

令和 5 年 6 月 16 日現在

機関番号：12601

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2019～2022

課題番号：19K06142

研究課題名（和文）天然林における樹齢構造と生存時間解析に基づく伐採木の選定

研究課題名（英文）Harvesting tree selection based on age structure and survival analysis of natural forest

研究代表者

廣嶋 卓也（Hiroshima, Takuya）

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：40302591

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,400,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、天然林の樹木個体群を対象に、多時期、複数プロット、複数樹種といった多様な視点から生存時間解析を行い、解析結果を実際の天然林管理へ応用するための手法について検討を行った。

成果の概要として、天然林樹木個体群を対象とした生存時間解析を応用し、天然林の成熟度評価手法を確立した。天然林における針葉樹、広葉樹の樹種グループ別の生存曲線の差を見出した。上記で推定した針葉樹、広葉樹の生存曲線を利用して、樹齢分布の長期変動シミュレーションを行い、定常的な樹齢分布の形を見出した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究は、これまで適用事例が極めて限られていた、天然林の樹木個体群を対象とした生存時間解析を、長期間かつ豊富な樹木サンプルに対して行い、解析結果を実際の天然林管理へ応用するための手法を提案した。具体的には、上記の成果より、森林の成熟度を評価した上で、の成果を応用して、針葉樹、広葉樹の平均寿命（針葉樹72年、広葉樹80年）を推定した上で、樹齢情報を胸高直径情報（針葉樹31cm、広葉樹36cm）に換算し、天然林択伐における伐採木の選定条件としての応用可能性を見出した。

研究成果の概要（英文）：In this study, we conducted survival analyses of tree populations in natural forest from various perspectives such as multiple time periods, multiple plots, and multiple tree species, and examined methods for applying the results to actual natural forest management.

As an overview of the results, (1) we established a method for evaluating the maturity of natural forests by applying survival analysis to tree populations. (2) We found differences in survival curves between conifer and broadleaf tree species in natural forests. (3) Using the survival curves of conifers and broadleaf trees estimated above, we conducted a simulation of long-term variation in tree age distribution and found the shape of steady state of the distribution.

研究分野：森林科学

キーワード：天然林 生存時間解析 択伐 選木 樹齢 レジストグラフ

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

「生存時間解析」とは、生物の死亡、機器の故障といったイベントがランダムに発生するまでの時間を扱う統計解析手法であり、医学、工学、生態学等の分野で広く応用されている。そして森林科学の分野では、人工林の林分を観測の単位として生存時間解析が適用され、伐採量の予測に応用されているが、天然林の樹木個体を観測の単位として、一定期間に樹木がある樹齢で枯死するイベントに対して生存時間解析が適用される例は極めて少ない。

### 2. 研究の目的

以上を踏まえ、本研究では、天然林の樹木個体群を対象に、多時期、複数プロット、複数樹種といった多様な視点から生存時間解析を行い、解析結果を実際の天然林管理へ応用するための手法について検討を行った。具体的には、固定標準地の経時データやレジストグラフ(後述)による年輪解析より、樹齢分布を推定すること、(一定期間の樹齢別枯死・生存データに生存時間解析を適用した上で)生存曲線の樹種別差を検証すること、生存曲線より、樹齢分布の長期変動シミュレーションを行うこと、を目的とした。

### 3. 研究の方法

東京大学北海道演習林の天然林保護区における、標高帯、斜面傾斜、斜面方位の類似した4つの固定試験地の立木を対象に(図1)観測期間を1期(1989 - 1999年)、2期(1999 - 2009年)、3期(2009 - 2019年)と設定した上で、長期観測データを利用して、対象立木が枯死した時期を把握した。また準非破壊測定装置「レジストグラフ」を利用して、陥入抵抗値より樹幹内の早材・晩材の密度変化から年輪数を読み取り(図2)各期における生存木および枯死木の樹齢を推定した。こうして目的に対応する、期間別、樹種別の樹齢分布を推定した。

そして上記3期の期間別、樹種別、樹齢別の枯死木本数と生存木本数のデータに対して、生存時間解析を適用し、ノンパラメトリックな生存曲線を推定した上で、目的に対応する、トドマツ、エゾマツ、広葉樹の3区分の曲線の差を統計検定した。また平均寿命等の生存時間解析に付随する林分因子を求めた。

