

論文内容の要旨

論文題目 **Observational study of the Venusian atmosphere
with the Nobeyama millimeter array**
[野辺山ミリ波干渉計を利用した金星大気の観測的研究]

氏 名 佐川 英夫

1. はじめに

本論文は、野辺山ミリ波干渉計(NMA)を利用した金星大気のリモートセンシングに関する論文である。主な内容は、干渉計を利用した画像合成方法に関して述べた第 2 章、および観測結果をもとに中間圏(高度 100 km 付近)の大気循環と雲層下部(高度 50 km 付近)の大気構造をそれぞれ考察した第 3 章と第 4 章からなる。

金星は光学的に厚い雲で覆われており、雲頂よりも下方を光学観測することは困難である。本研究では、金星大気の透過率が可視光領域よりも高くなるミリ波に注目し、波長 3 mm 帯で高度 50 km 付近の大気から放射される熱放射を観測した。また、雲よりも上空に関してはトレーサーとして利用可能な物質が乏しいために観測的研究が停滞しているが、本研究では、金星中間圏に存在する CO 分子の吸収線(波長 2.6 mm)を高分散分光観測することで、上層大気の全球的な観測を行なった。

2. 干渉計を利用した惑星観測

第2章では、干渉計を利用した惑星観測の問題点に言及した上で、NMAで得られる金星画像の信頼性を定量的に評価した。

明るい面光源である金星に対して干渉計を利用する際には、いくつかの問題点を考慮する必要がある。

(1) 干渉計は特定の大きさ以上の広がりを持つ輝度分布に対しては感度が無い。これは、惑星を観測した場合に全球平均の輝度温度が決定できないことを意味している。

(2) 干渉計で取得したデータ(visibility)から電波画像を復元する際には、合成ビームのサイドローブの影響による画像の歪みを取り除く必要がある(CLEAN操作)。本研究の観測対象は、輝度温度350–400 Kの様なディスク構造内部に存在する10%程度の非一様成分であるが、このような微細構造はサイドローブパターンに埋もれている為に通常のCLEAN操作を適用することが困難である。

(3) 金星が太陽に近い為に、金星観測中にはアンテナ表面が常に一定の方向から太陽光によって熱せられることになる。アンテナ表面上の非一様な温度勾配は、アンテナの感度特性を歪ませる可能性がある。

本研究では、これらの問題点に対し以下の方法で対処した。

(1) 惑星は、第一次近似的には一様な周縁減光効果をともなったディスク状の電波源として想定できる。そのような構造を持つ電波源の理論 visibility 関数(Butler and Bastian, 1999)を実測 visibility にフィッティングすることで、全球平均輝度温度337 K(波長2.9 mm)を導出した。フィッティング精度は実測 visibility の最短基線長に依存する為に、本研究では、最もコンパクトなアンテナ配列で、視直径が比較的小さい金星を観測したデータを利用した。

(2) 一様な輝度分布をしているディスク構造電波源の visibility を予め差し引いておき、その残差に対して CLEAN 操作を行い、その後、最初に差し引いた一様輝度分布成分を戻すという Planetary-CLEAN 操作 (e.g., de Pater and Dickel, 1982)を採用した。さらに、本研究では CLEAN 操作で得られた電波画像を、実際の金星輝度温度分布の予想モデルと仮定して、個々の visibility の重みを調整しつつ CLEAN 操作を反復するという Self-Calibration 操作(Cornwell, 1989)を行なった。これにより、画像のノイズの RMS レベルを金星輝度最大値の3%程度にまで低下させることに成功した。

(3) 木星および金星のラスターキャンを利用し、主ビームの感度特性分布を取得した。その結果、アンテナ主ビームは、5%以下の誤差範囲で Gaussian 分布として近似できることが示された。

この画像合成方法の信頼性を評価するために、擬似的に作成した電波源を利用したシミュレーションを行なった。その結果、NMAにおける観測誤差に起因した合成画像の輝度変動は5%以下であると結論した。

3. 中間圏における風の場の可視化

第3章では、CO 吸収線のドップラースhiftを利用して風速の視線方向成分をマッピングし、中間圏での大気循環に関する考察を行なった。

金星中間圏における大気循環は、東西に一定の速度を持つ西向き帯状流成分と、太陽直下点と反太陽直下点を結ぶ軸対称な速度場を持つ昼夜間循環成分の2成分の重ね合わせとして考えられている(Mayr et al., 1980; Bougher et al., 1986)。

異なる金星位相角で観測を行なった結果、全球的には昼面から夜面に流れる風が確認された(図1)が、これらの2成分では説明されない南北非対称性や、局所的に夜から昼に向かう風を示す分布が得られた。これらは、内合付近の金星を観測することで高空間分解能を実現したことによる本研究によって初めて示された結果である。

