

フロンは魔女ではない

名城大学 経済学部 樋田 敦

【現代の魔女裁判所による判決主文】

フロンは魔女である。オゾン層を破壊し、皮膚ガンを増加させるなど人類および生態系に脅威を与えた。よって、フロンの製造、使用、廃棄を制限する。

【フロンを魔女と認定する理由】

成層圏大気に含まれる O_2 、太陽光の紫外線により、 O_3 となる。そして、この O_3 は、また紫外線により分解されて O_2 に戻る。したがって、 O_3 は他に生成・分解の道がなければ成層圏大気中に常に存在する。

オゾンを大量に生産するところは、熱帯(年間)と高緯度(夏)の高度 25km の成層圏である。熱帯では一年中ほぼ一定の濃度で存在している。高緯度の夏では、赤道よりも日射量が多く、オゾンの生産量は熱帯よりも多い。

この熱帯と高緯度で生産されたオゾンは、低層成層圏大気の循環により、地球の南極に向けて移動する。このとき、冬極ではその高度は 5km ほど下がって 20km 程度となるので、気圧は約 2 倍になり、オゾン濃度は圧縮されて倍増する。これらの高度 20~25km のオゾン濃度の高い成層圏をオゾン層という。

そして、両極の冬では紫外線がないので、通常はオゾンは分解されることなく、濃厚なまま降下して対流層に入り、拡散して消滅する。

しかしながら、1980 年春、南極でこのオゾン層の濃度の急激な減少が発見され、後にオゾンホールと名付けられた。このオゾンホールの面積は、1985 年には南極大陸と同じとなり、2003 年にはその 2 倍になった。

オゾンホール発生前後では、南極には西風の極渦により南極成層圏大気は孤立していて、オゾンが消滅するには化学反応が起こっているとしなければならない。その反応は Cl (塩素) による触媒反応であり、成層圏にこの塩素を供給したのは Cl (または Br) を含む人工化合物のフロン類である。

オゾン層は地上生物にとって重要な働きをしている。それは地表に届く太陽光の紫外線を減らして、皮膚ガンや白内障の発生を抑制し、また植物やプランクトンを守っている。したがって、オゾン層が消滅すると、生命の根幹が脅かされることになる。

よって、主文のとおり判決する。

【科学者の証言】

以上のように、魔女と認定し使用などを制限した根拠は科学者による次の 5 つの証言である。

①極渦孤立説

南極成層圏大気は、西風の極渦により孤立しており、この渦の内外で大気の交換はない(ジェイコブ『大気化学入門』)。それなのにオゾンが消滅するには、化学反応が起こっているとしなければならない。

②フロン原因説

そのような反応を起こす化学物質として Cl や Br が考えられる。そのような原子は、成層圏で紫外線により人間が放出したフロン類が分解されることにより発生する。

③フロン原因説の実証

オゾンホール発生前後において、航空機による観測によれば、オゾン濃度は ClO 濃度と密接に関係しており、オゾン層破壊についての塩素説が裏付けられた。

④人類と生態系に及ぼす脅威

オゾン減少が 5% に達すると皮膚ガンは世界で約 24 万人増加する(ローランド『フロン』)。また生態系にも甚大な影響を残す。

⑤予防原則

これらの危険を回避するためにはフロンを規制する「予防措置」をとるべきである。

【裁判経過とその後】

この魔女裁判は弁護人抜きでなされた。本来ならば、フロンの製造業者が、弁護人を雇って裁判に臨む筈である。フロンの製造業者は世界に 25 社あるというが、どの業者もフロンの擁護にあまり熱心ではなかった。逆に、所属研究員にフロン排斥運動をさせた企業もあった。

それは、Cl や Br を含まない代替フロンで解決できると考えたからであろう。研究員にフロン排斥運動をさせた企業の場合、その代替フロンの特許を持っていたからではないかと考えられる。

この魔女裁判により、1985 年には「オゾン層の保護のためのウィーン条約」、そして 1987 年には「モントリオール議定書」が採択された。

1988 年に開催された通称トロント会議は、2005 年までに放出量を 1988 年レベルの約 20% 削減すべきであると決めた。日本でも 1988 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」が制定された。

