

令和 2 年 6 月 16 日現在

機関番号：13801

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2014～2019

課題番号：26292082

研究課題名(和文) 藪の中の微気象-競争モデル 伐採区をどこまで狭くすれば下刈りは不要になるのか？

研究課題名(英文) Process model to determine the patch size without weeding operation.  
Micro-climate in thickets and the competition among plants

研究代表者

水永 博己 (Mizunaga, Hiromi)

静岡大学・農学部・教授

研究者番号：20291552

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 12,200,000円

研究成果の概要(和文)：下刈り不要の施業のためには伐採区をどこまで狭くする必要があるだろうか？この研究は 上木の林冠構造と藪の発達の関係、藪構成種の生理的・形態的種特性、競争条件下での造林木の成長の3項目から構成されている。  
藪群落に出現した植物の光および窒素資源に対する光合成速度の種特性データベースを構築し、個体ベースでの三次元葉分布から樹種ごとの遮光効率を明らかにした。側方被陰された植栽木の成長プロセスを明らかにした。UAV撮影による林冠DSMからギャップ内の植生発達マップを予測した。ギャップ構造が鳥の種子散布を通じた植生発達へ与える影響度を明らかにした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

伐採と植栽が全国各地で促進されようとしている。しかしながら造林コストの40%以上を占める下刈りコストは主伐後遠くや皆伐後放棄地の増加の要因となっている。このため下刈りを省略する更新施業への期待が高まっている。択伐林や二段林は下刈り不要の代表的な造林システムであり、これらの施業は共通して藪群落の発達を上木の林冠構造による被陰で制御する手法をとる。しかし林冠による光調節は地形など多様な因子で決定されるため、経験的な情報から伐採方法を決定することは難しい。本研究は林冠構造-競争種の種特性-藪群落内の微気象を解析的に研究することで、下刈りを省略できる伐採面積を探索したものである

研究成果の概要(英文)：For constructing the process model to find maximum patch size without weeding, 1) The relationships between the development of thicket and canopy topography on complex slopes, 2) Specific property of morphology and physiology in species rich communities, and 4) carbon budget and growth of target species were studied.  
The light extinction in species mixed communities showed large variation and complex results due to the variable species composition and the large specific difference. The predicted specific extinction coefficient had no contradiction of 3D architecture of shrub leaf distribution. We synthesized the light environment by extinction of coefficient, photosynthetic parameters of target seedlings, UAV areal image of shrub communities and canopy topography in several patch selections, and discuss the possible patch size without weeding.

研究分野：造林

キーワード：下刈り 低木の種特性 林冠構造と藪の発達

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

日本の人工林の約 40%が高齢林に分類される時代となり(森林・林業白書 2012),森林資源の持続的管理の観点や多様な齡パッチの創出の観点から,主伐-更新は重要な作業選択肢となってきた。しかし,造林コストの 40%以上を占める下刈りコスト(山田 1999)と過酷な労働(李ら 1990)が主伐敬遠の主要因となり,新規造林面積は低迷したままである。さらに,下刈りを行わない藪状の低木-草本群落は,シカによる植栽木への食害を低減する効果をもつ可能性が知られており(上山 1990,野宮ら 2013),下刈りをできる限り行わない更新施業への期待が高まっている。

今須林業のような人工林択伐や久万林業に代表される二段林は下刈り不要の造林システムであるが,この森林構造を維持することは難しい。高知の山本林業は大苗と帯状伐採を用いた下刈り不要の造林手法であるが(竹内ら 1992),普及が広まるまでには至っていない。これらの施業は,共通して低木・草本群落(以下藪という)の発達や藪内の競争を上木の林冠構造による被陰で制御する手法をとる。しかし林冠による光調節は地形や林分構造など多様な因子で決定されるため,経験的な情報から伐採方法を決定することは難しい。

