

第 4 部 卷末資料

1. オゾン層保護対策

1-1. オゾン層破壊物質等の概要

(1) オゾン層を破壊する物質に関するモントリオール議定書対象のオゾン層破壊物質（特定物質）

モントリオール 議定書	物質名	化学式	2014年科学評価 パネル 大気中寿命(年)	オゾン破壊係数		地球温暖化係数		
				モントリオール 議定書附属書	2014年科学 評価パネル	第4次 IPCC 報告書 (100年 GWP 値*)		
附属書A	グループ I (クロロフル オロカーボン)	CFC-11	CFCl ₃	52	1	1	4,750	
		CFC-12	CF ₂ Cl ₂	102	1	0.73	10,900	
		CFC-113	C ₂ F ₃ Cl ₃	93	0.8	0.81	6,130	
		CFC-114	C ₂ F ₄ Cl ₂	189	1	0.50	10,000	
		CFC-115	C ₂ F ₅ Cl	540	0.6	0.26	7,370	
	グループ II (ハロン)	ハロン-1211	CF ₂ BrCl	16	3	6.9	1,890	
		ハロン-1301	CF ₃ Br	72	10	15.2	7,140	
		ハロン-2402	C ₂ F ₄ Br ₂	28	6	15.7	1,640	
	附属書B	グループ I (その他の CFC)	CFC-13	CF ₃ Cl	—	1	—	14,400
			CFC-111	C ₂ FCl ₅	—	1	—	—
CFC-112			C ₂ F ₂ Cl ₄	—	1	—	—	
等 10 物質								
グループ II	四塩化炭素	CCl ₄	26	1.1	0.72	1,400		
グループ III	1,1,1-トリクロロエタン	CH ₃ CCl ₃	5	0.1	0.14	146		
附属書C	グループ I (ハイドロ クロロフル オロカーボン)	HCFC-21	CHFCl ₂	—	0.04	—	—	
		HCFC-22	CHF ₂ Cl	12.0	0.055	0.034	1,810	
		HCFC-123	C ₂ HF ₃ Cl ₂	—	0.02-0.06	—	77	
		HCFC-124	C ₂ HF ₄ Cl	—	0.02-0.04	—	609	
		HCFC-133	C ₂ H ₂ F ₃ Cl	—	0.02-0.06	—	—	
		HCFC-141b	CH ₃ CFCl ₂	9.4	0.11	0.102	725	
		HCFC-142b	CH ₃ CF ₂ Cl	1.8	0.065	0.057	2,310	
		HCFC-225ca	CF ₃ CF ₂ CHCl ₂	—	0.025	—	122	
		HCFC-225cb	CF ₂ ClCF ₂ CHClF	—	0.033	—	595	
		等 40 物質				他		
	グループ II (ハイドロ プロモフル オロカーボン)	HBFC-22B1 等 34 物質	CHF ₂ Br	—	0.74 他	—	—	
	グループ III	ブロモクロロメタン	CH ₂ BrCl	—	0.12	—	—	
	附属書E	臭化メチル	CH ₃ Br	0.8	0.6	0.57	5	
附属書F	気候変動枠組条約における削減対象の HFC (HFC-161 を除いた 18 物質)							

* 「100年 GWP 値」とは、対象となる物質の影響を 100 年間にわたって積分した値である。積分する年数（他に 20 年値や 500 年値などがある）によって GWP 値は変化することがある。

「地球温暖化係数」とは CO₂ を 1 とした場合の温暖化影響の強さを表す値。

(2) 気候変動枠組条約における削減対象の代替フロン等4ガス*

京都議定書	物質名	化学式	2014年科学評価 パネル 大気中寿命(年)**	オゾン層 破壊係数	地球温暖化係数***
					第4次 IPCC 報告書 (100年 GWP 値)
ハイドロフルオロカーボン (HFC)	HFC-23	CHF ₃	228	0	14,800
	HFC-32	CH ₂ F ₂	5.4	0	675
	HFC-41	CH ₃ F	—	0	92
	HFC-125	CHF ₂ CF ₃	31	0	3,500
	HFC-134	CHF ₂ CHF ₂	—	0	1100
	HFC-134a	CH ₂ FCF ₃	14	0	1,430
	HFC-143	CH ₂ FCHF ₂	—	0	353
	HFC-143a	CH ₃ CF ₃	51	0	4,470
	HFC-152	CH ₂ FCH ₂ F	—	0	53
	HFC-152a	CH ₃ CHF ₂	1.6	0	124
	HFC-161	CH ₃ CHF ₂	—	0	12
	HFC-227ea	CF ₃ CHFCF ₃	36	0	3,220
	HFC-236fa	CF ₃ CH ₂ CF ₃	—	0	9,810
	HFC-236ea	CHF ₂ CHFCF ₃	—	0	3,220
	HFC-263cb	CH ₂ FCF ₂ CF ₃	—	0	1,340
	HFC-245ca	CH ₂ FCF ₂ CHF ₂	—	0	693
	HFC-245fa	CHF ₂ CH ₂ CF ₃	—	0	1,030
	HFC-365mfc	CH ₃ CF ₂ CH ₂ CF ₃ CF ₃ CH	—	0	794
HFC-43-10mee	FCHFCE ₂ CF ₃	—	0	1,640	
パーフルオロカーボン (PFC)	PFC-14	CF ₄	>50,000	0	7,390
	PFC-116	C ₂ F ₆	>10,000	0	12,200
	PFC-218	C ₃ F ₈	2,600	0	8,830
	PFC-c318	e-C ₄ F ₈	3,200	0	10,300
	PFC-31-10	C ₄ F ₁₀	2,600	0	8,860
	PFC-41-12	C ₅ F ₁₂	4,100	0	9,160
	PFC-51-14	C ₆ F ₁₄	3,100	0	9,300
	パーフルオロシク ロプロパン	e-C ₃ F ₆	—	0	17,340
	PFC-91-18 等	C ₁₀ F ₁₈	—	0	>7,500
六フッ化硫黄	六フッ化硫黄	SF ₆	3,200	0	22,800
三フッ化窒素	三フッ化窒素	NF ₃	—	0	17,200

* 対象ガスは「地球温暖化対策の推進に関する法律施行令」の第1条、第2条のガスおよび SF₆、NF₃とした。

** PFC および六フッ化硫黄の大気寿命については、2014年科学評価パネルに数値の記載が無いため2011年の値とした。

*** 地球温暖化対策の推進に関する法律では、地球温暖化係数として第4次 IPCC 報告書の100年 GWP 値を採用している。

1-2. オゾン層保護対策の経緯

1974年	6月	米国カリフォルニア大学ローランド教授とモリーナ博士がCFCによるオゾン層の破壊及びその結果として人や生態系への影響が生じる可能性を指摘した論文を発表
1985年	3月	「オゾン層の保護のためのウィーン条約」を採択
	12月	英国のファーマン博士らが南極上空のオゾン減少について報告
1987年	9月	「オゾン層を破壊する物質に関するモントリオール議定書」を採択
1988年	5月	「特定物質の規制等によるオゾン層の保護に関する法律」（オゾン層保護法）制定・施行
	9月	ウィーン条約発効 日本、ウィーン条約及びモントリオール議定書に加入
	12月	ウィーン条約、日本について発効
1989年	1月	モントリオール議定書発効 モントリオール議定書、日本について発効
	5月	ウィーン条約第1回締約国会議及びモントリオール議定書第1回締約国会合開催（ヘルシンキ）
1990年	6月	モントリオール議定書第2回締約国会合開催（ロンドン） 特定フロン ²²² の2000年全廃、1,1,1-トリクロロエタンの規制物質への追加等を内容とする議定書の改正等を合意
1991年	3月	オゾン層保護法の一部改正
	6月	ウィーン条約第2回締約国会議及びモントリオール議定書第3回締約国会合開催（ナイロビ）
	9月	日本、改正モントリオール議定書（1990年改正）を受諾
1992年	8月	改正モントリオール議定書（1990年改正）、日本について発効 改正オゾン層保護法（1991年改正）施行
	11月	モントリオール議定書第4回締約国会合開催（コペンハーゲン） CFCの1996年全廃、HCFC、臭化メチルの規制物質への追加等を内容とする議定書の改正等を合意
1993年	11月	ウィーン条約第3回締約国会議及びモントリオール議定書第5回締約国会合開催（バンコク）
1994年	6月	オゾン層保護法の一部改正
	9月	改正オゾン層保護法（1994年改正）施行
	10月	モントリオール議定書第6回締約国会合開催（ナイロビ）
	12月	日本、改正モントリオール議定書（1992年改正）を受諾
1995年	3月	改正モントリオール議定書（1992年改正）、日本について発効
	6月	CFC等の回収・再利用・破壊の促進方策を取りまとめ（オゾン層保護対策推進会議）
	12月	モントリオール議定書第7回締約国会合開催（ウィーン） HCFCの2020年以降の消費を既設機器の整備用に限定、臭化メチルの2010年全廃、途上国に対する規制スケジュールの設定を内容とする議定書の調整等を合意 米国カリフォルニア大学ローランド教授とモリーナ博士らがノーベル化学賞を受賞
1996年	5月	「CFC破壊処理ガイドライン」を公表（環境庁）
	11月	ウィーン条約第4回締約国会議及びモントリオール議定書第8回締約国会合開催（コスタリカ・サンホセ）

1997年	9月	モントリオール議定書第9回締約国会合開催（モントリオール） 臭化メチルの削減計画の前倒し、臭化メチルの非締約国との貿易の禁止、不法取引防止のためのライセンスシステムを導入などを合意
		CFC等の回収・再利用・破壊の促進方策をとりまとめ（オゾン層保護対策推進会議）
1998年	6月	「特定物質の規制等によるオゾン層の保護に関する法律第3条第1項の規定に基づく同項第1号から第3号に掲げる事項」（告示）の一部改正 「特定家庭用機器再商品化法」（家電リサイクル法）制定（家電製品からの冷媒フロン回収）
	11月	モントリオール議定書第10回締約国会合開催（カイロ）
1999年	3月	「CFC破壊処理ガイドライン」を改訂（環境庁）
	12月	ウィーン条約第5回締約国会議及びモントリオール議定書第11回締約国会合開催（北京） HCFCの生産量規制導入などを合意
		「特定物質の規制等によるオゾン層の保護に関する法律施行令」（政令）の一部改正
2000年	7月	「フロン回収の手引き」を公表（環境庁） 「国家ハロンマネジメント戦略」をUNEPに提出（環境庁他）
	12月	モントリオール議定書第12回締約国会合開催（ブルキナファソ・ワガドゥグ）
2001年	3月	家電リサイクル法施行
	6月	「特定製品に係るフロン類の回収及び破壊の実施の確保等に関する法律」（フロン回収・破壊法）制定
	7月	「国家CFC管理戦略」をUNEPに提出（環境省他）
	11月	モントリオール議定書第13回締約国会合開催（コロンボ）
2002年	4月	フロン回収・破壊法（業務用冷凍空調機器からのフロン回収破壊）施行
	7月	日本、改正モントリオール議定書（1997年/1999年改正）を受諾 「使用済自動車の再資源化等に関する法律」（自動車リサイクル法）制定、フロン回収・破壊法の一部改正
	9月	「特定物質の規制等によるオゾン層の保護に関する法律施行令」（政令）の一部改正
	10月	フロン回収・破壊法（カーエアコンからのフロン回収破壊）施行
	11月	ウィーン条約第6回締約国会議及びモントリオール議定書第14回締約国会合開催（ローマ）
2003年	1月	「特定家庭用機器再商品化法施行令」（政令）の一部改正（家電製品からの断熱材フロン回収）
	11月	モントリオール議定書第15回締約国会合開催（ナイロビ）
2004年	3月	モントリオール議定書第1回特別締約国会合開催（モントリオール）
	11月	モントリオール議定書第16回締約国会合開催（プラハ）
	12月	「特定物質の規制等によるオゾン層の保護に関する法律施行令」（政令）の一部改正
2005年	1月	自動車リサイクル法全面施行（自動車リサイクルシステムの本格稼働）
	7月	モントリオール議定書第2回特別締約国会合（モントリオール）
	12月	ウィーン条約第7回締約国会議及びモントリオール議定書第17回締約国会合開催（ダカール）
2006年	1月	「臭化メチルの不可欠用途全廃のための国家管理戦略」をUNEPに提出（環境省・農林水産省）
	5月	「ハロン破壊処理ガイドライン」を公表（環境省）
	6月	フロン回収・破壊法の一部改正（業務用冷凍空調機器からのフロン回収強化）
	10月	モントリオール議定書第18回締約国会合開催（デリー）

2007年	6月	「モンテリオール議定書が直面する主要な将来課題に関する対話」会合（ナイロビ）
	9月	モンテリオール議定書第19回締約国会合開催（モンテリオール） HCFCの規制スケジュールの前倒しを合意
	10月	改正フロン回収・破壊法施行（業務用冷凍空調機器からのフロン回収強化）
	12月	「特定物質の規制等によるオゾン層の保護に関する法律施行令」（政令）の一部改正
2008年	4月	「臭化メチルの不可欠用途全廃のための国家管理戦略」改訂版を UNEP に提出（農林水産省）
	5月	「特定物質の規制等によるオゾン層の保護に関する法律第3条第1項の規定に基づく同項第1号から第3号に掲げる事項」（告示）の一部改正
	11月	ウィーン条約第8回締約国会議及びモンテリオール議定書第20回締約国会合開催（ドーハ）
2009年	11月	モンテリオール議定書第21回締約国会合開催（エジプト・ポートガーリブ）
2010年	11月	モンテリオール議定書第22回締約国会合開催（バンコク）
2011年	11月	ウィーン条約第9回締約国会議及びモンテリオール議定書第23回締約国会合開催（インドネシア・バリ）
	12月	「特定物質の規制等によるオゾン層の保護に関する法律施行令」（政令）の一部改正
2012年	11月	モンテリオール議定書第24回締約国会合開催（スイス・ジュネーブ）
2013年	6月	フロン回収・破壊法の一部改正（「フロン類の使用の合理化及び管理の適正化に関する法律」に名称を変更。フロン類の製造から使用、再生・破壊に至るまでのライフサイクル全体にわたる排出抑制対策の強化）
	10月	モンテリオール議定書第25回締約国会合開催（タイ・バンコク）
2014年	11月	モンテリオール議定書第26回締約国会合開催（パリ）
	12月	「特定物質の規制等によるオゾン層の保護に関する法律施行令」（政令）の一部改正
2015年	4月	フロン回収・破壊法の一部改正（フロン排出抑制法）施行
	11月	モンテリオール議定書第27回締約国会合開催（ドバイ）
2016年	7月	モンテリオール議定書第3回特別締約国会合開催（ウィーン）
2016年	10月	モンテリオール議定書第28回締約国会合開催（ルワンダ・キガリ） HFCの規制物質への追加を内容とする議定書の改正等を合意

1-3. 国際的なオゾン層保護対策

(1) オゾン層保護のためのウィーン条約

オゾン層保護のためのウィーン条約は、オゾン層保護のための国際的な枠組を定めた条約であり、1985年に採択された。我が国は1988年9月30日に加入。2015年11月現在で締約国数は197カ国及びEUであり、全ての国連加盟国によって批准された。

本条約においては、締約国が、

- ・ オゾン層の変化により生ずる悪影響から人の健康及び環境を保護するために適当な措置をとること（第2条第1項）
- ・ 研究及び組織的観測等に協力すること（第3条）
- ・ 法律、科学、技術等に関する情報を交換すること（第4条）

等について規定している。

(2) オゾン層を破壊する物質に関するモントリオール議定書

オゾン層を破壊する物質に関するモントリオール議定書は、ウィーン条約に基づきオゾン層破壊物質の削減スケジュール等の具体的な規制措置等を定めた議定書であり、1987年に採択された。モントリオール議定書の採択後、オゾン層の破壊が予想以上に進んでいることが判明したこと等から、以後、1990年（ロンドン改正）、1992年（コペンハーゲン改正）、1995年（ウィーン調整）、1997年（モントリオール改正）、1999年（北京改正）及び2007年（モントリオール調整）及び2016年（キガリ改正）の7回にわたって改正・調整された。2017年8月現在で締約国数は197カ国及びEUであり、全ての国連加盟国によって批准された。

本議定書においては、

- ・ 対象物質の生産量・消費量の削減スケジュールの設定（第2条）
- ・ 非締約国との貿易の規制（規制物質の輸出入の禁止又は制限等）（第4条）
- ・ 最新の科学、環境、技術及び経済に関する情報に基づく規制措置の評価及び再検討（第6条）

