

博 士 論 文

FIT 制度がもたらす木材市場の攪乱と対策

平成 3 1 年 3 月

高知大学大学院総合人間自然科学研究科

黒潮圏総合科学専攻

福田 雄治

# 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。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 m<sup>3</sup>から、2016 年には 4,219 千 m<sup>3</sup>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 制度による燃材価格の引き上げに起因している。

そこで、本研究では分析課題を、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材となるのか、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関数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、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材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および出力推移(見通し含む)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 つの発電プラントが建設され、かつ広葉樹林が私有林面積の約 34 %を占める高知県を対象に、広葉樹林による燃材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齢を考慮して伐採面積や樹種を確定した。また、収益が正になる集水域ポリゴンについて、GIS を用いて特定した。

最後に、針葉樹人工林の再生林が可能な集水域ポリゴンを特定し、そこから得られる建築用材、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く、プラント規模に関して逡巡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、上限の水準にあつ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推算された。
- 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 m+120 m) × 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 未満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 m<sup>3</sup>、燃材 154,056 t と推算された。これは、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。ただし、あくまでも候補地であり、実際の利用にあたっては現地の状況を確認の上で、その適用について十分に検討する必要がある。

#### 4. 残された課題

残された課題は、同時伐採モデルについて、広葉樹林の実績データによる設定値を精査して、より妥当な値にすることがある。また、実際の蓄積量や残材発生率について実績値を集めより根拠のある数値にすること等によるモデルの全体としての精度の向上、より長い支間長や横取り幅に対応できるようモデルを改良して汎用性を高めることなどが挙げられる。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。

なお、同時伐採モデルの適用には一定の森林面積が必要となる。しかし、民有林のうち、都道府県、市区町村等が保有する山林を除いた私有林の所有者は 1~5 ha という小規模な階層に集中する一方で、既に林地の 25.6 %は所有者不在土地との報告がある。当該モデルの適用、さらには森林の適切な管理を推進する前提として所有者不在土地対策を早急に進める必要がある。

また、当該モデルの適用にあたっては、伐採地がシカの餌場とならないよう、シカの食害対策についても十分に検討しておく必要がある。

# 目 次

|   |    |
|---|----|
| 序 章.....  | 1  |
| 1-1 本研究の課題 .....                                      | 1  |
| 1-2 本論文の構成 .....                                      | 6  |
| 引用文献.....   | 8  |
| <br>  |    |
| 第2章 FIT 制度がもたらす木材市場の混乱と要因.....                        | 10 |
| 2-1 はじめに.....   | 10 |
| 2-2 分析方法.....   | 10 |
| 2-3 分析結果.....   | 10 |
| 2-3-1 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.....              | 10 |
| 2-3-2 日本とドイツの制度設計の違いとその要因 .....                       | 16 |
| 2-4 まとめ .....   | 26 |
| 引用文献.....   | 28 |
| <br>  |    |
| 第3章 広葉樹による木質バイオマス発電用燃料の供給可能性.....                     | 31 |
| 3-1 はじめに.....   | 31 |
| 3-2 燃料に関連する市場.....                                    | 31 |
| 3-3 分析方法.....   | 34 |
| 3-3-1 分析の手順 .....                                     | 34 |
| 3-3-2 既存需給曲線の推計方法 .....                               | 34 |
| 3-3-3 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<br>要曲線の推計方法..... | 36 |
| 3-3-4 新しい広葉樹チップ市場の均衡点の推計方法.....                       | 39 |
| 3-4 分析結果.....   | 39 |
| 3-4-1 既存需給曲線の推計結果 .....                               | 39 |
| 3-4-2 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<br>要曲線の推計結果..... | 41 |
| 3-4-3 新しい広葉樹チップ市場の均衡点の推計結果.....                       | 41 |
| 引用文献.....   | 43 |
| <br>  |    |
| 第4章 針葉樹人工林と広葉樹林との同時伐採方式の導入.....                       | 45 |
| 4-1 はじめに.....   | 45 |



|                 |   |           |
|-----------------|---|-----------|
| 4-2             | 研究方法.....                               | 45        |
| 4-2-1           | 対象地域.....                               | 45        |
| 4-2-2           | 伐採・集材方法の設定.....                         | 46        |
| 4-2-3           | 収益計算.....                               | 48        |
| 4-2-4           | 同時伐採比率の設定と収益の比較.....                    | 51        |
| 4-3             | 結果と考察.....                              | 52        |
| 4-3-1           | 使用した値の妥当性.....                          | 52        |
| 4-3-2           | 生産性の差異による収益の特徴.....                     | 55        |
| 4-3-3           | 伐出対象人工林面積あたりの平均収益性.....                 | 59        |
| 4-4             | おわりに.....                               | 64        |
|                 | 引用文献.....                               | 65        |
| <br>            |   |           |
| <b>第5章</b>      | <b>GISを用いた針・広葉樹林の同時伐採適地選定手法の開発.....</b> | <b>68</b> |
| 5-1             | はじめに.....                               | 68        |
| 5-2             | 研究方法.....                               | 68        |
| 5-2-1           | 分析対象.....                               | 68        |
| 5-2-2           | 分析対象伐出対象林分の特定と収益性算出の手順.....             | 68        |
| 5-2-3           | 同時伐採モデルの架線範囲を考慮した伐出林分の特定.....           | 69        |
| 5-2-4           | 道路へのアクセス条件および規模制約の追加.....               | 70        |
| 5-2-5           | 林分毎の収益性計算と地図表示.....                     | 70        |
| 5-2-6           | 木質資源の供給可能量の推定.....                      | 72        |
| 5-3             | 分析結果.....                               | 73        |
| 5-3-1           | 集水域ポリゴンの作成.....                         | 73        |
| 5-3-2           | 道路へのアクセス条件および規模制約の追加.....               | 74        |
| 5-3-3           | 林分毎の収益性計算と地図表示.....                     | 77        |
| 5-3-4           | 木質資源の供給可能量の推定.....                      | 79        |
| 5-4             | まとめ.....                                | 79        |
|                 | 引用文献.....                               | 80        |
| <br>            |   |           |
| <b>終章</b>       | <b>要約と結論.....</b>                       | <b>81</b> |
|                 | 引用文献.....                               | 85        |
| <br>            |   |           |
| <b>謝辞</b> ..... |   | <b>86</b> |

## 図表目次

|   |    |
|---|----|
| 図 1-1. 未利用木質発電プラント導入件数と導入容量の推移（累積） .....                  | 4  |
| 図 1-2. エネルギーとして利用された間伐材・林地残材等に由来する木材チップの推移.....           | 5  |
| 図 1-3. 都道府県別未利用木質発電プラント導入件数.....                          | 5  |
| 表 2-1. 電気の買取価格（木質バイオマス：2012 年度） .....                     | 13 |
| 図 2-1. パルプ材ソース別原料構成比（2016） .....                          | 14 |
| 表 2-2. EEG における買取価格の推移（基本レート） .....                       | 18 |
| 表 2-3. EEG における買取価格の推移（ボーナス） .....                        | 18 |
| 表 2-4. EEG における買取価格（基本レート+ボーナス）の推移 .....                  | 19 |
| 図 2-2. EEG における買取価格（基本レート+ボーナス）の推移 .....                  | 19 |
| 図 2-3. ドイツにおける木材利用（1987～2011 年の推移および 2015 年までの予想推移） ..... | 20 |
| 図 2-4. ドイツにおける固形バイオマス発電プラント数および出力推移（累積） .....             | 21 |
| 表 2-5. 電気の買取価格・期間（木質バイオマス：2012 年度） .....                  | 22 |
| 表 2-6. 電気の買取価格・期間（木質バイオマス：2015 年度） .....                  | 22 |
| 図 2-5. 未利用木質発電プラントの導入容量（累積）と平均導入容量の推移 .....               | 23 |
| 図 2-6. 出力規模別導入容量の推移と見通し.....                              | 24 |
| 図 3-1. 針葉樹原木の需要と供給 .....                                  | 32 |
| 図 3-2. 針葉樹原木に対する合成需要曲線と市場均衡.....                          | 33 |
| 図 3-3. 広葉樹原木の需要と供給 .....                                  | 33 |
| 図 3-4. 高知県における広葉樹チップの生産量と価格.....                          | 36 |
| 図 3-5. 発電用燃料用チップの需要曲線.....                                | 37 |
| 表 3-1. 発電プラントの固定費用推計 .....                                | 39 |
| 表 3-2. 供給関数の推定結果一覧 .....                                  | 40 |
| 表 3-3. 需要関数の推定結果一覧 .....                                  | 40 |
| 図 3-6. 既存広葉樹チップの需給曲線（2009 年）推計 .....                      | 40 |
| 図 3-7. 広葉樹チップ市場の均衡点変化（2009 年） .....                       | 41 |
| 図 4-1. 高知市内の未利用木質発電プラント .....                             | 46 |
| 図 4-2. 想定する伐出方法.....                                      | 47 |
| 図 4-3. 架線皆伐集材の生産性.....                                    | 54 |
| 図 4-4. 伐区単位面積あたりの平均収益（生産性 1.00 倍） .....                   | 57 |

|  |    |
|--|----|
| 図 4-5. 伐区単位面積あたりの平均収益（生産性 1.24 倍） .....                        | 58 |
| 図 4-6. 伐区単位面積あたりの平均収益（生産性 1.49 倍） .....                        | 59 |
| 図 4-7. 伐区内の人工林単位面積あたりの平均収益（生産性 1.00 倍） .....                   | 61 |
| 図 4-8. 伐区内の人工林単位面積あたりの平均収益（生産性 1.24 倍） .....                   | 62 |
| 図 4-9. 伐区内の人工林単位面積あたりの平均収益（生産性 1.49 倍） .....                   | 63 |
|  |    |
| 図 5-1. 集水域ポリゴンの作成（最小周長 1,860 m） .....                          | 73 |
| 図 5-2. 土佐山地区における道路分布（幅員 3 m 以上） .....                          | 74 |
| 図 5-3. 集水域ポリゴンと道路からのバッファの交差結果（最小周長 1,860 m） .....              | 75 |
| 図 5-4. 6 ha 以上の集水域ポリゴンの分布（最小周長 1,860 m） .....                  | 76 |
| 図 5-5. 集水域ポリゴン内に取り込まれた施業番号および施業枝番のポリゴン（最小<br>周長 1,860 m） ..... | 77 |
| 図 5-6. 対象地域における同時伐採の候補地（最小周長 1,860 m） .....                    | 78 |

# 参考論文などのリスト

## 1. 学位論文を構成する参考論文

査読あり

- (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.
- (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 - 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.

## 2. 国際会議等での発表のリスト

- (1) Yuji Fukuda, Yoshiaki Iiguni : Power Generation by Biomass Originated in Broad-leaved Trees : A Feasibility Study. The 8th International Symposium on Kuroshio Science, 2014. 9. 12-13 (Kochi University)

## 3. その他の業績

a. 論文 : 査読あり

- (1) 鈴木保志・山崎真・渡辺直史・福田雄治. 2016. 木質バイオマス事業への供給を想定した架線集材による広葉樹皆伐作業の生産性と収支. 森林利用学会誌 31 (2) : 85~91.
- (2) 鈴木保志・福田雄治・山岡雄一郎・稲井康秀. 2017. 発電利用を想定した林地残材のトラック輸送における形態別容積比重と混載による充填効率向上の可能性の検討. 日本エネルギー学会誌 96 (10) : 436~440.

## b. 学会発表

- (1) 福田雄治・飯國芳明：未利用資源である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．第 64 回地域農林経済学会大会個別報告・要旨集：55. 2014.
- (2) 鈴木保志・山崎真・渡辺直史・福田雄治：木質バイオマス事業への供給を想定した架線集材による広葉樹皆伐作業の生産性．森林利用学会第 22 回学術研究発表会講演要旨集：31. 2015.
- (3) 鈴木保志・福田雄治・山岡雄一郎・稲井康秀：発電利用を想定した林地残材のトラック輸送における容積比重測定と充填効率向上に関する一考察．第 11 回バイオマス科学会議発表論文集：177～178. 2016.
- (4) 鈴木保志・福田雄治・大崎優・飯國芳明：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 - . 森林利用学会第 24 回学術研究発表会講演要旨集：20. 2017.

# 序 章

## 1-1 本研究の課題

東日本大震災に伴う福島第一原子力発電所の事故を受け、我が国のエネルギー政策は抜本的な見直しを迫られている。

かつて、我が国では安価な石油を大量に輸入し、1973年度には一次エネルギー国内供給の75.5%を石油に依存していた。しかし、1973年と1979年に始まった2回のオイルショックを経験し、エネルギー供給の安定化を目指して、石油に代わるエネルギーとして、原子力、天然ガス、石炭等の導入を推進してきた（資源エネルギー庁2014）。このうち、原子力発電は国際情勢の変化による影響を受けることが少なく供給安定性に優れており、資源依存度が低い準国産エネルギーとして位置付けられるエネルギーである。また、発電過程で二酸化炭素を排出することがなく地球温暖化対策に資するという特性を持っていることから、基幹電源と位置付けて推進されてきた（総合規制改革会議2003）。

しかしながら、福島第一原子力発電所の事故によって、2012年5月5日には原子炉が全停止するという事態となり、原子力に対する信頼性が大きく低下した。そして、それまでのエネルギー政策の見直しや地域完結型のエネルギー供給システムの構築について様々な提言がなされるとともに、太陽光発電や風力発電、小水力発電といった再生可能エネルギーの活用にも注目が集まった（農林水産政策研究所2014）。

ここで、再生可能エネルギーとは、「エネルギー供給事業者による非化石エネルギー源の利用及び化石エネルギー原料の有効な利用の促進に関する法律」（エネルギー供給構造高度化法）において「太陽光、風力その他非化石エネルギー源のうち、エネルギー源として永続的に利用することができると認められるものとして政令で定めるもの」と定義されている（資源エネルギー庁オンライン a）。

再生可能エネルギー導入拡大の意義については、例えば、三菱総合研究所（2014）は、「温室効果ガス削減等の環境改善に関するグローバルなものから、エネルギー自給率の向上や化石燃料調達に伴う資金流出の抑制等の我が国のエネルギー政策に関するもの、産業の国際競争力の強化等の我が国の産業政策に関するもの、また雇用の創出や地域の活性化や非常時のエネルギー確保等のローカルなものまで、非常に多岐にわたる。このようなメリットを持つ再生可能エネルギーは、次世代に真に引き継ぐべき良質な社会資

本と考えられる」としている。しかしながら、再生可能エネルギーの導入によって様々な効果が期待できる一方で、発電コストが高いという弱点（資源エネルギー庁オンライン b）により、その導入はなかなか進まないという問題があった。

こうした問題に対して、発電事業に参入する事業者を急速に増加させる目的の基、「再生可能エネルギー発電を促進する起爆剤」（植田 2013）として、2012年7月に再生可能エネルギーの固定価格買取制度（以下、FIT制度）が導入されることになった。この制度は、再生可能エネルギーで発電した電気を、電力会社が一定価格で一定期間買い取ることを国が約束する制度で、電力会社が買い取る費用を電気の利用者から賦課金という形で集め、今はまだコストの高い再生可能エネルギーの導入を支える仕組みである（資源エネルギー庁オンライン a）。また、再生可能エネルギーにて生み出した電気を、一定期間、固定された価格で買取ること、投資の確実性を高め、民間等の投資を引き出そうとするものである（植田 2013）。この制度のインパクトは大きく、FIT制度が開始された2012年度の買取実績は5,590.2 GWhとなり、2017年度には69,416.7 GWh（2012年度の12.4倍）に増加する（資源エネルギー庁オンライン c）。

本研究が対象とする未利用木材を燃料とする木質バイオマス発電所（以下、未利用木質発電プラント）についても、FIT制度導入以降急増し、2017年3月末時点で46件（合計出力306 MW、平均出力6.7 MW）導入（資源エネルギー庁オンライン c）されるに至っている（図 1-1 参照）。そして、この様な未利用木材需要の急増により、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は、2011年（FIT制度開始前）の579千m<sup>3</sup>から、2016年には4,219千m<sup>3</sup>に急増している（図 1-2 参照）。

林野庁では、「木質バイオマス発電・証明ガイドライン Q&A」（林野庁 2015）において、送電出力5 MWの未利用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<sup>1)</sup>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。また、この資金による経済波及効果は、森泉ら（2015）の木質バイオマス発電設備の運用に伴う生産誘発係数（2.242）を用いれば、毎年800～1,000億円程度に上ると推定される。さらに、これら施設は各地に分散して導入（図 1-3 参照）されていることから、未利用木材を燃料とする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

---

<sup>1</sup> 306 MW × 0.84（調達価格等算定委員会 2012、発電出力を送電出力に補正） ÷ 5 MW × 7～9 億円として算出。

ギーシステムへの転換等への大きな貢献も期待できる。

しかし、その一方で既に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、マテリアル用材<sup>2)</sup>が燃料として利用されることを燃材化とよぶ）として流出する実態がある（佐藤ら 2016）。

一般に燃料用材（以下、燃材）は建築用材よりも安価であり、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・保育に十分な費用を捻出しなければ、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。

FIT 制度によるマテリアル用材が燃材化する原因については、梶山（2013）や熊崎（2015）では、この制度では未利用木材から生じた電気の買取価格が 32 円/kWh と高く設定された上、例えば森林経営計画対象林から伐採された木材が丸太でも枝葉でも区分なく未利用木材とされる（林野庁 2012）ことを指摘している。こうした制度を背景に、マテリアル用材の燃材化は、佐藤ら（2016）の報告だけでなく、各地で報告（横田 2017, 吉岡ら 2017, 函子ら 2017）されており、今後、未利用木質発電の普及拡大とともにマテリアル用材の燃材化がさらに拡大することが危惧される。

そこで、本研究では分析課題を、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材となるのか、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に設定した。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関数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。

---

<sup>2)</sup> 製材、合板、木質ボード、製紙などの原材料として利用される木材。



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。

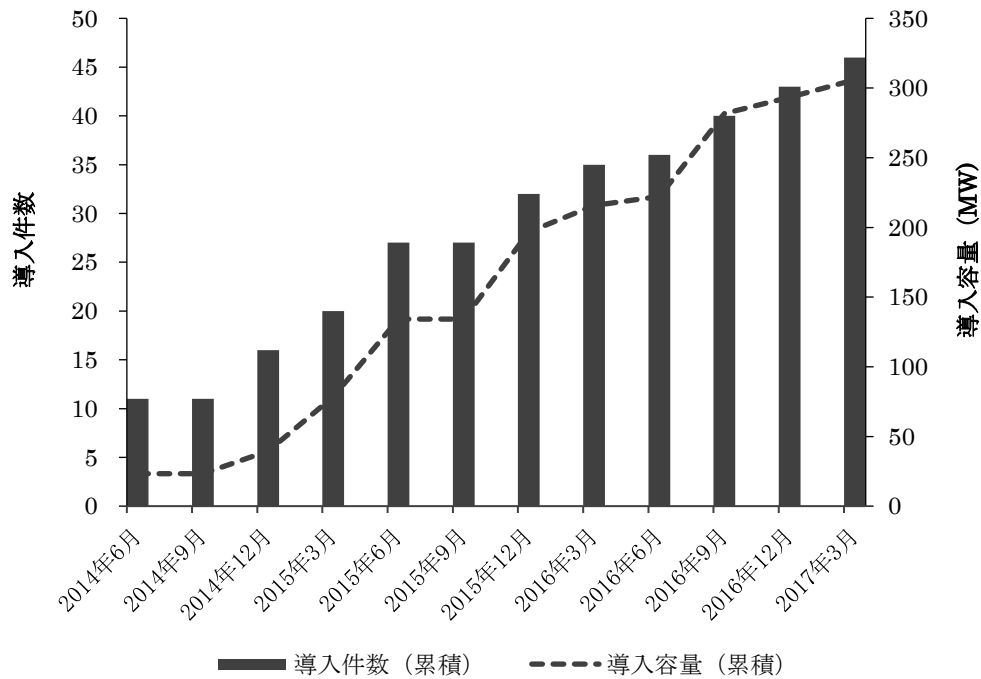


図 1-1. 未利用木質発電プラント導入件数と導入容量の推移（累積）

出所) 資源エネルギー庁（オンラインc）より作成。

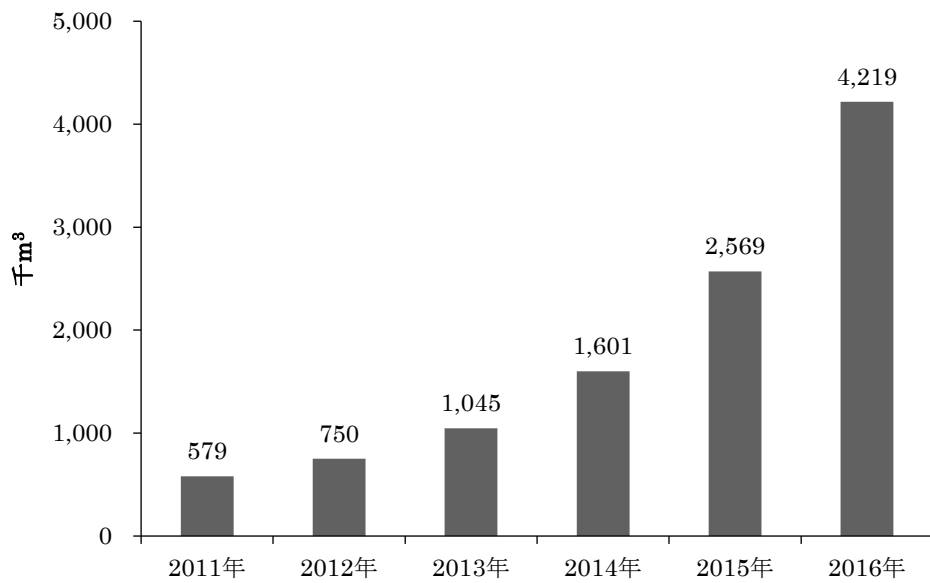


図 1-2. エネルギーとして利用された間伐材・林地残材等に由来する木材チップの推移

出所) 林野庁 (オンライン) より作成。

注) 間伐材・林地残材等とは、国産の間伐材、主伐材、除伐材および林地残材 (末木枝条、被害木等)。

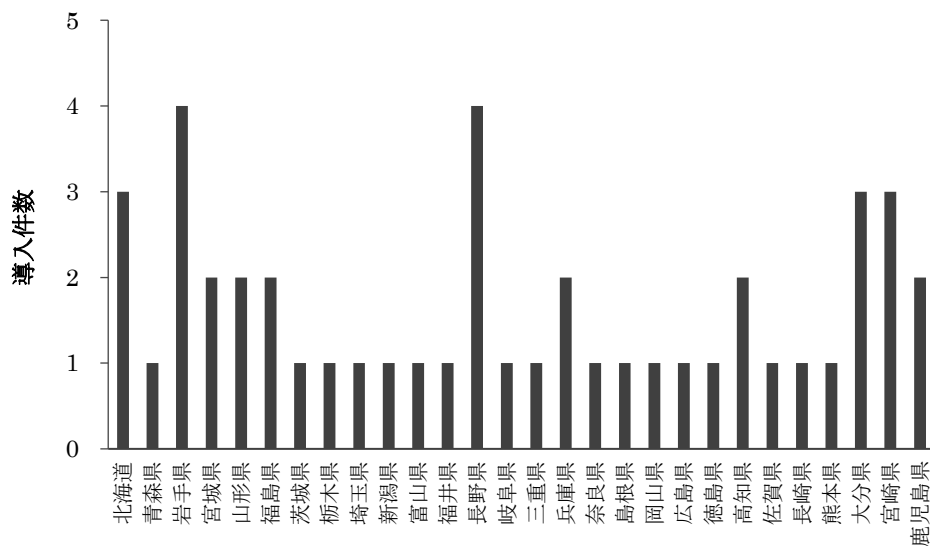


図 1-3. 都道府県別未利用木質発電プラント導入件数

出所) 資源エネルギー庁 (オンライン c) より作成。

注) 導入件数は 2017 年 3 月末の数字。導入件数が 0 の都道府県は除く。

## 1-2 本論文の構成

本論文の構成は次の通りである。

第2章では、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材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および出力推移（見直し含む）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。

第3章では、未利用木材を燃料とする2つの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、広葉樹林による燃材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。

第4章では、高知市をフィールドに定めて同時伐採モデルを構築し、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。

5章では、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3m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齢を考慮して伐採面積や樹種を確定した。また、収益が正になる集水域ポリゴンについて、GISを用いて特定した。

最後に、針葉樹人工林の再生林が可能な集水域ポリゴンを特定し、そこから得られる建築用材、および、燃材としての供給可能量を算出した。

終章では、各章で得られた結果を取りまとめるとともに残された課題を示した。

## 引用文献

- [1] 調達価格等算定委員会. 2012. 第4回 調達価格等算定委員会配布資料 資料5 全量買取制度における木質バイオマス資源別電力単価シミュレーション総括.  
[http://www.meti.go.jp/committee/chotatsu\\_kakaku/pdf/004\\_05\\_00.pdf](http://www.meti.go.jp/committee/chotatsu_kakaku/pdf/004_05_00.pdf)(2018年2月12日閲覧).
- [2] 梶山恵司. 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 - .  
<http://www.fujitsu.com/downloads/JP/archive/imgjp/group/fri/report/research/2013/no409.pdf> (2017年12月9日閲覧).
- [3] 熊崎実. 2015. FIT のもとでの木質バイオマス発電：ドイツと日本の比較. 日本エネルギー学会誌 94(11) : 1215～1224.
- [4] 三菱総合研究所. 2014. 平成26年度2050年再生可能エネルギー等分散型エネルギー普及可能性検証検討委託業務報告書. <https://www.env.go.jp/earth/report/h27-01/> (2018年10月6日閲覧).
- [5] 森泉由恵・本藤祐樹・中野諭. 2015. 再生可能エネルギー部門拡張産業連関表の開発と応用. 日本エネルギー学会誌 94 (12) : 1397～1413.
- [6] 農林水産政策研究所. 2014. 温暖化プロジェクト研究資料 第2号 バイオエネルギーの活用とその評価.
- [7] 林野庁. 2012. 発電利用に供する木質バイオマスの証明のためのガイドライン.  
<http://www.rinya.maff.go.jp/j/riyou/biomass/pdf/hatudenriyougaidorain.pdf>  
(2018年1月29日閲覧).
- [8] 林野庁. 2015. 木質バイオマス発電・証明ガイドライン Q&A.  
<http://www.rinya.maff.go.jp/j/riyou/biomass/pdf/hatsudenriyougaidorainqa.pdf>  
(2018年1月29日閲覧).
- [9] 林野庁. オンライン. 「平成28年木質バイオマスエネルギー利用動向調査」の結果(速報)について. <http://www.rinya.maff.go.jp/j/press/riyou/170906.html> (2018年3月25日閲覧).
- [10] 佐藤宣子・中川遼・正垣裕太郎. 2016. 木質バイオマス発電所稼働後の素材生産事業体の経営動向 - 大分県日田地域を事例に -. 林業経済研究 62(1) : 108～115.
- [11] 資源エネルギー庁. 2014. エネルギー白書.  
<http://www.enecho.meti.go.jp/about/whitepaper/2014pdf/> (2018年10月6日閲覧)

覧).

