

第5章 数値モデル

村 松 久 史* 牧 野 行 雄* 広 田 道 夫*

5.1 モデルの概要

鉛直1次元光化学—拡散モデルを作り成層圏内のオゾン及びオゾンに関連する微量気体成分の定常状態及び日変化の計算を行った。考慮に入れた成分は34種類である。 N_2 と O_2 の高度分布は標準大気から採用し、 $H_2 \cdot CO_2$ の混合比は一定とし他の成分の分布を求めた。

5.2 基礎資料

表5.1に考慮した光解離反応を示す。表5.2には素反応過程とその反応速度定数を示す。反応速度定数は主として Hampson (1980) のものを採用した。

大気外太陽放射は800–8000Åの範囲を考慮した。表5.3aと表5.3bにその波長分布を示す。表5.3aは800–1300Åの波長範囲の線スペクトルであり放射強度は Hinteregger (1970) の値を採用した。

1300–8000Åの範囲の連続スペクトルは25–100Åづつの区間に分け平均対射強度を表5.3bに示す。この波長区間では放射強度が測定者によりかなり異なる値が報告されているのでいくつかの場合を考えた (Muramatsu, 1975)。

Case Aは短波長域で Detwiler et al. (1961) の値を採用したので2600Å以下で他の場合に比べて最も大きい放射強度を与える。

Case BはCase Aの1450–2075Åの範囲を Widing et al. (1970) の値でおきかえたもので Ackerman (1971) の分布に近い。

Case Cは2425Å以下の波長域で Parkinson and Reeves (1969) と Brewer and Wilson (1965) の値を採用したもので三者のうちで最も低い放射強度を与える。長波長領域 (Case A、Case Bでは2600Å以上、Case Cでは2425Å以上) では Arvesen et al. (1969) の値を用いた。

Case Dは Brasseur and Simon (1981) の値を主としたもので2600Å以下でCase Bより少し小さい値を示す。図5.1a~5.1eに太陽放射強度の波長分布を示す。

表5.4a~表5.4fに気体成分の吸収断面積を示す。表5.4c、表5.4dは酸素分子の Schumann-Runge 吸収帯であり特別の取扱いを必要とする。この報告では Muramatsu (1975) の方法により各波長区間の平均の透過率、解離率の計算を行った。

モデル大気を表5.5に示す。大気の密度・気温・スケールハイトは U. S. Standard Atmosphere、

*高層物理研究部

1976を用いた。オゾンの分布は中緯度での平均的分布であり計算の初期値として使用する。最後の欄には NO の解離率の高度分布を示した (Frederick and Hudson (1979)、太陽天頂角60° の場合)。

表5.1 光 解 離 反 応

J 1	$O_2 + h\nu \rightarrow O(^3P) + O(^3P)$	: $1760 < \lambda < 2424 \text{ \AA}$
J 2	$O_2 + h\nu \rightarrow O(^3P) + O(^1D)$	: $\lambda < 1760 \text{ \AA}$
J 3	$O_3 + h\nu \rightarrow O_2(^3\Sigma_g^-) + O(^3P)$	: $3100 \text{ \AA} < \lambda$
J 4	$O_3 + h\nu \rightarrow O_2(^1\Delta_g) + O(^1D)$	: $2660 < \lambda < 3100 \text{ \AA}$
J 5	$O_3 + h\nu \rightarrow O_2(^1\Sigma_g) + O(^1D)$	: $2000 < \lambda < 2660 \text{ \AA}$
J 6	$O_3 + h\nu \rightarrow O_2(^1\Delta_g) + O(^1S)$	: $1800 < \lambda < 2000 \text{ \AA}$
J 7	$O_3 + h\nu \rightarrow O_2(^1\Sigma_g) + O(^1S)$	: $\lambda < 1800 \text{ \AA}$
J 8	$N_2O + h\nu \rightarrow N_2 + O(^1D)$	: $1500 < \lambda < 3150 \text{ \AA}$
J 9	$N_2O + h\nu \rightarrow NO + N$	: $1500 < \lambda < 1696 \text{ \AA}$
J 10	$N_2O_5 + h\nu \rightarrow 2NO_2 + O$	: $2050 < \lambda < 3800 \text{ \AA}$
J 11	$N_2O_5 + h\nu \rightarrow NO_2 + NO_3$	: $2050 < \lambda < 3800 \text{ \AA}$
J 12	$NO_3 + h\nu \rightarrow NO + O_2$	: $5800 < \lambda < 9000 \text{ \AA}$
J 13	$NO_3 + h\nu \rightarrow NO_2 + O$	: $\lambda < 5800 \text{ \AA}$
J 14	$NO + h\nu \rightarrow N + O$	: $\beta, \delta \text{ Bands}$
J 15	$NO_2 + h\nu \rightarrow NO + O$	: $2450 < \lambda < 3980 \text{ \AA}$
J 16	$NO_2 + h\nu \rightarrow NO + O(^1D)$	: $1350 < \lambda < 2450 \text{ \AA}$
J 17	$HNO_3 + h\nu \rightarrow H + NO_3$	: $1650 < \lambda < 2400 \text{ \AA}$
J 18	$HNO_3 + h\nu \rightarrow HO + NO_2$	: $1880 < \lambda < 3250 \text{ \AA}$
J 19	$H_2O + h\nu \rightarrow HO + H$	: $1300 < \lambda < 2420 \text{ \AA}, 1216 \text{ \AA}$
J 20	$HO_2 + h\nu \rightarrow HO + O$	: $1850 < \lambda < 2700 \text{ \AA}$
J 21	$H_2O_2 + h\nu \rightarrow HO + HO$	: $1900 < \lambda < 3500 \text{ \AA}$
J 22	$CH_4 + h\nu \rightarrow CH_3 + H$	: $1350 < \lambda < 1600 \text{ \AA}, 1216 \text{ \AA}$
J 23	$CH_2O + h\nu \rightarrow CHO + H$	: $2400 < \lambda < 3340 \text{ \AA}$
J 24	$CH_2O + h\nu \rightarrow H_2 + CO$	: $2750 < \lambda < 3600 \text{ \AA}$
J 25	$CO_2 + h\nu \rightarrow CO + O$	: $1200 < \lambda < 1950 \text{ \AA}$
J 26	$CF_2Cl_2 + h\nu \rightarrow CF_2Cl + Cl$	: $1860 < \lambda < 2220 \text{ \AA}$
J 27	$CFCl_3 + h\nu \rightarrow CFCl_2 + Cl$	: $1860 < \lambda < 2250 \text{ \AA}$
J 28	$CH_3Cl + h\nu \rightarrow CH_3 + Cl$	: $1750 < \lambda < 2125 \text{ \AA}$
J 29	$CCl_4 + h\nu \rightarrow CCl_3 + Cl$	: $1750 < \lambda < 2375 \text{ \AA}$
J 30	$HCl + h\nu \rightarrow Cl + H$	: $1400 < \lambda < 2200 \text{ \AA}$
J 31	$ClONO_2 + h\nu \rightarrow ClO + NO_2$	: $1860 < \lambda < 4600 \text{ \AA}$

表5.2 反応式と反応速度定数

反 応 式	反 応 速 度 定 数
R 1 $O + O + M \rightarrow O_2 + M$	$4.8 \times 10^{-33} (300/T)^2$
R 2 $O + O_2 + M \rightarrow O_3 + M$	$5.6 \times 10^{-34} (300/T)^{2.4}$
R 3 $O + O_3 \rightarrow O_2 + O_2 (^1D_g)$	$2.0 \times 10^{-11} \exp(-2280/T)$
R 4 $O (^1D) + O_2 \rightarrow O + O_2 (^1\Sigma_g^+)$	$2.9 \times 10^{-11} \exp(65/T)$
R 5 $O (^1D) + N_2 \rightarrow O + N_2$	$2.0 \times 10^{-11} \exp(-1107/T)$
R 6 $O (^1D) + O_3 \rightarrow O_2 (^1\Sigma_g^+) + O_2$	$1.2 \times 10^{-10} \exp((0 \pm 50)/T)$
R 7 $O (^1D) + O_3 \rightarrow O_2 + 2O(^3P)$	$1.2 \times 10^{-10} \exp((0 \pm 50)/T)$
R 8 $O_2 (^1\Sigma_g) + O_3 \rightarrow 2O_2 + O$	2.3×10^{-11} : Anderson (1976)
R 9 $O_2 (^1\Sigma_g) + O_2 \rightarrow 2O_2$	1.5×10^{-16} : Noxon (1970)
R 10 $O_2 (^1\Sigma_g) + N_2 \rightarrow O_2 + N_2$	2.0×10^{-15}
R 11 $O_2 (^1D_g) + O_3 \rightarrow 2O_2 + O$	$1.2 \times 10^{-11} \exp(-2400/T)$
R 12 $O_2 (^1D_g) + O_2 \rightarrow 2O_2$	$2.2 \times 10^{-18} (T/300)^{0.8}$
R 13 $O_2 (^1D_g) + N_2 \rightarrow O_2 + N_2$	$< 2 \times 10^{-20}$ (300 K)
R 14 $O_2 (^1D_g) + O \rightarrow O_2 + O$	1.0×10^{-16} : Hunt (1966)
R 15 $O_2 (^1D_g) \rightarrow O_2 + h\nu$	1.5×10^{-4} : Jones and Gattinger (1963)
R 16 $O_2 (^1\Sigma_g) \rightarrow O_2 (^1D_g) + h\nu$	2.5×10^{-4} : Noxon (1961)
R 17 $O_2 (^1\Sigma_g) \rightarrow O_2 + h\nu$	1.4×10^{-1} : Noxon (1961)
R 18 $N_2O + O (^1D) \rightarrow 2NO$	$6.2 \times 10^{-11} \exp((0 \pm 50)/T)$
R 19 $N_2O + O (^1D) \rightarrow N_2 + O_2$	$4.8 \times 10^{-11} \exp((0 \pm 50)/T)$
R 20 $NO + O_3 \rightarrow NO_2 + O_2$	$2.3 \times 10^{-12} \exp(-1450/T)$
R 21 $NO + O + M \rightarrow NO_2 + M$	$1.2 \times 10^{-31} (T/300)^{-1.8}$
R 22 $NO + NO_3 \rightarrow 2NO_2$	2×10^{-11}
R 23 $NO_2 + O \rightarrow NO + O_2$	9.3×10^{-12}
R 24 $NO_2 + O_3 \rightarrow NO_3 + O_2$	$1.2 \times 10^{-13} \exp(-2450/T)$
R 25 $NO_2 + O + M \rightarrow NO_3 + M$	$9.0 \times 10^{-32} (T/300)^{-2.0}$
R 26 $NO_2 + NO_3 + M \rightarrow N_2O_5 + M$	$1.4 \times 10^{-30} (T/300)^{-2.8}$
R 27 $N_2O_5 + M \rightarrow NO_2 + NO_3 + M$	$8.8 \times 10^{-6} \exp(-9700/T)$
R 28 $N + O + M \rightarrow NO + M$	$1.8 \times 10^{-31} (T)^{-0.5}$
R 29 $N + O_2 \rightarrow NO + O$	$4.4 \times 10^{-12} \exp(-3220/T)$
R 30 $N + O_3 \rightarrow NO + O_2$	$< 1 \times 10^{-15}$
R 31 $N + NO \rightarrow N_2 + O$	3.4×10^{-11}
R 32 $N_2O_5 + H_2O \rightarrow 2HNO_3$	$< 1.3 \times 10^{-20}$
R 33 $HNO_3 + O \rightarrow NO_3 + HO$	$< 3 \times 10^{-17}$
R 34 $HNO_3 + HO \rightarrow NO_3 + H_2O$	8.5×10^{-14}
R 35 $NO + HO_2 \rightarrow NO_2 + HO$	$4.3 \times 10^{-12} \exp(200/T)$

反 应 式	反 应 速 度 定 数
R36 $\text{NO} + \text{HO} + \text{M} \rightarrow \text{HNO}_2 + \text{M}$	$6.7 \times 10^{-31} (\text{T}/300)^{-3.3}$
R37 $\text{NO} + \text{HO}_2 + \text{M} \rightarrow \text{HNO}_3 + \text{M}$	Neglected
R38 $\text{NO}_2 + \text{HO} + \text{M} \rightarrow \text{HNO}_3 + \text{M}$	$2.6 \times 10^{-30} (\text{T}/300)^{-2.7}$
R39 $\text{N} + \text{HO} \rightarrow \text{NO} + \text{H}$	5.3×10^{-11}
R40 $\text{H}_2\text{O} + \text{O} (^1\text{D}) \rightarrow 2\text{HO}$	$2.3 \times 10^{-10} \exp((0 \pm 50)/\text{T})$
R41 $\text{H} + \text{O}_3 \rightarrow \text{HO} + \text{O}_2$	$1.4 \times 10^{-10} \exp(-(470 \pm 200)/\text{T})$
R42 $\text{H} + \text{O}_2 + \text{M} \rightarrow \text{HO}_2 + \text{M}$	$5.5 \times 10^{-32} (\text{T}/300)^{-1.40}$
R43 $\text{HO} + \text{O} \rightarrow \text{H} + \text{O}_2$	$4 \times 10^{-11} \exp((0 \pm 300)/\text{T})$
R44 $\text{HO} + \text{O}_3 \rightarrow \text{HO}_2 + \text{O}_2$	$1.6 \times 10^{-12} \exp(-(940 \pm 300)/\text{T})$
R45 $\text{HO} + \text{HO} \rightarrow \text{H}_2\text{O} + \text{O}$	$1 \times 10^{-11} \exp(-500/\text{T})$
R46 $\text{HO} + \text{HO} + \text{M} \rightarrow \text{H}_2\text{O}_2 + \text{M}$	$2.5 \times 10^{-31} (\text{T}/300)^{-0.8}$
R47 $\text{HO}_2 + \text{O} \rightarrow \text{HO} + \text{O}_2$	$3.5 \times 10^{-11} \exp((0 \pm 350)/\text{T})$
R48 $\text{HO}_2 + \text{O}_3 \rightarrow \text{HO} + 2\text{O}_2$	$1.1 \times 10^{-14} \exp(-580/\text{T})$
R49 $\text{HO}_2 + \text{HO} \rightarrow \text{H}_2\text{O} + \text{O}_2$	4×10^{-11}
R50 $\text{HO}_2 + \text{HO}_2 \rightarrow \text{H}_2\text{O}_2 + \text{O}_2$	2.5×10^{-12}
R51 $\text{H}_2\text{O}_2 + \text{O} \rightarrow \text{HO}_2 + \text{HO}$	$2.8 \times 10^{-12} \exp(-2625/\text{T})$
R52 $\text{H}_2\text{O}_2 + \text{O} \rightarrow \text{H}_2\text{O} + \text{O}_2$	$2.7 \times 10^{-12} \exp(-2100/\text{T})$
R53 $\text{H}_2\text{O}_2 + \text{HO} \rightarrow \text{HO}_2 + \text{H}_2\text{O}$	$1 \times 10^{-11} \exp(-750/\text{T})$
R54 $\text{H} + \text{HO} \rightarrow \text{H}_2 + \text{O}$	$1.4 \times 10^{-14} \exp(-3500/\text{T})$
R55 $\text{H} + \text{HO} + \text{M} \rightarrow \text{H}_2\text{O} + \text{M}$	$6.1 \times 10^{-26} \text{T}^{-2}$
R56 $\text{H} + \text{HO}_2 \rightarrow \text{HO} + \text{HO}$	3.2×10^{-11}
R57 $\text{H} + \text{HO}_2 \rightarrow \text{H}_2 + \text{O}_2$	1.4×10^{-11}
R58 $\text{H} + \text{H}_2\text{O}_2 \rightarrow \text{H}_2 + \text{HO}_2$	$5.2 \times 10^{-12} \exp(-1400/\text{T})$
R59 $\text{H} + \text{H}_2\text{O}_2 \rightarrow \text{HO} + \text{H}_2\text{O}$	$5.2 \times 10^{-12} \exp(-1400/\text{T})$
R60 $\text{H} + \text{NO}_2 \rightarrow \text{NO} + \text{HO}$	$5.8 \times 10^{-10} \exp(-450/\text{T})$
R61 $\text{H}_2 + \text{O} \rightarrow \text{H} + \text{HO}$	$1.6 \times 10^{-11} \exp(-4750/\text{T})$
R62 $\text{H}_2 + \text{O} (^1\text{D}) \rightarrow \text{H} + \text{HO}$	$9.9 \times 10^{-11} \exp((0 \pm 50)/\text{T})$
R63 $\text{H}_2 + \text{HO} \rightarrow \text{H} + \text{H}_2\text{O}$	$1.2 \times 10^{-11} \exp(-2200/\text{T})$
R64 $\text{CH}_4 + \text{O} \rightarrow \text{CH}_3 + \text{HO}$	$3.5 \times 10^{-11} \exp(-4550/\text{T})$
R65 $\text{CH}_4 + \text{O} (^1\text{D}) \rightarrow \text{CH}_3 + \text{HO}$	$1.3 \times 10^{-10} \exp((0 \pm 50)/\text{T})$
R66 $\text{CH}_4 + \text{O} (^1\text{D}) \rightarrow \text{CH}_2\text{O} + \text{H}_2$	$1.4 \times 10^{-11} \exp((0 \pm 50)/\text{T})$
R67 $\text{CH}_4 + \text{O}_3 \rightarrow \text{CH}_3 + \text{HO} + \text{O}_2$	Neglected
R68 $\text{CH}_4 + \text{HO} \rightarrow \text{CH}_3 + \text{H}_2\text{O}$	$2.4 \times 10^{-12} \exp(-1710/\text{T})$
R69 $\text{CH}_3 + \text{O}_2 + \text{M} \rightarrow \text{CH}_3\text{O}_2 + \text{M}$	$2.2 \times 10^{-31} (\text{T}/300)^{-2.2}$
R70 $\text{CH}_3 + \text{O}_2 \rightarrow \text{CH}_2\text{O} + \text{HO}$	$2.9 \times 10^{-13} \exp(-940/\text{T})$
R71 $\text{CH}_3\text{O}_2 + \text{NO} \rightarrow \text{CH}_3\text{O} + \text{NO}_2$	7×10^{-12}
R72 $\text{CH}_3\text{O}_2 + \text{HO}_2 \rightarrow \text{CH}_3\text{OOH} + \text{O}_2$	6×10^{-12}

反 応 式	反 応 速 度 定 数
R73 $\text{CH}_3\text{O}_2 + \text{CH}_3\text{O}_2 \rightarrow 2\text{CH}_3\text{O} + \text{O}_2$	1.6×10^{-13}
R74 $\text{CH}_3\text{O}_2 + \text{CH}_3\text{O}_2 \rightarrow \text{CH}_3\text{OOH} + \text{CH}_2\text{O}_2$	Neglected
R75 $\text{CH}_3\text{O} + \text{O}_2 \rightarrow \text{CH}_2\text{O} + \text{HO}_2$	$5 \times 10^{-13} \exp(-2000/T)$
R76 $\text{CH}_3\text{O} + \text{NO} \rightarrow \text{CH}_3\text{ONO}$	Neglected
R77 $\text{CH}_3\text{O} + \text{NO}_2 \rightarrow \text{CH}_3\text{ONO}_2$	Neglected
R78 $\text{CH}_2\text{O} + \text{O} \rightarrow \text{CHO} + \text{HO}$	$3.2 \times 10^{-11} \exp(-1550/T)$
R79 $\text{CH}_2\text{O} + \text{HO} \rightarrow \text{CHO} + \text{H}_2\text{O}$	1.0×10^{-11}
R80 $\text{CH}_2\text{O} + \text{HO}_2 \rightarrow \text{CHO} + \text{H}_2\text{O}_2$	$1.7 \times 10^{-12} \exp(-4000/T)$
R81 $\text{CHO} + \text{O}_2 \rightarrow \text{CO} + \text{HO}_2$	5.1×10^{-12}
R82 $\text{CO} + \text{O} + \text{M} \rightarrow \text{CO}_2 + \text{M}$	$6.5 \times 10^{-33} \exp(-2180/T)$
R83 $\text{CO} + \text{HO} \rightarrow \text{CO}_2 + \text{H}$	$1.35 \times 10^{-13} (1 + P_{\text{atm}})$
R83a $\text{HO} + \text{HNO}_2 \rightarrow \text{H}_2\text{O} + \text{NO}_2$	6.6×10^{-12}
R84 $\text{Cl} + \text{O}_3 \rightarrow \text{ClO} + \text{O}_2$	$2.7 \times 10^{-11} \exp(-257/T)$
R85 $\text{ClO} + \text{O} \rightarrow \text{Cl} + \text{O}_2$	$7.7 \times 10^{-11} \exp(-130/T)$
R86 $\text{ClO} + \text{NO} \rightarrow \text{Cl} + \text{NO}_2$	$7.8 \times 10^{-12} \exp(250/T)$
R87 $\text{Cl} + \text{CH}_4 \rightarrow \text{HCl} + \text{CH}_3$	$9.9 \times 10^{-12} \exp(-1359/T)$
R88 $\text{Cl} + \text{H}_2 \rightarrow \text{HCl} + \text{H}$	$3.5 \times 10^{-11} \exp(-2290/T)$
R89 $\text{Cl} + \text{HO}_2 \rightarrow \text{HCl} + \text{O}_2$	4.5×10^{-11}
R90 $\text{HCl} + \text{HO} \rightarrow \text{Cl} + \text{H}_2\text{O}$	$2.8 \times 10^{-12} \exp(-425/T)$
R91 $\text{HCl} + \text{O} \rightarrow \text{Cl} + \text{HO}$	$1.14 \times 10^{-11} \exp(-3370/T)$
R92 $\text{NO}_2 + \text{ClO} + \text{M} \rightarrow \text{ClONO}_2 + \text{M}$	$1.6 \times 10^{-31} (T/300)^{-3.4}$
R93 $\text{ClONO}_2 + \text{O} \rightarrow \text{ClO} + \text{NO}_3$	Neglected
R94 $\text{CF}_2\text{Cl}_2 + \text{O}(^1\text{D}) \rightarrow \text{CF}_2\text{Cl} + \text{ClO}$	$1.4 \times 10^{-10} \exp((0 \pm 50)/T)$
R95 $\text{CFCl}_3 + \text{O}(^1\text{D}) \rightarrow \text{CFCl}_2 + \text{ClO}$	$2.2 \times 10^{-10} \exp((0 \pm 50)/T)$
R96 $\text{CH}_3\text{Cl} + \text{HO} \rightarrow \text{CH}_2\text{Cl} + \text{H}_2\text{O}$	$2.2 \times 10^{-12} \exp(-1142/T)$
R97 $\text{CH}_3\text{Cl} + \text{O}(^1\text{D}) \rightarrow \text{CH}_2\text{Cl} + \text{HO}$	Neglected
R98 $\text{CCl}_4 + \text{O}(^1\text{D}) \rightarrow \text{CCl}_3 + \text{ClO}$	Neglected

(脚 注)

反応速度定数の単位は sec^{-1} (単分子反応), $\text{cm}^3\text{sec}^{-1}$ (2分子反応), $\text{cm}^6\text{sec}^{-1}$ (3分子反応)である。T(°K)は絶対温度を示す。Mは空気分子を示す。Reference を示していないものは Hampson(1980) から採用した。

表5.3a 大気外太陽放射 (800-1300Å)

No	Wavelength (Å)	Identification	Solar Irradiation Flux (10^9 ph cm $^{-2}$ s $^{-1}$)
1	800-830	H cont.	0.78
2	835 group	OIII, OII 835.3, 835.1, 834.5	0.52
3	830-860	H cont.	1.5
4	860-890	H cont.	2.7
5	904 group	C II	0.13
6	890-911	H cont.	3.2
7	926.2	H Ly η	0.25
8	930.7	H Ly ξ	0.25
9	933.4	SVI	0.25
10	937.8	H Ly ϵ	0.34
11	944.5	SVI	0.22
12	949.7	H Ly δ	0.51
13	972.5	H Ly γ	0.92
14	977.0	C III	4.5
15	990 group	N III 989.8, 991.5	0.72
16	1025.7	H Ly β	3.6
17	1031.9	OVI	2.6
18	1037.6	OVI, C II	2.0
19	1085 group	N II	0.85
20	1122.5	Si IV	0.48
21	1128.3	Si IV	0.53
22	1175 group	C III	2.4
23	1206.5	Si III	3.8
24	1215.7	H Ly α	300
25	1238.8	NV	0.69
26	1242.8	NV	0.45
27	1260.7	Si II	0.49
28	1265.0	Si II	0.72
29	1302.2	O I	0.80
30	1304.9-1306.0	O I	1.25
	1027-1310	unresolved	0.0

(脚注)

(注1) 太陽放射強度は Hinteregger (1970) による。

(注2) 911-1027Åに unresolved flux, 1.21×10^9 ph cm $^{-2}$ s $^{-1}$ が存在するが、これを Na 7 - Na16に等配分した。(注3) 1027-1310Åに unresolved flux, 3.7×10^9 ph cm $^{-2}$ s $^{-1}$ が存在するが、これを Na17 - Na30に等配分した。

表5.3b 大気外太陽放射 (1300-8000Å)

