

工学部専門科目

「プログラミング言語」 SICP
第3章 ~ Modularity, Objects, State ~
その2

五十嵐 淳

pl15@fos.kuis.kyoto-u.ac.jp

京都大学 大学院情報学研究科
通信情報システム専攻

April 28, 2015

今日のメニュー

3.2 評価の「環境モデル」

3.2.1 評価のルール

3.2.2 単純な手続きの適用

3.2.3 局所状態の貯蔵庫としてのフレーム

3.2.4 内部定義

今日のメニュー

3.2 評価の「環境モデル」

3.2.1 評価のルール

3.2.2 単純な手続きの適用

3.2.3 局所状態の貯蔵庫としてのフレーム

3.2.4 内部定義

3.2 評価の「環境モデル」

(1章の) 代入モデル

- 手続きのパラメータは実引数を指す名前
- 名前が指す値は (有効範囲 (scope) 内で) どこでも同じ

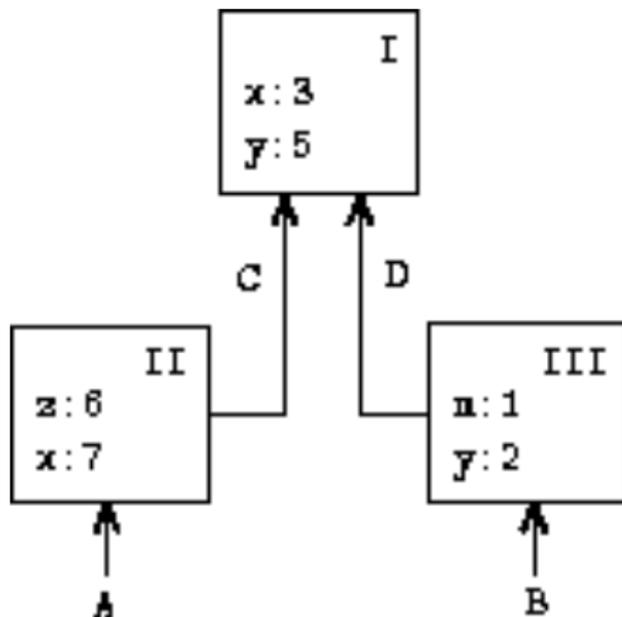


環境モデル

- 手続きのパラメータは実引数を格納した箱を指す名前
- 名前が指す箱の中身が set! で変わる
- 環境: 実引数を格納する箱の集まり

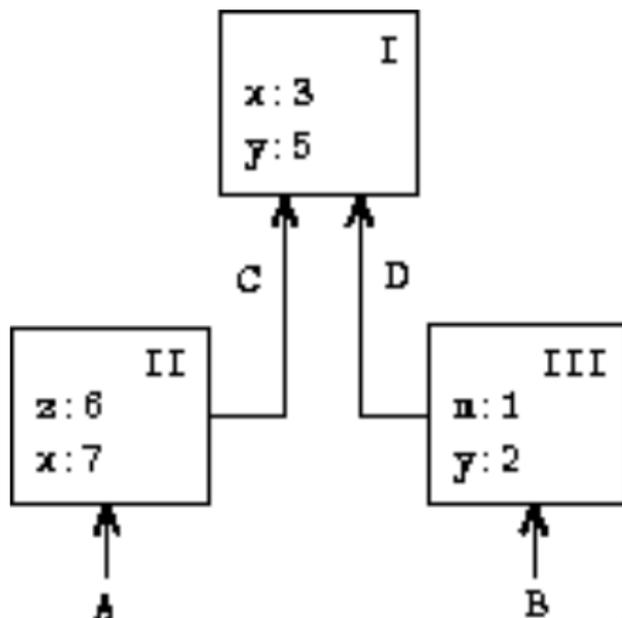
環境

- 環境 = フレームの列
- フレーム = 束縛 (binding) の列
- 束縛 = 変数とその値の組



環境

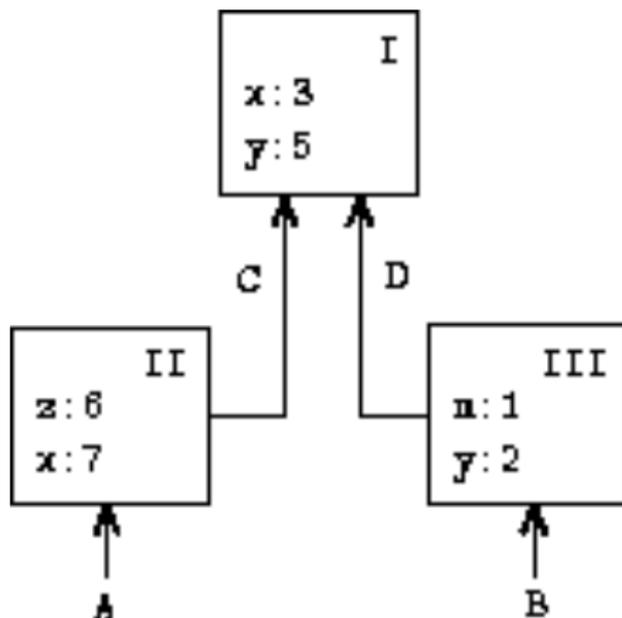
- 環境 C (もしくは D) のもとで y の値は 5
- 環境 B のもとで x の値は 3
- 環境 A のもとで x の値は 7 (shadowing)



