

「おおぞら」BUVによる紫外大気散乱光の 長期観測[†]

鈴木 勝久*・松本 直記*・坪田 幸政**・小池 真***

The Three Year's Observation of Backscattered Ultraviolet Solar Radiation by EXOS-C BUV

By

Katsuhisa SUZUKI, Naoki MATSUMOTO, Yukimasa TSUBOTA and Makoto KOIKE

Abstract: The EXOS-C backscattered ultraviolet (BUV) instrument observed backscattered ultraviolet solar radiation for three and half years since March 1984. We analyzed the intensities at 2550Å, 2830Å, 2920Å, and 3020Å. The BUV data show that the monthly global intensity distributions are affected by seasonal ozone variation. The time variation of 3020Å intensity in low latitude is considerable compared with the other intensity variations. The BUV instrument detected the precipitation of high energetic charged particles in the South Atlantic anomaly region. A Long-term intensity trend was observed over the three and half years. The trend of the 2550Å intensity can be explained by the decrease of instrumental sensitivity.

概 要

科学衛星「おおぞら」に搭載された中間紫外大気観測装置 (BUV) により、紫外大気散乱光の観測が、1984年3月以降3年半に渡って行われた。得られた散乱光スペクトルのうち、波長 2550Å, 2830Å, 2920Å, 2975Å, 3020Å の散乱光強度について解析を行った。これらの波長の月平均強度のグローバル分布の季節変化が明らかになり、その変化がオゾン分布の季節変化とよく対応していることが分かった。また低緯度域において、

[†] 宇宙研特別事業費による研究論文

* 横浜国立大学教育学部

** 慶応義塾高等学校

*** 東京大学理学部

3020Åの強度が他の波長の強度に比べ、大きな時間変化を示した。ブラジリアンアノマリー付近で、スペクトルデータに荷電粒子による影響が見られた。各波長強度に長期的トレンドが見られ、2550Åのトレンドについては、測器の感度の経年変化と考えて説明できる。

重要語 オゾン、紫外大気散乱光、人工衛星、分光器

1. はじめに

1984年2月に打ち上げられた科学衛星「おおぞら」には、大気散乱光スペクトル観測のため中間紫外大気光観測装置（BUV）が搭載された。観測は1984年3月から開始され、1987年9月まで約3年半にわたる観測ができた。衛星を用いた光学観測で、このような長期間行われたのは我国では初めてであり、今後宇宙空間における光学観測をするうえで、貴重な情報を得ることができた。

観測の目的は、太陽紫外光の地球大気による散乱光のスペクトル強度で観測することにより、オゾン密度分布を求めることである。観測装置やオゾンの解析についてはすでに報告がある。[1],[2],[3],[4]

ここで報告するのは、3年半にわたって観測した散乱光強度のグローバル分布の解析結果についてである。散乱光強度は、オゾン密度に大きく影響されると考えられるが、その他地表付近のアルベド、荷電粒子、測器の感度変化などの影響も考えられる。これらの影響を評価するうえで適当なデータと言える。

2. データ解析

BUVは2500Å～3200Åの波長域の散乱光スペクトルを波長分解能約10Åで、256点にわたってサンプリングしている。波長掃引時間は約0.6秒である。

測器の光軸は常に太陽と反対方向に向くようになっているので、単散乱を考えると測器に入射する散乱光及び太陽入射光の天頂角は等しく、散乱角は180°になる。

図1に得られた散乱光スペクトルの例を示す。階段状で表わしたスペクトルは、モデルオゾン密度を用い、観測値が得られた時と同じ幾何学的条件で、散乱光強度を計算したものである。観測値と比較できるよう、地上試験における絶対感度較正值を用い、計算値を補正してある。これを見ると、観測値と計算値がよくあっており、測器が正常に作動していると考えられる。

紫外散乱光強度のグローバル分布図を作るため、観測強度に対して以下の2つの補正を行った。

散乱光の強度は太陽天頂角により変化する。これは大気層に入射する太陽光及び散乱光の光路長が変化するためである。衛星高度から観測する散乱光の強度は、光路におけるオゾンの吸収量と大気分子による散乱量との兼ね合いで決まり、波長により変化の仕方が異なる。実際の観測値は、それぞれ太陽天頂角が異なる条件で得られたもので、そのままでは強度の比較ができない。そこで標準的なオゾン密度のモデル[5]を用い、散乱光強度の太陽天頂角依存性を計算で求め、これを用い個々のデータを太陽天頂角20°の場合に引き直した。今回

