

A-10 衛星データを利用したオゾン層変動の機構解明に関する研究

(2) 大気微量気体のリモートセンシングのための分光データ精密化に関する研究

① 吸収線パラメータの温度依存性に関する実験研究

気象庁気象研究所

物理気象研究部第三研究室 深堀正志、藤枝 鋼、青木忠生

平成13～15年度合計予算額	18,508 千円
(うち、平成15年度予算額)	5,995 千円)

〔要旨〕本研究の目的は、ILAS-IIで初めて搭載された赤外領域のチャンネル2 (3-5.7 μm) の解析に用いる吸収線データベースの妥当性の検証とその温度依存性を解明することにある。ILAS-IIで観測された吸収スペクトルから微量気体の鉛直分布などを高精度に導出するためには、吸収線強度や半値半幅などの吸収線パラメータの正確な値及びその温度依存性に関する知識が不可欠である。チャンネル2の解析で重要となる微量成分(吸収帯)は、 N_2O (3.9 μm 帯、4.1 μm 帯、4.5 μm 帯)、 CO_2 (4.3 μm 帯) 及び CH_4 (3.3 μm 帯) である。これらの吸収帯に対する室温下における吸収線パラメータの精密測定は平成11,12年度に行われ、線強度と半値半幅の値が決定されている。本研究では、吸収線パラメータの温度依存性を解明する目的で上述の吸収帯に対して、240Kと180Kの低温下における吸収スペクトルを測定した。得られたスペクトルから各温度毎の吸収線パラメータを求め、室温下で得られたパラメータとを総合して、それらの温度依存性を解明した。

ILAS-IIのチャンネル2に存在する N_2O の3.9 μm 帯、4.1 μm 帯、4.5 μm 帯、 CO_2 の4.3 μm 帯、 CH_4 の3.3 μm 帯に対するHITRANデータベースの線強度や半値半幅及びその温度依存性を表すべき指数は、ほぼ妥当であることが確認された。室温下や低温下で求められた線強度から計算した遷移双極子モーメントの2乗は、室温下の値と低温下の値は実験誤差の範囲内で一致したが、吸収帯の裾野領域に存在する吸収線に対して、遷移双極子モーメントの2乗に僅かに温度依存性を示すような傾向が見られた。この傾向が、解析で現れたみかけの傾向なのかを判断するために、温度の測定誤差や解析誤差などの観点から再検討する必要がある。また吸収量が大きく試料圧力が大きい条件下では、 CO_2 や CH_4 に対して、本研究で決定したパラメータを用いた理論計算スペクトルと測定スペクトルの間には差異が見られた。この差異の原因解明のために、今後吸収線形や吸収線ミキシングに関する理論的・実験的研究が必要である。

〔キーワード〕 ILAS-II、吸収線パラメータ、線強度、半値半幅、温度依存性

1. はじめに

ILAS-II (Improved Limb Atmospheric Spectrometer-II:改良型大気周縁赤外分光計II型) は、 O_3 、 CH_4 、 N_2O 及びCFCsなどの微量気体の成層圏内での鉛直分布などを測定することを目的にADEOS-II衛星に搭載されたセンサである。ILAS-IIの測定原理は太陽掩蔽法であり、太陽光の可視域から赤外域までの広い波長範囲にわたる微量気体の吸収スペクトルが観測される。吸収スペク

トルの解析には既存の吸収線データベース（HITRAN）に編集された吸収線パラメータが用いられるが、データベースの値には正確さを大幅に欠いている箇所も少なくないのが現状である。微量気体の鉛直分布導出には吸収線パラメータの誤差が直接反映されるため、データ解析には正確な吸収線パラメータが不可欠である。また、吸収線パラメータの温度依存性に関する実験的研究は少なく、報告された結果にも大きな差異がある。特に吸収帯全域に対して温度依存性に関するパラメータが把握されている研究は少なく、その解明は急務となっている。

2. 研究目的

ILAS-IIには、赤外領域の $3\mu\text{m}$ から $5.7\mu\text{m}$ を観測する検知器（チャンネル2）が新たに搭載されている。チャンネル2のデータと $6.21\mu\text{m}$ から $11.76\mu\text{m}$ を観測する従来の検知器（チャンネル1）によるデータと併せた解析により、微量気体の高度分布に対して、より高精度な解析が期待されている。このためには、チャンネル2に吸収を持つ微量気体の吸収帯を形成する吸収線の吸収特性に関する正確な知識が必要となる。ILAS-IIの測定したスペクトルの解析に用いる吸収線の強度や線幅などの吸収線パラメータの値が、微量成分の測定精度を決定する。近年の大気微量気体の遠隔測定において要求される吸収線パラメータの精度は、線強度、半値半幅及びその温度依存性について、それぞれ1%、2-3%及び5-10%程度と高精度であり、その要求精度は年々高まっている(ASA2002:International Workshop on Atmospheric Spectroscopy Applications[2002年8月25-28日、モスクワ市]におけるニューヨーク州立大学のP. Varanasi教授による講演より)¹⁾。解析には米国で作成されている吸収線データベース（HITRAN）が用いられるが、チャンネル2領域のデータの検証作業は不十分である。このため、チャンネル2で測定対象となる気体の吸収線パラメータの妥当性を検証し、またその温度依存性を解明する目的で、線強度や半値半幅などのパラメータを低温下において精密に測定した。本研究で得られた結果とHITRANデータベースの値及び他研究者による高分解能実験結果との比較を行い、データベースの妥当性を検証した。測定対象吸収帯は N_2O の $3.9\mu\text{m}$ 帯（ $2\nu_1$ 帯）、 $4.1\mu\text{m}$ 帯（ $\nu_1+2\nu_2$ 帯）及び $4.5\mu\text{m}$ 帯（ ν_3 帯）、 CO_2 の $4.3\mu\text{m}$ 帯（ ν_3 帯）、 CH_4 の $3.3\mu\text{m}$ 帯（ ν_3 帯）である。

地球大気や惑星大気を研究するために有用な吸収線パラメータのデータベースは、膨大な室内実験の結果や理論計算の成果に基づいて、米国やフランスで作成されている。米国で作成されている吸収線データベースの中で、HITRANデータベース（High-resolution Transmission Molecular Absorption Database : <http://cfa-www.harvard.edu/HITRAN/>）は地球大気の放射伝達の計算に世界中で最も多く用いられている。HITRANデータベースは1973年の初版以来数年毎に改訂版（HITRAN86²⁾、HITRAN92³⁾、HITRAN96⁴⁾）が公開され、現時点では2000年版HITRAN2K⁵⁾が最新版である。現在、ハーバード・スミソニアン天体物理学センターのRothman博士が編集責任者となり、2004年公開版が編集作業下にある。表1に、HITRANデータベース編集の変遷を示す。2001年以降、 O_2 や CH_4 などのデータベースについて改訂版が公開され、上記ホームページ上で公開されている。

このHITRANデータベースに編集された吸収線の中心波数、線強度、半値半幅などの吸収線パラメータの正確さや精度は、最近の高分解能実験や理論の進展によって吸収線中心波数のそれは向上しているものの、線強度や半値半幅に対して、吸収帯によっては10%以上の不確定さが存在している。このようなパラメータの不正確さは微量気体成分の定量に直接的に影響を与えるため

に、パラメータの精密測定は ILAS-II のデータを含めた衛星リモートセンシングの解析に不可欠なものである。吸収線パラメータの温度依存性に関しては、実験的研究が少ない上に従来報告されているパラメータにも大きな差異があるのが現状である。このため、平成 11, 12 年度に実施した地球環境研究総合推進費「衛星利用大気遠隔計測データの利用実証に関する研究」のサブテーマ「ILAS-II 等による測定気体の分子分光パラメータ高精度化に関する研究」において、室温下における吸収線パラメータの精密測定を行い、データベースの妥当性の検証を行った。本研究では、室温下における研究を基礎にして新たに低温下での吸収実験を行い、吸収線パラメータの温度依存性を解明する。また従来、HITRAN などの吸収線データベースに日本国内で得られた成果が反映されたものは数例しかなく、この研究分野に対する日本からの貢献は小さいものであった。このため本研究は、国際的な評価に耐えうる基礎的な分子分光パラメータの確立を目標とする。

表1 HITRANデータベース編集の変遷

データベース (編集年)	AFCRL (1973)	AFGL (1982)	HITRAN86 (1986)	HITRAN92 (1992)	HITRAN96 (1996)	HITRAN2K (2000)
分子数	7	7	28	31	35	36
吸収線総数	~100,000	180,817	348,043	709,308	999,363	1,080,178

