

木質バイオマス発電における
未利用木材の利用について

慶應義塾大学 経済学部

4年4組 学籍番号 21110833

大沼あゆみ研究会 11期

澤田 正瑛

人生、苦しい時が上り坂

—柳家 小さん

目次

0章 はじめに

1章 木質バイオマス発電について

- ・木質バイオマス発電の概要
- ・メリット
- ・問題点、課題

2章 未利用木材の搬出および利用について

- ・能代バイオマス発電所について
- ・供給サイド（未利用木材の搬出）の問題
- ・需要サイド（発電利用）の問題

3章 固定価格買い取り制度の日独比較

- ・発電規模
- ・先進技術ボーナス
- ・コージェネレーションの普及
- ・チップ生産の主体

4章 問題提起

- ・発電規模の大型化の是非
- ・先進技術の導入や熱電併給の実施について
- ・未利用木材の利用と林道の整備

5章 モデル分析～未利用木材の需要・供給の決定について～

6章 モデル分析～林業インフラの整備～

7章 電気の買い取り価格と需要価格の関係について

8章 森林ストックへの影響

9章 おわりに

0章 はじめに

本論文では、木質バイオマス発電における未利用木材の利用推進について議論する。1995年の京都議定書において地球温暖化が国際的な問題として扱われるようになって以来、東日本大震災やそれに伴う福島第一原子力発電所の事故などを経て、二酸化炭素を排出せず地下資源に依存しないエネルギーとして、再生可能エネルギーが注目を浴びてきた。本論文の主題である木質バイオマス発電も再生可能エネルギーの一つである。

木質バイオマス発電は、廃木材や間伐材を利用して発電を行うことで、二酸化炭素の排出量を抑制すると共に、林業や製材業の振興にも繋がると期待されている。しかし、日本では現状において木質バイオマス発電には様々な課題が存在する。

課題の1つに、未利用木材の利用が必ずしも進んでいないことが挙げられる。これは、将来的に木質バイオマス発電を普及させていくにあたり、発電燃料の不足やマテリアル利用木材価格の上昇を避けるために重要な問題である。

本論文では、1章で木質バイオマス発電の概要について説明した後に、2章で能代バイオマス発電所へのインタビューを元に、木質バイオマス発電における未利用木材利用の現状について説明する。また、3章ではバイオマス先進国ともいえるドイツとの比較を行う。4章で問題意識を整理した後に、5～7章でモデル分析を行い、木質バイオマス発電における未利用木材の利用を如何にして推進するか、森林の持続性はどのように担保されるか、といったことについて議論していく。

1章 木質バイオマス発電の概要

1-1 木質バイオマス発電

木質バイオマス発電とは火力発電の一形態である。燃料として化石燃料ではなく木質バイオマス、すなわち森林に放置されている間伐材や製材の過程で出る廃棄木材などを利用することが特徴である。基本的な仕組みは一般の火力発電と同様で、バイオマスを燃焼させて水を蒸発させ、水蒸気でタービンを回転させ発電するというものである。

木質バイオマス発電のメリットは大きく3つ挙げられる。①カーボンニュートラルであること、②他の再生可能エネルギーに比べてエネルギーの供給が高く安定していること、③林業や製材業の振興に繋がること、である。

一方で、問題点としては以下の3つが挙げられる。①燃料輸送の経済的・環境的コスト、②熱利用に比べてエネルギー効率が悪いこと、③他の木材利用（マテリアル利用、製紙など）と競合する可能性があること、である。

また、木質バイオマスはリサイクル木材、一般木材、未利用木材の3つに分類することが出来る。それぞれについて説明するとともに、本論文の主な考察対象となる未利用木材についても説明する。

1-2 木質バイオマス発電のメリット

①カーボンニュートラル：化石燃料を燃やすことは、もともと地層に固着されていた二酸化炭素を大気中に放出することであり、大気中の二酸化炭素を増やすことに繋がる。それに対して木質バイオマスは、光合成によって大気中の二酸化炭素を固着することによって成長しているため、それを燃やすことは大気中の二酸化炭素の量を差し引きゼロにすることであり、増やすことには繋がらない。また、木の成長は基本的には何度でも繰り返すことが出来るため、化石燃料のように枯渇する資源ではない。こういった面から、いわゆる火力発電よりも環境負荷が少ないと言われている。

②供給の安定性：再生可能エネルギーは代表的なところで、太陽光、風力、波力・潮力、などであるが、これらは地理的要因や天候の影響が直接的にエネルギーの供給に影響してしまう。そのため、建設できる地域が限定されることに加えて、エネルギーの供給が不安定になりやすい。また、風力や波力などは

エネルギーの変換技術がまだ成熟していない部分もあり、エネルギーの供給量が十分でない場合も多い。それに対して木質バイオマス発電は、廃木材が供給されている限りエネルギーを供給できるので、天候などの影響を直接的に受けない。また基本的な仕組みは火力発電であるため、エネルギーの変換技術も成熟している。エネルギーを安定供給でき事業化しやすいため、経済的に拡大が起りやすいことも長所の1つである。

③林業や製材業の振興：林業や製材業においては、あらゆる場面において不要な木質バイオマスが生産される。林業においては間伐などが最たるものであり、また丸太を生産する際には樹皮なども廃棄物として生産される。こうした不要な木質バイオマスに発電用の燃料として価値を与えることで、実質的な生産コストを下げることに繋がり、収益性が改善され生産量を拡大することが出来る。さらに森林においては間伐などの手入れが進むことで森林の質が向上し、二酸化炭素の固着や生態系価値の向上など様々な便益が生まれる。森林の経済的、環境的な価値を向上させることは木質バイオマス発電のメリットと言える。

1-3 木質バイオマス発電の問題点

①輸送の経済的・環境的コスト：木質バイオマスはチップ化されて輸送される場合と、原型のまま輸送される場合があるが、特に森林から搬出される木質バイオマスは後者のパターンが多いのが日本の現状である。これにより輸送効率が悪くなり、輸送の際の環境負荷がかかってしまう。また遠距離の輸送の場合も同様で輸送の際の経済的、環境的コストが発生する。これらを防ぐためにはいわゆる「地産地消」が求められるが、日本では必ずしも徹底されている訳ではない（詳しくは後述する）。これらは制度的、技術的に改善されるものであるが、少なくとも現状においては1つの問題点であると言えるだろう。

②エネルギー効率：熱利用においてはエネルギー効率が90%程度であるのに対し、発電利用においては30%程度になってしまう。これは明らかなロスであり、一般的にはコージェネレーション（熱電併給）が望ましいとされる。日本においては電気暖房、給湯が一般的であるため、コージェネレーションを行うのは必ずしも一般的でないが、バイオマスの効率的利用にあたっては極めて重要な観点であると言えるだろう。

③他の木材利用との競合：木質バイオマス発電が過剰に建設されることで、

森林の再生産能力を超えた量のバイオマスの需要が生まれる可能性がある。これにより、過伐採が行われて森林破壊に繋がる可能性もある。さらに、マテリアル利用木材や製紙用木材チップの価格が上昇することもあり得る。これにより他の産業の生産コストを必要以上に上昇させてしまい、全体としての便益を損なわせてしまう。建設数や設備規模のコントロールは非常に重要な課題と言えるだろう。

1-4 木質バイオマスの種類

バイオマス発電の燃料である木質バイオマスは、リサイクル木材、一般木材、未利用木材の3種類に分けられる。リサイクル木材は主に建築廃材を指し、建物の解体などによって出た建築資材廃棄物である。一般木材は主に工場残材をさし、製材の際に出た端材などである。未利用木材は森林での間伐などによって出た林地残材などである。

