

熱帯における短伐期造林と地力保全

—ベトナムの例—

小川 章・松平 昇

1. はじめに

熱帯における早成樹種の造林はマツ類、アカシア類、ユーカリ類を対象に世界各地で進められている。早成樹種による効率的な森林造成は現地の環境・天然林の保全にも役立つものである。しかし一方では、早成樹種の短伐期造林について土壌をより消耗させるとの指摘もあり¹⁾、短伐期造林地の地力保全は特に熱帯において大きな課題となっている。

本研究は早成樹種短伐期造林の土壌へのインパクトを検討することにより、地力の維持・向上を図りながら短伐期造林を継続するための手だてを明らかにすることを目的としている。

そのため、現地において、アカシア類、ユーカリ類他早成樹種の試験造林を行い土壌の変化を調査する方法を採った。本報では、ベトナム (Viet Nam) を対象に造林3年後、及び、補完調査としての5～6年生の現地の既往造林地の土壌諸特性について植栽時の分析値と対比し造林後の土壌の推移を検討した。

尚、本研究は熱帯林再生技術研究組合のテーマとして新王子製紙が担当したものである。研究を進めるに当たり、野村理事長はじめ当組合関係各位、甘利専務はじめ当社関係各位、柴田所長はじめ当研究所各位、現地調査ではベトナム林業科学研究所の関係各位から種々ご教示・ご高配を賜った。心から感謝申し上げる次第である。

OGAWA, Akira and MATSUHIRA, Noboru: Maintenance of Soil Productivity under Plantations of Fast-Growing Tree Species with Short-Rotation in the Tropics —A Preliminary Study in Viet Nam—

新王子製紙(株)原材料本部森林資源研究所栗山研究室

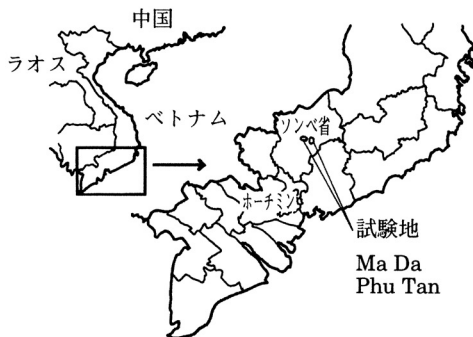


図 1 試験造林地位置図

2. 調査方法

1) 調査対象地

対象地はベトナム国ソンベグ省北部の Ma Da 地区及び Phu Tan 地区である。対象地の土壌は、FAO/UNESCO 土壌図では Ferric Acrisols あるいは Rhodic Ferralsols の分布域に属し Orthic Acrisols の分布域に近く²⁾、Ma

Da 地区では礫に富み、土性：埴土～埴質壤土で赤黄色を呈し、Phu Tan 地区では礫に乏しく、土性：微砂質壤土で暗灰色を呈している。調査地（試験造林地）位置を図 1 に示した。

試験地の気象は年平均気温では（最寄りのホーチミン市の観測地：以下同様）27.1℃、年間降水量では 1,882 mm、その内 12～4 月は月降水量 7～51 mm となっている³⁾。

2) 試験造林地の設定

Acacia mangium, *Acacia auriculiformis*, *Eucalyptus camaldulensis* の樹種/産地試験地及び *Acacia auriculiformis* の植栽密度試験地を平成 4 年（1992 年）6 月に設定した。植栽密度は樹種/産地試験地では 3 m×3 m、植栽密度試験地では 3 m×3 m, 3 m×2 m, 3 m×1.5 m である。設定個所は、樹種/産地試験は Ma Da と Phu Tan の 2 地区、植栽密度試験は Phu Tan 地区で面積は計約 50 ha である。

3) 土壌調査

植栽時、及び、植栽 3 年後に実行した。植栽時は土壌断面調査を行い、層位別及び 10 cm 毎 50 cm までの深さ別に、理学性測定用土壌サンプルでは 400 cc 容採土円筒を用い、各層位・深さの中央部の 4 cm 厚さ、化学性分析用土壌サンプルでは層位・深さ全体が均等に含まれるよう土層を垂直方向に切り取り、層別・深さ別混合サンプルを採取した。植栽 3 年後は樹種別・深さ別に、同様に、土壌サンプルを採取した。分析は理学性の一部を除き、農林水産大臣の輸入許可を得て当研究所栗山研究室にて実行した。

表 1 試験造林地植栽3年後の成長と既往造林地 (5~6年) の成長

試験種	樹種	密度 (m)	Ma Da 地区				Phu Tan 地区			
			樹高 (m)	胸高直径 (cm)	生存率 (%)	樹高 (m)	胸高直径 (cm)	生存率 (%)	樹高直径 (cm)	生存率 (%)
樹種/産地	<i>Acacia mangium</i>	3*3	9.9±0.9	11.7±1.1	83.6±10.8	10.1±0.6	12.2±0.5	81.8±14.6		
	<i>Acacia auriculiformis</i>	3*3	7.5±0.7	8.2±0.9	74.8±16.2	7.5±0.6	9.0±1.3	84.8±11.0		
	<i>Eucalyptus camaldulensis</i>	3*3	8.2±1.0	8.1±0.8	68.9±18.0	8.0±0.7	8.4±0.8	70.6±13.7		
植栽密度	<i>Acacia mangium</i>	3*3	—	—	—	10.9±1.1	12.5±1.9	94		
		3*2	—	—	—	10.7±1.1	10.8±2.0	85		
		3*1.5	—	—	—	10.3±0.9	9.4±1.4	90		
	<i>Acacia auriculiformis</i>	3*3	—	—	—	9.6±1.0	9.1±1.5	90		
		3*2	—	—	—	9.5±0.9	8.4±1.8	83		
既往造林地		3*1.5	—	—	—	9.9±1.3	8.4±2.1	70		
	<i>Acacia mangium</i>	3*3	—	—	—	15.4±1.0	16.3±3.1	90.8±2.4		
	<i>Acacia auriculiformis</i>	3*1.5	9.2	8.8	85	15.9±1.4	13.0±2.0	72.5±7.1		
	<i>Eucalyptus camaldulensis</i>	3*1.5	8.0	7.5	92	15.9±1.8	13.1±2.4	85.8±6.2		

