

バイオマス利用による収穫利益の変化が年供給量や必要補助総額に与える影響

守 口 海^{*1}・白澤 紘 明²

熱供給・発電事業における木質バイオマスの利用が進むと、材積歩留まりや収穫木の平均単価、収穫・輸送費用が変化し、それに伴い、林業の収益性も変化すると予想される。そこで林業の収益性の変化が年供給量や年補助総額に与える影響を、補助林分の最適選定モデルを用いて分析したところ、次の結果を得た。①最大造林補助率を一定とする場合や年補助総額を一定とする場合は、収益性の改善に伴い造林補助を得て木材生産を行う林分が増加するため、年供給量が増加する。材積歩留まりの向上は、直接的な供給量の増加のほか、収益性の改善を引き起こすため、年供給量の増加率は材積歩留まりの増加率よりも大きくなる。また、最大造林補助率が一定の場合は年更新面積が増加するため、年補助総額は増加する。②年供給量を一定とする場合、収益性の向上により年補助総額は減少する。最適補助対象林分の選定において収穫・輸送費用よりも地位条件を重視するために、年更新面積も減少する。

キーワード：造林補助金、材積歩留まり、地位級、土地期望価、収益性

Kai Moriguchi, Hiroaki Shirasawa (2021) Effects of the Change of Harvesting Profit Induced by the Increase of Wood Use for Biomass Fuels on the Annual Supply and Minimal Expense for Subsidy. J Jpn For Soc 103: 435-442 The increase of wood use for biomass fuels in heat supply and power generation may change the yield rate, average price of the yield and costs of harvesting and transportation, thereby changing the profitability of forestry. In this study, we analyzed the effect of these changes on the annual supply and annual expense of the government for the subsidization. With a fixed maximal subsidy rate or fixed governmental expense for subsidy, an improvement of forestry profitability increases the annual supply as a result of an increase of stands that can be managed for wood production with the subsidy. The increase of yield rate causes a larger increase rate of annual supply because of both the direct increase of the yield and the improvement of the profitability. If the maximal subsidy rate is fixed, the governmental expense may increase due to the increase of subsidized stands. With a fixed annual yield, the improvement of the profitability reduces the governmental expense. In this case, the annual regeneration is also reduced with the improvement of profitability, because high-quality stands tend to be selected for subsidization.

Key words: silviculture subsidy, yield rate, site quality, soil expectation value, profitability


I. は じ め に

現在急激に進行している気候変動の主因は人間の経済活動に伴う温室効果ガスの排出であると考えられており (IPCC 2014)、特に発電は、主要な CO₂ 排出源の一つである (環境省 2020)。そこで、再生可能エネルギーを用いた発電を促進するため、我が国では 2012 年から、固定価格買取制度 (FIT) が施行された。「間伐材等由来」の木質バイオマスを用いた発電も FIT 制度の助成対象となっており、従来は未利用のまま林地残材となっていた低質間伐材や枝条、幹先端部 (以下、まとめて未利用材と呼ぶ) の搬出・利用が進行している。

未利用材の搬出は、伐採作業の収益性 (注 1) に複雑な影響を与える。まず、枝条等の未利用部位の搬出により材積歩留まりは増加することが期待されるが、それに伴い収穫材積に占める低価格材の割合が増加するため、収穫材の材積当たり価格 (平均単価) は低下する。ただし、木質燃料の需要の増加が原木の確保競争を引き起こし、平均単価を増加させる可能性もある。また、従来は未搬出であった部分まで搬出するため、材積当たりの素材生産費も変化する。この影響は、搬出システムによって異なる可能性があ

る。例えば、従来から架線を用いて土場まで全木集材を行っている場合は、先山から土場までの単木当たり集材費用は上昇しない。したがって、未利用部位の造材費が十分抑制できれば、材積歩留まりの向上も手伝って、材積当たり素材生産費の低下が期待される。一方、伐採木をウィンチで近接作業道まで牽引した後、その場で造材を行い、原木をフォワーダで集めたうえで土場まで長距離を運搬する場合、小径曲がり材や枝条の多い低質材を集材することでフォワーダへの積載効率が下がり、材積当たり素材生産費は上昇するかもしれない。すなわち、未利用材の搬出によって平均単価や素材生産費が低下するか、それとも上昇するか、単純な予測はできない。

伐採作業の収益性が変化すれば、造林から主伐までの収益性 (林業の収益性) も変化するが、その影響も単純ではない。一般に、平均単価が変化すると土地期望価基準の最適伐期齢も変化する (赤尾 1991; Williams and Nautiyal 1990)。すなわち、各林分における最適な施業体系が変化するため、林分レベルで年平均収穫量が変化する。さらに、損益分岐点に近い林分では赤字と黒字の反転が起こる。長期的には赤字林分からの木材供給は見込めないの、長期・地域レベルで見込まれる年供給量も変化する。現状では造

* 連絡先著者 (Corresponding author) E-mail: k_moriguchi@kochi-u.ac.jp  <https://orcid.org/0000-0003-4827-7263>

¹ 高知大学農林海洋科学部 〒783-8502 高知県南国市物部乙 200 (Faculty of Agriculture and Marine Science, Kochi University, 200 Otsu, Monobe, Nankoku, Kochi 783-8502, Japan)

² 国立研究開発法人森林研究・整備機構森林総合研究所林業工学研究領域 〒305-8687 茨城県つくば市松の里 1 (Department of Forest Engineering, Forestry and Forest Products Research Institute, Forest Research and Management Organization, 1 Matsunosato, Tsukuba, Ibaraki 305-8687, Japan)

(2020 年 12 月 30 日受付; 2021 年 5 月 25 日受理)

©2021 一般社団法人日本森林学会: この著作はクリエイティブ・コモンズのライセンス CC BY-NC-ND (引用を表示し、改変せず、非営利目的に限定) の条件の元で再配布・二次利用が可能なオープンアクセスです。 <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/deed.ja>