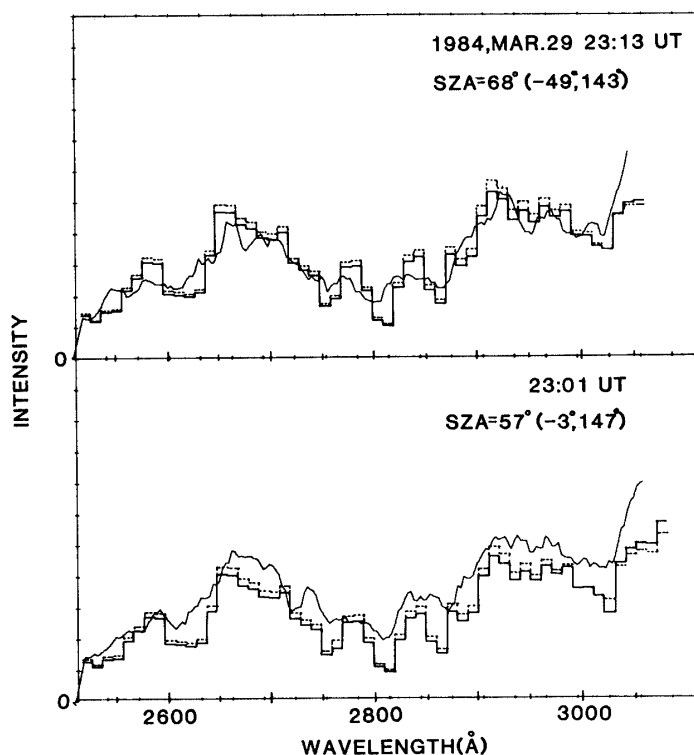


図1 散乱光のスペクトル。()内の数字は、観測点の緯度、経度。細い実線は観測値、太い実線と点線は、それぞれ Krueger と Minzner のオゾン分布、内之浦のロケット観測によるオゾン分布を用いた計算値。

の補正に用いた計算値を図2に示す。オゾン分布がどの緯度・経度においてもこのモデル分布に近ければ、このようにして補正した強度の分布はほぼ一様になるはずである。

次に太陽入射光は、太陽—地球間距離の変化に伴い、距離の逆2乗で変化する。この結果、散乱光の強度も入射光の強度に比例して変化することになる。今回の解析では、太陽—地球間距離を1 AUとして、個々の散乱光強度について距離の補正を行った。

観測データ量は、月によりかなりの差がある。これは衛星の運用の仕方と軌道面の太陽に対する幾何学的配置により、観測ができない期間が存在するためである。散乱光強度分布図を作るため、緯度・経度を $2^{\circ} \times 2^{\circ}$ のグリッドに分け、グリッド内で観測された値の月平均値をその地点での強度とした。さらに観測データが得られていない地点でも、隣接する地点にデータがある場合、内挿や外挿をして強度の値を求めた。さらに周囲の値を用いデータのスムージング処理をほどこした。

3. 解析結果と討論

今回解析した波長は2550Å, 2830Å, 2920Å, 2975Å, 3020Åの5波長である。この波長はNIMBUS 4のBUVでオゾン観測のために用いられている波長に対応している。この波長域では、オゾンのハートレー吸収帯が存在し、その吸収断面積は2550Å付近が最大で、

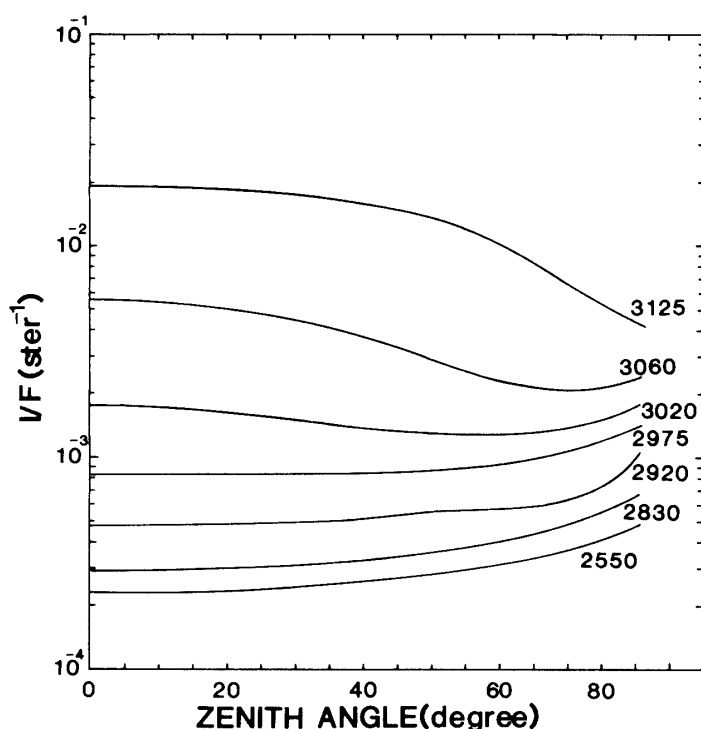


図2 散乱光強度の天頂角依存性. 数字は波長(Å), 縦軸は太陽放射光と散乱光の比.

