

月面天文台

国立天文台：河野宣之、花田英夫、佐々木晶、 宇宙研：岩田隆浩

Lunar Observatory

Nobuyuki Kawano⁽¹⁾, Hideo Hanada⁽¹⁾, Sho Sasaki⁽¹⁾ and Takahiro Iwata⁽²⁾

⁽¹⁾ National Astronomical Observatory of Japan. Hoshigaoka, Mizusawa, Oshu, Iwate 023-0861

⁽²⁾ Institute of Space and Astronautical Science, JAXA. Yoshinodai, Sagami, Kanagawa 229-8510

E-Mail: kawano@miz.nao.ac.jp

Abstract: The Moon is a site suitable for a scientific observation. Observations on the lunar surface cover any region in frequency, because of no atmosphere. The surface also provides a very stable place and a huge vacuum optical bench.

Key words; Lunar surface, Lunar observatory

20 世紀後半の観測天文学は地球大気を避けるため、より大気の希薄な高地へ、そしてさらに宇宙へと足を伸ばしてきた。一方、ここ数年アポロ以来沈滞していた月探査は欧米だけでなく、日本を始めとする中国、インドなどのアジアの国々も乗り出し、活気を呈してきた。一方、月面での天文・科学観測は1980 年後半から議論され、わが国でも国立天文台を中心に、1990 年代前半には検討結果が報告され、月面での観測の優位性や課題が指摘されている。ここでは、地上観測および地球付近のスペースでの観測と比較したときの月面観測の優位性あるいは課題を先ず示し、その後月面での観測の優位性を生かしたいくつかの観測計画を紹介する。

1. 月面での天文・科学観測の優位性と課題

1) 大気がない

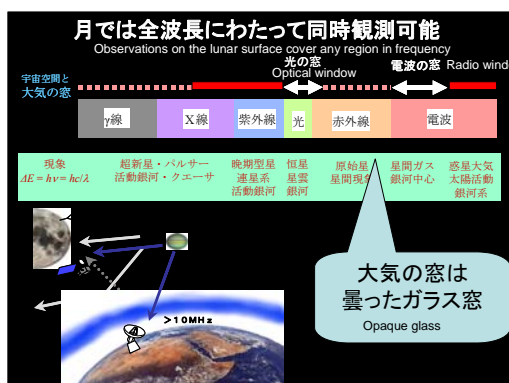
大気については月表面に電離層があったとしてもせいぜい数百個/cc 程度であり極めて高真空の観測の場となる。したがって、数百 k Hz から γ 線にいたるきわめて広い波長域にわたって同じ場所で同時観測が可能である。

2) 安定な地盤

地球は大気、海洋、流体核が常に変化しており、例えば天体の方向を観測したときは観

測の場そのものが変化するためおよそ 1 mas 程度の予測できない変化があり、高精度の天体位置観測が困難である。また地震、台風、雨による災害も無視できない。一方、スペースでは軌道変化が観測の場自身が移動することになり、位置観測には既知の参照天体が必要になる。

3) ゆっくりした自転



月の自転はおよそ 27 日であるから地球に比べて天体がゆっくり移動するので、長時間積分が容易になるが、一方、天体のイメージを短時間で求める場合には向かない。

4) 夜間は極低温

大気がなく、夜間がおよそ 2 週間のため月の表面は -230°C 以下に達する。すでに、このような低温環境での観測機器の試験を行っ

た。その結果、ほとんどの機器は運用温度に復帰すると再び正常動作することを確認している。しかし、接着剤や熱膨張率の異なる材料の接触面などの疲労に注意が必要であることがわかってきた。ただし、夜間の運用には機器の保温も含めた電力供給が要求されるため現時点での夜間の運用はごく限られる。

5) 月の裏側は静かな電波環境

10MHz~20MHz 以上の電波は地球の電離層を突き抜けるため、スペースはもちろん月の表側も地上波が重畳し、数 GHz 位までの天体電波の観測に障害を与える。また 10MHz 以下の周波数では AKR と呼ばれる地球のオーロラ帯からの放射は例えば電波源の中でも最も電波強度の強い Cas-A よりおよそ 4 桁も強く、実質上、天体の観測はできない。これに対して、月の裏側は地上波や AKR を常に遮蔽するため、地球周辺では唯一かつ絶好の観測の場となる。また、地球付近のスペースで懸念されるデブリによる機器の破壊も避けられる。

6) 大型観測施設建設の可能性

将来、月面に活動拠点が建設されると逐次観測機器を組み上げていき、大型の観測施設を建設できる可能性がある。低周波電波からγ線に至る全波長での同時観測は極めて魅力的である。

7) 月面への観測機器の輸送は少量。

月面へ観測機器を設置するには一旦月軌道に入り、さらに着陸機により月面まで移動しなければならない。このため、月面に輸送できる観測機器の重量は衛星重量の 2~5 分の 1 程度と見積もられており、地球周辺のスペースでの観測と比較して不利である。

