



准教授 村田 功  
Associate Professor  
Isao Murata

# 大気中のオゾン等微量成分の変動の研究

## Variations of ozone and related trace species in the atmosphere

当研究室では、「グローバルな大気環境変動」をキーワードに、オゾン減少問題や地球温暖化など、地球規模の環境変動に関わる大気中の微量成分の観測的研究を行っている。2024年は、つくばにおけるフーリエ変換型分光器 (FTIR) 観測によるメタン同位体 ( $^{12}\text{CH}_3\text{D}$ ) の解析等を行い、Network for the Detection of Atmospheric Composition Change/Infrared Working Group (NDACC/IRWG) 会議および国際オゾンシンポジウムにも参加した。また、南極・昭和基地における大気重力波の気球観測プロジェクトも引き続き行っており、2022年の近慣性周期重力波の観測結果が論文として出版された。

An isotope of methane ( $^{12}\text{CH}_3\text{D}$ ) was retrieved from the spectra observed with a Fourier transform infrared spectrometer (FTIR) at Tsukuba. We participated in both the Network for the Detection of Atmospheric Composition Change/Infrared Working Group (NDACC/IRWG) meeting and the 2024 Quadrennial Ozone Symposium held in Boulder, U.S. We performed a balloon measurement project for atmospheric gravity waves at Syowa Station, Antarctica, and we published a paper on the near-inertial frequency gravity waves.

我々は国立環境研究所との共同研究として、つくばにおける FTIR による観測を 1998 年より行っている。FTIR では太陽光の 2-15  $\mu\text{m}$  の赤外領域のスペクトルから大気中の多くの微量成分の高度分布等を調べることができる。同様の観測を行っている国際的な研究グループ NDACC/IRWG では、各観測ステーションの結果を総合して地球規模の変動要因を解明する研究を進めており、これまでも HCl、HCHO 等についての論文を共同で発表している。今年も昨年報告した HCFC-22 の解析結果が論文 (Zhou et al., 2024) として出版された。また、メタン同位体のひとつである  $^{12}\text{CH}_3\text{D}$  の解析を行った。

メタンには  $^{12}\text{CH}_4$  の他に  $^{13}\text{CH}_4$ 、 $^{12}\text{CH}_3\text{D}$  といった安定同位体が存在する。これらの同位体比はその発生源や経路した化学反応によって異なるため、同位体比を観測することでその成分の履歴に関する情報が得られる。ただし、赤外分光からこの同位体比を精度よく求めることはかなり難しい。現在は比較的変動の大きな  $^{12}\text{CH}_3\text{D}$  について解析を試行しているところである。Fig. 1 に  $8\mu\text{m}$  帯のスペクトルで  $^{12}\text{CH}_3\text{D}$  の吸収線をフィッティングした例を示す。中央付近

In collaboration with the National Institute for Environmental Studies, we have been investigating the temporal and spatial variations of atmospheric trace species with solar infrared spectroscopy using FTIR at Tsukuba since 1998. We have contributed to the NDACC/IRWG's activity and collaborated on HCl and HCHO, among others. In 2024, a paper on the recent decreases in the growth rate of HCFC-22 (Zhou et al., 2024) was published.  $^{12}\text{CH}_3\text{D}$ , one of the isotopes of methane, was retrieved.

$^{13}\text{CH}_4$  and  $^{12}\text{CH}_3\text{D}$  are stable isotopes of methane. The isotope ratio depends on its sources and chemical reactions. We can get some information on the history of the species from the isotope ratio. However, it is very difficult to observe an accurate isotope ratio from infrared spectra. We are trying to analyze  $^{12}\text{CH}_3\text{D}$  because its variability is relatively large. Fig. 1 shows a sample of the spectral fitting for  $^{12}\text{CH}_3\text{D}$  absorption in an  $8\text{-}\mu\text{m}$  region observed at Tsukuba. You can see a weak absorption of  $^{12}\text{CH}_3\text{D}$  just on the left side of the ozone-absorption line. As every absorption line of  $^{12}\text{CH}_3\text{D}$  is weak, we use seven absorption lines together to improve the precision of fitting. Fig. 2 shows the temporal variation of  $\delta\text{D}$  observed at Tsukuba. Here,  $\delta\text{D}$  is the difference of observed  $^{12}\text{CH}_3\text{D}/^{12}\text{CH}_4$  from the standard value. Blue dots show the

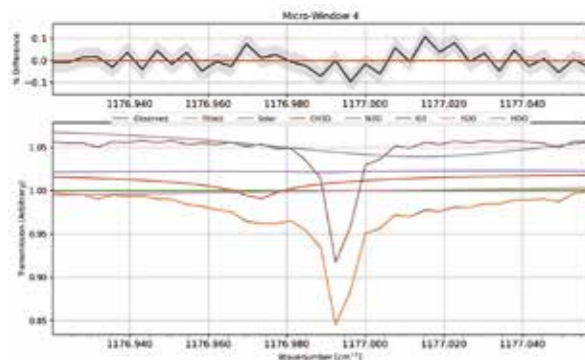


Fig. 1 Sample of the spectral fitting for  $^{12}\text{CH}_3\text{D}$  absorption observed at Tsukuba.

