

人工林齢級構成平準化策のマルチエージェント評価に関する研究

RESEARCH ON MULTI AGENT EVALUATION OF PLANTED FOREST AGE CLASS DISTRIBUTION STABILIZATION

渡部 結^{*1}, 矢口 彰久^{*2}, 内田瑞生^{*3}
Yui WATANABE, Akihisa YAGUCHI and Mizuki UCHIDA

Recently, Japanese forests have become the age to cut down. However, if they don't cut trees systematically, the forest resources will run short in the future. Due to keep the forest resources, their age class distribution have to be stabilized by several strategies. In this study, the multi agent simulation model that can forecast the age class distribution of the forest in the future was constructed. Then, some scenarios related to the target area's population, wood supply and demand were evaluated.

Keywords : Age class distribution stabilization, MAS, Policy evaluation, Forestry, Wood use, Biomass Energy

齢級構成平準化, マルチエージェントシミュレーション, 政策評価, 林業, 木材利用, 木質バイオマス,

1. はじめに

1.1 研究背景・目的

現在、我が国の森林資源の多くが収穫期を迎えている。しかし、人工林の齢級構成は偏っているため、今後木材需要量が増加したとしても、将来的に適齢期の森林資源が不足するおそれがある。松本ら¹⁾は、森林を維持するとともにその恩恵を最大限受けるべく、木材需要を拡大しつつ、齢級構成を平準化させて森林資源の量的安定を図ることの有効性を示している。我々²⁾は三重県の尾鷲熊野森林計画区を対象とし、マルチエージェント・シミュレーション(MAS)の手法を用いて人工林の齢級構成平準化を達成するために最適な製材用素材入荷量を算出した。また、平準化策実行時の林業者、製材業者、木質バイオマス発電所の経済性についても評価を行った。しかし、将来人口が減少する予測を踏まえると、平準化達成のためには林業生産力増大、バイオマス発電導入、木材需要量拡大、天然林化等の対策を組み合わせる必要がある。

そこで本研究では、齢級構成平準化の実現性の検証を行う。はじめに、対象地域における人口予測 MAS モデルの構築・活用により、2015 年から 2315 年の間に人口が安定するシナリオを複数選出する。次に、森林分布予測 MAS モデルの構築・活用により、人口の推移を反映して林業生産力・素材需要量・電力需要量が変化するとともに林業者が「主伐」「間伐」の作業に労働力を割り振る行動を再現し、各人口シナリオで 2315 年までに齢級構成平準化を達成可能か検証する。続いて、齢級構成平準化実現のための対策シナリオを複数考案し、対策シナリオを再現するルールを追加する。各対策シナリオにおいて齢級構成平準化を達成可能か評価を行い、最適シナリオを決定する。

1.2 対象地域

本研究では、対象地域として三重県尾鷲熊野森林計画区を扱う。対象地域は尾鷲市、熊野市、紀北町、紀宝町、御浜町の 5 市町で構成されており、2015 年時点の人口約 7 万人³⁾、民有林面積 74,191ha のうち 52,584ha が人工林である⁴⁾。林業者数は 230 人⁴⁾、製材所数は推計 25 件⁵⁾、であり、2018 年現在、対象地域での木質バイオマス発電は行われていない。

1.3 齢級構成平準化の定義

2015 年における対象地域の人工林齢級構成と、齢級構成平準化を達成した例を図 1 に示す。本研究では、齢級構成平準化の達成を「人工林が 12 齢級以下のみで構成されている状態」と定義し、目指す森林の形とする。また、齢級構成平準化を達成しており、かつ 1 齢級から 12 齢級までの森林面積が一定の人工林を法正林と定義する。法正林同士では、人工林面積の合計がより大きい方が利用可能な 1 年あたり木材量が大きいと評価している。

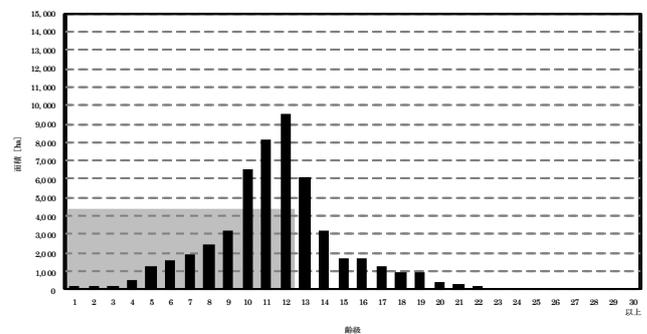


図 1 2015 年の対象地域の人工林齢級構成と平準化達成例

*1 早稲田大学創造理工学部建築学科 学部 4 年

*2 早稲田大学大学院創造理工学研究科建築学専攻 修士 2 年

*3 早稲田大学大学院創造理工学研究科建築学専攻 修士 1 年

*Student, Creative Sci. and Eng., Waseda Univ. *1

*Graduate Stu., Graduate Sch. of Creative Sci. and Eng., Waseda Univ.*2

*Graduate Stu., Graduate Sch. of Creative Sci. and Eng., Waseda Univ. *3

2. 人口予測 MAS モデルを用いた予測

2.1 人口予測 MAS モデルの構築

MAS とは、社会をエージェントという単位の集合体の形式でモデル化するシミュレーション手法である。エージェント種別ごとに変数・行動ルールを与えることで、複数のエージェント間に生じる相互作用を再現し、全体に起こる挙動を容易に観測可能である。本研究では、株式会社構造計画研究所が配布する *artisoc 4.0* を用いる。