- [12] 資源エネルギー庁. オンライン a. なっとく!再生可能エネルギー.  
[http://www.enecho.meti.go.jp/category/saving\\_and\\_new/saiene/renewable/outline/index.html](http://www.enecho.meti.go.jp/category/saving_and_new/saiene/renewable/outline/index.html) (2018年10月6日閲覧).
- [13] 資源エネルギー庁. オンライン b. 特集記事『再生可能エネルギー』第1回 再エネのコストを考える.  
<http://www.enecho.meti.go.jp/about/special/tokushu/saiene/saienecost.html>  
(2018年10月6日閲覧).
- [14] 資源エネルギー庁. オンライン c. 固定価格買取制度 情報公表用ウェブサイト.  
<https://www.fit-portal.go.jp/PublicInfoSummary> (2018年10月6日閲覧).
- [15] 総合規制改革会議. 2003. 規制改革の推進に関する第3次答申 - 活力ある日本の創造に向けて - .  
[https://www.kantei.go.jp/jp/singi/kisei/tousin/031222/index\\_p.html](https://www.kantei.go.jp/jp/singi/kisei/tousin/031222/index_p.html). (2018年11月1日閲覧).
- [16] 植田和弘. 2013. 緑のエネルギー原論. 154pp, 岩波書店.
- [17] 横田康裕. 2017. 宮崎県における発電用木材の安定供給の取り組み. 日林誌 99 (6) : 241~250.
- [18] 吉岡拓如・有賀一広. 2017. 日本森林学会におけるバイオマス関連研究と FIT. 日林誌 99 (6) : 217~219.
- [19] 関子光太郎・嘉戸昭夫・相浦英春. 2017. スギ根元曲がり木における採材方法の違いがバイオマス発電向け低質材生産に及ぼす影響. 日林誌 99 (6) : 259~265.

## 第2章 FIT 制度がもたらす木材市場の混乱と要因

### 2-1 はじめに

本章の課題は、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、日本とドイツの制度設計の違いとその要因を明らかにすることである。これは本論文の第1の課題に相当する。

すでに述べたように、FIT 制度による建築用材の燃材化は、林野庁が定めた「発電利用に供する木質バイオマスの証明のためのガイドライン」（林野庁 2012a, 以下、ガイドライン）における未利用木材の定義に原因があると考えられる。この規定では、いわゆる林地残材だけでなく、特定の森林から適切に設定された施業規範等に従い伐採、生産された木材であれば建築用材として利用可能な木材も未利用木材に含まれる。その結果、FIT 制度の下で建築用材や製紙用材等のマテリアル用材の燃材化が可能になったのである。

そこで、本章では、ガイドライン策定の経緯を制度設計時の議論を整理するとともに、建築用材や製紙用材等のマテリアル用材の燃材化を抑制してきたドイツの事例を参照しつつ、両国の制度設計の違いやその要因を検討した。

### 2-2 分析方法

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材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および出力推移（見通し含む）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。

### 2-3 分析結果

#### 2-3-1 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

ガイドライン策定のきっかけは、第4回調達価格等算定委員会（2012年4月3日開催）において、日本製紙連合会の上河潔常務理事が、FIT 制度の下で木質バイオマス発

電に用いる木材はその由来を証明する必要があるとしたことに始まる（調達価格等算定委員会 2012a）。上河氏は同委員会のヒアリング対象者である（以下、ヒアリング対象者とする）。

上河氏は、総合資源エネルギー調査会の買取制度小委員会の報告書を引用しながら、そこで指摘されている3つの要件をあげる。すなわち、①既存用途から発電用途への転換が生じ、既存用途における供給量逼迫や、市況高騰が起こらないこと、②持続可能な利用が可能であること、③LCAの観点から、地球温暖化対策に資することの3つである。これを根拠にしながら、木質エネルギーの用材としては、「賦存量のほとんどが未利用であり、既存用途への影響も少ないと考えられる林地残材は類型としては①から③に適合する」として、木質バイオマス発電の原料には「林地残材が最も適当である」と結論づける。

さらに続けて、林地残材と既存用途の市場との関係に着目して、「バイオマス価格の価格体系にFITによって人為的に高い価格が導入され（中略）高い売電価格を設定されても、目の前に非常に価格の安い製材残材、それから建築廃材があるわけですから、みんなそちらのほうを使われるだけで、結果的には全く木質バイオマスの利用量はふえない」として、木質バイオマスが「単に既存用途から発電用ということで移るだけ」になることへの懸念を表明している。

したがって、すでに利用されている安価な木質バイオマス（製材残材や建築廃材など）と上で述べた林地残材などの未利用材を区別するためのトレーサビリティが必要であるとする。その立場から「未利用な林地残材の木質バイオマスのトレーサビリティにつきましては、既にグリーン購入法によりまして、これは間伐材を使ったコピー用紙というのが対象になっているわけですが、そのときにきちんと間違いなく間伐材を使っているということを証明するために、林野庁のほうで間伐材チップの確認のためのガイドラインというのをつくっていただきまして、既に運用されております。ですので、これと同様な仕組みを未利用な林地残材についてもつくっていただきたい」とする。グリーン購入法の制度に準拠したガイドラインが必要だということである。

この要望に対して、第6回調達価格等算定委員会（2012年4月25日開催）において農林水産省担当者は、トレーサビリティの整備について次のように回答している（調達価格等算定委員会 2012c）。

「未利用間伐材等のトレーサビリティシステムについて（中略）他の法制度におきまして類似の仕組みがございます。いわゆるグリーン購入法—正式名称、国等による環境



物品等の調達等の推進等に関する法律というのがございまして、国などの行政機関や独立行政法人が環境物品を調達するときのルール（中略）に準じまして、山からバイオマス発電所への納入まで伐採届出書から連なる証明書を連鎖させると。それともう一つ、分別管理の仕組みを構築するということで、発電燃料用木質バイオマスの確認のガイドライン（仮称）、これを買取制度の開始である 7 月までに整備をし、経産大臣が行われる認定の要件とする」。

この説明では、農林水産省の担当者はグリーン購入法に基づく「間伐材チップの確認のガイドライン」に準じたガイドラインを作成する予定であることを明確にしている。

その後、4 月 27 日の調達価格等算定委員会がとりまとめた「平成 24 年度調達価格及び調達期間に関する意見」（調達価格等算定委員会 2012d）において、「間伐材チップの確認のガイドライン」に準じたガイドラインを固定価格買取制度開始までに整備することが明記される。すなわち、この委員会では「グリーン購入法に基づく『間伐材チップの確認のガイドライン』に準じたガイドライン」を整備して、「輸入材も含め、その出所に関する証明が可能となる仕組みを構築するとともに、当該証明に係る書類の添付を設備認定の際の要件とする」旨が示された。

さらに、2012 年 6 月 18 日に発表された「平成 24 年経済産業省告示第 139 号」（経済産業省 2012）では、「森林における立木竹の伐採又は間伐により発生する未利用の木質バイオマス（輸入されたものを除く。）を電気に変換する設備」に対する調達価格、調達期間が示される。その上で、「木質バイオマスのうち、林野庁作成の『発電利用に供する木質バイオマスの証明のためのガイドライン（平成二十四年六月十八日）』に準拠して分別管理が行われたことが確認されないものについては、建設資材廃棄物とみなす」ことが示された。また、同日には林野庁からガイドラインが提示される。

ガイドラインでは、「森林における立木竹の伐採又は間伐により発生する未利用の木質バイオマス」に対応する略称を「間伐材等由来の木質バイオマス」として、これをさらに間伐材と間伐以外の方法により伐採された木材とに区別している（林野庁 2012a）。

ガイドラインにおける「間伐材等由来の木質バイオマス」の定義は次の通りである。

「本ガイドラインにおける間伐材等由来の木質バイオマス（中略）は、次のとおりとする（中略）

(1) 間伐材等由来の木質バイオマス

① 間伐材

森林の健全な育成のため、うっ閉し立木間の競争が生じ始めた森林において、材積に

係る伐採率が 35%以下であり、かつ、伐採年度から起算しておおむね 5 年後において再びうっ閉することが確実であると認められる範囲内で行われる伐採により発生する木材を間伐材といい、除伐（うっ閉する前の森林において目的樹種の成長を阻害する樹木等を除去し目的樹種の健全な成長を図るために行う伐採をいう。）によるものを含む。

② ①以外の方法により伐採された木材

①以外の方法により次のいずれかの森林（伐採後の土地が引き続き森林であるものに限る。）から、森林に関する法令に基づき適切に設定された施業規範等に従い、伐採、生産される木材をいう。

ア森林法（昭和 26 年法律第 249 号）第 11 条第 5 項の認定を受けた森林経営計画（森林法の一部を改正する法律（平成 23 年法律第 20 号）附則第 8 条の規定によりなお従前の例によることとされた森林施業計画を含む。以下「森林経営計画」という。）の対象森林

イ森林法第 25 条又は第 25 条の 2 の規定により指定された保安林及び同法第 41 条の規定により指定された保安施設地区の区域内の森林（以下「保安林等」という。）

ウ国有林野管理経営規程（平成 11 年農林水産省訓令第 2 号）第 12 条第 1 項の国有林野施業実施計画及び公有林野等官行造林法施行手続（昭和 30 年農林省訓令第 11 号）第 6 条第 1 項の公有林野等官行造林地施業計画の対象森林

以上のように、ガイドラインとそれに沿った電気料金買取の価格体系（表 2-1 参照）では、間伐材等由来の木質バイオマス発電による電力とそれ以外の木質バイオマス発電電力を区分し、木材市場の混乱を回避する設計がなされた。しかし、混乱をすべて回避することはできていない。なぜなら、間伐材だけでなく、建築用材や製紙用材等のマテリアル用材についても特定の森林から伐採、生産される材であれば、未利用木材とされているからである。

**表 2-1. 電気の買取価格（木質バイオマス：2012 年度）**

単位：kWh

| 区 分  | 間伐材等由来の木質バイオマス | 一般木質バイオマス            | 建設資材廃棄物           |
|------|----------------|----------------------|-------------------|
| 内 訳  | 間伐材, 主伐材       | 製材端材, 輸入材,<br>パーム椰子殻 | 建設資材廃棄物,<br>その他木材 |
| 調達価格 | 32 円+税         | 24 円+税               | 13 円+税            |

出所) 資源エネルギー庁（オンライン a）より作成。

図 2-1 に示すように従来の製紙産業が利用する原料には、広葉樹などの原料だけでなく、人工林針葉樹低質材（製紙向けのチップ用材）があり、後者はその 23 %を占めている（日本製紙連合会オンライン）。この針葉樹のチップ用材には、ガイドラインでは間伐材等由来の木質バイオマスに区分される材が含まれており、燃材需要との競合は避けられない。上河氏は、こうしたリスクを回避するために、燃料を未利用の林地残材に限定するガイドラインを求めた。

しかし、上記のガイドラインでは「間伐材等由来の木質バイオマス」としてすべての材を含むものとされたため、製紙原料として利用されてきた針葉樹の燃材化を防ぐことはできなかった。

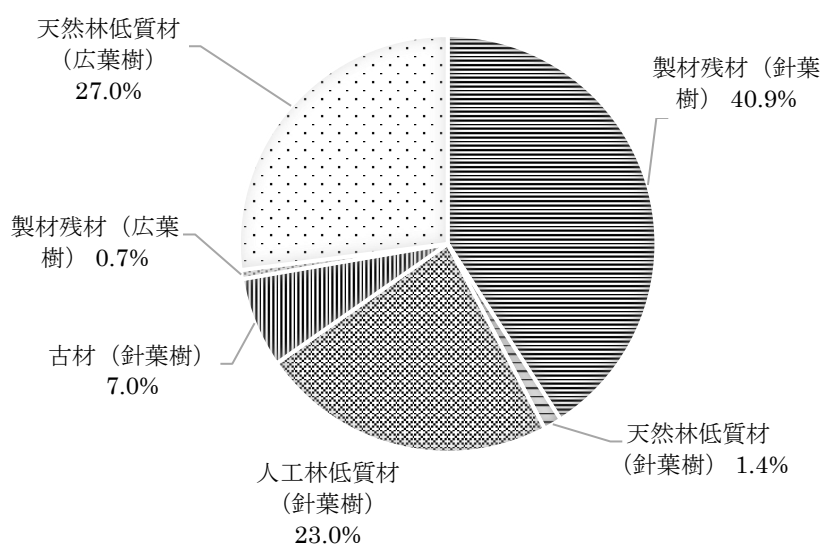


図 2-1. パルプ材ソース別原料構成比 (2016)

出所) 日本製紙連合会 (オンライン) より作成。

針葉樹のチップ材が燃材化している実態は、林業の現地を詳細に分析した吉岡ら (2017) などに報告されている。吉岡らによれば、「D 材だけではなく C 材も発電所に回り、C 材が値上がりしたために製紙工場が輸入チップを調達する状況」が発生しているという。燃材 (D 材, 林野庁 2010) だけでは不足するため、チップ用材 (C 材, 林野庁 2010) も木質バイオマス発電の燃料とされた結果、製紙向けのチップ用材の価格

が上昇していると指摘する。また、横田（2017）では、調査を行った「6事業体の場合、生産したC材等を全量発電用に出荷していた。従来からC材等を生産していた5事業体も、出荷先を全量発電向けに切り替えていた。これは、発電用木材価格が他用途よりも高い上に、出荷時の利便性が高いためであった」との指摘がなされている。従来から製紙向けに用いられてきた針葉樹のC材は燃材化が進み、その意味でチップ市場での混乱が生じている。

しかも、市場の混乱はチップ用材市場（C材市場）に留まらない。横田（2017）は基本的には、A材（製材用材、林野庁2010）・B材（合板用材、林野庁2010）の発電用への出荷はみられないとしながらも、「B材の納入先である合板工場が入荷量を制限しているために一部を発電用に振り向ける事業者があった」とし、C材に限らずB材についても燃材化がみられたことを明らかにしている。

さらに、凶子ら（2017）は、形を変えた建築用材の燃材化を指摘している。それによれば、「木質バイオマス発電所の稼働以降、曲がりや欠点の有無に関わらず4mあるいは2mといった定尺で丸太を採る方法を採用する事業者が急速に増加した」という。その結果、上級材をできるだけ確保する品質重視の伐採方法から材積重視の伐採方法に切り替わり、B材（合板用材）の比率が低下したとする。これは建築用材の隠れた形での建築用材の燃材化といえよう。

すでに述べたように、これら市場の混乱は、建築用材や製紙用材などの他用途利用が可能な木材についても特定の森林から伐採、生産される材であれば、未利用木材と定義されたことに起因している。

問題は、議論の当初は未利用の林地残材を燃料とする提案がありながら、なぜこのようなルールになったかである。その原因を辿れば、第4回調達価格等算定委員会（2012年4月3日開催）における関係団体等へのヒアリングにまで遡ることができる。

この委員会では、(株)グリーンサーマルは売電価格の試算を31.8円/kWhと提示し、その価格はそのまま売電価格として採用された。この試算で見落とせないのは、主伐における未利用部位の比率と内訳である。試算では、木材のうち利用部位を約50%（A材、B材）、未利用部位を約50%（C材、D材）と位置付けている（調達価格等算定委員会2012b）。ここでは、未利用部位が50%とされているものの、その比率は一般の想定より明らかに大きい。例えば、立木1本から生産される木材における林地残材等の発生割合については、林野庁（1996）はその比率を25%とする。一般に立木の未利用部位はこれに当たる。チップ用材を含めても40%と推計されており、この場合でも調達

価格等算定委員会の推計値はこれを 10 %も上回る推計となっている。

このことは、調達価格等算定委員会は議論の段階から未利用木材の比率を 50 %とすることで、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製紙向けのチップ用材や場合によっては合板用材 (B 材) までも含むような設計がもともととなされていた可能性を示唆している。

しかも、(株) グリーンサーマルによる売電価格の提案がなされた委員会は、上河氏が未利用の林地残材を念頭にガイドラインの必要性を提起したのと同じ日の調達価格等算定委員会である。したがって、調達価格等算定委員会では通常でいう未利用の林地残材に限らないスタンスが極めて早い段階で確定されていたと考えられる。この点は、FIT 制度の導入に先立ち、閣議決定 (2011) では、「パルプ・チップ用材は、主に製紙用に利用されてきたが、平成 32 年の利用量の目標のうち、6 百万 m<sup>3</sup> はパーティクルボード等木質系材料としての利用や木質バイオマス発電等エネルギー源としての利用を見込んでいる」としていることから、うかがうことができる。

## 2-3-2 日本とドイツの制度設計の違いとその要因

### 2-3-2-1 ドイツにおける木質バイオマス発電政策

日本で問題が指摘されるようになった燃材化問題は近年になって木質バイオマス発電の先進国であるドイツでも懸念されるようになってきている。しかし、ドイツでは「再生可能エネルギー法」(以下、EEG) の導入以来、そのリスクはさまざまな手段で抑制されてきた経緯がある。

ドイツで燃材化が一定程度抑制できた原因は大きくわけて 3 つあると考えられる。すなわち、①電力の出力規模に関して逡減的な買取価格設定、②買取価格の引き下げ、③熱電併給システムへの加算である。ここで、熱電併給とは、天然ガス、石油、LP ガス等を燃料として、エンジン、タービン、燃料電池等の方式により発電し、その際に生じる廃熱も同時に回収するシステムである。回収した廃熱は、蒸気や温水として、工場の熱源、冷暖房・給湯などに利用できる。熱と電気を無駄なく利用できれば、燃料が本来持っているエネルギーの約 75~80 %と、高い総合エネルギー効率が実現可能である(資源エネルギー庁 2012)。

①の逡減的な買取価格体系は 2000 年に EEG が導入された当初から制度に組み入れられてきた。大規模より小規模の発電プラントが優遇される仕組みである。ただし、2000 年の価格設定では、規模による価格差が小さく、小規模のプラントでは十分な収

益が確保されなかったとされる。その結果、当初は発電効率の高い大型の施設で設置が進むことになる（梶山 2013）。

この価格差は 2004 年から 2012 年に行われた EEG の改定の度に拡大し続ける。この様子は表 2-2～表 2-4 に整理されている。このうち、表 2-2 は買取価格の基本レート、表 2-3 はそれに条件を付けた上乘せ価格（以下、ボーナス）、表 2-4 は基本レートにボーナスを加算したものである。したがって、表 2-4 ではそれぞれの出力規模に対する最大の買取価格が示されている。

表 2-2 からは 2000 年の制度導入当初から出力規模に関して逡減的な価格体系が採用されていた点を確認できる。0.15 MW 以下のクラスの買取価格が 10.2 ユーロセント/kWh であるのに対し、20 MW 以下のクラスの買取価格は 8.7 ユーロセント/kWh となっている。その差は、1.5 ユーロセント/kWh である。導入後、この差額は徐々に拡大して、2014 年になると、それぞれの価格が 13.66 ユーロセント/kWh、5.85 ユーロセント/kWh と、差額は 7.81 ユーロセント/kWh まで拡大している。基本レートについて規模別の買取価格の差額を大きくし、かつ、出力の大きいプラントの価格を引き下げている。

こうして、一貫してドイツ政府は大規模プラントより小規模プラントを優遇する措置をとってきた。このため、図 2-4 にみるように 2000 年から 15 年間にプラント数は 21.9 倍も増加したのに対し、5 MW 以上の大規模プラントの数は 2008 年以来頭打ちとなっており、15 年間の伸び率も 9.3 倍に留まっている。

表 2-2. EEG における買取価格の推移（基本レート）

| 区 分       | 単位：ユーロセント/kWh |       |       |       |       |
|-----------|---------------|-------|-------|-------|-------|
|           | 2000年         | 2004年 | 2009年 | 2012年 | 2014年 |
| ≦ 0.15 MW | 10.2          | 11.5  | 11.7  | 14.3  | 13.66 |
| ≦ 0.5 MW  | 10.2          | 9.9   | 9.2   | 12.3  | 11.78 |
| ≦ 5 MW    | 9.2           | 8.9   | 8.3   | 11    | 10.55 |
| ≦20 MW    | 8.7           | 8.4   | 7.8   | 6     | 5.85  |

出所) DBFZ (2014) より作成。

表 2-3. EEG における買取価格の推移（ボーナス）

| 区 分      | 単位：ユーロセント/kWh |       |       |       |       |   |
|----------|---------------|-------|-------|-------|-------|---|
|          | 2000年         | 2004年 | 2009年 | 2012年 | 2014年 |   |
| ≦ 0.5 MW | 原材料           | -     | 6     | 6     | 6     | - |
|          | 熱電併給          | -     | 2     | 3     | -     | - |
|          | 技術            | -     | 2     | 2     | -     | - |
|          | 計             | -     | 10    | 11    | 6     | - |
| ≦ 5 MW   | 原材料           | -     | 2.5   | 2.5   | 2.5   | - |
|          | 熱電併給          | -     | 2     | 3     | -     | - |
|          | 技術            | -     | 2     | 2     | -     | - |
|          | 計             | -     | 6.5   | 7.5   | 2.5   | - |
| ≦20 MW   | 熱電併給          | -     | 2     | 3     | -     | - |
|          | 計             | -     | 2     | 3     | 0     | - |

出所) DBFZ (2014) より作成。

注 1) 原材料：林業経営、景観保護の枠組みで発生し、かつ、収穫、貯蔵若しくは利用のためにバイオマス施設の中で行われる選別若しくは改変されないもの。

注 2) 技術：電力が、ガスタービン、ORC、スターリングエンジン等を用いて生産されている場合。

表 2-4. EEG における買取価格（基本レート+ボーナス）の推移

| 区 分       | 単位：ユーロセント/kWh |       |       |       |       |
|-----------|---------------|-------|-------|-------|-------|
|           | 2000年         | 2004年 | 2009年 | 2012年 | 2014年 |
| ≦ 0.15 MW | 10.2          | 21.5  | 22.7  | 20.3  | 13.66 |
| ≦ 0.5 MW  | 10.2          | 19.9  | 20.2  | 18.3  | 11.78 |
| ≦ 5 MW    | 9.2           | 15.4  | 15.8  | 13.5  | 10.55 |
| ≦20 MW    | 8.7           | 10.4  | 10.8  | 6     | 5.85  |

出所) DBF (2014) より作成。

②買取価格の引き下げと③熱電併給システムへの加算については、Sturm と呼ばれる嵐の被害と関係が深い。ドイツでは 2000 年から 2008 年に頻繁に起こった風害と虫害により木材産業で捌ききれない大量の低質材が発生した（トアステン・シュヴァルツら 2014）。そのため、大規模なプラントにおいてもここから発生した建築用材として不適合な材を大量に利用できた。また、この材を処理するために、2004 年、2009 年の 2 回にわたって各クラスの買取価格（基本レート+ボーナス）は引き上げられて処理能力の引き上げがなされてきた（図 2-2 参照）。加えて、建築用材にならない木材のさらなる利用と熱効率の効率化を目指して、この 2 回の価格改定時には③熱電併給システムへの加算（ボーナス）も導入された。

