

カラマツ人工林と隣接する落葉広葉樹二次林の埋土種子集団の把握

菅原 優^{1,2}・清野 達之^{3,4}

Patterns of soil seed-banks of a larch plantation adjacent to a secondary deciduous
broad-leaved forest

Yu SUGAWARA^{1,2} and Tatsuyuki SEINO^{3,4}

目 次

はじめに	30
調査地と方法	30
調査地とプロット設置	30
地上部の植生調査	32
土壌サンプルの採取と保存	32
発芽試験	33
種子散布状況の把握	33
埋土種子集団の多様度指数	34
結果	34
林床植生の種組成	34
埋土種子集団の個体数と種組成	37
種子散布の個体数と種組成	41
埋土種子集団・下層植生・散布種子の共通種	42
埋土種子集団の多様度指数	42

1 筑波大学生命環境科学研究科

2 責任著者 (yu.sugawara.8@gmail.com)

3 筑波大学生命環境科学研究科農林技術センターハヶ岳演習林

4 現所属；筑波大学生命環境系農林技術センター筑波実験林

1 Graduate School of Life and Environmental Sciences, University of Tsukuba, Tsukuba 305-8572, Japan

2 Author to whom correspondence should be addressed (yu.sugawara.8@gmail.com)

3 Yatsugatake Forest, Graduate School of Life and Environmental Sciences, University of Tsukuba, Minamimaki 305-8572, Japan

4 Present Address: Tsukuba Experimental Forest, Faculty of Life and Environmental Sciences, University of Tsukuba, Tsukuba 305-8577, Japan

考察	42
埋土種子集団の種数と個体数	42
埋土種子集団の種組成の比較	43
散布種子の特徴	44
森林管理後の下層植生の予測	44
謝辞	45
引用文献	45
Summary	46

はじめに

埋土種子集団は地上部の環境の変化に応じて多様な植物群落を成立させる潜在的な能力として、群落の維持と再生に重要な役割を果たす(林 1977)。皆伐跡地などの場合に、近隣に母樹が存在しない木本種が出現し、火災跡地に森林成立中にはみられなかった種が発芽して繁茂する現象(沼田ほか 1964)は、埋土種子が寄与する確率が高いと考えられる。また、人工林でも埋土種子の種組成が林冠攪乱後の植生の形成に果たす役割が大きいことが報告されている(Sakai *et al.* 2005)。そのため、地下部の種子ポテンシャルである埋土種子集団の種構成や個体数を明らかにすることは、森林内に管理を施す前に下層植生の応答を予測することを可能とし、森林の管理計画を決める上で有益な情報となる。

埋土種子集団は、地上植生が生産した種子とその群落の外からの散布種子の合計から、発芽した種子、死亡した種子、捕食された種子および群落の外へ散布される種子を差し引いた残りによって構成されている(林 1977)。また、人工林への新たな植物種の定着は、植栽前と植栽後の植生に由来する埋土種子及び周辺植生からの散布種子の二つの経路が想定される(川西ほか 2007)。以上より、埋土種子集団および散布種子の両方を調べることで、現在の種子供給と潜在的に持つ種子ポテンシャルが人工林内への植物種定着に対し、どの程度関与するのかを明らかにすることが出来る。

そこで本研究では、カラマツ人工林と隣接する落葉広葉樹二次林の埋土種子集団の比較を行ない、個体数と構成種などの特徴を検討することから、カラマツ人工林の潜在的な種子集団の把握とその森林施業への情報蓄積への寄与を目的とした。

調査地と方法

調査地とプロット設置

調査は長野県南佐久郡川上村の筑波大学農林技術センター川上演習林内で行なった。川上演習林は東経138° 30' , 北緯35° 55' , 標高1400mから1700mにある。川上演習林内に設置した気象ステーションの観測によると、2010年の年平均気温は7.8℃、年降水量は1615.5mmであった(筑

波大学農林技術センターハヶ岳演習林データ 未発表)。

調査地は2010年7月に川上演習林第2林班内の南斜面に位置する42年生カラマツ人工林に20m×20m (400m²) のプロットを設置した。カラマツ人工林に近接する落葉広葉樹二次林には既存のプロットがあり (清野ほか 未発表), その中の10m×40m (400m²) のベルトを使用して調査を行なった (図1)。カラマツ人工林はカラマツを主要植栽樹種とする人工林で, 落葉広葉樹二次林はミズナラを中心とした二次林であった (表1)。両プロット間の距離は50m以内にあり, 施業履歴によると, カラマツ人工林は落葉広葉樹二次林を皆伐して造成された林分であり, 植林されてから現在までの施業記録はない。それぞれのプロットは5m×5mの合計16個のサブプロットに細分し, サブプロットにはそれぞれ番号を振った (図1)。

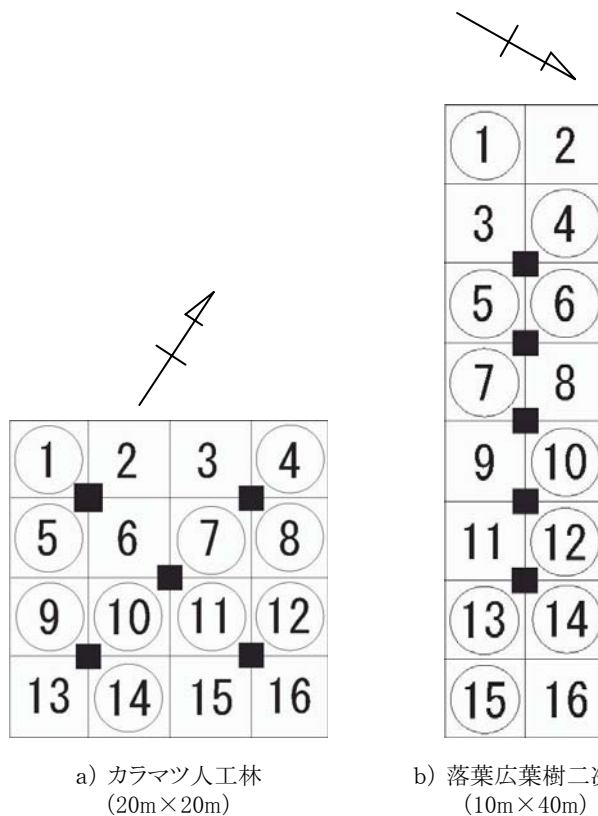


図1. カラマツ人工林, 落葉広葉樹二次林のプロットデザイン

a) カラマツ人工林プロット (20m×20m), b) 落葉広葉樹二次林プロット (10m×40m)

