

平成 22 年 6 月 1 日現在

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2007～2009

課題番号：19740307

研究課題名（和文）高分解能オーロラデータによるサブストーム発生メカニズムの研究

研究課題名（英文）Study on generation mechanism of substorm by using high-resolution auroral data

研究代表者

田中 良昌 (Tanaka Yoshimasa)

国立極地研究所・研究教育系・助教

研究者番号：50425766

研究成果の概要（和文）：

イメージャやイメージングリオメータで観測された複数のオーロラ単色光画像、銀河雑音電波の電離層吸収データ等から、オーロラの3次元分布を考慮して、降り込み電子の空間分布、エネルギー分布を推定する新たな手法を開発した。この手法をスカンジナビア半島北部、米国アラスカ州で観測された高空間分解能のオーロラ総合観測データに応用し、サブストーム中の降下電子エネルギー分布の変化や、降下電子が磁気圏電離圏結合過程に与える影響についての新たな知見を得た。

研究成果の概要（英文）：

We developed a method to estimate the spatial and energy distributions of auroral precipitating electrons from several monochromatic images and cosmic noise absorption observed with optical imagers and imaging riometer, taking into account 3-dimensional distribution of auroral luminosity. Applying this method to the high-spatial-resolution auroral data obtained by the comprehensive observations in the northern Scandinavia and Alaska, we investigated the spatial and temporal variations of energy distribution of precipitating electrons during the substorm and an influence of the precipitating electrons on the magnetosphere-ionosphere coupling process.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	500,000	0	500,000
2008年度	500,000	150,000	650,000
2009年度	500,000	150,000	650,000
年度			
年度			
総計	1,500,000	300,000	1,800,000

研究分野：超高層物理学

科研費の分科・細目：地球惑星科学・超高層物理学

キーワード：オーロラ、電子エネルギー分布、銀河雑音吸収、全天イメージャ、イメージングリオメータ、3次元空間構造、サブストーム

1. 研究開始当初の背景

極域で観測されるオーロラは、太陽風と地

球の磁気圏、電離圏との相互作用によって発生する電磁プラズマ現象である。オーロラの急激な爆発を伴うグローバルな地磁気擾乱現象はサブストームと呼ばれ、長年にわたり研究が行われているが、サブストームの発生位置や発生メカニズムについては現在も論争が続いている。

1970年代に入ると、人工衛星の登場により、宇宙空間でオーロラ粒子のエネルギー分布やピッチ角分布が直接観測できるようになり、その粒子が磁気圏のどの領域から飛来したかを推定することが可能となった。しかし、低軌道衛星はオーロラ帯を数分で通過するため、サブストームをはじめとする数十分～数時間の時間スケールのオーロラ現象の全体像を理解するのは困難である。

一方、地上観測では、オーロラ降下電子エネルギーの時間・空間変動を定常的にモニターすることが可能である。これまでの研究により、地上で観測された2波長のオーロラ光からオーロラ降下電子の特性エネルギーを推定する方法が確立されている。しかし、これらの手法では、磁気天頂方向以外の領域の降下電子エネルギーを正確に求めることは困難である。さらに、近年、オーロラ単色光画像に加えて、イメージングリオメータによって観測される銀河雑音電波の電離層吸収データを使って降下電子エネルギーをより高エネルギー側（百数十 keV）まで見積もる手法の開発が試みられている。

## 2. 研究の目的

本研究では、地上観測データからオーロラ降下電子フラックスのエネルギー分布、空間分布を推定し、サブストームの発生メカニズムやオーロラ帯の磁気圏電離圏結合過程について新たな知見を得ることを目的とする。イメージャやイメージングリオメータで得られたオーロラ光2波長と銀河雑音吸収データに対して、高エネルギー帯を含めた降下電子エネルギー推定法を応用し、オーロラ発生中の降下電子エネルギーの時間変動を調査する。

さらに、オーロラの3次元分布を考慮し、複数の観測データから降下電子エネルギーの水平2次元分布を求める手法を新たに開発し、実際のオーロライベントに応用する。この手法により、電離圏電気伝導度の水平2次元分布が得られることが期待され、これを利用して典型的なオーロラの振る舞いについて磁気圏電離圏結合系の視点から考察を行う。

