

## 列状間伐における機械作業システムの収支試算ソフト作成<sup>\*1</sup>

河野雄一<sup>\*2</sup>

河野雄一：列状間伐における機械作業システムの収支試算ソフト作成 九州森林研究 63：41-45, 2010 鹿児島県森林技術総合センターにて開発中の「機械作業システムによる列状間伐の収支試算ソフト」について、開発2年目は、伐出生産性の予測結果を基に作業経費と生産収入を試算し、収支予測を行うプログラムを作成した。また、当ソフトを用い、スギ2等地での3残1伐の列状間伐で、小型高性能林業機械3点セットをリースにより導入した作業システムの場合において、路網密度や事業規模（面積）、間伐対象林の林齢（径、材積）の違いにより、損益分岐点がどのように変動するかシミュレートした。

キーワード：列状間伐、高性能林業機械、機械作業システム、収支予測

### I. はじめに

間伐作業の機械化による低コスト化及び林業労働力不足の解消を、間伐推進施策における重要課題として位置付けている鹿児島県では、高性能林業機械による列状間伐の普及を図るため、平成19年度から機械化作業システムのコスト試算が可能なパソコンソフトの開発に取り組んでいる。

前報（河野ほか、2009）で紹介したとおり、ソフトの開発目標は、鹿児島県の利用間伐現場で特徴的な、小規模かつ林相が不揃いな林分を複数筆取りまとめた間伐団地において、機械作業システムを導入した場合の、作業にかかる収入と支出及び1筆毎の精算を事前に試算可能とすることであり、平成19年度は、ソフトのモジュールとなる、列状間伐の機械作業現場における工程ごとの作業効率と生産性を予測するためのシミュレーターを開発した。

開発2年目となる平成20年度は、初年度開発したシミュレーターの予測結果を基に、列状間伐の機械化作業システムについて、現場作業経費及び素材収入を試算し、伐採現場の収支見込みを予測する部品ソフト、フォーキャスターを作成したので紹介する。

また、上記のシミュレーターとフォーキャスターにより、小型スイングヤード、プロセッサ、フォワーダを導入した作業システムにおいて、路網密度や事業規模（面積）等の現場条件を変化させてシミュレートし、収支バランスがどのように変化するか調査したので報告する。

### II. フォーキャスターの概要と調査方法

#### 1. シミュレーターとフォーキャスターの関係

シミュレーターは、スギ、ヒノキ人工林における3残1伐の列状間伐を対象とし、鹿児島県で標準的な全木+短幹による2段階集材方式（図-1）の作業システムを想定して、工程ごとの生産効率・機械稼働時間・作業日数・工数（人日）等の伐出生産性、

使用機械の種類、集材路延長等の経費試算に必要な因子と、樹種、生産材の規格別（末口径・長さ）本数及び材積等の収入試算に必要な因子を計算し、出力する。フォーキャスターは、この出力結果を取り込み、作業経費、生産収入を試算し、収支予測を行う。

#### 2. フォーキャスターの概要

フォーキャスターは試算過程ごとの8画面で構成され（図-2）、作業経費については、人件費、機械損料・リース費、燃料費、附帯作業費、運材経費、市場経費等を各工程別に試算し合計する。生産収入については、素材の規格別に市場単価を反映して試算する。別途、補助金収入を加えることも可能である。以下に試算過程を示す。

##### （1）計算結果読み込み

シミュレーターに入力した現場作業条件のうち計算に必要な情報（樹種、面積、路網延長、使用機械）と、出力したデータ（伐木・木寄せ・造材・搬出それぞれにかかる日数、工数、機械稼働時間、伐区全体の工期、工数（人日）、伐区全体から生産される素材の規格別（末口径・長さ）玉数・材積）を読み込む。

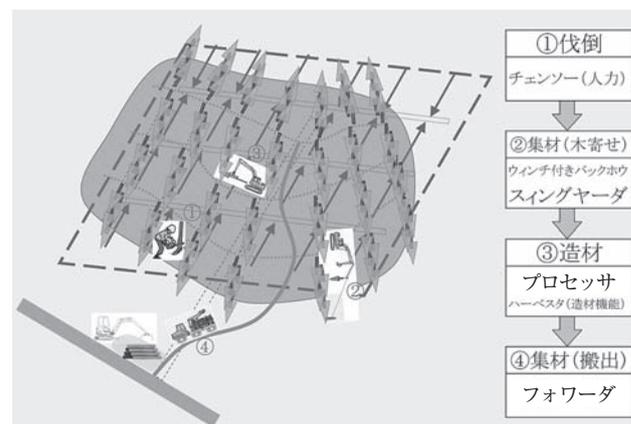


図-1. シミュレーターが前提とする作業の流れ

<sup>\*1</sup> Kono, Y.: Costbalance-Forecaster for Machinery logging systems on linethinning.