固定価格買い取り制度（詳しくは後述）における電気の買い取りでは、発電に利用する木質バイオマスによって買い取り価格が変わる。リサイクル木材を利用した場合は1kwhあたり13円、一般木材では24円、未利用木材では32円で買い取りが行われる。この価格の差は、主に燃料の収集コストおよび発電コストに起因するものである。特に未利用木材は、山間地域の中から本来利用していなかった間伐材などを搬出するため、収集コストは非常に高くなっている。これが反映された結果、電気の買い取り価格も高くなっている。

この中で木質バイオマス発電のメリットの1つである、地域林業の振興に深く関わってくるのは、未利用木材である。森林に放置されている間伐材などを利用することは、放置されていた廃棄物が燃料としての価値を持つため、「ゴミを宝にする」とも言われる。そして森林の有効利用に繋がることに加えて、間伐のコストを実質的に減らすことになり、森林の荒廃を防ぐことにも繋がる。

本論文ではこの未利用木材に着目し、いかにして未利用木材の利用が促進され、林業事業者と発電事業者の双方にメリットのある制度設計や政策が行われるかについての考察をすすめる。

2章 未利用木材の発電利用について

未利用木材の発電利用が地域林業の振興や森林保全に繋がると先に述べたが、現状では未利用木材の利用はそれほど進んでいないようである。ここからは能代バイオマス発電所へのインタビューを中心に、木質バイオマス発電や林業の現状について述べる。

2-0 能代バイオマス発電所について

今回インタビューを行った能代バイオマス発電所について簡単に説明したい。当発電所は秋田県能代市にある、定格出力3MWの中型の木質バイオマス発電所である。製材工場に併設しており、工場に電気や熱（蒸気）を安価に販売すると同時にFITによる売電も行っている。製材工場から燃料の調達や資金の融通などの面で協力を受けている。

もともとは、製材工場で出た残材の焼却場であったが、ダイオキシン問題などにより設備の更新が行われ、発電を行えるようにしたのがルーツである。能代は非常に林業が盛んなため未利用木材や工場残材なども十分な量が確保できる立地である。

2-1 未利用木材の搬出コスト

能代バイオマス発電所へのインタビューによると、当発電所は能代という非常に林業が盛んな地域にありながら、発電に利用する未利用木材の割合は2割弱に留まっているようである。これは全国的に観察される林業インフラの未整備によって起こっている。

高度成長期以後、輸入木材の流入などにより木材価格が下がった結果、林業の衰退が進んだ。行政により補助金などの様々な政策が行われたが、林業の衰退に歯止めはかけられていない。これは、林業事業者の生活を保護することが主な目的になってしまい、林業の競争力を上げることに繋がらなかったことが問題だと言われている。

林業インフラの未整備の中で特に大きな問題となっているのは、林道網の不足である。欧米の林業先進国（ドイツやスウェーデン）と比べて、単位面積

あたりの林道の整備率が非常に低い。急峻な日本の森林において林道の整備は非常にコストがかかるため敬遠されてきたが、結果として搬出コストの上昇および搬出量の減少、整備不足による森林の荒廃などの問題に繋がっている。

こうした林業インフラの未整備から、木材の搬出可能量がそもそも少なくなり、結果として価格の高いマテリアル利用木材（丸太など）の搬出に終止してしまい、収集コストをかけて未利用木材を発電所に搬出できていない、というのが能代バイオマス発電所の現状のようである。

2-2 未利用木材の発電利用の障害

未利用木材の発電利用が進まない利用として、搬出に関わる問題、つまり供給サイドの問題を挙げたが、需要サイドの発電事業者としても未利用木材の利用にはいくつかの問題を抱えている。

1つは燃焼効率の問題である。他の燃料（工場残材や燃焼用チップ）に比べて、未利用木材は含水率が高く燃焼しにくい。そのため、炉内の温度を高く保つことが難しくなり、発電効率が低くなってしまう。特にこの問題は出力の小さい発電所において深刻で、定格出力が5 MW 以下の発電機では未利用木材の利用によって発電効率が大幅に下がってしまう。

もう1つは施設の維持の問題である。燃焼効率が下がることでボイラー内に燃えかすが溜まりやすくなり、メンテナンスの頻度が増やす必要が出てくるのである。

さらに灰の処理も問題となる。森林に放置されていた未利用木材は、先に述べたように含水率が高いことに加えて、砂や泥がついているため灰や燃えかすが2～3割ほど多く出る。この灰の処理は外部の業者に委託しており、能代バイオマス発電所では年間に2500万円ほどの費用がかかっている。未利用木材の利用により、このコストが大きくなることも発電所が未利用木材を使用することのディスインセンティブとなっている。

以上に述べたように、未利用木材の発電利用に当たっては、需要側（発電事業者）と供給側（林業事業者）の双方に障害がある。特に、日本でも有数の木材の生産地である能代においても、未利用木材の利用が進まないということから、供給側においての問題が大きいと言えるのではないだろうか。

3章 固定価格買い取り制度（FIT）の日独比較

ここまで、木質バイオマス発電、および日本での未利用木材の現状について述べてきた。この章ではバイオマス先進国とも言われるドイツとの比較を行い、日本の木質バイオマス発電の現状を制度的な面から考察したい。

3-1 電力固定価格買い取り制度

電力固定価格買い取り制度（以下 FIT）は再生可能エネルギーで発電された電力を一定の価格で電力会社が買い取ることを義務づける制度である。これにより、再生可能エネルギーでの発電は確実に売電収入を得ることが出来るため、太陽光や風力などを用いた発電事業を民間企業が行うことが出来る。これは単に再生可能エネルギーの普及を促すだけでなく、民間企業が再生可能エネルギーを用いた発電を事業として（競争的に）行うことで、収益性の向上や、技術革新を起しやすくなることも目的の一つである。

しかしながら、現状の日本の FIT は様々な問題があると指摘する声も多い。ここでは『木質バイオマスエネルギー利用の現状と課題 —FIT を中心とした日独比較分析—(2013年10月) 著者:梶山恵二(富士通総研、経済研究所)』を参考にして、木質バイオマスの利用拡大に成功したと言われるドイツの FIT 制度と比較しながら日本の FIT、および木質バイオマス発電の現状を論じる。

3-2 発電規模

日本の FIT では、発電規模にかかわらず同じ買い取り価格が適用されるが、ドイツでは発電規模が大きくなるほど買い取り価格が下がるように設定されている。このことが日本の木質バイオマス発電所に大規模化のインセンティブを与えている。

木質バイオマス発電はあくまで火力発電の一形態であるため、大型化することによって規模の経済が働く。燃焼効率が上がることに加えて、施設の維持管理にかかる費用も逡減していく。つまり限界費用が逡減する一方で限界収入（買い取り価格）は変化しないため、拡大すればするほど収益性は上がるのである。これは単に「再生可能エネルギーを用いた発電量を増やすこと」のみが

目的であれば悪いことだとは言えないが、「木質バイオマス発電を通じた林業の振興、森林の保護」に関してはマイナスの影響を及ぼし得る。

発電所が大規模化することにより、燃料としての木質バイオマスへの需要は増加し、価格も上昇する。これにより、たとえばマテリアル利用の木材が発電用に回されてしまうと、供給の減少や価格の上昇が起きる。これにより関連産業の利潤が減少し、社会全体ではマイナスとなってしまうことがあり得る。また、燃料用の木質バイオマスを生産するために過伐採が起きて、森林のストック量が必要以上に減少してしまう可能性もある。つまり発電事業者が収益性を追い求めることで、林業や環境に対して悪影響を与えてしまうのである。さらに、より大量の木質バイオマスを集めるためにバイオマスを広域から集めることで「地産地消」の原則が崩れ、バイオマスの輸送により環境的・経済的ロスが生まれる可能性もある。