目的に対応する、シミュレーションにあたっては、の樹種別樹齢分布にの樹種別生存曲線を乗ずることで、樹種別樹齢別の枯死木本数と生存木本数を求めた上で、各期の進界木本数について3つのシナリオ(前期に枯損した本数と同数、70%の本数、50%の本数の進界木が発生)を設定し、1期10年として、10期100年間の樹齢分布変化を予測した。

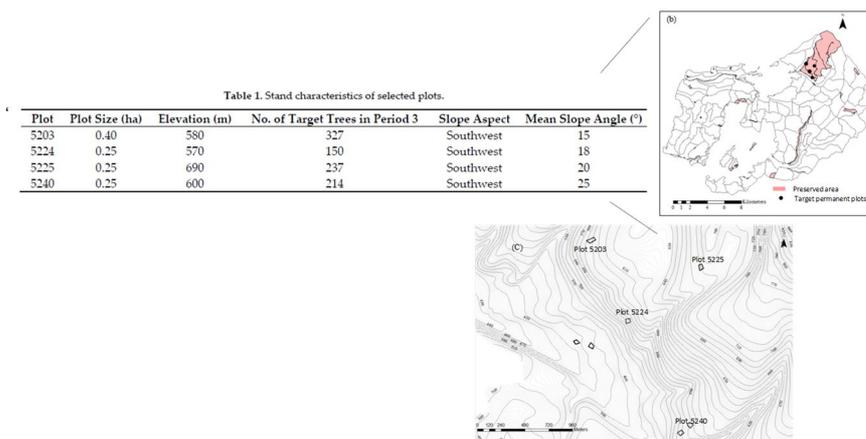


図1. 対象地の概要と立地条件 (Wijenayake and Hiroshima 2022a).

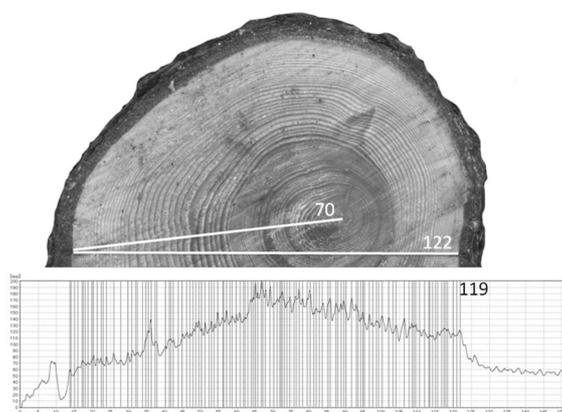


図2. レジストグラフによる陥入抵抗値を利用した年輪数の読み取り例

#### 4. 研究成果

##### 基本統計と樹齢分布

3 期間の樹種別枯死木、生存木の基礎統計は表 1 の通り。4 つの固定試験地の立木本数はおおよそ 900 本で、3 期間の枯死木本数はおおよそ 110 ~ 160 本、枯死本数割合はおおよそ 12 ~ 17% であった。

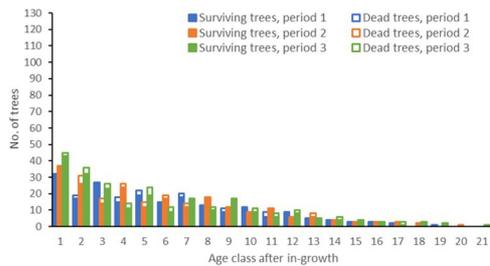
表 1. 3 期間の樹種別枯死木、生存木の基礎統計 (Wijenayake and Hiroshima 2022a)

Table 4. Summary of the dominant tree species in the four plots in the three observation periods.

