

## 1.6m 級光学反射望遠鏡を用いた「あかつき」との金星同時観測

福原哲哉 高橋幸弘 佐藤光輝 渡部重十 渡辺誠 佐藤創我  
北海道大学 大学院理学研究院

### 1. はじめに

北海道大学は、札幌の北東約 250km に位置する名寄市に建設された天文台（図 1）に設置する光学反射望遠鏡の開発を進めている。我々はこの望遠鏡を用いて 2010 年 5 月に打上げが迫っている金星探査機あかつきとの同時観測を行う予定である。あかつきには紫外カメラ、 $1\mu\text{m}$  カメラ、 $2\mu\text{m}$  カメラ、および中間赤外カメラ（ $10\mu\text{m}$ ）が搭載され、金星の赤道面に近い長楕円の周回軌道から二時間おきに金星大気の撮像を行ってローカルタイムと空間分解能が異なる画像を得る。また、可視光を高時間分解能で捉える雷・大気光カメラを搭載して金星の大気発光現象を観測する[1]。我々はあかつき搭載カメラと同じ波長を捉える観測機器を名寄の望遠鏡に整備し、ローカルタイムがほぼ一定で、空間分解能 $\sim 200\text{ km/pixel}$ （最大離角時）の金星の全球規模の様相を捉えることを目指す。地上と探査機の同時観測は相補的な役割を果たし、十数 km~数千 km の幅広い空間分布を捉える観測データを得ると期待される。



図 1 天文台設置場所と概観

### 2. 北海道大学大学院附属天文台

北海道大学と名寄市は天文台の設立を連携事業として推進している。2010 年 3 月末現在、名寄市が担当する天文台の建設が概ね完了した。北海道大学は惑星観測を中心とした運用を念頭に望遠鏡の開発を行っており、2010 年 12 月からはあかつきとの金星同時観測を開始する予定である。天文台は東経  $142^{\circ} 28'$ 、北緯  $44^{\circ} 22'$ 、標高 0.129 km に位置する。天文台の標高は低いですが、表 1 に示すように冬期の平均気温は  $-7.9$  まで達して大気中の水蒸気量が抑えられているため、良好なシーイングが期待されている。2010 年 1 月に行ったシーイング調査では $\sim 1.7$  秒角程度、最良で 1.3 秒角という結果を得た。

図 2 に望遠鏡の概観を示す。主鏡の直径は 1.6 m で、カセグレン焦点  $\times 1$ 、ナスミス焦点  $\times 2$  (A、B) を備えている。副鏡はカセグレン焦点とナスミス焦点に共用であり、それぞれの焦点に設置された観測機器による同時観測が可能である。また、ナスミス A には一般観望用の眼視が備えられている。

表 1 名寄市の気象条件

| 月          | 平均気温( ) | 降水量 (mm) | シーイング(秒角) |
|------------|---------|----------|-----------|
| 1, 2, 3    | -7.8    | 50.0     | ~1.7      |
| 4, 5, 6    | +9.6    | 53.7     | 要調査       |
| 7, 8, 9    | +17.9   | 117.4    | 要調査       |
| 10, 11, 12 | +1.2    | 103.9    | 要調査       |

