

半自然草地の秋季刈り取り残渣の敷設時期と敷設厚が敷設地の群落種組成に及ぼす影響

Do application timing and amounts of seed-containing mown plant material harvested in autumn affect subsequent floristic composition in a restoration site?

山田 晋* 根本 正之**

Susumu YAMADA Masayuki NEMOTO

Abstract: Application of seed-containing plant material is a major technique to transfer plant species onto restoration sites. The present study intended to clarify the effects of application timing and the amounts of the plant material on the subsequent vegetation development. Plant material mown from a semi-natural grassland, where *Miscanthus sinensis* dominated, was taken in late October. Harvested material was scattered onto soil in three different dates (November, March and July) and two levels of amounts (app. 500 g/m² and volume-reduced to app. 250 g/m²). A total of 23 target species appeared from the plant material, which includes most of flowering species, species flowered earlier in the donor site, and those flowering or flowered nearby. Thicker litter inhibited the emergence of non-target species, while neither positive nor negative effect on the richness and the cover of target species. Under thicker-litter treatment, *Lespedeza pilosa* was a primary dominant species at any application timing. The number of target species was not associated with the timing of application, although occurrence of several target species was inhibited in July-application treatment. This study demonstrated that thicker-litter treatment is preferable for the better restoration outcome, while effect of application timing appeared less important.

Keywords: *matured seed, donor site, active restoration, nutrient-poor soil, target species, Miscanthus sinensis*

キーワード: 結実種子, 採種地, 積極的植生復元, 貧栄養土壌, 復元目標種, ススキ

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、減少した植物種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¹⁶⁾。ところが、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は定着しない場合があることが分かってきた³⁾。このため最近では、目標種の積極的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¹⁷⁾。

草地生態系の積極的植生復元を行う際、復元目標種は、埋土種子を含む表土、種苗会社で生産された種子、多量の種子を含む草（以下、単に刈り取り残渣とよぶ）などによって植生復元地に導入される⁷⁾。なかでも、牧草地などから得られた刈り取り残渣は、そこに多量の結実種子が含まれる場合、採取地の攪乱を抑えられる低コストの植生復元材料としてヨーロッパでは広く利用されてきた。日本においては、山田ら²³⁾が刈り取り残渣を温室に撒き出す試験を実施したところ、刈り取り残渣から発芽した種数は地上植生の出現種数と比較すると少ないが、刈り取り残渣中に開花・結実していた種の大部分は発芽したことを報告した。しかし、実際に野外環境で刈り取り残渣の有効性が検討された事例は、国土総合技術研究所の単年の試験⁹⁾などに限られる。植生復元後の群落形成過程において、事業開始直後、裸地は植被に被覆されていく。裸地に芽生えただけの復元目標種は脆弱であり、事業開始直後 2~3 年間は、植生復元の成否の鍵を握るとくに重要な時期とされる¹⁷⁾。このため、複数年にわたる調査を行う必要がある。

刈り取り残渣を植生復元に用いる場合、いつ、どのような厚さで残渣を敷設するかは、基本的で重要な考慮事項である。Scotton ら¹⁷⁾によると、ヨーロッパにおける刈り取り残渣の敷設適期は、発芽時に低温による休眠打破が必要な種が存在するため、秋が適期とされるが、春に敷設される場合もある。他方、撒

き出しの際、リターに被覆されると、表土の乾燥などから芽生えの枯死を守られる一方、光要求性のある種子の発芽は阻害される⁷⁾。ヨーロッパでは、群落の生産量が多い富栄養地を除けば 600g/m² 以下の厚さに設定されることが多いが、表土が消失した貧栄養の立地では 200~300g/m² 程度で敷設される場合もある⁷⁾。日本においても植生や気候に合った敷設条件を明らかにする必要がある。

そこで本研究では、多種の在来種が結実する、群落生産量の比較的低い半自然草地の刈り取り残渣を用いて、刈り取り残渣敷設試験を行った。山田・根本¹⁹⁾によると、裸地の形成時期が異なると、そこから発芽する種が変わり、夏季に裸地が形成された場合、春季と秋季に形成された場合よりも外来種の被度が低くなった。そこで秋季と春季に加えて夏季の敷設を試験条件に含めた。敷設厚に関しては、刈り取り残渣による裸地の被覆状況が大きく異なる厚さ、すなわち、裸地を完全に被覆する厚さおよび完全に被覆しない厚さという 2 種類の敷設厚を設定し、敷設地の成立植生を追跡した。本研究では 3 年間の調査を実施し、刈り取り残渣に種子が含まれた種のうち、どの程度の種が発芽するか、それ以外の種はどの程度発芽するか、半自然草地を特徴づける植物種が優占する植物群落が形成されるかに注目して研究を実施した。

2. 研究方法

(1) 刈り取り残渣採取地（採種地）

刈り取り残渣は、千葉県柏市大室の利根川堤防法面より採取した。ここは、江戸時代から存在した堤を大正時代に河川の掘削浚渫によって拡幅し、その後大規模な改堤工事なく現在に至った堤防である²⁰⁾。古くから存在し近年の改修履歴のない堤防は植物種多様性の高い半自然草地の成立する場となっている⁹⁾。当該堤防では、ススキの植物体量が多く他種の量が少ない箇所と、ススキの代わりにトダシバやチガヤが優占し、他の在来種の量も多い箇所がパッチ状に分布する。刈り取り残渣採取地の主な出現種は

*東京農業大学農学部 **東京大学大学院農学生命科学研究科

山田ら²⁰⁾の表-2に記したとおりである。土壌化学性に関しては、全窒素が0.48~0.49%程度、可給態リン(ブレイII法、以下同様)が3.1~3.2mg/100g乾土であり¹²⁾、貧栄養土壌と言えた。慣行の管理として、5月と9~10月に植生の刈り取りが行われている。

