



道総研

光珠内季報

- ・カラマツ枯損被害の把握のための無人航空機の活用
—空撮時期と飛行高度の検討—

小野寺賢介・徳田佐和子・和田尚之 …………… 1

- ・育苗用培土から出る雑草に要注意

新田紀敏・成田あゆ …………… 5

- ・自走式刈払い機（山もっとモット）による列間刈り後の
トドマツ苗木の成長
—トドマツ造林地での先行試験—

渡辺一郎 …………… 10

サルナシ（雌株）

地方独立行政法人

北海道立総合研究機構

森林研究本部 林業試験場

NO. 206

2023. 3

イタヤカエデ

カラマツ枯損被害の把握のための無人航空機の活用 —空撮時期と飛行高度の検討—

小野寺賢介・徳田佐和子・和田尚之

広範囲で発生したカラマツ枯損被害を UAV で 6～8 月に月一回空撮し早期把握を試みました。枯死前の樹冠変色は 7～8 月に多く観察され、変色期間は半数以上の枯死木で約 1 ヶ月でした。高度 500m から空撮しても枯死木の識別精度は高く、広範囲の被害を把握可能でした。

育苗用培土から出る雑草に要注意

新田紀敏・成田あゆ

今後コンテナ苗木が普及すると見込まれることを踏まえ、育苗培土から発生する雑草を調査しました。その結果、日本ではあまり知られていない植物を含めて 4 種が同定され、外来と推定されました。このような雑草を野外へ逸出させない注意が必要です。

自走式刈払い機（山もっとモット）による列間刈り後のトドマツ苗木の成長 —トドマツ造林地での先行試験—

渡辺一郎

自走式刈払い機の作業効率を最優先に考えた「列間刈り」（植栽列間だけの雑草木を刈払う）がトドマツ苗木へ与える影響について、「苗木の生残」と「苗高成長」からみてみました。2 生育期間の観察から、苗木の生残数に変化はみられませんでした。苗高成長については、雑草木が苗高を超えた状態にある苗木については成長が抑えられる可能性があります。

カラマツ枯損被害の把握のための無人航空機の活用

－空撮時期と飛行高度の検討－

小野寺賢介・徳田佐和子・和田尚之

はじめに

無人航空機（以下、UAV）の活用が様々な分野で進んでいます。森林保護においても、突然大発生する病虫害への対策において UAV の活用が期待されています。空中から森林を広域監視できるリモートセンシングの分野では、これまで人工衛星や有人航空機が用いられてきました。しかし、運用コストが非常に高い、必要な時期の写真が手に入るとは限らない、解像度が低くて被害を判別できないことがある、等の問題がありました。UAV はこうしたリモートセンシングの課題を解消できる可能性のあるツールとして注目されています。

UAVで病虫害を把握するための課題

森林害虫は広大なエリアのどこかで、予告なく大発生します。対策が遅れて被害が拡大してしまうと、駆除等に係る労力が増大してしまうので被害の早期把握が重要です。広域の森林で被害を効率的に監視あるいは把握するためには、低コストでありながら十分な精度で被害木を発見できる調査技術が必要です。被害調査にかかるコストを抑えるためには、適切な時期に調査を実施する計画が必須です。また、被害木が数本程度の小規模な被害も見落とすことのない精度で広域を短期間で把握できる技術を開発することが大切です。

被害調査の計画において注意が必要なのは、害虫が発生する時期と被害を認識できる時期が同じであるとは限らないことです。例えばカラマツヤツバキクイムシ（以下カラマツヤツバ）被害の場合、カラマツヤツバは春から活動を始めますが、UAV で観察できるような異常がすぐにカラマツに発現するわけではありません。被害を容易に発見できる時期を明らかにしておかないと効率的な被害把握ができません。

調査の精度については、容易に低空を飛行可能な UAV なら解像度の高い画像で小規模な被害を発見することが可能です。一方で飛行高度が低すぎると撮影範囲が狭くなってしまいます。調査効率をあげるために、小規模な被害を識別可能な範囲で最適高度を決定することが重要になります。

カラマツの大規模枯損被害の発生

2016年に道東から大規模なカラマツ枯損被害が報告されました。このときのカラマツの枯損原因はカラマツヤツバと記録されています。2013年10月に発生した雪害、少雨による乾燥、カラマツハラアカハバチによる連年の葉食被害によって衰弱したカラマツが攻撃されたと推測しています。被害地は100km²以上の広範囲に散在していました。UAVを用いることで広域被害を効率的に把握できることが期待できました。そこで道総研林業試験場では被害地の空撮調査を実施し、効率的に被害を把握する方法を検討したので以下にその結果を報告します。

何月に空撮するとよいか

着葉期の空撮画像から枯損木を識別することは容易です。その中から新規に発生した枯損木を分類できれば、被害の進行状況も分かります。枯損木が多数確認できたとしても、そのほとんどが実は前年までに発生した古い枯損木である可能性もあります。前年の撮影画像と見比べることができれば新たに発生した枯損木の本数が分かりますが、そのような画像が手に入ることは稀です。

そこで、本調査では新規の枯損木を発見するために樹冠の変色に注目しました。カラマツヤツバによる被害を受けたカラマツの葉は、枯損に到る前に緑色から黄色を経て赤色に変色していきます（写真-1）。赤や黄色への変色が発生する季節や変色が継続する期間に空撮すれば新規被害木を分類できます。そこで、カラマツ樹冠の変色経過を追跡するために、2017年および2018年の6~8月に各月1度ずつカラマツ林を連続で空撮しました。空撮に使用したUAVはDJI社製Phantom4 proです。撮影時の飛行高度は149mで、搭載されているデジタルカメラを真下に向けて毎回定位置から同じ構図で撮影しました。この方法の場合、画像には約5haの範囲が入ります。空撮地点数は、2017年57地点、2018年63地点で、2年連続で撮影した地点もあるので、合計で92地点です。空撮に要した日数は、天候によって半日しか空撮できなかった日も含めて各月3~5日間でした。

連続撮影の画像から変色した樹冠の個体を追跡して、変色の発生月と持続期間を調べました。その結果、変色の発生数が最も多かった月は2017年で7月、2018年で8月であり、年によって異なることが分かりました（表-1）。2018年は変色した樹冠数が少なかったとはいえ、8月にしか変色が確認されませんでした。また、2017年の6~7月に変色が始まったカラマツのおよそ半数の樹冠については変色が1か月しか持続していませんでした（表-1）。北米においてキクイムシ類の攻撃を受けた常緑針葉樹では、葉が変色している期間が1~4年続くようです（Mikkelsen et al. 2013）。葉の変色の持続期間が短いカラマツは、他の針葉樹に比べて新規被害の発見が難しい樹種と言えるでしょう。なお、9月以降についてはカラマツハラアカハバチの葉食被害の発生によって樹冠の状態が分からなくなりました。年間に一度しか空撮できない場合、変色した樹冠を一番多く確認できる時期は2017年では7月でした（表-2）。2018年については8月にしか変色が発生しなかったため、8月の空撮が必須でした。このことから、年間に2回空撮できる場合は、7月と8月に空撮すれば変色した樹冠の確認数が最大になり効率的な被害調査が実施できたこととなります。

