

5 學術誌等掲載論文

原著論文 Original Article

生息域内保全を目的にしたアツモリソウ野生株の移植と保全措置の有効性

小山田智彰¹・鞍懸重和¹・高柳茂暢²・吉田馨³

岩手県環境保健研究センター¹ アジア航測株式会社² 株式会社エコリス³

Tomoaki Oyamada, Shigekazu Kurakake, Shigenobu Takayanagi and Katoru Yoshida : The effectiveness of conservation of *Cypripedium macranthos* var. *speciosum* in situ through the transplantation of wild growing plants

要旨：山林開発の実施に伴って行われた調査によって多数の絶滅危惧植物種が確認され、その中に岩手県内で野生絶滅の危険性が極めて高いアツモリソウが含まれていた。そこで、本種の生息域内保全を目的にした保全措置を計画した。最初に、開発区で確認されたアツモリソウを移植するための保護区を新設し、この保護区内に自生していた野生株の周辺に19地点の移植候補地を設定して土壌分析を行った。この分析結果を参考に選抜した12地点にアツモリソウ栽培株を仮植し、生存が確認できた6地点を移植地に決定した。移植の事前試験として栽培試験地で栽培株30株を用いた移植試験を行い、人工培養技術で実績のある小山田培養液の散布による成長促進の効果を確認した。2016年から2017年にかけて、保護区に設定した移植地6地点に野生株7株を移植し、小山田培養液を定期的に散布しながら、光環境の改善措置、動物の食害対策、害虫の被害防除に努めた。これらの取り組みを年次ごとに評価するために、本研究用に作成したアツモリソウ消失リスク評価表を活用しながら保全措置を進めた結果、移植したアツモリソウの生存維持と保全措置を行った全ての野生株のシュート数と開花数および結実数の増加を確認し、取り組んだ保全措置の有効性を証明した。

Abstract : Plant surveys conducted in conjunction with mountain forest development have revealed the existence of a large number of endangered plant species, including *Cypripedium macranthos* var. *speciosum*, which is at risk of extinction in the wild in Iwate Prefecture. Therefore, in this study, we designed countermeasures aimed at conservation of this species in situ. First, we established a conservation area for transplanting *C. macranthos* var. *speciosum* growing in a forest development area, and analyzed soil from 19 candidate transplantation sites near wild growing *C. macranthos* var. *speciosum* plants within the conservation area. We transplanted *C. macranthos* var. *speciosum* to 12 locations selected on the basis of the aforementioned soil analysis, and selected six of the locations where *C. macranthos* var. *speciosum* survived for study. As a preliminary trial, we conducted a field-plot transplant experiment using 30 plants and confirmed that the application of Oyamada growth solution, which has been demonstrated to be effective for artificial propagation, also promoted growth

¹ 〒020-0857 岩手県盛岡市北飯岡1-11-16 ; Iwate Prefectural Research Institute for Environmental Sciences and Public Health (I-RIEP) , 1-11-16 Kitaiioka, Morioka, Iwate, 020-0857, Japan

² 〒215-0004 神奈川県川崎市麻生区万福寺1-2-2 新百合21ビル ; Asia Air Survey CO.,LTD, 1-2-2, Manpukujii, Asao, Kawasaki, Kanagawa, 215-0004, Japan

³ 〒981-1104 宮城県仙台市太白区中田5-3-21 ; Ecoris Inc., 5-3-21 Nakata, Taihaku, Sendai, Miyagi, 981-1104, Japan

in soil. From 2016 to 2017, we transplanted seven plants to the six locations within the conservation area. The plants were periodically supplied with Oyamada growth solution and measures to improve the light environment and to prevent damage by mammals and insects were implemented. The impact of these measures was evaluated annually using a *C. macranthos* var. *speciosum* extinction risk assessment sheet that was developed for this study. All of the transplanted *C. macranthos* var. *speciosum* plants survived and all wild growing plants for which conservation measures were implemented exhibited increased numbers of shoots, flowers and fruits, demonstrating the efficacy of the conservation measures.

キーワード: 生息域内保全, 野生株, 移植, 保全措置, 消失リスク評価

Keywords: conservation in situ, wild growing plants, transplant, conservation measure, extinction risk assessment

I. はじめに

アツモリソウ (*Cypripedium macranthos* var. *speciosum*) は、野生絶滅の危険性が高い希少植物である。本種は、国の「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」(「種の保存法」)によって特定第一種国内希少野生動植物種の指定を受け、野生株の採取、移動、譲り渡し等は厳しく制限されている(環境省, 2018)。現在、岩手県内で確認しているアツモリソウの自生地は3ヶ所となり、野生絶滅が現実になっている。その中の1ヶ所について、資源採掘を目的とした大規模な山林開発が計画されたため、2016年から2017年にかけて、直接的な改変が及ぶ山中の「開発区」に自生している7株を同山の非開発区にある自生地(以下、「保護区」)に移植し、山中で確認した全ての野生株について、光環境の改善措置、動物の食害対策、害虫による食害の確認と被害防除を中心とした保全措置を行った。

移植実施に先立って、「種の保存法」に基づく野生株の移植申請を環境省に行い、合わせて野生株の移植や生息域内保全に関する実施例の情報収集を同省の協力も受けながら行ったが、アツモリソウに関しては過去に例がないことが判明した。

そこで、移植したアツモリソウ野生株の生存維持と保全措置の有効性について検証を行い、生息域内保全に有効な手法を明らかにすることを本研究の目的とした。

II. 調査地

1. 岩手県のアツモリソウ自生地

2007年から岩手県内におけるアツモリソウ自生地の個体群動態を継続的に調査した結果、県内に9ヶ所あった自生地の6ヶ所が消失し、残存する自生地は3ヶ所となった(岩手県環境保健研究センターの地理的情報システムに収納)。このことから、岩手県内のアツモリソウは、野生絶滅の可能性が極めて高い状況にある(図1)。



図1. 岩手県におけるアツモリソウ自生地の位置。2007年から2018年までの調査結果。

Fig. 1. Natural habitats of *Cypripedium macranthos* var. *speciosum* in Iwate Prefecture.

2. 試験地の状況

試験地は、岩手県内陸部に位置しており、周辺地帯は、耕作地と集落がある。試験地では、2018年までの調査で「環境省レッドリストデータブック」および「いわてレッドデータブック」に記載されている希少植物が55種確認されている。

これらのうち、アツモリソウはその希少さから新たに確認することが極めて困難な種であり、さらに試験地周辺は落葉広葉樹林を主とした山林内であることも、草地性の種である本種の新たな確認をさらに困難にしている。

試験地内のアツモリソウは、2009年の初確認時に4地点6株を確認した。その後、保全措置を行っていない間に3株が消失したが、山全体の調査を行った結果、2018年までに16地点で



写真1. 移植対象となった開発区の野生株(移植 A1 株).
Photo 1. Wild growing plant in the forest development area. This plant was transplanted (Transplant A1).



