煙環境下における赤外線反射画像のシミュレーション*

加藤 俊之** 井越 昌紀***

Simulation of Reflection Image Created by Infrared Light in Smoke-filled Environment

Toshiyuki KATO and Masanori IGOSHI

In this study, in order to investigate visibility in a smoke-filled environment like a firefight scene, a simulation system was constructed using a transmission model and a reflection model based on experimental data. Scattering and absorption of smoke layers as functions of wavelength and smoke characteristics are derived from analyzing transmission of smoke with Mie-theory. Reflections of object surface are obtained by applied experimental data to Sparrow's reflection model. With a result from the simulation, it shows good correspondence with real image, and scattering, absorption and reflection effect was clarified in visible and infrared image in a smoke-filled environment.

Key words: infrared, smoke-filled environment, transmission model, reflection model

1. 結 言

火災環境において煙による視界の低下が、避難行動や消防活動を著しく妨げることは、周知の事実である。これは、肉眼が感知することのできる可視光領域の光が煙粒子の散乱、吸収の影響を受け、環境に存在する物体からの光が減衰するためである。さらに、この現象は、物体自体が発光する場合以上に、光を照射して物体を視認しようとした場合での影響が大きく、照射光の強度を高めても、散乱量が増加し、物体を識別することが困難になる。現在、煙環境中での視覚を確保するための方法として、赤外線カメラによる物体の赤外線放射（温度）の視覚化が行われている。この方法の利点は、物体が放射する赤外光領域の光を感知することから、煙の影響を受け難いことにあるが、周囲温度と同等の物体については、その特性から識別が困難になる。また、赤外線レーザを利用する方法についても研究が行われたが¹⁾、単一の波長を利用した視覚装置であり、装置の開発を目的とした研究であったため、一般物体の反射特性や煙の定性、定量的な違いまで考察されていない。一般に煙中赤外光下での物体は可視光下でのものと著しく異なるため²⁾、視認が難しくなるという問題がある。この問題を解決するためには、煙中赤外光下での物体像に対する物理的性質の解明とその実験的裏付けが不可欠である。透過特性については、すでにMieの理論による研究があるが、可視領域での理論的な解明^{3)~6)}を主としたものであった。物体の反射特性は、波長に依存することが知られているが、現実的な環境を記述する研究はこれまで行われていない。さらに、光の持つ多波長性の利点の利用まで及んでいないのが現状である。

そこで、本研究では、煙が光に及ぼす影響を実験的に解明し、有効性が期待できる赤外領域について広く把握することで、煙環境中の環境認識法についての新たなアプローチを検討した。また、反射特性について実験的に求めた結果を示し、その結果を用いて、物体の反射性のモデル化について検討し

た結果を示す。これらによって、光に対する煙の散乱、吸収の影響の定量化、物体面での反射特性の把握を行うことで、煙環境での視覚を可視領域から赤外領域について再現することが可能となった。

本論文の構成は、第2、3章に煙環境の光学的特性について理論的検討と実験による検証を行い、第4章では、物体面における光の反射特性について実験的に求めた結果を示し、その結果を用いて、物体の反射光のモデル化について検討した。第5章では、煙中での物体の見え方について可視領域から赤外領域までの光を利用した場合についてシミュレーションした結果を提示し、煙環境下での環境の認識について検討を行う。

2. 煙環境の光学的特性

2.1 散乱、吸収による光の減衰

煙の本質は粒子であることから、光に対する煙の影響は、粒子によって生じる散乱と吸収によって説明することができる。一般に粒子で満たされた空間を透過する光は、散乱、吸収を受けて減衰する。この現象は、一つの粒子を扱った Mie の散乱理論と、その粒子が空間を満たしている状態を扱った Lambert の法則によって理論的検討が可能であり、煙についてもこれを利用することができる⁷⁾。

