# sp-16. cons と種々のデータ構造

（Scheme プログラミング）

URL: https://www.kkaneko.jp/pro/scheme/index.html

金子邦彦

# アウトライン

16-1 ペア

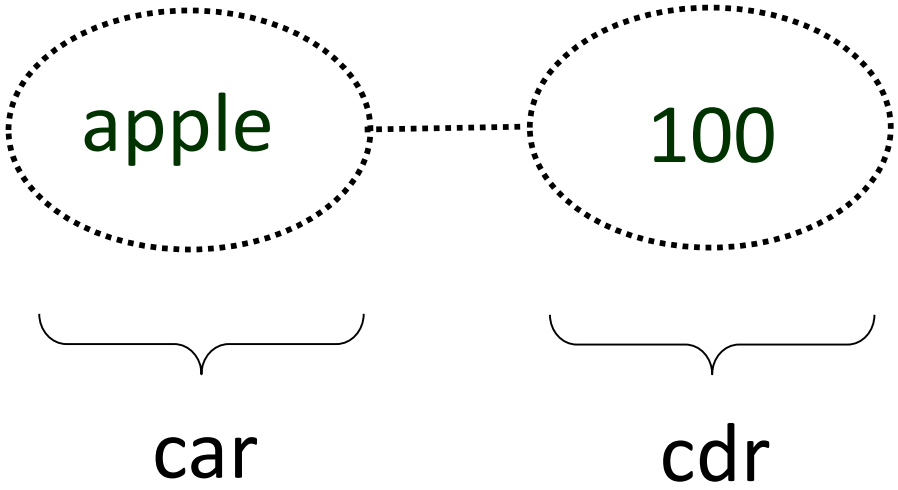
16-2 パソコン演習

16-3 課題

# 16-1 ペア

# ペアとは

## 単純なペアの例




ペアとは：　２つの構成部分のペアのこと.
car と cdr に分かれる

# car と cdr

- cons は 2 つの引数を取り，2 つの引数を部分として含むような「ペア」を返す

  例）　(define x (cons 'apple 100))

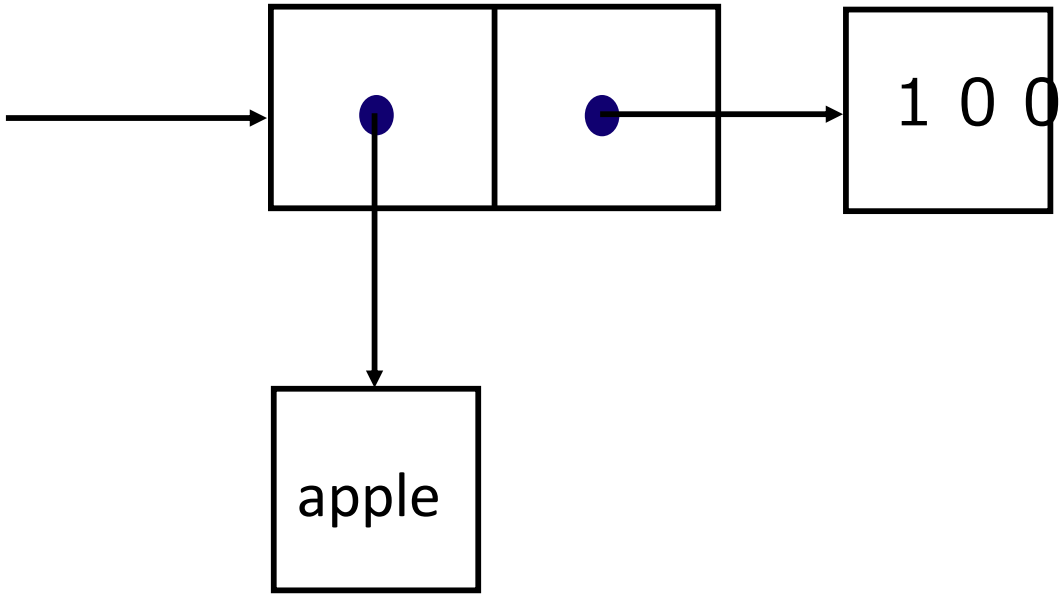
- ペアを構成する部分は，car, cdr で取り出せる

  例）　(car x)　→「apple」が得られる

  (cdr x)　→「100」が得られる

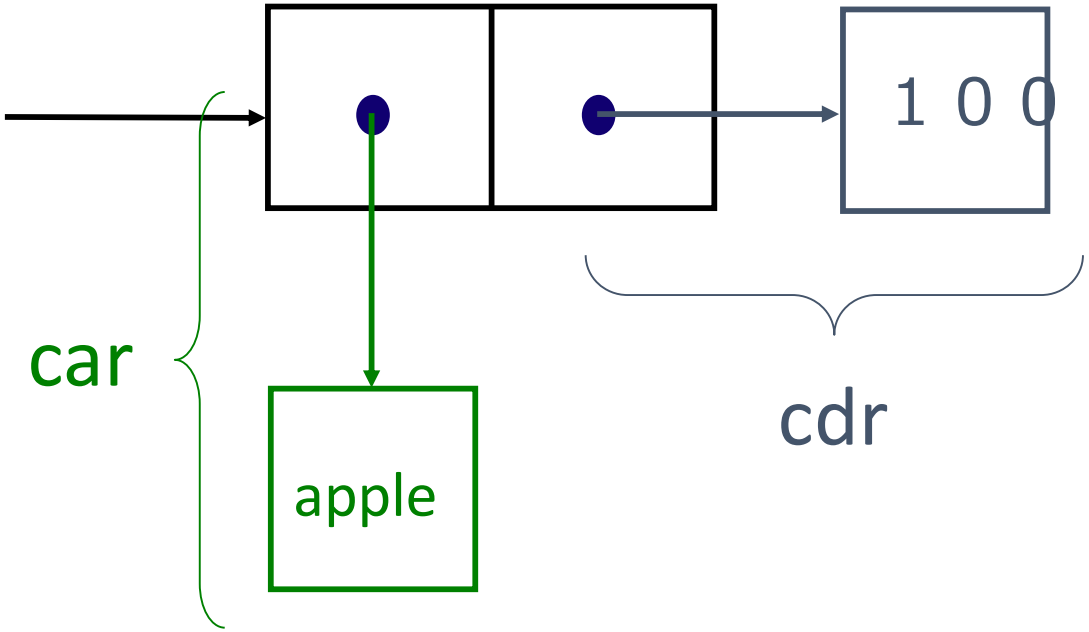
- ペアは，「対」ともいう

# (cons 'apple 100) の箱とポインタ記法

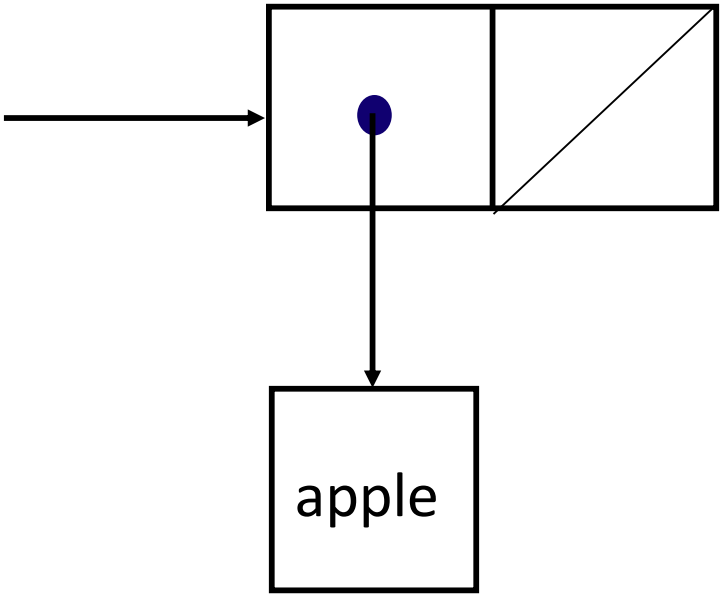



ペアとは：　２つの構成部分のペアのこと.
car と cdr に分かれる

# (cons 'apple 100) の箱とポインタ記法

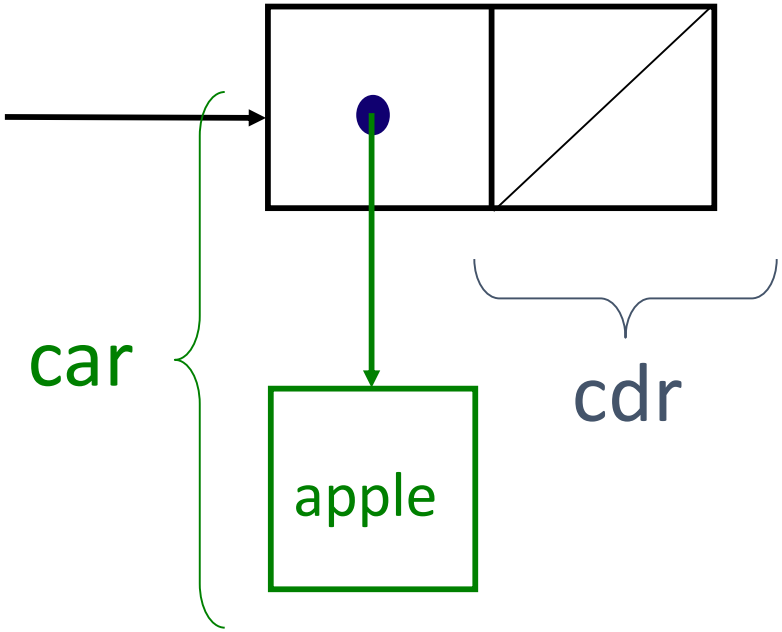


# (cons 'apple empty) の箱とポインタ記法




ペアは，上のように，箱とポインタ表記される

# (cons 'apple empty) の箱とポインタ記法



# まとめ

- 「リスト」は末尾が「空リスト」であるような「ペアの並び」である

- ペアの組み合わせによって，複雑な構造を表現できる

# 16-2 パソコン演習

# パソコン演習の進め方

- 資料を見ながら，「例題」を行ってみる
- 各自，「課題」に挑戦する
- 自分のペースで先に進んで構いません

# DrScheme の使用

- DrScheme の起動
  プログラム　→ PLT Scheme → DrScheme
- 今日の演習では「Full Scheme」に設定
  Language
  → Choose Language
  → Full Scheme
  → OK
  → 「Execute ボタン」

# Full Scheme では

- ペアが，自由に扱えるようになる

- 但し，「empty」が使えなくなるので，代わりに「'()」を使う
  - Full Scheme で empty を使おうとするとエラー
- リストの表示が変わる

(list 15 8 6) ⇒ (15 8 6) のように

# 例題１．ペア

- シンボルと数値のペアを作る
  - ペアを生成するために cons を使う
  - ペアを構成する部分（'apple や 100 など)を取り出すために car, cdr を使う

| | |
|---|---|
| 変数x： | シンボル 'apple と数値 100 のペア |
| 変数y: | シンボル 'orange と数値 60 のペア |
| 変数z: | シンボル 'banana と数値 80 のペア |

# 「例題１．ペア」の手順

1. 次を「定義用ウインドウ」で，実行しなさい
   - 入力した後に，Execute ボタンを押す

```
(define x (cons 'apple 100))
(define y (cons 'orange 60))
(define z (cons 'banana 80))
```

2. その後，次を「実行用ウインドウ」で実行しなさい

```
x
(car x)
(cdr x)
```

☆　次は，例題２に進んでください

Untitled

(define ...)

