

## ヤナギ超短伐期栽培におけるケーンハーベスタ収穫のヤナギ萌芽更新への影響

森林総合研究所 原山 尚徳  
 森林総合研究所 九州支所 石原 誠

### はじめに

木質バイオマスのエネルギー利用が増大する中で、素材利用など既存木材需要者との競合や、森林資源の持続的利用に対する懸念が生じるとともに<sup>(1)</sup>、木質ペレットやパームヤシ殻 (PKS) など燃料材の輸入が急増している<sup>(7)</sup>。輸入燃料材には、輸送時の CO<sub>2</sub> 排出や、土地利用変化による CO<sub>2</sub> 貯留量・吸収量の減少、生物多様性の低下などの多くの問題が指摘されている<sup>(8)</sup>。今後、さらなる燃料材需要の増大が見込まれる中、新たな国産燃料材供給源の創出が急務である。

ヤナギを用いた超短伐期栽培 (short rotation coppice, SRC) は、ヤナギの非常に早い初期成長と萌芽再生能力を生かした木質バイオマス生産方法であり、欧米の冷温帯を中心とした地域で事業的に行われている<sup>(3)</sup>。この栽培法では、長さ 20cm 程度の穂木を 15,000 本/ha 程度の高密度で植栽し、1 本の穂木から複数発生する比較的細い幹を、3 年程度の周期で収穫し、萌芽更新によって再生させることで、再植栽することなく 20~30 年間、10 絶乾 t/年・ha の木質バイオマスを繰り返し生産することができる<sup>(3)</sup>。作物の栽培に不適な土地でも栽培可能なため、耕作放棄地など現在未利用な土地で新たに木質バイオマスを生産できる。森林総合研究所北海道支所では、ヤナギ超短伐期施業の北海道への導入に向けて、様々な栽培試験を行ってきており<sup>(1,2,4,5,6)</sup>、成長に優れた系統を用い、海外で実施されている雑草防除等の適切な管理を行えば、海外の生産目標である 10 絶乾 t/年・ha を、北海道でも達成できることを明らかにしている<sup>(2)</sup>。

ヤナギ超短伐期栽培では、一つの穂木・株から複数発生する比較的細い幹を収穫するため、林業機械ではなく、農業機械ベースのヤナギ専用収穫機を使用するのが一般的である<sup>(12)</sup>。海外では、トラクターで牽引し全木で収穫するタイプ (cut-and-store)、フォレージハーベスタのヘッドを

ヤナギ収穫用に変えて収穫と同時にチップ化するタイプ (cut-and-chip)、サトウキビ収穫用のケーンハーベスタを改良し、ヤナギ幹を長さ 15cm から 20cm 程度の棒状に切断して収穫するタイプ (cut-and-billet)、植栽したヤナギを牧草ロールのようなロールバール状に収穫するタイプ (cut-and-bale) の主に 4 種類の機械が収穫に用いられているが、いずれも現状日本への輸入実績はない。そこで、海外製のヤナギ収穫機の代替として、国産のサトウキビ収穫用小型ケーンハーベスタを北海道のヤナギ超短伐期植栽試験地へ運び、ヤナギ超短伐期施業の収穫に使用できるか試験を行った<sup>(11)</sup>。その結果、ケーンハーベスタの仕様とヤナギの植栽間隔や植栽列の長さのミスマッチにより、サトウキビ収穫に比べてヤナギ収穫での作業効率の低下が認められたものの、ヤナギ収穫による機体の損傷、収穫作業や収穫物自体の不具合は認められず、機械的には国産ケーンハーベスタをそのままヤナギ収穫に使用できた<sup>(11)</sup>。その一方で、ケーンハーベスタでの収穫後にヤナギの株の状態を観察すると、割れ、裂け、剥皮などの損傷が認められた (図-1 A, B)。ヤナギ超短伐期栽培では、収穫後の萌芽更新によって、木質バイオマスを繰り返し生産することから、ケーンハーベスタ収穫による株の損傷が、萌芽更新に悪影響がある場合には、施業上の大きな問題となる。そこで、本研究では、ケーンハーベスタ収穫から 1 年後の萌芽更新の状況を、手ノコで収穫し損傷がない株 (図-1 C) と比較し、ケーンハーベスタによる収穫が萌芽更新に悪影響を及ぼすか明らかにすることを目的とした。

### 材料と方法

調査は、北海道上川郡下川町奥珊瑚瑠地区に設定したヤナギ植栽試験地 (44°25'N, 142°42'E, 標高約 250 m) で行った。試験地には、2013 年春に、エゾノキヌヤナギ (*Salix pet-susu* Kimura) 7 系統とオノエヤナギ (*S. sachalinensis* Fr.



