

要旨: 地球温暖化により高山植物の生育開始時期が早まると、生育シーズン初期に霜害のリスクが増加し、種子生産が低下する可能性を検証した。北海道大雪山系で過去 25 年間に渡って記録した気象データとキバナシャクナゲの開花・結実データを解析した。積雪の少ない稜線付近に生育する風衝地個体群では、開花期は 5 月の平均気温と相関が高かった。また、開花が早く起こった年には果実生産が減少する傾向が検出された。一方で、雪解けが遅い雪田個体群の開花は真夏に起こり、安定して高い果実生産を維持していた。近年、風衝地個体群で果実生産が減少する傾向があり、それは霜害によるダメージと関連していることが示された。日本の高山生態系で、気候変動により霜害リスクが高まることが初めて示された。

目的

気候変動の影響は高山・極地生態系で特に深刻であることは、IPCC の報告書などでも指摘されている(IPCC 2007)。温暖化が陸域生態系に及ぼす影響として、主に生物の分布域の変化に伴う群集組成や種多様性の変化と、生物季節の改変に伴う季節攪乱や生物間相互作用の崩壊(フェノロジカルミスマッチ)が注目されている¹⁾。さらに、春の温暖化により霜害の危険性が增大するという見解がある。温暖化によって霜害のリスクが高まるという一見意外な現象は、春の温暖化により生物の耐寒性・耐凍性が早く消失して成長を始めた後に、再び寒気のぶり返しが起こった際に生じる。例えば北米のロッキー山脈や欧州のヨーロッパアルプスでは、近年の温暖化に伴い高山植物の霜害が頻発しているとの報告がある^{2,3)}。生育シーズン初期の霜害は、その後の成長低下や開花結実にも強く影響し、植物の生長・繁殖のみならず、花や果実を利用する多くの昆虫・動物群集にも影響を及ぼす。しかし、我が国の高山生態系では、これまで気候変動に伴う霜害リスク評価はほとんど行われていない。

本研究は、北海道大雪山系の高山帯で過去 25 年にわたって観察された気象・積雪データ(気温と雪解け時期)と典型的な高山植物であるキバナシャクナゲの開花・結実データを解析することにより、日本の高山帯においても霜害リスクが高まっているかどうかの検証を目的とする。



写真1. キバナシャクナゲの正常化(左)と霜害を受けた花(右)

調査地と方法

本研究の調査地は、北海道大雪山国立公園の高山帯である。大雪山国立公園は日本最大の山岳国立公園であり、高山帯の占める割合は我が国最大である。大雪山国立公園中央部に位置するヒサゴ沼周辺の高山帯で、工藤は 30 年間に渡って生態調査と気象観測を続けており、通年に渡る気温、地温、雪解け時期、高山植物の開花時期や結実率などの膨大なデータを有している。これまでの解析により、大雪山系の高山帯では 10 年あたり 0.33°C のペースで気温が上昇しており、雪解け時期も平均 4.1 日/10 年のペースで早まっていることが分かった⁴⁾。また、近年湿生お花畑の衰退やチシマザサの分布拡大が進行しており、気候変動との関連性が指摘されている⁵⁻⁸⁾。

まるほど低下し、開花期に降霜が見られたときに顕著に低下する傾向が示された(図3)。一方で、気温の直接的な影響はAICによるモデル選択によって除外された。すなわち、気温上昇は風衝地個体群の開花期の早期化を引き起こすが、結実率に直接影響しているのは開花時期と霜害頻度であることが示された。

長期データ解析の結果、風衝地個体群では近年結果率が低下する傾向が検出された。その原因として、霜害頻度との関係が示された。一方で、雪田個体群では結果率の経年的な傾向は認められなかった。

まとめ

高山帯での長期観察に基づくデータ解析の結果、春の温暖化により高山植物の開花期は確実に早まり、種子生産も低下する可能性が示された。種子生産の減少を引き起こす要因として、受粉成功度の低下と霜害による花の物理的ダメージが考えられる。前者は、シーズン初めには花粉媒介昆虫の活性が低いことが挙げられる。開花が早い時期に起こる風衝地では、キバナシャクナゲの主要な花粉媒介昆虫は冬眠明けのマルハナバチ女王である。女王バチはシーズン後半に現れる働きバチに比べて個体密度が非常に低いので、風衝地個体群では一般的に花粉制限により結果率が低いことが報告されている⁹⁾。さらに開花時期が早まることにより、その傾向が加速された可能性が高い。マルハナバチの越冬終了時期と高山植物の開花時期との間にフェノロジカルミスマッチが生じる可能性も考えられる¹⁰⁾。

後者の霜害リスク増大は、春の平均気温が高くなることにより早い時期の開花が促進される一方で、日最低気温によって生じる降霜頻度はそれほど変わらないことによって生じるとされる¹¹⁾。北米や欧州の山岳域では近年、高山地域において霜害の影響が顕著であるが^{2,3)}、日本の山岳地域では定量的なデータに基づく報告はこれまでなかった。本研究は、日本の高山生態系においても霜害頻度が高まる可能性を実証した最初の事例である。一方で、同じ高山帯でも遅くまで雪が残る雪田環境では、雪解けの早期化により開花期が早まっても、霜害リスクは低いと予想された。高山生態系は風衝地と雪田で構成されており、気候変動の影響はそれら構成要素間で異なることを示すものである。気候変動が高山生態系の機能や生物多様性に及ぼす影響を評価・予測する際には、山岳地域に特有な立地環境の多様性を考慮する必要があることが明らかとなった。

引用文献

- 1) Forrest 2015: *Oikos* 124, 4-13; 2) Inouye 2008: *Ecology* 89, 353-362; 3) Wheeler et al. 2014: *Oecologia* 175, 219-229; 4) 工藤岳 2014: *地球環境* 19, 3-11; 5) Amagai et al. 2018: *Applied Vegetation Science* 2018, 1-11; 6) Kudo et al. 2011: *Ecology and Evolution* 1: 85-96; 7) Winkler et al. 2016: *Plant Ecology* 217, 1219-1234; 8) 工藤岳 2018: *国立公園 No.760*, 11-13; 9) Kudo et al. 2011: *International Journal of Plant Sciences* 172, 70-77; 10) Kudo 2014: *Ecological Research* 29, 571-581; 11) CaraDonna et al. 2014: *Proc Natl Acad Sci USA* 111, 4916-4921.

本報告書に基づく研究成果は、現在学術誌 *Alpine Botany* に投稿中である (2020/10/20 現在)

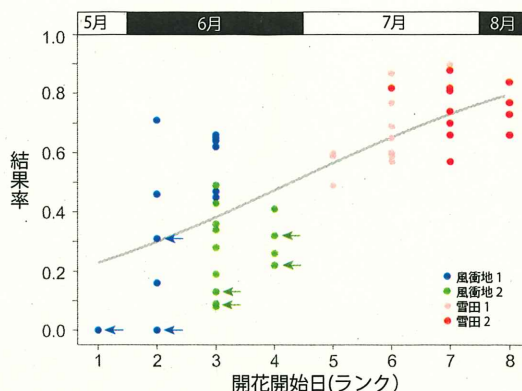


図3. 開花日と結実成功の関係。矢印は花の霜害が起きたことを表す。開花が早いほど結果率は低下し、霜害が起これると結果率は大きく低下する。