

花咲かクマさんといじわるクマさん？

— クマたちの種まきがサクラやサルナシの運命を左右する —

直江将司
(森林総合研究所)

1. 温暖化からの樹木の避難

今日では地球温暖化が急速に進んでおり、動植物への影響が懸念されています。特に、多くの生物の生息地であり、木材生産や炭素蓄積、防災などの点でも重要である森林において、森林を構成する樹木が温暖化にどのように応答するかが注目されています。樹木の種の分布範囲内でも温暖な場所では死亡率の上昇、成長量の減少、繁殖の失敗などが報告されており、かつての生息適地が温暖化によって適地でなくなっていることが分かっています。生物が温暖化から逃れる最も簡単で有力な手段は気温の低い高緯度、あるいは高標高の場所へ移動することです。野生植物の場合、移動は動物や風などを利用した種子の散布によって行われます。そのため、樹木が温暖化から逃れて移動できるかを判断する上では、種子が高緯度・高標高の場所にどれだけ散布されているかを評価する必要があります。

温暖化から逃れるために必要な移動距離は、緯度方向よりも標高方向のほうがはるかに短くなっています。例えば、100 m 標高の高い場所に移動すれば気温は約 0.65℃ 低くなるのに対し、北に向かって 100 km 移動しても約 1℃ しか低くなりません。そのため、標高方向の種子散布は樹木にとって、温暖化の影響から逃れるための最も効率的な移動手段といえます。

しかし、標高方向の種子散布を評価することは容易ではありません。既存の手法で評価しようとすると、1 個 1 個の散布種子について、山の中に無数に生えている木のなかから親木を見つけないといけないなど、非現実的な労力が必要でした。

そのため、これまで標高方向の種子散布は評価されてきませんでした。

2. 酸素安定同位体を用いることで、樹木の標高方向の移動が検出可能に

私はこの問題に対して、酸素安定同位体を用いることで解決できないかと考えました。これまで酸素安定同位体は生物の移動に関して、主に鳥類の渡りを調べる目的で使われていました。緯度によって降水の酸素安定同位体比は異なり、降水を利用する鳥類の羽根の酸素安定同位体比も変化します。この緯度による羽根の酸素安定同位体比の変化を利用することで、越冬地に渡ってきた鳥がどの緯度からやって来たのかを評価する研究が行われていました。そこで私は緯度によって酸素安定同位体比が変化するのであれば標高によっても変化するのではないかと、また樹木の種子に適用できれば、種子がどの標高からやってきたのかわかるため、標高方向の種子散布が評価できるのではないかと考えました。この方法では散布種子の親木自体を特定する必要がないため、既存の方法と比べて非常に簡単に標高方向の種子散布を評価できます。

そこで同位体の専門家である地球研の陀安一郎先生（当時は京都大学生態学研究センター）に相談して、様々な標高で樹木の種子を採集し、種子の酸素安定同位体比を計測してみることにしました。すると多くの樹木で、標高が高くなるほどそこに生育する樹木が生産する種子の酸素安定同位体比が小さくなるという関係が見つかりました (Naoe et al. 2016a)。この関係を検量線として利

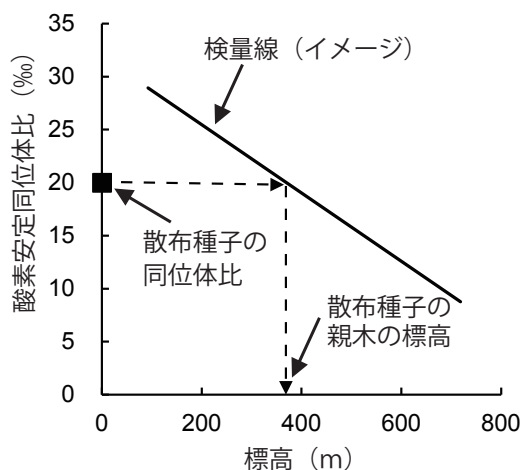


図 1. 散布されていない種子の酸素安定同位体比と標高の関係

用することで、散布種子の酸素安定同位体比から、親木の生えている標高を特定することができます(図1)。そして、「種子が散布された標高(つまり、散布種子を拾った標高)」と「親木の生えている標高」の差から、種子の移動した標高差、すなわち、標高方向の種子散布距離を求めることが可能になりました。

