

## 高山帯のマルハナバチは温暖化でどうなるか？

～市民ボランティアとの共同研究で初めて明らかになった高山植物のポリネーターの動向～

### ポイント

- ・ 12年間のモニタリング調査で高山植物群落の開花期変動とマルハナバチの個体群動態把握に成功。
- ・ 高山植物の開花時期や気温変動とマルハナバチの個体数変動との関連性を初めて解明。
- ・ 地球温暖化が高山生態系の送粉機能に及ぼす影響予測の進展に期待。

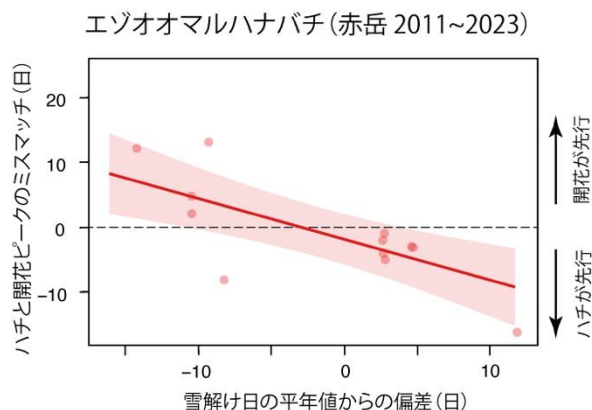
### 概要

北海道大学大学院地球環境科学研究院の工藤 岳特任准教授らの研究グループは、北海道大雪山系の高山帯2地域で12年間にわたる高山植物の開花時期とマルハナバチ\*1個体数のモニタリングデータから、気候変動がマルハナバチの個体群変動に及ぼす影響を解析しました。雪渓跡地の雪田群落\*2は働きバチの重要な採餌場所ですが、開花時期は雪解け状況により大きく年変動します。気温が1°C上昇し、融雪が10日早まった場合、高山帯全体の開花期間は9.2日短縮されると予測されました。一方で、働きバチの出現時期は気温や融雪時期の影響を受けず、毎年8月上旬に個体数がピークに達しました。そのため、雪解けが早く進んだ年には、雪田群落の開花ピークは働きバチ出現ピークよりも先行し、両者に「季節性のミスマッチ\*3（フェノロジカルミスマッチ）」が起こることが分かりました。

マルハナバチの個体数は年変動が大きく、変動パターンは種や地域で異なる挙動を示しました。夏の高温は高山性のマルハナバチ種に負の影響を及ぼし、猛暑の年には個体数が減少しました。一方で、季節性のミスマッチがもたらす影響は種や地域で異なっていました。高山帯に定住する短舌種のエゾオオマルハナバチは、ミスマッチの翌年に個体数が減少しました。一方で、中舌種のエゾヒメマルハナバチと、森林帯から高山帯に採餌に訪れる長舌種のエゾナガマルハナバチは、アザミ類が多い地域でミスマッチの翌年に個体数が増加しました。アザミ類の開花はシーズン後半に始まるので、開花が早く進んだ年は、アザミを好んで利用する中・長舌種にとって有利に作用したと考えられます。

温暖化により高山帯のマルハナバチ種組成が変化する可能性が示されました。温暖化がマルハナバチと高山植物の共生関係に及ぼす影響を予測するには、地域性を考慮したモデルの構築が重要です。

なお、本研究成果は2025年8月23日（土）公開のOecologia誌に掲載されました。



マルハナバチの出現ピークと雪田群落の開花ピーク日とのズレ（ミスマッチ）は、雪解けが早く進んだ年に増大する。ミスマッチが大きいほど、利用できる植物種数は減少する。ミスマッチが起こる頻度は、温暖化により増大すると予測される。