人口予測 MAS モデルでは、人 1 人を 1 個のエージェントと定義し、年齢・性別・職業という 3 つの変数を与える。2015 年国勢調査^⑧から取得した対象地域の年齢別・男女別人口にもとづいてエージェントをモデル空間内に作成し、変数を与えた。職業は林業者とそれ以外を区別し、2015 年における対象地域の林業者数 230 人^⑨を生産年齢人口 35,487 人^⑩で割った値を林業者率として、15 歳時点で確率的に就業し 65 歳で退職する。人エージェントの行動ルールを図 2 に示す。人は毎ステップ 1 歳分成長し、出産適齢期の女性であれば 2016 年人口動態調査^⑦から取得した母の年代別出生率より 0 歳のエージェントを 1 つ作成し、性別を与える。その後、2016 年人口動態調査^⑦の年代別男女別死亡率、2015 年住民基本台帳^⑪の年代別男女別転出率により死亡・転出を行い、モデル空間から取り除かれる。また、全ての人の行動が 1 ステップ分終了したところで、2015 年住民基本台帳^⑪の年代別男女別転入数だけエージェントを新規作成し、年齢・性別・職業を与える。転入数は全国の人口に比例するものとし、2015 年から t 年後の人口伸び率 $P(t)$ を、人口統計資料 2018^⑨の予測から近似した式(1)で与えた。

$$P(t) = 1.1 \times 10^{15} \times EXP(0.011 \times (2015 + t)) \quad \dots(1)$$

2015 年からシミュレーションを開始し、2315 年 ($t = 300$) の時点で終了する。

2.2 モデルを用いた人口予測とシナリオの選出

対象地域における人口減少の抑制は課題となっており、需要量・供給量にも直接影響する人口を安定させることは年齢構成平準化にとって必要と考えられる。そこで、出生率・転入数・転出率が今後変化することを想定し、様々なケースにおける人口予測を行うことで将来的に人口が安定するシナリオを検討する。表 2 に変化させるパラメータの概要を示す。例として、 t 年後の実際の出生率 $P_{birth}(t)$ は、出生の目標伸び率 R_{birth} と目標期間 τ のパラメータを用いて式(2)(3)で与えられる。

$t < \tau$ のとき

$$P_{birth}(t) = P_{birth}(0) \times \left\{ 1 + \frac{R_{birth}-1}{\tau} \times t \right\} \quad \dots(2)$$

$t \geq \tau$ のとき

$$P_{birth}(t) = P_{birth}(0) \times R_{birth} \quad \dots(3)$$

以上の設定のもと、出生率・転入数・転出率の目標伸び率と目標期間を毎回ランダムに与え、100 回のシミュレーションを実行した。BAU シナリオに加えて、100 通りの予測の中から 2315 年までに人口が 1 万人、3 万人、5 万人、7 万人前後で安定するものを選出し、計 5 つの人口シナリオとした。図 3 に各人口シナリオにおける 2015 年から 2315 年の間の人口推移を、表 3 にそのときの出生率・転入率・転出率の目標伸び率と目標期間の設定を示す。また、BAU シナリオ～7 万人シナリオにおける 2315 年の林業者数は、それぞれ 5 人、41 人、105 人、174 人、288 人となった。

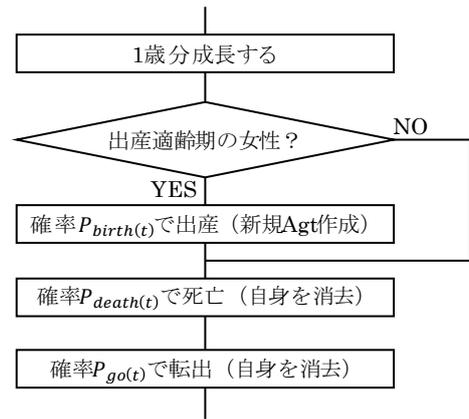


図 2 人エージェントの行動ルール

表 1 変化させるパラメータの概要

	目標伸び率 R [—]	目標期間 τ [年]
出生率	1.4 倍～1.6 倍 (変化幅 0.1)	10 年～300 年 (変化幅 10)
転入数	2.0 倍～3.0 倍 (変化幅 0.1)	10 年～300 年 (変化幅 10)
転出率	0.05 倍～0.50 倍 (変化幅 0.05)	10 年～300 年 (変化幅 10)

