

主要記事の要旨

オゾン層保護の歴史から地球温暖化を考える —「モントリオール議定書」20周年、「京都議定書」10周年に寄せて—

村山隆雄

- ① 本稿では、地球の大気の成り立ちとオゾン層保護の国際交渉の歴史から、国際政治の最優先課題となっている地球温暖化問題を考える手掛かりを整理する。
- ② 地球大気の組成は、約5億年前にほぼ現在に近いものとなった。地球大気は、体積比で、窒素（78%）と酸素（21%）で99%を占め、二酸化炭素は0.037%に過ぎない。
- ③ 「地球の宇宙服」といわれるオゾン層が、有害な紫外線から地球上のあらゆる生物を守っている。
- ④ 1930年、化学的に安定で、低い毒性、非腐食性・耐熱性にすぐれたフロンが合成され、冷却材・洗浄剤・スプレー噴射剤・発泡剤等、幅広い分野に用いられ、産業に不可欠な物質として、大量に生産された。
- ⑤ 1974年、フロンが大気中に蓄積することにより、成層圏に達したフロンが太陽光によって分解され、生成した塩素原子が、成層圏のオゾンを連鎖的に破壊するとの仮説が発表された。地球大気の意外な脆さが示唆された。
- ⑥ 米国に始まるスプレー噴射剤の規制は、北欧でも実施されるようになるが、地球規模での排出規制が行われなければ、オゾン層破壊は防ぐことができない。しかし、フロンが有用であるだけに、フロン規制の国際交渉は難航した。
- ⑦ 1985年の「ウィーン条約」では、具体的な規制対象やスケジュールを決めることはできなかったが、1987年、難産の末に、「モントリオール議定書」が採択された。
- ⑧ 「ウィーン条約」と「モントリオール議定書」には、過去の国際的な取組みの中で確立されてきた、「共通ではあるが差異ある責任」「予防原則」などの概念が盛り込まれた。また、科学者集団による、新たな科学的知見と措置の評価の継続的な提供は大きな成果をあげ、「不確かな根拠」に基づく政策決定を補強している。これらは、地球温暖化対策にも生かされている。

オゾン層保護の歴史から地球温暖化を考える —「モントリオール議定書」20周年、「京都議定書」10周年に寄せて—

村山隆雄

目次

はじめに

I 地球大気の歴史とその組成

- 1 地球大気の歴史
- 2 地球大気の組成
- 3 成層圏オゾンの生成
- 4 不思議なオゾン

II フロンについて

- 1 「理想の化合物」の合成：フロンの誕生
- 2 フロンの種類と用途
- 3 伸び続けた生産量

III オゾン層破壊の脅威

- 1 オゾン層の研究
- 2 ローランドとモリナの仮説

IV 「モントリオール議定書」への道程

- 1 対立する国益
- 2 フロン規制の枠組み：「ウィーン条約」の採択
- 3 難航したフロン規制の交渉
- 4 フロン規制への追い風：南極大陸上空のオゾンホールが発見
- 5 フロン規制の始まり：「モントリオール議定書」の採択

V フロンをめぐる我が国の動き

VI 「モントリオール議定書」と「京都議定書」をつなぐもの

- 1 オゾン層と気候変動
- 2 地球環境問題と国際政治の転換
- 3 南北問題：「共通ではあるが差異のある責任」
- 4 「予防原則」の深化
- 5 科学者集団による科学的知見・評価の継続的提供

おわりに

はじめに

2007年12月、インドネシアのバリ島で、「気候変動に関する国際連合枠組条約」（平成6年条約第6号。以下「国連気候変動枠組条約」とする。）の第13回締約国会議（以下COP13とする。）が開催された。COP13では、「バリ・ロードマップ」と呼ばれる、2013年以降の温室効果ガス削減の枠組み交渉の進め方をまとめた行程表と、削減の枠組みを決めるための作業部会の設置について合意がなされた。COP13では、当初、共同議長案で、先進国が2020年までに、対1990年比で25～40%の温室効果ガスを削減するとの数値目標を盛り込んでいたが、米国と日本の反対により、結局、数値の設定は見送られた。日本が反対したのは、数値目標にこだわれば、作業部会から米国が脱落する懸念があったからである⁽¹⁾、といわれている。しかし、「ジャカルタ・ポスト」に掲載されたAVAAZという国際的なNGOによる全面広告⁽²⁾はショッキングなものであった。タイタニック号を思わせる船と、米国のブッシュ大統領、カナダのハーパー首相、我が国の福田首相の写真入で、「目標なし。世界の災害はまもなくやってくる—だが世界は屈しない⁽³⁾」という標語とともに「われわれは、米国、カナダ、日本に対して、温暖化ガス削減の切実な目標を妨害することを止めるように、他の国々に対しては、いかなる譲歩も拒否するよう緊急に要求する⁽⁴⁾」という厳しい言葉も付されていた。1997年の「気候変動に関する国際連合枠組条約の京都議定書」（以下「京都議定書」とする。）採択時のホスト国である我が

国が、「抵抗勢力⁽⁵⁾」と見なされたのである。

欧州連合（以下EUとする。）は、2020年までに、対1990年比で20%のEU全体の温室効果ガス削減を目標として掲げており、数値目標に慎重な米国と積極的なEUとの対立が大きく変化するのは、現在のところ難しいと思われる。しかし、地球温暖化防止は今や最大の国際政治の課題であり、米国が従来のままのスタンスでは考えにくい。オーストラリアのラッド新政権は、COP13の開会式で「京都議定書」批准を表明した⁽⁶⁾。また、成層圏のオゾン層を破壊するフロン規制に関していえば、米国が積極的に規制を進めたという歴史もある。さらには、フロンによるオゾン層破壊にしろ、地球温暖化にしろ、これまでは、圧倒的な米国の観測データと研究に支えられて議論されてきた⁽⁷⁾ことも忘れてはなるまい。

折りしも、2007年は「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」（以下「モントリオール議定書」とする。）採択20周年、「京都議定書」採択10周年にあたった。2008年は、「京都議定書」履行のスタートの年である。「京都議定書」に参加していない米国（2001年に離脱）、中国も含めた作業部会の初会合が、この3月に予定されている。7月には洞爺湖サミットで先進国首脳による議論がなされる。本稿では、地球大気の世界・組成、フロン誕生、オゾン層破壊の仮説の衝撃に触れながら、地球環境保護関連条約の中でも最も成功した枠組み・取組みの一つであるオゾン層保護の歴史をたどり、地球温暖化問題を考えるための一助としたい。

なお、フロンは、炭素とフッ素の化合物フルオロカーボンの略称で、我が国において広く用

(1) 『東京新聞』2008.1.6. 等

(2) 『朝日新聞』2008.1.6.

(3) “NO TARGETS, NO ICEBERGS, JUST GLOBAL DISASTER COMING SOON. WORLD, DON’ T GIVE IN”
『朝日新聞』2008.1.6.

(4) 前掲注(2)

(5) 同上

(6) 『毎日新聞』2007.12.26.

(7) 米本昌平『地球環境問題とは何か』（岩波新書）岩波書店、1994、pp.121-122.

いられてきたが、本稿では、フロンは、原則的に、代表的なフロンであるクロロフルオロカーボン (CFC) を指すこととする⁽⁸⁾。フロンの代替物質で、塩素を含むハイドロクロロフルオロカーボン (HCFC) と塩素を含まないハイドロフルオロカーボン (HFC) については、そのままの名称を用いることとする。

I 地球大気の世界とその組成

1 地球大気の世界

46億年前に地球が誕生した。35億年前に生物が現れ、光合成が開始されるのが、33～30億年前のことである。27億年前にシアノバクテリアが登場し、酸素ガスが放出され始めた。それまでは、化合物中の構成成分にすぎなかった酸素がガス状分子になって大気中や海水中を自由に浮遊するようになった⁽⁹⁾のである。大気中の酸素濃度が現在の1/10のレベルに達すると、オゾン層が形成されるようになった。オゾン層によって、生物に有害な紫外線が地表に到達しなくなり、生物の存在する領域は飛躍的に拡大した⁽¹⁰⁾。生命活動が陸上に認められるような時期であるおよそ5億年前までには、大気はほぼ今日の組成分布に近いものとなった⁽¹¹⁾、といわれる。

2 地球大気の世界

金星・地球・火星の大気の世界組成は表1の通りである。地球に似ているといわれる金星・火星ではあるが、地球には窒素と酸素が多く存在し、二酸化炭素が少ない。

もし、地球上に生命が存在せず、大陸の風化

表1 金星・地球・火星の大気の世界組成 (体積百分率)

物質名	金星	地球	火星
ネオン	4.3×10^{-4}	1.8×10^{-3}	2.5×10^{-4}
アルゴン	1.9×10^{-3}	9.3×10^{-1}	1.6
ナトリウム		変化する	
窒素	3.4	78	2.7
酸素	6.9×10^{-3}	21	1.3×10^{-1}
二酸化炭素	96	3.7×10^{-2} *	95
二酸化硫黄	1.9×10^{-2}		
水	1.4×10^{-1}	1~2.8 (変化する)	3×10^{-2} (変化する)
一酸化炭素	4×10^{-5}	1.2×10^{-5}	7×10^{-2}
オゾン		変化する**	3×10^{-6}

(出典) 自然科学研究機構国立天文台編「おもな太陽系天体の大気世界組成」(『理科年表 平成20年版』2007, p.87) から筆者作成。

(注) *2002年の値。漸増しつつある。
**海面で約0.05ppm (注(2)参照)。

というようなことがなければ、地球の大気も二酸化炭素98%、窒素1.9%となり、金星、火星の大気とほとんど変わらなくなる⁽¹²⁾、といわれる。大陸と海と大気と生命の間の物質循環があって、今日の地球大気の世界組成になった。大気の世界組成は100kmにも及ぶが、1気圧、0℃では、数キロ程度の厚さである。地球生成直後には大気の世界組成であった二酸化炭素は、今では、体積百分率でわずか0.037を占めるに過ぎない。しかし、二酸化炭素は、地球大気が大気脱ガス過程によって原始大気と置き換わって以来、地球大気の世界組成を左右してきた重要な成分であり、今日見られる程度の二酸化炭素濃度は、人間にとって好ましい温暖な環境が維持されるための重要な要素とみなされている⁽¹³⁾。この微妙な量の二酸化炭素は、「地球のセーター」にも例えられる。しかし、長期にわたって

(8) 引用する文献によっては、フロンやクロロフルオロカーボンの他、その略語であるCFCあるいは商品名のフレオンを使用している場合もあるが、歴史的記述としてフレオンを用いたほうが分かりやすい場合を除き、原則としてフロンを使用する。

(9) 三村芳和「大気中酸素濃度の変遷」『酸素のはなし 生物を育ててきた気体の謎』(中公新書) 中央公論新社, 2007, 口絵およびp.156.

