



モニタリングサイト1000
Since 2003

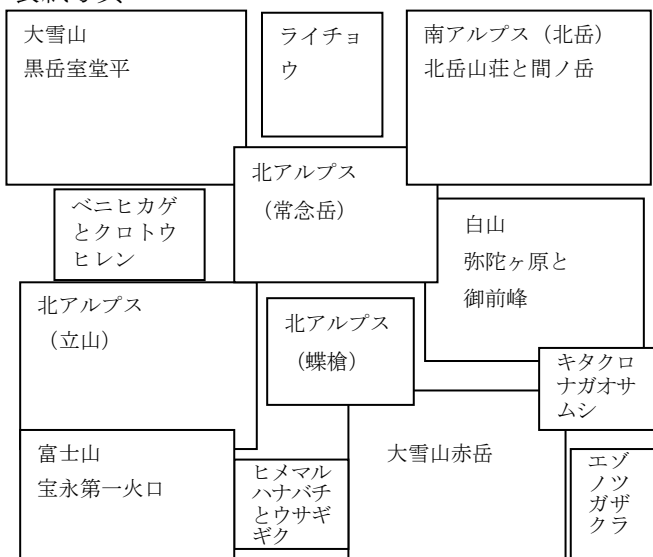
モニタリングサイト 1000 高山帯調査 2008-2017 年度とりまとめ報告書



環境省 自然環境局

生物多様性センター
Biodiversity Center of Japan

表紙写真



はじめに

「モニタリングサイト 1000（重要生態系監視地域モニタリング推進事業）」は、平成 14（2002）年に策定された生物多様性国家戦略に基づき、平成 15（2003）年度から開始された。その目的は、わが国の代表的な生態系の状態を長期的かつ定量的にモニタリングすることにより、種の増減、種組成の変化などを検出し、適切な自然環境保全施策に資することである。平成 22（2010）年に愛知県名古屋市で開催された生物多様性条約第 10 回締約国会議（COP10）では、生物多様性に関する世界目標となる愛知目標が採択され、各国はその達成に向けた国別目標を設定し、生物多様性国家戦略に反映することが求められた。わが国では、平成 24（2012）年に愛知目標のロードマップとなる「生物多様性国家戦略 2012-2020」が策定された。このロードマップの重点施策の基本戦略の中に、新たに「科学的基盤を強化し政策に結びつける」ことが加えられ、モニタリングの重要性があげられている。

モニタリングサイト 1000 には、それぞれの生態系の状況を長期的かつ定量的に調査できる調査体制を構築し、維持することが求められている。そのため研究者や地域の専門家、NPO、市民ボランティアなど、多様な主体の参加により調査が実施されている。調査で得られたデータは、モニタリングサイト 1000 のウェブサイトなどを通じて広く一般に公開され、行政の施策をはじめ、現地のさまざまな関係者に提供され、保全活動や教育現場などでも活用されつつある。

わが国では、山岳地域が国土の約 7 割を占め、日本の自然景観の中心となっている。山岳地域の中でも森林限界より標高が高い高山帯には、低温や強風といった厳しい自然環境に適応した高山植物、高山蝶、ライチョウなどの特有な動植物が生育・生息しており、その中には氷河期の遺存種や固有種も多く含まれている。高山帯は、こうした生物が人為的影響を比較的受けずに残されてきた、わが国の生物多様性にとって非常に重要な生態系である。

しかしながら、地球規模の気候変動により、高山帯では気温の上昇や融雪時期の早期化などによる植生の衰退や分布の変化が報告されている。こうした変化は高山帯の動物の生息環境に影響を及ぼすだけでなく、近年各地で増加しているニホンジカなどが、高山帯にまで分布を広げる要因の一つとなっている。さらに登山道や山小屋の整備が進み、高山帯には中高年や家族連れを含む幅広い登山者が訪れるようになり、植生の踏みつけなどの影響の他、低地性植物の増加といった、自然分布域外からの動植物の持ち込みも問題となりつつある。

モニタリングサイト 1000 高山帯調査は、こうした影響を含む日本の高山生態系の動向を把握するため、他の生態系の第 2 期にあたる平成 20（2008）年から開始された。平成 24（2012）年に第 2 期が終了し、平成 29（2017）年には第 3 期が終了した。本報告書は、この間に実施されたモニタリングサイト 1000 高山帯調査の成果をとりまとめたものである。

本調査の実施にあたっては、検討会委員をはじめ、各サイトの関係者の皆様に多大なご尽力をいただいた。ここに厚く御礼申し上げる。

要 約

モニタリングサイト 1000 高山帯調査は 2008 年から開始され、大雪山、北アルプス（立山、蝶ヶ岳～常念岳）、白山、南アルプス（北岳）、富士山の調査サイトで、物理環境、植物、昆虫類の調査が行われた。本報告書では、2008～2017 年に得られた成果をとりまとめた。

I. 高山帯調査の目的と背景では、モニタリングサイト 1000 の概要、日本における高山帯の概要、実施状況と実施体制、解析の目的についてまとめた。

II. 各調査サイトのとりまとめでは、気温、暖かさの指数、雪田環境の積雪期間、風衝地環境の凍結期間、地表面の有効積算温度、植生、ハイマツの年枝伸長量、開花フェノロジー、チョウ類、地表徘徊性甲虫、マルハナバチ類調査の 9 年間で得られた調査結果を解析し、とりまとめた。

調査を実施した 4 つのサイトのハイマツの年枝伸長量の経年変化から、夏の気温の上昇傾向が示唆された。風衝地環境に比べて雪田環境では、雪解けや有効積算温度の上昇の早さに年変動があり、開花フェノロジーもそれらに連動した年変動がみられた。大雪山サイトでは、こうした年変動がチョウ類の発生時期やマルハナバチ類の訪花植物にもみられた。植物の種数や植被率は、風衝地環境よりも雪田環境で高かったが、寡雪地域である南アルプスは、風衝地環境でも植被率は高く、植物が多い特異な環境であった。白山の地表徘徊性甲虫の種組成は、雪渓、風衝地、ハイマツ林で大きく異なった。

III. 各調査項目のとりまとめでは、サイトやプロット間の比較をするため、統計的な解析を行い、気候変動の影響について考察した。

複数のサイトやプロットで得られたデータを用い、経年変化を比較した。平均気温や暖かさの指数の変動はサイト間で同じ傾向を示したが、大雪山と本州のサイトでは異なる年があった。月別の平均気温は、全てのサイトで 6～8 月は安定していたが、その他の月には年変動がみられた。地表面の有効積算温度の上昇開始は、いずれのサイトともに風衝地環境より雪田環境の方が遅かった。雪田環境の有効積算温度は、本州では 2016 年は高かったが、大雪山では低かった。植生調査で得られた種数や植被率は、いずれのサイトとともに減少傾向は認められなかった。ハイマツの年枝伸長量は全プロットで増加傾向にあり、プロット間で年変動に同調性がみられた。ミヤマキンバイの開花フェノロジーは、いずれのサイトともに風衝地環境より雪田環境の方が遅く、年変動が大きかった。年変動は大雪山と白山とで異なり、この違いは地表面の有効積算温度の上昇傾向と概ね一致した。高山蝶の指標種であるベニヒカゲとクモマベニヒカゲは、大雪山より本州のサイトで多数が確認されたが、経年変化に一定の傾向は認められなかった。

植生の種組成を用い、プロット間の類似性と経年変化を解析した。雪田環境と風衝地環境では種組成が大きく異なり、雪田植生は山域間の類似性が高く、風衝地植生は山域固有性が高かった。また、経年変化は、風衝地環境より雪田環境で大きかった。

開花フェノロジーと環境要因との関係を、大雪山の目視調査の結果から解析した。風衝

地早咲き植物、風衝地遅咲き植物、雪田植物の3グループに分けた開花種数の年変動をみると、風衝地植物は気温の上昇、雪田植物は雪解け日の早期化で開花時期が早くなった。

高山蝶の年変動を、中部山岳で得られたデータから解析した。高山チョウ、亜高山帯・高原のチョウ、低標高種、山頂占有・移動性種の4グループに分けた個体数をRI指数に変換したところ、2016年頃から亜高山帯・高原のチョウで増加傾向がみられた。北岳のベニヒカゲの個体数を、調査時の照度の影響を除いた推定値に換算したところ、ほぼ横ばいか、やや減少傾向にあった。

地表徘徊性甲虫の群集構成から、環境による違いと経年変化を検討した。雪田植生群落にある2プロットの種組成は近似していたが、矮小低木が優占する開けた環境と、ハイマツが優占する閉鎖的な環境とは異なっていた。群集構成に年変動はあるが、一定の変化傾向はなかった。

マルハナバチ類の季節活性の年変動を、開花フェノロジーの年変動と比較した。雪田環境の植物の開花フェノロジーの年変動は、マルハナバチより大きく、両者の活性のピークにずれがあった。こうしたずれは動植物間の相互作用に影響を及ぼす可能性がある。

IV. トピックスでは、モニタリングサイト1000高山帯調査に関連のある高山生態系での研究事例として、3つのテーマについて紹介した。

大雪山の高山生態系で見られる地球温暖化の兆候としては、湿生草原（湿生お花畑）の縮小、チシマザサやハイマツの分布拡大が確認されており、フェノロジーの変化、気温の急激な変動による霜害、集中豪雨に伴う土壌浸食や植生崩壊なども懸念される。

中部山岳地域の高山帯における14か所での気象観測の結果では、2003～2017年には一部の観測地点では年平均気温は低下傾向にあり、上昇傾向は認められなかった。中部山岳地域の標高1,000m以上に位置するアメダスの観測も同様の結果であった。

中央アルプス極楽平カールでは、2016年の雪解けは例年より早く、雪田群落の開花フェノロジーも早かったが、風衝地群落の開花フェノロジーはこうした傾向ではなかった。雪田、風衝地共に、2016年には一部の種類で8月下旬～9月上旬に狂い咲きがみられた。

V. 総括では、生物多様性の4つの危機と高山帯の関係についてとりまとめ、第4期に向けた課題と方針の整理を行った。

本調査の結果からは、4つの危機に関係する影響は確認されなかったが、第4の危機については、一部の調査サイトにおいて地球環境の変化による影響が示唆された。

第4期に向けた課題と方針では、調査地の配置、調査手法、調査体制、情報の管理や発信、保全施策への活用、国際的枠組みとの連携について、これまでの成果と今後の課題をとりまとめた。

Summary

The Monitoring Site 1000 alpine zone survey was started in 2008, when a survey of the physical environment, vegetation, and insects in the survey areas—Mt. Daisetsu, the Northern Japanese Alps (Tateyama, from Mt. Chogatake to Mt. Jonendake), Mt. Hakusan, the Southern Japanese Alps (Mt. Kitadake) and Mt. Fuji—was carried out. This report summarizes the findings obtained between 2008 and 2017.

I. With regard to the aim of and background to the alpine zone survey, this summary was created to give an outline of Monitoring Site 1000 and of Japan's alpine zone and to summarize survey conditions, survey structure and aim of analysis.

II. The survey site summary gives details on the temperature, warmth index, snowfall period in the snowfield environment, freezing period in the windswept environment, effective cumulative surface temperature, vegetation, dwarf Siberian pine (*Pinus pumila*) annual shoot elongation, flowering phenology, butterflies, ground beetles and bumblebees for each survey site, as well as an analysis of survey findings over nine years.

Year to year changes in dwarf Siberian pine annual shoot elongation at the four sites indicated a pattern of rising summer temperatures. Compared to the windswept environment, in the snowfield environment there were yearly variations in snowmelt and speed at which the effective cumulative temperature rose, and the flowering phenology showed year to year changes in step with this. At the Mt. Daisetsu site, the emergence of butterflies and the types of flowers visited by bumblebees also showed year to year changes. The number of plant species and vegetation rate was higher in the snowfield environment than in the windswept environment, while the Southern Japanese Alps, an area with little snow, presented a unique environment in which the vegetation rate is high even in a windswept environment and vegetation is plentiful. At Mt. Hakusan, there were marked differences in species composition of ground beetles depending on whether they were found in snowfield, a windswept environment, or in dwarf Siberian pine forests.

III. The summary of the survey on an item-by-item basis compared survey sites and plots, analyzed statistics for each survey item and discussed the impact of climate change.

Data obtained from several sites and plots was used to compare year to year changes. Changes in mean temperatures and warmth indexes between sites showed similar patterns, but data for Mt. Daisetsu and the Honshu sites differed in some years. Mean monthly temperatures at all sites were stable between June and August, but yearly fluctuations were observed in the other months. At all sites, the rise in effective cumulative surface temperature began later in the snowfield environment than in the windswept environment. In 2016, the effective cumulative temperature in the snowfield environment was high in Honshu but low at Mt. Daisetsu. There was no pattern of decline for number of plant species and vegetation rate obtained in vegetation surveys at any survey site. Annual shoot elongation in dwarf Siberian pine showed a pattern of increase at all plots, and synchrony in

yearly change was observed among the plots. The flowering phenology of *Potentilla matsumurae* was later at all sites in the snowfield environment than in the windswept environment, with large annual fluctuations. Mt. Daisetsu and Mt. Hakusan showed differences in year to year changes and those differences generally coincided with the pattern of increase in effective surface cumulative temperature. Alpine butterfly indicator species *Erebia neriene* and *Erebia ligea* were more numerous at the Honshu sites than at the Mt. Daisetsu site, but year to year change showed no consistent pattern.

The composition of plant species was used to analyze similarities between plots and year to year changes. There were large differences in species composition between the snowfield environment and the windswept environment. Snowfield plant species tended to be similar across mountains, whereas there were large difference in species between mountains in the windswept environment. Year to year change was more pronounced in the snowfield vegetation compared to the windswept vegetation.

The relationship between flowering phenology and environmental factors was analyzed based on visual inspection of Mt. Daisetsu. Year to year changes for three groups of vegetation—early-blooming vegetation in the windswept environment, late-blooming vegetation in windswept environments and snowfield vegetation—were examined, which revealed that vegetation bloomed earlier in windswept environments due to temperature rises and in the snowfield environment due to earlier snowmelt.

Year to year change in alpine butterflies was analyzed based on data obtained in the Chubu Mountains. Converting the number of individuals from four groups—alpine butterflies, subalpine region/highland butterflies, low-altitude species and summit-dwelling/migratory species—to the RI index showed a pattern of increase in subalpine region/highland butterflies beginning around 2016. An estimate of the number of *Erebia neriene* individuals on Mt. Kitadake, excluding the effect of light intensity at the time of the survey, revealed that numbers generally held steady or showed a pattern of slight decrease.

The community composition of ground beetles was evaluated based on differences in environment and year to year changes. Composition was similar in two plots of snowfield vegetation but differed in open environments where dwarf shrubs were dominant and in closed environments where dwarf Siberian pine was dominant. Year to year changes were observed but there were no consistent patterns to the changes.

Year to year changes in the seasonal activity of bumblebees and of flowering phenology were compared. Year to year changes in the flowering phenology of vegetation in the snowfield environment were greater than changes in bumblebees' seasonal activities, meaning that peak activity of the two failed to coincide. This lack of synchronization may affect the interaction between flora and fauna.

IV. The Topics includes three presentations on alpine ecology case studies related to the Monitoring Site 1000 alpine zone survey.

Indicators of global warming in the Mt. Daisetsu alpine ecology include shrinkage of alpine

snow meadows (marshy flower fields) and broader distribution of *Sasa kurilensis* and Siberian dwarf pine, which could also lead to changes in phenology, frost damage due to sudden temperature fluctuations, and soil erosion and destruction of vegetation due to severe rainstorms.

Results of meteorological observations at 14 alpine locations in the Chubu Mountains showed a pattern of lower yearly mean temperatures at some locations between 2003 and 2017; no rising temperature patterns were observed. Observations via AMeDAS (Automated Meteorological Data Acquisition System) stations at altitudes of 1,000 meters or higher in the Chubu Mountains revealed similar patterns.

In the Gokurakudaira Cirque in the Central Japanese Alps, snowmelt in 2016 occurred earlier than in other years and the flowering phenology of plant communities in the snowfield environment was also early. However, no similar pattern was observed for plant communities in the windswept environment. In 2016, some species in both the snowfield and the windswept environments bloomed out of season in late August to early September.

V. The Summary covered the relationship between the four dangers to biodiversity and the alpine zone, and observations were made concerning the issues and policies in preparation for the fourth survey period.

The findings of this survey did not reveal any impact related to the four dangers, but some impact from changes in the global environment -the fourth danger- was observed at some survey sites.

With regard to issues and policies in preparation for the fourth survey period, the Summary covered actions taken up until now and their outcomes as well as issues going forward, survey site locations, survey methodologies, survey structures, information management and dissemination, utilization of survey findings in conservation programs and coordination with international frameworks.

目 次

I . 高山帯調査の目的と背景	1
1. モニタリングサイト 1000 の概要	1
2. 日本における高山帯の概要	3
(1) 高山帯の特徴	
(2) 高山帯の現状とモニタリングの役割	
3. 実施体制と実施状況	5
(1) 調査サイト	
(2) 調査項目	
(3) 実施体制	
(4) 調査プロット	
4. 解析の目的	14
II . 調査サイトごとのとりまとめ	16
1. 大雪山サイト	16
(1) 気温／地温・地表面温度	
(2) 植生	
(3) ハイマツの年枝伸長量	
(4) 開花フェノロジー	
(5) チョウ類	
(6) マルハナバチ類	
(7) 大雪山サイトの生物多様性の4つの危機	
2. 北アルプス(立山)サイト	29
(1) 気温／地温・地表面温度	
(2) 植生	
(3) ハイマツの年枝伸長量	
(4) 開花フェノロジー	
(5) 北アルプス(立山)サイトの生物多様性の4つの危機	
3. 北アルプス(蝶ヶ岳～常念岳)サイト	35
(1) 気温	
(2) チョウ類	
(3) マルハナバチ類	
(4) 北アルプス(蝶ヶ岳～常念岳)サイトの生物多様性の4つの危機	
4. 白山サイト	39
(1) 気温／地温・地表面温度	
(2) 植生	

(3)ハイマツの年枝伸長量	
(4)開花フェノロジー	
(5)チョウ類	
(6)地表徘徊性甲虫類	
(7)白山サイトの生物多様性の4つの危機	
5. 南アルプス(北岳)サイト	47
(1)気温／地温・地表面温度	
(2)植生	
(3)ハイマツの年枝伸長量	
(4)開花フェノロジー	
(5)チョウ類	
(6)南アルプス(北岳)サイトの生物多様性の4つの危機	
6. 富士山サイト	52
(1)気温／地温・地表面温度	
(2)植生	
(3)開花フェノロジー	
(4)富士山サイトの生物多様性の4つの危機	

Ⅲ. 調査項目ごとのとりまとめ.....56

1. サイトやプロット間の比較	56
(1)気温／地温・地表面温度	
(2)植生	
(3)ハイマツの年枝伸長量	
(4)開花フェノロジー	
(5)チョウ類	
2. 植生の種組成からみたプロット間の類似性とそれらの経年変化／和田直也	65
(1)サイトやプロット間の違い	
(2)時系列変化	
(3)まとめ	
3. 大雪山: 高山植物開花フェノロジー目視調査から見てきたこと／工藤岳	68
(1)はじめに	
(2)調査地と調査方法	
(3)解析方法	
(4)結果の概要	
(5)まとめ	
4. 高山帯チョウ類の調査からみた過去 10 年間のチョウ類群集構造の変化と高山 チョウのベニヒカゲの個体数の年次変動／中村寛志	73
(1)高山のチョウ類群集の構造変化	

- (2)高山チョウの出現数の変化
- 5. 高山帯における地表徘徊性甲虫類の特徴と変化予測／平松新一……………78
 - (1)はじめに
 - (2)白山サイトにおける地表徘徊性甲虫類の特徴
 - (3)地表徘徊性甲虫類の環境ごとの特徴
 - (4)地表徘徊性甲虫類の変化予測
 - (5)おわりに
- 6. マルハナバチと高山植物群集の季節性の不一致／工藤岳・井本哲雄……………82
 - (1)はじめに
 - (2)調査方法
 - (3)解析方法
 - (4)得られた結果
 - (5)まとめ

IV. トピックス……………87

- 1. 大雪山の高山生態系で見られる地球温暖化の兆候／工藤岳……………87
 - (1)植生変化
 - (2)フェノロジー変化
 - (3)霜害
 - (4)その他の影響
- 2. 中部山岳地域の高山帯における気象観測／鈴木啓助……………90
 - (1)はじめに
 - (2)気象庁による気象観測の現状
 - (3)信州大学による気象観測網の整備
 - (4)低下傾向にある年平均気温
 - (5)温暖化傾向ではない 15 年間の中部山岳地域
- 3. 中央アルプス極楽平付近の融雪時期と開花フェノロジーの年変化
／須賀丈・尾関雅章・浜田崇・小熊宏之・井手玲子……………94
 - (1)雪どけと高山植物の開花
 - (2)消雪時期のカメラ撮影と開花フェノロジーの調査
 - (3)2016 年の早い雪どけは開花フェノロジーにどう影響したか
 - (4)高山生態系のモニタリングの強化に向けて

V. 総括……………98

- 1. 生物多様性の4つの危機に関連したとりまとめ……………98
 - (1)第1の危機(開発など人間活動による危機)
 - (2)第2の危機(自然に対する働きかけの縮小による危機)
 - (3)第3の危機(人間により持ち込まれたものによる危機)

(4)第4の危機(地球環境の変化による危機)	
2. 第4期に向けた課題と方針	103
(1)サイトやプロットの配置	
(2)調査手法	
(3)持続可能な調査体制	
(4)情報の共有・管理及び発信	
(5)調査結果の保全施策への活用	
(6)国際的枠組みとの連携	
参考情報	110

I. 高山帯調査の目的と背景

1. モニタリングサイト 1000 の概要

「モニタリングサイト 1000（重要生態系監視地域モニタリング推進事業）」は、生物多様性国家戦略に基づき平成 15（2003）年度から開始され、わが国の代表的な生態系の状態を長期的かつ定量的にモニタリングすることにより、種の増減、種組成の変化などを検出し、適切な自然環境保全施策に資することを目的としている。モニタリングの対象となる生態系は、陸域（高山帯、森林・草原、里地・里山、湖沼・湿原、砂浜、磯・干潟、アマモ場・藻場）、シギ・チドリ類、砂浜（ウミガメ類）、サンゴ礁、小島嶼（海鳥）で、全国に約 1000 か所の調査サイトが設置されている（図 I-1-1）。



図 I-1-1 全国のモニタリングサイト位置図 高山帯にはサイト名を記載した（生物多様性センターモニタリングサイト 1000(<http://www.biodic.go.jp/moni1000/index.html>)より作成)

平成 22（2010）年に愛知県名古屋市で開催された生物多様性条約第 10 回締約国会議（COP10）では、生物多様性に関する世界目標となる「愛知目標」が採択され、各国はその達成に向けた国別目標を設定し、生物多様性国家戦略に反映することが求められた。わが国では、平成 24（2012）年に愛知目標のロードマップとなる「生物多様性国家戦略 2012-2020」が策定された。生物多様性国家戦略 2012-2020 では、わが国の生物多様性の危機の構造は、第 1 の危機（開発など人間活動による危機）、第 2 の危機（自然に対する働きかけの縮小による危機）、第 3 の危機（人間により持ち込まれたものによる危機）、第 4 の危機（地球環境の変化による危機）の 4 つに整理されて

いる。またその基本戦略の一つに「科学的基盤を強化し、政策に結びつける」ことが掲げられ、その中の「基礎的データの整備」では、モニタリングサイト 1000 の実施により、国土の自然環境の継続的な状況把握を引き続き進めることなどが位置付けられている。

モニタリングサイト 1000 高山帯調査は、わが国の高山生態系の動向を把握するため、他の生態系の第 2 期にあたる 2008 年から開始された。初年度の 2008 年度は、調査サイト、調査対象、調査方法などに関する検討を行った。2009 年度には、白山サイトと南アルプス（北岳）サイトで試行調査を行い、調査方法に関する検討や調査マニュアルの作成などを行った。2010 年度からは、全てのサイトで調査を開始し、2012 年度に第 2 期が終了し、とりまとめを行った。

2013 年度に検討を開始し、2017 年度に終了した第 3 期のとりまとめに関しては、「生物多様性国家戦略 2012-2020」や「気候変動の影響への適応計画」の推進に資することを目的とした。

- ・閣議決定（平成 24 年 9 月 28 日）生物多様性国家戦略 2012-2020～豊かな自然共生社会の実現に向けたロードマップ～

http://www.biodic.go.jp/biodiversity/about/initiatives/files/2012-2020/01_honbun.pdf

- ・閣議決定（平成 27 年 11 月 27 日）気候変動の影響への適応計画.

<http://www.env.go.jp/press/files/jp/28593.pdf>

2. 日本における高山帯の概要

(1) 高山帯の特徴

高山帯の定義には諸説あり、欧米では一般的に低木限界以上とされるが、日本では高木からなる森林限界以上とされるため、ハイマツ帯とよばれるハイマツが優占する低木林が含まれる場合が多い。ハイマツ帯は、北海道では標高 1,200m 付近から、本州中部では標高 2,500m 付近から上でみられる。

高山帯は一般に気候が寒冷で、日射や風当たりが強く、土壌は栄養分に乏しいために森林が成立できない環境である。日本の高山帯を植生からみると、日本海側の気候の特徴である多雪、火山活動、蛇紋岩のような独特の地質、北海道の島嶼部でみられる夏の霧の影響といった特殊な環境条件により、比較的標高が低い場所でみられるものが含まれる。

日本の高山帯の特徴は以下のようにまとめられる。

- 日本の高山帯は、世界的にも低標高・低緯度で成立しているという特異な存在
- 高山生態系は、氷河期の遺存・固有種の生育・生息地として、生物多様性の面から重要
- 高山特有の厳しい環境に適応している高山生態系を構成する生物は、より好条件での他種との競争に弱く、その結果、高山生態系は脆弱である
- 高山生態系は日本を代表する山岳景観の中心をなし、美的・文化的な面からも重要

高山帯の中には微地形や微気候などに応じて、様々な植生がモザイク状にみられるが、風衝地と雪田の大きく 2 つに分けることができる。

風衝地とは、山頂や稜線付近など、強風で冬季の雪が吹き飛ばされて積雪がない場所である。植物は雪解けを待たずに春早くから生長を開始できるが、冬の間は土壌温度が 0℃ 以下となり、寒冷地では地表の周期的な凍結融解作用で、周氷河現象と呼ばれる岩石の破碎、地表を構成する物質の移動、地層の変形などが起こる。

雪田とは、冬に風があたりにくい南東向き斜面や窪地に大量の雪が積もった場所である。雪の断熱効果で土壌温度は 0℃ 付近に保たれるが、植物は雪解けを待って生長を開始するため、生育期間が短くなる。

高山帯では、このような環境に適応した植物が、独特の植生環境を形成している。高山帯でみられる植生は、相観¹⁾、優占種²⁾、標徴種や識別種（区分種）³⁾といった植物社会学的な特徴から、大きく表 I-2-1 のように分けられる。

- 1) 相観：植物群落の外観を全体的にとらえる見方で、植物群落の高さ（高木林・低木林・草原）、優占種²⁾の季節変化（常緑樹・落葉樹）や葉の形（針葉樹・広葉樹）などで分けられる。
- 2) 優占種：植物群落の上部で広い面積を占めている代表的な種類。
- 3) 標徴種・識別種（区分種）：植物社会学的な基本単位である植物群集を特徴づける種類。特定の植物群集でみられることで、他の植物群集との識別に利用される。

表 I-2-1 植生からみた日本の高山帯の特徴

(第5回自然環境保全基礎調査(自然環境情報 GIS)、宮脇・奥田(1990)、奥田(1997)を参考に作成)

風衝草原
風衝地に分布する草原。ヒゲハリスゲ、イワオウギ、タイツリオウギ、エゾマメヤナギ、オヤマノエンドウ、エゾオヤマノエンドウなどがみられる。
風衝矮生低木群落(高山ハイデ)
風衝地に分布する矮生低木群落。高山ハイデとは、ツツジ科の植物を主とした高山風衝低木群落の海外での呼び名に由来する。矮生低木群落では、ツツジ科の常緑低木のコメバツガザクラやミネズオウなどがみられる。
雪田草原
雪田に分布する矮生低木群落および草原。雪解け後に乾燥しやすい場所や岩礫の多い場所では、常緑小低木のアオノツガザクラや落葉小低木のチングルマなど、雪解け後も水分が多い場所では、イワイチョウ、ショウジョウスゲ、エゾコザクラなどがみられる。
高山荒原(崩壊地荒原)
風衝草原に含まれることもあるが、特に土壌の移動が激しい周氷河土、火山、風衝砂礫地、崩壊地、雪田底等に成立する荒原草本群落をさす。コマクサ、イワブクロ、イワツメクサなどが生育する。フジハタザオやオンタデは、富士山の火山灰地、砂礫不安定地に成立する火山荒原植物群落である。
高山低木群落(ハイマツ林)
常緑針葉樹のハイマツや、落葉広葉樹のミネヤナギなどからなる低木林。亜高山帯の上部に位置付けられる場合もあるが、景観上は他の亜高山帯植生と区別できるため高山帯に含まれる。風衝が強く積雪量が少ない尾根部では、常緑針葉樹のハイマツが広く分布する。谷部では落葉広葉樹のミヤマハノキ、ダケカンバ等が小面積でモザイク状に生育する。火山等の風衝地や岩礫地には、ミネヤナギ(ミヤマヤナギ)がみられる。
高茎広葉草原(雪潤草原)
雪田に分布する草原で、比較的標高の低い場所に生育するハクサンボウフウ、ミヤマキンボウゲ、トカチフウロなどの背の高い草本類からなる草原で、亜高山帯植生に含まれる場合もある。

(2) 高山帯の現状とモニタリングの役割

生物多様性国家戦略 2012-2020 では、第4の危機(地球環境の変化による危機)により、さまざまな生物の分布のほか、植物の開花や結実の時期、昆虫の発生時期などの生物季節に変化が生じると考えられている。こうした分布や生物季節の変化の速度は種や分類群によって異なるため、昆虫による送受粉など生物間の相互関係に狂いが生じる可能性があると考えられている。また、森林植生は全体的に高い標高に移動することが予測されているが、高山帯の植生は山頂よりも上には移動できないため、縮小していく可能性もある。さらに、積雪量の低下が原因の一つと考えられるニホンジカの高山帯への侵入により、高山植生が壊滅的な影響を受ける可能性がある。

将来的な予測としては、ハイマツの分布適域の面積の減少、融雪時期の早期化による高山植物の個体群の消滅、東北地方全て、中部山岳域のほとんどの高山帯に相当する環境を持つ地域の消失、ライチョウのような高山帯のみに生息可能な生物の絶滅の可能性、ニホンジカなどの野生鳥獣の生息域の拡大があげられている(環境省、2018)。

このように、高山帯のような環境の変化に対して弱い地域を中心に、第4の危機によるわが国の生物多様性への深刻な影響が懸念されているため、適切な保全施策を講じるためには、モニタリングにより継続的に地球温暖化の影響や希少野生動植物種の生息・生育状況を含む生態系の変化を把握することが必要となる。

また、温暖化の影響を含むモニタリング結果をもとに、気候変動などの環境の変化への適応力が高い生態系ネットワークのあり方や健全な生態系を保全・再生する上での留意点など、生物多様性の保全施策の立場からの適応方策について検討を進めていくことが重要となる。

3. 実施体制と実施状況

(1) 調査サイト

モニタリングサイト 1000 高山帯調査では、高山生態系の変化を効果的かつ継続的に捉えるため、全国的な地域性や地域環境のバランスに配慮した上で、表 I-3-1 に示した選定基準に基づき、図 I-1-1 に示した 5 か所に調査サイトを設定している。それぞれのサイトの概要を表 I-3-2 に示した。

表 I-3-1 モニタリングサイト 1000 高山帯調査の調査サイトの選定基準

- 1.日本の高山帯環境の指標となりうる、代表的・典型的な高山景観である。
- 2.特殊岩地などの特殊な条件に出現する高山帯のうち、重要な高山景観である。
- 3.典型的な高山帯については全国的な地域性・地域環境のバランスに配慮する。
- 4.日本の高山帯の主な景観要素を含む。
- 5.日本の高山帯を特徴づける固有種・遺存種・生態系を持つ。
- 6.過去からの調査実績・調査記録がある。
- 7.実施体制・協力体制があり、アクセス性に優れ、調査が可能な自然環境である。

表 I-3-2 モニタリングサイト 1000 高山帯調査の調査サイトの概要

サイト名	サイトの概要
大雪山	・北海道のほぼ中央部の多雪地域にある典型的な高山帯で、火山活動の影響がある。 ・北海道の最高峰である旭岳(2,291m)など、標高 2,000m以上の 20 数座を含む。高山帯となるのは標高 1,600m付近から。 ・大雪山国立公園と特別天然記念物に指定されている。
北アルプス (飛騨山脈)	・中部地方(新潟県、富山県、長野県、岐阜県)の多雪地域にある典型的な高山帯で、火山活動の影響が一部ある。 ・北は白馬岳(2,932m)、剣岳(2,999m)、立山(3,015m)、南は槍ヶ岳(3,180m)、穂高岳(3,190m)、乗鞍岳(3,026m)などが連なる。高山帯となるのは標高 2,400m付近から。 ・中部山岳国立公園に指定されている。
白山	・中部地方(石川県、岐阜県、福井県、富山県)の多雪地域にある典型的な高山帯で、火山活動の影響がある。 ・最高峰は御前峰(2,702m)で、大汝峰(2,684m)、剣ヶ峰(2,677m)が連なる。高山帯となるのは 2,450m付近から。 ・白山国立公園に指定されている。
南アルプス (赤石山脈)	・中部地方(山梨県、長野県、静岡県)の寡雪地域にある典型的な高山帯。 ・北は甲斐駒ヶ岳(2,967m)、仙丈ヶ岳(3,033m)、鳳凰山(2,840m)、北岳(3,193m)、間ノ岳(3,190m)、南は塩見岳(3,047m)、荒川岳(3,141m)、赤石岳(3,121m)、聖岳(3,013m)、光岳(2,592m)などが連なる。高山帯となるのは標高 2,600m 付近から。 ・南アルプス国立公園に指定されている。 ・北岳に生育するキタダケソウは、種の保存法(絶滅のおそれのある野生動植物の種の保存に関する法律)により国内希少野生動植物種に指定されている。
富士山	・中部地方(山梨県、静岡県)にある独立峰で、新しい火山活動により植生の分布や範囲が影響を強く受ける、特殊な条件に出現する高山帯。 ・山頂の剣ヶ峰は標高 3,776m。高山帯となるのは標高 2,400～2,500m 付近から。 ・富士箱根伊豆国立公園、特別名勝及び史跡に指定されており、世界文化遺産に登録されている。

(2)調査項目

モニタリングサイト 1000 高山帯調査では、高山生態系への様々な影響を検出できるよう、調査方法や作業量、実施に必要な体制などを検討した上で、表 I-3-3 に示した調査項目を設定し、集計・解析を行っている。なお、調査方法の詳細は「モニタリングサイト 1000 高山帯調査マニュアル」を、集計・解析方法については「平成 29 年度モニタリングサイト 1000 高山帯調査報告書（環境省自然環境局生物多様性センター，2018）（以下、調査報告書という。）」なども参照されたい。

表 I-3-3 モニタリングサイト1000高山帯調査の調査項目

a 気温／b 地温・地表面温度
【目的】 基本的な環境変化を把握するため、通年でデータを得る。地温・地表面温度の変化からは、積雪期間や凍結期間などを推定する。 【調査地】 気温は、植生調査地点の近くで環境や管理面から望ましい場所に、各サイト 1～2 プロットを設定した。地温・地表面温度は、植生調査の永久方形枠と同じ場所に、各サイト 2～4 プロットを設定した。 【方法】 気温は、計測器（おんどとり Jr TR-52S 株式会社ティアンドデイ社製）により、連続的に計測した。地温・地表面温度は、温度ロガー（Tidbit v2 Temp Logger Onset Computer Corporation 社製）により、地表面と地下 10cm で連続的に計測した。 【集計・解析】 気温については月別の平均気温を算出し、その値をもとに暖かさの指数¹⁾を算出した。地温・地表面温度については、植物の生長と最も関係が深いと思われる地表面温度から有効積算温度²⁾を算出した。積雪が定着しない風衝地のプロットについては、地下 10cm の日平均地温が 0℃以下の日を推定凍結日とし、その日数を取得した。長期の積雪がみられる雪溪のプロットについては、地表面温度をもとに石田（2006）に従った方法により、長期積雪（いわゆる根雪）の終わり（推定雪解日）と始まり（推定冠雪日）を求めた（詳しくは調査報告書を参照）。 1) 暖かさの指数（WI: warmth index）：植生の分布と気温との関係を表す指数。平均気温 5℃³⁾以上の月の平均気温から 5℃³⁾引いて 1 年間合計した値。0 < WI ≤ 15 は高山帯、15 < WI ≤ 45 は亜高山帯である（吉良，1948）。 2) 有効積算温度：ある期間の日平均温度のうち、一定の基準値（ここでは 5℃³⁾）を差し引いた値を毎日加算したもの。植物の生長や開花に必要な、温度の要求性の目安とされる。 3) 5℃：一般的に植物の生長が可能となる最低温度。
c 植生
【目的】 生態系基盤を形成する植生の構成種や出現頻度の変化を把握する。 【調査地】 雪田植生、風衝低木群落、風衝草原、荒原植生を対象とし、雪溪の周辺など、環境変化の影響を受けやすいと考えられる場所を選び、各サイト 2～4 プロットを設定した。 【方法】 1 m×10mの永久方形枠を、1 m×1 mの 10 個のサブコドラートに分け、それぞれのサブコドラートを 10cm×10cm の 100 のメッシュに区切り、メッシュごとの出現種の有無を記録した。サブコドラートごとに、植被率、岩石・砂礫率、蘚苔類、地衣類、草食動物の食痕の有無と糞粒数を記録した。調査頻度は 3～5 年に 1 度。 【集計・解析】 永久方形枠全体での総出現種数、種ごとの出現メッシュ数とその合計を集計した。また、10 個のサブコドラートの植被率、岩石・砂礫率、蘚苔類、地衣類の割合の平均値を算出した。出現種は基本的に、初回調査での出現プロット数が多く、出現メッシュ数が多いものから順に一覧にした。出現種数や植被率の集計などは維管束植物を対象とし、蘚苔類や地衣類は含めなかった。それぞれの出現種について、おもな生育環境を、宮脇ら（1983）や、宮脇（1985；1988）などに基づき、植物社会学的な植生単位である植物群集の標徴種や

識別種（区分種）になっている種類については群集の生育環境に、それ以外の種類については植生単位との結びつきを考慮して区分した。ただし出現種の中にはミヤマキンバイ、シラネニンジン、キバナシャクナゲ、ミツバオウレンなどのように、様々な植生単位に生育する種類がある。

出現種の生活型を機能型（Klinka et al., 1989）とラウンケアの生活形（宮脇ら, 1983）で分類した。環境省や都道府県のレッドリストの掲載種については、危険性の要因を整理した（北海道環境生活部環境室自然環境課, 2001；石川県絶滅危惧植物調査会, 2010；環境省自然環境局野生生物課希少種保全推進室, 2015b；2019；静岡県くらし・環境部環境局自然保護課, 2017；富山県生活環境部自然保護課, 2012；山梨県森林環境部みどり自然課, 2018）。その他の出現種の付加情報として、ニホンジカの不着好性植物（橋本・藤木, 2014；環境省自然環境局生物多様性センター）、人為的に持ち込まれた低地性植物や外来植物（太刀掛・中村, 2007；豊国, 1988）、それぞれの調査対象地域に分布する高山蝶の食草と訪花植物（猪又ら, 1986；日本チョウ類保全協会, 2012；志村, 2007）及びその近縁種、マルハナバチ類の訪花植物（環境省自然環境局生物多様性センター, 2016；木野田ら, 2013；工藤・井本, 2012；須賀, 2001；須賀, 2009；須賀ら, 2015）及びその近縁種を抽出した。

d ハイマツの年枝伸長量

【目的】長期的な環境変化が植物の生育に及ぼす影響の指標として、夏の気温との相関が高いハイマツの長枝¹⁾の伸長量について経年変化を把握する。

【調査地】典型的な広がりをもつハイマツ群落を対象とし、風衝地や雪田など、環境が異なる場所を選び、各サイトに2プロットを設定した。

【方法】1プロットあたり20～30本のハイマツ個体について、優勢な幹を対象に長枝の年枝²⁾の長さ（年枝伸長量）を過去20年程度までさかのぼって計測し³⁾、各年次の年枝伸長量を推定した。調査頻度は5年に1度。

【集計・解析】年枝伸長量の解析には、枝の大きさの違いによる影響を避けるため、各枝について各年の年枝伸長量を標準化した値（各年の年枝伸長量から、解析の対象とした過去約20年間の平均値を引き、標準偏差で割った値）を用いた。標準化した値について、各プロットの平均値を求め、プロット間の同調性及び経年変化を解析した。ハイマツの年枝伸長量には、前年の気温が影響を及ぼすとされている（沖津, 1988；Sanoら, 1977；Wadaら, 2005）。そこで、それぞれの長枝の年枝伸長量と、過去の気象データから得られた前年の5～10月の月平均気温との相関関係を調べた（詳しくは調査報告書を参照）。

- 1) 長枝と短枝：ハイマツを含むマツ属（またはマツ亜科）の枝条（木の枝）は、普通葉を持ちほとんど伸長しない短枝と、普通葉を持たず十分な伸長成長を行う長枝から成る。
- 2) 年枝：一年間に成長した枝。
- 3) ハイマツの長枝は一般に枝先の頂芽から生じ、主に夏の生育期間内に伸長する。この期間の後半には新しい頂芽を形成し始め、その基部には芽鱗（芽を保護する機能をもつ鱗片状の葉の集合体）の痕跡を形成する。この芽鱗痕に挟まれた長さを一年間に伸長した長さともなし、過去にさかのぼってある年の年枝伸長量を計測することができる。

e 開花フェノロジー（インターバルカメラ）、f.開花フェノロジー（目視）

【目的】環境変化が生物季節（フェノロジー）に及ぼす影響の指標として、高山植物の開花時期の変化を把握する。

【調査地】植生調査地点の近くで、インターバルカメラによる調査は各サイト2プロット、目視による調査は大雪山サイトのみで4プロットを設定した。

【方法】インターバルカメラにより連続撮影した写真から、開花ステージを判読した。目視による調査では、開花ステージを数日～1週間間隔で現地で記録した。

開花ステージ：

A－咲き始め（蕾がたくさんある。1～5分咲き） B－満開（蕾はあまり残っていない） C－開花後期（しおれた花が多く見られる） D－終了（ちらほらと花が残っている程度） 【集計・解析】写真の判読では開花ステージが確認できる種を対象とし、目視については基本的に禾本類を除く全種を対象として開花ステージを集計、図化し、植物の種類、調査プロット、年による違いを比較した。
g チョウ類(ライントランセクト)、h チョウ類(定点)
【目的】環境変化が高山生態系に及ぼす影響の指標として、高山蝶の出現数の変化と低標高性の種の侵入と増減を把握する。 【調査地】ライントランセクトは、植生調査地点近くの登山道上に各サイト1～2プロット、定点は周囲を見渡すことのできるお花畑を選び、各サイト1～2プロットを設定した。 【方法】ライントランセクト調査または定点調査により、出現種の個体数を記録した。ライントランセクト調査では、高山蝶の中でも広域に分布するベニヒカゲとクモマベニヒカゲを指標種とし、これらを中心に個体数を記録した。定点調査では、チョウ類全種を対象とし、群集について、また低地性種の増加などに着目して調査を行った。 【集計・解析】調査項目およびプロットごとに集計を行い、種構成及び個体数の経年変化を解析した。環境省や都道府県のレッドリストの掲載種については、危険性の要因を整理した（北海道環境生活部環境局生物多様性保全課，2016；北海道環境生活部環境室自然環境課，2001；石川県野生動物保護対策調査会，2009；環境省自然環境局野生生物課希少種保全推進室，2015a；2019；長野県環境部自然保護課・長野県環境保全研究所自然環境部，2015；長野県生物多様性研究会・長野県自然保護研究所・長野県生活環境部環境自然保護課，2004；山梨県森林環境部みどり自然課，2018）。
i 地表徘徊性甲虫
【目的】環境変化が土壌生態系に及ぼす影響の指標として、地表徘徊性甲虫の種構成の変化を把握する。 【調査地】植生調査地点の近くで、白山サイトのみに3プロット4地点を設定した。 【方法】プラスチックカップを用いたピットフォールトラップ調査により、回収された甲虫類を記録した。調査地点ごとのトラップの個数は20個とし、誘引餌としては、すし粉とサナギ粉をそれぞれ10個のトラップに用いた。 【集計・解析】4つの調査地点ごとに同定、個体数カウントを行い、種構成及び個体数の経年変化を解析した。なお、和名や学名については、「モニタリングサイト1000 森林・草原調査」で採用されているものを用いたが、別和名や別学名も併記した（詳しくは、公開されているデータファイルに添付の「地表徘徊性甲虫データの概要と利用上の注意点」を参照のこと）。
j マルハナバチ類
【目的】特定外来生物のセイヨウオオマルハナバチの侵入の早期発見と、花粉媒介性昆虫であるマルハナバチ類の種構成の変化を把握する。 【調査地】植生調査地点の近くで、多様な植生タイプを含む場所に、大雪山サイトに2プロット、北アルプス（蝶ヶ岳～常念岳）サイトに1プロットを設定した。 【方法】ライントランセクト調査により、訪花植物の種ごとに出現種の個体数を記録した。 【集計・解析】プロットごとに集計を行い、マルハナバチ類の種構成と個体数の経年変化、及び訪花植物の経年変化を解析した。環境省や都道府県のレッドリストの掲載種については、危険性の要因を整理した（環境省自然環境局野生生物課希少種保全推進室，2015a；2019；長野県環境部自然保護課・長野県環境保全研究所自然環境部，2015；長野県生物多様性研究会・長野県自然保護研究所・長野県生活環境部環境自然保護課，2004）。

モニタリングサイト 1000 高山帯調査では、調査データの管理をしやすいするために、調査サイト、調査プロット、調査項目に表 1-3-4～6 の ID を設定している。

表 I-3-4 調査サイト ID

サイト	サイト ID
大雪山	1
北アルプス(立山)	2
北アルプス(蝶ヶ岳～常念岳)	3
白山	4
南アルプス(北岳)	5
富士山	6

表 I-3-5 調査プロット ID ※以下は大雪山サイトの例。その他はサイトごとの一覧表(表 I-3-8～13)を参照。

調査プロット名	サイト ID
永久方形区(黒岳風衝地)	A
永久方形区(黒岳石室)	B
永久方形区(赤岳コマクサ平)	C
永久方形区(赤岳第4雪渓)	D
チョウ類調査用トランセクト(赤岳)	F
マルハナバチ類調査用トランセクト(黒岳)	G
マルハナバチ類調査用トランセクト(赤岳)	H
黒岳石室	I
赤岳コマクサ平	J
赤岳銀泉台下	K

表 I-3-6 調査項目 ID

調査項目	調査項目 ID
気温	a
地温・地表面温度	b
植生	c
ハイマツの年枝伸長量	d
開花フェノロジー[インターバルカメラ]	e
開花フェノロジー[目視]	f
チョウ類ライトランセクト	g
チョウ類お花畑定点	h
地表徘徊性甲虫[ピットフォールトラップ]	i
マルハナバチ類	j

(3)実施体制

モニタリングサイト 1000 高山帯調査では、それぞれのサイトで調査実績のある研究機関及び民間団体に調査を依頼し、実施している（表 I-3-7）。

表 I-3-7 モニタリングサイト 1000 高山帯調査のこれまでの実施体制

1.大雪山サイト	
a 気温／b 地温・地表面温度	北海道大学地球環境科学研究所
c 植生	北海道大学地球環境科学研究所
d ハイマツの年枝伸長量	北海道大学地球環境科学研究所
ef 開花フェノロジー	北海道大学地球環境科学研究所、アース・ウィンド
gh チョウ類	自然環境研究センター、北海道昆虫同好会、アース・ウィンド
j マルハナバチ類	北海道大学地球環境科学研究所
2. 北アルプス(立山)サイト	
a 気温／b 地温・地表面温度	富山大学極東地域研究センター
c 植生	富山大学極東地域研究センター、富山県中央植物園
d ハイマツの年枝伸長量	富山大学極東地域研究センター
e 開花フェノロジー	富山大学極東地域研究センター
3. 北アルプス(蝶ヶ岳～常念岳)サイト	
a 気温	信州大学理学部、信州大学山岳科学総合研究所
gh チョウ類	ミヤマシジミ研究会、松本むしの会、信州大学農学部附属アルプス圏フィールド科学教育研究センター
j マルハナバチ類	長野県環境保全研究所、信州大学大学院、京都大学霊長類研究所
4. 白山サイト	
a 気温／b 地温・地表面温度	石川県白山自然保護センター
c 植生	石川県白山自然保護センター
d ハイマツの年枝伸長量	石川県白山自然保護センター
e 開花フェノロジー	石川県白山自然保護センター
gh チョウ類	石川県白山自然保護センター、石川むしの会
i 地表徘徊性甲虫	石川県白山自然保護センター、石川むしの会
5. 南アルプス(北岳)サイト	
a 気温／b 地温・地表面温度	芦安ファンクラブ、自然環境研究センター、国立環境研究所
c 植生	自然環境研究センター、芦安ファンクラブ
d ハイマツの年枝伸長量	芦安ファンクラブ、国立環境研究所
e 開花フェノロジー	芦安ファンクラブ、自然環境研究センター、国立環境研究所
gh チョウ類	ミヤマシジミ研究会、松本むしの会、信州大学農学部附属アルプス圏フィールド科学教育研究センター
6. 富士山サイト	
a 気温／b 地温・地表面温度	静岡大学理学部、静岡自然環境研究会、高山極域環境研究会
c 植生	静岡大学理学部、静岡自然環境研究会、高山極域環境研究会
e 開花フェノロジー	静岡大学理学部、静岡自然環境研究会、高山極域環境研究会

※2008 年からのもので、現在は存在しない団体も含む

(4)調査プロット

それぞれのサイトに設定された調査プロットの標高と調査項目を表 I-3-8～13 に、これまでの調査の実施状況を表 I-3-14 に示した。

本報告書では希少種保護などの目的により、調査プロットの詳細な位置は示していない。また一部の調査プロットについては、具体的な場所が分からないような名称になっている。調査結果についても、調査サイトや調査項目によっては、集計結果のみを示すなどしている。

表 I-3-8 大雪山サイトの調査プロット

プロット名	標高(m)	調査項目
A 永久方形区(黒岳風衝地)	1,950	b 地温・地表面温度、c 植生、f 開花フェノロジー(目視)
B 永久方形区(黒岳石室)	1,890	b 地温・地表面温度、c 植生、f 開花フェノロジー(目視)
C 永久方形区(赤岳コマクサ平)	1,840	a 気温、b 地温・地表面温度、c 植生、e 開花フェノロジー(インターバルカメラ)、f 開花フェノロジー(目視)、h チョウ類(定点)
D 永久方形区(赤岳第4雪渓)	1,970	b 地温・地表面温度、c 植生、e 開花フェノロジー(インターバルカメラ)、f 開花フェノロジー(目視)
F チョウ類調査用トランセクト(赤岳)	1,490～1,970	g チョウ類(ライントランセクト)
G マルハナバチ類調査用トランセクト(黒岳)	1,520～1,980	j マルハナバチ類
H マルハナバチ類調査用トランセクト(赤岳)	1,490～1,970	j マルハナバチ類
I 黒岳石室	1,867～1,900	d ハイマツの年枝伸長量
J 赤岳コマクサ平	1,836～1,848	d ハイマツの年枝伸長量
K チョウ類調査用トランセクト(銀泉台下)(2017 年～)	1,380～1,490	g チョウ類(ライントランセクト)

表 I-3-9 北アルプス(立山)サイトの調査プロット

プロット名	標高(m)	調査項目
A 永久方形区(室堂平)	2,465	b 地温・地表面温度、c 植生、e 開花フェノロジー(インターバルカメラ)
B 永久方形区(風衝地)	2,705	a 気温(2015 年～)、b 地温・地表面温度、c 植生、e 開花フェノロジー(インターバルカメラ)
C 富山大学立山研究所	2,850	a 気温
D みくりが池	2,430～2,433	d ハイマツの年枝伸長量
E 別山	2,869～2,895	d ハイマツの年枝伸長量

表 I-3-10 北アルプス(蝶ヶ岳～常念岳)サイトの調査プロット

プロット名	標高(m)	調査項目
A 常念小屋	2,447	a 気温
B チョウ類調査用トランセクト	2,480～2,670	g チョウ類(ライントランセクト)
C チョウ類定点調査(プロット A)	2,664	h チョウ類(定点)
D チョウ類定点調査(プロット B)	2,520	h チョウ類(定点)
E マルハナバチ類調査用トランセクト	2,480～2,670	j マルハナバチ類

表 I-3-11 白山サイトの調査プロット

プロット名	標高(m)	調査項目
A 室堂平白山荘	2,448	a 気温
B 永久方形区(千蛇ヶ池南方風衝地)	2,570～2,585	b 地温・地表面温度、c 植生、d ハイマツの年枝伸長、i 地表徘徊性甲虫
C 永久方形区(水屋尻)	2,450～2,472	b 地温・地表面温度、c 植生、e 開花フェノロジー(インターバルカメラ)、i 地表徘徊性甲虫(雪溪・ハイマツ(2010年～))
D 永久方形区(南竜ヶ馬場)	2,070～2,084	b 地温・地表面温度、c 植生、i 地表徘徊性甲虫
H 展望歩道	2,450	d ハイマツの年枝伸長量、e 開花フェノロジー(インターバルカメラ)
I 観光新道馬の背付近	2,160	h チョウ類(定点)
J チョウ類調査用トランセクト	2,050～2,450	g チョウ類(ライントランセクト)

表 I-3-12 南アルプス(北岳)サイトの調査プロット

プロット名	標高(m)	調査項目
A 北岳山荘	2,880	a 気温
B 永久方形区(プロット B)	3,015	b 地温・地表面温度、c 植生、e 開花フェノロジー(インターバルカメラ)
C 永久方形区(プロット A)(～2015 年)	2,930	b 地温・地表面温度、c 植生、e 開花フェノロジー(インターバルカメラ)
D 登山道下部	2,830	d ハイマツの年枝伸長量
E 登山道中部	2,860	d ハイマツの年枝伸長量
H 肩の小屋付近	3,010	h チョウ類(定点)
I チョウ類調査用トランセクト(北岳山荘付近)	2,880～3,090	g チョウ類(ライントランセクト)
J 永久方形区(プロット C)(2015 年～)	2,990	b 地温・地表面温度、c 植生、e 開花フェノロジー(インターバルカメラ)
K 白根御池分岐点(2015 年～)	2,751	h チョウ類(定点)
L チョウ類調査用トランセクト(右俣ルート)(2015 年～)	2,150～2,845	g チョウ類(ライントランセクト)