下刈り省力に関する研究は,過去から数多く行われてきた(佐倉・沼田 1980 谷本 1993 丹下ら 1993)。また,最近では無下刈りの造林木に及ぼす影響に注目した研究が行われている(山川ら 2011 重永ら 2011 平田ら 2012 など)。しかし,これらのほとんどの研究が事例研究や,その統計的解析にとどまっており,その利用は出現した植生タイプに依存するきわめて限定的なものとなる。また藪の中の個体間競争や物質生産に立ちいったものではないため,藪の発達程度や発達要因と造林木の成長や生存を定量的に解析することはできない。こうした造林木の成長・生存を定量的に予測するには藪の中の微気象環境を知る必要がある。しかし藪の中の微気象環境を計測した研究例 (Yanhong et al. 1999, Isabelle et al. 2000) は数少なく,また構成する種の特性を反映した微気象の解析となっていないため,藪の中の多様な種構成の変化に対応できるものとはなっていない。

さらに高木の生理生態情報や成長情報に関する報告は徐々に整理されつつあるが,藪を構成する種の情報は圧倒的に不足しており,藪の中の種の動態を予測するうえでの大きな障害となっている。

### 2. 研究の目的

下刈り不要の施業のためには伐採区をどこまで狭くする必要があるだろうか?本研究は藪内の光資源競争過程を解明することで,実行可能な最大の伐採面積を探索するシステムを開発することである。目的達成のために次の四つのプロセスについて研究を行う。

上木の葉分布構造が藪の種組成や生物量に及ぼす影響を伐採前の植生情報別に明らかにする。すなわち現在の植生環境が,伐採によってどのように変化するかを,定量的に明らかにする。林冠構造が植生発達に及ぼすプロセスを種子散布プロセスから明らかにする。

伐採後の藪を構成する植物の光環境に対する成長特性のデータベースを作る。とくに,葉の光合成特性が光環境に対してどのように反応するかに力点を置いてデータを収集整理する。

群落タイプ別,あるいは群落発達程度別に藪の中の微気象を予測するモデルを開発する。このために,出現種ごとの遮光特性を整理する。

造林木の枝ごとあるいは個体全体の炭素収支が,個体の伸長や生存に及ぼす影響を明らかにする。

### 3. 研究の方法

#### 上木の林冠構造に基づく藪群落の発達

ヒノキ人工林内に 2007~8 年にサイズ ( $5 \times 5\text{m}^2 \sim 30 \times 30\text{m}^2$ ) とギャップ密度 ( $1.78 \text{ gaps ha}^{-1} \sim 100 \text{ gaps ha}^{-1}$ ) が異なるギャップが設定され,その後下刈りが全く行われていないギャップモザイク試験地がある。また 2010 年に  $40 \times 50\text{m}^2$  のヒノキ植栽地(下刈りなし)がある。ギャップ周囲の林冠構造の UAV 画像を着葉期と落葉期に取得し DSM を作成した。DSM からギャップ内の GLI マップを推定するモデルを作成した。藪の植生量と種組成について現地調査の他に UAV 画像から推定した。

天竜森林管理署の 1~6ha までの大きさの異なる下刈りを伴う皆伐跡植栽地においても UAV 画像による植生解析を行った。

ギャップモザイク試験地にシードトラップを設け,ギャップ創出 12 年間の鳥による種子散布の空間分布を観測した。またギャップに來訪する鳥類相について観察した。このことから林冠構造が藪植生への加入について評価した。

#### 藪群落出現種の生理特性のデータベース

人工林内ギャップに発達した藪群落に出現した種 43 種について,葉内二酸化炭素濃度が 300ppm のときの最大光合成速度,呼吸速度, LMA, ガスコンダクタンス, 葉内窒素および土壌窒素, 光環境を測定した。これらのデータを用いて光資源あるいは土壌中の窒素資源に対する最大光合成速度の反応を示す種特性値を求める階層ベイズモデルを作成した。それぞれの種の特性を整理した。

