

検出限界と定量下限の考え方

上本道久

分析を行う際に必ず確認しなければならない情報の一つが「この手法でどこまではかれるのか?」、すなわち検出限界値と定量下限値である。本稿では入門講座特集「分析の信頼性を支えるもの」の一環として、非常に基本的なこれらの用語について言及し、その定義と考え方について解説する。結局のところ、検出限界値と定量下限値は、どのような分析を行いたいのか、という分析者の意図に依存していると言ったほうがよいかもしれない。目的に応じた適切な考え方に基づく数値を見積もることが肝要と言えよう。

1 はじめに

ある分析手法を選択して測定を行った場合、被測定物質(測定対象元素)の存在量がわずかになればなるほど、本当にはかかれているのだろうか、と気になることが少なくない。検出せず、との結果を見ても、これは何を意味するのか、どのレベルまで検出しなかったのだろうか、もう一回やったら検出するのではないかと勘ぐりたくもなる。一方、微量成分の分析は今日ではほぼすべてが機器分析に依存しており、装置に附属のコンピュータが出力する数値やピークなどを眼前にして、それらを鵜呑みにして結果を報告することもよくある行為である。これらは多くの場合、「その方法でどこまではかれるのか」を十分に検討しないで測定を行ったことに起因する問題と言える。本稿では、検出限界および定量下限という、測定に本質的に付随すべき基本情報について、化学分析におけるその定義と考え方を述べてみる。これらの概念については様々な見解があり、意外と単純明快ではないことがわかっているものの、事情を知る人と知らない人の認識の差は驚くほど大きい。入門講座として、網羅的ではなく重要な点を強調して解説を行ってみたい。

2 定義

用語に関する重要な上位規格である JIS K 0211「分析化学用語(基礎部門)」¹⁾によれば、検出下限(検出限

界)(limit of detection; LOD, detection limit)とは、検出できる最小量(値)のことであり、定量下限(minimum limit of determination, limit of quantitation; LOQ)とは、ある分析方法で分析種の定量が可能な最小量又は最小濃度とされている*。すなわち、前者は化学反応や装置の電気信号として検出し得る最低量であり、後者は最終的に分析値として定量し得る最低量をそれぞれ示している。後者は前者よりはるかに大きな数値であることはいうまでもないが、更に後者は定量し得る数値についての信頼性(通常はばらつきの程度)とともに示すことが不可欠である。定量し得る下限値とその数値の信頼性とは相関がある(通常は下限値に近づく信頼性が低下する)ため、信頼性の指標を明示しないで定量下限を示すことはあまり意味がない。同一の試料を同じ分析法で測定しても、例えば、繰返し性が RSD(相対標準偏差)として 20% のときは定量下限値として $5 \mu\text{g cm}^{-3}$ であるが、RSD が 5% の時は $15 \mu\text{g cm}^{-3}$ である、などと評価することが常であるからである。詳細は後述するが、前者がより低い下限値を有するという意味ではないことは直感でもお分かりになると思う。検出限界と定量下限を、それぞれ‘qualitative detection’および‘quantitative determination’の下限値と表現している事例もあるが、両者を明確に区別すべきであることは自明である。

また感度(sensitivity)とは、JIS K 0211 規格によれば、④ 検出下限で表した分析方法あるいは機器の性能、⑤ 検量線の傾きで表した分析方法の性能、とされているが、同規格の旧版(1987)では、上記⑤の定義に相当する、ある量を検出するとき検出定量できる被測定量の変化の最小量(値)だけが定義されている。被測定量の変化量とは言い換えれば検量線の傾きである。

たしかに、ある装置の検出限界が低いとき、感度が良いと表現されることがある。いずれも分析法の測定能力

* 検出限界や定量下限の英語表記は統一されておらず、JIS K 0211 でも複数の語が併記されていて悩ましい。本稿では、K 0211 において略号とともに記載されている、limit of detection; LOD および limit of quantitation; LOQ を優先的に使用することにしたが、これらの概念の推移を解説するために、他の JIS や文献から引用した箇所については、あえて原文表記のまま記述した。

Fundamental Knowledge for Reliable Analysis—Concepts and Definitions of the Limit of Detection and the Limit of Quantitation.

