

一番星へ行こう！ 日本の金星探査機の挑戦 その6

～ 1 μ mカメラIR1の光学テスト ～

岩上 直幹¹, 大月祥子²

(要旨) プラネットC搭載予定の1 μ mカメラIR1試作機を対象に、積分球によるフラットデータの取得および、ソーラーシミュレータを用いての迷光・ゴースト測定を試みた。

1. IR1の目的

金星探査機プラネットCはその主目的「金星大気超回転メカニズムの解明」達成のため、5台のカメラと電波遮蔽用発振器を搭載する[1]。各カメラは異なる波長で撮像を行うことにより、それぞれに異なる高度・対象を担当する。電波遮蔽は周縁測定により高精度高度情報を加え、天底観測を主とするカメラからの情報と相補する。1 μ mカメラIR1は、焦点距離84mmF8のレンズ系、3波長4枚のバンドパスフィルタおよびSi-CCD-CSD検出素子からなる。図1に外観を示す(遮光パッフルはついていない)。右手前が6位置のフィルタホイールを収めたケース、左手奥が検出部、両者の間にレンズ系が収められている。図2にフィルタ特性を示す。これらは透過率の測定値に想定測定条件(7度斜入射・12度全角コーン)を加味して合成した。昼面用フィルタ(0.90D)は夜面に比べ3桁半明るい昼面に対処するため減光フィルタを兼ねており、中心透過率は0.3%に設定してある。7度傾けた設置は、(もし傾けないと)並行平面となるフィルタと検出素子間の反射による有害な結像(ゴースト)の発生を抑えることを目的としている。

昼面観測では0.90 μ mで雲からの太陽散乱光を測定し、雲の動きから雲層高度での風速をはじめとする種々の気象力学パラメタの導出を行う。ガリレオ木星探査機の金星フライバイ時におけるUVと1 μ m域での測定から示されたように[2]、1 μ m域での散乱光測定から得られる風速はUVからのそれよりは小さい。こ

れはUVで見ている高度(雲頂:65km?)よりやや低い(雲全体:55km?)ところを1 μ m域では見ているためと解釈されている。このようにして、異なる波長での測定を比較することにより超回転風場の加速域をイメージすることができる。

0.90 μ m, 0.97 μ m, 1.01 μ mでの夜面観測では主に地表からの熱放射を雲を通して測定する。0.97 μ mと1.01 μ mは地表付近の水蒸気を狙った差分分光ペアで、2 μ m域で得られるCO分布を合わせて、大気組成と雲物質・地表物質との相互作用を探る。水蒸気の0.94 μ m帯からずらしてあるのは、帯中心では吸収が強すぎ、かえって感度が低下することによる。0.90 μ mと1.01 μ mのペアはヘマタイトなど含鉄鉱物を狙っている。雲を通して見るため、地表上の点光源も100km大にボケるが[3]、活火山の検出も対象のひとつに揭げている。

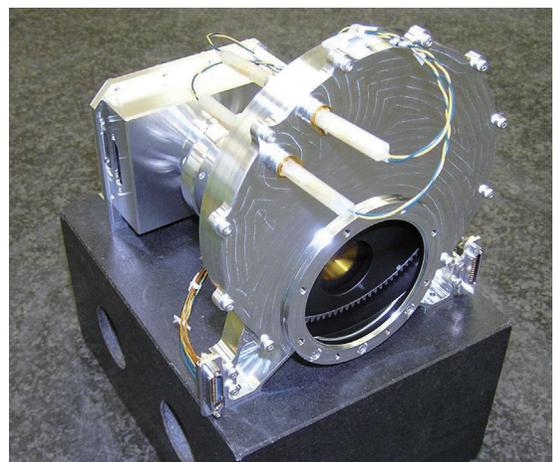


図1: 対物側から見たIR1外観(遮光パッフル除く)

