

## 第2章 日本上空のオゾン層

### 2-1 2012年の日本上空のオゾン層の状況

- 2012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。
- 那覇の5月と9月の月平均オゾン全量は、その月として観測開始以来最も多かった。

#### 2012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2012年における月平均値を図 I 2-1に示す。

2012年のオゾン全量の月平均値は、参照値と比較すると4地点ともに「並」の月が多かった。札幌では、12月に「多い」、3月、9～10月は「少ない」となった。特に、9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、2月に「少ない」となった。那覇では4～5月と9月、11月に「多い」となった。特に、5月と9月はその月として観測開始（1974年）以来最も多かった。南鳥島では、1月、5月、8～9月に「多い」となり、それ以外の月は「並」だった。

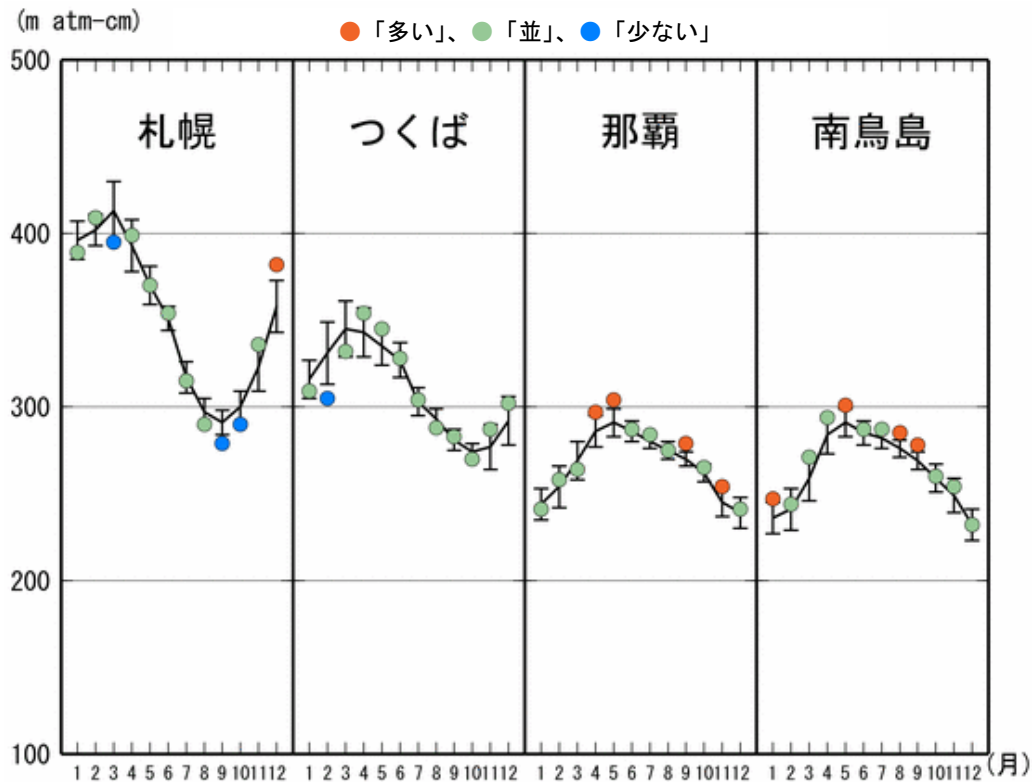


図 I 2-1 : 2012年の日本上空の月平均オゾン全量

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2012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。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。

## 2012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 2-2a) を見ると、各地点とも30~50hPa (高度25km) 付近を中心としてオゾン分圧の高い層がみられる。このオゾン分圧の高い層での規格化偏差 (図 I 2-2b) をみると、国内3地点ともに、下部成層圏の50hPa (高度21km) 付近を中心とした層で、札幌の9月を除き、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。特に、那覇の5~6月、9~11月で規格化偏差が+2以上の領域が広くみられた。また、上部成層圏では、札幌の10月の8hPa (34km) 付近で規格化偏差が-2以下の領域がみられた。一方、対流圏 (地上から高度約10km付近まで) では、札幌の5~6月、10月、つくばの4~5月、10~12月、那覇の9~12月で規格化偏差が+3以上の領域がみられた。

