

Bitterlich 法を応用した測定器材の開発 — 簡便な傾斜角の補正手法の構築 —

岩手北部森林管理署 森林官 鳴海隆司

1 開発の背景

Bitterlich 法は、オーストリアの W. Bitterlich によって 1947 年に発表された、ha 当たりの林分蓄積を推計する手法であり、この理論に基づいて、シュピーゲルレラスコープ、デンドロメータ等が開発された。

また、青森分局においても、Bitterlich 法を応用した K スケールが開発・導入されているところである。

Bitterlich 法自体は、平地林分での測定を前提とした理論であり、傾斜林分については、傾斜角補正を行なわなければ、適正な林分蓄積の推計値が得られない。このため、シュピーゲルレラスコープでは測帯幅の回転により、また、デンドロメータではプリズムにより、傾斜角が適切に補正される構造となっている。

一方、K スケール（写真-1）は、目からの距離と親指の代わりとなる指標（以下「指標」という）を固定することにより、初心者でも、容易かつ正確に林分蓄積を測定できる点において、画期的な器材といえるものの、傾斜林分を測定する場合には、傾斜角に応じて腕を伸縮して、傾斜角を補正する必要がある等の構造上の問題がある。

また、親指調査法や五円玉調査法についても、K スケールと同様の問題がある、このため今回の技術開発では、K スケールの問題点を検証しつつ、特に、傾斜角の補正に関し、一定の精度を保ちつつ、簡便に林分蓄積を推計する理論を構築するとともに、この理論を踏まえた「安代式スケール」を試作・実証することとする。

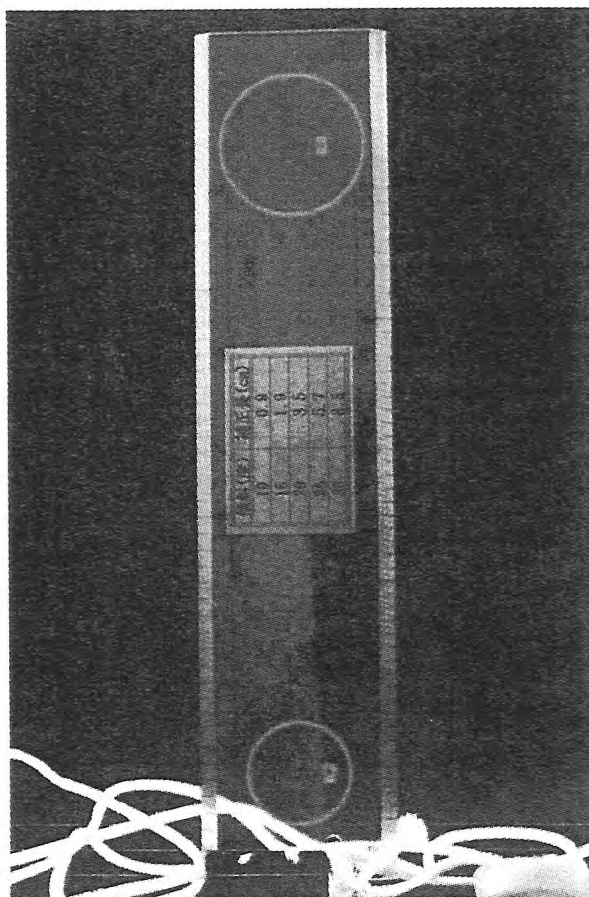


写真-1 K スケール

2 Kスケール（親指調査法・五円玉調査法）の問題点と改善方策

(1) 傾斜角の補正

ア 問題点

傾斜角に応じて、腕を伸縮させなければならず、相当量の訓練を行わなければ、適切な傾斜角補正が困難な構造となっている。例えば、傾斜角 30° の林分では、腕の長さを 55cm から 64cm の間で伸縮し、傾斜角補正を行なう必要がある。