表1. 調査地のカラマツ人工林, 落葉広葉樹二次林に出現した樹種, 胸高断面積 (m²/ha), 胸高断面積比

カラマツ人工林

種名	密度 (No/0.04ha)	胸高断面積合計 (m ² /ha)	胸高断面積比 (%)
カラマツ	54	37.7	100
計	54	37.7	100

落葉広葉樹二次林

種名	密度 (No/0.04ha)	胸高断面積合計 (m ² /ha)	胸高断面積比 (%)
ミズナラ	84	14.8	61.2
イラモミ	1	2.6	10.8
クマシデ	15	2.1	8.9
アカマツ	4	1.9	7.7
ヤマハンノキ	2	1.2	4.8
アズキナシ	5	0.9	3.8
アオナシ	2	0.3	1.1
アオダモ	1	0.2	0.9
ミヤマザクラ	1	0.2	0.8
計	115	24.1	100.0

地上部の植生調査

2010年9月7日にカラマツ人工林プロットと落葉広葉樹二次林サブプロット内でBraun-Blanquet (1964) に基づいた植生調査を行なった。調査には1m×1mの枠を使用し、土壌サンプリングを行なったサブプロットのみを調査対象とした。枠は斜面に向かって土壌採取地点の上部に固定し、被度と種名を記録した。2010年9月17日にカラマツ人工林で毎木調査を行なった。樹高1.3m以上の個体を対象に種名と樹木周囲長を測定し、胸高直径を算出した。

2010年9月17日に、林分の光環境を把握するために全天写真の撮影を行なった。カメラの位置は地面から高さ1.5mの位置に設定した。撮影はCanon EOS Digital X (Canon, 東京) に魚眼レンズ (SIGMA 4.5mm F 2.8, Sigma, 東京) を使用して行なった。撮影地点は5m×5mのサブプロットを区切った各交点で行なった。全天写真の解析にはCanopOn 2 (竹中 <http://takenaka-akio.org/etc/canopon2/>) を使用した。

土壌サンプルの採取と保存

土壌サンプルの採取を2010年8月25日に落葉広葉樹二次林で、同年8月26日にカラマツ人工

林で行なった。採取地点は各プロット10ヶ所ずつをランダムに選択し、1から16の乱数を発生させ、それと対応するサブプロット番号を選択した(図1)。サブプロットの中央を基準にサンプリングを行なったが、樹木の根や石がある場合は採取地点をずらした。土壌サンプルの採取には金杵(15cm×15cm×5cm)とスコップ、根切りなどを使用し、リター層、土壌0cm~5cm層、土壌5cm~10cm層の3層に細分した。埋土種子調査用の4種の土壌サンプルと予備を合わせて5反復採取した。土壌サンプルは低温処理と無処理温度処理を組み合わせた2種を用意した。使用した低温処理用のサンプルは5℃に設定した冷暗所で約3週間保管した。

発芽試験

埋土種子構成の推定には発芽試験法を用いた。発芽試験法とは、採取土壌を適当条件下で放置し、発芽した個体を記録することにより、埋土種子集団の推定を行なうものである(露崎1990)。発芽試験は、長野県南佐久郡南牧村にあるハヶ岳演習林第5林班内のファイロンハウス(以下、ハヶ岳)で行なった。播き出し開始日時は無処理サンプルが2010年8月26日、低温処理サンプルが同年9月16日、観察終了日時は両者とも2011年8月1日であった。

土壌サンプルは、赤玉土を4cmの厚さに敷いた上にパーミキュライトを厚さ3cmに敷き詰めたプランター(容積:10ℓ, 56cm×15cm×15cm)の中に、土壌の厚さが均等になるように撒いた。外部からの種子混入を防ぐために、遮光率33.5%の白色不織布でプランターを覆い、プランター内の乾燥を防ぐため、適宜水道水による灌水を行なった。2010年8月から11月の間に発芽試験による観察を行ない、プランター内で発芽した実生の個体数の測定とそれぞれの種の同定を行なった。なお、ハヶ岳で個体数のカウントを行なった日時は、無処理サンプルが2010年9月6日、同月17日、10月21日、11月16日、2011年8月1日の計5回、低温サンプルが2010年10月21日と11月16日、2011年8月1日の3回であった。

播き出し土壌の温度環境を知るために、プランター内にUSBデータロガーを設置した。温度の測定はEL-USB-1(Lascar Electronics, イギリス)を使用して行なった。温度は一時間ごとに自動測定した。ハヶ岳における最高温度は37.5℃、最低温度は-15.0℃であった。ハヶ岳においては10月下旬で0℃近くまで土壌温度が低下する日がみられた(図2)。測定開始日時は2010年8月26日、終了日時は2011年7月28日であった。

種子散布状況の把握

2010年8月10日にカラマツ人工林と落葉広葉樹二次林の各プロット内で5地点ずつを選択し、シードトラップを設置した(図1)。開口面積0.15m²、深さ10cmのプラスチック容器に湿らせた脱脂綿を敷き詰め、小動物による種子の捕食を防ぐために容器の上部に金網をかけた。同年8月から11月の間、月に一度トラップ内の脱脂綿を捕捉種子ごと回収した。回収した脱脂綿は乾燥させた後、目視で確認出来た種子を脱脂綿から分離し、粒数の測定と種の同定を行なった。

