

金星大気の組成

林 祥介

2003 年 01 月 08 日

目次

1	金星大気の組成の観測方法	2
1.1	直接観測	2
1.2	リモートセンシング	3
2	大気組成とその鉛直分布	4
2.1	高度 70km 以下の大気組成	5
2.2	探査船による H ₂ O の観測	6
2.3	放射性同位体比	8
2.4	高層大気の組成	9
3	参考文献	10

Abstract

ここでは、金星大気の組成に関して得られたデータについて述べる。内容は 1980 年代後半の知見を主としており、もはや若干古いかも知れないことに注意しておく。

1 金星大気の組成の観測方法

1.1 直接観測

- 着陸船による観測方法

1. 化学反応

採取した気体を探査機の中で化学反応させてその成分を知る。初期のヴェネラ(4, 5, 6号)で行われた。

2. 質量分析計 (mass-spectrometer)

分子量で物質を分類する機器で、他の方法に比べて精度が高い。ただし欠点として、CO と N₂ のように同じ分子量の異なる分子同士を区別できないことが上げられる。この欠点はガスクロマトグラフィーなどで補う。

3. ガスクロマトグラフィー

測定したい気体とともに、不活性ガスを固定層に通す。すると対象気体中の成分間の化学的性質の違いによって、固定層上での定着度に違いが生じる。その定着度の違いによって物質の決定、定量解析を行う方法がガスクロマトグラフィーである。対象気体をガスで移動させるので、ガスクロマトグラフィーと呼ばれる。

4. 分光計 (optical spectrometer)

探査機に分光計をのせて、光を吸収する物質の種類・量を測定する。ここにあげた方法の中で最も精度が高く、S₃ などはこの方法でしか確認できない。ヴェネラシリーズ 11 号以降に搭載。

- 軌道船による方法 (直接観測)

軌道船は近金点を通過するあたりで、金星に 150km 位の距離まで近づく。このとき軌道船に搭載した質量分析計によって中性気体の分析を行う¹。

¹電離気体の観測も行っているがここでは扱わない。

1.2 リモートセンシング

リモートセンシングを使うと広い範囲を見ることができる。ただし、光あるいは電磁波での情報を得ることのできない大気深部の観測をおこなうことはできない。大気上端から光学的距離が1程度の高度までに測定範囲が限定される。

- 軌道船による観測 (リモートセンシング)

1. 偏光観測

金星の雲で散乱された太陽光の偏光度を測ることにより気体成分を知る。金星の雲の主成分が硫酸であることは、この方法によってわかった(川端 1987 参照)。

2. 分光計

軌道船に分光計を積んで、吸収線を調べることにより、気体物質を調べる。

- 地球からの観測

地上あるいは気球等で上空に持ち上げた望遠鏡を用いて、分光計や偏光観測器による観測を行う。

探査機が飛ぶ前にこの方法でいくつかの成分はわかっていた³。

³シリーズ ‘金星の観測史’ 参照

2 大気組成とその鉛直分布

金星大気の代表的組成は, 種々の測定方法, 測定器を用いて得られてきた数少ない観測データを集積して決められている. 時間的, 空間的に隔たりがあり, 異なる測定器から得られた観測結果には, 大きなばらつきがみられる. したがって, 代表的値を決定するにおいては, データを編集する者の主観が大きく影響していることに注意しておく必要があるだろう. ここでは Moroz¹ による金星大気のレビューを参考にした.

¹ソビエトの科学者

2.1 高度 70km 以下の大気組成

気体	体積混合比
CO ₂	0.965 ± 0.001
N ₂	0.035 ± 0.010
H ₂ O	10 ⁻⁵ ~ 10 ⁻³
O ₂	3 ~ 5 × 10 ⁻⁵
CO ₂	3 ~ 5 × 10 ⁻⁵
S ₃	2 × 10 ⁻¹⁰
S ₂	2 × 10 ⁻⁸
SO ₂ (60 km ~ 70 km)	~ 10 ⁻⁴
(50 km 以下)	~ 10 ⁻⁷

Table 1: 高度 70 km 以下の金星大気組成 (Moroz (1981) による).

Table 1 についてのいくつかのコメントを以下に記す.

- H₂O
観測によってばらつきが大きい (Table 2 参照).
- CO
高度 85 km ~ 100 km にかけて, CO の量の日変化が大きいことが観測される (Fig.1).
- 硫黄
金星大気中ではイオウは殆ど SO₂ として存在している.

2.2 探査船による H₂O の観測

探査機	測定機器	H ₂ O の体積混合比 (×10 ⁻⁶)			
		0 km	22km	42km	52 km
パイオニア・ヴィーナス (Large)	質量分析計	< 1000	< 1000	< 1000	< 1000
	ガスクロマトグラフィー		1350	5200	< 600
ヴェネラ 9,10 号	狭域光度計			300	
ヴェネラ 11,12 号	走査分光計	20	60	150	200
ヴェネラ 11 号	質量分析計	76	67		
ヴェネラ 12 号	質量分析計	130	52		
	ガスクロマトグラフィー	≤ 100	≤ 100	≤ 100	

Table 2: 金星探査機と搭載大気組成測定機器 (von Zahn *et al.* (1983) による).

