

バイオマスとしての森林とその利用

山本 幸一

要 旨

森林由来のバイオマスが注目される理由は、森林自体が持つ二酸化炭素を吸収する機能に加え、石油代替としてのカーボンニュートラル機能にあった。2011年3月の東日本大震災後、人々は、エネルギーの自立性・安全性の大切さを意識し、地域にある森林の様々な利点に目を向け始めた。折しも、2011年4月からは「森林・林業再生プラン」が動きだし、木材自給率（バイオマス利用を含めて）50%を目差し始めた。森林資源が豊富で、従来から木材自給率が100%を越えていた北海道・東北では、今、域内でバイオマス利用を含めた木材利用率を上げ、それを地域の諸産業の活性化に繋げる時機にさしかかっている。森林は多面的な機能を有するが、ここでは人間生活に必要な資源を提供する森林の機能の一つである、バイオマス資源の生産機能とバイオマス利用のあれこれ、および利用に当たって留意点などについて纏めた。

1 はじめに

何十億年もかけて少しずつ作られてきたマイルドな自然から見れば、人間は生意気な新参者なのであろう。ヒトを含めた生物全員に「出来ればいない方が良い生き物は？」というアンケートを出せば、恐らくかなりの高率で「にんげん〜」という答えが返ってくるだろう。ここで、高率を持って嫌われた人間の活動の一つである森林の利用、特にバイオマスとしての利用について、他の生物たちに如何に嫌われないかを考えながら話しを進めよう。

2 バイオマスとは

バイオマスが今注目される理由は、地球温暖化の原因とされる化石資源の燃料利用による大気中への二酸化炭素の排出を減らすため、その代替としてのバイオマス資源への期待にある。その理屈は、カーボンニュートラルという言葉で表現される。それは、光合成により大気中の二酸化炭素を利用してからだを作った植物体（バイオマス）は、燃料として燃やしても排出される二酸化炭素は大気中に戻ることであり、二酸化炭素の出入りはな

い（ニュートラル）という考えによる。

バイオマスとは、「生物体を量として捉える」科学用語と理解したら良いであろう。例えば、森林は丸太を切り出して木材を生産する活動の対象として見られてきたことから、樹木の蓄積量は1ha（ヘクタール）当たり何 m^3 あるかと表現されている。一方、森林をバイオマス利用の対象と考えれば、嵩ではなく実質の重量が必要な情報となり、1ha当たり何t（トン）あるかと表現されることになる。すなわち、樹種の違い（ブナは家具に、ミズナラは突き板に等）は問題ではなく、重さだけが大切になるのである。これは、バイオマスが熱利用や発電ためのエネルギー源として使われることに起因する。樹木の固有の木目や肌触りは関係なく、十把一絡げの量で考えられることになる。そのためかバイオマス利用というと、大量利用の圧力からか「自然を破壊する」イメージを持つことが多いように思われる。

3 木質バイオマス利用の技術開発の歴史

戦中そして戦後は、石油や砂糖など輸入に頼る物資が不足し、木質バイオマスは今以上に重要な



写真1 往時の北海道木材化学㈱（北海道法を考える会，1997より転載許可済）

資源と考えられ利用されていた。その中で、特筆すべき技術の一つは、1959年に北海道庁により旭川市に設立された北海道木材化学㈱での、木材を硫酸により加水分解し、結晶ブドウ糖を生産するものである（写真1）。技術的問題ではなく採算性の問題で、1964年12月には会社更生法の適用となった。多くの報告書が示めされはしたが（北海道法を考える会，1997）、残念ながら技術の直接的な継承は途絶えたと言えよう。しかしながら、これはバイオマスの先端的利用の魁^{さきがけ}と言える。

それから時が過ぎ、1982年に筆者が林業試験場（1988年に森林総合研究所に改称）に職を得てバイオマスの言葉に初めて触れたのは、1981年に始まった「バイオマス変換計画」という農林水産省のプロジェクトに参画した時であった。背景は、トイレットペーパーが商店から姿を消したイメージの石油ショック（第1次の1973年と第2次の1979年）であり、当時の研究テーマは、ホテイアオイ（ミズアオイ科の水草）・スイートソルガム（サトウモロコシ）・ヒマワリ・各種広葉樹等の資源作物の導入・開発と、それら資源の飼料化・エネルギー化・食品化といった総合システムの構築であった（農林水産省，1991）。その際に行われたヤナギ類の生長量（バイオマス量）を基準にした選抜試験は、後述するように現在に引き継がれている。