1. 東京大学

2. 宇宙航空研究開発機構

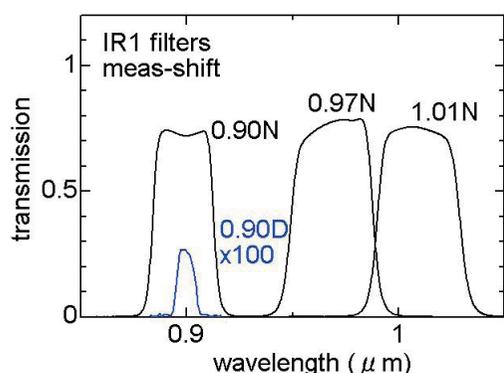


図2: フィルタ特性

2. フラット測定・感度チェック

IR1は拡散板を内蔵しており、飛翔後も金星昼面を光源として、視野内の角度スケールが1度以下の高周波成分に関してはフラットデータを取得することができるが、視野全角12度の全域にわたるような低周波成分に関しては飛翔前に確認しておく必要があり、今回は試作機を使ってのリハーサルというのが主題だった。また、輝度の知れた光源を見るので、感度設定が想定どおりかどうかもチェックした。

測定は9月16・17日、つくば宇宙センター・EORC(地球観測研究センター)の1mおよび30cm積分球を用いて行った。カメラ三脚上にIR1試作機を載せ、積分球外壁から50cmの所から内奥壁を覗き、レンズ系主点を中心にIR1が尻を振る形でデータを取得した。図3は暗室中で積分球内部を覗きこむIR1背面を示している。1m積分球の場合は、内奥壁中央部の約30cm x 30cmの領域(1.5mの距離からは約11度 x 11度に対応)の輝度分布が定義されており、視野12度 x 12度のIR1の場合は、一度の測定でも端を除きほぼ目的を達成できるが、定義された輝度分布周縁部にも3%程度の凸凹が存在するため、凸凹の少ない中央部を使うべく上下左右に3度ずつずらした四隅でも測定を行い、後で合成することも試みた。昼面輝度の予想コントラストも3%程度と小さいが、これには周回中に取得できるであろう高周波成分での精度で対応できればよい。夜面のコントラストは10%以上が期待されるので、昼面用の測定がそのまま使える。

昼面感度設定に関しては、想定60%にあたる0.03 ($w/cm^2/str/\mu m$)の入力に対し、実出力は3秒露光

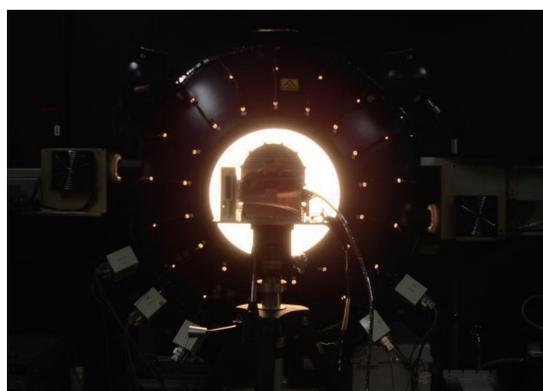


図3: 積分球を覗くIR1カメラ

で84000(電子/pix)と想定出力の50%だった。つまり、ほぼ想定どおり。これに対し、飽和レベルは50万(電子/pix)程度と十分な余裕があった。熱雑音は25℃において3秒露光で28000(電子/pix)と当初予想より大きいですが、これはペルチエ冷却により一桁軽減できる。0.90 μ m夜面に関しては想定10倍にあたる15($\mu w/cm^2/str/\mu m$)の入力に対し、実出力は3秒露光で想定8倍の29万(電子/pix)だった。熱雑音が大きいのが気になるが、感度設定に関しては上出来と言える。なお、1.01 μ m夜面の場合は0.90 μ m夜面に比べ5倍の予想入力がある。

3. 迷光・ゴースト測定

作業は2種あり、第一は視野外からの入射に対するレンズ系の遮光能力を定量することにあつた。これは、レンズ系の前段に置く遮光バツフルの設計に際し、レンズ系が視野外からの入射を1/100以下に減光することが仮定されているにもかかわらず、これまで確認していなかったことによる。ただし、これまでの経験からは、この条件の達成はおそらく容易と予想された。第二は夜面測定の際、同時に視野に入る昼面がどのようなゴーストと、どの程度の迷光を結果するかということ定量し対策をとる、あるいは運用時に考慮すべき戦略を準備をすることにあつた。ゴーストに対しては、全フィルタを7度傾けるなどの対策は採っている。また、レンズ系内壁の黒色塗装の1 μ mにおける反射率を測定したところ2.9%だった。