<sup>\*2</sup> 鹿児島県森林技術総合センター Kagoshima Pref. Forestry Technology Center., Kamo, Kagoshima 899-5302



図-2. フォーキャスター画面 (図は作業経費試算画面)

(2) 作業経費試算

作業日数、工数、使用機械、機械稼働時間から、機械稼働経費、燃料代、人件費を出力する。機械稼働経費については、ユーザーが各使用機械の導入形態（自社所有、リース、レンタル）を選択し、損料またはリース・レンタル料として算出する。

(3) 附帯経費試算

面積、路網延長、作業日数、工数、使用機械から、準備経費（集材路開設費、除草・除伐経費、機械搬送費）を出力する。機械搬送費については、ユーザーが搬送形態（自社搬送、搬送業者委託）を選択し、各形態に応じて算出する。併せてユーザーが、現場までの通勤距離と、土場から市場までの運搬距離を入力することで、作業員の人員輸送費及び、素材運送経費を算出する。

また、土場造成や土場借り上げ経費が必要な場合は、ユーザーの任意でこれらを加えることができる。

(4) その他経費試算

通常想定される現場経費以外に、特殊な経費が発生する場合、ユーザーの任意でこれら経費を自由に追加することができる。

(5) 経費集計

出力された作業経費、附帯経費、その他経費の合計に、事務費（率計上）を加算して経費合計を出力する。併せて、ha 当たり経費、m<sup>3</sup> 当たり経費も算出する。

(6) 素材販売収入試算

伐区全体から生産される素材の規格別（末口径・長さ）材積に、販売歩留まりと直材：小曲材比率を乗じ、ユーザーが選択した市場の直近の取引価格表から、それぞれの規格の該当単価を自動抽出し、素材売り上げ見込みを算出する。販売歩留まりと直材：小曲材比率は、現場状況に応じて、ユーザーの任意で簡単に設定値の変更が可能である。

また、販売手数料と、市場経費（市場手数料、はい積料）を算出して素材売り上げ見込みから差し引き、素材販売収入合計として出力する。併せて、ha 当たり収入、m<sup>3</sup> 当たり収入も算出する。

(7) 補助金収入試算及び収入集計

表-1. 試算に用いた高性能林業機械リース単価

機械種類	期間別リース料金 (千円)						
	0.5月	0.67月	0.83月	1月	1.17月	1.33月	1.5月
スイングヤード(0.3m <sup>3</sup> )	150	200	250	300	350	400	450
プロセッサ (0.45m <sup>3</sup> )	130	180	230	260	310	360	390
フォワーダ (4 t)	80	110	140	160	190	220	240

- リース単価は、県内で実績の多い鹿児島県林業労働力確保支援センターの単価を使用している。但し、現在、リース制度は廃止され貸出助成制度に変わっている。
- 月額リースを基本とするが、半月リース及び5日単位(0.17月)での延長も可能である。
- 試算で用いた期間料金のみ抜粋している。

表-2. 試算に用いたスギ素材市場取引価格

長級	2 m		3 m		4 m	
	直材 (円/m <sup>3</sup> )	小曲 (円/m <sup>3</sup> )	直材 (円/m <sup>3</sup> )	小曲 (円/m <sup>3</sup> )	直材 (円/m <sup>3</sup> )	小曲 (円/m <sup>3</sup> )
径(cm)						
9~11	-	-	7,500	7,500	8,800	8,800
11~13	-	-	6,300	6,300	8,800	8,800
13~15	-	-	6,300	6,300	7,800	7,800
15~17	6,000	5,000	10,200	6,500	8,600	6,300
17~19	6,000	5,000	10,200	6,500	10,000	8,000
19~21	6,000	5,000	10,000	7,300	10,000	8,000
21~23	6,000	5,000	10,000	7,300	10,000	8,000
23~25	6,000	5,000	10,000	8,200	10,300	8,300
25~27	6,000	5,000	10,000	8,200	10,300	8,300
27~29	6,000	5,000	10,000	8,200	10,300	8,300