図-1 収穫後のヤナギの株

(A, B) ケーンハーベスタ収穫により損傷した株。a: 切断部の割れ, b: 裂け, c: 剥皮 (C) 手ノコで収穫した損傷のない株。

Hisanori HARAYAMA (Forestry and Forest Products Research Institute, Matsunosato-1, Tsukuba, Ibaraki 305-8687), Makoto ISHIHARA (Kyushu Research Center, Forestry and Forest Products Research Institute, Kurokami 4-11-16, Chuo, Kumamoto, Kumamoto, 860-0862)

Effect of sugar cane harvester harvesting on sprouting in short rotation coppice willow

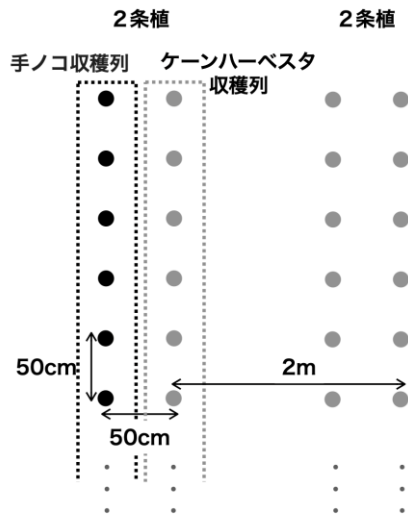


図-2 ヤナギの植栽設計と調査列

Schm) 5系統が、株間 50cm, 条間 50cm, 列間 2m の間隔で 2条に植栽された (図-2) (4)。植栽 1年目には、一部の区画で、2条植え間の除草処理と、萌芽幹の発生をうながす台切り処理が行われた(2)。2019年10月末に、初回の収穫から3年が経過したヤナギを、ケーンハーベスタ (UT-120K; 魚谷鉄工) で収穫した(11)。ただし、一部の植栽箇所において、ケーンハーベスタ収穫前に、2条植えの片側列を、地上 10cm 程度の高さにある萌芽幹基部から手ノコで伐採・収穫した (図-2)。

収穫から1年後の2020年10月に、ヤナギの萌芽更新状態について、2条植えの左右列で異なる手法で収穫したエゾノキヌヤナギ1系統で調査した。収穫前の株の枯死があったため、調査株数は収穫手法間で異なり、ケーンハーベスタ収穫で28株、手ノコ収穫で25株となった。各株から萌芽した全幹数を数えるとともに、元径 8mm 以上の萌芽幹について、幹長 (H) および幹の元径 (D, 直行する2方向から測定した直径の平均値) を測定した。過去のヤナギ収穫調査(6)で得られた萌芽幹の D, H, 乾重量のデータを

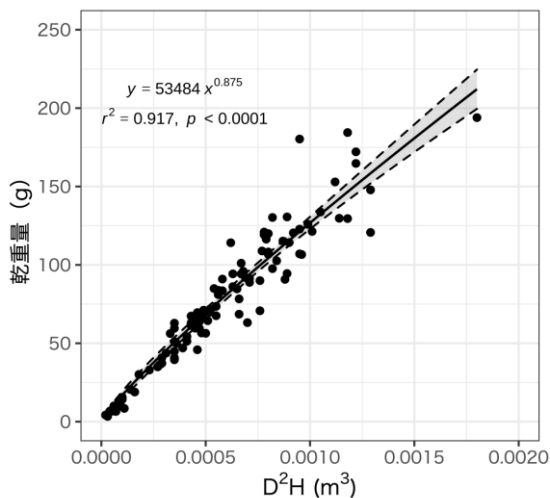


図-3 ヤナギ幹における元径<sup>2</sup>×長さ (D<sup>2</sup>H) と乾重量の相対成長関係  
破線は 95% 信頼区間を表す。

を用いて求めた D<sup>2</sup>H と幹乾重量の相対成長式 (図-3) を用いて、元径 8mm 以上の萌芽幹の乾重量を推定し、株ごとに各萌芽幹の乾重量を足し合わせることで、株あたりの総幹乾重量を算出した。なお、元径 8.0mm~8.2mm の幹 1本の乾重は総幹乾重量の 2~8% であり、元径 8mm 未満の幹の中には 8mm よりかなり細い幹が多く含まれていた。したがって、元径 8mm 未満の幹の乾重の総幹乾重量への影響は小さいと考えられる。

