

環境省環境研究総合推進費

RF-1006

航空レーザー測量及びPALSARを用いた  
森林整備に伴うバイオマス量変化の把握

千葉大学 大学院園芸学研究科  
助教 加藤 顕, Ph. D

# 1. 背景と目的(モニタリングの必要性)

- 国際的取り組み: REDD (Reducing Emissions from Deforestation and Forest Degradation in Developing Countries)

MRV(Measuring, Reporting, and Verification)でLandsat (USGSがアーカイブを無料で配布)等のデータ利用。広域で正確な土地利用図の作成が必須。スキームは確立されているが国家間で調整中。

- 国内での取り組み: 排出量取引へのステップ J-VER

国内の森林簿をベースとした炭素蓄積量の算出。森林計画図(林班図)による蓄積量の算出が必要。スキームは公開されている。森林簿が必須。

バイオマス量=材積 材積式作成には伐倒調査が必要。樹種によって式が異なる。簡易的材積算出方法を構築する必要がある。

⇒ 胸高直径を測定せず、樹高ベースでの材積算出手法の確立の必要性。

# 1. ボトムアップ・アプローチ

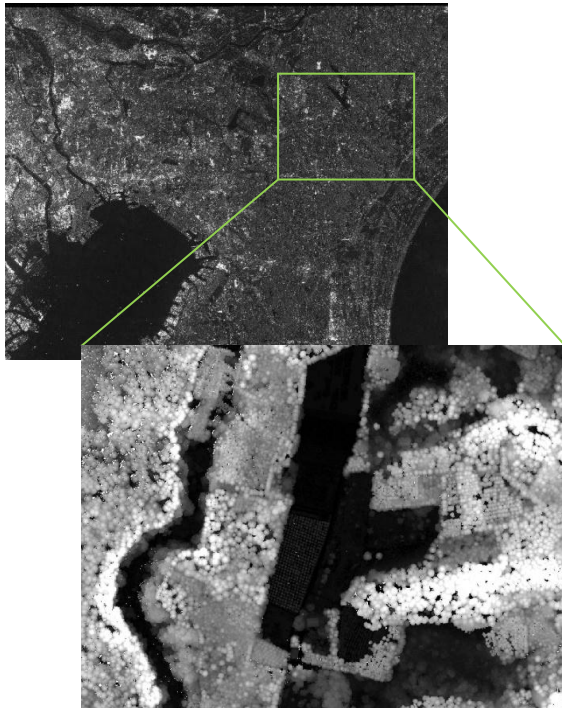
検証用データとして、レーザーデータの利用可能性の検討

国・県レベル:

衛星レーザー(ALOS PALSAR)

. L band radar は 100トン/ha まで把握できる。

⇒解像度5 m<sup>2</sup>に樹高20m のスギ1本まで測定可能。間伐  
や枝打ち等の森林整備がそこまでの立木本数になれば、  
変化量を抽出することが可能

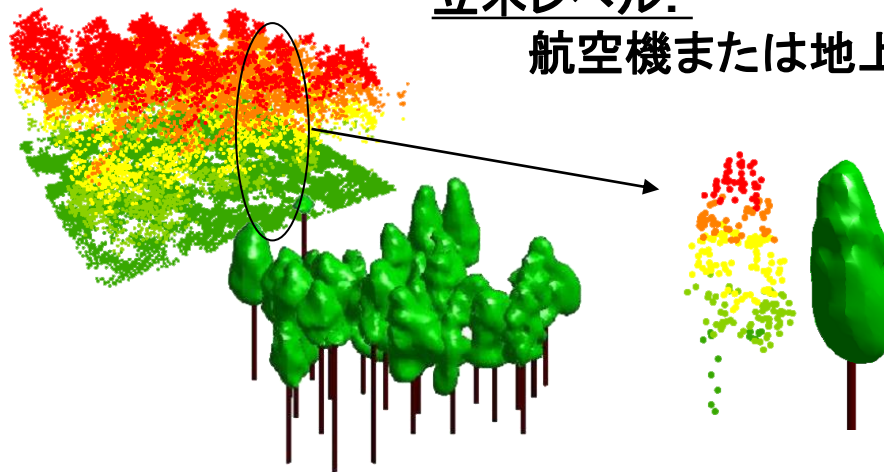


市町村レベル:

航空機レーザーの利用(高額)

立木レベル:

航空機または地上レーザーの利用

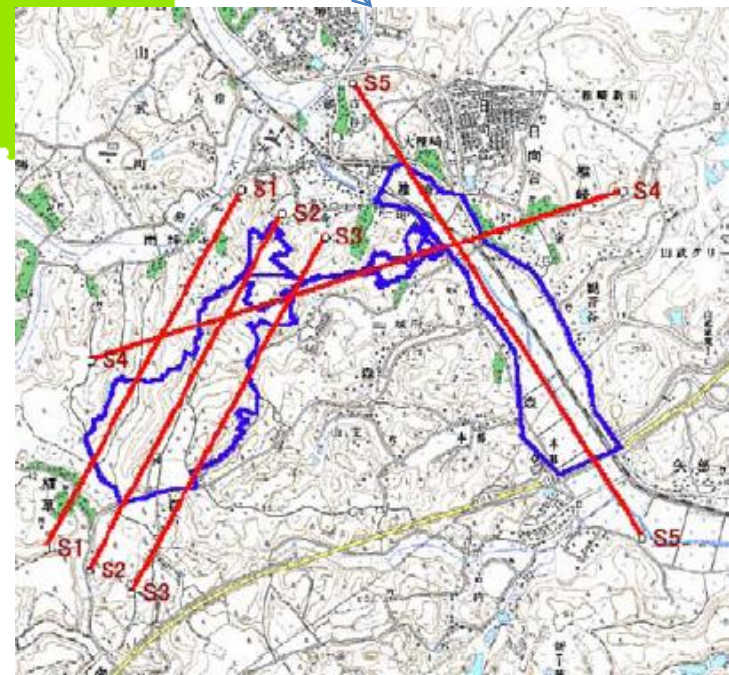
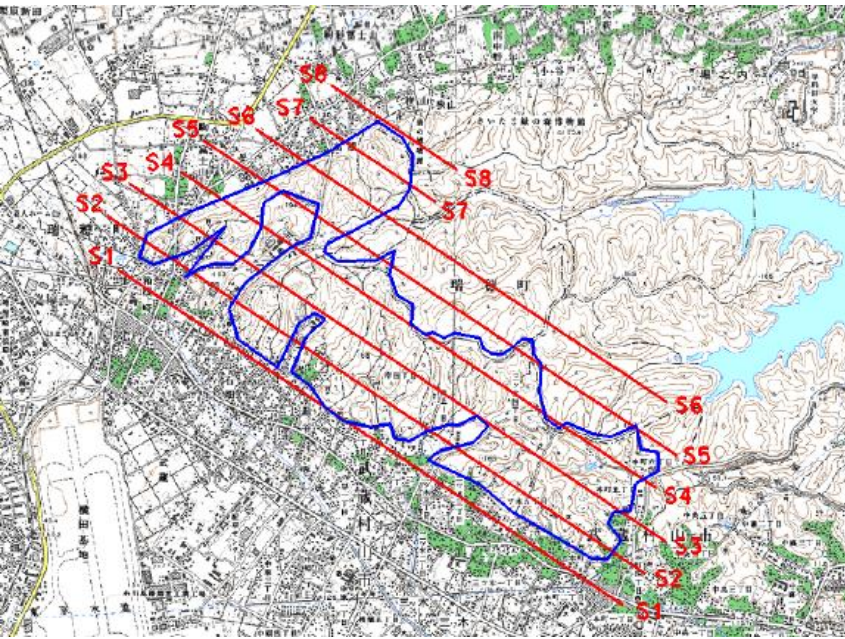


## 2. 対象地



東京都 狭山丘陵  
野山北・六道山公園  
(平成23年度)

山武市 日向の森  
(平成22年度)



# 2. 現地調査

千葉県山武市(2010年8~9月) 東京都 狭山丘陵(2011年8~9月)

