

エネルギー資源作物としての樹木の利用 —ヤナギの利用—

森林総合研究所北海道支所チーム長 宇都木 玄
植物土壌系研究グループ 上村 章

はじめに

化石エネルギー資源に頼って生活してきた我々は、新しいエネルギーの獲得に向けてチャレンジを続けています。その中には機械のエネルギー利用効率の向上、効率的な生活スタイルへの改善なども含まれますが、今最も注目されるのが自然エネルギーの有効利用です。

自然エネルギーの有効利用は、ソーラーパネルや風力等、直接的に自然エネルギーを利用する方法と、植物に一度貯留してから間接的に利用する方法があります。後者をバイオマスエネルギーと言います。バイオマスとは元来「現存量」と訳され、植物等の生態的な賦存量を表す言葉です。林業では森林の量は材積 (m^3/ha) として表され、それらは樹種や幹枝葉と言った部位で異なる意味を持っていました。しかしエネルギーとして樹木を見ると、樹種や部位は大きな問題では無く、乾燥したときの重量が重要になるため、単位は ton/ha で表す事が普通です。

バイオマスエネルギーは、植物が太陽光エネルギーを利用し、炭素を植物体に蓄積させたものです。食物生産と競合しない樹木「ヤナギ」は北方系の土地利用に適しており、その旺盛な成長からバイオマスエネルギーとして有望です。この報告では、「木質バイオマス」としてヤナギの育て方について、北海道下川町を例に展望します。

木質系バイオマスエネルギー

バイオマスエネルギーは循環型エネルギーであり、直接燃焼(熱)、電力変換、エタノール変換、ガス変換等による利用が考えられます。例えばエタノール変換において、スギ乾燥重量 1ton から 250L のエタノール作成を目指しています。農林水産省による生産拡大工程表により、2030年までに年間 200万 kL のエタノールを木質系バイオマスで生産すると、800万 ton の木材が必要となります。これは木材の密度を $0.314\text{ton}/\text{m}^3$ とすれば、2500万 m^3 もの膨大な数値になります。直接燃焼や電力変換からエネルギーを生み出せばこの数値は小さくなりますが、木質系バイオマスエネルギーを用いた汎用型巨大エネルギー生産には難があります。それではどんな利用方法が考えられるでしょうか？やはり地消地産による計画的な熱エネルギー供給が、現在最も有望ではないでしょうか。草本系バイオマスに対する木質系バイオマスの特徴は、1. 貯蔵安定性が高く、2. 生産安定性が高く、事業安定性が高い事です。つまり「複数年に渡り計画的・安定的に生産でき、かつ生産調整も容易である」、と云うことです。莫大なエネルギーを生み出すことはできませんが、「地域の状況や考え方」に合わせて柔軟に対応できるエネルギー源と言えるでしょう。

バイオマスニッポン総合戦略によると、木質系バイオマスは 1. 廃棄物系(建築廃材等)、2. 未利用系(林地残材等)、3. 資源作物系(早生樹栽培)、4. 新樹木(遺伝子改良)に分けられます。ここで廃棄物系のバイオマスは 80%以上が利用されています。未利用バイオマスは林地残材などで、その量は多いものの収穫・運搬のコストの面で課題があります。資源作物は「栽培からスタートして収穫する」資源であり、草本植物としてトウモロコシやサ

トウキビの仲間が有名です。しかし食料との競合や環境破壊、粗放的栽培技術開発などの問題が指摘されており、生産を拡大していくためには休耕地での木質系バイオマスの利用が不可欠とされています。木質系の資源作物として、熱帯から温帯にかけてはユーカリが、冷温帯ではヤナギが有望樹種と考えられています。

なぜヤナギ？ーバイオマス造林に適した樹木ー

溪畔でよくみられるヤナギ。これまで、木材としての利用価値の低さから、材は未利用のまま放置されてきました。しかし、ヤナギは、1.挿し木が容易、2.成長が早い、3.萌芽再生能（切り株からの再成長能）が旺盛、という特性を持っています。このことは造成が容易で効率よく生産でき、繰り返し生産・収穫できる持続性を備えているということで、ヤナギが木質バイオマス資源として注目を集め始めている理由となっています。欧米諸国においてもヤナギの栽培が試みられています。

