

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	中層大気におけるオゾン同位体濃縮のグローバル分布：反転解析と観測
Title(English)	Global distribution of ozone isotopic enrichment in the middle atmosphere: Retrieval and observation
著者(和文)	佐藤知紘
Author(English)	Tomohiro Sato
出典(和文)	学位:博士(理学), 学位授与機関:東京工業大学, 報告番号:甲第9415号, 授与年月日:2014年3月26日, 学位の種別:課程博士, 審査員:吉田 尚弘,上野 雄一郎,豊田 栄,山田 桂太,笠井 康子,今須 良一
Citation(English)	Degree:Doctor (Science), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第9415号, Conferred date:2014/3/26, Degree Type:Course doctor, Examiner:,,,,,
学位種別(和文)	博士論文
Category(English)	Doctoral Thesis
種別(和文)	審査の要旨
Type(English)	Exam Summary

論文審査の要旨及び審査員

報告番号	甲第	号	学位申請者氏名	佐藤 知紘	
		氏名	職名	氏名	職名
論文審査 審査員	主査	吉田 尚弘	教授	上野 雄一郎	准教授
	審査員	笠井 康子	連携教授	今須 良一	東京大学大気 海洋研究所・ 准教授
		山田 桂太	准教授		
		豊田 栄	准教授		

論文審査の要旨 (2000 字程度)

本論文は「Global distribution of ozone isotopic enrichment in the middle atmosphere: Retrieval and observation (中層大気におけるオゾン同位体濃縮のグローバル分布: 反転解析と観測)」と題し、英文で書かれ、7章で構成されている。

第1章は「Introduction」と題し、背景と目的を記述している。オゾンは地球大気システムの中で中心的な役割を担っている。オゾンの酸素同位体濃縮 (δ) は過去の観測により 10~20%と大きく、大気中の化学および物理プロセスを追う強力なトレーサーとして期待される。本論文では、超伝導サブミリ波リム放射サウンダ (SMILES) の観測データを使用し、オゾン同位体比のグローバル分布を導出、さらにそのメカニズムを明らかにすることを目的としている。

第2章は「SMILES observation」と題し、SMILES 観測の原理について記述している。SMILES は、国際宇宙ステーションから大気中に存在する分子からのサブミリ波帯熱放射をリム放射スペクトルとして観測する。受信システムに超伝導技術を使用し従来の同種測定機よりも 10~20 倍程度の低ノイズを実現している。大気中に存在する分子の高度分布は、観測スペクトルから反転解析によって推定される。

第3章は「Development of retrieval algorithm optimized for ozone isotopic enrichment (TOROROS)」と題し、オゾン同位体導出に特化した反転解析アルゴリズム (TOROROS) の開発について記述している。TOROROS では、①過去の研究によるオゾン同位体比の知見を先験値情報として取り入れる、②オゾン同位体種毎に周波数範囲を設定する、③各同位体種の反転解析において用いる大気情報を統一する、等により、同位体比導出に最適化している。先験値はスキャン毎に逐次設定され、GEOS-5 モデルによる $^{16}\text{O}_3$ の高度分布推定値と過去のオゾン同位体比観測結果の代表値を基に、他の同位体種の高度分布を決定している。 $^{16}\text{O}_3$ 、 ^{18}OOO 、 ^{17}OOO について周波数範囲を最適化し、それぞれ独立に反転解析を行っている。

第4章は「Validation of TOROROS」と題し、TOROROS による解析結果について、その精度、確度を評価している。シミュレーションによる誤差解析によって、系統誤差およびランダム誤差を同位体種毎に見積もっている。系統誤差では、分光パラメータや装置関数が持つ不確実性から生じる誤差を、ランダム誤差では、スペクトルノイズによる誤差、スムージング誤差、および気温気圧情報の不確実性による誤差をそれぞれ計算している。その結果、高度 30~50 km において、 $\delta^{18}\text{OOO}$ の系統誤差は 5~7%、ランダム誤差は 1~2% (100 プロファイル積算時) と見積もっている。同様に $\delta^{17}\text{OOO}$ の系統誤差は 4~5%、ランダム誤差は 1~2% と見積もられた。 ^{18}OOO および ^{17}OOO の分光パラメータが最も大きな誤差要因であったことから、本論文ではこれらの値を正確に見積もることがリモートセンシング観測の誤差を小さくする上で重要である、と提言している。TOROROS の $\delta^{18}\text{OOO}$ は、中緯度帯の成層圏では高度とともに増加 (13~20%) し、過去の観測と系統誤差の範囲内で一致することを確認している。

第5章は「Global distribution of $\delta^{18}\text{OOO}$ 」と題し、TOROROS による解析結果を用いて、緯度範囲 70°S~70°N、高度範囲 28~57km における $\delta^{18}\text{OOO}$ のグローバル分布を導出、およびそのメカニズムを考察している。 $\delta^{18}\text{OOO}$ は、全緯度範囲に共通して成層圏では高度とともに増加し中間圏では減少する。さらに赤道域成層圏では振動しながら増加し、高緯度帯での $\delta^{18}\text{OOO}$ は他の緯度より高い値を示している。さらに $\delta^{18}\text{OOO}$ は、成層圏では昼間に 2~4%程度増加することを明らかにしている。これらの観測結果について、オゾンの三体衝突反応および光解離による同位体分別によって考察している。前者は、大気の移流の影響が最も少ないと予想される中緯度帯の観測結果から温度による一次関数で近似し、後者は TUV モデルで計算した太陽光フラックスと、 $^{16}\text{O}_3$ 、 ^{18}OOO の吸収断面積から算出している。 ^{18}OOO の吸収断面積は $^{16}\text{O}_3$ の実験値と量子状態のエネルギー差から近似している。この推定は、中緯度帯昼夜および赤道域夜間でよく観測を再現しているが、赤道域の振動や高緯度帯の高い $\delta^{18}\text{OOO}$ は再現できていない。このことは赤道域の上昇気流等の移流や極渦内の異相反応による同位体分別の検討の必要性を示唆するとしている。

第6章は「Observation of $\delta^{17}\text{OOO}$ and $\Delta^{17}\text{OOO}$ 」と題し、 $\delta^{17}\text{OOO}$ および非対称オゾン同位体種における非質量依存同位体分別 (MIF) の観測結果を記述している。 $\delta^{17}\text{OOO}$ でも、成層圏で上昇し中間圏で減少するという構造は全緯度帯で観測された。また、中部~上部成層圏オゾンは有意な MIF を示した。中間圏では MIF は確認できず、成層圏と異なる同位体比を持つことを明らかにしている。

第7章は「Conclusion and remarks」と題し、各章のまとめと本論文の科学的意義を記述している。オゾン同位体比の研究については、過去の観測で捉えていた「静的」な描像から、グローバルな「動的」な描像を世界で初めて捉えている。リモートセンシング観測の観点でも、同位体比という分子内情報の導出を成功させたことから、その可能性を広げたことが十分に伺える。

以上のことから、本論文は地球大気中のオゾン同位体比のグローバルな分布を世界で初めて捉えたものであり、理學上貢献するところが大きい。よって本論文は博士 (理学) の学位論文として十分な価値があるものと認められる。