

第2章 日本上空のオゾン層

2-1 2013年の日本上空のオゾン層の状況

2013年の札幌、つくば、那覇、南鳥島の月平均オゾン全量は、4地点ともに「並」か「多い」月が多かった。
 那覇の7、8月と12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。

2013年のオゾン全量の状況

気象庁が観測を行っている札幌、つくば、那覇、南鳥島のオゾン全量について2013年における月平均値を図 2-1に示す。

これによれば、参照値と比較すると4地点ともに「並」か「多い」月が多かったが、札幌とつくばでは、10月に「少ない」となり、ともに、その月として観測開始（札幌は1958年、つくばは1957年）以来最も少なかった。那覇では7～12月に多く、特に、7、8月と12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、6月、8～9月に「多い」となり、それ以外の月は「並」だった。

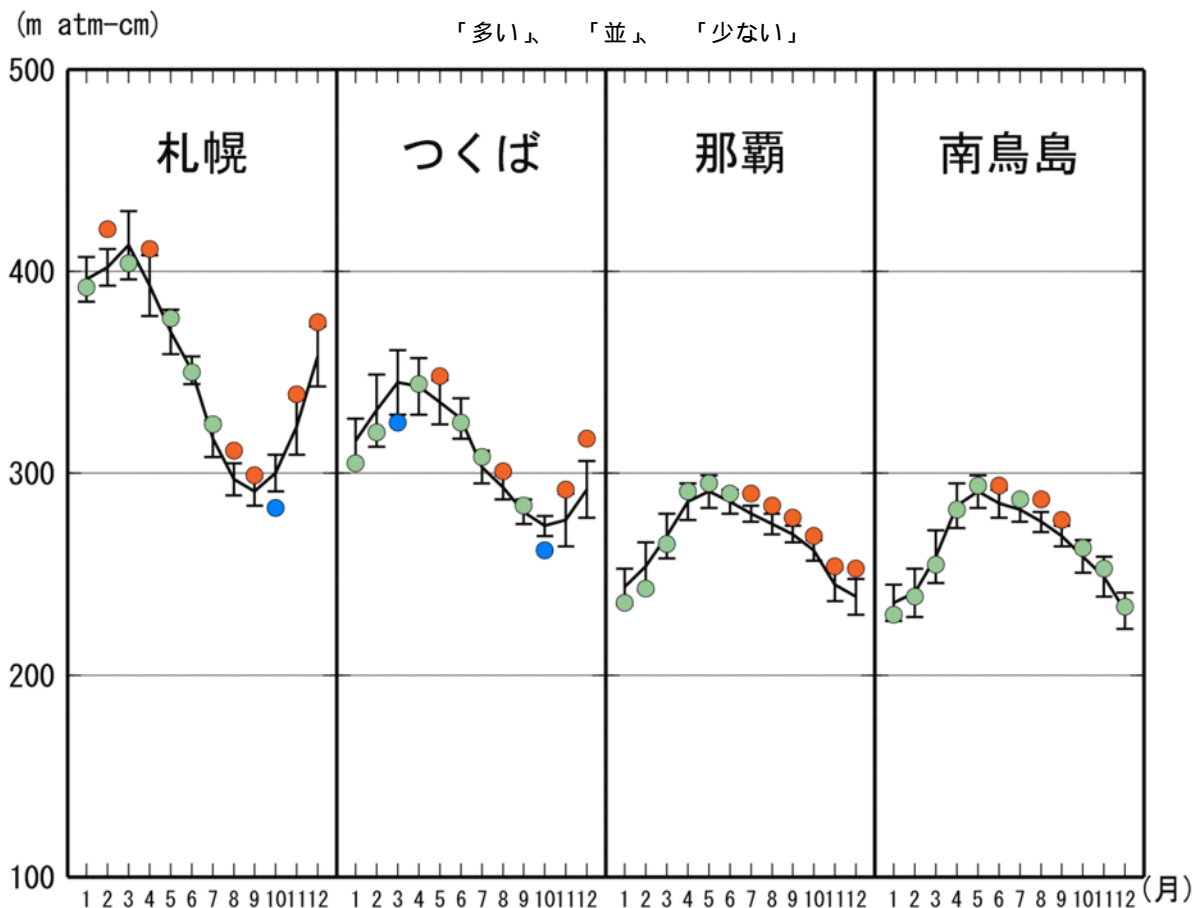


図 2-1：2013年の日本上空の月平均オゾン全量

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2013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。