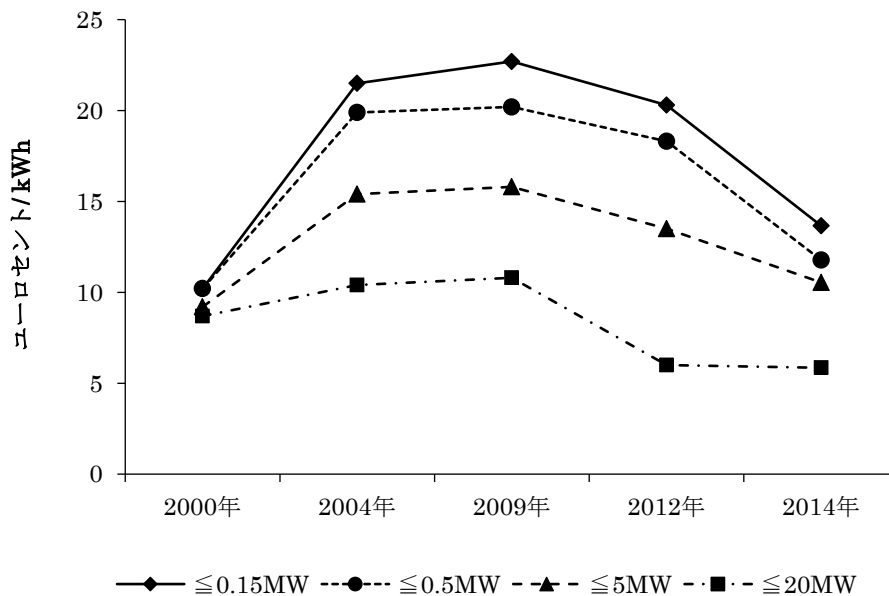


図 2-2. EEG における買取価格（基本レート+ボーナス）の推移

出所) DBFZ (2014) より作成。



しかし、2008年以降になると、大嵐や虫の害もあまりない「普通の状態」に戻り、供給過剰は解消される。そればかりか、木材の燃材利用とパルプ用材（C材）利用とが競合（池田ら 2012）する事態が引き起こされる。

Mantau (2012) の試算によれば、2007年頃まで堅調に伸びてきた建築用やチップ用などのマテリアル用材の需要は「普通の状態」に戻ると大きく低下する。その一方で、燃材利用が伸び続けて、両者の利用量は逆転するに至る（図 2-3 参照）。本章の冒頭で問題とした日本の建築用材や製紙用材の燃材化に似た問題がここに発生している。

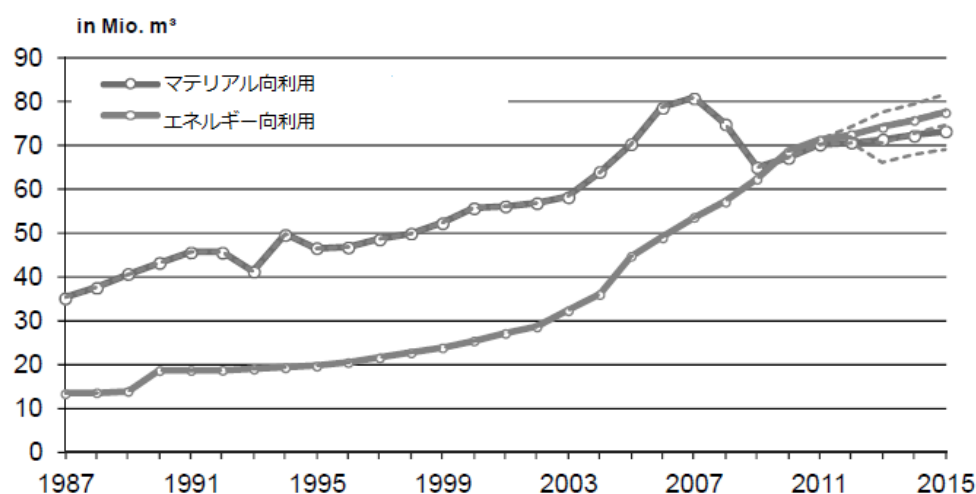


図 2-3. ドイツにおける木材利用（1987～2011 年の推移および 2015 年までの予想推移）

出所) Mantau (2012)。

マテリアル用材を利用する産業はこうした形での資源の浪費を重く見て、過剰な燃材化への批判活動を活発化させる。これを受けて、ドイツ政府は EEG の 2012 年の改正時には熱電併給や技術の導入を促進する加算を廃止し（表 2-3 参照）、2014 年には基本レートまで引き下げる（表 2-2 参照）。さらに、2017 年には、一般競争入札に移行して、価格は市場競争の下でさらに引き下げられることになる。結果として、②買取価格の引き下げが続くのである。

以上の経緯からみると、①出力規模に対して逡減的な価格体系は大規模なプラントの増設を抑え、②価格の引き下げは燃材需要全体を抑えて、マテリアル用材の燃材化を押しとどめる役割があったことがわかる。これに対して、③熱電併給システムへの加算はむしろ需要の拡大を促す仕組みに見える。しかし、熱電併給プラントには増設を抑制す

る要因がある。熱電併給のプラントが大規模化した場合、膨大な排熱の需要を見つけることは困難である（梶山 2013）。したがって、地域の熱源となることを想定するとき、熱電併給の担い手は中小のプラントにならざるを得ない。また、中小規模のプラントの発電効率は低く、赤字になる体質を持っている。このため、中小プラント側からみても熱電併給システムの導入は収益確保のために欠かせない。こうしたことから、EEGでは2012年の改正で熱電併用ボーナスは廃止したものの、5MW以下の規模のプラントだけには熱電併給のボーナス分を基本レートに統合する措置がとられている。

一連の政策からは、熱電併給を前提とした中小プラントを各地に設置する方針が読み取れる。また、出力総量は、熱需要に応じて上限を与える価格体系をとってきた点も確認できる。

以上のように、ドイツ政府はときどきの状況に応じて価格設定を変更しながら、需給を巧みにコントロールしてきたのである（図 2-4 参照）。

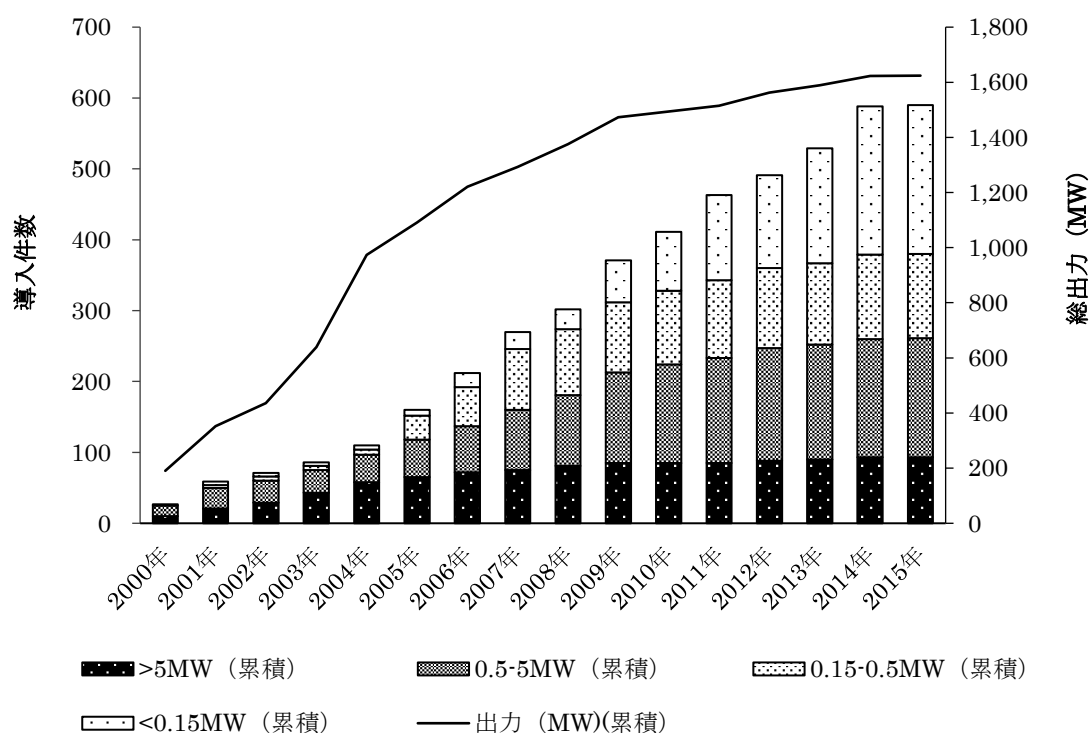


図 2-4. ドイツにおける固形バイオマス発電プラント数および出力推移（累積）

出所) DBFZ の M. Scheftelowtiz 氏（私信）提供のデータより作成。

## 2-3-2-2 日本における木質バイオマス発電政策

ドイツでは FIT 導入当初から大規模プラントへの買取価格を引き下げる逡減的な価格体系が採用されてきた。これに対して、日本の FIT 制度における当初の電気の買取価格は規模に関係なく一律 32 円/kWh とされていた（表 2-5 参照）。

表 2-5. 電気の買取価格・期間（木質バイオマス：2012 年度）

単位：kWh

| 区 分  | 間伐材等由来の木質バイオマス |         |        |
|------|----------------|---------|--------|
|      | 一般木質バイオマス      | 建設資材廃棄物 |        |
| 調達価格 | 32 円+税         | 24 円+税  | 13 円+税 |
| 調達期間 | 20 年間          | 20 年間   | 20 年間  |

出所) 資源エネルギー庁（オンライン a）より作成。

ドイツの事例から明らかなように日本の価格設定は施設の大規模化を促すものであり、未利用木質発電プラントの平均出力は 6.7 MW（2017 年 3 月末時点）（資源エネルギー庁オンライン b）と、1 件当たりの平均出力は 5 MW を大きく超えることになった（図 2-5 参照）。そして、この様な大規模な木質発電プラントが一気に導入された結果、燃材の需要が増大し、上述のようにチップ（製紙）用材のみならず、建築用材についても燃材化が進んだのである。

表 2-6. 電気の買取価格・期間（木質バイオマス：2015 年度）

単位：kWh

| 区 分  | 間伐材等由来の木質バイオマス |         | 一般木質バイオマス | 建設資材廃棄物 |
|------|----------------|---------|-----------|---------|
|      | 2 MW 未満        | 2 MW 以上 |           |         |
| 調達価格 | 40 円+税         | 32 円+税  | 24 円+税    | 13 円+税  |
| 調達期間 | 20 年間          | 20 年間   | 20 年間     | 20 年間   |

出所) 資源エネルギー庁（オンライン a）より作成。

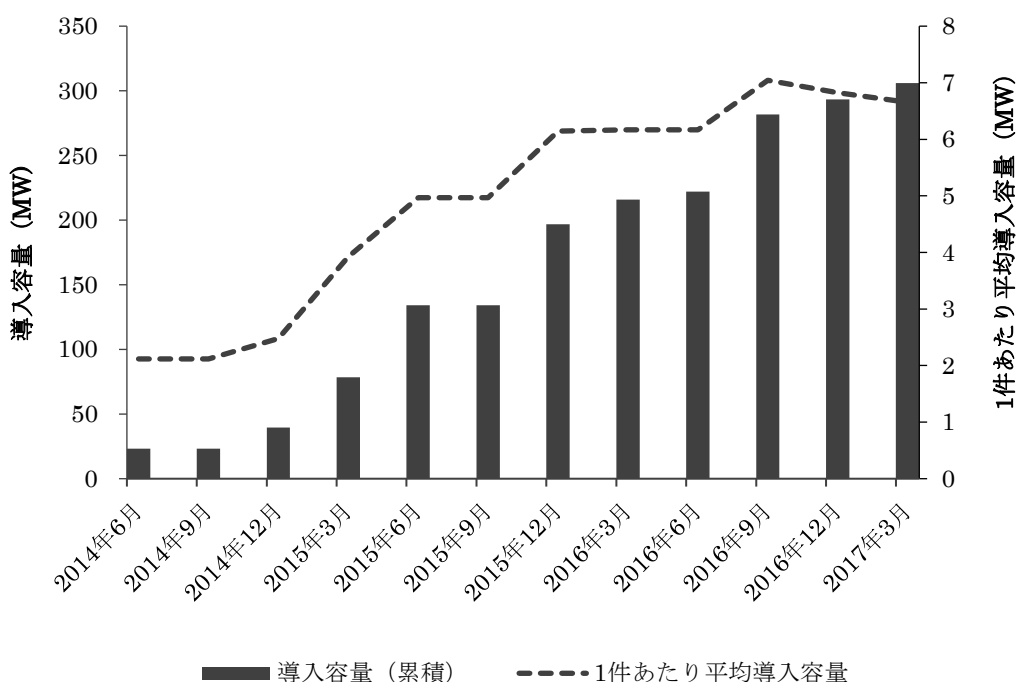


図 2-5. 未利用木質発電プラントの導入容量（累積）と平均導入容量の推移

出所) 資源エネルギー庁（オンライン b）より作成。

なお、2015年には、小規模のニーズをくみ上げるため、2 MW 未満の未利用木質発電プラントについて未利用木材を利用している場合にのみ買取価格は 40 円/kWh に引き上げられた（表 2-6 参照）。これは小規模プラントのコスト割れを補うための補助金と言える。小規模プラントではチップ加工設備を発電設備に併設することが比較的容易である。しかし、発電規模が 2 MW を下回ると建設費が増加し、燃料費の削減を上回る。40 円/kWh はこの赤字分を補填するための措置である（調達価格等算定委員会 2015）。他方、2 MW 以上のプラントでは価格が据え置かれたため、総出力の抑制にはそれほど効果は見られない。

加えて、発電プラントの導入件数および総出力は今後とも増加する見込みである（図 2-6 参照）。したがって、このままでは建築用材や製紙用材の燃化材がさらに深刻化する可能性が高い。

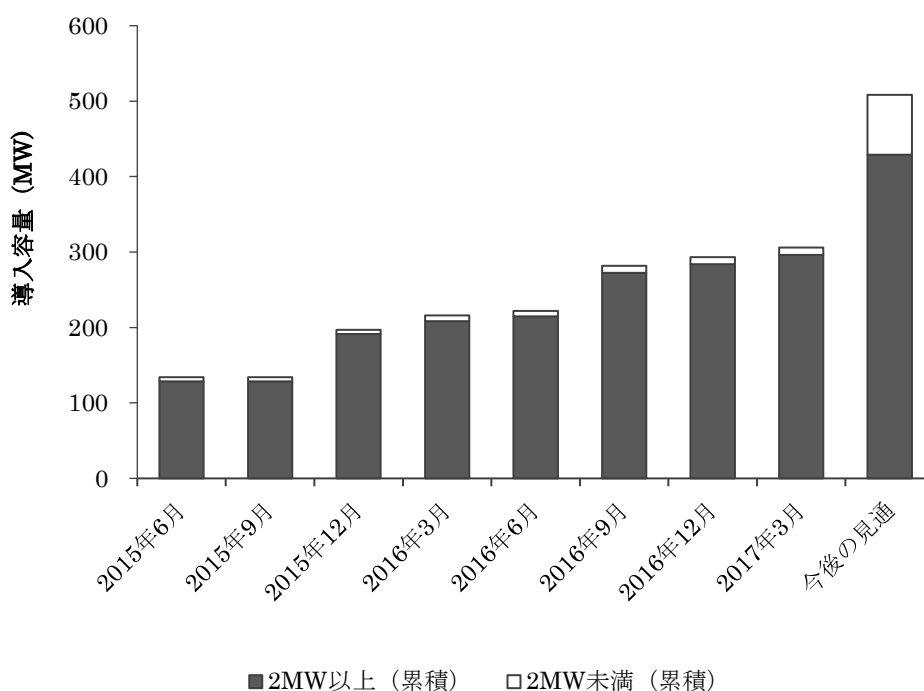


図 2-6. 出力規模別導入容量の推移と見通し

出所) 資源エネルギー庁 (オンライン b) より作成。

### 2-3-2-3 日本において熱電併給加算が導入されなかった経緯

ドイツの事例でみたように熱電併給は木質バイオマス発電の導入を抑制し、木材需要の増加に一定の歯止めをかける仕組みのひとつである。また、木材の燃料利用という点からみても魅力的な利用形態といえる。

しかし、我が国の FIT 制度においては、ドイツのように熱電併給へのボーナス (加算) を付して支援・促進するプログラムを導入することはなかった。以下では、我が国の FIT 制度において熱電併給が導入されなかった原因を、再び、調達価格等算定委員会の議事録を基に検討する。

調達価格等算定委員会における熱電併給を導入する場合の買取価格に関する発言は第 4 回の和田武委員 (日本環境学会会長) のものが最初である。和田委員は関係団体等に対して熱電併給 (発言ではコジェネ) についての意見を求めつつ、熱電併給にした場合の電力買取へのプレミアム支払いをすべきだと主張している (調達価格等算定委員会 2012a)。すなわち、「特にエネルギーとしては熱利用がかなり重要ですので、発電の場合、とりわけ規模が小さいわけですから、コジェネ型のものをできるだけそういう熱も同時に利用できるものにしていったほうが良いと思う (中略) 場合によってはこれはコ

ジェネにした場合の電力買取は、プレミアをつけてもいいと思うんですね。」

和田委員の発言に対しては、関係団体等の多くから否定的な発言が相次いだ（調達価格等算定委員会 2012a）。

例えば、大谷智一氏（みずほ情報総研 環境エネルギー第 2 部チーフコンサルタント、委員会のヒアリング対象者）は「エネルギー効率の観点から行きますと、熱利用することはベスト（中略）しかし、日本国内の場合は、熱の需要先と発電できる場所がかけ離れているという問題がございまして、そういった意味で今は熱利用というのはなかなか難しい」とし、需給者の間の距離が遠く、熱電併給は難しいとする。また、高橋雅彦氏（東京二十三区清掃一部事務組合施設管理部技術課発電計画担当課長、委員会のヒアリング対象者）は「私どもの組合の施設につきましても、現在、既に熱として供給している施設も幾つかございます。ということで、今後新設する工場につきましても需要先の確保とかができれば、供給することもやぶさかではございません」として、需要の確保が前提となることを指摘する。さらに、「現状、清掃工場の排熱は、復水器の温度が既にもう 55 度程度まで熱のほうが排熱で出ていますので、実際問題、その 55 度程度の熱ではほとんど利用価値がない」として、排熱の温度が低い点も利用を困難にしている点を指摘する。このほか、滝沢誠氏（グリーンサーマル 代表取締役、委員会のヒアリング対象者）は「事業をまず成立させなければいけない中で、熱利用者のライフタイムと供給側のライフタイムがこれは一致しないと、途中で熱利用者がやめてしまったりとか、あるいは複数の家庭とかの利用者だったり、個別だったりすると、もうそこで収支の計算ができないわけですね。そういった中で今回、買取制度が出ることによって、長期の収支の安定性の確保ができることになるわけですから、次のステップとして買取制度がある中で熱利用者が出てきたときにそれに熱を供給すると。仮に熱利用者が利用しなくなったときには、まだ売電に戻れるというような仕組みがないと、今の現状の中では難しい」とする。需要が不安定な中で、熱電併給の施設を立ち上げたとしても、需要が将来的に維持できないのであれば、事業として成り立たないリスクが指摘されている。

問題は経済的な側面に留まらない。第 4 回および 5 回調達価格等算定委員会において資源エネルギー庁の担当者は、現行の法律（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）で熱利用の観点から価格を上げることの難しさを指摘している。すなわち、「FIT は基本的にその価格についてもコントロールすべきだという考え方のもとに立法されている法律（中略）そういう意味でいくと、勝手にというか、役所なりこの委員会が価格のところを裁量的にコントロールするというのは実はでき

なくて、法改正がやっぱりどうしても必要」とする。また、「熱利用の観点から価格を上げるとかというのは実は法改正をしないと、ちゃんと立法府のチェックを受けないといけない」との発言がなされている（調達価格等算定委員会 2012a）。

これに係る規定は同法第三条 2 項に規定されており、「調達価格は、当該再生可能エネルギー発電設備による再生可能エネルギー電気の供給を調達期間にわたり安定的に行うことを可能とする価格として、当該供給が効率的に実施される場合に通常要すると認められる費用及び当該供給に係る再生可能エネルギー電気の見込量を基礎」とすることが明記されている（下線筆者）。

以上のように、熱電併給に対するボーナスなどの支援策は経済的そして制度的な理由から実現しなかったのである。

## 2-4 まとめ

本章の課題は、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、日本とドイツの制度設計の違いとその要因を明らかにすることであった。検討の結果は以下の 4 点に集約できる。

- 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く、プラント規模に関して逡巡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。

今後とも続くと予想される建築用・製紙用材の燃材化の抑制は急務である。この問題を解決する方法としては、ドイツの事例でみたような価格の体系的な見直しが考えられる。また、生産量割当制度の導入や未利用木材の定義の変更なども検討に値する。しか

し、この手法が有効なのは新規プラントから派生する需要の調整に限られる。このため、すでに大規模プラントが導入されてしまった下で発生している燃材化については別の対策が必要とされる。

そうした対策としては、例えば、供給源の多様化が考えられる。供給源の多様化とは、発電向け木材の供給源の種類を増やすことである。広葉樹を燃材とする利用方法はその代表的な事例である。国産広葉樹材の需要量はこの 30 年間で 5 分の 1 程度まで減少（林野庁 2012b）しており、供給を増やすためのストックは十分に見込まれる。また、広葉樹の場合には建築用木材などの高価な材との結合生産はほとんどなく、チップ市場の価格が供給量を定める機構を有している（福田・飯國 2015）。したがって、発電プラント内に広葉樹燃材の比率を高めれば、建築用材や製紙向けのチップ用材等のマテリアル用材が燃材として流れ込むことを抑制することが期待できる。さらに、環境省（2009）では、広葉樹二次林が燃料として利用されなくなったことから、自然環境の荒廃、里山特有の生物の生息域の消滅と生物種の減少、国土保全機能の低下による災害発生、水源涵養機能の低下等の問題が生じていることを指摘しており、その改善も期待できる。

こうした広葉樹利用の詳細については、3 章以降で検討する。



## 引用文献

- [1] 調達価格等算定委員会. 2012a. 第 4 回 調達価格等算定委員会議事録.  
[http://www.meti.go.jp/committee/chotatsu\\_kakaku/pdf/004\\_gijiroku.pdf](http://www.meti.go.jp/committee/chotatsu_kakaku/pdf/004_gijiroku.pdf)(2018年  
1月29日閲覧).
- [2] 調達価格等算定委員会. 2012b. 第 4 回 調達価格等算定委員会配布資料 資料 5 全  
量買取制度における木質バイオマス資源別電力単価シミュレーション総括.  
[http://www.meti.go.jp/committee/chotatsu\\_kakaku/pdf/004\\_05\\_00.pdf](http://www.meti.go.jp/committee/chotatsu_kakaku/pdf/004_05_00.pdf)(2018年2  
月12日閲覧).
- [3] 調達価格等算定委員会. 2012c. 第 6 回 調達価格等算定委員会議事録.  
[http://www.meti.go.jp/committee/chotatsu\\_kakaku/pdf/006\\_gijiroku.pdf](http://www.meti.go.jp/committee/chotatsu_kakaku/pdf/006_gijiroku.pdf)(2018年  
1月29日閲覧).
- [4] 調達価格等算定委員会. 2012d. 平成 24 年度調達価格及び調達期間に関する意見.  
[http://www.meti.go.jp/committee/chotatsu\\_kakaku/pdf/report\\_001\\_01\\_00.pdf](http://www.meti.go.jp/committee/chotatsu_kakaku/pdf/report_001_01_00.pdf)  
(2018年1月29日閲覧).
- [5] 調達価格等算定委員会. 2015. 平成 27 年度調達価格及び調達期間に関する意見.  
[http://www.meti.go.jp/committee/chotatsu\\_kakaku/pdf/report\\_004\\_01\\_00.pdf](http://www.meti.go.jp/committee/chotatsu_kakaku/pdf/report_004_01_00.pdf)  
(2018年2月19日閲覧).
- [6] DBFZ .2014. DBFZ Report Nr.21.Entwicklung der Förderung der  
Stromerzeugung aus Biomasse im Rahmen des EEG.  
[https://www.dbfz.de/fileadmin/user\\_upload/Referenzen/DBFZ\\_Reports/DBFZ\\_R  
eport\\_21.pdf](https://www.dbfz.de/fileadmin/user_upload/Referenzen/DBFZ_Reports/DBFZ_Report_21.pdf) (2018年3月25日閲覧).
- [7] 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.
- [8] 池田憲昭・ミヒヤエル=ランゲ. 2012. 木を直ぐに燃やしてしまうのはもったいな  
い! - 欧州の木質エネルギー利用から学べること. 森林技術 846 (9) : 21~25.
- [9] 梶山恵司. 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 - .  
[http://www.fujitsu.com/downloads/JP/archive/imgjp/group/fri/report/research/2  
013/no409.pdf](http://www.fujitsu.com/downloads/JP/archive/imgjp/group/fri/report/research/2013/no409.pdf) (2017年12月9日閲覧).
- [10] 閣議決定. 2011. 森林・林業基本計画.  
<http://www.rinya.maff.go.jp/j/kikaku/plan/pdf/kihonkeikakuhontai.pdf> (2018年

8月11日閲覧).

