

タイ国の短伐期チーク人工林経営における萌芽更新のキャッシュフローモデル

野田巖(国際農研)・Woraphun HIMMAPAN(タイ王室森林局研究開発部)

要旨：タイ国において収益性が高いとされるチーク(*Tectona grandis*)人工林経営であるが、農家が行うには初期投資の軽減が大きな課題となっている。なかでも植林作業は最も負担が大きく、一方でチーク人工林は萌芽更新で再生できるとされることから、本研究では伐期15年のチーク用材生産について、割引キャッシュフローモデルを構築して遺伝的改良苗木の再植林に対する萌芽更新の収益性を追加NPV(Incremental net present value)で評価した。第1輪伐期は苗木植林だが第2輪伐期の更新を萌芽更新と苗木再植林のモデルを設け評価は2輪伐期間30年である。初年次の収支バランスは萌芽更新にすることで50%以上改善した。追加NPVがゼロになるために必要とされる苗木遺伝的改良効果の閾値(割引率10%)は、萌芽生産性が遺伝的改良前の苗木と変わり無ければ15%とされ、萌芽生産性が110%ならば25%となった。追加NPVは収穫材積を左右する萌芽生産性と苗木遺伝的改良効果に強く影響を受けていた。

キーワード：チーク、収益性、萌芽更新、農家林業、低コスト更新

Abstract: Teak (*Tectona grandis*) plantation management is considered more profitable in Thailand. However, the reduction of the initial investment is an important challenge for farmers to conduct management. Especially, tree-planting work is the most burdensome. At the same time, planted teak forests are considered regenerable by coppicing; thus, this study established the discounted cash flow model for producing teak timbers with a 15-year cutting cycle, and evaluated the profitability of coppicing concerning afforestation with genetically improved seedlings using the incremental net present value (NPV). In the first rotation period, seedlings are planted. At reforestation in the second rotation period, the models of coppicing and seedling-reafforestation were prepared. These two rotation periods lasted 30 years. The introduction of coppicing improved the initial-year balance of payments by 50% or more. The threshold (discount rate: 10%) of the effect of genetically improved seedlings, which was necessary to make the incremental NPV nil, was set at 15% when the coppice productivity remained the same as seedlings before genetic improvement, and 25% when it was 110%. The incremental NPV was markedly affected by the coppice productivity, influencing the harvested timber volume, and effect of genetically improved seedlings.

Keywords: *Tectona grandis*, profitability, coppicing, farm forestry, low-cost reforestation

I はじめに

タイの民有地におけるチーク(*Tectona grandis*)育成林業は1994年の造林補助事業以降に始まり、植林者の多くは小規模農家である(15)。ところで、チーク林経営は収益性が高いことから大規模な商業目的の集約的経営モデルが提案されている(10)。東北タイで集約施業を行う産業植林、比較的粗放施業のコミュニティによる植林、農家が林間作物を栽培するアグロフォレストリーの3方式のいずれもで、チークは*Eucalyptus camaldulensis* Denhn. よりも収益性が高いとされた(6)。Noda *et al.* は東北タイの小規模農家によるチーク造林は経営的にはユーカリよりも投入産出比が少なく高収益が見込めるものの、植林も含めた初期投資の負担が少なくないことと、伐期までの無収入期間の問題を指摘し、農作物栽培でカ

パーする効率的な土地利用方法の検討を必要とした(7)。野田らは東北タイでの研究で農林複合型にすることで初期経費の負担軽減が期待できるし、土地利用戦略的にコメが収益性向上の主要素とした(8)。一方、チーク人工林は萌芽更新により再生できるとされる(1, 5など)。パルプ生産目的の*Eucalyptus globulus*人工林で、割引キャッシュフローモデルを使った収益性分析によって萌芽更新が投入額を低減させるとされた(14)。これらからチーク人工林についても同様に植林経費自体の削減効果が予想されるが、これまで収益性を分析した例が見られない。そこで本報告では、農家のチーク人工林経営を想定した伐期15年の短伐期用材生産について、割引キャッシュフローモデルを組み立てて苗木植林に対する萌芽更新の収益性を評価した。本研究は、国際農林水産