3. クマたちはサクラのタネを高標高の場所に運ぶことで、サクラの避難を助けていた

さて、酸素安定同位体を用いることで標高方向の種子散布距離を求められるようになりましたが、どのような樹木を対象にするのが良いでしょうか？ここでは動物による種子散布、特に周食散布に注目しました¹⁾。周食散布とは、鳥類や哺乳類などの動物が種子の周りの果肉を食べる目的で種子ごと飲み込み、種子を糞として排出することで散布するというものです。動物は風などに比べて動きが複雑なため、どこに種子が散布されるか予想がつかないところがあります。ただ、せっかく標高方向の種子散布を評価できるようになっても、動物の行動圏が小さくて、種子をごく近所に散布しているようでは面白くありません。そこで行動圏が数千 ha と広大なツキノワグマの種子散布を評価したいと考え、ツキノワグマを中心に哺乳類を研究されている東京農工大学の小池伸介



写真 1. 満開のカスミザクラ

先生に相談しました。その結果、東京農業大学の山崎晃司先生(当時は茨城県立博物館)、酪農学園大学の佐藤喜和先生(当時は日本大学)や学生さんの協力を得て、東京都の奥多摩地方でツキノワグマなど哺乳類の糞から種子を採取してもらえることになりました。糞からはさまざまな樹木の種子が採集されますが、まずは哺乳類の好物である野生の桜、カスミザクラを対象にしました(写真1)²⁾。

2010年から2013年にかけて、標高550~1,650 mにおよぶ調査ルート(総延長16 km)で哺乳類の糞を採取してもらいました。その結果、カスミザクラの種子を散布していた主な哺乳類は、散布数の多い順からツキノワグマ、テン(イタチの仲間)、アナグマ、ニホンザルで、それぞれ全体の80.3、19.6、0.07、0.03%を占めていました。

ツキノワグマとテンについて、糞から抽出したカスミザクラ種子の酸素安定同位体比から親木の標高を求め、糞の回収地点の標高との差から、標高方向の種子散布距離を求めました(図2)。その結果、ツキノワグマは平均で+307 m、テンは平均で+193 m、高標高の場所に偏って種子を散布していることが分かりました。この散布距離を気温減率(標高が100 m高くなるたびに気温が0.65℃下がる)で換算すると、ツキノワグマは2℃、テンは1.3℃気温の低い場所にカスミザクラを移動させたことになります。地球温暖化が最も進ん

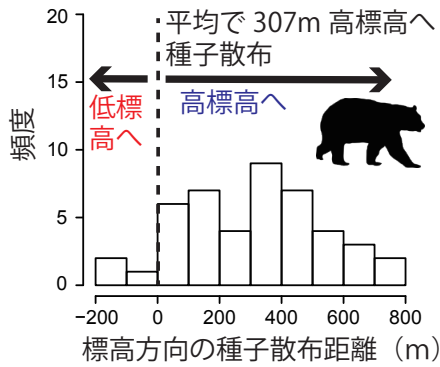


図 2. ツキノワグマによる標高方向の種子散布 (Naoe et al. 2016b)

だ場合の予想では 2100 年までの気温上昇は 4.8℃ ですから、カスミザクラは 2100 年までにツキノワグマに 3 回、もしくはテンに 4 回種子散布されれば温暖化から逃れられると考えられました。カスミザクラはサクラ亜属 *Cerasus* に分類され、同亜属で類似した生態を持つヤマザクラ、オオヤマザクラ、エドヒガンなどでも同様なパターンが期待されます。今回の研究から、ツキノワグマが野生のサクラを温暖化の危機から守る上で重要な役割を果たしていることが分かりました。

