

## 4.2 胸高直径推定式の選択条件

### (1) 推定式選択判断の条件

既存の航空レーザ計測データから胸高直径を求める場合、航空レーザ計測時の森林解析及び現地調査を実施してあるか否かによって、推定式の選択が異なる。以下3つの条件に応じて選択する胸高直径の推定プロセスについて述べる。

**条件①** 航空レーザ計測の実施時点で森林解析が実施され、同時に現地調査を実施して胸高直径推定式が作成されている場合はその推定式を使用する。

**条件②-1** 航空レーザ計測の実施時点では森林解析が実施されず、現地調査も実施されていない場合は、平成29年度「国有林材の販売に係る収穫調査等の効率化手法検討委託事業」で使用した胸高直径推定の「一般式」を使用する。この一般式はアジア航測株式会社が所有する式であり、これまで全国で実施した森林調査と航空レーザ計測により作成した式である。

**条件②-2** 航空レーザ計測の実施時点で森林解析が実施されていないが、新たに現地調査を実施して新規に胸高直径回帰式を作成する方法である。

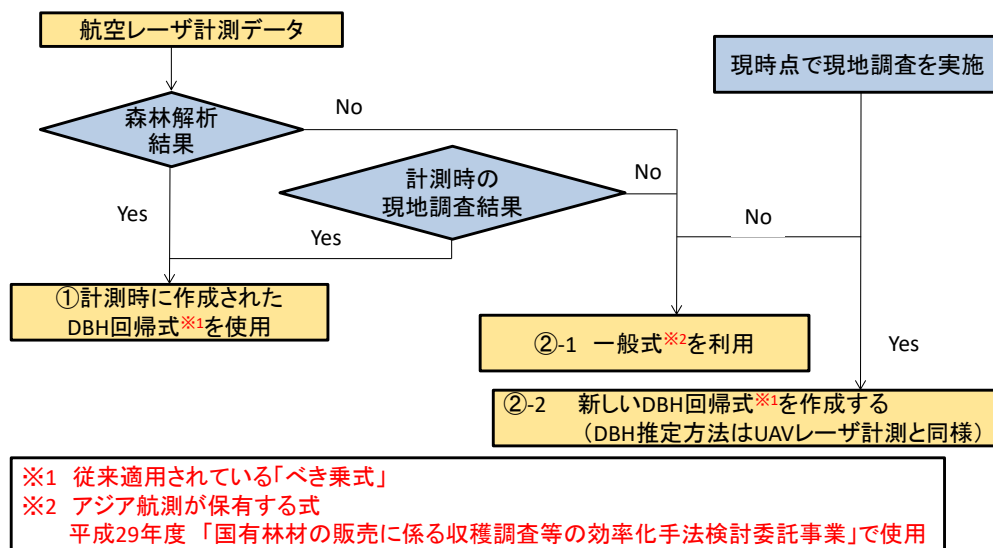


図 4.2.1 胸高直径推定式の選択フロー

条件①及び条件②-1 では、推定される胸高直径が過去の計測当時の値となるため、それ以降の成長を加味して胸高直径を補正する必要がある。条件②-2 は推定される胸高直径の値が現在の値となるため、胸高直径の補正は不要である。

表 4.2.1 胸高直径推定式の選択に伴う成長補正の必要性

| 条件  | 樹高    | 胸高直径        | 材積 | 補正対象       |
|-----|-------|-------------|----|------------|
| ①   | 補正を実施 | 過去<br>(回帰式) | 現在 | 樹高と胸高直径を補正 |
| ②-1 | 補正を実施 | 過去<br>(推定式) | 現在 | 樹高と胸高直径を補正 |
| ②-2 | 補正を実施 | 現在<br>(回帰式) | 現在 | 樹高を補正      |

## （２）選択条件に応じた材積推定の手順

材積式を用いて材積を推定するためには樹高と胸高直径が必要となるが、既存の航空レーザ計測データから胸高直径を推定する際、（１）で説明したように場合分けして推定することになる。樹高についても同様であるため、材積の算出にあたっては、胸高直径と樹高の計測時期を同期させる必要がある。本事業では、調査地が該当する地域の収穫予想表を用いて胸高直径と樹高を補正することとし、その作業フローを以下に示した。

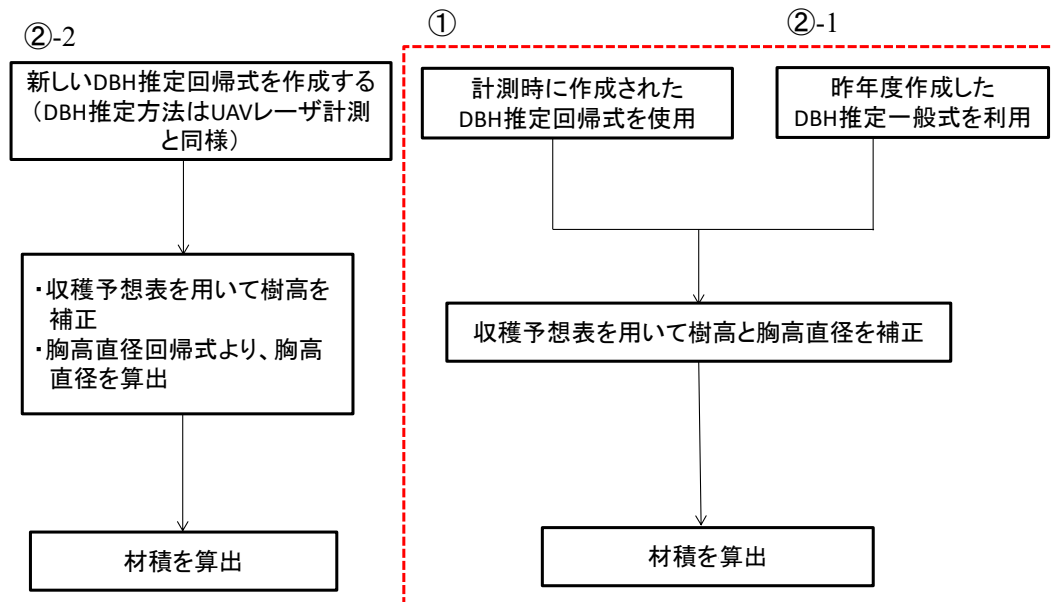
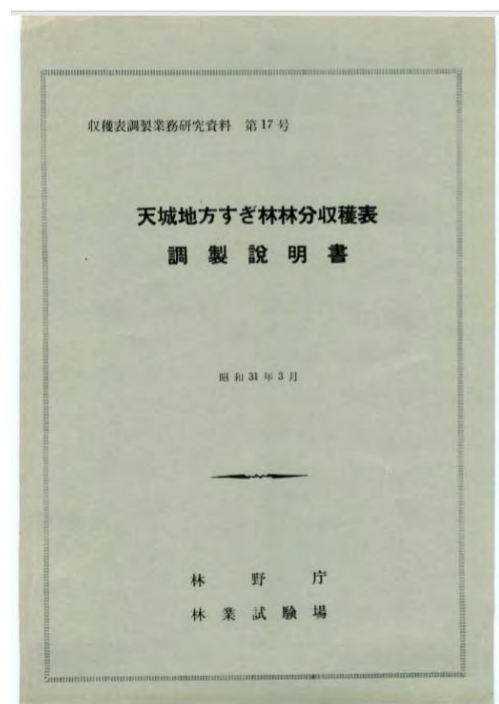


