

2020年度共同利用研究報告書

2022年04月04日

所属・職名 東京都立大学大学院理学研究科・准教授

横山 俊一

		整理番号	20200015
1.研究計画題目	数式処理研究と産学連携の新たな発展		
2.新規・継続	新規		
3.種別	一般研究		
4.種目	短期共同研究		
5.研究代表者	氏名	横山 俊一	
	所属 部局名	東京都立大学大学院理学研究科	職名 准教授
6.研究実施期間	2022年02月14日(月曜日)～2022年02月17日(木曜日)		
7.キーワード	計算機代数, 多項式環論, 数式処理, パターンマッチ, ユーザインターフェース		
8.参加者人数	39人		

9.本研究で得られた成果の概要

本共同利用においては、数式処理研究に関する最前線の成果を共有することを（講演内容には含めるが）主とはせず、そこにいたるまでのプロセスや困難であった点、解決できた問題とそうでなかった問題、数学的・数式处理的な困難性以外の障壁（予算・人材等）について、多角的視座から講演いただき、参加者全員で研究討議を行った。これにより、当初の目的としていた

- ・数式処理研究における最先端のアルゴリズムの開発とその実装に関する知識共有
- ・数式処理研究におけるニーズ・ユーザビリティ・その他に関する検討

を、参加者のさまざまなバックグラウンドを活かし、バランスよく実行することが出来たと考えている。また、大学院生から数式処理研究のエキスパート（大学研究者および企業研究者）、さらには非専門家まで多彩な参加者が結集し、かつ通常の研究集会よりも大幅に研究討議の時間を設けたことで、あらゆる現場における数式処理研究の継続・提案の難しさと、これらを解決するためのヒントをいくつか発見・共有できたと感じている。とくに今回の共同利用の特徴である、産業界からのニーズ・シーズを明確化し、求められるべき研究の方向性が具体的に示されたことは、本プロジェクトの最大の成果ではないかと考えている。

数式処理研究と産学連携の新たな発展：成果報告書

2022年4月4日作成 研究代表者：横山 俊一（東京都立大学）

1 はじめに

数式処理研究とは、数学をはじめ、理学の諸分野や工学、さらには経済学にいたるまで、広範な研究分野における人力では困難な計算を、計算機を用いて実現するものである。とくに数式処理とよぶ場合は、流体計算のような近似シミュレーションよりも、計算代数や記号処理のような、代数的対象物を扱うことを想定している。近年では純粋数学のみならず、公開鍵暗号などの実社会における基盤技術や、産業界における工学シミュレーションやリスク予測などにも欠かせないものとなっており、数学理論の進展に伴ってコミュニティは拡大の傾向にある。しかしその一方で、日本の数式処理研究においては、産学間の積極的な交流の事例がまだまだ少ない状況にあり、それぞれが独立して研究を進め、ニーズを探するという形式が主流となっている。このような状況を少しでも改善し、産学間のインタラクションを促すきっかけを作りたいという動機が、本共同利用の最たるコンセプトである。

本共同利用に先立ち、2013年夏に同名の共同利用（研究代表者：照井章氏）が開催され、そこでは Wen-Shin Lee 氏（University of Antwerp）と伊藤久弘氏（トヨタ自動車）による招待講演において、欧州における数式処理研究の産学連携事例が紹介された。信号処理や自動車のエンジン制御などの具体的な事例において、どのように知識共有・相互補完が行われているか、またどのように進めていくことが円滑な連携をもたらすのかについて、活発な研究討議が行われた。この共同利用においては、3日間にわたり（主に大学研究者から）最新の研究事例が紹介された。

これを踏まえて、本共同利用ではそのコンセプトを踏襲しつつ、通常の研究集会ではあまり時間を割くことのない「研究における失敗談や困難性」「今後の数式処理研究の理想的なビジョン」「人材育成」などにスポットをあて、日本における数式処理研究の産学連携の理想的な形を参加者間に模索する機会をねらった。まず基調講演として、組織委員より以下の4名の講演を公開プログラムとして実施し、研究討議に30分を確保することで多角的な意見交換の場とした。

