

林分施業法の選木技術

—択伐施業における選木者の作業行動—

東京大学北海道演習林

尾張 敏章・松井 理生・江口 由典
延 栄一・小林 徹行

京都府立大学大学院生命環境科学研究科

美濃羽 靖

はじめに

伐採木の選定（選木）は、林分施業法⁽¹⁾の基本をなす技術の一つである⁽²⁾。著者らはこれまでに、東京大学北海道演習林（北演）において選木試験を行い、作業に熟達した森林技術者による選木の特徴を具体的に示してきた^(2,3,4)。熟練者が持つ知識や技能、ノウハウの抽出は、後継者不足が深刻な農業分野でも関心が高い⁽⁵⁾。農作業に関わる熟練者の行動を IT（情報技術）によって可視化、定量化し、作業効率の向上や技能の継承、人材の育成に役立てるための調査研究が進んでいる⁽⁶⁾。

そこで本研究では、北演内の低標高域に位置する択伐天然林内で再び選木試験を行い、これまでと同様の調査項目に加えて、最新の IT 機器（GNSS 受信機、ウェアラブル・カメラ）を用いた作業行動の把握・抽出を試みた。試験の結果から、熟練者により選木された伐採木の特徴（樹種、サイズ、形質・健全性、空間分布）、選木の判断に影響を及ぼす要因、選木作業中の歩行軌跡と視野について、それぞれ分析を行ったので報告する。

資料と方法

1) 調査地の概況

調査地は北演 84 林班 A 小班、針葉樹択伐林（更新少）内の天然林施業試験地 No. 5007 とした（北緯 43° 15′，東経 142° 24′，標高 310–340 m）。面積は 0.33 ha，北西向き斜面に位置し、傾斜度は 18–20° である。トドマツが優占し、ハリギリやシナノキなどの広葉樹が混交する。林床にはクマイザサのほか、シダ類やスゲ類が分布する。

2014 年 6 月の定期測定結果によれば、調査地内の立木本数（DBH ≥ 5.0 cm）は 231 本（694 本・ha⁻¹）、立木材積は 102.2 m³（309.6 m³・ha⁻¹）であった。なお、立木材積は北演の 1 変数材積表により算出した。北演天然林第 1 作業級における針葉樹択伐林（更新少）の平均蓄積は 275 m³・ha⁻¹⁽⁷⁾であり、北演内でも比較的高蓄積の林分といえる。過去 60 年間に計 4 回（1964, 1979, 1994, 2004 年度）の択伐が行われており、2017 年度にも択伐を実行予定である。

2) 調査・解析方法

選木試験は 2017 年 8 月に行った。同年 3 月の現地検討会で決定した施業方針に従い、材積伐採率を 13% とした。調査地の立木材積から、予定伐採量は 13.3 m³ と算出された。選木は勤続年数 20 年以上の技術職員（熟練職員）3 名が行った。予定伐採量を基準として 3 名の合意によ

り選木し、伐採木の個体番号を記録した。2014 年の定期測定データを用いて、伐採木と非伐採木の樹種・胸高直径（DBH）を集計・比較した。

調査地内にある DBH 14.0 cm 以上の全立木（n = 131）を対象として、形質や健全性など、林分施業法の選木基準に関わる指標⁽⁴⁾の有無を判定した。判定は選木を行った熟練職員 3 名の合意によるものとし、前報⁽⁴⁾で作成した調査票を本調査に用いた。各指標の判定結果について、伐採木と非伐採木とを比較した。

さらに、調査地内の全立木（DBH ≥ 5.0 cm）について、樹高、枝下高、樹冠幅（4 方向）の測定を行った。根元位置の座標（x, y, z）は 2011 年⁽⁸⁾と 2014 年（定期測定時）に測量した成果を用いた。以上のデータをもとに、林分構造可視化ソフトウェアの Forest Window ver. 2.52⁽¹⁾によって林分断面図と樹冠投影図を描画した。

熟練職員による選木の判断に影響を及ぼす要因を明らかにするため、伐採・非伐採を目的変数とする二項ロジスティック回帰分析を行った。統計解析ソフトウェアには Excel 2016（マイクロソフト社）とエクセル統計 ver. 2.14（社会情報サービス社）を用いた。

