

金星中層大気における CO₂ の炭素同位体異常の観測

(名大院環境・地球惑星) ○平原靖大・柴田将

Observation of carbon isotope anomaly of CO₂ in the Venusian mesosphere
(Nagoya Univ.) Yasuhiro Hirahara, Sho Shibata

Abstract: Mid-Infrared high-resolution spectroscopic observation of Venusian mesosphere was conducted on April 6, 2011 at the KANATA 1.5-m telescope operated by Hiroshima Astrophysical Science Center of Hiroshima University. We observed the central part of Venus in the 920 – 990 cm⁻¹ wavenumber range by using the Germanium Immersion Grating Mid-Infrared Cryogenic Spectrograph (GIGMICS). As a result, 28 lines of ¹²CO₂ (ν_1, ν_2^l, ν_3, r) = (0, 1¹, 1, 1) ← (1, 1¹, 0, 1) and 11 lines of ¹³CO₂ (0, 0⁰, 1, 1) ← (1, 0⁰, 0, 1) were detected. In comparison with the result from a radiative transfer model calculation, we determined that the isotope ratio ¹²CO₂ / ¹³CO₂ is 165 ± 30 (1σ) in the mesosphere of Venus. The ratio is significantly different from the terrestrial ratio, 89, and the previous result of *in-situ* measurements of lower atmosphere of Venus. We discuss the possible mechanism for the isotope fractionation of the high value for ¹²CO₂ / ¹³CO₂.

【はじめに】 金星大気の構造は地球とは大きく異なり、金星の表面温度は約 735 K、気圧は約 90 気圧、組成の 96.5%が CO₂であり、その表面は硫酸の雲で覆われている。金星大気の炭素同位体比は観測高度によって様々な手法が採られている。下層大気 (≦60 km) では探査機による質量分析により ¹²C / ¹³C = 84 ± 4 であり、地球大気の CO₂の同位体比 89 と近い値を得ている (Hoffman et al., 1980)。FT-IR を用いた Bezdard et al. (1987) による雲頂高度付近 (65 km) の観測では、複数の ¹²CO₂, ¹³CO₂の吸収スペクトルから同位体比は 86 ± 12 と見積もられたが、各吸収線のばらつきが大きい (¹²CO₂ / ¹³CO₂ = 27~154)。中層大気上部以上の高度域 (≧80 km) の観測は主に CO のサブミリ波観測により行われ、地球大気と近い値を得ている (Wilson et al. (1981), ¹²CO / ¹³CO = 85±15)。しかし、この高度域では温度変化によりスペクトルは大きく変化し、Clancy and Muhleman (1983) では ¹²CO / ¹³CO = 185 ± 69 と報告している。

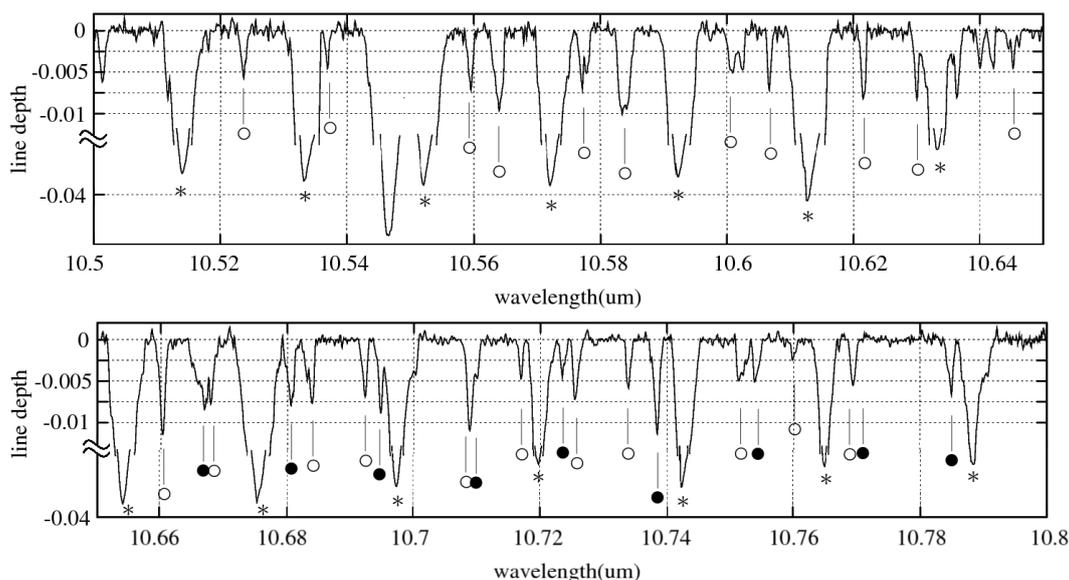


図 1. 金星大気の波長 10.5-10.8 μm のスペクトル。○印は金星大気の ¹²CO₂, ●印は ¹³CO₂ を表す。
* は金星と地球大気共通の CO₂ の吸収で、スペクトルのピーク付近のみを示す。