等について規定している。

対象物質の生産量・消費量の削減スケジュールを図4-1に示す。

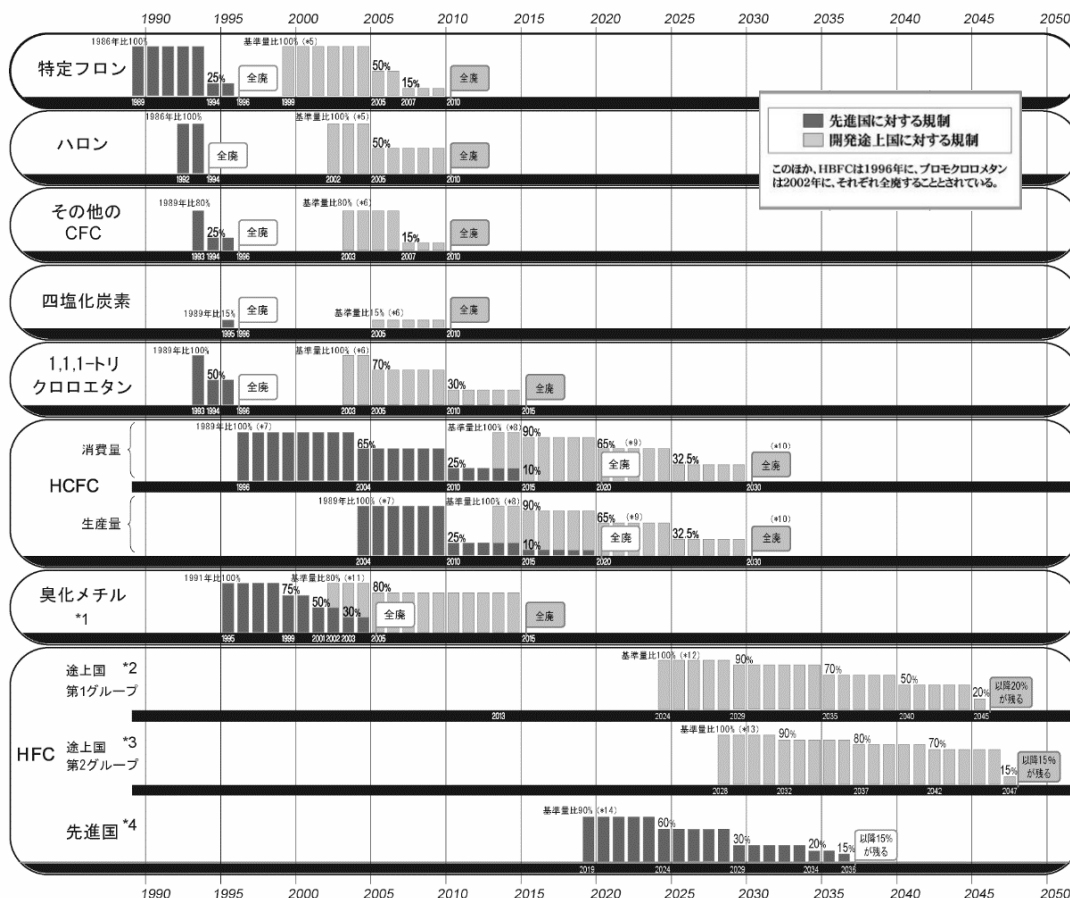


図 4-1 モントリオール議定書に基づく段階的削減スケジュール

各物質のグループ毎に、生産量及び消費量（＝生産量＋輸入量－輸出量）が削減される。

- ※1) 検疫及び出荷前処理用として使用される臭化メチルは、規制対象外となっている。
- ※2) 途上国第2グループに属さない開発途上国
- ※3) インド、パキスタン、イラン、イラク、湾岸諸国
- ※4) 先進国に属するベラルーシ、ロシア、カザフスタン、タジキスタン、ウズベキスタンについては、規制措置に差異を設ける（基準値について、HCFCの算入量を基準値の25%とし、削減スケジュールについて、第1段階は2020年に5%削減、第2段階は2025年に35%削減とする）。
- ※5) 基準量は、1995～1997年までの生産量・消費量の平均値又は生産量・消費量が一人当たり0.3キログラムとなる値のいずれか低い値。
- ※6) 基準量は、1998～2000年までの生産量・消費量の平均値又は生産量・消費量が一人当たり0.2キログラムとなる値のいずれか低い値。
- ※7) 消費量の基準量は、HCFCの1989年消費量＋CFCの1989年消費量×2.8%。生産量の基準量は、HCFCの1989年生産量と消費量の平均値＋CFCの1989年生産量と消費量の平均値×2.8%。
- ※8) 基準量は、2009年と2010年の生産量・消費量の平均値。
- ※9) 2030年までの間、冷凍空調機器の補充用冷媒に限り、生産量・消費量の基準量の0.5%を上限に生産・消費することができる。
- ※10) 2040年までの間、冷凍空調機器の補充用冷媒に限り、平均として生産量・消費量の基準量の2.5%を上限に生産・消費することができる。
- ※11) 基準量は、1995～1998年までの生産量・消費量の平均値。
- ※12) 基準量は、HFCの2020年から2022年の生産量・消費量の平均値＋HCFCの生産量・消費量の基準値の65%（CO₂換算値）。
- ※13) 基準量は、HFCの2024年から2026年の生産量・消費量の平均値＋HCFCの生産量・消費量の基準値の65%（CO₂換算値）。
- ※14) 基準量は、HFCの2011年から2013年の生産量・消費量の平均値＋HCFCの生産量・消費量の基準値の15%（CO₂換算値）。
- ※途上国の基礎的な需要を満たすための追加生産が認められているほか、生産が全廃になった物質でも試験研究・分析や必要不可欠な用途についての生産等は規制対象外となっている。

(3) 世界におけるオゾン層破壊物質の生産量・消費量の削減実績

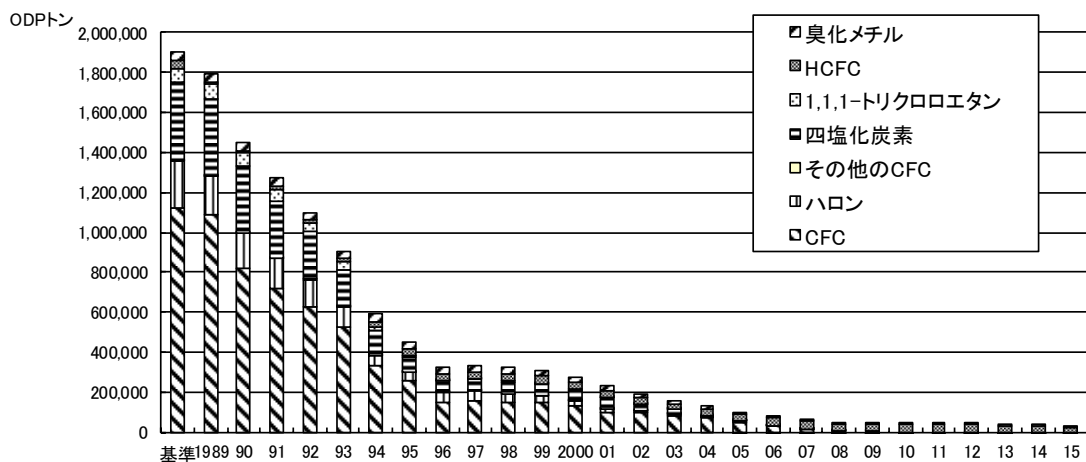


図 4-2 モントリオール議定書に基づくオゾン層破壊物質の生産量の推移（1989～2015年）
ただし、基準年以前の空白データは基準年で一定として補完（HCFCを除く）し、基準年と規制開始の間
の空白データは一定の割合で変化するものとして補完（先進国のHCFCについては1990年・1991年のデ
ータを補完）。単位はODPトン。（出典）UNEP オゾン事務局ウェブサイトより

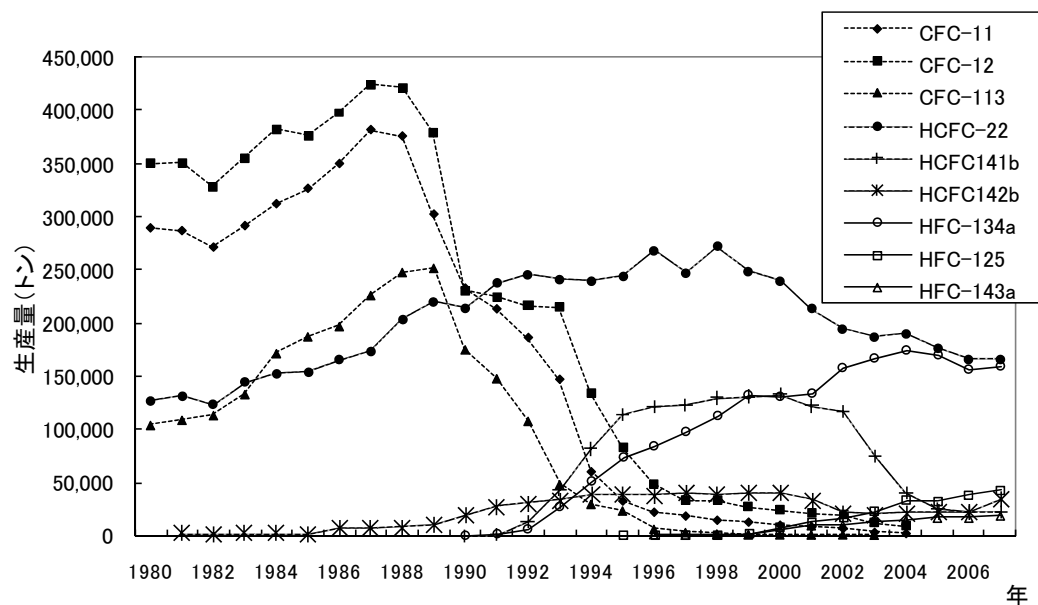


図 4-3 主要なフロンの年別生産量の推移（1980～2007年）
集計はAFEASに登録のあったデータのみ。単位は重量トン。
（出典）The Alternative Fluorocarbons Environmental Acceptability Study（AFEAS）ウェブサイトより

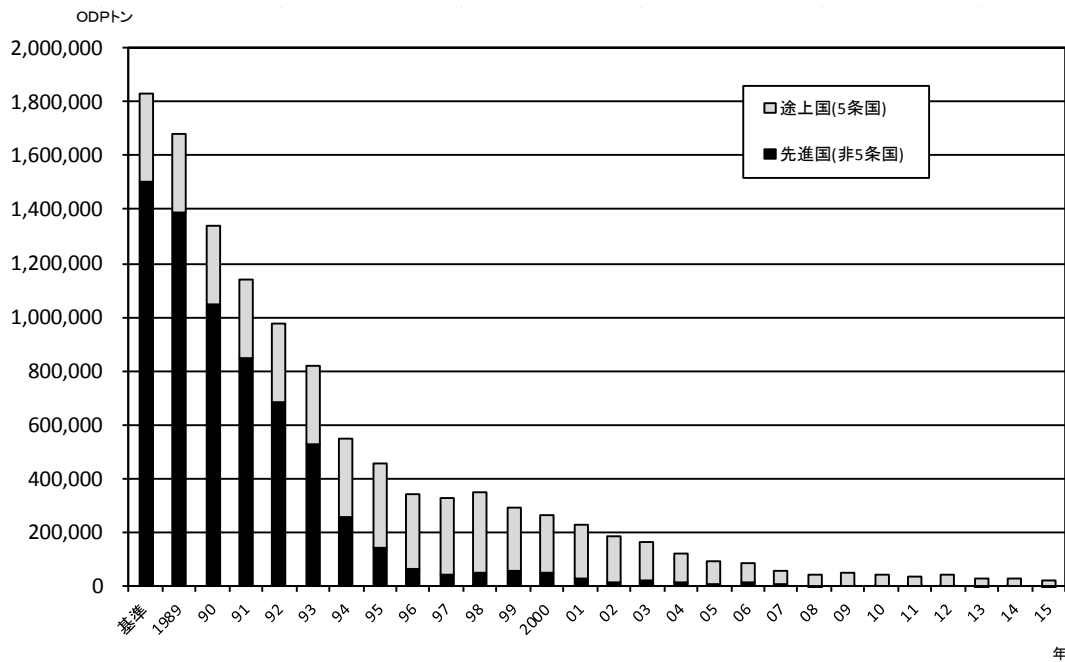


図 4-4 モントリオール議定書に基づくオゾン層破壊物質の消費量の推移（1989～2015年）
 ただし、基準年以前の空白データは基準年で一定として補完（HCFCを除く）し、基準年と規制開始の間の空白データは一定の割合で変化するものとして補完（先進国のHCFCについては1990年・1991年のデータを補完）。単位はODPトン。（出典）UNEP オゾン事務局ウェブサイトより

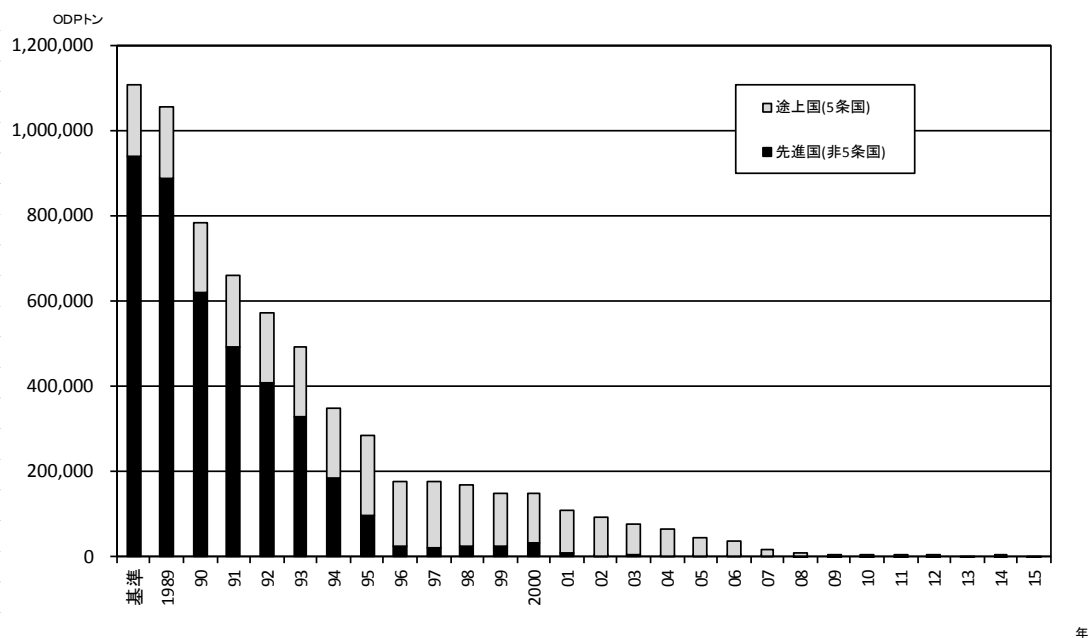


図 4-5 モントリオール議定書に基づくCFC（附属書AグループI）の消費量の推移（1989～2015年）

ただし、基準年以前の空白データは基準年で一定として補完し、基準年と規制開始の間の空白データは一定の割合で変化するものとして補完。単位はODPトン。（出典）UNEP オゾン事務局ウェブサイトより

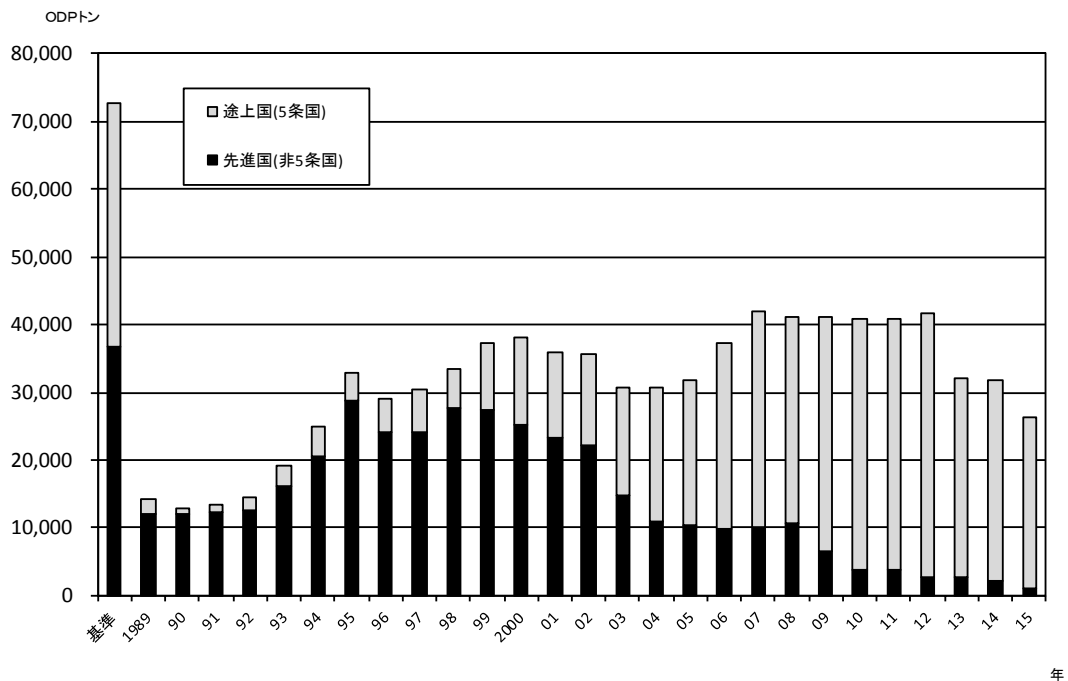


図 4-6 モントリオール議定書に基づく HCFC の消費量の推移 (1989~2015 年)

ただし、先進国における 1990 年・1991 年のデータは一定の割合で変化するものとして補充。単位は ODP トン。(出典) UNEP オゾン事務局ウェブサイトより

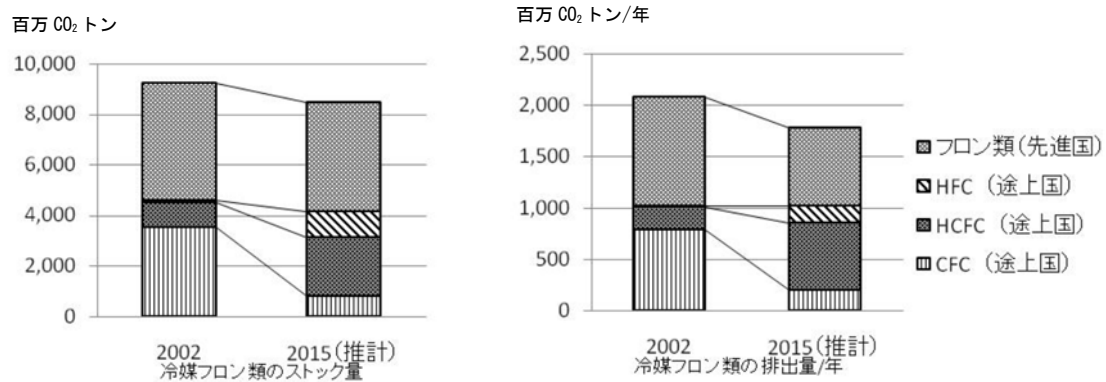


図 4-7 冷媒フロン類のストック量及び排出量/年 (2002 年・2015 年 (推計))

単位は CO₂ 換算トン。(出典) IPCC/TEAP 特別報告より

1-4. 我が国におけるオゾン層保護対策

(1) オゾン層破壊物質の生産・消費の規制

我が国では、オゾン層を破壊する物質に関するモントリオール議定書の締結にあたり、昭和63年に「特定物質の規制等によるオゾン層の保護に関する法律（オゾン層保護法）」を制定し、平成元年7月からオゾン層破壊物質の生産・輸出入の規制を開始し、モントリオール議定書の義務を着実に履行している。生産量・消費量の削減実績については次ページを参照。