Save | Check Syntax | Step | Execute | Break

```
(define x (cons 'apple 100))
(define y (cons 'orange 60))
(define z (cons 'banana 80))
```

ペアの生成

```
> x
(apple . 100)
> (car x)
apple
> (cdr x)
100
```

表示されたペア

10:3 | Unlocked | not running

# 例題２．リストの変数定義

- リスト 15, 8, 6 を変数として定義し，名前Aを付ける
  - 変数を定義するために define を使う
  - リストを作るために cons を使う

# 「例題２．リストの変数定義」の手順

1. 次を「定義用ウインドウ」で，実行しなさい
   - 入力した後に，Execute ボタンを押す

```
(define A (cons 15 (cons 8 (cons 6 '()))))
```

2. その後，次を「実行用ウインドウ」で実行しなさい

```
A
(car A)
(cdr A)
```

☆　次は，例題３に進んでください

Untitled
(define ...)
Save
Check Syntax
Step
Execute
Break

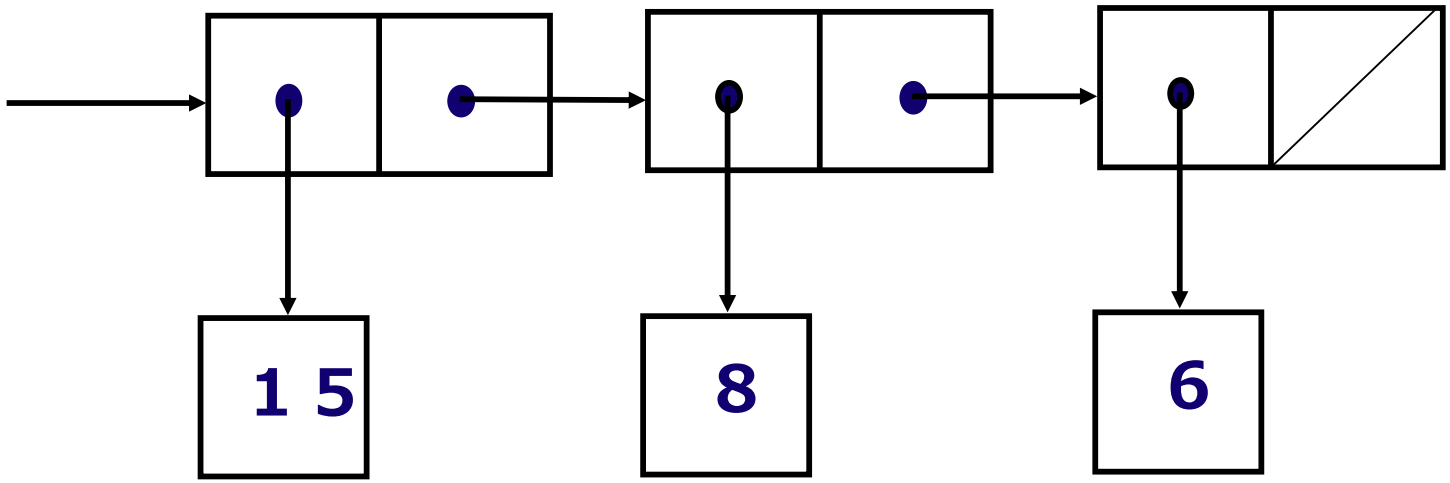
```
(define A (cons 15 (cons 8 (cons 6 '()))))
```

