

熱帯人工林の伐期が林地養分循環に及ぼす影響

森 徳典¹⁾・中山祐介¹⁾・脇 幸介²⁾・

Tosporn Vacharangkura³⁾・Sirirat Janmahasatien³⁾

人工林造成は木材生産や荒廃地の緑化、環境保護林の造成などに欠かせない手段である。しかし、一方において、人工林は、持続的森林管理の柱である生物多様性の保全、水土保全、地球環境への貢献、健全な森林の維持などの面で、時としてマイナスの効果をもたらす面もある。その中の一つとして、産業植林に代表される短伐期施業において、収穫の繰り返しが地力低下をもたらすことが懸念されている。この報告は、2000年から3年間、林野庁補助事業でこなった「開発途上国の人工林の環境影響調査」において、中心的に取り上げた林地の無機養分循環に及ぼす木材収穫の影響についての調査の一部として、国際緑化推進センターがタイ国王室森林局森林研究所造林部との共同で調査をおこなった結果である。

1. 調査地及び調査方法

調査地は外来早生樹種の短伐期一斉造林の典型である産業植林地と熱帯草原に植林された長伐期郷土樹種及び外来早生樹種による環境植林地を対象とし、主として樹種の違いと伐期の違いが林地の無機養分循環に与える影響について調査を行った。

1) タイ・プライウッド社有林

調査地はバンコクの東約70 kmに位置し、Thai Plywood社が経営している繊維板用原料供給林である。面積は約3,200 ha、海拔80 mの平坦地で、Oxic paleustults 土壌である。気候条件は年平均気温が27.0°C、年平均雨量が1,250 mm、5月から10月の雨季と11月から4月の乾季がある熱帯モンスーン気候

Tokunori Mori, Yusuke Nakayama, Kosuke Waki, Tosporn Vacharangkura, Sirirat Janmahasatien: Effects of Timber Harvesting Rotation on Nutrient Cycling in Tropical Plantation.

¹⁾国際緑化推進センター、²⁾元国際緑化推進センター、³⁾タイ王室林野局造林研究部

表 1 調査林分の成長概要

区分	樹種	林齡 (年)	密度 (本/ha)	DBH (cm)	樹高 (m)	材積 (m ³ /ha)	年平均成長 (m ³ /ha・年)	
産業 植林	Ec	4	1231	8.9	13.3	86	21.5	
	Ec	6	1570	10.6	16.7	108	18.0	
環 境 植 林	郷土 樹種	Xx	15	1553	11.2	13.3	117	7.8
		Dc	16	2265	9.5	11.0	102	6.4
	外来 樹種	Aa	16	1287	15.5	19.3	270	16.9
		Am	16	873	20.3	20.1	299	18.7

注) 樹種略記号は本文参照

である。この林地内の一代目植林地で収穫直前の6年生と2代目植林地の4年生の *E. camaldulensis* (以下 Ec と略す) を調べた。前者は実生苗木, 後者は挿し木苗で, とともに植栽間隔は 2m×3m, 6年伐期で経営されている。調べた林分の成長状態は表1のとおりである。

2) サケラート試験林

サケラート試験林は, 焼き畑耕作跡地の *Imperata cylindrica*, *Neyraudia reynaudiana*, *Sacchalum spontaneum* 等で被われた草原に, 1981年から1990年まで JICA の援助により, 各種の人工林が造成された場所である。焼き畑前は乾性常緑林に被われていた。試験林はコラート高原の東南端に位置し, バンコックから東北に直線距離で約 200 km 離れている。土壌はおおむね Ferric Acrisol に属する。中腹平坦地で, コラート高原の中では乾燥及び土壌の瘦悪度は中庸である。年平均気温 26.5°C, 最近3年間の年平均降雨量は約 1,200 mm である。熱帯モンスーン気候に属し, 雨季・乾季は産業植林地と同じである。