4 いろいろなバイオマス利用

4.1 木質チップやペレットによる熱供給

身近には、木材をチップ（従来は紙パルプの原料であるが、最近は燃料としても使われる）やペレット（木粉を押し出し成型する際に発生する熱で、接着剤なしで固まる）の形に加工して（写真2、3）、それらを木質バイオマスボイラーで燃焼して熱を得て、温泉の加温や食品工場の過熱蒸気として利用する例が多い。

岩手県^{しづくい} 雫石町の県営屋内プールでは、いわて型

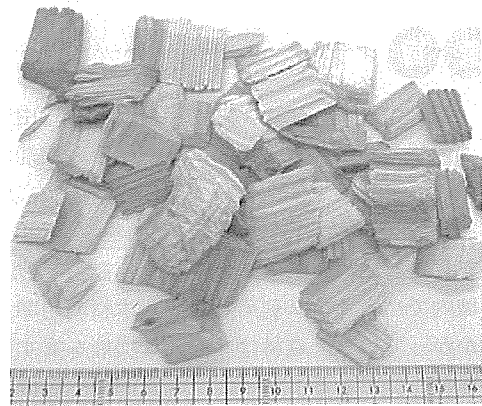


写真2 木材から作られたチップ



写真3 木材から作られたペレット

チップボイラー 200 kW（キロワット）2台と 100 kW 1台、および地下水利用型ヒートポンプ 200 kW 1台を導入し温水の供給を行っている。1年間で用いる木材チップの量は 4,000 m³ であり、近隣の岩手中央森林組合から供給され、地域の木材需要拡大にとっては重要な役割を担っている。その際、チップの乾燥具合は重要であり（生の木材は水分を約半分含んでおり、水をも燃すことになることから、事前の乾燥が大切になる）、森林組合では乾燥具合に応じて価格を設定しているという。燃料費は重油ボイラーと比べて 4 割程度低く、年間約 1,800 万円程度の燃料費を削減できるとい

う。

北海道では、2008年度の「環境モデル都市」に選定されるなど農水省が進めるバイオマスタウンとしても成功例である下川町の五味温泉の事例は有名であり、筆者も数年前に見せて頂いた（写真4）。温泉の加温に木質バイオマスボイラー（オーストリアのシュミット製185kW）を導入し、燃料には町内の木材工場から排出される端材をチップ化して使用しており、1日当たりの投入量は4m³である。化石燃料である重油を代替することで、重油使用量の削減（二酸化炭素排出削減）と木材の需要拡大に役立っている。

4.2 古くて新しい薪

都会ではなかなかお目にかかれないが、身近な燃料と言えば薪がその代表であろう。東日本大震災で化石燃料の入手が困難となった沿岸被災地では、利用可能なエネルギー源は津波で壊れた住宅の木材であった。岩手県遠野農林振興センターと日本中からのボランティアは、大槌町吉里吉里地区で被災木材を薪にして（写真5）、薪を燃料とする温水ボイラーでお湯を沸かして、流された生け



写真4 五味温泉に導入されている温水ボイラー



写真5 柱・梁などのきれいな木材は薪となった

す簀にビニールシートを敷いて作った浴槽を満たし「かっぱの湯」（遠野のカッパにちなんで）と名付けられた。マスコミでも多く取り上げられ、目にした方も多いと思う。木質バイオマス利用の一つである薪の良さを再認識できる活動でもあったと言える。ちなみに、断水のため水は自衛隊恵庭の皆さんが給水車で供給してくれた。一方、自衛隊の各駐屯地が設営した仮設の風呂（旭川からは「旭の雫」等とそれぞれのネーミング）は、化石燃料によるものであるが、勿論住民からは大好評であったことが報道された。

