Parsec による簡易インタプリタの実装と構文設計 (最終発表)

機械科学・航空宇宙学科 3 年 1w192224 田久健人

August 4, 2021

はじめに

中間発表の続きです...

今回は，パーサではなく評価寄りの話です

進捗→ `https://github.com/tkyawa/project_research_a`

abstract

Haskell のパーサコンビネータの Parsec を用いた簡易なインタプリタの実装を通して，パーサコンビネータの雰囲気を学び，実際に構文の設計を行う．

目次

これから拡張していく文法

AST→

```
data Statement = Seq [Statement]
               | If Expr Statement Statement
               | While Expr Statement
               | Assign String Expr
               | Skip

data Expr =  Var String
           |  Integer Integer
           |  Bool Bool
           |  (Op) Expr Expr
```

これから拡張していく文法

(実際の構文 →)

```
Statement ::= Statement; Statement; ..,; Statement
            | if(Expr)then{Statement}else{Statement}
            | while(Expr)do{Statement}
            | String := Expr
            | skip
```

これから拡張していく文法

実行時の値を保存する環境 (実行コンテキスト), 型の情報

```
type Env = Map String TypeEnv

data TypeEnv = TypeInteger Integer
             | TypeBool Bool
             deriving(Show)
```

関数実装に必要なもの

関数の構文 →

AST:

```
data Expr = ...
          | Func String Statement
```

(実際の構文:)

```
Func :== func(arg){body}
```

関数は式だが中身が文 → 値 (式) を返す文が必要

Return 文の実装

文を，(形式上は) 値を返すようにする (evalStatement の型を統一)
→Null 型の実装を考える

```
data TypeEnv = ...
             | Null
```

return 以外の文は，Null を返すようにする

Return による jump 機能の実装①

一般的な Return 文・・・jump の機能がある
例:C 言語の場合

```
int hoge()
{
    int temp = 1;
    return temp;
    temp = 2;
}
```

hoge() を呼ぶと，1 が返ってくる →return で文の評価が終了している

(補足)Return による jump 以外での同等の表現

Rust:

body の最後に式を書くことを許し，それが関数の返り値となる
return で処理を中断して値返すことも可能 (jump)

OCaml(関数型言語一般):

そもそも全部 Expr

必ずしも return による jump 機能は必須ではない
今回は，命令型としてのシンプルさを求めているため return による jump を導入

Return による jump 機能の実装②

値を返すのは return だけ →
Null の場合と値が得られた場合でパターンマッチ

→Maybe モナドの恩恵が受けられそう！

Return による jump 機能の実装③

Seqence の表現:

```
evalStatement env (Seq []) = return Nothing

evalStatement env (Seq (h:t))
 = do
  car <- evalStatement env h
  maybe(evalStatement env (Seq t))(return . Just)car
```

Nothing で評価続行，Just で評価停止 ($\rightarrow$ なんか逆...)

デモ

```
>> x := 1; return x; x := 10
1
>> return x
1
```

まとめ

return 文の実装により，関数の返り値の指定が可能になった

AST

構文的には，関数の宣言，関数適用が必要

```
data Expr = ...
          | Func String Statement
          | Apply Expr Expr
```

今回は，どちらも Expr に組み込む

実際の構文

```
Func:
    func_name :== func(arg){body}

Apply:
    var :== func_name(param)
```

Parser

Func の Parser・・・愚直に実装できる
Apply の Parser・・・愚直に実装すると...

```
parseApply :: Parser Expr
parseApply = do func <- parseExpr
                param <- parens parseExpr
                return $ Apply func param
```

→予約語等で縛っていないため失敗条件 (?) が緩い,
　優先度の高い位置に置くと失敗せずに無限ループに

演算子として見る，優先度高め →builldExpressionParser に組み込む

parseApply

専用の演算子，予約語を使わずに実装したい

```
parseExpr = buildExpressionParser
        [[postfix (parens parseExpr) Apply]
        ,[binary "^" Pow AssocRight]
        .
        .
        ]
        exprTerm
  where
    .
    .
    postfix args fun = Postfix (flip fun <$> args)
```

→ (引数) を後置演算子として使用する (微妙？)

Func の評価

関数型のようなものを用意し，関数型を返す

イメージ:

```
evalExpr env (Func arg body)
    = return (関数型の値)
```

関数型の実装案①

案 1:

```
data TypeEnv = ...
             | Closure Env String Statement
```

Closure 内の Env の入れ子でスコープを表現する

案①による Apply の評価①

バラして，入れて，中身を評価

手順:

(1) `func_name` を評価 → 関数なら `Closure` が返ってくる

(2) もし `Closure closureEnv arg body` が返ってきたら...

(i)`ClosureEnv` に `(arg param)` を `defineVar`

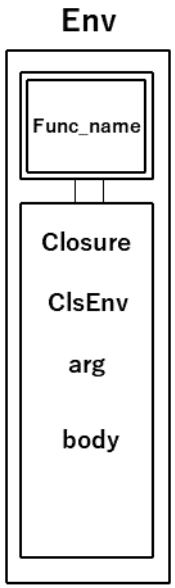
(ii)`evalStatement closureEnv body`

案①による Apply の評価②

```
evalExpr env (Apply funcname param) = do
    func <- evalExpr env funcname
    case func of
        Closure closureEnv arg body -> do
            value <- evalExpr env param
(i)         newenv <- defineVar closureEnv arg value
(ii)        result <- evalStatement closureEnv body
            maybe (return Null) return result
            _ -> error "Error in func"
```