我が国における特定物質（オゾン層破壊物質）の生産量・消費量に関する基準限度

・CFC（議定書附属書AグループI）

期間	生産量	消費量
1993年1月1日～	119,998	118,134
1994年1月1日～	30,000	29,534
1996年1月1日～	0	0

・ハロン

期間	生産量	消費量
1993年1月1日～	28,419	16,958
1994年1月1日～	0	0

・その他のCFC（議定書附属書BグループI）

期間	生産量	消費量
1993年1月1日～	1,874	1,865
1994年1月1日～	586	583
1996年1月1日～	0	0

・四塩化炭素

期間	生産量	消費量
1995年1月1日～	2,940	11,232
1996年1月1日～	0	0

・1,1,1-トリクロロエタン

期間	生産量	消費量
1993年1月1日～	15,637	17,279
1994年1月1日～	7,819	8,640
1996年1月1日～	0	0

・HCFC

期間	生産量	消費量
1996年1月1日～	—	5,562
2004年1月1日～	5,654	3,615
2010年1月1日～	1,413	1,390
2015年1月1日～	565	556
2020年1月1日～ (注)	28	27
2030年1月1日～	0	0

(注)2020年1月1日に存在する冷凍空調機器への補充用に限る。

・臭化メチル

期間	生産量	消費量
1995年1月1日～	3,376	3,664
1999年1月1日～	2,532	2,748
2001年1月1日～	1,688	1,832
2003年1月1日～	1,012	1,099
2005年1月1日～	0	0

①日本における特定物質の生産量・消費量の推移

表 4-1 特定物質の生産量・消費量（議定書附属書 A）

（単位：ODP トン*）

年次 ⁽¹⁾	特定フロン		ハロン	
	生産量	消費量**	生産量	消費量
基準年 (1986年)	119,998	118,134	28,419	16,958
1989年	119,070	109,916	-	-
1990年	101,288	89,056	-	-
1991年	109,531	97,989	-	-
1992年			20,140	14,786
1993年	51,212	47,435	9,288	7,527
1994年	28,392	26,455	0	0
1995年	24,267	23,062	0	0
1996年	786	-352	0	-2
1997年	166	-173	0	0
1998年	0	-312	0	0
1999年	0	-21	0	0
2000年	0	0	0	0
2001年	0	0	0	0
2002年	0	0	0	0
2003年	0	0	0	0
2004年	0	0	0	0
2005年	0	0	0	0
2006年	0	0	0	0
2007年	0	-5	0	0
2008年	0	-1	0	0
2009年	0	0	0	0
2010年	0	0	0	0
2011年	0	-5	0	0
2012年	0	-5	0	0
2013年	0	0	0	0
2014年	0	0	0	0
2015年	0	0	0	0

(1) 特定フロンの1989年及び1990年に関しては、各年の7月から翌年6月まで、1991年は7月から1992年12月までの18ヶ月間の値。その他に関しては、各年の1月から12月までの値となっている。

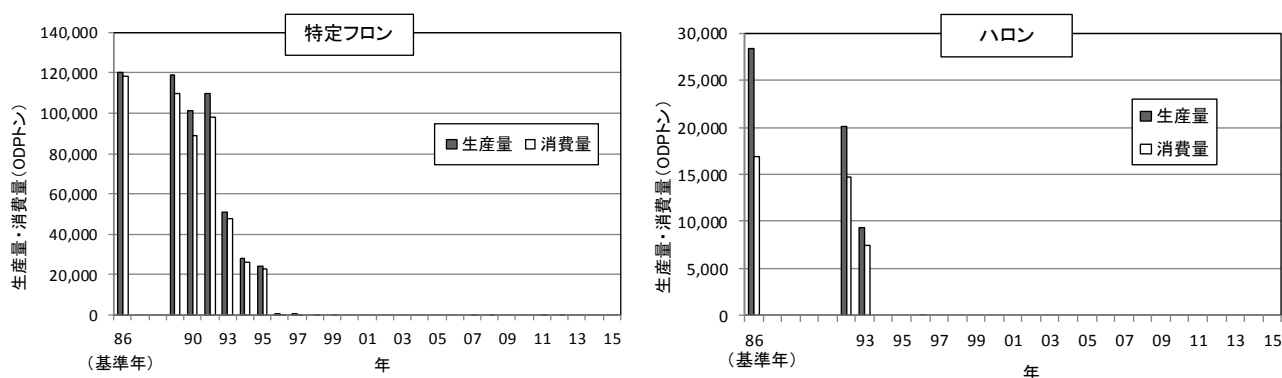


図 4-8 特定物質の生産量・消費量（議定書附属書 A）

（出典）経済産業省発表資料より作成

* ODP トンは各生産量・消費量にオゾン破壊係数を乗じた数値。

** 消費量＝生産量＋輸入量－輸出量

表 4-2 特定物質の生産量・消費量（議定書附属書 B）

（単位：ODP トン）

年次 ⁽¹⁾	その他の CFC		四塩化炭素		1,1,1-トリクロロエタン	
	生産量	消費量	生産量	消費量	生産量	消費量
基準年 (1989年)	2,342	2,331	19,602	74,879	15,637	17,279
1993年	808	788	-	-	7,146	7,546
1994年	136	136	-	-	4,637	3,973
1995年	135	135	2463	255	5,248	4,088
1996年	0	0	539	-670	868	-48
1997年	0	0	0	-1	1,079	-55
1998年	0	0	0	-2	899	-52
1999年	0	0	0	-1	1,048	-38
2000年	0	0	0	-1	876	-34
2001年	0	0	0	-1	735	-326
2002年	0	0	0	-4	1250	-29
2003年	0	0	0	-2	569	-19
2004年	0	0	0	-1	565	-30
2005年	0	0	0	-1	400	0
2006年	0	0	0	0	348	0
2007年	0	0	0	0	418	0
2008年	0	0	0	0	246	0
2009年	0	0	0	0	194	0
2010年	0	0	0	0	0	0
2011年	0	0	0	0	0	0
2012年	0	0	0	0	0	0
2013年	0	0	0	0	0	0
2014年	0	0	0	0	0	0
2015年	0	0	0	0	0	0

(1) 各年は1月から12月までの値となっている。

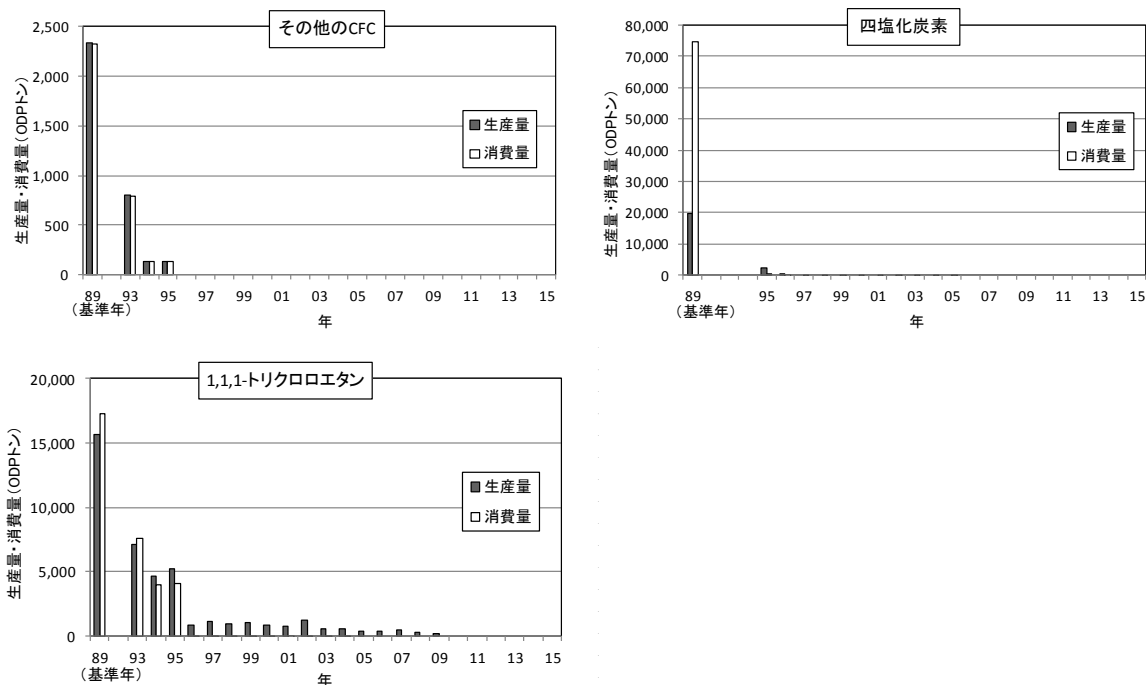


図 4-9 特定物質の生産量・消費量（議定書附属書 B）

（出典）経済産業省発表資料より作成

表 4-3 特定物質の生産量・消費量（議定書附属書 C、E）

（単位：ODP トン）

年次 ⁽¹⁾	HCFC		HBFC		プロモクロロメタン		臭化メチル	
	生産量	消費量	生産量	消費量	生産量	消費量	生産量	消費量
基準値	5,654 ⁽²⁾	5,562 ⁽³⁾					3,376 (1991年)	3,664 (1991年)
1995年	-	-	-	-	-	-	3,689	4,180
1996年	-	4,141	0	0	-	-	3,009	3,421
1997年	-	4,152	0	0	-	-	2,905	3,318
1998年	3,966	3,633	0	0	-	-	2,741	3,112
1999年	4,608	3,899	0	0	-	-	2,420	2,746
2000年	3,928	3,531	0	0	-	-	2,259	2,564
2001年	3,792	3,500	0	0	-	-	1,613	1,744
2002年	3,195	2,907	0	0	0	0	1,571	1,702
2003年	3,145	2,810	0	0	0	0	883	969
2004年	1,921	1,473	0	0	0	0	897	1,019
2005年	1,344	1,118	0	0	0	0	346	357
2006年	872	747	0	0	0	0	287	293
2007年	728	770	0	0	0	0	282	288
2008年	777	787	0	0	0	0	223	236
2009年	494	518	0	0	0	0	161	167
2010年	400	453	0	0	0	0	138	149
2011年	397	470	0	0	0	0	128	135
2012年	297	342	0	0	0	0	83	94
2013年	294	335	0	0	0	0	1	1
2014年	252	283	0	0	0	0	0	0
2015年	213	255	0	0	0	0	0	0

- (1) 各年は1月から12月までの値となっている。
- (2) HCFC の生産量の基準量=HCFC の1989年生産量算定値と消費量算定値の平均+CFC の1989年生産量算定値と消費量算定値の平均×0.028
- (3) HCFC 消費量の基準量=HCFC の1989年消費量算定値+CFC の1989年消費量算定値×0.028
- (4) 臭化メチルの生産量等の算定値には、締約国が検疫及び出荷前の処理のために使用する量を含まない。

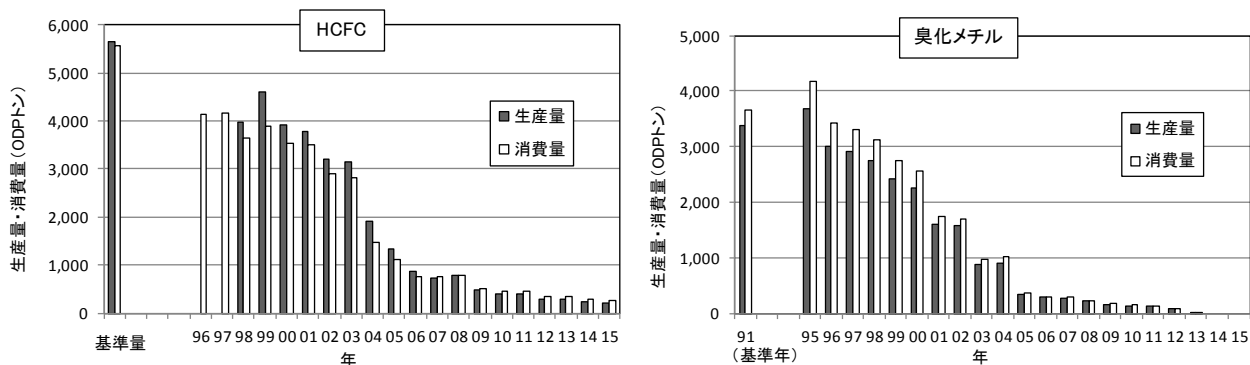


図 4-10 特定物質の生産量・消費量（議定書附属書 C、E）

（出典）経済産業省発表資料より作成

(2) 冷媒フロン類の回収・破壊

既に生産され、製品中に含まれているフロン類及び代替フロンの大気中への排出を抑制し、オゾン層保護及び地球温暖化防止に資するため、業務用冷凍空調機器については「特定製品に係るフロン類の回収及び破壊の実施の確保等に関する法律（フロン回収・破壊法）」、家庭用冷凍冷蔵庫・エアコンについては「特定家庭用機器再商品化法（家電リサイクル法）」、カーエアコンについては「使用済自動車の再資源化等に関する法律（自動車リサイクル法）」に基づき、使用済機器等から冷媒フロン類を回収し、適切に破壊することとしている。

表 4-4 冷媒フロン類を回収した機器の台数

(千台)

機 器	平成 18 年度	平成 19 年度	平成 20 年度	平成 21 年度	平成 22 年度	平成 23 年度	平成 24 年度	平成 25 年度	平成 26 年度	平成 27 年度
業務用 冷凍空調機器	878	1,033	1,237	1,172	1,164	1,230	1,230	1,368	1,394	1,538
家庭用 エアコン	1,835	1,890	1,968	2,154	3,142	2,341	2,359	2,961	2,225	2,355
家庭用 冷蔵冷凍庫	2,709	2,725	2,746	3,007	3,400	2,843	2,919	3,433	2,775	2,799
カーエアコン	2,628	2,663	2,755	3,060	3,000	2,375	2,816	2,835	2,904	2,741
合 計	8,050	8,311	8,706	9,393	10,706	8,789	9,324	10,597	9,298	9,433

注) カーエアコンについては、自動車リサイクル法及びフロン回収・破壊法による回収の合計。

表 4-5 冷媒フロン類の回収量

(t)

機 器	フロン 類の 種類	平成 18 年度	平成 19 年度	平成 20 年度	平成 21 年度	平成 22 年度	平成 23 年度	平成 24 年度	平成 25 年度	平成 26 年度	平成 27 年度
業務用 冷凍空調機器	CFC	348	342	290	207	216	185	211	175	150	165
	HCFC	1,987	2,404	2,814	2,661	2,862	2,850	3,140	2,917	2,847	3,169
	HFC	206	422	669	733	817	922	1,193	1,371	1,427	1,507
	計	2,541	3,168	3,773	3,601	3,895	3,958	4,543	4,463	4,424	4,841
家庭用 エアコン	HCFC	1,024	1,048	1,098	1,182	1,647	1,215	1,156	1,256	1,069	934
	HFC	19	40	67	122	223	262	322	466	508	570
	計	1,043	1,088	1,166	1,304	1,870	1,477	1,478	1,722	1,577	1,505
家庭用 冷蔵冷凍庫	CFC	218	196	177	167	164	112	97	90	72	58
	HCFC	11	12	12	15	17	13	12	13	10	8
	HFC	68	91	111	139	176	160	169	189	166	144
	計	298	299	299	320	357	285	278	291	248	210
カーエアコン	CFC	258	192	141	109	65	37	21	17	14	10
	HFC	546	617	731	865	846	668	792	792	773	710
	計	803	809	873	974	911	705	813	809	787	720
特定フロン	CFC	824	730	608	483	445	334	329	282	236	233
	HCFC	3,022	3,464	3,924	3,858	4,526	4,078	4,308	4,186	3,926	4,111
	小計	3,845	4,194	4,532	4,341	4,972	4,412	4,637	4,468	4,162	4,334
代替フロン	HFC	840	1,170	1,578	1,859	2,054	2,012	2,476	2,818	2,874	2,931
合計		4,685	5,364	6,110	6,200	7,038	6,424	7,112	7,285	7,036	7,275

注1) 小数点未満を四捨五入したため、表中の数値の和は必ずしも合計欄の値に一致しない。

注2) カーエアコンについては、自動車リサイクル法及びフロン回収・破壊法による回収量の合計。

自動車リサイクル法に基づく回収量は次の計算式により算出した。

「自動車製造業者等による取引量」＋「フロン類回収業者による再利用量」＋「フロン類回収業者による当年度未保管量」－「フロン類回収業者による前年度未保管量」

表 4-6 冷媒フロン類の破壊量

(t)

機 器	フロン 類の 種類	平成 18 年度	平成 19 年度	平成 20 年度	平成 21 年度	平成 22 年度	平成 23 年度	平成 24 年度	平成 25 年度	平成 26 年度	平成 27 年度
業務用 冷凍空調機器 カーエアコン	CFC	590	479	376	271	271	226	218	181	155	190
	HCFC	1,821	2,095	2,439	2,164	2,284	2,362	2,393	2,349	2,305	2,464
	HFC	772	1,036	1,346	1,505	1,596	1,528	1,829	1,940	2,034	2,161
	計	3,183	3,611	4,161	3,941	4,152	4,116	4,440	4,470	4,494	4,815
家庭用 エアコン	HCFC	1,028	1,043	1,103	1,173	1,642	1,213	1,158	1,245	716	245
	HFC	18	40	66	119	220	262	322	461	325	142
	計	1,046	1,083	1,169	1,293	1,863	1,475	1,480	1,706	1,041	388
家庭用 冷蔵冷凍庫	CFC	219	197	179	165	165	112	97	90	71	56
	HCFC	12	12	12	14	17	13	12	13	10	7
	HFC	67	90	111	136	174	160	169	186	108	40
	計	298	299	301	315	356	285	278	289	189	103
特定フロン	CFC	809	676	555	438	436	338	315	271	226	246
	HCFC	2,861	3,150	3,554	3,358	3,943	3,588	3,563	3,607	3,031	2,716
	小計	3,670	3,826	4,109	3,796	4,379	3,926	3,878	3,878	3,257	2,962
代替フロン	HFC	857	1,166	1,523	1,760	1,990	1,950	2,320	2,587	2,467	2,343
合計		4,527	4,992	5,632	5,556	6,369	5,876	6,199	6,465	5,724	5,305