2.1.1 粒子による散乱

粒子（液体、固体）による散乱は、Mie によって Maxwell の電磁方程式から以下のように導き出される。

粒子は半径 a の球形粒子とし、媒質及び粒子の屈折率をそれぞれ μ_1 , μ_2 、媒質及び真空中の光の波長をそれぞれ λ , λ_0 とすれば、光散乱に関する基本的なパラメータは次のように定義される。

$$\lambda = \lambda_0 / \mu_1$$

$$m = \mu_2 / \mu_1$$

$$\alpha = 2\pi a / \lambda \quad (\text{サイズパラメータ})$$

$$\beta = m\alpha$$

Mie の散乱理論はこれらをパラメータとし、1 個の粒子に単位強度の偏光されていない自然光の入射があった場合、粒子からの距離 R （ただし、 $R \gg a$ ）、散乱角方向 θ における散

* 原稿受付 平成 10 年 12 月 25 日

** 正 会 員 東京消防庁（東京都渋谷区幡ヶ谷 1-13-20）

*** 正 会 員 東京都立大学工学部（東京都八王子市南大沢 1-1）

乱光強度 I_0 は次式で表されるとした。

$$I_0 = \frac{\lambda^2}{8\pi^2 R^2} (i_1 + i_2) \quad (1)$$

ただし、 i_1 , i_2 は光の強度であって、それぞれの振動方向が観測面に垂直または平行な直線成分を表す。

以上は、散乱方向角 θ に対する散乱光の強度であることから、これを全立体角について積分することで、粒子による散乱量の度合いを示す減光作用係数 Q_{ext} が求められる。また、 Q_{ext} は、吸収と散乱の影響を含んだ係数であり、散乱成分は散乱係数 Q_{scat} 、吸収成分は吸収係数 Q_{abs} とからなる。

$$Q_{ext} = Q_{scat} + Q_{abs} \quad (2)$$

$$Q_{ext} = \frac{\lambda^2}{2\pi} \sum_{n=1}^{\infty} (2n+1) \{ \text{Re}(a_n(\alpha, m) + b_n(\alpha, m)) \} \quad (3)$$

$$Q_{scat} = \frac{\lambda^2}{2\pi} \sum_{n=1}^{\infty} (2n+1) \{ |a_n(\alpha, m)|^2 + |b_n(\alpha, m)|^2 \} \quad (4)$$

a_n , b_n は α , m を変数とする Bessel 関数, Legendre 関数よりなる。

2.1.2 粒子で満たされた空間での減衰

粒子で満たされた空間を通過する光線の光強度は、粒子濃度と透過距離との積の指数関数となるという Lambert の法則は、煙においてもその粒子性からこれが成り立つと考えられ、入射光強度 I_0 と透過光強度 I の比は次式で表すものとする。

$$\frac{I}{I_0} = e^{-Ce l} \quad (5)$$

ただし、 l は光路長、 Ce は減光係数を表す。

粒子 1 個当たりの光の減光断面積は前述した Mie の理論による減光作用係数と粒子断面積との積で表され、粒子が満たされた空間の単位距離における減光係数 Ce は粒子の個数濃度 Z との積によって、

