

クロマツ二次林の林床・林縁植生における秋季の結実種数および種子数の経時変化

Influence of harvested dates on the number of seed-produced species and the amount of seed from the understory and edge of secondary Japanese black pine (*Pinus thunbergii* Parl.) forest.

山田 晋* 南 定雄**

Susumu YAMADA Sadao MINAMI

Abstract: Application of seed-containing plant material is a successful technique to transfer plant species onto restoration sites. However, this restoration method is almost confined to semi-natural open habitats. Plant material mown from understory and edge vegetation of a secondary Japanese black pine (*Pinus thunbergii* Parl.) forest was taken in three different dates (September, October and November) to assess the ability of propagule recruitment in such closed habitats. Both the number of seed-produced species and the amount of seed were small in September compared with those in October and November. This is due to the fact that most species were under early stage of their flowerings, suggesting that September is inappropriate for harvesting seeds from plant community in this study site. Although many grassland species were recorded in both understory vegetation and edge vegetation, the number of produced seeds was clearly smaller in understory vegetation for most of grassland species, demonstrating that understory vegetation was inappropriate for the seed-containing plant material, due largely to the shortage of photon flux density.

Keywords: Restoration, Mown plant material, Phenology, Relative photon flux density, Grassland species

キーワード: レストレーション, 刈り取り残渣, フェノロジー, 相対光量子束密度, 草原生植物

1. 研究の背景と目的

近年、日本の自然の大部分を占める二次的自然では、減少した植物多様性の回復を目指す植生復元事業が盛んに実施されている。二次的自然の植生復元では、当初、停止されていた人為管理の再開を通して植生復元が実施されることが多かった（たとえば Ruprecht¹⁷⁾）。ところが、とくに埋土種子の生存年限が短い植物群落では、復元目標とする植物種の個体群が一度絶滅すると、たとえ管理を再開しても、復元目標種が周囲から速やかに定着しない場合があることが分かってきた（たとえば Fagan et al.³⁾）。このため最近では、目標種の導入を通じた植生復元が試みられるようになってきている¹²⁾。

日本の二次的自然を代表する土地利用の一つに二次林が挙げられる。二次林では、木本植生の伐採や林床植生の管理が長年定期的に行われ、比較的明るい立地を好む草原生・林縁生の植物種が生育する林床環境となっている^{7),16)}。しかし、近年では、植生管理の停止に伴って、そうした種がみられなくなった二次林も多い⁷⁾。

一般に、森林に生育する植物種は埋土種子の生存期間が短い²⁾。このため二次林の植生復元では、しばしば種子や栄養繁殖体が外部から導入される¹⁴⁾。従来、日本の二次林における目標種の導入を通じた植生復元の材料としては、埋土種子や栄養繁殖体を含む表土が用いられることが多かった（たとえば細木ら⁶⁾）。しかしこの方法は、導入元（ドナーサイト）のかく乱が避けられないという欠点を持つ。一方、ヨーロッパでは、牧草地から得られた干し草に含まれる結実種子や栄養繁殖体（以下、単に種子）が、ドナーサイトへのかく乱が少なく、多量に得られる低コストの植生復元資材として盛んに利用されてきた^{9),18)}。二次林の草本層植生は草原生植物が主要な構成種の一つとなっているため、この植生復元手法が二次林林床植生に対しても適用可能ではないかと期待される。しかし、刈り取り残渣を用いた方法は、山田ら²⁰⁾を除けば、二次林の林床・林縁植生のような被陰された植物群落に対しては

ほとんど実施されていない。

二次林において刈り取り残渣を用いた植生復元を実用化する場合、できるだけ多種・多量の種子を含む刈り取り残渣を得ることが、事業の成功を左右する鍵となる²⁰⁾。二次林を構成する植物種の開花時期は植物図鑑などに記載され広く知られるが、種子が結実する時期、あるいは結実種子が刈り取り残渣にとどまっている期間、すなわち種子が親個体から脱粒するまでの期間に関する明示的な情報は多くない。加えて、林床環境では、被陰度が植物種構成はもちろんその結実状況にも影響を及ぼす可能性もある。

そこで本研究では、クロマツ疎林の林床と林縁という異なる被陰状態の箇所を対象として、秋季における結実種子量を経時的に調査した。種子の収集時期の違いがどの程度、得られる植物種の構成と種子量に影響を及ぼすか、被陰状況が回収される種子量に影響を及ぼすかを解明することを研究目的とした。

