

帝室林野局

昭和十九年四月

北海道林業試験場要録 第十一號



小徑木の測徑具

帝室林野局北海道林業試験場

(北海道・札幌)

林木の直徑を測定したり、斷面積、材積を測定する補助手段として、林業にては輪尺が多く用ひられ（日本、ドイツ等）、又卷尺が利用されることも多い（英國、佛國等）。然し乍ら輪尺も、卷尺も、或大さ以上の林木に對しては、便利であるが、幼齡木、苗木等の直徑測定には、不便であると共に、不精確なものである。この不便、不精確さを除く爲に、近時アメリカにて、輪尺、卷尺とは、異つた形の測定器が案出されてゐるので、こゝにその二つと、これと同じ原理により出來た測定器を紹介し、その特長並びに缺點を、調べて見ることにする。

(1) W. H. Cummings 氏測徑具

第一圖の如き形のもので、一邊上に、一時又は〇・五吋を單位とする、正方形を、小なる方より順次並べた時に、其の外廓線により畫かれる形の切れ込みを作り、如何なる位置に求めんとする林木が入るかにより、その直徑を求めんとする方法である。

この方法に依る時は、現時林業にて、用ひられてゐる如く、林木の大小に拘らず、或單位長さまでを、簡単に且正確に、求め得られる。然し乍ら、林木を挿入したる際、接する點は、底邊、及び之に對し突出したる部分にて、或單位長さの倍數に當る直徑の林木が挿入された時にのみ、上部の水平なる線の中央或はそれ以内の點に接するのみで、その接點より外側の水平なる線は、無駄なものである。この無駄を省くならば、同じ長さの器具にて、より大なる直徑の林木まで測定し得るのである。又突起したる部分に、幼齡の林木の樹肌がぶつかり、林木を損傷することがあると思はれる。而して林木の直徑を測定する際四捨五入、又は二捨三入の方法を用ひてゐるから、この方法に依る時は、單位の目盛が半分づゝする缺點がある。

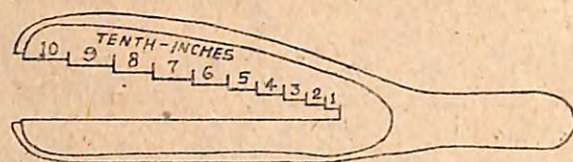
(2) E. E. Amodei 氏測徑具

第二圖の如き形のもので、この方法に依るときは、目盛が同一間隔である結果、最外部の直徑大なる林木の周圍が、器具と接する點、又は、林木の中心より、邊に下したる垂線の足の位置の判定に對し、人間の視力の能力の許す範圍の精密度により全體が支配せられる。云ひ換へれば、測定せんとする直徑の何分の一かまで、測定し得るのであり、細きものに對しては、現時林業上に用ひられてゐる單位以上に讀み得るが、然し、最大の直徑のものに於ける精密度に支配せられるから、これ又、奥の方にては、餘分の長さを持つ事になり、この爲に、同じ長さの器具にての測定し得る直徑の範圍が制限される缺點がある。然し乍ら、その利點とする所は、角度を大小することにより、正確度を高めるか、測定し得る直徑の範圍を高めるかの、何れかを採り得る様に作る事が出来る點である。又、直徑等の生長調査に於いて、生長率を計算せんとする際には、林木の大小に拘はらず、何分の一と云ふ、比較精密度を有する爲、便利であると思はれる。

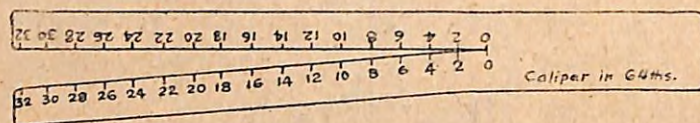
以上は、アメリカにて、考案されたものであるが、これらの缺點を成可く除き、利點をそのまゝにした、器具を作らうとして、次の如きものを設計して見た。

(3) 改良測徑具の一

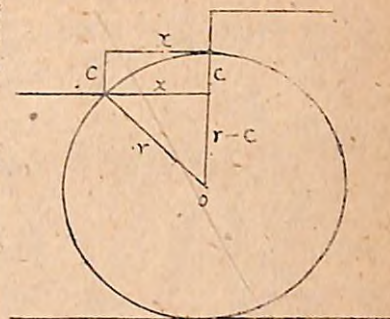
(1) の改良型とも云ふべきもので、同じ長さの器具にて、より大なる直徑のものまで、測定せんとしたので、このため