#### 藪群落内の微気象

人工林内ギャップに発達した藪群落において 20cm 厚さの層別刈り取りを 39 か所実施し,そ

それぞれの層ごとに光量子密度を測定し、出現種ごとの吸光係数を階層ベイズモデルで推定した。また種ごとの個体の葉の三次元分布構造をレーザー・スキャン法で解析し、様々な光源方向からの遮光効率を解析した。

側方被陰処理された個体の炭素収支と生存成長関係

スギ・ヒノキの植栽苗木について、高さの異なる円柱形状の側方被陰をして、枝単位の炭素収支及び個体の成長パターンを測定した。側方被陰は藪環境下にある植栽木の状態に似せたものである。

#### 4. 研究成果

上木の林冠構造に基づく藪群落の発達

UAV 画像によるギャップ地の DSM 情報から、GLI 分布を予測した。図 1 に北向き斜面のギャップの例を示した。ギャップの 30% 以上は GLI が 0.5 未満と推定された。このギャップにはヒノキが植栽され下刈りが全く行われていない調査地である。植栽後 7 年目で、競合植生高より高いヒノキは 2000 本 ha<sup>-1</sup> 以上であり、平均樹高は平均植生高より 0.80m 大きかったことが UAV 画像により判定できた。このことからこのギャップ地では下刈りなしでもヒノキの成林は可能であることが分かった。ギャップモザイク試験地のデータから、北向き急斜面の場合樹高の 1.5 倍程度のギャップにおいても GLI を 0.5 以下に抑制することが可能であった。

天竜森林管理署の 1~6ha までの大きさの異なる下刈りを伴う皆伐跡植栽地で UAV 画像による植生解析を行った。1ha 以上の皆伐地では林縁の狭い空間を除けば地形の凹凸が植生量に最も強い影響を与えた。種組成は伐採後の時間に最も大きく影響を受けたが、ギャップサイズや斜面の方向等の光に起因する因子の影響は小さかった。なお、下刈りの繰り返しはススキの優占度を高める傾向にあった。いずれの皆伐地でも伐採 3 年後の植生量は大きく下刈り省力は不可能と判断された。

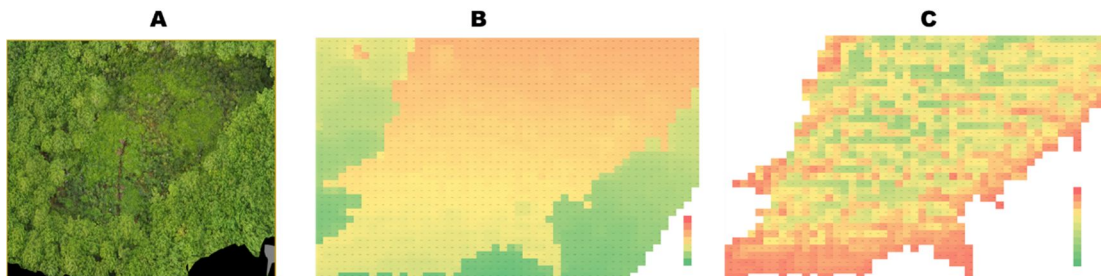


図1 無下刈り伐採区のDSMと推定GLI(Gap Light Index)の分布図 Meshサイズ1×1m<sup>2</sup>  
A:UAV画像 B:林冠DSM(カラースケール:0-60m) C:推定GLI(カラースケール:0-1.0)

図 2 にギャップモザイク試験地における 12 年間の種子散布量の変化を示した。ギャップ形成直後は種子散布が少なく、ギャップに植生が発達するにつれて散布量が増加し散布種子の種