フロンは、気化により熱を吸収し、液化により熱を放出するので、有用な熱を運ぶ物質である。これは冷蔵庫や冷暖房(一般家庭や自動車)の熱媒体として、また噴霧材として用いられる。しかも、人体に毒性のない働き手である。

しかし、フロンはオゾン層を壊すという悪事を働くと科学者に指摘されたのである。そこで、これらのフロンを含む装置を廃棄するとき、フロンを抜き取り、再使用または消滅処分することが義務づけられた。

ところで、京都議定書(1997 年)により、業界にとって救世主であった Cl や Br を含まない代替フロン兄弟(HFC、PFC、SF6)も地球温暖化の原因物

質とされ、これらの物質も自由には使えないことになった。

【フロン魔女裁判の再審査請求】

このフロン魔女裁判では、弁護しようとする科学者はいなかった。仮に、そのような気持ちを持つ科学者がいたとしても、自由に発言することはできなかったであろう。それは、環境を破壊する企業を弁護する者と見なされ、非難されるからである。

そして、もしも、フロン製造会社から研究資金を得ていることがバレたとすれば、石炭業界から資金を得て地球温暖化に批判的意見を述べた科学者の場合と同様に、非難は糾弾に変わり、科学者としての生命は終了するであろう。

だが、フロン原因説はあまりにも欠点が多い。フロンを魔女とするのは間違いであり、有用なフロンを使用しないと理由はない。

私は熱物理学の研究者として、フロンの弁護人を引き受けようと決心し、再審査請求をすることにした。魔女を弁護すれば、現代でも迫害されるだろうが、まさか生命の危険はあるまい。

【極渦孤立説①は間違っている】

科学者の証言①には大きな間違いがある。科学者は、成層圏には極渦（西風）があり、これがエアカーテンのように南極成層圏大気を孤立させている、という。しかし、これは正しくない。それは西風がなぜ存在するのかを考えていないからである。

実は、南極成層圏大気は、西風で孤立しているのではなく、逆に、西風の存在によって南極成層圏に低緯度の成層圏大気が流入していることが示される。

地球は、1日に1回、西から東へ回転している。地表に対して静止している大気もやはり1日1回回転している。地表と大気の色度は赤道がもっとも早く、秒速500メートルであって、赤道から極に近づくにつれて速度は減り、北極と南極では速度がゼロになる。

そこで、任意の地点の大気が赤道から極へ、つまり緯度が高くなる方向へ移動すると、大気の方が移動先の地点よりも早く動く。つまり、地表から大気を見ると西風になっている。これとは逆に、極側から赤道側へと緯度が低くなる方向へ大気が移動すると東風になる。

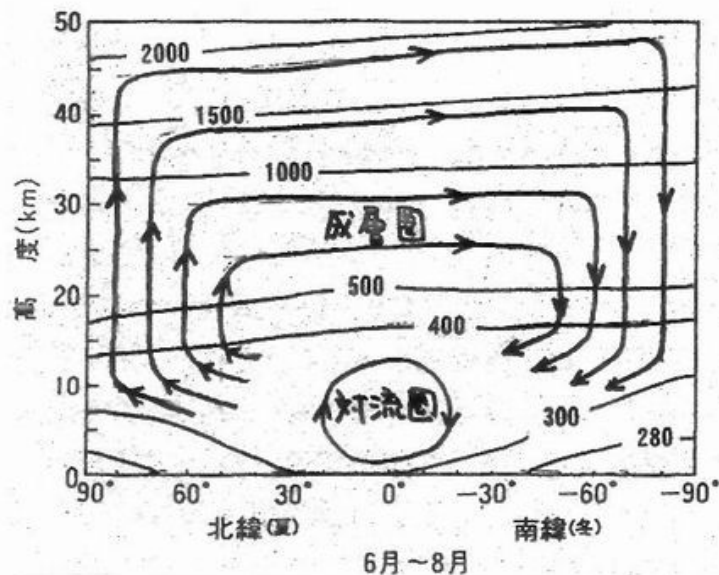
これは気象学の常識であって、たとえば、上空の対流圏大気には、ジェット気流という高速（80メートル程度）の西風があるが、これは大気が赤道側から極側へ移動していることで生じたのである。

