

地球現象論: 地球大気の鉛直構造

地球流体電脳倶楽部

1996 年 8 月 2 日

目次

1 温度分布	2
2 密度分布	4
3 組成分布 (高度~100km)	4
4 密度, 組成分布 (高度 100~500km)	7
5 Appendix 米国標準大気 (1966)	8
6 参考文献	9

Abstract

ここでは, 地球大気の

- 温度
- 密度

に関する鉛直 1 次元分布を示す.

1 温度分布

図1は、観測値とモデルから NASA が決定した米国標準大気（1976）の温度分布である。全地球の代表的温度分布を表しているとみなされることが多い。

この鉛直温度分布に基づいて、 $\frac{\partial T}{\partial z}$ の符号の変化するところを境界面（圏界面と呼ばれる）とするような4つの領域（圏と呼ばれる）に大気を分類することが多い。

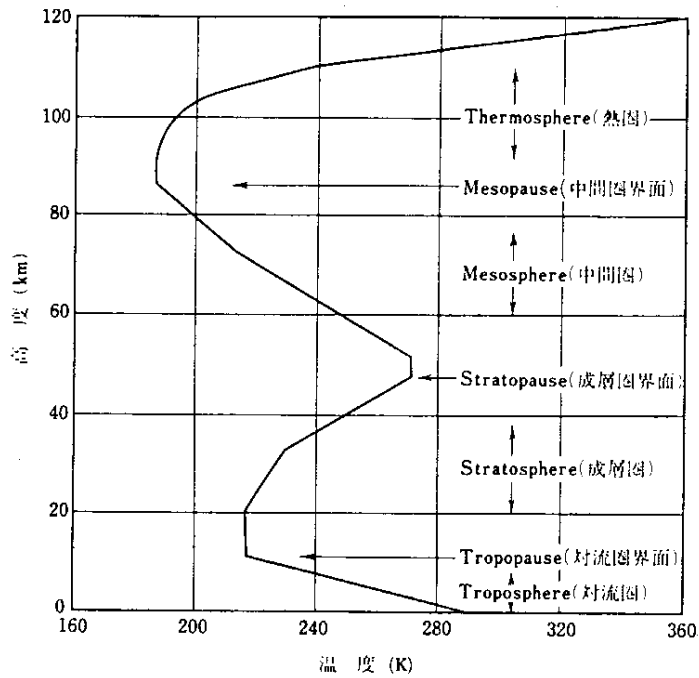


図1 米国標準大気の鉛直1次元温度分布. 高度は120km以下である. (理科年表, 1990)

図2は高度100~500kmにおける温度構造をあらわす。

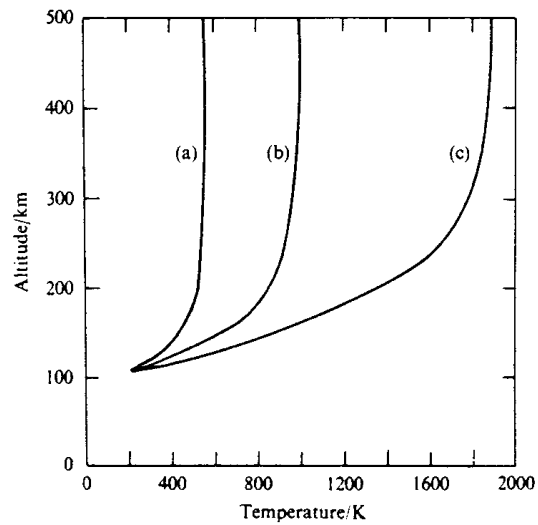


図2 高度100km以上の大気平均温度. 温度構造は太陽活動度によって異なる. それぞれ太陽活動度が, a) 非常に弱い, b) 並, c) 非常に強い, 状態に対応する. (Houghton (1986). 原図は COSPER (1972))

