

# ヒノキ天然林における測定結果からみた各樹高測定機器の 精度・正確度および作業能率について — 樹高測定機器の有用性の検討 —

柴田 泰征・柳本 順・平井 岳志  
佐々木 理也子・柴田 昌三

## はじめに

森林調査、立木の測定において樹高測定は必要不可欠でありまた多大な労力を要する。樹高測定精度・正確度および作業能率は、測定機器ならびに測定方法、森林あるいは林分の状態、そして、測定者により大きく左右されることが少なくない。特に樹高15m以上の林分や林相の複雑な天然林では正確な樹高測定が困難な場合が多い。

これまで、樹高測定に関する報告として、樹高測定法の検討を目的としてブルーメライスとレラスコープを対象にブルーメライスでの距離測定で簡易距離計を使用した方法が優れているとの報告<sup>1)</sup>や、ブルーメライスの樹高測定誤差についての報告<sup>2)</sup>などがある。

今回、これまで使用されていたブルーメライスおよびコンパスに加えて近年使用されるようになったハイメジャーと最新の樹高測定器と思われるノンプリズム式レーザー測樹器（以下レーザー）を用いて樹高の測定を行い、測定値の精度、正確度および測定所要時間について検討する機会を持つことができた。本報告では、これら各測定機器による測定値と実測値との誤差について解析を行い、各測定機器の有用性等を検討する。

とりまとめに際し、有益な助言を賜った森林利用学講座長谷川尚史助手に厚くお礼申し上げます。

## 調査地および調査方法

樹高測定は上賀茂試験地23林班ヒノキ天然林の3箇所の除間伐予定地で行った。各地点の概況を樹高測定精度・正確度および作業能率に左右すると思われる要因を中心に表-1に示す。

表-1. 調査地(斜面上部・中部・下部)各地点の概況

	斜面方位	傾斜	主木			下層植生		備考
			平均胸高直径	立木密度	胸高断面積	低木	下草	
斜面上部 (尾根付近)	東 90°	18°	18.0cm	1444本/ha	40.0m <sup>2</sup> /ha	多	少	背丈ほどの落葉低木が多い
斜面中部 (斜面中部)	北東 57°	28°	17.6cm	1383本/ha	36.3m <sup>2</sup> /ha	少	多	中低木少、シダ等下草多い
斜面下部 (谷部)	東 74°	23°	22.4cm	800本/ha	35.5m <sup>2</sup> /ha	多	少	4~5mほどの常緑低木が多い

斜面上部は、斜面上部・中部・下部3箇所の中で最も傾斜が緩やかであった。ヒノキを主木とし下層植生は背丈ほどの落葉低木が多いが、最も歩き易く、機器の設置等は容易であった。斜面中部は、3箇所の中で最も急峻であった。ヒノキを主木とし、下層植生にシダが多く、非常に歩みにくく測定機器の設置場所の選定等に困難をともなった。斜面下部は傾斜が比較的急峻で、ヒノキおよびコナラ等の落葉高木が主木であった。下層植生は4~5mほどの常緑低木が多く、歩行および機器の設置等への支障は少なかったが、常緑低木により梢端の視準が困難であった。

これらを調査地として、斜面上部15本、斜面中部6本、斜面下部7本、計28本のヒノキ(直径階級20~32cm)を上賀茂試験地職員4名(勤務年数10年未満の若手職員)により2人1組で各1回測定した。測定はコンパス、ハイメジャー、ブルーメライス、レーザー(三脚使用およびフリーハンド)で行い、測定所要時間を時計により分単位で測定した。伐採は測定1ヶ月後の2000年1月に行い、伐倒時の巻き尺による測定値を真値とし、各測定値との誤差をもとに精度・正確度

について検討した。

誤差の大きさを表す場合、精度 (precision) と正確度 (accuracy) の二つの概念がある。精度 (precision) とは値のばらつきで再現性や安定性を示す。正確度 (accuracy) とは期待値 (真値) からの偏りを示す<sup>1)</sup>。本報告では、標準偏差ならびに分散を精度、平均を正確度として捉え、考察する。

## 各測定機器の紹介および測定方法

### ・コンパス

一般に山林等の測量に用いられるポケットコンパスをコンパス用三脚とともに使用した。

測定方法は、まず、測定木の梢端および根元の見通せる任意の場所を選定しコンパスを水平に設置する。測定木からの斜距離を巻き尺により測定し、次に測定木根元を視準し俯角を視読する。測定された斜距離に俯角を用いsin計算で設置位置より下の樹高を算出する。また水平距離を算出し測定木梢端を視準し得られた仰角を用いtan計算により設置位置より上の樹高を算出する。設置位置より下の樹高と設置位置より上の樹高との合計により樹高を算出する。

算出式は (斜距離) × (sin俯角) + (斜距離) × (cos俯角) × (tan仰角) となる。

### ・ハイメジャー

近年樹高測定用に用いられるようになった水平距離の測定を必要としない樹高測定機器((株)椎津工業社製High Measure) で、三脚はカメラ用自由雲台付き三脚を使用した。