「'()」は，空リストの意味

```
> A
(15 8 6)
> (car A)
15
> (cdr A)
(8 6)
> (cadr A)
8
```

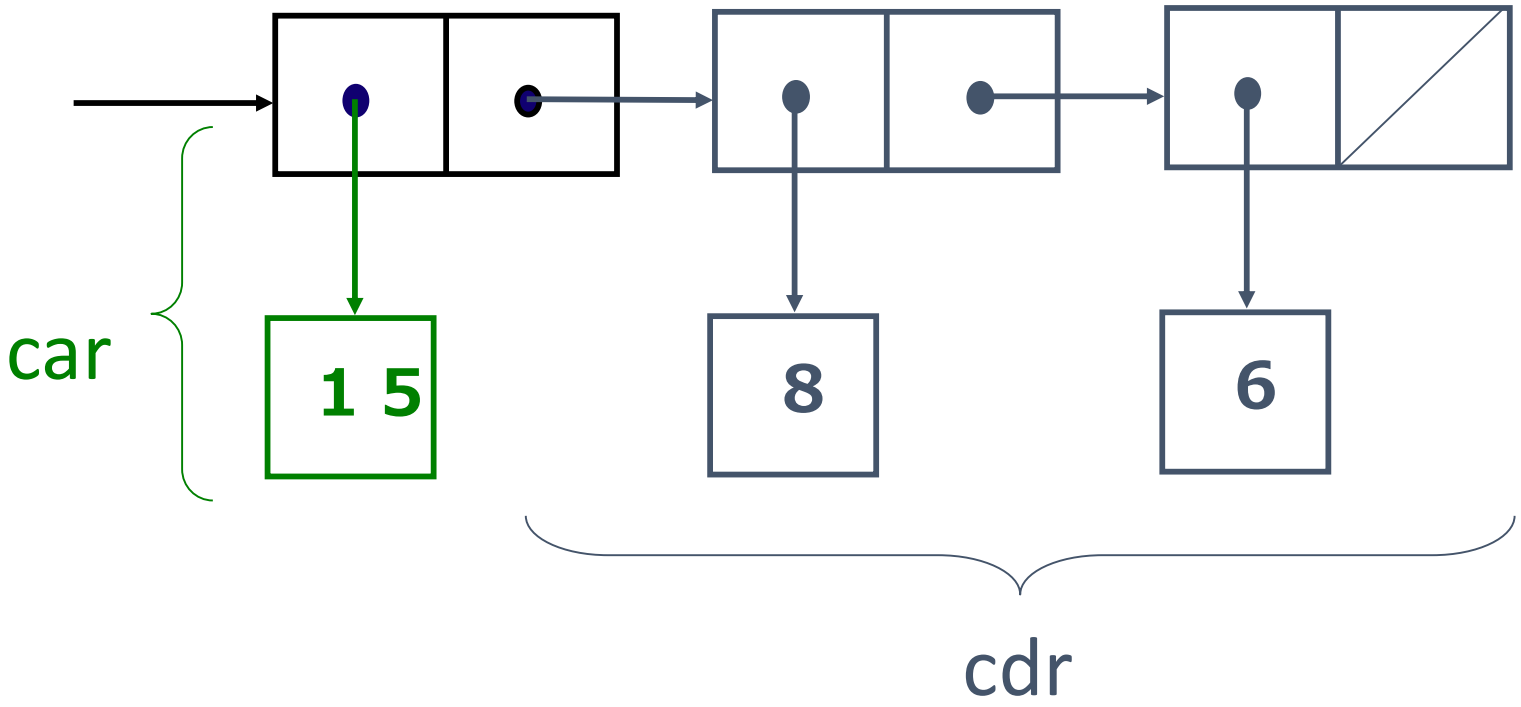
12:3
Unlocked
not running

# (cons 15 (cons 8 (cons 6 '()))) の箱とポインタ記法

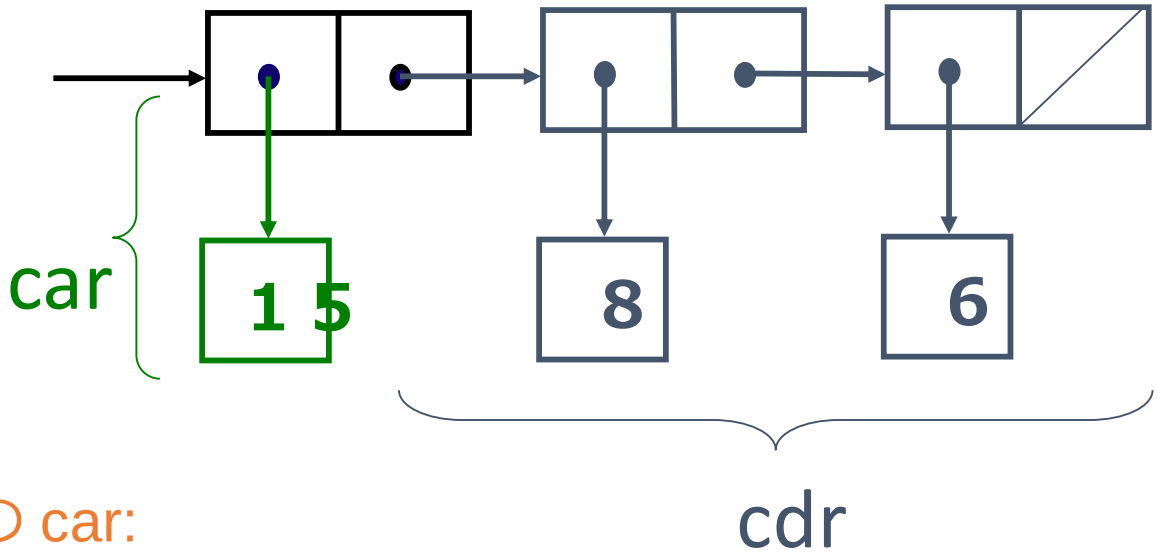



- リストの要素が，「ペアの並び」として順順につながる

# (cons 15 (cons 8 (cons 6 '()))) の箱とポインタ記法

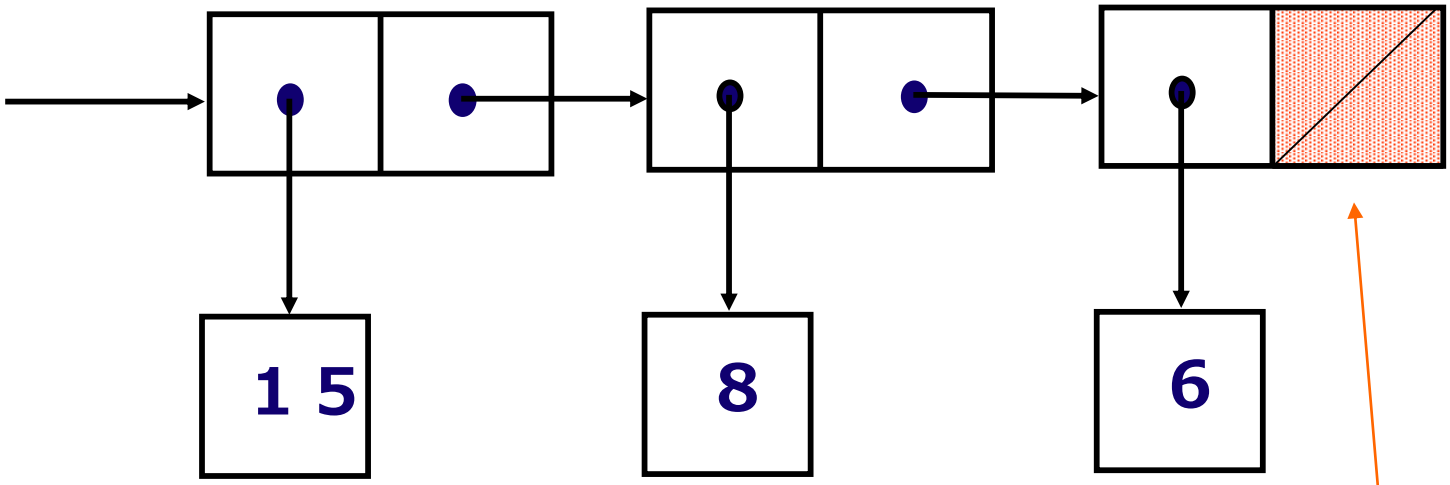


# リストの car と cdr



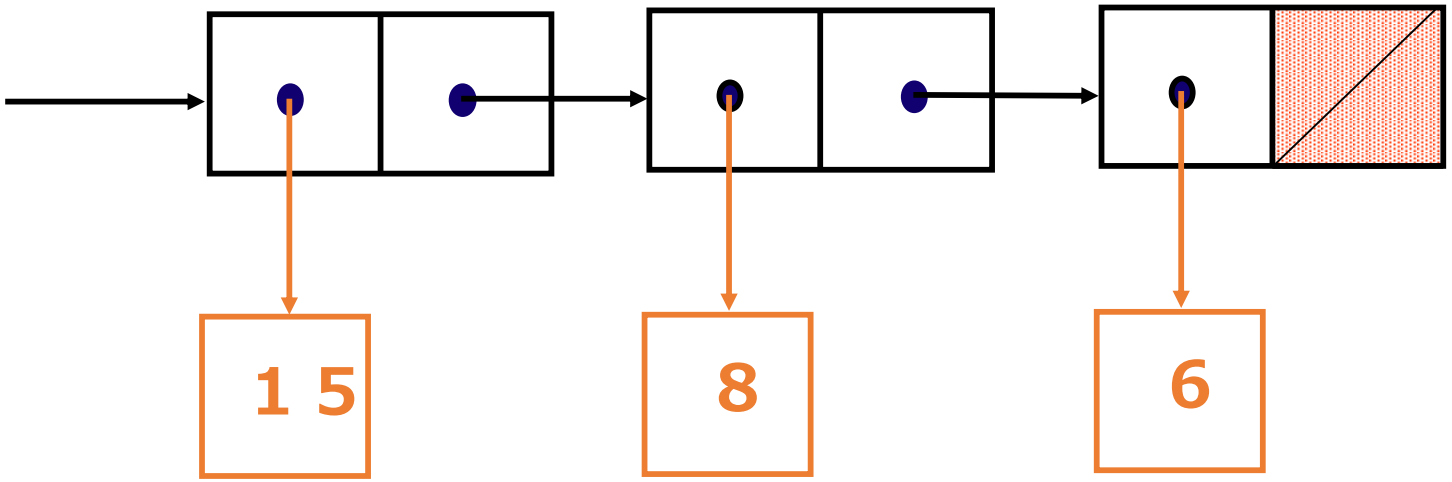

- リストの car:
  - リストの先頭要素
- リストの cdr:
  - リストから先頭要素を取り除いた残り（やはりリスト）

# リストの末尾としての空リスト



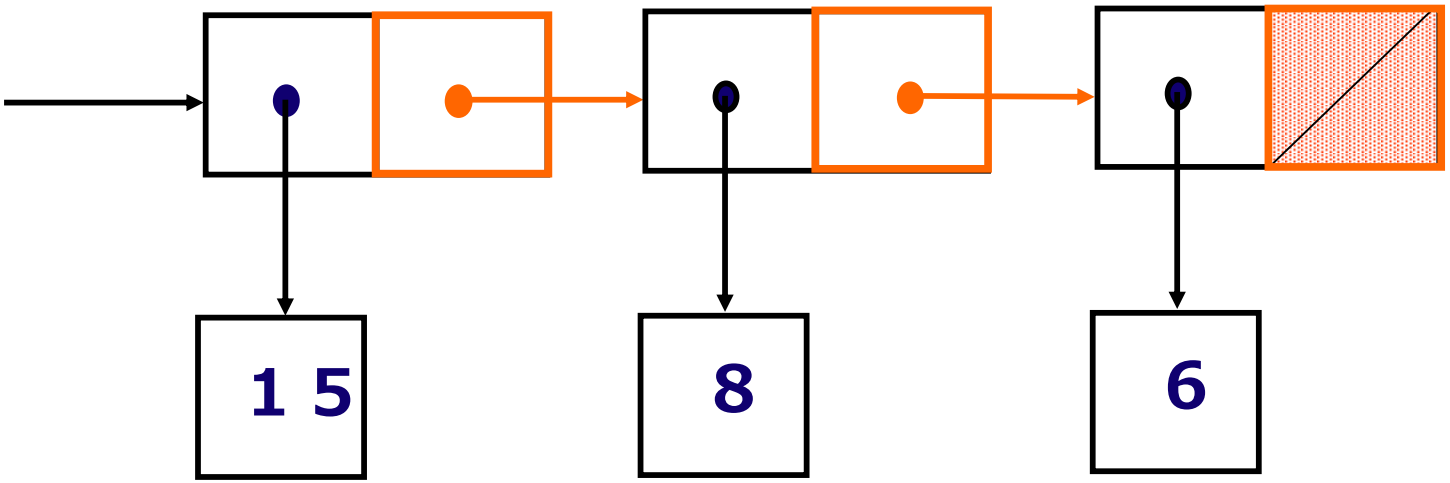

「空リストである」ことを示す特別な値が入っている

# リストを構成するペアの性質 (1/2)




- リストを構成するペアの個数：リストの要素数に等しい
- リストを構成するペアの car： リストの要素が入る

# リストを構成するペアの性質 (2/2)




- リストを構成するペアの右側のセル(cdr フィールド)
  - 次の要素へのポインタか，「空リスト」であることを示す特別な値（リストの末端であることを示す）が入る

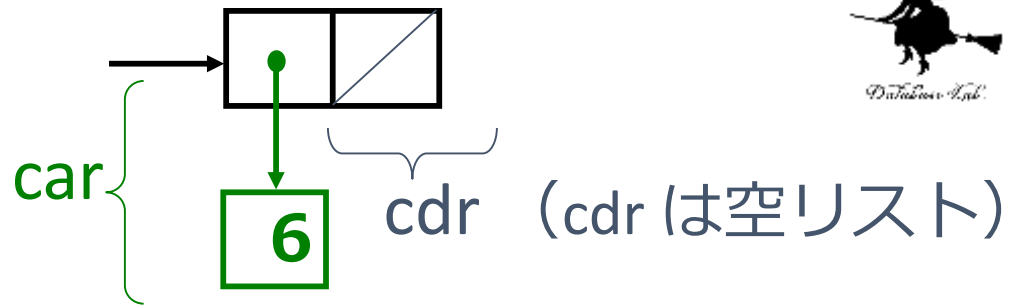
# リストとは

- Scheme では

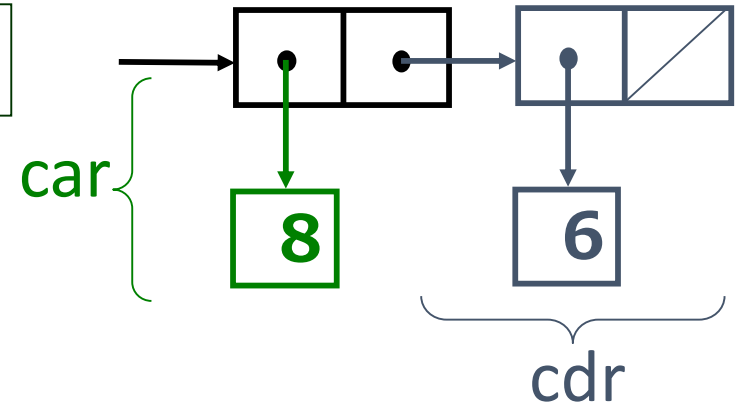
  末尾が「空リスト」であるようなペアの並び

  - 並びの最後のペアの cdr フィールドに空リスト　が入っている
  - 行儀の良いリスト（proper list）と呼ぶこともある

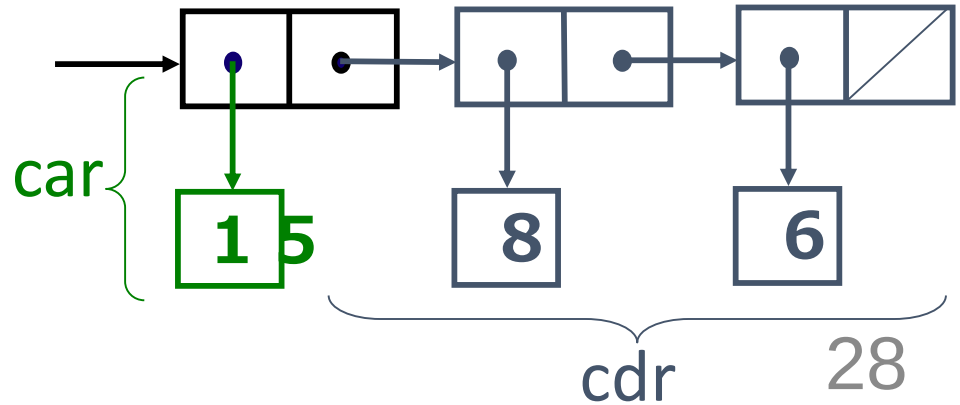
(cons 6 '())




(cons 8 (cons 6 '()))




(cons 15 (cons 8 (cons 6 '())))

