

機関番号：11301

研究種目：基盤研究(B)

研究期間：2008～2010

課題番号：20340133

研究課題名(和文) 赤外高分散分光観測による木星電離圏プラズマダイナミクスの研究

研究課題名(英文) Jovian ionospheric plasma dynamics based on high-resolution infrared spectroscopic observation

## 研究代表者

坂野井 健 (SAKANOI TAKESHI)

東北大学・大学院理学研究科・准教授

研究者番号：80271857

## 研究成果の概要(和文)：

本研究では、木星極域電離圏ダイナミクスの解明を目的として、木星赤外オーロラ発光の分布とドップラーシフトを測定する高分散分光器の開発を行った。まず観測対象である木星 H3+赤外オーロラの明るさや時空間変動の特徴などを詳細に検討し、発光強度とドップラー速度を観測可能とする装置設計を行った。これにより、エッセル分光素子により波長分解能を数 10000 とする光学設計を実施した。次に、装置製作において、構成要素のうち特に重要な、エッセル分光素子保持機構、スリットビューアならびにスリットユニットを設計、製作した。しかし、最終年度(3年次)に、予算配分を詳細かつ具体的に検討した結果、本研究経費を大きく逸脱することが明らかとなり、抜本的な設計見直しを行った。ただし、変更後の設計でも、木星オーロラの観測は十分な精度で検出可能であることから、科学目的に達成は可能である。これらの設計見直しを実施することに時間を費やしたため、研究期間内には装置の完成に至らなかった。しかしながら、現実的に製造可能な設計に集約することができたため、今後2年以内に機器製造完了が達成できる見通しとなっている。

## 研究成果の概要(英文)：

We performed the development of a high-resolution spectrometer for observing Jupiter's infrared auroral intensity and its Doppler shift in order to clarify the Jupiter's polar ionospheric dynamics. First we carried out detailed discussion on the characteristics of the scientific targets and accordingly, achieved the optical designing to measure Jupiter's aurora. We adopted an Echelle grating for this high-resolution spectrometer. Next we designed and fabricated some important elements of this instrument, such as the Echelle grating holder, the slit viewer and slit unit. However, on the third year in 2010 we discussed the budget allocation in detail, and found considerable shortage of the budget. Therefore, it is necessary to carry out the re-designing of optical system drastically to reduce the cost. Using the instrument with new optical design, we still achieve the scientific subjects of Jupiter's aurora. Mainly due to the re-designing review process, we could not complete the development of instrument during this research period. However, the development will be finished within two years.

## 交付決定額

(金額単位：円)

|        | 直接経費       | 間接経費      | 合計         |
|--------|------------|-----------|------------|
| 2008年度 | 8,400,000  | 2,520,000 | 10,920,000 |
| 2009年度 | 3,500,000  | 1,050,000 | 4,550,000  |
| 2010年度 | 2,200,000  | 660,000   | 2,860,000  |
| 年度     |            |           |            |
| 年度     |            |           |            |
| 総計     | 14,100,000 | 4,230,000 | 18,330,000 |

研究分野：数物系科学

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：地球惑星電離圏

### 1. 研究開始当初の背景

木星磁気圏は、木星自転により駆動される共回転に支配されるため、短時間変動は乏しいと見なされていた。しかし、近年のハッブル望遠鏡や Galileo 探査機の観測から、数時間の変動が報告されており、そのふるまいや生成プロセスが注目されている。この時間変動を捉えるためには、時間的に連続したデータを取得し、その変化量を定量的に測定することが本質的であり、公募による大型装置観測では不十分で、自前の装置が必要である。この装置について、木星赤外オーロラが地上からリモートセンシングが可能なこと、電離圏のイオン運動のドップラー速度を捉えるためには高分散分光が必要で装置が巨大になり衛星搭載に向かないこと、本グループが赤外装置開発に実績があり、ハワイ・ハレアカラ山頂に観測拠点（現状で口径 30cm 望遠鏡、現在口径 1.7 ないし 2m の望遠鏡計画が進められている）が挙げられる。以上の背景から、新たに自前の地上観測用高分散分光装置を開発して、木星オーロラの発光を連続に捉えることができれば、木星電離圏ダイナミクスの解明に顕著な貢献が可能と考えられる。

### 2. 研究の目的

本研究は、木星極域電離圏ダイナミクスの解明を科学目標として、木星赤外オーロラ発光の分布とドップラーシフトを測定する高分散分光器の開発を行うことを目的とする。

### 3. 研究の方法

この研究は、装置設計の前段階として、対象となる木星電離圏の現象、とくに赤外オーロラ発光 (H3+ならびに H2) の発光強度とドップラー速度などの特性を明らかにすることが第一段階である。次に、この特性を観測することが可能な装置の設計を実施することが第二段階である。特に、本研究においては、赤外光学技術であること（真空、低温技術も含む）、また高分散分光技術（エシエル文応素子による）を用いることが特徴である。また、装置の要素の一つであるエシエルグレーティング保持機構には、木星オーロラの微小なドップラー速度を検出するために、露出時間中高精度に安定することが必要である。第三段階は、装置製作となる。装置の筐体となる真空チャンバー、冷却するための熱シールド、ならびに内部の構成要素（光学レンズ、ミラーを含む）を製作し、組み上げる。最終