林・育林（本報ではまとめて造林と呼ぶ）作業にかかる費用の大半を補助する制度（造林補助制度）があるために、林業の収益性が低い森林も施業が行われているため（中島ら 2007）、現在も一定の国産材供給がある。このことは事実上、造林補助制度によって施業費用を低減させることで、一定の木材生産を確保しているということでもある。すなわち、我が国における国産材の長期的な供給可能性は、造林補助制度によって強く規定される。逆に、目標とする供給可能性を固定すると、それに要する政府支出（補助制度の施行に必要な費用総額）は、林業の収益性によって異なってくる。

以上の議論を総合すると、未利用材の利用推進により林業の収益性が低下する可能性もあり、その場合、政府は未利用材の安定供給のために造林補助の支出額を増加することも考えられる。むしろ、再生可能エネルギーへの転換を進めるなかで、木質バイオマス燃料の利用は有効な代替策であり、補助金への支出の増加が許されないわけではない。しかし少なくとも、補助金の費用負担者である納税者に説明責任を果たせるよう、最大限効率的な補助制度を前提にしつつ、必要となる政府支出や制度の具体的な形（補助対象林分の要件等）を明確にしながら、未利用材の利用促進により想定される影響をも示す必要がある。

そこで本研究では、未利用材の利用促進によって①材積歩留まりは向上するが、②平均単価や収穫・輸送費用については低下も上昇も起こりうる、とした場合に、これらの変化が造林補助政策を含めた長期的・広域的な森林管理の計画にどのような影響を引き起こしうるのか分析する。

II. 分 析 方 法

本研究では、Moriguchi *et al.* (2017) の最適補助林分選定モデルを用いる。本モデルは鈴木 (1979) の減反率法のような、政策が固定されたときの短期的な「予測」を与えるのではなく、法正状態のもとでの長期的な「計画」を与える。山本ら (2017) や Battuvshin *et al.* (2020) による、所与の地域における年供給量の長期的推計と類似しているが、これらの手法との本質的な相違は、現実の造林補助制度を踏襲するのではなく、造林補助制度と施業体系の同時的な最適化を組み込んでいることである。これは、本モデルが費用負担者への説明責任を考慮した計画手法として提案されたためであるが、現行の補助制度とは異なる意義づけや方向性を自ずと含むことになるので（注2）、以下に議論を補足する。

我が国は森林が成立しやすい気候に恵まれており、実際に森林率が高いにもかかわらず木材自給率は低い。森林の再生が容易な地域で一定量の木材を持続的に生産することは、気候変動をはじめとした世界的な環境問題の緩和という意義が認められるであろう。すなわち、公益的機能の観点からも、木材の持続的生産のために補助金を投入することの妥当性は認められるであろう。一方、1950～1970年代の拡大造林に起因して、我が国には既に広大な人工林が存在する。そのなかには、地利条件が悪い等の理由で林業の収益性が低く、仮に今後も木材生産林として管理すると、

多額の造林補助金投入が必要となる林分も多い。このような林分を針広混交化・広葉樹林化することは、政府支出の削減からしても有効であろう。ただし、現時点で造林補助金なしに採算が合わない（土地期望価が正にならない）林分を全て針広混交化・広葉樹林化すると、大半の林分はその条件に合致するため、持続的な木材供給機能の発揮が期待できない。そのため、造林補助制度と供給量のバランスを見て、木材生産林と針広混交化・広葉樹林化する林分を決める必要がある。なお、針広混交化・広葉樹林化された林分も一定の管理費用を要すると同時に、一部の林分では木材供給がなされることが予想されるが、これらの林分に関する制度を木材生産林のための制度と同じ枠組で考えることには無理がある。以上の議論より、本モデルでは木材の持続的生産を造林補助金の意義に位置づけ、木材生産林への造林補助制度のみを考える。

造林補助制度が経営体への公的資金の投入の一つであることを考えれば、費用対効果が大きくなるよう（少ない費用で大きな効果を発生させるよう）設計されるとともに、補助対象の経営体において可能な限り効率的な経営体系を採るよう促し、かつ補助金に起因する私的利益（儲け）の発生を防ぐ枠組も組み込まれているべきであろう。これに従い、補助対象林分においては最適施業体系を採るときのみ土地期望価が非負となるよう、補助率が調整される。林業では地利条件や林分の地位により生産条件が大きく異なるため、林分によって補助率が変わることになる（注3）。なお、この方針を厳密に適用すると、最適な方針で経営しても所有者の儲けは全く発生せず、木材生産林を経営するインセンティブがないので、実際の運用上は、若干の私的利益の発生を許容する必要がある。しかし制度設計の基礎としては、これらの方針が組み込まれていることは必須であろう。

本モデルでは以上の方針で、各林分の施業体系と補助率を設定したうえで、年補助総額を最小とするように補助対象林分を選定する。それと同時に、年補助総額そのものや年供給量、年更新（主伐・再造林）面積が決まる。具体的には、最大補助率（ s ）を引数として、年補助総額（ S^o ）、年供給量（ Y^o ）、および年更新面積（ A^o ）を与える、(1)式のような関数 $f_S(\cdot)$ 、 $f_Y(\cdot)$ 、 $f_A(\cdot)$ を求める。

$$S^o = f_S(s; \mathbf{E}), Y^o = f_Y(s; \mathbf{E}), A^o = f_A(s; \mathbf{E}) \quad (1)$$

ここで \mathbf{E} は林木成長、価格条件や各林分の面積頻度等のパラメータの集まりである。最大補助率 s を決めることが、補助対象林分の選定に相当する。これらの関数を解析的に誘導することで、逆関数の値も簡単に得ることができる（注4）。例えば、所与の年供給量を得るための最大補助率は $s = f_Y^{-1}(Y^o; \mathbf{E})$ と求められるため、 S^o と A^o も計算できる。