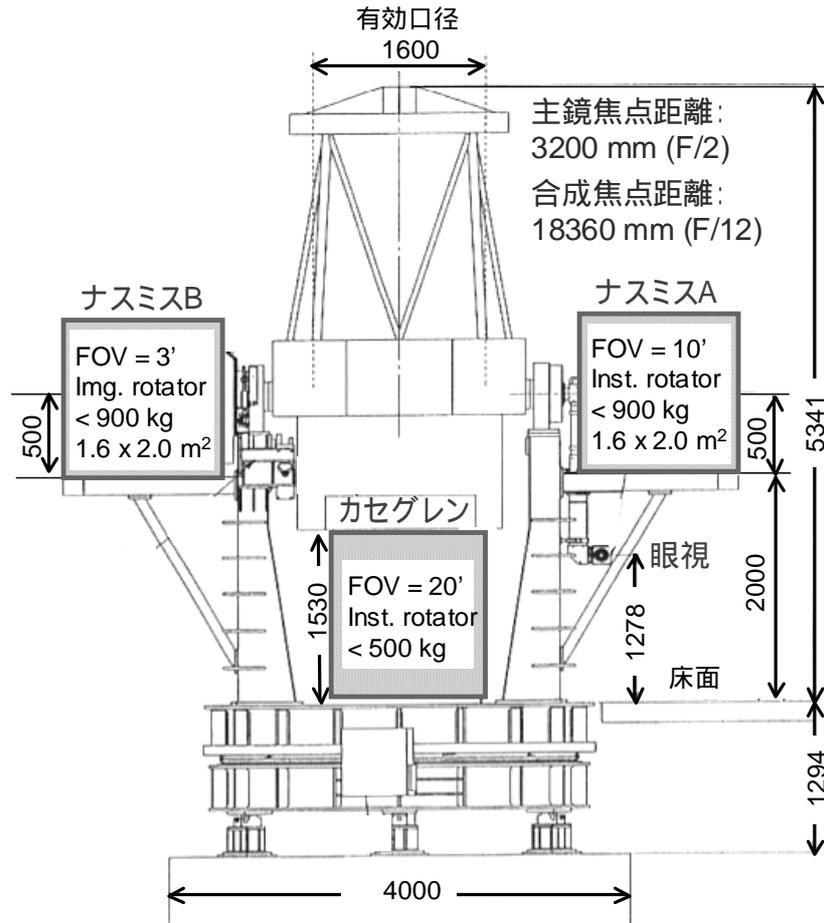


図 2 望遠鏡概観

#### 4. 観測機器と観測対象

図 3 にあかつきの軌道計画を示す。あかつきは 2010 年末に金星軌道に投入された後、地球年で 2 年間の観測を行う。金星の赤道面に近い長楕円の周回軌道からノミナルで二時間ごとの観測を行い、軌道上の観測から空間分解能が数十~百 km の画像を得る[1]。我々は、望遠鏡にあかつき搭載機器と同等の波長域を捉える観測機器を設置する予定である。あかつきがイメージャにより周回軌道上から高分解能で大気の運動を観測するのに対し、名寄からは分光観測を主体とした組成の空間分布とその変動を得る計画である。探査機と地上の観測をあわせることで数十~数千 km 規模の幅広い空間分布を得ることができる。一方で、分光組成データを軌道上から得る欧州の金星探査機 Venus Express (VEX) [2]とあかつきによる同時観測も計画されている。この観測に地上観測も加わることにより、多面的な解析が可能となる。

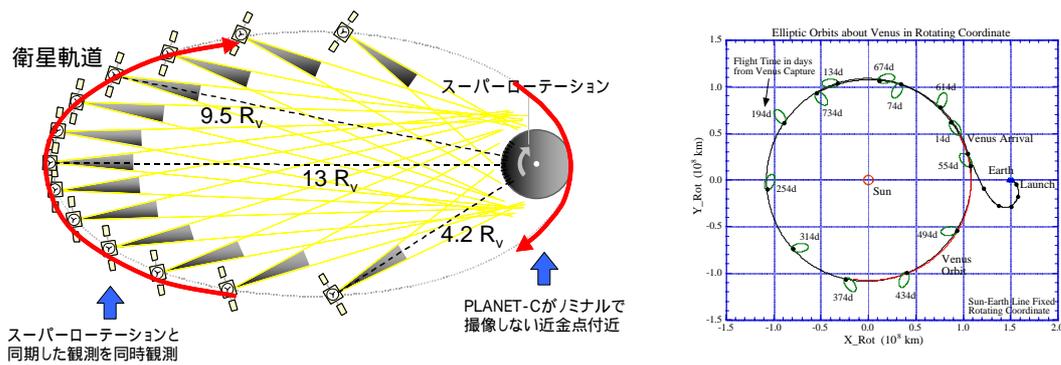


図 3 あかつきの軌道計画

名寄望遠鏡観測機器(案)

|       |  |
|-------|--|
| カセグレン | <b>エシエル分光器「NICE」</b> (東京大学): 0.9-2.5 $\mu\text{m}$ , R~3,000<br>2.2 $\mu\text{m}$ 帯 (高度50km付近のCO)<br>・COは赤道から極域に運ばれ下降・濃集している?<br>1.7 $\mu\text{m}$ 帯 (高度15-30kmのHCl)<br>・ClはCO + O解離の触媒?<br>・ClはFeCl <sub>3</sub> という形で雲の凝結核として存在する?<br>0.9 $\mu\text{m}$ 帯: 地表~雲の下の水蒸気<br>・雲中で濃硫酸水溶液として存在するH <sub>2</sub> Oの分布や変動 |
|       | <b>EM-CCD</b> (北海道大学): 365nm-1.0 $\mu\text{m}$<br>・UVIと共に未確認吸収物質を観測<br>・LACと共に大気発光現象を観測  |
| ナスミスA | <b>フーリエ分光計「FT-IR」</b> (東北大学): 8-12 $\mu\text{m}$ , 0.5 $\text{cm}^{-1}$<br>10 $\mu\text{m}$ 帯 (50-80kmの雲頂・CO <sub>2</sub> 大気温度)<br>・雲中から雲頂より上のCO <sub>2</sub> の温度分布を観測<br>・電波観測との同時観測により相互評価が可能か<br>・LIRデータにおける大気と雲頂温度の分離を目指す。   |
| ナスミスB | <b>エシエル分光器</b> (東北大学): 1-4 $\mu\text{m}$ , R~70,000<br>2011年以降設置予定   |