- 当単価表はH市場における2009年3月23日のスギ取引実績を基にしている。
- 試算で用いた径級のみ抜粋している。

間伐補助金と集材路の開設補助金の補助対象となっている場合は、補助金の概算額を算出し、収入に加えることが可能である。

(8) 収支試算結果出力

経費と収入の出力結果を全て取りまとめ、収支試算を行う。併せて、ha 当たり収支、m<sup>3</sup> 当たり収支も算出する。算出結果については、試算結果だけを表示したものと、歳出・歳入項目（人件費、損料等、燃料費、事務費、その他経費、素材収入、補助金収入）ごとに内訳を集計表示したものの2種類の出力が可能である。

なお、経費及び収入の試算に用いる単価表（機械リース・レンタル単価、各市場の取引価格、補助金標準単価等）は、web や各種林業統計資料等で一般公表されている単価を独自で収集して作成したものを標準単価として搭載しているため、各ユーザーの実態に応じたカスタマイズが必要である。また、各市場の取引価格について、常に最新の価格を試算に反映させるためには、毎月更新する必要がある。このため、これら単価表のカスタマイズや更新等のメンテナンスをユーザー側で簡単に行うサポートプログラムを現在作成中である。

3. シミュレーターとフォーキャスターによる収支試算調査

路網密度や事業規模（面積・出材積）等の現場条件を変化させ、収支試算結果がどのように変化するか、シミュレーターとフォーキャスターを組み合わせることでシミュレートした。前提とする作業条件は地位2等地のスギ林Ⅶ齢級及びⅧ齢級における3残1伐の列状間伐とし、入力する平均胸高直径、平均樹高は、鹿児島県におけるスギの収穫予測式（長濱、2003）より、地位2等地における標準的な値を採用する。作業システムは、伐倒手4人による先行伐倒、小型スイングヤードにより、オペレータ兼荷外し手と荷掛

表-3. 集材路延長・密度の変化に伴う試算因子の変化

	支線集材路の新規開設延長 (m)						
	100	500	1,000	1,500	2,000	2,500	3,000
幹線集材路延長(補修利用)*	500	500	500	500	500	500	500
集材路合計延長(m)	600	1,000	1,500	2,000	2,500	3,000	3,500
支線密度(m/ha)	10	50	100	150	200	250	300
幹線密度(m/ha)*	50	50	50	50	50	50	50
集材路密度(m/ha)	60	100	150	200	250	300	350
集材路開設経費(千円)	210	450	750	1,050	1,350	1,650	1,950
うち今回間伐経費に計上する金額(千円)	70	150	250	350	450	550	650
列延長(上下集材路間)(m)	500	100	50	33	25	20	17
木寄せ距離(上荷,下荷両方可能)(m)	250	50	25	17	13	10	8

\*は条件固定

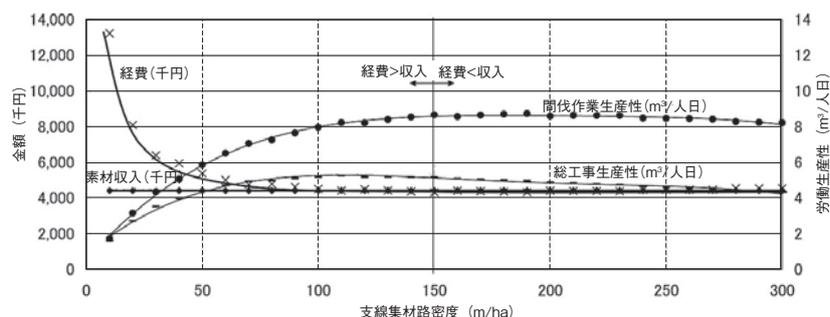


図-3. 支線集材路密度と労働生産性及び収支の関係

け手1人の2人作業で集材路まで全木集材(簡易架線もしくは地曳き集材), 小型プロセッサにより造材後, フォワーダで搬出することとし, 全木集材は, 集材路を挟んで上からの下荷, 下からの上荷ともに可能とする。採材の優先順位は, 末口径14cm上-4m材, 同14cm上-3m材, 同14cm未満-4m材, 同14cm未満-3m材の順とする。