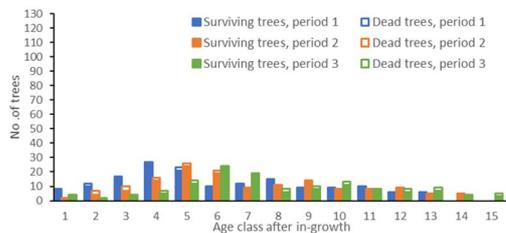
Species	No. of Trees (%)					
	Period 1		Period 2		Period 3	
	Living Trees	Dead Trees	Living Trees	Dead Trees	Living Trees	Dead Trees
<b>Conifer</b>						
<i>A. sachalinensis</i>	201 (21.90)	22 (2.40)	215 (22.16)	22 (2.27)	219 (23.60)	41 (4.42)
<i>P. jezoensis</i>	148 (16.12)	14 (1.53)	135 (13.92)	16 (1.65)	117 (12.61)	22 (2.37)
Other conifers	4 (0.44)	2 (0.22)	1 (0.10)	3 (0.31)	1 (0.11)	0 (0.00)
Total conifer	353 (38.45)	38 (4.14)	351 (36.19)	41 (4.23)	337 (36.31)	63 (6.79)
<b>Broad-leaved</b>						
<i>Ulmus laciniata</i>	56 (6.10)	8 (0.87)	52 (5.36)	10 (1.03)	46 (4.96)	8 (0.86)
<i>Sorbus commixta</i>	35 (3.81)	3 (0.33)	27 (2.78)	11 (1.13)	25 (2.69)	8 (0.86)
<i>Acer ukurunduense</i>	21 (2.29)	9 (0.98)	48 (4.95)	11 (1.13)	50 (5.39)	19 (2.05)
<i>Acer mono var. myrii</i>	56 (6.10)	2 (0.22)	57 (5.88)	6 (0.62)	54 (5.82)	7 (0.75)
<i>Tilia japonica</i>	174 (18.95)	29 (3.16)	171 (17.63)	52 (5.36)	153 (16.49)	32 (3.45)
Other broad-leaved	115 (12.53)	19 (2.07)	113 (11.65)	20 (2.06)	101 (10.88)	25 (2.69)
Total broad-leaved	457 (49.78)	70 (7.63)	468 (48.25)	110 (11.34)	429 (46.23)	99 (10.67)
Total	810 (88.24)	108 (11.76)	819 (84.43)	151 (15.57)	766 (82.54)	162 (17.46)

No. of trees (%) = Number of trees in each period of major species and percentage of it within brackets.

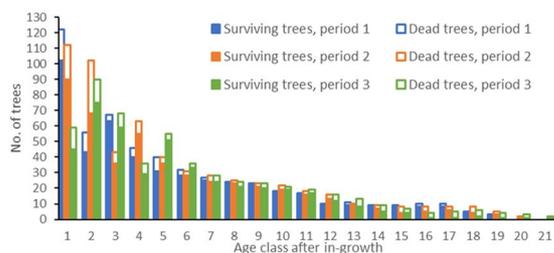
また 3 期間の樹種別樹齢分布は図 3 の通りとなった。トドマツと広葉樹は若齢で本数が多く、高齢になるに従って本数が減少する指数分布型、エゾマツは若齢と高齢の本数が少なく壮齢が多い単峰型となった。エゾマツは倒木更新に依存するため更新阻害が起こりやすく、他とは異なる分布型になったと考えられる。



#### A. Sachalinensis



#### P. jezoensis



#### All broad-leaved species

図 3. 期間別・樹種別樹齢分布 (1 齢級=10 年)。上からトドマツ、エゾマツ、広葉樹 (Wijenayake

### 生存時間解析

樹種別の生存曲線は図4の通り。トドマツ - エゾマツ間では有意差が見られなかったが、針葉樹 - 広葉樹間では有意水準 5%で差が見られた。またこれら生存曲線から求めた平均寿命は、針葉樹で72年、広葉樹で80年となった。また参考までに、図5の樹種別直径 - 樹齢回帰式を利用して、樹齢情報を胸高直径情報（針葉樹31cm、広葉樹36cm）に換算し、東京大学北海道演習林の天然林における伐採木の選定条件としての応用可能性を検討した。すなわち、平均寿命に達した木を、もうすぐ枯れる木と見なすことにより、平均寿命に達する胸高直径を、北海道演習林の林分施業法における選木の目安とできる可能性があることを見出した。

