



# John McCarthy: Recursive Functions of Symbolic Expressions and Their Computations by Machine

Comm. ACM, Vol.3, No.4, pp.184-195 (April 1960)

プログラミング言語 LISP に関して出版された最初の論文である。FORTRAN とともに最も長寿の実用的プログラミング言語である LISP は、McCarthy 教授の指導の下、MIT の人工知能グループにより 1958 年から開発された。LISP は現在、自然言語処理、数式処理、プログラム自動生成、ロボット制御、CAD、ゲームプログラム等、複雑な処理を要するプログラムの作成に用いられている。また、理論的観点からも LISP がそれ以後のプログラミング言語および理論に与えた影響は大きい。

Sammet は「LISP はかつて開発された他のいかなるプログラミング言語と比べても違う」という。その原因は単純な構文規則にある。LISP ではプログラムもデータも S-式 (Symbolic expression) という 2 分木で書く。たとえば、文字列 ABC と DEF を各々 S-式 (A B C) および (D E F) で表し、それを結合して (A B C D E F) とする手続き APPEND を定義し、かつ実行するには下記のようなプログラム、すなわち S-式を書く。

```
(DEFUN APPEND (X Y) (COND ((NULL X) Y)
  (T (CONS (CAR X) (APPEND (CDR X) Y))))
(APPEND (QUOTE (A B C)) (QUOTE (D E F)))
```

プログラムもデータも S-式なので、プログラム自身を扱うプログラム (言語処理系、プログラム自動生成、マクロ機能等) の開発にも適している。LISP 処理系自身さえも S-式で記述でき、機能的拡張がきわめて容易である。再帰関数を使ってプログラムが書けることおよび自動ごみ集めをすることも、LISP において初めて実現された。

LISP に習熟したプログラマは、C 言語等のプログラマと比べ、数倍以上の速さでプログラムが開発できる。これは再帰を含む豊富な制御構造、柔軟なデータ構造、強力なマクロ機能および自動ごみ集めによる。手続型言語と比べ多大の計算資源を必要とした LISP の最大の欠点も、近年の計算機ハードウェアの高速化と低価格化により、もはや問題ではなくなっている。

本論文の前半は McCarthy の条件式、再帰関数の定義

法およびラムダ式を説明する。次に S-式とその上で定義される 5 つの基本関数 atom, eq, car, cdr および cons が導入される。そして、基本関数を合成して再帰関数を記述する M-式 (Meta expression) の構文と例を示す。上述の APPEND の M-式は次のようになる。

```
append[x;y]=[null[x] → y;
  t → cons[car[x];append[cdr[x];y]]]
```

M-式のプログラムは単純で美しく、読むたびに感動を覚える。また、プログラム記述言語としての再帰関数の強力さにも驚く。M-式を S-式に変換し、インタプリタに与えて実行する。これは、数理論理学において再帰関数を Gödel 数に変換し、関数自身も関数の処理対象にするのと同じ考えである。すなわち、M-式が数学の関数、そして S-式が Gödel 数に対応する。インタプリタは apply という再帰関数で表され、これは数学の万能 Turing 機械に相当する。

後半は S-式、基本関数および再帰関数の計算機上での実現法、ごみ集めの概念とその実現法などを示す。IBM704 計算機では、car は機械語の 1 命令 CLA 0,i のみで実現可能である。最後に、流れ図で記述できる手続きはすべて再帰関数で記述できることが説明される。理論的には再帰関数の方が流れ図よりも強力なので、この部分は不要であるが、再帰を知らない当時のプログラマに対しては、この説明が必要だったと思われる。

LISP 言語の機能や使い勝手は、本論文で記述されたものと比べると、約 43 年後の今日、驚くほど進化している。また、再帰手続きおよび自動ごみ集めは他の多くのプログラミング言語にも取り入れられた。それにもかかわらず「プログラムもデータも S-式により記述する」というプログラミングスタイルは LISP に固有かつ不変の特徴である。これにより自己拡張が容易であり、LISP は「より強力で使いやすい」方向へ進化し続けるであろう。

(平成 15 年 1 月 29 日受付)

二村良彦 / 早稲田大学理工学部  
futamura@waseda.jp