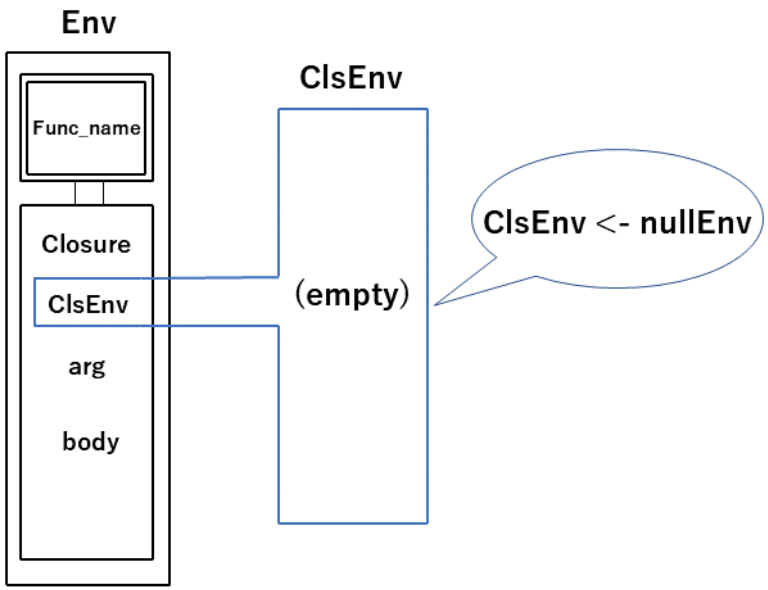
関数定義，関数適用の際の環境の動き①

1. funcの宣言 func_name := func(arg){body}



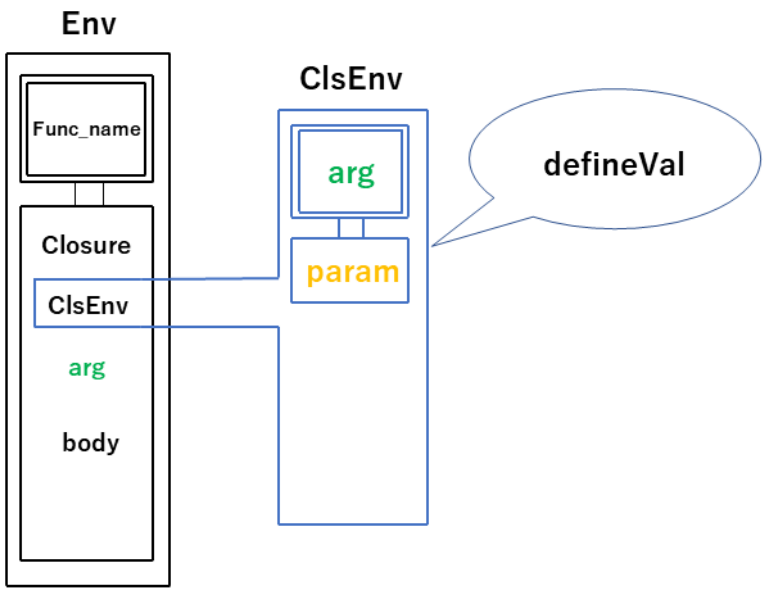
関数定義，関数適用の際の環境の動き②

1. funcの宣言 func_name := func(arg){body}



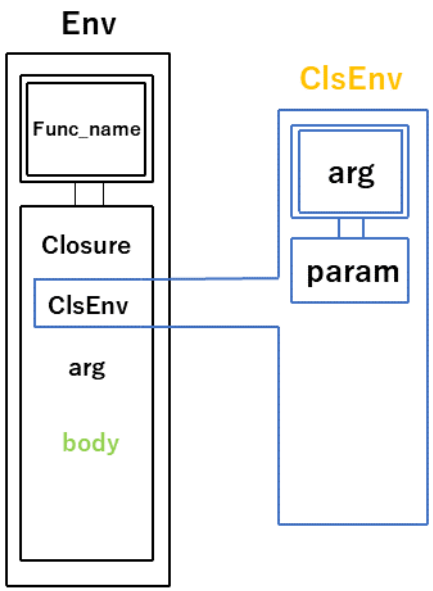
関数定義，関数適用の際の環境の動き③

2. Apply func_name(param)



関数定義，関数適用の際の環境の動き③

3. evalStatement ClsEnv body



案①の問題点

- 関数内から外側のスコープには一切アクセスできない
- スコープが関数宣言時に確定している

まとめ

環境を入れ子構造にすることにより関数実行時のスコープを表現したが，閉じた関数しか表現できないという問題点がある

再帰呼び出しの構文

(すごい雑に表すと)

```
hoge := func(x){x := x + 1; return hoge(x)}
```

現状の問題点

- 環境問題 (案①だとガチガチすぎ)

スコープを取る動作を，関数宣言時ではなく関数適用時にする必要がある

(補足) 未定義関数の Apply について

評価の順番を考えると納得
func 宣言時，body は評価していない

環境問題解決の方針

スコープを，ただの連想リストの入れ子で表現していた

→ スタックっぽくする

環境問題の解決

内側に新しい空の環境を取っていた
→ もとの環境を参照する形にする.

```
evalExpr env (Func arg body) =
    return (Closure env arg body)
```

(Closure の中身は案①のまま)

これにより，関数が開けた

案②: 環境をスタック化する

新たな Env の定義:

```
type Env = IORef [Map String (IORef TypeEnv)]
```

Env を，Map の List で定義
List をスタックとして扱う

スタックにまつわるヘルパー関数:push

```
push :: Env -> String -> TypeEnv -> IO Env
push env var val = do
    valRef <- newIORef val
    cons <- readIORef env
    newIORef (Data.Map.fromList [(var, valRef)]:cons)
```

push は，List の先頭に新たな要素を追加

スタックにまつわるヘルパー関数:pop

```
pop :: Env -> IO Env
pop env = do
        garbage <- readIORef env
        case garbage of
            (h:t) -> do newIORef t
            [] -> error "stack error"
```

pop は，List の car を破棄

その他のヘルパー関数の変更

スタック (List) の頭から順に捜査していく

例:getVal の場合

```
getVal :: Env -> String -> IO TypeEnv
getVal envRef var = do
  envStack <- readIORef envRef
  case envStack of
    (h:t) -> do
      cdr <- newIORef t
      maybe (getVal cdr var) readIORef (lookup var h)
    [] -> return Null
```

データ捜査は List としての性質を用いる

スタックを使用した関数適用の挙動

手順:

(1) `func_name` を評価→関数なら `Closure` が返ってくる

(2) もし `Closure closureEnv arg body` が返ってきたら...