表 I-3-13 富士山サイトの調査プロット

プロット名	標高(m)	調査項目
A 永久方形区(山頂付近 A)	3,730	b 地温・地表面温度、c 植生
B 永久方形区(森林限界付近)	2,350	a 気温、b 地温・地表面温度、c 植生、e 開花フェノロジー(インターバルカメラ)
C 永久方形区(山頂付近 C)	3,730	b 地温・地表面温度、c 植生
D 永久方形区(山頂付近 D)	3,730	b 地温・地表面温度、c 植生
E 永久方形区(山頂付近 E)(～2012 年)	3,750	c 植生

表 I-3-14 モニタリングサイト 1000 高山帯調査のこれまでの実施状況

		調査 間隔	大雪山	北アルプス（立山） （蝶ヶ岳↗常念岳）	白山	南アルプス（北岳）	富士山	大雪山	北アルプス（立山） （蝶ヶ岳↗常念岳）	白山	南アルプス（北岳）	富士山	大雪山	北アルプス（立山） （蝶ヶ岳↗常念岳）	白山	南アルプス（北岳）	富士山	大雪山	北アルプス（立山） （蝶ヶ岳↗常念岳）	白山	南アルプス（北岳）	富士山									
第2期			2008年度（H20）				2009年度（H21）				2010年度（H22）				2011年度（H23）				2012年度（H24）												
共通調査項目			調査サイト、調査対象、調査方法などに関する検討																												
気温	毎年	—		—	—	○	○	—	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○									
地温・地表面温度	毎年	—		—	—	○	○	—	○	○	—	○	○	○	○	○	○	○	○	○	—	○	○								
植生*	3-5年	—		—	—	B,C,D	B	—	C,D	—	—	D	C	A,B	A,B	B	—	C,D	—	B,C,D	—	A	—	B	—	E					
ハイマツ年枝伸長量*	5年	—		—	—	B,H	D,E	—	—	D,E	—	—	—	—	—	—	—	—	—	I,J	—	—	—	—	—						
開花フェノロジー																															
（インターバルカメラ）	毎年	—		—	—	○	○	—	○	○	—	○	○	○	○	○	—	○	○	○	○	○	—	○	○	○					
（目視）	毎年	—		—	—	—	—	—	○	—	—	—	—	—	○	—	—	—	—	○	—	—	—	—	—	—					
チョウ類																															
（ライントランセクト）	毎年	—		—	—	○	○	—	○	—	○	○	○	—	○	—	○	○	○	—	○	—	○	○	○	—					
（お花畑定点）	毎年	—	—	—	○	○	—	○	—	○	○	○	—	○	—	○	○	○	—	○	—	○	○	○	—						
選択調査項目																															
地表徘徊性甲虫	毎年	—	—	—	○	—	—	—	—	—	○	—	—	—	—	○	—	—	—	—	—	—	○	—	—						
マルハナバチ類	毎年	—	—	—	—	—	—	○	—	○	—	—	—	○	—	○	—	—	○	—	○	—	—	—	—						
第3期			2013年度（H25）				2014年度（H26）				2015年度（H27）				2016年度（H28）				2017年度（H29）												
共通調査項目																															
気温	毎年	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○						
地温・地表面温度	毎年	○	○	—	○	○	○	○	○	—	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	—	○	○						
植生*	3-5年	—	—	—	D	—	—	—	—	—	C	B	—	C,D	—	—	B	J	A,B	A,B	B	—	D	—	C,D	—	A	—	C	—	—
ハイマツ年枝伸長量*	5年	—	—	—	—	D,E	—	—	—	—	B,H	—	—	D,E	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	I,J	—	—	—	—	—	
開花フェノロジー																															
（インターバルカメラ）	毎年	○	○	—	○	○	○	○	○	○	—	○	○	○	○	○	○	○	—	○	○	○	○	○	○	○	○	—	○	○	○
（目視）	毎年	○	—	—	—	—	—	○	—	—	—	—	—	○	—	—	—	—	○	—	—	—	—	○	—	—	—	—	—	—	—
チョウ類																															
（ライントランセクト）	毎年	○	—	○	○	○	—	○	—	○	○	○	—	○	—	○	○	○	—	○	—	○	○	○	○	—	○	—	○	○	—
（お花畑定点）	毎年	○	—	○	○	○	—	○	—	○	○	○	—	○	—	○	○	○	—	○	—	○	○	○	—	○	—	○	○	○	—
選択調査項目																															
地表徘徊性甲虫	毎年	—	—	—	○	—	—	—	—	—	○	—	—	—	—	○	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	○	—	—	—	—
マルハナバチ類	毎年	○	—	○	—	—	—	○	—	○	—	—	—	○	—	○	—	—	○	—	○	—	—	○	—	○	—	○	—	—	—

* 数年おきに調査を実施した調査項目については、当年度に実施した調査プロットIDを入れた。

2017年の大雪山のハイマツ年枝伸長量調査については、枝枯れ、枝折れが多かったことと天候不良により、2018年に再調査を行った。

4. 解析の目的

本報告書では、高山帯で生じる可能性がある影響について、生物多様性国家戦略 2012-2020 であげられた生物多様性の4つの危機に沿って分類している。高山生態系に影響があると考えられる危機の内容と、関連する調査項目、調査結果の整理及び解析方法は表 I-4-1 に示す。

まず、調査サイトごとに解析結果をとりまとめ、4つの危機の内容ごとに整理を行った。次に、サイトやプロット間の違いを整理した上で、特定のサイトまたは複数のサイトの調査結果を用いて、調査項目ごとに高山帯で特に問題になっている第4の危機に関連した解析を行い、年変動や経年変化と、それらから予測される今後の変化について考察した。

表 I-4-1 生物多様性の4つの危機に関する高山帯調査のとりまとめ内容

関連する調査項目	整理及び解析方法
第 1 の危機（開発など人間活動による危機）	
・登山等の小規模な人間活動による植生破壊や野生動物の生息環境の攪乱	
植生	レッドリスト掲載種の増減に着目し、登山等の影響や、盗掘、乱獲について考察する。
チョウ類	
マルハナバチ類	
第 2 の危機（自然に対する働きかけの縮小による危機）	
高山帯は、里地里山などとは異なり、人の手が加えられることで維持される環境ではないため、本報告書では、第 2 の危機に沿ったとりまとめは行っていない。	
第 3 の危機（人間により持ち込まれたものによる危機）	
・低地性の在来種を含む、外来種の侵入、定着	
マルハナバチ類	特定外来生物のセイヨウオオマルハナバチを含む低地性のマルハナバチ類の出現状況を整理し、分布や個体群の変動を考察する。
植生	低地性植物や外来種の植物の侵入状況を整理する。
第 4 の危機（地球環境の変化による危機）	
・気温の上昇と融雪時期の早期化	
気温	月平均気温や年平均気温を算出し、気温の上昇の有無を把握する。 植生の分布と気温との関係を示す「暖かさの指数（℃・月）」を算出し、高山植生の衰退の可能性を検討する。
地温・地表面温度	風衝地のプロットでは土壌の凍結期間、雪田のプロットでは積雪の長期継続期間を推定する。有効積算温度を算出し、動植物の生育や開花といった生物季節の早まりの可能性を検討する。
ハイマツ年枝伸長量	ハイマツの年枝伸長量の変化から、過去 20 年程度の夏の気温の変化傾向を推定する。実際に測定されている夏の気温とハイマツの年枝伸長量との関係を、最寄りの観測所の気象データを用いて解析する。
・動植物の分布の変化	
植生	植生変化や種ごとの生育量の増減を把握する。
チョウ類	各サイトに共通して分布する指標種（ベニヒカゲ・クモマベニヒカゲ）を中心に個体数の経年変化を比較する。低地性チョウ類の増加や出現種全体の種構成にも着目しながら、気候変動の影響を検討する。

地表徘徊性甲虫	出現種数や個体数の経年変化を比較し、土壤生態系の変化を推定する。雪田、ハイマツ林、風衝地という異なる環境間で比較することで、融雪時期の早期化による雪田特有の甲虫の減少が起こっているか等を推定する。
マルハナバチ類	高山性の出現種や個体数の経年変化を比較し、気温上昇や融雪時期の早期化等により、種数や個体数の減少が起こっているかを推定する。
・ニホンジカ等の野生鳥獣の生息域の拡大	
植生	食痕や糞粒の有無に関する情報の整理を行い、植生変化への影響を考察する。
・動植物の生物季節の変動と種間の相互作用の影響	
開花フェノロジー	植物の種類ごとに開花時期の経年変化を比較し、高山植物の開花時期の早期化を把握する。開花時期の経年変化と、有効積算温度の経年変化を比較し、気候変動が開花時期に及ぼす影響を検討する。
マルハナバチ類	マルハナバチ類の種類や季節ごとの訪花観察数から、餌資源として重要な植物を明らかにし、花粉媒介者としてのマルハナバチ類の重要性を評価する。開花フェノロジー調査や植生調査の結果も活用し、種間相互作用について考察する。

Ⅱ．調査サイトごとのとりまとめ

1. 大雪山サイト



大雪山赤岳コマクサ平
(2016年7月24日インターバルカメラで撮影)

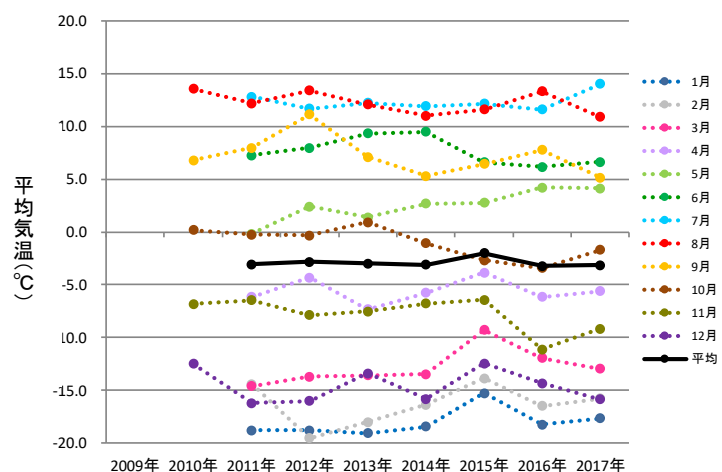


大雪山赤岳第4雪渓
(2017年7月19日インターバルカメラで撮影)

(1) 気温／地温・地表面温度

1) 平均気温

赤岳コマクサ平の年平均気温は $-3.2 \sim -2.0^{\circ}\text{C}$ 、気温が高い7～8月の月平均気温は $10.9 \sim 14.0^{\circ}\text{C}$ 、気温が低い1～2月の月平均気温は $-19.5 \sim -14.4^{\circ}\text{C}$ であった。暖かさの指数は $16.7 \sim 24.1^{\circ}\text{C} \cdot \text{月}$ で亜高山帯に分類される値であった（図Ⅱ-1-1）。

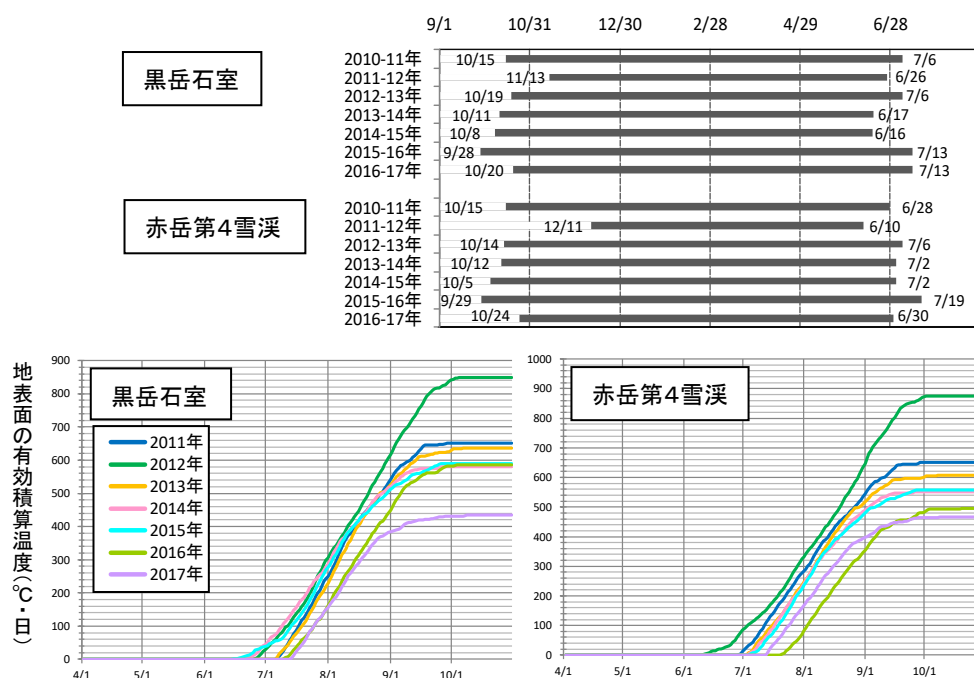


年	2009年	2010年	2011年	2012年	2013年	2014年	2015年	2016年	2017年
年平均気温 ($^{\circ}\text{C}$)			-3.1	-2.8	-3.0	-3.1	-2.0	-3.2	-3.2
暖かさの指数 ($^{\circ}\text{C} \cdot \text{月}$)			20.2	24.1	20.7	17.7	16.7	18.8	16.7

図Ⅱ-1-1 大雪山赤岳コマクサ平の平均気温の経年変化

2) 積雪

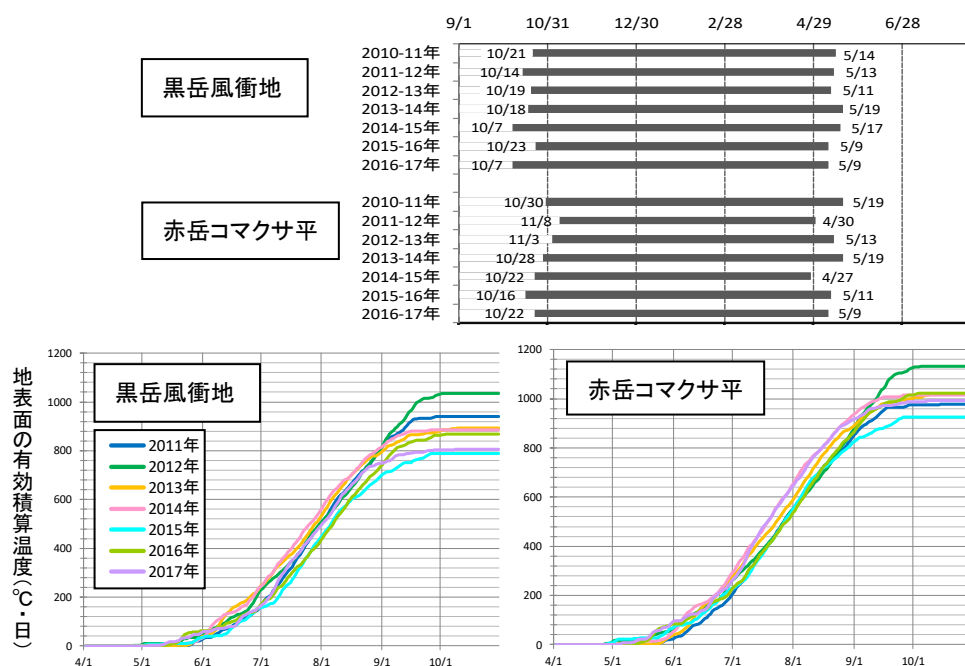
雪田環境で冠雪日が最も早かったのは2015年で、黒岳石室では9月28日、赤岳第4雪渓では9月29日であった。冠雪日が最も遅かったのは2012年で、黒岳石室では11月13日、赤岳第4雪渓では12月11日であった。雪解け日が最も早かったのは、黒岳石室は2015年6月16日、赤岳第4雪渓では2012年6月10日であった。雪解け日が最も遅かったのは2016年で、黒岳石室では7月13日、赤岳第4雪渓では7月19日で、黒岳石室では2017年も7月13日と遅かった。地表面の有効積算温度は、赤岳第4雪渓の2012年のように、雪解け日が早い年には早く上昇し始め、黒岳石室の2016年と2017年、赤岳第4雪渓の2016年のように、雪解け日が遅い年には遅く上昇し始めた（図Ⅱ-1-2）。



図Ⅱ-1-2 大雪山の雪田環境の積雪期間と地表面の有効積算温度

3)凍結

風衝地環境の凍結初日や凍結終日は年による違いが小さく、凍結初日は10月中旬～11月上旬、凍結終日は4月下旬～5月中旬が多かった。地表面の有効積算温度の上昇も年による違いは小さく、5月上旬～下旬に上昇し始めた(図Ⅱ-1-3)。



図Ⅱ-1-3 大雪山の風衝地環境の凍結期間と地表面の有効積算温度

(2) 植生

1) 種数と植被率

風衝地環境の黒岳風衝地では、2016 年の総出現種数は 15 種、サブコドラート当たりの平均出現種数は 8.6 種、植被率は 35.0%、岩石・砂礫率は 64.6%、雪田環境の黒岳石室ではそれぞれ 21 種、13.5 種、98.2%、1.8%で、風衝地環境の方が種数や植被率は低く、岩石・砂礫率は高かった（表Ⅱ-1-1）。赤岳でも同様に、風衝地環境の赤岳コマクサ平は、雪田環境の赤岳第4雪溪に比べ、種数や植被率は低く、岩石・砂礫率は高かった（表Ⅱ-1-1, 2）。

2) 種組成

黒岳風衝地では、ミヤマウシノケグサ、エゾツツジ、チシマツガザクラ、タイセツイワスゲ等の風衝地環境に生育する種類が多く、黒岳石室ではコエゾツガザクラ、チングルマ、ミヤマアキノキリンソウ（コガネギク）等の雪田環境に生育する種類が多かった（表Ⅱ-1-1）。赤岳でも、風衝地環境の赤岳コマクサ平では、クロマメノキ、チシマツガザクラ、コマクサ等が多く、雪田環境の赤岳第4雪溪では、キバナシャクナゲ、イワノガリヤス、チングルマ、アオノツガザクラ等が多かった（表Ⅱ-1-2）。

3) 経年変化

2回の調査から経年変化をみると、黒岳石室のハイマツや赤岳コマクサ平のコケモモ等のように消失した種類と、黒岳風衝地のコマクサ、赤岳第4雪溪のクロマメノキ等のように新たに加わった種類があるが、出現メッシュ数は少なかった。黒岳風衝地の維管束植物出現メッシュ数は、2011 年の 1,554 から 2016 年は 1,686 と増加した。その他の3プロットでも、出現メッシュ数は増加した。種ごとの出現メッシュ数も、黒岳風衝地では増加したのが 11 種で、減少したのは 3 種であった。増加している種類が多く、他のプロットでも増加している種類の方が多かった（表Ⅱ-1-1, 2）。

4) 注目種

環境省と北海道のレッドリストの掲載種は、黒岳風衝地で 4 種、黒岳石室で 2 種、赤岳コマクサ平で 4 種、赤岳第4雪溪で 3 種が確認された。このうち黒岳風衝地のウスユキトウヒレン、黒岳石室のミヤマイ、赤岳コマクサ平のコマクサ等は出現メッシュ数が減少した（表Ⅱ-1-1～3）。

外来植物は、低地性の在来植物を含めて 2 回の調査ともに確認されなかった。ニホンジカの嗜好性植物とされるイワノガリヤスと、ハクサンシャクナゲやツクシシャクナゲに近縁のキバナシャクナゲが黒岳と赤岳で確認され、出現メッシュ数は増加した。食痕情報はいずれのプロットとも確認されなかった。糞粒情報は黒岳風衝地でウサギのものが確認された（表Ⅱ-1-1, 2）。

5) 食草と訪花植物

高山蝶の食草は、黒岳風衝地でダイセツタカネヒカゲの食草のタイセツイワスゲ等 3 種、黒岳石室でクモマベニヒカゲの食草のリシリスゲ等 3 種、赤岳コマクサ平でウスバキチョウの食草のコマクサ等 6 種、赤岳第4雪溪でアサヒヒョウモンの食草のキバナシャクナゲ等 5 種が確認され、赤岳コマクサ平のクロマメノキとコマクサ等は減少した。高山蝶の訪花植物は、それぞれのプロットで、7 種、11 種、8 種、15 種が確認され、風衝地環境に比べて雪田環境が多かった。経年変化をみると、ほとんどの種類は出現メッシュ数が増加した（表Ⅱ-1-1, 2）。

マルハナバチ類の訪花植物は、黒岳風衝地で 9 種、黒岳石室で 14 種、赤岳コマクサ平で 10 種、

赤岳第4雪渓で21種が確認され、種数と出現メッシュ数ともに風衝地環境より雪田環境のプロットの方が多かった。経年変化をみると、出現メッシュ数が増加した種類が多かった(表Ⅱ-1-1, 2)。

表Ⅱ-1-1 大雪山黒岳の植生調査結果

プロット名				黒岳風衝地				黒岳石室				
調査日				2011/7/7	2016/7/31	経年変化		2011/8/9	2016/8/27	経年変化		
平均 (10サブコ ラート)	総出現種数			14	15	1		21	21	0		
	出現種数			8.4	8.6	0.2		13.5	13.5	0.0		
	植被率(%)			39.0	35.0	-4.0		95.7	98.2	2.5		
	岩石・砂礫率(%)			61.0	64.6	3.6		3.9	1.8	-2.1		
	蘚苔類(%)			0.0	1.8	1.8		0.1	0.2	0.1		
	地衣類(%)			7.9	13.5	5.6		26.1	14.4	-11.7		
食痕情報				無	無	-		無	無	-		
糞粒情報				無	有(ウサギ)	-		無	無	-		
科名	種名	生活型 機能型	生活形	付加情報	出現メッシュ数				出現メッシュ数			
バラ	ミヤマキンバイ	FO	H	蜂	59	66	7	12%	50	43	-7	-14%
ツツジ	ミネズオウ	ES	Ch	蝶・蜂	14	34	20	143%	71	108	37	52%
セリ	シラネニンジン	FO	H	蝶・蜂	12	9	-3	-25%	3	9	6	200%
マツ	ハイマツ	ES	Ph		4	11	7	175%	1		-1	-100%
イネ	ミヤマウシノケグサ	G	H		372	363	-9	-2%				
ツツジ	エゾツツジ	DS	Ph	蝶・蜂	348	362	14	4%				
ツツジ	チシマツガザクラ	ES	Ch	VU・蝶・蜂	303	335	32	11%				
カヤツリグサ	タイセツイフスゲ	G	H	食	207	240	33	16%				
ツツジ	クロマメノキ	DS	Ph	食・蝶・蜂	81	84	3	4%				
ゴマノハグサ	イワブクロ	FO	G	蜂	53	65	12	23%				
キク	ウスユキトウヒレン	FO	G	EN・蜂	53	45	-8	-15%				
オミナエシ	タカネオミナエシ	FO	H	蝶	22	28	6	27%				
イワウメ	イワウメ	ES	Ch	蝶・蜂	20	20	0	0%				
バラ	メアカンキンバイ	FO	H	VU	6	17	11	183%				
ケシ	コマクサ	FO	G	R・食・蜂		7	7					
ツツジ	コエゾノツガザクラ	ES	Ch	蝶・蜂					881	908	27	3%
バラ	チングルマ	DS	Ch	蝶・蜂					581	638	57	10%
イネ	コメススキ*	G	H						561	605	44	8%
カヤツリグサ	キンスゲ	G	H						410	432	22	5%
キク	ミヤマアキノキリンソウ (コガネギク)	FO	H	蝶・蜂					366	394	28	8%
カヤツリグサ	リシリスゲ	G	H	食					235	227	-8	-3%
セリ	ハクサンボウフウ	FO	H	蝶・蜂					165	154	-11	-7%
ツツジ	キバナシャクナゲ	ES	Ph	(不)・食・蝶・蜂					143	176	33	23%
イネ	コミヤマスカボ	G	H						131	95	-36	-27%
イグサ	ミヤマイ	G	H	NT					83	73	-10	-12%
リンドウ	ミヤマリンドウ	FO	H	蝶・蜂					79	167	88	111%
イグサ	タカネスズメノヒエ	G	H						57	66	9	16%
ツツジ	コメバツガザクラ	ES	Ch	蝶・蜂					14	19	5	36%
ゴマノハグサ	ヨツバシオガマ	FO	H	蜂					19	13	-6	-32%
サクラソウ	エゾコザクラ	FO	H	R・蝶・蜂					5	4	-1	-20%
キキョウ	イワギキョウ	FO	H	蝶・蜂					4	5	1	25%
ツツジ	ジムカデ	ES	Ch	蜂					3	3	0	0%
イネ	イワノガリヤス	G	H	不、食						1	1	
維管束植物出現メッシュ数				1554	1686	132	8%	3862	4140	278	7%	

* 黒岳石室の2011年の調査で記載されたミヤマウシノケグサは、コメススキの誤同定であったため修正した。

主な生育環境	機能型	生活形	付加情報
風衝草原	DS: 落葉性低木	Ph: 地上植物	VU: 環境省のRLカテゴリー
風衝矮性低木群落(高山ハイデ)	ES: 常緑性低木	Ch: 地表植物	VU: 都道府県のRLカテゴリー
雪田草原	FO: 広葉草本	G: 地中植物	外: 外来種
高山荒原(崩壊地荒原)	G: 禾本類	H: 半地中植物	不: ニホンジカの嗜好性植物
高山低木群落(ハイマツ林)	FE: シダ類	Th: 一・二年生植物	食: 高山蝶の食草
高茎広葉草原(雪潤草原)	M: 蘚苔類		蝶: 高山蝶の訪花植物
岩隙・岩棚	L: 地衣類		蜂: マルハナバチ類の訪花植物
			()内は近縁種が該当するもの

表Ⅱ-1-2 大雪山赤岳の植生調査結果

プロット名				赤岳コマクサ平				赤岳第4雪渓				
調査日				2010/7/9	2015/7/28	経年変化		2010/8/6	2015/8/19	経年変化		
平均 (10サブコ ラート)	総出現種数			22	21	-1		28	31	3		
	出現種数			11.4	11.9	0.5		15.0	15.8	0.8		
	植被率(%)			49.8	53.4	3.6		98.5	99.7	1.2		
	岩石・砂礫率(%)			50.2	46.6	-3.6		1.0	0.3	-0.7		
	藓苔類(%)			0.1	0.1	0.0		0.1	0.1	-0.1		
	地衣類(%)			4.9	5.0	0.1		4.3	1.9	-2.4		
食痕情報				無	無	-		無	無	-		
糞粒情報				無	無	-		無	無	-		
科名	種名	生活型 機能型	生活形	付加情報	出現メッシュ数				出現メッシュ数			
イネ	イワノガリヤス	G	H	不、食	7	7	0	0%	389	546	157	40%
ツツジ	コケモモ	ES	Ch	食・蝶・蜂	1		-1	-100%	270	390	120	44%
ツツジ	ミネズオウ	ES	Ch	蝶・蜂	44	62	18	41%	27	32	5	19%
セリ	シラネニンジン	FO	H	蝶・蜂	9	9	0	0%	55	107	52	95%
バラ	ミヤマキンバイ	FO	H	蜂	15	18	3	20%	38	44	6	16%
ツツジ	クロマメノキ	DS	Ph	食・蝶・蜂	384	339	-45	-12%		1	1	
ツツジ	チシマツガザクラ	ES	Ch	VU・蝶・蜂	189	198	9	5%				
イワウメ	イワウメ	ES	Ch	蝶・蜂	137	147	10	7%				
ケシ	コマクサ	FO	G	R・食・蜂	152	118	-34	-22%				
イネ	ミヤマウシノケグサ	G	H		110	112	2	2%				
ツツジ	ウラシマツツジ	DS	Ch	蜂	104	128	24	23%				
ガンコウラン	ガンコウラン	ES	Ch	食・蝶	99	107	8	8%				
キク	ウスユキトウヒレン	FO	G	EN・蜂	95	97	2	2%				
イネ	コミヤマヌカボ	G	H		89	77	-12	-13%				
カヤツリグサ	タイセツイワスゲ	G	H	食	65	84	19	29%				
オミナエシ	タカネオミナエシ	FO	H	蝶	40	78	38	95%				
マツ	ハイマツ	ES	Ph		35	42	7	20%		4	4	
カヤツリグサ	ヌイオスゲ	G	G	VU	11	11	0	0%				
バラ	エゾノマルバシモツケ	DS	Ph	蜂	5	5	0	0%				
	双葉実生sp.	不明	不明		3	3	0	0%				
イネ	ミヤマコウボウ	G	G		2	1	-1	-50%				
リンドウ	クモイリンドウ	FO	H	蜂	1	1	0	0%				
バラ	チングルマ	DS	Ch	蝶・蜂					823	878	55	7%
ツツジ	キバナシャクナゲ	ES	Ph	(不)・食・蝶・蜂					815	897	82	10%
ツツジ	アオノツガザクラ	ES	Ch	蜂					753	847	94	12%
イネ	コメススキ*	G	H						534	658	124	23%
カヤツリグサ	ミヤマクロスゲ	G	G	食・蜂					405	505	100	25%
バラ	タカネトウウチソウ	FO	H	蜂					214	287	73	34%
リンドウ	ミヤマリンドウ	FO	H	蝶・蜂					144	206	62	43%
バラ	コガネイチゴ	FO	H						130	237	107	82%
ヤナギ	ミネヤナギ	DS	Ph	蝶・蜂					92	97	5	5%
キンボウゲ	ミツバオウレン	FO	H						85	191	106	125%
キク	ミヤマサワアザミ	FO	H	蝶・蜂					36	44	8	22%
キキョウ	イワギキョウ	FO	H	蝶・蜂					36	39	3	8%
キク	ミヤマアキノキリンソウ (コガネギク)	FO	H	蝶・蜂					32	47	15	47%
カヤツリグサ	イトキンスゲ	G	H						23	27	4	17%
ゴマノハグサ	エゾヒメクワガタ	FO	H	VU・蜂					22	40	18	82%
スミレ	ジンヨウキスミレ	FO	G	EN・VU					7	8	1	14%
サクラソウ	エゾコザクラ	FO	H	R・蝶・蜂					7	8	1	14%
セリ	ハクサンボウフウ	FO	H	蝶・蜂					6	7	1	17%
カヤツリグサ	スゲsp.	G	不明						6	1	-5	-83%
バラ	マルバシモツケ	DS	Ph	蝶・蜂					3	2	-1	-33%
ツツジ	ジムカデ	ES	Ch	蜂					2	5	3	150%
ツツジ	コメバツガザクラ	ES	Ch	蝶・蜂					2		-2	-100%
イグサ	タカネスズメノヒエ	G	H						1	4	3	300%
イネ	ヒロハコメススキ	G	H							12	12	
ゴマノハグサ	ヨツバシオガマ	FO	H	蜂						2	2	
維管束植物出現メッシュ数				1597	1644	47	3%	4957	6173	1216	25%	

主な生育環境

風衝草原
風衝矮性低木群落(高山ハイデ)
雪田草原
高山荒原(崩壊地荒原)
高山低木群落(ハイマツ林)
高茎広葉草原(雪潤草原)
岩隙・岩棚

機能型

DS:落葉性低木
ES:常緑性低木
FO:広葉草本
G:禾本類
FE:シダ類
M:藓苔類
L:地衣類

生活形

Ph:地上植物
Ch:地表植物
G:地中植物
H:半地中植物
Th:一・二年生植物

付加情報

VU:環境省のRLカテゴリー
VU:都道府県のRLカテゴリー
外:外来種
不:ニホンジカの嗜好性植物
食:高山蝶の食草
蝶:高山蝶の訪花植物
蜂:マルハナバチ類の訪花植物
()内は近縁種が該当するもの

表Ⅱ-1-3 大雪山の植生調査の出現種のレッドリスト掲載種と危険性の要因

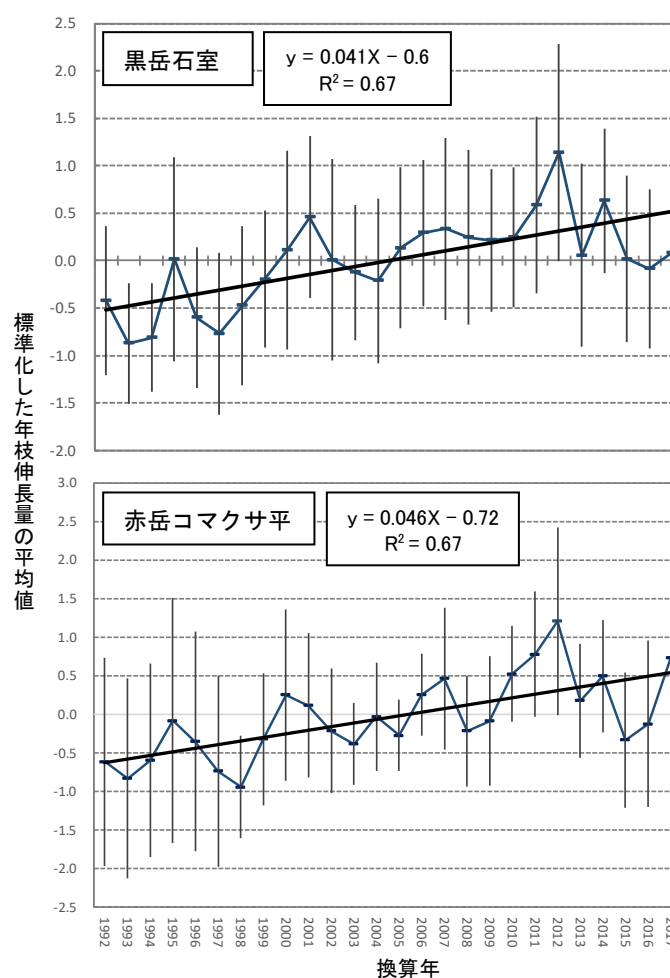
環境省自然環境局野生生物課希少種保全推進室(2015b, 2019)と北海道環境生活部環境室自然環境課(2001)より作成

種名	レッドリストの категорияと危険性の要因
ウスユキトウヒレン	環境省:絶滅危惧ⅠB類(EN):産地局限。
ジンヨウキスミレ	環境省:絶滅危惧ⅠB類(EN)、北海道:絶滅危急種(Vu)。
チシマツガザクラ	環境省:絶滅危惧Ⅱ類(VU)。
メアカンキンバイ	環境省:絶滅危惧Ⅱ類(VU):登山者の踏みつけ、園芸採取。
ヌイオスゲ	環境省:絶滅危惧Ⅱ類(VU):自然遷移、森林伐採、登山者による踏みつけ。
エゾヒメクワガタ	環境省:絶滅危惧Ⅱ類(VU):産地局限。
ミヤマミ	環境省:準絶滅危惧(NT)。
コマクサ	北海道:希少種(R)。
エゾコザクラ	北海道:希少種(R)。

(3) ハイマツの年枝伸長量

これまでの調査で、黒岳石室と赤岳コマクサ平ともに1992年～2017年の年枝伸長量のデータが得られた。経年変化をみると、両プロットとも数年周期で伸長量が多い年と小さい年を繰り返しているが、全体としては増加傾向にあった(図Ⅱ-1-4)。

それぞれの年の年枝伸長量と、気象庁の旭川観測所(標高119.8m)で得られた前年(1991～2016年)の7～9月の月平均気温との関係調べたところ、主に7～8月の気温が高いと翌年のハイマツの年枝伸長量が多い傾向がみられた。



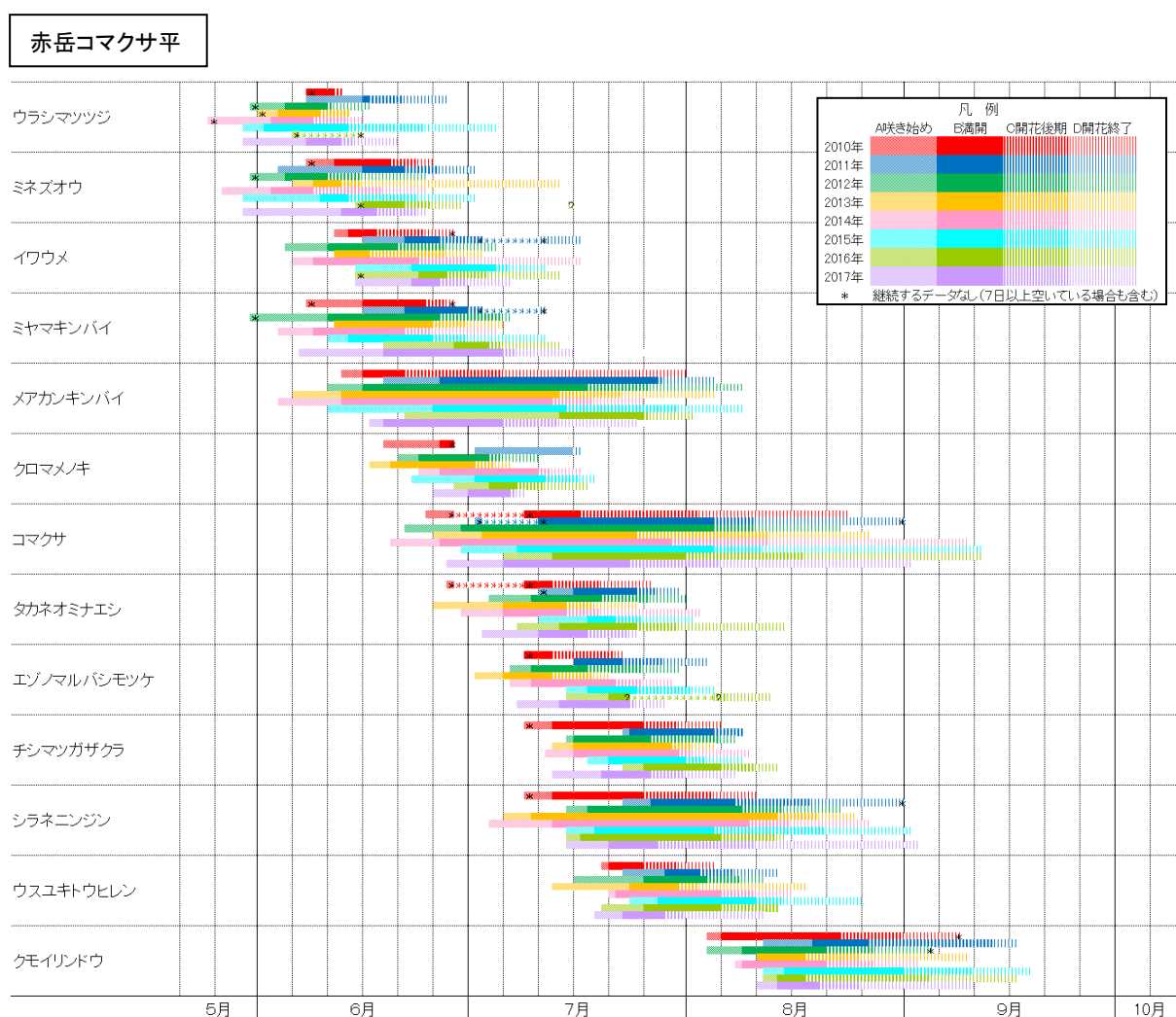
図Ⅱ-1-4 大雪山のハイマツの年枝伸長量の経年変化

(4)開花フェノロジー

大雪山では、黒岳と赤岳でインターバルカメラと目視による調査を行っているが、より多くの種類のデータが得られた目視による調査のうち、赤岳の結果を図Ⅱ-1-5に示した。

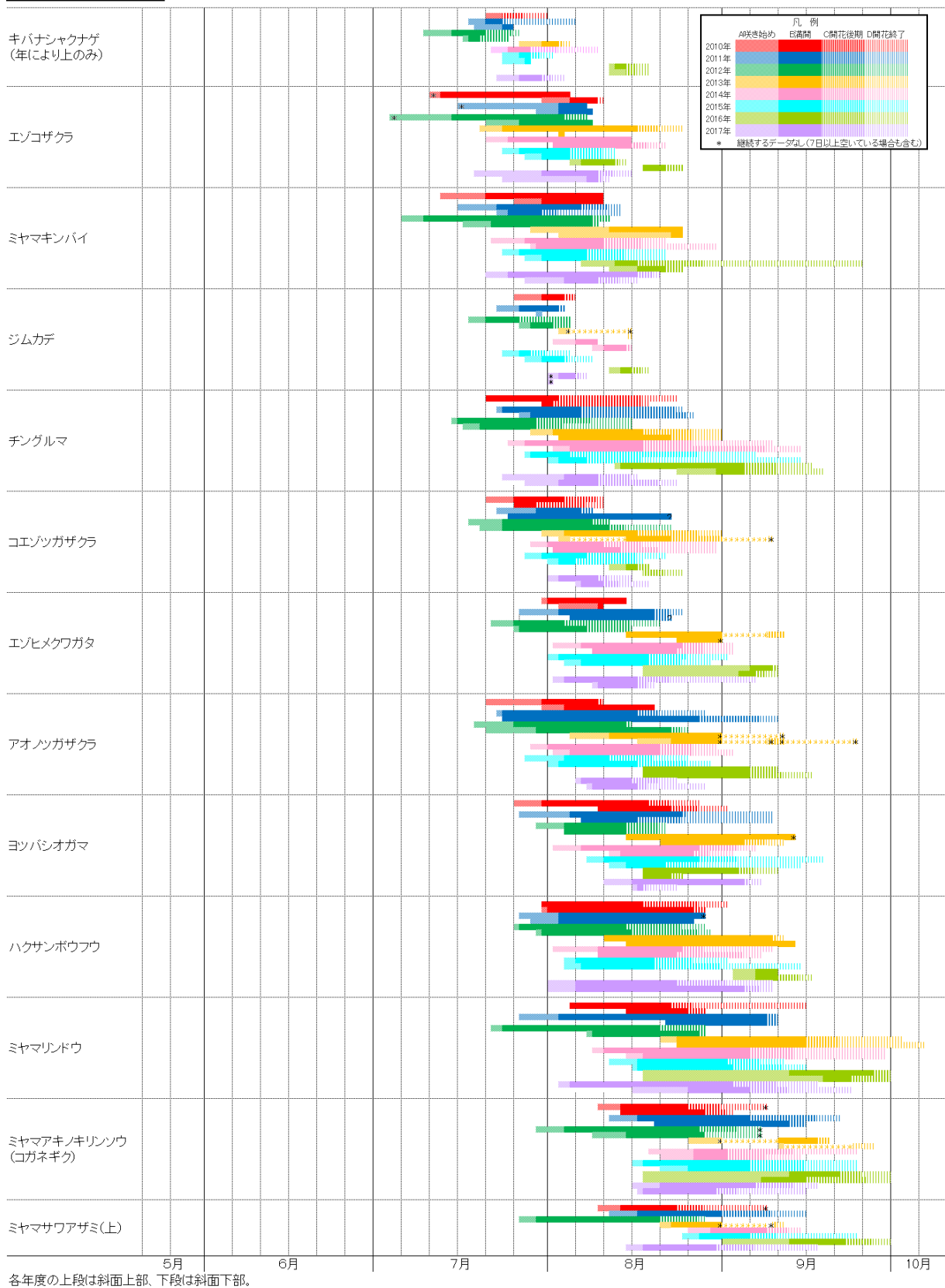
風衝地環境の赤岳コマクサ平では、5月下旬から9月中旬まで開花するのに対し、雪田環境の赤岳第4雪渓では7月上旬から10月上旬までと開花時期が遅かった。

赤岳コマクサ平では年による違いは小さかったが、赤岳第4雪渓では2012年の開花は7月上旬から9月上旬であったが、2016年は8月上旬から9月下旬と約1か月遅かった。植物の種類ごとにみても、2012年は開花が早く、2016年は開花が遅く、有効積算温度の上昇が2012年に比べて2016年は約1か月遅かった結果と一致した（図Ⅱ-1-2）。なお、上記以外の調査結果は2017年度の調査報告書（環境省自然環境局生物多様性センター，2018）、2006年からの調査結果は工藤・横須賀（2012）にまとめられている。



図Ⅱ-1-5 大雪山赤岳の開花フェノロジーの調査結果(目視)

赤岳第4雪渓



図Ⅱ-1-5 大雪山赤岳の開花フェノロジーの調査結果(目視)(続き)

(5)チョウ類

チョウ類はこれまでに 30 種以上が記録され、そのうち高山蝶はライトランセクト調査で 6 種、定点調査で 4 種であった（図Ⅱ-1-8）。指標種のベニヒカゲとクモマベニヒカゲは、年により 1～3 個体が確認されるのみで記録が少なかった。2011 年と 2016 年の 7 月にはライトランセクト調査（赤岳）、定点調査ともにウスバキチョウ（図Ⅱ-1-6）とダイセツタカネヒカゲが比較的多く、アサヒヒョウモンは 2011 年にのみ記録された。それに対してカラフトルリシジミ（図Ⅱ-1-7）は 2013～2015 年と 2017 年、及び 2016 年の 8 月に多かった（図Ⅱ-1-8）。

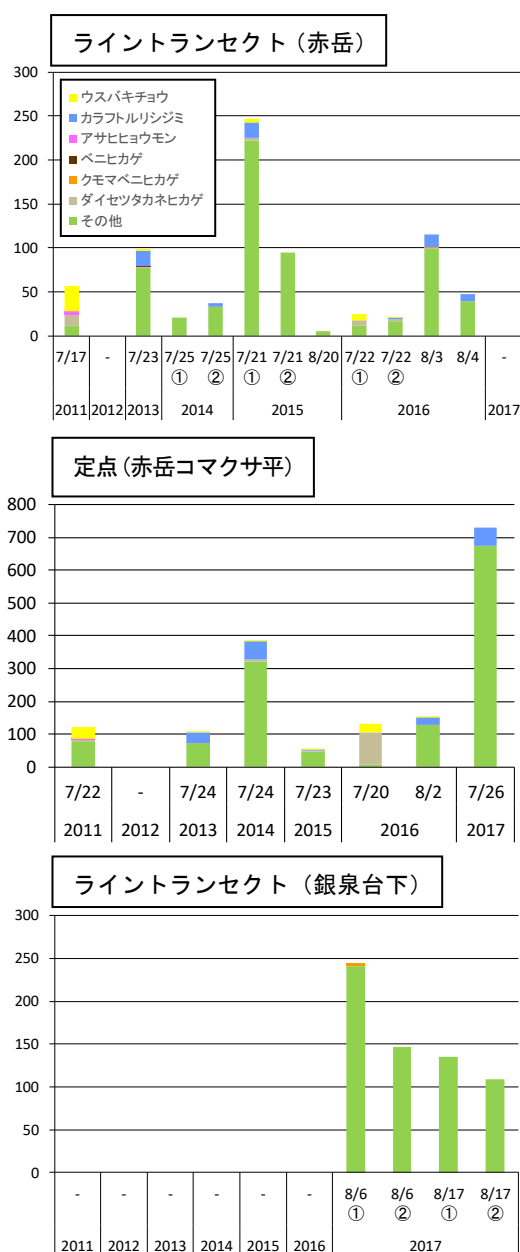
レッドリストの掲載種は、高山蝶である 5 種が確認された（表Ⅱ-1-4）。



図Ⅱ-1-6 ウスユキトウヒレンで吸蜜するウスバキチョウ(2014.7.24／大雪山赤岳)



図Ⅱ-1-7 登山道上で集団吸水するカラフトルリシジミ(2014.7.24／大雪山赤岳)



図Ⅱ-1-8 大雪山のチョウ類の調査結果
ライトランセクトを往路、復路ともに調査
できた年は、それぞれ①②として示した

表Ⅱ-1-4 大雪山のチョウ類調査の出現種のレッドリスト掲載種と危険性の要因

環境省自然環境局野生生物課希少種保全推進室(2015b, 2019)と北海道環境生活部環境局生物多様性保全課(2016)と北海道環境生活部環境室自然環境課(2001)より作成

種名	レッドリストのカテゴリーと危険性の要因
ウスバキチョウ (キロウスバアゲハ)	環境省：準絶滅危惧(N.T)：人為的な環境の変化が及びにくい場所であるが、分布域が狭いため、気候変動による影響が懸念され、本種の出現期が以前と比較して早くなっている。北海道：留意種(N)。天然記念物。
カラフトルリシジミ	環境省：準絶滅危惧(N.T)：低標高地での生息地では、観光開発など各種開発によって生息地が減少している。北海道：留意種(N)。天然記念物。
アサヒヒョウモン	環境省：準絶滅危惧(N.T)：人為的な環境の変化が及びにくい場所であるが、分布域が狭いため、気候変動による影響が懸念される。北海道：留意種(N)。天然記念物。
クモマベニヒカゲ北海道亜種	環境省：準絶滅危惧(N.T)。北海道：留意種(N)。
ダイセツタカネヒカゲ	環境省：準絶滅危惧(N.T)：生息地は人為的な環境の変化が及びにくい場所であるが、個体数は減少傾向にある。北海道：留意種(N)。天然記念物。

(6) マルハナバチ類

黒岳ではこれまでに6種のマルハナバチ類が確認された。2010年、2011年と2013年は、エゾオオマルハナバチとエゾヒメマルハナバチが多く、その他の年はエゾナガマルハナバチが多かった。アカマルハナバチとエゾトラマルハナバチはいずれの年も少なかった。黒岳でこれまで確認された訪花植物は36種、年ごとでは3～31種が確認された（環境省自然環境局生物多様性センター，2017）。訪花頻度が最も高いのはチシマアザミで、次いでナガバキタアザミが高く、8月の調査では毎年確認された。その他に7月の調査では2010年にはイワブクロやチシマノキンバイソウ、2013年にはチシマツガザクラ、2014年にはウコンウツギへの訪花頻度が高かった（図Ⅱ-1-10）。

赤岳でも黒岳と同じ6種のマルハナバチ類が確認され、黒岳に比べてエゾオオマルハナバチやアカマルハナバチが多かった。赤岳でこれまでに確認された訪花植物は約43種類、年ごとでは9～30種が確認された（環境省自然環境局生物多様性センター，2017）。訪花頻度が高いのはツガザクラ類とミヤマサワアザミで、2013年や2014年には、ウコンウツギ、マルバシモツケ、チングルマ、ハクサンボウフウ等の訪花頻度が高かった。2016年の8月13日には、ミヤマサワアザミより花期が早い、チングルマやマルバシモツケの訪花頻度が高かった（図Ⅱ-1-11）。

特定外来生物のセイヨウオオマルハナバチ（図Ⅱ-1-9）は、調査ルート外を含めて黒岳と赤岳で2012年、2013年、2015年に確認され、この中には女王バチも含まれていたが、それ以外の年では確認されなかった（表Ⅱ-1-5）。

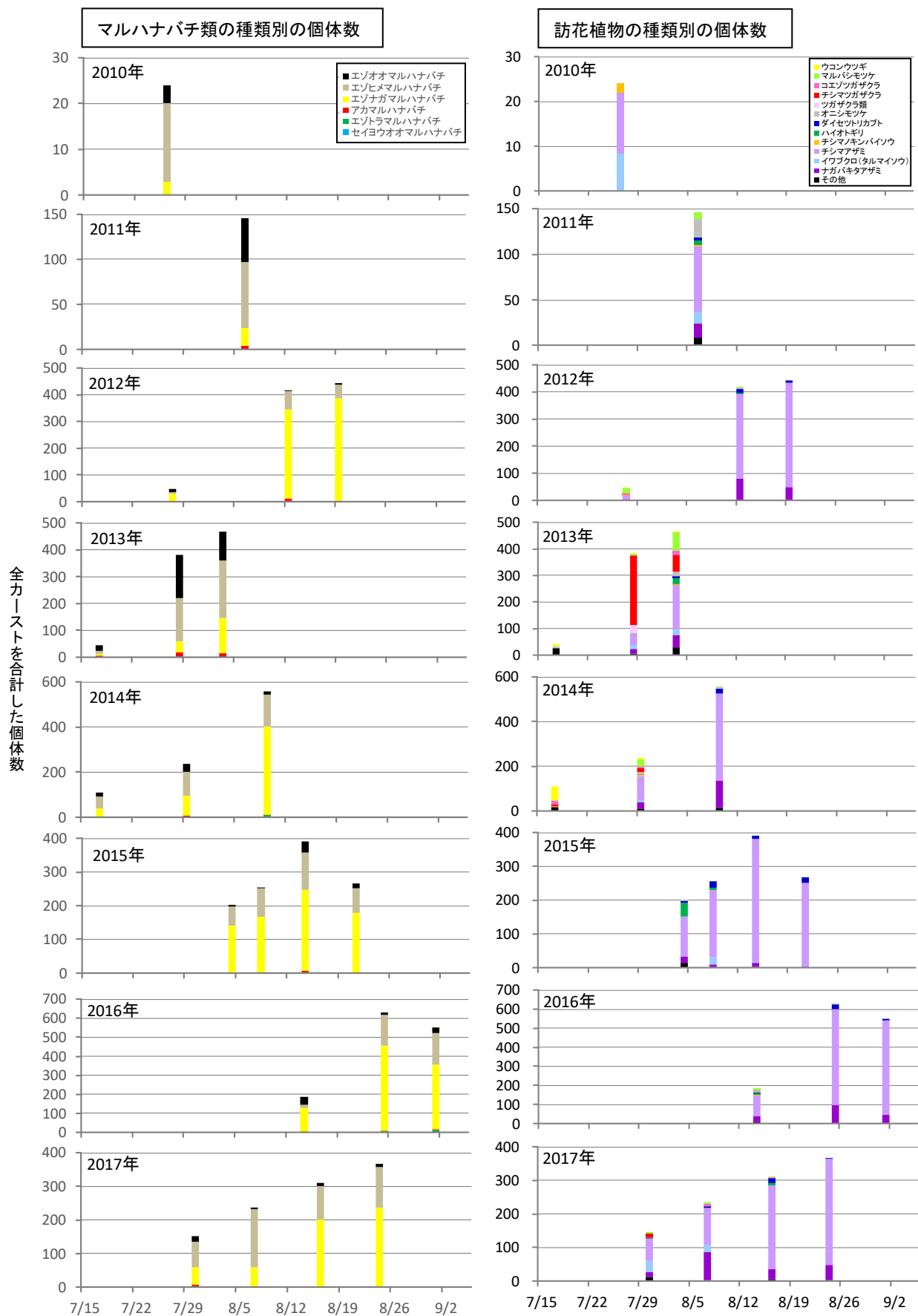
表Ⅱ-1-5 大雪山のセイヨウオオマルハナバチの確認状況

調査年	プロット名	確認状況
2012年	赤岳	8/26にルート2で女王バチ1個体が確認された
2013年	赤岳	8/6, 8/21, 9/2, 9/11の4日間に、ルート1、ルート2で各1個体、ルート3～山頂間で4個体の合計6個体のワーカーが観察された※
2015年	黒岳	8/21にルート1で女王バチ1個体が確認された
	赤岳	9/1にルート3で女王バチ1個体が確認された※