したがって、南極成層圏における西風の極渦の存在は、南極大気の孤立を示すのではなく、逆に、南極に低緯度の成層圏大気が流入していることを示している。

成層圏大気の移動では、高度によって大気の熱的性質（温位）が異なり、逆転層と同じ理由で、上下に混ざりあうことはないが、水平面内では南北にも東西にも激しく流れている。

この大気の運動の原因は、太陽光の吸収と宇宙への放熱である。夏側半球の成層圏では、 O_2 や O_3 が太陽光の紫外線を吸収して加熱されて軽くなり、対流圏大気を吸い上げて上昇気流となり、夏極から赤道方向へ移動する。したがって、この大気は地球の自転により東風となる。

赤道を越えて冬側へ移動すると、逆に西風となる。冬側成層圏では CO_2 による宇宙への遠赤外線放射で冷却され、成層圏大気は重くなって下降気流となり、対流圏に流れ込むという成層圏大気の循環になっている（図表．1）。



図表．1 成層圏大気の運動

温位とは、大気の熱的性質を示す値であって、この大気を1気圧に加圧したときの温度である。安定した大気では、温位による層構造をしている。

科学者がこのような基礎的な気象学の常識をどうして忘れてしまったのか。誰が最初に言ったのか。どうしてそれを信じ、多数で唱和することになったのか。「フロンがオゾンを壊す」という衝撃的な説に魅せられて、見逃すことになってしまったのだろうか。

いずれにせよ、オゾンホール発生前には、成層圏大気は南極に流れこんでいる。したがって、化学反応を考慮しなければならない必然性はなくなってしまった。

【大気循環説】

これにより、オゾンホールを成層圏の大気循環で説明できるかできないか、大気循環説の再検討が必要となる。

まず、冬の間は極渦によってオゾンは補給され続けるので、オゾン濃度は高いことが分かる。次いで、春になると西風は止まり極渦は消える。その結果、南極にはオゾンの供給がなくなる。

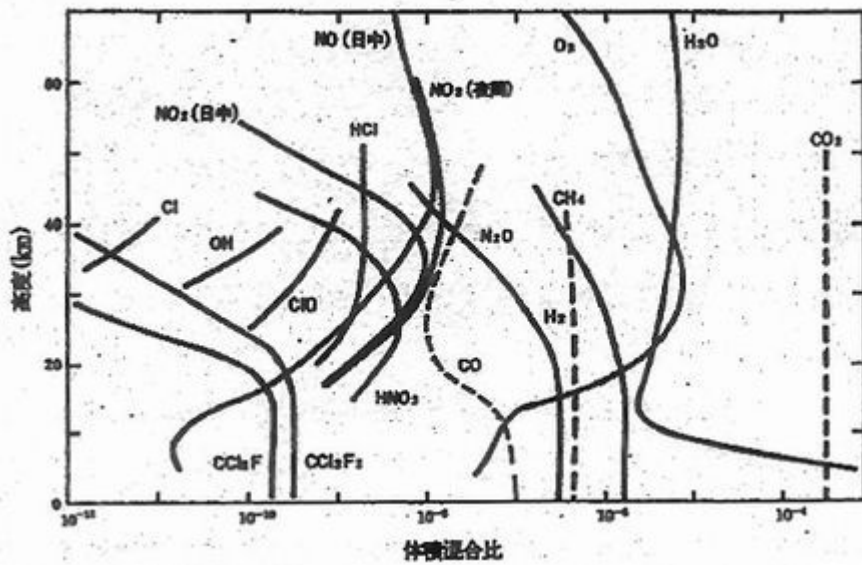
そして、南極では冬から春にかけて極成層圏雲（PSC）が発生している。この雲は、 H_2O と NO_2 の氷粒であって、雲上面から宇宙へ遠赤外線を放熱し、