(10) 松井孝典『地球倫理へ』(21世紀問題群ブックス6) 岩波書店, 1995, pp.152-153.

(11) 岩坂泰信『大気環境学』(環境学入門2) 岩波書店, 2003, p.4.

(12) 松井 前掲注(10), p.57.

280ppmvを保ってきた二酸化炭素濃度は、産業革命以降、80ppmv以上も増えてきた⁽¹⁴⁾。地球はいわば「セーターの重ね着」の状態になりつつあるということになる。

大気圏では、高度によって平均温度が異なり、図1に示すように、下方から対流圏、成層圏、中間圏、熱圏と呼ばれる。

11kmまでの対流圏では、上下の対流運動によって気温が高さとともに減少し、雲の発生や高・低気圧の発達などの気象現象はすべてこの領域で起こる。11kmから50kmまでの領域は、オゾンによる太陽紫外線の吸収で大気が暖められるために気温が上昇する。この領域では、暖かい空気が冷たい空気の上ののっているため、大気は熱的に安定で層状をなしているのが成層圏と呼ばれる⁽¹⁵⁾。

3 成層圏オゾンの生成

成層圏の酸素分子 (O_2) が波長242ナノメートル (以下nmとする。) 以下の紫外線を吸収して分解し、生じた酸素原子 (O) が酸素分子と結合してオゾン分子 (O_3) を生成する⁽¹⁶⁾。

紫外線 (<242nm)

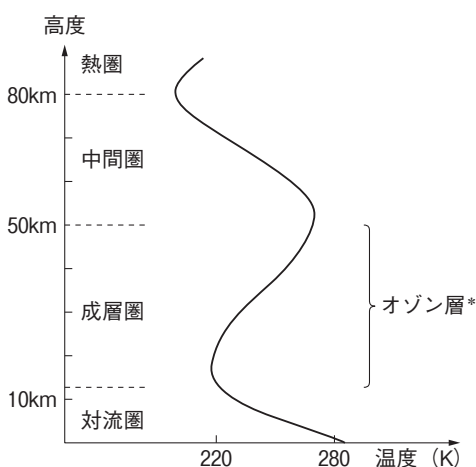


(M)⁽¹⁷⁾



オゾン分子は、酸素に吸収されない波長の紫外線 (242~290nm) を吸収して酸素原子と酸素分子に分解し、この酸素原子が酸素分子と結合してオゾンにもどるが、その際に、周囲の空気に熱を与える。このプロセスが成層圏における上述の熱源になっている⁽¹⁸⁾。

図1 大気圏における平均気温の変化 (略図)



(出典) Press Release: The 1995 Nobel Prize in Chemistry. <http://nobelprize.org/nobel_prizes/chemistry/laureates/1995/press.html> を基に筆者が作成。

(注) *成層圏に存在するオゾン濃度の高い層で、高度20~30kmでオゾン濃度が極大となる (長倉三郎ほか編『岩波理化学辞典第5版』岩波書店, 1998, p.191.)

- (13) 安成哲三「第1章地球システムの進化と大気環境の変化」安成哲三・岩坂泰信編『大気環境の変化』(岩波講座地球環境学3) 岩波書店, 1999, p.9.
- (14) 中澤高清「第3章温室効果気体の増加と地球温暖化」安成哲三・岩坂泰信編『大気環境の変化』(岩波講座地球環境学3) 岩波書店, 1999, pp.128-129.
- (15) 島崎達夫『地球の守護神=成層圏オゾン なぜ減る? 減るとどうなる?』(ブルーバックス) 講談社, 1989, pp.26-27.
- (16) 富永健ほか『フロン 地球を蝕む物質』(UP選書) 東京大学出版会, 1990, pp.68-69.
- (17) (M) は化学反応の進行に際して、運動エネルギーや運動量の過不足のバランスをとって、反応が起こりやすくなるためのもので、大気中では最も多く存在する窒素分子が主としてこの役目をする。(島崎 前掲注(15), p.51.)
- (18) 富永ほか 前掲注(16), p.69.

紫外線 (242~290nm)



(M)



4 不思議なオゾン

酸素 (O_2) の同素体であるオゾン (O_3) は、独特の臭気を持つ、青色がかった気体である (融点 -193°C 、沸点 -111.9°C)⁽¹⁹⁾。強い酸化作用を持つため、殺菌や漂白に利用されるが、過剰に曝されると、目や粘膜への刺激、肺浮腫、慢性的な呼吸疾患を引き起こす⁽²⁰⁾。光化学スモッグの原因物質のひとつであり、対流圏でのオゾンはやっかいな代物である⁽²¹⁾。しかし、成層圏でのオゾンはまったく別の働きをする。

紫外線は、波長により、長波長紫外線 (UV-A: 315~400nmの波長で太陽があればいつでもある)、中波長紫外線 (UV-B: 280~315nmの波長で成層圏オゾンが減少すると増加する)、短波長紫外線 (UV-C: 100~280nmの波長で地上に届かない) の3つに区分され、UV-Bは、日焼け (サンバーン)・皮膚ガン・白内障・免疫機能の低下・しみ・しわを引き起こす⁽²²⁾。上述からわかるように、成層圏では、オゾンが生物にとって有害な紫外線UV-Bを吸収して、地上に到達するのを防いでいる。この成層圏オゾンを全部集めて、

常温・常圧 (摂氏零度で1気圧) にすると3mmほどの厚さにしかない⁽²³⁾。この薄いオゾンの層が地球の生物圏を守っているのである。「生命の守護神⁽²⁴⁾」あるいは「地球の宇宙服⁽²⁵⁾」といわれる所以である。

II フロンについて

1 「理想の化合物」の合成：フロンの誕生

すべての有機化合物の基本である炭化水素は、炭素 (C) と水素 (H) の化合物である。この炭素に、ハロゲン元素であるフッ素 (F) 及び塩素 (Cl) を結合させたものがフロンである。フロンは、人工的に合成された化合物であり、天然には存在しない。フロンは、化学的に安定であり、非腐食性、耐燃性に優れ、低い毒性のために重宝な化合物として多くの種類が生産された。その用途は冷媒、洗浄剤、エアロゾル噴射剤、発泡剤等と用途の範囲が非常に広い。

フロンの発明者は米国のトーマス・ミジリー博士⁽²⁶⁾ (Thomas Midgley Jr.:1889-1944) である。“*American National Biography*⁽²⁷⁾”によると、ゼネラル・モーターズ社 (以下GMとする) の研究所にいたミジリー博士は、冷蔵庫等で使われていた、毒性があり、可燃性の冷媒に代わる物質の研究を依頼され、フロン冷媒系列の最初の化合物であるジクロロジフルオロメタン

(19) Maryadele J. ON'eil et al.ed., "Ozone", *The Merck Index 13th edition*, Whitehouse Station, NJ, Merck Research Laboratories, 2001, p.1250.

(20) *Ibid.*

(21) 空気中に微かに存在するが (海面で約0.05ppm)、その割合は場所や時間によっても変化する。(*Ibid.*)

(22) 佐々木政子『絵とデータで読む太陽紫外線—太陽と仲良くつきあう法—』国立環境研究所, 2006, pp.12-14. 国立環境研究所ホームページ <http://www_cger.nies.go.jp/publication/MO18/MO18.html>

(23) 島崎 前掲注(15), p.18.

(24) 同上, p.17.

(25) 西園大実・市橋正光監修, 萩田美子ほか編『オゾン層ってなんだろう? まもろう! 地球の宇宙服』NPO法人ストップ・フロン全国連絡会, 2001, p.45.

(26) 1942年に米国科学アカデミー会員に推挙され、1944年に米国化学会会長となった。また、ニコルズ賞 (1922年)、パーキン賞 (1937年)、プリーストリー賞 (1941年)、ギブス賞 (1942年) を受賞し、化学工業界に大きな寄与をした。しかし、TELとフロンという当時としては画期的な発明が、後年、深刻な環境問題を引き起こすことになった。(John A. Garraty and Mark C. Carnes ed., *American National Biography*, vol.15, New York, Oxford University Press, 1999, p.435.)

(27) *Ibid.*

(CF₂Cl₂) を合成した。1930年4月の米国化学会年次大会において、ミジリー博士は、少量のフロンを吸い込み、吐く息でローソク火を消すことによって、フロンには毒性がなく、可燃性でないことを証明して見せた。激しい反応性を持つフッ素の化合物が安全であるということは、当時の人々には驚きであり、不可解でもあった⁽²⁸⁾。1930年はフッ素化合物の歴史の上で、一つの大きなエポックとなった⁽²⁹⁾のである。1930年8月には、デュポン社の(51%)とGM社(49%)が、合弁会社キネチック・ケミカルズ社(Kinetic Chemicals, Inc.)を設立。12月にはデュポン社のディープウォーター(Deepwater)工場内にプラントが完成され、翌1931年早々にはジクロロジフルオロメタン(CF₂Cl₂:商品名フロン12)とトリクロロフルオロメタン(CFCl₃:商品名フロン11)の生産が開始された⁽³⁰⁾。

従来の冷媒であるアンモニア(NH₃)や亜硫酸ガス(SO₂)に比べると安全なフロンはかなり高価であったが、フロンが他の冷媒よりも非常に優れていることが証明され1930年代の終わり頃までには、米国内での冷媒のスタンダードとなった⁽³¹⁾。フロンのユニークな性質は、理想的な噴射剤としても利用された。しかしながら、後述するように、大気中に放出されると思ってもよらない方法で、成層圏のオゾンと反応するのである。皮肉にも、安全であるという特徴に着目して開発されたフロンの、ミジリー博士が発明したアンチ・ノッキング剤であるテトラエチル鉛(TEL⁽³²⁾)よりもなお、環境にとって脅威であることが明らかになるのである⁽³³⁾。

2 フロンの種類と用途

代表的なフロンには、メタン系(炭素1個)の①フロン11(CFCl₃)、②フロン12(CF₂Cl₂)及び、エタン系(炭素2個)の③フロン113(C₂F₃Cl₃)、④フロン114(C₂F₄Cl₂)、⑤フロン115(C₂F₅Cl)があり、「特定フロン」と呼ばれている。「特定フロン」のうち、①～③の特性と主な用途をまとめると表2のようになる。

これらのフロン類の他、臭素(Br)によって置換されたプロモフルオロメタン—エタン類は強力な消火剤であり、ハロンの商品名で知られている⁽³⁴⁾。しかし、ハロンはフロンよりも強力なオゾン層破壊物質であり、メタン系の①ハロン1211(CF₂BrCl)、②ハロン1301(CF₃Br)、エタン系の③ハロン2402(C₂F₄Br₂)は、「特定フロン」とともに、後述する「モントリオール議定書」の最初の規制対象となっていく。

3 伸び続けた生産量

『平成19年版環境統計集』(環境省総合環境政策局編・日本統計協会発行、2007)の「世界における主要なフロン生産量の推移」によると、1931～35年までの最初期のフロン11とフロン12の世界における生産量は、それぞれ90千トンと2,676千トンであったが、1936～40年が590千トンと16,102千トン、1941～45年が1,724千トンと57,244千トンと次第に生産量が増え、第二次大戦後の1946～50年の5年間では、16,149千トンと122,244千トンと飛躍的に増加した。1960年には、49,714千トンと99,428千トンとなるが、当時、米国の生産量が80%を占めたと推定されている⁽³⁵⁾。後述するシャーウッド・ローラン

(28) 石川延男・小川義郎『フッ素の化合物：その化学と応用』講談社、1979、p.3.