注 1) 小数点未満を四捨五入したため、表中の数値の和は必ずしも合計欄の値に一致しない。

これまで「京都議定書目標達成計画」において代替フロン等 3 ガスの排出抑制目標を定め、産業界による行動計画の進捗状況のフォローアップ、HFC などに代わる代替物質の開発、断熱材発泡剤・スプレー（エアゾール製品）等のノンフロン化の促進などを進めてきた。

HFC を始めとする代替フロン等 3 ガスの排出量については、産業部門を中心に削減が進んできたが、冷凍空調機器の冷媒用途を中心に増加傾向にある。また、廃棄時冷媒回収率は依然 3 割程度で推移している。加えて、冷凍空調機器の使用中に、これまでの想定を大きく上回る規模で冷媒フロン類が漏えいしていることが判明した。

このため、フロン類のライフサイクル全般にわたる抜本的な対策を推進するため、平成 25 年通常国会においてフロン回収・破壊法が改正された。これにより、法律名を「フロン類の使用の合理化及び管理の適正化に関する法律」に改め、現行法に基づく業務用冷凍空調機器の廃棄時や整備時におけるフロン類の回収及び破壊の徹底に加え、新たに、フロン類及びフロン類使用製品の製造段階における規制、業務用冷凍空調機器の使用段階におけるフロン類の漏えい防止対策等を講じることとなっており、平成 27 年度から全面施行された。

今後、ガスメーカー、機器・製品メーカー、機器ユーザー、その他の関係者（回収業者、破壊業者、施工・メンテナンス業者）等において、それぞれの立場で対応することが求められる。

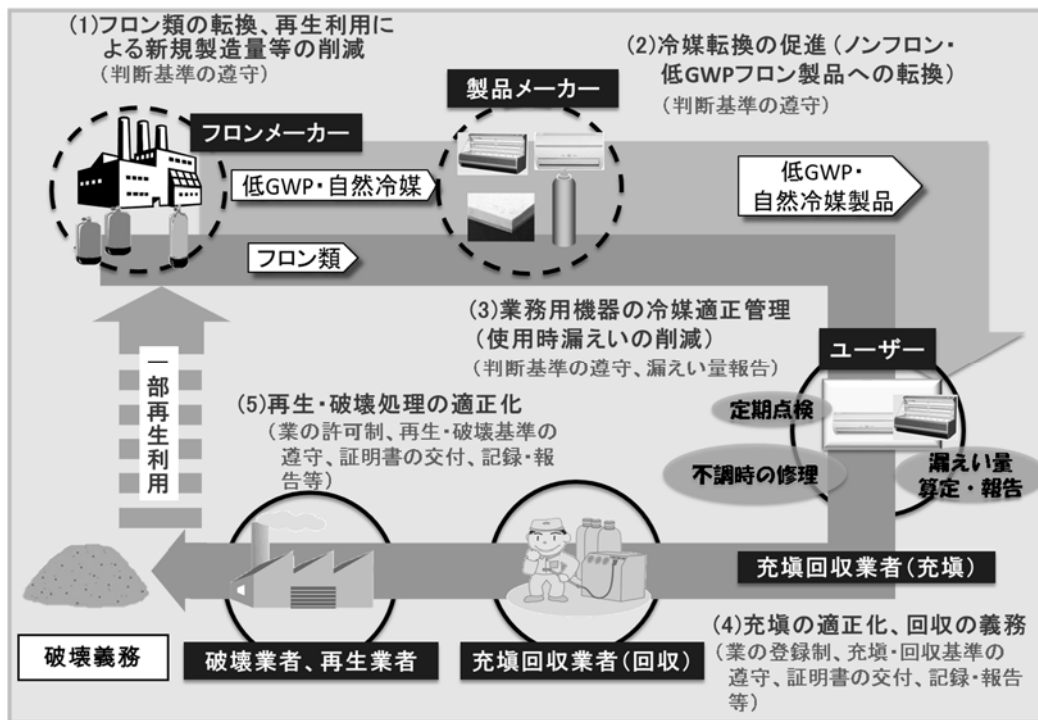


図 4-11 フロン排出抑制法の概要（平成 27 年 4 月施行）

(3) 冷媒フロン類以外のストック対策

①断熱材中フロン類の回収・破壊に向けた取組

- ・ 家庭用冷凍冷蔵庫に使用される断熱材中のフロン類については、家電リサイクル法に基づき、回収・破壊等がなされている。
- ・ 建材用断熱材中のフロン類については、環境省において平成 12 年以降回収・破壊のための技術的事項を調査し、平成 19 年に「建材用断熱材フロンの処理技術」をとりまとめた。

②消火剤ハロン類の回収・再利用・破壊に向けた取組

- ・ 建築物や危険物施設、船舶、航空機等に設置される消火設備・機器等の消火剤として使用されているハロンについては、国家ハロンマネジメント戦略（2000 年）に基づき、特定非営利活動法人「消防環境ネットワーク」を中心として、データベースの管理、不可欠用途（クリティカルユース）の十分な管理、回収・リサイクルの推進等が行われている。
- ・ 今後、1980 年代から 1990 年代初頭に建設された数多くの建築物が解体時期を迎えることに伴って回収されるハロン量の増加が予想されることなどを踏まえ、環境省では、不要・余剰となったハロンを適切に破壊処理するための技術的事項を調査し、平成 18 年 5 月に「ハロン破壊処理ガイドライン」をとりまとめた。

表 4-7 ハロンの設置状況 (2016年(平成28年)12月31日現在)

ハロン種類	設備名	設置件数	ハロン量 (kg)
ハロン-1301	消火設備	29,909	15,567,762
	消火装置	8,509	634,695
	消火器	6,622	125,485
	小計	45,040	16,327,942
ハロン-2402	消火設備	287	147,936
	消火装置	60	8,911
	消火器	99	2,506
	小計	466	159,353
ハロン-1211	消火設備	33	13,858
	消火装置	8	392
	消火器	484	24,586
	小計	525	38,836
合計		46,011	16,526,131

(出典) ハロン等抑制対策連絡会 ハロン等抑制対策に関する報告書 (平成28年度) より

表 4-8 消防環境ネットワークの管理によるハロン-1301の回収、供給量

年度	供給量(t)	回収量(t)
1994	100	27
1995	117	56
1996	126	59
1997	111	46
1998	73	94
1999	57	78
2000	65	97
2001	66	104
2002	63	80
2003	52	112
2004	100	118
2005	123	133
2006	173	110
2007	208	145
2008	156	146
2009	89	99
2010	58	161
2011	46	159
2012	41	196
2013	102	217
2014	180	179
2015	202	166

(出典) ハロン等抑制対策連絡会 ハロン等抑制対策に関する報告書 (平成28年度) より

(4) 化学物質排出把握管理促進法に基づく排出量の把握

平成13年度からPRTR（化学物質排出移動量届出制度）が始まり、オゾン層破壊物質の排出量等について、事業者の届出による事業場からの排出量等と、国の推計による事業場以外からの排出量が毎年公表されている。

表 4-9 平成27年度のオゾン層破壊物質のPRTRによる排出量等

(単位：kg/年)

物質名	政令番号	届出排出量*		届出外 排出量**	排出量 合計	(参考)排出量 (ODPトン)***	(参考)排出量 (万CO2トン)****	届出 移動量*****	
		大気	公共用水域						
CFC	CFC-11	288	1,185	0	835,016	836,201	836.2	397.2	430
	CFC-12	161	2,114	0	544,795	546,909	546.9	596.1	33
	CFC-113	284	3,600	0	3,600	7,200	5.8	4.4	0
	CFC-114	163	0	0	0	0	0.0	0.0	0
	CFC-115	126	0	0	13,009	13,009	7.8	9.6	0
	CFC-13	107	-	-	-	-	-	-	-
	CFC-112	263	-	-	-	-	-	-	-
合計		6,899	0	1,396,419	1,403,319	1,397	1,007	463	
ハロン	ハロン1211	380	-	-	-	-	-	-	-
	ハロン1301	382	14,280	0	24,638	38,918	389.2	27.8	0
	ハロン2402	211	-	-	0	0	0.0	0.0	-
	合計		14,280	0	24,638	38,918	389	28	0
HCFC	HCFC-21	177	3,960	0	3,960	7,920	0.3	0.0	0
	HCFC-22	104	183,327	0	8,373,920	8,557,248	470.6	1,548.9	56,984
	HCFC-123	164	45,795	0	197,251	243,046	4.9	1.9	1,400
	HCFC-124	105	1,400	0	1,400	2,800	0.1	0.2	0
	HCFC-133	106	21,000	0	21,000	42,000	2.5	0.0	16,000
	HCFC-141b	176	9,963	0	738,932	748,894	82.4	54.3	4,307
	HCFC-142b	103	21,900	0	308,610	330,510	21.5	76.3	70,000
	HCFC-225	185	452,116	0	1,099,195	1,551,311	108.6	55.6	54,806
合計		739,460	0	10,744,269	11,483,729	691	1,737	203,497	
四塩化炭素	149	6,477	360	6,837	13,673	15.0	1.9	260,489	
1,1,1-トリクロロエタン	279	510	16,388	16,899	33,797	3.4	0.5	2	
臭化メチル	386	114,339	400	492,038	606,777	364.1	0.3	7,930	
合計		881,966	17,148	12,681,100	13,580,213	2,859	2,775	472,380	

- * PRTRの対象となる事業所から1年間に環境中に排出された量として、事業者から国へ届け出られた量
- ** PRTRの対象となる事業所以外から環境中へ排出される量として、国が推計した量
- *** ODS排出量はモントリオール議定書の値を採用
- **** CO2排出量は第4次IPCC報告書(100年GWP値)を採用
- ***** PRTRの対象となる事業所から1年間に廃棄物として事業所の外へ運び出された量

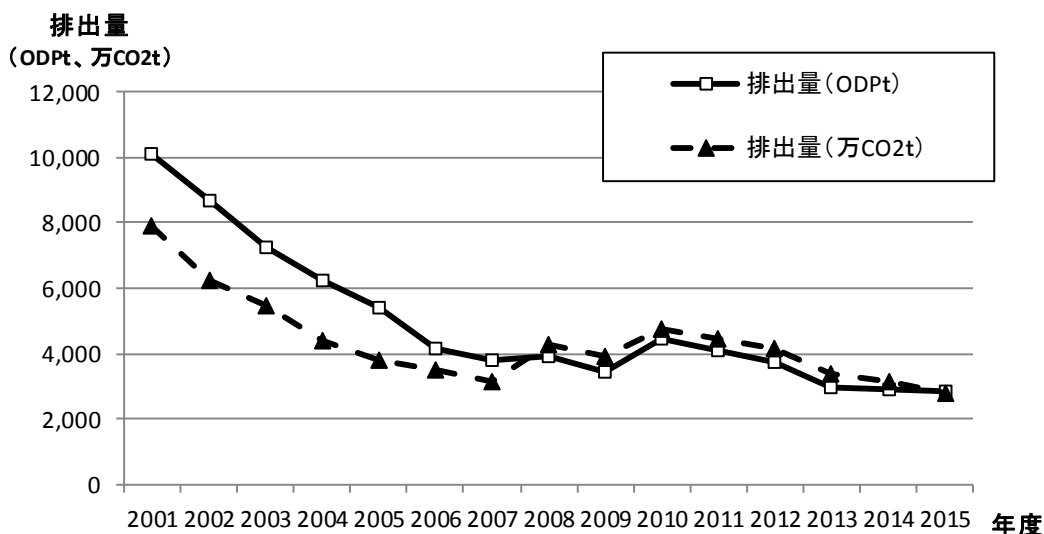


図 4-12 PRTRに基づくオゾン層破壊物質の排出量 (ODP換算、CO₂換算)

(5) 代替フロン等 4 ガスの排出抑制の目標

「地球温暖化対策計画」(平成 28 年 5 月 13 日閣議決定)においては、代替フロン等 4 ガス(HFCs、PFCs、SF₆、NF₃)については、2030 年において、2013 年比 25.1%減(2005 年比 4.5%増)の水準(約 2,890 万 t-CO₂)にすることを目標としている。

表 4-10 代替フロン等 4 ガスの排出量の目標

(単位：百万 t-CO₂)

	2005 年 実績	2013 年 実績	2030 年の 排出量の目標
代替フロン等 4 ガス	27.7	38.6	28.9
HFCs	12.7	31.8	21.6
PFCs	8.6	3.3	4.2
SF ₆	5.1	2.2	2.7
NF ₃	1.2	1.4	0.5

(出典)「地球温暖化対策計画」平成 28 年 5 月 13 日閣議決定

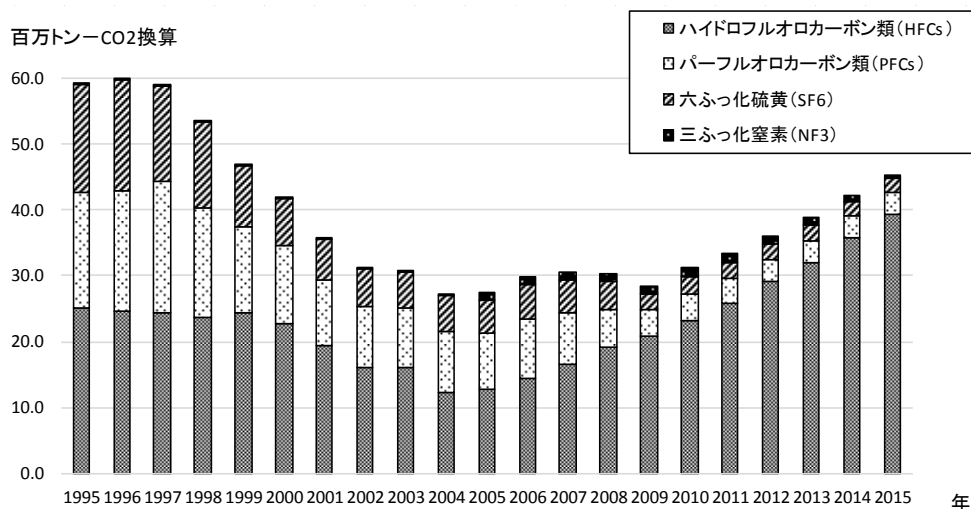


図 4-13 代替フロン等 4 ガスの排出量の推移 (ガス別)

(6) ノンフロン化の推進

①グリーン購入法に基づくノンフロン化の推進

フロンを使わない製品(ノンフロン製品)の普及を促進するため、「国等による環境物品等の調達」の推進等に関する法律(グリーン購入法)に基づき、国等の行政機関に対してノンフロン製品の調達を義務付けている。

表 4-11 グリーン購入法（国等による環境物品等の調達の推進等に関する法律）に基づく
環境物品等の調達の推進に関する基本方針(フロン関係抜粋)（平成 29 年 2 月現在）

ダストブロワー	<p>【判断の基準】</p> <ul style="list-style-type: none"> ●フロン類が使用されていないこと。ただし、可燃性の高い物質が使用されている場合にあつては、製品に、その取扱いについての適切な記載がなされていること。 <p>(備考)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ダストブロワーに係る判断の基準における「フロン類」とは、フロン類の使用の合理化及び管理の適正化に関する法律（平成 13 年法律第 64 号）第 2 条第 1 項に定める物質をいう。判断の基準において使用できる物質は、二酸化炭素、ジメチルエーテル及びハイドロフルオロオレフィン（HFO1234ze）等。 ・ダストブロワーに係る判断の基準については、フロン類の使用の合理化及び管理の適正化に関する法律（平成 13 年法律第 64 号）第 2 条第 2 項の指定製品の対象となる製品に適用するものとする。
電気冷蔵庫、 電気冷凍庫、 電気冷凍冷蔵庫	<p>【判断の基準】</p> <ul style="list-style-type: none"> ●冷媒及び断熱材発泡剤にフロン類が使用されていないこと。 <p>(備考)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・「フロン類」とは、フロン類の使用の合理化及び管理の適正化に関する法律（平成 13 年法律第 64 号）第 2 条第 1 項に定める物質をいう。
エアコンディ ションナー	<p>【判断の基準】</p> <ul style="list-style-type: none"> ●家庭用のエアコンディショナーについては、冷媒に使用される物質の地球温暖化係数は 750 以下であること。 ●冷媒にオゾン層を破壊する物質が使用されていないこと。 <p>【配慮事項】</p> <ul style="list-style-type: none"> ●業務の用に供するエアコンディショナーにあつては、冷媒に可能な限り地球温暖化係数の小さい物質が使用されていること。 <p>(備考)</p> <p>「地球温暖化係数」とは、地球の温暖化をもたらす程度の二酸化炭素に係る当該程度に対する比を示す数値をいう。</p>
ガスヒートポン プ式冷暖房機	<p>【判断の基準】</p> <ul style="list-style-type: none"> ●冷媒にオゾン層を破壊する物質が使用されていないこと。 <p>【配慮事項】</p> <ul style="list-style-type: none"> ●冷媒に可能な限り地球温暖化係数の小さい物質が使用されていること。
ヒートポンプ式 電気給湯器	<p>【判断の基準】</p> <ul style="list-style-type: none"> ●冷媒にフロン類が使用されていないこと。 <p>【配慮事項】</p> <ul style="list-style-type: none"> ●冷媒に可能な限り地球温暖化係数の小さい物質が使用されていること
自動車	<p>【判断の基準】</p> <p>○新しい技術の活用等により従来の自動車と比較して著しく環境負荷の低減を実現した自動車であつて、次に掲げる自動車であること。</p> <ol style="list-style-type: none"> ①電気自動車 ②天然ガス自動車 ③ハイブリッド自動車 ④プラグインハイブリッド自動車 ⑤燃料電池自動車 ⑥水素自動車 ⑦クリーンディーゼル自動車（乗車定員 10 人以下の乗用の用に供する自動車（以下「乗用車」という。）に限る。以下同じ。） ⑧乗用車・小型バス ⑨小型貨物車 ⑩重量車 ⑪LP ガス自動車 <p>【配慮事項】</p> <ul style="list-style-type: none"> ●エアコンディショナーの冷媒に使用される物質の地球温暖化係数は 150 以下であること。 ●アイドリングストップ自動車として設計・製造されていること。
マットレス	<p>【判断の基準】</p> <ul style="list-style-type: none"> ●ウレタンフォームの発泡剤にフロン類が使用されていないこと。

