

紫外線予報システムの構築

宮内 正厚*, 青木 輝夫**

(平成 17 年 10 月 6 日受理)

Construction of a Harmful UV Prediction System for PC Use

MIYAUCHI, Masaatsu and AOKI, Teruo

(Received on October 6, 2005)

キーワード：有害紫外線，紅斑紫外線，紫外線予報，UVインデックス

Key words : Harmful UV, Erythemal UV, UV forecast, UV index

1. はじめに

オゾン層破壊に伴い、有害紫外線の過度の照射が白内障や皮膚癌など健康に悪い影響を与えることが、人々に広く知られ、紫外線に対する意識が高まってきた。加えて近年研究も進み、紫外線そのものは人体に対しほとんどの利益ももたらさないことが明らかになり、過度の有害紫外線から身を守る手段の一つとして、紫外線の量を予測し、それを回避することが考えられている。特に欧米諸国、オーストラリアなど、皮膚がんの多発している社会においては緊急の課題として国際的な啓蒙と紫外線を防御する国際標準の策定が必要とし、WMO（世界気象機関）のGAW（地球大気監視計画）、WHO（世界保健機構）は1997年スイス、レ・ディアブルレにおいて標準化を作成するためのワークショップを開催した（WMO, 1997）。これを元にして世界の紫外線対策に熱心な国々は独自の対策を構築している。

一方、国内においては欧米諸国に比較して皮膚がんの罹病率が低い傾向にあることもあって、また社会の関心が低く、そのための社会整備が整っていないなど、また国内において測定によるオゾン層破壊がもたらす確たる紫外線の増加が見られないことから（Miyauchi, et al., 2000；宮内, 2005）国家的な対策は見送られてきた。しかし大学の、特に皮膚病を専門とする研究者、民間の医薬に従事する専門家が1991年に「太陽紫外線防御研究委

員会」を設立し国内独自に活発な活動を行ってきた（太陽紫外線防御研究員会, 2004）。多くの医学的研究によって国内においても最近では「人体に対する紫外線の影響は多くの害があって、益することはほとんどない」ことがわかってくるようになり、また、環境省は2003年に紫外線保健指導マニュアルを出版し、その対策に当たった。一方気象庁は2005年の5月から先ほど述べた国際標準に則った紫外線予報を発表することとなった。それに伴い同時に国内3箇所（札幌、つくば、沖縄）で測定されている紫外線量をリアルタイムで公表することとした。

この研究では紫外線を予報するに当たって、太陽から地球大気外に到達した紫外線が大気を通して地上に到達する紫外線量を計算をする。したがって紫外線が減衰する要素、すなわち、空気分子によるレーリー散乱、オゾンによる吸収、エアロゾルによる散乱吸収、地表面と大気多重散乱反射を考慮し、それらが地上に到達する紫外線に与える影響について、また、それらの季節変化に伴い地上における有害紫外線の変化を考察し、その結果をもとに予報のシステムを構築した。

2. 紫外線予報の方法

今回の研究では、アメリカ気象局で行われているUVインデックス（WHO, 2002）による予報方式に沿って紫外線予報システムの構築を行った（Long C.S, et al. 1996）。UVインデックスを計算するための重要な大気中のパラメータは、オゾン全量、大気混濁度、雲等が挙げられる。ここで予報するUVインデックスは晴天の場合を想定し、日本時間の12時の値とする。紫外線予報の

* 東京家政大学 家政学部 環境情報学科

**気象研究所物理気象研究部

前段階としてオゾン予報、そして本来の目的である紫外線予報システムを構築した。大気中における紫外線の振る舞いについては多くのモデルが作られているが (e.g. Aoki, et. al, 2000), ここでの計算はIqbal (1983) にしたがってプログラムを作成した。

地上紫外線量の決定には、オゾン全量及び大気混濁度等の要素以外にその場所の緯度、通日、太陽時、大気外紫外線量等が必要である (図1)。大気外紫外線放射スペクトルは世界放射センター (WRC, 1981 after Iqbal, 1983) を採用した。計算された地上での紫外線放射スペクトルを、生物に対する影響の度合いを勘案したCIE作