2. 研究方法

(1) 対象地

研究は千葉県千葉市花見川区の斜面林とその周辺で実施した。対象地付近は、細長い沖積谷によって開析された洪積台地が広く分布しており、かつて谷部は水田、台地上は畑地、斜面はクロマツの優占する二次林として利用されていた。その後、1940年代に大学の運動場施設となり、現在はサッカー場などの球技グラウンドやクロスカントリーコース、ゴルフ施設に利用されている。平坦地はシバ草地や裸地、斜面地は概ね林地である。同施設の職員からの聞き取りによれば、斜面林の一部では毎年秋10月～11月の間に林床が刈り取られている。またおよそ2年に1回程度は、6月にも刈り取りが行われている。刈り取られた植物残渣は林外へ持ち出されている。

調査対象地は斜面方位 S20°W で下層にアズマネザサが優占するクロマツ疎林林床（林内スタンド）と、ススキ・アズマネザサ・チガヤが混成する斜面方位 N3°W のクロマツ疎林林縁部（林縁ス

*東京大学大学院農学生命科学研究科 **元東京大学大学院農学生命科学研究科

タンド)とした。林内スタンドにおけるクロマツの被度は被度階級4であった。林内スタンドは林縁から10m程度離して設置した。2014年8月6~8日に、林床植生の群落高より高い地上約1mの高さにおいて、オプトリーフ R-3D (大成イーアンドエル製)を鉛直方向に向けて設置し、両スタンドの中央部と、中央と四隅との中間点の計5地点で光環境を測定したところ、林床スタンドと林縁スタンドの相対光量子束密度は、それぞれ24.1±0.6%と67.1±0.6%であった(値はいずれも平均±標準偏差)。

(2) 試験レイアウト

日本の半自然草地において主たる結実時期にあたる秋季に着目し、刈り取り管理時期として、9月下旬から11月中旬まで3~4週間ずつ離れた3時期(2013年9月26日、10月17日、11月11日)を設定した。これら3処理区を9月区、10月区、11月区と呼ぶ。3行×3列のラテン方格法により各処理区(プロット)を3反復で配置した。植物群落の広がりへの制約のため、各プロットのサイズは、林縁スタンドでは1.6m×1.2m=1.92m²、林床スタンドでは2m×2m=4m²となった。

(3) 植生調査とサンプリング

刈り取りでは、まず、試験区内で開花・結実している個体をすべて切り取り、種ごとに紙袋に回収した。次に、生育する全ての植物体を鎌で刈り取り、袋に詰めた。植物体は速やかに湿重を測定し、その一部を80℃で3日間乾燥させ乾燥率を把握することで、各プロットにおける乾重を推定した。

3時期の刈り取りのそれぞれ直前に、各プロットにおける出現植物種を被度階級とともに記録した。開花・結実している種については、①一部の花が咲き始め、②多くの花が咲く、③まだ多くの花が咲くが咲き終わりもある、④多くの花が咲き終わるが一部開花しているものもある、⑤花は終了したが実は未熟なものも多い、⑥花は終了し多くの実が熟す、⑦花は終了し一部の種子が落下、⑧ほとんどの実が落下している、に細分した。ただし、イネ科の種の一部については、出穂後の結実状況と脱粒状況が不明瞭だったため、「その他」のカテゴリも設けた。

(4) 結実種子数の推定

開花が確認された種のうち、個々の種子を容易に分離できるものについては、風選により夾雑物・未熟種子を除去したうえで全種子数を計数した。ただし、結実種子数が多量(プロットあたり概ね500粒以上)となる場合には、結実種子数を一部計数したうえで、計数した種子重量と全重量との重量比から、各プロットの内全結実種子数を推定した。

ススキ、ノガリヤス、オトコヨモギの3種については、結実種子のすべてを小花から分離することが困難だったため、まず可能な範囲で種子でない部位を除去し、夾雑物を含む重量を計測した。その全量または一部を用いて、インキュベータによる発芽試験を実施した。試料は、濾紙を3枚敷いたシャーレに乗せた。2014年2月から3月にかけて5℃一定条件で1ヶ月間湿潤低温処理を施したのち、12時間25℃明条件、12時間15℃暗条件を繰り返すインキュベータに静置した。変温試験は同年4月7日より開始し、その後5週間、週に1度、発芽した種子数を計数し、計数した芽ばえについては速やかに除去した。

