

第3章 航空機搭載赤外分光装置による微量成分測定*

3.1 はじめに

対流圏から成層圏までにわたって分布する大気中の微量気体成分を測定する方法には大別して in-situ 測定と遠隔測定がある。第1章での空気採集や、第2章のオゾン濃度測定等は前者の例で測定器付近の資料を得るのに適している。一方遠隔測定で、赤外・可視などの放射を利用すると光源と測定器の間の微量気体成分の全量または分布が得られる。

CFCI_3 、 CF_2Cl_2 、 N_2O の高度分布は、第1章に述べたように夏期にのみ空気試料サンプリングの方法で求めることが出来るがそれ以外の季節では得られない。

微量気体成分の冬期の試料を得るために、太陽を光源とした赤外分光測定を行った。地上観測のほかに水蒸気等の妨害を小さくするため、分光装置を航空機に搭載して測定を実施した。

3.2 分光装置

赤外分光装置にはマイケルソン干渉計 IF-3 (Idealab 社製) を使用した。全体の構成・仕様等は牧野他 (1982) に述べられたものと大体同じである。

装置の構成を図 3.1 に示す。マイケルソン干渉計に入射した光はビームスプリッタ BS (KBr に Ge 蒸着) により固定ミラー M1 と可動ミラー M2 方向へ分割され反射光は重ねられて検出器上に集光される。可動鏡の移動により得られる干渉光信号は、増巾器、アクティブフィルターを経由し AD

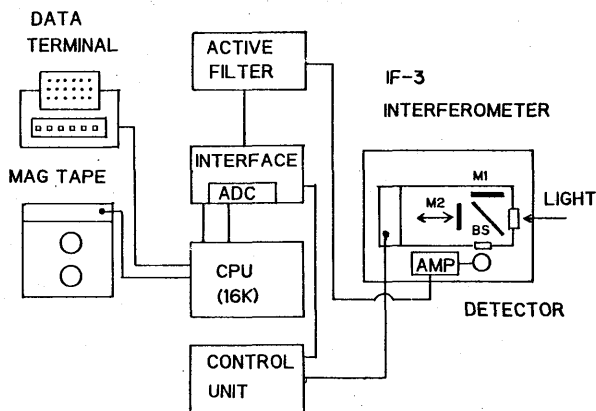


図 3.1 赤外分光装置の構成

* 村松久史、牧野行雄、広田道夫、佐々木徹：高層物理研究部

変換されCPUを介して磁気テープに記録される。磁気テープに記録された干渉図形（インタフェログラム）は補助メモリを使用してフーリエ変換されスペクトルが得られる。

今回使用した検出器はHgCdTe検出器で液体窒素冷却（77 K）して使用する。この検出器の相対的な波長感度曲線を図3.2に示す。最高感度は $11\mu\text{m}$ （ 900 cm^{-1} ）付近にあり窓領域の赤外放射の測定に適している。我々の測定では太陽を光源としているので短波長側は $1\mu\text{m}$ まで、長波長側は約 750 cm^{-1} までのスペクトルが得られる。

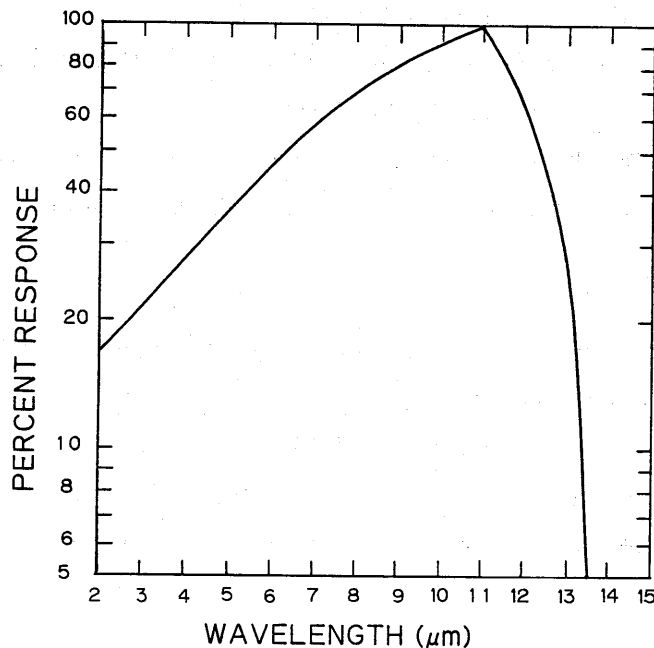


図3.2 検出器の波長感度曲線

測定スペクトルのS/N比に関連する雑音には、検出器・増巾回路を含む信号系に起因するものと太陽自動追跡装置や分光装置の振動に起因するものがある。航空機に搭載した場合は振動の影響が大きい。

航空機（Cessna 404）の高度7 kmくらいで水平飛行しているときの加速度は、測定によると0.2～0.3 gであった。この加速度が分光装置に伝わらないようにするための種々の実験を実施したが、ダンパーとして、真空用の肉厚のゴム管を分光器固定台の底に利用すれば好結果が得られることが分かった。これにより太陽自動追跡装置、分光装置ともに加速度は0.02～0.03 gとすることができた。

3.3 観測

太陽を光源とした赤外吸収スペクトルから光路中の微量気体成分の濃度を求める場合、地上からの観測では対流圏下部に多い水蒸気の吸収線の影響を大きく受ける。このため分光装置を航空機（Cessna 404）に搭載し、高度4～8 kmで観測を行った。

太陽光の追跡には、太陽自動追跡装置を使用した。この装置の仕様は牧野他（1982）に述べられている。前述のごとく雑音の原因となる振動の影響を極力小さくすることを試みた。

地上における観測から求めた N_2O の積分量、対流圏の平均濃度についてはすでに報告してある（Muramatsu et al. 1984）ので今回は航空機観測による結果を報告する。

航空機観測は6回実施した。飛行コースを図3.3に示す。太陽光の入射口を機体後部左側の窓に設け、観測は日没時に行った。したがって飛行コースは北向きとなり飛行方向に対しだいたい90°の方向が日没の方向となる。観測は太陽天頂角が75°～92°の範囲で行った。