第一圖



第二圖



第三圖

(1) に於て述べた如き、無駄の部分を除いたのである。
其の設計に對する計算は、丁度目盛られてゐる直徑と同一直徑を持つ林木が、挿入された際接する點は、上下二平行線上の點と、突出したる部分の頂點である。而して、上部の接點から外側は無駄であるから、この部分を除去したのである。その残る部分の長さは、次の如き計算式により求めた。
測定に用ひられる單位の長さを C、半徑を r、とするならば、上圖から明らかな如く

$$x = \sqrt{r^2 - (r-c)^2} = \sqrt{r^2 - c^2}$$

である。故に $c=0.5$ cm 又は $c=1$ cm を用ひるとすれば、x は r により變化する數値であることがわかる。然して直徑階、即ち r は、四捨五入、又は二捨三入により求められるものであり、この器具にては、その最高と最低の範圍が決められるのであるから、結局、單位長さの整數倍に單位長さの半分を加へた長さによるのが良いのである。以下 r による x の變化を計算すると第一表の如くである。

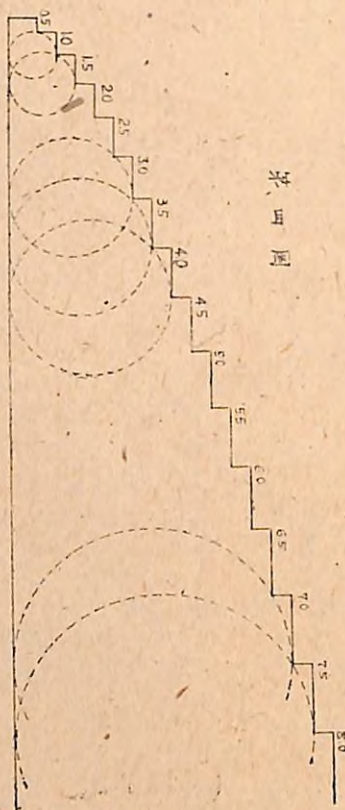
第一表

$$x = \sqrt{r^2 - 0.5^2}$$

直徑D	半徑r	x	起點より合計
cm	cm	cm	cm
0.75	0.375	0.39	0.39
1.25	0.625	0.61	1.00
1.75	0.875	0.79	1.79
2.25	1.125	0.94	2.73
2.75	1.375	1.06	3.79
3.25	1.625	1.17	4.96
3.75	1.875	1.28	6.24
4.25	2.125	1.37	7.61
4.75	2.375	1.46	9.07
5.25	2.625	1.54	10.61
5.75	2.875	1.62	12.23
6.25	3.125	1.70	13.93
6.75	3.375	1.77	15.70
7.25	3.625	1.83	17.53
7.75	3.875	1.90	19.43
8.25	4.125	1.97	21.40

