

私たちの暮らしと 木質バイオマスエネルギー

●
バイオエコノミーによる
循環型社会の創造

一般社団法人 日本木質バイオマスエネルギー協会 編

はじめに

みなさんは「バイオマスエネルギー」「バイオエコノミー」をご存知ですか？

バイオエコノミーとは、生物資源（バイオマス）やバイオテクノロジーを活用して、地球温暖化による気候変動や人口増加に伴う食料問題といった地球規模の課題を解決し、長期的に持続発展する循環型社会を創造しようとする考え方です。具体的に、農業、林業、漁業、食品産業、パルプ・製紙業などの産業分野に、バイオテクノロジーや情報技術などの技術革新をもたらして、再生可能な生物資源から食料、製品、燃料という新たな製品を作り出し、循環型社会を構築することを目指しています。

これまでの社会は、石炭や石油など、使えば無くなってしま^{さいくつしげん}う採掘資源によって支えられ、地球に負荷をかけながら経済発展をしてきました。しかし、採掘資源は枯^{こかつ}渇する可能性が高く、気候変動による自然災害も世界的に増加しています。これから地球上で生きていくためには、経済活動はその経済性だけでなく、生態系や地球環境に対する負荷にも目を向けなければなりません。

バイオエコノミーは、生態系や地球環境と共存しながら経済活動を行うための基本となるこれからの考え方ですが、この考え方が提唱されたのは新しく、経済協力開発機構（OECD）が2030年に向けた政策提言書を発表した2009年が、開始点とされています。2018年には、50ヶ国以上の政策をまとめた報告書がOECDから発表され、国際的にもバイオエコノミーという考え方は浸^{しんとう}透し、動きが本格化してきています。日本は2017年ころから戦略策定に動き始めています。

世界有数の森林国である日本でバイオエコノミーによる循環型社会を目指すとき、木質バイオマスと林業は重要な資源と産業として位置づけることができます。

このテキストでは「木質バイオマスのエネルギー利用」を取り上げます。エネルギーはとても身近で私たちの生活にとって欠かせないものですが、世界を取り巻く気候変動と直結しています。このエネルギー源を採掘資源である化石燃料から、再生可能資源である木質バイオマスに切り替えるということを通じて、バイオエコノミーによる循環型社会の実現を図っていきたいと思います。

本テキストは、これから社会に出ていく高校生、大学生を対象として、授業等におけるサブテキストとしてまとめたものです。バイオエコノミーによる循環型社会の創造を通じて、これからの社会のあり方やライフスタイルを考えるきっかけとしていただければ幸いです。

目次

1 エネルギー利用の変化と地球温暖化	4
2 再生可能エネルギーとしての木質バイオマス利用	8
3 森林の保全・整備とカーボンニュートラル	11
4 成長する日本の森林と木質バイオマスエネルギー利用	13
5 木質バイオマスエネルギー利用は新しい社会をつくる	17
6 木質バイオマスエネルギー家計簿	19

1 エネルギー利用の変化と地球温暖化

木質バイオマスエネルギーで成り立っていたかつての暮らし

1960年代までは、私たちの暮らしは、木質バイオマスエネルギー利用によって成り立っていました。都会においても、薪や炭で食べ物を煮炊きし、風呂を沸かし、暖を取っていました。

山村には、薪や炭をつくる仕事があり、住民たちは、その原料を求めて毎日のように森林の中に入っていました。薪や炭、木材は人々の生活を支え、活発な経済活動、森林の手入れがされていたのです。

しかし、石油製品が浸透し、日常生活で都市ガスやプロパンガスが使われるようになり、薪炭が使われなくなりました。その変化は急激で、燃料革命といわれています。



写真1 ●いろいろ

エネルギー利用の変化

人類はエネルギーを利用して文明を発展させてきました。人口が増加し、経済が発展するにつれ、人類はより多くのエネルギーを消費するようになりました。特にその変化を促進したのが産業革命です。現代の私たちの便利で快適な生活は石炭や石油、天然ガスといった化石燃料を燃焼することにより得られます。

しかし、一方では、これらの経済活動によって大量のCO₂が放出されます。このCO₂が森林や海に吸収されている限り大気中のCO₂は増加しませんが、現在の状況は大量のCO₂の排出量が吸収限界を超えています。そのことにより地球温暖化が生じているとされています。

(石油換算百万トン)

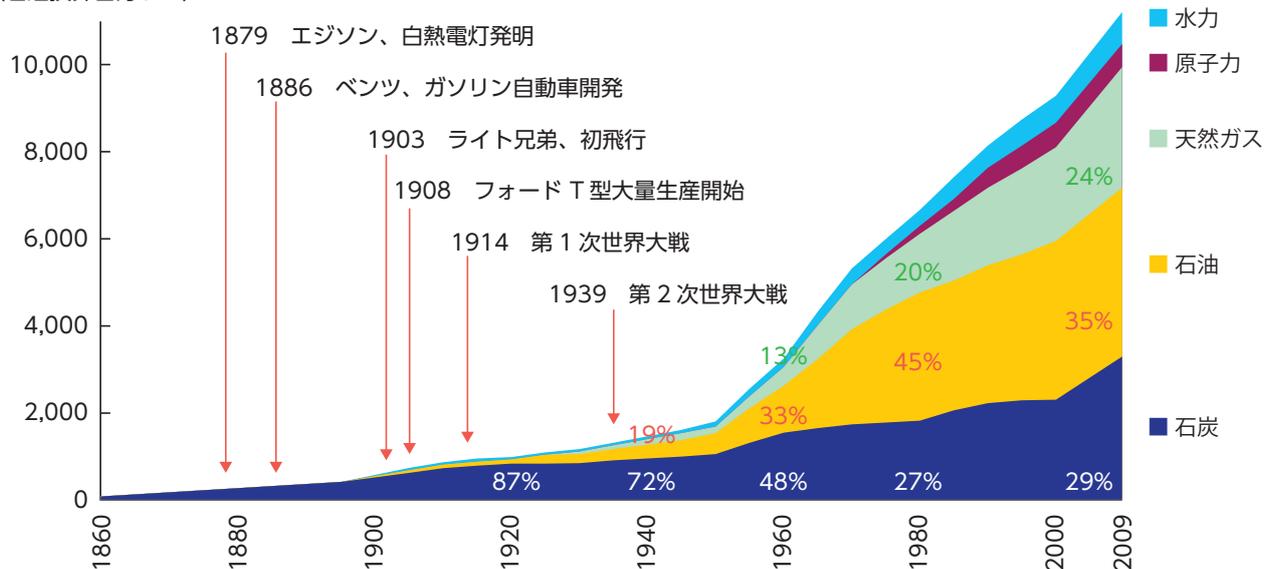


図1 ●人類とエネルギーの関わり

日本のエネルギー利用とCO₂排出量

わが国のエネルギー消費は、世界の消費量の3.3%を占めています。その内訳は、産業部門が最も多く46%を使用しており、運輸部門が23%、その他業務部門が16%、家庭部門が15%となっています。また、使われている形態では、熱利用が半数を占め、電力、運輸が四分の一ずつとなっています。このエネルギー利用等に伴って生じるわが国のCO₂排出量は世界の3.5%、国別排出量では、中国、アメリカ、インド、ロシアに次いで多く、5番目となっています。

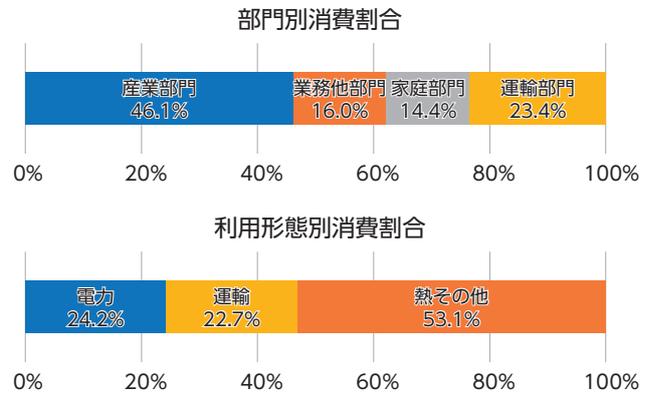


図2 ● わが国のエネルギー消費状況

温暖化する地球

地球の平均気温が上昇することを地球温暖化と呼びます。陸域と海上を合わせた世界平均地上気温は、1880～2012年の期間に0.85℃上昇しています。国連気候変動に関する政府間パネル（以下、「IPCC」）による報告書によると、経済活動は「気温変化の要因となる可能性がある」から「気温変化の要因となる可能性が極めて高い」に変化しています。