4) 分析法

理化学性は採土円筒法、化学性は定法により土壤調整後、pH (H₂O) はガラス電極法、全炭素・窒素はそれぞれチューリン法・ケルダール法及びCN コーダー法、全リン酸・全加里は分光・原子吸光法、塩基置換容量・置換性塩基は吸引法・ショーレンベルガー法、可給態リン酸はトルオーグ法 (分光法)、リン酸吸収係数はリン酸アンモニウム法 (分光法) によった。

本報にて使用した理化学性分析値は対象地を代表する、それぞれ、3～6 断面 (一部 2 断面) 計 97 断面から採取した計 493 点の土壤サンプルについての結果である。

3. 調査結果

1) 試験造林地の成長と土壤

(1) 試験造林地の樹種別成長

植栽 3 年後の樹種別成長を産地間平均で表 1 に掲げた。植栽 3 年後の平均樹高・胸高直径を 3～4 産地の平均で樹種別に比較すると、*Acacia mangium* の Ma Da, Phu Tan 2 地区平均でそれぞれ 10.0 m, 12.0 cm が最も大きく、次いで、同様に *Acacia auriculiformis* : *Eucalyptus camaldulensis* それぞれ 7.5 m, 8.7 cm : 8.1 m, 8.3 cm である。植栽密度試験地では、樹高は 3 密度を通じて *Acacia mangium* では 10.3～10.9 m, *Acacia auriculiformis* では 9.5～10.0 m

表 2 代表土壤断面の深さ別理化学性

深 さ (cm)		透 水 性 (30分後の値) (cc/min)	容 積 割 合			
			最大容水量 (%)	最小容気量 (%)	細 土 (%)	礫 (%)
Ma Da	0～10	7.2	42.3	19.6	34.3	3.7
	10～20	16.2	40.9	5.3	24.0	29.8
	20～30	14.8	37.5	8.9	23.2	30.5
	30～40	15.0	40.6	6.4	23.7	29.3
	40～50	5.9	43.5	3.2	21.7	31.6
Phu Tan	0～10	22.0	59.2	1.1	38.7	1.0
	10～20	21.0	60.9	0.1	38.1	0.9
	20～30	16.8	48.4	5.9	44.4	1.3
	30～40	7.9	46.9	7.4	40.8	4.9
	40～50	6.9	47.2	5.4	44.2	3.2

表 3 代表土壤斷面的層位別化學性

地區	層位	酸度 pH (H ₂ O)	全炭素 (%)	全氮素 C/N	全磷酸 (%)	全加里 (%)	鹽基置 換容量 CEC (me/ 100 g)	置換性			可給態 磷酸 P ₂ O ₅ (mg/ 100 g)	磷酸吸 收係數 P ₂ O ₅ (mg/ 100 g)
								Ca (me/ 100 g)	Mg (me/ 100 g)	K (me/ 100 g)		
Ma Da	A	5.1	2.04	0.20	10	0.50	1.06	0.94	0.56	0.25	21.7	460
	A-B	4.5	1.32	0.14	9	0.44	1.13	0.47	0.18	0.11	11.5	450
	B 上部	4.5	1.07	0.13	8	0.43	1.13	0.49	0.19	0.11	12.3	450
	B 下部	4.8	0.85	0.11	8	0.27	1.11	0.18	0.13	0.10	5.8	390
	A	4.4	1.76	0.15	12	0.47	0.78	0.11	0.09	0.07	6.1	450
	B 上部	4.6	0.92	0.09	10	0.40	0.98	0.08	0.09	0.15	6.8	450
Phu Tan	B 下部	4.7	0.69	0.07	10	0.35	0.98	0.04	0.09	0.07	6.6	350
	B-C	4.8	0.59	0.07	8	0.41	1.00	0.03	0.05	0.07	7.4	350

表 4 Ma Da 地区の樹種別植栽時・植栽3年

		深さ	酸度	全炭素	全窒素	全磷酸
			pH			C/N
		(cm)	(H ₂ O)	(%)	(%)	(%)
植栽時		0-10	4.9±0.4	2.11±0.24	0.19±0.01	11±1 0.45±0.10
		10-20	4.8±0.3	1.57±0.20	0.15±0.01	10±1 0.37±0.07
		20-30	4.9±0.2	1.32±0.27	0.13±0.02	10±1 0.41±0.07
		30-40	5.0±0.1	1.11±0.13	0.12±0.01	9±1 0.34±0.10
		40-50	5.1±0.2	1.00±0.07	0.11±0.01	9±1 0.37±0.05
植栽3年後 樹種/産地 試験	<i>Acacia mangium</i>	0-10	5.1±0.0	1.67±0.03	0.15±0.00	11±0 0.59±0.07
		10-20	5.1±0.1	1.45±0.25	0.14±0.02	10±1 0.62±0.05
		20-30	5.2±0.3	1.22±0.22	0.13±0.02	9±0 0.57±0.02
		30-40	5.3±0.2	1.19±0.22	0.13±0.02	9±0 0.57±0.00
		40-50	5.2±0.3	0.89±0.08	0.11±0.01	8±0 0.58±0.01
	<i>Acacia auriculiformis</i>	0-10	5.2±0.1	2.26±0.13	0.19±0.01	12±0 0.63±0.03
		10-20	5.2±0.1	1.79±0.57	0.16±0.02	11±2 0.62±0.05
		20-30	5.1±0.1	1.11±0.10	0.13±0.01	9±0 0.63±0.02
		30-40	5.1±0.1	0.92±0.04	0.11±0.00	8±0 0.66±0.04
		40-50	5.2±0.1	0.72±0.00	0.09±0.00	8±0 0.62±0.00
	<i>Eucalyptus camaldulensis</i>	0-10	4.9±0.2	1.69±0.50	0.15±0.04	11±0 0.48±0.04
		10-20	4.9±0.2	1.76±0.01	0.16±0.00	11±0 0.50±0.02
		20-30	5.4±0.5	1.39±0.05	0.14±0.00	10±0 0.50±0.03
		30-40	5.1±0.1	1.09±0.14	0.13±0.00	8±1 0.49±0.04
		40-50	5.0±0.0	1.03±0.20	0.12±0.01	9±1 0.49±0.04
既 往 造林地	<i>Acacia auriculiformis</i> 5年生	0-10	4.2±0.0	1.43±0.02	0.16±0.01	9±1 0.47±0.16
		10-20	4.2±0.1	1.19±0.26	0.14±0.02	8±1 0.37±0.01
		20-30	4.4±0.0	0.86±0.07	0.13±0.01	7±0 0.39±0.02
		30-40	4.5±0.0	0.77±0.04	0.12±0.00	7±0 0.38±0.02
		40-50	4.8±0.1	0.74±0.03	0.12±0.01	6±0 0.47±0.02
	<i>Eucalyptus camaldulensis</i> 5年生	0-10	5.0±0.2	2.01±0.39	0.22±0.02	9±1 0.45±0.04
		10-20	4.9±0.2	1.43±0.00	0.19±0.01	7±0 0.49±0.05
		20-30	5.0±0.2	1.25±0.01	0.19±0.00	7±0 0.40±0.03
		30-40	5.0±0.0	1.00±0.07	0.17±0.00	6±1 0.42±0.02
		40-50	5.0±0.0	0.85±0.10	0.16±0.01	5±0 0.40±0.10