AFCRL: Air Force Cambridge Research Laboratories

AFGL: Air Force Geophysics Laboratory

3. 研究方法

成層圏と類似の低温下まで気体を冷却可能な気体吸収管を製作し、既存のクライオスタットと組み合わせて実験に用いた。4.3~4.5 μ m 付近のCO₂とN₂Oの吸収強度は非常に強く、吸収スペクトルの測定には短い光路長の吸収セルを必要とする。用いた吸収セル（窓板ZnSe）の光路長は、機械的測定により11.68 $\pm$ 0.18mmであった。高分解能フーリエ変換分光計（Bruker IFS 120 HR）を用いて吸収スペクトルを測定した。試料気体の圧力測定にはMKS Baratron圧力計を用い、温度測定には熱電対を使用した。低温下の実験では、試料気体の温度を240Kと180Kに設定し、測定中の温度変化を $\pm$ 1K以内に維持した。

測定対象吸収帯は、ILAS-IIのチャンネル2領域に存在するN₂Oの3.9 μ m帯（2 ν_1 帯）、4.1 μ m帯（ $\nu_1+2\nu_2$ 帯）及び4.5 μ m帯（ ν_3 帯）、CO₂の4.3 μ m帯（ ν_3 帯）、CH₄の3.3 μ m帯（ ν_3 帯）である。各吸収帯に対し、吸収分子の純ガスによる実験（CO₂を除く）、吸収分子に窒素を加圧した実験と吸収分子に酸素を加圧した実験を実施した。

得られた吸収スペクトルに非線形最小自乗法を用いて、線強度や半値半幅などの吸収線パラメータを精密に決定した。吸収線形にはVoigt型を用いて解析した。

線強度 S_i は次の式で表される。

$$S_i = \{8\pi^3 10^{-36} / [3hc g_v Q_R(T) Q_v(T)]\} \{v_i f \exp(-(E_R + E_v)hc/kT)\} \\ \times \{(1 - \exp(-hcv_i/kT)) L_i |R_i|^2$$

$$|R|^2 = |R_V|^2 F(m)$$

ここで Q_R 、 Q_V は回転及び振動の分配関数、 E_R 、 E_V は回転及び振動遷移の下位のエネルギー準位、 ν_i は吸収線の中心波数、 g_V は多重度、 f は同位体比率、 L_i は Hönl-London 因子、 $|R|^2$ と $|R_V|^2$ は遷移双極子モーメントの 2 乗及び振動遷移双極子モーメントの 2 乗である。また誘導放出に関連する $(1 - \exp(-hc\nu_i/kT))$ は、本研究で測定した吸収帯に関しては、無視できる。 h 、 k 及び c は、それぞれプランク定数、ボルツマン定数及び光速を表す。 $F(m)$ は、分子の振動と回転の相互作用を表す Herman-Wallis 因子 (F-factor) であり、次の式を採用した。

$$F(m) = [1 + A_1 m + A_2 m^2]^2$$

$$m = J'' + 1 \quad \text{R-枝に対して}$$

$$m = -J'' \quad \text{P-枝に対して}$$

ここで J'' は遷移に関わる下位の回転量子数を表す。

HITRAN データベースの線強度や半値半幅の値は温度 $T_2 = 296\text{K}$ の値であるため、これらの値と本研究の値を比較するのに、以下のような関係式を用いて実験温度 T_1 の値から T_2 の値へ変換した。線強度 S の温度依存性は次式で表される。

$$S(T_2) = S(T_1) (T_1/T_2)^j (Q_V(T_1) \exp(-E_R hc/kT_1)) / (Q_V(T_2) \exp(-E_R hc/kT_2))$$

$$j = 1 \quad \text{N}_2\text{O} \text{ と } \text{CO}_2 \text{ に対して}$$

$$j = 1.5 \quad \text{CH}_4 \text{ に対して}$$

半値半幅については 3 種類の実験から、吸収分子同士の衝突幅 ($\gamma^0(\text{吸収分子-吸収分子})$)、吸収分子と N_2 の衝突幅 ($\gamma^0(\text{吸収分子-N}_2)$) と吸収分子と O_2 の衝突幅 ($\gamma^0(\text{吸収分子-O}_2)$) を求めた。HITRAN データベースに編集されている吸収分子と空気の衝突幅 ($\gamma^0(\text{吸収分子-air})$) を次式を用いて計算した。

$$(\gamma^0(\text{吸収分子-air})) = 0.79 * (\gamma^0(\text{吸収分子-N}_2)) + 0.21 * (\gamma^0(\text{吸収分子-O}_2))$$

半値半幅の温度依存性については、べき指数 n を用いて経験的に次式のようなべき乗則で表現される。

$$\gamma^0(T_2) = \gamma^0(T_1) (T_1/T_2)^n$$

本研究では、重み付き最小自乗法により指数 n を決定した。また線強度を吸収帯内の広い範囲で求め、その吸収帯内での分布から、分子の振動と回転の相互作用を表す Herman-Wallis 因子の係数を求めた。

表 2 に、本研究で測定した気体成分とその吸収帯について示す。吸収帯の振動遷移に対して、HITRAN データベースでは表 2 の 3 カラム目の表記法を採用しているが、図を除く本文中では 5 カ

ラム目の表記法を用いている。本研究は、ILAS-IIのデータ解析で用いる吸収線データベースの妥当性を検証することで、サブテーマ（１）と密接に関連している。また、本研究で検討課題となった点については、サブサブテーマ（２）②を担当する（独）産業技術総合研究所の研究者と共同で研究を行った。

表 2 測定対象気体と吸収帯

気体成分	吸収帯中心波数 (cm^{-1})	振動遷移			
N_2O	2223.7568	0001-0000	00^01-00^00	ν_3	
N_2O	2461.9965	1200-0000	12^00-00^00	$\nu_1+2\nu_2$	
N_2O	2563.3394	2000-0000	20^00-00^00	$2\nu_1$	
CO_2	2349.1429	00011-00001	00^01-00^00	ν_3	
CO_2	3612.8408	10012-00001	$(10^01, 02^01)_\Pi-00^00$	$2\nu_2+\nu_3$	
CO_2	3714.7819	10011-00001	$(10^01, 02^01)_I-00^00$	$\nu_1+\nu_3$	
CH_4	3018.9205	00011001- 00000000	0010-0000	ν_3	

4. 結果・考察

（１）室温データの再解析

吸収線パラメータの温度依存性を精密に測定するためには、各測定温度でのパラメータの決定精度を十分に高める必要がある。近年の大気微量気体の遠隔測定においては、線強度に対して1%と高精度な吸収線パラメータが要求されており、その要求精度は年々高まっている。このため、過去に取得された室温での吸収スペクトルから決定されたパラメータの再検討を先ず行った。その結果 N_2O と CH_4 の吸収帯については従来の解析結果に大きな問題はなかったが、 CO_2 の ν_3 帯については、非常に強い吸収線に重畳した微弱な吸収線（強い吸収線との強度比は1~2%程度）の影響が、吸収帯の強度や分子の振動と回転の相互作用の効果（Herman-Wallis因子）には無視できないことが分かった。微弱な吸収線の考慮により解析誤差が減少し、遷移双極子モーメントの決定精度が向上した。図1に、 CO_2 の ν_3 帯におけるHITRANデータベースと本研究による線強度の比較を示す。HITRANデータベースの線強度はHITRAN92³⁾で改訂されており、それ以降HITRAN2K⁵⁾まで同じ値が格納されている。HITRAN86²⁾とHITRAN92³⁾、96⁴⁾、2K⁵⁾（以降HITRAN2K⁵⁾と略記）の線強度には、R枝で4.4%もの相違があり、この相違はHITRAN2K⁵⁾の線強度が1980年代後半に行われたJohnsの高分解能実験^{6, 7)}の結果に基づいていることに起因している。本実験による値は、実線で示されたHITRAN2K⁵⁾の値と破線で示されたHITRAN86²⁾の値の中間に位置している。図2に、m数と遷移双極子モーメントの2乗の関係を示す。破線で示されたHITRAN86²⁾の値はm数に依存せず、Herman-Wallis因子が考慮されていないのが分かる。本研究のHerman-Wallis因子の傾向は、Johns^{6, 7)}の実験に基づいたHITRAN2K⁵⁾とほぼ同様であった。またHerman-Wallis因子の係数 A_1 の値は、Watson⁸⁾によりなされた理論計算値とも実験誤差の範囲内で良く一致した。