No	Wavelength (Å)	Solar Irradiation Flux ¹⁾ (ph cm ⁻² s ⁻¹)			
		Case A	Case B	Case C	Case D
31	1300 -1325	6.65 + 9	6.65 + 9	2.10 + 9	1.07 + 10
32	1325 -1350	8.10 + 9	8.10 + 9	2.43 + 9	1.16 + 10
33	1350 -1375	8.85 + 9	8.85 + 9	2.83 + 9	4.95 + 9
34	1375 -1400	9.10 + 9	9.10 + 9	3.33 + 9	7.75 + 9
35	1400 -1425	1.15 + 10	1.15 + 10	3.78 + 9	7.85 + 9
36	1425 -1450	1.60 + 10	1.60 + 10	5.50 + 9	7.55 + 9
37	1450 -1475	2.26 + 10	2.04 + 10	7.68 + 9	1.005 + 10
38	1475 -1500	3.15 + 10	2.78 + 10	9.53 + 9	1.37 + 10
39	1500 -1525	4.35 + 10	3.60 + 10	1.14 + 10	1.70 + 10
40	1525 -1550	5.88 + 10	4.33 + 10	1.37 + 10	3.13 + 10
41	1550 -1575	8.20 + 10	5.33 + 10	1.63 + 10	3.38 + 10
42	1575 -1600	1.14 + 11	7.00 + 10	1.92 + 10	2.98 + 10
43	1600 -1625	1.49 + 11	9.08 + 10	2.26 + 10	3.75 + 10
44	1625 -1650	1.88 + 11	1.14 + 11	2.63 + 10	5.30 + 10
45	1650 -1675	2.44 + 11	1.31 + 11	3.83 + 10	8.13 + 10
46	1675 -1700	3.15 + 11	1.82 + 11	5.93 + 10	1.16 + 11
47	1700 -1725	3.95 + 11	2.55 + 11	8.50 + 10	1.77 + 11
48	1725 -1751.8	5.20 + 11	3.56 + 11	1.29 + 11	2.24 + 11
49	1751.84-1774.92	5.66 + 11	3.86 + 11	1.46 + 11	2.18 + 11
50	1774.92-1792.61	5.31 + 11	3.47 + 11	1.31 + 11	2.23 + 11
51	1792.61-1803.79	3.81 + 11	2.40 + 11	9.29 + 10	1.59 + 11
52	1803.79-1816.50	4.83 + 11	2.97 + 11	1.16 + 11	2.16 + 11
53	1816.50-1830.76	5.99 + 11	3.72 + 11	1.44 + 11	2.70 + 11
54	1830.76-1846.51	7.51 + 11	4.52 + 11	1.80 + 11	2.90 + 11
55	1846.51-1863.72	9.46 + 11	5.40 + 11	2.20 + 11	3.42 + 11
56	1863.72-1882.43	1.22 + 12	6.49 + 11	2.66 + 11	4.74 + 11
57	1882.43-1902.54	1.52 + 12	7.98 + 11	3.24 + 11	5.83 + 11
58	1902.54-1924.19	1.84 + 12	1.00 + 12	4.08 + 11	6.95 + 11
59	1924.19-1947.33	2.22 + 12	1.33 + 12	5.15 + 11	7.98 + 11
60	1947.33-1971.97	2.76 + 12	1.85 + 12	6.72 + 11	1.15 + 12
61	1971.97-1998.17	3.41 + 12	2.56 + 12	8.78 + 11	1.38 + 12
62	1998.17-2026.01	4.23 + 12	3.31 + 12	1.17 + 12	2.02 + 12
63	2026.01-2055.15	5.32 + 12	4.37 + 12	1.60 + 12	2.70 + 12

No	Wavelength (Å)	Solar Irradiation Flux (ph cm ⁻² s ⁻¹)			
		Case A	Case B	Case C	Case D
64	2055.15-2075	4.34 + 12	3.82 + 12	1.44 + 12	2.12 + 12
65	2075-2100	6.93 + 12	→	2.35 + 12	4.70 + 12
66	2100-2125	9.03 + 12	→	3.05 + 12	8.15 + 12
67	2125-2150	1.17 + 13	→	4.03 + 12	9.48 + 12
68	2150-2175	1.41 + 13	→	5.33 + 12	9.73 + 12
69	2175-2200	1.62 + 13	→	7.13 + 12	1.22 + 13
70	2200-2225	1.79 + 13	→	9.20 + 12	1.26 + 13
71	2225-2250	1.91 + 13	→	1.11 + 13	1.68 + 13
72	2250-2275	2.01 + 13	→	1.29 + 13	1.32 + 13
73	2275-2300	2.06 + 13	→	1.45 + 13	1.41 + 13
74	2300-2325	2.04 + 13	→	1.55 + 13	1.56 + 13
75	2325-2350	1.94 + 13	→	1.60 + 13	1.33 + 13
76	2350-2375	1.94 + 13	→	1.64 + 13	1.58 + 13
77	2375-2400	2.02 + 13	→	1.72 + 13	1.39 + 13
78	2400-2425	2.14 + 13	→	1.82 + 13	1.61 + 13
79	2425-2450	2.32 + 13	→	→	2.02 + 13
80	2450-2475	2.40 + 13	→	→	1.66 + 13
81	2475-2500	2.40 + 13			1.66 + 13
82	2500-2525	2.69 + 13			1.62 + 13
83	2525-2550	3.29 + 13			1.77 + 13
84	2550-2575	3.84 + 13			3.35 + 13
85	2575-2600	4.34 + 13			4.13 + 13
86	2600-2625	4.58 + 13			3.50 + 13
87	2625-2650	5.50 + 13			6.78 + 13
88	2650-2675	6.33 + 13			9.08 + 13
89	2675-2700	7.08 + 13			8.78 + 13
90	2700-2725	7.33 + 13			8.65 + 13
91	2725-2750	7.05 + 13			6.18 + 13
92	2750-2775	7.03 + 13			8.05 + 13
93	2775-2800	7.25 + 13			5.28 + 13
94	2800-2825	8.28 + 13			7.05 + 13
95	2825-2850	1.01 + 14			1.04 + 14
96	2850-2875	1.23 + 14			9.38 + 13
97	2875-2900	1.53 + 14			1.38 + 14

No	Wavelength (Å)	Solar Irradiation Flux (ph cm ⁻² s ⁻¹)	
		Case A, B, C	Case D
98	2900-2925	1.78+14	2.20+14
99	2925-2950	1.98+14	1.97+14
100	2950-2975	2.09+14	1.95+14
101	2975-3000	2.10+14	1.75+14
102	3000-3025	2.15+14	1.66+14
103	3025-3050	2.23+14	2.27+14
104	3050-3075	2.34+14	2.28+14
105	3075-3100	2.49+14	2.21+14
106	3100-3125	2.65+14	2.46+14
107	3125-3150	2.83+14	2.76+14
108	3150-3175	2.88+14	2.77+14
109	3175-3200	2.93+14	3.02+14
110	3200-3225	3.18+14	3.02+14
111	3225-3250	3.50+14	3.48+14
112	3250-3275	3.88+14	3.49+14
113	3275-3300	4.13+14	4.24+14
114	3300-3325	4.33+14	4.25+14
115	3325-3350	4.30+14	3.46+14
116	3350-3375	4.28+14	3.46+14
117	3375-3400	4.25+14	4.06+14
118	3400-3425	4.28+14	4.07+14
119	3425-3450	4.33+14	3.92+14
120	3450-3475	4.43+14	3.92+14
121	3475-3500	4.53+14	4.15+14
122	3500-3525	4.53+14	4.16+14
123	3525-3550	4.50+14	4.66+14
124	3550-3575	4.50+14	4.67+14
125	3575-3600	4.45+14	4.23+14
126	3600-3625	4.65+14	4.24+14
127	3625-3650	5.05+14	5.30+14
128	3650-3675	5.30+14	5.30+14
129	3675-3700	5.35+14	5.50+14
130	3700-3725	5.38+14	5.50+14
131	3725-3750	5.33+14	4.78+14

No	Wavelength (Å)	Solar Irradiation Flux (ph cm ⁻² s ⁻¹)	
		Case A, B, C	Case D
132	3750-3775	5.30+14	4.79+14
133	3775-3800	5.30+14	5.70+14
134	3800-3825	5.23+14	5.70+14
135	3825-3850	5.15+14	4.31+14
136	3850-3875	5.18+14	4.32+14
137	3875-3900	5.33+14	5.75+14
138	3900-3925	5.50+14	5.75+14
139	3925-3950	5.88+14	4.78+14
140	3950-3975	6.48+14	4.79+14
141	3975-4000	7.35+14	8.50+14
142	4000-4050	1.68+15	1.70+15
143	4050-4100	1.85+15	1.74+15
144	4100-4150	1.93+15	1.83+15
145	4150-4200	1.96+15	1.86+15
146	4200-4250	1.92+15	1.82+15
147	4250-4300	1.85+15	1.73+15
148	4300-4350	1.87+15	1.85+15
149	4350-4400	2.02+15	2.02+15
150	4400-4450	2.18+15	2.10+15
151	4450-4500	2.30+15	2.28+15
152	4500-4600	4.81+15	4.65+15
153	4600-4700	4.87+15	4.70+15
154	4700-4800	5.05+15	4.82+15
155	4800-4900	4.83+15	4.72+15
156	4900-5000	4.98+15	4.90+15
157	5000-5100	5.00+15	4.90+15
158	5100-5200	4.95+15	4.79+15
159	5200-5300	4.98+15	4.96+15
160	5300-5400	5.13+15	5.15+15
161	5400-5500	5.18+15	5.12+15
162	5500-5600	5.18+15	5.15+15
163	5600-5700	5.24+15	5.20+15
164	5700-5800	5.40+15	5.33+15
165	5800-5900	5.47+15	5.23+15

No	Wavelength (Å)	Solar Irradiation Flux (ph cm ⁻² s ⁻¹)	
		Case A, B, C	Case D
166	5900-6000	5.43+15	5.27+15
167	6000-6100	5.44+15	5.32+15
168	6100-6200	5.42+15	5.28+15
169	6200-6300	5.38+15	5.26+15
170	6300-6400	5.39+15	5.26+15
171	6400-6500	5.33+15	5.27+15
172	6500-6600	5.23+15	5.15+15
173	6600-6700	5.26+15	5.16+15
174	6700-6800	5.35+15	5.19+15
175	6800-6900	5.28+15	5.13+15
176	6900-7000	5.24+15	5.07+15
177	7000-7100	5.20+15	5.02+15
178	7100-7200	5.08+15	4.96+15
179	7200-7300	5.04+15	4.90+15
180	7300-7400	4.98+15	4.98+15
181	7400-7500	4.92+15	4.92+15
182	7500-7600	4.91+15	4.91+15
183	7600-7700	4.82+15	4.82+15
184	7700-7800	4.74+15	4.74+15
185	7800-7900	4.74+15	4.74+15
186	7900-8000	4.70+15	4.74+15

(脚 注)

1) Case A~ Case D で採用した値は次の如し, λ (Å) は波長を表わす。

① Case A:

1300 $\leq\lambda<2600$: Detwiler et al. (1961)

2600 $\leq\lambda$: Arvesen et al. (1969)

② Case A:

1300 $\leq\lambda<1450$: Detwiler et al. (1961)

1450 $\leq\lambda<2075$: Widing et al. (1970)

2075 $\leq\lambda<2600$: Detwiler et al. (1961)

2600 $\leq\lambda$: Arvesen et al. (1969)

③ Case C:

1300 $\leq\lambda<1425$: Extrapolation

1425 $\leq\lambda<1875$: Parkinson and Reeves (1969)

1875 $\leq\lambda<2050$: Interpolation

2050 $\leq\lambda<2425$: Brewer and Wilson (1965)

2425 $\leq\lambda$: Arvesen et al. (1969)

④ Case D:

1300 $\leq\lambda<7300$: Brasseur and Simon (1981)

7300 $\leq\lambda$: Arvesen et al. (1969)

(注1) →印は左の欄の値と同じ値であることを示す。

(注2) 6.65+9 は 6.65×10^9 を示す。

表 5.4 a 吸收断面積¹⁾ (800—1300 Å)

No	absorption cross section		O ₂ ²⁾			N ₂ ³⁾	O ₃ ⁴⁾	CO ₂ ⁵⁾	H ₂ O ⁶⁾
	wavelength (Å)	identification	σ 10 ⁻¹⁸ cm ²	σ_j / σ	σ_i / σ	10 ⁻¹⁸ cm ²	10 ⁻¹⁸ cm ²	10 ⁻¹⁸ cm ²	10 ⁻¹⁸ cm ²
1	800—830	H cont.	36.9	0.76	0.24	<13.4>			
2	835 group	OIII 835.3, OII 835.1, 834.5	20.1	0.79	0.21	18.4			
3	830—860	H cont.	17.9	0.72	0.28	<9.26>			
4	860—890	H cont.	12.6	0.58	0.42	<8.67>			
5	904 group	CII	11.5	0.52	0.48	0.558			
6	890—911	H cont.	12.6	0.49	0.51	<6.03>			
7	926.2	H Ly η	10.6	0.60	0.40	1.86			
8	930.7	H Ly ξ	17.1	0.22	0.78	1.86			
9	933.4	S VI	17.8	0.56	0.44	0.520			
10	937.8	H Ly ϵ	18.6	0.44	0.56	37.2			
11	944.5	S VI	5.76	0.19	0.81	0.929			
12	949.7	H Ly δ	9.29	0.60	0.40	0.150			
13	972.5	H Ly r	48.3	0.69	0.31	74.4			
14	977.0	CIII	16.0	0.87	0.13	1.86			
15	990 group	NIII 989.8, 991.5	7.17	0.79	0.21	0.0			
16	1025.7	H Ly β	2.16	0.40	0.60		6.5 ×		
17	1031.9	OVI	2.6 †	1.0	0.0		7.0 ×		

No.	wavelength (Å)	absorption cross section identification	O ₂ ²⁾			N ₂ ³⁾ 10 ⁻¹⁸ cm ²	O ₃ ⁴⁾ 10 ⁻¹⁸ cm ²	CO ₂ ⁵⁾ 10 ⁻¹⁸ cm ²	H ₂ O ⁶⁾ 10 ⁻¹⁸ cm ²
			σ 10 ⁻¹⁸ cm ²	σ_j/σ	σ_i/σ				
18	1037.6	OVI, CII	3.0 [†]	1.0	0.0		7.0 [×]		
19	1085 group	NII	1.8	1.0	0.0		8.0		
20	1122.5	Si IV	1.0 [△]	1.0	0.0		13.0	17.0	
21	1128.3	Si IV	0.044 [△]	1.0	0.0		10.0	9.0	
22	1175 *group	CIII	1.25 ⁺	1.0	0.0		7.2	0.186	
23	1206.5	Si III	8.4 ⁺	1.0	0.0		14.0	0.045	
24	1215.7	H Ly α	0.0100 ⁺	1.0	0.0		20.0	0.058	15.0
25	1238.8	NV	0.34 ⁺	1.0	0.0		13.0	0.104	
26	1242.8	NV	17.5 ⁺	1.0	0.0		10.0	0.117	
27	1260.7	Si II	0.43 ⁺	1.0	0.0		6.0	0.180	
28	1265.0	Si II	0.20 ⁺	1.0	0.0		5.5	0.200	
29	1302.2	OI	0.42 ⁺	1.0	0.0		9.0	0.45	
30	1304.9 - 1306.0	OI	0.42 ⁺	1.0	0.0		9.0	0.46	

(脚 注)

1) : 吸収断面積 σ (cm²/粒子) は、次式で定義される値を示す。

$I = I_0 \exp(-\sigma \cdot N)$ ただし I_0 は減衰されていない光の強度、 I は吸収を受けて減衰した光の強度、 N は光路中の吸収物質の粒子数 (粒子/cm²) を示す。

2) : Cook and Metzger (1964) による。 σ_j/σ 及び σ_i/σ はそれぞれ解離及びイオン化する割合。ただし、+ は Ackerman (1971), † は Huffmann et al. (1964), △ は Watanabe (1958) による。

3) : Cook and Metzger (1964) による。< > は平均値を示す。

4), 6) : Watanabe (1958) による。×印は外挿値。

5) : Inn et al. (1953) による。

表5.4b 吸収断面積 (1300—1751.8 Å) (cm²/粒子)

No	Wavelength (Å)	Absorption Cross Section (cm ²)					
		O ₂ ¹⁾	O ₃ ²⁾	CO ₂ ³⁾	H ₂ O ⁴⁾	N ₂ O ⁵⁾	HCl ⁶⁾
31	1300—1325	3.7—19 ⁷⁾	1.48—17	5.00—19	6.1—18		
32	1325—1350	2.20—18	1.55—17	6.5—19	4.2—18		
33	1350—1375	9.0—18	1.29—17	7.2—19	2.5—18		
34	1375—1400	1.35—17	7.31—18	6.6—19	1.2—18		
35	1400—1425	1.48—17	6.71—18	6.4—19	6.3—19		2.30—18
36	1425—1450	1.46—17	5.59—18	7.0—19	4.8—19		2.67—18
37	1450—1475	1.36—17	4.83—18	6.7—19	6.0—19		3.00—18
38	1475—1500	1.19—17	4.08—18	6.1—19	9.4—19		3.30—18
39	1500—1525	1.05—17	3.14—18	5.1—19	1.34—18	6.00—19	3.60—18
40	1525—1550	8.9—18	2.32—18	4.2—19	1.90—18	2.25—19	3.75—18
41	1550—1575	7.1—18	1.79—18	3.1—19	2.50—18	6.3—20	3.65—18
42	1575—1600	5.4—18	1.34—18	2.2—19	3.10—18	3.9—20	3.45—18
43	1600—1625	3.9—18	1.04—18	1.4—19	3.80—18	3.8—20	3.10—18
44	1625—1650	2.65—18	8.85—19	8.3—20	4.4—18	4.8—20	2.66—18
45	1650—1675	1.75—18	8.12—19	4.8—20	4.6—18	6.5—20	2.24—18
46	1675—1700	1.07—18	8.85—19	2.8—20	4.2—18	8.6—20	1.80—18
47	1700—1725	6.7—19	8.19—19	1.6—20	3.7—18	1.03—19	1.46—18
48	1725—1751.8	3.9—19	8.22—19	9.4—21	3.0—18	1.19—19	1.20—18

(注)

1) O₂: 1300—1650 Å, Watanabe (1958); 1650—1751.8 Å, Watanabe et al. (1953)

2) O₃: Watanabe (1958)

3) CO₂: Inn, et al. (1953)

4) H₂O: Watanabe (1958)

5) N₂O: Zelikoff et al. (1953)

6) HCl: Watson (1977)

7) 3.9—19は 3.9×10^{-19} を示す。

表5.4 c 吸收断面積 (Schumann - Runge Bands. (1750-2055 Å))

(cm²/粒子)

No.	Wavelength Å	O ₂ ¹⁾		O ₃ ²⁾	CO ₂ ³⁾	H ₂ O ⁴⁾	N ₂ O ⁵⁾	NO ₂ ⁶⁾	HNO ₃ ⁷⁾	H ₂ O ₂ ⁸⁾	HO ₂ ⁹⁾	CF ₂ Cl ¹⁰⁾	CFCl ¹¹⁾
		Continuum/Bands											
49	1751.84 – 1774.92	360–20	165–19	8.00–19	5.3–21	2.2–18	1.31–19						
50	1774.92 – 1792.61	1.20–21	1.14–19	7.82–19	2.9–21	1.3–18	1.41–19						
51	1792.61 – 1803.79	3.40–22	7.33–20	7.63–19	2.1–21	8.1–19	1.44–19						
52	1803.79 – 1816.50	1.30–22	5.21–20	7.37–19	1.50–21	4.6–19	1.48–19				3.3–18		
53	1816.50 – 1830.76	5.00–23	3.34–20	7.07–19	1.03–21	2.20–19	1.51–19				3.4–18		
54	1830.76 – 1846.51	2.50–23	2.08–20	6.77–19	6.9–22	1.05–19	1.52–19				3.6–18		
55	1846.51 – 1863.72	1.66–23	1.21–20	6.48–19	4.5–22	4.05–20	1.50–19	2.60–19			3.7–18		
56	1863.72 – 1882.43	1.37–23	5.99–21	6.07–19	2.8–22	1.74–20	1.42–19	2.66–19			3.8–18	9.0–19	2.54–18
57	1882.43 – 1902.54	1.30–23	2.78–21	5.47–19	1.5–22	7.5–21	1.29–19	2.90–19	1.43–17		3.9–18	6.8–19	1.90–18
58	1902.54 – 1924.19	1.30–23	1.12–21	4.91–19	7.8–23	3.1–21	1.13–19	2.74–19	1.17–17	6.8–19	4.0–18	5.0–19	1.59–18
59	1924.19 – 1947.33	1.32–23	4.02–22	4.32–19	2.6–23	1.1–21	9.30–20	2.55–19	9.9–18	6.0–19	4.2–18	3.3–19	1.28–18
60	1947.33 – 1971.97	1.29–23	1.07–22	3.91–19	4.4–24	3.7–22	7.3–20	2.36–19	7.8–18	5.4–19	4.4–18	2.05–19	1.00–18
61	1971.97 – 1998.17	1.18–23	3.15–23	3.31–19		1.20–22	5.1–20	2.47–19	6.1–18	5.0–19	4.5–18	1.20–19	7.7–19
62	1998.17 – 2026.01	1.08–23	5.77–24	3.01–19		3.7–23	3.4–20	2.80–19	4.35–18	4.6–19	4.6–18	6.5–20	5.5–19
63	2026.01 – 2055.15	1.00–23	6.29–25	3.24–19		1.3–23	2.10–20	3.41–19	3.00–18	4.3–19	4.7–18	3.3–20	3.9–19

表 5.4 d 吸収断面積 (Schumann-Runge Bands. (1750-2055 Å)(cm²/粒子)

No.	Wavelength (Å)	CH ₃ Cl ¹⁾	HCl ²⁾	CCl ₄ ³⁾	ClONO ₂ ⁴⁾	ClNO ₂ ⁵⁾	ClNO ⁶⁾
49	1751.84-1774.92	1.14-18	9.3-19	9.9-18			
50	1774.92-1792.61	9.7-19	7.2-19	8.7-18			
51	1792.61-1803.79	8.3-19	6.1-19	7.8-18			
52	1803.79-1816.50	7.2-19	5.1-19	6.7-18			
53	1816.50-1830.76	6.0-19	4.4-19	5.5-18			
54	1830.76-1846.51	4.9-19	3.6-19	4.5-18			
55	1846.51-1863.72	3.8-19	2.9-19	3.4-18			
56	1863.72-1882.43	2.85-19	2.25-19	2.45-18	8.7-18		
57	1882.43-1902.54	2.00-19	1.65-19	1.65-18	7.4-18		
58	1902.54-1924.19	1.38-19	1.17-19	1.10-18	6.3-18	2.1-19	5.8-17
59	1924.19-1947.33	8.9-20	7.2-20	8.4-19	5.5-18	1.45-19	6.3-17
60	1947.33-1971.97	5.6-20	5.1-20	6.8-19	4.7-18	9.1-18	6.8-17
61	1971.97-1998.17	3.10-20	3.30-20	6.6-19	4.1-18	5.9-18	7.0-17
62	1998.17-2026.01	1.75-20	2.05-20	6.3-19	3.7-18	4.4-18	6.5-17
63	2026.01-2055.15	9.2-21	1.16-20	6.0-19	3.5-18	4.1-18	5.3-17

(注)

- 1) CH₃Cl : Robbins (1976)
- 2) HCl : Watson (1977)
- 3) CCl₄ : Hampson (1980)
- 4) ClONO₂ : Hudson (1977)
- 5) ClNO₂ : Hudson (1977)
- 6) ClNO : Hudson (1977)

表 5.4 e 吸收断面積 (2055~8000 Å)

(cm²/粒)

No	Wavelength (Å)	O ₂ ¹⁾	O ₃ ²⁾	N ₂ O ³⁾	NO ₂ ⁴⁾	N ₂ O ₅ ⁵⁾	NO ₃ ⁶⁾	HNO ₃ ⁷⁾	HNO ₂ ⁸⁾	H ₂ O ₂ ⁹⁾	HO ₂ ¹⁰⁾	HCHO ¹¹⁾	HCHO ¹²⁾	
													Y ₁	Y ₂
64	2055.15-2075	9.4-24	3.76-19	1.30-20	3.55-19	8.0-18		1.95-18	2.15-18	4.0-19	4.7-18			
65	2075-2100	8.8-24	4.73-19	7.3-21	4.17-19	5.0-18		1.25-18	2.63-18	3.8-19	4.7-18			
66	2100-2125	8.1-24	6.14-19	3.4-21	4.25-19	4.5-18		7.00-19	3.3-18	3.5-19	4.6-18			
67	2125-2150	7.4-24	8.41-19	1.85-21	4.53-19	3.4-18		4.50-19	4.1-18	3.3-19	4.4-18			
68	2150-2175	6.6-24	1.13-18	1.12-21	4.57-19	2.65-18		2.75-19	3.5-18	3.0-19	4.2-18			
69	2175-2200	5.8-24	1.50-18	7.1-22	4.23-19	2.13-18		1.83-19	2.20-18	2.8-19	3.9-18			
70	2200-2225	4.9-24	1.98-18	4.5-22	4.50-19	1.73-18		1.24-19	1.67-18	2.55-19	3.7-18			
71	2225-2250	4.1-24	2.55-18	2.5-22	3.61-19	1.43-18		9.1-20	1.47-18	2.35-19	3.4-18			
72	2250-2275	3.5-24	3.25-18	1.50-22	3.90-19	1.17-18		7.1-20	1.30-18	2.15-19	3.1-18			
73	2275-2300	3.3-24	4.04-18	9.5-23	2.65-19	1.02-18		5.8-20	1.12-18	2.00-19	2.7-18			
74	2300-2325	2.85-24	4.89-18	6.3-23	2.77-19	8.7-19		4.6-20	9.3-19	1.80-19	2.4-18			
75	2325-2350	2.40-24	5.75-18	4.1-23	4.75-19	7.6-19		3.9-20	7.3-19	1.66-19	2.1-18			
76	2350-2375	1.75-24	6.73-18	2.80-23	1.62-19	6.6-19		3.1-20	5.9-19	1.50-19	1.78-18			
77	2375-2400	1.32-24	7.54-18	2.10-23	1.13-19	5.8-19		2.6-20	4.7-19	1.38-19	1.54-18			
78	2400-2425	8.8-25	8.51-18	1.55-23	5.10-20	5.1-19		2.25-20	3.7-19	1.26-19	1.26-18			
79	2425-2450		9.51-18	1.16-23	5.04-20	4.6-19		2.10-20	3.1-19	1.15-19	1.07-18			
80	2450-2475		1.07-17	9.0-24	2.62-20	4.1-19		1.95-20	2.50-19	1.02-19	9.0-19			
81	2475-2500		1.08-17	7.2-24	2.24-20	3.65-19		1.93-20	2.00-19	9.5-20	7.6-19			

