

論 文

絶滅が危惧される菌従属栄養植物ハルザキヤツシロランとクロヤツシロランの生態的特質とリゾームの野外での生存への給水効果

馬田 英隆¹⁾・西 志隆²⁾Ecological characteristics and water supply effect on *in situ* conservation in *Gastrodia nipponica* and *G. pubilabiata*, the endangered myco-heterotrophic orchidsUMATA Hidetaka¹⁾ and NISHI Munetaka²⁾¹⁾ 鹿児島大学農学部附属演習林 〒890-0065 鹿児島市郡元1-21-24

Kagoshima University Forests, Faculty of Agriculture, Kagoshima University, Korimoto 1-21-24, Kagoshima 890-0065, JAPAN

²⁾ 〒640-8316 和歌山市有家389-17

Ariie 389-17, Wakayama 640-8316

Received Nov 20, 2009 / Accepted Dec 17, 2009

Summary

Investigated was the *in situ* conservation of *Gastrodia nipponica* and *G. pubilabiata*, the endangered myco-heterotrophic orchids by logging, changes of land use, or forest succession. The two orchids inhabit the bamboo forests or the evergreen broad-leaved forests in southwest of Japan. They closely resemble each other in morphology and ecology. However, *G. nipponica* blooms from April to May and disperses seeds until early June but *G. pubilabiata* blooms from October to November and disperses seeds until mid-December.

An attempt to conserve *G. nipponica* and *G. pubilabiata* *in situ* was carried out through the water supply to their naturally occurring rhizomes using the superabsorbent polymer well absorbing water. The examination period was from mid-July, just after the end of the rainy season to October, the mid dry season. Some following ecological characteristics of the two orchids also were examined, the underground distribution of the rhizomes and its mycobionts and the symbiotic ability of some litter decomposing fungi in *G. nipponica* and the seasonal growth events in the two orchids.

The decrease ratio in the rhizome number of *G. nipponica* and *G. pubilabiata* was low from 10 to 37% when supplied with water compared to that without water supply, respectively. The rhizomes of the two orchids inhabited the litter layer and the roots developed horizontally sticking to the litters. The mycobionts of *G. nipponica* formed small colonies spreading patchily on the soil and colonized between from the litter layer to the upper of A layer, at least 4cm in the depth. Some fungi induced germination of the seeds of *G. nipponica* on the agar medium containing no nutrients. The two orchids showed the similar growth stage in each season except for the fruiting.

The obtained results indicate (1) the water supply after the rainy season will contribute greatly to the *in situ* conservation of *G. nipponica* and *G. pubilabiata*, (2) the two orchids and their mycobionts have the epiphytic life style to the litter throughout their lives, (3) the two orchids may be regulated closely by the East Asian monsoon climate, and (4) the dryness after the rainy season may be the fatal factor in the rhizome survival.

Present investigation showed that *G. nipponica* and *G. pubilabiata* had the close association with the litter layer as the habitat and the litter decomposing fungi as the symbiont partners. The rhizomes and the litter were sewed together through the symbiont mycelia threads to form an ecological system. We designate such orchids as "litter layer inhabiting plant".

Key words : endangered plant, *Gastrodia*, litter layer inhabiting plant, myco-heterotrophyte, monsoon, Orchidaceae, water supply
キーワード : 絶滅危惧種, ヤツシロラン属, 落葉層生息植物, 菌類従属栄養植物, モンスーン, ラン科, 給水

I. はじめに

環境省版レッドデータブック(2000)により、多くの野生植物が絶滅の危機に瀕していることが明らかとなり、それらの種を保全していくことが重要な環境問題の一つとして広く認識されるようになった。とりわけ、ラン科植物はわが国においてのみならず世界的にその種数を甚だしく減じている(環境省 2000, Kingsley et al., 2003)。その原因として、ラン科植物は花が特異な形態を有し、鮮やかな色彩をしたものも多く、それらの種には園芸的価値が見出され乱獲の対象となったものが多いことや、多くの種が森林内、湿地、そして樹木上などの環境に生育するため、森林破壊や開発の影響を受けやすいことなどが考えられる。

ラン科植物は自然条件下では種子の発芽に菌類(共生菌)の協力が必要で、さらに発芽当初は葉緑素も形成されないため栄養物も共生菌に依存する。多くの種が生長するにしたがって葉緑素を形成し栄養的に独立していく中で、葉緑素を形成せずに一生を通じて栄養物を共生菌に依存する種がある。葉緑素を喪失し光合成能力を欠く植物をこれまでは腐生植物と称していたが、最近では腐生植物の中でも菌類に依存する植物を菌寄生植物(myco parasite)あるいは菌従属栄養植物(myco-heterotrophyte, myco-heterotrophic plant)と呼ぶようになってきている。ここでは葉緑素を欠くランを腐生ランと呼ぶことにする。

腐生ランは殆どすべての種が絶滅危惧種となっており、種の保全のための技術開発が急がれているが、保全を対象とした研究は少ない(津田ら, 2004; 馬田ほか, 2007)。そのため、われわれは保全方法の確立を目的として、ハルザキヤツシロラン(*Gastrodia nipponica* (Honda) Tuyama)とクロヤツシロラン(*Gastrodia pubilabiata* Sawa)を対象として継続した研究を行っている。環境省レッドデータブック(2000)によれば、ハルザキヤツシロランは絶滅危惧 類に、またクロヤツシロランは絶滅危惧 B類に分類されている。この二つのランはわが国では西南日本の竹林や広葉樹林に発生し、両者は形態的にもまた生態的にも良く似ている。しかし、前者が4月~5月に開花し6月の初めまでには種子を飛散させるのに対し、後者は10月~11月に開花し、遅くとも12月初めまでには種子を飛散させる。

本研究では二つのランを保全する方法の確立のための第一歩として、生育地でのランのリゾームへの給水を試み、生態的な基礎知見を得るための調査を行った。なお、本稿では森林土壌学で言うAo層を落葉層と表現することにした。

