

2016 年度 緊急助成

## 高山帯のシカ食害エリアで増加したマルバダケブキの生態解明

南アルプス食害対策協議会

渡邊 修<sup>1</sup>・渋谷美月<sup>2</sup>・藤巻慎司<sup>3</sup>・竹田謙一<sup>1</sup>

ニホンジカ食害エリアの高山植生回復を進めるため南アルプス仙丈ヶ岳にシカ柵を設置し長期的な植生モニタリングを実施した。現地ではシカ柵設置後にマルバダケブキの優占度が増加することが報告されている。本研究ではマルバダケブキの分布、植生モニタリング、発芽特性、除去効果、光合成パラメータの測定を行い、マルバダケブキが増加した理由を考察した。文献および現地調査の結果、マルバダケブキの分布限界標高は 2700 m であった。マルバダケブキの地上部除去によって LAI は 1/3 以下に減少し、他草種の存在量の増加が確認された。モニタリングの結果、ミヤマシシウドとシナノキンバイの優占度が増加することが示された。この 2 種は現地でのクロロフィル蛍光測定によりマルバダケブキよりも高い光合成効率を示すことが明らかとなった。マルバダケブキは温度上昇系の条件において高い発芽率を示したが、温度下降系の条件では発芽しなかった。マルバダケブキは種子休眠性が浅く、消雪後に素早く発芽する特性を持ち、裸地化した環境で個体群を増加させていると考えられた。

キーワード：南アルプス、植生モニタリング、発芽特性、クロロフィル蛍光、葉面積指数、シナノキンバイ

### 1. 緒言

ニホンジカ（以下シカ）の植生被害は全国に及び、その影響は亜高山・高山帯まで広がっている（環境省 2015）。南アルプスではシカ食害が 2000 年代初めから顕著化し（中部森林管理局 2007）、その被害はハイマツ帯まで及び植生に大きな影響を与えている。南アルプスでシカの食害が広がった原因として、冬季の積雪が少ないこと、森林が亜高山帯の標高の高いエリアまで発達し越冬地が麓に点在すること、夏季の餌場として高山帯まで季節移動する個体群が存在すること（泉山ら 2009）、静岡、山梨、長野県境付近でのシカ捕獲が進みにくいことなどが挙げられる。南アルプスでは食害によって裸地化が進行することに加え、ミドリユキザサ・ダ

ケカンバ群団やシナノキンバイ・ミヤマキンボウゲ群団が成立する場所で、シナノキンバイ、ミヤマシシウド、クロユリなどが衰退し、マルバダケブキ、キバナノコマノツメ、バイケイソウなどの単調な植生に変化することが確認されている（中部森林管理局 2007, 2008）。南アルプスにおけるマルバダケブキの優占化は、熊ノ平、北荒川岳（勝山 2007）、三伏峠、仙丈ヶ岳馬の背（中部森林管理局 2007）などで報告され、その後、馬の背ではシカ柵設置後にマルバダケブキ群落が高い優占度で成立することが明らかとなっている（渡邊ら 2012）。しかし、マルバダケブキの詳しい分布や生態は不明な点が多い。なぜマルバダケブキがシカ食害エリアで増加しているのか、現状ではシカの嗜好植物で

1: 信州大学学術研究院農学系 2: 信州大学農学部食料生産科学科 3: 信州大学大学院農学研究科  
2017. 11. 21 受付 2018. 12. 20 公開

あることしか分かっていない（高槻 2006）。

高山植生をシカ食害から保護し被害エリアの植生回復を進めるため、信州大学、中部森林管理局、長野県、伊那市、大鹿村など南アルプス山麓自治体と、オブザーバーとして環境省を加え、2007年に南アルプス食害対策協議会を設立し、2008年度から仙丈ヶ岳馬ノ背周辺に防鹿柵を設置した（渡邊 2014）。標高 2600 m を超えるエリアでの柵設置は当時国内最高標高であり、毎年ボランティアを中心に柵設置と撤去活動が実施されている。南ア食害対策協議会では中部森林管理局や PN ファンドの支援を受け、順次柵を拡大した結果、2017年現在では設置面積が約 1.0 ha、柵の周長は約 1150 m に広がった（図 1）。

仙丈ヶ岳馬の背において 2008 年からシカ柵内外で植生回復のモニタリング調査を実施した結果、柵外は被率 60 % 前後で推移し、柵内は 100 % 近くまで回復した。柵内外ともキク科のマルバダケブキが優占し、柵設置 2 年後には柵内のほとんどがマルバダケブキに覆われた（渡邊 2014）。本来南アルプスのダケカンバ林床には、シナノキンバイ、ヤマシシウド、ミヤマクロユリなどが生育していたが、柵設置によって増加した高山植物はマルバダケブキであった。

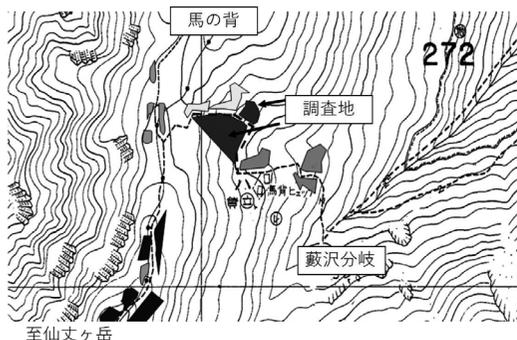


図 1 南アルプス食害対策協議会および環境省が設置した仙丈ヶ岳馬の背周辺のシカ柵設置場所と調査地。国土地理院 1/2500 の地形図を使用。

マルバダケブキは草丈が 80 ~ 100 cm 前後で大型の丸葉を地上部 30 ~ 40 cm の層に展開するため、草丈の低い種などは光競合によって回復しにくいと考えられた。そこで食害対策協議会では 2002 年から試験的にマルバダケブキを除去する試験を行った結果、マルバダケブキの優占度の低下にともなってシナノキンバイ、ミヤマシシウド、ヒゲノガリヤスの優占度が増加し、他草種の回復に一定の効果が見られた（渡邊ら 2016(1)）。しかし、今後もマルバダケブキを管理し続けるのか、それとも一定期間のモニタリングを続け経過を観察すべきか、検討する必要がある。