図4.2.2 計測時点が異なる胸高直径と樹高を用いた材積推定のための補正手順

収穫予想表は作成年度が古く、現在の森林に対して高齢林のサンプル数が少ないといった参照資料として今後検討すべき課題はあるが、全国的な展開や今後の収穫予想表の更新した場合に、有効な資料であると考えられる。本業務では、成長補正の際の参照資料として、「天城地方すぎ林林分収穫表」（昭和31年3月調整、右図）を使用した。



### 4.3 既存の航空レーザ計測データを用いた樹頂点抽出

既存の航空レーザから樹頂点を抽出する手法は、UAVレーザ計測データから樹頂点を抽出する手法と同一であり、航空レーザデータの解析等の詳細は3.6節で述べた通りである。

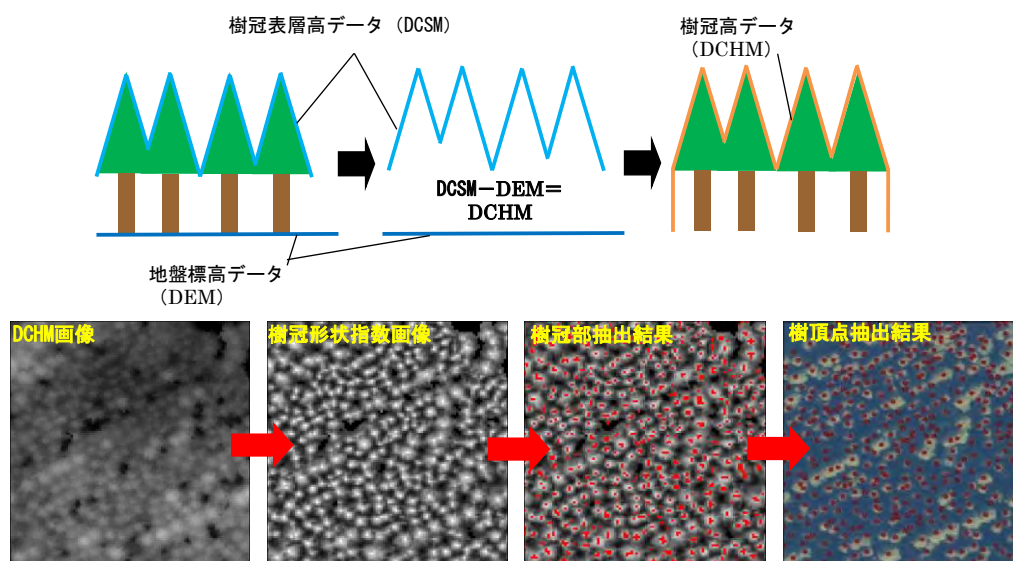


図 4.3.1 航空レーザ計測データによる樹頂点抽出の考え方

樹頂点抽出の妥当性を確認するため、24プロットでの現地調査結果、UAVレーザ解析結果、既存の航空レーザ解析結果による本数を比較した。既存の航空レーザ解析で得られた本数は、真値（現地調査結果）に対してややバラツキが大きく、UAVレーザのRMSEが0.58であったのと比較してRMSEが2.20とやや大きかったが、おおむね妥当な推定結果と判断された。

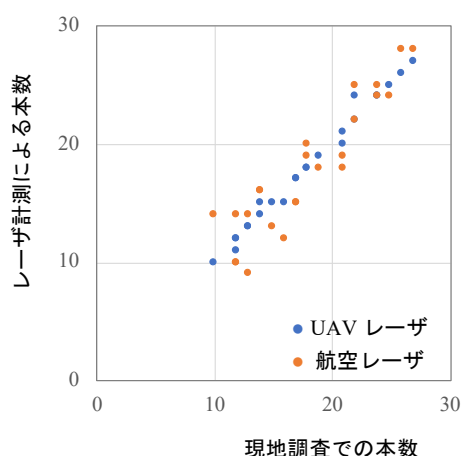


図 4.3.2 レーザ計測による立木本数の比較

表 4.3.1 抽出された立木本数の比較

| 調査プロット | 現地調査 | UAVレーザ | 航空レーザ |
|--------|------|--------|-------|
| G01    | 12   | 11     | 10    |
| G02    | 21   | 21     | 18    |
| G03    | 21   | 20     | 19    |
| G04    | 17   | 17     | 15    |
| G05    | 13   | 13     | 14    |
| G06    | 10   | 10     | 14    |
| G07    | 18   | 18     | 20    |
| G08    | 19   | 19     | 18    |
| G09    | 25   | 25     | 24    |
| G10    | 15   | 15     | 13    |
| G21    | 22   | 22     | 22    |
| G22    | 24   | 24     | 24    |
| G23    | 27   | 27     | 28    |
| G24    | 24   | 24     | 25    |
| G25    | 18   | 18     | 19    |
| G26    | 22   | 24     | 25    |
| G27    | 26   | 26     | 28    |
| G31    | 17   | 17     | 15    |
| G32    | 13   | 13     | 9     |
| G33    | 12   | 12     | 14    |
| G34    | 16   | 15     | 12    |
| G35    | 12   | 12     | 10    |
| G36    | 14   | 15     | 16    |
| G37    | 14   | 14     | 16    |
| 平均     | 18.0 | 18.0   | 17.8  |
| R      |      | 0.99   | 0.92  |
| RMSE   |      | 0.58   | 2.20  |

## 4.4 樹高の補正方法

経年変化による補正にあたっては収穫予想表から求めた成長の比率を使用した。例えば、7年前に実施された既存の航空レーザ計測時で、林齢19年生、計測樹高9.0mの立木を補正する場合、収穫予想表（図4.4.2）一等地における林齢19年生の樹高は16.2m、現在の林齢26年生の樹高は20.6mである。この時の樹高比率は1.27になる。この比率を既存の計測データの樹高に乗じて補正すると、現在の立木は11.4mとなる。補正のイメージを図4.4.1に示す。本検証では調査区の林齢と樹高から最も当てはまりの良い樹高成長曲線を採用している。

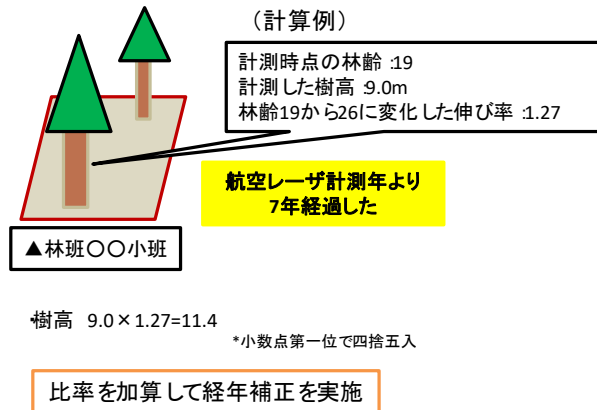


図 4.4.1 樹高補正の考え方

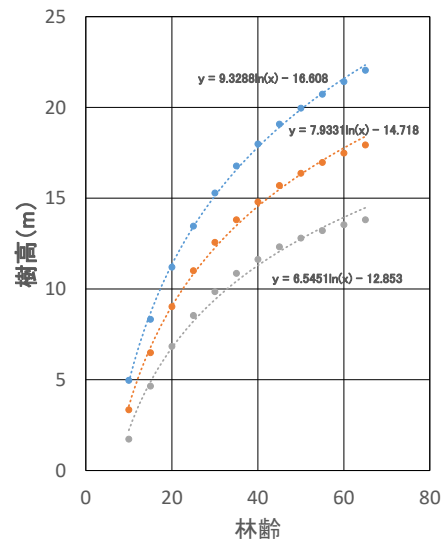


図 4.4.2 収穫予想表による樹高成長

既存航空レーザ解析の成長補正した樹高、UAVレーザ解析の樹高、現地調査の樹高を比較した（表4.4.1、図4.4.3）。航空レーザ解析で補正無しの樹高はRMSEが1.77mであったが、補正することでRMSEは1.10mに向上し、UAVによる樹高（RMSE 1.42m）よりも精度は高いことが確認された。そこで、次節以降検討する3条件の推定法における樹高成長の補正では、本節4.4の手法（成長比を乗じる）を採用することとした。

