

1991(第7回)日本国際賞受賞者

応用数学分野

受賞対象業績:

「分布定数系の解析と制御の研究、ならびに応用解析学の振興」

1991 (7th) Japan Prize Laureate

Applied Mathematics

Contributions to Analysis and Control of Distributed Systems, and to Promotion of Applied Analysis



ジャック-ルイ リオンス博士 (フランス)

Dr. Jacques-Louis Lions (France)

コレージュ・ド・フランス教授。フランス国立宇宙研究センター(CNES)総裁。1928年フランス生まれ。

伝統的な解析学の遺産を活かしながら、コンピュータの駆使を前提とする応用解析学の世界的規模での確立は、博士によってはじめて成し遂げられた。

博士自身による、顕著な研究業績のなかには、(1)ナビエ・ストークス方程式を含む数値物理の線形非線形偏微分方程式数学的解明、(2)差分法、有限要素法、罰金法等の近似解法の整備と基礎づけ、(3)変分不等式の導入、(4)均質化問題における漸近的方法の樹立があり、更に(5)分布定数系と呼ばれる偏微分方程式で表現される現象の制御理論は確率制御のそれを含めて正に博士により枠組みが確定し発展したものである。

この面における博士の研究は現在も活発に行なわれており、複雑な構造物の安定化、波動・振動系の厳密可制御性、乱流の制御、不足データのもとの予測に及んでおり、来るべき地球環境問題での数理面において、博士の方法は重要な役割を果たすものと期待されている。

又、産業面に対する博士の貢献は航空宇宙産業のための計算空気力学、石油技術に関するシミュレーション、エネルギー問題に関する貢献等著しいものがある。

応用科学、工学における科学計算と解析を総合しての研究を透徹した先見性と心服させる指導性でフランス、欧米、さらに世界において鼓舞したことも博士の特筆すべき功績である。

The Chairman of Analysis and Systems Control at the Collège de France and the President of National Center of Space Studies (CNES). Born in 1928 in France.

Dr. Lions has lead the world to establish the new field of applied mathematics which makes good use of expertises inherited inside the traditional discipline of analysis and which can fully benefit from the powerful functions of modern computers. Most remarkable acientific contributions by Dr. Lions have been done for; (1) mathematical analysis of linear and nonlinear partial differential equations of mathematical physics, e. g., the Navier-Stokes equation, (2) systematic improvement of approximating numerical methods like the difference method, finite element method and penalty method, (3) introduction of variational inequalities, (4) establishment of the asymptotic method for the homogenization problem and further (5) establishment and development of the control theory of distributed systems which are governed by partial differential equations. Dr. Lions keeps his active study of control of distributed systems and has recently obtained important results for stabilization of complicated structures, exact controllability of wave and oscillation systems, control of turbulence and judgement under missing data. Dr. Lions' method is expected to be the most promising one among existing mathematical approaches to the global and environmental problems. As for applications in industry, Dr. Lions has made considerable contributions to computational aerodynamics for the aerospace industry, simulation for the petroleum industry and mathematical analysis for French energy agent. It should be highly appreciated also that Dr. Lions has made enthusiastic services to encourage the integrated study of computation and analysis for applied sciences and engineering with sheer foresight and inspiring leadership in France and over the world.

「コンピュータと数学 -現代の万能ツール-」

ジャック・レイ リオンス

1. はじめに

まず最初にお目にかけるのは、人工衛星 SPOT 2号から撮影した地上の考古学遺跡です。このような考古学的に興味のある情報を、数学解析とコンピュータを駆使することによって、生のデータからどのように取り出していくのか、図を使って説明していきたいと思っています。

この例は、数学的な見方からすると単純なものです。それでも、科学と技術がきわめて密接に関連し合う分野で使われている「一般的な方法論」を示しています。その方法論は次の3つから成り立っています。

- (1) データ処理
- (2) 数学モデルの作成
- (3) 数学モデルからの情報の抽出

この(3)のために、数学解析とコンピュータという2つの道具が使われるのです。

さて、具体的な例をあげて科学と技術がどのように関連しているかを説明したいと思います。

この一般的な方法論は、人類のもっている永い伝統が生んだ「果実」でありまして、この伝統には、最大級の天才たちがしばしば決定的役割を演じました。

最近になって、スーパーコンピュータ、ワークステーション、データベース、ネットワーク、画像処理技術などが飛躍的に進歩するとともに、この一般的方法論の適用範囲はますます広がり、いまや3次元空間の中で時間的に変化する現象まで、取り扱えるようになりました。これは、たいへんな勢いで正のフィードバック効果が起こっていることを示しています。つまり、まず科学や産業の分野の新しい問題を、このような見地から考察します。その結果、新しい方法が発見されます。

すると、それによって、さらに新しく強力な道具が発展します。こうして、正のフィードバックがさらに進み、新しい科学技術の問題に取り組むよう促すわけです。この同じサイクルはくり返して進みます。