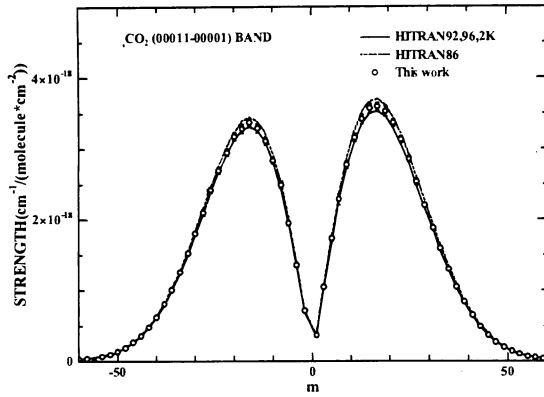


図1 CO₂の ν_3 帯における線強度の比較。

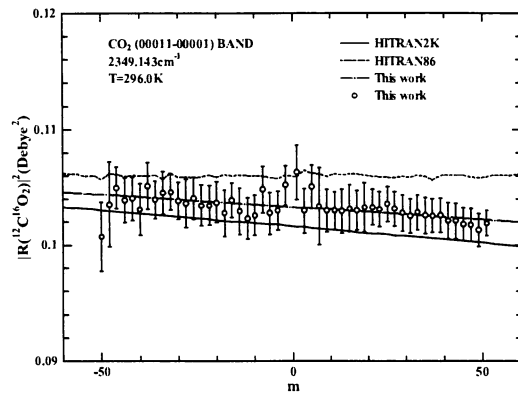


図 2CO₂の ν_3 帯における m 数と遷移双極子モーメントの2乗の関係。

図3に、本研究で得られた $\gamma^0(\text{CO}_2\text{-N}_2)$ と $\gamma^0(\text{CO}_2\text{-O}_2)$ を示す。 $\gamma^0(\text{CO}_2\text{-N}_2)$ は $\gamma^0(\text{CO}_2\text{-O}_2)$ より大きく、両者の比 ($\gamma^0(\text{CO}_2\text{-N}_2)/\gamma^0(\text{CO}_2\text{-O}_2)$) は吸収帯を平均すると 1.21 となり、 $|m|$ 数の増加に伴い半値半幅の比も 1.15 から 1.25 付近まで増加する傾向を示した。また R 枝と P 枝の半値半幅の値には、大きな差異は無かった。図中の Johns⁶⁾、Margottin-Maclou et al.⁹⁾、Dana et al.¹⁰⁾の値は、HITRAN2K⁵⁾の $\gamma^0(\text{CO}_2\text{-air})$ を決定する際に採用されたものである。本研究の結果は、 $\gamma^0(\text{CO}_2\text{-N}_2)$ と $\gamma^0(\text{CO}_2\text{-O}_2)$ に対して、彼らの高分解能実験の結果と非常によく一致した。この結果、HITRAN データベースに編集された $\gamma^0(\text{CO}_2\text{-air})$ は、ほぼ妥当であることが確認された(図4)。1990 年代初期に Malathy Devi et al.¹¹⁾は、CO₂の ν_3 帯をフーリエ変換型分光計で測定した半値半幅について報告している。Malathy Devi et al.¹¹⁾の $\gamma^0(\text{CO}_2\text{-N}_2)$ は Johns⁶⁾のそれと比較して、系統的に 2~3% 大きな傾向を示していた。今後、チューナブルダイオードレーザーなどを用いたより高分解能な測定により、このような相違が有意なものであるかを確認する必要があると思われる。

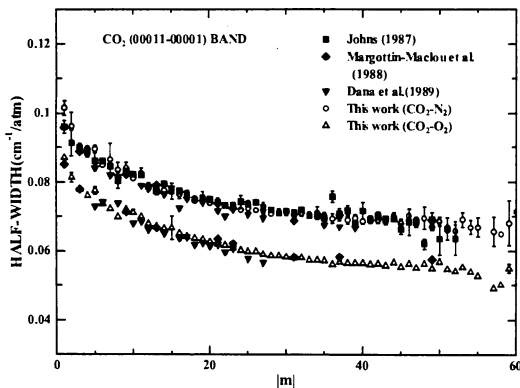


図3 CO₂の ν_3 帯の $\gamma^0(\text{CO}_2\text{-N}_2)$ と $\gamma^0(\text{CO}_2\text{-O}_2)$ に対する本研究の値と他研究者の値との比較。

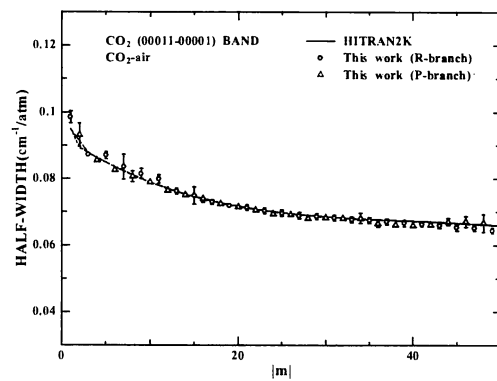


図4 CO₂の ν_3 帯の $\gamma^0(\text{CO}_2\text{-air})$ に対する本研究の値とHITRANデータベースの比較。

図5、6及び7に、N₂Oの ν_3 帯、 $\nu_1+2\nu_2$ 帯及び $2\nu_1$ 帯のm数と遷移双極子モーメントの2乗との関係を示す。本研究の値とHITRAN2K⁵⁾の振動遷移双極子モーメントの2乗 ($|R_v|^2$, $m=0$ における値)

は測定誤差の範囲内でHITRAN2K⁵⁾の値と一致するものの、 $|m|$ 数が大きくなるに従って、両者の差が $\nu_1+2\nu_2$ 帯及び $2\nu_1$ 帯に対して増加する傾向にあった。表3に、振動遷移双極子モーメントの2乗とHerman-Wallis因子の係数について、本研究の値と他研究者による値との比較を示す。また図8と9に、 N_2O の ν_3 帯、 $\nu_1+2\nu_2$ 帯及び $2\nu_1$ 帯の $\gamma^0(\text{N}_2\text{O}-\text{N}_2)$ と $\gamma^0(\text{N}_2\text{O}-\text{O}_2)$ を示す。本研究の結果は、Lacome et al.¹⁷⁾、Toth¹⁸⁾、Nemtchinov et al.¹⁹⁾やFukabori et al.²⁰⁾の結果に近いものであった。

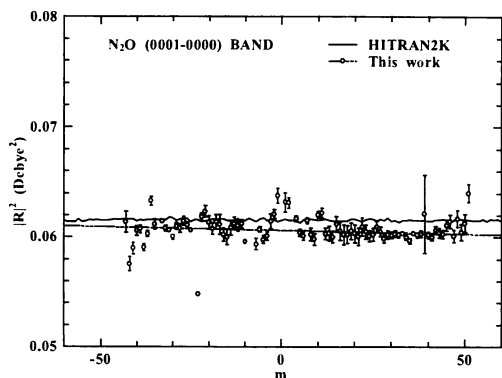


図5 N_2O の ν_3 帯における m 数と遷移双極子モーメントの2乗の関係。

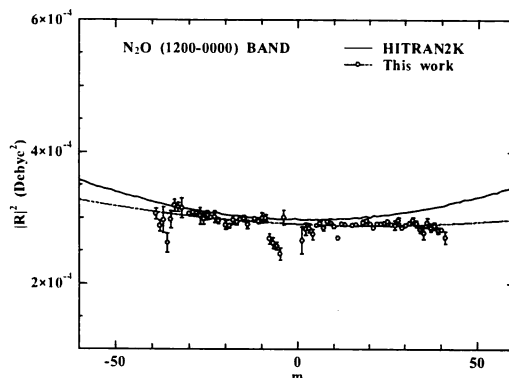


図6 N_2O の $\nu_1+2\nu_2$ 帯における m 数と遷移双極子モーメントの2乗の関係。

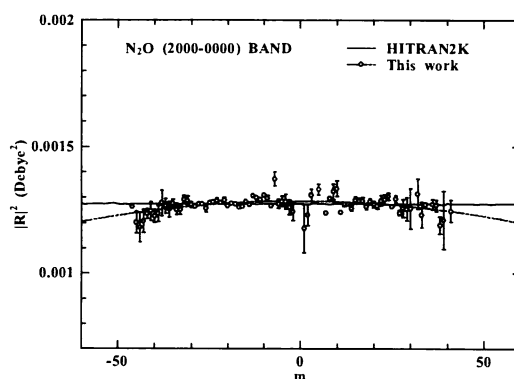


図7 N_2O の $2\nu_1$ 帯における m 数と遷移双極子モーメントの2乗の関係。

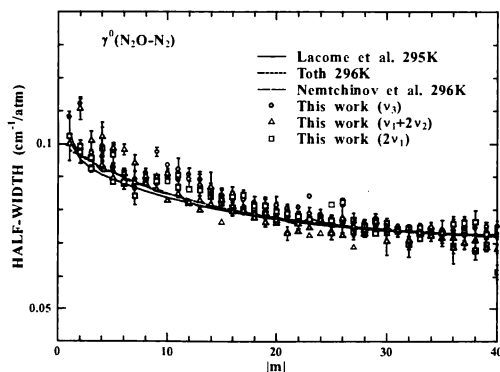


図8 N_2O の ν_3 帯、 $\nu_1+2\nu_2$ 帯及び $2\nu_1$ 帯の $\gamma^0(\text{N}_2\text{O}-\text{N}_2)$ 。

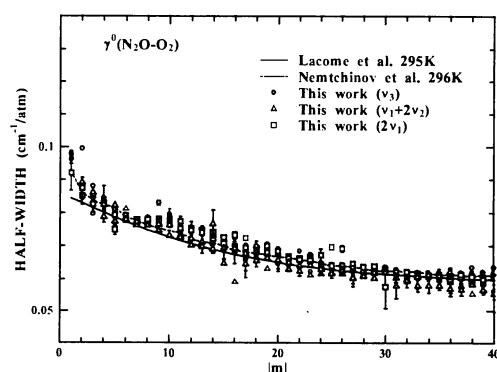


図9 N_2O の ν_3 帯、 $\nu_1+2\nu_2$ 帯及び $2\nu_1$ 帯の $\gamma^0(\text{N}_2\text{O}-\text{O}_2)$ 。

