

# 計器の目盛に関する統計的研究

(第 2 報)

——目盛線の幅が目測誤差に及ぼす影響に就いて——

市 川 誠 \*

(信州大学工学部機械工学教室)

## 1 序 言

計器の示す値を決定すべき最後の段階に於いて、最小目盛間の目測による誤差が問題になる。これは目盛線の形状、幅、最小目盛間隔、及び指針の位置、太さ等が測定者の共通癖、及び個人癖と共に、その目測誤差に影響するからである。

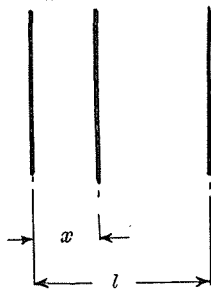
現在、計器の感度、精度等を向上させるための研究は多くなされているようであるが、上に述べた問題に就いては余り関心が払われていない。勿論、目盛に関する研究が皆無と云う訳ではないが、それらは何れも実際の計器の目盛とは非常にかげはなれたものを実験資料として居るので、<sup>(1)</sup> 実際面に適用するには、甚だ不十分である。又、指針が何番目の目盛線にあるかを迅速正確に見出すために、目盛線はどういう状態のものがよいかと云う問題と、筆者のように、精密級測定器の比較的小さい目盛線間に於ける指針の僅かな移動を適確に目測したいと云う要求では、<sup>(2)</sup> 本質的な違いがある。

本研究は、現在使用されて居る各種計器の目盛を調査分類して、それらを基礎にして一つの系統ある実験資料を作成し、筆者の考案になる特別な実験装置により得られた結果を統計的に考察して、合理的な目盛、即ち最も読み易く、且つ目測誤差の少ない目盛を見出さんとするものである。そのために、筆者は既に、計器の目盛に就いて(予報)、及び、計器の目盛に関する統計的研究(第1報)<sup>(3)</sup>——目盛線の形状・位置が目測誤差に及ぼす影響に就いて——<sup>(4)</sup>に於いて、その一部を發表したが、本報告に於いては、更に一定

目盛間隔、一定指針の場合に、目盛線の幅が目測誤差に及ぼす影響に就いての実験調査結果を報告する。これによつて、計器の目盛に対する認識が新たにされ、新しい能率的な目盛の作成に役立つ幸甚とする所である。

## 2 目測の方法

一般に、目盛線間に指針がある場合には次の如き目測方法によつて判定する。即ち第1図に於て $l$ を最小目盛線間隔、



第1図

\* 信州大学助手

$x$  を指針の位置とすれば、

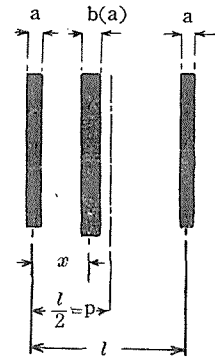
$$\frac{x}{l} \text{ 或いは } \frac{x}{l-x}$$

然し、目盛線及び指針が幅を有する場合には、第2図に於て指針及び目盛線の幅を  $a$  とすれば、

$$\frac{x}{l} \text{ を } \frac{x-a}{(x-a)+(l-x-a)}$$

と読むために、その誤差を  $\epsilon_1$  とすれば次の如くなる。

$$\epsilon_1 = \frac{x}{l} - \frac{x-a}{(x-a)+(l-x-a)} = \frac{a(l-2x)}{l(l-2a)} \dots\dots\dots(1)$$



第2図

同様に、

$$\epsilon_2 = \frac{x}{l-x} - \frac{x-a}{l-x-a} = \frac{a(l-2x)}{(l-x)(l-x-a)} \left( \frac{a(l-2x)}{x(a-x)} \right) \dots\dots\dots(2)$$

更に、次の場合も考えられる。即ち、

$$\epsilon_3 = \frac{x}{l} - \frac{x-a}{l-a} = \frac{a(l-x)}{l(l-a)} \left( \frac{ax}{l(l-a)} \right) \dots\dots\dots(3)$$

上の括弧内は基準線を反対にとつた場合、即ち、指針が目盛線間の中心を過ぎたと思われる場合である。

又、中心附近では、中心線を仮定して読むので、この場合には、夫々次の如くなる。(第2図)

$$\epsilon_1' = \frac{p-x}{p} - \frac{p-x-\frac{a}{2}}{p-\frac{3}{2}a} = -\frac{a(2p-3x)}{p(2p-3a)} \dots\dots\dots(4)$$

$$\epsilon_2' = \frac{p-x}{x} - \frac{p-x-\frac{a}{2}}{x-a} = \frac{a(2p-3x)}{2x(a-x)} \dots\dots\dots(5)$$

$$\epsilon_3' = \frac{p-x}{p} - \frac{p-x-\frac{a}{2}}{p-\frac{a}{2}} = \frac{ax}{p(2p-a)} \dots\dots\dots(6)$$

