

樹高測定器の検討

柳本 順・柴田 泰征・平井 岳志
佐々木 理也子・中川 智之

目 的

森林調査をする時、樹高測定は胸高直径測定に比べて、誤差が出やすく時間もかかる。調査が長期に渡る固定調査地では測定者が変わることにより、以前の調査より樹高が小さくなるという矛盾が生じることもある。上賀茂試験地での樹高測定にはこれまで主にコンパスが使用されてきたが、1999年度より新たにハイメジャーという測高器が導入された。この測高器は斜距離を測定する必要がないため測定時間が短く済む。さらに1999年暮れにはレーザー内蔵の測高器（以下、レーザー測高器）を試験的に使用する機会を得た。レーザー測高器の測定の早さ、容易さは他の測高器より優れていると感じた。測高器にはそれぞれ精度、正確度などの点で長所、短所があるが、調査でどの測高器を用いるべきかを把握しておくことは重要である。本研究ではハイメジャー、ブルーメライス、コンパス、レーザー測高器を用いて既知の高さを測定し、各測高器が持っている特徴を検討し、今後の調査でどの測高器を利用するかを考察することを目的とした。

なお、本報告を作成するに当たり貴重な助言を上賀茂試験地主任柴田昌三助教授から頂いた。測定値の統計的処理に関しては森林科学科利用学講座の長谷川尚史助手の助言を得た。ここに記して感謝の意を表します。

測定方法

上賀茂試験地の構内に植えられているメタセコイアの根元から高さ15m、20m、25mの位置に白テープを貼り測定する高さを決めた。測定した場所はメタセコイアの根元、白テープをはっきり視準できるメタセコイアから斜距離で30mの所を選んだ。測定に用いた測高器はハイメジャー、ブルーメライス、コンパス、レーザー測高器の4測高器である。ハイメジャー、レーザー測高器は新しい器械なので使用方法を紹介する。ハイメジャー（椎津工業社製）は任意の位置で測定できる測高器である。補助ポールを測定木の根元におき、測定木の梢端、補助ポールの先端、補助ポールの根元をハイメジャーで視準し、ハイメジャーの目盛りを読む。目盛りの値をそれぞれa、b、cとすると樹高は $(a - c / b - c) \times$ 補助ポールの長さ (m) で計算される。今回の調査では補助ポールは5mポールを使用した。レーザー測高器（JENOPTIK社製 LEM50-pro）は任意の位置で測定できる測高器である。始めにレーザー光線により測定木までの水平距離を測定し、それから根元、梢端を視準し測定ボタンを押す。樹高は測高器内蔵の計算機で自動計算によって示される。今回は三脚を使用した場合と三脚を使用せず手持ちでした場合の2つの方法で測定を行った。ブルーメライスの補助板による補正角度は各測定者が測るのではなく、第1筆者が3回測り平均した値を用いた。測定は上賀茂試験地に所属する技官4人が行った。4人の技官は以前に4つの測高器を使用したことがある。また、各測定者による同一器械の連続測定を避けるため、測定者ごとにランダムに測定する高さ・測高器を決め測定した。

結果及び考察

各測高器による測定結果の基本統計量を表-1に示す。測定には誤差が常に伴う。誤差を考える場合、精度 (precision)、正確度 (accuracy) の二つを考えなくてはならない。精度とは同じ対象を繰り返して測定した場合の測定値のばらつきのこと、正確度とは測定値の平均の偏りのことである。統計量としては精度は誤差分散に、正確度は平均測定誤差によってあらわされる。レーザー測高器(手持ち、三脚)、コンパスは誤差分散が小さく、精度は良かったが、約-0.8m前後の平均測定誤差があり、正確度は良くなかった。ハイメジャーの平均測定誤差は0.42mで最も小さく、正確度は良かった。ブルーメライスは誤差分散、平均測定誤差ともに最も大きく、精度、

正確度ともに悪い。

表－１．測定結果の基本統計量

測定方法	ハイメジャー	ブルーメライス	コンパス	レーザー (手持ち)	レーザー (三脚)
標本数	12	12	12	12	12
平均測定誤差(m)	0.45	-1.03	-0.81	-0.70	-0.77
誤差範囲(m)	-0.11～1.47	-2.20～-0.20	-1.10～-0.37	-1.26～-0.29	-1.28～-0.40
誤差分散	0.28	0.41	0.08	0.09	0.11