表3 N₂O のν₃ 帯、ν₁+2ν₂ 帯及び 2ν₁ 帯の遷移双極子モーメントの2乗と
Herman-Wallis 因子の係数

Band	Investigator	$ R_V ^2$ (x10 ⁻⁴ Debye ²)	A ₁ (x10 ⁻⁴)	A ₂ (x10 ⁻⁵)
ν ₃	Kagann ¹²⁾	620.0		
	Toth ¹⁴⁾	613.6	-0.23	0
	This work	606.2(4)	-0.539(107)	0
ν ₁ +2ν ₂	Kagann ¹²⁾	2.890		
	Levy et al. ¹³⁾	3.042	0	1.28
	Toth ¹⁴⁾	2.996	-0.76	2.10
	El Azizi et al. ¹⁵⁾	2.9678(41)	-1.10(13)	2.389(39)
	Regalia et al. ¹⁶⁾	2.915(3)	-0.2(1)	2.35(13)
	This work	2.905(5)	-4.04(35)	0.104(17)
2ν ₁	Kagann ¹²⁾	12.11		
	Levy et al. ¹³⁾	13.66	0	-1.595
	Toth ¹⁴⁾	12.90		
	El Azizi et al. ¹⁵⁾	12.438(12)	0	0.530(26)
	Regalia et al. ¹⁶⁾	12.51(2)	0	0.33(9)
	This work	12.86(2)	-0.863(249)	-0.916(141)

図10と11に、CH₄のν₃帯におけるγ⁰(CH₄-N₂)とγ⁰(CH₄-O₂) の関係とγ⁰(CH₄-air)の回転量子数依存性を示す。これらの値は、HITRAN2Kの基礎データであるBenner et al.²¹⁾の値とほぼ一致しており、HITRAN2K⁵⁾ (HITRAN96⁴⁾ と同一) の妥当性が確認できた。

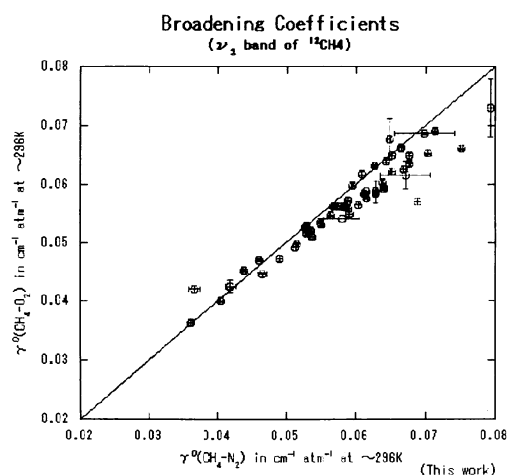


図10 CH₄のν₃帯におけるγ⁰(CH₄-N₂)と
γ⁰(CH₄-O₂) の関係。

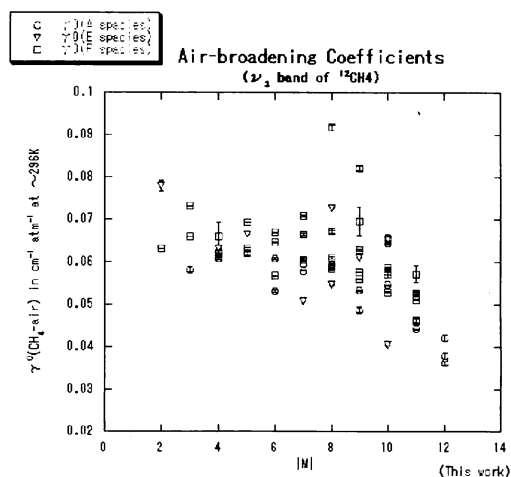


図11 CH₄のν₃帯におけるγ⁰(CH₄-air)の
回転量子数依存性。

CH₄のν₃帯におけるHITRAN2K⁵⁾と2001年の改訂版(HITRAN01)との比較を行った。その結果、

500-5500 cm^{-1} の波数域で改訂がなされ、全体の吸収線本数が48,032本から211,465本へと増加したことを確認した。これは主に、微弱な吸収線の格納本数が増加したことに因る。しかし、吸収帯全体の強度にはほとんど差は無かった。また、P枝の半値半幅の一部に両データベースで明らかな差異が見られたが、編集の基礎データに関しては不明であった。

本研究において、ほぼ同一波数に強度の類似した複数本の吸収線が現れるマニホールドの解析では、線強度と半値半幅の決定に不確定さが残った。このため、特殊な吸収線構造の条件下でも吸収線パラメータの決定精度を向上させることが今後の課題である。

(2) 180K と 240K における N_2O スペクトルの解析

図12と13に、 N_2O の ν_3 帯と $2\nu_1$ 帯の296K、240K及び180Kにおける線強度を示す。これらの値から遷移双極子モーメントを計算すると、振動遷移双極子モーメントの2乗の大きさは室温の値と1~3%以内で一致する結果が得られた(表4)。

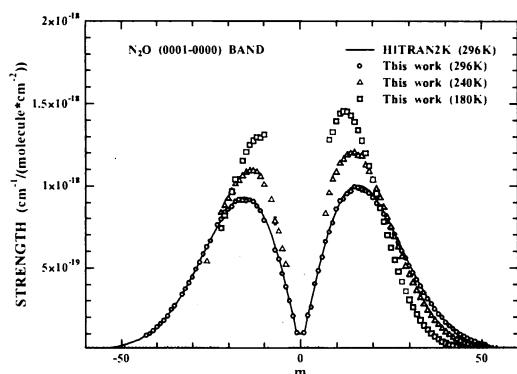


図12 N_2O の ν_3 帯の296K、240K及び180Kにおける線強度。

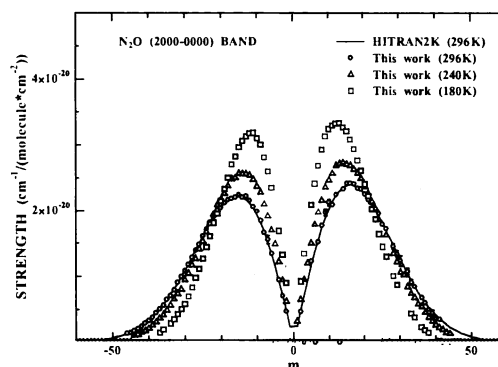


図13 N_2O の $2\nu_1$ 帯の296K、240K及び180Kにおける線強度。

表4 N_2O の ν_3 帯と $2\nu_1$ 帯の室温と低温における遷移双極子モーメントの2乗とHerman-Wallis 因子の係数

Band	T (K)	$ \mathbf{R}_v ^2$ ($\times 10^{-4} \text{Debye}^2$)	A_1 ($\times 10^{-4}$)	A_2 ($\times 10^{-5}$)
ν_3	296	606.2 ± 0.4	-0.539	0
	240	617.4 ± 0.8	0.687	5.56
	180	614.6 ± 0.07	0.412	2.78
$2\nu_1$	296	12.86 ± 0.02	-0.863	-0.916
	240	12.49 ± 0.01	-1.30	1.64
	180	12.75 ± 0.06	5.42	0

しかし、 $|m|$ 数が大きな吸収帯の裾野にある吸収線(大きな回転量子数の吸収線)に対しては、

低温下における遷移双極子モーメントと室温値との差異が実験誤差以上に拡大する傾向にあった。この点に関しては、実験温度や吸収スペクトルのベースライン決定などに関する計測・解析誤差の観点から、再検討が必要である。サブサブテーマ(2)②担当の(独)産業技術総合研究所の研究者と共同で問題点の考察を行った。

各温度について $\gamma^0(\text{N}_2\text{O}-\text{N}_2)$ は、 $\gamma^0(\text{N}_2\text{O}-\text{O}_2)$ よりも約20%大きい傾向を示した。図14に、 ν_3 帯R枝におけるm数とべき指数nの関係を示す。 $\gamma^0(\text{N}_2\text{O}-\text{N}_2)$ と $\gamma^0(\text{N}_2\text{O}-\text{O}_2)$ に対するべき指数は、実験誤差の範囲内で一致していた。またそれらの値は0.65から0.9の範囲にあり、平均値は0.75付近にあった。この値はHITRANデータベースの基礎データとなったLacome et al.⁷⁾の値の中間的な値となった。 $\gamma^0(\text{N}_2\text{O}-\text{N}_2)$ と $\gamma^0(\text{N}_2\text{O}-\text{O}_2)$ に対するべき指数の比(R)は、1から1.05の範囲にあり、Lacome et al.¹⁷⁾による結果(R $\sim$ 1.2)とは異なっていたが、Nemtchinov et al.¹⁹⁾による結果(R $\sim$ 1)とは同様の傾向を示した。べき指数はわずかな回転量子数依存性を示したが、今後理論との比較検討が必要である。同様の傾向は図15に示した $2\nu_1$ 帯P枝の指数nについても見られた。このような傾向は、我々が N_2O の $2.9\mu\text{m}$ 帯($\nu_1+\nu_3$ 帯)で得た結果²⁰⁾とほぼ同様の結果であった。