【観測】 2011年4月6日と10日の未明、広島大学宇宙科学センター・東広島天文台の口径1.5m かなた光・赤外望遠鏡において、我々が独自に開発した中間赤外線冷却エシエル分光器 GIGMICS (Germanium Immersion Grating Mid-Infrared Cryogenic Spectrograph, 最高波長分解能 $\sim 50,000$)の“ファーストライト”の一環として、金星(明けの明星)の中心付近を積分時間 200 sec で観測した。その結果、GIGMICS の中間赤外線アレイ検出器によって中心波長 $10.5\mu\text{m}$ および $9.3\mu\text{m}$ を含むエシエログラム (2次元画像データ: 412×512 pixel)を得た。月を背景とした地球大気の観測結果を用いたスペクトル強度校正、およびベースライン補正を行った上で、地球大気スペクトルデータベース HITRAN との比較のうえ、金星大気の振動回転スペクトル線の帰属を行った。得られたスペクトルの一部を図1に示す。

【結果】 観測により $^{12}\text{CO}_2$ (ν_1, ν_2^0, ν_3, r) = (0, 1^1 , 1, 1) \leftarrow (1, 1^1 , 0, 1), $^{13}\text{CO}_2$ (0, 0^0 , 1, 1) \leftarrow (1, 0^0 , 0, 1) の振動回転遷移をそれぞれ 28 本, および 11 本検出した。これらはホットバンドであり地球大気からは検出されないスペクトルである。金星大気中の CO_2 分子のほか、雲粒子による光吸収を考慮した放射伝達モデル計算を行い、観測で得られた $^{12}\text{CO}_2$ および $^{13}\text{CO}_2$ の吸収強度との詳細な比較を行い、 $^{12}\text{CO}_2 / ^{13}\text{CO}_2$ 同位体比を求めた。

図2に、得られたスペクトルの一部と様々な同位体比を仮定した放射伝達モデルによるスペクトルを示す。 $^{12}\text{CO}_2$ では良い一致を示しているが、 $^{13}\text{CO}_2$ では観測値の吸収線がすべて弱いことが判った。これらの遷移のうち地球大気のみと吸収波長の重ならない計 23 本の吸収線を用いて最小二乗フィッティングを行った結果、雲頂高度付近における $^{12}\text{CO}_2 / ^{13}\text{CO}_2$ 比は 165 ± 30 と決定された。これは金星下層大気同位体比と比較しても高い値であり、金星大気における CO_2 の同位体分別の過程の存在を示唆している。

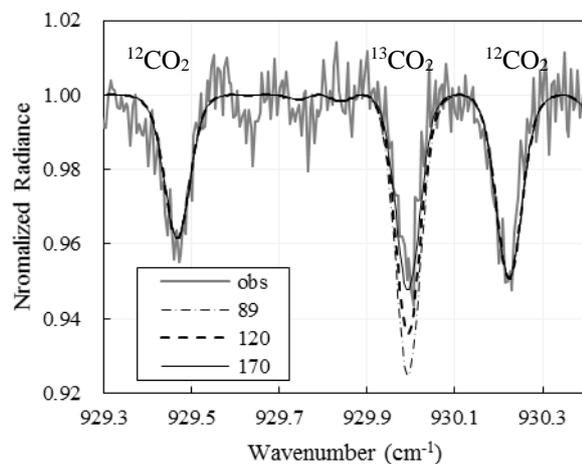


図2. 観測結果と様々な同位体比でのモデル計算結果との比較

【考察】 金星の大規模な光化学反応モデル (Krasnopolsky, 2012) によると、金星大気における CO_2 の分解は太陽からの紫外線による光解離が主であると考えられている。



光解離ダイナミクスを用いた CO_2 の吸収断面積のモデル計算から、反応(1)における同位体間での光解離波長のわずかな違いによる質量非依存同位体分別過程の可能性が示唆されている (Schmidt et al., 2013). すなわち、 $^{12}\text{CO}_2$ の解離に寄与する光は存在量の多い $^{12}\text{CO}_2$ によって大気上部で選択的に吸収され減衰するが、 $^{13}\text{CO}_2$ の解離に寄与する光は大気下部まで透過すると考えられ、大気下部での優先的な $^{13}\text{CO}_2$ の解離が起きる可能性がある。Krasnopolsky (2012) によれば、反応(1)は雲頂付近までの高度領域で起こるため、本研究で高い $^{12}\text{CO}_2 / ^{13}\text{CO}_2$ 同位体比が得られたと考えられる。また、Rengel et al. (2008) による CO のサブミリ波の分光観測からは高度 75 km 前後で反応(1)の生成物である ^{13}CO の増加傾向が報告されており、光解離による同位体分別過程の寄与と解釈しうる。