(i) `ClosureEnv` に, `(arg param)` を組み込んだ新たな実行コンテキストを `push`

(ii) `evalStatement newEnv body`

(iii) 使い終わった実行コンテキストは `pop`

案②による Apply の評価

```
evalExpr env (Apply funcname param) = do
    func <- evalExpr env funcname
    case func of
        Closure closureEnv arg body -> do
            value <- evalExpr env param
(i)         newenv <- push closureEnv arg value
(ii)        result <- evalStatement newenv body
(iii)       garbage <- pop newenv
            maybe (return Null) return result
            _ -> error "Error in func"
```

スコープの挙動はスタックベース

デモ

```
(>> a := 100)

>> hoge := func(x){a := 5; return a}

>> return hoge(1)

>> return a
```

a が定義される場所によるスコープの挙動の差

両ケースに共通する動作

(i) 引数の (識別子，値) を，実行コンテキストをとって push

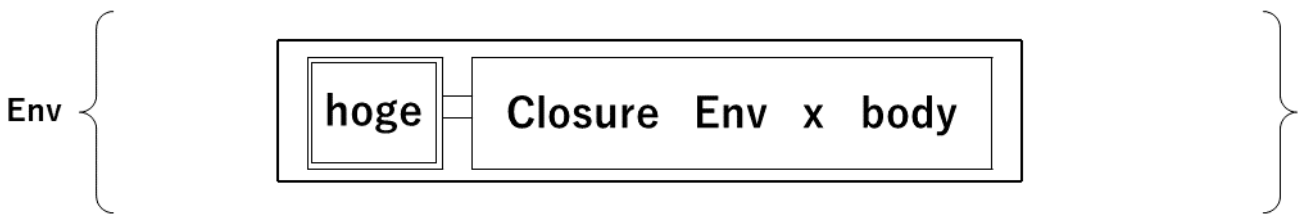
(iii) 使い終わった実行コンテキストを pop

