



## インターナショナル・メジャラー・マニュアル

### F 節

計測での精度、精密さ、再現性

<b>F</b>	<b>計測での精度、精密さ、再現性</b>	
F.1	序論	F 2
F.2	基本標準と単位	F 2
F.3	用語の定義	F 3
F.4	誤差	F 5
F.5	計測技術と再現性	F 15
F.6	機器の検定：精度と基準	F 16
F.6.1	長さ計測用機器	F 17
F.6.2	長さ計測用電子式機器	F 17
F.6.3	ストレート・エッジ	F 18
F.6.4	スクエア・エッジ	F 18
F.6.5	水準器、デジタル水準器	F 18
F.7	質量と重量	F 19
F.7.1	はかり	F 20

## F.1 序論

計測が意味を持つためには、別の時間に別の計測員により同じ結果で繰り返されるように、精度、精密さ、再現性がなければならない。計測の制度に影響を与える 2 つの主要素—メジャラーの誤差と用いる機器の精度—がある。

メジャラーの誤差は、規則の間違った解釈から間違った方法で間違った点に対しての計測、計測値の読み間違い、計測器具の間違った使い方、またはデーターの、間違った記録の結果に起因する。

規則の間違った解釈を回避するために、メジャラーはクラス規則と ERS に完全に熟知していなければならない。レガッタでたまに他クラスのメジャラーと一緒に計測することや、規則の理解が正しいことを確実にするために計測セミナーに参加することも役立つ。疑問があれば、助言を求めて関連機関とコンタクトすること。

読み間違いの可能性を減らすために、特に異常な読みを得た場合には、2 回計測する、または可能であればいつでも他の誰かに再計測してもらい、急がない、疲れたときは計測しない、長時間計測する場合には、休憩を取る、また補助員と計測する場合には、補助員に責任を負わせ、任せる、そうでなければ興味をなくし、間違える。ノート・パソコンとともに誰かに紙にデーターを記録させ、メジャラーは計測に集中することも役立つ。

計測機器を正しく、精密に用いるための技術については、次の数節で扱い、いくつかの代表的誤差の原因については下記に記載する。

## F.2 基本標準と単位

### 計測

計測は、基準に対し決定される量の比較であり、したがって比に単位を付けたものである。精度、精密さ、再現性のある結果のためには、計測したパラメーターは精密に定義されなければならない。計測器と手順について指示されていないなければならない。

### 単位

ヤード・ポンド法が造船工学ではいまだ一般的ではあるが、クラス規則に規定されている場合を除き、国際単位 (SI)、即ちメートル法をセールボート計測では用いるとよい。計測が意味を持つためには、単位は数値とともにはっきりと述べられていなければならない。

### 単位換算

長さ： インチは現在 25.40 mm と定義され、したがって 1 m は 39.370" である。

質量： 国際常衡ポンドは現在厳密に 0.45359237 kg と定義され、したがって 1 キログラムは 2.20462262 常衡ポンドに等しい。

### 基本量

表 F.2.1 基本量

基本量	単位	組立量
長さ	メートル (m)	面積 (m <sup>2</sup> )、体積 (m <sup>3</sup> )
時間	秒 (s)	期間 (s)、周波数 (Hz)
質量	キログラム (kg)	力 (重量) (N)、密度 (kg/m <sup>3</sup> )、慣性モーメント (kg m <sup>2</sup> )

他の力学量すべてはこの 3 つの基本量で表すことができる。

### F.3 用語の定義

精度がよく精密な計測には次のことが必要である：

- 1) 測定する量の精密な定義。
- 2) 校正機器、精度を確実にするために。
- 3) 補正手順、精密さと再現性を最適にするために設計された。
- 4) 適切な計測施設と条件。
- 5) 注意深い記録の維持と指定された値との即時の比較。

日常会話で、多くの用語が大まかで不精密に用いられることが多く、したがっていくつかの関連用語はここに定義する。

#### 真の値：

無数の精度のよい計測の平均、達成不可能な理想。

計測値の平均は、真の値の最良推定値で、おそらく真の値の平均の標準偏差内にある。實際上、ジュリーと話し合う場合、最終的に見出された値は、精度よく、真の値の精密度内であると断言することができる。

#### 誤差：

誤差、言い換えれば偏差は、測定値と真の値との差であるが、真の値を知ることはできないので、誤差は一連の測定値と理論から推定されなければならない。

誤差には次のタイプがある。

- 1) 記録または計算結果の間違い
- 2) 再現性、方法論と安定性により決定される
- 3) 丸め誤差、貧弱な計算のやり方が原因で
- 4) 数量化、計測機器の不十分な分解能が原因で
- 5) 間違った計測、例、LOA ベースラインよりもデッキに対し平行。

これらは一般にメジャラーの管理下にあり、適切な方法論と器具により最小にすることができる。これらは、間違っているという意味で誤差であり、正すことを勧める。

これらが真の値からの偏差であるという意味で、誤差の2つの一次ソースを残す：

- 6) 系統誤差、精度を決定する
- 7) 偶然誤差、精密さを決定する

#### 精度：

計測値が真の値に近いかの程度。精度は、結果の正しさの尺度であり、系統誤差により決定される。不適切に校正された機器の使用は、精度のよくない計測値をもたらすが、しかしながら非常に再現性があり、精密であることがある。精度は系統誤差をいかにうまく処理するかにより決定される。

### 精密さ：

精密さは、同じ量の一定の計測値がその平均と一致する程度であり、連続計測値の散布により特徴づけられる。精密さの定性的評価は、「2 回目の計測値は 1 回目の計測値とどれくらい異なっていましたか？」と聞くことにより得られる。多くの計算機は「標準偏差」を出し、標準偏差は多数の読みについての精密さの尺度である。精密さは、測定装置の分解能にも依存している。計測は極めて精密よくできるが、必ずしも精度がよいとは限らない。

### 再現性：

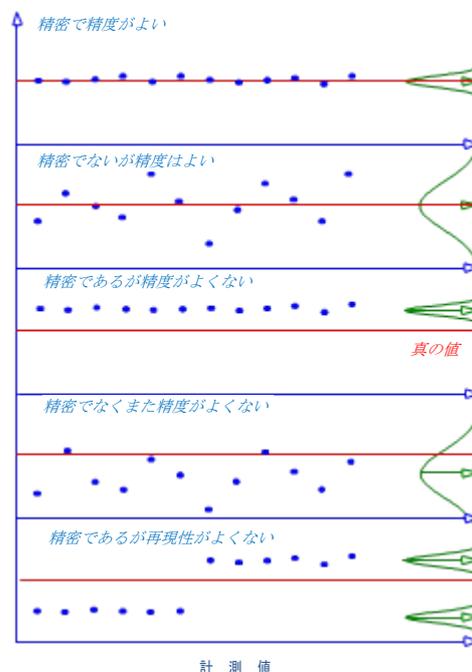
再現性は、変更した条件下または別の場所もしくは時期に実施した同じ量の計測の結果間の一致の近さと定義される。再現性のなさは、系統誤差か偶然誤差のいずれか、別の計測器かプロトコルのいずれかが原因であることがある。

### 丸め誤差：

計算または計測での誤差は、データーを表すための有効数字の有限数のみを用いることが原因である。典型的に 9 桁を用いる最新の計算機で、計算機の丸め誤差は、計測の偶然誤差に対して大したことではないが、入力データーは、十分な有効数字を持たなければならない。例えば、 $3 \times 1/3 = 3 \times 0.33 = 0.99!$

### 有効数字：

計測を明示するために用いる、末尾の 0 を含む、桁数。電子秤、マイクロメーター、時計のようなデジタル機器では、表示される桁数をいう。計算の計測値と結果は、計測の精密さのためにのみ引用することを勧める。



図F.3.1 同じ量の多数の測定値の散布のヒストグラム  
精度、精密さ、再現性間の相違を示す

## F.4 誤差

### 系統誤差

系統誤差は計測ごとに再現性のある誤差であり、以下が原因となっている：

- (a) 間違った校正または使用条件。
- (b) 計測される量の不正確な定義。
- (c) 不完全な方法または手順。
- (d) 欠陥のあるまたは不適切な器具。
- (e) 不完全なまたはおおよその式。
- (f) メジャラー側の傾向。

特性：

- (a) どの誤差も再現性があり、一定の兆候であるので、平均することで減らすことはできない。
- (b) 系統誤差  $\Delta$  は代数的に加算する。  $\Delta = \sum \Delta_i$
- (c) 承認された場合には、後で修正することができる。
- (d) 系統誤差は計測の精度を決定する。

系統誤差の例：

- 端のフックまたは巻尺または直尺の端での損傷。系統誤差は、0 の代わりに 10 cm を用いることで取り除くことができる。
- 巻尺の張力と弾性（構成した鋼製巻尺のみを用い、繊維製巻尺は用いない）。
- テンプレートの伸びと歪み（セール・テンプレートと原図にはマイラー（ポリエステル・フィルム）を用い、紙を用いない）。
- 温度が原因の膨張。例えば、炎天下での鋼製巻尺によるアルミニウム製マストの計測。
- 秤の間違った校正。ゼロ・オフセット、または風袋、およびスケール・ファクター（目盛係数）。
- 秤の非線形応答。高精度秤は多点校正を必要とする。

系統誤差のいくつかの例を次に示す。

### 巻尺の誤差

市販の巻尺は、驚くほど良好で、計測に用いることができるが、望ましくは校正を確かめるために認定されたクラス I 巻尺と比較後に用いる。どの IM もクラス I 巻尺を 1 個持っているが、普通は計測には安価なクラス II の一般用巻尺を用いる。

巻尺に関しては、精度についての 3 クラス I、II、III があり、それぞれローマ数字で器具にマークされている。

許される使用誤差 (handling error)  $\Delta h$  (mm) は、検定誤差 (certification error)  $\Delta c$  (mm) の 2 倍であり、 $[a + b L \text{ (m)}]$  である。ここに L は長さであり、メートルまで切り上げる。a と b は次表 F.4.1 に見られる係数である。

品質は、基準（20 °C）からの ± 8 °C の温度の偏差にて長さの変化は検定誤差内であるといったものでなければならない。所定の張力があれば、± 10 % の張力の変化で検定誤差を超える長さの変化を生じてはならない。

表 F.4.1 巻尺検定クラス

係数	クラス I	クラス II	クラス III
<b>a</b>	0.1	0.3	0.6
<b>b</b>	0.1	0.2	0.4
<b>長さ</b>	<b>検定誤差 ± Δ<sub>c</sub> mm</b>		
1.00 m	0.2	0.5	1.0
5.00 m	0.6	1.3	2.6
10.0 m	1.1	2.3	4.6
<b>長さ</b>	<b>使用誤差 ± Δ<sub>h</sub> mm</b>		
1.00 m	0.4	1.0	2.0
5.00 m	1.2	2.6	5.2
10.00 m	2.2	4.6	9.2