表 4-11 グリーン購入法（国等による環境物品等の調達の推進等に関する法律）に基づく
環境物品等の調達の推進に関する基本方針(フロン関係抜粋)（平成 29 年 2 月現在）（続き）

断熱材	<p>【判断の基準】</p> <ul style="list-style-type: none"> ●建築物の外壁等を通しての熱の損失を防止するものであって、次の要件を満たすものとする。 <ul style="list-style-type: none"> ・フロン類が使用されていないこと。
氷蓄熱式 空調機器	<p>【判断の基準】</p> <ul style="list-style-type: none"> ●冷媒にオゾン層を破壊する物質が使用されていないこと。
ガスエンジン ヒートポンプ式 空気調和機	<p>【判断の基準】</p> <ul style="list-style-type: none"> ●冷媒にオゾン層を破壊する物質が使用されていないこと。
庁舎管理	<p>【配慮事項】</p> <ul style="list-style-type: none"> ●庁舎管理に空調設備、熱源設備の維持管理を含む場合にあっては、冷媒として用いられるフロン類の漏洩の防止のための適切な措置が講じられていること。
飲料自動販売機 設置	<p>【判断の基準】</p> <ul style="list-style-type: none"> ●冷媒及び断熱材発泡剤にフロン類が使用されていないこと。 (備考) <ul style="list-style-type: none"> ・「フロン類」とは、フロン類の使用の合理化及び管理の適正化に関する法律（平成 13 年法律第 64 号）第 2 条第 1 項に定める物質をいう。判断の基準において使用できる冷媒は二酸化炭素、炭化水素及びハイドロフルオロオレフィン（HFO1234yf）等）。 ・カップ式飲料自動販売機のうち、平成 29 年 4 月 30 日までに飲料自動販売機の設置事業者から自動販売機製造事業者に発注された自動販売機には適用しないものとする。ただし、オゾン層を破壊する物質は使用されていないこと、かつ、可能な限り地球温暖化係数の小さい物質が使用されていることとする。
	<p>【配慮事項】</p> <ul style="list-style-type: none"> ●年間消費電力量及びエネルギー消費効率基準達成率並びに冷媒（種類、地球温暖化係数及び封入量）が自動販売機本体の見やすい箇所に表示されるとともに、ウェブサイトにおいて公表されていること。

※本表はフロン類関係を抜き出したものであり、それ以外の判断基準がある場合がある。詳しくは「環境物品等の調達の推進に関する基本方針 平成 29 年 2 月」を参照。

②省エネ型自然冷媒機器の導入補助

アンモニアや二酸化炭素などの自然冷媒を使用した冷凍等装置は、導入費用が高いこと等により普及が進みにくい状況にある。このため、環境省では、このような省エネ自然冷媒冷凍等装置の導入事業者に対して補助することにより、省エネ自然冷媒冷凍等装置の導入を促進している。

③その他のノンフロン化普及促進の取組

環境省では、自然冷媒冷凍空調機器、ノンフロン家庭用冷凍冷蔵庫、ノンフロンダストブロワー、ノンフロン断熱材（硬質ウレタンフォーム）の 4 品目について、ノンフロン製品の紹介冊子を作成し、その普及に取り組んでいる。

(7) 開発途上国への支援

モントリオール議定書に基づく規制は、開発途上国については平成 11 年から開始されたところであり、開発途上国の議定書の遵守状況が今後のオゾン層の回復に大きく影響することから、開発途上国に対し、我が国の排出抑制、回収・破壊、オゾン層破壊物質からの代替に関する技術・経験をいかした支援を行っていく必要がある。このため、開発途上国の政府職員等に対するオゾン層保護政策に関する研修等が実施されている。

また、環境省では、モントリオール議定書多数国間基金を活用した開発途上国における二国間協力プロジェクトを実施するため、支援方策の提案やプロジェクトの形成などを行っている。特に、今後

開発途上国において、オゾン層破壊物質を使用した機器の廃棄等に伴うオゾン層破壊物質の排出増加が予想されることから、これらの処理方策について検討を行うとともに、日本の回収・破壊に関する制度的・技術的知見、我が国のノンフロン技術等をいかした協力を力を入れている。

表 4-12 我が国のモントリオール議定書多数国間基金への拠出金

期間	拠出金総額（含繰り越し）	我が国の拠出金
第1期 1991～1993年	24,000万ドル	3,300万ドル
第2期 1994～1996年	51,000万ドル	6,500万ドル
第3期 1997～1999年	54,000万ドル	8,500万ドル
第4期 2000～2002年	47,570万ドル	9,900万ドル
第5期 2003～2005年	57,300万ドル	10,400万ドル
第6期 2006～2008年	47,000万ドル	8,800万ドル
第7期 2009～2011年	49,000万ドル	8,073万ドル
第8期 2012～2014年	45,000万ドル	6,394万ドル
第9期 2015～2017年	50,750万ドル	6,568万ドル

表 4-13 我が国の途上国支援プロジェクトの例（環境省担当）

対象国	プロジェクト名	時期	支援額	支援内容
スリランカ	アジア太平洋地域におけるモントリオール議定書の遵守促進のための多数国間基金による戦略的計画の実施	2001～2002年	167,805ドル (多数国間基金)	途上国自身が自立してモントリオール議定書を遵守するため、自国のオゾン層破壊物質消費状況の全体像を把握し、すべてのオゾン層破壊物質を撤廃するための計画である国家遵守戦略(National Compliance Strategy)を作成することを支援。
イラン・ モンゴル	アジア太平洋地域におけるモントリオール議定書の遵守促進のための多数国間基金による戦略的計画の実施（第2フェーズ）	2002～2003年	141,250ドル (多数国間基金)	上記プロジェクトの継続事業として、イラン及びモンゴルを対象に、関係国際機関と協力し、調整会合の実施等を支援。
スリランカ	国家遵守行動計画 (National Compliance Action Plan)	2005～2009年	751,902ドル (多数国間基金)	2010年のCFC消費量全廃のための包括的支援。CFCの回収・再利用、カーエアコンの改修、貿易管理、技術者訓練等。
モンゴル	最終削減管理計画 (Terminal Phase-out Management Plan)	2005～2009年	269,957ドル (多数国間基金)	2010年のCFC消費量全廃のための包括的支援。CFCの回収・再利用、貿易管理、技術者訓練等。
インドネシア	フロン破壊処理施設整備事業	2006～2009年	—	セメントキルンを改修したフロン破壊処理施設の設置、破壊実証試験等。
アジア太平洋地域	不要オゾン層破壊物質破壊処理実証事業準備	2008～2009年	33,900ドル (多数国間基金)	アジア太平洋地域での不要オゾン層破壊物質破壊処理のロジスティック、破壊処理施設の設置等のための多数国間基金プロジェクトの準備。
モンゴル	XPS製造工場におけるHCFC消費量削減事業準備	2010年	60,000ドル (多数国間基金)	モンゴル国内の2つのXPS製造工場におけるHCFC転換のための多数国間基金プロジェクトの準備。
モンゴル	HCFC削減管理計画（XPS製造工場におけるHCFC消費量削減事業）	2011年～	130,000ドル (多数国間基金)	モンゴルにおけるHCFC削減管理計画のうちモンゴル国内の2つのXPS製造工場におけるHCFC転換。
中国	HCFC削減管理計画（冷蔵サービス分野におけるHCFC削減）	2011年～	400,000ドル (多数国間基金)	中国におけるHCFC削減管理計画のうち冷蔵サービス分野におけるHCFC削減

1-5. オゾン層保護対策の効果

(1) モントリオール議定書によるオゾン層保護の効果

オゾン層を破壊する物質に関するモントリオール議定書は、オゾン層破壊物質（ODS）の生産・消費に関する具体的な規制措置を進め、EESC（詳細は第1部3-1(b)(P15)脚注を参照）を減少させる効果を上げてきた。モントリオール議定書は1987年の採択以来、6回にわたって改正・調整されてきたが、それぞれの改正・調整がEESCの減少にどのような効果をもたらしたかを予測したものが図4-14である。1992年のコペンハーゲン改正以降、EESCの長期的な減少が期待されている。*

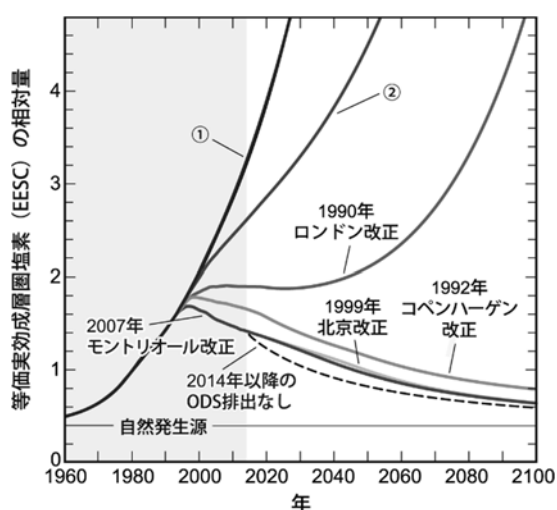


図4-14 モントリオール議定書のEESCの削減効果

オゾン層破壊物質の量に関する将来予測をEESCで示したもの。モントリオール議定書が採択されていないと仮定した場合(①)、モントリオール議定書採択当時(1987年)の規制に即した場合(②)及びその後の改正・調整による場合別にEESCの予測量が表されている。

(出典) Twenty Questions and Answers About the Ozone Layer: 2014 Update
Scientific Assessment of Ozone Depletion: 2014 (WMO, 2015) より作成

* 現時点で考えられるODSの放出はモントリオール議定書の枠組み内で認められている途上国でのODSの生産・使用に伴う放出ならびにバンクと呼ばれる市中に存在するODS類(例: 冷蔵設備で今なお用いられているCFC、消火設備内に存在するハロン)の放出である。仮に2014年時点でこれらの潜在的なODSの放出を完全になくした場合の今後のEESCの推移は図4-14の破線で示す通りである。2007年のモントリオール改正に従った場合に期待されるEESCの推移はこの破線で示した推移とは明らかに異なっており、今後数十年はある程度のODS放出が見込まれることを意味する。なお、2014年以降のODS放出を完全になくすことにより、EESCが1980年レベルに戻る時期を13年早めることが期待できる。(Q&A: WMO, 2015)

モントリオール議定書による取組みにより EESC の増加を食い止め、着実な減少へと導いたことは、深刻なオゾン層破壊の回避に繋がった。図 4-15 は化学気候モデルによって計算された、ODS に対する規制を行わなかった場合に予想される年平均のオゾン全量ならびにその緯度分布の変化を示したものである。ODS に対する規制が実施されたもとの 2000 年のオゾン全量(図 4-15 中の破線)と ODS に対する規制が取られなかった状況下でのオゾン全量の変化を比較すると、2000 年時点では規制無しシナリオでのオゾン全量の緯度分布は規制有りのシナリオでの緯度分布に比べて、極域や低緯度域でのオゾン全量が少ないが、全体的には大きな違いは現れていない。これは、図 4-14 からわかる通り、2000 年の時点では規制の有無による EESC の値の差はさほど顕著でないことと矛盾しない。一方、ODS に対する規制無しシナリオ下でのオゾン全量の 2020 年以降の変化については、2020 年には南極域のオゾン全量は年平均でもオゾンホール基準である 220m atm-cm を下回り、2040 年には、北極域並びに低緯度域でも年平均のオゾン全量が 220m atm-cm 程度になることが予測されている。さらに 2052 年の段階では、中緯度域に見られるオゾン全量の大きな緯度勾配の特徴は消失し、また年平均のオゾン全量は全ての緯度帯において、オゾンホール基準である 220m atm-cm を下回る予測となっており、深刻な影響が見込まれることが分かる。また、北半球中高緯度および南半球中高緯度のオゾン全量分布の経年変化を図 4-16 に示す。南半球では、ほぼ南極を中心に 220 m atm-cm 以下の領域(黒の斜線の部分)が拡大してゆくのにに対し、北半球ではグリーンランド、スカンジナビア半島とその少し東側の経度で先に拡大する傾向があることがわかる。

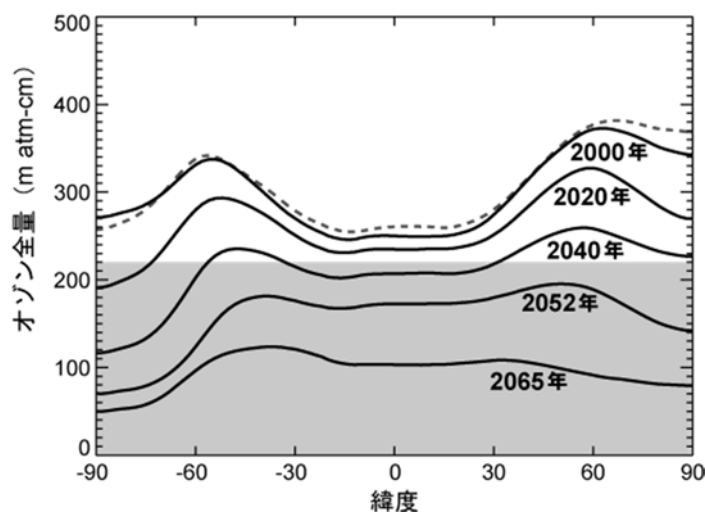


図 4-15 モントリオール議定書によるオゾン層の保護効果

モントリオール議定書によるオゾン層破壊物質の規制がないと仮定した場合のオゾン全量の予測を緯度帯別に平均したもの。破線は、ODS に対する規制を考慮したシナリオのもとで計算されたオゾン全量の緯度分布。網掛けは 220m atm-cm 以下の部分。

(出典) Scientific Assessment of Ozone Depletion: 2010 (WMO, 2011) より作成

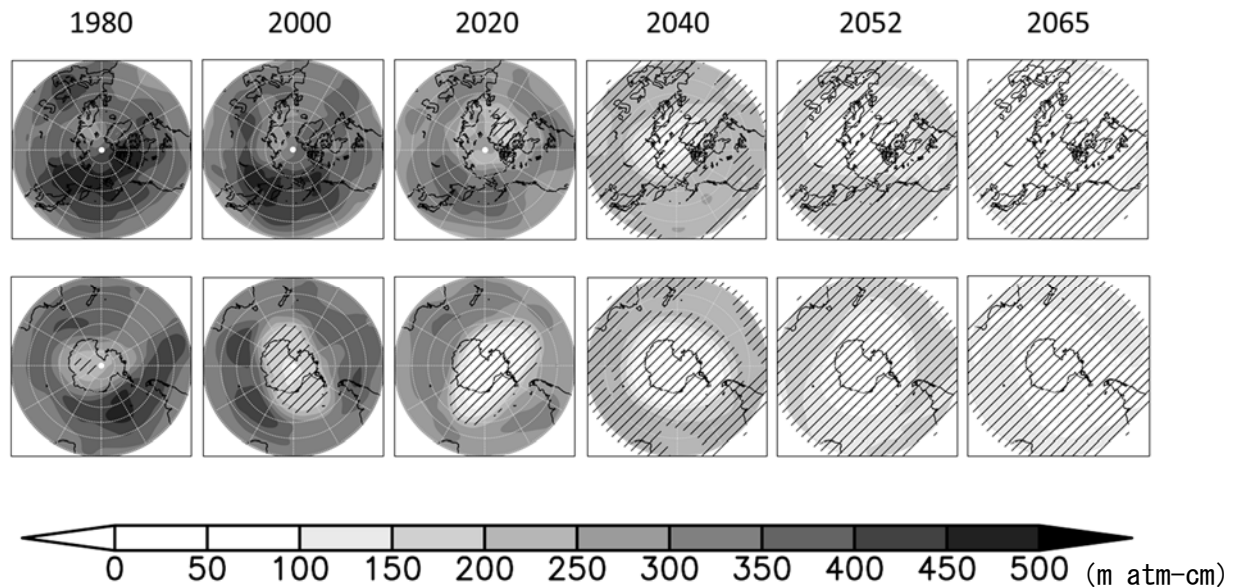


図 4-16 北半球中高緯度（上）および南半球中高緯度（下）のオゾン全量分布の経年変化

モントリオール議定書によるオゾン層破壊物質の規制がないと仮定した場合のオゾン全量の予測値の分布を濃淡で表す。北緯 45 度～90 度の 1 月～4 月および南緯 45 度～90 度の 9 月～11 月の領域と期間で、それぞれオゾン全量が最低値を示した日の分布を示す。濃淡のスケールの数字の単位は m atm-cm。オゾン全量が 220 m atm-cm 以下を示す領域を黒の斜線で示す。（出典）国立環境研究所秋吉英治氏提供データ

ODS に対する規制が取られなかった状況を仮定して計算されたオゾン全量の減少は、地上付近での太陽紫外線の増加にも大きな影響を与える。図 4-15 のシミュレーションに基づき、北半球中緯度の正午の UV インデックスを予測したものが図 4-17 である。これによれば、オゾン層破壊物質の規制が行われていなかったと仮定すると、2060 年には北半球中緯度帯の夏季の UV インデックスは現在の 2.5 倍に達すると予測されている。

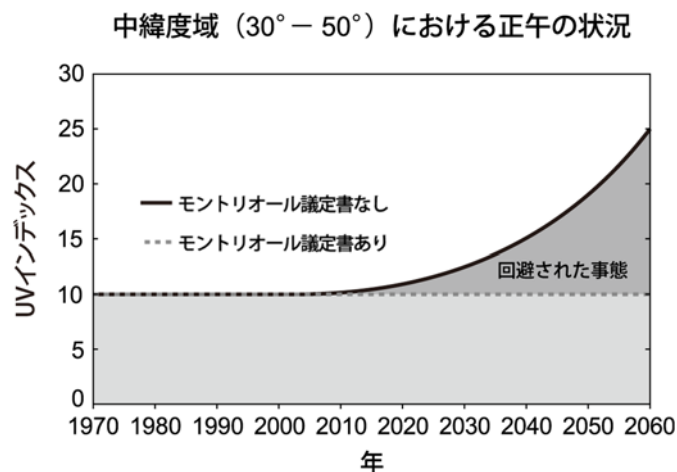


図 4-17 北半球中緯度帯の UV インデックスの予測（仮定）

実線はモントリオール議定書によるオゾン層破壊物質の規制がないと仮定した場合の UV インデックスの予測。北半球中緯度帯（北緯 30～50 度）における夏季（7 月 2 日）の正午を想定している。破線はモントリオール議定書によりオゾン層破壊物質が規制される場合の予測。UV インデックスの強度については、8～10 は「非常に強い」、11 以上は「極端に強い」強度とされている。

