

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 9 日現在

機関番号：10101

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2012～2014

課題番号：24570015

研究課題名(和文)気候変動による高山お花畑消失メカニズムの解明

研究課題名(英文)Mechanism of vegetation change in alpine snowmeadow under climate change

研究代表者

工藤 岳 (KUDO, GAKU)

北海道大学・地球環境科学研究科(研究院)・准教授

研究者番号：30221930

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,300,000円

研究成果の概要(和文)：高山生態系における急速な植生変化の現状把握とメカニズム解明に関する研究を北海道大雪山系で行った。高山生態系で最も大きなバイオマスを有するハイマツ帯は拡大傾向にあり、チシマザサの分布面積は過去35年間にほぼ倍増し、高山植物群落へのササの侵入が加速している現状が明らかにされた。雪解けの早期化と土壤乾燥化は湿生植物の乾燥ストレスを増大し、個体群衰退を引き起こすことが個体群モニタリングと動態予測モデルにより明らかとなった。温暖化と雪解けの早期化は高山植物群落の開花時期を加速し、主要花粉媒介昆虫であるマルハナバチの季節活性との同調性を攪乱する、フェノロジカルミスマッチが起き易いことが示された。

研究成果の概要(英文)：Rapid changes in alpine vegetation under climate change were quantified in the Taisetsu Mountains northern Japan and the mechanism of vegetation change was analyzed. *Pinus pumila* zone having the largest biomass in alpine ecosystems have expanded under warmer climate. The distribution of dwarf bamboo (*Sasa kurilensis*) also increased almost two times during last 35 years, and the invasion of dwarf bamboo into snow-meadow vegetation has been accelerated. Monitoring in the field and the model simulation of population dynamics revealed that the acceleration of snowmelt and subsequent drying soil conditions increased the drought stress of snow-meadow plants, resulting in the decreasing population growth of snow-meadow species. Warm temperature and early snowmelt accelerate the flowering progress of alpine plant communities and disturb the synchrony between flowers and pollinators (bumble bees).

研究分野：生物学

キーワード：気候変動 高山生態系 植生変化 生物多様性 送粉系相互作用 温暖化 大雪山国立公園 融雪時期

1. 研究開始当初の背景

高山生態系は、気候変動により多くの種の絶滅が危惧される生物多様性のホットスポットと考えられている。中緯度高山地域は、それぞれが地理的に隔離された比較的小規模の生態系であり、原生状態が保たれているため、気候変動に対する生態系の応答を検出するのに適した生態系である。我が国の山岳生態系は多雪気候下にあり、積雪深と融雪時期の不均一性により種多様性が維持されている。従って、積雪環境の改変は、高山生態系の種多様性を大きく変化させる可能性がある。低地性植物の山岳域への侵入や、それに伴う高山植物相の衰退現象が世界各地で報告されている。北海道大雪山系では、過去30年間にチシマザサの分布が高山帯で急速に拡大しており、湿生植物群落への侵入が著しい。また、高山生態系で非常に大きなバイオマスを有するハイマツ帯の動態は、高山植生に強い影響を及ぼすと考えられる。ハイマツの生長量は夏季の気温と正の相関が強いことが過去の研究で示されているが、気温上昇に関連したハイマツ分布域の動態についての知見はほとんどない。

雪解けの早期化は、融雪水の流入期間を短縮し、土壌水分環境を変化させる。乾燥ストレスが植物の繁殖活性に及ぼす影響は、個々の植物の耐乾性と繁殖スケジュールにより異なる。気候変動が高山植物群落の種組成変化に及ぼすプロセスを理解するには、乾燥ストレスに対する種特有の成長応答や個体群成長応答から評価する必要がある。さらに気温や雪解け時期の変化は、高山植物群落の開花スケジュールに直接影響する。開花スケジュールの変化は、送受粉プロセスやその後の種子生産に強い影響を及ぼす。高山生態系において、ポリネーターの活性は明瞭な季節性があり、植物の開花時期変異は、送粉成功率を介して種子生産に影響する。しかし、気候変動が生物の季節性を改変することにより生じる生態系変動に関する研究は少ない。

このような背景から、高山植生の種多様性に影響を及ぼす優占種(特に低木植物)の分布域の変化の定量化、気候変動に脆弱な種個体群の動態予測、植物-昆虫相互作用の季節同調性の脆弱性(フェノロジカルミスマッチ)に関する研究への取り組みが重要である。

