

機関番号：14301

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2008 年度～2010 年度

課題番号：20700012

研究課題名（和文） 属性文法の新しい圏論的基礎

研究課題名（英文） A New Categorical Foundation of Attribute Grammar

研究代表者

勝股 審也 (KATSUMATA SHINYA)

京都大学・数理解析研究所・助教

研究者番号:30378963

研究成果の概要（和文）：属性文法とは木に対して双方向に情報が流れる計算を割り当てる機構である。本研究では循環的計算の圏論的モデルであるトレース付きモノイダル圏の上で属性文法の新しい定式化を与えた。この定式化は Chirica と Martin による領域理論上の属性文法と、Courcelle と Deransart による関係的属性文法をインスタンスに持ち、既存の属性文法の理論と良く合致している。また、この定式化の元で構文的属性文法の合成手法である *descriptive composition* の一般化を与えた。

研究成果の概要（英文）：Attribute grammars are a mechanism to assign a computation with bidirectional information flow to a tree. In this research, we give a new formulation of attribute grammars in traced symmetric monoidal categories, which provide a general model of cyclic computation. We show that our formulation subsumes the domain-theoretic attribute grammar by Chirica and Martin and the relational attribute grammar by Courcelle and Deransart. We also give a generalization of the *descriptive composition* by Ganzinger and Giegerich, which is a method for composing two syntactic attribute grammars, upon the categorical formulation of attribute grammars.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008 年度	900,000	270,000	1,170,000
2009 年度	500,000	150,000	650,000
2010 年度	500,000	150,000	650,000
年度			
年度			
総計	1,900,000	570,000	2,470,000

研究分野：情報学基礎

科研費の分科・細目：情報学・情報学基礎

キーワード：プログラム変換、圏論、属性文法

1. 研究開始当初の背景

属性文法は木に沿って双方向に情報が流れる計算を割り当てる機構であり(図 1 左)、文脈自由文法に対して意味を与えるための数学的な枠組みとして 1968 年に Knuth によって提案された。計算機科学の黎明期であった当時、属性文法は高級言語のコンパイラ開発

の理論として盛んに研究された。その後、木構造に関して再帰的な計算を行う関数型プログラムの表現として属性文法を見る見方が現われた。特に、属性文法によって記述されたコンパイラのフェーズを合成する手法である Ganzinger と Giegerich の *descriptive composition* は、関数型プログラミングにおける累積変数付き関数の融

合変換の研究に大きく影響を与えた。木構造に関する処理を柔軟に表現できる属性文法は、タグ付けられた木構造データである XML の処理にも応用されている。

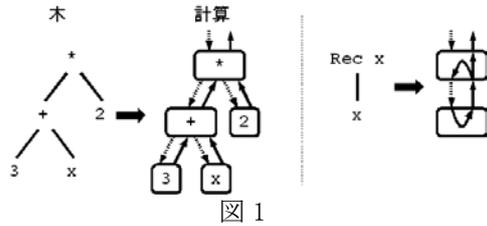


図 1

属性文法を数学的に定式化の際、木に対して図 1 右のような循環的な計算を割り当てる属性文法(循環的属性文法と呼ぶことにする)をどのように扱うかが問題となる。当初そのような属性文法は無意味なものとして考察の対象から外されていた。しかし、循環的な計算に関する理論である領域理論の発展により循環的属性文法の数学的な扱いが可能になり、データフロー方程式の構成に用いられるようになった。

循環的な計算に関する理論は領域理論に加え Elgot の iterative theories, Bloom と Esik の iteration theories, Stefanescu の network algebra などがある。一方、こうした理論とは別に Joyal, Street と Verity は 1995 年、絡み目の不変量を扱う圏論的枠組みとしてトレース付きモノイダル圏の概念を提案した。トレースは、直感的には組み紐の端点を閉じて輪を作る操作を代数的に定式化したものである。一見循環的な計算とは無縁に見えるこの操作が、後に領域理論の不動点演算子の一般化となっている事が分かり、トレース付きモノイダル圏は循環的な計算のための圏論的枠組みとして認識されるようになった。また、Joyal, Street と Verity はトレース付きモノイダル圏に対して Int 構成と呼ばれる圏の構成法を与えた。おおざっぱに言うと、Int 構成はトレース(=循環的な計算)を用いて双方向の情報流がある計算の世界を構成する方法である。

属性文法の双方向性は循環的な計算という問題を引き起こしたが、この問題に対し Int 構成は「循環的な計算が可能ならば、双方向の情報流がある計算の世界を実現できる」という答えを用意しているのである。この事から、研究代表者は一般のトレース付きモノイダル圏において属性文法が展開できるのではないかと考えた。

2. 研究の目的

本研究の目的は圏論に基づく新しい属性文法の理論を構築することである。属性文法は

ボトムアップ的な計算とトップダウン的な計算の両方を同時に扱える柔軟さを持つ一方、この双方向性は循環的な計算を割り当てる潜在的な原因ともなり、この現象の扱いが属性文法の数学的定式化における一つのポイントであった。古典的には循環的な計算は領域理論の最小不動点により解釈されていたが、近年圏論において循環の概念を抽象的に定式化する枠組みが目覚ましい発展を遂げており、これを応用することで領域理論以外の数学的構造においても属性文法を展開できることが期待できる。この洞察に基づき、属性文法の圏論を用いた定式化を与え、過去の様々な属性文法を分析、整理し、さらに新しい数学的構造を用いた属性文法とその応用を探究することを目的とする。

3. 研究の方法

- (1) 以上で述べた背景と発想に基づき、属性文法をトレース付きモノイダル圏において定式化する。この定式化を以下圏論的属性文法と呼ぶ。既存の属性文法がどのようなトレース付きモノイダル圏における圏論的属性文法であるのかを調査し、様々な属性文法をシステマティックに分析、比較する。
- (2) 従来構文的な操作として与えられてた *descriptive composition* の理論を圏論的属性文法によって定式化し分析する。