（出典）Scientific Assessment of Ozone Depletion: 2010 (WMO, 2011) 及び Environmental Effects of Ozone Depletion and Its Interactions with Climate Change: 2014 Assessment (UNEP-EEAP, 2015) をもとに作成

(2) モントリオール議定書による地球温暖化防止への貢献

オゾン層破壊物質である CFC は、オゾン層の破壊に関係しているだけでなく、二酸化炭素やメタン等と同様に、温室効果ガスという性質を持つ。モントリオール議定書によるオゾン層破壊物質の規制は、オゾン層保護だけではなく地球温暖化の防止にも貢献してきた。図 4-18 は地球温暖化係数で重み付けした放出量を示している。モントリオール議定書が締結された 1987 年時点の温室効果ガスとしての ODS の放出量は、二酸化炭素の量に換算すると約 9.3 億トンに相当し、当時の二酸化炭素放出量（約 21 億トン）のほぼ半分の量に相当していた。一方、図中の網掛け部分は、モントリオール議定書の実施により、温室効果ガスとして新たに放出されることを避けることが出来た ODS の量を示した部分である。2010 年現在、モントリオール議定書によって削減されたオゾン層破壊物質の放出量は、二酸化炭素の量に換算すると、1 年あたり約 100 億トンに相当する。これは、先進国の温室効果ガス排出量削減目標を定めた京都議定書の第一約束期間（2008～2012 年）の削減目標（二酸化炭素換算で 1 年あたり約 20 億トン）の 5～6 倍に相当する。

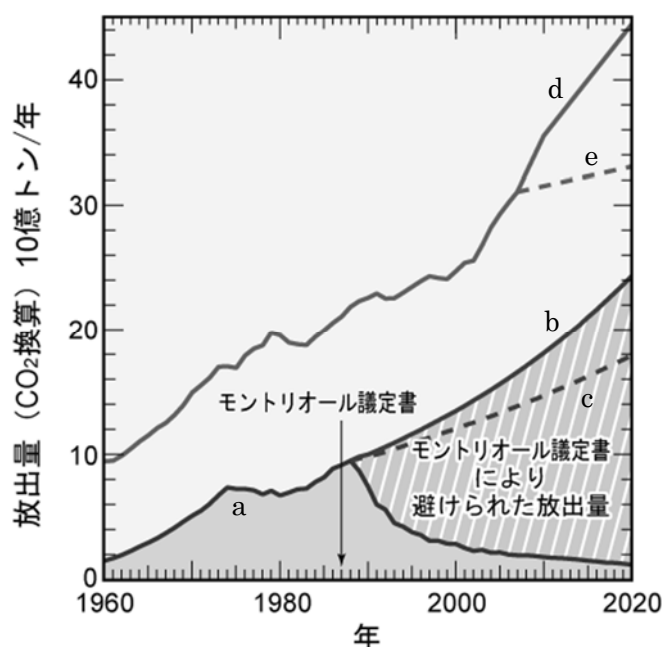


図 4-18 地球温暖化係数で重み付けした放出量（CO₂換算）

実線 a はオゾン層破壊物質を地球温暖化係数で重み付けして合計した世界の放出量であり、モントリオール議定書の効果により減少に転じていることが分かる。実線 b・破線 c は議定書による規制がなく、1987 年から毎年 3%増加したと仮定した場合（実線 b）と毎年 2%増加したと仮定した場合（破線 c）の放出量である。実線 d は二酸化炭素の放出量であり、2007 年までは世界の化石燃料使用量とセメント生産量から求められたものである。2007 年以降は、IPCC の排出シナリオに関する特別報告書（SRES）による二酸化炭素放出シナリオの最大を表す。破線 e は SRES シナリオのうち、最小の二酸化炭素放出量を表す。

（出典）Twenty Questions and Answers About the Ozone Layer: 2014 Update
Scientific Assessment of Ozone Depletion: 2014 (WMO, 2015) より作成

(3) HFCによる地球温暖化への影響

モントリオール議定書によるCFCやHCFC等の生産規制をうけ、オゾン層を全く破壊しないHFCが利用されている。しかし、HFCは強力な温室効果ガスであることが分かっており、京都議定書において削減対象となっている。図4-19はHFCの温暖化効果を示したものであり、二酸化炭素に比べて温暖化係数が高いことが分かる。

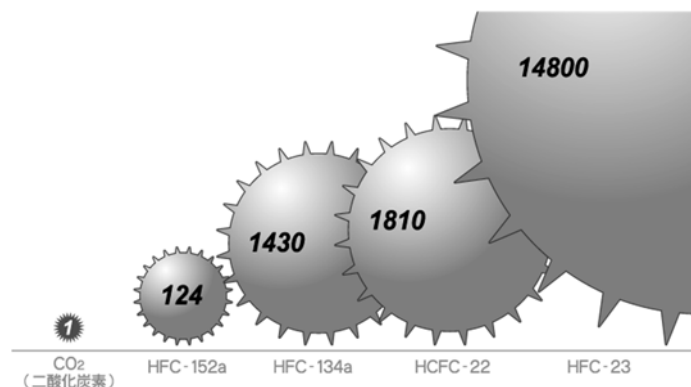


図4-19 HFCの地球温暖化係数

二酸化炭素を1とした場合のHFCの地球温暖化係数を示したもの。

(出典) IPCC 第4次評価報告書(2007)より作成

二酸化炭素に換算したHFCの放出量は年あたり8%の割合で増加しており、今後さらに加速すると予測されている(図4-20)。HFCの規制が行われないと仮定したシナリオによれば、地球温暖化係数を考慮した放出量は、2050年までに1988年のピーク時のCFCの50%を超えるようになり、温室効果に対するHFCの寄与が高まることが予測され、気候変化を通じたオゾン層への影響が考えられる。

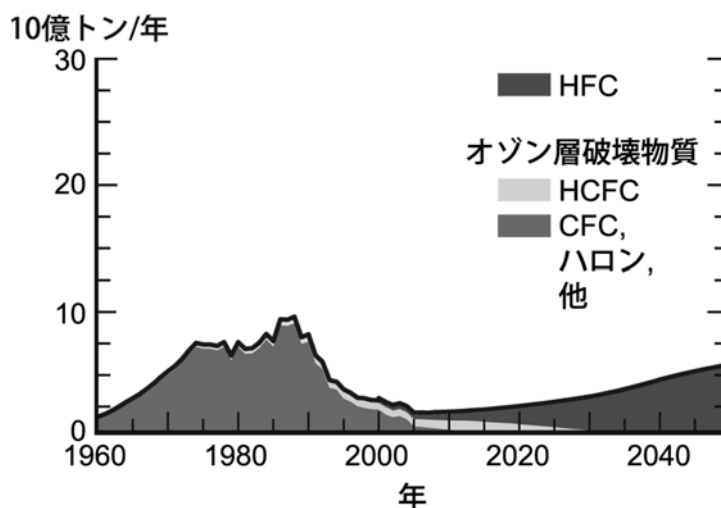


図4-20 地球温暖化係数で重み付けしたHFCの放出量予測

地球温暖化係数で重み付けしたHFC、HCFC及びCFCの放出量を示す。各物質の放出量にそれぞれの地球温暖化係数(直接効果のみ、評価期間100年で、二酸化炭素を1とする)を乗じて、二酸化炭素相当の放出量を求めた。HFCの「多」「少」の表示は、それぞれ予測シナリオの中の上限・下限を示す。

(出典) Twenty Questions and Answers About the Ozone Layer: 2014 Update
Scientific Assessment of Ozone Depletion: 2014 (WMO, 2015)より作成

2. WMO科学評価パネル報告書政策決定者向けアセスメント 要旨(2014年)*

オゾン層破壊の科学アセスメント：2014 Scientific Assessment of Ozone Depletion: 2014

政策決定者向けアセスメント 総括要旨 Executive Summary of the Assessment for Decision-Makers of the 2014 Ozone Assessment

これは2014年オゾンアセスメントの政策決定者向けアセスメントの総括要旨です。以下に続くアセスメントの5つの科学的な章における政策関連の主要な評価の研究結果が含まれています。

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。塩化メチル（CH₃CCl₃）、臭化メチル（CH₃Br）、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、想定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想定されるように、南極オゾンホールは毎春発生し続ける。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想定されたとおり大規模なオゾン層破壊がもたらされた。

* 気象庁「オゾン層・紫外線の年のまとめ（2014）」より引用、一部改変

訳注A 等価実効成層圏塩素（EESC）については、第1部3-1（b）（P15）脚注を参照。

- ・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年のレベルに回復するであろう。この回復は、中緯度帯と北極では今世紀中頃より前、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 (CO₂)、一酸化二窒素 (N₂O)、メタン (CH₄) 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CO₂、N₂O、CH₄に大きく依存するであろう。全般的に、CO₂とCH₄の増加は世界全体のオゾン量を増加させ、一方で増加するN₂O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より小さい。
- ・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、CO₂、N₂O、CH₄の増加による大気循環の変化^{訳注B}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CO₂換算で1年あたり約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）。^{※1}
- ・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）の排出量は、CO₂換算で年あたり合計約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。

訳注 B CO₂、N₂O、CH₄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。

※1 ここでいうCO₂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。

- ・ HFC類の現在の構成が変わらないとすると、増加する需要によってHFCの排出量はCO₂換算で2050年までに年あたり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CO₂換算で年あたり約95億トンにほぼ等しい。^{※2}
- ・ 地球温暖化係数（GWP）^{訳注C}の高いHFC類の使用をGWPの低い化合物、あるいは別の技術^{訳注D}に置き換えることは、本質的にCO₂換算の排出量を抑制することに相当する。
- ・ 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において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を見積もるためには、TFAの環境残留性とHFO類の将来利用の不確定性による将来への影響の評価が必要かもしれない。
- ・ 2050年までに、HFCの貯蔵物はCO₂換算で650億トンに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。

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（CCl₄）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”^{訳注E}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の排出の相対的な寄与は、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、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

※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。

訳注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。

訳注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。

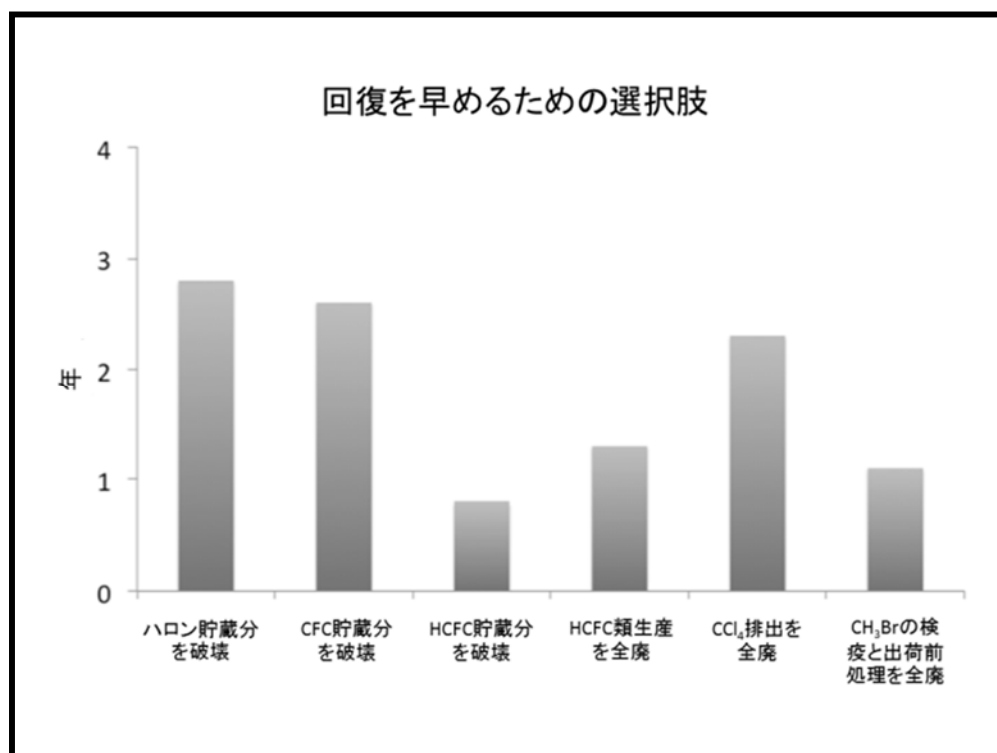
訳注E ここでいう臭化メチルの検疫用途とは、検疫有害動植物(病気を含む)の進入、定着および拡散を防止するための用途、もしくはそれらの公的な管理を確保するための用途である。出荷前用途とは、輸入国の植物衛生上もしくは衛生上の要求に適合するため、もしくは輸出国の植物衛生上もしくは衛生上の要求に適合するため、輸出前および輸出に関係して直接適用される処置である。（UNEP, 2012）

の主な源である一酸化二窒素（ N_2O ）が将来のオゾン層破壊において重要性を増すだろう。

- ・ 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、火山の大噴火やジオエンジニアリング活動^{訳注F}による成層圏の硫酸エアロゾルの大規模な増加が起これば、地球の大部分で大規模なオゾン層の化学的な破壊をもたらすだろう。

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 F ここでは地球温暖化緩和のため、大気中に SO_2 などを放出することを指している。

3. UNEP 環境影響評価パネル報告書要旨(2014年)*

オゾン層破壊と気候変化との相互作用による環境影響：2014 アセスメント
 Environmental Effects of Ozone Depletion and its Interactions with
 Climate Change: 2014 Assessment

総括要旨

Executive Summary

※本資料では、和訳の後に原文（英語）を併記しているが、最終版では和訳のみの掲載となる。

※語句・用語の統一など：「ばく露」（＝「曝露」だが左記で統一。×暴露、×曝露）

「気候変化」（長期的な傾向を示す場合。短期的な変動や、条約等における正式名称で使う場合は「気候変動」もあり得る（例：『気候変動に関する国際連合枠組条約』等）。

オゾン層破壊と気候変化

・モントリオール議定書は引き続き効果を上げている。「オゾン層を破壊する物質に関するモントリオール議定書」の科学アセスメントパネルは、規制されているほとんどのオゾン層破壊物質（ODS）の大気中存在量が減少していると結論づけている。世界的にオゾン層が ODS による破壊から回復しつつあることを示すいくつかの兆候がある。しかしながら、大気の変動や気候変化の影響といった要因も考えうるため、観測されている 2000 年以降の全球オゾンの増加の原因を、同時期に進んでいる ODS の減少によるものと確実に帰するとは言いがたい。南極大陸では大規模なオゾン層破壊が毎年発生している。北極では、オゾン層破壊は概して南極に比べて顕著ではないが、変動が大きい。2010 年春には非常に高い成層圏オゾン濃度が観測されたが、続く 2011 年の春には過去最低の値を記録した。

・モントリオール議定書がオゾン層破壊を限定な規模に留めることに成功していることから、1990 年代半ばから多くの地点で測定されている UV-B 放射照度の変化は主にオゾン以外の要因によるものである。北半球中緯度域のいくつかの地点では、10 年間で 5～10% の UV-B（280～315nm）放射照度の増加が報告されている。これらは主に雲量およびエアロゾルの減少によって生じたものである。しかしながら、北半球高緯度域のいくつかの地点では、主に積雪量または氷量の減少により、同じ期間に UV-B 放射照度が低下している。自然変動が大きいいため、観測からは、成層圏オゾン濃度の安定化や回復の兆しに対応した UV-B

* 環境省による仮訳

放射照度の変化は検出されていない。

・高緯度域での一時的なオゾン減少の影響により、UV-B 放射照度が短期的に大幅に増加しているのが測定された場所もあった。例えば、北極圏およびスカンジナビアのいくつかの地点では、2011 年春の北極でのオゾン濃度低下により、オゾン濃度が低下した時期の紅斑紫外線量の平均値が 40～50%増加した。同時期に中央ヨーロッパでは、約 25%増加したと見積もられる。

・高緯度域での将来の UV-B 放射照度は、成層圏オゾンの回復および雲量や地表反射率の変化によって決まるであろう。南極では、オゾン層の回復が継続されると、2100 年には正午の平均 UV インデックス (UVI) が最大 40%まで減少すると推定されている。この減少は、オゾン層破壊によってこれまでに生じた UVI の増加と同等である。北半球高緯度域では、雲量の増加も予想されるため、UVI は最大 7%減少すると推定される。氷の融解による地表反射率の低下は継続的に UVI の減少に貢献し、それにより南極大陸の縁辺部で最大 3%、北極では最大 10%まで UVI が減少することが見込まれるが、これらの影響の規模の信頼性は低い。

・モントリオール議定書は引き続き効果的に実施されており、極域以外の地域の UV-B 放射照度の将来的変化は、オゾン以外の要因の変化に左右される可能性が高い。21 世紀の終わりまでにオゾン層の回復が UV-B 放射照度に与える効果は非常に小さく、UVI の減少は 0～5%にとどまるであろう。それに加え、予想される雲量の増加による UVI の減少は最大 3%減少と推定されている。UVI の将来的変化は、エアロゾルの減少に左右される可能性が高く、特に人口密度が高い地域では (エアロゾルの減少は) UVI の増加をもたらすであろう。例えば、アジアの諸地域では、20 世紀後半に生じたであろう UVI の大幅な減少から一転して、UVI は最大 40%まで増加すると推定されている。エアロゾルの推定量および光学特性、そして排出ガス規制に関する将来の政策の不確実性ゆえに、このようなエアロゾル効果の信頼性は非常に低い。