→ (ii) の evalStatement だけが異なる，特に defineVal

https://github.com/tkyawa/project_research_a/blob/master/rec/Env.hs

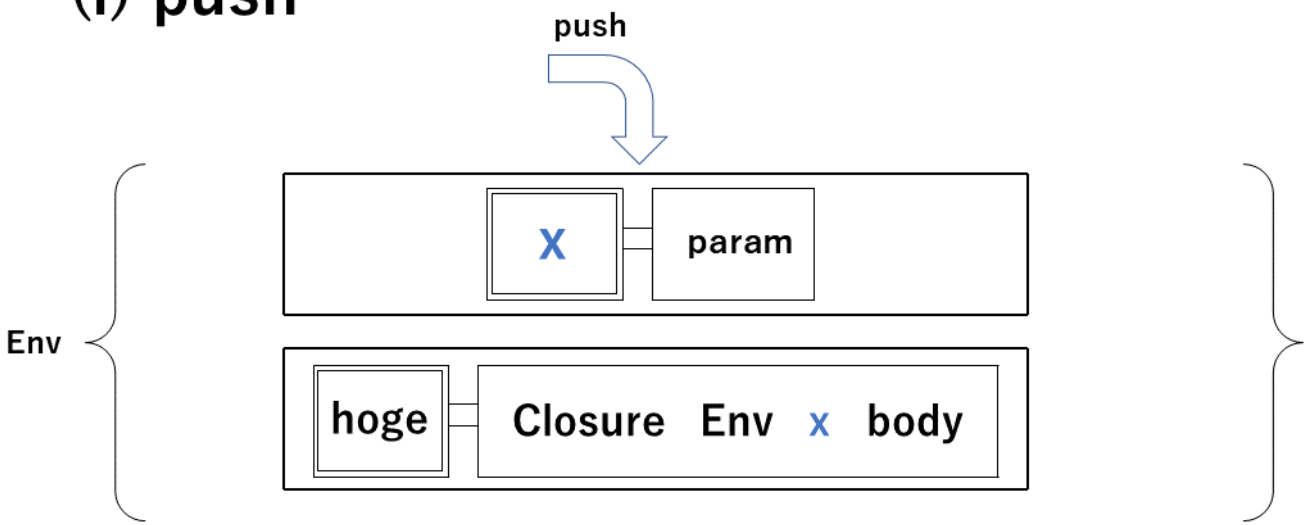
スコープの挙動① local 変数の場合

1. funcの宣言



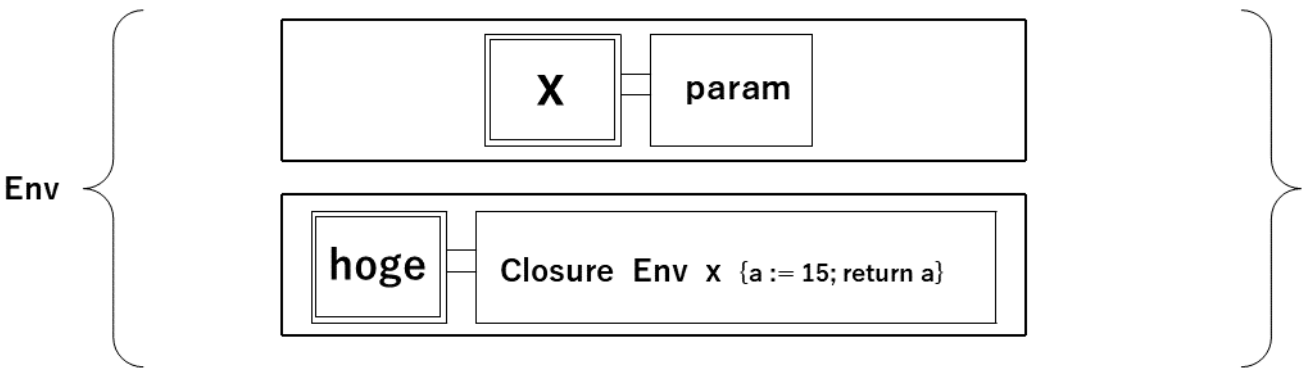
スコープの挙動① local 変数の場合

2. Apply
(i) push



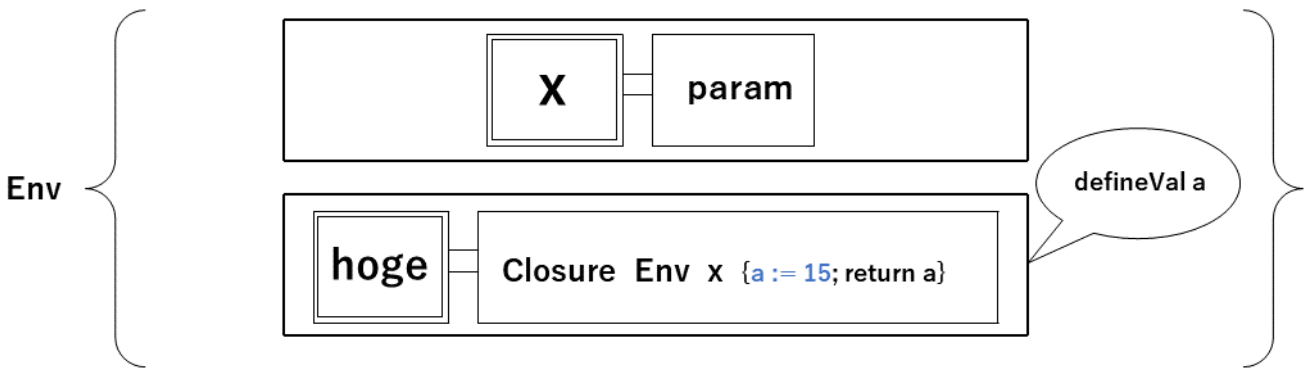
スコープの挙動① local 変数の場合

2. Apply
(ii) evalStatement



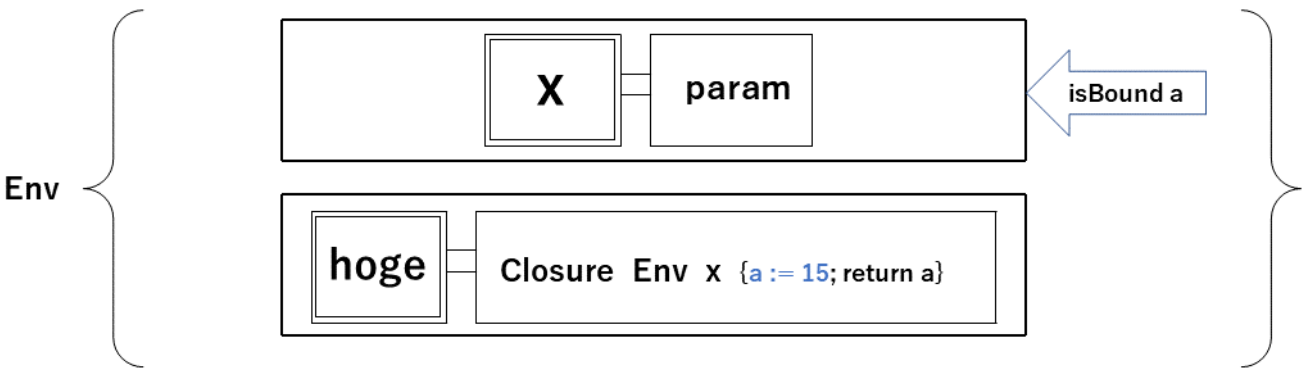
スコープの挙動① local 変数の場合

2. Apply
(ii) evalStatement



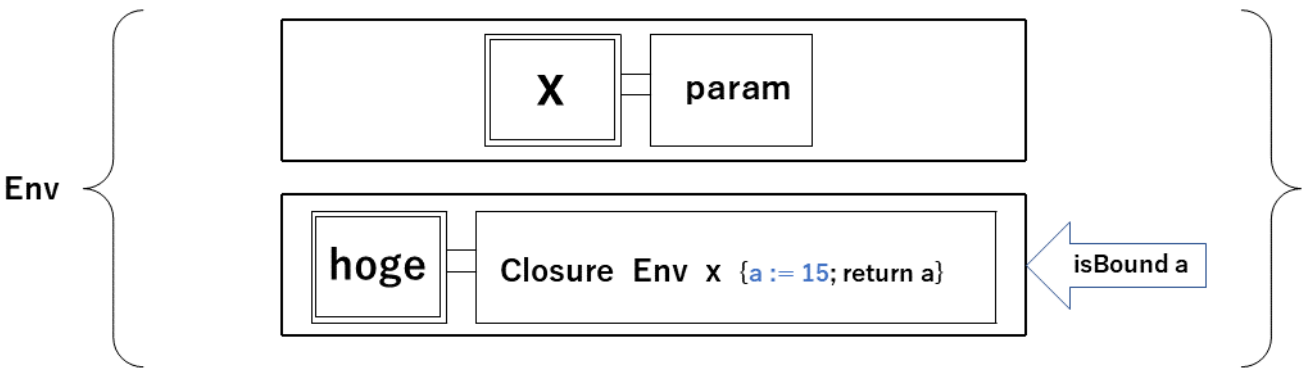
スコープの挙動① local 変数の場合

2. Apply
(ii) evalStatement



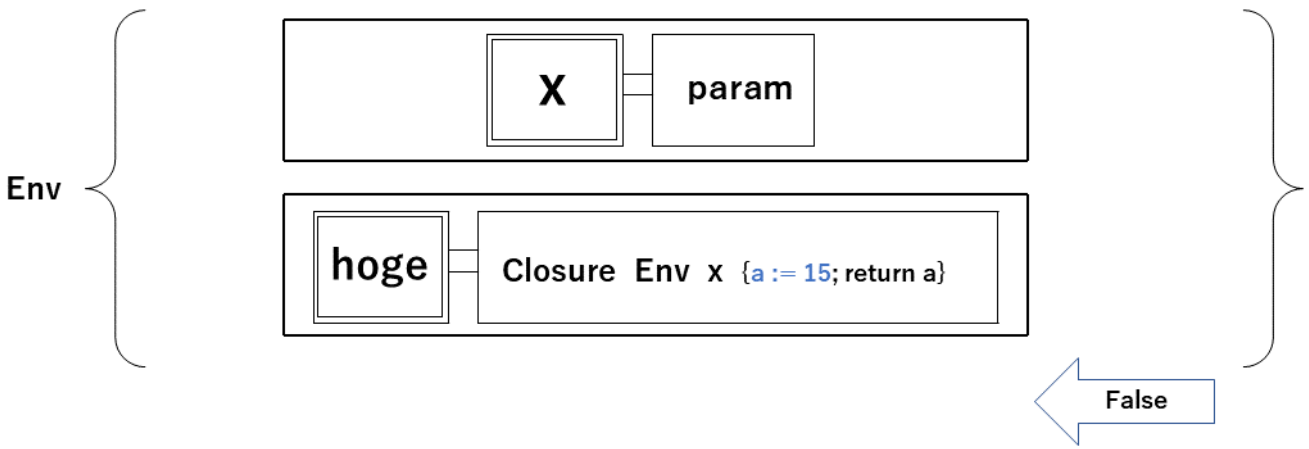
スコープの挙動① local 変数の場合

2. Apply
(ii) evalStatement



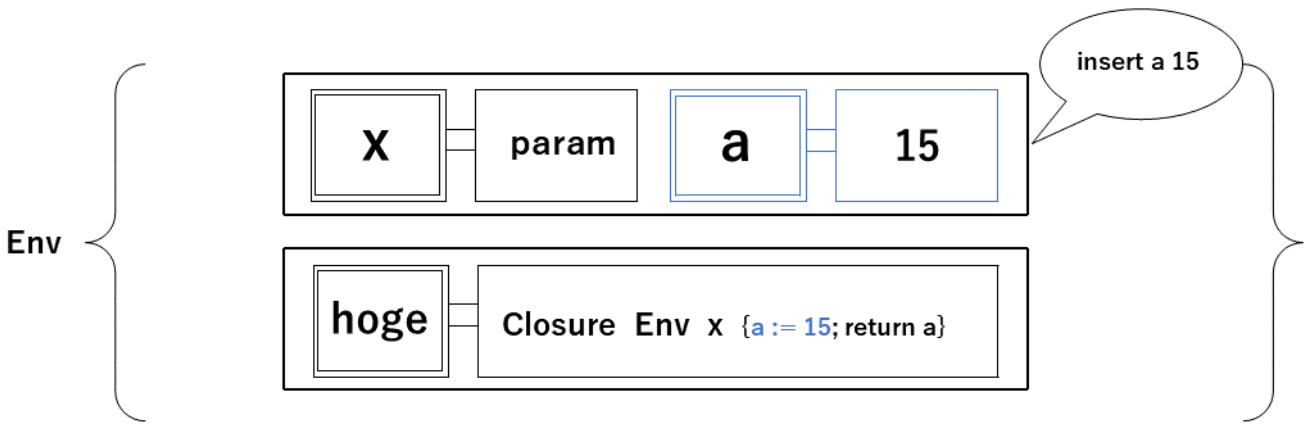
スコープの挙動① local 変数の場合

2. Apply
(ii) evalStatement



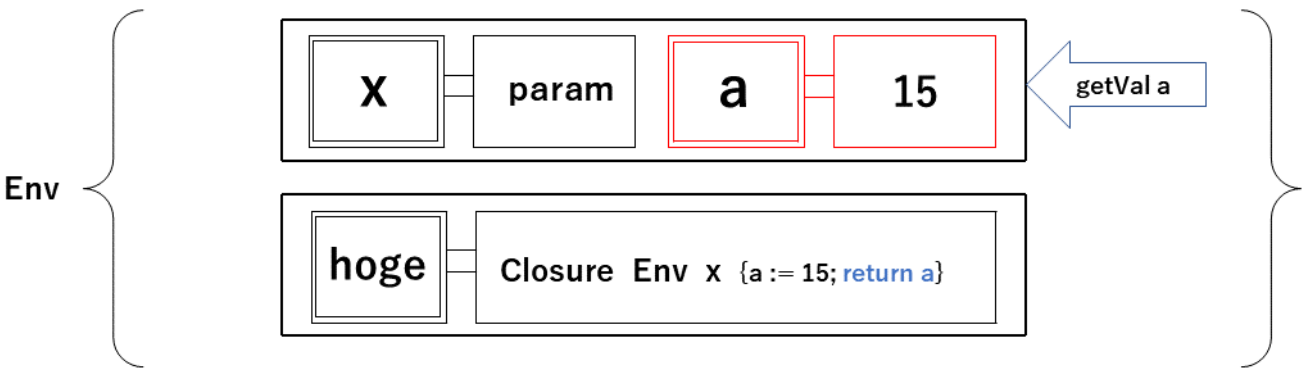
