

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 30 年 6 月 4 日現在

機関番号：12601

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2015～2017

課題番号：15K14751

研究課題名(和文) 情報技術を活用した天然林施業の知識ベース構築とその運用

研究課題名(英文) Development and application of a knowledge base using information technology for natural forest management

研究代表者

尾張 敏章 (Owari, Toshiaki)

東京大学・大学院農学生命科学研究科(農学部)・准教授

研究者番号：00292003

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,000,000円

研究成果の概要(和文)：不確実性下における天然林施業の意思決定支援を目的として、最先端の情報技術を駆使しながら森林技術者が有する経験知を抽出し、コンピュータ上に格納・集積した「天然林施業の知識ベース」を構築した。林分施業法に基づく天然林施業の4つの技術(天然林の林種区分、施業方針の策定、択伐対象木の選定、収穫木の採材)について、それぞれ森林技術者の経験知を抽出・分析できた。東京大学北海道演習林をモデル・フィールドとする運用試験の実施を通じて、構築した知識ベースの有用性が示された。

研究成果の概要(英文)：To assist decision making of natural forest management (NFM) under uncertainty, this study aimed to extract empirical knowledge of experienced forest engineers and to develop a knowledge base for NFM using innovative information technologies. We successfully extracted and analyzed empirical knowledge on four management techniques for NFM under the stand-based silvicultural management system (spatially explicit stand classification of natural forests, formulation of silvicultural prescriptions, tree marking for harvest under the selection system, and stem conversion to logs). The usefulness of our knowledge base was proved operationally through the on-site application at the University of Tokyo Hokkaido Forest, northern Japan.

研究分野：森林科学

キーワード：天然林施業 林分施業法 経験知 知識ベース 林種区分 施業方針 選木 採材

1. 研究開始当初の背景

(1) 森林は多様で複雑な特性を持ち、その挙動は不確実性が高い。科学的根拠に基づく正確な予測が困難な条件下で、持続的森林管理の成功事例といえる経営体の多くが、長年にわたる管理経験を通じて獲得した知識を活用し、より良い管理を実現してきた。こうした経験知は伝統的森林知 (traditional forest knowledge) と呼ばれ、その重要性が世界的に認知されている一方、次世代へと継承されずに刻々と失われつつある (文献①)。

(2) 森林技術者の経験的知識は多くの場合、暗黙知 (tacit knowledge) として保持されており、その表出化、形式知化はこれまで困難とされてきた。一方、情報技術の急速な進歩により、経験知の正確な把握や分析が技術的に可能となりつつある。また、森林技術者が持つ知識の効率的な運用を図る上でも、情報技術の利用は有効である。既に様々な産業において実証研究が展開され、知識システム運用の技術的基盤が確立している (文献②)。

(3) 東京大学北海道演習林 (北演) は 1958 年以降、「林分施業法」に基づく天然林施業を継続してきた。汎相広混交林帯における森林生態系の持続的・順応的管理を大規模かつ長期的に実証してきた世界的にも稀有な教育研究フィールドであり、天然林施業に関する豊富な知識資産を有している。

2. 研究の目的

(1) そこで本研究では、不確実性下における天然林施業の意思決定支援を目的に、最先端の情報技術を駆使しながら森林技術者が有する多様な経験知を抽出し、コンピュータ上に格納・集積した「天然林施業の知識ベース (knowledge base)」を構築する。モデル・フィールド (北演) における運用試験の実施により、構築した知識システムの有用性を検証する。知識を基盤とした新たな森林管理のあり方を具体的、実証的に提示することを本研究の目標とする。

(2) 本研究では、林分施業法に基づく天然林施業において、森林技術者の経験知が特に必要とされる次の 4 つの技術を対象とした。①天然林の林種区分 (順応的な森林管理計画の策定のため天然林を状態に応じて仕分けする)、②施業方針の策定 (各林種の状態を考慮して施業の方法を決める)、③択伐対象木の選定 (持続的な択伐施業が可能と判断された森林から収穫木を選ぶ)、④収穫木の採材 (伐出された収穫木を経済的に最も有利な長さ・位置で切断して丸太にする)。