## 3. 研究の方法

まず、先行研究 (Tanaka et al., Journal of Geophysical Research, 111, A11207, 2006) で報告されたオーロラ単色光2波長と

銀河雑音吸収データからオーロラ降下電子の特性エネルギーを推定する方法を、米国アラスカ州やスカンジナビア半島北部で観測された複数のサブストームイベントに適用する。

次に、オーロラの3次元分布を考慮した降下電子の空間・エネルギー分布推定法を新たに開発する。数値シミュレーションにより、入射電子の空間・エネルギー分布を仮定して観測データを作成し、その観測データを使って元の降下電子を復元できるかどうかをテストする。オーロラの形状、エネルギー分布、観測点配置、観測ノイズ等を変えながらテストを行い、様々な条件における再構成結果の誤差を見積もる。

上記の新しい降下電子エネルギー推定法をスカンジナビア半島北部のオーロラ多点観測網 ALIS (Aurora Large Imaging System) や欧州非干渉散乱 (EISCAT) レーダー等で得られたオーロラ単色光画像、電子密度データに適用し、オーロラ発生時の降下電子の空間・エネルギー分布を調査する。

## 4. 研究成果

ケーススタディとして、オーロラ単色光2波長と銀河雑音吸収データから降下電子のエネルギー分布を推定する方法 (Tanaka et al., 2006) を、2003～2005年にアラスカ州ポーカーフラットで観測された数例の典型的な孤立型サブストームイベントに適用した。その結果、サブストームオンセットの約40分前から最も低緯度側のオンセットアークに高エネルギー電子降り込みが観測されているイベントを発見した。このイベントでは、オンセットアークの降下電子エネルギー分布が約40分前には硬い分布を示し、オンセット直前に柔らかい分布に変化した。このオンセットアークで見られた硬いエネルギー分布は、Kirkwood and Eliasson (Journal of Geophysical Research, 95, 6025, 1990) が低高度衛星 Viking と EISCAT レーダー観測により発見したサブストーム成長相に磁気圏の双極子磁場領域と尾部領域の境界 (trapping boundary) のすぐ極側で見られる高エネルギー電子降り込みと一致している。我々の結果は、サブストームオンセット領域が trapping boundary の近傍にあることを示唆しており、Kirkwood and Eliasson (1990) の結果を支持している。

次に、降下電子の空間分布、エネルギー分布をより正確に見積もるため、オーロラの3次元分布を考慮したオーロラ降下電子の空間・エネルギー分布推定法を新たに開発した。降下電子フラックスが大気に与えるエネルギー流入率、それによる電離圏電子密度増加については Rees (Cambridge University Press, New York, 1989) のモデルを用い、オ

ーロラの放射率については Sergienko and Ivanov (Annales Geophysicae, 11, 8, 717-727, 1993)のモデルを用いて定式化した。降下電子のディファレンシャルフラックスを未知パラメータとし、観測値と理論値間の残差を最小化する問題として定式化を行った。逆問題は非適切問題となるため、正則化項として降下電子ディファレンシャルフラックスの空間・エネルギーに関する2階微分を加えた。オーロラ画像、電離圏電子密度データのみを扱う場合は電子ディファレンシャルフラックスについての線形連立方程式、銀河雑音吸収データを組み合わせた場合は非線形連立方程式となることを示した。得られた非線形最小二乗問題をガウス・ニュートン法で解くアルゴリズムを開発した。オーロラ光と銀河雑音吸収それぞれのデータの重みを表すハイパーパラメータは、交差検定法を使って観測データから決定した。

上記手法について、解析プログラムを開発し、数値シミュレーションによるテストを行った。入射電子フラックスの空間分布とエネルギー分布を適当に仮定して順問題を解き、得られた観測データから逆問題を解いて、入射電子フラックスが復元できるかどうかテストした。その結果、比較的単純なオーロラ形状、降下電子エネルギー分布の場合、良い再構成結果が得られることが示された。さらに、降下電子の空間分布、エネルギー分布、観測データ数、観測ノイズを変化させて再構成を行い、この手法の有効性をテストした。これにより、この手法を実際の観測データに応用した際の誤差を定量的に評価することが可能となった。