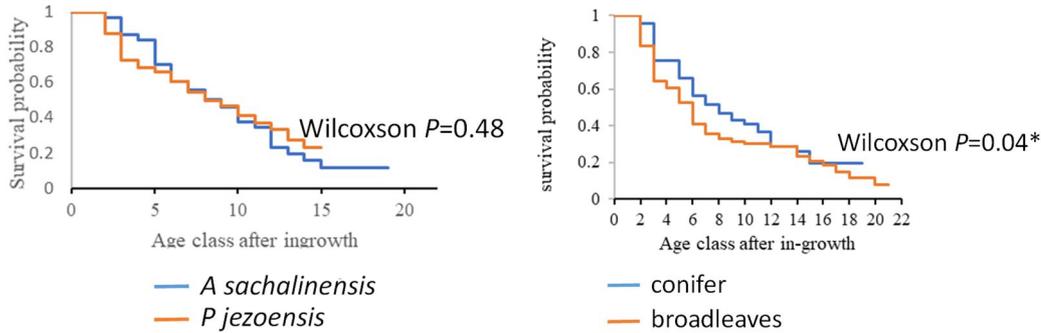


図4. 樹種別生存曲線(ノンパラメトリックカプランマイヤー曲線)。左:トドマツ - エゾマツ、右:針葉樹 - 広葉樹間の比較(Wijenayake and Hiroshima 2021)

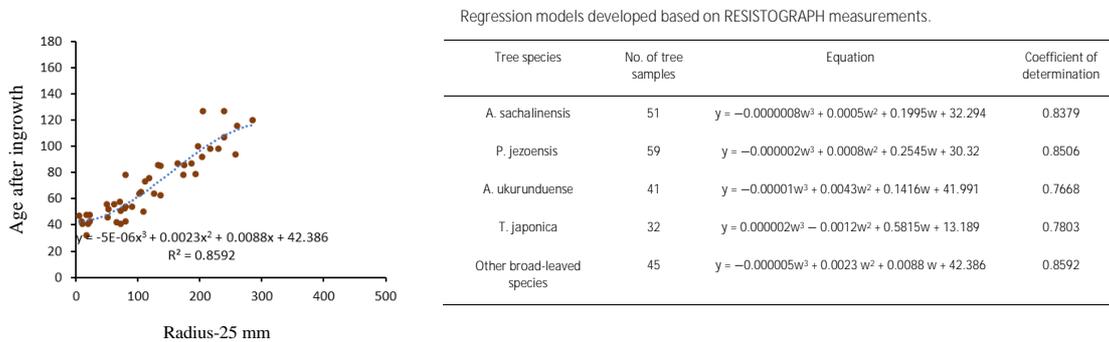


図5. 樹種別直径 - 樹齢回帰式(Wijenayake and Hiroshima 2022a)

### 樹齢分布の長期変動シミュレーション

図6のように、シミュレーション用に樹種別の生存曲線をパラメトリック(ガンマ分布)回帰した上で、3つのシナリオに従い、100年後の樹齢分布を求めた結果は図7の通り。なお表1の通り、4プロットあわせの約900本の立木に対して、1期間の枯死率は20%未満に過ぎないことから、林種を問わず、枯死本数の100%相当の進界木は十分発生しうると考えられ、70%や50%は更新状況の悪い林分に相当すると見なしうる。図7では、簡単化のため全樹種の樹齢分布(青の棒グラフ)に着目すると、100%シナリオの結果より、枯死木と同程度の本数の進界木があれば、指数型の安定した樹齢分布に収束すると考えられる。また70%、50%シナリオの結果より、更新状況が極端に悪いとマルチモーダル型や単峰型の樹齢分布に収束すると考えられる。なお理論上、枯死木本数と同本数の進界木が発生し続けられ(すなわち樹木本数が一定であり続けられ)、最終的に樹齢分布は、図8のように、生存曲線と相似形に収束する。極相林の樹齢分布はこのような形状になることが推察される。