的に第四段階として、校正光源を用いて装置の性能が検証された後、望遠鏡に取り付けられて、木星の観測に用いられる。

### 4. 研究成果

まず観測対象である木星 H3+赤外オーロラ (3.4  $\mu\text{m}$ 、3.9  $\mu\text{m}$ ) ならびに H2 オーロラ (2  $\mu\text{m}$ ) の明るさや時空間変動の特徴などを詳細に検討し、前者について発光強度とドップラー速度を、後者について発光強度を観測可能とする装置設計を行った。この結果、視野（スリット長）40 秒角、空間分解 0.6 秒角、レイセンオン社 InSb 256 x 256 赤外 2 次元検出器、エシエル分光素子により波長分解能を数 10000 とする光学設計を達成した。図 1 に、ここで設計された光学レイアウト図を示す。

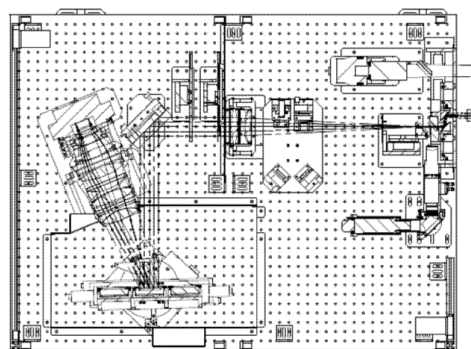


図 1. エシエル分光器光学レイアウト

次に、装置製作において、構成要素のうち特に重要な、エシエル分光素子保持機構、スリットビューアならびにスリットユニットを設計、製作した。

しかし、最終年度（3 年次）に、これまでに行った設計を元に、予算配分を詳細かつ具体的に検討した結果、本研究経費を大きく逸脱することが明らかとなった。そこで、高価なガラスレンズ材料を見直し、ミラーを用いた光学系にするなど、抜本的な設計見直しを行った。この結果、新たに設計された光学計ならびに機構構造系を図 2 に示す。しかしながら、変更後の設計でも、H2 発光強度分布の観測は問題なく可能であり、イオン (H3+) 発光のドップラー速度は十分な精度で検出可能であることから、科学目的に達成は可能である。これらの設計見直しを実施することに時間を費やしたため、研究期間内には装置の完成に至らなかった。しかしながら、現実的に製造可能な設計に集約することができ



T. Ino, S. Okano, Y. Kasaba, M. Hirahara, Y. Kanai, and N. Takeyama (2008), Initial observations of auroras by the multi-spectral auroral camera on board the Reimei satellite, Earth, Planets and Space, 60, 827-835. 査読有

- ⑫ 宇野健, 坂野井健, 笠羽康正, 小鮎格久, 武山芸英, 惑星観測用赤外エシエル分光器開発の現状, 第 10 回惑星研究集會集録, 63-67, 2010. 査読無
- ⑬ 小鮎格久, 坂野井健, 岡野章一, 市川隆, 笠羽康正, 惑星大気観測のための赤外撮像装置電気回路系の開発, 第 10 回惑星圏研究集會集録, 163-166, 2010. 査読無

[学会発表] (計 17 件)

- ① 北見拓也, 笠羽康正, 坂野井健, 埜千尋, 宇野健, 佐藤毅彦, 長期撮像データを用いた木星赤外オーロラの太陽風変動, 第 128 回 SGPSS 総会および講演会, 那覇, 沖縄, Oct. 30 - Nov. 3, 2010.
- ② Sakanoi, T., T. Uno, T. Kitami, Y. Kasaba, S. Okano, N. Takeyama, Development of infrared imager and Echelle spectrograph for ground-based measurement of planetary atmosphere, 5th Alfvén conference, Sapporo, Japan, 4-8 October, 2010.
- ③ Uno, T., T. Sakanoi, M. Kagitani, C. Tao, T. Kitami, Y. Kasaba, Investigations of Jovian thermospheric dynamics by using ground-based spectrometer, 42nd DPS meeting, Pasadena, USA, Oct. 4-8, 2010.
- ④ Sakanoi, T., T. Uno, T. Kobuna, Y. Kasaba, T. Ichikawa, C. Tao, N. Takeyama, T. Kitami, S. Okano, Observation of Jupiter's ionospheric drifts and their response to solar wind variation, 38th COSPAR Scientific Assembly, Bremen, Germany, July 18-25, 2010.
- ⑤ 宇野健, 坂野井健, 笠羽康正, 小鮎格久, 武山芸英, 近赤外高分散分光観測による木星熱圏イオン・中性風研究, 日本地球惑星科学連合 2010 年大会, 幕張メッセ国際会議場, 幕張, 5月 23-28 日, 2010.
- ⑥ 笠羽康正, 中川広務, 村田 功, 坂野井 健, 上野宗孝, 佐藤毅彦, O. Korablev, F. Montmessin, E. Neefs, 高分散赤外分光観測による火星微量組成成分探査, 第 11 回惑星圏研究会, 仙台, 3 月 15-17

日, 2010.

