

## 第2章 日本上空のオゾン層

### 2-1 2011年の日本上空のオゾン層の状況

- 2011年の日本上空の月平均オゾン全量は、4地点ともに並の月が多かった。
- 札幌とつくばの7月の月平均オゾン全量は、観測開始以来2番目に少なかった。

#### 2011年のオゾン全量の状況

気象庁で観測している日本上空のオゾン全量について2011年における月平均値を図 I 2-1に示す。

2011年のオゾン全量の月平均値は、4地点ともに並の月が多かった<sup>4</sup>。札幌では、1月と12月は多く、7月は少なかった。特に、7月はその月として観測開始（1958年）以来2番目に少なかった。つくばでは、3月に多く、7月と9月は少なかった。特に、7月はその月として観測開始（1957年）以来2番目に少なかった。那覇では2月に多かった。南鳥島では、11～12月に多く、8月に少なかった。

札幌とつくばの7月のオゾン全量が特に少なかった要因として、①北半球中緯度全体で春季以降、オゾン全量が少ない状況が継続しており（第1章図 I 1-3）、中緯度全体としてオゾン量が少なめであったこと、②7月前半を中心に、本州以北に低緯度からのオゾンの少ない空気塊が移流したこと、が考えられる。

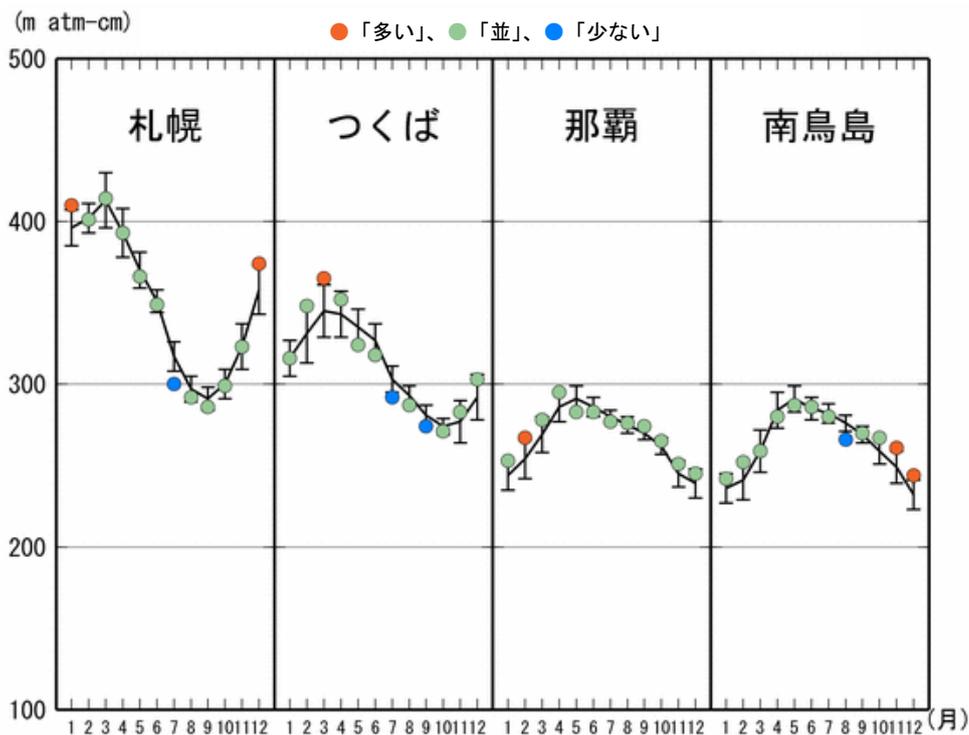


図 I 2-1 : 2011年の日本上空の月平均オゾン全量

国内4地点（札幌、つくば、那覇、南鳥島）における月平均オゾン全量の年変化。●印は2011年の月平均値。折線（実線）は参照値（1994～2008年の累年平均値）。縦線は標準偏差。