イ 改善方策（理論の構築）

林分内の傾斜が一定（林分に凹凸が無い）と仮定した場合、調査地点から傾斜面の全周を見渡した際の傾斜角は、斜面上・下部方向で最大に、斜面横方向では、 0° となる。

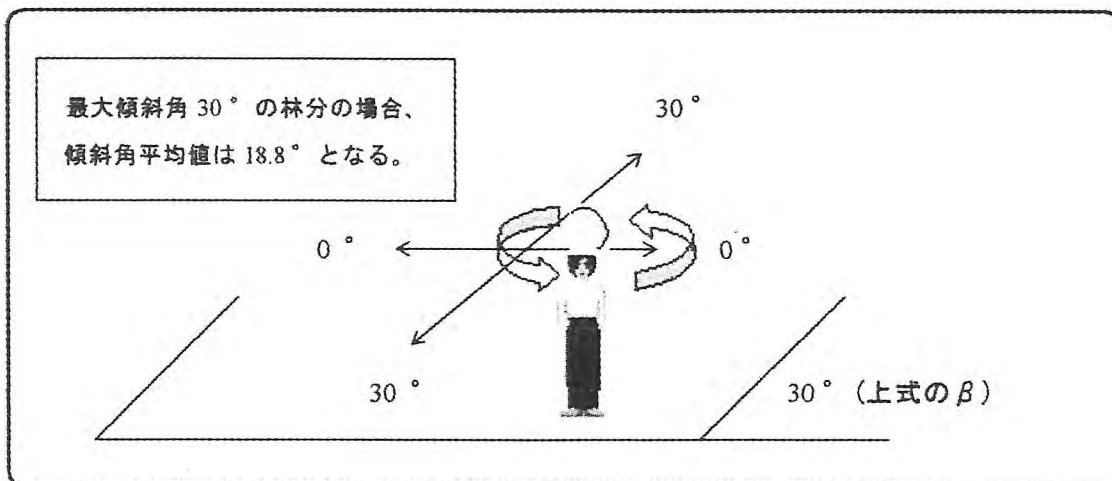
このように、調査地点から見た傾斜角は、調査者の向きにより変化することから、斜面上・下部方向の傾斜角（以下「最大傾斜角」という）をもとに、次に示す式を用いて、傾斜角の平均値（以下「傾斜角平均値」）を求めることにより、傾斜林分の傾斜角を一律に補正することとする（図-1）。

$$\int_0^{180} \frac{\sin^{-1}(\sin \alpha \times \sin \beta)}{\alpha} d\alpha$$

ただし、 α ：調査地点を中心に斜面上部を見渡した際の、斜面横方向（傾斜角 0° の方向）とのなす角度（図-1参照）

β ：最大傾斜角（図-1参照）

図-1 平均傾斜角の概念図



なお、最大傾斜角毎の傾斜角平均値並びに補正係数等は、表-1のとおりであり、平均傾斜角を用いた測定方法では、最大傾斜角 20° 未満の林分の ha 当たり蓄積は、水平林分と比較して、誤差 5% の範囲内となることから、安代式スケールに用いる指標は、① $0^\circ \sim 19^\circ$ 用 ② 20° 用、④ 30° 用、④ 40° 用の4種類とする。

表一 1 傾斜角毎の傾斜角平均値並びに補正係数

最大傾斜角 (γ°)	0	15	20	25	30	35	40	45
傾斜角平均値 (γ_{av}°)	0	9.5	12.6	15.7	18.8	21.8	24.7	27.6
補正係数 ($\cos \gamma_{av}^\circ$)	1	0.99	0.98	0.96	0.95	0.93	0.91	0.89
補正後の胸高断面積合計 (最大傾斜角 0° を1とした場合)	1	0.97	<u>0.95</u>	<u>0.93</u>	<u>0.90</u>	<u>0.86</u>	<u>0.83</u>	<u>0.79</u>