こうした悪影響を考えずに大規模化のインセンティブを与えることは、望ましくない結果に繋がってしまう危険性がある。実際、日本では現在27カ所の木質バイオマス発電所が操業されているが、そのうち14カ所、つまり半分以上は定格出力5MW以上の大型発電所である。こういった大型発電所が増えることで、先に述べたような弊害が起こってしまうこともあり得るだろう。対してドイツでは2011年に新規操業する13の木質バイオマス発電所の出力合計は30MWであり、平均して1事業所あたりの定格出力は2.3MWと日本よりも小規模化が進んでいる。森林への負荷を小さくし地産地消の原則を守りやすくなっているのである。

3-3 先進技術ボーナス

ドイツのFITでは定格出力5MW未満の小規模発電所において、先進技術を導入することで買い取り価格にボーナスがつくように設定されている。日本のFITではこのような技術ボーナスを設定されていない。これにより、発電所に収益性の向上や技術革新を促すインセンティブに差が出ている。

先進技術の例としてガス化発電が挙げられる。バイオマスをそのまま燃焼させるのではなく、発酵・ガス化させてから燃焼させることで出力の低いボイラーであっても発電効率を高めることが出来るというものである。これは日本ではサトウキビなどを用いたバイオマス発電では導入されているが、木質バイ

オマス発電では導入されていない。

こうした小規模発電の収益性を高めることで、先に述べたような大規模化へのインセンティブを抑えることが出来ると共に、エンジニアリングの分野においての競争が起こり、技術革新が起こりやすくなっている。日本ではバイオマス発電に関わるエンジニアリングの業界はそれほど競争的ではなく、ドイツのような動きは小さいのが現状である。

3-4 コージェネレーション（熱電併給）

ドイツの FIT では小規模の発電所がコージェネレーションを行うことで、買い取り価格にボーナスがつくが、日本ではこういったシステムはない。これはそれぞれの気候や電気暖房の普及率の違いなどから起こっているが、結果的にドイツのバイオマス発電所の収益性を高めることにつながっている。

日本よりも気温が低く、電気暖房が日本ほど一般的でないドイツにおいてはバイオマスへの熱需要が大きい。そのためバイオマスの高い熱効率を活かしたセントラル・ヒーティングが導入されている。発電によって生み出された熱を蒸気や温水という形でパイプラインを用いて各家庭に配給し、利用量に応じて料金を徴収するという事業を発電と並行して行うことで収益性をより高いものにしていく。

日本では一般家庭向けにこういったサービスを行っている例は少ないが、能代バイオマス発電所では併設する製材工場に蒸気を供給し、製材工場ではその熱を用いて木材の乾燥などを行っている。このように周辺企業との連携をとりながら、法人向けの熱供給をすることは日本においても十分可能である。しかしながら、一般家庭という大きな熱需要者が見込めない中でコージェネレーションを行うのは難しい。そのため日本においてはコージェネレーションの本格的な導入は進んでいないのが現状である。

3-5 チップの生産主体

木質バイオマス発電は、木質バイオマスをそのまま燃焼させるのではなく、乾燥・破砕を行ってチップ化してから燃焼させることが一般的である。日本で

は発電所がチップ化を行うが、ドイツでは林業事業者がチップ化してから各発電所に持ち込むことが一般的である。これにより、ドイツでは林業事業者の収益性が高まると共に、未利用木材の発電利用を拡大させている。

ドイツでは林業事業者がチップパーと呼ばれる木材をチップ化する機械を持っており、森林で未利用木材をチップ化してから搬出することが可能になっている。このチップ化を林業事業者がチップの生産を行うことで大きく 2 つの効果がある。1 つは搬出コストを抑えられること、もう 1 つは価格交渉権を得ることで、未利用木材（チップ）価格を引き上げられることである。

チップ化することにより単位重量あたりの体積が減少し、1 度に大量の未利用木材を搬出できるようになる。ドイツでは林道が整備されていることも有り、搬出にかかるコストを大きく低下させている。さらに、こうしたチップ化についてのノウハウが蓄積させていくことで、いわゆる「学習効果」が働き限界費用をさらに低下させることが出来ている。つまり、より安く大量に未利用木材を搬出することができる仕組みが存在するため、林業事業者の収益性を高めることが出来ているのである。

さらに大量のチップを安価に生産することが出来ると、チップの売り先を増やすことが出来る。より高い値段で売ることのできる発電所を選べるようになることで、それぞれの発電所に対して価格交渉権を持つことが出来るのである。これにより販売価格を引き上げることで、利潤を大きくすることが出来るのである。

日本では売り先が基本的に 1 つであるため、言わば「独占的需要者」となっている。結果として適正価格よりも低い価格で未利用木材を販売することになってしまい、搬出するインセンティブが弱ってしまうのである。先に述べたような林業インフラの未整備により搬出コストが高いことと相まって、未利用木材の供給量が少なくなりやすいのが日本の現状である。

以上のようにドイツと日本では制度的に様々な違いが有ることに加えて、林業インフラの整備が違うことも相まって、同じ木質バイオマス発電と言っても大きく違うものとなっている。ドイツ的な制度が今後の日本において 1 つの重要な指針になることは間違いないだろう。しかし、天候や社会条件などが異なるため、日本においても優れた政策効果を生み出すとは言えない。以下の章では、日本的な木質バイオマス発電の振興策について考察していく。

4章 問題提起

ここまで、1章で木質バイオマス発電の概要について、2章では能代バイオマス発電所へのインタビューを通じた未利用木材の発電利用の現状について、3章ではドイツとの比較によって日本の木質バイオマス発電の制度、技術的問題についてそれぞれ述べてきた。この章では日本における木質バイオマス発電の問題点を纏めるとともに、以後の分析において対象とする問題を決定していきたい。

4-1 発電規模の大型化の是非

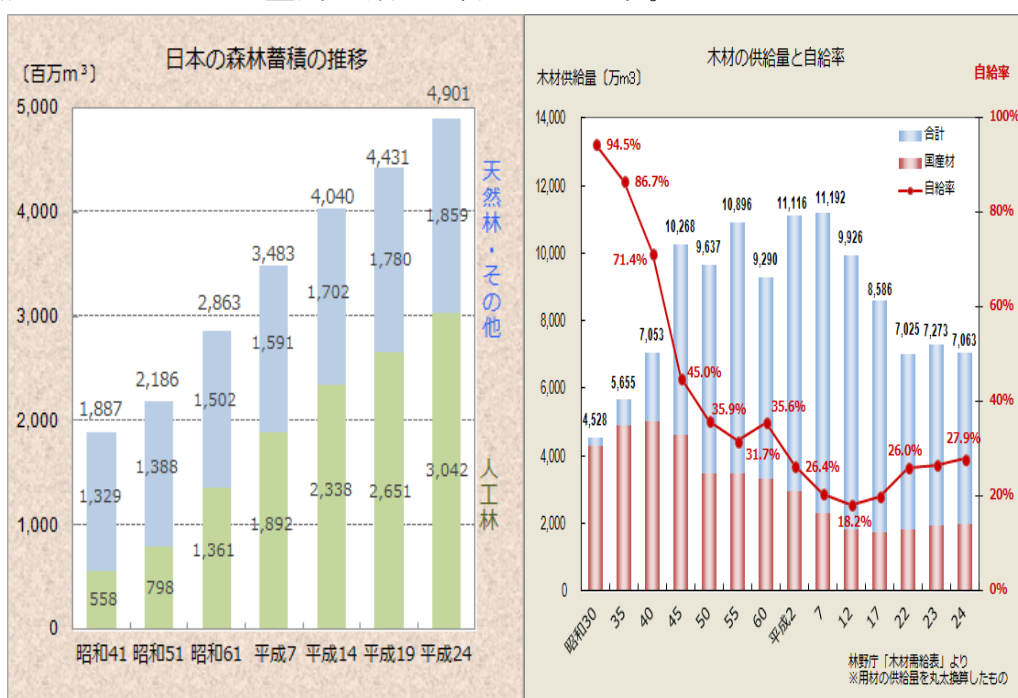
日本の現状のFIT制度では、発電所の大型化へのインセンティブが強いと3章で述べた。たしかに森林の持続可能性という面における懸念は有るが、日本の現状を考えるとさほど問題ではないと考える。理由は大きく2つ、電力需要が大きいこと、林業の事業規模に対して森林ストックに余裕があること、である。