2018年10月に行われたIPCC第48回総会で、「1.5℃特別報告書」が受諾・公表されました。その内容は、温室効果ガスの排出が現状のまま進むと、早ければ2030年に世界の平均気温は、「産業革命前の水準より1.5℃」上昇し、パリ協定が努力目標とする上昇分に達してしまうというものです。

この報告書は、まだ先のこととしてきた「地球温暖化時代」が、もうそこまで来ているということだけでなく、努力目標である1.5℃以内の気温上昇に収めるための努力を、世界各国が速やかに実行しなければならないという現実を示しています。

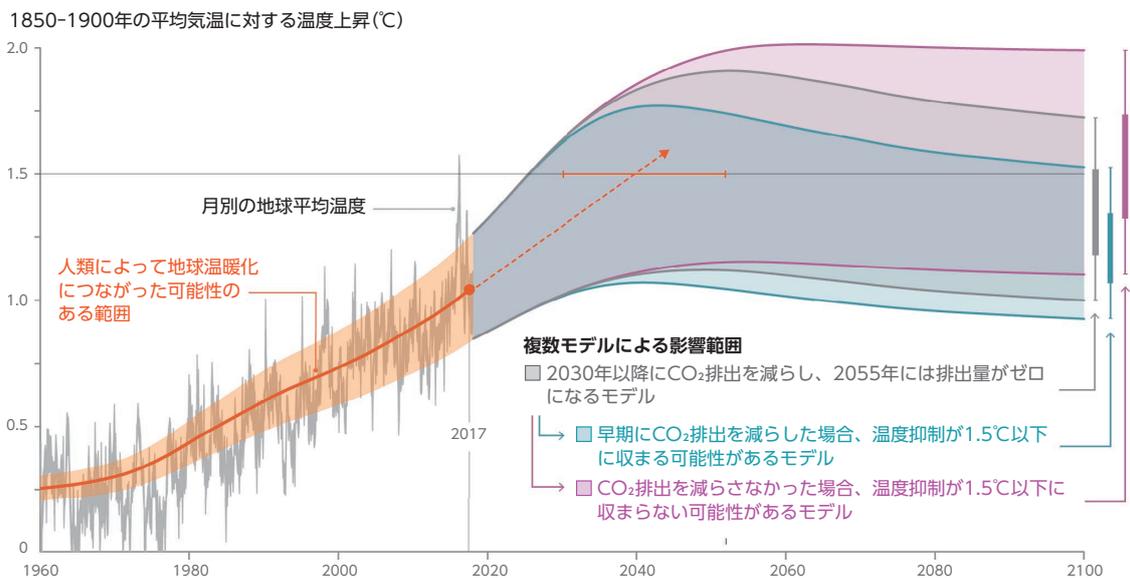


図4 ● 世界の平均気温の変化と今後の人類によるCO₂排出と抑制の予測モデル

地球温暖化の影響

地球温暖化により、様々な問題が生じる可能性が指摘されています。

その一つは、海面が上昇することです。南極や北極などにある氷が溶けて、海面が上昇します。それにより低い場所にある土地が水没し、陸上生物の住める場所が狭くなります。

二つ目は、地球環境の変化により、生態系も変化することです。それぞれの環境に従って生きてきた生物が生きられなくなる可能性があります。例えば、寒い地方に育っていた植物が、気温が上がることにより生存環境を奪われ枯死する可能性があります。また、このことは、農作物等の生育にも影響し、食料生産のあり方が変わってしまう可能性もあります。

三つ目は、気候そのものが変わってしまうことです。現在でも気象が異常化してきていると言われてますが、地球が温暖化することで、大雨や洪水、台風が増えるとともに、大型化すると予測されています。また、逆に、雨が少なくなって砂漠になる場所も出てくるとされています。

四つ目は、伝染病の拡大です。気温が上がることにより、アフリカなどの暑い地域で発生していた伝染病が他の地域にも広がる可能性があります。

温暖化のメカニズム

地球温暖化は、地表が大気からのエネルギーにより温められる「温室効果」メカニズムによって起きています。これは、地球は太陽からエネルギーを受け取り、受け取った分と同じだけのエネルギーを地表が赤外線として放出し、その一部が大気によって吸収される一方で、大気から地表に向けて再度赤外線が放出されるという仕組みです。温室効果により、地表温度は人類が生存できる気温になっています。しかし、温室効果をもたらすガスが大量に大気中に放出されそれらが大気に留まるため、温室効果が過剰になり、「地球温暖化」を招いていると考えられています。このような温室効果をもたらすガスの代表がCO₂（二酸化炭素）です。

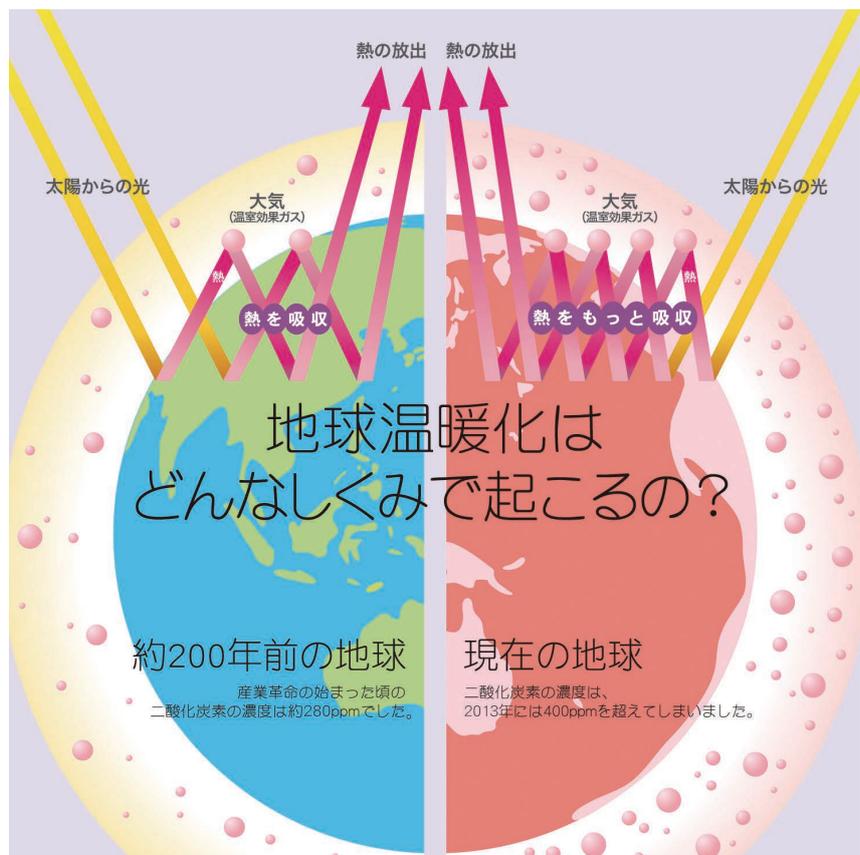


図4 ● 温室効果ガスと地球温暖化メカニズム

CO₂の発生と吸収の関係

地球表層は①大気、②海、③陸上生物（森林が含まれる）、④人間活動、に分類できます。人間活動によってCO₂が放出されますが、それが森林や海によって吸収されます。森林は光合成によりCO₂を吸収し、O₂を放出します。一方、海はCO₂を吸収するだけで、O₂との交換はありません（海藻や海草の活動を除く）。発生と吸収のバランスがとれている限り、CO₂は増加しません。太古よりこのバランスがとれていましたが、人間活動により、現在はCO₂の発生が大幅に上回っています。

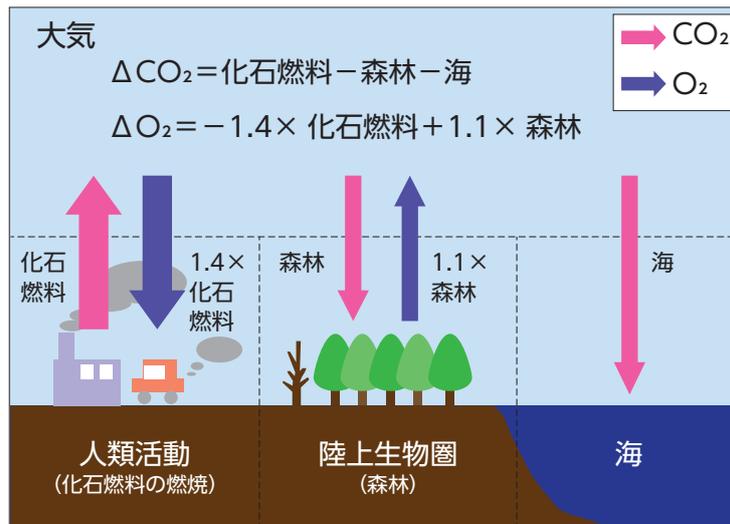


図5 ● CO₂とO₂の放出と吸収

コラム

地球温暖化の対策として木材利用がなぜ有効なのでしょう。

樹木は光合成によって大気中の二酸化炭素を吸収し、炭素を貯蔵しています。この木材を住宅や家具として利用することで社会全体の炭素貯蔵量を増やすことができます。住宅や家具は一定程度使用されたのち解体されることとなりますが、部材をさらに加工してパーティクルボードなどの別の木材製品に生まれ変わることで、炭素を引き続き貯蔵することが出来ます。

