

対流圏エアロゾルの影響を受けた薄明の空の放射伝達過程

*齊藤雅典, 岩渕弘信, 早坂忠裕 (東北大院理)

1. はじめに

晴天時における薄明の空の色は、水平線から天頂に向かって赤から青へと変化して見える。これは、水平線下から来る太陽光が大気圏内の大気分子やエアロゾルによって散乱されることに起因する。これまでに、薄明の空の色が成層圏エアロゾルやオゾンによる吸収や散乱の影響を受けるということが知られている。しかし、対流圏エアロゾルによる空の色に対する影響や、その放射伝達過程は、十分にわかっていない。そこで我々は、デジタルカメラを用いた写真観測と、モデル計算を行い、対流圏エアロゾルが薄明の空の色に及ぼす影響や、その放射伝達過程を調べた。

2. 写真観測

宮城県仙台市において2011年12月より、写真観測と、ライダーやその他地上観測測器を用いたエアロゾルの観測を晴天日に行い、これまでに得られた9事例のデータから、市民薄明における、太陽の方位に沿った空の色の仰角分布を分析した。写真の色解析を行い、放射輝度に比例したRGB各チャンネルの値を計算した結果、エアロゾルの光学的厚さ (Aerosol Optical Depth; AOD) の値が大きいくほど、水平線に近い部分で青みが増し、輝度が減少した。

3. モデル計算

3-1. 写真観測とモデル計算の比較結果

屈折と多重散乱を考慮した球殻大気の放射伝達計算モデル JACOSPAR (Iwabuchi and Suzuki, 2009) を用いてシミュレーションを行い、典型的な事例である2012年3月29日の写真観測の結果と比較した。本研究では、仙台市のエアロゾルの構成を成層圏エアロゾルとして AOD = 0.005 (Hess et al., 1998) の硫酸エアロゾルを仮定した。また、対流圏エアロゾルは、すす、水溶性エアロゾル、ダストの混合と仮定し、エアロゾルの鉛直プロファイルはライダーのデータ、AOD はスカイラジオメータによる測定値(0.21)を使用した。

結果は、太陽高度角が低くなるにつれて青みが増す点や、仰角が大きくなるにつれて青みが増す点、空の色がエアロゾルの光学的厚さに対して依存する点についても定性的に説明でき、相関係数も RGB それぞれ 0.93~0.98 となった。

3-2. AODを変えた輝度と薄明の空の色の計算結果

このモデルを用いて対流圏 AOD を細かく変えて計算した結果、AOD が増すほど低い仰角の空が青くなり、水平面に近いほどその変化が大きく、それに伴って輝度も減少した。この傾向は、観測の結果と一致した。

3-3. 散乱の回数別の計算結果

同じ条件で、薄明の空の放射輝度について一次散乱による寄与率を図1に示した。水平面に近い仰角において、対流圏 AOD が増すほど、急激にその割合が低下していることから、多重散乱が卓越しているということがわかる。この部分は、3-2で示した結果の青く輝度が小さくなっている部分と一致した。特に、対流圏 AOD の値は0.2を越えると放射輝度に対する多重散乱の割合が95%を越えた。

3-4. RGBの輝度を散乱成分に分けた計算結果

3月29日の事例のモデル計算で再現したRGBの放射輝度を一次散乱、多重散乱に分けて計算したところ、下層で急激に輝度が落ちている部分は、図2のように多重散乱でも青い光が卓越していた。これは、水平線付近では大気を通る光路が長いと、上空で散乱した短い波長の光が複数回散乱されたものが見えている一方で、長い波長の光は、散乱されにくいため多重散乱の寄与が小さいと考えられる。

この他にも成層圏オゾンが薄明の色に対する影響を計算した結果、オゾンの吸収が、RとGの輝度を弱め、一次散乱の寄与率を小さくして、相対的に空の色を青くすることがわかった。

4. まとめ

薄明の空の色は、水平線に近い部分では対流圏エアロゾルの影響を敏感に受ける。その放射伝達過程を分析すると、一次散乱光が対流圏エアロゾルによって減衰し、輝度が急激に落ち、特に水平線に近い部分で青色の多重散乱光が卓越するため、空が青く見えると結論づけられた。

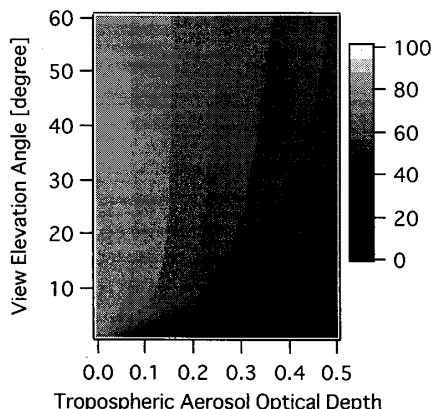


図1 各対流圏 AOD について計算した全放射輝度に対する一次散乱由来の寄与率の仰角分布

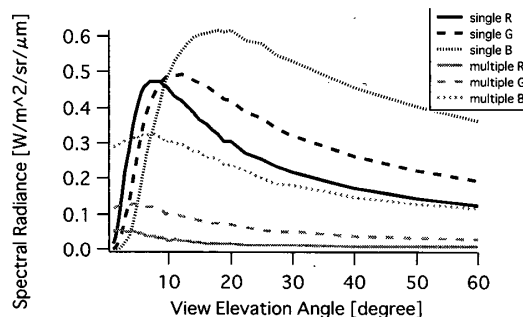


図2 一次散乱と多重散乱それぞれに由来するRGBの放射輝度の仰角分布。対流圏 AOD の値は0.21である。

5. 参考文献

- H. Iwabuchi and T. Suzuki, (2009), *AIP Conf. Proc.* 1100, 41, DOI: 10.1063/1.3117009.
Hess et al., (1998), *Bull. Am Meteorol. Soc.* 59, 501-523.