測定誤差の偏りの有無について、測定誤差の母平均が0と見なせるかも検定を行った結果を表－２に示す。その結果、1%の危険率ですべての測高器で有意差が認められ、すべての測高器の測定誤差には偏りがあることが示された。測定値の測定誤差の分布を図－１に示す。ブルーメライス、コンパス、レーザー測高器(手持ち、三脚)の測定値はすべて負の測定誤差を持ち、明らかに負の偏りがあった。ハイメジャーは測定値が真値から上下にばらつくが、やや正の偏りがあるといえる。

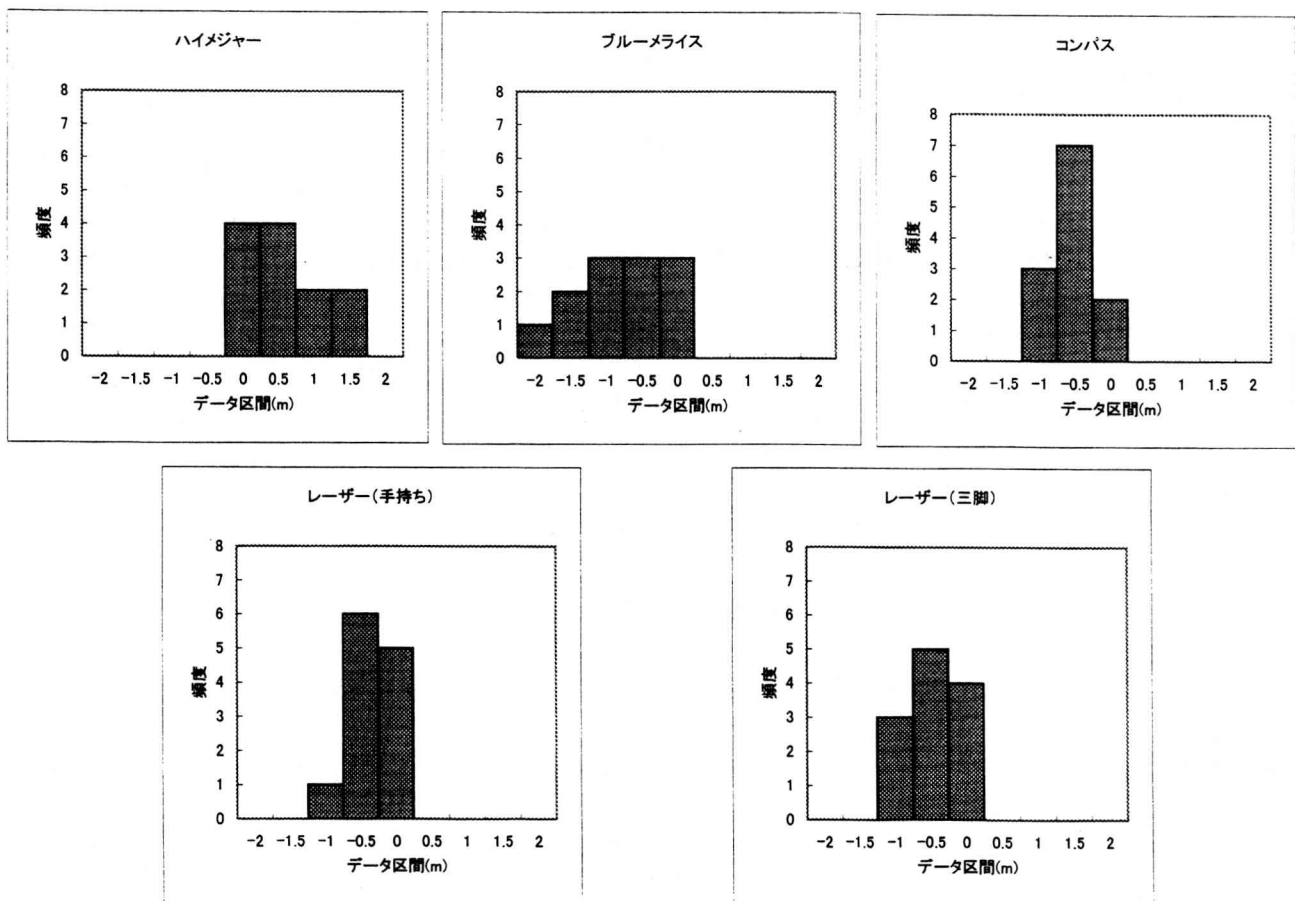
表－２．測定誤差のt検定の結果

測高器	t値
ハイメジャー	3.82
ブルーメイス	-7.20
コンパス	-12.62
レーザー(手持ち)	-10.32
レーザー(三脚)	-10.43

1%の危険率ですべての測高器で有意差あり

測定する高さ、測定者が測定誤差に及ぼす影響があるのかを知るために測高器ごとに分散分析した結果を表－３に示す。その結果、ハイメジャーでは高さによる測定誤差の違いはないが、その他の測高器では高さによる違いがあることが認められた。高さの違いによる各測高器の平均測定誤差を図－２に示す。ブルーメライス、コン