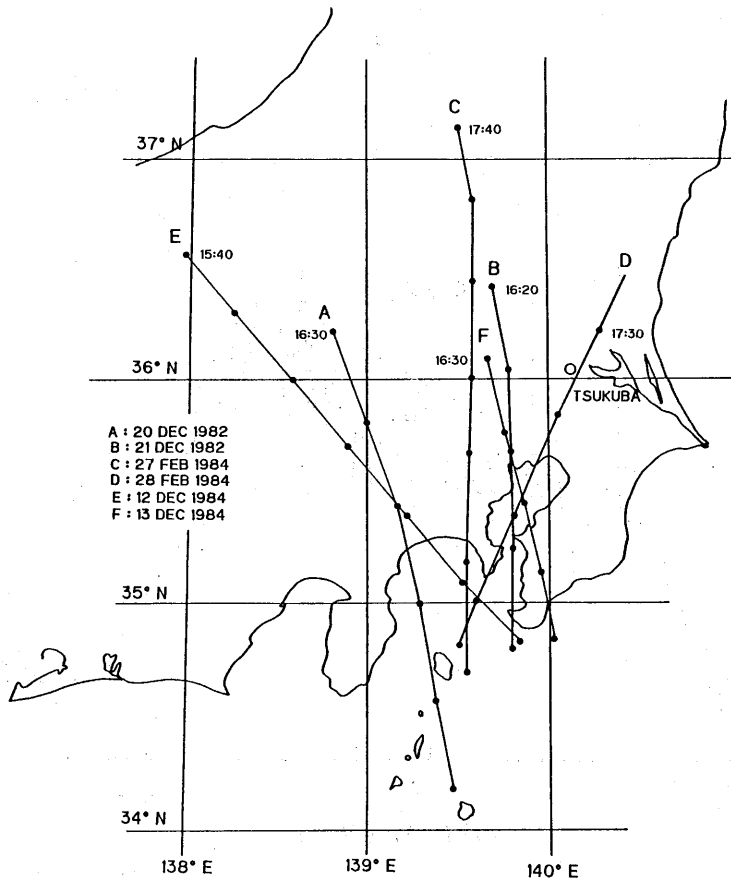


図 3.3 飛行コース

黒丸は10分毎の場所を示す。

航空機上から得られたインタフェログラムとそれから計算されたスペクトルの例のいくつかを次に示す。図3.4(a)は1984年2月27日、高度7.47 kmから得られた日没時近く太陽天頂角 91.19° (17:31:50 JST) のインタフェログラムである。このインタフェログラムは50個のインタフェログラムを重ね合せたものである。1回のスキャン(1インタフェログラム)に約2秒間要する。インタフェログラムの最大値は、スペクトルを計算するためのサンプリング点の656点目である、その右側で振巾が再び大きくなっているのは、サンプリング点の801点目から増巾度をそれ以前の4.26倍としたためである。

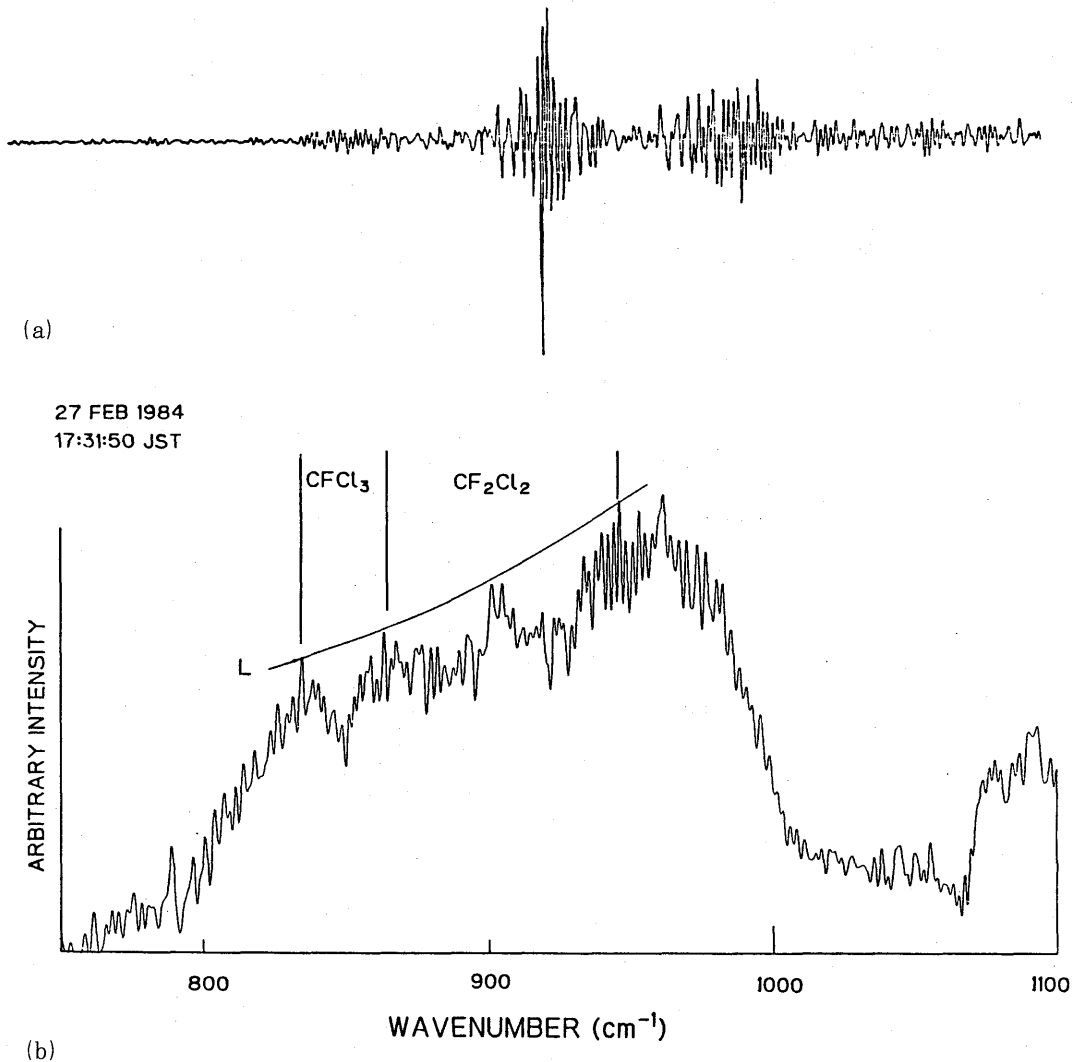


図3.4(a)、(b) インタフェログラム(a)、と窓領域のスペクトル(b)

