

オゾン層破壊の科学アセスメント：2014  
政策決定者向けアセスメント  
Scientific Assessment of Ozone Depletion: 2014  
Assessment for Decision-Makers

総括要旨  
Executive Summary

モントリオール議定書の下で取られた対策は、大気中の規制対象オゾン層破壊物質の量を減少させ、オゾン層の1980年レベルへの回復を可能にしている。

・モントリオール議定書の下で規制されている物質の対流圏中の量は減少し続けている。主な規制対象オゾン層破壊物質の大部分は予想どおりに大きく減少したが、ハイドロクロロフルオロカーボン類（HCFC類）とハロン-1301は依然として増加している。四塩化炭素の量については、未知あるいは未報告の放出源がなければ説明がつかない。

・オゾン層破壊物質が分解してできる塩素や臭素を含む化合物の成層圏中の量は減少している。（等価実効成層圏塩素 EESC 訳注 A によって見積もられた）塩素と臭素の量は2012年までに10～15年前のピーク時より10～15%減少した。メチルクロロホルム（ $\text{CH}_3\text{CCl}_3$ ）、臭化メチル（ $\text{CH}_3\text{Br}$ ）、クロロフルオロカーボン類（CFC類）の大気中の量の減少は、見積もられた減少分とほぼ対応している。

・オゾン全量は地球の大部分で1980年代から1990年代初めに減少した（南緯60～北緯60度の平均で約2.5%）。2000年以降ではオゾン全量は比較的变化がなく、予想されたとおり近年はわずかな増加の兆候を示している。上部成層圏では最近明らかなオゾンの増加が見られ、気候モデルによれば、オゾン層破壊物質の減少と二酸化炭素の増加による上部成層圏の冷却による影響が考えられる。

・現在のオゾン層破壊物質の量から予想されるように、南極オゾンホールは毎春の発生が続いている。2011年の冬/春、北極成層圏は特に低温となり、そのような状況下で予想されたとおり大規模なオゾン層破壊が起こった。

・モントリオール議定書が完全に遵守されれば、地球の大部分でオゾン全量は1980年レベルに回復するであろう。中緯度帯と北極では今世紀中頃より前に回復し、南極オゾンホールはそれよりいくらか後となると予測される。

南極オゾンホールは南半球の夏の地上の気候に大きな変化をもたらした。

・オゾン層破壊による南極の下部成層圏の冷却は、南半球対流圏の夏季大気循環において最近数十年に観測された変化の主な要因である可能性が非常に高い。この変化は地上気温や降水量、海洋への影響を伴う。北半球においては、成層圏オゾンの破壊と対流圏の気候との明瞭な関連は見出されていない。

オゾン層破壊物質が減少すると、二酸化炭素 ( $\text{CO}_2$ )、一酸化二窒素 ( $\text{N}_2\text{O}$ )、メタン ( $\text{CH}_4$ ) の変化はオゾン層に対してより大きな影響を持つようになるであろう。

・規制対象オゾン層破壊物質が減少すると、21 世紀後半のオゾン層の変動は大気中の  $\text{CO}_2$ 、 $\text{N}_2\text{O}$ 、 $\text{CH}_4$  に大きく依存するであろう。全般的に、 $\text{CO}_2$  と  $\text{CH}_4$  の増加は世界全体のオゾン量を増加させ、一方で  $\text{N}_2\text{O}$  の増加はさらに世界全体のオゾン層を破壊する。南極オゾンホールは、これらの物質の影響は比較的小さい。

・熱帯では、21 世紀中にオゾン全量の明瞭な減少が予測される。熱帯のオゾン量は、オゾン層破壊物質減少の影響は小さく、 $\text{CO}_2$ 、 $\text{N}_2\text{O}$ 、 $\text{CH}_4$  の増加による大気循環の変化<sup>訳注 B</sup>に影響される。

モントリオール議定書による気候への好ましい効果は、オゾン層破壊物質の代替として利用される HFC 類の将来の排出によってかなり相殺されてしまう可能性がある。

モントリオール議定書とその改正、調整は世界的な温室効果ガスの排出削減に大きく貢献した。2010 年において、モントリオール議定書によるオゾン層破壊物質の年間削減量は  $\text{CO}_2$  換算で年間約 100 億トンの排出抑制に相当すると推定されている。これは京都議定書の第一約束期間 (2008 ~ 2012 年) における年間削減量目標の約 5 倍である (オゾン破壊の科学アセスメント 2010 総括要旨より)。<sup>1</sup>

・オゾン層破壊物質の代替として現在使われているハイドロフルオロカーボン類 (HFC 類) の合計排出量は、 $\text{CO}_2$  換算で年間約 5 億トンの小さな寄与である。この排出量は現在、年間約 7% の割合で増加しており、今後も増加が続くと予測されている。

・HFC 類の現在の構成が変わらないとすると、需要の増加によって HFC の排出量は  $\text{CO}_2$  換算で 2050 年までに年間 88 億トンに上る可能性があり、これは 1980 年代後半の CFC 類のピーク時排出量である  $\text{CO}_2$  換算で年間約 95 億トンにほぼ匹敵する。<sup>2</sup>

・地球温暖化係数 (GWP)<sup>訳注 C</sup> の高い HFC 類の使用を GWP の低い化合物、あるいは別の技術<sup>訳注 D</sup> に置き換えれば、このような  $\text{CO}_2$  換算の排出量は本質的に回避されるであろう。

