

# C12

## 昼間ライダー観測のための狭帯域 Na 原子ファラデーフィルターの特性 Characteristics of a Na Faraday filter for daytime lidar observations

名倉 立統、阿保 真、長澤 親生、野口 和夫<sup>1</sup>

Tatsunori Nagura, Makoto Abo, Chikao Nagasawa, and Kazuo Noguchi<sup>1</sup>

東京都立大学 工学部、千葉工業大学<sup>1</sup>

Tokyo Metropolitan University, Chiba Institute of Technology<sup>1</sup>

Abstract : Ultranarrow bandpass Na vapor dispersive Faraday filters at 589 nm are studied for the daytime measurements of mesospheric Na layers. These filters makes use of the Faraday effect and Fraunhofer line. We have tried to calculate the temperatures and magnetic fields keeping the high transmission and the ultranarrow bandwidth.

### 1. はじめに

ライダーにより、フォトンカウンティングレベルで昼間観測を行うためには、太陽による背景光ノイズを大幅にカットするために、狭帯域のバンドパスフィルターが必要となる。従来用いられてきたエタロンを利用したフィルターは、波長シフトを抑えるために厳密な温度制御が必要であり<sup>1)</sup>、透過率も数 10%程度と低い。一方、原子蒸気フィルターは、原子の吸収を利用するため、そのままではバンド阻止型フィルターになってしまう。又、Atomic Resonance Filter は、セル内の原子をポンピングする必要があり、さらにポンピングにより不要な準安定状態ができ、原子がノイズ光を発するという難点がある<sup>2)</sup>。これに対して Chen et.al(1993)<sup>3)</sup>が発表した、原子蒸気フィルターと磁石を組み合わせた Na 原子ファラデーフィルターは、Na の D<sub>2</sub>線(589nm)において最大透過率 85%、半値幅 1.8GHz という狭帯域で高透過率のバンドパスフィルターとなっている。我々は、ライダーによる昼間の中間圏の Na の密度や、それを利用した温度測定のために Na 原子ファラデーフィルターを開発している。ここでは、その Na 原子ファラデーフィルターが高い透過率と、狭帯域なバンド幅を維持できる温度と磁場の範囲を、シミュレーションにより求めるとともに、実験を行いシミュレーションと照らし合わせ検討した。

### 2. 狭帯域原子フィルターの動作原理

Fig.1 に狭帯域 Na 原子ファラデーフィルターの原理図を示す。

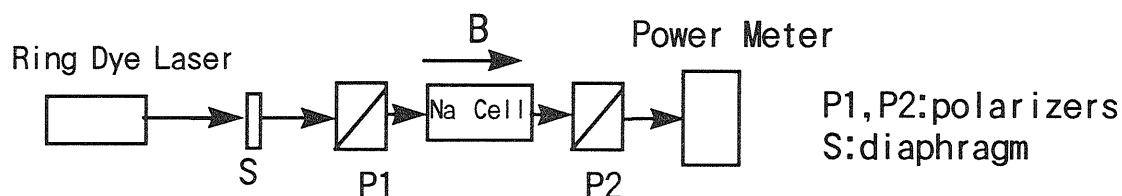


Fig.1 The principle diagram of ultranarrow bandpass Na vapor dispersive Faraday filter

偏光子 P1 を通った光の偏光面は、Na 蒸気セル内で磁場 B によりファラデー回転する。P2 の偏光面は P1 に対して 90° 回転させて設置する。光が偏光子 P2 に達する時に、その旋光角が 90° になるように、磁場、温度、セルの長さを設定する。