後及び既往造林地の深さ別土壌化学性

全加里 (%)	塩基置換容量 CEC (me/100 g)	置 換 性 塩 基				可給態 磷 P_2O_5 (mg/100 g)	磷酸吸 収係数 P_2O_5 (mg/100 g)
		Ca (me/100 g)	Mg (me/100 g)	K (me/100 g)	塩基飽和度 (%)		
0.98±0.05	9.2±0.5	1.54±1.15	0.49±0.24	0.28±0.09	27.4±15.0	1.36±0.76	495±65
1.01±0.07	8.3±0.6	0.66±0.36	0.22±0.11	0.13±0.03	15.4± 7.1	0.92±0.77	470±42
1.03±0.06	7.8±0.4	0.44±0.11	0.14±0.05	0.09±0.02	11.6± 2.1	1.28±0.55	463±39
1.03±0.07	7.0±1.7	0.33±0.10	0.13±0.07	0.09±0.02	12.7± 6.9	0.80±0.34	460±25
1.03±0.07	7.5±0.6	0.29±0.11	0.19±0.21	0.09±0.03	10.2± 4.9	0.71±0.64	438±15
1.00±0.03	8.2±0.2	1.78±0.30	0.36±0.00	0.20±0.06	29.4± 3.7	0.41±0.08	601±17
1.06±0.05	8.2±0.3	1.67±0.85	0.26±0.04	0.11±0.03	25.2± 9.5	0.33±0.05	617±15
1.19±0.05	7.4±0.4	1.50±1.25	0.24±0.13	0.12±0.02	24.8±17.0	0.38±0.05	651±15
1.25±0.03	7.8±0.4	1.75±0.97	0.29±0.04	0.15±0.06	28.1±10.6	0.49±0.07	778±38
1.21±0.04	7.2±0.4	1.41±0.95	0.22±0.08	0.12±0.04	24.5±12.4	0.47±0.15	622± 9
1.06±0.04	9.5±0.4	2.03±1.07	0.43±0.05	0.22±0.07	29.2±12.3	0.59±0.03	718±23
1.12±0.11	8.7±0.9	1.78±1.33	0.28±0.13	0.13±0.04	24.1±13.7	0.53±0.03	765±32
1.17±0.08	7.4±0.0	0.62±0.19	0.12±0.02	0.09±0.03	11.4± 2.5	0.52±0.06	703±16
1.21±0.05	7.5±0.4	0.51±0.09	0.13±0.01	0.10±0.02	10.4± 1.7	0.73±0.22	725± 0
1.18±0.04	7.1±0.6	0.56±0.22	0.14±0.01	0.08±0.01	11.9± 3.9	0.53±0.15	655± 9
1.09±0.06	9.2±0.4	1.28±1.16	0.55±0.04	0.17±0.03	23.1±14.4	0.48±0.00	612±30
1.15±0.08	8.5±0.1	1.38±1.27	0.49±0.03	0.11±0.01	23.6±14.2	0.44±0.01	595±53
1.19±0.06	8.5±0.2	2.03±1.92	0.66±0.14	0.11±0.02	34.3±22.2	0.33±0.07	682±67
1.27±0.03	8.3±0.3	1.35±1.27	0.70±0.27	0.09±0.01	27.0±13.3	0.36±0.01	643± 2
1.27±0.01	8.9±0.5	0.47±0.37	0.68±0.48	0.08±0.00	14.3± 0.4	0.42±0.01	723±36
0.96±0.00	9.9±0.3	0.39±0.05	0.37±0.04	0.09±0.01	9.4± 0.6	0.10±0.08	597±10
0.99±0.01	8.9±0.8	0.14±0.01	0.13±0.03	0.07±0.02	4.5± 0.2	0.02±0.00	537± 0
1.07±0.03	8.3±0.1	0.14±0.03	0.11±0.03	0.06±0.01	3.9± 0.8	0.20±0.19	542±45
1.13±0.02	9.1±0.0	0.17±0.09	0.11±0.04	0.05±0.00	4.0± 1.5	0.01±0.00	572±45
1.17±0.02	9.4±0.4	0.28±0.19	0.15±0.08	0.05±0.00	5.5± 3.2	0.01±0.01	557±30
1.19±0.10	9.1±1.5	0.72±0.46	0.52±0.17	0.34±0.06	16.8± 5.0	0.21±0.08	657±70
1.33±0.09	8.4±0.4	0.78±0.65	0.42±0.26	0.15±0.00	16.0±10.2	0.15±0.14	632±15
1.45±0.01	9.0±0.7	0.68±0.55	0.35±0.19	0.13±0.01	12.9± 7.1	0.01±0.00	652± 5
1.48±0.00	9.7±0.5	0.55±0.37	0.30±0.09	0.14±0.00	10.7± 5.3	0.17±0.17	667±20
1.49±0.00	9.6±0.6	0.44±0.35	0.22±0.11	0.13±0.00	8.9± 5.3	0.00±0.00	627±10