以上は、何れも指針幅と目盛線幅が等しい場合であるが、実際の計器ではこの両者が等しい場合は稀である。従つて第2図の如く指針幅を  $b$  とすれば、実際は次の如くなる。

$$\epsilon_1'' = \frac{(a+b)(l-2x)}{2l\{l-(a+b)\}} \dots\dots\dots(7)$$

\* この場合、中心線、即ち、 $p$  の位置を仮定する能力が、どの程度のものであるかが、統計的に判明すれば、その誤差を論ずる上に極めて興味深い。

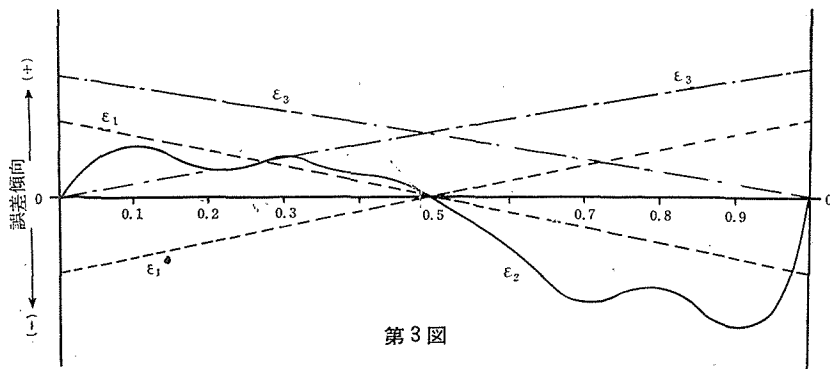
$$\epsilon_2'' = \frac{(a+b)(l-2x)}{(l-x)\{2(l-x)-(a+b)\}} \dots\dots\dots (8)$$

$$\epsilon_3'' = \frac{l(a+b)-2ax}{2l(l-a)} \dots\dots\dots (9)$$

中心線を仮定するときも(4), (5), (6)から同様にして得られるが省略する。

斯く考えて来ると、普通の目測方法としては先に述べた如く、原則的には2通りであり、その誤差を考える場合には、一般に3通りとなるが、指針の位置によつては、最小目盛線間に於いて、最初は左の目盛線を、次は仮定中心線を、最後に右の目盛線を基準とするなど、目測方法としても数多く、従つて、これらの方法から惹起される目測誤差も多数の形で現われる。

更に、各個人について見ても、夫々目測の方法が異り<sup>\*</sup>、同一人でも指針の位置によつて別々の独得の目測方法を採つたり、それが何時も同じ状態下に同一の目測方法が採られるとは限らない等、極めて不安定なため、目盛線間の特定の場所の誤差を理論的に考える事は困難である。然し、(7), (8), (9)式を基準として、 $a=0.1, b=0.12, l=1.4$  から目盛線間の各点の目測誤差を計算して、その傾向を見ると、第3図の如くなる。



第3図

### 3 実験の装置及び方法

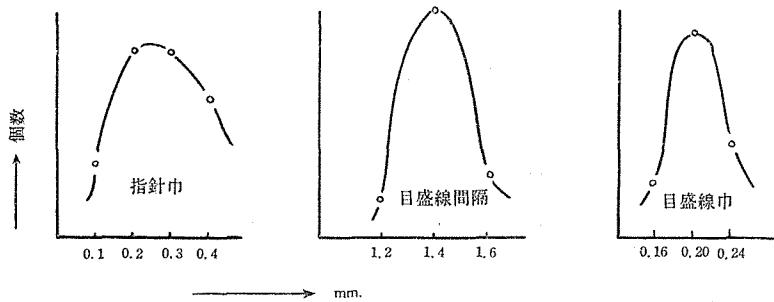
#### A 実験装置

##### 1 目盛の作成

実験に使用した目盛は、筆者が集めた数十個の dial gauge に就き、その指針及び最小目盛線幅、最小目盛間隔等を測定分類した結果、第4図の如くなつたので、これを基礎資料として、目盛線間隔を  $l=1.4\text{mm}$ 、目盛線幅を  $a=0.1, 0.2, 0.3, 0.4\text{mm}$  と決め、第6図Aの如く配置し、各区間に、①~⑦の番号を附した。従つて、目盛線幅は、太い方から、①、⑤、⑦、③となり、②、④、⑥がその間となる。

