的に山岳地などの標高の高いところで紫外線が強いとされる理由です。長野県の主要な都市は標高が高いため、低平地と比較してその標高差分だけ、大気の厚さが少ないと考えれば、紫外線を散乱させる要素が少ない分、紫外線の強度は強くなると考えられます。

北海道から沖縄にかけての各都市の年間紫外線量とその緯度・標高の関係で示されるように(図2)、年間紫外線量はもっとも低緯度に位置する沖縄よりも松本で多くなっていることが判読できます。紫外線の散乱に影響する大気層の厚さは、実質的には太陽放射が透過してくる光路の長さであることが見てとれます。低緯度ほど大気層が薄く潜在的には紫外線量が多くなることも考えられますが、沖縄より北に10°隔たった松本で、より年間紫外線量が多い事実は、沖縄が台風の通り道となっていることを差し引いても、注目すべきことでもあります。

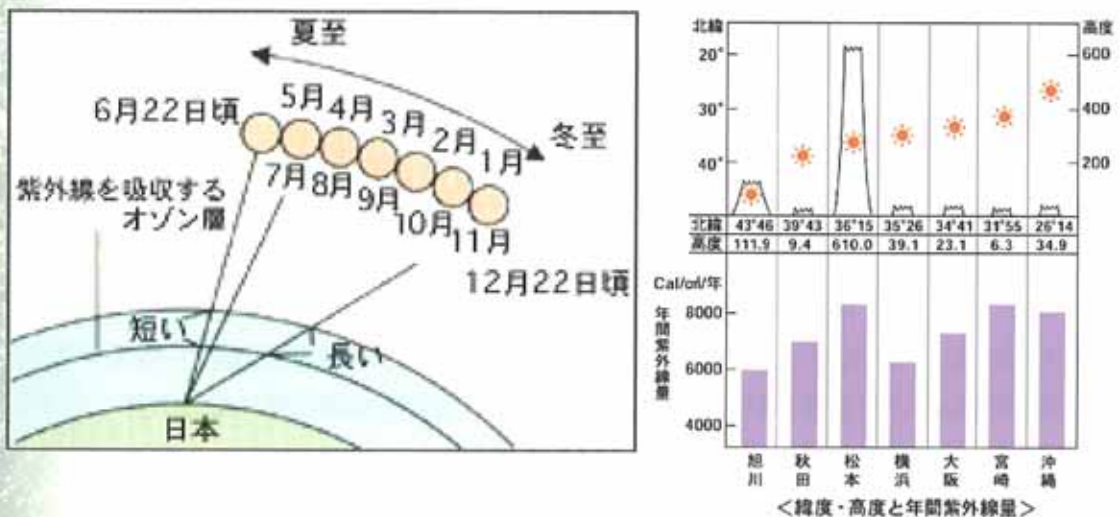


図2 地理的特性と紫外線の強さの関係

資生堂紫外線情報 [http://www.shiseido.co.jp/uv-info/html/quiz\\_a.htm](http://www.shiseido.co.jp/uv-info/html/quiz_a.htm)

### 1-3 これまでのオゾン層破壊とB領域紫外線増加の動態について

私たちが身近な自然現象として捉えることができる雲の発生や降雨、低気圧や高気圧の発生や消失といった気象現象は、その多くが地上から10km内外の高度までの対流圏で起きます。対流圏の上部には高度約50kmまで成層圏と呼ばれる気層があり、この成層圏の高度20~30kmほどのところにオゾンが多量に存在する部分があって、それをオゾン層と呼んでいます。

1974年、アメリカ合衆国の科学者、ローランド博士とモリーナ博士はオゾン層破壊



を予測し、警告しました。紫外線が人体に有害であることと、オゾン層が存在することによって太陽が放射した紫外線は吸収され、地上に到達しないことはよく知られていましたが、この警告は重要なこととして受け止められました。つまり成層圏オゾン層に存在するオゾンが、人為放出されたフロン(フレオン、CFC: クロロフルオロカーボン)等によって破壊・消失され、これまでオゾン層に吸収されていたB領域紫外線UV-Bの地上到達量が増加し、地上生態系を有害な紫外線から保護できなくなるという懸念です。