や微量成分の定量の可否を判断する目安として用いられるが、本来両者は厳密に区別すべきである。これら三つの用語の定義を整理してみると以下のとおりである

- 検出限界；信号として検出し得る最低量。
- 感度；検出限界の濃度依存性，つまり検量線の傾き。
- 定量下限；分析値として定量し得る最低量（数値の信頼性ととともに決定）

3 検出限界

検出限界について話を進めるにあたって、まず、分析値の分布よりそのばらつき度合いを評価する考え方について述べねばならない。標準偏差と平均偏差についてである。一般に、繰り返し測定時の値のばらつき度合（振幅平均）の見積もりについては、以下に定義する標準偏差 σ が最もよく使用される。

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{x=1}^i (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \dots\dots\dots(1)$$

ここで \bar{x} は n 個の測定値 x_i に対する平均値である。 $n-1$ で割る不偏平均二乗偏差（不偏分散）の平方根をもって標準偏差とするが、 $n-1$ で割ったことを明示するために σ_{n-1} と書くことも多い。電卓などでは、 n で割る σ_n と $n-1$ で割る σ_{n-1} とがあるので注意して区別する。考え方としては、非常に多数（理論的には無限）の測定で得られるデータ群（母集団）の標準偏差は σ_n であり、その中の有限のサンプル集団から母集団のばらつきを推定する場合は σ_{n-1} となる。もっとも、 n が大きくなれば両者は近似的に等しくなることは言うまでもない。

n が十分には大きくない場合は、平均偏差と呼ばれる偏差の絶対値の相加平均の方がばらつき実態を反映するという考え²⁾もある。ただし、絶対値の総和という計算は、二乗和の計算よりは若干複雑になる。 n が幾つ以上であれば十分かは見解の分かれるところであるが、例えば A タイプ（ばらつきに関する）の標準不確かさの算出には、少なくとも 10 回の繰り返し測定が必要とされている。

$$\tau = \frac{\sum_{x=1}^i |x_i - \bar{x}|}{n} \dots\dots\dots(2)$$

どちらがよいとは一概には言えないだろうが、何でもってばらつき度合いを計算したかを明記することは不可欠であろう。本稿では、以下に示す解説指針に則って、標準偏差を用いてばらつき度合いを評価する。

改めて説明するまでもなく、充分な頻度の一群のデータ（母集団）は、図 1 に示すように、平均値を頂点として左右対称の、正規分布またはガウス（Gaussian）

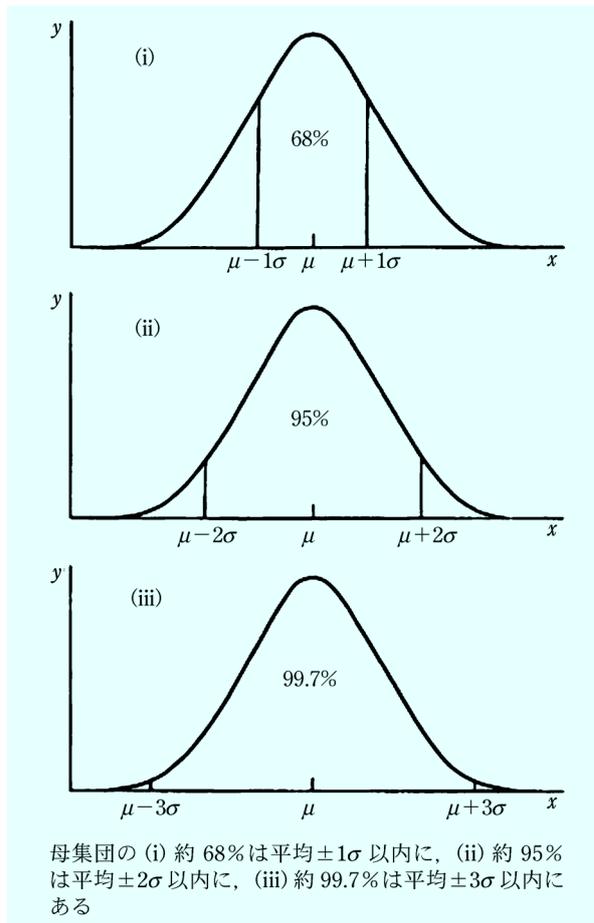


図 1 正規分布

分布と呼ばれる数学モデルで表現される。母集団の約 68% は平均から $\pm 1\sigma$ 以内にあり、同様に約 95% は平均から $\pm 2\sigma$ 以内、約 99.7% は平均から $\pm 3\sigma$ 以内にあることが知られているが、この約 99.7% の確かさをもってバックグラウンド（ブランク）の信号分布に被測定物質が検出されないとと言える最低量（平均値 $+3\sigma$ ）が検出限界として定義されていると考えるとよい。