**端の誤差：**

巻尺の端が損傷されている場合には、計測での誤差がでることがある。最初の 100 mm を超える長さが正しいことを確認することは、よい慣習である。巻尺によっては、内側計測と外側計測を容易にするために端に移動フックが付いており、すべてのクラスについて適合しているが、検定誤差への加算値を作り出す。精密な巻尺は、巻尺の端からゼロ・オフセットを取っている。（踏みつけたことで）曲がった巻尺もまた間違った寸法を与える。



図 F.4.1 端の誤差を減らすためにゼロ・オフセットのある巻尺

**温度誤差**

巻尺は、計測するものと同様、熱くなると膨張するが、同じ材質である場合を除き、違った比率で膨張する、スチールの膨張係数が  $C_S = 11.6 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$  であるのに対し、アルミニウムの膨張係数は  $C_{Al} = 23.4 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$  である。

膨張係数の例を表 F.4.2 に示す。

表 F.4.2 熱膨張係数

物質	熱膨張係数 × 10 <sup>-6</sup> /°C
アルミニウム (6061)	23.4
真鍮	18.7
銅	16.6
ステンレス・スチール (316)	16

鋼	11.6
鋳鉄	10.5
GFRP	25 (樹脂による)
PVC	50.4
鉛	29.3

木材と合板の熱膨張は、木目の方向と湿度により決まるが、概して  $5 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$  である。ガラス、カーボン等繊維と樹脂の組み合わせすべてについて、膨張係数は樹脂と繊維の種類と繊維の方向により決まる。ほとんどの場合、多かれ少なかれわからないことがあるので、疑いのある重要な場合には、温度が  $20^{\circ}\text{C}$  に近い、朝方か夕方に計測をしてみることを。

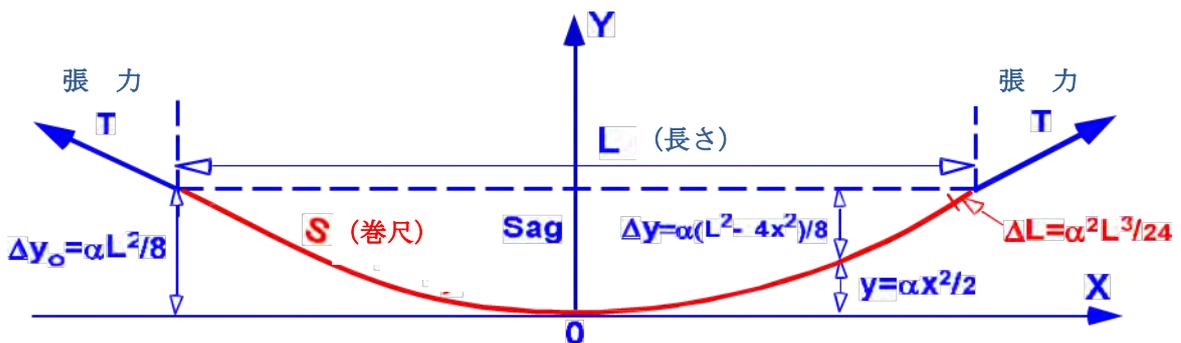
例えば、10 m 長さのマストを炎天下で計測する場合には、マストと巻尺の両方も容易に温度  $40^{\circ}\text{C}$  に達することがある。温度偏差  $\Delta T = 20^{\circ}\text{C}$  に対する巻尺の長さの変化は、 $\Delta = L(\text{mm}) \times \Delta T(^{\circ}\text{C}) \times Cs = 2.3 \text{ mm}$  となり、一方マストの変化は 4.7 mm となるだろう。すなわち、マストは見かけ 2.4 mm も長くなるだろう。誤差は、最も実際的には、温度の影響を無視できる日陰で計測を実施することにより減らすことができる。

### 適切な張力

最も精密な鋼製巻尺は、温度  $20^{\circ}\text{C}$  で張力 49.0 N (5 kgf) をかけて校正され、巻尺に記載されている張力がない場合には、この値を精度のよい計測に用いることを勧める。ただし、支持されていない場合には、たわみも原因することがある。下記参照。繊維製またはプラスチック製巻尺は艇の計測には用いないことを勧める。

### 巻尺のたわみ

柔軟な巻尺は、真直ぐな表面にそわせる場合を除き、常にいくらかたわみ、小さいとはいえ、誤差の原因となる。たわみ量とそれに基づく誤差は、かけた張力  $T$  と巻尺の単位長さあたりの質量  $\lambda$  に依存する。



図F.4.2 柔軟なラインまたは巻尺のたわみ  $\Delta y$  と余分の長さ  $\Delta L$  は、放物線の形状で極めて近く近似することができる。

同じ高さの2点でつるした、垂れ下がっている柔軟な巻尺またはラインの形状は、中心上の高さ  $y$  の懸垂線である。

$$y = \frac{\alpha}{2} (e^{\alpha x} + e^{-\alpha x} - 2) \approx \frac{\alpha x^2}{2} \quad \text{したがって } x = 0 \text{ で } \Delta y_0 \approx \frac{\alpha L^2}{8} = \frac{\lambda g L^2}{8T}$$

ここに、 $x$  は巻尺の中心からの距離、即ち、端は  $+L/2$  と  $-L/2$  であり、 $\alpha = g/T$ 、 $\lambda$  は単位長さあたりの質量 (kg/m)、 $T$  は張力 (N) である。

その結果、両端が水平距離  $L$  離れている場合、巻尺にそっての長さ  $S$  と差  $\Delta L = S - L$  は：

$$S = \frac{2}{\alpha} \sinh\left(\frac{\alpha L}{2}\right) \approx L + \frac{\alpha^2 L^3}{24} \quad \text{したがって} \quad \Delta L \approx \frac{\alpha^2 L^3}{24} = \frac{\lambda^2 g^2 L^3}{24T^2}$$

計測では、 $\alpha$  の値は概して 0.02 未満で、この場合放物線からの懸垂線の偏差は、10 m を超えるスパンで 0.2 mm 未満であり、したがって無視できる。

例：470 LOA とキール・ロッカー

鋼製巻尺 (10 mm × 0.17 mm)  $\lambda = 13.3 \text{ g/m} = 0.0133 \text{ kg/m}$

張力  $T = 49.0 \text{ N}$ 、即ち、果汁 5 kgf  $\text{その結果 } \alpha = \lambda \cdot g / T = 0.0133 \times 9.81 / 49 = 0.00266 \text{ m}^{-1}$

470 について、LOA の誤差は  $\Delta L = (L^3 \cdot \alpha^2) / 24 = (4.70^3 \times 0.00266^2 / 24) \text{ m} = 0.031 \text{ mm}$

たわみは  $\Delta y = (L^2 \cdot \alpha) / 8 = (4.70^2 \times 0.00266 / 8) \text{ m} = 7.33 \text{ mm}$

したがって、たわみは、 $\lambda$  と長さ  $L$  の 2 乗に比例し、張力  $T$  に反比例するので、キール・ロッカー計測では非常に軽いライン、すなわち、より糸（または 7 m 以上の艇ではレーザー・ビームや水準器のような別の方法での計測）を用いる。

マストたわみ計測では、ラインの端がマストのバンドにつれて動く場合、張力が本質的に一定のままであるような多少弾性のあるラインを用いることが役立つ。

### 視差誤差

視差誤差は、視線が目盛に対し垂直でないときに計測している対象物と隣接していない目盛の読み誤りである。視差誤差は、計測する対象物に近接して目盛を置くことにより除くことができる。

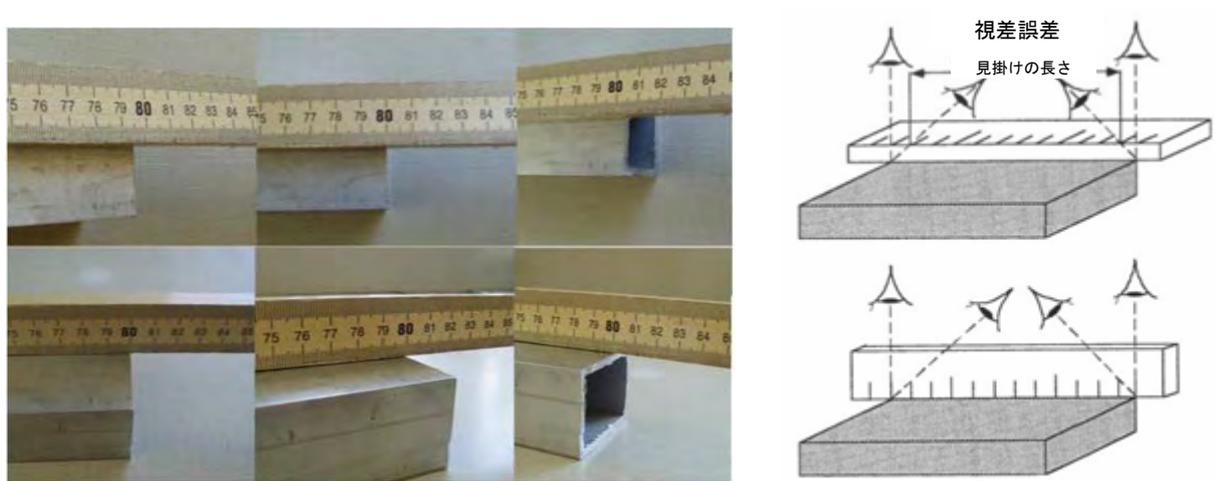


図 F.4.3 隣接していない目盛を眺めるときの視差誤差

## サイン誤差とコサイン誤差

例：チェーンのフレーム計測

一般に、計測物に対し垂直に計測点を移すために、見下ろさないで、下げ振りを用いる。これにはサイン誤差  $\Delta = (L_S - L)$ 、即ち、角度誤差のサインに比例した誤差を伴う。

寸法方向に直接計測することが可能であれば、ずっとよい。即ち、 $L_C$ 。同様の角度誤差  $\Delta = (L_C - L)$  については、角度誤差のコサインに比例し、サイン誤差よりはずっと小さい。

