

初心者向け不確かさ評価セミナー

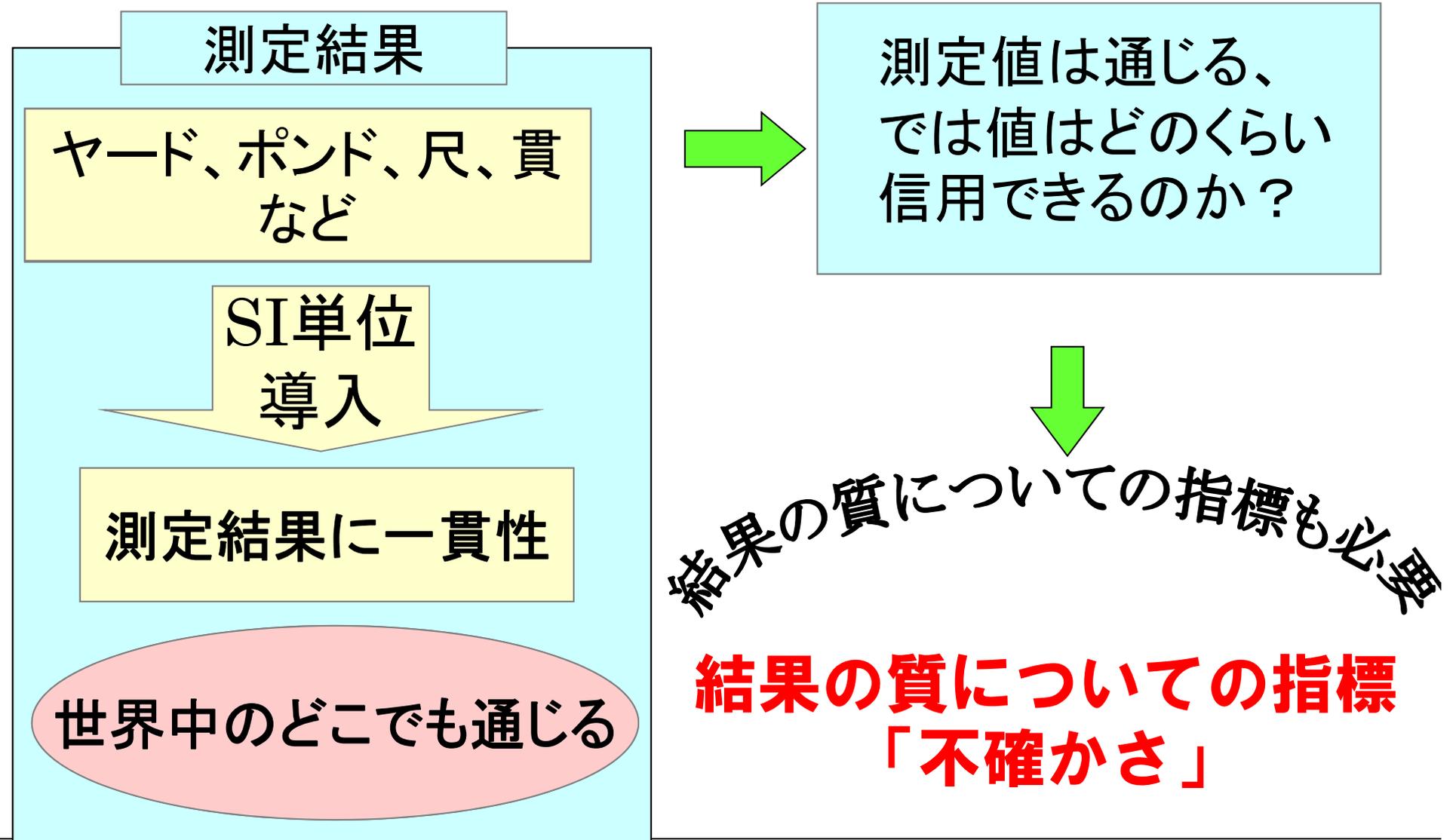
産業技術総合研究所 計量標準総合センター

田中秀幸

1 不確かさとは

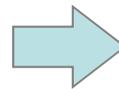
不確かさとは何か, なぜ不確かさ評価必要なのか。

なぜ今、不確かさ評価なのか？



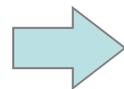
結果の質の表現方法統一による利点

測定結果の
比較の容易さ



- ・製品の検査
- ・技能試験・国際比較

測定結果の
信頼性の証明



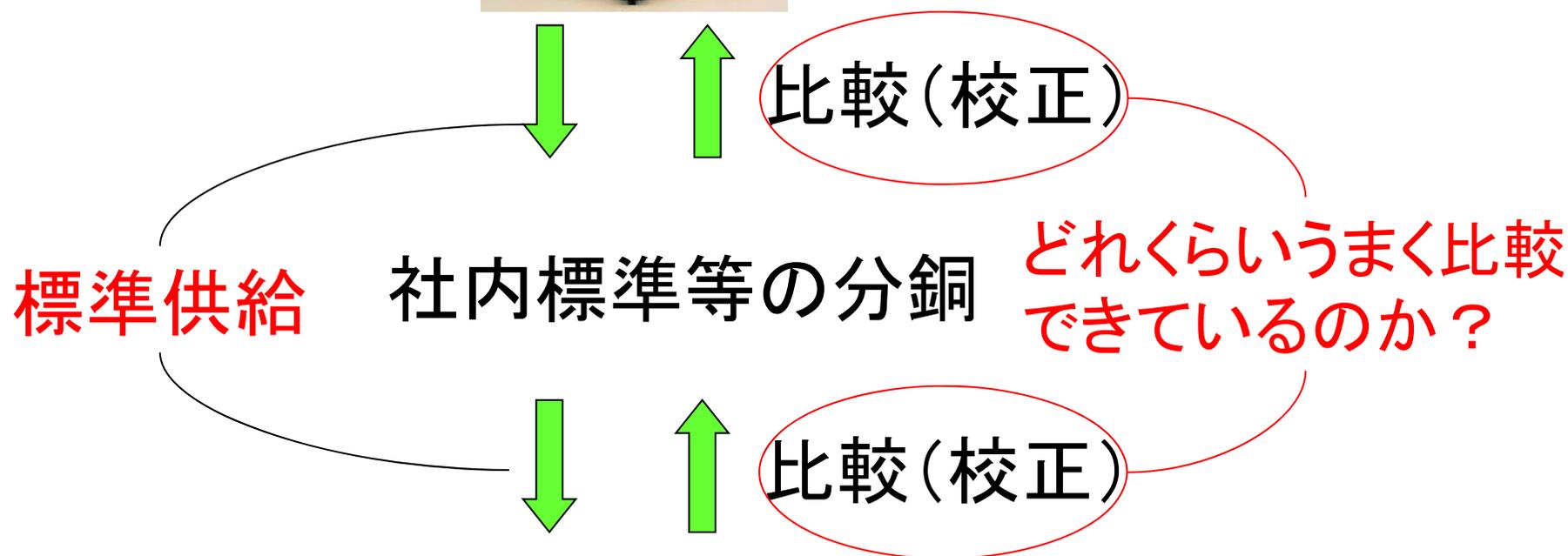
- ・校正証明書
- ・トレーサビリティ制度
- ・ワンストップテストティング

トレーサビリティ

質量では



日本国キログラム原器

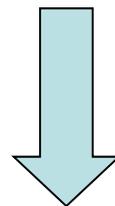


普段測定で用いているばかり

トレーサビリティ

トレーサビリティとは

個々の校正が**測定不確かさ**に寄与する，文書化された切れ目のない校正の連鎖を通して，測定結果を計量参照に関連付けることができる測定結果の性質。



トレーサビリティを確保するためには不確かさが必要！

GUMについて

- GUM・・・Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement(ISO Guide98-3)
- 不確かさとはなにか，不確かさの評価法等が規定されている文書。不確かさ評価はこの文書に則って行う。
- 日本語版：TS Z 0033:2012 「測定における不確かさの表現のガイド」として発行。

VIMについて

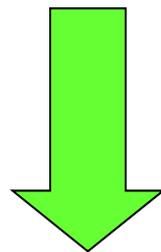
- VIM・・・International vocabulary of metrology -- Basic and general concepts and associated terms (ISO Guide99)

日本語版：TS Z 0032:2012 「国際計量計測用語—基本及び一般概念並びに関連用語（VIM）」として発行。

ただし、日本ではまだVIM第2版も良く使われるので注意。

不確かさとは (GUM・VIM2)

不確かさ・・・測定の結果に付随した，合理的に測定対象量に結び付けられ得る値のばらつきを特徴づけるパラメータ。



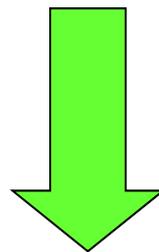
簡単に言うと

不確かさ・・・ばらつきを特徴づけるパラメータ

不確かさは，測定のはらつきを表す！

不確かさとは(VIM3)