検出限界とはつまるところ、ブランクまたはバックグラウンドと「有意に異なる」信号を与える最低量または濃度と考えられるが、「有意に異なる」ことを判断する基準をどのように決めるかが重要な問題で、これらは統一されないで様々な考え方と呼称で定義されてきた経緯がある。最もよく使われるのは、上記のとおり、ブランク（空試験値）の平均から $+3\sigma$ 離れた値（濃度）を検出限界とする考えである。すなわち

$$x_D = x_b + k\sigma_b \dots\dots\dots(3)$$

ここで x_D , x_b , σ_b , k はそれぞれ、検出限界値（信号強度）、ブランク信号の平均値、ブランク信号の標準偏差値および信頼性の水準によって決定される定数である。また測定量ではなく濃度で表す場合は、

$$C_D = C_b + k\sigma_b A \dots\dots\dots(4)$$

C_D , C_b , A はそれぞれ、検出限界濃度、ブランク濃度の平均値および感度である。検量線から濃度を求めるのでブランク濃度は通常は 0 となるが、その場合は式(4)はよりシンプルになる。

$$C_D = k\sigma_b A \dots\dots\dots(4')$$

これは元来 Kaiser が提唱した考え³⁾であり、IUPAC (国際純正応用化学連合) も当初はこれを採用した⁴⁾。ACS (米国化学会) も然りである⁵⁾。しかし、この考え方には試料中に検出される被測定物質の側の分布が考慮されていない。図 2(A) に示すように、存在しない被測定物質が存在すると誤る確率 (α) は上述のように $(100-99.72)/2=0.14\%$ であるが、存在する被測定物質が存在しないと誤る確率 (β) はもっと高くなってしまふというものである。ブランク濃度近傍の有限濃度の試料の値はブランクと同程度の分布を持つ、と考えることは合理的なので、検出限界の濃度を含む試料を分析する際に検出されない確率は 50% になる {図 2(A) 参照}。いわゆる前者の第 1 種の過誤 (false positive) と後者の第 2 種の過誤 (false negative) のずれである⁶⁾⁷⁾。

本件について Currie は、判定限界 (decision limit), 検出限界 (detection limit), 定量下限 (determination limit) と 3 系統の概念を以下のように提唱した⁸⁾。「検出した」と判定する限界値はブランク側の分布から導く α だけで決定し、分析プロセスが持つ本来の「真の検出限界」は $\alpha=\beta$ として決定すべきとした。検出限界については図 2(B) に示すように、 $\alpha=\beta=0.05$ (過誤の可能性として 5%) として、ブランク値の平均値から $2 \times 1.645\sigma=3.29\sigma$ だけ離れた値に相当する濃度とすることを提唱した。判定限界は α だけを考慮して、5% では検出限界の半分 1.645σ と考えた。ちなみに 3σ だけ離

れた値は、もし $\alpha=\beta$ と考えれば過誤の可能性は約 7% となる。言い換えれば、 3σ で検出限界を求めるということは約 7% のリスクを内含している。ここで判定限界とは分析結果が検出を意味しているか否かを決定する、いわば臨界値 (critical value) であり、測定結果が、装置が信号を検出したという意味であるか否かを判断する最低量と考えられる。十分な確かさでもって信号が検出できる最低量として定義される検出限界より低い濃度であるが、両者の区別は幾分イメージしづらいかもしれない。