図は1haの造林地で育つスギの成長から利用・廃棄までの炭素固定量の変化を表したものです。樹木として成長する期間だけでなく、木材として利用されている期間も炭素固定に寄与していることがわかりますね。

地球温暖化の進行を抑制するためにも、積極的に木材を利用したいですね。

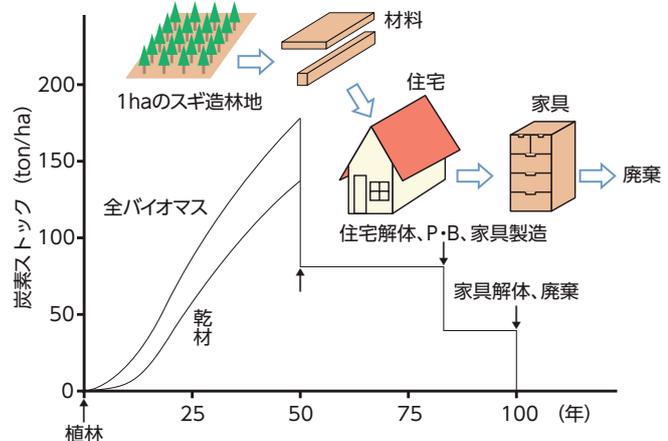


図6 ● 木材利用における炭素ストック

2 再生可能エネルギーとしての木質バイオマス利用

CO₂を発生させないエネルギー

地球温暖化に対し、CO₂を発生させない、カーボンニュートラル（⇒P11）なエネルギーである「再生可能エネルギー」が注目されています。これは、非化石資源から得られるエネルギーです。

具体的には、太陽光や風力、バイオマスや水力、地熱等が挙げられます。これらのエネルギーは、CO₂を発生させないだけでなく国産エネルギー源として期待されています。



図7 ●再生可能エネルギーの例

木質バイオマスとエネルギー利用

再生可能エネルギーとして期待される「バイオマス」とは、生物由来の有機性資源（化石資源を除く）で、生きているものはすべてバイオマスです。バイオマスは、バイオエコノミーの基盤を作る再生可能資源ですが、その中でも、これまでエネルギーとして広く一般に使われてきたのが、薪や炭という木質バイオマスでした。再生可能エネルギーとして利用されるバイオマスには木質バイオマスのほか、農作物の中で食料として利用されない部分を指す食品残渣バイオマスや、牧場や牛・鶏舎などから発生する家畜糞尿バイオマスなども挙げられます。石炭や石油といった化石燃料の台頭により、その利用は著しく減少しましたが、地球温暖化防止の観点から、かつてのように木質バイオマスをエネルギー原料として再び利用する動きが世界的に活発となっています。

木質バイオマスエネルギー利用のしくみ

木質バイオマスからは、燃焼によってエネルギーを得ます。その方法には、バーベキューのように火として直接利用する方法と、お湯・水蒸気として取り出す方法、熱で木質ガスを生成する方法の三通りがあります。

また、利用の仕方として**熱利用**と**電源利用**に分けられます。電源利用は、水蒸気を作って発電機（タービン）を回します。最近では、木質ガスにより発電する方法も実用化されています。



写真2 ● 木質バイオマスのエネルギー利用

再生可能エネルギー用の木質バイオマスの種類

木質の燃料材としては、伝統的には、薪・炭に加工してきました。近年ではより工業的に生産する、**木質チップ**、粒状の**ペレット**やレンガ状の**ブリケット**などにも注目が集まっています。このような加工品は、品質が安定するとともに、形状が一定で、自動的な取り扱いが可能となるため、商品としても有利です。

チップは、チップパーという機械で、木材を小さな木片に粉砕したものです。ペレットはおが粉にまで粉砕した木材をペレタイザーという機械で粒状に成型したものです。ブリケットは、おが粉やチップをペレットよりも大きく固めます。チップへの加工は一番簡単な方法で、経済的メリットから世界的に主流となっている方法です。ペレット、ブリケットは、チップに比べて加工に手間がかかりますが、品質が一定で、輸送や配送も効率的で、家庭などの小規模な利用に適した扱いやすい燃料となります。

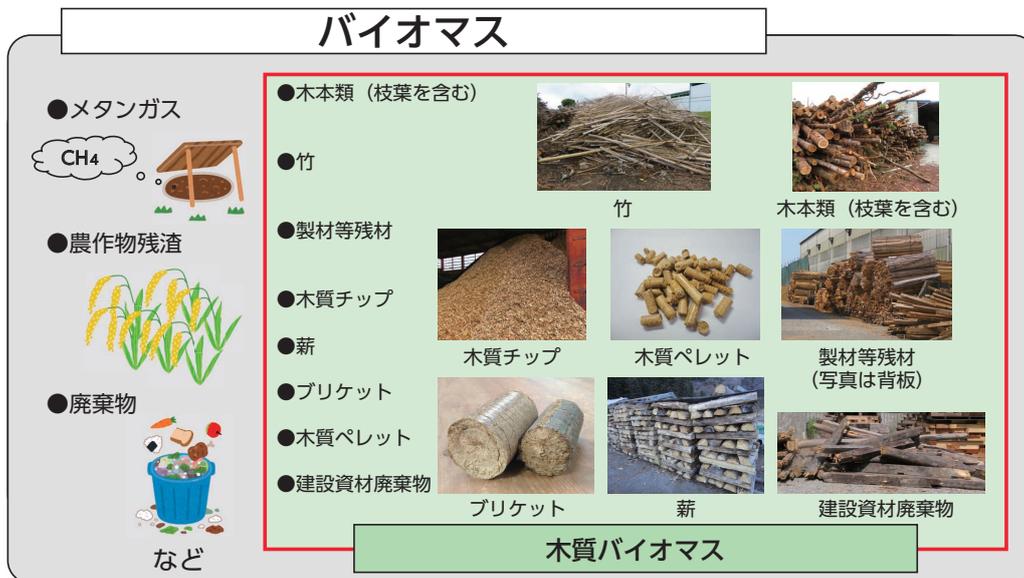


図8 ● バイオマスの種類

燃料材の生産・供給

燃料材の生産・供給のためには、多くの作業工程を経ることが必要です。森林にある立木^{りゅうぼく}を伐倒し、それを道端に集材し、一定の長さの丸太に造材し、それをトラックに載せて加工場に運びます。建築材などにする場合は、製材工場等に運びます。チップにするためには、チップ工場に運びます。また、山の現場でチップにすることもあります。



図9 ● 木材生産の作業工程

3 森林の保全・整備とカーボンニュートラル

カーボンニュートラル

植物は太陽エネルギーを使って、光合成により大気中のCO₂を炭素（C）と酸素（O₂）に分解し、炭素を木材（セルロース、ヘミセルロース、フェノール類のリグニン）として樹体内に閉じ込めて、酸素を空気中に放出すると同時に、呼吸によって二酸化炭素を放出しています。呼吸で吐き出すCO₂よりも、光合成により吸収するCO₂の方が多く、森林が成長するほど、空気中のCO₂は減少していきます。

木質バイオマスのエネルギー利用では、木材を燃焼させてエネルギーを作るため、燃焼によりCO₂が発生します。しかしこれは、もともと大気中に存在していたCO₂であるため、CO₂を排出したとはみなされません。このようにCO₂の収支がプラスマイナスゼロになる仕組みをカーボンニュートラルといいます。この仕組みが働くためには、伐採された木に代わって、新たな木を育てなければなりません。伐採された木は、木材として長く利用することにより、CO₂を貯蔵します。