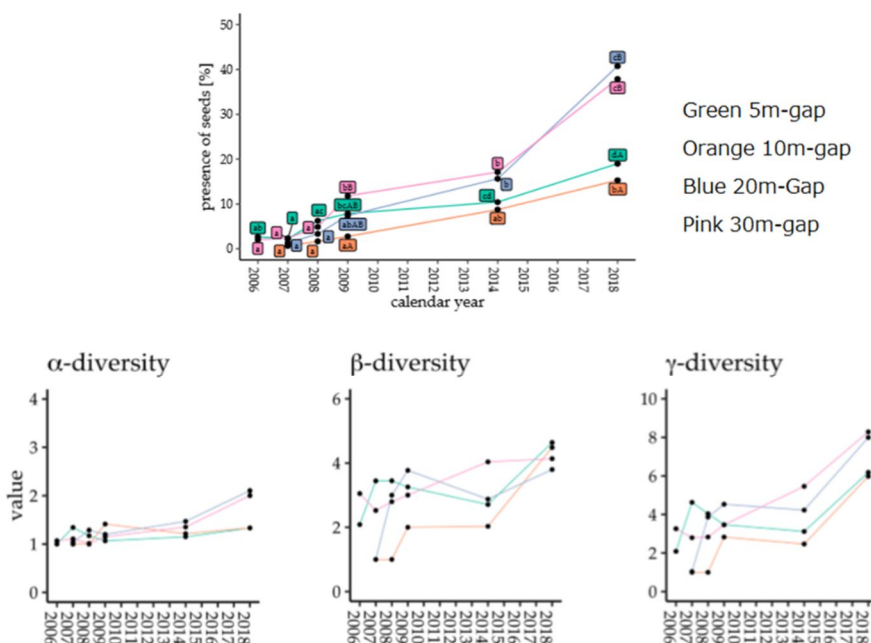


図2 ギャップモザイクごとの散布された種子のトラップごとの存在確率(上段)と種多様性(下段)の経年変化

多様性も増加し、この傾向はギャップが広いほうが顕著であり、シードソースからの距離はマイナーな要因であった。

大きいギャップで種子散布量や種子の多様性が大きくなる要因を明らかにするため、植生量とギャップ内の結実量が種子散布に及ぼす影響を ZIP 型のベイズモデルにより解析した(図3)。植生量はすべての季節で散布のあるなしに寄与していたが、散布種子量は12月に負に寄与した。ギャップ内の結実がある場合(ピンク)は結実が無い場合に比べ散布種子の存在確率が高い傾向にあった。