$$Ce = \pi a^2 Q_{ext} Z \quad (6)$$

と表現される。また、散乱成分を示す散乱係数 Cs 、吸収成分の吸収係数 Ca は、同様に以下ようになる。

$$Cs = \pi a^2 Q_{scat} Z \quad (7)$$

$$Ce = Cs + Ca \quad (8)$$

すなわち、粒子による光の減衰は、波長、粒径、屈折率、個数濃度といったパラメータによって計算することができる。

2.2 減光係数の測定

煙環境の光に及ぼす影響を定量化する値として減光係数に着目し、これを測定¹⁰⁾することで理論値と照合を行う。

煙環境での減光係数は、煙粒子の屈折率、形状（粒径）、個数濃度、光の波長、透過距離及び、生成ガスによる吸収といったパラメータによって左右されている。しかしながら、これらのパラメータの直接的な測定は困難で、燃焼試料の種類や量、燃焼条件といった実際的な要因から推定する必要がある。このため、実験では実際的な要因を変化させた結果から、間接的に減光係数を左右するパラメータである屈折率、形状（粒径）、個数濃度の変化を推定し、実際的な要因との関係について考察する。ここで、屈折率の波長による変化は無視できるものと仮定する。照合の方法は、連続した波長によって減光係数を測定し、実験値の波長による変化傾向が Mie の理論に適合するかどうかを調べた。推定の結果については 3.2 節に示す。本文で言及している実験値の減光係数は、透過率から式(5)を変形した式(9)によって算出する。

$$Ce = \frac{1}{l} \ln \left(\frac{I}{I_0} \right) \quad (9)$$

2.3 煙の影響のモデル化

煙の中で視程が低下する原因は、光が減衰することと、光の散乱によって背景となる領域の見かけの明るさが増すことによる。この現象を図 1 に示す。

Fig.1 Model of attenuation and scattering of light through fire smoke

照射光は煙の層を通過することによって減衰係数に応じて減衰するとともに、散乱係数に応じた散乱光を生じる。照射光 I_0 に対する透過光 I 、後方散乱光 I' は以下のようにモデル化される。

$$I = I_0 e^{-Ce l} \quad (10)$$

$$I' = I_0 \frac{Cs}{Ce} (1 - e^{-Ce l}) \quad (11)$$

すなわち、 Ce , Cs を求めることができれば、煙中での視程を計算することが可能になる。

3. 実験

3.1 実験方法及び実験条件

煙中の透過率について、可視領域 ($0.7 \mu\text{m}$) から近赤外領域 ($2.5 \mu\text{m}$) を実験的に明らかにし、これによって求められる煙の各種パラメータから、外挿的に他の領域での透過率を求めることとした。

実験装置の構成を図 2 に、実験条件を表 1 に示す。煙環境の生成は、密閉したスモークチャンバ（光路長 $500\text{mm} \times 400\text{mm} \times 400\text{mm}$ ）内に設置したヒータによって試料を加熱する方法をとった。スモークチャンバの両端には、ビニリデンフィルムを窓材とした光の出入射口を設けることで、光の光路を確保した。煙の影響を受ける窓材は透過率が高く、交換が容易なものとしてこの素材を用いた。充满した煙中にチャンバの一端からハロゲンライト光を入射させ、他端に設置した回折格子型モノクロメータで透過光を分光する。その分光した光の強度は可視から近赤外の領域で高感度で、直線性の良い PbS 受光素子により検出し、ロックインアンプで増幅してコンピュータにより記録した。

Fig.2 Setup construction of experimental devices

燃焼試料は、一般的な建材として杉の大気中乾燥材（クリブ）、プラスチック系材料として発泡スチロールを用い、300℃から 500℃の温度範囲で加熱して炎の伴わない「くん焼煙」を発生させた。また、クリブの燃焼では、試料内部に熱電対を埋め込み燃焼時の温度変化についても測定した。

Table 1 Experimental devices and conditions

Experimental devices	
Light source	Halogen lamp
Light sensor	PbS sensor
Monochromator	Grating type monochromator
Amplifier	Lock-in amplifier
Thermal sensor	Thermocouple
Experimental conditions	
Wavelength	0.7–2.5 μm
Heating temp.	300–500 $^{\circ}\text{C}$
Sample material	Wood
	Polystyrene
Burning condition	Smoldering condition

3.2 実験結果及び煙パラメータの推定

煙中の減光係数の測定結果から、煙粒子による減衰、散乱現象に関する Mie の散乱理論におけるパラメータを算出する。減光係数を決定するパラメータは、粒子の屈折率、粒径、濃度であり、理論上から減光係数の波長による変化割合（曲線形状）は屈折率によって決定され、粒径、濃度によって絶対量（位置）が決定される。そこで、以下の方法によって、煙のパラメータの推定を行った。（図 3）

