

C 3

中間圏ナトリウム層の光化学モデル

Photochemical model of the mesospheric sodium layer

内海通弘 藤原玄夫

M. Uchiyami and M. Fujiwara

九大理 物理

Department of Physics, Faculty of Science, Kyushu University

Slipher (1929) が夜空に590nmの放射を観測して以来、中間圏ナトリウム層の形態は、主に夜光とレーザー・レーダーにより、詳しく観測されてきた。極域をのぞいて、その日変動季節変動は、ほぼ明らかになった。ナトリウム層の全量(total column abundance)は、南北半球とも、冬に増大し、ピークは下がり、夏に減少しピークは上がる。また、全量の季節比(冬/夏)は緯度とともに増加する。我々が、今まで報告してきたように、レーザー・レーダーの観測によれば、福岡(33.4°N)では季節比は、約2であり、極大は冬よりむしろ秋であった。また、全量の日変動(昼と夜の差)は、ほとんどないことが、今までのレーザー・レーダーの観測によって明らかにされた(Gibson & Sandford, 1972)。

Chapman (1939) が、夜光のメカニズムを提唱して以来、ナトリウム層に関する種々の現象を理解するため多くの研究がなされてきた。しかしながら、中間圏ナトリウムに関する化学反応の速度定数は、実験によって、確かめられていなが、ため、モデル化の研究は推論の域を出なかった。最初、水素原子と類似の反応が起こると考え、化学反応速度定数は、水素に関するものを、質量の補正をして使われていた(Brown, 1973)。KolbとElgin (1976)は、鉛打ち模型を使って、反応定数を計算した。鉛打ち模型は、アルカリ金属とハロゲン分子に対し、実験結果を説明する非常に成功をおさめた模型であったが、BatesとOja (1982)は、アルカリ金属と酸素には適用できないかもしれないことを示唆している。その後、反応(3)(表1)は、従来信ぜられた値より1000倍速いことが実験で確かめられたので、以前のモデルは、大げな修正を受けることになった。この結果、70km以下では、Naは、NaO₂やNaOHの化合物で存在しており、これは、成層圏で、HClと反応し、NaClをつくる。NaClは、光解離によってNaとClに分解する。HClに比べ、Clは不安定で、オゾンを効果的に破壊することになる。このことから、Naの成層圏における役割が問題になり、ナトリウムの反応定数が、ここ数年になって、急速に測定されることになった。もっとも新しい定数と反応を表1に示す。まだ測定されていないものに対しては、推定値を使った。鉛打ち模型が、測定結果より予想であることがわかったので、動力学的衝突回数に近い反応が大気中では起りうると考えた。

ナトリウム化合物の密度は、70から100kmまで2km間隔で、一次元で計算した。うす拡散は、化学の時間スケール(～数分)に比べ、1日と長いので無視した。定常解で得られた、相対密度を、LiuとReid (1979)の1次元モデルの全化合物密度にノーマライズした。その結果、ナトリウムの垂直分布は、上部をのぞいて、実験とよく一致した。上部に関しては、Thomas (1982)が示唆しているように、ナトリウムイオンのクラスタリング反応を入れれば、観測と一致する。ここでは、中性反応のみを入れて、季節・日変動が何によって起っているかを調べた。Swiden (1985)が主張しているように、季節変動は、反応(3)の温度依存性と大気密度の季節変動によって生じ、観測とよく一致する。しかし、日変動は、モデルと観測では一致しない。この反応系では、昼Naが多く、夜少ない。観測では、ほとんど日変動がない。これは、反応系の選び方が不十分であることが原因であると考えられる。

表 1

反応	反応定数	文献
1 $\text{Na} + \text{O}_3 \rightarrow \text{NaO} + \text{O}_2$	* 3(-10)	Ager & Howard (1985)
2 $\text{NaO} + \text{O} \rightarrow \text{Na}(^2P, ^2S) + \text{O}_2$	4(-11)	Sze et al (1982)
3 $\text{Na} + \text{O}_2 + \text{N}_2 \rightarrow \text{NaO}_2 + \text{N}_2$	* $1.9(-30) \left(\frac{T}{300}\right)^{-1.1}$	Silver et al (1985)
4 $\text{NaOH} + h\nu \rightarrow \text{Na} + \text{OH}$	* 2(-3)	Rowland & Makide (1982)
5 $\text{NaO}_2 + h\nu \rightarrow \text{Na} + \text{O}_2$	5(-3)	Sze et al (1982)
6 $\text{NaO}_2 + \text{O} \rightarrow \text{NaO} + \text{O}_2$	1(-13)	Sze et al (1982)
7 $\text{NaO} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{NaOH} + \text{OH}$	* 1(-10)	Ager & Howard (1985)
8 $\text{NaO} + \text{O}_3 \rightarrow \text{NaO}_2 + \text{O}_2$	* 2(-10)	Ager & Howard (1985)
9 $\text{NaO} + \text{H} \rightarrow \text{Na} + \text{OH}$	1(-14)	
10 $\text{NaO}_2 + \text{OH} \rightarrow \text{NaOH} + \text{O}_2$	1(-11)	
11 $\text{NaO}_2 + \text{H} \rightarrow \text{NaOH} + \text{O}$	1(-13)	
12 $\text{NaOH} + \text{H} \rightarrow \text{Na} + \text{H}_2\text{O}$	* 1.4(-12)	Silver et al (1984)

3(-10)は 3×10^{-10} と読む。単位は (g) のみ、 cm^6/s で他は、 cm^3/s 。*は測定された反応定数である。反応系は、Sze et al (1982) の B2 モデルの No (1) ~ (12) と同じ。

(重力波)

中間圏ナトリウム層にしばしばみられる波状構造の垂直方向の伝播人は、波長 3 ~ 15 km, 位相速度 1 ~ 3 m/s が典型的である。これは、内部重力波に原因が求められている。大気中の層が重力波に対しどのような応答を示すかは、Chiu and Chin (1978) により、研究されている。これをもとに、Shelton 氏 (1980) は、ナトリウム層の重力波に対する応答をモデル化している。これらのモデルは、ナトリウムが化学的に安定な物質であると仮定し、中性大気の変動が衝突によりナトリウムに伝わることを考えている。しかし、表 1 に示すように、反応は速く (life time ~ 数 ~ 数十秒 at 70 ~ 90 km)、化学的に保存量とは考えられない。従って、力学と化学の time constant の大小により、考え方を変えなくてはならない。両方の time constant が同程度であるナトリウム層上部では、化学と力学がカップリングしてくるし、中部、下部では、化学でほとんど決ってしまう。化学と力学が、カップリングしてくる上部をのぞいて、化学だけで決まる領域では、重力波がどのように Na 層に表われるかはまだ明らかではないが、新しいメカニズムを提案する。このモデルによれば、反応(3)が大きな役割をはたし、観測によく見られる波状構造の伝播人が再現される。

主な参考文献

Silver et al (1984): 20th International Symposium on Combustion, 605-612.

Swider, W. (1985): G.R.L., 12, 589-591.

Sze et al (1982): G.R.L., 11, 673-676.

Swider, W. (1986): J.G.R., 91, 6742-6746.