選木時の作業行動を把握するため、熟練職員 3 名の合意による伐採木の決定に先立って、職員別の選木試験を実施した。選木は各職員が独立して行い、他の職員による作業の様子は互いに見られないようにした。熟練職員との対比のため、勤続年数 7 年未満の職員（非熟練職員）計 3 名を対象とした選木試験も同時に行った。

職員別の選木試験では、ハンディ GNSS 受信機 GPSMAP 64s（Garmin 社）を携行して、作業中の林内歩行軌跡を 1 秒間隔で測位した。各職員の歩行軌跡を、調査地の立木位置および等高線とともに ArcGIS 10.5（Esri 社）を用いて描画した。また、ウェアラブル・カメラ VIRB ULTRA 30（Garmin 社）をヘルメットに装着して、作業中の視野映像を撮影した。同カメラの内蔵センサー（G-Metrix）により、視野映像の向き（方位角：heading，仰俯角：pitch）を 1 秒間隔で記録し、8 方位別、仰俯角階別の作業時間を集計した。なお、内蔵センサーに動作不良があり、一部データの欠測が生じた。

結果と考察

1) 選木された伐採木の特徴

熟練職員を対象とした選木試験の結果、計 14 本が伐採木として選ばれた。本数伐採率（DBH ≥ 5.0 cm）は 6.1%

Toshiaki OWARI, Masaki MATSUI, Yoshinori EGUCHI, Eiichi NOBU, Tetsuyuki KOBAYASHI (The Univ. of Tokyo Hokkaido Forest, Furano 079-1563), Yasushi MINOWA (Grad. Sch. Life Env. Sci., Kyoto Pref. Univ., Kyoto 606-8522)

Tree marking techniques in the stand-based forest management system: Work behavior of tree markers under selection system

であった。伐採木の材積は計 14.9 m³、材積伐採率は 14.5%で、予定伐採率（13%）をやや上回った。

伐採木と非伐採木の樹種別本数を表-1 に示す。伐採木の樹種はトドマツが 10 本で最も多く、他にハリギリ、アズキナシ、オオバボダイジュ、ハクウンボクが各 1 本選木された。樹種をトドマツとその他に 2 区分し、フィッシャーの直接確率検定を行ったところ、トドマツが伐採木とされる比率は有意に高かった ($p < 0.01$)。

伐採木・非伐採木の DBH 分布 (≥ 14.0 cm) および被選木率 (各 DBH 階における伐採木の本数比) を図-1 に示す。伐採木と非伐採木の平均 DBH はそれぞれ 36.5 cm, 29.2 cm であり、前者は後者に比べて有意に大きかった ($p < 0.01$, t 検定)。伐採木の本数は DBH 30.0-39.9 cm 階が 5 本と最も多かった。被選木率は DBH 40.0-49.9 cm 階が最も高く、全立木の 20%が伐採木として選ばれた。一方、DBH 50.0 cm 以上で伐採木として選ばれたのは 1 本

表-1 伐採木と非伐採木の樹種別本数と比率

樹種	伐採木		非伐採木		計	
	n	%	n	%	n	%
トドマツ	10	71.4	37	31.6	47	35.9
ハリギリ	1	7.1	11	9.4	12	9.2
シナノキ			10	8.5	10	7.6
アズキナシ	1	7.1	9	7.7	10	7.6
オオバボダイジュ	1	7.1	8	6.8	9	6.9
アサダ			9	7.7	9	6.9
オオモミジ			6	5.1	6	4.6
イチイ			4	3.4	4	3.1
ベニイタヤ			3	2.6	3	2.3
エゾイタヤ			3	2.6	3	2.3
エゾヤマザクラ			3	2.6	3	2.3
ミヤマザクラ			3	2.6	3	2.3
カツラ			3	2.6	3	2.3
ハクウンボク	1	7.1	1	0.9	2	1.5
オヒョウ			2	1.7	2	1.5
キタコブシ			2	1.7	2	1.5
シウリザクラ			1	0.9	1	0.8
ナナカマド			1	0.9	1	0.8
サワシバ			1	0.9	1	0.8
合計	14	100.0	117	100.0	131	100.0

