

オゾン層・紫外線の年のまとめ

オゾン層の長期変化傾向の詳細な解析結果

1 オゾン全量の緯度帯別の長期変化傾向.....	2
2 南極昭和基地上空のオゾン層の長期変化傾向.....	4
2-1 南極昭和基地上空のオゾン全量の長期変化傾向.....	4
2-2 南極昭和基地上空のオゾン鉛直分布の長期変化傾向.....	4
3 日本上空のオゾン層の長期変化傾向.....	6
3-1 日本上空のオゾン全量の長期変化傾向.....	6
3-2 日本上空のオゾン鉛直分布の長期変化傾向.....	7
4 参考文献.....	8
謝辞.....	9

発行日：2023年11月29日

この資料は4年に1回更新します。
次回更新は2027年の予定です。

1 オゾン全量の緯度帯別の長期変化傾向

オゾン全量は、1980年代から1990年代前半にかけて地球規模（北緯70度～南緯70度）で大きく減少が進んだが、1990年代後半に減少傾向が止まり、2000年以降は変化が比較的小さくなっていく。近年のオゾン全量は、オゾン量が少ない状態で安定していた時期（1994～2008年）に比べわずかに増加（回復）傾向がみられるが、オゾン層破壊が顕著に現れる以前（1970～1980年）と比較して依然少ない状態が続いている¹。

衛星観測による緯度帯別の帯状平均オゾン全量及び地上観測による地点のオゾン全量について、オゾン層の破壊が進んだとみられる1979～1996年の緯度毎の変化傾向（10年あたりの変化率（%））を図1-1(a)に、わずかな回復がみられる2000～2022年の緯度毎の変化傾向を図1-1(b)に示す。

1979～1996年の変化傾向（図1-1(a)）をみると、衛星観測データでは低緯度帯の一部（北緯10度～南緯20度）を除いて統計的に有意な減少傾向がみられ（信頼区間95%）、高緯度ほど減少傾向が大きくなっている。この傾向は、地上観測データでも概ね確認できる。なお、南半球高緯度（南緯60度以南）は、南極オゾンホールに関連した大規模なオゾン層破壊の影響により、北半球高緯度（北緯60度以北）よりも減少傾向が大きい。

2000～2022年の変化傾向（図1-1(b)）をみると、衛星観測データでは北緯10度～南緯50度を除いて有意な増加傾向がみられ、南半球高緯度（南緯60度以南）では増加傾向が大きい。なお、南半球高緯度（南緯60度以南）での衛星観測データの信頼区間の範囲が他の緯度帯と比べて広いが、南極オゾンホールの規模の年々変動が影響しているものと考えられる。地上観測データでも衛星観測データと同様の増加傾向がみられるが、北半球中緯度（北緯30度～60度）においては衛星観測データと比べてばらつきが大きい。

「オゾン層破壊の科学アセスメント2022」によると、オゾン層破壊物質であるクロロフルオロカーボン類等の濃度は、大気中で緩やかに減少しており、2000年以降、上部成層圏や春季の南極域の下部成層圏のオゾン量には増加傾向がみられる。しかし、オゾン層破壊物質の減少によるオゾン全量の増加量は自然変動²と比べて小さい上、気候変動や対流圏オゾンの変動などにも影響されるため、その他の場所でオゾン層破壊物質の減少によるオゾン層の回復を検出することは簡単ではない（WMO, 2022）。

