

地域産ヤナギ類によるバイオマス発電向け燃料生産の可能性

図子光太郎・松浦崇遠・佐々木史・相浦英春

1 はじめに

カーボンニュートラル社会の実現に向けた国際的な動向を背景に、地域完結型の持続可能なエネルギー資源の確保が急務となっています。こうしたなか、国内では再生可能エネルギー固定価格買取制度(FIT)の導入を契機に木質バイオマス発電所が急増しました。しかし、燃料となる林地残材や未利用材の供給が追いつかず、需給逼迫による稼働率の低下や経営圧迫が懸念されています。富山県の木質バイオマス発電所においても同様の課題が生じています。一方で、県内では耕作放棄地や荒廃農地の増加も問題となっており、この両方を解決する手段が求められています。

そこで着目したのが「ヤナギ類」です。ヤナギは成長が早く、切ってもまた生えてくる「萌芽再生能力」が高いため、エネルギー作物として非常に有望です。欧米では、農地などで3年程度の短いサイクルで萌芽再生と収穫を7~8回繰り返す「短伐期木質バイオマス生産」が確立されています(図1)。国内においても、北海道下川町においてオノエヤナギとエゾキヌヤナギを用いた実証試験が行われ、その実用性が示されています。

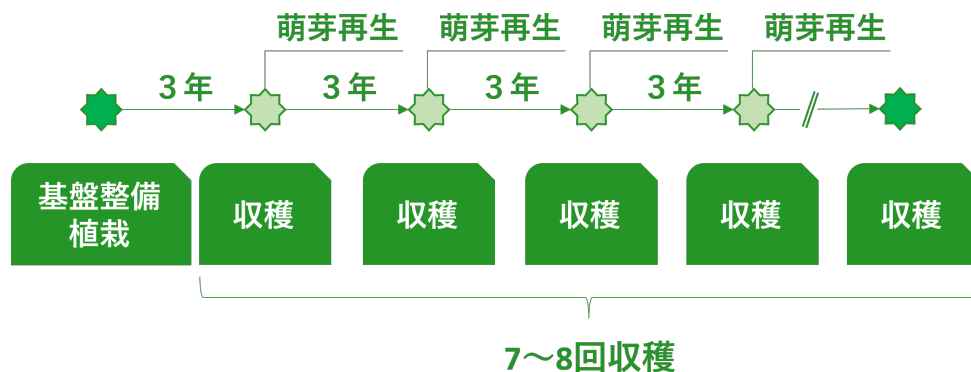


図1: ヤナギの短伐期栽培の概念図

しかしながら、本州以南の温暖地における研究例は少なく、特に富山県を含む日本海側地域でのヤナギ類によるバイオマス生産の可能性については、十分な検討がなされていません。そこで、富山県森林研究所では、県内に自生するヤナギ類を用い、耕作放棄地を活用した短伐期栽培を試みました。本報告では、その生育状況、収量、収穫作業の生産性、および燃料としての品質などについて調査を行った結果を示し、ヤナギ類による発電所向け燃料生産の可能性について検討しましたので、ここに報告します。

2 使用したヤナギ類

富山県には在来種として 19 種のヤナギ類(ヤナギ科ヤナギ属およびヤマナラシ属)が分布するとされています。今回の試験では、これらの中から、オノエヤナギ、カワヤナギ、コゴメヤナギ、タチヤナギ、マルバヤナギの 5 種を短伐期栽培樹種として選定しました(写真 1)。このうちオノエヤナギ、コゴメヤナギ、マルバヤナギは高木樹種(最大樹高 10 m 以上)、カワヤナギとタチヤナギは小高木樹種(最大樹高 10 m 未満)にそれぞれ分類されます。いずれの樹種も県内の河川沿いを中心に広く分布しており、休耕田などにもしばしば出現します。ただし、樹種によって県内での標高分布に違いがあり、オノエヤナギは標高 500 m 付近を最頻域とする分布を示し、コゴメヤナギは標高 200 m 付近を最頻域とする分布を示します。その他の樹種は低標高域に分布が偏っています。なお、比較のため北海道において木質バイオマス生産を目的に選抜されたオノエヤナギの優良個体(8 クローン)も併せて栽培しました(以下、北海道選抜オノエヤナギ)。