- 「KNOPPIX/Math と MathLibre の開発について」 濱田龍義（日本大学）
- 「WebAssembly による数学ソフトウェアの Web アプリ化」 藤本光史（福岡教育大学）
- 「限量子消去」 深作亮也（九州大学）
- 「直感的な数式表現のための言語機能の開発プロセス」 江木聡志（楽天中央研究所）

またこれらの講演に先立ち、企画代表者の横山から、本共同利用の趣旨説明とともに、数式処理研究の現状、とくに人材確保における困難さについて、周辺事例より紹介を行った。

当日はのべ 40 名弱の参加者（うち 8 割はオンライン参加）があり、研究討議においても多種多様なバックグラウンドをもった参加者と活発な意見交換ができた。本共同利用を足がかりとして、より積極的な連携プロジェクトへと繋げていければと考えている。

以下、講演者からの報告を掲載する。

2 「KNOPPIX/Math と MathLibre の開発について」 濱田龍義（日本大学）

KNOPPIX/Math 及びその後継プロジェクトである MathLibre は数学ソフトウェアを Live Linux に収録して配布するプロジェクトである。Live Linux とは CD/DVD などの光学メディアから起動できるタイプの Linux のことである。DVD から起動すればインストールを行わずに数式処理や文書作成のためのツールを備えた基本的な数学ソフトウェア環境が得られる。最近では光学ドライブが利用されなくなったこともあり、仮想マシンや USB メモリーからの起動を考慮されて開発されている。Live Linux の中で最も有名なものがドイツの Klaus Knopper 氏によって開発されている KNOPPIX である。

KNOPPIX/Math は KNOPPIX を原型に開発し、2003 年 2 月に金沢大学で行われた OpenXM committers meeting で最初に公開された。その後、日本数学会年会等で毎年配布され、2012 年 3 月に開発手法の変更を目指して MathLibre と改名し、MathLibre 2013 からは Debian GNU/Linux を原型に開発が進められている。

現在、世界中で研究支援を目的として様々な数学ソフトウェアが開発されており、データベース swMATH には 40000 件近くの数学ソフトウェアが登録されている。商用の数式処理システムだけではなく、数学者によって開発された専門的な数学ソフトウェアがオープンソースライセンスで公開されている。日本国内でも富士通研究所で開発された Risa/Asir が知られており、神戸大学を中心としたグループによって継続的に開発が進められている。数学ソフトウェアを手軽に利用できるような環境を提供するために開発されたのが KNOPPIX/Math であり、その後継である MathLibre である。

最初は研究者を主な利用対象者として開発を始めたが、その後、学部、大学院の数学教育においても利用されている。例えば GeoGebra という動的数学ソフトウェアは中学校高校レベルの数学を想定して開発されていたが、現在では大学初年級レベルの微分積分や線形代数、函数論、ベクトル解析、統計学、初等的な微分幾何学などの教育にも利用されている。客員教員を務める大阪市立大学では、特別授業として毎年 MathLibre と GeoGebra の紹介を行っている。

MathLibre の開発には Debian Live と呼ばれるプロジェクトを活用している。姫路獨協大学の野方純、信州大学の松本成司の協力を得て、GitHub 上に MathLibre 開発用の設定ファイルを公開している。

数学ソフトウェアの開発にあたっては継続性が重要である。主要開発者の環境の変化によって開発が停止したプロジェクトは数多く存在する。また、他の研究結果を再検証するためには、過去に開発された数学ソフトウェアの利用が必要となる場合もあり、依存ライブラリの更新や保守が停止していた場合にどうするかという問題がある。KNOPPIX/Math や MathLibre は数学ソフトウェア環境のアーカイブとしても機能し、この問題に対する一つの解答を示している。

現在、MathLibre については amd64 系 CPU を中心に開発を進めているが、Apple 社のコンピュータに採用されている arm64 系 CPU についても検討を進めている。UTM と呼ばれる仮想マシンを利用して arm64 版 Linux を利用できることが既に確認されている。

