

中間赤外線高分散分光観測装置 GIGMICS のファーストライト観測

(名古屋大学^a, 国立天文台野辺山^b, 広島大学宇宙科学センター^c, 岡山大学^d)

○平原靖大^a・青木慶伸^a・太田香菜子^a・柴田将^a・平尾強司^a・豊谷仁男^{a,b}・海老塚昇^a・
吉田道利^c・川端弘治^c・植村誠^c・大杉節^c・川口建太郎^d・藤森隆彰^d・大岩宏紀^d・永廣久幸^d

First-Light Observation of High dispersion Germanium Immersion Grating Mid-Infrared Cryogenic Spectrograph (GIGMICS)

(Nagoya Univ.^a, Nobeyama Radio Observatory^b, Hiroshima Univ.^c, Okayama Univ.^d)

Yasuhiro Hirahara^a: yasu@nagoya-u.jp

Keishin Aoki^a, Kanako Ota^a, Sho Shibata^a, Tsuyoshi Hirao^a, Yoshio Tatamitani^{a,b},
Noboru Ebizuka^a, Michitoshi Yoshida^c, Koji Kawabata^c, Makoto Uemura^c,
Takashi Oosugi^c, Kentarou Kawaguchi^d, Ryuji Fujimori^d, Hiroki Ohiwa^d and Hisayuki Nagahiro^d

We have developed a germanium immersion grating mid-infrared cryogenic spectrograph (GIGMICS) designed for the Nasmyth focus stage of NAOJ Subaru 8.2-m telescope, which operates at N-band (8-13 μm) in wavelength (λ) with maximum resolving power $R (\equiv \lambda/\Delta\lambda) \sim 50,000$. A single crystal germanium echelle immersion grating (30 \times 30 \times 72 mm) for collimated beam size of 28 mm ϕ was fabricated by utilizing ultra precision micro-grinding method coupled with the ELID (ELECTROLYTIC In-process Dressing) technique. From January to April, 2011 we carried out the “first light” astronomical observation of GIGMICS by the Kanata 1.5-m telescope at Higashi-Hiroshima Observatory. Toward many astronomical objects such as the Moon, Venus, Jupiter, circumstellar envelopes of late-type stars, proto-planetary nebulae, and interstellar molecular clouds in the vicinity of star-forming regions, we conducted spectroscopic observations in the N-band region.

【はじめに】我々が開発した GIGMICS (Germanium Immersion Grating Mid-Infrared Cryogenic Spectrograph)は、国立天文台ハワイ観測所すばる望遠鏡の赤外線ナスミス焦点台に設置可能な、赤外線領域の”大気の窓”である N-band(波長 8< λ <13 μm)全域を観測域とする冷却エシエル分光器である。ELID 研削加工法^[1]によって世界で初めて開発に成功した Ge イメージンググレーティング^[2]を用いた分光器を設計・製作し、波長分解能($R \sim \lambda/\Delta\lambda$)= 50,000 を実現した^[3,4]。図 1 に GIGMICS の全光学系の配置図を示す。波動光学に基づく分散型分光器の基本式は、入射角を α 、回折角を β として以下の式で表される。

$$m\lambda = nd(\sin \alpha + \sin \beta) \quad (1)$$

ここで、 m は回折次数、 λ は波長である。通常の反射型グレーティングとは異なり、分散角は格子定数 $d(\mu\text{m})$ 及びイメージンググレーティングの屈折率 n の積となる。赤外線領域において透過率の高い光学材料の中で、Ge は最も高い屈折率($n \sim 4$)を示し、分光光学系のサイズを 800mm ϕ 程度に小さくでき、2 台の GM 冷凍機によって光学系全体を 30K 程度まで冷却可能となった。また、GIGMICS ではエシエル分光光学系を採用し、赤外線検出器には 5K 冷却下で動作する Si:As Blocked Impurity Band 型 2 次元アレイ検出器(412 \times 512pixels)を用いた。これにより、イメージンググレーティングの高次分散光 (340< m <535) を、冷却下で連続回転が可能でクロスディスペルザーによって直交方向に次数分離したのち、カメラレンズを用いて検出器上に結像させ、一度に約 0.8 μm の波長範囲に対応するエシエログラムを取得できる。

【観測】2010年末から2011年4月中旬にかけて、広島大学宇宙科学センター附属・東広島天文台にかなた 1.5m 光学赤外線望遠鏡において、GIGMICS のファーストライト観測を惑星⁵⁾、星形成領域、星周辺大気⁶⁾など、様々な天体に対して行った。本発表では N-band 全域での GIGMICS の動作検証と性能評価の一環として行った、月を背景光源(温度 320~370K)とした夜間の地球大気の観測と解析結果について報告する。