ツキノワグマ、テンによる種子散布が高標高の場所に偏っていた原因としては、エサとなる植物の開葉や結実の時期が影響していると考えられました。春から夏にかけて、植物の開葉や結実は山麓から山頂方向にかけて進みます。また春から夏にかけて、ツキノワグマやテンは植物の若葉やサクラの果実を多く利用します (図 3a)。そのため、ツキノワグマとテンはこれらのエサ植物を追いかけ山麓から山頂方向に移動し、その途中で糞をすることで高標高の場所に偏って種子を散布していたものと考えられました。

4. クマたちはサルナシのタネを標高の低い場所に運ぶことで、サルナシの避難を妨げていた

さて、夏に結実するカスミザクラでは、哺乳類がエサ植物を追いかけて山を登った結果、種子を高標高の場所に偏って散布していることがみえてきました。一方で、秋から冬には植物の紅葉・落

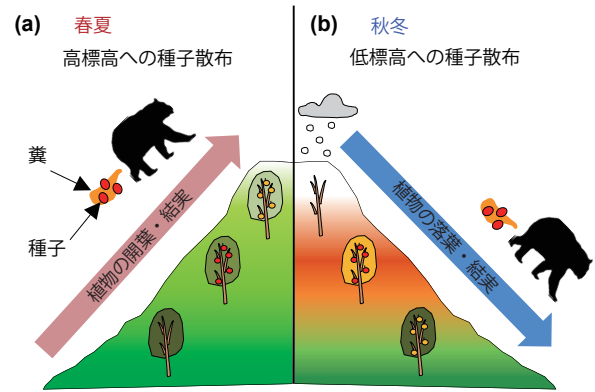


図 3. 哺乳類による種子散布 (a) 春夏では山麓から山頂にかけて植物の開葉や結実が進み、それを哺乳類が追いかけた結果、種子が高標高に散布されます。(b) 秋冬では山頂から山麓にかけて植物の落葉や結実が進み、種子が低標高に散布されることが予想されます。(Naoe et al. 2019)

葉や結実は、春夏とは逆に山頂から山麓方向に進みます。もし哺乳類がこれらのエサ植物の季節変化を追いかけて低標高へ移動するのであれば、秋から冬に結実する樹木の種子は低標高の場所に散布されることが予想されます (図 3b)。

この仮説を検証するため、秋に結実するキウイフルーツの仲間、サルナシを対象に、哺乳類による標高方向の種子散布を調べることにしました (写真 2)³⁾。

カスミザクラの時と同様に奥多摩で採取された哺乳類の糞を利用し、糞中のサルナシ種子を取り出しました。種子を散布していた主な哺乳類は、散布数の多い順からタヌキ、ツキノワグマ、ニホンザル、テンの 4 種で、それぞれ全体の 36.0、29.9、20.8、13.3% を占めていました (図 3a)。標



写真 2. サルナシの果実

高方向の種子散布の結果は、カスミザクラとは対照的なものでした。タヌキを除く哺乳類は全てサルナシを低標高の場所に偏って種子散布しており、その平均散布距離はツキノワグマでは平均で-393.1 m、ニホンザルでは-98.5 m、テンでは-245.3 mでした。タヌキでは、平均で+4.5 m、高標高の場所に散布していました。

研究結果は、秋冬結実の樹木では動物によって種子が低標高の場所に散布されるという仮説を支持するものでした。温暖化が進んでいるにも関わらず、より気温の高い低標高の場所に散布された種子は更新に失敗してしまうでしょう。サルナシの種子の一部は高標高の場所にも散布されていましたが、サクラなど春夏結実の樹木ではよりたくさんの種子が高標高に散布されてサルナシとの競合が発生することを考えると、サルナシの高標高の場所への種子散布は生息地の移動にはあまり有効ではないと考えられました。

面白いことに、タヌキはわずかですが高標高の場所に偏って種子散布していました。タヌキはコミュニケーションの手段として複数個体で糞をする場所を共有することが知られています（ため糞といいます）。そのため、コミュニケーションを維持するためにエサが少なくなっても高標高の場所を訪れているのかもしれませんが。

