



## 室内空気分布の研究と シミュレーション流体力学

山口 克人\*

室内空気分布というのはどんな性状（空気の温度、湿度、清浄度、速度など）の空気が室内空間に存在しているか、その空間的、時間的分布状態を指す用語ですが、これを問題にする理由はいうまでもなく室内気候学的に快適な空間を作り出すためにはその空気分布が適切なものでなければならないからです。したがって室内空気分布の研究としては、まず「快適性」とは何かという生理、心理学的な条件の確立、続いてそのような条件を作り出す機器の設計、およびそれらの機器によって作られる空気分布の予測の3つに大別できます。この中で最後の空気分布予測の問題は結局は室内での空気の流れを予測することに帰着します。というのは一般に室内の任意の点での空気状態を直接に制御することはできず、すべて調整された空気を適切な吹出口から室内に流入させるという操作のみで目的を達しなければならないからです。

かくして室内空気分布予測の問題は流体力学の問題となり、要は流れの基礎方程式を室の形状、壁面状態、流入空気性状などを初期および境界条件として解けばよいということになります。しかし室内の気流は複雑な三次元の乱流ですから「解けばよい」ではすまされません。解析的方法はほとんど不可能でしょうし、また対象とする室の形状も千差万別です。そこで従来は主として、室内空気分布に最も大きな影響を与える流入口近傍の噴流の解析、模型実験や現場での実物測定などで分布性状を調べ、設計に際しては比較的単純で性質のよくわかっている吹出噴流に着目して、室内での空気の滞留、流入口から流出口への気流の短絡、暖房時の上下気温勾配、冷房時の cold draught などの防止

といった主要な要件だけを満足させてきました。

しかし体育館やホールなどの大空間ではこのような方法は使えず、また最近になってますます高度な空気分布状態が要求されるようになったこと、一方で計算機の性能向上で流れの数値解析法がいろいろな分野でめざましい進歩をとげ、「シミュレーション流体力学」といわれるものが成立するに至ったことなどを背景にして、室内空気分布の数値解析が室内空気分布研究での主要なテーマの一つとなってきました。

筆者は昭和48年頃からこのテーマに取り組むようになりましたが、“基礎方程式を差分近似して離散化し、多元の連立一次方程式を数値計算で解く”ということは、一見そう見えるほど簡単なことではありません。問題は基礎式の非線形性の故に繰り返し計算が必要となりますが、その過程でいかに発散を防ぎ、なだめすかして収束にもっていくかということ、室内空気分布予測という問題に固有の境界条件をどうするか、たとえば開口部をどのように処理するかといったようなことでした。はじめは最も簡単な条件として層流、二次元の場合を計算しましたが、あれこれの試行錯誤の末、それらしき流れの様相を示す流線が得られたとき、それまでは単なる数学的記号の羅列としかみえなかった Navier-Stokes 方程式がたしかに流れを表現する情報をそのうちにもっているということを改めて実感したものです。

その後は計算条件を乱流や三次元へと拡張したり、温度やガス濃度などのスカラ量の計算に手を挙げたりで何とか実用的な計算方法を確立しようとしたのですが、その過程はひたすら計算機の記憶容量と計算時間不足との戦いであって、いわば苦しまぎれに「Wall Function」の導入や「流入口モデル」の考案など、より少な

\*山口克人 (Katsuhito YAMAGUCHI), 大阪大学, 工学部, 環境工学科, 助教授, 工学博士, 環境工学

いメッシュ分割で精度のよい計算結果を得ようという工夫が生まれました。現在では何とか三次元、乱流、非定常という条件まで計算ができるようになりましたが、まだ室の形状は比較的単純なものに限られており、数値解析上のいろいろな工夫が必要であると同時に計算機の飛躍的な性能向上が待たれます。また室内には当然机やロッカー、機械など室内気流にとっての障害物が存在しますが、このような場合の凸のカドの数値的処理がむずかしい問題で、その近傍に生ずる渦は現象としては非常に小さいスケールであって現状で可能なメッシュ間隔はそれに比べると大きすぎるにもかかわらず、それが大きなスケールの現象に少なからず影響を与えるからです。また離散化にともなう数値粘性の問題もあり、これらは室内空気分布に限らず一般のシミュレーション流体力学にとっても未解決の問題だと思われまます。

数値解析をやっていて常々感じることは、たとえ計算が無事に収束解に至ったとしても本当にこんな流れ方をするのだろうかという不安につきまといわれるということです。現在のところこのような誤差評価の数学理論は不十分であり、そこで仕方なく実験で確かめるという邪道に逃げこむわけで、この点が現在の数値解析のアキレス腱ではないかという気がします。というのは基礎となる微分方程式を離散化したとき、メッシュ・サイズを無限小にすれば基礎式と一致するという保証はあっても、有限なメッシュ・サイズの場合、その解が果して基礎微分方程式の解と一致しているかどうかには何の保証もないからです。その意味で数値解析というのはエレガントさを欠く力づくの方法というべく、この方法を用いて流れをいろいろ解いてみたところで工学技術上は役に立つことはあっても流体力学という学に対してはあまり寄与するところはないかもしれません。少なくとも、いかに簡単な理論であろうと数値解析によっては導き出されないということは明らかです。

シミュレーション流体力学は、流体力学の式によって天気を予報したいという「リチャード

ソンの夢」に始まって主として気象学の分野で発展してきたものであり、現在では日本の気象庁でも数値予報を行なっていると聞いておりますが、数値計算はあくまでも数時間後の天気図を作るだけであって、それを見て具体的な天気を読みかえるのは予報官です。もし予報官の長年の経験と勘からみておかしいと思うような天気図を計算機が出力してきたら、おそらく予報官は自分の経験と勘の方に頼って判断するのではないかと推測されます。

結局、数値解析といえども実験とか経験とかを離れては存在しえないので、数値解析と実験、実測との比較をつみ重ねることによって“経験的”に数値解析の精度も保証されるということになるのだと思われまます。

シミュレーション流体力学は実験でも結果を求められるような問題の他に、実験がほとんど不可能な問題にも適用可能です。たとえば、やはり気象学の分野で大気大循環のモデルを作り、それを用いてCO<sub>2</sub>の温室効果による地球的な気温上昇を予測するといったことが行なわれています。このような問題はむろん実験不可能、経験的にわかったときにはすでに手おくれですから、シミュレーション流体力学の独壇場であるといえます。むろん現状では「そんなこともありえないことではない」といった程度の可能性を示す段階のようですが、今後シミュレーション流体力学に大いに期待すべき分野だと思われまます。

B.E. Launder と D.B. Spalding はその著者「Mathematical Models of Turbulence」(Academic Press, 1972)の序論の中で“我々は1980年までに計算機実験が物理的手段による実験の大部分にとってかわっているであろうと予想する”と述べております。この予想は当らなかったというべきかもしれませんが、とってかわるのかあるいは両者共々に共存するのかはともかくとして、また上で述べたように、いろいろ克服すべき問題点はあるとしても、今後はますます数値解析による流れの解析が重要な工学的手段になっていくことは確かだと思われまます。