No	Wavelength (Å)	O ₂	O ₃	N ₂ O	NO ₂	N ₂ O ₅	NO ₃	HNO ₃	HNO ₂	H ₂ O ₂	HO ₂	HCHO	HCHO	
													Y ₁	Y ₂
82	2500-2525		1.11-17	6.0-24	1.38-20	3.25-19		1.90-20	1.57-19	8.5-20	6.5-19			
83	2525-2550		1.13-17	5.2-24	1.53-20	2.95-19		1.90-20	1.23-19	7.5-20	5.6-19			
84	2550-2575		1.13-17	4.7-24	1.46-20	2.60-19		1.90-20	1.00-19	6.6-20	4.9-19			
85	2575-2600		1.11-17	4.5-24	1.68-20	2.34-19		1.89-20	8.5-20	6.0-20	4.1-19			
86	2600-2625		1.06-17	4.4-24	1.73-20	2.10-19		1.87-20	6.5-20	5.3-20	3.5-19			
87	2625-2650		9.99-18	4.4-24	2.08-20	1.92-19		1.82-20	4.6-20	4.7-20	3.0-19			
88	2650-2675		9.18-18	4.6-24	2.33-20	1.73-19		1.75-20	3.4-20	4.2-20	2.6-19			
89	2675-2700		8.23-18	5.1-24	2.74-20	1.60-19		1.67-20	2.30-20	3.7-20	2.1-19			
90	2700-2725		7.22-18	5.3-24	3.03-20	1.44-19		1.56-20	1.60-20	3.3-20	1.7-19			
91	2725-2750		6.14-18	5.4-24	3.75-20	1.32-19		1.46-20		2.9-20				
92	2750-2775		5.19-18	5.4-24	4.13-20	1.17-19		1.33-20		2.53-20				
93	2775-2800		4.30-18	5.4-24	4.96-20	1.05-19		1.20-20		2.23-20				
94	2800-2825		3.39-18	5.4-24	5.49-20	9.5-20		1.04-20		1.94-20		2.5-20	0.65	0.35
95	2825-2850		2.75-18	5.3-24	6.24-20	8.5-20		9.3-21		1.70-20		2.7-20	0.67	0.33
96	2850-2875		2.08-18	5.1-24	7.33-20	7.5-20		8.1-21		1.47-20		3.0-20	0.69	0.31
97	2875-2900		1.56-18	4.9-24	7.72-20	6.6-20		6.9-21		1.28-20		3.1-20	0.71	0.29
98	2900-2925		1.15-18	4.8-24	9.28-20	5.7-20		5.7-21		1.12-20		3.4-20	0.73	0.27
99	2925-2950		8.56-19	4.8-24	9.61-20	5.0-20		4.8-21		9.9-21		3.4-20	0.74	0.26
100	2950-2975		6.18-19	4.8-24	1.06-19	4.2-20		3.9-21		8.6-21		3.4-20	0.76	0.24

No	Wavelength (Å)	O ₂	O ₃	N ₂ O	NO ₂	N ₂ O ₅	NO ₃	HNO ₃	HNO ₂	H ₂ O ₂	HO ₂	HCHO	HCHO	
													Y ₁	Y ₂
101	2975-3000		439-19	48-24	124-19	35-20		31-21		76-21		34-20	0.78	0.22
102	3000-3025		321-19	48-24	128-19	285-20		240-21		66-21		34-20	0.78	0.22
103	3025-3050		233-19	46-24	153-19	240-20		185-21		58-21		33-20	0.78	0.22
104	3050-3075		164-19	41-24	157-19	195-20		136-21		51-21		33-20	0.77	0.23
105	3075-3100		123-19	33-24	175-19	163-20		100-21		44-21		32-20	0.76	0.24
106	3100-3125		893-20	24-24	193-19	134-20		70-22		39-21		30-20	0.75	0.25
107	3125-3150		640-20	14-24	204-19	113-20		49-22	380-21	34-21		28-20	0.72	0.28
108	3150-3175		428-20		219-19	92-21		300-22	75-21	295-21		27-20	0.69	0.31
109	3175-3200		298-20		240-19	77-21		230-22	150-20	260-21		25-20	0.65	0.35
110	3200-3225		231-20		259-19	65-21		160-22	250-20	225-21		24-20	0.60	0.40
111	3225-3250		171-20		269-19	57-21		115-22	350-20	200-21		24-20	0.53	0.47
112	3250-3275		114-20		292-19	48-21			47-20	180-21		24-20	0.45	0.54
113	3275-3300		744-21		299-19	43-21			63-20	160-21		24-20	0.36	0.61
114	3300-3325		610-21		308-19	37-21			70-20	140-21		23-20	0.28	0.66
115	3325-3350		435-21		337-19	33-21			66-20	123-21		23-20	0.19	0.70
116	3350-3375		283-21		344-19	300-21			74-20	107-21		22-20	0.11	0.71
117	3375-3400		194-21		371-19	270-21			95-20	96-22		21-20	0.03	0.69
118	3400-3425		119-21		397-19	243-21			98-20	84-22		185-20	0.0	0.64
119	3425-3450		744-22		382-19	225-21			89-20	72-22		160-20	0.0	0.57

No	Wavelength (Å)	O ₂	O ₃	N ₂ O	NO ₂	N ₂ O ₅	NO ₃	HNO ₃	HNO ₂	H ₂ O ₂	HO ₂	HCHO	HCHO	
													Y ₁	Y ₂
120	3450-3475		4.76-22		4.26-19	2.05-21			8.0-20	6.2-22		1.24-20	0.0	0.50
121	3475-3500		3.13-22		4.52-19	1.90-21			7.1-20	5.4-22		9.0-21	0.0	0.43
122	3500-3525		2.16-22		4.40-19	1.63-21			9.5-20			6.8-21	0.0	0.37
123	3525-3550		1.34-22		4.74-19	1.44-21			1.80-19			5.0-21	0.0	0.30
124	3550-3575		8.19-23		4.99-19	1.24-21			1.75-19			3.3-21	0.0	0.23
125	3575-3600		5.77-23		4.84-19	1.08-21			9.3-20			2.2-21	0.0	0.17
126	3600-3625				5.05-19	9.3-22			8.4-20			1.4-21	0.0	0.10
127	3625-3650				5.13-19	8.0-22			1.17-19					
128	3650-3675				5.44-19	6.6-22			1.27-19					
129	3675-3700				5.31-19	5.4-22			1.21-19					
130	3700-3725				5.48-19	4.1-22			7.5-20					
131	3725-3750				5.28-19	3.1-22			3.8-20					
132	3750-3775				5.89-19	2.05-22			3.7-20					
133	3775-3800				5.51-19	1.40-22			6.1-20					
134	3800-3825				5.70-19				1.00-19					
135	3825-3850				5.68-19				1.60-19					
136	3850-3875				5.74-19				8.3-20					
137	3875-3900				5.92-19				1.90-20					
138	3900-3925				6.08-19									

No	Wavelength (Å)	O ₂	O ₃	N ₂ O	NO ₂	N ₂ O ₅	NO ₃	HNO ₃	HNO ₂	H ₂ O ₂	HO ₂	HCHO	HCHO	
													Y ₁	Y ₂
139	3925-3950				5.54-19									
140	3950-3975				5.84-19									
141	3975-4000				6.15-19									
142	4000-4050				6.50-19									
143	4050-4100				6.43-19									
144	4100-4150				6.34-19									
145	4150-4200				6.27-19									
146	4200-4250				6.14-19									
147	4250-4300				5.97-19									
148	4300-4350				5.80-19									
149	4350-4400				5.63-19									
150	4400-4450				5.47-19									
151	4450-4500				5.30-19									
152	4500-4600				4.84-19									
153	4600-4700				4.27-19									
154	4700-4800				3.78-19									
155	4800-4900				3.27-19									
156	4900-5000				2.85-19									
157	5000-5100				2.45-19		1.14-18							

No	Wavelength (Å)	O ₂	O ₃	N ₂ O	NO ₂	N ₂ O ₅	NO ₃	HNO ₃	HNO ₂	H ₂ O ₂	HO ₂	HCHO	HCHO	
													Y ₁	Y ₂
158	5100-5200				2.17-19		1.37-18							
159	5200-5300				1.88-19		1.77-18							
160	5300-5400				1.60-19		1.95-18							
161	5400-5500				1.31-19		2.03-18							
162	5500-5600				1.09-19		2.74-18							
163	5600-5700				9.1-20		2.88-18							
164	5700-5800				7.3-20		2.76-18							
165	5800-5900				6.2-20		4.33-18							
166	5900-6000				4.9-20		4.06-18							
167	6000-6100				4.18-20		1.90-18							
168	6100-6200				3.43-20		1.91-18							
169	6200-6300				2.70-20		4.44-18							
170	6300-6400				2.25-20		3.70-18							
171	6400-6500				1.83-20		6.5-19							
172	6500-6600				1.55-20		2.72-18							
173	6600-6700				1.23-20		2.94-18							
174	6700-6800				9.8-21		6.2-19							
175	6800-6900				8.5-21									
176	6900-7000				7.3-21									

No	Wavelength (Å)	O ₂	O ₃	N ₂ O	NO ₂	N ₂ O ₅	NO ₃	HNO ₃	HNO ₂	H ₂ O ₂	HO ₂	HCHO	HCHO	
													Y ₁	Y ₂
177	7000 - 7100													
178	7100 - 7200													
179	7200 - 7300													
180	7300 - 7400													
181	7400 - 7500													
182	7500 - 7600													
183	7600 - 7700													
184	7700 - 7800													
185	7800 - 7900													
186	7900 - 8000													

(脚 注)

- 1) O₂ , 2) O₃ , 3) N₂O : 表 5.4c と同じ
- 4) NO₂ : $\lambda \leq 4100 \text{ Å}$; Bass et al. (1976)
 $4100 \text{ Å} < \lambda$; Leighton (1961)
- 5) N₂O₅ , 6) NO₃ , 7) HNO₃ : Hampson (1980)
- 8) HNO₂ : $2055 \text{ Å} \leq \lambda \leq 2725 \text{ Å}$; Hudson (1977)
 $3125 \text{ Å} \leq \lambda \leq 3900 \text{ Å}$; Hampson (1980)
- 9) H₂O₂ Hampson (1980)
- 10) HO₂ Hampson (1973)
- 11) HCHO Hampson (1980)
- 12) Y₁ , Y₂ はそれぞれ $\text{CH}_2\text{O} \rightarrow \text{H} + \text{CHO}$ 及び $\text{CH}_2\text{O} \rightarrow \text{H}_2 + \text{CO}$ の量子収率を示す。Hampson (1980)

表5.4f 吸收断面积 (2055~8000Å)

(cm²/粒)

No	Wavelength (Å)	CF ₂ Cl ₂ ¹⁾	CFCI ₃ ²⁾	CH ₃ Cl ³⁾	HCl ⁴⁾	CCl ₄ ⁵⁾	ClONO ₂ ⁶⁾	ClNO ₂ ⁷⁾	ClNO ⁸⁾
64	2055.15-2075	185-20	265-19	56-21	7.5-21	55-19	35-18	37-18	43-17
65	2075-2100	105-20	183-19	31-21	48-21	49-19	35-18	35-18	35-17
66	2100-2125	56-21	123-19	158-21	300-21	42-19	36-18	34-18	270-17
67	2125-2150	29-21	79-20	79-22	180-21	34-19	37-18	34-18	215-17
68	2150-2175	166-21	49-20	260-22	105-21	265-19	37-18	34-18	165-17
69	2175-2200	89-22	300-20		63-22	200-19	37-18	34-18	128-17
70	2200-2225	45-22	190-20			140-19	35-18	33-18	95-18
71	2225-2250		115-20			98-20	32-18	30-18	77-18
72	2250-2275		77-21			70-20	285-18	27-18	57-18
73	2275-2300					49-20	25-18	245-18	45-18
74	2300-2325					33-20	21-18	22-18	33-18
75	2325-2350					220-20	174-18	195-18	26-18
76	2350-2375					145-20	146-18	170-18	195-18
77	2375-2400						125-18	150-18	153-18
78	2400-2425						107-18	134-18	103-18
79	2425-2450						92-19	123-18	75-19
80	2450-2475						80-19	112-18	54-19
81	2475-2500						70-19	102-18	42-19

No.	Wavelength (Å)	CF ₂ Cl ₂	CFCl ₃	CH ₃ Cl	HCl	CCl ₄	ClONO ₂	ClNO ₂	ClNO
82	2500—2525						6.2—19	9.2—19	3.2—19
83	2525—2550						5.4—19	8.2—19	2.6—19
84	2550—2575						4.8—19	7.4—19	2.17—19
85	2575—2600						4.4—19	6.6—19	1.90—19
86	2600—2625						3.8—19	5.9—19	1.63—19
87	2625—2650						3.5—19	5.1—19	1.50—19
88	2650—2675						3.1—19	4.5—19	1.37—19
89	2675—2700						2.7—19	3.9—19	1.27—19
90	2700—2725						2.4—19	3.5—19	1.20—19
91	2725—2750						2.15—19	3.1—19	1.13—19
92	2750—2775						1.85—19	2.7—19	1.08—19
93	2775—2800						1.58—19	2.4—19	1.04—19
94	2800—2825						1.32—19	2.2—19	1.01—19
95	2825—2850						1.12—19	2.1—19	9.9—20
96	2850—2875						9.4—20	1.95—19	9.7—20
97	2875—2900						7.9—20	1.83—19	9.5—20
98	2900—2925						6.6—20	1.75—19	9.4—20
99	2925—2950						5.6—20	1.70—19	9.4—20
100	2950—2975						4.8—20	1.63—19	9.3—20

No	Wavelength (Å)	CF ₂ Cl ₂	CFCI ₃	CH ₃ Cl	HCl	CCl ₄	ClONO ₂	ClNO ₂	ClNO
101	2975—3000						4.2—20	1.57—19	9.4—20
102	3000—3025						3.6—20	1.50—19	9.4—20
103	3025—3050						3.0—20	1.45—19	9.5—20
104	3050—3075						2.55—20	1.40—19	9.7—20
105	3075—3100						2.20—20	1.36—19	10.0—19
106	3100—3125						1.85—20	1.28—19	10.3—19
107	3125—3150						1.57—20	1.20—19	10.7—19
108	3150—3175						1.35—20	1.13—19	11.4—19
109	3175—3200						1.17—20	1.05—19	11.9—19
110	3200—3225						1.00—20	9.8—20	12.1—19
111	3225—3250						8.4—21	8.9—20	12.4—19
112	3250—3275						7.3—21	8.1—20	12.7—19
113	3275—3300						6.4—21	7.4—20	13.0—19
114	3300—3325						5.7—21	6.8—20	13.1—19
115	3325—3350						5.0—21	6.2—20	13.2—19
116	3350—3375						4.5—21	5.5—20	13.3—19
117	3375—3400						4.0—21	5.0—20	13.4—19
118	3400—3425						3.7—21	4.5—20	13.3—19
119	3425—3450						3.5—21	4.1—20	13.3—19

No	Wavelength (Å)	CF ₂ Cl ₂	CFCI ₃	CH ₃ Cl	HCl	CCl	ClONO ₂	ClNO ₂	ClNO
120	3450-3475						3.2-21	3.6-20	1.32-19
121	3475-3500						3.00-21	3.2-20	1.31-19
122	3500-3525						2.8-21	2.85-20	1.30-19
123	3525-3550						2.65-21	2.5-20	1.27-19
124	3550-3575						2.5-21	2.2-20	1.24-19
125	3575-3600						2.35-21	1.93-20	1.22-19
126	3600-3625						2.2-21	1.72-20	1.18-19
127	3625-3650						2.12-21	1.50-20	1.15-19
128	3650-3675						2.02-21	1.31-20	1.10-19
129	3675-3700						1.93-21	1.14-20	1.05-19
130	3700-3725						1.83-21	1.00-20	1.00-19
131	3725-3750						1.73-21	8.7-21	9.5-20
132	3750-3775						1.63-21	7.6-21	9.0-20
133	3775-3800						1.53-21	6.6-21	8.5-20
134	3800-3825						1.43-21	5.9-21	8.0-20
135	3825-3850						1.33-21	5.1-21	7.5-20
136	3850-3875						1.23-21	4.6-21	7.1-20
137	3875-3900						1.13-21	4.1-21	6.7-20
138	3900-3925						1.06-21	3.5-21	6.2-20

No	Wavelength (Å)	CF ₂ Cl ₂	CFCI ₃	CH ₃ Cl	HCl	CCl ₄	ClONO ₂	ClNO ₂	ClNO
139	3925—3950						9.9—22	3.1—21	5.9—20
140	3950—3975						9.3—22	2.6—21	5.5—20
141	3975—4000						8.8—22	2.25—21	5.2—20
142	4000—4050						7.8—22		
143	4050—4100						6.5—22		
144	4100—4150						5.4—22		
145	4150—4200						4.5—22		
146	4200—4250						3.8—22		
147	4250—4300						3.1—22		
148	4300—4350						2.5—22		
149	4350—4400						2.05—22		
150	4400—4450						1.71—22		
151	4450—4500						1.42—22		
152	4500—4600						1.02—22		
153	4600—4700								
154	4700—4800								
155	4800—4900								
156	4900—5000								
157	5000—5100								

No	Wavelength (Å)	CF ₂ Cl ₂	CFCl ₃	CH ₃ Cl	HCl	CCl ₄	ClONO ₂	ClNO ₂	ClNO
158	5100-5200								
159	5200-5300								
160	5300-5400								
161	5400-5500								
162	5500-5600								
163	5600-5700								
164	5700-5800								
165	5800-5900								

(脚 注)

1), 2) : 表 5.4 c と同じ

3) ~ 8) : 表 5.4 d と同じ

表 5.5 モデル大気

高度 km	空気密度 ¹⁾ (粒子/cm ³)	空気積分量 ²⁾ (粒子/cm ²)	気温 ³⁾ (°k)	スケールハイト ⁴⁾ (km)	オゾン密度 ⁵⁾ (粒子/cm ³)	オゾン積分量 ⁶⁾ (粒子/cm ²)	J no ⁷⁾ (1/s)
60	0.6439+16	0.4672+22	247.021	7.3678	0.130+11	0.3500+16	0.130-5
59	0.7288+16	0.5449+22	249.769	7.4474	0.154+11	0.4920+16	0.118-5
58	0.8239+16	0.6226+22	252.518	7.5270	0.182+11	0.6600+16	0.106-5
57	0.9302+16	0.7103+22	255.268	7.6066	0.215+11	0.8585+16	0.972-6
56	0.1049+17	0.8092+22	258.019	7.6862	0.254+11	0.1093+17	0.876-6
55	0.1181+17	0.9207+22	260.771	7.7658	0.300+11	0.1370+17	0.787-6
54	0.1329+17	0.1046+23	263.524	7.8453	0.365+11	0.1702+17	0.698-6
53	0.1493+17	0.1187+23	266.277	7.9248	0.440+11	0.2105+17	0.617-6
52	0.1675+17	0.1346+23	269.031	8.0043	0.540+11	0.2595+17	0.542-6
51	0.1866+17	0.1524+23	270.650	8.0499	0.657+11	0.3193+17	0.474-6
50	0.2135+17	0.1725+23	270.650	8.0474	0.800+11	0.3922+17	0.412-6
49	0.2418+17	0.1952+23	270.650	8.0449	0.997+11	0.4820+17	0.355-6
48	0.2738+17	0.2210+23	270.650	8.0424	0.124+12	0.5939+17	0.304-6
47	0.3111+17	0.2503+23	269.684	8.0112	0.155+12	0.7334+17	0.259-6
46	0.3564+17	0.2836+23	266.925	7.9267	0.193+12	0.9074+17	0.219-6
45	0.4088+17	0.3219+23	264.164	7.8423	0.240+12	0.1124+18	0.184-6
44	0.4696+17	0.3658+23	261.403	7.7579	0.291+12	0.1389+18	0.153-6
43	0.5403+17	0.4163+23	258.641	7.6735	0.353+12	0.1711+18	0.126-6
42	0.6227+17	0.4745+23	255.878	7.5892	0.428+12	0.2102+18	0.103-6
41	0.7186+17	0.5415+23	253.114	7.5049	0.519+12	0.2575+18	0.836-7
40	0.8308+17	0.6190+23	250.350	7.4206	0.630+12	0.3150+18	0.670-7
39	0.9620+17	0.7086+23	247.584	7.3363	0.750+12	0.3840+18	0.512-7
38	0.1116+18	0.8125+23	244.818	7.2521	0.894+12	0.4662+18	0.385-7
37	0.1296+18	0.9331+23	242.050	7.1678	0.106+13	0.5639+18	0.286-7
36	0.1509+18	0.1073+24	239.282	7.0837	0.127+13	0.6804+18	0.208-7
35	0.1760+18	0.1237+24	236.513	6.9995	0.151+13	0.8194+18	0.149-7
34	0.2056+18	0.1428+24	233.743	6.9154	0.180+13	0.9849+18	0.963-8
33	0.2406+18	0.1651+24	230.974	6.8312	0.215+13	0.1182+19	0.605-8
32	0.2818+18	0.1912+24	228.490	6.7557	0.245+13	0.1412+19	0.370-8
31	0.3283+18	0.2217+24	227.500	6.7243	0.280+13	0.1675+19	0.219-8
30	0.3828+18	0.2573+24	226.509	6.6929	0.310+13	0.1970+19	0.125-8
29	0.4466+18	0.2987+24	225.518	6.6616	0.335+13	0.2292+19	0.596-9
28	0.5214+18	0.3471+24	224.527	6.6302	0.360+13	0.2640+19	0.269-9
27	0.6092+18	0.4037+24	223.536	6.5989	0.370+13	0.3005+19	0.115-9
26	0.7122+18	0.4697+24	222.544	6.5675	0.375+13	0.3377+19	0.458-10
25	0.8334+18	0.5470+24	221.552	6.5362	0.370+13	0.3750+19	0.170-10

高度 km	空気密度 ¹⁾ (粒子/cm ³)	空気積分量 ²⁾ (粒子/cm ²)	気温 ³⁾ (°k)	スケールハイト ⁴⁾ (km)	オゾン密度 ⁵⁾ (粒子/cm ³)	オゾン積分量 ⁶⁾ (粒子/cm ²)	J no ⁷⁾ (1/s)
24	0.9759+18	0.6375+24	220.560	6.5049	0.360+13	0.4115+19	0.498-10
23	0.1144+19	0.7434+24	219.567	6.4736	0.340+13	0.4465+19	0.132-11
22	0.1341+19	0.8677+24	218.574	6.4423	0.320+13	0.4795+19	0.307-12
21	0.1574+19	0.1013+25	217.581	6.4110	0.300+13	0.5105+19	0.623-13
20	0.1849+19	0.1185+25	216.650	6.3816	0.280+13	0.5395+19	0.108-13
19	0.2162+19	0.1385+25	216.650	6.3796	0.255+13	0.5662+19	
18	0.2529+19	0.1620+25	216.650	6.3776	0.233+13	0.5906+19	
17	0.2959+19	0.1894+25	216.650	6.3756	0.215+13	0.6130+19	
16	0.3461+19	0.2215+25	216.650	6.3736	0.190+13	0.6333+19	
15	0.4049+19	0.2591+25	216.650	6.3716	0.170+13	0.6513+19	
14	0.4737+19	0.3030+25	216.650	6.3696	0.158+13	0.6677+19	
13	0.5543+19	0.3544+25	216.650	6.3676	0.145+13	0.6828+19	
12	0.6486+19	0.4145+25	216.650	6.3656	0.132+13	0.6967+19	
11	0.7585+19	0.4849+25	216.650	6.3672	0.119+13	0.7092+19	
10	0.8598+19	0.5658+25	223.252	6.5554	0.104+13	0.7204+19	
9	0.9711+19	0.6573+25	229.733	6.7436	0.980+12	0.7305+19	
8	0.1093+20	0.7606+25	236.215	6.9317	0.920+12	0.7400+19	
7	0.1227+20	0.8766+25	242.700	7.1198	0.870+12	0.7489+19	
6	0.1372+20	0.1066+26	249.187	7.3078	0.830+12	0.7574+19	
5	0.1531+20	0.1152+26	255.676	7.4957	0.800+12	0.7656+19	
4	0.1704+20	0.1313+26	262.166	7.6836	0.770+12	0.7734+19	
3	0.1890+20	0.1493+26	268.659	7.8714	0.740+12	0.7810+19	
2	0.2093+20	0.1692+26	275.154	8.0592	0.710+12	0.7882+19	
1	0.2311+20	0.1912+26	281.651	8.2465	0.690+12	0.7952+19	
0	0.2547+20	0.2155+26	288.150	8.4345	0.670+12	0.8020+19	

(脚注)

1) ~ 4) : US Standard Atmosphere 1976

5), 6) : 中緯度の平均オゾン分布, 初期値とする.