写真2. 現状保全された保護区の野生株(野生 A8 株).
Photo 2. Wild growing plant in the conservation area (Wild growing plants A8).

36株の生育を確認した。このうち、開発区の野生株（以下、「移植株」；写真1）は、4地点に7株あり、これを保護区内の野生株（以下、「野生株」；写真2）の近くに移植し、保護区内に集めて保護措置を進めた。

Ⅲ. 方法

1. 移植適地の選定試験

移植7株を保護区に移植するため、移植対象株の中で生育が良いと判断したA1株（写真1）の周辺環境を観察した後に、保護区に移動して、自生するA5株、A7株とA8株の周辺に移植候補地19地点を設定した（図2）。

移植候補地の土壌を評価するために、A1株の生育地点、および19地点から土壌を採取して分析を行い、これを評価の指標とした。土壌採取は、根系の伸長範囲を目視確認して深度10cm前後を基準とし、植物体に損傷を与えないように実施した。分析項目は、植物の成長に関係する成分（藤原ほか、2005）を中心に、アンモニア態窒素、硝酸態窒素、可給態リン酸、交換性カリウム、交換性カルシウム、交換性マグネシウム、可給態鉄、交換性マンガン、塩分、pH、ECの11項目とした。次に、土壌分析結果を参考に絞り込んだ12地点について、地域で栽培さ

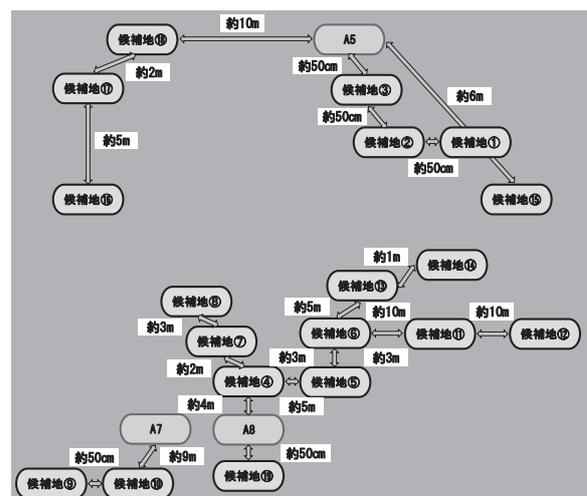


図2. 移植地候補地の位置図.

保護区に自生するA5株、A7株およびA8株の周辺に移植候補地19地点を設定。

Fig. 2. Locations of candidate transplant sites in a conservation area.

れているアツモリソウ栽培株を、交雑予防策として除雄処理を行った後に仮植し、その後少なくとも12ヶ月間の生存および生育状況を観察した。そして最終的に7移植地点を決定した。

2. 培養液散布の効果試験

野生株の移植前に、盛岡市内にある私設の栽培試験地で、栽培株を用いた移植の事前試験を行った。その際に、移植後の栽培管理においてアツモリソウ属植物の発芽・育苗に効果を示す小山田培養液（小山田ほか，2011；表1）の散布による生育促進の効果を観察した。栽培試験地内に培養液を散布する区画（以下、「散布あり区」）と散布しない区画（以下、「散布なし区」）を設置し、両区にそれぞれ15株を移植した。栽培試験地では、4月から10月までの期間について、晴れた日の朝6時に月2回の頻度で井戸水を散布しており、散布あり区には小山田培養液1株当たり500mlを月2回の頻度で井戸水の代わりに散布した。なお、出芽開始期（4月）と休眠開始期（10月）については、ハイポネックスとペプトンを小山田培養液に加えて散布した（表1）。なお、この井戸水は、生活用飲用水として使用されている（pH6.3）。散布試験は、同じさく果から採取した種子を発芽させ、野外試験地で栽培した株から（小山田，2011）、葉数3枚、1花をつけた株を選んで、2012年から2014年まで行い、シュート数、開花数、開花率および生存率を比較した。

3. 野生株の移植試験

栽培試験地における移植試験の結果も参照して、以下の方法で野生株の移植を実施した。

① 移植前に、移植株の草丈、葉長と葉幅、シュ-

表1. 小山田培養液と同培地の組成（小山田，2011）.
Table 1. Composition of Oyamada growth solution and growth medium.

小山田培養液の組成	添加量	小山田固形培地の組成	添加量
塩酸チアミン	5 mg · L ⁻¹	Hyponex (6.5 - 6.0 - 19.0)	1 g · L ⁻¹
ニコチン酸	2.5 mg · L ⁻¹	ペプトン	1 g · L ⁻¹
塩酸ピリドキシン	5 mg · L ⁻¹	スクロース	20 g · L ⁻¹
ミオイノシトール	10 mg · L ⁻¹	小山田培養液	1 mL · L ⁻¹
植物活性剤	0.1 mL · L ⁻¹	ポテトキューブ ⁷	5 mm角
木酢液	0.1 mL · L ⁻¹	活性炭 ⁸	1 g · L ⁻¹
pH	6.0	ゲランガム	3 g · L ⁻¹
		pH	6.0

⁷ 培養容器に1個加えた後に、オートクレーブで滅菌する。

⁸ 活性炭は発芽培地に用いない。

ト数、開花数、結実数を調査し、移植実施翌年からその後の変化を調査して比較した。

- ② 環境整備として移植地の選択的除草、堆積した枯れ枝や落ち葉の除去を行い、移植株の根系の発達状況を目視で把握する。
- ③ ウイルス感染を防ぐため、器具は滅菌処理を行う。現地で使用する作業靴は洗浄し、完全に土を落としたものを使用する。移植実施日は、必ず予備日を設定して行い、雨天時は作業を行わない。
- ④ 1株あたり1 m × 1 m を移植スペースにし、その中に移植株を移植する。移植補助者は、移植の全工程について写真や動画、GPS、野帳への記録を行う。
- ⑤ 移植株の掘り出しは、触手で作業を進め、安全を確認できる段階で移植ごてを使用する。アツモリソウの根系の多くは横方向に伸長し、内側と下方向にある根は短い。アツモリソウは、土中のラン菌と共生関係を結んでいるため（松本ほか，1998；清水ほか，2002）、根に付着した土を落とすことなく掘り、茎と鞘状葉の間に土が入らないように処置する。
- ⑥ 移植に必要なスペースと穴の規模を計測し、移植地の穴を掘るが、掘り出した土は「上層部：表層域」と「下層部：根系伸長域」に分けて置き、野生株の到着を待つ。
- ⑦ 移植は、葉の向きを正確に配置し、根系を整えて移植する。小山田培養液を十分に散布する。