式の値についての語り方

「環境 ρ のもとで式 e の値は v 」

- 環境 C のもとで $(+ x y)$ の値は 8
- 環境 A のもとで $(+ x y)$ の値は 12



define の動作

環境 A のもとでの $(\text{define } x \langle \text{式} \rangle)$ の動作

- A のもとでの $\langle \text{式} \rangle$ の値 v を求める
- A の最初のフレーム F に x の束縛が
 - ▶ あれば, その値を v に変更
 - ▶ なければ $x:v$ を F に追加

let の動作

環境 A のもとでの

$(\text{let } ((x_1 e_1) \dots (x_n e_n)) e_0)$

の値:

- 環境 A のもとで各式 e_i の値を計算し, これを v_i とする
- 束縛 $x_i : v_i$ から成る新しいフレームを作り, A を指すようにする. この環境を B とする
- B のもとで式 e_0 の値を求めたものが let 式全体の値

lambda の値

手続きの値 =

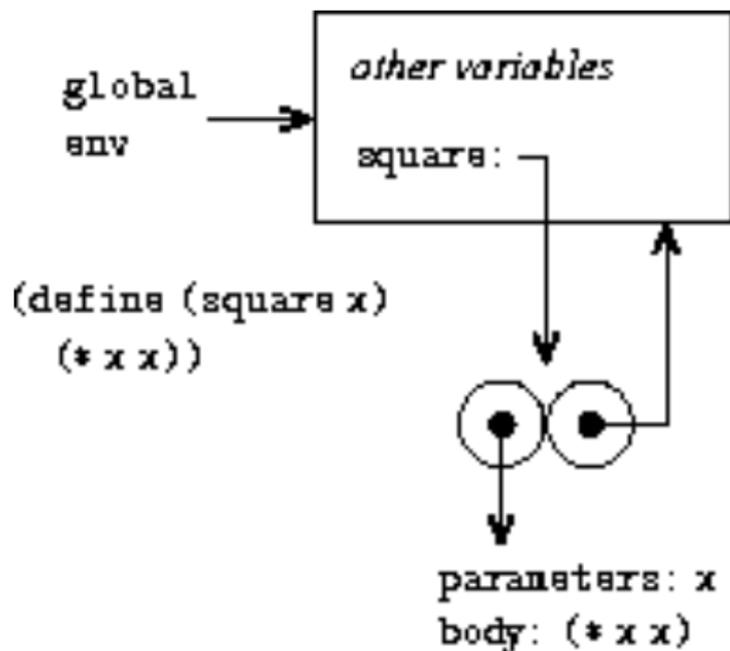
- パラメータと本体式
 - ▶ 後で手続きが呼び出された時に必要
- lambda を評価した時点での環境 (へのポインタ)
 - ▶ パラメータ以外の変数の値を知るため