CFCl₃ (835—865 cm⁻¹) と CF₂Cl₂ (865—945 cm⁻¹) の吸収帯が見られる。
曲線Lは透過率1.0を示す。太陽天頂角 91.19° 、高度7.47 kmで得られた。

図3.4(b)は(a)から計算された窓領域のスペクトルを示す。この波数域には CFCI_3 ($835 - 865 \text{ cm}^{-1}$) と、 CF_2Cl_2 ($865 - 945 \text{ cm}^{-1}$) の吸収帯がみられる。 $980 - 1,070 \text{ cm}^{-1}$ にはオゾンの吸収帯がみられる。

図3.5(a)は1984年12月12日、高度3.8 kmで太陽天頂角が 78.80° のときのインタフェログラムである。振巾の最大値はサンプリング点の650点目で、901点目から増巾度を8.35倍上げてある。重ね合せは59回である。計算された N_2O の $3.9 \mu\text{m}$ の吸収帯を含むスペクトルを図3.5(b)に示す。

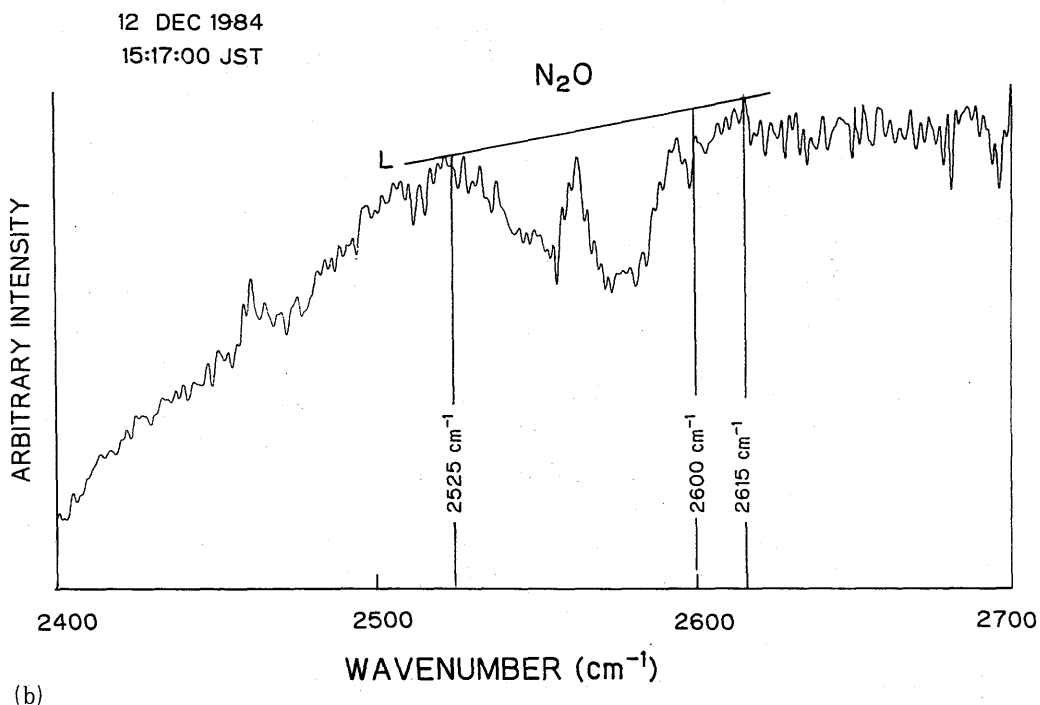
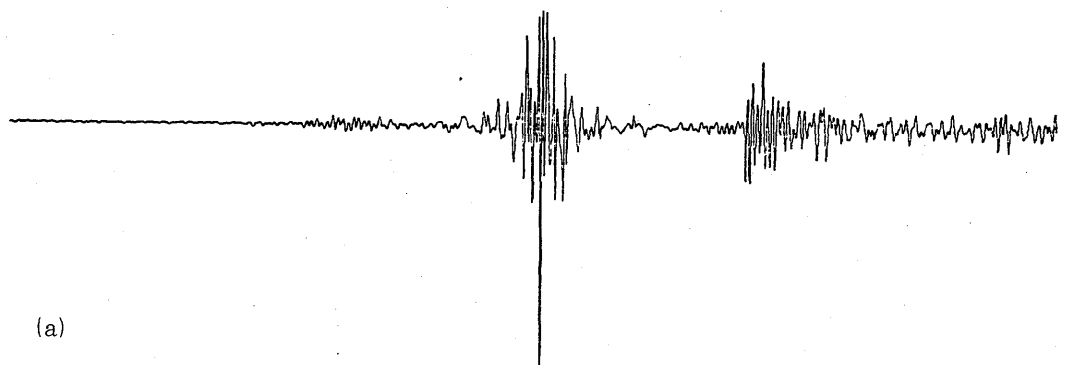


図3.5(a)、(b) インタフェログラム(a)、と N_2O の吸収帯を含むスペクトル(b) 太陽天頂角 78.80° 、高度3.8 kmで得られた。Lは透過率1.0を示す。

吸収帯の中心は $2,563.3 \text{ cm}^{-1}$ であるが $2,525 \text{ cm}^{-1}$ — $2,615 \text{ cm}^{-1}$ に吸収がみられる。

図 3.6(a) は 1984 年 12 月 12 日、高度 3.8 km、太陽天頂角 79.95° のときの、50 回のスキャンの重ね合せによるインタフェログラムである。振巾の最大値の位置と増巾度の切換えは図 3.5(a) と同じである。 $6,004.3 \text{ cm}^{-1}$ に中心をもつ CH_4 の吸収帯を含むスペクトルを図 3.6(b) に示す。