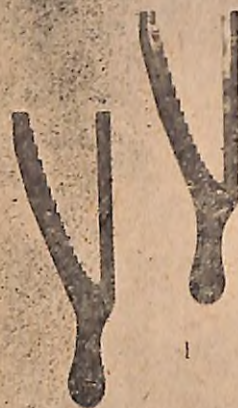
これを圖に畫けば第四圖及第五圖の如くである。

第四圖

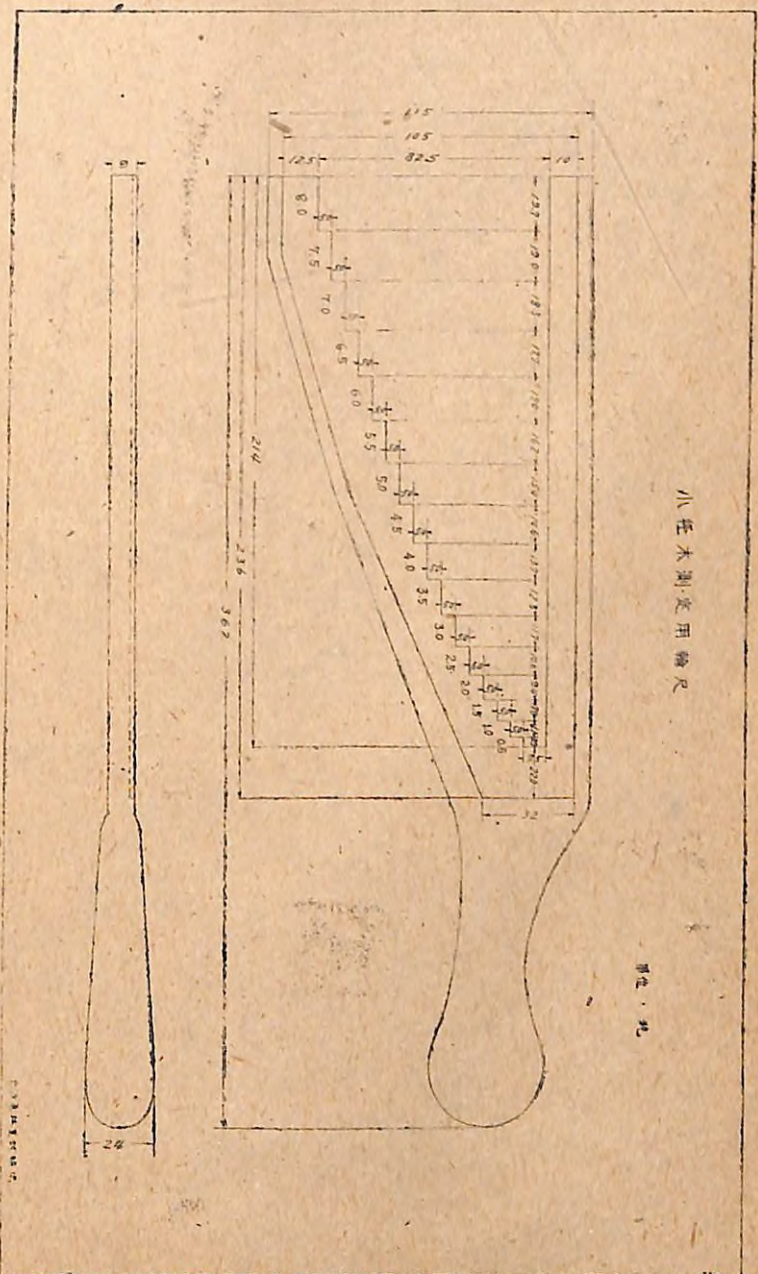


改良測徑具ノ一

(重量一三〇克)



小徑木測定用輪尺



この様にして、設計したる器具を用ふるならば、最初の矩形内に入る林木は、直徑〇・七五から〇・五までのものである。故に最も内側の縦線に接するものは、平均〇・五種の直徑のものである。次に最初の突出部に觸れるものは、一・二五から〇・七五種までのであるから、これに觸れたものは、平均一種である。以下同様にして、各突出部に相當したる直徑を記入しておけば、實際に際して、直徑を求めんとする林木が、如何なる突出部に觸れるかにより、その直徑を求めることが出来るのである。然し乍ら、全く無駄を無くして作るならば、長く使用する内に、突出部が摩耗し、精密度を減じ、過小な直徑を測定することになるから、二耗程度の伸寸を附しておくならば、良いだらうと思はれる。

この器具の特徴とする所は、同じ精度にて、大さを小にし得たこと、括約を平均せしめ得たこと、精度が何れの部分にても同一なること、目盛が読み易いこと等であり、缺點は突出部が摩耗し易いこと、一種單位の目盛のものにては、それ以下の讀みは、甚だ不明瞭で、一種以下の單位の時には代用し得ないこと等である。

尙目盛を直徑によらず、直接圓面積を求め得る様にもなし得る。即斷面積をと a するならば、

$$a = \pi r^2, \quad \therefore r = \sqrt{\frac{1}{\pi} a}, \quad c = \left(\sqrt{\frac{a}{\pi}} - \sqrt{\frac{a-1}{\pi}} \right) \times 2$$

$$x = \sqrt{2rc - c^2}$$

$$= \sqrt{4 \left(\frac{a}{\pi} - \sqrt{\frac{a(a-1)}{\pi}} \right) - 4 \left(\frac{2a-1}{\pi} - 2 \sqrt{\frac{a(a-1)}{\pi}} \right)}$$

