

## 個別に提起された、研究の現状と課題：

第1日目

13:00-14:30

「超準解析を用いたハイブリッドシステム検証手法」

京都大学情報学研究科 末永 幸平

・コメント

末永はソフトウェアの検証手法として最近発達してきている形式検証手法について講演した。形式検証の概要と形式検証ツールである `infer` のデモを行った後に、形式検証の理論的基盤であるループ不変条件についての解説と、これに関連した末永の最近の研究（次元解析による高速なループ不変条件生成 [1]）についての解説を行った。また、ハイブリッドシステムに形式検証を適用するための無限小プログラミングを用いた手法 [2,3,4] について簡単な解説を行った。

[1] Kensuke Kojima, Minoru Kinoshita, Kohei Suenaga:

Generalized Homogeneous Polynomials for Efficient Template-Based Nonlinear Invariant Synthesis. SAS 2016: 278-299 [2] Kohei Suenaga, Hiroyoshi Sekine, Ichiro Hasuo:

Hyperstream processing systems: nonstandard modeling of continuous-time signals. POPL2013: 417-430 [3] Ichiro Hasuo, Kohei Suenaga:

Exercises in Nonstandard Static Analysis of Hybrid Systems. CAV 2012: 462-478 [4] Kohei Suenaga, Ichiro Hasuo:

Programming with Infinitesimals: A While-Language for Hybrid System Modeling. ICALP (2)2011: 392-403

16:30-18:00

「ファジィ共クラスタリングと協調フィルタリング」

大阪府立大学大学院工学研究科 電気・情報系専攻 本多 克宏

共起関係データ解析手法としては、統計科学やニューロサイエンス、ファジィデータ解析などの分野で、個別・独立に種々のモデルが提案されている。しかし、制約条件モデルの差異により、工学応用課題ごとに適性が異なる。今後は、多分野の知見を俯瞰的に比較・検討し、個々の応用課題に適したモデル改良を実施しうるよう、学際的な研究・活用が求められるだろう。

## 第2日目

13:00-14:30

「圧縮性 Navier-Stokes 方程式の Poiseuille 流の不安定性と分岐進行波解」

九州大学大学院数理学研究院 数理科学部門 隠居良行

圧縮性 Navier-Stokes 方程式の Poiseuille 流の安定性を考察し、Reynolds 数と Mach 数がある程度大きければ時空周期的進行波解が分岐することを示した。現状では分岐時空周期的進行波解の安定性についてはよくわかっておらず、その安定性解析が今後の課題である。

14:50-16:20

「スパコンを用いたオイラー型流体構造連成シミュレーション」

大阪大学大学院基礎工学研究科 機能創成専攻 杉山和靖

本講演では、「京」を始めとするスカラ型スーパーコンピュータ（スパコン）における並列処理の階層性を考慮し、スパコンの演算性能を有効に活用する計算スキーム、アルゴリズムについて説明した。具体的には、連続体レベルでの血流解析を実現するオイラー型流体・構造/膜連成手法、および、非圧縮性媒質の動力学の時間発展を高速に計算する疑似圧縮性法の開発、検証を取り上げた。オイラー型連成法は、全ての物理量を固定された座標系で記述する方法である。解くべき基礎方程式は、既存のラグランジュ型の手法で使われるものと同じであるが、オイラー型の離散化に適した固体の体積率と左コーシー・グリーン変形テンソルの輸送方程式を導出し、それらを固定格子で更新していくことで、構造側の動力学を捉える。オイラー型連成法には、(i) 複雑な形状を持つ多数の分散体を含む流れの計算を容易に実現する、(ii) 超並列計算を容易に実現するという長所がある。ただし、流体・固体の界面をシャープに扱わず、格子スケールで平滑化してしまうため、連成が不正確になりやすいという短所がある。本講演では、オイラー型連成法の妥当性の検証として、理論解や十分に検証された計算結果・実験観測との比較、超弾性体の形状復元性について説明し、格子解像度に対する連成の精度が一次であることを示した。疑似圧縮性法は、定常解や、疑似時間の導入により陰的に非定常解を得る方法として使われる場合があるが、本講演では、陽解法により圧力発展式を解くことで、メモリアクセス頻度を下げ、時間積分の処理を速くする方法を説明した。速度の発散の二乗を場全体で積分した値が最小となるように圧力発展式に含まれる調整パラメータを決めることで、擬似的なマッハ数の上界が解析的にクーラン数に比例する結果を導いた。このことから、最小化の手続きを導入することで、疑似圧縮性が制御可能となることを示した。「京」で実施した流体・構造連成計算の性能を調べ、疑似圧縮性法を用いることで、実効性能、線形拡張性の高い超大規模並列計算が可能となることを示した。

より将来的な展望に関して、薬の選定に役立つ数値解析法の確立を目指す場合、今後の計

算力学的課題として、血栓形成におけるレオロジーの変化、凝固・溶解過程をモデル化し、実装すること、さらには、抗血小板薬、抗凝固薬などの薬効を捉えるため、血流と生化学反応との連成を実現することが挙げられる。

16:30-18:00

「計算バイオメカニクスにおける逆問題事例の紹介と大規模計算によるアプローチ」

大阪大学大学院基礎工学研究科 機能創成専攻 伊井仁志

データ同化力学解析による逆問題解析では、理想的な系における定式化はほぼ確立され、その妥当性に関しても疑似的にノイズや位置に伴う誤差を加えたデータを用いた逆問題解析を通じて精度やロバスト性はある程度保証されている。しかしながら、医用計測や生体现象に由来する誤差を伴う医用計測データを用いた実解析は解析精度の保証や実用面でいまだ発展途上であり、どのような定式化および定量的な指標が必要かなど、数学的観点が今後必須と考えられる。

第3日目

10:00-11:30

「客の待ち時間に制約のある待ち行列モデルの解析」

大阪大学 大学院工学研究科 電気電子情報工学専攻 井上文彰

本講演では、客の到着がポアソン過程に従うという前提の下、客のロス確率に関して成立するいくつかの定性的な結果について理論的な証明を与えた。直観的には、これらと同様の結果はポアソン過程以外の到着過程に関しても広く成立すると期待されるが、現状では、ポアソン過程よりも一般的な到着過程を扱うことは数学的な複雑さから困難である。また、到着の変動やバースト性がロス確率に与える影響に関する考察も、未解決で残されている。

16:30-18:00

「循環器系疾患の患者個別治療にむけた計算力学解析の試み」

大阪大学大学院基礎工学研究科 機能創成専攻 大谷智仁

特に脳血管疾患に対する治療支援を目指した数値解析について、構築した数理モデルおよび大規模計算機を用いての最新の成果について述べた。生体内外における医用画像計測技術の発展に伴い、患者個別の状態を反映した数値解析が可能となり、患者個別の診断・治療を行う予測医学への道が開けつつある展望を示した。一方で最後に、数値解析がアプリケーションとして臨床現場に浸透しつつある中で、基幹原理である物理・数学的背景が軽視されつつある現状に対して問題提起を行った。