薪は、1962年の原油輸入自由化による燃料革命前の1955年には、生産量が618万層積m³（薪と薪の隙間を除いた実際の容積に換算すると1層積m³=0.625m³）に達していたが、2010年には僅かに85,481層積m³となっている（林野庁，2011）。少ないとはいえ、最も少なかった2006年の33,000層積m³に比べると復活の兆しが見られる。なお、1層積m³の卸売業者仕入れ価格は2009年では16,650円となっている。恐らく、この統計値には、自家生産・消費する薪の量は含まれてはいないと考えられ、地域によっては多くの家庭が薪を使っていることから、実際の薪生産量は8万層積m³より一桁は高い数値になるであろう。実際、岩手県西和賀町の調査では、薪ストーブの利用率は29.5%であり、その率を増やすべく「薪ストーブ利用世界一」を目指した活動が行われており、林業の活性化にも繋がることが期待されている（西和賀町，2011）。薪から発生する燃焼ガスの炎は魅力的で、薪ストーブの愛好者は着実に増えているようだ。実際、性能の高い薪ストーブと断熱性の高い煙突の導入は、排煙による近隣への問題も少なく、快適な住環境をもたらしてくれるようだ。そのためには、良く乾燥した薪の供給が重要となり、筆者が見せてもらった生産現場では、ビニールハウス内で2ヶ月乾燥した薪を販売業からの注文に応じて、宅配便で供給していた。

4.3 木炭の将来

木炭の国内生産量は、1940年に約270万tが生産されピークを示した。製炭の歩留まりは多く見積もって20%（現状では品質向上のため15%ほどであるが、当時は生焼けもあったと想定した）とすると、270万t/0.20=1,350万tの原木が使われたことになり、ナラ類の密度を0.64とすると1,350万t/0.64m³/t=2,100万m³もの木材から炭が作られたことになる。ちなみに、2010年の国内木材生産量は1,892万m³であり、そのほとんどは木質材料として使われており、当時のエネルギー

ギー利用の多さが実感できる。戦後は、石油自由化により家庭燃料も灯油に代替され、木炭の生産量（竹炭・粉炭を含む）は減少の一途をたどり、2010年は25,888tに過ぎない（林野庁、2011）。国内生産量は、岩手県の4,132t、島根県の3,018t、北海道の2,744t、福島県の1,780tと続いている。ちなみに輸入量（やし殻炭を含まず）は国産量より一桁多い115,487tで、中国を筆頭に、マレーシア・インドネシアと続いている。

木炭には、黒炭と白炭があるが、ナラ材を原料とする北海道や東北では、前者（98%）が圧倒的に多く生産されている（写真6）。製炭者の高齢化や輸入木炭との競合による木炭価格の低下等により、自然エネルギーの伝統的な旗手であった国産木炭の復権は容易ではない。厳しい状況にはあるが、都会において国産木炭の良さを認めて使ってくれる動きは大切にしたい。写真7は、東京神楽坂にある炭火焼 Kemuri での岩手切炭の美しさや優しい火力といった良さを生かしたいり端の光景である。今後は、製炭者と都市需用者を直接に繋ぐ仕組み、製炭業（薪も含めて）により広葉樹を持続的に利用し森林整備に繋げる仕組み、炭や薪の自然エネルギーとしての位置付け等を真剣に考える必要がある。