注) 胸高直径が 14.0 cm 以上の立木。比率は四捨五入のため合計値は一致しない。

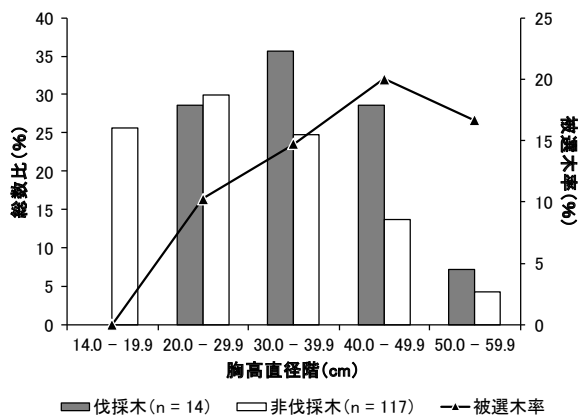


図-1 伐採木と非伐採木の胸高直径分布と被選木率

(オオバボダイジュ) のみであった。

伐採木と非伐採木について、各指標が有り判定された立木の対総数比を図-2 に示す。伐採木 14 本のうち、10 本 (71%) が元腐れ (樹幹下部に腐朽) と判定された。また、中腐れ (樹幹中央部に腐朽) と判定された伐採木が半数 (7 本) を占めた。元腐れ、中腐れ、中キノコ (樹幹中央部にキノコ)、着葉量少と判定された立木が伐採木とされる比率は有意に高かった ($p < 0.01$, フィッシャーの直接確率検定)。

調査地の林断面図と樹冠投影図を図-3 に示す。林冠は広葉樹の優占度がやや高く、針葉樹が混交する多層構造であったが、伐採前から一部にギャップが生じていた。伐採前は調査地全体に偏りなく分布していた。主に林冠の中へ上層を占める針葉樹 (トドマツ) が選木された一方、最上層にある広葉樹からの選木は少なかった。

2) 選木の判断に影響を及ぼす要因

樹種 (トドマツ)、DBH (1 次項, 2 次項)、伐採木とされる比率が有意に高かった 4 指標 (元腐れ、中腐れ、中キノコ、着葉量少) の計 7 つを説明変数とし、伐採・非伐採を目的変数とした二項ロジスティック回帰分析の結果を表-2 に示す。増減法による変数選択の結果、説明変数として、樹種、元腐れ、中キノコの 3 つが選ばれた。樹種がトドマツであり、元腐れ、中キノコと判定される立木ほど、伐採木として選ばれる傾向にあることが示された。回帰モデルは有意であり ($p < 0.01$, 尤度比検定)、判別率率は 91.6% (120/131) であった。