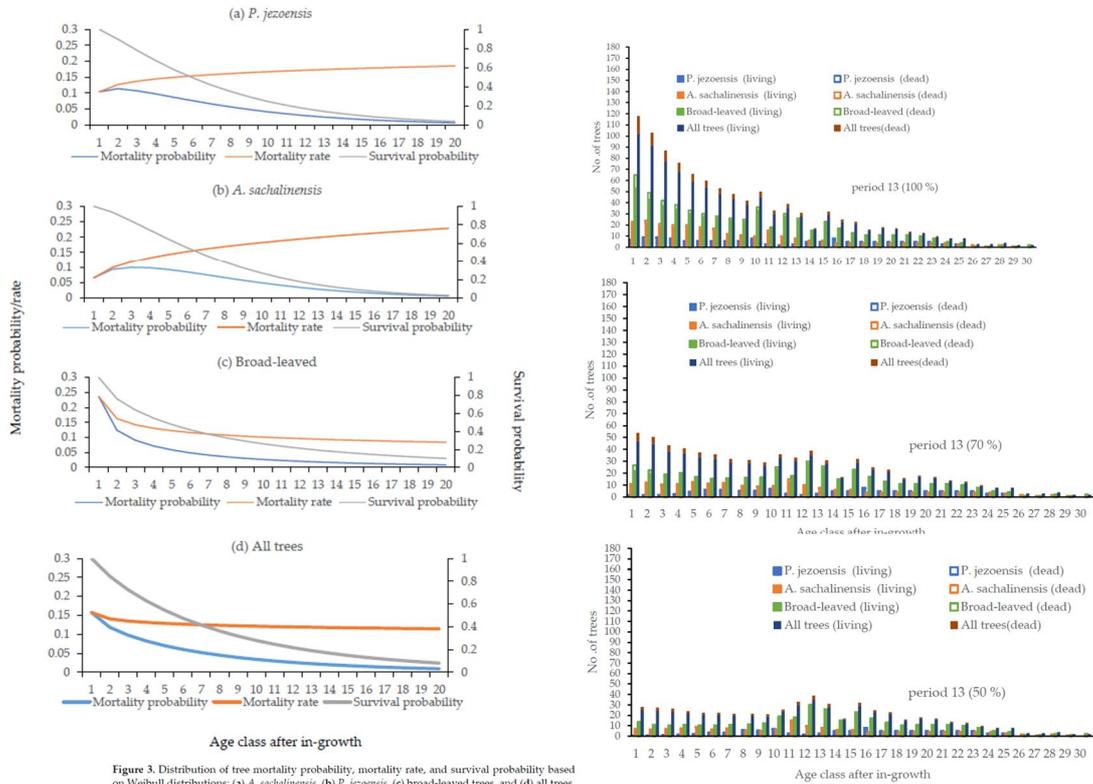


Figure 3. Distribution of tree mortality probability, mortality rate, and survival probability based on Weibull distributions: (a) *A. sachalinensis*, (b) *P. jezoensis*, (c) broad-leaved trees, and (d) all trees.

左：図 6．樹種別パラメトリック生存曲線。上から、エゾマツ、トドマツ、広葉樹、全樹種 (Wijenayake and Hiroshima 2022b)  
 右：図 7．100 年後の樹齢分布シミュレーション結果。上から、進界木本数が前期の枯死木本数の 100%の割合で每期発生した場合、以下同様に枯死木本数の 70%、50%の場合 (Wijenayake and Hiroshima 2022b)

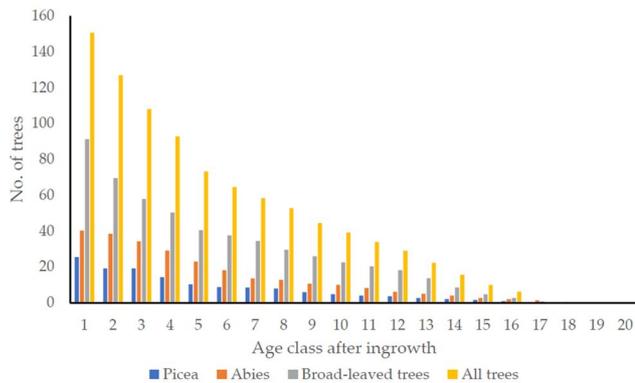


Figure 6. Climax state of major conifer species, broad-leaved trees, and all the trees.

図 8．枯死木本数と同本数の進界木が発生し続けた場合に収束する理論上の樹齢分布 (Wijenayake and Hiroshima 2022b)

総合考察として、対象地である東京大学北海道演習林の天然林保護区では、安定した生存曲線に基づき枯損と進界が長期間進行してきたと考えられ、また実際には進界木の発生状況は樹種別に異なると考えられる。そして改めて、図 3 の現在の樹齢分布を見ると、トドマツと広葉樹は指数分布型になっており、安定した林分状態といえる。一方、エゾマツは倒木更新に依存するため、更新に難があり単峰型の分布になっていることが、長期シミュレーションを通じて追認できたと言える。また全樹種を統合した現在の樹齢分布は指数分布型になっており、これら林分は総じて、極相に近い、安定した林分状態にあると言える。