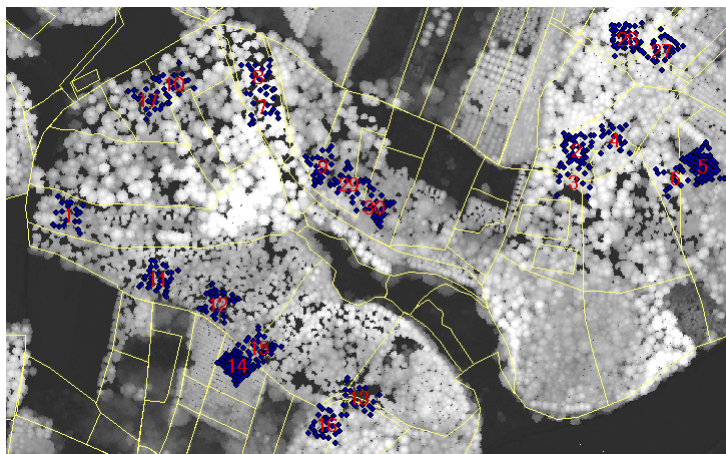
樹種	学名	個体数	DBH(cm)	樹高(m)
スギ	<i>Cryptomeria japonica</i>	718	10.3~69.7	10.4~34.3
ヒノキ	<i>Chamaecyparis obtuse</i>	179	8~72	2.9~31.8
サワラ	<i>Chamaecyparis pisifera</i>	38	17.1~90.7	14.6~34.9
シラカシ	<i>Quercus myrsinaefolia</i>	9	4~67.7	5.9~29.8
コブシ	<i>Magnolia kobus</i>	1	8	6.9
スダジイ	<i>Castanopsis sieboldii</i>	1	26	14.5
アカシデ	<i>Carpinus laxiflora</i>	1	8.7	9.6
タケ	<i>P. heterocycla</i>	425	3~16.2	NA
枯死木	-	23	6.2~61.4	4.9~29.4
合計	-	1395	3~90.7	2.9~34.9

千葉県山武市

スギ・ヒノキが主体の針葉樹林

東京都 狭山丘陵

コナラが主体の落葉広葉樹林

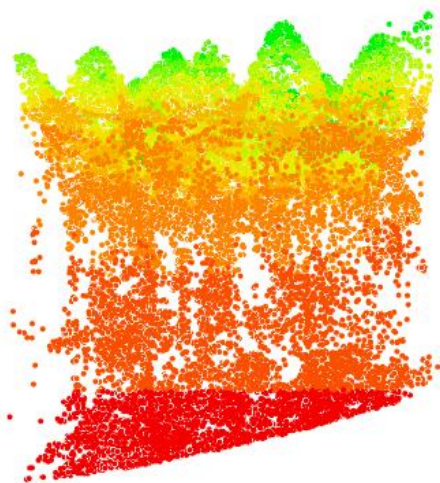


樹種	学名	個体数	DBH(cm)	樹高(m)
コナラ	<i>Quercus serrata</i>	353	6 57.5	5.1 33.7
ヒノキ	<i>Chamaecyparis obtusa</i>	132	5.2~56.5	3.9~26.9
アオハダ	<i>Ilex macropoda</i>	125	2.7~32.3	3.5~19.3
サクラ	<i>Prunus spp.</i>	114	1.5~55.5	3~26.7
エゴノキ	<i>Styrax japonica</i>	92	2~34	2.4~20.3
イヌシデ	<i>Carpinus tschonoskii</i>	41	2.5~31.8	3.9~24.9
リョウブ	<i>Clethra barbinervis</i>	27	5~13.4	4.7~13.8
ヒサカキ	<i>Eurya japonica Thunb.</i>	26	2.2~8.7	3.1~7.6
マルバアオダモ	<i>Fraxinus sieboldiana</i>	18	4.3~11.9	4.8~13.1
ネジキ	<i>Lyonia ovalifolia ssp.</i>	12	5.2~7.8	4.3~7.4
ミズキ	<i>Swida controversa</i>	10	3.8 16.3	6.1~14
スギ	<i>Cryptomeria japonica</i>	9	17.8~48.9	12.1~25.3
シラカシ	<i>Quercus myrsinifolia</i>	7	4.4~24.3	6~12.7
ムクノキ	<i>Aphananthe aspera</i>	7	2.8~18.5	3.5~17.7
アカマツ	<i>Pinus densiflora</i>	5	27.8~49.6	15.9~24
ニセアカシア	<i>Robinia pseudoacacia</i>	5	5.8~24	6.5~21.2
モミ	<i>Abies firma</i>	4	6.4~41.5	4.7~25.2
アラカシ	<i>Quercus glauca</i>	3	2.8~8.6	3.3~7.3
トチノキ	<i>Aesculus turbinata</i>	3	4.9~7.7	4.7~8
その他	-	44		
枯死木	-	20		
合計		1057		

各調査地域 20m x 20m プロットを30箇所

# 3. 航空機レーザー

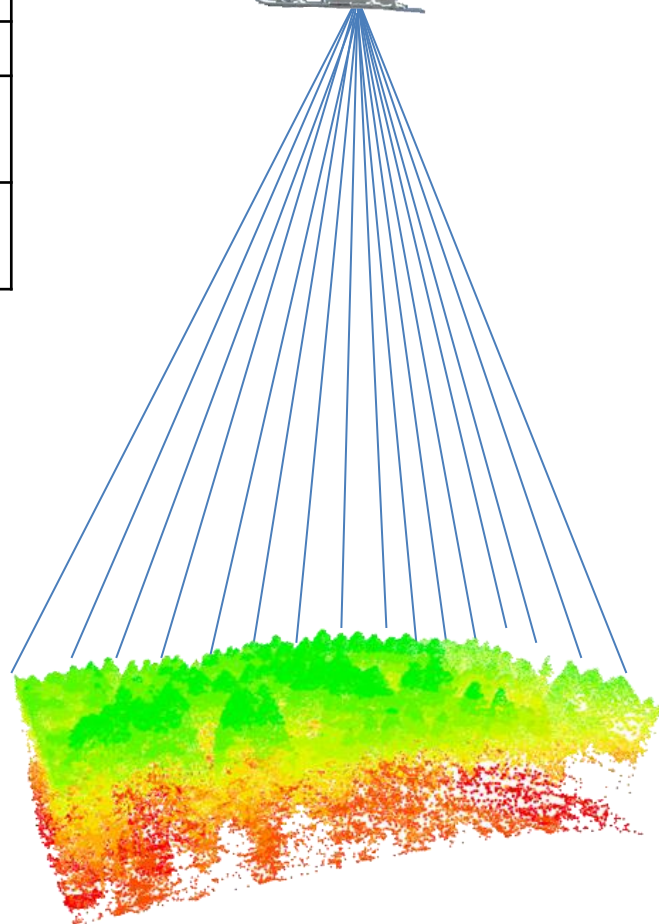
Acquisition date	1 <sup>st</sup> Aug. 14 <sup>th</sup> , 2009 (山武) 2 <sup>nd</sup> July 18 <sup>th</sup> , 2010 (山武) 3 <sup>rd</sup> Nov 5 <sup>th</sup> , 2011 (狭山)
Laser sensor	Riegl LMS-Q560
Laser wavelength	1,550 nm (Near infrared red )
Average laser point	20 points/m <sup>2</sup>



間伐前

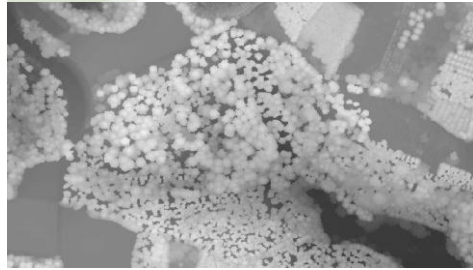


間伐後



# 3. バイオマス変化量の把握

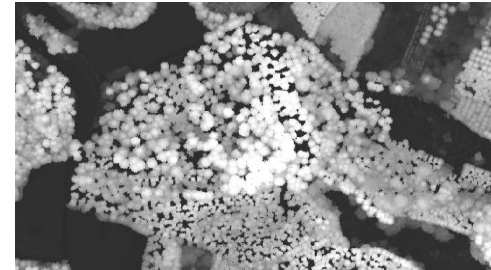
1. 2009年、2010年の航空機レーザーから作成されたDCMの差分から、間伐地域を把握。
2. 空間フィルターを用いることで、樹木位置(立木密度)・樹高計測を行う。