測定方法は、まず、測定木の梢端および根元の見通せる任意の場所を選定し機器を設置する。測定木にポール (測竿で5m) を沿わせ垂直に立て、ポール上部およびポール下部 (測定木根元を兼ねる)、測定木梢端の三点を順に視準し目盛りを視読する。5m分の目盛り (値) に対する測定木梢端および根元 (樹高分) の目盛り (値) の比率によって樹高を算出する。

算出式は {(梢端の値)-(根元の値)} / {(ポール上部の値)-(ポール下部の値)} × 5(m) となる。

### ・ブルーメライス

一般に広く用いられている樹高測定機器 (ドイツ製) である。補助板使用の光学的定距離方式をもとにした三角法による測定であり、軽く携帯性に優れ、操作も単純である。

測定方法は、まず、「偏光プリズム」によって測定木との斜距離 (定距離15m, 20m, 30m, 40m) を確認の上場所を選定する。測定木根元、梢端を視準し定距離に従った樹高目盛りを視読する。測定木根元の視準により地形の傾斜角を視読し傾斜による補正を行い、樹高を得る。

### ・レーザーレンジファインダー (ノンプリズム式レーザー測樹器)

ノンプリズム式レーザー距離計と仰角センサが内蔵され、内部電算処理により測定値がデジタル表示されるレーザー測樹器である。(JENOPTIK社製LEM50pro)

測定方法は、まず、測定木の梢端および根元の見通せる任意の場所を選定する。測定木任意の点、測定木根元、測定木梢端の3点を視準し順に計測ボタンを押す。これによりレーザー距離計で計測された斜距離と仰角センサで計測された角度から測定値 (樹高) が算出されデジタル表示される。算出式はコンパスと同様であるが、すべて内部電算処理によりただちに算出される。

今回はカメラ用自由雲台付き三脚を使用した測定 (以下、レーザー三脚) と、フリーハンドでの測定 (以下、レーザーフリー) を行った。

表-2. 測定結果の誤差の統計値および工期

	コンパス	ハイメジャー	ブルーメライス	レーザー三脚	レーザーフリー
平均誤差(m)	0.25	0.26	-0.31	-0.34	-0.63
標準偏差	0.61	0.78	1.40	0.61	0.46
最大値	1.75	3.28	3.91	1.15	0.29
最小値	-1.26	-1.57	-4.07	-2.81	-1.99
1本当測定所要時間(分/本)	4.5分	3分	2.5分	2分	1分

## 結果および考察

今回測定を行った28本の実測の樹高は14.40m~20.35mであった。4機種、5項目での測定を

行った測定者4名の測定結果をもとに誤差の統計値および測定所要時間について示したものが表-2で、これを図化したものが図-1である。

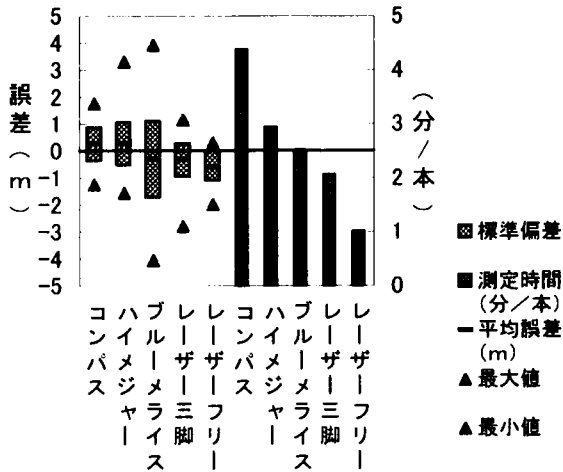


図-1. 測定結果の誤差および工期

実測値(真値)との誤差をみると、平均誤差および標準偏差は、コンパス $0.25 \pm 0.61$ m、ハイメジャー $0.26 \pm 0.78$ m、ブルーメライス $-0.31 \pm 1.40$ m、レーザー三脚 $-0.34 \pm 0.6$ 1m、レーザーフリー $-0.63 \pm 0.46$ mであった。

1本当たりの測定所要時間は、コンパス4.5分、ハイメジャー3分、ブルーメライス2.5分、レーザー三脚2分、レーザーフリー1分であった。コンパスが極端に遅くレーザーが圧倒的に早かった。レーザーにおいては三脚使用とフリーハンドでかなり時間差があった。またブルーメライスを用いた測定所要時間が比較的短く、森林内における三脚等の未使用および、機器自体の軽快さが理由と考えられた。