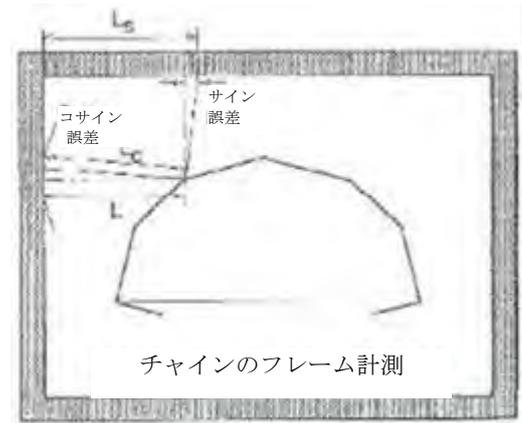


図 F.4.4 サイン誤差とコサイン誤差

## 計測軸誤差

クラス規則で別のことを明確に求めている場合を除き、部品または物との関連で「上」、「下」、「前」といった語により表されるすべての計測は、艇体の 3 つの主軸の 1 つと平行または直角に取らなければならない。ERS C.6.3 に次のとおり定義されている。

### 主軸

互いに 90° である艇の 3 つの主軸 - 垂直、縦、横 - は、基線および艇体中心面と関連付けられていなければならない。

基線はクラス規則中に定義されており、概して DWL と平行ではあるが、必ずしもそうとは限らない。ヨーロッパ級は、艇体を水平にする方法を規定しており、図 F.4.5 参照、正しい水平面からの僅かの外れは短い距離の計測では無視できる誤差ではあるが、艇体長さのような長い計測を行う場合、誤差はかなりになることがある。

例えばヨーロッパ級の LOA はデッキに平行 (FD) に計測する場合には、この計測値は角度  $\theta$  のコサインに比例する誤差により設計 LOA とは異なる。

ヨーロッパ級ディンギー LOA = 3 350 ± 6 mm  
 シアーライン角度 =  $A \tan (180/3\ 350) = 3.08^\circ$   
 デッキに沿っての長さ =  $3\ 350/\cos (3.08) = 3\ 355$  mm  
 差  $\Delta = 4.8$  mm (0.144 %)

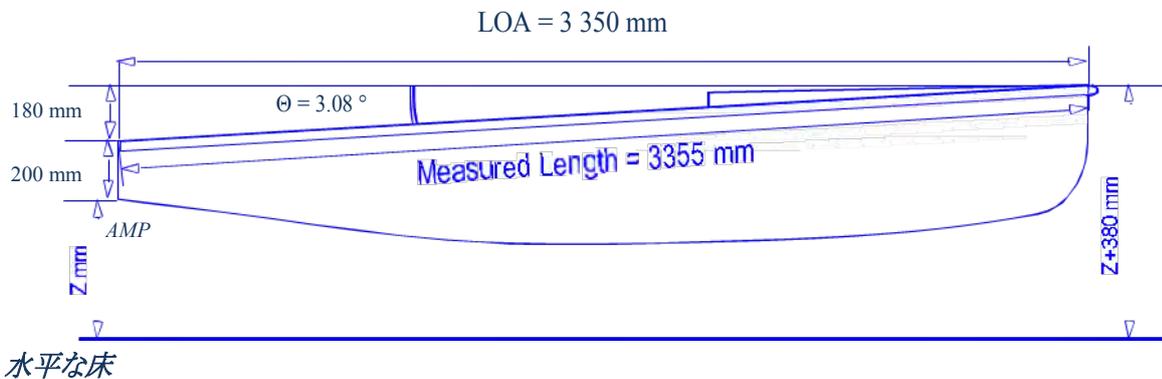
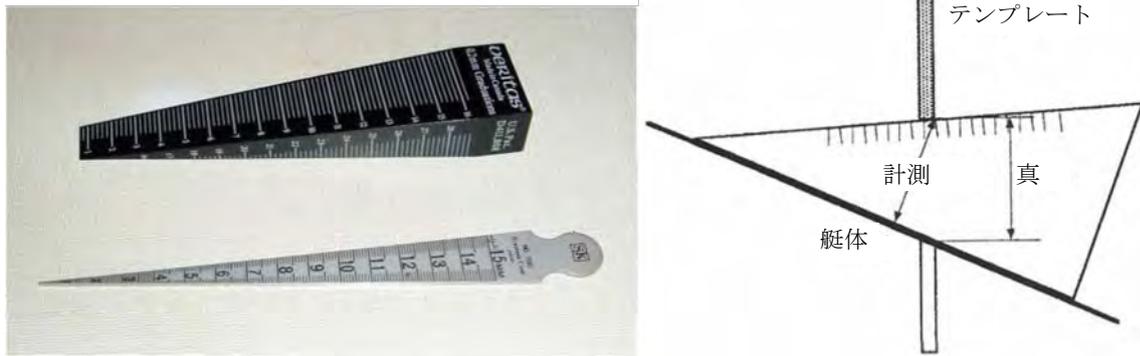


図 F.4.5 デッキに平行であるヨーロッパ級ディンギーの LOA を不正確に計測することによる誤差は、角度  $\theta$  のコサインに比例する

## テーパー・ゲージ



図F.4.6 2種類のテーパー・ゲージと隙間計測での誤差

テーパー・ゲージには、2種類ある。

- (a) 一方のエッジに垂直に測るもの。
- (b) 内側の直径を測ることを意図しており、ゲージ角度の2等分線に直角に測るもの。

ほとんどのセールボートのクラスは、テンプレートの隙間をテンプレートの面で、テンプレートのエッジに対し垂直に計測されることを意図している。そのセクションが図 F.4.6 に示すように角度がついている場合には、テーパー・ゲージでは正しく隙間を測れない。この場合もやはりコサイン誤差であり、したがって、テンプレートが艇体表面に対しほぼ垂直である場合重要ではないが、角度がかなりある場合バウ・セクションでは重要になってくる。イングリッド級クラス規則では、隙間は「艇体に対し垂直」に測らなければならないので、この場合そのテーパー・ゲージが必要とされる隙間計測を与える。

### 偶然誤差

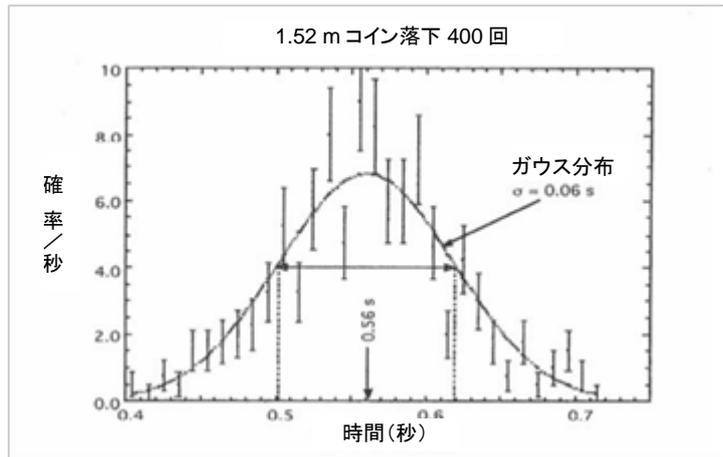
偶然誤差は、計測ごとに不規則に異なっている結果につながる変動により起こる。偶然誤差には次のものがある。

- (a) 多くの要因での制御できない小さな変動の合計で、したがって、本来は統計的である。
- (b) すべての計測値である程度出てくる。
- (c) 不規則に変わる繰り返しの計測に起因する。
- (d) 肯定的にも否定的にも。
- (e) データの分布は、ガウス確率分布に従う。
- (f) より精密な聞き、よりよい手順と平均することにより減らすことができる。
- (g) 量的推計、標準偏差  $\sigma$  は、計測値 1 組のばらつきに由来することがある。
- (h) 偶然誤差は求積法で加わる、 $\sigma^2 = \sum \sigma_i^2$
- (i) 偶然誤差は、計測の精密さを制限する。

例：

図 F.4.7 に示すプロットは、落下したコインが床に着くまでにかかった時間をストップ・ウォッチを用いて手で測ったときの 400 回の読みのヒストグラムである。

タイマーを手でスタートし、ストップするときの変動は偶然誤差を生じ、次の読みが平均値 0.56 s の  $\sigma = \pm 0.06$  以内になる可能性は 63 % ある。



図F.4.7 400回の区間ヒストグラム

ただし、平均値の標準偏差は、 $\sigma_m = \pm 0.06/\sqrt{400} = \pm 0.003$  s、すなわち、次の 400 回の読みの平均値がこの平均値の  $\pm 0.003$  s 以内になる可能性が 63 % である。手で時間を計ったランボレー時間の精密さと同じことを期待するので、読みの平均値の標準偏差は、 $\sigma_m = \pm 0.06/\sqrt{5} = \pm 0.027$  s となるだろう。

多くの読みを取ることが平均値の偶然誤差を減らせるように見える。しかしながら、技術を改良することがよりよい。つまり、タイマーをスタートとストップするためにフォトゲートを用いてのランボレー・テストでは、 $\sigma = \pm 0.0005$  s。

## 分解能

分解能とは、計測値が機器により「丸められる」程度をいう。例えば、100.74 mm の長さは、mm 目盛の定規を用いた場合、101 mm と記録されるだろう。電子計測器は、与えられた数の有効数字まで計測値を表示し、したがって結果を丸めている。101 という表示は、計測値が 100.501 と 101.499 の間にあることを意味している。計測器によっては最後の数字が 0 か 5 に丸められており、見えているよりも分解能が 5 倍悪くなっていることに注目するとよい。したがって、分解能の程度は、計測での誤差に関係してくる。計測器の分解能が誤差を増大させないためには、分解能が計測値の意図する精密さよりも大きいものを選ぶとよい。

長さ：

目盛分割の有限サイズは、計測が行われる精密さで制限される。

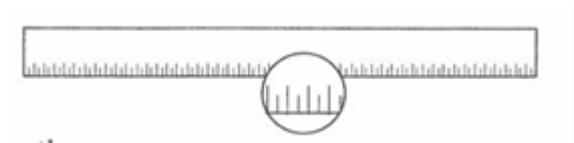


図 F.4.8 機器の分解能、マイクロメーターの分解能 0.001 mm、ストップ・ウォッチの分解能 0.01 s、秤の分解能 0.05 kg

時間：

ストップ・ウォッチは概して 1/100 までに限定されており、これは手操作での十分以上ある。

表 F.4.3 精密さ、再現性、精度

範囲	操作誤差	分解能	精度	器具
長さ計測：				
1 ~ 10m	± 2.6 mm@5m	1 mm	± 1.3 mm@5m	巻尺、等級 II
1 ~ 2000 mm	± 2.8 mm	1 mm		メートル定規、等級なし
1 ~ 300 mm	± 0.5 mm	0.5 mm	± 0.5 mm	鋼製直尺、等級なし
1 mm ~ 300 mm	± 0.01 mm	0.01 mm	± 0.03 mm	デジタル・ノギス
20 microns から 25 mm	± 0.001 mm	0.001 mm	± 0.002 mm	デジタル・マイクロメーター
時間計測：				
10 s 以上	± 0.1 s	0.01 s	± 0.01 s	手動ストップ・ウォッチ
10 s 未満	± 0.1 ms	0.1 ms	± 0.1 ms	タイマーとフォトセル