アキカラマツ、タイアザミ、ツルボ、ヤマハッカ、シラヤマギクについては、9月または10月の試料の一部に、種子の充実が不十分で不稔が疑われる試料が存在した。そこで、これらの5種についても、9月から11月までのすべてのプロットの試料を対象に、インキュベータによる発芽試験を実施した。その結果、不稔が疑われるプロットの試料では発芽が確認されず、それ以外のプロットの試料については複数の発芽個体が確認された。そこで、発芽を確認できなかった試料は不稔と判断した。ワレモコウ、アキカラマツ、タイアザミの9月の調査区の一部がこれに該当した。な

お、ススキ、ノガリヤスの9月の調査区の一部、オトコヨモギの9月、10月のプロットの全てについても、発芽を確認することができなかった。

(5) 解析方法

出現種の潜在的な生育立地を、北川ら¹¹⁾を参考に草原生、林縁生、樹林生、畑地・路傍生に分類した。花期は日本原色雑草図鑑¹⁵⁾、芽ばえとたね¹⁾に基づいた。

3. 結果

(1) 地上植生の出現種

両スタンドにおいて出現した植物種は総計50種となった。両スタンドの種数および乾燥重量を表-1に示す。プロットあたりの出現種数については、林床スタンドでは9月から11月までいずれも約18種/4m²前後であり、林縁スタンドでは11~15種/1.92m²程度であった。林縁スタンドでは、9月区、10月区、11月区いずれも、すべてのプロットにおいて草原生種の種数が林縁生種の種数を上回り、逆に、林床スタンドでは林縁生種の種数が草原生種の種数と同数か上回った。11月区における乾燥重量は、林縁スタンドで500g/m²程度、林床スタンドで300g/m²程度となった。

表-1 林縁・林床スタンドにおける出現種数と乾燥重量

試験区	出現種数/プロット				乾燥重量g/m ²
	総計	草原生	林縁生		
林縁スタンド(1.92m ²)					
9月区	15.0 ± 1.7	8.0 ± 2.0	5.0 ± 1.0		286.5 ± 86.3
10月区	13.3 ± 1.5	7.7 ± 1.5	4.0 ± 1.0		388.0 ± 94.7
11月区	11.3 ± 1.5	6.3 ± 2.5	2.0 ± 1.0		472.2 ± 65.5
林床スタンド(4.00m ²)					
9月区	18.3 ± 3.5	6.7 ± 2.5	10.3 ± 0.6		182.9 ± 48.9
10月区	17.3 ± 1.5	6.0 ± 1.0	9.3 ± 2.5		246.7 ± 83.1
11月区	17.7 ± 3.2	6.0 ± 1.0	10.0 ± 2.6		298.3 ± 59.4