日本では電気暖房やガス給湯が一般的であり、バイオマスへの熱需要はそれほど大きくない一方で、夏場の冷房に代表されるように電気需要が非常に大きい。東日本大震災以降、原子力発電に懐疑的な世論が形成される中で、代替する電力供給の必要性は高い。また、海外からの輸入に頼らない自給的なエネルギーで補えるならば、市場リスクを回避することが出来ると共に、国内経済の活発化も見込めるのではないだろうか。そのために発電所を大型化し、電気の供給力を高めることは重要なのではないだろうか。

以下に2つのグラフを示す。左図は『森林蓄積量の推移（林野庁）』、右図は『木材の供給量と自給率の推移—木材需給表（林野庁）より』である。左図から分かるように日本の森林ストックは増加を続けている。平成19年～24年の5年間で約4億5000万立方メートル増加している。一方で、右図からは日本の木材需要、および自給率が停滞していることが読み取れる。需要量は年間で7000万立方メートル、自給率は27%程度であるため年間2000万立方メートル程度の木材を供給していることが分かる。勿論、供給量が増えることで供給量以上の森林ストックを消費する。しかし、蓄積量が年間で9000万立方メートル増えていることから、現状の日本の木材の生産量は森林ストックの蓄積量よりも少ないことが分かる。こういった現状の下で、森林スト

ツクの利用を進める木質バイオマス発電の拡大が、即座に森林ストックの減少に繋がるとは考えにくい。

以上に述べたような現状の中では、バイオマス発電の大型化はメリットが大きいと考える。ただ大型化に際して問題となるのは燃料となるバイオマスの収集である。燃料チップ市場は現状安定しており、大きく需要が増えることで価格の高騰や供給の不足が起こる可能性がある。そういった中で、未利用木材の利用を進めることは重要な課題と言えるだろう。



4-2 先進技術の導入や熱電併給の実施について

ドイツの FIT は先進技術を導入することによって小規模の発電においても効率をあげたことや、熱電併給を推進することによって発電事業者の収益性を向上させてきたと述べた。こういった取り組みは日本においても有効なのだろうか。

先進技術の導入は主に小規模な発電において効果を発揮する。ガス化溶融炉を用いた発電などは代表的な例である。しかし、日本の現状の FIT は発電所の大規模化に強いインセンティブを与えていて、先に述べたように現状の日本においては発電の大規模化は基本的に望ましいことである。そこに小規模発電所向けの技術の導入を促すことは、あまり効率的な政策とは言えないだろう。

一方、熱電併給に関しては、特定の状況においては効果的だと考えられる。能代バイオマス発電所においても併設する製材工場に電気と熱を販売することで、燃料の融通や資金の援助などを受けている。こうした FIT を仲介しない電気や熱の取引は事務コストなどを挟まないため、双方に有利な条件で取引が展開しやすい。法人向けにこういった取引が出来るのであれば、収益性を向上させる手段と言えるのではないだろうか。

4-3 未利用木材の利用と林道の整備

発電所の大型化を進めるに当たって、未利用木材の利用を推進することが重要であるが、2章で述べたように現状ではあまり進んでいない。特に供給サイド、つまり林業事業者における林業インフラの未整備が問題だと述べた。私は、日本の木質バイオマス発電の問題点はここにあると考える。

林業が衰退していき、木材供給量が落ちていく中で未利用木材の利用を促しても、搬出するインフラが整備されていないため、林業に影響を与えられていないのである。この問題をターゲットに政策を行うことで、木質バイオマス発電やそれに伴う林業の活性化を促すことが出来るのではないだろうか。

この後の章では林業におけるインフラ整備がどのように影響を与えるかを分析したい。また、需要サイドへのアプローチとして電気の買い取り価格を引き上げることによる影響も分析したい。

4章 モデル分析 ～未利用木材の需要・供給の決定について～

ここでは、林業事業者の木材搬出と発電事業者の売電事業に着目して、未利用木材の取引量が決定されるメカニズムをモデル化する。次に林業事業者による搬出環境の整備と FIT による電気の買い取り価格の上昇の2つが、未利用木材の搬出量にどのように影響を与えるかを分析する。

5-1 モデルの前提

1 発電事業者、1 林業事業者を想定する。林業事業者の搬出する未利用木材を発電事業者が発電に利用する。その際の取引価格と取引量は供給曲線と需要曲線の交点とする。

林業事業者はマテリアル利用木材と未利用木材を搬出する。その際、それぞれの搬出にかかる費用は等しく逓増するものとする。これは、より多くの木材を集めるために、より搬出しにくい木材を収集しなければならないためである。また、搬出できる木材量には限界があると仮定する。同時に、その限界量とマテリアル利用木材と未利用木材の搬出量の合計が等しくなるように搬出を行うとする。

発電事業者は燃焼用チップと未利用木材を用いて発電を行い、売電を行う。規模の経済が働くものとして、発電規模が大きくなるほど単位燃料当たりの発電量は大きくなるものとする。そして、発電規模と等しくなるように発電を行うとする。

燃焼用チップを用いるより未利用木材を利用するほうが売電収入は高い。一方で、未利用木材は燃焼効率が悪いいため多くの燃料が必要になる。また灰処理のコストも未利用木材を利用した方が大きくなる。

以上のような仮定の下、分析を進めていく。

5-2 林業事業者

林業事業者の木材搬出についてのモデル式と文字を以下のように設定する。

$$\text{Maximize} \quad \pi_F = P_M \times M + P_X \times X - K(M^2 + X^2)$$

Subject to

$$W = M + X$$

P_M : マテリアル利用木材価格 M : マテリアル利用木材取引量

P_X : 未利用木材価格 X : 未利用木材取引量

K : 搬出コストパラメータ W : 搬出可能量

M 、 X についてのラグランジアンを用いると、以下の供給関数を得られる。

$$X = \frac{P_X - P_M}{4K} + \frac{1}{2}W \quad , \quad M = \frac{P_M - P_X}{4K} + \frac{1}{2}W$$

X の供給関数を分析する。各パラメータの上昇が未利用木材取引量 X にどのような影響を与えるかをまとめると、以下の表のようになる。

$P_X - P_M$	K	W
+	-	+

この供給関数においては、供給を増やすための手段として以下の3つのパターンが考えられる。

- ① 未利用木材価格とマテリアル利用木材価格の差 $P_X - P_M$ をゼロに近づける
- ② 輸送可能量 W を上げる
- ③ 搬出コストパラメータ K を下げる

このうち①は後に考察する FIT の買い取り価格の上昇によって起こすことができるのではないだろうか。またドイツのようにチップperを用いてあらかじめチップ化した木材を販売することによっても起こると考えられる。