統計解析は R version 4.0.3 を用いて行った(9)。萌芽更新が収穫方法の違いに影響を受けたかを解析するために、lme4 パッケージの glmer 関数を用いて、各株の全幹数、元径 8mm 以上の幹数、各株の最長幹の長さと同径、総幹乾重量をそれぞれ応答変数、収穫方法の違いを説明変数、植栽 1年目に実施した 2条植え間の除草の有無、および台切り処理の有無をランダム変数とした一般化線形混合モデルを作成した。幹数はポワソン分布、長さ、元径、乾重量はガンマ分布を仮定した。各モデルにおいて、収穫方法の効果について car パッケージ Anova 関数を用いて尤度比検定を行った。有意水準は 0.05 とした。

### 結果と考察

ケーンハーベスタ収穫により損傷が認められた株においても、旺盛な萌芽更新が認められた (図-4)。収穫 1年後に株から萌芽更新してきた幹の数は、元径 8mm 以上の比較的太い幹で、ケーンハーベスタ収穫が平均 5.4±2.8 本 (標準偏差)、手ノコ収穫が平均 5.7 本±2.8 本だった (図-5A)。また、全幹本数では、ケーンハーベスタ収穫が平均 8.3±4.2 本、手ノコ収穫が平均 8.5±4.6 本だった (図-5B)。元径 8mm 以上の幹本数、全幹本数ともに、収穫方法による有意差は認められなかった。

株から萌芽した幹の中で最長の幹の長さは、ケーンハーベスタ収穫で平均 242±35cm、手ノコ収穫で 249±28cm であり、収穫方法の違いによる有意差は認められなかった (図-6A)。また、最長の幹の元径は、ケーンハーベスタ取



図-4 ケーンハーベスタ収穫により損傷を受けた株の収穫 1年後の萌芽更新の様子

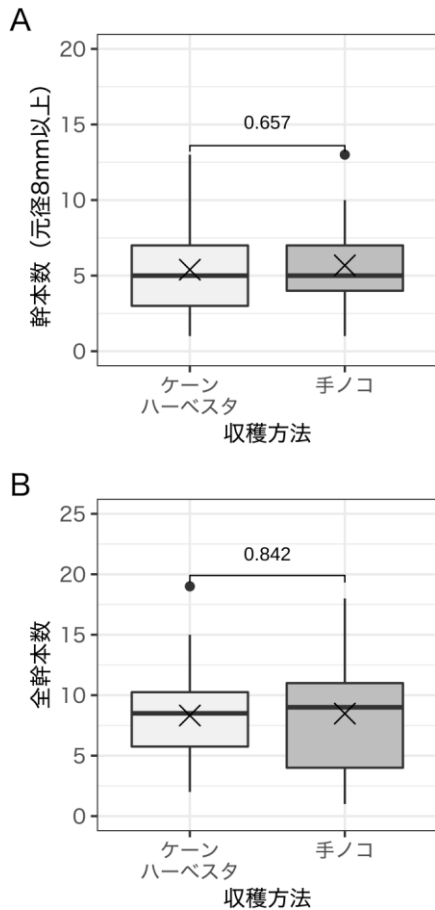


図-5 ケーンハーベスタおよび手ノコ収穫1年後の各ヤナギ株から発生した元径8mm以上の総幹本数 (A) と全幹本数 (B)  
箱ひげ図と平均値 (×) を表記。図中の数値は尤度比検定の P 値を示す。

