

# 航空レーザ計測データによる 河道内に繁茂する竹林の体積推定法の検討

溝口裕太<sup>1</sup>、○手塚透吾<sup>1</sup>、斉藤展弘<sup>2</sup>、崎谷和貴<sup>1</sup>

1 (国研) 土木研究所 流域水環境研究グループ 流域生態チーム

2 国土交通省 中国地方整備局 浜田河川国道事務所

# はじめに

## 【河川管理における竹林の特徴】

- ・ 河道内の砂州や高水敷等に植生が繁茂
  - ▶ 洪水時に流水抵抗となる
  - ▶ 河道内植生の管理が治水上の課題
- ・ とりわけ、西日本を中心として**タケ類は管理対象**とされる
  - ▶ 植生管理の効率化、現況の**モニタリング技術への期待が高い**

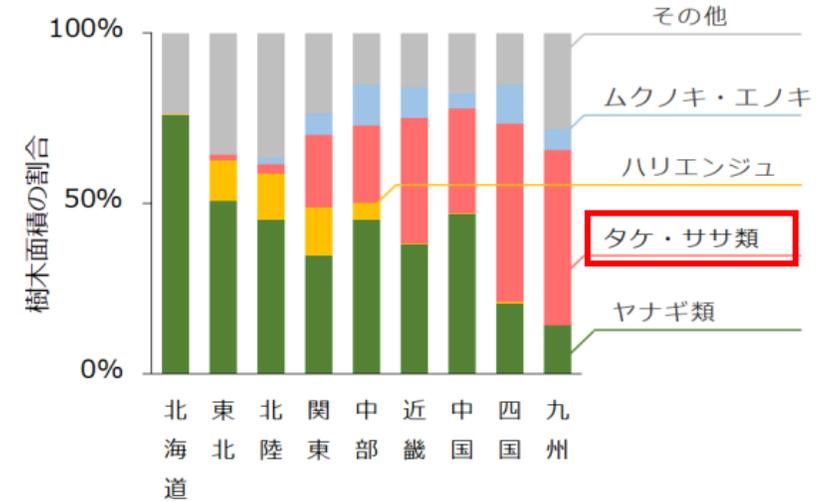


図 地域ごとの管理対象樹種の構成割合  
大河川における多自然川づくり-Q&A形式で理解を深める— より図を引用  
[https://www.mlit.go.jp/river/shishin\\_guideline/kankyo/tashizen/pdf/05\\_01Q8-1.pdf](https://www.mlit.go.jp/river/shishin_guideline/kankyo/tashizen/pdf/05_01Q8-1.pdf)  
佐貫ほか(2010)よりデータ引用

## 【河道内植生のモニタリング技術】

- ・ 近年、航空レーザ計測（Airborne Laser Scanning ; 以下、ALS）の活用が進んでいる
  - ▶ 河道内では定期縦横断測量で導入され、直轄管理区間でデータが蓄積
- ・ 林業分野では、ALSデータを活用して樹木一本ごとの樹高や生育密度を推定（林（2020））
  - ▶ 局所最大値フィルタリング（Local Maximum Filtering ; 以下、LMF）により樹頂点位置を抽出
  - ▶ この樹頂点の個数により生育密度を、樹頂点位置のALSの高さ情報から樹高を推定
  - ▶ 手入れがされている針葉樹人工林などでは樹頂点の推定精度が高く、さらには換算式により体積を推定
- ・ しかし、**河道内に生育する竹林においてALSデータによる体積の推定を行った事例はほとんどない**

## 竹林を対象に、河道の流下能力と伐採に係る維持管理費を計算する上で 基礎情報となる稈密度と体積を推定するための解析技術を構築する

### 研究の概要

- モウソウチクを対象にALSデータを用いてLMFによる樹頂点抽出を行う
- 抽出樹頂点から稈長などを推定し、アロメトリー式から体積を推定する  
Inoue et al. (2013)
- 現地調査の実測体積との比較から体積の推定精度を検証する
- ALSデータとLMFから推定された稈長と稈密度の精度が体積の推定に及ぼす影響を感度分析から明らかにする