北海道のヤナギ類

北海道では、ヤナギの仲間（ヤナギ属）は、18種類自生しています。その中の細い葉を持つ9種類のグループ（willows）は、溪畔性のヤナギで、挿し木が容易に行えるという特徴を持っています。なかでも、オノエヤナギとエゾノキヌヤナギの2種は河川の上流から下流までと広域に分布し、13mを越える高木となることから、バイオマス利用の面で着目されています。オノエヤナギ（別名ナガバヤナギ）は、北海道、本州、四国、千島、サハリン等に分布し、道内で最も多く見られる種です。エゾノキヌヤナギは、北海道、本州（東北北部）、サハリンに分布します。両種の葉は非常によく似ていますが、エゾノキヌヤナギの葉の裏面は絹毛を密生し銀白色になります。

同じエゾノキヌヤナギという種、同じオノエヤナギという種の中にも、成長の良い個体、悪い個体と個性があります。特定の個体から挿し穂などにより同一遺伝子として増殖することをクローン増殖と言います。その土地に合った成長の良い個体を探し出し、挿し穂としてクローン増殖していく（優良クローンを選抜する）ことは、バイオマス資源を多く獲得するために大変重要です。

ヤナギ成長試験

北海道下川町の五味温泉試験地（下川町ヤナギ見本園）では、2007年11月に、エゾノキヌヤナギ12クローン、オノエヤナギ6クローンが植栽されました。ヤナギの生育特性、クローン間の成長量（収量）の違い、植栽密度（4万本/ha区と2万本/ha区）の違いによる成長量の違い、1年収穫と2年収穫での成長量の違い等の調査が行われました。図-1は、エゾノキヌヤナギ(P:●)とオノエヤナギ(S:▲)合計16クロンの樹高成長の経時変化を示したものです。萌芽1年目で樹高3mを超える個体がある一方、その半分の成長しかない個体もあり、クローン間の成長に大きな差があることがわかります。

収量は、クローン間で大きな違いがありました（表-1）。クローン間差が非常に大きいため、その場所や地域に合ったクローンを選別することが重要です。

植物は、二酸化炭素（CO₂）と水を材料にし、光エネルギーを使い炭水化物（糖）を作る“光合成”により成長します。ヤナギの高いバイオマス生産力は、高い光合成速度によって発揮されています。この高い光合成速度を維持するためには、CO₂の取り込み口である葉の裏面に無数にある気孔を大きく開き続ける必要があります。しかし、気孔を大きく

開くと葉の内部の水分が外に出てしまうため、常に土壌から根を通じて水分を補給しなければなりません。溪畔性のヤナギが湿潤～適湿の土壌を好む理由は、ここにあります。

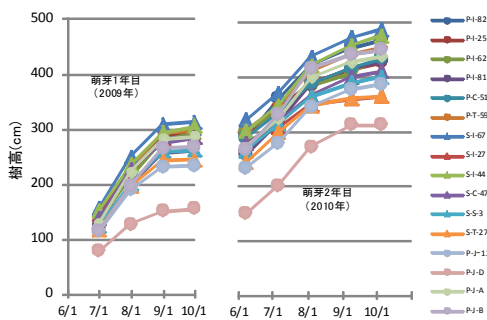


図-1 樹高成長の経時変化

		2万本区 ton/ha/year	4万本区 ton/ha/year
エゾノキヌヤナギ	2年収穫区	3.5~9.7	6.5~13.2
	1年収穫区	2.5~12.0	5.0~13.2
オノエヤナギ	2年収穫区	4.8~9.8	7.5~12.0
	1年収穫区	4.4~10.0	4.7~13.8

表-1 実験で得られたヤナギの収穫量

ヤナギの栽培

ヤナギ超短伐期栽培では、3年周期で収穫し、同じ株からは7回収穫することを目標としています(図-2)。穂の挿し着け年に伸びた枝は、萌芽を促す目的で刈り取る(台切り)ことから、挿し着けてから22年で新しい株に交換することになります。労働力の配分や雪解け時期が不確定であるなどの理由から、秋挿しが行われることもありますが、春挿しの方が推奨されます。秋挿しの場合は、土壌凍結融解による穂の抜け落ちに注意が必要です。春挿しで穂を前年に収穫保存する場合は、カビの発生、乾燥、発芽に注意して低温暗所で保存する必要があります。