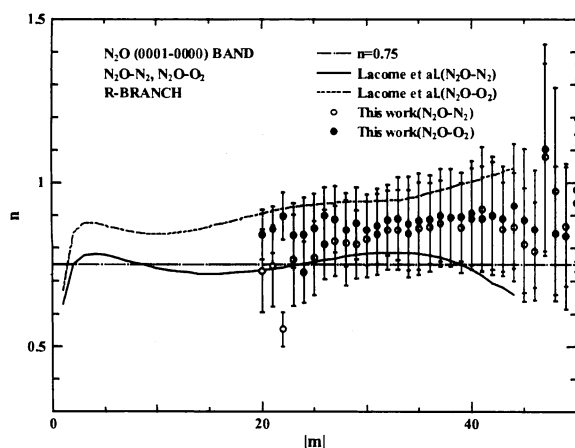


図14 N_2O の ν_3 帯R枝におけるm数と指数nの関係。

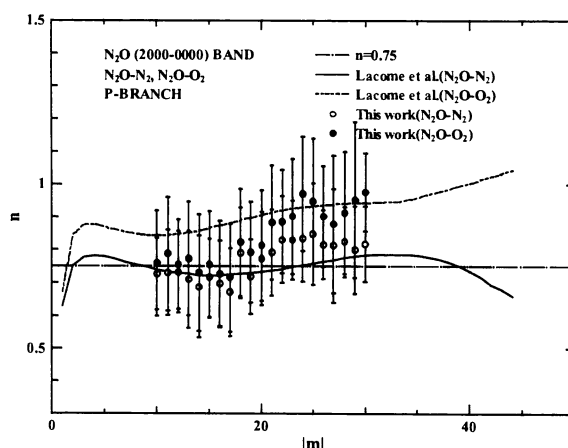


図15 N_2O の $2\nu_1$ 帯P枝におけるm数と指数nの関係。

(3) 180Kと240Kにおける CO_2 スペクトルの解析

図16に、 CO_2 ν_3 帯の299K、240K及び180Kにおける吸収スペクトルの一例を示す。この図から低温になるに従って、吸収帯のR枝とP枝内で線強度の極大位置が、吸収帯の中心方向に移動しているのが明瞭に分かる。また、吸収帯の裾野に存在する吸収線の強度が急激に減少しているのが分かる。これらは、低温下では分子が低い回転エネルギーの準位により多く存在することによるものである。図17に、これらのスペクトルの他に数種類の圧力条件下で得られたスペクトルから求めた線強度を示す。299Kで得られた線強度は、HITRANデータベースの参照温度である296Kの値に変換されている。 $|m|\sim 20$ 付近で3種類の温度における線強度はほぼ等しくなり、この波数領域の吸収線の温度依存性が小さいことが分かる。図18に、遷移双極子モーメントとm数の関係を示す。低温下の遷移双極子モーメントの大きさは、室温で得られた値とほぼ同様の値を示したが、Herman-Wallis因子には、吸収帯の裾野の吸収線で実験誤差以上の相違が見られた。この傾向は、 N_2O の ν_3 帯と $2\nu_1$ 帯の場合と同様であった。

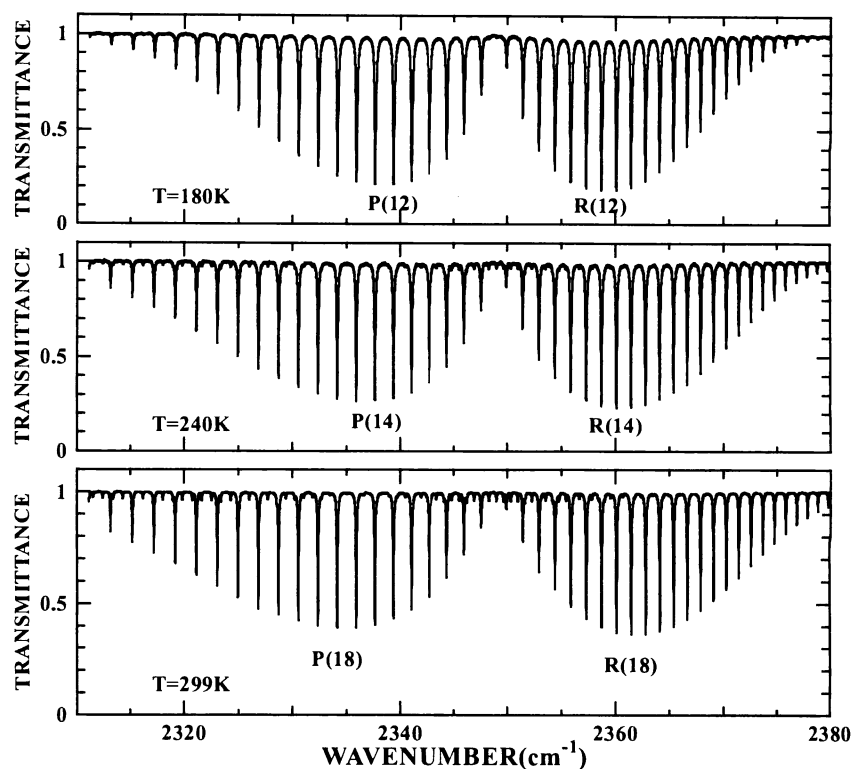


図16 CO₂の ν_3 帯における299K、240K及び180Kの吸収スペクトル。

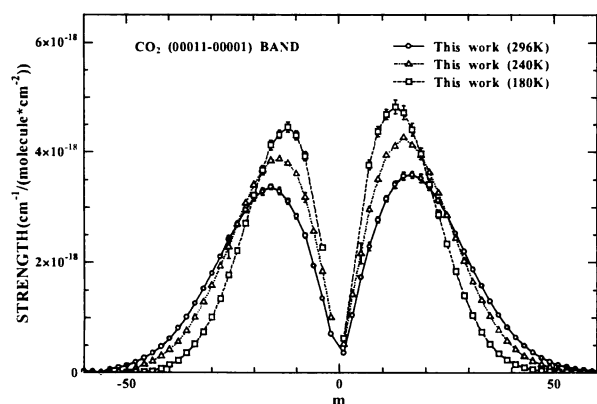


図17 CO₂の ν_3 帯における296K、240K及び180Kの線強度。

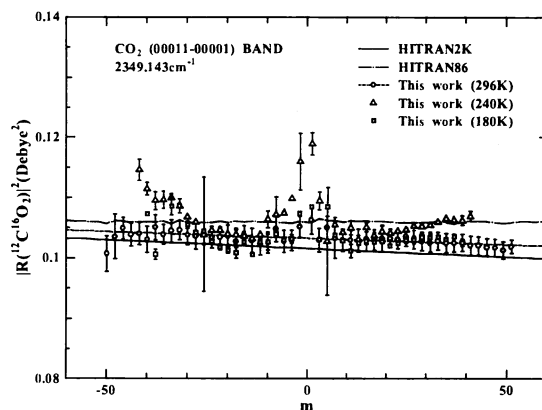


図18 CO₂の ν_3 帯における296K、240K及び180Kの遷移双極子モーメントの2乗。

図19と20に、296K、240K及び180Kの $\gamma^0(\text{CO}_2\text{-N}_2)$ と $\gamma^0(\text{CO}_2\text{-O}_2)$ の実験値を示す。両図共に、240Kにおける半値半幅が $5 < m < 20$ でわずかに減少する傾向を示しているが、今後詳細な検討が必要である。半値半幅の温度依存性について、 $\gamma^0(\text{CO}_2\text{-N}_2)$ と $\gamma^0(\text{CO}_2\text{-O}_2)$ に対するべき指数は、前者の指数が後者のそれよりも0.05–0.1小さな傾向を示したが、回転量子数依存性はほぼ同様の傾向にあり、両者の指数は0.6から0.9の範囲にあった(図21、22)。またHITRANデータベースの $\gamma^0(\text{CO}_2\text{-air})$ の $1 < m < 40$ に対する値は0.69から0.78にあり、これらは $\gamma^0(\text{CO}_2\text{-N}_2)$ と $\gamma^0(\text{CO}_2\text{-O}_2)$ の実験

値を用いて計算した $\gamma^0(\text{CO}_2\text{-air})$ のべき指数とほぼ一致し、HITRAN データベースの値がほぼ妥当であることが分かった (図 23)。