人の健康

・多くの白色人種で、健康に重大な影響を及ぼすのは、おそらくオゾン層破壊による UVB 放射照度の増加よりも、日光暴露に関わる行動様式の変化のほうが大きい。日照の多い地域への休暇旅行の増加、身体を覆う部分が少ない服の着用、日に焼けた肌になりたいという願望といったものはすべて、個人の UV-B 放射に対するばく露量が数十年前と比べて増加している要因となっている可能性が高い。このような行動様式の変化は、人の健康に悪い影響と良い影響の両方をもたらす。

・過度の UV-B ばく露で直後に顕れる悪影響としては、皮膚の日焼けおよび眼の炎症（日光性結膜炎もしくは日光性角膜炎）が挙げられる。長期間の日常の低線量の日光ばく露、もしくは繰り返し高線量の日光ばく露を受けることで生じる症状としては、黒色腫および非黒色腫皮膚がん（基底細胞がんおよび有棘細胞（扁平上皮細胞）がん）、そして眼の白内障および翼状片（結膜の腫瘍）が挙げられる。上記のそれぞれの皮膚がんの罹患率は 1960 年代から白色人種の間で著しく増加してきたが、近年いくつかの国では効果的な公衆衛生キャンペーンのおかげで若年層の罹患率は安定している。白内障は世界的に失明の最大の原因となっている。

・皮膚の太陽紫外線放射へのばく露の良い影響としてもっともよく知られているのは、ビタミン D の合成である。ビタミン D は血液中のカルシウム濃度を維持する働きをもち、骨を強くするために必要である。日光ばく露により皮膚がどれだけ効率的にビタミン D を生成するかは人によって異なり、またおそらくビタミン D の生理的必要性も人によって異なる。ビタミン D の欠乏は、がん、自己免疫疾患、感染症といった様々な病気に罹るリスクを高める可能性がある。低ビタミン D 値がそれらの病気の原因であるのか、またはそれらの病気の結果として生じるのか、もしくは健康障害を引き起こす他の要因の指標であるのかは現在のところ判明していない。

・太陽の紫外線放射への過剰ばく露を避ける方法としては、屋内で過ごす、日陰に避難する、UV カットの服や縁のついた帽子、サングラスを着用する、サンスクリーン剤（日焼け止め）を塗る、などがある。これらの方法を用いて、日光ばく露の有害な影響と良い影響のバランスをとるようにするとよい。推奨される屋外活動時間は、肌の色、年齢、服装といった個人的な要因、さらには場所、時間帯、季節といった環境的な要因に応じて、個人ごとに異なるため、実際にはそのようなバランスを達成することは難しいだろう。個人差がある中で、それぞれの人にとって最適なビタミン D 値、そしてそれを達成するのに必要な日光ばく露の量およびパターンを定義するには、現在のところ不確実性が伴う。そのため、現段階で、一般大衆に向け適切なメッセージを発信するのは容易ではない。

・気候変化は人々の日光ばく露に関わる行動に影響を与える可能性があるが、そのインパクトは季節や場所によって差がある。例えば、気温が上昇することで、すでに暑い気候のところでは屋外で過ごす時間が減少するが、涼しい気候の場所では屋外で過ごす時間が増えるであろう。

陸域生態系

・UV-B 放射が植物に与える効果はさまざまな非生物的要因および生物的要因に左右され、植物生産性および生態系の機能に正負の影響および負の影響を及ぼす。オゾン層破壊、UV-

B 放射へのばく露増加、および気候変化は生物系に影響を与え、その結果多様なフィードバックや影響の複雑性が生じる。南半球の中／高緯度域では、オゾン層破壊の結果生じる紫外線放射の増加により、植物生産性がわずかに低下した可能性がある。一方で、UV-B 放射へのばく露は、植物の耐寒性を強め、草食動物や病原体への抵抗力を高めうる。また、農産物および園芸産物の質を向上させたり、生産量を増加あるいは減少させたりしうるため、その結果として食料安全保障に関わりうることになる。

・UV-B 放射へのばく露は、一般的な気候や植物リター（落葉落枝）の化学的性質および構造に応じて、リターの分解速度を速めたり遅くすることがありうる。乾燥生態系および半乾燥生態系（草原、サバンナ、および砂漠）では、概して光分解が植物リターの分解速度を速めるため、分解の重要な推進力であるとみなされている。ただし、その地域規模および地球規模での生物地球化学的重要性を定量化するには不確実性が伴う。UV-B、UV-A（315-400nm）および可視光放射へのばく露による植物リター分解の変化は、炭素や他の栄養素の循環および貯留に影響を及ぼしうる。

・太陽の紫外線放射は、植物、植物リターおよび土壌表面からの一酸化炭素、二酸化炭素、メタン等の揮発性有機化合物の放出を促進することで気候変化に関与する可能性を有している。微量ガスの排出メカニズムおよび排出源が、植物や生態系において確認されている。紫外線放射は他の非生物的要因、特に温度と共に放出を促進する。放出の規模、速度、分布様式については、現在のところ依然として不確実性が高い。このような紫外線放射のプロセスは大気放射収支（放射強制力）に影響を与え、その結果、気候変化を生じさせる微量ガスの放出を増大させうる。

・UV-B 放射は土壌中かなりの深さまで到達することはないが、地上に出ている植物の部位や微生物および植物リターを変化させることで、地中のさまざまなプロセスに影響を与える。このことは、植物根、微生物、土壌動物および周辺植物の相互作用を変化させ、土壌肥沃度、炭素貯留、植物生産性および種組成に影響を及ぼす可能性を含んでいる。

・南半球の陸域生態系は南極のオゾンホールの影響を受けている。これにより生じた降雨パターンの変化は、ニュージーランド東部での樹木成長の増進や南アメリカ南東部の農業拡大といった生態系の変化と関連があるとされている。反対に、パタゴニアや南極大陸東部での樹木や苔床の成長低下は、利用可能な水資源量の減少と関連付けられている。従って、これらの地域においてオゾン層破壊が陸域生態系に与える影響を十全に理解するためには、紫外線放射と気候変化をともに考慮に入れる必要がある。

水圏生態系

・気候変化と紫外線放射は、植物プランクトンの生産性および海洋生態系の種組成に影響

を与える。植物プランクトン（一次生産者）は、太陽の UV-B 放射の増加および急激な地域的气候変化により南極半島の西岸で減少している。気候変化と関連している周期的に起こる海氷域の生物活動の変化、および光や栄養塩の供給量の変化は、種組成に影響を与える可能性がある。生物は、修復機構または紫外線吸収化合物の生成により、UV-B 放射による損傷を軽減する。

・気候変化と紫外線放射との相互作用は水圏生態系に強い影響を及ぼしており、温度、紫外線放射、温室ガス濃度間のフィードバックによって水圏生態系は将来変化するであろう。気温の上昇により、多くの湖や海洋の表面温度が上昇している。地域によっては、大型湖の表面温度が気温の二倍の速度で上昇しているところもある。多くの海洋生態系の種組成および分布が、海洋の温度上昇によって変化する可能性がある。その他にも、珊瑚などの生物は、温度上昇によってそれ以外のストレス要因への耐性が変化する可能性がある。また、このような温度上昇は生物の温度適応活動範囲を極方向へと移動させ、群落構造の変化を引き起こす可能性がある。

・海洋の温度上昇の結果、成層が強化され、表層混合層深度が減少する。表層混合層深度の減少によって、そこに生息する生物は太陽の可視放射および紫外線放射により多く曝されることになる。その露量はそれらの生物の保護・修復能力を上回る可能性がある。また、成層の発達には深層から水温躍層を通過して表層に運ばれる栄養塩の量を減少させる。温度上昇の結果、極水域では氷下および氷縁周辺で植物プランクトンが爆発的に成長する。

・大気中の CO₂ 濃度上昇による海洋の酸性化は引き続き生じており、海洋の化学環境が変化して海洋生物に影響を与えている。酸性化によって、生物（植物プランクトン、大型藻類、および軟体動物、動物プランクトン、珊瑚を含む多くの動物など）が捕食者や太陽の紫外線放射から身を守るための外骨格を生成する石灰化プロセスが阻害される。この結果、それらの生物は紫外線放射に対してより敏感になるため、石灰化はさらに起こりにくくなり、バイオマス生成量が減少する。

・気候変化によって、陸水および沿岸水の溶存有機物（DOM）濃度が上昇することで、紫外線放射の透過深度は減少する。極度の降雨現象が増加し陸生植物の成長が増進されることで、紫外線を吸収する DOM が陸地から流入する量が増える。これにより、いくつかの侵入種を含む紫外線に敏感な生物の避難場ができる。また、紫外線放射の透過量の低下は、ウイルス、病原体および寄生生物が生息する表層水の自然殺菌作用を低下させる。

生物地球化学的循環

・気候変化は、陸域生態系および水圏生態系の生物地球化学的循環に対する太陽の紫外線

放射の影響を調節し、結果的に紫外線を媒介とする正負の気候フィードバックを生じさせる。例えば、光化学誘発（photochemical priming）が重要な役割を占める場合には、気候変化により大陸の河川流出および氷の融解に変化が生じると、結果として紫外線および微生物による溶存有機物（DOM）の分解と二酸化炭素（CO₂）の排出が増加される。このような正のフィードバックは特に北極圏で顕著であり、結果的に北極圏ではCO₂の排出が増大している（次節を参照）。

・太陽の紫外線放射は、北極海域から相当な量の二酸化炭素が生成される推進力となっている。二酸化炭素の生成量は、降雨量、氷の融解、雪、永久凍土層などの変化により増加する。これらの変化によって、より多くの有機物が陸地から北極の河川、湖および海洋に流れ込むためである。太陽の紫外線放射はそれらの有機物を分解させ、それによって直接的にも、また微生物分解の促進されることによって、水体からの二酸化炭素および一酸化炭素の排出が刺激される。新しい研究結果により、北極圏からのCO₂排出は最大40%がこの発生源から来ていることが明らかにされている。この結果はそれまでの推定値を大幅に上回る値である。

・南極のオゾンホールに関する気候変化としては、南半球全体に及ぶ風のパターン、温度、および降雨量の変化が挙げられる。風力が増すことで、炭素を豊富に含む深層水の風による湧昇が増進し、また南大洋による大気中のCO₂の吸収は減少するため、海洋の潜在的な炭素吸収源としての働き（炭素吸収能力）は低下する。また、風力の増進によって、より多くの砂塵が南アメリカの乾燥地域から海洋や南極大陸へと運ばれる。その結果、海洋では、鉄肥沃化が促進され、プランクトンやオキアミの数が増加する。南極大陸では、砂塵に新規微生物の胞子が含まれている可能性があるため、非固有種の侵入リスクが高まる。また、オゾンホールは東南極大陸の温度を低く保つのに役立つが、反対に南極沿海域においては、地球上で最も温暖化の進行が速い地域のひとつとなる原因となっている。これらの気候に関するオゾン層破壊の生態系への影響は、紫外線放射の変化との相互作用により、現在転換点を迎えている可能性がある。

・炭素循環は、干ばつの植物への影響と地表の紫外線放射強度の植物への影響との相互作用に強い影響を受ける。気候変化および重度の干ばつにより乾燥が進行することで、植物（植被）量に変化が生じ、この植被量の変化（減少）が植物リター（落葉落枝）の紫外線による分解を増進する。こうした損失の増大は、乾燥生態系の陸域炭素循環に大きな影響を与える。

・すべての陸生植物に含まれるリグニンは、炭素循環において、大気中の炭素を多年性植物の組織に隔離するという重要な役割を果たす。リグニンが植物リター（落葉落枝）の成分の

なかで生物的分解に対する耐性が最も高いものの一つであることはよく知られているが、新しい研究結果によってリグニンは太陽紫外線放射へのばく露によって簡単に分解するということが判明した。従って、植物リターの紫外線による分解はリグニン含有量と関連があり、陸域システムにおける長期的な炭素貯留を減少させる。

大気質

・主に地上オゾンと粒子状物質から成る光化学スモッグの生成に紫外放射が欠かせない。最近の分析は、劣悪な室外大気質は深刻な環境ハザードであるとする先行研究を支持している。これらの汚染物質へのばく露増加は、ヒトの心臓血管および呼吸器疾患のリスク増大と関連付けられており、世界中で年間数百万件に上る早期死亡の原因となっている。また、オゾンは農作物の収穫量にも悪影響を及ぼし、年間数十億 US ドルの損失につながっている。これらの有害な影響は、生物的多様性を変化させ、自然生態系の機能に影響を与える可能性もある。

・将来の大気質は、主に汚染物質およびその前駆物質の排出の変化に左右されるだろう。また、紫外放射の変化および気候変化も影響を及ぼすだろう。主にエネルギーおよび輸送の分野からの排出の大幅削減によって、多くの地域で大気質は改善されつつある。大気質は、規制を実施できる都市／州では改善が進み、規制基盤の整っていない地域では悪化が進むだろう。紫外放射および気候の将来的変化は、地上オゾンおよび粒子状物質の生成速度に変化をもたらすと考えられるため、大気質ならびにそのヒトの健康および環境衛生に与える影響を予測するには考慮する必要がある。

・全球大気モデルを用いた最近のシミュレーションによれば、成層圏オゾンの回復に伴う紫外放射の減少は広範な地理的スケールで地上オゾンの増加をもたらすと予想される。このシミュレーションが正しければ、地上オゾンの将来動向に大きく影響するであろう。しかしながら、(シミュレーション結果を) 政策立案に向けての情報とするには、とりわけ都市部に対して、これらのモデルの空間分解能は不十分である。

・紫外放射は大気の自浄作用を司る OH ラジカルの大気中濃度に影響を与える。最近の観測から、OH ラジカルは、局所的規模では紫外放射の変化に迅速に応答することが確認されている。しかしながら、大きなスケール(地球規模)では、モデルによって OH ラジカル濃度の予測結果が 2 倍近く異なるため、温室ガスや主要な大気汚染物質の大気寿命や濃度の推定には不確実性が伴う。将来の気候の予測に際しては、これらの不確実性を考慮する必要がある。

・オゾン層破壊物質の代替物およびその分解生成物が、環境へ悪影響を与えるという新たな

な事実は発見されていない。しかしながら、いくつかのオゾン層破壊物質の代替物に関しては、濃度が現在のレベルより高まれば地球の気候変化に影響を与えると思われる。

材料

・環境的に持続可能な材料を建築物に用いる傾向が高まりつつあるため、木材および木材・プラスチック複合材の使用が増加している。しかしながら、このような傾向にもかかわらず、建築物に最も多く使用されるプラスチックである硬質 PVC（ポリ塩化ビニル）の使用は、少なくとも中期的には依然として人気がある。PVC の加工を容易にし、環境に優しくするための改良は現在開発中である。太陽の紫外線放射および気候変化が PVC 建材の寿命に与える影響は、引き続き関心を集めている。

・海洋において、海辺のプラスチックごみの風化によるマイクロプラスチック破片の形成に太陽の紫外線放射が果たす役割は、新たな環境問題となりつつある。このマイクロプラスチックの粒子は海水に溶解した有毒化学物質を濃縮し、動物プランクトンがそれを摂取することにより海洋食物網に汚染物質を取り込むメカニズムが形成される潜在的可能性を有している。このプロセスに関する詳細な研究はこれまでなされていないが、マイクロプラスチックの生成は、太陽の UV-B 放射レベルが高いとき、または温度が上昇しているとき、もしくはその二つの条件が重なったときに増進すると考えられる。

・ナノスケール無機充填剤は、従来のコーティング用充填剤やプラスチック用充填剤と比較して、太陽紫外線放射に曝されても高い安定性を保つことができる。コーティング用のナノ粒子充填剤、とりわけ木材塗装用のクリアコーティングや織物の繊維コーティングもまた安定性を高めるのに役立つ。ルチルミネラルなどの紫外線放射を吸収するナノ粒子については、この安定化の効果は特に顕著である。しかしながら、プラスチックにおけるナノ充填剤の有効性はそれほど明らかにはなっておらず、その効力を評価するためにはさらなる情報が必要である。ナノ充填剤は、ポリマーや木材由来の製品を安価で安定化させる手段を提供し、紫外線放射や気候変化による劣化を生じにくくさせることでサービス寿命を向上させる可能性を有している。

・衣類やガラスによって太陽の紫外線放射へのばく露から身体を保護することができる。織物は太陽紫外線放射への身体へのばく露を遮蔽し、ガラスは通常主に UV-B 放射を遮蔽する。特定の織物の効果は織り方の特性によって決まるが、紫外線吸収材を用いた繊維で表面加工をすることで効果を高めることができる。現在開発が進められている熱特性を向上させた窓ガラスは、結果的に紫外線放射のフィルター効果も向上させており、人体の健康および建築物の屋内構造物や芸術品にもよい影響をもたらす。

4. 参考文献

- 環境省. 2009. 化学物質ファクトシート (2012年度版).
<http://www.env.go.jp/chemi/communication/factsheet.html>
- 環境省. 2008. 紫外線環境保健マニュアル. 45p.
- 環境省. 2006. 平成17年度フロン等オゾン層影響微量ガス等監視調査.
- 環境省. 2015. 平成26年度フロン等オゾン層影響微量ガス等監視調査.
- 環境省. 2016. 平成27年度フロン等オゾン層影響微量ガス等監視調査.
- 環境省. 2017. 平成28年度フロン等オゾン層影響微量ガス等監視調査.
- 気象庁. 1993-2011. オゾン層観測報告.
- 気象庁. 2013. オゾン層・紫外線の年のまとめ (2011年).
- 気象庁. 2013. オゾン層・紫外線の年のまとめ (2012年).
- 気象庁. 2013. オゾン層・紫外線の年のまとめ (2014年).
- 気象庁. 2017. オゾン層・紫外線の年のまとめ (2016年).
- 気象庁. 2002. 大気・海洋環境観測報告 (2000年観測成果). 157p.
- 国立環境研究所. 2011. 10. 3. 2011年春季北極上空で観測史上最大のオゾンが破壊—北極上空のオゾン破壊が観測史上初めて南極オゾンホールに匹敵する規模に— (プレスリリース).
<http://www.nies.go.jp/whatsnew/2011/20111003/20111003.html>
- 永島達也、高橋正明. 2002. 成層圏オゾン層の将来見通し—化学気候モデルを用いた評価. 天気 49巻 11号:937-944.
- ハロン等抑制対策連絡会. 2012. ハロン等抑制対策に関する報告書 (平成23年度).
- Bloom AA, Lee-Taylor J, Madronich S, Messenger DJ, Palmer PI, Reay DS, McLeod AR. 2010. Global methane emission estimates from ultraviolet irradiation of terrestrial plant foliage. *The New Phytologist* 187:417-425.
- CGER. 2007. CGER's supercomputer activity report vol14-2005. 154 p.
- Chipperfield MP, Feng W. 2003. Comment on: Stratospheric ozone depletion at northern mid-latitudes in the 21st century: The importance of future concentrations of greenhouse gases nitrous oxide and methane. *Geophysical Research Letters* 30 (7), 1389:3p. doi:10.1029/2002GL016353.
- Corr CA, Krotkov N, Madronich S, Slusser JR, Holben B, Gao W, Flynn J, Lefer B, Kreidenweis SM. 2009. Retrieval of aerosol single scattering albedo at ultraviolet wavelengths at the T1 site during MILAGRO. *Atmospheric Chemistry and Physics* 9:5813-5827.
- Engel A, Möbius M, Bönisch H, Schmidt U, Heinz R, Levin I, Atlas E, Aoki S, Nakazawa T, Sugawara S, Moore F, Hurst D, Elkins J, Schauffler S, Andrews A, Boering K. 2009. Age of stratospheric air unchanged within uncertainties over the past 30 years. *Nature Geoscience* 2:28-31.