そのために約20倍の拡大目盛をケント紙に描き、写真作成した。その結果、作画誤差、

\* 一概に、個人差 (personal error) と云うが、この場合、後に述べる目測の通性を考え合せれば、目測に於ける個人差は、こんな所に大きな要素があるものと思われる。

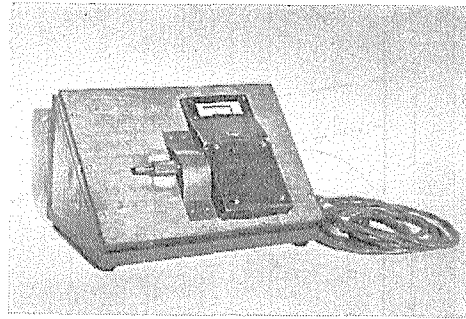


第4図

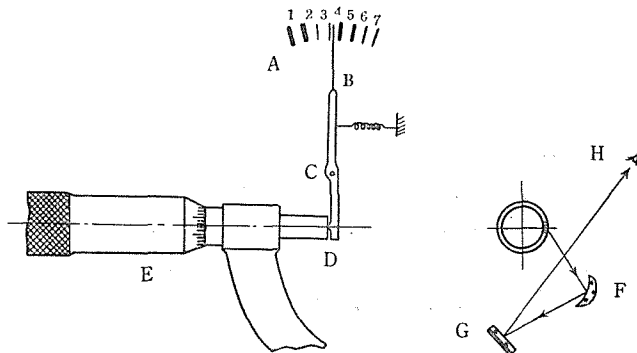
写真による縮尺誤差等が現われたが、殆んど問題にならない程度なので、そのまま使用した。

## 2 装 置

第5図写真の如き装置を作り、上に述べた目盛を貼付けた。この装置の構造を第6図に示す。図に於いて、Aは目盛、Bは指針で、目盛部の幅(太さ)を0.12mmとした\*。Cは指針の支点、DはEの micrometer spindle の測定面への接触点で steel ball が加締められている。Fは凹面鏡で、micrometer の目盛を拡大して読み易くし、このままでは倒立するので、更にGの mirror を使用した。Hは記録者の目の位置である。この装置では内部が暗くなるので、baby trans. を備え豆電球をつけて明るくし、記録者が micrometer の目盛を読むに便利にした。尚この装置によると、micrometer の一目盛は、指針の lever ratio 等から最小目盛間隔の約  $1/52$  に相当する。



第5図



第6図

又、視差の影響をなるべく少くするために、目盛の下側にそつ

\* 第4図からすると、平均的な指針幅でないが、細い程、良い結果を得られるだろうと考えた。

て平行に mirror を附した。又、この位置では micrometer の基準線は観測者に見えないが、sleeve の目盛が見えるから、何かの目安になつてはいけなないので、写真の如く覆いをつけた。

更に重要な事は、本装置の感度、及び安定度であるが、micrometer の微妙な動きによる指針の変化を顕微鏡で調べたが殆んど問題なく、又、700回の実験後に於いても、最初と全然変化して居なかつた。

### B 実験方法

観測者は micrometer を廻して、記録者が指示する位置へ指針を移動させる方法をとつた。<sup>\*</sup>即ち、観測者は先ず、一番左の目盛線へ指針を合せ、最初の間隔に於いて、0.2, 0.5, 0.9, 0.7, 0.4, 0.1, 0.3, 0.6, 0.8, と順々に、記録者の指示に従つて、目測で各位置へ指針を移動させ、次の目盛線（左から2番目）へ移り、今度は次の間隔（左から2番目）で同様な目測を繰返して、順次右の方へ進めて最右端の目盛線まで行く。この間、記録者は各位置を micrometer で読み取り特別に作られた整理用紙に記録して行くわけである。以上で1回の実験が終るのであるが、この間71ヶ所の目測を行うことになる。そして今度は、観測者が同一人であると否とに拘らず右端から左の方へ進めるようにした。この場合は、目盛線の基準は前と同じであるが、今度は、0.8, 0.6 ……0.5, 0.2の順序となる。<sup>\*</sup>斯く絶えず交互の方向からしたのは、1回の実験に大体10～15分を要するので、疲労・熟練・倦怠等により、目測に不公平が生じないようにするためである。

又、目測の場合は、指針の左右の明さが違つてその影が現われるようではいけないので、これらに対しても細心の注意を払つた。尚、よく云われるように、心理的な影響をなくすための雰囲気を作るように努力した。