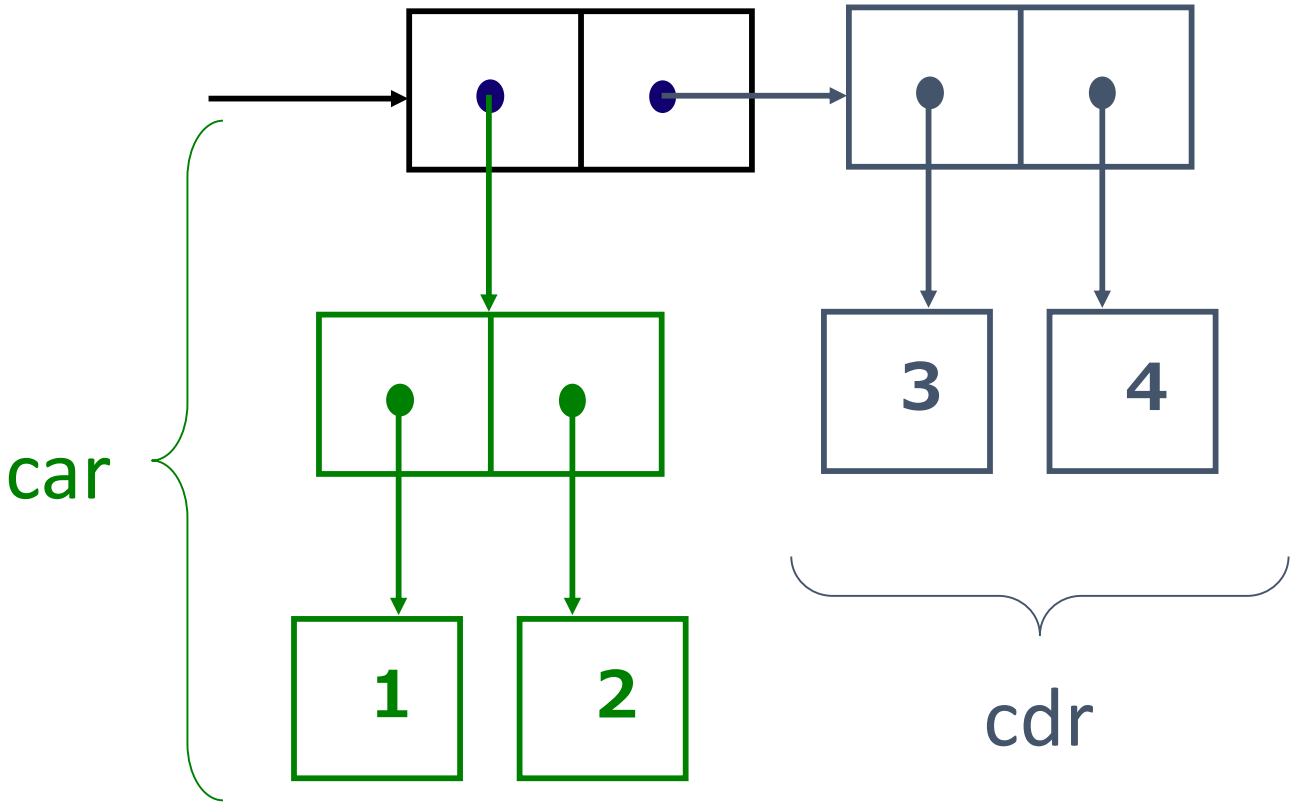


# cons の意味

- リストでは：
  - リストと要素をつなげて，新しいリストを作る
- 一般的には：
  - データとデータをつなげて，新しいペアを作る

# 例題３．ペアから構成されたペア

- 下記のペアを，変数aとして定義する



# 「例題３．ペアから構成されたペア」の手順

1. 次を「定義用ウインドウ」で，実行しなさい
   - 入力した後に，Execute ボタンを押す

```
(define a (cons (cons 1 2)
                (cons 3 4)))
```

2. その後，次を「実行用ウインドウ」で実行しなさい

```
a
(car a)
(cdr a)
```

☆　次は，例題４に進んでください

Untitled

(define ...)

Save | Check Syntax | Step | Execute | Break

```
(define a (cons (cons 1 2)
                (cons 3 4)))
```

ペアの生成

```
> a
((1 . 2) 3 . 4)
> (car a)
(1 . 2)
> (cdr a)
(3 . 4)
```

表示されたペア

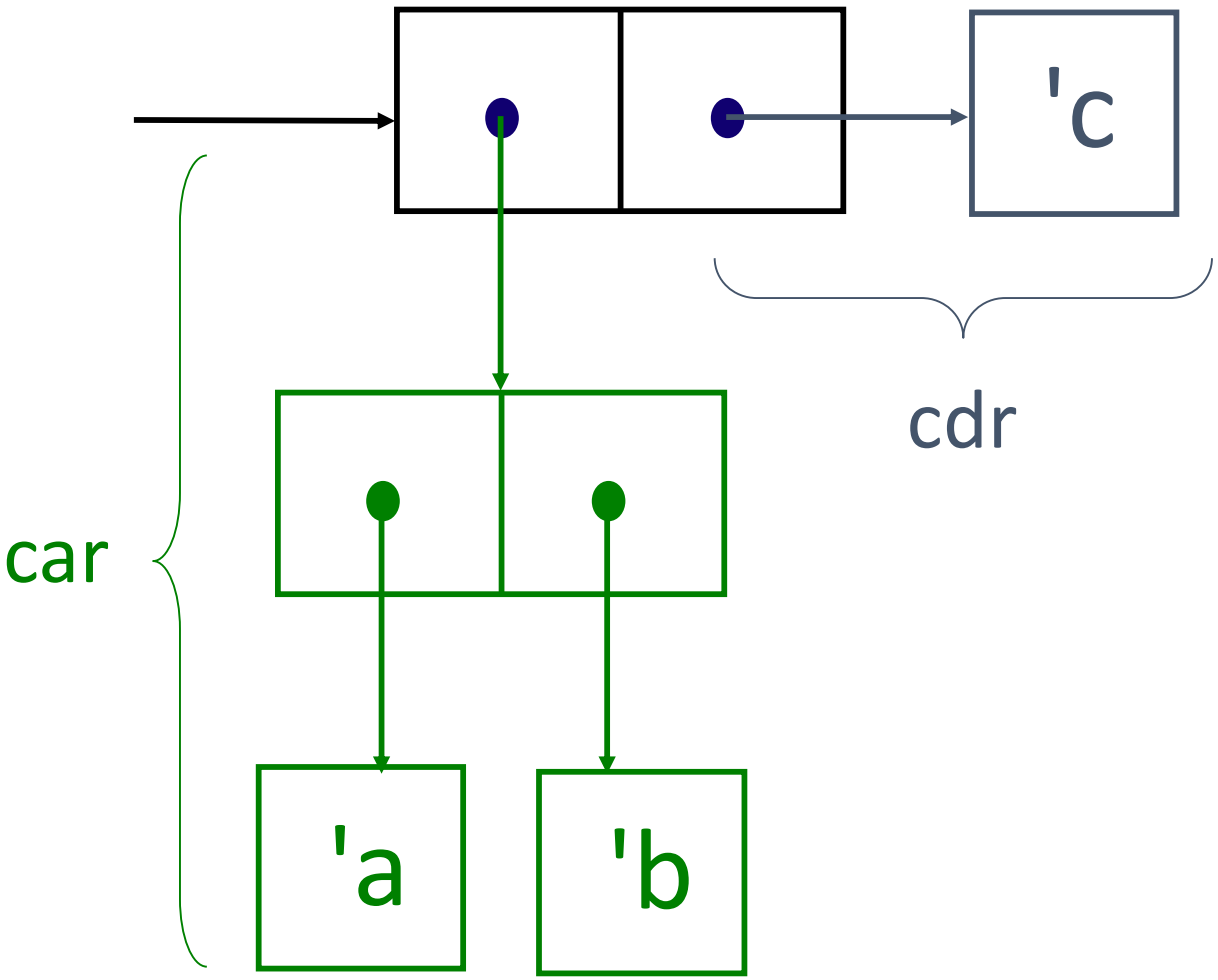
14:3 | Unlocked | not running

# 例題３のプログラム例

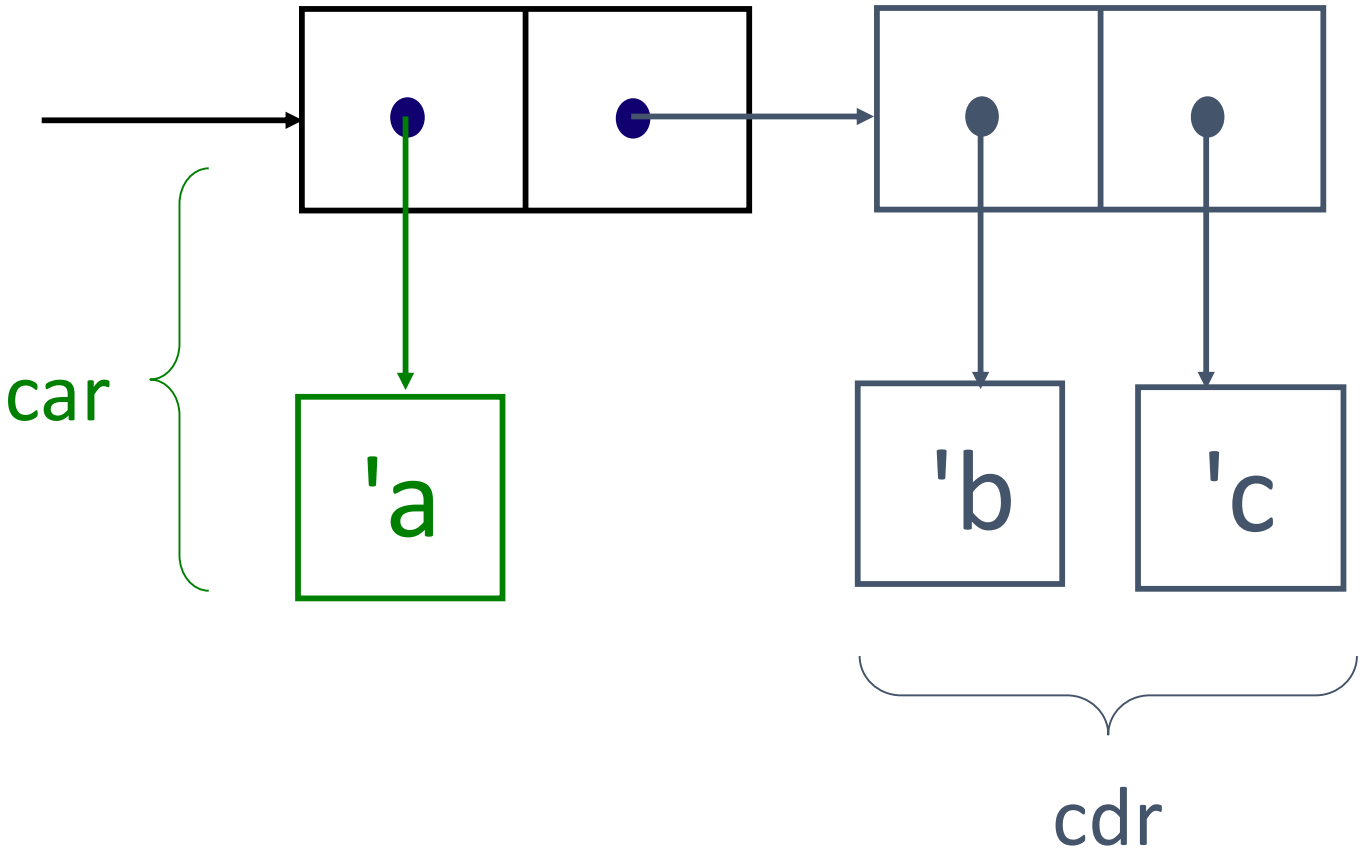
```
(define a (cons (cons 1 2)
                (cons 3 4)))
```