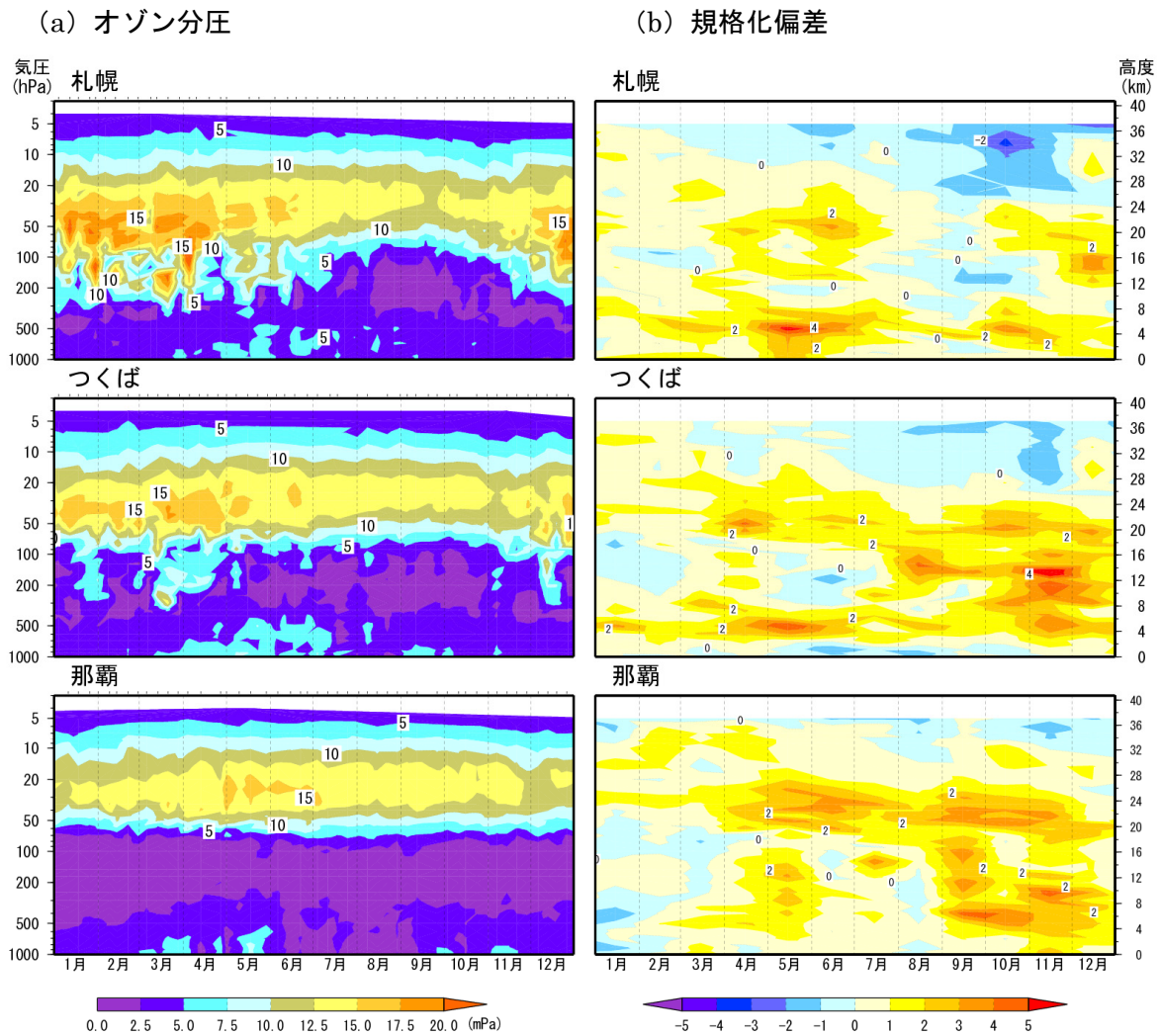


図 I 2-2: 国内3地点のオゾン分圧・規格化偏差の高度分布 (2012年)