## 4 実験結果及びその考察

上述の如き装置及び方法によつて、目測実験を700回（1回71ヶ所）<sup>\*\*\*</sup>行つた結果を統計的に整理して、各目盛の各目測点に於ける、目測平均値と真値とのズレ、及び目測平均値に於ける標準偏差を求めると、夫々、第1表及び第2表の如くなり図示すると第7図の如くなる。

### A 目測平均値と真値とのズレに就いて

第7図に於いて、各目盛は何れも、目測点0.5を中心にして、大体、点対称となり、一般に、左半分（0.1～0.4）は大きく、右半分（0.6～0.9）は小さく目測している。これは指針と両目盛線によつて出来る二つの間隔を比較する時、小さい間隔を基準と

\* この方法は、実際の目盛を読む場合とは多少異なるが、目盛線の幅の影響を考える点に於いては本質的に同じものである。

\*\* この順序は、左から右への場合の反対であるが、何れにせよ、この決め方は at random で、成可く等間隔の箇所が連続しないように、そして次への進行に便なる如く決めた。

\*\*\* 本実験は、昭和29年春より、昭和30年夏に到る1ヶ年半に亘つて行われた。

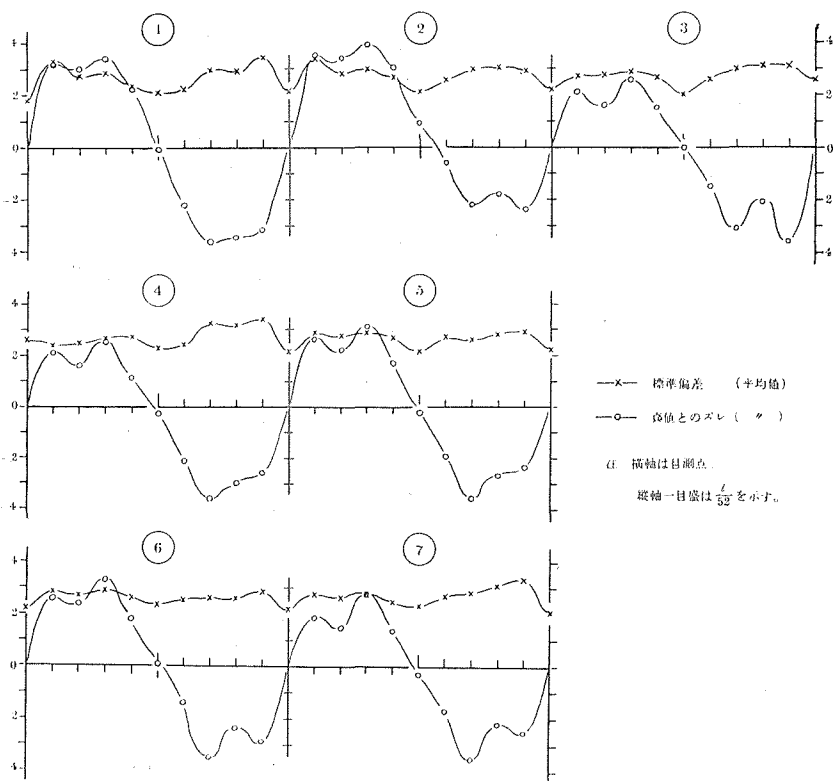
第1表 目測平均値と真値とのズレ

単位,  $\frac{l}{52}$ 

区 間	目測点	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	計	差
1		3.2	3.0	3.4	2.2	-0.1	-2.2	-3.6	-3.5	-3.1	24.3	-0.6
2		3.5	3.4	3.9	3.0	0.9	-0.6	-2.2	-1.8	-2.4	21.7	6.8
3		2.1	1.6	2.6	1.5	0	-1.5	-3.1	-2.0	-2.6	17.0	-1.4
4		2.1	1.6	2.5	1.1	-0.3	-2.1	-3.6	-3.0	-2.5	18.8	-3.9
5		2.7	2.2	3.1	1.7	-0.2	-1.9	-3.6	-2.7	-2.3	20.4	0.8
6		2.6	2.4	3.3	1.8	0.1	-1.4	-3.5	-2.4	-2.9	20.3	-0.1
7		1.9	1.5	2.8	1.3	-0.3	-1.7	-3.5	-2.2	-2.5	17.7	-2.4