- ⑦ 埜千尋, 藤原 均, 小鮎格久, 宇野 健, 坂野井 健, 笠羽康正, 木星電磁圏結合による大気運動エネルギー引き出しと赤外オーロラ観測, 第 11 回惑星圏研究会, 仙台, 3 月 15-17 日, 2010.
- ⑧ 宇野 健, 笠羽康正, 坂野井 健, 木星熱圏イオン・中性風研究に向けた近赤外エシエル分光器の開発, 第 11 回惑星圏研究会, 仙台, 3 月 15-17 日, 2010.
- ⑨ 宇野健, 坂野井健, 笠羽康正, 小鮎格久, 木星熱圏イオン・中性風観測の速報および近赤外エシエル分光器開発の現状, 第 24 回大気圏シンポジウム, JAXA/ISAS, 2 月 18-19 日, 2010.
- ⑩ 宇野健, 坂野井健, 笠羽康正, 小鮎格久, 武山芸英, 木星電離圏イオン・中性風観測に向けた高分散赤外エシエル分光器の開発, 第 126 回 SGPSS 総会および講演会, 金沢, 金沢大学, 9 月 27-30 日, 2009.
- ⑪ 小鮎格久, 坂野井健, 岡野章一, 笠羽康正, 大月祥子, 埜千尋, 宇野健, 木星赤外オーロラ高分散分光観測による木星電離圏イオンドリフトについて, 第 126 回 SGPSS 総会および講演会, 金沢, 金沢大学, 9 月 27-30 日, 2009.
- ⑫ 宇野健, 坂野井健, 笠羽康正, 小鮎格久, 武山芸英, 惑星観測用赤外エシエル分光器開発の現状, 日本地球惑星科学連合 2009 年大会, 幕張, 幕張メッセ国際会議場, 5 月 16-21 日, 2009.
- ⑬ 坂野井健, 小鮎格久, 市川隆, 岡野章一, 笠羽康正, 惑星大気観測用 1-5  $\mu$ m 赤外カメラのエレクトロニクス開発, 日本地球惑星科学連合 2009 年大会, 幕張, 幕張メッセ国際会議場, 5 月 16-21 日, 2009.
- ⑭ 坂野井健, 小鮎格久, 岡野章一, 笠羽康正, 佐藤毅彦, 木星赤外オーロラ高分散分光観測による木星電離圏プラズマ運動, 第 23 回大気圏シンポジウム, ISAS/JAXA, 2 月 26-27 日, 2009.
- ⑮ 宇野健, 坂野井健, 笠羽康正, 小鮎格久, 惑星観測用赤外エシエル分光器開発の現状, 第 23 回大気圏シンポジウム, ISAS/JAXA, 2 月 26-27 日, 2009.
- ⑯ 宇野 健, 坂野井 健, 笠羽 康正, 小鮎格久, 武山 芸英, 赤外エシエル分光器の開発計画, 第 124 回 SGPSS 総会および講演会, 仙台, 10 月 9-12 日, 2008.
- ⑰ 小鮎格久, 坂野井健, 岡野章一, 市川隆, 笠羽康正, 惑星大気観測のための赤外撮像装置デジタル回路系の開発, 日本地球惑星科学連合 2008 年大会, 幕張, 幕張メッセ国際会議場, 5 月 25-30 日, 2008.

〔図書〕(計1件)

Takahashi, Y., K. Yoshida, Y. Sakamoto, T. Sakanoi (2010), Sprite-sat: a University small satellite for observation of high-altitude luminous events (2010), Small satellite mission for Earth observation: New developments and trends, ed. by R. Sandau et al., Springer, p197-206, ISBN-10 3642035000.

〔その他〕

ホームページ等

<http://pparc.gp.tohoku.ac.jp/~tsakanoi>

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

坂野井 健 (SAKANOI TAKESHI)

東北大学・大学院理学研究科・准教授

研究者番号：80271857

### (2) 研究分担者

笠羽 康正 (KASABA YASUMASA)

東北大学・大学院理学研究科・教授

研究者番号：10295529

岡野 章一 (OKANO SHOICHI)

東北大学・大学院理学研究科・教授

研究者番号：10004483

鍵谷 将人 (KAGITANI MASATO)

東北大学・大学院理学研究科・特別教育研究教員

研究者番号：30436076

土屋 史紀 (TSUCHIYA FUMINORI)

東北大学・大学院理学研究科・助教

研究者番号：10302077

### (3) 連携研究者