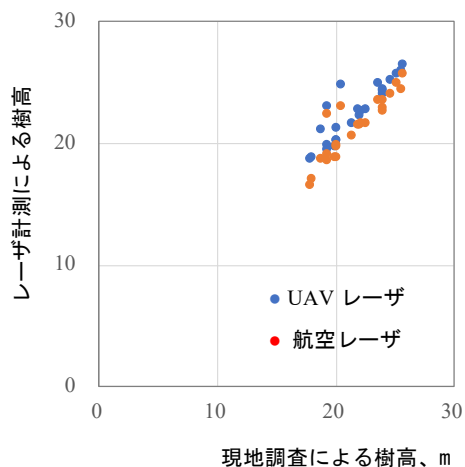


図 4.4.3 レーザ計測データによる樹高の比較

表 4.4.1 レーザ計測による樹高推定の比較

| 調査プロット | 現地調査 | UAVレーザ | 航空レーザ |
|--------|------|--------|-------|
| G01    | 20.4 | 24.8   | 23.1  |
| G02    | 19.2 | 19.8   | 19.1  |
| G03    | 19.9 | 19.7   | 18.9  |
| G04    | 19.3 | 19.5   | 18.6  |
| G05    | 19.2 | 23.0   | 22.4  |
| G06    | 18.7 | 21.1   | 18.7  |
| G07    | 20.1 | 20.3   | 18.8  |
| G08    | 20.1 | 21.3   | 19.9  |
| G09    | 17.9 | 18.9   | 17.1  |
| G10    | 20.1 | 20.3   | 19.7  |
| G21    | 25.6 | 26.5   | 25.7  |
| G22    | 25.5 | 25.9   | 24.5  |
| G23    | 24.0 | 24.5   | 22.9  |
| G24    | 24.0 | 24.3   | 23.5  |
| G25    | 24.6 | 25.2   | 24.1  |
| G26    | 21.3 | 21.7   | 20.6  |
| G27    | 22.1 | 22.7   | 21.6  |
| G31    | 22.5 | 22.8   | 21.6  |
| G32    | 23.9 | 24.1   | 22.7  |
| G33    | 21.9 | 22.8   | 21.5  |
| G34    | 25.1 | 25.7   | 24.9  |
| G35    | 23.6 | 24.9   | 23.6  |
| G36    | 17.8 | 18.7   | 16.6  |
| G37    | 22.0 | 22.3   | 21.5  |
| 平均     | 21.6 | 22.5   | 21.3  |
| R      |      | 0.89   | 0.91  |
| RMSE   |      | 1.42   | 1.10  |

## 4.5 既存の航空レーザデータを利用した胸高直径推定と材積推定

### 4.5.1 条件①による推定法

航空レーザ計測時の現地調査結果とレーザ計測結果から、回帰分析を行って胸高直径推定式を作成した。推定式を作成する手順は、3章で述べた UAV レーザ計測の場合と同じである。現地調査で得られた平均胸高直径と、レーザ解析から得られた各変数（樹高、樹冠長、樹冠長率、樹冠投影面積、樹冠表面積、樹冠体積）との回帰分析を行い、補正  $R^2$  および RMSE を考慮して、胸高直径推定式として図 4.5.1 に示す回帰式の第 4 式を採用した：

$$d = 3.545 \times Ca^{0.329} \times h^{0.443}$$

ただし、 $Ca$ ：樹冠投影面積、 $h$ ：樹高である。

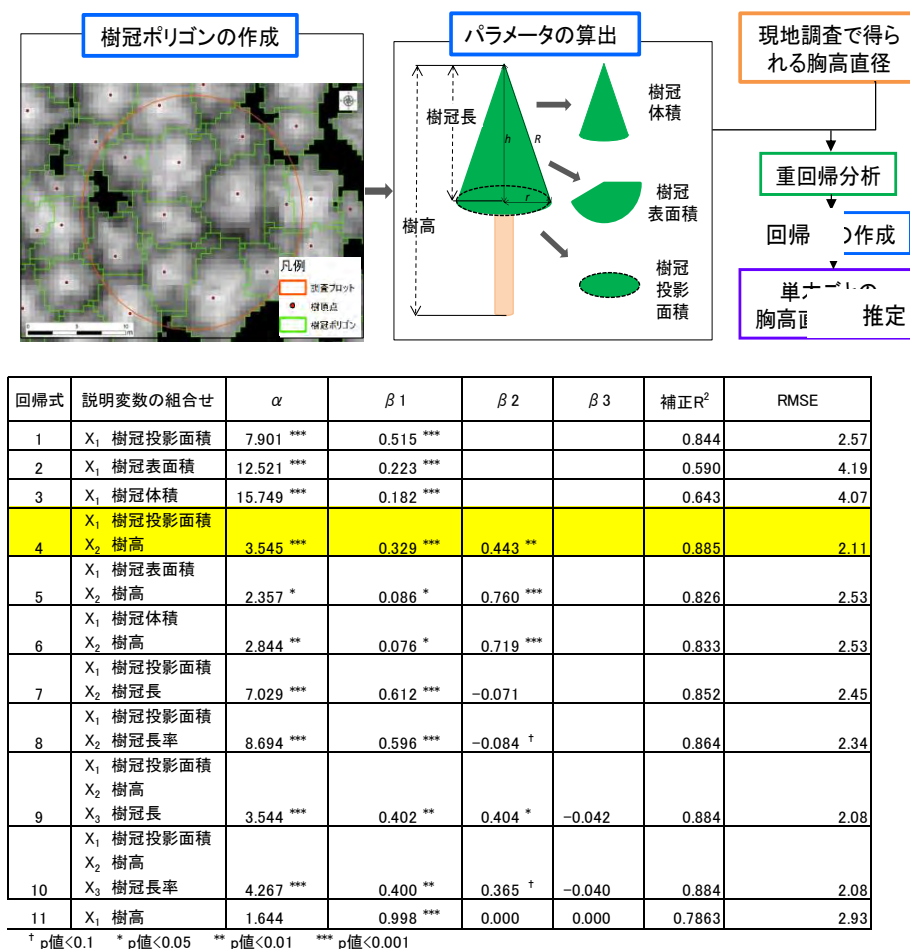


図 4.5.1 既存の航空レーザ計測による胸高直径推定式の作成概要

### (1) 胸高直径の補正

樹高と同様、胸高直径も経年変化による補正を考える必要がある。そこで胸高直径についても収穫予想表から求めた 2 時点間の成長の比率を補正に用いた。例えば、7 年前の航空レーザ計測時に林齢 19 年生、胸高直径 18.0cm の立木を補正する例では、収穫予想表の林齢 19 年生時の胸高直径 16.2cm、現在の林齢 26 年生の胸高直径 20.6cm であるから、この間の胸高直径の成長比は 1.27 にな