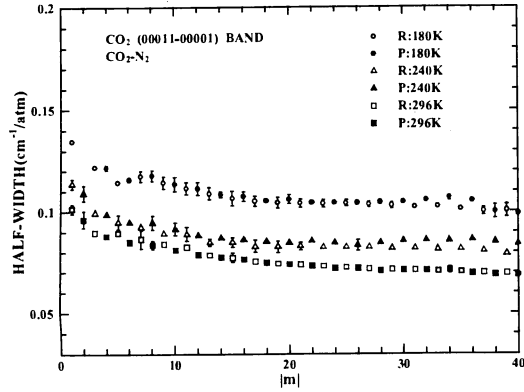


図19 CO_2 の ν_3 帯における296K、240K及び180Kの $\gamma^0(\text{CO}_2\text{-N}_2)$ 。

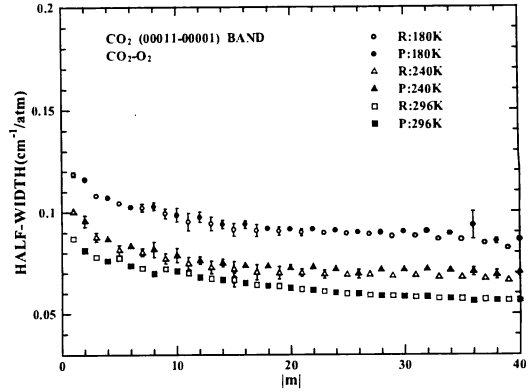


図20 CO_2 の ν_3 帯における296K、240K及び180Kの $\gamma^0(\text{CO}_2\text{-O}_2)$ 。

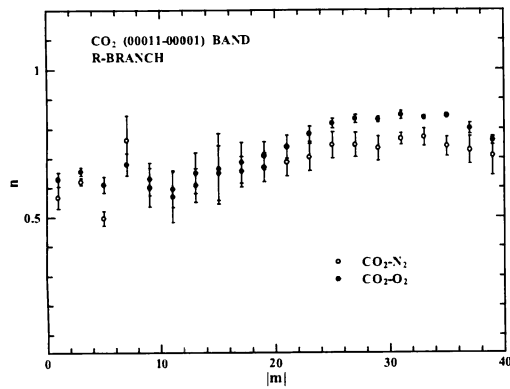


図21 CO_2 の ν_3 帯R枝における $\gamma^0(\text{CO}_2\text{-N}_2)$ と $\gamma^0(\text{CO}_2\text{-O}_2)$ のべき指数。

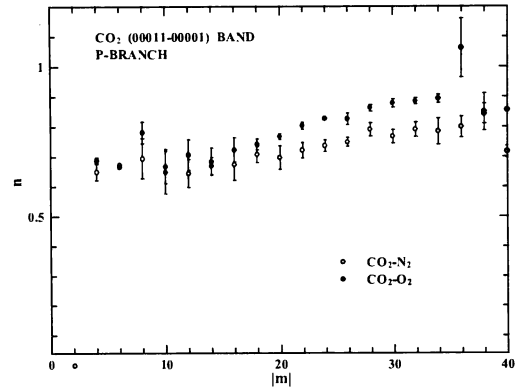


図22 CO_2 の ν_3 帯P枝における $\gamma^0(\text{CO}_2\text{-N}_2)$ と $\gamma^0(\text{CO}_2\text{-O}_2)$ のべき指数。

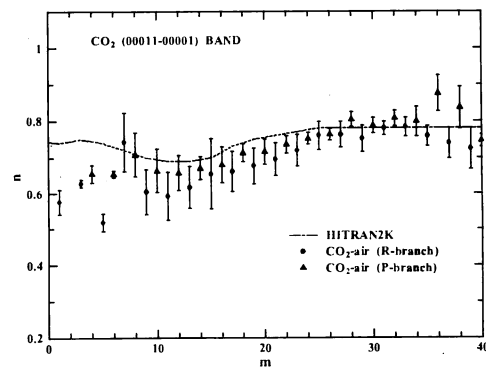


図23 CO_2 の ν_3 帯における $\gamma^0(\text{CO}_2\text{-air})$ のべき指数。

吸収線パラメータの温度依存性に吸収帯間での相違の有無を調べるために、 CO_2 の $2.7\mu\text{m}$ 帯[$\nu_1 + \nu_3$ 帯と $2\nu_2 + \nu_3$ 帯]の240Kと180Kにおける吸収スペクトルを測定した。図24に、 $2\nu_2 + \nu_3$ 帯の296K、240K及び180Kにおける線強度を示す。図25と26に、それぞれ、180Kと240Kにおける $\gamma^0(\text{CO}_2\text{-N}_2)$ と $\gamma^0(\text{CO}_2\text{-O}_2)$ を示す。半値半幅の温度依存性について、 $\gamma^0(\text{CO}_2\text{-N}_2)$ と $\gamma^0(\text{CO}_2\text{-O}_2)$ に対するべき指数の回転量子数依存性は、 ν_3 帯のそれとほぼ同様の傾向を示したが、べき指数は ν_3 帯の値よりもわずかに大きい値を示した。このことは、吸収帯間の吸収線パラメータが相違する（振動帯依存性）ことを示唆している。このような差が、吸収線パラメータの振動帯依存性に起因するものかを確認するために、今後より精密な解析を行う。低温下の線強度から求めたHerman-Wallis因子は、 N_2O や CO_2 の ν_3 帯と同様に、室温で得られた値と異なる値となった。これらの相違についても、実験・解析誤差などの観点からの解析を継続する。ほぼ同様の傾向が、 $\nu_1 + \nu_3$ 帯でも得られた。

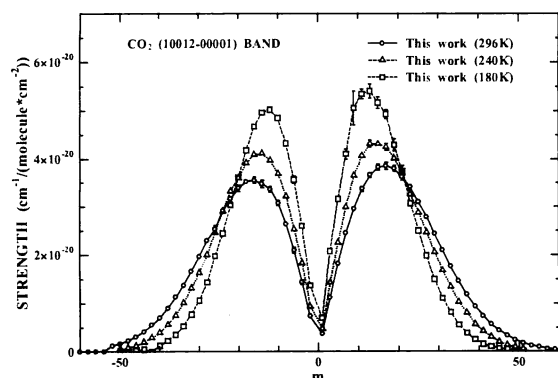


図24 CO_2 の $2\nu_2 + \nu_3$ 帯における296K、240K及び180Kの線強度。

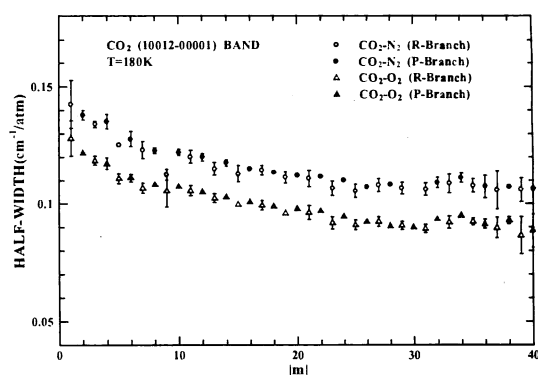


図25 CO_2 の $2\nu_2 + \nu_3$ 帯の180Kにおける $\gamma^0(\text{CO}_2\text{-N}_2)$ と $\gamma^0(\text{CO}_2\text{-O}_2)$ 。

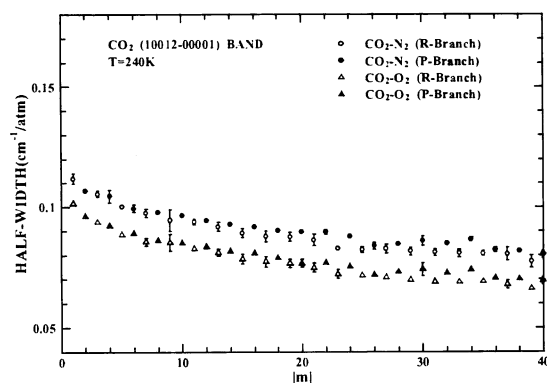


図26 CO_2 の $2\nu_2 + \nu_3$ 帯の180Kにおける $\gamma^0(\text{CO}_2\text{-N}_2)$ と $\gamma^0(\text{CO}_2\text{-O}_2)$ 。

(4) 180K と 240K における CH_4 スペクトルの解析

CH_4 の ν_3 帯のスペクトルから、P枝とR枝の吸収線に対して、各温度毎の線強度と半値半幅を求めた。これらの値と室温付近の値を総合して、吸収線パラメータの温度依存性を把握した。図27と28に、それぞれ180Kと240KにおけるマニホールドP(11)の吸収スペクトルを示す。実験スベ

クトルとHITRAN2K⁵⁾を用いた計算スペクトルは良く一致し、HITRANデータベースの妥当性がほぼ確認できた。実験・計算スペクトルの一致は、他のマニホールドでも同様に見られた。1本の吸収線から構成されるR(0)やR(1)の半値半幅に対して得られた本研究による温度依存性は、HITRANデータベースや他の高分解能実験結果よりも僅かに大きい傾向を示したが、今後測定温度の精度や誤差など検討する必要がある。