不確かさ・・・用いる情報に基づいて、測定対象量に帰属する量の値のばらつきを特徴付ける負ではないパラメータ。



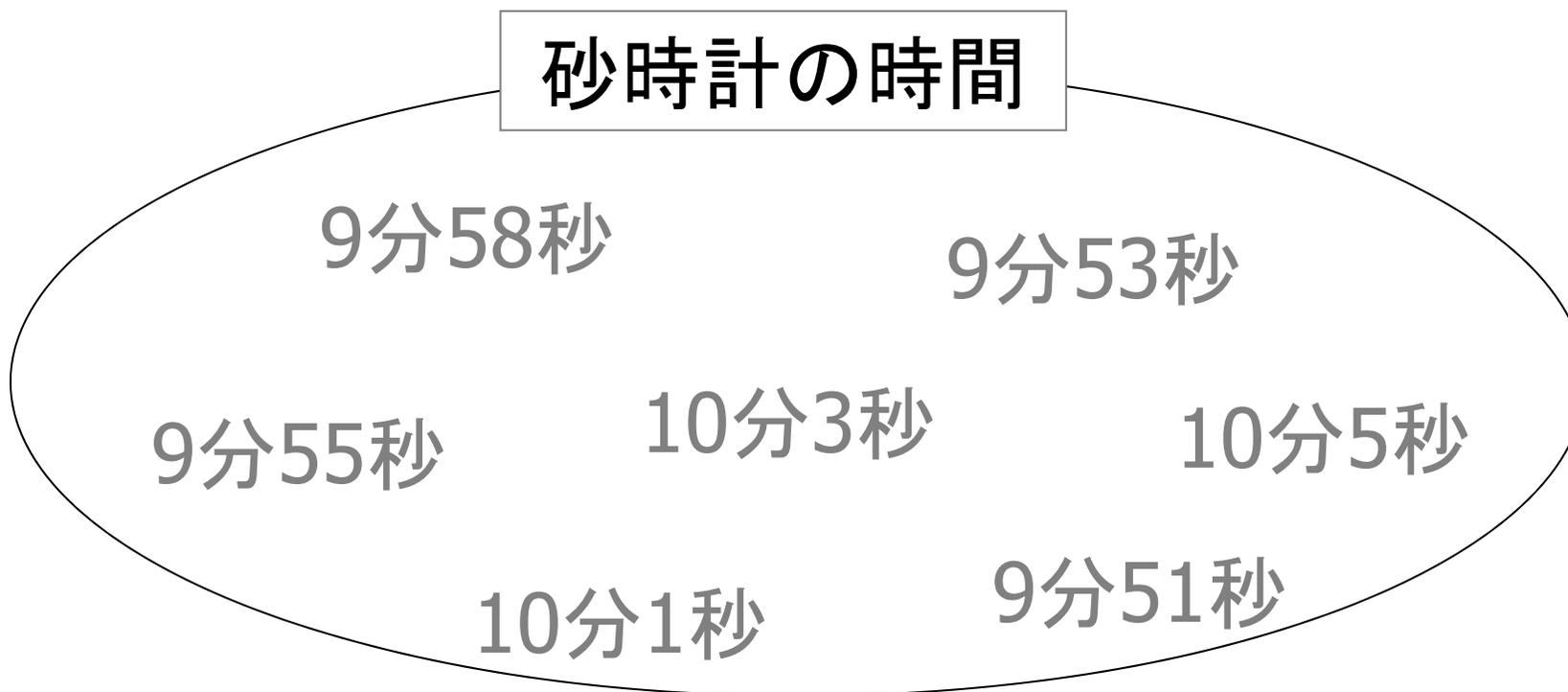
簡単に言うと

不確かさ・・・ばらつきを特徴づけるパラメータ

不確かさは、測定のばらつきを表す！

ばらつきとは

同じ測定を繰り返した場合であっても、必ずしも同じ測定結果が得られ続けるとは限らない



ばらつきとは

体温計で体温を測ったら、



37.2°C

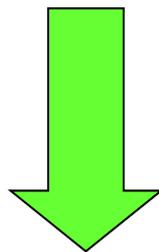
と表示された。

これは、体温が37.15 °Cから37.25 °Cの間にあることを示している。

よって、「体温は、37.15 °C～37.25 °Cのどこに値があるか分からない」ということである。これはばらつきと同等であると考えられる。

不確かさとは(GUM・VIM2)

不確かさ・・・**測定の結果に付随した**，合理的に測定対象量に結び付けられ得る値のばらつきを特徴づけるパラメータ。

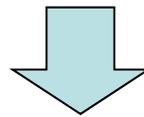


**不確かさとは測定結果(値)に付くものであって、測定装置につくものではない！！
よって、「測定の不確かさ」と呼ばれる。**

不確かさとは(VIM3)

不確かさ・・・(前略)

注記4 一般に、任意の一組の集合の情報に関して、測定不確かさは、測定対象量に帰属する表記された量の値に付随すると理解される。(後略)