る。この成長比を既存の計測データから得られている胸高直径に乗じれば、現時点の胸高直径は 22.9cm となる。補正のイメージ図を以下に示す。

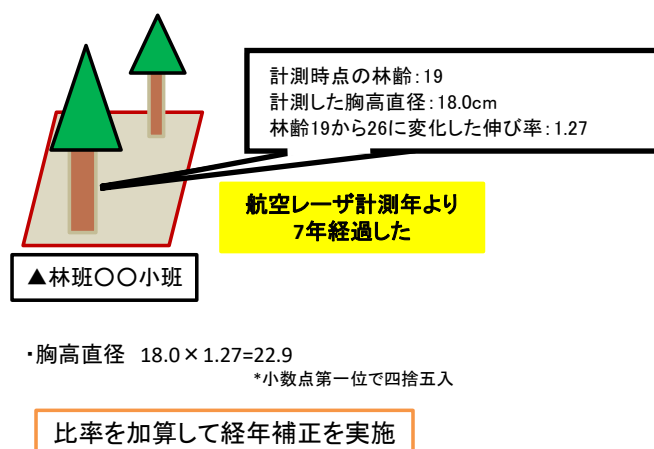


図 4.5.2 胸高直径の成長補正の計算例

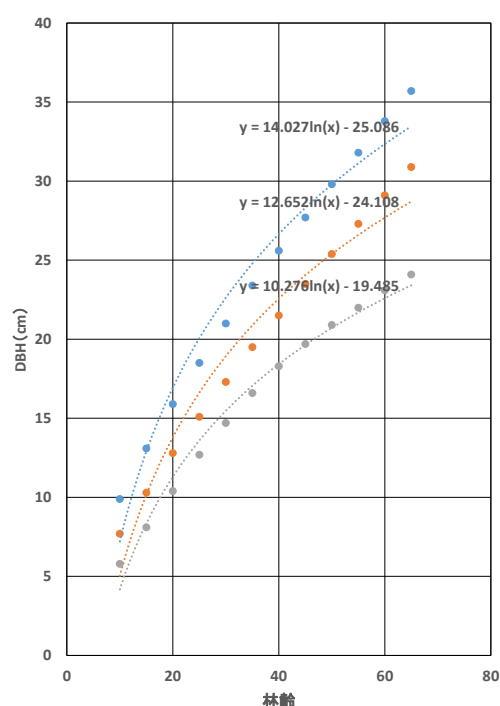


図 4.5.3 収穫予想表による  
胸高直径成長曲線

補正前後の胸高直径を用いて、現在の現地調査結果と UAV レーザ解析による胸高直径を比較して、補正結果の妥当性を検討した。その結果、補正前の胸高直径では RMSE がおよそ 3.0cm と大きかったが、補正後の胸高直径は RMSE が 2.6cm と推定精度が向上した。

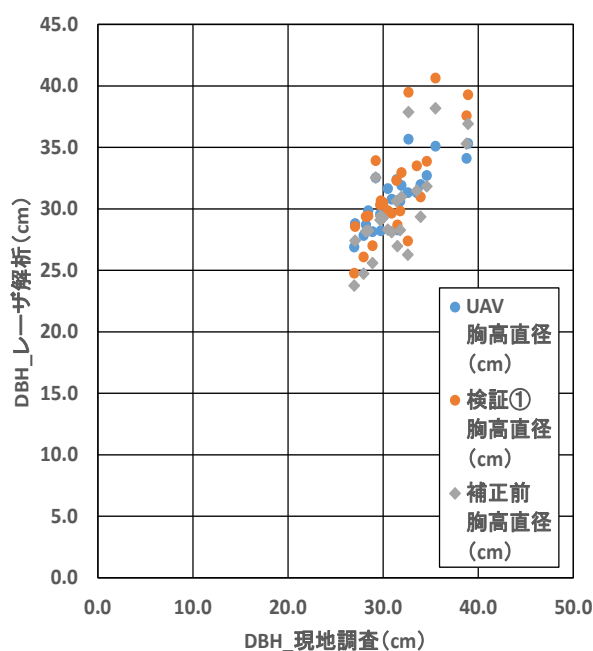


図 4.5.4 条件①による胸高直径の  
推定値の比較

表 4.5.1 条件①による胸高直径の補正

| Plot_ID | 現地調査<br>胸高直径<br>(cm) | UAV<br>胸高直径<br>(cm) | 補正前<br>胸高直径<br>(cm) | 検証①<br>胸高直径<br>(cm) |
|---------|----------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| G01     | 32.7                 | 35.7                | 37.9                | 39.5                |
| G02     | 28.2                 | 28.7                | 28.2                | 29.4                |
| G03     | 27.0                 | 28.8                | 27.4                | 28.6                |
| G04     | 29.8                 | 28.2                | 29.4                | 30.7                |
| G05     | 29.2                 | 32.5                | 32.5                | 33.9                |
| G06     | 32.6                 | 31.3                | 26.3                | 27.4                |
| G07     | 28.4                 | 29.8                | 28.2                | 29.4                |
| G08     | 29.7                 | 29.6                | 29.1                | 30.3                |
| G09     | 27.0                 | 26.9                | 23.8                | 24.8                |
| G10     | 30.0                 | 30.3                | 29.3                | 30.5                |
| G21     | 31.4                 | 32.4                | 30.6                | 32.3                |
| G22     | 30.5                 | 31.6                | 28.3                | 29.9                |
| G23     | 30.9                 | 30.8                | 28.1                | 29.6                |
| G24     | 31.8                 | 30.6                | 28.3                | 29.8                |
| G25     | 33.9                 | 32.0                | 29.4                | 31.0                |
| G26     | 28.0                 | 27.8                | 24.7                | 26.1                |
| G27     | 28.9                 | 28.1                | 25.6                | 27.0                |
| G31     | 33.5                 | 31.3                | 31.5                | 33.5                |
| G32     | 38.8                 | 34.1                | 35.3                | 37.6                |
| G33     | 34.6                 | 32.7                | 31.8                | 33.9                |
| G34     | 38.9                 | 35.3                | 36.9                | 39.3                |
| G35     | 35.5                 | 35.1                | 38.2                | 40.6                |
| G36     | 31.5                 | 28.3                | 27.0                | 28.7                |
| G37     | 31.9                 | 31.9                | 31.0                | 32.9                |
| 平均      | 31.4                 | 31.0                | 29.9                | 31.5                |
| R       |                      | 0.80                | 0.74                | 0.77                |
| RMSE    |                      | 1.95                | 2.98                | 2.63                |



## (2) 材積の補正

補正した樹高と、補正前後の胸高直径を用いて材積を推定し、現地調査結果と UAV レーザ解析結果と比較した。補正により材積の精度は  $2.41 \text{ m}^3$  と向上した。