(a) オノエヤナギ

(b) カワヤナギ

(c) コゴメヤナギ

(d) タチヤナギ

(e) マルバヤナギ

写真 1 栽培に使用したヤナギ

3 圃場と基盤整備

富山市婦中町の耕作放棄地に短伐期栽培のための試験圃場を 3 か所設定し、それぞれ D 圃場(0.36 ha)、E 圃場(0.19 ha) および F 圃場(0.14 ha)としました。2022 年 9 月から 2023 年 3 月にかけて、各圃場に牛ふん堆肥と鶏ふん堆肥を施用し、耕耘後畝立てを行いました。畝幅は 80 cm および畝間隔は 180 cm を標準とし、畝には防草用マルチシートを敷設しました(図 3)。

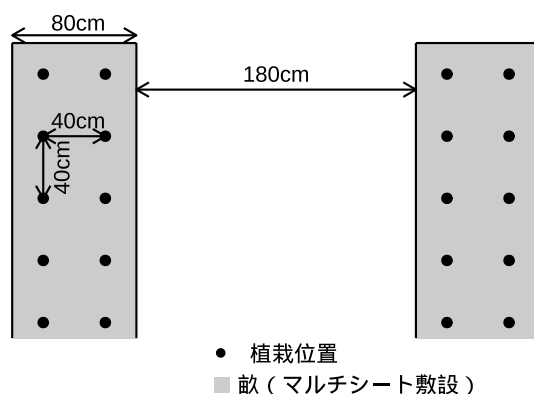


図 3: 畝の配置と植え付け位置

4 植栽と管理

ヤナギ類は挿し木による繁殖が容易であり、植栽は枝(挿し穂)を地面に挿し付けるだけで行うことができます。植栽用の挿し穂を作成するため県内の自生地において1~2年生の枝を採取しました。採取時期は、オノエヤナギを除く4樹種は2023年3月、高標高域に分布するオノエヤナギは積雪前の2022年10~11月としました。採取した枝は直ちに持ち帰り、挿し穂を作成しました。挿し穂の長さは20cm、直径は1~1.5cm程度とし、着生する葉や枝は除去しました。オノエヤナギを除く4樹種は挿し穂を作成したのち、直ちに圃場に植栽しました。オノエヤナギは植栽まで培土を詰めたプランターに仮植し、温室内で保管しました。



写真 2 植栽直後の圃場

植栽は2023年3月下旬に行い、植栽密度が概ね20000本/haとなるよう、2条植えで条間隔を40cm、株間隔を40cmとしました(図3、写真2)。植栽密度や条間隔および株間隔は先行事例を参考に、収穫機械の仕様などを考慮して決定しました。植栽は手挿しとし、差し込み深さは10cm程度としました。

植栽後は、灌水は行わず、自然降雨に依存しました。畝部の雑草の発生はマルチシートの敷設により抑制されましたが、畝間に発生した雑草は必要に応じて刈り払い機やグリホサート系除草剤を用いて除去しました。施肥は植栽前に行った堆肥施用のみとし、その後の追肥は行いませんでした。

5 活着率と成長量

ヤナギ類は総じて挿し木が容易とされていますが、圃場に挿し付けたヤナギの活着率には樹種間で大きな差が認められました(図4)。カワヤナギおよびコゴメヤナギは90%以上の高い活着率を示した一方で、タチヤナギの活着率は79%、マルバヤナギは73%となり、オノエヤナギは36%と極めて低い値を示しました。オノエヤナギについては、前年10月に採取した挿し穂を3月まで温室内で保管したことが、活着率低下の一因である可能性が考えられます。しかし、オノエヤナギの挿し穂を作成後直ちに挿し付けた別の試験でも、活着性能は必