4. 保全措置

(1) 食害対策

野生株に動物が原因と思われる食害が複数回にわたって確認された（写真3）。そこで、対策として17地点の自生地および移植候補地を金属製の保護柵で覆い、17台のセンサーカメラ（ACORN社製LTL-5210A）を設置した。センサーカメラの撮影設定は、写真を3枚撮影した後に、10秒間の動画を記録するようにして、撮影された動物の種別出現頻度を調査した。

(2) 光環境の改変措置

自生地の光環境を改善する目安として、健全な株が栽培されている栽培試験地と、生育の良

い野生株（自生：A 1株）の生育地点で開空度（鉛直方向の魚眼レンズ写真における天空の占有率）を測定した。開空度は、Kodak PIXPRO SP360を用いて撮影した画像を二値化（白黒化）し、「CanopOn 2」を用いて解析した。

次に、開空度10%（野生株）から15%（栽培株）を目標値にして移植地点と野生株生育地点の樹木を伐採した。伐採する樹木の選定は、午前中に太陽光を遮断している樹木を目視で確認し、午後は西日が当たらない範囲を確認してから、東方向の樹木を中心に1ヶ所当たり10本以内を目安とした。伐採にあわせて、下草や低木も小域で除去した。

光環境改善措置の効果を把握するために、アツモリソウに関して改善の前後の草丈と葉長、



写真3. 動物による食害（自生 A7株）.
Photo 3. Animal-damaged plant (Wild growing plants A7).



写真4. 光環境改善後の生育地点（自生 A8株）.
Photo 4. View of a conservation site after light environment improvement (Wild growing plants A8).

葉幅、シュート数および開花数について記録し、改善措置あり区と改善措置なし区の差について比較を行った。

(3) 消失リスク評価

保全措置の課題および効果を示すために、消失リスク評価表（表2）を用いて評価した。この方法は、東日本大震災の津波が海浜性希少植物に与えた影響を把握するために利用した評価法（小山田ほか，2012；小山田，2012）をアツモリソウ用に改変したものである。評価項目は、「繁殖」、「立地」、「個体数」、「採取」、「動物による食害等の影響」および「病虫害による影響」の6項目を設定した。なお、「繁殖」の項目で「弱い繁殖力 = 4」は実生による増加が1個体あった場合であり、「中位の繁殖力 = 3」は実生が2～4個体程度あった場合とした。「動物による食害等の影響」および「病虫害による影響」の「部分的に食害を受けている = 3」は複数の葉にわたって害を受けた場合であり、「一部に食害を受けている = 2」は葉1枚の範囲に1～2ヶ所、または、小範囲に害を受けた場合とした。

5. 統計解析

培養液散布の効果試験は、散布あり区となし区のスリート数および開花数についてマンホイットニーのU検定を行い、開花率および生存率は、フィッシャーの正確確率検定により検証した。

野生株の移植の効果は、移植前と移植後の草丈、葉長および葉幅について対応のあるt検定

表2. アツモリソウ消失リスク評価表.

Table 2. *Cypripedium macranthos* var. *speciosum* extinction risk Assessment sheet.

a. 「繁殖」 (自然状態での繁殖能力について) 5 増殖が認められない 4 弱い増殖力がある 3 中位の増殖力が認められる 2 著しい増殖力がある 1 強大な増殖力がある	d. 「採取」(あり・なし) (採取の危険度について) 5 極めて強い 4 強い 3 中 2 弱い 1 無い
b. 「立地」 (生息地の消失危険度について) 5 極めて強い 4 強い 3 中 2 弱い 1 無い	e. 「動物による食害の影響」(あり・なし) (食害の影響について) 5 消失した 4 大規模に食害を受けている 3 部分的に食害を受けている 2 一部に食害を受けている 1 変化なし
c. 「個体数」 (生息地点における個体数について) 5 消失 4 1～2個体 3 3～5個体 2 6～9個体 1 10個体以上	f. 「病虫害による影響」(あり・なし) (病虫害の影響について) 5 枯死した 4 大きな影響を受けている 3 部分的に影響を受けている 2 一部に影響を受けている 1 変化なし

を行い、シュート数、開花数および結実数についてウィルコクソンの符号付順位検定により検証した。

光環境改変措置の効果は、改変あり区と改変なし区の間で改変前後の草丈の差、葉長の差および葉幅の差についてウェルチのt検定を行い、シュート数の差および開花数の差についてマンホイットニーのU検定により検証した。

IV. 結果

1. 移植適地の選定試験

土壌分析を行った結果、同属であるクマガイソウの自生地と比べてアンモニア態窒素と硝酸態窒素が低く、交換性カルシウムは高いことや、pH 7.5前後と微アルカリ性であることが確認された(表3)。そこで、アンモニア態窒素が1mg/100g未満、硝酸態窒素が5mg/100g未満、交換性カルシウムが150mg/100g以上、pHが7.0~8.1、ECが80 μ s/cm未満であることを評価基準として、評価基準値に入ったものを1ポイントとし、5項目の合計ポイントで移植候補地の評価を行った。

移植候補地から4点以上のポイントを得た12候補地について、地元で栽培されている栽培株を仮植して、移植後の生育状況を目視観察した結果、候補地②、③、④、⑦、⑧および⑨について、生存が維持されたため、この6地点を移植地に最終決定した。

2. 培養液散布の効果試験

栽培試験地内に隣接する2つの試験区を整備し、生育が類似した栽培株を各15株移植した。片方には小山田培養液を1株当たり500ml散布し、片方には井戸水のみ散布し、培養液の有効性試験を行った(表4)。

その結果、シュート数は、散布なし区で2.3本から2.0本に減少したが、散布あり区では2.1本から5.7本に増加し、散布あり区で有意に高かった。開花数は、散布なし区で1.5から1.5と変化がなく、散布あり区では1.3から3.7に増加し、散布あり区で有意に高かった。開花率は、散布なし区で60%、散布あり区で100%となり、散布あり区で有意に高かった。生存率は、散布なし区で73.3%、散布あり区で100%となり、散布あり区で全てが生存した。以上の結果により、培養液散布の効果が認められたため、野生株への培養液散布を実施した。

3. 野生株の移植試験

開発区内で移植対象7株の維持管理に取り組みながら、移植地の準備を整えた。環境省への移植申請が完了した2016年から2017年の期間に6地点に7株の移植を行った。

1回目は、2016年6月9日に候補地②へA3株を移植した。移植1年後に初開花が確認され、2年後に開花と結実が確認された。

2回目は、2016年10月5日に候補地③へA2株を移植した。移植実施の年から初開花が確

表3. 土壌分析5項目による移植候補地の評価.