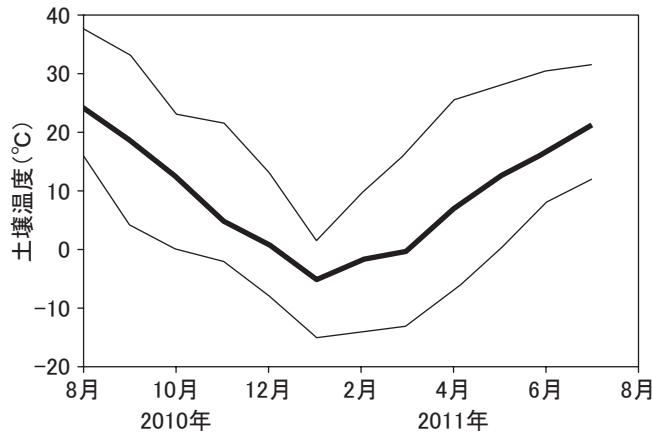


図2. 発芽試験期間のハヶ岳サンプルの土壤温度
上段が最高土壤温度，中段が平均土壤温度，下段が最低土壤温度を示す。

埋土種子集団の多様度指数

発芽試験法によって出現した埋土種子について、Shannon-Wienerの多様度指数 (H') (Shannon and Weaver 1949) を用いて種多様度を求めた。多様度指数 H' は、 $H' = -\sum P_i \log P_i$ で求められる。ただし P_i は、全体の個体数に対する種 i の個体数の割合であり、 \sum は $i = 1$ から種数 S までの数列和を示す。林分・温度処理・土壤層位の組み合わせごとに平均値と標準偏差を算出し、各調査区の種多様度とした。

結果

林床植生の種組成

植生調査の結果から、カラマツ人工林には41種、落葉広葉樹二次林には34種の植物を確認した (表2)。なお、出現した種の被度のほとんどが+ (プラス) であったため、表2では出現回数を用いた。カラマツ人工林と落葉広葉樹二次林を合計すると58種の植物が生育しており、そのうち17種が共通していた。カラマツ人工林で確認された下層植生の生活形の内訳は、木本種が8種 (高木3種、低木3種、つる性木本種2種)、多年草が24種、二年草が1種、一年草が2種、不明種が6種であった (図3)。ここで定義する木本種とは、稚樹のみ存在した種も含まれる。また、不明種とは属以上の分類階級までしか同定出来なかった種を指す。落葉広葉樹二次林では、木本種が5種 (高木1種、低木4種)、多年草が26種、不明種が3種であった (図3)。二つの林分の出現種は多年草が大部分を占めていた。高木層の実生や稚樹はカラマツ人工林でミヤマアオダモ、ウリハダカエデ、ミヤマザクラ、落葉広葉樹二次林でミズナラが確認された (表2)。

全天写真による二林分の光環境の比較では、カラマツ人工林の開空度が $36.14 \pm 9.86\%$ (平均値 \pm 標準偏差)、落葉広葉樹二次林が $39.06 \pm 9.48\%$ であった。二林分の開空度に違いはなく、林床の光環境に差異はみられなかった (Mann-WhitneyのU検定, $P > 0.05$)。

表2. 植生調査で出現した種とカラマツ人工林, 落葉広葉樹二次林それぞれで出現した回数
(出現回数/10地点) および二林分の合計出現回数 (出現回数/20地点)

種名	生活形	出現回数 (/10地点)		出現回数 (/20地点)
		カラマツ人工林	落葉広葉樹二次林	合計
タチツボスミレ	多年草	9	6	15
オヤマボクチ	多年草	5	9	14
ノガリヤス属sp.	多年草	9	4	13
タニタデ	多年草	7	4	11
アカショウマ	多年草	4	7	11
シモツケソウ	多年草	4	6	10
モミジイチゴ	低木	6	3	9
シダsp.	不明	4	5	9
シュロソウ	多年草	2	6	8
ミヤコザサ	多年草	1	7	8
アケボノスミレ	多年草	1	7	8
スゲ属sp.	不明	3	3	6
アザミ属sp.	不明	2	4	6
ミツバツチグリ	多年草	1	5	6
ギボウシ	多年草	2	3	5
ヤエムグラsp.	不明	4	0	4
シロヨメナ	多年草	2	2	4
エイザンスミレ	多年草	0	4	4
イラクサsp.	多年草	3	0	3
ミヤマウグイスカズラ	低木	3	0	3
タデ科sp.	不明	3	0	3
ギボウシ属sp.	多年草	0	3	3
ベニバナツクバネウツギ	低木	0	3	3
ミヤマアオダモ	高木	2	0	2
イタドリ	多年草	2	0	2
ハエドクソウ	多年草	2	0	2
ハンショウヅル	つる性木本	2	0	2
クサイチゴ	低木	2	0	2
カラマツソウ	多年草	1	1	2
ウスユキソウ	多年草	0	2	2
ヌスビトハギ	多年草	0	2	2
ヒナスミレ	多年草	0	2	2
サワフタギ	低木	0	2	2
ミヤマイボタ	低木	0	2	2