- [11] 環境省. 2009. 里地里山保全・活用検討会議 平成21年度第1回検討会議資料資料3 里地里山の現状と課題について.  
[http://www.env.go.jp/nature/satoyama/conf\\_pu/21\\_01/shiryo3.pdf](http://www.env.go.jp/nature/satoyama/conf_pu/21_01/shiryo3.pdf) (2018年8月11日閲覧).
- [12] 経済産業省. 2012. 平成二十四年六月十八日経済産業省告示第百三十九号.  
[http://www.enecho.meti.go.jp/category/saving\\_and\\_new/saiene/kaitori/dl/2014hourei02.pdf](http://www.enecho.meti.go.jp/category/saving_and_new/saiene/kaitori/dl/2014hourei02.pdf) (2018年2月12日閲覧).
- [13] Mantau, U .2012. Holzrohstoffbilanz Deutschland, Universität Hamburg.  
<https://d-nb.info/1028947232/34> (2018年3月25日閲覧).
- [14] 日本製紙連合会. オンライン. パルプ材の原料ソース別構成比<2016>.  
<https://www.jpca.gr.jp/states/pulpwood/index.html> (2018年3月21日閲覧).
- [15] 林野庁. 1996. 林業白書 平成7年度.  
<http://www.maff.go.jp/hakusyo/rin/h07/html/index.htm> (2018年2月28日閲覧).
- [16] 林野庁. 2010. 国産材の加工・流通・利用検討委員会資料.  
<http://www.rinya.maff.go.jp/j/mokusan/saisei/pdf/2shiryou5-1.pdf> (2018年3月18日閲覧).
- [17] 林野庁. 2012a. 発電利用に供する木質バイオマスの証明のためのガイドライン.  
<http://www.rinya.maff.go.jp/j/riyou/biomass/pdf/hatudenriyougaidorain.pdf>  
(2018年1月29日閲覧).
- [18] 林野庁. 2012b. 平成23年度 森林・林業白書.  
<http://www.rinya.maff.go.jp/j/kikaku/hakusyo/23hakusyo/zenbun.html> (2018年1月29日閲覧).
- [19] 資源エネルギー庁. 2012. 熱電併給 (コージェネ) 推進室資料集.  
[http://www.enecho.meti.go.jp/category/electricity\\_and\\_gas/other/cogeneration/pdf/1-1.pdf](http://www.enecho.meti.go.jp/category/electricity_and_gas/other/cogeneration/pdf/1-1.pdf) (2018年3月25日閲覧).
- [20] 資源エネルギー庁. オンライン a. なつとく!再生可能エネルギー.  
[http://www.enecho.meti.go.jp/category/saving\\_and\\_new/saiene/kaitori/kakaku.html](http://www.enecho.meti.go.jp/category/saving_and_new/saiene/kaitori/kakaku.html) (2014年11月8日閲覧).
- [21] 資源エネルギー庁. オンライン b. 固定価格買取制度 情報公表用ウェブサイト.  
<https://www.fit-portal.go.jp/PublicInfoSummary> (2018年10月6日閲覧).
- [22] トアステン・シュヴァルツ・池田憲昭. 2014. 森林はエネルギー問題を解決でき

るか（前編）ドイツ木材産業連盟の危機意識. 地球温暖化 5 : 40～41.

- [23] 横田康裕. 2017. 宮崎県における発電用木材の安定供給の取り組み. 日林誌 99 (6) : 241～250.
- [24] 吉岡拓如・有賀一広. 2017. 日本森林学会におけるバイオマス関連研究と FIT. 日林誌 99 (6) : 217～219.
- [25] 関子光太郎・嘉戸昭夫・相浦英春. 2017. スギ根元曲がり木における採材方法の違いがバイオマス発電向け低質材生産に及ぼす影響. 日林誌 99 (6) : 259～265.

## 第3章 広葉樹による木質バイオマス発電用燃料の供給可能性

### 3-1 はじめに

本章の課題は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関数から広葉樹が燃材として十分に供給できるかどうかを検討することである。これは本論文の第2の課題に相当する。

高知県は豊富な森林資源を有しながら、その利用が低迷してきた。近年では、森林資源の利用拡大を目的として、FIT制度の活用を前提として県内2ヵ所で未利用木質発電プラントの整備が進められている。これら発電プラントでは、その設計段階において、主たる木質バイオマスをスギ、ヒノキといった針葉樹に求めてきた。しかし、針葉樹は建築用材や製紙等の原料としての用途と競合するため、新たな発電プラントの需要を十分に賄う供給量が確保できない可能性が高まっている。

そこで、本章では木質バイオマスを広葉樹林に求めて、その実行可能性の検討を行うこととした。その際、県内の広葉樹は民有林面積の約34%を占め、その資源量は針葉樹に劣らない水準にあることから、広葉樹の供給源を県内市場に限定して、その潜在能力を測定することにした。

### 3-2 燃材に関連する市場

発電用燃料として利用できる広葉樹は、針葉樹やチップ用材市場とも密接な関係にある。このため、広葉樹の燃材利用をいかに進めるかを考えるには、それに関連する市場構造を把握する必要がある。以下では、高知県を念頭に、広葉樹を燃材として利用する際に関連するであろう市場を簡易な需給モデルを用いて整理する。ここで関連する市場とは、次の3つの市場を指す。

1) 原木市場：山元から出荷された原木が売買される市場である。原木の利用は、主に建築用とチップ用に大別できる。前者は主には針葉樹が、後者は針葉樹と広葉樹が対象となる。このうちチップ用材として市場で売買される針葉樹は建築用に向かない低質材や林地残材であり、建築用材よりも安値で売買され、その発生量は製材量に規定される。広葉樹は主にチップ用材として取引され、針葉樹よりも高値で売買されているものの、その需要量は僅かである。

2) 木材チップ市場：製材所の加工過程から得られたチップ、低質材、林地残材や建

建築材などから製造されたチップが、製紙や合板等の原料や燃料として売買される市場である。価格面でみると、広葉樹チップ>針葉樹チップ>廃材チップとなる。また、その生産量は、高知県の場合、針葉樹チップ>広葉樹チップ>廃材チップとなる。

3) 木質バイオマス電力市場: 2012年に我が国で導入された電気のFIT制度により、木質バイオマスを用いて発生した電力が電力会社によって固定価格で買い取られることとなったことにより注目される市場である。その際の買い取り単価は、バイオマスの種類に応じて設定されている(資源エネルギー庁オンライン)。

これら市場関係を考察する際に見落としてならないのは、針葉樹では建築用とチップ用としての用途が競合している点である。いま、針葉樹の原木に対するチップ用材に対する需要曲線を( $d_c^c$ )として描くと図3-1のようになる。

このとき、針葉樹に対する建築用材の需要曲線( $d_c^m$ )は $d_c^c$ より上に位置する。針葉樹の供給曲線を図3-1の $s_c$ とすると、需要がチップ用材のみであれば、針葉樹の原木は価格 $p_c^{c*}$ で $x_c^{c*}$ の取引が行われる。しかし、これに建築用材の需要を考えると、合成された需要曲線は図3-2の $d_h$ ようになる。この市場では、価格は $p_c^*$ に引き上げられて、需要はすべて建築用材となり( $x_c^* = x_c^{m*}$ )、チップ需要は締め出されてしまう。こうした実態については渡部(2012)、梶山(2013)が指摘している。

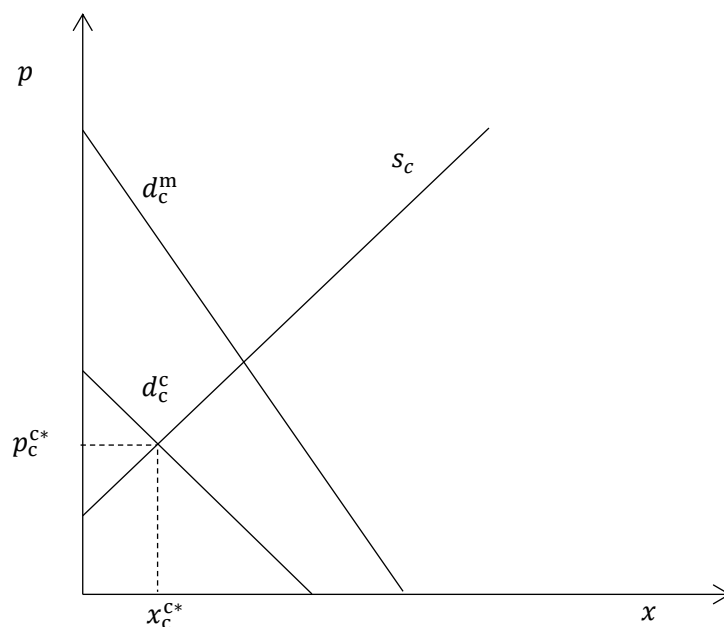


図 3-1. 針葉樹原木の需要と供給

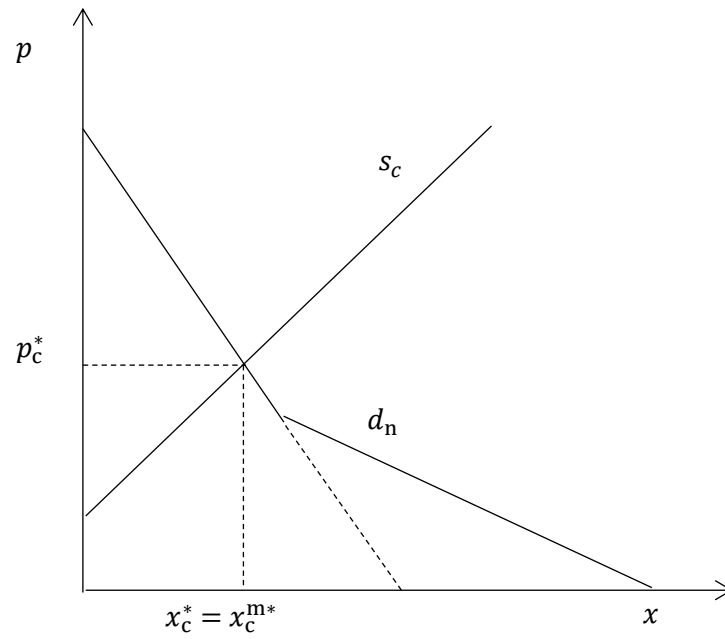


図 3-2. 針葉樹原木に対する合成需要曲線と市場均衡

これに対して、広葉樹の原木のほとんどは建築用材として用いられることはなく、チップ市場へと流れ込む。したがって、建築用材との競合がみられないので、低価格 ( $p_b^{c*}$ ) でもチップ市場への供給力が確保される ( $x_b^{c*}$ ) と予想される (図 3-3 参照)。

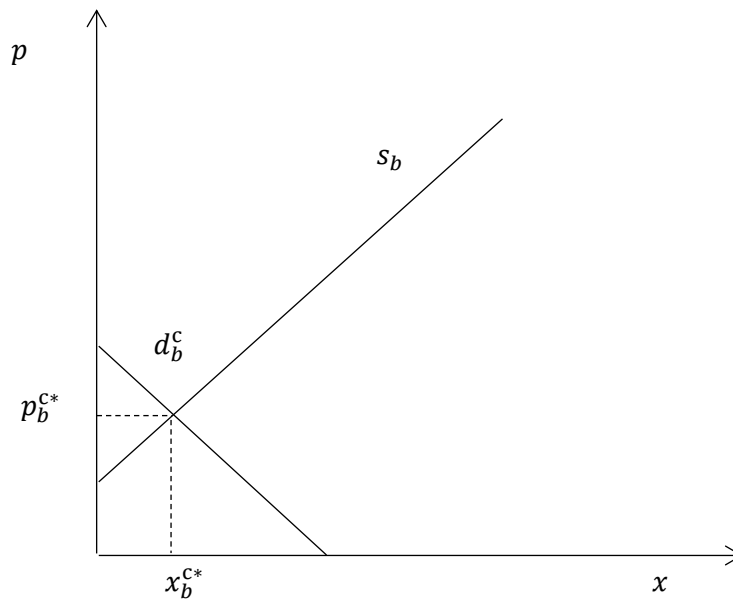


図 3-3. 広葉樹原木の需要と供給

この点に関する研究蓄積はほとんどないものの、杉澤（2013）が詳細な現状分析に基づいて見通しのよい結論を得ている。しかし、杉澤の分析は需給関係を現時点の状況から導いており、発電プラントの新設によってチップの需要量が大きく変化する際の価格変化を反映できないという限界がある。

そこで以下では、過去の市場データから需給曲線を推定して、広葉樹由来のチップの発電利用の可能性を検討することとした。

### 3-3 分析方法

#### 3-3-1 分析の手順

2つの未利用木質発電プラントの燃料が県内市場の広葉樹によって全て賄えるかどうかを分析するための手順は以下の通りである。1) 高知県における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する。2) 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する。3) 木材チップ市場の均衡点を推計して、県内の広葉樹が2つの未利用木質発電プラントの木材需要を満せるかどうか、また、プラントに正の利潤を確保できるかどうかを検討する。

#### 3-3-2 既存需給曲線の推計方法

需給曲線の推計は、供給曲線を(1)式、需要曲線を(2)式のようにモデル化して二段階最小二乗法(2SLS)を用いて行った。

(1)式では当年の広葉樹チップの価格 $p$ 、一年前の広葉樹チップの価格 $p_{-1}$ 、それにダミー変数 $D_s$ の3つを説明変数とした。ダミー変数 $D_s$ は1985年のプラザ合意を受けて始まった円高の影響による価格変化に数量調整が追い付いてない時期(1985~1989年)を想定し、これを補正する変数とした。

$$x = \alpha_s p + \beta_s p_{-1} + \gamma_s D_s \quad (1)$$

$x$  : 広葉樹チップの生産量

$p$  : 広葉樹チップの価格

$p_{-1}$  : 一年前の広葉樹チップの価格

$D_s$  : ダミー変数(1985~1989年=1, その他=0)

$$x = \alpha_d p + \beta_d \frac{x_{-1} + x_{-2}}{2} + \gamma_d D_d \quad (2)$$

$x$  : 広葉樹チップの生産量

$p$  : 広葉樹チップの価格

$x_{-i}$  :  $i$ 年前の広葉樹チップの需要量

$D_d$  : ダミー変数 (2000~2009年=1, その他=0)

ここで、それぞれの変数の符号条件を確かめるために (1) 式を (3) 式のように書き換えると、第 2 項は昨年と今年の価格差を示す。したがって、昨年より今年の価格が下がれば  $(p_{-1} - p)$  の値は正になる。このとき、生産量はその差分に合わせて生産量を減少するように調整すると考えられるため  $\beta_s$  の符号は負になると予想される。また、第 1 項の係数  $(\alpha_s + \beta_s)$  はこうした価格の適応行動を除いた今年の価格に対する反応と考えられる。したがって、その符号は正と予想される。

$$x = (\alpha_s + \beta_s) p + \beta_s (p_{-1} - p) + \gamma_s D_s \quad (3)$$

さらに、ダミー変数  $D_s$  は価格下落期に数量調整が追い付いてない時期であることを考慮してその符号は正になると予想される。

次に、(2) 式では説明変数には今年の広葉樹チップの価格  $p$  に、1 年前と 2 年前の広葉樹チップの需要量の平均値を加え、さらに、ダミー変数  $D_d$  を導入した。このダミー変数は価格が下落しても広葉樹チップの需要量が増加しない 2000 年以降の動向を反映させるための変数である。それぞれの説明変数の符号条件についてみると、まず、今年の広葉樹チップの価格  $p$  の係数  $\alpha_d$  は負となる。また、過去 2 年間の平均需要量は今年の生産設備などの固定的生産要素の水準を決めるため、その値が上がれば今年の需要も押し上げられると考えられる。したがって、その係数  $\beta_d$  の符号は正と予想される。ダミー変数  $D_d$  については、2000 年以降の価格下落局面でも一定量のチップが需要されているため、その符号は正になると予想される。なお、推計に際しては、各説明変数の有意水準を 5% に設定した。

推定に用いたデータは、1985~2009 年の高知県における広葉樹チップの生産量（絶乾重量<sup>3)</sup>）と工場渡し販売価格である。ここで、価格をチップ工場渡し販売価格とした

---

<sup>3</sup> 絶乾重量とは、含水率を検定して絶乾比重（含水率 0%）に基づき算出された実重量。



のは県内 2 つの発電プラントは施設内にチップ化機能を有しているためである。

生産量は高知県(2013)を基に算出した値を、また、価格は農林水産省(1986~2011)および高知県資料を用いた。ただし、価格については 2007~2009 年が未調査であったため当該年の価格は全国価格に対する高知県価格の比率の平均値(1985~2006 年)を当年の全国価格に乗算して求めた。さらに、内閣府(2010)の製材・木製品の値を用いて実質化した。

以上の手順で高知県における広葉樹チップの生産量と価格の関係をまとめると、図 3-4 のようになる。

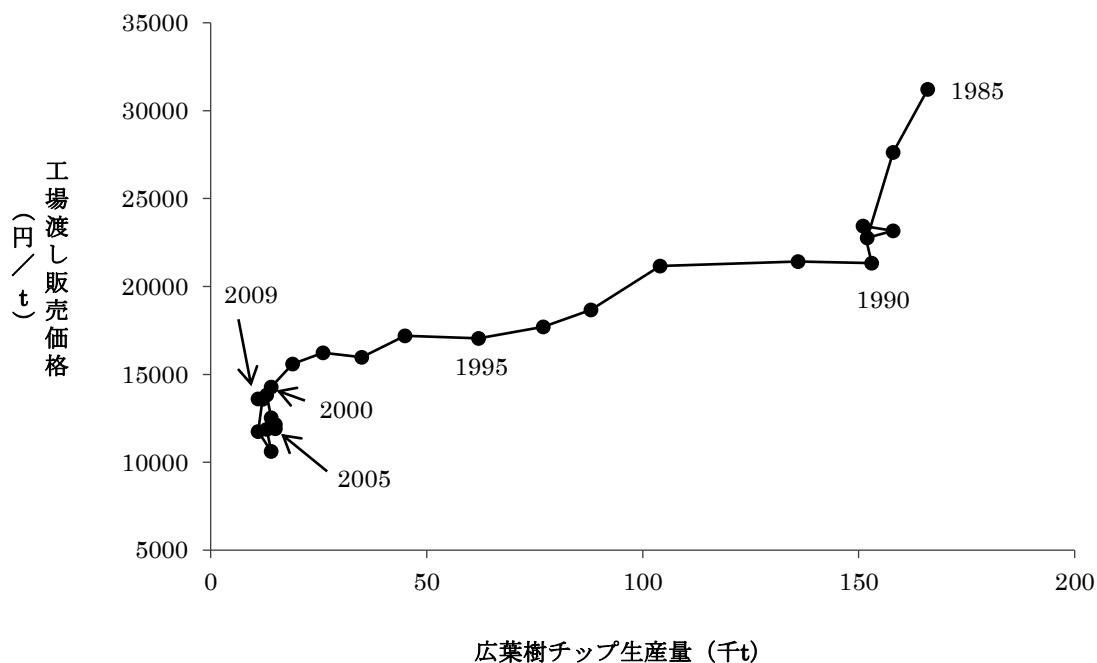


図 3-4. 高知県における広葉樹チップの生産量と価格

### 3-3-3 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の推計方法

いま 1 つの発電プラントを想定しよう。ここで購入する燃料用チップの価格を  $r$  円、チップ需要量を  $xt$ /年とする。また、チップ 1 t から生産される電力量は  $\alpha$  kWh で一定とし、その価格を  $p$  円/kWh、可変費用  $vc$  円/年とする。このとき、プラントの利益  $\pi$  円/年は、(4) 式で表される。

$$\pi = p\alpha x - (r + vc) x - fc \quad (4)$$

$x$ の限界生産力を一定と仮定しているので、発電数量  $q$  に対する平均総費用は逓減的になる。したがって、 $r < p\alpha - vc$  である限り、このプラントはその最大生産量に対応する原木量  $\bar{x}$  を需要し、 $r \geq p\alpha - vc$  のとき需要量はゼロになる。したがって、プラントの需要曲線は図 3-5 のようになる<sup>4)</sup>。

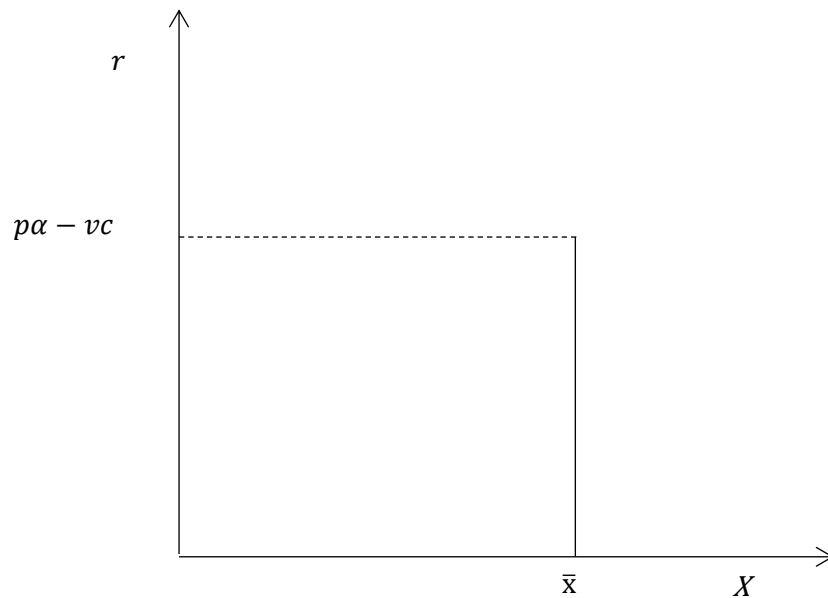


図 3-5. 発電用燃料用チップの需要曲線

<sup>4)</sup> ここでは、発電プラントをチップ価格の価格受容者として想定している。高知県の材積から考えれば、県内で建設しうる発電プラントの数は高々数基と予想され、チップ市場は買い手寡占の状態となる。したがって、本来であれば寡占状態を反映した分析をすべきである。しかし、ここでは分析を単純化するために価格受容者の仮定を置いた。価格受容者として行動しても利潤が負にならなければ、寡占状態でもその企業は成立する。

いま、経済産業省調達価格等算定委員会（2012）の参考資料に基づき電気の買取価格  $p$  を 31.83 円/kWh、チップ 1 t あたり売電量を 650kWh<sup>5)</sup>、プラントの可変費用  $vc$  を 611 円/t<sup>6)</sup> とすると、 $pa - vc$  は (5) 式で表される。

$$pa - vc = (650 \text{ kWh/t} \times 31.83 \text{ 円/kWh} - 611 \text{ 円/t}) \div 0.65 \div 1.094 \quad (5)$$

なお、参考資料のチップの含水率は 35 %（湿潤基準）と想定されるため、損益分岐価格は絶乾重量の価格に補正している。また、内閣府（2010）より製材・木製品の 2005～2009 暦年の平均値（1.094）を用いて価格を実質化している。

こうして求めた発電プラントの木材需要に（2）項の方法で求めた既存需要を合成して需要曲線を導く。

ところで、 $r < pa - vc$  のとき、原木の需要量は  $\bar{x}$  となる。このとき、原木価格  $r$  は可変費用をカバーする。しかし、平均総費用をカバーするとは限らない。平均総費用をカバーする原木価格、すなわち、損益分岐価格は  $pa - vc - fc/\bar{x}$  で表される。そこで、この  $fc$ （固定費用）を表 3-1 に基づいて資本費・運転維持費の積算額および支払金利額を合計して求めると 258,165 千円になる。また、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  $\bar{x}$  を、高知県木質バイオマスエネルギー利用促進協議会（2013）を参考に約 83.5 千 t/年（絶乾重量）であるとする、 $fc/\bar{x}$  は 6,051 円になる。これを (5) 式の値から控除すれば、発電プラントへの投資基準となる損益分岐価格 ( $r_b$ ) を得ることができる。

---

<sup>5)</sup> 年間売電量 39,007 千 kWh を年間木材使用量 60 千 t で除して算出した。

<sup>6)</sup> 燃料諸経費（灰処理費）を可変費用とした。金額は経済産業省調達価格等算定委員会（2012）を参考に算出した。なお、発電プラントはその保安面から稼働率に係らず 24 時間オペレーターが常駐、かつ連続運転のため燃料供給も当初から 24 時間行うものと考え、人件費は固定費として扱った。また、修繕費も稼働率に係らず一定と考え固定費とした。

表 3-1. 発電プラントの固定費用推計

| 区 分    | 未利用木質バイオマス<br>値 | 単<br>位    | 備 考                       |
|--------|-----------------|-----------|---------------------------|
| 出 力    | 5,700           | kW        |                           |
| 設備利用率  | 93              | %         |                           |
| 稼働年数   | 30              | 年         |                           |
| 年間発電量  | 46,437          | 千 kWh     | 5,700kW×24 時間×365 日×93 %  |
| 所内率    | 16              | %         |                           |
| 年間売電量  | 39,007          | 千 kWh     | 年間発電量×0.84                |
| 資本費    | 建設費             | 2,337,000 | 千円                        |
|        | 廃棄費用            | 116,850   | 千円                        |
| 運転維持費  | 人件費             | 60,000    | 千円                        |
|        | 修繕費             | 93,000    | 千円                        |
| 支払金利   | 23,370          | 千円        | 建設費×0.02 <sup>1)</sup> ÷2 |
| 固定費用合計 | 258,165         | 千円        |                           |

出所：経済産業省調達価格等算定委員会（2012）を基に作成。

注：1) 金利は、日本銀行（2015）より 2010 年平均値 1.5 %と、(独) 新エネルギー・産業技術総合開発機構（2010）を参考に 2.0%とした。

### 3-3-4 新しい広葉樹チップ市場の均衡点の推計方法

上記（2）項，（3）項の推計結果を基に高知県における新しい広葉樹チップ市場の均衡点を推計する。

## 3-4 分析結果

### 3-4-1 既存需給曲線の推計結果

供給関数の推定結果は表 3-2 のようになった。価格  $p$  の推定係数は正，一年前の広葉樹チップの価格  $p_{-1}$  の推定係数は負，ダミー変数  $D_s$  の推定係数は正となり，符号条件を満たしており，一年前の価格以外は 5 %水準で有意となった。修正済み決定係数も 0.862 であり，当てはまりは良好であった。一方，需要関数の符号は当年の広葉樹チップの価格  $p$  の推定係数は負，また，一年前と二年前の広葉樹チップの需要量の平均の推定係数， $(\alpha_s + \beta_s)$  の値，および，ダミー変数  $D_d$  の推定係数は正となっている。さらに，定数項以外は 5%水準で有意であり，修正済み決定係数も 0.968 と当てはまりは良好であった（表 3-3 参照）。推計された需給関数を用いると，2009 年の需給曲線は図 3-6 のように描ける。