<sup>4</sup> ここでは、参照値からの差が標準偏差以内のときを「並」、それより大きいときを「多い」、それより小さいときを「少ない」とした。

## 2011年のオゾン分圧の高度分布の状況

オゾンゾンデ観測による日本上空のオゾン分圧および規格化偏差の高度分布を図 I 2-2に示す。オゾン分圧（図 I 2-2左）を見ると、各地点とも高度24km付近を中心としてオゾン分圧の高い層がみられる。また、規格化偏差（図 I 2-2右）をみると、国内3地点ともに、下部成層圏の70～50hPa（高度19～21km）付近で、年を通じてオゾン分圧が参照値より高い傾向がみられた。4月のつくばと那覇では200～100hPa（高度11～16km）付近でオゾン分圧が参照値より特に高かった。対流圏（地上から高度約10km付近まで）では、特に、つくばの3月、7月、9月で規格化偏差の大きい領域がみられた。

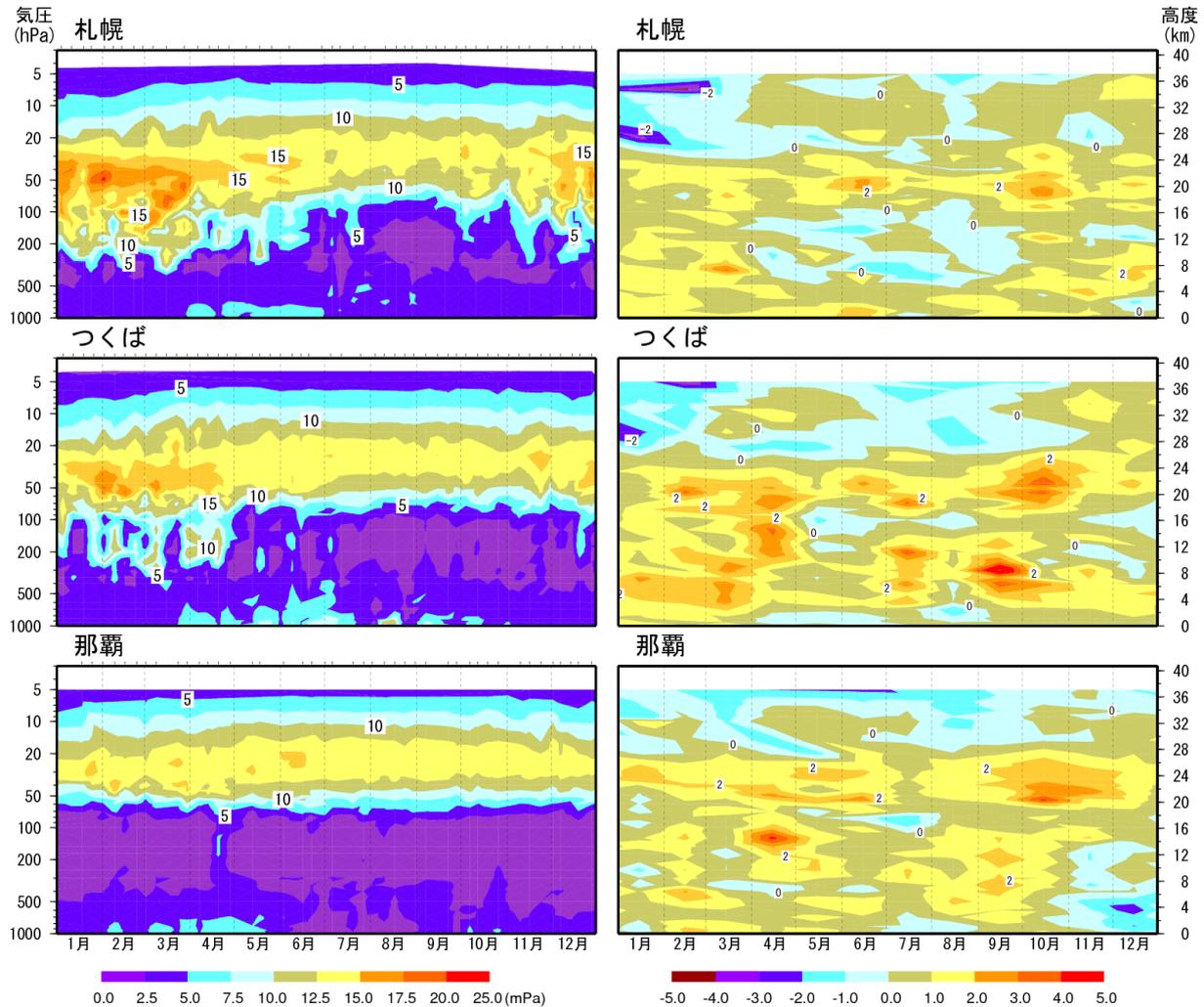


図 I 2-2 : 国内3地点のオゾン分圧・規格化偏差の高度分布（2011年）

札幌、つくば、那覇のオゾンゾンデ観測によるオゾン分圧・規格化偏差の高度分布図。オゾン分圧図（左）は個々の観測値を、規格化偏差図（右）は月平均値を用いて作成。比較の基準となる参照値は、1994～2008年の累年平均値。規格化偏差は月平均値の参照値からの偏差を標準偏差で割った値。なお、観測データのない高度については、前後の期間のオゾン分圧から内挿処理を行っている。