調査した林分は在来樹種2種, *Dalbergia cochinchinensis* と *Xylocarpa xylocarpa* (以下 Dc, Xx), 外来早生樹2種, *Acacia auriculiformis* と *A. mangium* (以下 Aa, Am) である。各林分の植栽年は1986で, 植栽間隔は Xx が 2m×2m の外は, 2m×3m である。乾季の後半には, 在来樹種は落葉する。各樹種の成長状態を表1に示した。

3) 調査方法

社有林では, 調査林分の胸高直径分布幅から大中小5本の標本木を伐倒し, 葉, 枝 (大と小), 幹 (材と樹皮), 根 (大・中・小) ごとに, バイオマス乾重測定用試料と無機養分 (N, P, K, Ca, Mg) 分析試料を採取した。サケラート試験林では, 平均木3本を伐倒し, 同様に試料採取した。林床植生量は4ヶ

表 2 植林木, 林床植生, 表層土壌 (0-30 cm) 中の養分量

林齢	区分	全 N (kg/ha)	置換性塩基 (kg/ha)			
			P	K	Ca	Mg
6 年生	植林木	377	7.4	357	533	50
	全植生	616	13.5	537	857	109
	表層土壌	8791	9.4	110	434	232
	生態系	9407	22.9	647	1291	341

生態系: 全植生(植林木+林床植生地上部)+表層土壌(0~30 cm)

所 (1m²) の地上部植生量の平均である。無機養分のうち N はケルダール法, その他は原子吸光法で測定した。社有林の面積当たりのバイオマス量と無機養分量は D²H との相対成長関係から推定した。一方, サケラート試験林のそれらは試料木胸高直径と林分胸高断面積合計から推定した。各林分の土壌調査結果は, 紙面の関係で省略する (森ほか, 2003)。

2. 樹木の無機養分

産業植林地: *E. camaldulensis* の 6 年生 (以下 Ec-6) 及び 4 年生 (Ec-4) の植林木 (根を含む) および全植生 (植林木+林床植物地上部) に存在する無機養分量を調べた (表 2, Ec-4 省略)。また, 土壌表層 (0~30 cm) に含まれる無機養分量 (N は全窒素量, その外は置換性養分量) も合わせて表 2 に示した。全植生中の養分量に対する表層土壌中の養分量の比は, 4 年生で N:P:K:Ca:Mg が 10.8:2.8:0.5:0.5:3.4, 6 年生で 14.2:0.7:0.2:0.5:2.1 であった。K と Ca 及び 6 年生の P は, 表層土壌中より植物中に多く存在していた。したがって, 熱帯土壌中にプールされている置換性塩基類の量は非常に少ないことが推測できる。逆に言うと植生中に貯えられている養分量が多いといえる。

環境植林地: サケラートの 15 年生郷土樹種と外来樹種の林地表層土壌と全植生に含まれる無機養分量を表 3 に示した。Dc 林地土壌で Ca が他 3 林地より 10 倍近く多かった以外は, 樹種間で無機養分量に大差なく, 土壌表層中の置換性 P, K, Ca は植生中のそれらの 1/3 から 1/2 程度しか存在しなく, 産業植林地と同様の結果を示した。ベトナムにおける *Acacia auriculiformis* 林も同様であった (山田, 2003)。さらに, 別に調査したサケラートの植林地に隣接する *I. cylindrica* 草原土壌は塩基飽和度が調査植林地より 2, 3 倍高く, 植林地の土壌はより多くの塩基類 (K, Ca, Mg) が地上部に吸い上げられて, 塩基飽和度

表 3 環境植林地の植生と土壤中の養分量

樹種	区分	全 N	塩基類 (土壤中は置換性)			
			P	K	Ca	Mg
Dc	全植生	786	14.1	396	363	68
	表層土壌	6290	7.7	207	1109	240
Xy	全植生	1036	24.9	299	397	98
	表層土壌	5640	6.3	177	135	105
Am	全植生	1766	23.7	294	671	72
	表層土壌	5370	6.5	192	68	97
Aa	全植生	2082	29.8	357	1121	87
	表層土壌	5466	3.5	285	115	149