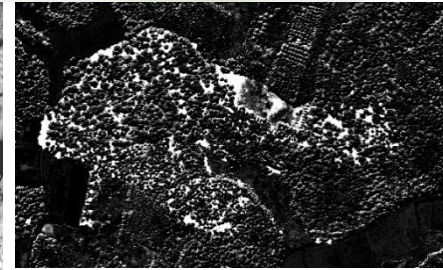
DSM (50cm)



DTM (50cm)



DCM (50cm)

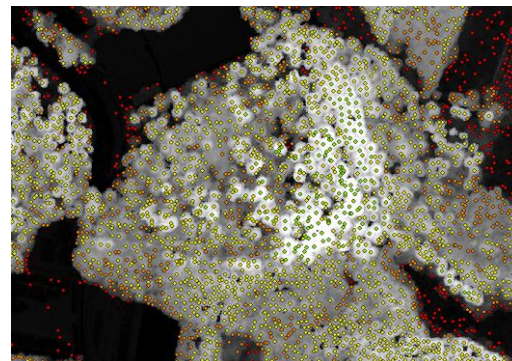
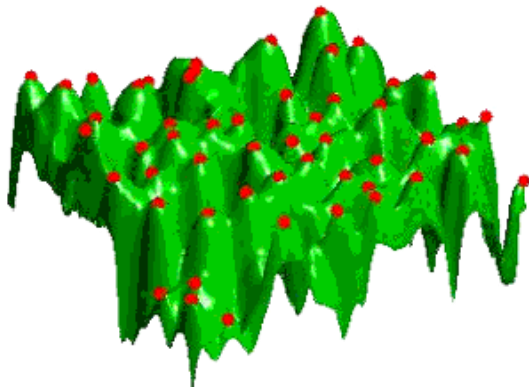


間伐域  
⇒ 白色域

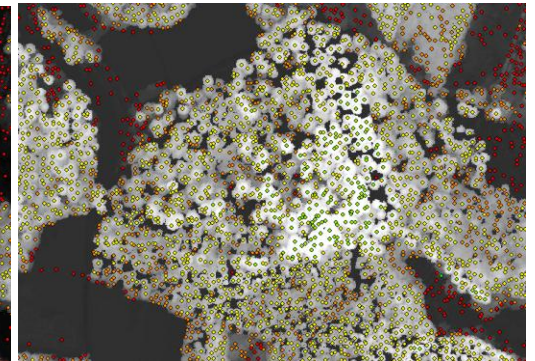
手法:空間フィルター

$$f_{xy}^2 - f_{xx}f_{yy} < 0; f_{xx}, f_{yy} < 0$$

(Bloomenthal *et al.*, 1997)



間伐前(2009年)



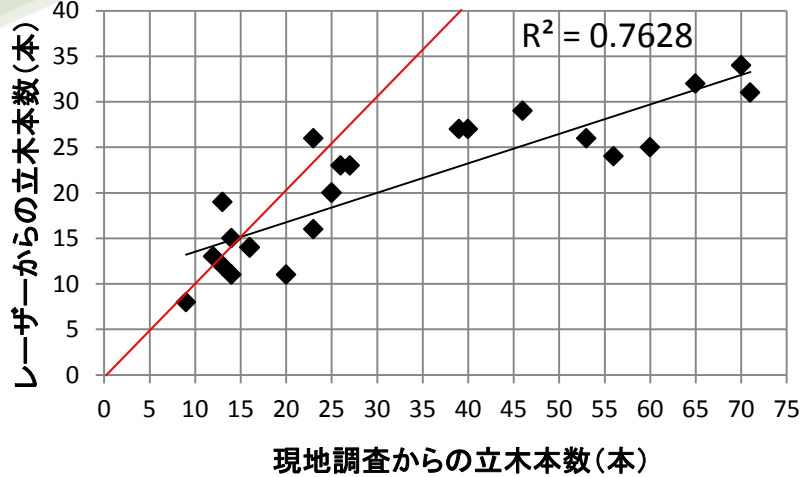
間伐後(2010年)

# 3. 結果の検証

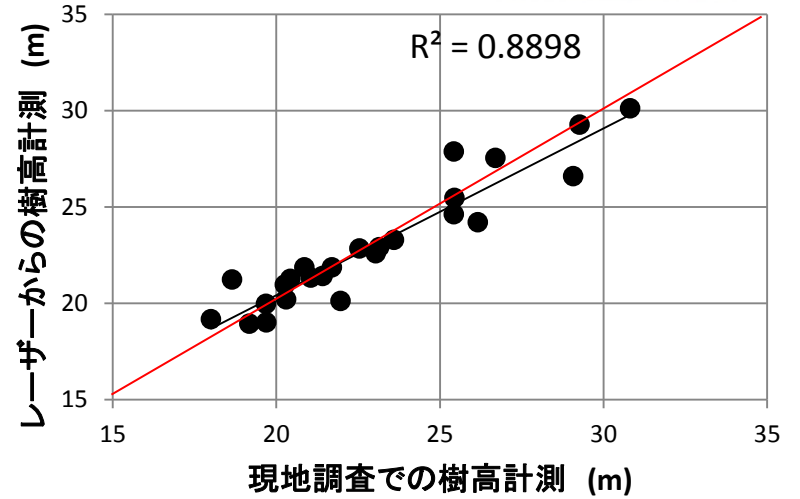
現地調査 ⇔ 航空機レーザー

針葉樹林 (千葉県山武市)

立木密度

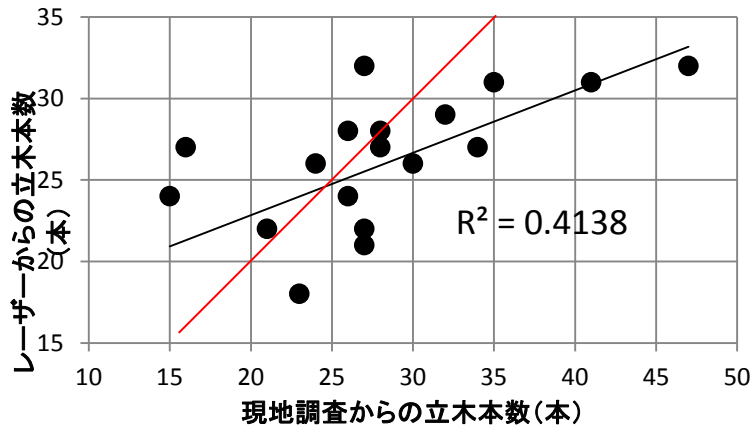


樹高

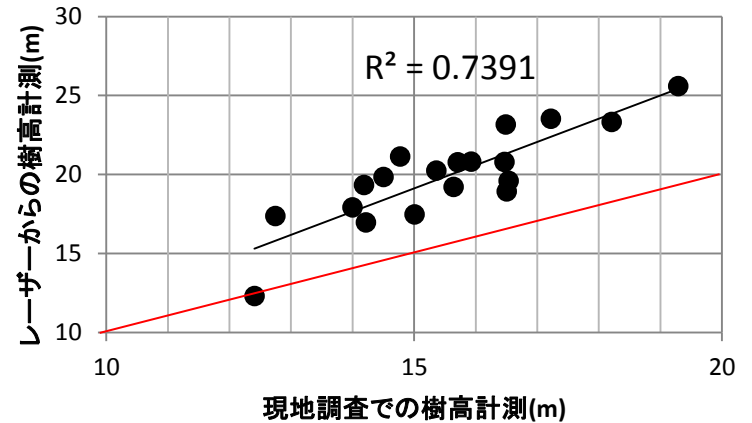


広葉樹林 (東京都狭山丘陵)