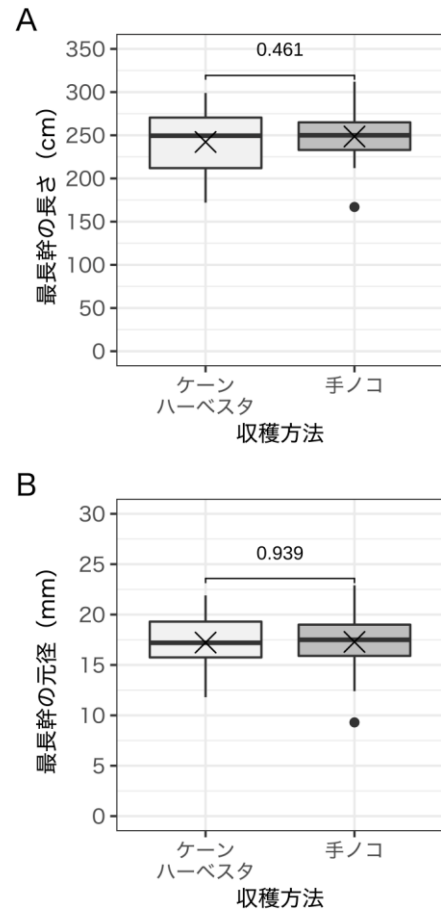


図-6 ケーンハーベスタおよび手ノコ収穫1年後の各ヤナギ株から発生した萌芽幹のうち最長幹の長さ (A) と元径 (B)  
箱ひげ図と平均値 (×) を表記。図中の数値は尤度比検定の P 値を示す。

穫で平均  $17.2 \pm 2.8$ mm, 手ノコ収穫で  $17.3 \pm 3.1$ mm であり, 収穫方法の違いによる有意差は認められなかった (図-6B)。

株から萌芽した元径 8mm 以上の幹の総乾重量の推定値は, ケーンハーベスタ収穫で平均  $287 \pm 169$ g, 手ノコ収穫で平均  $312 \pm 170$ g で, 収穫方法の違いによる有意差は認められなかった (図-7)。

伐採した株からの萌芽発生箇所について詳しく観察すると, 株の地上部樹皮からではなく, 株の地際から発生していた (図-8)。この傾向は, ケーンハーベスタ収穫により損傷を受けた株だけでなく (図-8A, B), 手ノコ収穫をして損傷を受けていない株でも同様であった (図-8C)。オノエヤナギとエゾノキヌヤナギの超短伐期栽培において, 植栽時に穂木が地面から出る長さを変えた研究では, 穂木を地上数 cm のみ出した深植え処理の方が, 浅植えして穂木の半分長さである 10cm を地上部に出した処理よりも, 根系が土壌深くまで伸長した結果, 発生した萌芽幹の本数が有意に多く, 地上部乾重量も有意に高かったと報告されている<sup>(4)</sup>。また, Yoshioka ら (2012) は, 北海道北東部のヤナギ自生地において, 一部のヤナギを事前に伐採することにより, ヤナギの超短伐期栽培と同様の植栽設計となる

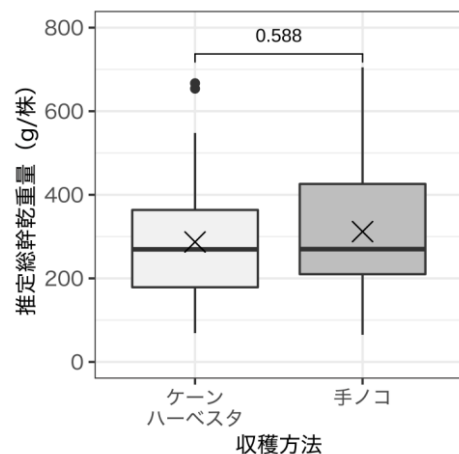


図-7 ケーンハーベスタおよび手ノコ収穫1年後の各ヤナギ株から発生した元径8mm以上の萌芽幹の総乾重量の推定値  
箱ひげ図と平均値 (×) を表記。図中の数値は尤度比検定の P 値を示す。