## 2-2 日本上空のオゾン層の長期変化

- 国内のオゾン全量は、特に札幌とつくばで1980年代を中心に1990年代初めまで減少が進み、1990年代半ば以降は、国内4地点（札幌、つくば、那覇、南鳥島）で緩やかな増加傾向がみられる。
- オゾン量の長期変化傾向として、
  - ・2011年のオゾン全量は、1979年と比べて札幌で3.4%少なく、那覇で3.2%多かった。
  - ・1990年代半ば以降は、国内3地点でオゾン全量に増加傾向がみられ、つくばと那覇の増加の割合が大きかった。
  - ・2011年の日本上空のオゾン量は、1979年と比べて高度25km付近と45km付近、および札幌では10~20kmで減少傾向がみられた。

### 日本上空のオゾン全量の経年変化

札幌、つくば、那覇、南鳥島のオゾン全量の年平均値の経年変化を図I 2-3に示す。札幌とつくばのオゾン全量は、主に1980年代を中心に1990年代初めまで減少が進んだ。また、1980年代のオゾンの減少は高緯度ほど大きい傾向がある。一般にオゾン層破壊物質によるオゾンの減少は高緯度ほど大きい傾向があるが、この図からも1990年代半ばまではその傾向がみられる。1990年代半ば以降は、国内4地点ともに緩やかな増加傾向がみられる。