2. 研究の目的

本研究は北海道大雪山系の高山帯を主な調査地とし、急速に進行している植生変化と湿生お花畑(雪潤植物群落)の衰退メカニズム、ならびに気候変動による植物-ポリネーター相互作用の崩壊プロセスを明らかにすることを目的とする。研究は、(1)高山帯で極めて大きなバイオマスを有するハイマツとチシマザサの分布域の変化、(2)高茎草本植物エゾノハクサンイチゲの個体群構造と

動態比較、(3)気候変動に伴う植物群落の開花時期の変化とポリネーター活性との季節同調性の年変動により構成される。

3. 研究の方法

(1)ハイマツとチシマザサの分布域の変化

大雪山系五色が原、ヒサゴ沼周辺部、旭岳周辺部において、過去の航空写真(1977年)と最近の航空写真(2009年または2012年)を入手し、オルソ処理したデジタル写真を作成し、チシマザサならびにハイマツの植被を識別し、GIS手法をもちいて分布域の変化を定量化した。識別された植生を現地調査と照合し、識別精度を高めた。調査面積は、五色が原が50ha、ヒサゴ沼が25ha、旭岳周辺が550haである。ハイマツの分布域解析は旭岳、五色が原、ヒサゴ沼周辺の3カ所で行い、チシマザサの分布域解析は旭岳で行った。

(2)エゾノハクサンイチゲの個体群動態予測

典型的な雪潤植物群落構成種であるエゾノハクサンイチゲ個体群の衰退メカニズムを明らかにするために、ヒサゴ沼周辺で雪解けの早い場所から遅い場所にかけて3つの個体群(A, B, C)を選び固定調査区を設置し、個体の生存、成長、死亡、新規加入を記録し、個体群動態モデル(推移行列モデル)を構築した。調査期間は2009年から2012年にかけての4年間である。過去に観測された消雪時期をランダムに発生させた個体群動態予測を行った。個体群動態は、初期値30個体の実生からスタートし、50年間の個体群成長を1000回繰り返し予測した。

(3)開花時期とポリネーターのフェノロジカルミスマッチ

大雪山赤岳周辺の風衝地(コマクサ平)と雪田(第4雪渓)植物群落において、虫媒花植物の開花時期と主要な送粉昆虫であるマルハナバチ類の訪花頻度の観察を2012年から2014年にかけて行った。開花調査は6月上旬から9月中旬にかけて3~7日間隔で行い、マルハナバチの訪花頻度は平均週1回の頻度で行った。開花種数とマルハナバチの訪花頻度の同調性を解析し、開花時期の年変動がマルハナバチの活性時期と対応しているかどうかを検討した。

4. 研究成果

(1)ハイマツとチシマザサの分布域の変化

ハイマツの分布拡大:五色が原(ハイマツ帯の雪田側)でのハイマツの分布は、1977年が8.8ha、2009年が10.1haで、14.4%の拡大が見られた。同様に、ヒサゴ沼周辺の風衝地においても同時期に14.4%のハイマツの分布拡大が観測された(図1)。すなわち、ハイマツ帯は風衝地側と雪田側に同程度分布を拡大していることが判明した。より広域

の旭岳周辺部では、1977年から2012年までの35年間にハイマツの植被面積は約19%拡大していた。以上のことから、大雪山系全域に渡り、ハイマツ帯は拡大傾向にあることが示された。

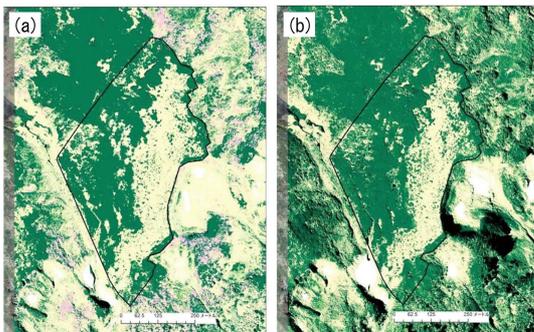


図1. 大雪山系ヒサゴ沼周辺の風衝地におけるハイマツ分布域の変化。(a) 1977年、(b) 2009年の分布域。32年間でハイマツの面積は14%拡大した。

チシマザサの広域分布面積の解析の結果、旭岳周辺部ではチシマザサが占める面積は過去35年間で2倍に拡大していることが判明した(図2)。標高別に解析した結果、いずれの標高域においても顕著な増大が見られた(表1)。すなわち、大雪山系においては森林帯から高山帯に渡る広い範囲でチシマザサの分布が急速に拡大していることが示された。