(2) 刈り取り残渣の採取・輸送方法

15m×30mの範囲で9月の慣行刈り取りを中止し、刈り取り残渣の採取に備えた。日本の半自然草地において秋季は構成種の主要な開花・結実時期である。秋季のなかで、山田・南²²⁾から、結実種が多くなり、刈り取り残渣の回収時期として適すと考えられた10月下旬(2015年10月23日)に、主に上述のススキが少なく在来植物種の結実数が多い箇所を選びながら、2m×2mの範囲を24か所設定し、刈り取りを実施した。刈り取りの際、地際から地上植生を全て刈り取った。刈り取った植物体を1か所ずつブルーシートに包み、当日中に下述の施設まで輸送した。翌日、ブルーシートを開き、側窓の開いた無加温温室で十分に自然乾燥させた。刈り取り残渣のうち半数の12シートについては、明らかに種子を含まない植物体の茎部や葉部を、台秤を用いて全重量の半分除去した。すなわち概ねススキ、メガルカヤ、アズマネザサ、トダシバの順に、茎や葉を含む大型の断片を除去した。その後、空調設備がないものの温度変化の少ない倉庫内に、下述の3時期の試験開始時までそれぞれ保管した。刈り取り残渣輸送後の自然乾燥中に、残渣中に存在する開花あるいは結実している種を記録した。なお、上述の残渣採種地の15m×30mの範囲では、サンプル採取後、残存する草を全て刈り取った。

(3) 刈り取り残渣敷設試験地と試験内容

刈り取り残渣の敷設試験は東京都西東京市にある東京大学大学院農学生命科学研究科附属生態調和農学機構で実施した。ここは武蔵野台地上の標高50mに位置し、土壌は典型アロフェン黒ボク土に分類される¹¹⁾。試験圃場の表土は黒色を呈するA層と、その下層の黄褐色を呈するB層が混合されている。この土壌の化学性を測定した結果、全窒素0.37 ± 0.01% (±以下は標準偏差、以下同様)、有効態リン酸2.0 ± 0.6mg/100g乾土と、貧栄養土壌であった。周辺は年に数回の地上植生刈り取り管理がなされており、メヒシバ、ネズミムギなどの路傍雑草群落が分布した。

刈り取り残渣の敷設に先立ち、ロータリーモアで10cm深の耕起を実施した。試験区サイズは1.5m×1.5mとし、試験区間を1m空け24か所を配置した。刈り取り残渣採取地で得た24か所の刈り取り残渣を1つずつ無作為に試験区に割り当てた。敷設時期3期、敷設厚2種類の計6処理を4反復で無作為に配置した。加えて、埋土種子やシードレイン(試験区に散布される種子)の影響を考慮するため、刈り取り残渣を敷設しない対照区を1つ設けた。敷設は2015年11月27日(11月区)、2016年3月17日(3月区)、2016年7月1日(7月区)に分けて実施した。また、茎や葉を除去しなかった刈り取り残渣と、上述の、明らかに種子を含まない植物体を全重量の半分除去した後に残った刈り取り残渣を、それぞれ敷設した(それぞれ厚敷区、薄敷区とする)。採取地の単位面積4m²に対し、敷設地の試験区一つの面積は2.25m²となった。本研究では各刈り取り残渣の乾燥重量を計測していないものの、安部ら¹⁾は採種地のススキが優占しない箇所の地上植生の乾燥重量を260~320g/m²としており、2.25m²の面積を有する本試験の厚敷区では概ね460~570g/m²、薄敷区では230~280g/m²相当の残渣が敷設されたと換算された。刈り取り残渣が風で飛ばされないよう、敷設後速やかに寒冷紗で刈り取り残渣を覆った。寒冷紗はその後約1か月で撤去した。

刈り取り残渣を採取した河川堤防における刈り取りの頻度と時期を模し、試験期間中は5月と10月の年2回刈り取りを実施した。刈り取った植物体は圃場外に搬出した。初年度には秋の植生調査時期が遅れたため、刈り取りの時期も遅れた。

(4) 植生調査

植生調査は、2016年7月12日、同年10月28日、2017年5月8日、同年10月6日、2018年5月17日、同年9月19日に実施した。2016年に関しては、7月区の刈り取り残渣敷設を実施したため、調査時期は7月の敷設後となった。その後の植生形成も緩慢であったため、同年の秋季調査時期も遅らせた。調査では、出現した種をその被度とともに記録した。ただし2016年7月の調査では、全般に被度はごく低かったため、被度の高かったススキとメヒシバについてのみ被度を記録し、残りの種は出現の有無のみ記録した。また、2016年10月28日に、目視により裸地率を推定した。以下、2016年、2017年、2018年を、それぞれ1年目、2年目、3年目とする。

(5) 出現種の分類と統計処理

本研究における復元目標は採種地の植生とした。優占種や出現種の重複状況を確認することで、試験区に成立した植生の評価を試みた。既往研究²³⁾より、刈り取り残渣中に開花・結実していた種の大部分は発芽し、試験区の主要な構成種となることが予想された。そのため、刈り取り残渣中に開花・結実していた種とそれ以外を区別して扱った。試験区に出現した種のうち、対照区で確認されなかった種を、刈り取り残渣から発芽した種と判断した。ただし、試験区に出現した種のうち、カニツリグサは試験区周辺にも生育したため、刈り取り残渣に含まれていた種かどうか判然としなかった。そこで、カニツリグサは、解析から除外した。刈り取り残渣から発芽した種には外来種も含まれた。そこで、刈り取り残渣から発芽した種のうち在来種のみを復元目標種とした。復元目標種以外を非復元目標種とした。

記録された種は沼田・吉沢¹³⁾と千葉県史料研究財団²⁾を参考に生活史区分し、一年草(二年草を含む)、多年草に分類した。木本植物は記録されなかった。複数の生活史が併記される場合には本調査地の実状に即したほうを採用した。花期区分は神奈川県植物誌調査会⁶⁾を参照し、記載がない場合、山溪ハンディ図鑑⁴⁾を参照して分類した。