表 5 Phu Tan 地区の樹種別植栽時・植栽 3 年

		深さ	酸度	全炭素	全窒素	全磷酸
		pH				
		(cm)	(H ₂ O)	(%)	(%)	(%)
植栽時		0-10	4.8±0.3	1.68±0.26	0.15±0.02	11±1 0.37±0.06
		10-20	4.7±0.2	1.33±0.12	0.13±0.01	10±0 0.42±0.03
		20-30	4.5±0.2	1.21±0.07	0.11±0.01	11±2 0.39±0.06
		30-40	4.5±0.1	1.11±0.13	0.09±0.03	12±2 0.38±0.08
		40-50	4.5±0.1	0.99±0.09	0.09±0.01	11±1 0.30±0.05
植栽 3 年後 樹種/産地 試験	<i>Acacia mangium</i>	0-10	4.6±0.2	1.51±0.09	0.12±0.00	13±1 0.16±0.03
		10-20	4.7±0.3	1.12±0.05	0.10±0.01	11±0 0.17±0.01
		20-30	4.6±0.3	0.93±0.04	0.10±0.01	9±2 0.18±0.04
		30-40	4.7±0.3	0.80±0.16	0.08±0.00	10±2 0.20±0.06
		40-50	4.8±0.2	0.69±0.12	0.07±0.00	10±2 0.21±0.07
	<i>Acacia auriculiformis</i>	0-10	4.7±0.1	1.92±0.28	0.16±0.01	12±1 0.19±0.00
		10-20	4.5±0.2	1.29±0.05	0.12±0.00	11±0 0.18±0.01
		20-30	4.5±0.2	1.17±0.04	0.11±0.00	11±1 0.18±0.03
		30-40	4.5±0.2	1.01±0.13	0.09±0.00	11±2 0.18±0.03
		40-50	4.6±0.1	0.89±0.17	0.08±0.00	11±2 0.19±0.02
	<i>Eucalyptus camaldulensis</i>	0-10	4.8±0.1	1.51±0.03	0.13±0.01	12±1 0.24±0.06
		10-20	4.9±0.4	1.27±0.05	0.12±0.00	11±1 0.33±0.10
		20-30	4.7±0.3	0.90±0.03	0.09±0.01	10±0 0.24±0.09
		30-40	4.6±0.2	0.80±0.00	0.08±0.00	10±0 0.18±0.02
		40-50	4.7±0.1	0.81±0.06	0.08±0.00	10±1 0.18±0.01
同上 植栽密度 試験	<i>Acacia mangium</i> 3*3	0-10	4.6±0.1	1.49±0.09	0.12±0.01	13±0 0.34±0.09
		10-20	4.6±0.0	1.69±0.32	0.13±0.02	13±1 0.36±0.09
		20-30	4.6±0.0	1.25±0.16	0.11±0.01	12±0 0.33±0.13
	3*2	0-10	4.4±0.1	2.22±0.33	0.17±0.02	13±1 0.31±0.08
		10-20	4.4±0.1	1.53±0.25	0.13±0.02	12±0 0.30±0.06
		20-30	4.5±0.1	1.16±0.13	0.10±0.01	12±0 0.36±0.04
	3*1.5	0-10	5.5±1.0	2.33±0.49	0.18±0.03	13±0 0.26±0.00
		10-20	5.4±1.1	1.41±0.03	0.11±0.00	12±0 0.25±0.03
		20-30	5.1±0.8	1.33±0.12	0.10±0.01	13±0 0.27±0.06
	<i>Acacia auriculiformis</i> 3*3	0-10	4.5±0.0	2.07±0.16	0.16±0.01	13±0 0.35±0.09
		10-20	4.4±0.1	1.53±0.32	0.12±0.01	12±1 0.35±0.10
		20-30	4.4±0.0	1.21±0.10	0.11±0.00	11±1 0.37±0.08
	3*2	0-10	4.5±0.0	2.02±0.24	0.16±0.02	13±0 0.33±0.07
		10-20	4.4±0.0	1.17±0.15	0.09±0.01	13±0 0.34±0.04
		20-30	4.5±0.0	1.20±0.18	0.09±0.01	13±1 0.35±0.09
	3*1.5	0-10	4.4±0.1	2.50±0.16	0.17±0.02	15±1 0.30±0.11
		10-20	4.8±0.1	1.98±0.28	0.14±0.02	14±0 0.30±0.11
		20-30	4.7±0.1	1.50±0.29	0.12±0.02	13±1 0.30±0.10
既往造林地	<i>Acacia mangium</i> 5 年生	0-10	4.4±0.3	2.60±0.29	0.20±0.02	13±0 0.53±0.13
		10-20	4.5±0.2	1.72±0.15	0.14±0.01	12±1 0.34±0.07
		20-30	4.5±0.0	1.15±0.07	0.10±0.00	11±1 0.84±0.16
		30-40	4.6±0.0	1.04±0.10	0.08±0.01	12±2 0.74±0.05
		40-50	4.8±0.1	0.86±0.03	0.07±0.01	13±1 0.51±0.23
	<i>Acacia auriculiformis</i> 6 年生	0-10	4.2±0.1	1.78±0.14	0.12±0.01	15±2 0.98±0.13
		10-20	4.3±0.2	1.19±0.08	0.09±0.00	13±1 0.88±0.15
		20-30	4.5±0.1	0.80±0.13	0.06±0.01	13±0 0.97±0.09
		30-40	4.4±0.1	0.77±0.22	0.05±0.01	15±1 1.02±0.04
		40-50	4.4±0.1	0.59±0.12	0.04±0.01	14±1 1.04±0.06
	<i>Eucalyptus camaldulensis</i> 5 年生	0-10	4.5±0.3	1.21±0.11	0.09±0.00	13±1 0.71±0.17
		10-20	4.6±0.4	1.17±0.37	0.09±0.01	13±2 0.72±0.13
		20-30	4.6±0.3	0.79±0.19	0.06±0.02	14±1 0.79±0.05
		30-40	4.7±0.3	0.63±0.10	0.05±0.01	14±0 0.77±0.09
		40-50	4.7±0.3	0.55±0.12	0.04±0.01	15±1 0.85±0.11