7) : NO の解離率, Frederick and Hudson (1979) による. 太陽天頂角 60° の場合

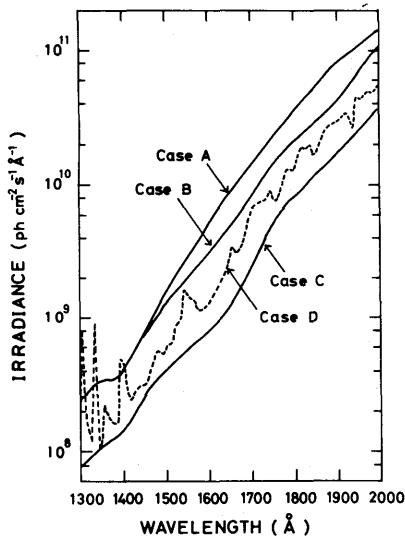


図 5.1 a 大気外太陽放射スペクトル
(1300—2000 Å)

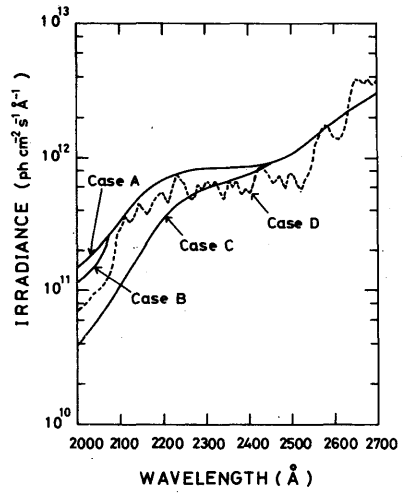


図 5.1 b 大気外太陽放射スペクトル
(2000—2700 Å)

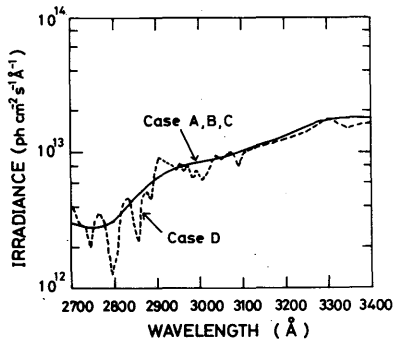


図 5.1 c 大気外太陽放射スペクトル
(2700—3400 Å)

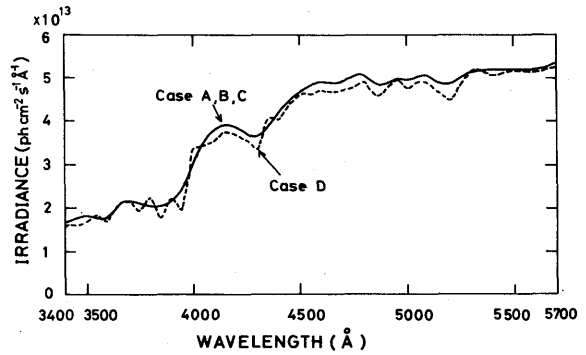


図 5.1 d 大気外太陽放射スペクトル
(3400—5700 Å)

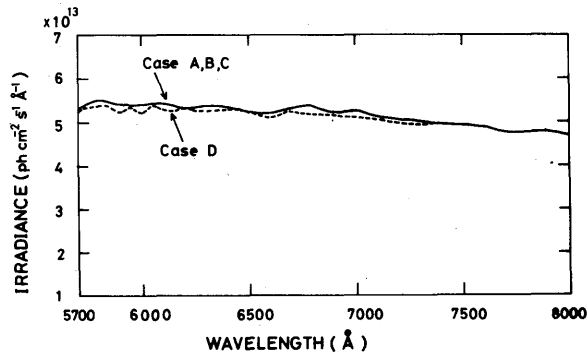


図 5.1 e 大気外太陽放射スペクトル
(5700—8000 Å)

5.3 基礎方程式

ある成分の濃度 $n_i (i = 1, \dots)$ の一次元光化学モデルにおける連続方程式は

$$\frac{\partial n_i}{\partial t} = Q_i(n_j) - L_i(n_j) n_i - \frac{\partial}{\partial z} (\phi_i) \quad (5.1)$$

と書ける。ただし $Q_i(n_j)$ は光化学的生成項、 $L_i(n_j) n_i$ は光化学的消滅項、 ϕ_i は渦動拡散フラックス（上向き）を表わす。

$$\phi_i \text{ は } \phi_i = -K_z \left\{ \frac{\partial n_i}{\partial z} + \left(\frac{\partial T}{\partial t} + \frac{1}{H} \right) n_i \right\} \quad (5.2)$$

と表わすことができる。ただし K_z は渦動拡散係数、 T は気温、 H はスケールハイトを表わす。

(5.1) 式を差分方程式に書き換えると (Shimazaki and Ogawa, 1974)、

$$\begin{aligned} \frac{n_i(z, t+\Delta t) - n_i(z, t)}{\Delta t} &= Q_i(z, t) - L_i(z, t) n_i(z, t+\Delta t) \\ &+ \frac{1}{(\Delta z)^2} \left[K_z(z) n_i(z+\Delta z, t+\Delta t) - \left\{ \gamma(z) K_z(z) + K_z(z-\Delta z) \right\} n_i(z, t+\Delta t) \right. \\ &\quad \left. + \gamma(z-\Delta z) K_z(z-\Delta z) n_i(z-\Delta z, t+\Delta t) \right] \end{aligned} \quad (5.3)$$

と書ける。ただし $\gamma(z)$ は

$$\gamma(z) = 2 - \frac{T(z+\Delta z)}{T(z)} - \frac{\Delta z}{H} \quad (5.4)$$

を表わした ϕ_i は

$$\phi_i = -\frac{K_z(z)}{\Delta z} \left\{ n_i(z+\Delta z, t+\Delta t) - \gamma(z) n_i(z, t+\Delta t) \right\} \quad (5.5)$$

と表わされる。

(5.3) 式は整理すると次の様に見える、

$$-A n_i(z+\Delta z, t+\Delta t) + B n_i(z, t+\Delta t) - C n_i(z-\Delta z, t+\Delta t) = D \quad (5.6)$$

ただし

$$A = K_z(z, t) \Delta t / (\Delta z)^2$$

$$B = 1 + L_i(z, t) \Delta t + \{ \gamma(z) K_z(z) + K_z(z-\Delta z) \} \cdot \Delta t / (\Delta z)^2$$

$$C = \gamma(z-\Delta z) K_z(z-\Delta z) \Delta t / (\Delta z)^2$$

$$D = n_i(z, t) + Q_i(z, t)$$

5.4 定常状態

5.4.1 方程式

定常状態での n_i は (5.1) 式で $\frac{\partial n_i}{\partial t} = 0$ として得られる。この場合 (5.6)、(5.7) 式は

$$-An_i(z+\Delta z) + Bn_i(z) + Cn_i(z-\Delta z) = D \quad (5.8)$$

$$\left. \begin{aligned} A &= K_z(z)/(\Delta z)^2 \\ B &= L_i(z) + \{ \gamma(z) K_z(z) + K_z(z-\Delta z) \}/(\Delta z)^2 \\ C &= \gamma(z-\Delta z) K_z(z-\Delta z)/(\Delta z)^2 \\ D &= Q_i(z) \end{aligned} \right\} \quad (5.9)$$

となる。

5.4.2 境界条件

(5.8) 式を用いて n_i の高度分布 $n_i(z)$ 、 $i=1, 2, \dots$ を求めるとき上部及び下部の境界条件を必要とするがその与え方には3種類を考えた。

即ち

(a) 粒子濃度

これは観測によってその濃度が分っている成分に対する粒子濃度を与える。

(b) 光化学平衡

光化学反応過程が拡散過程に比べて速く拡散の効果が無視できるような成分に適用できる。

(5.1) 式で $\frac{\partial n_i}{\partial t} = 0$, $\frac{\partial \phi_i}{\partial z} = 0$ として

$$n_i = Q_i(n_j/L_i(n_j)) \quad (5.10)$$

で与えられる。

(c) フラックス

(1) 境界でのフラックスが与えられる場合と

(2) 上部境界において境界より上方に生成源をもたない成分の場合がある。

後者の場合はたとえば CH_4 、 CFCl_3 等では

$$\phi_i(z) = L_i(z) n_i H_i \quad (5.11)$$

で与えられる。ただし $L_i(z) n_i$ は境界での光化学的消滅率、 H_i は i 成分のスケールハイトを表わす。

5.4.3 解き方

計算しようとする高度を K 個の層に分け下から $1, 2, \dots, k, \dots, K$ とする。 i 番目の成分の第 k 層での濃度を、suffix i を省略して n_k と書く。 A, B, C, D の第 k 層の値を A_k, B_k, C_k, D_k とすると (5.8) 式は

$$-A_k n_{k+1} + B_k n_k - C_k n_{k-1} = D_k \quad (5.12)$$

と書ける。

境界条件として下部 ($k=1$) 及び上部 ($k=K$) での濃度がそれぞれ n_{10} 、 n_{K0} と与えられる場合を考える、

$$n_1 = n_{10}, \quad n_K = n_{K0} \quad (5.13)$$

次に

$$n_k = a_k + b_k \cdot n_2, \quad k = 1, 2, \dots, K \quad (5.14)$$

とおく。

(5.14) 式を (5.12) 式に代入して、

$$n_k = \frac{B_{k-1}a_{k-1} - C_{k-1}a_{k-2} - D_{k-1}}{A_{k-1}} + \frac{B_{k-1}b_{k-1} - C_{k-1}b_{k-2}}{A_{k-1}} \cdot n_2 \quad (5.15)$$

が得られる。(5.15) と (5.14) を比較して

$$\left. \begin{aligned} a_k &= \frac{B_{k-1}a_{k-1} - C_{k-1}a_{k-2} - D_{k-1}}{A_{k-1}} \\ b_k &= \frac{B_{k-1}b_{k-1} - C_{k-1}b_{k-2}}{A_{k-1}} \end{aligned} \right\} \quad (5.16)$$

が得られる、

(5.14) 式で $k=1, 2$ として

$$a_1 = n_{10}, \quad b_1 = 0.0$$

$$a_2 = 0.0, \quad b_2 = 1.0$$

(5.17) を (5.16) に代入すると

$$a_3, a_4, \dots, a_K,$$

$$b_3, b_4, \dots, b_K$$

が順次求まり、(5.14) 式から n_2 が

$$n_2 = (a_{K0} - a_K) / b_K \quad (5.18)$$

となり、 n_k ($k=1, 2, \dots, K$) が求められる。

境界条件として上部の境界では粒子濃度、下部の境界ではフラックス $\phi(1)$ が与えられている場合には (5.17) 式のかわりに

$$\left. \begin{aligned} a_1 &= \frac{\phi(1) \Delta z}{\gamma(1) \cdot K_z(1)}, \quad b_1 = \frac{1}{\gamma(1)} \\ a_2 &= 0.0, \quad b_2 = 1.0 \end{aligned} \right\} \quad (5.19)$$

とする。ただし、 $\gamma(1)$ 、 $K_z(1)$ は第1層の値とする。

また下部境界で粒子濃度、上部境界でフラックスが (5.11) 式で与えられる場合には、(5.18) 式のかわりに

$$n_2 = \frac{d_K a_{K-1} - a_K}{b_K - d_K b_{K-1}} \quad (5.20)$$

$$d_K = \frac{\gamma(K)}{1 + \frac{L(K)H(K) dz}{K_Z(z)}} \quad (5.21)$$

とする。

5.4.4 計算フロー

N_2 、 O_2 、 H_2 、 CO_2 以外の成分を5つのグループに分けて取扱った。すなわち酸素グループ(O_3 、 $O(^3P)$ 、 $O(^1D)$)、窒素グループ(N_2O 、 N 、 NO 、 NO_2 、 NO_3 、 N_2O_5 、 HNO_3)、水素グループ(H_2O 、 H 、 HO 、 HO_2 、 H_2O_2)、メタングループ(CH_4 、 CH_3 、 CH_3O_2 、 CH_3O 、 CH_2O 、 CHO 、 CO)、塩素グループ(CF_2Cl_2 、 $CFCl_3$ 、 CCl_4 、 CH_3Cl 、 Cl 、 ClO 、 $ClONO_2$ 、 HCl)である。各グループの中で光化学反応による交換が速い成分はまとめて光化学平衡を仮定する。

計算のフローチャートを図5.2に示す。酸素グループについては O_3 、 $O(^3P)$ 、 $O(^1D)$ の間で光化学平衡を仮定して3成分間の相対濃度を計算する。次に $O_x = O_3 + O(^3P) + O(^1D)$ とすると O_x の寿命は長くなりその高度分布を(5.8)、(5.9)式で計算する。 O_x が決定されると O_3 、 $O(^3P)$ 、 $O(^1D)$ は決定される。 O_2 の励起状態の成分 $O_2(^1\Sigma)$ 、 $O_2(^1\Delta_g)$ は O_x に含めず O_3 、 $O(^3P)$ 、 $O(^1D)$ を求めたのち計算する。

窒素グループについては N 、 NO 、 NO_2 等の源となる N_2O の分布をまず計算する。次に

$$[Total\ N] = [N] + [NO] + [NO_2] + [NO_3] + 2[N_2O_5] + [HNO_3]$$

として $[Total\ N]$ の高度分布を計算する。但し、 $[]$ は粒子濃度($particles/cm^3$)を示す。

N 、 NO 、 NO_2 、 NO_3 、 N_2O_5 、 HNO_3 の間の光化学平衡を仮定して各成分の分布を計算する。

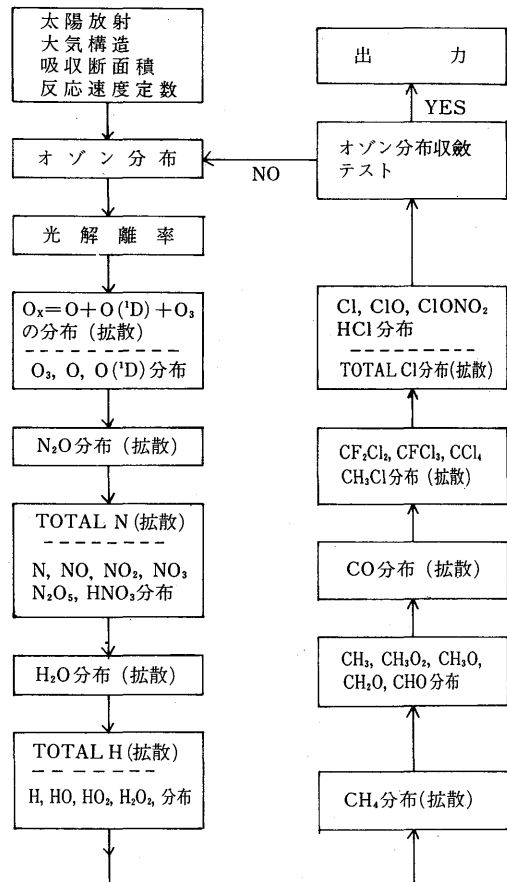


図5.2 計算フローチャート (定常状態)

水素グループについては、H、HO等の源となるH₂Oの分布をまず計算し、次にH、HO、HO₂、H₂O₂の間の光化学平衡から各成分の濃度を計算する。

メタングループに関しては、CH₄の酸化過程はCH₄→CH₃→CH₃O₂→CH₃O→CH₂O→CHO→CO→CO₂である。まずCH₄の高度分布を計算する。次にCH₃、CH₃O₂、CH₃O、CH₂O、CHOの間で光化学平衡を仮定して各成分の濃度を計算する。COは比較的寿命が長いので別に計算する。CO₂の混合比は一定、[CO₂]/[M]=0.000314とした。但し[M]は空気分子の濃度を示す。

塩素グループについては、Cl、ClO等の源となるCF₂Cl₂、CFCl₃、CCl₄、CH₃Clの分布を各々独立に計算し次にCl、ClO、ClONO₂、HCl間の光化学平衡から各成分の濃度を決める。

図5.2に示すごとくO₃以外の成分を計算した後、O₃の濃度を計算し、以前のO₃との差が一定値以下になるまで計算をくり返す。

5.4.5 計算式

表5.1の光解離反応J₁、J₂、……、J₃₁の太陽光線による解離率をJ_i(i=1-31)とする。考慮する波長域(800-8000Å)を186個の波長区間に分ける。第j番目の波長区間に対する解離率J_iの成分をJ(i, j)とすると

$$\left. \begin{aligned} J_i &= \sum_{j=1}^{186} J(i, j) \\ J(i, j) &= Y(i, j) \cdot \sigma(i, j) T(j) F_{\infty}(j) \end{aligned} \right\}$$

で表わされる。ただしY(i, j)及びσ(i, j)は第i番目の光解離の第j番目の波長区間の量子収率及び吸収断面積(表5.4a-5.4f)を示す。T(j)及びF_∞(j)は第j番目の波長区間における透過関数及び大気外太陽放射強度(表5.3a-5.3b)を示す。

透過関数は太陽光線が大気外から考えている高度まで到達するとき光路中の酸素分子とオゾンの吸収のために減衰を受けることを考慮して次式で表わされる、

$$T(j) = \exp \{ -\sigma(O_2, j) N(O_2) - \sigma(O_3, j) N(O_3) \}$$

ただしσ(O₂, j)、σ(O₃, j)は第j番目の波長区間でのO₂及びO₃の吸収断面積を示し、またN(O₂)及びN(O₃)は光路中のO₂及びO₃の粒子濃度の積分値(particles/cm²)を示す。

T(j)の計算で、酸素分子のSchumann-Runge Bands(1750-2055Å, j=49-63)では上記の計算式は修正しなくてはならないが本報告ではMuramatsu(1975)の方法を用いた。

表5.2の反応式とそれに対する反応速度定数R₁ R₂……R₉₈及び上述の解離率を用いて各グループ内の成分の濃度の計算は次のように表わされる。ただし[A]は成分Aの粒子濃度(particles/cm³)を示す。

(1) 酸素グループ

O₃、O(³P)、O(¹D)の間の光化学平衡を仮定し[O₃] > [O(³P)] >> [O(¹D)]を考慮し、O₃、

O(³P) の光化学平衡時の値を O_{3e}、O_e とすると

$$[O_{3e}] = \frac{-D + \sqrt{D^2 + 4R_2R_3[O_2][M](2J_3^* + A)(2J_2^*[O_2] + P)}}{2R_3(2J_3^* + A)}$$

$$[O_e] = \frac{[J_3^* + A][O_{3e}]}{R_2[O_2][M] - R_3[O_{3e}]}$$

ただし

$$J_2^* = J_1 + J_2$$

$$J_3^* = J_3 + J_4 + J_5 + J_6 + J_7$$

$$D = 2J_2^*R_3[O_2] + R_2[O_2][M]A + J_3^*B + AB$$

$$A = R_{20}[NO] + R_{24}[NO_2] + R_{41}[H] + R_{44}[HO] \\ + R_{48}[HO_2] + R_{84}[Cl]$$

$$B = R_{21}[NO][M] + R_{23}[NO_2] + R_{25}[NO_2][M] \\ + R_{28}[N][M] + R_{33}[HNO_3] + R_{43}[HO] + R_{47}[HO_2] \\ + (R_{51} + R_{52})[H_2O_2] + R_{61}[H_2] + R_{82}[CO][M] \\ + R_{85}[ClO] + R_{91}[HCl]$$

$$P = J_8[N_2O] + J_{10}[N_2O_5] + J_{13}[NO_3] + J_{14}[NO] \\ + (J_{15} + J_{16})[NO_2] + J_{20}[HO_2] + J_{25}[CO_2] \\ + R_{29}[N][O_2] + R_{31}[N][NO] + R_{45}[HO]^2 + R_{54}[H][HO]$$

である。

$$G = [O_e]/[O_{3e}]$$

$[O_x] = [O_3] + [O(^3P)] + [O(^1D)] \div [O_3] + [O(^3P)]$ とおくと $[O_x]$ の分布を求める方程式

$$\frac{\partial [O_x]}{\partial t} = Q - L \cdot [O_x] - \frac{\partial \phi_x}{\partial z}$$

の Q、L は次のごとくなる。 ϕ_x は $[O_x]$ のフラックス。

$$Q = 2J_2^*[O_2] + P$$

$$L \cdot [O_x] = 2R_1[O]^2[M] + 2R_3[O][O_3] + A[O_3] + B[O] \\ = \frac{1}{1+G} \left\{ \frac{2G(R_1G[M] + R_3)[O_x]}{1+G} + A + BG \right\} [O_x]$$

O(¹D)、O₂(¹Σg)、O₂(¹Δg) は O₃、O(³P) と光化学平衡にあるとして次のように求められる。

$$\frac{[O(^1D)]}{[O_3]} = \frac{J_4 + J_5 + J_6 + J_7}{R_4[O_2] + R_5[N_2]} \quad (5.22)$$

$$\frac{[O_2(^1\Sigma_g)]}{[O_3]} = \frac{J_5 + J_7 + R_4[O_2][O(^1D)]/[O_3]}{R_8[O_3] + R_9[O_2] + R_{10}[N_2] + R_{17}} \quad (5.23)$$

$$\frac{[O_2(^1\Delta_g)]}{[O_3]} = \frac{J_4 + J_6}{R_{11}[O_3] + R_{12}[O_2] + R_{13}[N_2] + R_{15}} \quad (5.24)$$

ただし (5.22) 式では J_6 、 J_7 で生成される $O(^1S)$ はすみやかに $O(^1D)$ に変換されると仮定している。

(2) 窒素グループ

N、NO、…等の源となる N_2O の分布を次式で計算し高度分布を求める、

$$\frac{\partial [N_2O]}{\partial t} = - \left\{ J_8 + J_9 + (R_{18} + R_{19})[O(^1D)] \right\} [N_2O] - \frac{\partial \phi}{\partial z}$$

ただし ϕ は N_2O の上向きフラックス。

次にN、NO、 NO_2 、 NO_3 、 N_2O_5 、 HNO_3 の光化学平衡から

$$[NO] = r_1 [NO_2]$$

$$[HNO_3] = r_2 [NO_2]$$

$$[N] = r_3 [NO_2] / (r_4 + r_5 [NO_2])$$

$$[NO_3] = r_7 [NO_2] / (r_8 + r_9 [NO_2])$$

$$[N_2O_5] = r_6 [NO_2] [NO_3]$$

$$[Total\ N] = [N] + [NO] + [NO_2] + [NO_3]$$

$$+ 2 [N_2O_5] + [HNO_3]$$

$$= r_3 [NO_2] / (r_4 + r_5 [NO_2]) + r_1 [NO_2] + NO_2$$

$$+ (1 + 2r_6 [NO_2]) r_7 [NO_2] / (r_8 + r_9 [NO_2])$$

$$+ r_2 [NO_2]$$

ただし

$$r_1 = (J_{15} + J_{16} + R_{23} [O]) / (R_{20} [O_3])$$

$$r_2 = (R_{37} [HO_2] [M] r_1 + R_{38} [HO] [M]) / (J_{17} + J_{18} + R_{34} [HO])$$

$$r_3 = J_{14} r_1$$

$$r_4 = R_{29} [O_2] + R_{30} [O_3]$$

$$r_5 = R_{31} r_1$$

$$r_6 = R_{26} [M] / (J_{10} + J_{11} + R_{27} [M])$$

$$r_7 = R_{24} [O_3] + R_{25} [O] [M] + (J_{17} + R_{34} [HO]) r_2$$

$$r_8 = J_{12} + J_{13}$$

$$r_9 = R_{22} r_1 - (J_{11} + R_{27} [M]) R_{26} [M] / (J_{10} + J_{11} + R_{27} [M])$$

Total N に関する連続方程式は、 $[\Sigma N] = [Total\ N]$ において、

$$\frac{\partial [\Sigma N]}{\partial t} = Q - \frac{\partial \phi}{\partial z}$$

$$Q=2J_9 [N_2O]+2R_{18} [N_2O] [O(^1D)]-2R_{31} [N] [NO]$$

ϕ は Total N の上向きフラックス

である。ただし今回は $J_9=0.0$ とおいた。

$[\Sigma N]$ が求められると、 $[N]$ 、 $[NO]$ 、……に関する上述の式から $[NO_2]$ が次の式から計算される、

$$a_1 [NO_2]^3 + a_2 [NO_2]^2 + a_3 [NO] + a_4 = 0.0$$

ただし

$$a_1 = 2r_5 r_6 r_7 + r_5 r_9 r_{10}$$

$$a_2 = r_5 r_7 + 2r_4 r_6 r_7 + r_3 r_9 + r_4 r_9 r_{10} + r_5 r_8 r_{10} - [\Sigma N] r_5 r_9$$

$$a_3 = r_4 r_7 + r_3 r_8 + r_4 r_8 r_{10} - [\Sigma N] (r_4 r_9 + r_5 r_8)$$

$$a_4 = - [\Sigma N] r_4 r_8$$

$$r_{10} = 1 + r_1 + r_2$$

$[NO_2]$ が計算されると、 $[NO]$ 、…… $[N_2O_5]$ が上述の式から計算される。

(3) 水素グループ

まず H_2O の分布を次式で決定する、

$$\frac{\partial [H_2O]}{\partial t} = Q - L[H_2O] - \frac{\partial \phi}{\partial z}$$

$$Q = (R_{49} [HO_2] + R_{63} [H_2] + R_{53} [H_2O_2] + R_{68} [CH_4] + R_{45} [HO]) [HO]$$

$$L = R_{40} [O(^1D)]$$

ϕ は H_2O の上向きフラックスである。

次に H 、 HO 、 HO_2 、 H_2O_2 の光化学平衡からこれ等の成分の比を求める、

$$P_1 = \frac{[H]}{[HO]} = \frac{R_{43}[O] + R_{63}[CO]}{R_{41}[O_3] + R_{42}[M][O_2]}$$

$$P_2 = \frac{[HO_2]}{[HO]} = \frac{R_{42}[O_2][M]P_1 + R_{44}[O_3]}{J_{20} + R_{35}[NO] + R_{47}[O] + R_{48}[O_3]}$$

$$P_3 = \frac{[H_2O_2]}{[HO]} = \frac{(R_{46}[N] + R_{50}P_2^2)[HO]}{R_{33}[HO] + J_{21}}$$

また

$$[\Sigma H] = [H] + [HO] + [HO_2] + 2 [H_2O_2]$$

の分布は次式で計算する。

$$\frac{\partial [\Sigma H]}{\partial t} = Q - L[\Sigma H] - \frac{\partial \phi}{\partial z}$$