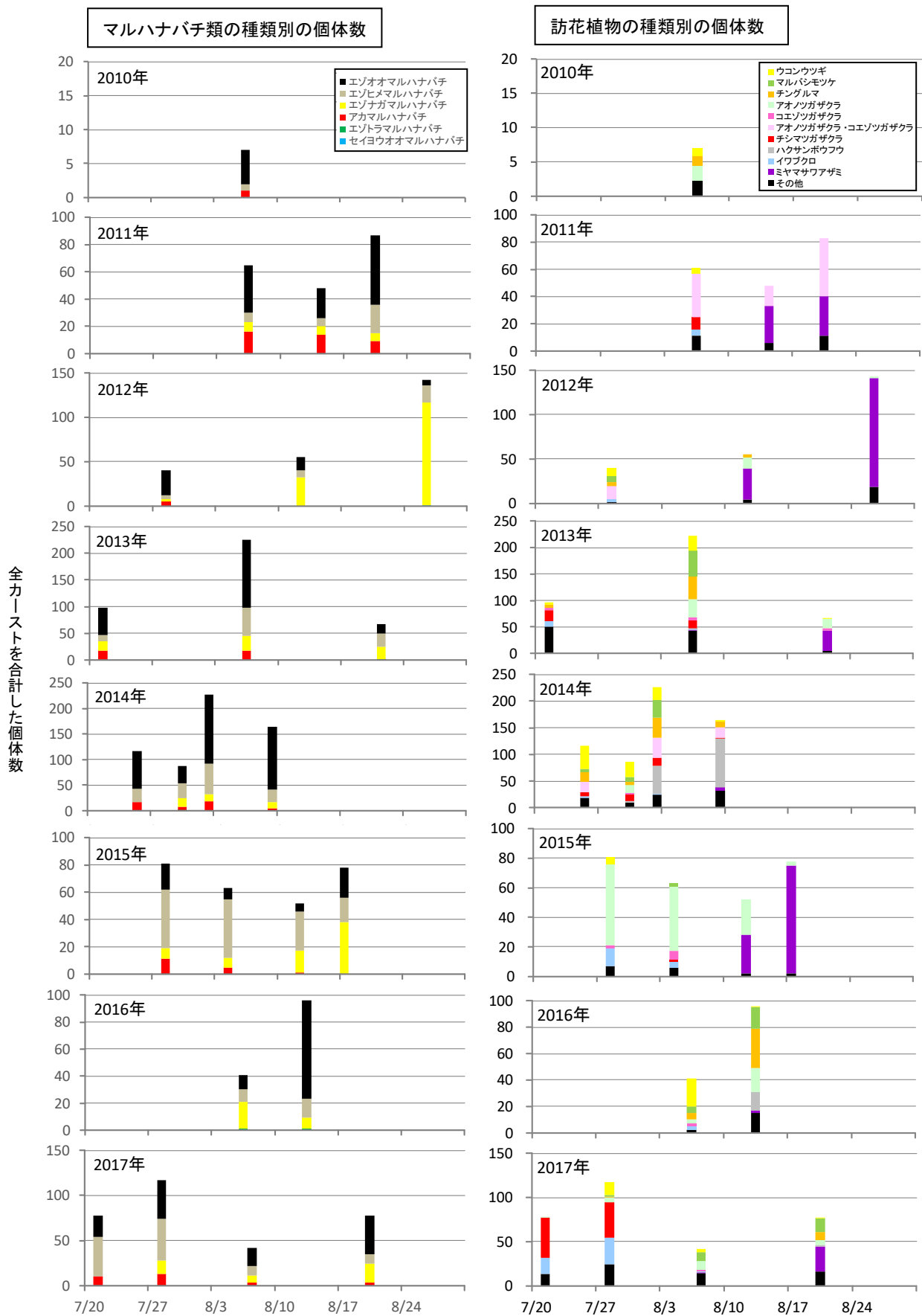
※本調査以外での確認情報



図Ⅱ-1-9 セイヨウオオマルハナバチ
(2018.8.17／北海道小樽市)



図Ⅱ-1-10 大雪山黒岳のマルハナバチ類の調査結果



図Ⅱ-1-11 大雪山赤岳のマルハナバチ類の調査結果

(7)大雪山サイトの生物多様性の4つの危機

1)第1の危機

本調査の結果から、人間活動による影響は確認されなかった。

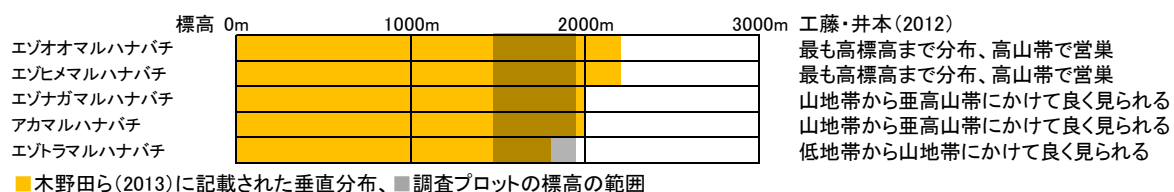
2)第3の危機

本調査の結果から、外来種による影響は確認されなかった。植生調査では、いずれのプロットとも外来植物は確認されなかった（表Ⅱ-1-1, 2）。マルハナバチ類調査では、特定外来生物のセイヨウオオマルハナバチが女王バチを含めてこれまで 2012 年、2013 年、2015 年に確認されているが、それ以外の年では確認されなかった（表Ⅱ-1-5）。

3)第4の危機

本調査の結果から、地球環境の変化による影響は確認されなかったが、調査結果から次のことが示唆されている。

- ・1992 年～2017 年のハイマツの年枝伸長量は、黒岳石室、赤岳コマクサ平ともに増加傾向にあることから（図Ⅱ-1-4）、伸長量を測定する前年の夏（1991～2016 年）の気温が上昇傾向にあることが示唆された。
- ・赤岳第4雪渓では、2012 年において前年の冠雪日が最も遅く雪解けが最も早かった一方、2016 年において前年の冠雪日が最も早く雪解けが最も遅かった。このことから 2012 年に比べて 2016 年は、前年に早くから雪が積もり、積雪量も多かったと考えられる（図Ⅱ-1-2）。また、開花フェノロジーは、2012 年と比べて 2016 年が約 1 か月遅かった（図Ⅱ-1-5）。チョウ類は、2016 年 7 月 20 日に、発生時期が比較的早いとされるウスバキチョウとダイセツタカネヒカゲが多かったことから、2016 年はこうした種類のチョウ類の発生が遅かったと考えられる（図Ⅱ-1-8）。マルハナバチ類の訪花植物は、2016 年は例年 8 月に多く利用されるミヤマサワアザミよりも、ウコンウツギ、マルバシモツケ、チングルマといった他の年には 7 月に多く利用される植物の訪花頻度が高かった。こうしたことから積雪の開始時期や積雪量は、翌年の雪解け日を通じて、高山植物の開花時期や、それを利用する昆虫類の行動に影響を及ぼす可能性がある。
- ・マルハナバチ類は一般的に、寒冷な高緯度地方や高山帯に多く分布するが、種類によって営巣する、高頻度で観察される標高が異なる（図Ⅱ-1-12）。黒岳では、2010 年、2011 年、2013 年は、最も高標高まで分布するエゾオオマルハナバチとエゾヒメマルハナバチが多かったが、2012 年と 2014 年以降は、より標高の低いところに分布するエゾナガマルハナバチが多かった（図Ⅱ-1-10, 11）。こうした変化が温暖化の影響かは明らかではないが、今後の動向が注目される。



図Ⅱ-1-12 大雪山のマルハナバチ類の出現種の垂直分布

2. 北アルプス(立山)サイト



北アルプス(立山)みくりが池
(2017年8月20日)



北アルプス(立山)室堂平
(2017年7月30日インターバルカメラで撮影)

(1) 気温／地温・地表面温度

1) 気温

富山大学立山研究所の年平均気温は $-3.3 \sim -1.5^{\circ}\text{C}$ 、気温が高い8月の月平均気温は $9.6 \sim 11.4^{\circ}\text{C}$ 、気温が低い1月の月平均気温は $-18.1 \sim -14.2^{\circ}\text{C}$ であった。暖かさの指数は $8.5 \sim 14.2^{\circ}\text{C} \cdot \text{月}$ で、高山帯に分類される値であった(図Ⅱ-2-1)。

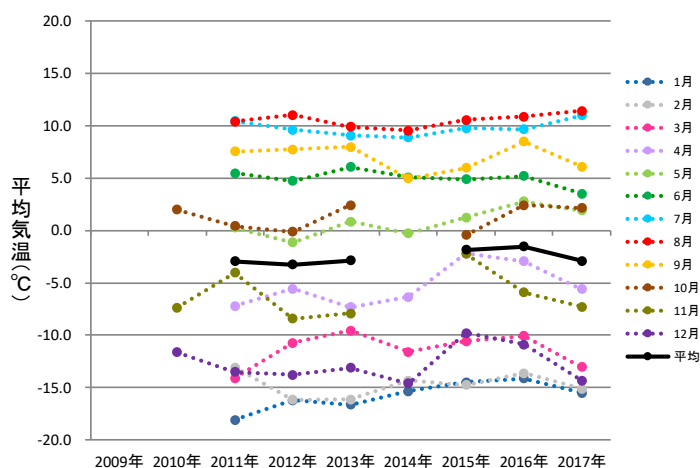
2) 積雪

雪田環境の室堂平で、冠雪日が最も早かったのは2012年の10月23日、最も遅かったのは2015年の11月22日であった。雪解け日が最も早かったのは2016年の6月13日、最も遅かったのは2014年の7月14日であった。

地表面の有効積算温度は、雪解けが早かった2016年は6月中旬から上昇したが、雪解けが遅かった2014年は7月中旬から上昇し始めた(図Ⅱ-2-2)。

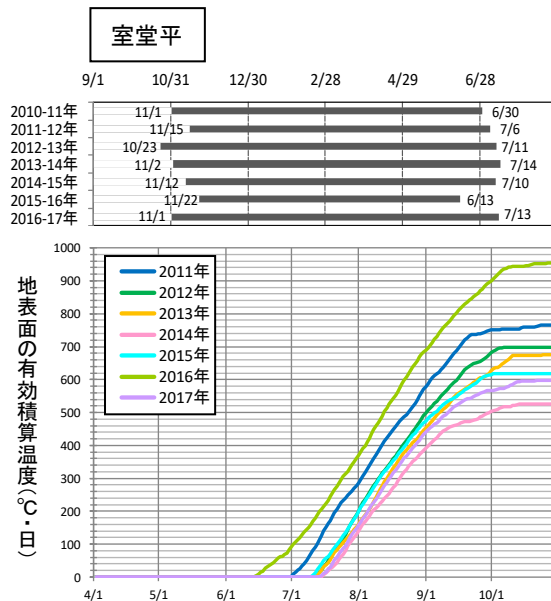
3) 凍結

風衝地環境の凍結初日は年による違いが小さく、10月下旬～11月上旬であった。凍結終日も5月下旬～6月上旬が多かったが、2016年は5月11日と早かった(図Ⅱ-2-3)。

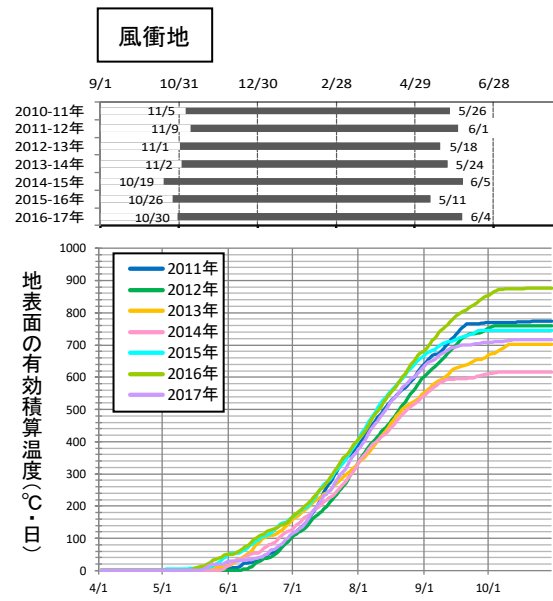


年	2009年	2010年	2011年	2012年	2013年	2014年	2015年	2016年	2017年
年平均気温 ($^{\circ}\text{C}$)			-3.0	-3.3	-2.9		-1.8	-1.5	-2.9
暖かさの指数 ($^{\circ}\text{C} \cdot \text{月}$)			13.8	13.4	13.1	8.5	11.3	14.2	13.5

図Ⅱ-2-1 北アルプス(立山)富山大学立山研究所の平均気温の経年変化



図Ⅱ-2-2 北アルプス(立山)の雪田環境の積雪期間と地表面の有効積算温度



図Ⅱ-2-3 北アルプス(立山)の風衝地環境の凍結期間と地表面の有効積算温度

(2) 植生

1) 種数と植被率

雪田環境の室堂平では、2017年の総出現種数は20種、サブコドラート当たりの平均出現種数は16.3種、植被率は99.9%、岩石・砂礫率は0.0%で、2016年の風衝地ではそれぞれ19種、14.5種、75%、27.9%であったのに比べ、種数や植被率は高く、岩石・砂礫率は低かった。

2) 種組成

室堂平では、ショウジョウスゲ、チングルマ、コイワカガミ、イワイチョウ等の雪田環境に生育する種類が多く、風衝地では、コメバツガザクラ、イワスゲ、ムカゴトラノオなどの風衝環境に生育する種類が多かった(表Ⅱ-2-1)。

3) 経年変化

2回の調査結果から経年変化をみると、室堂平では未同定の実生を除き出現種は変わらなかった。風衝地では2011年に比べて2016年は総出現種数が2種増えたが、これらは2011年にミヤマウシノケグサがコメススキに、ミヤマコウボウがイワスゲに誤同定されていたことによる可能性がある。植被率や出現メッシュ数合計は大きく変わらなかったが、室堂平では維管束植物の出現メッシュ数が2012年の5,185メッシュから2017年は5,887メッシュと増加し、種ごとではコシジオウレン(ミツバノバイカオウレン)、ヒゲノガリヤス、イワイチョウ等の出現メッシュ数が増加した。風衝地の維管束植物の出現メッシュ数は、2011年は4,112メッシュ、2016年は4,080メッシュでわずかに減少し、種ごとではタカネツメクサ、チシマギキョウ、ヒロハコメススキ等が減少した(表Ⅱ-2-1)。

4) 注目種

環境省と富山県のレッドリストの掲載種は、風衝地でクモマスズメノヒエが確認された。外来植物は、低地性の在来植物を含めて確認されなかった。ニホンジカの嗜好性植物としては、コバイケイソウ、オオイワカガミの近縁種のコイワカガミ、ヒカゲノカズラの近縁種のみヤマヒカゲノカズラが確認された。食痕情報や糞粒情報は、確認されなかった(表Ⅱ-2-1, 2)。

5)食草と訪花植物

高山蝶の食草は、室堂平ではクモマベニヒカゲやベニヒカゲの食草のショウジョウスゲと、ミヤマモンキチョウの食草のクロウスゴが確認されたが、風衝地では確認されなかった。高山蝶の訪花植物は、室堂平で6種、風衝地で3種が確認された。マルハナバチ類の訪花植物は、室堂平で10種、風衝地で5種が確認され、出現種数と出現メッシュ数ともに風衝地環境よりも雪田環境の方が多かった（表Ⅱ-2-1）。

表Ⅱ-2-1 北アルプス(立山)の植生調査結果

プロット名				室堂平				風衝地			
調査日				2012/8/21	2017/9/4,5	経年変化		2011/8/2,8/5	2016/7/22,7/28	経年変化	
平均 (10サプロドラ ート)	総出現種数			20	20	0		17	19	2	
	出現種数			16.0	16.3	0.3		12.8	14.5	1.7	
	植被率(%)			98.5	99.9	1.4		72.1	75.0	2.9	
	岩石・砂礫率(%)			0.4	0.0	-0.4		27.9	25.0	-2.9	
	蘚苔類(%)			0.5	0.2	-0.3		8.0	8.6	0.6	
	地衣類(%)			0.7	0.4	-0.3		1.0	0.9	-0.1	
食痕情報				無	無	-		無	無	-	
糞粒情報				無	無	-		無	無	-	
科名	種名	生活型 機能型 生活形	付加情報	出現メッシュ数				出現メッシュ数			
イネ	コメススキ*	G H		192	293	101	53%	211	166	-45	-21%
イネ	ミヤマウシノケサ*	G H							94	94	
カヤツリグサ	ショウジョウスゲ	G H	食	892	940	48	5%				
バラ	デンドロ	DS Oh	蝶・蜂	804	806	2	0%				
イワウメ	コイワカガミ	FO H	(不)・蜂	748	803	55	7%				
ミツガシワ	イワイチョウ	FO H		464	524	60	13%				
キンボウゲ	コシジオウレン(ミツバノバイカオウレン)	FO H		440	619	179	41%				
ガンコウラン	ガンコウラン	ES Oh		406	446	40	10%				
ツツジ	クロウスゴ	DS Ph	食・蜂	288	291	3	1%				
イネ	ヒゲノガリヤス	G H		266	330	64	24%				
リンドウ	ミヤマリンドウ	FO H	蝶・蜂	195	221	26	13%				
キンボウゲ	ハクサンイチゲ	FO H		152	178	26	17%				
セリ	シラネニンジン	FO H	蝶・蜂	74	125	51	69%				
ユリ	ヒメイワショウブ	FO H	蝶	67	81	14	21%				
ツツジ	アオノツガザクラ	ES Oh	蜂	62	68	6	10%				
セリ	キレハノハクサンボウフウ	FO H	(蜂)	47	71	24	51%				
ヒカゲノカズラ	ミヤマヒカゲノカズラ	FE H	(不)	43	25	-18	-42%				
キク	ウサギギク	FO H	蝶・蜂	18	15	-3	-17%				
キク	ミヤマアキノキリンソウ(コガネギク)	FO H	蝶・蜂	15	17	2	13%				
ユリ	コバイケイソウ	FO G	不・蝶・蜂	8	18	10	125%				
ツツジ	シラタマノキ	ES Oh		4	2	-2	-50%				
ツツジ	コメバツガザクラ	ES Oh	蜂					894	921	27	3%
カヤツリグサ	イワスゲ*	G H						663	631	-32	-5%
カヤツリグサ	ミヤマコウボウ*	G G							81	81	
タデ	ムコトノオ	FO H						457	492	35	8%
バラ	ミヤマキンバイ	FO H	蝶・蜂					455	417	-38	-8%
ナデシコ	タカネツメクサ	FO G						397	324	-73	-18%
キキョウ	チシマギキョウ	FO H	蜂					211	161	-50	-24%
ツツジ	ミネズオウ	ES Oh	蜂					185	238	53	29%
ユリ	チシマアマナ	FO G						182	158	-24	-13%
イネ	ヒロハコメススキ	G H						136	90	-46	-34%
バラ	ミヤマダイコンソウ	FO H	蝶					118	122	4	3%
イワウメ	イワウメ	ES Oh	蝶・蜂					72	75	3	4%
リンドウ	トウヤクリンドウ	FO H	(蜂)					57	42	-15	-26%
セリ	ミヤマウイキョウ	FO H						39	25	-14	-36%
	sp.1	DS Oh						21	23	2	10%
マツ	ハイマツ	ES Ph						7	12	5	71%
イグサ	クモマスズメノヒエ	G H	NT・NT					7	8	1	14%
	実生sp1*				9	9					
	実生sp2(双葉)*				3	3					
	実生sp3*					1					
	実生sp4*					1					
蘚苔類	シモフリゴケ	M				0		316	384	68	22%
蘚苔類	コケ類	M		34	14	-20	-59%	0	1	1	
地衣類	ハナゴケ	L		13	21	8	62%	72	64	-8	-11%
地衣類	ハナゴケ類	L		20	14	-6	-30%				
地衣類	イオウゴケ	L						15	7	-8	-53%
地衣類	チズゴケ/イオウゴケ	L						1		-1	-100%
地衣類	地衣類	L		3		-3					
維管束植物出現メッシュ数				5185	5887	702	14%	4112	4080	-32	-1%
蘚苔類出現メッシュ数				34	14	-20	-59%	316	385	69	22%
地衣類出現メッシュ数				36	35	-1	-3%	88	71	-17	-19%
総出現メッシュ数				5255	5936	681	13%	4516	4536	20	0%

* 2011年はミヤマウシノケサをコメスキに、ミヤマコウボウをイワスゲに誤同定した可能性がある。実生は種数に含めなかった。

主な生育環境	機能型	生活形	付加情報
風衝草原	DS:落葉性低木	Ph:地上植物	VU:環境省のRLカテゴリー
風衝矮性低木群落(高山ハイデ)	ES:常緑性低木	Ch:地表植物	VU:都道府県のRLカテゴリー
雪田草原	FO:広葉草本	G:地中植物	外:外来種
高山荒原(崩壊地荒原)	G:禾本類	H:半地中植物	不:ニホンジカの不嗜好性植物
高山低木群落(ハイマツ林)	FE:シダ類	Th:一・二年生植物	食:高山蝶の食草
高基広葉草原(雪潤草原)	M:藓苔類		蝶:高山蝶の訪花植物
岩隙・岩棚	L:地衣類		蜂:マルハナバチ類の訪花植物
			()内は近縁種が該当するもの

表Ⅱ-2-2 北アルプス(立山)の植生調査の出現種のレッドリスト掲載種
環境省自然環境局野生生物課希少種保全推進室(2019)と富山県生活環境部自然保護課(2012)より作成

種名	レッドリストのカテゴリー
クモマスズメノヒエ	環境省:準絶滅危惧(NT)、富山県:準絶滅危惧。

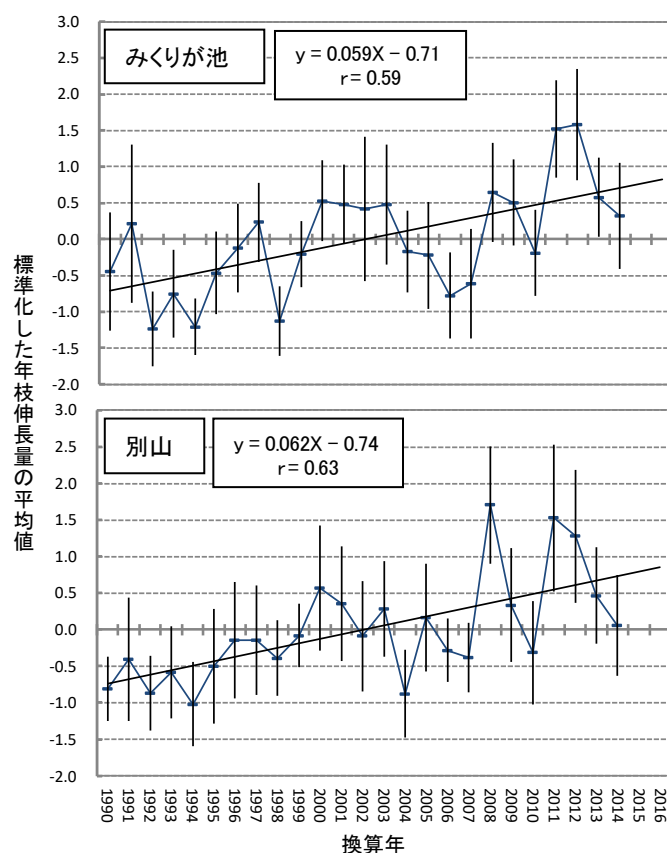


図Ⅱ-2-4 クモマスズメノヒエ(2014.7.27/山梨県仙丈ヶ岳)

(3)ハイマツの年枝伸長量

これまでの調査で、みくりが池と別山ともに 1990～2014 年の年枝伸長量のデータが得られた。経年変化をみると、両プロットとも数年周期で伸長量が多い年と小さい年があるが、全体としては増加傾向にあった(図Ⅱ-2-5)。

それぞれの年の年枝伸長量と、気象庁の富山観測所(標高 8.6m)で得られた前年(1990～2013年)の7～9月の月平均気温との関係を見ると、みくりが池では7～9月、別山では8～9月の気温が高いと翌年のハイマツ年枝伸長量が大きかった(環境省自然環境局生物多様性センター, 2016)。

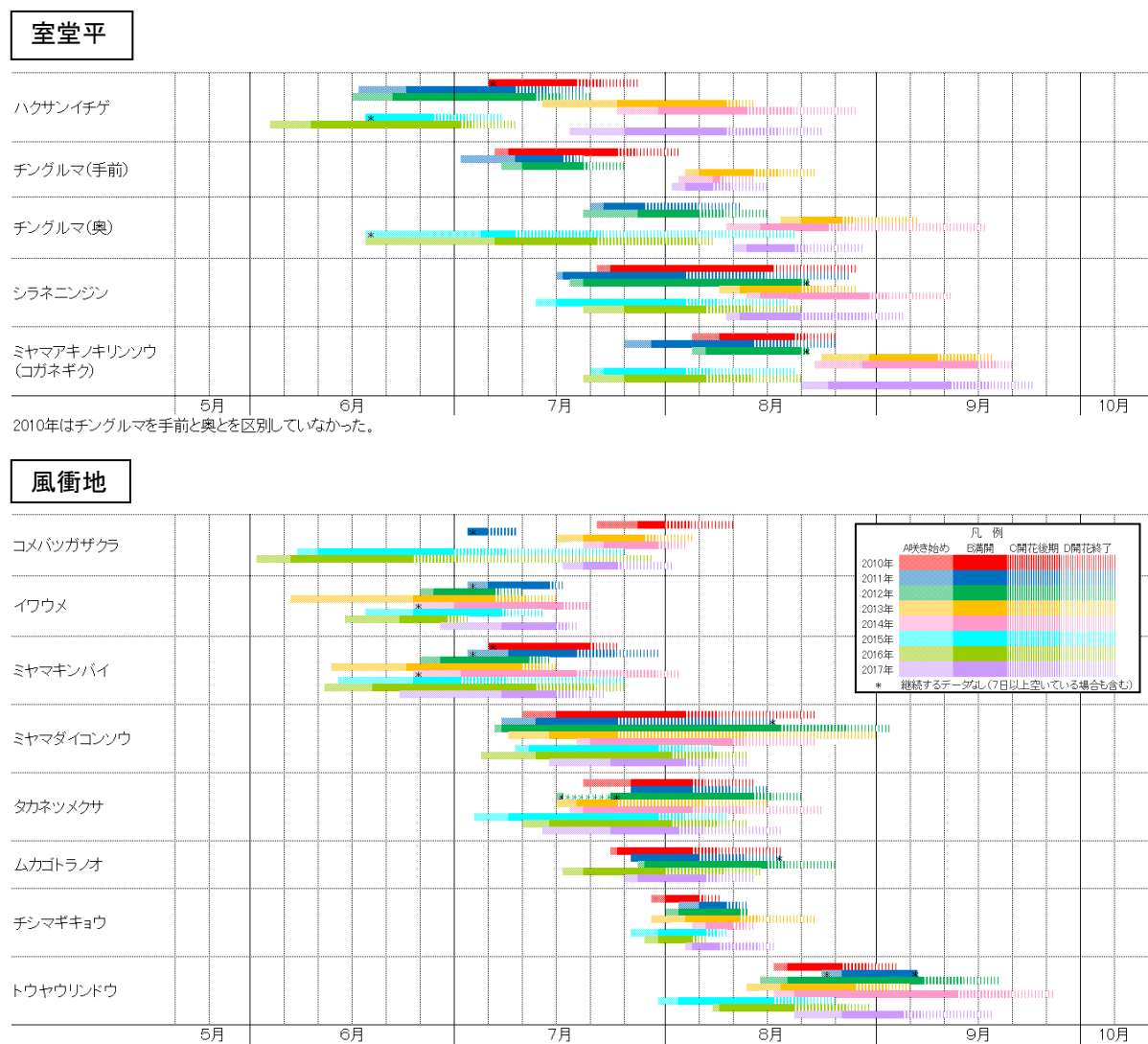


図Ⅱ-2-5 北アルプス(立山)のハイマツの年枝伸長量の経年変化

(4)開花フェノロジー

雪田環境の室堂平と風衝地ともに、これまでに開花が確認されたのは6月上旬から9月下旬であった。室堂平では、2015年と2016年は開花が早く、2013年、2014年、2017年は遅かった。

風衝地では、コメバツガザクラは室堂平と同様の傾向にあったが、その他の種類は年による違いがほとんどなかった(図Ⅱ-2-6)。開花時期の年による違いは、雪解けの早さや有効積算温度の上昇と概ね一致し、2016年は雪解けや有効積算温度の上昇開始が早かったが、2013年、2014年、2017年は遅かった(図Ⅱ-2-2)。



図Ⅱ-2-6 北アルプス(立山)の開花フェノロジーの調査結果(インターバルカメラ)

(5)北アルプス(立山)サイトの生物多様性の4つの危機

1)第1の危機

本調査の結果から、人間活動による影響は確認されなかった。

2)第3の危機

本調査の結果から、外来種による影響は確認されなかった。植生調査では、いずれのプロットとも外来植物は確認されなかった（表Ⅱ-2-1）。

3)第4の危機

本調査の結果から、地球環境の変化による影響は確認されなかったが、調査結果から次のことが示唆されている。

- ・1990～2014年のハイマツの年枝伸長量は、みくりが池、別山とも増加傾向で（図Ⅱ-2-5）、各年の年枝伸長量は前年夏の気温が高いと大きくなることから、夏の気温の上昇傾向が示唆された。
- ・室堂平で雪解けが6月13日と最も早かった2016年と、7月14日と最も遅かった2014年と比較すると、2016年は前年2015年の冠雪日は11月22日と最も遅く、積雪量が少なかったと考えられる。地表面の有効積算温度も2016年は6月中旬から上昇し始め、その後も高かったが、2014年は上昇開始が7月中旬と遅く、その後も低かった。開花フェノロジーも、2016年はハクサンイチゲが6月上旬から開花し始めたが、2014年は7月下旬と1か月以上遅かった。その他のチングルマ、シラネニンジン、ミヤマアキノキリンソウも、2016年に比べて2014年は開花が遅かった（図Ⅱ-2-2, 3, 6）。こうしたことから積雪の開始時期や積雪量は、翌年の雪解け日を通じて高山植物の開花時期に影響を及ぼし、それを利用する昆虫類にも影響を及ぼす可能性がある。

3. 北アルプス(蝶ヶ岳～常念岳)サイト



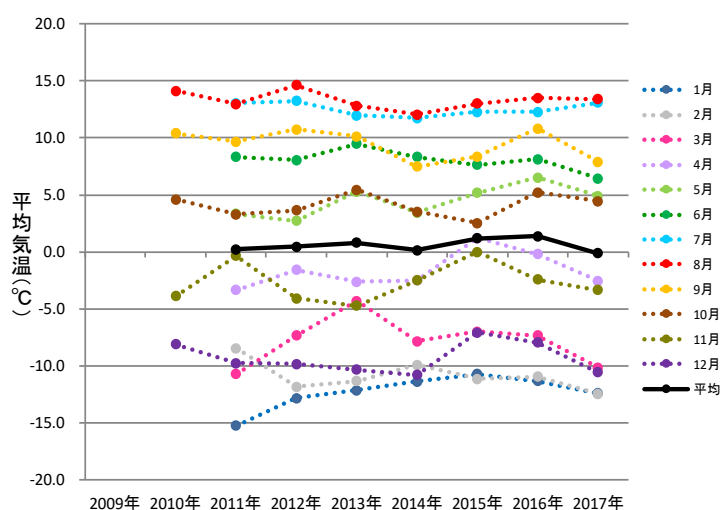
常念小屋(2016 年8月 13 日撮影)



蝶ヶ岳の調査地(2013 年7月 28 日撮影)

(1) 気温

常念小屋の年平均気温は $-0.1 \sim 1.4^{\circ}\text{C}$ 、気温が高い8月の月平均気温は $12.1 \sim 14.6^{\circ}\text{C}$ 、気温が低い1月の月平均気温は $-15.3 \sim -10.7^{\circ}\text{C}$ であった。暖かさの指数は $19.6 \sim 26.7^{\circ}\text{C} \cdot \text{月}$ で亜高山帯に分類される値であった(図Ⅱ-3-1)。



年	2009年	2010年	2011年	2012年	2013年	2014年	2015年	2016年	2017年
年平均気温 ($^{\circ}\text{C}$)			0.2	0.5	0.8	0.1	1.2	1.4	-0.1
暖かさの指数 ($^{\circ}\text{C} \cdot \text{月}$)			24.0	26.7	25.2	19.6	21.4	26.5	20.9

図Ⅱ-3-1 北アルプス(蝶ヶ岳～常念岳)常念小屋の平均気温の経年変化

(2) チョウ類

これまでの調査で約24種のチョウ類が記録された。そのうちの高山蝶はライントランセクト調査で5種、定点調査で4種、これらは全種がレッドリスト掲載種である(図Ⅱ-3-4、表Ⅱ-3-1)。

ベニヒカゲ(図Ⅱ-3-2)とクモマベニヒカゲ(図Ⅱ-3-3)はライントランセクト調査と定点調査のいずれかで毎年確認されたが、その他の高山蝶は年により確認されなかった。

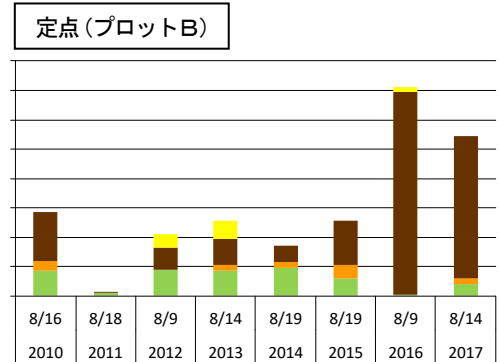
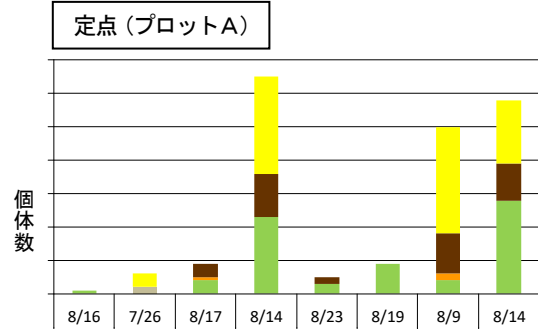
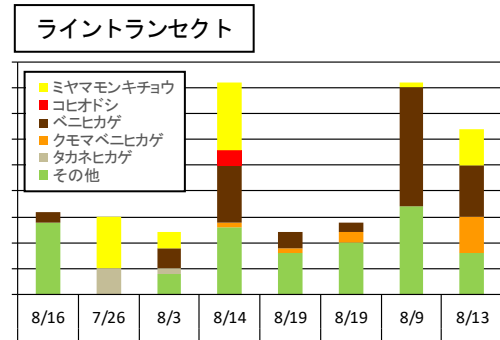
個体数が比較的多かったのは2013年、2016年、2017年であった。2013年はライントランセクト調査と定点調査(プロットA)で、ミヤマモンキチョウやベニヒカゲ等の高山蝶とその他のチョウ類ともに多かった。2016年と2017年は全調査で個体数が多く、ライントランセクト調査と定点調査(プロットB)ではベニヒカゲやクモマベニヒカゲ、定点調査(プロットA)ではミヤマモンキチョウが特に多かった(図Ⅱ-3-4)。



図Ⅱ-3-2 ベニヒカゲのオス成虫
(2017.8.14／北アルプス(蝶ヶ岳)、撮影: 中村寛志)



図Ⅱ-3-3 クモマベニヒカゲ
(2010.8.16／北アルプス(蝶ヶ岳)、撮影: 中村寛志)



図Ⅱ-3-4 北アルプス(蝶ヶ岳～常念岳)のチョウ類の調査結果(個体数が非公開情報のため縦軸の数値は示していない)

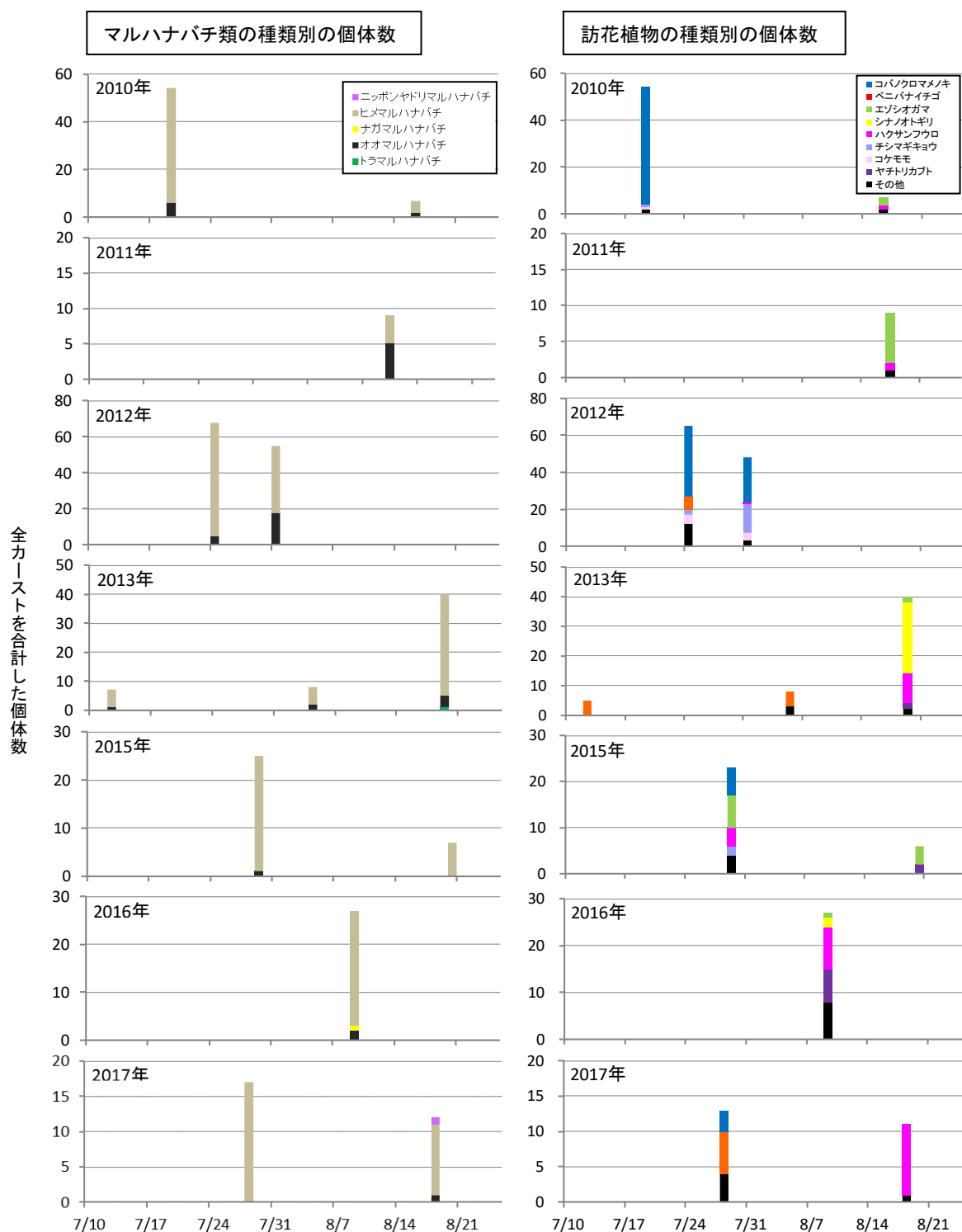
表Ⅱ-3-1 北アルプス(蝶ヶ岳～常念岳)のチョウ類調査の出現種のレッドリスト掲載種と危険性の要因

環境省自然環境局野生生物課希少種保全推進室(2015a, 2019)、長野県環境部自然保護課・長野県環境保全研究所自然環境部(2015)と長野県生物多様性研究会・長野県自然保護研究所・長野県生活環境部環境自然保護課(2004)より作成

種名	レッドリストの категорияと危険性の要因
ミヤマモンキチョウ北アルプス亜種	環境省: 準絶滅危惧(NT)。長野県: 準絶滅危惧(NT): 個体数は安定しているが、分布は高山帯の狭い区域に極限される。一部の愛好家による採集圧が懸念される。長野県、富山県指定の天然記念物。
コヒオドシ	長野県: 準絶滅危惧(NT): 北アルプスでは、比較的安定しているものと思われる。南アルプス等の他の生息地では、見かけることは少ない。
ベニヒカゲ本州亜種	環境省: 準絶滅危惧(NT): 生息地では、道路工事や観光開発などの他、登山者の増加による登山道整備や植生の踏みつけ、ササの侵入による植生変化等による悪影響がみられる。長野県: 留意種(N): 生息地の一部は、国立公園等の特別保護地区内であり、採集は禁止されている。本県の生息地は、日本における分布域の南限付近に位置する。生息地の大部分は国立公園内であり、生息環境が保全されているため、分布域や個体数に目立った変化はないものと思われる。長野県指定の天然記念物。
クモマベニヒカゲ本州亜種	環境省: 準絶滅危惧(NT): 生息地では、道路工事や観光開発などの他、登山者の増加による登山道整備や植生の踏みつけ、ササの侵入による植生変化等による悪影響がみられる。長野県: 留意種(N): 生息地の多くは国立公園等の特別保護地区内であり、採集は禁止されている。本県の生息地は、日本における分布域の南限付近に位置する。本種(本亜種)は本県を中心とした高山帯等の狭い範囲にのみ分布する。分布域や個体数に目立った変化はないものと思われる。長野県指定の天然記念物。
タカネヒカゲ飛騨山脈亜種	環境省: 準絶滅危惧(NT): 個体数は一部で減少傾向にあり、生息地では、登山者の増加による植生の踏みつけ等による悪影響が見られるとともに、気候変動による植生の変化等の悪影響が懸念される。長野県: 準絶滅危惧(NT): 個体数は比較的安定している。長野県、富山県指定の天然記念物。

(3) マルハナバチ類

これまでの調査で5種のマルハナバチ類が確認され、ほとんどの調査で最も個体数が多いのはヒメマルハナバチ、次いでオオマルハナバチであった。その他に、トラマルハナバチが2013年に1個体、レッドリストの掲載種のナガマルハナバチとニッポンヤドリマルハナバチが、2016年と2017年にそれぞれ1個体確認された（図Ⅱ-3-5～7、表Ⅱ-3-2）。



図Ⅱ-3-5 北アルプス(蝶ヶ岳～常念岳)のマルハナバチ類の訪花頻度
2011年と2013年8月4日は補足的なデータ、2014年のデータはなし

これまでに北アルプス（蝶ヶ岳～常念岳）で確認された訪花植物は25種、1年当たりでは6～10種が確認された（環境省自然環境局生物多様性センター，2018）。訪花頻度が最も高いのはコバノクロマメノキで7月に多かった。その他に訪花頻度が高いのは、7月はベニバナイチゴ、コケモモ、チシマギキョウ等、8月はハクサンフウロ、シナノオトギリ、エゾシオガマ、ヤチトリカブト等であった（図Ⅱ-3-5）。

特定外来生物のセイヨウオオマルハナバチは確認されなかった。

表Ⅱ-3-2 北アルプス(蝶ヶ岳～常念岳)のマルハナバチ類調査の出現種のレッドリスト掲載種と危険性の要因

環境省自然環境局野生生物課希少種保全推進室(2015a, 2019)、長野県環境部自然保護課・長野県環境保全研究所自然環境部(2015)と長野県生物多様性研究会・長野県自然保護研究所・長野県生活環境部環境自然保護課(2004)より作成

種名	レッドリストのカテゴリーと危険性の要因
ナガマルハナバチ	環境省:情報不足(DD):福井県で減少。高山地の樹木の伐採や、登山道の整備等の生息環境の改変により減少が危惧される。また、温暖化の影響で、分布の南限個体群の孤立化絶滅も危惧される。長野県:情報不足(DD):生息域が狭いが、減少傾向の有無は不明。
ニッポンヤドリマルハナバチ	長野県:情報不足(DD):生息域が狭いが、減少傾向の有無は不明。



図Ⅱ-3-6 チシマギキョウから出てきたヒメマルハナバチ
(北アルプス(蝶ヶ岳)／撮影:須賀文)



図Ⅱ-3-7 タイツリオウギに訪花中のナガマルハナバチ
(富山県立山町／2018.7.22)

(4)北アルプス(蝶ヶ岳～常念岳)サイトの生物多様性の4つの危機

1)第1の危機

本調査の結果から、人間活動による影響は確認されなかった。

2)第3の危機

本調査の結果から、外来種による影響は確認されなかった。マルハナバチ類調査では、特定外来生物のセイヨウオオマルハナバチは確認されなかった。

3)第4の危機

本調査の結果から、地球環境の変化による影響は確認されなかった。

4. 白山サイト



白山室堂平
(2017年8月6日)



白山水屋尻
(2017年8月6日インターバルカメラ設置地点)

(1) 気温／地温・地表面温度

1) 気温

室堂平白山荘の年平均気温は $-0.6 \sim 0.3^{\circ}\text{C}$ 、気温が高い8月の月平均気温は $11.6 \sim 13.8^{\circ}\text{C}$ 、気温が低い1月の月平均気温は $-15.4 \sim -11.5^{\circ}\text{C}$ であった。暖かさの指数は $17.0 \sim 24.0^{\circ}\text{C} \cdot \text{月}$ で、亜高山帯に分類される値であった(図Ⅱ-4-1)。

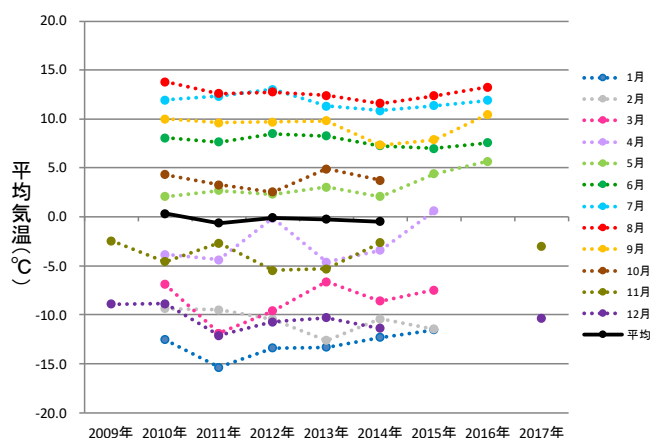
2) 積雪

雪田環境で冠雪日が最も早かったのは水屋尻で2012年10月23日、南竜ヶ馬場で2010年と2012年の11月1日であった。冠雪日が最も遅かったのは両プロットとも2016年11月27日であった。雪解け日が最も早かったのは2016年で、水屋尻は

6月23日、南竜ヶ馬場は6月11日であった。雪解け日が最も遅かったのは、水屋尻で2017年8月2日、南竜ヶ馬場で2015年7月16日であった。地表面の有効積算温度は、雪解けが早かった2016年は両プロットとも早くから上昇し、その後も高かった。一方、雪解けが遅かった2017年の水屋尻では、上昇開始は8月上旬と遅く、その後の値も低かった(図Ⅱ-4-2)。

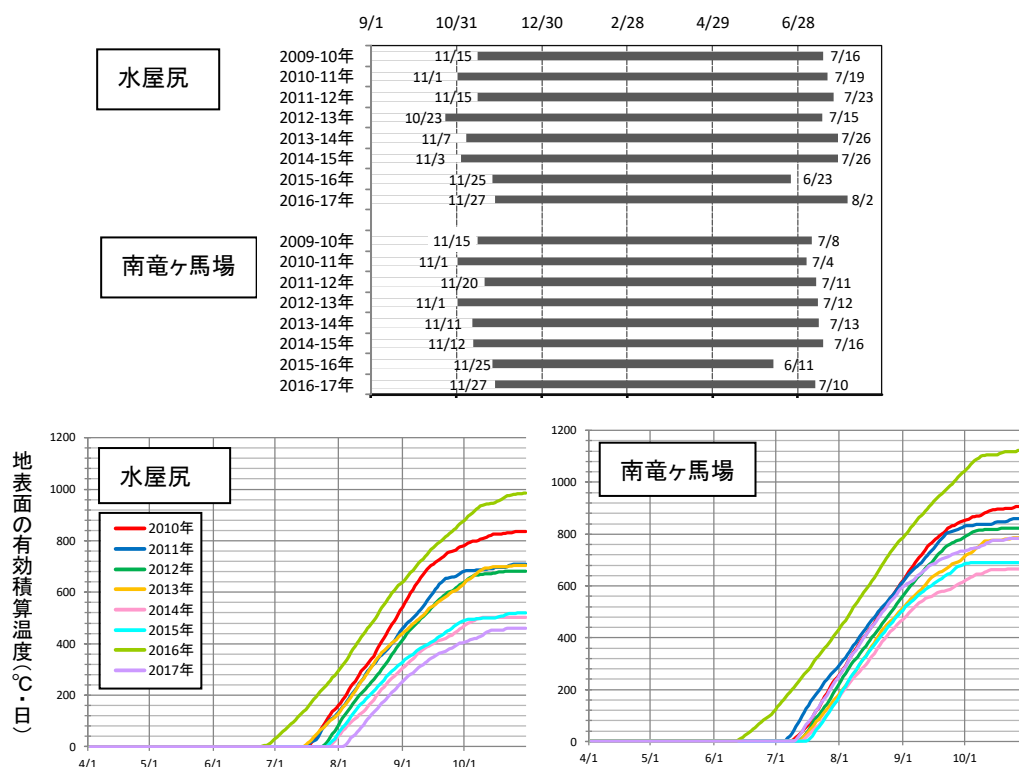
3) 凍結

風衝地環境の凍結初日や凍結終日は年による違いが小さく、2015年は凍結終日が4月5日と早く、地表面の有効積算温度の上昇開始も早かったが、5月中旬以降は2016年の方が高かった(図Ⅱ-4-3)。

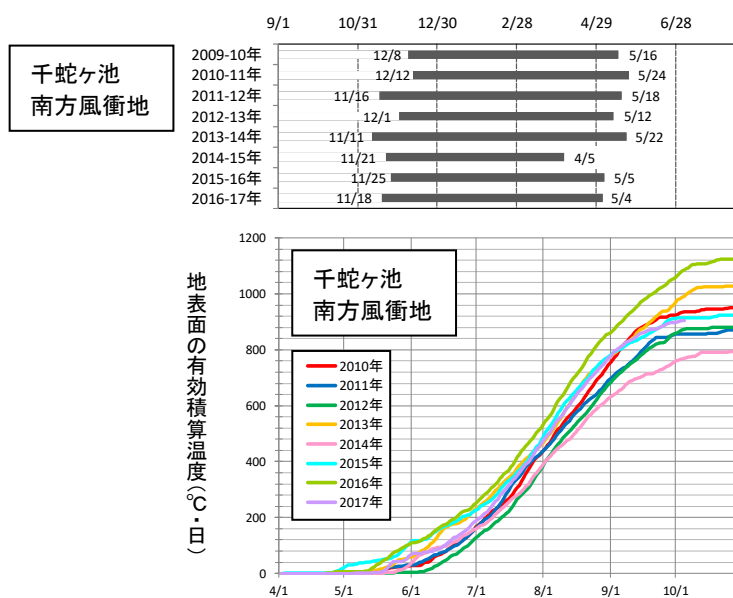


年	2009年	2010年	2011年	2012年	2013年	2014年	2015年	2016年	2017年
年平均気温 ($^{\circ}\text{C}$)		0.3	-0.6	-0.1	-0.3	-0.5			
暖かさの指数 ($^{\circ}\text{C} \cdot \text{月}$)		23.8	22.2	24.0	21.8	17.0	18.6	23.9	

図Ⅱ-4-1 白山室堂平白山荘の平均気温の経年変化



図Ⅱ-4-2 白山の雪田環境の積雪期間と地表面の有効積算温度



図Ⅱ-4-3 白山の風衝地環境の凍結期間と地表面の有効積算温度

(2) 植生

1) 種数と植被率

風衝地環境の千蛇ヶ池南方風衝地では、2015 年の総出現種数は 9 種、サブコードあたりの平均出現種数は 6.2 種、植被率は 55.8%、岩石・砂礫率は 55.8%であったのに対し、雪田環境の水屋尻では 2014 年にはそれぞれ 12 種、8.6 種、82.7%、12.1%、同じく雪田環境の南竜ヶ馬場では 2016 年には 25 種、13.6 種、88.9%、11.1%であり、雪田環境に比べ、風衝地環境の方が種数や植被率が低く、岩石・砂礫率が高かった（表Ⅱ-4-1）。

2) 種組成

千蛇ヶ池南方風衝地では、ガンコウランやイワウメ等の風衝地環境に生育する種類が多く、水屋尻や南竜ヶ馬場では、コメススキやヒロハコメススキ等の高山荒原（崩壊地荒原）に生育する種類や、ハクサンコザクラ、アオノツガザクラ、ショウジョウスゲ等の雪田草原に生育する種類が多かった（表Ⅱ-4-1）。

3) 経年変化

2～4 回の調査結果から経年変化をみると、千蛇ヶ池南方風衝地のミヤマタネツケバナ、南竜ヶ馬場のショウジョウバカマやハクサンオオバコのように消失した種類があったが、出現メッシュ数は少なかった。その他に増減した種類は種名が不明なものや同種の可能性がある。千蛇ヶ池南方風衝地の維管束植物の出現メッシュ数は 2012 年の 1,257 メッシュから 2015 年の 1,360 メッシュと増加した。水屋尻や南竜ヶ馬場についても出現メッシュ数は増加した。種ごとの出現メッシュ数も、全体的には増加した種類が多かった（表Ⅱ-4-1）。

4) 注目種

石川県のレッドリスト掲載種は、千蛇ヶ池南方風衝地で 1 種、水屋尻で 1 種、南竜ヶ馬場で 3 種が確認された。南竜ヶ馬場で 2011 年に 1 メッシュだけ確認されたハクサンオオバコは、2016 年は確認されなかった。外来植物は、低地性の在来植物を含めて確認されなかった。ニホンジカの不嗜好性植物のコバイケイソウが水屋尻で、不嗜好性植物のオオイワカガミの近縁種のイワカガミと、ヒカゲノカズラの近縁種のタカネヒカゲノカズラが水屋尻や南竜ヶ馬場で確認され、いずれも増加した。食痕情報と糞粒情報は、いずれのプロットでも確認されなかった（表Ⅱ-4-1, 2）。

5) 食草と訪花植物

高山蝶の食草は、クモマベニヒカゲやベニヒカゲの食草のショウジョウスゲが南竜ヶ馬場で確認された。出現メッシュ数は年による変動があるが、減少傾向はなかった。訪花植物は、千蛇ヶ池南方風衝地で 1 種、水屋尻で 2 種、南竜ヶ馬場で約 4 種と、雪田環境の方が多く、出現メッシュ数は増加傾向にあった（表Ⅱ-4-1）。

マルハナバチ類の訪花植物は、千蛇ヶ池南方風衝地で 3 種、水屋尻で 7 種、南竜ヶ馬場で約 10 種が確認され、出現メッシュ数は増加しているものが多かった（表Ⅱ-4-1）。

