

VEX/VMC および放射輸送計算を用いた金星大気紫外吸収物質の高度分布考察

飯塚 裕磨¹、今村剛²、佐藤毅彦²、中村正人²

1:東大理、2:ISAS/JAXA

研究背景

金星を紫外域で観測すると様々な模様を見ることができ、これは紫外吸収物質の存在によるものと考えられている。金星大気の紫外吸収物質としては SO_2 の存在が古くから知られている [Pollack et al., 1980]。しかし他にも存在するとされる未同定吸収物質の種類や高度分布などは未だ明らかになっていない。過去に行われた紫外観測において、365nm 付近を中心に比較的大きなコントラストがあることが経験的に知られており、これが未同定吸収物質による影響と考えられている。

この未同定吸収物質の分布を知ることは、この物質の生成に関する情報を得る手がかりとなり、また、可視域付近まで吸収があるため、その高度付近のエネルギー収支および大気の運動への影響を知る手がかりとなることが期待される。

雲層内の吸収物質の高度分布は、金星ディスクの大局的な輝度分布に反映されると考えられる。例えば、吸収が無く散乱のみ行う雲層の場合、太陽直下点が最も明るく夜側に向かって暗くなるはずである。しかし、散乱のみ行う雲層の上に吸収層がある場合にはディスクの端で暗くなる傾向が強くなり、逆に吸収層の上に薄い散乱層がある場合には逆の傾向が現れるであろう。研究手法としては、放射輸送計算 (散乱計算コード DISORT [Stamnes et al., 1988]) を行って、Venus Express (VEX) 搭載の Venus Monitoring Camera (VMC) の画像データとの比較を行った。

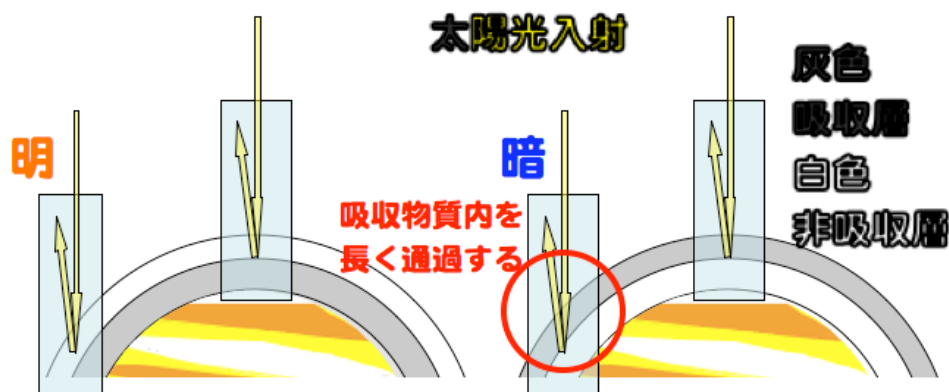


図 1: 吸収層高度分布による輝度分布への影響。図のような効果から層の上下により観測される輝度の分布が変わってくると考えられる。図では右のほうが、ディスクの端ほど吸収層を長く通過することになるため、端ほど暗くなる傾向が見られる。

手法

VEX/VMC データでは、紫外 (365nm) と近赤外 (935nm) を使い、輝度分布の入射角、出射角依存性を求めた。紫外に加え近赤外も解析する理由としては、後者は吸収物質の影響が少ないと考えられているので、吸収物質を含まないリファレンスとして用いることができるためである。本研究では初期解析として、データは比較的周回数の離れたランダムな 9 データを選び、大まかな傾向をつかむことを目的として解析を行った。

放射輸送計算では、観測データと金星、衛星、太陽の位置関係が一致するような計算を行い、同様に輝度分布の入射角および出射角依存性を求めた。今回は、大気の高高度分布については簡単なモデルのみを扱った。今後、過去の研究などを参考にしたり現実的なモデルの計算を行っていく予定である。

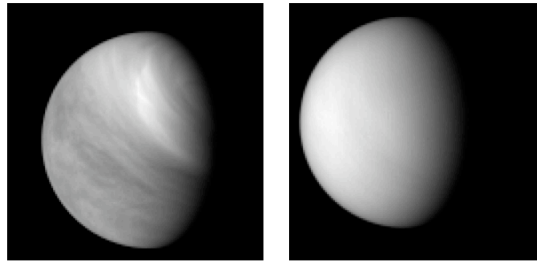


図 2: 使用した VEX/VMC 観測データのひとつ。左) 紫外 365nm (V0031_0021_UV2)。右) 近赤外 935nm(V0031_0019_N12)。