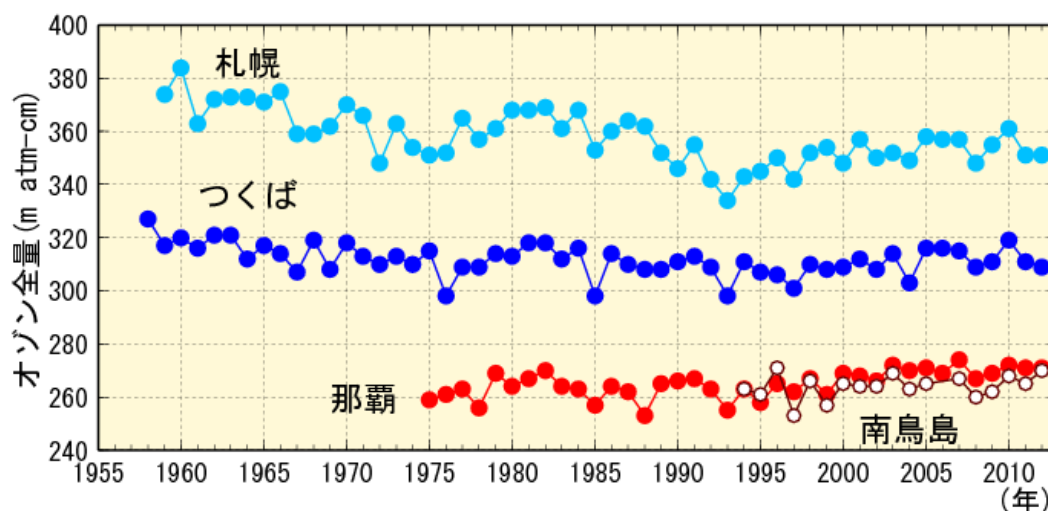
札幌、つくば、那覇のオゾンゾンデ観測による (a) オゾン分圧、(b) 規格化偏差の高度分布図。オゾン分圧図 (a) は個々の観測値を、規格化偏差図 (b) は月平均値を用いて作成。比較の基準となる参照値は、1994~2008年の累年平均値。規格化偏差は月平均値の参照値からの偏差を標準偏差で割った値。観測データのない高度については、前後の期間のオゾン分圧から内挿処理を行っている。なお、各地点の参照値および標準偏差の図は、気象庁ホームページ「オゾンの世界分布と季節変化」([http://www.data.kishou.go.jp/obs-env/ozonehp/3-20ozone\\_avemap.html](http://www.data.kishou.go.jp/obs-env/ozonehp/3-20ozone_avemap.html))に掲載している。

## 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、
  - ・2012年のオゾン全量は、1979年と比べて札幌で2.7%少なく、那覇で3.9%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、札幌と那覇の増加の割合が大きかった。
  - ・2012年の日本上空のオゾン量は、1979年と比べて、国内3地点の高度20hPa付近と、札幌とつくばの5hPa以上、那覇の1hPa付近、および札幌の200hPa～50hPa付近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。緯度帯別の長期変化傾向（図I 1-5、図I 1-6）でもオゾン全量の減少は高緯度ほど大きい傾向があるが、国内においても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。