(29) 同上、p.2.

(30) 同上、p.3.

(31) Garraty and Carnes ed., *op.cit.*, p.435.

(32) ミジリー博士は、1921年に、テトラエチル鉛(以下TELとする。)という画期的なアンチ・ノッキング剤を発明したのであるが、鉛を含んでいるTELは深刻な大気汚染を引き起こした。(Ibid., pp.434-435.)

(33) Ibid., p.435

(34) 石川・小林 前掲注(28), p.169.

表2 フロンの特性と主な用途

フロンの名称	沸点(℃)	特 性	用 途
フロン11	24	加圧で容易な液化 (容易に気化) 無害・無臭・不燃性 低い熱伝導性	スプレー噴射剤 発泡剤 冷媒 断熱材
フロン12	-30	腐食性がない 加圧で容易な液化 (容易に気化) 無害・無臭・不燃性	冷媒 スプレー噴射剤 発泡剤
フロン113	48	容易に気化(即乾性) 小さい表面張力 適度な溶解力 水と混ざらない 無害・無臭・不燃性	洗浄剤 溶剤

(出典) 酒井温良『有機フッ素化学Ⅰ』技報堂, 1970, p.10及び富永健ほか『フロン 地球を蝕む物質』(UP選書263) 東京大学出版会, 1990, pp.33-34. を基に、筆者が作成。

ド博士 (F. Sherwood Rowland) の論文が発表される1974年には、フロン11は369,724千トン、フロン12は442,798千トン生産され、フロン12は後年も含めて年間の生産量が最大となり、フロン11も1987年に次ぐ生産量となった。同じく後述する「モントリオール議定書」が採択される1987年には、フロン11は382,050千トン、フロン12は424,726千トンの生産量であり、フロン11は年間の生産量が最大となった。フロンは前述のように化学的に安定であり、大気中に拡散し、蓄積していく。生産開始された1931年から2004年までの生産量の累計は、フロン11とフロン12だけで、それぞれ8,714,314千トン、11,507,103千トンという膨大な量に上った。さらにフロン113、114、115及びフロンの代替物質である、完全にハロゲン化されていないハイドロクロロフルオロカーボン (HCFC) やハイドロフルオロカーボン (HFC) が加わるのである。

Ⅲ オゾン層破壊の脅威

1 オゾン層の研究

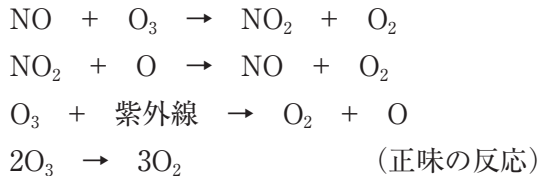
「1995年のノーベル化学賞に関する記者発表⁽³⁶⁾」によって、オゾン層に関する先行研究を述べると以下ようになる。

英国の物理学者シドニー・チャップマン博士 (Sidney Chapman) は、1930年、大気圏におけるオゾンの生成と分解の光化学的な理論をはじめて明らかにした。太陽光が、どのようにして酸素の様々な形を変えていくのかというこの理論は、オゾン層と名づけられた15kmから50kmの間の層で、何故オゾンの濃度が最高になるのかを説明するものである。しかし、後の測定により、チャップマン博士の理論からかなりはずれていることがわかった。チャップマン博士のオゾンの計算濃度は、実際の測定値よりもかなり高かった。こうして、オゾン濃度の減少に寄与する別の化学反応の存在が予想された。数年後、ベルギーのマルセル・ニコレ博士 (Marcel Nicolet) は、水素ラジカル (OHとHO₂) の存在によって、オゾンの分解がどのように促進され

(35) 酒井温良『有機フッ素化学Ⅰ』技報堂, 1970, p.9.

(36) Press Release: The 1995 Nobel Prize in Chemistry. (http://nobelprize.org/nobel_prizes/chemistry/laureates/1995/press.html)

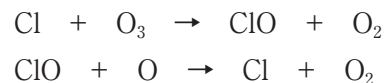
るのかということをはっきりとした。1970年には、オランダ生まれのポール・クルツェン博士 (Paul Crutzen) は、酸化窒素 (NOやNO₂) が、次のように触媒的に機能してオゾンと反応し、オゾン濃度の減少を加速させることを明らかにした。



これらの窒素酸化物は、化学的には安定な亜酸化窒素 (N₂O) の分解によって大気圏で生成されるが、N₂Oは地中の微生物に由来するものである。クルツェン博士によって示された土壌中の微生物とオゾン層の厚さの関係は、地球規模の生物地球化学的サイクル研究の急速な発展の原動力の一つとなった。もう一つは、窒素酸化物によるオゾンの分解に関する米国のハロルド・ジョンストン博士 (Harold Johnston) の重要な研究である。窒素化合物に関する広範囲な実験研究を行ったジョンストン博士は、1971年、計画中の超音速飛行機 (以下SSTとする。) が引き起こすオゾン層破壊の可能性を指摘した。SSTは、高度20kmのオゾン層のちょうど真ん中で、窒素酸化物を放出する可能性があった。クルツェン博士とジョンストン博士の論文は、研究者、技術者、政策決定者の間に激しい議論を引き起こした。このことはまた、後に大きな進歩をもたらす大気化学の集中的な研究の始まりでもあった。米国のSST計画は結果的には中止となったが、その理由は彼らが関与した環境リスクとは別のものではなかった⁽³⁷⁾。

2 ローランドとモリナの仮説

1974年、ローランド博士とマリオ・モリナ博士 (Mario Molina) とによる「クロロフルオロメタンの大気圏における吸収源⁽³⁸⁾：塩素原子触媒によるオゾンの破壊」と題したわずか3ページ (引用文献を除けば2ページ!) の論文⁽³⁹⁾ が、“*Nature*” に掲載された。論文冒頭の要約は、「クロロフルオロメタンが、環境に付加されており、着実に量を増している。クロロフルオロメタンは、化学的に不活性で、40年から150年の間、大気圏に留まり、その濃度は現行の10倍から30倍に達する可能性がある。成層圏におけるクロロフルオロメタンの光解離によって、相当数の塩素原子が生じ、成層圏オゾンの破壊をもたらす」と述べ、フロンという人工の化合物によるオゾン層破壊の仮説を初めて明らかにした⁽⁴⁰⁾。彼らが言及したクロロフルオロメタンは、具体的には、メタン系のフロン11とフロン12であった。それらのフロンは、成層圏で太陽紫外線によって分解され、塩素原子 (Cl) が生じる。その塩素原子は、連鎖的にオゾン及び酸素原子と反応して、成層圏のオゾンを破壊するというものであった。



ローランド博士とモリナ博士の仮説は、他の研究者による二つの重要な業績に推論の根拠を置いていた。英国のジェームス・ラブロック博士 (James Lovelock) が、大気中の極微量の有機ガス濃度を測定する高感度の装置である電子捕獲型検出器を開発し、この検出器を用いて化学的には不活性であるフロンが、既に地球規模で大気中に拡散していることを明らかにしてい

⁽³⁷⁾ *Ibid.*

SSTが超音速で飛ぶ場合の衝撃波・飛行場周辺の騒音・飛行機の損傷度・経済性等の問題があった。(島崎 前掲注(15), p.109.)

⁽³⁸⁾ 「気候変動枠組条約」の定義 (第1条) 第8項により、sinkを吸収源と訳した。

⁽³⁹⁾ Mario J. Molina and F.S. Rowland, “Stratospheric sink for chlorofluoromethanes: chlorine atom-catalysed destruction of ozone”, *Nature*, Vol.249, No.5460, June 28, 1974, pp.810-812.

⁽⁴⁰⁾ *Ibid.*, p.810.

た。また、米国のリチャード・ストラルスキー博士 (Richard Stolarski) とラルフ・シセローネ博士 (Ralph Cicerone) は、大気中の遊離塩素原子が触媒的に作用して、窒素酸化物と同様にオゾン層を分解することを明らかにしていた⁽⁴¹⁾。

IV 「モントリオール議定書」への道程

1 対立する国益

ローランド博士とモリナ博士のフロンのオゾン層を破壊するという仮説は、世界的に大きな注目を浴びた。フロンは、多くの技術的プロセスで利用されており、化学的な安定性と無毒性から、環境的には理想的であると考えられていたからである⁽⁴²⁾。1960年以降、フロンの生産は、年平均13%という驚くべき成長を続けていたが、既述のように仮説が出された1974年には、偶然にもフロンの生産量と消費量がこれまでで最高となった。米国は1974年にはフロン11とフロン12の最大の生産国であって、その生産量は、世界の全生産量813千トンの46%を占めていた。欧州共同体 (以下ECとする。) 諸国合計では38%を数え、旧西ドイツが最大の生産国で、次いでフランスと英国 (同位)、イタリア、オランダ、スペインが続いた⁽⁴³⁾。米国科学アカデミー (以下、NASとする。) は直ちにこの問題に取り組み、フロンによるオゾン層破壊の可能性を確かめるために研究を推進し、1976年、NASはこの問題について最初の報告書を発表した。当時の科学的知見はまだ不確かで限られたものであったが、報告書は、フロンのオゾン

層を破壊し環境に影響を及ぼす可能性は大きく、その放出を規制する必要があることを示唆していた。オゾン層破壊のメカニズムや環境影響について更に研究が続けられ、ローランド博士らの仮説は、次第に実証されて理論と認められるようになった⁽⁴⁴⁾。産業界からの大きな反対にもかかわらず、フロン規制の主導権をとったのは、米国であった。1978年、米国でエアロゾルへのフロンの使用が禁止された⁽⁴⁵⁾。1979年のNAS報告書は、オゾン消失推定値は16.5パーセントとし、規制について「しばらくようすを見る」という姿勢は実際的でないと述べている⁽⁴⁶⁾。米国に続いて、スウェーデン (1978年)、カナダ (1980年)、ノルウェー (1981年) もフロンを用いたエアロゾルスプレイを規制したが、ECや我が国の対応はずっと緩やかなもので、1980年頃に、フロン11やフロン12の生産凍結や、スプレイ噴射剤への使用削減の勧告あるいは努力の表明を行っている⁽⁴⁷⁾。1982年、NASが、最終的なオゾンの消失を5~9パーセントと予測する第3次報告を発表した⁽⁴⁸⁾。

一方、ECは、①科学的に不確定であること、②代替が不可能であること、③規制が欧州の生活水準に不都合な影響を与えること、を絶えず強調していた⁽⁴⁹⁾、といわれる。ECは、加盟国間の合意を取りつける必要があり、オゾン層保護問題に対するEC内部の深い対立という現実の前に、合意には至らなかった。ベルギー、デンマーク、オランダ、主要な製造国であった旧西ドイツは、厳しいフロン規制に次第に傾いたが、英国、フランス、イタリアは、厳しい措置

(41) *op.cit.*, (36)

(42) *Ibid.*

(43) リチャード・E・ベネディック (小田切力訳) 『環境外交の攻防 オゾン層保護条約の誕生と展開』工業調査会、1999, p.48. (原書名: Richard Elliot Benedick, *Ozone Diplomacy* (enlarged edition), 1998)

(44) 富永ほか 前掲注(16), p.71.

