

環境流体における移流反応拡散現象の 数値モデリングと環境科学への応用

研究代表者 大春慎之助 研究員

多くの移流反応拡散現象は流体内で進行する。流体運動は一般には乱流を伴う複雑現象であり、流体内で存在する物質に対してはより多様な過程が生じそれらが研究対象となる。これらの現象を適正に記述する数学モデルを定式化し、非線形解析における最新の知見を適用してこれらの数学モデルを詳細に解析し、具体的な応用に資することは重要である。この研究で取り扱う数学モデルは一般には高度に非線形であり、非線形解析における新しい考え方と手法を開発・考案することが要求される。

本プロジェクトでは以下の5点の研究課題に焦点を絞り研究を遂行し、所期の結果を得たので報告する。

(1) 様々な力が作用し均質でない多成分混相流体の研究:CFDを改良、適用することによって解の新しい構成法を提案し、多成分流体の構造の時間発展に関する新しい理論を立てた。数値シミュレーションを行い、計算結果の信頼性と精度の検証法を提案すると共に、検証解析結果のデータベースを作成し具体的な数学モデルに適用した。(図1),(図2)

(2) 圧縮性流体における衝撃波や希薄波を含む非線形波の相互作用とダイナミクスを特徴付ける準線形移流拡散系の研究:非線形波の発生、相互作用、減衰、平滑化の過程の物理的考察と共に支配方程式をBV空間において取り扱い、数値計算法、数値実験を行った。

(3) 生態系モデル、細胞分裂モデル、走化性・走光性モデル、骨改造モデル、筋収縮モデル、人口モデルを与える非線形移流拡散系の研究:生命現象の数学モデルによる記述を試み、これらの数学モデルの近似可解性を保証する数学理論と数値計算法の検討を行った。理論の意義と応用可能性を検証するための数値シミュレーションを援用し、現象の時間発展を調べ検討した。(骨改造現象(図4))。

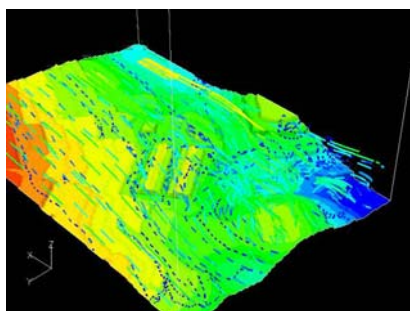


図1

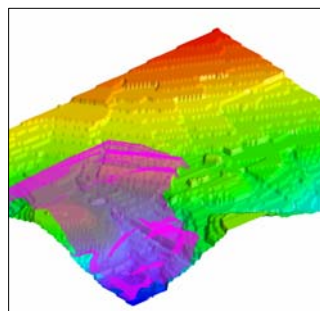


図2

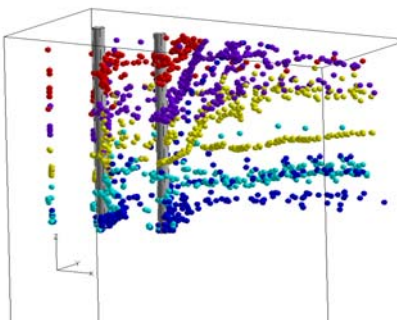


図3

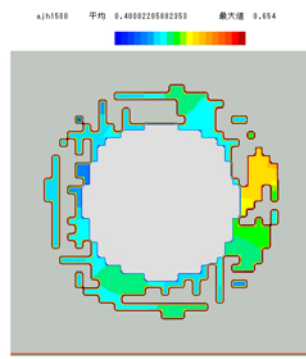


図4

図1は、複雑地形における風の流れ解析を実施し、その計算結果を示したものである。境界条件が複雑であるために、領域分割を行って並列計算を行い、実際の現象の観測データとの比較検証を行った。

図2は、複雑地形を流れる臭気成分を含む多成分流体の流れ解析の数値結果を可視化したものである。

図3は、物体周りの複雑流れの数値シミュレーションの結果を可視化したもので、円柱が下端を持つことが原因であることが分かった。

図4は、環境に現れる現象でよく見られるように、領域内部の物理パラメータの時間変化によって領域界面が時間発展する典型例として海綿骨の骨改造現象がある。その生理学的メカニズムと時間発展を記述する数学モデルを基にし、十分な精度と計算の安定性を検証した上で、数値シミュレーションを実施した。

(4) 有界変動関数の空間における非線形移流拡散現象の研究:様々な境界条件の下で、非線形移流拡散現象を有界変動関数の枠組みで研究した。BV理論の最新の知見を用いて近似解の構成と解の微細構造について検討し、その特異性と挙動について考察した。

(5) 特異性を持つ偏微分方程式の研究:これらの方程式系はPDEの方法では固有の特異性に依存するため取扱いが複雑となる。非線形半群の理論を用いて弱解を構成するために、解の L^∞ 評価に関する新しい解析方法を導入した。特異性を作用素で表現できるように初期値の集合を分類し、弱解の存在および一意性を示す一般理論を立てた。