1985年、英国南極調査隊は南極上空成層圏にオゾン濃度が著しく低いエリア、つまりオゾンホールが形成されていることを発表し、1996年にはそのオゾンホールが南極大陸の約1.8倍に拡大していることが明らかとなりました。その後は毎年、オゾン層の消長に関する報告がなされ、北極上空、ヨーロッパ上空でもオゾン層の減衰が顕著であると報告されました。

このようにオゾン層破壊はほぼ全球的に確実に生じており、南極域の冬から春季に発生するオゾンホールに顕著に現れています。UV-Bの増加による皮膚がんや白内障など人間への影響や他の動植物への影響とともに気候への影響も懸念されています。

図3に世界のオゾン量の経年変化と緯度別のオゾン量変化の程度を示しました。経年変化では1980年頃より著しい減少トレンドが認められます。91年にはピナトゥポ火山噴火の影響で大きく減少しましたが、その後は以前の安定した値から3%ほど減少した値で推移していると見られています。また緯度別では、低緯度よりも高緯度の両極地に向うほど減少率が大きく、南半球の大きな減少は南極オゾンホールの存在とも関連していることが分かります。

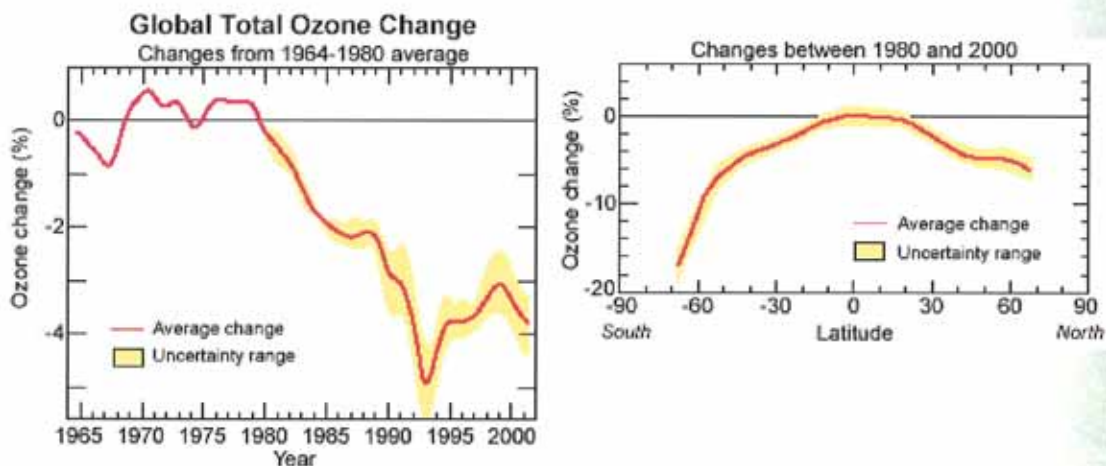


図3 世界のオゾン量経年変化（1964年～1980年の平均値からの偏差：左図）と緯度別のオゾン量変化の程度（1980年から2000年の変化：右図）

Scientific Assessment of Ozone Depletion: 2002, Twenty Questions and Answers About the Ozone Layer (WMO/UNEP) より



図4は日本の公式な4観測地点における年平均オゾン量の変化を示しています。この数十年のトレンドでは、札幌、つくば、鹿児島各地点でオゾン量は減少の傾向を見せていますが、最も低緯度の那覇ではその傾向はあまり認められていません。最近の報告(オゾン層観測報告：2003：気象庁)では、以下のように要約されています。

- (1) 全球のオゾン層の長期変化としては、低緯度を除いた領域でオゾン全量の長期的な減少傾向が続いており、高緯度の春季に減少傾向が顕著である。
- (2) 日本上空のオゾン層の長期変化としては札幌、つくば、鹿児島国内3地点でオゾン全量の長期的な減少傾向が見られる。特に札幌では、最近30年間の冬期では10年あたり2.5%の割合で減少している。
- (3) 紫外域日射の長期変化傾向については、オゾンが減少するとUV-B量が増加するという関係から、1990年以降のUV-B量は、オゾン量の多かった1970年代に比べると、天気及びエアロゾル量が変わらないとした場合、地域、季節によっては最大約8%増大していると推測される。