本研究では亜高山帯から高山帯におけるシカ食害エリアにおいて、マルバダケブキが増加した理由を調査するとともに、今後植生管理をどのように進めていくかを判断する。ここでは 1: 南アルプスにおけるマルバダケブキの分布、2: シカ柵内におけるマルバダケブキ除去と植生モニタリング、3: マルバダケブキの発芽特性、4: 主要草種の光合成特性、5: マルバダケブキの SSR マーカー作成、に関する研究を実施した。

## II. 調査地・方法

### 1. 南アルプスにおけるマルバダケブキの分布

シカ食害を受けた後にマルバダケブキが南アルプス全域に広がったと思われるが、分布情報は断片的である。ここでは既存調査（中部森林管理局 2007, 2008, 勝山 2007）による情報を整理するとともに、携帯型 GPS を使った現地調査によって分布域の確認を行った。調査地域は南アルプス林道、戸台登山道、仙丈岳登山道、甲斐駒ヶ岳登山道、栗沢山、アサヨ峰、三伏峠登山道（鳥倉林道、豊口山、三伏峠）である。また環境省南アルプス自然保護官事務所の協力を得て、北岳、千枚小屋、聖平小屋の情報を収集した。

## 2. シカ柵内におけるマルバダケブキ除去と植生モニタリング

植生モニタリング調査は仙丈ヶ岳馬の背ヒュッテ付近（標高 2650 m）に設置したシカ柵内で行った（図 2）。ここは 2008 年にシカ柵を設置したのち、毎年植生調査を実施している場所である。2012 年に PN ファンドの助成を受け、マルバダケブキ刈り取り効果に関する生態実験を行い（渡邊ら 2016(1)）、その後同じプロットでモニタリングを継続した。シカ柵内に 2 m × 2 m コドラート（無処理区とマルバダケブキ除去区）をそれぞれ 3 プロット設置し、出現草種、草高（H：cm）、植被率（C：%）を調査した。調査は 2012 年から 2017 年に行った。植生調査を実施したのち、マルバダケブキの地上部を地際で刈り取った。マルバダケブキの地上部除去は 2012 年から 2016 年まで毎年実施した。各コドラートの優占度は草高の比数（H'）と植被率の比数（C'）から積算優占度  $SDR_2$  を算出した（ $SDR_2 = (H' + C') / 2$ ）。また、バイオマス量と関連の深い乗算優占度（MDR = 被度 [m<sup>2</sup>/m<sup>2</sup>] \* 高さ [m]）を算出した。コドラート内に出現した草種の  $SDR_2$  値を変数として Shannon-Wiener の多様度指数  $H'$  を求めた。コドラート内のマルバダケブキの葉面積（LA）



図 2 仙丈ヶ岳馬の背ヒュッテ付近に設置したシカ柵内のコドラート（無処理区）。\*2015 年 8 月 17 日撮影。

を非破壊で計測するため、現地で葉の縦横長（L1 と L2）を計測し、以下の式を用いて葉面積を近似した（三尾 2014）。

$$LA = 31.20987 \times (L1 \cdot L2) + 1.08562$$

## 3. マルバダケブキの発芽特性

マルバダケブキは 5 °C から 25 °C の幅広い温度帯で発芽する（三尾 2014）。ここでは、少数の種子集団を使って温度変化に対する発芽反応を明らかにするため、段階温度法による発芽試験を行った。段階的（4 °C から 36 °C まで 4 °C きざみ）に温度を上昇させる条件（温度上昇系：IT 系）と段階的（36 °C から 4 °C まで 4 °C きざみ）に温度を降下させる条件（温度下降系；DT 系）を設定した（鷲谷ら 2010）。種子は 2015 年 10 月 12 日に馬の背ヒュッテ付近（標高 2,650 ~ 2,660 m）の 4 集団と南アルプス林道沿い（1,461 ~ 1,666 m）の 3 集団を用いた。2015 年 11 月 26 日から 12 月 29 日かけてシャーレに種子を 30 粒入れ適宜灌水しながら各集団 3 反復で試験した。発芽数から最終発芽率（%）、平均発芽日数、平均発芽速度を以下のように算出した。

$$\text{平均発芽日数} = \sum(t \cdot n) / \sum n$$

$$\text{平均発芽速度} = \sum n / \sum(t \cdot n)$$

$$\text{斉一発芽係数} = \sum n / \sum((t - \bar{t})^2 \cdot n)$$

## 4. 主要草種の光合成特性

クロロフィル蛍光をフィールドで簡易計測できる端末（Kuhlgert ら 2016）を利用し、野外での気温、湿度、光合成有効放射（PAR）の変動に対応した Phi2（光化学系 II における量子収率）、LEF（Linear Electron Flow：光化学系 II から I への電子伝達の流れ）の測定を行った。調査地は藪沢分岐から馬の背分岐の登山道沿いで、シカ柵沿いに生育するマルバダケブキ、ヒゲノガリヤス、ミヤマシシウド、シナノキンバイを対象とした。調査日は 2017 年 7 月 24 日の午前中で、異なる PAR の条件下で測定した。

## 5. マルバダケブキの SSR マーカ作成

マルバダケブキの種子を用い、フェノール・クロロフォルム抽出法に準じてトータル DNA を抽出した。マルバダケブキには遺伝解析を行う既存研究がなく、同属 *Ligularia hodgsonii* の SSR マーカを参考 (Changli Mao ら 2009) に、SSR マーカ設計を行い、増幅断片の確認を行った。