講演では、福岡教育大の藤本光史から Windows の WSL2 用の MathLibre の提案があった。収録されているソフトウェアの取捨選択は必要と思われるが、非常に興味深い提案であると思われる。

3 「WebAssembly による数学ソフトウェアの Web アプリ化」藤本光史（福岡教育大学）

最近の Web 技術の発展はめざましく、多くのアプリが Web ベースで開発されている。これは Web ブラウザに搭載されている JavaScript エンジンの性能向上により、Web アプリの実行速度が実用に耐えうるものになったことが大きい。そして、バイナリフォーマットを用いた WebAssembly の登場により Web アプリのパフォーマンスは飛躍的に向上した。実際、将棋 AI のような巨大な CPU パワーを必要とするものまでが WebAssembly を使って Web アプリ化されている。

WebAssembly は直接記述することも可能であるが、C/C++ または Rust などのプログラミング言語でコードを作成して変換するのが一般的である。これは C や C++ で開発された既存の数学ソフトウェアを Web アプリ化できることを意味する。講演では、C/C++ コードを WebAssembly バイナリに変換するコンパイラである Emscripten を用いて、簡単な C 言語プログラム（ユークリッドの互除法を用いて GCD を求めるコマンドラインアプリ）を Web アプリ化する方法を解説した。以下はその主なステップである。

1. C 言語のプログラムを用意する。
2. JavaScript 側から利用する C の関数名を控えて、Emscripten を用いてコンパイルする。
3. C 関数とのデータの受け渡しを JavaScript で、入出力部の GUI を HTML で記述する。
4. Web ブラウザに HTML ファイルをロードして動作を確認する。

数学ソフトウェアは既存ライブラリやツールを利用して開発されることが多い。その例として、多倍長整数計算ライブラリの GMP と構文解析ツールの yacc を利用した多項式電卓の実装方法について解説した。これは C 言語を用いたコマンドラインアプリで、桁数が大きい整数や有理数の処理に GMP を使い、入力した数式のパーサーに yacc を使っている。この多項式電卓も上と同様

に Web アプリ化できる。ただし、現在の WebAssembly は動的リンクに未対応のため、GMP は静的リンクで用いる必要がある。また、Web アプリ化することにより数式のグラフィカル表示も容易になる。数式表示のための JavaScript ライブラリである MathJax を入出力部の HTML に組み込み、多項式電卓の計算結果をグラフィカルに表示する方法を解説した。

以上のように、計算エンジンは C/C++、GUI は HTML と分離して作成することにより、既存の数学ソフトウェアのうち C/C++ で開発されたものを比較的容易に Web アプリ化できることを示した。Web アプリ化することにより他の JavaScript ライブラリの利用も可能になる。また、React のような他の Web 技術と連携して高度で柔軟なユーザーインターフェースの追加も期待できる。

以下に質疑応答における詳細を述べる。

- **数学ソフトウェアを Web アプリ化する目的は何か？**

学術論文内で使用された自作数学ソフトウェアは公開されない場合が多い。論文の著者が Web アプリ化して公開してくれたら、論文内容の査読やチェックが容易になる。そのために使ってもらえたらと思う。

- **C や C++ で開発されている数学ソフトウェアは多いのか？**

C や C++ を使った数学ソフトウェアは多い。数式処理システムの Risa/Asir や Magma も C 言語で開発されている。

- **WebAssembly で Web アプリ化したソフトウェアのデバッグはどのようにするのか？**

Web ブラウザに搭載されている「開発ツール」の「コンソール」上で様々なメッセージを見ることができる。C 言語の `printf()` 関数や JavaScript の `console.log()` コマンドの結果はこのコンソールに表示されるので、これを見てデバッグすることが多い。

- **WebAssembly を利用した Web アプリの例として将棋 AI や WebVM の紹介があったが、数学ソフトウェアで WebAssembly を利用したものはあるのか？**