結果

VEX/VMC データから輝度分布の入射角、出射角依存性を抽出した (図 3)。まず近赤外 (図 3 右上) の結果を見ると、太陽直下点 (入射角 0°) が最も明るく、夜側に向かって次第に暗くなっていくのが見てとれる。よって吸収のない散乱のみを行う雲層ではこのような傾向が見られると考えられる。つづいて紫外の結果 (図 2 左上) について見てみる。紫外では近赤外で見られたような傾向は比較的弱い。入射角依存性が低く、比較的一様な輝度をしているように見える。これは紫外吸収物質の存在によるものと考えられる。

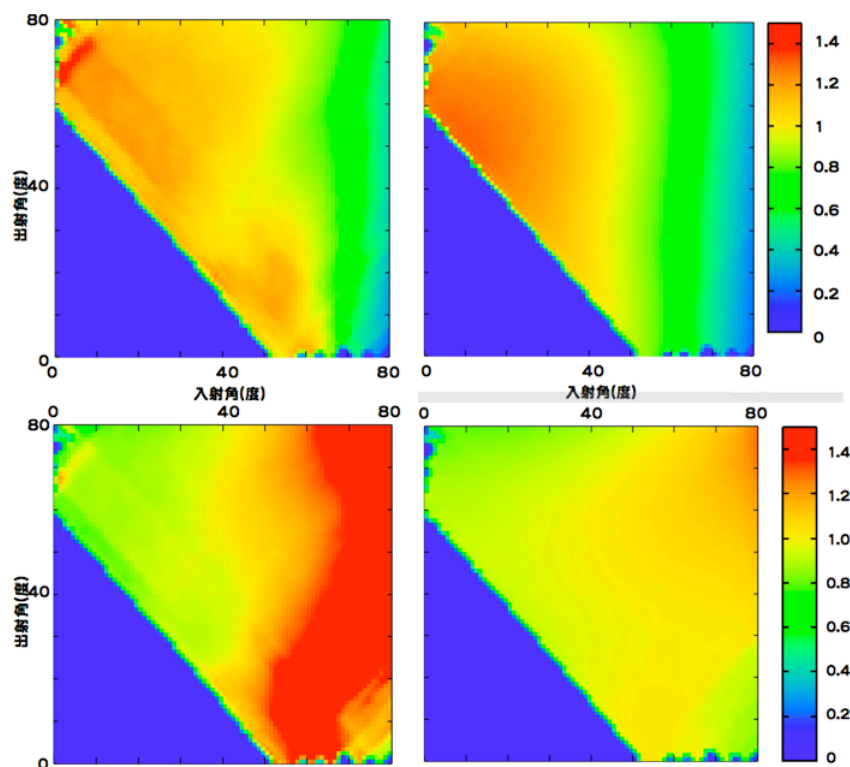


図 3: 上段) 輝度分布の入射角、出射角依存性。左上) 紫外 (365nm)、右上) 近赤外 (935nm)。それぞれ 9 データを平均、色は (入射角, 出射角)=(45° , 45°) の輝度で規格化。下段) 上の結果を各点において $1/\cos(\text{入射角})$ 倍したもの。左下) 紫外 (365nm)、右下) 近赤外 (935nm)。色は同様に (入射角, 出射角)=(45° , 45°) の値で規格化。

これを比較しやすくなるように各点において $1/\cos(\text{入射角})$ 倍した (図 3 下段)。これにより、もしランベルト面を仮定した場合、値は一樣になるはずである。この結果、近赤外 (図 3 右下) では、比較的一様な

傾向を示すが、紫外(図3左下)では、入射角が大きくなるほど、値が増加する傾向が見られる。

つづいて放射輸送計算の結果を載せる。今回は簡単なモデルとして、大気 A は吸収の無い $\tau=10$ の雲層、B はその上に $\tau=0.1$ の吸収層、C はさらにその上に $\tau=1$ の吸収の無い雲層(図4左)をイメージした計算を行った。結果、どれも紫外(図3左下)で見られたような傾向を再現することはできなかった。しかし、吸収の無い大気(図3右下、図5A)の傾向は比較的良好に再現できたと言える。