また南半球の中高緯度地方では、1980年頃から現在までUV-B照射量が10%以上増加した地点があるという報告もなされています (Scientific Assessment of Ozone Depletion : 2002,WMO&UNEP)。

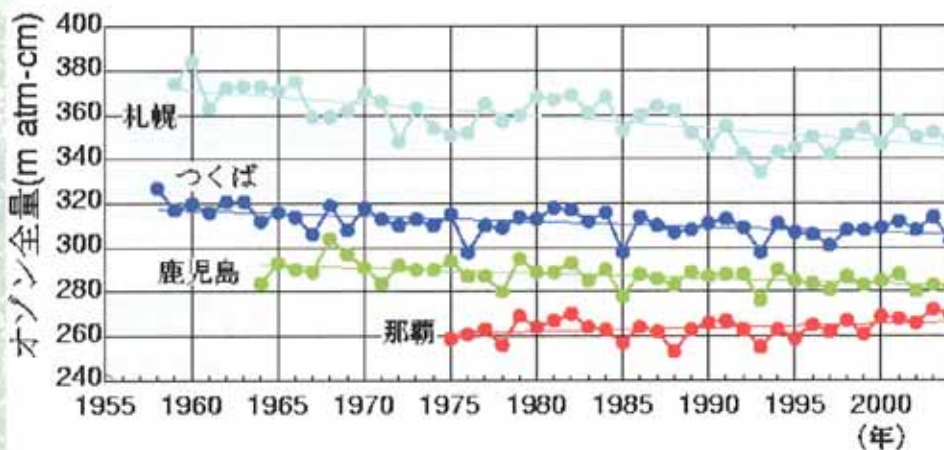


図4 日本における年平均オゾン全量の変化 (直線は長期的トレンド)  
<http://www.data.kishou.go.jp/obs-env/hp/3-20ozonelayer.html>

#### 1-4 今後のオゾン層/紫外線量の予測について

CFC等の下層大気中濃度は北半球中緯度では、94~95年頃まで増加傾向にありましたが、最近ではほぼ横ばいか減少傾向を示している報告もあります(図5)。一方、



HCFCやハロンについては、増加の傾向が続いているようです。

これはCFC等の製造および使用の制限を盛り込んだモントリオール議定書が機能しており、オゾン層破壊物質の放出が制限され、大気中の塩素・臭素の濃度が減少に向いつつあることを示唆しています。オゾン層破壊の科学的アセスメント2002 (WMO&UNEP) 等によれば、

- (1) 今後50年間にオゾン全量は増加し始めるであろう
- (2) 年々変動があるためオゾン全量が横ばいになったことを示すには10年間ほどの期間が必要である

上記のことは、現在、将来のオゾン層破壊による激甚な紫外線増加はひとまず回避されるであろう、という予測の根拠になっています。モントリオール議定書の効果の是非についても、将来予測の結果が示されています(図6)。モントリオール議定書による規制がかからない場合は、オゾン層を破壊する成層圏塩素の濃度も皮膚ガンの増加数も著しく高くなると予測されていました。しかしモントリオール議定書で取り決められたオゾン層破壊物質の削減の効果により、またその後のロンドン改定・コペンハーゲン改定にともなう規制強化によって、影響発現のシナリオは劇的に変化し影響は軽減される見通しになっています。

地球温暖化問題ではそのソースである二酸化炭素放出にブレーキをかけることが困難であると考えられますが、オゾン層破壊と紫外線増加の問題は人為によって引き起こした環境破壊を人為によって回復できる最初の例証になるかもしれません<sup>注1)</sup>。