# 方法 —現地調査—

## 【立竹調査】

- ・ 調査日：2021年12月21～22日
- ・ 調査地：方形区（10m×10m）を2箇所設置
- ・ 調査地内のタケの立竹位置、胸高直径、樹冠形状を記録
- ・ UAV空撮（手塚ほか（2022））と樹冠形状から
  - ▶ タケ1本ごとの生育位置特定（樹頂点抽出の検証データ）
- ・ 伐採日：2022年2月15日～22日
- ・ 伐採後、各タケの稈長を計測

## 【航空レーザ計測（ALS）】

- ・ 計測日：2021年11月18日
- ・ 平均点密度：26.5点/m<sup>2</sup>
- ・ ALSデータから数値表層モデル（以下、DSM）と数値標高モデル（以下、DEM）を作成

表 プロットごとのタケの生育状況

	稈本数 [本]	平均胸高直径 [cm]	樹冠直径 [m]	稈密度 [本/100m <sup>2</sup> ]
全体	146	12.3	1.4	73.0
林冠	115	12.8	1.4	57.5
林冠下	31	10.5	—	15.5

※樹冠直径：樹冠を円と仮定したときに樹冠面積から算出される直径

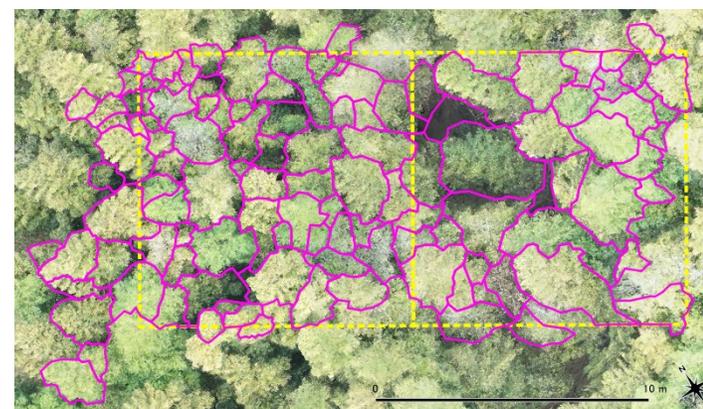


図 各個体の樹冠（背景:オルソ画像、黄色枠：調査区、ピンク枠：樹冠）



図 伐採状況

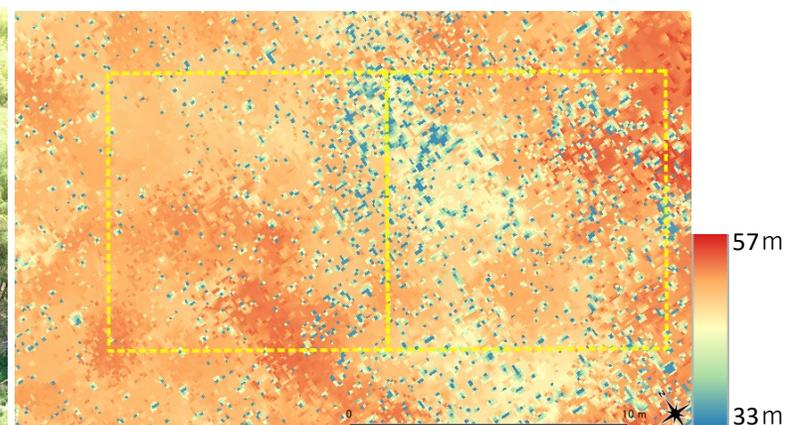


図 0.1m/pixel DSM（黄色枠：調査区）

# 方法 一樹頂点抽出ー

## 【局所最大値フィルタリング (LMF)】

- **LMF : DSMの極大値を樹頂点として抽出する手法**

R ver.4.1.2 (<https://www.R-project.org/>) のlidRパッケージ(Roussel et al. (2020) )を使用

- LMFのパラメータ = **Window Size** (以降、WS)

平均樹冠直径 (1.4m) を目安に**5つ設定**

(1.2m、1.3m、1.4m、1.5m、1.6m)