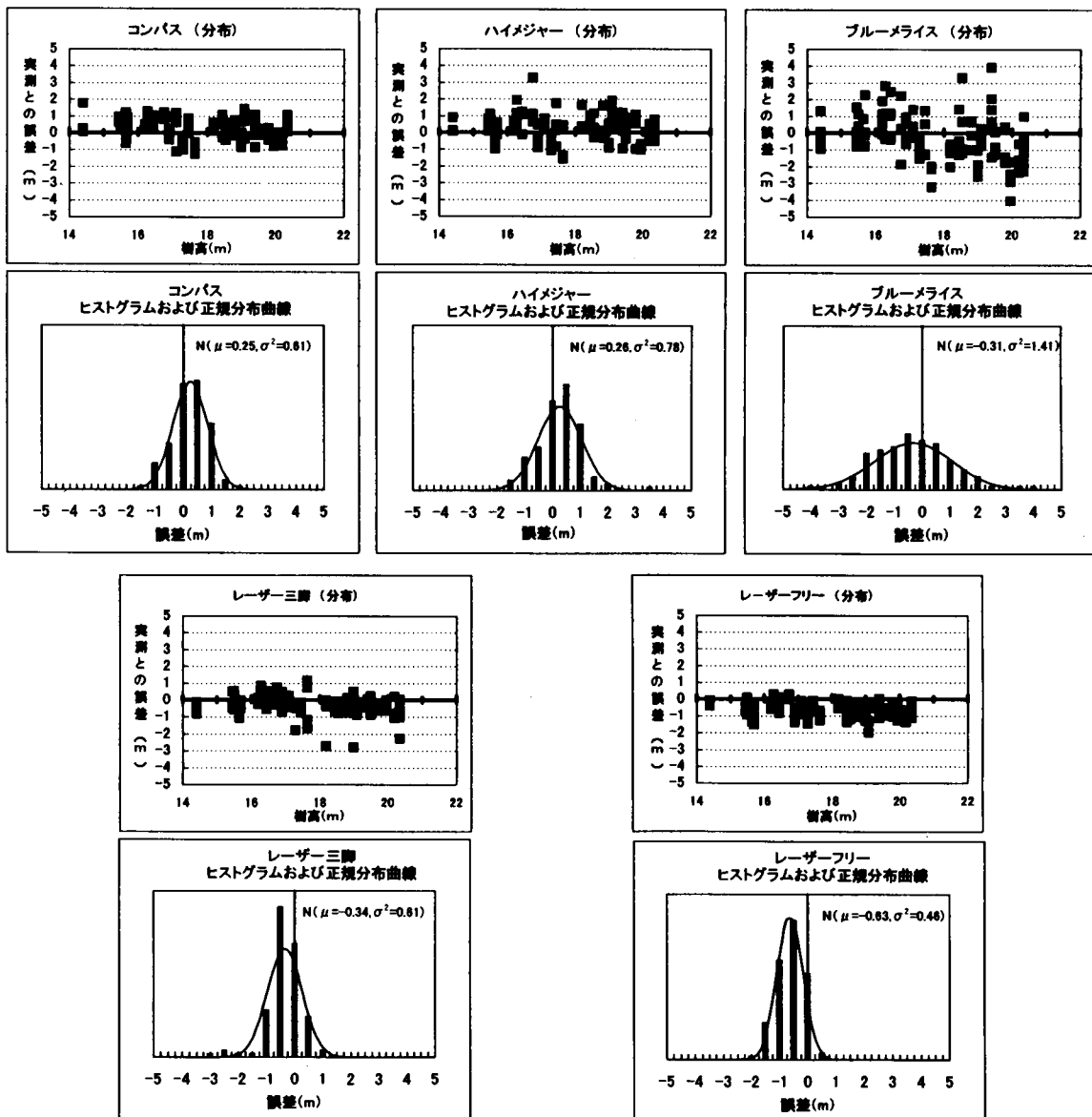


図-2. 測定誤差の分布と正規分布曲線

図-2に各測定機器における測定結果の誤差について、その分布、ヒストグラムおよび正規分布曲線を示した。誤差の分布をみると、レーザーでの測定値のばらつきが小さいが真値より低く測定され、ブルーメライスの測定値が大きくばらついていることがわかる。

次に、各測定機器間の誤差の母分散（精度）、母平均（正確度）について有意差の検定を行った。

母分散の有意差の検定として、各測定機器間における誤差の母分散が同じであるという帰無仮説のもと全ての組み合わせについて、f検定（両側検定）を行った。有意さが認められた組み合わせについては、測定誤差の母分散が同じであるという帰無仮説に対し、対立仮説をどちらかが大きく、または小さいという仮説のもと帰無仮説を棄却できるかどうかf検定（片側検定）を行った。その結果、コンパスとレーザー三脚の測定誤差の母分散は有意差があると言えないと推定され、その他の組み合わせについては有意差があると危険率1%以下で推定された。（表-3）

母平均の有意差の検定として、各測定機器間における誤差の母平均が同じであるという帰無仮説のもと全ての組み合わせについて、分散に有意差が認められたもの、認められなかったもの、それぞれも検定を行った。コンパスとハイメジャー、またブルーメライスとレーザー三脚の測定誤差の母平均は有意差があると言えないと推定され、その他の組み合わせについては有意差があると危険率1%以下で推定された（表-3）。また、誤差の母平均が0と見なせるかどうかという帰無仮説のもとも検定を行ったところ全ての測定機器において5%以下の危険率で棄却された。代わりに各測定機器の誤差の母平均についてコンパスおよびハイメジャーが0.25m、ブルーメライスおよびレーザー三脚が-0.30m、レーザーフリーが-0.60m、と見なせるかどうかも検定において推定したところ、全て5%以下で有意にみなせることが示された。