Currie のこの考え方はなかなか受け入れられなかったが、検出限界について、IUPAC⁹⁾ は ISO (国際標準化機構)¹⁰⁾ と歩調を合わせる形で $\sigma=\beta=0.05$, すなわち 3.29σ だけ離れた値を検出限界とする方針に合意した。しかし、その後もこの方針は浸透せずに誤認識や混乱は続く。実は IUPAC と ISO の協調の前にも、検出限界は 3α だけ離れた値としておいて、 $\alpha=\beta=0.014$ とする値 (すなわち 6σ だけ離れた値) を純度の保証限界 (limit of guarantee of purity)¹¹⁾ または確認限界 (limit of identification)¹²⁾ として別に呼ぶ見方もあったが、これはあまり採用されなかった。また概念の問題としても、IUPAC は化学計測とリンクした形で正味の信号強度や分析濃度を「検出限界」として規定しているのに対し、ISO は状態変数としての「最小検出可能値」を想定しているなど、協調後も依然温度差は残っていることが指摘されている¹³⁾。これ以外にも様々な検出限界 (例えば t -分布を利用した考え方¹⁴⁾ など) が検討されているが、入門講座としてはこれ以上言及する必要はなからう。歴史的経緯も含めた詳細は成書¹⁵⁾ を参照されたい。

ただし、実際のデータでは 3σ 相当濃度 (値) を使うことが圧倒的に多いと筆者は実感している。ちなみに本会のデータブックにおける原子スペクトル分析および原子質量分析 (原子吸光分析, ICP 発光分析, ICP 質量分析など) 法による検出限界も 3σ 値である¹⁶⁾。また、ブランクとして何を用いるかについても複数の見解が存在する。装置検出限界 (instrumental DL) は、検量線の標準溶液 1 (すなわち測定対象元素を加えないで調製された、 y 切片を決めるための標準液) で測定した 3σ 値で定義し、方法検出限界 (methodological DL) は、いわゆる空試験試料で測定した 3σ 値で定義するという違いである¹⁷⁾。JIS でも原子スペクトル分析・原子質量分析の通則で類似の記述がある¹⁸⁾¹⁹⁾ が、装置検出限界が検量線用ブランク液でもって測定した 3σ 値であるのに対し、方法定量下限は、定量下限に関する数値として、操作ブランク液で測定した $\sqrt{2} \times 10\sigma$ 値 (数値の意味は後述) を定義している。