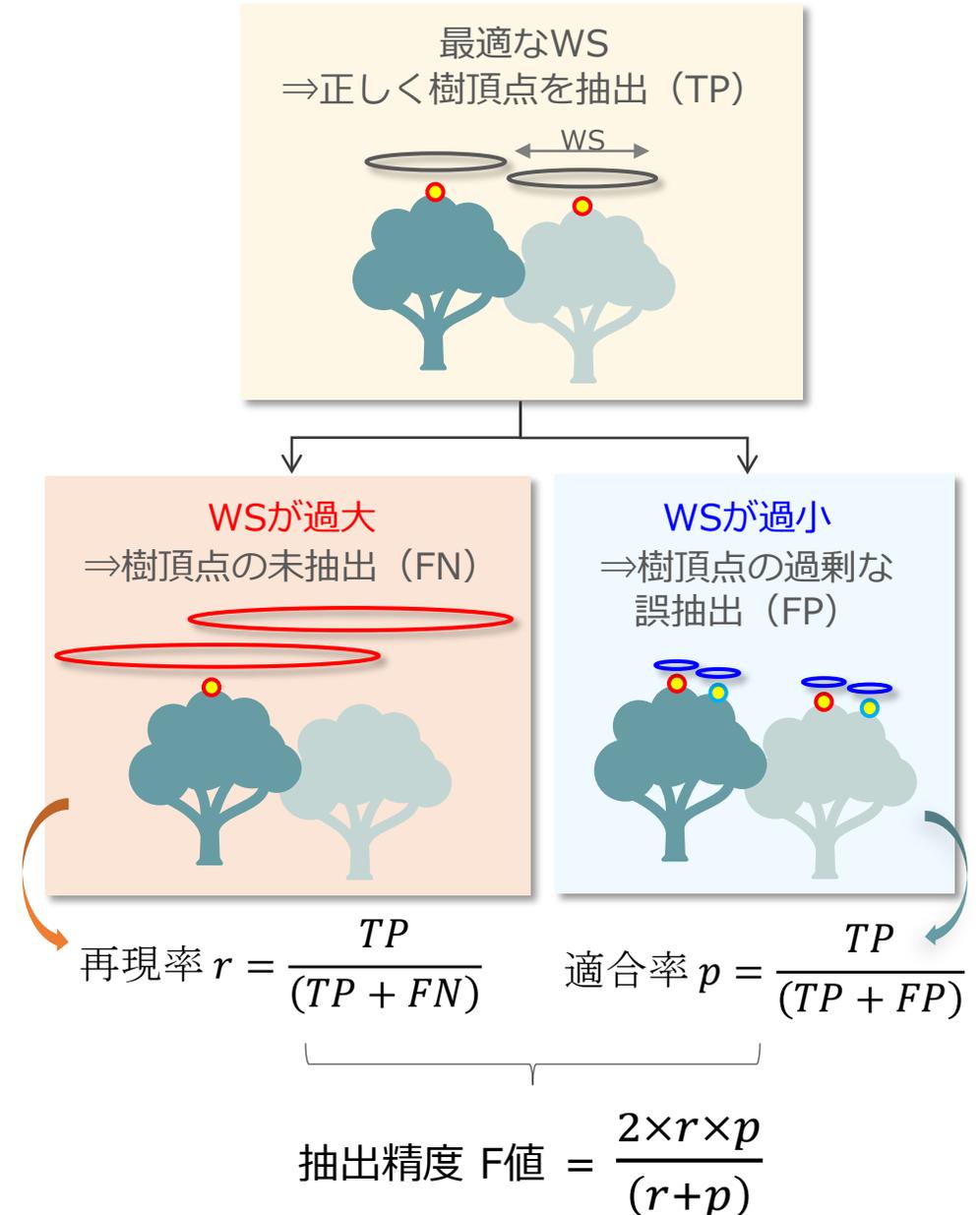
## 【樹頂点の抽出精度】

- 樹冠 (正解) に対する樹頂点の精度の確認
- 再現率と適合率の調和平均 = **F値** ⇒ **抽出精度の評価**

## 【稈密度の推定】

- 実測稈密度 =  $\frac{\text{稈本数}}{\text{調査地面積}} \times 100$  [本/100m<sup>2</sup>]
- 推定稈密度 =  $\frac{\text{樹頂点数 (TP+FP)}}{\text{調査地面積}} \times 100$  [本/100m<sup>2</sup>]

## WSと抽出樹頂点の関係 と 抽出精度



# 結果・考察

## — 樹頂点抽出 —

### 【樹頂点の抽出精度】

- ・ 最大となるF値 = 0.60

最大となるF値をとるWS = 1.3m ~ 1.4m

(以降では、再現率と適合率の差が小さい1.3mを標準WSとして記載)

- ▶ 平均樹冠直径 (1.4m) と同程度
- ▶ 樹冠直径程度で抽出精度が高まった既往研究と同様の傾向 (Nagashima et al. (2016) )