Table 3. Evaluation of candidate transplant sites based on 5 soil analysis items.

移植 ¹ 候補地	分析項目 ¹					ポイント ²	移植株 (n=7)	移植年月日
	アンモニア態窒素 (mg/100g)	硝酸態窒素 (mg/100g)	交換性カルシウム (mg/100g)	pH	EC (μ s/cm)			
1	0.1	0.6	300	8.4	95	3		
②	0.8	0.1	400	7.8	71	5	A3	2016/6/9
③	0.3	0.4	600	8.1	87	4	A2	2016/10/5
④	0.5	0.4	400	7.7	11	5	A1①	2017/5/12
5	0.3	0.1	250	7.8	13	5		
6	0.5	0.6	200	6.4	2	4		
⑦	0.7	0.3	370	8.0	29	5	A10	2017/5/11
⑧	0.3	0.3	300	8.1	28	5	A1③,④	2017/5/12
⑨	0.5	0.5	400	8.2	24	4	A1②	2017/9/6
10	0.3	0.3	200	8.4	7	4		
11	3.5	0.9	103	8.2	46	2		
12	1.0	9.0	99	7.3	87	1		
13	0.4	3.0	100	7.7	38	4		
14	1.1	3.0	87	7.5	53	3		
15	1.0	5.0	85	7.6	56	2		
16	0.7	5.0	170	7.8	69	4		
17	2.0	4.0	200	7.7	79	4		
18	1.7	4.0	105	7.7	37	3		
19	0.5	1.2	177	8.0	17	5		
自生地	0.3	2.2	383	7.6	38	-		

¹ ○は移植地に決定した地点を示す。

² アンモニア態窒素、硝酸態窒素の分析はモルガン法で、交換性カルシウムの分析はショーレンベルグ法で行った。また、pH、ECは計測器(HANNA社、HI98129)で測定した。

³ アンモニア態窒素:1mg/100g未満、硝酸態窒素:5mg/100g未満、交換性カルシウム:150mg/100g以上、pH:7.0~8.1、EC:80 μ s/cm未満を評価基準とし、評価基準に該当した項目を1ポイントとした上で移植候補地ごとに加算した。

認められ、その後も継続して開花が確認された。

3回目は、2017年5月11日に候補地⑦へA10株へ移植した。移植2年後にシュート数が1から6に、開花数が1から5に、結実数は0から5に増加した。

4回目は、2017年5月12日に候補地④へA1①株を移植した。また、候補地⑧へA1③株とA1④株を移植した。A1①株は、移植から2年間でシュート数が1から3に、開花数が1から3に、結実数は1から2に増加した。A1③株は、2017年に初開花が確認され、A1④株は、移植から2年間でシュート数が1から2に、開花数が0から2に増加した。

5回目の移植は、2017年9月6日に候補地⑨へA1②を移植した。移植1年後に初開花と結実が確認された。

以上の結果により、移植株の草丈、葉長、葉幅、シュート数、開花数および結実数について、移植前後による有意差はなかったものの、移植後に全項目の数値が増加しており、移植した全ての株の生存を確認した(表5)。

4. 保全措置

(1) 食害対策

アツモリソウを近影できる地点に17台のセンサーカメラを設置して、2016年11月7日から2017年11月14日の372日間記録した映像から、373個体の動物を確認した。全体の45.3%をニホンジカが占め、次いで14.7%がネズミ類、11.5%が鳥類、9.9%がツキノワグマであった(図3)。

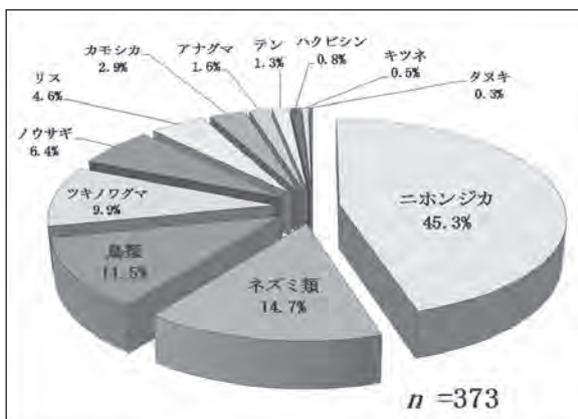


図3. センサーカメラに記録された動物個体の割合。

Fig. 3. Relative proportions of animals recorded by motion-sensor cameras.

映像から保護柵がニホンジカの食害防止に有効であることが確認された(写真5)。

ツキノワグマには保護柵を破損されたが、柵の強化を講じてからは侵入されないことが確認された(写真6)。

(2) 光環境の改変

光環境を改善する目的で、野生株を覆う樹木を伐採した(図4)。伐採した樹木はコナラなどの落葉広葉樹であった。光環境改変措置の効果を把握するため、改変措置なし区と改変措置あり区で、改変前後に草丈と葉長、葉幅、シュート数および開花数を記録した。両区の差について統計的な比較を行った結果、草丈、葉長、葉幅およびシュート数は、光環境改変なし区とあり区で有意な差は見られなかった(表6)。開花数は改変あり区で有意に高かった。



写真5. センサーカメラに記録されたニホンジカ(野生A12株)。

Photo 5. Sika deer captured by a motion-sensor camera (Wild growing plant A 1).



写真6. 保護柵を襲撃するツキノワグマ(移植A1③株)。

Photo 6. Asian black bears attacking a protective barrier (Transplant A 1③).

表4. 培養液散布の有効性試験.

Table 4. Results of the growth solution efficacy experiment.

	シュート数 (本)				開花数 (個)				開花率 (%)	生存率 (%)
	処理前		処理後		処理前		処理後		処理後	処理後
散布なし	2.3 ± 0.3	(15) [†]	2.0 ± 0.4	(11)	1.5 ± 0.2	(15)	1.5 ± 0.5	(11)	60.0 (15)	73.3 (15)
散布あり	2.1 ± 0.2	(15)	5.7 ± 1.1	(15)	1.3 ± 0.1	(15)	3.7 ± 0.3	(15)	100.0 (15)	100.0 (15)
有意性 [‡]	n. s.		**		n. s.		**		*	n. s.

[†] 平均±標準誤差 (供試数)

[‡] シュート数および開花数の処理前後についてはマンホイットニーのU検定で、開花率および生存率の処理後についてはフィッシャーの正確確率検定で、散布なし区とあり区を比較した。
*は5%, **は1%水準で有意差があることを示し、n. s.は5%水準で有意差がないことを示す。

表5. 移植前と移植後の野生株7株の生長比較.