## III. 結果

### 1. 南アルプスにおけるマルバダケブキの分布

文献調査および現地調査による南アルプスのマルバダケブキの分布情報を表 1 に示した。現地調査の結果、マルバダケブキの個体群を戸台大橋-北沢峠で標高 1250 m ~ 1900 m, 戸台川登山道 (1200 m), 仙丈ヶ岳登山道 (2460 ~ 2690 m), 仙水小屋入口 (2010 m), 藪沢新道 (1900 m ~ 2550 m) 鳥倉林道-三伏峠 (1590 ~ 2650 m), 千枚小屋 (2620 m), 薊畑 (2300 m), 北岳草すべり・右俣 (2500 m) で確認した。栗沢山-アサヨ峰-仙水峠では確認できなかった。現地調査における最低標高は戸台川の歌宿沢分

岐 1200 m, 最高標高は馬の背分岐の 2690 m であった。文献調査では、大仙丈ヶ岳 蓼ノ平 (2570 m), 熊ノ平小屋 (2500 m), 北荒川岳 (2698 m), 小河内岳-大日影山 (2599 m), 高山裏避難小屋 (2503 m) で確認された。現地調査および文献調査からマルバダケブキの分布標高限界は約 2700 m であることが示された。

### 2. シカ柵内におけるマルバダケブキ除去と植生モニタリング

2-1. シカ柵内におけるマルバダケブキ除去管理による葉数および葉面積の変化

2013 年から 2016 年にかけてマルバダケブキ除去区と無処理区の葉数を比較した結果、無処理区の葉数は 74 ~ 83 枚, 除去区の葉数は 35 から 59 枚で (表 2), 年次を反復としたとき, 除去区の葉数, 平均草高, LAI は有意に減少した ( $p < 0.001$ )。2016 年のデータを対象に無処理区と除去区のマルバダケブキの個葉サイズを比較した結果、無処理区では 100 ~ 900 cm<sup>2</sup> の範囲で平均葉面積は 340 cm<sup>2</sup> を示し, 800 cm<sup>2</sup> を超える大型の葉が確認された。除去区のマルバダケブキの平均葉面積は 113 cm<sup>2</sup> で, 400 cm<sup>2</sup>

表 1 文献および現地調査による南アルプスのマルバダケブキ分布情報

調査地	主な確認地点の標高 (m)	情報源
南アルプス林道 (戸台大橋~北沢峠)	1250, 1560, 1680, 1900	南アルプス食害対策協議会現地調査
藪沢新道 (大平小屋-藪沢分岐)	1900, 2450, 2500, 2550	南アルプス食害対策協議会現地調査
仙丈ヶ岳登山道 (北沢峠-大滝の頭-藪沢小屋-藪沢分岐-馬の背)	2470, 2500, 2600, 2690	南アルプス食害対策協議会現地調査
鳥倉林道 (大鹿村-鳥倉林道終点)	1580, 1680, 1720	南アルプス食害対策協議会現地調査
三伏峠登山道 (鳥倉登山口-三伏峠)	1800, 1850, 1950, 2000, 2580	南アルプス食害対策協議会現地調査, 中部森林管理局 (2008)
戸台川登山道 (戸台-歌宿沢一角兵衛沢入口)	1200	南アルプス食害対策協議会現地調査
甲斐駒ヶ岳登山道 (北沢峠-仙水小屋-仙水峠)	2010	南アルプス食害対策協議会現地調査
北沢峠-栗沢山-アサヨ峰-仙水峠	確認なし	南アルプス食害対策協議会現地調査
大仙丈ヶ岳-蓼ノ平-熊ノ平	2570	中部森林管理局 (2007)
熊ノ平小屋	2500	中部森林管理局 (2007), 勝山 (2007)
千枚小屋	2620	環境省南アルプス自然保護官事務所
薊畑	2300	環境省南アルプス自然保護官事務所
北岳 (草すべり)・右俣	2500	環境省南アルプス自然保護官事務所
北荒川岳	2698	勝山 (2007)
小河内岳-大日影山分岐	2599	中部森林管理局 (2008)
大日影山分岐-高山裏避難小屋	2503	中部森林管理局 (2008)

表2 馬の背のシカ柵内におけるマルバダケブキの除去処理による形質の比較. 除去処理は2012年から開始. \*LAIはコードラート内すべてのマルバダケブキの葉面積(LA)の合計値を調査面積(2m×2m)で除した値.

マルバダケブキの形質	年度				年度			
	2013	2014	2015	2016	2013	2014	2015	2016
	対象区				除去区			
葉数	74.3	78.7	80.7	83.3	35.3	50.7	58.7	42.0
平均草高(cm)	30.2	27.4	24.0	19.6	19.7	16.9	12.8	12.6
LAI*	0.75	0.65	0.65	0.74	0.16	0.17	0.17	0.13

を超える葉はみられず、個葉サイズは小型化した(図3). コドラート内のマルバダケブキの葉面積(LA)の合計値をコードラート面積(4m<sup>2</sup>)で除した値をLAI(葉面積指数)とし、無処理区と除去区のLAIの年次変化を図4に示

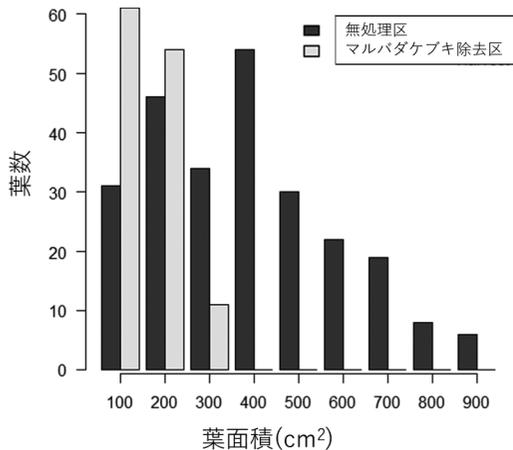


図3 シカ柵内に設置した無処理区とマルバダケブキ除去区におけるマルバダケブキの個葉面積の頻度分布. \*葉面積はそれぞれ3コードラート(2m×2m)の合計を集計した. 葉面積計測は2016年に非破壊で行った.