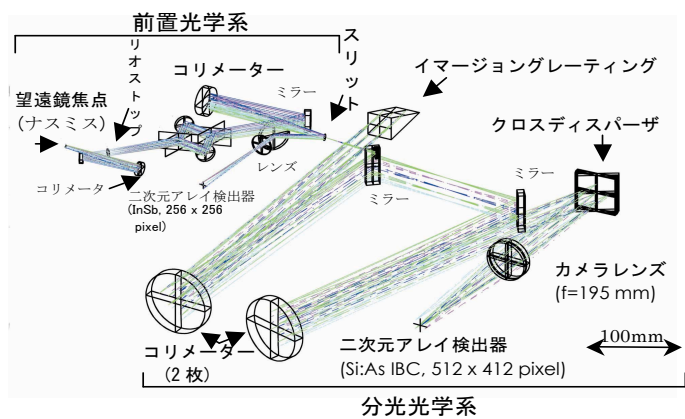


図 1. GIGMICS の光学

2011年4月9,10,11,13,14,16日において、クロスディスペルザを順次回転させることにより、中心波長の異なる計 8 種のエシェログラムを ON/OFF 法を用いて取得した。ON 点の積分時間は約 50 秒で充分であった。

【結果と考察】吸収スペクトルの帰属は、HITRAN(地球大気スペクトルデータベース)とエシェログラムを比較しながら進めた。その結果、N-band において CO₂ 167 本、H₂O 107 本、O₃ 78 本、N₂O 25 本、計 377 本の振動回転遷移を帰属した。全エシェログラムを図 2 に示す。縦方向、横方向がそれぞれイマージングレーティング、およびクロスディスペルザの分散方向に対応する。

吸収スペクトルのエシェログラム上での”スポット位置”は式(1)、及びカメラ光学系の倍率と検出器のピクセルサイズ(0.03mm²)で決定される。そこで、帰属されたすべての吸収スペクトルの波長と位置から、非線形最小二乗法を用いて分光器の諸パラメーターの導出を行った。その結果、観測条件(温度 35K)における単結晶 Ge の屈折率 $n=3.9359(6)$ 、及びその波長依存性 $dn/d\lambda=0.007440(3)$ 、 $\alpha=68.0110(4)^\circ$ (設計:68.75°)、 $d=599.9963(5)\mu\text{m}$ (Ge 溝加工ピッチ 600 μm)を得た (括弧内は 1 σ)。フィッティングの標準偏差は 3.96pixel であった。これは目視によるエシェログラム画像上の吸収スペクトルの中心位置の検出誤差を反映しているが、スペクトル線の帰属には十分な精度である。今回の GIGMICS のファーストライト観測において、以前の実験室での光学調整による最適化条件での動作が確認された。

【文献】 [1] Ohmori, Int. J. Jpn. Soc. Prec. Eng. 26, 273 (1992). [2] Ebizuka *et al.*, Proc. SPIE 4842, 293 (2003). [3] 平尾 他, 第 9 回分子分光研究会講演 (2009). [4] Hirahara *et al.*, Proc. SPIE 7735, 77351B (2010). [5] 柴田 他, および [6] 青木 他, 第 12 回分子分光研究会講演 (2011).

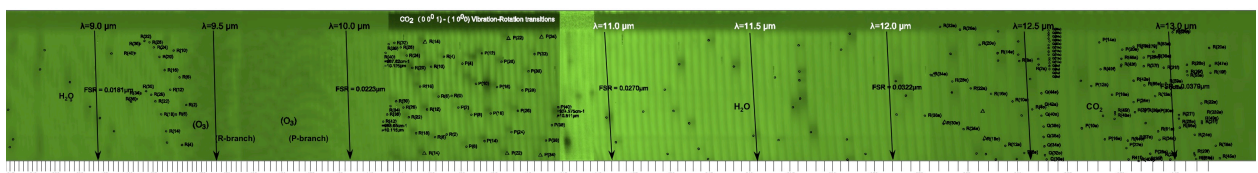


図 2. かなた 1.5m 望遠鏡でのファーストライト観測(2011年3-4月)で得られた N-band ほぼ全域(波長 8~13 μm)のエシェログラム(412 \times 4260pixels)。月を背景とした地球大気中の N₂O,H₂O,O₃,CO₂ の振動回転遷移による吸収(黒いスポット)が見られる。波長分解能 \sim 20,000, イマージングレーティングの回折次数範囲は 340<m<535、Free Spectral Range は 10 μm において 0.0223 μm である。