計算結果を解釈するうえで特に重要な前提は、以下の二つである。一つ目は法正状態の仮定である。これは、各林分の1伐期当たり供給量を伐期齢で割って年供給量とし、それを合計して地域全体の年供給量を計算することの前提である（注5）。現在の年齢構成は法正状態でないため、本研究の結果は短期的な量的予測を与えるものではない。

二つ目は、間伐による収穫を直接的には考慮しないことである。Moriguchi *et al.* (2017) は目標供給量から間伐による供給量を予め差し引くことで、間伐による収穫を間接的に考慮した。その他に、主伐収穫と間伐収穫の比を求めて間伐収穫を間接的に考慮する方法も考えられる。しかし、これらの補正は実務において加えられるべき工夫であり、本報では煩雑になるのを避けるため、これらの補正は行わない。

また、本モデルで造林補助率と呼ぶものは、林齢0年にかかる地拵えや植栽等の作業費用への補助率である。ただし、除伐や枝打ち、保育間伐といった育林作業にかかる費用も、林齢0年の時点の現在価値に換算して合算することで、まとめて造林費用として扱うことができる。他の前提は Moriguchi *et al.* (2017) および J-Stage 電子付録-1 を参照してほしい。

III. 分析の条件

1. 対象地域

本報では長野県の主要針葉樹であるスギ・ヒノキ・アカマツ・カラマツを例として分析を行う。最適補助林分選定モデルに関係するパラメータのうち、モデルの詳細な理解が必要なものは J-Stage 電子付録付表-1 に、その他の値は表-1 に示した。主伐は比較的高い立木密度で行われると予想される。そのため、主伐時の収量比数は人工林林分密度管理図（林野庁 1999）の上限値をもとに設定した。林業利率は 2020 年 11 月 18 日現在、日本政策金融公庫による農林水産事業の金利一覧（日本政策金融公庫 2020）に記載されている、長期プライムレート参考値の年利 1% を適用した。造林費用は長野県林務部（2014, 2015）の作業単価および造林・育林作業の実行林齢を参考に守口ら（2016）が設定した育林スケジュールを用い、年利 1% のもとで造林・育林費用の現在価値合計を再計算したものである。また、平均単価には、長野県（2020a）の 2019 年における各樹種の中丸太価格の単純平均、およびパルプ材価格をそれぞれ、製材・合板用素材の価格、パルプ・チップ用素材の価格とし、同年の木材総需要量全国値（林野庁企画課 2020）における、製材用材・合板用材およびパルプ・チップ用材の数量を重みとしたときの加重平均を用いた。これらの値は樹種ごとに設定した。

収穫・輸送費用は同一樹種内でも大きなばらつきが予想されるため、Battuvshin *et al.* (2020) の費用推計法を用い

て各樹種の費用別面積頻度を求めた。以下、その方法を説明する。まず、各林分の地形条件（傾斜と起伏量）に応じて、後藤（2016）の区分に従い作業システムを決定した。この作業システム区分は、9 種類のシステム（CTL, 9-13t グラッフル, 9-13t ウィンチ, 9-13t スイングヤード, 6-8t ウィンチ, 6-8t スイングヤード, 3-4t ウィンチ, タワーヤード, 本架線）からなる。地形条件は国土地理院の基盤地図情報（数値標高モデル）10 m メッシュ（標高）を用いて算出した。決定された作業システム区分と地形条件に応じて、各林分の収穫費用が算出される。この収穫費用には、路網作設、伐倒、造材、木寄せの費用を含む。なお、樹種や地域、立木サイズや主伐時蓄積による収穫費用の違いは考慮していない。

次に、林分の位置や周辺の道路網配置、搬出先への経路・輸送距離をもとに、各林分から出荷先までの輸送費用を算出した。材の輸送手段としては 8tトラックを想定した。出荷先には日本木材総合情報センター（2014）に記載のある広域流通構想参画事業体のほか、原木市場・共販所や主要な大型工場を設定し、材は最寄りの出荷先に輸送されるものとした。長野県内のお荷先は原木市場・共販所が七つ、製材・集成材工場が二つ、発電施設が二つであるが、出荷先には合板工場、チップ・パルプ・製紙工場を含む全国の施設が登録されているため、近隣県のお荷先が選択される場合もある。なお、原木市場にお荷する場合は、極積み・販売手数料が加算されるものとした。輸送経路の算出には国土地理院の数値地図（国土基本情報）の道路中心線を用いた。本報における収穫・輸送費用とは、これら二つの費用の合計値である。この方法を用いて、長野県全域の収穫・輸送費用を 100 m メッシュで算出した。

次に、長野県（2020c）の地域森林計画対象森林ポリゴンデータを用いて、樹種ごとに 1 m 間隔で収穫・輸送費用をサンプリングし、500 円/m³ 単位でまとめて面積頻度を求めた。さらに、階級上下限の中間値（5,000~5,500 円/m³ の階級であれば 5,250 円/m³）を各階級の収穫・輸送費用と置き換えた。これにより、各階級では収穫・輸送費用が同額とみなされるので、Moriguchi *et al.* (2017) の“primitive working class”と対応づけることができる。なお、収穫・輸送費用と地位指数には何らかの相関がある可能性も考えられるが、現時点では不明であるので、今回は互いに独立と仮定して、樹種内で共通の分布を持つものとした。

表-1. 各種パラメータの設定値

事項	スギ表	スギ裏	ヒノキ	アカマツ	カラマツ
造材歩留まり ^{†1}	0.63	0.63	0.68	0.48	0.67
収量比数 ^{†2}	0.85	0.85	0.90	0.90	0.90
面積 ^{†3} (ha)	21,405	38,642	82,299	48,432	239,926
造林費用総額 ^{†2} (円/ha)	2,607,231	2,607,231	2,614,231	1,882,065	1,774,265
平均単価 ^{†2} (円/m ³)	8,026	8,026	10,114	6,249	9,775
NPV 基準最適伐期 ^{†4} (年)	52	52	54	50	47
中庸林分の最適伐期齢林分材積 ^{†5} (m ³ /ha)	666	577	456	353	379