## 【背景】

地球温暖化は個々の生物の分布や季節性を改変することにより、生物間相互作用に影響を及ぼします。植物と送粉者の相利関係も、温暖化の影響を受ける可能性があります。植物の開花時期と送粉者の出現時期の不一致である「季節性のミスマッチ」は、双方に不利益をもたらすと考えられます。寒冷季候下にある高山生態系は、温暖化に最も脆弱です。マルハナバチは、多くの高山植物にとってとても重要な花粉媒介者であり、両者の共生関係がどう変わるのかの予測は、温暖化の生態系影響評価に不可欠です。しかし予測モデル構築の基盤となるモニタリングデータは大変少ない状況です。

## 【研究手法】

本研究では、環境省生物多様性センターによる長期生態系モニタリングプロジェクト（モニタリングサイト 1000\*4）の調査データを解析しました。調査は、市民ボランティアの協力を得て、2010年より北海道大雪山系の黒岳と赤岳で行われてきました。開花の早い風衝地群落と遅い雪田群落にそれぞれ調査区を設置し、数日毎に開花植物を記録しました。また、調査区をつなぐルートを定期的に歩いて、観察されたマルハナバチの種と個体数を記録しました。10～12年間の蓄積データをベースに、植物群落の開花時期の変動とマルハナバチの個体数変動を気象や積雪期間のデータと合わせて解析しました。

## 【研究成果】

風衝地群落では5月末から8月上旬に、雪田群落では7月下旬から9月上旬にかけて開花しました。働きバチは高山帯では7月中旬に出現し、雪田群落が主要な採餌場所でした。風衝地群落の開花期は温暖な年に早まりますが、その変動幅（標準偏差）は3～5日と小さいことが分かりました。一方で、雪田群落の開花期は雪解け時期に強く依存し、変動幅は10日以上と大きいことが分かりました（図1上）。気温1°Cの温暖化と10日間の融雪早期化により、高山帯の開花期は9.2日短縮されると予測されました。

働きバチの出現時期はいずれの種でも比較的安定しており、気温や雪解け時期によらず毎年8月上旬に個体数はピークに達していました（図1下）。一方でピーク時の個体数は年変動が大きく、その変動パターンは種によって、また同じ種でも地域によって異なりました。雪解けが早い年ほど植物の開花が先行するので、季節性のミスマッチ（ハチの出現ピーク日と植物群落の開花ピーク日の差）は大きくなることが分かりました。

ミスマッチがマルハナバチの個体数変動に及ぼす影響は、種や地域によって異なりました（図2）。高山帯に定住するエゾオオマルハナバチ（短舌種）は、ミスマッチが生じた翌年に働きバチが減少しました。越冬期以外を高山帯で過ごすエゾヒメマルハナバチ（中舌種）と、森林帯から高山帯に採餌に訪れるエゾナガマルハナバチ（長舌種）は、ミスマッチの影響が少ないか（赤岳の場合）、逆にミスマッチの翌年に増加する傾向がありました（黒岳の場合）。これら中・長舌種は、シーズン後半に咲き出すアザミ類を好んで訪花します。黒岳にはチシマアザミが多く分布しており、雪解けの早い年にはアザミの利用期間が長くなることにより、これらのハチにプラスに作用したと考えられます。一方で、短舌種であるエゾオオマルハナバチは、チシマアザミをあまり利用しないため、雪解けの早い年には資源不足が生じたと考えられます。さらに、高山性のマルハナバチは、活動期（7～8月）の気温が高いと個体数が減少する傾向が認められました。

温暖化は直接的には高山帯のマルハナバチに負の作用を及ぼしますが、植物とのミスマッチを介した間接的な影響は、種によって異なることが明らかとなりました。高山帯に定住する短舌種が最も温暖化に脆弱であり、今後マルハナバチの種組成が変わる可能性が示されました。

## 【今後への期待】

高山帯のマルハナバチ類の温暖化への応答は、種や地域によって異なることが明らかとなりました。温暖化による生物間相互作用の変化は、すべての高山帯で一様に起こるのではなく、植物の種組成・積雪量・低標高からの移動のしやすさなどの地域性に強く影響されます。モニタリングの継続と地域特性を考慮した予測モデルの構築により、温暖化への保全や適応策へ繋がると期待されます。