ここで、セル内で右及び左に円偏光する光に対して、ドップラー幅を掛け合わせる前の Optical Depth をそれぞれ  $\alpha'_+$ ,  $\alpha'_-$  とし、周波数  $\nu$  の関数で表すと、

$$\alpha'_{\pm}(\nu) = \frac{N\lambda_0^2 g_i}{8\pi g_k} A_{ik} \frac{\Gamma/2\pi}{(\Delta\nu)^2 + (\Gamma/2)^2} \quad (1)$$

$$\Delta\nu_{\pm} = \nu - \nu_0 + g_j \mu_0 H M_J \pm \Delta W$$

- |                                       |                 |
|---------------------------------------|-----------------|
| $\Gamma$ : 自然幅                        | $M_J$ : 磁気量子数   |
| $c$ : 光速                              | $g_j$ : g 因子    |
| $N$ : 原子密度                            | $H$ : 磁場        |
| $A_{ik}$ : 遷移確率                       | $g_i, g_k$ : 縮退 |
| $\lambda_0$ : 波長                      | $\mu_0$ : ボーア磁子 |
| $\Delta W$ : Hyperfine Structure の補正項 |                 |

となる<sup>4,5)</sup>。ドップラー幅を掛け合わせた、磁場 1750G、温度 189°C、セルの長さ 0.76cm のときの Optical Depth の図を Fig.2 に示す。ゼーマン効果により共鳴線がシフトし、中心付近での Optical Depth が小さくなり、透過率が高くなることわかる。

ドップラー幅を掛け合わせる前の屈折率を  $n'_{\pm}$  とすると、

$$n'_{\pm}(\nu) = 1 - \frac{N\lambda_0^3 g_i}{32\pi^3 g_k} A_{ik} \frac{\Delta\nu_{\pm}}{(\Delta\nu)^2 + (\Gamma/2)^2} \quad (2)$$

となる。ドップラー幅を掛け合わせた屈折率を  $n_{\pm}$  とすると、ファラデー旋光角  $\delta$  は

$$\delta(\nu) = \frac{\pi\nu}{c} (n_-(\nu) - n_+(\nu)) \quad (3)$$

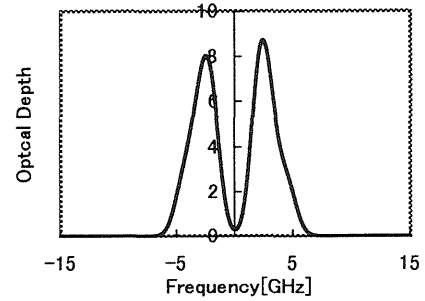


Fig.2 Theoretical optical depth for D<sub>2</sub> line in an axial magnetic field of 1750G with a cell, 0.76cm long, at 189°C

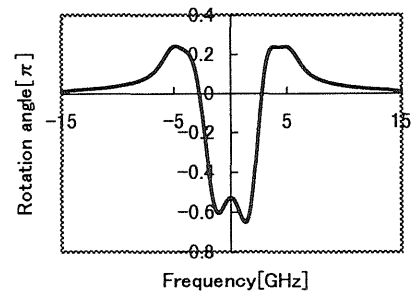


Fig.3 Theoretical Faraday rotation angle for D<sub>2</sub> line in an axial magnetic field of 1750G with a cell, 0.76cm long, at 189°C

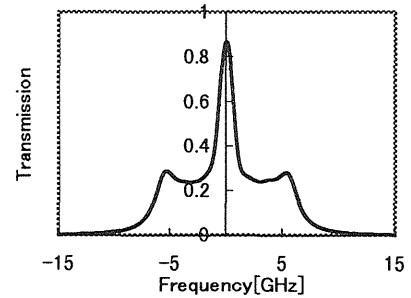


Fig.4 Theoretical filter transmission for D<sub>2</sub> line in an axial magnetic field of 1750G with a cell, 0.76cm long, at 189°C

となる。磁場 1750G、温度 189℃、セルの長さ 0.76cm のときのファラデー旋光角の図を Fig.3 に示す。中心付近で  $-0.5\pi (= -90^\circ)$  回転しているのがわかる。

ドップラー幅を掛け合わせた Optical Depth を  $\alpha_{\pm}$ 、セルの長さを  $L$  とおくと偏光子 P2 から出てくる光の透過率は、

$$T(\nu) = 0.25\{\exp(-\alpha_+L) + \exp(+\alpha_-L) - 2\cos(2\delta)\exp[-(\alpha_+L + \alpha_-L)/2]\} \quad (4)$$

