

遠くの山はなぜ青く見えるのか：スペクトルによる説明

¹ 仲山英之 ² 藤代翔

¹ 帝京科学大学総合教育センター非常勤講師（元帝京科学大学生命環境学部自然環境学科）

² 元帝京科学大学生命環境学部自然環境学科学生

Why distant mountains look blue: Explanation based on spectra

¹ Hideyuki NAKAYAMA ² Shou FUJISHIRO

キーワード：遠くの山、青い山、空、光散乱、スペクトル

1. はじめに

木でおおわれている山も、また、富士山や甲斐駒ヶ岳の上部のように木の生えていない表面が岩石でおおわれている山も、遠くから見ると青く見える（図1）。これは、図2に示すように山と見ている人の間に存在する空気分子により、太陽光の短波長成



図1 山梨県北杜市から見た南アルプス

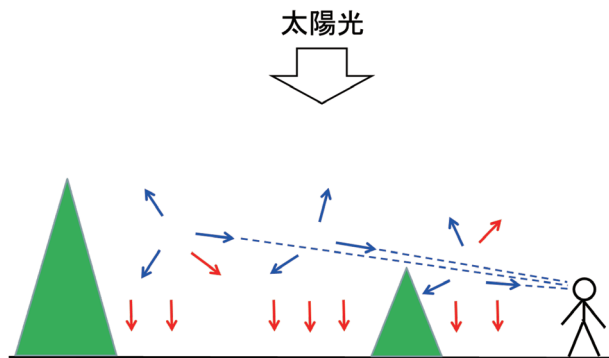


図2 山と観測者の間にある空気による太陽光の散乱の概念図。
短波長成分（青）は長波長成分（赤）より散乱されやすく、その一部（破線）が観測者に届く。

分（青色成分）が長波長成分（赤色成分）より強く散乱され、元の山の色と重なって見えるからであると一般的に説明されている¹⁾。

太陽光の空気分子による散乱はいわゆるレーリー散乱である。レーリー散乱は、光の波長より充分小さい粒子による散乱であり、入射光と波長の等しい光が散乱され（弾性散乱）、波長が短い光ほどよく散乱される性質を持つ²⁾。空が青いのは、レーリー散乱のこの性質で説明されている^{2,3)}。

遠くの山が青く見えるのは、言い換えると、山と観測者の間に青い空が存在するからである。実際、図1を見ると遠くの山ほどより青く見え、間に存在する空（空気層）が厚くなることと対応しており、この説明は大局的には妥当であるように思われる。本研究の目的は、スペクトルに基づいて、この説明の妥当性を検討することである。

2. 実験

晴天の日（2019年10月23日午前）に帝京科学大学東京西キャンパス（山梨県上野原市）の建物内から東に見える山、空、雲のスペクトルを測定した（図3）。図4に使用した測定装置を示した。レンズ（口径70 mm、焦点距離300 mm）で観測対象物を結像させ、マルチチャンネル分光器（HAMAMATSU PMA-12）に接続した光ファイバー（芯数15本、バンドル径1 mm）の一端を結像した対象物の一部分に合わせ、図3の印をつけた部分からの光のスペクトルを測定した（露光時間20 ms、積算10回）。測定時は、光学系を暗幕で覆い、余計な光を遮断した。

3. 結果と考察

図5に、雲、遠くの山、近くの山、および空に対して得られた300~900 nm領域のスペクトルを示し

た。雲のスペクトルは、最も強く観測され、地上で観測される太陽光のスペクトル²⁾に類似している。これは大気層を通過してきた太陽光が雲により波長依存性をあまり示さずにそのまま散乱されたことを示しており、実際に色がつかず白く見えることとも対応している。一般に、雲による光散乱は水滴や氷晶によっておこるミー散乱で説明されている³⁾。ミー散乱は、光の波長程度の大きさを持つ粒子による散乱であり、レーリー散乱と同様に入射光と散乱光の波長が等しい弾性散乱であるが、レーリー散乱とは異なり散乱強度の波長依存性が小さい²⁾。

これに対して空のスペクトルは、雲に比べ短波長成分が強く、これは空の青さの理由として一般的に言われている太陽光の空気分子によるレーリー散乱²⁾で期待される結果に対応している。すなわち、光の波長より充分小さな粒子により短波長成分がより強く散乱されたと考えられる。また、空のスペクトルは雲のスペクトルに比べ強度が著しく弱い。