重量：（計量法では質量）

精密さに関して、デジタルはかり（電子はかり）は、取引用として検定を受けているのがよく、分解能は最低 1:2000 あるとよい。

表 F.4.4 はかりの範囲と分解能

範囲	分解能		利用
0 ~ 2.000 kg	1 g	1:2000	補正おもり
0 ~ 20.00 kg	10 g	1:2000	ラダー、マスト、フォイル
0 ~ 250.0 kg	0.1 kg	1:2500	ディンギー艇体
0 ~ 1000 kg	0.5 kg	1:2000	キールボート艇体

#### クラス規則中の分解能と有効数字

艇計測のより広い範囲での計測プロセスの目的は、にある臨界値（限界値）が規定された最小値、最大値または限界に従っているか否かを決定することにある。精度のよい計測の確かさは、艇が規則に従っているということをメジャメント・フォームに署名するメジャーにとって、および自艇が後で計測の抗議の対象になるかもしれないオーナーにとっても興味深いことである。分解能、系統誤差、偶然誤差が計測プロセスに影響し、艇がクラスに適合していることの確かさの程度に関係してくるいくつかのプロセスがある。

クラス規則に規定されている最大値と最小値を決めるために用いる分解能の程度は、不確かさの問題にも関係してくることがある。130 kg 以上の値とクラス規則で限定される艇体重量は、分解能 1 kg で計測されるかもしれない。そのときは 129.51 kg の艇体は、130 kg と読まれるだろう。即ち、適合であるが、分解能 0.1 kg のはかりが用いられた場合には、129.5 kg と読まれ、不適合となるか、それともクラス規則中の値と同じ分解能の程度で表す場合 130 kg となるので、認めるとするのがよいのか？認められないとする場合には、通常利用できる分解能の程度で計れば 130 kg となるので、129.51 kg の重量は認められるとよいのか？

計測の適切な装置と分解能の程度の選択は、限界の計測値が最初の計測と管理の計測で必ず繰り返されるので、クラス規則が正式なものになるときに、考慮されるとよい。計測での不確かさの意見が添えられるが、この不確かさはセーリングの世界でのメジャーの及ぶ範囲のずれであるという場合に

のみ計測が完了している。科学界では、有効数字の桁数が、引用された最も小さい有効数字の  $\pm 0.5$  として、計測値の精密さを示す。このことは、規則で必要とされる精密さを規定することにまで及ぶことができる。現在、クラス規則は絶対限界値であると理解されており、即ち、最大値 20 単位は、『絶対最大値』が精度よく 20 単位であることを意味する。

## 精密さの影響

現在、クラス規則計測値の記述は、適合と不適合の間のはっきりとした境界を示している。原理上、645 kg の艇体が最低重量を 1 g 下回った場合には、クラスに適合していないが、実際上は計測した値は偶然誤差のために常にいくらかの不確かさがあるので、この精密さで計測することは極めて難しい。計測値が境界の十分外側か十分内側のいずれかである場合、不確かさ問題にならず、即ち、計測を大まかな値で目測さえできる。レガッタ検査では、明白に適合している品目がまさに検査されることがある。疑いがある場合には、迅速な計測でその問題を解決することができるが、それでも疑いがある場合には、入念なより精密な、時間のかかる計測を行わなければならない。

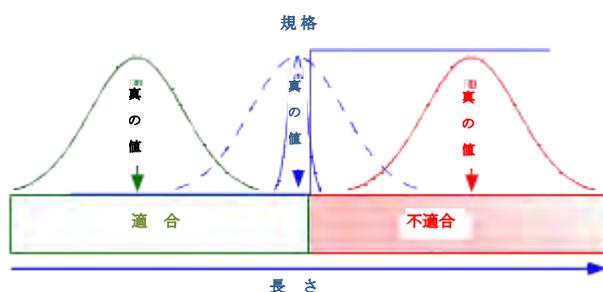


図 F.4.9 精密さの低い計測は、値が限度（赤または緑）から離れている場合、認められるが、より高い精密さが、限度（青）に近い場合、必要となる。

図 F.4.9 は長さの計測を説明しており、最初は巻尺で迅速に行い、したがって、この計測の多くで作られるだろう広い分布で表される精密さは、その値が分布の幅の 2 倍以上により適合限度より大きい小さいかのいずれかの場合には、それでも信頼できる。しかしながら、その値が限度に近い場合には、偶然誤差が、計測値をその限度のいずれかの側に導き、したがって、問題を決定するに十分に精密ではない。精密さは、巻尺に張力をかけ、0 ではなく、一方の端で 0 ではなく 100 mm 目盛を用い、マーク上にあることを確実にする補助員を有し、巻尺がねじれないことを確かめるその他により、改善することができ、分布は示す通り狭くなり、このケースでは、コンポーネントが適合していることを示すためにより確実に用いることができる。

## 精密でないことによる問題

例としてあげるのは、環動半径（回転半径）での不確かさである。

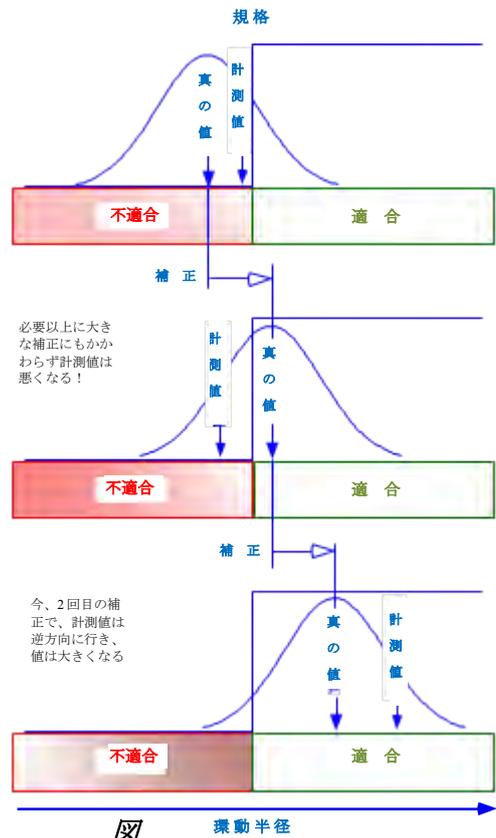
完全に不適合である艇体が、計測され、最初の計測で真の値を過大評価することが起こったので、かろうじて不適合であると判明した。即ち、偶然誤差がプラスであった。艇体は不適合であったが、偶然誤差のために、それを適合と認定する可能性が 20 % もある。

その後、競技者は、指示通りにバウに鉛を追加し、わずかばかり余分に追加することにより確信する！ 艇体は、今度は適合となったが、不適合と認定する可能性が40%ある。即ち、偶然誤差が今度はマイナスとなり得る。

艇体は、再計測され、今度は不幸にも偶然誤差が大きく、マイナスであったので、前(?)以上に不適合であること判明した。

その後、競技者は、指示通りにバウにさらに鉛を追加し、今度は偶然誤差がプラスとなったので、計測値は適合の真の値以上に大きくなった。したがって計測値は巨大な環動半径を示す(!)……今度は、競技者は南里を除去することを望む。……そして、メジャラーは無能瀨あると結論する!!!

問題は、セーラーが計測値の精密さが決定される以上に限度に近く求めたことにある。



F.4.10 環動半径の精密さ

### 誤差の組み合わせ

一般的に、そもそも誤差は積み重なっていくので、複数の計測の組み合わせではなく、常に量を直接測ろうとするのがよい。

- (a) 系統誤差  $\Delta$  は、代数的に加算される、 $\Delta = \Sigma \Delta_i$
- (b) 加減のために、偶然誤差は求積で加算される、 $\sigma^2 = \Sigma \sigma_i^2$
- (c) 掛け算または割り算をする場合、部分の偶然誤差 (%) は加算される。

計測の間、誰もが誤差を明らかに最小にしようとするので、2つの代替の技術のどちらかを選ぶ、またはクラス規則の策定を推奨するとき、誤差が最終の計測値にどのように影響するかを理解する必要があることが、第一である。

例：

- 1) トレーラー上のキールボートの重量  $930 \pm 4 \text{ kg}$  ( $\pm 0.48\%$ ) からキールの重量  $310 \pm 3.5 \text{ kg}$  ( $1.1\%$ ) を引くことにより、キールボートの艇体-デッキの重量を推定したいと仮定する。トレーラーは  $300 \pm 3 \text{ kg}$  であることがわかっており。したがって艇体-デッキは  $320 \text{ kg}$  である。しかしながら、計測に用いたはかりの目盛の校正が  $1\%$  高めである (系統誤差) 場合には、補正した値は  $306.9 \text{ kg}$ 、 $920.7 \text{ kg}$ 、 $290.0 \text{ kg}$  となり、艇体-デッキは  $316.9 \text{ kg}$  となる。即ち、計測した値からの  $1\%$  の違い。すべての補正した値は、 $1\%$  低く、はかりの校正がわかった後に、その結果が保清され得ることの注意すること。

しかしながら、多くのキールのうちどれがこの艇体に付けるのかをわからず、キール重量のバラツキが  $\pm 3.5 \text{ kg}$  であったこと、および艇体とトレーラーにはあらゆる種類のぎ装と濡れたラインがあったことから、その重量をそれぞれ  $\pm 4 \text{ kg}$  と  $\pm 3 \text{ kg}$  以内とだけ推定できよう。デッキ-艇体の

不確かさは、 $\pm\sqrt{(3.5^2 + 4^2 + 3^2)} = \pm 6.1 \text{ kg}$  であり、したがってその結果は  $316.8 \pm 6.1 \text{ kg}$  となり、この場合  $\pm 6 \text{ kg}$  の不確かさとともに、 $0.8 \text{ kg}$  が実際にはわからない。丸め誤差を避けるために、これ以上の計算で  $0.8 \text{ kg}$  を持ち越すことは役立つが、その結果は有効数字 3 桁、即ち  $317 \pm 6 \text{ kg}$  とだけするのがよい。その結果中の不確かさ（偶然誤差）は  $\pm 1.9 \%$  であり、即ち、個々の計測値のいずれよりも高くなっている。