表 3-2. 供給関数の推定結果一覧

|                     | 係数       | 標準偏差   | t 値    | P 値   |     |
|---------------------|----------|--------|--------|-------|-----|
| 定数項                 | -259.347 | 42.003 | -6.174 | 0.000 | *** |
| 当年のチップ価格 ( $p$ )    | 0.023    | 0.006  | 4.079  | 0.001 | *** |
| 一年前の価格 ( $p_{-1}$ ) | -0.005   | 0.005  | -1.115 | 0.279 |     |
| $D_s$               | 41.128   | 16.595 | 2.478  | 0.023 | *   |

注) \*\*\*は 0.1%水準, \*\*は 1%水準, \*は 5%水準, +は 10%水準で有意であることを示す。

表 3-3. 需要関数の推定結果一覧

|  | 係数     | 標準偏差   | t 値    | P 値   |     |
|--|--------|--------|--------|-------|-----|
| 定数項  | 95.580 | 46.302 | 2.064  | 0.053 | +   |
| 当年のチップ価格 ( $p$ )                           | -0.008 | 0.004  | -2.111 | 0.048 | *   |
| 一年前需要量と二年前需要量の平均 ( $x_{-1} + x_{-2}$ ) / 2 | 1.343  | 0.243  | 5.538  | 0.000 | *** |
| $D_d$                                      | 34.099 | 9.201  | 3.706  | 0.001 | **  |

注) \*\*\*は 0.1%水準, \*\*は 1%水準, \*は 5%水準, +は 10%水準で有意であることを示す。

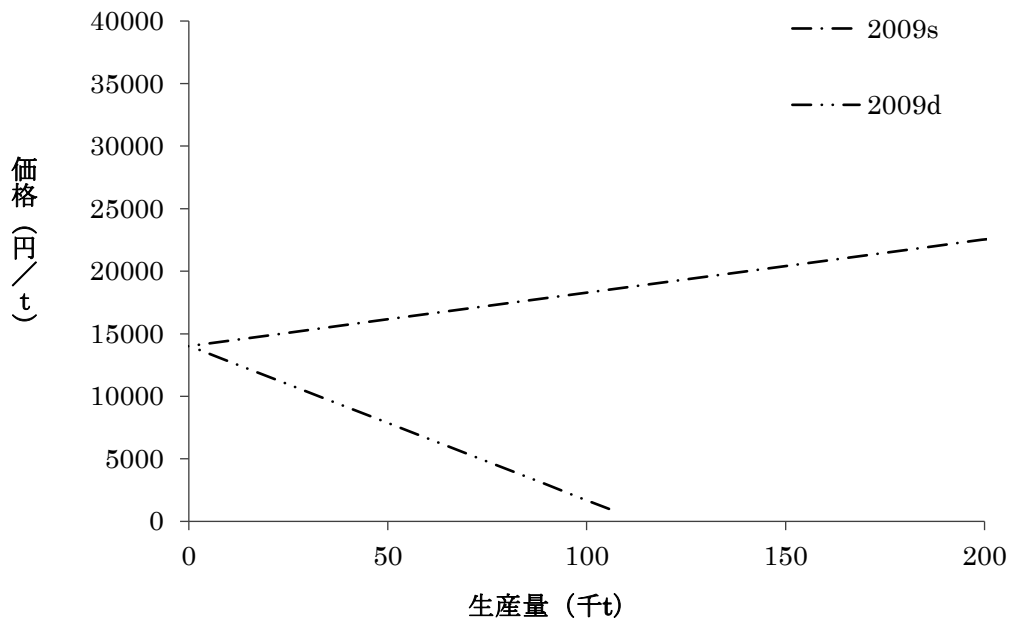


図 3-6. 既存広葉樹チップの需給曲線 (2009 年) 推計

### 3-4-2 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の推計結果

発電プラントの需要曲線の推計からは、操業の有無を決める価格 ( $pa - vc$ ) が 28,236 円/t, 損益分岐価格が 22,185 円/t と算出された。一方, 2つの発電プラントの最大生産量に対応する原木量はすでに述べた通り約 83.5 千 t/年である。

### 3-4-3 新しい広葉樹チップ市場の均衡点の推計結果

新しい需要曲線を既存の需給曲線 (図 3-6 参照) に重ねると図 3-7 を得る。ここからは既存市場の均衡点が需要曲線のシフトによって, 右上に移動しているのが確認できる。均衡点は (12,725 円/t, 11 千 t) から (17,577 円/t, 83.5 千 t) へと変化している。

新しい市場均衡価格 (17,577 円/t) は発電プラントの損益分岐価格 (22,185 円/t) を大幅に下回る。しかも, その供給量は2つの発電プラントの最大使用量に対応する原木量 (83.5 千 t/年) 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あることが明らかになった。

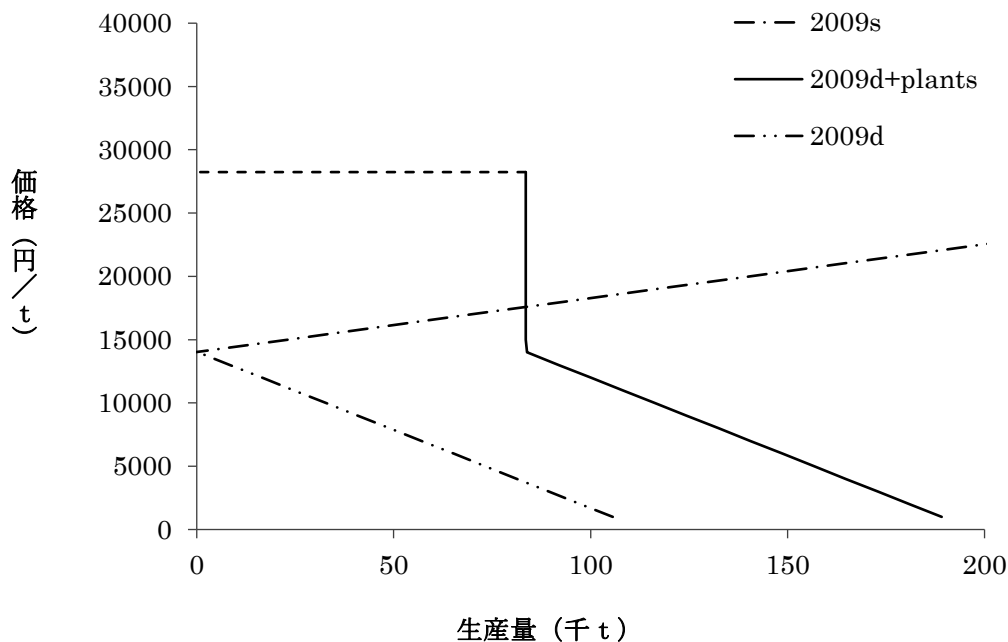


図 3-7. 広葉樹チップ市場の均衡点変化 (2009 年)

注) 供給曲線は, ダミー変数を  $Ds=0$  と置いている。

さらに、この結果に基づいて次の3点が導ける。すなわち、1) 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。2) 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。3) 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。

ただし、高知県では長年にわたる材価低迷の影響により林業就業者数は減少し、路網整備も遅れており、推計通りの供給が短期的に実現することは難しい。調整には時間を要する。

## 引用文献

- [1] (独) 新エネルギー・産業技術総合開発機構. 2010. バイオマスエネルギー導入ガイドブック (第3版). <http://www.nedo.go.jp/content/100079692.pdf> (2015年3月8日閲覧).
- [2] 梶山恵司. 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—. 研究レポート. 富士通総研経済研究所 409, 3.
- [3] 経済産業省調達価格等算定委員会. 2012. 資料5 全量買取制度における木質バイオマス資源別電力単価シミュレーション総括.  
[http://www.meti.go.jp/committee/chotatsu\\_kakaku/pdf/004\\_05\\_00.pdf](http://www.meti.go.jp/committee/chotatsu_kakaku/pdf/004_05_00.pdf) (2014年11月8日閲覧).
- [4] 高知県. 2013. 平成24年度 高知県の森林・林業・木材産業.  
<http://www.pref.kochi.lg.jp/soshiki/030101/24toukei.html> (2014年11月8日閲覧).
- [5] 高知県木質バイオマスエネルギー利用促進協議会. 2013. 資料4-2 木質バイオマス施設の整備事業の概要.  
[http://www.pref.kochi.lg.jp/soshiki/030501/files/2013080200121/2013080200121\\_www\\_pref\\_kochi\\_lg\\_jp\\_uploaded\\_life\\_92185\\_328198\\_misc.pdf](http://www.pref.kochi.lg.jp/soshiki/030501/files/2013080200121/2013080200121_www_pref_kochi_lg_jp_uploaded_life_92185_328198_misc.pdf) (2014年11月8日閲覧).
- [6] 内閣府. 2010. 2009年度国民経済計算(2000年基準・93SNA).  
[http://www.esri.cao.go.jp/jp/sna/data/data\\_list/kakuhou/files/h21/h21\\_kaku\\_top.html](http://www.esri.cao.go.jp/jp/sna/data/data_list/kakuhou/files/h21/h21_kaku_top.html) (2014年10月8日閲覧).
- [7] 日本銀行. 2015. 長・短期プライムレート(主要行)の推移2001年以降.  
<http://www.boj.or.jp/statistics/dl/loan/prime/prime.htm/> (2015年3月8日閲覧).
- [8] 農林水産省編. 1986-2011. 昭和60～平成21年木材需給報告書, 農林統計協会.
- [9] 資源エネルギー庁. オンライン. なっとく! 再生可能エネルギー.  
[http://www.enecho.meti.go.jp/category/saving\\_and\\_new/saiene/kaitori/kakaku.html](http://www.enecho.meti.go.jp/category/saving_and_new/saiene/kaitori/kakaku.html) (2014年11月8日閲覧).
- [10] 杉澤寿. 2013. 広葉樹二次林の木材利用の可能性について～能代周辺を例として～. <http://www.rinya.maff.go.jp/j/kensyuu/pdf/sugisawa.pdf> (2014年10月8日閲覧).
- [11] 渡部喜智. 2012. 木質バイオマス発電の特性・特徴と課題. 農林金融 65(10): 21



~36.

## 第4章 針葉樹人工林と広葉樹林との同時伐採方式の導入

### 4-1 はじめに

本章の課題は、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、その収益性を検討することである。これは、本論文の第3の課題に相当する。

ここで、同時伐採を取り上げるのは、広葉樹だけの林地でなく、針葉樹林と広葉樹林が混在する林地の広葉樹林についても集材ができるかどうかを柔軟に判定できるモデルの構築を目指すからである。

木質バイオマスの広葉樹利用については、杉澤（2013）は、秋田県能代周辺の民有林を対象に広葉樹二次林を利用した場合のシミュレーションを行い、木材の生産経費と販売収益の比較によって木質バイオマス発電プラントへの供給について可能性を検証した。福田・飯國（2015）は、高知県内の過去の市場データを用いて需給曲線を推定し、広葉樹由来のチップの発電利用の可能性について、高知県内で稼働する2つの未利用木質発電プラントにおいて検討した。また、鈴木ら（2016）は、高知県西部の黒潮町において木質バイオマス発電プラントへの供給を想定し、架線集材による広葉樹二次林皆伐作業の生産性と収支について検証した。しかし、これまでの研究は広葉樹林のみを収穫することを念頭においたものばかりであった。生産性を考慮すると広葉樹林だけを収穫するよりも、建築用材として針葉樹人工林を伐採する時にその周辺の広葉樹林を燃材として収穫する方が生産性が高い可能性がある。

そこで、本論文では、広葉樹林と人工林の針葉樹を同時に収穫し（以下、同時伐採）、建築用材とともに燃材を確保するというモデルを構築し、その収益性を検討することを目的とした。

なお、林分の区分としては人工林に対して天然林、針葉樹林に対して広葉樹林が用いられるが、本論文では主にスギ・ヒノキの針葉樹人工林を「人工林」、シイ・カシ等からなる放置薪炭林などの天然性2次林を「広葉樹林」としてこれら2区分の林分を議論の対象とする。

### 4-2 研究方法

#### 4-2-1 対象地域

高知市内に設置された未利用木質発電プラントおよびその供給範囲となる高知市内

の森林を対象とする(図 4-1 参照)。5 MW 級の木質バイオマス発電設備の集荷範囲は、半径 50 km 程度と想定されており(農林水産省 2015)、本論文で対象とする未利用木質発電プラント(6.25 MW)から半径 25 km 以内に高知市全体が含まれる。

高知市では市域の 55% を森林が占め、人工林の割合も広葉樹林の割合も共に 47% である。人工林の蓄積は、スギが 282.4 万 m<sup>3</sup>、ヒノキが 103.7 万 m<sup>3</sup> で、そのうち 40 年生以上が 97.0% と 91.6%、50 年生以上が 77.2% と 65.6% で伐期を迎えている(高知県 林業振興・環境部 森づくり推進課 2017)。また、広葉樹林は、従前は薪炭、パルプ用に活用(中山 1985)されていたが、近年そのほとんどが未利用のまま放置されている。広葉樹林の材積は 95.2 万 m<sup>3</sup> で、そのうち 93.7% は林齢 50 年以上である(高知県 林業振興・環境部 森づくり推進課 2017)。

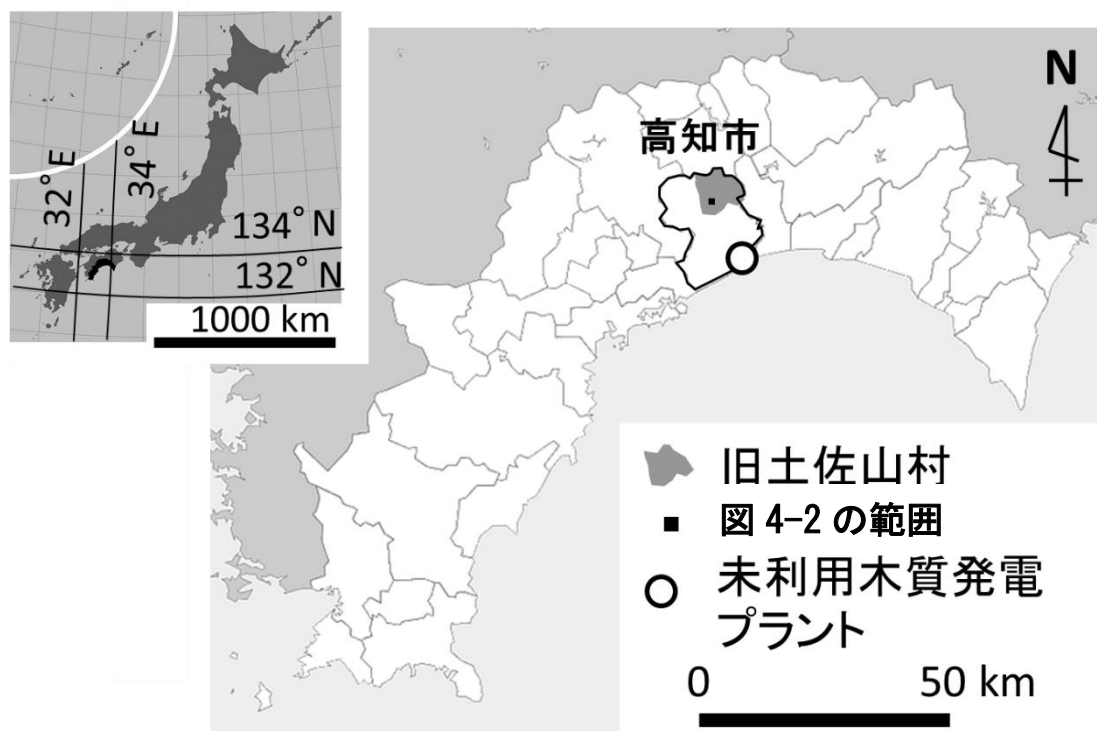


図 4-1. 高知市内の未利用木質発電プラント

注) 鈴木ら(2017)の図-1を改変。

#### 4-2-2 伐採・集材方法の設定

作業ポイントを道沿いに設置し、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運び、プロセッサによって造材後、トラックへ積込む手順を想定した。図 4-2 は

高知市土佐山地域（旧土佐山村）の人工林と広葉樹林の区別を示す小林班界を表した図で、谷沿いの道脇に元柱と土場を設けた例を模式的に示している。矩形の破線が架設区域すなわち集材可能な範囲で、不定形の灰色の太線が集材対象となる伐採区域である。架設区域に人工林と広葉樹林が入り組んで含まれ、伐採区域は架設区域より幾分狭いものとしているが地形などの制約によりこのようになる事例は多いものと考えられる。伐採方法は皆伐とし、索張り方式はエンドレスタイラー方式とした。ただし架設撤去や機械費用、およびプロセッサ造材と並行しての集材作業の生産性等の値は類似の索張り方式で詳細な実績値（鈴木ら 2011）を利用できるコレクター方式のものを用いた。コレクター方式はエンドレスタイラー方式の改良型で、エンドレスタイラーでは横取り索が搬器に追従して林地を横断して動くため、残存林分を傷める可能性があり、間伐に用いることはできない。しかし、コレクター滑車とこれを動かすためのコレクター作業索を追加することによって横取り索が架空索に沿うようにして間伐に適用することが可能となる（鈴木ら 2011）。

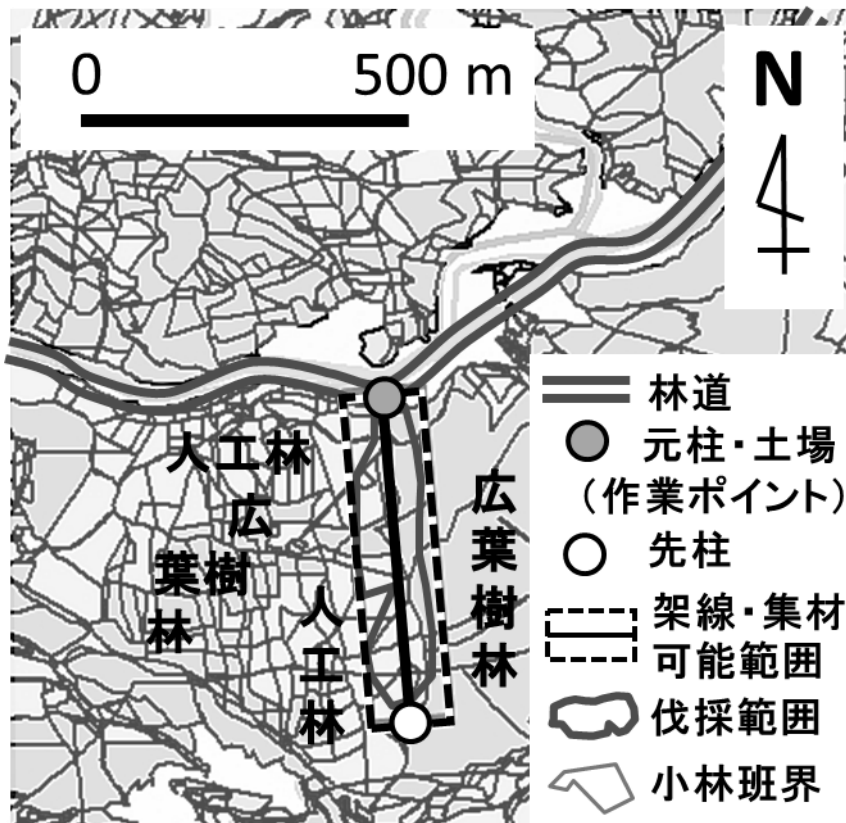


図 4-2. 想定する伐出方法

注) 細かい線は人工林（薄い灰色）と広葉樹林（濃い灰色）の区別を示す小林班界。

### 4-2-3 収益計算

材積あたり伐出経費は以下の式を用いて算出した (1~10)。材積あたり伐出経費  $C_U$  (円/m<sup>3</sup>) は,

$$C_U = C_R + C_H + C_T \quad (1)$$

ただし,  $C_R$ : 材積あたり架設撤去経費 (円/m<sup>3</sup>),  $C_H$ : 材積あたり伐木集造材経費 (円/m<sup>3</sup>),  $C_T$ : 作業ポイントから原木市場およびプラントまでの材積あたり運材経費 (円/m<sup>3</sup>) で, 原木市場への運材経費は濱野ら (2010), 入江 (2010), 川崎 (2017), 林野庁 (2017b), 佐藤ら (2016), プラントへの運材経費は赤熊ら (2017) および當山ら (2017) を参考に 1,500 円/m<sup>3</sup> とした。ここでの集材材積は, 建築用材等として販売可能な実材積を指す。材積あたり架設撤去経費  $C_R$  は, 下記の式で示される。

$$C_R = C_{R1} / V \quad (2)$$

ただし,  $C_{R1}$ : 1 架設あたり架設撤去経費 (円) で, 本論文では鈴木ら (2011) を引用して 1,087,760 円 (うち架設 777,147 円, 撤去費 310,613 円) とした。  $V$ : 1 架設あたり集材材積 (m<sup>3</sup>) であり, 下記の式で示される。

$$V = V_N + V_L \quad (3)$$

ただし,  $V_N$ : 1 架設あたり人工林集材材積 (m<sup>3</sup>),  $V_L$ : 1 架設あたり広葉樹林集材材積 (m<sup>3</sup>) で, 下記の式で示される。

$$V_N = S_N \cdot A_N \quad (4)$$

$$V_L = S_L \cdot A_L \quad (5)$$

ただし,  $S_N$ : 50 年生以上の人工林平均蓄積 (m<sup>3</sup>/ha),  $A_N$ : 人工林の集材対象面積 (ha),  $S_L$ : 50 年生以上の広葉樹林の平均蓄積 (m<sup>3</sup>/ha),  $A_L$ : 広葉樹林の集材対象面積である。 $S_N$  は, 森林簿 (高知県 林業振興・環境部 森づくり推進課 2017) から得た高知市内のスギ・ヒノキの材積 548 m<sup>3</sup>/ha に利用率 0.75 (林野庁 2013) を乗じて 411 m<sup>3</sup>/ha とした。広葉樹林については, 黒潮町における調査 (鈴木ら 2016) で得られた実材積 (134

t/m<sup>3</sup>)と森林簿(高知県 林業振興・環境部 森づくり推進課 2017)から得られた材積(100 m<sup>3</sup>/ha)を用いて換算係数 1.3t/m<sup>3</sup>を導いた。森林簿から得た高知市内の「その他広葉樹」の平均蓄積(120 m<sup>3</sup>/ha)に利用率を考慮して 161 t/haとし、換算係数 1.3 t/m<sup>3</sup>でこれを除して  $S_L$  を 124 m<sup>3</sup>/ha とした。

1 架設あたりの最大集材面積  $A$  (ha) は、支間長  $s$  (m) と両横側の取り幅 1×2 (m) から算出した。1 架設あたりの最大集材面積  $A$  は、鈴木ら(2011)を参考に支間長  $s$  を 500 m, 横取り幅  $l$  を 60 m (両側で 120 m) とし、6 ha とした。実際には  $A$  の全体が常に集材可能ではないことも考えられるため、 $A_N$  と  $A_L$  の合計は  $A$  以下となる。

$$A = s \cdot 2l / 10,000 \quad (6)$$

$$A \geq A_N + A_L \quad (7)$$

材積あたり伐木集造材経費  $C_H$  は、下記の式で示される。

$$C_H = C_F + C_{LP} \quad (8)$$

ただし、 $C_F$ : 材積あたりの伐木経費 (円/m<sup>3</sup>)、 $C_{LP}$ : 集造材経費 (円/m<sup>3</sup>)。作業の経費は、一般には作業の組時間費用をその作業の生産性で除することで得られる。本論文では、人工林と広葉樹林で生産性が異なることを考慮し、組時間費用は共通として、 $C_F$  および  $C_{LP}$  を以下の式で求めた。

$$C_F = E_F \cdot (V_N / P_{FN} + V_L / P_{FL}) / V \quad (9)$$

$$C_{LP} = E_{LP} \cdot (V_N / P_{LPN} + V_L / P_{LPL}) / V \quad (10)$$

ただし、 $E_F$ : 伐木作業の組時間費用 (円/組時)、 $P_{FN}$ : 人工林の伐木作業の生産性 (m<sup>3</sup>/組時)、 $P_{FL}$ : 広葉樹林の伐木作業の生産性 (m<sup>3</sup>/組時)、 $E_{LP}$ : 集造材作業の組時間費用 (円/組時)、 $P_{LPN}$ : 人工林の集造材作業の生産性 (m<sup>3</sup>/組時)、 $P_{LPL}$ : 広葉樹林の集造材作業の生産性 (m<sup>3</sup>/組時) である。

$E_F$  は、鈴木ら(2011)を参考に 1 人組作業、実働 6.5 時間/日で計算し、3,222 円/組時とした。これは森林組合作業班による人工林間伐作業の事例であるが、人工林および広葉樹林の皆伐作業に適用して問題ないと判断した。郡司ら(2017)は、人工林皆伐の伐出作業に関し樹種と単木幹材積が本論文に近い条件で、平均幹材積 0.45~0.93 m<sup>3</sup> の