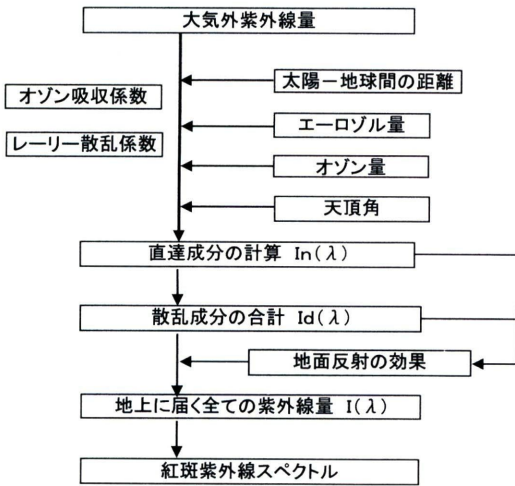


図1 地上における有害紫外線の計算スキーム

用曲線 (CIE, 1997) により紅斑紫外線放射スペクトルに換算し、さらに波長積分し、UVインデックスに変換して評価する。

なお、解析で使用するデータは、気象庁が発行している「高層気象観測年報」、「大気・海洋環境観測報告」を使用した。

図2は大気を晴天とし、つくばで観測されたオゾン全量の日代表値 (気象庁, 2002) を使用し、地面反射を0.05, オンゴストロームの混濁係数を0.1とし、測定されたオゾン全量を使用した2000年6月18日の紫外領域スペクトルの計算結果の一例を、つくばにおけるブリューワー分光光度計による観測データ (気象庁, 2001) と比較したものである。0.303mm及び0.318mm付近で観測値がやや小さいが、全体として合致している。

図3は2000年のつくばにおける12時の紅斑紫外線量の計算結果とつくばにおける紅斑紫外線量の季節変化を示

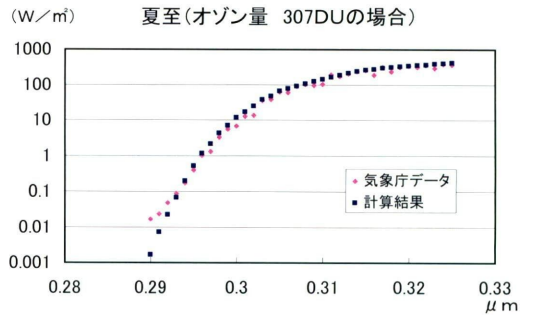


図2 気象庁の紫外線分光光度計によるスペクトルと計算によるスペクトルの比較(つくば)

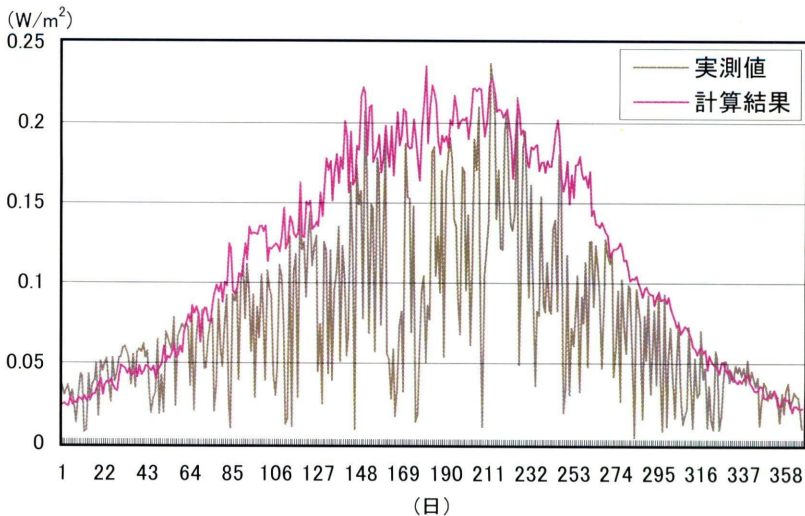


図3 モデルによる紅斑紫外線量と実測値(つくば)の季節変化の比較

す。実測値はすべての天候が含まれ、日々の変化が大きい。季節ごとの最も大きい値を結ぶ抱絡線が晴天時の季節変化であろうと推測される。その抱絡線と計算値は概ね一致している。両者を比較すると冬には実測値が大きく、夏にかけては計算値のほうが大きく出ている傾向がある。このモデルの計算が正しいとすると、オゾン全量は実測値であるので大気混濁度を固定した値で使用していることによって発生したと考えられる。