- 注1 補正係数は、傾斜角平均値の余弦値である。
 2 補正後の胸高断面積合計は、ha 当たり蓄積と比例する。

(2) 指標の安定性

ア 問題点

Kスケールは、目からの距離を一定(55cm)に維持して調査する構造となっている。

しかしながら、調査者が大柄な場合、腕を不自然に曲げた姿勢での調査を強いられるとともに、小柄な調査者の場合には、指標自体が機能しなくなる。

イ 解決策

安代式スケールでは、次に示す式により、調査者の腕の長さに応じた指標を用いることで、調査の安定化を図る。

$$d = 4r / 100$$

r:目から指標までの長さ

d:指標の大きさ

ただし、断面積定数(K)=4の場合

なお、今後、収穫期を迎える人工林が急増することに鑑み、胸高断面積定数(K)は4のみとする。

2(1)(2)の結果を踏まえた、腕の長さ毎の指標の幅は表一2のとおり。

表一 2 最大傾斜角と腕の長さ毎の指標幅

(単位: cm)

		腕 の 長 さ						
		45	50	55	60	65	70	75
最大傾斜角	0 ~ 19°	1.80	2.00	2.20	2.40	2.60	2.80	3.00
	20°	1.76	1.95	2.15	2.34	2.54	2.73	2.93
	30°	1.70	1.89	2.08	2.27	2.46	2.65	2.84
	40°	1.63	1.82	2.00	2.18	2.36	2.54	2.72

(3) 林分蓄積の算出

ア 問題点

K スケールによる調査では、カウント数が計測されるのみに留まり、ha 当たり平均胸高断面積の推計値、並びにこのデータと平均樹高を用いて算出する ha 当たり蓄積については、計算器等を用いて計算することが必要となる。

実際に現場に計算器を持ち込み、平均蓄積を求めるのは、調査の効率性、調査結果の現地確認の必要性（蓄積把握感覚の養成）から、適切とはいえない。

イ 解決策

安代式スケールでは、計測されたカウント数と平均樹高より、ha 当たり蓄積を求める「換算表」を添付することで、調査地点において、直ちに ha 当たり蓄積が確認できるようにする。

(4) 指標の視認性

ア 問題点

K スケールは、円形に印刷された赤い線が指標となっているが、曇天下あるいは樹冠がうっ閉した林分（間伐を要する林分等）等の、薄暗い条件下では、指標が極めて見えにくい状態（識別困難な状態）となる。

イ 改善策

安代式スケールでは、その下部を高輝度 LED で照らすことにより、指標自体を明るく浮き上がらせ、視認性が良くなるようにする。

3 安代式スケールの試作

Microsoft Excel のグラフ機能を用いて、腕の長さを入力することにより、適切な指標が表示されるワークシートを作成するとともに、カウント本数－平均樹高から林分蓄積量を推計する換算表を作成した（図－2）。

OHP シートに印刷した指標並びに換算表を、クレジットカードと同寸の亚克力版（下部に高輝度 LED を装着）に貼り付けた（写真－2,3）。また、裏面には、最大傾斜角の測定目安を貼り付けた（写真－4）。