Table 5. Growth of seven wild growing plants before and after transplantation.

	供試数	草丈 (cm)	葉長 (cm)	葉幅 (cm)	シュート数 (本)	開花数 (個)	結実数 (個)
移植前	7	28.0 ± 4.1 [†]	14.6 ± 1.0	6.3 ± 0.8	1.0 ± 0.0	0.6 ± 0.2	0.3 ± 0.2
移植後	7	35.4 ± 1.0	16.8 ± 1.8	8.3 ± 0.4	2.1 ± 0.7	2.0 ± 0.6	1.4 ± 0.6
有意性 [‡]		n. s.	n. s.	n. s.	n. s.	n. s.	n. s.

[†] 平均±標準誤差

[‡] 草丈、葉長および葉幅については対応のあるt検定で、シュート数、開花数および結実数についてはウィルコクソンの符号順位検定で、移植前後を比較した。
n. s.は5%水準で有意差がないことを示す。

表6. 光環境の改変による効果試験結果.

Table 6. Results of the light-environment improvement experiment.

光環境改変	供試数	改変前後の草丈差 (cm)	改変前後の葉長差 (cm)	改変前後の葉幅差 (cm)	改変前後のシュート数差 (本)	改変前後の開花数差 (個)
なし	4	4.7 ± 6.2 [†]	0.1 ± 1.0	1.5 ± 0.7	-0.25 ± 0.3	0.0 ± 0.4
あり	8	7.1 ± 4.2	0.2 ± 1.0	0.8 ± 0.6	1.5 ± 0.7	2.6 ± 1.0
有意性 [‡]		n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	*

[†] 平均±標準誤差

[‡] 改変前後の草丈差、葉長差および葉幅差についてはウエルチのt検定で、改変前後のシュート数差および開花数差はマンホイットニーのU検定で光環境改変なし区とあり区を比較した。
*は5%水準で有意差があることを示し、n.s.はないことを示す。

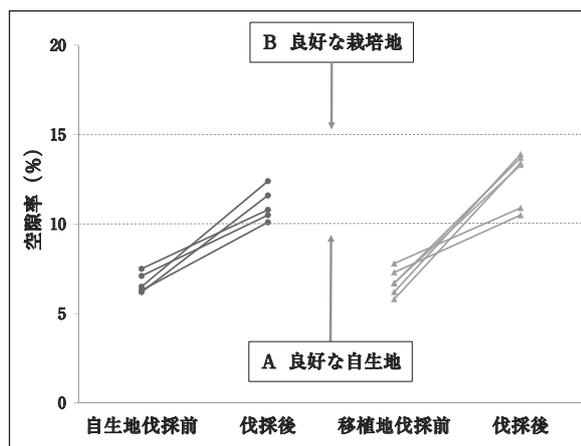


図4. 樹木の伐採前後における自生地と移植地の空隙率の変化 (自生地 n = 5, 移植地 n = 6).

Fig. 4. Change in canopy openness in natural habitats and transplant area before and after logging (natural habitats, n = 5; transplant area, n = 6).

表7. アツモリソウ消失リスク評価の年次推移.

Table 7. Year-to-year change in *C. macranthos* var. *speciosum* extinction risk assessment.

調査地	各項目	2016年	2017年	2018年
移植株 [†]	a. 繁殖	5.0	4.8	4.7
	b. 立地	5.0	2.0	2.0
	c. 個体数	4.0	4.0	3.3
	d. 採取	2.0	2.0	2.0
	e. 動物による食害等の影響	1.0	1.5	1.0
	f. 病害虫による影響	2.2	1.7	1.3
	計	19.2	16.0	14.3
自生株 [‡]	a. 繁殖	5.0	5.0	5.0
	b. 立地	2.0	2.0	2.0
	c. 個体数	3.3	3.2	3.1
	d. 採取	2.0	2.0	2.0
	e. 動物による食害等の影響	1.3	1.2	1.2
	f. 病害虫による影響	2.7	1.9	1.8
	計	16.3	15.3	15.1

[†] 移植した野生株の調査地点数n=6.

[‡] 自生株の調査地点数は2016年がn=7, 2017年がn=10, 2018年がn=12.

(3) 消失リスク評価

野生株の生育地点を「アツモリソウ消失リスク評価表」(表3)を用いて、「繁殖」・「立地」・「個体数」・「採取」・「動物による食害等の影響」・「病虫害による影響」の6項目から評価を行った(表7)。

その結果、移植株については、「繁殖」・「立地」・「個体数」・「病虫害による影響」の4項目で消失リスクの値が減少した。特に、「立地」・「個体数」・「病虫害による影響」の数値が低くなった。2017年に移植株の「動物による食害等の影響」の数値が上がっているのは、保護柵内に侵入したツキノワグマが出芽直後のA2株とA3株を踏み、両株の葉および茎が損傷を負ったことによるものである。

この処置として保護柵を強化して以降は、ツキノワグマの侵入はなくなった。消失リスクの合計数は、2016年の19.2ポイントから2017年が16.0ポイント、2018年が14.3ポイントと2年間で4.9ポイント低下し、明瞭に消失リスクが低減された。

野生株は、「個体数」・「動物による食害等の影響」・「病虫害による影響」の3項目で消失リスクの値が減少した。2016年の「病虫害による影響」は、食害による葉の損傷が確認されたため、数値が高くなった。損傷を受けた葉の内部には、ハエ類の幼虫が確認され、対応としては、「種の

保存法」に配慮し、幼虫を食痕に沿って移動させ、葉に傷をつけないように摘出した。この幼虫を室内で羽化させた結果、フンバエ科のササカワフンバエ (*Americina vittata*) であることが明らかとなった(写真7)。

この結果に基づいて、患部に殺菌剤を塗布し、食害を受けた野生株に殺菌剤を散布した結果、食害が激減した。2016年から2018年までのリスク合計数を年次比較すると、2016年の16.3ポイントから、2017年が15.3ポイント、2018年が15.1ポイントとなり、3年間で1.2ポイント低くなった。

試験地のアツモリソウ16地点36株の中で、保護措置実施前の2015年の時点で確認できていた移植7株と自生株6株を抽出して、保護措置



写真7. ササカワフンバエ(体長5.5mm)。アツモリソウの葉から摘出し、室内で羽化させた後に同定した。
Photo 7. *Americina vittata* (body length 5.5 mm).

表8. 保全措置の実施前後におけるシュート数、開花数および結実数の変化。

Table 8. Number of shoots, flower blooms, and fruits before and after implementation of conservation measures.