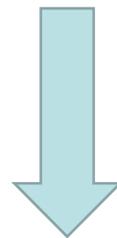


不確かさとは測定結果(値)に付くものであって、測定装置につくものではない！！
よって、「測定の不確かさ」と呼ばれる。

測定装置の不確かさ？

「不確かさ」は測定結果，つまり値につくものであり，測定器に付くものではない。

しかし，一般的に「はかりの不確かさ」，「マイクロメータの不確かさ」という言い方が良くされる。これは間違いなのだろうか？

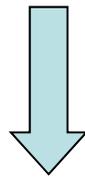


**「測定器の校正の不確かさ」が便宜的に
「測定器の不確かさ」という使われ方をしている！**

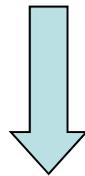
校正の不確かさ

先ほどのように、「不確かさ」とは「値」に付くものである。

では、「**校正の不確かさ**」とはなんだろうか？

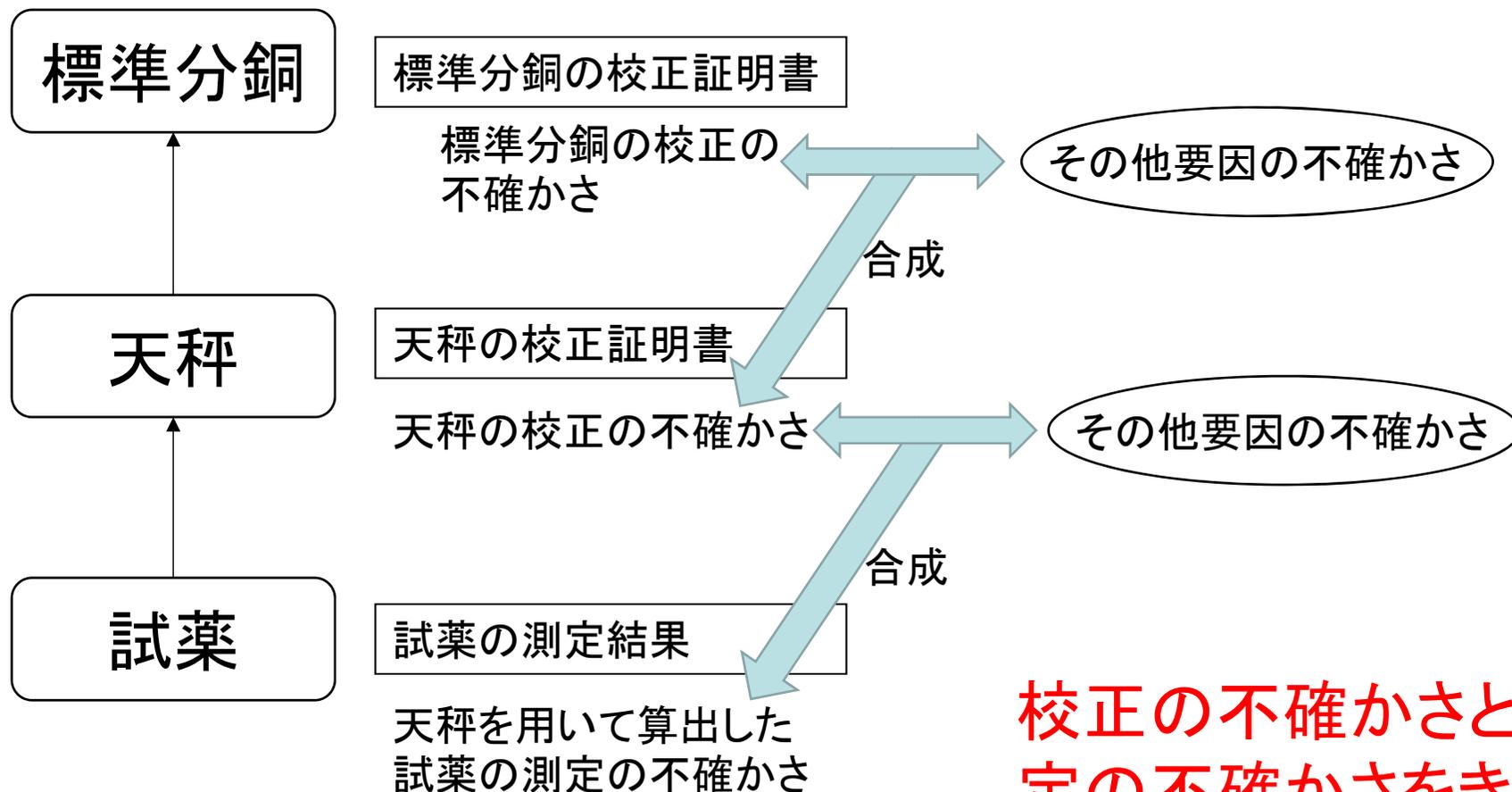


例えば、はかりを校正するときには、上位標準である分銅を用いてはかりに値付けを行う。



つまり、分銅によってはかりの目盛に値付けしたときの「測定結果の不確かさ」が「校正の不確かさ」となる。

測定の不確かさと校正の不確かさ



校正の不確かさと測定の不確かさをきちんと区別し考えること

余談

「トレーサビリティのとれた測定器」？
本来はこの言い方は間違い！

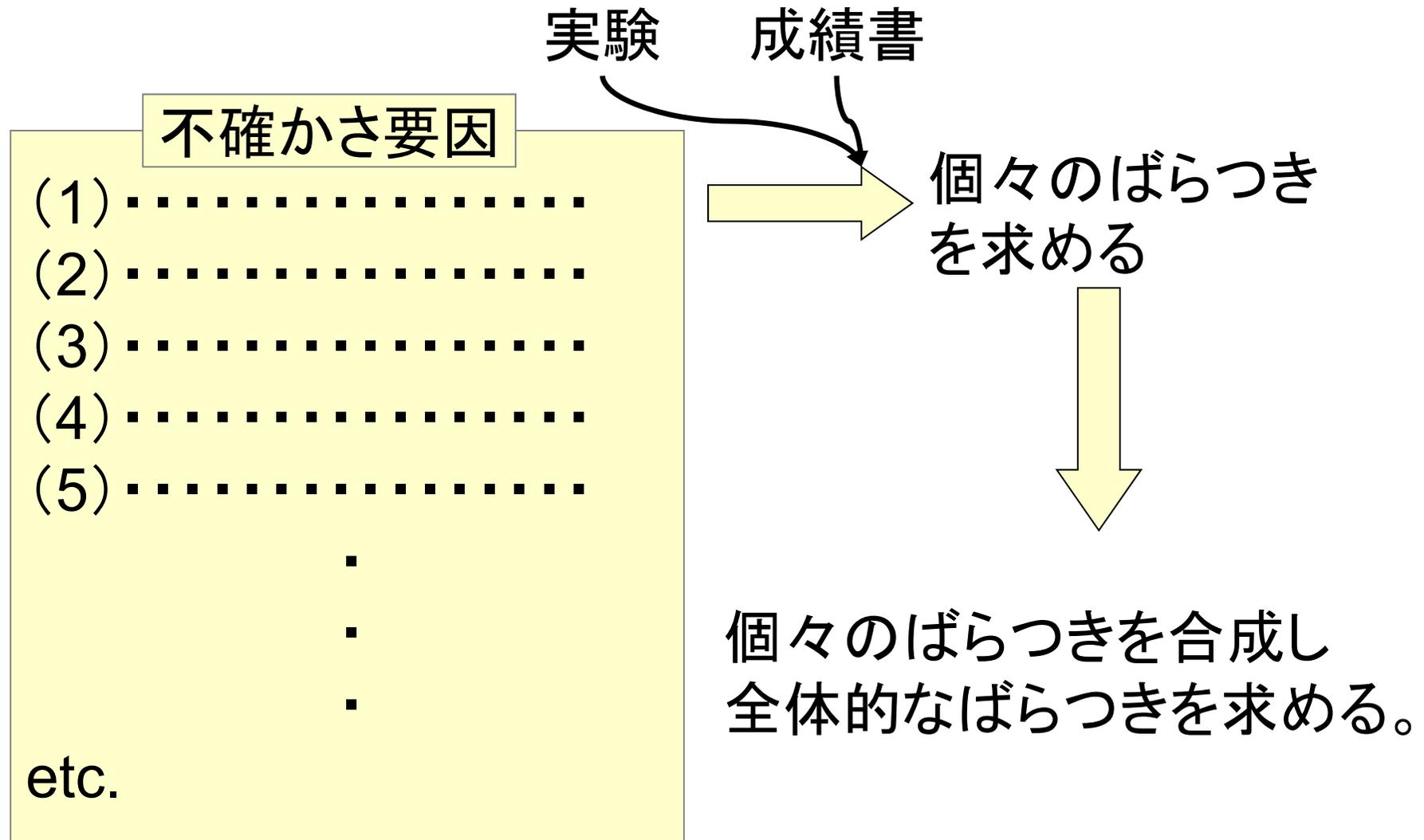
個々の校正が測定不確かさに寄与する，文書化された切れ目のない校正の連鎖を通して，測定結果を計量参照に関連づけることができる**測定結果の性質**。

測定結果の性質であり，**測定器の性質**ではない！

参考：平成27年3月実施 計量士試験 計量管理概論 問12
選択肢5 一般に，「トレーサビリティのとれた測定器」と表現されることがあるが，上の定義と照らし合わせて考えると，「トレーサビリティが確保された測定結果を与える測定器」という意味になる。

→この記述は正しい！

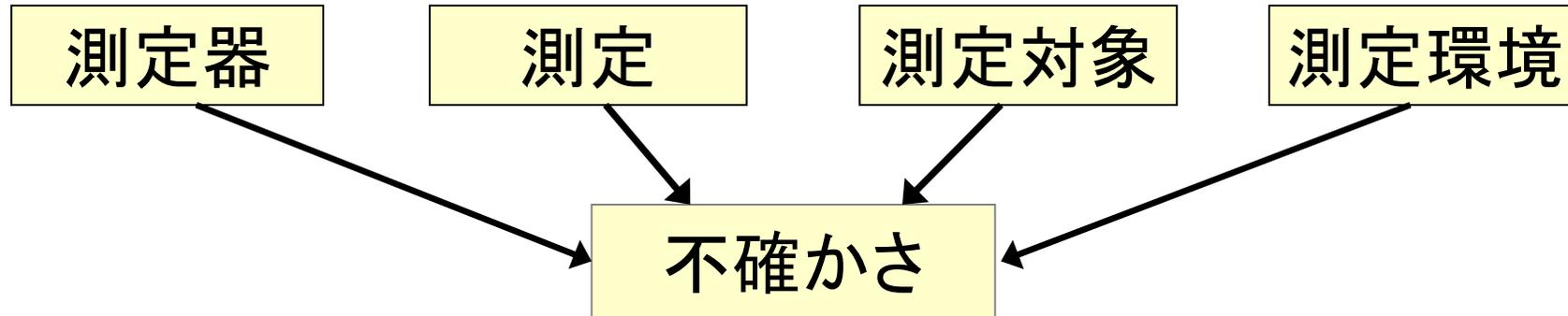
不確かさ評価の流れ



2 不確かさの評価法

不確かさ評価の原理について

不確かさ要因



主なもの

- 測定器とその校正方法
- 標準器
- 測定のための装置
- 測定方法、手順
- データ処理方法
- 測定対象の安定性・再現性
- 測定環境

すべてについて評価する
必要はない！

最終結果に与える影響が
大きなものを

ピックアップすることが重要！

「必要なところに必要な精度で」

時間・手間・コストを
最小にするよう努力！

例

- ある居酒屋で出されるビールジョッキにはここまで入れるというラインが付いている。そのラインまでの量をメスシリンダーで10回測定しその平均値をその居酒屋で出される大ジョッキの体積とする。
- また、測定時の温度は5 °Cで行う。

この例を用いて、不確かさの算出について考える。

例：不確かさの要因の特定

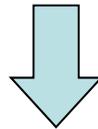
- 測定の繰返し性： u_R
- 標準器の校正の不確かさ(メスシリンダーの校正の不確かさ)： u_S
- 温度による効果： u_t
- 体膨張係数の不確かさ等その他の不確かさ要因は影響が小さいので無視する。

例：不確かさの要因の特定

記号	不確かさ要因	標準不確かさ	感度係数	標準不確かさ (出力量の単位)	備考
u_R	測定の 繰返し性				
u_S	標準器の校正 の不確かさ				
u_t	温度による 効果				
u_c	合成標準不確か さ				
U	拡張不確かさ				

不確かさ評価の分類

不確かさ評価とは・・・個々の要因によって起こるばらつきを求め、それを合成することで全体のばらつきを求める。



タイプAの評価・・・実験からデータを得てばらつきを求める。
タイプBの評価・・・実験以外の方法でばらつきを推定する。

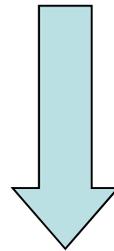
それぞれの評価から求められた不確かさを「**標準不確かさ**」と呼び、それを u で表す。

注意：タイプA, タイプBはあくまでも実験データからばらつきを求めるか否かということを表す。ある要因がタイプAかタイプBか重要ではない。

GUMでの説明

3.3.4

タイプAとタイプBの分類の目的は、不確かさの成分を評価する二つの異なる方法を明示することであり、また議論の便宜だけのためである。



タイプAとタイプBには本質的な差があるわけではない。

タイプAの不確かさ評価とは

実験によって測定データを得て、そのデータからばらつきを求める。

タイプA評価では、ばらつきは
「実験標準偏差」
によって表される。

標準偏差とは・・・平均値に対してどのくらいばらついているかを表す指標。正確な言い方ではないがばらつきの平均を表していると考えておけばよい。

ここで実験標準偏差を算出しただけではタイプAの標準不確かさを算出したことにはならない。

分散・標準偏差について

例：ある製品の質量測定(g)

x_1	x_2	x_3	x_4	x_5
87.5	86.2	90.1	88.4	87.0

標本平均： $\bar{x} = \frac{87.5 + 86.2 + 90.1 + 88.4 + 87.0}{5} = 87.84 \text{ g}$

標本平均からの距離
(残差) 単位：g

87.5-87.84=-0.34 (平均値からの距離)²
 86.2-87.84=-1.64
 90.1-87.84=2.26
 88.4-87.84=0.56
 87.0-87.84=-0.84