ペアから構成されたペアは,
「cons の入れ子」で書ける

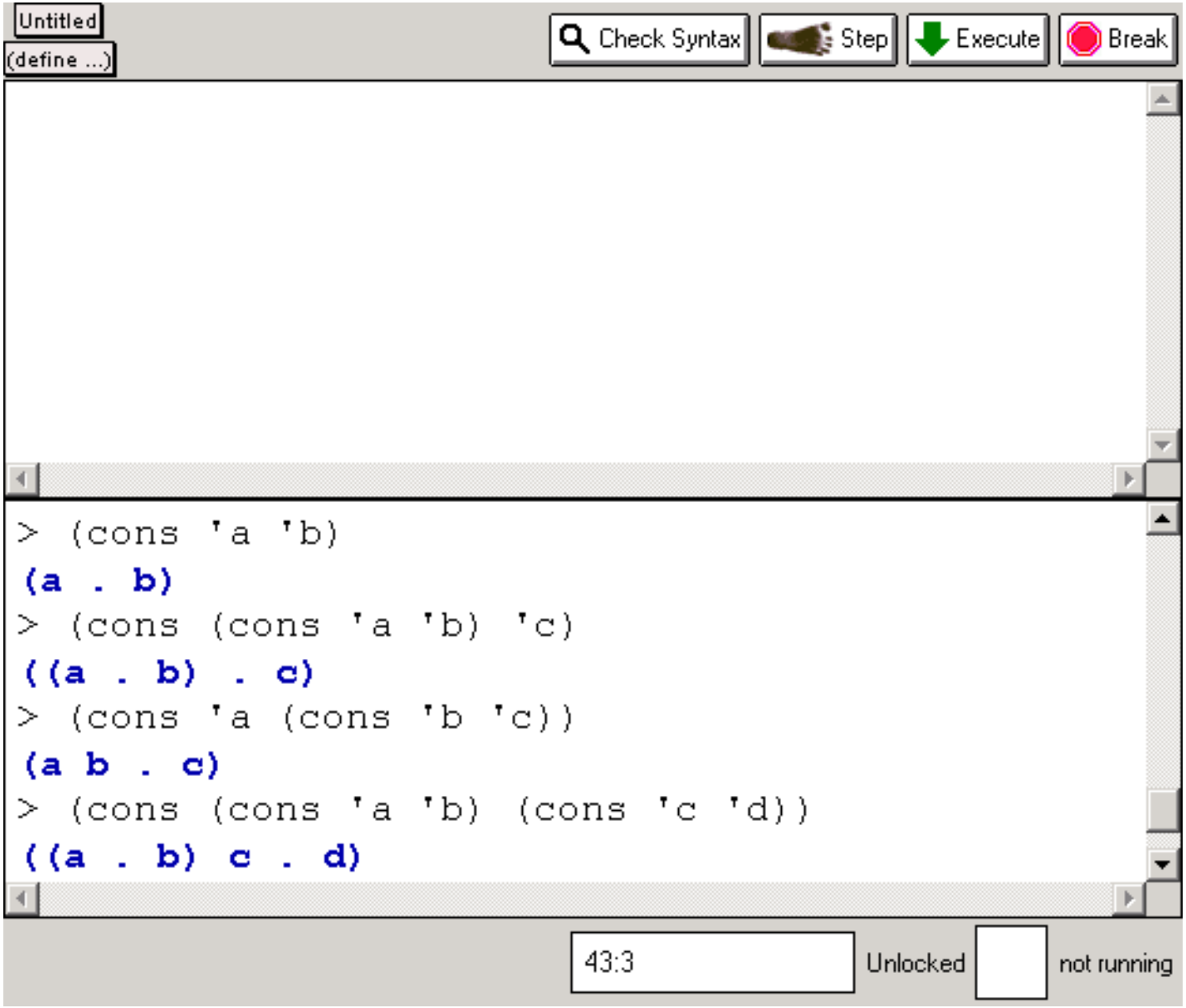
# (cons (cons 'a 'b) 'c) の箱とポインタ記法



# (cons 'a (cons 'b 'c)) の箱とポインタ記法

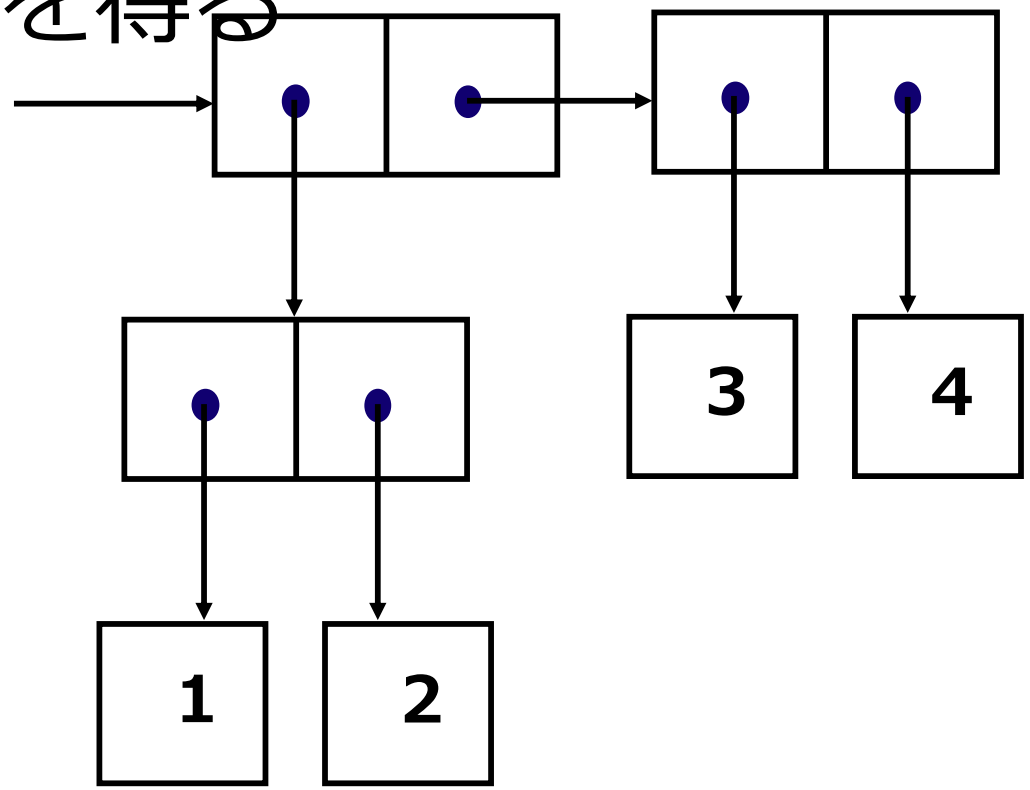


# cons によるペアの表記



# 例題４．car と cdr の組み合わせ

- 例題３のペアについて，car と cdr を組み合わせて，「１」，「２」，「３」，「４」を得る



# 「例題３． car と cdr の組み合わせ」の手順

1. 次を「定義用ウインドウ」で，実行しなさい
   - 入力した後に，Execute ボタンを押す

```
(define a (cons (cons 1 2)
                (cons 3 4)))
```

2. その後，次を「実行用ウインドウ」で実行しなさい

```
(car (car a))
(cdr (car a))
(car (cdr a))
(cdr (cdr a))
(caar a)
(cdar a)
(cadr a)
(cddr a)
```

☆　次は，例題４に進んでください

Untitled

(define ...)

Save | Check Syntax | Step | Execute | Break

```
(define a (cons (cons 1 2)
                (cons 3 4)))
```

```
> (car (car a))
1
> (cdr (car a))
2
> (car (cdr a))
3
> (cdr (cdr a))
4
```

12:3 | Unlocked | not running

Untitled

(define ...)

Save | Check Syntax | Step | Execute | Break

```
(define a (cons (cons 1 2)
                (cons 3 4)))
```

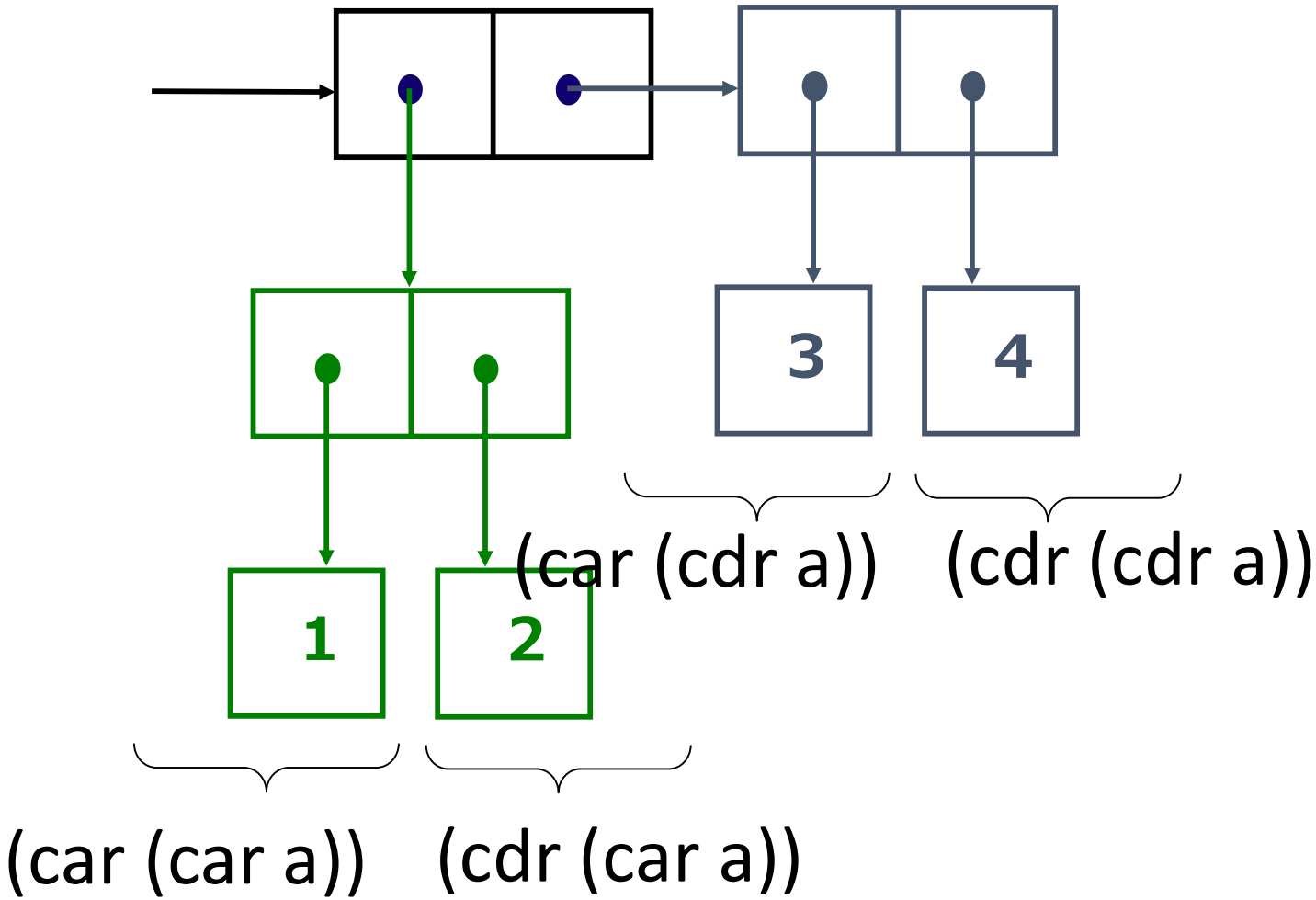
```
> (caar a)
1
> (cdar a)
2
> (cadr a)
3
> (cddr a)
4
```