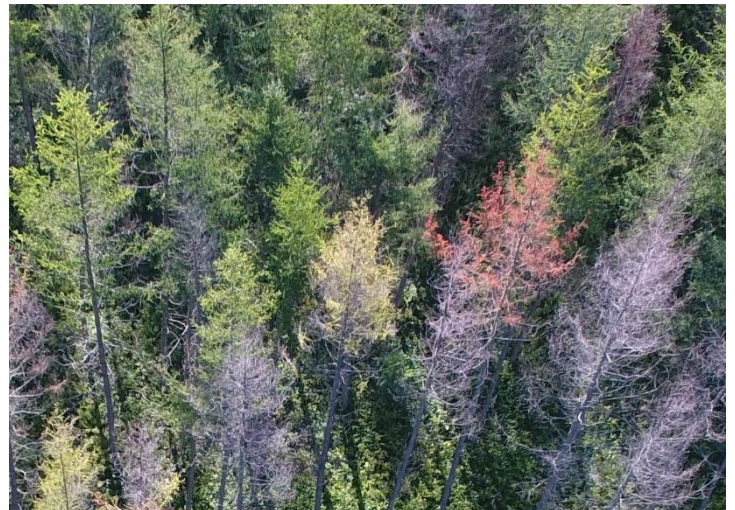


写真-1 樹冠が変色したカラマツ

緑色から黄色、赤色に変化した後に、灰白色の枝だけ残して落葉する。

表-1 2017年、2018年に変色が確認された樹冠のうち、変色の初確認月および変色が続いた期間別樹冠数

(2017年)	樹冠の変色が続いた期間				合計
	変色の初確認月	1か月	2か月	3か月	
6月	9	18	5	32	
7月	154	120	—	274	
8月	44	—	—	44	
合計	207	138	5	350	

(2018年)	樹冠の変色が続いた期間				合計
	変色の初確認月	1か月	2か月	3か月	
6月	0	0	0	0	
7月	0	0	—	0	
8月	33	—	—	33	
合計	33	0	0	33	

9月以降の状態はハバチ被害により不明。

適切な空撮高度は？

UAV の飛行が通常許可されている高度ぎりぎりの 149m からの空撮画像でも、カラマツの枝まで識別が可能なほど鮮明なので、樹冠の色による被害木の識別はまったく問題ありません。そこで、150m 以上の高度でも同じ精度で枯損木等の識別が可能なのか検討するために、高度 300m、500m から空撮を 11 地点で実施し、各高度で認識できた枯損木や変色した樹冠や生立木の数を比較しました。

高度 500m からの空撮画像では、撮影できる範囲が 149m の画像のおよそ 11 倍で約 55ha になり、樹冠がかなり小さく感じます。しかし、モニターで拡大してみると 500m からの画像でもカラマツの樹冠のみならず枝ぶりまで捉えることができます（写真-2）。今回の 11 地点で高度 150m から確認できたカラマツの平均本数は生立木 278 本、枯損木 77 本でした。150m での確認本数と 300m、500m での確認本数との差を誤差本数とすると、生立木、枯損木ともに誤差率（誤差本数/150m での確認本数）はおおむね 10~10% の範囲に収まりました（図-1）。一部の調査地では枯死木の誤差率が 20% に達しましたが、これは枯損後に時間の経過とともに枝が消失して幹だけになったような枯死木を見落としてしまうことがあるため、新しい枯死木に限定すると誤差は小さいと推測しています。精度の許容範囲はデータの使用目的により変わります。被害地における枯死木の本数割合を早急に把握するために、例えば被害を 10 段階程度で分類したい場合には実用に十分な精度と考えています。誤差率の中央値やばらつきは飛行高度の高い 500m の方が大きくなりました。誤認識が起きるのは、隣接している 2 本のカラマツの樹冠が融合して 1 本に見える場合や、一部の枝が枯れているが枯死してはいない個体が 500m からは枯死しているように見えた場合等がありました。

樹冠の色についても、150m 以上からの空撮画像で見間違いがありました。変色の度合いが小さい場合に正常な生立木に見える場合や、逆に生立木が変色しているように見える場合がありました。今回の調査地点では、高度 500m からの画像で赤変木を過剰にカウントし、黄変木を過小にカウントしていました（表-3）。特に黄変木については、変色が始まったばかりで黄緑色に見える樹冠と健全木の緑との識別が困難な場合がありました。赤変木については、変色後に時間経過と共に落葉が進

表-2 異なる空撮回数、飛行時期の計画で調査した場合に変色確認したと想定されるカラマツの樹冠数と全数に対する割合

(2017年)					
空撮回数	空撮した月			変色確認した樹冠数	全数に対する割合 (%)
	6	7	8		
1	○			32	9
1		○		297	85
1			○	169	48
2	○	○		306	87
2		○	○	341	97
2	○		○	196	56
3	○	○	○	350	100

(2018年)					
空撮回数	空撮した月			変色確認した樹冠数	全数に対する割合 (%)
	6	7	8		
1	○			0	0
1		○		0	0
1			○	33	100
2	○	○		0	0
2		○	○	33	100
2	○		○	33	100
3	○	○	○	33	100

○は該当月に空撮したことを意味する。



写真-2 高度 500m から空撮したカラマツ人工林の画像

黒い枠は 150m から空撮した場合に得られる画像の範囲を示す。

み赤色が薄くなった個体と枯死木の識別が困難な場合があります。

以上のように高度が上がるほど精度が若干低下しますが、広域の情報を取得する必要がある森林管理者にとって、150m 以上からの空撮を実施するメリットは大きいです。小班全体を一度に撮影範囲に収めることが出来れば、各小班の面積が分かっているので本数密度の算出も容易です。また、撮影範囲が広いので低空での空撮の場合に必要な画像を結合する手間が不要です。広葉樹と針葉樹の識別も 500m からの空撮であれば容易なので混交率の把握も容易です。

まとめ

UAV を利用して害虫による被害木を把握する方法について研究を進めてきました。今回の調査結果では、樹冠が変色した時期が年によって異なっていました。今後も調査事例を増やして変色する時期が異なる原因等を明らかにすることができれば、さらに効率的に調査できるようになるでしょう。広域の森林を監視するために、いかに効率的に飛行するかが重要です。150m 以上で空撮する場合のノウハウを今後も蓄積していく必要があると考えています。今回は、高度 500m において水平方向の移動はほとんど行いませんでした。好天時に垂直方向の上昇下降のみ行ったので、目視外飛行にもならず困難はまったくありませんでした。今後も森林ならではの UAV 運用・活用方法を検討していきます。

(保護種苗部保護グループ)

