
*
*
*
*
*
*
*
*

高知大学学位授与記録

本学は、次の者に博士（学術）の学位を授与したので、学位規則（昭和28年文部省令第9号）第8条の規定に基づき、その論文の内容の要旨及び論文審査の結果の要旨を公表する。

目 次

| 学位記番号 | 氏 名 | 学 位 論 文 の 題 目 | ページ |
|----------|-------|----------------------|-----|
| 甲総黒博第30号 | 福田 雄治 | FIT制度がもたらす木材市場の攪乱と対策 | 1 |

| | |
|---------|---|
| ふりがな | ふくだ ゆうじ |
| 氏名（本籍） | 福田 雄治（高知県） |
| 学位の種類 | 博士（学術） |
| 学位記番号 | 甲総黒博第30号 |
| 学位授与の要件 | 学位規則第4条第1項該当 |
| 学位授与年月日 | 平成31年3月22日 |
| 学位論文題目 | FIT制度がもたらす木材市場の攪乱と対応 |
| 発表誌名 | <p>(1) 福田雄治・飯國芳明. 2015. 広葉樹による木質バイオマス発電用燃料の供給可能性に関する研究. 農林業問題研究 51(3) : 215-220.</p> <p>(2) 福田雄治・飯國芳明. 2019. FIT 制度がもたらす木材市場の混乱と対策. 黒潮圏科学 12(2) : 118-130.</p> <p>(3) 福田雄治・鈴木保志・大崎優・飯國芳明. 2019. 木質バイオマス発電における広葉樹利用の検討 - 針葉樹との同時伐採方式の導入 -. 森林利用学会誌. 34(1) : 34-47.</p> |
| | <p style="text-align: center;">審査委員 主査 教授 飯國 芳明 副査 教授 新保 輝幸 副査 教授 田中 壮太</p> |

論文の内容の要旨

1. 課題の設定

我が国では、再生可能エネルギーの固定価格買取制度（以下、FIT 制度）が 2012 年 7 月に開始され、「間伐材等由来の木質バイオマス」（以下、未利用木材）の活用が推進されている。その結果、未利用木材を燃料とする木質バイオマス発電設備（以下、未利用木質発電プラント）が全国で建設されており、2017 年 3 月末時点ですでに 46 件（合計出力 306 MW）が稼働している（資源エネルギー庁 2017）。未利用木材需要の急増に応じて、エネルギーとして利用された間伐材・林地残材等由来の木材チップも、2011 年（FIT 制度開始前）の 579 千 m³から、2016 年には 4,219 千 m³に急増している。

林野庁では、送電出力 5 MW の木質発電プラントの燃料を全て間伐材とした場合、プラントが支払う燃料購入費は概ね 7～9 億円/年としている。これら施設がすべてフル稼働しているとすれば、燃料購入費だけで毎年 360～463 億円程度の資金が電気を生み出す地域に流入しているものと推定される。そして、この資金による経済波及効果は、毎年 800～1,000 億円程度に上ると推定されている。また、これら施設は各地に分散して導入されていることから、FIT 制度は電気を消費する都市部と電気を生産する地方との資金循環や、地方経済の活性化、分散型エネルギーシステムへの転換等へ大きく貢献しているものと考えられている。

しかしながら、一方では、未利用木質発電プラントが設置された地域において、本来は建築用材として利用可能な木材が発電の燃料用（以下、燃材）として流出している実態が報告され始めている。一般に燃材は建築用材よりも安価である。建築用材のようなマテリアル用材を燃材として出荷することは林業の採算性を悪化させるものと考えられる。しかし、伐採後の植栽や造林・保育に必要な費用を計上し

なければ、一定の収益を確保することは可能である。すなわち、FIT 制度は長期的な木材価格の低迷によって林業経営に希望を持たなくなった森林所有者に、持続可能な林業経営をあきらめて、短期的な収益を確保するという選択肢を提供している可能性がある。そして、そうした問題は FIT 制度による燃料価格の引き上げに起因している。