4. 研究成果

- (1) Joyal, Street, Verity らの与えた Int 構成を、双方向の情報流がある計算の世界(=圏)を構成する手法として使い、属性文法を Int 構成によって得られた圏上の多ソート代数として定式化した(論文①)。次に、上で得た圏論的定式化と、過去に考察された属性文法: A) Chirica と Martin の K-system, B) Courcelle と Deransart の relational attribute grammar、そして C) 古典的な属性文法で情報の循環性を調べるツールである局所依存グラフとを比較した結果、A-C が圏論的定式化のインスタンスである事が分かり、我々が得た定式化の妥当性の裏づけを得た。また、2008 年に連携研究者の長谷川が示した、トレース付きモノイダル閉圏はコンパクト閉圏の coreflective subcategory となるという結果を用いると、全ての属性文法は高階のデータを用いて単方向の計算に帰着できるという Chirica と Martin らの主張を、圏論的に説明できる事を示した。

- (2) Int 構成がトレース付きモノイダル圏、トレースを保つ強対称モノイダル関手、モノイダル自然変換のなす 2-圏 TraMon から、リボン圏、バランスのとれた強モノイダル関手、モノイダル自然変換のなす 2-圏 TortMon への双左随伴であるという Joyal らの主張に誤りがある事を指摘し、その訂正案として、TraMon の 2-セルをモノイダル自然同型に制限する事を提案した(論文②; 連携研究者、長谷川真人氏との共同研究)。
- (3) Int 構成が semibiproduct と呼ばれる、biproduct よりも弱い構造を保つことを示した(研究協力者、星野直彦氏との共同研究)。この事実を応用して、Haghverdi らが提唱している圏論的な相互作用の幾何を加法的結合子のある線形論理 (multiplicative additive linear logic) に対して拡張した(論文③)。
- (4) Ganzinger と Giegerich は、線形性を満たす構文的な属性文法を合成する手法として *descriptive composition* を導入した。本研究では圏論の理論-モデル対応を用いて、線形性を満たす構文的な属性文法を、自由生成されたトレース付きモノイダル圏からのトレースを保つ関手として定式化し、関手の合成が *descriptive composition* に対応することを示した(論文④)。これにより、複雑な構文的操作によって与えられていた *descriptive composition* を簡潔で理論的に扱いやすい形に整理した。
- (5) Ganzinger と Giegerich らの *descriptive composition* はその後、(線形性よりも弱い条件である)アフィン性を満たす構文的属性文法や、スタックを属性の計算に利用できる構文的属性文法を合成できるように拡張された。本研究ではこれらを説明できるように(4)で構築した定式化を拡張した(論文④)。このゴールを達成するのに重要なのは、拡張された構文的属性文法の合成が依拠している原理を見抜くことにある。研究代表者はその原理が「双方向化可能な構造で拡張された構文的属性文法は合成が可能」という仮説を立て、この仮説を「トレース付きモノイダル圏に付加された構造が Int 構成で保たれる」と定式化した。これにより、上述の *descriptive composition* の拡張を統一的に扱うことが可能となった。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 4 件)

- ① Shin-ya Katsumata. Categorical Descriptive Composition. In Proc. APLAS 2010, LNCS 6461, pp.222-238, Springer 2010. (査読有り)
- ② Masahito Hasegawa and Shin-ya Katsumata. A note on the biadjunction between 2-categories of traced monoidal categories and tortile monoidal categories. In Mathematical Proceedings of Cambridge Philosophical Society, volume 148, pp. 107--109. 2010. (査読有り)
- ③ Naohiko Hoshino and Shin-ya Katsumata. Int Construction and Semibiproducts. RIMS preprint 1676, Kyoto University. 2009. (査読無し)
- ④ Shin-ya Katsumata. Attribute Grammars and Categorical Semantics. In Proc. ICALP 2008, Part II, LNCS 5126, pp. 271-282. Springer 2008. (査読有り)

[学会発表] (計 6 件)

- ① Shin-ya Katsumata, Categorical Descriptive Composition. APLAS 2010, Hengshan Hotel, Shanghai, 30th Nov, 2010.
- ② Shin-ya Katsumata, Attribute Grammars and Categorical Semantics. Workshop on Geometry of Interaction, Traced Monoidal Categories and Implicit Complexity, Kyoto seminar house, 25th Aug, 2009.
- ③ Shin-ya Katsumata, A note on the biadjunction between 2-categories of traced monoidal categories and tortile monoidal categories. Workshop on Computer Science and Category Theory, Chiba university, 16th Mar, 2009.
- ④ Shin-ya Katsumata, Attribute Grammars and Categorical Semantics. Workshop on Mathematics for Pressing Problems in Computer Science, RIMS, Kyoto university, 1st Jul, 2008.
- ⑤ Shin-ya Katsumata, Attribute Grammars and Traced Symmetric Monoidal Categories. Workshop on Computer Science and Category Theory, Tohoku university, 10th Mar, 2008.
- ⑥ Shin-ya Katsumata, Attribute Grammars and Categorical Semantics. In ICALP 2008, Reykjabik university, Iceland,

10th Jul, 2008.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

勝股 審也 (KATSUMATA SHINYA)
京都大学・数理解析研究所・助教
研究者番号：30378963

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

長谷川 真人 (HASEGAWA MASAHITO)
京都大学・数理解析研究所・教授
研究者番号：50293973

(4) 研究協力者

星野 直彦 (HOSHINO NAOHIKO)
京都大学・数理解析研究所・博士後期過程在学