注: 樹林生種と畑地・路傍生種の種数は少なかったため、記載を省略した。

表-2 林縁・林床スタンドにおける主な出現種の出現状況

種名	生育立地	林縁スタンド			林床スタンド		
		9月区	10月区	11月区	9月区	10月区	11月区
林縁スタンドに偏在した種							
オトコヨモギ	草原生	2 ₍₊₎	1 ₍₊₎	2 ₍₊₎	-	-	-
チガヤ	草原生	3 ₍₊₎	3 ₍₊₎	1 ₍₊₎	-	-	-
ツリガネニンジン	草原生	2 ₍₊₎	3 ₍₊₎	2 ₍₊₎	-	-	-
ヤマアワ	草原生	3 ₍₊₂₎	2 ₍₊₁₎	2 ₍₊₁₎	-	-	-
ヤマラッキョウ	草原生	1 ₍₊₎	1 ₍₊₎	1 ₍₊₎	-	-	-
ヨモギ	畑地・路傍生	1 ₍₊₎	1 ₍₊₎	1 ₍₊₎	-	-	-
両スタンドに出現した種							
アキカラマツ	草原生	3 ₍₊₎	2 ₍₊₎	2 ₍₊₎	3 ₍₊₎	3 ₍₊₎	3 ₍₊₎
アズマネザサ	草原生	3 ₍₊₃₎	3 ₍₊₂₎	2 ₍₊₂₎	3 ₍₊₄₎	3 ₍₊₅₎	3 ₍₊₅₎
シラヤマギク	草原生	1 ₍₊₎	1 ₍₊₎	-	1 ₍₊₎	1 ₍₊₎	-
スイカズラ	林縁生	2 ₍₊₎	2 ₍₊₎	2 ₍₊₎	2 ₍₊₎	3 ₍₊₎	2 ₍₊₎
ススキ	草原生	3 ₍₊₃₎	3 ₍₊₃₎	3 ₍₊₂₎	2 ₍₊₎	2 ₍₊₎	2 ₍₊₎
ツルボ	草原生	2 ₍₊₎	2 ₍₊₁₎	3 ₍₊₁₎	3 ₍₊₎	2 ₍₊₎	3 ₍₊₎
ワレモコウ	草原生	3 ₍₊₁₎	3 ₍₊₁₎	3 ₍₊₎	3 ₍₊₎	1 ₍₊₎	1 ₍₊₎
アカネ	林縁生	2 ₍₊₎	-	-	-	-	2 ₍₊₎
エビソ	林縁生	2 ₍₊₎	2 ₍₊₎	-	3 ₍₊₎	3 ₍₊₎	-
タイアザミ	林縁生	3 ₍₊₎	3 ₍₊₁₎	3 ₍₊₂₎	3 ₍₊₎	2 ₍₊₎	3 ₍₊₎
ヘクソカズラ	林縁生	2 ₍₊₎	1 ₍₊₎	-	2 ₍₊₎	2 ₍₊₎	3 ₍₊₎
ヤマハッカ	林縁生	3 ₍₊₎	2 ₍₊₎	1 ₍₊₎	3 ₍₊₎	3 ₍₊₎	3 ₍₊₁₎
林床スタンドに偏在した種							
ノコンギク	草原生	-	-	-	1 ₍₊₎	2 ₍₊₎	1 ₍₊₎
ワラビ	草原生	-	-	-	2 ₍₊₎	3 ₍₊₂₎	3 ₍₊₂₎
アオツラフジ	林縁生	-	-	-	2 ₍₊₎	2 ₍₊₎	2 ₍₊₎
アキノタムラソウ	林縁生	-	-	-	3 ₍₊₎	2 ₍₊₎	2 ₍₊₎
アケビ	林縁生	-	-	-	1 ₍₊₎	1 ₍₊₎	1 ₍₊₎
サルトリイバラ	林縁生	-	-	-	1 ₍₊₎	2 ₍₊₎	1 ₍₊₎
センニンソウ	林縁生	-	-	-	1 ₍₊₎	1 ₍₊₎	3 ₍₊₎
ナワシロイチゴ	林縁生	-	-	-	3 ₍₊₎	3 ₍₊₎	2
ノガリヤス	林縁生	-	-	1 ₍₊₎	3 ₍₊₎	-	2 ₍₊₎
ヤマノイモ	林縁生	1 ₍₊₎	-	-	3 ₍₊₎	2 ₍₊₎	2 ₍₊₎
アマドコロ	樹林生	-	1 ₍₊₎	-	1 ₍₊₎	2 ₍₊₎	1 ₍₊₎
エノキ	樹林生	-	-	-	2 ₍₊₎	1 ₍₊₎	2 ₍₊₎

注1: 3プロット以上に出現した種について記載した。

注2: 表中の数値は出現プロット数を示し、カッコ内の数値は、各出現種について、プロットごとに確認された被度階級の幅を示した。

主な出現種の出現状況を表-2 に示す。林縁スタンドでは、アカネ、エビヅルなど林縁生種の出現頻度が時間とともに減少した。

(2) 結実種

調査期間中に開花または結実していた種は 21 種、うち草原生種は 12 種、林縁生種は 6 種となった。両スタンドにおける開花・結実種数を表-3 に示す。林縁スタンド、林床スタンドともに、9 月から 11 月まで 6~9 種が開花（または結実）していたが、9 月区各プロットの結実種数および結実した総種子数は 10 月区および 11 月区各プロットの結実種数および総種子数よりも少なかった。結実種子数はプロット間における差が大きかった。