3. 研究の方法

(1) 天然林施業の知識抽出と分析

①天然林の林種区分

調査地は東京大学北海道演習林 43 林班 (面

積 335 ha) とした。調査地は 2016 年度の施業対象区域であり、林種区分図 (施業区域図) が ArcGIS (Esri 社) で作成されている。調査地では過去に 2 回 (1969-72、1993-94 年度) の施業が行われており、1981 年には大規模な台風被害が発生している。

過去施業時の林種区分図は紙ベースで作成されている。そこで、林種区分図をスキヤニングし、幾何補正の後にデジタイジングして GIS データ (ESRI シェープファイル) を生成した。各々の林種ポリゴンに林種の属性情報を付与した。2 時点の林種区分を重ね合せ、交差部分のクロス集計を行った。

②施業方針の策定

毎年の施業実行に伴って開催される「現地検討会」(施業対象とする現地において北演教職員が施業方針を討議・決定する場) を調査対象とした。2006-14 年度の検討会議事録を整理し、約 6,900 に上る発言についてテキストマイニングを行った。実施年や林況といった因子別に主要な論点を抽出し、その傾向を分析した。また、現地での議論における各論点の相対的な重要度を比較した。

なお、現地検討会の議事録は多様な会話・発言の生の記録であるため、データベース化にあたっては、実態に基づく専門用語・固有名詞・内部略語等の整形や統一、また各発言に対する属性 (施業対象地の林種など) の整理・付与を行った。

③択伐対象木の選定

調査地は北演 84 林班 A 小班の天然林施業試験地 No. 5007 とした。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。選木試験は 2017 年 8 月に実施した。勤続年数 20 年以上の技術職員 (熟練職員) 3 名と、7 年未満の職員 (非熟練職員) 3 名が、各々独立して選木を行った。

選木時の作業行動を把握するため、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 (写真 1)、作業中の視野映像を撮影した。同カメラの内蔵センサ (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。

④収穫木の採材

収穫木の選定や採材においては、材質劣化の有無や程度が重要な意思決定要因となる。そこでまず、生立木内部の材質の判定 (外観推定) に関わる経験的知識を既往の文献・資料をもとに収集・抽出し、整理・分析を行った。次に、材質劣化の主たる原因となる腐



写真1 選木試験の様子

朽に着目し、北海道の天然林で生立木に腐朽被害を引き起こす木材腐朽菌類について、既往文献に基づいて網羅的に抽出し、菌種ごとの宿主樹種・加害部位・腐朽型を整理した。さらに、腐朽判定に係る技術者の経験知を評価するため、横打撃共振法に基づく非破壊腐朽診断機器の精度と特性について、シラカンバ植栽木とトドマツ人工林を用いて検証した。最後に、経験知を補う簡易な腐朽判定支援システムの構築を目的に、北海道の天然林を構成する主要10樹種について、腐朽判定基準となる横打撃共振周波数を計測した。

(2) 天然林施業の知識ベース構築と運用

過去の施業実践を通じて記録・蓄積された資料（林種区分図、現地検討会議事録、更新補助作業履歴他）や客観的数値データ（標準地調査、CS立体図、デジタル林冠高モデル、正規化植生指数、空中写真オルソ画像他）を、ArcGIS Online 上に集積し、オフライン環境のタブレット端末で複数の地図画像を素早く切り替えながら現在地とともに表示できる「天然林施業の知識ベース運用システム」を Collector for ArcGIS を用いて構築した。林種区分の確認と施業方針の審議決定を行う場である現地検討会における運用試験を2018年3月13日に行い、11名の技術職員を対象としたアンケート調査によってシステムの有効性を検証した。同運用試験に際しては、従来の現地検討会では紙媒体で配布されていた資料をPDF化したものも同タブレット端末に合わせて格納し、1台のタブレット端末で全ての必要情報を閲覧可能とした。

