

高精度偏光ライダーによる雲・低層大気の相互作用と光学特性の評価

Interaction between cloud and low-altitude atmosphere and its optical properties by high-precision polarization lidar

栗原聖康¹, 野口和夫¹, 椎名達雄², 福地哲生³

Takayasu Kurihara¹, Kazuo Noguchi¹, Tatsuo Shiina², and Tetsuo Fukuchi³

1.千葉工業大学工学研究科 2.千葉大学融合科学研究科 3.電力中央研究所

1.Chiba Institute of Technology, 2.Chiba University, 3.Central Research Institute of Electrical Power Industry

Abstract:

High-precision polarization lidar has been developed to detect the Faraday effect, which the lightning discharge rotates the polarization plane of the propagating laser beam. In this study, the discrimination between the depolarization and the Faraday effect was explained. The interaction between cloud and low-altitude atmosphere was observed and its optical properties were examined.

1.はじめに

従来の雷観測では放電時に発生した電磁波をアンテナを用いて捉える手法が用いられてきた。しかし、雷の発生位置を特定する為には同期した複数の観測装置と網目状に施設された基地局が必要である。そこで、本研究では単独で雷の発生位置を特定できるライダー手法に着目し、高精度偏光ライダーの開発を行っている[1]-[2]。本ライダーは近距離を観察できるよう、かつ微細な偏光回転角の検出を目指したインライン光学系を採用し、独自の光サーキュレータを導入している。本ライダーは p, s 偏光成分を同時射出し差動検出を行うことで回転角度にして 1° 以下といった高精度な大気の偏光状況の変化を計測できる。本研究では開発した高精度偏光ライダーを用いた雷雲下層大気の観測を通して、雲間放電に伴うファラデー効果による偏光回転角の検出を目指している。

本報告では、雲と低層大気間における偏光解消と偏光回転角をそれぞれ算出し、評価を行った[2]。

2.高精度偏光ライダー

本ライダーでは、狭い視野角で近距離からの計測を可能にするために送受信に共通の光学系を用いたインライン型を採用している。送信光は p, s 両偏光成分をバランスを取って射出し、エコー光は光サーキュレータにて同一光路上で p, s 成分毎に検出される。Fig.1 に示すように、偏光面は斜め 45 度において p,s のバランスが 1:1 となり両偏光強度が等しい状態にある。放電によるファラデー効果により偏光面の回転が生じると、p,s 両偏光成分のバランスは崩れ、p,s どちらかの偏光成分が増えると他方は減る。偏光面の回転はこの作用によって生じる。この放電による偏光面の回転角は 1° 未満と非常に小さいため、30dB 以上の消光比を持つ装置が必要である。本ライダーでは、光学系にアキシコンプリズム対やグランレーザプリズム等の高い偏光消光比を持つ素子を用いることで高い偏光消光比を実現した。

差分検出によって求められる偏光面回転角 δ は以下の式で求められる。Ip は p 偏光成分の強度、Is は s 偏光成分の強度を表す。偏光解消の算出式に角度に対する算出を付加したものであるが、上記 p,s 偏光成分の同期した変化によって偏光解消効果とは区別した計測が可能である。

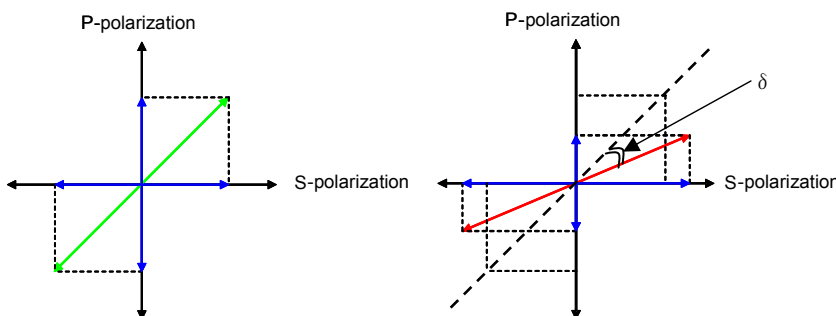


Fig.1 Rotation of polarization plane

Rotation angle: δ

$$\delta = \frac{\pi}{4} - \tan^{-1} \left(\frac{\sqrt{I_p}}{\sqrt{I_s}} \right)$$
$$= \tan^{-1} \left(\frac{\sqrt{I_p} - \sqrt{I_s}}{\sqrt{I_p} + \sqrt{I_s}} \right)$$

3. 偏光解消と偏光回転角の識別

偏光解消は p,s のバランスが崩れる際に任意に崩れるが、ファラデー効果による偏光面の回転は p もしくは s の一方の偏光成分が増えると他方の偏光成分が減る性質をもつ。また、偏光解消はランダムに生じるが、回転角の変化は距離に応じた連続的な変化となる。このことから、大気による偏光解消と偏光回転角の識別が可能になる。