本表に記載のないパラメータのうち、収穫・輸送費用ごとの面積頻度は本文 III.1. に述べた方法で求め、その他のパラメータは Moriguchi *et al.* (2017) の値を用いた。^{†1} 斎藤ら（2019）による。スギの歩留まりは修正値。^{†2} 算出根拠は本文を参照。^{†3} 林野庁（2017）の計画対象森林。スギ裏は林業種苗法（農林水産省 2010）の第 2 区（長野・北信・北アルプス各地域振興局の管轄地域）、スギ表が同法第 3 区（その他の地域）に対応するものとし、長野県（2020d）のスギ民有人工林の面積比で按分して設定した。^{†4} 1 伐期の正味現在価値（NPV）に関する最適伐期齢（守口ら 2016）を年利 1% で計算。^{†5} 地位指数がその中央値を取るときの、NPV 基準最適伐期齢における林分材積。

2. バイオマス利用と補助政策の関係の解析方法

本報ではバイオマス利用によって起こる材積歩留まり、平均単価、および収穫・輸送費用の変化が、最大補助率、年供給量、年更新面積、年補助総額に及ぼす影響を解析する。冒頭に述べたように、バイオマス利用により材積歩留まりは上昇すると考えられるが、平均単価と収穫・輸送費用は低下・上昇のどちらも起こりうる。現実には、これら三つの変化は同時に起こるはずであるが、分析が煩雑となるのを避けるため、また、現時点では相互関係を与えるモデルがないため、本報ではそれぞれ一つのみ変化させたときを示す。

最大補助率、年供給量、年更新面積、年補助総額の4因子のうち、一つを固定値とすると、他の3因子が決まる。本報では、最大補助率を固定（計算A）、年補助総額を固定（計算B）、年供給量を固定（計算C）の3パターンの計算を行った。計算Aの最大補助率は68%に設定した。これは森林環境保全直接支援事業において、査定係数170のもとで国と都道府県から補助を受ける場合の計算値である（林野庁 2020）。ただし、今回のモデルは林分条件ごとに補助率を調整するため、ほとんどの補助対象林分にはこれよりも低い補助率が適用される。なお、最大補助率が68%であり、材積歩留まり、平均単価、収穫・輸送費用の全てが初期値（増減率0%）の場合を、以下では初期条件と呼ぶ。計算Bの年補助総額、計算Cの年供給量は、いずれも初期条件での値を用いた。

材積歩留まり、平均単価、および収穫・輸送費用が取りうる変動範囲はそれぞれ、初期値の+40%、±20%および±30%とし（注6）、いずれも5%刻みで変化させながら計算を行った。なお、これらの変数の範囲や1%が同等である根拠はないため、計算A～C間や材積歩留まり・平均単価・収穫輸送費用の間で変化量・変化率を量的に比較することは不適切である。そのため本報では、これらに抵触しない範囲に議論を留める。

なお、計算はJ-Stage電子付録-2のスプレッドシートを用いて行っており、電子付録-2を編集することで、本報とは異なる設定条件を試すことができる。

IV. 結果と考察

まず表-2に、後藤（2016）の作業システム区分別の適用面積、および推計された収穫・輸送費用の平均値と標準偏差を示した。CTLや9-13tグラブの平均収穫・輸送費用は比較的低いものの（CTL: 4,662 円/m³、9-13tグラブ: 5,468 円/m³）、対象地域での適用面積は両システムとも小さかった。適用面積が大きい作業システム区分の上位三つは、本格架線（平均収穫・輸送費用: 7,796 円/m³）、6-8tスイングヤーダ（同 6,981 円/m³）、9-13tスイングヤーダ（同 7,060 円/m³）と全て架線系システムであった。これら三つの架線系システムが全体の面積の67.3%に適用されたため、対象地域全体の平均収穫・輸送費用はこれら三つの架線系システムの平均収穫・輸送費用に強く影響を受け、6,788 円/m³と推計された。

次に、収穫・輸送費用推計額の樹種別面積頻度を図-1

表-2. 作業システム区分別の適用面積と収穫・輸送費用

作業システム区分	適用面積 (ha)	収穫・輸送費用 (円/m ³)	
		平均	標準偏差
CTL	36,603	4,662	240.1
9-13tグラブ	26,954	5,468	305.8
9-13tウィンチ	37,863	5,929	327.3
9-13tスイングヤーダ	63,215	7,060	391.6
6-8tウィンチ	4,681	6,343	412.3
6-8tスイングヤーダ	90,081	6,981	573.9
3-4tウィンチ	423	6,531	823.9
タワーヤーダ	21,177	6,970	334.6
本格架線	108,975	7,796	440.6

適用面積合計: 389,971 ha。全体の収穫・輸送費用の平均値: 6,788 円/m³。後藤（2016）の作業システム区分に基づき集計した。面積は長野県（2020c）のデータを用いた集計値のため、表-1の値と一致しない。集計範囲は対象樹種の林分のみである。