(45) シャロン・ローン (加藤珪ほか訳) 『オゾン・クライシス』地人書館, 1991, p.475. (原書名: Sharon L. Roan, *Ozone Crisis*, 1989.)

(46) 同上, p.475.

(47) 富永ほか 前掲注(16), p.106.

(48) ローン 前掲注(45), p.475.

(49) ベネディック 前掲注(43), p.56.

に抵抗した⁽⁵⁰⁾。1975年から1988年半ばにかけての英国は、オゾン層理論を疑い、有害な影響の可能性を最小に見積もるという考えを公式見解としていた。米国が国内のフロン・エアゾロル生産を中止しつつあるとき、英国環境省は、「本問題について早まった行動をとる必要はまったくないと思われる」と結論づけた。英国政府は、「オゾン総量と皮膚がん発生率との間に直接的な定量的関係を確立することは困難である」と強く主張した⁽⁵¹⁾。このように英国が、フロン規制の国際的な合意を遅らせてきたのに対して、交渉の終局に向かって、ヨーロッパ最大のフロン製造国である旧西ドイツは、ECの中で環境を考慮した判断をより強烈に主張し始めた。環境保護主義政治（グリーン・ポリティックス）と科学的証拠への関心の高まりとが、結びついたのでをきっかけに、旧西ドイツは、1987年半ばまでにECのオゾン層保護政策へ最も影響を与える国として、英国にとって代わった⁽⁵²⁾。

2 フロン規制の枠組み：「ウィーン条約」の採択

「人間環境宣言」を採択した国連人間環境会議（1972年、ストックホルムで開催）において、同会議での成果を実施する機関として、国連環境計画（以下UNEPとする。）が設立された。同会議以前の環境問題に関する国際合意は、天然資源や野生動物の保護に留まっていたが、フロンによるオゾン層破壊のような問題に、地球的な規模で取組むための道が開かれた⁽⁵³⁾。

1977年、UNEPはオゾン問題調整委員会を設置し、国際的なフロン規制に向けて活動が始まった。1981年にはオゾン層保護条約の策定が合意され、法律と技術の専門家からなる特別作業部会がスタートし、1985年に、「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こと」（前文）を目的とする、「オゾン層保護のためのウィーン条約」（1985年3月22日採択。1988年9月22日発効。以下「ウィーン条約」とする。）が採択された。我が国では、昭和63（1988）年4月27日に国会で承認され、同年12月27日に公布（条約第8号）された。「ウィーン条約」の概要は次の通りである（外務省条約局『条約集（昭和63年多数国間条約）』1989.）。

① 一般的義務（第2条）

人の活動の結果としてのオゾン層の変化によって生じる又は生ずるおそれのあ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1項）

② 研究及び組織的観測の実施と協力（第3条）

③ 法律、科学及び技術の分野における協力（第4条）

a 科学・技術・社会経済・商業・法律に関する情報交換（第1項）

b 開発途上国の技術・知識の発展と移転のための協力（第2項）

3 難航したフロン規制の交渉

ローランド博士とモリナ博士の仮説により、1970年代後半から1980年代初めにフロンの放出は各国において、一定程度制限されることになったが⁽⁵⁴⁾、より厳しい世界規模での規制をめぐる、交渉は難航した。ウィーン条約はいわば「総論」であり、生産量・消費量の制限とその実施時期等、具体的な規制のための「各論」がなければ、ウィーン条約の意義が失われる。UNEPから出される科学的知見・評価やフロンに代わる代替物質の可能性の後押しもあり、フロンを制限する国際協定締結への動きが1986年の夏の間に高まり始めた⁽⁵⁵⁾。フロンの主要生

(50) 同上, p.58.

(51) 同上, p.62.

(52) 同上, pp.62-63.

(53) ロー 前掲注(45), pp.194-195.

(54) *op. cit.*, (36)

(55) ロー 前掲注(45), p.342.

産国が参加したUNEPの研究会（米国のリースバーグで開催）では、旧ソ連もはじめて過去10年間のフロン生産量を発表した。加えて、①デュポン社が安全なフロン代替品開発の最大の障害は化学上の問題ではなく価格であると認めたこと、②欧州や日本のフロン生産者が生産量の増加を認めたこと、③大気中に化学物質が堆積しているという点で合意したこと、④南極のオゾンホールは、フロンが原因であると最終的に認められる方向にあること、これらの4点により、交渉への道が開かれた⁽⁵⁶⁾、といわれる。同年12月、ジュネーブで交渉が再開された。米国はフロン放出を現在の割合に押さえ、次の10年間で95%までの削減を提案したが、フロンの凍結は考えていたものの段階的全廃は考えていなかったECと日本はこれに反対した。米国は削減の予定表を後退させようとしなかったため、交渉は決裂した⁽⁵⁷⁾。

4 フロン規制への追い風：南極大陸上空のオゾンホールの発見

(1) 科学者による継続的知見の提供

1985年、英国のジョセフ・ファーマン博士（Joseph Farman）と彼の同僚が、南極上空のオゾン層の著しい減少（オゾンホール）を“*Nature*”⁽⁵⁸⁾で指摘した時に、初めてフロン放出制限に関する国際的な交渉が本当に緊急性を持つ

ようになった⁽⁵⁹⁾、といわれる。1960年代には320ドブソン単位⁽⁶⁰⁾（以下DUとする。）程度あったオゾン全量が1970年代になって急激に減少を始め、1984年には、200DUを下回る値にまで激減した⁽⁶¹⁾。その報告を知った米国航空宇宙局（NASA）は、人工衛星ニンバス7号の過去のオゾンデータを再点検し、南極上空のオゾンが1980年代に入って毎年春に著しく減少していることを確認した⁽⁶²⁾。オゾン層の著しい減少は、少なくとも定期的であり、フロン効果の初期の計算から期待されるものよりはるかに大きなものであることから、①気象的な原因によるものなのか（力学的理論派）、あるいは、②フロンが原因である化学的な分解によるものなのか（化学物質理論派）、研究者の議論は沸騰した⁽⁶³⁾。さらに、この他にも、③太陽黒点活動関連説⁽⁶⁴⁾（あるいは「半端な窒素⁽⁶⁵⁾」説）もあった。しかも、オゾンホールが何らかの自然変動によって生まれるものと判明し、化学物質理論派が誤りとなった場合、交渉が御破算になるという懸念もあった⁽⁶⁶⁾。

1986年、スーザン・ソロモン博士（Susan Solomon）を隊長とする米国オゾン調査隊は、フロンの存在を意味する高レベルの二酸化塩素（ClO₂）を発見した⁽⁶⁷⁾。他のグループからも、「化学物質理論」を裏付ける知見が得られ、1987年には、ER-2⁽⁶⁸⁾による観測により、一酸

⁽⁵⁶⁾ 同上, pp.342-343.

⁽⁵⁷⁾ 同上, p.353.

⁽⁵⁸⁾ J. C. Farman, B. G. Gardiner, J. D. Shanklin. “Large losses of total ozone in Antarctica reveal seasonal ClO_x/NO_x interaction.” *Nature*, Vol. 315, 16 May, 1985, pp. 207-210.

⁽⁵⁹⁾ *op. cit.*, (36)

⁽⁶⁰⁾ 観測されたオゾン全量が1気圧・摂氏零度におかれた時に持つオゾン層の厚み。単位は10-3cmの厚さを1とする。（島崎 前掲注(45), p.69. による）320DUは3.2mm。

⁽⁶¹⁾ 長谷部文雄・廣川淳「第4章 オゾンホール」北海道大学大学院環境科学院編『オゾン層破壊の科学』北海道大学出版会, 2007, pp.154-155.

⁽⁶²⁾ 富永ほか 前掲注(16), pp.74-77.

⁽⁶³⁾ *op. cit.*, (36)

⁽⁶⁴⁾ 富永ほか 前掲注(16), p.79.

⁽⁶⁵⁾ ローン 前掲注(45), p.308.

⁽⁶⁶⁾ 同上, pp.324-325.

⁽⁶⁷⁾ 同上, p.312.