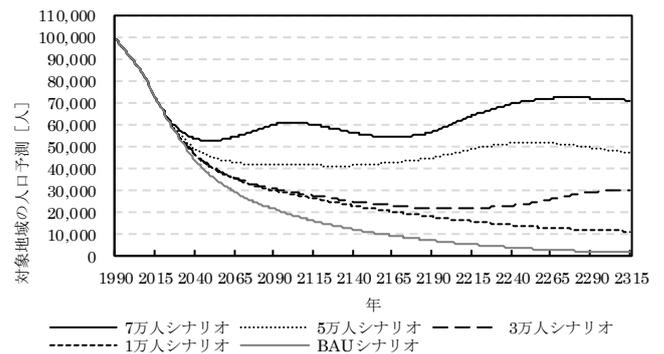


図 3 各人口シナリオにおける 2015 年から 2315 年の間の人口推移

表 2 各人口シナリオのパラメータ設定値

		目標伸び率 R [—]	目標期間 τ [年]
BAU シナリオ	出生率	1.0 倍	0 年
	転入数	1.0 倍	0 年
	転出率	1.00 倍	0 年
1 万人 シナリオ	出生率	1.5 倍	270 年
	転入数	2.4 倍	300 年
	転出率	0.25 倍	290 年
3 万人 シナリオ	出生率	1.6 倍	200 年
	転入数	2.0 倍	270 年
	転出率	0.10 倍	240 年
5 万人 シナリオ	出生率	1.5 倍	290 年
	転入数	2.7 倍	160 年
	転出率	0.10 倍	190 年
7 万人 シナリオ	出生率	1.4 倍	220 年
	転入数	2.6 倍	70 年
	転出率	0.05 倍	180 年

3. 森林分布予測 MAS モデルを用いた予測

3.1 森林分布予測 MAS モデルの概要

図 4 に森林分布予測 MAS モデルの概要を示す。主なエージェントとして森林・製材所・木質バイオマス発電所を定義する。モデルの変数として、林業生産力 V_{max} が存在し、林業者数 $P_{forester}$ 、皆伐の林業生産性 $2m^3/人日^{10}$ 、作業日数 200 日として式(4)で与えられる。

$$V_{max} = 2 \times P_{forester} \times 200 \quad \dots(4)$$

この量を超えて木材を伐採することはできない。人口予測 MAS モデルで得られた人口の推移を反映し、林業者数の変化を経て林業生産力が変化する。また、同じく人口の推移をもとに製材需要量や製材生産力が変化する。製材所の入荷先選択という行動を経て森林に対する素材需要量が変化する。木質バイオマス発電所は、世帯からの電力需要に対応して製材所や森林からチップを購入して発電を行い、不足する場合は森林側にチップ加工用の丸太を需要する。これを受けて、森林側は林業生産力を皆伐・間伐作業に適切に割り振る。1 年を 1 ステップとして、2015 年から 2315 年の間の森林分布と人工林の年齢構成を予測する。

3.2 エージェントの設定

本研究では森林を、小班単位でエージェント化する。平成 27 年度三重県森林簿³⁾に記載されていた対象地域の 84,033 個の小班について樹種・面積・林齢・材積・傾斜を取得し、さらに各小班の shape ファイルと照合して xy 座標を取得し、変数の初期値として与える。さらに、集材方法として、表 3 に示す集材コスト¹¹⁾のうち、小班ごとに最もコストの小さい方法を選択させる。

森林エージェントの行動ルールを図 5 に示す。 a 年生の森林は、各ステップ 1 年分成長し、式(5)(6)にしたがって材積を増加させる。

$a = 1$ のとき

$$V_{(1)} = 377(1 - e^{-0.047})^{2.26} \quad \dots(5)$$

$a \geq 2$ のとき

$$V_{(a)} = V_{last\ step} \times \left\{ \frac{(1 - e^{-0.032(a+1)})}{(1 - e^{-0.032a})} \right\}^{2.26} \quad \dots(6)$$

次に、育林・植林作業を行い、その費用を負担する。育林・植林の実行年と作業単価⁴⁾を表 4 に示す。植林は、伐採された人工林に対して必ず実施するものとする。また、間伐実施時には、間伐時の林業生産性を $1.5m^3/人日^{10}$ として、林業生産力を消費するよう設定した。間伐が行われなかった人工林は放置林化し、これ以降育林作業を行わない代わりに出荷されることもなくなる。

続いて、林業者の収益を算出する。人工林の伐採(皆伐)を行う場合、集材コストを負担し、表 5 に示す単価²⁾で取引される。人工林の皆伐は、製材所エージェント・発電所エージェントからの需要をもとに決定されるため、それらの行動ルールにて記述する。

表 4 育林・植林の実行年と作業単価

	該当林齢 [年]	作業単価	単位
地拵え	0	426,800	[円/ha]
植栽	0	721,500	
下刈り	2, 3, 4, 5, 6	141,000	
除伐	20	25,900	
枝打ち	15	289,800	
	25	408,900	
間伐	15, 25, 35 以降 20 年おき	1,000	[円/m ³]