$$= \sqrt{\frac{4}{\pi} \left(\sqrt{a(a-1)} \right) - (a-1)}$$

$$= \frac{2}{\pi} \left(\sqrt{a} - \sqrt{a-1} \right) \sqrt{a-1}$$

によつて、目盛を付けるならば、圓面積表を使はなくとも、圓面積が求め得られる。

面積 a	x	起點よりの x の合計	c	起點よりの c の合計
0.5	0.400	0.400	0.800	0.800
1.5	0.648	1.084	0.584	1.384
2.5	0.746	1.830	0.402	1.786
3.5	0.764	2.594	0.327	2.113
4.5	0.772	3.366	0.282	2.395
5.5	0.778	4.144	0.253	2.648
6.5	0.782	4.926	0.231	2.879
7.5	0.784	5.710	0.213	3.092
8.5	0.784	6.484	0.199	3.291
9.5	0.788	7.282	0.188	3.479
10.5	0.788	8.070	0.178	3.659

(4) 改良測徑具の二

以上の三法は、直線により圍まれてゐるが、之は曲線により求めんとするもので、(3)の改良形とも云ふべきもので、(3)の内方の必要なる精密度のある部分を短くして、無駄を省いたものである。

曲線式としては、二次の拋物線式を用ひるのが、全ての點で好都合であるので、

$$y = \sqrt{ax}$$

を用ひた。然るとき x に於ける曲線の法線の長さ、即この曲線に接する圓の半徑 r は

$$r = y \sqrt{1 + y'^2} = y \sqrt{1 + \left(\frac{dy}{dx}\right)^2}$$

であるから、y の値をこれに代入すれば、x なる點に於てこの曲線に接する圓の半徑が求め得られる。

$$y' = \frac{\sqrt{a}}{2} x^{-1/2}, \quad y'^2 = \frac{a}{4} x^{-1} = \frac{a}{4x}$$

$$\begin{aligned} \therefore r &= y \sqrt{1 + y'^2} = \sqrt{ax} \sqrt{1 + \frac{a}{4x}} \\ &= \sqrt{ax + \frac{a^2}{4}} \end{aligned}$$

$$\therefore r^2 = ax + \frac{a^2}{4}, \quad x = \frac{1}{a} r^2 - \frac{a}{4}$$

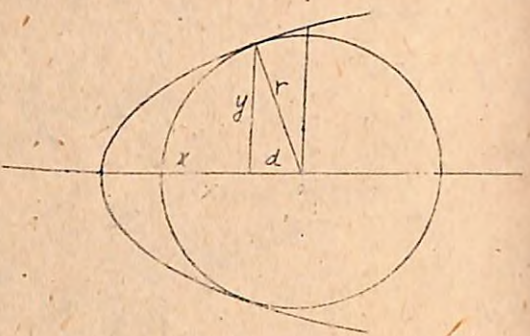
$$= \sqrt{ax + \frac{a^2}{4}}$$

又法線の x 軸上に投ずる影、即 d は、 $d = \frac{1}{2}r$ であるから、原點より、x なる點に於て、この曲線に接する圓の中心までの長さ X は、

$$X = x + d = x + y' = x + \frac{a}{2} = \frac{1}{2} r^2 - \frac{a}{4} + \frac{a}{2} = \frac{r^2}{2} + \frac{a}{4}$$

となる。この曲線の係數 a を、適當に決するならば、r なる半徑の圓が接する點の位置、及び中心の位置が求め得られることになる。

又 (3) に於て行つた如く、直接に、圓面積を求めんとするならば、以上に於て用ひた r の代りに、 $r = \frac{A}{\pi}$ を用ふれ



第六圖

ば、圓面積Aなる圓の接する點の位置、及びその圓の中心の位置が求め得られる。即ち、

$$x = r^2 \times \frac{1}{a} - \frac{a}{4} = \frac{A}{\pi} \frac{1}{a} - \frac{a}{4}$$

$$X = r^2 \times \frac{1}{a} + \frac{a}{4} = \frac{A}{\pi} \frac{1}{a} + \frac{a}{4}$$

である。この兩式を觀察する時、x及Xは、Aに比例してゐることがわかる。即圓面積の目盛を用ふるならば、等間隔となることがわかる。而して、aの値を變化させることにより、同じ長さの器具にても、測定し得る直徑の範圍を變化せしめたり、測定値の精密度を變化せしめたりすることは、容易である。