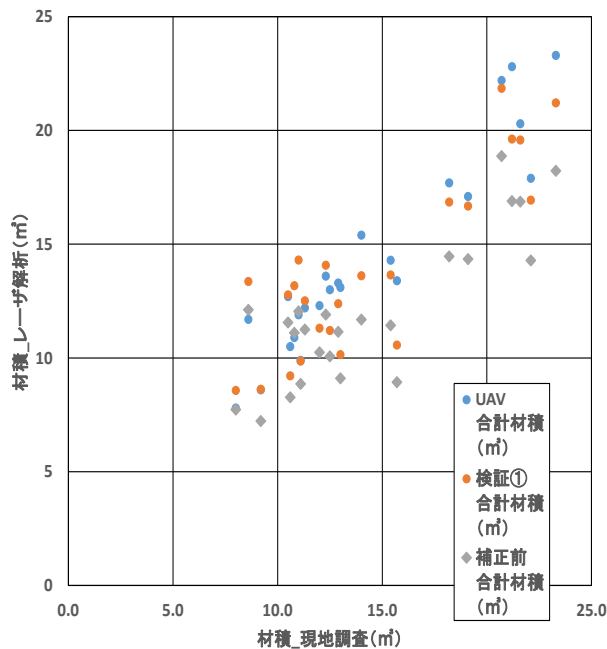


図 4.5.5 材積推定値の比較

表 4.5.2 材積推定値の補正

| Plot_ID | 現地調査<br>合計材積<br>( $\text{m}^3$ ) | UAV<br>合計材積<br>( $\text{m}^3$ ) | 補正前<br>合計材積<br>( $\text{m}^3$ ) | 検証①<br>合計材積<br>( $\text{m}^3$ ) |
|---------|----------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|
| G01     | 10.5                             | 12.7                            | 11.6                            | 12.8                            |
| G02     | 12.5                             | 13                              | 10.1                            | 11.2                            |
| G03     | 12.0                             | 12.3                            | 10.2                            | 11.3                            |
| G04     | 11.1                             | 9.9                             | 8.9                             | 9.9                             |
| G05     | 8.6                              | 11.7                            | 12.1                            | 13.4                            |
| G06     | 8.0                              | 7.8                             | 7.7                             | 8.6                             |
| G07     | 11.3                             | 12.2                            | 11.3                            | 12.5                            |
| G08     | 12.9                             | 13.3                            | 11.2                            | 12.4                            |
| G09     | 13.0                             | 13.1                            | 9.1                             | 10.2                            |
| G10     | 10.6                             | 10.5                            | 8.3                             | 9.2                             |
| G21     | 20.7                             | 22.2                            | 18.9                            | 21.9                            |
| G22     | 21.2                             | 22.8                            | 16.9                            | 19.6                            |
| G23     | 23.3                             | 23.3                            | 18.2                            | 21.2                            |
| G24     | 21.6                             | 20.3                            | 16.9                            | 19.6                            |
| G25     | 19.1                             | 17.1                            | 14.3                            | 16.7                            |
| G26     | 14.0                             | 15.4                            | 11.7                            | 13.6                            |
| G27     | 18.2                             | 17.7                            | 14.5                            | 16.9                            |
| G31     | 15.4                             | 14.3                            | 11.4                            | 13.6                            |
| G32     | 15.7                             | 13.4                            | 8.9                             | 10.6                            |
| G33     | 10.8                             | 10.9                            | 11.1                            | 13.2                            |
| G34     | 22.1                             | 17.9                            | 14.3                            | 16.9                            |
| G35     | 12.3                             | 13.6                            | 11.9                            | 14.1                            |
| G36     | 9.2                              | 8.6                             | 7.2                             | 8.6                             |
| G37     | 11.0                             | 11.9                            | 12.1                            | 14.3                            |
| 平均      | 14.4                             | 14.4                            | 12.0                            | 13.8                            |
| R       |                                  | 0.94                            | 0.85                            | 0.86                            |
| RMSE    |                                  | 1.53                            | 3.48                            | 2.41                            |

### 4.5.2 条件②-1 による推定法

一般式を利用して胸高直径を推定した。一般式はアジア航測株式が保有しており、これまで全国で行ってきた森林調査、航空レーザ計測から得た推定式である。

$$\text{胸高直径 } d = 3.065 \times Ca^{0.314} \times h^{0.480} \quad \text{ただし } Ca : \text{樹冠投影面積}, h : \text{樹高である。}$$

補正前後の胸高直径を用いて、現在の現地調査結果と UAV レーザ解析による胸高直径を比較して、補正結果の妥当性を検討した。その結果、補正前の推定胸高直径の RMSE は  $4.3\text{cm}$  に対して補正後の推定胸高直径の RMSE は  $3.2\text{cm}$  と精度が向上した。

表 4.5.3 条件②-1(一般式)による胸高直径の比較  
(成長補正前後の比較)

| Plot_ID | 現地調査<br>胸高直径<br>(cm) | UAV<br>胸高直径<br>(cm) | 補正前<br>胸高直径<br>(cm) | 補正前<br>胸高直径<br>(cm) |
|---------|----------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| G01     | 32.7                 | 35.7                | 35.1                | 36.6                |
| G02     | 28.2                 | 28.7                | 26.2                | 27.3                |
| G03     | 27.0                 | 28.8                | 25.5                | 26.5                |
| G04     | 29.8                 | 28.2                | 27.2                | 28.4                |
| G05     | 29.2                 | 32.5                | 30.3                | 31.6                |
| G06     | 32.6                 | 31.3                | 24.5                | 25.5                |
| G07     | 28.4                 | 29.8                | 26.2                | 27.3                |
| G08     | 29.7                 | 29.6                | 27.0                | 28.2                |
| G09     | 27.0                 | 26.9                | 22.1                | 23.0                |
| G10     | 30.0                 | 30.3                | 27.2                | 28.3                |
| G21     | 31.4                 | 32.4                | 28.8                | 30.4                |
| G22     | 30.5                 | 31.6                | 26.6                | 28.1                |
| G23     | 30.9                 | 30.8                | 26.4                | 27.8                |
| G24     | 31.8                 | 30.6                | 26.6                | 28.0                |
| G25     | 33.9                 | 32.0                | 27.6                | 29.1                |
| G26     | 28.0                 | 27.8                | 23.2                | 24.5                |
| G27     | 28.9                 | 28.1                | 24.0                | 25.3                |
| G31     | 33.5                 | 31.3                | 29.3                | 31.1                |
| G32     | 38.8                 | 34.1                | 32.7                | 34.8                |
| G33     | 34.6                 | 32.7                | 29.6                | 31.5                |
| G34     | 38.9                 | 35.3                | 34.3                | 36.5                |
| G35     | 35.5                 | 35.1                | 35.4                | 37.6                |
| G36     | 31.5                 | 28.3                | 24.9                | 26.5                |
| G37     | 31.9                 | 31.9                | 28.8                | 30.6                |
| 平均      | 31.4                 | 31.0                | 27.9                | 29.4                |
| R       |                      | 0.80                | 0.74                | 0.78                |
| RMSE    |                      | 1.95                | 4.29                | 3.19                |

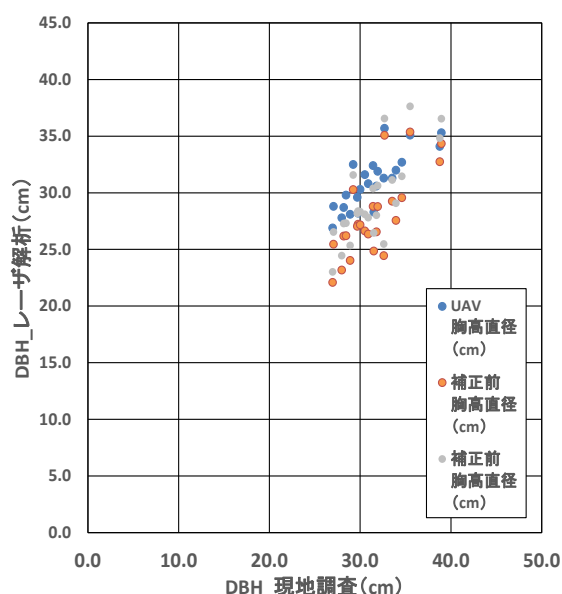


図 4.5.6 条件②-1(一般式)による  
胸高直径の比較

補正した樹高と補正前後の胸高直径を用いて材積を推定し、現地調査結果および UAV レーザ解析から算出した材積と比較した。その結果、補正前の推定材積精度は 4.64 m<sup>3</sup>であったのに対して補正後の推定材積精度は 3.23 m<sup>3</sup>と向上した。