註 計：絶対値の総計

差：左半分 (0.1~0.4) と右半分 (0.6~0.9) の合計の差



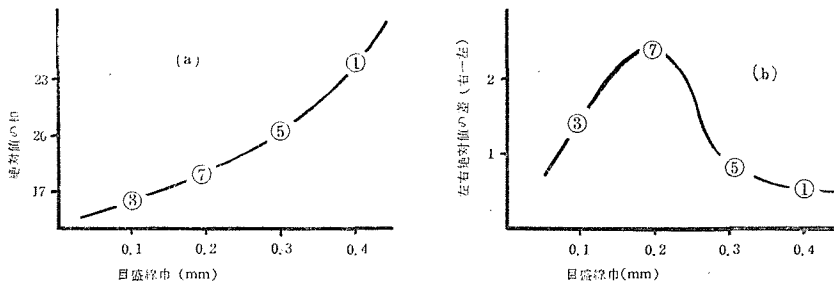
第7図

第2表 目測平均値に於ける標準偏差

単位,  $\frac{l}{52}$

区 間	目測点											
	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	0	計
1	1.78	3.26	2.70	2.84	2.34	2.08	1.98	2.96	3.26	3.38	2.14	24.80
2	2.14	3.32	2.76	2.96	2.62	2.10	2.54	2.96	3.06	3.02	2.16	25.34
3	2.16	2.68	2.70	2.84	2.64	2.00	2.52	2.98	3.12	3.28	2.56	24.76
4	2.56	2.33	2.46	2.60	2.72	2.28	2.44	3.24	3.16	3.36	2.16	24.59
5	2.16	2.74	2.74	2.88	2.66	2.10	2.72	2.60	2.80	2.92	2.20	24.16
6	2.20	2.84	2.70	2.90	2.60	2.28	2.54	2.56	2.04	2.86	2.14	23.32
7	2.14	2.78	2.64	2.84	2.48	2.26	2.76	2.82	3.04	3.30	2.04	24.92

\* し、これを大きく目測するためで、又、このズレの絶対値は、右半分が左半分より大きい(第1表参照)。これらは、我々の錯覚、日常生活に於ける習慣、対数観念の影響等によるもので、目測に於ける悪い通性と考えられる。



第8図

この通性が、目盛線の幅の影響をうけて、どうなるかを見ると、第1表及び第8図(a)の如く(第7図参照)、全体として、①、⑤、⑦、③の順に、その絶対値の和が少なくなつて、目盛線の幅が細い程、結果のよい事を示している。然し、左右絶対値の差は、第8図(b)の如く、目盛線幅もこの範囲では、何れとも決しかねる。又、この左右絶対値の差を、両目盛線の幅が等しくなく、右方線が細い②に就いてみると、逆の結果となり、特に、⑥では、第1表及び第7図から解るように、極めて少い。これは、非常に興味ある事実で、目盛線の幅を右方線を細く適当に不同にする事に依つて、我々の目測に於ける悪い通性を、或程度補い、正しい方向に導き得る事を意味する。故に、一つだけの目盛間を目測する場合には、このような目盛も大いに利用される価値がある。

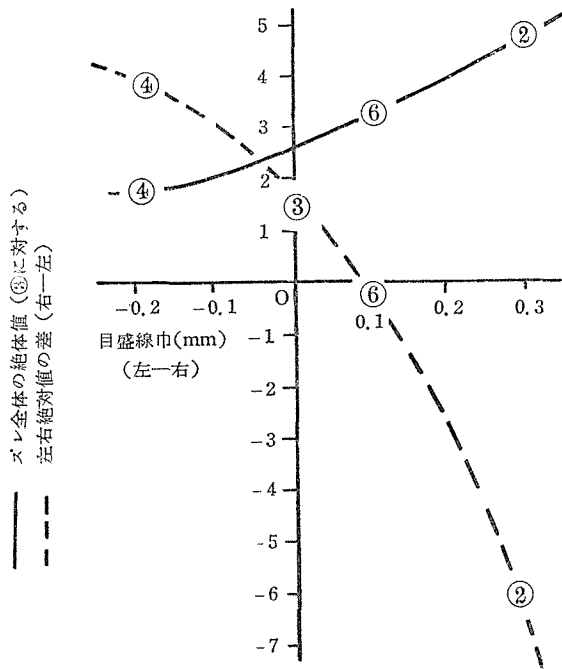
次に、両目盛線の等しくない場合でも、②、⑥と反対の状態にある④では、その傾向は逆になつて、悪い通性を助長している。今、②、⑥及び④に就いて、第1表から③を