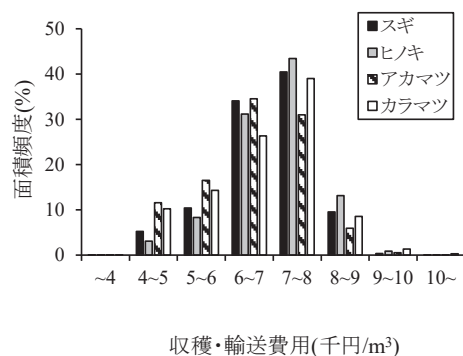


図-1. 収穫・輸送費用推計額の樹種別面積頻度

本図は1,000 円/m³単位で示しているが、実際は500 円/m³単位で集計している。

に示した。各樹種とも4千～1万円/m³の値を取る林分が大半を占め、アカマツでは6～7千円/m³、その他の樹種では7～8千円/m³にピークが表れている。対象地域のアカマツ林はアクセスの良い場所に比較的多いため（注7）、アカマツ林の収穫・輸送費用が若干低いと言う結果は妥当なものと思われる。各樹種の収穫・輸送費用の、面積を重みとした加重平均を算出すると、スギは6,913 円/m³、ヒノキは7,073 円/m³、アカマツ 6,550 円/m³、カラマツは6,794 円/m³であった。なお参考までに、平成25年次素材生産費等調査報告書（林野庁企画課 2017）の収録事例の素材生産費・運材費合計の全国平均値は、スギ7,139 円/m³、ヒノキ8,334 円/m³、マツ8,011 円/m³、カラマツ6,351 円/m³であった。両者は単純比較できないが、本報における収穫・輸送費用の値は概ね妥当な範囲にあると言えよう。また、初期条件における年供給量は44.9 万 m³/年となった。本報は法正状態を仮定しており、やはり単純な比較はできないが、長野県における2018年の素材生産量48.5 万 m³/年（長野県 2020b）と似通った値となっている。

最大補助率を68%に固定したまま、材積歩留まり、平均単価、収穫・輸送費用をそれぞれ変化させたときの年供給量、年更新面積および年補助総額の変化（計算A）を図-2に示した。材積歩留まりや平均単価が上昇するほど、または収穫・輸送費用が低下するほど、年供給量と年更新面積は増加する結果となる。これは収益性の改善に伴い、最大補助率68%のもとで最適伐期齢を採用すれば土地期望

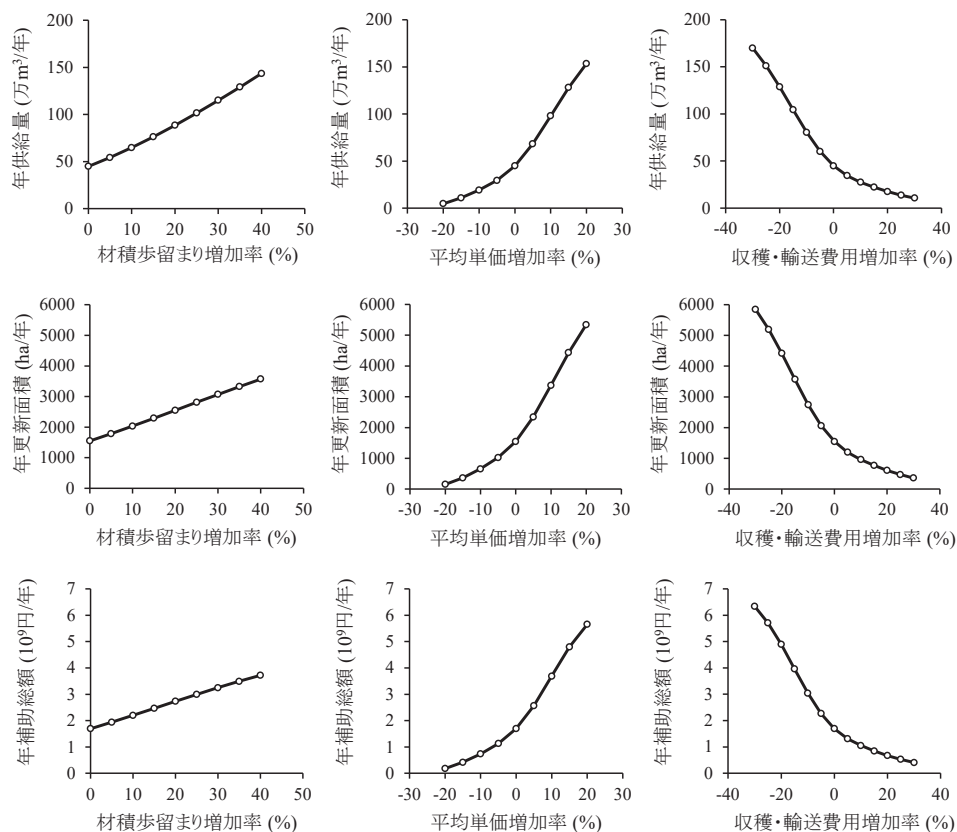


図-2. 最大補助率を固定したときの年供給量・年更新面積・年補助総額の変化

価が非負となる林分が増加したためである。同じ理由で、材積歩留まりが25%上昇すると、年更新面積が増加するため、年供給量は2倍以上の100万 m^3 /年を超える結果となる（図-2左上）。ただし、これは「平均単価が一定となるよう、供給に合わせて需要も変化する」ような試算であるため、実際に材積歩留まりが25%増加すると100万 m^3 /年の年供給量が確保できる、と解釈すべきではない。木質燃料向けの材の割合が増加すると収穫材の平均単価は下落するであろうし、そうでなくとも、需要に比して供給が増加すると平均単価が低下する。したがって、これらのことを考慮すると、年供給量の増加量は今回の計算値より少なくなる（注8）。計算Aと同様の試算を行う場合は、供給が増加すると価格が低下するという側面を無視していることに留意する必要がある。

計算Aでは、歩留まりや価格条件が最大限に改善しても、補助なしで土地期望価が正となる林分はほぼ存在しなかった。そのなかでも年更新面積が増加したことは、最大補助率68%であれば土地期望価が非負となりうる、すなわち補助対象となる林分が増加したことを示している。これに起因して、年補助総額も増加する結果となった。なお、各林分への補助率は林分条件に基づいて、いずれの場合も最小限に調整されている。例えば初期条件で60%の補助率が適用される林分は、歩留まりや価格条件が改善すると、60%より低い補助率が適用されるようになる。すなわち、元から補助対象となっていた林分への補助総額は減少しているが、新規の補助対象林分の増加がこの効果を上回ったために、年補助総額が増加する結果となっている。