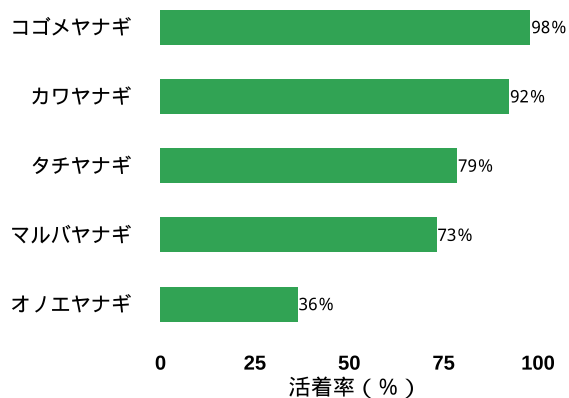


図 4: 樹種別の活着率

ずしも高くありませんでした。このことから、一般に活着率が高いとされるヤナギ種であっても、圃場の水分や温度などの条件、挿し穂の採取地と圃場との環境の違いなどによって、活着性能が大きく低下する場合があります。

樹種別に1株当たりの乾重量中央値の推移を比較すると(図5)、樹種間で成長量に大きな差が認められました。調査期間をとおして最も旺盛な成長を示したのはマルバヤナギで、3成長期経過後の中央値は1株当たり1,500 dry gを超え、他の樹種を大きく上回りました。最も成長が低調だったのはカワヤナギで、1成長期目は比較的良好な成長を示したものの、2成長期目以降は成長が急激に鈍化しました。その他の樹種では成長量

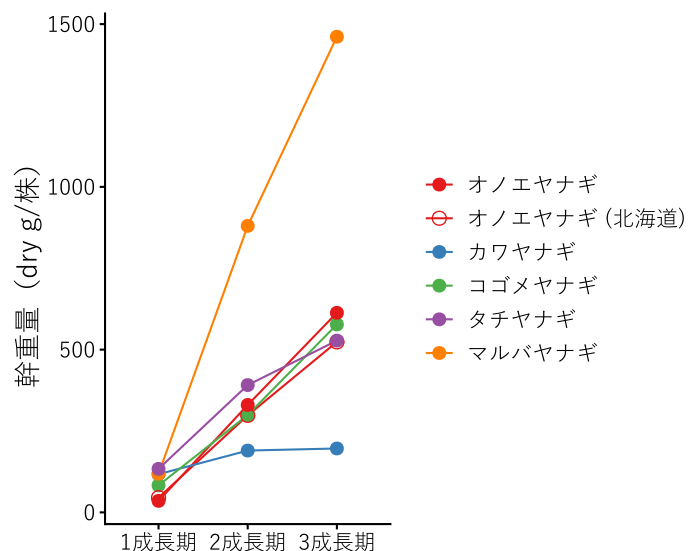


図5: 樹種別の1株当たり幹重量の推移

に大きな差はなく、3成長期経過後の重量はいずれも1株当たり500 dry g程度でした。北海道選抜オノエヤナギの成長は県内で採取したオノエヤナギと同程度かやや劣り、寒冷地の選抜系統は富山県のような温暖地では十分な性能を発揮できない可能性が示唆されました。一方で、県内産のヤナギ類の中にも、マルバヤナギのようなエネルギー作物として有望な種が存在することが明らかとなりました。

6 収量

2025年9月末に圃場DとFの3成長期経過後のヤナギを収穫し、収量を調査しました(表1)。収量は樹種によって大きな差があり、最も収量の大きいマルバヤナギと最も収量の小さいカワヤナギとの間には3倍以上の差がありました。バイオマス作物として期待される収量は年間ha当たり10 dry t以上とされており、3年目での収量はha当たり30 dry t以上が目標収量となります。今回の試験で最も収量の多かったマルバヤナギでも3年目の収量は21.2 dry t/haですので、目標収量には達していません。しかし、今回の試験で用いたヤナギは植栽にあたって優良個体の選抜や品種改良などは行っていません。これまでの研究で優良個体の選抜や品種改良を行うことによって収量が20~50%増加するということが報告されており、今後マルバヤナギを対象に優良個体の作出や活着率の改善を図ることで目標収量を実現できる可能性は十分にあります。