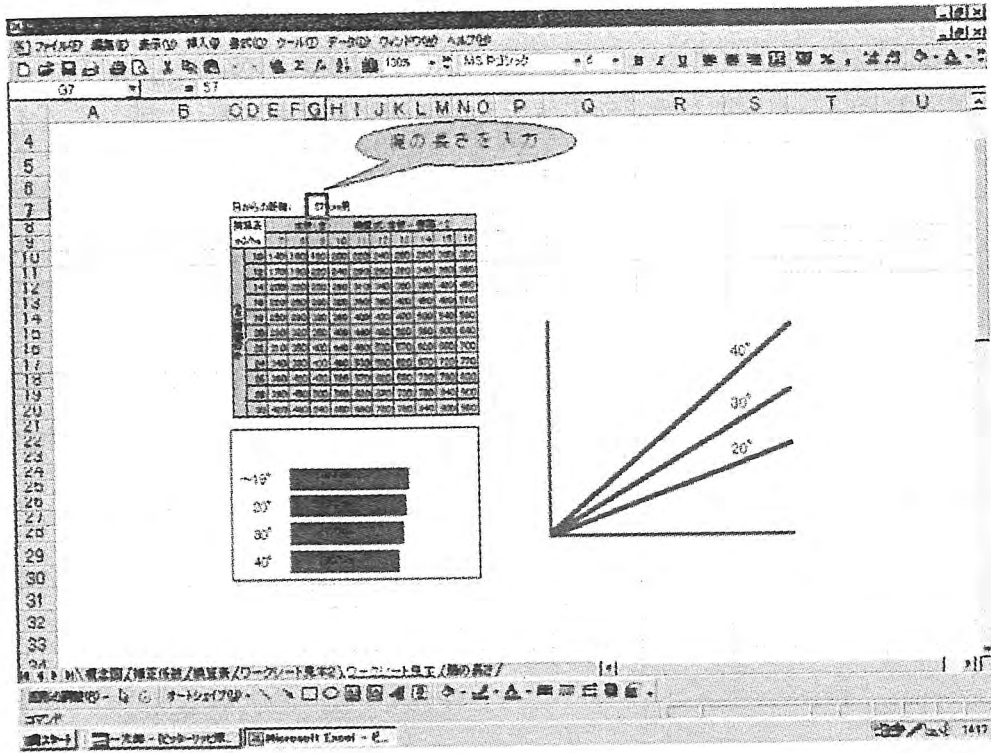
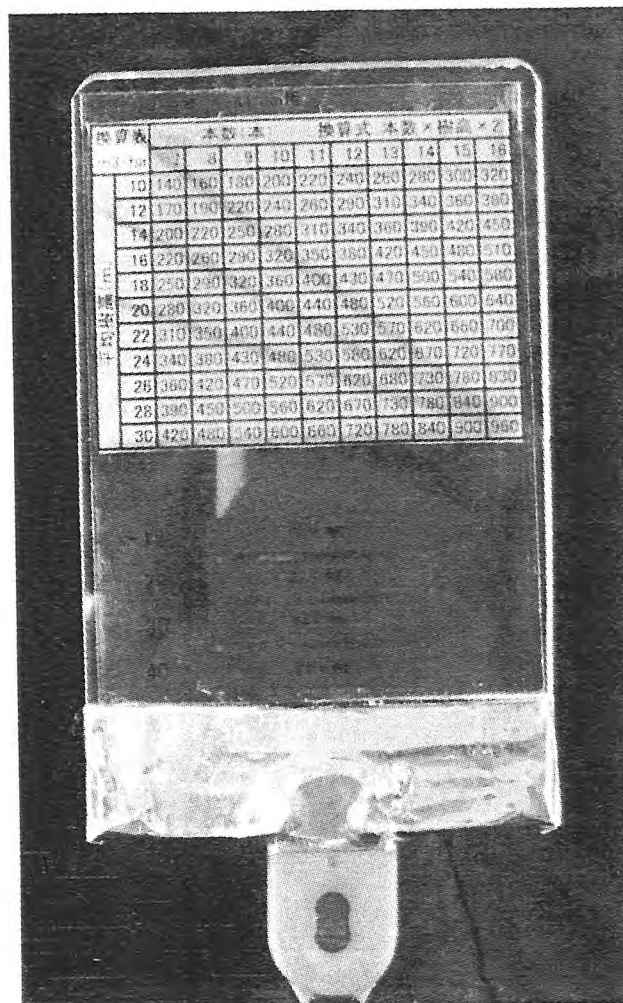


図-2 Microsoft Excel のワークシート



← 換算表

← 傾斜角毎の指標

← 高輝度 LED

写真-2 安代式スケール (前面)