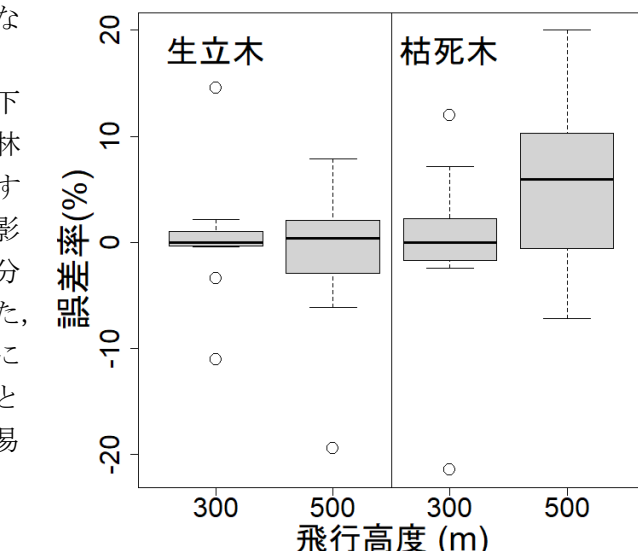


図-1 空撮高度の異なる画像を用いて識別したカラマツ生立木と枯死木の誤差

高度 150m からの空撮画像の識別数を真の値とした場合。

表-3 空撮高度により異なる赤変、黄変した樹冠の確認数

高度 (m)	赤変木	黄変木
500	43	10
300	36	13
150	38	16

※ 調査を実施した 11 地点の合計

引用文献

Mikkelsen KM, Bearup LA, Maxwell RM, Stednick JD, McCray JE, Sharp JO (2013) Bark beetle infestation impacts on nutrient cycling, water quality and interdependent hydrological effects. *Biogeochemistry* 115: 1–21

育苗用培土から出る雑草に要注意

新田紀敏・成田あゆ

はじめに

近年、造林用苗木はこれまでのいわゆる裸苗からコンテナ苗に移行しつつあります。林野庁によりますと全国の2019年山行苗生産量65百万本に対してコンテナ苗は約19百万本と、29%あまりを占めるに至り、今後も普及が進むと予想されています(林野庁2022)。造林用コンテナ苗が徐々に普及することによって、畑の土ではなくいわゆる育苗培土(以降は単に培土)を用いて苗木を育成することが多くなると見込まれます。そこで起こる問題の1つとして由来不明の雑草が発生することがあげられます。現在培土は、外国から輸入されるいわゆるココナツハスクを主体に国内でその他の資材を混合して調整されていますが、輸入資材の滅菌が不十分であると外来種を導入する危険があります。また培土は調整・袋詰め後、長距離を輸送されるため地域によっては国内移入が起こる可能性も否定できません。そこで培土から出る雑草を育成・同定する試験を行い、確認された植物種を記録しました。日本ではあまり知られていない植物も発生したため、外来種導入を防止するための参考資料として報告します。

材料と試験方法

試験体は一般的な調整方法で生産・市販され、多くの苗木生産者が使用していると考えられる、ココナツハスクを主体とした複数業者の培土を用いました。現在では培土は一般にココナツハスクを基本材料とし、鹿沼土・パーライト・バーミキュライト・赤玉土などを排水材料、堆肥などを調整培地として数種類の材料を混合して調整されています(小笠ら2021)。この中でパーライト・バーミキュライトなどは高温で焼成されるため植物の混入はないと考えられ、また鹿沼土・赤玉土も火山噴出物に由来するので植物の混入は少ないと考えられますが、そのほかの資材には多少なりとも種子や胞子が混入する可能性が考えられます。

主材料として多く用いられるココナツハスクは、ココナツ果実の堅い殻であるハスクを原料とし、マットやロープを作るために取られた繊維の残りを粉砕し、数年以上堆積、醗酵させた天然資材です。近年ピートモスに代わって土壌改良材として、世界中で利用されるようになりました。主産地はインド・スリランカなど熱帯諸国です(林野庁2020)。

試験は2020年4月23日から8月11日まで100日間行いました。培土は開封直後に飛来種子の混入を防ぐため新しいチャック付き袋に取り分け、試験開始時にカラマツ用コンテナ10穴分に相当する重量(680g)を育苗箱(35×27×7cm)に浅く敷き、農業用不織布で2重に覆って試験期間中の飛来種子混入を防止しました。温室内で25℃以上を保ち、ミスト灌水により適潤を維持しました(図-1)。発芽してきた植物は開花後採集し同定しました。実験後も同定のため一部の植物を結実まで栽培し続けました。採集した植物からさく葉標本作製し、道総研林業試験場で保管しているほか、北海道大学総合博物館標本庫に納めました。



図-1 発芽試験中の育苗箱の外観(左)と不織布をめくったところ(発生の多かった例)(右)

結果と考察

発生した植物で確実に同定できたのは次の4種でした。

アゼガヤツリ *Pycurus flavidus* (Retz.) T. Koyama (= *Cyperus flavidus* Retz.) (カヤツリグサ科) (図-2)

路傍や休耕田など湿地に生える1年草で、高さ50cmに達しません。国内に自生する一般的な植物なので、詳細な形態の記述は省きます。同定に用いた形質は次の点です。

柱頭が長く2岐する、瘦果は倒卵形・褐色で表面に微小な粒状突起があり、稜が小穂の中軸に向く、鱗片は広楕円形で円頭、中肋の先が微突端となる。本州～沖縄、中国、マレーシア、オーストラリア、インドからアフリカ、ヨーロッパまで広く分布(星野ら 2011, 谷城 2007)。

今回発生した植物の中では成長が遅く、多くの個体が約6か月かかって実験終了後に開花・結実しました。培土の調整を行っているメーカー所在地周辺に自生しているものが混入した可能性もありますが、熱帯地域を含めて広く分布しているため海外由来の種子である可能性もあります。形態としては葉の幅が最大2-5mmと広い傾向があるので国内の系統ではない可能性があります。国内由来としても、自生しない北海道へ輸送した場合は国内移入種となるので留意が必要となります。



図-2 アゼガヤツリの発生状況

ヒレタゴボウ *Ludwigia decurrens* Walter (アカバナ科) 別名アメリカミズキンバイ (図-3)

高さ1mになる1年草。茎は直立し、4稜がありほぼ無毛。葉は互生し、普通柄がなく、披針形～狭楕円形、長さ5-12cm、幅1.5-3cm、先は鋭形～鋭尖形、ほぼ全縁、基部は狭いくさび形で茎の稜に沿って流れる。花は夏～秋に咲き、4数性で、長さ数mmの柄があり腋生する。萼片は狭卵形、長さ7-10mm、ほぼ無毛。花弁は倒卵形、長さ8-12mmで、水平に開き、散りやすい。雄蕊は8本。蒴果は4稜あって四角柱状となり、長さ1-2cmで、無毛あるいは微毛がある。種子は長さ0.4mmほどで褐色。アメリカ合衆国南東部からアルゼンチン北部原産(大場 2003)。

