

O₂ (1.27 μm) の下層大気中での強度*

牧野忠男**・山本博聖***・関口宏之**

概 要

高度 90 km 付近に発光層をもつ酸素分子の禁制線である infrared atmospheric band (1.27 μm) の下層大気中での伝播を Monte-Carlo method を用いて球対称場内の過程として解いた。主要な過程は下層大気中の酸素分子の共鳴吸収であるが、再放出も考慮した。結果としては再放出は無視してもよいことがわかった。

1. 序 論

1972 年 9 月 10 日に放球された気球により測定された大気光 1.27 μm band の下層大気中での伝播については吸収過程のみを考えた場合が発表されている [1]。

その結果、天頂角 80° 以上の点については観測と理論的な考察と一致しないことがわかった。この原因の一つに理論的考察では吸収された光の再放出を無視していることが考えられ、この論文では再放出を考慮しても理論的考察の結果が変わらないことを示す。

又、ここで用いた Monte-Carlo 法は再放出過程が吸収にくらべて寄与が小さいときに輸送方程式を解く方法として有用であることがわかった。

球対称場内の放射輸送方程式は次のように与えられる。

$$\mu \frac{\partial I_\nu}{\partial r} + \frac{1-\mu^2}{r} \left(\frac{\partial I_\nu}{\partial \mu} \right) = -\rho \kappa_\nu I_\nu + \frac{\rho \tilde{\omega}}{2} \sum_{\nu'}^{band} \left[\sum_j \kappa_{\nu'} (a_j I_{\nu'j}) \right] b_\nu$$

ここで、 I_ν : 波数(ν , $\nu + d\nu$) 間の放射強度

μ : $\cos \theta$, θ ; 天頂角

r : 対称の中心 (地球の中心) からの距離

ρ : 吸収分子の密度

κ_ν : 波数 ν における吸収関係

$\tilde{\omega}$: 再放出の割合

a_j : $j = \pm 1, \pm 2, \dots, \pm n$ で Gauss 積分の weight

$b_{\nu'} : []$ 内を band 全体に亘る和をとるときの weight

* 宇宙研特別事業費による研究論文

** 立教大学理学部物理学教室

*** 東京大学理学部

ω が小さな量である場合には微量 λ を用いて $\omega = \lambda \omega'$ とかき I_ν を球関数で展開して行く方法が考えられるが、かなりの労力を要するのでこの論文では Monte-Carlo 法を採用し(1)式を直接に解く方法は採用しなかった。

2. Monte-Carlo 法による計算

今回のような場合、Monte-Carlo 法では発光層より放出された光子を消滅又は無限遠に行くときみなせる場所まで多数箇の光子を追跡し、統計的に放射場内の光の強度分布を求めることになる。

今回の計算に用いた諸条件を列挙する。

(1) 大気モデル

- (a) 温度分布は US 標準大気 (1966) を数本の直線で近似した。
- (b) 圧力分布は $P = 10 \exp(-0.148 h)$, h in km とした。
- (c) 酸素分の密度は $\rho = 5.556 \times 10^{18} P$ とした。

(2) 吸収, 放出モデル

- (a) 吸収放出の line profile は Voigt 型を採用した。具体的には Whiting [2] による近似を使用した。
- (b) 放出は、発光層、及び下層大気中ですべて等方的であるとした。
- (c) quenching 係数, $k = 3.5 \times 10^{-19} \text{ cm}^3 \cdot \text{sec}^{-1}$ [3], 自然放出, $A'(0-0) = 2.58 \times 10^{-4} \text{ sec}^{-1}$ [4].
- (d) 発光層の高度は 90 km とした。発生スペクトルはその場所の温度及び圧力によるとした。
- (e) 光子の追跡は、地球に衝突、又は高度 55 km を地球から外に向って出た場合に消滅とした。追跡の Step は光子のいる場所で吸収に対する mean free path を計算し、その 1/30 とした。

3. 結果と検討

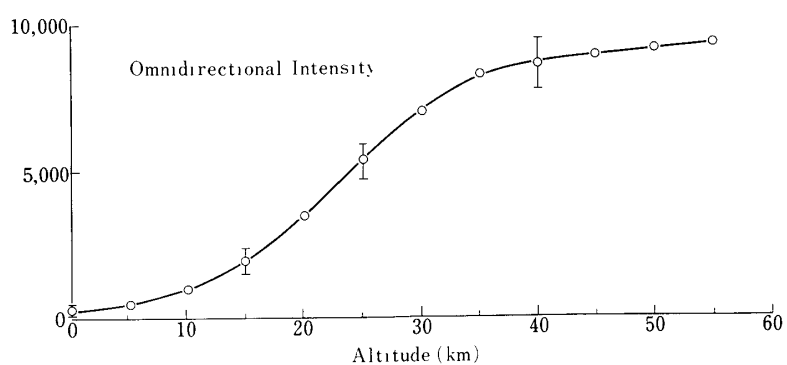
10^4 箇の光子を発光層より追跡した。第 1 図に高度に対する全方向強度を示す。誤差棒は統計誤差である。

これによれば酸素の $127 \mu\text{m}$ を測定する気球高度は 40 km 以上が望ましいことがわかる。また、地上まで到達するものは約 3% である。第 2 図に発生層における発光スペクトルと高度 20 km における全方向の光を合わせたもののスペクトルを示す。図には全 branch をかくと見にくくなるので $^R Q$, $^P Q$, $^Q R$ 及び $^Q P$ branch は省略した。