ヒノキ・スギ・アカマツ林を対象とした調査において生産性 10.13~19.14 m<sup>3</sup>/人時（平均 13.56 m<sup>3</sup>/人時）を得ており， $P_{F,N}$ はその平均値 13.56 m<sup>3</sup>/人時を使用した。鈴木ら（2016）は，高知県黒潮町の広葉樹林 2 プロットにおける調査（胸高直径 10 cm 以上を搬出対象木，幹材積 0.16 m<sup>3</sup>程度）を行い，その時の平均値 7.38 m<sup>3</sup>/人時を  $P_{F,L}$ として使用した。 $E_{LP}$ は，人工林の間伐において架線集材とプロセッサ造材を行った鈴木ら（2011）を参考に 3 人組作業，実働 6.5 時間/日で計算し，14,214 円/組時とした。本論文で想定する人工林および広葉樹林の皆伐においても同様の作業組および機材を想定しているため，この値は妥当と考える。生産性については，鈴木ら（2011）を参考に，荷掛け，集材器，荷外しおよびプロセッサを 3 人で行い，実働 6.5 時間/日の条件で， $P_{LP,N}$ を 1.65 m<sup>3</sup>/組時を基準とし，この 1.24 倍，1.49 倍で試算した。この理由についてはその妥当性とあわせて「4-3-1 使用した値の妥当性」において言及および検討する。Labelle *et al.*（2016）は樹形が造材生産性に与える影響をサトウカエデ（*Acer saccharum*）を対象に調査を行った。その結果，通直の樹幹形状の個体に対して枝分かれが多い個体は生産性が 15~20 %低下することを示した。この樹幹形による生産性の低下はマツ林でも同程度であった（Labelle *et al.* 2017）。そこで本論文においても  $P_{LP,L}$ は， $P_{LP,N}$ の 0.80 倍とすることにした。

1 架設あたりの収入  $I$ （円）は以下の式で表される。

$$I = (I_N + I_{R,N} \cdot R_N) \cdot V_N + (I_L + I_{R,L} \cdot R_L) \cdot V_L \quad (11)$$

ただし， $I_N$ ：針葉樹建築用材の販売単価（円/m<sup>3</sup>）， $I_{R,N}$ ：針葉樹残材の販売単価（円/t）， $R_N$ ：建築用材材積あたりの針葉樹残材の発生割合（t/m<sup>3</sup>）， $I_L$ ：広葉樹材の販売単価（円/m<sup>3</sup>）， $I_{R,L}$ ：広葉樹残材の販売単価（円/t）， $R_L$ ：幹材積あたりの広葉樹残材の発生割合（t/m<sup>3</sup>）。残材の単価はトンあたりで，残材の量は建築用材あるいは幹材 1 m<sup>3</sup>あたりに発生する生トンとして表した。

$I_N$ は，林野庁（2017a）を参考にスギ中丸太価格 12,300 円/m<sup>3</sup>から市場経費 2,000 円/m<sup>3</sup>（高知県森林組合連合会の市場経費）を除いた 10,300 円/m<sup>3</sup>とした。 $I_L$ は，高知市の未利用木質発電プラントでの丸太買取価格 7,680 円/t（高知新聞 2016）と換算係数 1.3 t/m<sup>3</sup>（全国木材チップ工業連合会 2015）から 9,984 円/m<sup>3</sup>とした。 $I_{R,N}$ と  $I_{R,L}$ は，混焼施設での未利用木材としての買取実績（鈴木ら 2016）から 1,500 円/t とした。 $R_N$ と  $R_L$ は，鈴木ら（2011，2016）を参考にそれぞれ 0.548，0.550 t/m<sup>3</sup>とした。前者は

スギ・ヒノキ人工林における残材発生の実績値（鈴木ら 2011）をそのまま引用した。後者は、鈴木ら（2016）における広葉樹林皆伐での残材発生量，すなわち一般材枝葉 22.2 t に未利用木材枝葉 148.0 t を加えた 170.2 t を，幹材生産量 402.1 t を換算係数 1.3 t/m<sup>3</sup> で除した 309.3 m<sup>3</sup> で割ることで算出した。

1 架線当たりの総収益  $B$  (円) は以下の式で表される。

$$B = I - C_U \cdot V \quad (12)$$

#### 4-2-4 同時伐採比率の設定と収益の比較

架線 1 架設あたりの架設区域，つまり伐出対象面積  $A$  ha の中に実際に伐出可能な人工林および広葉樹林が 0~100% の範囲で存在する場合について (12) 式により総収益  $B$  (円) を算出した。(7) 式を満たす範囲で人工林および広葉樹林の面積 ( $A_N$ ,  $A_L$ ) を  $A$  の 10% (0.6 ha) 刻みで変化させ，一連の計算を行った。収益の評価のため， $B$  を伐出対象林の面積あたりの平均収益とした  $B_A$  (円/ha) および伐出対象人工林面積あたりの平均収益とした  $B_{A,N}$  (円/ha) を下記の式を用いて算出し，比較した。

$$B_A = B / (A_N + A_L) \quad (13)$$

$$B_{A,N} = B / A_N \quad (14)$$

$B_A$  は，同時伐採が成立する条件を検討するための指標とした。ここでは，人工林と広葉樹林の面積比率を変化させるとともに，集造材作業の生産性も変化させ，経営が成立しうる条件を推定した。また，その収益性についても検討した。

$B_{A,N}$  は，人工林伐採後の再植林の可能性を検討するための指標とした。持続可能な森林経営を実現するためには，皆伐した人工林の造林・保育費用を賄えるだけの収益を最低限確保する必要がある。そこで，得られた収益の全てを伐採した人工林の面積で除した  $B_{A,N}$  を算出し，再造林費用の可能性について検討した。林野庁 (2013) は，植栽から 50 年生までの造林・保育にかかる経費を約 231 万円/ha としており，ここから一般的な造林補助率 68% (當山ら 2012) を控除した森林所有者負担額 74 万円/ha を造林・保育費の基準とした。またスギ人工林を 50 年生で主伐した場合の立木販売収入 113 万円/ha (林野庁 2013, 2014, 2015, 2016, 2017a の平均) を目標平均収益とした。



## 4-3 結果と考察

### 4-3-1 使用した値の妥当性

1) 支間長と横取り幅 本論文では集材に用いる架線を支間長 500 m のエンドレスタイラー式とし横取り幅は 60 m とした。この支間長と横取り幅は類似の索張り方式であるコレクター式の事例（鈴木ら 2011）に揃えたもので、これにより架設撤去や伐出作業の経費および生産性の実績値を使用できる。この支間長と横取り幅の妥当性について検証する。

H 型架線の場合だが、高知県と近隣地域で支間長 496~1,595 m（単線の  $n=80$ ，平均 919 m，標準偏差 227 m）の架設事例が報告されている（鈴木ら 2005）。梅田ら（1982）によるエンドレスタイラー方式の集材工程では平均集材距離 100~800 m，横取り距離 20~100 m の範囲で標準工程が示されている。鈴木ら（2016）による高知県におけるエンドレスタイラー方式による広葉樹林皆伐の事例では，支間距離 603 m，最大横取り距離は 100 m 程度である。これらと比較すると，500 m の支間長と 60 m の横取り幅は，短い部類に入るが，今回は経費等の実績値を用いることに重点をおいたため，伐出経費の確度を高める意味から妥当な選択であったと考える。

2) 単木材積 本論文の対象地域で皆伐作業を行った場合に期待される単木材積について検討する。まず人工林の単木材積について，高知県の民有林林分収穫表（高知県 林業振興・環境部 森づくり推進課 2007）では，50 年生スギ林分で地位 3 等地の蓄積 553.7（1 等地 685.6~5 等地 446.9，以下同様） $m^3/ha$ ，立木本数 1,025（815~1,295）本/ha となっている。これから単木幹材積を求めると 0.540（0.841~0.345） $m^3/本$ となる。ヒノキについては蓄積 373.8（449.4~310.0） $m^3/ha$ ，立木本数 1,075（785~1,475）本/ha で単木幹材積は 0.348（0.573~0.210） $m^3/本$ となる。従って利用率 0.75 とすると実材積としてはスギで 0.405（0.631~0.259） $m^3/本$ ，ヒノキで 0.261（0.430~0.158） $m^3/本$ が期待できる。

広葉樹林について林分収穫表の情報はないが，高知県黒潮町における広葉樹林皆伐の実績（鈴木ら 2016）では，森林簿の記載 100  $m^3/ha$  に対し実材積で 134 t/ha（3 ha から 402.1 t）の幹材が搬出された。換算係数 1.3 t/ $m^3$  とすると実材積で 103  $m^3/ha$ ，利用率 0.75 とすると幹材積で 137  $m^3/ha$  の蓄積があったことになる。事業対象地全体を対象とする毎木調査の結果では胸高直径 10 cm 以上で 249.5  $m^3/ha$ （1,690 本/ha），15 cm 以上で 186.9  $m^3/ha$ （806 本/ha），20 cm 以上で 98.4  $m^3/ha$ （269 本/ha）となっていた（伐出対象地のみでは胸高直径 10 cm 以上で 411.6  $m^3/ha$ （2,547 本/ha）等）。す

なわち伐出対象木は平均胸高直径 15~20 cm で単木幹材積は 0.232~0.366 m<sup>3</sup>/本程度であった可能性がある。

**3) 集造材の生産性** 本論文では集材と造材が並行して行われるものとし、コレクター方式の実績（鈴木ら 2011）から集造材作業の生産性の基本値を 1.65 m<sup>3</sup>/組時（実働 6.5 時間/日で 10.71 m<sup>3</sup>/組日）と設定した。この妥当性について検討する。

集材と造材など同時に 2 種類の作業が並行して行われる場合、全体の生産性は両者の低い方の生産性に制限される（全国林業改良普及協会 2001）。コレクター方式の事例では間伐ということもあり造材の生産性の方が集材よりも高く、造材するプロセッサに待ち時間が発生していた（鈴木ら 2011）。この事例では、集造材は荷掛け手、集材機（SK50-4A）運転手、荷外し手兼プロセッサ（CAT312+CM-40Z）造材手各 1 名の 3 人組で並行して行われた。搬出された材の単木あたり実材積は 0.146 m<sup>3</sup>/本程度（搬出本数 141 本、素材材積 20.571 m<sup>3</sup>）であった。集造材作業の平均サイクル作業時間は 713.9 秒（10 時間 18 分 44 秒で 52 サイクル）で、このうち土場側でのプロセッサの「機械待機」が 222.6 秒あり、要素作業「その他」（85.9 秒）に含まれる待ち時間は 36.7 秒であった。1 サイクルに集材される材の造材時間が同等とすると、これら待ち時間の削減で対応できる範囲までは集材作業の生産性向上に応じて集造材作業全体の生産性向上は可能と考えられる。すなわち、「機械待機」のみの削減を考慮するとサイクル作業時間は 31.2 % 減となり生産性は 1.45 倍、「その他」に含まれる待ち時間も含めると 36.3 % 減で 1.57 倍となる。つまり皆伐となって集材の生産性が高まった場合、1.57 倍までは造材待ち時間の削減により造材の生産性が追いつくことができるが、それ以上となると集材作業の方に待ち時間が生じて全体の生産性は頭打ちとなるものと考えられる。

皆伐集材におけるエンドレスタイラー方式の生産性は、「大型集材機による普通集材工期」として梅田ら（1982）により、平均集材距離を変数とし、人工林および天然林の単木材積別に 5 系列、横取り距離について 20~100 m の範囲として示されたものがある。図 4-3 には単木材積として小さいものから 2 系列（人工林 0.19 m<sup>3</sup>/本、天然林 0.22 m<sup>3</sup>/本；および人工林、天然林ともに 0.30 m<sup>3</sup>/本）、横取り距離 60 m のものを引用している。図 4-3 から人工林 0.19 および 0.30 m<sup>3</sup>/本の系列で集材距離 500 m を見ると、生産性は 13.26 および 18.91 m<sup>3</sup>/組日で、鈴木ら（2011）の実績値である 10.71 m<sup>3</sup>/組日の 1.24~1.77 倍である。また、平均集材距離として 250 m を見ると 14.94 および 22.57 m<sup>3</sup>/組日で 1.49~2.11 倍となっている。すなわち、皆伐集材の生産性は、2) の検討を踏まえると図 4-3 の人工林 0.30 m<sup>3</sup>/本の系列を参照することも可能ではあるが過

大推定になる危険性を避けるため、鈴木ら（2011）と同等の幹材積の場合として 1.24～1.49 倍となると想定できる。

以上から、針葉樹についての収益計算における集造材作業の生産  $P_{LPN}$  の値は、コレクター集材の事例と同じ（1.00 倍，1.65 m<sup>3</sup>/組時），エンドレスタイラー式皆伐の推定値としてコレクター集材の事例の 1.24 倍（2.05 m<sup>3</sup>/組時；図 4-3 の下の系列で平均集材距離 500 m の場合，伐出対象林が土場から遠いところに多い場合を想定）および 1.49 倍（2.59 m<sup>3</sup>/組時；図 4-3 の下の系列で平均集材距離 250 m の場合）を用いることとした。このように推定値を 2 つ設定したのは，最大値のみでなく中間値も示した方が値の変更による結果への影響の度合いを見通しやすくなると考えたことによる。また，本論文における伐出対象林の位置についての想定は，必ずしも矩形の集材可能区域全体に一樣に分布するとは限らない。伐出対象に選ばれた林が先柱の近くに偏って存在する場合も考えられる。そのため，平均集材距離が異なる場合にも対応できる 2 つの推定値を想定することは妥当と考えた。

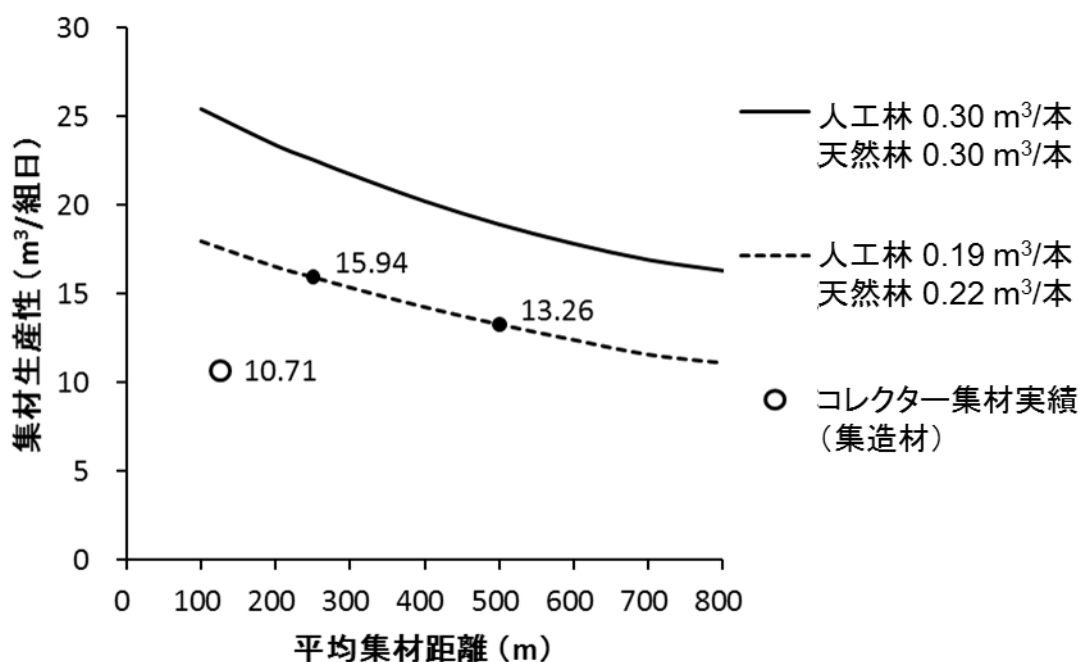


図 4-3. 架線皆伐集材の生産性

注) 梅田ら（1982）より，エンドレスタイラー方式による皆伐の場合。コレクター集材は鈴木ら（2011）から，間伐で集造材の場合。いずれも横取り距離 60 m。

広葉樹のプロセッサ造材は、エネルギー材の生産を主な目的として北欧 (Liepiņš *et al.* 2015, Jylhä and Bergström 2016) や南アフリカ (Norihro *et al.* 2018) で研究事例がある。Spinelli *et al.* (2017) は雑木 (広葉樹) 伐出システムについての総説で、広葉樹林でもフェラーバンチャやハーベスタが生産性向上に効果的であることを指摘している。以上から、曲がりや枝分かれの多い個体と通直な個体とで機械造材の生産性を比較した Labelle *et al.* (2016, 2017) を参考に、広葉樹林の集造材生産性  $R_{LPL}$  を、 $R_{LPN}$  の 0.80 倍とすることは妥当と考えられる。

#### 4-3-2 生産性の差異によるに収益の特徴

伐出対象林の面積あたりの平均収益 ( $B_A$ , 円/ha) の算出結果を図 4-4~図 4-6 に示す。以下では、この曲線を平均収益曲線とする。平均収益曲線はどの生産性においても長さは一様でない。人工林比率が異なるからである。例えば、人工林比率が 20 %の曲線では、広葉樹林比率が 80 %までであり、そこが広葉樹林比率の終点となる。

平均収益曲線は、各図において太線で示す直線に収束している。この直線は広葉樹林比率を 1 単位増加させたときに得られる収益の増分、すなわち、限界収益 (Marginal Benefit, 以下では  $MB$  とする) に相当する。限界収益 ( $MB$ ) は 1 架線当たりの総収益  $B$  を  $A_L$  で偏微分することで得られる。

$$\partial B / \partial A_L = \{(I_L + I_{R,L} \cdot R_L) - (E_F / P_{FL} + E_{LP} / P_{LPL} + C_T)\} \cdot S_L \quad (15)$$

この  $MB$  が正である限り、広葉樹林の面積割合を増やせば総収益 ( $B$ ) は増加する。逆は逆である。

一方、伐出対象面積あたりの平均収益  $B_A$  を  $A_L$  で偏微分すると次式を得る。

$$\begin{aligned} \partial B_A / \partial A_L &= (\partial B / \partial A_L) / (A_N + A_L) - B / (A_N + A_L)^2 \\ &= (MB - B_A) / (A_N + A_L) \end{aligned} \quad (16)$$

この式から、 $A_L$ が増加したときの  $B_A$ の増減は次のように整理できる。

$$\begin{aligned} \text{if } MB > B_A, B_A \text{ は増加} \\ \text{if } MB = B_A, B_A \text{ は一定} \\ \text{if } MB < B_A, B_A \text{ は減少} \end{aligned} \quad (17)$$

(17) 式は、各平均収益曲線の始点において  $B_A$  が  $MB$  より小さければ、広葉樹林の伐採面積が増加するにつれて、 $MB$  の水準に近づくことを示す。これは  $B_A$  が  $MB$  より大きくても同様である。もし、両者が一致すれば、 $B_A$  は変化しない。従って、各収益曲線は  $MB$  の水準に収束することになり、その値は上で述べた集造材作業の生産性 ( $P_{LPN}$ ,  $P_{LPL}$ ) が 1.00 倍, 1.24 倍, 1.49 倍の水準をとるとき  $MB$  はそれぞれ - 234,443 円/ha, 33,804 円/ha, 221,337 円/ha の値となる。

人工林率が 20 % および 30 % の平均収益曲線において、広葉樹林比率の増加に伴い逓増的であったが逓減的な曲線へと転化している。これは、集造材作業の生産性 ( $P_{LPN}$ ,  $P_{LPL}$ ) が上昇するとき、 $B_A$  の上方移動の程度は  $MB$  のそれを上回るからである。このことは次のようにして証明できる。

集造材作業の生産性 ( $P_{LPN}$ ,  $P_{LPL}$ ) の上昇による  $MB$  と  $B_A$  の上方移動の程度を確認するためには、 $MB$  と  $B_A$  の集造材作業の生産性 ( $P_{LPN}$ ,  $P_{LPL}$ ) による偏微分の値の大きさを比較すればよい。ここで、 $P_{LPL} = k \cdot P_{LPN}$  とおけば、集造材作業の生産性を  $P_{LPL}$  の 1 変数であらわすことができる。これを用いて  $MB$  と  $B_A$  を  $P_{LPL}$  で偏微分すると次式を得る。

$$\partial MB / \partial P_{LPL} = S_L \cdot E_{LP} / P_{LPL}^2 \quad (18)$$

$$\partial B_A / \partial P_{LPL} = \partial MB / \partial P_{LPL} + (E_{LP} / P_{LPL}^2) \cdot (k \cdot S_N - S_L) \cdot A_N / (A_N + A_L) \quad (19)$$

$k \cdot S_N - S_L$  の値は本論文の想定 ( $k=0.80$ ,  $S_N=411 \text{ m}^3/\text{ha}$ ,  $S_L=124 \text{ m}^3/\text{ha}$ ) では 0 より大きく、 $\partial MB / \partial P_{LPL} < \partial B_A / \partial P_{LPL}$  となる。すなわち、集造材作業の生産性 ( $P_{LPN}$ ,  $P_{LPL}$ ) が上昇するとき、 $B_A$  の上方移動の程度は  $MB$  のそれを上回る。

図 4-4 では、 $MB$  が負の値をとる。また、平均収益曲線の始点における単位面積当たりの平均収益 ( $B_A$ ) は、人工林比率 60 % 以上で正となる。しかし、 $MB$  が負の値をとるため、人工林比率 60~70 % の場合では、広葉樹林の伐採率がそれぞれ 10 %, 20 % になると赤字となる。さらに、広葉樹林の伐採率が増加するとその額は拡大する。図 4-5 では、集造材作業の生産性 ( $P_{LPN}$ ,  $P_{LPL}$ ) が 1.24 倍になったと想定されているため、 $MB$  が正に転じる。人工林比率の高い平均収益曲線 ( $B_A$ ) が  $MB$  の上に移動して、これらの曲線では広葉樹林の伐採率を 0 から最大値まで変化させたとき、いずれの場合でも単位面積当たりの平均収益 ( $B_A$ ) は正であり、総収益 ( $B$ ) も正となる。図 4-6 で

は、 $MB$ の値がさらに上方に移動するため、人工林比率が低いときでも、広葉樹林の伐採率を高めることで単位面積当たりの平均収益 ( $B_A$ ) が正となる。人工林比率が 10 % の場合でも 20 %の広葉樹林を伐採すれば赤字を避けられる結果となる。

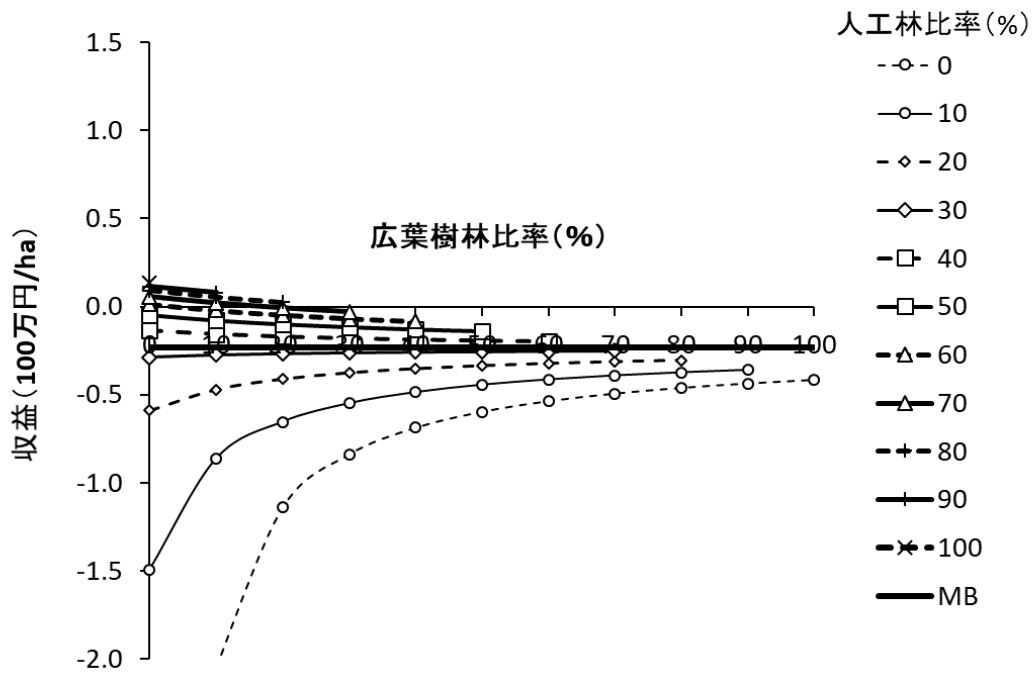


図 4-4. 伐区単位面積あたりの平均収益 (生産性 1.00 倍)

注) 皆伐を想定し、集造材の生産性をコレクター集材による間伐実績 (鈴木ら 2011) から調整した場合の推計値。人工林と広葉樹林の伐採面積は、現場毎に異なるので、平均収益曲線は人工林比率ごとに示している。