表2. 続き

タニソバ	一年草	1	0	1
ツリフネソウ	一年草	1	0	1
ウリハダカエデ	高木	1	0	1
ミヤマザクラ	高木	1	0	1
アカソsp. (カラムシ属)	多年草	1	0	1
アカネsp. (アカネ属)	多年草	1	0	1
アキノキリンソウ	多年草	1	0	1
オオバコsp. (オオバコ属)	多年草	1	0	1
サクラタデsp. (イヌタデ属)	多年草	1	0	1
ヒゲネワチガイソウ	多年草	1	0	1
メタカラコウ	多年草	1	0	1
ヤマノイモ	多年草	1	0	1
イワガラミ	つる性木本	1	0	1
ハナイカリ	二年草	1	0	1
マメ科sp.	不明	1	0	1
ミズナラ	高木	0	1	1
サラシナショウマsp. (サラシナショウマ属)	多年草	0	1	1
チゴユリ	多年草	0	1	1
ニリンソウ	多年草	0	1	1
フシグロセンノウ	多年草	0	1	1
ヨモギ	多年草	0	1	1
レイジンソウ	多年草	0	1	1
ワラビ	多年草	0	1	1
ワレモコウ	多年草	0	1	1
出現種数合計		41	34	58

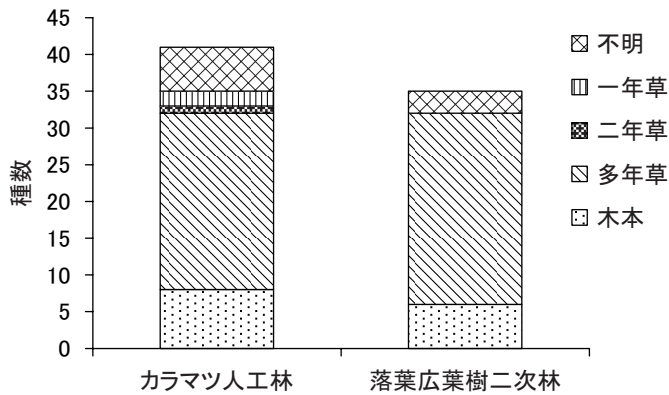
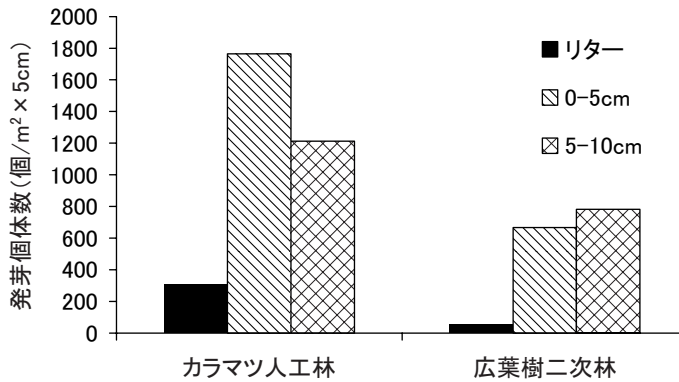


図3. カラマツ人工林, 落葉広葉樹二次林それぞれの植生調査結果に基づく林床植物の種数と生活形

埋土種子集団の個体数と種組成

播きだしを開始してからの経過時間を二ヶ月間に統一するため、無処理サンプルは2010年10月、低温処理サンプルは同年11月に観察した個体数を示す(図4)。無処理・カラマツ人工林は3284.4個/m²×5cm、無処理・落葉広葉樹二次林は1502.2個/m²×5cm、低温処理・カラマツ人工林は3466.7個/m²×5cm、低温処理・落葉広葉樹二次林は1328.9個/m²×5cmであった。総発芽個体数は無処理と低温処理の両方で、カラマツ人工林の方が広葉樹二次林より多かった(Mann-WhitneyのU検定, P<0.05)。しかし、この中には同定に使用せず個体数の測定のみ行なった実生が多数含まれる。そのため、総発芽個体数(図4)と同定個体数(図5)が異なる結果となった。

a) 無処理サンプル



b) 低温処理サンプル

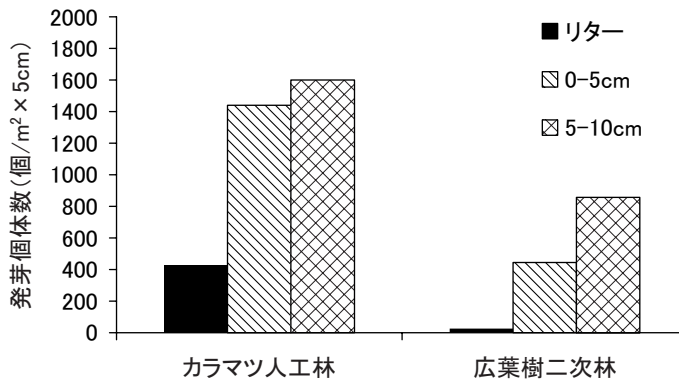
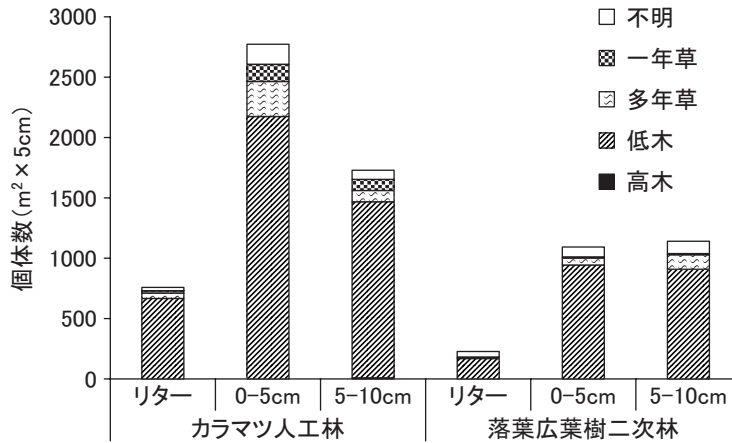