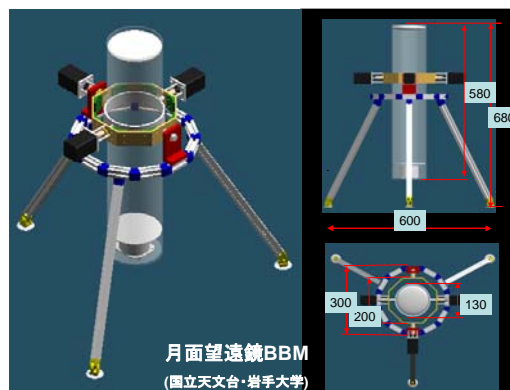
2. 月面で期待される観測機器の例

現在日本の研究グループで検討されている月面での天体観測の優位性を生かした観測機器の例を 2 つ挙げる。

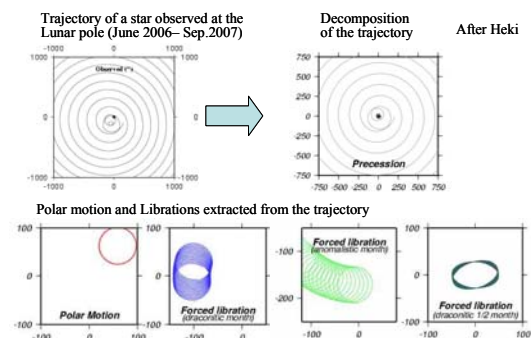
2.1 月面小型望遠鏡計画 (ILOM)

ILOM 計画は月面に小型の望遠鏡を設置し、可視または赤外で 1mas より小さい角度分解能で天体を観測することにより、月の自転運動の揺らぎを求め、月の内部構造を探る計画である。天体の内部構造を知るのには直接探査

ができないため、現在可能な方法としては数少なく、これまで重力場、地震波や熱流量などの観測が試みられ、自転運動の揺らぎの観測も有力な方法の一つである。また、自由振動の検出が可能性が期待され、月内部に関する画期的な状が得られる。これまで月の自転運動の揺らぎについては月レーザ測距でのみ行われ、数 mas の分解能に相当する観測が行われてきた。この観測結果から中心部に小さな核があると予想されているが、必ずしも明確でなく、ILOM が結論を出せる可能性がある。極地域に設置した場合に観測される星位置の奇跡と ILOM グループが開発した BBM を以下に示す。



Star trajectory and Effects of Librations



2. 2月-地球間干渉計 (LLFAST)

10MHz 以下の電波観測は地上では電離層に遮蔽されて観測は不可能であるため、電波天文観測で唯一残された周波数帯と言われている。この周波数帯での観測は、これまで高エネルギー電子による天体内部やその周

辺の観測であったのに対し、惑星・惑星間空間・星間空間を満たす低エネルギー電子の放射を観測することに相当し、これらの研究に新たな領域を生むと予想される。このような理由から、NASA や ESA をはじめとして各国で月面での観測計画が検討されている。

電波強度が弱くかつ高い角度分解能が要求される天体観測には安定した配列を維持できる大型の干渉計が必要となる。したがって、月の裏側は地球の AKR が遮蔽され地球周辺では唯一絶好の観測の場である。LLFAST 計画は各国の計画に先駆け、最終目標を月の裏側に 100 個以上の素子からなる 10MHz 以下の干渉計の建設を目指している。この計画では第 1 ステップとして先ず 1 素子を月に設置し、地上の観測局との 2 素子干渉計 (月-地球間干渉計) による基礎技術の確立とこれを用いた木星の電波源サイズを数十 km の分解能で観測を実現する。次に第 2 ステップとして、数素子を月面または複数の衛星に搭載して月面干渉計のプロトモデルを実現し、強い電波源の観測を開始する。以下に LLFAST 計画で期待される科学成果と地球近辺の電波環境を示す。

3. 他の計画

太陽系外の地球型惑星の発見は、天文学のみならず、今世紀で実現されうる大きな目標の 1 つである。このためには大型の望遠鏡が必要であるが、輸送や重量に大きな課題があった。最近、液体金属を回転させて 2 時局面を作り、これを反射鏡とする技術開発が進められており、大型の望遠鏡を月面に展開できる可能性が出てきた。

このほか、月面に複数の望遠鏡を配列して光干渉計を構築する計画、巨大クレーターのリムを利用した重力波検出用レーザー干渉計、月面ではないが複数の月周回衛星による電波干渉計などが提案されている。

3. まとめ

月面での天文観測は低周波から γ 線に至る全波長域で同時に観測でき、地上の数少ない波長域の観測と比較すると極めて魅力的である。一方、現段階ではスペースの観測と比較して機器の輸送可能重量はかなり小さい。将来、月に活動拠点ができ、材料が月で供給できるまではこの不利な面は変わらない。当面、月でしか観測できない、あるいは上記の不利な面を考慮してもそれ以上の大きな科学成果が期待でき、将来の本格的な観測に向けた開発などの項目に絞らざるを得ないであろう。