①任意の粒径 a_0 、個数濃度 z_0 を代入して、理論式による減光係数曲線について、サイズパラメータ α を変数に様々な屈折率 m で計算しておく。

②波長を変数とした実験データに任意の粒径 a_0 を代入して α を変数とした曲線に変換して①で求めた計算結果と同一平面上にプロットする。

③理論減光係数曲線ごとに、実験データの減光係数曲線の形状相関を調べ、最も適合する形状を持つ m を決定する。

④実験データを理論曲線に粒径を変化させることで重ね合わせ、対応するサイズパラメータと波長から粒径を算出する。

⑤算出された、 m 、 a 、 λ を理論式に代入して z を求める。求めた m 、 a 、 z を理論式に代入することで、測定範囲外の部分についても推定することが可能となる。

Fig.3 Estimation method of attenuation coefficient

クリブ（杉）の実験結果の一例から、この方法で求めた減

光係数、散乱係数、吸収係数について波長を変数としたものを図 4 に示す。

波長が長くなることによって、減光係数が減少し、散乱係数では、さらにその傾向が強くなることが分かる。また、屈折率が一定であるとすれば、波長の短い領域では散乱による光の減衰が大きなウェイトを占めており、波長の長い領域では吸収による影響が優勢となる。このことから、透過性に関しては、波長を長くすることで、減衰が抑制されるばかりでなく、散乱の影響も減少されることから、良好な視界を得るための効果がより顕著に現れることが期待できる。

Fig.4 Distribution of reflection light intensity with models

また、煙による視程に及ぼす影響係数である C_e 、 C_s について、煙の生成条件、燃焼試料と関連させて、パラメータを整理しておくことで、様々な火災環境を必要に応じて再現することができ、煙の量や、対象物までの距離の変化が透過性に及ぼす影響を定量化することができる。

4. 光の物体面での反射特性

一般に非金属では波長が長くなるにつれて、吸収、放射性が高くなることが知られている。このため照射した光が物体面で反射せず視覚装置にとって必要な強度の反射光が得られない可能性が高くなる。そこで反射特性について実験的に把握することで定量的に確かめた。

4.1 反射の形態

1) 拡散反射

視覚を得るための光は拡散反射によるものが大部分を占めている。これは物体面の表層の極薄い層で吸収、反射が複雑に生じることにより、各方向にほぼ均一な強度で反射される。その強度は物質によって大きく変化するが、一般に、赤外光に比較して可視光において高い強度を持つ。

2) 鏡面反射

金属面等に代表される反射形態であり、一般にハイライトとして知覚される。この反射では表面の粗さと波長の関係により反射分布が変化する。粗さと波長の比が大きいほど完全な鏡面反射に近づく¹¹⁾。

4.2 反射特性の測定

4.2.1 実験方法及び実験条件

図 5 に実験装置の構成を、表 2 に実験条件を示す。

物体面に対する反射率、反射分布を測定するためにレーザー光を 1.5m の距離にある反射試料に照射しその反射光を有効径 50mm のレンズにより集光し、検出器によりその強度を測定した。検出信号はロックインアンプにより増幅し、A/D 変

換の後コンピュータに記録した。物体面の角度 θ は、物体面に照射したレーザ光の正反射方向が検出器の方向となる角度を 0° とし、これからの傾きによって表現している。レーザ光の波長は $0.68, 3.39, 10.6 \mu\text{m}$ を利用し、検出器には PbS, HgCdTe 受光素子を用いた。測定対象試料は、一般的な環境に存在するものとして、アルミニウム板、塗装面、布、コンクリート等を回転プレート上で角度を変化させて測定した。