図4. 無処理・低温処理における層位ごとの二ヶ月間の積算発芽個体数(個体数/m²×5cm)

a) 無処理サンプル



b) 低温処理サンプル

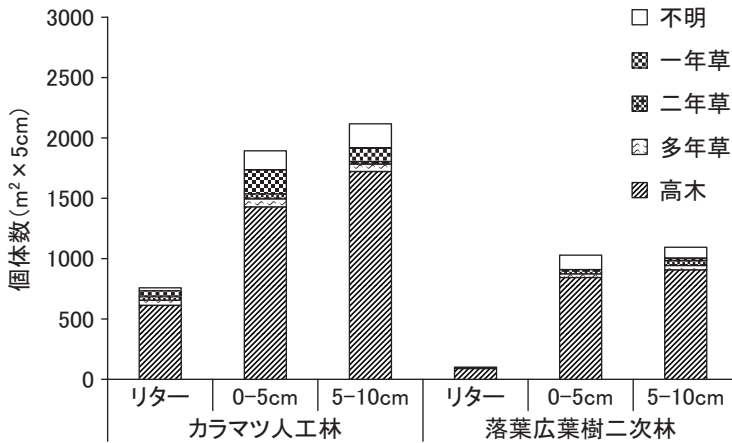


図5. 同定個体の生活形構成

不明とは科レベルまでしか同定できなかったため生活形が特定できなかった個体を指す。

同定に使用した実生の個体数および同定できた種数は無処理・カラマツ人工林は5992.6個/m² × 5 cmで22種，無処理・落葉広葉樹二次林は2823.6個/m² × 5 cmで17種，低温処理・カラマツ人工林は5294個/m² × 5 cmで17種，低温処理・落葉広葉樹二次林は2536.8個/m² × 5 cmで8種であった(表3 a, b)。総ての林分・温度処理で低木種であるキイチゴ属が優占しており(図5)，同定種内の個体数の割合は70%以上であった。層位を分けずにみると，キイチゴ属以外の優占種は，無処理，低温処理両方のカラマツ人工林においてはタニソバであり，同定種内の割合はそれぞれ全体の4.5%，7.1%であった。このとき単子葉spp.の割合が高かったが，これには複数種が含まれるため優占種とみなすことができなかった。無処理・低温処理の両方で落葉広葉樹二次林はカラマツ人工林と比較し単子葉植物の発芽数が特異的に多いという特徴が見られた。

表3. カラマツ人工林と広葉樹二次林における埋土種子集団の土壌層位ごとの構成種と個体数
個体数は総て $m^2 \times 5\text{ cm}$ に換算した。

a) 無処理サンプル

生活形	種名	カラマツ			落葉広葉樹二次林		
		リター	0-5 cm	5-10cm	リター	0-5 cm	5-10cm
高木	カバノキ科sp.	4.4	0.0	8.9	—	4.4	—
低木	モミジイチゴ	643.7	2113.1	1369.6	171.8	922.6	892.3
低木	キイチゴ属sp.1	13.3	48.9	71.1	—	17.8	17.8
低木	キイチゴ属sp.2	—	8.9	17.8	—	—	—
多年草	カタバミ	—	26.7	22.1	—	—	26.5
多年草	エイザンスミレ	—	4.4	—	—	4.4	8.8
多年草	フモトスミレ	4.4	—	—	—	—	4.4
多年草	オヤマボクチ	—	—	4.4	—	—	4.4
多年草	スズメノヤリ	—	—	—	—	—	4.4
多年草	ネジバナ	—	—	—	—	—	4.4
多年草	アキノタムラソウ	—	4.4	—	—	—	—
多年草	ウド	—	13.3	—	—	—	—
多年草	オトコエシ	—	44.4	—	—	—	—
多年草	クルマバナ	—	137.8	—	—	—	—
多年草	タチツボスミレ	26.4	30.9	31.0	8.8	30.8	17.6
多年草	ヤマニガナ	4.4	17.6	17.6	—	8.8	52.8
多年草	ヤマホタルブクロ	—	13.3	4.4	—	8.9	—
多年草	ヨモギ	17.7	4.4	13.2	—	—	—
一年草	シロザ	—	4.4	—	—	—	—
一年草	タニソバ	13.2	133.0	92.8	—	13.2	4.4
一年草	スベリヒユ	—	—	—	4.4	—	—
不明	単子葉spp.	26.4	154.1	74.8	35.2	79.3	97.2
不明	キク科sp.1	4.4	—	—	4.4	—	—
不明	シソ科sp.1	—	—	4.4	—	—	4.4
不明	シソ科sp.2	4.4	8.9	—	—	—	—
層位ごとの合計		874.0	2999.7	2118.9	242.5	1232.5	1348.6
総合計				5992.6			2823.6
層位ごとの種数		11	18	13	5	9	13
総種数				22			17

表3. 続き

b) 低温処理サンプル

生活形	種名	カラマツ			落葉広葉樹二次林		
		リター	0-5cm	5-10cm	リター	0-5cm	5-10cm
低木	モミジイチゴ	612.0	1401.3	1652.9	88.0	841.9	832.5
低木	キイチゴ属sp.1	—	22.2	62.2	—	4.4	66.7
低木	キイチゴ属sp.2	—	4.4	—	—	—	13.3
多年草	スマレ属spp.	4.4	8.9	17.8	—	—	—
多年草	カタバミ	4.4	8.8	4.4	—	8.8	4.4
多年草	タチツボスマレ	26.4	26.4	35.2	4.4	13.2	26.4
多年草	フモトスマレ	8.9	—	—	—	—	—
多年草	エイザンスミレ	—	—	—	—	8.8	4.4
多年草	ヤマホタルブクロ	—	—	4.4	—	—	4.4
多年草	ヨモギ	—	8.9	—	—	—	—
多年草	アザミ属sp.	—	—	4.4	—	—	—
多年草	オヤマボクチ	—	—	—	—	8.8	—
多年草	イタドリ	4.4	13.2	—	—	—	—
二年草	オオイヌノフグリ	22.2	35.6	22.2	—	4.4	4.4
二年草	ヤマニガナ	4.4	13.2	8.8	—	17.6	26.4
一年草	タニソバ	52.8	184.9	101.4	—	—	22.0
一年草	アキノタムラソウ	0.0	4.4	—	—	—	—
不明	単子葉spp.	22.0	162.9	180.6	13.2	123.4	92.5
不明	キク科sp.2	4.4	—	—	—	—	—
不明	キク科sp.3	—	—	13.3	—	—	—
不明	キク科sp.4	—	—	4.4	—	—	—
不明	キク科sp.5	—	—	—	4.4	—	—
層位ごとの合計		811.0	2121.8	2361.2	114.5	1173.6	1248.7
総合計				5294.0			2536.8
層位ごとの種数		12	13	13	4	9	11
総種数				19			13