ただし

$$\begin{aligned} Q = & 2J_{19} [H_2O] + 2J_{23} [CH_2O] + J_{18} [HNO_3] + J_{30} [HCl] \\ & + (2R_{40} [H_2O] + R_{62} [H_2] + R_{65} [CH_4] + R_{97} [CH_3Cl]) [O(^1D)] \\ & + (2R_{61} [H_2] + R_{64} [CH_4] + R_{78} [CH_2O] + R_{33} [HNO_3] + R_{91} [HCl]) [O(^3P)] \\ & + (R_{70} [CH_3] + R_{75} [CH_3O] + R_{81} [CHO]) [O_2] \\ & + R_{67} [CH_4] [O_3] + R_{88} [H_2] [Cl] \end{aligned}$$

$$L = q_2 [\Sigma H] + q_1$$

$$\begin{aligned} q_2 = & \{2R_{45} + 2R_{50}P_2^2 + 2R_{49}P_2 + R_{53}P_3 + 2(R_{54} + R_{55} [M])P_1 \\ & + 2R_{56}P_1P_2 + 2(R_{58} + R_{59})P_1P_3\}/P_0^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} q_1 = & \{R_{68} [CH_4] + R_{79} [CH_2O] + R_{34} [HNO_3] + R_{38} [M] [NO_2] \\ & + R_{90} [HCl] + R_{96} [CH_3Cl] \\ & + (R_{72} [CH_3O_2] + R_{37} [M] [NO] + R_{89} [Cl] P_2 + 2R_{52} [O] P_3\}/P_0 \end{aligned}$$

$$P_0 = 1 + P_1 + P_2 + 2P_3 \text{ である。}$$

$[\Sigma H]$ が求められると、 $[HO]$ は

$$A [HO]^2 + B [HO] - C = 0$$

から求められる。ただし

$$A = 2(R_{46} [M] + R_{50}P_2^2) + (1 + P_1 + P_2)R_{53}$$

$$B = (1 + P_1 + P_2)J_{21} - [\Sigma H] R_{53}$$

$$C = [\Sigma H] J_{21}$$

である。 $[HO]$ が分ると $[H]$ 、 $[HO_2]$ 、 $[H_2O_2]$ は上述の P_1 、 P_2 、 P_3 から計算される。

(4) メタングループ

CH_4 、 CO は次の連続方程式から高度分布を計算する。

$$\begin{aligned} \frac{\partial [CH_4]}{\partial t} = & -\left\{J_{22} + R_{64}[O] + (R_{65} + R_{66})[O(^1D)] \right. \\ & \left. + R_{67}[O_3] + R_{68}[HO]\right\}[CH_4] - \frac{\partial \phi}{\partial z} \\ \frac{\partial [CO]}{\partial t} = & J_{24}[CH_2O] + J_{25}[CO_2] + R_{81}[C_2][CHO] \\ & - \left\{R_{82}[O][M] + R_{83}[HO]\right\}[CO] - \frac{\partial \phi}{\partial z} \end{aligned}$$

ただし ϕ は各々 CH_4 、 CO の上向きフラックスである。

CH_4 の酸化過程の生成物、 CH_3 、 CH_3O_2 、 CH_3O 、 CH_2O 、 CHO は光化学平衡を仮定して次の如

く求められる、

$$[\text{CH}_3] = \frac{J_{22} + R_{64}[\text{O}] + R_{65}[\text{O}(^1\text{D})] + R_{67}[\text{O}_3] + R_{68}[\text{HO}]}{R_{69}[\text{O}_2][\text{M}] + R_{70}[\text{O}_2]} \cdot [\text{CH}_4]$$

$$[\text{CH}_3\text{O}_2] = \left\{ \sqrt{(R_{71}[\text{NO}] + R_{72}[\text{HO}_2])^2 + 4R_{69}(R_{73} + R_{74})[\text{O}_2][\text{M}][\text{CH}_3]} \right. \\ \left. - (R_{71}[\text{NO}] + R_{72}[\text{HO}_2]) \right\} / 2(R_{73} + R_{74})$$

$$[\text{CH}_2\text{O}] = \frac{R_{66}[\text{O}(^1\text{D})][\text{CH}_4] + R_{70}[\text{O}_2][\text{CH}_3] + R_{75}[\text{O}_2][\text{CH}_3\text{O}]}{J_{23} + J_{24} + R_{78}[\text{O}] + R_{79}[\text{HO}] + R_{80}[\text{HO}_2]}$$

$$[\text{CH}_3\text{O}] = \frac{R_{71}[\text{NO}][\text{CH}_3\text{O}_2] + 2R_{73}[\text{CH}_3\text{O}_2]^2}{R_{75}[\text{O}_2] + R_{76}[\text{NO}] + R_{77}[\text{NO}_2]}$$

$$[\text{CHO}] = \frac{J_{23} + R_{78}[\text{O}] + R_{79}[\text{HO}] + R_{80}[\text{HO}_2]}{R_{81}[\text{O}_2]} \cdot [\text{CH}_2\text{O}]$$

(5) 塩素グループ

まず、 CF_2Cl_2 、 CFCl_3 、 CH_3Cl 、 CCl_4 の高度分布を次の諸式から計算する、

$$\frac{\partial [\text{CF}_2\text{Cl}_2]}{\partial t} = -(J_{26} + R_{94}[\text{O}(^1\text{D})])[\text{CF}_2\text{Cl}_2] - \frac{\partial \phi}{\partial z}$$

$$\frac{\partial [\text{CH}_3\text{Cl}]}{\partial t} = -(J_{28} + R_{96}[\text{HO}] + R_{97}[\text{O}(^1\text{D})])[\text{CH}_3\text{Cl}] - \frac{\partial \phi}{\partial z}$$

$$\frac{\partial [\text{CFCl}_3]}{\partial t} = -(J_{27} + R_{95}[\text{O}(^1\text{D})])[\text{CFCl}_3] - \frac{\partial \phi}{\partial z}$$

$$\frac{\partial [\text{CCl}_4]}{\partial t} = -(J_{29} + R_{98}[\text{O}(^1\text{D})])[\text{CCl}_4] - \frac{\partial \phi}{\partial z}$$

ただし、 ϕ は相当する成分の上向きフラックスである。

次に $[\Sigma\text{Cl}] = [\text{Cl}] + [\text{ClO}] + [\text{ClONO}_2] + [\text{HCl}]$ とし、 $[\Sigma\text{Cl}]$ を次式で計算する。

$$\frac{\partial [\Sigma\text{Cl}]}{\partial t} = Q - \frac{\partial \phi}{\partial z}$$

ただし

$$Q = (J_{26} + R_{94}[\text{O}(^1\text{D})])[\text{CF}_2\text{Cl}_2] + (J_{27} + R_{95}[\text{O}(^1\text{D})])[\text{CFCl}_3] \\ + (J_{28} + R_{96}[\text{HO}] + R_{97}[\text{O}(^1\text{D})])[\text{CH}_3\text{Cl}] + (J_{29} + R_{98}[\text{O}(^1\text{D})])[\text{CCl}_4]$$

ϕ は $[\Sigma\text{Cl}]$ の上向きフラックスである。

Cl 、 ClO 、 ClONO_2 、 HCl の間の光化学平衡を仮定し、これ等の成分の比を求め、更に今計算した $[\Sigma\text{Cl}]$ とから、各成分の濃度が次の諸式から計算される。

$$r_1 = \frac{[\text{Cl}]}{[\text{HCl}]} = \frac{J_{30} + R_{90}[\text{HO}]}{R_{87}[\text{CH}_4] + R_{88}[\text{H}_2]}$$

$$r_4 = \frac{[\text{ClO}]}{[\text{HCl}]} = \frac{r_1 R_{84} [\text{O}_3]}{R_{85} [\text{O}] + R_{86} [\text{NO}]}$$

$$r_5 = \frac{[\text{ClONO}_2]}{[\text{HCl}]} = \frac{r_4 R_{92} [\text{NO}_2] [\text{M}]}{R_{93} [\text{O}] + J_{31}}$$

$$[\Sigma \text{Cl}] = [\text{HCl}] (1 + r_1 + r_4 + r_5)$$

5.4.6 結果

(1) 境界条件

5.4.2節で述べた境界条件の具体的な値を表5.6に示す。 O_x については下部の境界で計算された濃度が観測値に一致するようにフラックスを決めた（粒子濃度を与えたのと同等とみなせる）。 N_2O 、 CH_4 、 CF_2Cl_2 、 CFCl_3 の下部境界値は我々の観測値を用いた（第1章参照）。 H_2O の下部境界値はMuramatsu (1981)のまとめたものを参考にした。上部境界値は観測値が不確実であるので4.83-13.0ppmvの間の値を仮定した。Total N (ΣN)、CO、 CH_3Cl 、 CCl_4 、Total Cl (ΣCl)の下部境界の濃度はNAS 1979 レポートから採用した。

上部境界条件としてフラックスを与える場合(5.11)式のスケールハイトは5.0kmとした。ただしTotal Clについてはフラックスをゼロとした。

(2) 拡散係数

高度分布の観測が正確に行なわれ、また光化学反応がよく分っている成分についてのモデル計算値と観測値が一致するように拡散係数の高度分布を決めるのが一般的方法である。今回の報告では N_2O 、 CH_4 の高度分布の観測値を参考にして拡散係数をきめた。図5.3にこのようにして求めた拡散係数の高度分布を示す。図中にはCrutzen et al. (1978)、NAS1979の値も示してある。NAS1979と比べると25km付近を除いて、我々の値はNAS1979より小さい。Crutzen et al. (1978)の値と比べてみると40km以上で我々の値は大きくまた40km以下では小さい。高度15-20kmに拡散係数の値の小さい層の存在することが我々の分布の特徴である。この高度分布(Case F)は次式で与えられる、

$$\left. \begin{aligned} K_z &= a \exp(-0.2608Z + 11.513) & 0 \leq Z < 15 \\ &= a \cdot 2.0 \times 10^3 & 15 \leq Z < 20 \\ &= a \exp(0.3219(Z-20) + 7.601) & 20 \leq Z < 35 \\ &= a \exp(0.06579(Z-25) + 9.210) & 35 \leq Z \leq 60 \end{aligned} \right\} \quad (5.25)$$

ただし、 K_z は拡散係数($\text{cm}^2\text{sec}^{-1}$)、 Z は高度(km)である。今回は $a=1.5$ とした。この場合について図中にはCase F ($a=1.5$)と表わしてある。

(3) 太陽放射その他の条件

これから述べる結果は、大気外太陽放射としてCase D、(最も新しい観測結果を含む分布)、緯度は 35°N 、時期は春分、拡散係数はCase F ($a=1.5$)の場合についてである。

(4) 分布

窒素グループ N、NO、NO₂、NO₃、N₂O₅、HNO₃ 及び Total N の分布を図5.4a に示す。成層圏上部では NO、下部では HNO₃ が最も多い。中部では NO、NO₂、HNO₃ が同程度に存在することが分る。成層圏下部では窒素グループの最終生成物は HNO₃ で最も多く存在することが分る。

水素グループ H、HO、HO₂、H₂O₂、ΣH=H+HO+HO₂+H₂O₂ の高度分布を図5.4b に示す。高度 50km 以上では HO と HO₂ が最も多く 50km 以下では H₂O₂ が最も多い。前の図で示した HNO₃ は主として NO₂+HO+M→HNO₃+M の反応で生成されるので、窒素グループと水素グループの両者の最終生成物とみなせる。前述のごとく下部成層圏では HNO₃ が両グループを通じて最も濃度が大きい。

図5.4c にメタンの酸化過程で生成される成分の高度分布を示す。CO が最も多く次は CH₂O (ホルムアルデヒド) が多いということが分る。酸化の最終生成物は CO₂ である。

図5.4d に塩素グループの分布を示す。最終生成物 HCl は上部・下部成層圏では最も多いが、中部成層圏では ClO、ClONO₂ と同程度の濃度である。

次に個々の成分の高度分布について計算値と観測値の比較を行う。

図5.5a はオゾン濃度 (粒子/cm³) の高度分布を示す。CAL は計算値を示す。OBS は U. S.

表 5.6 境界条件

成 分	下 部 境 界 (14 km)	上 部 境 界 (54 km)
Ox	f	p
N ₂ O	n ; 0.3 2 0 ppmv *	f
Total N	n ; 1.0 9 ppbv	n ; 9.8 0 ppbv
H ₂ O	n ; 4.8 3 ppmv *	n ; 4.8 3 ~ 1 3.0 ppmv
Total H	p	p
CH ₄	n ; 1.7 0 ppmv *	f
CO	n ; 0.0 6 ppmv	p
CF ₂ Cl ₂	n ; 0.2 8 8 ppbv *	f
CFC1 ₃	n ; 0.1 7 0 ppbv *	f
CH ₃ Cl	n ; 0.6 0 0 ppbv	f
CCl ₄	n ; 0.1 5 0 ppbv	f
Total Cl	n ; 0.1 5 0 ppbv	f (= 0)

n : 粒子濃度

p : 光化学平衡

f : フラックス

* は我々の観測値, その他の濃度はNAS 1979による

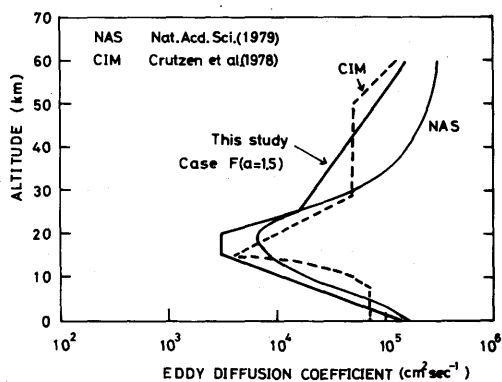


図 5.3 拡散係数
Case F ($a=1.5$) は計算に用いたもの (25 式)。
比較のため Crutzen et al. (1978) と NAS 1979 を示した。

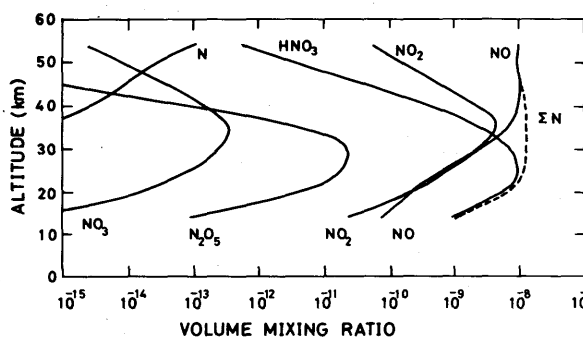


図 5.4 a 窒素グループの高度分布
 ΣN は $N+NO+NO_2+NO_3+N_2O_5+NNO_3$ を表わす。

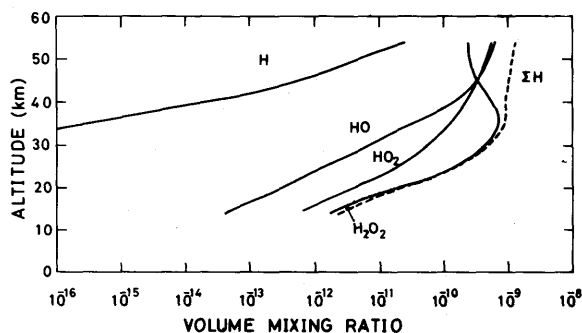


図 5.4 b 水素グループの高度分布
 ΣH は $H+HO+HO_2+H_2O_2$ を表わす。

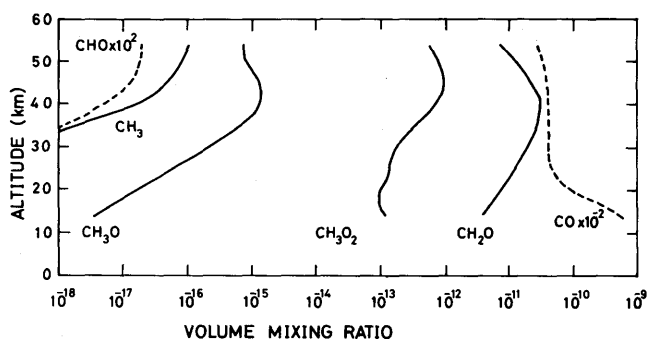


図 5.4 c メタングループの高度分布

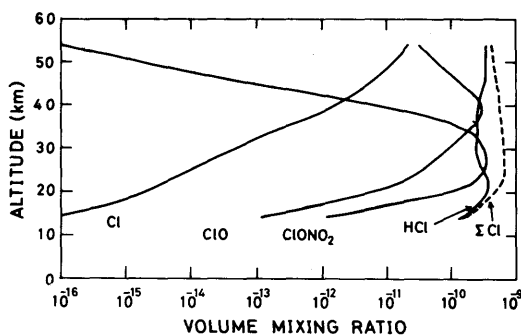


図 5.4 d 塩素グループの高度分布
 ΣCl は $Cl+ClO+ClONO_2+HCl$ を表わす。

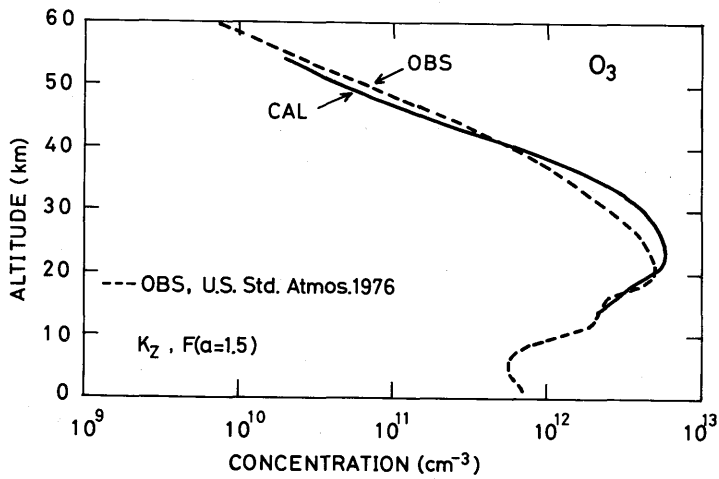


図 5.5 a オゾンの高度分布
OBS (破線) は U.S. Standard Atmosphere, 1976 のもので中緯度の平均分布を示す。
CAL (実線) は計算値, 拡散係数は図 5.3 のもの $F(a=1.5)$ を使用 (図 5.5 b ~ 図 5.5 p も同様)。横軸は, 粒子数/cm³ を示す。

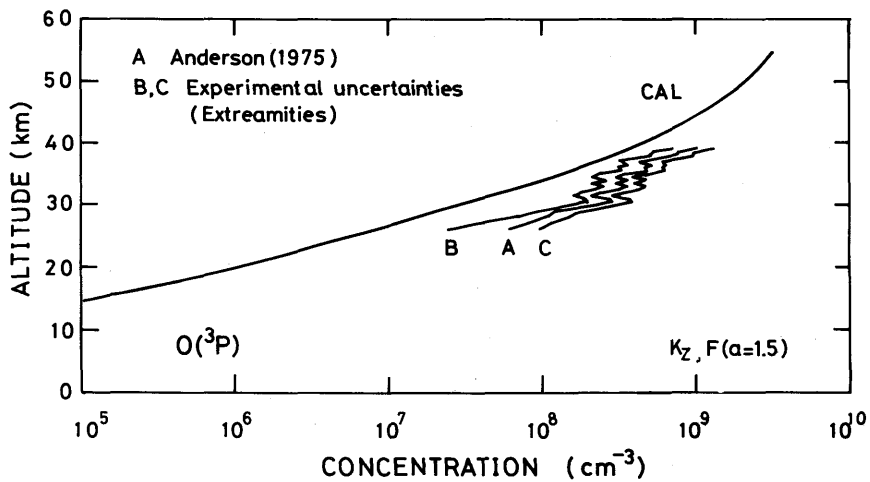


図 5.5 b $O(^3P)$ の高度分布
A は Anderson (1975) の観測値 (Nov. 25, 1974. 緯度 32°N, 太陽天頂角 56°)

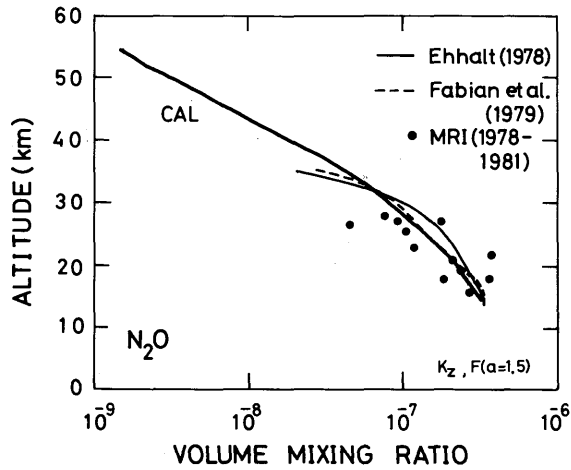


図 5.5 c N_2O の高度分布
観測値：細い実線は Ehhalt (1978) の平均分布, 破線は Fabian et al. (1979) の平均分布 ($44^\circ N$), 黒丸は筑波での 1978—1981 の夏期の観測値。

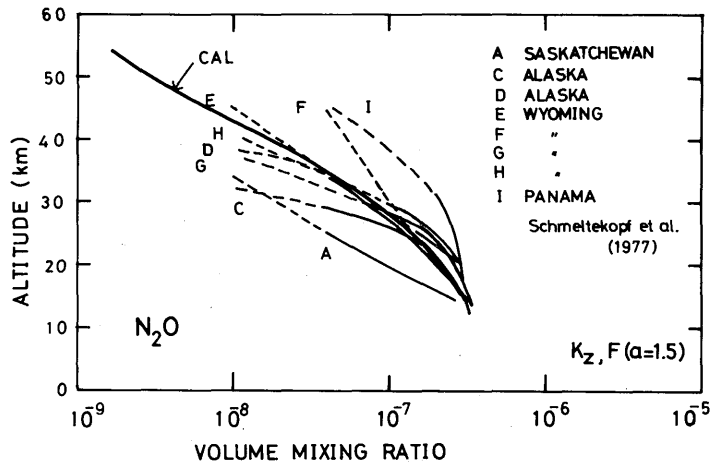


図 5.5 d N_2O の高度分布
観測値 A ~ I は Schmettekopf et al. (1977) による。
A は Saskatchewan (Aug. 1975), C, D は, Alaska (May. 1976), E—H は Wyoming (May. 1976), I は Panama (April, 1976) の値。

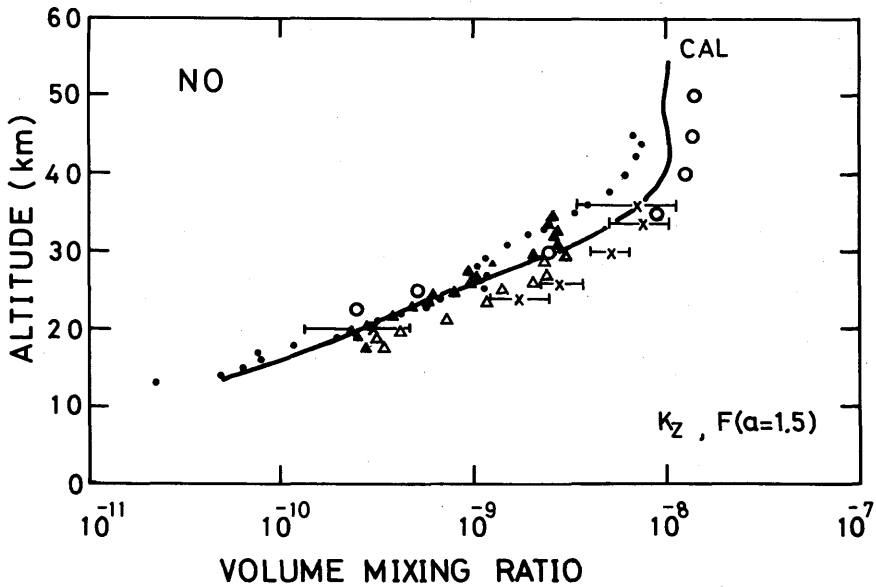


図 5.5 e NO の高度分布
観測値： $\times$ は Ackerman et al. (1975) の May, 1974 の値。 $\triangle$, $\blacktriangle$ は Ridley et al. (1976) の 16 July, 1974 及び 22 July, 1974 の値。 $\bullet$ は Drummond et al. (1977), 27 June 1976 の値。 $\circ$ は Drummond and Jarnot (1978), 14 June 1975 の値。

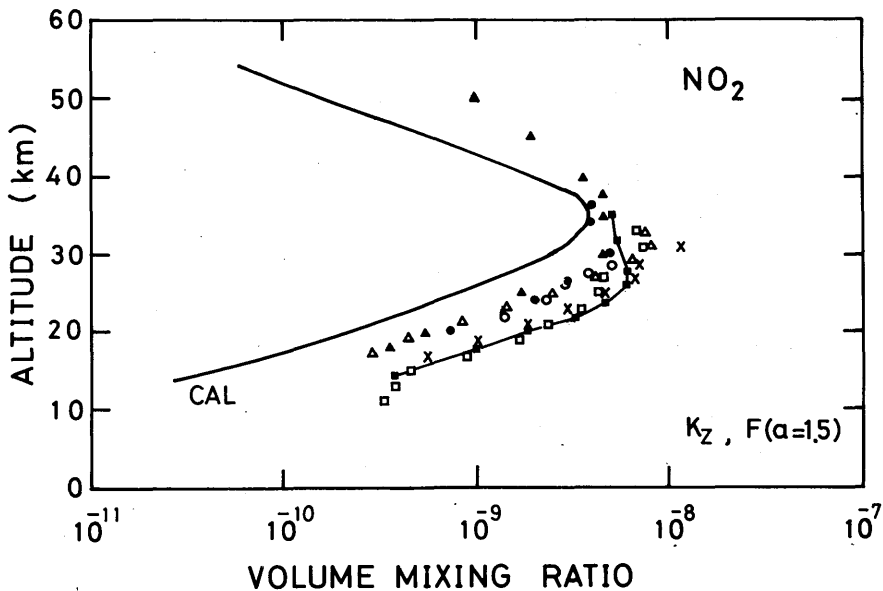


図 5.5 f NO_2 の高度分布
観測値：
 $\circ$ は Murcray et al. (1974), 7 Dec. 1967 の値。
 $\bullet$ は Ackerman et al. (1975), May, 1974 の値。
 $\square$, $\times$, $\triangle$ は, Kerr and McElroy (1976), 22 July 1974, 17 Aug. 1975, 18 Aug. 1975 の値。
 $\blacktriangle$ は Drummond and Jarnot (1978), 14 June 1975, $\blacksquare$ は Ogawa et al. (1981), 29 May 1978, 40°N の値。