立木密度

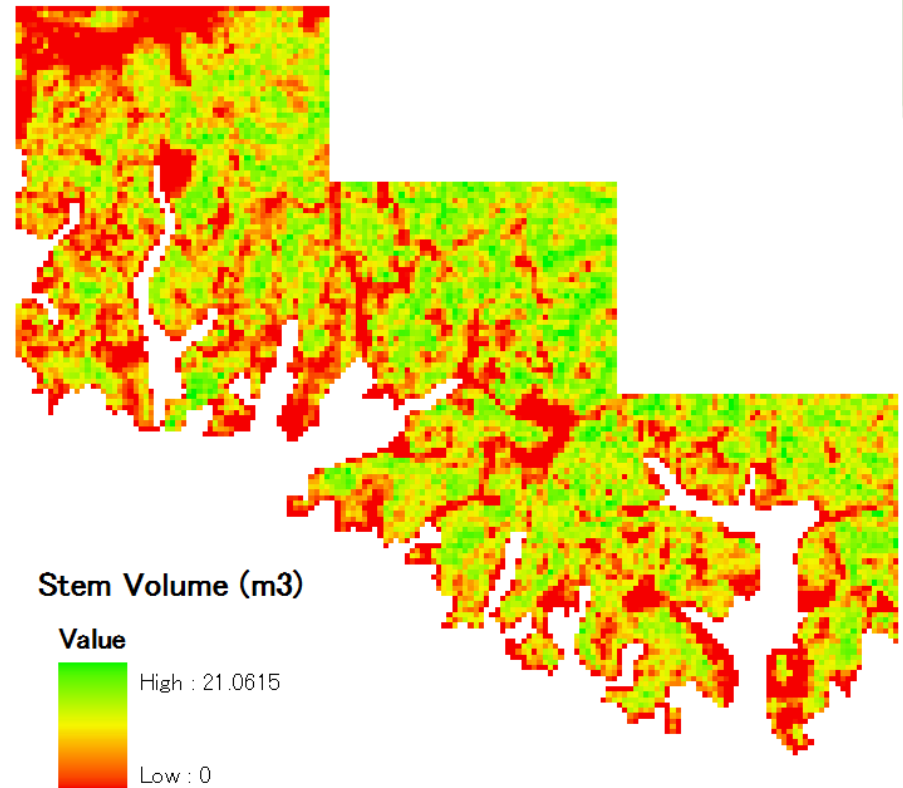
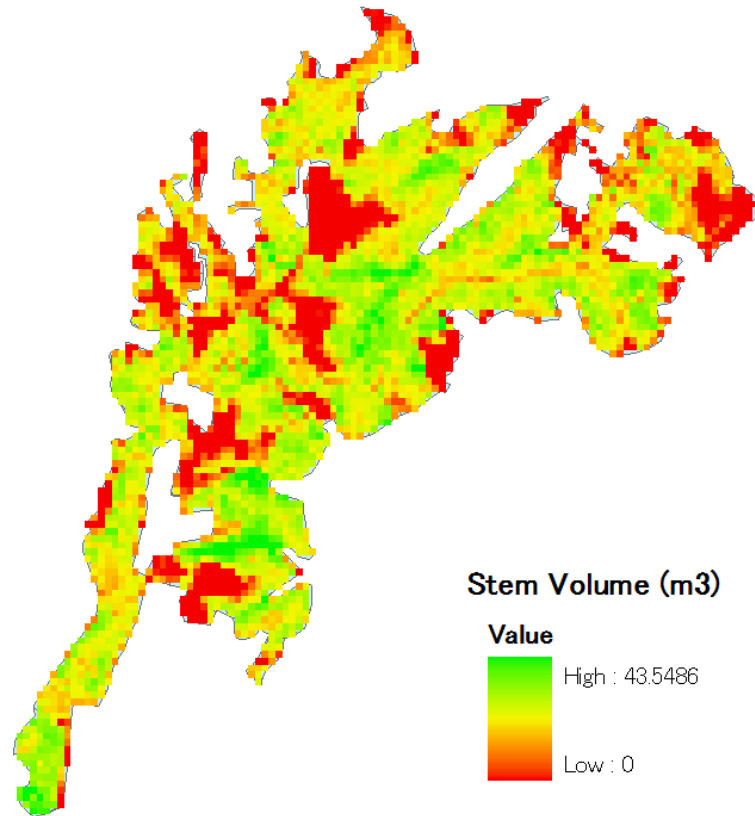


樹高





# 成果：航空機レーザーによる樹高ベースの 材積算出手法確立



樹高ベースとした材積式

千葉県 山武市

$$SV = 1.87 * H + 0.58 * N - 28.04$$

東京都狭山丘陵

$$SV = 1.13 * H + 0.52 * N - 20.65$$

# 4. HV偏波とバイオマス量

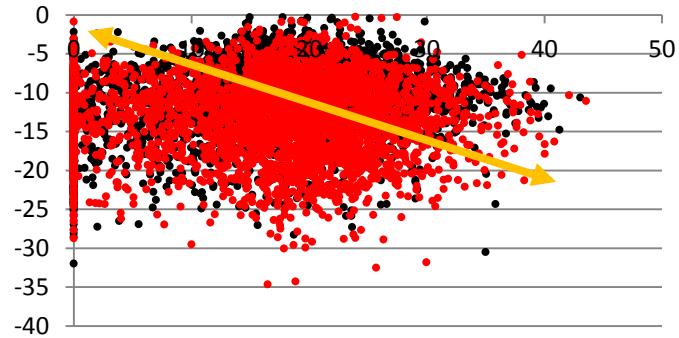
航空機レーザー ⇔ 衛星レーダー (ALOS PALSAR Lband)

針葉樹林 (対象地全域)

広葉樹林 (対象地全域)

$\sigma_0$  (dB)

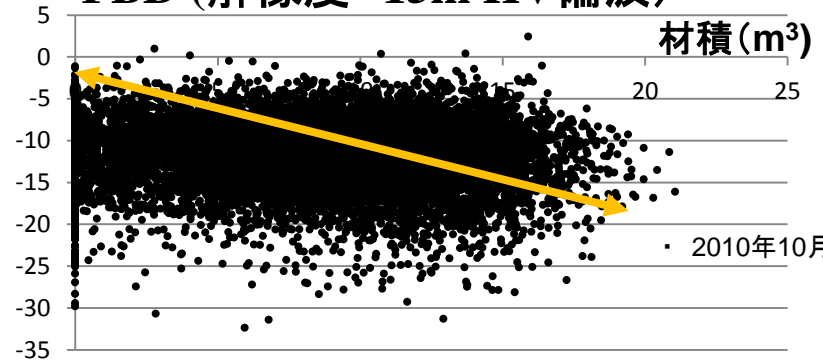
FBD (解像度 15m HV偏波)



材積(m<sup>3</sup>)

- 2009年9月14日
- 2010年9月17日

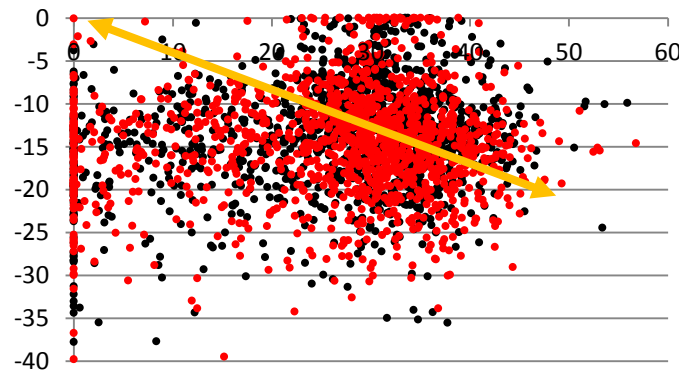
FBD (解像度 15m HV偏波)



材積(m<sup>3</sup>)