二次の拋物線によるときは、各目盛間の長さが、何れの部分にても、前後二直徑の平均と比例してゐるから、大なる直徑の部分にては、目盛が大で、隣りの目盛と誤つて、判斷することがなく、小なる直徑の部分に於けると同一精密度が得られるのである。これを式により説明すると、相隣れる二直徑の目盛を、 $2r_1$ 、 $2(r+b)$ とすれば、半徑は、 r_1 、 $r+b$ となる。然して、この二直徑の圓が接するところの圓の中心の位置は、

$$X_1 = r_1^2 \times \frac{1}{a} + \frac{a}{4} \quad \text{及び} \quad X_2 = (r+b)^2 \times \frac{1}{a} + \frac{a}{4}$$

であり、その目盛の間隔は

$$X_2 - X_1 = \frac{1}{a} \left\{ (r+b)^2 - r_1^2 \right\} = \frac{1}{a} b \left\{ (r+b) + r \right\} = \frac{b}{a} \left\{ 2r + 2(r+b) \right\}$$

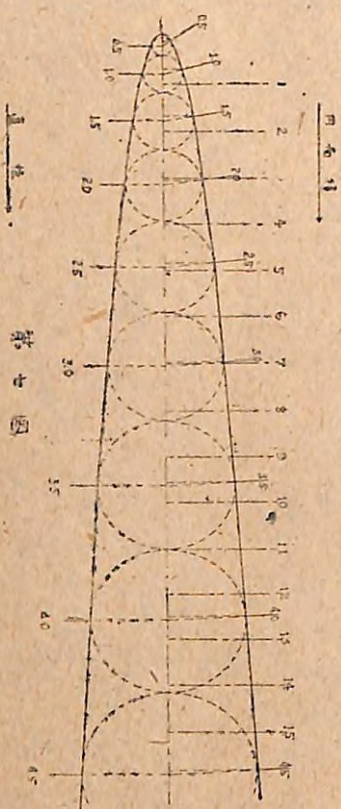
となり、a、bは定數であるから、目盛の間隔は、前後二直徑の平均に比例し、人間の視角が、林木を横から見て、その樹心の位置を、その直徑の何分の一までの精密度で、知り得るかにより、b/aを決すれば良いことになる。例へば1/nまでの精密度があるとすれば、

$$\frac{b}{a} = \frac{1}{n} \quad \therefore \quad b = \frac{a}{n} \quad \text{或は} \quad a = bn$$

であるから、望むb又はaに對し、a又はbを決すれば、最も無駄のない、測定器が得られることになる。

以下a=1として、r及びAとx及びXとの間の關係を表にして見る。これを圖に畫けば第七圖の如くである。

半徑r cm	x cm	X cm	圓面積 A cm ²	x cm	X cm
0.50	0.00	0.50	1	0.07	0.57
0.75	0.31	0.81	2	0.39	0.89
1.00	0.75	1.25	3	0.70	1.20
1.25	1.31	1.81	4	1.02	1.52
1.50	2.00	2.50	5	1.34	1.84
1.75	2.81	3.31	6	1.66	2.16
2.00	3.75	4.25	7	1.98	2.48
2.25	4.81	5.31	8	2.30	2.80
2.50	6.00	6.50	9	2.61	3.11
2.75	7.33	7.83	10	2.93	3.43
3.00	8.75	9.25	11	3.25	3.75
3.25	10.30	10.80	12	3.57	4.07
3.50	12.00	12.50	13	3.89	4.39
3.75	13.80	14.30	14	4.21	4.71
4.00	15.75	16.25	15	4.53	5.03
4.25	17.80	18.30	16	4.84	5.34
4.50	20.00	20.50	17	5.16	5.66
4.75	22.30	22.80	18	5.48	5.98
5.00	24.75	25.25	19	5.80	6.30



而して、この圓面積の目盛をなしたる方は、目盛は等間隔で便利であるが、直径目盛に於ける(2)の缺點を持つてゐる。即ち、全體の精密度は最大直径の圓の精密度に支配されるにも拘らず、小なる直径の部に於ては、無駄な精密度を持ち、爲に、同じ長さの器具にて、測り得る林木の範圍を、小にする缺點がある。然し乍ら、これにて測り得る小林木にては、材積の計算は、殆んど問題にならないから、圓面積の測定も、必要のものと思はれる。