4 定量下限

定量下限とは、前述のとおり、定量結果が十分な信頼

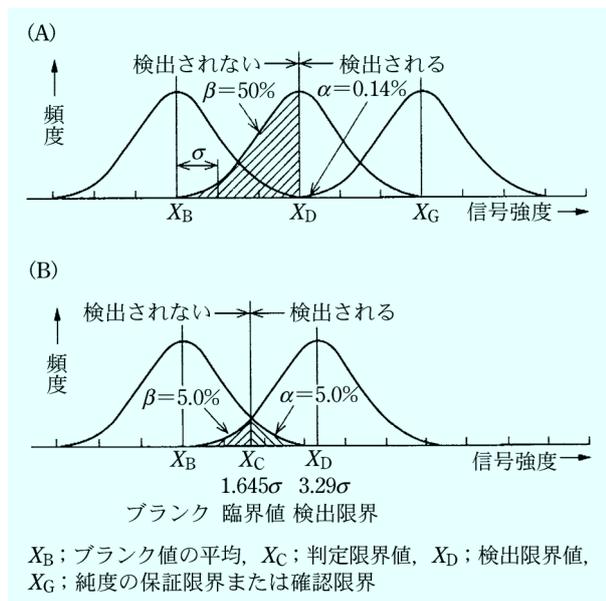


図 2 検出限界に関する二つの考え方

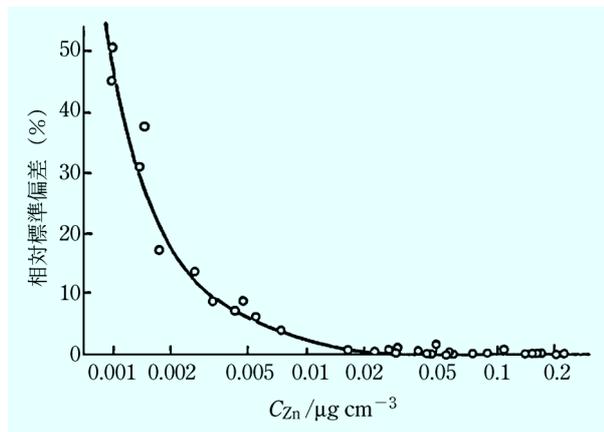


図3 ICP 発光分析での繰り返し測定における相対標準偏差 (RSD) と濃度の関係²⁰⁾

性を有することのできる最小量（濃度）を意味するが、検出限界と同様に、どの程度の「十分な信頼性」をよしとするかで考えが分かれる。最もよく用いられてきたのはブランクの 10σ 値（すなわち検出限界値の 3.3 倍）であり⁸⁾、式(3)(4)において単純に $k=10$ とする。しかし 10σ 相当濃度での信頼性がどの程度かは基本的にはケーススタディである。信号強度を実測して濃度を求める操作を何度も繰り返すと、濃度に対する測定値のばらつき度合いを知ることができるが、一例として、ICP 発光分析による亜鉛の定量に関して、亜鉛濃度と上記相対標準偏差をプロットすると図3のようになる²⁰⁾。このとき得られた検出限界（この文献の時代は $2\sigma_B$ 値が主流）は $0.0009 \mu\text{g cm}^{-3}$ であったが、図から明らかのように、定量し得る最低濃度は必要とされる精度（相対標準偏差）に依存し、 10σ では相対標準偏差は 10% 弱となる。しかし分析精度を数%に抑えようとするなら 10σ では不十分で、少なくとも 20σ 程度は必要であることが読み取れよう。更に実試料では、試料の液性や信号の経時的安定性など、更に下限値を押し上げる要因が生じることが多い。例えば「この装置では ppb まで検出できるから分析値として x ppb を報告している」という言葉を少なからず耳にするが、本当に信頼性のある定量値を出すのなら、ppb の定量にはそれよりはるかに小さな検出限界（例えば ppt レベル）を有することが十分条件となる。このように、定量下限値は信頼性ととも規定する。

ちなみに「検出限界」はどちらかといえば「検出下限」と言わないほうがよい、同様に「定量下限」は「定量限界」と言わないほうがよい、と筆者は考えているが、その理由は以下の如くである。濃度が高くなると測定信号と濃度が比例関係を保てなくなるため、定量上限 (maximum limit of determination) と呼ばれる値が存在する。従って、定量下限から定量上限までの領域が定量範囲 (dynamic range) と考えられる。一方、信号検出には「検出上限」という概念はあまり馴染まない。両

表1 ブランクの単独測定およびブランクと試料の両者を測定して正味信号を算出した場合の臨界値、検出限界値、定量下限値⁸⁾

	L_C	L_D	L_Q
試料とブランクの両者を観測	$2.33 \sigma_B$	$4.65 \sigma_B$	$14.1 \sigma_B$
ブランク単独を観測	$1.64 \sigma_B$	$3.29 \sigma_B$	$10 \sigma_B$

$\alpha=\beta=0.05, k_Q=10, \sigma=\sigma_B$ (濃度によって変化せず一定), と仮定

者を誤用しないためにも、「検出限界」と「定量下限」として使い分けるのが望ましいのではなからうか。和英対応でも limit が限界、minimum limit が下限と訳して自然である。しかし、JIS K 0211 では「検出下限」の語も容認されている。

JIS では、原子スペクトル分析・原子質量分析の通則において、方法定量下限値が規定されているが、操作ブランク液で測定した $\sqrt{2} \times 10\sigma$ 値として定義される意味は以下のとおりである。原子スペクトル分析や原子質量分析においては、ブランクと試料とを個別に測定した上で、両者を差し引いて正味の濃度を求める場合が多い。そうすると、それぞれの測定における標準偏差の二乗和が正味濃度の標準偏差の二乗になるので、両者の標準偏差を同程度と考えれば、ブランクの標準偏差の 2 倍の平方根、すなわち $\sqrt{2}\sigma$ が正味濃度の標準偏差になる。従って $\sqrt{2} \times 10\sigma$ で 14.1σ となるわけである。Currie もこの点に言及しており、 L_C, L_D, L_Q 共にそれぞれ $\sqrt{2}$ 倍した値が表に記載されている⁸⁾。表1にその一覧を示す。