スコープの挙動① local 変数の場合

2. Apply
(ii) evalStatement



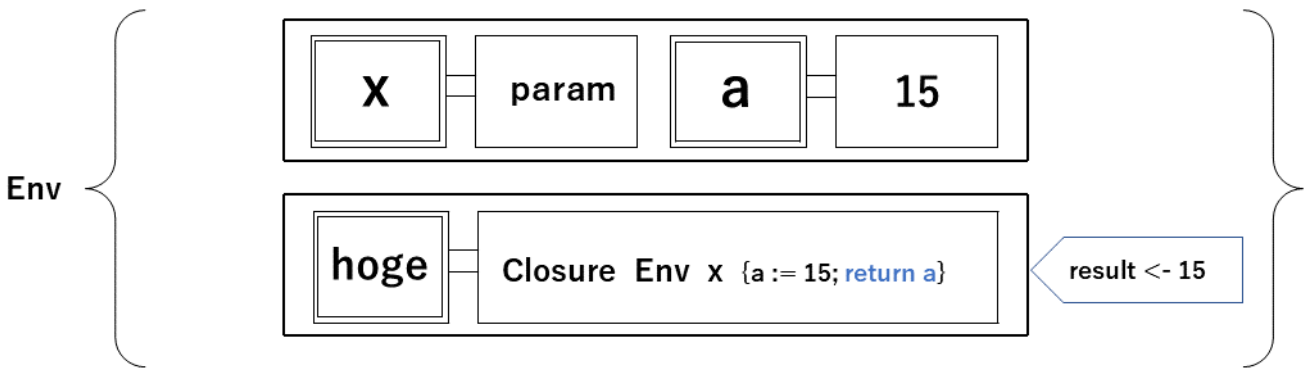
スコープの挙動① local 変数の場合

2. Apply
(ii) evalStatement



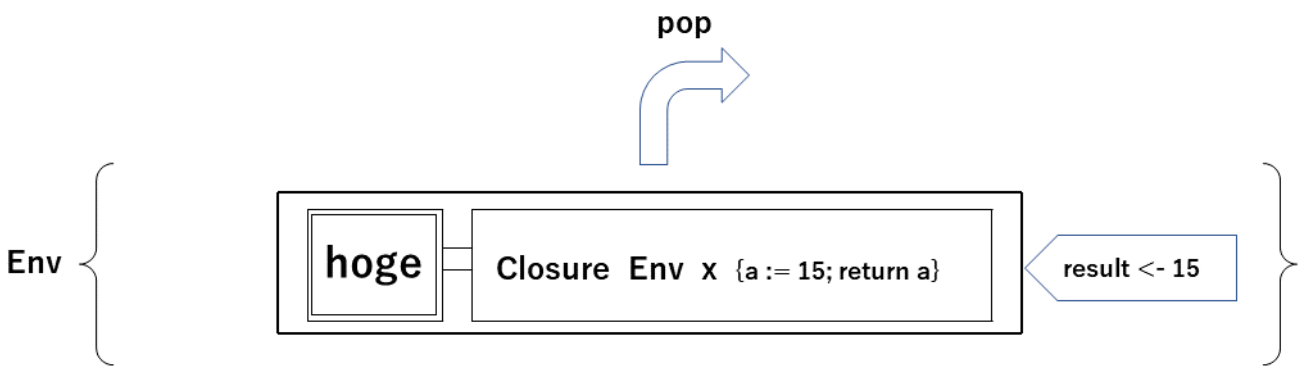
スコープの挙動① local 変数の場合

2. Apply
(ii) evalStatement



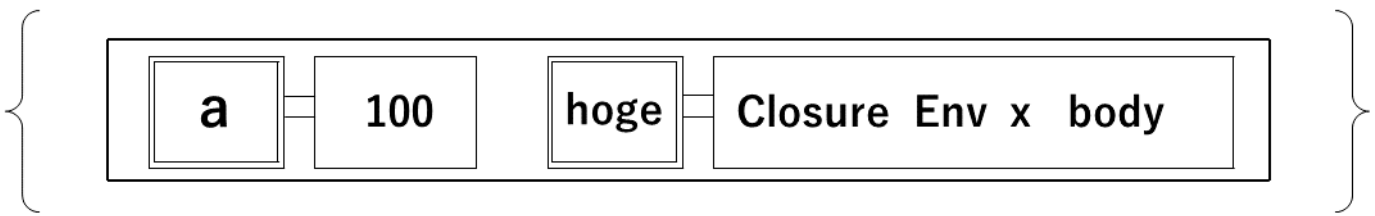
スコープの挙動① local 変数の場合

2. Apply
(iii) pop



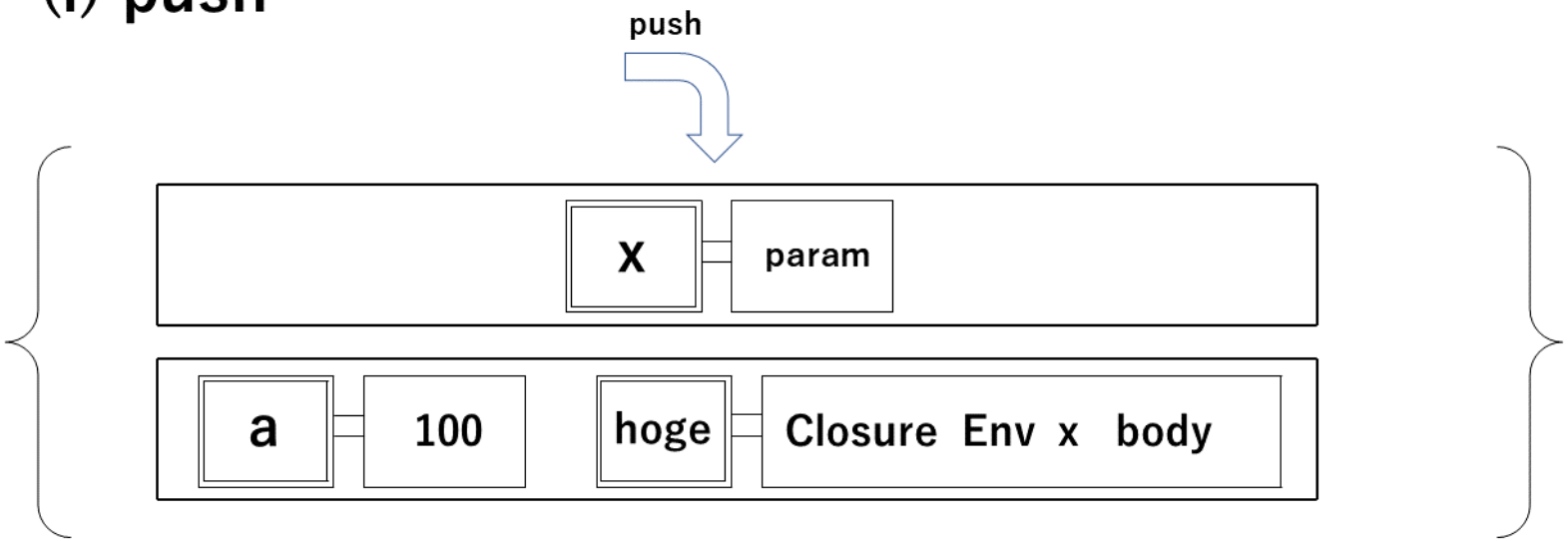
スコープの挙動② global 変数の場合

1. funcの宣言



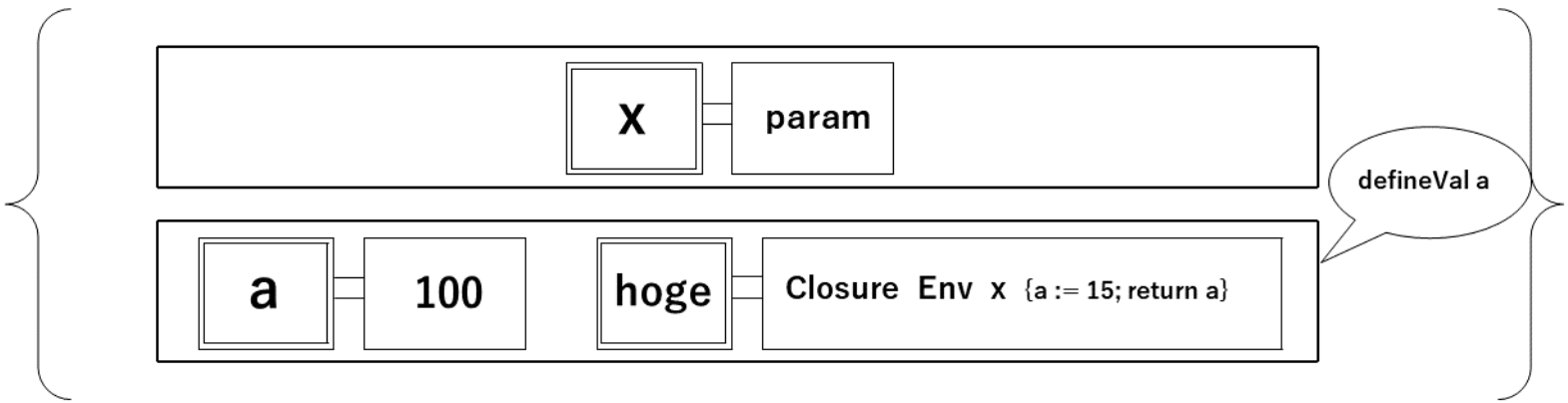
スコープの挙動② global 変数の場合

2. Apply
(i) push



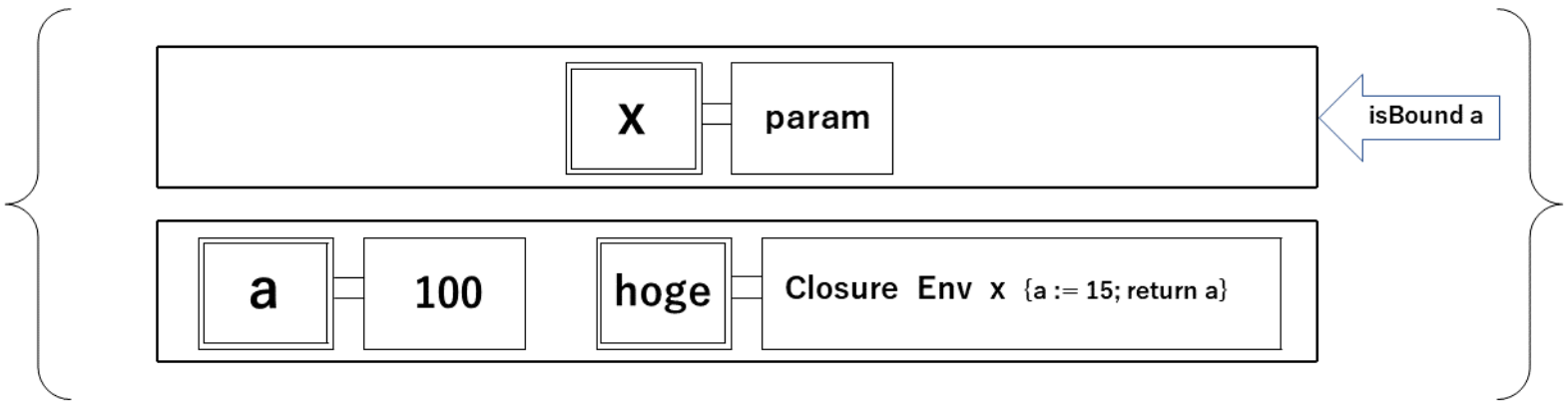
スコープの挙動② global 変数の場合

2. Apply
(ii) evalStatement



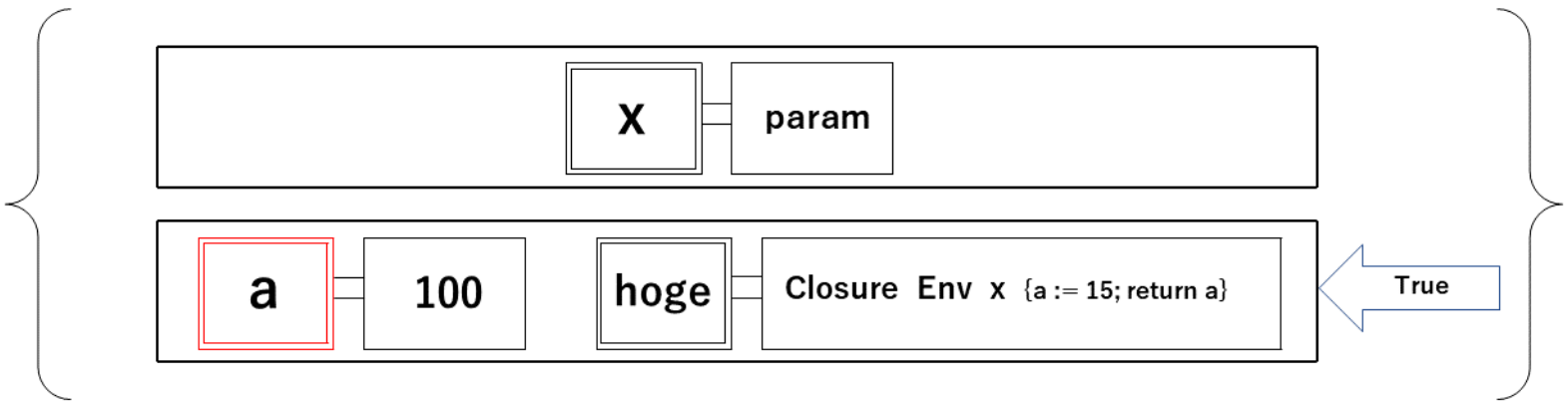
スコープの挙動② global 変数の場合

2. Apply
(ii) evalStatement



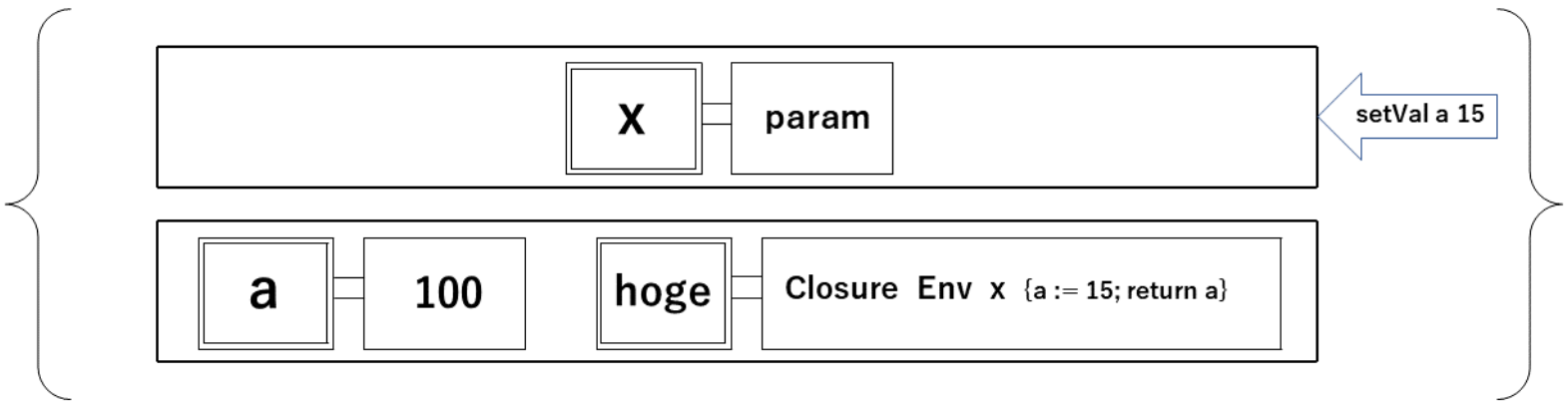
スコープの挙動② global 変数の場合

2. Apply
(ii) evalStatement