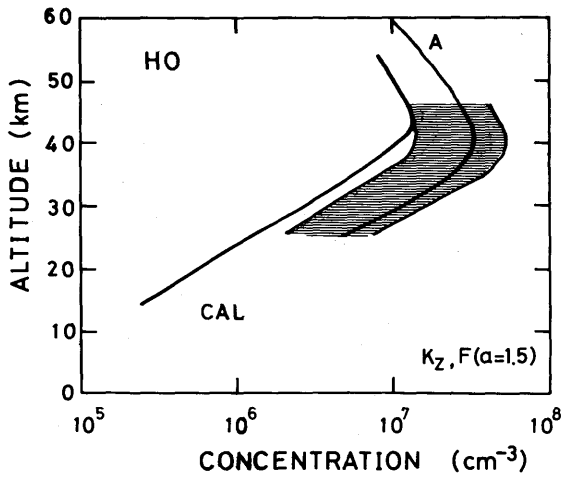


図 5.5 g HO の高度分布
A (細い実線) は Anderson (personal communication) の観測の平均値。ハッチは観測値のバラツキの範囲 (NAS, 1979 による)。

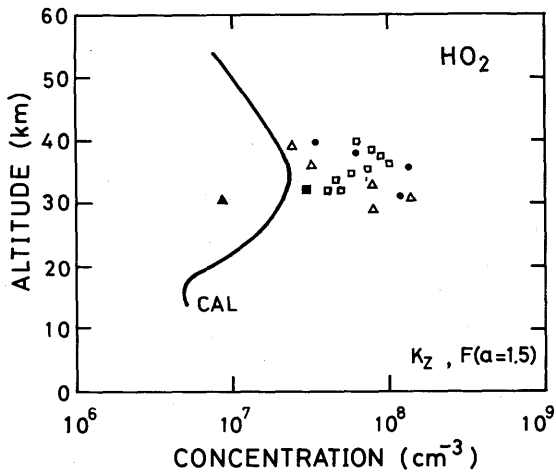


図 5.5 h HO_2 の高度分布
▲, ■ は Mihelcic et al. (1978 a, b) の 4 Mar. 1977 及び 8 Aug. 1976 の観測値。□, ●, △ は Anderson et al. (personal communication) の 20 Sep. 1977, 25 Oct. 1977, 2 Dec. 1977 の観測値 (NAS, 1979 による)。

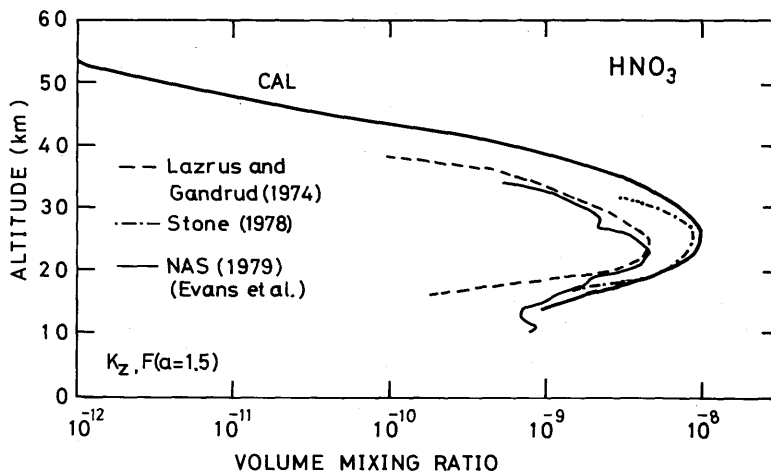


図 5.5 i HNO_3 の高度分布
破線は Lazrus and Gandrud (1974), Spring 1973, 32°51'N の観測値。
鎖線は Stone (1978), 20 Sep. 1974, 44°N の観測値。
細い実線は Evans et al. (personal communication) の 50—55°N, late summer の観測値 (NAS 1979 による)。

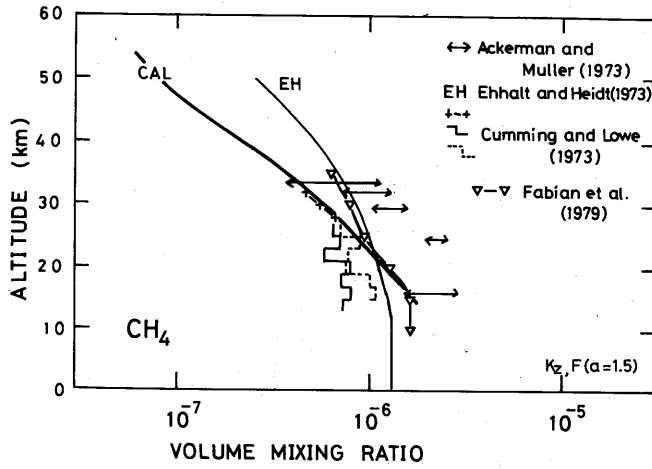


図 5.5 j CH_4 の高度分布
 $\longleftrightarrow$ は Ackerman and Muller (1973), 22 Oct. 1971, EH (細い実線) は Ehhalt and Heidt (1973), June-July の4 回の平均。Cumming and Lowe (1973) の観測は 11 Aug. 1965, 実線は R (6), 破線は R (5) による, 27.9 km 以上 (+ + +) は両者に最も合うようにきめた。 ∇ — ∇ は Fabian et al. (1979), 1977 年 6 月と 9 月の観測値の平均値。

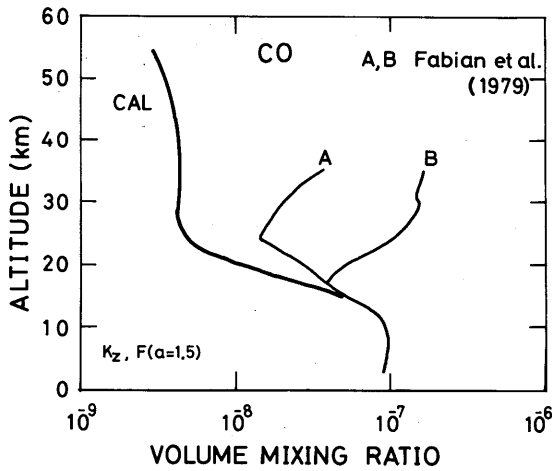


図 5.5 k CO の高度分布
 A, B は Fabian et al. (1979) の観測値で, A は 7 June, 12 Sep. 1977 の平均, B は 16 June 1977 の値。

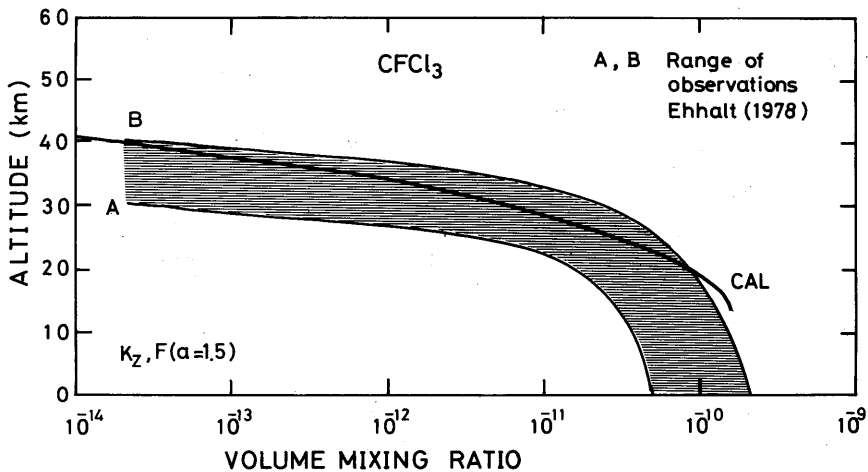


図 5.5 l CFC1_3 の高度分布
 ハッチした部分は Ehhalt (1978) がまとめた観測値 (1974—1978 年の間) の分布する範囲。

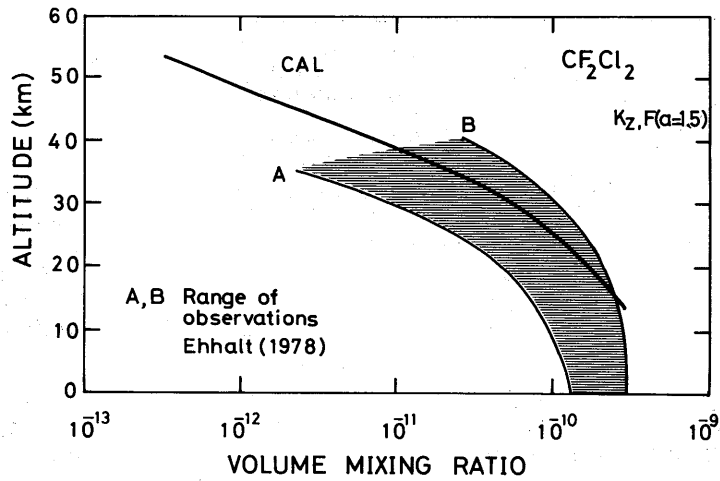


図 5.5 m CF_2Cl_2 の高度分布
ハッチした部分は Ehhalt (1978) がまとめた観測値
(1974—1978 年の間) の分布する範囲。

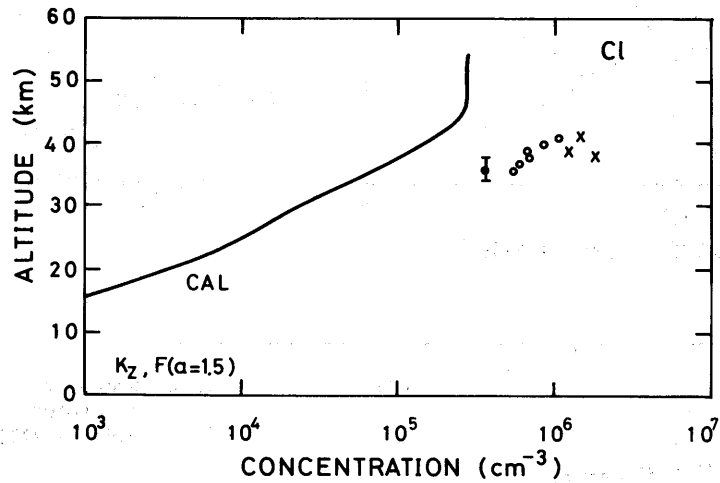


図 5.5 n Cl の高度分布
観測値は Anderson et al. (1977) のもので、○は 28
July, ×は 2 Oct. ●は 8 Dec., 1977, 32°N の値。

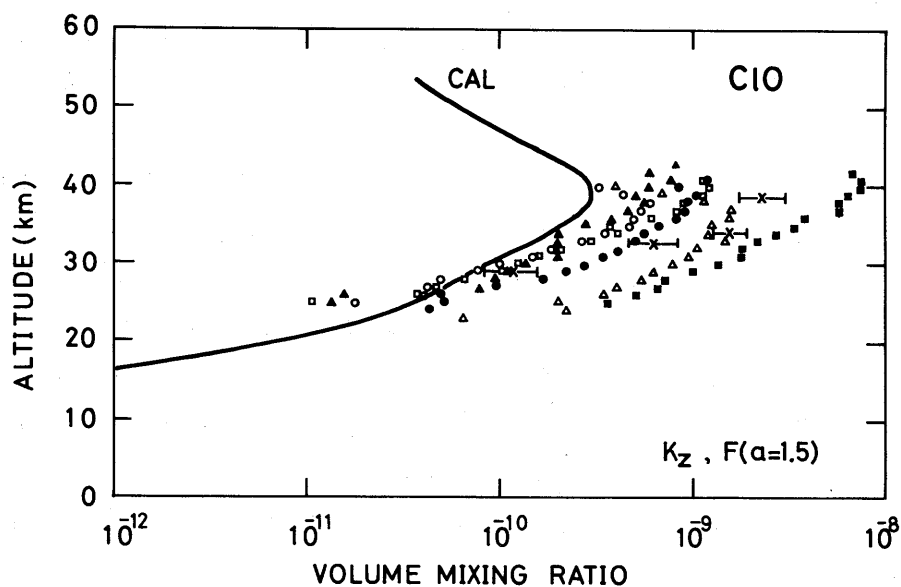


図 5.5 o CIO の高度分布
 —×— は Menzies (1979), 20 Sep. 1978 の観測値。
 他は Anderson et al. (1980) の観測値。
 △ (28 July 1976), ■ (14 July 1977), ● (20 Sep. 1977),
 ▲ (25 Oct. 1977), □ (2 Dec. 1977), ○ (8 Dec. 1976) で
 ある。

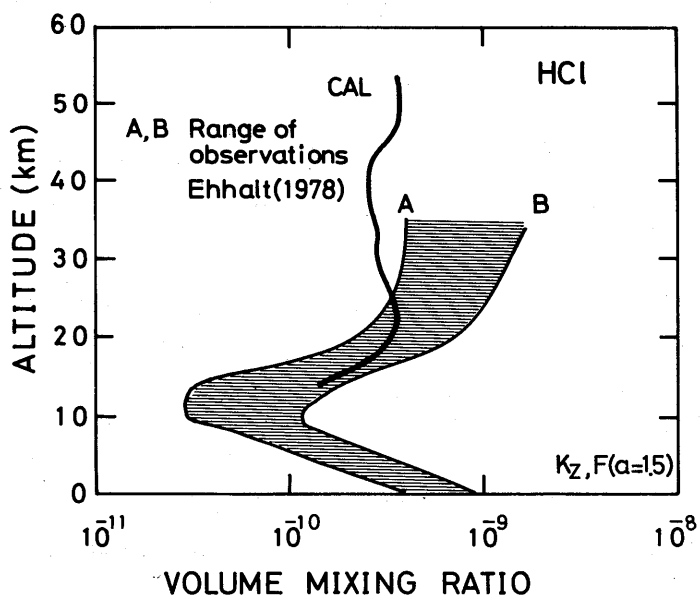


図 5.5 p HCl の高度分布
 ハッチした部分は Ehhalt (1978)
 がまとめた観測値 (1974—1976 年
 の間) の分布する範囲。

Standard Atmosphere、1976のもので中緯度の平均的分布である。高度 20—40km で計算値の方が観測値より大きく、両者の違いは高度 30km で最も大きく約50%である。これ以外の高度では両者はだいたい一致している。

図5.5b—図5.5p に他の成分についての計算値と観測値を示す。前述のごとく拡散係数の高度分布を決める場合、 N_2O と CH_4 の高度分布を参考にしたが、 N_2O と CH_4 の両者ともに満足させることは難しく今回は N_2O の方を優先させた。その理由は、 N_2O の光化学反応は光解離と $O(^1D)$ との反応のみであるが、 CH_4 は $O(^1D)$ 、 O_3 、 HO との反応があり複雑なためである。 N_2O の観測値は Schmeltekopf et al. (1977) の Wyoming でのもの (図5.5d) と Fabian et al. (1979) のもの (図5.5c) を参考にした。 CH_4 の高度分布 (図5.5j) については 25km 以下では Fabian et al. (1979) の観測値に合うが、25km 以上では Cumming and Lowe (1973) の値に一致する。25km 以上でも Fabian et al. (1979) の値に一致させるよう拡散係数を選ぶと N_2O の分布について計算値と観測値が一致しなくなる。

O_3 、 N_2O 、 CH_4 以外で観測値と計算値がだいたい一致するものとしては、 NO (図5.5e)、 HNO_3 (図5.5i)、 $CFCl_3$ (図5.5l)、 CF_2Cl_2 (図5.5m) 等である。 HNO_3 の計算値は Stone (1978) の観測値とだいたい一致するが、Lazrus and Gandrud (1974)、NAS 1979 の観測値より全体的に大きい。

$CFCl_3$ の計算の下部条件として採用した我々の観測値は1978年と1979年の平均値であるから、Ehhalt (1978) のまとめた観測値 (1974—1978) より大きい。このため高度 14—20km で計算値が観測値より大きくなっている。

CF_2Cl_2 に対しても同様のことが言える。即ち下部境界値として1979年と1981年の観測の平均値を採用したため Ehhalt (1978) のまとめた観測値 (1974—1978) より 14—16km で計算値が大きくなっている。

次に観測と計算の傾向の合っているものとして、 $O(^3P)$ (図5.5b)、 NO_2 (図5.5f)、 HO (図5.5g) 等がある。これ等に共通することは計算値が観測値より全体的に小さいことである。

さらに観測と計算の一致の悪いものとして HCl (図5.5p)、 ClO (図5.5o)、 Cl (図5.5n)、 CO (図5.5k) 等がある。

HCl は 25km 以下では一致はよいが、25km 以上では計算値が小さくなる。

ClO については観測値が大きくばらついてはいるが 40—30km で観測値が大きい。しかし 25km 位では両者は一致する傾向にある。

Cl は観測例が少なく高度分布を比較することはできないが 40km 付近については、観測値が計算値より大きい。

CO は観測と計算が大きく異なる。観測値は同じ装置・時期による値が大きく異なる (図5.5k、A、B曲線) ので問題があると言える。

5.4.7 我々の観測との比較

我々は1978~1981の夏期 N_2O 、 $CFCl_3$ 、 CF_2Cl_2 等の高度分布を観測している。前節の計算は春分であるので本節では観測時期に合わせて夏至での分布の計算を行った。

前節と異なる条件は

(1)時 期：夏至

(2)拡散係数：(5.26) 式

(3)緯 度： $36^\circ N$

拡散係数は次式を最適として選んだ。

case H

$$\left. \begin{aligned} K_z &= a \cdot \exp(-0.2608Z + 11.513) && ; 0 \leq Z < 15 \\ &= a \cdot 2 \times 10^3 && ; 15 \leq Z < 20 \\ &= a \cdot \exp(0.4605(Z - 20) + 7.601) && ; 20 \leq Z < 25 \\ &= a \cdot \exp(0.07737(Z - 25) + 9.903) && ; 25 \leq Z \end{aligned} \right\} \quad (5.26)$$

ただし

K_z は拡散係数 ($cm^2 sec^{-1}$)、 Z は高度 (km) とし以下に述べる計算では $a=1.7$ とした。

図5.6a に拡散係数の高度分布を示す。図中に NAS 1979 Report のものを比較のために示す。図5.6b~図5.6e に計算と観測の比較を示す。

N_2O 、 $CFCl_3$ 、 CF_2Cl_2 に関しては Fabian et al. (1979) の観測値を比較のため示した。これは $44^\circ N$ で1977年6月2回、9月2回の平均値である。 N_2O は我々の値よりやや大きい (図5.6b)、 $CFCl_3$ 、 CF_2Cl_2 は我々の値より少し小さい (図5.6c、図5.6d)。

図5.6e はオゾンの高度分布を示す。館野で観測されたオゾンゾンデの値、反転観測の値も示してあるが我々の計算値は30km以下ではオゾンゾンデの値に近く、30km以上では反転観測より少し小さい値を示す。

N_2O 、 $CFCl_3$ 、 CF_2Cl_2 、 O_3 の我々の観測値は図5.6aの拡散係数を用いて一次元モデルにより矛盾なく説明できると言える。ここで採用した拡散係数の特徴は下部成層圏で他のモデルに比べて小さい値をとるということである。これは夏期であることを考えれば当然と言える。

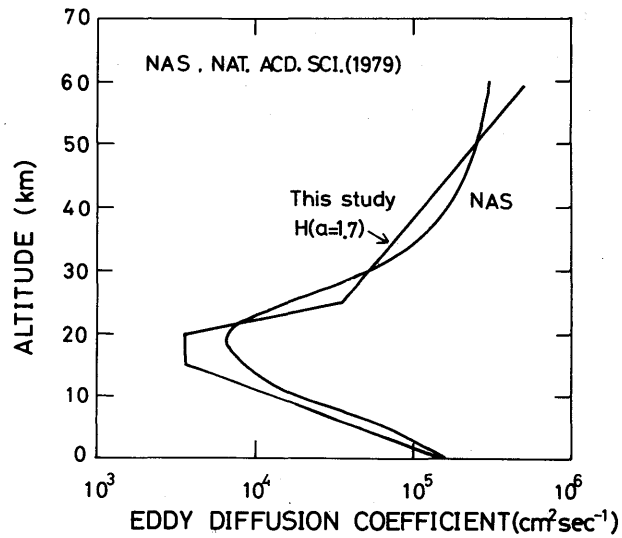


図 5.6 a 拡散係数の高度分布
筑波 (36°N) の夏期における N_2O , CF_2Cl_2 , CFCl_3 , O_3 の分布に合うようにきめた。NAS は NAS 1979 から採用した。

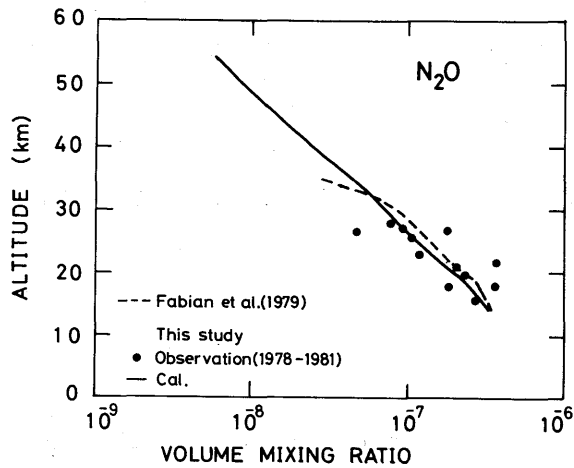


図 5.6 b N_2O の高度分布
Fabian et al (1979) の観測値は図 5.5 c のものと同じ。• は我々の観測値である。

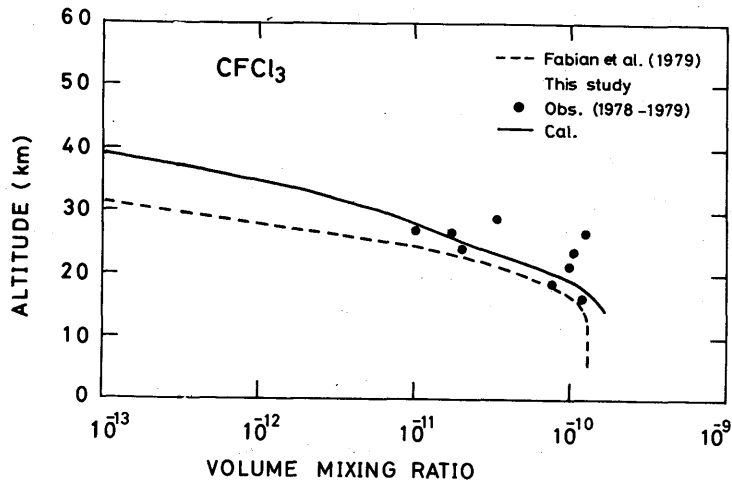


図 5.6 c CFC1_3 の高度分布
 ・は我々の観測値 (筑波, 1978-1979, 夏期)。
 Fabian et al. (1979) の値は 44°N で 1977 年 6 月 2 回, 9 月 2 回の平均値である。

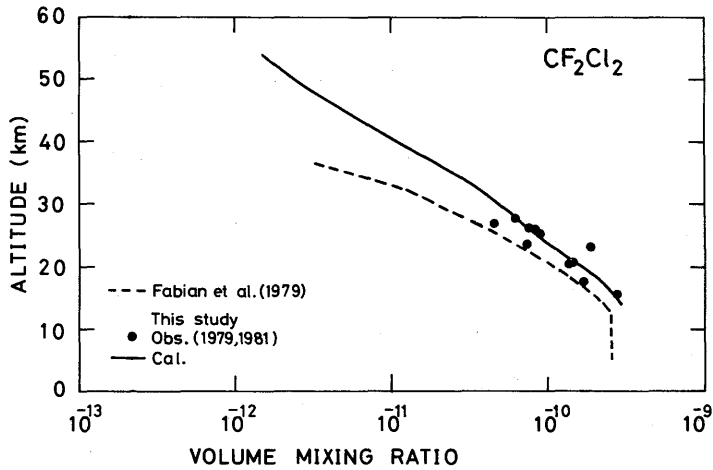


図 5.6 d CF_2Cl_2 の高度分布
 ・は我々の観測値 (筑波, 1979, 1981, 夏期)。
 Fabian et al. (1979) については前の図と同じ。

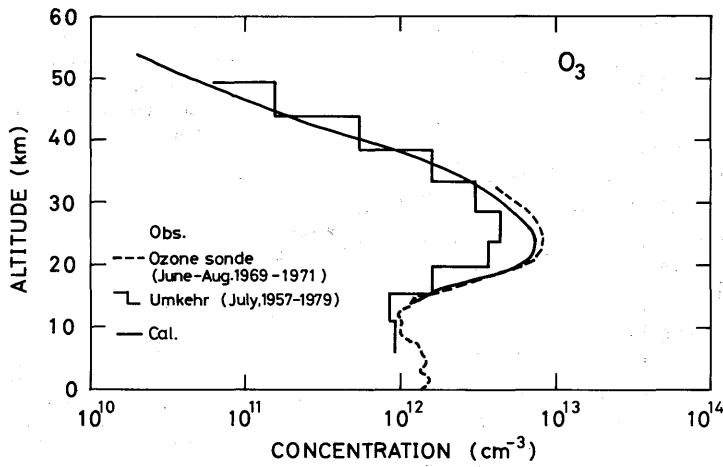


図 5.6 e オゾンの高度分布

.....はオゾンゾンデの観測値 (June-July, 1969-1971)。
は反転観測による (July, 1957-1979) 値。
 — は計算値。

5.5 日変化

各成分の日変化は長期間にわたる変化を計算するための参考資料として必要である。また各成分に対する拡散の効果を見積ることが出来る。

5.5.1 計算式

(5.1) 式で $\text{div} \phi_i$ を無視すると

$$\frac{\partial n_i}{\partial t} = Q_i(n_j) - L_i(n_j), n_i \quad (5.27)$$

となる。これを差分方程式に書き換えると、

$$n_i(z, t+\Delta t) = \frac{n_i(z, t) + Q(z, t)\Delta t}{1 + L(z, t)\Delta t} \quad (5.28)$$