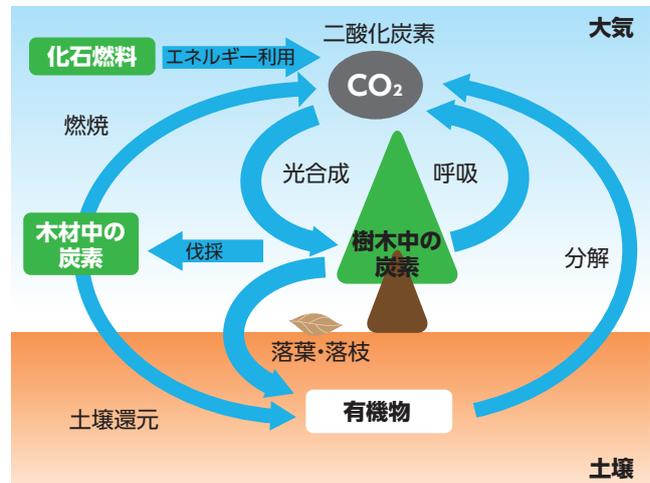


図10 ● 生態系における炭素サイクル

持続的な森林経営

森林の持続はカーボンニュートラル実現の要ですが、カーボンニュートラルは自然の摂理として原生林（天然林）の中で働いています。原生林では、寿命が来て枯死した木は腐朽し、CO₂を放出します。枯死し倒れた老木の周りには光が入り若木が育ちます。枯死や呼吸により放出されるCO₂と光合成で固定されるCO₂の量は同じ（カーボンニュートラル）で、森林内で循環しています。そのために、原生林は時間が止まった世界とも言われています。

林業は、このカーボンニュートラルという自然の摂理を利用して持続的に森林を経営し、得られる木質バイオマスを人々の役に立てる産業ともいえます。

経営管理としての森林の取り扱いを、専門用語で施業といます。施業には、天然林で行う天然生林施業と、人工林で行う人工林施業があります。



写真4 ● 原生林



写真5 ● 天然生林施業林



写真6 ● 人工林

天然生林施業は、数年～数十年程度の期間を定め、その間で寿命がくる老齢木や、被圧された劣勢木を収穫して、天然林の循環期間を早める施業方法です。天然生林施業では、種子の発芽による**天然更新**により森林が持続します。切り株から新しく目が出る萌芽によって天然力を利用する**萌芽更新**という方法もあり、かつての薪炭生産は、萌芽更新する広葉樹を定期的に伐って行われていました。

裸地や伐採跡地に人工的に若木を植え、人が手入れをしながら森林を持続させる施業を**人工林施業**といい、目的樹種を育てるために採用される林業です。日本では、建築用材等に利用しやすいスギ、ヒノキ、トドマツやカラマツ、アカマツなどの針葉樹が育てられてきました。人工林は成長がはやく、CO₂の吸収が旺盛なので、CO₂吸収源としても注目されています。

日本の森林

日本の森林は国土面積の3分の2を占め、世界でも屈指の森林国です。森林のうち、人工林が1,029万ha（ヘクタール、1ha=1万m²）、天然林が1,343万haとなっています。天然林の中には、人が手を加えて育てる育成天然林と、原生保護林のように人手をかけずに維持されている天然林があります。



図11 ● 利用目的に応じた国土区分 (万ha)

森林の公益的機能の発揮

森林は、木材やきのこなどの林産物を提供するだけでなく、様々な機能を有しています。

たとえば水源かん養機能や国土保全機能があります。日本のような急峻な地形で、山が裸地や草原だったらどうでしょうか。降った雨は直ちに斜面を侵食し、土壌は河川に流れこんで平野を濁水の洪水が襲い、そのあと水不足が生じます。森林は、樹木の最上部（樹冠）で降雨の衝撃を吸収し、下層植生が土壌の流亡を防ぎます。そして、枝葉や幹を雨がつたうため、雨が地表に到達する時間が遅くなります。森林内の落葉や根系、土壌は水を保水します。森林によって、雨や雪は時間をかけて河川に流れ、流量が調整され、下流の水量を一定にします。また、長い時間、水が地中にあることで、水質は浄化され、落葉は土の養分となって水田の肥料にもなり、美味しいお米を育てます。雨の多い年は山からの養分が海に流れ、牡蠣が美味しくなるように水産資源も育みます。

森林は、無数の動植物をはぐくみ、生物多様性を守ります。また土砂の飛散の防止や、CO₂を吸収するなど、大気も浄化します。土壌に水を保持する給水塔でもあり、生物の呼吸に必要なO₂を大気に放出することから地球の肺とも呼ばれます。地球に人が住む以上、森林は大事にしなければいけません。

このような森林の役割を**公益的機能**といい、日本では、17種類の**保安林**が指定され、森林の保全が図られています（表1）。

表1 ● 保安林一覧

No.	名称	No.	名称
1	水源かん養保安林	10	防霧保安林
2	土砂流出防備保安林	11	なだれ防止保安林
3	土砂崩壊防備保安林	12	落石防止保安林
4	飛砂防備保安林	13	防火保安林
5	防風保安林	14	魚つき保安林
6	水害防備保安林	15	航行目標保安林
7	潮害防備保安林	16	保健保安林
8	干害防備保安林	17	風致保安林
9	防雪保安林		

4 成長する日本の森林と木質バイオマスエネルギー利用

人工林化の進展と山村の過疎化

日本は1950年代後半の燃料革命以降、それまで薪炭を得るため萌芽更新で管理していた広葉樹林を製紙原料として伐採し、需要が急増していた住宅用の建築材等を生産するために針葉樹を植林して、

人工林化してきました。その結果、日本には国土の1/4に相当する1000万haの人工林がつけられました。こうして、森林の成長量が大きく、建築用に適した、品質に優れた木質バイオマス資源が造成されたのです。

しかし、植林という仕事が一段落し、燃料革命により薪炭の生産が無くなると、山村の仕事は減少してしまいました。折しも工業化による高度経済成長によって、山村の若者が都市部に流出しました。過疎化です。

表2 ● 山村と全国の人口推移

	1965年		2010年		増減 (%)
	人口 (万人)	比率 (%)	人口 (万人)	比率 (%)	
山村	672	7	393	3	▲42
全国	9,921	100	12,806	100	29

人工林が木材として使えるようになった

現在では、人工林が41年～60年生を中心に成熟期を迎え、木材として利用できるようになっています。人工林にある木材の量は、幹部の体積 (m³) で表され、それを蓄積量と呼びます。蓄積量は33億m³に達し、毎年1億m³程度成長しています。

ところが、そのこととは逆に、わが国の木材需要 (利用量) は減少傾向にあり、需要がピークだった時からすれば、約7割程度の水準になっています。最近国産材の割合が上がってきてはいますが、なお輸入材の割合が約6割以上となっています。したがって、日本では国産材として国内の森林の成長量の三分の一程度しか活用できていない状況にあります。

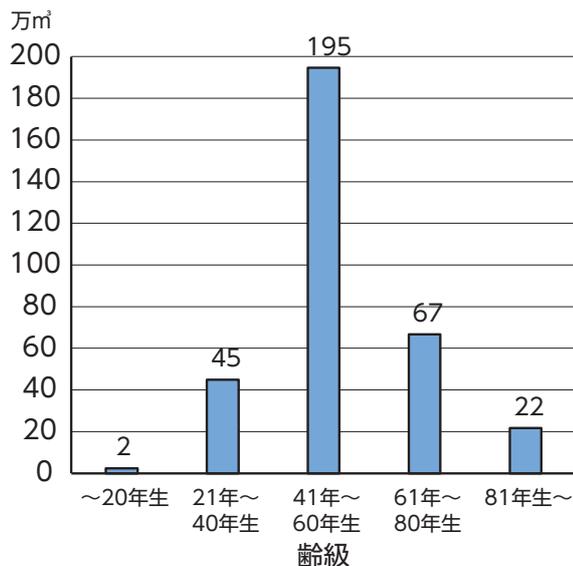


図12 ● 人工林・年齢別蓄積

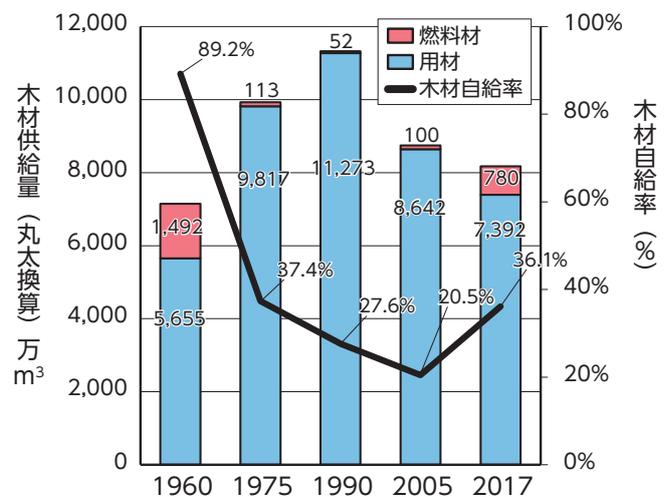


図13 ● 木材の供給量と木材自給率

放置される森林と木質バイオマス利用

健全な森林を育てていくためには、適切な管理が必要です。例えば人工林は、真っ直ぐに育てるために高い密度で植えます。密度が高いと、木々は光を得るために競って樹高を伸ばします。この性質を利用して、まっすぐ（通直）で、断面が円形の完満な木を育てます。しかし、そのままにしておくと、枝と枝が触れて、成長が遅くなり、風雪にも弱くなり、折損したりします。そこで間伐を行い、密度管理を適切に行います。このことは、天然林でも同様です。あまりにも木が密生してしまったら、良い成長は望めません。また、森林では蔓類が繁茂しやすく、それらは木の成長を阻害するため、蔓を切る必要もあります。