2013年のオゾンの高度分布の状況

オゾンゾンデ観測による日本上空のオゾン分圧（巻末「用語解説」参照）および規格化偏差の高度分布を図 2-2に示す。オゾン分圧（図 2-2a）をみると、気象庁が観測を行っている札幌、つくば、那覇の3地点とともに30～50hPa（高度24km）付近でオゾン分圧の高い層がみられた（図 2-2a）。札幌では1～5月、11～12月に特に高く、つくばでは12月と2月に高い。那覇では5～9月に高かった。規格化偏差でみると（図 2-2b）、3地点とも15hPa（高度28～30km）付近より上層では負偏差が卓越し、これより下層では正偏差が卓越した。また、下部成層圏の50hPa（高度20km）付近の層で、概ね2～3月を除き、+2以上の正偏差がみられ、札幌と那覇の5月には特に大きな偏差（+4以上）がみられた。対流圏（地上から高度約10km付近まで）では、札幌の2月と7月、つくばの11月に特に大きな偏差（+5以上）がみられた。

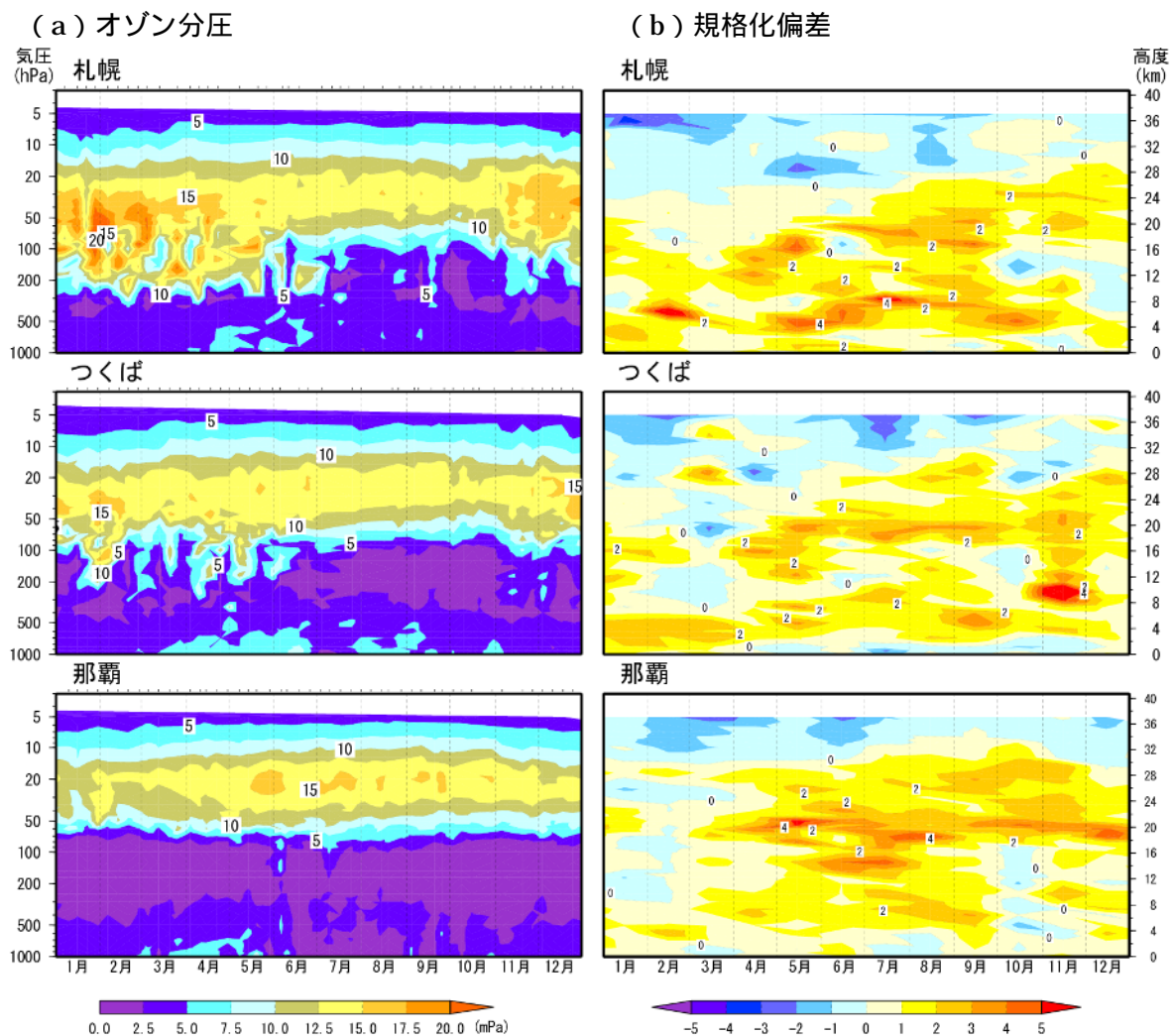


図 2-2：国内3地点のオゾン分圧・規格化偏差の高度分布（2013年）

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。規格化偏差は観測値（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.jma.go.jp/gmd/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。