アフリカ、フィリピン、フランスなどに移入されています(Zardini et al. 1999)。日本では1955年に四国で自生が確認され(村田 1956)、現在は本州～九州の水田などに見られます(米倉 2016)。

発芽後、倒伏した茎から盛んに発根し、そこから数cm間隔で新しい茎を立ち上げて叢生状となりました。温室内では約3か月で開花しましたが、結実の確認できませんでした。熱帯アメリカ原産ですが、本州以南に定着しているので今回の種子源が材料調達先の海外か培土調整地の国内かは特定できませんでした。種子で越冬するので、意図せぬ導入が繰り返されると北海道にも定着する可能性があるでしょう。



図-3 ヒレタゴボウの発生状況(左)と開花状況(右)

種子で越冬するので、意図せぬ導入が繰り返されると北海道にも定着する可能性があるでしょう。

ザクロソウ *Trigastrotheca stricta* (L.) Thulin (ザクロソウ科) (図-4)

畑地雑草で無毛の1年草。茎は根元からよく分枝して放射状に広がり、斜上して高さ30cmくらいになる。茎は細くて稜がある。葉は3-5枚偽輪生し、披針形または倒披針形、光沢があり、長さ1.5-4.5cmで1脈がある。花はまばらで7-10月に咲き、小さく細い花柄がある。苞は膜質。萼片は5個、楕円形で長さ1.5mm、円頭で1脈がある。雄蕊は3-5個、蒴果はほぼ球形で短い3花柱がある。種子は円腎形でやや平たく、全面に細かな突起がある。本州～琉球のほか東アジア～インド、太平洋諸島に分布(米倉 2017)。

発芽後、茎を放射状に伸ばすので広い範囲を覆ってしまうやっかいな雑草です。温室内では約3か月で開花・結実しました。日本の分布が在来か否か疑問もあるようですが(米倉・邑田 2012)、分布が広いと今回の種子源が材料調達先の海外か培土調整地の国内かは特定できませんでした。同じ科で外来種のクルマバザクロソウ *Mollugo verticillata* L. が最近北海道でも定着している(新田 2015)ことから、今後は北海道にも移入される可能性は高いと考えられます。



図-4 ザクロソウの発生状況

セイタカカナビキソウ *Scoparia dulcis* L. (オオバコ科) 別名シマカナビキソウ (図-5)

茎は直立し、高さ20-60cmになる。茎は分枝し、4稜形で少しざらつく。葉は対生、下部で時に3、4枚輪生し、厚い膜質。葉柄は長さ2-8mm、無毛。葉身は楕円形または楕円状披針形で長さ1.5-4cm、幅0.5-1.5cm、先端はやや鋭く、基部は狭く徐々に葉柄に移行する。鋭い鋸歯状で、両面無毛、下面は腺点があって中肋が隆起し、3-5対の湾曲した側脈がある。8-10月に開花し、葉腋に1-4個束生する。小花柄は長さ3-8mm、無毛。萼は鐘形、長さ1.5-2mm、無毛、ほぼ基部まで4裂。裂片は卵形で、先は尖り、縁に毛がある。花冠は放射状で、白く、長さ約3mm、深く4裂、外側は無毛、内側の基部近くを柔らかい毛が覆う。花弁は広楕円形で丸みを帯びる。雄蕊は4本でほぼ同長、長さ約3mm。花柱は糸状で長さ約1.5mm、柱頭は頭状。種子は楕円体、網目で覆われ、長さ約0.3mm。南米原産 (Yamazaki 1993)。

熱帯・亜熱帯アジア、アフリカ、オーストラリアには古くから移入されており (Bentham 1846)、1800年代には香港 (Bentham 1861)、インド (Hooker 1885) から、1950年代には沖縄 (初島・天野 1958) から野外定着の報告があります。

発芽後放置しておくと、根元から分枝して大きな株となりました。温室内では約3か月で開花し、稔性は不明ですが結実しました。

Web情報を検索した限りでは、室内で鉢植えに意図せず発生した例が見られ、これらも培土由来とすると培土調整用輸入資材に種子が入っているものがあつた可能性が考えられます。熱帯産資材としてはココナツハスクが代表的で、

主産地も本種が定着しているインド周辺ですので種子供給源として疑われます。現在のところ国内では、沖縄以外に屋外で越冬・繁殖した例はないようで、熱帯産であるため日本の大部分では越冬できないと考えられます。従って本種が外来種として九州以北に定着する可能性は低いと考えられますが、気候変動に伴って越冬可能な地域が北上する可能性もあります。



図-5 セイタカカナビキソウの発生状況 (左) と開花状況 (右)

外来種を導入・定着させないために

雑草の発生数は培土の使用規模により大きく変わると考えられるため、ここでは発生の多寡については議論しませんが、多少でも発生があるということは屋外に逸出させ、新たな外来種の導入元となる危険があります。特に造林用苗木の場合は、山林へ植栽するため野外逸出の原因となる可能性は高く、外来種への対策は同じように培土を利用するハウス栽培の農作物よりも慎重に行うべきでしょう。今回発生した植物には国内に分布するものもありますが、すべてココナツハスク生産国に自生するものであることがわかりました。このことは在来種と同種であっても移入されてきた可能性があり、国内の在来種の遺伝子汚染につながる恐れもあります。今後の研究と育苗から造林に至る現場で逸出させない努力が必要です。これまでのところ、培土由来の外来種が屋外で新たに定着した例は報告されていませんが、園芸用の輸入乾燥ミズゴケから発生したと考えられるカナダコウガイゼキショウ *Juncus canadensis* J.Gay ex Laharpe が屋外で定着した例があります(関口 2018, 新田 2020)。土壌改良に用いられているピートモスも泥炭を採掘・粉砕・乾燥させた天然資材であり、一部は北海道や東北地方などで生産されていますが、主にカナダ、北ヨーロッパ、ロシア、中国など冷温帯諸国から輸入されるので同じように注意が必要です。

今回発生した植物はザクロソウを除いていずれも一般的な畑地の雑草ではなく、海外から移入された可能性が考えられるものでした。この4種が同時に発生することが偶然とは考えにくく、熱帯地域のココナツハスク原産国から直接移入された種子か、輸入材料を保管している培土メーカーの作業場で発生・結実した種子が培土に混入していると考えられます。特にセイタカカナビキソウは国内では沖縄以外には定着していないとされていることから、熱帯のココナツハスク生産国由来であることはほぼ間違いありません。防除法もこれまでの雑草と同じとは限らず、まずは侵入を防ぐよう留意すべきです。培土メーカーにはこのような雑草の種子が混入しないよう作業場での雑草の発生に注意し、除草に努めてもらうこと、育苗現場では培土から雑草が発生した場合は、在来種でない可能性が高いので結実前に抜き取って確実に枯死させることが重要です。

謝辞

本研究は令和2年度課題対応型支援「トドマツ, カラマツコンテナ育苗培土育苗試験についての支援」により行ったものです。研究の機会と材料をご提供いただいた培土メーカーに感謝申し上げます。