単位：g²

0.1156
 2.6896
 5.1076
 0.3136
 0.7056

残差の二乗和

単位：g²

8.9320

データの個数-1
(自由度)で割る
単位：g²

標本標準偏差

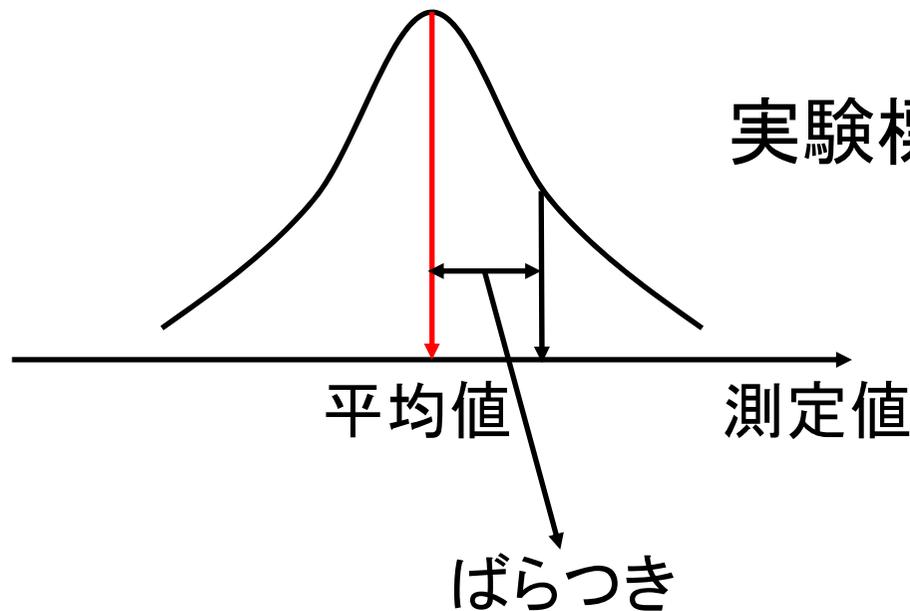
平方根
単位：g

1.494

標本分散

2.233

標準偏差から不確かさへ



実験標準偏差＝測定値のばらつき
報告する値＝平均値

必要なのは測定値のばらつき
ではなく、平均値のばらつき！

平均値の実験標準偏差を求める必要がある。

平均値の実験標準偏差

サイコロを振って，出た目の平均値を求める。

1回目	
2回目	
3回目	
平均	

3回振った平均値

1回目	
2回目	
3回目	
4回目	
5回目	
6回目	
7回目	
8回目	
9回目	
10回目	
平均	

10回振った平均値

平均値の実験標準偏差の求め方

平均値の実験標準偏差と、最初に算出した実験標準偏差の間には以下の関係がある。

$$s(\bar{x}) = \frac{s(x)}{\sqrt{n}}$$

ここで、 $s(\bar{x})$ は平均値の実験標準偏差、 $s(x)$ はデータの実験標準偏差、 n は測定回数である。

ここで求められた平均値の実験標準偏差が
タイプAの評価で求められた標準不確かさとなる。

余談

不確かさを「推定する」？「評価する」？

GUM4.1.5・・・出力推定値または測定結果 y に付随する推定標準偏差を合成標準不確かさと呼び(中略), 入力推定値 x_i の推定標準偏差を標準不確かさと呼び(後略)。

推定された標準偏差を「不確かさ」と呼ぶ。よって、「**不確かさを評価する**」が**正解**。つまり, ISO/IEC17025の表記はあまりよくない！

ちなみに, 先日ISO/IEC 17025が改定されたが, 「推定」の部分が「評価」に変更されたらしい。

例：タイプA評価

ビールジョッキの例

例：タイプA評価

- メスシリンダーでビールジョッキに入れられた液体の体積を繰返し測定を行い次のデータを得た。

1	2	3	4	5
632	629	639	635	627
6	7	8	9	10回目
636	633	637	634	633

(単位:mL)

平均値: 633.5 mL

実験標準偏差: 3.598 mL

平均値の実験標準偏差: $u_R = 1.138$ mL

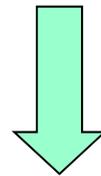
例：タイプA評価

記号	不確かさ要因	標準不確かさ	感度係数	標準不確かさ (出力量の単位)	備考
u_R	測定の 繰返し性	1.138 mL			
u_S	標準器の校正 の不確かさ				
u_t	温度による 効果				
u_c	合成標準不確か さ				
U	拡張不確かさ				

タイプBの不確かさ評価

なぜタイプBの不確かさ評価が必要なのか

- ・標準器の校正の不確かさ・・・使っている標準の不確かさ評価まで行わなくてはいけない？
- ・再現することが難しい不確かさ要因・・・実験室の温度が変化することによってばらつきがでるとするならば、1年間実験室の温度を測りつづけなければいけない？
- ・そもそも測定できない不確かさ・・・使っている温度計は ± 0.5 °Cでしか温度が分からないのだけど、その計れなかった ± 0.5 °Cの間の温度のばらつきの評価は？