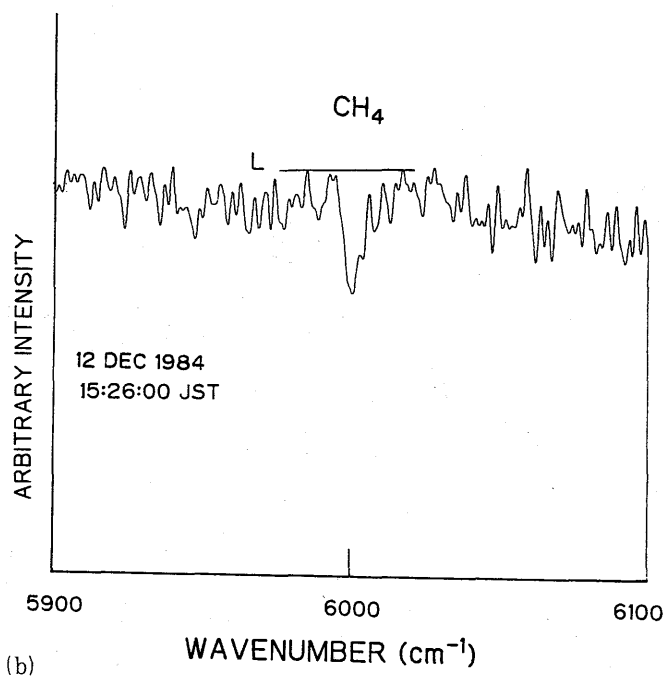
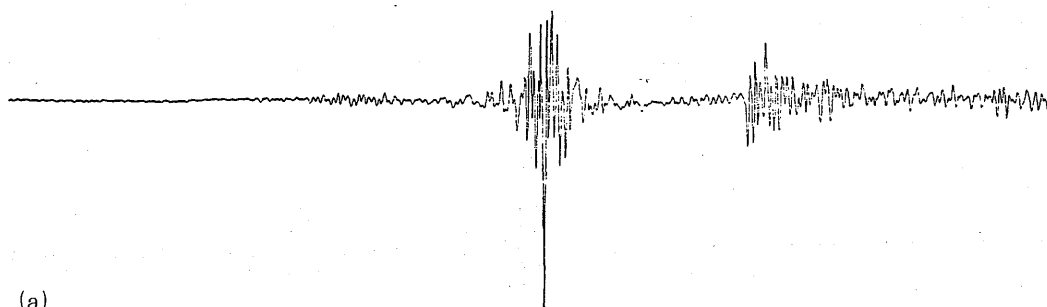


図 3.6(a)、(b) インタフェログラム(a)、と CH_4 の吸収帯を含むスペクトル(b)
L は透過率 1.0 を示す。太陽天頂角 79.95° 、高度 3.8 km で得られた。

検出器に入射する光には太陽光のほかバックグラウンドをなす赤外光が含まれている。これは大気からの放射と分光器の窓や壁からの放射から成っているが、前者は後者より非常に弱い。このバックグラウンドは日没直後のインタフェログラムからスペクトルを計算して得たがその例を図 3.7 に

示す。バックグラウンド光は $2,000\text{ cm}^{-1}$ 以上の波数域では無視できるが、図 3.4 に示した CFCl_3 、 CF_2Cl_2 を含む波数域では考慮しなければならないことが分る。

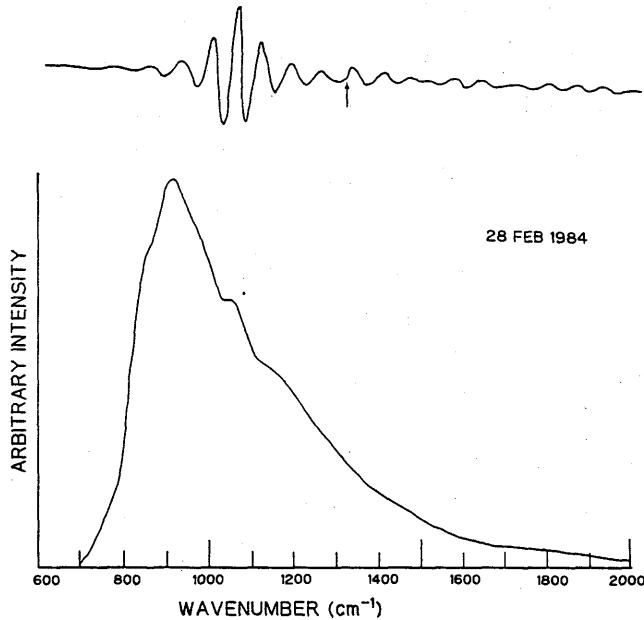


図 3.7 バックグラウンドのインタフェログラム (上) とスペクトル (下)
インタフェログラムの矢印は増巾度を 4.26 倍大きくした点を示す。

3.4 解析・結果

3.4.1 N_2O

光路中の N_2O の全分子数を測定された太陽赤外スペクトルから求めるには次の方法を用いた。
 N_2O の吸収帯は図 3.5(b) に示した、波数 $2,525 - 2,600\text{ cm}^{-1}$ を利用した。

まず、 N_2O の分子数 (光路中の N_2O 積算量) の関数として、上記波数帯の透過率を計算し、Equivalent width を求める。この場合分子の line parameters (吸収線強度、半値巾、共鳴中心波数、遷移準位の下位エネルギー) は McClatchey et al. (1973) の編集した値を使った。吸収線の形は Lorentz 形とし、半値巾 α の温度依存性は

$$\alpha(T)/\alpha(T_s) = (T/T_s)^{-0.5}$$

とした。ただし、 $\alpha(T)$ 、 $\alpha(T_s)$ は温度 T (K)、及び $T_s (= 296\text{ K})$ における半値巾である。