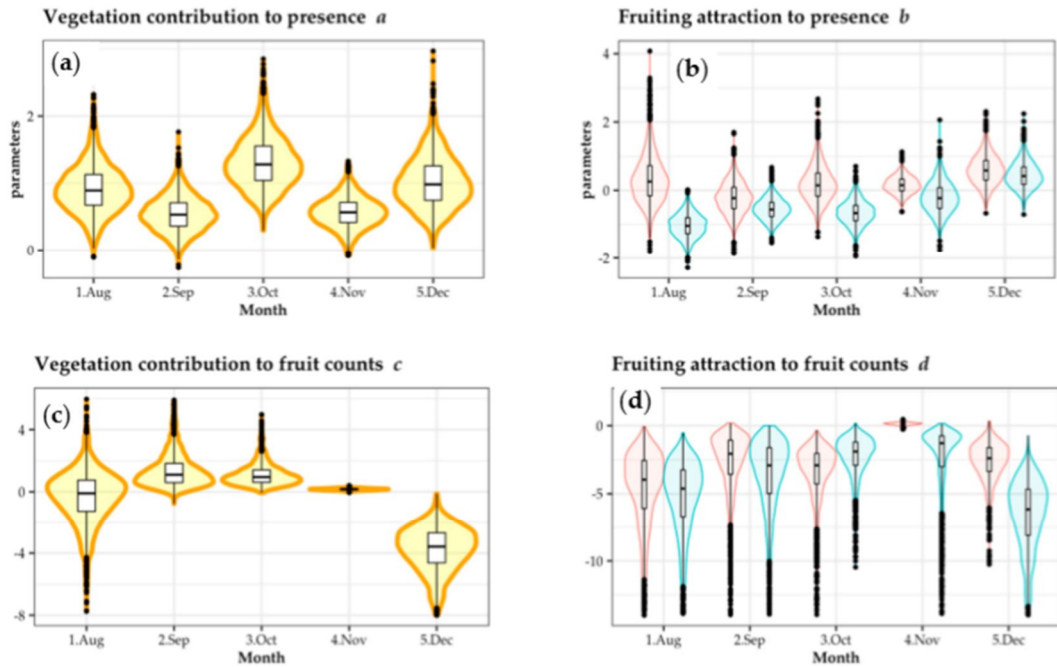


図3 鳥による種子散布の要因貢献度

#### 藪群落出現種の種特性

土壌窒素に対する形態の可塑性と葉中窒素の可塑性にはトレードオフ関係が認められ、土壌窒素の変化に対して常緑広葉樹は葉の厚さを変化させやすく、落葉先駆樹種は葉中窒素を変化させやすい傾向にあった。種ごとの葉の最大光合成はその種の分布から得られた種の序列解析結果やバイオマスの GLI の変化に対する反応とほぼ一致した(図4)。

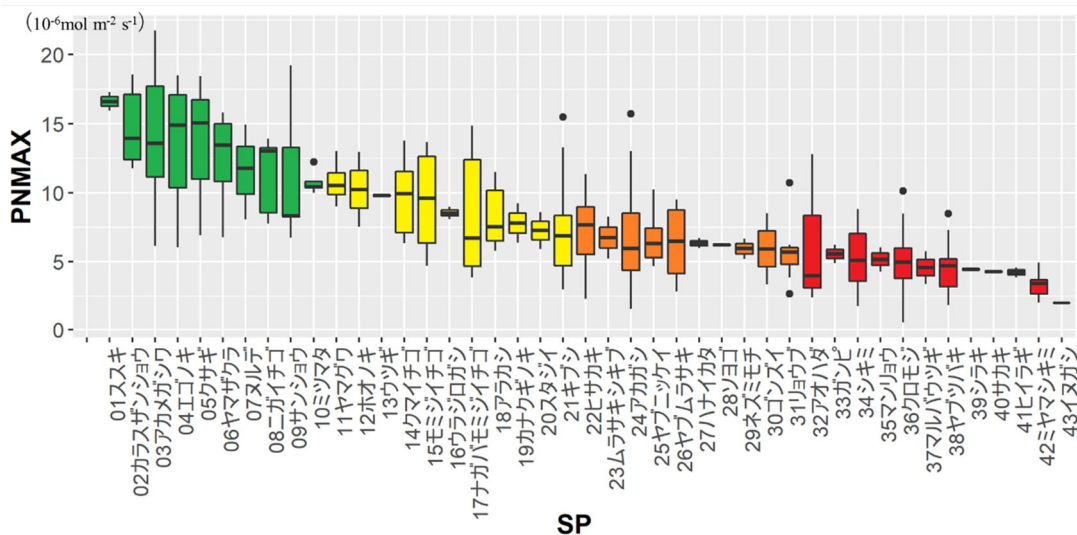


図4 GAPモザイクに出現した種の光合成速度

#### 藪内の光気象-種ごとの吸光係数

藪は多様な種で構成されており、藪内の光環境は構成する種によって光利用特性が異なるために、群落の吸光係数の変異は大きかった。群落の葉面積指数は種の多様性と正の相関があったが、その群落の葉面積指数が高いから群落内が暗くなるということは無かった。層別刈り取りデ