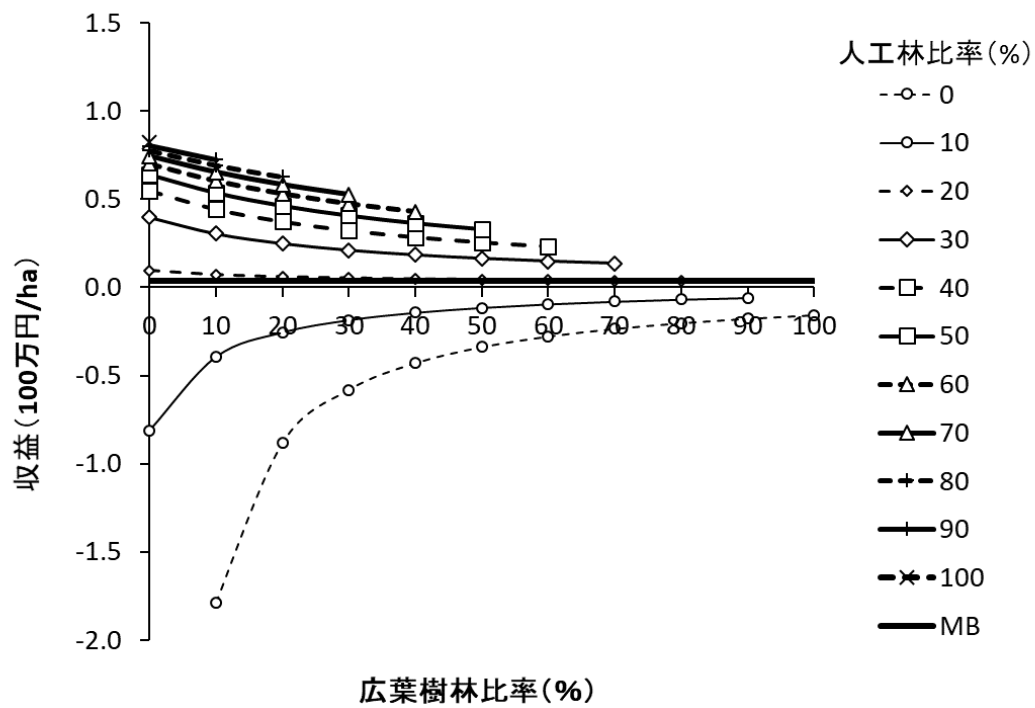


図 4-5. 伐区単位面積あたりの平均収益 (生産性 1.24 倍)

注) 図 4-4 と同様

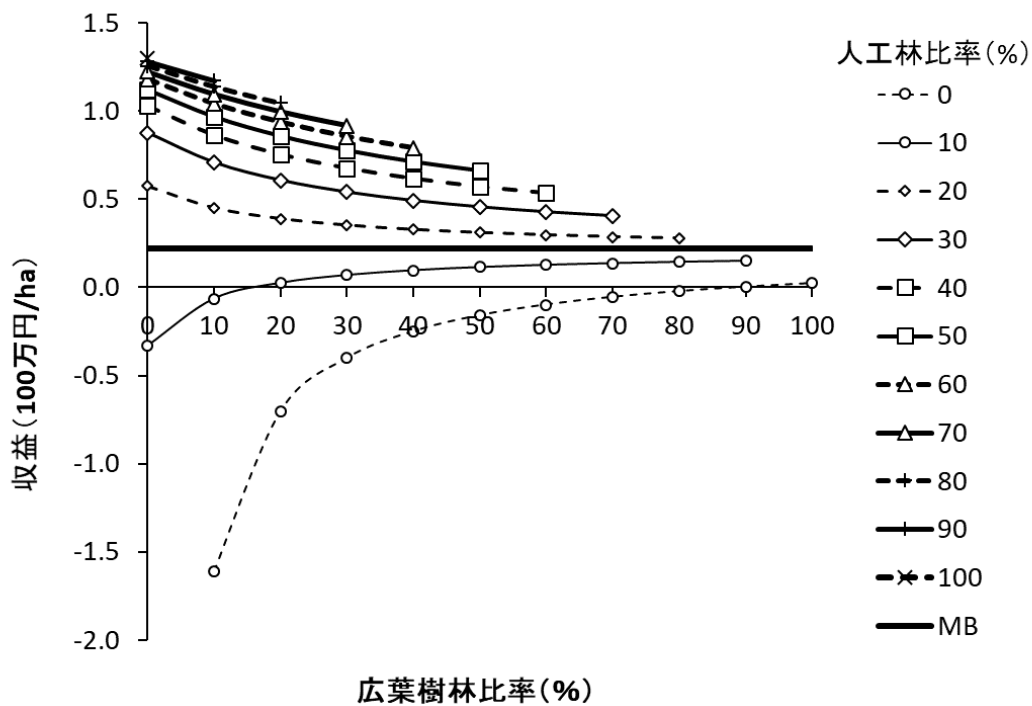


図 4-6. 伐区単位面積あたりの平均収益（生産性 1.49 倍）

注）図 4-4 と同様。

#### 4-3-3 伐出対象人工林面積あたりの平均収益性

伐出対象人工林面積あたり平均収益 ( $B_{A,N}$ ) の算出結果を図 4-7～図 4-9 に示す。 $B_{A,N}$  は、総収益をすべて人工林が植栽されていた面積に還元したときの面積当たりの平均収益を示す。この値が造林・保育費を賄えれば再造林が可能となり、持続可能な森林経営が可能となる。

$B_{A,N}$  の平均収益曲線は直線となる。これは、この曲線の傾きが限界収益 ( $MB$ ) と広葉樹林の集材対象面積 ( $A_L$ ) の水準に規定されており、ともに一定の値をとるからである。その傾きは、 $B_{A,N}$  を  $A_L$  で偏微分した次式で表せる。

$$\begin{aligned} \partial B_{A,N} / \partial A_L &= (1 / A_N) \cdot (\partial B / \partial A_L) \\ &= MB / A_N \end{aligned} \quad (20)$$

ここで、 $MB$  は(15)式からわかるように一定値をとり、 $A_N$  もパラメータであり、やは



り一定である。また、 $MB$ が正なら平均収益曲線の傾きは正となり、負なら傾きは負となる。また、人工林の面積 ( $A_N$ ) が小さければ小さいほど、傾きは大きくなる。

図 4-7 では、集造材作業の生産性 ( $P_{LPN}$ ,  $P_{LPL}$ ) がコレクター集材実績値の 1.00 倍と低く想定されている。このため、 $MB$ の水準は負の値をとる。従って、 $B_{AN}$ の傾きも負となっている。また、造林・保育費を賄える平均収益曲線はない。すなわち、この条件下では、持続可能な森林経営は望めないことになる。図 4-8 では、集造材作業の生産性 ( $P_{LPN}$ ,  $P_{LPL}$ ) は皆伐で実現されると推定される生産性の 1.24 倍が想定されている。このため、 $MB$ は正となり、いずれの平均収益曲線も右上がりの形状に転じている。ここでは、伐出対象人工林面積あたり平均収益 ( $B_{AN}$ ) は人工林率 10 %以外のすべての曲線で広葉樹林の伐採比率に関わらず正となっている。しかし、造林・保育費を賄える組み合わせは一部であり、この条件下でも持続可能な森林経営は難しいと言える。集造材作業の生産性を 1.49 倍と想定した図 4-9 では、人工林比率が 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。さらに、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目標平均収益が実現できるようになる。

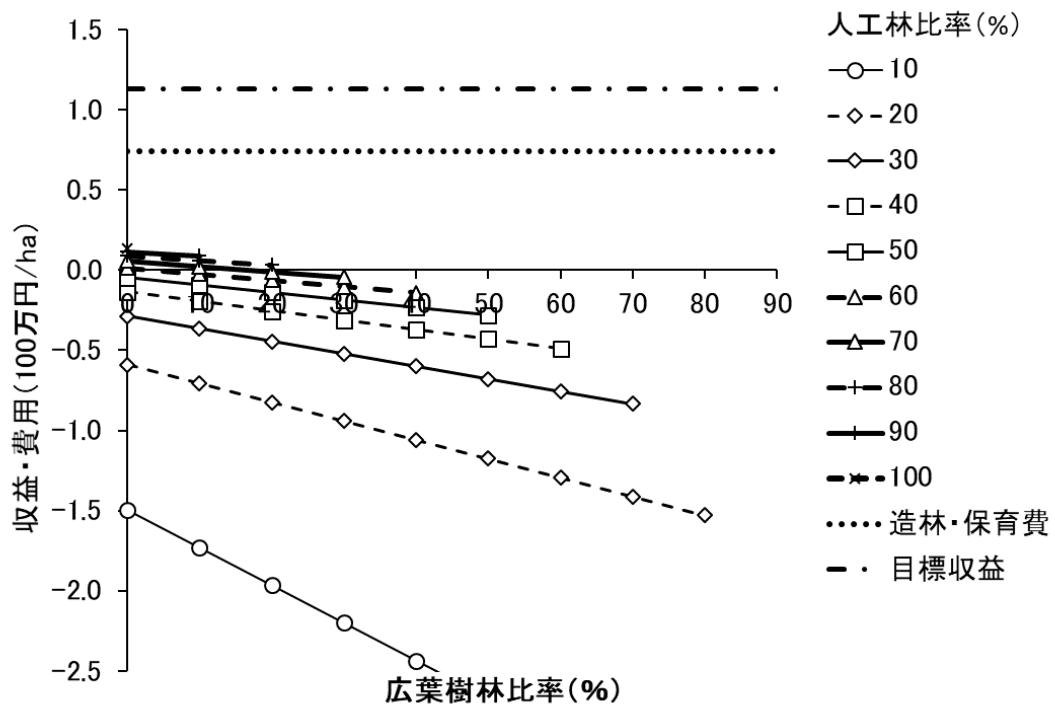


図 4-7. 伐区内の人工林単位面積あたりの平均収益（生産性 1.00 倍）

注) 皆伐を想定し、集造材の生産性をコレクター集材による間伐実績（鈴木ら 2011）から調整した場合。造林・保育費には補助金を含む。

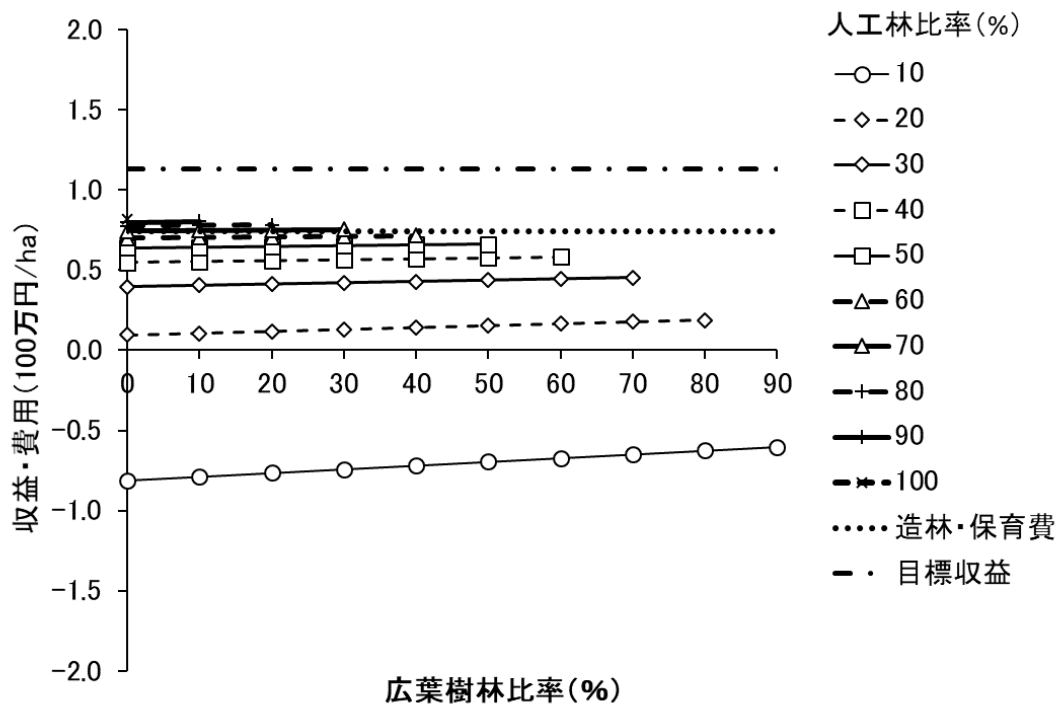


図 4-8. 伐区内の人工林単位面積あたりの平均収益（生産性 1.24 倍）

注) 図 4-7 と同様。

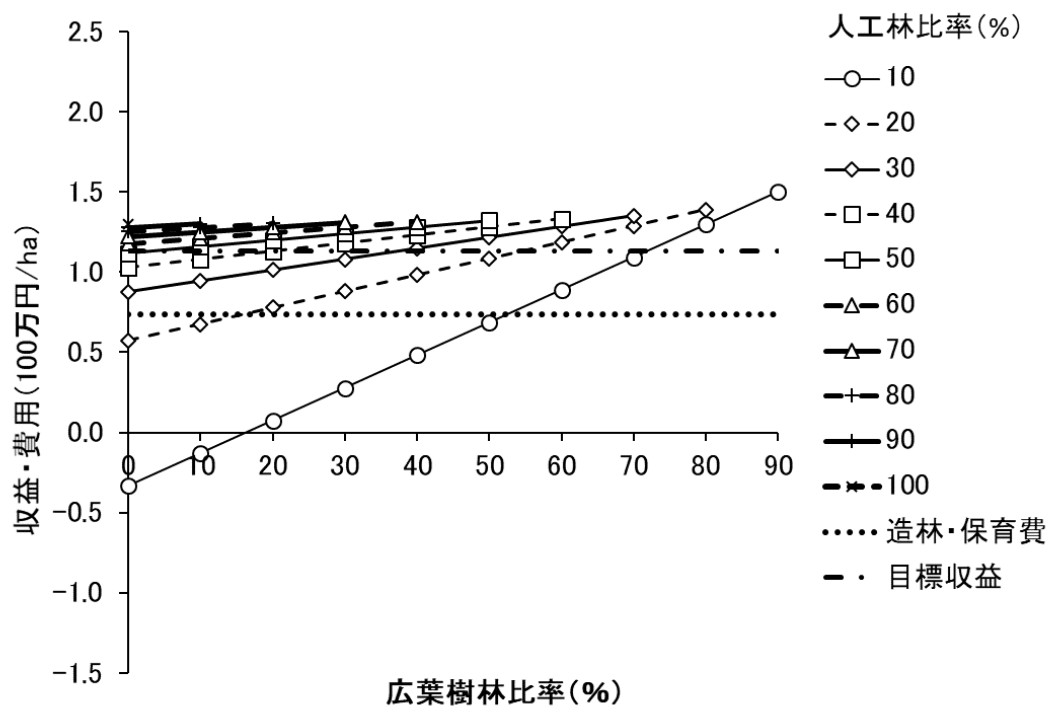


図 4-9. 伐区内の人工林単位面積あたりの平均収益（生産性 1.49 倍）

注) 図 4-7 と同様。

#### 4-4 おわりに

本章では、広葉樹林と人工林を同時に収穫し、建築用材とともに燃材を確保するという施業モデルについてその収益性を検討した。その結果、集造材作業の生産性が、皆伐で実現されると推定される生産性の上限の水準にあつて、人工林の伐採率が30%以上であれば持続可能な経営が可能と考えられた。また、伐出対象林の面積あたりの平均収益は、広葉樹林伐採に伴う限界収益と各平均収益曲線の始点の位置が構造を決めることが明らかとなった。広葉樹林の伐採量を増やすと伐出対象林の面積あたりの平均収益は限界収益の水準に漸近するため、この2つの情報で収益構造を概観的に知ることが可能である。また、伐出対象人工林面積あたり平均収益についても各平均収益曲線の始点を計算したのちに、それぞれの直線の傾きを人工林の集材対象面積で限界収益を除いて算出すれば、収益性を推定できる。以上のことから、平均収益曲線の始点と限界収益は同時伐採方式の平均収益性を決める極めて重要な指標であることが明らかとなった。

今後解決すべき課題としては、広葉樹林について実績データによる設定値を精査して、より妥当な値にすることがある。また、実際の蓄積量や残材発生率について実績値を集めより根拠のある数値にすること等によるモデルの全体としての精度の向上、より長い支間長や横取り幅に対応できるようモデルを改良して汎用性を高めることなどが挙げられる。なお、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（津布久 2017）。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。

## 引用文献

- [1] 赤熊恵理・有賀一広・奥山智洋. 2017. 栃木県県北地域における皆伐再造林の収支分析. 宇大演報 53 : 69~77.
- [2] 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.
- [3] 郡司峻・山本嵩久・有賀一広・仲畑力・斎藤仁志. 2017. 栃木県宇都宮市における皆伐再造林の生産性とコスト. 宇大演報 53 : 15~26.
- [4] 濱野英太郎・遠藤日雄. 2010. 外材に対抗できる国産材製材工場のビジネスモデルの研究. 九州森林研究 53 : 1~4.
- [5] 入江賢治. 2010. 山元からの運搬コスト縮減について. オンライン.  
[http://www.rinya.maff.go.jp/j/kensyuu/pdf/seika\\_2009\\_02.pdf](http://www.rinya.maff.go.jp/j/kensyuu/pdf/seika_2009_02.pdf) (2018年11月11日閲覧).
- [6] Jylhä, P. and Bergström, D. 2016. Productivity of harvesting dense birch stands for bioenergy. Biomass Bioenerg. 88: 142-151.
- [7] 川崎章恵. 2017. 木材需要拡大期における原木流通構造の変容および森林組合の現状 - 九州地方を事例に -. 林業経済研究 63 (1) : 15~24.
- [8] 高知県 林業振興・環境部 森づくり推進課. 2007. スギ民有林収穫表. ヒノキ民有林収穫表. オンライン.  
[http://www.pref.kochi.lg.jp/soshiki/030201/files/2012030100634/2012030100634\\_www\\_pref\\_kochi\\_lg\\_jp\\_uploaded\\_attachment\\_36922.pdf](http://www.pref.kochi.lg.jp/soshiki/030201/files/2012030100634/2012030100634_www_pref_kochi_lg_jp_uploaded_attachment_36922.pdf) (2017年12月27日閲覧).
- [9] 高知県 林業振興・環境部 森づくり推進課. 2017. 森林簿.
- [10] 高知新聞. 2016. 高知県内の木質バイオマス発電が稼働1年11万トン燃料に. オンライン. <https://www.kochinews.co.jp/article/1155/> (2017年7月30日閲覧).
- [11] Labelle, E.R., Soucy, M., Cyr, A. and Pelletier, G. 2016. Effect of tree form on the productivity of a cut-to-length harvester in a hardwood dominated stand. Croat. J. For. Eng. 37 (1): 175-183.
- [12] Labelle, E.R., Bergen, M. and Windisch, J. 2017. The effect of quality bucking and automatic bucking on harvesting productivity and product recovery in a pine-dominated stand. Euro. J. For. Res. 136 (4): 639-652.
- [13] Liepiņš, K., Lazdiņš, A., Liepiņš, J. and Prindulis, U. 2015. Productivity and Cost-Effectiveness of Mechanized and Motor-Manual Harvesting of Grey Alder

- (*Alnus incana* (L.) Moench): A Case Study in Latvia. *Small-scale For.* 14 (4): 493-506.
- [14] 中山哲之助. 1985. 広葉樹用材の利用と流通. 111pp, 都市文化社, 東京.
- [15] Norihiro, J., Ackerman, P., Spong, B.D. and Längin, D. 2018. Productivity model for cut-to-length harvester operation in South African eucalyptus pulpwood plantations. *Croat. J. For. Eng.* 39 (1): 1-13.
- [16] 農林水産省. 2015. 小規模な木質バイオマス発電の推進について. オンライン.  
[http://www.meti.go.jp/committee/chotatsu\\_kakaku/pdf/017\\_01\\_00.pdf](http://www.meti.go.jp/committee/chotatsu_kakaku/pdf/017_01_00.pdf) (2017年12月9日閲覧).
- [17] 林野庁. 2013. 平成24年度森林・林業白書. オンライン.  
[http://www.rinya.maff.go.jp/j/kikaku/hakusyo/24hakusyo\\_h/all/index.html](http://www.rinya.maff.go.jp/j/kikaku/hakusyo/24hakusyo_h/all/index.html)  
(2017年12月9日閲覧).
- [18] 林野庁. 2014. 平成25年度森林・林業白書. オンライン.  
<http://www.rinya.maff.go.jp/j/kikaku/hakusyo/25hakusyo/index.html> (2018年4月30日閲覧).
- [19] 林野庁. 2015. 平成26年度森林・林業白書. オンライン.  
<http://www.rinya.maff.go.jp/j/kikaku/hakusyo/26hakusyo/index.html> (2018年4月30日閲覧).
- [20] 林野庁. 2016. 平成27年度森林・林業白書. オンライン.  
<http://www.rinya.maff.go.jp/j/kikaku/hakusyo/27hakusyo/index.html> (2018年4月30日閲覧).
- [21] 林野庁. 2017a. 平成28年度森林・林業白書. オンライン.  
<http://www.rinya.maff.go.jp/j/kikaku/hakusyo/28hakusyo/index.html> (2018年4月30日閲覧).
- [22] 林野庁. 2017b. 規制改革推進室から依頼のあった項目についての説明資料, オンライン.  
<http://www8.cao.go.jp/kisei-kaikaku/suishin/meeting/wg/nourin/20170920/170920nourin02.pdf> (2018年11月11日閲覧).
- [23] 佐藤宣子・中川遼・正垣裕太郎. 2016. 木質バイオマス発電所稼働後の素材生産事業体の経営動向 - 大分県日田地域を事例に -. *林業経済研究* 62 (1): 108~115.
- [24] Spinelli, R., Magagnotti, N. and Schweier, J. 2017. Trends and perspectives in coppice harvesting. *Croat. J. For. Eng.* 38 (2): 219-230.

- [25] 杉澤寿. 2013. 広葉樹二次林の木材利用の可能性について～能代周辺を例として～. オンライン. <http://www.rinya.maff.go.jp/j/kensyuu/pdf/sugisawa.pdf> (2014年10月8日閲覧).
- [26] 鈴木保志・近藤稔・吉村哲彦. 2005. H型架線の支点設置可否と崩壊危険度および関連地形因子との関係. 日林誌 87 (3) : 208～216.
- [27] 鈴木保志・後藤純一・杉本純佑・山崎敏彦・山口達也・中屋貴・戸田篤. 2011. コレクター集材による間伐作業の生産性・経済性と残存木損傷. 森利誌 26 (3) : 163～172.
- [28] 鈴木保志・山崎真・渡辺直史・福田雄治. 2016. 木質バイオマス事業への供給を想定した架線集材による広葉樹皆伐作業の生産性と収支. 森利誌 31 (2) : 85～91.
- [29] 鈴木保志・有賀一広・吉岡拓如・當山啓介・斎藤仁志・白澤紘明・山崎真. 2017. 高知県における木質バイオマス発電の現状と課題. 日林誌 99 (6) : 272～277.
- [30] 當山啓介・龍原哲・白石則彦. 2012. 多様な条件下でのシミュレーションによるスギ人工林の伐期と間伐体系の検討. 日林誌 94 (6) : 269～279.
- [31] 當山啓介・有賀一広・鈴木保志. 2017. 木質バイオマス需要と最適伐期, 最適間伐体系の関係ー栃木県北地域をモデルとしてー. 日林誌 99 (6) : 251～258.
- [32] 津布久隆. 2017. 木材とお宝植物で収入を上げる高齢里山林の林業経営術. 157pp, 全国林業改良普及協会, 東京.
- [33] 梅田三樹男・辻隆道・井上公基. 1982. 標準功程表と立木評価. 140pp, 日本林業調査会, 東京.
- [34] 全国木材チップ工業連合会. 2015. 木材チップの換算係数. オンライン. <http://zmchip.com/249chipkansan.pdf> (2017年12月25日閲覧).
- [35] 全国林業改良普及協会編. 2001. 機械化のマネジメント. 239pp, 全国林業改良普及協会, 東京.