・こうした GWP の低い化合物の候補の一つはハイドロフルオロオレフィン類 (HFO 類) で、その一つ (HFO-1234yf) は大気酸化の過程で残留性のトリフルオロ酢酸 (TFA) を分解生成する。TFA の環境への影響は、今後数十年間は軽微であると考えられている一方で、さらに長期間の潜在的な影響は、TFA の環境残留性と HFO 類の将来利用の不確定性のために、将来の評価が必要かもしれない。

・2050 年までに、HFC の貯蔵物は  $\text{CO}_2$  換算で 650 億トンまで増加すると見積もられる。HFC の貯蔵物による気候変動への影響は、貯蔵物の蓄積を避けるため GWP が高い HFC 類の将来の利用を制限すること、あるいは貯蔵物を破壊することで減少させることができるかもしれない。

1 ここでの  $\text{CO}_2$  換算の排出量とは、すなわち GWP で重み付けされた排出量で、対象とする物質の排出量に 100

年間の地球温暖化係数を乗じたものとして定義する。温室効果ガスとしてのオゾン層破壊物質の効果の一部は、オゾンの変化による冷却により相殺される。

2 これは 1980 年代後半の化石燃料やセメントによる排出量の約 45% に相当する。

**モントリオール議定書締約国およびその他の政策決定者向けの追加の重要課題が確認された。**

・推定された寿命と正確に測定された大気中の量に基づいて算出された四塩化炭素 ( $\text{CCl}_4$ ) の排出量は、過去 10 年間に報告された生産量と使用量から算出された排出量よりはるかに大きくなった。

・2009 年時点で、臭化メチルのモントリオール議定書規制対象用途の消費量は、規制対象でない“検疫と出荷前処理”<sup>訳注 E</sup> 用途の消費量を下回った。

・塩素や臭素を含む極短寿命物質 (VSLs) の人為的排出の増加は、特に熱帯起源のものは、成層圏オゾンにとって新たな課題である。VSLs の排出の寄与は、モントリオール議定書の下で規制されているオゾン層破壊物質が減少すると、相対的に重要となる可能性がある。

・今後数十年にわたって大気中のオゾン層破壊物質量が減少し続けると、成層圏における窒素酸化物の主な源である一酸化二窒素 ( $\text{N}_2\text{O}$ ) が将来のオゾン層破壊において重要性を増すであろう。

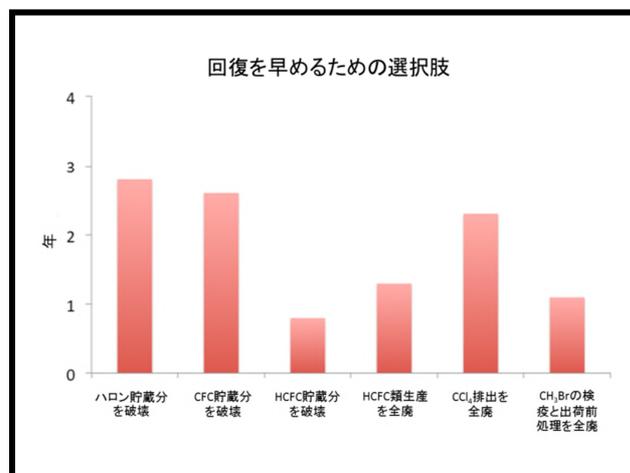
・HCFC-22 生産の副産物である HFC-23 の排出は、削減努力にもかかわらず続いている。

・オゾン層破壊物質の濃度が高い状態である間に、大規模な火山噴火やジオエンジニアリング活動<sup>訳注 F</sup> による成層圏の硫酸エアロゾルが大幅に増加すると、地球の大部分でオゾン層の大規模な化学的破壊が起こるだろう。

**これまでモントリオール議定書の下で取られた対策は、オゾン層破壊物質の生産や消費を大幅に削減したが、将来のオゾン層破壊を軽減するために追加の、しかし限定的な選択肢がある。**

・モントリオール議定書の遵守を仮定すると、現在の貯蔵物からの放出は、将来生産されるオゾン層破壊物質による放出よりもオゾン層破壊に寄与すると予測される。

・オゾン層の 1980 年レベルへの回復を早めるための考えられる選択肢をグラフに示す (中緯度の EESC を基に解析)。全ての貯蔵物や生産物からの排出をなくすことによる効果の累積により、この回復は 11 年早まる。



## 【訳注】

- A 等価実効成層圏塩素（EESC）については、「オゾン層・紫外線の年のまとめ（2014年）」巻末用語解説を参照。
- B CO<sub>2</sub>、N<sub>2</sub>O、CH<sub>4</sub>は主要な温室効果ガスであり、ここでは地球温暖化に伴う大気循環の変化のことを述べている。
- C 地球温暖化係数（GWP）とは、二酸化炭素以外の温室効果ガスの排出量を同等な効果をもつ二酸化炭素の排出量に換算する係数の一種で、地上気温の上昇量に基づいて定義される。
- D オゾン層を破壊せず、かつ地球温暖化にも寄与しない物質を用いることを指す。
- E ここでいう臭化メチルの検疫用途とは、検疫有害動植物(病気を含む)の進入、定着および拡散を防止するための用途、もしくはそれらの公的な管理を確保するための用途である。出荷前用途とは、輸入国の植物衛生上もしくは衛生上の要求に適合するため、もしくは輸出国の植物衛生上もしくは衛生上の要求に適合するため、輸出前および輸出に関して直接適用される処置である。（UNEP,2012）
- F ここでは地球温暖化緩和のため、大気中にSO<sub>2</sub>などを放出することを指している。

## 参考文献

UNEP(2012), Handbook for the Montreal Protocol on Substances that Deplete the Ozone Layer 9th edition.