以上のことから、精度については、レーザーフリーの誤差の分散が最も小さく優れ、次いでレーザー三脚、そしてコンパスが同等であった。ハイメジャーそしてブルーメライスの順に誤差の分散が大きくなり精度が劣っていくと推定された。また正確度については、コンパスおよびハイメジャーが同様に優れ、次いでブルーメライスとレーザー三脚が同等で、そしてレーザーフリーの順に誤差の偏りが大きくなり正確度が劣っていくと推定さ

表-3. 各測定機器間における測定誤差の母分散(上)及び母平均(下)の有意差の検定

f検定					
分散	コンパス	ハイメジャー	ブルーメライス	レーザー三脚	レーザーフリー
コンパス		<(1%)	<(1%)	=(1%)	>(1%)
ハイメジャー	>(1%)		<(1%)	>(1%)	>(1%)
ブルーメライス	>(1%)	>(1%)		>(1%)	>(1%)
レーザー(三脚)	=(1%)	<(1%)	<(1%)		>(1%)
レーザー(フリー)	<(1%)	<(1%)	<(1%)	<(1%)	

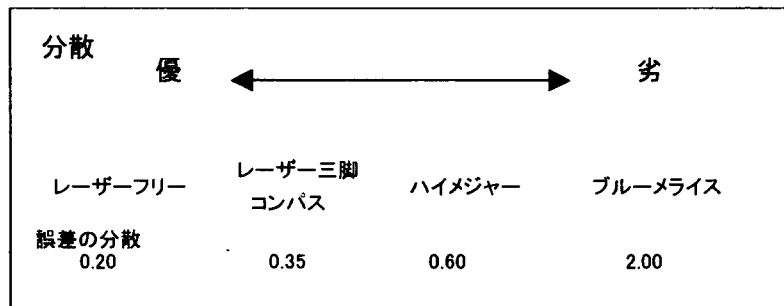
= 有意差があるといえない  
 > 有意差があり値が大きい  
 < 有意差があり値が小さい

t検定					
平均	コンパス	ハイメジャー	ブルーメライス	レーザー三脚	レーザーフリー
コンパス		=(1%)	≠(1%)	≠(1%)	≠(1%)
ハイメジャー	=(1%)		≠(1%)	≠(1%)	≠(1%)
ブルーメライス	≠(1%)	≠(1%)		=(1%)	≠(1%)
レーザー(三脚)	≠(1%)	≠(1%)	=(1%)		≠(1%)
レーザー(フリー)	≠(1%)	≠(1%)	≠(1%)	≠(1%)	

≠ 有意差があるといえる  
 = 有意差があるといえない  
 (有意差における危険率)

精度



正確度

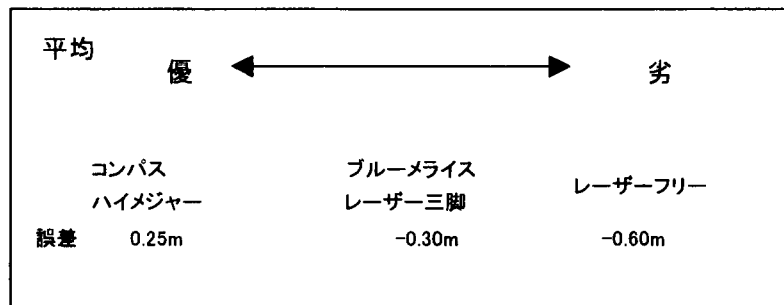


図-3. 各測定機器における測定結果の優劣

れた。(図-3)

次に各測定機器・測定場所別(斜面上部・中部・下部3箇所)の測定結果に基づく統計値および測定所要時間を表-4に、その統計値の平均、標準偏差に従った各測定者の正規分布曲線を図-4に表した。

表-4. 各測定機器・測定場所別, 統計値および測定時間

	上部					中部					下部					上中下(全体)				
	A	B	C	D	全体	A	B	C	D	全体	A	B	C	D	全体	A	B	C	D	全体
測定者																				
標本数	15	15	15	15	60	6	6	6	6	24	7	7	7	7	28	28	28	28	28	112
平均	0.66	0.62	0.60	0.05	<b>0.48</b>	0.04	0.33	0.36	-0.09	<b>0.16</b>	-0.05	-0.06	-0.21	-0.33	<b>-0.17</b>	0.35	0.38	0.35	-0.07	<b>0.25</b>
標準偏差	0.42	0.46	0.38	0.60	<b>0.47</b>	0.65	0.63	0.60	0.53	<b>0.60</b>	0.57	0.68	0.38	0.66	<b>0.57</b>	0.60	0.61	0.54	0.60	<b>0.59</b>
最小値	0.00	-0.14	-0.09	-1.13	<b>-1.13</b>	-1.03	-0.29	-0.19	-0.85	<b>-1.03</b>	-0.87	-0.85	-0.65	-1.26	<b>-1.26</b>	-1.03	-0.65	-0.65	-1.26	<b>-1.26</b>
最大値	1.75	1.22	1.27	0.90	<b>1.75</b>	0.69	1.26	1.44	0.73	<b>1.44</b>	0.86	1.07	0.39	0.67	<b>1.07</b>	1.75	1.26	1.44	0.90	<b>1.75</b>
測定所要時間(分)	73	63	61	59	<b>64.00</b>	29	20	28	31	<b>27.00</b>	28	30	38	31	<b>31.25</b>	128	113	127	121	<b>122.25</b>
(一本当たり分)	4.87	4.20	4.07	3.93	<b>4.27</b>	4.83	3.33	4.67	5.17	<b>4.50</b>	3.71	4.29	5.43	4.43	<b>4.46</b>	4.57	4.04	4.54	4.32	<b>4.37</b>
(1時間当たり本数)	12	14	15	15	<b>14</b>	12	18	13	12	<b>14</b>	16	14	11	14	<b>14</b>	13	15	13	14	<b>14</b>