# 第5章 GISを用いた針・広葉樹林の同時伐採適地選定手法の開発

## 5-1 はじめに

本章の分析は、本論文の第4の課題に対応する。すなわち、高知市北部地域（旧土佐山村）をフィールドにして、同時伐採モデルを適用することで、収益性を確保できる林分および人工林の再造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。同時伐採モデルの実施可能な林分を特定する作業と言い換えてもよい。

## 5-2 研究方法

### 5-2-1 分析対象

本分析では、高知市の森林を分析対象とする。高知市の森林は総土地面積の55%を占める。また、森林面積の47%は広葉樹林である。この広葉樹林は、近年そのほとんどが未利用のまま放置され、その材積は95.2万 $m^3$ （うち93.7%は林齢50年以上）に達している。さらに同市では森林面積の47%を占める人工林も蓄積が進み、スギ282.4万 $m^3$ 、ヒノキ103.7万 $m^3$ の材積のうち、それぞれ77.2%、65.6%が林齢50年以上と利用の時期を迎えている（高知県 林業振興・環境部 森づくり推進課 2017）。

高知市内には2015年に未利用木質発電プラントが設置されている。その規模は6.25 MWであり、年間7~8万tの燃材が使用されている。

以上のように、高知市では成熟した人工林と広葉樹林が混在し、かつ大規模な発電用燃料としての木材需要が存在することから、同時伐採モデルの有効性を検証するための適地といえる。

実施可能性の検証は、高知市の中でも北部の土佐山地区（旧土佐山村）とした。この地区は林分が豊富であるとともに、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（高知県 林業振興・環境部 森づくり推進課 2017）。

### 5-2-2 分析対象伐出対象林分の特定と収益性算出の手順

分析は次の4つのステップからなる。

- 1) 同時伐採モデルの集材範囲を考慮した伐出林分の特定。
- 2) 道路へのアクセス条件および規模制約の追加。

- 3) 林分毎の収益性計算と地図表示。
- 4) 木質資源の供給可能量の推定。

1) では、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、集水域ポリゴンを用いて対象林分を特定した。2) では、伐出の際にトラックで運搬することを仮定し、集水域ポリゴンが 3 m 道路に隣接していることを条件として加えた。また、同時伐採モデルでの集材面積を超える集水域ポリゴンのみに分析対象を絞り込んだ。3) では、残った集水域ポリゴン（林分）のヘクタール当たりの収益性を分析した。その際、保安林などの伐採制限や樹齢を考慮して伐採面積や樹種を確定した。4) では、一定の収益性が確認された林分について、製材用材、および、燃材としての供給可能量を算出した。

以下では、4つのステップについて、順に実際の作業手順を示す。

### 5-2-3 同時伐採モデルの架線範囲を考慮した伐出林分の特定

一般的な林分区分としては林班、小班がある。このうち、土佐山地区の小班の平均面積は約 21ha、また、林班の場合は平均約 79 ha となっている。同時伐採モデルでは 1 架設あたりの集材面積を 6 ha としており、林班および小班の平均値はいずれもこの値を大きく上回っている。そこで、本分析では比較的自由に面積を設定できる集水域ポリゴンの設定手法に着目して、伐出対象林分の設定を行うことにした（相馬ら 2014）。また、集水域ポリゴンを用いるとポリゴン内では、谷筋にエリアを設定することから主索と地面からの距離が確保しやすくなり、集材作業が容易になる利点がある。

伐出林分としての集水域ポリゴンを特定する作業は以下の手順で行った<sup>7)</sup>。

まず、当該地域の標高データ（5 m メッシュ）を国土地理院（オンライン）「基盤地図報数値標高モデル」より入手した。このデータをエコリス（オンライン）「基盤地図情報標高 DEM 変換ツール（エコリスが提供する基盤地図情報 標高 DEM データ変換ツール）より平面直角座標の GeoTIFF 形式に変換したのちに、QGIS にプラグインされている GRASS のモジュール `r.watershed` を用いて集水域ポリゴンを特定した。このモジュールでは、集水域ポリゴンの大きさを周長で調節できる。そこで、当該モデルの集材範囲（6 ha：支間長 500 m、横取り幅 60 m（両側 120 m））の周長が 1,240 m（（500

---

<sup>7)</sup> なお、以下の作業では、地理座標系をすべて EPSG:2446-JGD2000/japan plane Rectangular CSIV に統一している。

m+120 m) ×2) であることを考慮し、最小周長 (minimum size of exterior watershed basin) を、1,240 m, 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た。

#### 5-2-4 道路へのアクセス条件および規模制約の追加

最小周長を変化させて作成した集水域ポリゴンのうち、幅員 3 m 以上の道路 (以下、道路) から左右 500 m の範囲内にその一部或いは全部が含まれる集水域ポリゴンだけを抽出した。これはすでに述べたようにトラックへの積込みが直接できる範囲に伐出対象を限定するためである。

抽出した集水域ポリゴンから、同時伐採モデルの集材面積 6 ha 以上の集水域ポリゴンが最も多くなる最小周長を求めて伐出対象林分とした。なお、同時伐採モデルの想定集材面積 (6 ha) に満たない集水域ポリゴンは分析対象から排除した。

道路情報は、ArcGIS Geo Suite : 道路網 (高知県) から土佐山地区の道路を抽出した。その上で、この道路から 500 m のバッファを発生・融合させた。この道路レイヤと集水域ポリゴンのレイヤを交差させて、道路へのアクセス条件を反映させた。この交差には QGIS にプラグインされている SAGA のモジュール交差を用いた。

#### 5-2-5 林分毎の収益性計算と地図表示

同時伐採モデルによれば、1 ha 当たりの収益は (1) 式で求めることができる。この式を同時伐採が可能な林分に適用すれば、その林分の収益性や人工林の再造林の費用を補える収益が確保できるかを判断できる。

$$B_{A.N} = \left( I_N + I_{R.N} \cdot R_N - \frac{E_F}{P_{F.N}} - \frac{E_{L.P}}{P_{L.P.N}} - C_T \right) S_N + \left( I_L + I_{R.L} \cdot R_L - \frac{E_F}{P_{F.L}} - \frac{E_{L.P}}{P_{L.P.L}} - C_T \right) \frac{S_L \cdot T_L}{T_N} - \frac{C_{R1}}{A \cdot T_N} \quad (1)$$

ここで、それぞれの記号意味は次の通りである。

$B_{A.N}$  : 伐出対象人工林面積あたりの平均収益 (円/ha)

$I_N$  : 針葉樹建築用材の販売単価 (円/m<sup>3</sup>)

$I_{R.N}$  : 針葉樹残材の販売単価 (円/t)

$R_N$  : 針葉樹残材の発生割合 (建築用材材積あたり, t/m<sup>3</sup>)

$E_F$  : 伐木作業の組時間費用 (円/組時)

$P_{F,N}$  : 伐木作業の生産性 (針葉樹) ( $\text{m}^3/\text{組時}$ )  
 $E_{L,P}$  : 集造材作業の組時間費用 (円/組時)  
 $P_{L,P,N}$  : 集造材作業の生産性 (針葉樹) ( $\text{m}^3/\text{組時}$ )  
 $C_T$  : 材積あたり運材経費 (円/ $\text{m}^3$ )  
 $S_N$  : 人工林の平均蓄積 ( $\text{m}^3/\text{ha}$ )  
 $L$  : 広葉樹材の販売単価 (円/ $\text{m}^3$ )  
 $I_{R,L}$  : 広葉樹残材の販売単価 (円/t)  
 $R_L$  : 広葉樹残材の発生割合 (幹材積あたり,  $\text{t}/\text{m}^3$ )  
 $P_{F,L}$  : 伐木作業の生産性 (広葉樹) ( $\text{m}^3/\text{組時}$ )  
 $P_{L,P,L}$  : 集造材作業の生産性 (広葉樹) ( $\text{m}^3/\text{組時}$ )  
 $S_L$  : 広葉樹林の平均蓄積 ( $\text{m}^3/\text{ha}$ )  
 $T_L$  : 伐出対象林面積あたりの広葉樹林集材面積 (%)  
 $T_N$  : 伐出対象林面積あたりの人工林集材面積 (%)  
 $C_{R1}$  : 1 架設あたり架設撤去経費 (円)

このうち、人工林の平均蓄積  $S_N$  ( $\text{m}^3/\text{ha}$ )、広葉樹林の平均蓄積  $S_L$  ( $\text{m}^3/\text{ha}$ ) は、対象地域(高知市土佐山地区)の森林簿(高知県 林業振興・環境部 森づくり推進課 2017)のデータを用いた。また、伐出対象林面積あたりの広葉樹林集材面積  $T_L$  (%)、伐出対象林面積あたりの人工林集材面積  $T_N$  (%) は、集水域ポリゴン毎に求めた。 $T_L$  および  $T_N$  の計算には、土佐山地区の森林計画図(電子データ)および森林簿(電子データ)にある森林区分・施業番号および施業枝番のデータを用いた<sup>8)</sup>。計算の手順は次の通り、まず、集水域ポリゴン毎に総面積を算出する。次に、施業番号および施業枝番のポリゴンと集水域ポリゴンを交差し、集水域ポリゴン内の施業番号および施業枝番のポリゴンから人工林面積と広葉樹林面積を積算する。それぞれの面積を集水域ポリゴンの総面積で除して、 $T_L$  と  $T_N$  の値を得る。

このほかの係数は、第 3 章で述べたと同様の手順で推計した。

これらの係数を (1) 式に挿入して収益を求め、伐出対象林毎に収益がプラスになるか、再造林費用が賄える収益があるかを判断した。再造林費用は植栽から 50 年生までの造林・保育にかかる経費(約 231 万円/ha, 林野庁 2013)から一般的な造林補助率

<sup>8)</sup> これらのデータは、高知県林業振興・環境部より森林計画関係付属資料交付申請をして入手した(2017)。ただし、森林簿の所有者、所有者住所などの個人情報を除く。

68%（當山ら 2012）を控除した森林所有者負担額 74 万円/ha を計上した。また、スギ人工林を 50 年生で主伐した場合の立木販売収益 113 万円/ha（林野庁 2013, 2014, 2015, 2016, 2017 の平均）以上の収益が確保できるかどうかについても検討した。

得られた収益によって集水域ポリゴンの色を区分して、地図上に表示した。

### 5-2-6 木質資源の供給可能量の推定

上記分析から求めた  $T_L$  および  $T_N$  を基に、(2)、(3) 式を用いて、対象地域における建築用材と燃材の供給可能総量を試算した。これは、この地域からどれだけの木材を生産できるかの潜在能力を示す指標となる。

$$P_A = \sum_{i=1}^n (A \cdot T_N \cdot S_N) \quad (2)$$

$$P_F = \sum_{i=1}^n \{ (A \cdot T_L \cdot S_L \cdot C) + (A \cdot T_N \cdot S_N \cdot R_N) + (A \cdot T_L \cdot S_L \cdot R_L) \} \quad (3)$$

ここで、それぞれの記号の意味は次の通りである。

$P_A$  : 建築用材の供給可能量 ( $\text{m}^3$  / 対象地域)

$i$  : 伐出対象林 (集水域ポリゴンあたり)

$n$  : 対象となる集水域ポリゴンの数 (個)

$A$  : 1 架設あたり最大集材面積 (ha)

$T_N$  : 伐出対象林面積あたりの人工林集材面積 (%)

$S_N$  : 人工林の平均蓄積 ( $\text{m}^3$  / ha)

$P_F$  : 燃材の供給可能量 (t / 対象地域)

$T_L$  : 伐出対象林面積あたりの広葉樹林集材面積 (%)

$S_L$  : 広葉樹林の平均蓄積 ( $\text{m}^3$  / ha)

$C$  : 換算係数 (t /  $\text{m}^3$ )

$R_N$  : 針葉樹残材の発生割合 (建築用材材積あたり, t /  $\text{m}^3$ )

$R_L$  : 広葉樹残材の発生割合 (幹材積あたり, t /  $\text{m}^3$ )

このうち、 $A$  は 6 ha、 $C$  (換算係数) は 1.3 t /  $\text{m}^3$  (全国木材チップ工業連合会オンライン) である。

## 5-3 分析結果

### 5-3-1 集水域ポリゴンの作成

QGISの「r.watershed」モジュールを用いて、最小周長を1,240 m, 1,860 m, 2,480 m, 3,720 m, 4,960 mに変化させて、土佐山地区内の集水域ポリゴンを作成した。図5-1は最小周長1,860 mの時の集水域ポリゴンである。



図 5-1. 集水域ポリゴンの作成（最小周長 1,860 m）

### 5-3-2 道路へのアクセス条件および規模制約の追加

土佐山地区における 3 m 以上の道路の分布は、図 5-2 の通りである。この道路を元に道路から左右 500 m の範囲のバッファを発生させた。



図 5-2. 土佐山地区における道路分布（幅員 3 m 以上）

このバッファと最小周長を 1,240 m, 1,860 m, 2,480 m, 3,720 m, 4,960 m に変化させて作成した集水域ポリゴンを交差した。図 5-3 は最小周長 1,860 m の時の結果である。さらに、集水域ポリゴン毎に面積を測定し、6 ha 未満の集水域ポリゴンを削除した。ここでは、各集水域ポリゴン内には 1 つの架線を張るという前提で計算を行っている。したがって、ポリゴン数が多いほど集材量は高まる。そこで、集水域ポリゴンの個数を最大化する最小周長 1,860 m を選んで以下の分析対象とした（図 5-4 参照）。この時、集水域ポリゴンの個数は 295 個、総面積は 3,290.1 ha となる。なお、この集水域ポリゴンで、6 ha 未満の集水域ポリゴンを除去する前後を比較すると、個数では 77.3 %、面積では 29.8 %の減少となった。



図 5-3. 集水域ポリゴンと道路からのバッファの交差結果（最小周長 1,860 m）





図 5-4. 6 ha 以上の集水域ポリゴンの分布（最小周長 1,860 m）

### 5-3-3 林分毎の収益性計算と地図表示

施業番号および施業枝番のポリゴンを集水域ポリゴンと交差させた結果を図 5-5 に示す。集水域ポリゴン内の施業番号および施業枝番のポリゴンから人工林面積と広葉樹林面積を積算し、それぞれの面積を集水域ポリゴンの総面積で除した  $T_L$  と  $T_N$  の値を (1) 式に代入した。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、総面積は 2222.0 ha となった。これを 6 ha 未満の集水域ポリゴンを除去する前と比較すると、個数では 84.8%，面積では 52.6 %の減少となった。こうして得られたのが図 5-6 であり、これらの集水域ポリゴンは同時伐採モデルが適用できる候補地とみなすことができる。

ただし、あくまでも候補地であり、実際の利用にあたっては現地の状況を確認の上で、その適用について十分に検討する必要がある。



図 5-5. 集水域ポリゴン内に取り込まれた施業番号および施業枝番のポリゴン (最小周長 1,860 m)

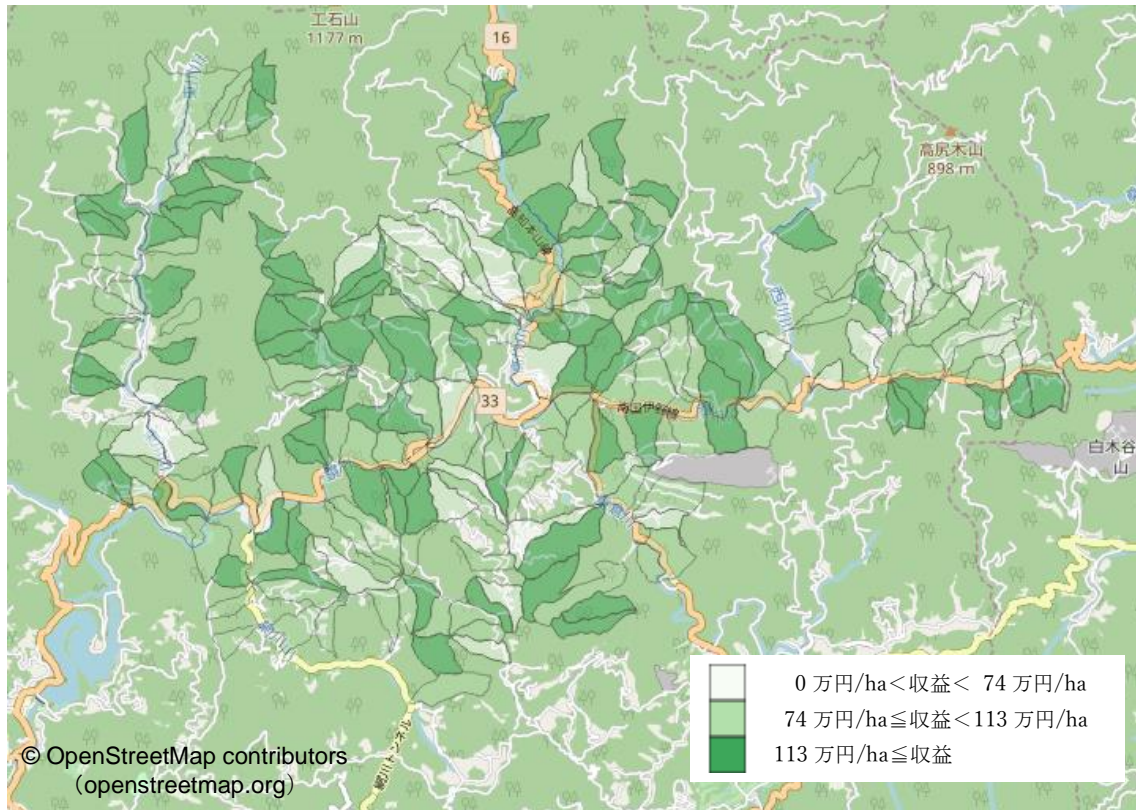


図 5-6. 対象地域における同時伐採の候補地（最小周長 1,860 m）

注) 背面の地図は、QGIS のプラグインである OpenLayers plugin を用いて、OpenStreetMap を表示している。

#### 5-3-4 木質資源の供給可能量の推定

以上の結果から、対象地域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 m<sup>3</sup>、燃材 154,056 t と推算された。これは、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。

#### 5-4 まとめ

本章では、高知市北部地域（旧土佐山村）をフィールドにして、どの林分で同時伐採モデルが適用可能かを検討した。すなわち、収益性を確保できる林分および人工林の再造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を試みた。その結果、同時伐採モデルによって地理空間上で同時伐採の適地候補地を特定することが可能であることを明らかになった。

本モデルを活用することで、建築用材等の燃材化の抑制とともに、森林資源の有効利用が進むことが期待される。

## 引用文献

- [1] エコリス. 基盤地図情報 標高 DEM データ変換ツール. オンライン.  
<http://www.ecoris.co.jp/contents/demtool.html> (2018年7月14日閲覧).
- [2] ESRI ジャパン. ArcGIS データコレクション 道路網 都府県版 (2-4) 高知県版.
- [3] 福田雄治・鈴木保志・大崎優・飯國芳明. 投稿中. 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 - .
- [4] 高知県 林業振興・環境部 森づくり推進課. 2017. 森林簿.
- [5] 国土地理院. 基盤地図情報ダウンロードサービス. オンライン.  
<https://fgd.gsi.go.jp/download/menu.php> (2018年7月14日閲覧).
- [6] 林野庁. 2013. 平成 24 年度森林・林業白書. オンライン.  
[http://www.rinya.maff.go.jp/j/kikaku/hakusyo/24hakusyo\\_h/all/index.html](http://www.rinya.maff.go.jp/j/kikaku/hakusyo/24hakusyo_h/all/index.html)  
(2017年12月9日閲覧).
- [7] 林野庁. 2014. 平成 25 年度森林・林業白書. オンライン.  
<http://www.rinya.maff.go.jp/j/kikaku/hakusyo/25hakusyo/index.html> (2018年4月30日閲覧).
- [8] 林野庁. 2015. 平成 26 年度森林・林業白書. オンライン.  
<http://www.rinya.maff.go.jp/j/kikaku/hakusyo/26hakusyo/index.html> (2018年4月30日閲覧).
- [9] 林野庁. 2016. 平成 27 年度森林・林業白書. オンライン.  
<http://www.rinya.maff.go.jp/j/kikaku/hakusyo/27hakusyo/index.html> (2018年4月30日閲覧).
- [10] 林野庁. 2017. 平成 28 年度森林・林業白書. オンライン.  
<http://www.rinya.maff.go.jp/j/kikaku/hakusyo/28hakusyo/index.html> (2018年4月30日閲覧).
- [11] 相馬夏美・澤口勇雄・立川史郎・佐々木一也. 2014. 岩手県における木質バイオマスの供給ポテンシャルの経済的評価. 平成 25 年度 森林・林業技術交流発表集 : 34 ~ 37.
- [12] 當山啓介・龍原哲・白石則彦. 2012. 多様な条件下でのシミュレーションによるスギ人工林の伐期と間伐体系の検討. 日林誌 94 (6) : 269~279.
- [13] 全国木材チップ工業連合会. 木材チップの換算係数. オンライン.  
<http://zmchip.com/249chipkansan.pdf> (2017年12月25日閲覧).

## 終章 要約と結論

我が国では FIT 制度によってマテリアル用材の燃材化が進展している。その理由は、同制度では特定の森林から適切に設定された施業規範等に従い伐採、生産された木材であれば建築用材として利用可能な木材も、同制度における未利用木材に含まれるためである。

そこで、本研究では分析課題を、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材となるのか、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に設定した。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関数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、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。

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く、プラント規模に関して逡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基に同時推定式で特定した。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推算された。
- 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)) のため、QGIS の「r.watershed」モジュールにて、最小周長を 1,240 m ((500 m+120 m) ×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 未満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、収益がプラスになる林分の総面積は 2,222.0 ha となった。この結果を集水域ポリゴンに反映させることで、地理空間上で同時伐採の適地候補地を特定できた。ただし、あくまでも候補地であり、実際の利用にあたっては現地の状況を確認の上で、その適用について十分に検討する必要がある。
- 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 m<sup>3</sup>, 燃材 154,056 t と推算された。これは、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。



残された課題は、同時伐採モデルについて、広葉樹林の実績データによる設定値を精査して、より妥当な値にすることがある。また、実際の蓄積量や残材発生率について実績値を集めより根拠のある数値にすること等によるモデルの全体としての精度の向上、より長い支間長や横取り幅に対応できるようモデルを改良して汎用性を高めることなどが挙げられる。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

国産広葉樹材の需要量はこの 30 年間で 5 分の 1 程度まで減少（林野庁 2012）しており、供給を増やすためのストックは十分に見込まれる。また、広葉樹の場合には建築用木材などの高価な材との結合生産はほとんどなく、チップ市場の価格が供給量を決める機構を有している。したがって、発電プラント内に広葉樹燃材の比率を高めれば、建築用材や製紙向けのチップ用材等のマテリアル用材が燃材として流れ込むことを抑制することが期待できる。さらに、環境省（2009）では、広葉樹二次林が燃料として利用されなくなったことから、自然環境の荒廃、里山特有の生物の生息域の消滅と生物種の減少、国土保全機能の低下による災害発生、水源涵養機能の低下等の問題が生じていることを指摘しており、その改善も期待できる。広葉樹を発電用燃料として利用することは、FIT 制度によるマテリアル用材の燃材化を抑制するだけでなく、環境と経済が両立する持続可能な社会づくりに大きく寄与する可能性を秘めている。

なお、同時伐採モデルの適用には一定の森林面積が必要となる。しかし、民有林のうち、都道府県、市区町村等が保有する山林を除いた私有林の所有者は 1~5 ha という小規模な階層に集中（林野庁 2002）する一方で、既に林地の 25.6%は所有者不在土地との報告もある（所有者不明土地問題研究会 2017）。モデルの適用、さらには森林の適切な管理を推進する前提として所有者不在土地対策を早急に進める必要がある。

また、当該モデルの適用にあたっては、伐採地がシカの餌場とならないよう、シカの食害対策についても十分に検討しておく必要がある。

## 引用文献

- [1] 環境省. 2009. 里地里山保全・活用検討会議 平成 21 年度第 1 回検討会議資料 資料 3 里地里山の現状と課題について.  
[http://www.env.go.jp/nature/satoyama/conf\\_pu/21\\_01/shiryo3.pdf](http://www.env.go.jp/nature/satoyama/conf_pu/21_01/shiryo3.pdf) (2018 年 8 月 11 日閲覧).
- [2] 林野庁. 2002. 平成 13 年度森林・林業白書. オンライン.  
<http://www.rinya.maff.go.jp/seisaku/sesakusyoukai/13hakusyo/mokuji.htm>  
(2019 年 2 月 1 日閲覧).
- [3] 林野庁. 2012. 平成 23 年度森林・林業白書. オンライン.  
[http://www.rinya.maff.go.jp/j/kikaku/hakusyo/23hakusyo\\_h/all/index.html](http://www.rinya.maff.go.jp/j/kikaku/hakusyo/23hakusyo_h/all/index.html)  
(2017 年 12 月 19 日閲覧).
- [4] 所有者不明土地問題研究会. 2017. 所有者不明土地問題研究会最終報告～眠れる土地を使える土地に「土地活用革命」～.  
[http://www.kok.or.jp/project/pdf/fumei\\_land171213\\_03.pdf](http://www.kok.or.jp/project/pdf/fumei_land171213_03.pdf) (2019 年 2 月 1 日閲覧).
- [5] 津布久隆. 2017. 木材とお宝植物で収入を上げる高齢里山林の林業経営術. 157pp, 全国林業改良普及協会, 東京.

## 謝 辞

本研究は、著者が高知大学大学院 総合人間自然科学研究科 黒潮圏総合科学専攻の在学中に、同大学教育研究部総合科学系 黒潮圏科学部門 飯國芳明教授のご指導のもとに行ったものです。

本論文を結ぶにあたり、本研究を遂行する上でご指導、ご鞭撻とご援助をいただいた方々に感謝の意を表します。主指導教官である飯國芳明教授には、本研究の構想から課題設定、分析、論文作成に至るまで終始一貫して暖かいご指導とご鞭撻をいただきました。甚大なる感謝の意を表します。副指導教官である新保輝幸教授・田中壮太教授には、研究の方向性や課題設定について専門的視点に基づく様々なご指導、ご助言をいただきました。深く感謝いたします。高知大学 石川慎吾特任シニアプロフェッサーには、本論文の構想を立案する上で貴重なご助言をいただきました。深く感謝いたします。高知工科大学 地域連携機構 社会連携センター長 永野正展特任教授には、氏が提唱する「枯れない油田構想」を通じて木質バイオマスのエネルギー利用を研究するきっかけと、その具体化に関わる機会を与えていただきました。また、終始一貫した暖かいご指導とご鞭撻をいただきました。甚大なる感謝の意を表します。高知大学教育研究部 自然科学系農学部門 鈴木保志准教授には、本研究の核となる同時伐採モデル構築における共著論文の作成過程を通じて迅速かつ懇切丁寧なご指導をいただきました。甚大なる感謝の意を表します。同大学教育研究部 自然科学系 理工学部門 比嘉基紀講師には、同時伐採モデルの地図表示の手法についてご指導をいただきました。深く感謝いたします。同大学教育研究部 総合科学系 地域協働教育学部門 中澤純治准教授には、経済波及効果分析の手法についてご指導をいただきました。深く感謝いたします。飯國研究室の山本幸生氏、大崎優氏、窪添真史氏には、多くの貴重なご意見をいただきました。特に、大崎優氏（高知大学教育研究部 総合科学系 地域協働教育学部門講師）には、GIS の操作や同時伐採モデル構築における共著論文作成において多大なご協力をいただきました。深く感謝いたします。また、勤務先である株式会社相愛およびグループ会社の皆様や、ここに記しきれない多くの方々の学恩、ご支援によって本研究が成立していることを銘記し、深く感謝いたします。

最後に、四十路を過ぎてからの博士課程入学を快く承諾し、どのような状況においても応援してくれた妻に心より感謝します。