統計処理では、R ver.3.4.1¹⁵⁾を用いて、glmとmulticompを実施した。glmの際、種数、植被率、裸地率、個別種の被度を応答変数とした。裸地率と個別種の被度は二項分布に従うと仮定し、

表-1 刈り取り残渣サンプル中で開花・結実が確認された種の刈り取り残渣中における存在状況

種名	頻度 ^注	種名	頻度 ^注
トダシバ	1.00	フレモコウ	0.25
ネコハギ	0.88	ツリガネニンジン	0.21
ススキ	0.83	ノハラアザミ	0.17
ナンテンハギ	0.79	スズメノヒエ	0.04
ツルボ	0.54	スズメノヤリ	0.04
メガルカヤ	0.46	セイタカアワダチソウ	0.04
ユウガギク	0.33	ヒメムカシヨモギ	0.04
チカラシバ	0.29	ヨモギ	0.04
キンエノコロ	0.25		

注:「頻度」は、刈り取り残渣24サンプル中で開花・結実が確認されたサンプル数の割合を指す。

表-2 1年目秋季における各処理区の裸地率

		裸地率(%)	
11月区	薄敷区	11.0 ±	6.2 b
	厚敷区	4.0 ±	1.2 c,d
3月区	薄敷区	8.8 ±	5.1 b,c
	厚敷区	2.5 ±	0.6 d
7月区	薄敷区	31.3 ±	27.8 a
	厚敷区	1.3 ±	0.5 d