II. 材料と方法

1. 試験地の概要

試験を行った個所(図1)および試験地の植物種と試験地の概要を以下に記す。

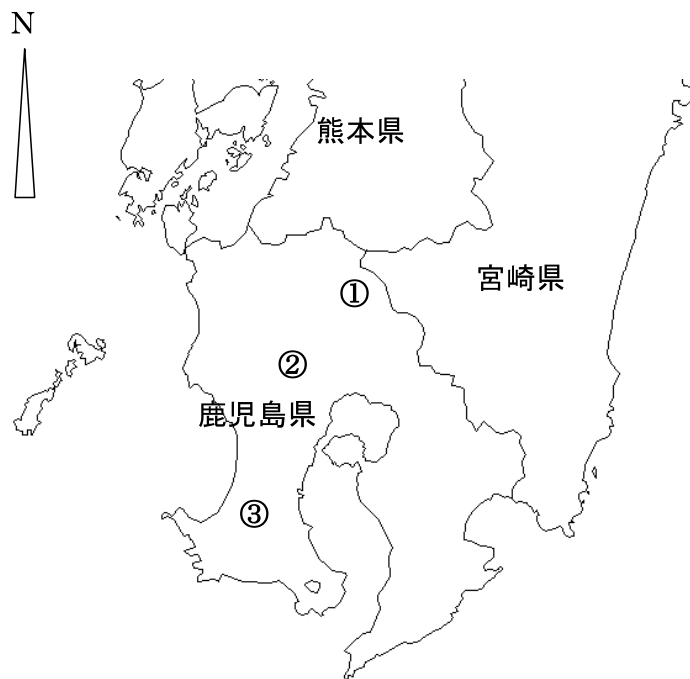


図1. 試験地位置図

鹿児島県始良郡湧水町栗野岳, 鹿児島県薩摩郡清浦町鷹ノ子岳, 鹿児島県南さつま市金峰町金峰山。

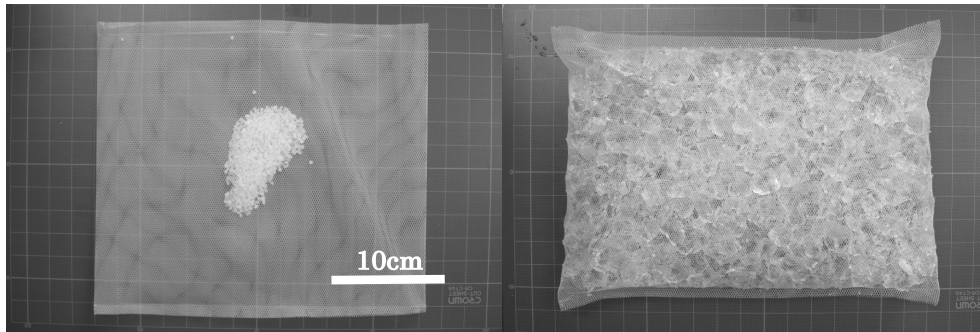


図2. 給水装置

給水前の高吸水性ポリマー10g (左) は、給水後は1,900gであった (右)。

(1) 鹿児島県南さつま市金峰町金峰山

(標高636.3m。以下、金峰山)

【植物種と林相、地形その他】ハルザキヤツシロラン。スタジイを優占種とする照葉樹林で、発生面積は約300m²であった。リゾームの発生数が最も多いと思われる個所を選び試験区を設けた。試験区の地形は急で向きは南東である。落葉層は非常に薄くA層が直に見える程であった。

(2) 鹿児島県薩摩郡入来町清浦鷹ノ子岳

(標高481m。以下、鷹ノ子岳)

鷹ノ子岳では山麓ではハルザキヤツシロランが発生し、中腹ではハルザキヤツシロランとクロヤツシロランが同所的に発生する混生地であった。

【山麓の植物種と林相、地形その他】ハルザキヤツシロラン。主にコジイからなる照葉樹林にスギが混じる林で、発生面積は狭く約25m²で、斜面は北向きで急であった。その中に試験区を設けた。

【中腹の植物種と林相、地形その他】ハルザキヤツシロランとクロヤツシロランの混生。コジイを優占種とする照葉樹林で、発生面積は約100m²であった。リゾームの発生数が最も多いと思われる個所を選び試験区を設けた。試験区は北向きで平坦であり、落葉層は薄かった。

(3) 鹿児島県湧水町栗野岳中腹 (標高590m。以下、栗野岳)

【植物種と林相、地形その他】クロヤツシロラン。イチイガシ、アカガシ、コジイ、イスノキなどからなる照葉樹林で、発生面積は約100m²であった。リゾームの発生数が最も多いと思われる個所を選び試験区を設けた。試験区は西向きで平坦であり、試験区の西側は小谷を挟み稜線に阻まれていた。試験区の落葉層は薄かった。

2. 試験に用いた種子

ハルザキヤツシロランの種子は2008年5月15日に鹿児島県熊毛郡三島村竹島のリュウキュウ竹林で採取した。クロヤツシロランの種子は2007年10月27日に栗野岳で採取した。いずれの種子もデシケータに入れて冷蔵保存し (5)、



図3. リッター層の中のハルザキヤツシロランのリゾーム
小さなTuber () から根が水平に四方八方に長く伸び、落葉落枝に付着している。根が地中 (A層) に潜ることは無い。2008年7月25日、鹿児島県薩摩郡清浦町鷹ノ子岳。

試験に供した。

3. 給水試験

水を含ませた吸水材 (以下、給水装置) を自生地に置床することによって給水を試みた。試験期間中に補給は行わなかった。

(1) 給水装置の準備

高吸水性ポリマーを給水装置に用いた。ポリマー10gをナイロンネット (28cm×25cm) に入れて24時間蒸留水に浸し給水装置とした。24時間後の重量は約1,900gであった (図2)

(2) 設置の方法

給水を行う区 (給水区) と給水しない区 (対照区) に分けた。試験区の表面の落葉落枝をリゾームに損傷を与えないよう取り除いた (図3)。次いで、リゾームにビニールテープやプラスチック製ストローで目印を付けた後、落葉落枝を再び被せた。ランのリゾームは金峰山と栗野岳では自生の発生状態のまま試験を行い、鷹ノ子岳では本数が少なかったため試験区周囲から個体を採取し移植して試験を行った。

表1. ハルザキヤツシロランとクロヤツシロランの発生地でそれぞれのリゾームに給水実験を行った試験地名, 試験区番号, 植物種, 設置日, 調査日

試験地名	試験区番号	植物種	設置日	調査日
金峰山	No.1	ハルザキヤツシロラン	2008.7.23	2008.11.20
	No.2	ハルザキヤツシロラン	2008.7.23	2008.11.20
鷹ノ子岳(山麓) (中腹)	No.1	ハルザキヤツシロラン	2008.7.25	2008.11.14
	No.2	混生	2008.7.23	2008.11.14
	No.3	混生	2008.7.23	2008.11.14
栗野岳	No.1	クロヤツシロラン	2008.7.28	2008.11.13
	No.2	クロヤツシロラン	2008.7.28	2008.11.13
	No.3	クロヤツシロラン	2008.7.28	2008.11.13

ハルザキヤツシロランとクロヤツシロランの混生

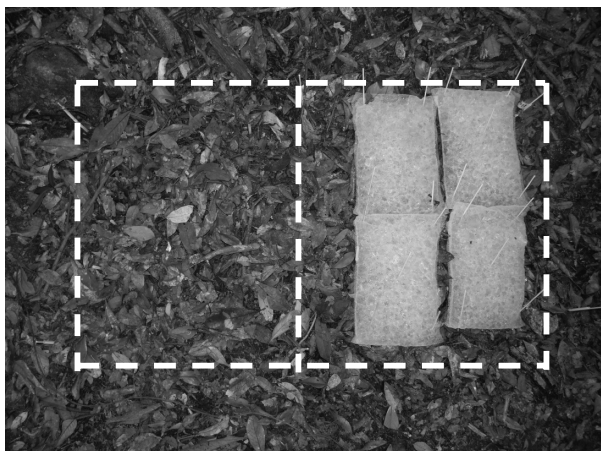


図4. 鷹ノ子岳における給水装置の設置例

給水区(右)には給水装置を4個設置した。隣接して対照区(左)を設置した。

給水区の大きさは60cm×50cmで、落葉を被せたリゾームの上に1,900gの給水装置を4個並べて設置した(図4)。各試験地への給水装置の設置日, 試験個所数, リゾーム数, 調査日を表1に示す。

4. ハルザキヤツシロラン共生菌の土壌中での立体分布

ハルザキヤツシロラン共生菌の土壌中での立体分布を調べるために, 種子を土壌に埋設してその発芽によって推定することを試みた。共生菌の立体分布は以下の3通りの播種方法によって調べた。(i) 平面分布を調べるために種子を落葉層下部に水平に埋設した(以下, 平面播種)。(ii) 垂直分布を調べるために土壌中に垂直に埋設した(以下, 垂直播種)。(iii) 垂直分布で落葉層については, 発生地から腐葉を持ち帰りその表面に種子を散布した(以下, 落葉播種)。調査は金峰山で行った。