あかつき搭載カメラ

|  |
|--|
| IR1: 0.90, 0.97, 1.01 $\mu\text{m}$<br>地表面、雲、水蒸気               |
| IR2: 1.65, 1.74, 2.02, 2.26, 2.32 $\mu\text{m}$<br>雲、粒径分布、COなど |
| UVI: 283, 365 nm<br>SO <sub>2</sub> 、未知吸収物質                    |
| LIR: 8-12 $\mu\text{m}$<br>雲頂温度                                |
| LAC: 480-605, 545, 777 nm<br>雷放電発光、O <sub>2</sub> 大気光          |
| USO: 電波科学<br>大気温度の高度プロファイル                                     |

図 4 名寄とあかつきの観測機器対応

図 3 に名寄望遠鏡とあかつきに搭載する観測機器の一覧を示す。望遠鏡のカセグレン焦点には近赤外域 (1-2  $\mu\text{m}$ ) を捉えるエシエル分光器「NICE」を設置する。これはあかつきの 1  $\mu\text{m}$ カメラ、2  $\mu\text{m}$ カメラに対応し、例えば 2.2 $\mu\text{m}$ 帯の観測から高度 50 km付近のCO、1.7 $\mu\text{m}$ 帯の観測から高度 15-30 kmのHCl、0.9  $\mu\text{m}$ 帯の観測から地表~雲の下の水蒸気を捉える。カセグレンにはあかつきのLACに対応するEM - CCDカメラも設置される。このカメラで可視域を高速分光撮像することにより、雷・大気発光現象の観測を試みる。ナスミスAにはあかつきのLIRに対応する 10  $\mu\text{m}$ 帯を観測するフーリエ分光計「FT-IR」を設置する。これは 50-80 kmの雲中から雲頂より上のCO<sub>2</sub>の温度分布を捉え、LIRの単体画像のみからは不可能な雲頂高度と水平方向の大気温度差を分離を試みる。ナスミスBには 2011 年春以降、1-4  $\mu\text{m}$ を捉えるエシエル分光器が設置される予定である。

5. 観測スケジュール(案)

図 5 に名寄における観測スケジュール(案)を示す。2010 年 12 月から約 1 ヶ月の間は探査機と地上の同時観測には絶好の機会である。この時期は内合直後であるため地球とあかつきとの通信レートが良く、最も多くの観測データを転送できる。一方、地上観測からはあかつきが得る楕円軌道の遠金点方向と同方向からの観測データが得られ、直接比較できる。次期の観測好機は 2012 年 6 月となっている。