表1. 大雪山系旭岳周辺における過去35年間のチシマザサの分布面積の変化。ササの面積はアールで表示した。

調査年	標高			総計
	< 1400 m	1400-1600 m	1600-1800 m	
1977年	2040.2	2710.9	1200.6	5951.8
2009年	3262.2	6204.6	2603.3	12070.2
面積増加率	0.60	1.29	1.17	1.03

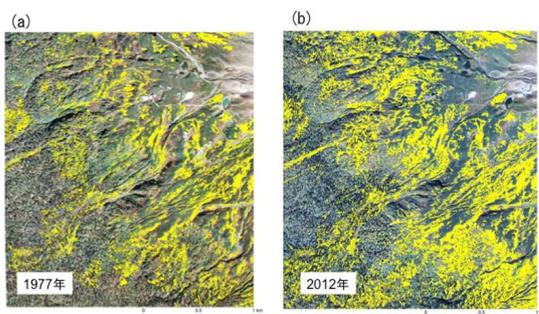


図2. 大雪山系旭岳周辺のチシマザサの分布域。(a) 1977年、(b) 2012年。

(2) エゾノハクサンイチゲの個体群動態予測

平均的な雪解け日は、個体群Aが6月8日、Bが6月20日、Cが7月4日であった。2012年の各個体群の平均個体密度は、個体群Aが71個体/m²、Bが126個体/m²、Cが49個体/m²であった。雪解けの早い個体群Aでは大型の個体が少なく、繁殖ステージに達していた個体の割合は4%と少なかった。個体群Bの繁殖ステージの割合が8%、個体群Cが13%であった。新規加入した実生個体の割合は、個体群Aが8%、Bが20%、Cが17%で、

雪解けの早い個体群では個体群成長や繁殖活性が低いことが判明した(図3)。

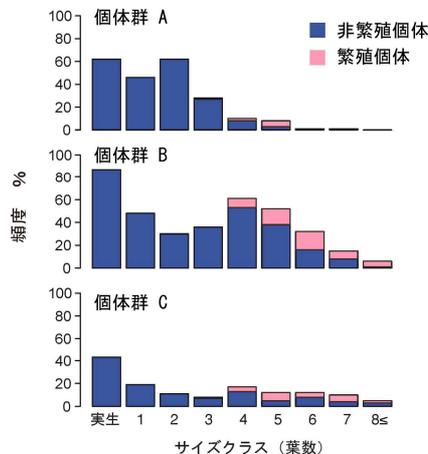


図3. エゾノハクサンイチゲ個体群の個体サイズ分布。個体群Aは雪解け時期が早く、個体群Cは遅い。

4年間の個体追跡データを基に、推移行列モデルによる個体群動態のシミュレーションを行った(図4)。50年後の個体群サイズは、個体群Aが平均61個体、Bが95個体、Cが164個体と推定された。すなわち、現在の雪解け状態が続いた場合、エゾノハクサンイチゲの分布域は雪解けの遅い場所へとシフトすると予測された。一方で、50年間に個体群が消失する絶滅確率は、個体群Aで7.8%、Bで5.2%、Cで5.2%であり、すべての個体群で10%以下の確率であった。すなわち、モデルで仮定した積雪状態であれば、調査を行った個体群は存続できる可能性が高い。大雪山系五色が原地域では、過去20年間でエゾノハクサンイチゲの大規模な個体群消失が報告されている。局所的な立地環境の違いが、雪解け時期の変化に対する地域個体群の存続に影響すると推察された。