種ごとの開花・結実状況を表-4 に示す。9 月区では多くの種が開花初期であったが、10 月区では一部の種の開花が終了した段階となり、11 月区ではほとんどの種の開花が終了していた。タイアザミとヘクソカズラは 11 月区において結実種子数が最大化した。オトコヨモギは 11 月区においてのみ結実種子を確認することができた。アキノタムラソウの結実種子数は 9 月区で最大化した。アキノタムラソウ、ツルボ、ツリガネニンジン、11 月に種子の脱粒が認められたため、それ以前と比べて種子数が顕著に少なくなった。

林床スタンドでは、ススキ、ワレモコウなど草原生種の結実種子数が林縁スタンドと比べて、とくに 10 月区と 11 月区において著しく少なかった。なお、草原生種のオトコヨモギとツリガネニ

表-3 林縁・林床スタンドにおける開花・結実種数

試験区	開花種数	結実種数	総種子数
林縁スタンド(1.92m ²)			
9月区	8.0 ± 1.0	2.0 ± 0.0	368 ± 312
10月区	6.3 ± 0.6	5.0 ± 0.0	3716 ± 3088
11月区	7.3 ± 1.5	6.3 ± 1.2	2249 ± 2403
林床スタンド(4.00m ²)			
9月区	8.7 ± 1.2	3.0 ± 1.0	473 ± 141
10月区	6.7 ± 1.2	5.0 ± 0.0	5016 ± 1422
11月区	7.3 ± 1.2	6.7 ± 1.5	2695 ± 1867

注：開花種数には、結実した種の数も含む。

表-4 林縁・林床スタンドにおける種ごとの開花・結実状況

林縁スタンド		9月区												10月区												11月区											
種名	生育立地	花期 ^{注1}	出現プロット数			開花			種子数			出現プロット数			開花			種子数			出現プロット数			開花			種子数										
			生育	開花 ^{注2}	段階	Plot 1	Plot 2	Plot 3	生育	開花 ^{注2}	段階	Plot 1	Plot 2	Plot 3	生育	開花 ^{注2}	段階	Plot 1	Plot 2	Plot 3	生育	開花 ^{注2}	段階	Plot 1	Plot 2	Plot 3											
結実種子数を直接計数した種																																					
アキカラマツ	草原生	7-9月	3	2	④, ⑥	0	0	229	2	2	⑥	3210	-	3030	2	2	⑦	554	41	-																	
ツルボ	草原生	8-10月	2	2	⑤	0	-	0	3	2	⑥	990	8	0	3	3	⑧	2	0	7																	
ワレモコウ	草原生	8-9月	3	3	⑤, ⑥	30	224	0	3	3	⑤, ⑥	2600	0	318	3	3	⑧	197	50	0																	
タイアザミ	林縁生	9-11月	3	3	①, ②	0	0	0	3	3	⑤, ②	0	67	0	3	3	⑥, ⑦	123	50	698																	
ヤマハッカ	林縁生	8-9月	3	3	②, ①	0	0	0	2	2	④, ⑤	0	562	-	1	1	⑥	-	72	-																	
発芽試験により結実種子数を推定した種																																					
オトコヨモギ	草原生	8-10月	2	2	②	-	0	0	2	2	②	-	0	0	2	2	⑥	-	4760	38																	
ススキ	草原生	9月	3	3	②	0	0	0	3	2	②, ⑤	10	55	0	3	3	⑦	33	213	51																	
シラヤマギク	草原生	8-10月	1	1	③	-	0	-	1	1	⑥	-	-	30	0	0	-	-	-																		
ツリガネニンジン	草原生	7-9月	2	2	⑤	-	460	129	2	2	⑥, ⑦	65	-	168	2	2	⑧	9	0	-																	
ノガリヤス	林縁生	8月	0	0	-	-	-	-	0	0	-	-	-	-	1	1	⑨	8	-	-																	
合計						61	684	358				6885	715	3547			926	5234	794																		
林床スタンド																																					
種名	生育立地	花期 [*]	出現プロット数			開花			種子数			出現プロット数			開花			種子数			出現プロット数			開花			種子数										
			生育	開花 ^{注2}	段階	Plot 1	Plot 2	Plot 3	生育	開花 ^{注2}	段階	Plot 1	Plot 2	Plot 3	生育	開花 ^{注2}	段階	Plot 1	Plot 2	Plot 3	生育	開花 ^{注2}	段階	Plot 1	Plot 2	Plot 3											
結実種子数を直接計数した種																																					
アキカラマツ	草原生	7-9月	3	3	④	0	376	173	3	3	⑥	1540	6200	264	3	3	⑦	3030	538	844																	
ツルボ	草原生	8-10月	3	3	②, ④	0	0	0	2	2	⑥	193	-	48	3	3	⑧	2	0	2																	
ワレモコウ	草原生	8-9月	2	2	④, ⑤	-	14	31	-	-	-	-	-	-	1	0	-	-	0																		
アキノタムラソウ	林縁生	7-8月	3	3	⑥	600	99	101	2	2	⑦, ⑧	0	22	-	2	2	⑧	1	-	9																	
タイアザミ	林縁生	9-11月	3	3	①, ②	0	0	0	2	2	⑤	-	89	108	3	3	⑥, ⑦	10	61	199																	
ヤマハッカ	林縁生	8-9月	3	3	②, ①	0	0	0	3	3	④, ⑤	1870	115	4490	3	3	⑥	1680	434	970																	
ヘクソカズラ	林縁生	7-9月	2	0	①	0	-	0	2	2	⑦	22	54	-	3	2	⑦	0	116	118																	
ヤマカモジ	樹林生	6-8月	1	1	⑧	5	-	-	1	1	⑧	-	-	17	1	1	⑧	1	-	-																	
発芽試験により結実種子数を推定した種																																					
ススキ	草原生	9月	2	0	①	-	0	0	2	1	②	15	0	-	2	1	⑨	5	0	-																	
シラヤマギク	草原生	8-10月	1	1	③	-	0	0	1	0	-	-	-	0	0	0	-	-	-																		
ノガリヤス	林縁生	8月	3	3	①	0	0	0	0	0	-	-	-	-	2	1	⑨	46	-	0																	
合計						605	489	325				3640	6480	4927			4775	1164	2145																		

