

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)	論文要旨
Type(English)	Summary

論文要旨

THESIS SUMMARY

専攻： Department of	化学環境学	専攻	申請学位（専攻分野）： Academic Degree Requested	博士 Doctor of	（ 理学 ）
学生氏名： Student's Name	山田 崇貴		指導教員（主）： Academic Supervisor(main)	吉田尚弘 教授	
			指導教員（副）： Academic Supervisor (sub)	笠井康子教授	

要旨（和文 2000 字程度）

Thesis Summary (approx.2000 Japanese Characters)

本論文では「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。

第一章“General Introduction”では本研究の背景と目的について述べている。惑星大気上層や氷衛星、小天体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。例えば、地球大気の間層圏・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受ける。これら希薄大気では、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り、電磁波観測において非局所熱平衡を考慮した非線形非局所問題を解く必要がある。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(HO2)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。

第二章“Survey of sprite chemistry by detecting HO₂ 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)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る。SMILES による HO₂、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 HO₂ の存在量が 40 から 190 倍に増大していることを、観測スペクトルの放射伝達計算による最小二乗法でのフィッティングを行うことによる導出した。スプライトの発生頻度から夜間のスプライトによる HO₂ の生成は高度 75 から 80 km の HO₂ 存在量の 1%に相当し、化学モデルとの比較により、HO₂ 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が示唆され、地球温暖化による上層大気での水の存在量と雷の発生頻度の増大がさらなる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議論する。

第三章“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る。サブミリ波搭載の衛星で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とされている。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)方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が確認できた。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 MIRO(Microwave Instrument for the Rosetta Orbiter)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た。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た。

第四章“Future 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う。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考えられる。

第五章“Conclusion”では本研究で明らかになったスプライト放電による HO₂ ラジカルの生成と地球大気の間層圏・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た。

備考：論文要旨は、和文 2000 字と英文 300 語を 1 部ずつ提出するか、もしくは英文 800 語を 1 部提出してください。
Note：Thesis Summary should be submitted in either a copy of 2000 Japanese Characters and 300 Words (English) or 1copy of 800 Words (English).
注意：論文要旨は、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。
Attention: Thesis Summary will be published on Tokyo Tech Research Repository Website (T2R2).

論文要旨

THESIS SUMMARY

専攻 : Department of	化学環境学	専攻	申請学位 (専攻分野) : Academic Degree Requested	博士 (理学) Doctor of
学生氏名 : Student's Name	山田 崇貴		指導教員 (主) : Academic Supervisor(main)	吉田尚弘 教授
			指導教員 (副) : Academic Supervisor(sub)	笠井康子 教授

要旨 (英文 300 語程度)

Thesis Summary (approx.300 English Words)

This dissertation consists of following two parts; 1) revealing impacts of sprite discharges on Earth's atmosphere by an observational survey of HO₂ generation above sprite-producing thunderstorm, 2) development of radiative transfer code for future observation missions in rarefied atmospheres.

The HO₂ radical, a key atmospheric oxidant, has been predicted to be generated by sprite discharges from H₂O, whose amounts are currently increasing in the upper atmosphere for the global warming. We provide the first observational evidence of a rise of HO₂ amount above sprite-producing thunderstorms from the coincidences of temporal-spatial observations between HO₂ spectra, sprite events, and large thunderstorms, by two space instruments, submillimeter-wave limb spectrometer and UV/VIS Imager, and a ground-based detection network for very low frequency radiation. Total three areas were founded with HO₂ amounts enhanced about 40 to190 times larger than the background value. These results suggest that the new sources of HO₂ radicals, sprites and their related discharge phenomena, may contribute the balance of atmospheric composition in the Earth's atmosphere.

The analysis of the terahertz (THz) measurements requires modeling molecular THz radiation with accounting for nonlocal thermodynamic equilibrium (non-LTE). This dissertation presents the development of the THz radiative transfer model including the non-LTE effects and its applications to observation simulations for planetary, icy moon, and cometary atmosphere. The approach to solve the non-LTE problems adapted here utilizes the Multilevel Gauss-Seidel Method (MUGA) iteration technique performs twice faster convergence rate than a familiar approach called Multilevel Accelerated Lambda Iteration. Moreover, this non-LTE model has applicable to spherical geometry and vertical winds which intensify the angular dependence of radiation fields and Doppler shifts. The simulated non-LTE H₂O spectra for Ganymede atmosphere showed the difference of 10 to 50 K at the center frequency from the LTE spectra in both optically thin and thick cases. This model contributes to simulate the rotational transitions such as H₂O, O₂, and their isotopes in rarefied atmosphere, which is considered to help understanding the planet formations.

備考 : 論文要旨は、和文 2000 字と英文 300 語を 1 部ずつ提出するか、もしくは英文 800 語を 1 部提出してください。

Note : Thesis Summary should be submitted in either a copy of 2000 Japanese Characters and 300 Words (English) or 1copy of 800 Words (English).

注意 : 論文要旨は、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。

Attention: Thesis Summary will be published on Tokyo Tech Research Repository Website (T2R2).