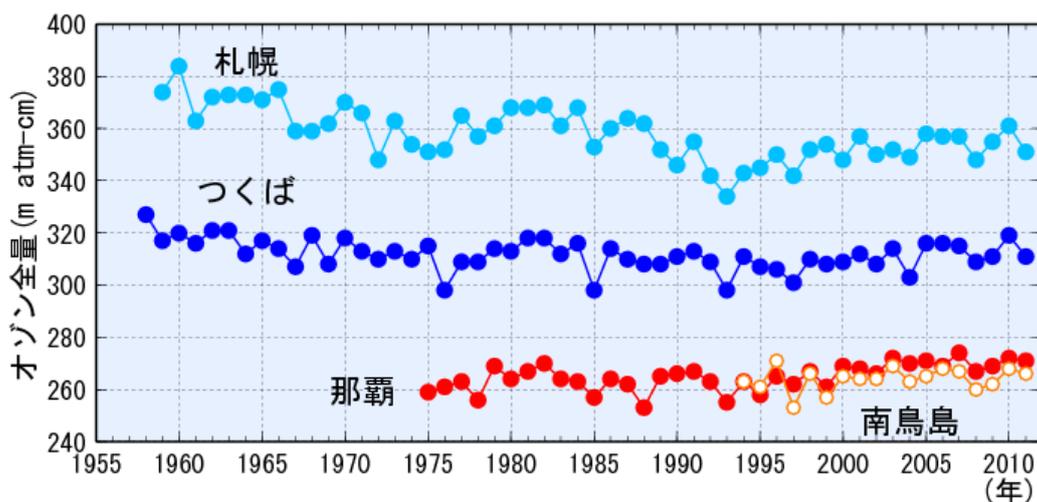


図 I 2-3：日本上空のオゾン全量の年平均値の経年変化

札幌、つくば、那覇、南鳥島におけるオゾン全量の年平均値の経年変化。この図では、観測値をそのまま使用した（太陽活動など既知の周期的な自然要因と相関の高い変動成分は除去していない）。

### 日本上空のオゾン全量の季節別経年変化

日本上空のオゾン全量の季節平均値について観測全期間平均からの偏差の経年変化を図I 2-4に示す。長期的にみると、札幌ではどの季節も1990年代以降負偏差を示すことが多く、春季と冬季に特に顕著である。ただし、2000年代は1990年代と比較して負偏差が小さくなっている。また、つくばの冬季でも1980年代から1990年代初めまでの減少傾向が明瞭である。一方、那覇の全ての季節で2000年代以降に正偏差を示すことが多く、1990年代半ば以降増加傾向がみられる。