3. オゾン予報

翌日の紫外線量を予報するためには翌日のオゾン場が必要となる。そこで、Long et al. (1996) をもとにしてオゾン予報を行った。

$$\Delta O_3 = a\Delta Z500 + b\Delta Z100 + c\Delta T50 + d \quad (1)$$

$$\Delta O_3 = O_3(\text{翌日}) - O_3(\text{昨日}) \quad (2)$$

$\Delta Z500$, $\Delta Z100$, $\Delta T50$ はそれぞれ翌日の予報値から昨日の観測値の間の500hPa面高度変化、100hPa面高度変化、及び50hPa面温度変化をそれぞれ示す。a, b, c, dはそれぞれ一昨日から昨日にかけてのオゾン差に対する、それぞれのパラメータの寄与率である。この予報は、2日前から昨日の間のオゾン場の変化と高度・気温場の変化の関係が、オゾン場の昨日から翌日の間の変化に適用できると仮定して予報を行っていく。なお、Long et al.は $\Delta Z500$, $\Delta Z100$, $\Delta T50$ を使用する際、翌日の値として、MRF(中期予報)の予報値を使用しているが、ここでは2000年のつくばの高層気象観測データを実験的に使用している。

図4-aにその結果を表示したところ、非常に大きい誤差が生じた。原因は、つくば一点のデータのみを使用したため、計算不安定を起したためである。図4-bは(1)式の $\Delta Z500$, $\Delta Z100$, $\Delta T50$ を翌日の予報値から今日の観測値の間の変化とし、季節ごとにそれぞれ重回帰分析を行って求めた結果で、その結果、推定値は実測値に最も近い値となった。

4. エーロゾルの効果

オゾン全量が地上における有害紫外線量を大きく左右することは知られているが、エーロゾルの変化が地上紫外線量に与える影響も大きい(Zerofos, 1997)。エーロゾルによる減衰の効果を、オングストロームの混濁係数

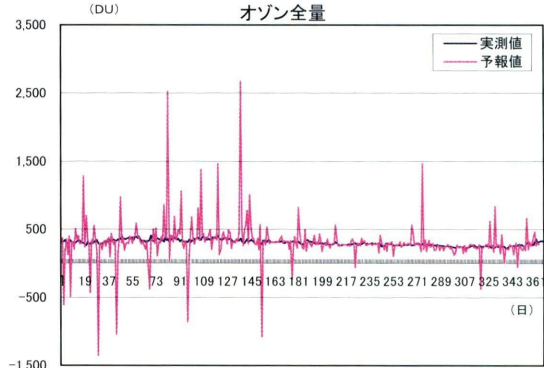


図4-a 昨日と一昨日のデータから明日のオゾン全量を推定(不安定)

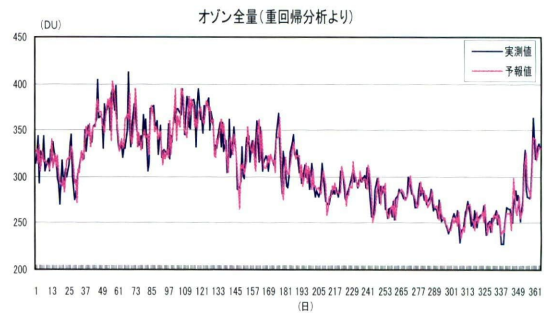


図4-b 季節ごとに昨日と一昨日のデータから明日のオゾン全量を推定(安定)

をパラメーター(β)として試算した。エーロゾルがない状態の $\beta = 0$ から空がやや白んで見える状態の $\beta = 0.2$ までの計算結果を図5に示す。気象庁による紅斑紫外線量の観測データと重ねて示してあり、概ね $\beta = 0.15$ 以上では観測値より小さく、空が青く澄んで見える状態の $\beta = 0.05$ 以下では観測値より大きい。

紫外線の波長領域では水蒸気による吸収はない。したがって紫外線の減衰の原因となる混濁度のパラメータとしてはオングストロームの混濁係数が使用される。気象庁のデータで水蒸気の吸収を含まないオングストローム混濁係数(β)が観測・報告されている箇所は、綾里、南鳥島、与那国島の3箇所のみで、つくばでのデータは得られなかった。しかし、つくばでは水蒸気などの吸収を含んだホイスナー・デュボアの混濁係数が観測されていたので、綾里(N39.01°, E141.51°)のオングストロームの混濁係数と宮古(N39.38°, E141.58°)で観測されているホイスナー・デュボアの混濁係数の関係を導き出して、つくばのオングストロームの混濁係数を計算した(図6)。但しホイスナー・デュボアの混濁係数において