後及び既往造林地の深さ別土壌化学性

全加里 (%)	塩基置 換容量 CEC (me/100 g)	置 換 性 塩 基				可給態 燐 酸 P ₂ O ₅ (mg/100 g)	燐酸吸 収係数 P ₂ O ₅ (mg/100 g)
		Ca (me/ 100 g)	Mg (me/ 100 g)	K (me/100 g)	塩基 飽和度 (%)		
0.87±0.10	8.1±1.2	1.14±0.93	0.33±0.20	0.28±0.15	23.7±13.0	1.15±0.69	457± 69
0.92±0.09	7.9±0.4	0.42±0.28	0.16±0.07	0.18±0.07	12.9± 5.3	0.52±0.17	467± 34
0.97±0.08	7.8±0.4	0.26±0.19	0.15±0.11	0.19±0.08	12.3± 4.1	0.77±0.30	485± 41
0.97±0.08	7.9±0.6	0.14±0.08	0.10±0.02	0.19±0.07	8.5± 2.1	1.18±0.80	435± 34
0.98±0.07	7.5±0.6	0.13±0.07	0.10±0.03	0.17±0.08	8.9± 2.0	0.55±0.30	412± 43
0.69±0.17	8.4±0.0	1.22±0.77	0.36±0.10	0.19±0.03	21.5± 9.9	0.43±0.09	522±141
0.79±0.18	8.1±0.1	1.25±1.14	0.28±0.19	0.09±0.01	20.3±16.0	0.60±0.05	770±108
0.85±0.21	8.3±0.2	0.90±0.80	0.16±0.10	0.07±0.01	13.9±10.4	0.42±0.20	786±100
0.87±0.20	8.8±0.2	0.81±0.73	0.22±0.16	0.07±0.01	12.7±10.0	0.45±0.35	653± 2
0.88±0.22	8.6±0.3	0.62±0.54	0.13±0.07	0.07±0.02	10.0± 7.1	0.70±0.33	695± 41
0.57±0.18	9.1±0.6	1.20±0.12	0.57±0.14	0.29±0.03	23.3± 2.0	0.31±0.06	704± 80
0.64±0.21	8.3±0.2	0.25±0.08	0.23±0.12	0.10±0.01	7.7± 2.7	0.25±0.05	763±118
0.66±0.22	8.6±0.3	0.13±0.03	0.17±0.08	0.08±0.01	5.1± 1.5	0.24±0.01	637± 92
0.67±0.23	8.8±0.2	0.14±0.02	0.14±0.07	0.08±0.01	4.6± 1.3	0.23±0.03	592± 5
0.67±0.25	8.5±0.4	0.14±0.00	0.14±0.06	0.07±0.01	4.7± 1.0	0.30±0.10	540± 12
0.71±0.04	8.5±0.1	1.03±0.28	0.46±0.10	0.37±0.03	22.6± 4.3	0.91±0.34	386± 50
0.70±0.00	7.8±0.5	1.59±1.26	0.47±0.28	0.19±0.05	28.1±18.4	0.65±0.10	355± 26
0.80±0.03	8.2±0.9	1.00±0.79	0.56±0.42	0.13±0.03	19.7±13.0	0.87±0.15	777±270
0.82±0.02	8.1±0.2	0.44±0.27	0.48±0.36	0.10±0.01	13.0± 7.5	0.67±0.06	586±171
0.85±0.02	8.3±0.1	0.29±0.05	0.54±0.41	0.12±0.04	12.2± 6.2	0.55±0.10	724± 97
0.85±0.03	9.0±0.6	0.81±0.16	0.36±0.04	0.22±0.04	16.1± 1.9	0.67±0.07	763± 25
0.82±0.09	8.0±0.8	0.33±0.04	0.23±0.08	0.08±0.00	8.5± 0.1	0.35±0.10	753± 63
0.88±0.02	8.0±0.5	0.22±0.06	0.17±0.04	0.08±0.01	6.6± 0.7	0.33±0.08	645± 37
0.77±0.01	10.1±0.3	0.75±0.28	0.31±0.02	0.29±0.03	13.9± 2.2	0.63±0.00	679±114
0.83±0.02	9.0±0.2	0.14±0.02	0.08±0.01	0.14±0.03	4.6± 0.2	0.42±0.06	737±155
0.89±0.00	8.2±0.3	0.14±0.07	0.10±0.02	0.11±0.02	4.9± 0.4	0.30±0.02	655±119
0.82±0.03	12.3±2.5	4.28±3.78	0.69±0.39	0.52±0.05	39.8±26.1	0.63±0.06	773±251
0.90±0.03	9.3±0.1	2.80±2.66	0.32±0.21	0.22±0.07	36.0±30.1	0.37±0.09	681± 81
0.91±0.01	9.2±0.0	2.03±1.88	0.37±0.28	0.14±0.05	28.0±22.9	0.38±0.05	713±119
0.82±0.08	9.2±0.5	0.64±0.03	0.40±0.05	0.25±0.06	14.8± 0.5	0.68±0.12	636± 55
0.89±0.06	8.2±0.8	0.21±0.01	0.17±0.02	0.11±0.02	6.7± 1.3	0.39±0.19	625± 15
0.94±0.06	8.5±0.6	0.13±0.01	0.12±0.03	0.10±0.02	4.5± 0.5	0.35±0.00	694± 92
0.83±0.02	8.9±0.8	0.37±0.11	0.21±0.05	0.27±0.05	11.0± 1.6	0.67±0.14	696± 21
0.86±0.05	8.2±0.7	0.10±0.03	0.06±0.00	0.09±0.03	3.6± 0.4	0.42±0.02	636± 46
0.90±0.03	8.7±0.5	0.21±0.13	0.08±0.01	0.06±0.00	4.5± 1.5	0.39±0.09	682± 52
0.80±0.03	10.0±0.1	0.88±0.50	0.36±0.05	0.20±0.06	15.8± 3.6	0.64±0.16	650± 86
0.83±0.02	9.6±0.1	1.07±0.04	0.38±0.06	0.10±0.01	17.6± 1.7	0.48±0.05	796± 57
0.87±0.02	8.7±0.0	0.50±0.10	0.26±0.05	0.09±0.01	11.4± 2.7	0.36±0.04	782± 62
0.16±0.01	8.6±1.5	1.07±0.97	0.42±0.21	0.29±0.09	24.4±20.7	1.09±0.32	715± 94
0.16±0.02	8.5±0.3	0.69±0.74	0.24±0.18	0.10±0.02	13.0±11.6	1.09±1.02	688± 38
0.15±0.06	7.3±0.0	0.12±0.09	0.08±0.04	0.05±0.01	4.0± 1.8	0.67±0.24	618± 45
0.14±0.03	7.1±0.2	0.08±0.02	0.06±0.02	0.03±0.00	3.1± 0.5	0.44±0.29	641± 21
0.16±0.04	6.7±0.1	0.09±0.03	0.06±0.03	0.02±0.00	3.4± 0.7	0.66±0.23	588± 49
0.05±0.01	6.7±0.2	0.29±0.22	0.29±0.09	0.07±0.01	10.5± 4.5	0.65±0.11	388± 49
0.06±0.01	6.2±0.4	0.22±0.20	0.27±0.13	0.04±0.00	9.3± 3.4	0.58±0.13	421± 74
0.06±0.00	5.3±0.2	0.13±0.10	0.24±0.11	0.04±0.00	8.7± 2.6	0.58±0.31	405± 41
0.06±0.00	5.1±0.1	0.08±0.02	0.17±0.06	0.03±0.00	6.5± 1.1	0.57±0.11	388± 14
0.05±0.00	5.0±0.4	0.06±0.00	0.13±0.05	0.03±0.00	5.7± 1.0	0.50±0.00	361± 5
0.05±0.00	5.9±0.7	0.39±0.31	0.32±0.18	0.11±0.03	13.9± 6.6	0.24±0.34	418±113
0.05±0.00	5.7±1.5	0.40±0.40	0.22±0.19	0.06±0.02	11.2± 6.5	0.25±0.35	435± 82
0.05±0.00	4.9±0.4	0.47±0.54	0.21±0.21	0.04±0.01	14.3±13.3	0.17±0.24	408± 79
0.05±0.00	4.7±0.4	0.48±0.59	0.20±0.20	0.03±0.01	14.6±14.6	0.16±0.23	374± 45
0.06±0.01	4.8±0.6	0.46±0.57	0.20±0.21	0.03±0.00	13.8±13.6	0.16±0.23	348± 41