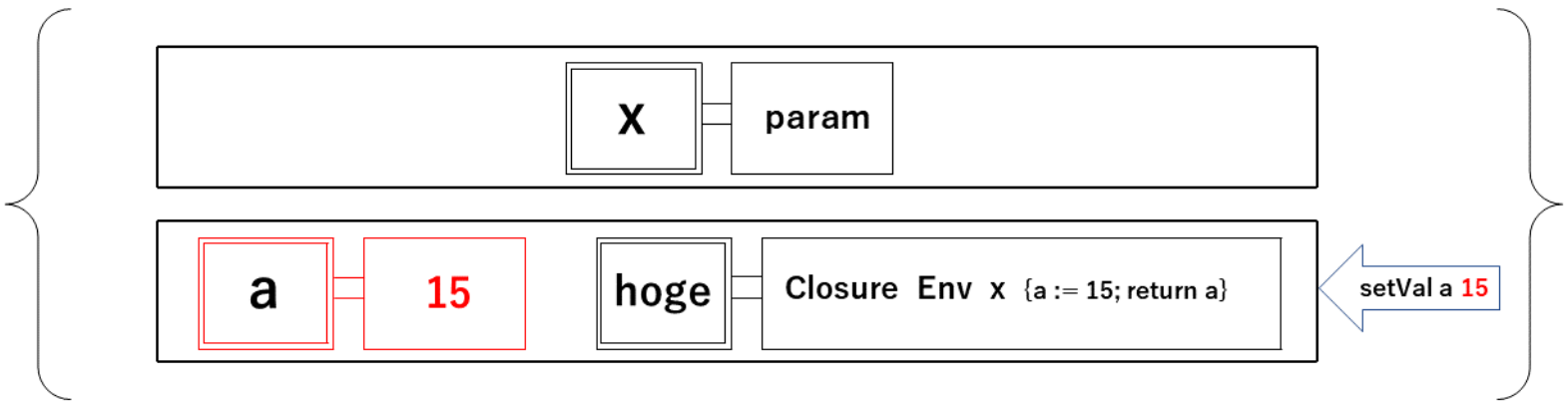
スコープの挙動② global 変数の場合

2. Apply
(ii) evalStatement



スコープの挙動② global 変数の場合

2. Apply
(ii) evalStatement



まとめ

環境をスタックで実装したことにより，スコープの表現と柔軟性が両立し，再帰呼び出しが行えるようになった

スコープの挙動の問題点

```
>> a := 100
>> hoge := func(x){return a}
>> huga := func(a){a := 5; return hoge(1)}
>> return huga(1)
```

スコープが動的なら，hoge によって a にアクセスすると，huga 上のスコープにある (a,5) を参照するが，実際には 100 が返ってきた

→ huga 上の hoge の適用に使われた環境には，(a,5) の情報がない

静的スコープと動的スコープ

静的スコープ: 関数の宣言場所によってスコープが決定する

動的スコープ: 関数の呼び出し位置によってスコープが決定する

本言語における各スコープの実装

静的スコープ: スコープを関数定義の時点で決定

関数宣言の評価では関数型の値を返すため，関数型内に呼び出された際の環境の情報を組み込む
→ `Closure Env（arg）（body）` のような関数型の構成が，
静的スコープの要素になっている

動的スコープ: スコープを関数適用の時点で決定

関数適用の評価では，関数内の `body` の評価に，もとの環境をスタックとして考え，別の階層の環境を用意して行った
(これは動作確認済み)

スコープの観点から見た，問題の原因