そこで、本研究で分析課題を、なぜ FIT 制度においてマテリアル用材が未利用木材という名目で燃料となるのか、また、この問題を解決するためにはどのような対応策を行えばよいかを設定した。具体的な研究課題はこれをさらに分割し、4つの課題に分けて分析した。

1) FIT 制度においてマテリアル用材が未利用木材とされた経緯、および、FIT 制度において燃料化を抑制してきたドイツの事例を基に、両国の制度設計の違いとその要因を明らかにする。

2) マテリアル用材の燃料化を抑制する手段として広葉樹林に注目して、広葉樹チップ市場の需給関数から広葉樹林の燃料利用の可能性を検討する。

3) 効率的な広葉樹林の伐採を促すために、針葉樹人工林と広葉樹林をまとめて収穫し、建築用材や燃料を確保するという新しい施業モデル（同時伐採モデル）を構築して、その収益性を検討する。

4) 高知市北部地域（旧土佐山村）をフィールドに同時伐採モデルを適用し、収益性を確保できる林分および針葉樹の再生林のための費用を賄える林分を現実のデータに基づいて特定する。

2. 研究方法

課題 1~4 について以下の方法で分析を行った。

課題 1) 我が国の FIT 制度においてマテリアル用材が未利用木材とされた経緯を、同制度において調達価格等の検討を行う調達価格等算定委員会の議事録や配布資料等を基に分析した。また、日本とドイツの制度設計の違いとその要因を次の手順で分析した。すなわち、まず、ドイツにおいてマテリアル用材の燃料化が一定程度抑制できた要因を既存資料や関係者から提供されたデータ等を基に整理した。次に、日本の制度設計について、資源エネルギー庁のホームページから価格と期間を整理し、その特徴を分析した。また、日本の FIT 制度によって熱電併給加算が行われなかった理由について、調達価格等算定委員会の議事録等を基に分析した。

課題 2) 未利用木材を燃料とする 2つの未利用木質発電プラントが建設され、かつ広葉樹林が民有林面積の約 34%を占める高知県を対象に、広葉樹林による燃料供給が県内の未利用木質発電プラントの需要を満たすことができるかどうかを推定した。分析では、まず、高知県における過去 25 年間の広葉樹チップの価格と生産量に基づき、既存の広葉樹チップ市場の需給曲線を推定した。次に、県内 2つの未利用木質発電プラントの木材需要を含めた高知県における広葉樹チップの需要曲線を推計した。最後に、木材チップ市場の均衡点を推計して、県内の広葉樹林が 2つの未利用木質発電プラントの木材需要を満たせるかどうか、さらに、プラントに正の利潤を確保できるかどうかを検討した。

課題 3) 同時伐採モデルは、フィールドを高知市に定めて構築し、その収益構造を検討した。高知市は、総土地面積の 55%を占める森林面積のうち、人工林と広葉樹林がそれぞれ 47%を占め、かつ発電用燃料の 100%を未利用木材とする発電プラントが設置されており、事例研究に適したフィールドである。伐採方法は皆伐とし、伐木・集材・積込作業は、作業ポイントを道沿いに設置してチェーンソーで伐木した木材を架線にて作業ポイントまで集材し、プロセッサにて造材後、トラックへ積込むものとした。

集材は緩傾斜から急傾斜まで様々な地点を一律に取り扱うため、架線によるものとした。また、索張り方式は皆伐に適したエンドレスタイラーとした。モデルの設定値は、統計資料や既存の研究等を基に決定した。針葉樹人工林と広葉樹林のさまざまな割合を含む森林を分析対象とするため、伐出対象面積