- 2010年10月21日

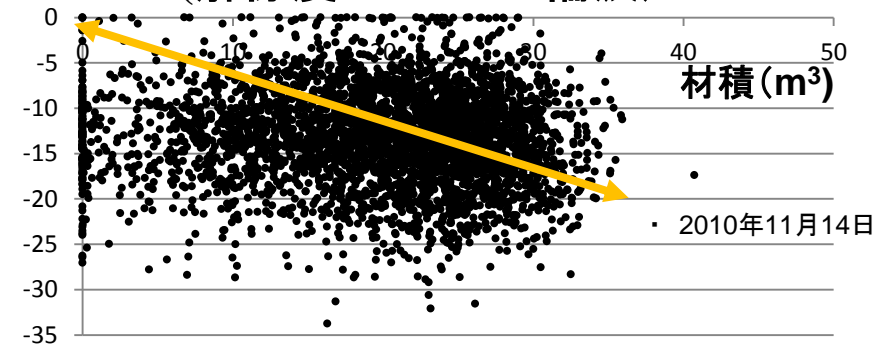
PLR (解像度 25m HV偏波)



材積(m<sup>3</sup>)

- 2009年4月7日
- 2011年2月26日

PLR (解像度 25m HV偏波)

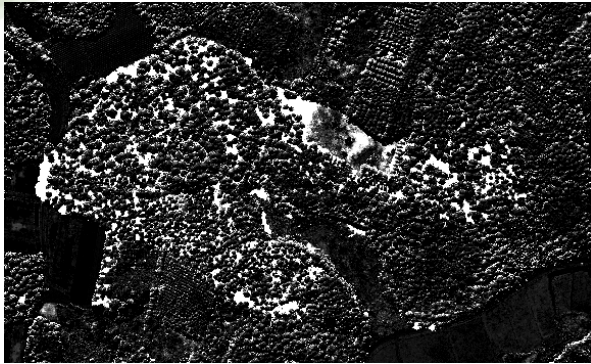


材積(m<sup>3</sup>)

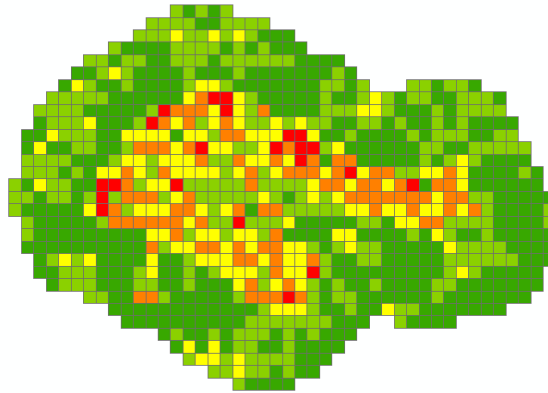
- 2010年11月14日

# 4. 間伐域におけるバイオマス変化把握

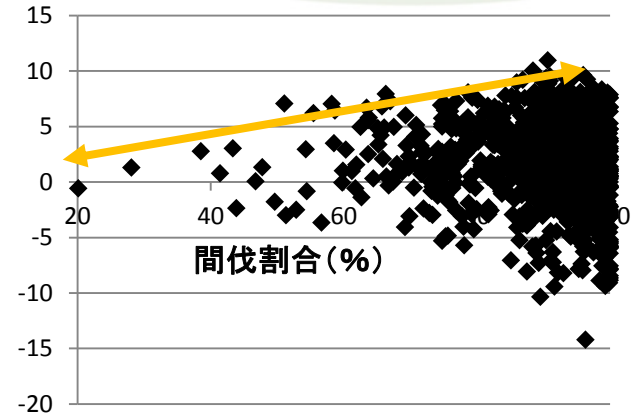
針葉樹林 (間伐域, 20ha)