## 【謝辞】

本研究は環境省生物多様性センターによるモニタリングサイト 1000 高山帯調査の調査データを使用し、JSPS 科研費 (JP15H02641、JP17K07551、JP22H02696)、JST 共創の場形成支援プログラム JPMJPF2206 の助成を受けたものです。

## 論文情報

論文名	Phenological mismatch between alpine flowers and bumble bees: Its mechanism and impacts on the population dynamics of bumble bees (高山植物の開花時期とマルハナバチとのフェノロジカルミスマッチ：そのメカニズムとマルハナバチの個体群動態への影響)
著者名	工藤 岳 <sup>1</sup> 、井本哲雄 <sup>2</sup> 、永瀬大悦 <sup>3</sup> 、廖 海翔 <sup>3</sup> ( <sup>1</sup> 北海道大学大学院地球環境科学研究院、 <sup>2</sup> ボランティア調査員、 <sup>3</sup> 北海道大学大学院環境科学院)
雑誌名	Oecologia (生態学の専門誌)
DOI	10.1007/s00442-025-05775-4
公表日	2025年8月23日(土)(オンライン公開)

## お問い合わせ先

北海道大学大学院地球環境科学研究院 特任准教授 工藤 岳 (くどうがく)

T E L 011-706-2269 F A X 011-706-4954 メール gaku@ees.hokudai.ac.jp

U R L <http://hosho.ees.hokudai.ac.jp/~gaku/index.html>

## 配信元

北海道大学社会共創部広報課 (〒060-0808 札幌市北区北8条西5丁目)

T E L 011-706-2610 F A X 011-706-2092 メール jp-press@general.hokudai.ac.jp

【参考図】

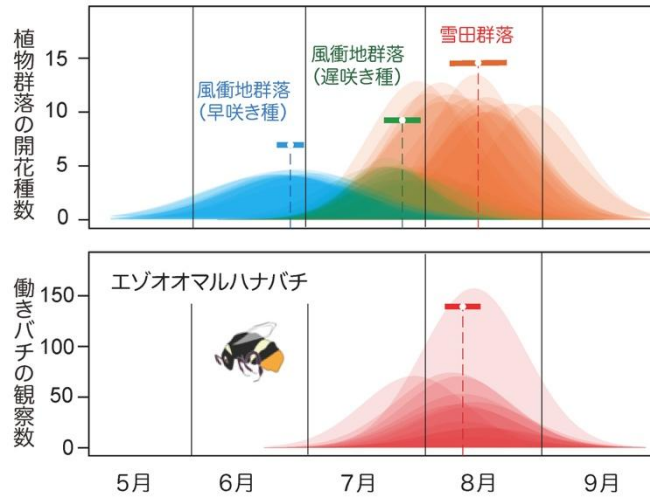


図 1. 大雪山赤岳サイトにおける高山植物群落の開花種数の年変動（上図）と、エゾオオマルハナバチ働きバチの観察数の年変動（下図）。2010～2023 年の変動とピーク時期の標準偏差を示す。雪田群落の開花期は働きバチの活動期と大きく重なるが、雪田群落の開花時期は雪解けの状況により変動が激しい。一方で、マルハナバチの出現ピークは年変動が少ない。そのため、雪解けが早く進んだ年には、働きバチの出現ピークと開花ピークのズレ（季節性のミスマッチ）が起こり易い。