年補助総額を初期値（ $1.69 \cdot 10^9$ 円/年）に固定した場合（計算B）の結果は図-3に示した。平均単価が増加するときや収穫・輸送費用が減少するとき、年供給量と年更新面積はともに増加している。その理由は計算Aの場合と同じである。また、材積歩留まりが向上すると各林分の収益性が改善されるために、所与の予算で造林補助を行える林分が増加する。その結果、本地域における年更新面積も増加する結果となっている（注9）。なお、計算Bも計算Aと同様、供給が増加すると価格が低下するという側面を無視している。すなわち、価格を一定にするよう需要が同時に変化する、という仮定が置かれている。今回の計算に限らず、需要曲線の考慮なしに年供給量を変数とする推計は全て、本質的に同じ問題を抱えることになる。産業連関表分析のように、供給量の変化が微小であれば市場価格が変わらないと仮定する経済学的分析手法もあり、必ずしも全ての結果が無意味ということではない。例えば計算A・Bにおいて、全ての変数の範囲を $\pm 1\%$ として同様の検討を行ったとしても、質的な言及は変わらない。しかし、計算A・Bや類似した計算を量的な推計として捉える場合は、市場価格が変わらないと見なしうる供給量の変化量でのみ有効であることに留意する必要がある。

一方、計算Cでは年供給量を44.9万 m^3 /年に固定する。この場合の、最大補助率、年更新面積および年補助総額を図-4に示した。材積歩留まりの向上や価格条件の改善により、最大補助率や年更新面積、年補助総額はいずれも減少する結果となった。収益性が改善することで最大補助率や年補助総額が減少することや、材積歩留まりが上昇する