Iwao NODA (Japan International Research Center for Agricultural Sciences, 1-1 Ohwashi, Tsukuba, Ibaraki, 305-8686), Woraphun HIMMAPAN (Forestry Research and Development Bureau, Thai Royal Forest Department) A cash flow model of coppicing for short rotation plantation management of teak (*Tectona grandis*) in Thailand

業研究センター「東南アジアにおける持続的利用を通じた森林管理・保全技術開発」の一環によるものである。

II 材料と方法

1. モデルの構築 タイ王室森林局(Royal Forest Department, RFD)が東北タイの農家向けに作成した伐期15年、植栽間隔4x4mの用材生産の施業体系(表-1)を2輪伐期間繰り返す30年間のキャッシュフローで構成する。ただし、先行研究(14)と同様に分析のために第2輪伐期(Second rotation, 2R)の更新方法として、萌芽により林分を更新するモデル(以下、萌芽モデル)と苗木植林で林分を更新するモデル(苗木モデル)の2通り(表-2)を設定した。第1輪伐期(First rotation, 1R)で使用された苗木に対して、2Rでは何らかの遺伝的改良が加えられて収穫材積が増加する可能性を盛り込み、変数に苗木遺伝的改良効果(VGAIN)を設定した。

施業方法は1Rで表-1の施業体系とし、2Rでモデルに合わせて初年時の作業を変更した(表-3)。つまり、萌芽モデルは植林不要だが、萌芽枯死率10%を見込み補植用に苗木を調達し植栽杭設置(Alignment and staking)に0.5人日を設定した。苗木モデルは再植林時の林地整理に伐根の撤去、整理など割増しが想定されるがその程度が不確実なことから地拵え割増率 r を導入して、地拵え(Land preparation)、残材焼き払い整理(Slash and burn)作業を調整した(表-3)。

1Rの遺伝的改良前の苗木に対する萌芽の材積成長量の比率を萌芽生産性(CPROD)、苗木の遺伝的改良が材積成長量に与える効果を苗木遺伝的改良効果(VGAIN)、そして収穫時の素材価格(LogPrice)、萌芽モデルの収穫材積(Y_s)、苗木モデルの収穫材積(Y_c)、割引率(Discount rate)(d)を変数とした(表-4)。 Y_s , Y_c は次式による。

$$Y_c = Y_n \times CPROD/100 \dots\dots\dots(1)$$

$$Y_s = Y_n(1 + VGAIN/100) \dots\dots\dots(2)$$

ここで、 Y_n は従来の苗木の収穫材積で、表-1の値(Yield log volume)を使用した。入力変数に対する出力として連年のキャッシュフロー、純現在価値(Net present value, NPV)(Price, 1989)と萌芽モデルの収益性の増分として追加NPV(Incremental NPV)を求めた。追加NPVは萌芽モデルのNPVから苗木モデルのNPVを差し引いた値である。モデルの構築はMS-Excel上で行った。

2. シミュレーションによる分析 モデルにOracle Crystall Ball 11(Oracle Corp.) (2)を使用してモンテカルロシミュレーション(反復2万回)を行うことで、生起確率が定義された入力変数に対する出力結果の反応を分析した。つまり萌芽更新による初期投資の低減効果

をキャッシュバランスで確認する、そしてある d 値におけるCPRODとVGAINの組合せが追加NPVに与える影響を意思決定テーブルツール(2)で分析した。次に、追加NPVに対する変数値の感度分析を行い順位相関係数によって萌芽更新の収益性向上に関連が強い変数を吟味した。

変数値の生起確率は基準値と最小値、最大値で示す三角分布で定義し、 r を一様分布とした(表-5)。基準値は他の文献をもとに設定した。レンジは r が0から100%、LogPriceが基準値の±10%を、他が±20%とした。使用したコスト単価は作業賃金180 baht/man-day、苗木5 baht/tree、肥料10 baht/kgである(12)。

