

# 高出力ナトリウムライダーにおける 音響光学素子を用いた高速波長切替手法の研究

Study of quick frequency switching technique  
using acousto-optic frequency shifter for a new high-power sodium Lidar

○<sup>1</sup>藤橋陽平、<sup>1</sup>川原琢也、<sup>2</sup>阿保真、<sup>2</sup>柴田泰邦  
<sup>1</sup>信州大学工学部、<sup>2</sup>首都大学東京

<sup>1</sup>Yohei Fujihashi, <sup>1</sup>Takuya D. Kawahara, <sup>2</sup>Makoto Abo, <sup>2</sup>Yasukuni Shibata  
<sup>1</sup>Shinshu University, <sup>2</sup>Tokyo Metropolitan University

**Abstract:** For the high power sodium lidar system that we are developing now, acousto-optic frequency shifter (AOFS) is under construction. This enables quick frequency shift of 589 nm laser that is required for sodium temperature observation. Using the preliminary setup system, we measured optical efficiency and frequency shift of the AOFS. Those are quite consistent with the expected value.

## 1. はじめに

我々は、中間圏界面(高度 80~100km)付近に存在するナトリウムの密度と温度を、長時間高空間分解能な測定が可能であるライダーを用いて観測している。我々のナトリウム(Na)ライダーはナトリウム共鳴線である 589nm のレーザを打ち出すために、1064nm と 1319nm の Nd:YAG レーザ、それぞれの Seed レーザ、そして和周波を出すための非線形結晶により構成される。このライダーは南極観測で用いられ、現在は京都大学宇治キャンパスに設置し観測を行っている。

信州大学では名古屋大学と共同で、Tromsø (Norway)での定常観測を目的として大幅にバージョンアップした Na ライダーの開発を開始した。その出力は南極観測に用いたレーザの 20 倍(~4W)となるので、これまで求めていた 1 時間(<1K@90km)の平均温度プロファイルが、同程度の精度を保ちながら、原理的には数分程度で計測できるようになる。

Na ライダーでは、Doppler broadening している Na D<sub>2</sub> 線内の 2 周波数(約 500~600MHz)にレーザ周波数を交互にチューニングし、それらの散乱光強度の観測から温度を求める。現在のシステムでは、この 2 周波数の切替を 1064nm の Seed レーザの結晶の温度コントロールにより行っている。この手法では周波数切替に 30 秒かかるため、それぞれの周波数で 2.5 分ずつ交互に打ち出して、1 時間分の散乱光強度をそれぞれの積算し、毎時の平均温度を導出している。この手法ではレーザ出力が強くなっても時間分解能を改善するには限界がある。そこで、新型ライダーのために音響光学素子(AO)を用いて、1 μ 秒以下の時間でナトリウム D<sub>2</sub> 線内の

2 周波数を高速に切替えるシステムの実験を開始した。

## 2. 音響光学素子

音響光学素子(AO)は結晶とトランスデューサー部分により構成される。トランスデューサー部分に電圧をかけると超音波が発生し、発生した超音波は結晶内部に疎密進行波を生じさせる。その結晶に光が入射したときに疎密進行波が回折格子の役割をすることで光が回折する。回折光の周波数は、入射レーザの周波数が  $f_0$  で AO に加える周波数が  $\Delta f$  とすると、 $f_0 + \Delta f$  となる。

我々のシステムでは、589nm のレーザは 1064nm と 1319nm のレーザ周波数の和周波をとる事で生成するので、和周波のレーザ周波数を D<sub>2a</sub> peak に固定し、AO により高速にソースレーザの周波数シフトを行う事で、2 周波数の交互発振が可能となる。AO は、一方の seed レーザである 1064nm レーザ光路中に組み込む。

## 3. 実験システム

実験システムでは、首都大学東京の AO システムと He-Ne レーザを用いて基本動作の確認を行ってきた。図 1 に実験システムの写真を示す。

図の左方から入射した横偏光のレーザ光は、レンズにより集光され AO に入射する。AO が off のときにはレーザは AO をそのまま通り抜け、ミラーで反射し、偏光ビームスプリッタ(PBS)により入射方向と 90° の方向に射出される。AO が on のとき、回折光はレンズでもとの光軸と平行となり、ミラーで反射する。2 度 AO を通る事で周波数シフト量は  $2 * \Delta f$  となり、off

時のビームと同じ経路で、PBS で反射する。従って、1064nm の共振器には、AO の on/off によって周波数が  $f_0$ 、 $f_0+2*\Delta f$  の 2 周波数シダー光が入射することになる。

今回の実験では、AO システムでのシダー光の透過効率の計測と、AO の on/off による周波数のシフト量の計測を行った。尚、使用した AO の動作周波数は 200MHz なので、往復 400MHz である。

