T2R2 東京科学大学 リサーチリポジトリ
Science Tokyo Research Repository

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	希薄大気中での放電現象と放射過程の理解のためのTHz放射伝達モデルの開発と観測データ解析
Title(English)	Development of radiative transfer model and data analysis for a THz remote sensing to reveal discharge phenomena and radiation processes in rarefied atmosphere between planet and space
著者(和文)	山田崇貴
Author(English)	Takayoshi Yamada
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11013号, 授与年月日:2018年12月31日, 学位の種別:課程博士, 審査員:吉田 尚弘,笠井 康子,山田 桂太,関根 康人,野村 英子
Citation(English)	Degree:Doctor (Science), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第11013号, Conferred date:2018/12/31, 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

Powered by T2R2 (Science Tokyo Research Repository)

（博士課程）

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	山田崇貴	
論文審査 審 査 員		氏　名	職　名	氏　名	職　名
	主査	吉田　尚弘	教授	野村　英子	准教授
	審査員	笠井　康子	特任教授		
		山田　桂太	准教授		
		関根　康人	教授		

論文審査の要旨（2000 字程度）

本論文は「Development of radiative transfer model and data analysis for a THz remote sensing to reveal discharge phenomena and radiation processes in rarefied atmosphere between planet and space(希薄大気中での放電現象と放射過程の理解のための THz 放射伝達モデルの開発と観測データ解析)」と題し、英文で書かれ、5 章よりなっている。

第 1 章“General Introduction”では本研究の背景と目的について述べられている。惑星大気上層や氷衛星における希薄大気領域では、その希薄さ故に地表と宇宙両方から非局所的な影響を受けるため、化学組成の観測は大気化学過程や、天体、大気、宇宙間での諸過程の理解に重要であるとしている。具体的に、地球大気の中間圏・下部熱圏領域(高度 40 – 90 km)は宇宙の渚と呼ばれ、宇宙からは高エネルギー粒子の流入や太陽光の強い放射が降り注ぎ、下層からは太陽光の反射や大気重力波、対流圏の雷に誘起される高高度放電発光現象であるスプライト等の影響を説明している。希薄大気では、分子や原子の振動や回転エネルギーの準位分布は、その場の運動温度に由来する遷移速度に支配され難くなる為、局所熱平衡から外れやすく、高エネルギー粒子や放電中の電子も非局所熱平衡を引き起こす要因であると指摘している。最後に上記イベント等での大気化学過程の理解のために、スプライト放電現象によるヒドロペルオキシラジカル(HO_2)の変動の観測と定量的な評価と、非局所熱平衡状態を考慮するテラヘルツ放射伝達モデルの構築を行うという本研究の目的と意義が述べられている。

第 2 章“Survey of sprite chemistry by detecting HO_2 radicals above sprite-producing thunderstorm”では超伝導サブミリ波リム放射サウンダ (SMILES: Superconducting Submillimeter-Wave Limb-Emission Sounder)、高高度放電発光現象撮像衛星(ISUAL: Imager of Sprites and Upper Atmospheric Lightning)、全球雷検出ネットワーク(WWLLN: World Wide Lightning Location Network)のそれぞれの観測データを用い、スプライトが発生している雷雲上空のスペクトル観測の検出と、スペクトル解析、パルス放電下での大気化学モデルシミュレーション、地球大気への影響の議論について述べられている。SMILES による HO_2、ISUAL によるスプライト、WWLLN による雷放電の観測の時空間的に一致した例を 3 件抽出し、仮定したスプライト大気塊中での HO_2 の存在量が 40 から 190 倍に増大していることを、放射伝達計算を用いて観測スペクトルを最小二乗法によりフィッティングすることにより導出している。スプライトの発生頻度から夜間のスプライトによる HO_2 の生成は高度 75 から 80 km の HO_2 存在量の 1%に相当し、化学モデルとの比較により、HO_2 の増大はスプライト放電中の電子が酸素分子を解離させ水分子と反応することに起因することを示唆している。地球温暖化により上層大気での水の存在量と雷の発生頻度は増大しており、これはスプライトによる夜間の中間圏におけるラジカル生成に寄与し得ることを明らかにしている。

第 3 章“Development of the THz radiative transfer code including the non-LTE model”では Gauss-Seidel 法を使った非局所熱平衡モデルの構築を行い、他の非局所熱平衡モデルとの比較検証と、テラヘルツ放射伝達計算によるスペクトルシミュレーションについて述べている。サブミリ波センサにより将来観測予定である木星衛星ガニメデ大気は地表面気圧が μPa オーダーであり、オルソ水分子の回転準位は非局所熱平衡になりやすく、詳細な観測シミュレーションが必要であるとしている。非局所熱平衡モデルによる非線形非局所問題の解の計算妥当性検討には、Multilevel Accelerated Lambda Iteration(MALI)法とモンテカルロ法を用いたモデルと比較を行い、オルソ水分子の 7 つの回転準位(9 つの遷移)において 0.5 から 1.5 K の差ですべてのモデルが収束し、MALI に比べて繰り返し計算回数が先行研究の指摘通りの半分であり効率の良い収束を確認している。風によるドップラーシフトの非局所問題の複雑化も考慮可能にするために Microwave Instrument for the Rosetta Orbiter (MIRO)衛星によるチュリュモフ・ゲラシメンコ彗星の観測スペクトルとの比較検討を行っている。本研究において構築された非局所熱平衡状態を考慮するテラヘルツ放射伝達モデルは、一次元の球面及

び平行平面大気と風速場を仮定できる天体に使用可能であり、ガニメデ大気のオルソ水分子のスペクトルシミュレーションでは光学的に厚い場合のモデル大気においても準位分布が局所熱平衡にならずスペクトル強度に影響を与える事を確認している。

第 4 章“Perspectives”では本研究から応用・拡張が可能な事項について議論を行っている。本研究で衛星ビッグデータを用いたイベント検出とスペクトル解析、非局所熱平衡モデルとテラヘルツ放射伝達コードの構築を行ったことにより、今後蓄積していく様々な天体の大気における高感度なテラヘルツ観測データにおいてより詳細な時空間スケールのイベントの抽出や非局所熱平衡を考慮した正確な放射伝達計算が可能になるとしている。

第 5 章“Conclusions”では本研究で明らかになったスプライト放電による HO_2 ラジカルの生成と地球大気の中間圏・下部熱圏領域への影響の解明と非局所熱平衡状態を考慮するテラヘルツ放射伝達モデルの構築とその有用性についての総括を行っている。

以上要するに、本論文は、スプライトによる中間圏大気の化学組成への影響について明らかにし、希薄大気におけるテラヘルツ観測のための回転準位分布の非局所熱平衡モデル及び放射伝達モデルの構築を行い、宇宙と惑星の境界である希薄大気における短時間の現象の大気化学過程に対する物理化学的解釈と、先進的な方法論を導入した放射過程の解析を行ったもので、理学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。

注意：「論文審査の要旨及び審査員」は、東工大リサーチリポジトリ(T2R2)にてインターネット公表されますので、公表可能な範囲の内容で作成してください。