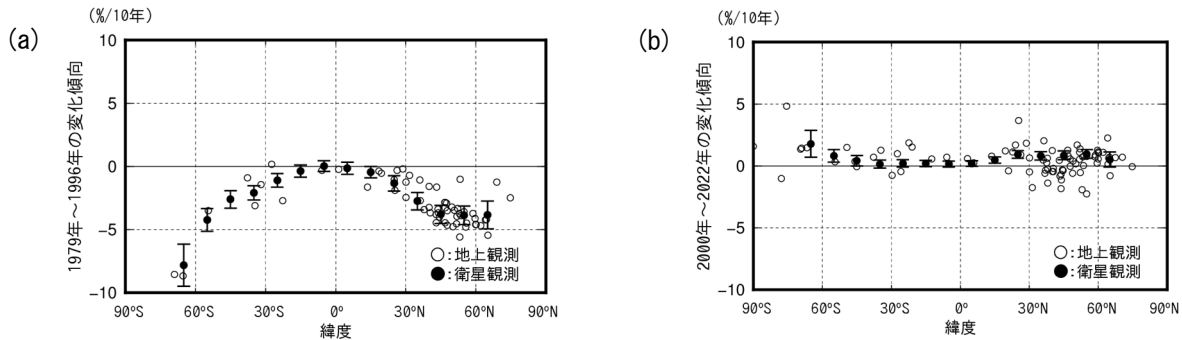


図1-1：オゾン全量の長期変化傾向の緯度帯別分布

(a)1979～1996年の変化傾向と(b) 2000～2022年の変化傾向。

衛星観測データは緯度帯（10度）毎にプロットしている。衛星観測データの縦線は95%信頼区間の範囲。米国航空宇宙局（NASA）提供の衛星観測データ（北緯70度～南緯70度）及び世界オゾン・紫外線資料センター（WOUDC）に登録された地上観測データから作成。解析に使用したオゾン全量は、季節変動及び既知の自然変動による影響を除去²した値である。

¹ 気象庁ホームページ「オゾン全量の経年変化」（https://www.data.jma.go.jp/env/ozonehp/diag_totalozn.html）の「世界のオゾン全量」参照。

² 気象庁ホームページ「オゾン層・紫外線の年のまとめの「解析に使用した資料及び長期変化傾向の評価方法」（<https://www.data.jma.go.jp/env/ozonehp/report2022/appendix.pdf>）参照。

オゾン全量の長期変化傾向の季節変化をみるため、緯度別・月別の長期変化傾向（10年あたりの変化率（%））を、1979～1996年（図1-2(a)）及び2000～2022年（図1-2(b)）について示す。図中の等値線は、増加傾向（正の値）と減少傾向（負の値）を示し、その傾向が95%信頼区間で統計的に有意である領域を薄い陰影で示している。

1979～1996年の緯度帯別の帯状平均オゾン全量の変化傾向（図1-2(a)）をみると、低緯度帯を除いた南北両半球のほとんどの領域において年間を通して有意な減少傾向がみられた。北半球高緯度では3～4月に、南半球中高緯度では8～12月にオゾンの減少の割合が大きく、極域における冬季から春季にかけてのオゾン層破壊の影響が比較的大きかったことを示している。

2000年以降の変化傾向（図1-2(b)）をみると、ほとんどの領域で増加傾向であるが、有意な増加傾向は南半球高緯度の1～5月、8月や北半球の1月、2月、8～12月のみとなった。南半球高緯度では8～9月にオゾンの増加の割合が大きいが、増加が有意な領域は8月に現れているのみで9月は有意とはなっていない。その理由は、これらの領域では、毎年の南極オゾンホール規模やオゾンホールの影響の及ぶ緯度に移り変わることに伴う年々変動が大きいことにある。