オゾン量の折れ線フィッティング値でみた長期変化傾向として、

- ・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。
- ・2013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、つくばの5hPa以上、那覇の1hPa付近、および札幌の100hPa付近を除く高度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

気象庁が観測を行っている札幌、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。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。

なお、1993年を中心として札幌、つくば、那覇とも一時的にオゾンが少ないのは、1991年のピナトゥボ火山噴火に伴い増加した成層圏エアロゾルの影響でオゾンが破壊されたためと考えられる。

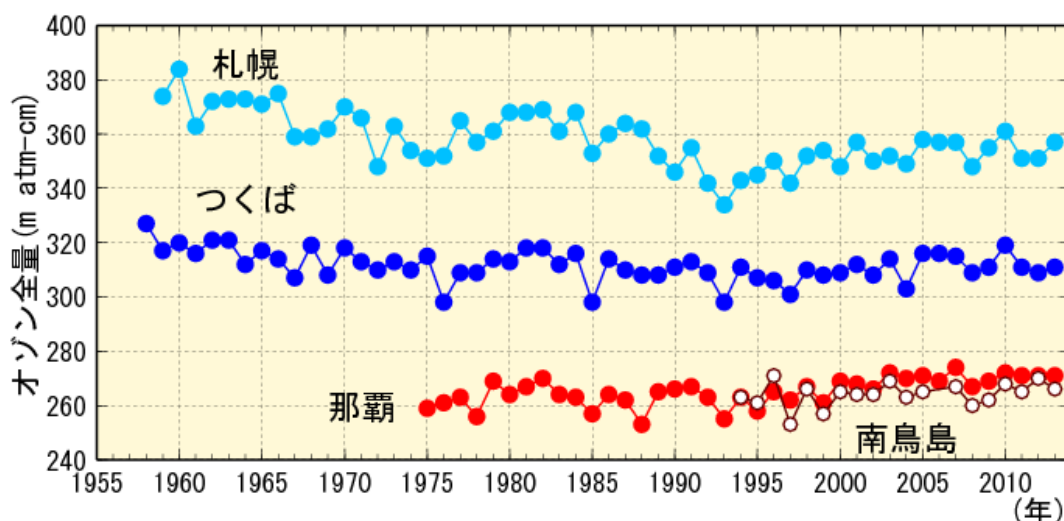


図 2-3：日本上空のオゾン全量の年平均値の経年変化

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2-4に示す。これによると、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、つくばの冬季では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。