確率分布を仮定して標準偏差を推定する

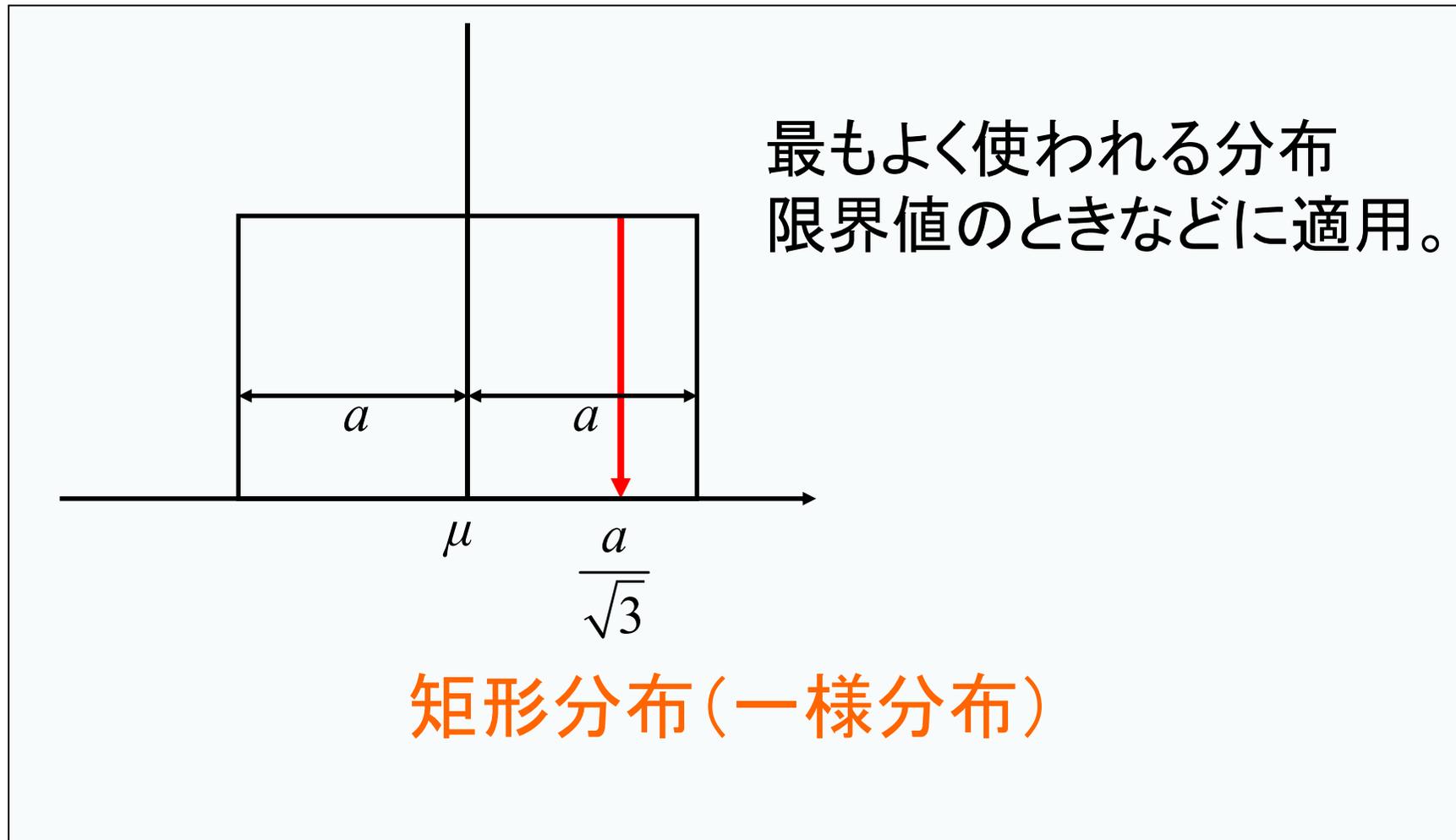
確率分布を仮定するには合理的な判断材料が必要。

実際に実験を行わないので、

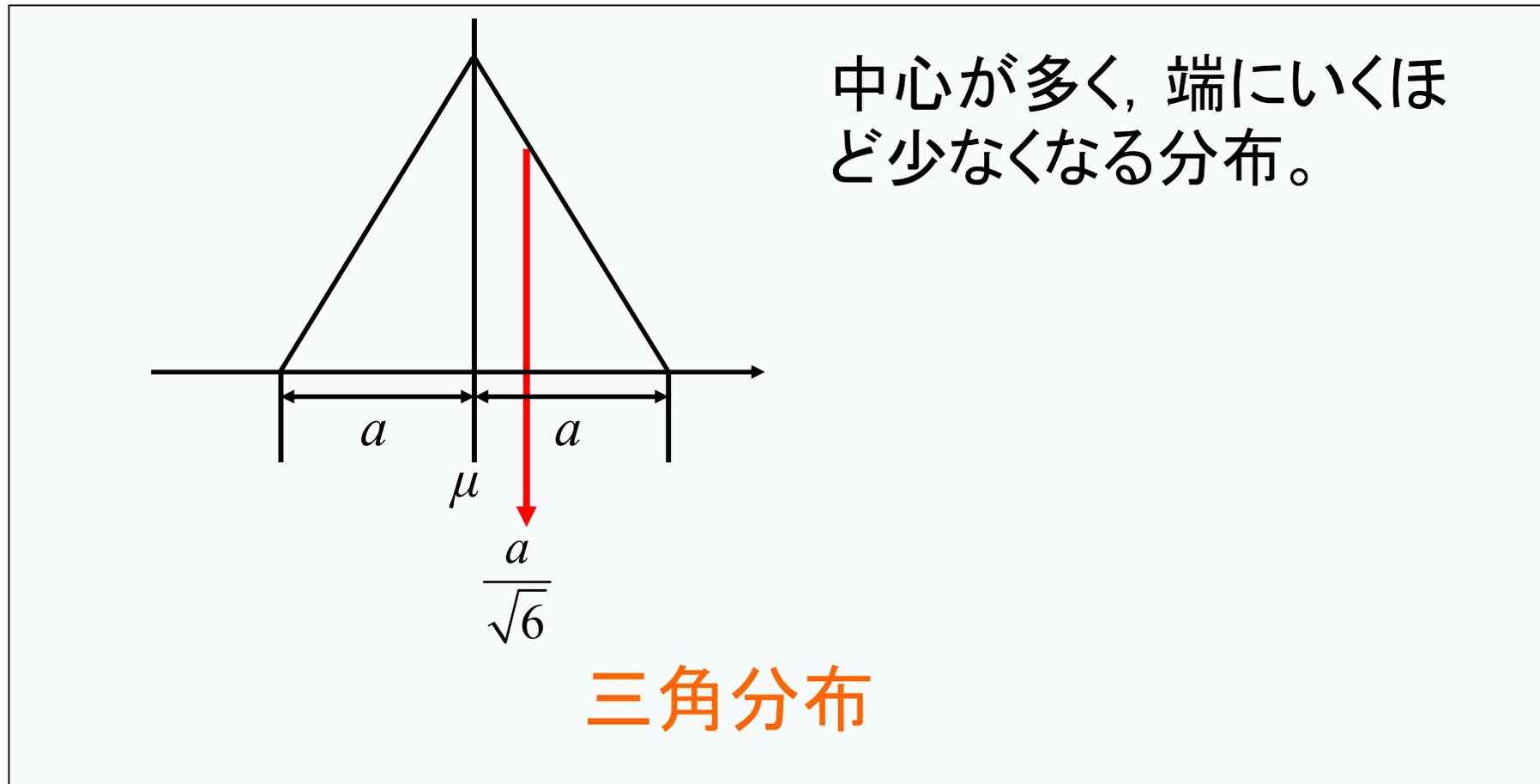
- ・コストの節約
- ・時間の節約
- ・人手の節約

に大きく貢献する。

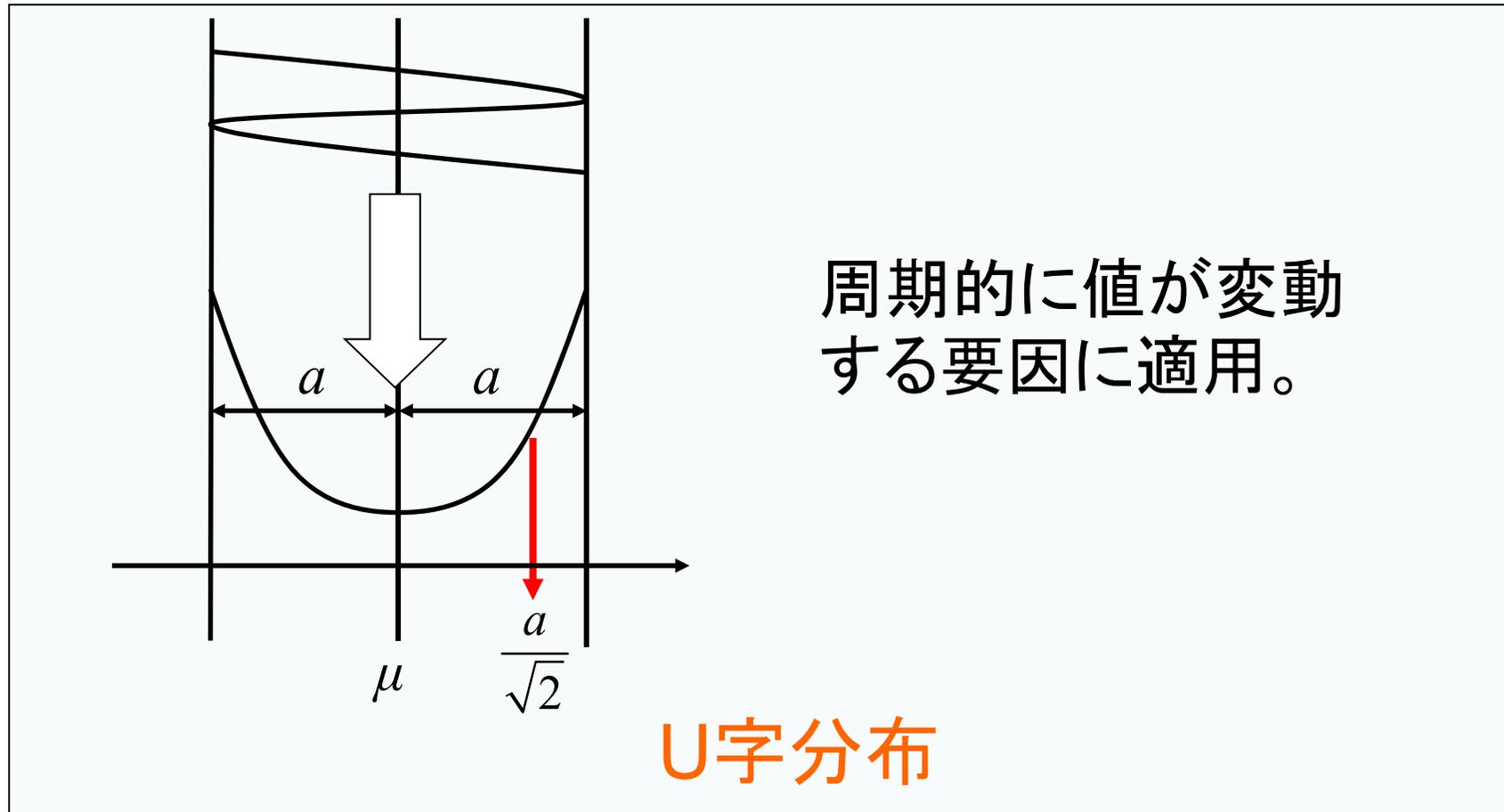
矩形分布



三角分布



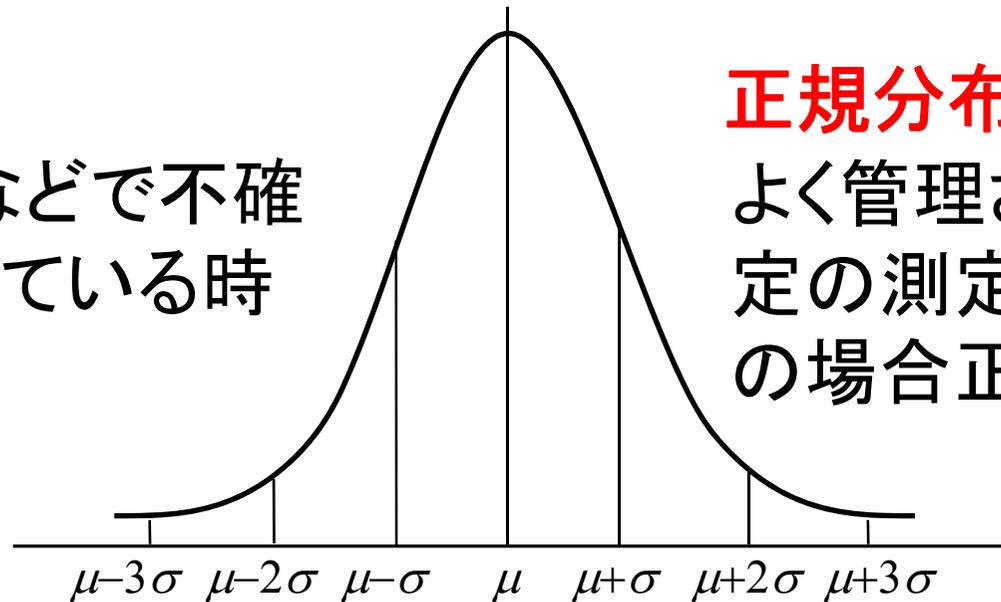
U字分布



正規分布

正規分布

校正証明書などで不確かさが分かっている時に適用。



正規分布の性質

よく管理されている測定の測定値はほとんどの場合正規分布する。

$\mu \pm 1\sigma$: 68.3 %

$\mu \pm 2\sigma$: 95.4 % の値が含まれる。

$\mu \pm 3\sigma$: 99.7 %

タイプB評価の例（過去の知識）

測定者の経験

「測定を行う部屋は、確かに季節などによって温度は変化するが、空調があるので温度が高くても22 °C、低くても18 °Cくらいの中には入っている。」

管理表等の裏付けがあればベスト



分布についての知識がない場合は矩形分布とするしか方法がない

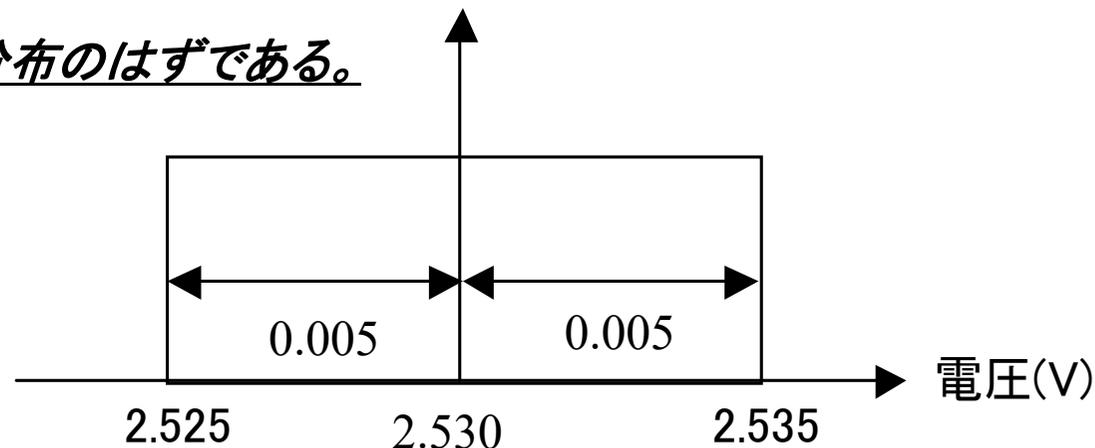
よって、標準不確かさは $\frac{2}{\sqrt{3}} = 1.155 \text{ °C}$ となる。

タイプB評価の例（デジタル表示）

電圧計の表示値の不確かさ

ある電圧計の表示が2.53 Vだった。しかし、最小桁が0.01 Vであるので実際は2.525 Vから2.535 Vの間に値があるはずだ。

この分布は矩形分布のはずである。



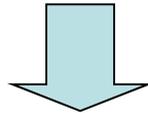
よって、標準不確かさは $\frac{0.005}{\sqrt{3}} = 0.002887 \text{ V}$ となる。

例：タイプB評価

ビールジョッキの例

例：タイプBの不確かさ

- 標準器の校正の不確かさに相当する，メスシリンダーの校正の不確かさは，校正証明書より3.0 mL。



校正証明書を用いる場合，確率分布は正規分布である。

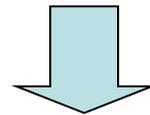