また, 本県での高性能林業機械の導入実態を考慮し, 使用機械は, チェンソーを除き全てリースとし(表-1), 現場までの通勤距離は20km, 木材市場までの運搬距離は60km, 材価は2009年3月時点を想定(表-2), 補助金収入は無いこととし, 集材路は今後の保育も含め3回利用と仮定し開設費は3分の1のみ計上した。

### Ⅲ. 結果と考察

#### (1) 林内集材路密度による収支変化のシミュレート

スギ35年生, 10haの間伐団地を想定し, 林内集材路密度の条件を変化させて入力し, 収支の変化を調べ, 想定作業システムを効率よく運用させるための木寄せ用の最適路網密度を検証した。

平均胸高直径24cm, 平均樹高16m, 立木密度1360本/haを固定値として入力, 素材収入の試算は, 出材積704m<sup>3</sup>, 4,414千円(6,270円/m<sup>3</sup>)となった。

路網の条件は, 集材路のうちフォワーダの運行のみに供せられる幹線延長を500mで固定(50m/ha)し, 木寄せ及び造材に供せられる支線延長を, 100m(10m/ha)から3000m(300m/ha)の間で100m間隔で変化させて入力した。支線集材路の延長・密度に伴い変化するのは, 附帯経費(集材路開設費)と木寄せ距離である。木寄せ距離は労働生産性, ひいては作業経費に影響する。

なお, 現場実態を踏まえ, 幹線は, 既設集材路の補修利用, 支線は新設と仮定して単価設定した(表-3)。

シミュレートの結果, 労働生産性については, 間伐作業本体だと支線の密度が概ね150m/haまでは向上, 8.5m<sup>3</sup>/人日をピークとして横ばい, 250m/ha以降は緩やかに下降した。路網開設等の附帯作業まで含めた総工事だと, 概ね100m/haまでは向上, 以降は5.0m<sup>3</sup>/人日をピークとして緩やかに下降した。収支の変動については, 総経費の減少が100m/haで緩やかになり, 150m/haで収入に重なり, 後はほぼ横ばいで一定となった(図-3)。

このことから, 検討した作業条件で, 2009年3月時点の材価では利益を出すのは困難であること, また, 支線を150m/ha以上の高密度に入れても, 開設経費に見合った労働生産性及び利益は見込めないことが判明した。よって, 生産性, 採算性の両方を考慮した, 支線集材路の適正路網密度の範囲は100~150m/ha, 幹線集材路を加えると150~200m/haと判明した。

#### (2) 面積及び出材積による収支変化のシミュレート

作業効率を変化させないため, 集材路の密度を固定して木寄せ距離を一定に保ち, 間伐面積を変数として収支の変化を調べ, 1回のリースにつき, 採算割れをしないための最低必要とする事業規模について, スギ35年生と40年生の場合で検証した。

面積を0.5ha(鹿児島県の一筆当たり平均)から10haまで変化させ, 集材路密度を幹線50m/ha, 支線150m/haで固定した場合の, 入力延長及び開設経費は表-4のとおり。

スギ35年生は平均胸高直径24cm, 平均樹高16m, 立木密度1360本/haを固定値として入力, 40年生は平均胸高直径25cm, 平均樹高17.5m, 立木密度1200本/haを固定値として入力, 出材積は35年生で67m<sup>3</sup>/ha, 40年生で72m<sup>3</sup>/ha程度となった。

表-4. 面積の変化に伴う試算因子の変化

	面積 (ha)									
	0.5	1	2	3	4	5	6	9	10	
支線集材路延長(新規開設)(m)	75	150	300	450	600	750	900	1,350	1,500	
幹線集材路延長(補修利用)(m)	25	50	100	150	200	250	300	450	500	
集材路合計延長(m)	100	200	400	600	800	1,000	1,200	1,800	2,000	
支線密度(m/ha)*	150	150	150	150	150	150	150	150	150	
幹線密度(m/ha)*	50	50	50	50	50	50	50	50	50	
集材路密度(m/ha)*	200	200	200	200	200	200	200	200	200	
集材路開設経費(千円)	53	105	210	315	420	525	630	945	1,050	
うち今回間伐経費に計上する金額(千円)	18	35	70	105	140	175	210	315	350	
列延長(上下集材路間) (m)	33	33	33	33	33	33	33	33	33	
木寄せ距離(上荷,下荷両方可能) (m)	17	17	17	17	17	17	17	17	17	