パス、レーザー測高器(手持ち、三脚)の測定値はすべて負の測定誤差を持ち、明らかに負の偏りがあった。ハイメジャーは測定値が真値から上下にばらつくが、やや正の偏りがあるといえる。



図－１．測定誤差のヒストグラム

表-3. 各測高器の分散分析表

ハイメジャー

変動要因	平方和	自由度	平均平方	F値	P-値
高さ	0.15851945	2	0.07925973	0.53293133	0.61229143
測定者	1.97902655	3	0.65967552	4.43556604	0.05745502
誤差	0.89234453	6	0.14872409		
合計	3.02989053	11			

ブルーメライス

変動要因	平方和	自由度	平均平方	F値	P-値
高さ	1.905	2	0.9525	6.02636204	0.03671348
測定者	1.60916667	3	0.53638889	3.39367311	0.09464608
誤差	0.94833333	6	0.15805556		
合計	4.4625	11			

コンパス

変動要因	平方和	自由度	平均平方	F値	P-値
高さ	0.7116015	2	0.35580075	15.4939867	0.00426847
測定者	0.0513136	3	0.01710453	0.74484781	0.56342375
誤差	0.13778278	6	0.0229638		
合計	0.90069788	11			

レーザー(手持ち)

変動要因	平方和	自由度	平均平方	F値	P-値
高さ	0.52686667	2	0.26343333	6.58766324	0.03063553
測定者	0.24849167	3	0.08283056	2.07133926	0.20552331
誤差	0.23993333	6	0.03998889		
合計	1.01529167	11			

レーザー(三脚)

変動要因	平方和	自由度	平均平方	F値	P-値
高さ	1.13626667	2	0.56813333	149.508772	7.6117E-06
測定者	0.0351	3	0.0117	3.07894737	0.11196823
誤差	0.0228	6	0.0038		
合計	1.19416667	11			

パス, レーザー測高器(手持ち), レーザー測高器(三脚)は視準する高さが高くなるにつれて平均測定誤差が大きくなるという傾向があった。ハイメジャーでは高さ20mで最も平均測定誤差は大きくなり, 視準する高さが高くなるにつれて平均測定誤差が大きくなるとはいえないが, 3つの高さの中では高さ15mの平均測定誤差が0.29mで最も小さかった。測定者による平均測定誤差の違いはコンパス, レーザー(手持ち)では認められなかった。レーザー(三脚)は誤差変動が小さすぎるため, F値が悪くなり, ブルーメライスのF値と変わらなくなってしまうが, 図-3の測定者の違いによる各測高器の平均測定誤差を見る限り, 測定者間での違いは最も小さい。ハイメジャー, ブルーメライスは測定者間で平均測定誤差が最大約1mもあり, 測定者間での測定誤差は大きい。

まとめ

ブルーメライスは精度, 正確度ともに一番悪かった。ブルーメライスは補助板による距離測定, 角度補正をしなかったため, 実際に林内で樹高を測定する場合, さらに測定誤差が大きくなる可能性がある。ハイメジャーの精度は悪いが, 測定値が真値の上下にばらつくので正確度は最も良くなった。但し, 測定者によって測定値が大きく変わる可能性がある。レーザー測高器, コンパスでは測定値が明らかに負の偏りを持っていたが, 精度は良かった。また, 測定者によって測定値に違いがない。レーザー測高器で手持ちと三脚を使った方法の間には違いは見られなかった。実際に林内での作業を考えると三脚を据え付けると時間がかかるので, 三脚よりも手持ちで測定した方が適していると考えられる。