項目	株No.	シュート数				開花数				結実数			
		2015年 ^Y	2016年 ^Z	2017年	2018年	2015年	2016年	2017年	2018年	2015年	2016年	2017年	2018年
移植株	A1①	1	1	1	3	1	1	1	3	0	1	1	2
	A1②	1	1	1	1	0	0	0	1	0	0	0	1
	A1③	1	1	1	1	0	0	1	1	0	0	1	0
	A1④	1	1	1	2	1	0	0	2	0	0	0	1
	A2	1	1	1	1	0	1	1	1	0	0	1	0
	A3	1	1	1	1	0	0	1	1	0	0	0	1
	A10	1	1	1	6	1	1	1	5	0	0	0	5
計	7	7	7	15	3	3	5	14	0	1	3	10	
自生株	A5	2	2	3	3	2	2	3	3	0	0	0	2
	A7①	1	1	1	2	0	0	1	2	0	0	1	2
	A7②	1	1	1	1	0	0	1	1	0	0	0	1
	A7③	1	1	1	2	0	0	0	2	0	0	0	0
	A7④	1	1	1	1	0	0	0	1	0	0	0	1
	A8	4	5	6	11	3	3	4	10	1	0	2	6
計	10	11	13	20	5	5	9	19	1	0	3	12	
総計		17	18	20	35	8	8	14	33	1	1	6	22

^Y 2015年は保全措置なし。

^Z 2016年から2018年まで保全措置あり。

3年間のシュート数、開花数および結実数の変化を表8に示した。その結果、シュート数は、移植株が2015年の7から2018年は15に増加し、野生株は10から20に増加した。

開花数は、移植株が2015年の3から2018年で14に増加し、自生株は、2015年の5から2018年には19に増加した。結実数は、移植株が2015年の0から2018年には10に増加し、自生株は、2015年の1から2018年には12に増加した。

以上の結果より、保全措置を3年間行うことでシュート数、開花数が増加し、保全措置を実施する前はほとんど確認できなかった結実については、明瞭に増加することが示された。

V. 考察

1. アツモリソウ自生地の現状と本研究の重要性

岩手県環境保健研究センターでは、岩手県内における希少野生植物の位置情報を集約してきた。これに加えてアツモリソウについては、自生地の確認調査を継続的に実施し、確認できた自生地はモニタリング調査を実施しているが、2018年現在において、9ヶ所確認されていた自生地の6ヶ所が消失し、残存自生地は3ヶ所のみとなっている。

1ヶ所目は、県中央部の市営牧野内の山中のササ群生地の中で、近接した2地点にアツモリソウ3株が自生している（確認日：2018年5月28日）。ニホンジカによるものと推察される食害によって前年に1株が消失したことから保護対策が急務な状況にある。2ヶ所目は、1ヶ所目の自生地から尾根伝いにつながる山中で、古くから山菜の収穫地として山焼きが続けられてきた半自然草地である。しかし、2015年4月28日に発生した大規模な林野火災以降は、地権者以外の立ち入りが制限されているため、現在の個体数は不明である。2018年5月18日に地権者に聞き取りを行ったところ、ニホンジカが頻繁に出没しており、アツモリソウの食害が見られることと、踏圧によって茎葉部が切断される被害もあるとの回答を受けた。このことから、保護策を講じなければ、近い将来に消失する可

能性が高いと思われる。3ヶ所目が本研究の試験地となった山中であり、2018年現在までに16地点36株の生存を確認している（確認日：2018年5月25日）。山林開発を行う企業の要請と、環境省から野生株の移植許可などの助言指導を受けて、アツモリソウの移植と生息域内保全に取り組んでおり、県内に3ヶ所ある自生地の中では最も規模の大きい自生地である。

国内に自生しているアツモリソウ属植物の中で、アツモリソウの変種であり、明るい草原や疎林に自生するなど自生環境が共通している種として、レブンアツモリソウ (*Cypripedium macranthos* var. *rebunense*) とホテアツモリソウ (*C. macranthos* var. *hotei-atsumorianum*) の2変種がある。レブンアツモリソウに対する保護措置は、監視や巡回パトロールを中心とした盗掘防止策に重点が置かれてきたが、さらに、実生発芽させたレブンアツモリソウのフラスコ苗を自生地付近に植栽して、苗を被陰するスキの刈込を行い、開花個体の増加や送粉者であるマルハナバチを誘引する密源植物の増加を促す取り組みも加わっている（河原ほか、2014）。ホテアツモリソウでは、ニホンジカやイノシシの侵入防止策として、自生株の周囲に獣害ネットを設置し、生育環境の改善を目的に、樹木の除去や枝打ちによる効果の検証を始めている（富士見町アツモリソウ再生会議、2016）。なお、国内希少野生動植物種の指定を受け、環境省による保護増殖事業計画が進められているチョウセンキバナアツモリソウでは、保護措置として盗掘防止の巡視に加えて、自生地となる草地に出現したツツジ類などを刈り取る植生管理が開始されている（小山田ほか、2019）。

本研究は、開発区に自生していたアツモリソウを保護区に自生している野生株の周辺に移植することで、山中に点在していた野生株を同一エリア内に集約させて保全措置を進め、その効果を確認したものである。環境省東北地方環境事務所によれば、「種の保存法」施行以降に野生株移植の許可申請自体に前例がなく、また、アツモリソウの生息域内保全に関する取り組みや学会発表等の情報を持ち合わせていないとのことであった。したがって、本論文が公表される

ことによって、本試験地以外のアツモリソウや、国内希少野生動植物種に指定されている近縁のホテイアツモリソウ、レブンアツモリソウ、チョウセンキバナアツモリソウの保護増殖事業（高橋、2016）への貢献が期待される。

2. 移植地点の選定と野生株の移植

移植地点の選定に際しては、先ず試験地内のアツモリソウの自生状況と周辺環境を観察しながら、候補地 19 地点を設定し、土壌分析による評価を行った。その結果、アツモリソウ自生地は、同属のクマガイソウ自生地と比較して窒素含量が低く、交換性カルシウムが顕著に高い傾向を示した。これは過去に確認していた岩手県内のアツモリソウ自生地の土壌分析結果とも共通しており、pH と EC の好適な範囲を設定して 12 地点に絞り込んだ。

次に栽培株を準備し、これらを選抜した 12 地点に仮植して、生存・成長状況を観察した。この仮植は、本移植に向けたリハーサルでもあり、環境省へ提出した移植申請書に記載した移植法を実演して同省の理解を得るという意義も持ち合わせていた。最終的には、仮植した栽培株の生存および成長が良いと判断された 6 地点を移植適地と判断し、アツモリソウ野生株の移植を実行した。