(保護種苗部保護グループ, 育種育苗グループ)

引用文献

- Bentham G. (1846) SCROPHULARIACEAE. In: De Candolle A. P. (ed.), *Prodromus systematis naturalis regni vegetabilis* 10, 431. Victoris Masson, Paris
- Bentham G. (1861) *Flora Hongkongensis*. The Authority of Her Majesty's Secretary of State for the Colonies, London
- 初島住彦・天野鉄夫 (1958) 沖縄植物目録. 琉球大学研究普及部, 那覇
- Hooker J. D. (1885) *The Flora of British India* 4, L. Reeve, London
- 星野卓二・正木智美・西本眞理子 (2011) 日本カヤツリグサ科植物図譜. 平凡社, 東京
- 村田源 (1956) 新しい渡来植物. 植物分類・地理 16(3): 90
- 新田紀敏 (2015) 最も近場の植物採集. 北方山草 32: 79-80
- 新田紀敏 (2020) カナダコウガイゼキショウの道内初確認と導入経緯. 北方山草 37: 75-78
- 小笠真由美・藤井栄・飛田博順・山下直子・宇都木玄 (2021) 山林用針葉樹コンテナ苗における育苗方法の現状と課題—全国のコンテナ苗生産者に対するアンケート調査より—. 日本森林学会誌 103(2): 105-116
- 大場秀章 (2003) アカバナ科 ONAGRACEAE. 清水建美編, 日本の帰化植物, 143-149. 平凡社, 東京
- 林野庁 (2020) 平成31年度コンテナ苗生産技術等標準化に向けた調査委託事業報告書. 林野庁, 東京

- 林野庁 (2022) 林業種苗生産 <https://www.rinya.maff.go.jp/j/kanbatu/syubyou/syubyou.html> (2022年12月2日確認)
- 関口克巳 (2018) A097 イグサ科 *JUNCACEAE*. 神奈川県植物誌調査会編, 神奈川県植物誌, 387–398. 神奈川県植物誌調査会. 小田原
- Yamazaki T. (1993) SCROPHULARIACEAE. In: Iwatsuki K., Boufford D. E. and Ohba H. (eds.) Flora of Japan IIIa, 326–374. Kodansha, Tokyo
- 谷城勝弘 (2007) カヤツリグサ科入門図鑑. 全国農村教育協会, 東京
- 米倉浩司・邑田仁 (2012) 日本維管束植物目録. 北隆館, 東京
- 米倉浩司 (2016) アカバナ科 *ONAGRACEAE*. 大橋広好・門田裕一・邑田仁・米倉浩司・木原浩編, 改訂新版日本の野生植物 3, 262–270. 平凡社, 東京
- 米倉浩司 (2017) ザクロソウ科 *MOLLUGINACEAE*. 大橋広好・門田裕一・邑田仁・米倉浩司・木原浩編, 改訂新版日本の野生植物 4, 148–149. 平凡社, 東京
- Zardini E. M., Peng C. and Hoch P. C. (1999) *ONAGRACEAE* 1 *Ludwigia*. In: Iwatsuki K., Boufford D. E. and Ohba H. (eds.) Flora of Japan IIc, 224–228. Kodansha, Tokyo

自走式刈払い機（山もっとモット）による列間刈り後の トドマツ苗木の成長

—トドマツ造林地での先行試験—

渡辺一郎

はじめに

近年、自走式刈払い機を下刈り作業に活用しようとする試みが各地で行われ、国内外の刈払い機が林業機械展などで多数紹介されるようになりました。中には、伐根を破砕できるものもみられます（例えば、イタリア MDB 社製の LV-800）。著者もまた 3 年前に「光珠内季報」No. 194 に掲載された「続・小型自走式刈払い機は林地でどこまで使えるのか？—山もっとジョージの誕生—」の中で、伐根が残る造林地でも下刈りができる機械（山もっとジョージ（現在は「山もっとモット」に改名））について、その特徴と能力について報告しました。

しかし、これらの刈払い機は、総じて、肩掛け式刈払い機で行われているような“苗木の周りをきれいに刈る”ことは難しく、苗木の植栽列と植栽列との間（植栽列間）だけを直線的に刈り払う使い方（以後、「列間刈り」と称する）が最も効率的です（写真-1）。そのため苗木周囲を完全に空けるためには、肩掛け式刈払い機による補正刈り作業を一手間追加する必要があります。このような手間を承知の上で、なお、新たな自走式刈払い機導入への期待が大きいのは、それほど造林作業現場の人的環境（特に、熟練者数）が悪化していることの一つの表れです。

そのようなことが背景にあるためか、植栽列間のみを刈り払う自走式刈払い機「山もっとモット」（筑水キャニコム社製）による作業を見た事業者や大学の先生、行政関係者などからは“下刈りは苗木周囲を完全に空けるまでやる必要があるのだろうか？”という素朴な疑問が出てきました。曰く“植栽列間を刈っただけでも苗木の側面はかなり空くので風通しは良くなり、いわゆる

「蒸れ」による悪影響を小さくして枯死や苗木の成長低下を防げるのではないか”ということのようです。しかし、このような発想は自走式刈払い機を効率的に使いたいからこそ出てきたものであり、苗木間に雑草木を残した状態での苗木の生残や成長について調べられたケースはありません。苗木と雑草木との競合度合いは雑草木の種類によって異なります。また、苗木の樹種によっても生残や成長への影響は異なるでしょう。地位もまた苗木の成長や植生にも影響を与えそうです。いろいろなことを考えなければならないのですが、とりあえず、始めてみようということで、「山もっとモット」開発試験中に植栽列間だけを刈り払う試験を開始しました。トドマツという比較的耐陰性が高いとされる樹種であることも試験を始めやすくした要因の一つです。本報告では、それから 2 生育期間の経過と調査の過程で見つかった課題について報告します。



写真-1 山もっとモットによって植栽列間のみ
下刈りが行われたトドマツ造林地
(2020年7月14日)

試験概要

試験地の概要

試験地は、虻田郡京極町の民有林のトドマツ造林地に設定しました。ここは、2018年に「山もつとモット」を使った下刈り試験を行い、植栽列間の伐根を破碎した場所です。試験地の概要について表-1に示します。造林地の地形は尾根を走る林道からなだらかに下る緩傾斜地で、最大傾斜は27度です。2017年10月にトドマツが植栽され、列間刈り試験開始時（2019年7月）でのトドマツの苗高は約35cmでした。トドマツは、機械化作業を行うことを想定し、列状間伐時にハーベスタ作業がし

表-1 試験地概要

場 所	虻田郡京極町
標 高	350m
傾 斜	0～27度
斜面方位	南
主伐年	2016年3月（45～51年生）
地拵え年月	2017年6月
植栽年月（樹種）	2017年10月（トドマツ）
植栽間隔	列間：2.7m 苗間：2.0m