図-8 収穫の翌年に発生したヤナギ萌芽 (▼) の様子  
A, B: ケーンハーベスタ収穫。C: 手ノコ収穫

よう整備し、本研究よりも小型のケーンハーベスタ (UT-100K; 魚谷鉄工) で収穫作業を行った結果、萌芽の再生率は切り株のサイズに依存しており、株の損傷の有無には影響を受けないと報告している<sup>(13)</sup>。本研究においても、ケーンハーベスタ収穫を行い損傷が認められたヤナギ株の萌芽更新に関わるどの調査項目についても、有意な影響が認められなかった。これらの結果から、ケーンハーベスタで伐採したヤナギ株の地上部に損傷が生じて、地際付近で萌芽幹が発生するために、萌芽更新への直接的な影響は非常に小さいと考えられた。

一方で、今回の調査列には含まれていなかったが、ケーンハーベスタ収穫の動作確認時に、収穫ヘッドの位置が低すぎて、萌芽幹ではなく株の太い根元に刃があたり伐採できず、株を引き上げる事象が認められた。こうしたヤナギ株では根に損傷が生じ、根系の機能低下により収量低下をもたらす可能性がある<sup>(1)</sup>。また、株の損傷は、病害発生リスクを高める可能性がある。短伐期で収穫作業を何度も繰り返すヤナギ超短伐期施業においては、収穫作業による株の損傷が長期的に株の枯死や収量低下をもたらさないか、さらなる研究が必要である。

#### 引用文献

- (1) Han Q, Harayama H, Uemura A, Ito E, Utsugi H (2017) The effect of the planting depth of cuttings on biomass of short rotation willow. *J For Res* **22**: 131-134.
- (2) Han Q, Harayama H, Uemura A, Ito E, Utsugi H, Kitao M, Maruyama Y (2020) High biomass productivity of short-rotation willow plantation in boreal Hokkaido achieved by mulching and cutback. *Forests* **11**: 505.
- (3) 原山尚徳 (2021) ヤナギを用いた木質バイオマスの超短伐期生産方法. *北方林業* **72**: 137-141.
- (4) Harayama H, Han Q, Ishihara M, Kitao M, Uemura A, Sasaki S, Yamada T, Utsugi H, Maruyama Y (2020) Estimation of yield loss due to deer browsing in a short rotation coppice willow plantation in northern Japan. *Forests* **11**: 809
- (5) Harayama H, Uemura A, Utsugi H, Han Q, Kitao M, Maruyama Y (2020) The effects of weather, harvest frequency, and rotation number on yield of short rotation coppice willow over 10 years in northern Japan. *Biomass Bioenergy* **142**:105797.
- (6) 原山尚徳・山田 健・佐々木達也・天野智将・佐々木尚三 (2021) 北海道下川町のヤナギ超短伐期栽培におけるヤナギ収穫物の含水率の経時変化. *北森研* **69**: 7-10.
- (7) 一般社団法人日本木質バイオマスエネルギー協会 (2022) 木質バイオマス燃料の需給動向調査. [https://jwba.or.jp/wp/wp-content/uploads/2022/06/JWBA\\_supply\\_demand\\_trends\\_fuel\\_wood\\_2021report.pdf](https://jwba.or.jp/wp/wp-content/uploads/2022/06/JWBA_supply_demand_trends_fuel_wood_2021report.pdf) (2022-10-26 アクセス)
- (8) 石丸美奈 (2021) グリーンカーボンをめぐる課題とブルーカーボンのポテンシャル. *共済総研レポート* **177**: 6-14.
- (9) R Core Team (2020). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <https://www.R-project.org/>.
- (10) 林野庁 (2021) 令和 3 年度森林・林業白書. <https://www.rinya.maff.go.jp/j/kikaku/hakusyo/r3hakusyo/index.html> (2022-11-18 アクセス)
- (11) 佐々木尚三 (2021) ヤナギの機械収穫について. *北方林業* **72**: 146-149.
- (12) Vanbevereren SPP, Spinelli R, Eisenbies M, Schweier J, Mola-Yudego B, Magagnotti N, Acuna M, Dimitriou I, Ceulemans R. (2017) Mechanised harvesting of short-rotation coppices. *Renew. Sust. Energ. Rev.* **76**: 90-104.
- (13) Yoshioka T, Sugiura K, Inoue K (2012) Application of a sugarcane harvester for harvesting of willow trees aimed at short rotation forestry: An experimental case study in Japan. *Croat. J. For. Eng.* **33**: 5-14.