

### 3 オゾン層の長期変化傾向

オゾン層の長期変化傾向に関し、全球、日本上空及び南極域上空のオゾン層について解析した結果を述べる。ここでオゾンに関する量(オゾン全量、オゾン分圧、層別オゾン量)の長期変化傾向を量的に表現するために、季節変化、太陽活動、QBOといった既知の自然要因による周期的なオゾン変動を除去したときの2001年までの変化率(トレンド:10年当たりの百分率)を用いる。

#### 3-1 長期変化傾向(トレンド)解析手法

図3-1-1に、札幌、つくば、鹿児島、那覇における観測開始から2001年12月までのオゾン全量の月平均値の推移を示す。月平均値の変動には年平均値の20~30%の幅の季節変化が見られ、その大きさは年によって異なっている。現在問題とされているトレンドは、10年間で数%程度の大きさであり、トレンドの有無の判定には、統計的処理が必要である。

図3-1-2に、上記の月平均値から季節変化成分を除いたオゾン全量の経年変化を示す。オゾン量の経年変化には季節変化以外に、2~3年や10年程度の周期成分が含まれている。代表的なものとして、太陽活動(約11年周期)や準2年振動(QBO;赤道域の成層圏風の自然変動で、約26ヶ月の周期を持つ)が知られている。信頼度の高いオゾントレンドを求めるため、通常、これらの既知の変動要因のオゾンの変動に与える影響を見積もり、これをオゾンの時系列データから除去する(WMO,1992)。

図3-1-3に長期変化傾向の解析(トレンド解析)において既知のオゾン量変動要因の影響を除去するために使用した要素の時系列を示す。トレンド解析に用いた自然変動要因としては、約11年周期の太陽活動、約2年周期のQBOを扱っている。また、反転観測では、大きな火山噴火等で生じる大気混濁の影響が測定誤差として現れるため、直達日射量から算出した大気混濁係数も使用した。なお、本書では考慮しないが、オゾン変動に影響をもたらすものとして上記の自然変動以外に、エルニーニョ南方振動や北大西洋振動