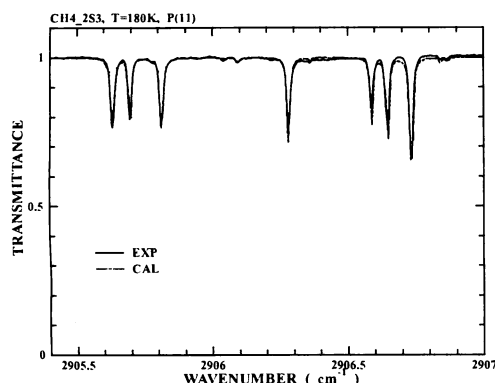


図27 CH₄の ν_3 帯P(11)の180Kにおける測定スペクトルと計算スペクトルの比較。

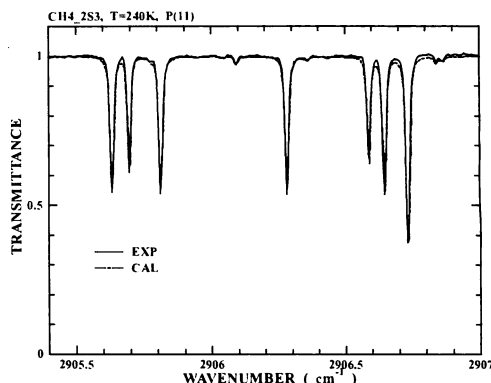


図28 CH₄の ν_3 帯P(11)の240Kにおける測定スペクトルと計算スペクトルの比較。

5. 本研究により得られた成果

ILAS-IIのチャンネル2領域に存在するN₂Oの3.9 μ m帯(2 ν_1 帯)、4.1 μ m帯($\nu_1+2\nu_2$ 帯)及び4.5 μ m帯(ν_3 帯)、CO₂の4.3 μ m帯(ν_3 帯)、CH₄の3.3 μ m帯(ν_3 帯)に対するHITRANデータベースの線強度や半値半幅及びその温度依存性を表すべき指数は、ほぼ妥当であることが確認された。

N₂Oの半値半幅の温度依存性を表すパラメータに関して、 ν_3 帯と2 ν_1 帯に対して、N₂OとN₂の衝突幅とN₂OとO₂の衝突幅に対するべき指数は実験誤差の範囲内で一致していた。この結果は、Lacome et al.¹⁷⁾による過大なN₂OとO₂の衝突幅に対するべき指数よりも、最近報告されたVaranasi博士のグループによる高分解能実験結果¹⁹⁾を支持するものであった。

CO₂の ν_3 帯及び2.7 μ m帯($\nu_1+\nu_3$ 帯、2 $\nu_2+\nu_3$ 帯)に対して、室温下や低温下で求められた線強度から計算した遷移双極子モーメントの2乗は、室温下の値と低温下の値は実験誤差の範囲内で一致したが、吸収帯の裾野領域に存在する吸収線に対して、遷移双極子モーメントの2乗に僅かに温度依存性を示すような傾向が見られた。この傾向が、解析で現れたみかけの傾向なのかを判断するために、温度の測定誤差や解析誤差などの観点から再検討する必要がある。

半値半幅の温度依存性を表すパラメータに関して、 ν_3 帯に対しては、HITRANデータベースの値とほぼ一致する結果が得られたが、 $\nu_1+\nu_3$ 帯と2 $\nu_2+\nu_3$ 帯に対してはわずかに大きな値が得られた。このことは、吸収帯間の吸収線パラメータが相違する(振動帯依存性)ことを示唆している。吸収線パラメータの振動帯依存性は、これまで吸収線中心波数の圧力シフトなどで確認されているが、半値半幅の温度依存性を表すパラメータにも、振動帯依存性が示唆されたことは、今後の研究で意義深い。

また吸収量が大きく試料圧力が大きい条件下では、CO₂やCH₄に対して、本研究で決定したパラメータを用いた理論計算スペクトルと測定スペクトル間に差異が見られた。この差異の原因解明のために、今後吸収線形や吸収線ミキシングに関する理論的・実験的研究が必要である。

6. 引用文献

- 1) 深堀正志, 分光研究 **51**, 234, 2002.
- 2) Rothman, L. S., et al, *Appl. Opt.* **26**, 4058-4097, 1987.
- 3) Rothman, L. S., et al, *J. Quant. Spectrosc. Radiat. Transfer* **48**, 469-507, 1992.
- 4) Rothman, L. S., et al., *J. Quant. Spectrosc. Radiat. Transfer* **60**, 665-710, 1998.
- 5) Rothman, L. S., et al., *J. Quant. Spectrosc. Radiat. Transfer*, **82**, 5-40, 2003.
- 6) Johns, J. W. C., *J. Molec. Spectrosc.* **125**, 442-464, 1987.
- 7) Johns, J. W. C., *J. Molec. Spectrosc.* **134**, 433-439, 1989.
- 8) Watson, J. K. G., *J. Molec. Spectrosc.* **125**, 428-441, 1987.
- 9) Margottin-Maclou, M., P. Dahoo, A. Henry, A. Valentin, and L. Henry, *J. Molec. Spectrosc.* **131**, 21-35, 1988.
- 10) Dana, V., A. Valentin, A. Hamdouni, and L. S. Rothman, *Appl. Opt.* **28**, 2562-2565, 1989.
- 11) Malathy Devi, V., D. C. Benner, C. P. Rinsland, and M. A. H. Smith, *J. Quant. Spectrosc. Radiat. Transfer* **48**, 581-589, 1992.
- 12) Kagann, R. H., 1982, *J. Mol. Spectrosc.*, **95**, 297-305, 1982.
- 13) Levy, A., Lacome, N., and Guelachvili, G., *J. Mol. Spectrosc.*, **103**, 160-175, 1984.
- 14) Toth, R. A., *Appl. Opt.*, **32**, 7326-7365, 1993.
- 15) El Azizi, M., Rachet, F., Henry, A., Margottin-Maclou, M., and Valentin, A., *J. Mol. Spectrosc.*, **164**, 180-195, 1994.
- 16) Regalia, L., Thomas, X., Hamdouni, A., and Barbe, A., 1997, *J. Quant. Spectrosc. Radiat. Transfer*, **57**, 435-444, 1997.
- 17) Lacome, N., Levy, A., and Guelachvili, G., *App. Opt.*, **23**, 425-435, 1984.
- 18) Toth, R. A., *J. Quant. Spectrosc. Radiat. Transfer*, **66**, 285-304, 2000.
- 19) Nemtchinov, V., Sun, C., and Varanasi, P., *J. Quant. Spectrosc. Radiat. Transfer*, **83**, 267-284, 2004.
- 20) Fukabori, M., Aoki, T., and Watanabe, T., *Atmos. Oceanic Opt.*, **16**, 193-199, 2003.
- 21) Benner, D. C., V. Malathy Devi, M. A. H. Smith, and C. P. Rinsland, *J. Quant. Spectrosc. Radiat. Transfer*, **50**, 65-89, 1993.

7. 国際共同研究等の状況

なし

8. 研究成果の発表状況

(1) 誌上発表 (学術誌・書籍)

<学術誌 (査読あり)>

- ① K.M.T.Yamada, T.Watanabe, and M.Fukabori : *J. Molec. Spectrosc.*, **216**, 170-171 (2002)

“J-dependence of the N_2 - and O_2 -pressure broadening coefficients observed for NNO $\nu_1+\nu_3$ band as expressed by rational functions”

- ② M.Fukabori, T.Aoki, and T.Watanabe : Atmos. Oceanic Opt., 16, 193-198 (2003)

“Line strengths, N_2 -, and O_2 -broadening half-widths in the $\nu_1+\nu_3$ band of $^{14}N_2^{16}O$ at room temperature”

- ③ M.Fukabori, T.Aoki, and T.Watanabe : J. Spectrosc. Soc. Japan, 16, 80-86 (2004)

“Measurements of the line strengths, N_2 -, and O_2 -broadening half-widths in the $2\nu_2+\nu_3$ band of $^{14}N_2^{16}O$ at room temperature”

- ④ M.Fukabori, T.Aoki, and T.Watanabe : Molec. Phys., (in press)

“Measurements of the line strengths, N_2 -, and O_2 -broadening half-widths in the ν_3 , $\nu_1+2\nu_2$, and $2\nu_1$ bands of $^{14}N_2^{16}O$ at room temperature”