が低い性質を示した。なお、草原土壌の N と P は非常に低かった。これは毎年のように繰り返される野火の影響であると思われる。

熱帯土壌、特に風化の進んだ Acrisol などの土壌では、土壌中にプールされる無機分量が非常に少なく、落葉落枝などの素早い分解とその植物体による吸収、すなわち、植物-土壌間の早い養分循環によって、熱帯林特有の多量の植物量が支えられていると言われている (Ohta ほか, 2000)。ここで得られた結果はその反映であろう。

3. 収穫木材中の無機養分量

15 年生の植林木の樹幹乾重は、その全乾重の 60~70% を占めていた。一方、樹幹中の養分量は、P を除いて、植林木全体のその 50~60% であった。P のみは樹幹中に 30 数% しか存在しなかった。この傾向は在来種、外来種で大きな違いは認められない。したがって、木材収穫時に枝葉を林地に残すことで、P 以外の養分は半分近く、P は 2/3 近くが林地に残ることになる。

産業植林地においても、上記同様の傾向がみられたが、樹齢の若い 4 年生の *E. camaldulensis* では、樹幹中の P の量が、6 年生や 16 年生の早生樹に比較して 10% 程度高い含有率であった。このように樹齢が若いと形成層など生組織の比率が高いために、養分含有量が大きくなるので、収穫木材中に含まれる比率が高くなる。植林木各部位に存在する各養分量については、既報告書 (JOPP and JIFPRO, 2003) を参照されたい。

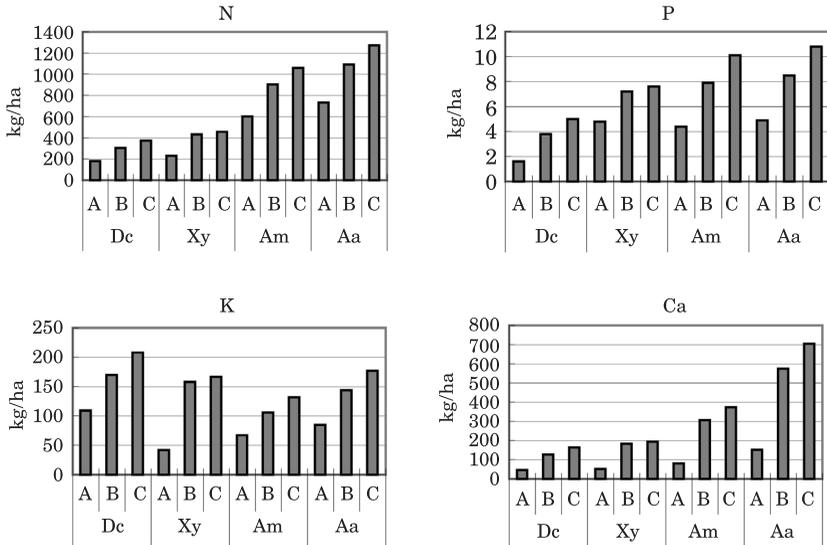


図 1 植林樹種ごとの各収穫法 (A, B, C) 別の養分持ち出し量 (記号は本文参照)

4. 林地養分循環への木材収穫の影響

1) 収穫木材中に含まれる養分量

収穫方法別に持ち出し養分量を推定してみた。収穫方法は A) 直径 5 cm 以上の剥皮丸太の収穫, B) 直径 5 cm 以上の樹皮付き丸太の収穫 (慣習的方法), C) 直径 2 cm 以上の樹幹と太枝の収穫 (Thai Plywood 社法) の 3 つのケースについて推定した。