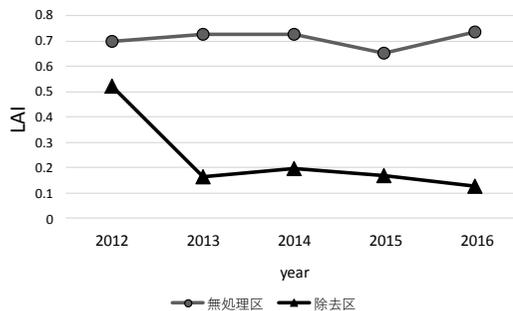


図4 シカ柵内に設置した無処理区と除去区におけるマルバダケブキ群落のLAIの年次変化

した. 無処理区のLAIは0.65~0.73で推移し、除去区のLAIは0.12~0.19の間で推移した. 除去区のマルバダケブキのLAIは除去管理前に0.52で、除去管理を行った結果LAIが1/3以下になり、マルバダケブキの存在量が大幅に低下することが示された. この結果は、除去によってマルバダケブキの葉面積が大幅に低下することに加え、マルバダケブキの地上部を毎年除去しても、翌年にはLAIが0.15前後まで回復することを示す.

### 2-2. マルバダケブキ除去区と無処理区の植生モニタリング

馬の背試験地において2012年から2017年までシカ柵内の無処理区とマルバダケブキ除去区(それぞれ3コードラート)の植生調査を行った結果を表3に示した. ここで無処理区はシカ柵内で自然に回復した植生をモニタリングした結果を示す. 無処理区では26種、マルバダケブキ除去区では37種が出現した. 無処理区の優占順位をみるとマルバダケブキがすべて1位で、2位はヒゲノガリヤスであった. 無処理区のミヤマシシウドの優占度は年々増加した. 無処理区のシナノキンバイは2014年まで増加したのち、2015年2016年は低下したが、2017年に再び増加した(図5). マルバダケブキ除去区では除去管理を行う前はマルバダケブキの優占順位が1位であったが、その後大幅に低下し2017年には優先順位は6位であった. 除去区ではヒゲノガリヤスの優占度が高く、2013年

表3 仙丈ヶ岳馬の背調査地における無処理区とマルバダケブキ除去区\*の出現種と積算優占度の比較。\*科名はAPG III分類体系に準拠した(大橋ら2015)。\*\*マルバダケブキ除去は2012年から2016年の間に毎年行った。

科名*	出現種 和名	無処理区							マルバダケブキ除去区						
		2012年	2013年	2014年	2015年	2016年	2017年	avg	2012年	2013年	2014年	2015年	2016年	2017年	avg
		SDR <sub>2</sub>							SDR <sub>2</sub>						
キク科	マルバダケブキ	100.0	100.0	94.4	100.0	95.5	99.3	98.2	89.7	58.3	54.8	33.4	32.1	40.4	51.4
イネ科	ヒゲノガリヤス	45.0	43.4	52.7	63.6	64.4	65.3	55.8	72.0	96.7	94.4	100.0	100.0	97.6	93.5
セリ科	ミヤマセンキュウ	15.7	21.9	23.7	24.8	28.0	26.0	23.4	21.4	30.6	49.6	60.2	60.9	45.5	44.7
セリ科	ミヤマシシウド	25.9	29.8	35.6	35.3	42.4	61.4	38.4	16.5	26.3	32.3	26.3	35.0	45.0	30.2
シュロソウ科	バイケイソウ	20.2	15.8	18.3	12.5	11.5	24.1	17.1	29.2	59.8	36.9	23.9	38.1	49.4	39.6
スマレ科	キバナノコマノツメ	20.6	25.5	29.3	26.7	28.3	35.5	27.6	20.6	13.2	27.7	29.5	24.5	28.8	24.0
キンボウゲ科	ミヤマキンボウゲ	25.5	9.2	15.4	6.9	8.0	24.1	14.8	18.9	29.0	44.8	21.2	22.4	59.8	32.7
キク科	ミヤマアキノキリンソウ	13.0	16.7	34.2	11.6	15.7	24.4	19.2	35.7	43.1	44.1	24.6	20.4	28.7	32.8
タデ科	タカネスイバ	17.3	21.9	36.9	21.4	11.0	23.2	21.9	17.2	19.9	42.5	11.1	18.0	22.7	21.9
キク科	タカネヒゴタイ	11.5	13.3	21.0	18.9	11.7	25.2	16.9	5.4	3.8	16.6	43.2	14.3	21.2	17.4
キンボウゲ科	シナノキンバイ	11.8	13.3	20.6	11.7	10.8	27.3	15.9	40.4	38.1	27.1	16.8	18.2	31.4	28.6
カヤツリグサ科	ヒメスゲ	6.2	6.9	8.7	12.8	15.5	8.4		11.5	24.2	21.1	22.2	24.2	33.7	22.8
イグサ科	タカネスズメノヒエ	6.2	5.3	5.1	8.8	12.8	6.4		14.1	16.5	26.3	17.8	22.9	31.8	21.6
イネ科	ヒメノガリヤス								18.7	21.1	27.2	13.0	38.8	31.1	25.0
キク科	ミヤマコウソリナ								5.2	10.0	31.2	15.9	14.7	35.8	18.8
フクロソウ科	ハクサンフウロ		6.3	4.9	3.9	7.8	12.0	5.8			18.8	12.7	18.6	26.2	12.7
リンドウ科	オヤマリンドウ									9.2	20.1	17.9	14.8	27.9	15.0
キンボウゲ科	キタザワブシ	15.3	9.2	12.3	11.0	6.5	16.0	11.7			5.3	3.6	2.7	9.1	3.5
キク科	センジョウアザミ	10.3	10.1	12.2	10.3	11.4	17.6	12.0			5.3	4.1	3.8	5.6	3.1
キク科	クモマニガナ	7.3	0.4	4.9	5.4	6.9	9.5	5.7	10.9	2.4		4.3	17.5	9.5	7.4
イネ科	コメススキ								1.5	4.3	13.8	14.5	15.6	10.4	10.0
カバノキ科	ダケカンバ										10.3	6.7	11.2	16.9	7.5
キンボウゲ科	ミヤマカラマツ		1.8					0.3		9.1	6.9	6.5	4.6	20.9	8.0
フクロソウ科	タカネグンナイフウロ					3.8	8.0	2.0	23.0	23.0	7.5	6.2	3.3	4.1	11.2
キンボウゲ科	モミジカラマツ		1.8					0.3	14.9	19.3	9.1	7.0	6.8	8.0	10.8
ハマウツボ科	トモエシオガマ	5.3	4.8	6.2	7.3	8.2	14.1	7.6		10.7					1.8
ヒメシダ科	ミヤマワラビ	2.4	4.4	4.1	3.5	5.0	6.7	4.4	7.6	10.3		2.3	2.7	3.8	4.5
キジカクシ科	マイヅルソウ	1.6	1.7	1.5	1.1	0.8	1.6	1.4	25.7	8.4	4.9	4.8	5.1	5.8	9.1
キク科	ウサギギク									6.7	9.7	2.1	2.4		3.5
ヤナギ科	ヤナギsp.								11.3	5.3	5.3				3.7
ラン科	ホザキイチヨウラン	2.2	3.1	4.3	1.8	0.5	0.9	2.1	7.5	8.8					2.7
キンコウカ科	ノギラン								2.4	2.7	3.6	0.8			1.6
タデ科	ムカゴトラノオ			0.6	1.0			0.3	9.4	2.4					2.0
カヤツリグサ科	キンスゲ	5.7	0.7	1.0	0.9			1.4	9.2						1.5
キク科	ミネウスユキソウ									1.5					0.2
ユリ科	タケシマラン								6.9						1.2
イヌサフラン科	チゴユリ										2.1				0.4