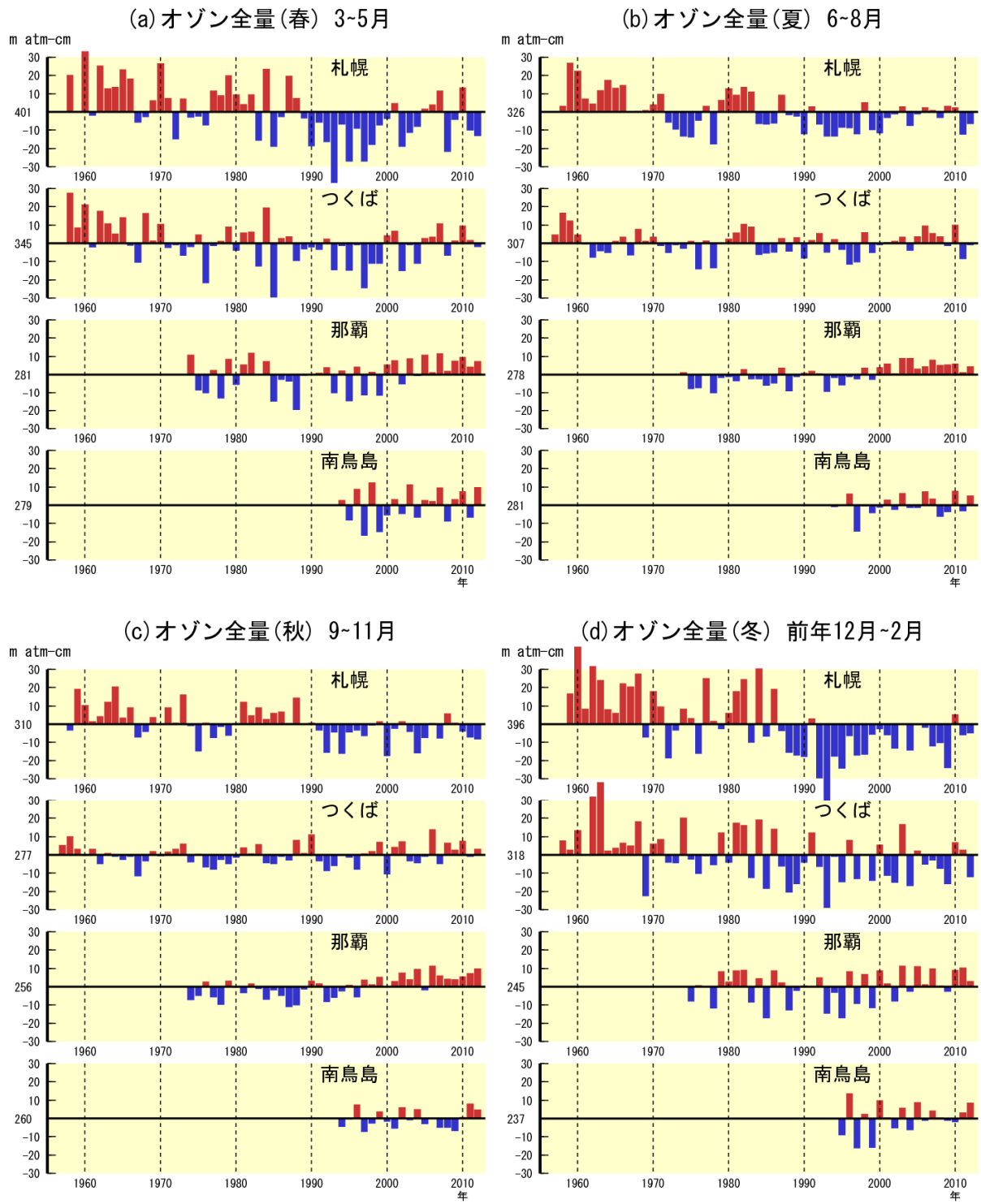


図I 2-3：日本上空のオゾン全量の年平均値の経年変化

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。(a) 春 (3~5月)、(b) 夏 (6~8月)、(c) 秋 (9~11月)、(d) 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、EESCが最大となる1996年末を転換点とした折れ線フィッティングにより長期変化傾向を示した（付録3参照）。

2012年のオゾン全量は、1979年と比べて、通年では札幌で2.7%少なく、那覇で3.9%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、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、札幌とつくばで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、つくばは春季と冬季で有意に減少している。

1997年以降の変化傾向（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、札幌と那覇でその割合が大きかった。季節別にみると、札幌の秋季、つくばの冬季をのぞいた季節と、那覇の全ての季節で有意に増加している。これらの増加傾向には、成層圏の塩素量の減少が関係しているとみられるが、大気循環の自然変動も寄与している可能性がある<sup>4</sup>。