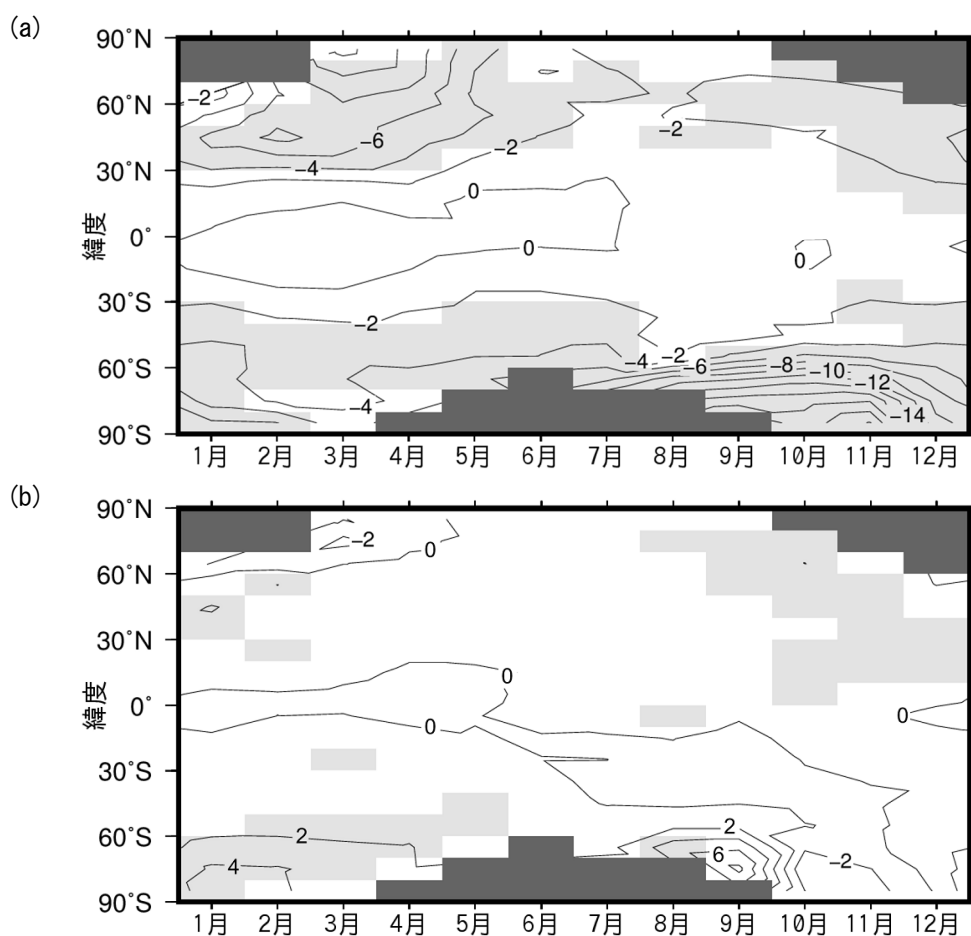


図1-2：オゾン全量の緯度別・月別長期変化傾向

(a)1979～1996年のオゾン全量の変化傾向及び(b)2000～2022年のオゾン全量の変化傾向の月別分布（%/10年）。緯度帯別の帯状平均オゾン全量データを用いて求めた。等値線間隔は2%。薄い陰影部は95%信頼区間で有意に増加又は減少している領域。濃い陰影部は太陽高度角の関係で観測できない領域。NASA提供の衛星観測データから作成。解析に使用したオゾン全量は、季節変動及び既知の自然変動による影響を除去²した値である。

2 南極昭和基地上空のオゾン層の長期変化傾向

2-1 南極昭和基地上空のオゾン全量の長期変化傾向

南極昭和基地における9～12月の月平均オゾン全量の経年変化を図2-1に示す。各月とも1980年頃から減少し、1990年代半ば以降は減少傾向がみられなくなったものの、少ない状態が継続している。2002年の10～11月にオゾン全量が前年に比べ100 m atm-cm以上急増したのは、南極域で9月に成層圏突然昇温が発生して下部成層圏のオゾン層破壊の進行が抑制されるとともに、極渦外の高濃度オゾンが移流してきたことによる。また、2009年と2012年の11月のオゾン全量が例年に比べて多かったが、2009年は極渦の偏在により、昭和基地が南極オゾンホールの外に位置することが多かったためであり、2012年は極渦が安定せず、極渦外の高濃度のオゾンが移流してきたためである。2019年のオゾン全量は、9～12月を通して例年に比べて多かった。これは2019年のオゾンホールの規模が特異的に小さく、さらに極渦も偏在していたため、昭和基地がオゾンホールの外側に位置することが多かったためである。