⁽⁶⁸⁾ U-2スパイ機のロッキード版、高高度飛行のために設計された精密なジェット機（同上, p.330）

化塩素 (ClO) が増加するとオゾンが減少するという結果を得た⁽⁶⁹⁾。「1995年ノーベル化学賞の記者発表」は、次のように述べ、オゾンホール生成のメカニズム解明に貢献した科学者を讃えた。「多くの研究者の先駆的な研究によって、中でもクルッツェン博士、モリナ博士、ローランド博士（この3人が、1995年のノーベル化学賞を受賞した）並びにソロモンとジェームス・アンダーソン博士 (James Anderson) の貢献は大きく、全体像をはっきりさせた。オゾン層の減少は、主にオゾンが、化学的に工業生産されるガス由来の塩素と臭素と化学的に反応することにより引き起こされているのである。南極上空の驚くほど急速なオゾン層の減少は、輸送過程や気相での化学反応では説明がつかなかった。クルッツェン博士と同僚たちは、オゾンの分解を促進する、成層圏における雲の粒子表面上での化学反応を発見した。南極上空のオゾンの減少が現れるのは、極めて温度が低くなっている状態に関係している。極低温は水と硝酸を濃縮して、極域成層圏雲 (PSCs) を形成する。オゾン分解の化学反応は、この雲の粒子の存在により大きく強化される。これらの科学的知見は、粒子表面における異相化学反応という大気化学の新しい分野を切り開いた⁽⁷⁰⁾」

「オゾンホールはすべてを変えた。政府がこの問題を信じるようになった⁽⁷¹⁾」といわれるが、別の見解もあった。環境問題のための米国国務次官補として「モントリオール議定書」に関わったリチャード・エリオット・ベネディック氏 (Richard Elliot Benedick) は、オゾンホールがオゾン層保護問題に対する社会の注目をさらに集めたこと（しかし、政府へのもっと強い社会の圧力が必要とされていたヨーロッパと日本ではなく米国においてであった）については認めて

いるが、重要な交渉は地球規模のモデルに全面的に基づいており、南極のことは一切議論されなかった⁽⁷²⁾、と述べている。ベネディック氏は、オゾンホールが当時の政策立案者に対してはっきりした兆候を提供するものではなかった理由として、1986～87年の時点で科学者は、①フロンが南極に関係しているとは全く確信していないこと、②オゾンホールが南極に特有な異常な局部的現象であること、③春季が過ぎると南極上空のオゾン濃度が回復する現象は、段階的に確実に発生し長期の破壊に至るという地球規模のモデル予測と一致しなかったこと、④外交交渉が開始される直前の1986年に、南極オゾン濃度が実際に前年より改善されたこと等をあげ、1987年9月から11月の重要な南極探査から得られた新しい証拠は、実際には、完全には分析されず、条約が署名されて6か月経つまで発表されなかった⁽⁷³⁾、と述べている。しかし、オゾンホールの発見は、地球大気の脆さの証左として、「モントリオール議定書」のみならず、その後の「国連気候変動枠組条約」への大きな後押しになったことは疑いないであろう。

(2) 昭和基地とオゾンホール

日本の南極観測隊は、1961年から昭和基地でオゾン観測を継続してきた。オゾンホールの最初の発見者は、わが国の気象研究所の忠鉢繁氏である。第23次南極観測隊（越冬隊）に参加した忠鉢氏は、1982年2月から1983年1月まで、昭和基地において大気オゾンの特別観測を行ったが、新たに月光を利用する極夜期間におけるオゾン全量観測とオゾンゾンデによる大気オゾンの垂直分布の状態調査を加えた。その結果、6月から7月の極夜期間にかけて、オゾン全量が極大になること、突然昇温に伴うオゾン量急

(69) 同上, p.388.

(70) *op. cit.*, (36)

(71) ローン 前掲注(45), p.370.

(72) ベネディック 前掲注(43), p.43.

(73) 同上, pp.41-42.

増の直前9月下旬から10月中旬にかけて、昭和基地ではこれまでに観測されたことのない220DU前後という非常に少ないオゾン全量になることを観測した⁽⁷⁴⁾。当時、南極で越冬観測を行っていた観測基地は46基地、その中で、オゾンの観測を継続的に行っていた基地は、昭和基地（南緯69度）、南極点（南緯90度、米国）、ハレーベイ（南緯76度、英国）、ファラデイ（南緯65度、英国）の4基地だけで、1982年当時は南極点と日本の昭和基地のオゾンデータだけが公表されていた⁽⁷⁵⁾。忠鉢氏は、帰国後、観測データを点検し、昭和基地から約2000km離れた南極点でも、昭和基地と同様の小さなオゾン全量を観測していたことを知り、自分達の観測が間違いではないことを確信した。1983年12月に「極域気水圏シンポジウム」で観測結果を報告⁽⁷⁶⁾し、翌年、ギリシャで開かれた「オゾンシンポジウム」で国際発表を行った⁽⁷⁷⁾。この時の発表ペーパー⁽⁷⁸⁾がオゾンホールに関する最初の国際的な報告となった。

2007年10月5日に環境省の主催で開催された「モントリオール議定書20周年とフロン回収・破壊法改正記念シンポジウム」（以下「モントリオール議定書20周年シンポジウム」とする。）の基調講演「成層圏オゾンとモントリオール議定書」の冒頭、ローランド博士は、継続的な観測の重要性の例として、オゾン測定を継続したスイスのパウル・ゲッツ博士（Paul Goetz）等を挙げた。二酸化炭素濃度に関しては、国際地球観測年（1957-58）を契機とするハワイのマウナロア山におけるチャールズ・キーリング博士（Charles D. Keeling）の観測データが重要になっている。

忠鉢氏の発見も、極夜間期における真摯な観測とデータの変化を見落とさなかったことによるものである。忠鉢氏等の業績は、大気の変化を知るための長期的、組織的、継続的な観測の重要性を改めて認識させるものであった。

5 フロン規制の始まり：「モントリオール議定書」の採択

1987年9月、難産の末に、①「特定フロン」5種類（フロン11・12・113・114・115）及びハロン3種（ハロン1301・1301・2402）の生産量・消費量（生産量+輸入量-輸出量）の段階的削減の合意（Ⅱの2参照）、②開発途上国を配慮した技術援助等を盛り込んだ「モントリオール議定書」（昭和63年条約第9号）が採択された。その概要は次のとおりである⁽⁷⁹⁾。

- ①オゾン層破壊物質ごとの規制スケジュールの設定（第2条）
- ②オゾン破壊係数による規制値の算定（第3条）
- ③非締約国との貿易の規制（第4条）
- ④規制の猶予期間等を認める開発途上国の特別な事情（第5条）
- ⑤科学、環境、技術及び経済の入手しうる情報に基づく規制措置の評価及び再検討（第6条）
- ⑥第4条の範囲内及び開発途上国の必要を特に配慮しての技術援助（第10条）

⑤の規定により、新たな科学的な知見に基づく規制措置の評価によって、規制物質の追加や規制内容の強化を迅速に行えるようになっていく。事実、第2回締約国会合（1990年、ロンドン）、第4回締約国会合（1992年、コペンハーゲン）、第7回締約国会合（1995年、ウィーン）、第

(74) 忠鉢繁「昭和基地におけるオゾン特別観測について」『極域気水圏シンポジウムプログラム・講演要旨集』1983, p.1.（このシンポジウムでの口頭発表が世界で最初のオゾンホールに関する報告ということになる。フロン濃度を測定するためにサンプリングも行った。）

(75) 忠鉢繁「私がオゾンホールを発見した頃」『日本物理学会誌』48巻10号, 1993.10, p.815.

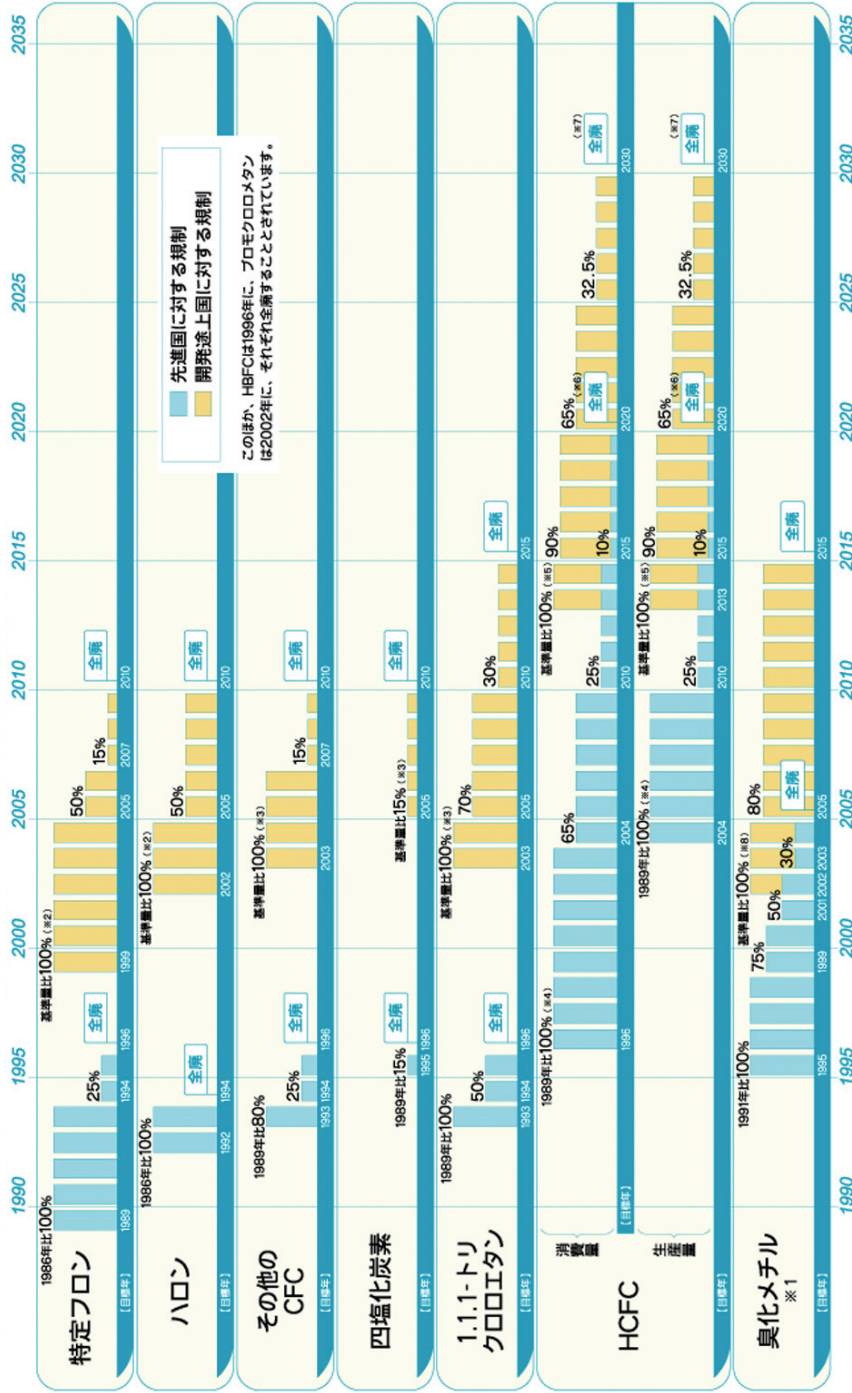
(76) 忠鉢 前掲注(74), pp.1-2.

(77) 忠鉢繁「オゾンホールの現状と将来予測」『触媒』34巻7号, 1992.10, p.443.

(78) S. Chubachi, "A special Ozone Observation at Syowa Station, Antarctica from February 1982 to January 1983", *Proceedings of the Quadrennial Ozone Symposium held in Halkidiki, Greece, 3-7 September, 1984*, Dordrecht, D.Reidel Publishing Company, 1985, pp.285-289.