Fig.5 Setup construction of experimental devices

Table 2 Experimental devices and conditions

Experimental devices	
Laser	Semiconductor laser, Gas laser (He-Ne, CO ₂)
Sensor	PbS, HgCdTe sensor
Amplifier	Lock-in amplifier
Lens	Diameter 50 mm
Range	1500 mm
Experimental conditions	
Wavelength	0.68, 3.39, 10.6 μm
Object	Concrete, styrene foam, painted surface, cloth Aluminum (Rmax: 0.8 μm)
Surface angle	0 - 45°

4.2.2 実験結果

図 6 にアルミニウムの反射強度で正規化した可視領域と赤外線領域での反射特性を示す。

Fig.6 Reflection characteristics of visible light and infrared light

1) 可視領域 ($0.68 \mu\text{m}$)

非金属での反射は比較的狭い領域に拡散反射と考えられる反射光として測定された。また、滑らかな金属面を含めても反射強度は、 10^4 程度のダイナミックレンジの範囲であり、実際の画像を生成する場合を 8 bit 表示と仮定してもリニアな対応づけで表現可能であると考えられる。

2) 赤外線領域 ($3.39, 10.6 \mu\text{m}$)

可視領域で拡散反射成分が優勢であった物体においても、鏡面反射成分が増加し、ダイナミックレンジが大きくなる。これらの物体を画像上で表現するためには、光源波長が $10.6 \mu\text{m}$ では、 10^6 程度のレベル変化を表現しなければならないが、一般的な 8 bit 程度の階調では無理があると考えられる。このため、可視光線において視覚化が可能な物体であっても、赤外線反射画像では、可視領域のようなリニアな感度特性による画像を得ることは、ダイナミックレンジの関係から難しくなる。また、可視光線と比べると、拡散反射成分の強度が著しく低下し、反射分布の物体面の角度に依存する傾向があり、この傾向は、平滑な表面を持つ素材で顕著であった。

赤外線領域について比較すると、波長の短い $3.39 \mu\text{m}$ の光源では、反射強度の分布が狭くなり、可視領域の傾向に近づいている。このことは、反射性に着目した場合、光源波長を短くすることが視認性を向上させるための方法となることを意味している。

4.3 反射のモデル化

反射特性は物質表面の物性、表面の粗さによって固有の特性を持つことから、多くの対象物に対するデータと、統一して扱うためのモデル化に関する記述仕様が必要となる。図 7 に反射特性のための概念図を示す。

Fig.7 Reflection model

式(12)の第 1 項は物体面の反射における鏡面反射成分であり、第 2 項は拡散反射成分を表す。本研究で利用した反射モデルは Sparrow のモデルである。この式を用いて実験値から求めた反射特性曲線の例を図 8 に示す。

$$I = I_0 \left(C_1 \frac{\exp(-C_2 \beta^2)}{\cos(\phi)} + C_3 \cos(\theta) \right) \quad (12)$$

このモデルは、実験値に非線形の回帰曲線を当てはめることで求め、鏡面反射係数、拡散反射係数を表現するパラメータを算出した。例示したグラフは、波長が $10.6 \mu\text{m}$ のレーザ光をコンクリートに照射したときの反射特性 (図 6(c)) を面の角度が 0° であるときを 1 として正規化している。反射モデルの各係数は、 $C_1 : 0.612$, $C_2 : 1.543 \times 10^2$, $C_3 : 1.520 \times 10^{-3}$ である。

Fig.8 Model of reflection characteristic

5. シミュレーション画像の生成

5.1 シミュレーションの概要

火災環境における画像を再現するために実験データをもとにシミュレートし、各波長における評価を行う。

実験により得られたデータをもとに光の減衰、散乱係数を求めるためのパラメータのデータベースを作成する。このデータベースからシミュレートする環境に合わせた各係数を算出することで、様々な煙環境を生成することができる。また、反射特性に関しても同様にパラメータに関するデータベースを作成し、これから、物体の表面の反射特性を考慮した反射モデルを生成する。そして、計算機内で様々な火災環境を想定し、データベースから必要なデータを読み出すことによって環境を表現する。これによって、赤外線視覚装置によって得ることのできる画像を表示することが可能になり、煙環境等での作業性の検討を行うことができる。