線強度の温度依存性の計算に必要な振動及び回転の分配関数の温度依存性は McClatchey et al. (1973) の Table 2 の値を利用した。

透過率の計算は 1 層モデルを用い Curtis-Godson 近似を仮定した (Goody, 1964)。このときの

有効気圧は観測高度の気圧の $1/2$ となる。有効気温は観測高度より上方の気温の平均値を用いた。資料の解析を行った日の気温の高度分布を1984年の2月と12月の4例について図3.8に示した。気温の目盛の数值は27 Feb. に対するもので他は 10°C ずつ右側にずらしてあり、気温の曲線上の縦線は -20°C を示し、短い横線は観測高度を示す。

有効気圧 P_e は27 Feb., 28 Feb., 13 Dec. の平均が 187 ± 7 mb (Case A) で、12 Dec. では318 mb (Case B) である。有効気温 T_e は Case A では 227 ± 3 K、Case B では244 K である。

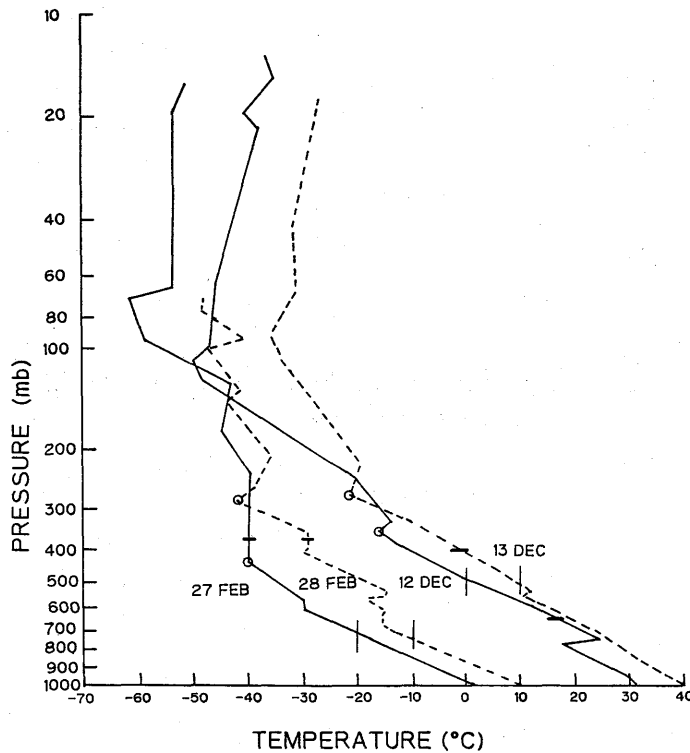


図3.8 気温の高度分布

気温軸の数值は27 FEB に対するもので、他は 10°C ずつずらしてあり -20°C の点を縦の線で示した。短い横線は観測高度を示す。○印は圈界面を示す。

Case A、Case B に対して、 N_2O 量の関数として Equivalent width を計算したものを図3.9に示す。

測定されたスペクトル (図3.5(b)) から Equivalent width を計算し、図3.9から光路中の N_2O 量を求めた。 N_2O の高度分布 (夏期、筑波で測定された分布、Hirota et al. 1984) を考慮して鉛直積分量を求めたものを表3.1—表3.4に示す。また図3.10には太陽天頂角の関数として N_2O 鉛直積分量を示してある。この図から分るように、28 Feb. 1984 の値は太陽天頂角とともに減少傾向が

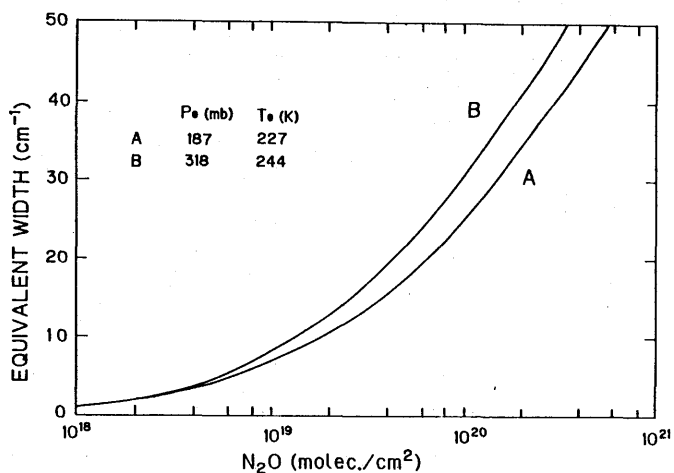


図 3.9 N_2O の equivalent width

表 3.1 N_2O の鉛直積分量——(1) 27 Feb. 1984

測定高度 7.47 km (360 mb)

太陽天頂角 (度)	N_2O (分子/ cm^2)
85.60	$3.96 + 18^*$
87.59	$3.59 + 18$
88.75	$2.76 + 18$
90.02	$3.25 + 18$
91.19	$3.29 + 18$

* $3.96 + 18$ は 3.96×10^{18} を示す。

表 3.2 N_2O の鉛直積分量——(2) 28 Feb. 1984

測定高度 7.47 km (360 mb)

太陽天頂角 (度)	N_2O (分子/ cm^2)
83.67	$4.13 + 18$
84.80	$3.67 + 18$
86.03	$3.82 + 18$
88.20	$2.86 + 18$
89.30	$2.74 + 18$
90.55	$2.75 + 18$

表 3.3 N₂O の鉛直積分量——(3) 12 Dec. 1984

測定高度 3.81 km (636 mb)

太陽天頂角 (度)	N ₂ O (分子/cm ²)
75.73	5.11 + 18
76.10	5.77 + 18
78.80	4.95 + 18
79.13	5.48 + 18
79.54	4.93 + 18
79.95	4.90 + 18
80.40	5.06 + 18
81.61	5.03 + 18
82.05	4.57 + 18

表 3.4 N₂O の鉛直積分量——(4) 13 Dec. 1984

測定高度 7.47 km (387 mb)

太陽天頂角 (度)	N ₂ O (分子/cm ²)
83.26	3.48 + 18
84.05	3.03 + 18
84.48	2.77 + 18
85.00	2.67 + 18
85.47	2.76 + 18
85.92	2.37 + 18
86.60	2.04 + 18
87.78	2.87 + 18
88.25	2.96 + 18
88.85	2.25 + 18
89.30	2.08 + 18

