

太陽光パネルへの光遮蔽粒子としての花粉に含まれる光吸収成分の解明

慶應義塾大学 理工学部応用化学科*
森信之介

1. 背景

日本はカーボンニュートラル宣言において、2030年度までに2013年度比で温室効果ガス46%を削減することを目標として掲げている。その鍵として、太陽光発電の導入が挙げられており、自家消費型の太陽光発電はCO₂の削減に向け有力視されている。一方で、太陽光発電パネルへの粉塵の堆積が太陽光を遮蔽し、発電効率を低下させることが各国で課題となっている。例えば、砂漠から飛来する砂塵の堆積は最大20%の効率低下を招く (Saidan et al. 2016, *Renewable Energy*)。大気中に浮遊するバイオエアロゾル (ウイルス、細菌、真菌、花粉) も発電効率に影響する因子として先行研究で指摘されている (Sanz Saiz et al. 2020, *Applied Sciences*)。また、米国エネルギー省再生可能エネルギー研究所のグループは太陽光発電パネルへの堆積花粉が約15%の発電効率低下を招くこと、降雨による花粉の洗浄効果は期待できず、また水を用いた人工的な洗浄によっても完全には回復しないことを報告している (Bessa et al. 2024, *IEEE Journal of Photovoltaics*)。しかし、花粉がどの程度の厚みをもって堆積した時に、どの波長域の光をどれくらい遮蔽するのか、また花粉に含まれるどのような物質が光の遮蔽に寄与しているのかという基礎的な研究は行われていない。

日本では花粉症の季節になるとニュースを賑わせるように、スギとヒノキの花粉飛散量が多く、年次変動しながらも増加傾向にある。飛散量は日本各地でモニタリングされており、例えば東京都内でも多い地点では1億個/m² (約0.2 g/m²) を超える値が報告されている。山間部に設置された太陽光発電パネルに関しては相当量の堆積が予想される。これらの背景を踏まえ、花粉の堆積による太陽光発電への影響と、今後さらに飛散量が増えた場合には、その影響がどのように拡大していくのかを把握する必要がある。以上を踏まえ、本課題では、以下3点の問いを設定した。

問1. 堆積花粉によってどれくらいの太陽光が遮蔽されるのか？

問2. 堆積花粉の厚みによって影響はどう変化するのか？

問3. 水洗によって花粉はどの程度まで除去されるのか？

これらの分析を通し、太陽光発電パネルに届く光が堆積花粉にどのように／どの程度の影響を受けるのか、またその堆積量依存性を明らかにすることを目的とした。

2. 材料

堆積花粉の影響を調べるに当たっては、国内で圧倒的に飛散量の多いスギ *Cryptomeria japonica* (Linn.fil) D.Don をモデル材料として採用した。スギの花粉は試薬として市販されており、季節を問わず入手が容易である点でも材料として適している。

*2024年4月より慶應義塾大学生物学教室に所属

3. 方法

非侵襲状態での花粉の透過・拡散反射スペクトルを 220–1600 nm の範囲で測定し、花粉粒の存在によって、どの波長域の光がどの程度に遮蔽されるのかを調べた。花粉は光路長 1 mm および 10 mm の石英セルに詰めた状態で測定し、堆積厚に依存して透過率がどのように応答するのかを調べた。これらの実測値を元に花粉の吸光係数を計算した。この値を用いて、Lambert-Beer の法則に従い、花粉 1 層を通過して太陽光パネルに到達する光の強度を求めた。また、環境省花粉観測システム（はなこさん）から取得した全国 120 地点における花粉の飛散量データを元に、堆積量を推定した。花粉が太陽光発電パネルに堆積した際の透過光への影響を、これらの実測値に基づいて理論計算し、その影響を定量的に評価した。

一般的に水中で花粉は浸透圧によって膨潤し、破裂する。そこで雨によって花粉が濡れた場合を想定し、石英板上に堆積した花粉を水洗した場合の影響を各種スペクトル解析によって調査した。