3. 自生地の保全措置

(1) 食害対策

本研究では、移植した野生株も含めて、調査地で確認されたアツモリソウ全株を対象に保護柵で囲む措置に取り組んだ。これは、移植実施の申請以前に動物の食害が原因と思われる野生株の消失が 2ヶ所の自生地で発生していたことから、緊急性が高い要件と考えたためである。今回は特に、ニホンジカによるアツモリソウへの接触を防止する目的で、保護柵の設置とセンサーカメラ（17 台）の設置を急いだ。その結果、センサーカメラに記録された映像にはニホンジカが最も多く出現したものの、保護柵の中にあるアツモリソウは、食害による損傷や消失が全く見られなかった。もともと個体数が少ないアツモリソウでは、保護柵の設置範囲も小規模で

あり、山中で設置する資材の運搬も人力で対応が可能であった。さらに、設置直後から食害による被害を皆無にすることができることから、保護を進める上で簡易かつ極めて有効な手法であることが明らかになった。

ニホンジカに次ぐ回数でセンサーカメラに記録されたネズミ類では、保護柵の中を出入りする様子が確認されており、実際に根や茎の切断が確認された。被害を受けたアツモリソウの近くには、ネズミの通り穴と思われる溝が確認できたことから、その溝に殺菌剤を散布し、さらに電池式のモグラ除けを設置するなどの対策を講じて以降は、被害を止めることができた。

その他の食害では、虫によるものと思われる葉の損傷が確認され、フンバエ科のササカワフンバエ (*Americina vittata*) であることが判明した。本種の幼虫は、ユリ科植物の葉に潜ることは知られていたが（伊藤ほか、1977）、最新の報告では、ラン科植物のキンラン、ササバギンラン、トケンラン、サイハイランの食害が確認されている（Suetsugu *et al.*, 2019）。また、アツモリソウ属では、ヨーロッパに分布する *Cypripedium calceolus*、北アメリカに分布する *C. acaule* と *C. parviflorum* var. *pubescens* および *C. reginae* についてササカワフンバエによる食害が確認されているが（Suetsugu *et al.*, 2019）、アツモリソウ (*Cypripedium macranthos* var. *speciosum*) を食害する虫として報告するのは、本論文が国内初になる。本研究対象の自生地では、アツモリソウの開花期である 5 月中旬から 8 月下旬までの期間について殺菌剤による治療と幼虫の忌避を行うことでこの虫の食害を防除できることが明らかとなった。

(2) 光環境の改変

また本研究では、アツモリソウの光環境を改善する目的で、野生株の上層を覆う樹木の伐採を行ったが、自生地の保護策のために樹木の伐採を行った報告は皆無である。したがって、慎重に伐採を進める必要があると考え、良好な成長を実現している栽培試験地と本試験地の中で最も生育が良い野生株においてあらかじめ開空度を測定した上で、鉛直方向の天空占有率 10%（野生株）から 15%（栽培株）を目標値として

除伐を実行した。その結果、樹木の伐採によってアツモリソウの開花数が増加する傾向が認められた。

(3) 培養液散布の効果試験

害獣および病害虫の防除と、光環境の改善を行う保護措置と合わせて、本研究では、アツモリソウの成長促進効果を狙った培養液の散布に取り組んだ。本来、特許処方として開発していたアツモリソウ属用の培養液（小山田ほか、2008）をアツモリソウ専用として開発したものであるが（小山田ほか、2011）、小山田培養液にハイポネックスとペプトンを添加して活用することで、プラスチック内培養苗の草丈、葉数、苗の全重量、根数、越冬芽数増加が確認され、さらに順化・鉢上げから野外栽培1年を経過した苗の比較では、草丈、葉数および生存率が高まることが報告されている（Oyamada *et al.*, 2010; 小山田ほか、2011）。

この結果をもとにして、本研究では栽培試験地のアツモリソウに対して培養液散布の有効性試験を行い、シュート数と開花数、開花率の増加を確認した。その上で保護区の移植株への培養液散布に際しては、土壌分析結果から得られた情報を参照して培養液のpHを7.5になるように調整し、さらに自生地の窒素含量が低いことを考慮して、出芽開始期の4月と休眠開始期の10月については、ハイポネックスとペプトンを混合した培養液を散布し、5月から9月の5ヶ月間については、両者を含まない小山田培養液の散布を行った。この培養液の主な成分は、微アルカリ性水、ビタミン類のチアミン、ニコチン酸、ピリドキシン、ミオイノシトールで構成されている。これらの物質は、植物の生命を維持するために必要な栄養素であり、特に根の伸長においてビタミン類は欠かせない物質である（日本植物培養学会・日本植物組織培養学会、1993）。ラン科植物は、根の表皮部分に水滴がついたり、湿った状態の所に長く接触するとその部分の表皮が伸長して吸水能を高めることが一般的に知られている（農文協、2003）。栽培試験地で行った培養液散布の効果が自生地のアツモリソウでも認められたものと推察された。

(4) 消失リスク評価

保護措置を総合的に確認する評価法として、「アツモリソウ消失リスク評価」を年度毎に取りまとめ、振り返りと改善を繰り返した。この手法により改善すべきリスクが明確となり、特に、動物による食害や害虫の防除において万全の対策を講じるきっかけにもなった。本研究による保全対策が実行される以前は、野生株に消失する個体が見られたものの、2016年以降に消失個体を0にできたことは、総合的な保全措置が有効であることを証明していると考えられる。

なお、保護区の野生株では、保全措置の実行前にはほとんど確認できなかった結実が見られるようになった。アツモリソウの花粉媒については、アカアシヒメハナバチとセイヨウミツバチの2種の中型ハナバチ類を送粉者とする報告（杉浦ほか、2002）がある。また、同属のクマガイソウは、マルハナバチ媒であり、もともと訪花頻度が低く、結実率も低いことが指摘されている（黒沢ほか、2018）。本研究の保護地内では、開花株を訪花するコマルハナバチとハナアブ類が観察されており、保全措置の効果によって開花株が増えたことと、移植によって野生株同士が近接した結果、訪花昆虫による受粉の機会が高まって結実数が増加したことが推察された。

4. アツモリソウ保全措置の問題と今後の課題

アツモリソウは、野生絶滅の危険性が高い植物であり、種の保存対策が急務となっている。この減少要因は、山焼きや放牧、薪炭利用の低下によって自生地となる草原などの開放的な生育環境が失われ、さらに個体数が少なくなると希少価値が増して採取圧が高まったことが主な原因とされる（前田、2008）。岩手県においても、10年ほど前にこうした危機感が提示されつつ、依然として自生地の消失が続いており、残された自生地はわずかであることから、野生絶滅の危機がさらに増大していることは間違いないであろう。このような時期に、自生地に山林開発が計画されたことはアツモリソウの保護の観点から見ると好ましくない。しかしながら、野生株の移植に係る申請手続きの過程で、環境省か