認められる。7.47 kmから測定された他の例でも多少その傾向がみられる。

表 3.5 に平均の鉛直積分量と体積混合比を示してある。圏界面は 27 Feb は 428 mb にあり (図 3.8 参照)、28 Feb. は 277 mb、12 Dec. は 344 mb、13 Dec. は 290 mb にある。したがって 27 Feb. の測定は圏界面のすぐ上方で、28 Feb. はすぐ下方で行われたため、この両者の体積混合比は対流圏上

部——成層圏下部の値としてよい。同様に 12 Dec. の値は対流圏中部以上の、また 13 Dec. は対流圏上部のものと考えてよい。

広田他(1986)の空気サンプリング試料のガスクロマトグラフ分析の値は1984年には対流圏の平均値として0.303 ppmである。12 Dec.、13 Dec. の値はガスクロマトグラフ分析の値とよく一致しているが、27 Feb.、28 Feb. の値はかなり大きい。

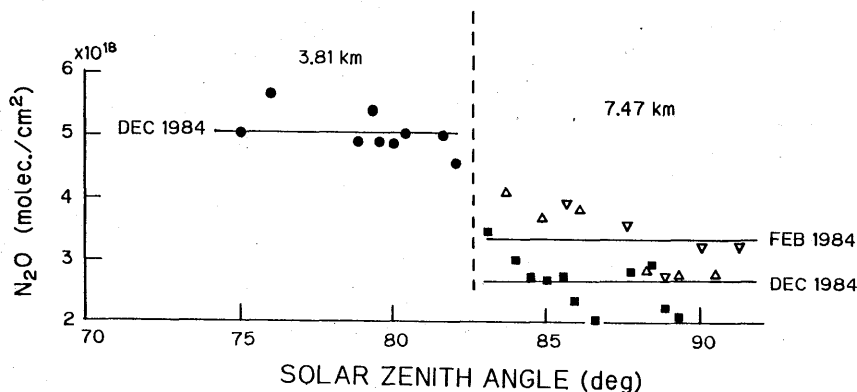


図 3.10 N_2O の鉛直積分量

▽ : 27 FEB 1984、△ : 28 FEB 1984、● : 12 DEC 1984、■ : 13 DEC 1984。
FEB 1984、DEC 1984 の平均値を直線で示した。

表 3.5 N_2O の体積混合比

日 付 (1984年)	資料数	測定高度 (mb)	鉛直積分量 * (分子/cm²)	体積混合比 * (ppm)
27 Feb	5	360	3.37 (0.40) + 18	0.429 (0.051)
28 Feb	6	360	3.37 (0.56) + 18	0.420 (0.071)
12 Dec	9	636	5.09 (0.33) + 18	0.310 (0.020)
13 Dec	11	387	2.66 (0.42) + 18	0.292 (0.046)

* () 内の数値は標準偏差を示す。また 3.37 + 18 は 3.37×10^{18} を示す。

3.4.2 CH_4

CH_4 の光路中の積分量の算出には図 3.6(b) に示した $6,004.3 \text{ cm}^{-1}$ の吸収帯を利用した。観測されたスペクトルで透過率 1.0 の線を直線 L で近似し、 $6,004.3 \text{ cm}^{-1}$ での透過率をよみとる。一方 CH_4 の量の関数として $6,004.3 \text{ cm}^{-1}$ の透過率を N_2O と同様の方法で計算しておく。(図 3.11)。line parameters 等については N_2O 同様 McClatchey et al. (1973) を用いた。透過率の計算で monochromatic transmittance に半値巾 A の三角形のスリット関数をコンボリューションさせて出力す

るが、この A を 0.80 cm^{-1} とした。この A の選び方は測定されたスペクトルと計算されたスペクトルの分解能が一致するように選んだ。

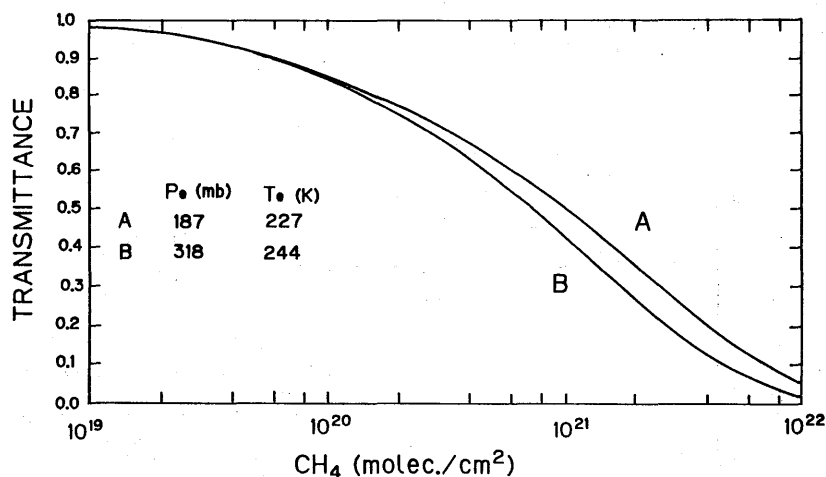


図 3.11 CH_4 の $6,004.3 \text{ cm}^{-1}$ の透過率

得られた CH_4 の鉛直積分量を表 3.6 — 表 3.9 に示す。体積混合比を計算すると 27 Feb. は 13.2 ppm 、28 Feb. が 7.60 ppm 、12 Dec. が 2.69 ppm 、13 Dec. が 2.23 ppm となる。広田・村松 (1986) による 1985 年の筑波での地表大気中の CH_4 の体積混合比は 1.74 ppm である。また夏期の成層圏下部の混合比は $1.50 - 1.58 \text{ ppm}$ である (広田・村松, 1986)。これ等ガスクロマトグラフ分析による値に比べると、分光法による値は明らかに大きい。この原因にはラインパラメーターの不確かさ、水蒸気の影響等が考えられ検討中である。

表 3.6 CH_4 の鉛直積分量——(1) 27 Feb. 1984
測定高度 7.47 km (360 mb)