図-2 ヤナギの栽培計画。台切する1年間を含め22年間の計画。

A. 林地の造成：造成の際、極度の表土の持ち去りは養分の収奪となり、成長へ悪影響を与えます。溪畔性のヤナギは、湿潤～適湿な土壌で成長がよくなります。特に穂の挿し着け後、発根し根がある程度成長するまでは、土壌乾燥には注意が必要です。草食動物(シカ、ウサギ)が多い地域では、進入防護のためのネットの設置が必要になります。シカ害防除のためには、植栽後およそ2年間、ヤナギが成長してシカの高さを超えるまでネット設置が必要です。

B. 穂作り：2から3年生の枝、太さ2.5cm以下の枝が利用されます。1年生の枝も使用できますが、細く木化が十分で無い、乾燥し易い、発根し難いなどの欠点があります。萌芽枝は、樹皮近くにある休眠芽から生じます。挿し穂を選ぶときは、樹皮上に休眠芽(の痕跡)が多く見られるものを選びます。穂の長さは21cmを標準とします。2/3の長さ(14cm)程度までは、死亡率は大きく変わりませんが、1/3の長さ(7cm)まで短い穂を植栽すると秋までに約半分が死亡してしまいます。

C. 植栽：挿し穂の長さの2/3ほど土中に挿し込みます。浅く挿すと芽吹きまでに穂が乾

燥により死亡する、また発根する範囲が狭まるため成長が悪くなります。枝の先端方向の切り口を土に挿してしまわないように(逆挿)、葉跡や休眠芽の形をよく見て挿します。植栽間隔は、将来の機械収穫を考える場合、使用する機械のサイズに合わせて決める必要があります。植え付け密度は、20000本/haを目標とします。

D. 施肥：コストと雑草への影響を考え、施肥は挿し穂周辺(半径約25cm)への緩効性肥料の「つぼ播き」にします。横1m縦0.5m間隔で植栽する場合、畑一面に均等に播く場合と比べて約40%の施肥量となります(つぼ播きで窒素50kg/ha播けば、畑一面に125kg/ha撒いた場合と同施肥量になります)。現在つぼ播き50kg/haの施肥による、大幅なコスト削減が期待されています。

E. 除草：植栽年は、年に2~3回、萌芽1年目は、年に1~2回の除草が必要です。特に以前牧畜業が営まれた土地、またその近隣の土地を利用した場合、牧草の繁茂が著しくなります。1年目のヤナギ挿し穂は樹高成長が緩慢なため、成長が旺盛な雑草・牧草によって日光が遮蔽されてしまいます。人力による除草は費用がかさむため、耕耘時の地剥ぎ処理と除草剤の使用、生分解性マルチ、チップマルチによる土壌被覆、背丈の低い緑肥(クローバー等)による土壌被覆等が検討されています。

採算性を高める

ヤナギ等の木質バイオマスを利用することには、化石燃料に代わる再生可能な代替エネルギーであるという重要な観点があります。しかし私たちが日常の生活で利用していくためには、採算性が高いエネルギー源である事も重要です。未利用系又は廃棄物系バイオマスとは異なり、資源作物から「エネルギー」を取り出すには、「利用できるまで栽培する」必要があります。しかし栽培できるが故に、より計画性を持ってバイオマス生産が可能になると言う利点もあります。それではヤナギの栽培-伐採搬出作業から、採算性を高める方法を考えてみましょう。