注:表中の数値は平均±標準偏差を示す。アルファベットが異なる区間では、グループ間の平均値の差が有意であることを示す。

表-3 処理区および調査時期別にみた主な種の出現頻度

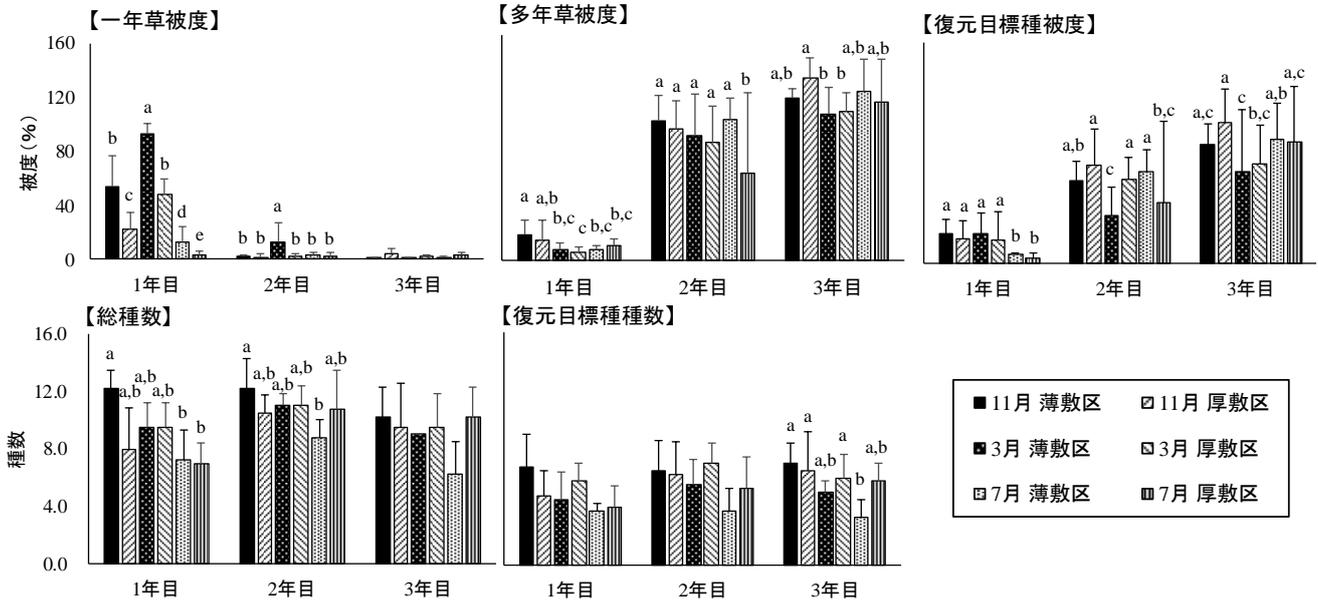
生活史	花期(月)	11月厚敷区						3月厚敷区						7月薄敷区						7月厚敷区											
		春季(年目)		秋季(年目)		春季(年目)		秋季(年目)		春季(年目)		秋季(年目)		春季(年目)		秋季(年目)		春季(年目)		秋季(年目)		春季(年目)		秋季(年目)							
		1st	2nd	3rd	1st	2nd	3rd	1st	2nd	3rd	1st	2nd	3rd	1st	2nd	3rd	1st	2nd	3rd	1st	2nd	3rd	1st	2nd	3rd						
敷設試験地で確認された種のうち、刈り取り残量によって持ち込まれた種(対照区には出現しない種)																															
復元目標種(全て在来種)																															
刈り取り残量中に開花・結実が確認された在来種(A-1)																															
ススキ	P	8-10	4/4	4/4	4/4	4/4	4/4	4/4	4/4	4/4	4/4	4/4	4/4	4/4	4/4	4/4	4/4	4/4	4/4	4/4	4/4	4/4	4/4	4/4	4/4	4/4	4/4	4/4	4/4		
トダシバ	P	8-10	4/4	3/4	1/4	1/4	4/4	4/4	4/4	4/4	4/4	4/4	4/4	4/4	4/4	4/4	4/4	4/4	4/4	4/4	4/4	4/4	4/4	4/4	4/4	4/4	4/4	4/4	4/4	4/4	
ナンテンハギ	P	6-10	3/4	3/4	4/4	4/4	4/4	4/4	4/4	4/4	4/4	4/4	4/4	4/4	4/4	4/4	4/4	4/4	4/4	4/4	4/4	4/4	4/4	4/4	4/4	4/4	4/4	4/4	4/4	4/4	
ネコハギ	P	7-9	3/4	4/4	3/4	4/4	4/4	4/4	4/4	4/4	4/4	4/4	4/4	4/4	4/4	4/4	4/4	4/4	4/4	4/4	4/4	4/4	4/4	4/4	4/4	4/4	4/4	4/4	4/4	4/4	
メグルカヤ	P	9-10	-	1/4	1/4	1/4	2/4	-	1/4	3/4	1/4	2/4	2/4	2/4	2/4	2/4	2/4	2/4	2/4	2/4	2/4	2/4	2/4	2/4	2/4	2/4	2/4	2/4	2/4	2/4	
ユウガギク	P	8-10	2/4	2/4	1/4	2/4	4/4	2/4	1/4	2/4	2/4	2/4	2/4	2/4	2/4	2/4	2/4	2/4	2/4	2/4	2/4	2/4	2/4	2/4	2/4	2/4	2/4	2/4	2/4	2/4	
フレモコウ	P	7-11	2/4	-	2/4	2/4	2/4	1/4	1/4	1/4	1/4	1/4	1/4	1/4	1/4	1/4	1/4	1/4	1/4	1/4	1/4	1/4	1/4	1/4	1/4	1/4	1/4	1/4	1/4	1/4	
ノハラアザミ	P	9-12	2/4	1/4	1/4	2/4	1/4	-	1/4	1/4	1/4	1/4	1/4	1/4	1/4	1/4	1/4	1/4	1/4	1/4	1/4	1/4	1/4	1/4	1/4	1/4	1/4	1/4	1/4	1/4	
チカラシバ	P	9-10	-	-	2/4	2/4	1/4	-	2/4	1/4	-	1/4	-	1/4	-	1/4	-	1/4	-	1/4	-	1/4	-	1/4	-	1/4	-	1/4	-	1/4	
ツリガネニンジン	P	8-10	1/4	1/4	1/4	1/4	-	-	1/4	-	-	-	-	-	1/4	-	-	-	-	1/4	-	-	-	-	-	1/4	1/4	1/4	1/4	1/4	
スズメノヒエ	P	8-10	-	-	-	-	1/4	-	1/4	-	-	-	-	1/4	-	-	-	-	1/4	-	-	-	-	-	-	1/4	1/4	1/4	1/4	1/4	
ヨモギ	P	9-10	-	-	-	-	-	-	1/4	1/4	1/4	1/4	1/4	1/4	1/4	1/4	1/4	1/4	1/4	1/4	1/4	1/4	1/4	1/4	1/4	1/4	1/4	1/4	1/4	1/4	
キンエノコロ	A	8-10	-	-	3/4	-	1/4	-	1/4	-	2/4	-	3/4	-	1/4	-	2/4	-	1/4	-	2/4	-	1/4	-	1/4	-	1/4	-	1/4	-	3/4
刈り取り残量中に開花・結実が確認されなかった在来種(A-2)																															
アブラスキ	P	8-10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
ウマノアシガタ	P	4-5	1/4	-	1/4	-	1/4	-	1/4	1/4	1/4	1/4	1/4	1/4	1/4	1/4	1/4	1/4	1/4	1/4	1/4	1/4	1/4	1/4	1/4	1/4	1/4	1/4	1/4	1/4	
ヒメツバムグラ	P	6-7	-	-	-	-	-	-	1/4	-	1/4	-	1/4	-	1/4	-	1/4	-	1/4	-	1/4	-	1/4	-	1/4	-	1/4	-	1/4	-	
ヒヤコグサ	P	5-6	-	-	1/4	-	1/4	-	1/4	-	1/4	-	1/4	-	1/4	-	1/4	-	1/4	-	1/4	-	1/4	-	1/4	-	1/4	-	1/4	-	
アキノタムラソウ	P	7-11	-	-	-	-	-	-	1/4	-	-	-	-	1/4	-	-	-	-	1/4	-	-	-	-	-	1/4	-	-	-	-	-	
コナシビ	P	5-6	-	-	-	-	-	-	1/4	-	-	-	-	1/4	-	-	-	-	1/4	-	-	-	-	-	1/4	-	-	-	-	-	
オオホドメ	P	5-7	-	-	-	-	-	-	1/4	-	-	-	-	1/4	-	-	-	-	1/4	-	-	-	-	-	1/4	-	-	-	-	-	
ミツハツチグリ	P	4-5	-	-	-	-	-	-	1/4	-	-	-	-	1/4	-	-	-	-	1/4	-	-	-	-	-	1/4	-	-	-	-	-	
イヌコウジユ	A	9-10	-	-	-	-	-	-	1/4	-	-	-	-	1/4	-	-	-	-	1/4	-	-	-	-	-	1/4	-	-	-	-	-	
非復元目標種																															
外来種																															
オニウシノケグサ	P	6-8	-	3/4	3/4	3/4	1/4	-	-	-	-	-	3/4	4/4	-	3/4	3/4	-	2/4	2/4	1/4	2/4	1/4	2/4	1/4	-	-	-	-	-	
セイカタアワダチソウ	P	10-11	-	-	-	-	-	1/4	1/4	1/4	1/4	1/4	1/4	1/4	1/4	1/4	1/4	1/4	1/4	1/4	1/4	1/4	1/4	1/4	1/4	1/4	1/4	1/4	1/4	1/4	
ヒメムカシヨモギ	A	8-10	-	-	-	-	-	-	1/4	-	-	-	1/4	-	-	-	-	1/4	-	-	-	-	-	-	-	1/4	-	-	-	-	
非刈り取り残量由来種(対照区に出現した種。非復元目標種に含まれる)																															
在来種																															
スギナ	P	3-4	-	4/4	4/4	-	4/4	4/4	-	4/4	4/4	-	4/4	4/4	-	4/4	4/4	-	4/4	4/4	-	4/4	4/4	-	4/4	4/4	4/4	4/4	4/4	4/4	4/4
チガヤ	P	5-6	-	1/4	2/4	-	1/4	2/4	-	1/4	2/4	-	1/4	2/4	-	1/4	2/4	-	1/4	2/4	-	1/4	2/4	-	1/4	2/4	1/4	2/4	1/4	2/4	
シロツメクサ	P	5-8	-	1/4	1/4	2/4	1/4	-	1/4	-	1/4	-	2/4	1/4	2/4	2/4	2/4	-	1/4	-	1/4	-	1/4	-	1/4	-	1/4	1/4	1/4	1/4	
ムラサキサギゴケ	P	4-5	-	-	1/4	-	-	-	1/4	-	-	-	1/4	-	-	1/4	-	-	1/4	-	-	-	-	1/4	-	1/4	-	1/4	-	1/4	
メシバ	A	7-11	-	-	4/4	-	4/4	-	4/4	-	4/4	-	4/4	-	4/4	-	4/4	-	4/4	-	4/4	-	4/4	-	4/4	-	4/4	-	4/4	-	
イヌタバ	A	6-10	-	-	3/4	-	3/4	-	3/4	-	3/4	-	3/4	-	3/4	-	3/4	-	3/4	-	3/4	-	3/4	-	3/4	-	3/4	-	3/4	-	
キツネノマゴ	A	8-10	-	-	-	-	2/4	2/4	-	4/4	3/4	-	1/4	1/4	-	1/4	1/4	-	1/4	1/4	-	1/4	1/4	-	1/4	1/4	-	1/4	1/4	1/4	
外来種																															
オオアレチノギク	A	7-10	-	-	1/4	4/4	-	-	1/4	4/4	-	-	1/4	4/4	-	-	1/4	4/4	-	-	1/4	4/4	-	-	1/4	4/4	-	1/4	4/4	4/4	
オオニキソウ	A	6-10	-	-	-	-	-	-	1/4	1/4	-	-	1/4	1/4	-	-	1/4	1/4	-	-	1/4	1/4	-	-	1/4	1/4	-	1/4	1/4	1/4	
ヒメジョオン	A	6-10	-	-	-	-	-	-	1/4	-	-	-	1/4	-	-	1/4	-	-	1/4	-	-	-	-	1/4	-	1/4	-	1/4	-	1/4	