- 2) 円形のセール・ウィンドウの直径を  $600 \pm 6 \text{ mm}$  と計測し、丸めた値  $\pi = 3.1$  を用いて計算し、面積  $= [3.1 \times (600/2)^2] \times 10^{-6} = 0.279 \text{ m}^2$  を得た。 $\pi$  を 2 桁に丸めることにより系統誤差を作った。正しい値は  $[3.14159 \times (600/2)^2] \times 10^{-6} = 0.283 \text{ m}^2$ 、即ち  $1.3 \%$  高くなる。多くのウィンドウの面積を  $\pi = 3.1$  で計算する場合には、すべて  $1.3 \%$  低くなり、この系統誤差に対しその後補正することができる。

しかしながら、直径での不確かさは  $\pm 1 \%$  なので、半径での不確かさは  $\pm 1 \%$  であるが、半径はそれ自身で掛け算されるので、部分誤差は 2 倍しなければならず、したがって、面積での不確かさは  $\pm 2 \%$ 、したがって、面積  $= 0.283 \pm 0.006 \text{ m}^2$  となる。この精密さがあれば、結果は有効数字 3 桁まで出すことができ、最低有効数字 3 桁の  $\pi$  の値を計算で用いるとよい。追加の偶然誤差を伴わないように、丸めない場合には、2 で割ることと  $\pi$  を掛けることには正確な数を用いることに注意すること。

- 3) フィン級ディンギーは、1 個だけの結合した浮力タンクを持つことを認められており、エア・バッグを取り付けることを彼に要求する。外周  $3.02 \pm 0.05 \text{ m}$  ( $\pm 1.7 \%$ )、長さ  $1.10 \pm 0.03 \text{ m}$  ( $\pm 2.7 \%$ ) で重量  $2.2 \pm 0.1 \text{ kg}$  ( $\pm 4.5 \%$ ) のほぼ円筒状のエア・バッグを計測し、浮力  $F_b = [\rho V -$

$W = 1.0 \times 10^3 \times 1.10 \times 3.02^2/4 - 2.2] \times 9.81 = 796.1 \text{ kg} \times 9.81 = 7810 \text{ N}$  と計算したい。しかしながら、海水上を帆走している場合には、密度は  $\rho = 1.025 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$  である。即ち、 $2.5 \%$  高く、したがって、浮力は  $8005 \text{ N}$  となり、系統誤差は  $195 \text{ n}$  である。

体積  $V$  での部分不確かさは  $\pm\sqrt{[(0.03/1.1)^2 + 2(0.05/3.02)^2]} = \pm 0.036$  であり、密度での系統誤差に関して、 $\rho V$  での偶然誤差は  $\pm 0.036 \rho V = \pm 28.7 \text{ kg}$  である。したがって、正味の浮力での不確かさは  $\sqrt{[28.7^2 + 0.1^2]} = 28.7 \text{ kg}$  ( $3.6 \%$ )、即ち、エア・バッグの重量での不確かさは、相対的にほとんど影響を及ぼさないほど小さい。

- 4) ランボレー・テストは、結果を得るために計測した量の重要な操作を含む計測である。2 回の振動周期を計測し、長さ、環動（回転）半径、を計算する。この計算には、計測した周期の二乗間の差を含んでいるので、誤差は、二乗することと 2 つの二乗間の差を取ることとの両方により、重大に増幅する。メートル次数のほとんどの長さは、 $\pm 1 \text{ mm}$  以内で計測することができるので、注意して周期を平均化しても、環動半径計測での不確かさは、 $\pm 10 \text{ mm}$  にもなることがあり、振幅が規定されていない場合には、系統誤差については言うまでもない。

## F.5 計測技術と再現性

技術：

- 可能であれば、量を 2 つの値間の差として計測しない、例、スキンの厚さ、大きい風袋重量、その他。
- はかり 2 個の使用は、やらない。ただし、はかりが、このために設計されたパッドが複数のはかりである場合を除く、図 F.7.1.9 参照。

### テンプレート：

精密なテンプレートは、レガッタ検査の間に、計測チェックの精密さと再現性を増すために用いられることが多い。

- アルミニウム製艇体用テンプレート
- テンプレートをチェックするためのマイラー（ポリエステル・フィルム）・マスター
- ラダーとセンターボードのテンプレート
- ガンネル、ラビング・ストレーク・ゲージ
- マスト、ブーム、スピネーカー・ポール用のゲージ
- セール用のマイラー・テンプレート

### 記録：

精度のある完全な記録は、計測の間に必須であり、計測している間に、記録する記録係いることは有益なことが多い。このことは次のことを容易にする。

- 計測証明書との比較。
- コンピューター上とともに、バックアップとして紙に記録を保持する。
- 記録は、インターネットでメジャラーに利用できるとよい。

### 校正：

すべての機器の校正は、理想的には重要なレガッタの前にチェックすることを勧める。

- セールボート計測では、SI 単位系と標準が用いられる。
- セールボート計測で必要とされる精密さに関して、鋼製巻尺、ノギスその他の校正は、通常問題にならない。
- クォーツ計時装置は、通常校正の必要はないが、古いコンピューターは校正を必要とすることが多い。
- 機械式時計は、1 日に 1 秒（0.001 %）以下しか外れないのがよい。このことは、<http://www.time.gov/> にて NIST 時間標準に対してチェックすることができる。
- 計量はかりの校正は、できれば現地で計量する対象物と同様の質量の校正基準に対してチェックすることを勧める。

## F.6 機器の検定：精度と基準

すべての機器が検定されているとは限らない。次の要件は、認定された機器に適用する。

### 検定誤差：

機器が検定されるときに許される誤差をいう。この誤差は、正しい値からのプラスまたはマイナスの偏差に対し許容される最大数字である。標準の値または標準計測設定が正しい値であるともなされる。

### 使用誤差：

誤差がこの値を超える場合には、機器は再検定を受けなければならない。通常検定誤差の 2 倍である。

## 結果の正しさ：

意図する目的で、意図する計測条件内で用いた場合に、機器の検定された精密さの範囲内で、正しい値が期待できるように、機器は組み立てなければならない。

### F.6.1 長さ計測用機器

次のものに対する検定誤差：

巻尺	1.0 mm
ノギス、測定範囲 500 mm まで	0.1 mm
ノギス、測定範囲 500 mm 以上	0.2 mm
マイクロメーター、測定範囲 100 mm まで	0.01 mm
マイクロメーター、測定範囲 100 mm 以上	0.02 mm
インジケーター、長さ 10 mm まで	0.02 mm

ノギスまたはマイクロメーターは、DIN 3650 で等級分けされている。

別の基準、感測分類として一般的：誤差 =  $(1 + L \text{ (mm)}) / 50 \text{ } \mu\text{m}$ 。

### F.6.2 長さ計測用 F 17 電子式機器

通常、読みは認められた精度よりもよい結果を示す。ユーザーは、マニュアルに精度についてどう書かれているかを注意してチェックしなければならない。検定された電子式機器は、まれであり、高価である。非検定の電子式巻尺は読み取り限度 1 mm のものが現在市販されている。

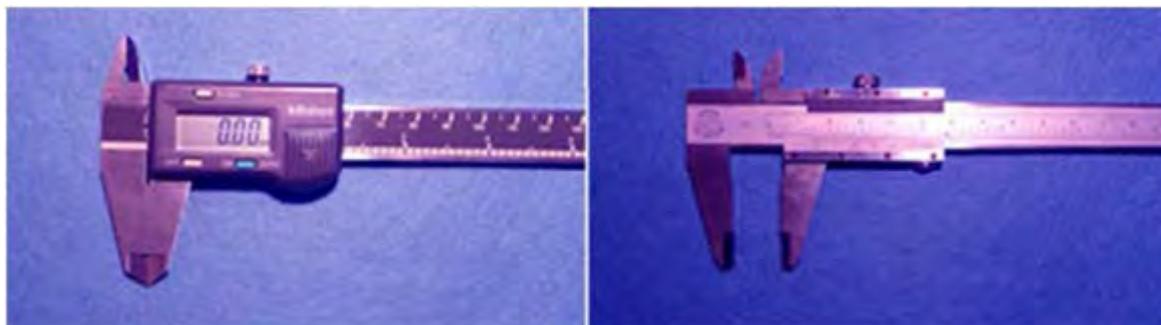


図 F.6.2.1 読み取り限度 0.01 mm の電子式ノギスと 0.05 mm まで読める副尺付きノギス

レーザー三角測量センサーが、下にあげる代表的性能で高精度の距離計測を提供している。

表 F.6.2.1 レーザー三角測量センサー

計測範囲 mm	分解能 $\mu\text{m}$
20 – 25	0.6
20 – 30	1
30 – 50	2
45 – 95	5
50 – 150	10
60 – 260	13
100 – 350	32
200 – 800	80



図 F.6.2.2 レーザー三角測量センサー

### F.6.3 ストレート・エッジ

合金または鋼（約 40/60 mm）、通常は未知量以内で直線であるが、作業するに十分にかたく、また曲げと光反射またはレーザー光線によりチェックできる。

精密なストレート・エッジは DIN 874 により等級分けされている。

「ベッセル」点、即ち、各々の端から全長の 0.22 で支持する場合、認定許容差を次表に示す (mm) :

表 F.6.3.1 ストレート・エッジ認定許容差

エッジの長さ	100 mm	500 mm	1 000 mm	1 500 mm	2 000 mm	3 000 mm
DIN 875 / 00	0.004	0.004				
DIN 875 / 0		0.009	0.012	0.017	0.022	0.032
DIN 875 / 1		0.012	0.021	0.029	0.037	0.054
DIN 875 / 2		0.021	0.033	0.046	0.058	0.083

### F.6.4 スクエア・エッジ

スクエア・エッジは、DIN 875 により等級分けされており、認定アングル許容差を次表に示す (mm) :

表 F.6.4.1 スクエア・エッジ認定許容差

アングルの長さ	150/100	200/130	300/200	500/330	750/375	1 000/500
DIN 875 / 00	0.004	0.004				
DIN 875 / 0	0.008	0.009				
DIN 875 / 1	0.018	0.020	0.025	0.035		
DIN 875 / 2	0.035	0.040	0.050	0.070	0.085	0.120