5. まとめ：温暖化が進むなかで、動物たちの種まきが果たす役割

今回、哺乳類によってカスミザクラでは高標高の場所に、サルナシでは低標高の場所に種子散布されていることが分かってきました。カスミザクラにとって哺乳類はありがたい存在、サルナシにとっては迷惑な存在ということになるのでしょうか？実はそんなに単純でもありません。標高方向の種子散布は諸刃の剣で、その果たす役割は気候変動の状況によって異なります。温暖化が進むなかでは高標高の場所への種子散布は樹木にとって有利、低標高の場所への散布は不利に働きます。一方で、寒冷化が進むと高標高への散布はより寒

いところに運ばれるので不利となり、低標高への散布は逆に有利に働くでしょう。地球では、これまで温暖化と寒冷化を繰り返してきたことを考えると、行動の異なる多様な動物に種子散布してもらうことが樹木種の長期的な存続に重要と言えます。

さて、日本を含む東アジアや欧米のような温帯地域では、森林を構成する樹木の多くは動物によって種子散布されます。このなかにはブナやナラなど、ドングリをつける樹木も含まれます。これらの樹木のほとんどは秋から冬に結実するため、サルナシのように動物によって低標高の場所に偏って種子散布されている可能性があります。温暖化が進むなか、森林の種構成や多様性、またその生態系機能がどう変化するか予測するためにも、標高方向の種子散布をさまざまな樹木を対象に調べていく必要があります。

用語の説明

- 1) 動物による種子散布：植物にとって、種子散布は唯一の移動手段です。植物は種子の散布に、風や水流、動物などを利用することが知られています。樹木でよくみられる動物散布には、1) 周食散布、2) 動物が種子（ドングリ）を貯えた後に食べそびれる貯食散布があります。いずれも、鳥類と哺乳類が重要な種子散布動物と考えられています。キウイフルーツやブドウ、リンゴなど果物とされるものは全て周食散布植物です。周食散布は温帯林では35～71%の樹木で見られ、種数において最もよく見られる散布タイプです。ブナやナラ類、カシ類は貯食散布植物です。貯食散布は種数は少ないですが、森林で優占する樹木に多くみられます。
- 2) カスミザクラ（霞桜、*Prunus verecunda*)：北海道から九州にかけて、また朝鮮半島や中国東部の山地に自生する野生のサクラです。
- 3) サルナシ（猿梨、*Actinidia arguta*)：国内では北海道から九州、国外では朝鮮半島や中国

北部の山地に自生するマタタビ属の1種で、コクワとも呼ばれます。果実は同じ仲間のキウイフルーツを小さくしたようなもので、人が食べても大変美味しく、哺乳類によく食べられます。

K, Nakajima A, Sato Y, Yamazaki K, Kiyokawa H, Koike S (2019) Downhill seed dispersal by temperate mammals: a potential threat to plant escape from global warming. *Scientific Reports* 9: 14932.
<https://doi.org/10.1038/s41598-019-51376-6>

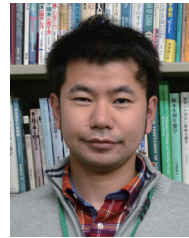
文献

Naoe S, Tayasu I, Masaki T, Koike S (2016a) Negative correlation between altitudes and oxygen isotope ratios of seeds: exploring its applicability to assess vertical seed dispersal. *Ecology and Evolution* 6: 6,817–6,823.
<https://doi.org/10.1002/ece3.2380>

Naoe S, Tayasu I, Sakai Y, Masaki T, Kobayashi K, Nakajima A, Sato Y, Yamazaki K, Kiyokawa H, Koike S (2016b) Mountain-climbing bears protect cherry species from global warming through vertical seed dispersal. *Current Biology* 26: R315-R316.
<https://doi.org/10.1016/j.cub.2016.03.002>

Naoe S, Tayasu I, Sakai Y, Masaki T, Kobayashi

著者情報



直江将司（森林総合研究所東北支所森林生態研究グループ主任研究員）2012年京都大学大学院理学研究科修了、博士（理学）。2012年東京大学農学生命科学研究科研究員、特任助教、2013年森林総合研究所非常勤特別研究員などを経て2017年より現職。

（2020年3月31日掲載）