- Estupinan G, Raman S, Crescenti GH, Streicher JJ, Barnard WF. 1996. Effects of clouds and haze on UV-B radiation. *Journal of Geophysical Research* 101:16807-16816.
- Ferretti DF, Miller JB, White JWC, Lassey KR, Lowe DC, Etheridge DM. 2007. Stable isotopes provide revised global limits of aerobic methane emissions from plants. *Atmospheric Chemistry and Physics* 7:237-241.
- Hadjinicolaou P, Pyle JA, Harris NRP. 2005. The recent turnaround in stratospheric ozone over northern middle latitudes: A dynamical modeling perspective. *Geophysical Research Letters* 32:12821. doi:10.1029/2005GL022476.
- Hayashi LC, Hayashi S, Yamaoka K, Tamiya N, Chikuda M, Yano E. 2003. Ultraviolet B exposure and type of lens opacity in ophthalmic patients in Japan. *Science of the Total Environment* 302:53-62.
- Hofzumahaus A, Rohrer F, Lu KD, Bohn B, Brauers T, Chang CC, Fuchs H, Holland F, Kita K, Kondo Y, Li X, Lou SR, Shao M, Zeng LM, Wahner A, Zhang YH. 2009. Amplified trace gas removal in the troposphere. *Science* 324:1702-1704.
- Hurwitz MM, Newman PA, Garfinkel CI. 2011. The Arctic vortex in March 2011: a dynamical perspective, *Atmospheric Chemistry and Physics* 11:22113-22127.
- Keppler F, Hamilton JTG, Brass M, Rockmann T. 2006. Methane emissions from terrestrial plants under aerobic conditions. *Nature* 439:187-191.
- Lelieveld J, Butler TM, Crowley JN, Dillon TJ, Fischer H, Ganzeveld L, Harder H, Lawrence MG, Martinez M, Taraborrelli D, Williams J. 2008. Atmospheric oxidation capacity sustained by a tropical forest. *Nature* 452:737-740.
- Manney GL, Santee ML, Rex M, Livesey NJ, Pitts MC, Veefkind P, Nash ER, Wohltmann I, Lehmann R, Froidevaux L, Poole LR, Schoeberl MR, Haffner DP, Davies J, Dorokhov V, Gernandt H, Johnson B, Kivi R, Kyrö E, Larsen N, Levelt PF, Makshtas A, McElroy CT, Nakajima H, Parrondo MC, Tarasick DW, von der Gathen P, Walker KA, Zinoviev NS. 2011. Unprecedented Arctic ozone loss in 2011 echoed the Antarctic ozone hole. *Nature* 478:469-475.
- Matsunaga SN, Guenther AB, Potosnak MJ, Apel EC. 2008. Emission of sunscreen salicylic esters from desert vegetation and their contribution to aerosol formation. *Atmospheric Chemistry and Physics* 8:7367-7371.
- Messenger DJ, McLeod AR, Fry SC. 2009. The role of ultraviolet radiation, photosensitizers, reactive oxygen species and ester groups in mechanisms of methane formation from pectin. *Plant, Cell and Environment* 32:1-9.
- Miyagawa K, Sasaki T, Nakane H, Petropavlovskikh I, Evans RD. 2009. Reevaluation of long-term Umkehr data and ozone profiles at Japanese stations. *Journal of Geophysical Research* 114.D07108. doi:10.1029/2008JD010658.
- Muto J, Kuroda K et al. 2007. Accumulation of elafin in actinic elastosis of sun-damaged skin: Elafin binds to elastin and prevents elastolytic degradation. *J Invest Dermatol* 127:1358-1366,
- Neale PJ, Kieber DJ. 2000. Assessing biological and chemical effects of UV in the marine environment: Spectral weighting function. In Hester, R.E. & Harrison, R.M (Eds.), *Causes and Environmental Implications of Increased UV-B radiation* (61-83). Cambridge: Royal society of Chemistry. 61-84.
- NOAA. 2005. Northern hemisphere winter summary 2004-2005. http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/stratosphere/winter_bulletins/nh_04

05/index.html

- Pageon H, Zucchi H, et al. 2015 Biological effects induced by specific advanced glycation end products in the reconstructed skin model of aging. *BioRes Open Access* 4:54-64,
- Polvani LM, Waugh DW, Correa GJP, Son SW. 2011. Stratospheric Ozone Depletion: The Main Driver of Twentieth-Century Atmospheric Circulation Changes in the Southern Hemisphere. *Journal of Climate* 24:795-812.
- Raivonen M, Bonn B, Sanz MJ, Vesala T, Kulmala M, Hari P. 2006. UV-induced NO_y emissions from Scots pine: Could they originate from photolysis of deposited HNO₃? *Atmospheric Environment* 40:6201-6213.
- Raivonen M, Vesala T, Pirjola L, Altimir N, Kerone P, Kulmala M, Hari P. 2009. Compensation point of NO_x exchange: Net result of NO_x consumption and production. *Agricultural and Forest Meteorology* 149:1073-1081.
- Ravishankara AR, Daniel JS, Portmann RW. 2009. Nitrous Oxide (N₂O): the dominant ozone-depleting substance emitted in the 21st Century. *Science* 326:123-125.
- Reinsel GC, Weatherhead EC, Tiao GC, Miller AJ, Nagatani RM, Wuebbles DJ and Flynn LE. 2002. On detection of turnaround and recovery in trend for ozone. *Journal of Geophysical Research* D107, doi:10.1029/2001JD000500.
- Saito, T., Fang, X. Stohl, A., Yokouchi, Y., Zeng, J., Fukuyama, Y., Mukai, H. (2015): "Extraordinary halocarbon emissions initiated by the 2011 Tohoku earthquake", *Geophysical Research Letters*, 42, 2500-2507.
- Sakazaki T, Fujiwara M, Mitsuda C, Imai K, Manago N, Naito Y, Nakamura T, Akiyoshi H, Kinnison D, Sano T, Suzuki M and Shiotani M. 2013. Diurnal ozone variations in the stratosphere revealed in observations from the Superconducting Submillimeter-Wave Limb-Emission Sounder (SMILES) on board the International Space Station (ISS). *Journal of Geophysical Research*, 118:2991-3006, doi:10.1002/jgrd.50220.
- Sakazaki T, Shiotani M, Suzuki M, Kinnison D, Zawodny JM, McHugh M, and Walker KA. 2015. Sunset-sunrise difference in solar occultation ozone measurements (SAGE II, HALOE, and ACE-FTS) and its relationship to tidal vertical winds. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 15:829-843.
- Sasaki M, Takeshita S, Oyanagi T, Miyake Y, Sakata T. 2002. Increasing trend of biologically active solar ultraviolet-B irradiance in mid-latitude Japan in the 1990s. *Optical Engineering* 41 (12):3062-3069.
- Solomon, S., Ivy, D. J., Kinnison, D., Mills, M. J., Neely III, R. R. and Schmidt, A., 2016: Emergence of healing in the Antarctic ozone layer. *Science*, 10.1126/science.aae0061.
- Son SW. et al. 2010. Impact of stratospheric ozone on Southern Hemisphere circulation change: A multimodel assessment. *Journal of Geophysical Research*. 115.D00M07. doi:10.1029/2010JD014271.
- Son SW, Polvani LM, Waugh DW, Birner T, Akiyoshi H, Garcia RR, Kinnison D, Pawson S, Rozanov E, Shepherd TG, Shibata K. 2008. The impact of stratospheric ozone recovery on the Southern Hemisphere westerly jet. *Science* 320:1486-1489.
- Tanimoto H. 2009. Increase in springtime tropospheric ozone at a mountainous site in Japan for the period 1998-2006. *Atmospheric Environment* 43:1358-1363.
- Tatarov B, Nakane H, Park ChB, Sugimoto N, Matsui I. 2009. Lidar observation of long-term trends and variations of stratospheric ozone and temperature over Tsukuba,

- Japan. *International Journal of Remote Sensing* 30, 15:3951-3960.
- Thompson DWJ, Solomon S. 2002. Interpretation of recent Southern Hemisphere climate change, *Science* 296:895-899.
- UNEP. 1989. Environmental effects panel report.
- UNEP. 1995. Environmental effects of ozone depletion: 1994 assessment.
- UNEP. 1999. Environmental effects of ozone depletion: 1998 assessment.
- UNEP. 2003. Environmental effects of ozone depletion and its interactions with climate change: 2002 assessment..
- UNEP. 2005. Production and consumption of ozone depleting substances under the Montreal Protocol 1986-2004.
- UNEP. 2007. Environmental effects of ozone depletion and its interactions with climate change: 2006 assessment.
- UNEP. 2011. Environmental effects of ozone depletion and its interactions with climate change: 2010 assessment.
- UNEP. 2012. Handbook for the Montreal Protocol on Substances that Deplete the Ozone Layer 9th edition.
- UNEP. 2014. Environmental effects of ozone depletion and its interactions with climate change: 2014 assessment.
- U.S. Committee on Extension to the Standard Atmosphere. 1976. US Standard Atmosphere.
- Volkamer R, Jimenez JL, San Martini F, Dzepina K, Zhang Q, Salcedo D, Molina LT, Worsnop DR, Molina MJ. 2006. Secondary organic aerosol formation from anthropogenic air pollution: Rapid and higher than expected. *Geophysical Research Letters* 33: L17811.
- Watanabe YW, Yoshinari H, Sakamoto A, Nakano Y, Kasamatsu N, Midorikawa T, Ono T. 2007. Reconstruction of sea surface demethylsulfide in the North Pacific during 1970s to 2000s. *Marine Chemistry* 103:347-358.
- West SK, Longstrth JD, Munoz BE, Pitcher, HM, Duncan DD. 2005. Model of risk of cortical cataract in the US population with exposure to increased ultraviolet radiation due to strtspheric ozone depletion. *American Journal of Epidemiology* 162 (11):1080-1088.
- WHO, WMO, UNEP, NIR. 2002. Global solar UV index - A practical guide. 28p.
- WMO.1994. Scientific assessment of ozone depletion: 1994.
<https://www.esrl.noaa.gov/csd/assessments/ozone/1994/>.
- WMO. 2007. Scientific assessment of ozone depletion: 2006.
http://www.wmo.int/pages/prog/arep/gaw/ozone_2006/ozone_asst_report.html .
- WMO. 2011. Scientific assessment of ozone depletion: 2010
http://ozone.unep.org/Assessment_Panels/SAP/Scientific_Assessment_2010/index.shtml
- WMO. 2014. Scientific assessment of ozone depletion: 2014

https://www.wmo.int/pages/prog/arep/gaw/ozone_2014/ozone_asst_report.html

WMO. 2014. Scientific assessment of ozone depletion: 2014 Assessment for decision-makers

WMO. 2015. Scientific assessment of ozone depletion: 2014 Twenty Questions and answers about the ozone layer:2014 update

Yoshinaga E, Kawada A, et al. 2011 Nε-(carboxymethyl)lysine modification of elastin alters its biological properties: Implications for the accumulation of abnormal elastic fibers in actinic elastosis. *Journal of Investigative Dermatology* 132:315-323,

Zeng G, Morgenstern O, Braesicke P, Pyle JA. 2010. Impact of stratospheric ozone recovery on tropospheric ozone and its budget. *Geophysical Research Letters* 37: L09805.

Zepp RG, Shank GC, Stabenau E, Patterson KW, Cyterski M, Fisher W, Bartels E, Anderson SL. 2008. Spatial and temporal variability of solar ultraviolet exposure of coral assemblages in the Florida Keys: Importance of colored dissolved organic matter. *Limnology and Oceanography* 53:1909-1922.

5. 英略語一覧

英略語	正式名称	訳
AGAGE	Advanced Global Atmospheric Gases Experiment	先進的地球規模大気中気体成分観測
BAPMoN	Background Air Pollution Monitoring Network	大気バックグラウンド汚染監視網
CCM	Chemistry Climate Model	化学気候モデル
CDOM	Colored Dissolved Organic Matter	有色溶存有機物
CFC	Chlorofluorocarbon	クロロフルオロカーボン
CGER	Center for Global Environmental Research	国立環境研究所地球環境研究センター
CIE	Commission Internationale de l'Eclairage	国際照明委員会
CLAES	Cryogenic Limb Array Etalon Spectrometer	大気測定用走査型冷却剤冷却式地球周縁赤外分光計
CPD	Cyclobutane Pyrimijine Dimer	シクロブタン型 2 量体
CTM	Chemical Transport Model	化学輸送モデル
DLR	Deutschen Zentrum fur Luft- und Raumfahrt	ドイツ航空宇宙センター
DMS	Dimethylsulphide	硫化ジメチル
DU	Dobson Unit	ドブソン単位
ECD	Electron Capture Detector	電子捕獲型検出器
EEAP	Environmental Effects Assessment Panel	環境影響評価パネル
EESC	Equivalent Effective Stratospheric Chlorine	等価実効成層圏塩素
ESRL	Earth System Research Laboratory	地球システム研究所
GAW	Global Atmosphere Watch	全球大気監視計画
GC	Gas Chromatograph	ガスクロマトグラフ
GHG	Greenhouse Gas	温室効果ガス
GO ₃ OS	Global Ozone Observing System	全球オゾン観測システム
GOME	Global Ozone Monitoring Experiment	全球オゾン監視実験
GWP	Global Warming Potential	地球温暖化係数
HABs	Harmful Algal Blooms	ハームフル・アルガル・ブルーム
HALOE	Halogen Occultation Experiment	ハロゲン気体分子測定センサー
HALS	Hindered Amine Light Stabilizer	高分子光安定剤
HBFC	Hydrobromofluorocarbon	ハイドロブロモフルオロカーボン
HCFC	Hydrochlorofluorocarbon	ハイドロクロロフルオロカーボン
HFC	Hydrofluorocarbon	ハイドロフルオロカーボン
IGY	International Geophysical Year	国際地球観測年
ILAS	Improved Limb Atmospheric Spectrometer	改良型大気周縁赤外分光計
IMG	Interferometric Monitor for Greenhouse Gases	温室効果ガス干渉分光計
IOC	International Ozone Commission	国際オゾン委員会
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change	気候変動に関する政府間パネル
LIMS	Limb Infrared Monitor of the Stratosphere	地球周縁太陽掩蔽方式成層圏大気観測放射計
MED	Minimum Erythematous Dose	最少紅斑量
MLS	Microwave Limb Sounder	マイクロ波リム放射サウンダー
MS	Mass Spectrometer	質量分析計
NASA	National Aeronautics and Space Administration	アメリカ航空宇宙局
NDACC	Network for the Detection of Atmospheric Composition Change	大気組成変化検出のためのネットワーク
NOAA	National Oceanic and Atmospheric Administration	アメリカ海洋大気庁

ODP	Ozone-Depleting Potential	オゾン層破壊係数
ODS	Ozone-Depleting Substance	オゾン層破壊物質
OMI	Ozone Monitoring Instrument	オゾン監視装置
PAR	Photosynthetically Active Radiation	光合成有効放射
PFPE	Perfluoropolyether	パーフルオロポリエーテル
PRTR	Pollutant Release and Transfer Register	化学物質排出移動量届出制度
PSC	Polar Stratospheric Cloud	極域成層圏雲
QBO	Quasi biennial Oscillation	準2年周期振動
SAG	Scientific Advisory Group	科学諮問部会
SAGE	Stratospheric Aerosol and Gas Experiment	太陽掩蔽型成層圏エアロゾル・オゾン鉛直分布観測センサー
SAP	Scientific Assessment Panel	科学評価パネル
SBUV	Solar and Backscatter Ultraviolet	太陽・後方散乱紫外分光計
SMILES	Superconducting Submillimeter-Wave Limb-Emission Sounder	超伝導サブミリ波リム放射サウンダ
SOA	Secondary Organic Aerosol	二次有機エアロゾル
SRES	Special Report on Emissions Scenarios	排出シナリオに関する特別報告
SVOC	Semivolatile Organic Compounds	半揮発性有機化合物
TEAP	Technology and Economic Assessment Panel	技術・経済評価パネル
TOMS	Total Ozone Mapping Spectrometer	オゾン全量マッピング分光計
TOVS	Tiros Operational Vertical Sounder	気温、湿度の鉛直分布測定用放射計
UCI	University of California at Irvine	カリフォルニア大学アーバイン校
UNEP	United Nations Environmental Programme	国連環境計画
VOC	Volatile Organic Compounds	揮発性有機化合物
WHO	World Health Organization	世界保健機関
WMO	World Meteorological Organization	世界気象機関
WOUDC	World Ozone and Ultraviolet Radiation Data Centre	世界オゾン・紫外線資料センター
XPS	Extruded Poly-Styrene	押出法ポリスチレンフォーム