数学ソフトウェアとしては GeoGebra が最も WebAssembly 化が進んでいるようだ。

- **Risa/Asir の iOS/Android 実装も担当されているが、WebAssembly による Web アプリ化の予定はあるのか？**

現在の WebAssembly にはガベージコレクションの機能がなく、ライブラリの動的リンクにも未対応なので今すぐには不可能であるが、将来的には対応するつもりである。ソースコードは全てのプラットフォームで共通にして Emscripten でビルドするだけで Web アプリ化できるのが理想である。

参考文献

- [1] ox-book-a, <https://github.com/openxm-org/ox-book-a>
- [2] 藤本光史, How to embed GeoGebra into Web, 統計数理研究所共同研究レポート 452, 動的幾何学ソフトウェア GeoGebra の整備と普及 (7), (2022) 11-29.

4 「限量子消去」 深作亮也（九州大学）

本発表では計算代数手法の一つである限量子消去を紹介した。発表の中ではアルゴリズムや利用可能な実装を紹介するとともに、国立情報学研究所が主導していたプロジェクト「ロボットは東大に入れるか」で数学の入試問題が限量子消去も用いられて解かれていたことを紹介した。

限量子消去は与えられた一階述語論理式と等価な限量子なしの論理式を計算する。一階述語論理式は様々な数理学の問題を正確に記述できる能力を持っていて、限量子消去はその問題が受けるパラメータ制約を正確に描写できる「実数領域における万能な手法」とも言える。正確に描写するためには代数計算が必要となるが、一般に膨大な計算資源が要求されやすい。本発表では等式制約が多い一階述語論理式に対して、そうした課題を、少しでも緩和させるために「包括的グレブナー基底系」を利用した限量子消去アルゴリズムを改良させた経験を紹介した。

現在の実装は計算代数システム Maple の上に組み込まれているが、質疑応答の中では福岡教育大学の藤本教授より「データ構造の定義などから実装すること」を助言された。かつて、計算代数システム Risa/Asir のグレブナー基底計算はデータ構造を書き換えたことで更なる効率化を果たした。包括的グレブナー基底系による限量子消去に現れる変数は同列ではなく、パラメータと主変数に分かれる。Risa/Asir のグレブナー基底計算のように、包括的グレブナー基底系のためのデータ構造を定義することで更なる効率化が期待されるのではないかという趣旨の助言である。現在はその助言を受けた実装の再構築に取り組んでおり、近いうちに公開することを目指している。

参考：プロジェクト「ロボットは東大に入れるか」<https://21robot.org/>

5 「直感的な数式表現のための言語機能の開発プロセス」 江木聡志 （楽天中央研究所）

プログラミング言語 Egison の紹介

江木が自身が中心となり開発を進めているプログラミング言語 Egison の紹介から始めた。Egison は、直感的にプログラムとして表現できるアルゴリズムの範囲を広げたいという動機のもとに作られたプログラミング言語であり、この動機のもとに発明された2つの新しい機能をもつ。

1つ目の機能は、非自由データ型のパターンマッチである。非自由データ型とは、集合やグラフ、数式のように1つの定まった標準形をもたないデータ型のことをいう。Egison は、これらの非自由データ型に対するパターンマッチの方法をユーザが定義し、使うことができる。

2つ目の機能は、微分幾何の計算を表現するために使われる数学記法であるテンソルの添字記法のプログラミングへの導入である。添字記法を使った数式の記述と添字記法をサポートするテンソル演算子の定義の両方を同時に簡潔にする手法により、添字記法が実装されている。

2020 年以降に実装した新機能の紹介

次に最近実装した新機能を紹介します。

テンソルの対称性の宣言

リーマン曲率テンソルは三つの対称性 $R_{abcd} = -R_{abdc}$, $R_{abcd} = -R_{bacd}$, $R_{abcd} = R_{cdab}$ をもつ。テンソルの定義と同時にこれらを同時に宣言する構文を開発したことを紹介した。この構文を使って Egison ではリーマン曲率テンソルは下記のように定義できる。

```
def R{[_a_b][_c_d]} := withSymbols [i, j]
  g_a_i . (∂/∂ Γ~i_b_d x~c - ∂/∂ Γ~i_b_c x~d +
    Γ~j_b_d . Γ~i_j_c - Γ~j_b_c . Γ~i_j_d)
```