と大きな差異はないが、胸高直径は *A. mangium* では最も疎植の 3 m×3 m 区で 12.5 cm に対し最も密植の 3 m×1.5 m 区で 9.8 cm, *Acacia auriculiformis* では同様にそれぞれ 9.1 cm, 8.4 cm となっており密度の影響は直径成長で著しい。植栽時の苗高は各樹種を通じて 20~30 cm である。

(2) 試験造林地の植栽時及び植栽後の土壌

① 植栽時の土壌

Ma Da, Phu Tan 地区の代表土壌断面についての 0~50 cm までの深さ別理化学性、及び、層位別化学性を表 2, 3 に示した。深さと層位との対応は大略深さ 0~20 cm までは A 又は A-B 層, 20~25 cm までは B 層となっている。

理化学性(三相組成)を Ma Da, Phu Tan 地区で比較すると、深さ別平均容積率で細土は Ma Da 地区 25.4% に対し Phu Tan 地区 41.2%, 礫は同様にそれぞれ 25.0%, 2.3% で地区間の差異は特に礫量で著しい。

化学性では地区間に明らかな差異は認められず、pH (H₂O) は各層位を通じて Ma Da 地区では 4.8~5.1, Phu Tan 地区では 4.4~4.8, 全炭素・全窒素・炭素率では Ma Da, Phu Tan 地区の順にそれぞれ 0.85~2.04%, 0.59~1.76%; 0.11~0.20%, 0.07~0.15%; 8~10, 8~12 となっている。

② 試験造林地の植栽時及び 3 年後並びに既往造林地土壌の深さ別化学性

樹種別の造林後の土壌化学性の推移を把握するため、深さ 50 cm までを対象に 10 cm ごとの土壌の化学性を、植栽時及び 3 年後について分析し、併せて、試験造林地と地形・土壌等同様な現地の既往造林地において補完調査を行った。その結果を表 4, 5 に掲げた。植栽時土壌と比べた化学性の推移は次の通りである。

pH (H₂O) の推移は明らかでないが、3 樹種を通じて地区別には Phu Tan 地区に比べ Ma Da 地区で増加の幅が大きい傾向である。樹種別には Ma Da 地区の *Acacia* 類でやや大きい。既往造林地では Ma Da 地区の *Acacia auriculiformis* 林で減少の傾向である。経年の推移としては、増加から減少の傾向と見做される。

全炭素・全窒素の推移は、全炭素は Ma Da, Phu Tan 地区の *Acacia auriculiformis* 林下表層で微増の他、減少傾向である。既往造林地では Phu Tan 地区の 5 年生 *Acacia auriculiformis* 林下で全炭素の増加が見られる。経年の推移としては、減少から増加が示唆されよう。

炭素率の推移は Ma Da 地区で減少, Phu Tan 地区の *Acacia mangium*, *Acacia auriculiformis* 林下表層、及び、*Acacia mangium* 植栽密度試験地の密