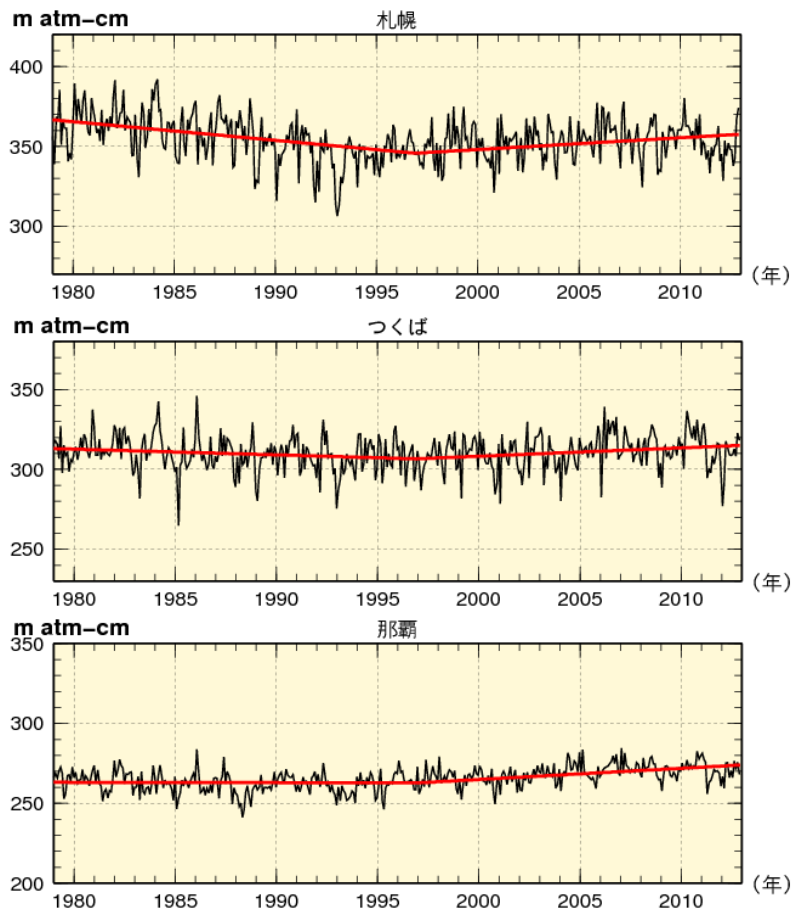


図 I 2-5：日本上空のオゾン全量の長期変化傾向

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、折れ線フィッティングによる直線を示す。上から、札幌、つくば、那覇のデータ。

<sup>4</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**

2012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（95%の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地点とも折れ線フィッティングから求めた。

	札幌	つくば	那覇
通年	-2.7 ( -4.4 ~ -1.0 )	0.5 ( -1.3 ~ 2.2 )	3.9 ( 2.7 ~ 5.1 )
春	-2.5 ( -6.4 ~ 1.4 )	1.2 ( -2.8 ~ 5.2 )	3.7 ( 1.1 ~ 6.3 )
夏	-1.9 ( -4.6 ~ 0.8 )	0.9 ( -1.8 ~ 3.7 )	4.5 ( 2.3 ~ 6.8 )
秋	-2.6 ( -5.4 ~ 0.1 )	1.8 ( -0.9 ~ 4.4 )	5.1 ( 3.0 ~ 7.3 )
冬	-3.1 ( -7.4 ~ 1.2 )	-1.7 ( -6.0 ~ 2.6 )	2.5 ( -0.2 ~ 5.2 )

**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）**

折れ線フィッティングの前半部のトレンドから求めた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（95%の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	-3.2 ± 0.7	-1.1 ± 0.7	-0.1 ± 0.5
春	-4.0 ± 1.6	-1.7 ± 1.7	-0.7 ± 1.1
夏	-2.4 ± 1.1	-0.8 ± 1.2	0.8 ± 0.9
秋	-1.9 ± 1.2	-0.1 ± 1.1	0.5 ± 0.9
冬	-4.4 ± 1.8	-1.9 ± 1.8	-0.8 ± 1.1

**表 I 2-3：日本上空のオゾン全量の1997年以降の変化傾向**

折れ線フィッティングにより求めた1997年以降の変化傾向（%/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（95%の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	2.1 ± 0.9	1.7 ± 0.8	2.7 ± 0.6
春	3.2 ± 2.0	2.8 ± 2.0	3.3 ± 1.3
夏	1.6 ± 1.3	1.5 ± 1.3	2.0 ± 1.0
秋	0.5 ± 1.3	1.3 ± 1.3	2.7 ± 1.0
冬	3.4 ± 2.3	1.2 ± 2.1	2.7 ± 1.3

