

惑星大気の直接探査

今村 剛（宇宙航空研究開発機構）

1. 周回衛星と直接探査

惑星の気候形成の理解のためには様々な物理過程を観測的に明らかにしていく必要がある。惑星大気探査では後発の我が国は、PLANET-Cを手始めに周回衛星からの遠隔測定の実験を積みつつある。いま我々は、長期的にこの路線を続けていくのか、あるいは惑星大気圏に突入して直接探査にも挑むのかという岐路に立っている。

周回衛星と直接探査にはそれぞれ長所と短所がある。周回衛星による観測では、惑星の全域を長期にわたってモニターできるという利点がある一方、観測対象は電磁波（光）で計測できるものに限られる。また多くの場合に複数の情報が混じって計測され、それらの分離は容易でない。直接探査では、限定された地域を比較的限られた期間観測することにならざるを得ないが、観測対象として多くの可能性があり、遠隔測定よりも物理パラメータが直接的に得られる傾向がある。いずれがより先進的というものではなく、両者の補完関係が重要であるが前者だけを手段として将来計画を描くことは難しいように思われる。

大気の組成や運動をその場で観測すること自体は、我が国においても地球の大気化学・気象学分野で実績がある。しかし、それらの観測装置を小型軽量化して突入プローブに搭載し、惑星大気内で展開して自動データ取得して、そのデータを地上局まで送り届けるためには、多くの開発課題がある。まずは対象を絞ってシステム全体の開発を集中的に進め、第一歩を踏み出すことが重要であると考えます。そのような可能性の一つとして次に述べる金星気球がある。

2. 金星気球

金星周回機 PLANET-C を引き継ぐ金星探査として、周回衛星からでは限られた情報しか得られない高度 45~65 km に広がる雲層よりも下の世界を、長距離浮遊する気球により踏査する。欧州と米国でも気球による大気や地表面の観測が検討されているが、われわれの最初の挑戦では気象学を中心に大気科学で世界初の成果を狙う。PLANET-C と相補的な情報を得ることはもちろん、地球には存在しない濃密大気の運動と物性を直接観測すること自体が惑星流体への普遍的な理解を加速させるはずである。

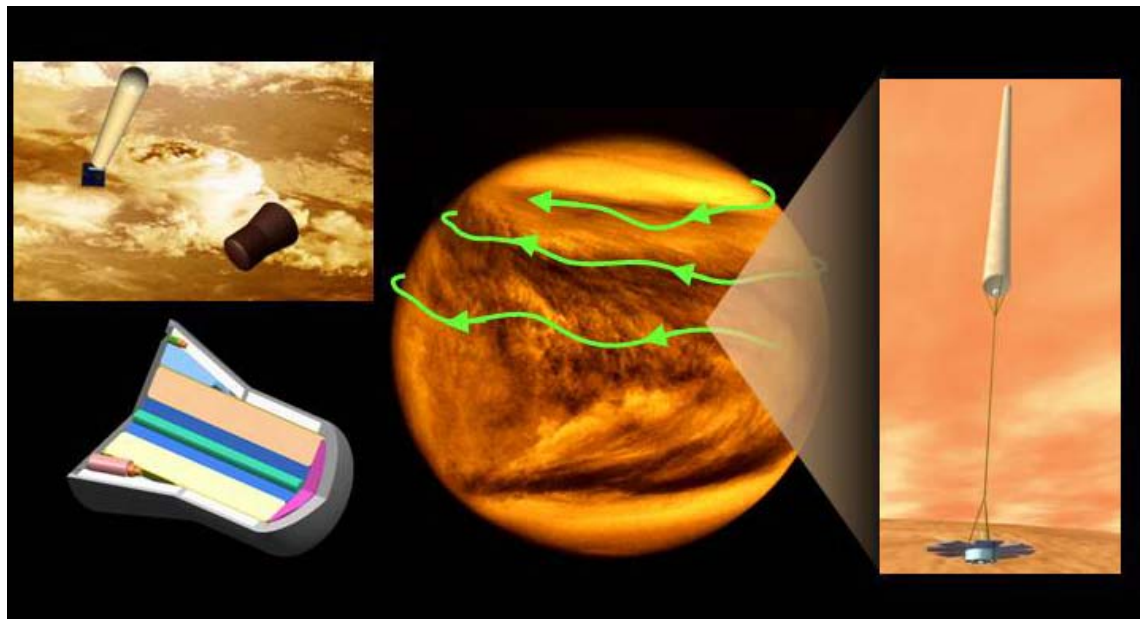
第1に、大気大循環のメカニズムを探るために、気球の軌跡を地球からの VLBI で追跡することにより大規模な波動や子午面循環の構造を知る。仮に地球の上部対流圏に気球を投下すれば、蛇行するその軌跡から傾圧不安定という大気大循環の主要過程を読み取ることができる。この観測により、これまで想像にとどまっていた金星下層大気の力学が初めて明らかになるだろう。

加えて、惑星大気の熱構造がどのように決まるかという問題に迫るために、気温と気圧の時系列データから気球の上下動と乱流熱流束を推定し、鉛直熱対流の有無を明らかにする。これまでの観測によれば金星下層大気の温度分布は断熱温度勾配に近く、このことから小規模な鉛直対流が鉛直熱輸送を担う「放物対流平衡」が成立していることが想像されるが、一方で子午面循環に

よる熱輸送こそが大気構造を決めるという考えもある。運動量輸送を担う内部重力波の検出も行う。

大気組成や微粒子の観測により雲の材料物質についても手がかりを得たい。金星下層大気では上層大気の光化学で作られた物質と地表近くで熱化学で作られた物質が入り混じっていると考えられる。この領域の化学を理解するためには気球による組成と大気運動の同時観測が有効である。また、長期浮遊する気球は同位体計測などにおいて長時間積分を可能として、高精度化に道を拓く。地球型惑星の大気の起源に迫るための強力な道具となろう。

現在のベースラインは、膜内に水を入れた小型の気球を金星大気に放出し、周囲の高温大気からの熱流入により内部の水を蒸発させて水蒸気を浮力媒体として浮遊し、高度 35 km 付近（大気温度 180℃）で超回転の風に流されながら数週間にわたって観測を行うというものである。この高度は、雲より下に行きたいという理学的要請と、これ以上低いところでは材料や電子部品が高温に耐えられないという工学的要請から設定されている。このミッションのための技術開発が JAXA 宇宙科学研究本部を中心に続けられている。実施形態としては、気球ミッションの単独実施、科学観測とデータ中継を担う金星周回衛星との組み合わせ、海外の金星ミッションとの相乗りなど様々な可能性が考えられる。ここで開発される技術の多くは将来、他の惑星の大気圏を直接探査するときにおいても基礎となるものである。



高速帯状風に流されながら科学観測を行う金星気球のイメージ。突入プローブと気球の図は山田哲哉氏と井筒直樹氏（JAXA）による。