②、③に関しては、先ほど述べたような林業インフラの整備が重要になってくるだろう。林道の整備などを行うことで輸送可能量を上げることや、搬出コストが下げることが出来ると考えられる。

どちらも直感的に理解しやすいものであるが、それぞれコストのかかるものである。そういったコストも踏まえた分析は後の章に行う。

5-3 発電事業者

発電事業者については以下のようにモデルを設定する

$$\text{Maximize} \\ \rho_E = sY(E_C C + E_X X) - (P_C C + P_X X) - (aC + \frac{5}{4}aX)$$

Subject to
$$Y = c + rX$$

- P_c : 一般燃料チップ価格 c : 一般燃料チップ使用量
 E_c : 一般燃料チップ売電価格
 P_x : 未利用木材価格 X : 未利用木材使用量
 E_x : 未利用木材売電価格
 s : スケールメリットパラメータ a : 灰処理費用
 r : 燃焼効率($0 < r < 1$) Y : 総燃料使用量(発電規模)

林業事業者の時と同様に C, X についてのラグランジアンを行う。しかしこれは X, C について解くことは出来ない。これは、このモデルでは規模の経済が働いているため、極大値を持たなくなっているためである。そこで P_x について解くと以下のような式が得られる。

$$P_x = a \left(-\frac{5}{4} + r \right) + P_c r + (E_x - E_c r) s Y$$

ここから分かることとして、発電事業者は未利用木材の需要に関わらず、発電規模や電気の買い取り価格などに基づいて燃料の需要価格を決めるということである。そのため需要曲線は X 軸（取引量）に平行となる。そして、未利用木材の利用量は、需要価格に対しての林業事業者による未利用木材の供給量が決定することとなる。

いささか違和感のある結果となったが、能代バイオマス発電所でのインタビューによると、「未利用木材が思うように集まらなければ、一般燃料チップを集める」「規模の小さい発電所では燃焼効率の問題で未利用木材の使用に積極的でない」といった現状があり、このモデルはそういった状況と矛盾しない。つまり、発電規模が大きくなるほどチップ需要が増え、需要価格も上がる。しかし、未利用木材への需要価格が低く未利用木材の収集が十分に出来なかったとしても、一般燃料チップで代替できるため需要価格を上げる必要はない。このモデルはこうした事情を反映しており、妥当性は低くないと考えられる。

この需要曲線の分析に移りたい。先ほどと同様にそれぞれのパラメータの上昇が需要価格にどのような影響を与えるかをまとめる。

Ex-Ec	a	r	s	Y	Pc
+	-	-	+	+	+

未利用木材の燃焼効率 r に関しては、 r の係数をまとめると $a + P_c - sE_c Y$ となるが、 $E_c > P_c$ であることは自明であり、この差よりも灰処理費用 a が大きくなるとは考えにくい。そのため、 r が大きくなると P_x は小さくなると考えて問題ない。

パラメータのうち、灰処理費用 a 、燃焼効率 r 、スケールメリットパラメータ s は技術的な要因によって決まるため、政策的にコントロール出来ない。その中で需要価格を上げる方法は以下の3つが考えられる。

- ① FIT 価格 $E_x - E_c$ を上げる（未利用木材を利用した電力への傾斜を強める）
- ② 発電規模 Y を上げる
- ③ 燃料用チップ価格 P_c を上げる

②に関しては、現状の政策で行われていると言っていいだろう。先に述べたように日本の FIT は発電所の大型化に対するインセンティブが強いためである。また、③に関しては政策によってコントロールすることが難しい。

よって、以後の分析では FIT 価格 E_x の上昇がどのような影響を与えるかについて分析したい。

5-4 未利用木材取引量の決定

ここまでの分析で、未利用木材取引量 X に関する需要曲線と供給曲線が求められた。

$$\text{供給関数} \quad : \quad X = \frac{P_x - P_M}{4K} + \frac{1}{2}W$$

$$\text{需要関数} \quad : \quad P_x = a \left(-\frac{5}{4} + r \right) + P_c r + (E_x - E_c r) s Y$$

これらを連立することにより、

$$X = \frac{1}{4K} \left(a \left(-\frac{5}{4} + r \right) + P_c r + (E_x - E_c r) s Y - P_M \right) + \frac{1}{2}W$$

が求められる。これが未利用木材の取引量である。ここから、林業事業者、発電事業者それぞれの利潤関数が求まる。煩雑な式になってしまうため割愛するが、この後の章で林業インフラの整備や FIT 価格の引き上げが、2者の利潤にどのような影響を与えるかについても分析を行う。

6章 モデル分析②～林業インフラの整備～

先の分析では輸送可能量 W や輸送コストパラメータ K は一定のものであるとしたが、この分析では新たにインフラ投資 U を政策変数として加え、インフラ投資によって林業事業者の収益や未利用木材の搬出量がどのように変化するかについて分析したい。

6-1 モデルの前提

インフラ投資をすればするほど、搬出可能量 W が上がりコストパラメータ K が減少するものとする。それぞれの限界効果は逓減するものとする。ここで、 W 、 K を U の関数として、以下のように設定する。

$$W(U) = w * \text{Log}(U + e)$$

$$K(U) = \frac{k}{U + 1}$$

e は自然対数の底である。ここで w, k はそれぞれ投資による効果のパラメータとする。 w が大きければ大きいほど輸送可能量 $W(U)$ は大きくなり、 k が大きければ大きいほど、搬出コスト $K(U)$ は大きくなる。 w, k はそれぞれの地形条件などを表しているともいえる。つまり、 w が大きく k が小さいというのは、より整備が行いやすい地形であることを表せる。

6-2 インフラ投資量の決定

先の設定を代入することで、政策後の林業事業者の利潤関数 π_F は以下のようにかかる。

$$\text{Maximize } \pi_F(U) = P_M \times M + P_X \times X - \frac{k}{U + 1} (M^2 + X^2)$$

$$\text{Subject to } X + M = w * \text{Log}(U + e)$$

先ほどと同様にラグランジアンを用いると、以下の供給関数が導ける。

$$X(U) = \frac{(P_X - P_M)(1+U)}{4k} + \frac{1}{2} w \text{Log}(e+U)$$

$$M(U) = \frac{(P_M - P_X)(1+U)}{4k} + \frac{1}{2} w \text{Log}(e+U)$$

ここでUをどのように決定するかが問題となる。投資によって得られる社会的効用は様々なものが考えられる。①林業事業者の利潤の増加②未利用木材の利用の推進③森林の環境的な質の向上、などが主なものであろう。①は本モデルによって分析が可能である。②は未利用木材の利用によるメリットをどのように捉えるかが問題となり、捉え方によっては本モデルにおける分析も可能である。③は本モデルにおける分析は難しい。先行研究として、『国産間伐材の環境影響の潜在性評価—鈴木信吾、井坪徳弘（2007）』『代案比較による林内路網計画と評価法の最適化について—芝正巳(1993)』などが挙げられるが、本論文では扱わないものとする。

本論文では①林業事業者の利潤の増加、②未利用木材の販売収入の増加をインフラ整備の効果とする。②は①と重複するものであるが、あくまで未利用木材の利用推進による効果を簡易的に表すものとして利用することに注意したい。