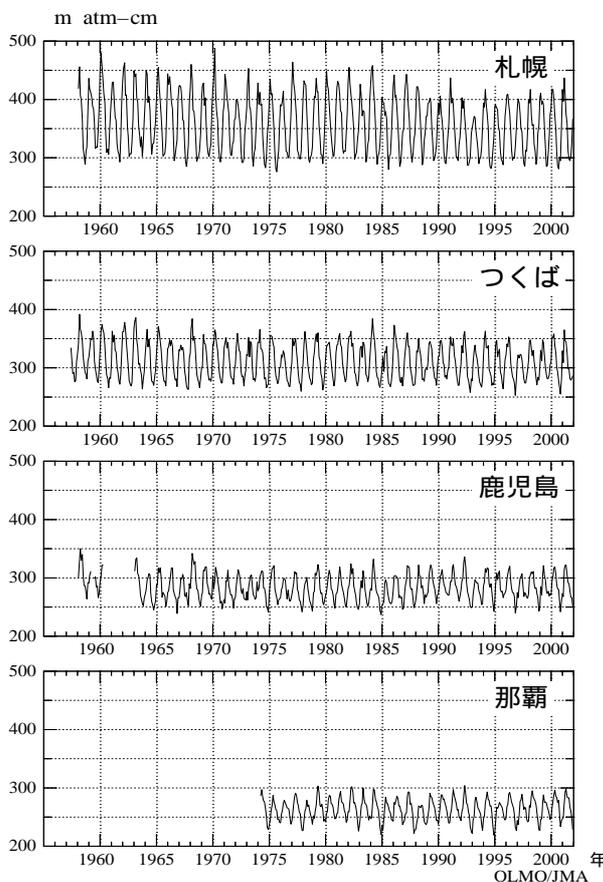


図3-1-1: 日本上空のオゾン全量の月平均値  
札幌、つくば、鹿児島、那覇についての観測開始から  
2001年12月までのオゾン全量の月平均値。

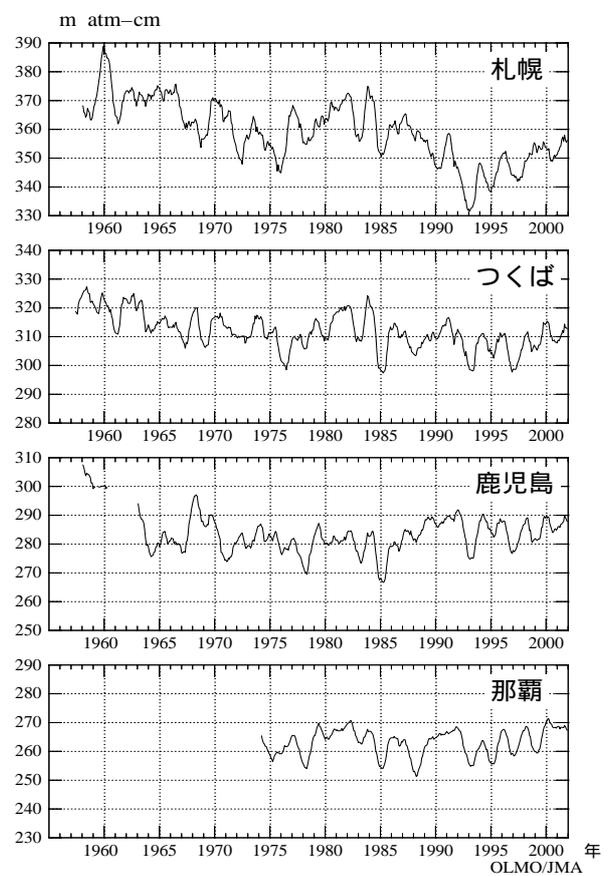


図3-1-2: 季節変動除去後のオゾン全量の推移  
図3-1-1のデータから季節変動を除去した後13カ  
月移動平均をしたもの。

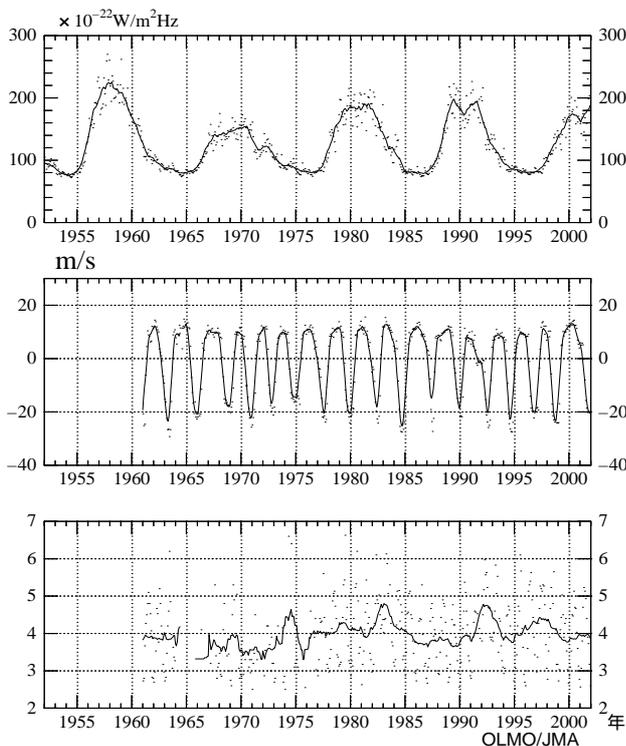


図3 - 1 - 3: トレンド解析に使用する既知の自然要因  
 上図は国立天文台野辺山観測所の太陽電波フラックス (3,750MHz、単位は $10^{-22}W/m^2 \cdot Hz$ )で、実線は13カ月移動平均値。中図はシンガポール上空の50hPa面における風の東西成分(m/s: QBO)、実線は7カ月移動平均値。下図はつくばにおける直達日射観測から評価した大気の混濁係数で実線は13カ月移動平均値。