### F.6.5 水準器、デジタル水準器

未認定の水準器について、誤差は、約 1 mm/m であり、精密水準計では 0.1 mm/m まで上がる。

これらは、DIN 877 で等級分けされている。

DIN 877 / クラス 1a → 0.02 mm/m

DIN 877 / クラス 1b → 0.1 mm/m

DIN 877 / クラス 2 → 0.4 mm/m



図 F.6.5.1 レーザー水準器、0.1 mm/m 精密水準器、懸け型水準器、丸型水準器、キーチェーン水準器

広範囲のデジタル傾斜計、下げ振り、水準器が、現在は利用でき、アップル社の iPhone 4 のようなスマート・フォンに組み入れており、MEMS ジャイロと加速度計も有している。



図 F.6.5.2 分解能 0.05 度の傾斜計と分解能 0.1 度の 아이폰水準器

### 水チューブレベル計

平らでない地面や傾斜のある地面での艇の計測は、基線を水平にする手段を必要とする。水準儀を用いることはできるが、安くて簡単な代替品は、両端に透明チューブのある柔軟なチューブで、洗剤を少し加えた水で満たす。チューブには「エア・ロック（気泡）」がないことが必須であり、したがって注意して水を満たさなければならない。チューブの内径は、最低 8 mm あるとよい。透明チューブが細いほど、我々の基準面である水表面でのメニスカス（表面の凹面）が丸くなり、正確な読みを取ることが難しくなる。洗剤はメニスカスを小さくする。必要なチューブの長さは、当然計測する艇の長さにより決まる。長さ 4.70 m の艇に対しては、約 6 m 必要となるが、適切な長さのチューブで、どんな長さの艇に対しても用いることができる。

この方式の利点は、垂直である必要のない透明チューブで、艇体上の基準点に極めて近づけることができ、 $\pm 1 \text{ mm}$  以内で簡単に読み取ることができる。このようにして、470 の艇体を  $\pm 0.12$  度以内で水平にすることができる。水銀とその表面を読むためのマイクロメーターを用いるこの方式は、スタンフォード大学のマイルの長い線形加速器を水平にするために用いられている。

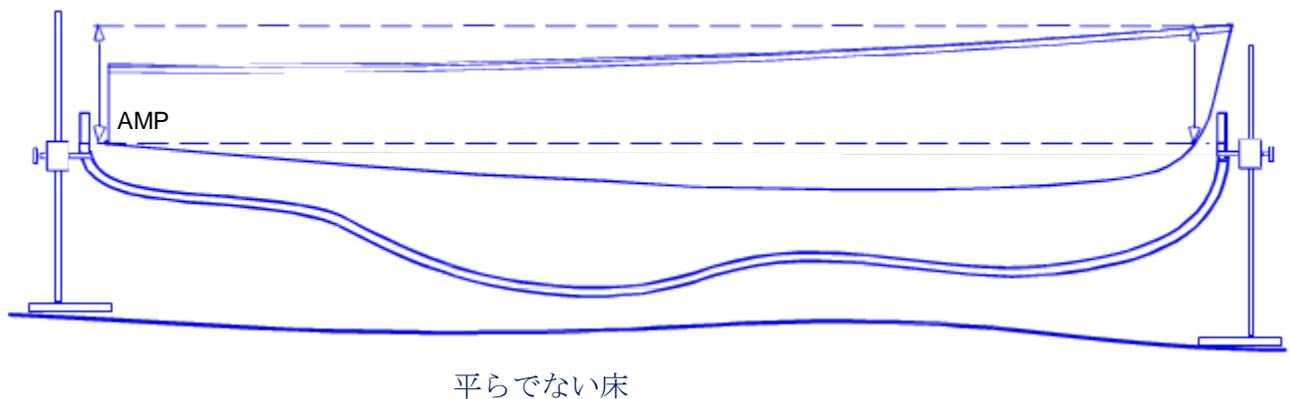


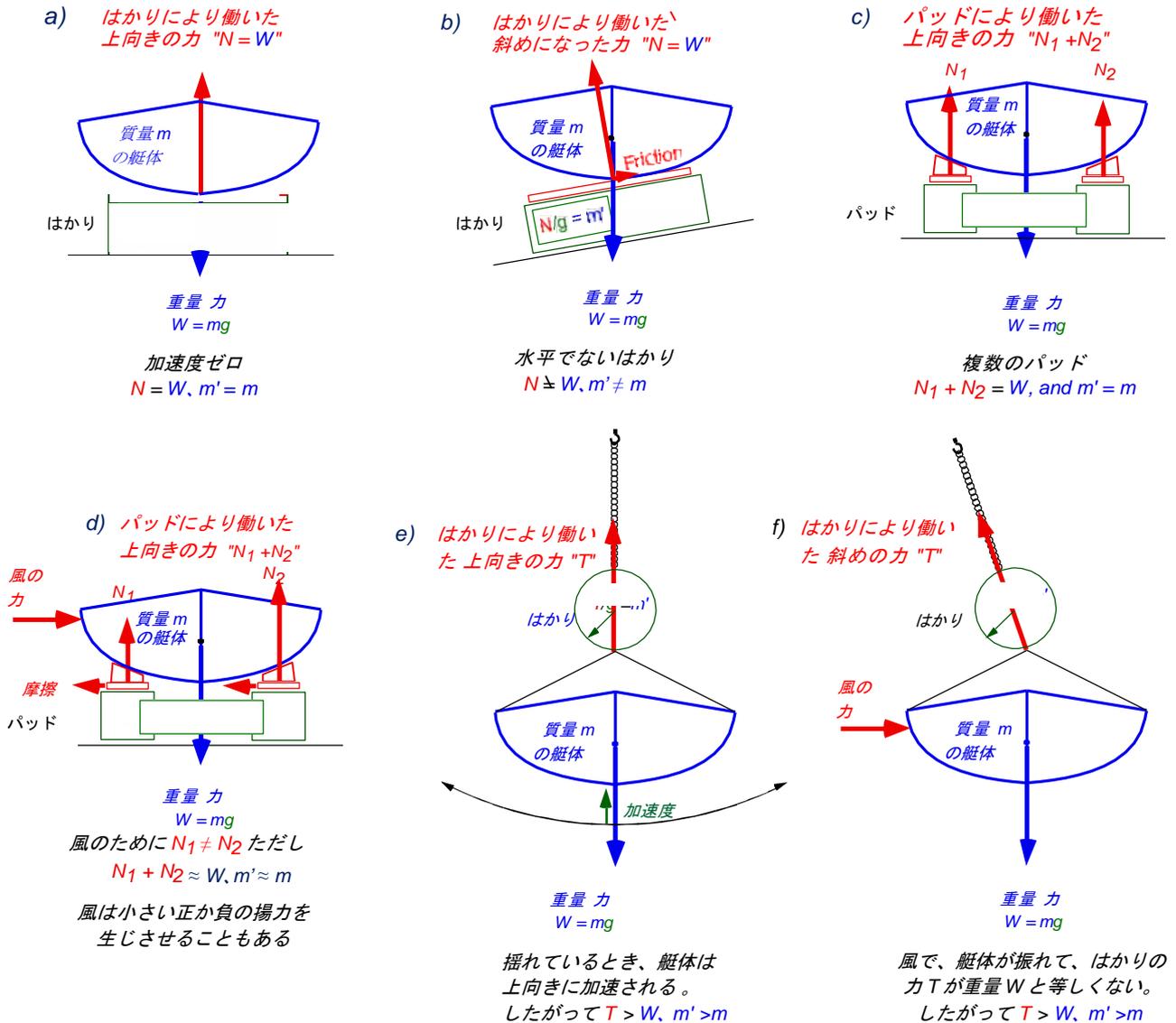
図 F.6.5.3 艇体を正確に水平にするために水チューブ、艇体上の基線基準点はクラス規則に従って、定められた。

## F.7 質量と重量

物体が含んでいる物質は、質量 “m” である。物体の質量は、慣性を決定する。即ち、運動が変化するために慣性を得ることはいかに難しいか。ニュートンの第 2 法則は、 $F = ma$ 、言い換えれば、与えられた力  $F$  が物体にかけられた場合には、質量  $m$  が大きいほど、結果

として生じる加速度  $a$  は小さくなる。物体の重量  $W = mg$  は、地球が物体に及ぼす引力  $W$  であり、質量  $m$  に比例する。比例定数 “ $g$ ” は単位質量当たりの重量  $N/kg$  であり、場所により変化する。

物体の実際の計量では、下向きの重量  $W$  との釣り合いを必要とする物体上の秤により働く上向きの力  $N$  を計測する。物体が加速しておらず、2つの力のみが働いている場合には、この上向きの力のみが、重量と等しくなる。



図F.7.1 計量の物理学。はかりは、重量  $W = mg$  に逆らって働いている力  $N = m \cdot g$  を計測しており、 $g$  の値を想定して、この力を質量の読み  $m' = N/g$  へ変換する。風は、計測した重量に影響するいくつかの揚力を生じさせることに注意すること。

計量という行為は、力  $N$  を計測しており、はかりは物体上の重力をバランスするために働くが、はかりは実際に計測された重力  $N$  よりむしろ「重力は計測されたものと同じであろう質量  $m'$ 」を読めるように校正されており、その点に問題がある。即ち、はかり製造業者は、式  $m' = N/g$  で作っており、“ $g$ ” のその場所の値を想定している。したがって、はかりが（ある緯度から別の緯度へ、したがって“ $g$ ”が変わる）移動された場合、はかりの校正はもはや有効ではない。従って、精度のよい計量のためには、秤は用いる場所で（目盛スパン調整

して) 校正しなければならない。ただし、これができない場合には、秤の表示の補正は、緯度と標高での  $g$  の変動として行うことができることは、よく知られている。

このことに対処するために、現在のはかりの校正装置は、はかりが校正されるべき緯度をプログラムに入力させている。緯度での変動はほんのわずかである。単位質量  $g'$  当たりの有効重力の大きい変動は、赤道付近の膨らみに起因する地球の回転によるもので、従って緯度での半径  $R$  の変動、および地球の回転系での遠心力  $\omega^2 R \cos \phi$  によるものである。海面での単位質量  $g'$  当たりの有効重力を与えるために図 F.7.2 と F.7.3 に示すように、これらを組み合わせる。

$$g' = 9.78049(1 + 0.0052884 \sin^2 \phi - 0.0000059 \sin^2 2\phi)$$

高さでの変動が次である間は

$$g'_h = g' - (0.30885 + 0.00022 \cos 2\phi - 0.000072h)h$$

$g'$  は上で与えられており、 $h$  は km である。これらの式は、縮尺比 1:5 000 の分解度の範囲内ではかりの校正での変化を推定するために用いることができる。