表 1: 樹種別の収量と収穫生産性

樹種	収量		生産性	
	湿重 (t/ha)	乾重 (t/ha)	収量 (t/ha)	面積 (ha/hour)
オノエヤナギ	15.4	7.7	0.66	0.086
カワヤナギ	13.7	5.6	0.35	0.061
コゴメヤナギ	29.9	10.5	0.69	0.065
タチヤナギ	25.9	12.3	0.84	0.068
マルバヤナギ	45.2	21.2	0.95	0.045

7 収穫作業と生産性

現在、ヤナギの短伐期栽培に対応した国産の専用収穫機械は市販されていません。そこで、サトウキビ用収穫機械(ケーンハーベスタ)を転用してヤナギの収穫を実施しました(写真3)。北海道で行われた先行研究においてケーンハーベスタがヤナギの収穫に適用できることは確認されています。この収穫機械は機体前部に取り付けられた刈刃でヤナギを刈り取り、刈り取った幹を中央部の回転ドラム式の刃で長さ 20 cm 程度の棒状に細断し、後部の収穫用の袋に収穫物を収納します。今回の試験においても、ケーンハーベスタを用いて、対象となった刈り取り高直径が 10 cm 程度までのヤナギを問題なく収穫することができました。



写真 3 ケーンハーベスタ

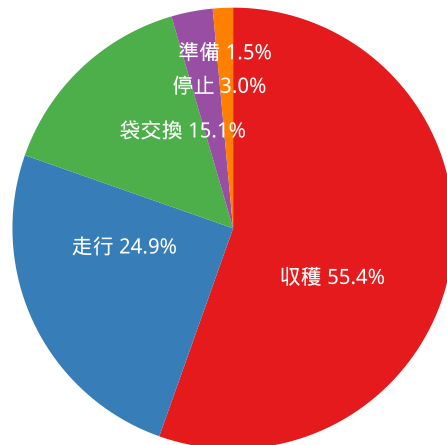


図 6: 収穫作業の各工程の割合

図 6 は収穫における各工程の作業時間の割合を示しています。最も作業時間を要したのは実際に機械が刈り取りを行う「収穫」工程で、全体の 55% を占めました。また、畝間の移動や集積ポイントまでの移動を行う「走行」工程は 25% を占め、満杯となった収穫用の袋を新たな袋に交換する「袋交換」工程が 15.1% を占めました。「袋交換」は 1 人のオペレータで行うことができますが、収納用の袋は 400~500 kg (湿重量) で満杯となることから、集積ポイントまでの移動や袋交換を頻繁に行う必要がありました。

全ての工程を含めた作業の生産性は、圃場の単位面積当たりの収量に大きく依存し、収量ベースでは1時間当たり0.35~0.95 dry tとなり、面積ベースでは1時間当たり0.045~0.086 haとなりました(表1)。このハーベスタのサトウキビ収穫時の標準的な生産性は1時間当たり6 t程度とされているので、これに比べるとヤナギ収穫の作業効率はかなり劣る結果となりました。

図7は収穫したヤナギの平均個体サイズ(D^2H 、D: 地際直径、H: 樹高)と収穫速度との関係を示しています。本来の使用目的であるサトウキビ収穫時におけるケーンハーベスタの速度は時速0.7~3.0 kmとされています。これに対し、ヤナギの収穫速度は時速0.2~0.8 kmとかなり低い値となりました。また、収穫するヤナギの平均個体サイズが増加するにしたがって収穫速度が大きく低下する傾向が認められ、個体サイズの大きなマルバヤナギでは収穫速度は時速0.3 kmを下回りました。生産性を高めるためには単位面積当たりの収量を増やす必要がありますが、収量増加に伴い個体サイズが大きくなると収穫速度が低下し、生産性の向上が制約される可能性があります。