近くの山のスペクトルは、空のスペクトルと比較すると、540 nm 近傍にピークが存在し、加えて700 nm 以降の強度が強くなっている。この特徴は、樹

葉の反射スペクトルに見られる一般的特徴であり⁴⁾、540 nm 近傍のピークの存在が近くの山が緑に見えることに対応している。これに対して、遠くの山のスペクトルは、400~450 nm 領域の強度が強く、遠くの山が青く見えることに対応している。

光ファイバーに取り込まれる山からの光は山の有限範囲からの反射あるいは散乱光である。この面積は、レンズによって遠くにある物体ほど縮小されるので同じ口径の光ファイバーで取り込む場合、遠くにある山ほど山の広い範囲を観測していることになる。しかし、遠くにある物体ほどレンズで集める光の立体角は小さくなる。これらの効果はそれぞれ山と観測点の距離の二乗に比例および反比例するので、両者の効果は相殺すると考えられる。そこで、山の樹葉の状態が等しいと仮定すれば、遠くの山のスペクトルから近くの山のスペクトルを差し引くと、遠くの山と近くの山の間には存在する空気層によって散乱された太陽光のスペクトルが得られると考えら



図3 観測した雲、空、遠くの山、および近くの山。赤丸は観測箇所。

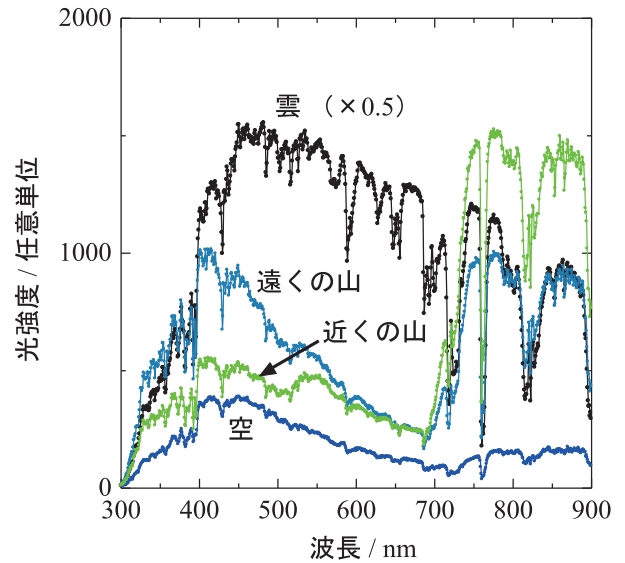


図5 測定した雲、遠くの山、近くの山、および空のスペクトル。雲のスペクトルの強度は0.5倍してある。

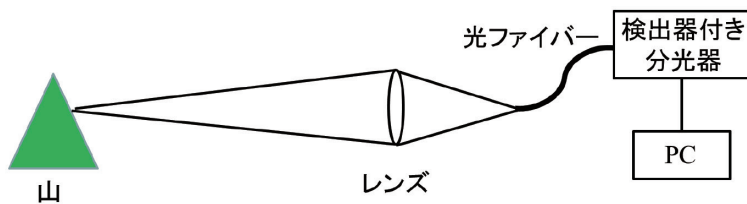
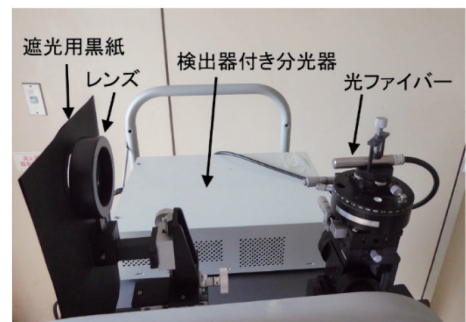


図4 測定装置



れる。この考えに基づき、図5に示した遠くの山のスペクトルと近くの山のスペクトルの差スペクトルを、空のスペクトルと比較して図6に示した。この差スペクトルは青色成分が支配的であることから、山と観測者の間にある空気層による太陽光のレーリー散乱を反映したものであると考えられるが、完全に空のスペクトルとは一致していない。その原因としては次のことが考えられる。

遠くの山と近くの山の樹葉の状態が異なっていた可能性がある。図7は、今回とは異なる山の組み合わせで予備的に行った測定で得られた遠くの山と近くの山の差スペクトルを今回の結果と比較したものである。測定条件が異なるので、最大強度を一致させて示した。この結果は山の組み合わせが異なると、差スペクトルに違いが出ることを示している。このことから、より厳密な測定は、山の樹葉の状態が近い組み合わせで行う必要がある。