以降100に近いSDR<sub>2</sub>値を示した。無処理区と同様に、2017年にミヤマシシウドとシナノキンバイの優占度がやや増加した(図5)。ミヤマセンキュウ、バイケイソウ、キバナノコマノツメ、ミヤマキンボウゲ、ミヤマアキノキリンソウ、タカネスイバ、タカネヒゴタイ、キタザワブシなどが両方の処理区で確認された(表3)。マルバダケブキ、ヒゲノガリヤス、ミヤマシシウド、シナノキンバイ、その他草種の乗算優占度(MDR)比率を比較した結果、無処理区のマルバダケブキは75~43.3%の変動を示し、

年度の経過とともに減少した(図6)。ミヤマシシウドとシナノキンバイのMDR値が2017年に増加し、これはSDR<sub>2</sub>のデータと同様であった。除去区ではヒゲノガリヤスのMDR比率が46~60%を示し、2015年をピークに2017年は減少した。除去区ではマルバダケブキのMDR比率が大幅に低下し、シナノキンバイや他草種の比率が増加した(図6)。MDR値の比較の結果、マルバダケブキ除去区では他草種の存在量が約4割を占めた。コドラート内で出現した種数は無処理区において13~16種、除去

区で17から22種であった。種数は2017年に除去区において有意に多くなった。多様度指数(H')は無処理区で2.03から2.87,除去区で2.59から3.25を示し、すべての年度において除去

区で高く、2015年と2016年に有意な差が見られた(表4)。

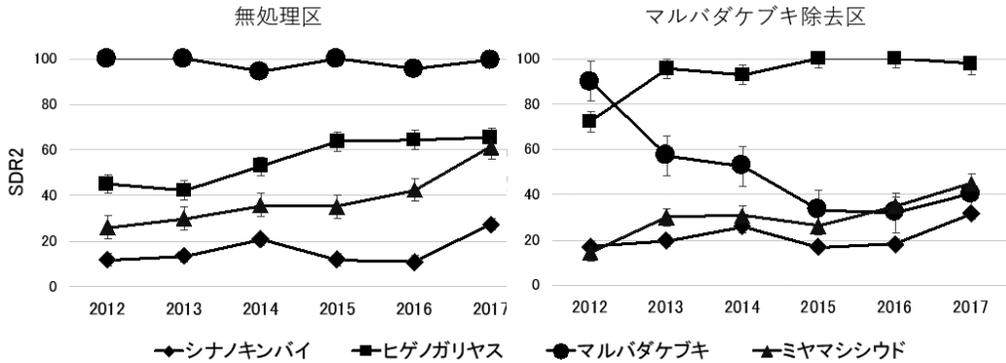


図5 南アプルス仙丈ヶ岳におけるマルバダケブキ、ヒゲノガリヤス、ミヤマシシウド、シナノキンバイのSDR<sup>2</sup>値の変化(2012年から2017年)。数値は表3のデータを使用した。左：無処理区，右：マルバダケブキ除去区。\*除去区のマルバダケブキは調査後に地上部をすべて刈り取った。除去区のマルバダケブキは昨年刈り取った場所から再生したものを測定した。