天候等による光学観測ノイズや低い太陽活動度によるオーロラ観測データの不足から、上記手法を用いた統計解析は困難であると判断し、比較的条件的の良いオーロライベントのみを数例選択して上記手法を適用した。特に、2005年10~11月に北欧のオーロラ多点観測網 ALIS で観測されたスパイラル等の単純なオーロラの運動に注目し、オーロラのエネルギー分布の空間・時間変動の調査を行った。その結果、高エネルギー電子の降り込み領域におけるアークの移動速度が、低エネルギー電子の降り込み領域に比べて小さくなるという結果を得た。これは、磁気圏電離圏結合過程において、磁気圏からの電子降り込みによる電離圏電気伝導度の増加が電離圏電場を弱めた可能性を示唆している。

#### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計8件)

① 田中良昌, 麻生武彦, ビョルン グスタ

フソン, 田邊國士, 門倉昭, 小川泰信, 一般化オーロラトモグラフィ法によるオーロラ降下電子の再構成, 電子情報通信学会論文誌A, 査読有, J93-A, 2, 2010, 136-145

② 田中良昌, 巻田和男, 西野正徳, 大川隆志, イメージングリオメータのデータ解析プログラムの開発(続編), 査読無, 拓殖大学理工学研究報告, 査読無, Vol.10, No.2, 2008, 61-69

③ Hecht, J. H., T. L. Mulligan, D. J. Strickland, A. Kochenash, Y. Murayama, Y.-M. Tanaka, D. S. Evans, E. Donovan, F. J. Rich, and D. Morrison, Satellite and ground-based observations of auroral energy deposition and the effects on thermospheric composition during large geomagnetic storms: 1. Great geomagnetic storm of 20 November 2003, Journal of Geophysical Research, 査読有, 113, 2008, A01310

④ 田中良昌, 巻田和男, 西野正徳, 大川隆志, イメージングリオメータのデータ解析プログラムの開発, 拓殖大学理工学研究報告, 査読無, Vol.10, No.1, 2007, 61-66

⑤ Tanaka, Y.-M., M. Ishii, M. Kubota, Y. Monzen, Y. Murayama, H. Mori, and D. Lummerzheim, Cosmic noise absorption observed with imaging riometer in Alaska: Use of CNA to estimate energy spectra of auroral precipitating electrons, Journal of the National Institute of Information and Communications Technology, 査読無, 54, 1/2, 2007, 97-105

⑥ Murayama, Y., M. Ishii, M. Kubota, H. Mori, K. Mizutani, S. Ochiai, Y. Kasai, S. Kawamura, Y.-M. Tanaka, H. Masuko, T. Iguchi, H. Kumagai, T. Kikuchi, K. Sato, R. F. Collins, B. J. Watkins, M. Conde, W. B. Bristow, and R. W. Smith, Comprehensive arctic atmosphere observing system and observed results for "system performance demonstration", Journal of the National Institute of Information and Communications Technology, 査読無, 54, 1/2, 2007, 5-16

⑦ 田中良昌, 石井守, 久保田実, 門前善澄, 村山泰啓, 森弘隆, デューク ルマーザイム, アラスカでのイメージングリオメータ観測による銀河雑音吸収: オーロラ降下電子エネルギー推定への利用, 情報通信研究機構季報, 査読無, 53, 2007, 87-94

⑧ 村山泰啓, 石井守, 久保田実, 森弘隆,

水谷耕平, 落合啓, 笠井康子, 川村誠治, 田中良昌, 増子治信, 井口俊夫, 熊谷博, 菊池崇, 佐藤薫, リチャードL. コリンズ, プレントン J. ワトキンス, マークコンデ, ビル ブリストウ, ロジャー W. スミス, アラスカ・プロジェクトにおける北極域大気結合観測システムの開発と成果, 情報通信研究機構季報, 査読無, 53, 1/2, 3-12, 2007

[学会発表] (計 23 件)