表4. シードトラップによる3ヶ月間の積算回収種子数(種子数/m²)

種名	カラマツ人工林		落葉広葉樹二次林	
	種子数/m ²	割合(%)	種子数/m ²	割合(%)
シラカンバ	39.4	29.3	2.7	2.4
ススキ	1.4	1.0	63.9	55.3
ダケカンバ	62.5	46.5	13.6	11.8
ミズナラ	—	—	5.4	4.7
不明	31.3	23.2	29.9	25.9
合計種子数	134.5	100	115.5	100

発芽試験よりリター層・土壌層(0~5cm・5~10cmの両方を合計)それぞれの出現種の特徴を細かくみると、無処理・カラマツ人工林において土壌層とリター層で共通して発芽した主な種はカバノキ科sp.・モミジイチゴ・キイチゴ属sp.1・ヨモギであった。また、リター層からのみ発芽が確認された主な種はフモトスマレであり、土壌層と比較すると種数および発芽数は少なかった。一方、土壌層からのみ発芽した種はリター層に比べると多く、主要な種はカタバミ、オトコエシ、クルマバナ、タチツボスマレ、ヤマホタルブクロ、タニソバであった。低温処理・カラマツ人工林の土壌層とリター層においての共通種はモミジイチゴ、スマレ属spp., タチツボスマレ、オオイヌノフグリであった。また、リター層からのみ発芽した種は無処理サンプルと同様にフモトスマレが特徴的であった。土壌層からのみ発芽した主な種はキイチゴ属sp.1・タニソバ・カタバミ・ヨモギなどがあげられる。

落葉広葉樹二次林では全体的に見て土壌層に比べリター層からの発芽数が少なかった。リター層・土壌層に共通して発芽した種は無処理でモミジイチゴの一種のみで低温処理においては共通種が見られなかった。また、無処理においてリター層のみに発芽した種で特異的な種は見られず、キイチゴ属sp.1・カタバミ・ヤマホタルブクロが土壌層でのみ発芽が確認された。低温処理においてはリター層からの発芽がほとんどなく、土壌層からのみ特異的に発芽した種も少なかった。

種子散布の個体数と種組成

2010年8月から11月の3ヶ月間でカラマツ人工林では1トラップあたり19.80±5.91粒/トラップ(平均値±標準偏差、以下同様)、落葉広葉樹二次林では平均16.60±13.09粒/トラップの種子が捕獲された。3ヶ月間の積算回収種子数を単位面積あたりに換算すると、カラマツ人工林が134.5粒/m²、落葉広葉樹二次林が115.5粒/m²であり(表4)、カラマツ人工林と落葉広葉樹二次林の3ヶ月間の散布種子数に違いは見られなかった(Mann-WhitneyのU検定、P>0.05)。

同定出来た種は計4種であり、3種が木本種のシラカンバ、ダケカンバ、ミズナラ、1種が草本種のススキであった。ミズナラは落葉広葉樹二次林のみで、他の3種は両林分で確認された。また、カラマツ人工林においてはダケカンバ・シラカンバの積算回収種子数がそれぞれ62.5粒/m²(全体の46.5%)・39.4粒/m²(全体の29.3%)であり、両者を合計すると75.8%を占めていた(表

4)。落葉広葉樹二次林ではススキの種子が最も多く63.9粒/m²であり、合計種子数の55%を占めていた（表4）。

埋土種子集団・下層植生・散布種子の共通種

埋土種子と下層植生との共通種は、カラマツ人工林・無処理サンプルでモミジイチゴ、アキノタムラソウ、オヤマボクチ、タチツボスミレ、タニソバの5種であった。低温サンプルとの共通種はモミジイチゴ、アキノタムラソウ、タチツボスミレ、タニソバの4種であった。落葉広葉樹二次林・無処理サンプルとの共通種は3種で、モミジイチゴ、オヤマボクチ、タチツボスミレであった。低温サンプルとの共通種はモミジイチゴの一種であった。総てのサンプルで下層植生と共通していた種はモミジイチゴであった（表2、3）。

埋土種子と散布種子との共通種はカラマツ人工林・落葉広葉樹二次林の両方でカバノキ科sp.のみであった（表3、4）。なお、散布種子として捕捉されたシラカンバ・ダケカンバはカバノキ科sp.として扱った。

散布種子と下層植生との共通種は、落葉広葉樹二次林でミズナラ一種のみであった。カラマツ人工林における共通種はみられなかった（表2、4）。

埋土種子集団の多様度指数

温度処理・林分・層位の組み合わせごとにShannon-Wienerの多様度指数を算出した（表5）。算出した値の中で無処理・カラマツ人工林・5～10cmの組み合わせの1.34±0.45（平均値±標準偏差、以下同様）が最も高く、低温処理・落葉広葉樹二次林・リター層の0.00±0.00が最も低い結果となった。

表5. 処理・林分・土壌層位ごとに分けて算出した多様度指数

土壌層位	無 処 理		低 温	
	カラマツ	二次林	カラマツ	二次林
リター	0.58±0.46	0.22±0.44	0.56±0.50	0.00±0.00
0～5 cm	1.16±0.23	0.81±0.48	1.13±0.37	0.37±0.47
5～10cm	1.34±0.45	1.01±0.41	1.21±0.25	0.72±0.42