(79) 外務省条約局『条約集（昭和64年・平成元年多数国間条約）』1990.

表3 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及び消費量の規制スケジュール



各物質のグループ毎に、生産量及び消費量（＝生産量＋輸出入量－輸出品）が削減されている。

* 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) 基準量は、1995年からの生産量・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。

* 3) 基準量は、1998年からの生産量・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。

* 4) 消費量の基準量は、HCFCの1989年消費量＋CFCの1989年消費量と消費量の平均値＋CFCの1989年消費量と消費量の平均値×2.8%。

* 5) 基準量は、2009年と2010年の生産量・消費量の平均値。

* 6) ただし、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。

* 7) ただし、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。

* 8) 基準量は、1995年からの生産量・消費量の平均値。

* 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。

(出典) 「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及び消費量の規制スケジュール」

環境省ホームページ (http://www.env.go.jp/earth/ozone/montreal/schedule_future.jpg)

9回締約国会合（1997年、モントリオール）、第11回締約国会合（1999年、北京）において規制措置の強化が行われた⁽⁸⁰⁾。現在では、フロン類やハロン類に加え、オゾン層破壊物質として四塩化炭素（ CCl_4 ）、トリクロロエタン（ $\text{C}_2\text{H}_3\text{Cl}_3$ ）、臭化メチル（ CH_3Br ）も規制の対象となっている。さらに、「モントリオール議定書」採択20周年にあたる2007年9月の第19回締約国会合（モントリオール）において、開発途上国のハイドロクロロフルオロカーボン（HCFC）の全廃を10年早める規制の前倒しと強化スケジュールが合意された⁽⁸¹⁾。第19回締約国会合の決定を踏まえたオゾン層破壊物質規制のスケジュールは表3のとおりである。

V フロンをめぐる我が国の動き

ここで、フロンによるオゾン層破壊に関する我が国の取り組みや国内の状況を初期から概観しておきたい。

富永健氏（現東京大学名誉教授）は、昭和48年（1973）の放射化学日米セミナー（大磯）において、ローランド博士の説を知った⁽⁸²⁾。以来、わが国の科学者にこの問題を伝え、巻出義紘氏（現東京大学名誉教授）とともに、昭和53年（1978）頃から、大気中の超微量のフロンやハロカーボン（四塩化炭素など）の精密分析の開発に取り組み、世界的にも最高水準の精度と正確さで測定できる分析装置と分析方法を完成した⁽⁸³⁾。同年、環境庁がフロンの放出が成層圏オゾンに与える影響の文献を調査し、翌年には、東京大学が北海道でオゾン層破壊物質の観測を始め

た。昭和55年（1980）には、OECD環境委員会において、我が国は、フロン11及び12の生産能力の凍結及びエアロゾル製品における使用削減努力を表明し、昭和62年（1987）、環境庁に「成層圏オゾン層保護に関する検討会」が設置された⁽⁸⁴⁾。早期に富永氏らによる問題の提示と観測が始まったにもかかわらず、米国と比べると、当初国民の関心は低く、新聞の扱いも小さかった。例えば「ウィーン条約」採択を伝える報道は、「成層圏のオゾン層を保護、地球の環境破壊を防ごうという条約が二十二日、国連環境計画（UNEP）の一環として四十五カ国によって採択された。うち米ソ両国を含む二十五カ国が直ちに条約調印に踏み切った。条約では国際的な研究や意見交換をうたったものの、フロンの規制については合意が得られなかった。⁽⁸⁵⁾」というごく簡単なものであった⁽⁸⁶⁾。

島崎達夫氏（当時NASAエームズ研究所宇宙科学研究部研究員）は、米国人の関心の深さを示す一例として、昭和50年（1975）頃のテレビのホーム・ドラマでのフロンの噴射器が関係する一コマを紹介している。さらに、当時の日本でもようやくフロンの問題が一般の人に関心を持たれるようになってきた例として、サトウサンペイの『フジ三太郎』（「朝日新聞」1989.3.5.）を紹介している⁽⁸⁷⁾。『フジ三太郎』では、理髪店に入った三太郎に、スプレー缶ではなく、旧来の「霧吹き器」に入ったヘアローションが施されていた。

産業界を含む全体的な取組みが、国際的にみれば、当初遅れた背景には、①フロンの用途が広く、代替品がないこと、②欧米に遅れて始

80) 外務省ホームページ〈<http://mofa.go.jp>〉

81) 環境省ホームページ〈<http://www.env.go.jp>〉

82) 富永ほか 前掲注(16), p. iv.

83) 同上, pp.46-47.

84) 同上, p.153.

85) 「オゾン層保護へ条約 米ソなど20カ国調印」『朝日新聞』1985.3.23, 夕刊.

86) 同記事掲載ページには、「フロンガス汚染警告 東大講師ら大気を分析 十数年で濃度三倍」との関連記事がある。

87) 島崎 前掲注(15), pp.20-22.

まったわが国の有機フッ素化学工業は、有望ではあるが、発展途上であったこと⁽⁸⁸⁾、③「モントリオール議定書」の交渉時には、わが国で拡大しつつあるエレクトロニクス産業にとって必要不可欠な洗浄剤であるフロン113が規制の対象になっていたこと⁽⁸⁹⁾、等があったからと思われる。この点に関して、小島直樹氏（元通商産業省オゾン層保護対策室長）は、「わが国におけるオゾン層保護問題に係わる産業界の取り組みは、当初はできれば規制を免れたいという動きから始まり、その点では欧米諸国と変わるところはなかったが、欧米と異なるところは、規制対象物質のユーザー側業界の関心と活動がバラバラで統合されていなかったことであった。このために、わが国の最高水準の製造技術に対する規制の影響と、対応策に関する情報に基づいた技術的な検討結果は、初期の段階では十分に交渉に反映されるに至らなかった⁽⁹⁰⁾」と述べている。

フロン113に関していえば、①急速に伸びつつあるフロン113と特にオゾン層破壊の可能性の高いハロン1211と1301の規制に失敗すると、フロン11等、他のフロン類を規制しても次世紀の中頃までに10～15%という顕著なオゾン層破壊をもたらすという科学的知見（1987年4月にビュルツブルグで開催された科学会合での結論）、②オゾン破壊係数（フロン11を基準値1とした時のオゾン層破壊物質の潜在能力。ODP：Ozone depletion potential）による「バスケット方式」（規制物質をグループに分け、各物質をODPにより重み付けをして、グループごとの合計量で規制の程度を

決める方式）での取扱いが導入されたこと、③フロン113のリサイクル技術の急速な進歩等により、我が国はフロン113を規制の対象に含めることに反対するのを止めた⁽⁹¹⁾。

「ウィーン条約」採択時には署名しなかったわが国であったが、「モントリオール議定書」に関しては、昭和62年9月16日の採択当日に署名した。昭和63年4月27日、国会は「ウィーン条約」（条約第8号）及び「モントリオール議定書」（条約第9号）を同時に承認した。その後直ちに、「特定物質の規制等によるオゾン層の保護に関する法律」（昭和63年法律第53号。以下「オゾン層保護法」とする。）を制定した。オゾン層保護のためのフロン対策は、排出規制、安全な代替物質の開発、回収・破壊が包括的に実施されなければ効果がない。しかし、「オゾン層保護法」では、①大気中へのフロン放出の禁止、②フロン回収の義務付けがなされていなかった⁽⁹²⁾こともあり、わが国のフロン回収・破壊対策は諸外国よりも遅れていた⁽⁹³⁾。平成13年、議員立法により、「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」（平成13年法律第64号。以下「フロン回収・破壊法」とする。）が制定された。さらに、平成18年6月、①フロンの回収率が3割程度に留まっていること、②温室効果ガスとしてのフロンの排出を規制する必要があること⁽⁹⁴⁾から、第一種特定製品⁽⁹⁵⁾からのフロン類の回収を一層徹底するため「フロン回収・破壊法」が改正され、平成19年10月1日より施行された⁽⁹⁶⁾。

88) 酒井 前掲注(35), p.16.

89) ベネディック 前掲注(43), p.108.

90) 同上, p.392.

91) 同上, pp.108-109.

92) 西園・市橋監修・萩田ほか編 前掲注(25), p.21.

93) 第151回国会衆議院環境委員会議録第11号 平成13年5月25日, pp.2-8.

94) 第164回国会参議院環境委員会会議録第16号 平成18年6月1日, p.1.

95) 業務用のエアコンディショナー、冷蔵機器及び冷凍機器でフロン類が充てんされているもの。

（「フロン回収・破壊法の改正内容等について」環境省ホームページ〈<http://www.env.go.jp/earth/ozone/cfc/law/kaisei/naiyo.pdf>〉）

96) 同上

VI 「モントリオール議定書」と「京都議定書」をつなぐもの

地球温暖化問題はオゾン問題と比べると、①大気中に放出される二酸化炭素等の温室効果ガスの量がフロンよりも桁違いに多い、②二酸化炭素はエネルギー消費と密接な関係があり、大気中への放出を減らす排出抑制・回収や代替技術の難しさに差がある、③フロンによるオゾン層破壊では、地域によるパターンが異なることはあっても、マイナスの影響しか予測されないのに対して、④温暖化の影響評価は地域によって分かれることにより、遥かに複雑になる。さらには、⑤フロンが人工の合成物であるのに対して、二酸化炭素は自然由来であり、海洋・大陸・大気・生命圏の間の循環を考えなければならない⁽⁹⁷⁾。共通事項には、①地球規模の環境問題であること、②大気変化の責任はすべての国に責任があるが、先進工業国が責任のほとんどを負わなければならないこと、③政府は科学的不確実性を伴う問題に直面させられたこと、④「静観」政策では災害につながるかもしれないこと、⑤行動を起こすには莫大な経費がかかること、⑥将来の危険を取り除く行動が必要であること⁽⁹⁸⁾、に加え、⑥対応策がとられても地球環境の回復には、数10年ないしは100年以上も時間がかかること⁽⁹⁹⁾、があげられる。また、これまでのフロン規制の経緯の温室効果ガス規制に関する寄与には、①温室効果ガスの25%を占めると考えられているフロンとハロンの削減によるものと、②オゾン層保護に関する国際交渉自体が温室効果ガス規制に関する協議のモデルになっていること⁽¹⁰⁰⁾、があげられ

る。

1 オゾン層と気候変動

オゾン問題が気候変動と関係している理由は、①オゾンは二酸化炭素やメタン (CH₄) と同様に温室効果ガスであること、②フロン類も種類によっては温室効果を持っていること⁽¹⁰¹⁾ (二酸化炭素の地球温暖化係数1に対して、例えばトリフルオロメタン (HFC23) の地球温暖化係数は11,700) に加え、③成層圏にけるオゾン減少はオゾンによる加熱効果も低下し、気温が下がることになるからである (Iの3参照)。実際には、気温は熱源としてのオゾン量の変動だけではなく、様々なメカニズムのフィードバックによって決まる複雑な仕組みになっているが、成層圏の温度分布が変化すると、成層圏の風の流れに変化が生じ、気候変動の原因になる可能性がある⁽¹⁰²⁾。オゾンモデルによる数値計算では、気候はより低い層である対流圏におけるオゾン濃度の変化に対して特に影響を受けやすいことが明らかになっており、対流圏では、主に自動車、工業プロセス及び熱帯のバイオマス燃焼由来の一酸化窒素、一酸化炭素、ガス状の炭化水素の放出により、オゾン濃度は明らかに増加した。大気圏の下層部における高いオゾン濃度は、農業生産物や人の健康に悪影響を及ぼす環境問題そのものである⁽¹⁰³⁾ (Iの4参照)。

2 地球環境問題と国際政治の転換

(1) 環境外交：外交の科学化

地球環境問題のある側面は、地球上の大気や水や海を一種の国際公共財とみなし、多くの国々が相互に規制しあい、これを管理・保全していこうとすることである⁽¹⁰⁴⁾。英国やドイツ

⁽⁹⁷⁾ 富永ほか 前掲注(16), p.157.