太陽天頂角 (度)	CH_4 (分子/ cm^2)
84.46	$1.06 + 20$
85.60	$1.55 + 20$
87.59	$9.77 + 19$
88.75	$1.02 + 20$
90.02	$6.82 + 19$
91.19	$9.29 + 19$

$1.06 + 20$ は 1.06×10^{20} を示す。

表 3.7 CH₄ の鉛直積分量——(2) 28 Feb. 1984

測定高度 7.47 km (360 mb)

太陽天頂角 (度)	CH ₄ (分子/cm ²)
84.80	4.90 + 19
86.03	7.85 + 19
88.20	6.35 + 19
89.30	5.03 + 19

表 3.8 CH₄ の鉛直積分量——(3) 12 Dec. 1984

測定高度 3.81 km (636 mb)

太陽天頂角 (度)	CH ₄ (分子/cm ²)
78.80	4.24 + 19
79.13	4.53 + 19
79.54	5.03 + 19
79.95	4.97 + 19
80.40	4.01 + 19
81.61	4.02 + 19
82.05	4.20 + 19

表 3.9 CH₄ の鉛直積分量——(4) 13 Dec. 1984

測定高度 7.47 km (387 mb)

太陽天頂角 (度)	CH ₄ (分子/cm ²)
83.26	2.18 + 19
84.05	2.30 + 19
84.48	2.81 + 19
85.47	2.66 + 19
85.92	2.36 + 19
86.60	1.63 + 19
87.78	1.95 + 19
88.25	1.76 + 19
88.85	1.55 + 19
89.30	1.16 + 19

3.4.3 CF₂Cl₂

CF₂Cl₂の吸収スペクトルは図3.4(b)に示されるように865—945 cm⁻¹にわたってみられる。この吸収バンドに関する実験室でのスペクトルの資料はGoldman et al. (1976 a) が示している。CF₂Cl₂のスペクトルの微細構造は我々の使用している分光器の分解能0.5 cm⁻¹程度では、測定できないのでstatistical-band-modelにより解析する。

吸収線の分布はrandomで、線の形はLorentz形、線強度は指数分布とすると、波数 ν (cm⁻¹)での平均透過率 $\bar{T}(\nu)$ は次式で表わされる (Goody, 1964)。

$$\bar{T}(\nu) = \exp \left\{ - \frac{\alpha(\nu) \beta^0(\nu) P l}{\sqrt{1 + 2\alpha(\nu) l}} \right\} \quad (3.1)$$

ここで、パラメーター α (cm⁻¹)、 β^0 (atm⁻¹) は

$$\left. \begin{aligned} \alpha &= \frac{S^0}{2\pi r^0} \\ \beta^0 &= \frac{2\pi r^0}{d} \end{aligned} \right\} \quad (3.2)$$

である。ただし S^0 (cm⁻² atm⁻¹)、 r^0 (cm⁻¹ atm⁻¹) は単位圧力での平均線強度と単位圧力での平均半値巾であり、 d (cm⁻¹) は吸収線間の平均距離である。 P (atm) は気圧、 l (cm) は単位気圧での気体柱の長さである。

CF₂Cl₂の吸収の最大は $\nu = 923$ cm⁻¹にあり、この波数での $\bar{T}(\nu)$ から l を決定する。Goldman et al. (1976 a) によると、 $\alpha(923 \text{ cm}^{-1}) = 2.55 \times 10^{-2} \text{ cm}^{-1}$ 、 $\beta^0(923 \text{ cm}^{-1}) = 2.04 \times 10^3 \text{ atm}^{-1}$ である。

高度7 kmくらいから太陽天頂角90°近くで測定する場合 l は約 5×10^{-3} cmくらいであるしたがって $2\alpha l = 1.3 \times 10^{-4}$ であり(3.1)式で $2\alpha l \ll 1$ となる。したがって(3.1)式は次式で近似できる。

$$\begin{aligned} \bar{T}(\nu) &= \exp \left\{ - \alpha(\nu) \beta^0(\nu) P l \right\} \\ &= \exp \left\{ - \frac{S^0}{d} P l \right\} \end{aligned} \quad (3.3)$$

Goldman et al. (1976 a) によると $\nu = 923$ cm⁻¹で $S^0/d = 52.0 \text{ atm}^{-1} \text{ cm}^{-1}$ である。

CF₂Cl₂の濃度は小さく、吸収スペクトルからCF₂Cl₂の量を求めるには太陽天頂角が90°付近である。まず太陽のスペクトル(図3.4(b))からbackgroundのスペクトル(図3.7)を差し引く。この場合オゾンの吸収の最大波数(～1,050 cm⁻¹)での太陽光とbackgroundのスペクトル強度が一致するようにbackgroundのスペクトル強度を調整する。これはline-by-lineの計算から、この波数での太陽光スペクトルの強度がゼロになることが確かめられているからである。しかるのち923 cm⁻¹

での transmittance を読みとり、(3.3) 式から PI を算出する。

表 3.10 に得られた結果を示す。Tangential height は 27 Feb. では 7.0 km、28 Feb. では 7.5 km であり、両者とも対流圏上部（圏界面のすぐ下）の高さである。したがって、27 Feb.、28 Feb. の体積混合比は圏界面付近の平均的混合比とみなせる。両者の差は大きいが平均した値 301 ppt が圏界面付近の体積混合比となる。

13 Dec. の測定は対流圏上部でなされ、太陽天頂角も 90° より小さいので得られた体積混合比 365 ppt は対流圏上部の値とみなせる。

表 3.10 CF_2Cl_2 の測定値

日 付	測定高度 (mb)	太陽天頂角 (度)	光路中積分量 (分子/cm ²)	体積混合比 (ppt)
27 Feb. 1984	360	91.19	1.47×10^{17}	322
28 Feb. 1984	360	90.55	9.93×10^{16}	279
13 Dec. 1984	387	88.85	8.16×10^{16}	365

広田他 (1986) のサンプリング法による対流圏の CF_2Cl_2 の体積混合比は 1984 年 2 月には 349 ppt であり、1984 年 12 月—1985 年 1 月には 361 ppt である。また夏期の成層圏では、圏界面の上方では混合比は高度とともに急激に減少しており、またばらつきが大きい。成層圏内の CF_2Cl_2 の混合比は経年変化があるかどうか現在までの測定では確定できないが、上記サンプリング法による夏期の圏界面高度（約 15 km）の体積混合比は 1978—1985 で約 300 ppt である。以上の比較から、赤外分光法による測定値と空気サンプリング法による測定値はだいたい一致していると言える。