2 密度分布

図3は観測値とモデルから NASA が決定した米国標準大気 (1976) の密度分布である。高度が増すにつれて密度は指数関数的に減少することがわかる。

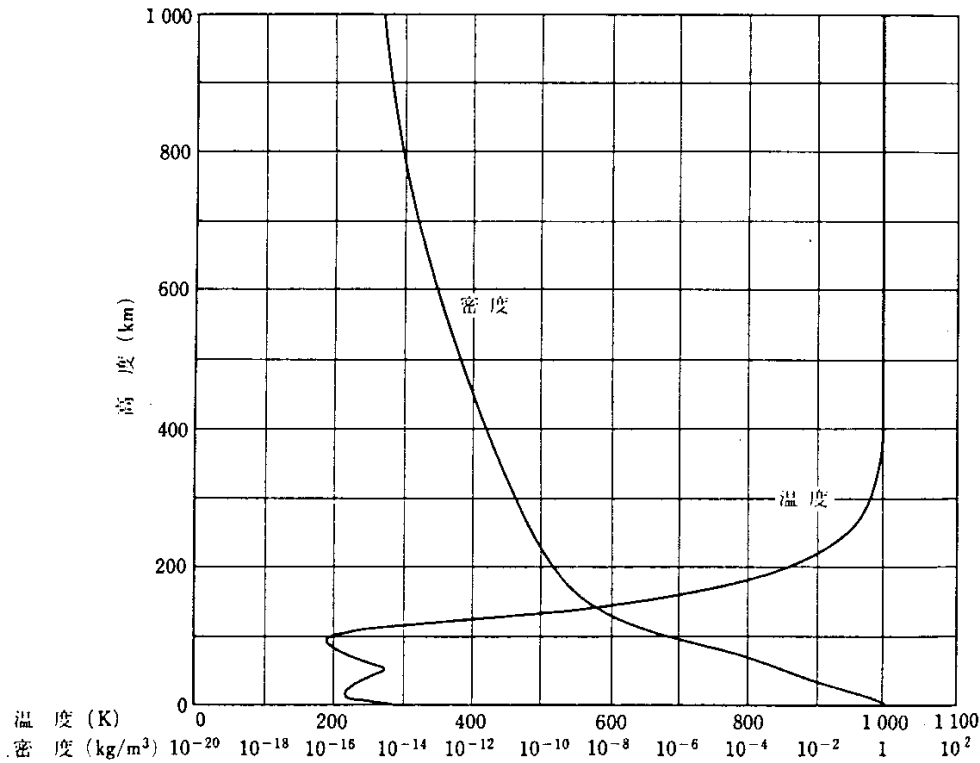


図3 米国標準大気の鉛直1次元密度分布。高度は1000km以下である。高度120kmの部分については、高度1000kmで1000Kである、という境界条件の元に解いている。(理科年表, 1990)

3 組成分布 (高度~100km)

ここでは、微量成分の組成の鉛直分布を示す。

ただし、組成の主要成分である N_2 , O_2 , Ar の鉛直分布は高度約100kmまではほぼ一様であり、'地球現象論~地球に関する基本的な数字' に示した大気全体の組成とほとんど変わらない。また、 N_2 や O_2 では、総量が多いので、大気全体の組成からのずれも感知できない。

ここでは、 N_2 , O_2 , Ar よりも少ない大気中の成分のうちいくつかの鉛直分布を示す。図4が高度10kmから100kmまでの大気の微量成分の鉛直分布である。私が気がついたところとしては、次のようなことが挙げられる。

- 成分毎に鉛直分布の仕方が異なる。

- O_3 は、数密度としては高度約 22km で最大だが、質量比としては高度 35km 程度で最大である。
- H_2O は高度によらず質量比が一定であるように見える。しかし、大気全体では、 H_2O が占める質量比は 2×10^{-3} 程度である¹ことから対流圏とそれよりも高い高度では大きく異なることがわかる。
- CO_2 は高度によらず質量比が一定である²。
- 高度 100km 以上の領域では微量成分の中では、酸素原子 O の占める割合が大きい。