表 4.5.4 条件②-1(一般式)による材積の比較  
(成長補正前後の比較)

| Plot_ID | 現地調査<br>合計材積<br>(m <sup>3</sup> ) | UAV<br>合計材積<br>(m <sup>3</sup> ) | 補正前<br>合計材積<br>(m <sup>3</sup> ) | 検証②-1<br>合計材積<br>(m <sup>3</sup> ) |
|---------|-----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|------------------------------------|
| G01     | 10.5                              | 12.7                             | 10.2                             | 11.4                               |
| G02     | 12.5                              | 13.0                             | 8.8                              | 9.9                                |
| G03     | 12.0                              | 12.3                             | 8.9                              | 10.0                               |
| G04     | 11.1                              | 9.9                              | 7.6                              | 8.6                                |
| G05     | 8.6                               | 11.7                             | 10.6                             | 11.9                               |
| G06     | 8.0                               | 7.8                              | 6.7                              | 7.6                                |
| G07     | 11.3                              | 12.2                             | 9.8                              | 11.0                               |
| G08     | 12.9                              | 13.3                             | 9.7                              | 10.9                               |
| G09     | 13.0                              | 13.1                             | 7.9                              | 8.9                                |
| G10     | 10.6                              | 10.5                             | 7.2                              | 8.1                                |
| G21     | 20.7                              | 22.2                             | 16.9                             | 19.7                               |
| G22     | 21.2                              | 22.8                             | 15.1                             | 17.6                               |
| G23     | 23.3                              | 23.3                             | 16.2                             | 18.8                               |
| G24     | 21.6                              | 20.3                             | 15.0                             | 17.5                               |
| G25     | 19.1                              | 17.1                             | 12.7                             | 14.8                               |
| G26     | 14.0                              | 15.4                             | 10.4                             | 12.1                               |
| G27     | 18.2                              | 17.7                             | 12.9                             | 15.0                               |
| G31     | 15.4                              | 14.3                             | 9.9                              | 11.8                               |
| G32     | 15.7                              | 13.4                             | 7.8                              | 9.3                                |
| G33     | 10.8                              | 10.9                             | 9.6                              | 11.5                               |
| G34     | 22.1                              | 17.9                             | 12.5                             | 14.9                               |
| G35     | 12.3                              | 13.6                             | 10.4                             | 12.4                               |
| G36     | 9.2                               | 8.6                              | 6.2                              | 7.4                                |
| G37     | 11.0                              | 11.9                             | 10.5                             | 12.5                               |
| 平均      | 14.4                              | 14.4                             | 10.6                             | 12.2                               |
| R       |                                   | 0.94                             | 0.85                             | 0.86                               |
| RMSE    |                                   | 1.53                             | 4.64                             | 3.23                               |

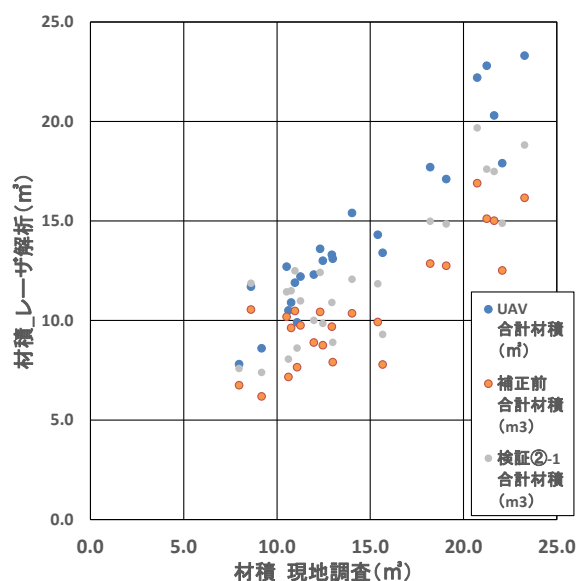


図 4.5.7 条件②-1(一般式)による  
材積の比較

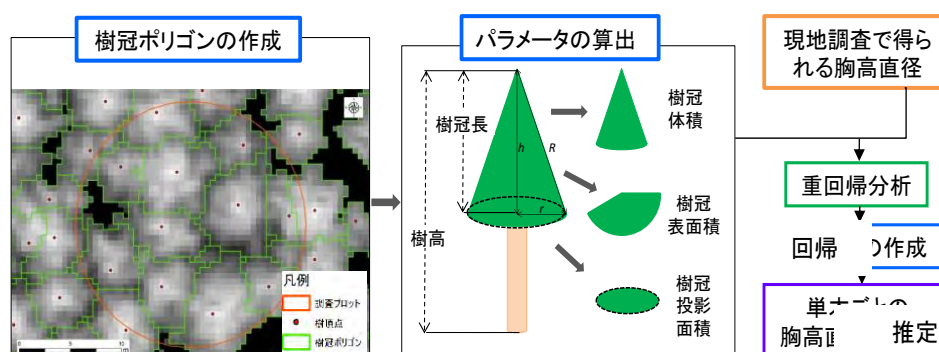


### 4.5.3 条件②-2による推定法

現時点で実施した現地調査で得られた平均胸高直径と、既存航空レーザ計測データから得られた各変数（樹高、樹冠長、樹冠長率、樹冠投影面積、樹冠表面積、樹冠体積）との回帰分析を行い、補正  $R^2$  および RMSE を考慮して、胸高直径推定式として図 4.5.8 に示す第 4 式を採用した：

$$d = 6.8456 \times Ca^{0.175} \times h^{0.361}$$

ただし  $Ca$ ：樹冠投影面積、 $h$ ：樹高である。なお、この推定式で求められる胸高直径は現時点の値であり、成長補正の必要は無い。



| 回帰式 | 説明変数の組合せ                               | $\alpha$   | $\beta_1$ | $\beta_2$ | $\beta_3$ | 補正 $R^2$ | RMSE |
|-----|----------------------------------------|------------|-----------|-----------|-----------|----------|------|
| 1   | $X_1$ 樹冠投影面積                           | 19.119 *** | 0.198 **  |           |           | 0.366    | 2.50 |
| 2   | $X_1$ 樹冠表面積                            | 18.545 *** | 0.129 **  |           |           | 0.254    | 2.75 |
| 3   | $X_1$ 樹冠体積                             | 21.259 *** | 0.105 **  |           |           | 0.310    | 2.78 |
| 4   | $X_1$ 樹冠投影面積<br>$X_2$ 樹高               | 6.846 ***  | 0.175 **  | 0.361 **  |           | 0.525    | 2.17 |
| 5   | $X_1$ 樹冠表面積<br>$X_2$ 樹高                | 8.067 ***  | 0.097 *   | 0.321 *   |           | 0.353    | 2.48 |
| 6   | $X_1$ 樹冠体積<br>$X_2$ 樹高                 | 8.987 ***  | 0.084 *   | 0.313 *   |           | 0.408    | 2.49 |
| 7   | $X_1$ 樹冠投影面積<br>$X_2$ 樹冠長              | 18.839 *** | 0.186 **  | 0.021     |           | 0.340    | 2.50 |
| 8   | $X_1$ 樹冠投影面積<br>$X_2$ 樹冠長率             | 21.847 *** | 0.225 **  | -0.053    |           | 0.356    | 2.47 |
| 9   | $X_1$ 樹冠投影面積<br>$X_2$ 樹高<br>$X_3$ 樹冠長  | 6.355 ***  | 0.198 **  | 0.398 **  | -0.043    | 0.514    | 2.15 |
| 10  | $X_1$ 樹冠投影面積<br>$X_2$ 樹高<br>$X_3$ 樹冠長率 | 7.741 ***  | 0.197 **  | 0.355 *   | -0.042    | 0.514    | 2.15 |
| 11  | $X_1$ 樹高                               | 8.261 ***  | 0.444 **  | 0.000     | 0.000     | 0.2349   | 2.75 |