植区で増加の傾向が大きい。

塩基置換容量では明らかな傾向は認められないが、既往造林地では Ma Da 地区でやや減少、Phu Tan 地区では増加の傾向である。

置換性塩基では地区・樹種を通じて石灰・苦土は3年生で増加、既往造林地で減少の傾向である。

可給態リン酸は3年生・既往造林地を通じて減少であるが、Phu Tan 地区の5年生 *Acacia mangium*、6年生 *Acacia auriculiformis* の既往造林地では減少の幅は小さい。

深さ別の土壌化学性は0～20 cm までに大きい変化が見られ、Phu Tan 地区の植栽密度試験地の *Acacia mangium* 密植区で pH(H₂O)・全炭素・塩基置換容量・置換性石灰他、また、5年生 *Acacia mangium* 既往造林地で全炭素他の増加等があげられる。

4. 考 察

1) 造林地における土壌の推移と地力保全

(1) 土壌化学性の推移

造林地の土壌化学性の変化については、中緯度の我国におけるヒノキ林皆伐前後についての研究があり、pH(H₂O)・塩基置換容量は増減を繰り返し、又、全炭素・全窒素・置換性塩基は減少から増加のプロセスを経て、回復に至るとしている⁴⁾。

本報告では低緯度地域のベトナムを対象としており、土壌化学性の変化は中緯度と比較し、遅速に大きな差異があると考えられるが、推移の方向性には共通する点があるように思われる。調査結果から、pH(H₂O)、全炭素、炭素率、置換性石灰、塩基飽和度、可給態リン酸についての植栽3～5・6年後と植栽時を比較した増減を表6に掲げた。

造林後5～6年時点における化学性を植栽時と比較すると、樹種による差異はあるが、全炭素は回復段階、pH(H₂O)・炭素率・塩基飽和度は回復へ向かう段階、可給態リン酸はまだ低レベルであることが示唆される。可給態リン酸は低レベルにあるが、3年生より5～6年生で減少の度合は小さい傾向である。樹種による差異については、3年生 *Acacia mangium* 植栽密度試験の密植区及び5年生既往造林地で全炭素他に増加の傾向がみられる。

(2) 短伐期造林地の地力保全

森林において、若い途中段階の生態系は成熟段階の生態系に比べ純生産量は

表 6 試験造林地・既往造林地土壌化学性分析値の植栽時と比較した増減

地 区	樹 種	深 さ (cm)	酸 pH	度 (H ₂ O)	全炭素 (%)		C/N	置 換 性		基 塩基飽和度 (%)	可給態磷酸 P ₂ O ₅ (mg/100g)			
					3年	5~6年		Ca (me/100g)	3年		5~6年	3年	5~6年	
Ma Da	<i>Acacia mangium</i>	0-10	0.2	*	-0.44	*	0	*	0.24	*	2.0	*	-0.95	*
		10-20	0.3	*	-0.12	*	0	*	1.01	*	9.8	*	-0.59	*
		20-30	0.3	*	-0.10	*	-1	*	1.06	*	13.2	*	-0.90	*
		30-40	0.3	*	0.08	*	0	*	1.42	*	15.4	*	-0.31	*
		40-50	0.1	*	-0.11	*	-1	*	1.12	*	14.3	*	-0.24	*
	<i>Acacia auriculiformis</i>	0-10	0.3	-0.7	0.15	-0.68	1	-2	0.49	-1.15	1.8	-18.0	-0.77	-1.26
		10-20	0.4	-0.6	0.22	-0.38	1	-2	1.12	-0.52	8.7	-10.9	-0.39	-0.90
		20-30	0.2	-0.5	-0.21	-0.46	-1	-3	0.18	-0.30	-0.2	-7.7	-0.76	-1.08
		30-40	0.1	-0.5	-0.19	-0.34	-1	-2	0.18	-0.16	-2.3	-8.7	-0.07	-0.79
		40-50	0.1	-0.3	-0.28	-0.26	-1	-3	0.27	-0.01	1.7	-4.7	-0.18	-0.70
	<i>Eucalyptus camaldulensis</i>	0-10	0.0	0.1	-0.42	-0.10	0	-2	-0.26	-0.82	-4.3	-10.6	-0.88	-1.15
		10-20	0.1	0.1	0.19	-0.14	1	-3	0.72	0.12	8.2	0.6	-0.48	-0.77
		20-30	0.5	0.1	0.07	-0.07	0	-3	1.59	0.24	22.7	1.3	-0.95	-1.27
		30-40	0.1	0.0	-0.02	-0.11	-1	-3	1.02	0.22	14.3	-2.0	-0.44	-0.63
		40-50	-0.1	-0.1	0.03	-0.15	0	-4	0.18	0.15	4.1	-1.3	-0.29	-0.71
Phu Tan	<i>Acacia mangium</i>	0-10	-0.2	-0.4	-0.17	0.92	2	2	0.08	-0.07	-2.2	0.7	-0.72	-0.06
		10-20	0.0	-0.2	-0.21	0.39	1	2	0.83	0.27	7.4	0.1	0.08	0.57
		20-30	0.1	0.0	-0.28	-0.06	-2	0	0.64	-0.14	1.6	-8.3	-0.35	-0.10
		30-40	0.2	0.1	-0.31	-0.07	-2	0	0.67	-0.06	4.2	-5.4	-0.73	-0.74
		40-50	0.3	0.3	-0.30	-0.13	-1	2	0.49	-0.04	1.1	-5.5	0.15	0.11
	<i>Acacia auriculiformis</i>	0-10	-0.1	-0.6	0.24	0.10	1	4	0.06	-0.85	-0.4	-13.2	-0.84	-0.50
		10-20	-0.2	-0.4	-0.04	-0.14	1	3	-0.17	-0.20	-5.2	-3.6	-0.27	0.06
		20-30	0.0	0.0	-0.04	-0.41	0	2	-0.13	-0.13	-7.2	-3.6	-0.53	-0.19
		30-40	0.0	-0.1	-0.14	-0.34	-1	3	0.00	-0.06	-3.9	-2.0	-0.95	-0.61
		40-50	0.1	-0.1	-0.10	-0.40	0	3	0.01	-0.07	-4.2	-3.2	-0.25	-0.05
	<i>Eucalyptus camaldulensis</i>	0-10	0.0	-0.3	-0.17	-0.47	1	2	-0.68	-0.75	-1.1	-9.8	-0.24	-0.91
		10-20	0.2	-0.1	-0.06	-0.16	1	3	0.05	-0.02	15.2	-1.7	0.13	-0.27
		20-30	0.2	0.1	-0.31	-0.42	-1	3	0.30	0.21	7.4	2.0	0.10	-0.60
		30-40	0.1	0.2	-0.31	-0.48	-2	2	0.34	0.34	4.5	6.1	-0.51	-1.02
		40-50	0.2	0.2	-0.18	-0.44	-1	4	0.41	0.33	3.3	4.9	0.00	-0.39
植栽時の地区・深さを通じた平均値		4.8			1.34		10		0.54		14.4		0.92	