原子スペクトル分析における定量下限に関する最近の Mermet の包括的な考察²¹⁾は示唆に富んでいる。定量下限（もちろん検出限界も）に関する、ブランクの σ 値を用いる概念は、次の三つの条件を満たしていることが前提である；①バックグラウンドノイズ（ブランク信号）は正規的 (Gaussian) に分布している、②ブランク変動の標準偏差の見積もりは統計的に満足し得る、③異常値がない（特に少数回の繰り返し測定時）。しかし①と②はいつも満足されてはならず、③はほとんどの場合検証されていない、と彼は主張する。①については、ICP 発光分析のようなブランク信号強度（カウント数）の大きい計測では問題ないが、ICP 質量分析のような、汚染やメモリーの影響がない場合に毎秒数カウントまで低下する計測の場合は正規分布が観測されない、としている。分布の正規性を検証するために、実測値を使って EPA（米国環境保護庁）が推奨する Shapiro-Wilk テスト²²⁾を行ってみたところ、ICP 発光分析における可視光域のバックグラウンドについては、20 回の実測値が 2974~3030 カウント毎秒の範囲であり 99% の信頼度で正規性が確認できたが、ICP 質量分析におけるそれらは、二つの質量数で調べたところ 40 回の実測値で 0~0.8, 0~0.27 カウント毎秒の範囲であり、共に正規性は

認められなかった。従って、後者のデータから導かれる検出限界値 (3σ) や定量下限値 (10σ) は意味がない、と結論づけた。文献や装置のカタログに散見する非常に小さいこれらの値は、時としてこの正規性の問題や、空試験試料を使わないで測定していることに起因するのではないかと述べている。

彼は他の定量下限 (LOQ) の見積り方法として、以下の手法を紹介している。

1) ブランクではなく実測値の繰返し性 (RSD) を評価して LOQ を見積もる。

上述の図3と同じ見方であるが、モデル計算により以下の数値を見積っている。

RSD=約 50% (3σ 相当濃度のとき)

RSD=約 15% (10σ 相当濃度のとき)

RSD=約 10% (15σ 相当濃度のとき)

RSD=約 5% (30σ 相当濃度のとき)

ブランクの 10σ から求める値よりは信頼性が高いが、数種の濃度で RSD を求める測定が必要なため時間を要する。また、よく言われる、 10σ で RSD 10% 程度の信頼性となっていないことに留意したい。ここではバックグラウンドの補正を考慮して、 $\sqrt{2}$ 倍で 14% (約 15%) としている。図4に、ICP 発光分析における実測値の繰返し測定時の RSD と濃度との関係を示す。また図5に、同じ ICP 発光分析において計測時間 (信号の積分時間) を変化させたときの関係を示す。同じ濃度でも計測時間を増せばカウント数が大きくなるため、RSD が小さくなる結果として LOQ は小さくなる。図6に、ICP 質量分析における実測値の繰返し測定時の RSD と濃度との関係を示す。図4~図6とも、両対数プロットで表現されている。

2) 方法検出限界から LOQ を求める。

空試験試料にスパイクした複数の試料で標準偏差を求め、 t -分布値を用いて計算する。より現実的だが、信号の σ は濃度に依存しないという仮定を用いている。一般に原子スペクトル分析では、測定信号の標準偏差はその濃度に依存するため、この仮定は全面的には受け入れられない。

3) 検量線より LOQ を求める。

検量線の不確かさから、切片を持つ信頼性の幅を見積もり、予想される上限ラインが y 軸と交差した点を最小定量可能値として算出する。ブランク値そのものの分布よりも検量線の切片としての分布のほうが信頼性が高い、という判断である。回帰直線に起因する不確かさを考慮しているが、測定点の重みづけや信頼性のレベルに影響されやすい。