の中に実際に伐出可能な針葉樹人工林および広葉樹林が 0~100 %の範囲で存在する場合の収益を算出した。収益の評価は、伐出対象林分（針葉樹人工林および広葉樹林）の面積あたりの収益、および、伐出対象針葉樹人工林分面積あたりの収益の 2 つの指標を用いた。

課題 4) 同時伐採モデルの実施可能性の検証は、高知市北部の土佐山地区（旧土佐山村）を対象に検討した。この地区は針葉樹人工林および広葉樹林の林分がいずれもが豊富であり、市内の森林としては水源涵養林、保安林および自然公園などの面積比率が低く、伐採のための条件がよい地域である。

分析は次の手順で実施した。まず、同時伐採モデルが土佐山地区の森林計画図（電子データ）の小班より小さい林分を対象とするため、本分析に対応する規模の集水域ポリゴンを作成した。次に、伐出の際にトラックで運搬することを想定し、集水域が 3 m 道路に隣接していることを条件として加えた。さらに、集水域ポリゴンが同時伐採モデルの集材範囲内および集材面積を超えるものだけを分析対象とした。こうして残った集水域ポリゴン（林分）で同時伐採を実施したときのヘクタール当たりの収益性を分析した。収益性の計算には、保安林などの伐採制限や樹種、樹齢を考慮し収益が正になる林分を GIS により特定した。

最後に、針葉樹人工林の再生林が可能な林分を特定し、そこから得られる製材用材、および、燃材としての供給可能量を算出した。

3. 分析結果

これらの課題に対する結論を要約すると次のようになる。

課題 1)

- ① 調達価格等算定委員会の初期の議論の段階で、FIT 制度が未利用木材とする範囲には、従来から考えられてきた未利用材、すなわち、未利用の林地残材を超えてチップ用材や場合によっては合板用材までも含むような設計がなされていた可能性が高い。そして、この違いの認識を十分に意識しないまま、制度設計がなされたことにより、マテリアル用材の燃材化が生じたものと考えられる。
- ② ドイツでは、買取価格を巧みに操作しながら燃材需要を抑制してきた。また、熱電併給という制約によって木材のエネルギー利用の急激な拡大に歯止めを掛けながら、エネルギー効率の高い小規模分散型エネルギーの普及を進めてきた。
- ③ 我が国の FIT 制度では、現在においても熱電併給加算はない。また、プラント規模に関して逓減的な価格設定になっておらず、結果として大規模な発電プラントの導入を促す仕組みとなってきた。
- ④ 我が国の FIT 制度において、熱電併給加算が実現しなかったのは、熱需要が確保できないという経済的要因のほか、制度的な理由による。

課題 2)

- ① 高知県内の広葉樹チップ市場の需給関数を、過去 25 年の市場データを用いて推定した。また、これに現在稼働中の 2 つの未利用木質発電プラントの需要量を加えて、現在の合成需要曲線を推定した。この関数を用いると、未利用木材から生じた電気の買取価格が 32 円/kWh ならば、その供給量は高知県内の 2 つの未利用木質発電プラントの最大使用量に対応する原木量に達しており、予定された操業度で発電するのに十分な広葉樹チップが供給される可能性が高い。
- ② 今後、FIT 制度の買取価格のうち、未利用木材から生じた電気の買取価格（32 円/kWh）が低下しても、26.79 円/kWh よりも高額ならば、上記①の結論が維持される。
- ③ 未利用木材から生じた電気の買取価格が、全て一般木質バイオマスと同等の価格（24 円/kWh）と同じ水準であれば、上記①の結論は維持されない。
- ④ 未利用木材から生じた電気の買取価格が 32 円/kWh ならば、2 つの未利用木質発電プラントの 2.3 倍

程度の規模で、黒字を維持しつつ予定された操業度で発電するのに十分な広葉樹チップが供給される可能性がある。

課題 3)