校正証明書にある不確かさを2で割ることにより標準偏差（標準不確かさ）が求められる。

$$u_s = \frac{3.0}{2} = 1.5 \text{ mL}$$

あとで解説

例：タイプBの不確かさ

- 温度による効果は、温度を測定している温度計が最小目盛り1 °Cのデジタル温度計を用いているため、±0.5 °Cで温度が分からない。



±0.5 °Cの範囲内では、どこでも同じ確率で現れるので、矩形分布を仮定。

温度による効果は、矩形分布を仮定しているので、分布の半幅を $\sqrt{3}$ で割ることにより標準偏差が求められる。

$$u_t = \frac{0.5}{\sqrt{3}} = 0.2887 \text{ °C}$$

例：タイプBの不確かさ

記号	不確かさ要因	標準不確かさ	感度 係数	標準不確かさ (出力量の単位)	備考
u_R	測定の 繰返し性	1.138 mL			
u_S	標準器の校正 の不確かさ	1.5 mL			
u_t	温度による 効果	0.2887 °C			
u_c	合成標準不確か さ				
U	拡張不確かさ				

例：感度係数

ビールジョッキの例

例：感度係数

- この液体の体膨張率・・・ $5.23 \times 10^{-3} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$
- この液体の体積・・・633.5 mL

このとき，液体の温度を体積に変換するための感度係数は，

$$\begin{aligned} \text{体膨張率} \times \text{体積} &= 5.23 \times 10^{-3} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1} \times 633.5 \text{ ml} \\ &= 3.313 \text{ mL}/^\circ\text{C} \\ &\text{感度係数} \end{aligned}$$

例：感度係数

記号	不確かさ要因	標準不確かさ	感度係数	標準不確かさ (出力量の単位)	備考
u_R	測定の 繰返し性	1.138 mL	1	1.138 mL	
u_S	標準器の校正 の不確かさ	1.5 mL	1	1.5 mL	
u_t	温度による 効果	0.2887 °C	3.313 mL/°C	0.9565 mL	
u_c	合成標準不確か さ				
U	拡張不確かさ				