南極の大気を冷却する。そのためこの雲はますます発達し、全体として落下する。

この雲は、春になってもすぐには消えない。そして雲の上端から宇宙への放射冷却をなおしばらく続けるので、春になっても高層成層圏雲の生成と落下は続くことになる。

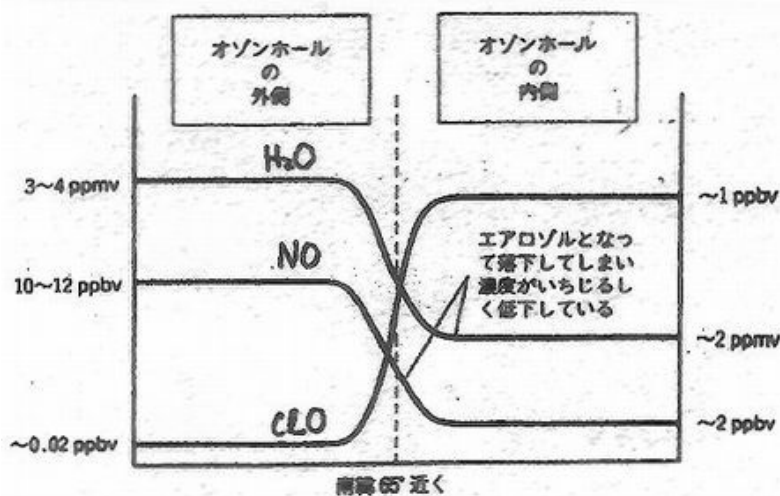
雲が落下すると、雲に含まれる高層成層圏大気も落下する。極渦がなくなっているためオゾン濃度の高い低層成層圏の大気は補充されず、高層成層圏の大気だけが供給される。

図表. 2 に示すように 40km 以上の高層成層圏の大気にはオゾンが低層成層圏の 1/10 と少ないので、オゾンホールが説明できることになる。



図表. 2 成層圏での気体の高度分布

さらに、極成層圏雲は NO₂などを溶かして落下する (図表. 3)。これと同様に、オゾンも溶かし落下する。そのためオゾン濃度はますます減ることになる。



図表. 3 オゾンホール内外の H₂O と NO

要するに、極渦が存在するからオゾンホールになるのではなく、春になって西風の極渦が止まり、オゾンの補給が無くなったからオゾンホールになるのである。

結論として、極渦が止まることと、極成層圏雲が落ちることにより、高層成層圏大気が供給され、また O_3 が極成層圏雲に溶解して除かれるのでオゾンホールが成立する。

このように犯人は別に存在したのだから、フロン犯人説は消滅するのである。これだけでもフロンの嫌疑は晴れるが、念のため、フロン原因説が成り立たないことも証明する。

【フロン原因説②の欠陥】

フロン原因説は、対流圏で安定なフロンが成層圏に運ばれ、紫外線により $ClNO_3$ や HCl になり、これらが南極に運ばれて、極成層圏雲 (PSC) の表面の触媒反応により $HOCl$ になり、これから Cl が作られてオゾン破壊する、と複雑な推理をする。

まず、オゾン層のある下層成層圏には、 Cl が HCl などとして $0.1ppm$ 程度存在している。フロンの分解によると考えられる量はこれに比べて一桁少ない。したがって、 Cl がオゾン破壊するとしても、その原因をフロンのせいにするには無理がある。

たとえば、海のしぶきを原因とする対流圏大気に含まれる Cl が成層圏に流れ込むことは否定できない。それだけでなく、ジェット機の使う粗製灯油には Cl が含まれており、それが成層圏に流れ込むこともあるだろう。したがってこれだけでも、フロン原因説は失敗である。

また、極成層圏雲は NO_2 、 H_2O という安定分子で作られる氷であり、しかもマイナス $90^{\circ}C$ という低温であるから、これが触媒反応をするというのは無理であろう。

さらに、決定的には、オゾンホールのできる南極の春先、太陽光線は水平に入射する。大気圏を通過する距離は、真上からの入射する場合の 10 倍になるので、紫外線 (0.3 ミクロン (μ) 程度) は成層圏に存在する大きさ 0.24 ミクロン程度の微粒子によって宇宙へ散乱されてしまう。