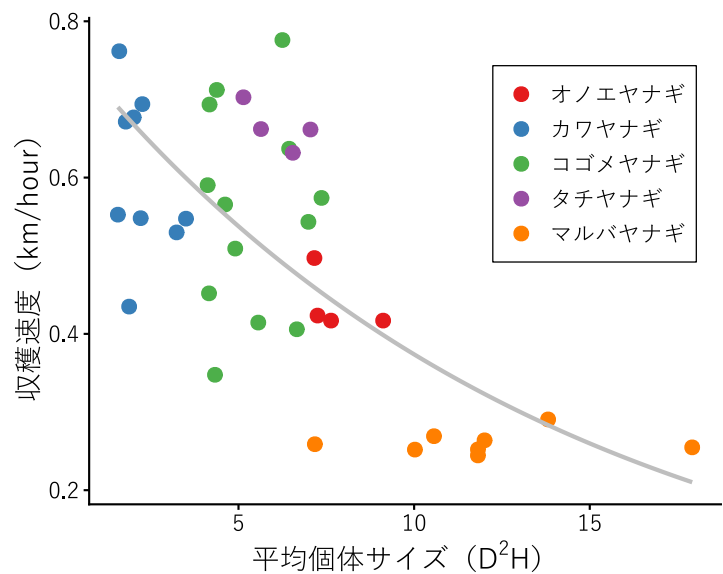


図7: ヤナギの平均個体サイズと収穫速度との関係

この収穫作業システムを用いた場合の機械損料、燃料費および労務費などを含む収穫経費を試算しました。図8は収穫作業の生産性と経費の関係を示したもので、収穫生産性の向上に伴い、単位面積当たりの収穫経費は双曲線的に低下します。この試算をマルバヤナギの収穫にあてはめると、収穫生産性が1時間当たり0.045 haですので、収穫経費は1 ha当たり約301,000円となり、収量で除した単位乾重量当たりの収穫経費は

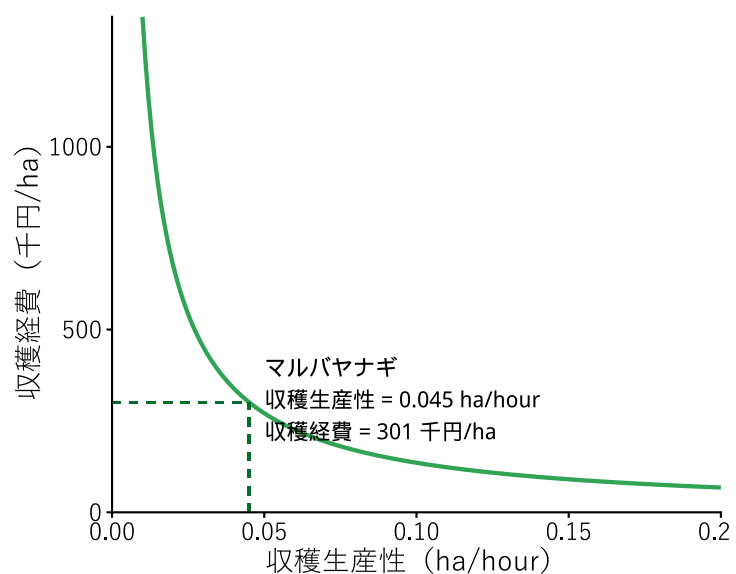


図8: ヤナギの収穫生産性と経費との関係

約 14,200 円/dry t となります。この結果からみると、収穫経費だけで現在の燃料向け丸太の価格から想定される売上額を大幅に上回っており、この収穫作業システムを用いて採算性を確保することは難しいと判断されました。

