

平成 21 年度 情報工学コース卒業研究報告要旨

酒井 研究室	氏 名	谷村直樹
卒業研究題目	単純型付き項上の逆辞書式経路順序	

単純型付き項書換え系 (Simply-Typed Term Rewriting System; STRS) とは, 単純型付き項の書換えの繰り返しによって計算を表現する計算モデルの一つである. STRS は関数型プログラミング言語の計算モデルや定理自動証明などに利用されている. STRS の重要な研究分野の一つに停止性証明の研究がある. STRS が停止性を持つとは, その STRS には無限の書換え系列が存在しないことを意味する. これは計算がその過程によらず必ず停止して値を返すという意味であり, プログラムが暴走しないことを保証している. 代表的な STRS の停止性証明法として, 依存対法が提案されている.

依存対法分野では 2007 年に草刈らにより, 強計算性という概念を用いた静的依存対法という強力な停止性証明法が STRS 上に提案された. この手法は強計算性が部分項に閉じていないために発生する問題により任意の STRS に適用できない. そこで 2009 年に草刈と酒井は, 強計算性を持つと保障できる部分項をより多く確保するため, 剥離型と剥離順序という概念を提案し, これを用いて定義される安全な関数渡し (Safe Function-Passing) の概念により静的依存対法をより広いクラスに適用可能とした.

また依存対法の中で簡約化順序という順序が用いられている. 一階の項書換え系の簡約化順序として, 1982 年に Dershowitz により辞書式経路順序 (Lexicographic Path Ordering; LPO) が提案された. これを Jouannaud らが強計算性の概念を用いて高階項書換え系上に拡張し, さらに草刈が STRS 上に移植し, 2009 年に鈴木が剥離順序と剥離型の概念を組み込み拡張した.

本研究ではこの拡張された LPO の定義を変更し逆辞書式に順序を付けることで, 適用可能なクラスを変えた逆辞書式経路順序 (Reverse Lexicographic Path Ordering; RLPO) を提案する. 既存の定義では順序付けられなかった項でも順序付けられる例を示し, RLPO が LPO と適用クラスが異なっていることを示す. 定理自動証明などに応用する際には LPO と RLPO とを切り替えて用いることで以前よりも拡張したクラスでの証明が可能となる. また多くの高階関数は引数の末尾で再帰がかかるため, 逆辞書式に順序をつけた RLPO は, 実用的にはより有用なものになっている.

提案する RLPO が簡約化順序になっていることの証明も与える. ここで簡約化順序とは文脈と代入に閉じた整礎な関係のことである. 文脈と代入に閉じていることは比較的容易に RLPO の定義から直接証明できる. しかし整礎性については証明が非常に困難である. これは剥離型と剥離順序の概念が強計算性に組み込まれたことで, その定義が複雑になったためと, その効力を高めるために型関数 τ の 2 種類の近似を使い分けているためである. 強計算性の議論をする際には, 比較する 2 つの項の型が何らかの形で一致しなければならない. そこで従来の研究では LPO を強力にするため, より多くの項が一致するように型関数 τ の近似として全ての非関数型を同一視する τ_* を導入していた. しかし τ_* では剥離型の情報も欠落してしまう. そこで鈴木は LPO では τ_* の近似としてさらに剥離型の情報を損なわない τ' が導入された. 本研究でもこの τ_* と τ' を巧妙に使い分けることにより剥離型の情報を残している. しかしこの複雑さのため, 整礎性を示すのに重要な「強計算性を持つ項は強正規性を持つ」などのいくつかの基本的な性質の証明が難しくなっている. そこで鈴木は証明を基に複数の補題を用いることにより整礎性を証明する. さらに RLPO の定義は鈴木は LPO の定義を変更し逆辞書式に順序を付けるとともに, 定義の整理も行っている.