Uの決定に移ろう。社会的効用を以下のように設定する。

$$\pi(U) - \pi(0) + P_X (X(U) - X(0)) - U$$

$\pi(U)$: インフラ整備を行った場合に、利潤最大化された林業事業者の利潤

$\pi(0)$: インフラ整備を行わず、利潤最大化された林業事業者の利潤

$X(U)$: $\pi(U)$ の場合の未利用木材 X の搬出量

$X(0)$: $\pi(0)$ の場合の未利用木材 X の搬出量

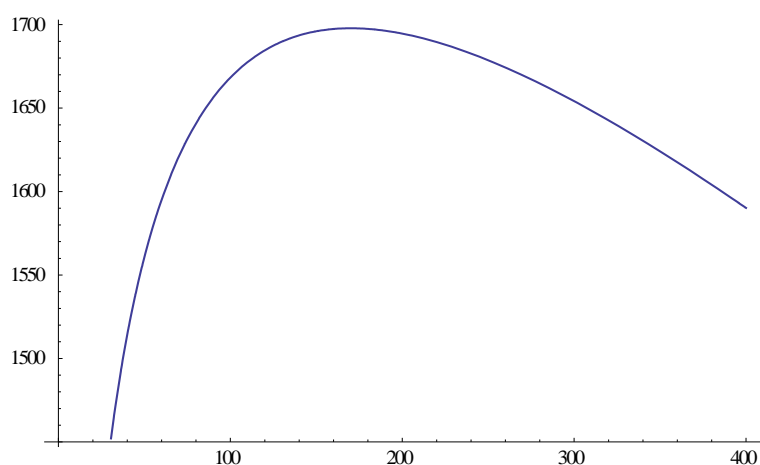
U : 投資費用

P_X : 未利用木材価格（発電事業者により決定される）

$\pi(U)$ 、 $\pi(0)$ はそれぞれの利潤関数に未利用木材 X、マテリアル利用木材 M の供給関数を代入したものであるが、非常に煩雑な式であるため、ここでは割愛したい。W(U) は非常に煩雑で、数式による直接的な最大化は難しいため、U

についてのグラフを示す。なお、変数は以下のように設定し、定義域は(0~U~400)とした。

マテリアル利用木材価格 $P_M:12$ 未利用木材価格 $P_X:6$
 搬出コストパラメータ (投資前) $K:10$ 搬出可能量 (投資前) $W:20$
 投資によるコスト削減パラメータ $k:100$
 投資による搬出量上昇パラメータ $w:5$



先の変数の設定の下では、上に凸なグラフが描かれる。この頂点が政策の効果が最大化される点である。グラフをズームして最大値を与える U を読み取ると、 $U = 170.1$ となっている。未利用木材の搬出量 X と林業事業者 π の利潤の変化をまとめると以下ようになる。

$U=170.1$	X	π
政策前	9.85	-1819.6
政策後	10.31	45.51

未利用木材の搬出量、利潤共に上昇し、政策として成功していることが分かる。

6-3 各変数の変化についての考察

これより、ある一定の条件の下で、政策におけるインフラ投資額 U が決定され、未利用木材の利用が進み、林業事業者の利潤が上昇することが示された。ここから、先ほどの設定が変更された場合、 U 、 X 、 π がどのように変化するかを考察したい。

①未利用木材価格、マテリアル利用木材価格の変化について

まず、マテリアル利用木材価格 P_m が上昇した場合を考える。 P_m を 12 から 15 に引き上げ、それ以外はすべて先ほどの設定と同じにする。この時の U 、 X 、 π をまとめると以下ようになる。

U=177.0	X	π
政策前	9.775	-1789
政策後	8.97348	101.311

インフラ投資額 U と利潤 π が上昇している一方で、未利用木材の搬出量は減少している。これは、インフラ投資によって搬出可能量が増加したものの、それらはマテリアル利用木材の搬出に利用され、未利用木材の利用を促進することには繋がらなかったことを示すと考えられる。

6-1 で未利用木材の搬出量は以下のように決まると述べた。

$$X(U) = \frac{(P_x - P_m)(1+U)}{4k} + \frac{1}{2} w \text{Log}(e+U)$$

ここで重要なのは $(P_x - P_m)$ 、つまりマテリアル利用木材と未利用木材の価格差が広がりすぎると未利用木材の搬出量が減少するということである。さらに、5-3 で述べたように、発電事業者は未利用木材が集まらなければ燃料用チップを購入することで代替することが出来るため、供給量が減ったとしても価格が上昇しない可能性が有る。政策を行う際には、マテリアル利用木材と未利用木材の価格差に注意する必要があると言えるだろう。

反対に、未利用木材価格 P_x が上昇した場合を考える。 P_x を 6 から 9 に引き上げる。 P_m は 12 に戻し、他の変数も最初の設定と同様にする。

U=179.5	X	π
政策前	9.95	-1789.9
政策後	11.66	87.67

先ほどよりも X が上昇していることが分かる。政策の目的である未利用木材の発電利用の拡大を目指す場合には、インフラ投資と共に未利用木材の需要価格を引き上げることが重要だと分かる。

②整備コストの変化について

ここでは、コスト削減パラメータ k が減少し、搬出量上昇パラメータ w が上昇した場合、すなわち整備による効果が大きい場合を考える。先ほどは $\{k, w\} = \{100, 5\}$ であったが、これを $\{k, w\} = \{80, 6\}$ に変化させる。

U=189.8	X	π
政策前	9.85	-1819.6
政策後	12.2	86.16

インフラ投資量 U が上昇するとともに、未利用木材の搬出量も増えていることが分かる。整備による効果が高い地域では、よりインフラ投資が進み、未利用木材の利用が進むということが分かる。

逆に $\{k, w\} = \{120, 4\}$ と変化させる場合を考える。すなわち、インフラ整備の効果が出にくい地域である。

U=141.3	X	π
政策前	9.85	-1819.6
政策後	8.16	17.18

ここでは、インフラ投資量が減少し、未利用木材の搬出量も減少している。つまり、整備による効果が出にくい地域では、インフラ投資が進まないことが分かる。先ほどの価格変化の分析の際に、未利用木材価格 P_x を 6 から 9 に引き上げた際に、政策を行わない場合でも X が上昇したことが確認できる。

もちろん整備の効果が出にくい地域であっても、インフラ投資を行うことでマテリアル利用木材の搬出量が増加し、林業事業者の利潤は増加する。しかし、未利用木材の利用を考えた場合には、需要価格を引き上げることに政策資源を集中した方が良い場合があるということも導き出される。

・ 6-4 まとめ

以上の分析より、導き出された事実をまとめる。

・インフラ投資を行うことにより、搬出コストを減少させると同時に、搬出可能量を上昇させることが出来る。

⇒林業事業者の利潤は、ほぼ確実に上昇させることが出来る

- ・マテリアル利用木材と未利用木材の価格差が大きい場合、搬出可能量の上昇は未利用木材の搬出量の増加に繋がらない
⇒未利用木材の需要価格を引き上げることも並行して行う必要性もある

- ・整備による効果がでない地域では、インフラ投資を行うよりも需要価格を引き上げることの方が、未利用木材の利用を推進することが出来る

未利用木材の利用を進めることを考える場合に、インフラ投資を行うことは一定の効果がある一方で、未利用木材の需要価格を十分に勘案することも重要である。次の章では、需要価格の引き上げについての分析を行う。

7章 電気の買い取り価格と需要価格の関係について

5-3で発電事業者は、取引量に関係なく需要価格を以下のような式で決定すると述べた。

$$P_x = a \left(-\frac{5}{4} + r \right) + P_c r + (E_x - E_c r) s Y$$

これを未利用木材由来の電気買い取り価格 E_c で微分すると、以下の式が導き出される。

$$\frac{\partial P_x}{\partial E_c} = s Y$$

また、これを元に買い取り価格の上昇が、最終的な未利用木材に与える影響も以下のように表すことが出来る。

$$\frac{\partial X}{\partial E_c} = \frac{\partial X}{\partial P_x} \cdot \frac{\partial P_x}{\partial E_c} = \frac{(1+U)}{4k} \cdot s Y$$