| Year | Month | Week | Navoro Observation plan |           |            | Instruments |           |               | Venus status  |                    |                  | AKATSUKI                         |  |
|------|-------|------|-------------------------|-----------|------------|-------------|-----------|---------------|---------------|--------------------|------------------|----------------------------------|--|
|      |       |      | 16:00-2400              | 0:00-8:00 | 8:00-16:00 | Nasmyth A   | Nasmyth B | Cassegrain    | EL>5deg (JST) | Ang. Dim. (arcsec) | S-O-T angl (deg) | mission status                   |  |
| 2010 | 10    | 1    |                         |           |            |             |           |               | 9:30-17:10    | 44.5               | 35.0             | Cruise towards Venus             |  |
|      |       | 2    |                         |           |            |             |           | 9:20-16:50    | 49.4          | 29.7               |                  |                                  |  |
|      |       | 3    |                         |           |            |             |           | 8:00-15:40    | 55.1          | 22.7               |                  |                                  |  |
|      |       | 4    |                         |           |            |             |           | 6:50-15:10    | 59.3          | 14.0               |                  |                                  |  |
|      | 11    | 1    |                         |           |            |             |           |               | 6:30-14:50    | 61.2               | 7.2              |                                  |  |
|      |       | 2    |                         |           |            |             |           |               | 5:50-14:40    | 59.1               | 15.8             |                                  |  |
|      |       | 3    |                         |           |            |             |           |               | 5:10-14:10    | 54.3               | 24.5             |                                  |  |
|      |       | 4    |                         |           |            |             |           |               | 4:40-13:50    | 49.2               | 31.6             |                                  |  |
|      | 12    | 1    |                         | Venus     |            | FT-IR       |           |               | 4:00-13:30    | 41.6               | 38.9             | ΔV, Obs phase<br>32k bps (12Dec) |  |
|      |       | 2    |                         |           |            |             |           |               | 3:50-13:20    | 38.1               | 41.5             |                                  |  |
|      |       | 3    |                         |           |            |             |           |               | 3:50-13:10    | 34.4               | 44.0             |                                  |  |
|      |       | 4    |                         |           |            |             |           |               | 3:50-12:50    | 30.9               | 45.7             |                                  |  |
| 2011 | 1     | 1    |                         | Venus     |            | FT-IR       |           |               | 3:50-12:40    | 26.8               | 46.7             | 16k bps (7Jan)                   |  |
|      |       | 2    |                         |           |            |             |           | 4:00-12:40    | 24.9          | 46.9               |                  |                                  |  |
|      |       | 3    |                         |           |            |             |           | 4:10-12:30    | 23.0          | 46.8               |                  |                                  |  |
|      |       | 4    |                         |           |            |             |           | 4:20-12:30    | 21.5          | 46.4               |                  |                                  |  |
|      | 2     | 1    |                         |           |            |             |           |               | 4:40-12:30    | 19.5               | 45.4             | 8k bps (20Feb)                   |  |
|      |       | 2    |                         |           |            |             |           |               | 4:40-12:30    | 18.5               | 44.6             |                                  |  |
|      |       | 3    |                         |           |            |             |           |               | 4:50-12:40    | 17.5               | 43.5             |                                  |  |
|      |       | 4    |                         |           |            |             |           |               | 4:50-12:50    | 16.6               | 42.5             |                                  |  |
|      | 3     | 1    |                         |           |            |             |           |               | 5:00-13:00    | 15.7               | 41.0             |                                  |  |
|      |       | 2    |                         |           |            |             |           |               | 5:00-13:10    | 15.1               | 40.0             |                                  |  |
|      |       | 3    |                         |           |            |             |           |               | 4:50-13:30    | 14.5               | 38.7             |                                  |  |
|      |       | 4    |                         |           |            |             |           |               | 4:50-13:40    | 13.9               | 37.5             |                                  |  |
|      | 4     | 1    |                         |           |            |             |           |               | 4:40-14:10    | 13.1               | 35.1             |                                  |  |
|      |       | 2    |                         |           |            |             |           |               | 4:30-14:30    | 12.8               | 33.7             |                                  |  |
|      |       | 3    |                         |           |            |             |           |               | 4:20-14:40    | 12.4               | 32.1             |                                  |  |
|      |       | 4    |                         |           |            |             |           |               | 4:10-15:00    | 12.0               | 30.6             |                                  |  |
|      | 5     | 1    |                         |           |            |             |           | 4:00-15:20    | 11.6          | 28.4               | 4k bps (6May)    |                                  |  |
|      | 2012  | 1    | 1                       |           |            |             | FT-IR     | Echelle       | NICE & EM-CCD | 9:50-18:10         | 12.9             | 33.9                             |  |
|      |       |      | 2                       |           |            |             |           |               |               | 9:40-18:20         | 13.3             | 35.2                             |  |
|      |       |      | 3                       |           |            |             |           |               |               | 9:40-18:40         | 13.7             | 36.7                             |  |