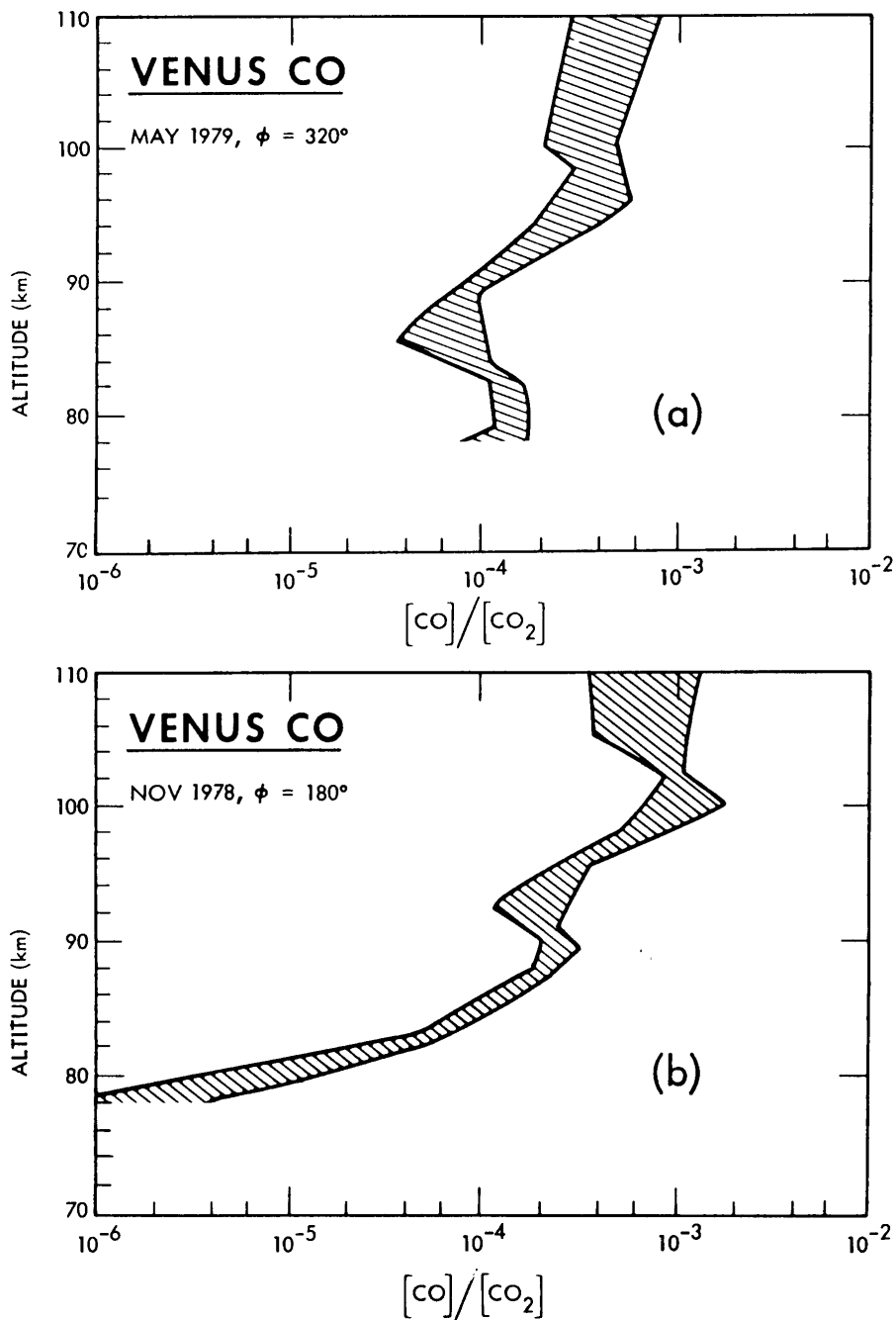


Figure 1: CO の吸収線の観測によって得られた体積比 $[CO] / [CO_2]$. (a) は金星時間で早朝, (b) は真夜中である. 高度 80km ~ 90km の間で CO の量の日変化が大きいことがわかる. Wilson and Klein (1981) による. 図は von Zahn *et al.*, 1983 から抜粋).

2.3 放射性同位体比

同位体比	地球	金星
$^{38}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$	0.187	0.194
$^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$	295.5	1.07
$^{82}\text{Kr}/^{80}\text{Kr}$	5.16	3.29
$^{83}\text{Kr}/^{80}\text{Kr}$	5.11	2.00
$^{84}\text{Kr}/^{80}\text{Kr}$	25.3	6.86
$^{88}\text{Kr}/^{80}\text{Kr}$	7.69	1.14

Table 3: 放射性同位対比 (Zahn *et al.* (1983) による).