20:3 | Unlocked | not running

# 例題４のプログラム例

```
(define a (cons (cons 1 2)
                (cons 3 4)))
(car (car a))
(cdr (car a))
(car (cdr a))
(cdr (cdr a))
```

# car, cdr の組み合わせ



# car, cdr の組み合わせ

- (caar pair)
- (cadr pair)

…

- (cdddr pair)

car, cdr を４つまで組み合わせることができる

# ペアに関する関数

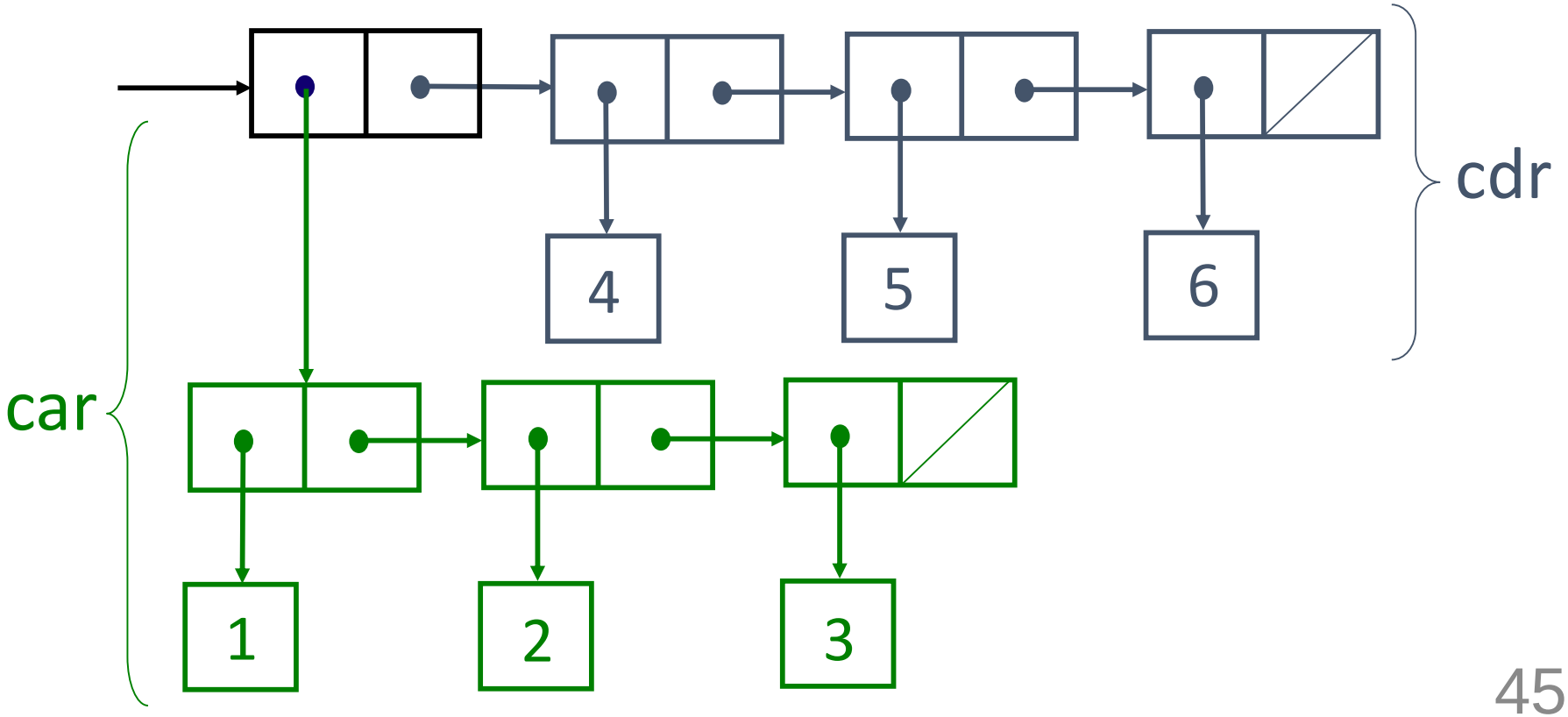
- (cons obj1 obj2)
  ペアの生成
- (car pair)
  car の取り出し
- (cdr pair)
  cdr の取り出し
- (caar pair)
- (cadr pair)

...

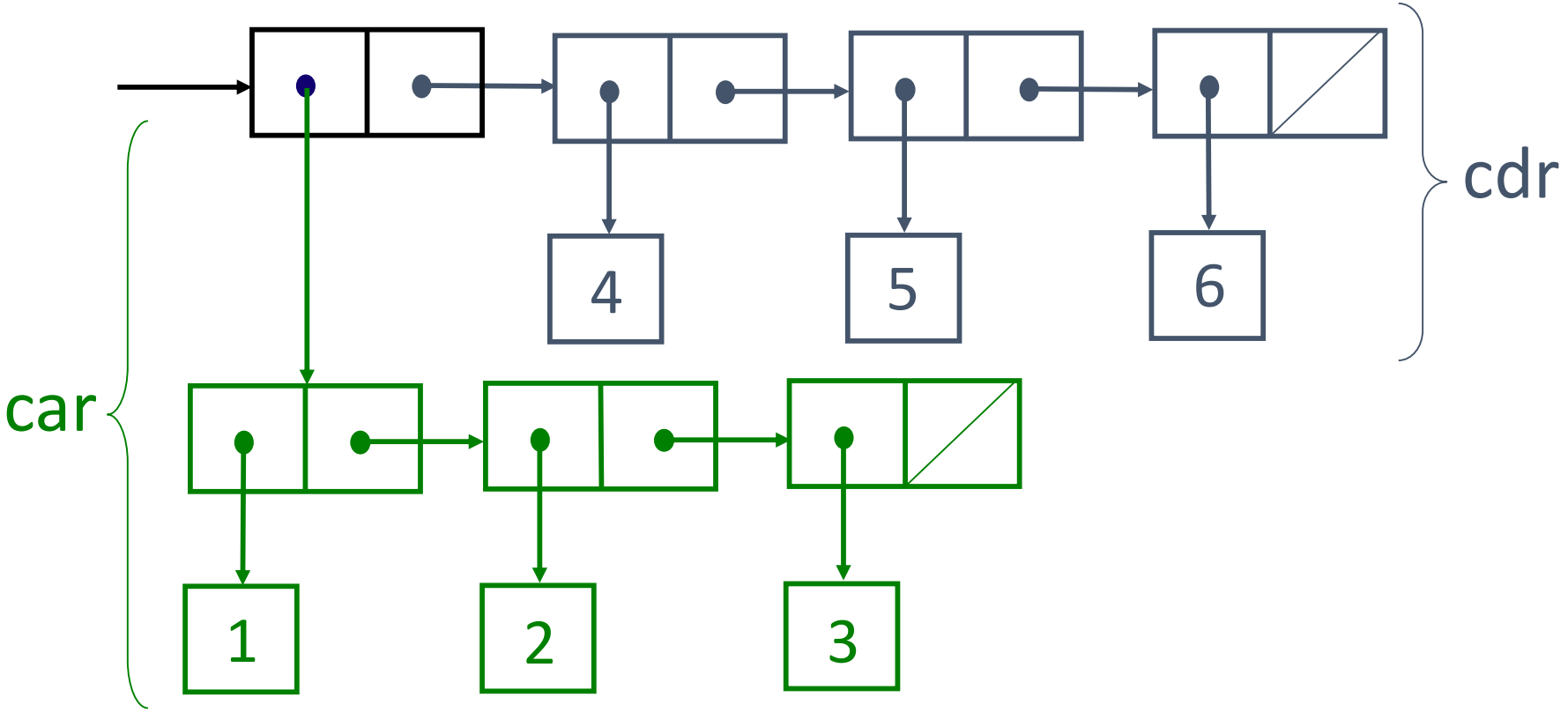
- (cdddr pair)
  car, cdr を４つまで組み合わせることができる

# 例題５． cons と list の組み合わせ(1)

- 下記のようなペアの集まりを，変数xとして定義する



# cons と list の組み合わせ (1/2)




```
(define x (cons (list 1 2 3)
                (list 4 5 6)))
```

Untitled - DrScheme

File Edit Windows Show Language Scheme Help

Untitled

(define ...)