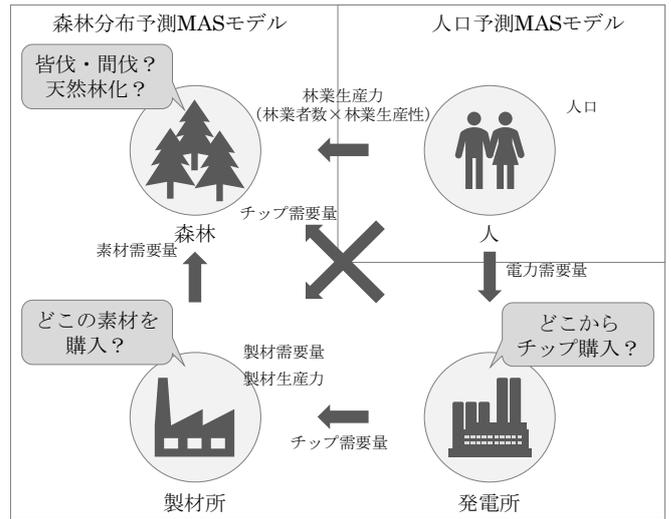


図 4 森林分布予測 MAS モデルの概要

表 3 各集材方法の集材コスト (S: 集材距離 [m], θ : 傾斜)

集材方法	集材コスト C [円/m ³]
小型タワーヤード	$C=16.215S+9,575/S+669$
中型タワーヤード	$C=8.656S+14636/S+1,143$
大型集材機	$C=836.425/S^{0.2142}+12,409/S+590$
トラクタ	$C=1.073/S+91.7e^{0.117\theta}+1,746$
中型フォワーダ	$C=0.493S+45e^{0.117\theta}+2,666$
小型フォワーダ	$C=3.589S+27.9e^{0.116\theta}+2,772$

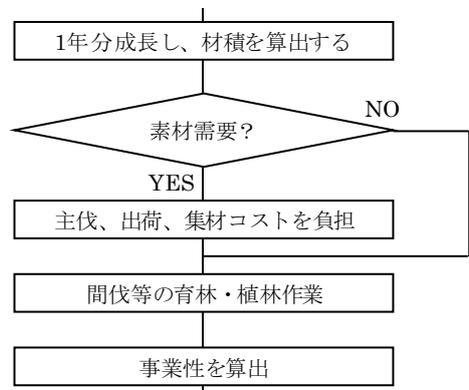


図 5 森林エージェントの行動ルール

表 5 年齢ごとの丸太推定価格 [円/m³]

年齢	推定価格	年齢	推定価格	年齢	推定価格
1	13,608	11	16,676	21	18,333
2	13,657	12	16,853	22	18,426
3	14,116	13	16,917	23	18,508
4	14,522	14	17,110	24	18,571
5	14,900	15	17,333	25	18,687
6	15,184	16	17,566	26	18,719
7	15,540	17	17,762	27	18,782
8	15,873	18	17,945	28	18,819
9	16,137	19	18,091	29	18,853
10	16,401	20	18,226	30	18,882

3.3 製材所エージェントの設定

製材所エージェントの行動ルールを図6に示す。三重県木材組合連合会名簿にある25件の製材事業者をエージェント化し、空間内に配置する。製材所は、2015年時点の製材用素材入荷量¹²⁾24,000m³に生産年齢人口の初年度比を乗じることで各年の製材用素材入荷量を決定する。次に、対象地域内の森林の中から、体積あたりの素材価格と集材コスト・輸送コストとの差額が大きい順に小班を選択し、製材需要という形で林業者側に伐採させ、素材価格と輸送コストを負担して素材を購入する。即座に林業者の収益となるため、製材のための人工林の皆伐は、間伐よりも優先して行われる設定とした。林業者側は、このときに皆伐の林業生産性を2m³/人日¹⁰⁾として林業生産力を消費する。森林資源の不足、林業生産力の不足といった理由で伐採ができない場合、製材所は地域外から必要な素材を入荷する。国内材では対象地域内と同じ素材価格、海外材では28,000円/m³で購入する²⁾。地域内で伐採された全木は、85%が素材として利用され、15%は末木、枝条、その他として林道端土場に残る¹¹⁾。製材所は素材総購入価格に対して10%上乗せした金額分利益として得る。歩留りは50%と仮定²⁾し、製材残材となるものとした。