例を説明いたしましょう。

2. 安定性

これは歴史的な意味での注意ですが、重要な教訓を含んでいます。1910年から1922年の間に、英国の気象学者として名高いリチャードソン (L.F. Richardson) は、気象予報を計算によって導き出そうと考えました。彼の言葉によると、「夢みた」のでした。この人はたいへんな天才でしたが、実際には、彼のもくろみは失敗しました。

どうして失敗したか、それを説明しましょう。そして、この失敗について従来からいわれてきた理由が、実は本当ではないことを示したいと思います。この失敗が教えた教訓は、「より強力なコンピュータを簡単に使えるようになればなるほど、私たちが真の解に近づくことができるというのは、あくまでも私たちが正しい近似の方法を使っているという条件のもとでのみ可能なのだ」という教訓です。コンピュータは、不安定な数値解法に対しては罰をあたえます。もう少し一般的にいうと、きっちりした基礎をもたない議論やデータにも、モデリングにも、数学解析にも、またソフトウェアにも、罰をあたえるのです。

3. 均質化法、原子力の安全性、最適デザイン。

ここで説明するすべての例と結果は、フランス国内および諸外国の研究者たちとのチームワークによるものです。

はじめに周期構造をもった複合材料の取り

扱いについて解説して、そのための新しい数学的手段（均質化理論）について説明しましょう。そしてもう1つ、複合材料の幾何学について紹介します。この一例は原子力の安全性からでてきたもので、フランス電力会社EDFの研究者と国際的なチームによる協力によって成し遂げられたものです。もう1つの「均質化理論」の応用は、最適設計と多孔性物質のモデリングに関するものです。

4. 多体構造と制御可能性

“多体構造”とは、ここでは、宇宙空間やロボット工学で出てくるように、「大きさや次元や物質が多種多様な部品を、接合部によってつなぎあわせた構造」を意味しています。

問題は、このような構造を私たちの思い通りに行動させるためには、また、安定化し、コントロールして調節するためには、いったいどのようにすればよいか、ということです。そしてその方法は、取り扱いやすく、効果的で、しかも少々の外乱によっても乱されないような「強靱な」ものでなければなりません。

このような方向には、新しい問題が生じます。モデリングのための新しい方法として、漸近法という数学の技術が生まれ、また、制御のための新しい方法として、HUM(ヒルバートの一意性の方法)が生まれました。

このことについての数値結果をお目にかけます(これもチームワークによる成果です)。次に挑戦したいのは、非線形の問題です。分枝理論のコントロールを考えることができれば、工業的には重要な意味をもつでしょう。

5. 乱流と気候学

次の3つの条件を満たすような流れを乱流と呼びます。

- (1)初期条件や境界条件のわずかな変化によって、敏感に不確実な流れに変化する。
- (2)混合の度合いが高まる。
- (3)非常に広い範囲の空間的波長を含んでいる。

これらについては、できるだけ専門用語を使わないで説明しましょう。工業の分野では、走行する自動車のまわりの空気の流れ、航空機まわりの流れ、……、また、自然界では、河川の流れ、海洋の流れ、空気流などがあります。

この分野には興味ぶかい問題がいろいろとあります。その1つは、近似的でもよいから乱流をコントロールできるだろうか、というものです。これはまだ解決されていない問題です。

漠然とした予言を許していただくなら、この問題を解く1つのカギは、カオスと乱流との間のある種の“等価性”であり、もう1つは近似的制御可能性とは何か、という問題でしょう。

気候学からは、関連はしているが別の問題が提起されています。たとえば、アトラクターが存在するとしてそれはどんなものでしょうか。緩慢多様体、または慣性多様体とはどんなものでしょうか。10年から100年にわたるような気候の予報については、何を私たちは計算できるのでしょうか。

気候学のもう1つの重要な問題は、大気と海洋、海洋の水と氷といった界面の問題です。この最後の問題は、数学では自由環境値問題と呼ばれていて、変分不等式や疑似変分不等式によって研究されてきました。このような数学的な道具は、ベンサウサン(A. Bensoussan)が別の目的で(統計的制御のために)導入したものです。ここでは、制御不可能性の現象(非可逆的变化がともなうこともある)

も現れています。

6. “歩哨”と環境問題

惑星地球の環境問題と関係するすべての現象については、それが地球規模のものであっても局所的なものであっても、私たちは“何か起っている兆候”を知る必要があります（局所的な研究対象というのは、たとえば湖沼、閉水域、河口といった水のシステムです）。これを把握する新しい道具として、私たちは1988年に“歩哨”と呼ぶ概念を導入しました。

7. 最前線

最後に、現在の課題となっているフロンティア問題を示したいと思います。しかしそれは、たくさんの可能性のうちほんの一部でしかありません。