表Ⅱ-4-1 白山の植生調査結果

プロット名				千蛇ヶ池南方風衝地				水屋尻				南竜ヶ馬場						
調査日				2012 8/9	2015 8/12	経年変化		2011 8/9	2014 8/13	経年変化		2010 8/11	2011 8/10	2013 8/12-3	2016 8/23-5	経年変化 2010-16		
平均 (10サブプロ ット)	総出現種数			10	9	-1		12	12	0		26	24	25	25	-1		
	出現種数			5.6	6.2	0.6		7.7	8.6	0.9		14.9	14.8	12.5	13.6	-1.3		
	植被率(%)			58.4	55.8	-2.6		81.5	82.7	1.2		83.8	87.7	89.0	88.9	5.1		
	岩石・砂礫率(%)			14.1	44.2	30.1		12.4	12.1	-0.3		5.3	6.6	11.0	11.1	5.8		
	藓苔類(%)			0.6	0.5	-0.2		0.0	0.0	0.0		-	0.0	0.5	2.9	-		
	地衣類(%)			0.0	0.0	0.0		5.9	4.2	-1.7		6.9	5.4	7.8	6.7	-0.2		
食痕情報				無	無	-		無	無	-		無	無	無	無	-		
糞粒情報				無	無	-		無	無	-		無	無	無	無	-		
科名	種名	生活型 機能型	生活形	付加 情報	出現メッシュ数			出現メッシュ数			出現メッシュ数							
イネ	コメススキ	G	H		78	54	-24	-31%	334	431	97	29%	141	276	122	246	105	74%
イネ	ヒロハコメススキ	G	H						731	691	-40	-5%	139	243	239	227	88	63%
イワウメ	イワカガミ	FO	Ch	(不)					3	5	2	67%	505	513	430	555	50	10%
サクラソウ	ハクサンコザクラ	FO	H	NT・蜂					159	230	71	45%	307	310	242	346	39	13%
ツツジ	アオノツガザクラ	ES	Ch	蜂					163	163	0	0%	167	187	166	200	33	20%
リンドウ	ミヤマリンドウ	FO	H	蜂					29	178	149	514%	69	70	30	79	10	14%
ユリ	クロユリ	FO	G						4	9	5	125%	79	115	94	27	-52	-66%
セリ	ハクサンボウフウ	FO	H	蜂					29	59	30	103%	16	39	19	21	5	31%
オトギリソウ	シナノオトギリ	FO	H	蝶・蜂					47	49	2	4%		38				
オトギリソウ	オトギリソウsp	FO	H	蝶・(蜂)									39		4	19	-20	-51%
オトギリソウ	シナノオトギリ?	FO	H	蝶・(蜂)											12	15	15	
バラ	ミヤマキンバイ	FO	H	蜂					420	414	-6	-1%						
ユリ	コバイケイソウ	FO	G	不					152	182	30	20%						
キク	アキノキリンソウ	FO	H	蝶・蜂					8	11	3	38%						
カヤツリグサ	ショウジョウスゲ	G	H	食									625	678	616	746	121	19%
ツツジ	クロマメノキ	DS	Ph	蜂									563	580	538	573	10	2%
キンボウゲ	ミツバオウレン	FO	H										381	205	322	501	120	31%
キンボウゲ	コシジロウレン(ミツバノバイカオウレン)	FO	H										31	333			-31	-100%
ミツガシワ	イワイチョウ	FO	H										298	294	286	332	34	11%
キンボウゲ	モミジカラマツ	FO	H										251	315	219	328	77	31%
ユリ	ネバリノギラン	FO	H										145	165	140	235	90	62%
ユキノシタ	ミヤマダイモンジソウ	FO	H										87	107	62	76	-11	-13%
イネ	オオヒゲノガリヤス	G	H										58	7	10	83	25	43%
ヒカゲノカズラ	タカネヒカゲノカズラ	FE	H	(不)									21	27	22	31	10	48%
バラ	チングルマ	DS	Ch	蜂									11	16	15	18	7	64%
イネ	チシマザサ	G	Ph										7	6	9	15	8	114%
キク	ミヤマコウゾリナ	FO	H	蝶									4	5	3	7	3	75%
オシダ	ヘビノネゴザ	FE	Ch										3	3	1	2	-1	-33%
セリ	セリ科sp	FO	不明										1			1	0	0%
ラン	キンチョドリ	FO	G	NT									1	1	1	1	0	0%
ユリ	ショウジョウバカマ	FO	H	蜂									1	6			-1	-100%
オオバコ	ハクサンオオバコ	FO	H	VU										1				
ガンコウラン	ガンコウラン	ES	Ch		649	675	26	4%										
ツツジ	コケモモ	ES	Ch	蜂	298	348	50	17%										
イワウメ	イワウメ	ES	Ch	VU、蜂	119	135	16	13%										
カヤツリグサ	イワスゲ	G	H		60	72	12	20%										
マツ	ハイマツ	ES	Ph		21	42	21	100%										
ナデシコ	イワツメクサ	FO	G		20	21	1	5%										
ツツジ	コメバツガザクラ	ES	Ch	蜂	3	9	6	200%										
セリ	シラネニンジン	FO	H	蝶・蜂	6	4	-2	-33%										
アブラナ	ミヤマタネツケバナ	FO	H		3		-3	-100%										
藓苔類	コケ類	M			59	54	-5	-8%	77	414	337	438%	74	2			-74	-100%
維管束植物出現メッシュ数					1257	1360	103	8%	2079	2422	343	16%	3950	4540	3603	4684	734	19%
藓苔類出現メッシュ数					59	54	-5	-8%	77	414	337	438%	74	2	0	0	-74	-100%
総出現メッシュ数					1316	1414	98	7%	2156	2836	680	32%	4024	4542	3603	4684	660	16%
主な生育環境				機能型	生活形			付加情報										
風衝草原				DS: 落葉性低木	Ph: 地上植物			VU: 環境省のRLカテゴリー										
風衝矮性低木群落(高山ハイデ)				ES: 常緑性低木	Ch: 地表植物			VU: 都道府県のRLカテゴリー										
雪田草原				FO: 広葉草本	G: 地中植物			外: 外来種										
高山荒原(崩壊地荒原)				G: 禾本類	H: 半地中植物			不: ニホンジカの嗜好性植物										
高山低木群落(ハイマツ林)				FE: シダ類	Th: 一・二年生植物			食: 高山蝶の食草										
高茎広葉草原(雪潤草原)				M: 藓苔類				蝶: 高山蝶の訪花植物										
岩隙・岩棚				L: 地衣類				蜂: マルハナバチ類の訪花植物										
()内は近縁種が該当するもの																		

表Ⅱ-4-2 白山の植生調査の出現種のレッドリスト掲載種と危険性の要因

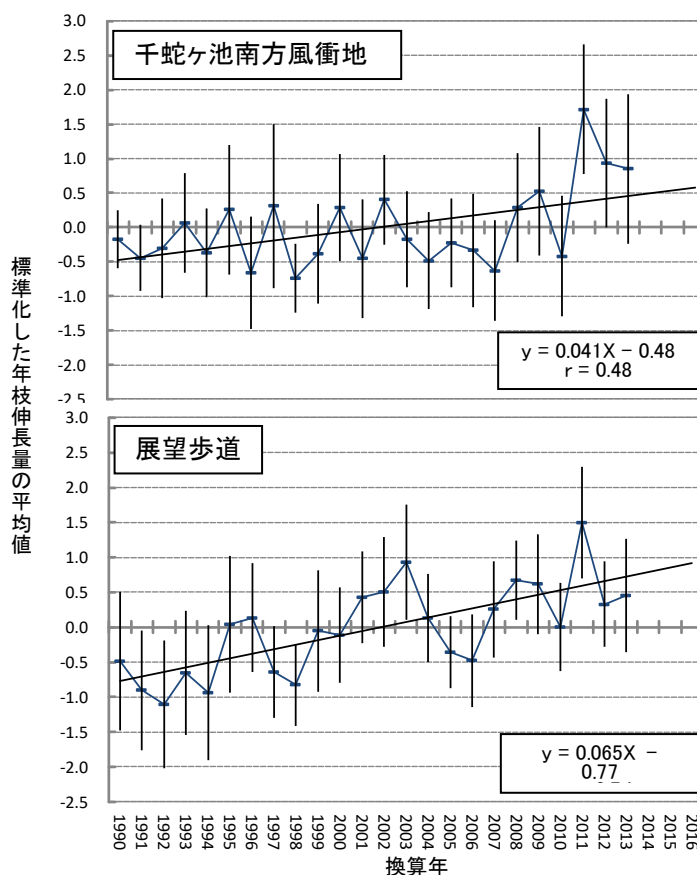
石川県絶滅危惧植物調査会(2010)より作成

種名	レッドリストのカテゴリーと危険性の要因
イワウメ	石川県: 絶滅危惧Ⅱ類(VU): 踏みつけ、園芸採取、産地局限、岩場の崩壊。
ハクサンオオバコ	石川県: 絶滅危惧Ⅱ類(VU): 踏みつけ、自然遷移、産地局限。場所によっては、チシマザサが周囲から進入し、群落を脅かしている。また、オオバコとの雑種形成による遺伝子汚染の心配もある。
ハクサンコザクラ	石川県: 準絶滅危惧(NT): 園芸採取、自然遷移、産地局限。
キンチョドリ	石川県: 準絶滅危惧(NT): 産地局限と踏みつけ、針葉樹林の衰退(自然遷移)など。

(3) ハイマツの年枝伸長量

これまでの調査で、千蛇ヶ池南方風衝地と展望歩道ともに1990～2013年の年枝伸長量のデータが得られた。経年変化をみると、両プロットともに数年周期で伸長量が大きい年と小さい年があるが、全体としては特に展望歩道で増加傾向にあった（図Ⅱ-4-4）¹。

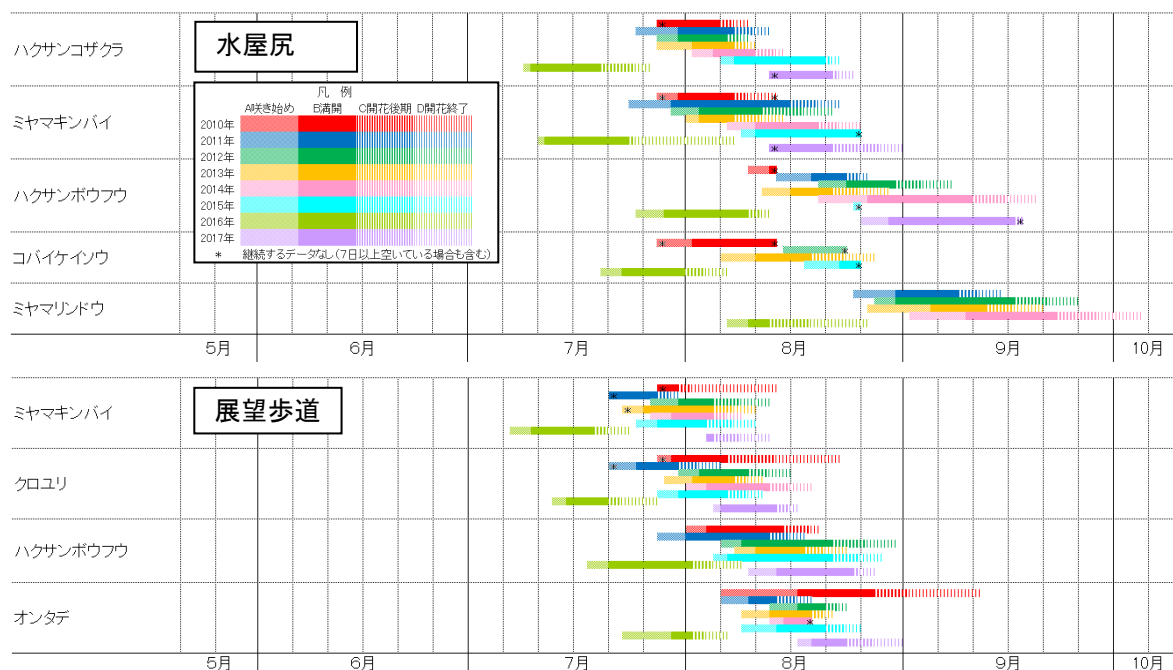
それぞれの年の年枝伸長量と、気象庁の白川観測所（標高 478m）で得られた前年（1989～2012年）の7～9月の月平均気温との関係を見ると、千蛇ヶ池南方風衝地では7～9月、展望歩道では7～8月の気温が高いと翌年のハイマツの年枝伸長は大きかった（環境省自然環境局生物多様性センター，2015）。



図Ⅱ-4-4 白山のハイマツの年枝伸長量の経年変化

(4) 開花フェノロジー

雪田環境の水屋尻と展望歩道ともに、2016年は他の年に比べて半月から1か月程度、開花が早かった。2016年以外は、開花が徐々に遅くなる傾向にあった（図Ⅱ-4-5）。



図Ⅱ-4-5 白山の開花フェノロジーの調査結果（インターバルカメラ）

¹ 千蛇ヶ池南方風衝地で2018年に実施された調査結果では、2014年以降の伸長量が小さかったため、増加傾向は小さくなった。

(5)チョウ類

これまでの調査で、各サイト共通の指標種であるベニヒカゲとクモマベニヒカゲを含む、約 29 種のチョウ類が記録された。

2014 年はライントランセクト調査、定点調査ともにクモマベニヒカゲは確認されず、ベニヒカゲの個体数も少なかったが、2015 年以降はベニヒカゲまたはクモマベニヒカゲが多く、2017 年は特にベニヒカゲが多かった（図Ⅱ-4-7）。

レッドリストの掲載種はベニヒカゲとクモマベニヒカゲの 2 種であった（表Ⅱ-4-3）。

表Ⅱ-4-3 白山のチョウ類調査の出現種のレッドリスト掲載種と危険性の要因

環境省自然環境局野生生物課希少種保全推進室（2015a, 2019）と石川県野生動物保護対策調査会（2009）より作成

種名	レッドリストのカテゴリーと危険性の要因
ベニヒカゲ本州亜種	環境省：準絶滅危惧（NT）：生息地では、道路工事や観光開発などの他、登山者の増加による登山道整備や植生の踏みつけ、ササの侵入による植生変化等による悪影響がみられる。
クモマベニヒカゲ本州亜種	環境省：準絶滅危惧（NT）：生息地では、道路工事や観光開発などの他、登山者の増加による登山道整備や植生の踏みつけ、ササの侵入による植生変化等による悪影響がみられるほか、気候変動による影響も懸念されている。石川県：準絶滅危惧（NT）：生息地は、全て白山国立公園の特別保護地区に包含されているので、生息環境は保護されている。しかし、発生地のすべてが特別保護地区内にあることなどから、十分な調査は行われていないために、現在の生息状況は不明である。国内のいずれの生息地も隔離され個体群も小さいので、地理的変異が進み、分布西限の白山個体群の存在は重要となる。

(6)地表徘徊性甲虫類

これまでの調査で、4 科 25 種の地表徘徊性甲虫が記録され、オサムシ科が 16 種と最も多かった（表Ⅱ-4-4）。

雪田環境の南竜ヶ馬場と水屋尻・雪溪では 100 個体以上の年があるのに対し、千蛇ヶ池南方風衝地では 100 個体未満、水屋尻・ハイマツ林は 20 個体程度と少なかった。南竜ヶ馬場と水屋尻・雪溪ではミズギワゴミムシ属の一種が多く、その他に南竜ヶ馬場では *Agonum* 属の一種、水屋尻・雪溪ではミヤマヒサゴメツキ等がみられた。水屋尻・ハイマツ林では、ヤノナガゴミムシが安定してみられ、その他にキタクロナガオサムシと、キタノヒラタゴミムシやツヤモリヒラタゴミムシ等のヒラタゴミムシ類が多かった。千蛇ヶ池南方風衝地では、ミズギワゴミムシ属の一種、ヒラタゴミムシ類、チビマルクビゴミムシ、チビゴミムシ属の一種、ハクサンドウガネナガハネカクシ等がみられた（図Ⅱ-4-8）。

本調査で確認された 25 種に、「モニタリングサイト 1000 森林・草原調査」の亜高山帯でも確認された 8 種が含まれていた。個体数が比較的多いキタクロナガオサムシとツヤモリヒラタゴミムシは千蛇ヶ池南方風衝地で、ヤノナガゴミムシは水屋尻・ハイマツ林で数多く確認された（表Ⅱ-4-4, 図Ⅱ-4-8）



図Ⅱ-4-6 風衝地に設置されたトラップ
（2009.8.7／撮影：平松新一）

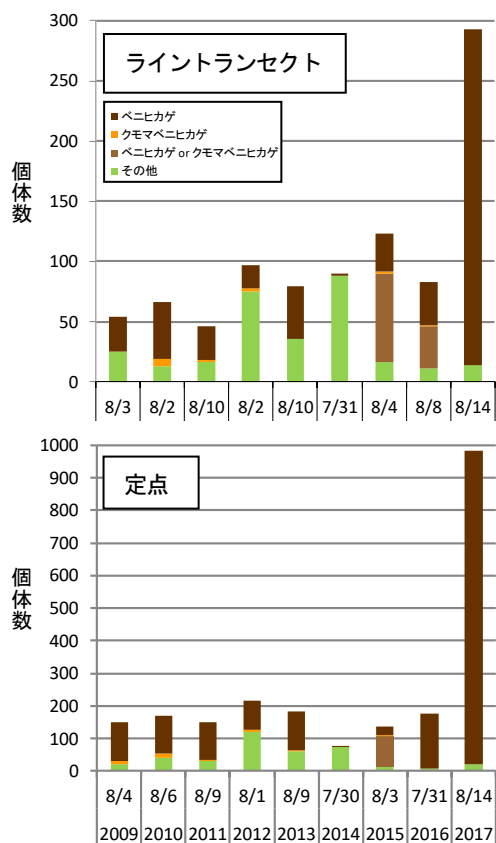


表 II-4-4 白山の地表徘徊性甲虫の調査結果
2009～2017 年の全プロットの合計個体数

科名	和名／別和名	学名／別学名	合計
オサムシ科	キタクロナガオサムシ	<i>Carabus arboreus</i>	68
	／コクロナガオサムシ※	／ <i>Leptocarabus arboreus hakusanus</i>	
	アオキノカワゴミムシ※	<i>Leistus subaeneus</i>	3
	チビマルクビゴミムシ	<i>Nippononebria pusilla</i>	35
	チビゴミムシ属の一種	<i>Trechus</i> sp.	28
	オンタケナガチビゴミムシ	<i>Trechiana lewisi</i>	1
	シロウマミズギワゴミムシ	<i>Bembidion fujiyamai</i>	110
	ミズギワゴミムシ属の一種	<i>Bembidion</i> sp.	1151
	キンイロオオゴミムシ※	<i>Myas aurescens</i> / <i>Trigonognatha aurescens</i>	10
	ホシナガゴミムシ	<i>Pterostichus oblongopunctatus</i> / <i>Pterostichus honshuensis</i>	75
	ヤノナガゴミムシ※	<i>Pterostichus janoi</i>	55
	Agonum 属の一種	Agonum sp. (Platynus sp.)	351
	／ヒメヒラタゴミムシ属の一種 (Platynus 属の一種)		
	／ヒラタゴミムシ属の一種		
	キタノヒラタゴミムシ	<i>Agonum kitanoi</i> / <i>Platynus kitanoi</i>	58
	ツヤモリヒラタゴミムシ※	<i>Xestagonum xestum</i> / <i>Colpodes xestus</i>	142
	ホソヒラタゴミムシ※	<i>Pristosia aeneola</i>	1
	タケウチツヤヒラタゴミムシ※	<i>Synuchus takeuchi</i>	3
	ミヤマゴモクムシ	<i>Harpalus solitarius</i> / <i>Harpalus fuliginosus</i>	7
シデムシ科	ヒメモンシデムシ※	<i>Nicrophorus montivagus</i>	1
	ヒロウドヒラタシデムシ	<i>Oiceoptoma thoracicum</i>	10
ハネカクシ科	ヒメハネカクシ属の一種	<i>Atheta</i> sp.	2
	ヒゲトハネカクシ亜科の一種	<i>Aleocharinae</i> Gen. sp.	2
	ハクサンドウガネナガハネカクシ	<i>Platydome hakusana</i>	15
	コガシラハネカクシ属の一種	<i>Philonthus</i> sp.	33
コメツキムシ科	ミヤマヒサゴメツキ	<i>Homotechnes motschulskyi</i> / <i>Hypolithus motschulskyi</i>	229
	ヒメアオツヤハダコメツキ	<i>Mucromorphus miwai</i>	2
	コメツキムシ科の一種	<i>Elateridae</i> Gen. sp.	4
	合計種数		25
合計個体数			2337

※モニタリングサイト1000森林・草原調査で確認されている種類

図 II-4-7 白山のチョウ類の調査結果

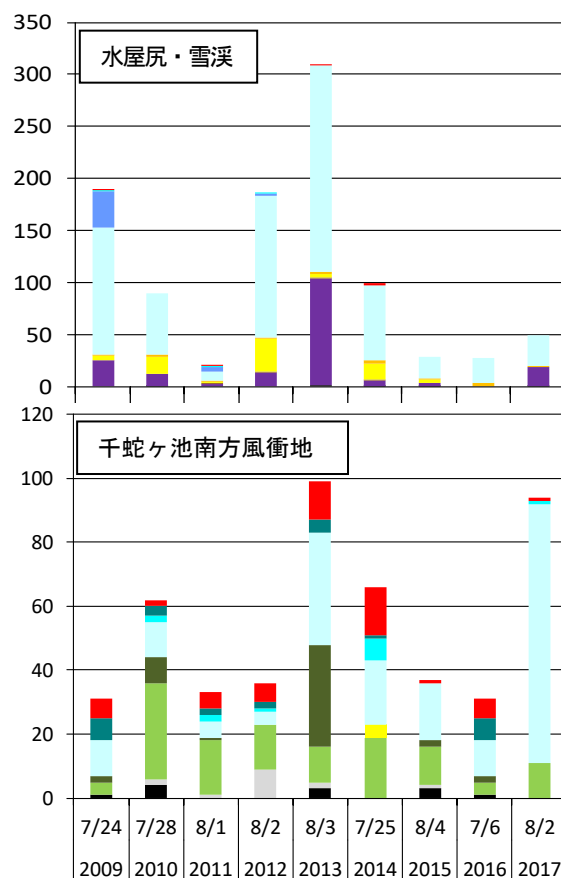
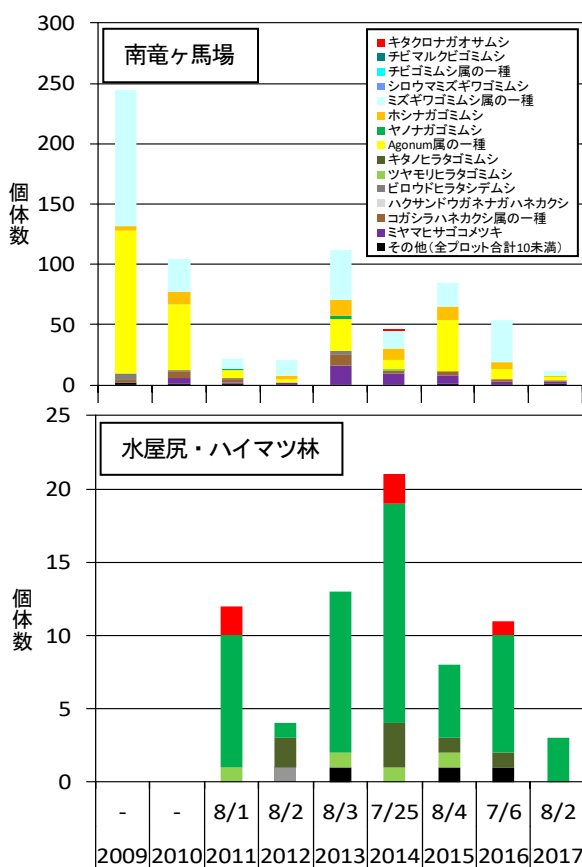


図 II-4-6 白山の地表徘徊性甲虫の調査結果

日付はトラップの回収日、水屋尻・ハイマツ林での調査は 2011 年から

(7)白山サイトの生物多様性の4つの危機

1)第1の危機

本調査の結果から、人間活動による影響は確認されなかった。

2)第3の危機

本調査の結果から、外来種による影響は確認されなかった。植生調査では、いずれのプロットとも外来植物は確認されなかった（表Ⅱ-4-1）。

3)第4の危機

本調査の結果から、地球環境の変化による影響は確認されなかったが、調査結果から次のことが示唆されている。

- ・1990～2013年のハイマツの年枝伸長量は、千蛇ヶ池南方風衝地と展望歩道とも増加傾向にあり（図Ⅱ-4-4）、この期間の前年夏（1989～2012年）の気温の上昇傾向が示唆された²。
- ・雪田環境で雪解けが最も早かった2016年に着目すると、雪解けは水屋尻で6月23日、南竜ヶ馬場で6月11日と他の年より約1か月早かった。地表面の有効積算温度の上昇開始も1か月程度早く、開花フェノロジーも2016年は水屋尻、展望歩道ともに全ての種類で半月から1か月程度早かった。チョウ類や地表徘徊性甲虫については、2016年に特徴的な変化はみられなかったが、他サイトの調査結果と同様に、積雪の開始時期や積雪量は、翌年の雪解け日を通じて高山植物の開花時期に影響を及ぼし、それを利用する昆虫類にも影響を及ぼす可能性がある。

² 千蛇ヶ池南方風衝地で2018年に実施された調査結果では、2014年以降の伸長量が小さかったため、増加傾向は小さくなった。

5. 南アルプス(北岳)サイト



南アルプス(北岳)プロットB
(2014年7月11日インターバルカメラで撮影)



南アルプス(北岳)プロットC
(2016年7月6日インターバルカメラで撮影)

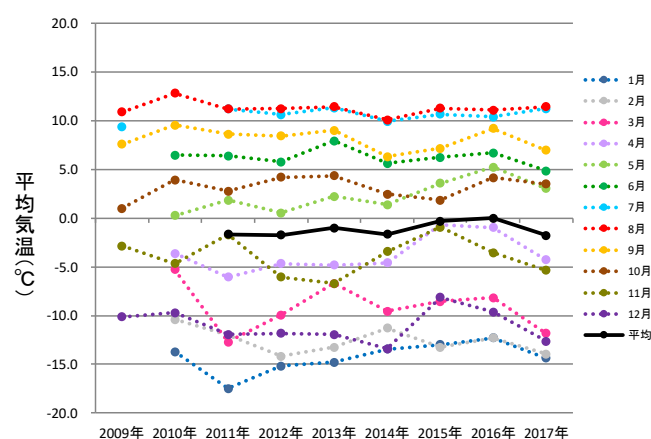
(1) 気温／地温・地表面温度

1) 気温

北岳山荘の年平均気温は $-1.8 \sim 0.0^{\circ}\text{C}$ 、気温が高い8月の月平均気温は $10.1 \sim 12.8^{\circ}\text{C}$ 、気温が低い1月の月平均気温は $-17.5 \sim -12.3^{\circ}\text{C}$ であった。暖かさの指数は $12.0 \sim 19.7^{\circ}\text{C} \cdot \text{月}$ で、亜高山帯～高山帯に分類される値であった(図Ⅱ-5-1)。

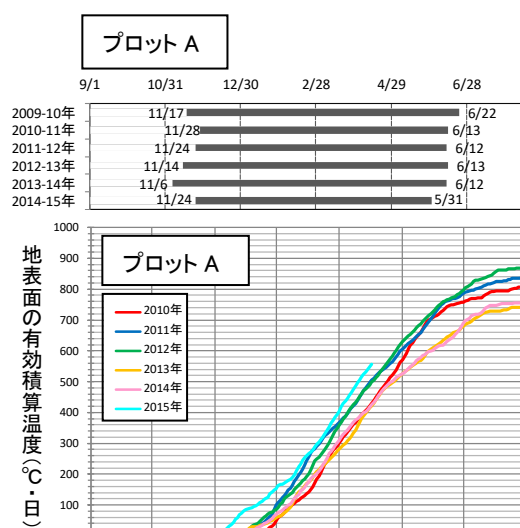
2) 積雪

雪田環境のプロットAで、冠雪日が最も早かったのは2013年11月6日、最も遅かったのは2010年11月28日であった。雪解け日が最も早かったのは2015年5月31日、最も遅かったのは2010年6月22日であった。地表面の有効積算温度は、雪解けが早かった2015年は6月初旬と早くから上昇し、雪解けが遅かった2010年は6月下旬と上昇開始が遅かった(図Ⅱ-5-2)。



年	2009年	2010年	2011年	2012年	2013年	2014年	2015年	2016年	2017年
年平均気温(°C)			-1.6	-1.7	-1.0	-1.7	-0.3	0.0	-1.8
暖かさの指数(°C・月)			17.5	16.1	19.7	12.0	15.4	17.7	14.7

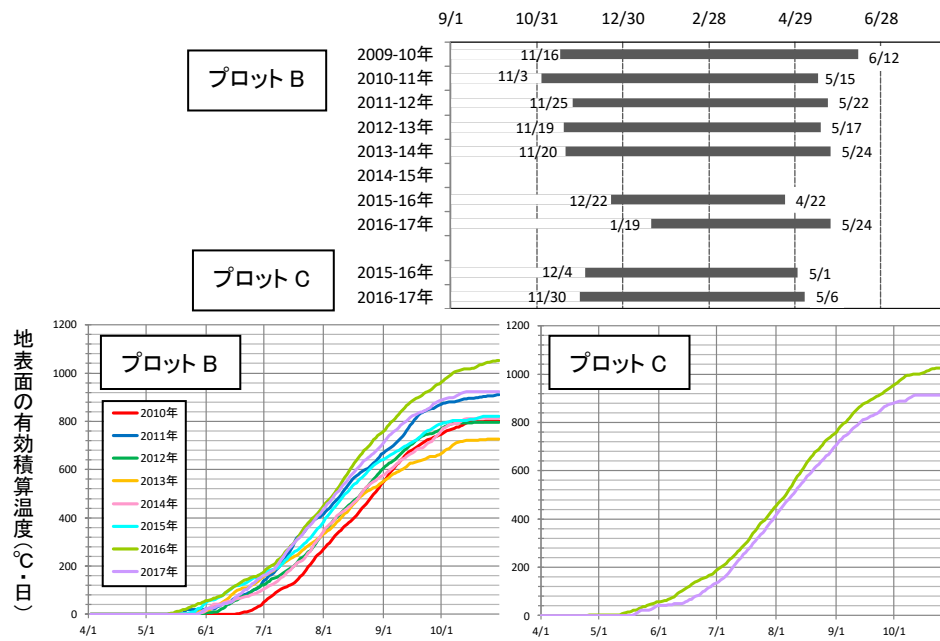
図Ⅱ-5-1 南アルプス(北岳)北岳山荘の平均気温の経年変化



図Ⅱ-5-2 南アルプス(北岳)の雪田環境の積雪期間と地表面の有効積算温度

3)凍結

風衝地環境のプロットBで、凍結初日が最も早かったのは2010年11月3日、最も遅かったのは2017年1月19日であった。2016～2017年の凍結初日が遅かったのは、積雪で地温が下がり難かったためと考えられる。凍結終日が最も早かったのは2016年の4月22日、最も遅かったのは2010年の6月12日であった。地表面の有効積算温度は、凍結終日が早い2016年は上昇開始が早く、凍結終日が遅い2010年は遅かった（図Ⅱ-5-3）。



図Ⅱ-5-3 南アルプス(北岳)の風衝地環境の凍結期間と地表面の有効積算温度

(2)植生

本プロットは希少種保護の観点から、出現種の詳細が非公開となっている。そのため本報告書では、植生調査の結果については、種数や植被率などの概要のみを表Ⅱ-5-1に示した。

1)種数と植被率

プロットAは雪田環境にあり、総出現種数は52種と多く、サブコドラート当たりの平均出現種数は約25種、植被率は約85%、岩石・砂礫率は約18%であった。プロットBとCは、風衝地環境にあるが、総出現種数は40種以上、サブコドラート当たりの平均出現種数は約25種、植被率は約90%と高く、岩石・砂礫率は10%未満と低かった（表Ⅱ-5-1）。

2)経年変化

2回の調査を行ったプロットBの経年変化をみると、維管束植物の出現メッシュ数は、4,671から5,052と増加した。総出現種数も43種から44種とわずかに増加した。構成種としては、4種類が消失し、5種類が加わったが、これらの出現メッシュ数は1～11メッシュとわずかであった（表Ⅱ-5-1）。

3)注目種

レッドリストの掲載種は、プロットA、B、Cでそれぞれ17種、15種、16種が確認され、プロットBの4種は出現メッシュ数が減少した。外来植物は、低地性の在来植物を含め、いずれの

調査ともに確認されなかった。ニホンジカの不着好性植物は、プロットAで4種、プロットBで1種が確認された。食痕情報はプロットAとCで確認された。糞粒情報はいずれのプロットとも確認されなかった。

4) 食草と訪花植物

高山蝶の食草は、プロットAで2種、プロットCで1種が確認された。高山蝶の訪花植物はプロットA、B、Cでそれぞれ5種、5種、3種が確認され、プロットBでは1種がわずかに減少した以外は増加した。マルハナバチ類の訪花植物はプロットA、B、Cでそれぞれ12種、8種、2種が確認され、プロットBでは3種は減少し、5種は増加した。

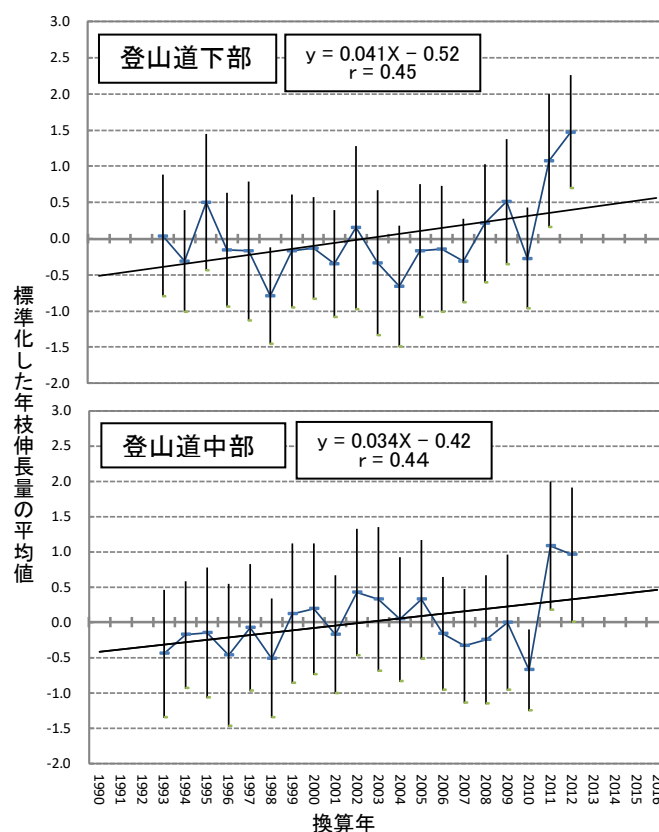
表Ⅱ-5-1 南アルプス(北岳)の植生調査結果の概要

プロット名		プロットA	プロットB			プロットC
調査日		2010/8/29	2009/8/25	2014/8/23 -8/25	経年変化	2015/8/17- 8/18
総出現種数		52	43	44	1	41
平均 (10サブコ ラート)	出現種数	25.0	26.5	25.3	-1.2	25.4
	植被率(%)	85.0	90.6	89.2	-1.4	95.5
	岩石・砂礫率(%)	17.8	7.6	4.5	-3.1	0.4
	蘚苔類(%)	-	-	0.1	-	0.3
	地衣類(%)	1.7	0.5	2.4	1.9	2.3
食痕情報		有	無	無	-	有
糞粒情報		無	無	無	-	無
維管束植物出現メッシュ数		3037	4671	5052	381 8%	5763

(3) ハイマツの年枝伸長量

2013年の調査で、登山道下部と登山道中部ともに1993～2012年の年枝伸長量のデータが得られた。これらのデータから経年変化をみると、2010年までは年による変動が大きく、増加傾向は明らかでなかったが、2011年と2012年の伸長量が特に大きく、全体的には上昇傾向となった(図Ⅱ-5-4)。

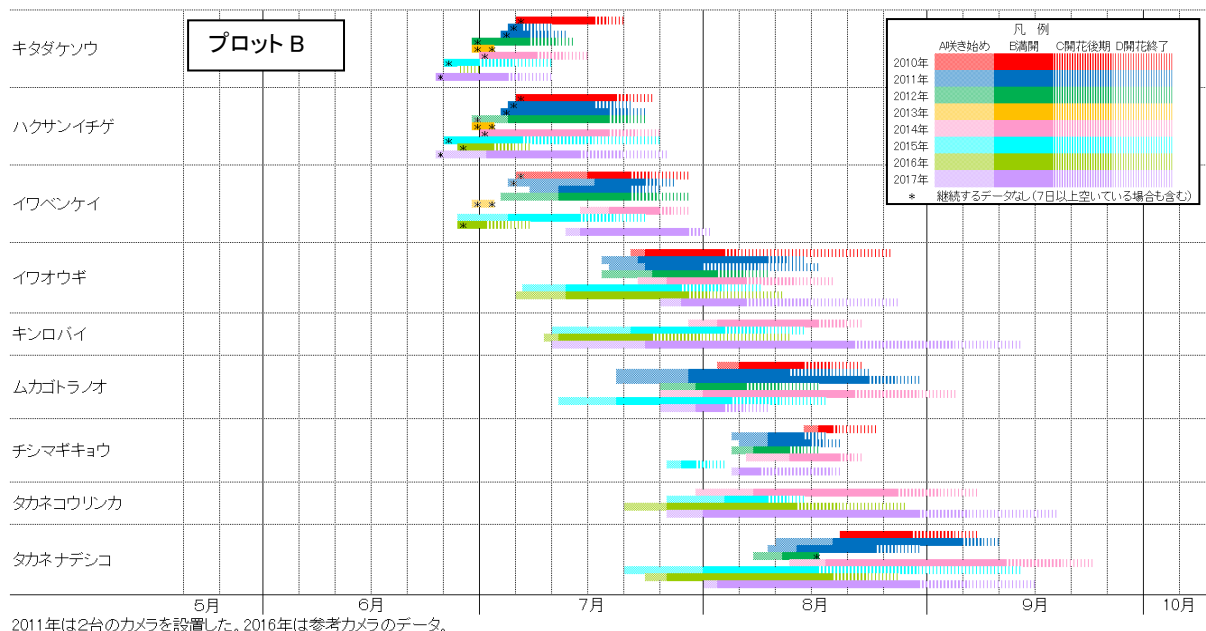
それぞれの枝の各年の年枝伸長量と、気象庁の葦崎観測所(標高341m)で得られた前年(1992～2009年)の7～9月の月平均気温との関係を見ると、おもに7月の気温が高いと翌年のハイマツの年枝伸長量が多い傾向がみられた(環境省自然環境局生物多様性センター, 2014a)。



図Ⅱ-5-4 南アルプス(北岳)のハイマツの年枝伸長量の経年変化

(4)開花フェノロジー

継続したデータがあるプロットBのおもな種類の開花フェノロジーを図Ⅱ-5-5に示した。キタダケソウは2010年に開花が遅くまでみられ、イワオウギは2015年と2016年の開花がやや早かったが、全体的には年による違いは大きくなかった。



図Ⅱ-5-5 南アルプス(北岳)の開花フェノロジーの調査結果(インターバルカメラ)

(5)チョウ類

これまでの調査で、各サイト共通の指標種であるベニヒカゲとクモマベニヒカゲを含む約17種が記録された。ベニヒカゲは、ライントランセクト調査と定点調査とも毎年記録され、個体数も比較的多かった。クモマベニヒカゲはベニヒカゲに比べて個体数が少なく、2015年はライントランセクト調査と定点調査のいずれも確認されなかった(図Ⅱ-5-6)。

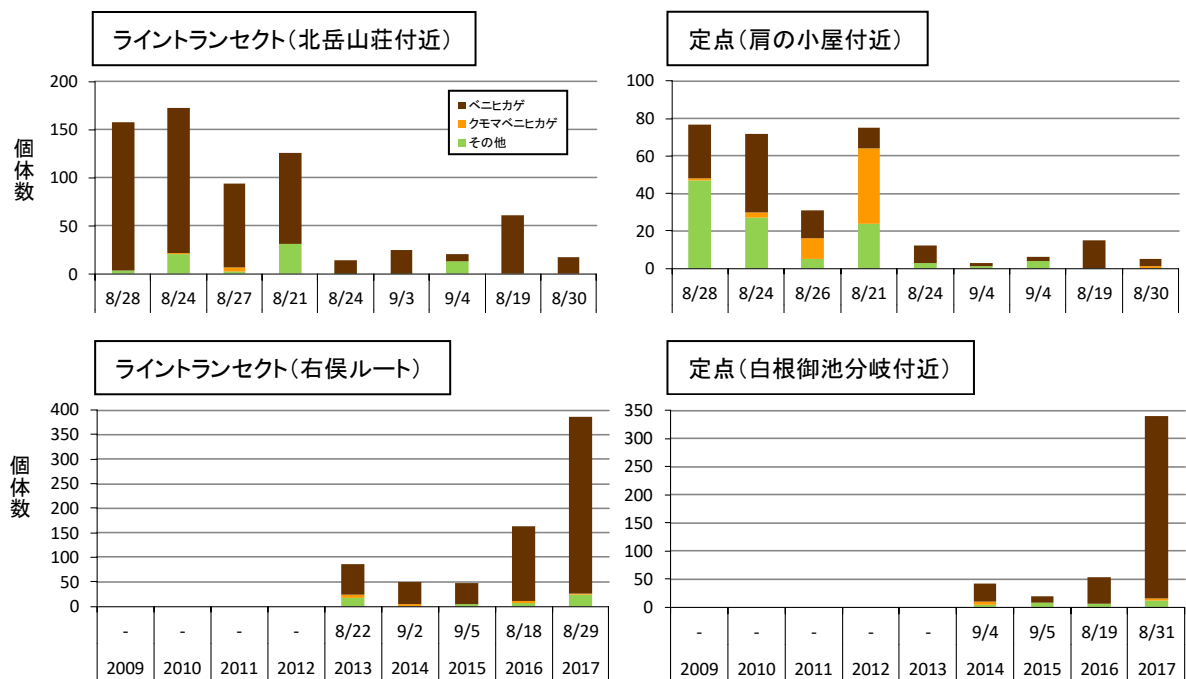
北岳山荘付近のラインセクト調査と肩の小屋付近の定点調査では、2012年までは比較的多くの個体が確認され、特に2012年の定点調査ではベニヒカゲよりもクモマベニヒカゲの方が多かった。しかし、2013年以降はこれらの調査プロットでは、曇りやガスの発生といった悪天候で少数個体しか確認されなかった。そのため悪天候の影響を受け難い、より標高の低い右俣ルートと白根御池分岐付近場所に調査地を追加したところ、より多くの個体が確認され、特に2017年にはどちらの調査とも300個体以上のベニヒカゲが確認された(図Ⅱ-5-6)。

レッドリスト掲載種は、ベニヒカゲとクモマベニヒカゲの2種であった(表Ⅱ-5-2)。

表Ⅱ-5-2 南アルプス(北岳)のチョウ類調査の出現種のレッドリスト掲載種と危険性の要因

環境省自然環境局野生生物課希少種保全推進室(2015a, 2019)と山梨県森林環境部みどり自然課(2018)より作成

種名	レッドリストの категорияと危険性の要因
ベニヒカゲ本州亜種	環境省: 準絶滅危惧(NT): 生息地では、道路工事や観光開発などの他、登山者の増加による登山道整備や植生の踏みつけ、ササの侵入による植生変化等による悪影響がみられる。山梨県: 絶滅危惧Ⅱ類(VU): 南アルプス、ハケ岳の産地では、シカの食害による影響は多少あるものの、生息地ではまとまった数の個体が飛翔する姿が観察できる。
クモマベニヒカゲ本州亜種	環境省: 準絶滅危惧(NT): 生息地では、道路工事や観光開発などの他、登山者の増加による登山道整備や植生の踏みつけ、ササの侵入による植生変化等による悪影響がみられるほか、気候変動による影響も懸念されている。山梨県: 絶滅危惧ⅠB類(EN): 南アルプスの北岳のように、高茎草本類の多い環境では個体数も少なくないが、南アルプスでもシカの強い食害をうけ、アザミ類やマルバダケブキが優占する単純な草原に変化した場所では、かろうじてマルバダケブキに訪花する姿が観察される程度である。



図Ⅱ-5-6 南アルプス(北岳)のチョウ類の調査結果

(6)南アルプス(北岳)サイトの生物多様性の4つの危機

1)第1の危機

本調査の結果から、人間活動による影響は確認されなかった。

2)第3の危機

本調査の結果から、外来種による影響は確認されなかった。植生調査では、いずれのプロットとも外来植物は確認されなかった

3)第4の危機

本調査の結果から、地球環境の変化による影響は確認されなかったが、調査結果から次のことが示唆されている。

- ・ハイマツの年枝伸長量について、登山道下部と登山道中部で 1993～2012 年のデータが得られ、両プロットとも 2011 年と 2012 年が特に大きく、全体として増加傾向であることから（図Ⅱ-5-4）、この期間の前年（1992～2011 年）夏の気温の上昇傾向が示唆された。
- ・風衝地環境のプロットBで、凍結終日が最も早かった 2016 年と、最も遅かった 2010 年と比較すると、2016 年の土壌の凍結終日は 4 月 22 日で有効積算温度は 5 月中旬から上昇したが、2010 年の凍結終日は 6 月 12 日で有効積算温度の上昇は 6 月中旬からで、両年の有効積算温度の差はその後続いた。開花フェノロジーは、2016 年にはキタダケソウは 7 月には開花は終わっていたが、2010 年には 7 月中旬まで開花がみられた。その他の種類も 2010 年に比べて 2016 年は開花が早く、地温や地表面の温度変化は、開花フェノロジーに影響を及ぼすことが示された（図Ⅱ-5-2, 3, 5）。

6. 富士山サイト



山頂付近
(2011年8月27日撮影)



森林限界付近
(2017年8月11日インターバルカメラで撮影)

(1) 気温／地温・地表面温度

1) 気温

山頂の年平均気温は-6.8～-4.9℃、気温が高い8月の月平均気温は5.3～8.3℃、気温が低い1月の月平均気温は-22.5～16.9℃であった。暖かさの指数は0.5～2.1℃・月で、高山帯に分類される値であった。森林限界付近の年平均気温は2.7～4.6℃、気温が高い8月の月平均気温は14.0

表Ⅱ-6-1 富士山の植生調査結果

プロット名				山頂付近A			森林限界付近			山頂付近C*			山頂付近D*							
調査日				2010/9/1	2015/9/5	経年変化	2011/8/6	2015/9/11	経年変化	2011/8/27	2016/8/25	経年変化	2011/8/27	2016/8/25	経年変化					
平均 (10サブプロット)	総出現種数			1	1	0	12	9	-3	3	2	-1	2	3	1					
	出現種数			0.4	0.4	0.0	5.7	5.9	0.2	0.7	0.6	-0.1	0.4	0.7	0.3					
	植被率(%)			0.8	1.5	0.7	38.1	30.9	-7.2	2.6	1.9	-0.7	1.0	1.2	0.2					
	岩石・砂礫率(%)			98.3	96.9	-1.4	61.8	69.1	7.3	80.4	82.4	2.0	80.3	85.2	4.9					
	藓苔類(%)			-	1.6	-	0.0	1.2	1.2	17.9	15.8	-2.1	18.7	12.5	-6.2					
	地衣類(%)			0.9	0.0	-0.9	0.1	0.4	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0					
食痕情報				無	無	-	-	有	-	無	-	-	無	-						
糞粒情報				無	無	-	-	無	-	無	-	-	無	-						
科名	種名	生活型 機能型 生活形	付加 情報	出現メッシュ数			出現メッシュ数			出現メッシュ数			出現メッシュ数							
カヤツリグサ	コタスキラン	G H		8	37	29	363%	168	324	156	93%	14	10	-4	-29%	1	21	20	2000%	
イネ	イワノガリヤス	G H	不									2	17	15	750%	9	4	-5	-56%	
キキョウ	ヤマホタルブクロ	FO H						124	129	5	4%									
マメ	イワオウギ	FO H						97	132	35	36%									
イネ	ミヤマウシノケグサ	G H						75	116	41	55%									
キク	ミヤマオトコヨモギ	FO H						61	80	19	31%									
アブラナ	フジハタザオ	FO H						16	18	2	13%									
ヤナギ	ミヤマヤナギ	DS Ph	蜂					9		-9	-100%									
タデ	オンタデ	FO G	(蜂)					6		-6	-100%									
マツ	カラマツ	DS Ph						4	67	63	1575%									
タデ	イタドリ	FO G	(蜂)					4	36	32	800%									
キク	ミヤマアキノキリンソウ (コガネギク)	FO H	蜂					1	2	1	100%									
マメ	ムラサキモメンヅル	FO H	N					1		-1	-100%						1	1		
ナデシコ	イワツメクサ	FO G										1		-1	-100%					
藓苔類	ヤマコスギゴケ*	M										112	66	-46	-41%	30	155	125	417%	
藓苔類	ミヤマスナゴケ*	M										51	78	27	53%	31	158	127	410%	
藓苔類	タカネスギゴケ	M		9	117	108	1200%									2				
藓苔類	コケsp1	M										42				5				
藓苔類	ヘチマゴケ	M										8				22				
藓苔類	コケsp3(シツボゴケ科)	M										2				1				
藓苔類	コケsp2	M										1								
藓苔類	ハリスギゴケ	M														144				
藓苔類	ギンゴケ	M														10				
藓苔類	シモフリゴケ	M														2				
藓苔類	ヤノウエノアカゴケ	M						1								1				
地衣類	ツェトラリア	L						1		-1	-100%									
維管束植物出現メッシュ数				8	37	29	363%	566	904	338	60%	17	27	10	59%		10	26	16	160%

* 富士山頂では、2016年から藓苔類の調査対象をヤマコスギゴケとミヤマスナゴケの2種のみとした。

主な生育環境	機能型	生活型	付加情報
風衝草原	DS: 落葉性低木	Ph: 地上植物	VU: 環境省のRLカテゴリー
風衝緑性低木群落(高山ハイデ)	ES: 常緑性低木	Ch: 地表植物	VU: 都道府県のRLカテゴリー
雪田草原	FO: 広葉草本	G: 地中植物	外: 外来種
高山荒原(崩壊地荒原)	G: 禾本類	H: 半地中植物	不: ニホンジカの不適好性植物
高山低木群落(ハイマツ林)	FE: シダ類	Th: 一年・二年生植物	食: 高山蝶の食草
高山広葉草原(雪潤草原)	M: 藓苔類		蝶: 高山蝶の訪花植物
岩陰・岩棚	L: 地衣類		蜂: マルハナハチ類の訪花植物
()内は近縁種が該当するもの			

～15.5℃、気温が低い1月の月平均気温は-11.4～-6.0℃であった。暖かさの指数は27.7～33.8℃・月で亜高山帯に分類される値であった（図Ⅱ-6-1）。

2)凍結

山頂付近で土壌の凍結初日が最も早かったのはプロットAの2010年9月26日、最も遅かったのはプロットDの2011年11月2日であった。凍結終日が最も早かったのはプロットAとプロットDの2015年5月26日、凍結終日が最も遅かったのはプロットAの2014年7月7日であった。森林限界付近で凍結初日が最も早かったのは2013年11月21日、最も遅かったのは2010年と2011年の12月17日であった。凍結終日が最も早かったのは2014年3月28日、最も遅かったのは2015年4月18日であった。

地表面の有効積算温度の上昇は、土壌の凍結終日が早かった山頂付近のプロットAの2015年で早い傾向がみられたが、森林限界付近も含めて全体的に年による違いは大きくなかった（図Ⅱ-6-1, 2）。

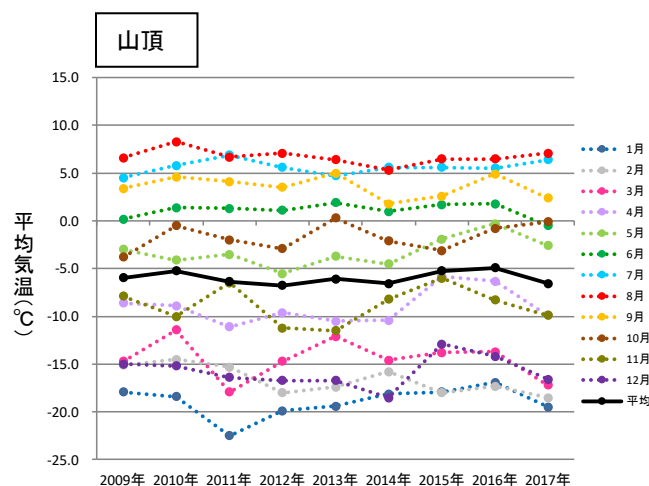
(2)植生

1)種数と植被率

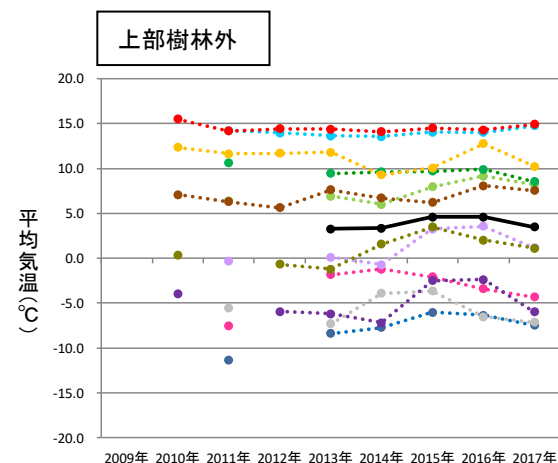
山頂付近のプロットA、C、Dの2回目の調査の総出現種数は、それぞれ1種、2種、3種、サブコドラート当たりの平均出現種数は0.4種、0.6種、0.7種、植被率は1.5%、1.9%、1.2%と低いのにに対し、岩石・砂礫率は96.9%、82.4%、85.2%と高く、その他に蘚苔類が1.6%、15.8%、12.5%みられた。森林限界付近では総出現種数は9種、サブコドラート当たりの平均出現種数は5.9種、植被率は30.9%、岩石・砂礫率は69.1%で、山頂よりは植物が多かった（表Ⅱ-6-1）。

2)種組成

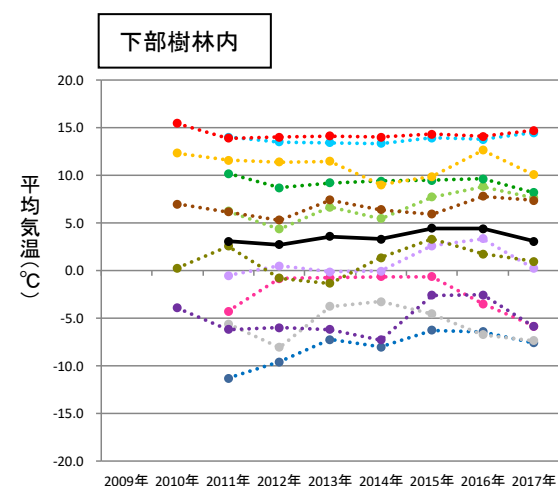
山頂付近の出現種はコタヌキランとイワノガリヤスで、コタヌキランは乾いた岩上や火山地帯にも多い種類である。蘚苔類は、



年	2009年	2010年	2011年	2012年	2013年	2014年	2015年	2016年	2017年
年平均気温 (°C)	-5.9	-5.2	-6.4	-6.8	-6.1	-6.5	-5.3	-4.9	-6.6
暖かさの指数 (°C・月)	1.6	2.1	1.8	1.4	0.7	0.5	1.1	1.0	1.8