3.4 発電所エージェントの設定

発電所エージェントは木質バイオマス発電所を表す。発電所は、設置する場合のみ尾鷲三田火力発電所跡地に設置し、対象地域内の全家庭に対して電力のみを供給する。初年度の出力規模を24,430kWとし、人口の初年度比を乗じることで各年の出力規模を算出し、表6にもとづいて必要材積を決定する。発電所は、製材残材、林道端土場の林地残材、人工林の林地残材(間伐材)の順でチップを確保する。残材はチップ化の際に体積が2.18倍になるものとし、残材の体積当たり絶乾重量は0.4g/cm³、含水率は76.3%とする¹²⁾。チップ化コストは製材所・林業者が負担し、発電所はこれらのチップの輸送コストを負担するとともに、チップを13,800円/tで購入する¹²⁾。チップ化コスト・輸送コストの算出は表7に示す値を用いる¹¹⁾。不足分はチップ加工用丸太需要という形で林業者側に伐採させ、製材所・林業者側はチップ販売による収益を得る。林業者側は、このときに皆伐の林業生産性を2m³/人日¹⁰⁾として林業生産力を消費する。森林資源の不足、林業生産力の不足といった理由でチップが集まらない場合、発電所は地域外から不足分を入荷する。域外からの購入価格を20,000円/tと仮定する。

3.5 各人口シナリオにおける森林分布予測

以上の設定にもとづいて、森林分布予測MASモデルを用いて各人口シナリオにおいて森林および林業に関して何も対策を行わなかった場合の対象地域の人工林齢級構成の将来予測を行った。BAUシナリオにおける2015年から2315年間の人工林・放置林・天然林の構成の推移を図7に、2315年の齢級構成を図8に示す。シミュレーション開始後約20年で人工林の放置林化が急速に進行し、最終的に対象地域に元々あった人工林の99%が高齢林となった。現時点において既に林業生産力が不足しており、将来的にも人工林を維持できないことが分かる。また、齢級構成ではどの人口シナリオにおいても30歳級以上の高齢林が大部分を占めた。これは、木材需要が不足しており、森林が伐採されていないことを意味する。このことから、木材の需要側・供給側それぞれに対して、齢級構成平準化を実現するための対策を講じる必要があると考えられる。

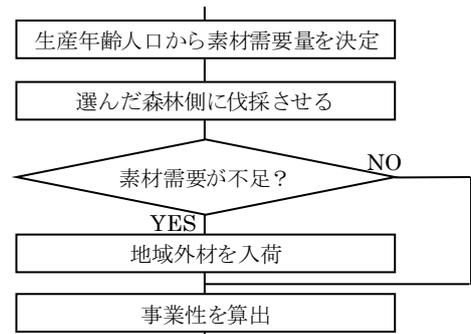


図6 製材所の行動ルール

表6 発電所の必要材積の算出方法

変数	計算方法・数値
MC:含水率[%]	40
HC:水素含有量[%]	6
LHV:低位発熱量[MJ/kg]	$LHV=HHV \cdot (1-MC/100) - 2.443 \cdot (9 \cdot HC/100 \cdot (1-MC/100) + MC/100)$
HHV:高位発熱量[MJ/kg]	18
FC:必要木材量[t/年]	$FC=(PS \cdot OH \cdot 3.6[MJ/kWh]) / (n/100) / LHV/1000$
OH:稼働率[時間/年]	$330[日/年] \times 24[時間/日] = 7920$
n:エネルギー変換効率[%]	$n=5.672 \ln(PS) - 26.65$
PS:出力規模[kW]	シナリオで値を与える

表7 チップ化コストと輸送コスト

変数	経費[円/m ³]	備考
チップ積層あたり	515	林道端土場でのチップ化
チップ化コスト	414	製材所でのチップ化
輸送コスト	$58 \times L_t + 778$	L_t : 輸送距離[km]

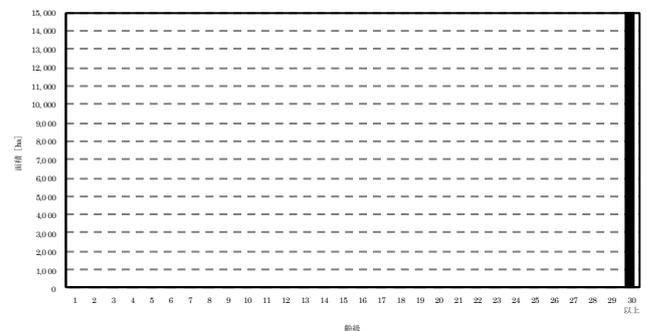


図7 BAUシナリオにおける対象地域の2315年の齢級構成

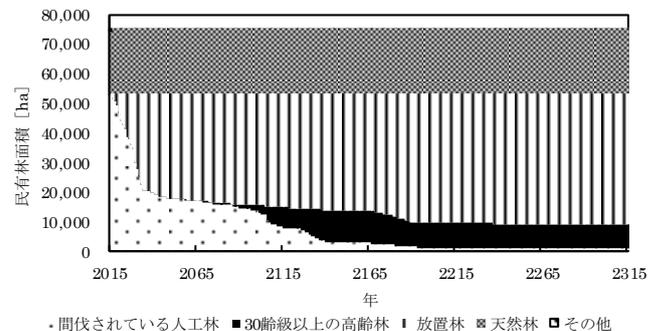


図8 BAUシナリオにおける人工林・放置林・天然林の構成

4. 対策シナリオの考案

予測した森林分布と人工林年齢構成をもとに、木材の供給側と需要側それぞれの取り組みについて、年齢構成平準化実現のために有効と考えられる対策シナリオを考案するとともに、各対策シナリオを実現するために人口予測 MAS モデルまたは森林分布予測 MAS に必要な機能の追加を行う。