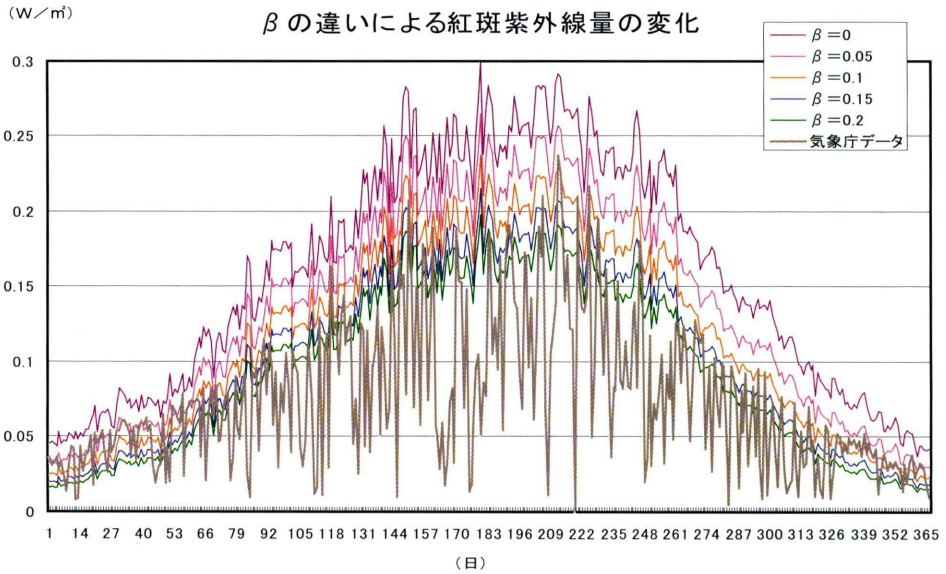


図5 大気のエロゾルによる地上の湖畔紫外線量の季節変化、大きな差が見られる

も晴天時でなければ観測できず、したがって月別の平均値をとって季節変化とした。しかし、大気の混濁度は気象の変化等により日々大きく変化する場合があることを考慮しておかなければならない。

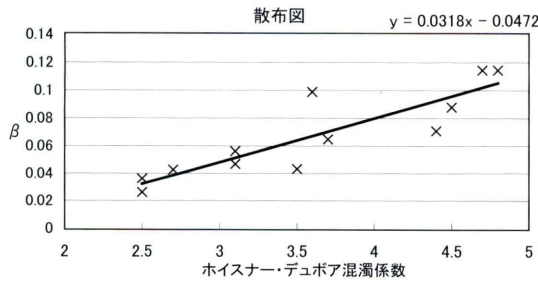


図6 ホイスナー・デュボアの混濁係数をオングストロームの混濁係数の関係

図7は、上記のような関係を基にして計算された、つくばにおけるオングストロームの混濁係数を使用し、2000年の年間の紅斑紫外線量変化を示す。晴天日においては β を0.1と固定するよりも、つくばで観測されたホイスナー・デュボアの混濁係数を利用したほうが、特に冬を中心に実測値に近づくことがわかる。

5. まとめ

上記に基づき、2000年におけるつくばの晴天時の予報

値を、国際基準に従って指数化したUVインデックスを図8に示す。UVインデックス1単位とは平均的な皮膚に対して、60分で紅斑が表れる最小紅斑紫外線量(MED; 25mW/s)を意味する(ICNIRP, 1995)。この方式を板橋にあてはめてパソコンを使ってUVインデックスを予報し、利用することができる。但し、東京における大気混濁係数はつくばとは異なるので、大気の状態を正しくパラメータ化することが必要となる。さらに明日のオゾン全量を予報するためには昨日のその観測値が必要になる。今のところ任意の地点におけるオゾン全量のリアルタイムの提供は国内では行われていない。NASA(アメリカ航空宇宙局)は昨日以前の任意の場所・時間のオゾン全量をEearthprobe/TOMSという人工衛星に搭載された「オゾン全量マッピング分光計」の測定データをもとに、インターネットで配信しているのでこれを利用することができる。