\*  $p$ 値<0.1    \*  $p$ 値<0.05    \*\*  $p$ 値<0.01    \*\*\*  $p$ 値<0.001

図 4.5.8 既存航空レーザ計測データおよび  
現時点の現地調査データによる胸高直径推定式の選択

新しく作成した胸高直径推定式から算出した胸高直径と、現在の現地調査結果および UAV レーザ解析による胸高直径を比較して胸高直径推定結果の妥当性を検討した。その結果、航空レーザの推定胸高直径の RMSE はおよそ 2.17cm と UAV レーザ解析による推定胸高直径の RMSE およそ 1.95cm より 0.27cm の差が生じたが、高い精度で推定できた。

表 4.5.5 条件②-2 による胸高直径の推定結果

| Plot_ID | 現地調査<br>胸高直径<br>(cm) | UAV<br>胸高直径<br>(cm) | 検証②-2<br>胸高直径<br>(cm) |
|---------|----------------------|---------------------|-----------------------|
| G01     | 32.7                 | 35.7                | 35.5                  |
| G02     | 28.2                 | 28.7                | 29.7                  |
| G03     | 27.0                 | 28.8                | 29.1                  |
| G04     | 29.8                 | 28.2                | 30.3                  |
| G05     | 29.2                 | 32.5                | 32.6                  |
| G06     | 32.6                 | 31.3                | 28.2                  |
| G07     | 28.4                 | 29.8                | 29.6                  |
| G08     | 29.7                 | 29.6                | 30.3                  |
| G09     | 27.0                 | 26.9                | 26.5                  |
| G10     | 30.0                 | 30.3                | 30.3                  |
| G21     | 31.4                 | 32.4                | 32.1                  |
| G22     | 30.5                 | 31.6                | 30.6                  |
| G23     | 30.9                 | 30.8                | 30.3                  |
| G24     | 31.8                 | 30.6                | 30.5                  |
| G25     | 33.9                 | 32.0                | 31.1                  |
| G26     | 28.0                 | 27.8                | 27.8                  |
| G27     | 28.9                 | 28.1                | 28.6                  |
| G31     | 33.5                 | 31.3                | 31.9                  |
| G32     | 38.8                 | 34.1                | 34.1                  |
| G33     | 34.6                 | 32.7                | 32.0                  |
| G34     | 38.9                 | 35.3                | 35.3                  |
| G35     | 35.5                 | 35.1                | 35.7                  |
| G36     | 31.5                 | 28.3                | 28.4                  |
| G37     | 31.9                 | 31.9                | 31.5                  |
| 平均      | 31.4                 | 31.0                | 30.9                  |
| R       |                      | 0.80                | 0.75                  |
| RMSE    |                      | 1.95                | 2.17                  |

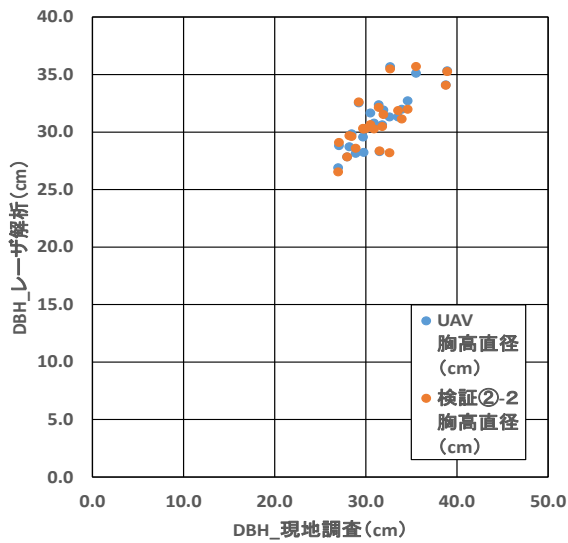


図 4.5.9 条件②-2 による胸高直径の推定

新しく作成した胸高直径推定式から算出した胸高直径と、現在の現地調査結果および UAV レーザ解析による胸高直径からそれぞれ材積を算出し、その妥当性を検討した。その結果、推定した材積の RMSE はおよそ 2.71 m<sup>3</sup>と UAV レーザ解析による推定材積の RMSE およそ 1.53 m<sup>3</sup>より 1.18 m<sup>3</sup>の差が生じたが、高い精度で推定できた。

表 4.5.6 条件②-2 による合計材積の比較

| Plot_ID | 現地調査<br>合計材積<br>(m <sup>3</sup> ) | UAV<br>合計材積<br>(m <sup>3</sup> ) | 検証②-2<br>合計材積<br>(m <sup>3</sup> ) |
|---------|-----------------------------------|----------------------------------|------------------------------------|
| G01     | 10.5                              | 12.7                             | 10.7                               |
| G02     | 12.5                              | 13                               | 11.4                               |
| G03     | 12.0                              | 12.3                             | 11.5                               |
| G04     | 11.1                              | 9.9                              | 9.6                                |
| G05     | 8.6                               | 11.7                             | 12.3                               |
| G06     | 8.0                               | 7.8                              | 8.6                                |
| G07     | 11.3                              | 12.2                             | 12.5                               |
| G08     | 12.9                              | 13.3                             | 12.3                               |
| G09     | 13.0                              | 13.1                             | 11.1                               |
| G10     | 10.6                              | 10.5                             | 8.9                                |
| G21     | 20.7                              | 22.2                             | 21.3                               |
| G22     | 21.2                              | 22.8                             | 20.4                               |
| G23     | 23.3                              | 23.3                             | 21.8                               |
| G24     | 21.6                              | 20.3                             | 20.2                               |
| G25     | 19.1                              | 17.1                             | 16.5                               |
| G26     | 14.0                              | 15.4                             | 15.1                               |
| G27     | 18.2                              | 17.7                             | 18.5                               |
| G31     | 15.4                              | 14.3                             | 12.2                               |
| G32     | 15.7                              | 13.4                             | 8.7                                |
| G33     | 10.8                              | 10.9                             | 11.5                               |
| G34     | 22.1                              | 17.9                             | 13.7                               |
| G35     | 12.3                              | 13.6                             | 11.0                               |
| G36     | 9.2                               | 8.6                              | 8.2                                |
| G37     | 11.0                              | 11.9                             | 12.8                               |
| 平均      | 14.4                              | 14.4                             | 13.4                               |
| R       |                                   | 0.94                             | 0.84                               |
| RMSE    |                                   | 1.53                             | 2.71                               |

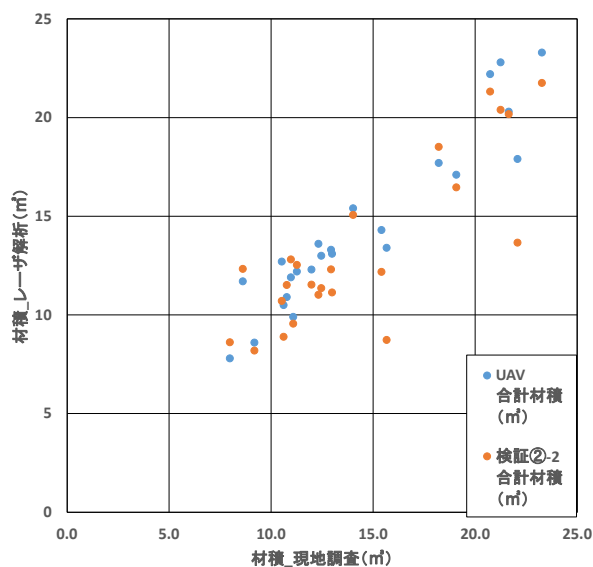


図 4.5.10 条件②-2 による合計材積の比較

- : UAV レーザ解析による材積
- : 条件②-2 による材積

#### 4.5.4 補正方法のまとめ

過去実施された既存の航空レーザ計測データを活用して森林資源量を推定するためには、レーザ計測時点以降の森林成長を補正する必要がある。そこで今回採用した補正方法は、樹高成長量を当該地域に適用される収穫成長予想表を根拠として、経年変化分の成長量を加味することとした。