写真6 6 窯を有する岩手県の黒炭製造業

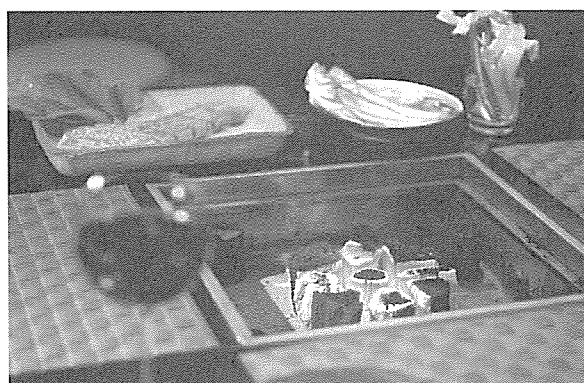


写真7 ナラ切炭を美しく使ったいり端

4.4 木質バイオマスによる発電

エネルギー安定供給の確保・地球温暖化問題への対応・環境関連産業の育成等の観点から重要な再生可能エネルギーの利用拡大を図るため、「電気事業者による再生可能エネルギー電気の調達に関する特別措置法案」が2011年3月11日に閣議決定され、2012年7月には動き始める。この政策は、木質バイオマスによる発電にとっても大きなインパクトを持つ。2030年までの目標値として、バイオマス発電には50万kWが割り振られている。例えば、原子力発電所の規模は、2009年12月末で商業用の原子力発電所は54基あり、合計出力は4,884.7万kW（電気事業連合会、2012）なので、1基の平均出力は約100万kWに達し、バイオマス発電の2倍にもなる。ここで50万kWの数値は、多いのか少ないのかを資源量から考える。バイオマス発電は、木質バイオマスを燃料として行うことが想定されている。例えば、1基1万kWを国内に分散させて50基建設すると想定し、1基に必要な木材量を、木材の熱量と発電の出力をカロリーベースで試算してみよう（ジュール（J）で表示するのが正式なのだが、カロリー表示の方が馴染み易いので）。すると、必要な乾燥木材量（木材中には木材実質と同じくらいの水分が含まれているが、その水分を飛ばしカラカラに乾燥させた理想的な燃料用木材）は、1バイオマス発電所当たりスギ材では21万m³が必要となる（表1）。北海道最大の製材工場である㈱サトウでさえ、年間の原木消費量は9.6万m³であることと比べると（遠藤、2010）、必要な木質バイオマス量が如何に多いか想像できる。実際は、燃料となる木材は濡れているので、発熱量が低くなり1.5倍程度の量が必要となる。このような状況から、日本で大規模な木質バイオマス発電所を作ることは、燃料の安定的な確保が重要となる。なお、電力事業者による買取価格は、太陽光発電の場合は40円/kWhといわれているが、バイオマス発電については聞こえてこない。この価格設定は、バイオマス発電の普及にかなり影響するであろう。

2009年度から経済産業省と林野庁により「林地残材バイオマス石炭混焼発電実証事業」が開始され、木質バイオマスを石炭火力発電所の石炭と混ぜて燃料とすることが次の6事業所で進められている。すなわち、中国電力の三隅（100万kW）と新小野田（50万kWが2基）、電源開発の松浦（100万kWが2基）、九州電力の苓北（70万kWが2基）、住友共同電力の新居浜西3号機（15万kW）、そして新日本製鐵釜石製鐵所の石炭火力発電（14.9万kW）である。釜石地方森林組合は、新日

表1 1万kW発電に必要な木質バイオマス燃料

1万kW（キロワット）発電による出力エネルギー	木材の燃焼エネルギーから見た木材必要量
kWh（キロワット時）のエネルギー量 1kWh（1kWで1時間の発電量）=860kcal（キロカロリー）	1t（トン）=約 45×10^5 kcal（木材中に水分がないと仮定）
1年間の発電量（kWh） 1万kW×24時間×365日= 8.76×10^7 kWh	
1年間の発電による出力エネルギー (8.76×10^7) kWh×860 kcal/kWh= 7.5×10^{10} kcal	左に必要な木材量は (7.5×10^{10} kcal) ÷ (45×10^5 kcal)/t = 16.7×10^3 t = 16.7千tの完全に乾いた木材
発電の効率を25%と仮定（75%は熱などになってしまうので、熱も併せて利用することが望まれている：熱電併給と呼ばれる）	左の発電効率を考慮すると上の4倍の木材量（16.7千t×4=6.7万t）が必要。スギの密度は0.314 (t/m ³)なので、木材の容積量に換算すると、6.7万t/0.314(t/m ³)=21万m ³

本製鐵釜石製鐵所が行っている「林地残材バイオマス石炭混焼発電実証事業」に木質バイオマスを供給している。2010年4月から間伐材や林地残材の供給を開始し、年間で8,000m³の納入を達成した。この間、森林組合では4名の新規雇用ができた地域貢献となった。受け入れられた木質バイオマスは、その状態で半年～1年程度乾燥させ、その後破砕機により長さ50mmの棒状のチップとし、更に乾燥させて最後に70μm（マイクロメートル）に微粉砕され石炭に2～2.5%混ぜて燃焼させる仕組みである。残念だが震災により混焼事業は中断を余儀なくされているが、今後も様々な試験が行われる予定である。

4.5 木質バイオエタノール

2006年の米国一般教書に示されたエネルギー政策の脱中東石油に影響されて、日本のバイオ液体燃料化政策が大きく動き出した。2006年11月1日には、安倍総理（当時）は国産バイオ燃料の生産をガソリン消費量の1割に当たる600万kl（キロリットル）に増やすように指示した。これを受けて、農水省は2007年2月に生産の工程表を安倍総理に提出した。その数値は、最近の電気自動車の声とともにかすれた感も否めないが、2030年の生産目標である600万klのうちの1/3は木材が受け持つというものである。これを受けて、森林総合研究所では林野庁の事業により2009年から5カ年計画で木質バイオエタノール製造プラントを北秋田市内に建設し、実証試験を進めている（写真8）。トウモロコシやサトウキビからのバイオエタノール製造に比べて、木材は強固な細胞で出来ており製造には手間がかかり、細胞からリグニン（エタノールにならない成分）を除く前処理（山本幸一ほか、2009）、酵素によるセルロースの糖化、酵母によるアルコール発酵、蒸留、99.5%にするための脱水の工程が必要となる。スギ林地