となる。各成分について $Q(z, t)$ 、 $L(z, t)$ は表5.1、表5.2を参照して次のようになる。

(1) 酸素グループ

$O(^3P)$ 、 $O(^1D)$ をそれぞれ O 、 O^* とする。

$$O_3: \quad Q = R_2 [O_2] [M] [O]$$

$$L = J_3^* + R_3 [O] + AT$$

$$O: \quad Q = 2J_2^* [O_2] + J_3^* [O_3] + PT$$

$$L = 2R_1 [M] [O] + R_2 [O_2] [M] + R_3 [O_3] + BT$$

ただし

$$J_3^* = J_3 + J_4 + J_5 + J_6 + J_7$$

$$J_2^* = J_1 + J_2$$

$$AT = R_{20} [NO] + R_{24} [NO_2] + R_{41} [H]$$

$$+ R_{44} [HO] + R_{48} [HO_2] + R_{84} [Cl]$$

$$BT = R_{21} [NO] [M] + (R_{23} +$$

$$R_{25} [M]) [NO_2] + R_{28} [N] [M] + R_{33} [HNO_3] + R_{47} [HO_2] +$$

$$(R_{51} + R_{52}) [H_2O_2] + R_{61} [H_2] + R_{82} [CO] [M] + R_{85} [ClO] + R_{91} [HCl]$$

$$PT = J_8 [N_2O] + J_{10} [N_2O_5] + J_{13} [NO_3] + J_{14} [NO]$$

$$+ (J_{15} + J_{16}) [NO_2] + J_{20} [HO_2] + J_{25} [CO_2]$$

$$+ (R_{29} [O_2] + R_{31} [NO]) [N] + (R_{45} [HO] + R_{54} [H]) [HO]$$

O* は光化学平衡にあるとして

$$O^* = (J_4 + J_5 + J_6 + J_7) [O_3] / (R_4 [O_2] + R_5 [N_2])$$

で計算する。

(2) 窒素グループ

N : $Q = J_{14} [NO]$

$$L = R_{28} [O] [M] + R_{29} [O_2] + R_{30} [O_3] + R_3 [NO] + R_{39} [HO]$$

NO : $Q = 2R_{18} [O^*] [N_2O] + (J_{15} + J_{16}) [NO_2] + R_{23} [NO_2] [O]$

$$+ J_{12} [NO_3] + (R_{28} [O] [M] + R_{29} [O_2] + R_{30} [O_3] + R_{39} [HO]) [N]$$

$$L = J_{14} + R_{20} [O_3] + R_{21} [O] [M] + R_{22} [NO_3] + R_{31} [N]$$

$$+ R_{35} [HO_2] + R_{36} [HO] [M]$$

NO₂ : $Q = (2J_{10} + J_{11}) [N_2O_5] + J_{13} [NO_3] + J_{18} [HNO_3] + R_{20} [NO] [O_3]$

$$+ R_{21} [NO] [O] [M] + 2R_{22} [NO] [NO_3] + R_{27} [N_2O_5] [M] + R_{35} [NO] [HO_2]$$

$$L = J_{15} + J_{16} + R_{23} [O] + R_{24} [O_3] + R_{25} [O] [M]$$

$$+ R_{26} [NO_3] [M] + R_{38} [HO] [M]$$

NO₃ : $Q = J_{11} [N_2O_5] + (R_{24} [O_3] + R_{25} [O] [M]) [NO_2]$

$$+ R_{27} [N_2O_5] [M] + (R_{33} [O] + R_{34} [HO]) [HNO_3]$$

$$L = J_{12} + J_{13} + R_{22} [NO] + R_{26} [NO_2] [M]$$

N₂O₅ : $Q = R_{26} [NO_3] [NO_2] [M]$

$$L = J_{10} + J_{11} + R_{27} [M] + R_{32} [H_2O]$$

HNO₃ : $Q = 2R_{32} [N_2O_5] [H_2O] + R_{38} [NO_2] [HO] [M]$

$$L = J_{18} + R_{33} [O] + R_{34} [HO]$$

(3) 水素グループ

$$\begin{aligned}
 \text{H:} \quad Q &= J_{19} [\text{H}_2\text{O}] + J_{23} [\text{CH}_2\text{O}] + (R_{43} [\text{HO}] + R_{61} [\text{H}_2]) [\text{O}] \\
 &\quad + R_{62} [\text{H}_2] [\text{O}^*] + (R_{63} [\text{H}_2] + R_{83} [\text{CO}] + R_{39} [\text{N}]) [\text{HO}] \\
 &\quad + J_{30} [\text{HCl}] + R_{88} [\text{H}_2] [\text{Cl}] \\
 L &= R_{41} [\text{O}_3] + R_{42} [\text{O}_2] [\text{M}] + R_{54} [\text{HO}] + R_{55} [\text{HO}] [\text{M}] \\
 &\quad + (R_{56} + R_{57}) [\text{HO}_2] + (R_{58} + R_{59}) [\text{H}_2\text{O}_2] + R_{60} [\text{NO}_2] \\
 \text{HO:} \quad Q &= (R_{41} [\text{O}_3] + 2R_{56} [\text{HO}_2] + R_{59} [\text{H}_2\text{O}_2] + R_{60} [\text{NO}_2]) [\text{H}] \\
 &\quad + (R_{61} [\text{O}] + R_{62} [\text{O}^*]) [\text{H}_2] + (J_{19} + 2R_{40} [\text{O}^*]) [\text{H}_2\text{O}] \\
 &\quad + (J_{20} + R_{47} [\text{O}] + R_{48} [\text{O}_3] + R_{35} [\text{NO}]) [\text{HO}_2] \\
 &\quad + (J_{21} + R_{51} [\text{O}]) [\text{H}_2\text{O}_2] + (J_{18} + R_{33} [\text{O}]) [\text{HNO}_3] \\
 &\quad + (R_{64} [\text{O}] + R_{65} [\text{O}^*] + R_{67} [\text{O}_3]) [\text{CH}_4] \\
 &\quad + R_{97} [\text{CH}_3\text{Cl}] [\text{O}^*] + R_{70} [\text{CH}_3] [\text{O}_2] \\
 &\quad + (R_{78} [\text{CH}_2\text{O}] + R_{91} [\text{HCl}]) [\text{O}] \\
 L &= R_{43} [\text{O}] + R_{44} [\text{O}_3] + 2(R_{45} + R_{46} [\text{M}]) [\text{HO}] \\
 &\quad + R_{49} [\text{HO}_2] + R_{53} [\text{H}_2\text{O}_2] + (R_{54} + R_{55} [\text{M}]) [\text{H}] + R_{63} [\text{H}_2] \\
 &\quad + R_{34} [\text{HNO}_3] + R_{36} [\text{NO}] [\text{M}] + R_{38} [\text{NO}_2] [\text{M}] + R_{39} [\text{N}] \\
 &\quad + R_{68} [\text{CH}_4] + R_{79} [\text{CH}_2\text{O}] + R_{83} [\text{CO}] + R_{90} [\text{HCl}] + R_{96} [\text{CH}_3\text{Cl}] \\
 \text{HO}_2: \quad Q &= R_{42} [\text{H}] [\text{O}_2] [\text{M}] + R_{44} [\text{HO}] [\text{O}_3] + R_{51} [\text{H}_2\text{O}_2] [\text{O}] + R_{53} [\text{H}_2\text{O}_2] [\text{HO}] \\
 &\quad + R_{58} [\text{H}] [\text{H}_2\text{O}_2] + R_{75} [\text{CH}_3\text{O}] [\text{O}_2] + R_{81} [\text{CHO}] [\text{O}_2] \\
 L &= J_{20} + R_{47} [\text{O}] + R_{48} [\text{O}_3] + R_{49} [\text{HO}] + 2R_{50} [\text{HO}_2] \\
 &\quad + (R_{56} + R_{57}) [\text{H}] + R_{72} [\text{CH}_3\text{O}_2] + R_{80} [\text{CH}_2\text{O}] + R_{89} [\text{Cl}] \\
 &\quad + R_{35} [\text{NO}] \\
 \text{H}_2\text{O}_2: \quad Q &= R_{46} [\text{HO}]^2 [\text{M}] + R_{50} [\text{HO}_2]^2 + R_{80} [\text{CH}_2\text{O}] [\text{HO}_2] \\
 L &= J_{21} + (R_{51} + R_{52}) [\text{O}] + R_{53} [\text{HO}] + (R_{58} + R_{59}) [\text{H}]
 \end{aligned}$$

(4) メタングループ

$$\begin{aligned}
 \text{CH}_3: \quad Q &= (R_{64} [\text{O}] + R_{65} [\text{O}^*] + R_{67} [\text{O}_3] + R_{68} [\text{HO}] + R_{87} [\text{Cl}]) [\text{CH}_4] \\
 &\quad + J_{28} [\text{CH}_3\text{Cl}] \\
 L &= R_{69} [\text{O}_2] [\text{M}] + R_{70} [\text{O}_2] \\
 \text{CH}_3\text{O}_2: \quad Q &= R_{69} [\text{CH}_3] [\text{O}_2] [\text{M}] \\
 L &= R_{71} [\text{NO}] + R_{72} [\text{HO}_2] + (R_{73} + R_{74}) [\text{CH}_3\text{O}_2] \\
 \text{CH}_3\text{O}: \quad Q &= R_{71} [\text{CH}_3\text{O}_2] [\text{NO}] + 2R_{73} [\text{CH}_3\text{O}_2]^2 \\
 L &= R_{75} [\text{O}_2] + R_{76} [\text{NO}] + R_{77} [\text{NO}_2]
 \end{aligned}$$

$$\text{CH}_2\text{O} : Q = R_{66} [\text{CH}_4] [\text{O}^*] + R_{70} [\text{CH}_3] [\text{O}_2] + R_{75} [\text{CH}_3\text{O}] [\text{O}_2]$$

$$L = J_{23} + J_{24} + R_{78} [\text{O}] + R_{79} [\text{HO}] + R_{80} [\text{HO}_2]$$

$$\text{CHO} : Q = (J_{23} + R_{78} [\text{O}] + R_{79} [\text{HO}] + R_{80} [\text{HO}_2]) [\text{CH}_2\text{O}]$$

$$L = R_{81} [\text{O}_2]$$

$$\text{CO} : Q = J_{25} [\text{CO}_2] + J_{24} [\text{CH}_2\text{O}] + R_{81} [\text{CHO}] [\text{O}_2]$$

$$L = R_{82} [\text{O}] [\text{M}] + R_{83} [\text{HO}]$$

塩素グループ

$$\text{Cl} : Q = J_{26} [\text{CF}_2\text{Cl}_2] + J_{27} [\text{CFCl}_3] + J_{28} [\text{CH}_3\text{Cl}]$$

$$+ J_{29} [\text{CCl}_4] + J_{30} [\text{HCl}] + R_{85} [\text{ClO}] [\text{O}]$$

$$+ R_{86} [\text{ClO}] [\text{NO}] + R_{90} [\text{HCl}] [\text{HO}] + R_{91} [\text{HCl}] [\text{O}]$$

$$L = R_{84} [\text{O}_3] + R_{87} [\text{CH}_4] + R_{88} [\text{H}_2] + R_{89} [\text{HO}_2]$$

$$\text{ClO} : Q = R_{84} [\text{Cl}] [\text{O}_3] + R_{93} [\text{ClONO}_2] [\text{O}] + R_{98} [\text{CCl}_4] [\text{O}^*]$$

$$+ R_{94} [\text{CF}_2\text{Cl}_2] [\text{O}^*] + R_{95} [\text{CFCl}_3] [\text{O}^*] + J_{31} [\text{ClONO}_2]$$

$$L = R_{85} [\text{O}] + R_{86} [\text{NO}] + R_{92} [\text{NO}_2] [\text{M}]$$

$$\text{ClONO}_2 : Q = R_{92} [\text{NO}_2] [\text{ClO}] [\text{M}]$$

$$L = J_{31} + R_{93} [\text{O}]$$

$$\text{HCl} : Q = (R_{87} [\text{CH}_4] + R_{88} [\text{H}_2] + R_{89} [\text{HO}_2]) [\text{Cl}]$$

$$L = J_{30} + R_{90} [\text{HO}] + R_{91} [\text{O}]$$

その他

上記以外の成分 O_2 、 N_2 、 N_2O 、 H_2O 、 CH_4 、 CO_2 、 CF_2Cl_2 、 CFCl_3 、 CCl_4 、 CH_3Cl の濃度は一定とする。

5.5.2 結 果

図5.7a～図5.7w に3高度即ち成層圏下部(22km)、中部(38km)、上部(54km)での各成分の35°N、春分での日変化を示す。

日変化は次の4つの型に分類できる。

(a) 夜間減少するもの

$\text{O}(^3\text{P})$ 、 $\text{O}(^1\text{D})$ 、 N 、 NO 、 H 、 HO 、 HO_2 、 CH_3 、 CHO 、 Cl

CH_3O_2 (45km 以上)、 CH_3O (45km 以上)、

CH_2O (45km以下)、 ClO (40km 以下)

(b) 夜間増加するもの

NO_2 、 NO_3 、 N_2O_5 、 ClONO_2 、

O_3 (40km 以上)、 HNO_3 (45km 以上)、 CH_2O (55km 以上)、
 ClO (45km 以上)

(c) 日没・日出時に減少するもの

CH_3O_2 (40km 以下)、 CH_3O (40km 以下)

(d) ほとんど変化しないもの

CO 、 HCl

O_3 (30km 以下)、 HNO_3 (40km 以下)、 H_2O_2 (40km 以下)

各グループの最終生成物 HNO_3 、 HCl 、 CO 等は成層圏中部・下部では日変化がほとんどみられない。(メタングループの最終生成物は CO_2 であるがその前段階の CO も安定で最終生成物とみなしてもよい。 O_3 についても同様のことが言える。)

次に拡散の効果がどの程度かを表5.7に示した。光化学—拡散平衡にある状態から出発して、拡散が無くなったと仮定して南中時から南中時の間の濃度変化を示している。

N 、 NO 、 NO_2 、 Cl 、 ClO 、 $ClONO_2$ 、 HCl 等は成層圏中部・下部でかなりの減少を示す。このことは、これ等の成分の源がより上層にあり拡散がなくなると急激に減少することを示している。 HO_2 、 H_2O_2 等は成層圏中部・下部で増加するがこのことは、これ等の源がこの層に存在することを示す。

成層圏中部・下部で CH_3O_2 、 CH_3O が増加し CH_2O 、 CHO が減少するのは、これ等の成分の濃度を決定する NO 、 NO_2 、 HO_2 等の変化の影響による。