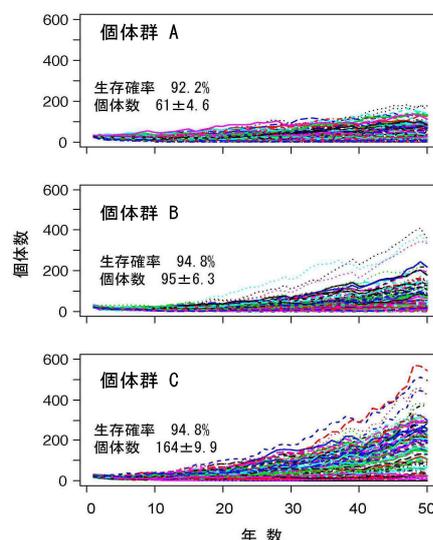


図4. 異なる雪解け環境にあるエゾノハクサンイチゲ個体群動態の予測。50年間の個体群成長のシミュレーション結果。

(3) 開花時期とポリネーターのフェノロジカルミスマッチ

2012～2014年の3年間の開花フェノロジーとマルハナバチ観察頻度の関係を図5に示す。2012年は例年に比べシーズン初期(5～6月)と8月以降の気温が非常に高い温暖年であった。雪解けが早く進行し、開花は8月中旬までにほぼ完了した。一方でマルハナバチの訪花活性は8月以降に増大し、開花種数が減少した後も高い状態を維持しており、開花フェノロジーと訪花活性の間に顕著なずれ(フェノロジカルミスマッチ)が生じていた。対照的に2013年は雪解けがゆっくり進み、雪田植物群落の開花時期は延長し、9月上旬まで開花が続いた。マルハナバチの訪花活性と開花フェノロジーはほぼ同調していた。2014年は平年の気温と雪解け状況であり、開花期間は2012年と2013年の中間的状況であった。マルハナバチの訪花活性は開花種数の季節変化と同調していた。以上の結果より、マルハナバチと高山植物群落のフェノロジー同調性は気候条件により変動することが示された。温暖で雪解けの早く進行する年にフェノロジカルミスマッチが顕著となったのは、社会性の生活史を有するマルハナバチ類は、開花が早く進行するとコロニー発達が進まないためと推測された。すなわち、マルハナバチ-高山植物送粉共生系は、気候温暖化に対して脆弱であることが示唆された。

5. 主な発表論文等

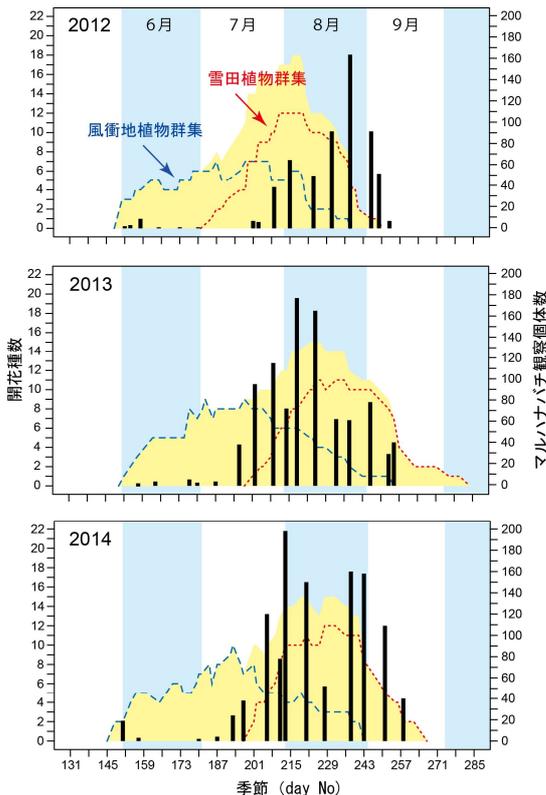


図5. 赤岳調査地における風衝地植物群落と雪田植物群落の開花数(折れ線グラフ)ならびにマルハナバチ観察個体数(ヒストグラム)の季節変化の年変動。

〔雑誌論文〕(計2件)

Kudo G (2014) Vulnerability of phenological synchrony between plants and pollinators in an alpine ecosystem. *Ecological Research* 29: 571-581、査読有
 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* 19:3-11、査読有

〔学会発表〕(計6件)

雨谷教弘・工藤岳「ハイマツの光合成収率と伸長生長の環境応答」第62回日本生態学会2015年3月19-22日「鹿児島大学(鹿児島県・鹿児島市)」

水永優紀・工藤岳「高山植物群落の結実特性:開花タイミングと媒花タイプの関係」第62回日本生態学会2015年3月19-22日「鹿児島大学(鹿児島県・鹿児島市)」

工藤岳・井本哲雄「高山帯におけるマルハナバチ群集組成と訪花昆虫の季節動態と年変動」第62回日本生態学会2015年3月19-22日「鹿児島大学(鹿児島県・鹿児島市)」

雨谷教弘・工藤岳・佐藤謙「大雪山における高山植物群落構造の40年間の変化」第61回日本生態学会2014年3月11-18日「広島国際会議場(広島県・広島市)」

Kudo G "Phenological matching between plants and pollinators: comparisons between Japanese and New Zealand alpine ecosystems" 第61回日本生態学会2014年3月11-18日「広島国際会議場(広島県・広島市)」

雨谷教弘・工藤岳・金子正美「ハイマツの伸長生長に影響を及ぼす気候要因のハビタット特異性」第60回日本生態学会2013年3月5-9日「静岡県コンベンションアーツセンター(静岡県・静岡市)」

6. 研究組織

(1) 研究代表者

工藤 岳 (KUDO, Gaku)

北海道大学・大学院地球環境科学研究院・准教授

研究者番号: 30221930