4. 研究成果

(1) 天然林施業の知識抽出と分析

①天然林の林種区分

1969-72年度の施業時には、調査地のほぼ全域が針葉樹優占の混交林であり、「択伐林分」に区分されていた（図1）。1981年に台風被害が発生した後、被害地では風倒木の搬出と更新補助作業（地がき）が行われた。2016年度には被害地の多くがダケカンバの一斉林となっている。なお、台風被害を免れた箇所では1993-94年度にも択伐施業が実施されている。

風害前後での林種区分の比較から、風害前（1969-72年度）に「択伐林分」として区分されていた林地の多くが、風害後（1993-94年度）には「地がき地」や「風害地」（風倒木の搬出のみで地がきは実行せず）に変更された（表1）。直近（2016年度）の林種区分では、「地がき地」の多くが「広葉樹若齢林」とされた一方、「風害地」は「（針・広）択伐林」または「疎生林」に区分されており（表2）、風害後の更新補助作業の有無によって森林構造に違いが生じた可能性が示唆された。直近の林種区分は、風害前に比べて多様で複雑な林種配置となっている（図1）。林種区分基準の変更が一因ではあるものの、台風被害や択伐施業に伴って、森林構造の空間的な不均一性が高まった可能性も考えられる。

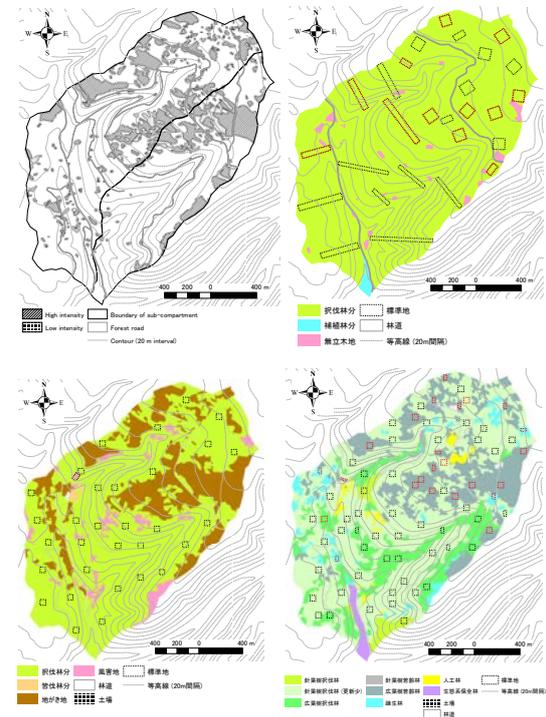


図1 1981年風害地（左上）と林種区分（右上：1969-72、左下1993-94、右下：2016）

表1 林種別面積の変化（1969-72→1993-94）

林種区分 (1969-72)	林種区分 (1993-94)					計 (ha)
	択伐林分	皆伐林分	地がき地	風害地	土場	
択伐林分	232.3	0.9	72.1	13.5	0.3	319.1
補植林分	2.1					2.1
無立木地	2.3	0.1	3.2	0.5	0.0	6.0
計 (ha)	236.6	1.0	75.3	14.0	0.3	327.2

表2 林種別面積の変化（1993-94→2016）

林種区分 (1993-94)	林種区分 (2016)										計 (ha)
	針葉樹 択伐林	針葉樹 択伐林 (更新少)	広葉樹 択伐林	針葉樹 若齢林	広葉樹 若齢林	疎生林	人工林	生態系 保全林	土場		
択伐林分	7.0	159.1	40.3	0.0	16.1	7.9	1.4	4.3	0.4	236.6	
皆伐林分		0.4	0.0		0.0	0.0	0.6			1.0	
地がき地		18.7	2.9		47.7	3.0	2.2	0.3	0.5	75.3	
風害地	0.0	5.5	3.0	0.1	1.3	2.9	0.9	0.1	0.1	14.0	
土場			0.1							0.2	
計 (ha)	7.1	183.8	46.2	0.1	65.2	13.9	5.1	4.7	1.2	327.2	

