

建築の伝熱と換気に関する数学モデルの展望 正会員 ○ 奥山 博康

1. はじめに

浅学ながら筆者の十数年の表題に関する研究により、初期に直感的に信じた可能性が次第に具体化してきたと思う。そこで我田引水的で独断と偏見に満ちた内容かも知れないが、既往の研究の概観と今後の研究課題の展望を簡略ながら少しばかり述べさせて頂き、これが御理解いただく一助になれば幸いである。

2. 工学とは

工学とは理学的発見や技術の“利用性の向上を図るもの”と捉えられないだろうか。例えば新しい物理・化学的現象の発見は新しい工学的技術として利用されるし、電算機の利用はこれを利用するための工学技術の発達を促す。従って表題に関する研究の価値も理学的な数学的解法ではなく、数学の利用性の向上を図る数学モデルにおかねばならない。

3. 建築分野の特徴

近年、自然空調や環境共生建築が関心を持たれるようになってきた。我々はともすれば機械設備と化石エネルギーに必要以上に頼りがちであるから、原点に帰り建築的手法の適用を図ることは重要である。この様な建築では時変性や非線形性など伝熱系の構造的変化と自然エネルギーとしての気象条件の不規則変動を利用する。こうした建築の数学モデルは、建物全体的な連成と偏りなく諸要因を考慮すると言う意味で“総合性”が必要である。つまり一般に問題へのアプローチ法は多くの場合に還元主義的で分析的なものに傾きがちであるのに対して、建築ではむしろ“合成の過程”が重要なことが特徴であろう。

4. 発展の経過

現在でさえ建築伝熱解析と言えはなぜか壁体一次元伝熱を最重要視する風潮があるように見えるのは前述の還元主義とは無縁ではないだろう。また古典的制御理論の伝達関数法の思想に従えば、励振と応答のモデルである時系列応答係数法を斯界の標準として採用し

たのは自然の成行きであったのかもしれない。しかしこのモデルは伝熱系の線形性と時不変性の前提を必要とする短所がある。一方、空間的な温度分布に関する熱平衡式を立てて非定常伝熱をモデル化する方法もあるが、汎用性を実現するための一般式の工夫が十分ではないようである。

5. 熱回路網モデル

現状では、モデル図表示を電気回路のように画けば、数学モデルの内容が人によって違っているにもかかわらず、全て漠然と熱回路網と呼んでいる。こうした混乱が起きているのは数値計算機がなかった頃に種々の物理現象を、相似する等価電気回路を組んで模擬実験していたことに起因すると思われる。筆者の熱回路網は、必要十分な簡潔さがありながら完全な一般性を持つ節点方程式によって状態方程式が構成されている。この方程式扱いによって計算モデルをシステムとして把握でき、固有値や安定性などのシステム内部構造の議論が明解になるだけでなく解析的な厳密解を示すこともできた。さらに方程式のパラメータの合理的な定義により、各種の伝熱形態や拡散形態が混在していても一般的モデルで表示でき、また有限要素法、空間差分法や検査体積法などの空間的離散化モデルを広く包括してモデルの合成や互換も可能とした。さらに現代制御理論や最適化理論の、各種工学分野に共通して利用できる数学的成果を直接的に適用できる数学モデルの形になっている。近い将来、伝熱モデルの標準化の必要性が認識されるようになれば、筆者の熱回路網が大きな可能性を提供できるだろう。

6. 換気回路網モデル

建築分野では、同じ空気流れの問題でも多層多数室で扱うことが多く、前述したように“建物全体的な連成”を考慮する必要がある。それ故にミクロ的な数値流体解析だけではなく、マクロ的な換気計算モデルが重要である。このためのモデルとして様々な換気回路