成層圏上部では NO_2 、 NO_3 、 N_2O_5 、 $ClONO_2$ 、 HCl 等が増加しこれ等の源が存在することを示す。

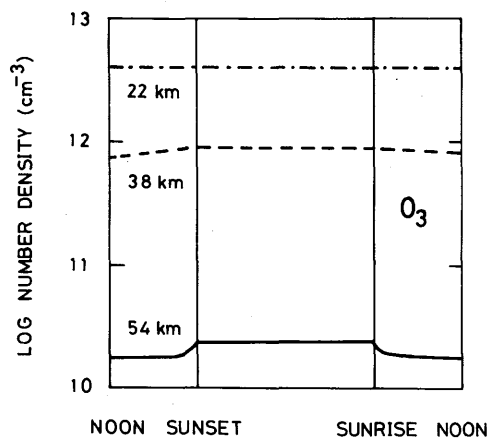


図 5.7a オゾンの日変化

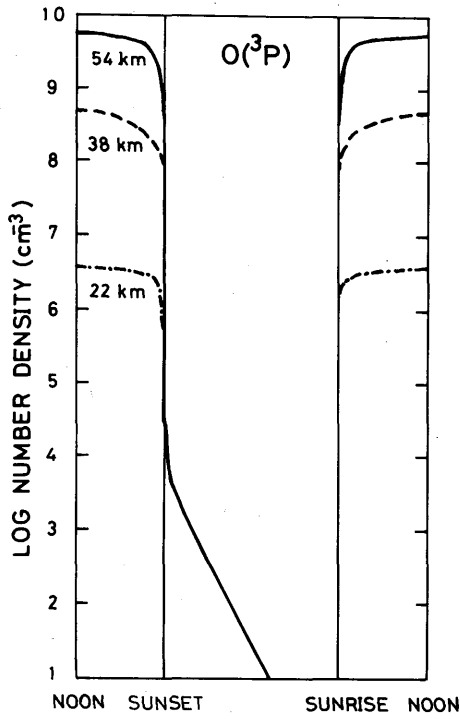


図 5.7 b $O(^3P)$ の日変化

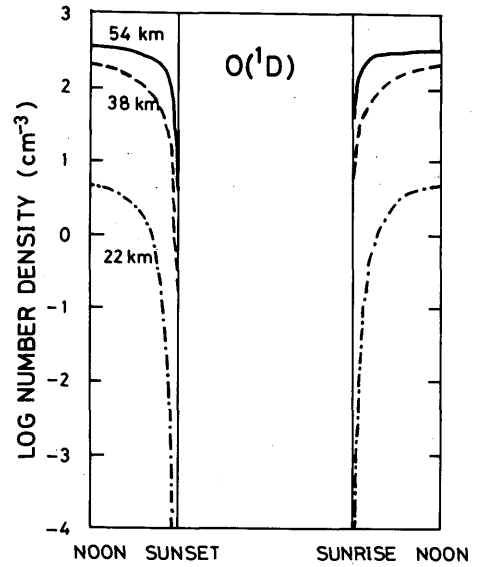


図 5.7 c $O(^1D)$ の日変化

P218

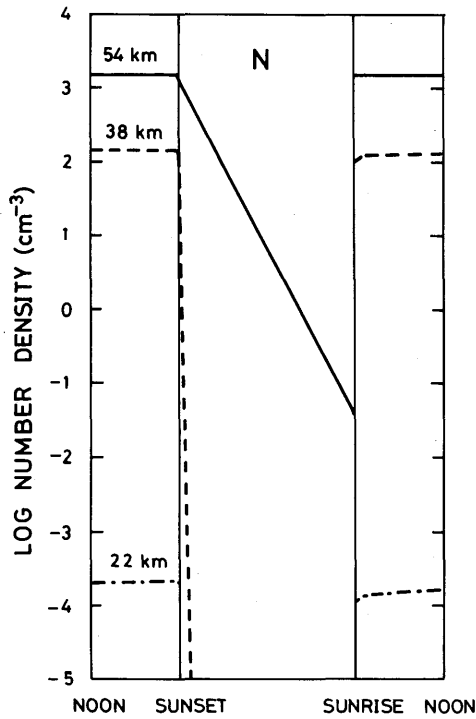


図 5.7 d N の日変化

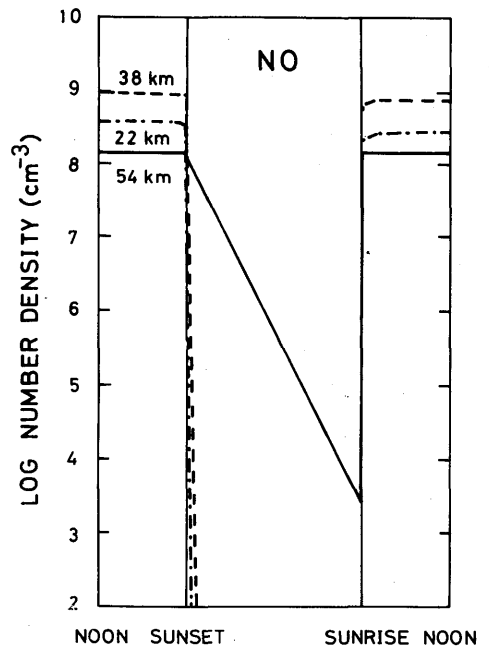


図 5.7 e NO の日変化

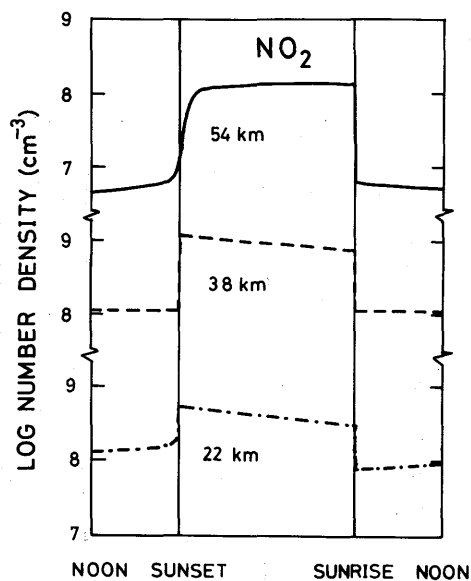


図 5.7 f NO_2 の日変化

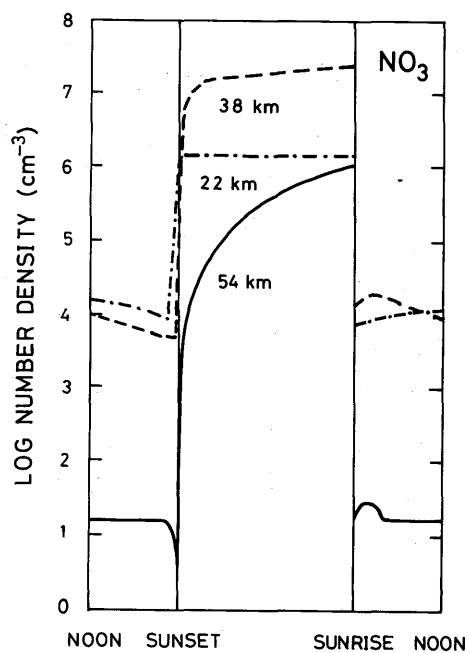


図 5.7 g NO_3 の日変化

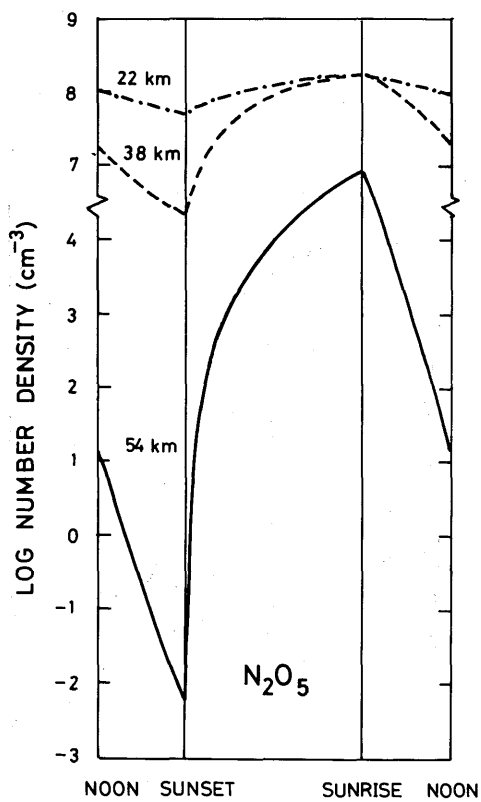


図 5.7 h N_2O_5 の日変化

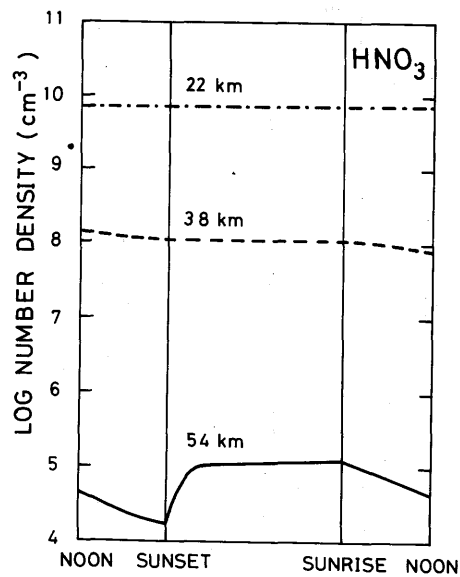


図 5.7 i HNO_3 の日変化

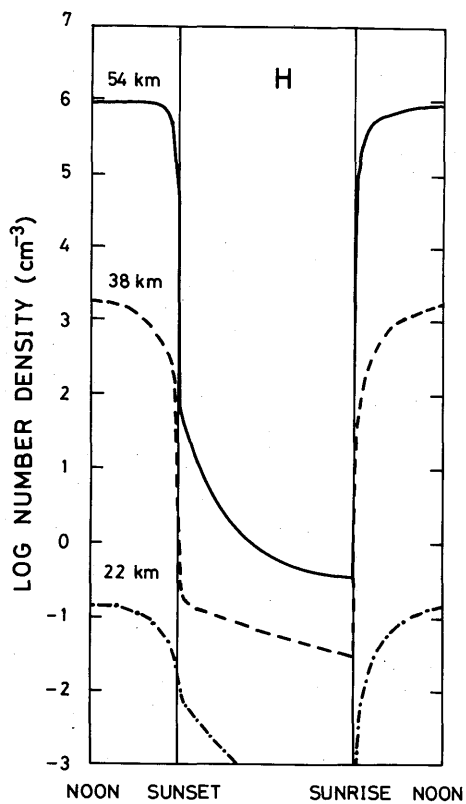


図 5.7 j H の日変化

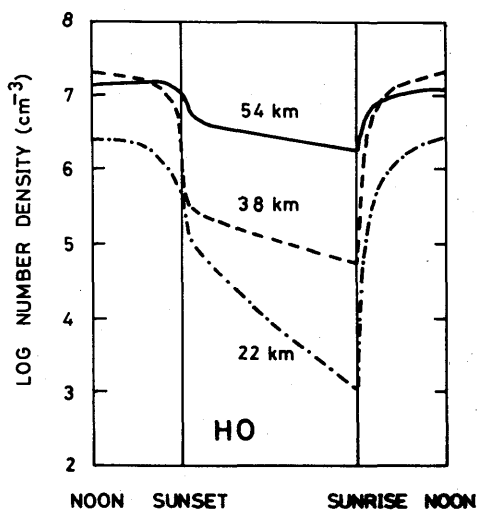


図 5.7 k HO の日変化

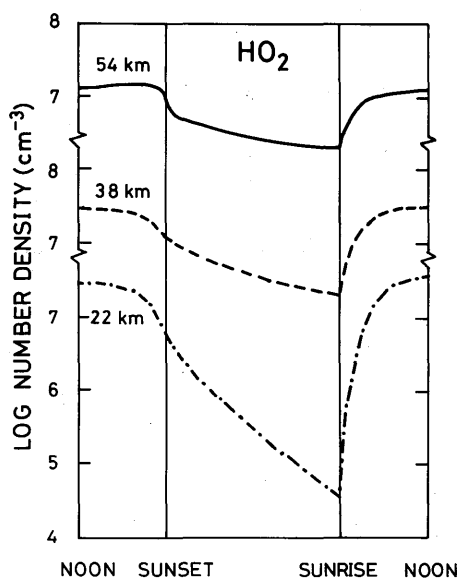


図 5.7 l HO₂ の日変化

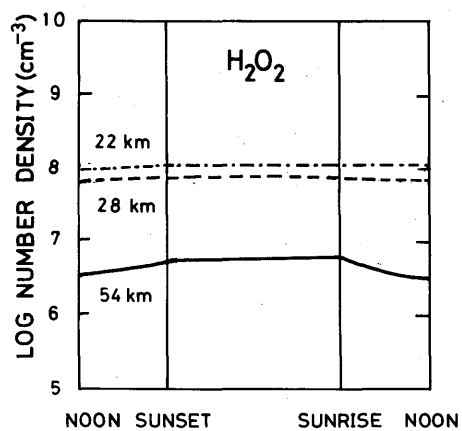


図 5.7 m H₂O₂ の日変化

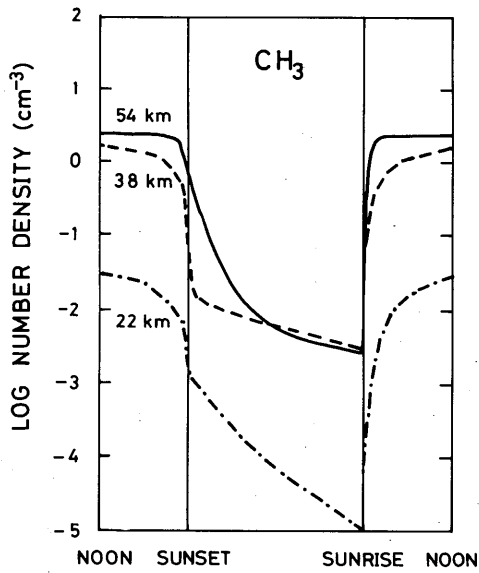


図 5.7 n CH_3 の日変化

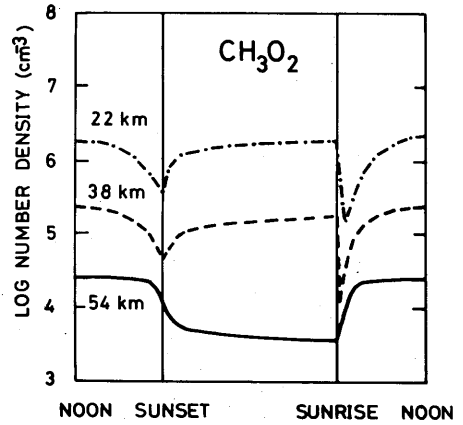


図 5.7 o CH_3O_2 の日変化

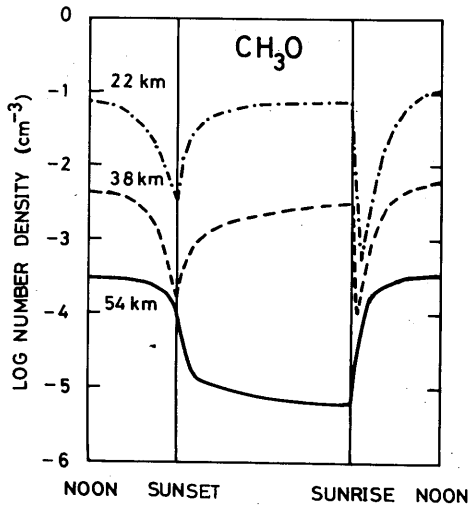


図 5.7 p CH_3O の日変化

P221

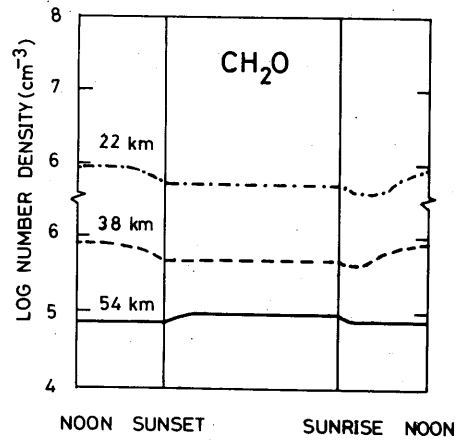


図 5.7 q CH_2O の日変化

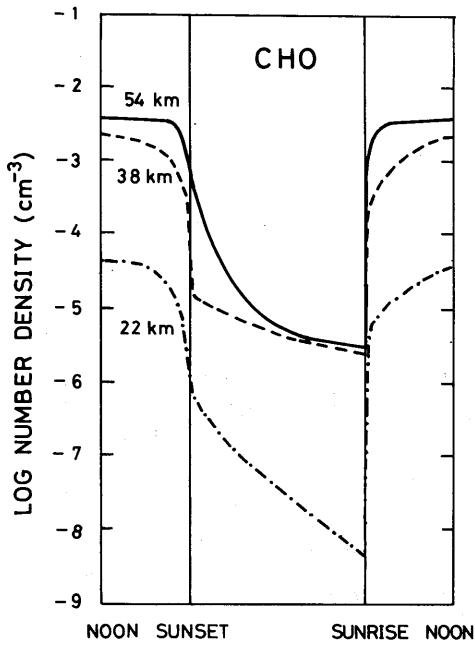


図 5.7r CHO の日変化

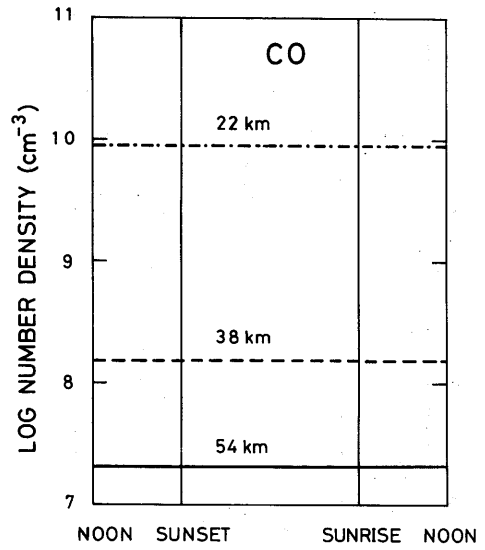


図 5.7s CO の日変化

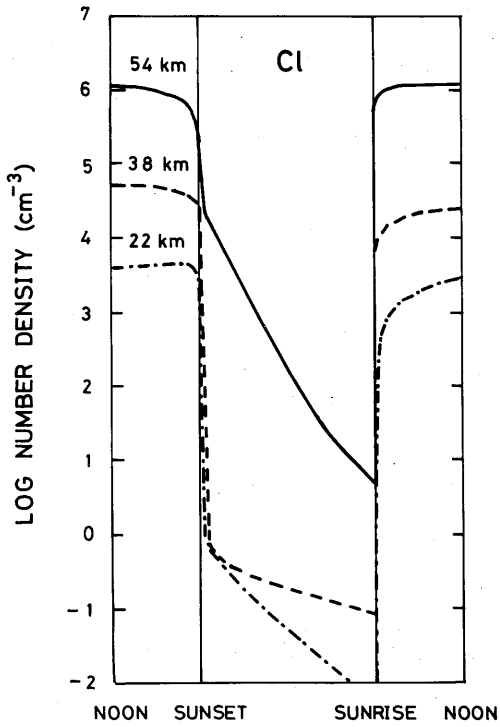


図 5.7t Cl の日変化

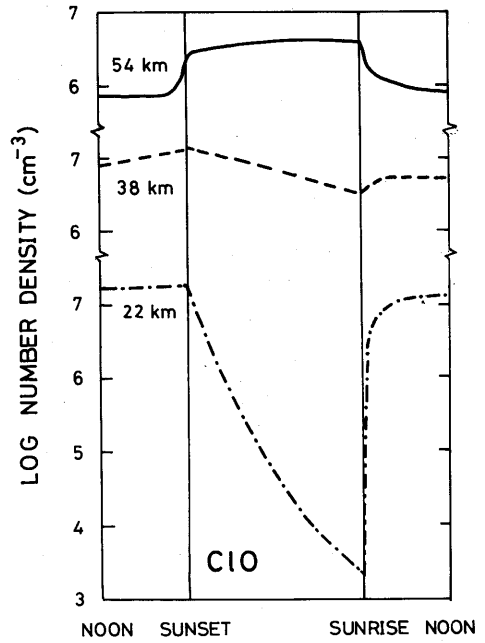


図 5.7u ClO の日変化

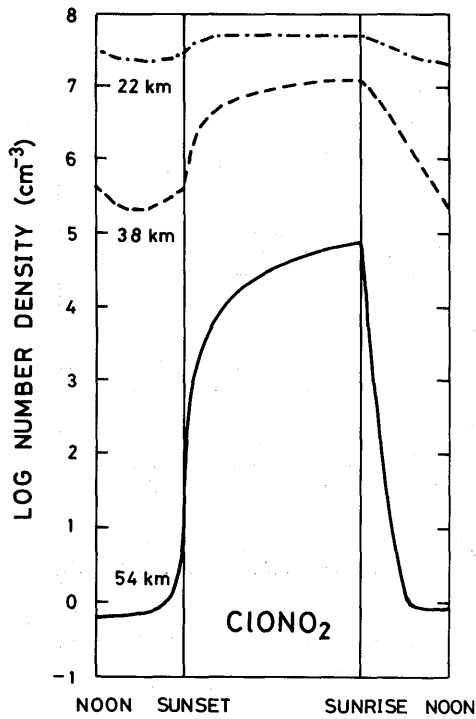


図 5.7 v ClONO_2 の日変化

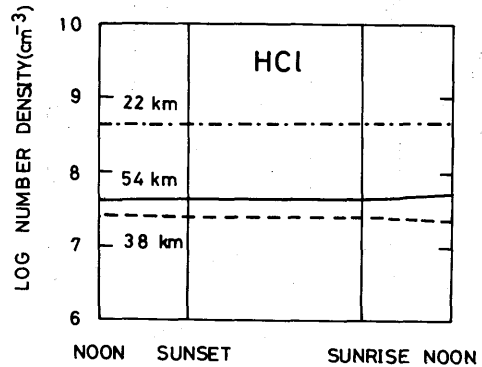


図 5.7 w HCl の日変化

表 5.7 拡散を無視したときの各成分の変化

成 分	変 化 率 (% / 日)		
	22 km	38 km	54 km
N	- 32	- 20	
NO	- 32	- 22	
NO_2	- 32	- 17	+ 6
NO_3			+ 10
N_2O_5			+ 38
HNO_3		- 34	
H		+ 7	+ 6
HO_2	+ 12	+ 7	
H_2O_2	+ 36		
CH_3O_2	+ 35	+ 30	
CH_3O	+ 83	+ 68	
CH_2O	- 24		
CHO	- 25		
Cl	- 41	- 49	
ClO	- 14	- 43	
ClONO_2	- 37	- 57	+ 7
HCl		- 12	+ 51

変化率が $\pm 5\%$ / 日より大きいもののみを示した。

5.6 オゾンに対するフレオンの影響

表5.8 CFC1₃, CF₂Cl₂ のオゾンに対する影響

高 度 (km)	ゾン 減 少 率 (%)		
	CFC1 ₃ のみ	CF ₂ Cl ₂ のみ	CFC1 ₃ , CF ₂ Cl ₂ 両者を含む
55	-0.34	-0.59	-0.93
51	-0.67	-1.13	-1.76
47	-1.44	-2.32	-3.68
43	-2.38	-3.80	-6.11
39	-1.81	-2.71	-4.43
35	-0.70	-0.93	-1.63
31	-0.16	-0.09	-0.26
27	-0.07	+0.04	-0.04
23	-0.03	+0.05	+0.03
19	+0.09	+0.15	+0.23
15	+0.07	+0.13	+0.23
15 km 以下	0	0	0
全 層	-0.26	-0.29	-0.55

15km 以下の対流圏での影響を無視すると、オゾン全量に対して約0.6%の減少をもたらしていることが分る。この値は現時点でのオゾンの減少を示すもので将来どのようになるかは CFC1₃, CF₂Cl₂ の大気中の濃度変化により決まる。

References

- Ackerman, M., 1971 : Ultraviolet solar radiation related to mesospheric processes, in Mesospheric Models and Related Experiments, G. Fiocco, ed., D. Reidel Publ. Co., 149-159.
- Ackerman, M. and C. Muller, 1973 : Stratospheric methane and nitrogen dioxide from infrared spectra. Pure and Applied Geophysics, 106-108, 1325-1335.
- Ackerman, M., J. C. Fontanella, D. Frimout, A. Girard, N. Louisnard and C. Muller, 1975 : Simultaneous measurements of NO and NO₂ in the stratosphere. Planet. Space Sci., 23, 651-660.
- Anderson, J. G., 1975 : The absolute concentration of O(³P) in the earht's atmosphere. Geophys. Res. Lett., 2, 231-234.

- Anderson, J. G., J. J. Margitan and D. H. Stedman, 1977 : Atomic chlorine and the chlorine monoxide radical in the stratosphere : Three in situ observations. *Science*, **198**, 501-503.
- Anderson, J. G., H. J. Grassl, R. E. Shetter and J. J. Margitan, 1980 : Stratospheric free chlorine measured by balloon-borne in situ resonance fluorescence. *J. Geophys. Res.*, **85**, 2869-2887.
- Anderson, L. G., 1976 : Atmospheric chemical data survey, *Rev. Geophys. Space Phys.* **14**, 151-171.
- Arvesen, J. C., R. N. Griffin, Jr. and B. D. Pearson, Jr., 1969 : Determination of extra terrestrial solar spectral irradiance from a research aircraft. *Appl. Opt.*, **8**, 2215-2232.
- Bass, A. M., A. E. Ledford and A. H. Laufer, 1976 : Extinction coefficients of NO_2 and N_2O_4 . *J. Res. N. B. S.*, **80A**, 143-166.
- Bates, D. R. and P. B. Hays, 1967 : Atmospheric nitrous oxide. *Planet. Space Sci.*, **15**, 189-197.
- Brasseur, G. and P. C. Simon, 1981 : Stratospheric chemical and thermal response to long-term variability in solar UV irradiance. *J. Geophys. Res.*, **86**, 7343-7368.
- Brewer, A. W. and A. W. Wilson, 1965 : Measurements of solar ultraviolet radiation in the stratosphere. *Quart. J. R. Met. Soc.*, **91**, 452-461.
- Cook, G. R. and P. H. Metzger, 1964 : Photoionization and absorption cross sections of O_2 and N_2 in the 600- to 1000-Å region. *J. Chem. Phys.*, **41**, 321-336.
- Crutzen, P. J., I. A. Isaksen and J. R. McAfee, 1978 : The impact of the chloro-carbon industry on the ozone layer. *J. Geophys. Res.*, **83**, 345-363.
- Cumming, C. and R. P. Lowe, 1973 : Balloon-borne spectroscopic measurement of stratospheric methane. *J. Geophys. Res.*, **78**, 5259-5264.
- Detwiler, C. R., D. L. Garrett, J. D. Purcell and R. Tousey, 1961 : The intensity distribution in the ultraviolet solar spectrum. *Ann. Géophys.*, **17**, 263-272.
- Ditchburn, R. W. and P. A. Young, 1962 : The absorption of molecular oxygen between 1850 and 2500 Å. *J. Atmos. Terr. Phys.*, **24**, 127-139.
- Drummond, J. W., J. M. Rosen and D. J. Hofmann, 1977 : Balloon-borne chemiluminescent measurement of NO to 45 km. *Nature*, **265**, 319-320.
- Drummond, J. R. and R. F. Jarnot, 1978 : Infrared measurements of stratospheric composition II. Simultaneous NO and NO_2 measurements. *Proc. R. Soc. London. A*, **364**, 237-254.
- Ehhalt, D. H., 1978 : In situ measurements of stratospheric trace constituents. *Rev. Geophys. Space Phys.*, **16**, 217-224.
- Ehhalt, D. H. and L. E. Heidt, 1973 : The concentration of molecular H_2 and CH_4 in the

- stratosphere. Pure and Applied Geophysics, **106-108**, 1352-1360.
- Fabian, P., R. Borchers, K. H. Weiler, U. Schmidt, A. Volz, D. H. Ehhalt, W. Seiler and F. Müller, 1979 : Simultaneously measured vertical profiles of H_2 , CH_4 , CO , N_2O , $CFCl_3$ and CF_2Cl_2 in the middle-latitude stratosphere and troposphere. J. Geophys. Res., **84**, 3149-3154.
- Fredrick, J. E. and R. D. Hudson, 1979 : Predissociation of nitric oxide in the mesosphere and stratosphere. J. Atmos. Sci., **36**, 737-745.
- Hampson, R. F. ed., 1972 : Chemical kinetics data survey II. Photochemical and rate data for fifteen gas phase reactions of interest for stratospheric chemistry. N. B. S. Report 10828, U. S. Department of Commerce.
- Hampson, R. F. ed., 1973 : Chemical kinetics data survey VI. Photochemical and rate data for twelve gas phase reactions of interest for atmospheric chemistry. NBSIR-73-207. N. B. S. Washington D. C.
- Hampson R. F., 1980 : Chemical kinetic and photochemical data sheets for atmospheric reactions. DOT-FA79WAI-005. U. S. Department of Transportation. Washington D. C.
- Handbook of Geophysics, U. S. Air Force Geophysics Directorate. The Macmillan Co. N. Y. 1960.
- Hinteregger, H. E., 1970 : The extreme ultraviolet solar spectrum and its variation during a solar cycle. Ann. Geophys., **26**, 547-554.
- Hudson, R. D. ed. 1977 : Chlorofluoromethanes and the stratosphere. Ref. Publ., 1010, NASA Goddard Space Flight Center, Greenbelt, Md.
- Hudson, R. D. and S. H. Mahle, 1972 : Photodissociation rates of molecular oxygen in the mesosphere and lower thermosphere. J. Geophys. Res., **77**, 2902-2914.
- Huffman, R. E., J. C. Larrabee and Y. Tanaka, 1964 : Absorption coefficients of oxygen in 1060-580 Å wavelength region. J. Chem. Phys., **40**, 356-365.
- Hunt, B. G., 1966 : The need for a modified photochemical theory of the ozonosphere. J. Atmos. Sci., **23**, 88-95.
- Inn, E. C. Y., K. Watanabe and M. Zelikoff, 1953 : Absorption coefficients of gases in the vacuum ultraviolet, III. CO_2 . J. Chem. Phys. **21**, 1648-1650.
- Jarmain, W. R. and R. W. Nicholls, 1967 : A theoretical study of the $v''=0,1,2$ progressions of bands and adjoining photodissociation continua of the O_2 Herzberg I system. Proc. Phys. Soc., **90**, 545-553.
- Jones, A. Vallance and R. L. Gatteringer, 1963 : The seasonal variation and excitation mecha-

- nisms of the $1.59\mu^1\Delta_g-^3\Sigma_g^-$ twilight airglow bands. *Plant. Space Sci.*, **11**, 961-974.
- Kerr, J. B. and C. T. McElroy, 1976 : Measurement of stratospheric nitrogen dioxide from AES stratospheric balloon program. *Atmosphere*, **14**, 166-171.
- Lazrus, A. L. and B. W. Gandrud, 1974 : Progress report on distribution of stratospheric nitric acid. Proc. III Conference on CIAP. U. S. Department of Transportation, 161-167.
- Leighton, P. A., 1961 : Photochemistry of Air Pollution, Academic Press, p. 54.
- Menzies, R. T., 1979 : Remote measurement of ClO in the stratosphere. *Geophys. Res. Lett.*, **6**, 151-154.
- Mihelcic, D., D. H. Ehhalt, J. Klomfab, G. F. Kulesa, U. Schmidt and M. Trainer, 1978a : Measurements of free radicals in the atmosphere by matrix isolation and electron paramagnetic resonance. *Ber. Bunsenges. Phys. Chem.*, **82**, 16-19.
- Mihelcic, D., D. H. Ehhalt, G. F. Kulesa, J. Klomfab, M. Trainer, U. Schmidt and H. Röhrs, 1978b : Measurements of free radicals in the atmosphere by matrix isolation and paramagnetic resonance. *Pure and Applied Geophysics*, **116**, 530-536.
- Muramatsu, H., 1975 : Dissociation rates of oxygen and ozone molecules in the stratosphere and mesosphere. *Pap. in Meteor. Geophys.* **26**, 219-264.
- Muramatsu, H., 1981 : Water vapor budget in the lower stratosphere over Japan. *Pap. in Meteor. Geophys.*, **32**, 1-17.
- Murcray, D. G., A. Goldman, W. J. Williams, F. H. Murcray, J. N. Brooks, J. Van Allen, R. N. Stocker, J. J. Kusters, D. B. Barker and D. E. Snider, 1974 : Recent results of stratospheric trace-gas measurements from balloon-borne spectrometers. Proc. III CIAP Conference, U. S. Department of Transportation.
- NAS, 1979 : Stratospheric ozone depletion by halocarbons : Chemistry and Transport. National Academy of Science, Washington, D. C.
- Noxon, J. F. 1961 : Observation of ($b^1\Sigma_g^+-a^1\Delta_g$) transition in O_2 . *Can. J. Phys.* **39**, 1110-1119.
- Noxon, J. F., 1970 : Optical emission from $O(^1D)$ and $O_2(b^1\Sigma_g^-)$ in the ultraviolet photolysis of O_2 and CO_2 . *J. Chem. Phys.*, **52**, 1852-1873.
- Ogawa, T., K. Shibasaki and K. Suzuki, 1981 : Balloon observation of the stratospheric NO_2 profile by visible absorption spectroscopy. *J. Met. Soc. Japan*. **59**, 405-419.
- Parkinson, W. H. and E. M. Reeves, 1969 : Measurements in the solar spectrum between 1400 and 1875 Å with a rocket-borne spectrometer. *Solar Phys.* **10**, 342-347.
- Ridley, B. A., J. T. Bruim, H. I. Schiff and J. C. McConnell, 1976 : Altitude profile and sunset decay measurements of stratospheric nitric oxide. *Atmosphere*, **14**, 180-188.

- Robbins, D. F., 1977 : Photodissociation of methyl chloride and methyl bromide in the atmosphere. *Geophys. Res. Lett.*, **3**, 213-216.
- Schmeltekopf, A. L., D. L. Albritton, P. J. Crutzen, P. D. Golden, W. J. Harrop, W. R. Henderson, J. R. McAfee, M. McFarland, H. I. Schiff, T. L. Thompson, D. J. Hofmann and N. T. Kjome, 1977 : Atmospheric nitrous oxide altitude profiles at various latitudes. *J. Atmos. Sci.*, **34**, 729-736.
- Shardanand and A. D. P. Rao, 1977 : Collision-induced absorption of O_2 in the Herzberg continuum. *J. Quant. Spectrosc. Radiat. Transfer.* **17**, 433-439.
- Shimazaki, T. and T. Ogawa, 1974 : On the theoretical model of vertical distributions of minor neutral constituents concentrations in the stratosphere. Tech. Memc. ERL OD-20, NOAA, Boulder, Colo.
- Stone, N. W. B., 1978 : Expanding field of infrared Fourier transform spectroscopy in the laboratory, industry, and the environment. *Appl. Opt.*, **17**, 1332-1341.
- Thompson, B. A., P. Hartek and R. R. Reeves, Jr., 1963 : Ultraviolet absorption coefficients of CO_2 , CO , O_2 , H_2O , N_2O , NH_3 , NO , SO_2 and CH_4 between 1850 and 4000 Å. *J. Geophys. Res.*, **68**, 6431-6436.
- U. S. Standard Atmosphere, 1976 : U. S. Govt. Printing Office, Washington, DC.
- Watanabe, K., 1958 : Ultraviolet absorption processes in the upper atmosphere. *Adv. in Geophys.*, **5**, 153-221.
- Watanabe, K., E. C. Y. Inn and M. Zelikoff, 1953 : Absorption coefficients of oxygen in the vacuum ultraviolet. *J. Chem. Phys.*, **21**, 1026-1030.
- Watson, R. T., 1977 : Chemical kinetics data survey VIII. Rate constants of ClO_x of atmospheric interest. U. S. Dept. Commerce, NBSIR-74-516, 45pp.
- Widing, K. G., J. D. Purcell and G. D. Sanlin, 1970 : The uv continuum 1450-2100 Å and the problem of the solar temperature minimum. *Solar Phys.*, **12**, 52-62.
- Zelikoff, M., K. Watanabe and E. C. Y. Inn, 1953 : Absorption coefficients of gases in the vacuum ultraviolet. Part II. Nitrous oxide. *J. Chem. Phys.*, **21**, 1643-1647.