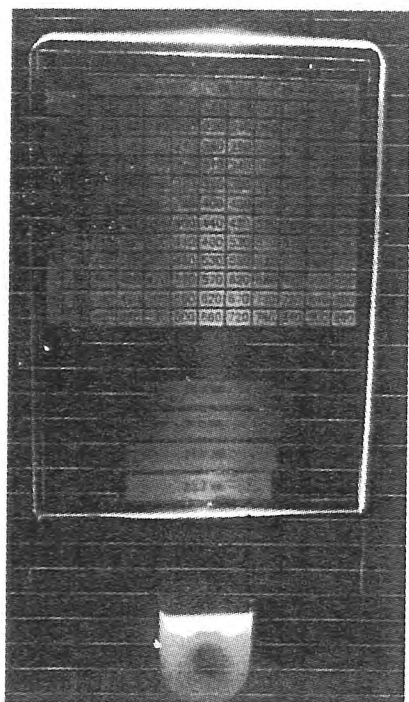


写真-3 LED点灯時

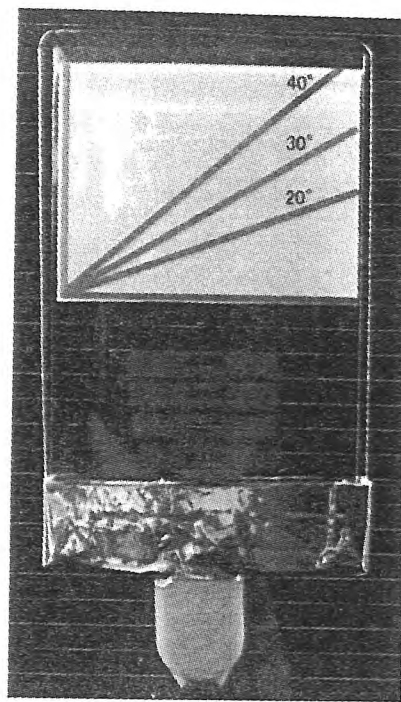


写真-4 裏面

4 実証試験

安代式スケールの精度並びに調査効率を検証するために、岩手北部森林管理署管内漆沢第1国有林（164林班ほ小班）の32年生スギ林分において、実証試験を行なった。

傾斜角が①0°、②20°、③30°の3調査地を選定した上で、各調査地において、安代式スケール並びにKスケールで調査を行ない、カウント数並びにカウントに要する時間を3回づつ測定した。

なお、調査は森林官等若手職員6名で行うとともに、カウント数の基準値は、デンドロメーターを用いて測定した（写真-5）。



写真-5 実証試験

実証試験の結果は表-3のとおりであり、安代式スケールによる測定結果は、デンドロメーターによる基準値と比較して、極めて高い精度であることが実証された。

また、特に、傾斜角の大きい林分において、Kスケールによる値よりも正確な測定結果が得られることが実証されるとともに、測定結果のばらつき（標準偏差）も、Kスケールによるものに比べ、小さくなることが判明した（図-2）。