### 【稈密度の推定】

- ・ 実測稈密度 : 57.5本/100m<sup>2</sup>
- ・ 推定稈密度 : 58.0本/100m<sup>2</sup> (WS=1.3m)
- ▶ 実測と推定稈密度の比は1.01
- ▶ 最大のF値をとるWSで稈密度の推定精度が高い

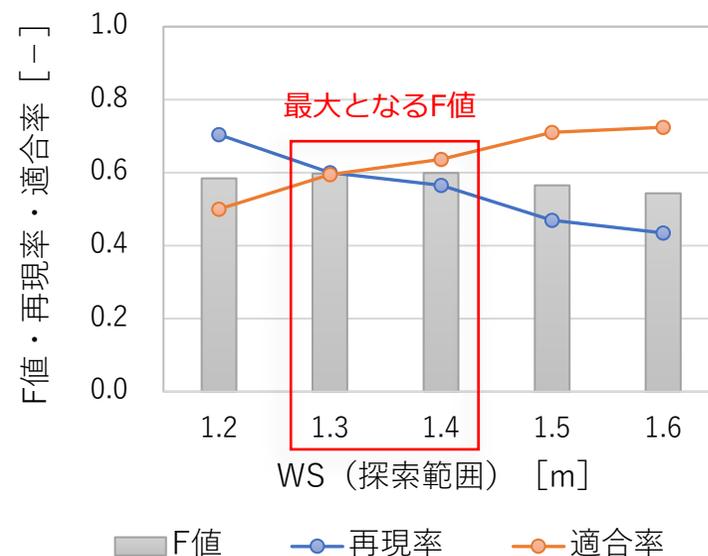


図 樹頂点抽出精度と探索範囲WSとの関係

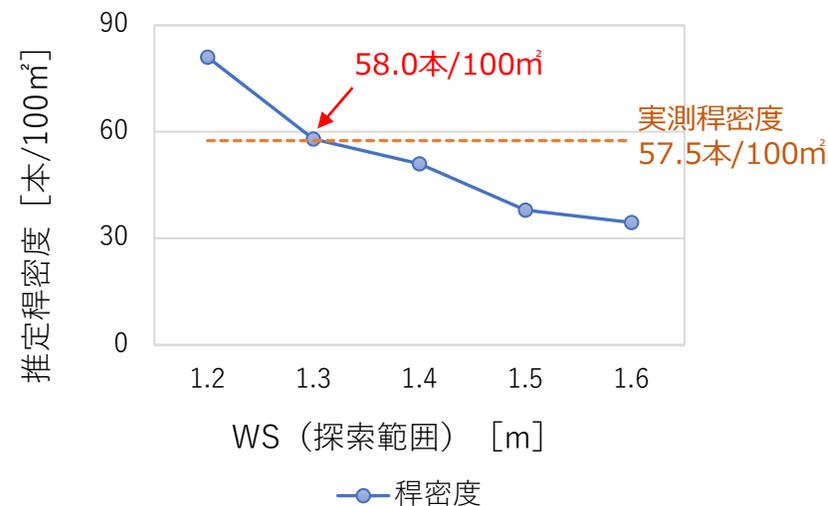


図 推定密度とWSとの関係

# 方法 一体積推定一

・中空部分を含む見かけの体積（稈材積）のアロメトリー式

## 【実測体積（実測稈長・実測本数）】

- ・現地調査で計測した稈長と胸高直径

式4に代入 ⇒ 実測体積

$$v = 0.908\pi d^2 h / (4((1 - 1.2 / h) / 0.6)^{1.742}) \quad [\text{式4}]$$

$$d = 1 / (1 / (3.068h) + 1 / 29.311) \quad [\text{式5}]$$

$v$  : 体積、  $d$  : 胸高直径、  $h$  : 稈長

Inoue et al. (2013)