※値は平均±標準偏差

考察

埋土種子集団の種数と個体数

無処理・カラマツ人工林が3057.8個/m²×5 cmで21種、無処理・落葉広葉樹二次林が1195.6個/m²×5 cmで15種（表3）という結果であった。同じ生育期間（二ヶ月間）の個体数で比較したと、個体数・種数を考慮すると、カラマツ人工林の方が落葉広葉樹二次林よりも埋土種子集

団が豊富であると結論付けた。木佐貫ほか（2002）は天然生ブナ林とそれに隣接するヒノキ人工林の埋土種子集団を比較すると、種数・個体数ともに両林分間で違いはなかったこと、川西ほか（2007）はスギ人工林と隣接する広葉樹二次林では埋土種子集団の種数・個体数に有意差がなかったことをそれぞれ報告している。そのため、先行研究では広葉樹が隣接する人工林では、広葉樹と同程度の個体数・種数をもつ埋土種子集団が形成されるとされていたが本研究では異なる傾向がみられた。

埋土種子は土の表面に近いほど多く、深くなるに従って指数関数的に減少することが知られている（沼田ほか 1964）。しかし、本研究では前述の先行研究と同じ傾向が見られたものは、無処理・カラマツ人工林のみであった（図3a）。その他の組み合わせのサンプルでは5～10cmの層が0～5cmの層よりも発芽数が多かった。カラマツ人工林においては低温処理を施すと0～5cmの層の発芽数が減少し、5～10cmの層が増加するという変化がみられた（図4b）。土壌層位における発芽数の傾向は変化した、発芽総数には変化が無かったことからカラマツ人工林の埋土種子集団には低温処理が何らかの影響を及ぼし層位ごとの発芽数の内訳を変化させたといえるだろう。一方、落葉広葉樹二次林においては無処理・低温処理共に5～10cmの層が最も発芽数が多いこと、発芽総数に大きな違いがないことなどから、0～5cmの層の方が5～10cmの層よりも発芽可能な埋土種子量が少なかったことがわかったが、もともとの種子量が少ないのかあるいは発芽出来ない種子量が多いのかなどについては検討できなかった。

カラマツ人工林の埋土種子の個体数が多かった要因の一つとして、カラマツ人工林のリター層が埋土種子の発芽を抑制し、休眠種子を増加させていることが推測される。リター層は植物の発芽の障害となって、その厚さが厚いほど発芽個体数が減少することから（Sydes and Grime 1981）、カラマツ人工林内で休眠したままの種子が適切な環境下での発芽試験で多く発芽し、結果として埋土種子の個体数を増加させたのではないかと考えた。また、落葉広葉樹二次林における埋土種子集団の形成には地形が負の影響を与えていることが示唆された。調査地である両林分は50m以内に近接しているが、広葉樹二次林は斜面の上部で、カラマツ人工林が斜面の中腹といった位置関係にある。広葉樹二次林が存在する位置は尾根近くで、カラマツ人工林よりも雨や風の影響をより強く受けやすい。埋土種子の多くは重力によって、より低い緩傾斜部分に集中することからも（山瀬・関岡 2007）、落葉広葉樹二次林の斜面上部の地点は埋土種子が流失し易い地点であると考えられる。

埋土種子集団の種組成の比較

カラマツ人工林、落葉広葉樹二次林それぞれの林分の種数を比較すると、無処理サンプルではカラマツ人工林のみに出現した種が10種、落葉広葉樹二次林のみが4種、共通種が11種であった。発芽個体数が少ない種も見られたが、落葉広葉樹二次林に出現した種の半分以上がカラマツ人工林にも出現しており、両林分の出現種はよく似ていた（表3a）。両林分の埋土種子集団は、種数において多年草の占める割合が高いこと、個体数において低木種であるキイチゴ属の占める割合が高いことが共通していた。また、カラマツ人工林と落葉広葉樹二次林の両林分においてオオイ

ヌノフグリは低温処理を施したサンプルでのみ特異的に発芽した種であり（表3b）、低温処理により休眠が解除された可能性が高い。その他の低温処理サンプルは同定可能な個体数が少なかったため、種構成の比較には用いなかった。人工林の埋土種子に関しては、草本や低木種の個体数が多いという報告が多いこと（酒井ほか 2000, 五十嵐ほか 2000）、また、人工林の埋土種子の種組成は、林外から侵入したキイチゴ属、ウルシ属や林内で種子生産するスミレ属の埋土種子が目立つこと（中越 1981）から、カラマツ人工林に関しては先行研究に適った人工林の種組成であったといえる。

散布種子の特徴

カラマツ人工林内ではシラカンバやダケカンバなどのカバノキ科の種子が多く捕捉できたが（表4）、落葉広葉樹二次林には母樹となり得る個体は存在しなかった（表1）。カバノキ科樹木の種子は重量の小さな風散布種子であるため（清和・菊沢 1989）、近接する林分から飛散された種子であると考えられる。調査を行なった時期が9月から11月のみであったため捕捉できた種が極端に偏った可能性があり、年間を通した散布種子の動態を知るためには、春から夏にかけての継続的な調査を行なうことが必要だろう。

本研究ではカバノキ科の散布種子量は $39.4粒/m^2 \cdot 62.5粒/m^2$ であったのに対し、埋土種子数は $4.4個体/m^2 \times 5cm$ と埋土種子量が低く見積もられた結果となった。シラカンバ及びダケカンバの種子は土壤中で2～3年は発芽能力を保つことができることから（森 1981）、カバノキ科樹木の種子が埋土種子集団を作ることは十分可能であると予想される。そのため、観察期間の延長によりカバノキ科樹木の発芽数が増加するかもしれない。落葉広葉樹二次林ではススキの種子が多く捕捉されたが、埋土種子集団には全く含まれていなかった。キク科及びイネ科の中には種子散布の直後に発芽する種が多いこと（Grime *et al.* 1981）からイネ科の一種であるススキも休眠せずに発芽してしまうことが多いのだろう。従って、ススキは散布種子としては多数検出されたが埋土種子としては検出されなかったと考えられる。