不確かさの合成法

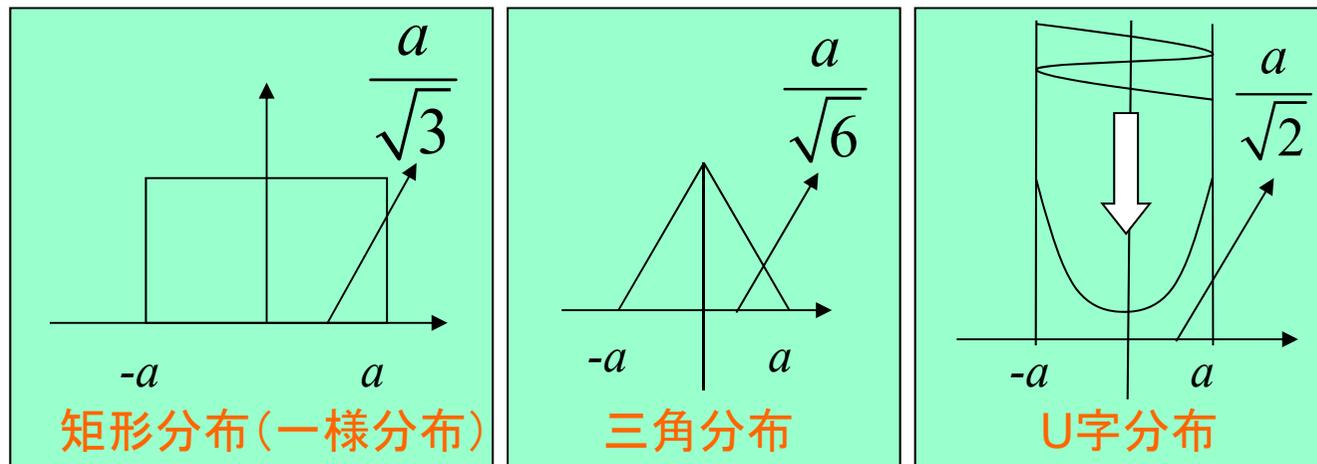
感度係数によって、各不確かさの単位はすべて出力量の単位に変換されている。

単位がそろえられた不確かさを合成するときには二乗和の平方根を用いる。この合成された不確かさのことを合成標準不確かさと呼び、 u_c で表す。

$$u_c = \sqrt{u_1^2 + u_2^2 + \dots}$$

測定結果の存在範囲

合成標準不確かさは、報告される測定結果(出力量の値)がどの程度のばらつきを持っているかを標準偏差で表したものである。

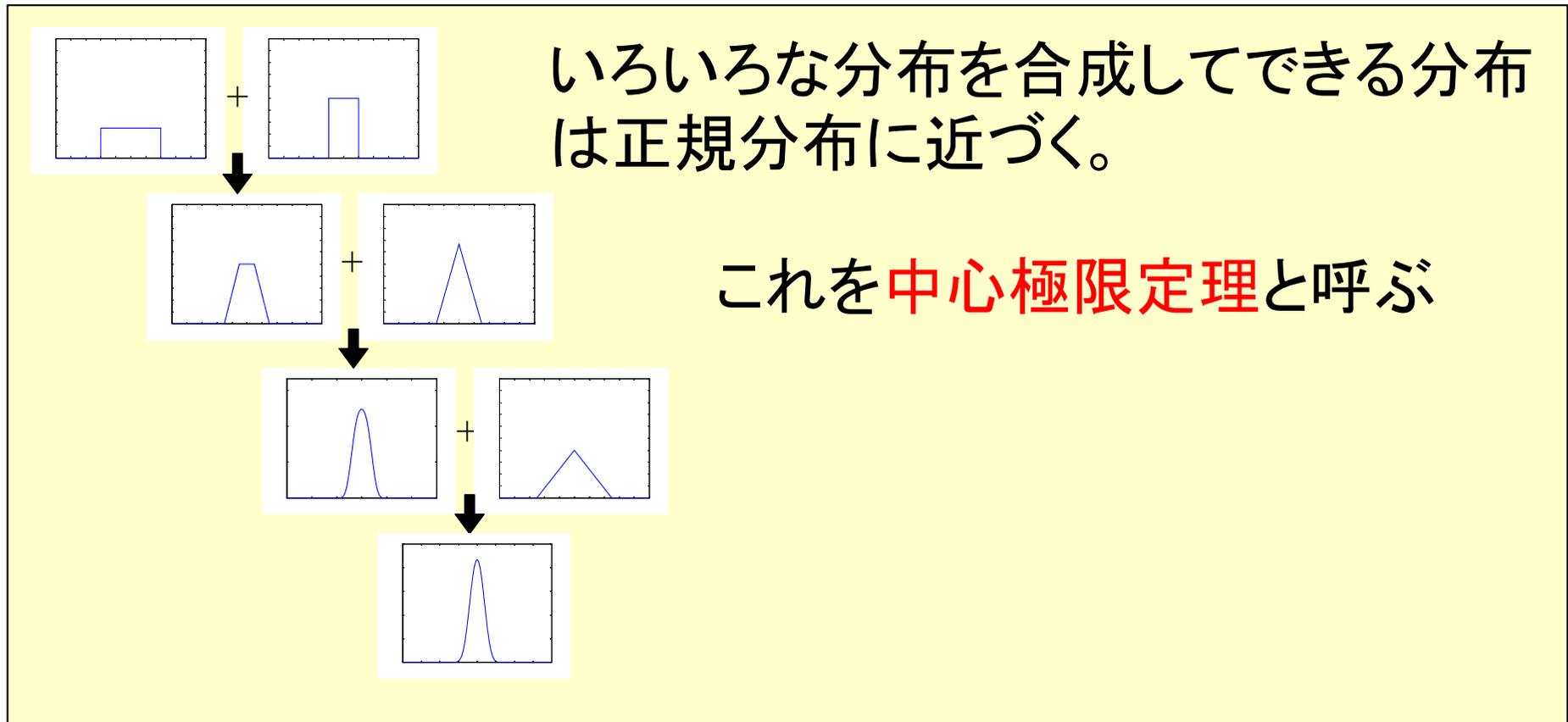


上記3つの確率分布の値の存在範囲は、すべて $\mu \pm a$ であるが、標準偏差はすべて異なる。

つまり、標準偏差から値の存在範囲を知るためには、確率分布の形を知ることが必要！

しかし、出力量の分布は、各入力量の分布が足し合わされたものになるため、測定それぞれによって分布の形は異なるのでは？

中心極限定理



標準偏差が合成標準不確かさとなる最終測定結果の分布は、中心極限定理によって正規分布していると見なせる。

拡張不確かさ

合成標準不確かさは、標準偏差として表されている。

許容差などでは、ほぼこの中にすべての値が入る、という範囲で示す。

ばらつきの平均値で表されている。

合成標準不確かさで示された範囲には約68%のものしか含まれない。

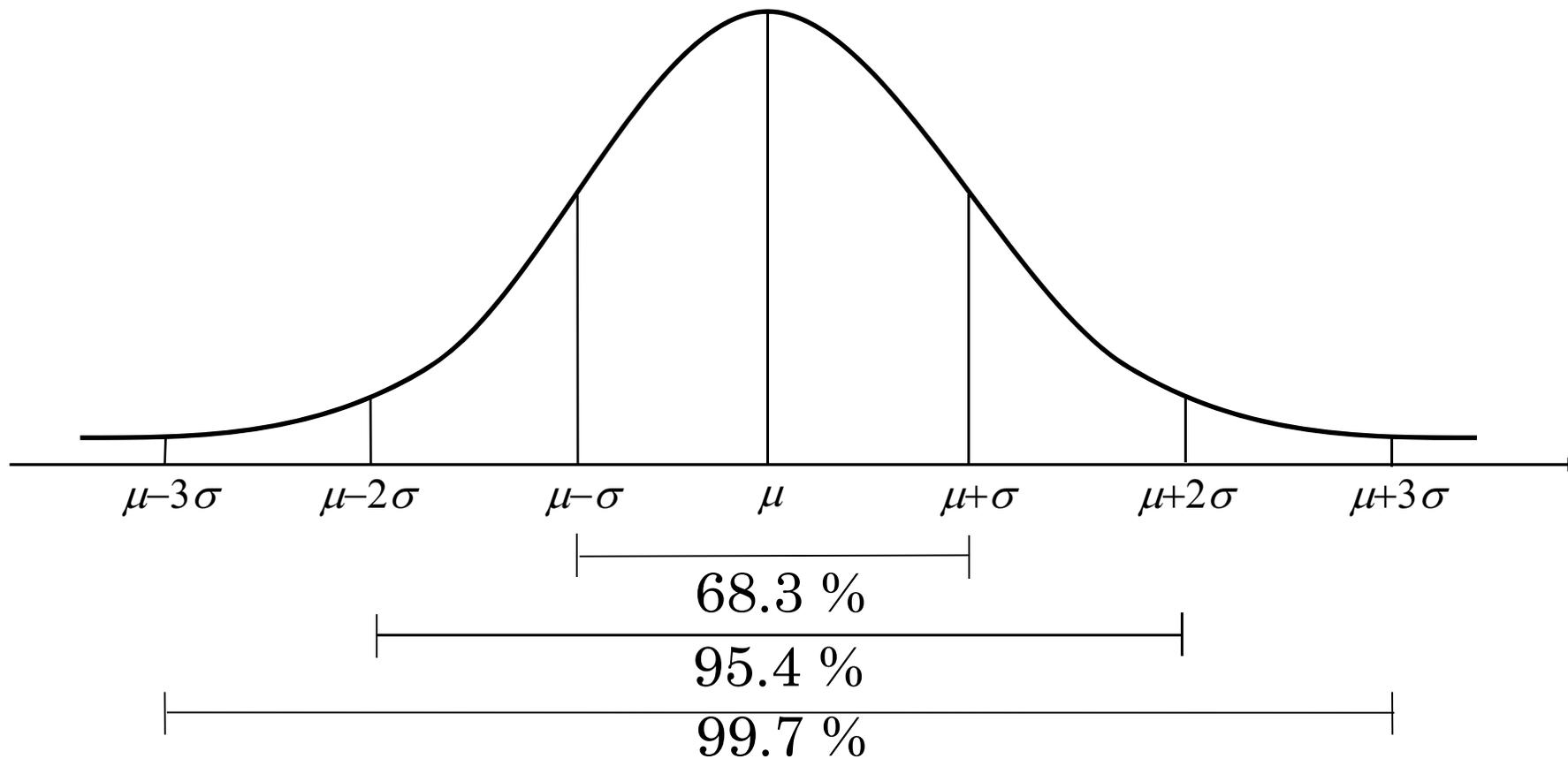
最終測定結果は、中心極限定理により正規分布していると見做せる。

この数を包含係数と言い、 k で表す。 $(k=2)$

合成標準不確かさを2倍すれば約95%が含まれ、今までと同じような値になる。

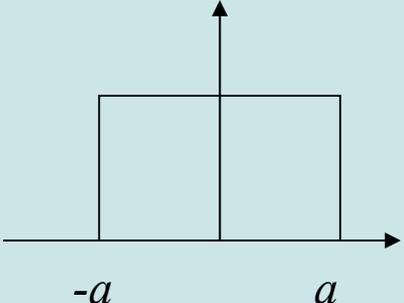
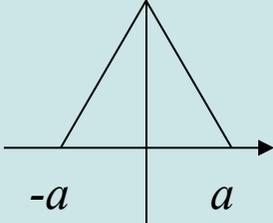
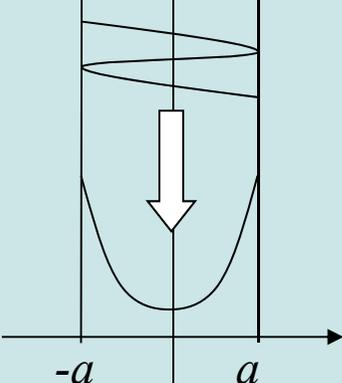
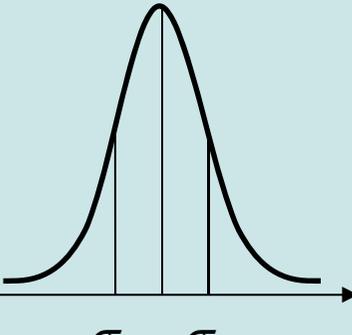
拡張不確かさ

正規分布



$\mu \pm 1\sigma$: 68.3 %
 $\mu \pm 2\sigma$: 95.4 % の値が含まれる。
 $\mu \pm 3\sigma$: 99.7 %

確率分布の例

			
<p>矩形分布(一様分布)</p>	<p>三角分布</p>	<p>U字分布</p>	<p>正規分布</p>
<p>最もよく使われる分布 限界値のときなどに 適用。</p>	<p>よく使われる分布。 中心が多く、端に いくほど少なくなる 分布に適用。</p>	<p>周期的に変化する 要因に対して適用。</p>	<p>校正証明書などで 不確かさが分かっ ている時に適用。</p>
$\frac{a}{\sqrt{3}}$	$\frac{a}{\sqrt{6}}$	$\frac{a}{\sqrt{2}}$	$\frac{U}{k}$

不確かさの報告

GUM7.1.4

ある測定結果とその不確かさを報告するとき、情報が少な過ぎるよりも**多過ぎるほどに提供する方が望ましい**。
(後略)