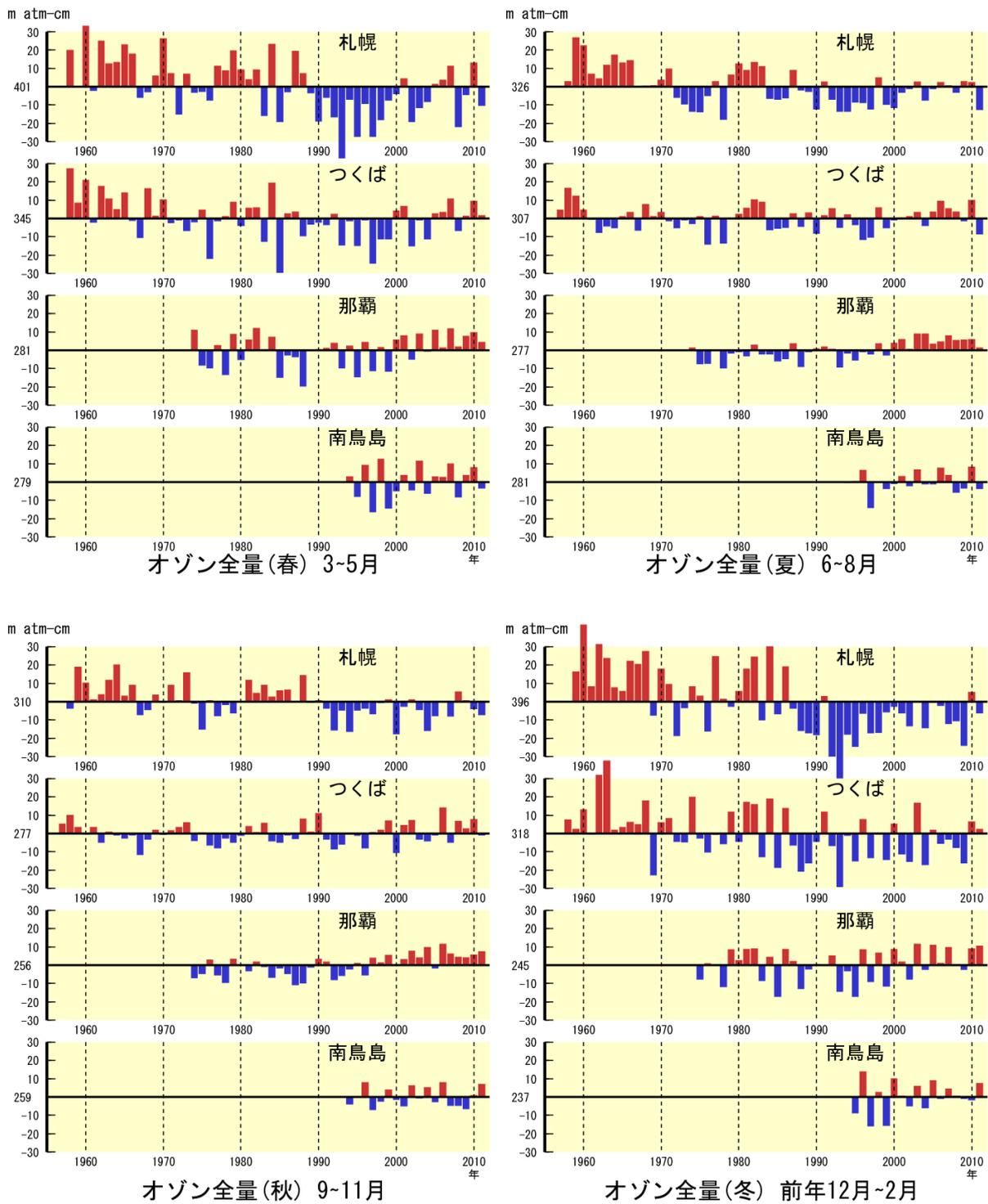


図 I 2-4 : 日本上空のオゾン全量の季節平均値の偏差の経年変化

札幌、つくば、那覇、南鳥島におけるオゾン全量の季節平均値に対する全期間平均からの偏差の経年変化。

上段は春（3～5月）、夏（6～8月）、下段は秋（9～11月）、冬（前年12月～2月）についての値。

## 日本上空のオゾン全量の長期変化傾向

国内3地点の地上観測データを用いたオゾン全量（黒線。太陽活動など既知の周期的な自然要因と相関の高い変動成分を除去した値）と長期的な変化傾向（赤線）を図 I 2-5に示す。1990年代半ばまでのオゾン全量の減少に対し、1990年代半ば以降の増加が見られるが、個別の観測地点については必ずしも EESC フィッティングが有効ではないため、1979～1996年の回帰直線と1997～2011年の回帰直線により長期変化傾向を示した（付録3参照）。

2011年のオゾン全量は、1979年と比べて、通年では札幌で3.4%少なく、那覇で3.2%多く、いずれも統計的に有意（95%の信頼区間の範囲が全て減少あるいは増加）であった（表 I 2-1）。季節別にみると、札幌では春季を除いて有意に減少、那覇では冬季を除いて有意に増加している。

1980年代のオゾン全量は、国内3地点ともに通年で有意に減少しており、緯度の高い地点ほど減少の割合が大きい（表 I 2-2）。季節別にみると、札幌は全ての季節で有意に減少し、冬季と春季に減少の割合が大きく、つくばと那覇は冬季のみ有意に減少している。

1997～2011年の直線回帰による変化傾向（表 I 2-3）をみると、3地点ともに通年で有意な増加がみられ、つくばと那覇でその割合が大きかった。季節別にみると、札幌とつくばは春季のみ、那覇は夏季を除いて有意に増加している。ただし、これらの増加傾向の一部には、大気循環の自然変動が寄与している可能性があり、成層圏の塩素量の減少のみが原因とみることはできない<sup>5</sup>。