\*は条件固定

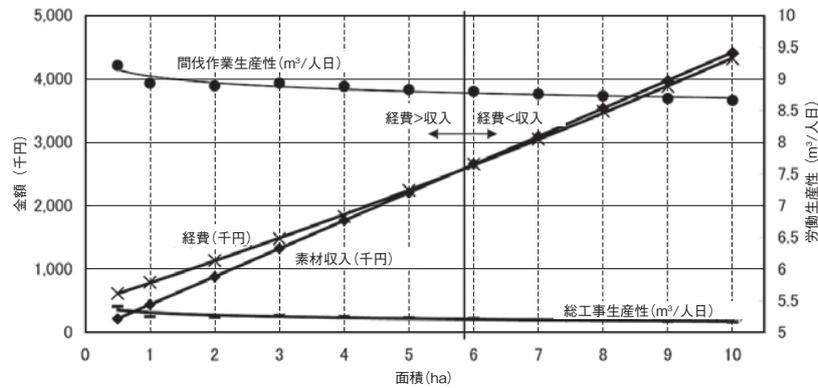


図-4. 事業面積と労働生産性及び収支の関係 (スギ35年生)  
(凡例は図-3に同じ)

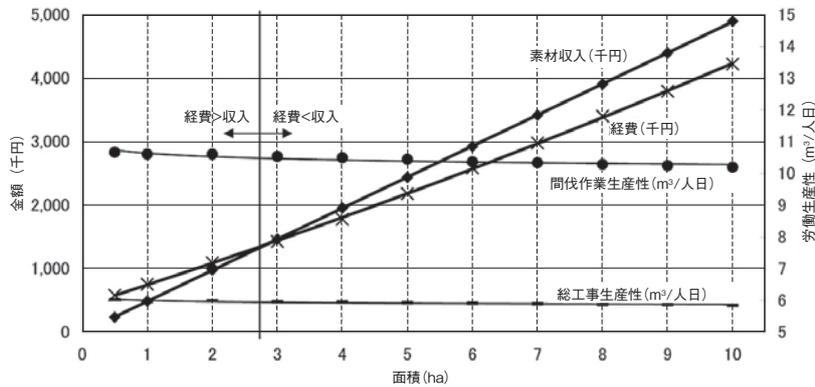


図-5. 事業面積と労働生産性及び収支の関係 (スギ40年生)  
(凡例は図-3に同じ)

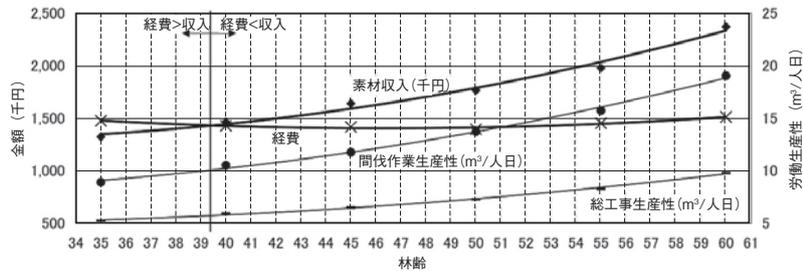


図-6. 林齢と労働生産性及び収支の関係  
(凡例は図-3に同じ)

シミュレートの結果、35年生では経費と収入のグラフの傾きが平行線に近く、収入が経費を上回り利益に転じるのが5.9haであった(図-4)。40年生では、経費については35年生の場合と