の組

⇒ この組を関数閉包 (function closure) という

(define (square x) (* x x)) 実行後の環境

(define square (lambda (x) (* x x))) と同じ

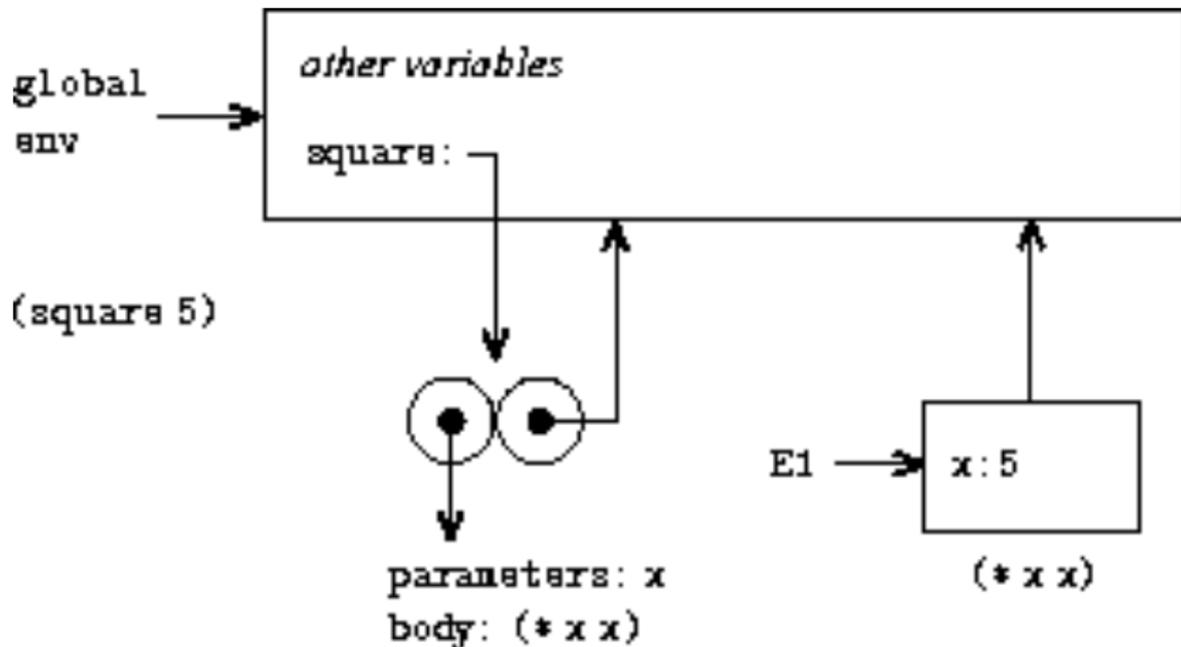


関数適用式の評価

環境 A のもとでの関数適用式 $(e_0 e_1 \dots e_n)$ の値:

- A のもとでの e_i の値を v_i とする
- 関数閉包 v_0 の中身の環境を B , パラメータを x_1, \dots, x_n とする
 - ▶ v_0 が関数閉包でなかったり, パラメータの数が n でない場合はエラー
- 束縛 $x_i: v_i$ から成る新しいフレームを作り, B を指すようにする. この環境を C とする
- C のもとで関数閉包の本体式 e の値を求めたものが, 関数適用式全体の値

(square 5) 評価途中の環境



チェックポイント!

以下のふたつの式の評価の結果が同じであることを確認しよう

- $(\text{let } ((x_1 e_1) \dots (x_n e_n)) e_0)$
- $((\text{lambda } (x_1 \dots x_n) e_0) e_1 \dots e_n)$

set! の評価

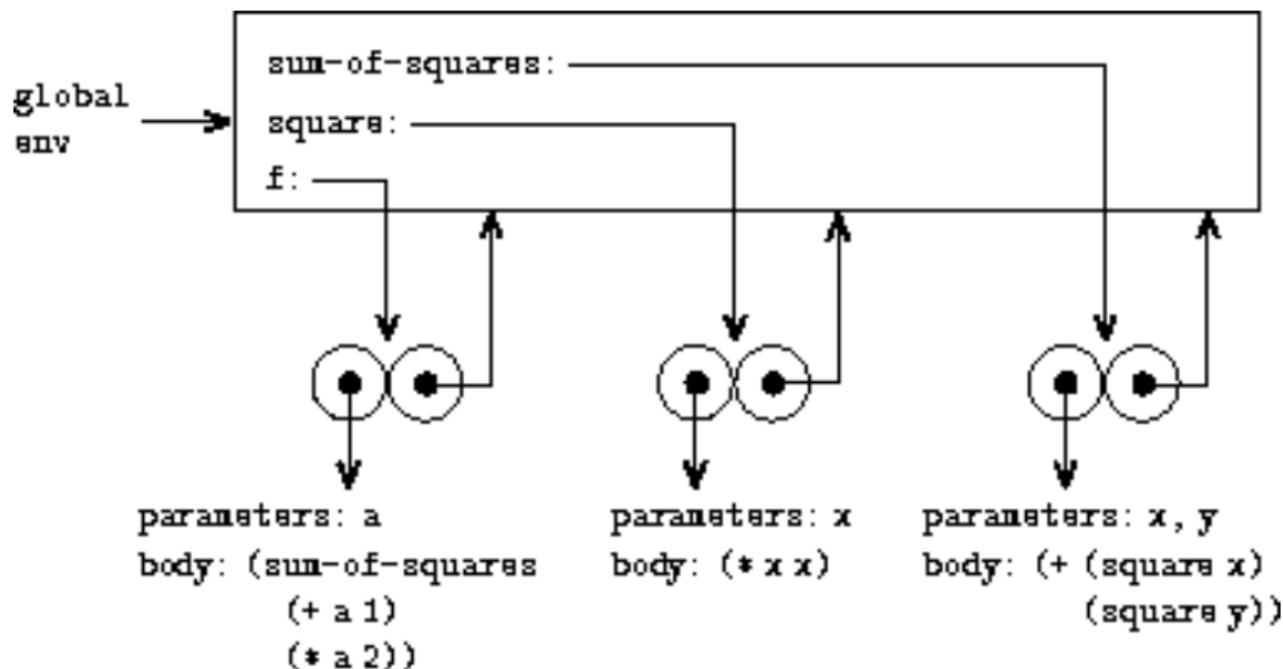
環境 A のもとでの $(\text{set! } x \ e)$ の評価:

- A のもとでの e の値を v とする
- A の中の (最初の) x の束縛を v に変更
 - ▶ x の束縛がなければエラー
 - ▶ (define との違いに注意)

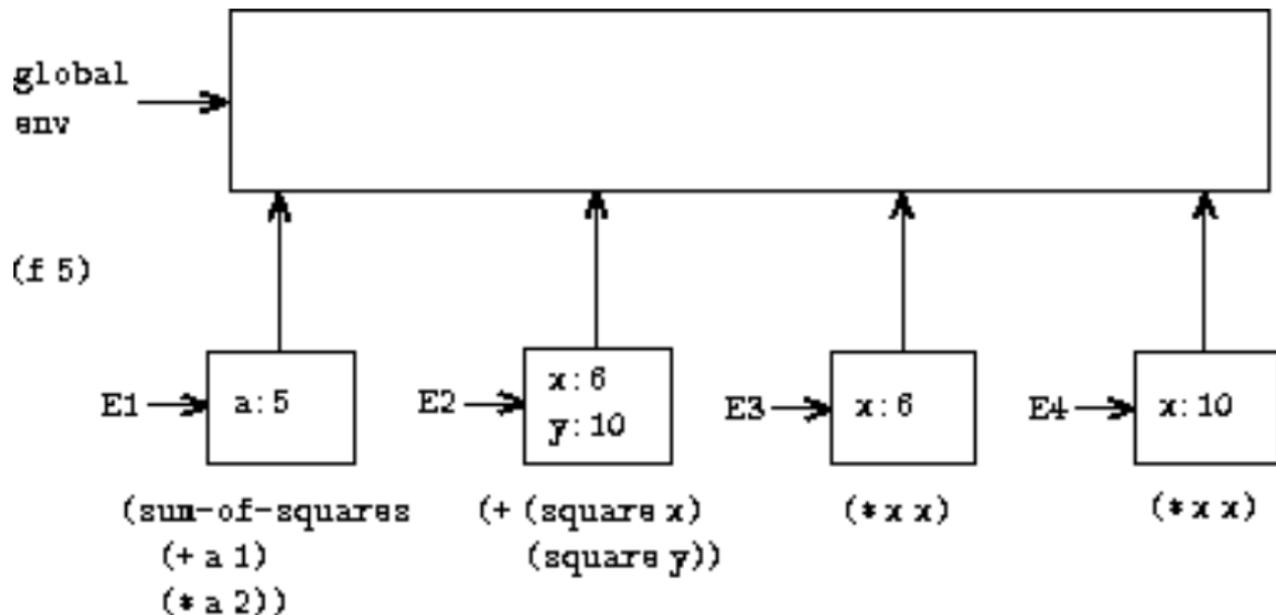
3.2.2 単純な手続の適用

```
(define (square x) (* x x))  
(define (sum-of-squares x y)  
  (+ (square x) (square y)))  
(define (f a)  
  (sum-of-squares (+ a 1) (* a 2)))  
(f 5)
```

最初の3つの define 実行後の環境



(f 5) の評価中に作られるフレーム E1 ~ E4



見逃しがちだけど大事なポイント

- E1 のもとで (sum-of-squares ...) を評価する際 , sum-of-squares の束縛がどう見つかるか
- E2 のもとで (+ (square x) (square y)) を評価する際 , x の値が異なるふたつのフレームができる
 - ▶ 局所変数の「局所的」たるゆえん