網モデルが多くの人によって提案されている。従って自ずとこれらには優劣があるわけであるが、“モデルの簡潔性と一般性”、“圧力に関する非線形連立方程式の安定的な解法”や“モデルのパラメータの完備性”などで評価できるのではないだろうか。一つ目の項目は標準化のためと他の流れモデルとの合成を図る場合に重要になってくる。三つ目の項目は、数値流体解析では空気粘性など基本的物理特性を系のパラメータとするのに対して、換気計算では多分に実験的なパラメータを必要とすることからの宿命的課題でもある。またモデルを定常から非定常に拡張することも今後の課題であろう。

7. システム同定と最適制御

例えば寸法を測ることは物差しをモデルとした同定と見なせるように、筆者の空間離散化した拡散系の一般モデルを物差しとしたシステム同定によって色々な測定を行うことができる。例えば筆者の多数室換気測定システムはトレーサガス拡散系の同定であり、理論自体は伝熱系にも応用している。システム同定はシミュレーションとは逆の問題であり、車の両輪のごとく完結した理論体系をつくるため重要である。しかしさらに同定するための励振の最適周波数に関する理論的追補と、測定装置自体の分散化・小型化により精度と使いやすさを向上する開発が必要である。また建築伝熱系の理論的最適制御にも制御モデルとして筆者の熱回路網と同定理論が利用できる。既に筆者は、二次形式の評価関数と離散時間システムを用い、最小二乗法で最適制御則が解けることを示した。しかし建築分野の場合、これ程複雑な計算をして制御することによる実利効果を考えれば、他の目的にこの最適制御理論を応用する道を探るべきかも知れない。なおシステム同定理論に関連して、伝熱系を必要最小限の次元の状態方程式で表現するための研究も必要であろう。

8. 最適設計

予測計算法は設計の一つの道具にはなるかも知れないが設計法自体ではない。設計行為とは人間の頭脳で成しうる複雑な“合成における最適化の行為”と見なせないだろうか。この最適化の評価関数や拘束条件が設計者の頭の中で数量的に曖昧である限り設計者の直感に大きく左右され主観的なものにならざるを得ない。そこで客観性のある数学的な最適化を電算機を用いて

行う方法が研究課題となる。筆者は前述した最適制御理論の研究の副産物として、最適化の手法を応用できる可能性を示した。しかしこれはあくまでも本質は制御問題であって最適設計ではなかった。つまり制御では入力を最適化するが、設計では系のパラメータを最適化する必要がある。おそらく最適設計においても二次形式の評価関数が基本になるであろうが、最適制御では線形の最小二乗法で解けるのに対して、最適設計では非線形の最小二乗法を解かなければならない困難があるだろう。またどちらも一般には不等式拘束条件が存在するが、おそらく非負最小二乗法に帰着してこれを考慮することができ、それほど困難なく解くことができると思われる。

9. ミクロとマクロの統合化

空気流動のモデルについて本節題の問題が研究されている。ミクロは数値流体解析モデルであり、マクロは換気計算モデルである。前者は微分型で後者は積分型で一見全く異質なモデルに思われるが、後者の圧力に関する非線形連立方程式系で前者を包括的に統一できると思われる。むしろ問題なのはマクロモデルのパラメータをなるべく演繹的なモデルから決める方法であろう。また伝熱と流れが連成するのが本来の現象であるが、伝熱に関して固体領域と流体領域を分けて扱うような不統一性による不利益は筆者の熱回路網モデルにより避けることができる。また将来CAD的にモデルを作るようになるとすれば筆者の主張する標準性やこうした統合性が問題になるであろう。

10. 最後に

モデルとは当分野における一種の世界観である。この数学モデルによって斯界に大きな可能性が開けることが認識され、賛同する研究者が一人でも増え、共に大きな前進が成されることを願ってやまない。最後に紙幅の関係で表現や説明が十分ではなかったかもしれないことをお詫びする。

参考文献

細部の主な所は筆者の学位論文“建築物の熱回路網モデルに関する理論的研究”とその後の講演論文などを参照して頂きたいが、本研究に発想を与えてくれた論文や関連する多くの既往の研究をここに載せる余裕がないことをお許し願いたい。

(清水建設株式会社技術研究所・主任研究員・工学博士)