Save | Check Syntax | Step | Execute | Break

```
(define x (cons (list 1 2 3)
                (list 4 5 6)))
```

```
> x
((1 2 3) 4 5 6)
> (car x)
(1 2 3)
> (cdr x)
(4 5 6)
```

11:3

not running

Untitled - DrScheme

File Edit Windows Show Language Scheme Help

Untitled (define ...) Save Check Syntax Step Execute Break

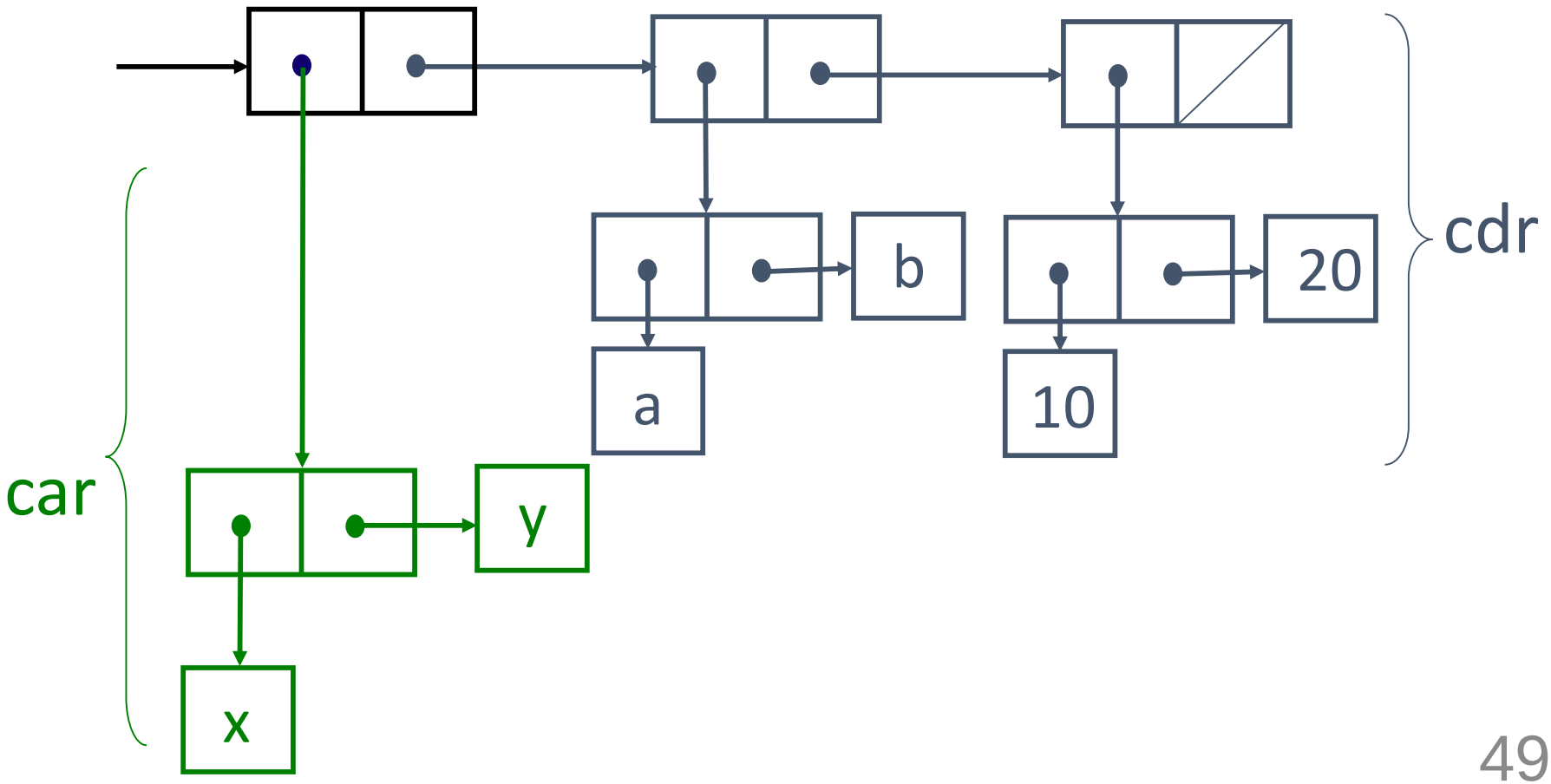
```
(define x (cons (list 1 2 3)
                (list 4 5 6)))
```

```
> x
((1 2 3) 4 5 6)
> (car x)
(1 2 3)
> (cdr x)
(4 5 6)
```

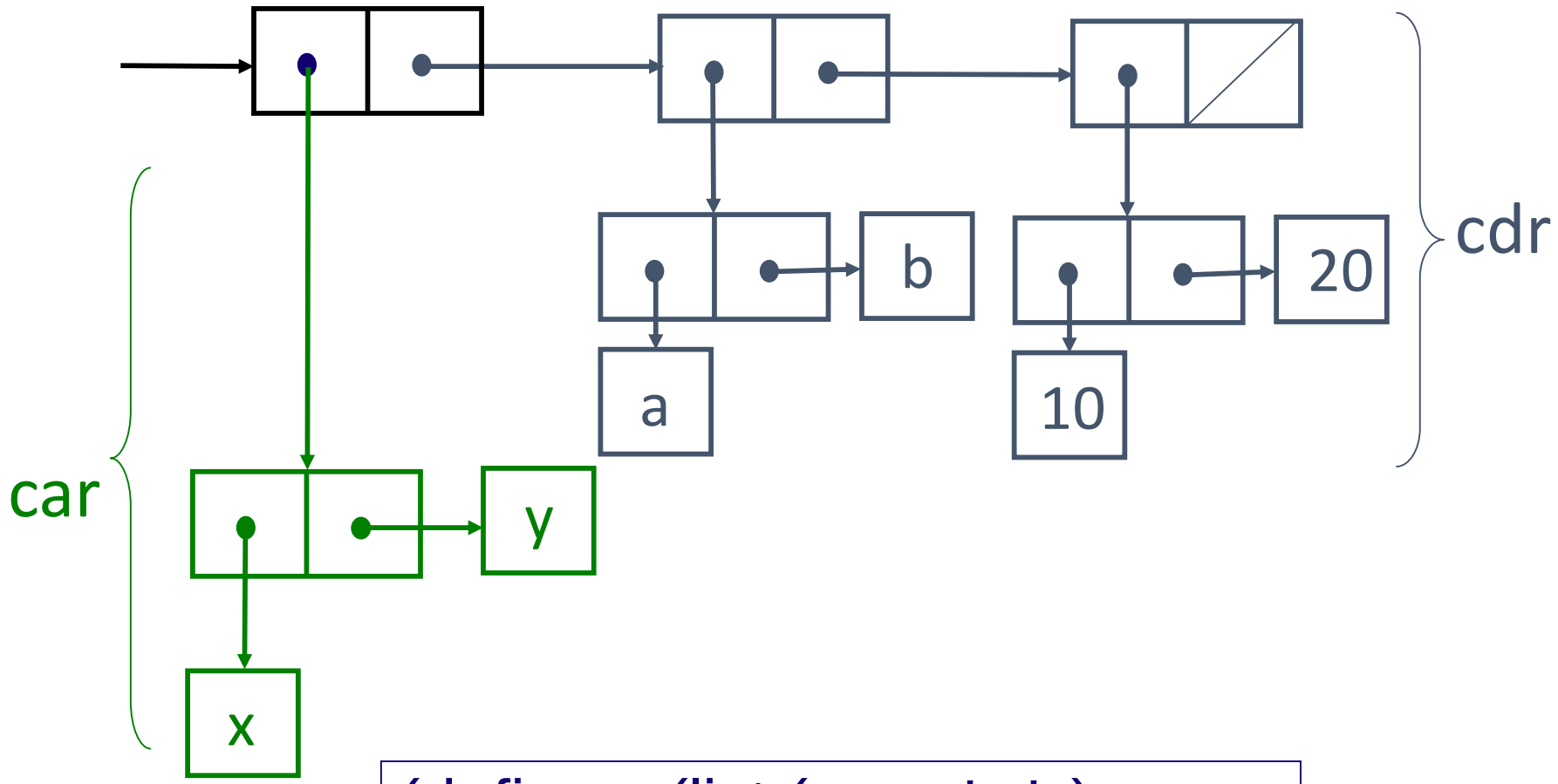
11:3 not running

# 例題６． cons と list の組み合わせ(2)

- 下記のようなペアの集まりを，変数xとして定義する



# cons と list の組み合わせ (2/2)




```
(define x (list (cons 'x 'y)
                (cons 'a 'b)
                (cons 10 20)))
```

Untitled - DrScheme

File Edit Windows Show Language Scheme Help

Untitled

(define ...)

Save | Check Syntax | Step | Execute | Break

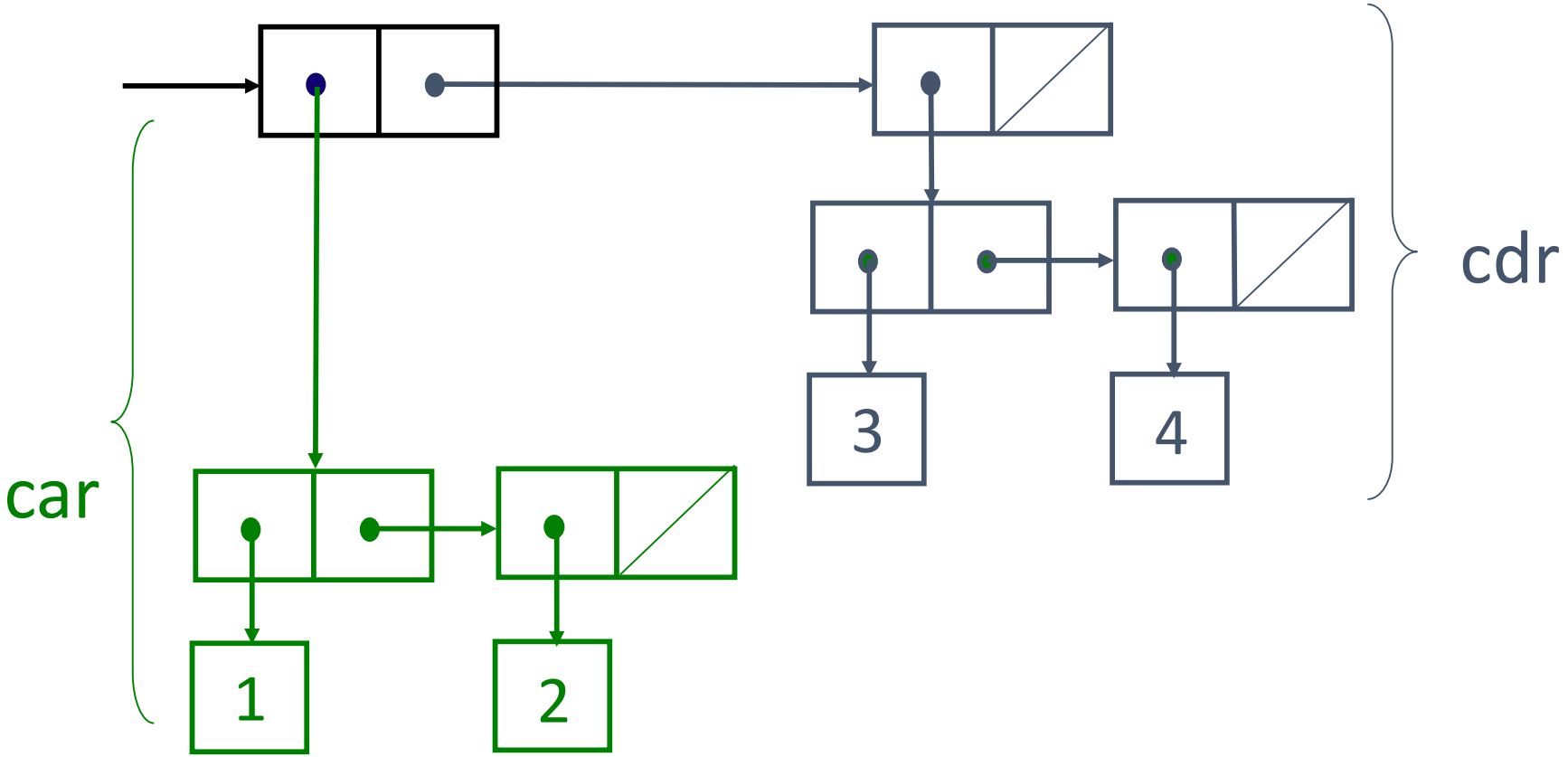
```
(define x (list (cons 'x 'y)
                (cons 'a 'b)
                (cons 10 20)))
```

```
> x
((x . y) (a . b) (10 . 20))
> (car x)
(x . y)
> (cdr x)
((a . b) (10 . 20))
```