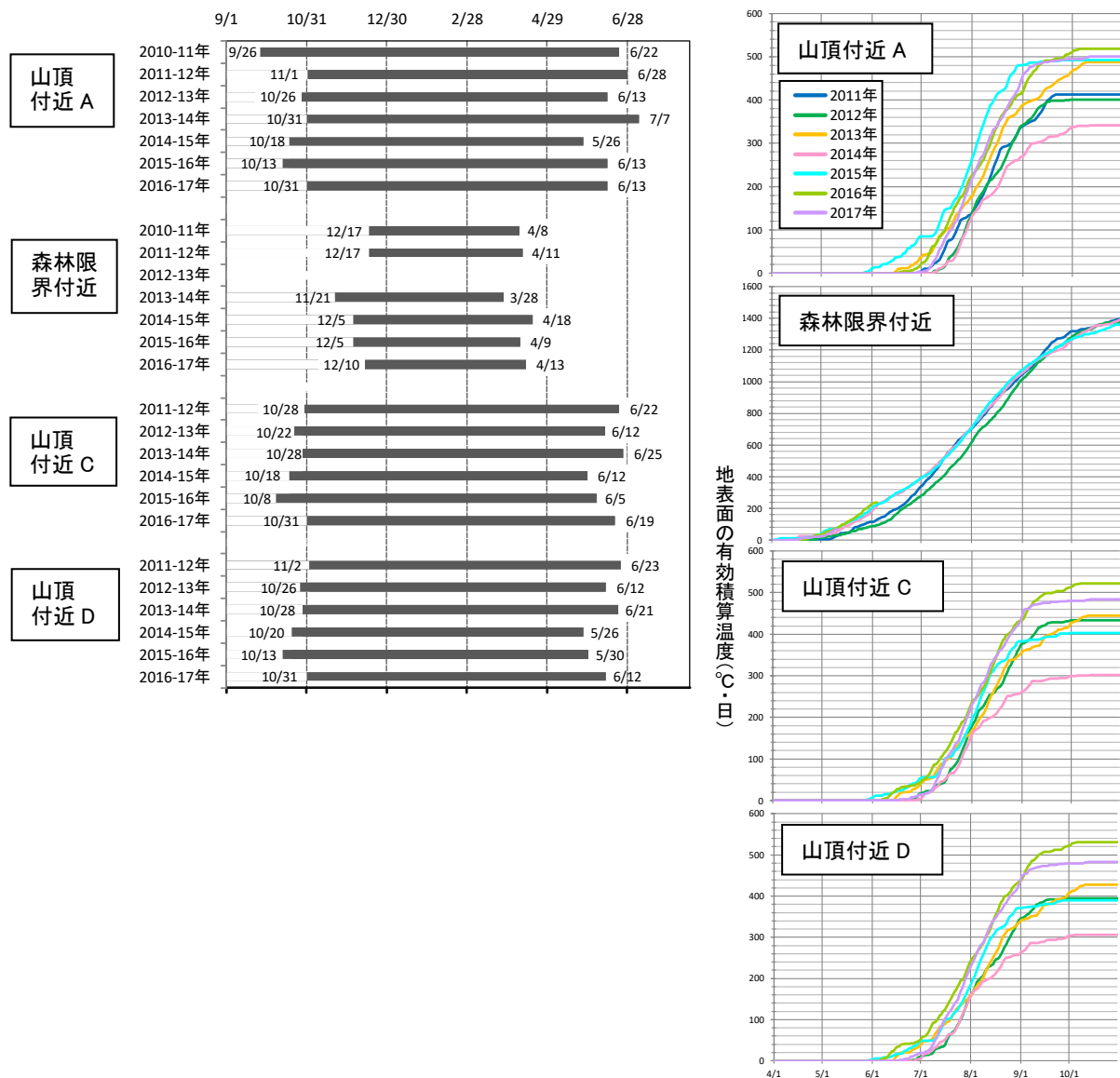


年	2009年	2010年	2011年	2012年	2013年	2014年	2015年	2016年	2017年
年平均気温 (°C)					3.2	3.3	4.6	4.6	3.5
暖かさの指数 (°C・月)			33.3		33.8	29.2	32.5	38.1	34.2



年	2009年	2010年	2011年	2012年	2013年	2014年	2015年	2016年	2017年
年平均気温 (°C)			3.1	2.7	3.6	3.3	4.4	4.4	3.1
暖かさの指数 (°C・月)			32.2	28.0	32.4	27.7	31.4	36.9	32.6

図Ⅱ-6-1 富士山の平均気温の経年変化
山頂は気象庁の富士山観測所の観測値



図Ⅱ-6-2 富士山の風衝地環境の凍結期間と地表面の有効積算温度

2015 年は全種、2016 年は比較的識別が容易なミヤマスナゴケとヤマコスギゴケを調査対象とした。いずれのプロットとも維管束植物より蘚苔類の方が出現メッシュ数は多かった。森林限界付近では、高茎広葉草原（雪潤草原）や高山荒原（崩壊地荒原）に生育する種類が多かった（表Ⅱ-6-1）。

3) 経年変化

2 回の調査から経年変化をみると、山頂付近のプロット A とプロット D ではコタヌキランが、プロット C ではイワノガリヤスが増加した。蘚苔類も、プロット A のタカネスギゴケ、プロット D のミヤマスナゴケとヤマコスギゴケが増加する等、増加した種が多かった。森林限界付近では、出現種数は 12 種から 9 種に減少したが、残った 9 種の出現メッシュ数は全て増加した（表Ⅱ-6-1）。

4) 注目種

静岡県のレッドリスト掲載種は、ムラサキモメンヅルが確認された。外来植物は、低地性の在来植物を含めて確認されなかった。ニホンジカの嗜好性植物としてはイワノガリヤスが確認された。食痕情報は、森林限界付近で 2015 年にコタヌキランで確認された。糞粒情報は確認されなかった（表Ⅱ-6-1, 2）。

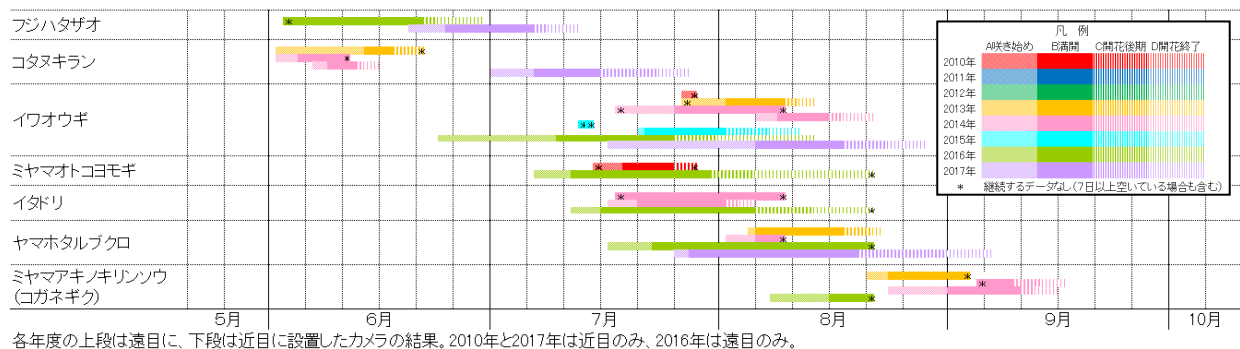
マルハナバチ類の訪花植物は、森林限界付近で 2011 年に 4 種、2015 年に 2 種確認されたが、出現メッシュ数は少なかった（表Ⅱ-6-1）。

表Ⅱ-6-2 富士山の植生調査の出現種のレッドリスト掲載種
静岡県くらし・環境部環境局自然保護課(2017)より作成

種名	レッドリストのカテゴリー
ムラサキモメンツル	静岡県:要注目種(N-II 分布上注目種等)

(3)開花フェノロジー

富士山は植物が少なく、強風が原因の調査機材の転倒等もあり、得られたデータは少ないが、イワオウギ、ヤマホタルブクロ、ミヤマアキノキリンソウの開花フェノロジーをみると、2013 年、2014 年、2017 年に比べ、2016 年は早かった（図Ⅱ-6-3）。



図Ⅱ-6-3 富士山の開花フェノロジーの調査の結果(インターバルカメラ)

(4)富士山サイトの生物多様性の4つの危機

1)第1の危機

本調査の結果から、人間活動による影響は確認されなかった。

2)第3の危機

本調査の結果から、外来種による影響は確認されなかった。植生調査では、いずれのプロットとも外来植物は確認されなかった。

3)第4の危機

本調査の結果から、地球環境の変化による影響は確認されなかった。

Ⅲ. 調査項目ごとのとりまとめ

1. サイトやプロット間の比較では、複数のサイトで得られた調査結果を調査項目ごとにとりまとめ、サイトやプロット間の違いを整理した。2. ～6. では、特定のサイトまたは複数のサイトの調査結果を用い、高山帯で特に問題になっている第4の危機に関連した解析を行い、年変動や経年変化と、それらから予測される気候変動の影響について考察した。

1. サイトやプロット間の比較

(1) 気温／地温・地表面温度

1) 平均気温と暖かさの指数

大雪山、北アルプス（立山）、北アルプス（蝶ヶ岳～常念岳）、白山、南アルプス（北岳）、富士山で1時間おきに測定された気温から月別の平均気温を算出し、それらをもとに年平均気温と、植生の分布と気温との関係を示す指数である暖かさの指数を算出した。なお、参考データとして、気象庁の富士山観測所で観測された富士山山頂の気温についても、これらの値を算出した。

年平均気温の経年変化はプロット間で同様の傾向を示したが、2016年の年平均気温は、大雪山のみ前年より低かった。この時の気温を月別にみると、大雪山では2016年の1～4月と10～11月の気温が他のサイトに比べて特に低かった（図Ⅲ-1-1）。

暖かさの指数は、年平均気温が高いプロットほど高い傾向にあったが、大雪山は年平均気温が富士山山頂に次いで低いにもかかわらず、南アルプス（北岳）やアルプス（立山）より高かった。暖かさの指数は、いずれのプロットとも2013～2014年は低下し、大雪山と富士山山頂以外は2014～2016年にかけて上昇した（図Ⅲ-1-1）。

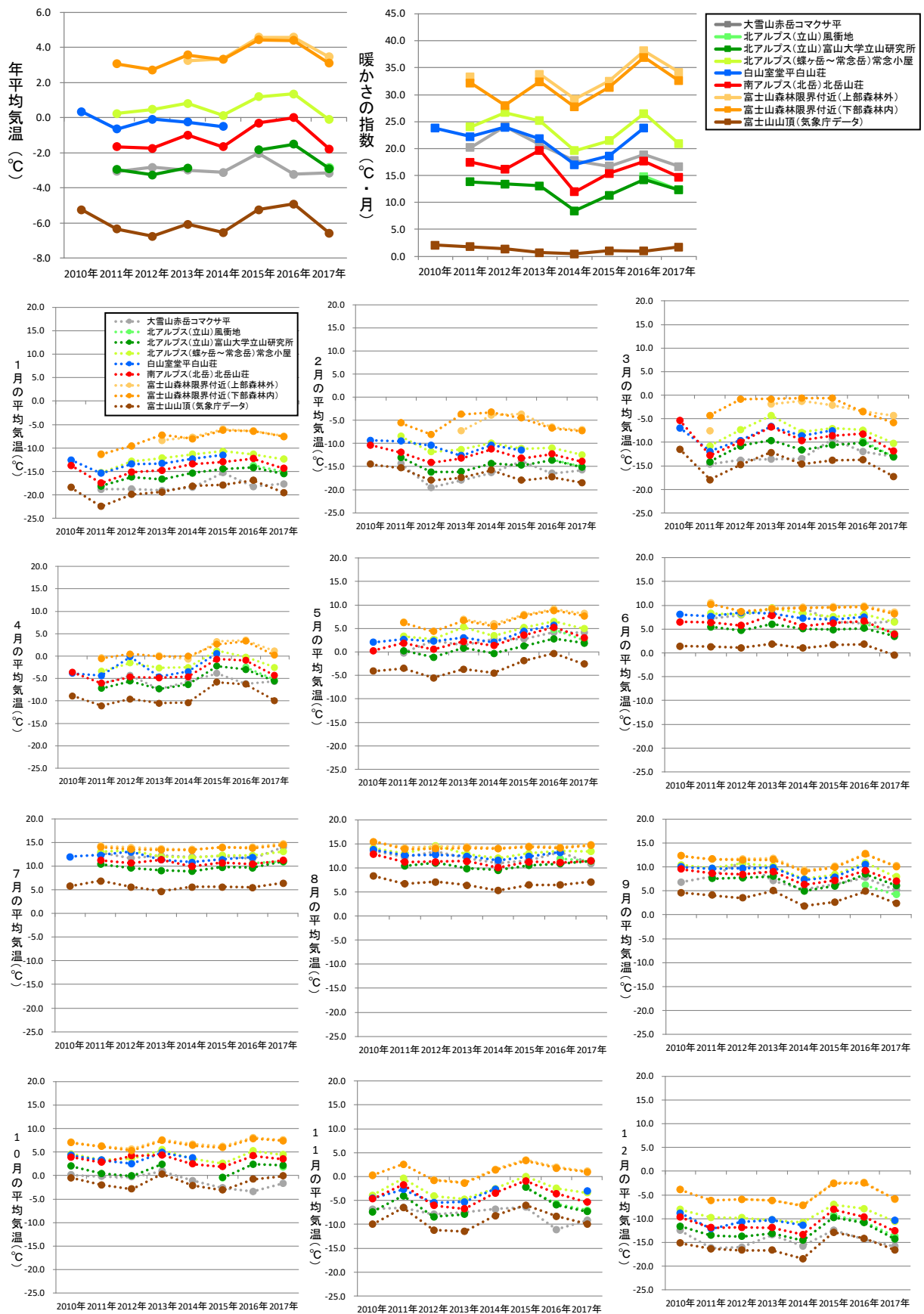
月別の平均気温は、6～8月には年変動もサイト間の違いも小さかった。11～3月には富士山森林限界付近が特に高かったが、4月以降はその差は小さくなり、7～9月には富士山山頂で特に低い傾向がみられた（図Ⅲ-1-1）。

2) 地表面の有効積算温度

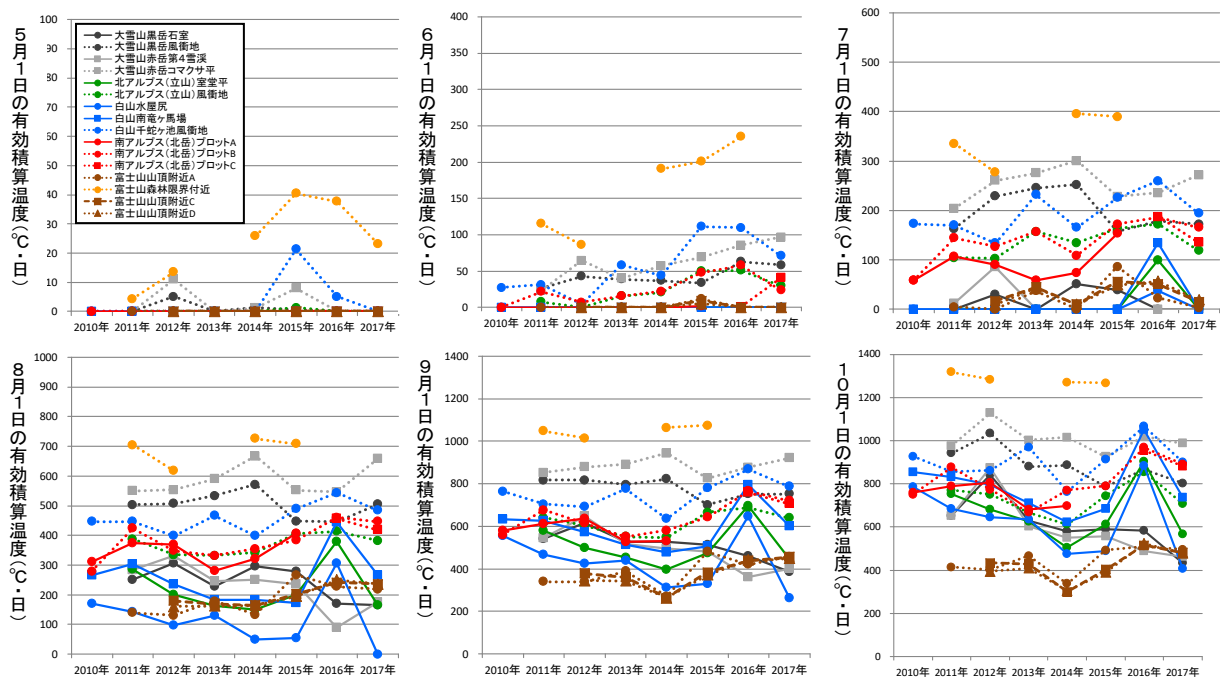
大雪山、北アルプス（立山）、白山、南アルプス（北岳）、富士山の風衝地環境と雪田環境で1時間おきに測定した地表面温度を用い、一般的に高山植物が生育可能な5℃を基準温度として、有効積算温度を算出した。

地表面の有効積算温度は風衝地環境の方が早く上昇し始め、年により5月1日には富士山森林限界付近、白山千蛇ヶ池風衝地、大雪山黒岳風衝地面と赤岳コマクサ平、6月1日には南アルプス（北岳）プロットBとプロットCが上昇し始めた。一方、雪田環境の大雪山黒岳石室と赤岳第4雪渓、北アルプス（立山）室堂平、白山水屋尻と南竜ヶ馬場、南アルプス（北岳）プロットAと、風衝地環境でも標高が高い富士山山頂では、6月1日には有効積算温度は上昇しなかった。7月1日以降も、大雪山、北アルプス（立山）、白山では、雪田環境に比べて風衝地環境の有効積算温度の方が高く推移した（図Ⅲ-1-2）。

5月1日の有効積算温度は、風衝地環境で2012年と2015年が高い傾向にあった。6月1日の有効積算温度は、経年的な上昇傾向がみられた。7月1日以降は、雪田環境の白山の水屋尻と南竜ヶ馬場、北アルプス（立山）室堂平では2016年は特に高かったが、大雪山黒岳石室と赤岳第4雪渓では低かった（図Ⅲ-1-2）。



図Ⅲ-1-1 平均気温と暖かさの指数の経年変化



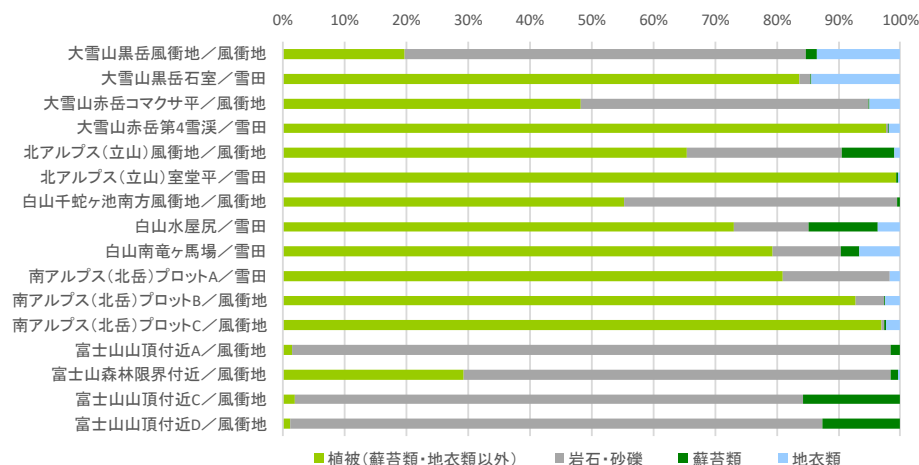
図Ⅲ-1-2 地表面の有効積算温度の経年変化
 実線は雪田環境、点線は風衝地環境を示す。

(2) 植生

1) 植被率と種数

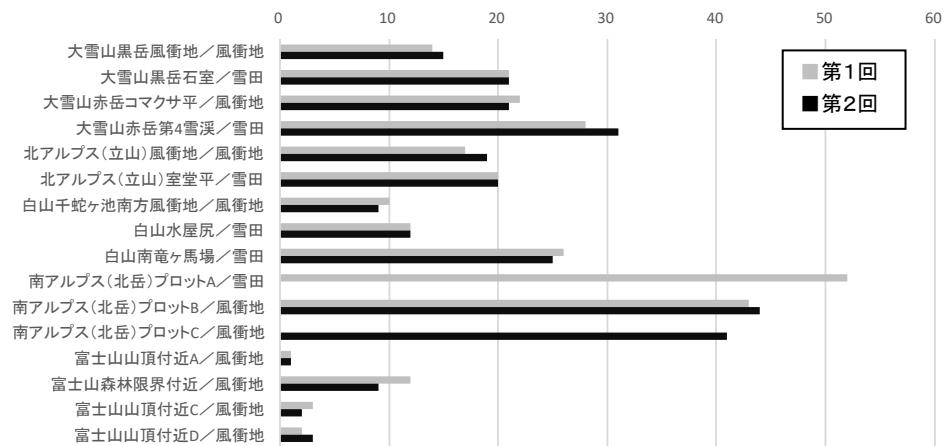
大雪山、北アルプス（立山）、白山、南アルプス（北岳）、富士山の風衝地環境と雪田環境で行われた植生調査の結果から、維管束植物の植被率、岩石・砂礫率、蘚苔類と地衣類に覆われた部分の割合について、サイトやプロット間で比較した。

大雪山、北アルプス（立山）、白山では、風衝地環境は雪田環境に比べて岩石・砂礫率が高く、強風や乾燥、砂礫の移動の影響を受けることが示された。一方、雪田環境は風衝地環境に比べて植被率が高く、積雪による冬季の乾燥からの保護や、雪解けによる豊富な土壌水分により、植物が豊富であることが示された。一方、南アルプス（北岳）は寡雪地域にあり、風衝地のプロットでも植被率は高く、植物が多い特異な環境であった。富士山は、他の高山帯に比べて最近まで噴火を繰り返していた影響で植生は乏しく、山頂は岩石・砂礫で占められるが、蘚苔類は比較的多かった（図Ⅲ-1-3）。

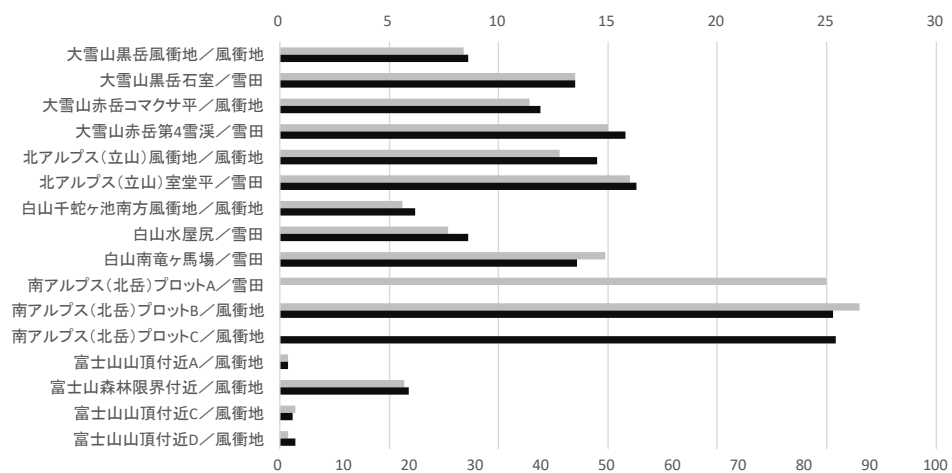


図Ⅲ-1-3 植被率、岩石・砂礫率、蘚苔類、地衣類の割合
 南アルプス(北岳)プロットA以外は第2回の調査結果から作成

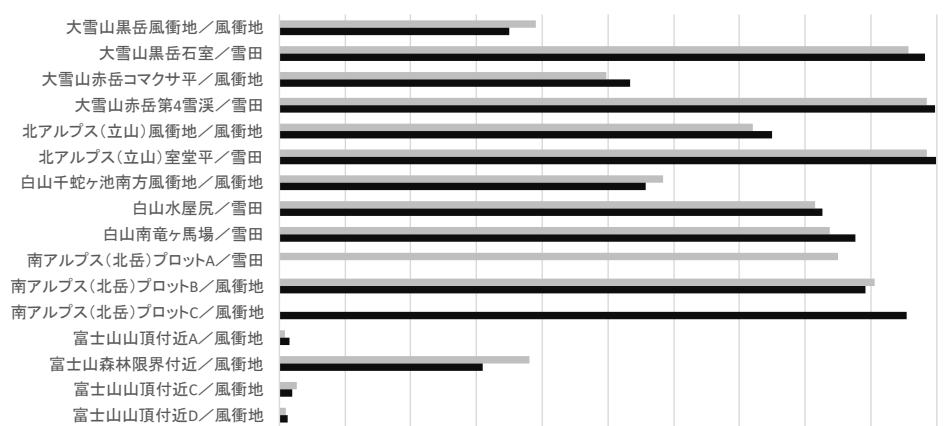
総出現種数



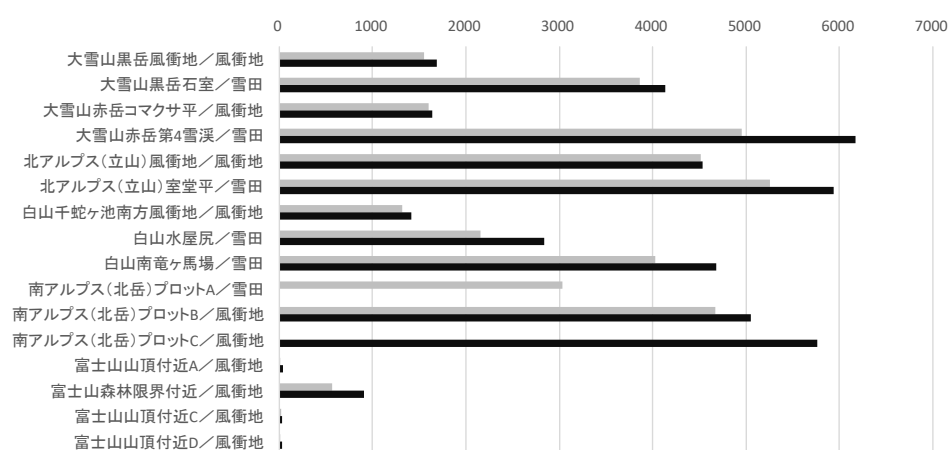
出現種数



植被率(%)



維管束植物
出現メッシュ数



図Ⅲ-1-4 維管束植物の総出現種数、出現種数、植被率、出現メッシュ数

植生調査の結果から、永久方形枠全体の総出現種数、サブコドラートごとの出現種数と植被率の平均値、維管束植物の出現メッシュ数の合計を算出し、サイトやプロット間で比較した。

これらの値も、大雪山、北アルプス（立山）、白山では、風衝地環境は雪田環境に比べて全ての算出項目の値が低かった。南アルプス（北岳）では風衝地環境も含めて、特に総出現種数と出現種数が他のサイトに比べて多かった。富士山は森林限界付近でも他のサイトに比べて植物が少なく、山頂で確認された総出現種数は1～3種であった（図Ⅲ-1-4）。

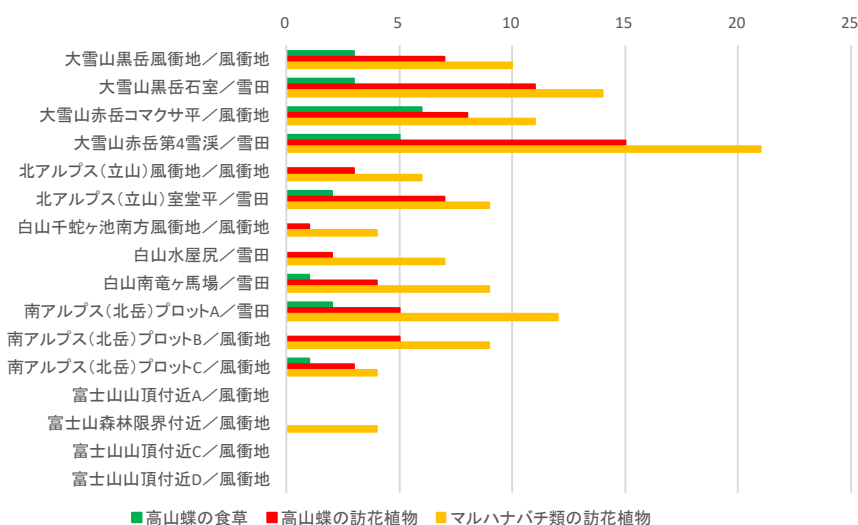
2回の調査結果を比較すると、総出現種数、出現種数、植被率、維管束植物出現メッシュ数ともに減少しているプロットよりも、増加しているプロットの方が多く、種数や植被率がともに減少しているプロットは無かった（図Ⅲ-1-4）。

2) 高山蝶の食草と訪花植物

植生調査の結果から高山蝶の生育環境を比較するため、それぞれのサイトに生息する高山蝶の食草と訪花植物の文献情報（表Ⅰ-3-3のc植生を参照）をもとに、サイトやプロット間で食草や訪花植物の種数を比較した。

大雪山の黒岳と赤岳では、高山蝶の食草や訪花植物は風衝地環境と雪田環境の両方でみられ、訪花植物の種数は風衝地環境に比べて雪田環境の方が多かった。北アルプス（立山）や白山では、高山蝶の食草が確認されたのは雪田環境のみで、風衝地環境では確認されず、訪花植物も少なかった。南アルプス（北岳）では、生育する植物の種数は多かったが、高山蝶の食草や訪花植物の種数は比較的少なかった。なお、富士山には高山蝶は分布していないため、該当する食草や訪花植物はない（図Ⅲ-1-5）。

前回の調査と比較して食草の経年変化をみると、大雪山の赤岳コマクサ平でアサヒヒョウモンやカラフトルリシジミの食草であるクロマメノキと、ウスバキチョウの食草であるコマクサの出現メッシュ数が減少したが、その他のサイトやプロットでは、こうした傾向はなかった（表Ⅱ-1-1、表Ⅱ-1-2、表Ⅱ-2-1、表Ⅱ-4-1、表Ⅱ-6-1）。



図Ⅲ-1-5 高山蝶の食草と訪花植物、マルハナバチ類の訪花植物の種数

3) マルハナバチ類の訪花植物

植生調査の結果からマルハナバチ類の生育環境を比較するため、マルハナバチ類の訪花植物に関する調査で得られた結果と文献情報（表Ⅰ-3-3のc植生を参照）をもとに、サイトやプロット間のマルハナバチ類の訪花植物の種数を比較した。

大雪山の黒岳と赤岳、白山、北アルプス（立山）では、雪田環境の方が、風衝地環境に比べて訪花植物の種数が多かった。南アルプス（北岳）では、生育する植物の種数は多かったが、訪花植物の種数は比較的少なかった。富士山の森林限界では訪花植物は確認されたが、山頂付近の各

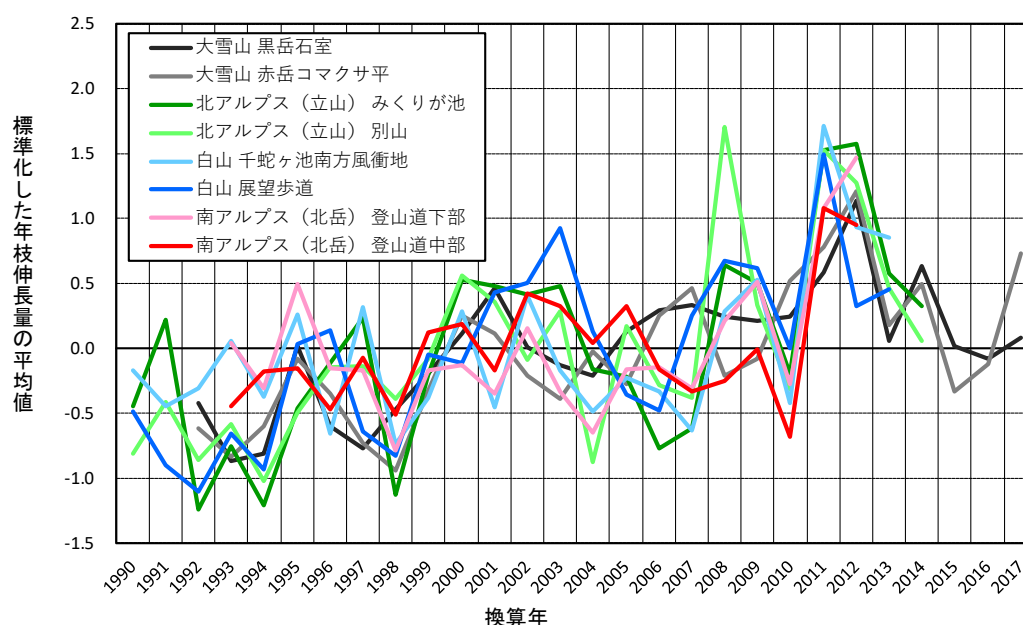
プロットでは確認されなかった（図Ⅲ-1-5）。

前回の調査と比較して経年変化をみると、大雪山の赤岳コマクサ平（風衝地）ではクロマメノキやコマクサが、北アルプス（立山）風衝地ではチシマギキョウやミヤマキンバイが減少するなど、全体として訪花植物がやや減少傾向を示したが、その他のプロットでは全体的に増加傾向を示した（表Ⅱ-1-1、表Ⅱ-1-2、表Ⅱ-2-1、表Ⅱ-4-1、表Ⅱ-6-1）。

(3)ハイマツの年枝伸長量

1)経年的な変化

大雪山、北アルプス（立山）、白山、南アルプス（北岳）のそれぞれ2プロットで、過去20年程度のハイマツの年枝伸長量のデータが得られた。年枝伸長量は年変動があるが、全てのプロットで増加傾向にあった（図Ⅲ-1-6、表Ⅲ-1-1）。経年的な変化としては、1998年までは伸長量は比較的小さく、特に1998年は全プロットで小さかった。2000～2010年は伸長量が大い年と小さい年があり、特に2010年は全プロットで小さかったが、2011年は大きくなり、それ以降も比較的大きかった（図Ⅲ-1-6）。



図Ⅲ-1-6 ハイマツの年枝伸長量の経年変化

年枝伸長量の標準化については表Ⅰ-3-3のdハイマツの年枝伸長量を参照

表Ⅲ-1-1 ハイマツの年枝伸長量の経年変化を表す回帰直線($y=bx+a$)の係数と相関係数(r)

サイト	プロット	データ数	傾き(b)	傾きの有意性	y切片(a)※	相関係数(r)	rの有意性
大雪山	黒岳石室	26	0.041	$P<0.001$	-0.60	0.67	$P<0.001$
	赤岳コマクサ平	26	0.046	$P<0.001$	-0.72	0.67	$P<0.001$
北アルプス (立山)	みくりが池	25	0.059	$P<0.01$	-0.71	0.59	$P<0.01$
	別山	25	0.062	$P<0.001$	-0.74	0.63	$P<0.001$
白山	千蛇ヶ池南方風衝地	24	0.041	$P<0.05$	-0.48	0.48	$P<0.05$
	展望歩道	24	0.065	$P<0.001$	-0.77	0.71	$P<0.001$
南アルプス (北岳)	登山道下部	20	0.041	$P<0.05$	-0.52	0.45	$P<0.05$
	登山道中部	20	0.034	$P<0.05$	-0.42	0.44	$P<0.1$

※回帰直線のy切片は1990年の値

2) サイトやプロット間の同調性

ハイマツの年枝伸長量は、国内の異なる地域の山岳間で同調することがある（Sano ら，1977；沖津，1988；Wada ら，2005）。図Ⅲ-1-6 の年枝伸長量について、プロット間の相関関係を調べたところ、同じサイト内のプロット間だけでなく、異なるサイト間でも相関関係があり、ハイマツの年枝伸長量が全国的に同調することが確認された（表Ⅲ-1-2）。

表Ⅲ-1-2 ハイマツの年枝伸長量のプロット間での相関関係

サイト	プロット	大雪山		北アルプス(立山)		白山		南アルプス(北岳)	
		黒岳石室	赤岳 コマクサ平	みくりが池	別山	千蛇ヶ池 南方風衝地	展望歩道	登山道下部	登山道中部
大雪山	黒岳石室	—	—	—	—	—	—	—	—
	赤岳 コマクサ平	0.90 ***	—	—	—	—	—	—	—
北アルプス (立山)	みくりが池	0.65 ***	0.63 ***	—	—	—	—	—	—
	別山	0.63 ***	0.48 **	0.85 ***	—	—	—	—	—
白山	千蛇ヶ池 南方風衝地	0.44 *	0.46 *	0.73 ***	0.68 ***	—	—	—	—
	展望歩道	0.62 ***	0.58 **	0.76 ***	0.68 ***	0.57 **	—	—	—
南アルプス (北岳)	登山道下部	0.59 **	0.60 **	0.70 ***	0.65 **	0.87 ***	0.50 *	—	—
	登山道中部	0.53 *	0.50 *	0.74 ***	0.58 **	0.76 ***	0.54 *	0.67 **	—

*: P<0.05, **: P<0.01, ***: P<0.001

(4) 開花フェノロジー

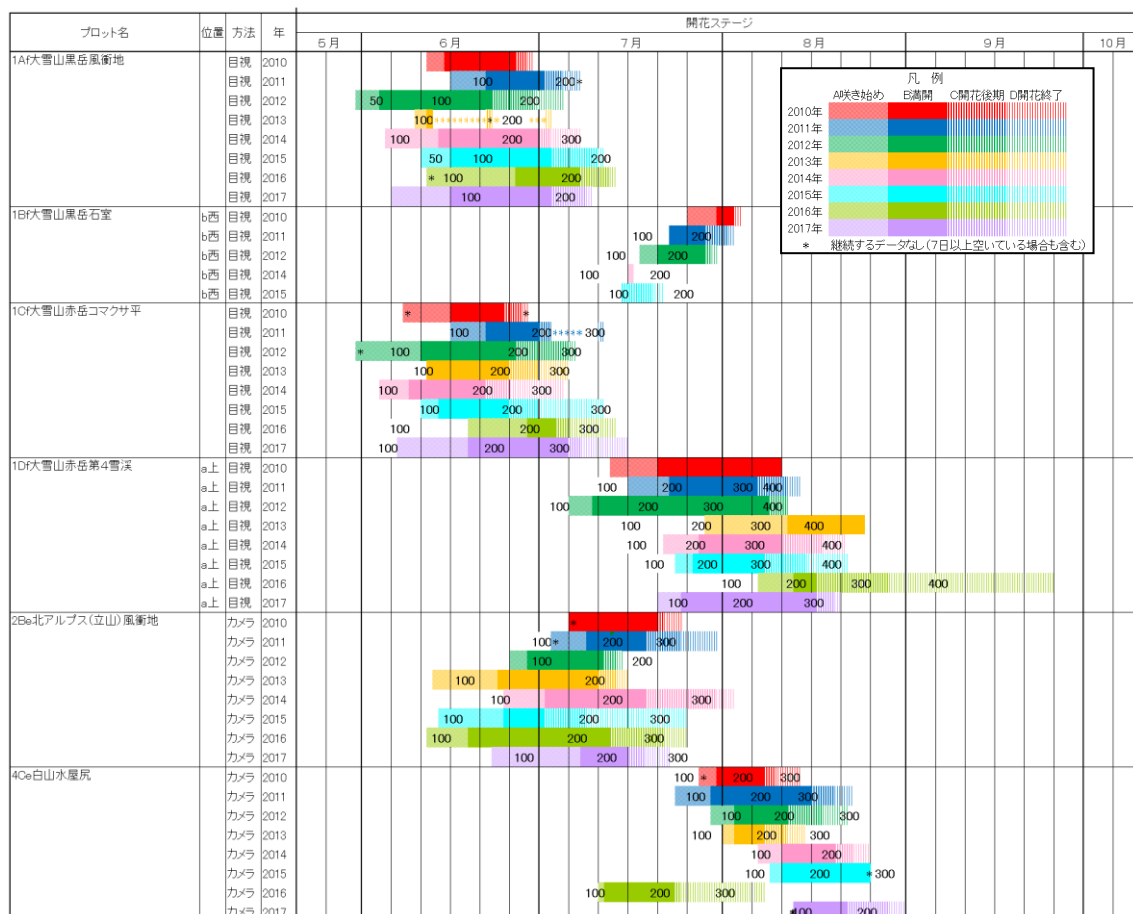
大雪山、北アルプス（立山）、白山、南アルプス（北岳）、富士山サイトの風衝地環境と雪田環境で、様々な種類の植物の開花フェノロジーが把握された。同じサイト内で比較すると、風衝地環境より雪田環境の方が開花が遅く、雪田環境の方が地表面の有効積算温度の上昇が遅いためと考えられる。そこで複数のサイトやプロットで比較的主とまったデータが得られた種類について、開花時期と地表面の有効積算温度の関係を検討した。

ミヤマキンバイ（図Ⅲ-1-7）の例では、風衝地環境である大雪山の黒岳風衝地と赤岳コマクサ平では6月下旬の開花が多く、次いで北アルプス（立山）風衝地では7月上旬の開花が多かった。一方、雪田環境である大雪山の黒岳石室と赤岳第4雪渓では7月下旬から8月頃月上旬、白山水屋尻では8月の開花が多かった。

年変動で特徴的なのは2016年の大雪山の赤岳第4雪渓と白山水屋尻で、前者は例年より遅かったが、後者は例年より早かった。こうした違いは、2016年には大雪山の赤岳第4雪渓では雪解けや地表面の有効積算温度の上昇がこれまでで最も遅かったのに対し、白山水屋尻ではこれらが最も早かったことと一致している（図Ⅱ-1-2，図Ⅱ-4-2）。開花時期の地表面の有効積算温度をみると、サイトやプロット、調査年の違いに関わらず、開花が始まるのは地表面の有効積算温度が100（℃・日）、満開になるのは200（℃・日）、開花終了となるのは300（℃・日）程度であることが多かった（図Ⅲ-1-8）。



図Ⅲ-1-7 ミヤマキンバイ
(2011.7.10／南アルプス(北岳))



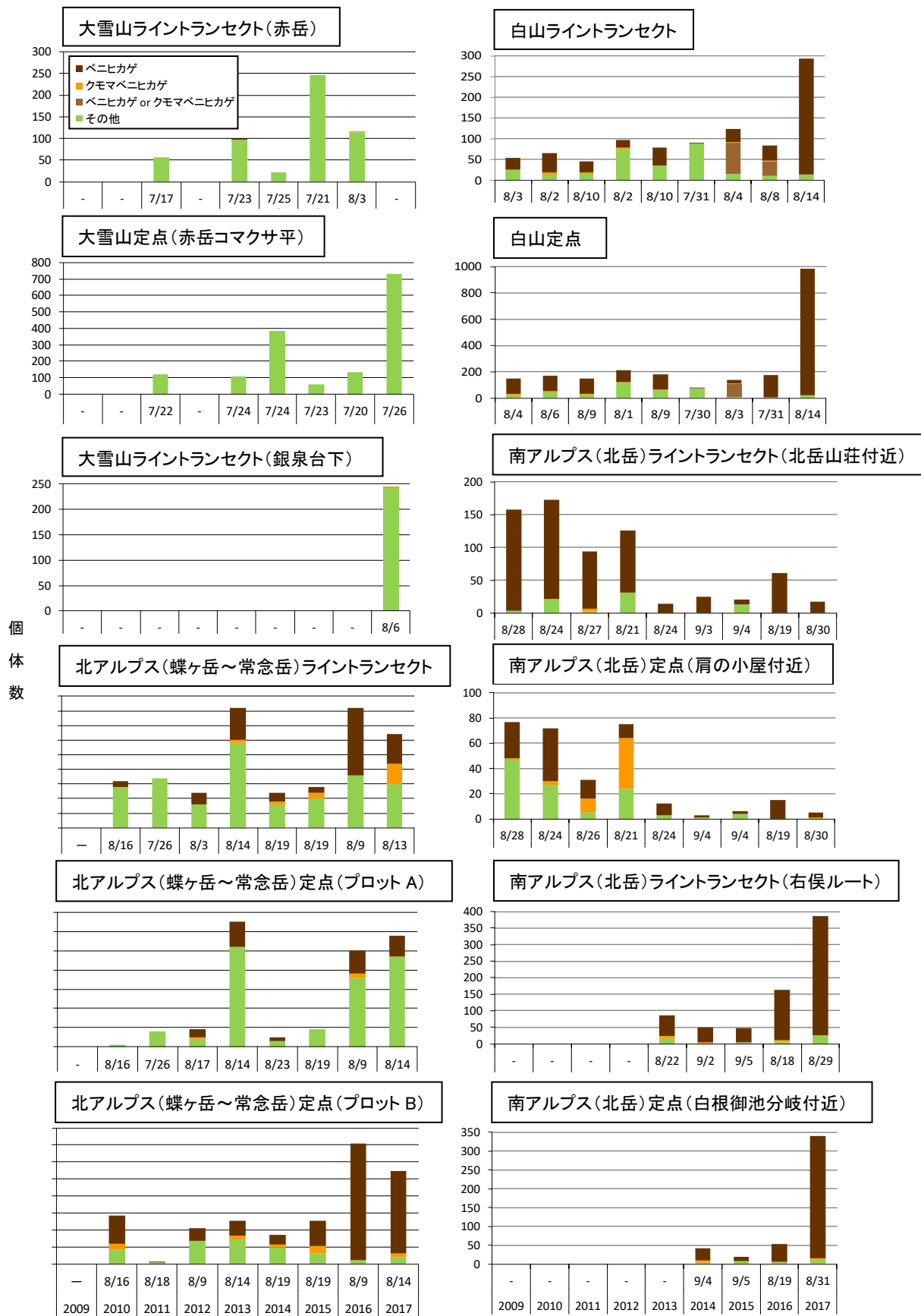
図Ⅲ-1-8 開花フェノロジーと地表面の有効積算温度との関係(ミヤマキンバイの例)
100: 地表面の有効積算温度が 100(°C・日) 以上になった日を示す。他の数字も同じ。

(5) チョウ類

大雪山、北アルプス（蝶ヶ岳～常念岳）、白山、南アルプス（北岳）に共通して分布しているベニヒカゲとクモマベニヒカゲの個体数を図Ⅲ-1-9 に示した。

大雪山では、2017 年に新たに設定したライントランセクト（銀泉台下）を含め、ベニヒカゲとクモマベニヒカゲはごく少なかった。北アルプス（蝶ヶ岳～常念岳）では、ベニヒカゲとクモマベニヒカゲはプロット B で多く、特に 2016 年と 2017 年はベニヒカゲが出現種のほとんどを占めた。白山では、ライントランセクト調査と定点調査ともに比較的安定して確認され、特に 2017 年の定点調査では 1000 個体近くが確認されたが、2014 年はその他の種類は多かったにもかかわらず、ベニヒカゲはわずかであった。南アルプス（北岳）では、天候に恵まれた 2009～2012 年は、北岳山荘付近と肩の小屋付近ともに個体数が多かったが、曇りやガスが出た 2013 年以降は少なかった。これらの年も、標高が低い右俣コースや白根御池分岐点では、より多くの個体が確認され、特に 2017 年には 300 個体以上のベニヒカゲが確認された。

全サイトともにクモマベニヒカゲよりベニヒカゲの方が多かったが、南アルプス（北岳）の肩の小屋付近では 2012 年はクモマベニヒカゲの方が多く、2011 年もベニヒカゲと同程度のクモマベニヒカゲが確認された。北アルプス（蝶ヶ岳～常念岳）の 2017 年のライントランセクトでも、クモマベニヒカゲは比較的多かった。



図Ⅲ-1-9 ベニヒカゲとクモマベニヒカゲの経年変化のサイト間比較

複数回の調査を実施した年については、全個体数が最も多いデータを示した。

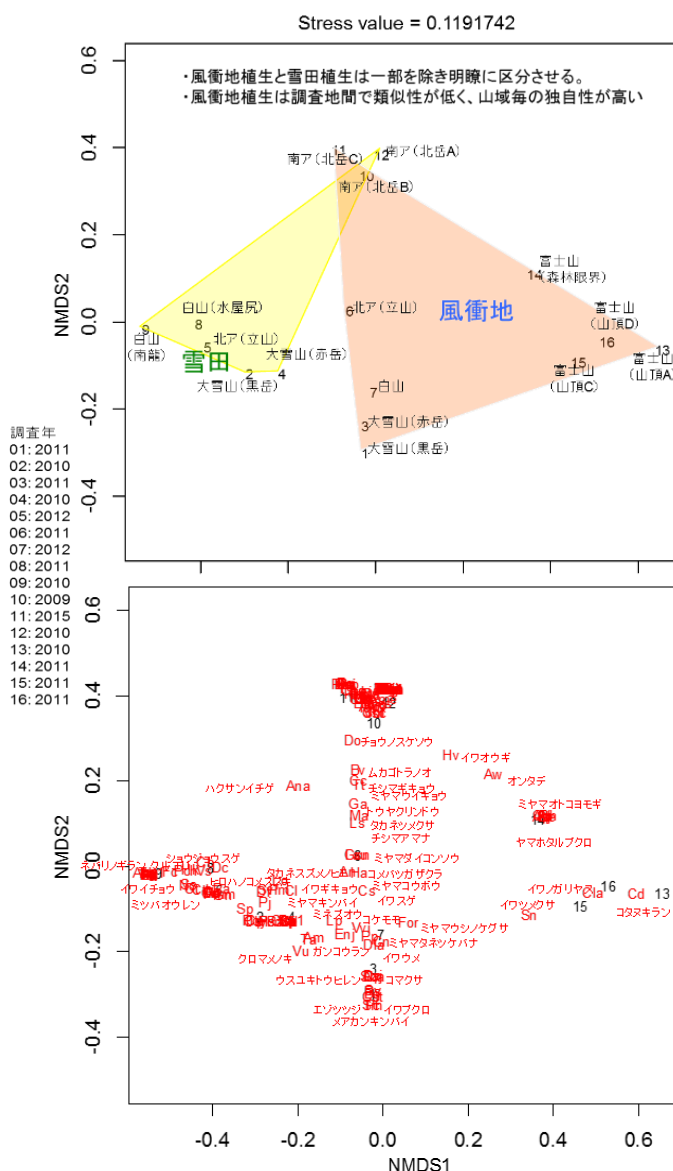
北アルプス(蝶ヶ岳～常念岳)は個体数が非公開情報のため縦軸の数値は示していない。

2. 植生の種組成からみたプロット間の類似性とそれらの経年変化

和田直也（富山大学研究推進機構極東地域研究センター）

(1) サイトやプロット間の違い

これまで述べてきた風衝地や雪田の高山植生は、山域内あるいは山域間で比較すると、どれくらい類似しており、またどの程度山域固有性が高いのであろうか？これらの疑問に答えるためには、得られた植生データを全て対象にして同時に解析する必要がある。大雪山4、北アルプス立山2、白山3、南アルプス北岳3、富士山4の合計16の植生調査区で得られた第1回目の調査結果について、植物種毎の出現頻度を変数に用い、それらの非類似度を基に非計量多次元尺度法(NMDS)により調査区間の類似性を視覚化した。この解析手法は、調査区間で似ているもの同士は近くに、異なっているもの同士は遠くに、二次元(あるいは三次元)空間に配置する方法である。その結果、風衝地と雪田に成立している高山植生は1か所を除き明瞭に区分され(図Ⅲ-2-1)、両生育環境間における植生の大きな違いを確認することができた。さらに詳しく見てみると、6か所の雪田調査区は南アルプス北岳を除くとお互い非常に近い空間に配置されているのに対して、10か所の風衝地調査区は広い空間に分散しており、中でも富士山、南アルプス、大雪山の調査区はそれぞれ互いに離れた空間に配置された。山域内で複数の調査区がある場合、それらの調査区は互いに近い空間に配置された。これらの結果は、1) 植生の類似性は山域内で高い、2) 山域間での植生の類似性は雪田環境で高い、3) 風衝地にいる。富士山ではコタヌキラン・イワノイワブクロ等の植物が各山域の風衝地植は希少種保護の観点から種名を明記できさらに、南アルプスでは風衝地と雪田の高かった。この原因の一つとして、南



図Ⅲ-2-1 全 16 か所の植生データ

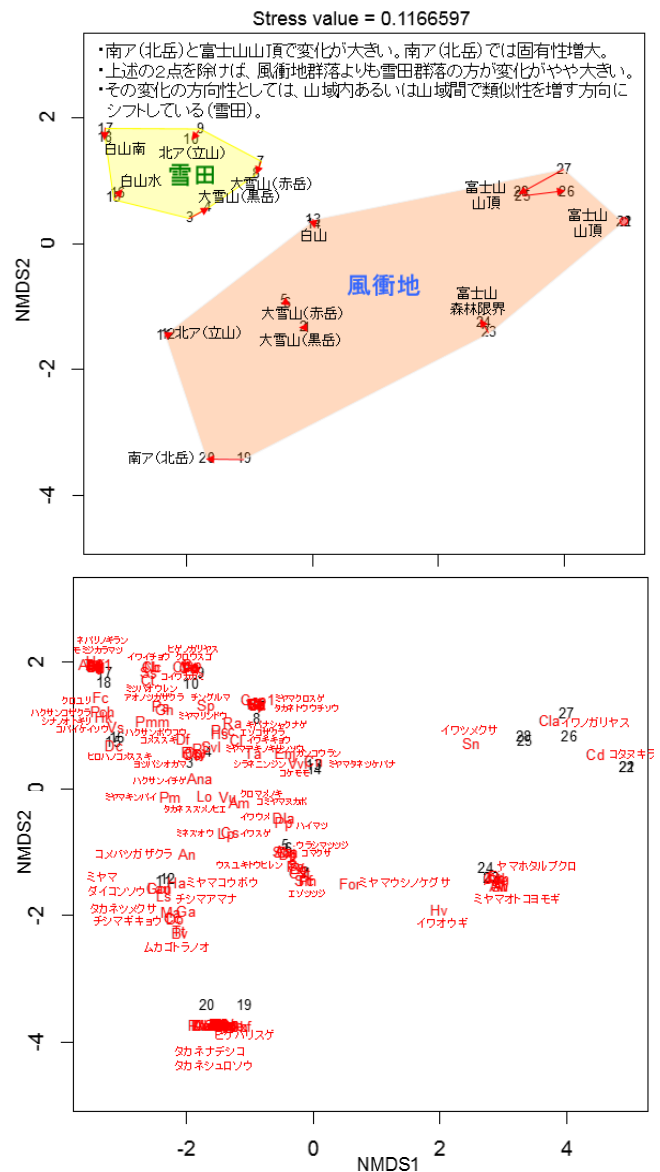
Stress value: 不適合度を示し、0.1 はますます良い。0.2 は悪い。NMDS1.2: 解析で得られた縦軸と横軸。

下図のアルファベット記号は、全調査地に出現した種の NMDS 座標上での位置を示している。各調査地を代表する植物名のみカタカナで示した。

ている風衝地調査区から斜面下部に位置している雪田調査区へ種子が供給されていること、またそれらの定着を可能にする微環境が雪田調査区内に存在していること等が考えられる。