図 1 は環境植林地での例である。収穫バイオマスが増える (A→B→C) につれて、一般に林地から持ち出される養分量は増加するが、剥皮丸太の収穫は、Ca の林地残留に大きく貢献することがわかる。この傾向は特に Acacia や Eucalyptus で顕著であった。産業植林地においても結果はまったく同様であった。

2) 養分持ち出し量と土壌表層に含まれる養分量の比較

ここで、慣習的方法 (B 法) によって持ち出される養分量と 0~30 cm の表層土壌に含まれる養分量 (N 以外は置換性) 比較してみた (表 4)。これによると、両試験地とも P, Ca で、一回の伐採で持ち出される量以下しか表層土壌中に含

表 4 慣習的収穫によって持ち出された養分量に対する土壤中（0-30 cm）の養分量

区分	樹種	土壤養分量/収穫持ち出し養分量				
		全 N	P	K	Ca	Mg
在来樹種	Dc	20.6	2.0	1.2	8.7	25.3
	Xy	13.1	0.9	1.1	0.7	2.9
外来樹種	Am	5.9	0.8	1.8	0.2	4.6
	Aa	5.0	0.4	2.0	0.2	3.8

N 以外の土壤中養分は置換性塩基

まれていないことがわかる。このように Acrisol などの熱帯土壤では、わずかな塩基養分 pool しかないので、樹木中に多く含まれる養分が収穫されると、土壤肥沃度への影響は温帯などより大きいと予想される。

3) 伐期の影響

ついで、環境植林地について、それぞれの樹種の収穫予想表から推定した各伐期齢（図 2 参照）の幹材積と調査時（15 年生）の幹材中の養分含有量から計算したそれぞれの伐期における養分持ち出し量を推定した。1 回の伐採で持ち出される養分量は、持ち出す幹材積量の多い長伐期ほど多くなる。しかし一定年月、ここでは 30 年間で想定すると、図 2 から明らかなように、同じ期間内では、伐期齢が長く、伐採回数が少ないほど、持ち出し養分量は減少する傾向を示した。この傾向は樹種、養分の種類を問わず、まったく同様であった。伐期齢が 30 年より長くなれば、さらにこの削減効果は大きくなるはずである。産業植林地でも、15 年間で想定すると、6 年生 2.5 回より 15 年生 1 回の方が少なかった。

4) 雨水による養分供給量

Acrisol のような風化の進んだ古い土壤では、鉱物の風化によるミネラル分の土壤への供給より、雨水による養分供給の重要性が高いと思われる。そこで雨水によって供給される養分量と木材収穫による持ち出し養分量の関係を比較してみた。雨水中の養分は、タイ国中西部の Meaklong 理水試験地における最近 3 年間のデータと Jordan（1987）によって報告されている熱帯季節林地帯の平均的雨水養分量を用いた（表 5）。

表 6 には産業植林地の Ec-6 の例を載せた。Maeklong の data を用いた場合には、Ca 以外の養分は伐期（6 年間）までに雨水により供給される量の方が収