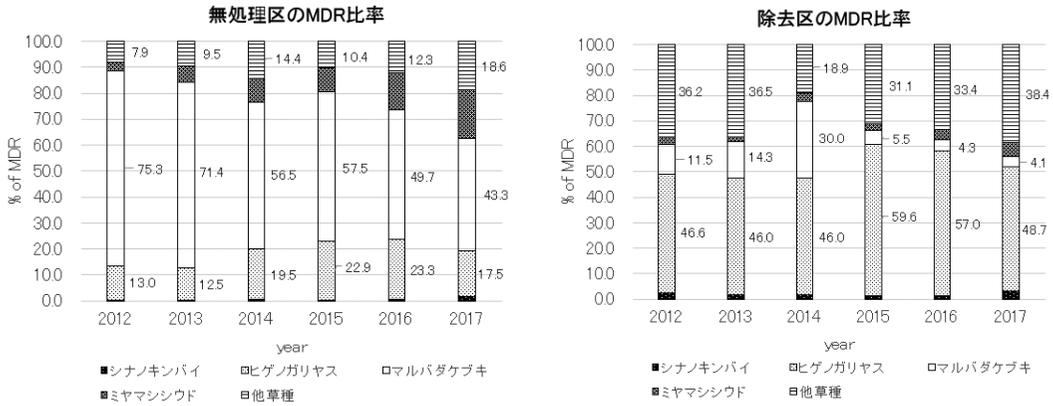


図6 南アプルス仙丈ヶ岳におけるマルバダケブキ、ヒゲノガリヤス、ミヤマシシウド、シナノキンバイおよび他草種のMDR比の変化(2012年から2017年)。上：無処理区，下：マルバダケブキ除去区。

表4 シカ柵内の無処理区とマルバダケブキ除去区で出現した種数とコドラート内の多様度指数の年次変化

年度	無処理区		p-value	除去区		p-value
	種数	多様度指数 (H')		種数	多様度指数 (H')	
2012	13.0	2.031	0.069	17.7	2.599	0.153
2013	15.0	2.319	0.206	19.3	2.648	0.25
2014	15.7	2.457	0.094	21.7	2.881	0.054
2015	15.0	2.349	0.219	20.0	2.751	0.036 *
2016	14.7	2.325	0.051	21.3	2.796	0.019 *
2017	16.0	2.867	0.033 *	22.3	3.253	0.219

### 3. マルバダケブキの発芽生態

温度上昇系 (IT 系) で発芽試験を行った結果、馬の背集団 (標高 2650 m) は 55.2 から 70 %, 南アルプス林道集団 (標高 1700 m) は 74.4 から 75.6 % の最終発芽率を示した。一方、温度下降系 (DT) においてマルバダケブキの馬の背集団はまったく発芽せず、林道集団 (No3) のみが 17.8 % の最終発芽率を示した (表 5)。平均発芽日数 (種子が発芽に要する平均日数) は 23 日であり、馬の背と林道で差はなかった。斉一発芽係数の値は低く、発芽のバラつきが大きかった。この結果は一斉に発芽しない特性を示す。IT 系での発芽試験結果は、春から気温が上がる時期に発芽しやすい特徴を示し、DT 系での発芽試験結果は気温が高い時期から低くなる時期には発芽しにくい特徴を示す。すなわち雪解け後に気温が上昇する環境で、あまり斉一性を示さない発芽特性を有する。また種子採取後 1 ヶ月の発芽試験ですみやかに発芽したことから、マルバダケブキには一次休眠性はほとんどないことが示された。

### 4. 主要草種の光合成特性

異なる光強度 (PAR) でクロロフィル蛍光測定による各草種の Phi2 (量子収率) の値を図 7 に示した。PAR ( $\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) が 400 以下のとき 4 草種とも 0.6 から 0.7 の量子収率を示し、

ダケカンバ林床の薄暗い光条件で高い光合成効率を持つことが示された。量子収率の理論的な最大値は 0.83 であり (佐々木 2009), 今回測定した高山植物は林床で光合成を盛んに行っていることが示された。PAR 値が 600 以上の条件 (中から強光) になると量子収率の種間差が見られ、ミヤマシシウドとシナノキンバイの値が高かった (図 6)。異なる PAR における LEF 値をプロットした結果、ミヤマシシウド、シナノキンバイ、マルバダケブキ、ヒゲノガリヤスの順に LEF 値が高かった (図 8)。この結果はミヤマシシウドとシナノキンバイが盛んに電子伝達と  $\text{CO}_2$  固定を行っており、その効率がマルバダケブキやヒゲノガリヤスよりも少し高いことを示した。

### 5. マルバダケブキの SSR マーカ作成

マイクロサテライト領域は変異が蓄積されやすく、集団および個体の違いを検出できるマーカを作成することで、集団・系統解析が可能となる。マルバダケブキの遺伝解析の先行研究がなく、DNA 抽出法を検討した結果、キク科特有のポリフェノール除去を強化した抽出キット (DNA すいすい-P: 株式会社リーゾ製) によってトータル DNA の抽出を行うことができた。用いた 13 のプライマーのうち、6 プライマーで PCR 産物の増幅が確認できた。増幅が確認

表 5 異なる標高で採種したマルバダケブキ集団の段階温度法 (IT 系と DT 系) による発芽特性の比較

IT (温度上昇) 系					
採集地	集団番号	最終発芽率 (%)	平均発芽日数	平均発芽速度	斉一発芽係数
馬の背 (標高 2650m)	1	62.8	23.0	0.044	0.0019
	2	52.2	23.6	0.042	0.0018
	3	70.0	23.2	0.043	0.0019
	4	63.3	21.7	0.046	0.0021
	平均	62.8	23.0	0.044	0.0019
南アルプス林道 (標高 1460-1670m)	1	74.4	22.3	0.045	0.0021
	2	75.6	21.7	0.046	0.0021
	3	82.2	22.5	0.045	0.0020
		平均	77.4	22.2	0.045
DT (温度下降) 系					
		最終発芽率 (%)	平均発芽日数	平均発芽速度	斉一発芽係数
南アルプス林道	3	17.8	12.8	0.079	0.0064