森林管理後の下層植生の予測

本研究の結果では、下層植生に存在しない多くの種の種子が埋土種子集団として残存し、かつ発芽能力も失っていないことが示唆された（表1, 2）。また、カラマツ以外の数種の散布種子の検出も行うことができたため、カラマツ人工林では攪乱等で周辺環境の変化が起きた時に、下層植生に存在しない種が発芽し、埋土種子が下層植生の変化に寄与する可能性は高い。下層植生と埋土種子集団の両方で検出された種の中では低木のキイチゴ属の発芽数が最も高かった。キイチゴ属の種は無処理・低温処理の両方で発芽数が多かったことより（表3）適切な環境条件がそろえば容易に発芽可能であろう。キイチゴ属の樹種は低木で、一般的な有用木ではない。将来的に林冠木を構成する可能性のある高木種の導入やその他有用樹種の新規加入を目指すなら、散布種子由来の植物の発芽・定着を促すためにリター層を除去し地表面を露出させたり、目的樹種の苗木を植栽したりするなどの人為的な管理が必要であろう。

謝辞

本研究を行なうにあたり筑波大学生命環境科学研究科の中村徹教授と上條隆志准教授には研究を進める過程での確なご助言を頂きました。また、筑波大学農林技術センター八ヶ岳演習林の井波明宏氏と杉山昌典氏をはじめ、筑波大学森林生態環境学研究室の多くの皆さまには野外調査の支援をいただきました。記して感謝いたします。

引用文献

- Braun-Blanquet J. (1964) Pflanzensozioologie. 865. Springer-Verlag, Wien.
- Grime JP, Mason G, Curtis AV, Rodman J, Band SR, Mowforth MAG, Neal AM, Shaw S. (1981) A comparative-study of germination characteristics in a local flora. *Journal of Ecology* 69: 1017-1059.
- 林一六 (1977) 埋土種子集団. 群落の遷移とその機構, 沼田真 (編). 193-204. 朝倉書店, 東京.
- 五十嵐哲也・竹内郁雄・奥田史郎・伊藤武治 (2000) ヒノキ人工林の埋土種子集団. 第111回日本林学会大会学術講演集, 145p.
- 川西基博・崎尾均・米林伸 (2007) 実生出現法によるスギ植林地と広葉樹二次林の埋土種子集団の比較. *地球環境研究* 9: 31-41.
- 木佐貫博光・巾高志・武田明正 (2002) 天然林と人工林における林床植生および埋土種子集団の種組成の比較. *中部森林研究* 50: 37-38.
- 森徳典 (1981) 日本の樹木種子<広葉樹編> (浅川澄彦・勝田柁編). 林木育種協会, 東京.
- 中越信和 (1981) 森林の下の土に埋もれている種子群. (沼田真編) 「種子の科学—生態学の立場から—」 101-124. 研成社, 東京.
- 沼田真・林一六・小村登志子・大木薫 (1964) 遷移からみた埋土種子集団の解析 I. *日本生態学会誌* 14:207-215.
- 酒井敦・田淵隆一・酒井武・倉本恵生 (2000) 林齢の異なる人工林における埋土種子の組成と分布パターン. 第111回日本林学会大会学術講演集, 144p.
- Sakai A, Sato S, Sakai T, Kuramoto S, Tabuchi R. (2005) A soil seed bank in a mature conifer plantation and establishment of seedlings after clear-cutting in Southwest Japan. *Journal of Forest Research* 10: 295-304.
- 清和研二・菊沢喜八郎 (1989) 落葉広葉樹の種子重と当年生稚苗の季節的伸長様式. *日本生態学会誌* 39: 5-15.
- Shannon CE, Weaver W. (1949) The mathematical theory of communication. University of Illinois Press, Chicago.
- Sydes C, Grime JP. (1981) Effects of tree leaf litter on herbaceous vegetation in deciduous woodland. 1. Field investigations. *Journal of Ecology* 69: 237-248.

竹中明夫 CanopOn2. <http://takenaka-akio.org/etc/canopon2/index.html> (Last accessed: 28 November 2011)

露崎史朗 (1990) 埋土種子集団の研究法, 種子の教材活用. 生物教材 25: 9-20.

山瀬敬太郎・関岡裕明 (2007) スギ林内の連続斜面における埋土種子の分布 (〈特集〉第38回大会). 日本緑化工学会誌 33: 187-190.

Summary

Buried seeds were expected to reflect a potentiality of understorey vegetation in a managed forest such as artificial forest. This paper aimed to compare the differences of soil seed banks between a larch plantation and a secondary deciduous broad-leaved forest adjacent to the larch plantation for understanding potential vegetation on understorey. Soil samples were collected from stands from larch plantation and adjacent to a secondary deciduous broad-leaved forest of the Kawakami Forest, Agricultural and Forestry Research Center, University of Tsukuba, central Japan. Buried seeds were observed by germination test throughout the growing season, and fallen seeds were collected by seed traps installed at the both stands in 2010. Most of germinated seeds were perennial herbs in both stands while only four individuals of woody species of Betulaceae were observed in larch-plantation stand. The collected seeds by seed traps in the larch stand were dominated in woody species of Betulaceae, shared 77 % in total. Few common species between buried seeds and actual vegetation of both stands were recognized. Total numbers of germinated seeds and species diversity in the larch stand were higher than secondary deciduous broad-leaved stand. Species composition of the buried seeds in the larch stand consisted of many species that were not observed on actual understorey vegetation. It was suggested that potential vegetation on understorey of the larch stand would change from actual status to managed one.

(2012年2月2日 受理)