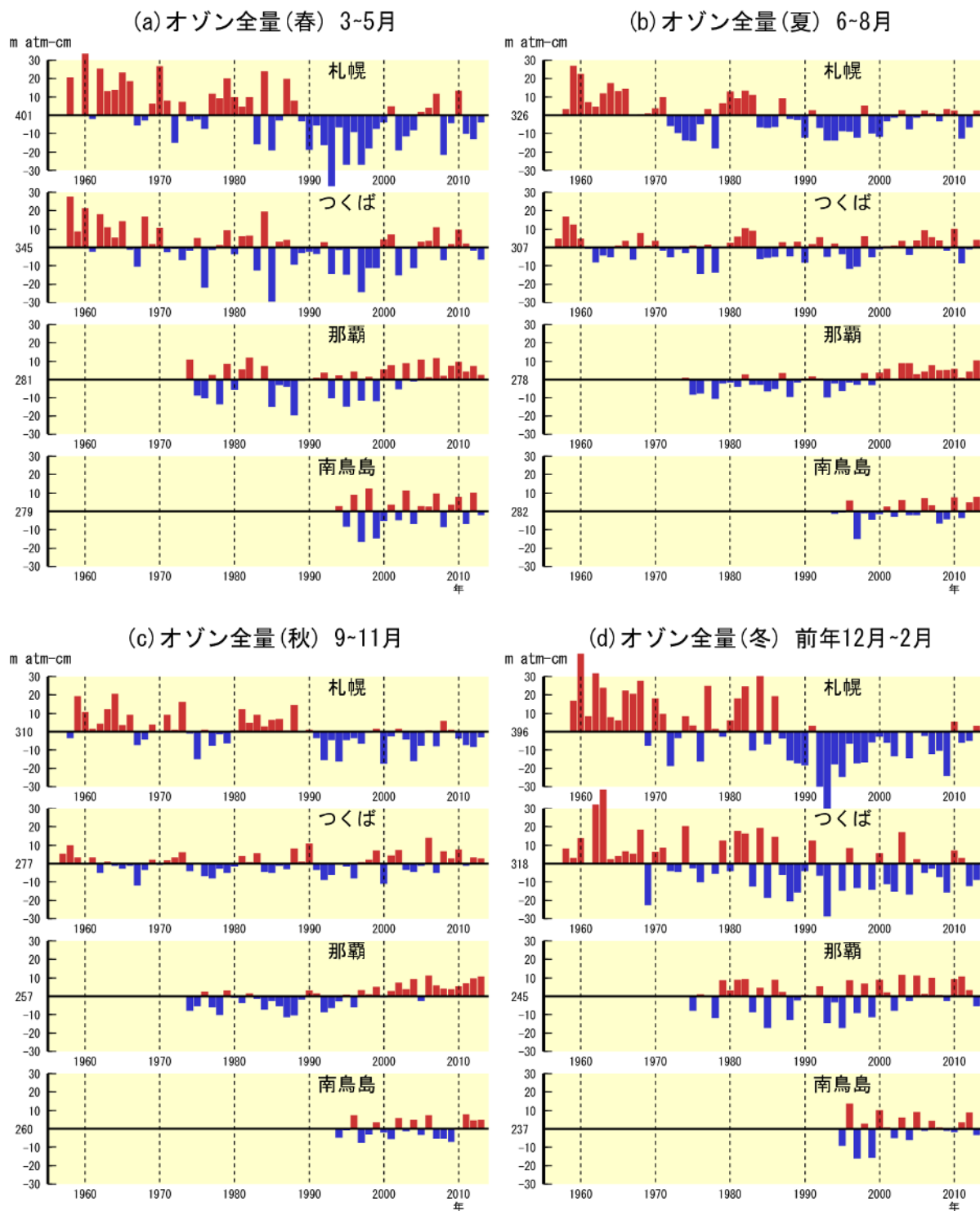


図 2-4：日本上空のオゾン全量の季節平均値の偏差の経年変化

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（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：黒線）と長期的な変化傾向（赤線）を図 2-5に示す。各地点のオゾン全量の経年変化（黒線）をみると1990年代半ばまでの減少に対し、1990年代半ば以降の増加がみられるが、世界的にみた場合や帯状平均の場合と異なり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（赤線）により長期変化傾向を示した（付録3参照）。

2013年のオゾン全量は、1979年と比べて、通年では札幌で2.1%少なく、那覇で4.1%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 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 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、つくばは冬季で有意に減少している。

1997年以降の変化傾向（表 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、大気循環の変動も寄与している可能性がある⁴。