表 8 に示す 4 つの対策シナリオを考案した。A. 林業生産力向上は、林業雇用増大と生産性改善による伐採可能材積の増加を目的とする。林野庁が 2003 年から実施した「緑の雇用」と同等の 1.76 倍¹³⁾の新規就業者数を見込んで、人口予測 MAS モデルにて林業新規就業者がシミュレーション開始時点から 1.76 倍に増加するようにエージェントの行動ルールを改良した。また、生産性改善には地域内で一斉に改善に取り組むものとし、森林分布予測 MAS モデルにて林業生産性がシミュレーション開始時点から森林・林業基本計画における「達成すべき水準」である主伐 13m³/人日、間伐 10m³/人日まで増加するように設定した¹⁰⁾。B. 天然林化とは、人の手による人工林の天然林への誘導を意味し、維持が必要な人工林面積を縮小することを目的とする。図 9 に天然林化の概要を示す。人工林の大部分は針葉樹林であり、逆に天然林の大部分は広葉樹林であることから、本研究では天然林化と広葉樹林化をほぼ同義とする。また、自然の成長は予測が難しいため、天然林化のプロセスでは当初に意図した目標林型が自然環境からみて不向きであった場合に、途中で目標林型を変更し、ある程度人工林部分を残すの（針広混交林への誘導）も一般的である。本研究ではこのような現象についても再現を行う。

表 9 に本研究での針葉樹林・針広混交林・広葉樹林の定義を示す。岡田らが愛媛県を対象に行った適地判定基準¹⁴⁾では、針葉樹林比率 40%以上の人工林を広葉樹林化の対象としており、約 66.4%が広葉樹林化可能とされている。そこで、森林分布予測 MAS モデルにおいて、対象の小班が針葉樹林比率 40%以上かつ 61 年生以上の放置林ならば材積計算の直後に天然林化を実施するように森林エージェントの行動ルールを追加した。針葉樹林比率 40%未満で 61 年生以上の放置林は代わりに一度だけ間伐を行い、以降は針広混交林として扱う。広葉樹林化を検討するエージェントは、始めに林業生産力を消費して間伐を行い、天然林化施業の経費を負担する。天然林化にかかる経費は、1 年あたり 199,000 円/ha とした¹⁵⁾。間伐は小班内の対象樹種面積の 40%とし、5 年間にわたって 1 年ごとに経過観察を行い、各年 P_a の確率で間伐を継続し、それ以外は針広混交林への誘導に切り替える。周辺の広葉樹への最短距離を d として、広葉樹林化成功率が 66.4%に近くなるように P_a の数値を調整し、表 10 に示す値を与えた。MAS モデル改良後の林業者の林業生産力消費ルールのまとめを図 10 に示す。

C. 木材入荷量拡大は、需要側からの木材利用促進を目的とする。対象地域の素材出荷は、ほぼ全てが製材用となっている。そこで、本研究では製材として、木材住宅等に利用されるものと考えた。木材住宅の寿命を 50 年と仮定し、森林分布予測モデルにてシミュレーション開始時から 50 年の間、1 人あたり木材製材需要量が一定量ずつ増加し、50 年後にちょうど 2 倍となるように設定した。また、地域外からの木材需要が、前年比で最大 10%上昇するように設定した。D. 木質バイオマス発電導入は、需要側からの木材利用促進を目的とし、発電所エージェント 1 つを尾鷲三田火力発電所跡地に設置する。

表 8 考案した供給-需要シナリオ一覧

分類	対策	目的	
供給側	A	林業生産力向上	伐採可能材積増加
	B	天然林化実施	人工林面積縮小
需要側	C	木材入荷量拡大	木材需要量増加
	D	木質バイオマス発電導入	木材需要量増加

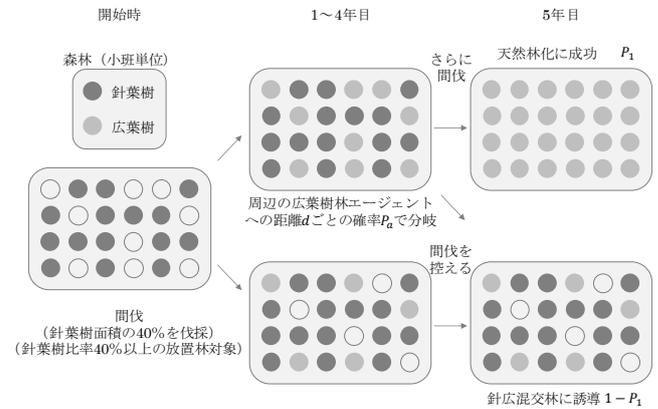


図 9 天然林化の概要

表 9 針葉樹林、針広混交林、広葉樹林の比較

	針葉樹林	針広混交林	広葉樹林
間伐コスト	有	有	無
間伐材の利用	有	有	無
主伐材の利用	有	無	無
人工林に	含める	含めない	含めない
周囲の広葉樹林化に	影響しない	影響しない	影響する