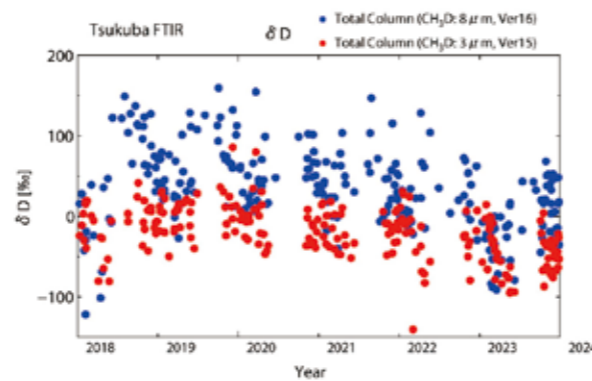


Fig. 2 Temporal variation of  $\delta\text{D}$  observed at Tsukuba.

のオゾンの吸収の左側にある弱い吸収が  $^{12}\text{CH}_3\text{D}$  のもので、この例に限らず  $^{12}\text{CH}_3\text{D}$  の吸収は数 % 以下の弱いものばかりである。そこで、解析では 5 つの波数領域にある 7 つの吸収線を合わせて解析することで精度を上げている。Fig. 2 に  $^{12}\text{CH}_3\text{D}$  と  $^{12}\text{CH}_4$  の解析結果から求めたつくばでのカラム平均  $\delta\text{D}$  の経年変化を示す。ここで、 $\delta\text{D}$  とは観測された  $^{12}\text{CH}_3\text{D} / ^{12}\text{CH}_4$  の基準値からのずれである。青い点が上記の  $8\mu\text{m}$  帯のスペクトルから求めた結果で、赤い点は  $3\mu\text{m}$  帯にある別の 6 つの吸収線から求めた結果である。それぞれ独立に解析した結果の経年変化の傾向が一致していることから、解析精度はそれなりに達成できたのではないかと考えている。

NDACC/IRWG では、毎年世界各国から 20 以上の研究グループが集まって観測手法や最新の結果に関する情報交換を行う会議を行っているが、今年もアメリカのボウルダーで 7 月に開催された (Fig. 3)。 $^{12}\text{CH}_3\text{D}$  の解析結果の発表を行ったほか、解析手法の最適化などについて情報交換を行った。また、同じボウルダーで翌週には 4 年に一度の国際オゾンシンポジウムが行われ、こちらにも参加してオゾン経年変化に関する発表を行った (Fig. 4)。

村田は 2021 年 11 月から 2022 年 3 月まで第 63 次南極地域観測隊に夏隊員として参加し、スーパープレッシャー気球を用いた大気重力波の観測を行ったが、今年はそのときの観測で捉えた近慣性周期重力波の解析結果が論文として出版され、プレスリリースを行った。大気重力波は、大気中の運動量輸送を担い、中層大気の子午面循環の駆動を通じて成層圏・中間圏の温度・物質分布の決定に重要な役割を果たす。スーパープレッシャー気球は一定高度 (今回は  $18\text{ km}$ ) を長期間浮遊することが可能で、2 次元風速と気圧の観測により重力波の運動量輸送の水平分布をとらえることができる。これを昭和基地の PANSY レーダー観測および最新の気象再解析データと組み合わせることにより、大気重力波による運動量輸送の 3 次元的描像を捉えることが目的である。今年も、1-2 月に 65 次隊が昭和基地で行った 2 機の気球観測を国内からサポートした。観測データの受信は衛星通信を介しインターネットで確認できるため、村田は国内から受信データのチェックや気球監視を分担して行った。

村田は 2015 年から宮城県保健環境センターの評価委員をしており、今年も 2 回の評価委員会に出席して県保健環境センターが行っている研究の評価を行った。また、2020 年から宮城県環境影響評価技術審査会委員もしており、今年も 4 回の審査会に出席した。



Fig. 3 Group photo of the NDACC/IRWG meeting held in Boulder, U.S.A.

results from  $8\text{-}\mu\text{m}$  spectra, and red dots show the ones from  $3\text{-}\mu\text{m}$  spectra using six absorption lines. You can see the same tendency of the temporal variation in the two independent results. We think the precision is rather good.

The NDACC/IRWG holds an annual meeting in which scientists from more than 20 groups discuss observational results, new plans, and measurement techniques. The 2024 meeting was held in Boulder, U.S., in July (Fig. 3). We participated in the meeting and presented the results of analyses for  $^{12}\text{CH}_3\text{D}$  and had some discussions. In the next week, the 2024 Quadrennial Ozone Symposium was also held in Boulder, and we participated in the symposium and presented the results of analyses for ozone trends (Fig. 4).

Assoc. Prof. Murata participated in the 63rd Japanese Antarctic Research Expedition as a summer member from November 2021 to March 2022 and carried out the observation of atmospheric gravity waves with a super-pressure balloon. A paper on near-inertial frequency gravity waves was recently published, and we made a press release. Atmospheric gravity waves transport momentum in the atmosphere and play an important role in determining temperature and material distribution by driving the meridional circulation in the middle atmosphere. The super-pressure balloon can stay at a certain altitude ( $18\text{ km}$  at this time) for a long duration and observe the horizontal distribution of the momentum transport due to gravity waves. By combining it with the PANSY radar observation at Syowa station and the state-of-the-art meteorological reanalysis data, a 3D picture of momentum transport due to gravity waves is acquired. New balloon measurements were carried out by the 65th members in January and February, and Assoc. Prof. Murata supported the monitoring of the observed data and the status of the balloons from Japan.

Assoc. Prof. Murata serves as an evaluation committee member for the Center for Health and Environment, Miyagi Prefectural Government, and he attended two committee meetings. He also serves as a member of the environmental assessment technology examination committee, Miyagi Prefectural Government, and he attended four committee meetings.



Fig. 2 Group photo of the 2024 Quadrennial Ozone Symposium held in Boulder, U.S.A.