ここで、 $\frac{\partial P_x}{\partial E_c} = s Y$ に注目する。これは、電気の買い取り価格を1単位変化さ

せることで、最終的な需要価格は $s Y$ 、つまり発電事業者に働くスケールメリットと同じ分だけ変化することを示している。つまり、発電規模の大きい発電事業者ほど、電気の買い取り価格が上昇することで、未利用木材の需要価格を引き上げることが分かる。一方で、小規模の発電事業者は需要価格をそれほど引き上げないため、未利用木材の需要価格に対して影響をもたらさない。

これを考えると、現在日本の FIT で行われているように、電気の買い取り価格を全国一律に設定するというのは、非効率であると言える。もちろん、公平性をどのように担保するのかなどの問題はあがあるが、それぞれの地域の発電事業者の規模を考えて行政や電力会社が買い取り価格を設定することで、6章で分析したインフラ投資も含めた、効率的な政策を行うことが出来るのではないだろうか。

今回のモデルで捨象されている要素は非常に多いが、しかしながら発電規

模が需要価格に与える影響は決して小さくない。小規模発電事業者しかいない地域と、大規模発電事業者が多い地域では電気の買い取り価格を引き上げることによる効果は大きな差が出るだろう。

インフラ投資と買い取り価格の引き上げを地域レベルのオペレーションで行うことで、政策の効果を最大化させることが出来る。バイオマスの「地域性」を重視した政策を行うことは、日本の木質バイオマス発電の今後において、一つの解決策となり得るのではないだろうか。

8章 森林ストックへの影響

この章ではバイオマス発電により森林の整備、および利用が進んだ場合に森林ストックにどのような影響を与えるかを分析する。森林ストックの変化についてはロジスティクス関数を用い、そこに様々な政策変数を織り込んでいくことで、森林ストックの変化を分析したい。

8-1 モデルの前提

6章で利用したモデルを元に、 P_x を外生変数として、インフラ投資量 U を決定する。決定された U をもとにマテリアル利用木材と未利用木材の生産量を決定する。この生産量は10年間固定であるとする。

またインフラ投資量に応じて、森林の自然成長率 R が上昇すると仮定する。これは間伐などが行われることで、木々の生長が促されるためである。

一方で、マテリアル利用木材を搬出することで成長率が減少することを仮定する。木材として使えるような成木を伐採することで、その樹木の生長による森林ストックの増加がなくなるためである。

以上を踏まえて自然成長率 R とロジスティクス式を以下のように設定する。

$$R(U) = r + q \text{Log} U - cM$$

$$\frac{\Delta F}{\Delta t} = F_t \left(r + q \text{Log} U - cM \right) \left(1 - \frac{F_t}{K} \right) - w \text{Log} (U + e)$$

8-2 モデル分析

変数は以下のように設定し、ロジスティクス関数の下で20期のシミュレーションを行う。

マテリアル利用木材価格 P_M : 15 未利用木材価格 P_x : 9

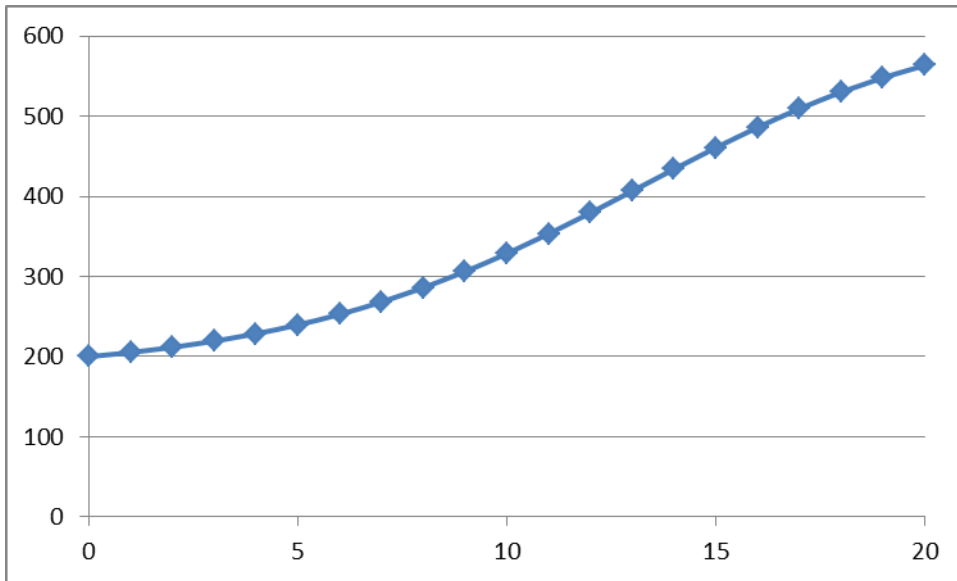
搬出コストパラメータ k : 120 搬出可能量パラメータ w : 10

自然成長率 r : 0.02 整備による成長率増加パラメータ q : 0.001

伐採による成長率減少パラメータ c : 0.0001

環境容量 K : 800 初期ストック量 F_0 : 200

U	460	M	36.45	X	24.92	W	61.31226	π	263.35
---	-----	---	-------	---	-------	---	----------	-------	--------



この設定の下では、森林ストックは徐々に増加していることが分かる。これは

$\frac{\Delta F}{\Delta t} = 0$ となる点まで増加し、均衡するためである。では木質バイオマス発電の

課題と言われている、森林の過伐採が起こるのはこういった時であろうか。

ロジスティクス関数に着目すると、

$$\frac{\Delta F}{\Delta t} < 0 \Leftrightarrow F_t(r + q \text{Log} U - cM)(1 - \frac{F_t}{K}) < w \text{Log}(U + e)$$

という式が成り立つ F_t の範囲が広がるほど、森林ストックが減少しやすいということである。森林ストックが減少しやすくなる要因は以下のようなものが挙げられる。

- 搬出可能量パラメータ w が大きい
- 整備による成長率増加パラメータ q が小さい
- 環境容量 K が小さい
- マテリアル木材の搬出量 M が大きい (マテリアル木材価格 P_M が高い)

例えば以下のようにパラメータを設定してシミュレーションを行うと、森林ストックが減少していくことが分かる。

マテリアル利用木材価格 P_M : 15→16 未利用木材価格 P_X : 9

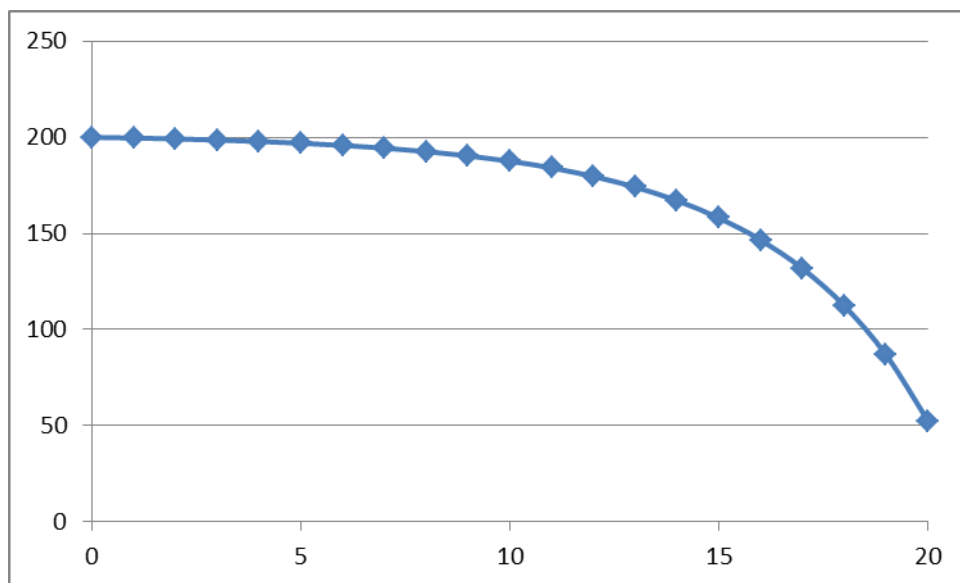
搬出コストパラメータ k : 120 搬出可能量パラメータ w : 10 →11