3.4.4 $CFCI_3$

$CFCI_3$ の吸収スペクトルは図 3.4(b) に見られるように $835 - 865 \text{ cm}^{-1}$ にわたる。 $CFCI_3$ の光路中の積分量や体積混合比を求めるのに CF_2Cl_2 と同様の方法を適用した。吸収が最大の波数 847 cm^{-1} のパラメータ α 、 β^0 ((3.2) 式) は Golman et al. (1976 b) によると、

$$\alpha = 1.71 \times 10^{-2} \text{ cm}^{-1}$$

$$\beta^0 = 6.17 \times 10^3 \text{ atm}^{-1}$$

である。

我々の観測においては $l < 10^{-2} \text{ cm}$ であるので、 CF_2Cl_2 の場合と同様、近似式 (3.3) が使える。ただし

$$\frac{S^0}{d} = 1.05 \times 10^2 \text{ cm}^{-1} \text{ atm}^{-1}$$

である。解析には CF_2Cl_2 の解析に利用したのと同じの太陽赤外スペクトルを使った。

得られた結果を表 3.11 に示す。27 Feb. と 28 Feb. の体積混合比は圏界面付近の平均混合比とみなせる。27 Feb. と 28 Feb. の平均値は 196 ppt となる。13 Dec. の測定値 200 ppt は対流圏上部に対するものと見なせる。

表 3.11 CFCl_3 の測定値

日 付	測 定 高 度 (mb)	太陽天頂角 (度)	光路中積分量 (分子/cm ²)	体積混合比 (ppt)
27 Feb. 1984	360	91.19	9.49×10^{16}	208
28 Feb. 1984	360	90.55	6.53×10^{16}	183
13 Dec. 1984	387	88.85	4.47×10^{16}	200

広田他(1986)のサンプリング法による対流圏の CFCl_3 の体積混合比は1984年2月には209pptであり、1984年12月—1985年1月には218pptである。また夏期の圏界面高度付近(約15km)の混合比は約200pptである(1978—1985の測定値)。

赤外分光法による値とサンプリング法による値を比較すると、対流圏の値では赤外分光法の方がやや小さいが圏界面高度付近ではほとんど同じである。

3.5 まとめ

赤外干渉分光装置を航空機に搭載して、日没時の太陽を光源とした分光観測を行った。得られた吸収スペクトルから N_2O 、 CH_4 、 CF_2Cl_2 及び CFCl_3 についての冬期の対流圏上部から成層圏にかけての光路中の積分量あるいは平均体積混合比を得た。

N_2O の混合比は対流圏では0.292ppmと0.310ppmでサンプリング法による値0.303ppmとよく一致している。1984年2月の対流圏上部—成層圏下部では0.429ppmと0.420ppmでかなり大きな値を示した。

CH_4 の対流圏中部以上の平均体積混合比は2.23ppm～13.2ppmとなり、地上付近のサンプリング法による値1.74ppmより大きな値を示したが、今後さらに解析法の検討が必要と思われる。

CF_2Cl_2 の圏界面高度付近の体積混合比として301ppt、対流圏上部については365pptが得られたが、これ等の値はサンプリング法による値とよく一致している。

CFCl_3 の圏界面高度付近の体積混合比として196ppt、対流圏上部については200pptが得られたが、これ等の値はサンプリング法による値に比べて、わずかに小さい。

赤外分光法の特長は、光路中の積分量を得られることであり、地上で観測する場合には水蒸気、二酸化炭素の妨害を除去するならば、比較的簡単に多量の資料が得られ、微量気体の季節変化、経

年変化等の研究に利用できる。

謝 辞

赤外分光装置を航空機に搭載して観測するにあたっては、昭和航空（株）の方々の御協力を、また赤外分光装置の調整等には日本インダストリアル（株）の御協力をいただき深く感謝します。

参 考 文 献

- Goldman, A., F.S. Bonomo and D.G. Murcray, 1976 a : Statistical-Band-Model Analysis and Integrated Intensity for the $10.8 \mu\text{m}$ Band of CF_2Cl_2 .
Geophys. Res. Lett. **3**, 309—312.
- Goldman, A., F.S. Bonomo and D.G. Murcray, 1976 b : Statistical Band Model Analysis and Integrated Intensity for the $11.8 - \mu\text{m}$ Band of CFCl_3 .
Appl. Optics, **15**, 2305—2307.
- Goody, R.M. 1964 : Atmospheric Radiation, I ; Theoretical Basis. New York, Oxford University Press, 233—243, and 122.
- Hirota, M., H. Muramatsu, Y. Makino, T. Sasaki, Y. Toyama, 1984 : The Vertical Distributions of Atmospheric CF_2Cl_2 , CFCl_3 and N_2O over Japan. J. Meteor. Soc. Japan, **62**, 158—164.
- McClatchey, R. A., W.S. Benedict, S. A. Clough, D. E. Burch, R. F. Calfee, K. Fox., L. S. Rothman and J. S. Garing, 1973 : AFCRL Atmospheric Absorption Line Parameters Compilation. AFCRL-TR-73-0096, 76 p.
- Muramatsu, H., Y. Makino, M. Hirota and T. Sasaki, 1984 : Infrared Measurements of Total Nitrous Oxide at Tsukuba. Mem. Natl. Inst. Polar Res. Spec. Issue. **34**, 28—36.
- 広田道夫、村松久史、佐々木徹、牧野行雄、旭満、1986 : ガスクロマトグラフ法による対流圏および成層圏微量化学成分の分布の測定、気象研究所技術報告、第18号、第1章、P11—28。
- 広田道夫、村松久史、1986 : 筑波における地表大気中の CH_4 濃度、日本化学会春季大会予稿集。
- 牧野行雄、村松久史、広田道夫、1982 : 赤外分光法による微量成分の観測、気象研究所技術報告第6号、43—74。