つまり、森林の適切な管理のためには人手をかけることが必要ですが、現在のわが国では、国産材需要の落ち込み、山村における人口の減少等の中で、その手入れが十分にできていません。間伐されない森林は、細い木が密集し、暗い森林になってしまいます。木々の下の灌木といった下層植生もないので、雨が降れば土壌流亡も生じます。

木質バイオマスエネルギー利用では、これまで使われてこなかった間伐時に伐採された細い木などが燃料材として使われます。そのことによって森林の整備がされ、森林の公益的機能の十分な発揮にも貢献するのです。

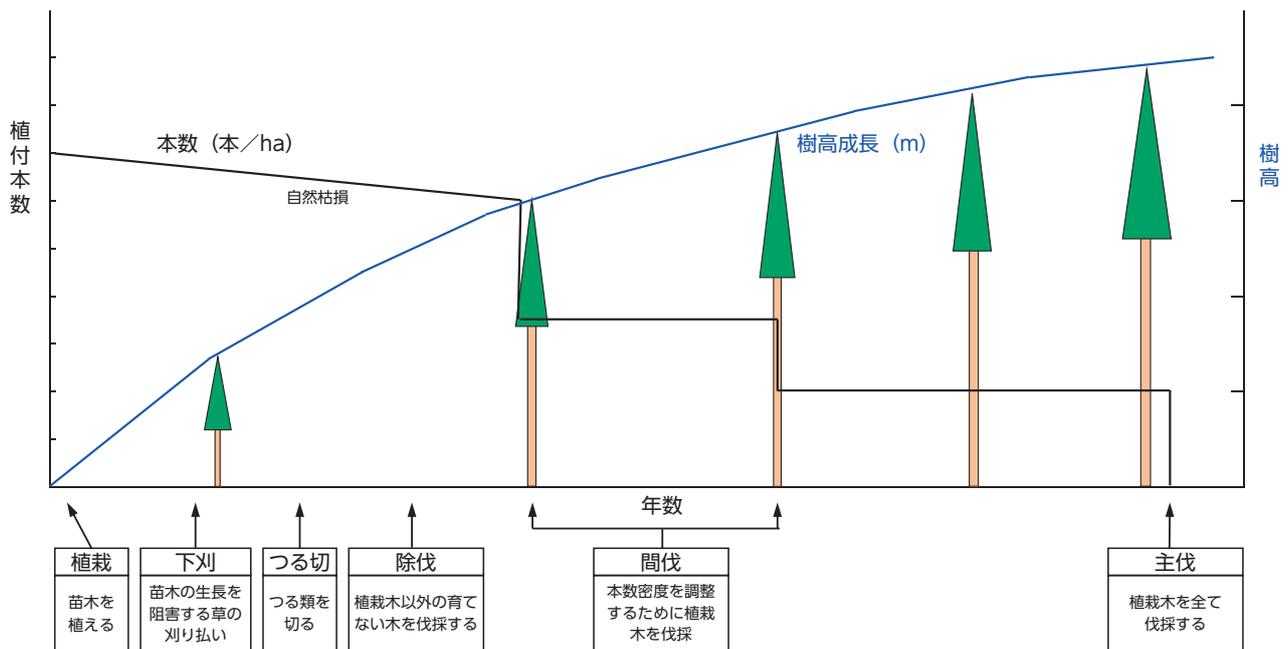


図14 ● 人工林の植林から成林までの作業



写真7 ● 間伐が遅れた森林



写真8 ● 列状に間伐した森林

木質バイオマスエネルギー利用は木材の有効利用

木質バイオマスエネルギー利用に使う木材は、間伐において伐採された細い木や建築等のための製材用や合板用、製紙用などに使われた残りの梢頭部や根株部、曲った木材や腐れが入っている木材などです。

このような材を使うことは、今まで使われずに来た木材の有効利用につながります。そのことによって伐採木の販売収入を全体で増加させることができます。今まで利用できなかったものが経済的な価値を持つのです。

伐り出された木材を家屋や家具、紙などとして利用しながらCO₂をストックし、最終的に燃料として利用することをカスケード利用（多段階利用）といいます。もちろん燃料以外に用途のない木材は、最初から燃料として有効利用します。

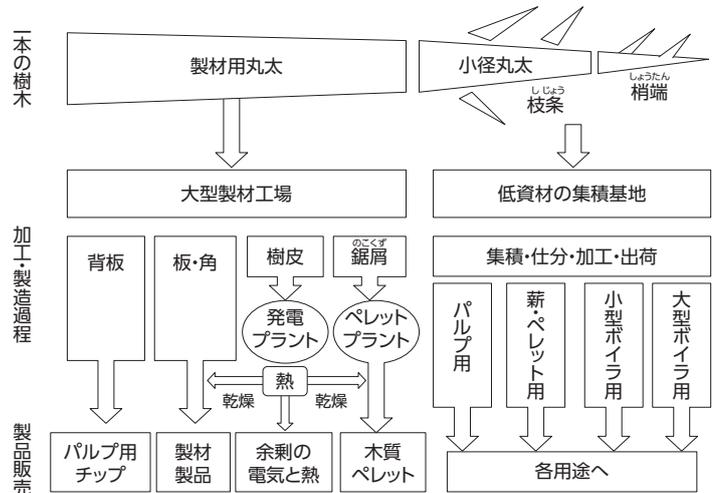


図15 ● 木材の多様な利用と燃料利用

木質バイオマスエネルギー利用の多様な効果

木質バイオマスエネルギー利用は、再生可能エネルギーとして地球温暖化の防止に貢献するだけでなく、伐採された木材の経済的な価値を高めます。そして、森林を伐採して循環利用しようとする森林所有者の意欲を呼び覚まし、森林の整備が進む契機になると期待されています。また、これまで化石燃料等を使うことによって、国外や地域外に流出していたお金が、地域で生産される燃料材などの購入に使われることになり、地域内で経済が循環します。さらに、燃料材の生産や、バイオマス発電所や熱利用施設で新たな雇用が生まれます。

そのことは、木質バイオマスエネルギー利用によって新しい地域社会が始まる契機となるでしょう。



図16 ● 木質バイオマス熱利用による地域活性化のイメージ

コラム

2012年より再生可能エネルギーの固定価格買取制度（FIT制度）が創設され、日本にも再生可能エネルギーが多数導入されるようになりました。このFIT制度は再生可能エネルギーによって生み出した電力を電力会社が20年間、固定価格で買い取る仕組みです。

このFIT制度によって、木質バイオマス発電所も全国各地で計画・稼働されています（図17）。木材利用の一つの出口として、森林資源の有効活用やそれに伴う森林整備、地域の雇用創出、地域の活性化が期待されています。

木質バイオマス発電所が立地している場所はいわゆる山村地域と港湾地域の2つに分かれています。山村地域の木質バイオマス発電所は地域の森林資源を主に活用していますが、港湾地域の木質バイオマス発電所は海外から燃料を輸入して使用する傾向にあります。

このFIT制度は電気を使用する家庭や事業者が平等に再生可能エネルギー発電促進賦課金として毎月の電気料金に上乗せして支払い、再生可能エネルギーの導入を促進する制度です。私たちが日々の暮らしで使う電気はどこで作られているのか、電気の由来はどこなのか、調べてみることも大事ですね。