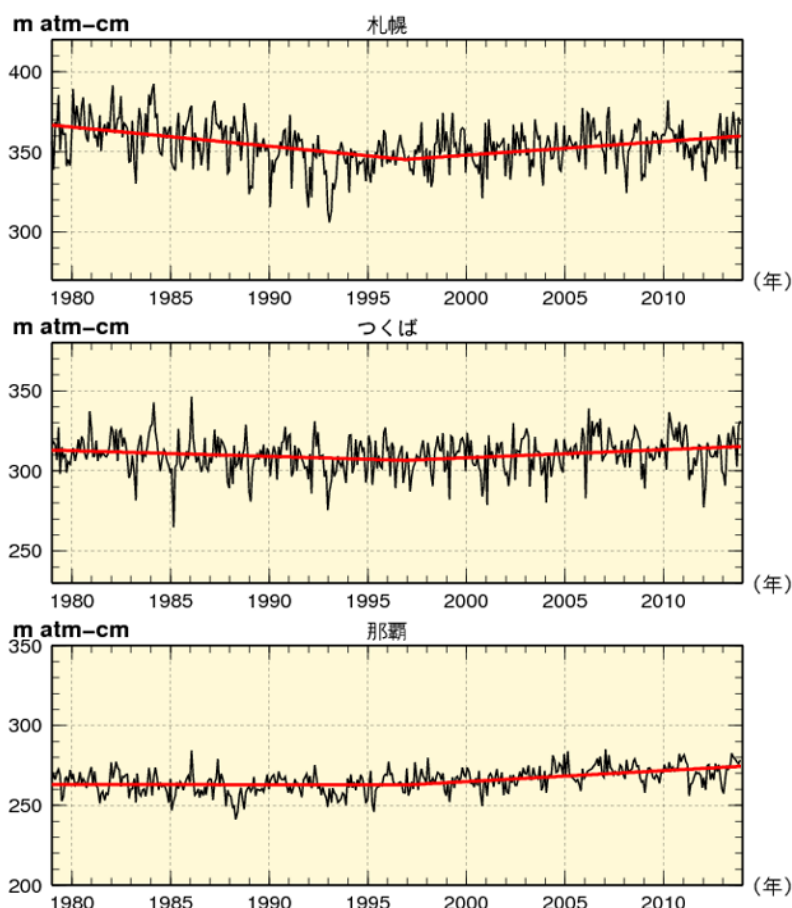


図 2-5：日本上空のオゾン全量の長期変化傾向

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。

⁴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.jma.go.jp/gmd/env/ozonehp/3-24ozone_o3variability.htmlを参照。

表 2-1：日本上空のオゾン全量長期変化傾向

2013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	-2.1 (-3.8 ~ -0.4)	0.6 (-1.1 ~ 2.3)	4.1 (2.9 ~ 5.3)
春	-1.9 (-5.7 ~ 1.9)	1.0 (-3.0 ~ 5.0)	3.8 (1.2 ~ 6.3)
夏	-1.0 (-3.5 ~ 1.6)	1.3 (-1.4 ~ 4.0)	5.2 (3.0 ~ 7.4)
秋	-2.1 (-4.8 ~ 0.6)	1.9 (-0.8 ~ 4.5)	5.6 (3.4 ~ 7.7)
冬	-2.7 (-7.0 ~ 1.5)	-1.6 (-5.9 ~ 2.6)	2.3 (-0.5 ~ 5.0)

表 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)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	-3.3 ± 0.7	-1.1 ± 0.7	-0.1 ± 0.5
春	-4.0 ± 1.6	-1.6 ± 1.7	-0.7 ± 1.1
夏	-2.6 ± 1.1	-0.8 ± 1.1	0.7 ± 0.9
秋	-2.0 ± 1.1	-0.1 ± 1.1	0.5 ± 0.9
冬	-4.4 ± 1.8	-2.0 ± 1.8	-0.7 ± 1.2

表 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	2.5 ± 0.8	1.7 ± 0.8	2.6 ± 0.5
春	3.4 ± 1.9	2.4 ± 1.9	3.1 ± 1.2
夏	2.3 ± 1.2	1.7 ± 1.2	2.4 ± 1.0
秋	0.8 ± 1.2	1.2 ± 1.2	2.8 ± 0.9
冬	3.5 ± 2.1	1.2 ± 2.0	2.2 ± 1.3