動的スコープのように環境をスタック状に扱っているのにもかかわらず，内部の関数型では宣言時の環境の情報が入っていて，関数適用時にもその環境に対してスタック操作をしていた

完全な動的スコープへの修正①

関数型から，宣言時の環境の情報を削除

```
data TypeEnv = ...
             | Closure String Statement


evalExpr env (Func arg body) = return (Closure arg body)
```

完全な動的スコープへの修正②

関数適用の評価について，対象を評価時の環境にする

```
evalExpr env (Apply funcname param) = do
        func <- evalExpr env funcname
        case func of
            Closure arg body -> do
                value <- evalExpr env param
                newenv <- push env arg value
                result <- evalStatement newenv body
                garbage <- pop newenv
                maybe (return Null) return result
            _ -> error "Error in func"
```

newenv の対象を env に変更

まとめ

静的スコープと動的スコープの要素が混じっていたのを分離し，
完全な動的スコープとした

更なる拡張を考える

- 多引数の関数
- 文法の整理
- List の実装
- アクセス修飾子の実装

多引数の関数

カリー化で実現可能

例:add

```
add := func(x){return func(y){return x + y}}
```

実際に構文に組み込む際は，これのシュガーとして実装

文法の整理

二項演算等をプリミティブな関数として用意すれば，Expr に無理に組み込む必要がなくなる？
もしくは zero，succ のみ用意して組んでいく？

List の実装

List 型，cons 演算子等をプリミティブに用意すれば，再帰呼び出しが可能なので List 内の要素へのアクセスも可能

アクセス修飾子の実装

グローバルなスコープがスタックの底だとわかっているから，それを元に実装可能？

まとめ，感想

実装を通して，言語設計における悩みどころが体感できた

- 何を式，何を文とするか
- 各シンボルの導入，構文的な役割 (; や等)
- 関数実装周りのあれこれ (構文的な位置付け，return，環境，etc...)
- スコープの取り方 (動的スコープ，静的スコープ)

プログラム言語における"当たり前"が実装を通してより身近なものになった

参考文献

[1] Thorsten Ball, 設樂 洋爾, Go 言語でつくるインタプリタ, オライリージャパン,2018 年
[2] Daniel P.Friedman,Matthias Felleisen, 元吉 文男, 横山 晶一,Scheme 手習い, オーム社, 2010 年
[3] https://en.wikibooks.org/wiki/Write_Yourself_a_Scheme_in_48_Hours
最終アクセス:2021 年 8 月 1 日