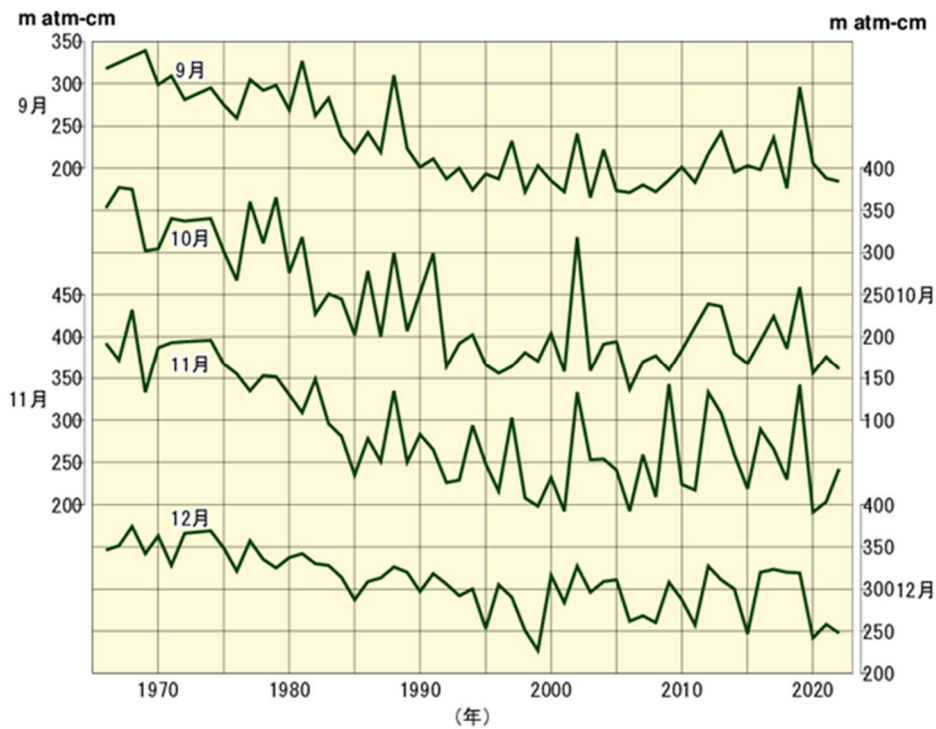


図 2-1：南極昭和基地における月平均オゾン全量の経年変化（9～12月）

2-2 南極昭和基地上空のオゾン鉛直分布の長期変化傾向

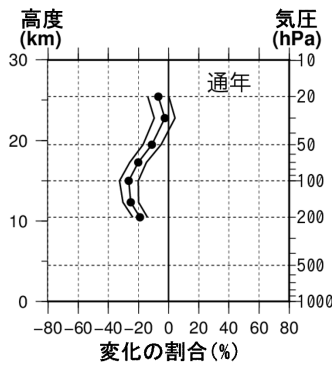
南極昭和基地でのオゾンゾンデ観測から得られた上空のオゾン分圧について、オゾン層の破壊が進んだとみられる1979～1996年の長期変化傾向（10年あたりの変化率（%））を通年（図2-2(a)）と南極オゾンホールが発生する9～11月の春季（図2-2(b)）で示す。これらの解析結果によると、通年では高度約10～20kmで有意な減少傾向（信頼区間95%）を示し、特に高度約15kmの減少率が大きい。春季では、通年よりもさらに減少率が大きく、また高度約23kmでも有意な減少傾向を示している。これらの減少率が大きい高度は下部成層圏にあたり、春季に極渦内で起こる化学的なオ

ゾン層破壊の影響を受けていると考えられる。

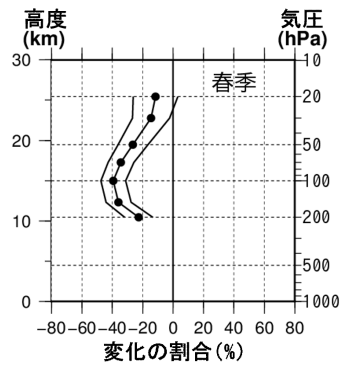
同様に、2000～2022年の長期変化傾向（10年あたりの変化率（%））の高度分布を通年（図2-2(c)）、春季（図2-2(d)）で示す。これらの解析結果によると、通年では全高度で大きな増減はみられず、また統計的に有意な増減もほぼなかった。春季では高度約15～17km付近で高い増加率となっているが、統計的に有意ではなかった。一方、高度11km以下は減少率がやや大きく、統計的に有意であった。

このように、南極昭和基地上空10～25km付近のオゾン分圧は、南極オゾンホール規模が顕著になった1980年頃から1990年代半ばにかけて大きく減少した。一方、2000年以降、同高度でのオゾン分圧の増加率は概ね正となっているが、統計的に有意な増加傾向とはなっていない。