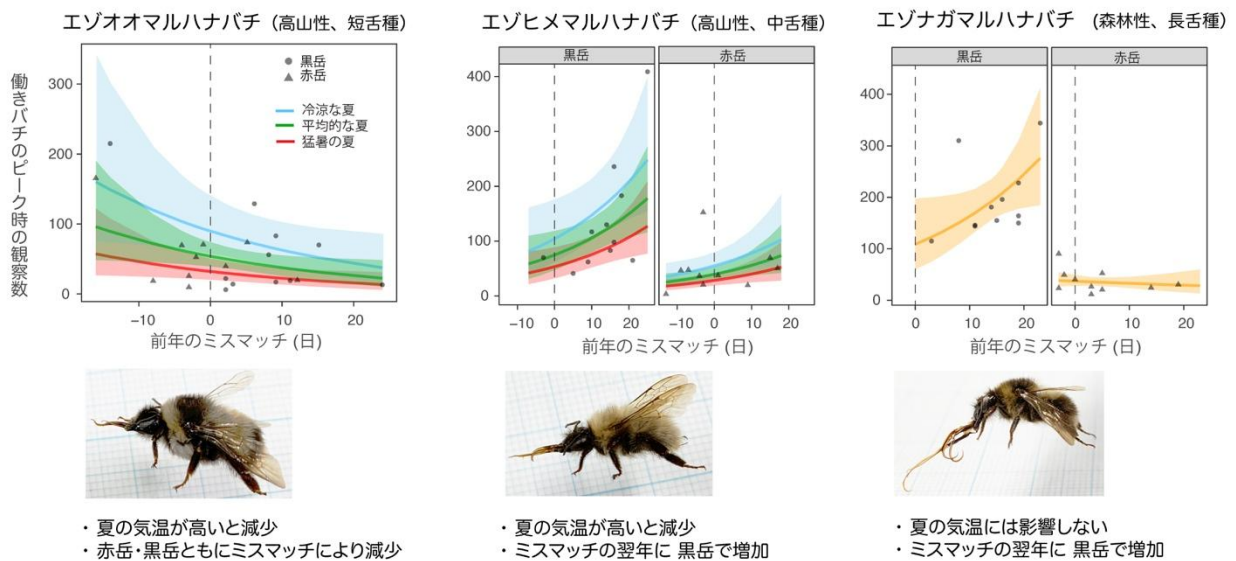


図 2. 大雪山の高山帯で一般的なマルハナバチ 3 種の季節性のミスマッチと夏の気温の影響。温暖化の影響は、マルハナバチ種や場所間で異なる。黒岳では、開花が早く進むと遅咲きのアザミ類を早くから利用できるため、アザミ類を好む中・長舌種に有利となる。アザミ類をあまり好まない短舌種は、ミスマッチが起こると翌年の個体数が低下する。夏の高温は、高山性のマルハナバチの個体数を低下させる。

## 【用語解説】

- \*1 マルハナバチ … マルハナバチは寒冷環境に適応した社会性のハナバチで、多くの高山植物にとって重要な花粉媒介昆虫である。日本には25種の在来種が生息している。
- \*2 雪田群落 … 高山生態系の基本要素は、強風によりほとんど積雪のない「風衝地」と、吹き飛ばされた雪が厚く堆積して夏まで雪渓として残る「雪田」環境である。高山植物群落は、風衝地と雪田の間にできる雪解け傾度に沿って変化していく。雪田植物群落の開花時期は、雪解けの時期によって大きく変動する。
- \*3 季節性のミスマッチ … 気候変動の影響で様々な生物の季節性（出現時期、開花開葉時期、渡りの時期など）は変化するが、変化の程度が種間で異なる場合、相互作用し合う生物種間の季節タイミングが合わなくなることを「季節性のミスマッチ（フェノロジカルミスマッチ）」という。
- \*4 モニタリングサイト 1000 … 環境省生物多様性センターにより2003年に開始した生態系モニタリングプロジェクト。様々な生態系で生物多様性に関する基礎的な情報の収集を継続することで、自然環境の質的、量的な変化を把握することを目的とする。一般市民によるモニタリングもたくさん行われている。高山生態系のモニタリングは2010年より始まった。



<https://www.biodic.go.jp/moni1000/>