となる<sup>5)</sup>。磁場 1750G、温度 189℃、セルの長さ 0.76cm のときの透過率の図を Fig.4 に示す。最大透過率 85%、半値幅 1.8GHz のフィルターが実現できている。

### 3. シミュレーション

動作原理で説明した式を用いて、 $\text{NaD}_2$  線の原子ファラデーフィルターの、温度と磁場に対する透過曲線の計算機シミュレーションを行った。セル長は 0.76cm とし、磁場を 1750G に保ち温度を変化させた場合と、温度を 189℃ に保ち磁場を変化させた場合の、中心周波数での透過率と半値幅の変化をシミュレーションした。その結果をそれぞれ Fig.5,6 に示す。Fig.5 で温度が上がると、透過率が周期的に変動しているのは、ファラデー旋光角が  $90^\circ$  の整数倍でピークが得られるためである。これらの結果より、磁場が一定であるならば 185℃ ~ 191℃ の間で、温度が一定であるならば 1750 ~ 2350G の間で、それぞれ透過率 0.8 以上、半値幅 5GHz (フラウンホーファー線の幅は 5.8GHz) 以下、1.75GHz (測定に必要な D2 線の幅は 1.73GHz) 以上の値が、得られることが分かった。これより磁場、及び温度コントロールの指標が得られた。

### 4. 実験

Na 原子ファラデーフィルターを試作し、Fig.1 の実験装置を用いて、リング色素レーザーの周波数をスキャンし、簡易的な透過率の測定を行った。周波数の測定は波長計により行った。その実験結果とシミュレーション結果を、Fig.8 と Fig.9 に示す。セルの長さは 1cm で、

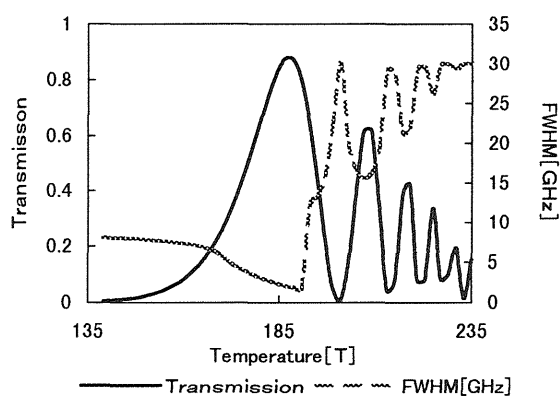


Fig.5 Theoretical changes of the transmission and FWHM in an magnetic field of 1750G with a cell, 0.76cm long

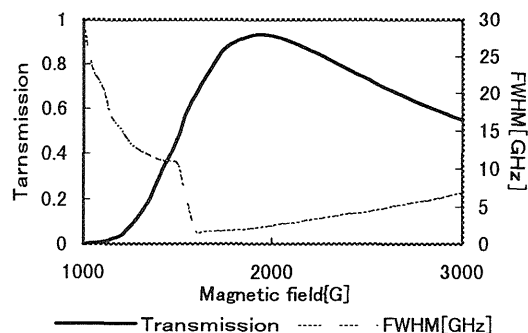


Fig.6 Theoretical changes of the transmission and FWHM in an temperature of 189℃ with a cell, 0.76cm long

それぞれ 1950G、198℃と 2000G、192.5℃の図である。おおむね、実験でもシミュレーションと同様の形が得られたが、実験の周波数分解能が十分でないため、細かい部分での違いがある。

今後の実験では、温度制御精度を±1.0℃とし、コンピューターやファブリーペロー干渉計等を用いて、より精密な周波数制御と出力計測を行う予定である。その実験図を Fig.10 に示す。