やすいように列間2.7m、苗間2.0mの少し広めの間隔で植栽されていました。植生は主伐前に優占していたクマイザサが林縁付近でしか目立たず、メマツヨイグサやエゾヨモギが全体に優占し（写真-2）、部分的にオオイタドリやアキタブキが優占していました。クマイザサが大きく減退したのは、機械地拵え（グラップルレーキ）による影響かもしれません。また、刈り残し部分では、地拵え後に萌芽更新してきたシラカンバやミズナラ、イヌコリヤナギなどの木本が調査期間中に少しずつ大きくなり目立つようになった箇所もみられました。



写真-2 下刈り直前のメマツヨイグサが優占した林地
(2021年7月12日)

下刈り方法

試験は5列の植栽列を対象としました（写真-3）。写真-3のほぼ中央部に丸数字で記した列になります。植栽列の長さは約80mです。そのうち、植栽列と植栽列の間だけを刈り払う列間刈り試験は①②③で示した植栽列です。直線状に刈り残された植生とともに植栽列が緑色の直線状で3本下方に向かって延びているのが分かるかと思えます。植栽列半ばで緑色がより一層鮮やかに見える部分はオオイタドリやアキタブキが繁茂している部分です。この3本の植栽列だけについて、列間刈りを3年間行いました。また、これら3列の両脇の植栽列を全刈り区（④⑤）とし比較対照とすることにしました。なお、念のために見間違えないように説明



写真-3 中央部のみ列間刈りにより植栽列部分が刈り残され、それ以外は全刈りされている
(2019年7月17日 UAVによる空撮)

を加えると、写真左側で斜めに伸びる一本の太い緑の帯は地拵え時に残材を寄せた廃根線で、これは植栽列ではありません。

列間刈りに用いた機械は、自走式刈払い機「山もつとモット」です(写真-4)。苗木からの刈り残し幅の目標値を50cm程度としました。刈払い機の刈幅が1.2mなので、植栽列間(2.7m)を往復して刈り払いました。苗木の両側をそれぞれ50cmずつ刈り残すので、仕上がりの見た目は刈り残し幅1mの苗木と雑草木により構成された緑の列ができた状態となります。

下刈りは年1回とし、いずれも7月中旬に実施しました(表-2)。なお、この下刈りスケジュールは現地で行われているものと同様で、こ

この林地に限って特別に1回刈りにしたわけではありません。2018年は全域で通常の下刈り作業(全刈り)を実施し、列間刈りは2019年以降に一部の植栽列(3列)で実施しました。2019年以降の周囲の全刈り作業は列間刈り実施を待って、その後およそ1週間以内に行われています。

ただし、本来は無下刈りの場所も設定したかったのですが、諸般の事情で設定できなかったことを付け加えておきます。



写真-4 列間刈り作業を行う山もつとモット
(2020年7月14日)

表-2 下刈り日程と下刈り方法

下刈り年月日	下刈り方法
2018年7月11日	全刈り
2019年7月16日	列間刈り
2020年7月14日	列間刈り
2021年7月13日	列間刈り

トドマツ苗木の生残と成長および雑草木との競合状態の測定方法

2019年から2021年までの3回、列間刈り後にトドマツ苗木の「生残」と「苗高成長量」と「雑草木との競合状態」について調査しました。調査は列間刈り実施時に行っています。雑草木とトドマツ苗木の競合状態については、「垂直方向」と「水平方向」の雑草木の被覆状態などを測定することにより評価しました。通常、下刈り作業で必要な判断指標は垂直方向のみですが、今回は列間刈りという特殊な方法を採用したので、実際にどれくらい側方が空いているのかを調べるために水平方向の調査も加えました。ただし、「水平方向」の調査は最終年の2021年のみです。

苗木と雑草木との「垂直方向」の競合状態については、山川ら(2016)が発表した方法を参考にしました。図-1にその模式図を示します。苗高を基準に、例えばC1とは雑草木の高さが苗高の半分以下の状態を示し、C4とは雑草木が苗高を越えている状態を示しています。

次に、「水平方向」での雑草木との競合状態の評価方法について、図-2に示します。苗高に比べて雑草木の高さが低く、樹冠がほとんど露出している場合は周囲からの影響は小さいだろうと考え、水平方向の競合状態の評価は苗高の半分以上に達した雑草木(C2以上)に限りしました。そこで、苗木を真上から見下ろして、苗木の中心から半径50cmの円を想定し、この空間で樹冠の周囲が雑草木によってどれくらい占められているかを「被度」として測定しました。例えば、被度1とは雑草木が苗高半分以上

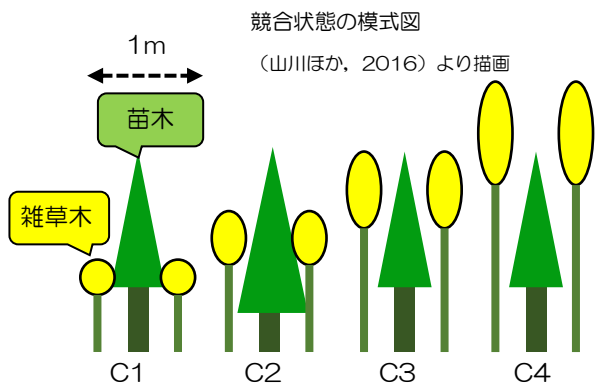


図-1 苗木と雑草木の垂直方向の競合状態の基準

- C1：雑草木は苗木高の半分未満
- C2：雑草木は苗木高の半分以上苗木未満
- C3：雑草木は苗木高とほぼ同じ高さ
- C4：雑草木は苗木高以上

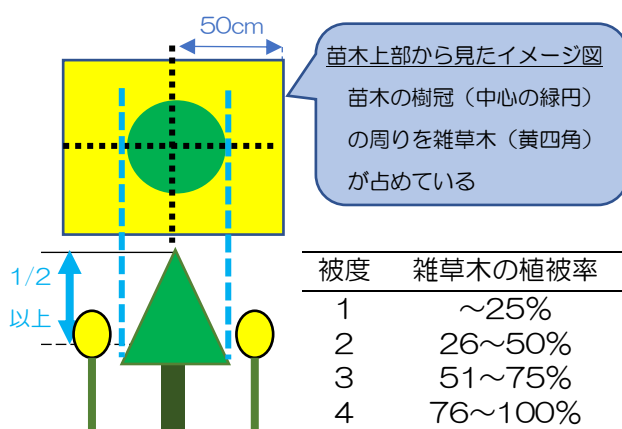


図-2 苗木と雑草木の水平方向の競合状態の基準

苗木高半分以上の部分での雑草木との競合状態を被度で評価。樹冠を上から見て、苗木周辺水平方向の植被率をみる。

上に達し、かつ、黄色で示した範囲を 25%以下被覆していることを示します。ちょっと複雑な例としては、垂直競合度の C4 に当たる雑草木が完全に苗木高を超えているため真上からは樹冠が見えないが、雑草木下部の樹冠がある位置は空いている場合があります（写真-1 のオオイタドリ群落が典型的です）。この時は樹冠の位置を基準に苗木側面がどれくらい雑草木で覆われているかを判断することとしました。