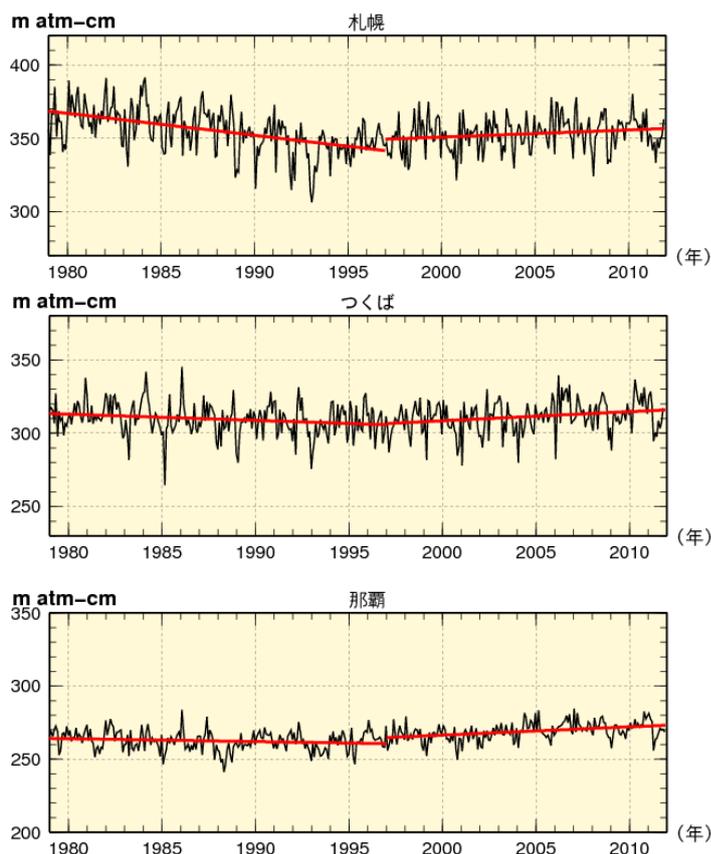


図 I 2-5：日本上空のオゾン全量の長期変化傾向

国内のオゾン全量観測による1979年以降のオゾン全量(m atm-cm)。黒線は、太陽活動など既知の周期的な自然要因と相関の高い変動成分を除去した値である。赤線は、1979～1996年と1997～2011年の2つの回帰直線を示す。上から、札幌、つくば、那覇のデータ。

<sup>5</sup>気象庁ホームページ「オゾン量の経年変化に影響を及ぼす自然変動」([http://www.data.kishou.go.jp/obs-env/ozonehp/3-24ozone\\_o3variability.html](http://www.data.kishou.go.jp/obs-env/ozonehp/3-24ozone_o3variability.html))を参照。

**表 I 2-1：日本上空のオゾン全量長期変化傾向（2011年の1979年に対する変化の割合）**

2011年オゾン全量の1979年に対する変化の割合（%）。カッコ内は、95%の信頼区間の範囲を示し、色を付けたものは、統計的に有意(信頼区間の範囲がすべて正か負)なものである。通年、春、夏、秋、冬は、それぞれ1～12月、3～5月、6～8月、9～11月、12～2月。3地点とも1979～1996年と1997～2011年の2つの回帰直線から求めた。

	札幌	つくば	那覇
通年	-3.4 ( -4.9 ~ -1.8 )	0.6 ( -0.9 ~ 2.2 )	3.2 ( 2.1 ~ 4.3 )
春	-3.0 ( -6.3 ~ 0.5 )	1.9 ( -1.7 ~ 5.6 )	3.2 ( 0.9 ~ 5.6 )
夏	-2.9 ( -5.2 ~ -0.5 )	0.6 ( -1.9 ~ 3.1 )	3.7 ( 1.8 ~ 5.8 )
秋	-2.7 ( -5.0 ~ -0.2 )	1.5 ( -0.9 ~ 4.0 )	3.9 ( 1.9 ~ 5.9 )
冬	-5.0 ( -8.5 ~ -1.3 )	-1.6 ( -5.2 ~ 2.3 )	2.1 ( -0.3 ~ 4.6 )