測定者																				
標本数	15	15	15	15	60	6	6	6	6	24	7	7	7	7	28	28	28	28	28	112
平均	0.46	0.81	0.22	0.52	<b>0.50</b>	0.63	0.34	0.06	-0.05	<b>0.24</b>	-0.24	-0.15	-0.30	-0.25	<b>-0.23</b>	0.32	0.47	0.06	0.21	<b>0.26</b>
標準偏差	0.54	0.96	0.38	0.64	<b>0.63</b>	0.94	0.80	0.83	0.68	<b>0.81</b>	0.81	0.92	0.82	0.62	<b>0.79</b>	0.57	0.95	0.40	0.51	<b>0.61</b>
最小値	-0.85	-0.98	-0.65	-0.95	<b>-0.98</b>	-0.46	-1.06	-0.68	-0.90	<b>-1.06</b>	-1.37	-1.49	-1.57	-0.99	<b>-1.57</b>	-1.37	-1.49	-1.57	-0.99	<b>-1.57</b>
最大値	1.25	3.28	0.72	1.91	<b>3.28</b>	1.90	1.26	1.62	0.87	<b>1.90</b>	1.06	1.06	0.52	0.52	<b>1.06</b>	1.90	3.28	1.62	1.91	<b>3.28</b>
測定所要時間(分)	46	35	51	44	<b>44.00</b>	13	17	22	26	<b>19.50</b>	15	17	24	18	<b>18.50</b>	74	69	97	88	<b>82.00</b>
(一本当たり分)	3.07	2.33	3.40	2.93	<b>2.93</b>	2.17	2.83	3.67	4.33	<b>3.25</b>	2.14	2.43	3.43	2.57	<b>2.64</b>	2.64	2.46	3.46	3.14	<b>2.93</b>
(1時間当たり本数)	20	26	18	20	<b>21</b>	28	21	16	14	<b>20</b>	28	25	18	23	<b>23</b>	23	24	17	19	<b>21</b>

測定者																				
標本数	15	15	15	15	60	6	6	6	6	24	7	7	7	7	28	28	28	28	28	112
平均	0.14	-0.01	-0.39	1.93	<b>0.42</b>	-0.20	-0.62	-0.68	-0.46	<b>-0.49</b>	-2.20	-1.72	-1.90	-1.02	<b>-1.02</b>	-0.52	-0.57	-0.83	0.68	<b>-0.31</b>
標準偏差	0.85	0.91	0.63	0.89	<b>0.82</b>	0.94	0.55	0.54	1.04	<b>0.77</b>	0.59	1.27	1.13	0.89	<b>0.97</b>	1.27	1.17	0.97	1.64	<b>1.26</b>
最小値	-1.88	-1.26	-1.46	0.83	<b>-1.88</b>	-1.22	-1.53	-1.36	-2.02	<b>-2.02</b>	-3.24	-2.94	-4.07	-2.16	<b>-4.07</b>	-3.24	-2.94	-4.07	-2.16	<b>-4.07</b>
最大値	1.38	1.89	0.64	3.91	<b>3.91</b>	0.93	0.04	0.07	0.62	<b>0.93</b>	-1.41	0.96	-0.67	0.37	<b>0.96</b>	1.38	1.89	0.64	3.91	<b>3.91</b>
測定所要時間(分)	45	39	32	37	<b>38.25</b>	16	15	13	20	<b>16.00</b>	19	18	13	14	<b>16.00</b>	80	72	58	71	<b>70.25</b>
(一本当たり分)	3.00	2.60	2.13	2.47	<b>2.55</b>	2.67	2.50	2.17	3.33	<b>2.67</b>	2.71	2.57	1.86	2.00	<b>2.29</b>	2.86	2.57	2.07	2.54	<b>2.51</b>
(1時間当たり本数)	20	23	28	24	<b>24</b>	23	24	26	18	<b>23</b>	22	23	32	30	<b>27</b>	21	23	29	24	<b>24</b>