(1) 播種の準備

平面播種にはスライドマウントとナイロンメッシュを, 垂直播種にはナイロンメッシュの袋を利用した。また, 落葉播種は発生地の腐葉を利用した。

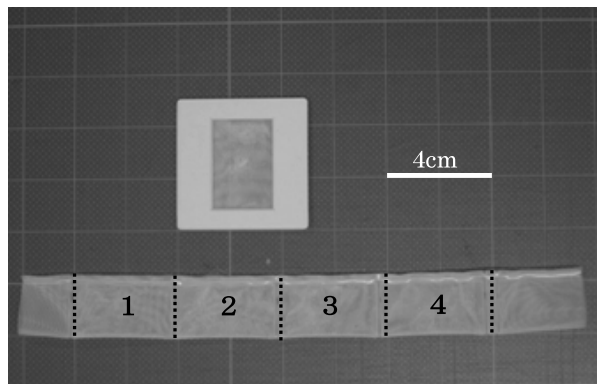


図5. 平面配置に使用した種子を入れたスライドマウント(上)と垂直配置に使用した種子を入れたナイロンメッシュの袋(下)

ナイロンメッシュの袋をシーラーで4セルに分け, それぞれに種子を入れた。

スライドマウントによる種子の準備

スライドマウントとナイロンメッシュ(径95 μ m)を用いた。ナイロンメッシュを二つ折りにして種子を入れ, プラスチックマウントに挟んだ(図5)。

ナイロンメッシュ袋による種子の準備

ナイロンメッシュの袋(長さ16cm, 幅2cm)を用意した。袋は4つのセル(長さ4cm)に分け, 各セルに種子を入れた(図5)。

(2) 播種の方法と発芽率の調査の方法

各試験地にそれぞれ3個の実験区(No.1, No.2, No.3)を設けた。一つの実験区の大きさを30cm×30cmとし, 種子の埋設前に落葉層を取り除き, 埋設後は落葉を元のように被せた。平面播種と垂直播種は同一の実験区内で行った。

平面播種

プラスチックマウント9枚を20cm間隔で格子状に配置した(図6)。

垂直配置

6本のメッシュ袋をスライドマウントの行間に20cm間隔で2行に案内棒を用いて地中に縦に埋めた(図6)。そ

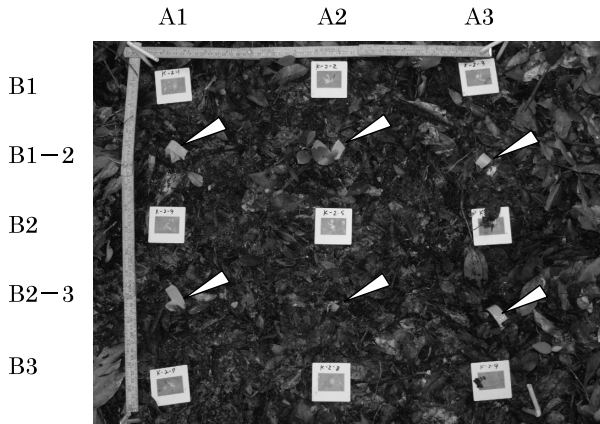


図6. 平面配置と垂直配置

平面配置では9枚のスライドマウントを縦、横20cm間隔で配置した。垂直配置では6個のナイロンメッシュの袋を横2行に20cm間隔で地中に差し込み、テープ(矢印)を付けて目印とした。

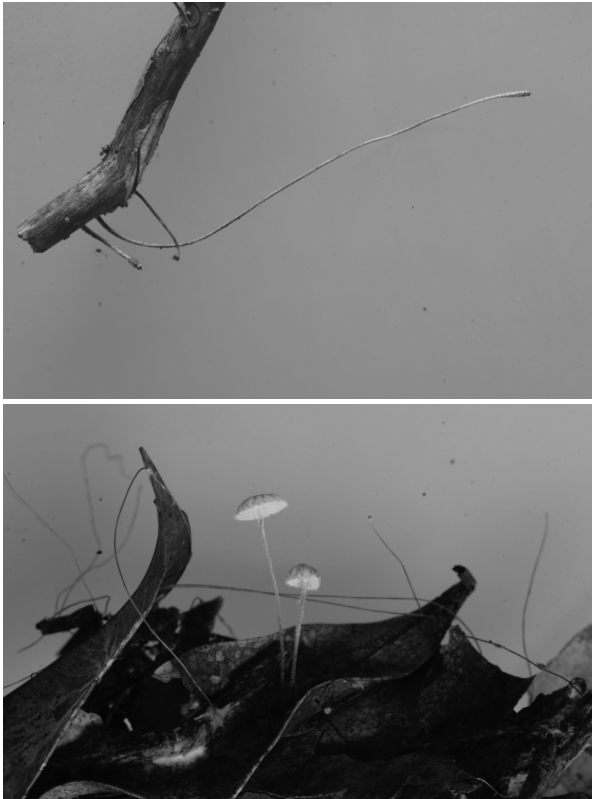


図7. ハルザキヤツシロラン発生地で採集した落葉分解菌 Rz507(上)は落枝上に, F508(下)は落葉上に発生している。

それぞれ上部からD1(地表~深さ4cm), D2(深さ4~8cm), D3(深さ8~12cm), D4(深さ12~16cm)とした。D1の上端は落葉層下部に位置するようにした(図6)。

2008年6月6日に埋設し, 1回目の調査を同年7月23日に, 2回目の調査を同年11月11日に行った。

発芽は胚が肥大して種皮を破ったときと定義し, 以下のようにして発芽率を調べた。(i)種子をスライドマウント

およびナイロンメッシュ袋から取り出し, 水道水5mlに入れた。(ii)種子が入った水道水を1ml採水し発芽率を調べた。(iii)3回行いその平均を発芽率とした。

落葉播種

リゾームの発生個所から採取した腐葉をプラスチックケース(W12cm×L17cm×H5cm)に入れ, その上に種子を散布した。25℃のインキュベータで暗所培養とした。2009年6月2日に播種し, 7月22日に観察した。発芽率の調査は行わなかった。

5. ハルザキヤツシロラン発生地の野生キノコとの共生培養

金峰山のハルザキヤツシロランの発生地から採集した子実体や根状菌糸束からの分離菌のランの種子に対する発芽能力を調べた。種の判別は困難でそれぞれ菌株番号F505, Rz507, F508とした。

3室シャーレを用い, その内の1室にPDA培地を約5ml入れ, 供試菌を接種した。他の2室には栄養物を含まない水寒天(寒天濃度1%)をそれぞれ約5ml入れ, その上にハルザキヤツシロランの滅菌種子を播種した。2007年8月に開始し, 2007年12月に観察した。

6. ハルザキヤツシロランとクロヤツシロランの季節ごとの生長

写真による記録とした。

Ⅲ. 結 果

1. 給水試験

結果(表2)が示すように, すべての試験地においてリゾーム生存に対する給水の効果は明らかで, 対照区に比べて生存率が10%~37%高かった。

2. ハルザキヤツシロラン共生菌の土壤中での立体分布

(1) 落葉層の腐葉上での発芽

多数の種子が発芽し, プロトコーム~リゾームまで生長した(図8)。

(2) 平面配置と垂直配置での発芽

2008年7月23日に1回目の, 2008年11月11日に2回目の調査を行った。その結果を図9に示す。

【2008年7月23日調査】

平面配置

3ヶ所の試験区(No.1, No.2, No.3)からそれぞれA1B1, A1B3, A2B2, A3B1, A3B3に位置するスライドマウントを回収し発芽率を調べた。図9が示すように, どの実験区においても発芽していたスライドマウントはパッチ状に分