\* 0.5の線を過ぎると、目測基準線は次の目盛線へ移る。

基準とした目測結果を比較してみると、第9図実線の如く、左右絶対値の差と目盛線幅の差との関係は点線の如くなる。

第9図から、この場合に於ける合理的な両目盛線幅の関係が得られるわけであるが、実験資料が少く、今結論を下すことは、尙早の感があるので、将来の実験に待ちたい。

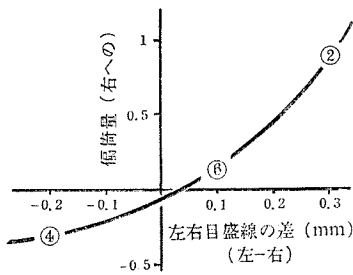
各目測点に就いては、一般に、同位にある0.3及び0.7が最悪で、0.1 (0.9), 0.2 (0.8), 0.4 (0.6) の順になるが、矢張り、0.7, 0.9, 0.8, 0.6と概して右半分が悪い。これが、目盛線の幅が太い場合の①, ④, ⑤では0.9の目測が比較的よくなる。これは、目盛線の端そのものが、目測を有利に補助したためと思われる。従つて、目盛線幅



第9図

をその間隔に対して正しく認識していれば、目測に好影響を及ぼすことになる。

目盛線上には、実際上ズレはなく、0.5の点については、左右対称目盛の①, ③, ⑤, ⑦ではこのズレは殆んど認められないが、そうでない②, ④, ⑥では、何れも目盛線の細い方へズレている。そして、この偏倚量と左右目盛線幅との関係は第10図に示す如くである。



第10図

### B 目測平均値に於ける標準偏差に就いて

目盛線の幅が無視出来るような状態においては、<sup>(1)</sup> 工藤・佐田両氏の実験によると、第11図の如くなると云われるが、筆者の場合は、目盛線の幅のため、第7図の如くなり、最も目盛線の幅の細い③の場合に、比較的似ている。

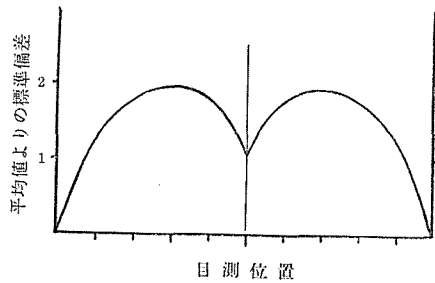
従つて、各目盛に就いて、目盛線の幅の影響としては、第2表の如く、全体としては大した差異は認められないが、同一目盛間では、一般に、左半分より右半分が大きい値を示している。そして、0.3, 0.7に最大がある。然し、線幅が太いと0.1, 0.9が大きい

\* 0.3及び0.7は  $\frac{1}{3}$  を基準にして、大ざつばに目測する傾向がある。然し、実際の  $\frac{1}{3}$ ,  $\frac{2}{3}$  点の目測は非常によい。



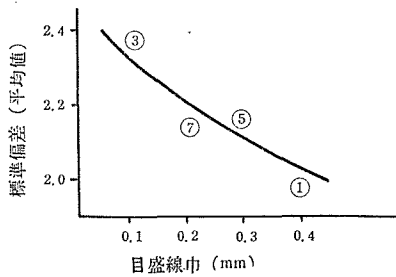
いが、これは既に述べたズレとは反対の性質である。

第7図の curve から、標準偏差は、何れも目盛線を中心として、両側の半分が対称的である事が解る。これは実際目測に当つて、目測基準を指針に近い目盛線にとる事を示すもので、目測の方法が結果的に現われる例である。尙、両目盛線の幅が等しい場合には、0.5 の線に対しても対称的になる。



第11図

又、各目盛線上に於いては、第2表から第12図が得られ、目盛線幅は、指針幅に対し、或程度太い方が良結果となることを示す。これは、人間の眼の認識力からも説明出来る事である。



第12図

以上で、目盛線幅の異なる各目盛の特質、及び各目測点における誤差傾向は推察されるわけであるが、筆者は更に、目測誤差を惹起する要因として、次の如きものを定義して考察を試みた。即ち