注1 花期は、芽ばえとたねおよび日本原色雑草図鑑に基づく。

注2 開花には結実も含む。

注3 開花段階：①一部の花が咲き始め、②多くの花が咲く、③まだ多くの花が咲くが、咲き終わりもある、④多くの花が咲き終わるが、一部開花しているものもある、⑤花は終了。実は未熟なものも多い、⑥花は終了。多くの実が熟す、⑦花は終了し、一部の種子が落下、⑧ほとんどの実が落下している、⑨その他

注4 2プロット以上で結実種子が確認された種を記載した。

注5 種子数欄において、"0"は生育個体が存在したものの発芽可能種子が存在しなかったことを示し、"- "は生育個体が確認されなかったことを示す。

ンジンは林縁スタンドのみに生育し、林縁生種のアキノタムラソウは林床スタンドにのみ生育した。

4. 考察

(1) 結実状況

本研究では、一部の出現種の種子数を直接は計測せず、発芽試験で発芽した種子数を結実種子数とみなした。インキュベータによる発芽試験では、結実しているものの何らかの理由で発芽しない種子が存在する⁴⁾。このため、発芽可能な種子の数を実際よりも過小評価している可能性が高い。また、本発芽試験で発芽を確認できなかった条件区においても、実際には発芽可能な種子が存在する可能性を完全には排除できない。しかしながら、発芽しなかった試料は、種子の充実程度（あるいは花序の着色や枯れ程度）という点で、同種の他のプロットの試料とは明らかに異なっており、充実した種子を含む試料においてのみ発芽が確認された。したがって、発芽を確認できなかった試料の発芽可能種子数は、少なくとも他の試料よりはごく少ない可能性が高い。

9月に結実した種数と種子数は、林縁スタンド、林床スタンドともに10月、11月と比較して顕著に少ないことがわかった。9月に結実が確認された種のうち、ワレモコウを除く3種は、植物図鑑に掲載された開花期が比較的早い種だった（表-4）。これらの種を除けば、9月下旬という刈り取り時期は、開花から刈り取りまでの期間が短すぎて結実に至らなかったものと考えられる。

10月と11月における結実種数および結実種子数の間には明瞭な差異が認められなかった。結実種子を得られた時期が3回のサンプリング時期のうち1度に限られた種は、オトコヨモギなど少数の種のみであり、本調査地における10月と11月において結実した種の構成はそれほど異ならなかった。ヨーロッパの事例^{8), 19)}でも、本研究と同様に、多くの草原生種は、結実してから種子が裂開するまでの期間が1ヶ月かそれ以上であると報告されている。