測定者																				
標本数	15	15	15	15	60	6	6	6	6	24	7	7	7	7	28	28	28	28	28	112
平均	-0.15	-0.33	0.07	-0.38	<b>-0.20</b>	-0.18	-0.47	-0.88	-0.69	<b>-0.50</b>	-0.56	-0.24	-0.07	-1.20	<b>-0.52</b>	-0.26	-0.34	-0.13	-0.65	<b>-0.34</b>
標準偏差	0.31	0.42	0.44	0.38	<b>0.39</b>	0.39	0.15	1.09	0.59	<b>0.56</b>	0.56	0.75	0.55	1.03	<b>0.72</b>	0.42	0.48	0.69	0.70	<b>0.57</b>
最小値	-0.85	-1.04	-0.68	-1.06	<b>-1.06</b>	-0.88	-0.71	-2.71	-1.78	<b>-2.71</b>	-1.67	-1.06	-0.92	-2.81	<b>-2.81</b>	-1.67	-1.06	-2.71	-2.81	<b>-2.81</b>
最大値	0.49	0.52	0.83	0.47	<b>0.83</b>	0.22	-0.28	0.48	-0.07	<b>0.48</b>	0.02	1.15	0.72	0.19	<b>1.15</b>	0.49	1.15	0.83	0.47	<b>1.15</b>
測定所要時間(分)	21	31	36	30	<b>29.50</b>	10	10	13	16	<b>12.25</b>	9	12	22	21	<b>16.00</b>	40	53	71	67	<b>57.75</b>
(一本当たり分)	1.40	2.07	2.40	2.00	<b>1.97</b>	1.67	1.67	2.17	2.67	<b>2.04</b>	1.29	1.71	3.14	3.00	<b>2.29</b>	1.43	1.89	2.54	2.39	<b>2.06</b>
(1時間当たり本数)	43	29	25	30	<b>32</b>	36	36	26	23	<b>31</b>	47	35	19	20	<b>30</b>	42	32	24	25	<b>31</b>

測定者																				
標本数	15	15	15	15	60	6	6	6	6	24	7	7	7	7	28	28	28	28	28	112
平均	-0.53	-0.42	-0.33	-0.69	<b>-0.49</b>	-0.61	-1.05	-0.45	-0.96	<b>-0.77</b>	-0.91	-0.52	-0.83	-0.96	<b>-0.81</b>	-0.64	-0.58	-0.48	-0.81	<b>-0.63</b>
標準偏差	0.50	0.52	0.31	0.44	<b>0.44</b>	0.38	0.58	0.17	0.45	<b>0.39</b>	0.29	0.33	0.29	0.35	<b>0.31</b>	0.45	0.54	0.34	0.43	<b>0.44</b>
最小値	-1.47	-1.53	-0.83	-1.35	<b>-1.53</b>	-1.05	-1.99	-0.61	-1.38	<b>-1.99</b>	-1.28	-0.93	-1.18	-1.39	<b>-1.39</b>	-1.47	-1.99	-1.18	-1.39	<b>-1.99</b>
最大値	0.29	0.23	0.22	0.06	<b>0.29</b>	-0.01	-0.53	-0.18	-0.14	<b>-0.01</b>	-0.48	-0.15	-0.31	-0.53	<b>-0.15</b>	0.29	0.23	0.22	0.06	<b>0.29</b>
測定所要時間(分)	14	14	20	15	<b>15.75</b>	5	5	7	6	<b>5.75</b>	7	7	6	8	<b>7.00</b>	26	26	33	29	<b>28.50</b>
(一本当たり分)	0.93	0.93	1.33	1.00	<b>1.05</b>	0.83	0.83	1.17	1.00	<b>0.96</b>	1.00	1.00	0.86	1.14	<b>1.00</b>	0.93	0.93	1.18	1.04	<b>1.02</b>
(1時間当たり本数)	64	64	45	60	<b>58</b>	72	72	51	60	<b>64</b>	60	60	70	53	<b>61</b>	65	65	51	58	<b>60</b>

測定者																				
標本数	75	75	75	75	300	30	30	30	30	120	35	35	35	35	140					
平均	0.11	0.14	0.03	0.29	<b>0.14</b>	-0.06	-0.30	-0.28	-0.45	<b>-0.27</b>	-0.79	-0.54	-0.66	-0.75	<b>-0.69</b>					
標準偏差	0.52	0.66	0.43	0.59	<b>0.55</b>	0.66	0.54	0.65	0.66	<b>0.63</b>	0.56	0.79	0.64	0.71	<b>0.68</b>					
最小値	-1.88	-1.53	-1.46	-1.35	<b>-1.88</b>	-1.22	-1.99	-2.71	-2.02	<b>-2.71</b>	-3.24	-2.94	-4.07	-2.81	<b>-4.07</b>					
最大値	1.75	3.28	1.27	3.91	<b>3.91</b>	1.90	1.26	1.62	0.87	<b>1.90</b>	1.06	1.15	0.72	0.67	<b>1.15</b>					
測定所要時間(分)	199	182	200	185	<b>181.50</b>	73	67	83	99	<b>80.50</b>	76	84	103	92	<b>88.75</b>					
(一本当たり分)	2.65	2.43	2.67	2.47	<b>2.55</b>	2.43	2.23	2.77	3.30	<b>2.68</b>	2.17	2.40	2.94	2.63	<b>2.54</b>					
(1時間当たり本数)	32	31	28	30	<b>30</b>	25	27	22	18	<b>23</b>	28	25	20	23	<b>24</b>					