右辺にリーマン曲率テンソルを定義する複雑な式があるが、本稿では無視していただいて問題ない。左辺だけに注目する。添字が角括弧と波括弧で囲まれている。角括弧で囲まれた添字には歪対称性が、波括弧で囲まれた添字には対称性が宣言される。

添字付きテンソル演算子の定義

シンボリックな添字の複雑な操作が必要なテンソル演算子の定義を可能にする仕組みを開発した。このようなテンソル演算子には例えば共変微分がある。テンソル T に左辺と右辺で違う添字が付加されている。

$$\begin{aligned} \nabla_c T^{a_1 \dots a_r}_{b_1 \dots b_k} &= \frac{\partial}{\partial x^c} T^{a_1 \dots a_r}_{b_1 \dots b_k} \\ &+ \Gamma^{a_1}_{dc} T^{da_2 \dots a_r}_{b_1 \dots b_k} + \dots + \Gamma^{a_r}_{dc} T^{a_1 \dots a_{r-1} d}_{b_1 \dots b_k} \\ &- \Gamma^d_{a_1 c} T^{a_1 \dots a_r}_{db_2 \dots b_k} - \dots - \Gamma^d_{b_k c} T^{a_1 \dots a_r}_{b_1 \dots b_{k-1} d} \end{aligned}$$

このような演算子の定義を可能にするためには、テンソルの添字のパターンマッチを可能にすればよい。

```
1 def ∇_c T~(a_1)...~(a_r)_(b_1)..._(b_k) :=
2   ∂/∂ T~(a_1)...~(a_r)_(b_1)..._(b_k) x~c
3   + sum (map (\i -> Γ~(a_i)_d_c .
4             T~(a_1)...~(a_(i-1))~d~(a_(i+1))...~(a_r)_(b_1)..._(b_k))
5         [1..r])
6   - sum (map (\i -> Γ~d_(b_i)_c .
7             T~(a_1)...~(a_r)_(b_1)..._(b_(i-1))_d_(b_(i+1))..._(b_k))
8         [1..k])
```

新しい言語機能の開発プロセス

新しい言語機能の開発するコツとして、(1) できるだけ色々な種類のアルゴリズムや数式をプログラムに落とそうと試みることに (2) 新しい構文を開発する時には、プログラムに落としたい意味

を構文木に効率的に埋め込むことを意識することを紹介した。

質疑応答

教育利用の促進

さまざまな数学の概念をライブラリ関数としてブラックボックス化せずにユーザが自身で簡潔に定義できる Egison は教育目的に使えるのではないかというフィードバックを藤本先生からいただいた。

企業の研究者として大学との共同研究に期待するもの

企業の研究者を代表しての返答は難しかったのだが、プログラミング言語の研究者としては、研究の新しいアイデアにつながる有益な議論や、教育の場としての大学を活かして Egison の普及に協力していただけるとありがたいという返答をした。

6 非公開パートについて (2/16,17) の概要報告

後半2日の非公開パートにおいては、組織委員に限って討議が行われた。扱われた内容および進展状況について、簡潔に述べる。

【藤本氏からの話題提供】 KNOPPIX/Math と MathLibre の開発について

- **BYOD パソコン向けに MathLibre のディストリビューションが WSL2 用であればよいのでは？**
 - 九州大学の事例から：
 - TeX や数学ソフトウェアのインストールは授業では教えない
 - Mathematica を使う授業では使う時にインストールさせている
 - 学生アルバイトを雇って支援している
 - 東京理科大学の事例から：
 - 1 年次で必要なソフトウェアを一斉インストール
 - C/Java/TeX/Mathematica については授業でインストール
 - Docker などの方向もあるが CUI 中心となりそう
 - Windows11 から利用可能な WSLg だと GUI も使えるのでよいのでは？
- **数学ソフトウェアの Web アプリ化**
 - Mathematica も Web からアクセスできる WolframMathematicaOnline がある
 - Python プログラミングも GoogleColab で、LaTeX も CloudLaTeX で可能
 - 今後もこのような流れになりそう
 - 普通のデスクトップアプリだとインストールが面倒なので
 - ただし、セキュリティの問題には注意が必要と思われる (非公開のドキュメントが Web