- ① 針葉樹人工林と広葉樹林をまとめて収穫し、建築用材や燃材を確保するという新しい施業モデルを構築してその収益性を検討した。その結果、本分析の前提の基では、集造材作業の生産性が皆伐で実現されると推定される下限の水準では、持続可能な森林経営は難しいという結果となった。一方で、上限の水準にあって針葉樹林人工林の伐採率が 30 %以上になると造林・保育費が賄われ、その比率が 10 %の場合でも、広葉樹林の伐採比率が 60 %を超えると持続性が実現されることが判明した。さらに、針葉樹人工林比率が 60 %を超えると広葉樹林のいずれの伐採比率でも先に示した目標収益が実現できる可能性がある。
- ② 同時伐採方式の収益性の構造についても新たな 2 つの知見が得られた。その第 1 は、伐出対象林分（針葉樹人工林および広葉樹林）の面積あたりの平均収益 (B_A) では、広葉樹林伐採に伴う限界収益 (MB) と各平均収益曲線の始点の位置が構造を決めることである。ここで収益曲線の始点とは針葉樹人工林を皆伐した際に得られる面積当たりの収益である。 B_A の計算では、広葉樹伐採量を増やすと B_A は MB の水準に漸近するため、この 2 つの情報で収益構造を大づかみにできる。また、収益を伐出対象針葉樹人工林分面積で除した平均収益 ($B_{A,N}$) についても各収益曲線の始点を計算したのちに、 MB (限界収益) を A_N (針葉樹人工林の面積) で除して、それぞれの直線の傾きを求めれば、収益性を推定できる。このように、収益曲線の始点と限界収益は同時伐採方式の収益性を決める極めて重要な指標となる。

課題 4)

- ① 高知市北部の土佐山地区（旧土佐山村）をフィールドに、地理空間上で同時伐採の適地候補地の特定を試みた。分析では、まず、当該モデルが対象とする集材範囲が 6 ha（支間長 500 m：横取り幅 60 m（両側 120 m））であるため、これに応じて QGIS の「r.watershed」モジュールにて、最小周長を 1,240 m（ $(500\text{ m}+120\text{ m}) \times 2$ ）、1,860 m、2,480 m、3,720 m、4,960 m に変化させて集水域ポリゴンを作成し、これを伐採対象林分の候補とした。次に、同モデルでは支間長を 500 m としているため、幅員 3 m 以上の道路の左右 500 m までを集材範囲と考えて、上で得た集水域ポリゴンから集材範囲が 6 ha 未滿となる集水域ポリゴンは削除した。この時の集水域ポリゴンの個数は、最小周長 1,860 m が 295 個と最も多く、総面積は 3,290.1 ha であった。そこで、伐採対象林分を、最小周長を 1,860 m として作成した集水域ポリゴンに絞り、これに森林簿（電子データ）の施業番号および施業枝番を基に作成したポリゴンと交差させて、集水域ポリゴン内の針葉樹人工林（スギ、ヒノキ：林齢 50 年生以上）の面積と、広葉樹林（その他広葉樹：林齢 50 年生以上）の面積を積算（何れも制限林以外）した。また、求めた面積を各集水域ポリゴンの面積で除した値を、開発した計算式に当てはめて、林分毎の収益額を求めた。その結果、収益がプラスになる林分は 197 個、そのうち再造林費用が賄える収益がある林分は 171 個、スギ人工林を 50 年生で主伐した場合の立木販売収益以上の収益が確保できる林分は 89 個となり、その立地を特定できた。収益がプラスになる林分の総面積は 2,222.0 ha となった。
- ② 上記①の結果から、本分析の対象地域である土佐山地区における持続可能な木質資源の供給可能量は、建築用材 153,138 m³、燃材 154,056 t と推計された。ただし、伐出対象林分における集材面積を最大 6 ha としたときの値であり、2 つ目の架線を想定すればさらに数値は上がる。その意味でこの推定量は下限値を表している。