長波長になるに従い小さくなる. この結果, 定性的にはオゾン量が大きいと散乱光強度は小さくなり, 短波長の散乱光の強度変化ほど高い高度のオゾン密度の変化に対応している.

(1) 月平均強度分布の季節変化

図3, 4に散乱光強度の分布を示す. 図はそれぞれ波長 2830Å, 2920Å, 3020Å の強度をCRT ディスプレイ上に16階調の輝度で表示したものである. 世界地図上薄い灰色の部分は観測データがない部分である. 表示は強度のほぼ平均値を階調の中心にして輝度が明るいほど強度は大きく, 1階調差は最低と最高のレベルを除いて, 平均強度の3~4%としてある.

図3, 4はそれぞれ1月と7月の強度分布である. これを見ると2830Åと2920Åでは, ごくわずかながら南北半球で強度の違いが見られ, 夏半球で強度が大きい. ところが3020Åではこのような季節の違いが見られず, むしろ緯度による強度変化が顕著である. 南北半球とも赤道, 低緯度で強度が増加し, 中緯度で減少しているのが分かる. さらに低緯度域の強度が一樣でなく, 緯度方向に構造を持っているように見える.

また70°付近の高緯度において, いずれの月も強度が大きい, これは高緯度地域の観測は天頂角が大きくなり, (実際の解析には天頂角 $\leq 75^\circ$ のデータを用いた) 光路長が長くなるための多重散乱の効果がきいているものと考えられる. 一方中低緯度の強度は, オゾン密度分布に対応していると考えてよく, 波長による強度分布の違いは, オゾンの高度分布の違いに対応している.