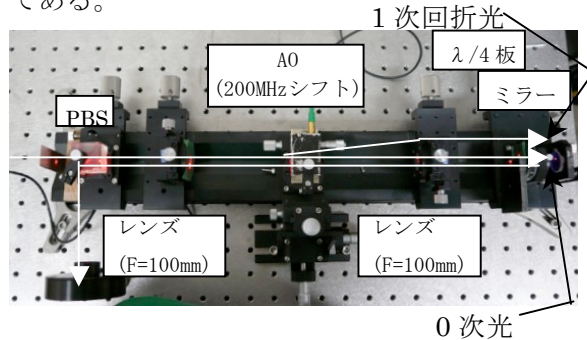


Figure 1. Optical layout of AO frequency shifter.

#### 4. 実験 1 透過効率測定

図 1 において AO システムに入射するレーザーに対して、偏光ビームスプリッタからシステム外に出射する光の計測を行った。Table 1 にその結果を示す。AO が off のときの結果から、AO に用いている全光学系における透過効率  $T_{off}$  が 51% であることがわかった。一方、AO が on のとき、 $T_{on}$  は 38% で、ここから AO の回折効率を約 75% と見積もる事ができ、AO の回折効率の理想値(約 80%)に近い値が得られた。また、別途計測した回折角は  $1.72^\circ$  で、理論から計算される He-Ne 波長での回折角に一致した。1064nm 波長で AO 光学素子を組んだ場合でも理論値に近い値が回折効率が得られると仮定すると、AO システムとしての効率も約 40%程度となると予想される。共振器への最低シダー入力パワー (>20mW) を考えると、AO には 100mW 程度の入力を確保すればいいと考えられる。

Table 1. Measured input/output powers to/from AO system.

	Power (mW)	Transmission
Laser Input	10.3	-
Output (AO off)	5.3	51%
Output (AO on)	3.9	38%

#### 5. 実験 2 周波数シフト量測定

AO を通過した後のレーザーの周波数シフト量を計測し、所定の値が達成できているかどうか

の原理確認を行った。レーザーは往復で AOFS を通過するので、400MHz のシフトが期待できる。波長計 (周波数計測モード) には、相対精度 60MHz の Highfinesse 社 モデル WS-7 を用いた。

Figure2 は、AO 電源の on/off を 10 秒ごとに切り替え、得られたデータをグラフにしたものである。縦軸には AO システムからの出射レーザー光を計測した周波数の相対値を示す。

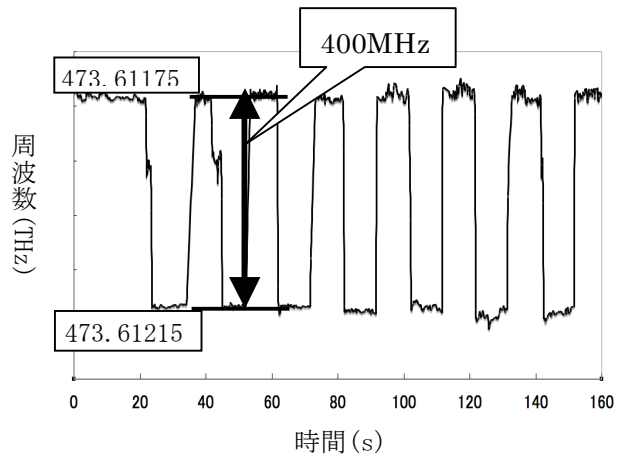


Figure 2. Measured frequency shift of AOFS.

波長計の表示と、計測された数値データの解析から所定の周波数シフト (400MHz) が確認できた。ただし、波長計の計測精度が十分とは言えないため、今後の 1064nm 仕様で構成した AOFS で更に確認する予定である。

#### 6. まとめ

首都大に存在する AO を実験的に用いて、その基礎特性を He-Ne レーザを用いて確認した。実験 1 の結果より、He-Ne レーザ波長での回折効率がメーカー提供の予想値である 80% に近い値が実現できている事がわかった。1064nm のレーザーでも近い値が期待できる。従って、AO へ入射するレーザー入力として 100mW 程度あれば、共振器に数十 mW の入力が期待でき、十分であることがわかった。

周波数測定実験の結果より、AO の周波数シフトが理想通り行われていることが確認できた。AOFS の原理から、周波数シフト量はレーザーの種類を変えてもかわらないはずであるが、波長計の計測精度が足りない。この点に関しては後日再度実験を行っていく。

今後は、1064nm 仕様で設計をした AO の組み立て、1064 シーダーを用いて実験を行っていく。