地球の重力場は、図 F.7.4 に示すように、GRACE (重力復元と気候実験) 衛星によるものよりはるかによい精度で今はごく普通に計測される。はかりがサウサンプトンの ISAF 事務所で校正されたと仮定して、いくつかのセーリング会場での補正を表 1 に示す。

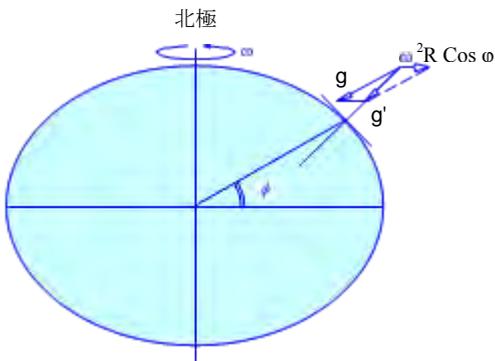


図 F.7.2 変動半径  $R$  と遠心力  $\omega^2 R \cos \phi$  による緯度  $\phi$  での単位質量  $g'$  当たりの重力の変動を示す地球の図 (誇張された赤道部の膨らみ)

図 F.7.3 緯度での単位質量当たりの有効重力の変動

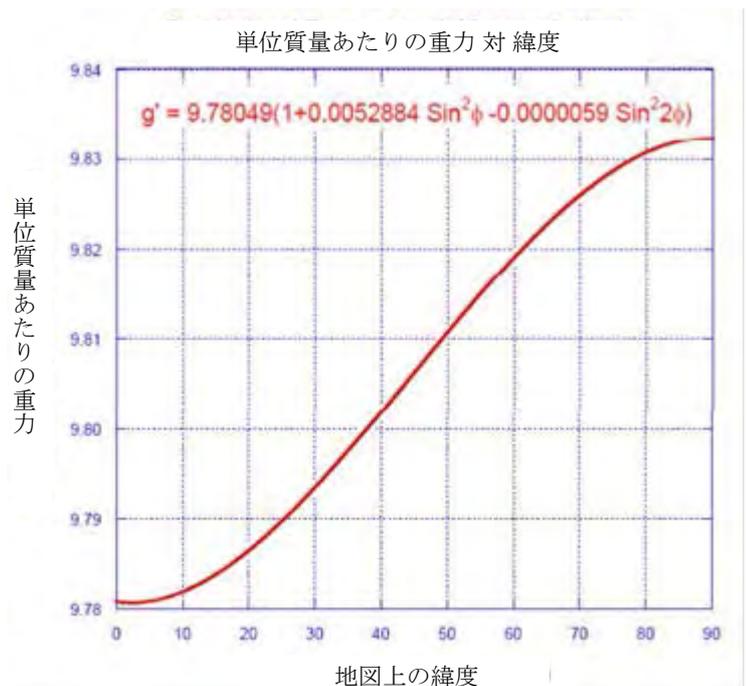


表 F.7.1 緯度での単位質量当たりの重力の変動

場 所	緯度 度	重力加速度 N/kg	補正 g/kg	場 所	緯度 度	重力加速度 N/kg	補正 g/kg
北極	90.000	9.832	-2.09	サンフランシスコ	37.872	9.800	1.20
ヘルシンキ	60.170	9.819	-0.79	青島 (チンタオ)	36.095	9.798	1.35
マルメ	55.722	9.816	-0.42	ロングビーチ	33.889	9.797	1.54
キール	54.378	9.815	-0.30	サンディエゴ	32.806	9.796	1.63
メデンブリック	52.789	9.813	-0.16	マイアミ	25.815	9.790	2.18
サウサンプトン	50.992	9.812	0.00	ドバイ	25.271	9.790	2.22
バンクーバー	49.331	9.810	0.15	アカプルコ	16.867	9.785	2.74
トリエステ	45.654	9.807	0.49	シンガポール	1.308	9.781	3.17
ハリファックス	45.086	9.806	0.54	エクアドル	0.000	9.780	3.18
キングストン	44.233	9.806	0.62	リオデジャネイロ	23.033	9.788	2.37
イエール	43.219	9.805	0.71	シドニー	33.935	9.797	1.54
マーブルヘッド	42.510	9.804	0.78	ケープタウン	33.961	9.797	1.54
パルマ・デ・マヨルカ	39.608	9.801	1.04	メルボルン	37.972	9.800	1.19
アナポリス	39.044	9.801	1.09	ウェリントン	41.345	9.803	0.88

補正は、サウサンプトン (英) で校正したはかりに対するものである。即ち、北極で用いる場合には、kgにつき 2.09 g 高く読まれる。

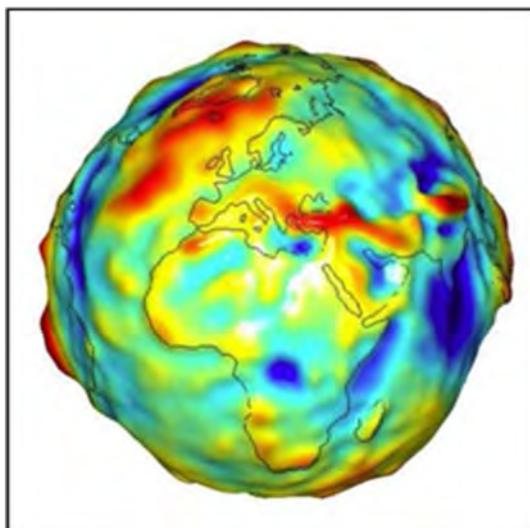


図 F.7.4 地球の重力加速度の詳細な変動の GRACE 衛星マップ。この変動は  $mm/s^2$  で表しているため、1:5 000 の分解能で補正したはかりの場合、無視できることに注意。

上記理論は、計量は真空中で行い、空気中で艇体を計量する場合、重量と反対方向に働く浮力があることを想定している。ヘリウム入りの風船を考えて見よ！ 体積  $V$  で密度  $\rho_H$  の艇体について、重量  $M_g = \rho_H V g$ 、浮力は排除した空気の重量  $M_{Ag} = \rho_A V g$  に等しい。したがって、計測した重量  $M_M$  は：

$$M_M g = (M - M_A) g = M(1 - \rho_A / \rho_H) g$$

艇体材料の体積を決定して、したがってその平均密度は多少独断ではあるが、校正材料の密度から計算できる。ただし、ほとんどのキールボートとは水没させてもほぼ浮くので（浮力がいくつかのキールボートに対し必要とされている）、平均密度はほぼ 1 g/ml であり、したがって、重量に対する浮力補正は、密度約  $\rho_A = 0.0012$  g/ml の空気のために、1:1 000 のオーダーであることに注意せよ。はかりは空気中で校正されるが、校正は密度  $\rho_C = 7.8$

g/ml の鉄製検定分銅で行われるので、M の校正質量に対するはかりの読み MC は：

$$M_C g = (M - M_A) g = M(1 - \rho_A / \rho_C) g$$

はかりが MC よりむしろ校正質量 M を読めるように、目盛スパンが浮力を無視して今は調整されている場合には、計測した艇体質量 MM への補正は：

$$M_C = M_M \frac{(1 - \rho_A / \rho_C)}{(1 - \rho_A / \rho_H)} \approx M_C \{1 + \rho_A (1 / \rho_H - 1 / \rho_C)\}$$

$$\approx M_C \{1 + 0.0012(1 / 1 - 1 / 7.8)\} \approx 1.0010 M_C$$

補正はアイテムと校正質量間の密度の差によることに注意せよ。したがって、補正はディンギー艇体に関しては大きいですが、鉄製キールに関してはなくなり、鉛製キールに関しては負となる。1650 kg のドラゴンに関しては、補正は約 1.7 kg となり、無視できない。しかしながら、ほとんどのクラス規則は「空气中で計量することで決定した重量」を意味していると想定されている。この場合、この補正は無視することができる。

### F.7.1 はかり

「取引・証明以外用」の表示のある安価なはかりは、魅力的ではあるが、検証できないので、重大な計量には推奨できない。取引用のはかりは、検証されている。即ち、そのはかりの品質は、十分高く、1 表示段階より小さい偏置誤差であり、我々の仕事には信頼性が、精密である。

#### はかりの校正

校正は、基準分銅一式に対するはかりまたは天びんの出力間の比較である。校正は、技術的にははかりが示した値と基準分銅間の差を決めることをいう。ゼロと目盛スパンの調整は、天びん/はかりをはかりの使用で必要とされる制度の状態に持っていくことを意味する。したがって、「校正」は、調整、または一連の補正データもしくは校正カーブの確立をいう。

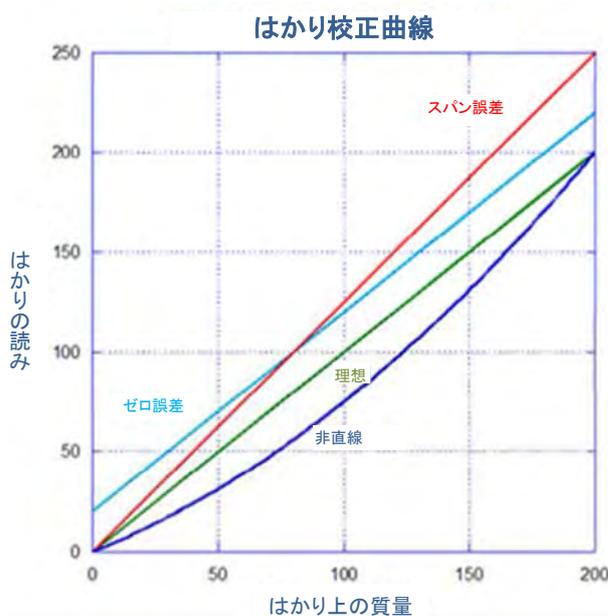


図 F.7.1.1 はかり校正曲線

誤差の種々のタイプは、図 F.7.1.1 のはかり校正曲線により説明する。ゼロと目盛スパンの調整は、淡青色と赤色の曲線を理想へと調整するが、直線性校正は、濃青色曲線を補正することに対し必要である。直線性は、はかりの計量能力全体で同一感度となる品質を参照する。

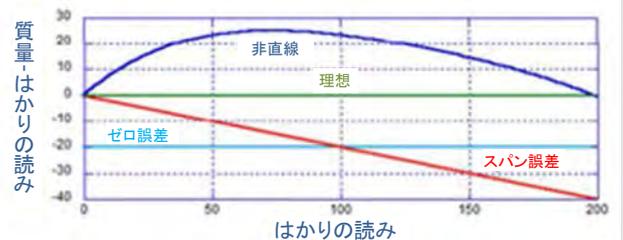


図 F.7.1.2 はかり補正曲線

はかりの非直線性は、それぞれはかりの目盛スパンのほぼ 40 % の 2 つの物体を最初は別々に、その後一緒に計量することによりチェックすることができる。2 つの個々の読みの合計が、両物体を一緒に計量したときに得られた読みと同じであるとよい。