5.2 生成画像

火災環境を想定した画像を図 9, 10, 11 に示す。条件は可視領域 ($0.68 \mu\text{m}$) で 1m の視程を有する場合、赤外域 ($10.6 \mu\text{m}$) で煙のある状態のシミュレーション結果である。上段はこれまでの実験結果から求めた減光係数をもとに作成したシミュレーション画像であり、下段は実際に視覚装置を利用して得られた画像である。反射特性に関しては、基礎実験で利用した物体と製作条件等が異なることから、視覚装置に適合した反射モデルを再度算出した。可視画像では、通常の CCD カメラとハロゲンライトの組合せにより画像をとらえ、赤外線視覚装置は、赤外線レーザを照射し、その反射光をとらえて画像化するものを利用した。

各図は、左側が反射光強度による明暗画像で、右側が反射光強度を 3 次元的に示したものである。また、画像中の上段は発泡スチロールの球体を視点 (光源位置も同位置) から 1m の位置に設定した状態であり、下段が同じ距離でのアルミニウム (左側)、コンクリート (右側) の球体を設定した状態を示している。

1) 煙による影響

煙による視覚への影響を可視光と赤外光とで比較するために、シミュレートした画像の明度の変化から検討する。可視光は煙による散乱によって画面全体が明るくなり、物体と背景の区別することが困難になる (図 10)。これに対して、赤外光での画像 (図 11) では煙による散乱がほとんどなく、物体を背景から明りょうに区別することができる。

2) 反射特性による影響

光源が異なることによる画像への影響もまた重要であることが前出の図から分かる。可視光 (図 9) で全体形状が確認

Fig.9 Visible image (no-smoke)

Fig.10 Visible image (smoke)

Fig.11 Infrared image (smoke)

できる物体であっても、赤外光では、物体の全体形状を確認することができない場合が生じる。これは、赤外光の反射特性は鏡面反射成分が優勢になり、反射光強度のダイナミックレンジが大きくなることから、画像として変換する際に行う階調の圧縮過程で、反射強度の低い部分は表現が不可能なまでに低くなるためである。このため、赤外光を利用したアクティブ型の視覚装置による画像は認識性を高めるために、データ値の圧縮等の画像処理が重要になることが分かる。

3) 視認性

煙環境では、透過性の面からは波長の長い赤外線が有効であるが、反射性を考慮すると物体の全体像をとらえることが難しくなる。そこで、煙の濃度、物体までの距離に応じて光源波長を選択することができれば、状況に応じた画像をとらえることが可能になる。

6. 結言と今後の課題

煙環境における物体認識のために、光の透過性と反射性に関する基礎的な実験と実験結果を利用したシミュレーション画像を検討することで、以下の結論を得た。

- (1) これまで煙粒子の光学性質（屈折率、粒径、個数濃度）を特定することは多くの手順と装置が必要であり、さらに静的な環境下での実験結果からのみ議論されてきたが、一部の波長領域での実験結果と、理論式から煙の散乱、吸収パラメータを実環境下で算出することが可能であることを示した。
- (2) 火災環境での物体認識のためには、赤外領域での光源を多波長化することによって、透過性と反射性とで優先度を決定して画像化をすることが必要になる。
- (3) 煙環境をシミュレートしたことにより、通常の可視光線画像に対して、赤外線反射画像が透過性の点において、有効であることを示すことができた。また、波長の