一方で、雷による偏光面の回転が見られるのは大気が電離した場所のみであり、放電路とレーザビームが近距離で交差する場合のみである。雲間放電は Fig.2 に示すような時間応答をもった、数十回の連続した放電によってもたらされる[1]。雷雲観測時のライダーエコー波形には、距離に依存し、かつ時間で積算された分布が表れることになる。偏光解消効果は、雲の内部へ伝搬していく波形こそ距離に依存するが、大気に対しては一般にランダムな分布となり、ファラデー効果のような分布にはならない。Fig.2 に示した雲対地帰還放電によるシミュレーションや地上放電実験から偏光回転角の見積りは 1° 程度となった[2]。

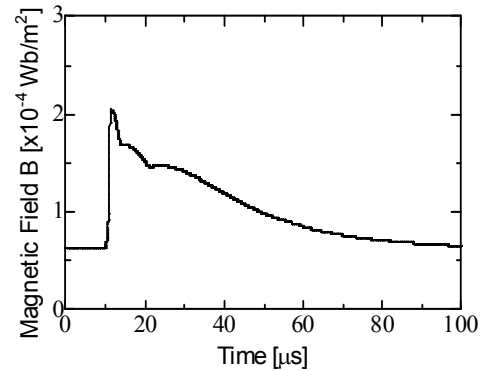


Fig.2 Simulated Magnetic field (altitude 1km, distance from discharge-path 20m).

4. 計測結果

高精度偏光ライダーによる観測結果に偏光解消と偏光回転角の変化を解析した結果を Fig.3 に示す。この際の観測は仰角 3° で行っており、縦軸は光の伝搬距離を表す。つまり伝搬距離 10km は高度で 500m となる。低層大気の偏光解消度は大気の状態が安定な場合で一般に 3-4% であり、Fig.3(a) では伝搬距離 5km くらいまでのところでその様子が見て取れる。その際の算出値もランダムに生じており、そのことから大気の揺らぎによる偏光解消が観測されていることがわかる。雷雲/低層大気の計測では、この大気と雲との相互作用及び湿度との相関を確認している。このデータに偏光面回転角の計算を当てはめたのが Fig.3(b) である。この計算でもこの時の観測データ中には 3 節で述べたような連続的な偏光面の回転を表す変化は見られなかった。

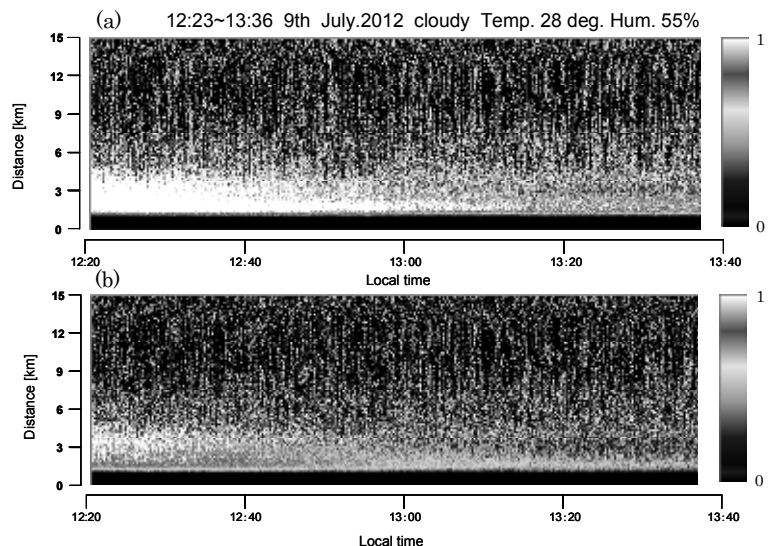


Fig.3 Observation Results , (a)depolarization (b)rotation angle

雷雲を狙って観測を行い、雷波形を捉えた計測事例が 1 例ある[2]。現在解析/評価を行っているが、本研究では雲低層の大気を通して常時偏光面の回転角をモニターしており、計測事例の増大と放電位置標定ならびに放電電流値推定を目指している。

5. まとめ

高精度偏光ライダーを用いて低層大気及び雲の光学特性を、偏光解消度と偏光面回転角を用いて評価した。大気の揺らぎによる偏光解消に対し、偏光面回転の連続的な変化を抽出することを行っている。ファラデー効果の測定により雷の 3 次元的な位置標定や放電電流量、大気電離量の観測に応用する事を目指している。

6. 参考文献

- [1] T. Shiina, T. Honda, and T. Fukuchi , APLS The Review of Laser Engineering Supplemental Volume 2008, Vol.36, pp.1279-1282, 2008.
- [2] T. Shiina, K. Noguchi, and T. Fukuchi , SPIE Asia-Pacific Remote Sensing 2010, Vol. 8182, pp.81820O-1-6, 2010.