もっと簡単に校正曲線を読むためには、図 F.7.1.2 に示すようにはかり上の質量とはかりの読みとの差として通常プロットされる。

計量するものに近い質量で現地で校正をチェックし、その外れを記録することは、よき実践である。

## はかりの特性

メジャラーが認識して、チェックするとよい計量はかりでの問題が多くある。

- はかりは、製造業者のいう温度範囲内で操作される場合にのみ、所定の精度がある。いくつもの艇体が昼間の暑い日の当たる状態で計量し、他は涼しい夕方に計量されるようなはかりが屋外で操作される場合には、このことは重要である。屋内で計量するか、少なくとも日陰にはかりを置くことが望ましい。
- ほとんどの電子はかりは安定した電力供給がいるが、そうはいつても新しいバッテリーを用いるか、またはバッテリーは常にフルに充電されていることを確実にすることはよき実践である。
- はかりに用いられている ADC (アナログ・デジタル変換器) は、目盛スパンの最初と最後の 20 % については非直線性であることが多いので、望ましくは、はかりはこの範囲では用いない方がよい。
- 計測する重量の 120 % の目盛スパンのはかりの選択は、最もよい分解能となるが、過荷重によりはかりが損傷することがあるので、推奨しない。衝撃荷重は、重大になることがあり、目的とする荷重の 2 倍の目盛スパンまたは過荷重のはかりを推奨する。はかりに荷重をかけるときには、常に細心の注意を払うことを勧める。
- 偏置荷重と偏置荷重誤差は、計量する皿または台の上のどこでも与えられた対象物に対し同じ重量の読みを示すはかりの能力を指す。家庭用台ばかりでこのことが問題になる。
- ドリフトやクリープは、デジタル表示で表示した数字での斬新的 (連続して上昇または連続して下降) 変動をいう。重量の読みは安定しない、安定性に影響する主たる環境要因は、温度である。
- ヒステリシスは、ロード・セルまたはばねばかりのような弾性材料に依存する他の計量方式の特性であり、その荷重へのアプローチの方向、即ち、荷重を増すことでアプローチするか、荷重を減らすことでアプローチするかにより同じ荷重でも別の指示となる。即ち、計量範囲の中間点で最も目立つ。

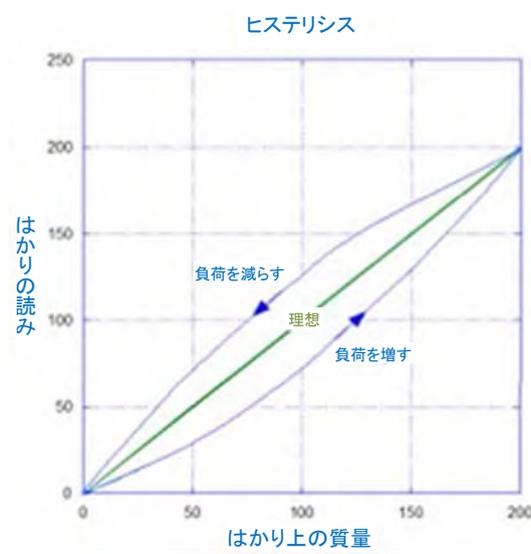


図 F.7.1.3 はかりのヒステリシス

計量するときに必要な注意事項については、IRC マニュアルにも記載されている。

## 校正用標準分銅

必要とされる精度を達成するために、はかりは、理想的には大きなレガッタで使用前に校正されるとよく、校正は、資格のある専門家により、そのはかりが用いられる場所で行うのが最もよい。校正証明書は、校正が実施された場所に対してのみ有効である。はかりを自分で校正したい場合には、理想的には「精度証明書」、「校正報告書」または「質量値証明書」のある分銅を必要とする。この標準分銅は、表 F.7.1.1 に示す通り、異なるクラスで検定され、その精度を保つためには注意して保管するとよい。

表 F.7.1.1 標準分銅許容誤差

基準値	F1 級 高精水分銅	M1 級 精水分銅	M3 級 商用分銅
1.0 g	±0,1 mg	±1 mg	±10 mg
100 g	±0,5 mg	±5 mg	±50 mg
1.000 kg	±5 mg	±50 mg	±500 mg
2.000 kg	±10 mg	±100 mg	±1.0 g
5.000 kg	±25 mg	±250 mg	±2.5 g
10.000 kg	±50 mg	±500 mg	±5.0 g
50.000 kg	±250 mg	±2.50 g	±25.0 g

## 検定付きはかり

検定付きはかりには、4 精度等級がある。

表 F.7.1.2 検定付きはかりの等級

精度等級	目量 e	最小測定量	目量の数 n = max / e	
			最小	最大
I	0.001 g < e	100 e	50 000	
II	0.001 g < e < 0.05g 0,1 g < e	20 e 50 e	100 5 000	100 000 100 000
III	0.1 g < e < 2 g 5 g < e	20 e 20 e	100 500	10 000 10 000
IV	5 g < e	10 e	100	1000

はかりの要件は、次の文書に規定されている。

1. OIML R76-1:1992. Non-automatic weighing instruments — Part 1 : Metrological and technical requirements—Tests. (非自動化はかり—第 1 部：性能要件及び試験方法)  
計量法、JIS B7611-1 非自動はかり—性能要件及び試験方法—
2. OIML R111: 1994. Weights of Accuracy Classes E1, E2, F1, F3, M1, M2, M3. (分銅の精度等級)  
JIS B7809 分銅
3. Council Directive 90/384/EEC of June 20, 1990 (Harmonization of laws in member countries).

II 級、III 級、IV 級のはかりは、公式計量に用いられる。

高精度計量用の II 級はかり、IV 級はかりは、例えばトラック・スケールに用いられる。

III 級のはかりはセーリング用では十分である。法定計量用として証明される III 級のはかりが利用できる場合には、問題はなくなる。これらのはかりの表示段階値は、はかりの計量スパンの 1/3 000 または 1/6 000 である。はかりにそれぞれのステッカーがある。

表 F.7.1.3 許容誤差と検定誤差

荷重				誤差の限度
I 級	II 級	III 級	IV 級	
$0 < m < 50\,000 e$	$0 < m < 5000 e$	$0 < m < 500 e$	$0 < m < 50 e$	+/- 0.5 e
$50\,000 e < m < 200\,000 e$	$5000 e < m < 20\,000 e$	$500 e < m < 2\,000 e$	$50 e < m < 200 e$	+/- 1.0 e
$200\,000 e < m$	$20\,000 e < m < 10\,000 e$	$200 e < m < 10\,000 e$	$200 e < m < 1000 e$	+/- 1.5 e

使用誤差は、検定誤差より大きく 2 倍である。

### はかりの型

バランス・アーム・スケール（天びん式台ばかり？）

診療所や食肉処理者で用いられるバランス・アーム・スケールは、場所に無関係に校正を維持し、高い信頼性があるが、電子ばかりに取って代わられた。ただし、これらは乗員体重用に用いられていた。



図 F.7.1.4 バランス・アーム・スケール

### ばねばかり

ばねばかりは、多用途に適切で、軽くて、電力を必要としないという利点がある。主な欠点は、読みが振動し、注意して読まなければならない、その結果セーラーの信頼を落とすことになる。ばねばかりについては一般に、目盛りが 1:400 ないしはそれ以下であり、したがってその容量は予想される荷重に合わせるとよい。



図 F.7.1.5 ばねばかり

### クレーンばかり

容易に持ち上げるためにキールポートその他の重すぎる艇体については、ホイストを加えたクレーンばかりがほとんどの場合に用いられるはかりである。漁師がよく用いるもっと小さい吊りばかりが、マスト、ラダー、センターボードに用いることができるが、品質が問題になることもある。

多くのクレーンばかりは、現在は手動操作に IR リンク付きになっている。クレーンばかりの主な欠点は、それをつるすことができる構台（ガントリー）、クレーンまたは十分な強度のある構造材のほりが必要となることである。吊り上げるスリング（つりひも）も十分な強度がなければならず、望ましくは検定付きで、取り付けやすくなければならず、そのおもりはタールで塗られていなければならない。



図 F.7.1.6 クレーンばかり

## ダイナモメーター

ダイナモメーターは、力を測定する装置であり、それ自体は kg よりはむしろ kN で読むが、ただし計量にも用いることができ、多くは読みを自動的に質量に変換する。もう一つの方法は、ダイナモメーターの場所が変わった場合に、校正を避けるためにその地の“g”値を用いて力の読みを変換することができる。ダイナモメーターの主な利点は、非常にコンパクトで（ブリーフケースに入れて、垂直の大きさが最小である）、頑丈であり、空輸する場合には理想的である。

これらの多くは無線リンク付きとなっており、送受信でコントロールと読みの両方ができる。ダイナモメーターは、非常に便利で、必要な場合は重量を秘密のままにしておくことができる。データは、保存もでき、コンピューターに転送することもできる。注意することが1つある。ダイナモメーターと一緒に供給されたシャックルは、強度のためだけでなく、ダイナモメーターのベアリングに合わせるために、念入りに大きさを決めている。自由な動きが十分できない場合には、吊り上げるときにねじれが直接ダイナモメーターに伝わり、潜在的に間違った結果につながる。



図 F.7.1.7 ダイナモメーター

## 台ばかり

台ばかりは、様々な計測、マスト先端重量、補正おもり、乗員の体重に用いられ、はかりの台の上に簡単に人力で扱えるディンギー艇体にはクレーンばかりより便利であり、したがって、スリングを調整したり、艇体を吊り上げる時間が必要なくなる。



図 F.7.1.8.4 マスト重量用 34 × 0.1 kg とディンギー艇体用台ばかり

## 複数パッドのはかり

架台上の大きなキールボートやカタマランについては、複数パッドのはかりが、他の型のはかりよりも便利である。パッドは順に読まれ、合計が表示される。したがって、パッドのすべてが同じ校正であることに多少注意を払わなければならない。それぞれのパッドの容量は、偶発的な過剰の荷重でパッドが損傷されないに十分あるとよいが、容量が大きすぎると精度が悪くなる。単一のロード・セルのように精度はよくないことは複数パッドのはかり本来のものである。個々の読み出しを用いる場合には、風のせいのためにデータが処理時間内に変換できない場合、読みの遅れが誤差に結びつくことがある。



図 F.7.1.9 4パッドのはかりを用いるトーネード級の計量