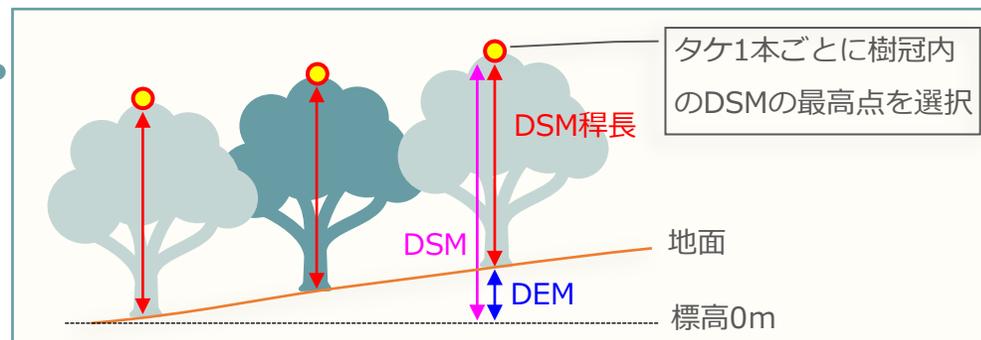
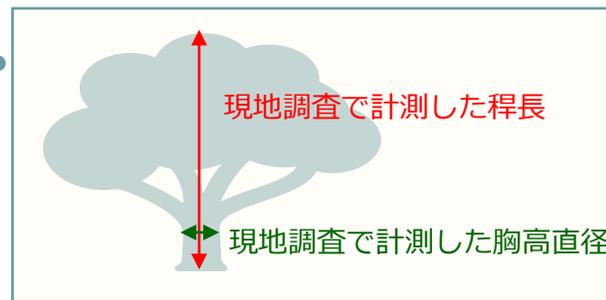
## 【DSM推定体積（DSM稈長・実測本数）】

- ・現地調査で記録した樹冠をベースに、

タケ1本ごとのDSMの最高点を取得

DEMを差し引くことで、タケごとにDSM稈長を算出

式5に代入 → 式4に代入 ⇒ DSM推定体積

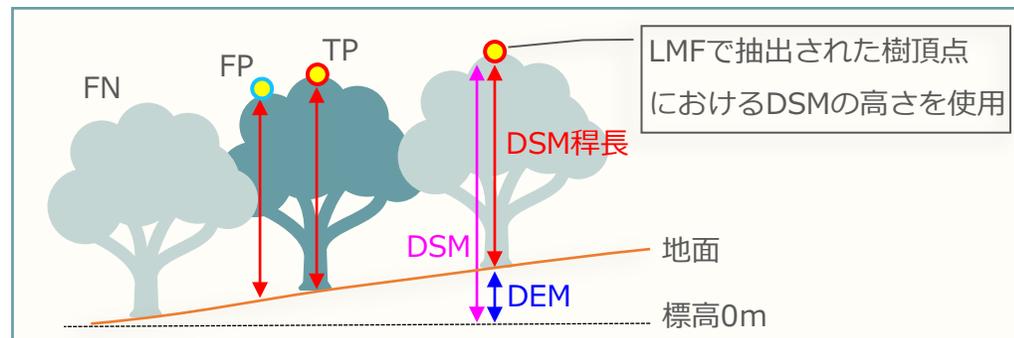


## 【DSM・LMF推定体積（DSM稈長・LMF本数）】

- ・LMFで抽出された樹頂点（TP+FP）のDSMの高さ取得

DEMを差し引くことでDSM稈長を算出

式5に代入 → 式4に代入 ⇒ DSM・LMF体積



# 結果・考察

## — 体積推定 —

### 【実測体積と推定体積の比較】

- 2つの推定体積は、**1.68~1.70倍の過大評価**
- ▶ **DSM稈長が平均で1.7mほど長く推定されたことが影響**

### 【DSM・LMF推定体積（DSM稈長・LMF本数）】

- DSM・LMF推定体積は、4割ほど誤抽出（過大評価因子）と未抽出（過少評価因子）を含むが、**DSM推定体積と同程度の体積であった**
- それぞれの**DSM稈長の差異は小さい**
- ▶ **未抽出のタケのDSM稈長と誤抽出のDSM稈長の差が小さく、推定体積が同程度になったと考えられる**