(2)時系列変化

次に、約5年後に2回目の調査を実施した14調査区を対象として、NMDSにより調査区間の類似性及びそれらの時系列変化を解析した(図Ⅲ-2-2)。山域内及び山域間の植生の類似性については、前述した図Ⅲ-2-1で見られた傾向と同様である。時間的な変化について着目すると、富士山と南アルプスの調査区において大きな変化が認められた。これらの調査区、すなわち富士山山頂の2調査区と南アルプスの1調査区を除くと、風衝地環境よりも雪田環境で変化の大きさがやや大きいことが認められた。雪田環境では、同一山域内で類似性が高まる、あるいは山域間で類似性が高まる方向への変化が見られ、調査地間で共通して見られる植物種の出現頻度がやや増加していることがその理由として考えられた。風衝地環境ではほとんど変化を示さない調査区が多くみられた一方で、上述した富士山山頂の2調査区と南アルプスの1調査区では大きな変化を示した。南アルプスでは、風衝地環境としては植被率が低くかつその変化がほぼ見られないものの、地域固有な種の出現頻度の増加が確認されている。従って、NMDSで検出された植生の類似性変化は、調査内の地域固有性が増す方向への変化であると解釈できる。一方、富士山山頂の調査区では、植被率が極めて低く、維管束植物の出現種数も最大で3種と極めて多様性が低い。NMDSのよる空間上では大きな変化を示した調査区が2つ存在しているが、その変化は、調査区内に1つ見られたイワツメクサが消失した、あるいは調査区内にこれまで記録されていなかったイワツメクサが1つ確認されたことによる。本調査区は、出現種数及びその頻度が極めて低いために、僅かな変化でも植生の特徴を大きく変えてしまう性質を持つ。従って、富士山で見られたNMDS空間上の変化は、植生の構造が大きく変わったためではなく、僅かな出現種の変化がこのような解析では強調される傾向にあり、その結果検出されたものと理解できる。



図Ⅲ-2-2 14か所の植生データ時系列変化

Stress value: 不適合度を示し、0.1 はまずまず良い。0.2 は悪い。NMDS1.2: 解析で得られた縦軸と横軸。下図のアルファベット記号は、全調査地に出現した種の NMDS 座標上での位置を示している。各調査地を代表する植物名のみカタカナで示した。

(3)まとめ

以上をまとめると、1) 風衝地と雪田の植生間には同一山域内で比較しても大きな違いが見られ、2) 雪田植生は山域間において類似性が高く、一方で3) 風衝地植生は山域固有性が高いことが示された。さらに、これらの植生の5年間での変化を見ると、4) 雪田植生でやや変化の程度が大きく、山域内あるいは山域間の植生において共通して見られる種の出現頻度がやや増加している傾向にあること、しかしながら5) 一部の風衝地植生では地域固有種の出現頻度が増える傾向にあること等が明らかになった。このような山域内外の共通性や地域性を踏まえつつ、さらにモニタリングを継続することで、変化の方向性が一定であるのか否かを注意することが、気候変動による高山植生への影響を監視する上で重要であろう。

3. 大雪山:高山植物開花フェノロジー目視調査から見てきたこと

工藤 岳（北海道大学地球環境科学研究院）

(1)はじめに

生物の分布や季節性（フェノロジー）の経年変動を記録することは、気候変動が自然生態系に及ぼす影響を予測する上で大変重要である。高山生態系では植物の生育好適期間がもともと短い上に、複雑な地形の影響を受けて積雪期間が場所によって非常に異なるので、高山植物群集の開花時期は気候変動によって大きく変化する可能性がある。多雪環境にある日本の山岳生態系で、気候変動に対する高山植物群集の季節的応答を予測する際に、気温変化に加えて積雪期間の変化を考慮する必要がある。しかし、群集スケールの開花フェノロジーに関するモニタリング調査は、日本の高山生態系ではほとんど行われていない。気温の季節変化が大きい高山生態系では、気候変動が開花フェノロジーに及ぼす影響は一様ではなく、季節の中でも変化すると予測される(Hoyeら, 2013)。また、多様な植物群集がモザイク状に分布する高山植生の開花構造は、高山生態系の基本的構成要素である風衝地環境と雪田環境をセットにして調査することで全容把握が可能になる(工藤, 2000)。

モニタリングサイト 1000 高山帯のコアサイトである北海道大雪山系の赤岳と黒岳では、市民ボランティアグループによる開花フェノロジーの目視調査が行われている。本稿では、2010 年から 2018 年までの 9 年間に渡って集積されたモニタリングデータの解析結果を速報として報告する。

(2)調査地と調査方法

高山植物群集の目視調査サイトは、黒岳の風衝地（標高 1,960m：黒岳風衝地）と雪田（標高 1,890m：黒岳石室）、ならびに赤岳の風衝地（標高 1,840m：コマクサ平）と雪田（標高 1,970m：第4雪渓）の4か所である。コマクサ平では気象観測も行われており、年平均気温は-2.9℃、最寒月（1月）は-17.8℃、最暖月（7月）は12.5℃である（2010～2018年平均値）。雪田プロットの雪解け時期は年変動が大きく、年度間でひと月近くも異なる場合もある。調査を行った9年間では、黒岳石室プロットの雪解けは6月13日～7月10日の間に始まり、完全に雪が消えたのは6月21日～7月18日であった。赤岳第4雪渓プロットの雪解けは6月25日～7月25日の間に始まり、完全に雪が消えたのは7月19日～8月18日であった。

各サイトに10m×20mの固定プロットを設置し、プロット内で開花している禾本類を除く被子植物の開花状況を記録した。開花状況は4区分した開花ステージ（ステージA～D）と3区分した開花量（段階1～3）で判断し（表Ⅲ-3-1）、所定の調査用紙に記録した（モニタリングサイト1000高山帯調査マニュアル参照）。観察を行ったのは2010年から2018年（今後も継続予定）の9年間で、観察期間は風衝地で開花が始まる5月下旬からすべての植物の開花が終了する9月中旬

表Ⅲ-3-1 開花目視調査における開花ステージと開花量の判断基準

開花ステージ	A	咲き始め(蕾がたくさんある。1～5分咲き)
	B	満開(蕾はあまり残っていない)
	C	開花後期(しおれた花が多く見られる)
	D	終了(ちらほらと花が残っている程度)
開花量	1	開花している植物はほんの数株程度(注意して探さないと見落とすくらいの少なさ)
	2	開花植物があちこちに見られる(開花している株は小さく点在している)
	3	開花植物が群生(開花している株が大きい、あるいは小さな株が多数見られる)

までとした。フェノロジーの観察間隔は年や山城により異なるが、毎年概ね 120 日間の生育シーズン中に 30～69 日分のデータが集積されてきた。記録された調査用紙は毎年 10 月に集計され、データベースに登録されている。

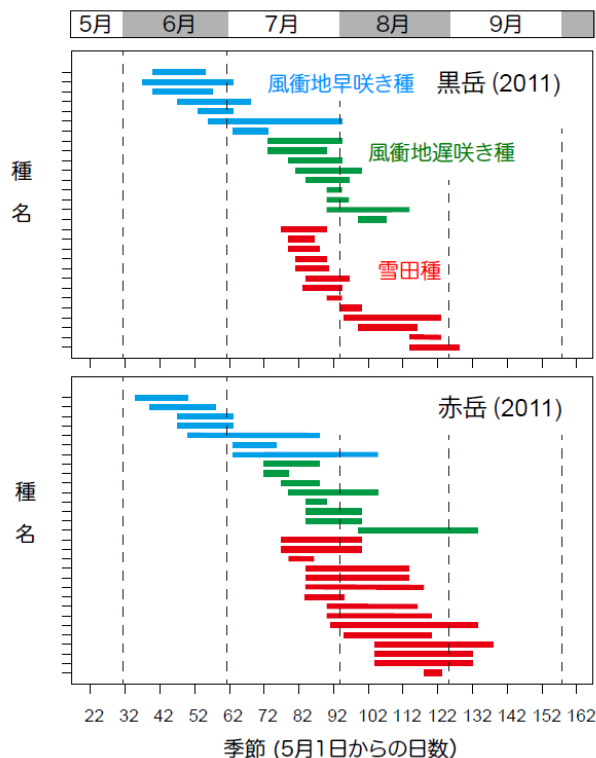
(3)解析方法

各プロットに現れる植物種の開花ステージを調査日に沿って並び替え、各種の開花期間を定量化した。開花期間はステージAからCまでとし、ステージDは少数個体の残花あるいは狂い咲きと見なし、主要開花期間には含めなかった。すなわち、最初に開花が記録された日から最後にステージCが記録された日までを開花期間と見なした。前後の調査票のデータやそれぞれの種の一般的な開花時期から判断して、明らかな誤判定と見なされたデータは除外した。また、開花量が少なく断片的にしかフェノロジー情報が記載されなかった種は、解析から除外した。各プロットで記載された調査対象種は、黒岳風衝地で 16 種、黒岳石室で 15 種、コマクサ平で 16 種、第 4 雪渓で 17 種であった。

得られた各種の開花期間から、各山城で風衝地プロットと雪田プロットをセットにした開花ダイアグラム（花暦）を作成した（図Ⅲ-3-1）。図Ⅲ-3-1

の開花ダイアグラムから分かるように、風衝地植物は6月上旬から7月上旬にかけて開花が始まる早咲きグループと、主に7月中旬以降に開花が始まる遅咲きグループに分けることができる。これは、開花に要する各種の温度要求性の違いを反映している（工藤・横須賀，2012）。温度要求性の違いは気候変動に対する応答性の違いをもたらすと考えられるため、風衝地植物を早咲き種と遅咲き種に分割し、個別に解析を行った。

風衝地早咲き植物、風衝地遅咲き植物、雪田植物の 3 グループについて、開花種数を季節に沿ってプロットし、その季節的变化パターンを一般化線型モデル（ポアソン分布、対数リンク関数、季節の 2 次項を含む）に回帰させ、グループ毎の開花曲線を作成した。得られた開花曲線から各グループの開花開始日（開花種数が 1.0 を超えた日）、開花ピーク日（開花曲線の頂点にあたる日）、開花期間（開花種数が 1.0 以上の期間）を求めた。さらに、地域としての全開花期間（風衝地早咲きグループの開花種数が 1.0 を超えた日から、雪田グループの開花種数が 1.0 を下回った日までの期間）と、開花最盛期（風衝地早咲きグループの開花ピーク日から雪田グループの開花ピーク日までの期間）を求めた（図Ⅲ-3-2）。



図Ⅲ-3-1 フェノロジー調査から得られた赤岳と黒岳サイトの開花ダイアグラムの事例(2011 年の例)

風衝地プロットの植物は、早咲き植物(青)と遅咲き植物(緑)に分類した。雪田プロットの植物は(赤)は一括してグループ化した。このような開花ダイアグラムを毎年作成する。

気温と雪解け日の年変動が植物群集の開花パターンに及ぼす影響を解析するために、各月の日平均気温の積算値（0℃以上の日平均気温の積算）と雪田プロットの雪解け開始日を説明要因とした一般化線型モデル（ガンマ分布、対数リンク関数）を用いて、各グループの開花特性（開花開始日、開花ピーク日、開花期間）ならびに地域全体の開花期間と開花最盛期の応答について解析した。

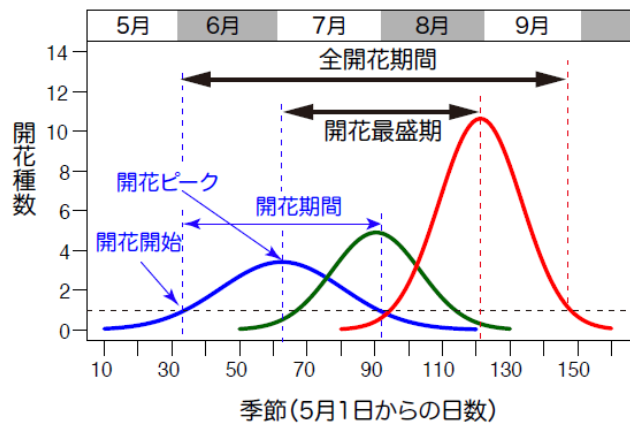
(4) 結果の概要

群集スケールでみた開花フェノロジーの年変動は、風衝地早咲き植物で小さく、雪田植物で大きかった（図Ⅲ-3-3）。風衝地と雪田を合わせた全開花期間は、黒岳で 85～109 日間の範囲で変動し（平均 95 日間）、赤岳で 97～120 日間の範囲で変動した（平均 110 日間）。開花最盛期は、黒岳で 26～54 日間の範囲で変動し（平均 41 日間）、赤岳で 41～60 日間の範囲で変動した（平均 49 日間）。黒岳に比べて赤岳調査地で開花期間が長いのは、赤岳第 4 雪溪の方が黒岳石室雪溪よりも雪解けが遅く、調査プロット内でゆっくりと雪解けが進むために、雪田群集の開花開始が遅く開花期間が長いためである。雪田群集の開花ピーク日の平均は石室で 8 月 2 日であったのに対し、第 4 雪溪では 8 月 15 日であった。

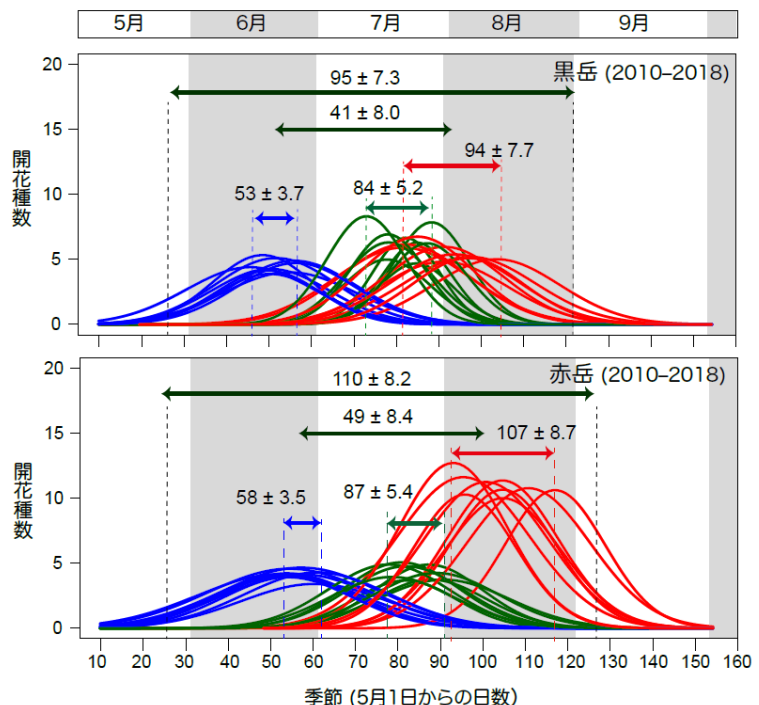
一般化線型モデルによって明らかとなった、開花フェノロジー特性の決定要因を開花グループ毎に要約すると、以下の通りである（全体的な傾向は表Ⅲ-3-2 に要約）。

1) 開花開始日: 風衝地早咲き植物の開花開始日は温度とは無関係で年変動が小さかったが、風衝地遅咲き植物は 5～6 月の積算温度と負の相関があり、この間の温度が高いほど開花開始は早まる傾向があった。一方で、雪田植物の開花開始日は、雪解け時期のみによって決定されていた。すなわち開花開始に作用する要因は、グループ間で異なっていた。

2) 開花ピーク日: 風衝地早咲き・遅咲き両グループの開花ピーク



図Ⅲ-3-2 開花ダイアグラムより作成した開花曲線の例
風衝地早咲きグループ(青)、風衝地遅咲きグループ(緑)、雪田グループ(赤)それぞれについて、開花開始時期、開花ピーク時期、開花期間を求めた。さらに地域スケールの全開花期間と開花最盛期を求めた。



図Ⅲ-3-3 黒岳サイトと赤岳サイトの 9 年間(2010～2018 年)の開花曲線
群集スケールのフェノロジー特性として、各グループの開花ピークの年変動と、地域全体の全開花期間ならびに開花最盛期を矢印で示した(平均値±標準偏差)。

は、5～6月の積算温度と負の相関が見られた。雪田植物の開花ピークは、8月の積算温度と負の相関があり、雪解け時期と正の相関があった。すなわち、雪田植物の開花時期は雪解けのタイミングに強く依存するが、どのグループでも温度上昇により開花の進行が促進されることを示している。

3) 開花期間：風衝地早咲き・遅咲き植物を合わせた風衝地群集の開花期間は、5月～7月の積算温度と負の相関が見られた。また、雪田植物では8月の積算温度と負の相関が見られたが、雪解け時期は開花期間には影響していなかった。すなわち群集レベルの開花期間は、風衝地でも雪田でも気温上昇に伴い短縮傾向にある。

風衝地と雪田を合わせた全開花期間は気温とは無相関であり、雪解け時期と正の相関が見られた。すなわち、雪解けが遅いほど地域全体の開花期間は長くなる。風衝地早咲き植物の開花開始日は温度とは無相関だったので、地域全体の開花期間は雪田植物の挙動によって決定されることが分かる。一方で、風衝地早咲き植物の開花ピークから雪田植物の開花ピークまでの開花最盛期は、雪解け時期に加えて、5～7月の積算温度とも正の相関が見られた。温暖環境下では風衝地植物の開花進行が早まり、開花ピーク日が早い季節へとシフトするためである。

表Ⅲ-3-2 各植物グループならびに群集スケールの開花フェノロジーに作用する環境要因

風衝地早咲き植物グループ	開花開始日	温度（5月の積算温度）とは無相関
	開花ピーク日	5～6月の積算温度と負の相関
風衝地遅咲き植物グループ	開花開始日	5～6月の積算温度と負の相関
	開花ピーク日	5～6月の積算温度と負の相関
雪田植物グループ	開花開始日	雪解け日と正の相関
	開花ピーク日	雪解け日と正の相関、8月の積算温度と負の相関
風衝地の開花期間		5～7月の積算温度と負の相関
雪田の開花期間		8月の積算温度と負の相関、雪解け日とは無相関
地域の総開花期間		雪解け日と正の相関、温度とは無相関
地域の開花最盛期間		雪解け日と正の相関、5～7月の積算温度と正の相関

赤岳のデータに基づいたモデル推定によると、平均気温が1℃上昇すると風衝地群集の開花期間は現在（平均 83 日）よりも約6日間短縮されるが、雪田植物群集の開花期間は現在（平均 71 日）に比べてわずか1日の短縮に留まると予測された。また、1℃の気温上昇と10日間の雪解け早期化が同時に起きた場合には、雪田植物群集の開花ピーク日は現在よりも10日早まると推定された。地域全体の開花最盛期は気温のみの変動を考慮した場合と、雪解け時期の変動を考慮した場合では大きく予想が異なる。1℃の気温上昇の場合、雪解け時期が変わらないとすると開花最盛期は現在（平均 47 日間）よりも5日間延長されるが、雪解け時期が10日間早まると現在よりも7日間短縮されるという予測が得られた。すなわち、雪解け時期が変化しない場合は、風衝地群集でのみ開花の進行が促進されるため、雪田群集の開花時期との開きが大きくなると予測される。一方でもし温暖化により融雪時期が早まるならば、雪田群集の開花進行が促進され、高山生態系全体の開花シーズンは短縮されることが考えられる。従って、温暖化による開花期間への影響は、温度と雪解け時期の両方の影響を考慮することが重要である。

(5)まとめ

9年間に渡って集積された目視フェノロジーデータの解析により、気候変動に対する高山植物群集の開花フェノロジー応答の全容が見えてきた。気温上昇に伴う直接的なフェノロジー促進作用は風衝地群集で顕著であり、温暖化によって風衝地植物の開花時期はシーズン前半に集中し、開花期間は短縮される。これに対して雪田群集の開花時期は雪解け時期によって決まる。もし温暖化によって雪解けが加速される場合には、雪田群集の開花時期も早い季節へとシフトし、高山生態系全体の開花期間は短縮される。一方で、温度上昇と雪解け時期が連動しない場合には、温暖化によって風衝地群集の開花時期は促進されるが雪田群集の開花は同調的には変化せず、生育シーズン半ばに開花植物種数が減少する2山形の開花パターンが起こる可能性もある (Aldridge ら, 2011)。このような群集スケールの開花構造の変化は、花粉媒介昆虫との相互作用を通じて植物の種子生産や訪花昆虫の群集動態にも影響が及ぶ可能性がある (Kudo, 2016)。今後も開花フェノロジーのモニタリングを継続すると共に、フェノロジー構造の改変が生態系機能に及ぼす効果についても評価していく必要がある。

謝辞

本モニタリングは、アース・ウィンド横須賀邦子代表をはじめとする多くのボランティア会員の多大な協力によって継続されています。ここに深く感謝します。

4. 高山帯チョウ類の調査からみた過去 10 年間のチョウ類群集構造の変化と高山チョウのベニヒカゲの個体数の年次変動

中村寛志（ミヤマシジミ研究会）

(1) 高山のチョウ類群集の構造変化

1) 低標高種の侵入

モニタリングサイト 1000 高山帯調査においてチョウ類調査の目的は、環境変化が高山生態系に及ぼす影響の指標として、高山蝶の出現数の変化と低標高性の種の侵入と増減を把握することにある。ここでは低標高性の種の侵入と増減の把握について、グループ別 RI 指数という手法を使って中部山岳域の 3 サイト（蝶ヶ岳、北岳、白山）のデータ解析を試みた。

調査全期間を通してこの 3 サイトで確認されたチョウは 32 種であった（表Ⅲ-4-1）。そのうち本来は平地の市街地や郊外・河畔に生息しているチョウ（浜ら, 1996）が 6 種確認された。まずモンシロチョウは、白山では 2011 年と 2013 年にそれぞれ 1 個体、北岳では 2018 年に 1 個体記録された（図Ⅲ-4-1）。モンキチョウは 3 サイトともに記録されているが、蝶ヶ岳ではデータとして記録されている以外にも目撃されており（図Ⅲ-4-2）、同じ *Colias* 属である高山チョウのミヤマモンキチョウへの影響が懸念される。また 2018 年に北岳の右俣コースで 5 個体のモンキチョウを確認した。個体数から判断して標高 2,200m の二俣付近で定着して発生している可能性がある。ほかにベニシジミ（図Ⅲ-4-3）、スジグロシロチョウ、ヒメアカタテハ、イチモンジセセリ（図Ⅲ-4-4）が記録されている。このうちイチモンジセセリは蝶ヶ岳と北岳のお花畑ではほぼ毎年記録されており、高山を越えて移動するチョウとして知られている。

平地性の種の確認個体数は少なく増減の傾向をとらえるまでには至っていないが、モンキチョウの幼虫は平地ではシロツメクサなどを食草としているが、イワオウギなど高山性のマメ科の植物も食草とするため、山地の草原にもみられる。このチョウの地理的分布は東アジアから中緯度地帯を通過してヨーロッパまで達している低地性のチョウである。したがって高山帯でのモンキチョウの個体数推移は、温暖化による

表Ⅲ-4-1 高山帯の 3 サイトの調査で確認されたチョウのグループ分け

グループ	種名	地理的分布型**	白山	蝶ヶ岳	北岳
高山チョウ	クモマベニヒカゲ	シベリア型	○	○	○
	ベニヒカゲ	ウスリー型	○	○	○
	タカネヒカゲ	シベリア型		○	○
	コヒオドシ	シベリア型		○	○
	ミヤマモンキチョウ	シベリア型		○	
亜高山帯・高原のチョウ	エルタテハ	シベリア型	○	○	○
	キベリタテハ	シベリア型	○	○	○
	クジャクチョウ	シベリア型	○	○	○
	ギンボシヒョウモン	シベリア型		○	○
	コヒョウモン	シベリア型		○	○
	ヒメキマダラヒカゲ	日本型	○	○	
	クロヒカゲ	中華型		○	
低標高種	オナガアゲハ	中華型		○	
	ルリタテハ	マレー型			○
	アカタテハ	汎熱帯型	○	○	○
	シータテハ	シベリア型	○		
	ヒオドシチョウ	所属未定		○	○
	タテハチョウの 1 種*		○		
	サカハチチョウ	ウスリー型	○		
	ベニシジミ	シベリア型	○	○	
	ミドリヒョウモン	シベリア型		○	
	ウラギンヒョウモン	シベリア型	○		
	ヒョウモンチョウ類*		○	○	○
	ヤマキマダラヒカゲ	日本型	○		
	モンキチョウ	シベリア型	○	○	○
	ヤマトスジグロシロチョウ	日本型	○	○	○
	スジグロシロチョウ	ウスリー型	○		
	モンシロチョウ	シベリア型	○		○
山頂占有・移動性種	アサギマダラ	マレー型	○	○	○
	イチモンジセセリ	ヒマラヤ型		○	○
	キアゲハ	シベリア型	○	○	○
	ヒメアカタテハ	汎熱帯型	○	○	○
	カラスアゲハ	中華型	○		
	ミヤマカラスアゲハ	中華型	○	○	○
計			23	25	20

*: 特定の種ではないが解析データに含めた

**：松本（2006）による

○：確認されたことを示す



図Ⅲ-4-1 モンシロチョウ
（北岳二俣, 2018.8.18）



図Ⅲ-4-2 モンキチョウ
（蝶ヶ岳, 2018.8.5）

高山生態系への影響を評価する指標となる可能性がある。

2)チョウのグルーピング

特定の1種を指標種にするのではなく、調査したチョウ類群集全体の構造変化を把握するため、まず調査で確認したチョウを生息域、地理的分布型、行動生態から以下のように4グループに分類した(表Ⅲ-4-1)。

*グループA(高山チョウ)

調査マニュアルにある対象(指標種)の高山チョウ。

*グループB(亜高山帯・高原のチョウ)

地理的分布型の分類ではシベリア型に属するクジャクチョウ、キベリタテハ、エルタテハは長野県では標高1,000m以上の高原に生息しており、標高2,500mを超える高山のお花畑にまで吸蜜に来る飛翔力の強い種。またオニシモツケを食草とするコヒョウモンやイブキトラノオを食草とするギンボシヒョウモン、また亜高山の樹林帯のササ類を食草とするヒメキマダラヒカゲ(図Ⅲ-4-5)とクロヒカゲ。これらの種は高山帯に生息するチョウではないが、高山帯調査では比較的よく確認される。これらのチョウをまとめて亜高山帯・高原のチョウグループとした。

*グループC(低標高種)

生息域は平地または低山地で、高山帯調査では稀に記録されるグループ。

*グループD(山頂占有・移動性種)

キアゲハのようにヒルトップ種といわれている山頂で占有行動を示す種と飛翔力が強く高山を超えていくアサギマダラやミヤマカラスアゲハ、また移動する性質があるイチモンジセセリとヒメアカタテハを含むグループ。

3)グループ別 RI 指数法

上述した4グループの出現種数と個体数の年次変化を数量化して比較することによって、高山帯の調査で得られたチョウ類群集の構造変化を把握することができる。ところが高山帯のチョウ類のデータは、調査時の天候の影響を大きく受けるためにばらつきが大きい。そこで調査時の気候条件のばらつきをマスクするため、個体数データを5段階の順位変数(0:いない、1:1~2個体、2:3~9個体、3:10~29個体、4:30個体以上)に変換して計算できるRI指数を用いた。この指数は、ある地域でS種の昆虫を対象に調査を行い、種(i)ごとにM段階(0、1、2...M-1)で個体数の多少を表現するランク値(Ri)を与えると、

$$RI = \sum Ri / \{S \cdot (M - 1)\}$$

で求められる。RI指数の値は0~1の範囲の値をとり、1に近いほど種数・個体数ともに多いことを表す。このRI指数を調査年ごとに4つのグループ別に求めて、その値の年次変化からチョウ類の群集構造の解析するグループ別RI指数法(中村・豊嶋, 1999)を用いた。



図Ⅲ-4-3 ベニシジミ
(蝶ヶ岳, 2018.8.5)



図Ⅲ-4-4 イチモンジセセリとタカネナデシコ
(北岳, 2009.8.28)



図Ⅲ-4-5 ヒメキマダラヒカゲ
(蝶ヶ岳, 2018.8.5)

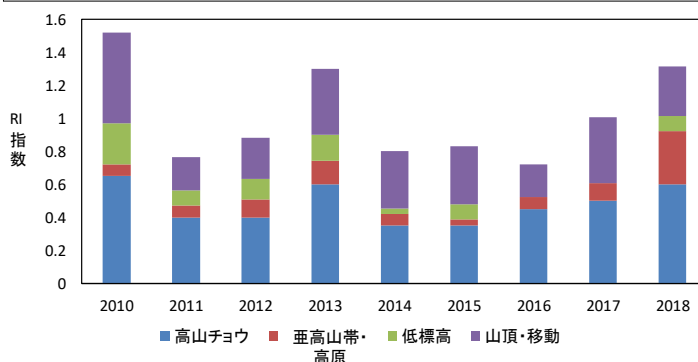
4) 蝶ヶ岳のデータ解析

蝶ヶ岳で2010年～2018年に得られたライントランセクト調査1プロット(3Bg)と定点調査2プロット(3Ch、3Dh)の合計3プロット分のデータをもとに、全種のRI指数とグループ別RI指数を算出した(表Ⅲ-4-2)。確認種数と個体数の少なかった2011、2012、2014、2015年はいずれも天候が良くなかった影響がデータに現れており、従って全種を対象としたRI指数の値が他の年に比べて0.1～0.2と低い値を示している。一方、2016年のRI指数は調査時は晴天であったにもかかわらず0.150と極めて低かったのは、全確認個体数233個体のうちベニヒカゲが173個体、ミヤマモンキチョウが49個体で、この2種で95%を占めており、多様度の低いデータであったためである。

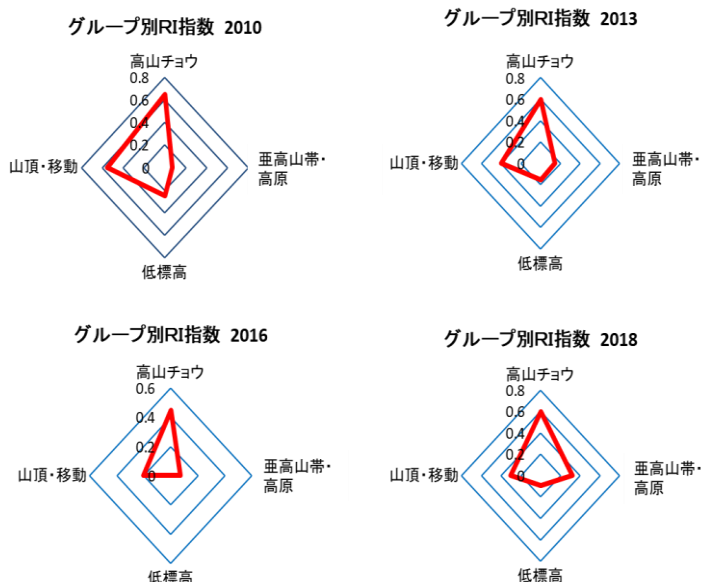
グループ別RI指数の計算結果を積み上げグラフで示した(図Ⅲ-4-6)。これを見ると年次によって種数や個体数のばらつきがあっても4グループのRI指数の値の割合は一定の傾向を示しているといえる。すなわち2010年から2013年まではほぼ同じ割合の傾向を示している。しかし、2016年頃からクジャクチョウなどのシベリア型タテハチョウと山地性ジャノメチョウ種を含む亜高山帯・高原のチョウの割合が増えてきている傾向が見てとれる。特に2018年は亜高山の樹林帯に生息しノリウツギなどで吸蜜するヒメキマダラヒカゲが、稜線のお花畑に多くみられるようになった。このような傾向は、年ごとにグループ別RI指数をレーダーチャートで表現すると視覚的にとらえることができる(図Ⅲ-4-7)。ここでは特徴的な2010、2013、2016、2018年のレーダーチャートを示した。2018年には亜高山帯・高原のチョウの値が大きくなり、2010、2013年のチャートの形と比較してチョウ類の群集構成が変化しているのが読みとれる。今回示したようなチョウ類の群集構造の変化の兆候が、温暖化による影響かどうかは今後の検討すべき大きな課題である。

表Ⅲ-4-2 蝶ヶ岳(3Bg+3Ch+3Dh 合計値)のデータから算出したグループ別RI指数の計算結果

調査年	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
天候	晴れ	曇り・ガス	晴れ・ガス	晴れ	曇り・ガス	曇り	晴れ	曇り	晴れ
種数	17	10	11	13	9	9	8	8	13
個体数	167	47	63	157	52	74	233	199	306
全種のRI指数とグループ別RI指数									
RI(Total)	0.340	0.170	0.200	0.290	0.170	0.180	0.150	0.210	0.300
高山チョウ	0.650	0.400	0.400	0.600	0.350	0.350	0.450	0.500	0.600
亜高山・高原のチョウ	0.071	0.071	0.107	0.143	0.071	0.036	0.071	0.107	0.321
低標高種	0.250	0.094	0.125	0.156	0.031	0.094	0.000	0.000	0.094
山頂占有・移動性種	0.550	0.200	0.250	0.400	0.350	0.350	0.200	0.400	0.300



図Ⅲ-4-6 グループ別RI指数の年次変化(蝶ヶ岳 3Bg+3Ch+3Dh 合計値)



図Ⅲ-4-7 蝶ヶ岳(3Bg+3Ch+3Dh 合計値)のグループ別RI指数のレーダーチャート

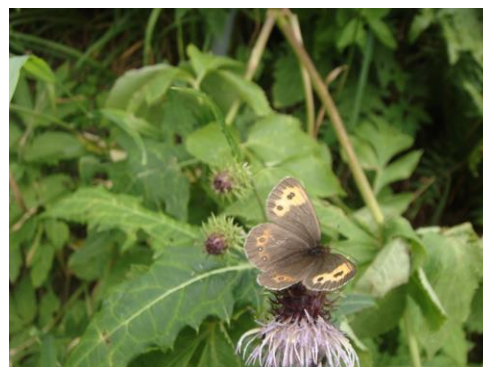
(2)高山チョウの出現数の変化

1)天候とチョウの出現数

高山チョウの出現数の変化については、2015 年の速報トピックスでロジスティック回帰を使った評価の方法を紹介した。ここでは北岳肩の小屋お花畑の定点（5Kh）での 2018 年までのベニヒカゲ（図Ⅲ-4-8）の調査データを使って出現数の変化の解析を試みた。

北岳肩の小屋の定点調査の結果をみると、年次によって出現ベニヒカゲの個体数は大きく変動していた。例えばベニヒカゲの 30 分間の平均目撃個体数は 5.7 個体（2012 年）のときもあれば 0.3 個体（2014 年）と少ないときもあった。チョウの活動は天候に大きく影響されるため、この実測データをそのまま用いたのでは、実際の発生個体数の年次変動を正確に把握することができない。

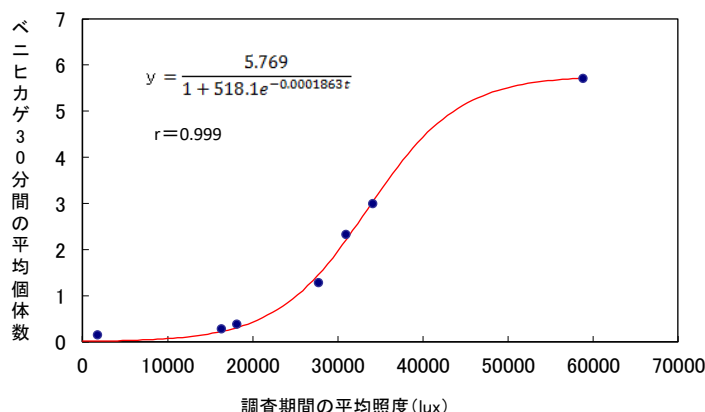
ベニヒカゲの活動と気候条件との関係はいろいろな報告があり、有本・中村（2007）による肩の小屋お花畑での日周活動の観察データでは、1 時間ごとのベニヒカゲ出現個体数とその時の照度との間には 0.949 という高い相関関係がみられたことを報告している。



図Ⅲ-4-8 ベニヒカゲ
(北岳, 2009.8.27)

2)ロジスティック式による変動評価の方法

そこで北岳肩の小屋付近のお花畑における 2009 年から 2014 年までの 6 年間の定点観察データを使って調査日の 8:00 から 14:00 の平均照度と、ベニヒカゲの 30 分あたりの平均目撃個体数との関係を分析した。その結果、直線回帰の相関係数は 0.953 となり強い正の相関があることがわかった。さらにロジスティック回帰では相関係数 0.999 の良好な近似式が得られた（図Ⅲ-4-9）。この数式を用いて年ごとに観察値にばらつきがあるベニヒカゲのデータから、次の 2 つの仮定を設けて照度の影響を除いて、同じ照度（30,000lux）に換算したベニヒカゲ



図Ⅲ-4-9 ベニヒカゲ個体数と照度とのロジスティック回帰(北岳 5Kh 定点の 2009～2014 年のデータ)

の推定個体数を算出する。

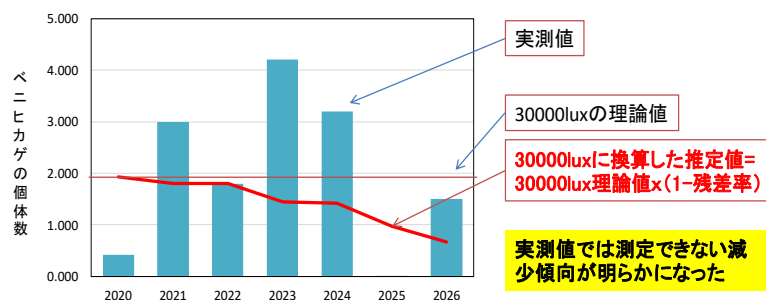
仮定 1：ロジスティック回帰式を調査年ごとの平均照度と平均個体数の関係のものさし（基準）とする。

仮定 2：実測値とものさしからの理論値との残差率を照度の影響を除いた年次変動とする。次いでその残差率を使って実測値を照度 30,000lux 時に換算した推定個体数を求める。

表Ⅲ-4-3 実測値から年次変動を予測するためのモデルデータによる計算例

年度	観測平均照度	実測平均個体数値O	理論値E	残差率A =(E-O)/E	30000luxの理論値B	30000luxに換算した推定値 B×(1-A)
2020	20000	0.500	0.428	-0.168	1.964	2.295
2021	35000	3.300	3.272	-0.009	1.964	1.981
2022	30000	1.800	1.964	0.084	1.964	1.800
2023	60000	4.200	5.728	0.267	1.964	1.440
2024	40000	3.200	4.435	0.279	1.964	1.417
2025	2000	0.008	0.016	0.504	1.964	0.975
2026	40000	1.500	4.435	0.662	1.964	0.664

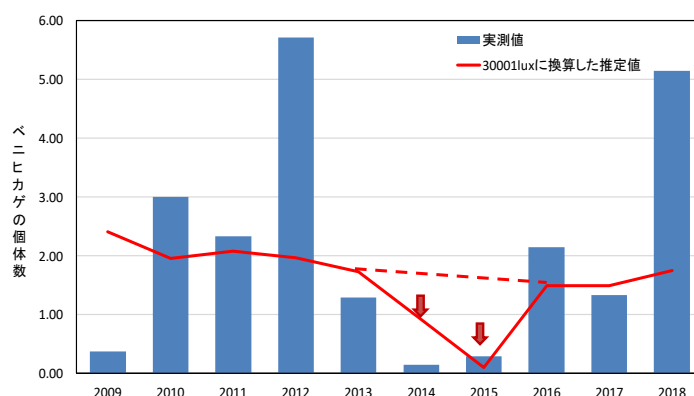
実際のデータを処理する前に、モデルデータ（表Ⅲ-4-3）を使って評価を試みた例を図Ⅲ-4-10に示した。この結果をみると年によって大きなばらつきがあった実測値では評価できなかったベニヒカゲ個体数の減少傾向が明らかになったことがわかる。



図Ⅲ-4-10 実測値とロジスティック式を使って実測値を30000luxに変換した値

3) 北岳肩の小屋お花畑定点(3Kh)におけるベニヒカゲの年次変動評価の試み

上述した方法で2009年から2018年までの調査データを使って北岳肩の小屋定点におけるベニヒカゲの10年間の年次変動の評価を試みた（図Ⅲ-4-11）。実測データでは、好天に恵まれた2012年と2018年では30分当たりの確認個体数が多く、反対に観測期間中にガスが出て平均照度が20,000luxを下回っている2009年と2014年ではほとんど記録されていない。このように年によって大きなばらつきがある実測値も、上述した方法で照度の影響を除いた推定値に換算すると折れ線グラフのようになった（図Ⅲ-4-11）。



図Ⅲ-4-11 調査年の天候（照度）の影響を除外したベニヒカゲの年次変動（北岳肩の小屋前のお花畑定点 5Kh）

2014年は天候が非常に悪く平均照度が1,700luxであったが、11時ごろに一時的に太陽が射したため飛翔したベニヒカゲを1個体確認した。この値の影響で30,000luxに換算した推定値は18.4個体と異常な値を示した。そのためこの年の推定値はプロットせず、2013年と2015年を結んだグラフとした。また2015年は平均照度が76,971luxにも関わらずベニヒカゲの確認個体数が少なく、換算推定値は0.097個体となった。これはこの年の調査日が9月4日と例年より少し遅かったのに加え、この年はベニヒカゲの発生と山頂付近のお花畑開花時期が早く、肩の小屋定点のお花畑では既に花の時期は終了していた。そのため晴天にもかかわらずベニヒカゲの確認個体数が少なかったから推定値が低い値になったといえる。

これらのことを考慮すると、2013年から2016年へ直線を引いて（図Ⅲ-4-11中の破線）年次変動を検討できると考えられる。これより2009年から2018年にかけてのベニヒカゲの発生数はほぼ横ばいで変動がないか、あるいは少し減少傾向にあると推測することができる。今回は10年間のデータから調査時の照度の影響を除く方法で、発生数の変化の評価を試みた。しかし、高山帯のチョウ類調査においては、ばらつきの少ないデータをいかにしてとるかが依然として大きな課題として残っている。今後この回帰分析の精度をもっとあげるためには、照度以外にもデータに影響を与える要因の除去が必要であると考えられる。そのためには、チョウ類の個体数は年によって発生のピークが異なることもあるため、季節変動も考慮に入れた解析手法を開発することや照度以外の気象要因と活動個体数の関係、また個体群の持つ固有の変動などについてデータを蓄積して解析を進めていく必要があるといえる。

5. 高山帯における地表徘徊性甲虫類の特徴と変化予測

平松新一（石川県白山自然保護センター）

(1)はじめに

高山に生息する地表徘徊性甲虫類は翅が退化している種が多く、環境選択性が強いと考えられている（Hiramatsu & Nisikawa, 2018）。そのため、環境変化には鋭敏で、長期観測によって地表徘徊性甲虫類の変動を知ることは、生物全体の変化予測へもつながるため、モニタリングには適当なグループである。モニタリングサイト 1000 高山帯調査では、白山サイトで地表徘徊性甲虫類の調査が行われている。白山サイトにおける調査地点は標高 2,070m の南竜ヶ馬場（雪田植生群落）、標高 2,450m の水屋尻（雪田植生群落およびハイマツ林）、標高 2,570m の千蛇ヶ池池南方風衝地（風衝荒原群落）の 3 環境 4 プロットである。雪田植生群落で 2 プロットを選定しているのは、異なる標高で調査することによって、標高による種構成の違いや温暖化の進行に伴う生物の応答の違いをモニタリングするためである。

なお、本結果をまとめるにあたって、適当な採集時期を検討するために調査を 2 回行った 2009 年については個体数が多く記録されたときの結果を用い、各年 1 回の調査結果を比較した。また、ハイマツ林調査地では 2010 年から調査を行っているが、2010 年は調査方法が異なるため、2011 年からの結果を用いて検討した。

(2)白山サイトにおける地表徘徊性甲虫類の特徴

2009 年から 2017 年までの 9 年間の調査を通して確認されたのはオサムシ科 16 種、シデムシ科 2 種、ハネカクシ科 4 種、コメツキムシ科 3 種の合計 25 種である（表Ⅱ-4-4）。ここで記録されたほとんどの種は白山では亜高山帯以上を中心に生息しており、ブナ帯より低地では確認されていない（高羽, 1998）。とくに、チビゴミムシ属の一種、シロウマミズギワゴミムシ、およびミヤマゴモクムシは白山では高山帯だけで記録されている種で（高羽, 1998 ; 平松, 2000, 2008）、このうちミヤマゴモクムシは記録も少ない。オンタケナガチビゴミムシも、亜高山帯以上の地域の河原や雪溪などの湿潤な場所での記録が数例あるだけで（平松, 2008）、ミヤマゴモクムシ同様に石川県レッドリストに掲載された。このように極めて限定された環境にいる一方で、調査地域全体に分布する種も存在する。キタクロナガオサムシ（図Ⅲ-5-1）は亜種レベルで環境省自然環境局野生生物課希少種保全推進室（2019）などの数件のレッドリストに記載されており、石川県でも 2010 年のレッドデータブックには準絶滅危惧種として記載されていたが、同種は今回の調査でもすべての調査プロットで記録され、さらに白山の亜高山帯以上の地域に広くかつ多く生息することが確認された（平松ら, 1999 ; 平松, 2008）。



図Ⅲ-5-1 キタクロナガオサムシ

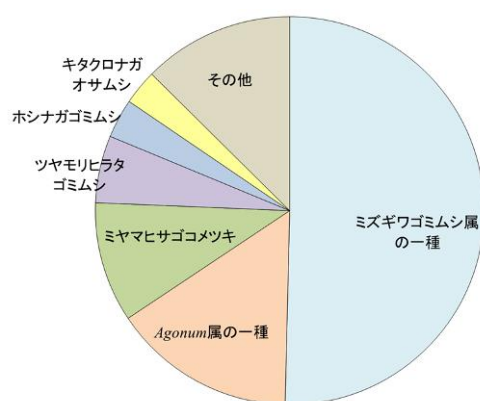


図Ⅲ-5-2 ミズギワゴミムシ属の一種



図Ⅲ-5-3 Agonum 属の一種

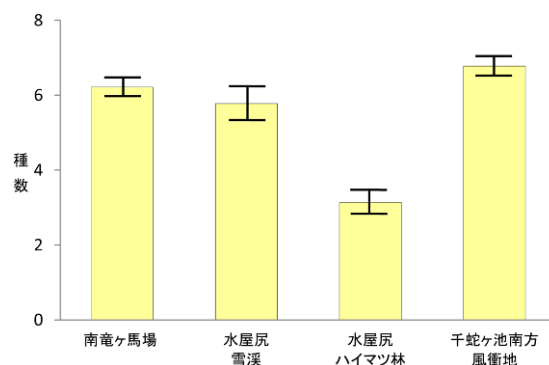
本調査を通して最も多く採集されているのはミズギワゴミムシ属の一種（図Ⅲ-5-2）で、全体の50%を占めていた。この種は湿潤な環境を好み、雪田植生群落だけでなく風衝荒原群落でも多数採集されている。*Agonum* 属の一種（図Ⅲ-5-3）（全体の15%）、ミヤマヒサゴメツキ（全体の10%）がこれに続き多いが、これらも雪田植生群落で多い。これら上位3種で総個体数の75%を占めており（図Ⅲ-5-4）、このことは白山サイトの地表徘徊性甲虫類は少数種が極端に優占した種構成であることを示唆している。



図Ⅲ-5-4 白山サイトにおける地表徘徊性甲虫類の個体数割合

(3) 地表徘徊性甲虫類の環境ごとの特徴

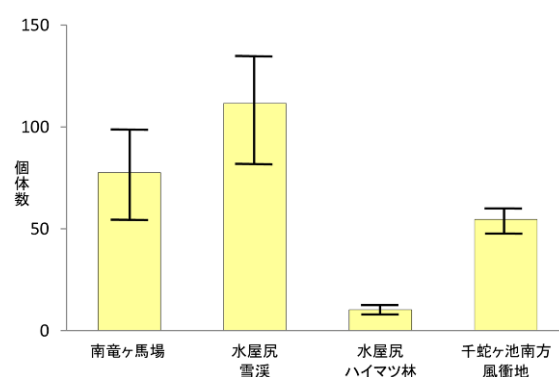
これまでの調査でプロットごとに採集された地表徘徊性甲虫類の年平均記録種数は、南竜ヶ馬場 6.2 種、水屋尻・雪溪 5.8 種、水屋尻・ハイマツ林 3.1 種、千蛇ヶ池南方風衝地 6.8 種と水屋尻・ハイマツ林では少なかった（図Ⅲ-5-5）。また、個体数については年平均値で、南竜ヶ馬場 77.6 個体、水屋尻・雪溪 111.6 個体、水屋尻・ハイマツ林 10.3 個体、千蛇ヶ池南方風衝地 54.7 個体と水屋尻・雪田で多く、水屋尻・ハイマツ林で少なかった（図Ⅲ-5-6）。水屋尻雪溪とハイマツ林のプロットは隣接しているが、環境が異なっているため出現種数や個体数は大きく異なっていた。



図Ⅲ-5-5 白山サイトにおける地表徘徊性甲虫類の平均採集種類数
図中の縦軸の範囲は標準誤差を示す。

環境が異なるプロット間の群集構造を解析するために、図Ⅱ-4-8 に示したそれぞれのプロットの種ごとの個体数を用い、プロット間の群集構造を2次元に図示した（図Ⅲ-5-7）³。

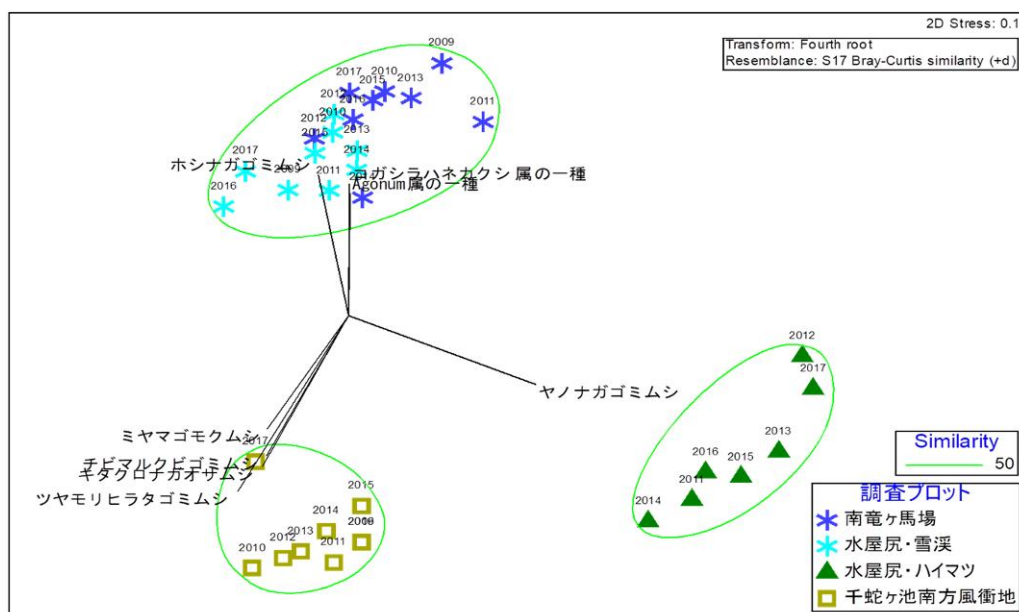
この図によると、群集構造は調査プロットごとにまとまっていた。さらに、南竜ヶ馬場と水屋尻・雪溪は、調査位置は離れているが、同じ雪田植生群落であるため地表徘徊性甲虫類の種組成は類似していた。一方、水屋尻・雪溪と水屋尻・ハイマツ林は、調査位置は近接するが、種構成は全く異なっていた。これは、前者がチングルマやアオノツガザクラなどの矮小低木が優占した開けた環境、後者がハイマツの優占する樹冠が地表を覆う閉鎖的な環境で、土壌水分含量や地表面温度などの環境条件も大きく異なっているためと考えられる。



図Ⅲ-5-6 白山サイトにおける地表徘徊性甲虫類の平均採集個体数
図中の縦軸の範囲は標準誤差を示す。

環境を代表する種として、雪田植生群落ではホシナガゴミムシ（図Ⅲ-5-8）、*Agonum* 属の一種（図Ⅲ-5-3）、コガシラハネカクシ属の一種、ハイマツ

³ 統計ソフト Primer-7（PRIMER-e 社製）を用い、Bray-Cruitis 指数を利用して NMDS 法（非計量的多次元尺度法 non-metric multi-dimensional scaling：多次元尺度法の一つ）による多変量解析を行った。



図Ⅲ-5-7 白山サイトにおける地表徘徊性甲虫のプロット間の群集構成



図Ⅲ-5-8 ホシナガゴミムシ



図Ⅲ-5-9 ヤノナ
ガゴミムシ



図Ⅲ-5-10 チビマ
ルクビゴミムシ



図Ⅲ-5-11 ツヤモ
リヒラタゴミムシ

林ではヤノナガゴミムシ（図Ⅲ-5-9）の寄与度が高かった。風衝荒原ではキタクロナガオサムシ（図Ⅲ-5-1）、チビマルクビゴミムシ（図Ⅲ-5-10）、ツヤモリヒラタゴミムシ（図Ⅲ-5-11）、ミヤマゴモクムシの寄与度が高かったが、このうちキタクロナガオサムシは風衝地だけでなく、他の生息地でも記録されることがあり、亜高山帯以上の地域で比較的多く生息している種である。一方、本調査で最も多く出現していたミズギワゴミムシ属の一種は、雪田と風衝荒原の2種類の環境で多く出現していたために、植生を代表する種とはならなかった。

図Ⅲ-5-7 からは、経年的に一方向へ向かったり、他の環境に近づいたりするなどの経時変化傾向は認められなかった。このことから、現時点では白山サイトにおける地表徘徊性甲虫類の群集構成はどの環境でも安定しているということがいえる。

個体数はプロットごとに異なる年次変動を示していた（図Ⅱ-4-8）。雪田植生では個体数の変動が最も大きい。南竜ヶ馬場では2009年度が最も多く、その後減少していたが、同じ雪田植生でも水屋尻・雪渓では2012年および2013年に再び増加していた。一方、千蛇ヶ池南方風衝地では雪田ほどの変化はなかったが、2013年と2017年に個体数が増加していた。水屋尻・ハイマツ林では、2011年以降個体数は全体を通して少なかった。このように、いずれの生息地でも年次ごとの増減はあるものの個体数の変化傾向は認められなかった。

(4) 地表徘徊性甲虫類の変化予測

高山生態系は環境変化の影響を受けやすい地域である。また、前述のように高山地域の地表徘徊性甲虫類は生息地選択性が強いので、本結果をもとに温暖化に伴う地表徘徊性甲虫類群集の変化を予測することができる。

雪田植生群落は雪渓消失時期の早期化、雪渓自体の消滅などにより、高山帯の中でも温暖化の影響を受けやすい環境である。そのため、雪田を代表する *Agonum* 属の一種、ホシナガゴミムシ、コガシラハネカクシ属の一種は温暖化によって減少、絶滅する可能性がある。さらに、雪渓が消失し乾燥化が進めばササ類やハイマツがそこに侵入し、その結果ヤノナガゴミムシなどハイマツ林を代表する種が侵入することが予想される。また、現時点ではその影響は見られないが、標高の低い南竜ヶ馬場など亜高山帯にある雪田植生では、高山帯より早く温暖化の影響が及ぶと考えられる。

風衝地は高山帯に特有の環境で、裸地が多く、そこにまばらに生育している矮小低木パッチを一時的避難所や生活場所として地表徘徊性甲虫類が生息していることが予想されている (Hiramatsu & Nisikawa, 2018)。今後、温暖化によって風衝荒原が高温、乾燥化し、矮小低木が生育できない環境になれば、ここに特異的に生息するチビマルクビゴミムシ、チビゴミムシ属の一種やミヤマゴモクムシなどは、地域的に絶滅することが予想される。

ハイマツ林は、これまで土壌水分の多かった雪田植生や湿原の乾燥化により、生育場所を広げることが予想される。その結果、ヤノナガゴミムシなどハイマツ林を中心に生息している種は、ハイマツの進出とともに分布を広げることになるだろう。その一方、積雪の減少によってハイマツが冬季雪面から露出することにより、凍害で枯死する可能性がある。その影響が続けば、ハイマツ林自体が減少、消失し、そこに生息する地表徘徊性甲虫類にも影響が及ぶと考えられる。