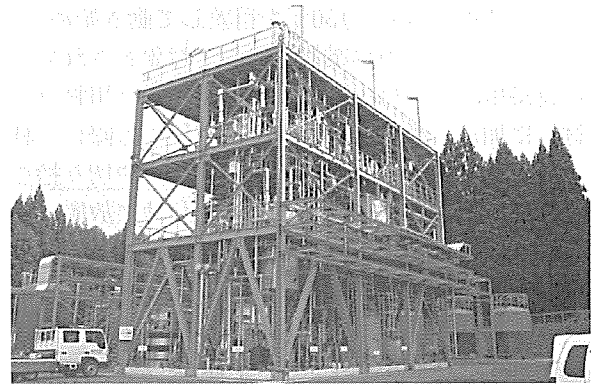


写真8 木質バイオエタノール製造の実証プラント

残材を原料として乾燥重量1tから250lのエタノール変換効率を目差しており、除去したリグニン成分の有効利用も統合して研究を行っている。

5 木質バイオマス資源の量

5.1 森林資源で賄えるエネルギー量

これまで利用の方法について見てきたが、木質バイオマスの力量はどの位なのかを知る必要がある。日本の国土に占める森林の面積率は68%、木材蓄積量は42.5億m³、年間生長量は0.8億m³（1.7億m³などの大きな数値もあるが、ここでは林野庁の公式値を示した）である（FAO, 2009）。現在、食糧自給率の低さも話題になっているが、エネルギー自給率の向上も論をまたない。日本で使われているエネルギー量は、原油換算で年間に約6億キロリットルと言われ、その多くを化石資源に依拠している。日本の年間の木材生長量である0.8億m³を毎年持続的に伐採して、全てをエネルギーに使うと仮定しても、数日分しか賄うことが出来ない計算となる。木質バイオマスのエネルギーとしての力は小さいのだが、森林資源の充実している地域では力を発揮することが出来るだろう。

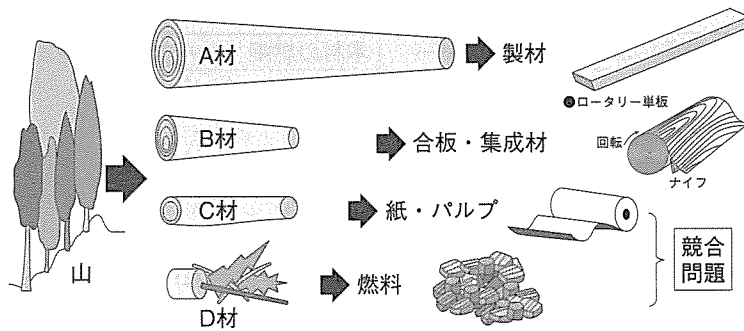


図1 森林から得られる木材の使い分け

2011年は「森林・林業再生プラン」元年と位置付けられ、林業施策のすべてが木材自給率（バイオマス利用を含めて）50%を目差して動き始めた。そこでは、従来の林業体系の中で対象とされていた建築用材（A材・B材）や紙・パルプ用材（C材）に加え、林地残材（丸太を収穫する際に、林地に残す枝葉・梢部・根元曲がり部）や切り捨て間伐材（間伐の際に収穫しないで林地に放置する間伐木）などの木質バイオマス用資源（最近ではD材とも呼ぶ）も利用することが重要であるとしている（図1）。上述したチップの国内生産量は2010年では500万m³であるが、2020年には1,500万m³に増加させることを目標としている。これにより木材供給量が増え、林業・木材産業に新しい雇用が生み出され、地球温暖化対策の一翼を担い、さらには地域のエネルギー自給率をも向上させるシナリオである。産業的には、C材やD材といった低質材は、既存の紙・パルプ利用と新規の燃料利用で競合する可能性があることから、地域での合意形成・棲み分けが重要となろう。D材までのすべてを利用することの生態的な問題については後述するが、林業の活性化のためには重要な方向性であることは間違いない。