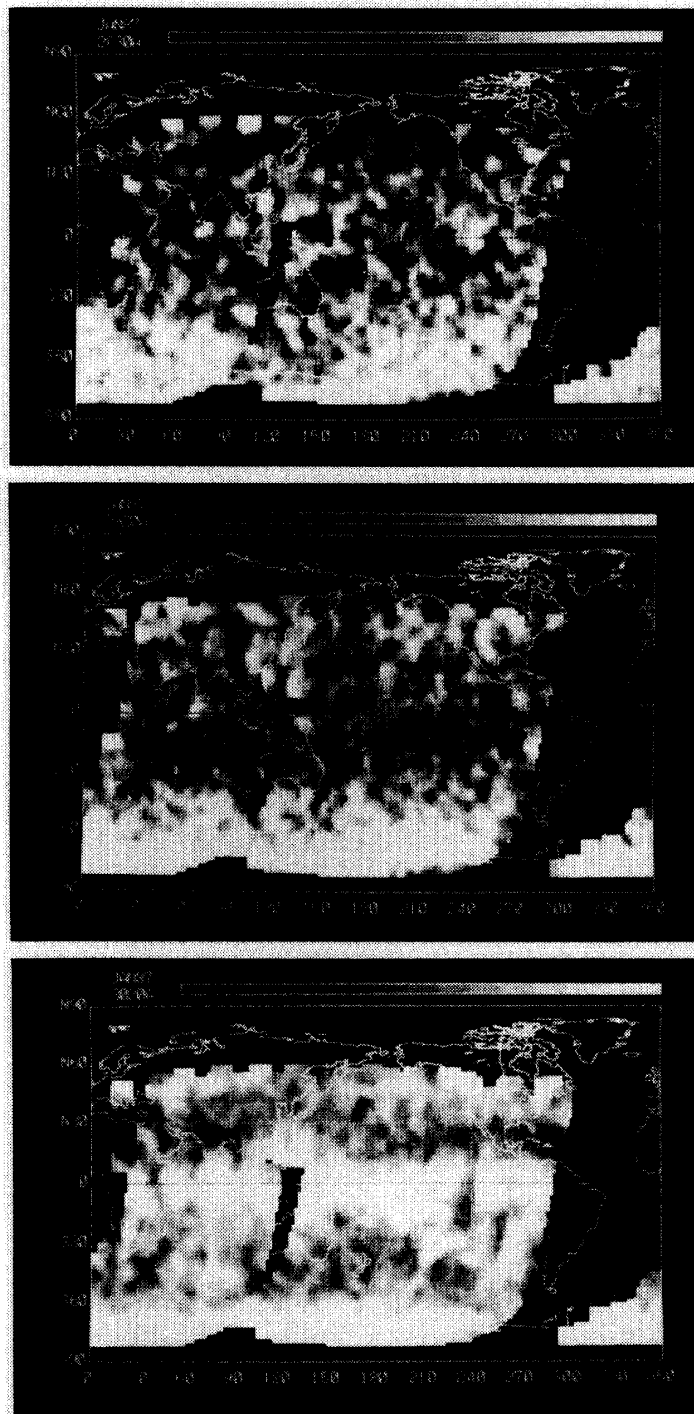


図3 波長別月平均強度の分布. 1987年1月.

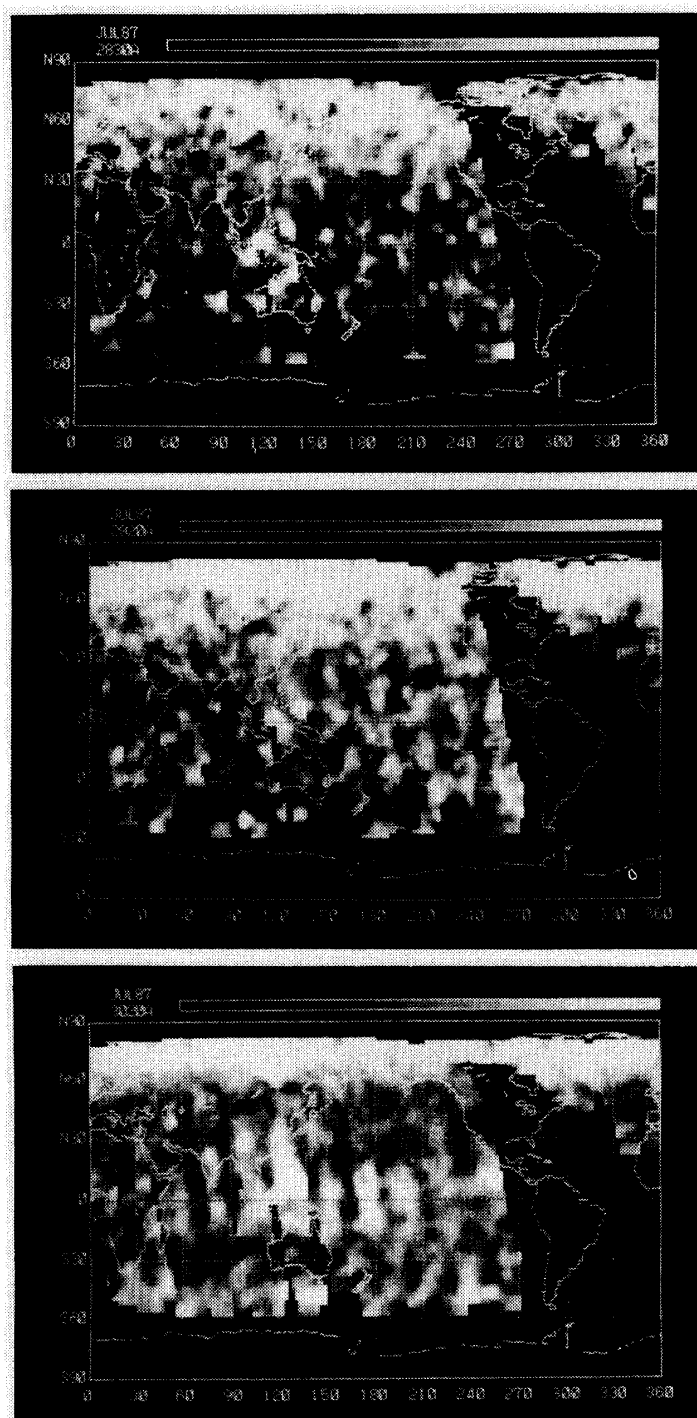


図4 図3に同じ. 1987年7月.