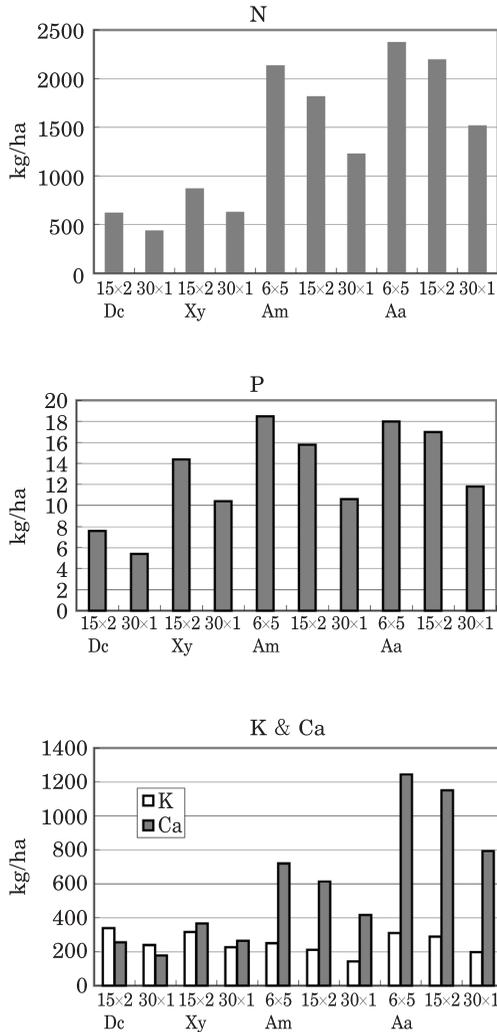


図 2 各伐期齢で 30 年間に慣習的伐採法で持ち出される養分量の比較
Am で 6×5, 15×2, 30×1 はそれぞれ A. Mangium を 6 年伐期で 5 回, 15 年伐期で 2 回, 30 年伐期で 1 回収穫した場合の値。その他の樹種も同じ。

穫される量より多くなった。Maeklong の雨水は Ca, K, N などの養分量が非常に高濃度 (Jordan の最高値, あるいはその倍以上) であったので, 仮に Jordan の値を用いてみると, 逆に P 以外のすべての養分でマイナスになった。

表 5 雨水による養分供給量 (kg/ha・yr)

場所	調査年	N	P	K	Ca	Mg
タイ	1999-2001	40.4	3.2	55.2	25.3	9
季節林 地域	平均 範囲	15 11-19	1.3 0.6-20	12 6-18	15 4-25	4 1.5-7.5

表 6 雨水による養分供給量と各種伐採法による養分持ち出し量の差

		雨水養分-伐採持ち出し養分				
タイ西部の雨水の場合		N	P	K	Ca	Mg
Ec-6	A 剥皮法	+	+	+	+	+
	B 慣習法	+	+	+	-	+
	C 会社法	+	+	+	-	+
季節林平均雨水の場合						
Ec-6	A 剥皮法	-	+	-	+	+
	B 慣習法	-	+	-	-	-
	C 会社法	-	+	-	-	-

表 7 雨水供給養分と持ち出し養分の差

		雨水-持ち出し (kg/ha)				
樹種	伐期年	N	P	K	Ca	Mg
Dc	15	300	44.2	658	253	126
	30	782	90.6	1417	580	257
Xy	15	175	40.8	670	197	99
	30	593	85.6	1430	496	219
Am	6	-183	15.5	281	8	44
	15	-298	40.1	722	73	114
	30	-8	85.4	1513	344	241
Aa	6	-231	15.6	269	-97	37
	15	-487	39.5	684	-197	96
	30	-297	84.2	1458	-36	216

とくに、Thai Plywood 社が採用している伐採法（C 法）で、6 年伐採を繰り返すと、多くの養分に不足が早晚生じる懸念がある。しかし、もし枝葉や樹皮を林地の残すとすれば、この懸念はかなり薄らぐことも期待できる。

環境植林地については、慣習的な収穫（B 法）と伐期を変えて収穫したときの雨水供給と持ち出し養分量の差を比較してみた（表 7）。Aa の N と Ca, Am の N でマイナスとなった。ただし、Acacia 類は根粒菌による窒素固定により、N はかなり補給されるものと思われる。伐期別にみると、Acacia では 15 年伐期でもっともマイナスが大きく、30 年になると減少する。郷土樹種では伐期が長くなるほど養分が蓄積していく傾向がうかがえ、ここでの *Darbergia* や *Xylia* は通常 50 年以上の伐期であるので、林地は肥沃化することはあっても劣化することはまったく考えられない。