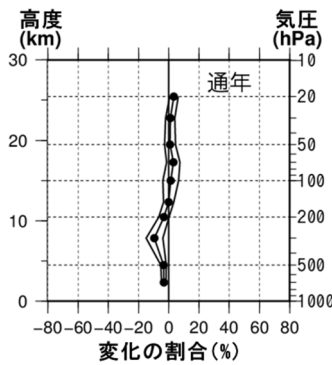
(a) 1979～1996年の変化傾向（%/10年）



(b) 1979～1996年の変化傾向（%/10年）



(c) 2000～2022年の変化傾向（%/10年）



(d) 2000～2022年の変化傾向（%/10年）

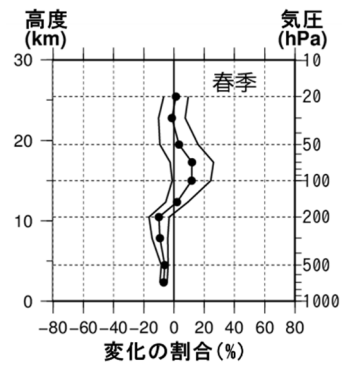


図2-2：南極昭和基地におけるオゾン鉛直分布の長期変化傾向

オゾンゾンデ観測から求めた高度別オゾン分圧の長期変化傾向。上段(a)、(b)は1979～1996年におけるオゾン分圧の変化傾向（%/10年）、下段(c)、(d)は2000～2022年におけるオゾン分圧の変化傾向（%/10年）を示しており、月別平均値から季節変動及び既知の自然変動による影響を除去²した時系列データの回帰直線から求めた。縦軸は高度、横軸は変化量で、外側の折線は95%信頼区間の範囲。左(a)、(c)は1～12月の月別値から、右(b)、(d)は春季（9～11月）の月別値からそれぞれ求めた。(a)、(b)のオゾンゾンデ観測について、対流圏の値は長期解析を行うにはデータの精度が不十分なため描画していない。

3 日本上空のオゾン層の長期変化傾向

3-1 日本上空のオゾン全量の長期変化傾向

国内3地点（札幌、つくば、那覇）におけるオゾン全量の経年変化及びオゾン層破壊が進んだとみられる1979～1996年までの期間とわずかな増加がみられる2000年以降の期間における長期的な変化傾向（回帰直線）を図3-1に示す。解析に使用したオゾン全量は、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。

1979～1996年までの期間について、札幌とつくばでは有意な減少傾向（信頼区間95%）を示し、10年あたりの変化率は、札幌で-4.1%、つくばで-1.2%となった。2000～2022年（札幌、那覇は2000～2021年）の期間について、国内3地点で有意な変化傾向はみられなかった。