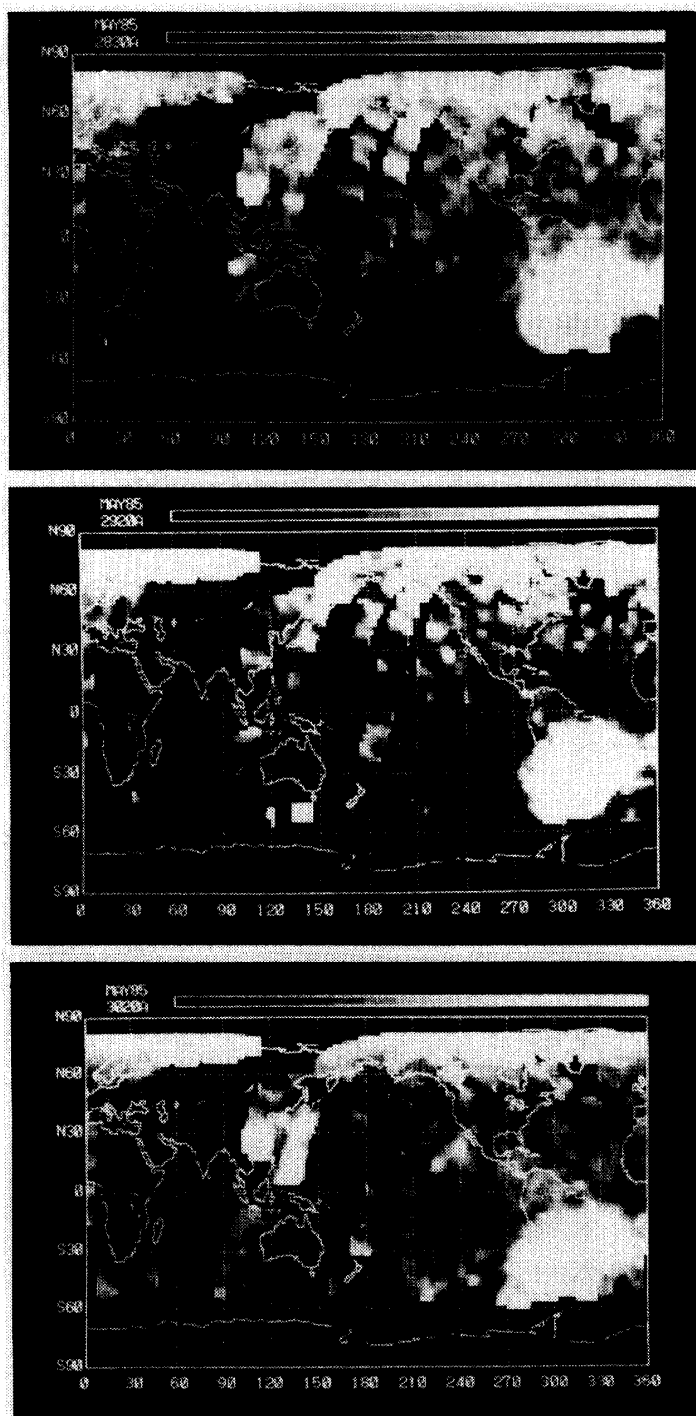


図5 図3に同じ。1985年5月。ブラジル付近で、どの波長も同じようなパターンで強度が増加している。

(2) 荷電粒子による影響

図5に南アメリカブラジル付近で、強度が増加している例を示す。ここは従来から言われているように、地磁気異常域で上空から荷電粒子の降りこみが観測されている地域である。この粒子の降りこみがあると光電子増倍管の光電面やダイノードから電子がたたき出される。このため出力電流が増え、見かけ上光の強度が増加しているようになる。ところが図5で示した通り、どの波長においても同じような強度増加パターンを示すので、荷電粒子の影響であることが分かる。しかしこの「強度増加」は一定でなく、月により大きく変化するので、以下の定量的強度の解析の場合、この地域のデータは除いた。

(3) 可視地球アルベドの影響

紫外散乱光は可視光の散乱に比べ、強度が大変小さく、可視光の迷光と地球表面でのアルベドの除去が充分行われないと観測精度を向上させることができない。このアルベドをモニターするために、BUVは分光器と同視野角、同光軸方向を持った光電受光器（中心波長4110Å）により同時観測を行っている。

今回解析した波長の中で3020Åは、オゾンによる吸収が小さく大気による散乱だけでなく、一部地上付近まで透過した光が、雲や雪など反射率の大きい部分で反射された光が入る可能性がある。この点を調べるため、可視光のデータについて、紫外光と同様な処理をして、月平均の強度分布を求めた。（図6）3020Åの強度分布と比較すると、分布の形が異ってい