ら移植行為による消失がないよう指導を受け、その結果「見守る保護」から「生息域内個体群の維持存続」を目指した保全措置へのシフトが決定的となり、アツモリソウの苗生産試験や栽培試験地から得ていた技術を動員した野生株の保全措置が進められた。

本研究では、アツモリソウの自生地の保護措置として、光環境の改善措置、哺乳類の食害対策や害虫の被害防除の有効性を証明することができた。また、野生株同士の交配によると推察される結実が観察されたことから、種子繁殖による遺伝的多様性の復元や保護区外保全（自然環境研究センター，2011）も期待できる見通しが生まれた。全国的な視野で見ると、全ての自生地で保護対策が講じられているわけではなく、むしろ放置に近い状態で保護されている事例が多いと考えられる。本種を含めた国内に自生するアツモリソウ属植物の保護は緊急性が高いと考えられることから、本研究の取り組みが役立つべきである。

VI. 謝辞

本研究は、環境省より「種の保存法」に基づいた野生株の移植許可と移植後の確認・評価をいただいて実施した。また、アツモリソウ野生株の移植および生息域内保全に関する報告例の確認作業について協力をいただいた。岩手県内のアツモリソウ自生地調査は、岩手県環境保健研究センターの前田琢上席専門研究員と情報提供者である最上益雄氏、花巻市大迫地区指定種専門監視員の佐々木吉昭氏より協力をいただいた。野生株移植と保護措置の作業について、アジア航測株式会社の菅原淳史氏、株式会社エコリスの西中董氏と丹野夕輝氏、岩手県環境保健研究センターの前首席専門研究員・部長の佐藤卓主任専門研究員と千葉文也非常勤職員より協力をいただいた。ホテイアツモリソウの保護事業に関する情報は、富士見町アツモリソウ再生会議の名取陽氏より協力をいただいた。ここに記して各氏に感謝を申し上げる。

VII. 引用文献

- 富士見町アツモリソウ再生会議（2016）生物多様性保全に向けての取り組み，2-3. 長野県。
- 藤原俊六郎・安西徹郎・小川吉雄・加藤哲郎（2005）土壌肥料用語辞典，97-101. 農文協，東京。
- 伊藤修四郎・奥谷禎一・日浦勇（1977）原色日本昆虫図鑑（下），269 pp. 保育社，東京。
- 岩手県環境生活部自然保護課（2014）いわてレッドデータブック，73-74.
- 環境省自然環境局野生生物課（2018）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改訂法の施行リーフレット。
- 河原孝行・北村系子・八巻一成・幸田泰則・志村華子・高橋英樹・庄子康・杉浦直人・村山誠治・飯野拓也（2014）絶滅危惧種レブンアツモリソウの自生地復元・自生環境改善の取り組み，森林総合研究所研究成果選集，52-53.
- 黒沢高秀・清原一樹・山下由美（2018）福島市松川町水原クマガイソウ自生地周辺の植物相と保全に関する提言，福島大学地域創造，29（2）：125-145.
- 前田琢（2008）岩手県の絶滅危惧種の保護の取り組み，ワイルドライフフォーラム 13（2）：52-53.
- 松本正雄・大垣智昭・大川清（1998）園芸辞典，100pp. 朝倉書店，東京。
- 日本植物培養学会・日本植物組織培養学会（1993）組織培養辞典，262,307. 学会出版センター，東京。
- 農文協（編）（2003）花卉園芸大百科 15 ラン，23-26. 農山漁村文化協会，東京。
- 大場秀章・大槻葉子（2004）日本の絶滅危惧植物図譜，344-345. アボック社，東京。
- 小山田智彰（2011）絶滅危惧植物アツモリソウの培養による育苗と野生・栽培個体の遺伝子解析，総合政策，13（1）：83-84
- 小山田智彰（2012）津波による海浜性植物への影響，グリーン・エージ 465：16-19.
- Oyamada, T., Hiratsuka, A. and Kurakake, S. (2010) A new aseptic cultivation method to accelerate growth. The Orchid Review 1292：216-217.

- 小山田智彰・平塚明・鞍懸重和 (2011) ロールペーパーとバーミキュライトを培地支持材量に用いた絶滅危惧植物アツモリソウの苗生産に関する研究. 園芸学研究 10 (3): 315-320.
- 小山田智彰・平塚明・間山秀信 (2008) アツモリソウの種子発芽による苗の育成に関する研究. 自然環境復元研究 4,43-50.
- 小山田智彰・鞍懸重和・新井隆介・山内貴義・片山千賀志 (2012) 東日本大震災の津波による岩手県における海浜性植物の消滅. 薬用植物研究 34 (1): 37-48.
- 小山田智彰・鞍懸重和・千葉文也・佐藤香菜・長谷川啓一・古澤輝雄 (2019) 生息域外保全を目的にしたチョウセンキバナアツモリソウの苗生産. 自然環境復元学会全国大会研究発表・講演要旨集, 29-32.
- 清水建美 (2002) 植物用語辞典. 244 pp. 八坂書房, 東京.
- 森林総合研究所 (2009) 特定国内野生動植物種の保全に関する提案書, レブンアツモリソウをモデルにした研究から. 1-4.
- 自然環境研究センター (編) (2011) 絶滅する前にできること.
- Suetsugu, K., Kitamura, S. and Sueyoshi, M. (2019) Infestation of the orchid *Cephalanthera* spp. by *Parallelomma vittatum* (Meigen, 1826) (Diptera: Scathophagidae) in Japan. *Entomological Science*. Doi: 10.1111/ens.12344.
- 杉浦直人・井上健・郷原匡史 (2002) アツモリソウとハクサンチドリ (ラン科) の送粉に関する知見. 分類 2 (2), 100.
- 高橋秀樹 (2016) ランの王国. 101-108. 北海道大学出版, 北海道.
- 山下由美・佐藤晃平・佐藤なつき・兼子伸吾 (2017) 日本における絶滅危惧植物クマガイソウ *Cypripedium japonicum* Thunb. (ラン科) の生育状況と葉緑体 DNA の遺伝的多様性. 分類 17 (2): 159-166.
- 遊川知久 (2015) 日本のラン ハンドブック①低地・低山編. 14-15. 文一総合出版, 東京.

受付日: 2019年 3月 8日

受理日: 2020年 10月 16日