4) 測定値の不確かさ自体を見積もって濃度との相関を調べ、RSD と同様にそのクリティカルレベルを決めることで LOQ を求める。

望ましい姿の一つではあるが、大変な労力を要する。

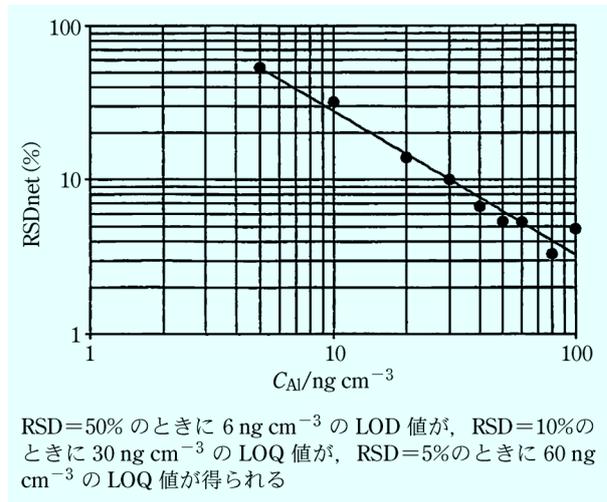


図4 ICP 発光分析における実測値の RSD の濃度依存性 (1)—Al(I 396 nm) の正味信号強度²¹⁾

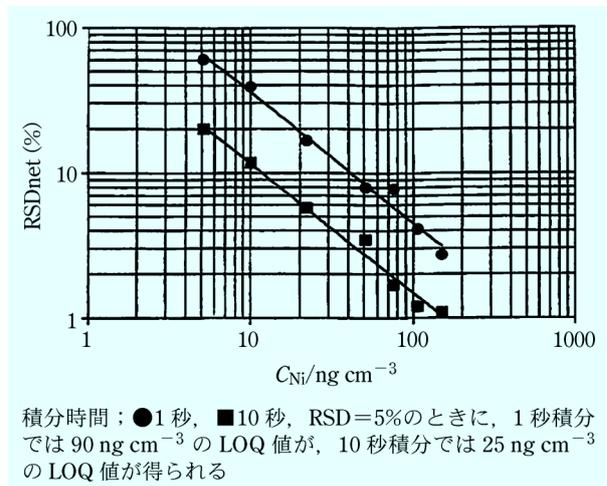


図5 ICP 発光分析における実測値の RSD の濃度依存性 (2)—Ni(II 231 nm) の正味信号強度²¹⁾

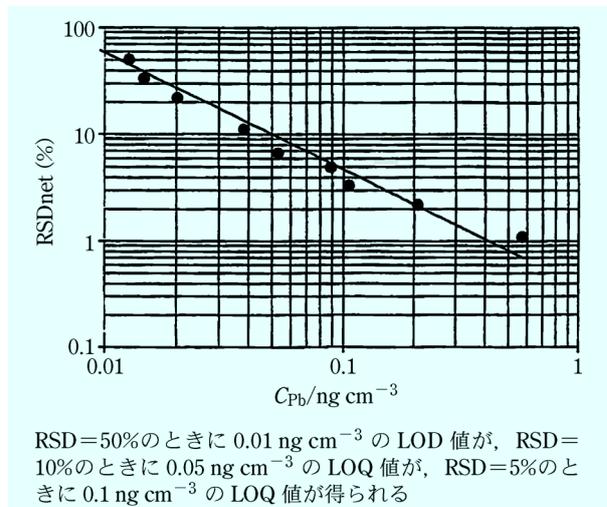


図6 ICP 質量分析における実測値の RSD の濃度依存性—²⁰⁸Pb の正味信号強度²¹⁾

また、これらの算出は異常値を除外してから行うべきだが、異常値の検出によく用いられる Dixon テスト、Grubbs テスト、Hampel テストの中では Hampel テストが最も優れている、と評している²¹⁾。

結局のところ、決め手となる方法があるわけではなく、一長一短の考え方と言える。いずれにせよ、統計的に取り扱うには決して十分とは言えないデータ群から、より説得力のある判断基準値を作る、というのは至難の技であることは間違いない。

Monte Carlo 法によるシミュレーション計算で検出限界を見積もる試みも興味深い²³⁾が、本稿では文献を紹介するのみにとどめたい。

本稿を閉じるにあたって、関連するより一般的な和書を挙げておく²⁴⁾²⁵⁾が、重要なことはどの定義をどのような考えの基で使ったかを自覚し、かつ明示することであろう。何のために検出限界値や定量下限値を求めるのか、また分析内容に適した見積もり方法はどれかなど、分析の目的に立ち返って考えることが必要ではないかと筆者は考えている。一例を挙げると、スクリーニング分析のような規制値以下であることをチェックする分析では、検出されるべき試料が検出されないと誤ることがあってはならない。その場合は上述の β を小さくすべく、過誤の可能性が5%と理解した上で LOD として 3.29σ を使う、あるいは 0.14% として 6σ を使う。ICP 質量分析での計測における LOQ の見積もりでは、アルミニウムの測定など汚染が除外できない元素ではブランク値から算出するが、白金族元素などバックグラウンドが非常に小さい場合は、ブランク値の統計量は信頼性が低いので、実試料の繰返し性の濃度依存性から LOQ を算出する、などである。