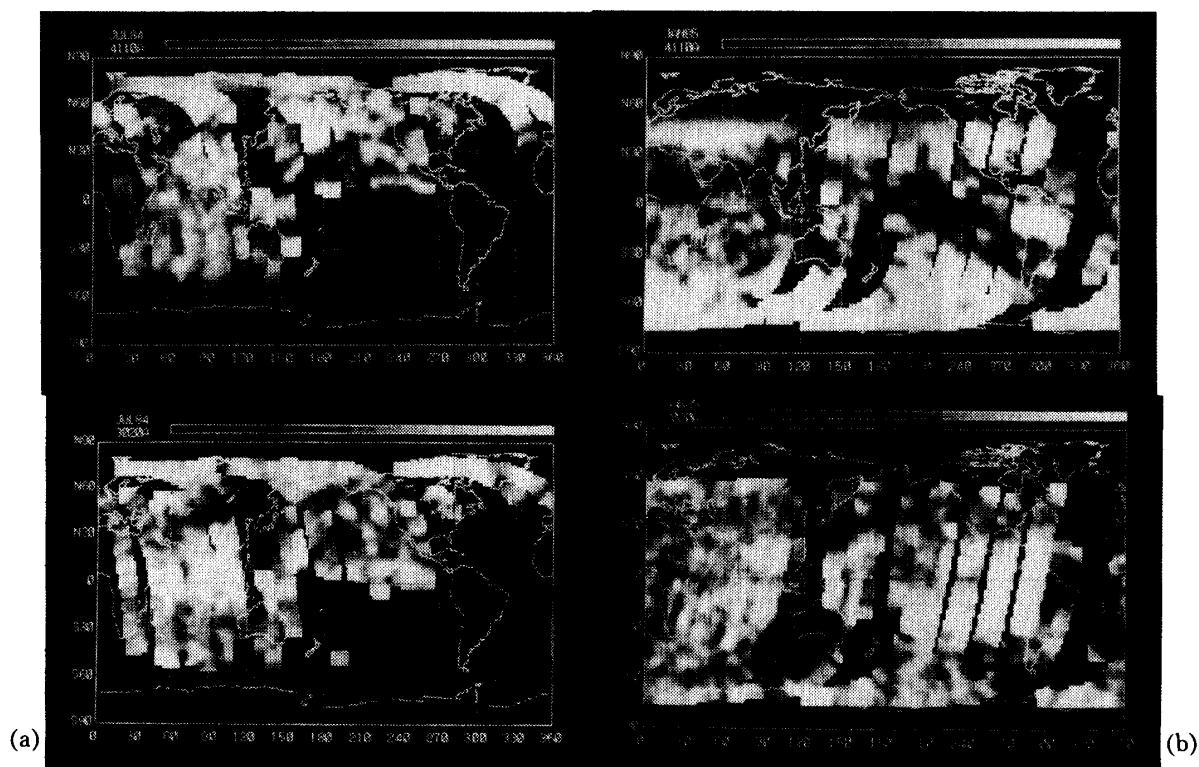
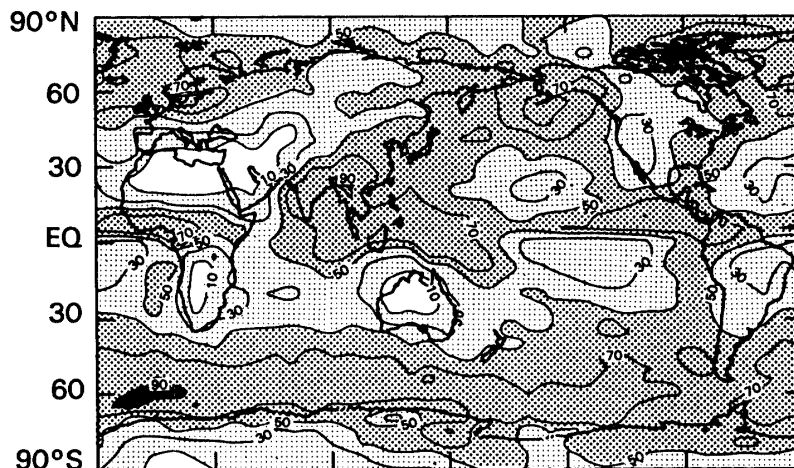