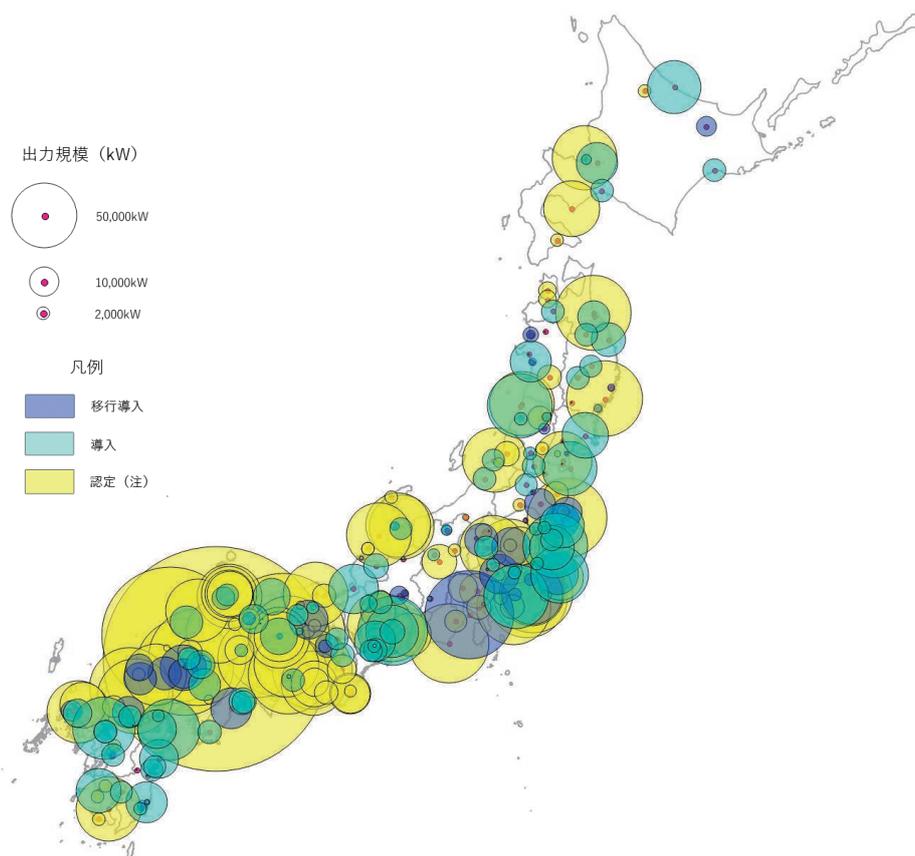


図17 ● FIT認定木質バイオマス発電所 (2017年9月現在)

5 木質バイオマスエネルギー利用は新しい社会をつくる

地球温暖化を防止すること

「地球温暖化」は人類にとっての大きな脅威となっています。この脅威に対し、国連も積極的に取り組んでいます。

例えばIPCCでは地球の温暖化についてデータの蓄積と分析を行い、今後の将来予測を報告しています。この報告を踏まえ、COP（国連気候変動枠組条約締結国会議）では、2015年に「パリ協定」を締結しました。この協定では、地球の気温上昇を産業革命前の水準と比較して2℃以下、努力目標として1.5℃以下に抑制するという目標を打ち立て、先進国のみでなく途上国もそれぞれに努力するとされました。

このことは、いかにして地球温暖化の影響を回避するかということですが、同年に、国連ではこのような気温上昇の目標値だけでなく、人類活動のあり方についても今後の目標を打ち出しています。「SDGs」（= Sustainable Development Goals）です。これは、これからの社会のあり方を示すもので、「持続可能な開発のための2030アジェンダ」にて記載された国際目標です。持続可能な世界を実現するための17のゴール、169のターゲットから構成され、各国が取り組むこととされています。



図18 ● SDGsロゴ

表3 ● 「13. 気候変動に具体的な対策を」のターゲット（一部要約）

No.	ターゲット
13.1	全ての国々において、気候関連災害や自然災害に対する強靱性（レジリエンス）および適応の能力を強化する。
13.2	気候変動対策を国別の政策、戦略および計画に盛り込む。
13.3	気候変動の緩和、適応、影響軽減および早期警戒に関する教育、啓発、人的能力および制度機能を改善する。
13.a	重要な開発途上国のニーズに対応するため、2020年までに緑の気候基金を本格始動させる。
13.b	後発開発途上国および小島嶼開発途上国において、気候変動関連の効果的な計画策定と管理のための能力を向上するメカニズムを推進する。

化石資源の時代からバイオエコノミー社会に

現代社会は、18世紀半ばに起こった蒸気機関の開発による産業革命以降、大きな変革を進めてきました。産業革命により、これまでの手工業を機械工業社会に変えました。その後、大量生産時代が実現し、さらに、コンピューターの発達により情報化の時代、グローバル化の時代になりました。そしてさらにAIの時代が来ると言われています。

これらの産業革命を支え、発展させたのは、石炭や石油などの化石資源です。地中に太古から蓄えられてきた化石資源を掘り出し、空気中の二酸化炭素濃度を毎年上昇させてきました。一方、増加する世界の人口は、食料を必要とするとともに、都市化の一層の進展を招き、森林を減少させてきました。都市は莫大なエネルギーを消費します。

20世紀は、化石資源消費の時代といつてよいでしょう。

しかし、地球温暖化を防止するため、化石資源を使うことはやめなければならない時を迎えています。いま、ヨーロッパは、生物に根ざした「バイオエコノミー」の時代に大きく舵を切っています。

バイオエコノミーとは、農業、林業、漁業、食品産業、パルプ・製紙業などが、再生可能生物資源の食料、生物由来の製品、燃料を作り出す社会を創造しようとする考え方です。化学、バイオテクノロジー、エネルギー産業等の分野に関わり、生命科学、作物栽培、生態学、食品科学、社会科学やバイオテクノロジー、ナノテクノロジー、ICTなどの産業技術、地域の伝統的な知識など、広範囲な科学や知識の応用によって、強力な技術革新をしようというものです。

つまり、これまでの価値観を大きく変革し、化石資源に依存しない社会、新しい生物資源を基盤とした社会が構築されようとしているのです。木質バイオマス利用もその中で重要な役割を果たすことが求められています。

SDGsに示された社会のあるべき姿とバイオエコノミーによる社会基盤の変革による新しい社会が始まろうとしています。



図19 ● バイオエコノミーの概念図

6 木質バイオマスエネルギー一家計簿

地球温暖化の防止やエネルギー利用の話は、あまりにも話の規模が大きく、個人としては、なかなか実感できないのではないのでしょうか。最近では、家庭における電気、ガス等の使用実態を把握し、CO₂排出量を減らす実践的な行動につながることを期待して環境省から提唱された環境家計簿が普及してきています。環境家計簿では、エネルギー関係の領収証の値を入力すると、わが家のエネルギー使用量とそれに伴うCO₂排出量が記録されます。

木質バイオマスエネルギー一家計簿は、その環境家計簿を活用し、CO₂排出量を木質バイオマスに置き換えるのに加え、エネルギー量を木質バイオマスで賄おうとする場合に必要な木質バイオマスの量がどのようになるかを試算するものです。

エネルギー源を木質バイオマスに置き換えることは可能でしょうか？可能であるとすれば、どのくらいの量が必要になるのでしょうか？また、そのために必要な間伐面積はどれくらいでしょうか？逆に言えば、そのことによってどの程度の森林が整備されるのでしょうか？

下記ワークシートを使って実際に調べてみましょう。

Q1 わが家のエネルギー源はなに？書いてみよう！

Q2 わが家はどのくらいエネルギーを使っている？ そのCO₂排出量は？ 次のページのモデルファミリーのお家に届く検針票や購入時の領収書から調べてみよう！

◆電気

①ご使用量 (kWh)

◆ガス

②ご使用量 (m³)