表 2. ハルザキヤツシロランとクロヤツシロランの発生地におけるリゾームへの給水によるリゾーム数の増減と生存率

ハルザキヤツシロラン

発生地名	試験地番号	対 照 区			給 水 区		
		設置日本数	調査日本数	生存率 (%)	設置日本数	調査日本数	生存率 (%)
金 峰 山	No.1	10	1	10.0	8	1	12.5
	No.2	9	1	11.1	10	3	30.0
	平均			10.6			22.2
鷹ノ子岳	No.1	18	8	44.5	11	6	54.5

ハルザキヤツシロランとクロヤツシロランの混生地

発生地名	試験地番号	対 照 区			給 水 区		
		設置日本数	調査日本数	生存率 (%)	設置日本数	調査日本数	生存率 (%)
鷹ノ子岳	No.2	17	6	35.3	18	12	66.7
	No.3	12	6	50.0	12	10	83.3
	平均			41.4			73.3

クロヤツシロラン

発生地名	試験地番号	対 照 区			給 水 区		
		設置日本数	調査日本数	生存率 (%)	設置日本数	調査日本数	生存率 (%)
栗 野 岳	No.1	17	5	29.4	9	6	66.7
	No.2	5	0	0.0	8	4	50.0
	No.3	11	3	27.3	14	9	64.3
	平均			24.2			61.3

金峰山では2008年7月23日に給水を開始し、2008年11月20日に結果を調査した。
 鷹ノ子岳では2008年7月25日に給水を開始し、2008年11月14日に結果を調査した。
 金峰山では2008年7月28日に給水を開始し、2008年11月13日に結果を調査した。

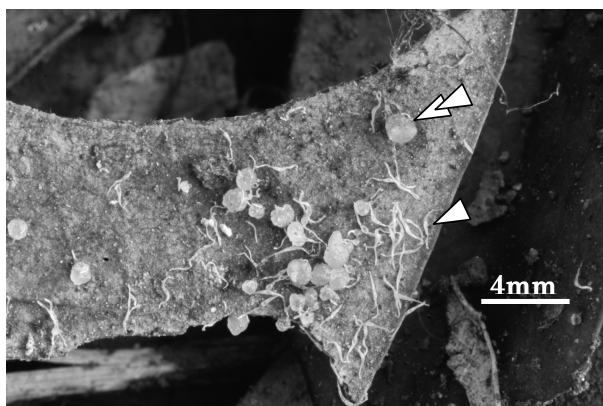


図 8. ハルザキヤツシロラン発生地の落葉上で発芽している種子

矢印 (1 個) は未発芽種子を、矢印 (2 個) は発芽種子を示す。播種後50日。

布していた。

垂直配置

BI-2行においては各試験区のA2列を、B2-3列においてはA1列とA3列のナイロンメッシュ袋を回収して、それぞれの埋設深さごとの発芽率を調べた。図9が示すように、発芽していたメッシュ袋はどの実験区においても、列によってまた深さによって異なっていた。

【2008年11月11日調査】

平面配置

3ヶ所の試験区 (No.1, No.2, No.3) で7月の調査で回収しなかったスライドマウントについて調査した。図9 - 1が示すように、どの実験区においても発芽していたスライドマウントの分布は小さくまとまり継ぎはぎ状であった。

垂直配置

図9 - 2が示すように、発芽していたメッシュ袋はどの実験区においても、列によってまた深さによって異なっていた。なお、深さ12cm以上ではすべての試験区において発芽が無かった。また、試験区No.1の二つの行のA1列で深さ0cm~12cmまで連続して発芽があった。

3. ハルザキヤツシロラン発生地の野生キノコとの共生培養

共生培養の結果を表3に示す。F505との培養では胚の肥大を認めたが種皮を破るまでは至らなかった。Rz507とF508は種子を発芽させ、プロトコームもしくはリゾームまで生長を誘導した(図10)。発芽率を比較すると、Rz507よりF508のほうが種子の発芽率は高かった。

4. 季節ごとのハルザキヤツシロランとクロヤツシロランの生長

記録の結果を図11に示す。図が示すように二つのランの生長過程は季節を通して類似していた。

No.1				No.2			
	A1	A2	A3		A1	A2	A3
B1	0.0	<u>1.2</u>	2.7	B1	4.2	<u>0.0</u>	1.4
B2	<u>6.7</u>	4.7	-	B2	<u>0.0</u>	0.0	<u>0.0</u>
B3	0.0	<u>27.5</u>	0.0	B3	1.7	<u>0.5</u>	11.0

No.3			
	A1	A2	A3
B1	0.0	<u>0.0</u>	0.0
B2	<u>3.2</u>	0.0	<u>2.1</u>
B3	0.0	<u>1.8</u>	12.3

図9 - 1. 金峰山における3個の試験区での平面配置による発芽率

2008年6月6日に設置。1回目の調査を同年7月23日に、2回目の調査を同年11月11日に行った。下線の無い数値は1回目の、下線のある数値は2回目の調査の発芽率を示す。また“-”は紛失した個所で、動物によるものと思われる。発芽しているスライドマウント■は小さな集団となり、継ぎはぎ状に位置している。

IV. 考 察

1. 給水効果

2007年の梅雨明け（7月中旬）に金峰山と鷹ノ子岳で多数のハルザキヤツシロランのリゾームを、また鹿児島県垂水市で多数のクロヤツシロランのリゾームをそれぞれ観察した。しかし、その年の秋（10月）にはいずれの地においても少数のもしくは全くリゾームを観察できなかった。図12は金峰山に最寄りの権現ヶ尾における2005年～2007年までの月別降水量を気象庁資料に基づいて作成した。図が示すように、2007年における9月の降水量は他の年度に比べて際だって少ない。このことから、われわれは梅雨明け以降の降水量がハルザキヤツシロランとクロヤツシロランのリゾームの生存に大きく関わっている可能性があると考えた。

今回の実験で、梅雨後の給水はハルザキヤツシロランお

表3. ハルザキヤツシロラン発生地の3種類のキノコとの共生培養によるハルザキヤツシロランの種子発芽

菌株名	発	芽	率
F505 ¹⁾	n=153	0.0	
Rz507	n=301	2.20 ± 4.64	
F508	n=392	42.95 ± 13.19	

1) 種子はF505との培養では胚は肥大したが、種皮を破るまでは至らなかった。

No.1					No.2			No.3		
	Depth	A1	A2	A3	A1	A2	A3	A1	A2	A3
B1-2	0cm-4cm	<u>2.2</u>	3.1	-	-	2.8	-	<u>0.9</u>	0.0	<u>0.0</u>
B1-2	4cm-8cm	<u>1.4</u>	0.0	-	<u>0.0</u>	0.0	<u>0.0</u>	<u>0.0</u>	0.0	-
B1-2	8cm-12cm	<u>1.1</u>	0.0	-	<u>0.0</u>	0.0	<u>0.0</u>	<u>0.0</u>	0.0	<u>0.0</u>
B1-2	12cm-16cm	<u>0.0</u>	0.0	<u>0.0</u>	<u>0.0</u>	0.0	<u>0.0</u>	<u>0.0</u>	0.0	<u>0.0</u>

No.1					No.2			No.3		
	Depth	A1	A2	A3	A1	A2	A3	A1	A2	A3
B2-3	0cm-4cm	0.0	<u>1.8</u>	0.0	0.0	-	3.5	0.0	-	8.1
B2-3	4cm-8cm	0.0	<u>0.7</u>	0.0	0.9	<u>0.0</u>	0.0	0.0	-	0.0
B2-3	8cm-12cm	0.0	<u>1.1</u>	0.0	0.0	<u>0.0</u>	0.0	0.0	<u>0.0</u>	0.0
B2-3	12cm-16cm	0.0	<u>0.0</u>	0.0	0.0	<u>0.0</u>	0.0	0.0	<u>0.0</u>	0.0