図6 4110Å 地球アルベド強度(上)と3020Å 散乱強度(下)。(a)1984年7月,(b)1985年1月。

NIMBUS-7 TOTAL CLOUD JULY 1979



NIMBUS-7 TOTAL CLOUD JANUARY 1980

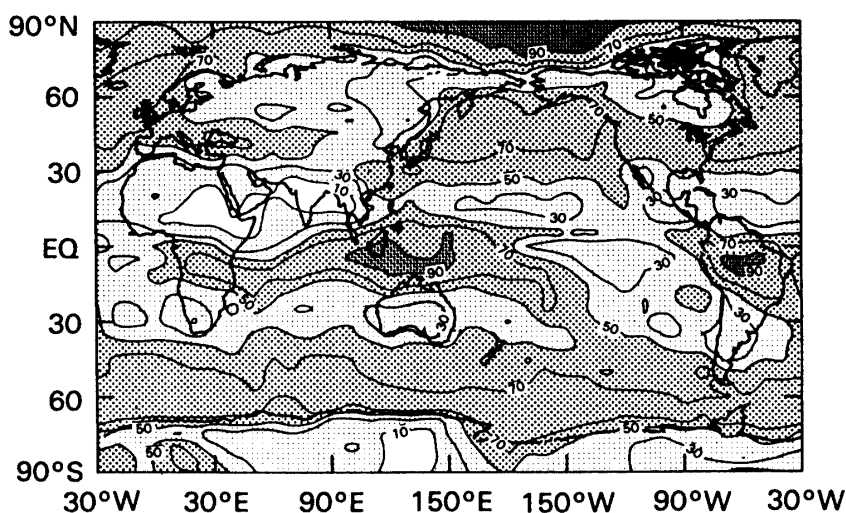


図7 NIMBUS-7で得られた、月平均雲分布図。(Stowe et al. 1989)

図中の数字は雲量(%)を表わす。

て、アルベドの影響は無視できると考えられる。

図7はNIMBUS-7により得られた月平均雲量の分布図である。[6] 観測年は違うが、可視光強度分布図と同じ月のものを示した。可視光の散乱は主に雲によるものと考えられるので、強度分布は雲の分布と対応しているはずである。図6と図7を比較すると可視光強度の大きいところと雲分布がよく対応しており、光電受光器も正常に作動して、可視アルベドをモニターしていることが分った。