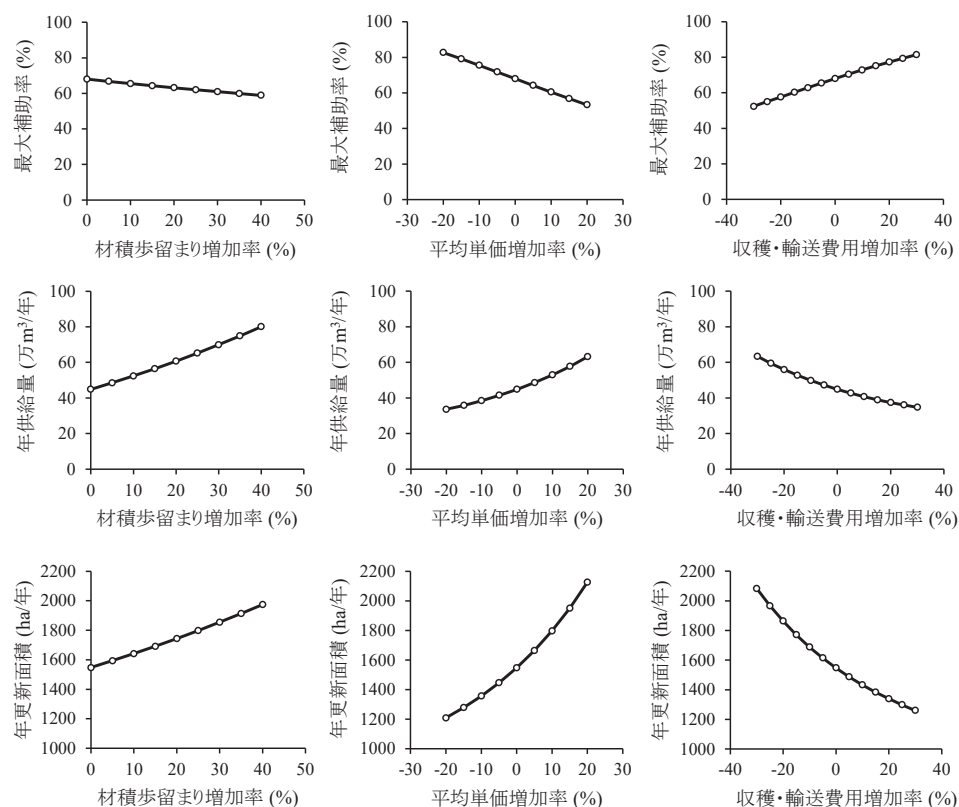


図-3. 年補助総額を固定したときの最大補助率・年供給量・年更新面積の変化

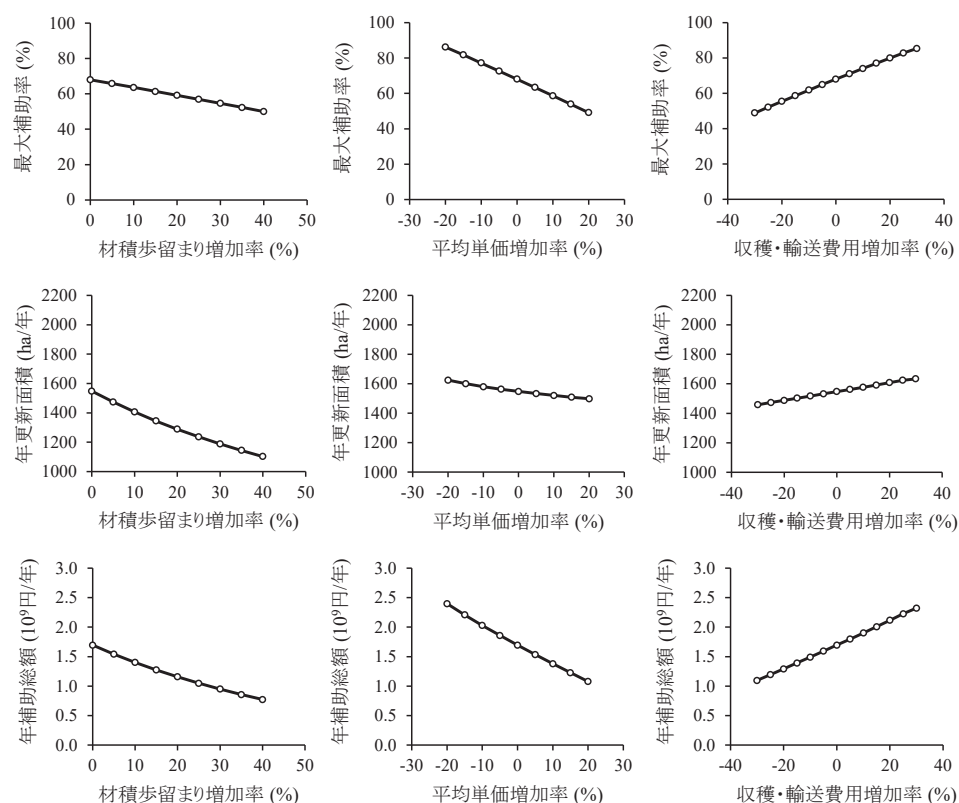


図-4. 年供給量を固定したときの最大補助率・年更新面積・年補助総額の変化

と所与の年供給量を満たすために必要な年更新面積が減少することは自然である。一方、図-4からは、平均単価の上昇や収穫・輸送費用の低下によっても、年更新面積が減少することが読み取れる。この理由を考察するため、スギにおいて平均単価を初期値から20%増減させたとき、最

大補助率が適用される林分の地位指数（40年生時の平均上層樹高）を図-5に示した。平均単価が低いときは、収穫・輸送費用の変化に対して地位指数は急激に変化し、逆に平均単価が高いときは緩やかに変化している。すなわち、価格条件が厳しいときは、地位条件よりも収穫・輸送費用の

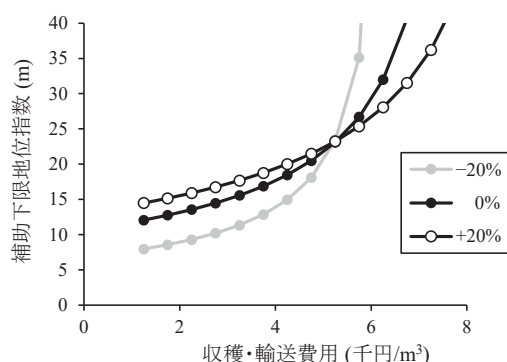


図-5. 平均単価上昇率が-20%, 0%および+20%のときの収穫・輸送費用と補助下限林分の地位指数の関係（スギ）

差異を重視し、収穫・輸送費用が低い林分に集中的に補助を行う方が有利となることを示唆している。逆に、価格条件が比較的良好な場合は、収穫・輸送費用が低い林分への補助を優先しつつも、収穫・輸送費用が高い林分であっても、地位条件が良好なら補助対象として木材生産を行うのが有利となる。その結果、価格条件が比較的良好な場合は補助対象林分の平均的な地位条件が高く、そのために年更新面積も小さくなることが理解される。この傾向は他の樹種に関しても同様であった。

V. ま と め

本報では未利用材の利用促進に伴って、材積歩留まりや平均単価、収穫・輸送費用に変化が生じたときの、年更新面積や年補助総額の変化を検討した。最大補助率が固定されている場合（計算A）、材積歩留まりの向上や価格条件の改善によって、補助制度下で土地期望価が非負となる林分が増加し、年更新面積と年供給量はともに増加したが、年補助総額も同時に増加した。年補助総額が固定されている場合も（計算B）、材積歩留まりの向上や価格条件の改善により、年更新面積や年供給量は増加した。いずれの場合も、材積歩留まりの向上は直接的に供給量を増加させるだけでなく、林業の収益性を改善させることで年更新を増加させ、さらに年供給量を増加させる効果がある。年供給量を固定した場合は（計算C）、材積歩留まりの向上や価格条件の改善により、最大補助率や年補助総額が低下した。さらに、最適な補助対象林分の選定方法も変化することが示された。

ただし、年供給量を変数とする計算A・Bでは、一般に供給量が増加すると平均単価が低下することを考慮していない。J-Stage 電子付録-2のスプレッドシートを使うと、材積歩留まりの向上と同時に平均単価が下がる場合も計算可能であるが、「どのくらい年供給量が増加すると、どの程度平均単価が下落するか」という関係を考慮するには、需要曲線などを別途組み込む必要がある。

また、本報では補助率も各林分レベルで最小値に調整され、完全に無駄なく配分・使用される、一種の理論的な最大効率を示すこと、最適伐期齢を伐期とした法正状態を用いていることなどには留意が必要である。この法正状態は一種の「理想状態」として、収穫規正の目標状態に据える

ことができる（Moriguchi *et al.* 2020）。一方、実際に森林計画に利用するときは、現実に達成可能な最大効率を考慮するための係数を導入するといった、追加的な工夫が必要となると思われる。

謝 辞

1名の編集委員と2名の査読者からは、多数の有意義なご指摘をいただいた。ここに感謝申し上げる。本研究は日本学術振興会科学研究費助成事業〔若手研究19K15872〕の助成を受けて実施した。

注 記

- （注1）本報では、1回の伐採における収益性を伐採作業の収益性、造林から主伐までの収益性を林業の収益性と呼び、後者を土地期望価基準で評価する。
- （注2）現行補助制度については林野庁（2020）を参照のこと。例えば、現行補助制度では事業によって補助率が決まっている。
- （注3）補助率を一律とする場合、最も条件の悪い林分に合わせてその補助率を決めると、条件の良い林分では公的資金を源泉とした多額の私的利益（儲け）が発生することになる。このような状況では、経営体は多額の補助金投入を見込んで自らの利益を最大化するよう行動するのが自然であり、結果として不公平かつ非効率な補助金制度の運用を招くおそれがある。
- （注4）逆関数が陽関数として求められなくても、二分法等の数値解法を使えば良い。
- （注5）木材の収穫は離散的であることに注意する必要がある。1伐期当たりの供給量を伐期齢で割れば、実際にその林分から毎年一定の供給が得られるようになるわけではない。計算通りの供給を毎年得られるのは、林分を伐期齢で分割して法正林を構成したときである。
- （注6）まず、4樹種のうち材積歩留まりが最大であるのはヒノキの68%である（斎藤ら2019）。初期値からの増加率を50%とすると材積歩留まりが100%を超えるため、歩留まりの最大増加率は40%とした。次に、計算Aにおいて材積歩留まりの増加率を40%としたときの年供給量と概ね同等となる平均単価および収穫費用の変化量を10%刻みで求めたところ、前者が+20%、後者が-30%であった。そこで、これら二つの変数の範囲は初期値の±20%および±30%に設定した。
- （注7）アクセスの良い場所は採草場・堆肥採取地としての利用圧が高く貧栄養であったため、アカマツ林が成立したものと考えられる。
- （注8）例えば、J-Stage 電子付録-2にて材積歩留まりを25%上昇、平均単価を9.6%低下させると、年供給量は初期値と同じ44.9万m³/年となる。
- （注9）この結果には違和感があるかもしれないが、それは暗黙に、「一定の供給量を満たすには年更新面積が少ないはずだ」と考えるためであろう。計算Bでは供給量を固定していない。計算Aにおいて、収益性が向上すると年補助総額も増えるという結果についても同様である。

