

OH 回転温度の観測

山本博聖¹・森 一博¹・佐野好香¹・関口宏之¹・牧野忠男¹

Ground Observation of the OH Rotational Temperature

By

Hiromasa YAMAMOTO¹, Kazuhiro MORI¹, Yoshika SANO¹, Hiroyuki SEKIGUCHI¹
and Tadao Makino¹

Abstract : The ground-based measurement of the OH rotational temperature was done at Kagoshima Space Center in WAVE2000 campaign. The filter radiometer that has 8 band-pass filters for measuring the OH and O₂ airglows was used. The photo-sensor is pure Ge cooled by LN₂. We could get the data only about 1 hour because of the bad weather. The rotational temperature is deduced from the relative strength of the OH(3-1) 2P₁ and 4 P₁ branches. The averaged temperature was 238K during the measurement. There was no phase difference between the OH airglow radiance and the O₂ one. Therefore it was not possible to clear the cause that derived the temporal variation of these airglows.

概 要

WAVE2000 キャンペーンにおいてロケット観測時にあわせてKSC地上においてOH回転温度の観測を行った。近赤外域OH, O₂大気光を含む8つの波長を測定するフィルター放射計を用いた。検出素子は液体窒素冷却のGe素子である。天候に恵まれず地上観測データはロケット発射前後の1時間に限られた。この間についてのOH(3-1)帯の2本のP枝相対強度から得られた回転温度の平均は238Kであった。OH, O₂大気光の時間変動の位相には時間的な差異は見られず、この時間帯で見られた小さな時間変動が下層大気起源によるものかどうかは判定できなかった。

重要語 : 回転温度, 地上観測

はじめに

WAVE2000キャンペーンにおいてロケット観測時にあわせてKSC地上においてOH回転温度の観測を行った。その結果を報告する。

1.OH 回転温度

高度87kmに発光のピークを持つOH大気光(3-1)帯放射のP枝相対放射強度から回転温度を導出する。OHの振動回転エネルギー $\varepsilon(\nu, J)$ は振動エネルギー $G(\nu)$ と回転エネルギー $F(J)$ を用いて下記のように表される。

$$\varepsilon(\nu, J) = G(\nu) + F(J)$$

ここで

$$G(\nu) = \omega_e(\nu + \frac{1}{2}) - \omega_e x_e(\nu + \frac{1}{2})^2 + \omega_e y_e(\nu + \frac{1}{2})^2 - \dots$$

$$F(J) = B_v((K+1) - 1 - \frac{1}{2}[4(K+1)^2 + Y_v(Y_v - 4)]^{\frac{1}{2}}) - D_v(K + \frac{1}{2})^4$$

$$(J = K + \frac{1}{2} \text{ の場合})$$

$\nu = 1$ と $\nu = 3$ についての値を表1に示す。(Coxon,1980)

表1 OH振動準位定数

	$\nu = 1$	$\nu = 3$
$G(\nu)$	3569.643	10214.045
B_v	17.82012	16.42420
D_v	0.0018695	0.0018045
A_v	-139.325	-139.850
Y_v	-7.81841	-8.51488

これらの関係からOH(3-1)帯のP枝放射の波長は $2P_1$, $4P_1$ について1524.11nm, 1543.23nmとなり、地上観測での波長は1523.70nm, 1542.81nmである。

OH分子が周囲の大気分子と熱平衡状態にあるとき、各振動準位における回転準位間の相対存在分布はボルツマン分布で表せる。この分布を決定している温度が回転温度である。

振動準位のある回転準位 J での分子数 $N(\nu, J)$ は回転温度を T_{ROT} として

$$N(\nu, J) = N(\nu) \cdot 2(2J+1) \cdot \exp[-hc\varepsilon(\nu, J)/kT_{ROT}]/Q_R$$

となる。

1つの回転線の遷移 $(\nu', J') \rightarrow (\nu'', J'')$ について、その強度 $I(\nu', J', \nu'', J'')$ は自然遷移確率を $A(\nu', J', \nu'', J'')$ とすると

$$I(\nu', J', \nu'', J'') = N(\nu', J') \cdot A(\nu', J', \nu'', J'')$$

となり、回転温度 T_{ROT} は同じ振動準位間遷移の2本のP枝相対強度と

$$T_{ROT} = \frac{hc}{k} (F(J_1) - F(J_2)) \frac{1}{\ln\left(\frac{2J_1+1}{2J_2+1} \cdot \frac{A_1}{A_2} \cdot \frac{I_2}{I_1}\right)}$$