| 4    |       |      |                         |           |            |             |           |               | 9:20-19:00    | 14.2               | 38.0             |                                  |  |
| 2    |       | 1    | Venus                   |           |            |             |           |               | 9:10-19:30    | 15.0               | 40.0             | 8k bps (23Feb)                   |  |
|      |       | 2    |                         |           |            |             |           |               | 9:00-19:40    | 15.6               | 41.1             |                                  |  |
|      |       | 3    |                         |           |            |             |           |               | 8:40-20:00    | 16.4               | 42.1             |                                  |  |
|      |       | 4    |                         |           |            |             |           |               | 8:30-20:20    | 17.2               | 43.1             |                                  |  |
| 3    |       | 1    |                         |           |            |             |           |               | 8:20-20:40    | 18.5               | 44.3             |                                  |  |
|      |       | 2    |                         |           |            |             |           |               | 8:00-20:50    | 19.3               | 44.9             |                                  |  |
|      |       | 3    |                         |           |            |             |           |               | 7:50-21:00    | 20.7               | 45.5             |                                  |  |
|      |       | 4    |                         |           |            |             |           |               | 7:40-21:10    | 22.1               | 45.9             |                                  |  |
| 4    |       | 1    |                         |           |            |             |           |               | 7:30-21:30    | 25.0               | 45.9             | 16k bps (8Apr)                   |  |
|      |       | 2    |                         |           |            |             |           |               | 7:20-21:40    | 26.9               | 45.5             |                                  |  |
|      |       | 3    |                         |           |            |             |           |               | 7:10-21:40    | 29.3               | 44.5             |                                  |  |
|      |       | 4    |                         |           |            |             |           |               | 7:00-21:40    | 32.6               | 42.9             |                                  |  |
| 5    |       | 1    |                         |           |            |             |           |               | 6:50-21:30    | 38.0               | 39.0             |                                  |  |
|      |       | 2    |                         |           |            |             |           |               | 6:30-21:20    | 41.8               | 35.7             |                                  |  |
|      |       | 3    |                         |           |            |             |           |               | 6:10-21:00    | 47.2               | 30.0             |                                  |  |
|      |       | 4    |                         |           |            |             |           |               | 5:50-20:20    | 51.7               | 22.2             |                                  |  |
| 6    | 1     |      |                         |           |            |             |           | 5:00-19:10    | 57.2          | 7.9                | 32k bps (10Jun)  |                                  |  |
|      | 2     |      |                         |           |            |             |           | 4:20-18:20    | 57.7          | 2.4                |                  |                                  |  |
|      | 3     |      |                         |           |            |             |           | 3:50-17:30    | 55.6          | 13.8               |                  |                                  |  |
|      | 4     |      |                         |           |            |             |           | 3:20-16:40    | 51.3          | 22.5               |                  |                                  |  |
| 2012 | 7     | 1    |                         | Venus     |            | FT-IR       | Echelle   | NICE & EM-CCD | 2:40-16:00    | 43.7               | 32.8             |                                  |  |
|      |       | 2    |                         |           |            |             |           |               | 2:20-15:40    | 40.1               | 36.8             |                                  |  |
|      |       | 3    |                         |           |            |             |           |               | 2:10-15:20    | 35.8               | 40.3             |                                  |  |
|      |       | 4    |                         |           |            |             |           |               | 2:00-15:20    | 32.1               | 42.9             |                                  |  |
| 8    | 1     |      |                         |           |            |             |           | 1:40-15:10    | 27.8          | 44.9               | 16k bps (11Aug)  |                                  |  |
|      | 2     |      |                         |           |            |             |           | 1:40-15:10    | 25.8          | 45.5               |                  |                                  |  |
|      | 3     |      |                         |           |            |             |           | 1:40-15:10    | 23.7          | 45.8               |                  |                                  |  |
|      | 4     |      |                         |           |            |             |           | 1:40-15:10    | 22.0          | 45.6               |                  |                                  |  |
| 9    | 1     |      |                         |           |            |             |           | 1:40-15:10    | 19.8          | 44.9               |                  |                                  |  |
|      | 2     |      |                         |           |            |             |           | 1:50-15:10    | 18.7          | 44.3               |                  |                                  |  |
|      | 3     |      |                         |           |            |             |           | 2:00-15:10    | 17.7          | 43.4               |                  |                                  |  |
|      | 4     |      |                         |           |            |             |           | 2:10-15:10    | 16.8          | 42.4               |                  |                                  |  |
| 10   | 1     |      |                         |           |            |             |           | 2:30-15:10    | 15.6          | 40.7               | 8k bps (23Sep)   |                                  |  |
|      | 2     |      |                         |           |            |             |           | 2:40-15:00    | 15.1          | 39.6               |                  |                                  |  |

図 5 名寄望遠鏡観測スケジュール(案)

参考文献

- [1] Nakamura et al., Planetary and Space Science, Vol. 55, 1831-1842, 2007.
- [2] Titov et al., Planetary and Space Science, Vol. 54, 1279-1297, 2006.