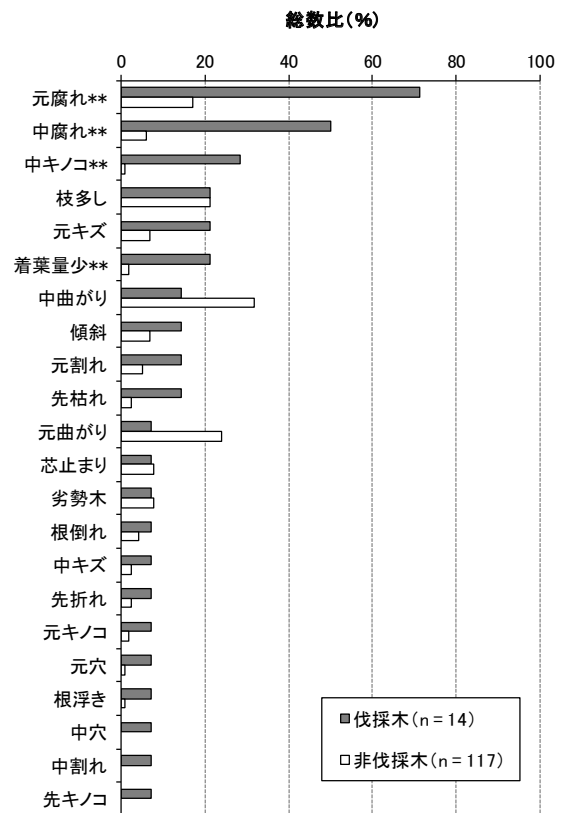


図-2 選木基準に関わる評価指標の判定結果

注) ** $p < 0.01$, フィッシャーの直接確率検定。

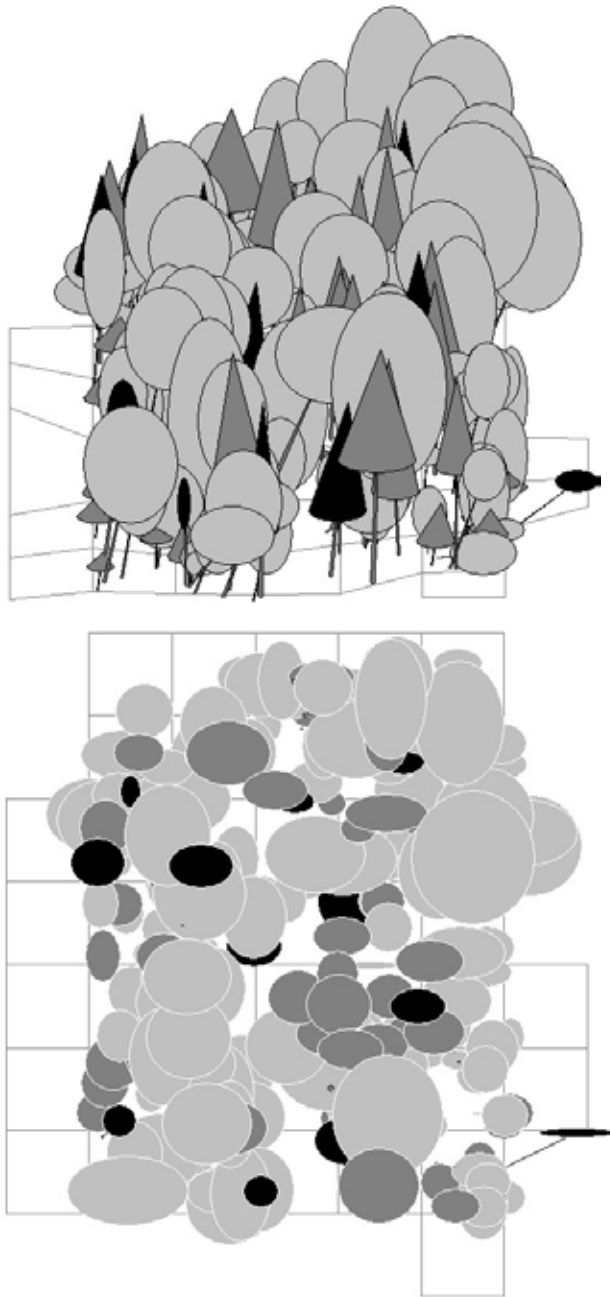


図-3 林分断面図と樹冠投影図（伐採前）

注）濃灰色は針葉樹，薄灰色は広葉樹，黒は伐採木を表す。

3) 選木作業中の歩行軌跡と視野

職員別選木試験における作業中の歩行軌跡を図-4に示す。作業時間と歩行距離は、熟練職員が20'59"-28'13"と562-724 m、非熟練職員が20'43"-31'23"と467-718 mであり、いずれも両者の間に有意な差は認められなかった。選木作業の開始地点は試験地の北西角付近（図の左上）とした。全ての職員が斜面を上りながら試験地の北側（図の上部）を選木した後、斜面を下りながら南側（図の下部）の選木を行った。熟練職員は上り下りとも斜面をジグザクに歩き、試験地の四隅を含め全範囲にわたって立木の状態を観察し、選木を行っていた。一方、非熟練職員については斜面を直登することもあり、また試験地角や斜面上側など一部の対象区域が未踏査であった。

表-2 二項ロジスティック回帰モデルによる選木要因の分析結果

説明変数	偏回帰係数	標準誤差	p値	オッズ比
樹種 (トドマツ:1, その他:0)	1.337	0.710	0.060	3.807
元腐れ(有り:1, 無し:0)	2.123	0.697	0.002	8.359
中キノコ (有り:1, 無し:0)	2.788	1.255	0.026	16.243
定数項	-3.940	0.700	0.000	