この器具の特徵とする所は、各直径階に對して、同じ單位まで讀み得ること、しかも、各部分に無駄のないこと、各直径階の中間に於ても、熟練によれば、更に、細かく目分量にて、讀み得ること、突出部なきため、摩擦が一部だけに止まらず、全體に渉るため、長く使用し得ること、圓面積の測定にも、直接そのまゝ利用し得ること、開きの大小、即ち α の値を變へることにより、精度を高め、又は、測定し得る範圍を大にすることの出来る點等で、又その缺點とする所は、曲線により作られゐるから、製作が困難なる點で、これに關聯し、製作技術により、精度が左右されることが大きい點である。

以上にて、個々の器具の特徵缺點を述べたが、この様な一群の測定器具が、現在多く用ひられてゐる輪尺、卷尺に對し如何なる利點、缺點があるかを述べて見たと思ふ。

この種の器具は前述の如く、小徑木に對しては、絶對的に有利であるが、大徑木に對しては用ふる事が出来ないこと。器具の材料によつては壞れ易く、又反り等の爲に誤差を生ずること。測定せんとするものが、正圓ならざる時には、(1)を除く以外のものでは、中心を通る直径を測り得ず、中心にて或る角をなして、折線をなす二半径の和を測るものである。一回又は二回の測定にては、眞の直径とは誤差の大きい價を、測定する缺點がある。即直角をなす二直径を測り得ない點である。然し乍ら、小徑木にては大徑木に比し、正圓に近いものが多く、卵形、楕圓形又は不規則なる斷面をなすものが少いから、全體としては、左程大きな誤差を生じないものと思はれる。測徑に際してはこの器具にては、輪尺、卷尺の如く、裝置を動かさなくとも良い。

(5) 輪尺、卷尺の改良

以上は幼齡林木、又は稚樹の直径測定に用ひられる器具に付いて述べて來たが、以下、立木、又は丸太の材積計算に用ひられる輪尺、及び卷尺に付いて、改良すべき事項を述べることにする。

先づ第一は、直径測定、圓面積測定、材積測定、又は生長調査等に輪尺を用ふべきか、卷尺を用ふべきかに就き、吉田教授の説を借りて述べて見る。

輪尺は、日本、獨國等で多く用ひられ、卷尺は、英國、佛國等で多く用ひられてゐるが何れも一長一短有り、利點、缺點を揚げれば次の如くである。

卷尺

利點

- 1、直交二直径測定の場合より計算簡單なり。
- 2、携帶に便なり。
- 3、大樹の測定に便なり。
- 4、倒木の直径測定に便なり。
- 5、固定試験地に於て繰り返し測定を行ふときに、毎回の測定誤差は秩序的である。

缺點

- 1、測定面倒にして時間を多く要すること。
- 2、周圍を一廻りせしむる故、特に凸又は凹なる部分を避くるを得ず。
- 3、度盛りを誤讀し易し。
- 4、緊服度により測定値に差を生ぜしめる。
- 5、布製は雨天其他濕氣の多き時及場所に於て使用に堪へず。
- 6、一方的に過大なる誤差のみ生ずる。
- 7、疲労の度大なり。

以上の如き利點、缺點があるから、それぞれの使用目的により、輪尺を用ふべきか、卷尺を用ふべきかを決すべきである。卷尺を用ふるを便利とする場合

固定試験地に於て繰り返し、測定を行ふ場合、小數樹木について精密に材積を測定せんとする場合、及び特別の場合として測定木が大小非常に不揃なるか、非常なる大樹を測定する場合等。

輪尺を用ふるを便利とする場合

多數の樹木而も比較的大樹の測定の場合、或は一回限りの材積測定の場合、急速に測定を了せんとする場合等。次に現在の輪尺、卷尺を使用する目的を述べると

1、直徑測定を主目的とし、斷面積、材積測定を副目的とする場合（直徑生長調査等）
 2、直徑、斷面積、材積測定を同一程度に、重く見る場合（一林分の構成狀態調査等）
 3、直徑測定を副目的とし、斷面積、材積測定を主目的とする場合（丸太材積測定等）
 の三つに分けられると思はれる。而して、前二者は、勿論直徑測定を行ふ必要があるけれども、第三は、斷面積又は材積の測定に對する補助手段であるから、斷面積、材積を測定するに便なる方法があれば、必ずしも直徑を測定する必要はないのである。即ち直徑の數値を求めなくとも、直接斷面積、材積等が得られれば、それで良いのである。