間伐割合(%)をグリッド化



Y軸: 間伐前後での $\sigma_0$  (dB)の差



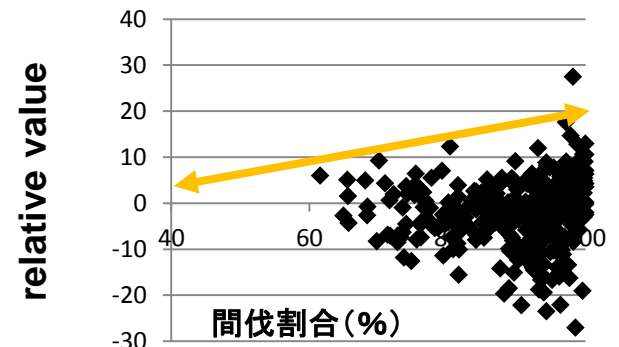
## 1. 地形補正

本研究ではコサイン補正法を用いたが、レーダーの照射角度を考慮した補正法で行う必要がある。

## 2. 解像度

解像度が上がれば、より詳細な間伐割合を把握できる。

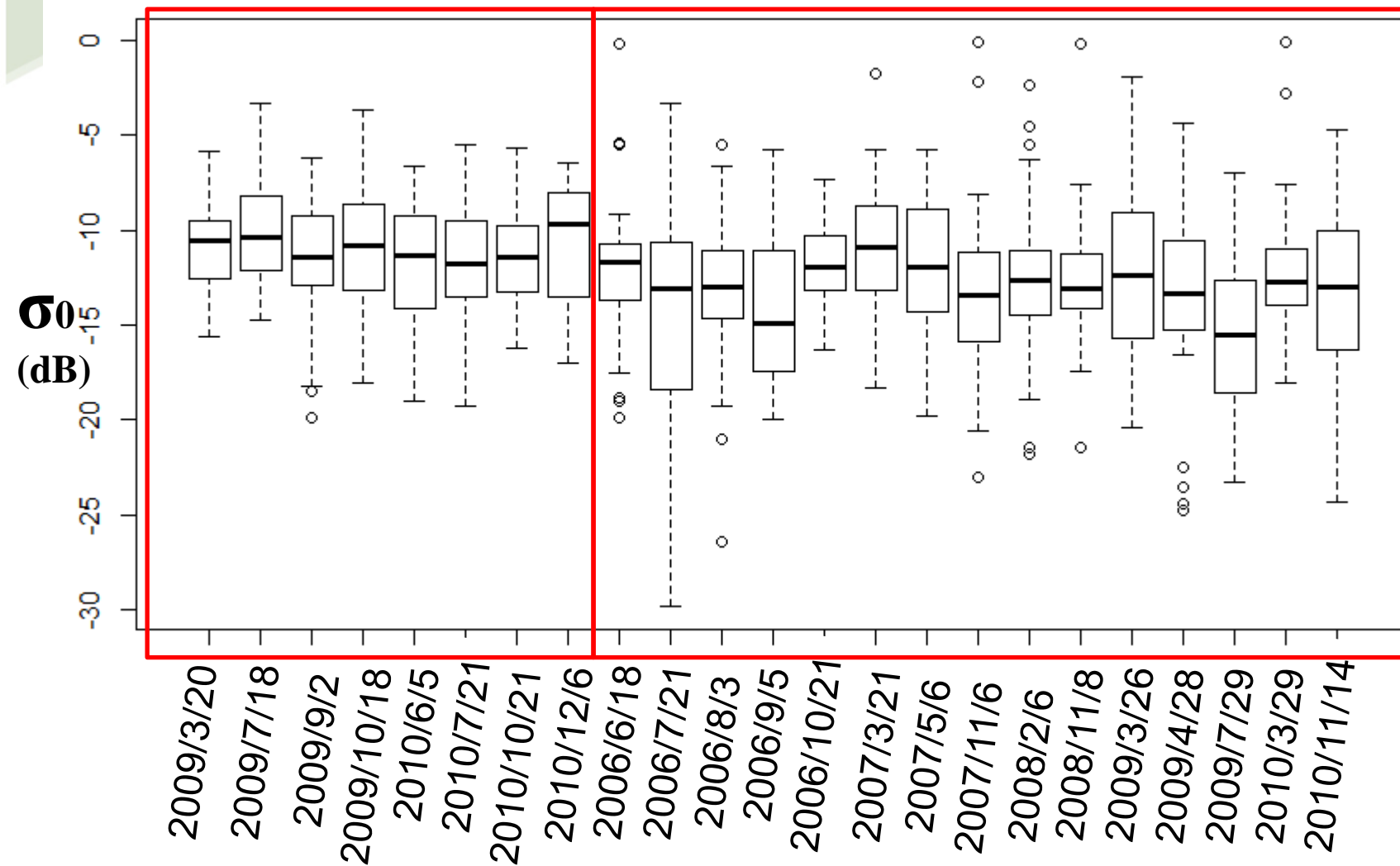
散乱モデル 体積散乱



# 4. 落葉による影響（広葉樹林域）

解像度15m HV偏波

解像度25m HV偏波

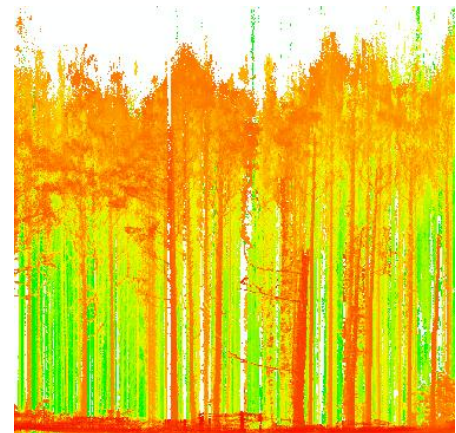
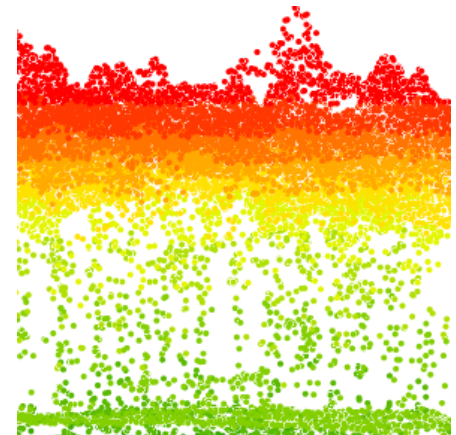
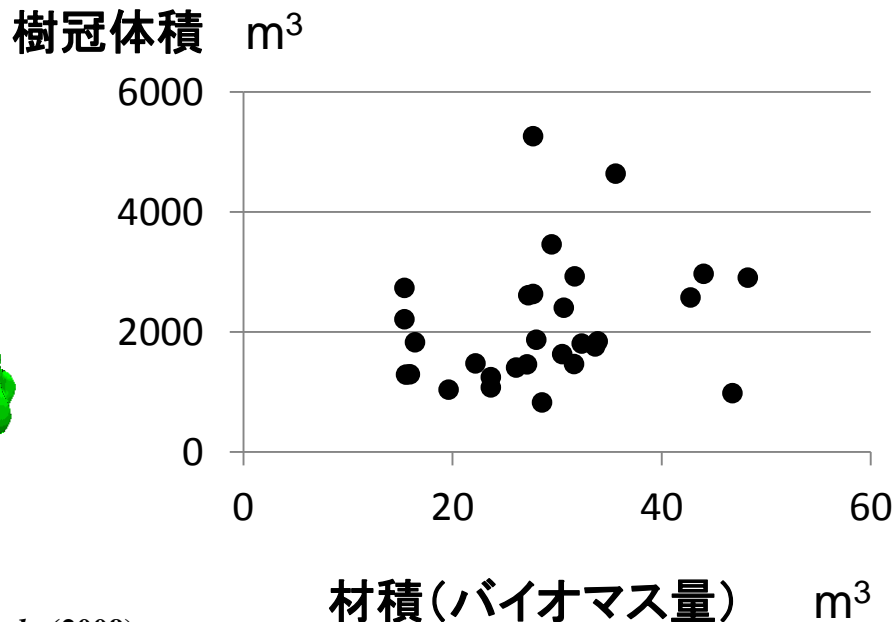
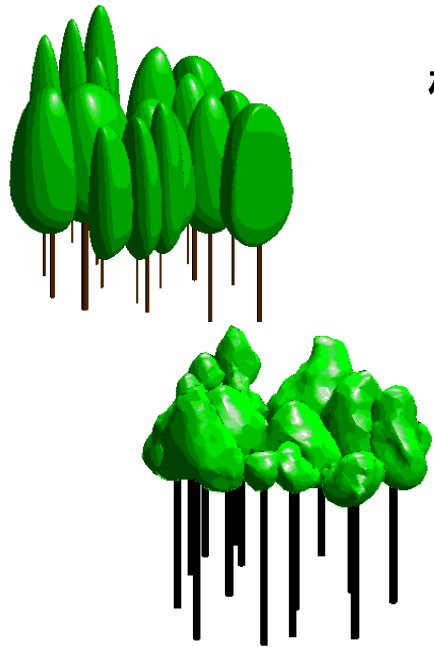