②施業方針の策定

議事録のテキストマイニングにより、属性

ごとの議論テーマの傾向を示した。具体的には、択伐施業（林分施業法）の持つ性質によって毎年の施業（検討）場所が変わるため、実施年に伴う推移に傾向は見られなかったものの、「間伐判断」「択伐率判断」「林相区分判断」「伐採可否判断」といった議論テーマが抽出された。特定語句における林種ごとの出現頻度（図2）の差異からの考察では、「択伐施業対象の林種で『前期』『次期』の頻度が少なく、複数期の議論が少ない可能性」「風雪害を示す単語が若齢林（すでに気象害を受けた森林）以外で少なく、災害予見の議論が少ない可能性」などを指摘した。一方、熟達した教職員の間で共通認識となっており自明であるテーマは議論が短く済んでしまうため、テキストマイニング結果の見かけ上は軽視されやすかった。

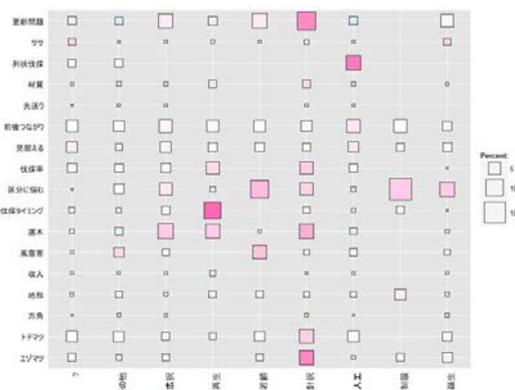


図2 林種ごとの単語・テーマ出現頻度

③ 択伐対象木の選定

選木作業時の歩行軌跡（図3）から、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（図4）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。

④ 収穫木の採材

材質判定に関わる経験的形式知を抽出・分析した結果、年輪幅、不整年輪、偏心、あて材、材色、偽心材、入皮、ピスフレック、目回り、凍裂、水喰材など多種の材質に関する経験知が得られ、中でも腐朽に関するものが数多く得られた。腐朽判定に関する経験知は、斜面方位、傾斜、標高、地形（尾根・沢）、地質・土質などの立地条件、林相、各個体の形質（樹皮、枝の着き方、根張りの様子、真円度）などを判定基準としていた。また、樹種ごとの特性や、腐朽の樹体内での広がり方、