- アプリを通じてアクセスできてしまったりしてはいけない)
- 数学ソフトウェアで Web アプリ化されているものとしては、GeoGebra が最も認識されている
 - React のような GUI のフレームワークも今後活用されそう
 - ただし、React のような最新のものはアップデートにより仕様が変わることがあり、メンテナンスが大変
 - 研究者も論文で用いた自作ソフトウェアを Web アプリ化して公開すれば、査読者がチェックする際にも有用ではないか
 - Egison も Web インターフェースができています：<https://www.egison.org/try.html>
 - Web アプリは学習には最適かもしれない

【深作氏からの話題提供】

- 池松さんが包括的グレブナーに興味があり、実装があつたら使いたいと考えている
- オフィシャルなものはない (Singular/Asir → 鍋島さん, Maple → 深作さん)
- Comprehensive のデータ構造も検討してみても
- 組み込み関数化することで実行速度を速くできる可能性があるか
- 有限体であれば、係数膨張が避けられそうなので、うまく実装できそう

【江木さんからの話題提供】

- Egison による置換群の実装について
- 上記の pdf をベースに Egison で置換群の計算法を解説
- Egison のプログラミングスタイルが変更されている件についても説明

7 おわりに：共同利用所感

最後に、組織委員の一部より寄せられた、今回の共同利用に関する所感を紹介する。

7.1 溝口 佳寛 (九州大学)

数式処理は数学の証明の自動化と捉えています。数学は「数」と「形」と「動き」の学問と言われています。ここでの数式は代数的な「数」のための式のみではなく、論理を表す演算子も含まれます。そして、「形」を表すベクトルやテンソルや同値関係、「動き」を表す微積分演算子などを含みます。さらには、計算機ソフトウェアとしての側面、人とのインターフェースのためのグラフィックス表示を使った可視化、可用性のためのパッケージ化、Web 化、プログラム言語としての機能拡張の講演もありました。これらの総合体として、数学のための数式処理だけではなく、産業界での課題解決のための論理と計算と表現の自動化のための総合的な議論ができたことに感謝します。数式処理技術が発展することは、産業界における課題解決におけるプログラミングにおいて、数学

理論を直接活用することが可能になります。私たち ([1]) は、数学、数式処理、そして、関数型プログラミングを活用したによる課題解決方法を「数理ベースプログラミング」と称してさまざまな産業界における課題解決に役立つプログラミング手法の教育を行いたいと考えています。

[1] 檜貝, 溝口, 深作, 計算材料科学の課題への数学・数理科学からのアプローチ:数理ベースプログラミング, 分子シミュレーション学会誌”アンサンブル”, Vol.23-4, pp.242-248, 2021.

7.2 池松 泰彦 (九州大学)

今回のワークショップに参加して、さまざまな数式処理システムに触れることができた。WebAssembly による Web アプリ化は、例えば、新たに提案した暗号などの簡易版を自分の HP 上でいち早く体感してもらったり、初学者が暗号を体験してもらう際に適していると感じた。また限量子消去の基本も知れて非常にためになった。

7.3 横山 俊一 (東京都立大学)

通常の研究集会等ではあまり時間を確保できない、講演間の研究討議の時間を長く設けることで、参加者間における多角的な意見交換と最新事情の共有ができたことは大変大きな財産となりました。また、個人としては初のハイブリッド開催形式でしたが、オンライン接続機器が極めて高性能であったお陰で、スムーズに共同利用を進めていくことができました。補助にあたっていただいた学生さんをはじめ、担当いただきました事務スタッフの方々にも多々お世話になり、心より感謝いたしております。