**表 I 2-2：日本上空のオゾン全量長期変化傾向（1980年代の変化の割合）**

1979～1996年の回帰直線から求めた1980年代の変化量（%/10年）。カッコ内は、95%の信頼区間の範囲を示し、色を付けたものは、統計的に有意(信頼区間の範囲がすべて正か負)なものである。通年、春、夏、秋、冬は、それぞれ1～12月、3～5月、6～8月、9～11月、12～2月。

	札幌	つくば	那覇
通年	-4.1 ( -5.0 ~ -3.1 )	-1.3 ( -2.2 ~ -0.4 )	-0.8 ( -1.4 ~ -0.1 )
春	-5.0 ( -7.1 ~ -2.9 )	-1.4 ( -3.6 ~ 0.8 )	-1.2 ( -2.8 ~ 0.3 )
夏	-3.5 ( -4.9 ~ -2.1 )	-1.3 ( -2.7 ~ 0.1 )	-0.1 ( -1.3 ~ 1.1 )
秋	-2.1 ( -3.3 ~ -0.8 )	-0.2 ( -1.5 ~ 1.0 )	-0.2 ( -1.2 ~ 0.9 )
冬	-5.9 ( -8.4 ~ -3.4 )	-2.5 ( -4.7 ~ -0.2 )	-1.5 ( -2.9 ~ 0.0 )

**表 I 2-3：日本上空のオゾン全量の直線回帰による変化傾向**

1997～2011年のデータから直線回帰により求めた変化傾向（%/10年）と95%の信頼区間の範囲。色を付けたものは、統計的に有意(信頼区間の範囲がすべて正か負)なものである。通年、春、夏、秋、冬は、それぞれ1～12月、3～5月、6～8月、9～11月、12～2月。

	札幌	つくば	那覇
通年	1.4 ± 1.1	2.0 ± 1.2	2.1 ± 0.7
春	3.0 ± 2.5	4.0 ± 2.6	3.2 ± 1.4
夏	0.7 ± 1.7	1.3 ± 2.0	1.3 ± 1.3
秋	0.6 ± 2.1	1.3 ± 2.0	1.6 ± 1.5
冬	1.2 ± 2.3	1.4 ± 2.7	2.5 ± 1.7

## 日本上空のオゾン鉛直分布の長期変化傾向

日本上空のオゾン鉛直分布の長期変化傾向をみるため、2011年の成層圏のオゾン量の1979年に対する変化の割合(%)について鉛直分布を図I 2-6上段に示す。2011年のオゾン量は、1979年と比べて上部成層圏(高度約35km以上)では札幌とつくばの高度35km(5hPa)以上、那覇の高度45km付近(1hPa付近)で有意に減少している。下部成層圏では、3地点ともに高度約25km(約20hPa)付近で有意に減少し、札幌の高度10~20km付近でも有意な減少傾向がみられる。これらのオゾン減少は、ともにクロロフルオロカーボン類などから解離した塩素によるものであるが、その破壊メカニズムは異なっている。上部成層圏での減少は、塩素原子との気相反応のみによるのに対し、下部成層圏での減少は主にエロゾル粒子表面での不均一反応(巻末「用語解説」参照)によって活性化される別の触媒反応サイクルによると考えられている。

1997~2011年のオゾンデータから直線回帰により求めた変化傾向(図I 2-6下段)をみると、上部成層圏では、札幌の高度35km付近で有意な減少傾向が、つくばの高度35km以上で有意な増加傾向がみられる。対流圏から下部成層圏では、札幌とつくばの高度20km(50hPa)付近、つくばの高度8km以下(300hPa以下)、那覇のほとんどの高度で有意な増加傾向がみられた。