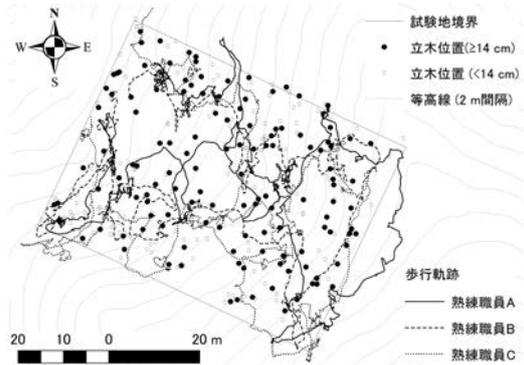


図3 選木作業時の林内歩行軌跡

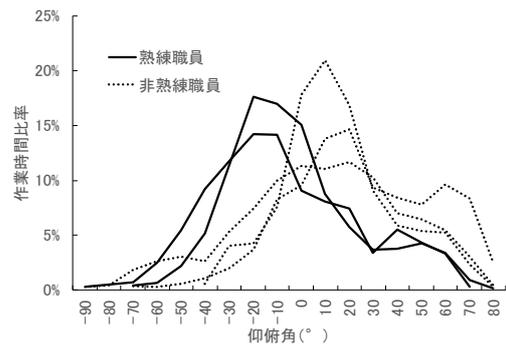


図4 選木作業時の視野の向き（仰俯角）

腐朽タイプごとの特性に関する経験知が整理・集積された。

北海道で生立木に腐朽被害を引き起こし得る菌類として10科74種が抽出された。しかしながら、情報の乏しい菌種も多く、今後さらなる精査が必要と考えられた。

約40年生のシラカンバ立木を対象に横打撃共振周波数 (F_r) と実際の腐朽面積率を調査したところ、 F_r と樹幹直径 (D) との積である $D \cdot F_r$ 値により精度よく腐朽・空洞部の存在を推定できた（図5）。一方で、59年生のトドマツ人工林においては、腐朽判定の精度は腐朽部の位置や面積率、腐朽の進展度合いによって異なっていた（表3）。また、水喰材など心材含水率の個体間変動が大きいと考えられるトドマツでは $D \cdot F_r$ 値のばらつきが大きいことから（図6）、樹種により判定精度の異なることが示唆された。58年生のシラカンバ植栽木では、 $D \cdot F_r$ 値により腐朽木を

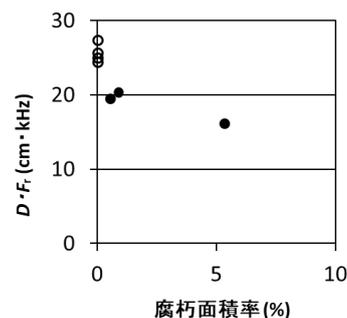


図5 シラカンバにおける $D \cdot F_r$ 値と腐朽面積率の関係

表 3 トドマツにおける横打撃共振法による腐朽判定結果

位置	伐根腐朽部の面積率	$D \cdot F$ 値により腐朽を			計
		検出	非検出		
中心部	大($\geq 10\%$)	5	1	6	
	中(5~10%)	1	0	1	
	小(1~5%)	1	1	2	
	微(<1%)	0	3	3	
中間	大($\geq 10\%$)	0	0	0	
	中(5~10%)	0	4	4	
	小(1~5%)	0	4	4	
	微(<1%)	0	3	3	
辺縁部	大($\geq 10\%$)	2	1	3	
	中(5~10%)	0	5	5	
	小(1~5%)	1	9	10	
	微(<1%)	0	0	0	
計		10	31	41	

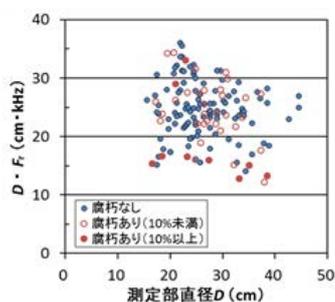


図 6 トドマツにおける $D \cdot F$ 値

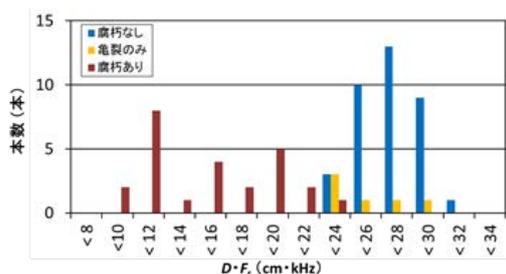


図 7 シラカンバにおける $D \cdot F$ 値による腐朽木の検出

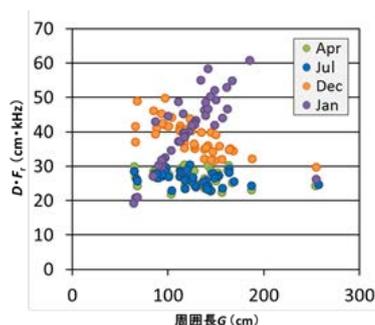


図 8 シラカンバにおける $D \cdot F$ 値の季節変動

判別できたものの(図7)、冬季(12月上旬)には $D \cdot F$ 値が増大し、厳寒季(1月末)には計測が困難であった(図8)。このことから、北海道における冬季の低温や樹幹の凍結が、共振周波数に基づく腐朽判定の精度に影響を及ぼすことが明らかとなった。このことは、経験的な打音に基づく腐朽判定に際しても