ータをもとに階層ベイズにより種ごとの吸光係数を推定したところ、イチゴ類の吸光係数が大きく、アカガシ・サンショウ・ススキの吸光係数は小さかった(図5)。

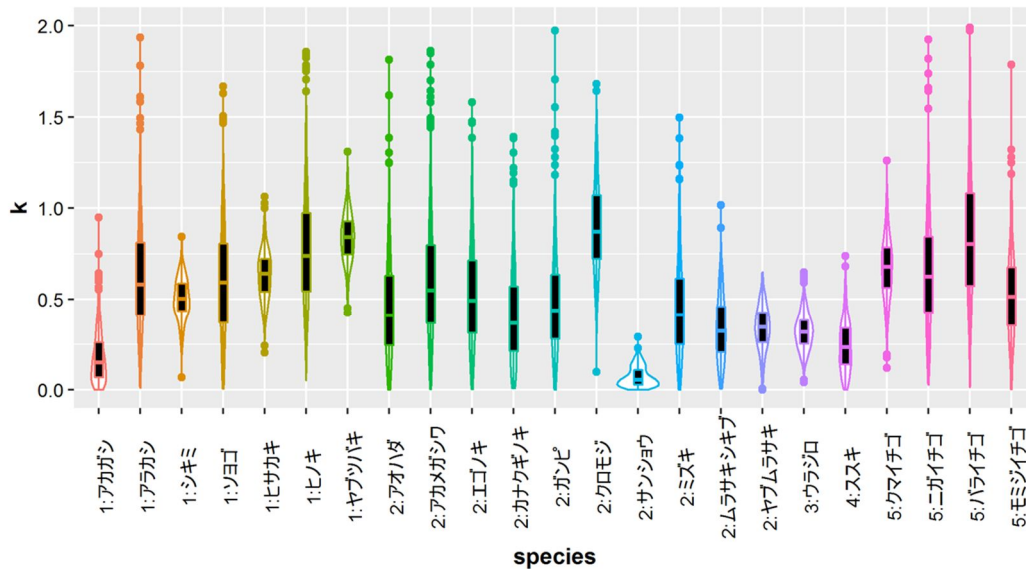


図5 種ごとの吸光係数 ベイズ推定値

図6に葉の三次元分布構造から推定した受光効率と最も受光効率が高まる光入射角度の関係を示した。イチゴは受光効率が高く上方からの光を利用する効率がみられた。一方で常緑広葉樹は受光効率が低く側方からの光を利用する効率が高かった。

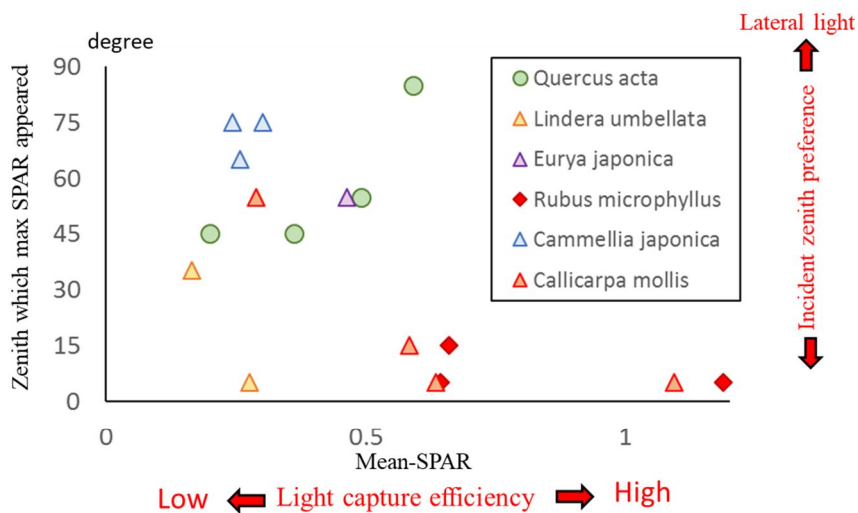


図6 個体の三次元構造から解析した平均SPAR(受光効率)と最大効率が生じるときの光入射角度

#### 側方被陰処理された個体の炭素収支と生存成長関係

側方被陰下の枝の光合成速度の小ささから、個体光合成量は側方被陰高が高いほど小さくなり、肥大成長は明らかに被陰高の影響を受けた。しかし伸長成長への影響は被陰高が樹高より低い場合には、ほとんど影響がなかった。このことは下刈り現場で報告されている事例と一致した。また幹の肥大成長と葉量の関係は被陰された部分の上下で違いがみられた。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計3件（うち査読付論文 3件/うち国際共著 1件/うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 4. Mochizuki, T., Marod, D., Trieu, D.T., Mizunaga, H	4. 巻 27
2. 論文標題 Interspecific differences in the hierarchical cluster structure of leaves within tree crowns in Indochina	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 TROPICS	6. 最初と最後の頁 1-24
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） DOI : 10.3759/tropics.MS17-07	査読の有無 有
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 該当する