引用文献

- 赤尾健一（1991）長伐期低コスト林業の経済分析（I）実質賃金率の上昇に対する森林所有者の対応、日林誌 73: 419-425
- Battuvshin B, Matsuoka Y, Shirasawa H, Toyama K, Hayashi U, Aruga K（2020）Supply potential and annual availability of timber and forest biomass resources for energy considering inter-prefectural trade in Japan. Land Use Policy 97: 104780
- 後藤純一（2016）平成27年度林業機械化推進シンポジウム 林業の成長産業化と求められる作業システム、機械化林業 752: 1-8
- IPCC（2014）Fifth Assessment report: AR 5 Synthesis Report: Climate Change 2014 <https://www.ipcc.ch/assessment-report/ar5/>（2020/12/03参照）
- 環境省（2020）温室効果ガス排出・吸収量算定結果（2018年度温室効果ガス排出量）<https://www.env.go.jp/earth/ondanka/ghg-mrv/emissions/>（2020/12/03参照）
- 守口 海・植木達人・大塚 大・斎藤仁志（2016）造林・育林費用の許容上限の簡易な計算方法、日林誌 98: 31-38
- Moriguchi K, Ueki T, Saito M（2017）Determining subsidised forest stands to satisfy required annual wood yield with minimum governmental

- expense. Land Use Policy 67: 573-583
- Moriguchi K, Ueki T, Saito M (2020) Establishing optimal forest harvesting regulation with continuous approximation. Ops Res Pers 7: 100158
- 長野県 (2020a) 長野県の木材市況. <https://www.pref.nagano.lg.jp/mokuzai/shikyo/sikyotop.html> (2020/12/04 参照)
- 長野県 (2020b) 令和元年度長野県木材統計 <https://www.pref.nagano.lg.jp/mokuzai/sangyo/ringyo/kensanzai/shikyo/mokuzaitokei.html> (2020/12/04 参照)
- 長野県 (2020c) 信州暮らしのマップ：地域森林計画対象森林（オープンデータ） <http://wwwgis.pref.nagano.lg.jp/pref-nagano/OpenData?mids=250022&pno=1> (2020/12/04 参照)
- 長野県 (2020d) 長野県民有林の現況 <https://www.pref.nagano.lg.jp/rinsei/sangyo/ringyo/toukei/minyurin/r2.html> (2020/12/04 参照)
- 長野県林務部 (2014) 平成 26 年度信州の森林づくり事業標準単価表（国庫対象事業）（平成 26 年度実施事業適用単価）. 長野県林務部
- 長野県林務部 (2015) 第 13 期千曲川下流地域森林計画書（千曲川下流森林計画区）. 長野県林務部
- 中島 徹・広嶋卓也・白石則彦 (2007) 地域レベルの森林整備と林業補助金制度に関する実証的検討：岐阜県を事例として. 森林計画誌 41: 179-186
- 日本木材総合情報センター (2014) 広域流通体制確立対策事業実施報告書 <https://www.jawic.or.jp/genbok/kou.php> (2020/12/04 参照)
- 日本政策金融公庫 (2020) 農林水産事業利率一覧（令和 2 年 11 月 18 日現在） https://www.jfc.go.jp/n/rate/pdf/kinrikaiteimikomi_021118b.pdf (2020/12/04 参照)
- 農林水産省 (2010) 林業種苗法第二十四条第一項の規定に基づく農林水産大臣の指定する種苗の配布区域 https://www.maff.go.jp/j/kokuji_tuti/kokuji/k0000559.html (2020/12/04 参照)
- 林野庁 (1999) 人工林分密度管理図（復刻版）. 林野庁
- 林野庁 (2017) 森林資源の現況（平成 29 年 3 月 31 日現在） <https://www.rinya.maff.go.jp/j/keikaku/genkyou/h29/index.html> (2020/12/04 参照)
- 林野庁 (2020) 森林整備事業のあらまし https://www.rinya.maff.go.jp/j/seibi/zourinkikaku/shinrinseibi_aramashi.html (2020/12/04 参照)
- 林野庁企画課 (2017) 平成 25 年次素材生産費等調査報告書. 林野庁企画課
- 林野庁企画課 (2020) 令和元年木材需給表 https://www.rinya.maff.go.jp/j/press/kikaku/attach/pdf/200930_30-2.pdf (2020/12/04 参照)
- 斎藤仁志・佐々江希望・白澤紘明・松澤義明 (2019) 造材歩留まりを考慮した木質資源利用可能量の検討. バイオマス科学会議発表論文集 14: 3-4
- 鈴木太七 (1979) 森林経営学. 朝倉書店
- Williams JS, Nautiyal JC (1990) The long-run timber supply function. For Sci 36: 77-86
- 山本嵩久・有賀一広・古澤 毅・當山啓介・鈴木保志・白澤紘明 (2017) 栃木県における木質バイオマス発電のための長期的な未利用材利用可能量推計. 日林誌 99: 266-271