低地性種の侵入にも注視する必要がある。例えば、キタクロナガオサムシの近縁種であるクロナガオサムシは、白山では標高数百mの低山地から標高 2,200m 程度まで分布しているのが確認されている (平松ら, 1999)。亜高山帯でクロナガオサムシはキタクロナガオサムシと同所的に分布しており、その数も多い。今後の温暖化の進行によって、クロナガオサムシがさらに高所に進出し、キタクロナガオサムシの分布へ影響を及ぼす可能性も否定できない。

(5) おわりに

モニタリングサイト 1000 の目的は長期継続的に調査を行うことで生物種の変化データを収集することである。高山帯は脆弱な環境であり、わずかな変化を見出すことが将来起こりうる環境変化に対する警鐘となる。今後も調査を継続することにより、その変動傾向を注視することが重要である。

6. マルハナバチと高山植物群集の季節性の不一致

工藤 岳（北海道大学地球環境科学研究所）

井本 哲雄（モニタリングサイト 1000 高山帯調査員）

(1) はじめに

気候変動に対する生物の季節応答は生物種によって様々であり、同じ種でも生育場所によって異なる。相互作用している生物種間の季節性（フェノロジー）の不一致は、これまでの種間関係が干渉されることによって生態学的な影響が生じる可能性がある。このようなフェノロジカルミスマッチは、花粉媒介者（ポリネーター）と植物のように共生関係のある送粉系ネットワークを攪乱し、生態系機能を低下させる恐れがある（Hegland ら, 2009）。一方で、気候変動に対するフェノロジー改変がフェノロジカルミスマッチを引き起こすかどうかについては様々な見解があり、一般的な予測は難しいのが現状である（Forrest, 2015）。

植物の生育期間が短く、開花時期が雪解けに強く規定されている高山生態系では、高山植物群集とポリネーター間にフェノロジカルミスマッチが起こりやすいと考えられる（Kudo, 2016）。マルハナバチ類は高山生態系で最も重要なポリネーターであり、マルハナバチの季節活性は高山植物の受粉成功に強い影響を及ぼす（Mizunaga & Kudo, 2017）。従って、気候変動によってマルハナバチの季節活性と高山植物群集の開花時期にずれが生じれば、花資源に依存しているマルハナバチにとっても、受粉をマルハナバチに依存している多くの高山植物にとっても不利益となり、高山生態系の送粉系機能は大きく損なわれることになる。しかし、長期モニタリングに基づく高山植物群集の開花フェノロジー変動とマルハナバチの季節活性の同調性については、これまでほとんど研究されていないため、高山生態系の送粉系にフェノロジカルミスマッチが起こるかどうかについての報告はわずかである（Kudo, 2016）。

モニタリングサイト 1000 高山帯調査では、2011 年より大雪山系の赤岳と黒岳調査地でマルハナバチのモニタリングが行われている（工藤・井本, 2012）。この調査の主目的は、特定外来生物であるセイヨウオオマルハナバチの高山帯への侵入を監視することであり、調査は毎年1～2回、7月下旬～8月下旬にかけての好天時に行うこととなっている。しかし大雪山赤岳調査地では、高山植物の全開花シーズンである5月末から9月中旬まで、定期的にマルハナバチ調査を行ってきた。2018 年まで8年間に渡って集積されたマルハナバチのデータと、もう一つのモニタリング項目である開花フェノロジー目視調査によって得られた高山植物群集のフェノロジーデータを用いて、高山植物群集とマルハナバチ類のフェノロジーの同調性について解析を行った。

マルハナバチの季節活性は、その生活サイクルと大きく関係している。単独で越冬した女王バチは越冬後に営巣を始め、働きバチを生産する。働きバチが羽化すると、マルハナバチの訪花活性は急激に高まる。働きバチの個体数増加に伴いコロニーは発達して夏に最大となる。その後、コロニーからオスバチと新女王バチが生産され、季節進行と共にコロニーは衰退していく。大雪山系の高山帯において、越冬明けの女王バチが出現するのは例年5月末～6月初旬であり、この時期にマルハナバチ数は一時的に増大する（Mizunaga & Kudo, 2017）。しかし、その後の営巣期にマルハナバチの訪花活性は著しく低下し、6月中旬から7月前半にかけてマルハナバチの訪花頻度は低い状態が続く。7月中旬以降に働きバチが羽化し始めると、訪花活性は急速に高まる。8月は一般的に訪花活性が最大になり、8月後半になるとオスバチや新女王バチが出現する。9月になり気温が低下すると訪花活性は低下し、9月中旬頃に活動は終了する。

マルハナバチのこのような生活サイクルを反映し、訪花活性が高い働きバチの重要な採餌場所となるのが雪田植物群集である。大雪山の高山植物群集は大きく分けると風衝地群集と雪田群集で構成されている。開花が早くから始まる風衝地群集は越冬後の女王バチの主要な花資源となり、

コロニー発達に大きく貢献するのが雪田群集である (Kudo, 2014)。本報告書で別途紹介した開花フェノロジー報告でも明らかになったように、風衝地群集の開花時期は比較的年変動が小さいのに対して、雪解けのタイミングによって開花時期が規定されている雪田群集では年変動が大きい傾向がある。従って、気候変動によって大きくフェノロジーが改変される可能性が高いのは、雪田群集である。このような観点に基づき、本解析では雪田群集の開花フェノロジー変動と7月以降に現れる働きバチならびにオスバチと新女王バチを含めたマルハナバチ類の訪花活性との同調性について検討した。

(2) 調査方法

赤岳調査地でのマルハナバチモニタリングは、登山道起点の銀泉台（標高 1,490m）からコマクサ平（標高 1,650mの風衝台地）を経て、赤岳第4雪渓（標高 1,845m）に至る約 3.4 km のルートである。このルートを一定の速度で移動しながら、確認できる範囲（概ね 5 m）でマルハナバチと訪花植物の記録を行った。モニタリングは5月末から9月中旬にかけて毎年、11～18 回行った。本解析で用いたのは6月下旬以降のデータで、調査途中で降雨・濃霧・強風などで訪花頻度に影響があると判断したものを除外した9～16 回分のデータを用いた。

雪田群集の開花フェノロジー調査は、赤岳第4雪渓で行った。第4雪渓は赤岳で最も遅くまで雪が残る場所であり、かつプロット内の雪解けがゆっくりと進むので、この地域の典型的な雪田群集の開花構造を有している。ここには 20m×10mの固定プロットがあり、開花期間中を通して頻繁に開花フェノロジーの目視調査が行われている。プロット内に開花している植物の開花状況を4ステージで記録し、開花の季節推移を調べた。調査を行った8年間では、第4雪渓プロットの雪解けは6月25日～7月25日の間に始まり、完全に雪が消えたのは7月19日～8月18日であった。詳しくは、本報告書 68～72 頁の「大雪山：高山植物開花フェノロジー目視調査から見えてきたこと」を参照して欲しい。

(3) 解析方法

マルハナバチ類に関しては、シーズンを通して記載された種組成から、エゾオオマルハナバチ、エゾヒメマルハナバチ、エゾナガマルハナバチの3種が全体の78～100%を占めていたので（表Ⅲ-6-1）、これら3種について訪花活性の季節性に関する解析を行った。各調査年に観察日（5月1日からの日数）に沿ってマルハナバチ観察数をプロットし、その季節パターンを一般化線型モデル（ポアソン分布、対数リンク関数、観察日の二次項を含む）に回帰させ、訪花活性の季節変化

表Ⅲ-6-1 6月下旬以降に赤岳調査地で観察されたマルハナバチ各種のカウント数と構成割合

年	エゾオオマル ハナバチ	エゾヒメマルハ ナバチ	エゾナガマル ハナバチ	アカマルハナ バチ	エゾトラマル ハナバチ	セイヨウオオ マルハナバチ	総観察数
2011	216 (53.5%)	68 (16.8%)	32 (7.9%)	84 (20.8%)	4 (1.0%)	0 (0%)	404
2012	125 (21.5%)	141 (24.3%)	300 (51.6%)	12 (2.1%)	1 (0.2%)	1 (0.2%)	581
2013	399 (45.4%)	235 (26.8%)	154 (17.5%)	87 (9.9%)	1 (0.1%)	2 (0.2%)	878
2014	653 (60.2%)	254 (23.4%)	115 (10.6%)	62 (5.7%)	0 (0%)	0 (0%)	1084
2015	85 (19.5%)	218 (50.1%)	101 (23.2%)	30 (6.9%)	0 (0%)	1 (0.2%)	435
2016	88 (56.4%)	33 (21.2%)	33 (21.2%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	156
2017	181 (39.9%)	138 (30.5%)	97 (21.4%)	37 (8.2%)	0 (0%)	0 (0%)	453
2018	326 (73.6%)	34 (7.7%)	23 (5.2%)	59 (13.3%)	0 (0%)	0 (0%)	442

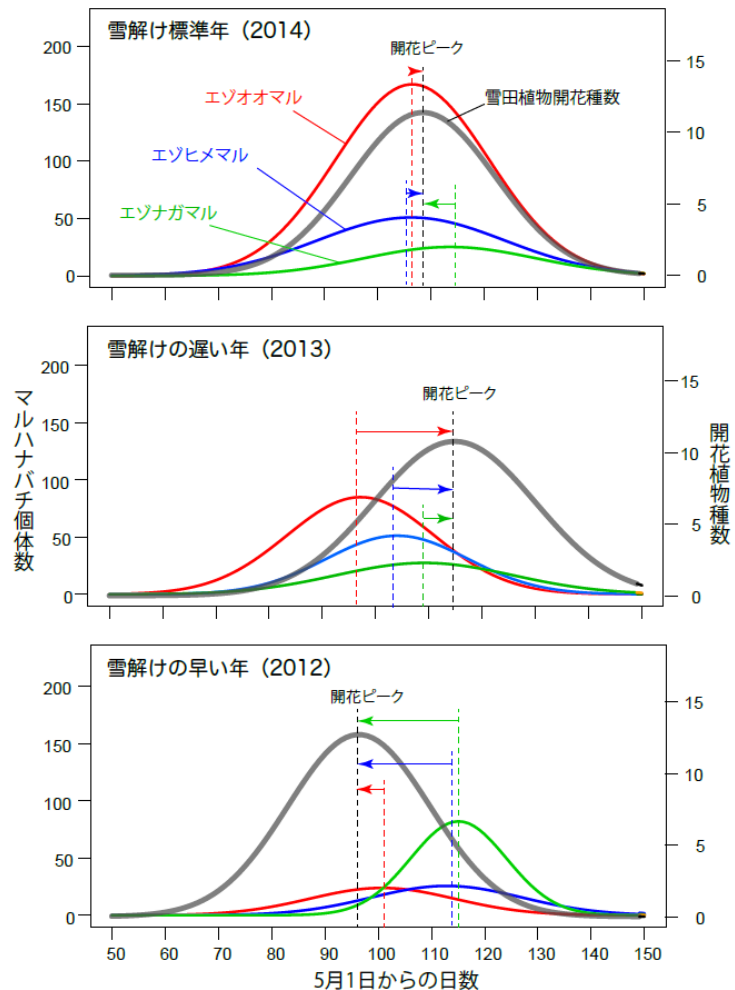
を定量化した。得られた個体数変化曲線から訪花活性ピーク日（個体数変化曲線の頂点にあたる日）を求めた。また、その時の推定個体数をその年の活性ピーク時の個体数（最大個体数）とした。

雪田群集の開花パターンを定量化するために、開花種数を観察日に沿ってプロットし、その変化パターンを一般化線型モデル（ポアソン分布、対数リンク関数、観察日の二次項を含む）に回帰させ、開花曲線を作成した。得られた開花曲線から開花ピーク日（開花曲線の頂点にあたる日）を求めた。

フェノロジカルミスマッチは、マルハナバチの訪花活性ピーク日と開花ピーク日の差として定量化した。活性ピーク日が開花ピーク日より先に来るときにはミスマッチの値は負となり、開花ピークの後に来るときには正の値となる（図Ⅲ-6-1）。開花ピーク日とミスマッチの値との相関をピアソンの積率相関係数で検定を行った。

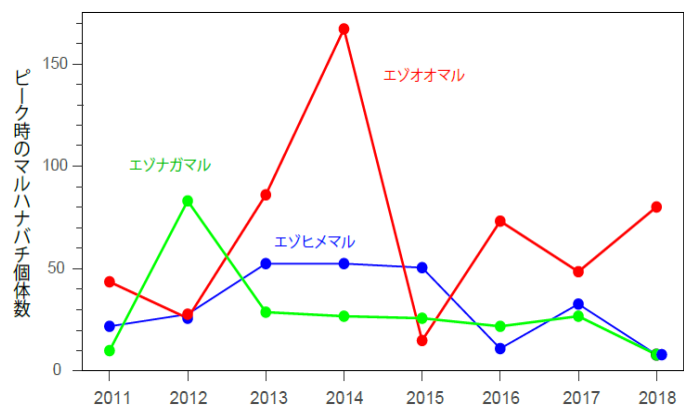
（4）得られた結果

8年間の調査で6種類のマルハナバチ類が確認された（表Ⅲ-6-1）。特定外来生物であるセイヨウオオマルハナバチは2012年、2013年、2015年にそれぞれ1頭、2頭、1頭が確認されたが、その後は確認されていないので、本地域への侵入は一時的なものであったと判断できる。調査期間を通して最も個体数が多いのはエゾオオマルハナバチ（以降エゾオオマル）で、ついでエゾヒメマルハナバチ（以降エゾヒメマル）とエゾナガマルハナバチ（以降エゾナガマル）であった。これら3種の優劣順位は年によって変動し、2012年はエゾナガマルが最も多く、2015年はエゾヒメマルが最も多かった。アカマルハナバチの頻度は年によって変動し、最も高かったのが2011年の21%であったが、2016年には全く確認されなかった。エゾトラマルハナバチは赤岳高山帯では希であり、2011～2013年に数頭が確認されただけである。



図Ⅲ-6-1 主要マルハナバチ3種の訪花活性ピーク日と雪田群集の開花ピーク日との関係

標準的な雪解け年(2014年)は訪花活性と開花ピークは一致するが、雪解けの遅い年(2013年)や早い年(2012年)はミスマッチが生じる。



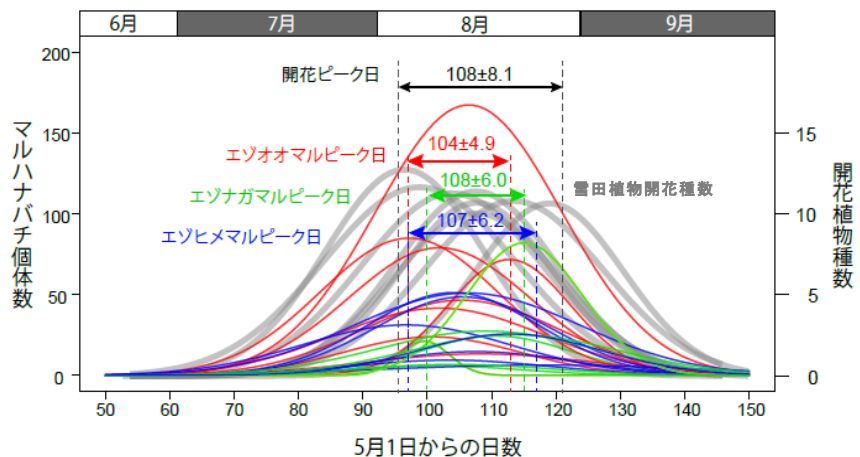
図Ⅲ-6-2 訪花活性ピーク時の主要マルハナバチ3種の観察個体数の年変動

主要マルハナバチ 3 種の訪花活性ピーク時の個体数変動を図Ⅲ-6-2 に示す。最優占種のエゾオオマルは個体数の年変動が激しく、最も多かった年（2014 年の 167 頭）と少なかった年（2015 年の 13 頭）では 10 倍以上の違いがあった。エゾヒメマルのピーク個体数は 20～50 頭あたりで比較的安定しているが、2016 年と 2018 年は 10 頭以下と極端に少なかった。エゾナガマルは 2012 年に非常に多く（82 頭）、それ以外は 30 頭以下であった。マルハナバチ類の個体数年変動は種間で同調性は見られなかった。これは、マルハナバチの個体数変動を引き起こしている要因（例えば気温や花資源量の変動に対する感受性など）が種間で異なることを示唆している。

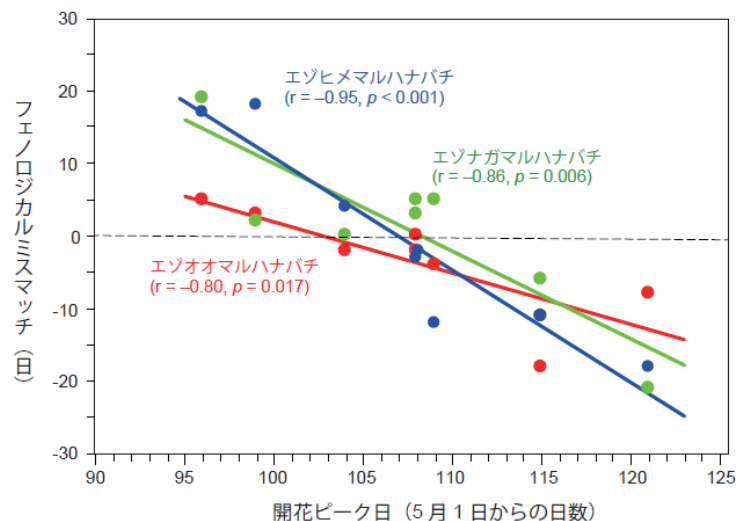
主要マルハナバチ 3 種の訪花活性ピーク日と雪田群集の開花ピーク日の年変動を図Ⅲ-6-3 に示す。エゾオオマルの活性ピーク（8 月 12 日）は他 2 種より 3～4 日早く、年変動は 3 種の中で最も小さかった（エゾオオマルの標準偏差は 4.9、エゾヒメマルは 6.2、エゾナガマルは 6.0）。これに対して、雪田群集の開花ピーク日は年変動が大きく（平均 8 月 16 日、標準偏差 8.1）、最も早かったのが 2012 年 8 月 4 日、遅かったのが 2016 年 8 月 29 日であった。

マルハナバチの活性ピーク日と開花ピーク日のミスマッチは、開花ピーク日と関連していた（図Ⅲ-6-1）。平均的な開花が見られた 2014 年（開花ピーク 8 月 16 日）は、いずれのマルハナバチ種とも活性ピークがほぼ一致していたのに対し、雪解けが異常に早く開花が最も早かった 2012 年には活性ピークは 5～19 日も遅れた。

一方で、雪解けが遅く開花もゆっくり進んだ 2013 年は、活性ピークは開花ピークよりも 6～18 日早かった。開花ピーク日とミスマッチの大きさにはいずれのマルハナバチ種でも明瞭な相関関係が見いだされた（図Ⅲ-6-4）。しかしその傾向は種によって異なり、エゾヒメマルは最も敏感に開花時期変動の影響を受けたのに対して、エゾオオマルの感受性は比較的低かった。つまり、エゾオオマルは高山植物の開花期変動によってフェノロジカルミスマッチが引き起こされる危険性が、他の 2 種に比べて低いと考えられる。



図Ⅲ-6-3 主要マルハナバチ 3 種の訪花活性の季節性と雪田群集の開花パターンの年変動
開花ピーク並びに活性ピーク日の平均値と標準偏差を示す。矢印は年変動のレンジを示す。



図Ⅲ-6-4 雪田群集の開花とマルハナバチ主要 3 種の訪花活性とのフェノロジカルミスマッチ(マルハナバチの訪花活性ピーク日と開花ピーク日とのずれ)の関連性
相関係数と有意水準を示す。

(5)まとめ

マルハナバチは高山生態系で大変重要なポリネーターであり、雪田植物の花資源に強く依存している。8年間のモニタリングにより、活動ピーク時の個体数は毎年大きく変動し、その変動パターンは種間で同調性がないことが明らかとなった。

マルハナバチの季節活性は年変動が見られるが、雪田群集の開花時期の変動はさらに大きい。そのため、開花ピークとマルハナバチの活性ピークの同調性は、雪田群集の開花時期に大きく影響される。雪解けが早く開花が早まった年には、マルハナバチの出現ピークは開花ピーク以降に現れる。このような状況は、植物にとっては十分な受粉が行われずに種子生産の低下につながり、マルハナバチにとっては花資源不足でコロニー発達や新女王バチ生産に影響が現れる可能性がある。一方で雪解けが遅く開花の進行が遅い年には、マルハナバチの活性ピークは雪田植物の開花ピークよりも先だって現れる。この場合には、マルハナバチは風衝地群集の花資源を利用できるので、それほど深刻な資源不足には陥らないであろう。温暖化により雪解け時期が早まると、雪田群集の開花時期は早まり、開花期間も短縮すると予測される。このような状況が頻繁に起こると、高山植物の繁殖やマルハナバチの個体群維持にも影響が及ぶと予測され、高山生態系の送粉系機能や生物多様性に深刻な影響が及ぶことが懸念される。長期的な視野に基づいたモニタリングの継続が重要である。

IV. トピックス

1. 大雪山の高山生態系で見られる地球温暖化の兆候

工藤 岳（北海道大学地球環境科学研究院）

日本最大の山岳国立公園である大雪山の高山帯では、近年の気候変動に関連すると思われる様々な生態系への影響が報告されている。その全てが地球温暖化に起因しているとは断定できないが、生育環境の変化と関連していることは間違いなさそうである。大雪山高山帯の年平均気温は、過去 30～40 年間に $0.03^{\circ}\text{C}/\text{年}$ のスピードで上昇しており、特に夏季（6～8 月）の上昇が顕著である。気温上昇に伴い積雪期間も短縮傾向にあり、雪解けの早期化が長期的には検出されている（工藤，2014）。しかし、雪解け時期は気温以外にも降水量や日射量の影響も受け、場所による違いや年変動が大きいために、短期の観測データからの一般的な予測は難しい。また、近年は集中豪雨の頻度が増え、林道崩壊が頻発している。

気候変動が高山生態系に及ぼす主な影響は、生物の分布変化、生物季節（フェノロジー）の変化、そして霜害など生理学的な影響に起因したものがある。それぞれの項目について、これまでに検出された現象を紹介する。

（1）植生変化

大雪山の高山帯で確認されている主な植生変化は、（1）湿生草原（湿生お花畑）の縮小、（2）チシマザサの分布拡大、（3）ハイマツの分布拡大である。

1) 湿生草原(湿生お花畑)の縮小

湿生草原衰退の最も顕著な例は、五色ヶ原のエゾノハクサンイチゲ群生地の消失である。1990 年頃まで毎年一面のお花畑を形成していたエゾノハクサンイチゲは、1992～1995 年に急速に衰退し、2000 年頃までにほとんど見られなくなった（図 IV-1-1）。それと平行して、より乾燥環境に適応したイネ科のミヤマヌカボが急増した。また、ヒサゴ沼周辺では、以前には分布していなかった雪解けの遅い雪田植物群落にエゾノハクサンイチゲが分布を拡大している。その原因として、雪解けの早期化と土壤乾燥化が有力視されている（川合・工藤，2014；Amagai ら，2018）。五色ヶ原のようになだらかな地形の斜面では、土壤乾燥化が大面積で生じ、湿生植物群落が大きく衰退する。一方で、より地形が複雑で積雪分布が不均一な場所では、環境変化に対してより雪解けの遅い場所への移動が可能となり、分布域を変化させ



図 IV-1-1 1988 年と 2016 年の五色ヶ原の風景比較
毎年一面のお花畑を形成していたエゾノハクサンイチゲは、1990 年中頃より急速に衰退した。1988 年の写真提供、石川隆氏。

ることで個体群の存続が可能になっていると考えられる。また、湿生草原の高山植物群落は、わずかな土壌水分環境の違いを反映してモザイク状に分布していたものが、土壌乾燥化の影響で環境の均質化が進み、植生のモザイク構造が曖昧になってきている。その結果、群集構造の多様性が低下したことが 40 年前の植生データとの比較から明らかにされている (Amagai ら, 2018)。

2) チシマザサの分布拡大

チシマザサは多雪地域の山地帯から高山帯にかけて広く分布する、日本最大のササ属植物である。森林帯では桿高 3 m にも達するが、高山帯では 50 cm 以下に矮生化する場合も多い。近年、高山帯におけるチシマザサの分布域が急速に拡大している。旭岳周辺部 50 ha の航空写真を解析したところ、過去 35 年間でチシマザサの占有面積が 2 倍に拡大していることが明らかになった (Winkler ら, 2016)。大雪山の高山帯全域で行ったチシマザサの分布測定では、過去 40 年間にササの占有面積は 31% 拡大しており、高山帯の 11% がササで覆われていることが判明した (工藤・雨谷, 2018)。ササが拡大した要因として、雪解けの早期化に伴う無雪期間の増加と、雪解け水供給期間の短縮や気温上昇に伴う土壌乾燥化が考えられる。また、ササ自身の蒸散作用により、一旦ササが侵入すると土壌乾燥化が促進され、ますますササの拡大を助長する正のフィードバック機構が働いていると考えられる。ササの拡大に伴い高山植物群落は被圧され、リター堆積による実生定着の阻害作用も生じるため、高山植物群落の衰退が懸念される。

3) ハイマツの分布拡大

ハイマツは冬季に冠雪するが春には比較的早い時期に雪がなくなる場所に広く分布し、ハイマツ帯を形成する。ハイマツの枝伸長は夏季の気温上昇により増大する (Wada ら, 2005)。その結果、ハイマツの分布域は拡大傾向にあると考えられる。大雪山中央部のヒサゴ沼周辺で航空写真を元にハイマツの分布域を定量化したところ、過去 32 年間にハイマツの分布域は 14% 拡大していることが示された (Amagi ら, 2015)。ハイマツ自体はもともと高山帯に特有の低木であるが、ハイマツ帯の拡大に伴い周辺部の高山植物群落が影響を受ける可能性がある。

(2) フェノロジー変化

高山生態系全体の開花パターンは、開花が早く始まる風衝地群落のフェノロジーと雪解けが遅い雪田群落のフェノロジーの組み合わせで構成される (工藤, 2000)。風衝地植物の開花開始時期は比較的安定しており年変動は小さいが、気温上昇により開花の進行は速まり、開花期間は短縮される。一方で、雪田植物の開花開始時期は雪解け時期に強く影響され、年変動が激しい。大雪山の雪田では、雪解け時期の年変動がひと月以上あることもまれではない (工藤, 2014)。そのため、地域全体の開花期間は、雪解け時期の変動を強く反映したものとなる。モニタリングサイト 1000 高山帯調査の大雪山サイトである赤岳では、過去 9 年間のモニタリングで全開花期間は 97 日間から 120 日間と 3 週間以上の年変動が見られた (平均 110 日間)。

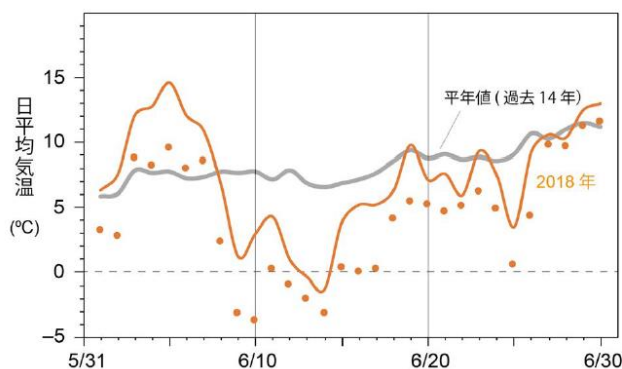
このような高山植物群落の開花期変動は、花資源を利用する訪花性昆虫群集にも影響を及ぼす可能性がある。開花時期と訪花性昆虫の活性との季節的な不一致 (フェノロジカルミスマッチ) は、植物の送粉成功と昆虫群集の存続性の両方に影響を及ぼす。大雪山系では、2012 年には雪解けが非常に早く、8～9 月の気温が異常に高かったため、雪田植物群落の開花が例年よりも 2 週間ほど早く進行したために、マルハナバチの出現時期との間にミスマッチが生じた (Kudo, 2014)。このような状況が頻発すると、高山生態系の送粉系機能が損なわれる恐れもある。

(3)霜害

地球温暖化は、単調な平均気温の上昇を引き起こすだけでなく、異常気象の頻度増加や、気温の急激な変動を伴うと予測されている。特に生育シーズン初期の気温変動は、生育開始期の植物に対して霜害のリスクを高める。2018 年 6 月上旬に高山帯の気温は大きく変動した(図Ⅳ-1-2)。6 月 3～7 日に日平均気温が例年よりも 5℃以上高い暖かな状態が続いた後、9～14 日には例年を 5℃以上下回る非常に寒い状態に転じた。日最低気温は -4℃程度にまで低下し、芽生えたばかりの多くの高山植物が凍害のダメージを受けた。特にウラジロナナカマド、クロマメノキ、ガンコウラン、キバナシャクナゲ、ヒメイソツツジなど風衝地に生育する多くの植物で、葉や花に凍害を受け、広範囲にわたって植物が枯死したり、結実が全くできない状況となった(図Ⅳ-1-3)。温暖化に伴う凍害リスクの増加は北アメリカの山岳生態系でも指摘されており(Inouye, 2008)、今後日本の高山帯でも増加する可能性がある。注意深くモニタリングしていく必要があるだろう。

(4)その他の影響

集中豪雨に伴う土壌浸食や植生崩壊は急激かつ壊滅的な植生変化をもたらす。さらに、温暖化に伴う凍土の融解も高山植生に深刻な影響を及ぼすと懸念される。2011 年には間宮岳稜線付近で大規模な植生崩壊が起こった(図Ⅳ-1-4)。一旦崩壊が起きると、連鎖的に崩壊が拡大する可能性もあるので、注意が必要である。また、温暖化との因果関係は定かではないが、大雪山ではエゾシカの高山帯への侵入が増加傾向にある。高山植生への顕著な影響は今のところ見られないが、エゾシカの踏み跡(シカ道)が急増しており、今後の動向について注意が必要である。



図Ⅳ-1-2 2018 年 6 月に生じた気温の異常変動
上旬に気温が高い日が続いた後、中旬に急激に気温低下が起こった。灰色の線は過去 14 年間の平均気温を示し、オレンジ色の線は 2018 年の日平均を示す。点は、日最低気温を示す。



図Ⅳ-1-3 2018 年 6 月の異常低温で凍害を受けて枯れたクロマメノキ(2018 年 7 月 20 日撮影)



図Ⅳ-1-4 2011 年に間宮岳付近で生じた植生崩壊(2011 年 7 月 18 日撮影)

2. 中部山岳地域の高山帯における気象観測

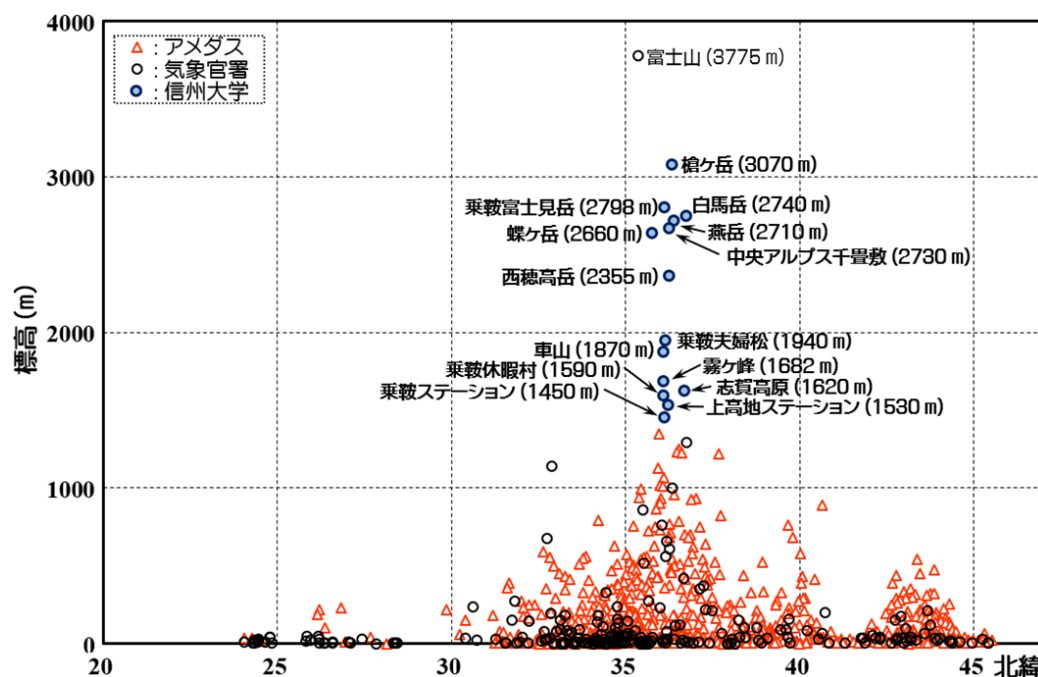
鈴木啓助 (信州大学理学部)

(1)はじめに

地球規模での気候変動の影響が山岳地域では如実に現れることになるが、わが国では山岳地域における気象観測が十分には行われていない。気象庁による気象観測所の最高所は富士山（標高：3,775 m）で気圧、気温、湿度のみが通年で観測されている。気象庁のアメダスによる地域気象観測所のうち、降水量の観測地点が最も多く約 1,300 か所にあるが、降水量に加えて風向・風速、気温、日照時間も観測している地点は約 840 か所である。この地域気象観測所の最高地点は野辺山（1,350 m）である。わが国の山岳地域では、1,350 m よりも標高の高い地点では、富士山を除いて気象庁による気温などの気象観測が行われていないのである。約 1,300 か所のアメダスのうち約 460 か所は降水量のみの観測地点であり、御嶽山（2,195m）、宮田高原（1,660m）、上高地（1,510m）などでも観測されている。一方、わが国においてきわめて重要な水資源である積雪に関する気象庁による観測は、さらに低標高地点でのみ実施されている。積雪深観測の最高所は日光の 1,292m であり、次いで、菅平（1,253m）、草津（1,223m）、阿蘇山（1,142m）、開田高原（1,130m）で、1,000m を超える標高の観測点はこの 5 地点にすぎない。降水量や積雪深の空間代表性は必ずしも高くないが、長期的な観測データがあれば、地球規模での気候変動に伴う山岳地域における降水量や積雪深の変動などに関する検討ができるにもかかわらず、現状では難しいのが実態である。そこで、信州大学鈴木研究室が中部山岳地域の 14 か所で実施してきた気象観測について報告する。

(2) 気象庁による気象観測の現状

気象庁の気象官署とアメダスにより気温が観測されている地点の緯度と標高の関係を図IV-2-1に示す。図IV-2-1のように、富士山が日本の気象観測地点では最も高い標高であるが、富士山で現在も通年観測されているのは、気圧、気温、湿度のみである。富士山では、2004年8月24日までは、気圧・気温・湿度に加えて、風向・風速・全天日射量、積雪深についても観測が行われ



図IV-2-1 気象庁による気温観測地点と信州大学による気象観測地点の緯度と標高の関係

ていたが、測候所の廃止により現行のようになった。富士山に次ぐ標高は、野辺山の 1,350m である。地球規模での気温変動の影響が顕著に現れると考えられる 3,000m 級の山々が連なる中部山岳地域において、1,350m よりも標高の高い地点では、気象庁による気温の観測が行われていない。また、大雪山旭岳の標高は 2,291m であり、北海道中央山地には 2,000m 級の峰々が連なっているが、北海道における気温観測の最高地点は層雲峡 (540m) であり、北海道においても標高の高い山岳地域での気温観測が行われていない。

(3) 信州大学による気象観測網の整備

そこで、信州大学鈴木研究室では中部山岳地域において気象観測網を整備してきた。これまでに観測を行っている地点を図 IV-2-1 に示す。ほとんどの観測地点が国立公園、国定公園、県立公園に指定され、上高地は特別名勝・特別天然記念物でもあり、さらには、多くが国有林内に位置している。そのため、観測機器を設置するためには、環境省、文化庁、林野庁のそれぞれの該当機関に許可申請を行わなければならない。図 IV-2-1 に示すように、野辺山と富士山の間に気象庁による気象観測の空白地帯となっていたが、信州大学の観測地点がその間の標高を埋めていることがわかる。

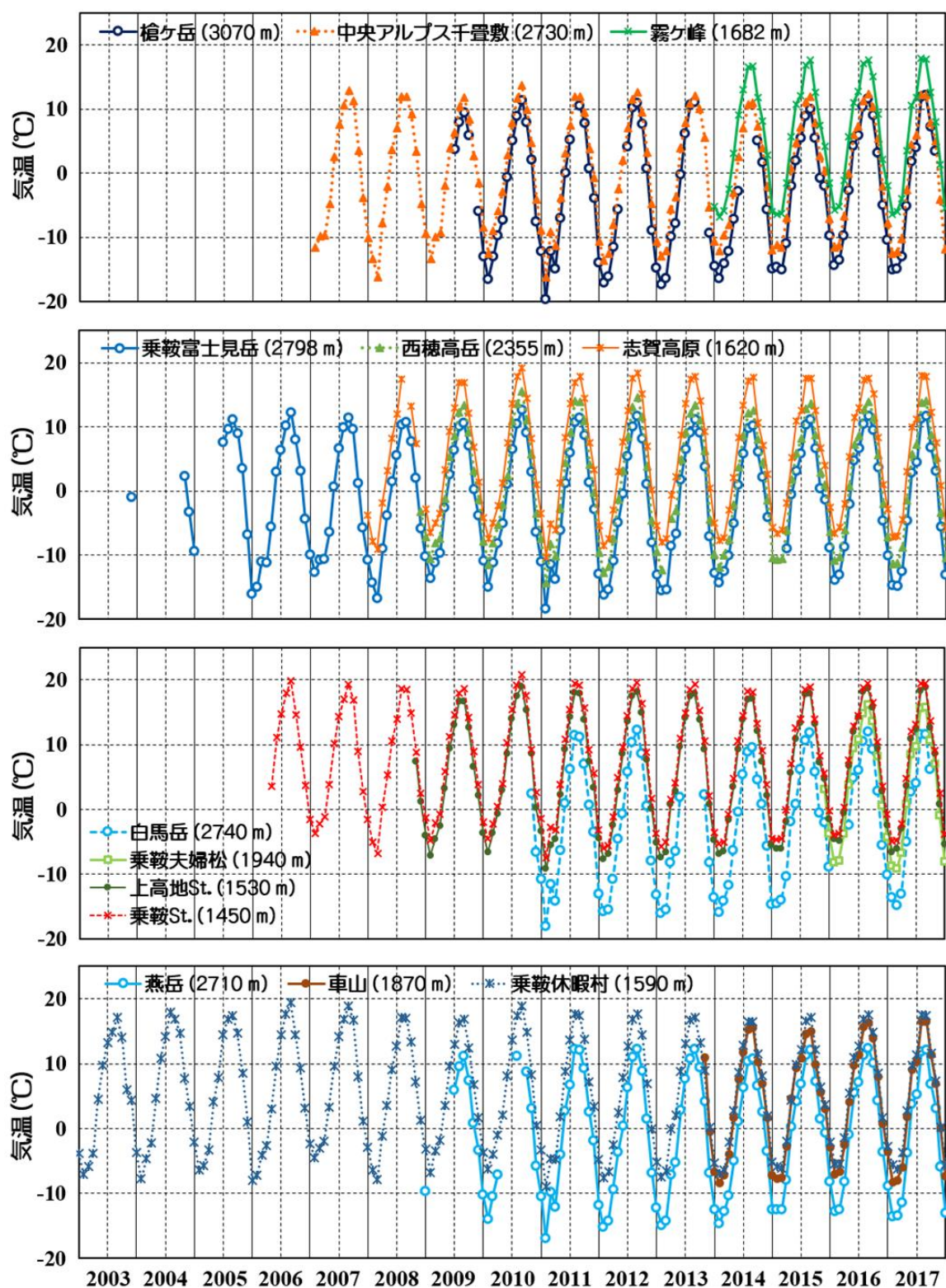
(4) 低下傾向にある年平均気温

信州大学による気象観測網の中で、2017 年 11 月 7 日から観測を開始した蝶ヶ岳を除く 13 地点についての月平均気温の変動を図 IV-2-2 に示す。最も早くから観測を始めた乗鞍休暇村については、2002 年 11 月 18 日から観測を行っているので、2002 年 12 月から 2017 年 12 月までの月平均気温が連続して観測されている。乗鞍休暇村に次いで観測期間の長い乗鞍富士見岳では初期に欠測が多く、2014 年から 2015 年にかけての冬期にも欠測がある。標高が比較的低い乗鞍休暇村、上高地、乗鞍高原と、観測期間の短い乗鞍夫婦松、車山、霧ヶ峰、さらに中央アルプス千畳敷の 7 地点では欠測なく観測されているが、他の 6 地点では欠測月がある。いずれの地点でも、7 月から 8 月に最暖月となり、1 月から 2 月に最寒月になっているが、最暖月と最寒月の月平均気温に明瞭なトレンドは認められない。例えば、もっとも観測期間の長い乗鞍休暇村における 1 月と 8 月の月平均気温について Mann-Kendall⁴検定を行うと、tau 値⁵はそれぞれ 0.25 と -0.029、P 値⁶はそれぞれ 0.20 と 0.88 である。1 月の月平均気温は上昇傾向であるが、P 値が高く統計的に有意ではなく、8 月の月平均気温は下降傾向であるが、これも統計的に有意ではない。さらに、年平均気温の観測値が 8 年以上ある地点については、Mann-Kendall 検定を行った。いずれの地点においても、2016 年は年平均気温が明瞭に高いが、2017 年はいずれの地点の年平均気温も 2014 年以前の値に戻っている。この傾向は、後述するアメダスの観測結果とも整合的である。8 年以上の

⁴ Mann-Kendall：両端近くに大きな外れ値があるような時系列データの変化傾向を調べる際に、線形回帰分析を用いるとその外れ値に引きずられた傾向を検出することになる。それに対し、Mann-Kendall 検定は外れ値の影響を受けにくい検定方法であり、気候変化などを議論するのに適した検定方法である。また、Mann-Kendall 検定はノンパラメトリック検定で、データの正規分布を要求しない。

⁵ tau 値：この値がプラスであれば時系列データは増加傾向にあり、マイナスであれば減少傾向にある。絶対値の大きさはその傾向の大きさを示す。

⁶ P 値：この値が小さければ小さいほど、時系列の変化傾向は統計的に有意になる。有意水準 1% 以下で統計的に有意とは、P 値が 0.01 よりも小さい場合である。



図IV-2-2 信州大学による観測地点での月平均気温の変動

年平均気温の観測値がある7地点のうち、3地点ではtau値がプラスであり年平均気温が高くなっている傾向が認められるが、いずれもP値が高く統計的に有意な変動傾向ではない。一方、4地点のtau値が負であることから年平均気温は低下傾向にあるが、乗鞍富士見岳を除くとP値が高く統計的に有意な低下傾向ではない。乗鞍富士見岳の年平均気温の変動傾向は、tau値(-0.47)

の絶対値も大きく、P 値 (0.034) から有意水準 5 % 以下で統計的に低下傾向が有意である。しかしながら、乗鞍富士見岳の年平均気温は 2014 年と 2015 年が欠測となっており、今後の観測データの蓄積が必要である。しかしながら、もっとも観測期間が長くかつ欠測もない乗鞍休暇村の年平均気温の変動傾向は、tau 値 (-0.27) が負であり P 値 (0.16) も比較的小さい。以上のことから、中部山岳地域の 2003 年から 2017 年までの 15 年間では、一部の観測地点では年平均気温の低下傾向が確認されるが、年平均気温の上昇傾向は認められないといえる。

(5) 温暖化傾向ではない 15 年間の中部山岳地域

我々が観測を開始した当時は、地球規模での気候変動いわゆる地球温暖化が叫ばれていた頃であり、山岳地域では地球規模での気候変動に対する応答が敏感であることが、中部山岳地域で気象観測を始めた動機である。しかしながら、ここ 15 年間には中部山岳地域での年平均気温の上昇傾向は認められていない。このことは、世界の年平均気温偏差も日本の年平均気温偏差も 1998 年頃からほぼ頭打ちになっていることを、気象庁が 2013 年 2 月に発表している (気象庁, 2013) ことと符合する。中部山岳地域における気象観測結果では、2015 年、2016 年に年平均気温が上昇に転じたかのような傾向がみられたが、2017 年に一転して低下した。気温の長期変動はステップ状に進行することが知られているが、山岳地域における気温が今後いかに変動するのかを検討するためには、これからも継続的な観測が不可欠である。

信州大学の中部山岳地域における観測結果では、ここ 15 年間での年平均気温の上昇傾向が認められないが、同じ期間におけるアメダスの観測結果を検討する。富士山を除くと、アメダスで気温を観測している標高 1,000m 以上の地点は 11 地点あるが、栃木県の奥日光、福島県の鷲倉、熊本県の阿蘇山を除く、中部山岳地域の 8 地点 (野辺山 : 1,350m、菅平 : 1,253m、田代 : 1,230m、草津 : 1,223m、開田高原 : 1,130m、奈川 : 1,068m、原村 : 1,017m、六所 : 1,015m) における 2003 年から 2017 年までの年平均気温の変動について、Mann-Kendall 検定を行った。いずれの地点でも年平均気温の変動傾向は統計的に有意ではない。菅平、開田高原、奈川の 3 地点の tau 値 (それぞれ、-0.16、-0.21、-0.29) は負の値を示し、かつ奈川では有意水準 13% で年平均気温に弱い低下傾向が認められる。2016 年には比較的高い年平均気温であり、2017 年の年平均気温は低下しているなど、中部山岳地域の標高 1,000m 以上に位置するアメダスと信州大学の観測結果は整合的である。

以上のように、モニタリングサイト 1000 高山帯調査による調査が始まって以降の中部山岳地域における気温の変動は、決して温暖化傾向ではない。これは、世界の気温の変動傾向とも同期的であるが、今後の継続的な観測が不可欠であることは疑いがない。また、同様な期間でも都市部での気温は上昇傾向にある。低標高地に位置する都市部と「高山帯」では、気候応答が異なると考えられ、さらなる比較検討も必要である。

3. 中央アルプス極楽平付近の融雪時期と開花フェノロジーの年変化

須賀丈・尾関雅章・浜田崇（長野県環境保全研究所）

小熊宏之・井手玲子（国立環境研究所）

(1) 雪どけと高山植物の開花

さまざまな高山植物の花が咲く景色は、山歩きで出会う体験のうちでももっともすばらしいもののひとつであろう。ひとことで高山といっても地形のさまざまな組み合わせでできており、場所によって雪の残り方や咲く花の種類にちがいがある。たとえば稜線の風上側の風衝地（図IV-3-1）にはあまり雪が積もらないため、そこに生育する高山植物（図IV-3-2）は、風下側の雪田で雪どけの後に咲く植物（図IV-3-3、図IV-3-4）とはその種類がかなり異なっている。このような場所ごとの環境のちがいが生む花の種類の多様性も、高山で出会う楽しみのひとつではないだろうか。

しかし気候変動の影響が今後大きくなると、これらの植物の開花の仕方が変化してしまうかもしれない。高山に積もる雪の量が少なくなると、雪どけの時期が早くなるであろう。雪どけの時期と気温の季節的な推移は、高山植物が開花する時期に影響をあたえることがわかっている。それを明らかにしたのは、モニタリングサイト 1000 高山帯調査の調査地のひとつ、北海道大雪山での研究である。それによると、風衝地での開花時期が気温の季節的推移で決まるのに対し、雪田での開花時期は雪どけの時期と気温の季節的推移の双方で決まるという（工藤・横須賀, 2012）。そうだとすると、雪の量の変化の影響を受けやすいのは、風衝地の植物よりも雪田の植物ということになりそうである。もともと風衝地には雪が少なく、積雪の多い場所が雪田になることを考えると、このことは納得しやすい。

けれども実際にこのような調査がなされている場所は限られている。これに対し、日本の高山は多様である。北海道の山と本州中部の山とでは、緯度や大陸との位置関係、地形・標高などにちがいがある。そのため、気候変動の影響の受け方も異なっていそうである。さらに同じ本州中部の高山でも、日本海側の立山や白山と内陸の南アルプスや中央アルプスとでは、平均的な雪の量にちがいがある。もともと雪の少ない内陸の高山では、少雪化の影響がより現れやすいであろう。



図IV-3-1 中央アルプス極楽平付近の風衝地



図IV-3-2 ミヤマシオガマ(中央)とヒメウスユキソウ(右下)



図IV-3-3 中央アルプス極楽平カールの雪田群落

中央アルプス・木曽駒ヶ岳周辺の高山帯では、2016年に雪どけが例年にくらべて1ヶ月以上早かった。この木曽駒ヶ岳周辺で、長野県環境保全研究所と国立環境研究所では、その数年前からモニタリングをはじめていた。そのためこの2016年にも、融雪の状況と風衝地・雪田での開花フェノロジーを記録することができた。以下、その状況が例年とどのようにちがっていたかを紹介する。

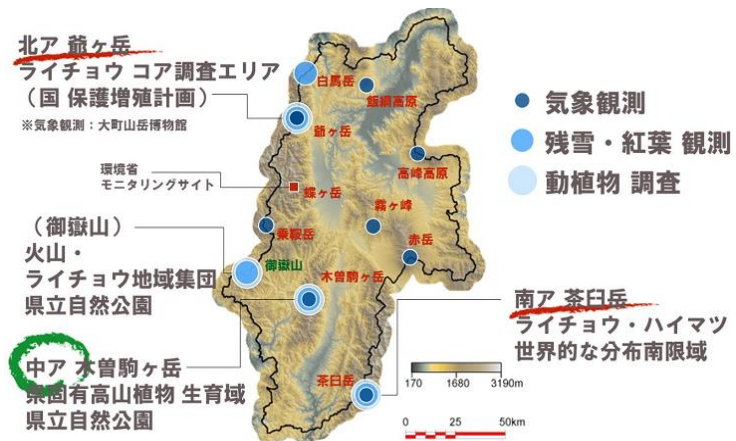


図IV-3-4 アオハツガザクラとヒメマルハナバチ

(2) 消雪時期のカメラ撮影と開花フェノロジーの調査

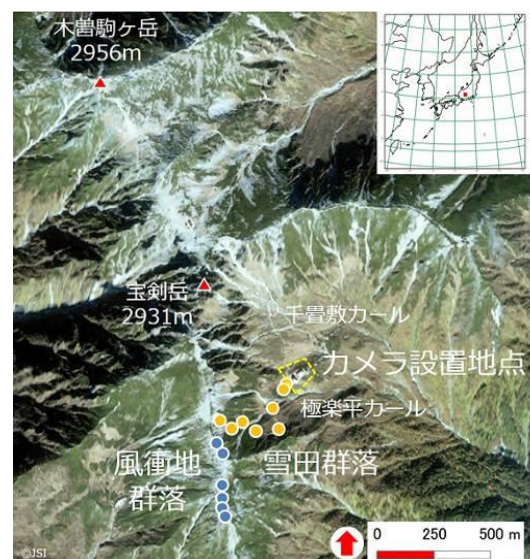
長野県環境保全研究所では、中部山岳の高山帯の数か所で生態系モニタリングを実施している(図IV-3-5)。これらのモニタリングサイトの一部では、国立環境研究所と長野県の協定により、インターバルカメラによる残雪や紅葉の共同観測をおこなっている。

このうち中央アルプス・木曽駒ヶ岳に近い極楽平周辺では、インターバルカメラによる定点自動撮影と、複数の調査区での風衝地群落・雪田群落の開花フェノロジーの記録、そして調査ルート上で訪花するマルハナバチ(図IV-3-4)の記録をおこなっている。これらの調査は、モニタリングサイト1000高山帯調査のものに準じた方法によっておこなっている。このようにしておけばいずれ結果を相互に比較・検討することもできるはずである。ここでは、インターバルカメラの撮影画像による消雪の観測と、開花フェノロジー調査の結果を紹介する。



図IV-3-5 長野県の山岳モニタリングサイトの配置

開花フェノロジーの調査は、駒ヶ岳ロープウェイ千畳敷駅(2,612m)付近から極楽平カールを登り、極楽平(2,825m)から島田娘ノ頭(2,858m)の南陵に至る区間の登山道沿いでおこなっている(図IV-3-6)。このうちカール内の雪田群落8ヶ所と極楽平から島田娘ノ頭の南陵までの風衝地群落6ヶ所の計14群落に、5m四方の調査区を設定している。これらの調査区で、2012年・2013年・2016年に10~14日間隔で開花している植物種とそれぞれの開花ステージ・開花量を目視で確認・記録した。インターバルカメラはロープウェイの駅舎内に設置し、1時間ごとに極楽平カールの自動撮影をおこなった。消雪時期は、取得した撮影画像から雪面を表す画素を抽出して判断した。



図IV-3-6 中央アルプス極楽平付近の調査地点

(3)2016 年の早い雪どけは開花フェノロジーにどう影響したか

インターバルカメラの撮影画像（図 IV-3-7）によると、極楽平カール内では 2016 年は観測をはじめてから雪どけが最も早く、2013 年に比べると約 40 日早く消雪した。一方、風衝地では例年カール内よりも消雪が早い傾向があり、その時期は 2016 年にも例年と変わらなかった。

高山植物の開花が、雪田（極楽平カール）では 2012 年・2013 年に比べて 2016 年にかかなり早くなったが、風衝地（極楽平）ではそのような傾向がみられなかった。2012 年と 2013 年の開花フェノロジーにはあまり差がなかったもので、以下では 2013 年で代表させることにしよう。

雪田（極楽平カール）の開花時期・

終花時期はともに 2016 年には 2013 年よりも約 20 日から 30 日程度早かった（図 IV-3-8）。また 2016 年には、主に 8 月に開花する種群の開花期が同調する傾向がみられ、結果として 8 月の下旬には咲いている花があまりみられなくなった。しかし出現種の開花した順序には変動がなかった。これに対し、風衝地（極楽平）の開花時期・終花時期は、2016 年にも 2013 年とおよそ同時期であった（図 IV-3-9）。雪田でも風衝地でも、2016 年には一部の種で 8 月下旬から 9 月上旬に狂い咲きがみられた。

このように、カール内では 2016 年に雪どけが例年よりもかなり早く、そこにある雪田での開花フェノロジーが早くなっていたことがわかった。しかし風衝地ではそのような傾向がみられなかった。この結果は、雪の量の変化の影響を受けるのは風衝地の植物よりも雪田の植物であるという大雪山での研究結果に似ている。本州中部の高山でも開花時期は大雪山と同じメカニズムで決まっているのかもしれない。今回の調査地では大雪山と同じ方法での気温の測定をおこなっていないが、そのような測定をすれば開花時期を決めるメカニズムにも迫ることができるであろう。