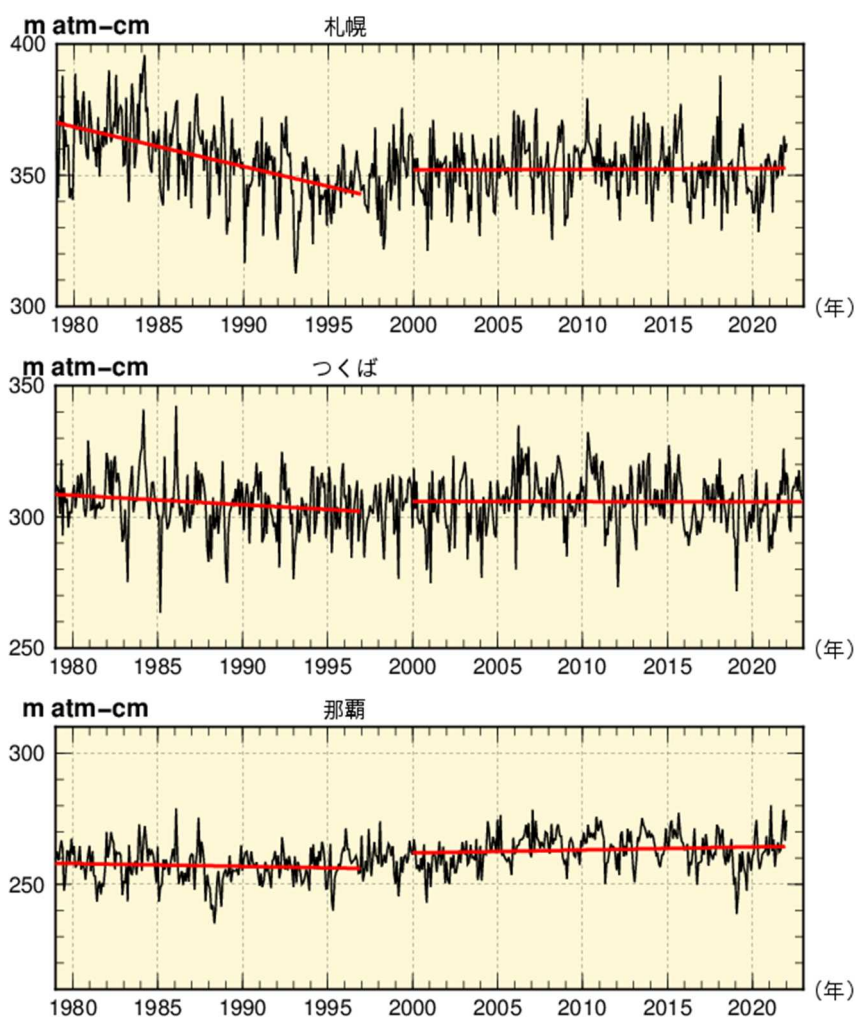


図3-1：日本上空のオゾン全量の長期変化傾向

国内3地点（札幌、つくば、那覇）における1979年以降のオゾン全量(m atm-cm)の経年変化。黒線は各地点のオゾン全量の月平均値を示しており、季節変動及び既知の自然変動による影響を除去³した値である。赤線は1979～1996年及び2000～2022年（札幌、那覇は2000～2021年）の回帰直線を示している。上から札幌、つくば、那覇のデータ。札幌及び那覇の観測は2022年1月をもって終了した。

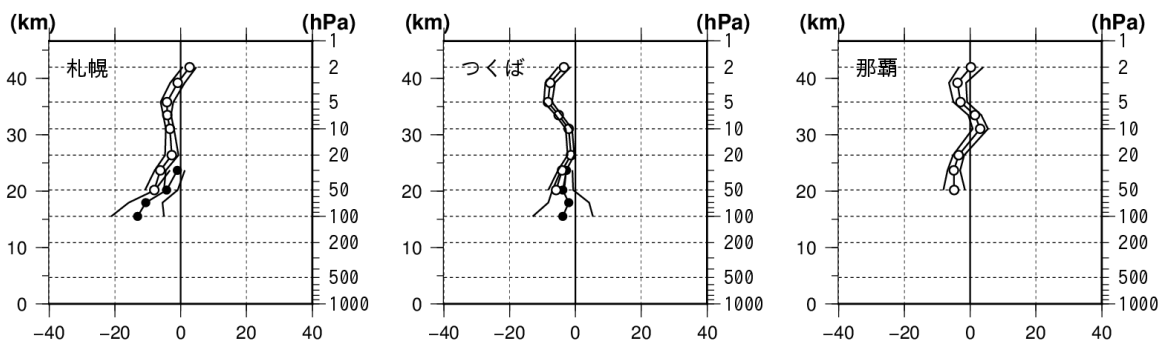
³ 気象庁ホームページ オゾン層・紫外線の年のまとめの「解析に使用した資料及び長期変化傾向の評価方法」(<https://www.data.jma.go.jp/env/ozonehp/report2022/appendix.pdf>) 参照。なお、既知の自然変動成分を除去していない年別値による経年変化については「オゾン全量の経年変化」(https://www.data.jma.go.jp/env/ozonehp/diag_totalozn.html) の「日本上空のオゾン全量」参照。