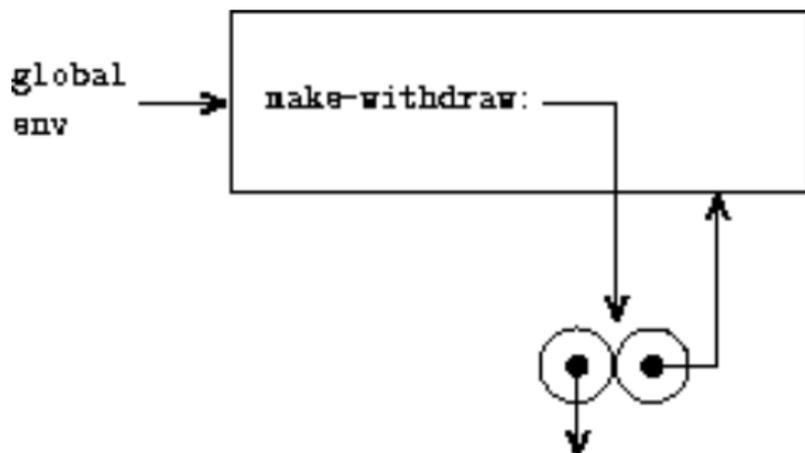
3.2.3 局所状態貯蔵庫としてのフレーム

```
(define (make-withdraw balance)
  (lambda (amount)
    (if (>= balance amount)
        (begin
          (set! balance (- balance amount))
          balance)
        "Insufficient funds")))

(define W1 (make-withdraw 100))

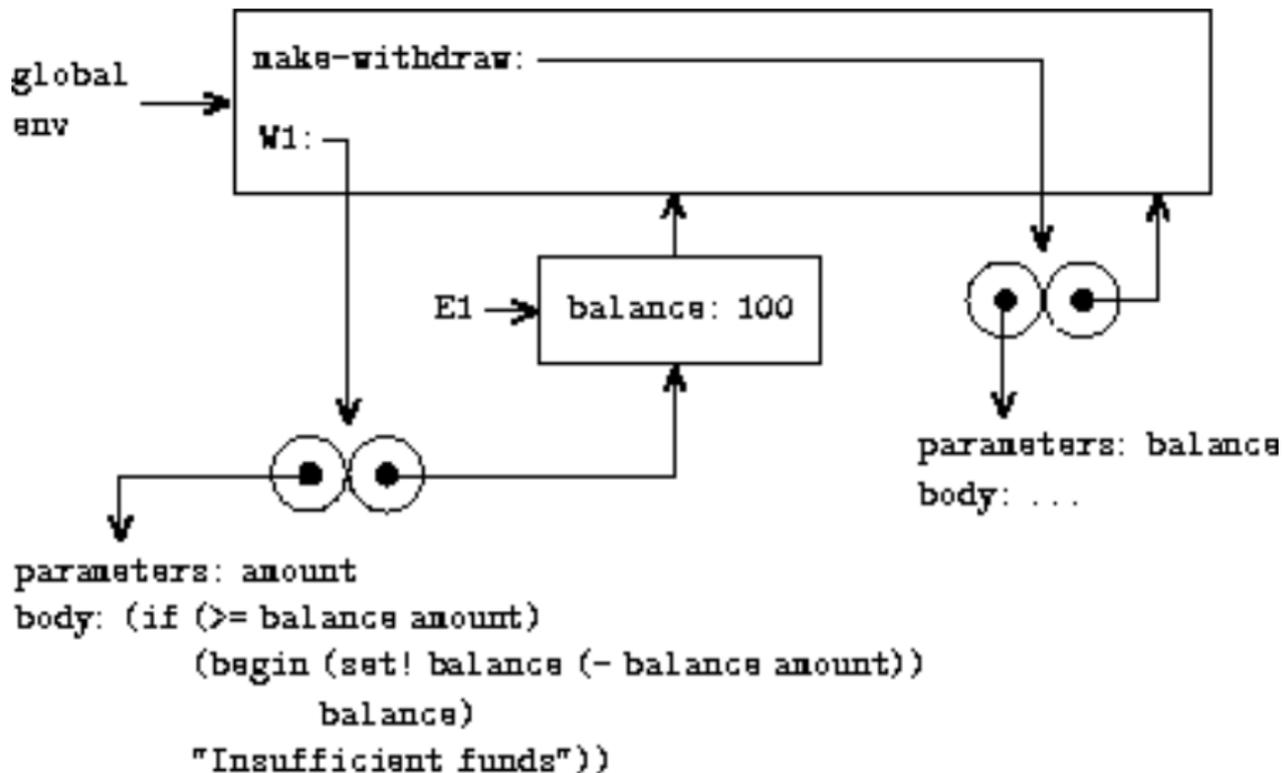
(W1 50)
```