注)目的変数:伐採木:1, 非伐採木:0。

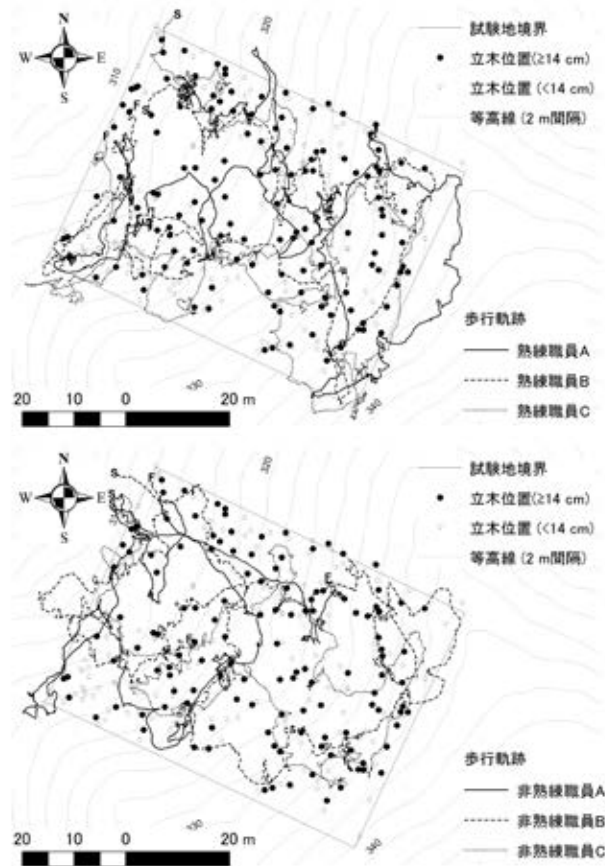


図-4 熟練職員（上）と非熟練職員（下）による選木作業時の林内歩行軌跡

注）図中のSは開始地点，Fは終了地点を表す。

選木作業中の視野の向きについて、方位角と仰俯角の作業時間比率（総作業時間に占める8方位別、仰俯角階別の作業時間割合）をそれぞれ図-5、6に示す。熟練職員のうち1名はデータ欠測率が78%と高かったため、結果から除外した。残り5名のデータ欠測率は3-20%であった。視野の方位角（図-5）に関して、熟練職員はいずれも北西～南西の方角を（斜面上から下に向かって）見ている時間が相対的に長かった。非熟練職員のうち1名も同様の傾向がみられたが、他の2名は方位角に大きな偏りがなかった。視野の仰俯角（図-6）に関して、熟練職員は2名とも最頻値がマイナスであり、選木作業中に下を見ている時間が相対的に長かった。一方、非熟練職員はいずれも最頻値がプラスに偏っており、見上げている時間がより長くなっていた。

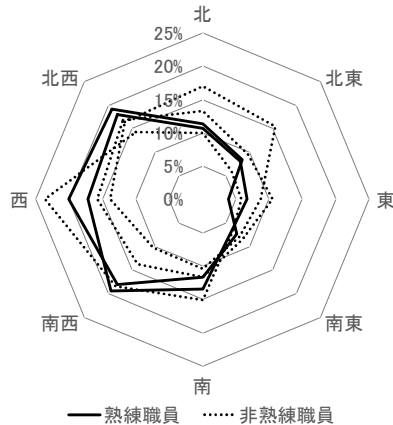


図-5 選木作業時の視野の向き（方位角）
注) 8方位別の作業時間比率を表す。

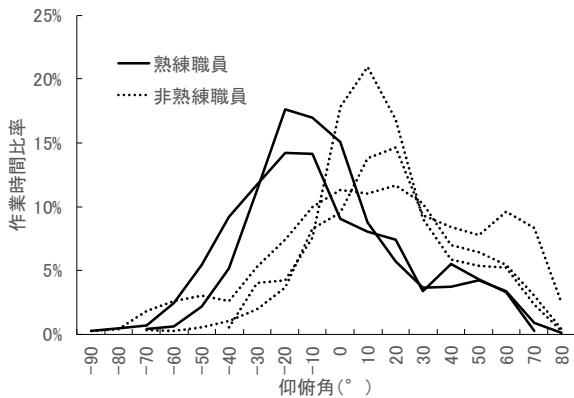


図-6 選木作業時の視野の向き（仰俯角）
注) 仰俯角階別の作業時間比率を表す。

考察

選木に影響を及ぼす要因を分析した結果、トドマツが他の樹種に比べて有意に多く選木される傾向が認められた。既報^(2,3)と同様、伐採木は林分内で優占する樹種から選ばれた。樹種構成のバランスを考慮して選木されていることが、本研究の結果からも確認された。