表 10 天然林化の 1 年あたり成功率 P_a と 5 年間の成功率 P_1

広葉樹距離 d [m]	P_a	P_1
$d \leq 30$	0.98	0.90
$30 < d \leq 100$	0.90	0.59
$d > 100$	0.85	0.32

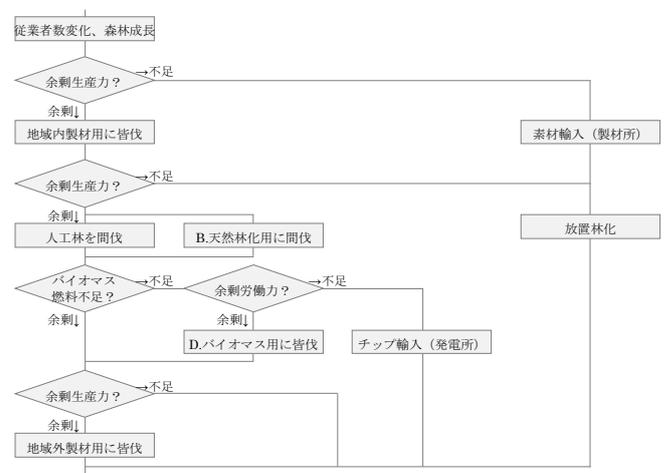


図 10 林業者の林業生産力の割り当て優先順

5. 対策シナリオの評価

シナリオ A~E について「実施」「非実施」の組み合わせで $2^4=16$ 通り、人口シナリオ 5 通りの計 80 通りの組み合わせで齢級構成の評価を行った。表 11 に、全シナリオの人工林齢級構成平準化の評価結果を示す。全部で 16 通りのシナリオにて齢級構成平準化が達成された。2315 年の森林分布は、大きく以下の(1)~(3)のパターンに分類することができた。(1)放置林を生じた。(2)放置林はないが高齢林が残った。(3)天然林と適切に管理された 30 齢級未満の人工林だけになった。

人口シナリオ別の最適な供給-需要シナリオはそれぞれ 1,500-AB-O、10,000-AB-C、30,000-A-C、50,000-A-C、70,000-A-D であった。シナリオ 10,000-AB-C における 2315 年の齢級構成を図 11 に示す。ここでは、13 齢級以上の人工林が残存しているため、平準化は達成していない。ただし、主伐面積は増加傾向にあったため、より長期間で見れば平準化達成できたと考えられる。シナリオ 70,000-AB-D における 2315 年の齢級構成を図 12 に、その伐採面積の推移を図 13 に示す。図 13 の 2215 年以後で見られるように、平準化達成後は 35 年周期で同じ波形で推移する。70,000 人シナリオでは、対策 C よりも D を実施した方がこの波形が小さく、下限値が大きかった。したがって、より多くの木材を安定的に供給可能であるため、70000 人シナリオの場合の最適供給-需要シナリオとした。

6. 研究総括

本研究で得られた知見を以下に示す。

- 1) BAU シナリオでは、どの対策を実施しても放置林を生じ、本研究で考案した以上の対策が必要と分かった。
- 2) 1 万人シナリオでは、供給側が林業生産力向上・天然林化を実施し、需要側が木材入荷量拡大のみを実施すれば、2315 年以降に齢級構成平準化を達成可能と推測される。
- 3) 3 万人~7 万人シナリオでは、供給側は林業生産力向上を、需要側は木材入荷量拡大を実施すれば齢級構成平準化を十分に達成可能と分かった。
- 4) 7 万人シナリオでは、需要側はバイオマス発電導入のみを実施することが望ましい。