5.2 森林の強度の利用と土地の劣化

従来は温暖化防止の観点から注目されていたバイオマスであるが、大震災後は地域エネルギー利用と地域復興の観点が追加され、期待は高まるばかりである。従来の森林利用では、幹材を収穫し、枝葉（根元曲がり部・梢部も含む）は林地に残すことが一般的であったが、バイオマス利用を目的とすると、北欧で見られるように枝葉も収穫する可能性がある。この際には、養分濃度が高い葉も収穫されることになり、林地からのより大きな養分収奪となり、生産力の持続性に影響を及ぼすことが懸念される。そのため、森林総合研究所東北支所では、枝葉を含めた収穫が幹材だけの収穫と比べて、どの程度養分量の持ち出しを多くさせる

のか、またその後の樹木の成長にどのような影響を及ぼすのかを調査している（平井ほか、2012）。

秋田県田沢湖の国有林内に2010年に設置したスギ林の試験地でのデータでは、幹材に加えて枝葉まで収穫すると、持ち出す養分量は約2倍に増加することが示された。すなわち、葉は収穫バイオマス全体に占める重量割合は8%と小さいが、窒素では46%、カルシウムでは36%と大きな値を示すからである。

一方、強度な収穫が樹木の生長に及ぼす影響の調査には長い時間が必要であるため、1969年に旧恵庭営林署内で行われた試験の追跡調査を行った。ここでは、火山放出物上の未熟土壌に生育していた96年生の天然生トドマツ林を皆伐し、(1)枝葉をすべて除去する（全木集材）、(2)幹木を集材し枝葉（枝条）を残す（枝条残存）、(3)枝葉を除去した分だけ肥料を施す（施肥）、の三つの方法で1971年にエゾマツを植栽した試験地での調査結果を示す（図2）。植栽後39年目においては、枝葉を残した試験区の樹高を100とした場合、枝葉をすべて除去した試験区では92、肥料を施した試験区では99であった。枝葉をすべて除去した試験区では、そ