不確かさ評価のドキュメントを作成する場合には、他の人が見て、1から計算し直せるくらいの情報を載せること！

バジェットシートに関しては、決まった書き方はありません。
他の人が見て、すぐに理解できるように工夫を凝らすこと。

バジェットシート例

プラスチックの引張降伏応力測定の場合(提供(株)DJK・JAB RL510)

単位を記入すること。標準不確かさの単位と感度係数の単位を掛け算すると標準不確かさ(出力量)の単位になっていることを確認。

標準不確かさは、感度係数を掛ける前と掛けた後と両方表記すること。

寄与率の欄を作成すれば、どの要因がどの程度影響しているのか、ということがわかりやすい。寄与率は、(各標準不確かさの二乗)/(合成標準不確かさの二乗)で計算できる。

量記号	量	量の値	不確かさ記号	不確かさ要因	確率分布	標準不確かさ	感度係数	標準不確かさ(MPa)	寄与率	備考	
P_Y	降伏荷重	2461.37 N	$u(P_Y)/P_Y$	ロードセル校正証明書の相対標準不確かさ	正規分布	0.00055 N/N	$\frac{P_Y}{D} = F_Y = 61.2891 \text{ N/mm}^2$	0.03371 MPa	2.1%	ロードセルの校正証明書より・拡張不確かさ0.11%	
t	試験片の厚さ	4.00 mm	$u(t)$	厚さ測定の標準不確かさ	-----	0.003062 mm	$-\frac{P_Y}{t^2 b} = -15.32 \text{ N/mm}^3$	0.04692 MPa	4.1%	$u_R(t)$ と $u_S(t)$ の合成。	
			$u_R(t)$	読み取りの四捨五入による不確かさ	矩形分布	0.002887 mm	$-\frac{P_Y}{t^2 b} = -15.32 \text{ N/mm}^3$	0.04424 MPa	3.6%	最小分解能0.001 mmデジタル外側マイクロメータで測定を行うが、規格では、0.01 mmまでの測定と規定されているため。	
			$u_S(t)$	ノギスの校正の不確かさ	正規分布	0.00102 mm	$-\frac{P_Y}{t^2 b} = -15.32 \text{ N/mm}^3$	0.01563 MPa	0.5%	ノギスの校正証明書より。拡張不確かさ $U=(2+L/100) \mu\text{m}$	
b	試験片の幅	10.04 mm	$u(b)$	幅測定の標準不確かさ	-----	0.003072 mm	$-\frac{P_Y}{tb^2} = -6.104 \text{ N/mm}^3$	0.01875 MPa	0.7%	$u_R(b)$ と $u_S(b)$ の合成。	
			$u_R(b)$	読み取りの四捨五入による不確かさ	矩形分布	0.002887 mm	$-\frac{P_Y}{tb^2} = -6.104 \text{ N/mm}^3$	0.0176 MPa	0.6%	最小分解能0.001 mmデジタル外側マイクロメータで測定を行うが、規格では、0.01 mmまでの測定と規定されているため。	
			$u_S(b)$	ノギスの校正の不確かさ	正規分布	0.00105 mm	$-\frac{P_Y}{tb^2} = -6.104 \text{ N/mm}^3$	0.0064 MPa	0.1%	ノギスの校正証明書より。拡張不確かさ $U=(2+L/100) \mu\text{m}$	
F_Y	引張降伏応力	61.2891 MPa	$u(\varepsilon_{PER})$	人による標準不確かさ	-----	0.2201 MPa	1	0.2201 MPa	90.2%	社内技術トレーニング時のデータを分散分析し求める。人の水準数9。	
			$u(\varepsilon_{SAM})$	試験片による標準不確かさ	-----	0.03952 MPa	1	0.03952 MPa	2.9%	社内技術トレーニング時のデータを分散分析し求める。破壊試験のため、試験片による標準不確かさと測定の繰り返しによる標準不確かさが分離できず、両方合成された形で、分散分析の繰り返しとして算出される。	
			$u(\varepsilon_{REP})$	測定の繰り返しによる標準不確かさ	-----	0.03952 MPa	1	0.03952 MPa	2.9%	社内技術トレーニング時のデータを分散分析し求める。破壊試験のため、試験片による標準不確かさと測定の繰り返しによる標準不確かさが分離できず、両方合成された形で、分散分析の繰り返しとして算出される。	
合成標準不確かさ								0.2317 MPa		相対合成標準不確かさ	0.03%
拡張不確かさ(k=2)								0.5 MPa		相対拡張不確かさ	0.06%

入力量の情報: 入力量の値を明示。本例の場合 F_Y については出力量の値となる。

入れ子の構造: 一つの変数に同一の入力量に複数の不確かさ要因がある場合は、このような入れ子の構造が分かるようにする。

不確かさ記号: 小文字の u を用い、括弧の中に入力量を表す変数を入れる。同一の入力量に複数の不確かさ要因がある場合は、 u に添え字を付けて区別する。相対標準不確かさを用いている場合は、 $u(P_Y)/P_Y$ のように、相対値であることを明示する。なぜなら、相対湿度のような、入力量の値そのものが相対値であるものと区別するためである。

確率分布: タイプB評価したときに適用した確率分布を書くこと。タイプA評価したとき、複数の不確かさを合成したものについては、書かなくてもよい。

感度係数は、数値以外にも、数式も書いた方がよい。あまりに数式が長くなる場合は、バジェットシートの近くに感度係数の別表を作成すること。

備考の欄を作成し、そこに簡単な不確かさ、感度係数の算出法について記載すること。

不確かさの相対値がほしい場合は、一番最後に求めると間違いが少ない。

拡張不確かさまで求めた後に、最終的に必要な有効桁数(1桁もしくは2桁)で丸める。

モデル式
$$F_Y = \frac{P_Y}{tb} + \varepsilon_{SAM} + \varepsilon_{PER} + \varepsilon_{REP}$$

測定結果 $F_Y = 61.3 \text{ MPa} \pm 0.5 \text{ MPa} (k=2)$

モデル式: バジェットシートの近辺にモデル式を書いておくこと。

測定結果: バジェットシートの近辺に測定結果を書いておくこと。

不確かさを算出する桁数

- GUM7.2.6(抜粋) 推定値 y の数値とその標準不確かさ $u_c(y)$ 又は拡張不確かさ U は, 余分な桁数の数字を与えない方がよい。通常 $u_c(y)$, U を引用するには, **多くとも2桁**の有効数字で十分である。

2桁目の値は到底信用することはできない！！

不確かさの値が, 「4.5」と「4.3」というものであったとすると, 「4.5のほうが4.3より0.2大きい」と考えるのは問題がある。この程度であれば, 「**両者とも同じ値である**」と考えるべきだろう。

例：不確かさの合成・拡張 バジェットシート

ビールジョッキの例

例：不確かさの合成・拡張 バジェットシート

記号	不確かさ要因	標準不確かさ	感度係数	標準不確かさ (出力量の単位)	備考
u_R	測定の 繰返し性	1.138 mL	1	1.138 mL	繰返し回数は10回
u_S	標準器の校正 の不確かさ	1.5 mL	1	1.5 mL	メスシリンダーの校正 証明書より
u_t	温度による 効果	0.2887 °C	3.313 mL/°C	0.9565 mL	温度計のデジタル表 示の不確かさ。 分解能1°C
u_c	合成標準不確か さ			2.112 mL	
U	拡張不確かさ			4.2 mL	包含係数は $k=2$

ビールジョッキの体積
633.5 mL ± 4.2 mL, $k=2$

付録

不確かさ評価に役立つ 参考文献

参考文献

- 以下の原文はBIPMより無料DLできる。

- GUMシリーズ・・・

<http://www.bipm.org/en/publications/guides/gum.html>

- VIM・・・

<http://www.bipm.org/en/publications/guides/vim.html>

参考文献

- GUM・・・日本語版：TS Z0033
- VIM・・・日本語版：TS Z0032
- GUM補足文書・・・日本語版：無し（邦訳：予定無し）
- 上記TSは閲覧だけなら以下のURLにて行える。

<http://www.jisc.go.jp/>

上記内「TS/TR検索」にて番号を入力。

（ちなみに全JISも「JIS検索」にて閲覧できる。）

よく用いられる海外文献と翻訳版

- EA4/02 Evaluation of the Uncertainty of Measurement in Calibration

<http://www.european-accreditation.org/publication/ea-4-02-m-rev01--september-2013>

NITE:「校正における測定の不確かさの評価」

<http://www.nite.go.jp/data/000022114.pdf>

は上記文書の本文の日本語訳を元に作成(ただし事例は割愛)

その他NITE認定センターのHPには不確かさ評価に役立つ文献が多数。

- EURACHEM, Quantifying Uncertainty in Analytical Measurement, 3rd Edition (2012)

http://www.eurachem.org/images/stories/Guides/pdf/QUAM2012_P1.pdf

- ・・・化学系で良く用いられている文書。日本語訳は丸善出版が出している(分析値の不確かさ—求め方と評価)。

参考文献

- JAB RL510 JAB NOTE10 試験における測定の不確かさ評価実践ガイドライン

<https://www.jab.or.jp/files/items/2206/File/RL510V1.pdf>

試験における不確かさ評価についての解説。

- 不確かさWeb

<https://unit.aist.go.jp/mcml/rg-mi/uncertainty/uncertainty.html>

当グループが運営しているHP。解説等いろいろなファイルを公開。