⁽⁹⁸⁾ ローン 前掲注(45), p.449.

⁽⁹⁹⁾ 富永ほか 前掲注(16), pp.155.

⁽¹⁰⁰⁾ ローン 前掲注(45), p.449.

⁽¹⁰¹⁾ *op. cit.*, (36)

⁽¹⁰²⁾ 富永ほか 前掲注(16), pp.99-100.

⁽¹⁰³⁾ *op. cit.*, (36)

の工業地帯から飛来する汚染物質に悩まされていたスカンジナビア諸国の大気汚染対策だけではなく、欧州は地政学的に国際河川・国際内湾をいくつかかかえており、この汚染について国際的に取り組まざるをえない条件下にあった⁽¹⁰⁵⁾。欧州全体の環境政策が統一・強化されてきた過程の特徴について、米本昌平氏は、次のような興味深い指摘をしている。環境外交の特徴は、「広域の環境問題の解決をめざす外交交渉（この全体をさして環境外交と呼ぶことがある）の過程が「科学化」し、「理性化」したことである。「外交の科学化」とは、その基礎に科学的なデータとシミュレーション研究の結果が直結し、これによって古典的な外交交渉の余地がきわめて狭められてきたことである。また、「外交の理性化」とは、国際合意よりさらに厳しい基準を自らに課すと公約する国が出てきたことである。この事実は、つねに国益がぶつかりあう場であるために、必然的に、国際的な達成義務を常に最低限の基準へと引っ張ってきた外交交渉の枠組みを、大きく変えてしまう可能性を秘めている。地球環境問題という観点から重要なのは、このような体験の中から、欧州諸国の間を中心に、一方的・片務的に厳しい基準を自ら課す国ほど先進国、という暗黙の了解ができつつあることである。このような「古典的な国益主義の止揚」を基調とする環境外交を育てあげたのは、長距離越境大気汚染条約やECの環境政策、国際内湾の環境保全機構の構築と強化にむけての、息の長い多国間の交渉であった。⁽¹⁰⁶⁾」

COP13において、合意には至らなかったものの、当初の議長案に盛り込まれていた「先進

国は2020年までに1990年代で20～40%の温室効果ガスを削減する」との数値目標については、世界の共通認識となりつつある⁽¹⁰⁷⁾。数値目標の設定には、今後一層活発な国内議論が必須であろう。また、近隣諸国との関係でいえば、最近、中国が発生源と見られる、蔵王連峰の樹木の硫黄酸化物(SO_x)による汚染が報道された⁽¹⁰⁸⁾。アジアでの窒素酸化物(NO_x)の激増も報道された⁽¹⁰⁹⁾。欧州の経験に倣えば、わが国は、中国、韓国、ロシアも含めた、大気と海に関するわが国の広域環境協力において地力をつけることにより、地球温暖化問題におけるわが国のイニシアチブを増すことができると思われる。2007年12月、日中韓の各国政府は東アジア地域での汚染物資の流れなどを科学的に解明するための協力を合意した⁽¹¹⁰⁾。

(2) 英国の変身

1980年代末に起こった国際政治における認識論的転換は、地球環境問題が、実務的な国際的課題を指す「ロー・ポリティックス」から、軍事的な安全保障の問題と事実上、同義語であった「ハイ・ポリティックス」に移ったことである⁽¹¹¹⁾、といわれる。東西の冷戦構造の解体が進む一方、地球環境問題が国際政治のアジェンダの順位表を駆け上がっていく過程は偶然ではなく、国際政治はその緊張の空隙を埋める新しい脅威を必要としていた⁽¹¹²⁾。地球温暖化問題が、軍事を主軸として動いてきた国際関係の枠組みを変質させてしまう可能性の重要性を読み取り、いちばん周到な準備をしていたのは、サッチャー首相であった⁽¹¹³⁾。1989年3月、英

⁽¹⁰⁴⁾ 米本 前掲注(7), p.212.

⁽¹⁰⁵⁾ 同上.

⁽¹⁰⁶⁾ 同上, pp.197-198.

⁽¹⁰⁷⁾ 『毎日新聞』2007.12.16.

⁽¹⁰⁸⁾ 『毎日新聞』2008.1.29.

⁽¹⁰⁹⁾ 『読売新聞』2007.10.11.

⁽¹¹⁰⁾ 『読売新聞』2008.2.20.

⁽¹¹¹⁾ 米本 前掲注(7), pp.140-141.

⁽¹¹²⁾ 同上, pp.56-57.

⁽¹¹³⁾ 同上, pp.58-59.

国政府とUNEPとの共催で開催された「オゾン層保護に関するロンドン会議」（123か国参加、うち80か国は閣僚級が参加。）は、2か月後にヘルシンキで開催される予定であった「ウィーン条約」「モントリオール議定書」第1回締約国会合にとって大きな圧力となった⁽¹¹⁴⁾。第1回締約国会合では、当初の予定にはなかったヘルシンキ宣言が採択され、「フロン生産と消費を、遅くとも2000年までのなるべく早い時期に全廃すること」が明言された⁽¹¹⁵⁾。これは1987年に採択された「モントリオール議定書」に従って実際の規制（1989年7月から段階的に削減し半減させる）が開始される以前に、議定書の内容の大幅な強化について合意ができたことを意味するが、これは外交上、異例なことであった⁽¹¹⁶⁾。英国の対応は、「モントリオール議定書」の交渉過程とは異なり、明らかで、急激な変化であった（IVの1参照）。

3 南北問題：「共通ではあるが差異のある責任」

地球環境保護は全人類共通の課題ではあるが、自国の開発の権利と先進国の責任を主張する開発途上国と先進国の間の対立が絶えず生じる。オゾン層保護問題の場合も同様であった。「共通ではあるが差異のある責任」には、「共通の責任」と発展途上国の強い要求によって盛り込まれた「差異のある責任」の二つの責任の概念が含まれており、責任の差異性の確認は、地球環境問題への共同の取組みの基本的条件であ

る⁽¹¹⁷⁾。後者には、「汚染者責任原則」に基づく先進国の歴史的な責任と「当該責任のあるものがその責任を果たせない場合には対応能力のあるものが手助けをすべき⁽¹¹⁸⁾」という責任も含まれよう。「モントリオール議定書」では、これまでオゾン層破壊物質排出に大きく寄与した先進国が途上国に先立って主要な責任を負うということで、開発途上国の特別な事情（第5条）が盛り込まれた⁽¹¹⁹⁾。そして、1992年の「環境と開発に関するリオ宣言」（原則7：共通ではあるが差異ある責任）⁽¹²⁰⁾を経て、南北の基本的な立場の違いは、温暖化問題に対する「共通ではあるが差異のある責任」として概念化され⁽¹²¹⁾、地球温暖化に関する「国連気候変動枠組条約」（前文・第4条第1項）、「京都議定書」（第10条）にも取り入れられた。

4 「予防原則」の深化

「予防原則」の起源は、旧西ドイツの「事前配慮原則」（Vorsorgenprinzip）に求めることができるといわれる。この「事前配慮原則」は、「有害物質の発生抑制および段階的削減による環境配慮のための連邦政府ガイドライン」（1986年、連邦政府が連邦議会に報告。）の中で、環境政策上の行動原則として位置づけられており、予防の概念が、「危険防止」、「リスク配慮」、「将来配慮」を含む広義の原則としてとらえられている⁽¹²²⁾。ここでいう「危険防止」が将来の損害の未然防止に力点を置くのに対して、「リス

⁽¹¹⁴⁾ 米本 前掲注(7), pp.59-60.

⁽¹¹⁵⁾ 同上, p.60.

⁽¹¹⁶⁾ 同上

⁽¹¹⁷⁾ 碓井敏正「地球環境問題は人類共通の課題か—持続可能な地球のための正義論—」『日本の科学者』40巻11号, 2005.11, pp.17-18.

⁽¹¹⁸⁾ 津曲俊英「持続可能な開発における「共通ではあるが差異のある責任」(common but differentiated responsibility) について」『財務総研ディスカッション・ペーパー』2005, p.2. <<http://www.mof.go.jp/jouhou/soken/kenkyu/ron001-02.htm>>

⁽¹¹⁹⁾ P. キャナン・N. リッチマン（小田切力・藤本祐一訳）『オゾン・コネクション』日本評論社, 2005, p.57.（原書名：P. Canan and N. Reichman, *Ozone Connections*, 2002）

⁽¹²⁰⁾ 同上, p.57.

⁽¹²¹⁾ 米本 前掲注(7), p.119.

⁽¹²²⁾ 小山佳枝「国際環境法における「予防原則」と海洋環境の保護」『海洋政策研究』2号, 2005, p.92.