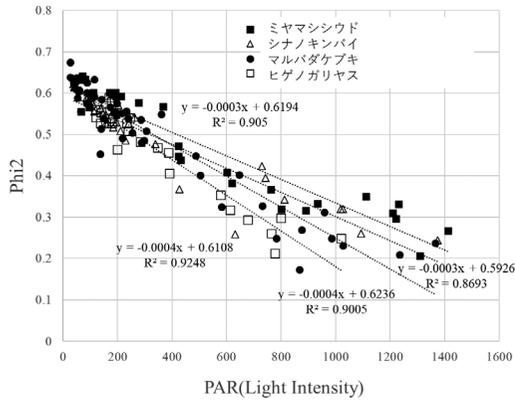


図7 馬の背試験地周辺に生育する4草種のクロロフィル蛍光測定によるPhi2の比較。PAR（光強度）は生育環境（ダケカンバ林床～登山道）で計測した。

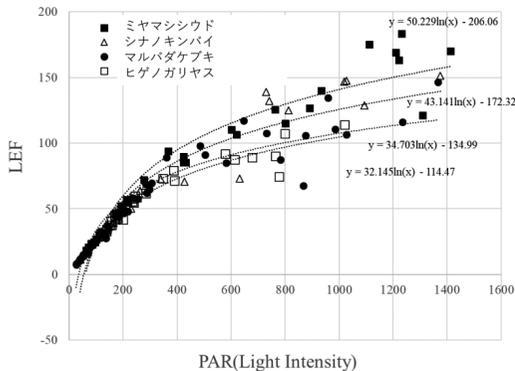


図8 馬の背試験地周辺に生育する4草種のクロロフィル蛍光測定によるLEFの比較。PAR（光強度）は生育環境（ダケカンバ林床～登山道）で計測した。

された主なプライマーはLho29:(TC)<sub>5</sub>…(AC)<sub>7</sub>, Lho38:(AC)<sub>5</sub>…(AC)<sub>4</sub>…(AC)<sub>7</sub>, Lho40:(CT)<sub>6</sub>…(TG)<sub>4</sub>などであった。系統解析にはさらに多くのSSRマーカを検討する必要がある。

#### IV. 考察

南アルプスは世界的にみて高山植物の南限地域で、貴重な動植物や地形が存在するため（増沢2009）、後世に向けて保護すべき地域の一つである。南アルプスにおいて氷河期の遺存種として象徴的なものはライチョウであるが、高山植物をみると周北極要素のタカネマンテマ、ム

カゴトラノオ、ムカゴユキノシタなどの南限地域であり、北岳固有のキタダケソウ、南アルプス特産のタカネビランジ、キタダケヨモギ、南アルプスとその周辺に分布が限られるサンプリングなど特徴的な種が多く存在する（静岡県2010）。

南アルプスの全域で2000年代前半からシカによる食害が顕在化し、短期間で景観が一変するほどの影響を受けた（中部森林管理局2007）。かつて仙丈ヶ岳は「花の仙丈」と呼ばれ、北岳に次ぐ高山植物の宝庫として多くの登山客が訪れていた。仙丈ヶ岳は3000m級の山岳でありながら馬の背付近はなだらかな地形が連続することや、長野県と山梨県をつなぐ南アルプス林道の間地点である北沢峠に両県のシカ個体群が集まることなどから（泉山ほか2009）、シカ食害が顕在化し、高山植生の衰退が進行した。伊那市を中心に南アルプス食害対策協議会を設立し、馬の背周辺にシカ柵を設置して植生保護と回復に向けた取り組みを行った結果、植生回復に関して少しずつ成果が現れてきた（渡邊2014）。現地ではマルバダケブキが優占化して種数増加があまりみられなくなってきたことから、高山植生回復に向けた管理手法を検討し（渡邊ら2016(2)）、実験的にマルバダケブキ除去管理を行って植生モニタリングを実施した。今回実施した緊急助成研究でマルバダケブキの除去管理後のモニタリングを行った結果、除去管理によって多様な草種の回復が進むことが示されたが、除去をしなくても（無処理区）、ミヤマシウドやシナノキンバイが少しずつ増加する傾向をつかむことができた（図5）。また、マルバダケブキとヒゲノガリヤスの存在量が少しずつ低下する傾向も示された。今回、挑戦的な取り組みとして、これまで扱いが難しく高山植物での測定実績がないクロロフィル蛍光測定を標高2600mエリアで試験的に実施した結果、

ミヤマシシウドとシナノキンバイの光合成効率がマルバダケブキなどよりも高いことが示された(図7, 図8). この結果は今後の植生回復を見る上で貴重な情報を提供するものである.

過去の南アルプスの植生の姿を見ると, 1980年代に撮影された三伏峠, 熊ノ平, 北荒川岳, 塩見岳, 仙丈ヶ岳馬の背の写真にはシナノキンバイ, ミヤマシシウド, トリカブト類, クロユリ, バイケイソウ, ミヤマセンキュウ, タカネゲンナイフウロ, ムカゴトラノオなどが群生しており, マルバダケブキはごく一部で確認できるのみであった(図9). シナノキンバイとミヤマシシウドは「シナノキンバイ-ミヤマキンポウゲ群団」の象徴種として大群落を構成していたため, これらの草種がどの程度回復するのか, 今後もモニタリングする必要がある.

マルバダケブキがなぜシカ食害後に増加したかという理由について, マルバダケブキの除去管理を行った後の再生をLAIの測定で評価した結果, 毎年除去を行っても葉のサイズを小さくしながら群落を維持する能力が示された(図3, 図4). マルバダケブキはシカの不嗜好植物であるが(高槻2006), マルバダケブキもまったく食害を受けないわけではなく, 他の植物と一しょに採食されていた可能性がある. 食害を受けた後, マルバダケブキの再生力が高いこ

とに加え, 発芽試験の結果(表5)から種子休眠性が浅く, 春先から気温が上がる条件で速やかに発芽する特性を持つことから, 食害後の裸地環境で個体群を急速に増加させた可能性がある. マルバダケブキはシカ食害によって裸地化がすすみ, バランスの崩れた環境で個体群を増加させる能力を持つことが示唆された. マルバダケブキの根系や土壌保持能力に関する知見はないが, シカ食害後に速やかに群落を維持する植物が存在することは, 裸地化の進行を止める上で大きな役割があると思われる. 過去にシカ柵内でマルバダケブキを掘りとりて除去すべきという意見もあったが, マルバダケブキは雑草ではなく, 土壌保全の観点から重要な役割を持つ可能性があるため, そのまま回復にまかせて経過観察すべきであろう.