III 結果と考察

表-5の条件のもとでシミュレーションした結果、2R初年次の収支バランスは苗木モデルに比べると萌芽モデルは56.9±3.3%改善した。意思決定テーブルツールの実行で、萌芽生産性(CPROD)と苗木遺伝的改良効果(VGAIN)の組合せと追加NPVの関係が得られた(図-1)。割引率(d)10%では萌芽生産性が1R苗木と同じ場合(CPROD 100%)、苗木更新の収益性が上回る(追加NPV < 0)には苗木遺伝的改良効果が少なくとも15%必要であるとみられ、このことから萌芽更新の更新作業コストが削減されていることが認められる(図-1a)。仮に萌芽生産性が110%とすると、苗木遺伝的改良効果は少なくとも25%が必要とされた。一方、苗木遺伝的改良効果が無い場合(VGAIN 0%)、萌芽生産性が1R苗木の85%程度までなら萌芽更新の収益性の方が上回り(追加NPV > 0)、1R苗木と同じなら追加NPV686±91 baht/rai (1rai=0.16ha)で萌芽モデルは苗木モデルをNPVで12.9±2.5%上回った。

割引率10%では、萌芽生産性70~130%と苗木遺伝的改良効果0~40%に対して追加NPVは5,000(-2,500~2,500) baht/raiの変化量だった。これに対し割引率7%では11,000(-6,000~5,000) baht/raiだった(図-1b)。ここでは割引率が小さくなると萌芽生産性や苗木遺伝的改良効果で生じる将来の収穫材積の違いが増幅されて収益に作用していた。また割引率7%では、萌芽生産性が1R苗木と同じなら苗木遺伝的改良効果の閾値は11%に、萌芽生産性110%では同閾値は22%になった。苗木遺伝的改良効果が無い場合、追加NPVがゼロになる萌芽生産性の閾値は1R苗木の95%程度で、1R苗木と同じなら追加NPV1,068±141 baht/raiで萌芽モデルのNPVは8.0±1.3%上回った。

追加NPVに対して相関が認められたのはCPRODとVGAINだった(表-6)。単独のNPVに対しては割引率(d)が強い負の相関を、LogPrice15が弱い正の相関を示した。地拵え割増率(r)はいずれにも相関が認められなかった。

その結果、2Rの更新方法の選定に際してはCPRODとVGAINが重要な要素で、収益の向上には主伐時の素材形質向上を通じて素材価格単価を引き上げるのが効果的といえる。

ところで、萌芽が成木にまで生育できる個所では、萌芽更新は成長が遅い苗木よりも効果的更新手段になりうるとされる(3, 9)。ジャワ島のチーク人工林3, 8, 13年生について、萌芽による林分はいずれも苗木植林による林分を樹高と胸高直径で上回ったという(1)。こうした点から萌芽生産性は多くの場合100%を上回ることはあっても下ることは少ないのではなからうか。一方、タイのチーク育種に関する研究では、採種園由来の苗木では材積で5~12%増加が見込まれ(13)、選抜種子由来の苗木で成林した林分は非選抜の林分と比べて少なくとも8%多い生産量が見込まれる(4)とされる。こうしたことから、遺伝的に改良が加えられた苗木を1Rに使う代わりに2Rで導入したとすると苗木遺伝的改良効果は10%程度で、そうでなければ0%と想定される。その場合、萌芽生産性が100%あるいは110%であれば今回の結果で得られた苗木遺伝的改良効果の閾値15%、25%程度よりも小さく萌芽更新が収益性向上には有効とされよう。ただし、先行研究(14)が示すように、実際の苗木遺伝的改良効果が上述の閾値に近いときあるいは、萌芽モデルと苗木モデルのNPVがほぼ等しいときには、順調な成長が見込めるなどリスクの少ない方を選択するのが望まれる。

IV おわりに

*Eucalyptus globulus*に関する先行研究(14)を参考にチーク人工林短伐期経営の収益性に関する萌芽更新の有効性を第2輪伐期の更新方法の違いで検討した結果、萌芽更新は初期投資を抑え、場合によっては収益性が苗木植林よりも上回る可能性が認められた。今後は、分析に使用した変数のレンジと基準値の妥当性について検証を深める必要がある。