(NAO; North Atlantic Oscillation) 等の力学的要因等があり、これらの影響を考慮したトレンド解析の例には Appenzeller et al. (2000)、Bröniman et al. (2000)がある。

ここでは、例としてつくばにおけるオゾン全量のトレンド解析を示す(図3 - 1 - 4)。(1)は解析対象のオゾン全量の月平均値、(2)はオゾン全量の月平均偏差の49ヶ月移動平均値と太陽活動の目安となる太陽電波フラックス(3,750MHz)値の13ヶ月移動平均、(3)はオゾン全量から季節変化と太陽活動の影響を取り除いた値とQBOの指標となるシンガポール上空50hPa面の風の東西成分から求めたインデックス値の7ヶ月移動平均値、(4)はこれらの既知の自然変動要因を除いたオゾン全量とそれに対する直線トレンドである。実際の解析の手順は以下の通りである。

1) オゾン全量の年差の時系列を目的変数とし、太陽電波フラックスの13ヶ月移動平均値とQBOの7ヶ月移動平均値(いずれも地点毎にオゾン全量との相関が最も高くなるように時間ラグを設定)及び直線トレンド成分を説明変数とした重回帰式を求める。

2) この回帰式を用いて、太陽電波フラックスとQBOがオゾン全量に与える影響を算定し、目的変数からこれらの影響を除去した時系列を作る。

3) この時系列に直線回帰を適用してトレンド(全年及び季節・月別)を決定する。

4) オゾン全量変化のトレンド直線からの偏差(残差)に自己回帰を考慮して95%信頼限界を評価する。

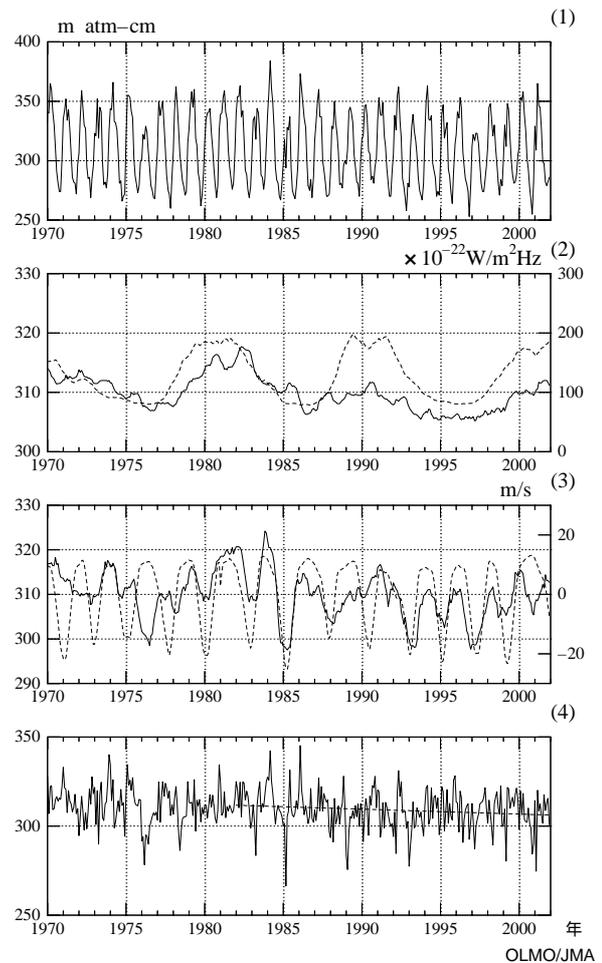


図3 - 1 - 4: つくばにおけるオゾン全量のトレンド解析例

(1)月平均値、(2)月平均偏差の49カ月移動平均値(太線)と、太陽電波フラックスの13カ月移動平均値(破線)、(3)月平均値から季節、太陽活動の影響を取り除いた時系列の13カ月移動平均値(太線)とQBOの7カ月移動平均値(破線: ラグあり)、(4)季節変動、太陽活動及びQBOの影響を除去したオゾン全量時系列(太線)と最近20年間の直線トレンド(破線)。