(4) 散乱光強度の長期変化と測器の感度

全観測期間の強度の変化を図8に示した。この図は緯度別に、経度方向の平均強度を示し

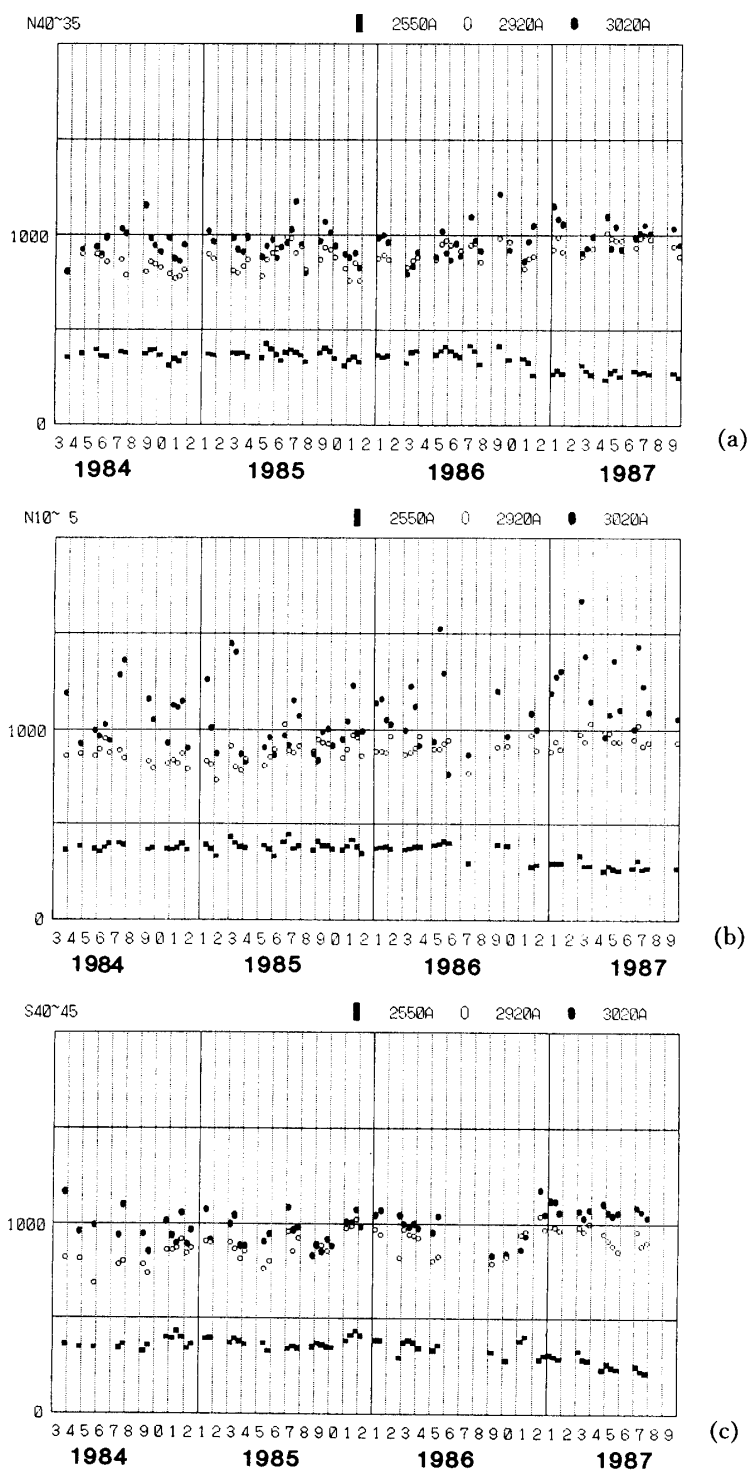


図8 散乱光強度の長期変化。縦軸の強度は相対値。
(a) 北緯 40°~35°, (b) 10°~5°, (c) 南緯 40°~45°。

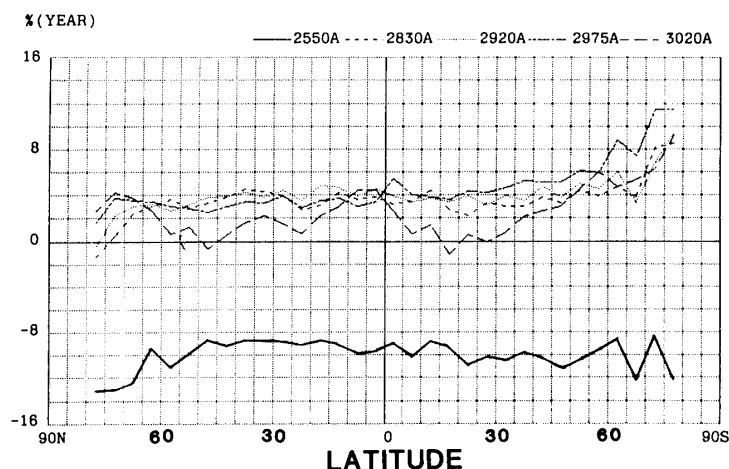


図9 緯度別散乱光強度の変化率. +は増加, -は減少を表わす.

たものである。各データは10日ごとの平均値である。3020Åの強度は低緯度域で大きな変動を示しており、明瞭な季節変化は認めがたい。むしろ1～2ヵ月程度の変動があるように見える。ところが中緯度域においては、3020Åの変動も小さくなり、2550Åと2920Åにおいては、南北半球いずれでも冬季、強度が減少する季節変化が見られる。

また図8には、季節変化や短い周期の変化を示しつつ、長期のトレンドがあらわれている。2550Åでは、強度は減少傾向にあるが、2920Å、3020Åでは逆にごくわずかな増加傾向である。このトレンドを時間的に直線的な変化だと見なして、その変化率を求めた。緯度5°ごとに求めた変化率を図9に示す。どの波長も緯度70°以上の高緯度ではデータが少なく、また3020Åの赤道付近は変動が大きく、この緯度帯ではあまり精度がよくない。

2550Åではどの緯度帯においても、ほぼ一定の変化率（減少）であり、これは測器感度の劣化と考えてよい。ところが、2975Åと3020Åでは変化率に緯度依存性が見られ、南半球の高緯度で変化率が大きくなっている。これを測器の感度変化だとすると、観測緯度により感度変化の仕方が異なることになり、これは考えにくい。オゾン変動、大気状態の変動の影響が含まれていると考えられるが、今回のBUVのデータからこのような結論を出すのは早計で、長期のオゾン観測データ、気象データとの比較検討が必要である。今後さらに、この点について解析を進めていくつもりである。

参考文献

- [1] 鈴木勝久, 小川利紘, 門倉真二: 宇宙科学研究所報告, 特集第12号, **3**, 1985.
- [2] K. Suzuki, T. Ogawa and S. Kadokura: J. Geomag. Geoelectr., **37**, 225, 1985.
- [3] T. Ogawa, M. Koike and K. Suzuki: Adv. Space Res., **9**, (7) 323, 1989.
- [4] 小池 真, 小川利紘, 鈴木勝久: 宇宙科学研究所報告, 特集第23号, 251, 1989.
- [5] A.J. Krueger and R.A. Minzer: J. Geophys. Res., **81**, 4477, 1976.
- [6] L.L. Stowe, H.Y.M. Yen, T.F. Eck, C.G. Wellemeyer and H.L. Kyle: J. Climate, **2**, 1989.