欧米ではフォーレージハーベスタ(飼料作物収穫用収穫機械)に木質バイオマス収穫専用のヘッドを取り付け、収穫からチップ化までを同時に行う収穫機械がすでに市販されています。また、生産されたチップはハーベスタと並走する運搬用トラクターに直接積み込まれることから、ハーベスタが自ら集積地点まで移動したり、収納用の袋を交換したりする必要もありません。このような収穫作業システムを用いた作業の平均生産性は 1 時間当たり 20.5 dry t となり、経費は 19.7 € /dry t (3,605 円/dry t) 程度まで抑えることができると報告されています。収穫作業に要する経費はヤナギの短伐期栽培における全体経費の 30~40 % を占めるとされており、収穫経費の縮減が事業成功のカギとなります。今後、ヤナギの短伐期栽培を普及させるためには、欧米で使用されているようなより高性能な収穫機械の開発あるいは導入が不可欠であると考えられます。

8 燃料品質

収穫したヤナギの燃料品質を評価するため、ヤナギチップの発熱量、灰分、灰溶融点を測定しました(表 2)。また、比較のため県内で燃料として一般的に利用されているスギチップについても同様の測定を行いました。低位発熱量についてはヤナギの樹種間差は小さく、いずれも 18~19 MJ/kg 程度でした。スギと比較するとやや低い値ですが、一般的な広葉樹と同等です。

表 2: スギチップとヤナギチップの燃料品質

樹種	低位発熱量(絶乾) (MJ/kg)	灰分 (%)	灰溶融点 (°C)
スギ	19.5	1.1	1500 以上
オノエヤナギ	18.1	5.2	1500 以上
カワヤナギ	18.1	7.4	1360
コゴメヤナギ	19.1	4.4	1500 以上
タチヤナギ	18.6	4.2	1500 以上
マルバヤナギ	18.7	4.0	1010

一方、灰分はスギよりも総じて高く、中でもカワヤナギは 7.4%、オノエヤナギは 5.2% とかなり高い値を示しました。灰分が多いと、発生した燃焼灰が燃料を覆い、燃焼を妨げます。また、灰が燃焼空気口に入り込むと、十分な空気が供給されなくなるといった問題を引き起こします。さらに、灰が炉熱によって溶融するとクリンカー(灰の溶融・固化物)が発生し、炉壁などに付着してトラブルの原因となります。灰が溶融する温度を示す灰溶融点も樹種によって大きな差があり、オノエヤナギ、コゴメヤナギ、タチヤナギはスギと同じく 1500 °C 以上です

が、マルバヤナギは 1010 °C とかなり低く、クリンカー生成のリスクが高いことが示唆されました。以上のことから、ヤナギチップを燃料として利用する場合には、単独燃焼ではなく、スギチップなどの既存燃料との混焼による運用が望ましいと考えられます。

9 おわりに

本研究の結果、耕作放棄地で栽培した県内採取のヤナギの成長や収量には樹種によって大きな差があることが示されました。このなかでマルバヤナギは特に優れた成長特性を示し、エネルギー作物として高いポテンシャルを有することが実証されました。今後は、さらに優良な個体を選抜・育種することで、事業化水準のバイオマス収量を確保することは十分に可能であると考えられます。

一方で、社会実装に向けては、栽培技術の確立のみならず、エンジニアリングおよび社会的な側面からのアプローチが不可欠です。具体的には、高性能な収穫機械の導入・開発による作業効率の向上や、スケールメリットを確保するための事業地集積、さらには安定的な需要先の確保といったサプライチェーン全体の構築が課題となります。今後は、これらの課題を包括的に解決し、地域完結型の持続可能なバイオマス生産システムを確立していくことが求められます。

謝辞

本研究の実施にあたり、(株)富山環境整備、富山森林組合、富山市森林政策課、富山県森林政策課の関係各位には、多大なるご支援とご協力を賜りました。また、森林研究・整備機構森林総合研究所の宇都木玄博士には、研究の立案および実施に関して貴重なご助言を賜りました。ここに記して深く感謝の意を表します。

研究レポート No.27

令和 8 (2026) 年 2 月 28 日発行

編集 富山県農林水産総合技術センター森林研究所

〒930-1362 富山県中新川郡立山町吉峰 3

電話 076-483-1511 FAX 076-483-1512

<https://taffrc.pref.toyama.jp/nsgc/shinrin/>