上賀茂試験地の調査ではどの測高器を使えばいいのかを考えると, 正確度の良いハ

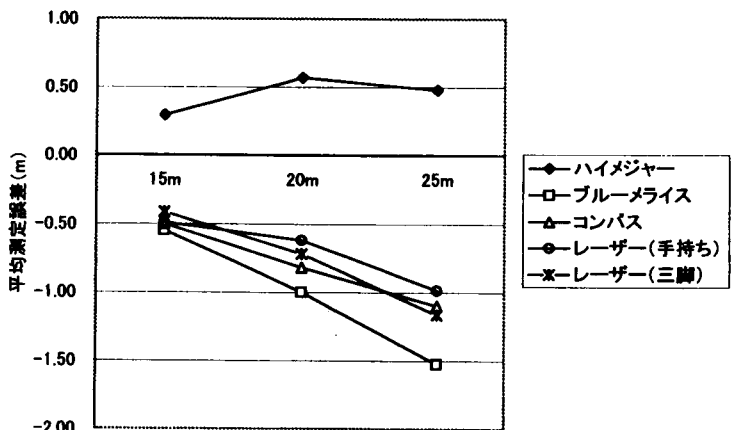


図-2. 高さの違いによる各測高器の平均誤差

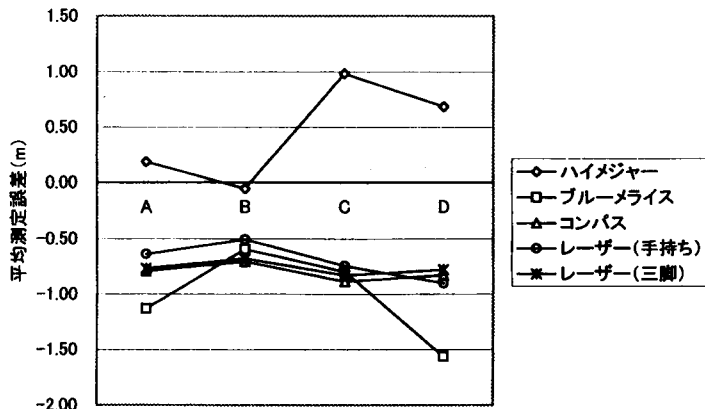


図-3. 測定者の違いによる各測高器の平均誤差

イメージャーを使えば、林分の平均樹高を出す場合には真値に近い樹高が求められるが、反対に一本一本の成長量を知りたい場合には精度の良いコンパス、レーザーが有効であると思われる。また、ハイメジャー、ブルーメライスでは測定者による測定誤差の違いが大きいため、測定者が変わっても測定値に影響しないコンパス、レーザーが長期の調査では有効だと思われる。ただ、コンパス、レーザーには明らかな負の偏りがあるので、測定値をそのまま使うのではなく、測定値に何らかの補正が必要になってくると考えられる。今後はこの補正值をどのように決定すると有効か

といった視点からさらに検討していきたい。今回の調査では測定時間を測らなかったが、この4測高器の中ではレーザー測高器が最も早いと思われる。実際の調査では測定時間は測高器を選択する上で大変重要な要素となるので、この点も考慮に入れたさらなる検討が必要である。しかし、今回の結果から総合的にはレーザー測高器の有効性が認められたといえよう。

参 考

今回の調査に使った4つの測高器を一度も使ったことがないE氏に各測高器の使い方を説明し、上記の調査と同じように測定した結果を表-4に示す。レーザー(手持ち)、コンパスでは前記の4人による平均測定誤差より平均測定誤差は小さく、レーザー(三脚)の平均測定誤差もあまり変わらなかった。しかし、ブルーメライスの平均測定誤差は大きかった。ハイメジャーでは4人の測定値の多くが正の測定誤差を持っているのに対して、E氏の測

表-4. 未経験者の測定誤差

単位:m

高さ	ハイメジャー	ブルーメライス	コンパス	レーザー(手持ち)	レーザー(三脚)
15	0.00	-0.50	-0.37	-0.31	-0.34
20	-0.28	-2.50	-0.63	-1.08	-0.61
25	-1.09	-2.50	-1.04	-1.01	-1.03
平均	-0.45	-1.83	-0.68	-0.80	-0.66

定値は負の測定誤差をもつという全く反対の傾向を示した。以上のことから考えると、未経験者でもコンパス、レーザーでは測定誤差に違いはあまりないが、ハイメジャー、ブルーメライスの測定では測定誤差が大きく、未経験者にとってこれらの測高器の測定は意外に難しいようだ。ただ、レーザーとコンパスを比較した場合、レーザーの方が扱いやすく、未経験者にも向いていると考えられる。