引用文献

- (1) BAILEY, J. D. and HARJANTO, N. A. (2005) Teak (*Tectona grandis* L.) tree growth, stem quality and health in coppiced plantations in Java, Indonesia. *New Forests* 30:55-65.
- (2) Decisioneering, Inc. (2005) Crystall Ball 7.2 User Manual. 381pp, Decisioneering, Inc., Colorado.
- (3) HARCOMBE, P. A. and MARKS, P. L. (1983) Five years of tree death in a *Fagus-Magnolia* forest, southeast Texas (USA). *Oecologia* 57:49-54.
- (4) KJAER, E. D. and SUANGTHO, V. (1997) A review of the tree improvement plan for teak in Thailand. Internal report. DANIDA Forest Seed Centre, Humlebaek & Royal Forest Department, Bangkok.
- (5) 小林繁男, YARWUDHI, C., PUANGCHIT, L., THAIUTSA, B. (2006) タイのチーク人工林における間伐とぼう芽更新. 117回日本森林学会大会学術講演集:D24.
- (6) NISKANEN, A. (1998) Financial and economic profitability of reforestation in Thailand. *For. Ecol. Manage.* 104:57-68.
- (7) NODA, I., SUZUKI, T., OKABAYASHI, M. and CHALUMPOL, C. (2004) Profitability analysis of teak plantation management for small scale farmers in the Northeast Thailand. 53pp., JICA, Tokyo.
- (8) 野田巖・ヒンマパンワラパン・古家直行・プッサヴァンアルニー(2011)東北タイにおけるチークを活用した農家林業経営の収益性分析. 122回日本森林学会大会学術講演集:Pa2-31.
- (9) OHKUBO, T. (1992) Structure and dynamics of Japanese beech (*Fagus japonica* Maxim.) stools and sprouts in the regeneration of the natural forests. *Vegetation* 101:65-80.
- (10) PHOTHITAI, M. (1993) Growing Teak for Business Purpose. M.P. Reforestation Group, Forestry Industry Organization, 1-30. (in Thai)
- (11) PRICE, C. (1989) The Theory and Application of Forest Economics. Blackwell, Oxford, 402 pp.
- (12) Royal Forest Department (2006) Master Plan for Economically Viable Tree Planting at Nong Bua Lumphu Province. Forestry Research Center, Faculty of Forestry, Kasetsart Univ., Bangkok. (in Thai)
- (13) WELLENDORF, H. and KAOSA-ARD, A. (1988) Teak improvement strategy in Thailand. *For. Tree Improv.* 21: 1-43.
- (14) WHITTOCK, S. P., GREAVES, B. L., and APIOLAZA, L. A. (2004) A cash flow model to compare coppice and genetically improved seedling options for *Eucalyptus globulus* pulpwood plantations. *For. Ecol. Manage.* 191:267-274.
- (15) 横田康裕・駒木貴彰・野田巖・古家直行・アルニー・プッサヴァン・ワラパンヒンマパン・ナリンデッドソーン・トスポーンヴァチャランクラ (2009) 東北タイにおける小規模農家によるチーク育林林業の現状と課題. 関東森林研究60: 25-28.

表-1. チーク人工林のための経営モデル(主伐期15年, 植栽間隔4x4m)

Table 1. The management model for teak plantations (cutting period, 15 years; planting interval, 4 × 4 m)

Activity	Unit	Year														
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Survey	man.day	0.5														
Land preparation	man.day	4														
Slash and burn	man.day	4														
Survey road	man.day	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
Fire line	man.day	1														
Alignment and Staking	man.day	2														
Planting and seedling transportation	man.day	3														
Weeding	man.day	4	6	6	6	6	6	2	2	2	2	6	2	2	2	2
Fertilizing	man.day	0.5	0.5	0.5				0.5	0.5				0.5	0.5		
Replanting and survival rate checking	man.day	1	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
Pruning	man.day							1	1	1	1	1	1	1	1	1
Tending cutting 50%	man.day					5										
Logging	man.day										7					7
Number of seedlings	tree	120														
Amount of fertilizer	kg	50	50	50			50	50			100	100				
Yield log volume	m ³	0	0	0	0	3	0	0	0	0	5	0	0	0	0	9
Log price	baht/m ³	0	0	0	0	1,500	0	0	0	0	3,000	0	0	0	0	5,000

The above are shown as value per rai. 1 rai = 0.16 ha. Source: Royal Forest Department(2006).