さほど変わらないが、35年生に比べ径級が大きく出材量も多いことから、面積増加に伴う収入の増加が著しく、利益に転じるのは2.8haであった(図-5)。

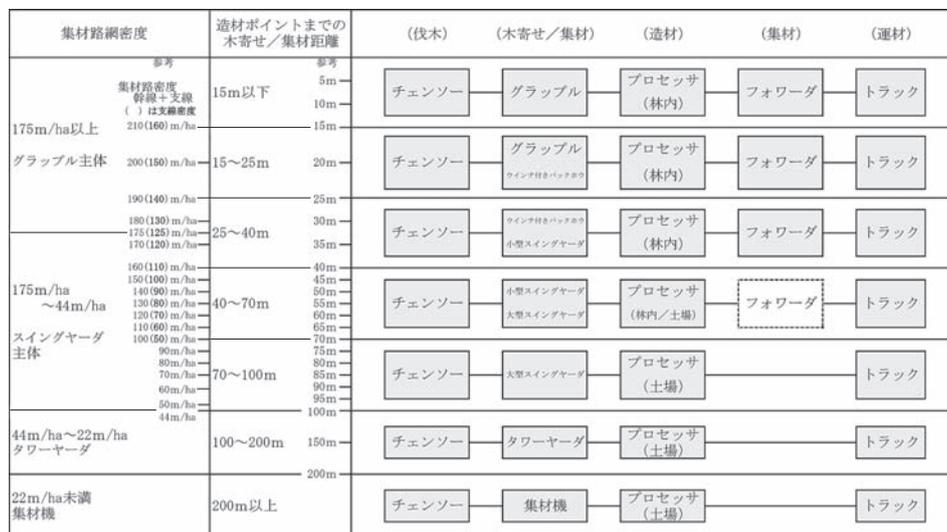


図-7. 集材距離による作業システムの選択フロー (調製後)

このことは、1回のリースにつき最低必要とする事業規模は、35年生(67m<sup>3</sup>/ha)で約6ha、40年生(72m<sup>3</sup>/ha)で約3haであり、35年生の場合、鹿児島県で一般的な2~3ha程度の施工地なら、近隣の数現場を取りまとめて施工する必要があること、スケールメリットによる収支の改善効果は、林齢、すなわち単位収獲量の多さに比例することを示唆している。

参考までに面積3ha、幹線150m(50m/ha)、支線450m(150m/ha)の伐区を想定し、極力、経費が変動しないよう条件設定し、林齢(出材積)のみを変数とした場合の収支の変化を、図-6に掲げる。

#### IV. おわりに

森林所有者の高齢化、意欲低下等により増加する間伐手遅れ林分を解消するため、県は森林組合や林業事業体と連携し、積極的な間伐推進に取り組んでいるが、昨今の景気低迷を反映し、費用を負担してまで自己所有林の間伐を作業委託する森林所有者がますます減少しつつある中、切り捨て間伐を主体とした間伐推進策では限界があるものと思われる。

これを打開するためには、列状間伐を主体とした利用間伐を推進し定着させ、森林所有者の負担軽減を図る必要がある。間伐材を搬出して換金し、作業経費の一部を素材収入で補填する事で、切り捨て間伐よりは支出を少額に抑え、間伐に対する森林所有者の経済的ハードルを下げようという取り組みである。

この取り組みの中で、シミュレーターとフォーキャスターは、列状間伐施工地の見積り作成だけでなく、高性能林業機械の導入検討や、機械間伐の推進資料作成にも活用が可能であり、今回の収支試算のシミュレート調査についても、得られた結果を基に鹿児島県の「集材距離による作業システムの選択フロー」を調製し

た(図-7)。

また、今回の調査を踏まえ、これまで作業効率の観点から「作業団地の平均利用材積が概ね50m<sup>3</sup>/ha以上」としてきた県の列状間伐普及マニュアルの実施条件について、採算性も考慮し「概ね70m<sup>3</sup>/ha以上」に見直すことも検討したい。

両ソフトの開発及び、これら選択フローや普及マニュアルの見直しにより列状間伐の収益性向上が図られ、列状間伐が「より負担の少ない間伐手法」として森林所有者に認知される事で、間伐推進に寄与するものと期待したい。

しかし、両ソフトは機械損料関係をはじめデータベースの不足箇所も多く、実用性の検証も十分ではなく、更なる改良が必要であるため、1本のパソコンソフトとして統合・操作の簡素化を図り、関係機関に配布し、実地での検証を重ね、更なる予測精度の向上につなげる計画である。また、今回の調査結果についても、鹿児島県の標準を想定した机上調査であるため、引き続き、現場実績との乖離について追跡調査を行いたい。

最後に、ソフト開発のための現地調査に御協力いただいた(有)田中林業の田中浩徳氏、田中佑樹氏、(財)鹿児島県森林整備公社、プログラミングに関して多大な貢献をいただいた富士通エフ・アイ・ピー九州(株)鹿児島ソリューションセンタの荻田康次氏、福蘭昭夫氏、飯屋光一氏、西野謙二氏、以上の方々及び団体に厚くお礼申し上げます。

#### 引用文献

河野雄一・満留良文・岡 勝・田中良明(2009)九州森林研究 62:59-63.

長濱孝行(2003)鹿児島県林試研報 8:1-11.

(2009年10月29日受付;2010年2月11日受理)