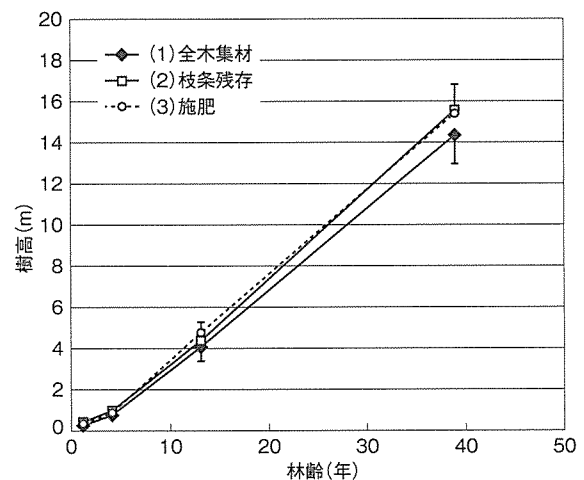


図2 枝葉をすべて除去した（全木集材）、枝葉を残した（枝条残存）、肥料を施した（施肥）ときの樹高成長の相違（平井敬三氏提供）

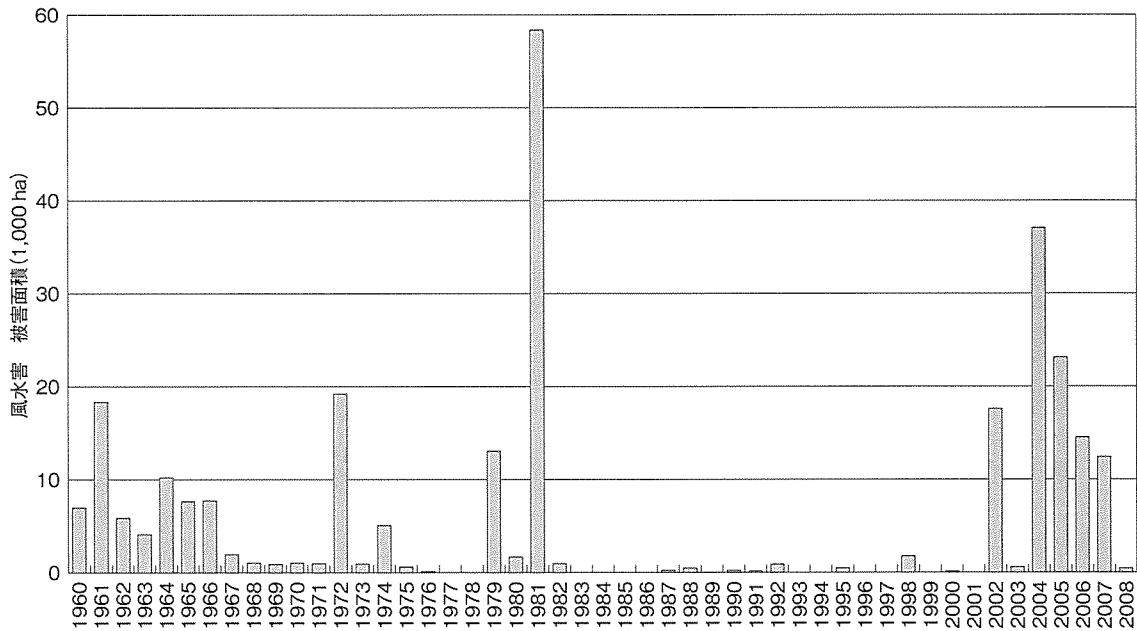


図3 北海道における森林の風水害面積の推移 (高橋正義氏提供)

の後の樹木の生長は低下したが、施肥をする（養分量を補う）ことで成長低下を抑える可能性が示された。

5.3 森林被害とその被害木のバイオマス利用

近年、温暖化に伴って「極端気象」が増えているという。北海道でも、図3のように森林の風水害の被害面積が増加傾向にある。被害の増加は、二酸化炭素の吸収源である林木の減少を招くだけでなく、虫害の発生にも繋がることから、被害木の除去と有効利用が望まれている（森林総合研究所北海道支所ほか, 2011）。被害木は形も不揃いで木材の繊維も微細に破壊されており、強度がかなり低下しているため、材木としての利用には適さないため、チップ化してバイオマス利用することも考慮に値する。

6 バイオマス利用のための造林の試み

木質バイオマス原料として、積極的に木を育てる考えもある。先に述べたオイルショックを契機として進められた「バイオマス変換計画」では、成長の良い広葉樹の研究が進められ、それが北海道下川町で継続されている。下川町では森林総研と共同で「ヤナギ短伐期栽培による新たな木質バイオマス資源の作出」プロジェクト（2007～2009年）を行い、ヤナギは、挿し木が容易、成長が早

い、萌芽再生の能力が高いという特徴から、繰り返しの収穫が出来るバイオマス造林に適した樹木であることを示した（森林総合研究所北海道支所, 2011）。とくにエゾノキヌヤナギとオノエヤナギは河川の上流から下流まで広く分布し、13mを超える高木となることから着目され、成長の大きいクローン^(註1)が選抜された（図4）。植栽の密度によっても収穫量は変化し、エゾノキヌヤナギでは1ha当たり2万本植えると3.5～9.7t/ha/年、4万本植えると6.5～13.2t/ha/年となり、オノエヤナギではそれぞれ4.8～9.8t/ha/年、7.5～12.0t/ha/年となった。これは、一般的な落葉広葉樹や落葉針葉樹（カラマツ）の最大収穫量の6～7t/ha/年に比べ大きな数値である。栽培計画は、22

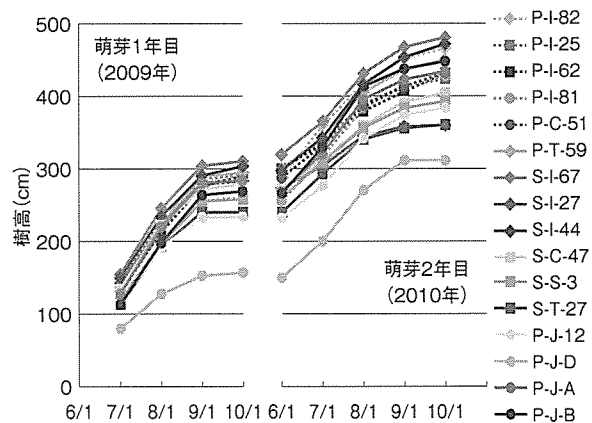


図4 エゾノキヌヤナギ(●)とオノエヤナギ(▲)の16クローン^(註1)の樹高成長 (宇都木玄氏提供)