日本上空のオゾン鉛直分布の長期変化傾向

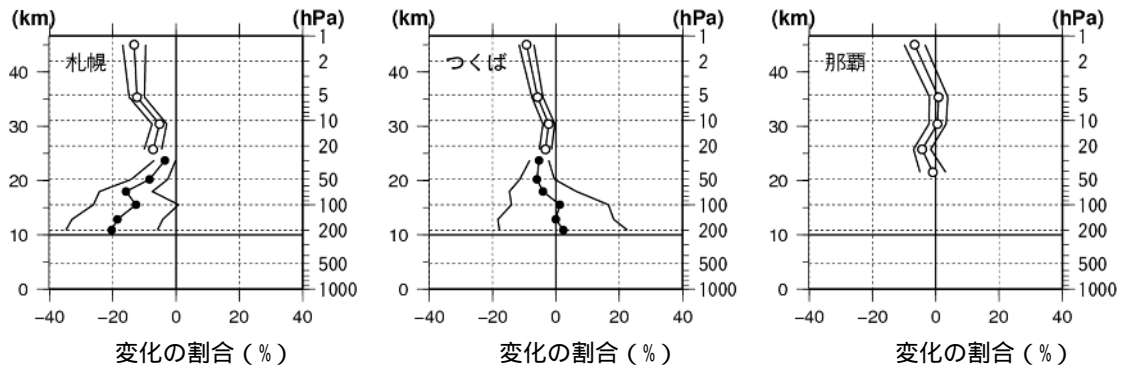
日本上空のオゾン鉛直分布の長期変化傾向をみるため、折れ線フィッティング値による2013年の成層圏のオゾン量の1979年に対する変化の割合(%)について鉛直分布を図 2-6aに示す。2013年のオゾン量は、1979年と比べて上部成層圏(5hPa(高度35km)以上)では、札幌とつくばの5hPa以上、那覇の1hPa(高度45km)付近で有意に減少している。下部成層圏では、3地点ともに20hPa(高度約25km)付近で有意に減少し、札幌では100hPa(高度16km)付近を除き有意な減少傾向がみられる。これらのオゾン減少は、ともにクロロフルオロカーボン類などから解離した塩素によるものと考えられるが、その破壊メカニズムは異なっている。上部成層圏でのオゾンの減少は、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。一方、下部成層圏では塩素原子は、オゾン破壊作用の無い比較的安定な化合物に変化し、通常は直接オゾンを破壊することはない。下部成層圏におけるオゾン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 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、3地点ともでは30hPa(高度24km)以下のほとんどの高度で、有意な増加傾向がみられた。

1990年代半ば以降の北半球中緯度下部成層圏におけるオゾンの増加傾向の主な原因は、大気循環の変動であり、オゾン層破壊物質濃度の減少や温室効果ガスの増加による成層圏の寒冷化ではないと考えられる。なお、下部成層圏におけるオゾンの変動と関連が強い上部対流圏におけるオゾンの変化傾向の原因についてはよくわかっていない(WMO, 2011)。

高度 (a) 2013年オゾン量の1979年に対する変化の割合(%)

気圧



高度 (b) 1997年以降の変化傾向(%/10年)

気圧

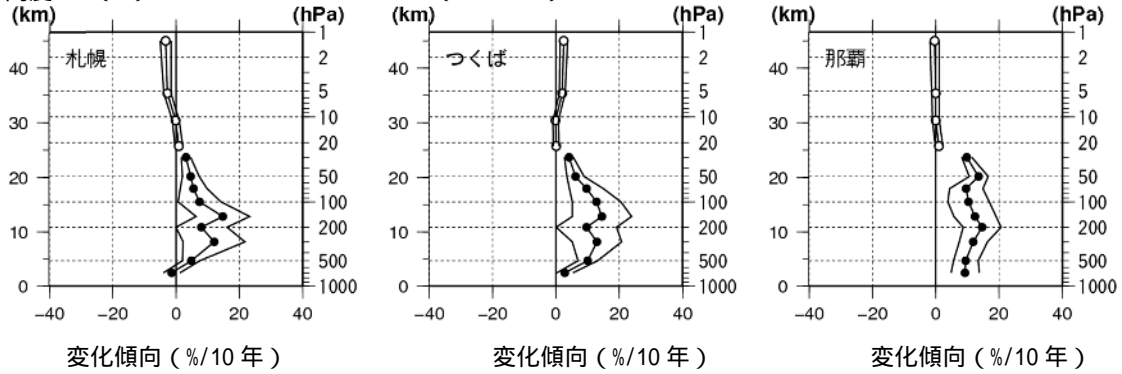


図 2-6 : 日本上空のオゾン鉛直分布の長期変化傾向

(a) 2013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。