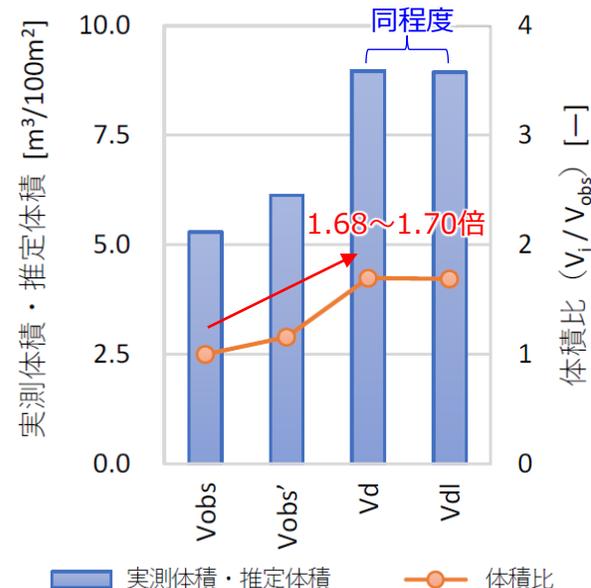


図 実測もしくは推定された調査地の総体積

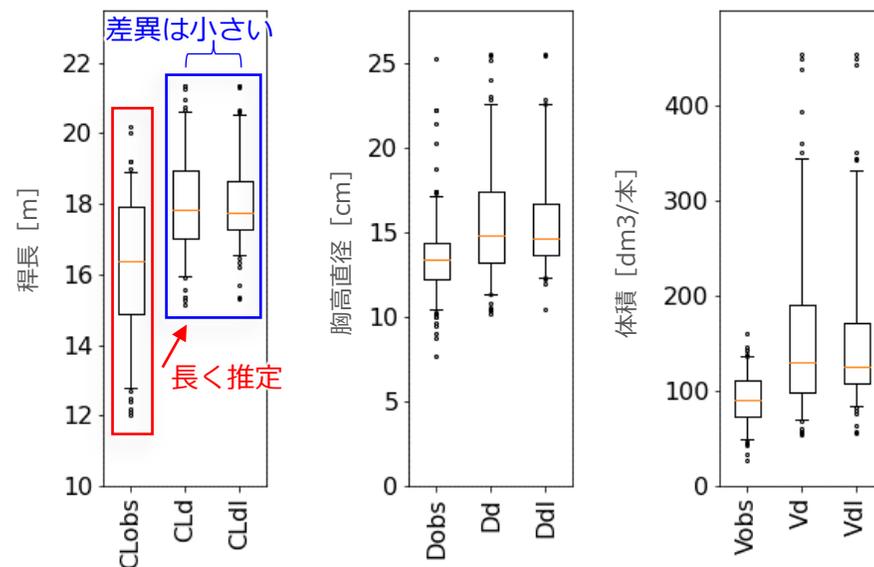


図 稈長、胸高直径、体積の実測値(n=115)、DSM推定値(n=115)およびDSM・LMF推定値(n=116)

CL : 稈長、D : 胸高直径、V : 体積  
下付き添字 obs : 実測値、obs' : 実測値 (林冠+林冠下)、d : DSM推定値、dl : DSM・LMF推定値

# 方法 一体積推定一

## 【感度分析】

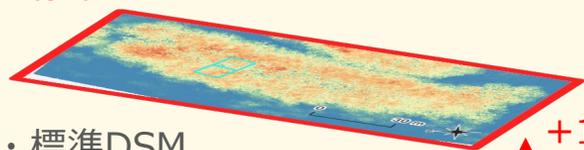
- DSMから推定される稈長と、LMFによる稈密度（稈本数）が推定体積に及ぼす影響を明確にするために感度分析を実行