以上のように本研究は、これまで適用事例が極めて限られていた、天然林の樹木個体群を対象とした生存時間解析を、長期間かつ豊富な樹木サンプルに対して行い、解析結果を実際の天然林管理へ応用するための手法を具体的に提案したものである。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計10件（うち査読付論文 7件 / うち国際共著 6件 / うちオープンアクセス 7件）

1. 著者名 Wijenayake PR, Hiroshima T	4. 巻 28
2. 論文標題 Survival analyses of individual tree populations in natural forest stands to evaluate the maturity of forest stands. - A case study of preserved forests in Northern Japan.	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of forest planning	6. 最初と最後の頁 1-13
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.20659/jfp.2021.003	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する
1. 著者名 Wijenayake PR, Hiroshima T	4. 巻 12 (8)
2. 論文標題 Age-based survival analysis of coniferous and broad-leaved trees: A case study of preserved forests in northern Japan.	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Forests	6. 最初と最後の頁 1-17
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/f12081014	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する
1. 著者名 Moe KT, Owari T, Furuya N, Hiroshima T, Morimoto J	4. 巻 2020 12(17)
2. 論文標題 Application of UAV Photogrammetry with LiDAR Data to Facilitate the Estimation of Tree Locations and DBH Values for High-Value Timber Species in Northern Japanese Mixed-Wood Forests	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Remote Sens	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/rs12172865	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する
1. 著者名 広嶋卓也	4. 巻 73(10)
2. 論文標題 書評：梶原幹弘著『植栽による択伐林で日本の森林改善 樹冠の働きと量から考える』	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 林業経済	6. 最初と最後の頁 25-29
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 広嶋卓也	4. 巻 71-3
2. 論文標題 林分施業法のこれまでとこれから	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 北方林業	6. 最初と最後の頁 87-90
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 笠原久臣・広嶋卓也・岡村行治・犬飼浩・福土憲司・松井理生	4. 巻 71-3
2. 論文標題 東京大学北海道演習林が生産する優良丸太の銘木販売	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 北方林業	6. 最初と最後の頁 91-95
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Hiroshima T, Toyama K, Suzuki SN, Owari T, Nakajima T, Ishibashi S	4. 巻 25-3
2. 論文標題 Long observation period improves growth prediction in old Sugi ( <i>Cryptomeria japonica</i> ) forest plantations	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Forest Research	6. 最初と最後の頁 183-191
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1080/13416979.2020.1753280	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている(また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Moe KT, Owari T, Furuya N, Hiroshima T	4. 巻 2020 11(2)
2. 論文標題 Measuring the tree height of high-value timber species using LiDAR, UAV-DAP, and field survey: A comparative analysis in Northern Japan	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Forests	6. 最初と最後の頁 223-240
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/f11020223	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている(また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Wijenayake PR, Hiroshima T, Yamamoto H	4. 巻 25
2. 論文標題 Comparative study on commercial log production managed under different conditions-Evaluating plantation grown teak of Sri Lanka-	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Forest Planning	6. 最初と最後の頁 27-37
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.20659/jfp.2019.003	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Wijenayake PR, Hiroshima T, Takahashi M, Saito H	4. 巻 13
2. 論文標題 Predicting the future age distribution of conifer and broad-leaved trees based on survival analysis: A case study on natural forests in northern Japan.	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Forests	6. 最初と最後の頁 1-20
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/f13111912	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

〔学会発表〕 計12件 (うち招待講演 2件 / うち国際学会 4件)