(define (make-withdraw balance) ...) 実行直後の様子

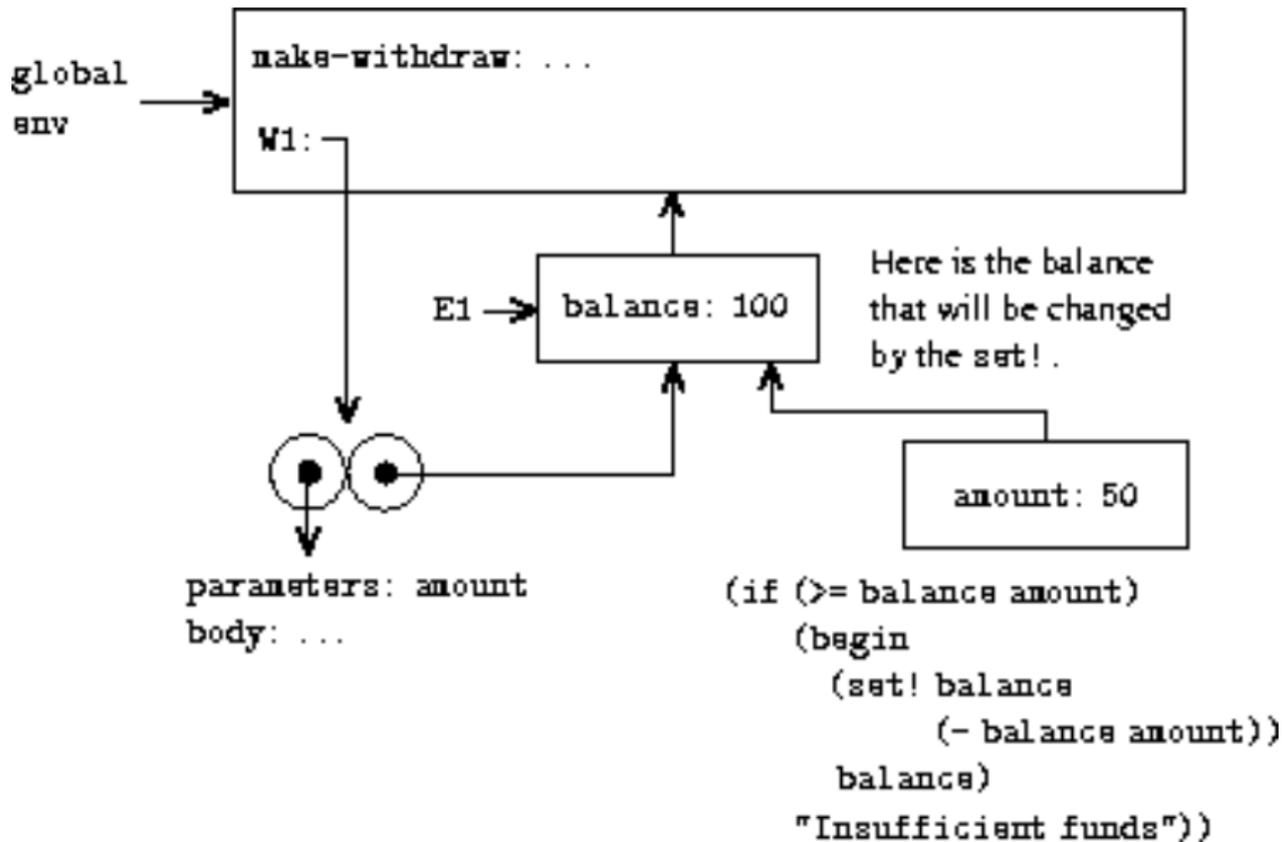


```
parameters: balance
body: (lambda (amount)
      (if (>= balance amount)
          (begin (set! balance (- balance amount))
                  balance)
          "Insufficient funds"))
```