予報は晴天時の12時のインデックスを示すが、一般的には雲に大きく左右される。雲を取り込んだ予報をするには、気象予報が必要となるが、実際には正確な雲の予報は困難であると考えられる。したがって、予報は晴天時の正午におけるインデックスとし、実際の天気に対して雨天の場合、厚い雲に覆われた場合、薄い雲がある場合、雲が途切れ途切れにある場合などによってUVインデックスを評価することのほうが正しい判断が可能であ

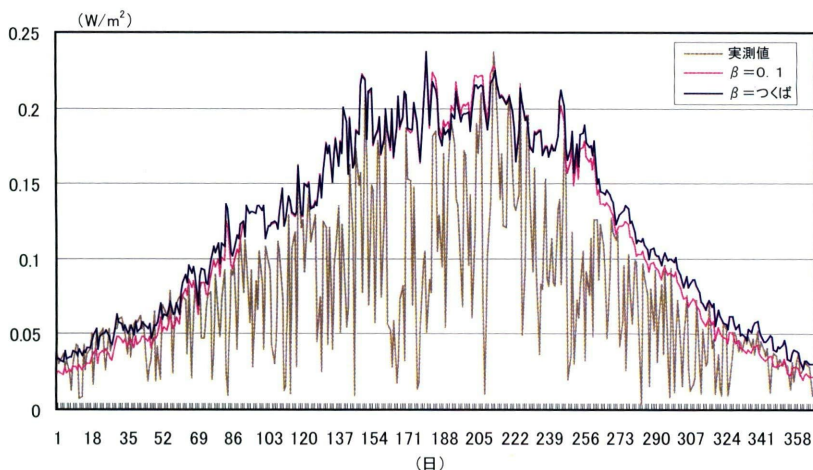


図7 オンストロームの混濁係数を0.1と仮定して計算した場合とつくばで観測された、ホイスター・デュボアの混濁係数をオンストロームの混濁係数に変換して計算した場合の比較

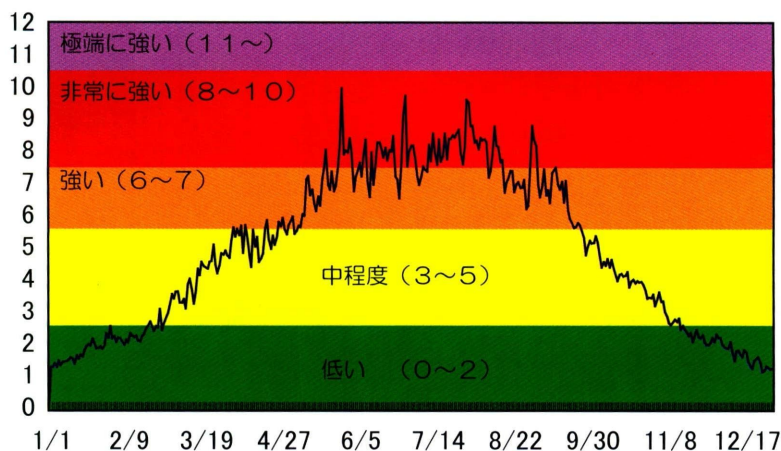


図8 この方法によって予測された2000年の晴天時の季節変化 (UVインデックス)

ると考えられる。これらの点を考慮し、オンストローム混濁係数への精度のよいパラメータ、雲による紫外線量の変化、さらには日々の大気混濁度の変化をどのように表現していくかが今後の課題である。

近年、国内の紫外線に対する関心も高まって、紫外線の有害性、その防御についての知識は高まりつつあるが、紫外線から受ける害はそのときに受けなければ良いというものではなく過去にどのくらい浴びたか、という過去の被曝量全量に大きく左右される。特に成人するまでの期間に一生浴びる量のほとんどを浴びてしまうケースも多い。そこで大切なことは幼児、または教育の場のなか

で、特に体育など屋外活動に対する紫外線防御の指導が重要である (WHO, 2002)。

謝 辞

この研究は2003年度及び2004年度の東京家政大学環境情報学科宮内研究室の卒業研究の一環として行われてきたものをまとめたものである。ここにこの研究に携わった研究生、特に2004年度の研究生、添野綾子、西尾友理氏の努力に感謝したい。また今回の原稿をおこすにあたって図の作成など、この研究室の2005年度の研究生、渡辺由美子氏に助けていただいた。そして、エアロゾルに関