図9 - 2. 金峰山における3個の試験区での垂直配置による発芽率

2008年6月6日に設置。1回目の調査を同年7月23日に、2回目の調査を同年11月11日に行った。下線の無い数値は1回目の、下線のある数値は2回目の調査の発芽率を示す。また“-”は紛失した個所で、動物によるものと思われる。深さは0cm～4cmではすべての試験区において発芽している。7月23日の調査では発芽は深さ8cmまで見られ（試験区No.2のA1 - B2-3）、11月11日の調査では12cmまで見られる（試験区No.1のA1 - B1-2とA2 - B2-3）。12cm～16cmでは、1回目、2回目の調査ですべての試験区において発芽が認められない。

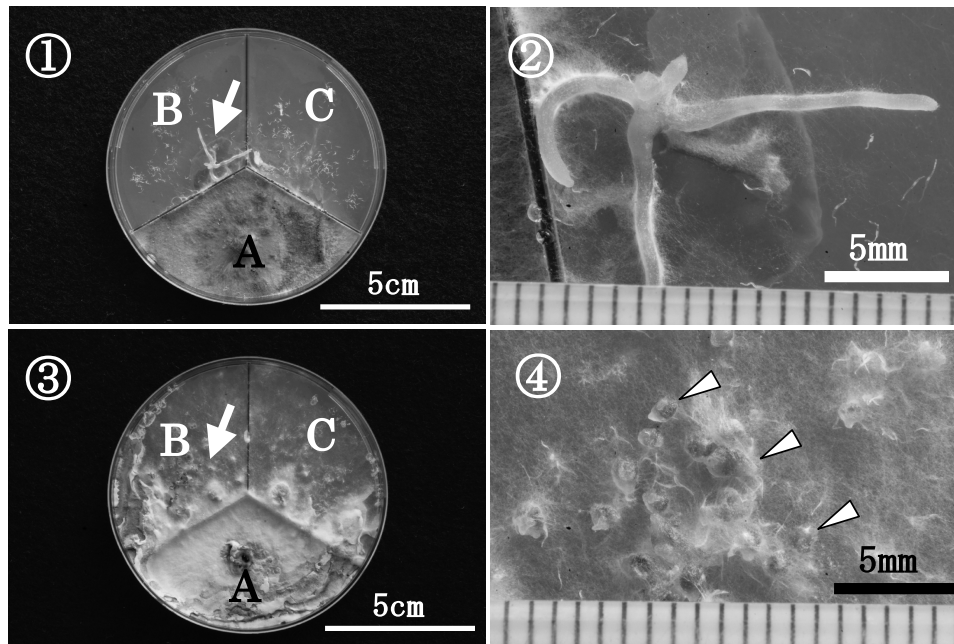


図10. ハルザキヤツシロラン発生地で採集したキノコとの共生培養により、養分無添加の素寒天培地上で発芽したハルザキヤツシロランの種子

図1と図2の3室シャーレ (A, B, C) のA室にはPDAが、BとC室には素寒天が入っている。A室に供試菌を接種し、供試菌が壁を乗り越えてB室とC室に繁殖してから種子を播種した。図2: 菌株番号Rz507との共生によって発芽し、リゾームまで生長した種子。図4: 菌株番号F508との共生培養によって発芽した種子 (矢印)。図4: 矢印部分の拡大図。

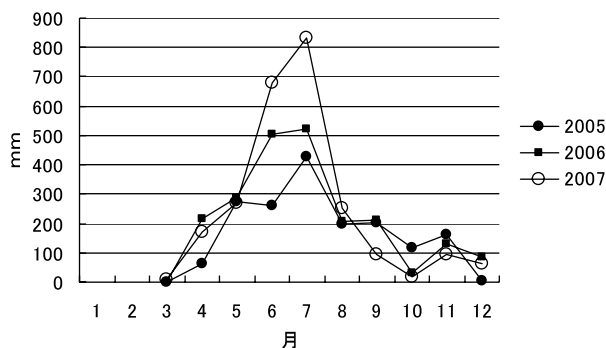


図11. 権現ケ尾における2005年から2007年の月別降水量 (気象庁資料による)

2007年における9月～10月の降水量は2005年と2006年の同月に比べて際立って少ない。

よびクロヤツシロランのリゾームの生存に効果的であることが明らかになった(表3)。われわれは給水という方法はこれら両種の生育地での保存に大きく貢献できるものと考えている。そして、給水効果の原因は梅雨後の乾燥がリゾームの生存を左右する重要な要因であるためと考えているが、その理由は以下の通りである。

(1) ランと共生菌の生活が棲家としての落葉層と深く結びついていること

Umata & Yokota (2006) はハルザキヤツシロランの塊茎は落葉層下部で生息していたと報告したが、本研究にお

いてもそのことが確認された。すなわち、リゾームは落葉層の中に生息し、リゾームから発生した根も落葉層の中を水平に広がり落葉や落枝に附着して菌根を形成していた。また金峰山においては、種子は落葉層から採集した腐葉上で発芽した。A層でリゾームまたは塊茎を見たことは無いので、種子は落葉層の中で発芽しリゾームへと生長を続けていたことになる。なお、種子は落葉層の下A層の深さ8～12cmにおいても発芽していた。従って、二つのランは一生涯を通して落葉層を棲家とした生活を送り、共生菌もまた落葉層を棲家としながらA層にも菌糸を伸ばしつつ、ランと共生関係を構築していると考えられる。

(2) ランの生活スタイルが東アジアモンスーンに順応していること

図12に基づいて表4を作成した。表4から明らかになったのは、二つのランの生活が東アジアモンスーン気候と密接に結びついていることであった。例えば、種子は梅雨期の温暖・高湿の時期に発芽してリゾームへと生長するなど、二つのランの生育と生長は気候に順応していた。

(3) ランの棲家である落葉層は風通しが良いこと

ランと共生菌が生息する落葉層は気相が多い。そのために、落葉層は湿度や温度などの周囲の影響を容易にかつ直接に受けやすい。すなわち、ランと共生菌は周囲の環境の変化に直にさらされていると考えられる。