真夜中付近での局所的な風速を見積もった結果、速度が40 m/s以下から150 m/s以上に渡ってばらついていることが示された。本研究では、その非一様性を太陽直下点付近において下方から取り込まれる西向き帯状流成分の変動、つまり下層大気中のスーパーローテーション強度に関連があるとして議論した。本研究は、中間圏の風に大きな変動性があることを示すケーススタディとしても有意義なものであった。

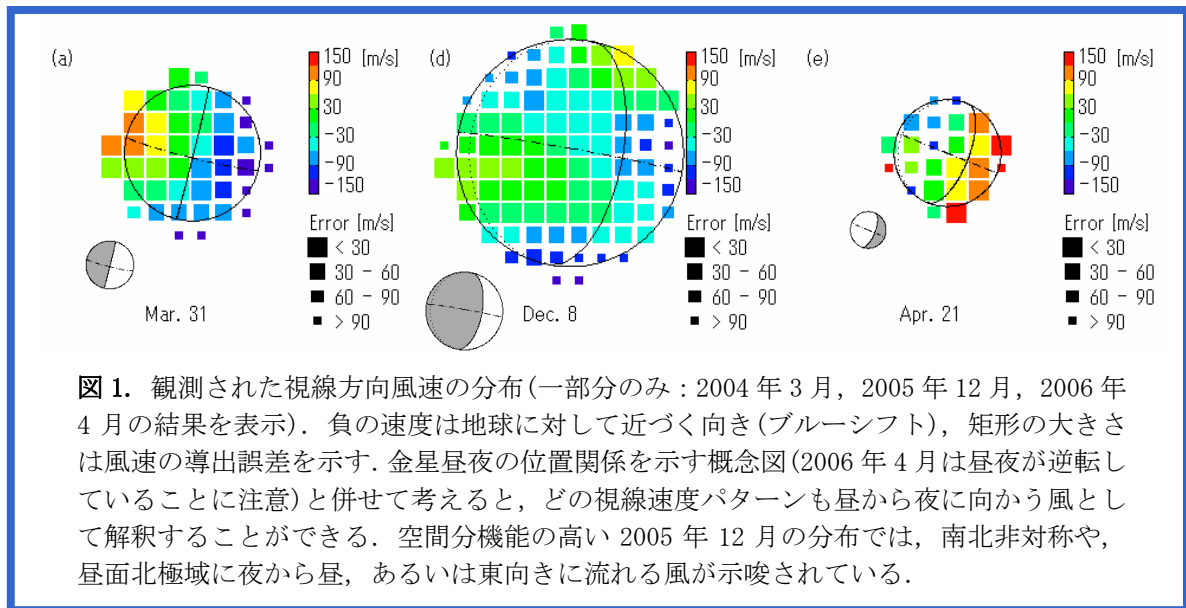


図1. 観測された視線方向風速の分布(一部分のみ: 2004年3月, 2005年12月, 2006年4月の結果を表示). 負の速度は地球に対して近づく向き(ブルーシフト), 矩形の大きさは風速の導出誤差を示す. 金星昼夜の位置関係を示す概念図(2006年4月は昼夜が逆転していることに注意)と併せて考えると, どの視線速度パターンも昼から夜に向かう風として解釈することができる. 空間分解能の高い2005年12月の分布では, 南北非対称や, 昼面北極域に夜から昼, あるいは東向きに流れる風が示唆されている.

4. ミリ波における輝度温度分布の非一様性

第4章では、波長 3 mm 帯における熱放射輝度分布の非一様性に関して議論した。

この波長帯での輝度分布が非一様であるということは、de Pater et al. (1991)によって示唆されているが、本研究では、観測精度を定量的に評価し(第2章)、金星夜面において輝度温度が 10%以上の優位な差で上昇していることを検証した。また、複数の観測例を比較することで、非一様構造が定常的に存在する可能性を指摘した。

この輝度温度の非一様性には SO_2 、 H_2SO_4 および雲が関係していると考えられるが、波長 3 mm 帯での輝度分布と、同日に近赤外波長(2.28 μm)で取得した雲画像を比較した結果、両者の空間構造に強い相関関係は見られなかった(図2)。

各吸収物質の輝度温度に対する影響を放射輸送モデルから見積もった結果では、雲による輝度温度の低下が 3 K 程度なのに対して、 SO_2 や H_2SO_4 の影響は 30 K 程度であることが示された。これらの観測的および理論的考察をもとに、波長 3 mm 帯で観測される輝度温度の非一様性は、雲の分布よりも、 SO_2 および H_2SO_4 の空間分布を反映していると結論した。雲の濃淡分布以外で雲層下部における大気構造の非一様性を観測したのは、本研究が初めてであり、本研究によって対流や熱潮汐波などの雲層下部における大気物理を研究する上での新たな知見が得られたと言える。