選木基準に関わる指標のなかでは、元腐れ、中キノコと判定された立木が選木される傾向にあった。また、中腐れや着葉量少と判定された立木が伐採木とされる比率も有意に高かった。既報^(2,3)と同様、樹幹が腐朽に冒された立木や着葉量が少ない立木は将来の価値成長が見込めず、次回（15年後）の択伐施業までの間に枯損する可能性も高いため、優先的に選木されたと考えられる。

立木のサイズについては、既報⁽³⁾と同様、DBH 50 cm未満の立木から伐採木が多く選ばれた一方、DBH 50 cm以上の大径木からの選木は少なかった。本調査地の大径木のうちトドマツは1本のみであり、他はイタヤカエデやカツラ、シナノキなどの広葉樹であった。大径木であっても一層の材積・価値成長が期待できると判断された⁽⁴⁾か、材質の劣化が顕著でもはや採材不可と判定されたものと推察される。また、大径木の伐採による支障木の発生や林冠ギャップの拡大を懸念して、選木されなかった可能性⁽⁵⁾も考えられる。

伐採木の空間分布は、既報⁽³⁾と同様、大きな偏りが認められなかった。空間的なバランスを考慮して選木されていることが、本研究の結果からも確認された。一方、トドマツを中心とした選木により、既報⁽²⁾と同じく、本調査地でも広葉樹の優占度が一層高まると考えられた。

選木作業時の歩行軌跡からは、傾斜地での林内歩行に伴う労働負荷を抑えつつ、対象区域を効率的かつ網羅的に踏査して選木を行う熟練職員の作業行動が示唆された。また、選木作業時の視野の向きからは、熟練職員による作業行動の特徴として、①斜面上部から対象区域を広く見渡し、樹冠の状態を遠目に観察しながら選木する、②立木の直下では樹冠（上方）よりも樹幹下部（下方）の状態を観察し、腐朽等の有無を判定した上で選木する、の2点が抽出された。歩行軌跡、視野の向きとも、熟練職員間で大きな差異は認められなかったことから、熟練者に共通した作業行動の特徴を表していると言えよう。

おわりに

本研究により、一事例ではあるが、林分施業法の択伐施業における熟練技術者の作業行動の特徴を具体的に示すことができました。今後も同様の方法で調査を継続し、技術の継承と人材育成に役立てていくことが期待される。

本研究の実施にあたって、北演職員の井口和信、小池征寛、佐藤晴樹の各氏には現地調査にご協力いただいた。厚くお礼申し上げます。なお、本研究は JSPS 科研費 15K14751 の助成を受けた。

引用文献

- (1) Nobori Y (2000) Forest Window. Japan Society of Forest Planning Press, Tokyo, 100pp.
- (2) 尾張敏章・犬飼 浩・小池征寛・美濃羽靖・中島 徹 (2010) 林分施業法の選木技術. 日林北支論 **58** : 101-104.
- (3) 尾張敏章・犬飼 浩・福士憲司・小池征寛・犬飼慎也・算用子麻未・高橋功一・美濃羽靖 (2011) 林分施業法の選木技術—エゾマツ・トドマツ・シナノキ・イタヤカエデ混交林の事例—. 日林北支論 **59** : 99-102.
- (4) 尾張敏章・福士憲司・広川俊英・井上 崇・江口由典・辰巳晋一・美濃羽靖・中島 徹 (2012) 林分施業法の選木技術—ウダイカンバ二次林の事例—. 北森研 **60** : 77-80.
- (5) 高橋延清 (2001) 林分施業法—その考えと実践— (改訂版). ログ・ビー, 札幌, 125pp.
- (6) Tatsumi S, Owari T, Ohkawa A and Nakagawa Y (2013) Bayesian modeling of neighborhood competition in uneven-aged mixed-species stands. FORMATH **12** : 191-209.
- (7) 東京大学大学院農学生命科学研究科附属演習林北海道演習林 (2012) 北海道演習林第 13 期教育研究計画 (平成 23~32 年度). 演習林 (東大) **51** : 67-176.
- (8) 辻澤隆彦 (2014) フィールドサーバとウェアラブル端末を活用した農作業情報を共有するシステムの試作と検証. 農業情報研究 **23** : 38-48.
- (9) 山本淳子 (2011) 農作業における知識・技能の特質と継承方法. 農機誌 **73** : 276-280.