$$\text{目測誤差} = (\text{目測平均値と真値とのズレ})$$

$$\times (\text{目測平均値に於ける標準偏差})$$

これに依つて、目測誤差を計算すると、第3表となる。

第3表の最右欄は、目測誤差の少い順位を示した。これによると、全般的に③が一番良く、⑦がこれに続いて、目盛線の幅の細い方が良い

第3表 目 測 誤 差

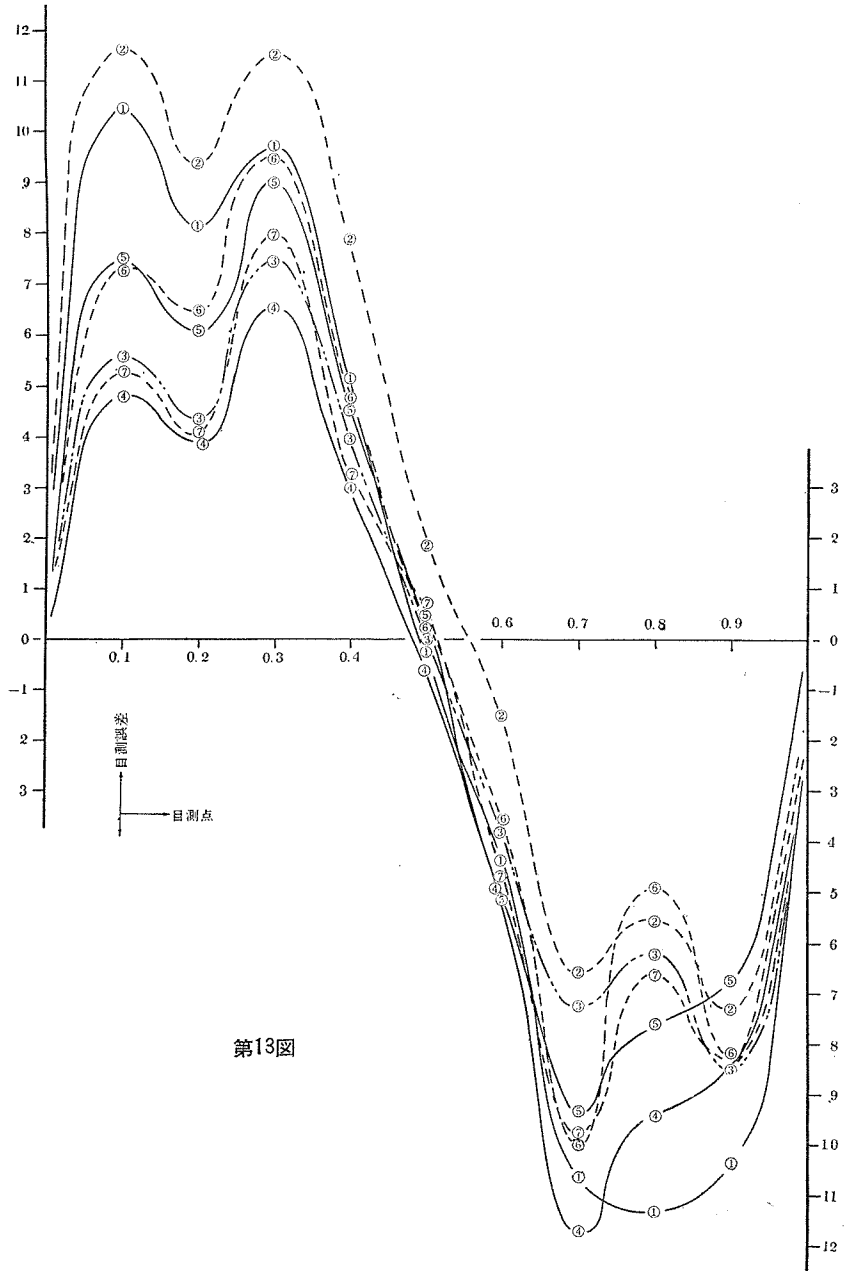
単位,  $\frac{1}{52}$

目測点 区間	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	計	順位
1	10.43	8.10	9.66	5.10	-0.21	-4.36	-10.66	-11.41	-10.48	70.41	7
2	10.62	9.38	11.54	7.86	1.89	-1.52	-6.51	-5.51	-7.25	63.08	6
3	5.36	4.32	7.38	3.96	0	-3.78	-9.24	-6.24	-8.53	62.84	1
4	4.89	3.94	6.50	2.99	-0.68	-5.12	-11.66	-9.48	-8.40	52.66	3
5	7.40	6.03	8.93	4.52	0.42	-5.12	-9.36	-7.56	-6.72	56.06	5
6	7.38	6.48	9.57	4.68	0.23	-3.56	-9.98	-4.90	-8.29	55.07	4
7	5.28	3.96	7.95	3.22	0.68	-4.69	-9.87	-6.69	-8.25	50.59	2