注1 クローン：分子・DNA・細胞・生体などのコピーであり、林業では挿し木によりクローンを増殖することができる。



写真9 ケーンハーベスタを使った収穫試験（上村章氏提供）

年を1サイクルとし、1年目に耕耘・ヤナギの穂植栽・施肥・除草を行い、翌年に刈り取りを行なって萌芽を促し、それ以降は3年ごとに収穫を繰り返して、22年目に収穫して伐根処理を行い、新しいサイクルに戻る。収穫には、サトウキビの収穫に用いられているケーンハーベスタの利用を想定し、収穫試験も行なわれた（写真9）。

過去には、丸太生産のためにマツ類・トウヒ類などの外来の針葉樹が導入されたが、緑化・砂防・丸太利用・バイオマス利用などのためにアカシア類・ユーカリ類・ギンネム類・ポプラ類などの広葉樹が実用的あるいは試験的に導入され研究がされてきた（農林水産省，1991）。多くは、成長がよいことが確認されているが、外来種による生態系への被害を防ぐための「特定外来生物による生態系等に係る被害の防止に関する法律」（外来生物法）が2004年に制定され、ニセアカシア・モリシマアカシア・ギンネムなどが要注意外来生物に指定されている。育成から収穫のサイクルをしっかりと管理しない限りは、外来樹種のバイオマス利用は容易ではない。

地域によっては、丸太生産だけではなく、過去には薪や炭といった経験があるバイオマス（燃料）のための森林利用を考えることも、多様な土地利用の観点をも含めて、今後は必要となるだろう。

近年、ランドラッシュ（土地争奪）と呼ばれる熱帯の途上国での土地投資の問題が、世界的に大きくクローズアップされている。その2割程度は、バイオ燃料のための資源作物を耕作対象としていられるとされている。このような海外での事例も、

バイオマス利用に危惧を抱く遠因になっていると思われる。世界の持続可能な農林業の発展のためには、これらの資源作物の生産も持続性をもって行うべきことであるし、日本の土地利用においては、危惧を現実のものとしめない政策や科学的知見の蓄積・知恵が必要である。

引用文献

- 遠藤日雄（2010）不況の合間に光が見えた！—新しい国産材時代が来る—。日本林業調査会，204 pp.
- 森林総合研究所北海道支所（2011）Biomass ヤナギ畑からの利用—木質バイオマス資源作物の可能性—，（<http://www.ffpri-hkd.affrc.go.jp>）。
- 森林総合研究所北海道支所，北海道立総合研究機構林業試験場（2011）安全かつ効率的な風倒処理—高性能林業機械による風倒木処理の作業マニュアル—。電気事業連合会（2012）原子力発電の現状。（<http://www.fepc.or.jp/present/nuclear/setsubi/index.html>）。
- 西和賀町（2011）「薪」利用最適化システム構築計画書～新エネルギー利用で切り開く西和賀町の未来推進事業～.88 pp.（<http://www.town.nishiwaga.lg.jp/index.cfm/8,10397,c,html/10397/20110426-181119.pdf>）。
- 農林水産省農林水産技術会議事務局編（1991）バイオマス変換計画—豊かな生物資源を生かす—。光琳，737 pp.
- 平井敬三ほか（2012）森林バイオマスの強度収穫に伴う養分持ち出し量とその後の土壌および樹木成長への影響—特に養分に富む枝葉の収穫影響に注目して—。第7回バイオマス科学会議発表論文集。
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nation) (2009) State of the world's forests 2009. 152 pp.
- 北海道法を考える会編（1997）わが国における木材加水分解工業—北海道木材化学株式会社の記録—。エフ・コピント富士書院，330 pp.
- 山本幸一・真柄謙吾・池田 努（2009）アルカリ蒸解技術のバイオエタノール製造への応用。船岡正光（監修）木質系有機資源の新展開II.27-34，シーエムシー出版。
- 林野庁経営課徳用林産対策室（2011）平成22年特用林産基礎資料.107 pp.

山本 幸一（やまもと こういち）

1952年横須賀市生まれ。北海道大学農学研究科博士課程修了。博士論文はマツ属の放射線細胞の成熟。1982年農林水産省入省。（独）森林総合研究所東北支所長。現在の専門は木材保存、海外林業、木質バイオマス。