以上



数式処理研究と産学連携の新たな発展

Developments in computer algebra research and collaboration with industry

日時： 2022年2月14日（月） 13：00～16：30

2月15日（火） 13：00～15：50

場所： ハイブリッド（九州大学 伊都キャンパス ウエスト1号館 C棟 5階
中講義室 (W1-C-512) & Zoom)

研究代表者：横山 俊一（東京都立大学大学院理学研究科・准教授）

※プログラムは都合により変更になる場合がありますので予めご了承ください。
最新情報はホームページをご覧ください。

2月14日（月）

13:00-13:30

本共同利用の趣旨説明と数式処理研究の現状

横山 俊一（東京都立大学）

13:40-14:30

KNOPPIX/Math と MathLibre の開発について

濱田 龍義（日本大学）

講演概要：KNOPPIX/Math, MathLibre は Live Linux 上に構築された数学ソフトウェア環境である。誰でも手軽に利用することができる数学ソフトウェア環境を目指しており、様々な分野の研究者と協力して収録するソフトウェアの調査、選択、対応、文書の作成を行っている。本講演では開発を進める上で生じる様々な問題点と、その対応についても紹介する予定である。

14:30-15:00 自由討議

15:10-16:00

WebAssembly による数学ソフトウェアの Web アプリ化

藤本 光史（福岡教育大学）

講演概要：最近 Web 技術の発展はめざましく、多くのアプリが Web ベースで開発されている。一方、数学ソフトウェアには C や C++ で開発されたものが多く、それらを Web アプリ化するという需要が生まれている。講演では、WebAssembly を用いて(C や C++ で開発された)既存の数学ソフトウェアを Web アプリ化する手法について解説する。また、WebAssembly の現状と課題についても言及する。

16:00-16:30 自由討議

2月15日 (火)

13:00-13:50

限量子消去

深作 亮也 (九州大学)

講演概要：限量子消去は一階述語論理式を入力として、その入力と実数領域上で等価な限量子なしの論理式を出力する。出力される論理式は等式制約と不等式制約で構成され、入力として与えられた一階述語論理式が満たすべき条件を正確に描写してくれる。そして、様々な数理科学の問題が一階述語論理式によって表現可能なため、限量子消去法は実数領域上の万能手法の一つである。本講演では限量子消去の実装・応用上での利点・欠点を紹介したい。また、限量子消去を実現するアルゴリズムのいくつかを紹介するとともに、限量子消去法の応用例なども紹介したい。とくに各アルゴリズムの持つ利点・欠点などの特徴を紹介しながら、各々に対する有用な応用例なども紹介したいと考えている。

13:50-14:20 自由討議

14:30-15:20

直感的な数式表現のための言語機能の開発プロセス

江木 聡志 (楽天技術研究所)

講演概要：紙の上で数式を使って計算した内容をプログラムとして記述すると、元の数式の記述よりも複雑になることがある。その理由は、数式を解釈するときに多くの人が当たり前に行っている情報の補完を、コンピュータ上で簡単に定義する方法を見つけるのが難しいことがあるためである。より直感的な表現を可能にする新しい言語機能は、ときには無意識のうちに行われているこれらの情報の補完を分析・整理し、コンピュータ上でエレガントに定義することにより開発される。私が中心となり開発を進めている数式処理システムEgisonにはテンソル計算を簡潔に表現するための言語機能がいくつか実装されている。具体的には、添字記法をサポートするテンソル演算子の定義、添字記法を使ったテンソルとテンソル演算子の定義、テンソルの対称性の宣言をするための言語機能が実装されている。本講演は、これらのEgisonの事例を挙げながら、より直感的な表現を可能にするための言語機能の開発プロセスについて論じる。

15:20-15:50 自由討議

※研究実施期間：2022年2月14日(月)～2月17日(木)

※公開日：2022年2月14日(月)、2月15日(火)