測定は9月18・19日、JAXAの白田宇宙空間観測所の大暗室でソーラーシミュレータを用いて行われた。

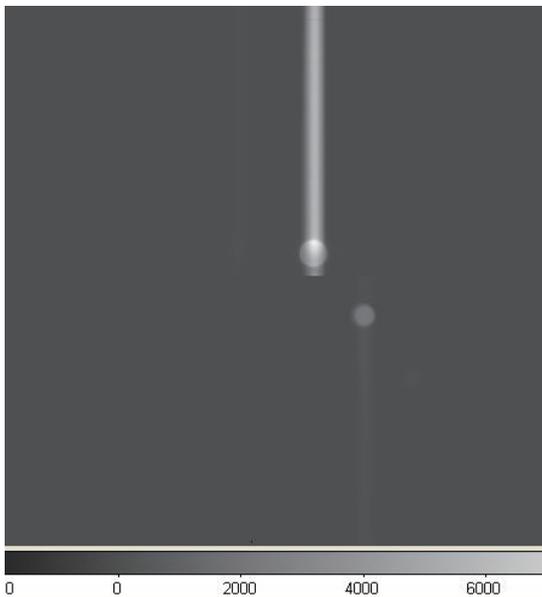


図4：ゴースト例

暗室はおよそ10m x 10m x 3m高の大きさで、全内壁が少なくとも可視では黒い（反射率3%程度）もので覆われている。ただし、筆者の経験ではこれらは1 μ mでも同様に黒いとは限らない（暗幕なども場合によっては反射率30%）。ソーラーシミュレータは300Wのキセノンランプと30cmの軸はずし反射コリメータ系より成り、視直径0.5度の太陽ディスクを再現しているが、放射束は一桁半程度小さい。この場合も三脚上のIR1を擬似太陽放射束中に置き、レンズ主点を中心にIR1が尻を振る形で測定を行った。

第一の作業に関しては視野外の7度、10度および15度（上下左右）からの入射に対する応答を記録した。これはバッフル内ベーンのエッジでの散乱光を想定している。まだ解析が進んでいないが、レンズ系の遮光能力に関しては問題はなさそうなデータが得られている。

第二の作業に関しては、減光フィルタで適当な輝度にした擬似太陽ディスクを、視野中心ほか上下左右に3度はずした方向で撮像してゴーストを記録した。図4は透過率0.25%の減光フィルタを用いて6秒露光し、過剰露光にした擬似太陽像をほぼ視野中心に置いた例で（暗雑音除去済み）、太陽ディスクを縦に貫く電荷あふれに起因すると思われる光条と、右下2度程度のところにゴーストが見える。このゴーストが光学由来のものか、あるいは電子回路由来のものかは現在のと

ころ検討中。この例では太陽ディスク信号は61万（電子/pix）に達しているが、0.01%減光フィルタでの測定から実際には370万（電子/pix）相当、つまり飽和レベルの7倍あったと推定される。この例での光条信号は40万（電子/pix）、ゴースト信号は15万（電子/pix）だった。また、図の明度レベルを調整すると、弱いゴーストがさらに4個現れる。ここでは図を示していないが、0.01%減光フィルタを用いて擬似太陽ディスク信号を適正露光のはずの15万（電子/pix）程度にしても、ディスク信号の5%程度の強さの縦光条とゴーストが残った。これは、夜面測定だけでなく、昼面測定においても問題が発生することを意味している。ただし、昼面測定では雲微細構造パターンの検出が課題なので、このような現象はさして障害にはならないようにも思える。

4. 対策

ゴーストに対しては、測器改良による対策と観測運用時での対策が考えられる。もし光学構造に由来するものであれば、部品配置の再考などによって改良できる可能性がある。もし読み出し方法など電子回路に起因するのであれば、その適正化によって解消あるいは軽減できる可能性がある。あるいは、たとえそれらで対処できない場合でも、夜面撮像時に昼面を視野外に出すなどの方法も考えられる。

謝辞

積分球測定の世話をさせていただいたJAXA/EORCの山本泰志さん、太陽シミュレータの世話をいただいたJAXA白田観測所の中島潔さん、そして今回の作業を担当された吉田誠至・岡本憲司さん他、測器製作を担当されている住友重機械工業のみな様に感謝いたします。

参考文献

- [1] 今村 剛 他, 2007, 遊星人 16, 226.
- [2] Peralta, J. et al., 2007, ICARUS 190, 469.
- [3] Hashimoto, G.L. and Imamura, T., 2001, ICARUS 154, 239.