の関係で結ばれる。ここで2本のP枝についてそれぞれの強度を I_1 , I_2 , 自然遷移確率を A_1 , A_2 , 遷移前の回転準位を J_1 , J_2 で表している。(3-1)帯の2本のP枝 $2P_1$, $4P_1$ について上式は I_1 , I_2 を $2P_1$, $4P_1$ の強度とすると

$$T_{\text{ROT}} = \frac{259.7}{\ln\left(\frac{2.583I_1}{I_2}\right)}$$

となる。ただし自然遷移確率値として Turnbull and Lowe (1989) を用いた。

2. 地上大気光観測装置

近赤外線検出素子に液体窒素冷却方式のGe(素子サイズは $5 \times 5 \text{ mm}^2$) を使用しているフィルター放射計(装置の詳しい説明は Yamamoto et al.(1995) を参照)を用いて地上観測を行った。装備している8枚のフィルターのうち2枚がOH(3-1)帯 $2P_1$, $4P_1$ を測定し、バックグラウンド成分(1511nm付近)結果をもとにそれぞれのP枝強度を算出する。 $2P_1$, $4P_1$ 測定用フィルターの垂直入射についての透過特性を図1aと図1bに実線で示す。実際の観測においてはフィルター面に対して垂直方向から最大5度傾いた方向から入射する光までが検出される。この効果を取り入れて装置に装着したフィルターの持つ実際の透過特性を点線で表している。 $2P_1$, $4P_1$ のラインについては対応するフィルター透過特性からそれぞれ入射強度の50.1%, 34.8%を透過することがわかる。

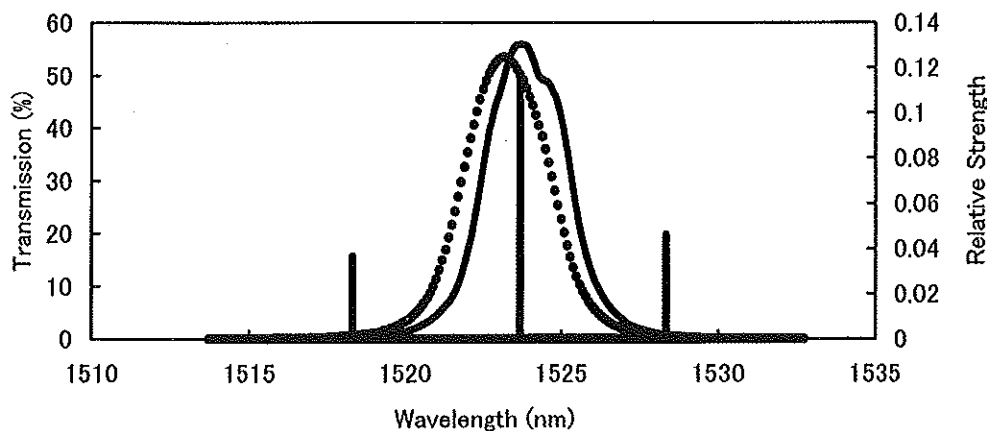


図 1a $2P_1$ 観測用フィルター透過特性
P 枝の波長位置と温度 200 K での相対強度をあわせて示す。
3本のラインは左から $2P_2$, $2P_1$, $3P_2$ 。

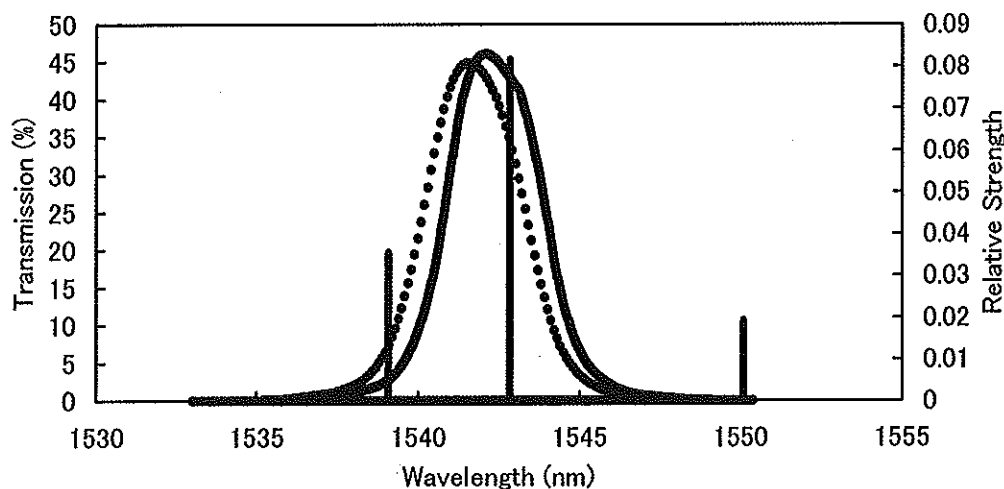


図 1b 4P1 観測用フィルター。ラインは左から 4P2, 4P1, 5P2.