注) 図中の数値は、各処理区の反復数(4; 分母)に対する出現試験区数(分子)を示す。A; 一年草, P; 多年草。7月薄敷区と厚敷区の春季1年目の調査は実施していない。表中のA-1およびA-2は、図2のA-1およびA-2に対応する。

表-4 主要な優占種について各処理区の被度の経時変化

【スキ】		11月薄敷区	11月厚敷区	3月薄敷区	3月厚敷区	7月薄敷区	7月厚敷区
春季	1年目	7.5 ± 2.9 a	1.0 ± 0.0 b	8.0 ± 4.8 a	1.8 ± 1.0 b		
	2年目	1.0 ± 0.4	1.2 ± 0.8	0.6 ± 0.5	1.3 ± 0.6	2.0 ± 1.4	0.5 ± 0.5
	3年目	11.8 ± 5.7 a	14.0 ± 13.4 a	2.3 ± 0.6 b	18.3 ± 12.6 a	3.6 ± 4.9 b	4.0 ± 3.0 b
秋季	1年目	2.9 ± 1.8	1.7 ± 1.2	1.6 ± 2.1	2.3 ± 1.2	1.5 ± 0.7	0.4 ± 0.5
	2年目	5.5 ± 2.4 b	5.8 ± 3.8 b	0.9 ± 0.8 c	12.7 ± 15.0 a	3.0 ± 2.8 bc	5.3 ± 4.5 b
	3年目	8.5 ± 3.0 c	15.3 ± 17.0 b	2.7 ± 0.6 d	25.0 ± 13.2 a	4.5 ± 3.5 cd	25.7 ± 20.6 ab
【ネコハギ】		11月薄敷区	11月厚敷区	3月薄敷区	3月厚敷区	7月薄敷区	7月厚敷区
春季	2年目	0.4 ± 0.4	0.7 ± 0.5	0.6 ± 0.6	0.2 ± 0.2	1.0 ± 0.8	0.3 ± 0.3
	3年目	1.1 ± 1.7	0.1 ± 0.0	0.1 ± 0.0	0.1 ± 0.0	0.1	0.1
秋季	1年目	6.5 ± 6.0 ab	10.7 ± 12.9 a	3.5 ± 2.1 ac	1.8 ± 2.3 c	1.0 ± 0.8 cd	1.3 ± 1.1 bc
	2年目	37.5 ± 12.6 bc	48.8 ± 27.2 a	17.3 ± 28.3 d	31.4 ± 22.3 c	42.5 ± 22.2 ab	19.8 ± 33.5 d
	3年目	67.5 ± 17.1 a	75.0 ± 17.3 a	55.0 ± 39.7 b	42.8 ± 33.4 c	50.5 ± 32.5 bc	46.3 ± 30.4 bc
【スギナ】		11月薄敷区	11月厚敷区	3月薄敷区	3月厚敷区	7月薄敷区	7月厚敷区
春季	2年目	17.5 ± 11.9 ac	18.3 ± 10.9 ab	25.0 ± 18.7 a	10.0 ± 0.0 c	12.0 ± 6.8 bc	12.0 ± 6.8 ab
	3年目	66.3 ± 4.8 ab	67.5 ± 5.0 a	67.5 ± 5.0 a	68.8 ± 2.5 a	62.5 ± 15.5 ab	62.5 ± 15.5 b
秋季	1年目		5.0			5.0	5.0
	2年目	21.3 ± 2.5 ab	19.5 ± 11.7 ab	23.8 ± 10.3 a	15.0 ± 10.0 b	23.0 ± 14.2 a	23.0 ± 14.2 ab
	3年目	25.0 ± 12.2 b	26.3 ± 12.5 ab	32.5 ± 27.2 ab	31.3 ± 16.5 ab	35.0 ± 8.7 a	35.0 ± 8.7 b
【オニウシノケグサ】		11月薄敷区	11月厚敷区	3月薄敷区	3月厚敷区	7月薄敷区	7月厚敷区
春季	2年目	6.7 ± 7.2 a		1.7 ± 1.2 b	2.5 ± 0.7 ab		
	3年目	10.0 ± 8.7 a		3.8 ± 4.2 b	6.0 ± 1.4 ab		
秋季	1年目	1.7 ± 1.2			0.1		
	2年目	16.3 ± 16.2		10.3 ± 8.5	12.5 ± 10.6		
	3年目	10.0		4.7 ± 4.6	2.0		
【メヒシバ】		11月薄敷区	11月厚敷区	3月薄敷区	3月厚敷区	7月薄敷区	7月厚敷区
春季	1年目	7.0 ± 3.6 a	2.5 ± 0.7 b	10.3 ± 7.8 a	3.5 ± 4.4 ab		
秋季	1年目	31.8 ± 21.7 b	11.3 ± 13.0 c	67.5 ± 15.0 a	27.5 ± 8.7 b	10.5 ± 8.4 c	2.1 ± 2.0 d