検出限界と定量下限は、化学計測の根幹をなす概念の一つであるが、信頼性用語の齟齬²⁶⁾と同様に、いまだに混乱と誤認識の中にあるようでもある。これらの概念は、その統一的解釈に向けた啓蒙活動と同時に、よりよい概念の構築に向けた学術的検討も継続されている。両用語について考察することは、ある意味、今なおホットな研究領域であると言えるのかもしれない。

文 献

- 1) JIS K 0211 : 2005, 分析化学用語 (基礎部門)。
- 2) 高木誠司: “定量分析化学の実験と計算, 第1巻”, p. 31 (1967), (共立出版)。

- 3) H. Kaiser : *Fresenius Z. Anal. Chem.*, **209**, 1 (1965) .
- 4) IUPAC Commission on Spectrochemical and Other Optical Procedures for Analysis : *Anal. Chem.*, **48**, 2294 (1976) .
- 5) ACS Committee on Environmental Improvement : *Anal. Chem.*, **52**, 2242 (1980) .
- 6) 河口広司 : ぶんせき, **1982**, 2 .
- 7) G. L. Long, J. D. Winefordner : *Anal. Chem.*, **55**, 712A (1983) .
- 8) L. A. Currie : *Anal. Chem.*, **40**, 586 (1968) .
- 9) IUPAC Commission on Analytical Nomenclature, L. A. Currie : *Pure & Appl. Chem.*, **67**, 1699 (1995) .
- 10) ISO11843-2 : Capability of detection -- Part 2 : Methodology in the linear calibration case, International Organization for Standardization, (2000) .
- 11) H. Kaiser : *Fresenius Z. Anal. Chem.*, **216**, 80 (1966) .
- 12) P. W. J. H. Boumans : *Spectrochim. Acta Part B*, **33**, 625 (1978) .
- 13) L. A. Currie : *Chemom. Intell. Lab. Syst.*, **37**, 151 (1997) .
- 14) J. Mocak, A. M. Bond, S. Mitchell, G. Scollary : *Pure & Appl. Chem.*, **69**, 297 (1997) .
- 15) L. A. Currie ed. : “Detection in Analytical Chemistry”, ACS Symposium Series 361, pp. 335 (1988), American Chemical Society .
- 16) 日本分析化学会編 : “分析化学データブック, 改訂5版”, 2004 (丸善) .
- 17) V. Thomsen, D. Schatzlein, D. Mercurio : *Spectrosc.*, **18**, 112 (2003) .
- 18) JIS K 0116 : 2003, 発光分光分析通則 .
- 19) JIS K 0133 : 2007, 高周波プラズマ質量分析通則 .
- 20) 杉前昭好 : 分析化学, **28**, 559 (1979) .
- 21) J.-M. Mermet : *Spectrochim. Acta Part B*, **63**, 166 (2008) .
- 22) S. S. Shapiro, M. B. Wilk : *Biometrika*, **52**, 591 (1965) .
- 23) E. Voigtman : *Spectrochim. Acta Part B*, **63**, 115, 129, 142, 154 (2008) .
- 24) J. N. Miller, J. C. Miller 著, 宗森 信, 佐藤寿邦 訳 : “データのとり方とまとめ方 第2版, 分析化学のための統計学とケモメトリックス” pp. 329 (2004), (共立出版) .
- 25) 小笠原正明, 細川敏幸, 米山輝子 : “化学分析における測定とデータ分析の基本”, pp. 165 (2004), (東京化学同人) .
- 26) 上本道久 : ぶんせき, **2006**, 16 .



上本道久 (Michihisa UEMOTO)

地方独立行政法人東京都立産業技術研究センター城南支所 (〒144-0035 東京都大田区南蒲田1-20-20)。学習院大学大学院自然科学研究科化学専攻博士後期課程修了。理学博士。《現在の研究テーマ》金属材料中微量～主成分の定量法の開発と標準化。軽金属の循環利用。《主な著書と出版社名》“ICP 発光分析・ICP 質量分析の基礎と実際” (監修・分担執筆) (オーム社)。《趣味》都市散策, 絵画鑑賞, ウィンタースポーツ。

E-mail : uemoto.michihisa@iri-tokyo.jp