列間刈り後のトドマツ苗木の消息は？

トドマツ苗木の生残と成長経過

表-3 に植栽されたトドマツ苗木の生残本数推移を植栽列ごとに示します（列間刈り 3 列，全刈り 2 列）。2021 年 7 月までの生残本数は変わらず，少なくとも 2021 年までの経過では植栽木周辺の刈り残しがトドマツ苗木を枯らすようなことは起きなかったようです。

表-3 生残本数の推移

植栽列	2019 年	2020 年	2021 年
列間刈り①	36 本	36 本	36 本
②	38 本	38 本	38 本
③	38 本	38 本	38 本
全刈り ④	37 本	37 本	37 本
⑤	37 本	37 本	37 本

次に、植栽列ごとの平均苗木高の年次推移を図-3 に示します。図は、横軸に植栽列（植栽列順に、全刈り④，列間刈り①②③，全刈り⑤）を取り，年次と共に苗木高が高くなっていく様子を表しました。全体の平均苗木高は 2019 年 37.8 ± 8.3cm，2020 年 65.5 ± 20.2cm，2021 年 86.5 ± 33.0cm（平均値 ± 標準偏差）と 2 成育期間で約 50cm 大きくなりました。植栽列ごとの平均苗木高は年次を経るにつれバラつく傾向はみられるも

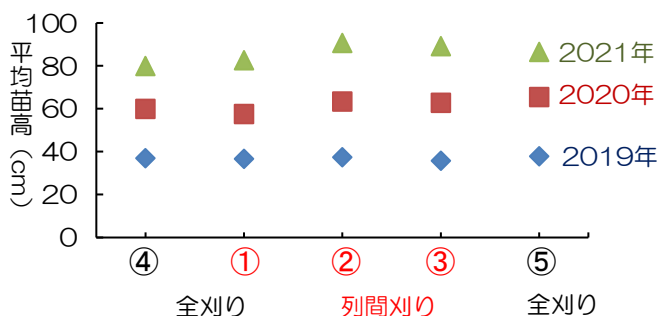


図-3 植栽列別にみた平均苗木高成長の年次推移

の、列間刈りを行った3列と全刈りを行った2列の間で統計的な有意差（Turkey-Kramer法、5%水準）は見られませんでした。

雑草木との垂直方向の競合状態は成長にどのような影響を及ぼしたか？

次に、トドマツ苗木と雑草木との競合状態について見てみます。まず、トドマツ苗木が雑草木に覆われている状態を垂直方向で評価し、その本数比率が年次でどのように変化していくかを図-4に示します。調査初年の2019年では、トドマツ苗木との競合状態はC2（雑草木の高さは苗高未満）以下が半数を占めていましたが、2020年以降はC3以上（雑草木の高さは苗高以上）が増えてきました。トドマツ苗木の苗高は年々伸びているのに垂直方向の競合状態は逆に激しくなっていく傾向がみられました。理由の一つとして、年々植生が回復することによりC1（事実上、無植生だった場所）の比率が少なくなってきたことが挙げられます。

もう一つは、図-4の上部に各競合カテゴリー別の「主な雑草木」を記載しましたが、C4に多く該当しているヤナギやカンバなどの木本がトドマツ苗木の成長を追い越し始めた場所が増えてきたことが挙げられます。また、観察からの印象になりますが、多年生草本であるメマツヨイグサやオオイタドリ、アキタブキ、クマイザサが年々大型化していく傾向がみられました（特にクマイザサで顕著）。競合状態の変化に関わる因子の一つとして、雑草木の種類の違いと雑草木のサイズ変化もあるようです。また、これは競合状態の変化にあまり関与しませんでした。植生の変遷もこの2~3年間にわずかにみられ、2019年当初に多かったエゾヨモギは2021年にはメマツヨイグサにかなり置き換わりました。このように、列間刈りにおける雑草木との競合状態を評価するためには、苗木の成長と雑草木の種類とその変遷だけではなく、刈り払われなかったことにより木本や多年草本が年々大型化することも考慮する必要がありそうです。

次に、トドマツ苗木の苗高成長への雑草木の影響について、雑草木との競合状態別に2020年から2021年までの1年間の苗高成長量で図-5に示します。雑草木との競合状態について、雑草木の高さが苗高までの状態（C1~C3）では平均苗高成長量に差はつきませんでした。雑草木の高さが苗高を超えるC4の状態では、統計的有意差（Turkey-Kramer法、5%水準）が表れるほどの成長差はC2との間のみでしたが、他（C1,C3）と比べても低い傾向が表れました。やはり、雑草木が高くなると苗高成長に悪影響を及ぼす可能性があるようです。もう一つ、意外で興味深い結果が出ています。「全刈り」と表記した項目は毎年全刈り作業で下刈りされてきたトドマツ苗木の平均苗高成長量を表したのですが、競合状態C1~C4のちょうど中間的な結果となりました。列間刈り部分と全刈り部分の全てのトドマツ苗木の中で苗高成長量