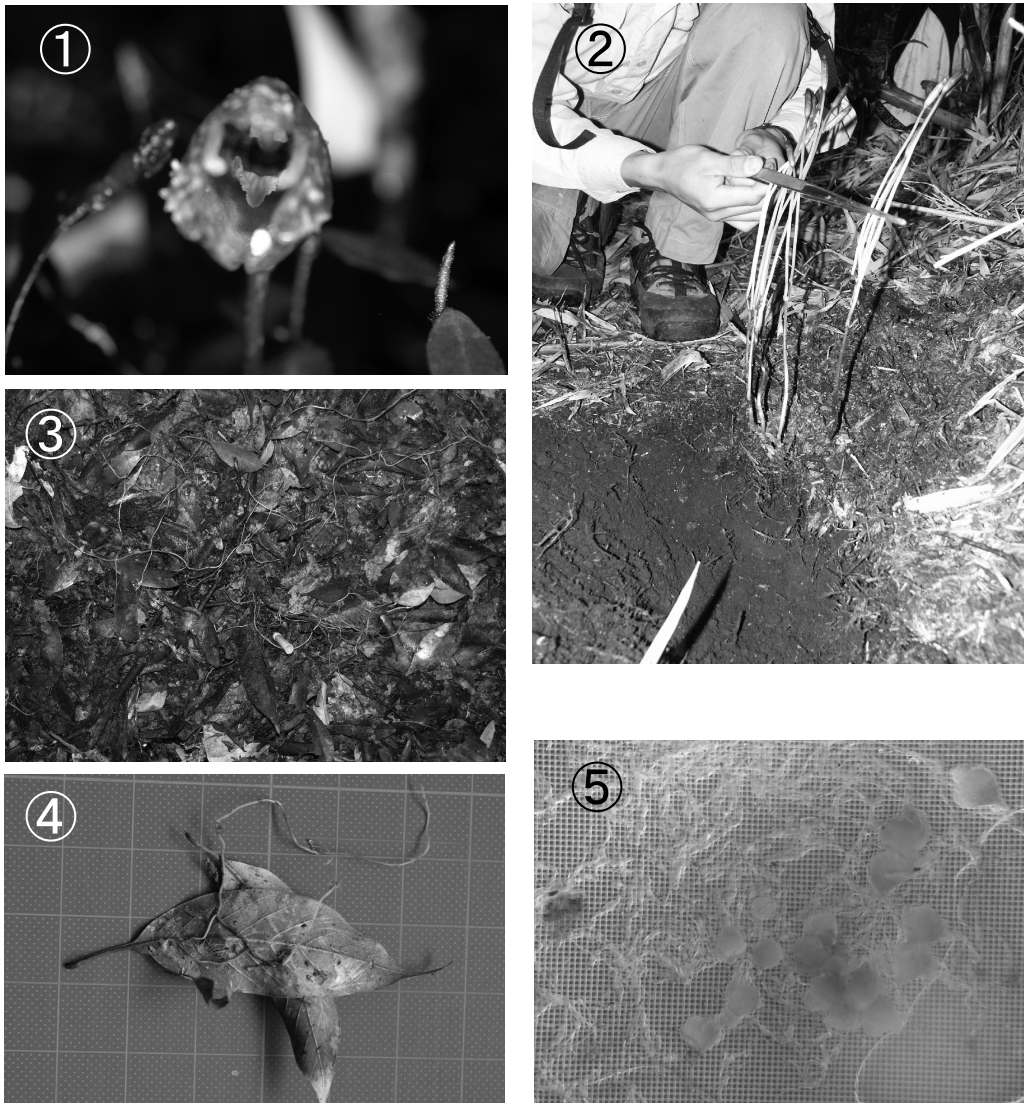


図12. ハルザキヤツシロランの時系列変化

花。2006年5月19日，鹿児島県大口市。

果実をつけた植物体。塊茎は落葉層の最下層にある。2002年4月25日，鹿児島県熊毛郡三島村竹島。竹島は上図の大口市より160km近く南に位置し，開花結実が早い。

落葉層を剥がしてみると多数の長い根が伸びていた。2008年7月22日，鹿児島県南さつま市金峰町金峰山。

落葉に着生している根。2008年7月22日，鹿児島県南さつま市金峰町金峰山。

野外播種で発芽した種子。2009年7月28日，鹿児島県南さつま市金峰町金峰山。2009年4月16日に播種。6月28日に観察したときには，胚は膨らんでいるがまだ種皮を破る状態ではなかった。

以上のように，リゾームにとって落葉層が生活の場となっているため，梅雨後の乾燥はその生存に大きく関わることが強く示唆された。しかし，この厳しい乾燥も台風や大雨で中断されたり和らいだりすることがある。厳しい乾燥と低温を耐え抜いたリゾームだけが細毛に被われた逞しい塊茎となって越冬することができるのであろう。

今回の実験で，二つのランは落葉層およびそこに生息する共生菌と生活的に密接な関係を持つことが明らかになった。ランと落葉は共生菌の菌糸によって縫い合わされてい

た。すなわち，ラン，共生菌，そして落葉の三者は一体化し，一つの生態系を形成していると言える。われわれはこのようなランに対して「落葉層生息植物」と名づけることを提案したい。

ラン科植物の種の減少の要因として，森林の減少，土地利用の変化，採集，そして地球温暖化による気候変動などが指摘されている(Kingsley et al., 2003)。ハルザキヤツシロランとクロヤツシロランに対しては森林伐採，土地開発，自然遷移が原因として挙げられている(環境省，2000)。

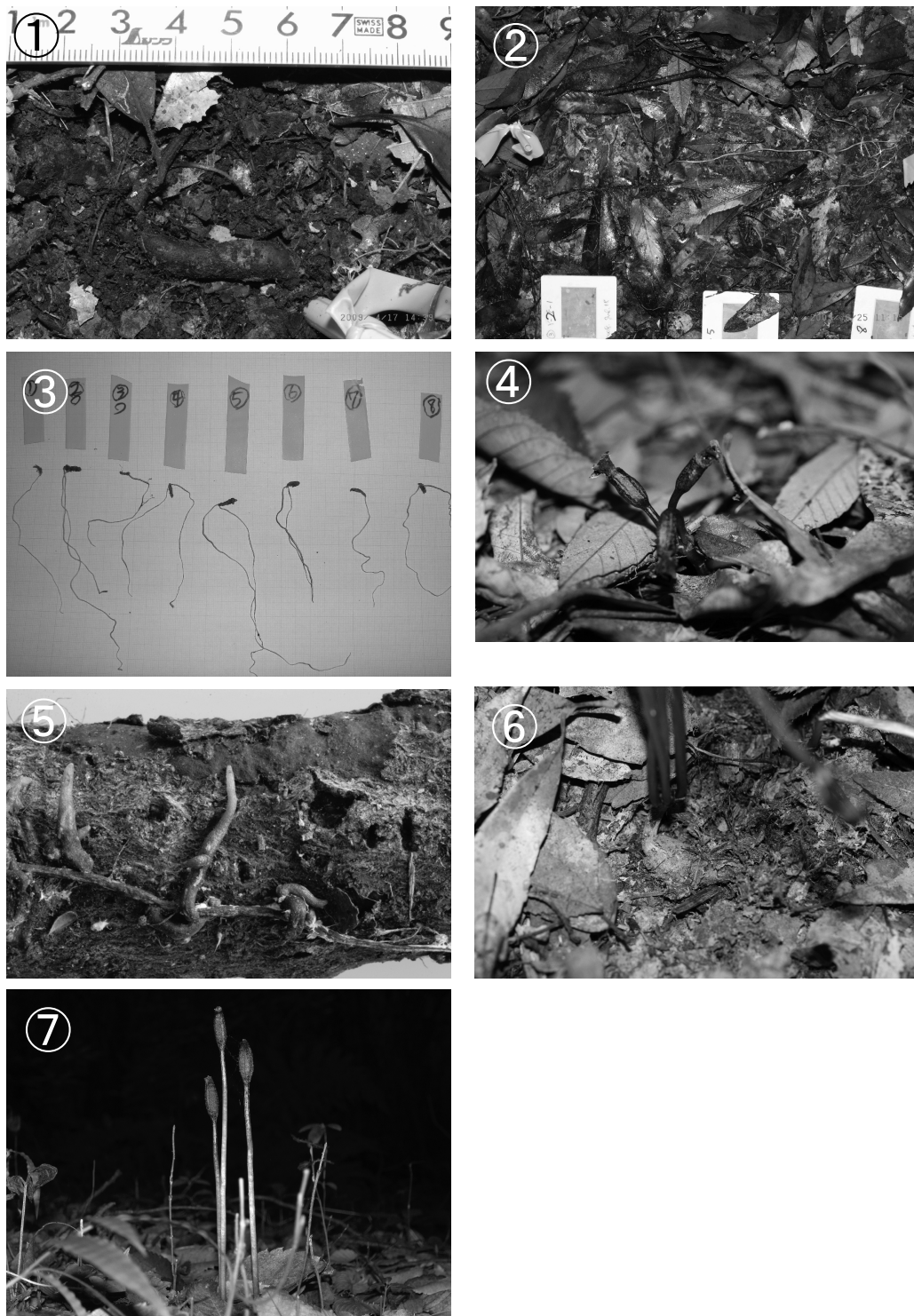


図13. クロヤツシロランの時系列変化

黒褐色の前年の根が残っている塊茎。新しい根は塊茎上部から出てくるので、古い根はいずれ消失する。なお、前年の花茎が半分腐って残っていることもある。2009年4月17日，鹿児島県始良郡湧水町栗野岳。