宇宙から地球を見ると青いのも、また晴れた空が青いのも、青い光 (0.4 ミクロン程度) がこの大気中の微粒子により散乱されるからであり、青い光よりも波長の短い紫外線はもっと強く散乱される。真夏の紫外線が太陽光の直射だけでなく、天空全体から降ってくるのも同じ原理で微粒子による散乱である。

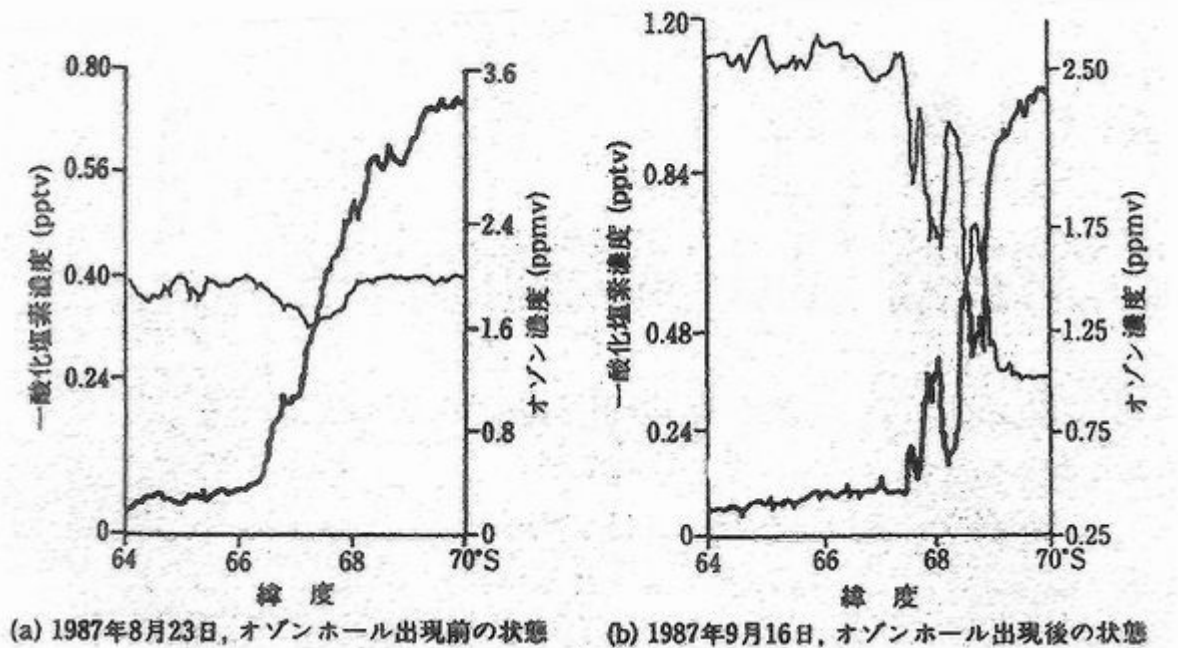
このようにして、春先の南極オゾン層には、赤外線や可視光は届くのだが、紫外線はほとんどオゾン層に届かない。

オゾンホール塩素説は、 Cl と ClO による触媒反応があるとしている。すなわち、 Cl がオゾン破壊して ClO となり、この ClO が Cl に再生してふたたびオゾン破壊する反応をいうのだが、この Cl に戻る反応には紫外線が必要で

ある。紫外線のない南極の春先ではこの反応はあり得ず、フロン原因説は成立しない。

【フロン原因説の実証③の逆転反証】

NASA は、1987年8月と9月に南米チリで、超高空用偵察機を改造して、オゾンホール発生前後の O_3 濃度と ClO 濃度の関係を調査し（図表. 4）、フロン原因説を実証したと主張した。多くの科学者はこれで問題は解決したと大喜びした。



図表. 4 (Anderson, 1989)