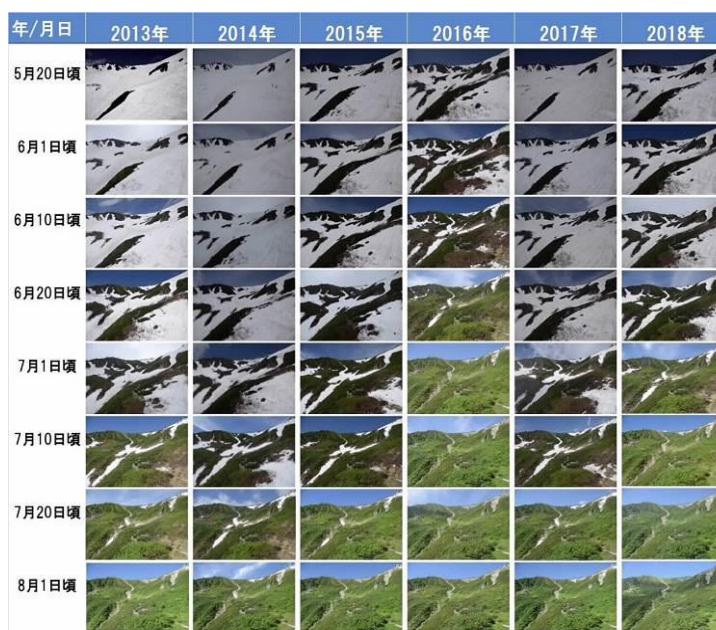


図 IV-3-7 インターバルカメラによる極楽カールの撮影画像(各年でほぼ同じ日付の画像を示す)

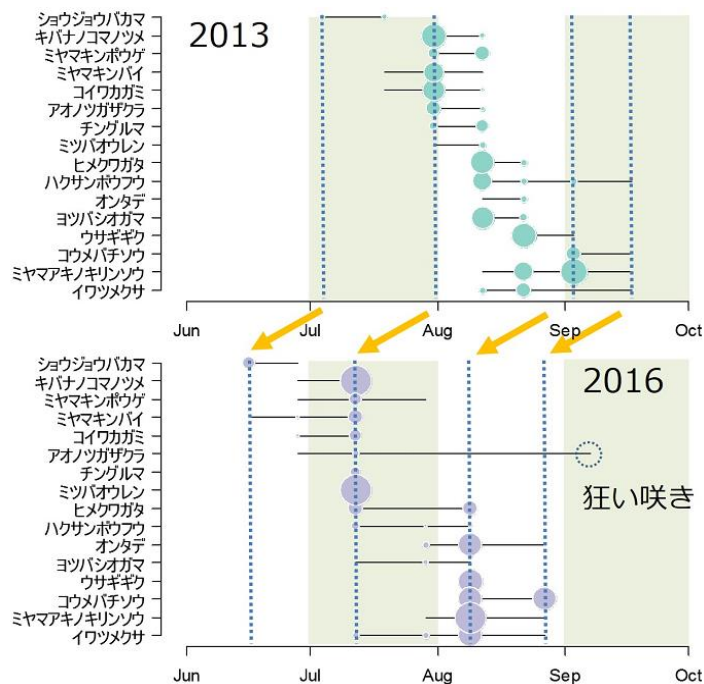


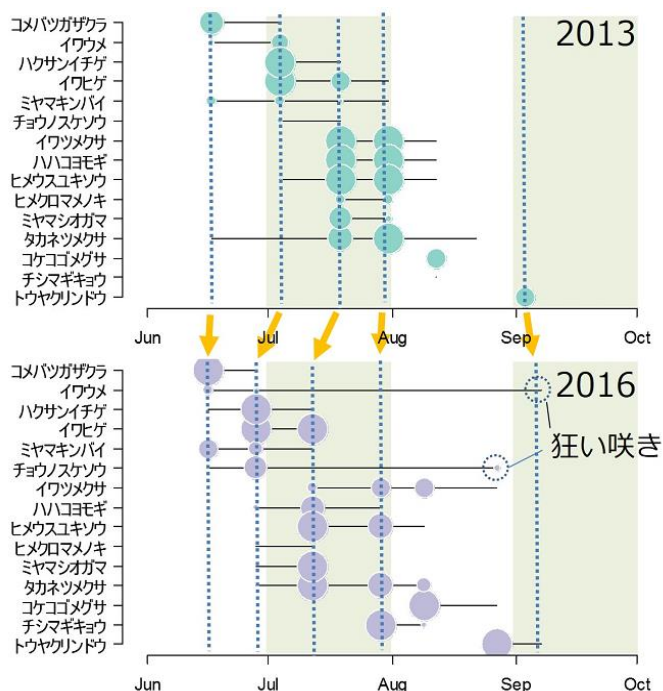
図 IV-3-8 雪田の開花フェノロジー(上:2013 年、下:2016 年)

(4) 高山生態系のモニタリングの強化に向けて

このようにインターバルカメラによる自動撮影と開花フェノロジーの現地調査を、モニタリングサイト 1000 高山帯調査に準じた方法でおこなうことにより、雪どけ時期の年変動が高山植物の開花にどう影響するかの一端を、本州の中央アルプスでもとらえることができた。

多雪を特徴とする日本の高山生態系では、雪どけの時期が高山植物のフェノロジーに強く影響するが、これは年により、また地域によって大きく変化するであろう。そのため気候変動の高山生態系への影響を適切に評価するには、長期間にわたり異なった条件の場所で観測をつづけなくてはならない。それにはある程度のコストと労力がかかるし、それを軽減するには交通の便などの条件を満たす場所を選ぶ必要もある。中央アルプス・木曽駒ヶ岳は、そうした交通の便では比較的恵まれた場所にある。

ここはモニタリングサイト 1000 の正式なサイトではない。しかしこのように観測の方法をそろえることで、観測地点を増やし高山生態系のモニタリング網の強化につなげることもできるのではないだろうか。これらの観測は、ある程度の経験や工夫を必要とするものの非常に高価な機器や技術を必要とするというものではない。より多くの方々にこうした観測へのご関心をお持ちいただければ幸いである。



図Ⅳ-3-9 風衝地の開花フェノロジー(上:2013 年、下:2016 年)

V. 総括

1. 生物多様性の4つの危機に関連したとりまとめ

(1) 第1の危機(開発など人間活動による危機)

高山帯の多くは、国立公園の特別保護地区に指定されており、その利用は徒歩による登山が中心で、他の生態系に比べて開発等の人間活動による影響を受けにくい。しかしながら、高山蝶の多くはレッドリスト掲載種で、絶滅が危惧される危険性の要因として、観光開発による生息地の減少、道路工事、登山者の増加による登山道整備や植生の踏みつけがあげられている。また、マルハナバチ類では、北アルプスの蝶ヶ岳で確認されたナガマルハナバチがレッドデータブックに掲載されており、高山地の樹木の伐採や、登山道の整備等の生息環境の改変が、絶滅が危惧される危険性の要因とされている（環境省自然環境局野生生物課希少種保全推進室，2015a）。

本調査では、登山者などの影響を受け難い場所に調査区を設置していることもあり、人間活動による影響は認められなかった。

(2) 第2の危機(自然に対する働きかけの縮小による危機)

高山帯は、里地里山などとは異なり、人の手が加えられることで維持される環境ではないため、本報告書では、第2の危機に沿ったとりまとめは行っていない。

(3) 第3の危機(人間により持ち込まれたものによる危機)

高山帯は、他の生態系に比べて外来種が少ない環境である。しかし、第1の危機（開発など人間活動による危機）で述べたように、高山帯には今後も多くの登山者が訪れ、様々な物資が持ち込まれる可能性が高く、また、地球温暖化といった環境の変化や、既に定着している周辺地域からの侵入拡大で、外来種が増加する可能性もある。

マルハナバチ調査では、セイヨウオオマルハナバチが大雪山で確認されているが、2015年以降の調査では確認されていない。また、植生調査では、外来植物は確認されていない。

1) セイヨウオオマルハナバチ

セイヨウオオマルハナバチ（図V-1-1）は特定外来生物に指定されており、類似した営巣場所要求性をもつ在来マルハナバチ類、特にエゾオオマルハナバチとの競争が懸念される。また、オオマルハナバチやエゾオオマルハナバチと交雑するため、日本のマルハナバチ類の遺伝的攪乱も危惧される（環境省自然環境局野生生物課外来生物対策室）。

本調査では、すでに野生下でセイヨウオオマルハナバチが確認されている北海道に位置する大雪山の赤岳と黒岳で、2012年から散発的に女王バチを含めて生息が確認された。一方、本州に位置する北アルプス（蝶ヶ岳～常念岳）ではこれまでの調査で生息が確認されなかった。

北海道では2006年以降、旭岳姿見周辺を中心にセイヨウオオマルハナバチの散発的な確認が続き、2012～2013年は、まとまった数が確認されたことから、高山帯での



図 V-1-1 セイヨウオオマルハナバチ
(2018.8.17／北海道小樽市)

営巣や越冬の可能性があることが指摘されている（北海道地方環境事務所，2017）。中部山岳域ではセイヨウオオマルハナバチの定着・拡大は確認されていないが、長野県の低～高標高域で確認されている（須賀，2006）。そのため北アルプスサイトで引き続きモニタリングを実施し、中部の高山帯で定着する前に早期発見することが重要である。

2) 外来植物

本調査では、登山者の影響を受け難い場所に調査区を設置しており、植生調査では、いずれのサイトにおいても外来植物は確認されなかった。

一方で、周辺地域では表V-1-1のような外来植物の侵入が報告されており、引き続き注意が必要である。

表V-1-1 サイトの周辺地域で確認されている外来植物・低地性の在来植物

サイト名	侵入が確認されている外来植物・低地性の在来植物	参考文献
大雪山	アキタブキ、ナガハグサ、スズメノカタビラ、セイウタンポポ、ハコベ(標高 1,670m付近)	竹内・橋, 1999
白山	オオバコ、スズメノカタビラ(標高 2,000m以上の地域)	野上・吉本, 2013
北アルプス(立山)	・ミノボロスゲ、イタドリ、オオイタドリ、ゴマナ、ヤマハハコ(亜高山帯から高山帯) ・オオバコ、スギナ、セイウタンポポ、フランスギク、エゾノギシギシ、シロツメクサなど(立山の室堂平、天狗平、弥陀ヶ原周辺)	河野, 1999 富山県・立山外来植物除去対策検討委員会
南アルプス(北岳)	ビロードモウズイカ(南アルプス林道周辺)	杉山, 2014
富士山	セイウタンポポ、カモガヤなど(標高 2,000m以上の地域)	近田・清水, 2002

(4) 第4の危機(地球環境の変化による危機)

地球環境の変化による高山帯の危機としては、気温上昇や融雪時期の早期化などによる植生の衰退や分布の変化、動植物の分布の変化、ニホンジカなどの野生鳥獣の生息域の拡大、動植物の生物季節の変動と種間の相互作用への影響がある。

本調査では、地球環境の変化による影響は確認されなかった。

1) 気温の上昇と解雪時期の早期化

① 平均気温の変化

本調査の2010年（サイトによっては2011年）以降の測定結果では、2016年は本州のサイトでは高い傾向にあったが、2017年は低下しており、調査期間内での短期的な気温の上昇は認められなかった（図Ⅲ-1-1）。また、中部山岳地域における一部の観測地点では低下傾向が確認されている（トピックス2）。

② ハイマツの年枝伸長量から推定した夏の気温の上昇

大雪山、立山、白山、南アルプス（北岳）のハイマツの年枝伸長量調査から、年変動はあるものの、年枝伸長量は過去約20年間に増加傾向にあり、夏の気温が上昇傾向にあることが示唆された（図Ⅲ-1-6）。こうした傾向は、北アルプスの浄土山、祖父岳、乗鞍岳や、中央アルプスの千畳敷などでも報告されている（尾関ら，2011；Wadaら，2005）。また、富士山山頂の1998年以降の気温の変化をみると、7月と8月は上昇傾向にあり、ハイマツの年枝伸長量から推定された結果と一致した（図V-1-2, 3）。

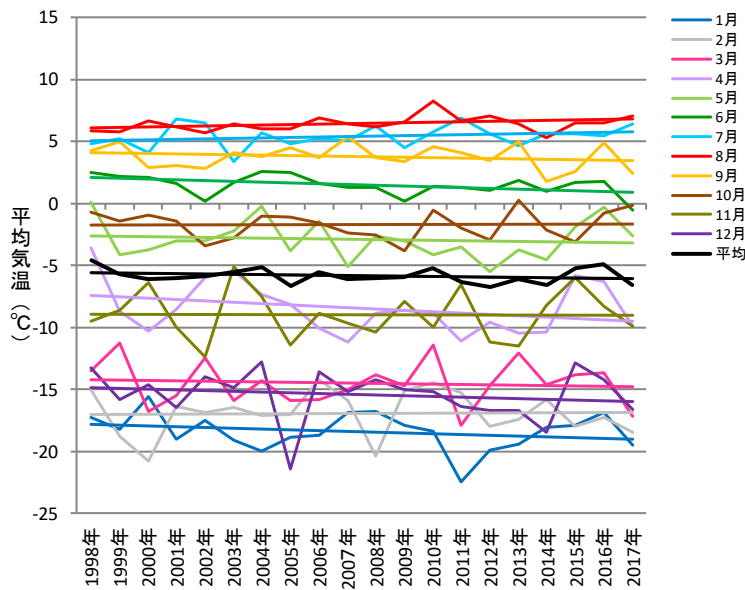


図 V-1-2 1998 年以降の富士山山頂の月別の平均気温の経年変化(気象庁の観測データより)
折れ線は年ごとの変化、直線は回帰直線を示す。

	回帰直線	r
1月	$y = -0.063x - 17.8$	0.25
2月	$y = 0.006x - 17.0$	0.02
3月	$y = -0.028x - 14.2$	0.09
4月	$y = -0.111x - 7.3$	0.31
5月	$y = -0.033x - 2.6$	0.12
6月	$y = -0.063x + 2.1$	0.46
7月	$y = 0.041x + 5.0$	0.27
8月	$y = 0.037x + 6.0$	0.34
9月	$y = -0.030x + 4.1$	0.18
10月	$y = 0.007x - 1.8$	0.03
11月	$y = -0.001x - 9.0$	0.00
12月	$y = -0.060x - 14.8$	0.17
平均	$y = -0.025x - 5.6$	0.25

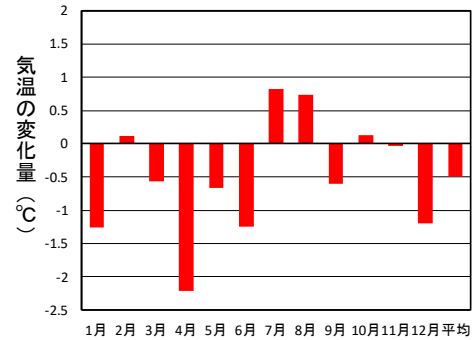


図 V-1-3 富士山山頂の 1998～2017 年の月別の平均気温の変化
図 V-1-2 で得られた回帰直線から算出した。

2) 動植物の分布の変化

① 植生の変化

本調査の 3～5 年間隔の植生調査の経年変化の結果からは、高山植物が減少している傾向は確認されなかった。

群落全体の種組成からみた解析結果からは、風衝地環境よりも雪田環境で種組成の変化が大きい傾向にあったが、経年的な種組成の変化の方向性としては、山域内または山域間の類似性が増す方向であった。

植物の種類別の生育量をみると、一部のプロットでは、ハイマツ、チシマザサ、カラマツが増加したが、これらが温暖化による植生遷移の進行によるかを把握するには、より長期的なモニタリングが必要である。

② 昆虫類の変化

チョウ類については、南アルプスのベニヒカゲの年次変動評価の解析結果では、発生数はほぼ横ばいかやや減少傾向にあると推測されたが、解析方法には課題が残されている。その他のチョウ類やマルハナバチ類について、高山性の種類が減少するといった傾向は確認されなかったが、低地性の種類が高山帯で確認されている。

3) ニホンジカ等の野生鳥獣の生息域の拡大

① 寡雪地域でみられるニホンジカの影響

南アルプス（北岳）の植生調査でニホンジカのものと思われる食痕が確認され、調査地近くの草原が、採食と踏みつけで荒らされていることも確認された。インターバルカメラの画像からも、動物の食害が原因と思われる植物の消失が確認された。

② 多雪地域でのニホンジカの影響の可能性

本調査では多雪地域にある大雪山、北アルプス、白山では、ニホンジカの食痕は確認されなか

った。

多雪地域の東日本日本海側はニホンジカがほとんど分布せず、本サイト周辺もニホンジカによる影響程度はなしとされる地域である（大野・吉川，2015；植生学会企画委員会，2011）。

一方、大雪山山麓の層雲峡周辺には大規模なエゾシカの越冬地が形成され、黒岳の7合目～山頂の低木群落や高茎草本群落に多数の食痕が確認されている（北海道地方環境事務所，2012）。北アルプスの蝶ヶ岳や常念岳の東側の地域、白山（図V-1-4）、北アルプス（立山）の室堂平でもニホンジカが確認されている（有本，2013；環境省長野自然環境事務所，2012；野上・有本，2014）。

以上のことから多雪地域に設置されている本調査地でも、ニホンジカによる影響が危惧されることから、引き続きモニタリングを行い、影響の有無を把握していく必要がある。

③ニホンジカの採食による植物の種組成の変化

植物がニホンジカなどの採食に対する適応戦略として、物理防衛（トゲや葉の硬さ）、化学防衛（草食獣が嫌う匂いや味の物質）や、被食戦略（シバのように再生力があるため食べられることで増加する）があり、ニホンジカなどの採食の影響で、こうした特徴を持つ植物群落が発達する（高槻，2015）（図V-1-5）。

本調査でも、今のところ少数だが、ニホンジカの不嗜好性植物または近縁種が確認されている。これまでの調査結果では、不嗜好性植物の大幅な増加は確認されていないが、こうした不嗜好性植物や、被食耐性のある禾本類の動向について、食痕情報や糞粒情報と合わせ、モニタリングを継続することが重要である。

④高山帯におけるニホンザルの影響

南アルプス（北岳）では、開花フェノロジー調査で設置したインターバルカメラで、2014年と2015年にニホンザルが撮影された。北アルプスの槍ヶ岳では、無雪期には標高3,100mの場所で、ニホンザルがガレ沢や岩壁等を泊まり場として利用し、高山性の木本植物の果実を食物としている（泉山，1987）。ニホンザルについては、北アルプスで希少種のライチョウの雛を捕えることが確認されており（長野県環境部自然保護課，2019）、高山植物とともにライチョウへの影響も危惧される。



図V-1-4 白山の標高2,100m付近で確認されたニホンジカ(2013.6.4／白山市地域振興公社 永吉興氏撮影)



図V-1-5 ニホンジカの不嗜好性の高いバイケイソウやタカネヨモギが目立つ植生(2012.8.26／南アルプス(北岳)の山麓)

4) 動植物の生物季節の変動と種間の相互作用への影響

①開花フェノロジーの年変動

本調査やトピックスで紹介された中央アルプスの事例から、風衝地環境に比べて雪田環境の方が、雪解けの早さが年により異なり、有効積算温度の上昇や開花フェノロジーに年変動がみられることが示された。

大雪山の開花フェノロジー調査の解析結果から、風衝地環境の植物は気温の上昇、雪田環境の植物は雪解けの早期化で開花が早まるが、気温の上昇で花期終了も早まるために、開花期間が短縮することが予測された。

②開花フェノロジーと昆虫類の活動時期の相互作用

大雪山の調査結果から、開花フェノロジーの年変動は、マルハナバチ類の訪花植物の種類に影響を及ぼすことが示された。年変動の大きい雪田環境の開花フェノロジーに着目してマルハナバチ類との関係を解析した結果では、雪解けが早い年も遅い年も開花のピークとマルハナバチ類の活性のピークにずれが生じるため、マルハナバチ類の餌が不足し、高山植物の受粉が十分に行われないことが懸念された。

チョウ類については、大雪山で開花フェノロジーが特に遅かった年には、チョウ類の発生時期も遅かった可能性が示唆された。

植生調査の結果、風衝地環境に比べて雪田環境の方が、チョウ類やマルハナバチ類の食草や訪花植物の種類が多いことから、様々な種類の植物と昆虫が年変動の影響を受けていると考えられる。

③高山植物の開花時期の早期化

本調査の結果からは、高山植物の開花フェノロジーの早期化は確認されなかった。

南アルプス（北岳）のキタダケソウ（図V-1-6）の満開日は、1970年頃までは7月下旬であったが、1990年以降はほとんどの年で6月となっている。富士山の気象データから推定したキタダケソウの開花日は、2040年には6月初め、2100年には5月中旬とされている（名取，2006）。2010年以降の本調査の結果でも、6月下旬から7月上旬の調査開始時は、いずれの年もキタダケソウの満開開始日を過ぎていた（図II-5-5）。



図 V-1-6 キタダケソウ (2019.6.21 / 南アルプス(北岳))

2. 第4期に向けた課題と方針

(1) サイトやプロットの配置

1) 目標

- ・ 全国的な地域性や地域環境のバランスに配慮し、高山帯環境の変化を捉えるために、効果的なモニタリングを行えるよう、サイトやプロットを設置する。

2) 第3期までの状況

- ・ 自然環境に関する特徴（表 I-3-1）、これまでの調査実績や今後の実施体制（表 I-3-7）、アクセスのし易さを考慮して調査サイト（図 I-1-1）を選定している。
- ・ それぞれのサイトには、調査項目に応じた複数のプロットを設けている（表 I-3-8～13）。

① 大雪山

- 大雪山固有の高山蝶であるウスバキチョウやダイセツタカネヒカゲなどは確認されたが、サイト共通の指標種であるベニヒカゲとクモマベニヒカゲは少数しか確認されなかった。2016年8月の追加調査で、これらの指標種はより標高の低いところで数多く確認されたため、これまでのプロットとは別に、指標種を調査するための標高の低いプロットを追加した。

② 北アルプス（立山）

- 富山大学立山研究所で気温を測定してきたが、2016年のデータ回収時に、温度ロガーと通風シュルターが行方不明になり、悪天候時に形成された氷体の重みで落下したと考えられた。その後、調査機材やデータは回収できたが、データの欠測を防ぐため、それまで富山大学が気温の測定をしており、比較的雪が積もりにくい風衝地のプロットを追加した。

③ 白山

- 地表徘徊性甲虫の調査を、2009年には千蛇ヶ池風衝地、水屋尻、南竜ヶ馬場の3プロットで実施した。このうち水屋尻では、雪田環境だけでなくハイマツ林についても種構成が異なることが予測されたために、2010年からはハイマツ林を調査プロットに追加した。

④ 南アルプス（北岳）

- 2015年までは植生などの調査を、風衝地環境のプロットBと、雪田環境のプロットAで実施してきたが、プロットAは登山道から離れているためアプローチに時間がかかり、調査者の負担が大きいために2015年に廃止し、新たに登山道沿いのプロットC（風衝地環境）を設定した。
- チョウ類調査は、肩の小屋付近の定点と北岳山荘付近のライントランセクトで実施してきたが、気象条件（ガスによる照度の低下）による影響が大きかった。そのため、これらの調査地にアプローチする途中の、標高が低くて気象条件の影響が比較的小さい、白根御池分岐点の定点と右俣ルートのライントランセクトを2015年に追加した。

⑤ 富士山

- 山頂付近にA、C、D、Eの4つのプロットを設定して植生調査を開始した。このうちの調査環境の厳しいプロットEは、モニタリングにとって重要な環境ではあるが、長期的な調査を安全に継続するのは困難との結論となり、2012年に廃止した。

3) 第3期までの成果

- ・ 大雪山、北アルプス（立山、蝶ヶ岳～常念岳）、白山、南アルプス（北岳）、富士山に、表 I-3-8～13 に示したプロットを設置し、維持している。

4)第4期に向けた課題と展望

- ・ サイトやプロットの配置については、これまでに設定したものを維持できる見通しである。

(2)調査手法

1)目標

- ・ 高山生態系への様々な影響を検出できるよう、調査対象と調査方法を選定する。

2)第3期までの状況

- ・ 2008 年に調査対象と調査方法を検討し、2009 年に白山サイトと南アルプス（北岳）サイトで試行調査を実施し、それらの結果をもとに調査マニュアルを作成した。

3)第3期までの成果

- ・ 調査マニュアルは、その後の全サイトで得られた結果や課題を基に、検討会やメーリングリストによる検討を通じて改定されている。

①地温・地表面温度

- 2013 年までは各プロットで、地表、地下 5 cm、地下 10cm に 1 個ずつ温度計を設置していた。しかし、ホシガラスやキタキツネなどの動物による抜き取り、凍上現象による地上への露出、温度計の破損や故障、行方不明、原因不明の異常値や時計異常のトラブルにより、一部で欠測が発生した。そのため 2013 年からは、地表と地下 10cm に予備機材を含む 2 個ずつの温度計を設置しており、欠測が少なくなった。

②植生調査

- 特にイネ科やカヤツリグサ科の同定が困難で、大雪山、北アルプス（立山）、白山、南アルプス（北岳）で、2 回目の調査により修正または、注釈をつけることとなった。
- 富士山の山頂付近では、第 2 期には専門家が蘚苔類を同定したが、標本採取の必要性や調査の継続性を考慮し、第 3 期には現地で同定可能な 2 種のみを同定した。

③ハイマツの年枝伸長量

- 第 2 期の調査では、調査対象としたハイマツに識別用のナンバーテープをつけていたが、より確実に同じ個体の同じ場所を測定できるよう、第 3 期からはアルミ製のナンバータグを取り付け、測定位置にペイントマーカーで線を引くようにした。
- 大雪山では枝折れや枯死が多いため、調査毎にそうした影響を受けていない枝を選び直すこととした。

④インターバルカメラによる開花フェノロジー調査

- 設置後のカメラについては、原因不明の撮影停止、設定条件の誤り、台風の強風、ニホンザルや人によると思われるカメラの移動や落下、三脚の転倒などが発生した。高山帯の調査地域は国立公園の特別保護地区などにあり、調査機材は景観に配慮した色や形のものを使用し、種類や個数を予め示した上で許可を得なければならない。そのため故障に備えて予備機を準備し、同じ機材が入手できない場合に備えてハウジング（機材を入れるための一定の色や形の箱）を使用し、許可が得られる範囲で強固な構造物や岩を利用して設置している。
- 一部のサイトについては、異常時に対応できる現地の人手を確保し、現地調査主体が別途設置しているカメラの画像を参考データとして提供頂いている。

⑤目視による開花フェノロジー調査

- 2013 年頃までは調査日のばらつき（お盆の時期に調査間隔が空く）があったが、現地調査主体の調整努力で、ばらつきが少ない間隔で調査が行われるようになった。
- 調査データの中には、調査者の違いや調査日の天候の影響で、開花ステージの逆転現象（例：B－満開日の方が、A－咲き始めの日より早い）がみられた。その原因としては、悪天時に花を閉じる種類は、蕾と萎んだ花の区別が難しいことが考えられる。そのため解析には、調査地を良く知る専門家が、前後の複数の調査結果を合わせて確認、修正した集計結果を用いた。

⑥チョウ類、地表徘徊性甲虫、マルハナバチ類

- 調査時の天候については、予備日を含む余裕のある調査日程が望ましいが、調査者の確保の点から限界がある。サイトやプロットの配置で述べたように、南アルプス（北岳）では天候がより安定した調査地を追加した。
- 大雪山のチョウ類調査は、2016 年に大雪山固有の高山蝶と各サイト共通の指標種で発生の時期や場所が異なることが示されたため、2017 年からはそれぞれに適した時期と場所で調査を実施することとした。

4)第4期に向けた課題と展望

①気温

- 北アルプス（立山）や白山で温度ロガーと通風シェルターが落下し、その原因として氷や雪の影響が考えられた。積雪の少ない場所で測定するか、落下しない機材の取り付け方法を検討する。
- 富士山では、測定機材が持ち去られたため、対策が必要である。

②植生調査

- 富士山は砂礫地で、永久方形区の4隅の杭も含めて斜面全体が少しずつ動くため、調査時に1m×1mの枠を置いても前回の場所と完全には重ならなかった。調査地は国立公園の特別保護地区などにあり、構造物の設置に許可が必要であることと、生育している植物も一緒に移動していることから、同じ場所でのモニタリングの継続が課題である。
- 北アルプス（立山）の雪田環境では特に、調査時の踏みつけによる植生への影響が懸念されている。そのため調査間隔を現在の5年よりもあける等の検討が必要である。

③インターバルカメラによる開花フェノロジー調査

- 数か月にわたって様々な植物の開花が判読できる適切なカメラの画角の選定が必要である。
- 設置後のカメラが、台風の強風により転倒し、停止することがあるため、より安定した設置方法の検討や、早期に回復できる人手の確保が必要である。

④チョウ類、地表徘徊性甲虫、マルハナバチ類

- 個体数が、調査時期と調査時の天候に大きく影響を受ける。
- 調査時期はサイトごとに適期を選んで設定しているが、年により適期が異なるので、調査日を一定に保つのか、適期に合わせて調査日を変更するかが課題である。両者を含む調査回数の増加が望ましいが、長期的な調査結果の蓄積から解析を行うこととしている。

(3)持続可能な調査体制

1)目標

- ・ 調査を100年継続することを目指して、持続可能な調査体制を構築する。

2)第3期までの状況

- ・ 調査サイトは、実施体制・協力体制があるところを選定している（表 I-3-1, 7）。調査には、大学、国や地方自治体の研究機関、NPO法人、民間の研究団体の方々の協力によって成り立っている。
- ・ 大雪山の目視による開花フェノロジー調査は、植物の開花期間中は悪天候の日を除き、週2回程度は現地に行く必要がある。そのため年1～数回の他の調査と異なり、ボランティアの力が無くては成り立たない調査である。調査能力のあるボランティアを継続的に確保するため、現地調査主体による人材の募集や育成が行われている。
- ・ 北アルプス（蝶ヶ岳～常念岳）と南アルプス（北岳）のチョウ類調査や富士山の調査は、当初は大学中心に実施されていたが、調査者を中心に新たな民間団体が設立され、複数の方に協力いただいている。
- ・ 南アルプス（北岳）の温度や植物の調査には、地元の自然保護団体や研究会、地方自治体にも幅広くご参加頂き、役割分担をしながら調査を継続している。
- ・ マルハナバチ類の調査には、捕獲せずにマルハナバチ類の種類とカーストを識別でき、訪花植物も同定できる調査者が必要である。大雪山では地元のボランティアの方に、ご協力頂いている。北アルプス（蝶ヶ岳～常念岳）では、学会発表の場やサイト関係者の紹介を通じて得られた様々な所属の方に、ご参加いただいている。

3)第3期までの成果

- ・ 現地調査主体を中心とした調査が継続されている。

4)第4期に向けた課題と展望

- ・ 調査サイトには、交通網や登山道、宿泊施設が整備されているが、調査者には、一定の体力と登山技術、悪天候も考慮した予備日を含む調査日程の確保が必要である。
- ・ 高山帯には貴重な生物が多く、貴重な環境を壊さない信頼できる調査者が必要である。
- ・ 高山帯の調査には許認可手続きが必要で、予め調査者を確定する必要がある。
- ・ 調査者が高齢化や異動、病気や怪我などで、調査が困難になる場合がある。そのため、できるだけ複数の調査者が参加することが望ましい。実施主体が大学の場合、研究室所属の学生の参加が多いが、その他の場合は、後継者の育成、調査団体の拡大、関係機関への協力要請などを必要に応じて行う。
- ・ 後継者を育成・確保するため、人材育成を支援する取組を検討する。

(4)情報の共有・管理及び発信

1)目標

- ・ 本調査で得られた成果は、高山帯という特殊な環境に関する貴重なデータで、多くの研究者による専門的な解析を通じ、高山帯の環境や生物の長期的な変化を把握、予測し、その要因の解明に資することが期待される。また、多くの一般市民の方に、高山帯の現状に対する関心を持っていただくための基礎資料でもある。そのため、情報の共有、管理及び発信のための情報管理体制を構築し、高山帯の保全や研究のために効果的に情報を発信する。

2)第3期までの状況

- ・ これまでに「モニタリングサイト 1000 高山帯調査マニュアル」に基づき、一定の調査方法で得

られたデータは毎年蓄積され、それらをまとめた調査結果が、調査報告書、速報、データファイル、ニュースレターとして、環境省自然環境局生物多様性センターのウェブサイトで公開されている。

3)第3期までの成果

- ・ 本調査の成果は、調査関係者を通じて学会や講演会、公開講座などで紹介され、学术论文や報告書、一般書籍などで発表されている。
- ・ 本調査の調査方法に準拠した形で他地域（中央アルプス）でも調査が行われ、一定の成果をあげている。

4)第4期に向けた課題と展望

- ・ 広く一般に向けた情報発信（ウェブサイト等）や専門家等を主な対象とした情報発信（論文・学会発表等）が進んだのに対し、モニタリングサイト 1000 事業内（生態系間）の情報共有や、調査結果の効果的な活用の観点から、第4期に向けた課題として以下が考えられた。
- ・ 本事業の調査結果が、国（特に環境省）や地方自治体の保全施策に効果的に活用されるための、事業の知名度向上と調査結果の発信・情報提供を強化する。
 - ウェブサイト公開の生データではなく、保全施策を考える上で、生態系や生物多様性の状態の変化とその影響要因の関係を分かりやすくまとめた情報提供をする。
 - 環境省内部や各都道府県などに対し、生物多様性センターで作成した成果物や調査予定をメールで情報提供する取組を推進する。
 - 成果の活用事例や開花フェノロジー写真などについて、ウェブサイトなどでの公表を検討し、成果の活用を推進する。

(5)調査結果の保全施策への活用

1)目標

- ・ 調査結果が、国や地方自治体、民間団体などの生物多様性保全施策に効果的に活用される。

2)第3期までの状況

- ・ モニタリングサイト 1000 は、生態系の異変をいち早く検出し、適切な生物多様性保全施策に資することを目標の1つとしているが、自治体や保全団体などの各主体への情報提供が課題であった。

3)第3期までの成果

- ・ 「日本における気候変動による影響の評価に関する報告と今後の課題について（中央環境審議会意見具申）」に、モニタリングサイト 1000 高山帯調査の成果が反映された。
- ・ 「平成 28 年度生物多様性分野における気候変動への適応策検討業務報告書（国立環境研究所）」に、モニタリングサイト 1000 高山帯調査の成果が反映された。
- ・ 環境省中央環境審議会気候変動影響評価等小委員会でもまとめられた「気候変動適応策を推進するための科学的知見と気候リスク情報に関する取組の方針（中間とりまとめ）」では、令和 2 年度を目途とする第 2 次気候変動影響評価に向けて、小委員会で継続的に科学的知見の収集整理を進めることとなった。その小委員会に、モニタリングサイト 1000 高山帯調査の成果が反映された。

- ・ 北海道上川総合振興局の「セイヨウオオマルハナバチ対策連絡会議（2017 年設置）」に、モニタリングサイト 1000 高山帯調査の手法が取り入れられ、山岳生態系保全に向けた生態系監視手法の作成に寄与した。
- ・ 各都道府県のレッドリスト検討のための基礎資料となった。

4)第4期に向けた課題と展望

- ・ 気候変動適応法に基づく影響評価や計画に対し、国立環境研究所等の関係機関とも連携を図りつつ、生物の種数や分布、生物季節の変化等、気候変動影響の把握・評価に必要なデータを引き続き整備・提供していく。
- ・ 地方自治体におけるモニタリングサイト 1000 事業の成果の利活用を促進するため、得られた新知見やトピックス等の成果物を積極的に提供していく。
- ・ 環境省生物多様性センターが事務局を務める NORNAC（自然系調査研究機関連絡会議）における情報共有等を通じ、相互の成果利活用や連携を強化していく。
- ・ 成果の活用実績は、モニタリングサイト 1000 事業が評価される指標であるとともに、行政ニーズを適切に把握し本調査に反映していくことが、本調査の必要性や調査体制の維持につながることから、情報収集を強化する。
 - 成果提供する都道府県に対しては、成果を活用した場合には生物多様性センターに連絡するよう依頼。
 - 調査協力者に対しては、年に 1 度、活用実績の聞き取り調査を実施。
 - ウェブサイトでは、成果物の活用した場合に効果的に情報を収集できるよう検討する。
 - 集めた情報は生物多様性センターで一括管理し、ウェブサイトや成果物の中に入れ込み、調査協力者にも還元できるようにする。

(6)国際的枠組みとの連携

1)目標

- ・ 地球規模の生物多様性モニタリング推進のため、既存の国際的な枠組みと連携するとともに、生物多様性モニタリングの協力体制を構築する。
- ・ 本調査で得られたデータは、将来的には地球規模生物多様性情報機構（GBIF：Global Biodiversity Information Facility）といった国際的なデータベースに登録する。

2)第3期までの状況

- ・ 本調査の調査サイトの設定や植生調査の手法については、世界各国で共通したマニュアルのもとで高山植生のモニタリングを行っている GLORIA（Global Observation Research Initiative in Alpine Environments）を参考にした。

3)第3期までの成果

- ・ 本調査の成果が、英文の学術雑誌や国際シンポジウムで発表された。
- ・ ノルウェーの北極圏と日本の高山帯を学ぶ教育プログラム（JANATEX）において、2018 年はモニタリングサイト 1000 高山帯調査の調査サイトで、ノルウェー大学院生が参加した野外実習が実施された。

4)第4期に向けた課題と展望

- ・ 動植物の分類に諸説があり、研究の進歩とともに見直しが行われるため、採用する和名や学名が、研究者や調査された時代で異なる場合がある。本調査では、地表徘徊性甲虫の和名や学名は、「モニタリングサイト 1000 森林・草原調査」で採用されている文献に準拠することとした。
- ・ 動植物の調査では、種名まで同定できない（未記載の新種の可能性もある）○○属 sp. や○○科 sp. といったデータが含まれる場合がある。本調査では特に、種数が多く、種までの同定が難しい地表徘徊性甲虫に、こうしたデータが多く含まれる。こうしたデータの取り扱いが、今後課題となる可能性がある。

参考情報

<モニタリングサイト 1000 高山帯調査に関わる成果>

- ・モニタリングサイト 1000 ウェブサイト
<http://www.biodic.go.jp/monil000/index.html>
- ・モニタリングサイト1000 高山帯調査マニュアル
<http://www.biodic.go.jp/monil000/manual/index.html>
- ・環境省自然環境局生物多様性センター（2009～2010）平成 20～21 年度重要生態系監視地域モニタリング推進事業（モニタリングサイト 1000）高山帯調査業務報告書。
<http://www.biodic.go.jp/monil000/findings/reports/index.html>
- ・環境省自然環境局生物多様性センター（2011～2013, 2014a, 2015～2018）平成 22～29 年度モニタリングサイト 1000 高山帯調査報告書。
<http://www.biodic.go.jp/monil000/findings/reports/index.html>
- ・環境省自然環境局生物多様性センター（2014b）モニタリングサイト 1000 高山帯調査—重要生態系監視地域モニタリング推進事業—2008～2012 年度とりまとめ報告書。
<http://www.biodic.go.jp/monil000/findings/reports/index.html>
- ・自然環境研究センター（2010～2018）モニタリングサイト 1000 高山帯調査調査速報 No. 1～9。
<http://www.biodic.go.jp/monil000/findings/newsflash/index.html>
- ・データファイル
<http://www.biodic.go.jp/monil000/findings/data/index.html>
- ・ニュースレター（モニタリングサイト 1000 事業全体）
<http://www.biodic.go.jp/monil000/findings/newsletter/index.html>

<参考文献>

- ・Aldridge G., Inouye D. W., Forrest J. R. K., Barr W. A., Miller-Rushing A. J. (2011) Emergence of a mid-season period of low floral resources in a montane meadow ecosystem associated with climate change. *Journal of Ecology* 99: 905-913.
- ・Amagai Y., Kaneko M., Kudo G. (2015) Habitat-specific responses of shoot growth and distribution of alpine dwarf-pine (*Pinus pumila*) to climate variation. *Ecological Research* 30: 969-977.
- ・Amagai Y., Kudo G., Sato K. (2018) Changes in alpine plant communities under climate change: dynamics of snow-meadow vegetation in northern Japan over the last 40 years. *Applied Vegetation Science* 2018: 1-11. DOI: 10.1111/avsc.12387
- ・有本勲 (2013) 白山にニホンジカとイノシシがやってきた!! . はくさん 41(1) : 8-12.
- ・有本実・中村寛志 (2007) 南アルプス北岳と仙丈ヶ岳周辺のチョウ類群集の定量的調査 日本環境動物昆虫学会誌 18(1): 1-15.
- ・Forrest J. R. K. (2015) Plant-pollinator interactions and phenological change: what can we learn about climate impacts from experiments and observations? *Oikos* 124: 4-13.
- ・GLORIA (Global Observation Research Initiative in Alpine Environments)
<http://www.gloria.ac.at/?a=20>
- ・浜栄一・栗田貞多男・田下昌志 (1996) 信州の蝶. 信濃毎日新聞社.
- ・橋本佳延・藤木大介 (2014) 日本におけるニホンジカの採食植物・不嗜好性植物リスト. 人と

自然 25:133-160.

- Hegland S. J., Nielsen A., Lázaro A., Bjerknes A-L., Totland Ø. (2009) How does climate warming affect plant-pollinator interactions? *Ecology Letter* 12: 184-195.
- 平松新一 (2000) 白山における地表性ゴミムシ類の種類相と出現時期. 石川県白山自然保護センター研究報告 27: 11-20.
- 平松新一 (2008) 白山の亜高山帯および高山帯における地表性ゴミムシ類 (コウチュウ目, オサムシ科) の種類相と分布. *昆虫 (ニューシリーズ)* 11(1): 1-12.
- Hiramatsu S., Nisikawa U. (2018) Assemblage characteristics and habitat specificity of carabid beetles in a Japanese alpine-subalpine zone. *Psyche: A journal of entomology*, Volume 2018, Article ID 9754376, 15 pages.
- 平松新一・富樫一次・富沢章 (1999) 白山におけるオサムシ亜族の垂直分布. *日本生物地理学会会報* 54: 1-7.
- 北海道地方環境事務所 (2012) 平成 23 年度大雪山周辺エゾシカ調査業務—業務報告書 (公開版) —.
- 北海道地方環境事務所 (2017) 大雪山高山帯におけるセイヨウオオマルハナバチ防除の考え方 (素案) .
- 北海道環境生活部環境局生物多様性保全課 (2016) 北海道レッドリスト【昆虫>チョウ目編】改訂版 (2016 年).
- 北海道環境生活部環境室自然環境課 (2001) 北海道の希少野生生物, 北海道レッドデータブック 2001.
http://www.pref.hokkaido.lg.jp/ks/skn/yasei/tokutei/rdb/list2016_konchyuchoumoku2.htm
- Høye T. T., Post E., Schmidt N. M., Trøjelsgaard K, Forchhammer M. C. (2013) Shorter flowering seasons and declining abundance of flower visitors in a warmer Arctic. *Nature Climate Change* 3:759-763.
- 猪又敏男・池田真澄・岸田泰則・板垣有而・金田吉高 (1986) 大図録日本の蝶. 499pp. 竹書房.
- Inouye D. W. (2008) Effect of climate change on phenology, frost damage, and floral abundance of montane wildflowers. *Ecology* 89: 353-362.
- 石田仁 (2006) 富山県の森林帯における年間積雪期間の標高傾度—林床地表面温度からの推定—. *雪氷* 68 (5): 489-496.
- 石川県絶滅危惧植物調査会 (2010) 改訂・石川県の絶滅のおそれのある野生生物 いしかわレッドデータブック<植物編>2010. 石川県環境部自然保護課.
- 石川県野生動物保護対策調査会 (2009) 改訂・石川県の絶滅のおそれのある野生生物 いしかわレッドデータブック<動物編>2009. 石川県環境部自然保護課.
- 泉山茂之 (1987) 飛騨山系槍ヶ岳周辺に棲息するニホンザルの高山帯への適応についての生態学的研究 (IV 共同利用研究 2. 研究成果). *霊長類研究所年報* 17:45.
- 環境省 (2018) 気候変動適応計画.
- 環境省長野自然環境事務所 (2012) 【お知らせ】中部山岳国立公園におけるニホンジカ目撃情報をお寄せ下さい! ニホンジカ分布地. http://chubu.env.go.jp/nagano/to_2012/0824a.html
- 環境省自然環境局生物多様性センター, 植生調査概要, 統一凡例一覧表 (大、中、細区分), II コケモートウヒクラス域自然植生, 07 高茎草原及び風衝草原, 05 シカ食害草原.
<http://gis.biodic.go.jp/webgis/sc-017.html?lst=07>
- 環境省自然環境局野生生物課希少種保全推進室 (2015a) レッドデータブック 2014—日本の絶滅のおそれのある野生生物 5 昆虫類—. ぎょうせい.

- ・環境省自然環境局野生生物課希少種保全推進室 (2015b) レッドデータブック 2014—日本の絶滅のおそれのある野生生物 8 植物 I (維管束植物) —. ぎょうせい.
- ・環境省自然環境局野生生物課希少種保全推進室 (2019) 環境省レッドリスト 2019 の公表について. <https://www.env.go.jp/press/106383.html>
- ・環境省自然環境局野生生物課外来生物対策室, 日本の外来種対策, 特定外来生物の解説, セイヨウオオマルハナバチ
<http://www.env.go.jp/nature/intro/loutline/list/L-kon-08.html>
- ・川合由加・工藤岳 (2014) 大雪山国立公園における高山植生変化の現状と生物多様性への影響. 地球環境 19(1) : 23-32.
- ・河野昭一 (1999) 北アルプス立山における自然環境の破壊と保全—長期モニタリング調査結果の評価—. 日本生態学会誌49:313-320.
- ・木野田君公・高見澤今朝雄・伊藤誠夫 (2013) 日本産マルハナバチ類図鑑. 北海道大学出版会.
- ・気象庁 (2013) 2012 年(平成 24 年)の世界と日本の年平均気温(確定). 報道発表資料. 平成 25 年 2 月 4 日. <http://www.jma.go.jp/jma/press/1302/04c/worldtemp2012.pdf>
- ・気象庁, 過去の気象データ検索. <http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/index.php>
- ・吉良龍夫 (1948) 温量指数による垂直的な気候帯のわかちかたについて—日本の高冷地の合理的利用のために—. 寒地農学 2(2) : 47-77.
- ・Klinka K., Krajina V. J., Ceska A, Scagel A. M. (1989) Indicator Plants of Coastal British Columbia., University of British Columbia Press.
- ・近田文弘・清水建美 (2002) 富士山の帰化植物. 国立科学博物館専報 38 : 95-107.
- ・工藤岳 (2000) 高山植物の開花フェノロジーと結実成功. (工藤岳編著) 高山植物の自然史-お花畑の生態学. pp. 117-130. 北大図書刊行会.
- ・工藤岳 (2014) 気候変動下での山岳生態系のモニタリングの意義とその方向性. 地球環境 19(1) : 3-11.
- ・Kudo G. (2014) Vulnerability of phenological synchrony between plants and pollinators in an alpine ecosystem. *Ecological Research* 29: 571-581.
- ・Kudo G. (2016) Landscape Structure of Flowering Phenology in Alpine Ecosystems: Significance of Plant-Pollinator Interactions and Evolutionary Aspects. *In* (Kudo G. ed.) *Structure and Function of Mountain Ecosystems in Japan*. 17-40pp. Springer.
- ・工藤岳・雨谷教弘 (2018) 高山帯におけるササの分布拡大メカニズムと生態系への影響(日本の山岳保護地域の自然環境管理と持続可能な利用). 地球環境 23(1・2) : 17-26.
- ・工藤岳・井本哲雄 (2012) 大雪山国立公園高山帯におけるマルハナバチ相のモニタリング調査. 保全生態学研究 17 : 263-269.
- ・工藤岳・横須賀邦子 (2012) 高山植物群落の開花フェノロジー構造の場所間変動と年変動: 市民ボランティアによる高山生態系長期モニタリング調査. 保全生態学研究 17:49-62.
- ・松本和馬 (2006) 森林総合研究所多摩森林科学園のチョウ相. 森林総合研究所研究報告 5(1) (No. 398) : 69-84.
- ・宮脇昭 (1985) 日本植生誌, 中部. 至文堂.
- ・宮脇昭 (1988) 日本植生誌, 北海道. 至文堂.
- ・宮脇明・奥田重俊 (1990) 日本植物群落図説. 至文堂.
- ・宮脇昭・奥田重俊・望月睦夫(編) (1983) 改訂版日本植生便覧. 至文堂.
- ・Mizunaga Y., Kudo G. (2017) A linkage between phenology and fruit-set success of alpine

plant communities with reference to the seasonality and pollination effectiveness of bees and flies. *Oecologia* 185: 453-464.

- ・長野県環境部自然保護課（2019）ニホンザルによるライチョウのヒナの捕食が問題となっています！
- ・長野県環境部自然保護課・長野県環境保全研究所自然環境部（2015）長野県版レッドリスト～長野県の絶滅のおそれのある野生動植物～動物編 2015.
- ・長野県生物多様性研究会・長野県自然保護研究所・長野県生活環境部環境自然保護課（2004）長野県版レッドデータブック～長野県の絶滅のおそれのある野生生物～動物編.
- ・中村寛志・豊嶋弘（1999）チョウ類の指標グループと RI 指数を利用した環境評価の一方方法. 日本環境動物昆虫学会誌 10(4):143-159.
- ・名取俊樹（2006）温暖化の高山植物への影響—温暖化影響モニタリングの可能性—. 地球環境 11(1): 21-26.
- ・日本チョウ類保全協会（2012）フィールドガイド日本のチョウ. 誠文堂新光社.
- ・野上達也・有本勲（2014）ついに白山の亜高山帯にシカがやってきた. モニタリングサイト 1000 高山帯調査速報 No. 5.
- ・野上達也・吉本敦子（2013）白山の自然誌 33 白山の外来植物. 石川県白山自然保護センター.
- ・沖津進（1988）ハイマツ年枝生長の地理変異. 日本生態学会誌 38: 177-183.
- ・奥田重俊（1997）生育環境別日本野生植物館. 小学館.
- ・大野啓一・吉川正人（2015）日本の植生へのシカ影響の広がり—植生学会の調査から.（前迫ゆり・高槻成紀編）シカの脅威と森の未来, シカ柵による植生保全の有効性と限界. pp. 43-56. 文一総合出版.
- ・尾関雅章・浜田崇・飯島滋裕（2011）中央アルプス千畳敷におけるハイマツの年枝伸長量. 長野県環境保全研究所研究報告 7:39-42.
- ・Sano T., Matano T., Ujihara A. (1977) Growth of *Pinus pumila* and climate fluctuation in Japan. *Nature* 266.:159-161.
- ・志村隆（2007）日本産蝶類標準図鑑. 学習研究社.
- ・静岡県くらし・環境部環境局自然保護課（2017）静岡県版植物レッドリスト 2017.
- ・須賀丈（2001）中部山岳高山帯におけるマルハナバチ類の訪花ならびにオオマルハナバチによるコマクサの盗蜜の記録. 長野県自然保護研究所紀要 4. 別冊 2:13-22.
- ・須賀丈（2006）外来生物法による外来昆虫の管理：その制度的・科学的背景—特に長野県の生態系への影響が懸念されるセイヨウオオマルハナバチをめぐって—. 長野県環境保全研究所報告 2:1-14.
- ・須賀丈（2009）中央アルプス木曾駒ヶ岳および北アルプス八方尾根で記録されたチョウ類・マルハナバチ類. 長野県環境保全研究所研究報告 5:65-72.
- ・須賀丈・尾関雅章・浜田崇（2015）開花フェノロジーとマルハナバチの訪花行動への温暖化影響の観測. 長野県環境保全研究所, 研究プロジェクト成果報告 10, 長野県における温暖化影響評価及び適応策立案手法の開発に関する研究報告書. pp42-48.
- ・杉山啓子（2014）活動報告「ビロードモウズイカ」除去作業. 芦安ファンクラブ通信 54:7.
- ・植生学会企画委員会（2011）ニホンジカによる日本の植生への影響—シカ影響アンケート調査（2009～2010）結果—. 植生情報 15: 9-96.
- ・太刀掛優・中村慎吾（2007）改訂増補帰化植物便覧. 比婆科学教育振興会.
- ・高羽正治（1998）コウチュウ目オサムシ科. 石川県の昆虫, 石川むしの会・百万石蝶談会（編）, pp103-120. 石川県.

- ・高槻成紀（2015）植物への影響.（前迫ゆり・高槻成紀編）シカの脅威と森の未来, シカ柵による植生保全の有効性と限界. pp. 31-41. 文一総合出版.
- ・竹内健・橘ヒサ子（1999）大雪山旭岳に侵入した低地植物の種子発芽特性. 北海道教育大学大雪山自然教育研究施設研究報告 33:19-31.
- ・富山県生活環境部自然保護課（2012）富山県の絶滅のおそれのある野生生物ーレッドデータブックとやま 2012ー.
- ・富山県・立山外来植物除去対策検討委員会, 外来植物除去, 立山の生態系をまもるために.
http://tateyama-shizenhogo-c.raicho-mimamori.net/_wp/wp-content/uploads/2017/04/exotic_plant.pdf
- ・豊国秀夫（1988）山溪カラー名鑑日本の高山植物. 山と溪谷社.
- ・Wada N., Watanuki K., Kume A., Narita K., Suzuki S., Kudo G. (2005): Climata Change and Shoot Elongation of Alpine Dwarf Pine (*Pinus pumila* Regel): Comparisons between Six Japanese Mountains. *Phyton, Annales Rei Botanicae*, Horn 45(4) : 253-260.
- ・Winkler D.E., Amagai Y., Huxman T.E., Kaneko M., Kudo G. (2016) Seasonal dry-down rates and high stress tolerance promote bamboo invasion above and below treeline. *Plant Ecology* 217 : 1219-1234.
- ・山梨県森林環境部みどり自然課（2018）2018 山梨県レッドデータブックー山梨県の絶滅のおそれのある野生生物ー.

<検討委員会>

検討委員

小熊 宏之	国立環境研究所環境計測研究センター
工藤 岳	北海道大学地球環境科学研究所
鈴木 啓助	信州大学理学部
中村 寛志	ミヤマシジミ研究会
座長 増澤 武弘	静岡大学理学部／静岡自然環境研究会
和田 直也	富山大学研究推進機構極東地域研究センター

サイト関係者

猪俣 健之介	南アルプス市農林商工部
清水 准一	芦安ファンクラブ
須賀 丈	長野県環境保全研究所
富田 美紀	静岡自然環境研究会
名取 俊樹	芦安ファンクラブ
野上 達也	石川県生活環境部
平松 新一	石川県白山自然保護センター／石川むしの会
廣瀬 和弘	南アルプス市農林商工部
横須賀 邦子	アース・ウィンド

(敬称略、五十音順、所属は2019年度のもの)

モニタリングサイト 1000 高山帯調査
2008-2017 年度とりまとめ報告書

令和 2（2020）年 1 月
環境省自然環境局 生物多様性センター
〒403-0005 山梨県富士吉田市上吉田剣丸尾 5597-1
電話：0555-72-6033 FAX：0555-72-6035

業務名 重要生態系監視地域モニタリング推進事業
（モニタリングサイト 1000）高山帯調査
第 3 期とりまとめ
請負者 一般財団法人 自然環境研究センター
〒130-8606 東京都墨田区江東橋 3-3-7

本報告書は、古紙パルプ配合率 100%、白色度 70%の再生紙を使用しています。

リサイクル適性の表示：印刷用の紙にリサイクルできます

本報告書は、グリーン購入法に基づく基本方針における「印刷」に係る判断の基準にしたがい、印刷用の紙へのリサイクルに適した材料〔A ランク〕のみを用いて作製しています。