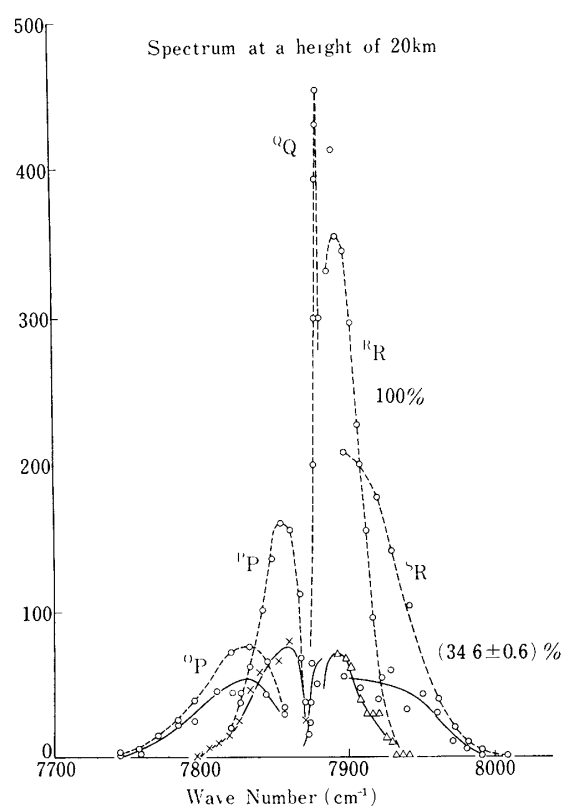
$^Q Q$ branch の吸収が多いことがわかる

第 3 図 a, b に各高度に於て天頂角分布を測定した場合に期待される相対強度を示す。Van Rhijn 効果は低高度になるにつれて強く表われなくなる。

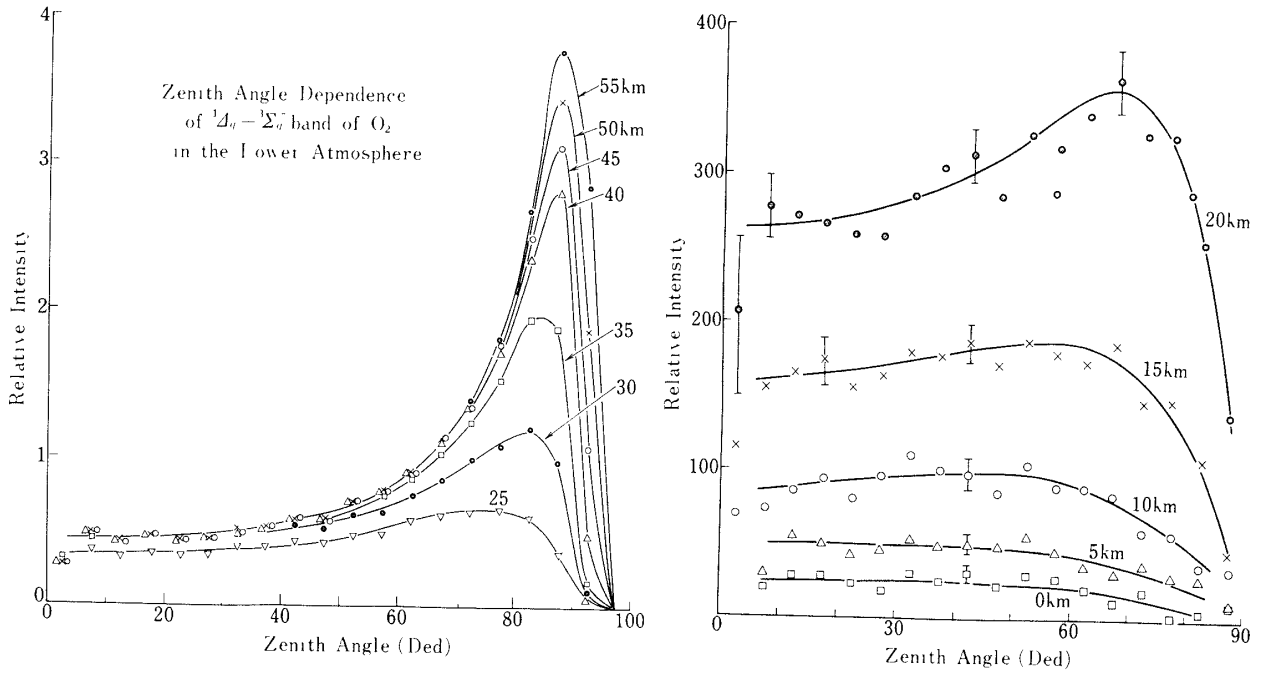
10^4 箇の光子を追跡して吸収された後、再放出が起ったものはわずかに 10 箇 0.1% である。したがって、再放出は無視してよいことがわかる。これは前節の k , A' 及び各高度での酸素分子の密度より、再放出の割合は推定が可能で予想通りの結果である。



第1図 高度に対する全方向強度，縦軸は相対強度，横軸は測定高度。



第2図 回転線の強度分布，点線は発生層，実線は高度20 kmにおける分布で，いずれも全方向に対する値である。それぞれの横軸の値の近傍の回転線の密度を図の値に乗じたものがスペクトル観測では得られる。縦軸は相対値，横軸は波数である。



第3図 a, b 各高度における強度の天頂角分布, 誤差棒は統計誤差

気球高度で酸素 $1\ 27\ \mu$ の光りを測定した場合は以上の結果より平均状態の様相が推定できる。

1977年6月10日

参 考 文 献

- [1] T. Makino, H. Yamamoto and H. Sekiguchi, J. Geomag. Geoelectr., **28**, 243, 1976
- [2] E. E. Whiting, J. Quant. Spectry Transfer, **8**, 1379, 1968
- [3] W. F. J. Evans and E. J. Llewellyn, Ann. Géophys, **26**, 167, 1970
- [4] R. M. Badger, A. C. Wright, and R. F. Whitloch, J. chem phys, **43**, 4345, 1965