しかし、この現象について科学者の解釈は乱れているだけでなく、いずれも曖昧な表現にとどまっている。

オゾンホール発生後の図 (b) で、航空機がオゾンホールに入るまではオゾン濃度が 2.5ppm と高く、オゾンホール内では O_3 が 1.0ppm と低い。ところが ClO 濃度はオゾンホールに入ると 0.1ppt から 1.0ppt に急増することを強調する (ppt とは ppm の 1000 分の 1)。しかし、発生前の図 (a) ではオゾンホールなどという出来事がないのに、 ClO 濃度が、0.1ppt から 0.7ppt に急増していることを無視している。

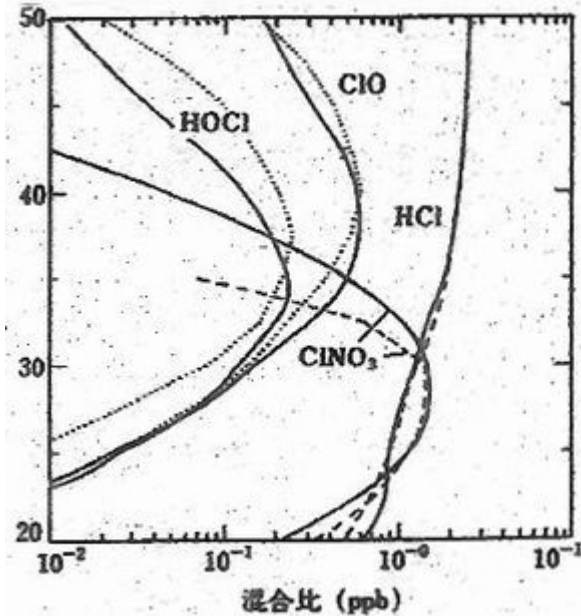
そして、図 (b) では、オゾンと ClO の微細構造がまったく逆の対応していることをもって、この両者は関係があり、フロン原因説は実証されたという。しかし、このような微細構造の逆関係までフロン原因説では説明できない。

まず、このふたつの図は、科学者の期待に反してフロン原因説を否定する図である。両図で ClO 濃度の傾向が同じであるのに、オゾンの傾向が違うということは、そのフロンと ClO は関係がないことを示している。

そして、図 (b) で、オゾンと ClO の微細構造の逆関係は、2 種類の大気

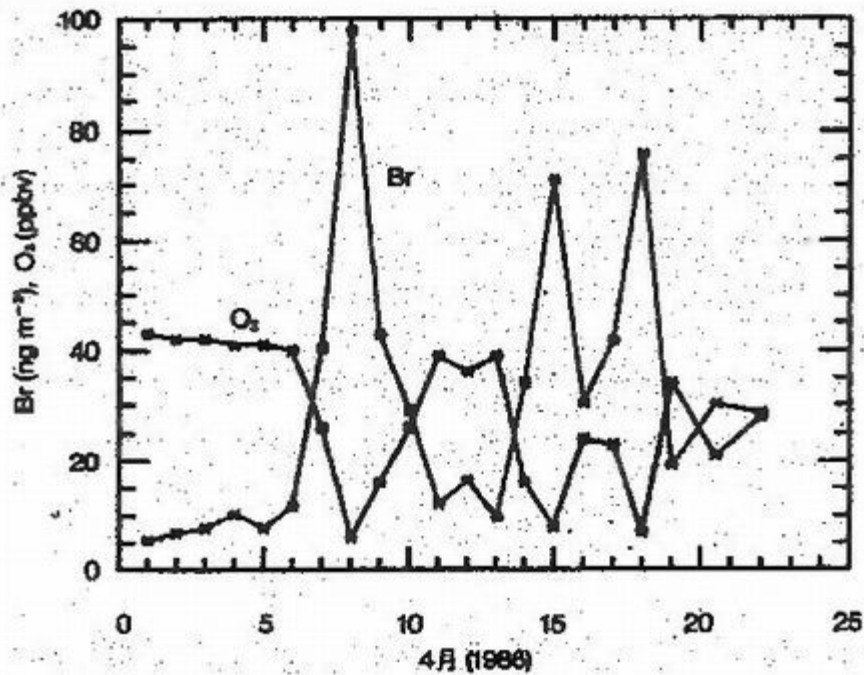
不均一な混合の場合に生ずるので、大気循環説では合理的に説明できる。

これを詳しく考えると、図表. 5 に示すように、40km 以上の上層成層圏大気には ClO 濃度が高く、また図表. 2 で示したように O₃ の濃度は低いのであるが、オゾンホールはこの大気が落下してきて、下層成層圏のオゾンを含む大気を追い出したとすれば説明できる。