注：表中の数値は平均±標準偏差を示す。アルファベットが異なる区間では、グループ間の平均値の差が有意であることを示す。各処理区の4区画のうち、当該種が出現した区画のデータのみを用いて平均と標準偏差を算出した。1年目春季には全体的に被度が低く、ネコハギ、スギナ、オニウシノケグサの被度は記録していない。また、1年目春季には7月区の調査は実施していない。メヒシバは2年目以降被度が著しく低下し、被度1%以上で記録されることがなかったため、1年目のデータのみ示した。



注：刈り取り残渣を秋季に採取しており、試験地に出現する種も秋季を中心に生育する種が主になると推測されたため、秋季における被度と種数の情報を示した。図中のエラーバーは標準偏差を示す。アルファベットが異なる区間では、グループ間の平均値の差が有意であることを示す。

図-1 秋季における生活史別および復元目標種の被度と種数の経時変化

リンク関数にはlogitを選択した。被度合計については、出現種の被度合計値が100%を超えることがあるためポアソン分布に従うと仮定し、リンク関数にはlogを選択した。multcomp多重比較にはTukey法を用いた。有意水準は $P < 0.05$ とした。

3. 結果

(1) 刈り取り残渣に関する特性

撒き出し用の刈り取り残渣 24 サンプル中で開花・結実が確認された種を表-1に示す。刈り取り残渣24サンプル中に開花・結実が確認された種は表-1に掲載した17種だった。スキ、トダシバはほとんどの残渣サンプルに開花・結実した状態で確認された。17種には2種の外来種（セイタカアワダチソウとヒメムカシヨモギ）が含まれた。

1年目秋季における各処理区の裸地率を表-2に示す。厚敷区

では、刈り取り残渣の導入時期にかかわらず裸地率は5%以下だった。7月薄敷区では、最も高い裸地率が記録された。

(2) 試験区における調査結果

植生調査では計56種が記録された。処理区および調査時期別にみた主な種の出現状況を表-3に示す。ユウガギク、ワレモコウは、7月薄敷区では記録されなかった。ノハラアザミは11月区と3月区には記録されたが、7月区では薄敷区と厚敷区の双方で確認されなかった。ツリガネニンジン3年目秋には完全に姿を消し、ノハラアザミも薄敷区では3年目秋に完全に姿を消した。オニウシノケグサは、3月薄敷区と3月厚敷区および11月薄敷区では半数以上の試験区に出現したが、その他の試験区には出現しなかった。

主要な優占種について各処理区における被度の経時変化を表-4に示す。スギナは2年目と3年目にはほとんどの試験区で出現し(表-3)、3年目の春季にはいずれの処理区でも被度が平均60%以上となった。ネコハギは3年目には秋季において最も被度の高い種となった。ススキは3年目秋季において3月厚敷区および7月厚敷区の被度が比較的高く、それら処理区での被度は25%程度だった。オニウシノケグサは、3年目春季に、11月薄敷区の被度が最も高くなった。

(3) グループ別にみた各試験区における被度の経時変化

秋季における生活史別および復元目標種の被度と、種数の経時変化を図-1に示す。1年目に、一年草の被度は、厚敷区で同月敷設の薄敷区よりも有意に高く、3月薄敷区の被度は100%近くとなった。いずれの処理区でも、2年目になると一年草の被度は顕著に低下した。多年草の被度は、1年目には全ての処理区で20%程度かそれ以下だったが、2年目には7月薄敷区を除き80%以上と著しく増加した。復元目標種の被度は年々増加した。総種数に関しては1年目には7月区で11月薄敷区よりも有意に少なかったが、3年目秋には処理区間における有意差は認められなかった。復元目標種の種数は、3年目秋に、7月薄敷区が11月薄敷区、11月厚敷区、7月薄敷区よりも有意に少なかった。

(4) 刈り取り残渣の開花・結実種と試験区の出現種との関係

刈り取り残渣における開花・結実した種と試験区の出現種との重複関係を図-2に示す。刈り取り残渣中に開花・結実を確認できた17種のうち、ツルボとズズメノヤリを除く15種が刈り取り残渣敷設試験区に出現した。そこからセイタカアワダチソウとヒメムカシヨモギを除いた13種が在来種だった。刈り取り残渣敷設試験区で確認された56種のうち、対照区には出現しておらず

刈り取り残渣由来と判断された種は25種だった。25種の中には3種の外来種(オニウシノケグサ、セイタカアワダチソウ、ヒメムカシヨモギ)が含まれた。刈り取り残渣では開花・結実を確認できなかった在来種である復元目標種が9種確認された(表-3)。