▶ 稈長と稈密度の変化に対する  
タケの推定体積の応答を分析

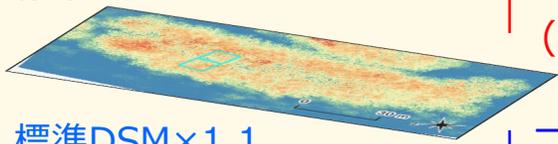
### <稈長の変化>

DSM稈長の平均値（18m）に対する  
10%程度の変化

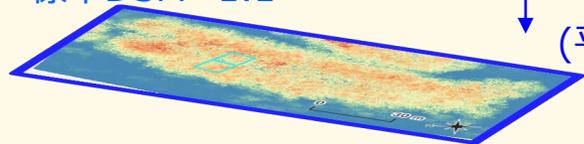
- 標準DSM×0.9



- 標準DSM



- 標準DSM×1.1

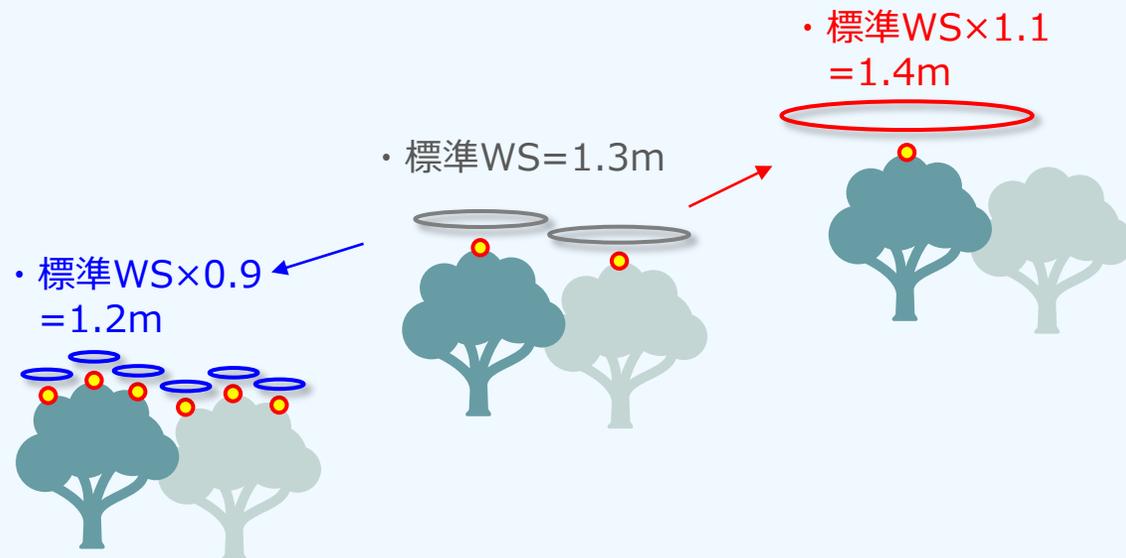


+1.8m  
(平均DSM稈長18m×0.1)

-1.8m  
(平均DSM稈長18m×0.1)

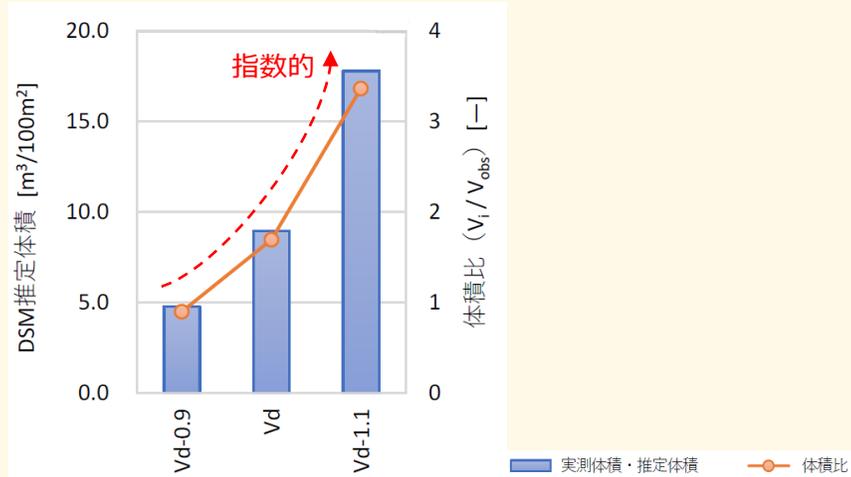
### <稈密度の変化>

標準WS（1.3m）に対する10%程度の変化



### 【感度分析】

#### < 稈長の変化 >



Vd : DSM・LMF推定体積（標準DSM）、Vd-0.9 : DSM・LMF推定体積（標準DSM×0.9）、Vd-1.1 : DSM・LMF推定体積（標準DSM×1.1）