シカ柵の設置と撤去は多くの労力とコストがかかり, 食害対策協議会でもボランティアの高齢化が進んでいることから, いつまで取り組みをすべきか, 真剣に議論する段階にきている. 現状では山小屋近辺の限られた拠点を重点的に防衛するしか方法がないが, シカ柵を設置することで周辺にシカが出にくくなることもあるため, シカの行動や習性を逆手に取るような, より効果の高い取り組みを関係者の間で情報共有しながら進めていく必要がある.



図9 シカ食害以前の三伏峠の高山植生群落. \*1985年7月21日撮影(静岡県提供).

## 文献

- Changli Mao, Yuezhi Pan, Jinfeng Wang and Xun Gong 2009. Isolation and characterization of microsatellite markers for *Ligularia hodgsonii* Hook. (Asteraceae), Conservation Genetics 10:1853
- 中部森林管理局 2007. 「平成18年度南アルプス保護林におけるシカ被害調査報告書」林野庁中部森林管理局.
- 中部森林管理局 2008. 「平成19年度南アルプス保護林におけるシカ被害調査報告書」林野庁中部森林管理局.

- 泉山茂之・望月敬史・瀧井暁子 2009. 南アルプス北部の亜高山帯に生息するニホンジカ (*Cervus nippon*) の GPS テレメトリーによる行動追跡. 信州大学農学部 AFC 報告 7 : 63-71.
- 環境省 2015. 「平成 26 年度南アルプス国立公園ニホンジカ対策モニタリング調査等業務報告書」環境省関東地方事務所
- 勝山輝男 2007. 南アルプスの高山植物が消える? 自然科学のとびら 13 巻 1 号
- Kuhlget, S. G. Austic, R. Zegarac, I. Osei-Bonsu, D. Hoh and D.M. Kramer 2016. MultispeQ Beta: a tool for large-scale plant phenotyping connected to the open PhotosynQ network. Royal Society Open Science 2016 Oct 26;3(10):160592.
- 増沢武弘 2009. 「高山植物学 高山環境と植物の総合科学」共立出版
- 三尾建斗 2014. 南アルプス仙丈ヶ岳のシカ食害エリアで増加したマルバダケブキの生態的特徴の解明. 信州大学農学部食料生産科学科卒業論文
- 佐々木治人 2009. クロロフィル蛍光を用いた光化学系の解析. 日本作物学会紀事 78(2) : 284-288
- 静岡県 2010. 改訂版 南アルプス学・概論. <http://www.city.shizuoka.jp/000061237.pdf>
- 高槻成紀 2006. 「シカの生態誌」東京大学出版会 : 295-441
- 鷲谷いづみ・宮下 直・西廣 淳・角谷 拓 2010. 「保全生態学の技法 : 調査・研究・実践マニュアル」東京大学出版
- 渡邊 修・彦坂 遼・草野寛子・竹田謙一 2012. 仙丈ヶ岳におけるシカ防除柵設置による高山植生の回復効果. 信州大学農学部紀要 48(1, 2 号) : 17-28.
- 渡邊 修 2014. 特集「山の環境問題」地域で行う南アルプスの食害対策. 月刊地理 59 巻(7 号) : 40-45
- 渡邊 修・三尾建斗 2016(1). 南アルプスの食害エリアにおける高山植生回復のための管理手法に関する研究. 公益財団法人自然保護助成基金成果報告書 vol.23 : 45-60
- 渡邊 修・竹田謙一・三尾建斗・渋谷美月 2016(2). 南アルプスのシカ食害エリアにおけるマルバダケブキの管理と植生回復効果. 日本生態学会. 第 63 回全国大会 : P2-018

2016 Urgent Grant Programme

## Elucidation of ecological characteristics of *Ligularia dentata* increased in the deer damaged area of alpine mountains

WATANABE Osamu, SHIBUYA Mizuki,  
FUJIMAKI Shinji and TAKEDA, Kenichi

In order to promote the recovery of alpine vegetation in the area of the deer damages, a deer fence was installed in the Southern Alps Mt. Senjo, and long term vegetation monitoring was carried out. It is reported that the dominance degree of *Ligularia dentata* (Asteraceae) is increased in the field after establishing a deer fence. In this study, the distribution of *L. dentata*, vegetation monitoring, germination characteristics, removal effect and photosynthetic parameters were measured and the reason why *L. dentata* increased was considered. As a result of literature and field survey, the distribution limit altitude of *L. dentata* was about 2700 m. The LAI decreased to 1/3 or less due to removal of the above ground part of *L. dentata*, and an increase in the abundance of other species was confirmed. The results of monitoring survey showed that dominance of *Angelica pubescens* var. *Matsumurae* and *Trollius japonicus* gradually increased. Chlorophyll fluorescence measurements in the alpine zone showed that *A. pubescens* and *T. japonicus* showed higher photosynthetic efficiency than *L. dentata*. As a result of the germination test, the *L. dentata* population showed high germination rate under the condition of the temperature rise system, but almost no germination under the temperature descending system. The population of *L. dentata* showed shallow seed germination characteristics of dormancy. These results seem to indicate the characteristic that *L. dentata* immediately germinates after snow melting, and increasing the population in a bare ground environment in the area of the deer damages.

Keywords: Japanese South Alps, Vegetation monitoring, Germination characteristics, Chlorophyll fluorescence measurement, Leaf area index, *Trollius japonicus*