Q3 使用しているエネルギーを「木質バイオマス」に置き換えることはできる？

Q4 「木質バイオマス」に置き換える場合、どの程度の量が必要になりそう？

Q5 エネルギー源となる「木質バイオマス」のチップは山の木に変換するとどのくらい？

Q6 間伐材を使用する場合、どの程度の森林面積が間伐できるのでしょうか？

●電気

地点番号 電気ご使用量のお知らせ		様	
ご使用場所			
30年12月分	ご使用期間 11月27日～12月25日 検針月日 12月26日 (29日間)	ご契約種別	従量電灯B
ご使用量	340kWh	ご契約	30A
請求予定金額 (うち消費税等相当額)	9,671円 716円	当月指示数	7133.48
基本料金	842円40銭	前月指示数	6793.56
電1 1段料金	2,342円40銭	差引	339.92
力2 2段料金	4,680円00銭	計器乗率(倍)	
量3 3段料金	1,200円80銭	取替前計量値	505
燃料費調整	-326円40銭	計器番号(下3桁)	
再エネ発電賦課金	986円		
口座振替割引	-54円00銭		
上記料金内訳		昨年12月分は28日間で 487kWhです。 今月分は1日あたり 32%減少しています。 燃料費調整のお知らせ(1kWhあたり)	
		12月(当月)分	-0円96銭
		1月(翌月)分	-0円66銭
		翌月分は当月分比	+0円30銭
		今月分 振替予定日	1月11日
		次回検針予定日	1月28日
		地区番号	お客さま番号
			検針員
お問い合わせ先/カスタマーセンター お引越・ご契約に関するご用件 0120-995-		東京電力エナジーパートナー株式会社 事業所コード(012) お問い合わせ先 (カスタマーセンター) お引越・ご契約のご用件 0120-995- 停電・設備に関するご用件 0120-995-	

電気料金等領収証(口座振替払用)

30年11月分	ご使用期間 10月25日～11月26日
領収金額	7,200円
うち消費税等相当額 533円	
ご契約	30A
ご使用量	259kWh

上記金額を12月 7日口座振替により領収させて頂きました。

お客さま番号

東京電力エナジーパートナー株式会社
事業所コード(012)
お問い合わせ先
(カスタマーセンター)
お引越・ご契約のご用件
0120-995-
停電・設備に関するご用件
0120-995-

●ガス

13A ガスユーザー ご使用量のお知らせ		供給地点特定番号	お客さま番号
31年1月分		様	
検針月日(日数)	1月9日(35日)	口座振替予定日	1月18日
ご使用期間	12月6日～1月9日	ご契約種別	一般契約
ガスご使用量	60m ³	請求予定金額	8,908円
今回指示数	936	(内消費税等)	659円
前回指示数	876	ガス基本料金	1,036.80円
メーター番号		ガス従量料金	7,926.00円
次回検針予定日	2月5日	口座割引額	▲54円
前年同月使用量	50m ³ (34日)	料金内訳	
前月使用量	38m ³ (30日)	当月適用単位料金 B表	132.10 円/m ³
		翌月適用単位料金 (単位:円/m ³)	
		A (0m ³ ～20m ³)	148.43
		D (201m ³ ～500m ³)	128.45
		B (21m ³ ～80m ³)	133.85
		E (501m ³ ～800m ³)	119.81
		C (81m ³ ～200m ³)	131.69
		F (801m ³ ～)	112.25
TOKYO GAS 担当		料金・お引越し等のご連絡先(月～土:9時～19時 日曜・祝日:9時～17時 受付) 東京ガスお客さまセンター 0570- (ご利用になれない場合) 03-3344- ガスもれ時連絡先(24時間受付) 0570- ガス機器修理等のご連絡先(月～土:9時～19時 日曜・祝日:9時～17時 受付)	

ガス料金等口座振替済領収証

お客さま番号	
30年12月分	領収金額 5,922円
ご使用期間	11月6日～12月5日
ご使用日数	30日
ご使用量	38m ³
ガス料金	5,922円
(内ガス料金分消費税等)	438円

上記金額を12月13日に領収いたしました。

この領収証によりガス料金等をいただくことはありません。

東京ガス株式会社
東京ガスお客さまセンター
0570-
(ご利用になれない場合) 03-3344-

税務署承認済	付印
済	抵税申告
	つき
	芝

●灯油

納品書 (領収書)	
(株) 石油	
TEL:	
2019/01/17(木)13:46 2019/01/17	
ウエ 様	
10-01-00007-0000	00001
売上	現金 (自SS)
6887 013001	
灯油	¥1520
20.00L, ①	@76 L-11 P-27
合計 ¥1,520	
(内消費税等	¥113)
※上記にて領収書とさせていただきます	
No.2218	担当:

●ガソリン

納品書 (領収書)	
株式会社	
給油所	
神奈川県	
TEL:	
2018/12/23(日)16:31 2018/12/23	
様	
18-04-0000020-9310	14201
売上	WaiWaiプリカ (自SS)
8341 000026	
レギュラーガソリン	¥4855
37.93L, ①	@128 L- 4 N-10
(内ガソリン税	@53.8 ¥2041)
合計 ¥4,855	
(内消費税等	¥360)
プリカ利用金額 :	¥4855
プリカリアルNo. :	
プリカ前回残高 :	¥23844
プリカ今回残高 :	¥18989
※上記にて納品書とさせていただきます	
No.7469	担当: 01

木質バイオマスエネルギー家計簿ワークシート

No.	エネルギー源 【Q1】	CO ₂ 排出 係数	x月			木質バイオマスに 置き換え可能？ 【Q3】
			使用量	CO ₂ 排出量 【Q2】	金額 (円)	
例	電気 (kWh)	0.555	343kWh	190.365 (kg)	9,509	○
計算方法		—	—	=0.555× 【使用量：343】 kWh	—	—
1	電気 (kWh)	0.555		(kg) =0.555× 【 】 kWh		○ or ×
2	LP (都市) ガス (m ³)	6.5		(kg) =6.5× 【 】 m ³		○ or ×
3	灯油 (L)	2.5		(kg) =2.5× 【 】 L		○ or ×
4	ガソリン (L)	2.3		(kg) =2.3× 【 】 L		○ or ×
5	軽油 (L)	2.6		(kg) =2.6× 【 】 L		○ or ×
6	その他			(kg) = 【 】 × 【 】		○ or ×
合計				(kg)		—

そのエネルギー量をチップの量に置き換えると、どの程度必要？ 【Q4】	チップを立木に変換するとどれくらい？ 【Q5】	間伐材を使用する場合、どの程度の森林面積が間伐できるでしょうか？ 【Q6】
0.99 (m ³)	1.24 (m ³)	0.01 (ha)
= 【使用量：343】 kWh × 0.0029m ³ /kWh	= 【Q4：0.99】 m ³ /0.8 (係数)	= 【Q5：1.24】 m ³ /0.3 (間伐割合) / 400m ³ /ha (標準間伐対象森林)
= 【 】 kWh × 0.0029m ³ /kWh	= 【 】 m ³ /0.8 (係数)	= 【 】 /0.3 (間伐割合) / 400m ³ /ha (標準間伐対象森林)
= 【 】 kWh × 0.008m ³ /kWh	= 【 】 m ³ /0.8 (係数)	= 【 】 /0.3 (間伐割合) / 400m ³ /ha (標準間伐対象森林)
= 【 】 kWh × 0.007m ³ /kWh	= 【 】 m ³ /0.8 (係数)	= 【 】 /0.3 (間伐割合) / 400m ³ /ha (標準間伐対象森林)
= 【 】 kWh × 0.008m ³ /kWh	= 【 】 m ³ /0.8 (係数)	= 【 】 /0.3 (間伐割合) / 400m ³ /ha (標準間伐対象森林)
= 【 】 kWh × 0.008m ³ /kWh	= 【 】 m ³ /0.8 (係数)	= 【 】 /0.3 (間伐割合) / 400m ³ /ha (標準間伐対象森林)
= 【 】 kWh × 【 】 m ³ /kWh	= 【 】 m ³ /0.8 (係数)	= 【 】 /0.3 (間伐割合) / 400m ³ /ha (標準間伐対象森林)
(m ³)	(m ³)	(ha)

計算方法の解説

■CO₂排出係数のこと

エネルギー 1 単位あたりの二酸化炭素排出量を表す数値のことです。エネルギーの種類によって値は異なります。

また、同じ電気であっても電力会社によって発電方法が異なるので、電力会社ごとに排出係数は異なります。

一方、灯油は広義には、エネルギーを作ること自体にエネルギーは必要としません（化石燃料を収奪（収獲）するだけです。ただし厳密には灯油生産にエネルギーが使われます。）が、灯油燃焼時にCO₂が発生します。そのことがCO₂排出係数に反映されています。

■バイオマス(チップ)に置き換える変換係数のこと

電気

$$1\text{kWh} \div 0.229 (\text{送電端効率}^1) \div 2150\text{kWh/t-50\%w.b. (チップの発熱量}^2) \div 0.7\text{t-50\%w.b./m}^3 \\ \doteq 0.0029\text{m}^3$$

LPG

$$27.6\text{kWh/m}^3 (\text{発熱量}^3) \div 0.9 (\text{熱効率}) \div 2150\text{kWh/t-50\%w.b. (チップの発熱量)} \div 0.7\text{t-50\%w.b./m}^3 \\ \doteq 0.020\text{m}^3$$