全体として、今回の測定では斜面上部、中部、下部の順に平均誤差および標準偏差が大きく、正確度および精度が悪くなる傾向にあった。なかでも、ブルーメライスは斜面上部・中部・下部の順に平均誤差が大きく偏り(正確度が劣り)、またレーザー三脚での正確度はある程度一定しているが、精度は斜面上部・中部・下部の順に悪くなった。

また場所ごとにみた優劣は、上部では、正確度および精度ともにレーザー三脚が良く、精度はブルーメライスは、正確度ではハイメジャーが悪かった。中部では、正確度ではコンパス、精度ではレーザーフリーが良く、正確度ではレーザーフリー、精度ではハイメジャーとブルーメライスは悪かった。下部では、正確度ではコンパス、精度ではレーザーフリーが良く、悪かったのは、正確度、精度ともにブルーメライスはであった。

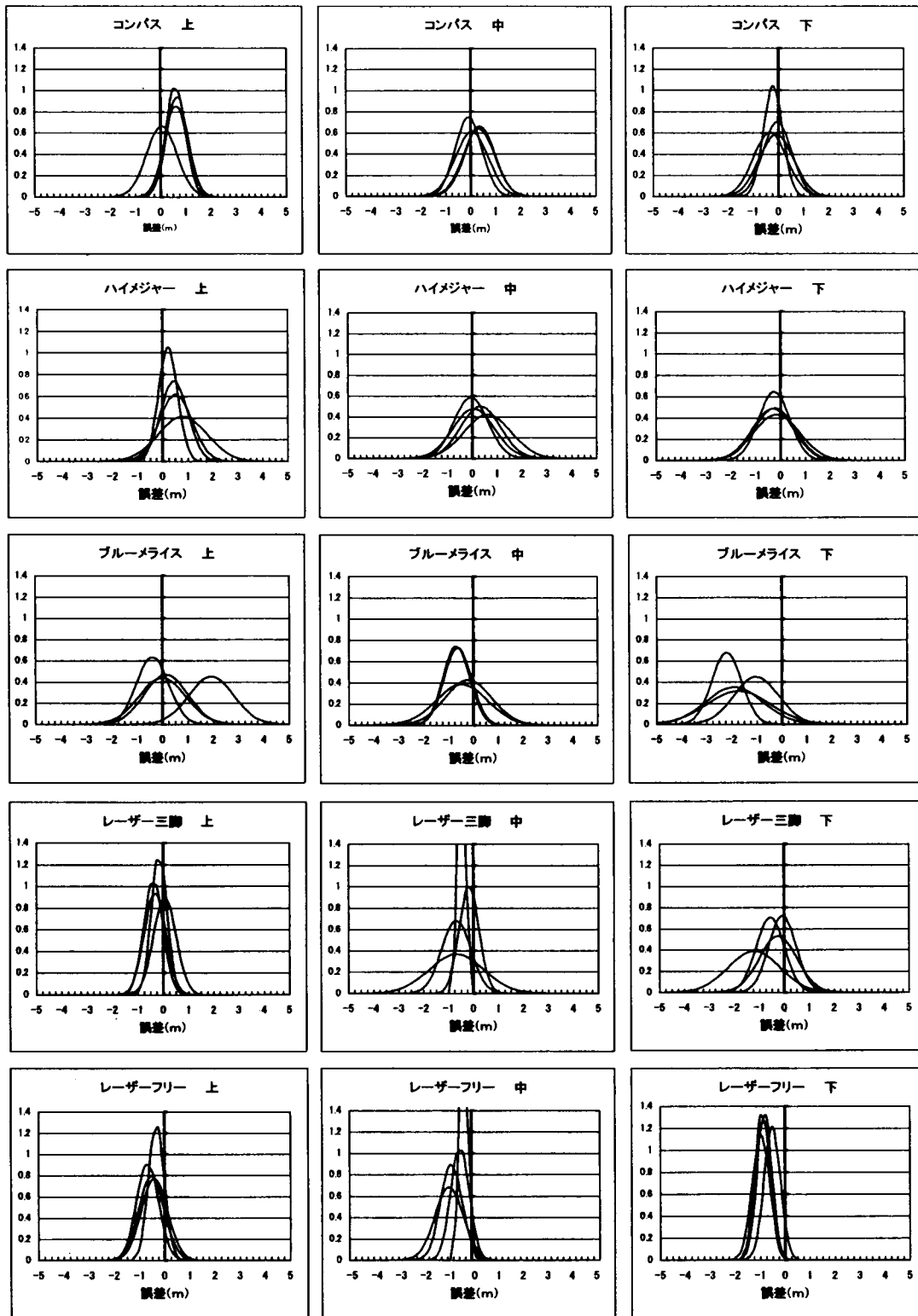


図-4. 各測定者の各測定機器・測定場所別，統計値の正規分布曲線

測定機器ごとにみた測定値の測定者によるばらつきと場所によるばらつきは，全体に測定者によるばらつきより場所によるばらつきの方が大きい傾向にあった。

興味深い結果が得られたのは，2種類の測定方法を行ったレーザーの結果である。レーザーフリーでは上中下ともある程度正確度に偏りはあったが，精度は安定して良かった。一方，レーザー三脚は正確度・精度ともに上部では良かったが，中部，下部では上部に比べ悪かった，すなわち，場所によっては三脚を使用した方が良い一方で三脚を使用したことにより精度が悪くなる場