図 稈長の変化が推定体積に与える影響

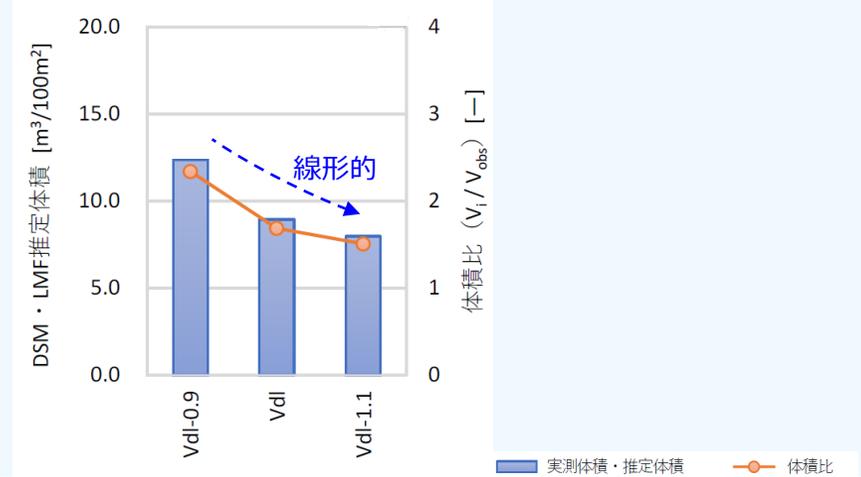
- ・ 標準DSMの0.9倍 : 標準DSMでの推定体積の0.53倍
- ・ 標準DSMの1.1倍 : 標準DSMでの推定体積の1.98倍

#### ▶ 指数的に影響

● DSM稈長の変化は稈密度よりも総体積に及ぼす影響が大きい

● モウソウチクの体積の推定においては、稈長（DSM）を精度よく捉えることが重要

#### < 稈密度の変化 >



Vdl : DSM・LMF推定体積（標準WS）、Vdl-0.9 : DSM・LMF推定体積（標準WS×0.9）、Vdl-1.1 : DSM・LMF推定体積（標準WS×1.1）

図 稈密度の変化が推定体積に与える影響

- ・ 標準WSの0.9倍 : 標準WSでの推定体積の1.38倍
- ・ 標準WSの1.1倍 : 標準WSでの推定体積の0.89倍

#### ▶ 線形的に影響

- 稈密度の推定
  - ▶ LMFにおいて、平均樹冠直径と同程度の1.3mのWSを設定したときにF値が最大となった
  - ▶ このWSにおける**稈密度の推定精度は1.01倍**
- 体積の推定
  - ▶ 8.9~9.0dm<sup>3</sup>/100m<sup>2</sup>と推定され、実測値と比較して**1.68~1.70倍ほど過大な推定**
  - ▶ DSMから求まる稈長の過大な推定が主因
- 推定される稈長と稈本数が、体積の推定に及ぼす影響
  - ▶ **推定稈長の変化に対して指数的に、推定本数の変化に対して線形的に体積の推定値が変化**
  - ▶ モウソウチクの体積の推定において、**稈長を精度良く捉えることが重要**

## 【参考文献一覧】

- 林真智: 森林バイオマス推定のリモートセンシング, 日本リモートセンシング学会誌, 40, pp.2-12, 2020.
- 佐貫方城, 大石哲也, 三輪準二: 全国一級河川における河道内樹林化と樹木管理の現状に関する考察, 河川技術論文集, Vol.16, pp.241-246, 2010.
- 林真智: 森林バイオマス推定のリモートセンシング, 日本リモートセンシング学会誌, 40, pp.2-12, 2020.
- Inoue, A., Sakamoto, S., Suga, H., Kitazato, H., Sakuta, K.: Construction of one-way volume table for the three major useful bamboos in Japan, J. For. Res., 18, pp.323-334, 2013.
- 手塚透吾, 溝口裕太, 中村圭吾: UAV 空撮画像を活用した河道内に繁茂する竹林の樹頂点の抽出, 土木学会論文集G(環境), 78, pp.II\_175-II\_182, 2022.
- Roussel, J. R., Auty, D., Coops, N. C., Tompalski, P., Goodbody, T. R., Meador, A. S., Bourdon J. F., Boissieu F. and Achim, A. : lidR: An R package for analysis of Airborne Laser Scanning (ALS) data, Remote Sensing of Environment, Vol. 251, 112061, 2020.
- Nagashima, K., Kinami, Y., Tanaka, K.: Classifying Managed and Unmanaged Bamboo Forests using Airborne LiDAR Data, J. For. Plann., 21, pp.13-20, 2016.
- 岡谷隆基, 乙井康成, 中埜貴元, 小荒井衛: 新潟県出雲崎地区における航空レーザ計測データによる森林の3次元要素の抽出, 写真測量とリモートセンシング, 52, pp.56-68, 2013.