4. 結果・考察

透過スペクトル測定の結果、特に可視光領域（400–700 nm）および近紫外領域において、透過率が大きく低下することが分かった（図 1a）。光路長 1 mm の時点で、可視光領域の透過率は 1% 未満であった。また、拡散反射スペクトルでは、紫外線領域の反射率は 0% に近く、400 nm 以降で 70% 前後の反射率が認められた（図 1b）。これらの実測スペクトルに基づき、スギ花粉の吸光係数を求めた。吸光係数を元にスギ花粉の粒子（ $\phi 35 \mu\text{m}$ ）1 層が太陽光パネルに堆積した際の透過率への影響を計算した。花粉の堆積によって最も影響を受けた領域は 500 nm 付近で、約 40% の減衰が認められた。太陽光パネルの有効波長範囲（300–1200 nm）の全域においては 31% が遮蔽されることが判明した。これは花粉の堆積が光の散乱・吸収を引き起こし、太陽光発電の効率を低下させる可能性を示唆する。

スギ花粉の飛散データを用いた推定では、堆積花粉が最大で発電効率を約 5% 低下させることが明らかとなった。特に花粉飛散初期（最初の 720 時間）には急激に堆積量が増加し、それに伴って光の遮蔽効果が顕著に表れた。

また、水洗後の石英板上には水洗前の堆積花粉の内、約 3.2 wt% が残留した。残留物を光学顕微鏡と SEM で観察するとユービッシュ小体（ $\phi < 1 \mu\text{m}$ ）に由来すると思われるサブ花粉粒子の存在が認められた。サブ花粉粒子の透過スペクトル解析により、これらの粒子により透過率は最大で 10% 程度減少し、特に紫外線領域での減少が顕著であった。サブ花粉粒子の SEM-EDS 解析の結果、炭素とカリウムが強く検出された。

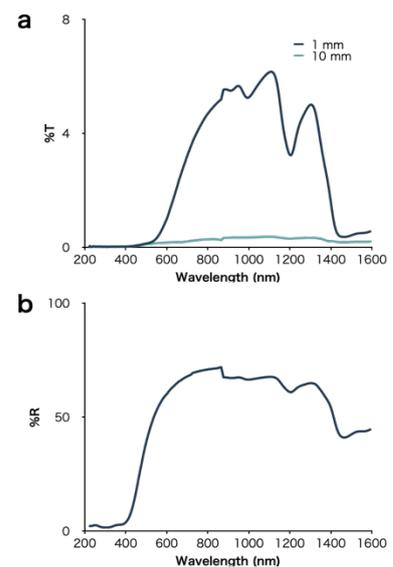


図 1. スギ花粉の分光特性
a. 透過スペクトル
b. 拡散反射スペクトル

5. まとめ

スギ花粉 (35 μm) 1 層が太陽光パネル表面を覆うと、有効波長範囲の光が約 30% 遮蔽され、発電効率を低下させる。表面を覆った花粉は水洗によって、概ね除去できるものの、ユービッシュ小体と思われるサブ花粉粒子が残存し、引き続き太陽光を遮蔽する。以上のことから、降雨の後にも花粉堆積の影響は残り続けることが明らかとなった。

本研究で得られた成果は以下の題目で国際学術誌に報告した。

Kenji Miki, Shinnosuke Mori (2025) Seasonal variation in photovoltaic generation efficiency due to bioaerosol particle accumulation. *Sustainable Energy Technologies and Assessments* 73, 104106.

謝辞

本研究は（公益財団法人）天野工業技術研究所、2024 年度（前期募集）研究助成を受けて実施されました。

参考文献

1. Saidan M, Albaali AG, Alasis E, Kaldellis JK (2016) Experimental study on the effect of dust deposition on solar photovoltaic panels in desert environment. *Renewable Energy* 92, 499–505.
2. Sanz Saiz C, Polo Martínez J, Martín Chivelet N (2020) Influence of pollen on solar photovoltaic energy: Literature review and experimental testing with pollen. *Applied Sciences* 10, 4733.
3. Bessa JG, Valerino M, Muller M, Bergin M, Micheli L, Almonacid F, Fernández EF (2024) An investigation on the pollen-induced soiling losses in utility-scale PV plants. *IEEE Journal of Photovoltaics* 14, 1–7.