また航空レーザ計測した時点で、サンプリング調査等の現地調査が実施されている場合とそうでない場合とでは成長補正の必要性が異なる（図4.5.11）。

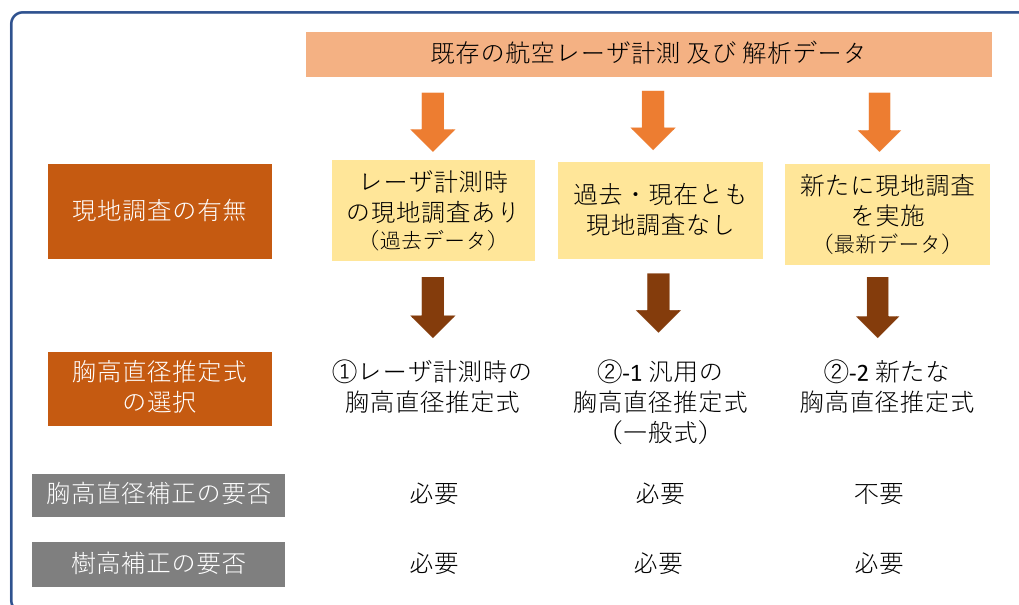


図 4.5.11 既存の航空レーザデータ使用における成長補正の場合分け

利用可能なデータの状況によって想定される上記3つのパターンについて、胸高直径と材積を算出し、その結果を比較した。検証結果を図4.5.12および表4.5.7に示す。また、その結果を踏まえて、これら3つのパターンそれぞれについて手法上の効率性および作業性を一覧（表4.5.8）に集約した。

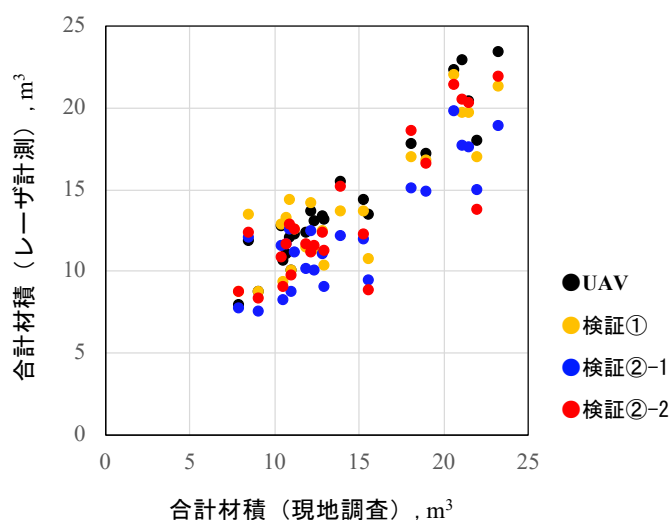


図 4.5.12 推定手法による合計材積の比較

表 4.5.7 推定手法による合計材積の精度検証

数値は合計材積 (m<sup>3</sup>)

| 調査<br>プロット | 現地調査 | UAV  | 検証①  | 検証②-1 | 検証②-2 |
|------------|------|------|------|-------|-------|
| G01        | 10.5 | 12.7 | 12.8 | 11.4  | 10.7  |
| G02        | 12.5 | 13   | 11.2 | 9.9   | 11.4  |
| G03        | 12   | 12.3 | 11.3 | 10    | 11.5  |
| G04        | 11.1 | 9.9  | 9.9  | 8.6   | 9.6   |
| G05        | 8.6  | 11.7 | 13.4 | 11.9  | 12.3  |
| G06        | 8    | 7.8  | 8.6  | 7.6   | 8.6   |
| G07        | 11.3 | 12.2 | 12.5 | 11    | 12.5  |
| G08        | 12.9 | 13.3 | 12.4 | 10.9  | 12.3  |
| G09        | 13   | 13.1 | 10.2 | 8.9   | 11.1  |
| G10        | 10.6 | 10.5 | 9.2  | 8.1   | 8.9   |
| G21        | 20.7 | 22.2 | 21.9 | 19.7  | 21.3  |
| G22        | 21.2 | 22.8 | 19.6 | 17.6  | 20.4  |
| G23        | 23.3 | 23.3 | 21.2 | 18.8  | 21.8  |
| G24        | 21.6 | 20.3 | 19.6 | 17.5  | 20.2  |
| G25        | 19.1 | 17.1 | 16.7 | 14.8  | 16.5  |
| G26        | 14   | 15.4 | 13.6 | 12.1  | 15.1  |
| G27        | 18.2 | 17.7 | 16.9 | 15    | 18.5  |
| G31        | 15.4 | 14.3 | 13.6 | 11.8  | 12.2  |
| G32        | 15.7 | 13.4 | 10.6 | 9.3   | 8.7   |
| G33        | 10.8 | 10.9 | 13.2 | 11.5  | 11.5  |
| G34        | 22.1 | 17.9 | 16.9 | 14.9  | 13.7  |
| G35        | 12.3 | 13.6 | 14.1 | 12.4  | 11.0  |
| G36        | 9.2  | 8.6  | 8.6  | 7.4   | 8.2   |
| G37        | 11   | 11.9 | 14.3 | 12.5  | 12.8  |
| 平均         | 14.4 | 14.4 | 13.8 | 12.2  | 13.4  |
| R          |      | 0.94 | 0.86 | 0.86  | 0.84  |
| RMSE       |      | 1.53 | 2.41 | 3.23  | 2.71  |

表 4.5.8 3条件による推定手法の効率性および作業性

| 条件  | 樹高        | 樹高<br>補正精<br>度 | 胸高直径                  | 胸高直径<br>推定精度 | 材積        | 材積<br>補正<br>精度 | 作業性              | 効率性                    |
|-----|-----------|----------------|-----------------------|--------------|-----------|----------------|------------------|------------------------|
| ①   | 補正が<br>必要 | ◎              | 過去に作成<br>した回帰式を<br>使用 | ○            | 補正は<br>不要 | ○              | ○<br>現地調査<br>が不要 | 精度・作業性<br>ともに高い        |
| ②-1 | 補正が<br>必要 |                | 推定式を使用                | △            | 補正は<br>不要 | △              | ○<br>現地調査<br>が不要 | 精度がやや<br>劣るが作業<br>性が高い |
| ②-2 | 補正が<br>必要 |                | 回帰式を作成<br>して使用        | ○            | 補正は<br>不要 | ○              | △<br>現地調査<br>が必要 | 精度は高い<br>が作業性が<br>低い   |