参考文献

- 1) 松本美香、泉英二、藤原三夫：持続可能な森林経営のための施業シナリオ—森林資源予測モデルを用いた愛媛県久万町での検証—，日林誌 89 (1) p31-38, 2007 年
- 2) 渡部結、内田瑞生、矢口彰久、高口洋人：マルチエージェントシステムを用いた持続可能な人工林齢級構成平準化に関する研究，2018 年 11 月
- 3) 三重県：三重県全域の最新版の個人情報除く森林簿データ(エクセル形式) 三重県全域の最新版の森林計画図(SHAPE 形式)，2018 年
- 4) 三重県：尾鷲熊野森林計画書，2018 年
- 5) 三重県木材組合連合会：合法木材供給事業者認定団体に関する情報，2018 年 10 月 28 日閲覧
- 6) 総務省：国勢調査，2015 年
- 7) 厚生労働省：人口動態調査，2016 年
- 8) 総務省：住民基本台帳人口移動報告，2015 年
- 9) 国立社会保障・人口問題研究所：人口統計資料集，2018 年
- 10) 林野庁：生産性向上ガイドブック，2018 年
- 11) 有賀一広、吉岡拓如、櫻井倫：中山間地域における木材および森林バイオマス資源の長期的な利用可能性—ランダムサーチを用いた収穫量の平準化—，森林学誌 21(1)，2006
- 12) 農林水産省：木材統計調査，2015 年
- 13) 林野庁：林業労働力の動向，<http://www.rinya.maff.go.jp/j/routai/koyou/01.html>，最終閲覧日 2019 年 1 月 31 日
- 14) 岡田恭一、豊田信行、平田泰雅：愛媛県における過去の土地利用と現植生との比較Ⅲ—県全域の人工林広葉樹林化の不適地判定—，第 120 回日本森林学会大会，2009 年
- 15) 森林総合研究所：「広葉樹林化技術の実践的体系化研究 コスト・収益予測 技術体系の経済性は」，http://www.ffpri.affrc.go.jp/labs/bl_pro_1/taikeika/cost.html，最終閲覧日 2018 年 12 月 19 日

表 11 全シナリオの人工林齢級構成平準化の評価結果

人口シナリオ	供給シナリオ	対策シナリオ			
		O	C	D	CD
1,500 人 (BAU) シナリオ	O	×(1)	×(1)	×(1)	×(1)
	A	×(1)	×(1)	×(1)	×(1)
	B	×(1)	×(1)	×(1)	×(1)
	AB	×(1)	×(1)	×(1)	×(1)
1 万人シナリオ	O	×(1)	×(1)	×(1)	×(1)
	A	×(2)	×(2)	×(2)	×(2)
	B	×(1)	×(1)	×(1)	×(1)
	AB	×(2)	×(2)	×(2)	×(2)
3 万人シナリオ	O	×(1)	×(1)	×(1)	×(1)
	A	×(2)	○(3)	×(2)	○(3)
	B	×(1)	×(1)	×(1)	×(1)
	AB	×(2)	○(3)	○(3)	○(3)
5 万人シナリオ	O	×(1)	×(1)	×(1)	×(1)
	A	×(2)	○(3)	×(3)	○(3)
	B	×(1)	×(1)	×(1)	×(1)
	AB	×(2)	○(3)	○(3)	○(3)
7 万人シナリオ	O	×(1)	×(1)	×(1)	×(1)
	A	×(2)	○(3)	○(3)	○(3)
	B	×(1)	×(1)	×(1)	×(1)
	AB	×(2)	○(3)	○(3)	○(3)

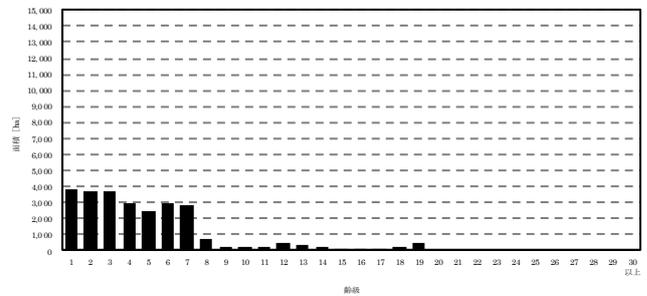


図 11 シナリオ 10,000-AB-C における 2315 年の齢級構成

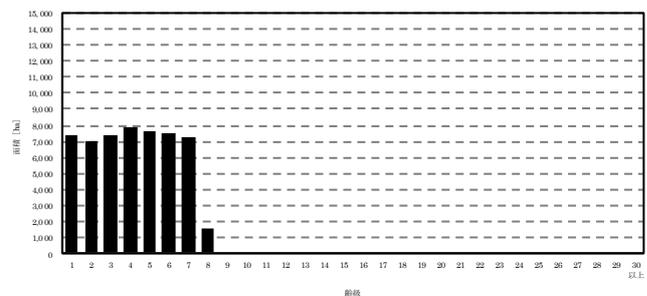


図 12 シナリオ 70,000-A-D における 2315 年の齢級構成

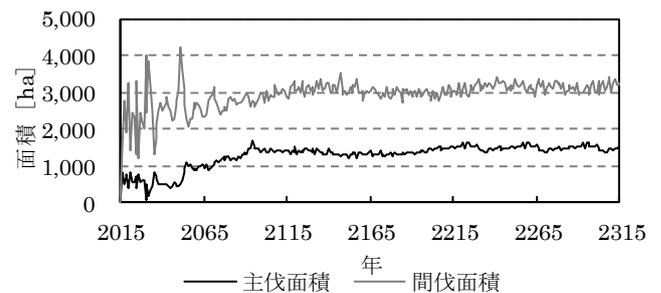


図 13 シナリオ 70,000-A-D における伐採面積の推移