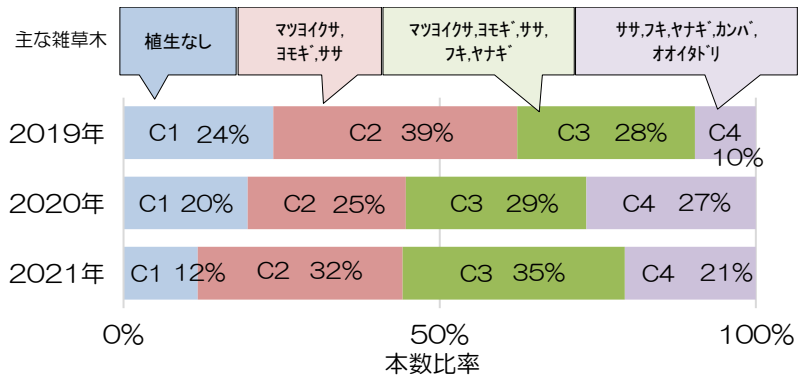


図-4 垂直方向における雑草木との競合状態の経年変化
競合カテゴリー別に苗木の本数比率で表示
上部に、競合カテゴリー別に主な雑草木の種類を示す

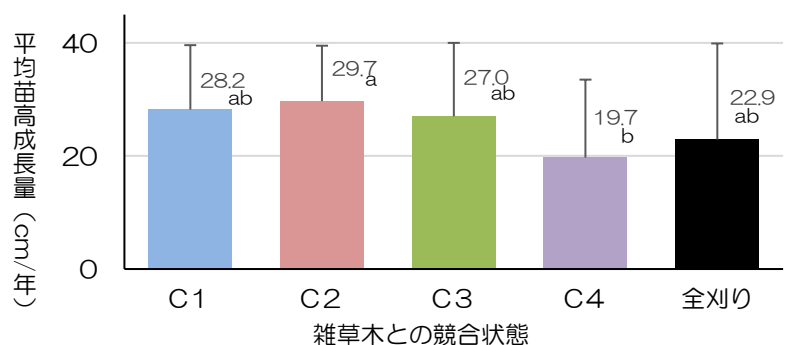


図-5 雑草木競合状態別にみた年間（2020~2021年）の平均苗高成長量

- * 「全刈り」は下刈り後に競合する雑草木が無い状態
- * 同じアルファベットは統計的有意差が無いことを示す

の大きい個体（最大 57.5cm/年）と小さい個体（最小 0.7cm/年）が両方とも全刈り部分にあるなど、全刈り部分では成長量の大小のバラツキが激しい傾向があるためだと思われます。これに対して、列間刈りでは成長のバラツキが比較的小さい傾向がみられます。これらの理由について、調査地が南斜面であったことから、列間刈りで残された植生が直射日光による影響（例えば、乾燥に関する）を緩和したのかもしれないと考えています。逆に、列間刈り部分の方が残された雑草木の影響により、全刈り部分より光環境が悪化している可能性があります。今後、列間刈りが作り出す環境条件について、具体的な調査ができればいいと思います。

列間刈りによって苗木周囲はどれくらい空いたのか？

列間刈り後に樹冠側方がどれくらい開放されていたかを苗木樹冠部の水平方向における雑草木との競合状態から評価しました。ここでは、上方の雑草木の被り方とは無関係に側面だけを評価対象としています。例えば、オオイタドリのように上方に多く葉を付けている雑草木の場合（写真-1）やシラカンバのように 1 本だけ隣に生えていた場合が当てはまり、雑草木の高さが苗木を超えて苗木の上を覆っても、側面が全く塞がれていなければ被度 1（雑草木植被率 25%以下）となります。

図-6 に水平方向における雑草木との競合状態について示します。樹冠側方のどこかが空いていた被度 1～3 が全体の約 94%を占め、ほぼ完全に樹冠側面が覆われている被度 4 に当たる苗木は少ないことが分かりました。2m幅の列間刈りによって、ほとんどのトドマツ苗木の樹冠側面を開放することができていたと考えられます。

次に、樹冠側面を空けることが苗木成長にどれくらい影響を与えているのかを検討します。対象としたのは、雑草木の高さが苗木以上に当たる垂直方向の競合状態が C3～C4 に該当する苗木です。この C3～C4 に該当した苗木の平均苗木成長量について、雑草木の水平方向の被度別に図-7 に示します。苗木成長量の平均値は、水平方向の雑草木の被度が高まると成長が低くなるような傾向がみられますが、統計的有意差が表れる差ではありませんでした。ただし、水平方向の被度 4 の中には、鞘端枯れしてほとんど苗木を伸ばせていない個体が散見されており、雑草木に被覆されたことが直接の原因とは分かりませんが、注意深く観察する必要があります。

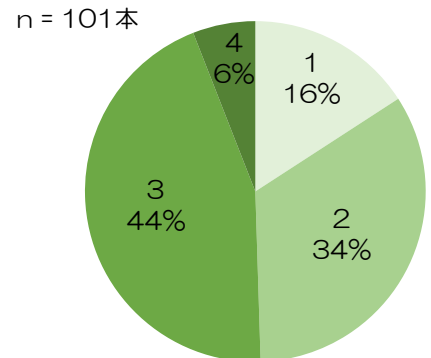


図-6 水平方向における雑草木との競合状態（被度）の本数比（2021年）

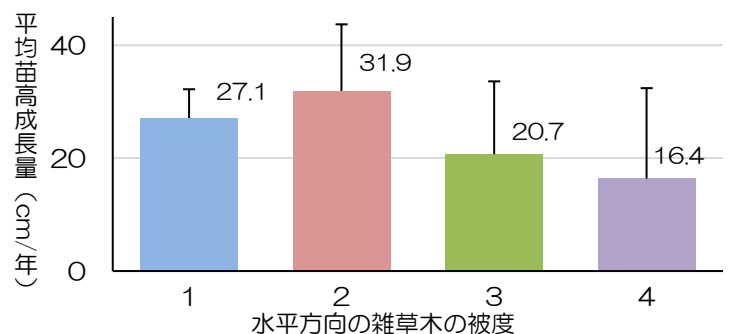


図-7 垂直方向の雑草木競合状態 C3～C4における雑草木の水平方向の被度別にみた年間（2020～2021年）の平均苗木成長量

今後の課題

今回、自走式刈払い機の作業効率を最優先に考え、従来の植栽列を下刈りすることにより苗木の周囲の雑草木を除去するのは逆に、植栽列間だけを下刈りして苗木の周囲の雑草木を完全に除去しない「列間刈り」を行いました。確かめたかったのは、最初に苗木の「生残」、次に「成長への影響」です。まず、苗木の生残については調査期間中 1 本も枯れることなく経過しており、最も安心した点です。成長（苗木成長）については、刈り残した場所でも樹冠上が空いていれば全刈りしている場所に匹敵した成長を示していたことは意外な結果でした。列間刈りの方が全刈りよりも個体間の成長差が比較的小さ

い傾向もみられ、これは生育環境が安定していたためとも考えられ、今後、明らかにできたらいいと思います。また、雑草木の高さが苗木の高さ以上であっても、水平方向の雑草木の被度が半分以下であれば、苗高成長を保てる可能性が示唆されました。今後、事例を増やして検証できればと考えます。また、今回の結果を一步進めて、周囲が完全に塞がれた状態（無下刈り）では、どうなのかも併せて検討することも大事だと考えています。また、今回はトドマツという比較的暗いところでも育つことが出来る樹種で検証してきましたが、他の造林樹種ではどうなのかも検討が必要だと思われます。

最後に、今でこそ道内各地で実験が開始されていますが、当時、前例が無い中で「列間刈り」という下刈り方法の実験を容認していただいた関係各位に改めて感謝の意を表します。

（森林経営部経営グループ）

引用文献

- 渡辺一郎（2020）続・小型自走式刈り払い機は林地でどこまで使えるのか？ー山もつとジョージの誕生ー. 光珠内季報 194 : 1~6
- 渡辺一郎（2020）新たに開発された造林作業機械によるカラマツ根株切削性能と下刈り作業コスト. 森林利用学会誌 35（4）: 197~202
- 山川博美、重永英年、荒木眞岳、野宮治人(2016) スギ植栽木の樹高成長に及ぼす期首サイズと周辺雑草木の影響. 日本森林学会誌 98(5) : 241~246

光珠内季報 NO. 206

発行年月 令和5年3月

編集 林業試験場刊行物編集委員会

発行 地方独立行政法人北海道立総合研究機構
森林研究本部 林業試験場

〒079-0198

北海道美唄市光珠内町東山

TEL (0126) 63-4164 FAX (0126) 63-4166

ホームページ <https://www.hro.or.jp/fri.html>