林縁スタンドでは草原生種の種数が林縁生種の種数より多く、林床スタンドでは逆に林縁生種の種数のほうが多いという点で、両スタンドの構成種は異なっていた。林縁スタンドは相対光量子束密度が70%近くに達する明るい環境であり、その結果、林縁スタンドは林縁生種よりも草原生種の生育に適した環境となっていたものと推測される。一方、結実した種に着目すると、林床スタンドでは、とくに結実種子数が最大化した月、すなわちツルボについては10月区、ワレモコウについては林縁スタンドの10月区と林床スタンドの9月区と比較すると、草原生種の結実種子数が、林縁スタンドと比べて、著しく少なくなっていた。Okubo et al.¹⁶⁾は、本研究と同様、よく下草刈りされ、草原生種が生育する林床の相対光量子束密度が20%程度だったことを報告している。本研究の林床スタンドで観測された25%程度という相対光量子束密度は、少なくともいくつかの草原生種が枯死するほどではないものの、結実に至るには不十分であったものと判断される。

(2) 植生復元材料としての刈り取り残渣の刈り取り適期

本研究の結果、刈り取り残渣には、10月中旬から11月中旬まで、少なくとも1ヶ月間は、複数の種からなる多くの結実種子が含まれていることが分かった。半自然草地は、管理上、初秋に地上植生の刈り取りが実施されることも少なくないが(柴田邦善, 河川限団, 私信), このような初秋の刈り取りは、少なくとも南関東においては、植生復元材料を得るための刈り取り時期としては不適と言える。ただし、植物群落のフェノロジーは地域によって、また同一場所でも気候によって変化する¹⁹⁾。千葉市における調査年である2013年8月から11月の月平均気温は、平年値と比較して0.5~1.8°C高かった¹⁰⁾。したがって、結実時期は例年よりも遅く始まり遅く終了していたと推測される。実際に刈り取り残渣から種子を得るためには、当該年の結実状況を確認する必要がある。

種子の構成は復元される植生に大きな影響を及ぼす。とくに植生復元の際、優占種となるべき種の有無が復元される群落に及ぼす影響は大きいとされる⁵⁾。たとえばヨーロッパでは、優占種を形成するイネ科の種子量を全種子量の9割に達するように確保し、優占種の早期の定着を図る。年1~2回の刈り取りによって管理される林床や林縁、草地の優占種にはアズマネザサやススキが想定される¹³⁾が、アズマネザサの主要な繁殖形態は栄養繁殖であり¹⁵⁾、本調査でも結実確認されなかったことを考えると、本手法を用いて導入できる優占種としてはススキが想定される。ススキの種子数は、全種子量と比較すると少量であった。ススキの種子は11月に最も多く得られたため、ススキの種子をより多く確保するのであれば、こうした晩秋に刈り取り残渣を回収すべきである。11月に種子を回収すれば、種子を回収できる種の数も、10月区と比較して多くなる(表-3)。一方で、ツリガネニンジン、アキカラマツ、ツルボのように、時期の進行とともに種子の脱粒が顕著になる種が少なくなかった。ヨーロッパでは、ドナーサイトから植生復元地への移動の際に、植物体からの種子の脱粒が大きな問題と認知されている¹⁹⁾。日本の場合にも、実際に植生復元地に刈り取り残渣を輸送しようとするれば、脱粒が、本研究よりも大きな問題になることが予想される。こうした種の脱粒が進んでいない10月のうちに種子を得たほうが、植生復元材料としては良質なものとなる可能性もある。今後、導入する植物種の組み合わせやその量が、復元される植生に及ぼす影響を検討する必要がある。

山田ら²⁰⁾が指摘したように、林床に生育する植物種の主要な繁殖方法は栄養繁殖であり、種子によって導入することのできる主要な植物種としては、草原生種と一部の林縁生種が想定される。本研究の林床スタンドは、生育する植物種としては、林縁生種と草原生種が混在していたが、草原生種の多くの種について、結実には不十分な光環境であることが分かった。ただし、このような

林床環境が萌芽更新のために伐採され、光環境が改善されれば、残存していた草原生種が結実するようになる場合もある。植生管理と組み合わせることで二次林床植生から植生復元材料をえられる可能性については、さらなる研究が必要である。

謝辞：研究を支援頂いた東京大学検見川総合運動場の職員諸氏に感謝申し上げる。本研究には科学研究費若手(B) #23780022 (代表者：山田晋)・基盤(C) #26450492 (同：山田晋)を使用した。