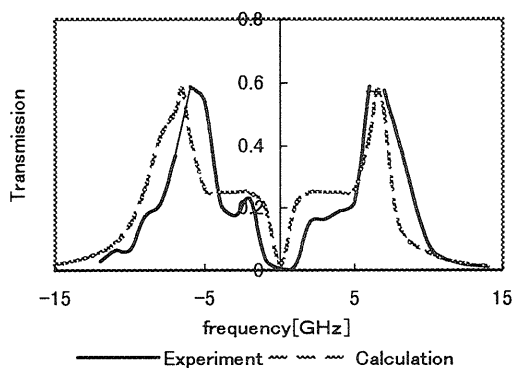


Fig.8 Experimental filter transmission for D<sub>2</sub> line in an axial magnetic field of 1950G with a cell ,1cm long, at 198℃

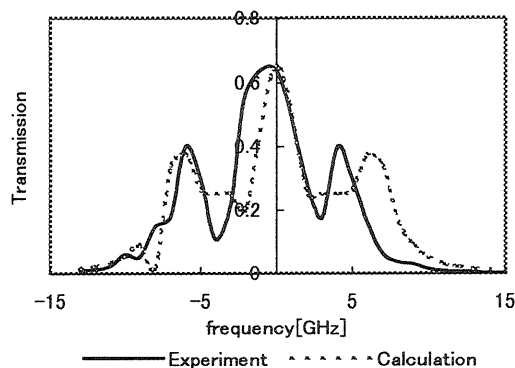


Fig.9 Experimental filter transmission for D<sub>2</sub> line in an axial magnetic field of 2000G with a cell ,1cm long, at 192.5℃

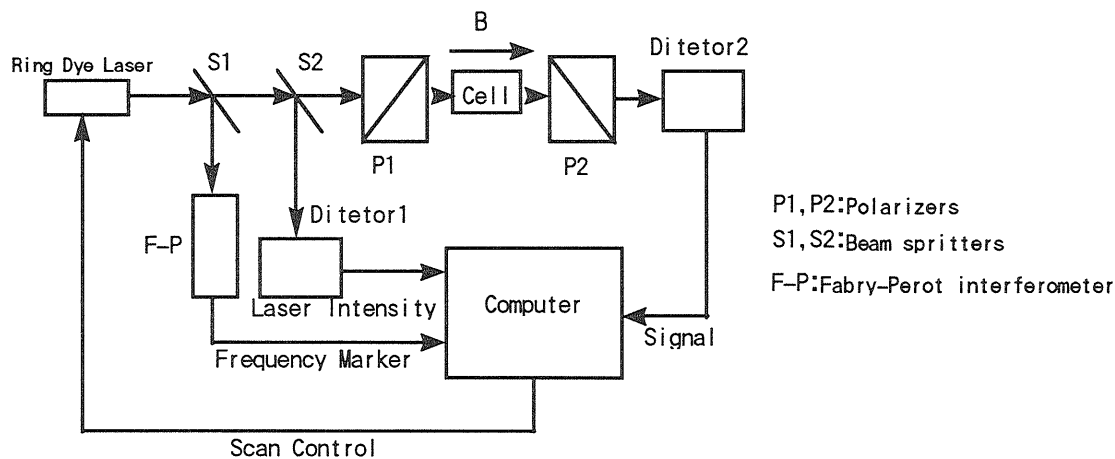


Fig.10 Next time experimental setup for measuring the filter transmission

## 5. 参考文献

- (1) 柴田・長澤・阿保,第 22 回リモートセンシングシンポジウム講演論文集, pp25-26(1996).
- (2) J.A.Gelbwachs,IEEE J Quantum Electronics, Vol.24, No 7, pp1266-1277(1988).
- (3) H.Chen and C.Y.She, Optics Letters, Vol.18, No 12, pp1019-1021(1993).
- (4) Y.C.Chan and J.A.Gelbwachs, IEEE J Quantum Electronics, Vol.29, No 8, pp2379-2384(1993).
- (5) H.Kopfermann, *Nuclear Moments*, Academic Press. New York(1958).
- (6) B.Yin and T.M.Shay, Optics Letters, Vol.16, No 20, pp1617-1619(1991).