する資料は気象庁より提携していただいた。ここに併せて感謝申し上げる。

参考文献

- (1) Aoki Te., Ta. Aoki, M. Fukabori and T. Takao, 2005 : Comparison in ultraviolet irradiance at Syowa Station, Antarctica between the observation and the simulation with a radiative transfer model, Proc. Quadrennial Ozone Symposium - Sapporo 2000, NASDA, 291-292.
- (2) CIE,1997 : Standard erythema dose, a review, Technical Report-125.
- (3) Craig S. Long, Alvin J. Miller, Hai-Tien Lee, Jeannette D. Wild, Richard C. Przywarty, and Drusilla Hufford, 1996 : Ultraviolet Index Forecast Issued by the National Weather Service, Bull. Amer. Meteor. Soc., Vol 77, No. 4, pp 729-748,1996.
- (4) ICNIRP, 1995 : Global solar UV index, ICNIRP cataloguing in publication data, printed in Germany.
- (5) Iqbal, 1983 : An Introduction to SOLAR RADIATION, Muhammad Iqbal
- (6) 気象庁, 2001 : 高層気象観測年報 2000年
- (7) 気象庁, 2002 : 大気海洋環境観測報告 平成12年度観測成果
- (8) 宮内正厚, 2005 : 地上における紫外線量の変動 : 東京家政大学紀要, 45 (2), 73-81
- (9) Miyauchi M., T. Kihi, K. Ueno, K. Akagi and A. Saito, 2000 : Variations of UV-B by long term (a decade) observation at four station in Japan, Atmospheric Ozone Proceedings of Quadrennial Ozone Symposium -Sapporo, 2000-, 243-244.
- (10) 永田久美子, 田倉佳奈, 井上香澄, 宮内正厚, 2003 : 有害紫外線システムの構築 (I), 第9回大学間紫外線研究予稿集
- (11) NASA
http://toms.gsfc.nasa.gov/teacher/ozone_overhead_v8.html
- (12) 添野綾子, 西尾友理, 宮内正厚2004 : 紫外線予報システムの構築 (II), 第10回大学間紫外線研究予稿集
- (13) 太陽紫外線防御研究会, 2004 : 太陽紫外線防御研究会学術報告, 第14巻 第1号
- (14) WHO, 2002: Global Solar UV Index - A Practical Guide -, A joint recommendation of the World Health Organization, World Meteorological Organization, United Nations Environment Programme, and the International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection. WHO Library Cataloguing - in - Publication Data (Available at <http://www.who.int/uv/>).
- (15) WMO,1997 : Report of the WMO-WHO Meeting of Experts on Standardization of UV Indices and their Dissemination to the Public, WMO/GAW Report No.21.
- (16) Zerofos C.S. D.S.Balis A.F.Bais D.Gillotay P.S.Simon B.Mayer and G.Seckmeyer, 1997: Variability of UV-B at four stations in Europe, Geophys. Res. Lett., 24, 1363-1366.

Abstract

The Influences of harmful UV rays on the human body, especially for the skin, the eyes and the immune system have been intensively studied after ozone layer depletion. It has also been discovered that skin cancer occurrence closely relates to the excessive exposure of UV radiation. It has been disseminated to the public to protect themselves from harmful UV radiation in many countries.

There are some ways to protect ourselves. One is to avoid the strong UV rays out doors. Second, when necessary to go out, wear a hat and sun glasses, and use a parasol and sunscreen. Third, it is important to know the UV condition prior to going out of doors. The institute or the agency of many countries have a system to report to the people UV ray forecast using UV index (UVI), along with the weather forecast on TV and in the newspaper. In Japan, The Japan Meteorological Agency started to report the following day's UVI in 2005 summer.

Our group also developed a prediction system of the following day's UVI that is easy to do with a PC in the case of a cloudless sky which needs some their factors such as solar altitude, total ozone, atmospheric turbidity, ground surface reflectivity etc. After so called hindcasts were tried, It was found that the measured UVI and predicted index agree well with each other. The average turbidity factor over a ten year period is used. The total ozone used in the computation is the value measured in Dobson meters at Tsukuba Observatory, Japan Meteorological Agency.

In order to carry out the computation of the following day's prediction at an arbitrary place, e.g. Tokyo, the previous day and the day before that's total ozone amount are necessary for our computation. The information of total ozone made by NASA is available on the web site at this point.