自然成長率 r : 0.02 成長率増加パラメータ q : 0.001 →0.0009

伐採による成長率減少パラメータ c : 0.0001

環境容量 K : 800→700 初期ストック量 F_0 : 200

U	510	M	41.95	X	26.82	W	68.77	π	330.89
---	-----	---	-------	---	-------	---	-------	-------	--------



注意したい点として、先ほどのケースよりも、今回のケースの方が短期的な林業事業者の利潤は大きいということである。インフラ投資量も増加しているが、マテリアル木材価格の高さも相まって、森林の自然成長よりも多く搬出してしまい、結果的に森林ストックが減少した、というシナリオである。

政策を行う際には、木材需要価格やその地域での整備コストだけでなく、森林の状態についても把握することが重要である。木材価格が高いためにインフラ投資量を増やした結果、その地域の森林ストックが失われていく、といった事態に陥る危険性が有るからである。日本の木質バイオマス発電は、大型化に対するインセンティブが強いため、木材の需要価格が上昇しやすい。短期的には林業の振興というメリットが有るものの、環境負荷が高くなってしまったため、需要価格の引き上げや林業インフラの整備には、一定の注意が必要だろう。

9章 おわりに

ここまで、木質バイオマス発電における未利用木材の利用拡大について、様々なモデル分析をおこなった。5章では、未利用木材の価格・取引量の決定について基本的なメカニズムを分析した。6章では、政策としてのインフラ整備が、未利用木材の利用や林業事業者の利潤に影響を与える影響について分析すると同時に、木材価格や地域事情が最適なインフラ投資量や未利用木材の搬出に影響を与えると述べた。7章ではFITによる電気の買い取り価格が未利用木材の需要価格に与える影響は、発電所の規模によるという結果を得た。8章では森林の持続性について分析し、木材価格や整備による搬出量の増加率によっては、森林ストックを減少させてしまうということを述べた。

今回のモデル分析では未利用木材の利用拡大という面に注目し、マテリアル利用木材価格や発電事業者における燃焼用チップ価格を定数としたため、実際の事業者の行動とは乖離がある可能性は高い。また、ドイツの林業事業者のように未利用木材のチップ化を行う場合の未利用木材の取引や、大規模発電所が広域からチップを集める場合のロス、FITによらない企業への熱電併給を行う場合の損益分析など、未利用木材の利用に関わる様々な問題についての分析を行っていないため、地域性や周辺条件を完全に反映できたとは言いきれない。

しかしながら、導き出された結果は直感的に受け入れやすいものが多く、ある程度の現実性は担保していると言えるだろう。この分析の中で重要な点として、「地域性」が挙げられる。6章で述べたように、地域ごとに地形や事業者の質が異なるため、インフラ投資が必ずしも林業の振興に繋がらない可能性もある。一方7章で述べたように、地域に大型の発電所があれば、電気の買い取り価格を上昇させることで需要価格を大きく引き上げることも可能になる。

こうした地域ごとの状況を勘案して政策を行うことが重要であると同時に、発電所の立地に関しても行政がコントロールする必要がある。特に3章で述べたように日本のFITでは発電所の大型化が進みやすいため、森林の持続性の観点からも地域行政のコントロールは重要である。1章で述べたように、木質バイオマス発電の原則は「地産地消」である。必ずしもドイツ的な小型発電所による熱電併給を行う必要が有るとは言えないが、「地域」というコミュニティの下で適切な政策を行う重要性は変わらないのではないだろうか。

参考文献

- ・熊崎実(2000)『木質バイオマス発電への期待』林業改良普及双書
- ・富士通総研 経済研究所 梶山恵二 (2013)『木質バイオマスエネルギー利用の現状と課題—FIT を中心とした日独比較分析—』
- ・資源エネルギー庁(2009)『バイオマスエネルギー利用の現状について』
- ・資源エネルギー庁 新エネルギー対策課(2012)『FIT とバイオマスビジネスの活性化について』
- ・農林中金総合研究所 渡部喜智(2012)『木質バイオマス発電の特性・特徴と課題』
- ・NPO 法人バイオマス産業社会ネットワーク(2012)『バイオマス発電・熱利用と方向性』
- ・木質バイオマスエネルギー利用推進協議会(<http://www.w-bio.org/>) (最終アクセス日 2015 年 1 月 7 日)
- ・統計局 HP <http://www.stat.go.jp/> (最終アクセス日 2015 年 1 月 7 日)
- ・経済産業省 エネルギー庁 HP <http://www.enecho.meti.go.jp/>(最終アクセス日 2015 年 1 月 7 日)
- ・森林・林業学習館 HP <http://www.shinrin-ringyou.com/> (最終アクセス日 2015 年 1 月 7 日)

あとがき

インゼミ論文や新聞発表などで木質バイオマス発電を扱う機会が多かったのですが、あまり深く調べていなかったため、卒業論文という形で深く研究したいと思ったため、題材として木質バイオマス発電を選びました。

去年のインゼミの経験から、エネルギー分野の研究は難しくなると感じていました。案の定、問題意識の絞り込みやモデルの設計でかなり苦しんだのですが、何とか書きあげることが出来ました。

3年生の時のインゼミ論文の製作、4年生の時の卒業論文の製作と3年生の手伝いを経て、環境問題を分析して問題の本質を捉え、解決策を模索し効果を予測する、ということが出来るようになりました。ゼミに入る前の自分では、様々な環境問題を経済学的に捉えるということは出来なかったでしょう。ましてモデルを設計して様々な解決策を検証するなどということには、思い至りもしなかったと思います。

そういった意味で、今回の卒業論文は自分の成長の集大成と言えるものだと思います。拙いなりに問題の分析と解決策の検証を試みることで、バイオマス発電に関する見識をかなり深められました。

「山にある木を使えば、中東から石油を買ってこなくても大丈夫なのね」これは親がボランティアをしている石巻の漁師の方がペレットストーブを見て言った言葉だそうです。木質バイオマスの本質を突いた言葉です。森林資源の豊富な日本において、木質バイオマスの効果的な利用を進めること（発電に限らなくとも）は非常に重要だと感じます。その重要な問題について深く考えることが出来たという意味においても、自分にとって卒業論文は意義深いものになりました。

この論文を製作するにあたり、インタビューに協力して頂いた能代バイオマス発電所の皆様に深く御礼を申し上げます。お忙しい中、様々なことを丁寧に教えて下さりありがとうございました。

そして2年間のゼミ活動を楽しく有意義なものにしてくれた同期にも感謝しています。同期の皆からは非常にいい刺激を受け、成長することが出来たと思います。

最後に、ゼミを通じて環境経済学に止まらず、様々なことを教え、伝えて頂いた大沼先生、澤田さん、2年間大変お世話になりました。言葉に出来ないくらい感謝しています。本当にありがとうございました。

2013年1月 大沼あゆみ研究会 11期 澤田 正瑛