コストに関する現状

利用を促進するためには、各生産段階にかかるコストを削減し、安価に原材料として供給する必要があります。生産段階には、前述の他にF. 収穫 G. 運搬と大きく7つの工程に分けられます。ヤナギの利用には「林地造成」に大きな利点があります。通常林地を皆伐して造林地を作るためには50-100万円/ha必要です。ヤナギは萌芽更新が旺盛なため、一度伐採しても再造林の必要がありません。短い周期で定期的な原料供給が条件となる資源作物では、萌芽更新特性はコスト的に非常に有利となります。ヤナギの収穫は機械による収穫を容易にする太さ(直径7cm未満)で行います。日本ではその大きさになるまでおよそ3年と考えられます。作業工程は図-3のようになり、萌芽更新の特性を考慮して7回収穫した後に再び新規の林地造成をおこないます。現状この22年(初期の台切り1年間を加えた)間にかかる経費は、1.1万円/ton以上となります。コストを下げるために次の事を考える必要があります。

A. 造林：全コストに占める林地造成の割合は2.6%、穂作と植栽は11%になります。現在人力でおこなっている穂作り・植栽は機械化によってそのコストを下げる事が可能になります。また挿し穂の長さは20cm以上が進められますが、若干生存率が減少しますが15cm程度で植栽可能であり、穂の生産コストを下げる事ができます。植栽をおこなった初年度は、根の成長を促すために除草作業が必要になります。各収穫後に1回の除草を行うと想定す

ると、そのコストは全体の 11%を占めます。林地造成と同時に徹底した雑草対策を行い、その後のコストを下げる努力が重要です。

B. 施肥：ヤナギは肥料依存性が高く、バイオマスの増産のためには施肥が必要です。50Kg/ha の窒素を 3 年に一度撒き、21 年間続けた場合、そのコストは全体の 32%を占めます。これは化学肥料の値段が高いこと（10kg 窒素で約 3000 円）が原因です。現在廃棄物として処理されている糞尿や堆肥、水産業で廃棄されている貝ヒモなどを利用した有機施肥、また窒素を固定する草本植物（年間の窒素固定量は 10-100kg/ha にもなります）の積極的な利用が重要です。

C. 収穫と運搬：栽培されたヤナギを利用するためには、機械による収穫と工場までの運搬作業が必要となり、全体のコストに占める割合は収穫が 33%、運搬が 12%になります。収穫のコストを下げるためには植え付け時から収穫作業を睨んだ苗木の配置が必要になります。1ha あたり 20000 本で、年間 10ton(乾燥重量)の生産量を目標とします。列間は 0.8m の 4 条植栽を行い、ハーベスターの走行スペースを 1.6m 空けるように設計します。3 往復でダンプし、1 日 10 サイクルすると仮定した場合、現状の半分以下のコストになると考えられます。運搬は工場までの距離が重要になります。立地によって変わってきますが、40 円/ton/km で運搬できれば、現状の半分以下のコストとなるでしょう。

ヤナギ栽培に対する障害

短伐期栽培などで単一樹種を植栽する場合、病虫獣害のリスクが大変高くなります。全てを未然に防ぐことはできませんが、周辺で生じている害に気を配って被害を拡大させないことが大切になります。ヤナギに関する主な病虫獣害としてヤナギ類葉さび病、ハムシ類、ガ類による食葉被害、アブラムシ類による吸汁被害、ウサギやシカ等による動物食害が考えられます。

まとめ ヤナギの利用とその将来

化石エネルギーに代わるエネルギー源として、木質バイオマスもその一翼を担うはずで、木質バイオマスは複数年の栽培が可能で、収穫時期を計画的に設定でき、また柔軟に変更できます。このことはエネルギーを備蓄できるということです。さらにヤナギは萌芽による再生産が可能であると言う大きな特徴を持ち、エタノールへの変換効率も良いことがわかってきました。またチップやペレットとして、各地域に設置される小型ボイラーでの利用など、直接的な燃焼エネルギー源としての利活用も期待されます。化石エネルギーは、「すでにある物・できている物」を利用していると言えます。しかし太陽光を使った自然エネルギーは、エネルギーを人間が利用できる形に「生産・加工」して「利用」しなければなりません。そこにはコストも含め、まだ解決しなければならない問題があります。しかし「ヤナギ」は木質バイオマス系資源作物として、最有力であることは間違いありません。技術的な見通しが立ってきた今、さらにコストの面で成功すれば、「再生可能なエネルギー源」として重要な価値を生み出すはずで、ヤナギは自然エネルギーの大きな未来を背負っている樹木なのです。