注意を要することを示している。

造材現場において主要樹種丸太の横打撃共振周波数を計測した結果、標準 $D \cdot F$ 値は次の通りであった。トドマツ 23.5 ± 3.8 、エゾマツ 25.8 ± 2.2 、シナノキ 23.5 ± 3.5 、イタヤカエド 40.2 ± 1.7 、ダケカンバ 32.9 ± 2.6 、ナナカマド 37.4 ± 0.4 、シウリザクラ 39.6 ± 1.8 、ヤチダモ 36.0 ± 1.5 、ハルニレ 34.1 ± 0.5 、キハダ 40.3 。これにより、横打撃共振法に基づく採材時の意思決定の支援が可能となった。

(2) 天然林施業の知識ベース構築と運用

「天然林施業の知識ベース運用システム」の Collector アプリケーションと PDF 資料および従来の紙資料をそれぞれ、現地検討会で回った標準地のうち何箇所程度で閲覧したかを尋ねたところ、11人中9人がほぼ全部、1人が半分くらいの箇所で Collector を閲覧していた(図9)。PDF 資料も多くの職員が閲覧していたが、自由回答記述からは Collector との切り替えに不便を感じて紙媒体と併用したケースも見られた。それでも、多くの職員が紙媒体をほとんど閲覧しなかったことから、システムが現地検討会での使用に一定程度は耐えうるものであったと考えられる。

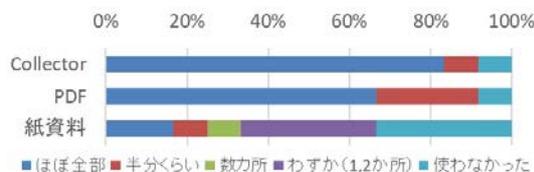


図 9 各資料の閲覧頻度

Collector に格納した地図データについて、それぞれの程度役に立ったかを尋ねたところ、標準地(今回・過去)、林相ポリゴン、林種区分 LINE、施業図(今回・過去)、オルソ画像(今回・過去)の各データには多くの肯定的な回答が得られた(図10)。特に、過去のデータが役に立ったという回答は、知識ベースとしての有用性を示唆するものである。一方で、NDVI(正規化植生指数)、DEM(デジタル標高モデル)、DCM(デジタル林冠高モデル)、CS立体図の各データについては、否定的な回答が多く、そもそも使用しなかった職員も多数いた(図10)。これらの、現地をより分析的に捉え議論を深めるために有用なデータについては、議論の時間が限られる現地検討会では活用が困難であったことが考えられる。ただし、Collector は手袋を外しての操作が必要だったことに難点があった旨の記述が自由回答に複数見られたことから、こういった操作性の改善を図ることで、これらの議論を深める方向性のデータも活用の可能性が高まることも考えられる。

<引用文献>

- ① Parrotta, J. A., Agnoletti, M.,

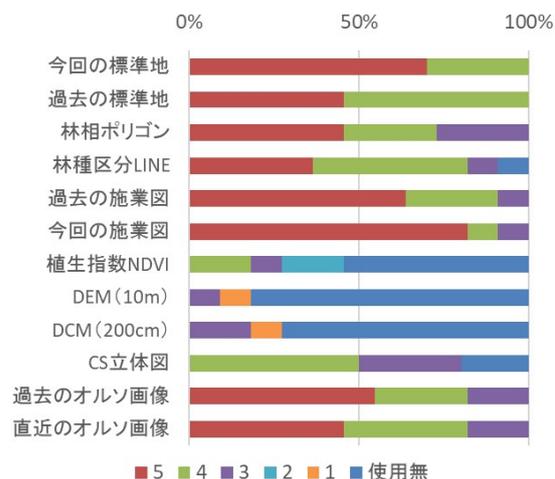


図 10 各地図画像の有用度

Traditional forest knowledge: challenges and opportunities, *Forest Ecology and Management*, 249, 2007, 1-4