3-2 日本上空のオゾン鉛直分布の長期変化傾向

国内3地点（札幌、つくば、那覇）の上空のオゾン分圧について、オゾン層の破壊が進んだとみられる1979～1996年の長期変化傾向（10年あたりの変化率（%））を図3-2(a)に示す。解析には、高度約15～24 kmのオゾンゾンデ観測データ、高度約20～42 kmの反転観測データを用いた。なお、反転観測データは、層別オゾン量からスプライン補間により推算した各気圧面のオゾン分圧値を使用した。札幌では、オゾンゾンデ観測の高度約15～20 kmにおいて、また反転観測の高度約20～35 kmで有意な減少傾向となり、特に高度約25 km以下において減少率が大きい。つくばではオゾンゾンデ観測、反転観測ともに高度約20 km以上で有意な減少傾向となり、特に高度30～42 kmの上部成層圏において減少率が大きい。那覇の反転観測では高度約20～25 kmと高度約35～38 kmで有意な減少傾向となった。

同様に国内3地点上空の2000年以降（つくばは2000～2022年、札幌と那覇においては、オゾンゾンデ観測は2000～2017年、反転観測は2000年～2021年）のオゾン分圧の長期変化傾向（10年あたりの変化率（%））の高度分布を図3-2(b)に示す。札幌の反転観測の高度約30～35 kmで有意な増加傾向となった。つくばでは、反転観測の高度約30 km以上で有意な増加傾向となった。

(a) 1979～1996年の変化傾向（%/10年）



(b) 2000年以降の変化傾向（%/10年）

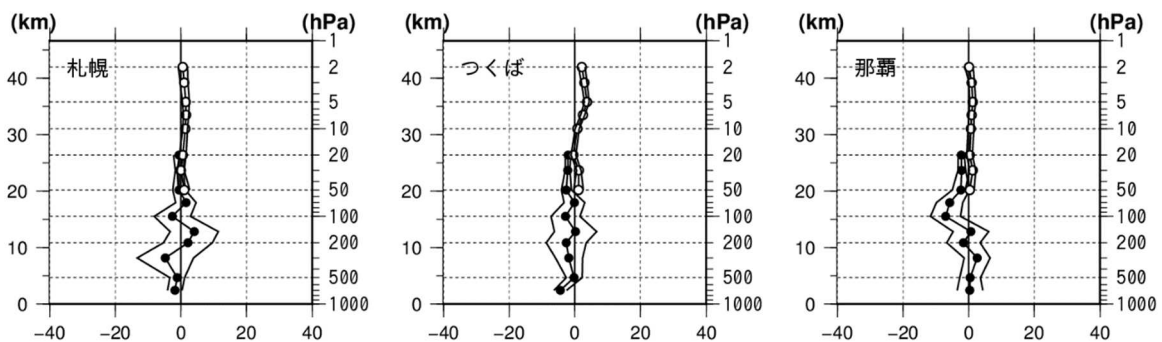


図3-2：日本上空のオゾン鉛直分布の長期変化傾向

国内3地点（札幌、つくば、那覇）の上空における高度別のオゾン分圧について、(a)1979～1996年及び(b)2000年以降の変化傾向（%/10年）を示している。●印はオゾンゾンデ観測、○印は反転観測によって得られたデータ。月別平均値から季節変動及び既知の自然変動による影響を除去²した時系列データの回帰直線から求めた。縦軸は高度、横軸は変化量で、外側の折線は95%信頼区間の範囲。那覇では1989年より前のオゾンゾンデ観測データがないため、(a)では反転観測のデータのみ示している。また、(a)のオゾンゾンデ観測について、対流圏の値は長期解析を行うにはデータの精度が不十分なため描画していない。(b)では、つくばにおいては2000～2022年、札幌と那覇では、オゾンゾンデ観測は2018年1月で終了したため2000～2017年、反転観測は2022年1月で終了したため2000～2021年の変化傾向を示している。

4 参考文献

WMO (2022), Scientific Assessment of Ozone Depletion:2022, Ozone Research and Monitoring-
GAW Report No.278.

謝辞

本資料は、気象庁大気海洋部環境・海洋気象課が作成し、内容に関する検討には、以下の査読者の方々にご協力を賜りました。ここに厚くお礼申し上げます。

査読者

秋吉 英治 国立研究開発法人 国立環境研究所 シニア研究員

今村 隆史 公益財団法人 東京都環境公社 東京都環境科学研究所長

藤原 正智 国立大学法人 北海道大学大学院 地球環境科学研究院 教授

(敬称略)