表-2. 苗木植栽と萌芽更新の追加NPVを評価するために使用した構成

Table 2. The formation used to evaluate the incremental NPV of seedling and coppice crops

	The first rotation (1R)	The second rotation (2R)
Case 1	Seedling (rotation 1, unimproved seedling)	Seedling (rotation 2, improved seedling)
Case 2	Seedling (rotation 1, unimproved seedling)	Coppice (rotation 2, coppice)

表-3. 第1輪伐期と比べ第2輪伐期に苗木植林と萌芽更新で変更された施業パラメータ

Table 3. Parameters changed for activities in second rotation of seedling and coppice

Activity	Rotation order	1R			2R		
		Year	1st	1st	1st	1st	
Land preparation	man.day	4	4	4 · (1 + r/100)	1	1	
Slash and burn	man.day	4	4	4 · (1 + r/100)	1	1	
Alignment and Staking	man.day	2	2	2	0.5	0.5	
Planting and seedling transportation	man.day	3	3	3	0	0	
Number of seedlings	tree	120	120	120	12	12	

表-4. モデルで使用した変数一覧

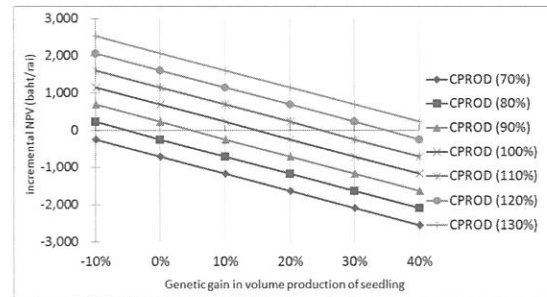
Table 4. A list of variables used in the models

Variable	Description
<i>CPROD</i>	The percentage change in productivity of coppices in relation to the first rotation yield
<i>VGAIN</i>	The percentage genetic gain in volume production of seedlings over the first rotation
<i>r</i>	The percentage cost gain in land preparation, slash and burn to plant seedlings over the first rotation
<i>LogPrice5</i>	The teak log price yielded at the 5 years old
<i>LogPrice10</i>	The teak log price yielded at the 10 years old
<i>LogPrice15</i>	The teak log price yielded at the 15 years old
<i>Y</i>	Yield volume (m ³ /rai) (<i>Y_c</i> yield from coppice, and <i>Y_s</i> the yield from seedlings)
<i>d</i>	Discount rate

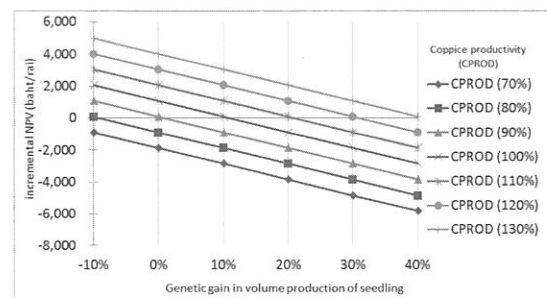
表-5. 変数に設定した仮定

Table 5. The assumptions for variables

Variable	Base value	Range	Reference
<i>CPROD</i> (%)	100	80-120	Whitlock et al.(2004)
<i>VGAIN</i> (%)	20	0-40	Whitlock et al.(2004)
<i>r</i> (%)	50	0-100	
<i>LogPrice5</i> (baht/m ³)	1,500	1,350-1,650	RFD(2006)
<i>LogPrice10</i> (baht/m ³)	3,000	2,700-3,300	RFD(2006)
<i>LogPrice15</i> (baht/m ³)	5,000	4,500-5,500	RFD(2006)
<i>d</i> (%)	10	8-12	Niskanen(1998)



(a) discount rate 10 %



(b) discount rate 7 %

図-1. 萌芽生産性と苗木遺伝的改良効果の組合せと追加NPVの関係

Fig.1. Relationship between the combination of coppice productivity and seedling genetic gain and incremental NPV

表-6. 追加NPVも含めた各NPVと変数の間の順位相関

Table 6. Rank correlations for NPVs including incremental NPV

Assumptions	1R	2R seedling	2R coppice	incremental NPV
<i>CPROD</i>	-	-	0.21	0.67
<i>VGAIN</i>	-	0.19	-	-0.66
<i>r</i>	-	-0.06	-	0.16
<i>LogPrice5</i>	0.08	0.07	0.07	-0.02
<i>LogPrice10</i>	0.19	0.16	0.17	-0.01
<i>LogPrice15</i>	0.33	0.29	0.30	-0.03
<i>d</i>	-0.92	-0.92	-0.91	0.17