木材収穫が林地養分循環に及ぼす影響は、土壤の性質によって大きく影響され、熱帯地域に多い貧栄養土壌ではマイナスになる例が多い（Judd, 1996, Bouillet *et al.*, 2000）が、ジャワ島の火山灰土壌では、岩石の風化による塩類供給が非常に大きく、収支はプラスとなっている（Whitmore, 1998）。

また、一般に熱帯地域では、P は最も欠乏しやすい土壤養分と考えられている。これは土壌中の P の貯留が非常に低レベルで、他の主要養分の 1/10 以下であることによると思われる。しかしながら、木材収穫によって持ち出される P 量もわずかであるために、ここでの養分収支はプラスになったと考える。この結果が他の地域や土壌を問わず適用できるかどうかは今後研究を要する。

このプロジェクトの調査地である風化が進んだ痩せた土壌（Acrisol あるいは Oxisol および Ultisol など）では、土壌中に塩基プールが少ない上に、岩石風化は低レベルにあると考えられるので、Thai Plywood 社で行っているような、小径の幹枝まで持ち出す収穫を短年月に繰り返す短伐期産業植林地では、早晚土壌養分が欠乏し始める可能性が大であるといえる。したがって、無機養分の消失が大きい火入れ地捨ての中止、剥皮丸太の収穫などを実行し、土壌の持続的利用を可能にする処置をとることが望まれる。さらに土壌養分などをモニタリングして、必要であれば適切な施肥を行う。

5. まとめ

熱帯人工林での木材収穫が林地養分循環に与える影響をまとめると、熱帯地方に多い溶脱の進んだ土壌では、表層の可溶性 P, K, Ca などの塩類を 1 回の伐採で持ち出される塩類量以下しか含んでいないほどに、塩類 pool が小さい。

このような土壌であるが、在来樹種の長伐期林では、森林化によって無機養分が生態系中に年々蓄積されるので、木材収穫のみによって地力の低下がおこることはないといえる。一方、早生樹の短伐期林では、全木集材を繰り返すと、N, Caなどの養分が早晚不足する可能性が高いといえる。より多くの枝葉や樹皮を林地に残すことで、養分低下の程度をかなりやわらげることが可能であることが判明した。したがって、Acrisolのような溶脱の進んだ貧栄養土壌での産業植林地では、より多くの枝葉を林地に残すと共に、剥皮丸太の収穫、火入れ地拵えの中止などの実施と土壌のモニタリングによる不足養分の施肥が推奨される。

〔引用文献〕 Bouillet, P.J., Nzila, J.D., Laclau, J.P. and Ranger, J. (2000) Effects of site management on Eucalyptus plantations in the Equatorial Zone, on the costal plains of the Congo. In : Nambiar, E.K.S. *et al.* (eds) Site Management and productivity in tropical plantation forests. p. 11-20. JOPP and JIFPRO (2003) Appendix : Data set of the study sites. In : Summary of 3-year-project : Ecological Impacts of Tropical Plantations on the Environments. JOPP. 25-28 Jordan, F.C. (1985) Nutrient cycling of tropical forest ecosystems. John Wiley and Sons, New York, p. 189. Ohta, S. *et al.* (2000) Are soils in degraded dipterocarp forest ecosystems deteriorated? A comparison of Imperata grassland, degraded secondary forest and primary forests. In : Guhaljar *et al.* (eds.) Rainforest ecosystem of East Kalimantan. Ecological Studies 140, 49-57. Whitmore, T.C. (1998) An introduction to tropical rain forests. Oxford Univ. Press, pp. 282. 西川匡英ほか (1996) 熱帯林の成長データ収録 (その2). 国際緑化推進センター, pp. 297. 森 徳典ほか (2003) タイの現地調査. 開発途上国人工林環境影響調査事業報告書 (2000-2003). 海外植林センター, 33-51. 山田麻木之 (2003) 養分収支を中心とした現地調査結果. 開発途上国人工林環境影響調査事業報告書 (2000-2003). 海外植林センター, 17-28.