リッターを剥がしてみると，リゾームから長い根が落葉層の中を這うようにして多数出ている。2009年6月25日，鹿児島県始良郡湧水町栗野岳。

長い根をつけたリゾーム。2008年7月15日，鹿児島県垂水市。

花が咲き終わって間もない植物体。子房の先端にはまだ花弁が残っているが，すでに膨らみ始めている。2007年9月29日，鹿児島県始良郡湧水町栗野岳。

落枝に着生している黒褐色の長根と短根。2007年10月30日，鹿児島県始良郡湧水町栗野岳。

塊茎は落葉層の最下層にある。2007年10月27日，鹿児島県始良郡湧水町栗野岳。

開裂寸前の果実。すでに種子を飛散した個体が多い。2007年11月29日，鹿児島県始良郡湧水町栗野岳。

表4. 東アジアモンスーン気候と密接な関係を持つハルザキヤツシロランとクロヤツシロランの生活

月	西南日本の気象および関連事項	植物体の生長	共生菌と共生関係
4～5月	照葉樹林では古い葉が一斉に落葉し、林床に堆積して共生菌の新たな栄養資材となる。 春雨前線の発達により、温度と湿度が上昇する。	ハルザキヤツシロランが開花・結実 ⁽¹⁾ 、種子を飛散する。 前年度に生長したハルザキヤツシロランとクロヤツシロランの塊茎に新しい根が出現する。	共生菌は落葉落枝を分解して繁殖する。 塊茎上に新しく発達した根と新たな共生関係を構築する。
6～7月	梅雨前線の発達により、温度は上昇し、多雨・多湿となる。	ハルザキヤツシロランとクロヤツシロランの種子 ⁽²⁾ は発芽してリゾームへと生長する。	共生菌はランの種子発芽を誘導して共生関係を構築する。また、子実体をつくる。
8月～	太平洋高気圧の発達により高温化と乾燥化が進む。 この時期の台風と豪雨は乾燥の緩和剤となる。	リゾームは根系を発達させながら生長する。	共生菌は栄養物をランに継続的に供給する。
10月～	この時期の秋雨前線の発達は乾燥の緩和剤となる。 移動性高気圧が発達する。	クロヤツシロランが開花・結実 ⁽¹⁾ 、種子を飛散する。 長根から短根の発生が観察される。	共生菌はランとの共生関係を継続的に維持する。
12月～	シベリア高気圧の発達により乾燥化と低温化が進む。	塊茎上の根は黒褐色となり、塊茎と共に落葉層中に残る。新しい根は翌年に塊茎から発生するので、古い根はどこの時点で消失する。	共生菌は塊茎周囲の落葉落枝中に、また塊茎上の根に残存する。

- (1) ハルザキヤツシロランもクロヤツシロランも開花・結実までに要する年数は不明である。
(2) 種子には当年度および当年度以前に生産された埋蔵種子が含まれる。

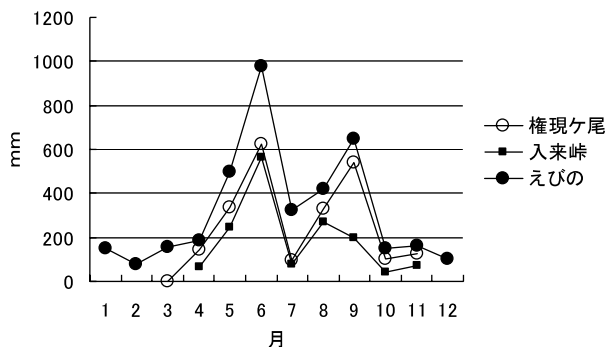


図14. 2008年の権現ヶ尾，入来峠，えびのの3地点における月ごと降水量（気象庁資料による）

3地点とも7月の降水量がその前後の月に比べて少ない。また、入来峠における9月の降水量は他の2地点に比べて極めて少ない。

しかし、本研究の結果は梅雨期以降～乾期の10月までの降水が発芽以降の植物体の生存にとって重要な要因であることを示した。寺下（2010）もアキザキヤツシロラン (*G. confusa* Honda et Tuyama)（この中にはクロヤツシロランが含まれている可能性が高い）の発生に降水量が影響すると指摘した。

2. ランと共生菌との関係

(1) 共生菌に依存したハルザキヤツシロラン

ハルザキヤツシロランの種子は自生地より採集した落葉の上で発芽し、その周囲には糸状菌が見られた。また、種子は自生地より採集したキノコとの共生培養で養分無添加の素寒天培地上で発芽・生長したが、キノコを接種しなかつ

た培地上では発芽しなかった。これまで世界で約40種近くあるヤツシロラン属の中で、共生菌との培養による種子発芽と生長に関しては、オニノヤガラ (*G. elata* Bl.) (Xu, Ran & Mu, 1989; Xu & Mu, 1990), アキザキヤツシロラン (Tashima et al., 1978), クロヤツシロラン (馬田ら, 2000) の3種が報告されている。しかし、これらの研究では養分が添加された培養基が使用され、種子が発芽のためにそれら養分を吸収したことを否定できない。したがって、厳密な意味では、本研究によって初めて腐生ランの種子発芽と生長にとって共生菌の関与が必要・不可欠であることが明らかになった。

この結果は他の腐生ランにも適用できると考えられるが、そのためには実験方法が考慮されなければならない。馬田ら（未発表）によれば、クロヤツシロランの種子は養分無添加の素寒天上で胚は肥大したが種皮を破るまでは至らなかった。しかし、ブドウ糖または乾燥酵母の粉末を添加すると発芽してリゾームまで生長した。同様のことは腐生ランのツチアケビ (*Galeola septentrionalis* Reichb. f.) においても報告された (Nakamura, 1962)。共生菌はこれら物質を落葉の分解や土壤中からの吸収によってランに供給しているものと考えられる。

(2) ハルザキヤツシロランの共生菌の種の多様性

ハルザキヤツシロランの種子は、自生地より採集したキノコとの共生培養で発芽したが、発芽と生長の程度には菌種との間に差が見られた。腐生ランにおける共生菌の種および種内変異による共生能の違いについては、タカツランにおいて Umata (1999) が報告しているが、ハルザキヤ

ツシロランにおいてもその可能性が指摘された。

自生地より採集したF505, Rz507とF508はそれぞれ異なる種で、その属名および種名については現在検討中であるが、F505はクヌギタケ属 (*Mycena*) またはシロホウタイタケ属 (*Marasmiellus*) の、Rz507とF508はホウライタケ属 (*Marasmius*) の菌類だと思われる。分類的に異なる種がハルザキヤツシロランの種子の発芽を誘導したことは、さまざまな菌類がこのランとの共生に関わっていることを示唆している。Tsujita et.al (2008) によれば、ハルザキヤツシロランに近縁のアキザキヤツシロランの菌根菌のDNA分析の結果、数種類のクヌギタケ属の菌が検出された。彼女らはハルザキヤツシロランにおいても同様の方法で分析を行い、クヌギタケ属の菌類を検出した(Tsujita et.al.未発表)。ハルザキヤツシロランは落葉層に生育する多数の菌種と共生関係を構築することによって、その生存を保っているものと考えられる。