1. 著者名 Tsunoda Yuuki, Furukawa Shoko, Mizunaga Hiromi	4. 巻 32
2. 論文標題 How does the longevity of <i>Sasa kurilensis</i> ramets respond to a light gradient? An analysis of ontogenetic changes to hydraulic resistance and carbon budget within a ramet	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Ecological research	6. 最初と最後の頁 117,128
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1007/s11284-016-1423-2	査読の有無 有
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 Takano Tsubasa, Kominami Yohsuke, Mizunaga Hiromi	4. 巻 10,918
2. 論文標題 Do Coarser Gap Mosaics in conifer plantations induce more seed dispersal by birds? Temporal changes during 12 years after gap creation	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Forests	6. 最初と最後の頁 1,15
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3390/f10100918	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 -

〔学会発表〕 計10件（うち招待講演 0件/うち国際学会 2件）

1. 発表者名 Hiromi Mizunaga
2. 発表標題 Competition in thickets developed in patch selection of conifer plantations
3. 学会等名 IUFRO 1.0511th Uneven-aged silviculture workshop (Valdivia Chile) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 水永博己
2. 発表標題 皆伐更新施業が進められる中で、林分・景観構造の複雑性の役割を考える
3. 学会等名 日本森林学会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 水永博己
2. 発表標題 藪の中の微気象と成長 伐区をどこまで狭くすれば下刈りは不要となるのか？
3. 学会等名 日本森林学会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 水永博己 Juri Diaci
2. 発表標題 大きい林分材積成長量と明るい林床の折り合いのつけかたを探る
3. 学会等名 日本森林学会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Hiromi Mizunaga
2. 発表標題 Does complexity of leaf arrangement moderate the impact of drought stress?
3. 学会等名 IUFRO 1.05 (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Kawai Yusuke, Mizunaga hiromi
2. 発表標題 Mixture of Species in Thickets Affects Penetrated Light Fleck
3. 学会等名 IUFRO 1.05 Uneven-aged silviculture
4. 発表年 2014年

1. 発表者名 Mizunaga Hiromi
2. 発表標題 Leaves for silviculture; Leaf-distribution as a tool for evaluating diverse silvicultural operation
3. 学会等名 IUFRO 1.05 Uneven-aged silviculture
4. 発表年 2014年

1. 発表者名 望月貴治・水永博己
2. 発表標題 苗場山における環境勾配に伴うブナ個体内の葉群分布の特性と受光機能
3. 学会等名 日本森林学会
4. 発表年 2015年

1. 発表者名 水永博己・大洞智宏
2. 発表標題 今須への道/ 葉分布は単木択伐人工林への誘導を実行可能でないと言っている？
3. 学会等名 日本森林学会
4. 発表年 2015年



1. 発表者名 川井祐介・八巻貴裕・水永博己
2. 発表標題 混交低木群落内において光の不均質性は種ごとの生産能力に影響を及ぼすのか？ 種ごとの光利用特性と光獲得特性からの評価
3. 学会等名 日本森林学会
4. 発表年 2015年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

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
研究分担者	榎本 正明  (Naramoto Masaaki)  (10507635)	静岡大学・農学部・准教授   (13801)	
研究分担者	王 権  (Wang Qyanh)  (50402235)	静岡大学・農学部・教授   (13801)	
研究分担者	飯尾 淳弘  (Iio Atsuhiro)  (90422740)	静岡大学・農学部・准教授   (13801)	