1. 発表者名 Hiroshima T, Wijenayake PR
2. 発表標題 Multi-temporal survival analysis of tree population in natural forest: Case in Chiba prefecture
3. 学会等名 The 133th Annual Meeting of the Japanese Forest Society
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 広嶋卓也
2. 発表標題 Applying age-based mortality analysis to a natural forest stand in Japan
3. 学会等名 2021年森林計画学会受賞者講演 (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 広嶋卓也・WIJENAYAKE Pavithra Rangani
2. 発表標題 天然林樹木個体群を対象とした減反率の推定
3. 学会等名 第132回・日本森林学会大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 WIJENAYAKE Pavithra Rangani, HIROSHIMA Takuya
2. 発表標題 Prediction of tree age distribution based on survival analysis in natural forests: a case study of preserved permanent plots in the University of Tokyo Hokkaido Forest, northern Japan
3. 学会等名 The 1st International Electronic Conference on Forests; Forests for a Better Future: Sustainability, Innovation, Interdisciplinarity (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Kyaw Thu Moe, Owari, T., Furuya, N., Hiroshima, T
2. 発表標題 Measuring individual tree height of high-value timber species using LiDAR, UAV-DAP, and ground survey: A comparative analysis in northern Japan
3. 学会等名 日本森林学会大会131
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 中村 和彦・尾張 敏章・坂上 大翼・當山 啓介・廣嶋 卓也
2. 発表標題 東京大学北海道演習林内のオフライン環境における天然林管理情報閲覧システムの運用実験
3. 学会等名 Spatial Information Science CSIS DAYS 2019
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Takuya HIROSHIMA, Keisuke TOYAMA, Satoshi N. SUZUKI, Toshiaki OWARI, Tohru NAKAJIMA and Seiji ISHIBASHI
2. 発表標題 Growth prediction variability according to observation period of long-term data in old Sugi ( <i>Crypromeria japonica</i> ) planted stands
3. 学会等名 1st International Symposium of Long-term Forest Monitoring Research in Asia (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Kyaw Thu Moe, Toshiaki Owari, Naoyuki Furuya, Takuya Hiroshima
2. 発表標題 Individual Tree Diameter Growth of High-value Broadleaved Trees in Mixed Conifer-Broadleaf Forest in Northern Japan
3. 学会等名 SFEM 2019: The International Symposium of Sustainable Forest Ecosystem Management - Accelerating Innovation for Multiple Ecosystem Services - (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 廣嶋 卓也
2. 発表標題 東京大学北海道演習林における天然林管理と優良木の銘木販売
3. 学会等名 北海道立総合研究機構林業試験場・林産試験場広葉樹セミナー
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Nyo Me Htun, Owari Toshiaki, Tsuyuki Satoshi, Hiroshima Takuya
2. 発表標題 Discriminating conifer and broadleaf cover in an uneven-aged forest using UAV imagery and machine learning.
3. 学会等名 The 134th Annual Meeting of the Japanese Forest Society
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Karthigesu Jeyavanan, Owari Toshiaki, Hiroshima Takuya, Tsuyuki Satoshi
2. 発表標題 Estimating stand parameters of a 114-year-old Japanese larch plantation using UAV photogrammetry.
3. 学会等名 The 134th Annual Meeting of the Japanese Forest Society
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Tatsuki Yoshi, Chinsu Lin, Satoshi Tatsuahara, Satoshi Suzuki and Takuya Hiroshima
2. 発表標題 Tree species mapping of a hemiboreal mixed forest using mask R-CNN
3. 学会等名 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium (国際学会)
4. 発表年 2022年

〔図書〕 計4件

1. 著者名 日本森林学会 編	4. 発行年 2021年
2. 出版社 丸善出版	5. 総ページ数 659
3. 書名 森林学の百科事典	

1. 著者名 田中和博・吉田茂二郎・白石則彦・松村直人 編	4. 発行年 2020年
2. 出版社 朝倉書店	5. 総ページ数 196
3. 書名 森林計画学入門	

1. 著者名 田中和博・吉田茂二郎・白石則彦・松村直人 編	4. 発行年 2020年
2. 出版社 朝倉書店	5. 総ページ数 196
3. 書名 森林計画学入門	

1. 著者名 Kamata N, Kuraji K, Owari T, Guan BT eds.	4. 発行年 2019年
2. 出版社 The University of Tokyo Forests Press	5. 総ページ数 282
3. 書名 Developing a Network of Long-term Research Field Stations to Monitor Environmental Changes and Ecosystem Responses in Asian Forests	

〔産業財産権〕

〔その他〕

国際森林環境学研究室 - 広嶋卓也：研究関心・研究例 <a href="http://www.gfes.ga.a.u-tokyo.ac.jp/Hiroshima.html">http://www.gfes.ga.a.u-tokyo.ac.jp/Hiroshima.html</a>
---

6. 研究組織		
氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関

ブータン	Ministry of Agriculture and Forests			
マレーシア	UNIVERSITI MALAYSIA SABAH			