- ② 中田圭一、大和裕幸（編）、人工環境学—環境創成のための技術融合、東京大学出版会、2006、255p

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕（計 4 件）

- ① 尾張敏章、松井理生、江口由典、延 栄一、小林徹行、美濃羽靖、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—、*北方森林研究*、査読有、66 号、2018、79-82
- ② 中村和彦、尾張敏章、坂上大翼、當山啓介、東京大学北海道演習林を対象とした天然林管理知識ベースの構想：特に地図情報の活用について、*日本地図学会平成 28 年度定期大会発表論文・資料集*、査読無、2016、42-43
- ③ 坂上大翼、横打撃共振法によるシラカンバ生立木樹幹腐朽の非破壊診断事例、*北方森林研究*、査読有、64 号、2016、31-34

〔学会発表〕（計 1 2 件）

- ① 尾張敏章、坂上大翼、當山啓介、中村和彦、サデーパ・ジャヤトウンガ、小池征寛、遠國正樹、井上 崇、木村恒太、天然林施業の知識ベース構築とその運用、第 129 回日本森林学会大会、2018 年 3 月 28 日、高知大学、高知
- ② Owari, T., Nagatake, S., Fukushi, K., Kasahara, H., Inukai, S., Visual assessment of naturally grown Japanese oak trees for whisky barrels, *IUFRO 125th Anniversary Congress 2017*, 21 Sep. 2017, Freiburg, Germany
- ③ 尾張敏章、サデーパ・ジャヤトウンガ、鈴木智之、択伐施業と台風被害に伴う天然生混交林の長期的変化：東京大学北海道演習林の事例、第 128 回日本森林学会

大会、2017 年 3 月 28 日、鹿児島大学、鹿児島

- ④ 坂上大翼、横打撃共振法によるシラカンバ生立木の腐朽判定に及ぼす季節の影響、第 128 回日本森林学会大会、2017 年 3 月 28 日、鹿児島大学、鹿児島
- ⑤ 中村和彦、尾張敏章、坂上大翼、當山啓介、東京大学北海道演習林を対象とした天然林管理知識ベースの構想：特に地図情報の活用について、平成 28 年度日本地図学会定期大会、2016 年 8 月 10 日、就実短期大学キャンパス、岡山

6. 研究組織

(1) 研究代表者

尾張 敏章 (OWARI, Toshiaki)

東京大学・大学院農学生命科学研究科・准教授

研究者番号：00292003

(2) 研究分担者

坂上 大翼 (SAKAUE, Daisuke)

東京大学・大学院農学生命科学研究科・助教

研究者番号：90313080

當山 啓介 (TOYAMA, Keisuke)

東京大学・大学院農学生命科学研究科・助教

研究者番号：00613001

中村 和彦 (NAKAMURA, Kazuhiko)

東京大学・空間情報科学研究センター・特任研究員

研究者番号：70707075

(3) 連携研究者

なし

(4) 研究協力者

江口 由典 (EGUCHI, Yoshinori)

福士 憲司 (FUKUSHI, Kenji)

井上 崇 (INOUE, Takashi)

犬飼 慎也 (INUKAI, Shinya)

サデーパ・ジャヤトウンガ

(JAYATHUNGA, Sadeepa)

笠原 久臣 (KASAHARA, Hisatomi)

木村 恒太 (KIMURA, Kota)

小林 徹行 (KOBAYASHI, Tetsuyuki)

小池 征寛 (KOIKE, Yukihiro)

松井 理生 (MATSUI, Masaki)

延 栄一 (NOBU, Eiichi)

遠國 正樹 (TOKUNI, Masaki)