ク配慮」は、危険と判断する根拠のない場合、又は、環境リスクを現時点では確定できない場合であっても環境リスクを回避して低減する点が指摘され、国際環境法上の「予防原則」の直接の萌芽として位置づけることができる⁽¹²³⁾、とされる。国際的な場面では、80年代後半から北海の汚染防止や欧州統合の文脈で、まず旧西ドイツが「予防原則」の適用を主張し、1984年からの北海保護国際会議で採択された一連の宣言（1984年ブレーメン宣言、1987年ロンドン宣言、1990年ハーグ宣言等）⁽¹²⁴⁾の成果を受けて、「予防原則」は1992年に採択された、北東大西洋海洋保護のための国際協力に関する「OSPAR条約」の規律原理となった⁽¹²⁵⁾。同条約は、1972年の「ゴミの海洋投棄に関するオスロ条約」と1974年の「陸起源の海洋汚染物質に関するパリ条約」を統合し、更新したものである⁽¹²⁶⁾。

第2回世界気候会議（1990年、ジュネーブ）において採択された閣僚会議宣言にも、「現在及び未来世代のために、気候変動による環境悪化に対する予防措置がとられなければならない。深刻でとり返しのつかない被害のおそれがあるときは、科学的不確実性が、コスト面で適切な措置をとることを遅らせる理由にされてはならない」との「予防原則」が挿入された⁽¹²⁷⁾。さらに、1992年の「環境と開発に関するリオ宣言」の第15原則に「予防原則」が盛り込まれた。オゾン層破壊物質の規制もそうであったが、「不

確かな科学的根拠」に基づいて行われる、温室効果ガスの放出規制に対する反対も根強い。しかし、これら二つの規制に関して、「予防原則」と後悔しない政策の提案がなされている⁽¹²⁸⁾、ということが重要である。オゾン層破壊と地球温暖化問題は、南北問題における先進国の歴史的責任に加え、未来の世代との衡平も合わせて考えなければならない、優れて政治的な課題である。

2006年10月、英国において、気候変動の経済影響を査定してその理解を深めることを趣旨とする⁽¹²⁹⁾「スターン報告書⁽¹³⁰⁾」が発表された。同報告書は既存の研究成果に基づいているが、加えて、スターン卿（Sir Nicholas Stern）等は、英国や世界の研究者・機関からの意見収集や情報・意見交換を行い、①中長期的視点、行動を起こす際の時間軸の影響、政策及び制度の選択に焦点を置き、低炭素世界経済へと移行する経済学、②様々な気候変動対策に対する多様なアプローチの可能性、③既存の気候変動に対する目標における、英国への明確な教訓、に関する分析を行った。同報告は、現在の地球温暖化ガスの排出傾向が続けば、①50年以内に世界の平均気温は2～3℃上昇する（産業革命以前と比べて）⁽¹³¹⁾、②今世紀の半ばまでに異常気象による損害のコストだけでも各年の世界の国内総生産（以下GDPとする。）の0.5～1%に達する⁽¹³²⁾、③温室効果ガスが500～550ppmの二酸化炭素

⁽¹²³⁾ 同上

⁽¹²⁴⁾ 見矢野マリ「第4章環境リスク問題への国際的対応」長谷部恭男編『法律からみたリスク』（リスク学入門3）岩波書店、2007、p.101.

⁽¹²⁵⁾ 堀口健夫「陸起因海洋汚染の国際規制における予防原則の意義」『STS Network Japan 2002年研究発表会予稿集』p.14. STSホームページ〈<http://stsnj.org/ni/PDF/>〉

⁽¹²⁶⁾ OSPAR Commisionホームページ〈<http://www.ospar.org/eng/html/welcome.html>〉

⁽¹²⁷⁾ 米本 前掲注(7)、pp.88-89.

⁽¹²⁸⁾ 住明正「第1章地球温暖化に関するリスク」益永茂樹編『科学技術からみたリスク』（リスク学入門5）岩波書店、2007、p.21.

⁽¹²⁹⁾ 英国財務省編（AIMチーム・国立環境研究所訳）『気候変動の経済学（概要）』環境省他、2007、p. i.（原書名：HM Treasury, *Stern Review: The Economics of Climate Change Executive Summary*, 2006）

⁽¹³⁰⁾ 2005年、英国政府気候変動・開発における経済担当政府顧問であったスターン卿が英国財務大臣から委託を受け、2006年、英国首相及び英国財務大臣に提出した報告書『気候変動の経済学』である。（同上の「序文」及びその他による。）

⁽¹³¹⁾ 英国財務省 前掲注⁽¹²⁹⁾、p.vi.

相当のレベル (CO₂e) で安定するためにかかるコストの平均値は、2050年までに各年の世界のGDPの約1%である⁽¹³³⁾、④地球温暖化による損害は、地球温暖化が進むにつれて増大する⁽¹³⁴⁾、⑤早期の、断固とした地球温暖化緩和策をとることにより大部分は削減でき、計算上よりはるかに低いコストで達成可能である⁽¹³⁵⁾、としている。

5 科学者集団による科学的知見・評価の継続的提供

「モンテリオール議定書」(第6条:規制措置の評価及び再検討)に基づいて、科学パネル、環境影響パネル、技術・経済アセスメントパネル(以下TEAPとする。)の三つのアセスメントパネル(評価委員会)が設けられた⁽¹³⁶⁾。例えばTEAPは、①科学的所見と最新の技術的進歩を基にして、実用的で実行可能な提案を行って、締約国に採用され、②オゾン層保護活動の速度と範囲を高める政治的決定のために、学問的根拠を与える役割を非常に効果的に果たした⁽¹³⁷⁾。集団による科学的な知見・評価の継続的な提供という方式は、気候変動に関する政府間パネル(以下IPCCとする。IPCCが研究をしているわけではない。IPCCの部会に集う科学者等専門家が膨大な関連文献を読んで報告書としてまとめ、交渉過程にインパクトを与えている)に受け継がれ、これまでに4回の報告書を出している。2007年の『第4次評価報告書第1次作業部会報告書』は、①気候システムの温暖化は疑う余地がない、②20世紀半ば以降に観測された世界平均気温の上昇

は、人為的起源の温室効果ガスの増加によってもたらされた可能性が高い(『第3次報告書』よりも信頼性が向上)、③20世紀末に比べ今世紀末に、気温は、最も排出量が少ないシナリオでは1.8℃、最も排出量が多いシナリオでは4℃上昇する、④20世紀を通じた海面水位上昇量は0.17mと見積もられている⁽¹³⁸⁾、と述べている。

おわりに

かつて日本の稲作の課題は寒冷地対策だった。「農林何号」という名前と宮沢賢治の作品はその象徴だった。『グスコブドリの伝記⁽¹³⁹⁾』では、寒い気候がまた来るような状況下で、ブドリがひとり、カルボナード火山島に残って火山を爆発させ、大気中の二酸化炭素を増加させることによってイーハトーヴは凶作を免れた。東北では、山背が吹けば、今でも冷害に悩まされることがある。一方、これまでは、夏のクーラーなど無用であった欧州での記録的な暑さが報じられるようになった。絶えずさらされる紫外線放射による被害の場合とは異なり、被害を被った地域以外では、温暖化の被害を実感するのは難しい。しかし、地球上の異なる地域で、多くの人々が、それぞれに、昔と比べて、何かおかしいと考え始めているのも事実なのである。

今から100年以上も前に、スウェーデンのスヴァンテ・アレニウス⁽¹⁴⁰⁾博士(Svante A. Arrhenius)は、大気中の二酸化炭素が2倍になれ

⁽¹³²⁾ 同上, p.viii.

⁽¹³³⁾ 同上, p.xiii.

⁽¹³⁴⁾ 同上, p.xv.

⁽¹³⁵⁾ 同上, p.x.

⁽¹³⁶⁾ キャナン・リッチマン 前掲注⁽¹¹⁹⁾, p.10

⁽¹³⁷⁾ 同上, p.160

⁽¹³⁸⁾ 気象庁訳『IPCC第4次評価報告書第1作業部会報告書 政策決定者向け要約』気象庁, 2007. 気象庁ホームページ <http://www.data.kishou.go.jp/climate/cpdinfo/ipcc/ar4/ipcc_ar4_wgl_spm_jpn_rev2.pdf>

⁽¹³⁹⁾ 『グスコブドリの伝記』の発表は1932年(谷川徹三編『童話集風の又三郎』(岩波文庫)岩波書店, 1951, p.308.)。

⁽¹⁴⁰⁾ スウェーデンの化学者、天文学者。1903年、物理化学の初期において最も重要な基礎概念の一つであった。電離説の研究により、ノーベル化学賞を受賞。(長倉三郎ほか編『理化学辞典第5版』岩波書店, 1998, p.53.)

ば地球の温度はおよそ5度または6度上昇すると計算した⁽¹⁴¹⁾。IPCCによる一連の報告は、20世紀前半を通じてほぼすべての専門家から否定され、後半を通じて着実に発展した、アレニウスの理論上の仮説の再確認であり、地球の「温暖化の発見」であった⁽¹⁴²⁾。そして、ローランド博士とモリナ博士のフロンによるオゾン層破壊の仮説は、「地球大気の意外な脆さ」の「発見」でもあった。「オゾン層破壊」は、かつては誰にも考えられなかった「大気の脆さ」という大きなヒントを「温暖化問題」に与えることにより、この分野での研究を加速した。安定な気象トレーサーとしてのフロンが、大気中で最後にはどうなるのかということから始まった研究⁽¹⁴³⁾は、人類からすると、まさに天啓であったということもできよう。

地球温暖化対策は始まったばかりである。そして、オゾン層破壊対策はまだ終わっているわ

けではない。日本上空のオゾン全量は、主に1980年代に明瞭な減少傾向があったが、1990年代半ば以降に、やや微増傾向がみられる。しかし、世界のオゾン全量は、1980年代から1990年代前半にかけて大きく減少し、現在もオゾン全量は少ない状態が続いている。また、2006年のオゾンホール面積は、2000年に次ぐ観測史上2番目の広さであり、南極域のオゾン層は、依然として深刻な状況にある⁽¹⁴⁴⁾。「モントリオール議定書20周年記念シンポジウム」の最後に、再び壇上に上がったローランド博士は、「フロンの寿命の平均値は100年と長い。既に排出されたフロンは、これからも50年から100年の間、成層圏に留まるのである。」と述べ、継続的なフロンの排出規制を訴えた。排出された二酸化炭素もまた長期にわたって大気中に留まっているのである。

(むらやま たかお 文教科学技術調査室)

⁽¹⁴¹⁾ スペンサー・R・ワート (増田耕一・熊井ひろ美訳) 『温暖化の〈発見〉とは何か』みすず書房, 2005, p.14. (原書名: Spencer R. Weart, *The Discovery of Global Warming*)

⁽¹⁴²⁾ 同上, pp.237-238.

⁽¹⁴³⁾ 富永ほか 前掲注⁽¹⁶⁾, p.3.

⁽¹⁴⁴⁾ 環境省『平成18年度オゾン層等の監視結果に関する年次報告書』2007.8, p.1. 環境省ホームページ〈<http://www.env.go.jp/earth/report/h19-02/0-2-abstract.pdf>〉環境省は、「オゾン層保護法」の規定に基づいて、①オゾン層の状況、②オゾン層破壊物質等の大気中濃度、③太陽紫外線の状況の監視結果をまとめた年次報告書を発表している。