## 4. 問題点 (航空機レーザー ⇔ 衛星レーザー)

### レーザーの後方散乱係数 ⇔ 樹冠構造 ⇔ バイオマス量

この関係では、航空機レーザーは森林構造によって、高密度でも森林下部構造をとらきれない。

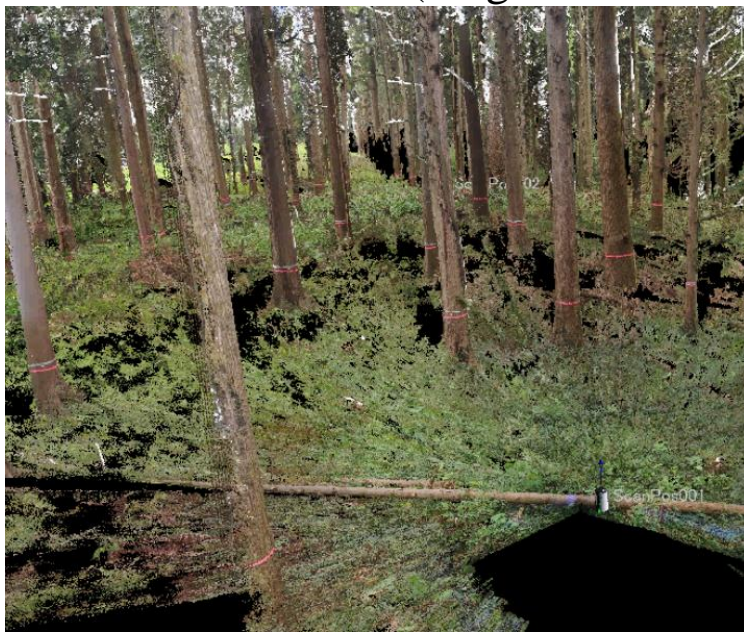
⇒ 直接計測可能な地上レーザーに注目



# 5. 地上レーザー

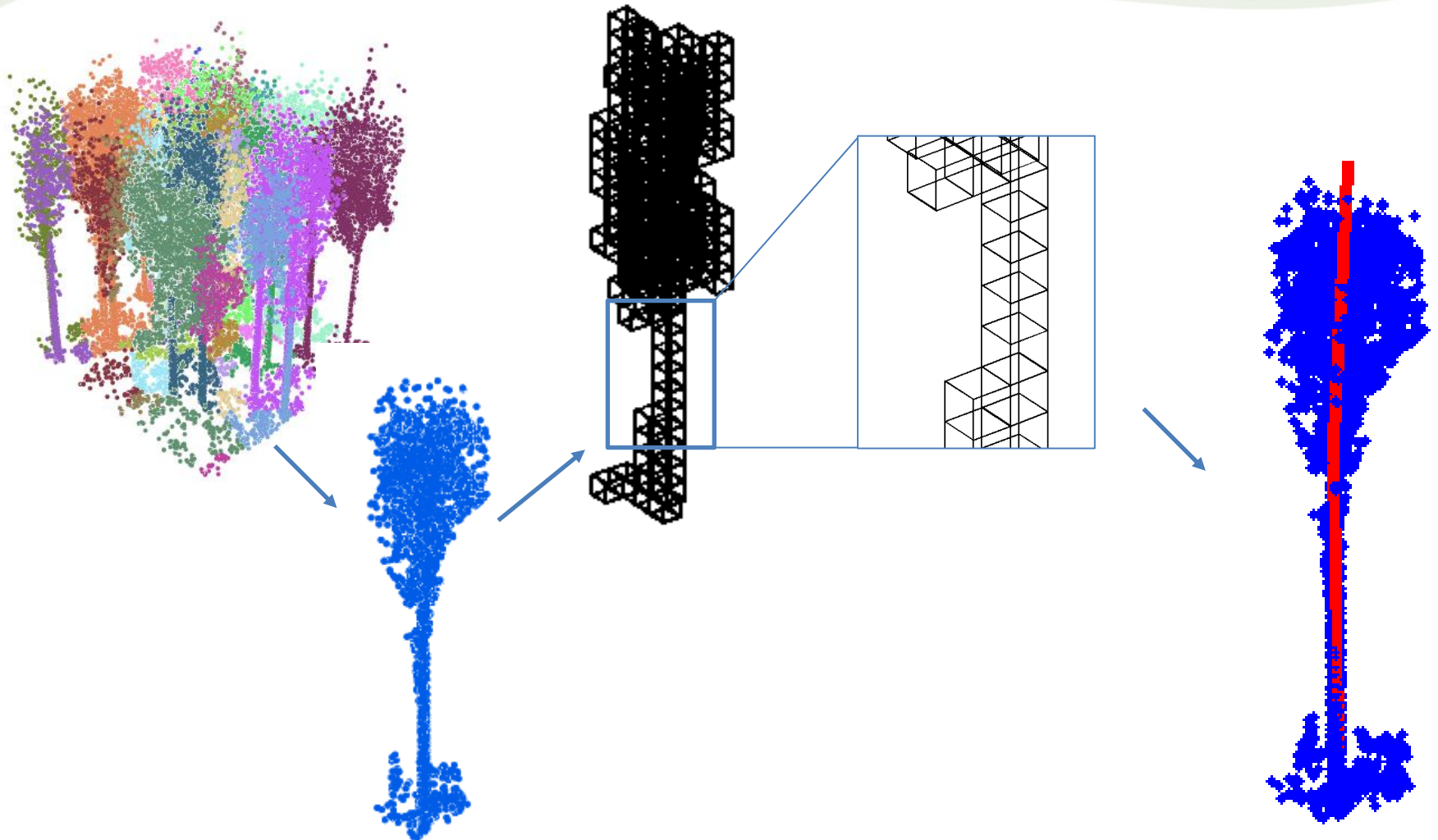
## Terrestrial LiDAR sensor settings

<b>Laser sensor</b>	<b>Riegl VZ-400</b>
<b>Laser wavelength</b>	<b>Near Infrared Red</b>
<b>Max range</b>	<b>600 m (360° x 100° )</b>
<b>Laser point density range</b>	<b>125,000 points/second (high speed mode)</b> <b>42,000 points/second (long distance mode)</b>

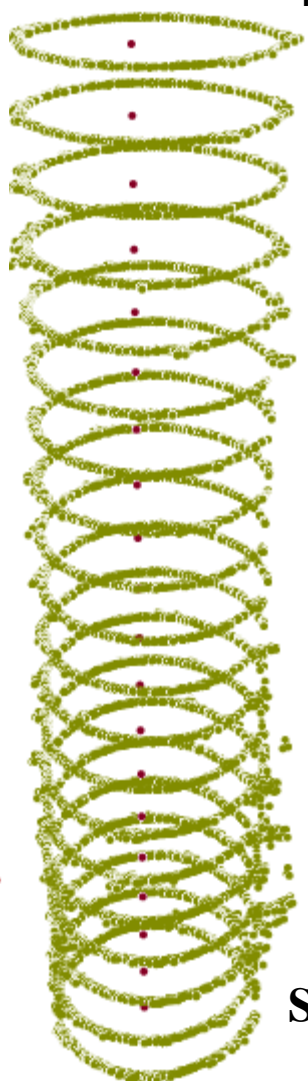
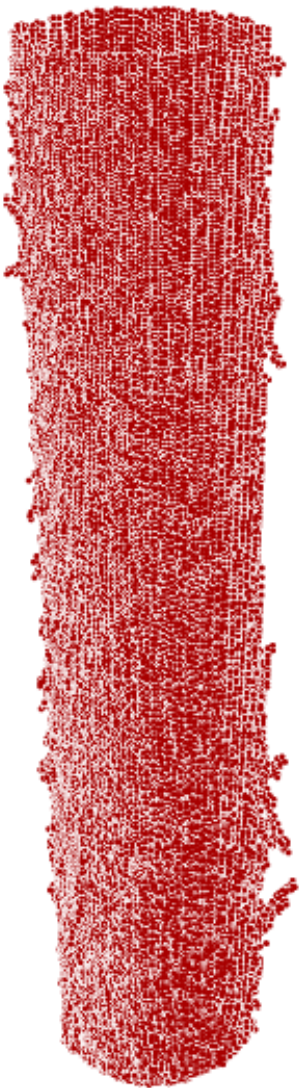


# 成果. 幹部の自動判別 : 特願2011-227165

## 三次元測定対象物の形態調査方法



# 成果. 幹体積の直接計測



radius (m)

- 0.190957
- 0.191333
- 0.19179
- 0.192222
- 0.192616
- 0.192838
- 0.192975
- 0.193396
- 0.193452
- 0.193746
- 0.194415
- 0.196249
- 0.197849
- 0.200095
- 0.201821
- 0.202704
- 0.203721
- 0.204055
- 0.206467
- 0.208165

**Stem Volume**

0.244 m<sup>3</sup>

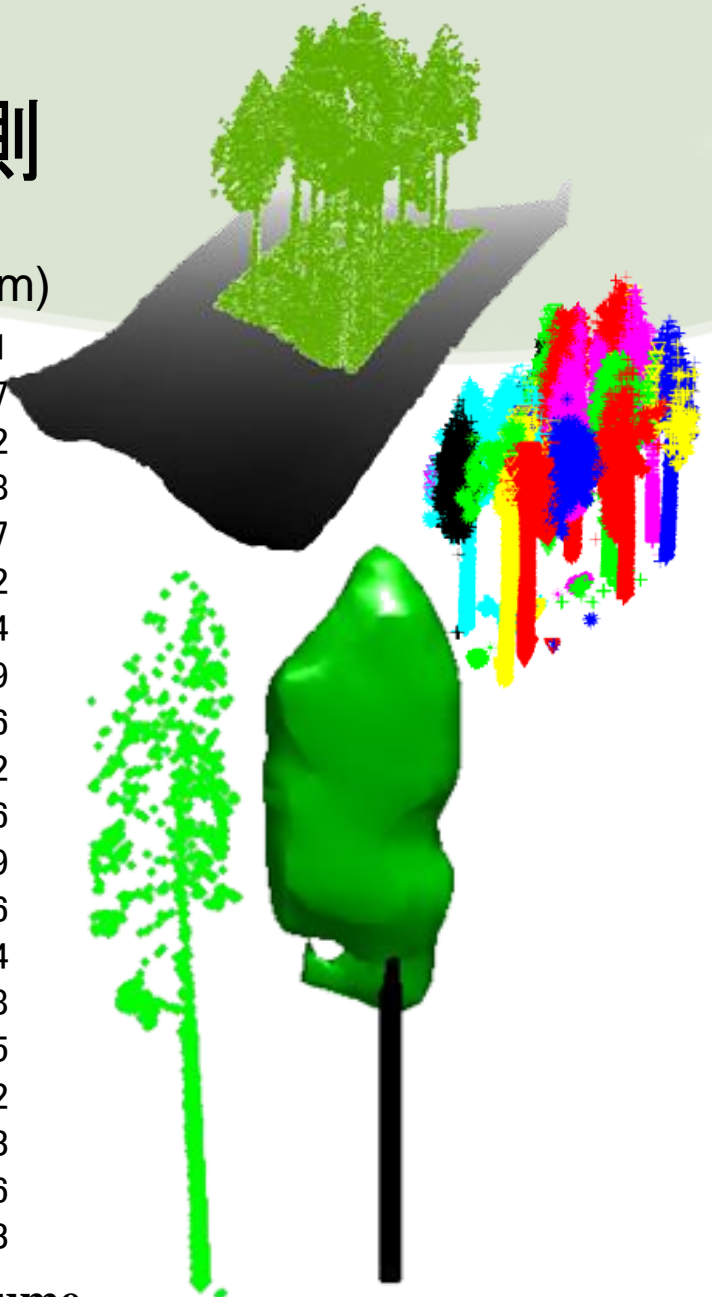


radius (m)