¹‘地球現象論 ~ 地球大気に関する基本的な数字’ 参照。

²実際、大気全体においても、 CO_2 が占める質量比は約 5×10^{-4} である。これについては、‘地球現象論 ~ 地球大気に関する基本的な数字’ 参照。

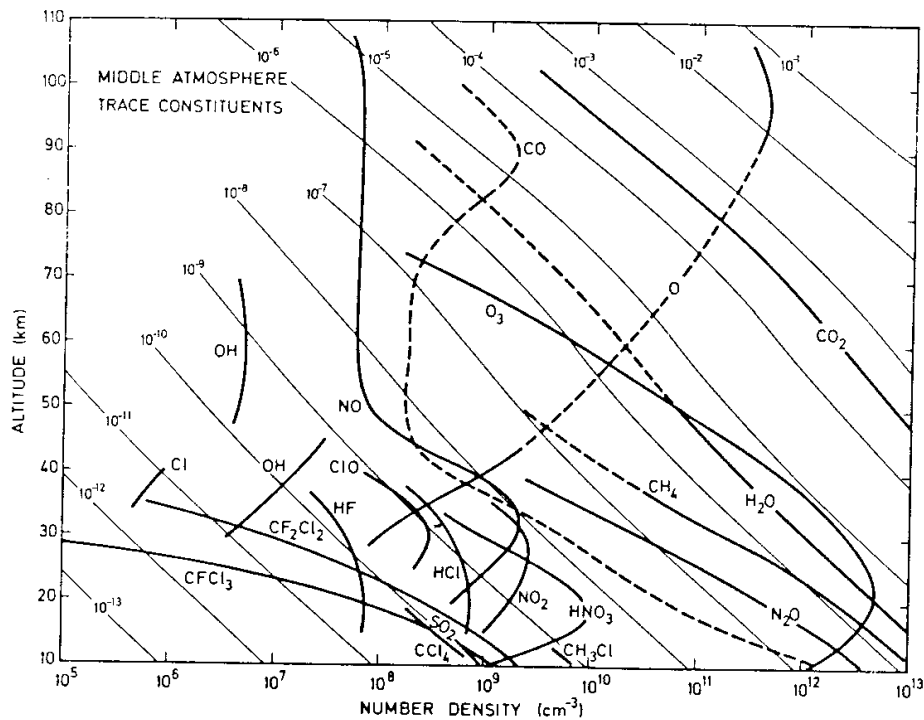


Fig. 8. Typical number density vs altitude of middle atmosphere trace constituents. Volume concentrations are indicated from 10^{-1} to 10^{-13} .

図4 高度10kmから100kmまでの大気の微量成分の鉛直分布。横軸は数密度（ 1cm^3 あたりの分子の数）をとっている。図中の斜めの細い実線は、全組成に対する質量比である。Middle Atmosphere Program (1976)の一環として、7年間の飛行機、気球、ロケット観測に基づき作られた。（Ackerman, 1979）

4 密度, 組成分布 (高度 100~500km)

図 5 は高度 100~500km における大気の組成および密度を示している。

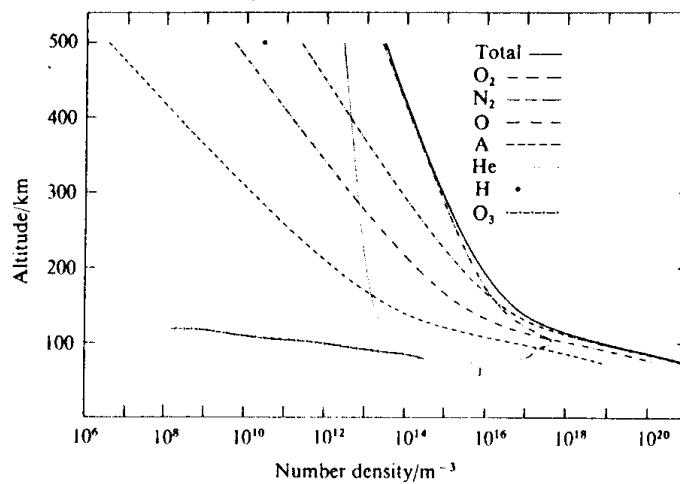


図 5 大気の状態に対する種々の成分及びその全体の数密度 (Houghton, (1986). 原図は COSPER, (1972))

5 Appendix 米国標準大気 (1966)

NASA が 1966 に決定した U. S. Standard Atmosphere Supplements について簡単に記しておく。これは高度 0 ~ 1000 km のモデル大気である。

- 高度 120km 以下については春秋, 1 月, 7 月の 3 つの季節について, それぞれ緯度 15, 30, 45, 60, 75°N および中緯度 (30 ~ 60°N をあらかわす) のモデルがある。高度 30 km まではゾンデの観測によるものを用いている。それ以上の高度については (8°S における) ロケット観測のデータも使っている。
- 高度 120 km 以上については春秋, 夏, 冬の 3 つの季節について, それぞれ 高度 1000km における温度¹ が 600K から 2100K のものまで 16 通りずつ, 合計 48 通りの表がある。

普通米国標準大気として用いられるのは, 季節は春秋, 緯度は中緯度のモデルである。

¹これがモデルを作る際の境界条件の一つとなっている。

6 参考文献

- Ackerman, M., 1979 : *In situ* measurement of middle atmosphere composition. *J. Atmos. Terres. Phys.*, **41**, 723-733.
- Houghton, J.T., 1986 : *The Physics of Atmosphere* 2nd edition. Cambridge University Press, 271pp.
- NASA, 1966 : *U. S. Standard Atmosphere Supplements, 1966*. U. S. Government Printing Office, Washington, D.C., 289pp.
- 国立天文台編, 1990 : *理科年表*. 丸善, 1032pp.
- 松野太郎, 島崎達生, 1981 : *大気科学講座 3 成層圏と中間圏の大気*. 東京大学出版会, 279pp.

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なわれていた、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。原作版は保坂征宏による「地球現象論」(90/9/4) であり、林祥介によって地球流体電脳倶楽部版「地球現象論」として書き直された。構成とデバッグに協力してくれたセミナー参加者のすべてにも感謝しなければならない。