<学術誌（査読なし）>

- ① 青木忠生、深堀正志、西澤誠治：分光研究、第51巻第4号、186-193（2002）

「環境問題と分光計測 IV. 地球大気環境とリモートセンシング（1）」

- ② 深堀正志：分光研究、第51巻第5号、234（2002）

「大気分光学の応用に関する国際ワークショップ（ASA2002）報告」

- ③ 青木忠生、深堀正志、西澤誠治：分光研究、第51巻第6号、310-316（2002）

「環境問題と分光計測 IV. 地球大気環境とリモートセンシング（2）」

<報告書類等>

- ① 深堀正志、青木輝夫、青木忠生：気象研究所研究発表会誌、23-32（2002）

「二酸化炭素の赤外吸収特性に関する実験研究」

（2）口頭発表

- ① 深堀正志、青木忠生、渡辺猛：日本気象学会春季大会（2001）

「2.6-3.0 μm 領域における N_2O の吸収線パラメータ」

- ② 深堀正志、青木忠生、渡辺猛：日本化学会秋季年会（2001）

「4.3 μm 領域に存在する CO_2 吸収帯の線強度と半値半幅」

- ③ M. Fukabori, T. Aoki, and T. Watanabe: Workshop on Laboratory Spectroscopy Needs for atmospheric Sensing, San Diego, USA（2001）

“Measurements of the line strengths and half-widths of N_2O , CO_2 , and CH_4 bands in the 2100-3200 cm^{-1} region”

- ④ 深堀正志、青木忠生、渡辺猛：第12回大気化学シンポジウム（2001）

「ILAS-IIのチャンネル2領域における CH_4 、 N_2O 及び CO_2 の吸収線パラメータ」

- ⑤ M. Fukabori, T. Aoki, and T. Watanabe: CRL International Symposium on Light Propagation and Sensing Technologies for Future Applications, Tokyo, Japan（2002）

“Line strengths and half-widths in the $^{12}C^{16}O_2$ laser bands”

- ⑥ 深堀正志、：第3回ILAS-IIサイエンスチームミーティング（2002）

「吸収線パラメータの温度依存性に関する実験研究」

- ⑦ M. Fukabori, T. Aoki, and T. Watanabe: The 4th ILAS-II Science Team Meeting, Tsukuba, Japan（2002）

- “Measurements of the absorption line parameters of N_2O and CO_2 at atmospheric temperatures”
- ⑧ 深堀正志、青木忠生、横田達也、中島英彰、笹野泰弘、渡辺猛：日本分光学会春季講演会（2002）
「 CO_2 レーザーバンドの吸収線パラメータの測定」
 - ⑨ 深堀正志、青木忠生、渡辺猛：日本気象学会春季大会（2002）
「 $2.9\mu\text{m}$ 領域における N_2O の半値半幅とその温度依存性」
 - ⑩ M. Fukabori, T. Aoki, and T. Watanabe : The 7th Biennial HITRAN Conference, Cambridge, USA, (2002)
“Line Strengths and Half-widths of the N_2O Bands in the 2.0- to 2.8- μm Region”
 - ⑪ M. Fukabori, T. Aoki, and T. Watanabe: The 6th International Workshop on Atmospheric Spectroscopy Applications, Moscow, Russia, (2002)
“Measurements of the Line Strengths and Half-widths of the N_2O Bands in the 2.9 μm Region at Low Temperatures”
 - ⑫ 深堀正志、青木輝夫、青木忠生：気象研究所研究発表会（2002）
「二酸化炭素の赤外吸収特性に関する実験研究」
 - ⑬ 深堀正志、青木忠生、渡辺猛：第13回大気化学シンポジウム（2002）
「ILAS-IIのチャンネル2領域における CH_4 、 N_2O 及び CO_2 の低温スペクトル測定」
 - ⑭ 深堀正志、青木忠生、渡辺猛：第83回日本化学会春季年会（2003）
「一酸化二窒素赤外吸収帯のHerman-Wallis因子」
 - ⑮ 深堀正志、青木忠生、渡辺猛：第3回高分解分光研究会（2003）
「 CO_2 及び N_2O の赤外吸収帯の吸収線強度と半値半幅」
 - ⑯ 深堀正志、青木忠生、横田達也、中島英彰、笹野泰弘、渡辺猛：日本気象学会春季大会（2003）
「 CO_2 レーザーバンドにおける吸収線パラメータ及び Herman-Wallis 因子」
 - ⑰ M. Fukabori, T. Aoki, and T. Watanabe : The 6th ILAS-II Science Team Meeting, Nagoya (2003)
“Measurements of the Absorption Line Parameters of N_2O and CO_2 Bands in the CH.2 Region of ILAS-II at Atmospheric Temperatures”
 - ⑱ M. Fukabori, T. Aoki, and T. Watanabe : The 18th Colloquium on High Resolution Molecular Spectroscopy, Dijon, France, (2003)
“Line Strengths and Half-widths of N_2O and CO_2 Bands in the 2100-3800 cm^{-1} Region at Atmospheric Temperatures”
 - ⑲ 深堀正志、青木忠生、渡辺猛：日本気象学会秋季大会（2003）
「室温及び低温下における CO_2 ν_3 帯の吸収線強度及び半値半幅の測定」
 - ⑳ 藤枝鋼、深堀正志、青木忠生、渡辺猛：日本気象学会秋季大会（2003）
「室温下における CH_4 の ν_3 帯吸収線強度と半値半幅の測定」
 - ㉑ 田中智章、横田達也、中島英彰、笹野泰弘、深堀正志、青木忠生、渡辺猛：日本気象学会秋季大会（2003）
「 $8\mu\text{m}$ 付近に存在する N_2O ν_1 並びに $2\nu_2$ バンドの高分解能吸収スペクトル測定」
 - ㉒ 深堀正志、青木忠生、渡辺猛：第14回大気化学シンポジウム（2004）
「ILAS-II チャンネル2領域に存在する CO_2 4.3 ミクロン帯の室温及び低温下における吸収線

パラメータ」

- ②③ 藤枝鋼、深堀正志、青木忠生、渡邊猛：第14回大気化学シンポジウム (2004)
「ILAS-II 新チャンネルにおける室温下の CH_4 ν_3 帯吸収線パラメータ」
- ②④ 田中智章、横田達也、中島英彰、笹野泰弘、深堀正志、青木忠生、渡邊猛：第14回大気化学シンポジウム (2004)
「 N_2O 及び CH_4 の吸収線パラメータの精密測定－ILAS-II Ch.1 に存在する吸収帯について」
- ②⑤ M. Fukabori, T. Aoki, T. Yokota, H. Nakajima, Y. Sasano, and T. Watanabe : International Workshop on Critical Evaluation of mm-/submm-wave Spectroscopic Data for Atmospheric Observations (CEDS) (2004)
“Measurements of Line Strengths and Half-widths of the Infrared Absorption Bands of CO_2 ”
- ②⑥ T. Fujieda, M. Fukabori, T. Aoki, and T. Watanabe: International Workshop on Critical Evaluation of mm-/submm-wave Spectroscopic Data for Atmospheric Observations (CEDS) (2004)
“Line strengths and pressure-broadening coefficients for spectral lines in the ν_3 band of CH_4 ”
- ②⑦ T. Tanaka, M. Fukabori, H. Nakajima, T. Yokota, T. Watanabe : International Workshop on Critical Evaluation of mm-/submm-wave Spectroscopic Data for Atmospheric Observations (CEDS) (2004)
“Measurements of the line parameters in the ν_4 band of CH_4 and the ν_1 band of N_2O ”
- ②⑧ M. Fukabori, T. Aoki, T. Fujieda, and T. Watanabe : The 7th ILAS-II Science Team Meeting, Tokyo (2004)
“Measurements of the Absorption Line Parameters of N_2O , CO_2 , and CH_4 Bands in the CH.2 Region of ILAS-II at Atmospheric Temperatures”
- ②⑨ M. Fukabori, T. Aoki, T. Fujieda, and T. Watanabe : The 8th biennial HITRAN Conference, Cambridge (2004)
“Line Strengths and Half-widths of CO_2 Bands in the 2.7- μm Region at Atmospheric Temperatures” (submitted Abstract)
- ③⑩ T. Tanaka, M. Fukabori, H. Nakajima, T. Yokota, T. Watanabe : The 8th biennial HITRAN Conference, Cambridge (2004)
“Spectral Line Parameters for CO_2 Bands Near 4.8 μm ” (submitted Abstract)

(3) 出願願特許

なし

(4) 受賞等

なし

(5) 一般への公表・報道等

なし

9. 成果の政策的な寄与・貢献について

HITRANデータベース編集責任者のハーバード・スミソニアン天体物理学センターのRothman博士に対して、本研究で得られた成果を2004年3月に提供した。Rothman博士から、本研究による CO_2 、 N_2O 及び CH_4 の半値半幅はHITRANデータベースの妥当性を支持する貴重なデータであるとの評価を得た。特に N_2O に関する論文はHITRANデータベースに関する総括論文に引用される

予定である。Rothman博士に提示したCO₂やN₂Oの一部吸収帯に見られた編集ミスによる誤データは、次期HITRANデータベースで改善される予定である。ライダーの技術開発に関わるコヒーレントテクノロジー社からCO₂の吸収線パラメータ（2.0μm帯）に対する照会があり、HITRAN会議で発表済みの図表を提供した。（財）日本科学技術振興財団が主催するサイエンスキャンプ2002において、高校生を対象にした講義「温室効果気体の科学」を担当し、本研究の概要を説明しオゾン層破壊や地球温暖化に関連する研究成果を普及させた。