- ① 田中良昌, 極域電離圏におけるMIカップリング, 第2回電磁圏物理学シンポジウム, 2010年3月4日, 福岡リーセントホテル (福岡)
- ② 田中良昌, アルフェン波によるオーロラ帯の磁気圏電離圏結合モデル, 第33回極域宙空圏シンポジウム, 2009年11月13日, 国立極地研究所 (東京)
- ③ 田中良昌, Ionospheric Observations of National Institute of Polar Research, Japan, IRI2009 Workshop, 2009年11月6日, 鹿児島大学
- ④ 田中良昌, 一般化オーロラトモグラフィ法の観測データへの応用に向けて, 第127回地球電磁気・地球惑星圏学会講演会, 2009年9月30日, 金沢大学
- ⑤ 田中良昌, アルフェン波を介したオーロラ帯の磁気圏電離圏結合, 第127回地球電磁気・地球惑星圏学会講演会, 2009年9月28日, 金沢大学
- ⑥ 田中良昌, 銀河雑音吸収データの一般化オーロラトモグラフィ法への利用, 日本地球惑星科学連合2009年大会, 2009年5月18日, 幕張メッセ国際会議場 (千葉)
- ⑦ 田中良昌, Future development of the Generalized Aurora Computed Tomography, 電磁圏物理学シンポジウム, 2009年3月4日, 九州大学
- ⑧ 田中良昌, An examination of feasibility of the Generalized Aurora Computed Tomography, International Symposium: Fifty Years after IGY - Modern Information Technologies and Earth and Solar Sciences -, 2008年11月11日, 産業技術総合研究所 (茨城)
- ⑨ 田中良昌, 一般化オーロラトモグラフィに影響を及ぼす要因, 第123回地球電磁気・地球惑星圏学会講演会, 2008年10月11日, 仙台市戦災復興記念館
- ⑩ 田中良昌, Inverse analysis of auroral precipitating electrons, Japan-China Scientific Cooperation Program sponsored by JSPS and NSFC - Joint seminar - Study on polar ionosphere-magnetosphere coupling, 2008年8月5日, 国立極地研究所 (東京)

- ⑪ 田中良昌, 一般化オーロラトモグラフィ法の再構成アルゴリズムの比較, 第32回極域宙空圏シンポジウム, 2008年8月4日, 国立極地研究所 (東京)
- ⑫ 田中良昌, Feasibility study on the Generalized Aurora Computed Tomography, Asia Oceania Geosciences Society 2008, 2008年6月18日, 韓国釜山
- ⑬ 田中良昌, 一般化オーロラトモグラフィ逆問題解析手法の可能性, 日本地球惑星科学連合2008年大会, 2008年5月28日, 幕張メッセ国際会議場 (千葉)
- ⑭ 田中良昌, A new technique for reconstruction of auroral precipitating electrons - Generalized Aurora Computed Tomography, International Mini-Symposium on Arctic Upper Atmosphere Research by EISCAT, Other Radars and Optics, 2008年3月25日, 国立極地研究所 (東京)
- ⑮ 田中良昌, 多種データを利用したオーロラ入射電子フラックス再構成, 第3回ジオスペース環境科学研究会, 2008年3月5日, 九州大学
- ⑯ 田中良昌, Numerical simulation for Generalized Aurora Computed Tomography, AGU Fall Meeting, 2007年12月10日, サンフランシスコ
- ⑰ 田中良昌, Reconstruction of electron energy distribution by the Generalized Computed Aurora Tomography, International CAUSES Symposium, 2007年10月25-26日, 京都大学
- ⑱ 田中良昌, 一般化オーロラトモグラフィ法によるオーロラ降下電子エネルギー分布の再構成, 第122回地球電磁気・地球惑星圏学会講演会, 2007年9月29日, 名古屋大学
- ⑲ 田中良昌, 一般化オーロラトモグラフィ法の開発, 第31回極域宙空圏シンポジウム, 2007年7月23日, 国立極地研究所 (東京)
- ⑳ 田中良昌, 2005年10月に観測されたオーロラの三次元構造, 日本地球惑星科学連合2007年大会, 2007年5月19日, 幕張メッセ国際会議場 (千葉)

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

田中 良昌 (Tanaka Yoshimasa)  
国立極地研究所・研究教育系・助教  
研究者番号: 50425766

### (2) 研究分担者

( )

研究者番号：

(3) 連携研究者  
( )

研究者番号：