ガス⁴⁾

$$12.5\text{kWh/m}^3 \div 2150\text{kWh/t-50\%w.b. (チップの発熱量)} \div 0.7\text{t-50\%w.b./m}^3 \\ \doteq 0.008\text{m}^3$$

灯油⁵⁾

$$9.5\text{kWh/L} \div 0.9 (\text{熱効率}) \div 2150\text{kWh/t-50\%w.b. (チップの発熱量)} \div 0.7\text{t-50\%w.b./m}^3 \\ \doteq 0.007\text{m}^3$$

重油⁶⁾

$$10.2\text{kWh/L} \div 0.9 (\text{熱効率}) \div 2150\text{kWh/t-50\%w.b. (チップの発熱量)} \div 0.7\text{t-50\%w.b./m}^3 \\ \doteq 0.008\text{m}^3$$

■間伐割合から歩留まり、森林蓄積のこと

一般的な間伐割合は30%であり、強度間伐の場合50%を伐採することになります。例えば、1,000m³/haの山林を間伐（30%）した場合、300m³程度が伐採されます。

また、わが国の山林における標準的な間伐対象森林の蓄積量はおおよそ400m³/haです⁷⁾。

- 1) 出力5700kWの木質バイオマス発電所に関する推計値（森林総合研究所「木質バイオマスを用いた熱電併給事業（CHP）採算性評価ツール」使用
- 2) 出典：森林総合研究所監修改訂4版木材工業ハンドブック，2004年，丸善
- 3) 出典：エルピーガス振興センターHP
- 4) 出典：東京ガスHP 13A
- 5) 資料：日本LPガス団体協議会「単位発熱量と炭素係数について」
- 6) 前掲書
- 7) 間伐材出材量：北関東，阿武隈地方スギ林（40年生・地位2）の幹材積は429m³となっています。本書ではおおよそ400m³として扱うことにします。

■立木から丸太、丸太からチップへの歩留まりのこと



立木から丸太に加工する場合、枝葉や梢頭部、根株は使い勝手が悪いので、原則として林地に置いていかれます。加工過程で失われる部分（原料ロス）があります。加工されたものの割合を歩留まりといいます。加工過程によって歩留まりは異なりますが、ここではイラストのように計算します。たとえば、歩留まり0.8は、立木から丸太に加工した時に、元よりも量が8割になる、ということです。

コラム

「飲水思源^{いんすいしげん}」という言葉があります。水を飲むときに、水道をひねれば水が出るということだけでなく、水はどこから来ているのか、その源はどうなっているだろうかを考えてほしいということです。

エネルギーについても同様のことが言えます。このエネルギーはどのように作られているかに思いをはせれば、エネルギーを使うことについて、どのようなエネルギーが望ましいかを考えていただけるでしょう。

ちなみに、わが国の電力の電源別割合は次のようになっています。

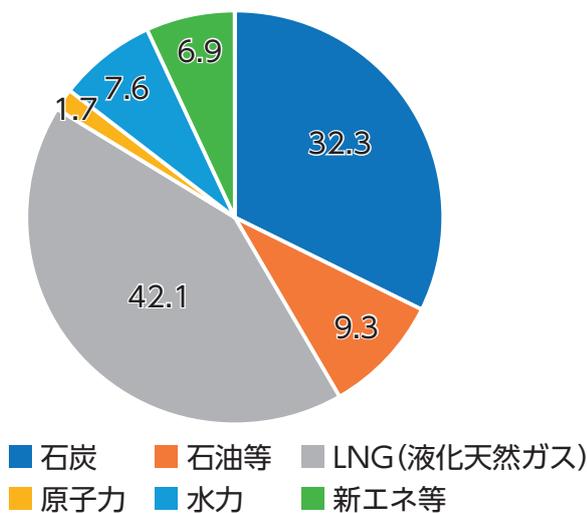


図20 ● わが国の電力の電源別割合

おわりに

～木質バイオマスエネルギー家計簿から見える私たちの暮らしと森林～

いかがでしたか？「木質バイオマスエネルギー家計簿」は難しかったですか？

きっと慣れない名称や計算方法で苦労したと思います。

せっかく苦労した数字をどのように読み、何を考えるべきなのか。

皆さんの自宅で使うエネルギーは何種類くらいありましたか？実はかなりの種類、量を使っているんですね。

これらエネルギー源を木質バイオマスで補えることが可能でしょうか？

この木質バイオマス（エネルギー源）を森林から調達する場合、どれくらいの木材（丸太）が必要になったのでしょうか？

そして、その丸太を手に入れるためにはどれくらいの森林が必要でしょうか？

森林資源を有効的に活用するためには森林を適切に管理することが必要になります。今回の計算の結果、皆さんの自宅で使うエネルギーを賄うためにどれくらいの森林の管理をしなければいけないのでしょうか？

森林はCO₂を吸収するだけでなく、エネルギーとして活用することが出来ます。しかし、活用するためには必ず手入れが必要になります。

人間は森林資源を活用し、暮らしを営んできました。森林に人が入り、手入れをすることで資源を循環させてきました。

しかしながら社会や経済の発展に伴い、取り扱いが容易な化石燃料に依存することとなり、結果的に地球温暖化を招いただけでなく、森林を放置してしまいました。

持続可能な社会を描くためにも、森林資源の有効活用は人類の課題でもあります。

これからの社会を築くみなさんには何が出来るのでしょうか？

バイオエコノミーによる循環型社会の創造や、私たちの暮らしのエネルギーから森林と人間との関わりを考えて戴けると幸いです。

出典一覧

- 図1：総合研究開発機構「エネルギーを考える」より資源エネルギー庁作成
- 図2：資源エネルギー庁「エネルギー白書2018」より日本木質バイオマスエネルギー協会作成
- 図3：IPCC「GLOBAL WARMING OF 1.5℃」
- 図4：全国地球温暖化防止活動推進センター作成
- 図5：全国地球温暖化防止活動推進センター作成
- 図6：大熊幹章「望まれる森林・林業と木材利用の連結」，山林（1541）、林野庁「平成24年度森林・林業白書」
- 図7：日本木質バイオマスエネルギー協会作成
- 図8：日本木質バイオマスエネルギー協会作成
- 図9：日本木質バイオマスエネルギー協会作成
- 図10：北海道ホームページ
- 図11：林野庁「森林資源現況調査（平成29年）」より日本木質バイオマスエネルギー協会作成
- 図12：林野庁「森林資源現況調査（平成29年）」
- 図13：林野庁「木材需給報告書」
- 図14：日本木質バイオマスエネルギー協会作成
- 図15：日本木質バイオマスエネルギー協会作成
- 図16：(株)バイオマスアグリゲーションホームページ
- 図17：日本木質バイオマスエネルギー協会作成
- 図18：国際連合広報センター
- 図19：European Commission作成を基に日本木質バイオマスエネルギー協会加筆
- 図20：資源エネルギー庁「エネルギー白書2018」
- 表1：日本木質バイオマスエネルギー協会作成
- 表2：農林水産省「山村カード調査」 総務省「国勢調査」
- 表3：国際連合広報センター

写真協力

小祿直幸、酒井秀夫、前川洋平、山田賢

執筆者

- 酒井秀夫（日本木質バイオマスエネルギー協会・会長）
- 加藤鐵夫（日本木質バイオマスエネルギー協会・副会長）
- 前川洋平（日本木質バイオマスエネルギー協会・主任専門調査員兼特別研究員）
- 落合麻里（日本木質バイオマスエネルギー協会・専門調査員）
- 吉田美佳（筑波大学 生命環境系 日本学術振興会特別研究員（PD）
現：秋田県立大学 木材高度加工研究所 特任助教）

協力

- 井上真理子（森林研究・整備機構 森林総合研究所多摩森林科学園・主任研究員）
- 久保山裕史（森林研究・整備機構 森林総合研究所林業経営・政策領域・領域長）
- 岩崎保典（埼玉県立児玉白楊高等学校 教諭）

私たちの暮らしと木質バイオマスエネルギー ～バイオエコノミーによる循環型社会の創造～

発行年月：2019年6月

発行者：（一社）日本木質バイオマスエネルギー協会

本テキストは（一財）日本森林林業振興会による平成30年度森林林業振興助成事業（木質バイオマス利用の意義を国民に普及する事業）により作成しました。



一般社団法人
日本木質バイオマスエネルギー協会
Japan Woody Bioenergy Association