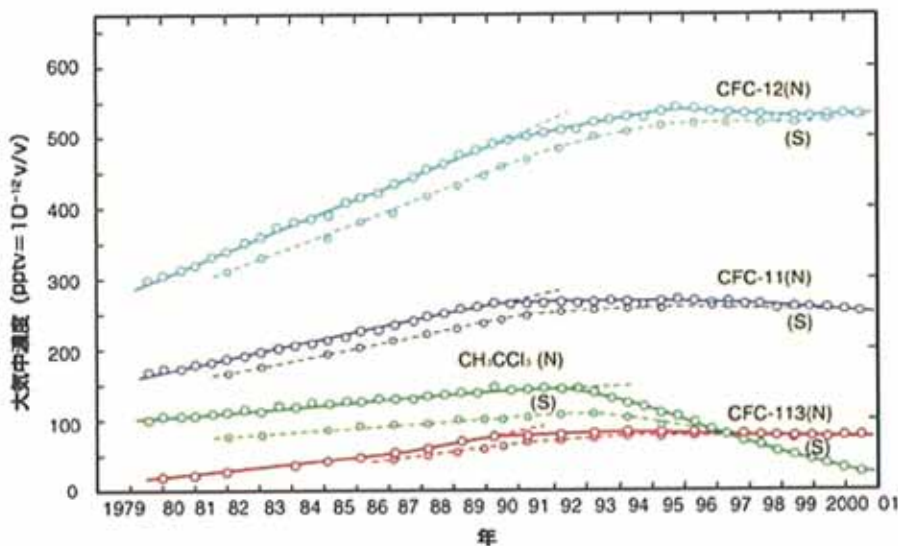


図5 北半球中緯度(北海道:N)、南半球(南極昭和基地:S)におけるCFC等特定物質の下層大気中平均濃度の経年変化  
(東大巻出研究室観測結果)「オゾン層を守ろう 環境省地球環境局」より

注1: アメリカ合衆国航空宇宙局NASAは、本稿作成終了後、2006年10月現在で、南極上空のオゾンホールが、観測史上最大になった、と報告しました。



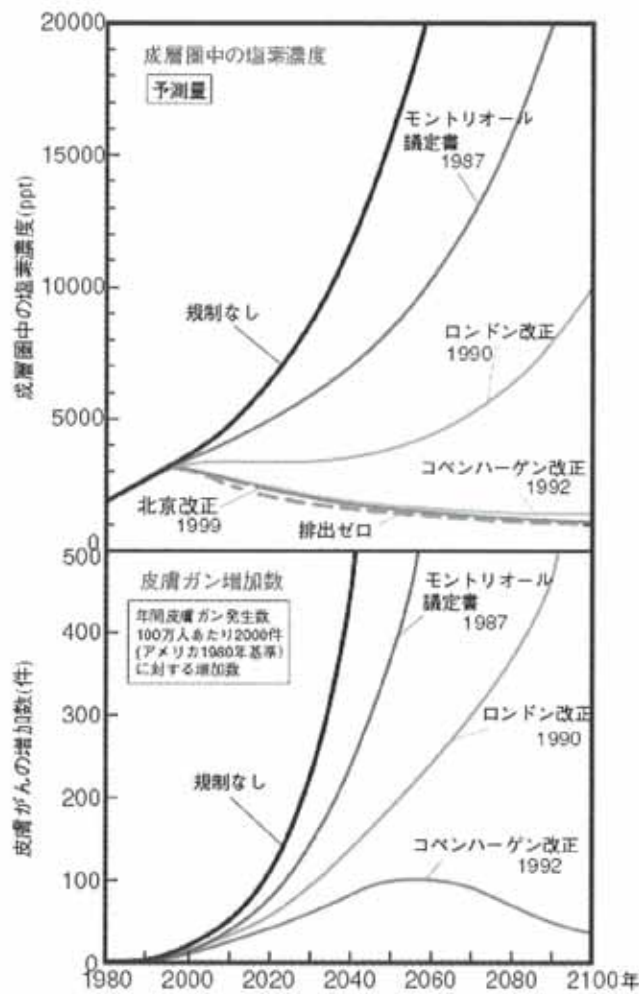


図6 モントリオール議定書とその改定の効果

上：オゾン層を破壊する成層圏の塩素の量の過去の量と将来予測、下：オゾン層破壊による皮膚がんの発生予想件数。規制がない場合（No Protocol）に比較して、モントリオール議定書（1987）発効、ロンドン改定（1990）、コペンハーゲン改定（1992）、ベキン改定（1999）の規制の厳格化によりオゾン層破壊の危機とその影響は少なくなると予測されている（中根英昭による）

<http://www.nistep.go.jp/achiev/ftx/jpn/stfc/stt043j/>

0410\_04\_feature\_articles/200410\_fa02/200410\_fa02.html から転記