この様な見地から、現在用ひられてゐる様な、周圍に卷尺を當てることにより、直に直徑を知り得る方法と同様に、輪尺を當てることにより、或は卷尺を當てることにより、直に斷面積が求め得られる様にしたならば、便利ではなからうかと思ひ、その度盛に就き計算して見た。

1、輪尺の場合

直徑をD、斷面積をAとするならば、 $D = \sqrt{\frac{4A}{\pi}}$ であるから、Aに適當な數値を代入するならば、それに相當したの値が求め得られる。

斷面積 A	直徑 D
1	1.128
2	1.595
3	1.954
4	2.256
5	2.524
6	2.764
7	2.986
8	3.192
9	3.386
10	3.548
20	5.046
30	6.180
40	7.138
50	7.978
60	8.740
70	9.442
80	10.092
90	10.706
100	11.284

斯の如く斷面積の度盛を附すならば、第八圖の如くなる。この圖から度盛が不均等であり、同じ單位に於ては、圓面積が大となる程細くなることがわかり、精密度は最大なものに於て讀み得る單位により求め得られる。故に實際に、多數の林木の胸

高斷面積等を測定するには、大なるものに於て讀み得る單位まで、小なる林木に於ても、讀めば身いのである。例へば、大なる林木に於て、四四〇平方種と讀んだならば、小なる林木に於て、八平方種又は二五平方種と讀み得ても、一〇平方種又は三〇平方種と讀んで差支へないのである。何となれば、小なる林木にて、八平方種、二五平方種の如く一位まで讀んだとしても大なる林木にて、一位は四捨五入されるので、全體としてはやはり十位迄は正しくとも、一位は信用出来ないからである。而して、四捨五入により、零となるものは、本數を數へ、平均の斷面積を乗じ、求める事にすると良い。この様な目盛にするならば、誤讀する恐れがあるが、熟練するならば、この點も除き得ると思ふ。又これと同じ趣旨にて、丸太材の材積を、末口直徑のみ測定して、直に求め得る様にすることも、便利であると思はれる。即ち、土場に最も多く出る丸太は、その長さは、一種又は二、三種に過ぎないから、各長さの丸太の、單位材積毎に、相當する末口直徑を求め、それにより目盛をしておくならば、末口直徑を當てたのみにて、直に材積を讀み得ることになる。斯くする時は、材積表を用ひたりする手數が省け、勞力不足の折柄、便利であらうと思ふ。例へば、丸太にては、現今は、一・九米、二・八米、三・七米の長さのものが多くから、これに相當した目盛のものを作つておくと良いと思ふ。

一例として、三・七米丸太を、木材規格の方法により、目盛るならば第九圖の如くなる。



木材規格規程による材
積と直径との關係
(材長3.7m)

材積 V m ³	直径 D cm
0.01	2.7
0.02	5.1
0.03	6.9
0.04	8.4
0.05	9.8
0.06	10.1
0.07	12.1
0.08	13.2
0.09	14.1
0.10	15.1
0.11	16.0
0.12	16.8
0.13	17.6
0.14	18.4
0.15	19.1
0.16	19.8
0.17	20.5
0.18	21.2
0.19	21.9
0.20	22.5

2、卷尺の場合

輪尺の場合と同様に、圓周をC、圓面積をAとすれば、 $C = \pi \sqrt{4A}$ となり、それぞれのAに對しCを計算し圖に畫くならば次の如くである(第一〇圖参照)。

圓面積 A	圓周 C
1	3.54
2	5.02
3	6.14
4	7.10
5	7.92
6	8.8
7	9.38
8	10.02
9	10.64
10	11.20
20	15.86
30	19.42
40	22.42
50	25.06
60	27.46
70	29.66
80	31.70
90	33.64
100	35.44



これに依れば、周圍に卷尺を當てれば、直に圓面積が求め得られる。又前者と同様に材積の目盛を付すことも出来るが、前者に比し實用的價値は少いと思はれる。

以上の如き目盛を付す時は、對數目盛になる點が誤讀の原因になり易い。然し乍ら、これも熟練すれば、何ともない問題であると思ふ。他の缺點としては、丸太に對しては材積で呼稱するよりも、直径を以つて云ひ現はす習慣であるから、材積等の場合にも、直径階によつて居り、材積階によつては分類してゐない點である。

本稿發表に際し、原稿整理、圖版及現品の製作等小熊米雄氏に負ふ處甚だ多し。記して深謝の意を表す。(完)