## 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、2012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 2-6aに示す。2012年のオゾン量は、1979年と比べて上部成層圏(5hPa(高度35km)以上)では、札幌とつくばの5hPa以上、那覇の1hPa(高度45km)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20hPa(高度約25km)付近で有意に減少し、札幌の200~50hPa(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と考えられるが、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が関わる触媒反応サイクルによるのに対し、下部成層圏での減少は主にエア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年以降の変化傾向(図I 2-6b)をみると、上部成層圏では、5hPa(高度35km)以上で札幌は有意な減少傾向が、つくばは有意な増加傾向がみられる。対流圏から下部成層圏では、札幌の50hPa(高度20km)~20hPa(高度27km)と150hPa(高度13km)付近で有意な増加傾向がみられ、つくばでは30hPa(高度24km)以下のほとんどの高度で、那覇では30hPa(高度24km)以下の全ての高度で有意な増加傾向がみられた。

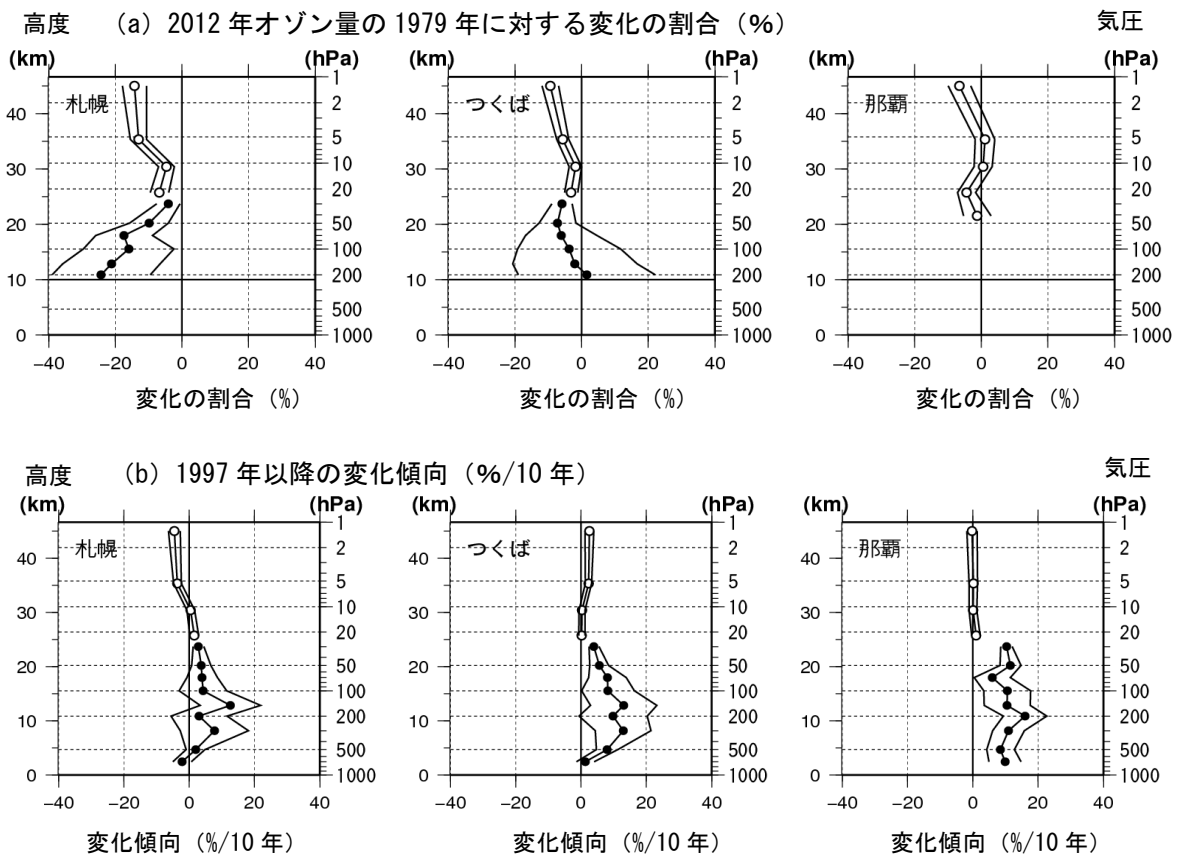


図 I 2-6 : 日本上空のオゾン鉛直分布の長期変化傾向

(a) 2012年オゾン量の1979年に対する変化の割合(%)、(b) 1997年以降の変化傾向(%/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。折れ線フィッティングによる長期変化傾向の解析より求めた(付録3参照)。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、a図では反転観測の結果のみ示す。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。