- 0.203211
- 0.20327
- 0.204362
- 0.204758
- 0.205027
- 0.205352
- 0.205814
- 0.205949
- 0.206216
- 0.207152
- 0.207406
- 0.208639
- 0.209476
- 0.211834
- 0.2128
- 0.21515
- 0.216512
- 0.216523
- 0.216696
- 0.218123

**Stem Volume**

0.275 m<sup>3</sup>

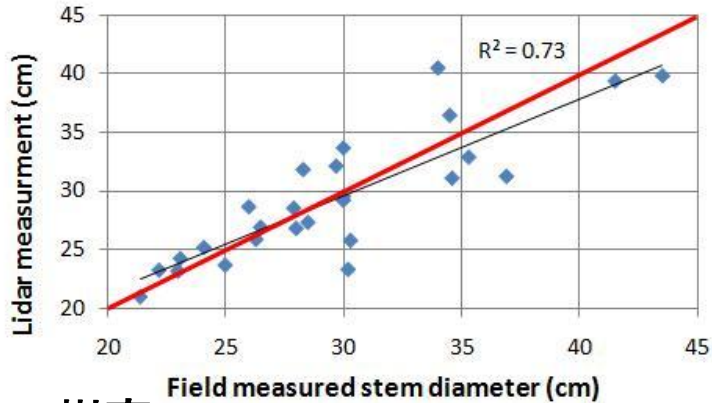




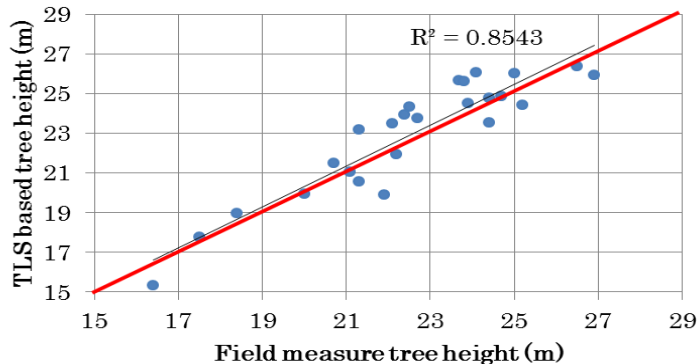
# 成果. 結果

1. 単木単位での検証
2. 1 ha プロットでの検証

## D.B.H(胸高直径)



## 樹高



## 樹高

伐倒調査 : 24.2m

レーザー計測 : 24.8m

## D.B.H(胸高直径)

現地測定 : 64 cm

レーザー計測 : 67cm

## 幹体積

伐倒調査 : 2.99 m<sup>3</sup>

材積表による計算:

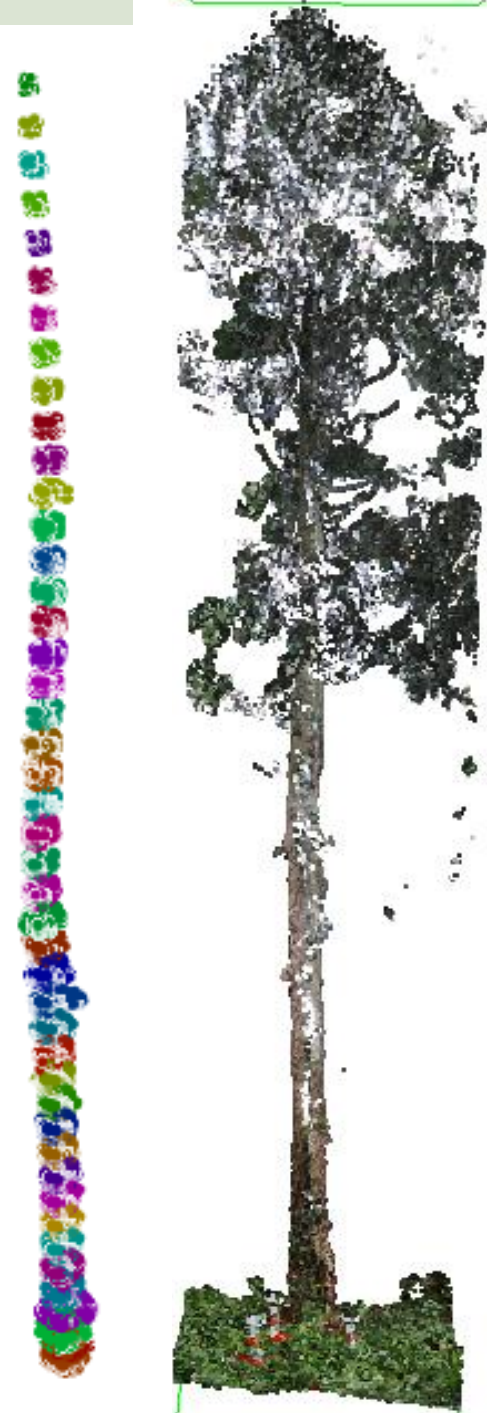
3.20 m<sup>3</sup>

(6.76% error)

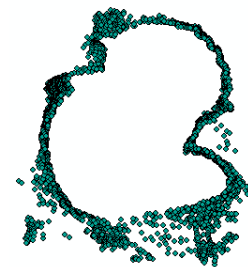
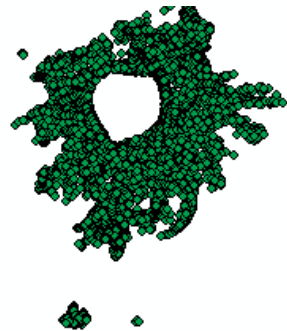
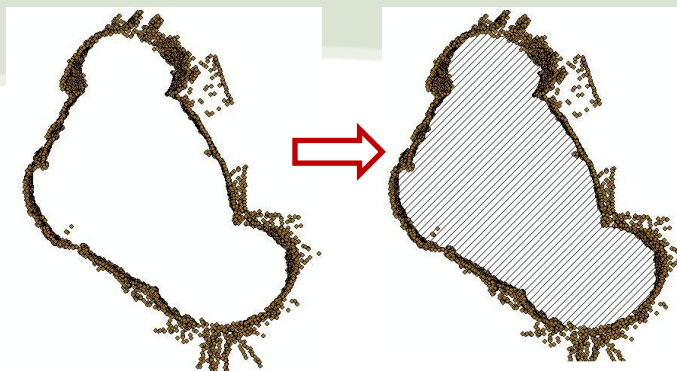
レーザー直接計測

2.96 m<sup>3</sup>

(1.34% error)



# 5. 測定の難しい樹木でも計測可能





## 6. まとめ

### 現地調査 ⇔ 航空機LiDAR

1. 樹高をベースとした材積算出方法を確立できた。
2. 航空機レーザーは森林内部状況まで把握できない。樹冠体積と材積の関係があまりみられない。

### 航空機LiDAR ⇔ PALSAR

1. レーダーの照射角を考慮した解析が必要。
2. 落葉による影響があり、間伐域を分けることは難しい。解像度が良くなれば、改善される可能性がある。

### 現地調査 ⇔ 地上LiDAR

1. 直接計測によって材積を確実に測定できる。
2. 広域で行うには、対象地でのサンプリングデザインを構築する必要がある。

**ご静聴ありがとうございます。**

**Contact:**

**加藤 顕**

**[akiran@faculty.chiba-u.jp](mailto:akiran@faculty.chiba-u.jp)**

## **Acknowledgement**

**アドバイザーボード:**

**山口 芳雄先生(新潟大学), 渡邊 学先生(JAXA),  
中北 理先生(森林総研)**