4. 残された課題

残された課題は、開発した同時伐採モデルの精度を高めることである。具体的には、広葉樹林について実績データによる設定値を精査しより妥当な値にすることや、蓄積量や残材発生率についての実績値を集めて、より根拠のある数値とすること等が挙げられる。また、既存の研究では、里山林から得られる広葉樹材は施業や販売方法の工夫により高単価で取引できる可能性が示されている。実際にはそのような工夫により収益を向上させる努力も必要と考えられる。

以上

<参考文献>

- [1] 福田雄治・飯國芳明. 2015. 広葉樹による木質バイオマス発電用燃料の供給可能性に関する研究. 農業問題研究 51(3):215-220.
- [2] 福田雄治・飯國芳明. 2019. FIT 制度がもたらす木材市場の混乱と対策. 黒潮圏科学. 12(2):118-130.
- [3] 福田雄治・鈴木保志・大崎 優・飯國芳明. 2019. 木質バイオマス発電における広葉樹利用の検討ー針葉樹との同時伐採方式の導入ー. 森林利用学会誌. 34(1):34-47.

1. 本論文の課題設定

我が国では、再生可能エネルギーの固定価格買取制度（以下、FIT 制度）が 2012 年 7 月に開始され、「間伐材等由来の木質バイオマス」（以下、未利用木材）の活用が推進されている。その結果、未利用木材を燃料とする木質発電プラント（以下未利用木質発電プラント）が全国で建設されており、2017 年 3 月末時点で 46 件（合計出力 306 MW）が稼働している。未利用木材需要の急増に応じて、エネルギーとして利用された間伐材・林地残材等由来の木材チップも、2011 年（FIT 制度開始前）の 579 千 m³ から、2016 年には 4,219 千 m³ に急増している。

こうした国内材の利用拡大の一方で、未利用木質発電プラントが設置された地域において、本来は建築用材として利用可能な木材が発電の燃料用材（以下、燃材）として流出している実態が報告され始めている。木材が安易に燃材に利用された結果、木材が「過剰利用」の状況に陥り、森林の資源が急速に失われ始めているのである。

そこで、本論文では 2 つの問いを設定している。すなわち、1) なぜ日本の FIT 制度ではマテリアル用材の燃材としての過剰利用が止まらないのか、2) この問題を解決・緩和するためにはどのような対応策を行えばよいか、の 2 つである。この問いはさらに以下の 4 つの課題に分けて検討が進められている。

1) FIT 制度においてマテリアル用材が未利用木材とされた経緯、および、FIT 制度において燃材化を抑制してきたドイツの事例を基に、両国の制度設計の違いとその要因を明らかにする。

2) マテリアル用材の燃材化を抑制する手段として広葉樹林に注目して、広葉樹チップ市場の需給から広葉樹林の燃材利用の可能性を検討する。

3) 効率的な広葉樹林の伐採を促すために、針葉樹人工林と広葉樹林をまとめて収穫し、建築用材や燃材を確保するという新しい施業モデル（同時伐採モデル）を構築して、その収益性を検討する。

4) 高知市北部地域（旧土佐山村）をフィールドに同時伐採モデルを適用し、針葉樹の再造林のための費用を賄える持続可能な林業を展開できる林分の所在を特定し、そこから供給できる木材量を推定する。

なお、課題 1 は「問いの 1」に、課題 2～4 は「問いの 2」に対応する。

2. 分析結果

それぞれの課題に対する主な分析結果は以下の通りである。

まず、課題 1) については、調達価格等算定委員会の議事録などの詳細な検討から、初期の議論の段階で、FIT 制度が未利用木材とする範囲に従来から考えられてきた未利用材、すなわち、林地残材を超えてチップ用材や場合によっては合板用材までも含むような設計がなされていた可能性が高いことが明らかにされている。また、ドイツでは、買取価格を巧みに操作しながら燃材需要を抑制し、熱電併給という制約によって木材のエネルギー利用の急激な拡大に歯止めをかけてきた経緯があるのに対し、日本の FIT 制度では買い入れ価格が規模に関わらず一定であり、しかも、熱電併給の加算は採用されていないため、燃材利用への歯止めがきかなかったことが検証されている（以上、参考論文[2]）。