註 計 : 絶対値の総計  
順位 : 目測誤差少い順位

\* 仮称

結果となる事が明確となる。又、両目盛線幅の異なる場合には、その差は少ない方が良結果となる事は、その順位が、⑥、②となつている事から、容易に知れる。



第13図

以上を総合した結果、①が一番目測誤差が大きい事になり、目盛線の幅の影響は、太い程悪くなる事が解る。

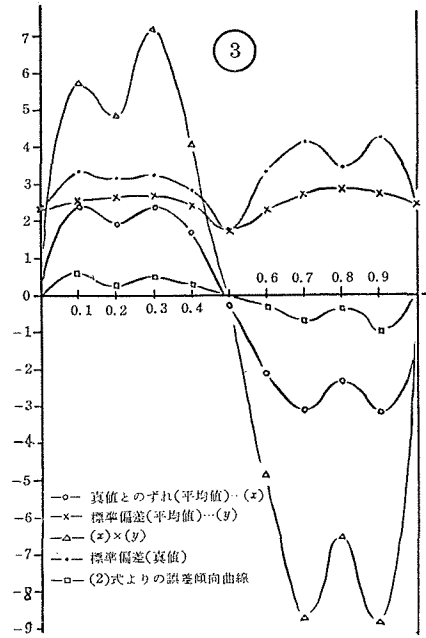
次に、目測誤差を第13図の如く図示し、夫々の curve が横軸を切る点を調べてみると、既に述べた如く、目盛線の幅が異なる場合の影響がよく現われて、目測点が細い線の側へ移動している。

更に、一般に云える事は、目測は偶数点の方が、奇数点より誤差が少い。これは、偶数点は5等分点であり、奇数点の10等分より目測し易いためであろう。

尚、第7図と第13図から、最も結果の良い③に関するものを抜き出し、第3図の  $\epsilon_2''$  curveと比較するため、第14図にまとめた。そうすると、目測の方法から理論的に導き出した結果と、実験結果が、その傾向において、非常によく一致している。この事は、目測誤差も或る程度、理論的に説明出来る事を示すもので、非常に興味ある問題である。

最後に、統計的な面から、各目測点に於いて、目測値がどんな分布をしているかと云う事であるが、目盛線上及び両目盛線幅が等しい①、③、⑤、⑦の0.5は大体正規分布をなしている。これは目測値を確率紙にとつて見れば、略々直線となる事から推定される。両目盛線が等しくない目盛の0.5及び他の目測点の分布状態は一概に説明出来ないが、両目盛線の状態によつて、種々に変化すると考えられ、この変化状態が究明される事も、目測誤差を理論づける上に、必要な事である。尚、目測点に於ける目測値の分布に関しては、平田氏<sup>(6)</sup>は、目測点を決定するものは、左右目盛線からの反撥力であると、2つの異質ばねを目測点に応じた長さにして繋いだ場合の、繋ぎ点の運動と同様に考えて居られるので、筆者は、その反撥力を左右するものに、目盛線幅を考えて、実験結果と共に、各目測点の分布状態を究明したい。

終りに臨み、本実験の観測者として協力された本学部学生諸君に紙上より深甚なる謝意を表すると共に、実験の遂行、並びに実験値の整理等に協力された、中村茂芳、小林俊幸、竹内卓己、北島秀雄の諸君の労を多とするものである。



第14図

## 参 考 文 献

- (1) 戸 塚 科学 (第3卷, 第3号昭8.3)  
 工 藤・佐 田 応用物理 (Vol.17, No. 6昭23.6)  
 Bäckström Zeitschrift für Instrumentenkunde (Heft 10~12, 1930)  
 米 田 電気試験所彙報 (第6卷)
- (2) 例えば, 青 木 精密機械設計学 (P.502 昭19)
- (3) 筆 者 精密機械学会講演会予稿 (昭29.5)
- (4) 筆 者 計測学会講演会予稿 (昭30.11)
- (5) 例えば, König Die Fernrohre und Entfernungsmesser (1937)
- (6) 平 田 応用物理 (Vol.18, No. 6~7昭26.6)

## Summary

STATISTICAL METHOD ON SCALE OF  
 MEASURING INSTRUMENT (Sec. Report)

—On the effect of the error caused by the width of  
 scale line, in measuring with the eye. —

Makoto ICHIKAWA \*

(Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering)

As, one of the studies of the scale of measuring instruments, in this report, I investigated the effect of the error caused by the width of scale line in measuring with the eye, in case of the definite distance between the two scale lines and the definite width of the compass-needle.

Namely, I made the experimental scales act on the scale of existing measuring instruments, and equipped it with the special experimental apparatus which was designed and made by me.

And I experimentationed by above mentioned apparatus and analysed the results statistically, to make the reasonable scale.

\* Assistant of Shinshu University