3. KSC 地上観測

WAVE2000 キャンペーン期間における地上観測は、天候不良ならびに装置チェックに手間取ったことが重なりロケット実験当日までのデータは得られなかった。当日（2000年1月10日）はロケット発射前後の晴れた1時間ほどの間にデータが取得できた。OH(3-1)帯 $2P_1$ ならびに $4P_1$ 測定用チャンネルとバックグラウンド測定用チャンネルの出力結果を図2に示す。この3種の出力電圧をそれぞれのチャンネルでの中心波長における光量に変換後バックグラウンド成分を差し引いて $2P_1$ ならびに $4P_1$ ライン強度を算出し、回転温度を求める。観測終了付近は明け方の太陽光散乱成分による光量増加の傾向が少し見えている。観測の1時間について出力はほぼ一定であるが平均出力の2-3%の振幅をもつ1時間程度の変動もみてとれる。バックグラウンド成分は予想される自然光強度よりかなり大きく（10-20R/A）市街光の散乱によるものと思われる。

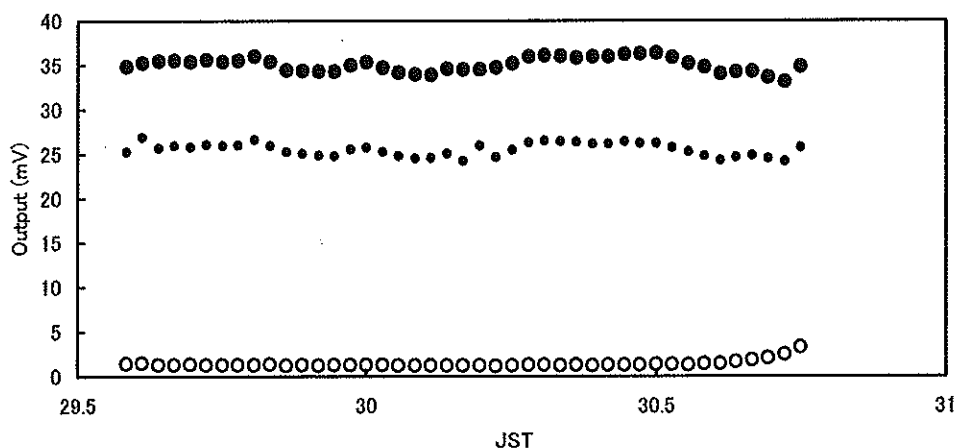


図2 3つのチャンネルの出力電圧の時間変動（横軸は1月9日を基準としている）
上から $2P_1$ 用, $4P_1$ 用, バックグラウンド用の各チャンネル出力。

図3に回転温度結果を示す。日本（東京）でのこれまでの観測から、冬季（12月）には8時から12時間の周期を持つ変動が回転温度ならびにライン強度の時間変動に見られることが多い（川上, 1994）。また回転温度の夜間平均は冬季には210K, そして振幅が20K ないし 35K の大きさを持ち, その最大値は真夜中以降に現れている。例えば午前2時から3時半にかけて230 Kから240 K (1993年12月12日), おなじく午前3時から3時半に235 K (12月16日) の事例が有る（川上, 1994）。今回観測された1時間についての回転温度の平均238K は平均温度としてはかなり高い結果に見えているが, これまでに観測されている日本冬季の回転温度様相で説明される結果である。