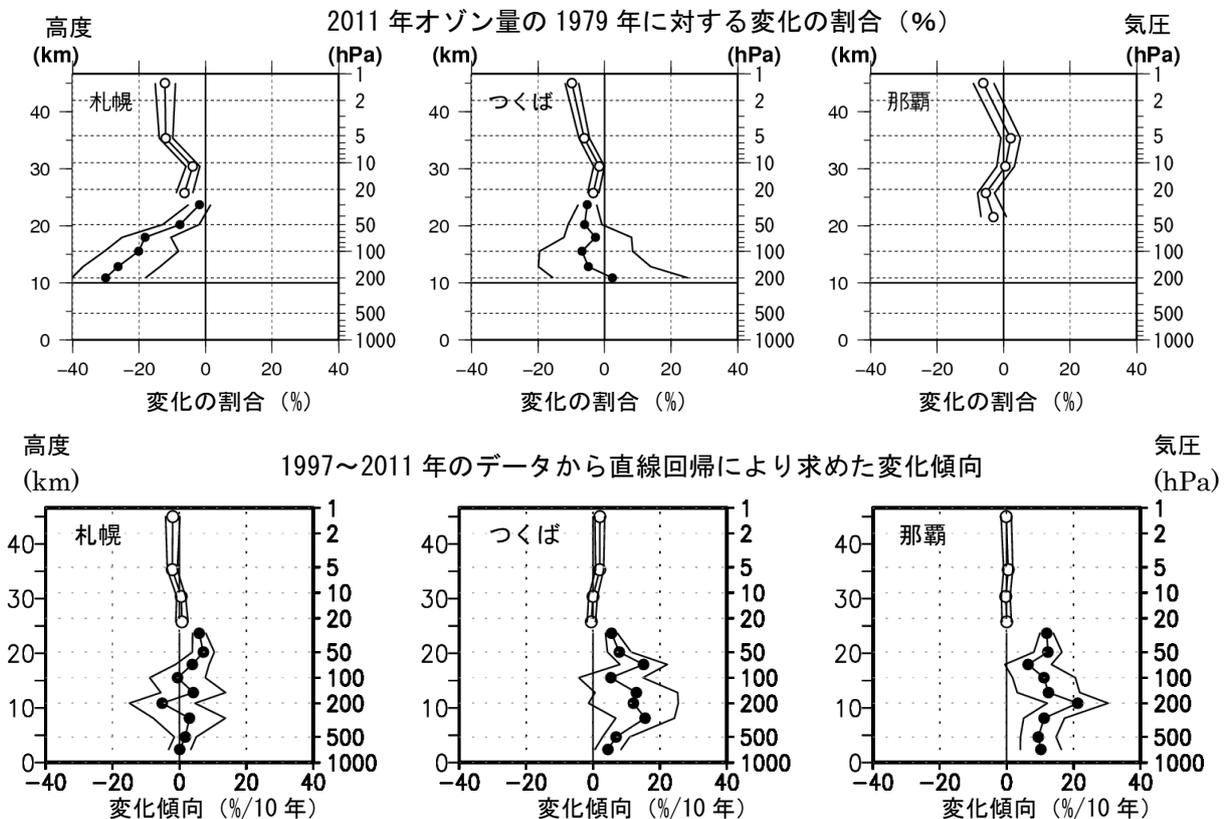


図 I 2-6 : 日本上空のオゾン鉛直分布の長期変化傾向

上段：2011年オゾン量の1979年に対する変化の割合(%)。下段：1997~2011年のデータから直線回帰により求めた変化傾向(%/10年)。

●印はオゾンゾンデ観測データ、○印は反転観測データによる。外側の折線は95%信頼区間の範囲。那覇は、1989年より前のオゾンゾンデ観測データがないため、上段では反転観測の結果のみを示す。なお、反転観測の約45kmの○印は、高度40km付近より高い気層について合計した量の変化傾向を表している。なお、1979年に対する変化の割合については、3地点とも1979~1996年と1997~2011年の2つの回帰直線により求めた(付録3参照)。