備考・3年生は試験造林地・5~6年生は既往造林地土壌の分析値。既往造林値は、試験造林地に最寄りの地形、土壌の成るべく同様な造林地。

*印は対象地なし。

高く⁵⁾、その時期を中心に伐期が設定される。一方、森林の成熟に応じた林地生産力の推移のプロセスは、成長の段階と対応しないことが多いように思われる。

特に人工造林は地拵えによる土壌表層の露出・無植生からの森林造成であり、地力保全を図りながら森林造成を継続するためには、植栽時点から収穫に至る土壌の推移を把握することが必要である。森林における土壌養分の循環には落葉・落枝類の分解が大きく関わってくる。

落葉・落枝類の分解は緯度により差異があり、高緯度地帯では100年単位に及ぶが低緯度地帯では月単位とされている⁶⁾。中緯度地帯の我国における造林後の土壌変化について砂丘のクロマツ林では100年の経過で肥沃土壌化することが報告され⁷⁾、又、前述の通り47年生ヒノキ林では皆伐前後の調査から土壌諸特性は経時的に回復するとし、土壌特性毎の変化パターンモデルが提示されている⁴⁾。

低緯度地帯の造林後の土壌変化についてはアフリカ・中南米でメリナ・カリビアマツについて、火入れ植林後2年は火入れの影響、4～6年で落葉・落枝類の影響、13～15年で安定するとし、メリナの場合地力保全の点からは5～6年の輪伐期では不十分で、樹体中に固定される磷酸、加里の量は落葉・落枝類からの供給量を上回る計算になるという⁸⁾。

本報は低緯度地帯のベトナムにおける早成樹種造林の土壌影響の検討を目的としている。植林後の経過年数は3年であるが、現地における5～6年生既往造林地と併せ土壌化学性の推移を検討した。結果は次のように要約されよう。

① 土壌の化学性は植栽後5～6年時点(以下同様)で、植栽時と比べ、pH(H₂O)で増加から減少、全炭素で減少から増加、炭素率で増加、置換性石灰・塩基飽和度で増加から減少、可給態磷酸で減少の傾向にある。

これらの変化は上述の中緯度地帯におけるヒノキ造林後の土壌諸特性の変化パターンと共通し、土壌化学性は植栽後は回復過程にあることが示唆される。回復度は土壌特性によって異なるが、土壌有機物(全炭素:以下同様)は5～6年生ではほぼ回復レベルと考えられる。土壌特性毎の回復に要する年数については今後に俟ちたい。

② 樹種間では、*Acacia mangium* で土壌有機物は増加の傾向にある。

③ 植栽密度間では、密植区で有機物は増加の傾向にある。

5. 結論—地力保全のための方策

短伐期造林における地力保全のための方策としては、当面、下記が挙げられよう。

- ① 可給態リン酸の減少を補うため、リン酸肥料を主体に施肥を行う。
- ② 地力保全の点からは、植栽密度は高い方が望ましい。落葉・落枝類の早期供給につながると考えられるからである。
- ③ 収穫に際しては、樹皮・枝・葉等は出来るだけ林内に残置し、養分循環を補強する。
- ④ その他、菌根菌等によるリン酸等の吸収効率アップも課題であろう。将来的には遺伝子組換えによるリン酸の吸収効率アップ等バイオテクノロジーの研究成果も期待される。

6. おわりに

植林の土壌へのインパクトは気候・地形・樹種・土壌・林齢・管理等により左右されるとされている⁹⁾。本報では、熱帯のベトナムにおいて早成樹種短伐期造林地の地力保全について検討し、植栽時に比べた5～6年後における土壌化学性の変化について手がかりを得ることができた。経年変化・回復への過程等については今後の検討に俟つところが少なくない。更にデータの収集を進め、熱帯における短伐期造林の地力保全に資したい。

尚、試験地設定及び成長測定は、亀山研究室鶴見和恒次席研究員の担当で行われ、また、土壌調査・分析、取纏めには当研究室飯塚修・助野真一・渡辺理沙氏のご協力を頂いた。心からお礼申し上げる次第である。

〔引用文献〕 1) S.B. SINGH *et al.* (1985): Changes in soil properties under different plantations of the Darjeeling forest division, Indian Forester, Feb., 90～98. 2) FAO/UNESCO (1979): Soil map of the world, FAO-UNESCO. 3) 国立天文台編 (1992): 理科年表, 丸善, 310～311・354～355. 4) 小林繁男 (1982): 森林の皆伐に伴う土壌の変化, ベドロジスト 26 (6), 44～57. 5) 河村 武他編 (1991): 環境科学 I, 朝倉書店, 254. 6) D.W. COLE (1981): Nutrient-cycling in world forests (世界の森林における養分循環 (八木久義訳)) 第 17 回 IUFRO 世界大会論文集, 58～68. 7) 河崎弥生他 (1984): 海岸防災林におけるクロマツの生長と土壌の時系列推移に関する研究, 鳥大演報 No. 14, 59～125. 8) 有光一登 (1982): 熱帯早成樹種の造林が土壌に与えるインパクト, 熱帯林業, No. 66, 26～33. 9) P.G. GESSEL (1981): Impacts of modern forestry on continuing forest productivity (森林の生産性保続に与える現代林業のインパクト (脇 孝介訳)) 第 17 回 IUFRO 世界大会論文集, 892～900.