図表. 5 ClO の高度分布 (増谷、p78)

同様に、上下大気の濃度の混合のゆらぎは北半球でも観測されている(図表. 6)。この場合、Br 濃度の高い空気が降りてきてオゾンを含む空気を追い出したものと考えられることができる。



図表. 6 北半球での O₃ と Br 濃度の逆関係

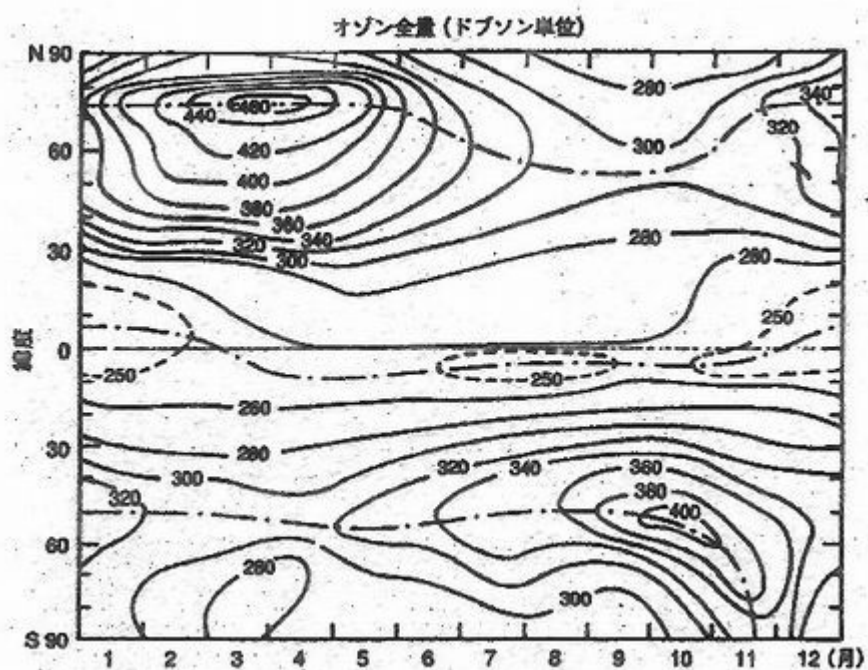
【人類の脅威④という脅しの嘘】

科学者は、成層圏オゾンの減少は皮膚ガンや白内障の原因になると脅した。この警告は1970年半ばに激しいスプレー缶論争に発展した。

ところで、この巨大オゾンホールは、南半球（南緯 60°以上）でのみ発生する。しかし、そこには人はほとんどいないから、皮膚ガンになる数は少ない。しかも、高緯度では紫外線は宇宙へ散乱されて少ないから、皮膚ガンにはならないのである。

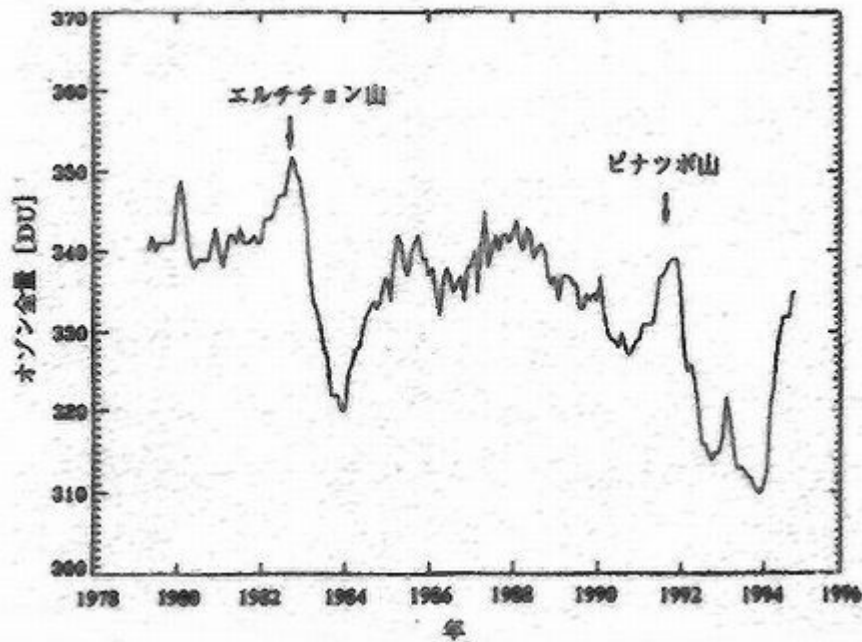
そして南極の初夏には紫外線が入射し、オゾン濃度は回復する。したがって、紫外線の人体への影響はほとんどない。