合もあった。これらのことから三脚自体が測定に及ぼす影響が少なくないと示唆された。

最後に各測定機器の精度・正確度および作業能率の優劣について考察する。

コンパスは今回の4機種中最も正確度が良く、また精度は誤差の分散もレーザーに次いで優れていた。すなわち測定者および測定場所に左右され難く、正確度および精度がともに優れていると考察できた。しかし作業能率として測定所要時間は一本当たり4.5分と今回の4機種5項目中最も劣っていた。レーザーでの測定所要時間の2倍以上の測定所要時間を要し、また次に長かったハイメジャーより極端に長かった。

ハイメジャーはコンパスと同様に正確度が非常に良かった。精度はコンパスおよびレーザーより劣ったがブルーメライスより良かった。すなわち測定者および測定場所に若干左右され測定値がばらつくが、誤差0mを中心に正負均等にばらつくため正確度は高い。また正確度および精度をともに考慮した場合、正確度はコンパスと同様に優れているが、誤差がコンパスよりばらつくためコンパスより劣ると考察できた。作業能率としては、圧倒的に早かったレーザーを除くコンパス、ハイメジャー、ブルーメライス3機種の中での早さは中間であるという結果であった。

ブルーメライスは正確度としては誤差の平均が $-0.31\text{m}$ とレーザーフリーより優れていたが、精度は誤差の分散が今回測定中最も悪かった。測定者および測定場所に大きく左右され測定値は誤差平均 $-0.31\text{m}$ （または実測値との誤差0m）より正および負に大きくばらついた。正確度および精度をともに考慮した場合、今回の測定中最も劣ると考察できた。作業能率としては、レーザーより遅く劣るがコンパスおよびハイメジャーより早く優れていた。

レーザーは正確度として誤差平均は三脚を使用した場合 $-0.34\text{m}$ 、フリーハンドで $-0.63\text{m}$ であった。正確度として実測値より負の偏りがあり優れていたとはいえないが、精度は今回測定した中で最も良かった。すなわち測定者および測定場所に全く左右され難く若干低く測定されると考察された。またこれは定誤差と考えられ、適切な補正を行うことにより正確度を高めることが可能であると思われる。そして作業能率としては、今回の測定中、圧倒的に測定所要時間が短く優れていた。ただし三脚を使用した場合、作業能率が劣り、場所によっては精度が悪くなる場合もあった。

## おわりに

森林における樹高測定については、通常測定時に過去の資料との比較が行われ、測定者の勘や経験により測定値の妥当性や異常値の判断、そして時には再測定などが行われる。今回の樹高測定は、他の測定木との比較等が困難であったこと、また材積の推定等資料作成が目的ではなかったことから、測定者の勘や経験による再測定を基本的に行わなかった。そして、各測定器により測定された測定値を直接実測値と比較し、考察した。

測定が比較的困難な天然林で4機種の樹高測定器を用いて測定者4人が直接伐採木を測定した今回の調査結果は大いに興味深いものがあったと同時に意義があると考えられる。今回の4機種5項目による測定結果の解析によって複雑な誤差要因を含む天然林での測定方法の優劣が明らかになった。そこで樹高測定の目的に応じて、正確度を優先した測定方法、または精度を優先した測定方法、さらに作業能率として時間との組み合わせを考慮した目的にふさわしい測定方法を選択する必要性が示唆された。今回の測定結果から考えると、森林調査の長期的な継続性を目的とした場合には、測定者・場所等全ての誤差要因に対する誤差のばらつき（分散）が小さいこと、すなわち精度が高いことが理想であり、レーザーレンジファインダーでの測定方法が適していると考えられた。

また、正確度を重視した場合には、コンパスおよびハイメジャーがより適しており、より正確な測定を要する場合、これらコンパスおよびハイメジャーでの複数回測定を行うことにより正確度が増し真の樹高との誤差が小さくなると考えられた。

一方で、無視できないのが測定所要時間としての作業能率であり、レーザーレンジファインダーでの圧倒的な早さは非常に有力であると考えられた。

今後上賀茂試験地では、森林調査を長期的に継続性する場合、圧倒的な作業能率の優位性ならびに精度の優位性により、レーザーレンジファインダーでの樹高測定を行う方針である。また、

レーザーレンジファインダーでの正確度を高めるための要因の検討，さらには定誤差の補正值推定等について詳細な調査を行いたい。

### 引用文献

- 1) 南雲秀次郎・箕輪光博 (1990) 現代林学講義10測樹学.243pp,地球社,東京
- 2) 内藤健司 (1990) ブルーメライスによる固定標準林の樹高測定誤差について.宇大演報. 26. 77-83
- 3) 吉田茂二郎 (1991) 継続的な森林調査法に関する研究 (II) -樹高測定法の検討-.日林論. 102. 173-174