影響による反射特性の変化のために、可視光線画像とは視認性が異なることが分かった。

- (4) 構築したシミュレーションシステムは実際のカメラ画像との比較の結果、良好な近似画像を得られることが確認できた。

今後は、反射特性に及ぼす光の波長、表面の性状についての検討を行い、赤外領域での反射特性を明らかにする必要がある。

参 考 文 献

- 1) 高橋秀実, 木村 実, 山田 修, 内藤宏之, 佐野令而: 移動ロボット用CO₂レーザレーダ3次元視覚センサ, 日本ロボット学会誌, **8**, 4 (1990) 385.
- 2) 伊藤和喜, 西 師毅: 赤外域での拡散反射率測定, 日本赤外線学会誌, 赤外線技術研究会資料, IR-127, (1983) 37.
- 3) 半田 隆, 旗 利彦, 清水弘子, 福田博通: 煙霧質中における見越し距離の考察 (1), 日本火災学会誌, **17**, 2 (1968) 11.
- 4) 神 忠久: 煙中の見越し距離について (1), 日本火災学会誌, **19**, 2 (1970) 1.
- 5) M.Wiegner and G.Echle: Lidar Multiple Scattering: Improvement of Bissonnette's Paraxial Approximation, Appl. Opt., **32**, 33, (1993) 6789.
- 6) D.Sadot, A.Dvir, I.Bergel and N.S.Kopeika: Restoration of Thermal Images Distorted by the Atmosphere, Based of Measured and Theoretical Atmospheric Modulation Transfer Function, Appl. Opt., **33**, 1, (1994) 44.
- 7) 広野淳之, 竹元昭夫, 神戸祥明: 3波長方式による火災煙と非火災煙の識別 (1), 日本火災学会研究発表会概要集, (1990) 67.
- 8) 高田洋一, 斉藤英明: 霧中の視程の測定に関する研究, 防衛庁技術研究本部技報, 6586, (1995.8) 1.
- 9) 高橋幹二: 基礎エアロゾル工学, 養賢堂, (1972).
- 10) T.Kato and M.Igoshi: A Study of an Active Infrared Imaging System for Smoke-filled Environment, Proc. 3rd France-Japan Congress & 1st Europe-Asia Congress on Mechatronics, (Oct. 1996) 239.
- 11) S.K.Nayar, K.Ikeuchi, T.Kanade: Surface Reflection: Physical and Geometrical Perspectives, IEEE Trans. Pattern Anal. Machine Intell., **13**, 7, (1991) 611.

編 集 後 記

研究、開発、製造などあらゆる分野で、なにがしかの評価をするときに計測という手段が用いられます。また、ISO 9000 シリーズで知られる品質管理や品質保証でも計測を抜きには語れません。

ところが、どんなに注意を払った測定でも完璧に行うことができず、ごくわずかであっても測定結果には必ず曖昧さが伴います。この曖昧さを、「精度」、「誤差」、「精密さ」、「正確さ」、「確度」などと表現してきました。しかも、これらの用語は技術分野が異なると同じ意味で用いられてきた訳ではありません。そこで、計測分野の世界的な最高権威である国際度量衡委員会は、前記の用語に代わって「不確かさ」という用語で計測の信頼性を表現することとし、ISO を含む各分野の6つの国際機関と共に国際的な合意を得るための作業部会を設置し、その後の長い議論を経て1993年にISO 国際文書「計測における不確かさの表現のガイド」が発行されまし

た。さらに、この文書に対して寄せられた質問や意見を反映した「修正増補版」が1995年に出版されました。

このような経緯から、今後、計測の信頼性を表現する方法として世界的にも「不確かさ」の使用が主流となっていくことが予測されます。しかしながら、現在のところ必ずしも不確かさに対する認知度や理解が十分とはいえない状況にあります。これは、精度や誤差との概念の違いや実際の計測への不確かさ評価の適用法にとまどいの一因があることも考えられます。

そこで、この特集では、不確かさの概念や表現法についての経緯や解説、および実際の計測に適用した事例を通して不確かさを理解していただきたく企画したものです。読者の皆さんもぜひこれを機会に不確かさについて関心をもっていただき、今後に活用していただくきっかけになれば幸いです。

著者の皆さんには、なるべく易しく、できるだけ具体的になどと無理なお願いにもかかわらず執筆をお引受け下さり、深くお礼を申し上げます。
(豊田幸司)