第 2 の課題である高知県内における広葉樹チップの供給可能性の検証については、高知県内の広葉樹チップ市場の需給関数を過去 25 年の市場データを用いて推定し、これに現在稼働中の 2 つの未利用木質発電プラントの需要量を加えて、現在の合成需要曲線を推定している。この需給関数を用いると、未利用木材から生じた電気の買取価格が 26.79 円/kWh よりも高額ならば、県内の 2 つの未利用木質発電プラントの収益性を確保しながら、最大使用量に対応する原木量が供給される可能性が高いことが明らかにされている（以上、参考論文[1]）。

課題3)の新しい伐採方式の検討では、針葉樹人工林と広葉樹林を同時に集材し、建築用材や燃材を確保するという新しい施業モデルを構築し、その収益性が推定されている。その結果、集造材作業の生産性を上限の水準に設定したときには、伐採対象の林分で針葉樹人工林の伐採率が30%以上になると造林・保育費が賄われ、その比率が10%の場合でも、広葉樹林の伐採比率が60%を超えれば針葉樹の再造林が可能となり、持続可能な林業が実施できることが示されている。ちなみに、広葉樹については萌芽更新が想定されており、再造林は検討していない(以上、参考論文[3])。

課題4)の分析では、同時伐採方式が高知市北部のフィールドで持続可能な形で林業を展開できる林分を地理情報に基づいて特定している。分析では、まず、最小周長を1,860mに設定して集水域ポリゴンを作成し、これを伐採対象林分の候補とする。これに幅員3m以上の道路の左右500mまでを集材範囲とするポリゴンと交差させた上で、そのポリゴン面積が6ha以上のものだけを残して同時伐採の施業対象としている。これに森林簿(電子データ)の施業番号および施業枝番を基に作成したポリゴンと交差させて、集水域ポリゴン内の針葉樹人工林(スギ、ヒノキ:林齢50年生以上)の面積と、広葉樹林(その他広葉樹:林齢50年生以上)の面積を積算して同時伐採方式による収益性を算出している。その結果、再造林費用が賄える持続可能な林業を展開できるポリゴン(林分)は171個となり、建築用材としての針葉樹153,138m³、燃材154,056tが確保できることが明らかにされている。

<参考論文>

- [4] 福田雄治・飯國芳明. 2015. 広葉樹による木質バイオマス発電用燃料の供給可能性に関する研究. 農業問題研究 51(3):215-220.
- [5] 福田雄治・飯國芳明. 2019. FIT 制度がもたらす木材市場の混乱と対策. 黒潮圏科学. 12(2):118-130.
- [6] 福田雄治・鈴木保志・大崎 優・飯國芳明. 2019. 木質バイオマス発電における広葉樹利用の検討 - 針葉樹との同時伐採方式の導入 -. 森林利用学会誌. 34(1):34-47

■ 学位論文の評価

以上のように、本学位論文ではFITが木材の過剰利用を引き起こした原因とその問題への緩和策を探るといった社会的な要請の高い課題を設定し、それに対する回答となる分析結果を体系的に示すことに成功している。また、分析は3つの査読つき論文を基礎に、国際比較から現場の林分に至る幅広い分野をカバーする論考となっており、学術的な十分な価値を認めることができる。

黒潮圏科学の視点からみると、木質バイオマス発電を通じた新エネルギーの持続可能な生産を目指す本論文の分析は、黒潮圏科学の理念である共生社会の実現を色濃く反映する論考となっている。また、経済学、森林科学、地理情報学、土壌学、植物生態学などの学際的なアプローチを採用している点でも黒潮圏科学の理念に叶うものとなっている。