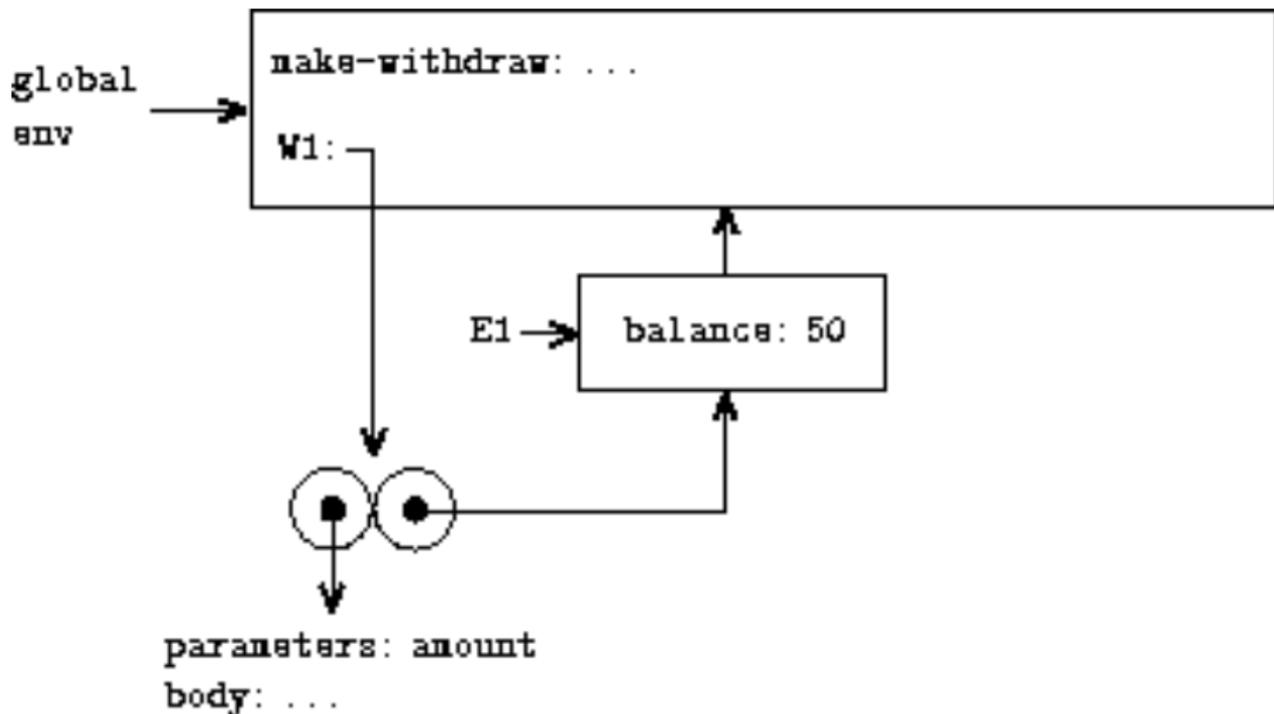
(define W1 ...) 実行直後の様子



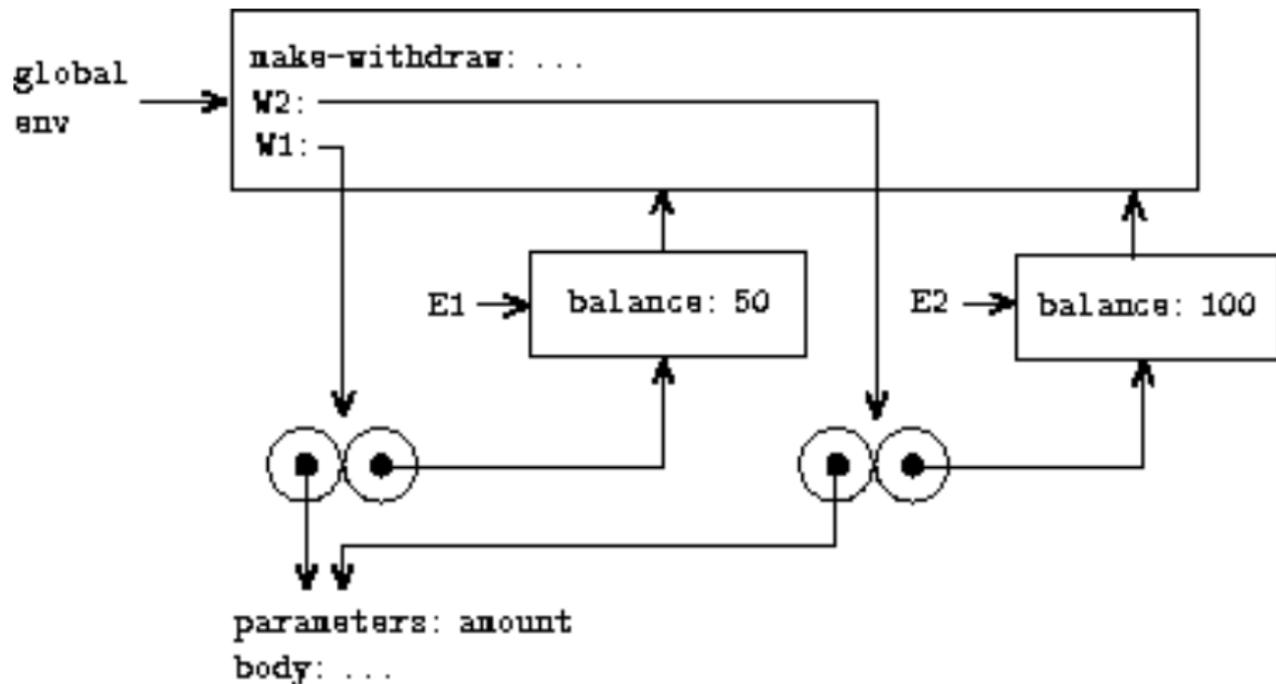
(W1 50) の W1 呼び出し直後の様子



(W1 50) 実行直後の様子



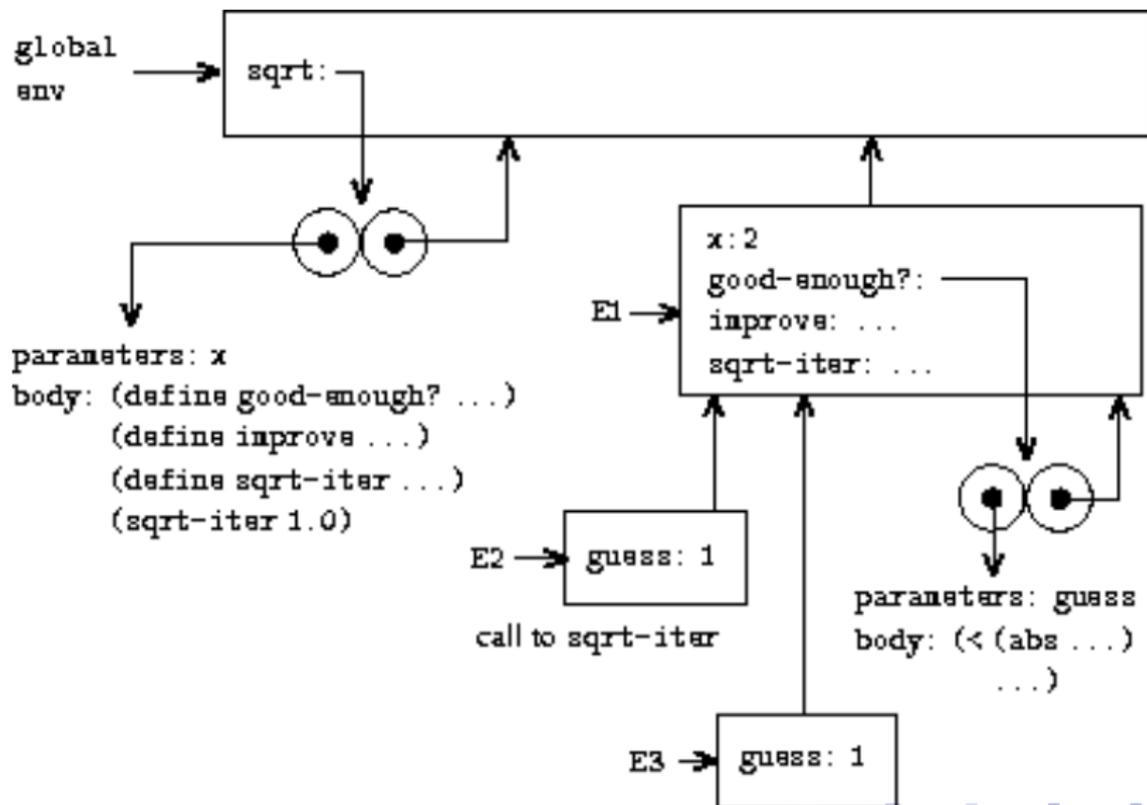
(deine W2 (make-withdrawal 100)) の結果



3.2.4 内部定義

```
(define (sqrt x)
  (define (good-enough? guess)
    (< (abs (- (square guess) x)) 0.001))
  (define (improve guess)
    (average guess (/ x guess)))
  (define (sqrt-iter guess)
    (if (good-enough? guess)
        guess
        (sqrt-iter (improve guess))))
  (sqrt-iter 1.0))
(sqrt 2)
```

(sqrt 2) の評価中, 最初の good-enough? 呼び出し直後の様子



評価の環境モデルまとめ

- 局所定義された手続きで使われる名前と外側の名前が干渉しない
 - ▶ ← 束縛されるフレームが違うため
- 局所定義された手続き内では，shadowing がない限り外側で定義された名前が参照できる
 - ▶ 定義を表すフレームが内側 (先頭) から数珠繋ぎになっていて，順に探索していくため
- set! は単なる束縛の書き換え

3.3 節 「変更可能データを使ったモデリング」

予習ポイント:

- `set-car!`, `set-cdr!` の動作は何か？
- 以下のふたつのプログラムの違いは何か？
 - ▶

```
(define y  
  (cons (list 'a 'b) (list 'a 'b)))
```
 - ▶

```
(define x (list 'a 'b))  
(define y (cons x x))
```
- キュー (queue) とはどのようなデータ構造か？ FIFO とは何？

宿題：

午後4:30 締切

- Ex. 3.1, 3.3, 3.7, 3.9 とチェックポイント (14 枚目) についての説明
- レポート (pdf) を提出システムを通じて提出
- 友達に教えてもらったら、その人の名前を明記
- web は出典を明記 (「同じ」回答は減点)