4. 考察

(1) 刈り取り残渣の敷設時期と敷設厚が成立植生に及ぼす影響

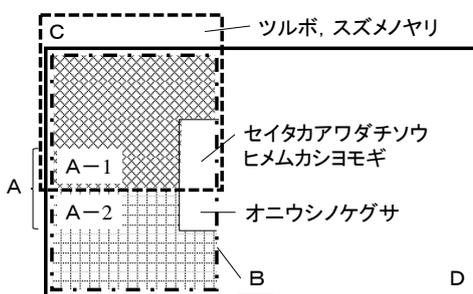
本試験の結果、刈り取り残渣中に開花・結実を確認できた17種よりも多い25種が、刈り取り残渣によって輸送され試験区で発芽したものと推測された(図-2のB)。山田ら²⁰⁾が、刈り取り残渣を撒きだしたところ、残渣採取時に開花・結実していた種の約3/4に相当する13種の復元目標種の発芽が確認された。本研究でも刈り取り残渣中に開花・結実した在来種15種のうち13種が試験地で記録され、開花・結実した種は高い確率で植生復元地に導入可能であることが改めて判明した。また本試験では、開花・結実を確認できなかった復元目標種も9種記録された。これらの種のうち、イヌコウジュ、アブラススキを除く7種は、山田ら²⁰⁾の実施した現地の地上植生調査で記録された種だった。Kiehlら⁷⁾も指摘するように、結実した後に脱落した種子が、刈り取った植物体や、地際にあつて回収されたリターに付着したため、敷設試験区で出現するようになったと考えられる。

敷設後3年目にはノハラアザミやツリガネニンジンの出現頻度が低下した(表-3)。この年には多年草の被度合計が100%以上となり(図-1)、試験区の種間競争がより激しくなっていた。現地観察によると、前者は2年目にシュートを伸長させ開花に至ったが、大部分の葉は根出葉として存在し、それらはネコハギに埋没した。後者は地上部の生育が緩慢で2年間で開花に至らず、地上部がやはりネコハギに埋没した。こうした点が優占種との競争で不利に働き、出現頻度が低下するようになったのであろう。

刈り取り残渣の敷設厚が厚い場合、薄敷区と比べて1年目のメヒシバの被度は有意に低かった(図-1)。メヒシバをはじめいくつかの強草種は発芽に光要求性があることが知られる⁹⁾。厚い刈り取り残渣によって地表の相対光量が低下したため、メヒシバの発芽が抑制されたものと考えられる。一方で、復元目標種の多くについては、種数(図-1)や被度(表-4)に関して、敷設厚との明確な対応は認められなかった。一般に種子サイズの大きい種ほど発芽に際して光要求性が低い¹⁰⁾。本研究における復元目標種の多くは比較的种子サイズが大きかったため、敷設厚による発芽阻害を受けにくかったと考えられる。

7月薄敷区において、他の試験区には出現したユウガギクとワレモコウが確認されなかった。ユウガギクを夏季に野外へ播種すると、春季に播種した場合に比べて発芽率が著しく低下したという報告がある²¹⁾。刈り取り残渣の敷設量が少なく裸地が露出した7月薄敷区では、残渣敷設直後の表土温度が他の処理区より高まった可能性が高い。両種の発芽・生育特性に関する知見は乏しく、はっきりした原因は不明であるが、これらの種は発芽温度、芽生え期の高温耐性など何らかの発芽・生育特性に関する要因によって抑制され、そのまま種子が死滅した可能性がある。ススキは3月厚敷区と7月厚敷区で3年目秋季の被度が相対的に高くなった(表-4)。一方、1年目の春季調査時には11月区と3月区の全ての調査区で発芽個体が確認され、薄敷区における被度が厚敷区における被度よりも高い傾向が見られた(表-4)。刈り取り残渣は有機質肥料としても働く¹⁸⁾。本試験での観察によると、1年目にススキの芽生え個体が、高密度で発芽した箇所では黄変し、明らかに栄養不足が生じている様子だった。より多くの刈り取り残渣が敷設された厚敷区では、より高い施肥効果があったために⁷⁾、ススキの生育が良好となった可能性が高い。

(2) より効果的な刈り取り残渣の利用に向けて



- A: 復元目標種 22種(A-1 + A-2)
- A-1: 刈り取り残渣中に開花・結実が確認された在来種 13種
(斜め網掛, 具体の種名は表-3を参照)
- A-2: 刈り取り残渣中に開花・結実が確認されなかった在来種 9種
(縦横網掛, 具体の種名は表-3を参照)
- B: 敷設試験地で確認された種のうち、
刈り取り残渣によって持ち込まれた種 25種(破線)
- C: 刈り取り残渣中に確認された開花・結実種 17種(点線)
- D: 敷設試験地で確認された総種数 56種(実線)

図-2 刈り取り残渣中に開花・結実が確認された種と刈り取り残渣敷設試験における出現種との重複状況

著者らの知る限り、日本の野外環境で複数年にわたり刈り取り残渣を用いた植生復元試験を実施した例は、極めて少ない。本試験の結果、7月薄敷区を除けばいずれの処理区でも敷設を実施した当年から復元目標種が生育しはじめ、敷設した翌年の秋季には復元目標種が優占する群落が形成された。また、刈り取り残渣中に開花・結実していた種以外の復元目標種も、植生復元地に導入できることが明らかになった。半自然草地構成種が多数生育し、優占種ともなる草地を復元する手法として、刈り取り残渣を用いることの有効性を示すことができた。

厚敷区の敷設厚に相当する500g/m²は、敷設直後の1シーズンは裸地をほぼ被覆し続けられる刈り取り残渣量だった(表-2)。この程度の量を敷設すると、その半分の敷設厚の場合と比べて、メヒシバの被度やオニウシノケグサの被度と出現頻度を減らせる(表-3,4)と同時に復元目標種の種数は、7月薄敷区以外では減らず(図-1)、植生復元に際して良好な効果をもたらすことが分かった。ただし、本試験地は貧栄養土壌であり、1年目秋における一年草と多年草の被度の合計は、3月薄敷区で100%を超えたほかは100%を下回った(図-1)。既往文献^{7,14)}で指摘されるように、土壌養分がより高く種間競争の激しい場合、同じ敷設厚でも1年目にメヒシバの被度がさらに高まったり、2年目以降にオニウシノケグサなど競争力の高い種の被度が急激に増加する恐れがある。本研究において発揮された、刈り取り残渣による非復元目標種の抑草効果が、より富栄養土地でも適用可能かという点に関しては、さらなる検討が必要である。