引用文献

- 1) 浅野貞夫 (1995) : 芽ばえとたね, 全国農村教育協会, 東京, 280 pp.
- 2) Bekker, R.M., Schaminee, J.H.J., Bakker, J.P., Thompson, K. (1998): Seed bank characteristics of Dutch plant communities: *Acta Botanica Neerlandica* 47, 15-26
- 3) Fagan, K.C., Pywell, R.F., Bullock, J.M., Marrs, R.H. (2008): Do restored calcareous grasslands on former arable fields resemble ancient targets? The effect of time, methods and environment on outcomes: *Journal of Applied Ecology* 45, 1293-1303
- 4) Grime, J.P., Mason, G., Curtis, A.V., Rodman, J., Band, S.R., Mowforth, M.A.G., Neal, A.M., Shaw, S. (1981): A comparative study of germination characteristics in a local flora: *Journal of Ecology* 81, 1017-1059
- 5) Hillebrand, H., Bennett, D.M., Cadotte, M.W. (2008): Consequences of dominance: a review of evenness effects on local and regional ecosystem processes: *Ecology* 89, 1510-1520
- 6) 細木大輔・米村惣太郎・亀山章 (2004) : 関東森林の土壌シードバンクにおける緑化材料としての利用可能性とその測定方法 : 日本緑化工学会誌 29, 412-422
- 7) Iida S., Nakashizuka T. (1995): Forest fragmentation and its effect on species diversity in suburban coppice forests in Japan: *Forest Ecology & Management* 73, 197-210
- 8) Jantunen, J., Saarinen, K., Valtonen, A., Saarnio, S. (2007): Flowering and seed production success along roads with different mowing regimes: *Applied Vegetation Science* 10, 285-292
- 9) Kiehl, K., Kirmer, A., Donath, T.W., Rasran, L., Hölzel, N. (2010): Species introduction in restoration projects - Evaluation of different techniques for the establishment of semi-natural grasslands in Central and Northwestern Europe: *Basic & Applied Ecology* 11, 285-299
- 10) 気象庁 (2014) 過去の気象データ検索, <http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/index.php>, 2014/09/25.
- 11) 北川淑子・大久保悟・山田晋・武内和彦 (2004) : 丘陵地の谷津田に接する下部谷壁斜面下側の草本植生の種組成と種の豊かさ : ランドスケープ研究 67, 551-554
- 12) Klimkowska, A., van Diggelen, R., Bakker, J.P., Grootjans, A.P. (2007): Wet meadow restoration in western Europe: a quantitative assessment of the effectiveness of several techniques: *Biological Conservation* 140, 318-328
- 13) 宮脇昭・奥田重俊編 (1978) : 日本植生便覧 : 至文堂, 東京, 850 pp.
- 14) Mottl, L.M., Mabry, C.M., Farrar, D.R. (2006): Seven-year survival of perennial herbaceous transplants in temperate woodland restoration: *Restoration Ecology* 14, 330-338
- 15) 沼田真・吉沢長人編 (1975) : 新版日本原色雑草図鑑 : 全国農村教育協会, 東京, 414pp
- 16) Okubo, S., Kamiyama, A., Kitagawa, Y., Yamada, S., Palijon, A., Takeuchi, K. (2005): Management and micro-scale ground flora of secondary woodlands and their verges in the Tama Hills of Tokyo, Japan: *Biodiversity & Conservation* 14, 2137-2157
- 17) Ruprecht, E. (2006): Successfully recovered grassland: a promising example from Romanian old-fields: *Restoration Ecology* 14, 473-480
- 18) Schmiede, R., Donath, T.W., Otte, A. (2009): Seed bank development after the restoration of alluvial grassland via transfer of seed-containing plant material: *Biological Conservation* 142, 404-413
- 19) Smith, R.S., Jones, L. (1991): The phenology of mesotrophic grassland in the Pennine Dales, Northern England: Historic hay cutting dates, vegetation variation and plant species phonologies: *Journal of Applied Ecology* 28, 42-59
- 20) 山田晋・榎本百利子・石川祐聖・南定雄・加藤和弘 (2010) : クロマツ二次林床におおいて刈り取られた植物体に含まれる発芽可能な繁殖器官の種多様性と種構成 : 日本緑化工学会 36, 33-38