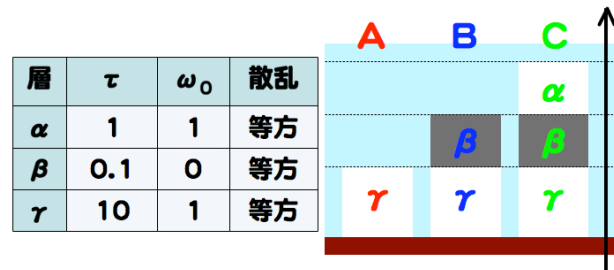


図 4: 左) 各層の特性。 τ : 光学的厚さ、 ω_0 : 一次散乱アルベド、散乱: 散乱分布。右) 各大気の高さ分布。

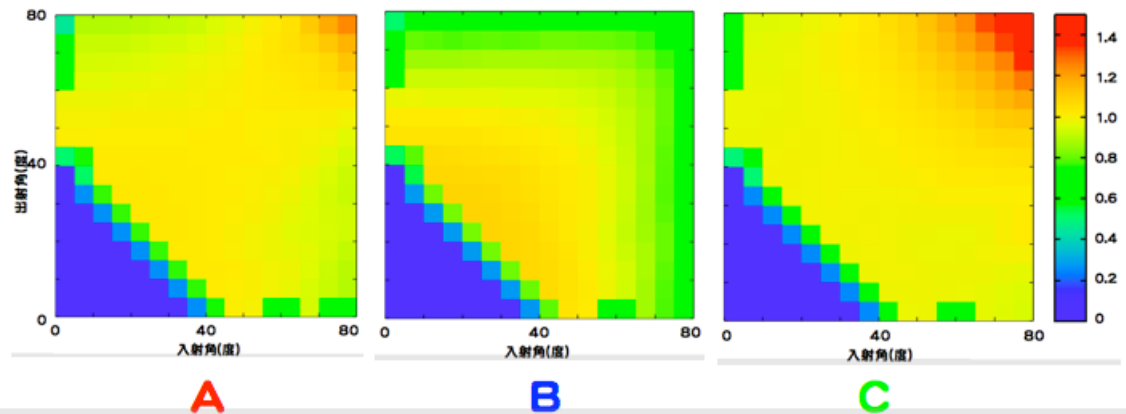


図 5: 各大気の高さ分布の入射角、出射角依存性を各点において $1/\cos(\text{入射角})$ 倍した結果。色は $(\text{入射角}, \text{出射角})=(45^\circ, 45^\circ)$ の値で規格化。

まとめ

VEX/VMC の解析結果より、紫外観測では輝度分布の入射角依存性が低い傾向があるということが言えた。これは、紫外吸収物質高度分布の影響と考えられる。

放射輸送計算については、吸収の無い散乱のみの大気について比較的良好に再現ができることがわかった。これにより計算の手法としては、近いものを再現できる手法である可能性があると言えそうである。

今後の課題としては、まず緯度依存性の考慮が挙げられる。紫外域で見る金星は、緯度ごとの明るさの傾向が存在する。この依存性をキャンセルし、入射角と出射角のみに依存した輝度分布を抽出する必要がある。このために適切な観測データの選出や適切な緯度を選んだ解析を行っていく予定である。計算において今回紫外の特徴が再現できなかった理由として、まだ限られた種類の雲モデルしか試していないため、現実的ではない可能性が考えられる。今後、過去の研究を参考にしより現実的な雲モデルを用い、放射輸送計算を行うことで、吸収物質高度分布に制約を与えていく。

Appendix

VEX/VMC 使用データ

表 1: 紫外 (365nm)

オービット数	日時 (UT)	高度 (金星中心より)[km]	太陽位相角 [度]
30	2006.05.20.20:23:55	55978	65.618
31	2006.05.21.22:37:38	41144	56.121
56	2006.06.15.22:34:03	42988	78.002
240	2006.12.17.03:46:15	47657	56.889
241	2006.12.18.03:00:38	52841	61.091
452	2007.07.17.04:06:01	40522	53.678
462	2007.07.27.03:30:17	40475	52.714
473	2007.08.06.22:42:00	62844	72.332
689	2008.03.10.01:27:13	40495	54.936

表 2: 近赤外 (935nm)

オービット数	日時 (UT)	高度 (金星中心より)[km]	太陽位相角 [度]
30	2006.05.20.20:24:20	55941	65.593
31	2006.05.21.22:33:51	41664	56.500
56	2006.06.15.22:34:23	42944	77.990
240	2006.12.17.03:46:45	47599	56.842
241	2006.12.18.03:01:38	52742	61.016
452	2007.07.17.04:06:31	40442	53.617
462	2007.07.27.03:30:47	40405	52.649
473	2007.08.06.22:43:00	62780	72.282
689	2008.03.10.01:28:13	40354	54.807

参考文献

1. Pollack, J. B. et al. Distribution and source of the UV absorption in Venus' atmosphere. J. Geophys. Res. 85, 8141-8150, 1980
2. Stamnes, K. et al. Numerically stable algorithm for discrete-ordinate-method radiative transfer in multiple scattering and emitting layered media. Applied Optics, Vol. 27, No. 12, 2502-2509, 1988