500g/m²程度という厚敷をした場合、敷設時期の影響は、ネコハギの被度がススキを上回るという優占順位や、出現種数や復元目標種数、すなわち群落構造や種組成という点では明らかでなかった。ただし、復元目標種の1つであるノハラアザミの出現頻度は、敷設時期に応じて異なった。植生復元の際、復元目標種に特段の発芽・生育特性に関する温度選好性があることが分かっているような場合には、刈り取り残渣の利用に際して、敷設時期も考慮に入れるべきである。

本研究における刈り取り残渣の採種地は、ススキなどのイネ科が優占する草本群落だった²⁰⁾。一方、試験地では、イネ科が第一優占種となる群落は形成されなかった。このように3年という期間では、採種地のようなイネ科優占群落は形成されなかった。本研究は3年間の結果であり、成立植生は今後も変化する可能性が高い。試験地では現在のところ、ネコハギやスギナの被度が高いが、これらの種はススキよりも低茎の種であり、今後ススキ個体が大型化すれば、ススキに被覆され減少する可能性もある。群落におけるススキ優占化の成否や他の復元目標種の持続的な生育と世代交代の可否を判断するためには、より長期のモニタリングが必要である。

謝辞: 本試験では、東京大学大学院農学生命科学研究科附属生態調和農学機構の圃場を使用した。同施設の石川祐聖技術専門職員、工藤新司技術専門職員、矢津田啓介技術専門職員には植生管理の支援を頂いた。刈り取り残渣の採取を許可いただいた国土交通省関東地方整備局利根川上流河川事務所守谷出張所に感謝申し上げる。本研究には、科学研究費補助金基盤研究(C)(課題番号26450492, 研究代表者: 山田晋)および同基盤研究(B)(課題番号17H03958, 研究代表者: 山田晋)の研究費の一部を使用した。

補注及び引用文献

1) 安部真生・山田晋・根本正之・大黒俊哉(2015): チガヤ草地内のギャップサイズが在来種植栽個体の生育に及ぼす影響: 日本緑化工学会誌 41, 91-96.

- 2) 千葉県史料研究財団編(2003): 千葉県の自然誌 別編 4 千葉県植物誌: 千葉日報社, 1181pp.
- 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 outcome: *Journal of Applied Ecology* 45, 1293-1303.
- 4) 林弥栄監修(2013): 山溪ハンディ図鑑 1 野に咲く花増補改訂新版: 山と溪谷社, 東京, 664pp.
- 5) 池田聖太郎・林恵介・衛藤哲次・渡辺潤・西村光博・増田泰久(2001): ケイヌビエとメヒシバの初期生育におよぼす温度と遮光の影響: 日本草地学会誌 47 (別), 40-41.
- 6) 神奈川県植物誌調査会編(2001): 神奈川県植物誌 2001: 神奈川県立生命の星・地球博物館, 神奈川, 1580pp.
- 7) 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.
- 8) 国土技術政策総合研究所(2018): 在来野草の緑化利用に関する技術資料: 国総研資料 1014. <http://www.nilim.go.jp/lab/bcg/siryoutn/tnn1014pdf/ks1014.pdf>.
- 9) Koyanagi, F.T., Yamada, S., Matsuzaki, H., Kato, Y. (2019): Impacts of previous maintenance of river embankments on the grassland communities by changing soil properties: *Ecological Engineering* 131, 73-80.
- 10) Milberg, P., Andersson, L., Thompson, K. (2000): Large-seeded species are less dependent on light for germination than small-seeded ones: *Seed Science Research* 10, 99-104.
- 11) 本山三千代(2004): 日本の統一的土壌分類体系-第二次案(2002)-と世界の土壌資源-照会基準を用いた附属農場の土壌の分類: 東京大学大学院農学生命科学研究科修士論文 19pp.
- 12) 根本正之・山田晋(2017): チガヤ型植物多様性ホットスポットに侵入したセイタカアワダチソウの影響評価: 日本緑化工学会誌 42, 433-436.
- 13) 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
- 14) Pywell, R.F., Bullock, J.M., Roy D.B., Warman, L., Rothery, P. (2003): Plant traits as predictors of performance in ecological restoration: *Journal of Applied Ecology* 40: 65-77.
- 15) R Core Team (2015): R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <http://www.R-project.org/>.
- 16) Ruprecht, E. (2006): Successfully recovered grassland: a promising example from Romanian old-fields: *Restoration Ecology* 14, 473-480.
- 17) Scotton, M., Kirmer, A., Krautzer, B. eds. (2012): Practical handbook for seed harvest and ecological restoration of species-rich grasslands: Padova, Italy, 116pp.
- 18) Xiong, S., Nilsson, C. (1999): The effects of plant litter on vegetation: a meta-analysis: *Journal of Ecology* 87, 984-994.
- 19) 山田晋・根本正之(2017): 河川高水敷における裸地の出現時期がその後の成立植生に及ぼす影響: 日本緑化工学会誌 43, 39-44.
- 20) 山田晋・根本正之・小柳知代・山本嘉昭・八木裕人(2017): 植物種多様性の高い河川堤防半自然草地における植生と立地特性: 日本緑化工学会誌 42, 428-432.
- 21) 山田晋・根本正之(2016): 優占種の導入時期と導入方法は種多様性に配慮したチガヤ草地の成立植生を大きく変えるか: 日本生態学会第63回大会. 2016年3月24日. 仙台国際センター, 仙台.
- 22) 山田晋・南定雄(2015): クロマツ二次林の林床・林緑植生における秋季の結実種数および種子数の経時変化: ランドスケープ研究 78, 655-658.
- 23) 山田晋・榎本百利子・石川祐聖・南定雄・加藤和弘(2010): クロマツ二次林林床に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: 日本緑化工学会誌 36, 33-38.

(2019.9.28受付, 2020.3.30受理)