同位体比の特筆すべき特徴は $^{36}\text{Ar}/^{40}\text{Ar}$ 比が地球の 270 倍にも達することである.

2.4 高層大気の組成

軌道船が金星に近づいたときに質量分析計で測定した中性大気の組成データを下にあげる。

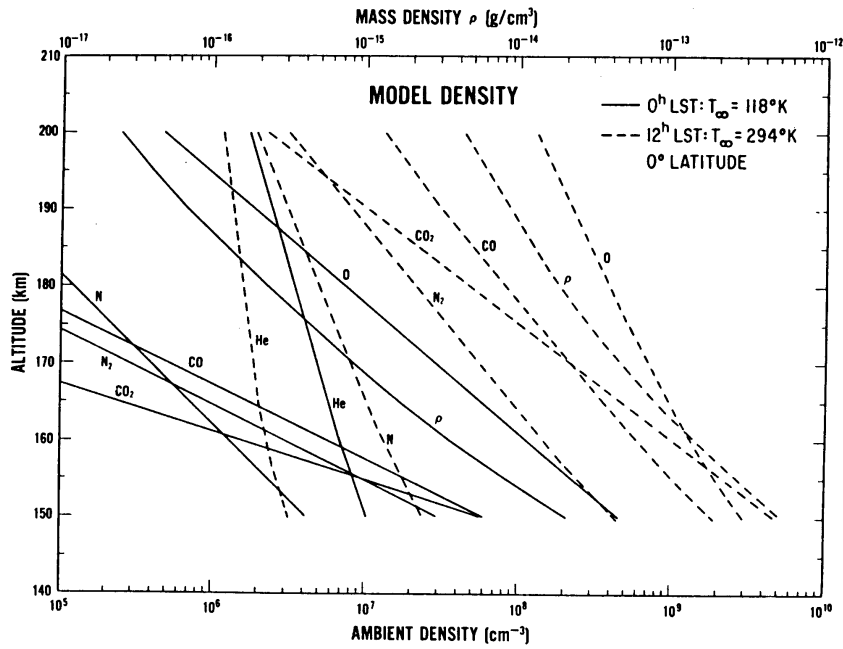


Figure 2: 高層大気 (高度 150km \sim) の組成密度高度分布. 点線は真昼, 実線は真夜中の領域のデータ. 昼夜で大きな差があるのがわかる. データはパイオニア・ヴィーナスの軌道船のもの. (原図は Niemann *et al.* 1980)

3 参考文献

- 川端 潔, 1987: 惑星大気内のエアロゾルのリモートセンシング. 気象研究ノート, **155**, 1–34.
- Moroz, V. I., 1981: The atmosphere of venus. *Space Sci. Rev.*, **29**, 3–127.
- Niemann, H. B., Kasprzak, W. T., Hedin, A. E., Hunten, D. M., Spencer, N. W., 1980: Mass spectrometric measurements of the neutral gas composition of the thermosphere and exosphere of Venus. *J. Geophys. Res.*, **85**, 7817–7827.
- Wilson, W. J., Klein, M. J., 1981: Carbon monoxide distribution and molecular-line searches. *Icarus*, **45**, 624–637.
- von Zahn, U., Kumar, S., Niemann, H., Prinn, R., 1983: Composition of the Venus atmosphere. *VENUS*, Hunten, D. M., Colin, L., Donahue, T. M., Moroz, V. I. Eds. The University of Arizona Press, 299–430.

謝辞

本稿は 1989 年から 1993 年に東京大学地球惑星物理学科で行われていた、流体理論セミナーでのセミナーノートがもとになっているものである。原作版は野村竜一による「金星現象論」(1990-05-04) であり、高木征弘によって修正 (1996-07-22)、林祥介によって「金星大気の組成」として整理された (2003-01-08)。

セミナー参加者および校正とデバッグに協力してくれたすべての方々に感謝するものである。

本資源は、地球流体電脳倶楽部のインターネット上での学術知識の集積と活用の実験の一環として

<http://www.gfd-dennou.org/arch/riron/venus/atmcomp/pub>

において公開されているものである。©林祥介 (Y.-Y. Hayashi) 2003. 本資源は、著作者ならびに図版等の著作権者の諸権利に抵触しない限りにおいて自由に利用していただいて構わない。なお、利用する際には今一度自ら内容を確認することを願います (無保証無責任原則)。

本資源に含まれる元資源提供者 (図等の版元等を含む) からは、直接的な形での WEB 上での著作権または使用許諾を得ていない場合があるが、勝手ながら、「未来の教育」のための実験という学術目的であることをご理解いただけるものと信じ、学術標準の引用手順を守ることで諸手続きを略させていただきます。本資源の利用者には、この点を理解の上、注意して扱っていただけるようお願いする。万一、不都合のある場合には

riron@gfd-dennou.org

まで連絡していただければ幸いです。