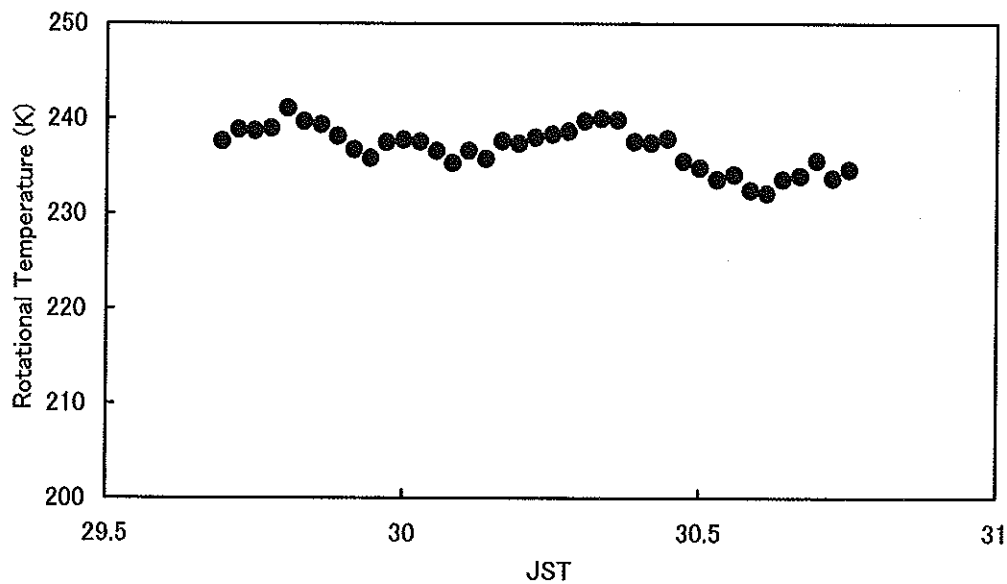


図3 回転温度結果

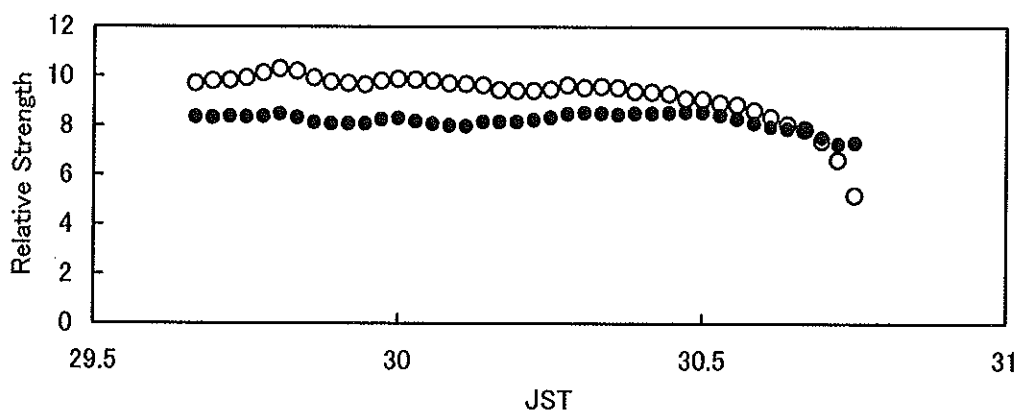


図4 大気光の時間変動。白抜きは O2 (1270 nm)、黒丸は OH(3-1) 2P1 大気光強度。

図4に同時に観測された O_2 1270 nm 結果を OH(3-1) $2P_1$ とあわせて示している。朝方に O_2 1270 nm 大気光強度が急激な減少を見せているがこれはバックグラウンド成分として大きな影響を与える太陽光の散乱成分によるものであり、真の変動ではない。この時間帯以外は二つの大気光強度は同一位相で、またほぼ同じ振幅をもって変動していることがわかる。 O_2 1270 nm は通常発光ピーク高度 92km にあり (Yamamoto et al., 1992), OH ピーク高度 87km の 5km 上層にある。今回のロケット観測での結果は OH 大気光発光ピークは 87km にあるが O_2 A 帯は 90km 付近と通常に比べて 5km ほど下層にピークが出ている (岩上他, 本特集)。1270 nm を産み出す O_2 (a) は酸素原子の 3 体反応で生じた励起酸素分子が再度酸素分子との衝突をおこすことで作られ、3 体反応で予想されるピーク高度から 5-8 km 高度が低いほぼ 92km に出る。この高度差があるため通常の地上観測においては OH と O_2 大気光の時間変動に位相差がみられることが多い。上層にある O_2 大気光にまず変動がみえるパターンによってその変動の原因が下層にある、と推定できることになる。しかし今回のロケット結果からわかるように酸素原子密度分布ピークが低く、そのため O_2 (a) 分布が下がったことが予想できる。そして O_2 (a) と OH の高度分布がほぼ重なり、両者の強度の時間変動が似た結果を示したと解釈できる。したがって、この時間帯で観測された OH 大気光にみられた縞々構造の原因が下層からの擾乱の伝播によるものかどうかの情報はわれわれの地上観測からは得られないことになる。

参 考 文 献

- [1] Coxon, J.A.: Optimum molecular constants and term values for the $X^2 \Pi$ ($v < 5$) and $A^2 \Sigma^+$ ($v < 3$) states of OH, *Can. J. Phys.*, **58**, 933-949, 1980.
- [2] Turnbull, D.N. and R.P. Lowe: New hydroxyl transition probabilities and their importance in airglow studies, *Planet. Space Sci.*, **37**, 723-38, 1989.
- [3] Yamamoto, H., T. Kawakami, H. Sekiguchi and T. Makino et al.: Ground-based measurement system of the OH rotational temperature, *J. Geomag. Geoelectr.*, **47**, 361-376, 1995.
- [4] Yamamoto, H., I. Naito, T. Makino and H. Sekiguchi: Altitude distribution of O_2 1.27 μ m nightglow emission observed by a rocket-borne radiometer, *J. Geomag. Geoelectr.*, **44**, 207-221, 1992.
- [5] 川上多佳子: メソポーズ領域の大気温度の地上測定 1993 年度立教大学修士論文