(3) ハルザキヤツシロラン共生菌の土壌中での分布

野外発芽実験の平面配置では、スライドマウントの位置によって発芽率が0%~27.5%までとばらつきがあった。ばらつきの原因としては共生菌のコロニーの大小や菌種の違いなどが考えられる。また、発芽していた個所が小面積でしかもパッチ状に分布していたことから、共生菌と非共生菌は地下でモザイク状に分布しているものと考えられる。

ハルザキヤツシロランの種子は落葉層~A層で発芽した。A層では深さ4cmまではすべての試験区で発芽が見られたので、共生菌は深さ4cmまでは普遍的に分布しているものと考えられる。いっぽう、11月の調査で種子が0cm~12cmまで連続して発芽している例があった。これは、7月の調査では8~12cmの深さで発芽がなかったことから、上部に生息していた共生菌がナイロンメッシュを伝って下降し、種子の発芽を誘導した可能性がある。いずれにしろ、共生菌は地下のかなりの深さまで広がり地下の水分、資化可能な有機物残渣やさまざまな土壤養分を吸収しているものと考えられる。

菌類の森林土壌中での立体的な分布や生態などについては、外生菌根菌では限られた菌種ではあるが詳細な研究が行われ(例えば小川, 1979など)、土壌の深さによっても棲み分けている(例えば岡部, 1997など)。しかし、落葉分解菌や木材腐朽菌などが含まれる内生菌根菌についての野外研究は皆無である。ツチアケビの共生菌であるナラタケ属 (*Armillaria*) の菌類については多くの研究があるが、その内容は分類や病原菌としての研究が主で(例えば鈴木, 1996)、共生者としての研究は少ない(Hamada, 1939)。ハルザキヤツシロランやクロヤツシロランなどの腐生ランの保全につながるには共生者としての菌根菌の野外での生

態を知る必要があり、そのための研究が要求される。

謝 辞

本研究を遂行に当たっては鹿児島市の中馬貞治農学修士に試験地設定や発芽調査などにさまざまな助力と助言を頂いた。また、本稿の取りまとめに当たっては南九州大学環境造園学部の長谷川二郎博士の助言を頂いた。ここに、両氏に謝意を表する。

引用文献

- Hamada M (1939) Studien über die Mykorrhiza von *Galeola septentrionalis* Reich. f. - Ein neuer Fall der Mykorrhiza-Bildung durch intraradicale Rhizomorpha. Jpn J Bot 10: 151-212.
- 環境省 (2000) 改訂・日本の絶滅の恐れのある野生生物 - レッドデータブック - 8 植物 (維管束植物)
- Kingsley WD, Shelagh PK, Russel LB, Phillip JC (2003) Orchid conservation. Natural History Publications (Borneo), Kota Kinabalu.
- Nakamura SI (1962) Zur Samenkeimung einer chlorophyllfreien Erdorchidee *Galeola septentrionalis* Reichb. f. Z Bot 50: 487-497.
- 岡部宏秋 (1997) 森づくりと菌根菌 (わかりやすい林業研究解説シリーズNo.105). 林業科学技術振興所, 東京.
- 小川真 (1979) 「マツタケ」の生物学. 築地書館, 東京.
- 鈴木和夫 (1996) 森林における菌類の生態と病原性 - ナラタケの謎 - . 森林科学17:41-45.
- Tashima Y, Terashita T, Umata H, Matsumoto M (1978) *In vitro* development from seed to flower in *Gastrodia verrucosa* under fungal symbiosis. Trans Mycol Soc Jpn 19:449-453.
- 寺下隆喜代 (2010) アキザキヤツシロランの菌根. 鹿大演研報37: 151-156.
- 津田その子・守谷栄樹・原田幸雄・富田正徳 (2004) シナノショウキランの人工増殖と新種共生菌について. 名古屋国際蘭会議2004: 36-40.
- Tujita YO, Gebauer G, Hashimoto T, Umata H, Yukawa T (2008) Evidence for novel and specialized mycorrhizal parasitism: the orchid *Gastrodia confusa* gains carbon from saprotrophic *Mycena*. Proc R Soc B
- Umata H (1999) Germination and growth of *Erythrorchis ochobiensis* (Orchidaceae) accelerated by monokaryons and dikaryons of *Lenzites betulinus* and *Trametes hirsute*. Mycoscience 40:367-371.
- 馬田英隆・山内仁・橋本季正 (2000) 菌寄生植物クロヤツ

シロランとアキザキヤツシロラン根菌との試験管内培養.
鹿大演研報 28:27-30.

Umata H, Yokota M (2006) Comparative characterization of two closely related achlorophyllous orchids, *Gastrodia nipponica* and *tokaraensis*. Res Bull Kagoshima Univ For 34: 57-67.

馬田英隆・兼子麻衣・宮城健・中平康子 (2007) 絶滅が危惧される無葉緑植物タカツラン (ラン科) の自生区域における増殖のためのキノコの有用性. 鹿大演研報 35: 31~48.

Xu J, Ran K, Guo S (1989) Studies on the life cycle of *Gastrodia elata*. Acta Academiae Medicinae Sinicae 11(4): 237-241. (In Chinese with English summary.)

Xu J, Mu C (1990) The relation between growth of *Gastrodia elata* protocorms and fungi. Acta Botanica Sinica 32: 26-31. (In Chinese with English summary.)

要 旨

菌従属栄養植物のハルザキヤツシロランとアキザキヤツシロランの発生地での保存について研究した。日本版レッドデータブックによれば、この二つのランは絶滅危惧種で、その原因として森林伐採、土地利用の変化、植物遷移が挙げられている。二つのランは西南日本の竹林あるいは広葉樹林に生育し、両種は形態的にも生態的にもよく類似している。しかし、前者が4月から5月にかけて開花し6月初旬までには種子を飛散させるのに対し、後者は10月から11月にかけて開花し12月中旬までには種子を飛散させる。

ハルザキヤツシロランとアキザキヤツシロランの発生地での保全の試みを自然発生のリゾームに対して水を充分に含ませた高吸水性ポリマーを用いて給水することによって行った。試験期間は梅雨直後から乾季の中期までであった。また二つのランの生態的特質を、ハルザキヤツシロランではリゾームおよび共生菌の地中での分布そして落葉分解菌のランに対する共生能力について調べ、二つのランではそれらの季節的な成長過程について記録した。

得られた結果は次の通りであった。ハルザキヤツシロランとアキザキヤツシロランのリゾームへ給水した場合、リゾーム数の減少の割合は給水しなかった場合に比べて10%から37%低かった。リゾームは落葉層で生育し、それらの根は落葉や落枝に付着しながら水平に広がっていた。ハルザキヤツシロランの共生菌は地表面に小さなコロニーとなってパッチ状に分布し、垂直的には落葉層からA層上部の少なくとも4 cmの深さまで生息していた。リゾーム周囲のキノコはランの種子発芽を養分無添加の寒天培地上で誘導した。二つのランは花期を除けば季節ごとの生長は類似し

ていた。

以上の結果から；(1) ハルザキヤツシロランとクロヤツシロランの発生地におけるリゾームへの給水は種の保全に大変有効である。(2) 二つのランと共生菌は一生を通して落葉に着生した生活型を有している。(3) 二つのランの生活は、東アジアモンスーン気候と密接に結びついている。(4) 梅雨後の乾燥はリゾームの生存に影響する因子となっている。

本実験において、ハルザキヤツシロランとアキザキヤツシロランは落葉層に生息し、そこに生育している落葉分解菌を共生の相手として密接な関係をもっていることが明らかになった。また、リゾームと落葉は共生菌の菌糸によって縫い合わされて一体となり、ラン、落葉、そして落葉分解菌の三者からなる一種の生態系を作っていた。われわれはこのような生活型を有するランに対して「落葉層生息植物」と呼ぶことを提案したい。