ここまで、山と観測者の間に存在する空気層による太陽光のレーリー散乱に着目してきたが、山で反

射あるいは散乱した太陽光が空気層を通過して観測者に届くときのレーリー散乱の効果はどうなっているのだろうか。この場合も、短波長成分が長波長成分より強く散乱されることが期待される。その結果、山から観測者に届く光はその分短波長成分が弱くなるはずである。しかし、実際には、遠くの山のスペクトルの方が近くの山のスペクトルより短波長成分が強い。すなわち、山を経由した後の光に対するレーリー散乱の効果は小さく、山を青く見せているのは、太陽光が直接空気層で散乱された光が加わったためであると考えられる。

山と観測者の間の空気層による太陽光のレーリー散乱の効果で、山が青く見えるならば、遠くの雲も観測者との間に存在する空気層により青く見えてよさそうである。しかし、雲は白く見える。これは、図5のスペクトルに基づく、雲からの光は青空からの光より充分強いからであると考えられる。言い換えれば、雲によるミー散乱の方が空気分子によるレーリー散乱より強いからであると考えられる。

4. まとめ

「遠くの山が青く見えるのは、山と観測者の間に存在する大気による太陽光の光散乱のため」とする一般的に受け入れられている説明をスペクトルに基づいて行うことを試みた。そのために遠くの山のスペクトルと近くの山のスペクトルの差スペクトルを青空のスペクトルと比較した。その結果、青空のスペクトルの特徴を反映した差スペクトルが得られ、上記の一般的説明を支持する結果が得られた。しかし、両スペクトルの一致は不十分であり、明確な説明には至らなかった。この原因として遠くの山と近くの山の樹葉の状態が異なっていたことが示唆された。明確な説明のためは、山の樹葉の状態を考慮した測定が必要である。

参考文献

1. 鳥貫睦：富士山はなぜ美しいか. *科学教育研究*, 15(4), 226-227, 1991.
2. 藤代鋼, 深堀正志 (共訳)：大気放射学 (K. N. Liou著), 共立出版, 東京, 2014.
3. 藪内一博：空が見せる多際の色 光の進み方を理解する. *化学と教育*, 65(1), 28-31, 2017.
4. 吉村春佳, 小橋澄治, 大手佳二, 妹尾俊夫：樹葉の分光反射特性変化およびその色彩の数値解析についての研究, *日本リモートセンシング学会誌*, 11(2), 5-12, 1991.

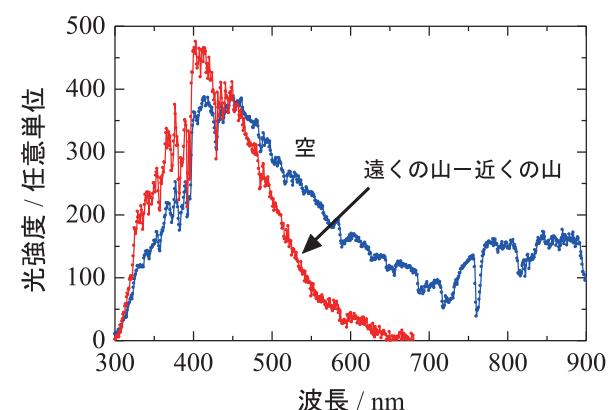


図6 遠くの山と近くの山のスペクトルの差スペクトルと空のスペクトルの比較。

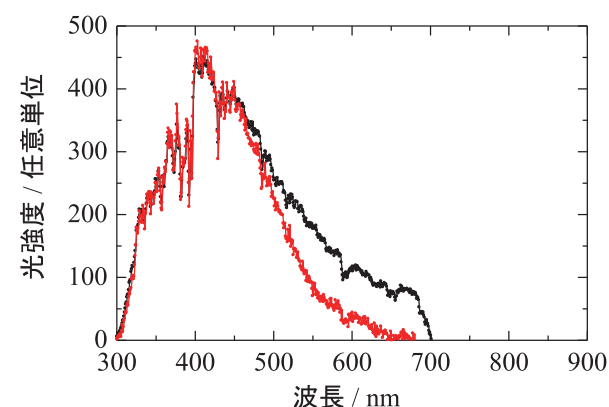


図7 異なる山の組み合わせで得た遠くの山と近くの山の差スペクトルの比較。赤色は図6のものと同じ。