まして、熱帯、温帯では成層圏オゾンは太陽光の紫外線により常に補充され、いつでも 250 ドブソン程度存在するから、北緯 60 度から南緯 60 度の範囲の熱帯、温帯、亜寒帯では、オゾンホールの脅威はまったくない（図表. 7）。



図表. 7 オゾン全量 (ドブソン単位)

これに関連して、一時期、温帯や熱帯でも成層圏オゾン濃度が減っていると問題になったことがある。しかし、これをよく考察すると、火山の噴火と関係がある（図表. 8）。火山の影響でオゾンは減るが、3年で元に戻るのである。



図表. 8

【予防原則⑤を適用したことの間違い】

オゾン層が破壊されれば皮膚ガンが増える。したがって、治療よりも予防がよいから、予防原則を適用する必要がある、という（大竹『予防原則』）。

しかし、すべての病気を予防で解決する訳ではない。予防原則には、効果対費用、副作用、などの適用限界がある。被害があり、予防に意味がある場合だけ、この原則が適用される。環境問題での予防原則では、この適用限界についての議論がほとんどなされず、すべての問題にこの原則を適用せよと迫る。しかし、被害者がいないのに、被害が出る「かも知れない」というだけで適用するのは間違いである。

提唱者ローランドは、熱帯や温帯でもオゾンホールができると思っていたらしい。それは早とちりというものである。太陽光の紫外線で O_3 はつねに生産され、補充されている。

以上の考察により、フロン魔女説は完全に否定され、同時に大気循環説は証明された。

【魔女の恐怖に寄せられた愚かな人類】

フロンは安定で無害で有用な化合物である。熱工学ではこれほど使い易い物質はない。その使用をこのような粗雑なフロン原因説で使用制限したのである。

またオゾンホール対策して開発された代替フロンは京都議定書により温暖化ガスとして使用を制限され、その回収と消滅処理が義務づけられた。その経済的損失は計りしれない。

塗装用スプレーでフロンが使えない。多くは水性塗料に変わったが、今でも可燃性ガスが使用されることがある。その結果、爆発・火災・死亡事故となる。

南極での皮膚がん死者の数よりも、圧倒的に多いに違いない。

ヨーロッパの暗黒中世で魔女の恐怖に脅かされて右往左往した人類の歴史に、また汚点を追加してしまった。各国は真実を理解し、モントリオール議定書からできるだけ早く脱退し、フロンを自由に使える社会に戻すべきであろう。

フロンはまったくの濡れ衣を着せられたあわれな被害者であった。彼女の復権を求め、現代の魔女裁判所に再審査を請求するものである。

文献

大竹千代子、東賢一編 2005『予防原則』 p105

グレーデル, T.E.クルツェン, P, J. 1993『地球システム科学』河村公隆、和田直子訳 P60、P131

ジェイコブ, D.J. 1999『大気化学入門』東京大学出版会 p188

フレッケ, A. 1997『超高層大気物理学』奥沢隆史、田口聡訳、P104、P110

増谷修一編 1995『地球環境科学』 p78、p79

三崎方郎 1992『微粒子が気候を変える』中公新書

ローランド, F. S. 1990『フロン』富永健、巻出義紘訳、p82、P90