加えて、測定に要する時間についても、安代式スケールが、Kスケール並びにデンドロメータを用いたものに比べ、優位にあることが実証された（表-3）。

表-3 安代式スケールの調査精度等（平均値）

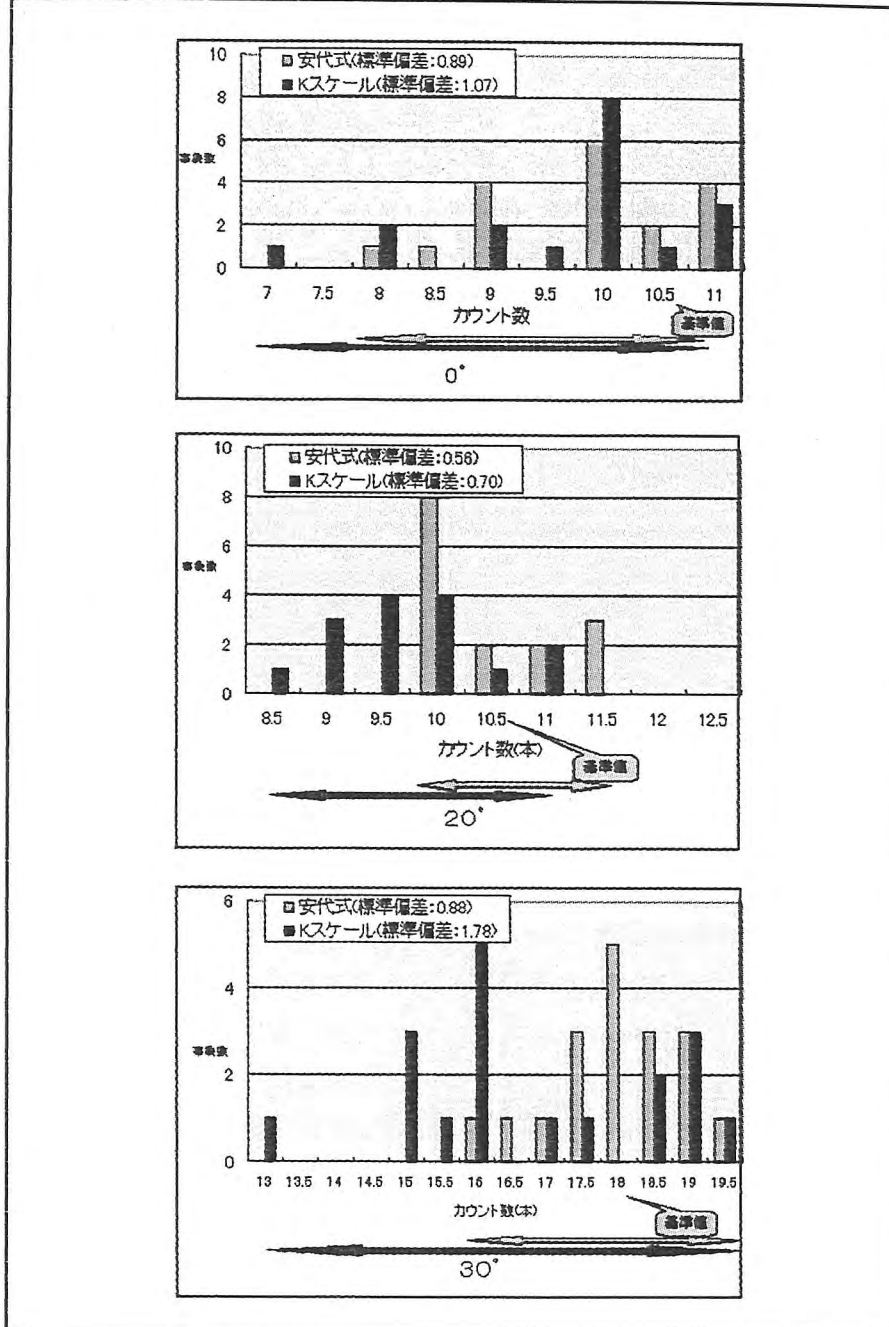
傾斜角	カウント数（本）			測定時間（秒）		
	安代式スケール	Kスケール	デンドロメーター （基準値）	安代式スケール	Kスケール	デンドロメーター
0°	9.9 (-6%) <0.89>	9.7 (-8%) <1.07>	10.5 (-)	43 (-)	68 (+57%)	106 (+145)
20°	10.5 (± 0%) <0.56>	9.7 (-7%) <0.70>	10.5 (-)	49 (-)	49 (± 0%)	185 (+274)
30°	18.0 (± 0%) <0.88>	16.8 (-7%) <1.78>	18.0 (-)	59 (-)	70 (+20%)	230 (+293)

注：1 カウント数における（ ）書きは、デンドロメーターによる基準値との誤差（%）である。

2 カウント本数における< >書きは、カウント数の標準偏差である。

3 測定時間における（ ）書きは、安代式スケールに対する比較（%）である。

図-2 安代式スケールの調査精度



5 総括

安代式スケールによる調査の精度並びに効率は、Kスケールに比べ、極めて優位にあることが実証された。

また、安代式スケールは、製作コストが、千円程度に留まること（コストのほとんどが、高輝度 LED によるため、本スケールの付随的機能となる当該部分を導入しなければ、コストは百円程度に抑えられる）、腕の長さを Microsoft Excel に作成したワークシートへ入力するだけで、各人の体格に応じた、いわば「カスタムメイド」で極めて単時間に作成可能なことから、今後の林分蓄積把握器材として、極めて有効に機能するものとする。