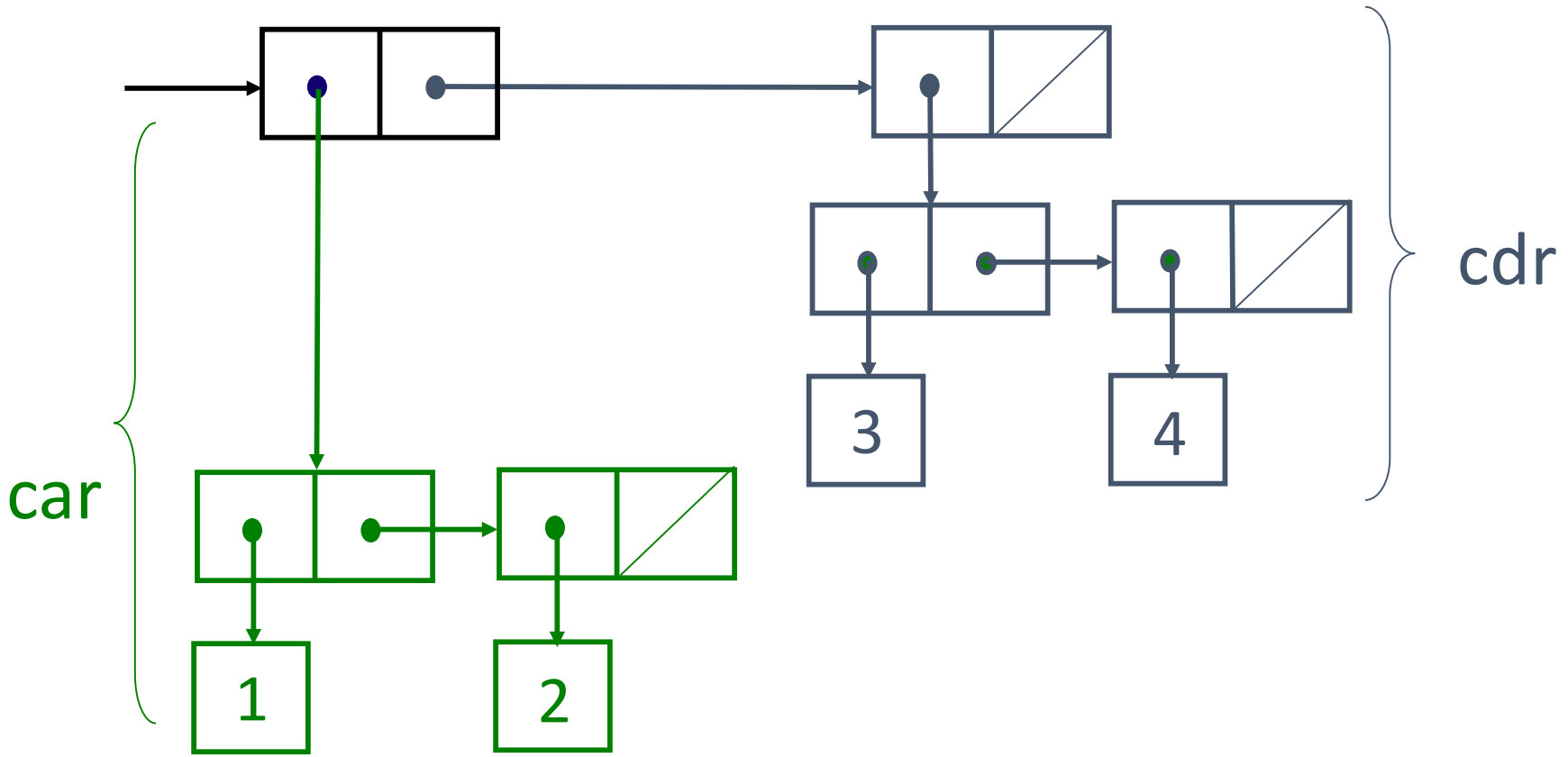
11:3 Unlocked not running

# 例題７． list と list の組み合わせ

- 下記のようなペアの集まりを，変数xとして定義する



# list と list の組み合わせ




```
(define x (list (list 1 2)
                (list 3 4)))
```

Untitled - DrScheme

File Edit Windows Show Language Scheme Help

Untitled

(define ...)

Save | Check Syntax | Step | Execute | Break

```
(define x (list (list 1 2)
                (list 3 4)))
```

```
> x
((1 2) (3 4))
> (car x)
(1 2)
> (cdr x)
((3 4))
```

11:3 Unlocked not running

# ドット対の例

(cons 'a 'b)

⇒　(a . b)　と表示される

(cons (cons 'a 'b) 'c)

⇒　((a . b) . c)　と表示される

(cons 'a (cons 'b 'c))

⇒　(a b . c)　と表示される

(cons (cons 'a 'b) (cons 'c 'd))

⇒　(( a . b) c . d)　と表示される

Untitled

(define ...)

Check Syntax | Step | Execute | Break

```
> (cons 'a 'b)
(a . b)
> (cons (cons 'a 'b) 'c)
((a . b) . c)
> (cons 'a (cons 'b 'c))
(a b . c)
> (cons (cons 'a 'b) (cons 'c 'd))
((a . b) c . d)
```

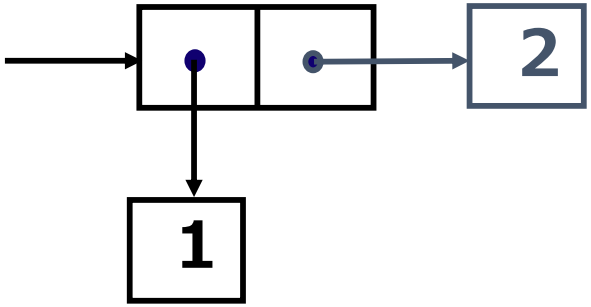
43:3 Unlocked not running

# ドット対

- ペアの cdr がリストになっていない場合
  - つまり，cdr 方向にペアの並びをみたときに，末尾が「空リスト」になっていなければ

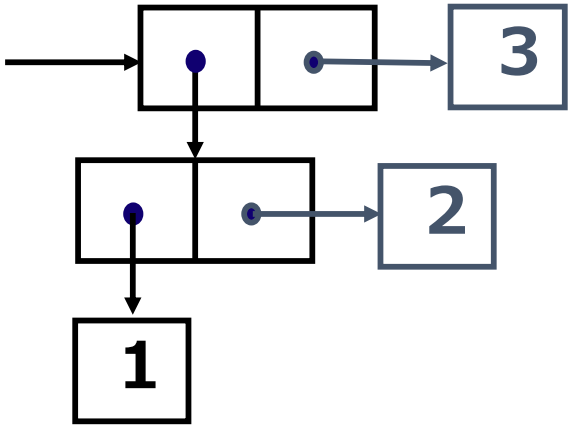
  ⇒　ドットを，末尾の要素の前に追加

(cons 1 2)



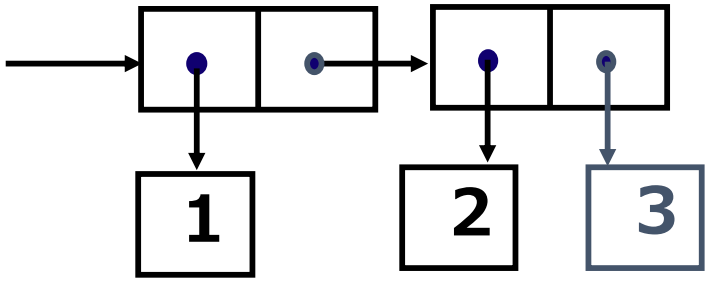

(1 . 2)

(cons (cons 1 2) 3)




((1 . 2) . 3)

(cons 1 (cons 2 3))




(1 2 . 3)

# 16-3 課題

# 課題①

- 実行結果を報告しなさい
  - 実行上の注意：　DrScheme で，必ず「Full Scheme」を選んでから実行すること.

| | (list (cons 1 2) (cons 3 4)) | (list (list 1 2) (list 3 4)) |
|---|---|---|
| (car (list ...)) の実行結果 | | |
| (cdr (list ...)) の実行結果 | | |
| (cadr (list ...)) の実行結果 | | |
| (cddr (list ...)) の実行結果 | | |

# さらに勉強したい人への補足説明事項

二分探索木

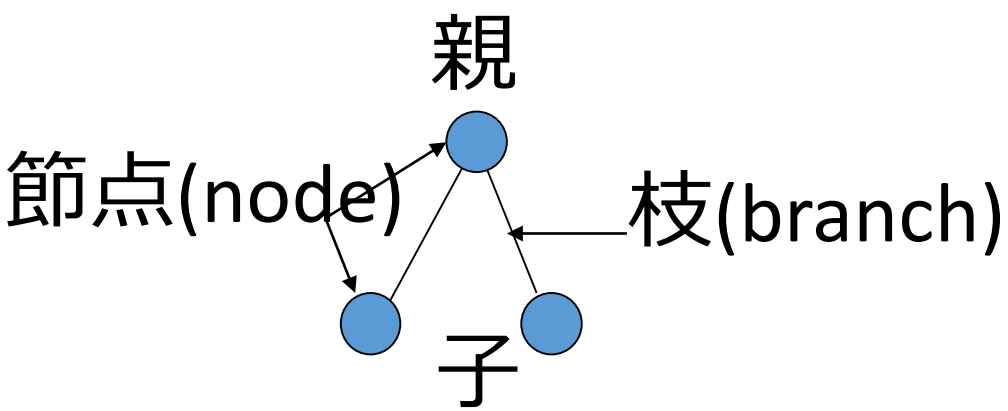
例題８．二分探索木

例題９．二分探索木による探索

・入れ子になった構造

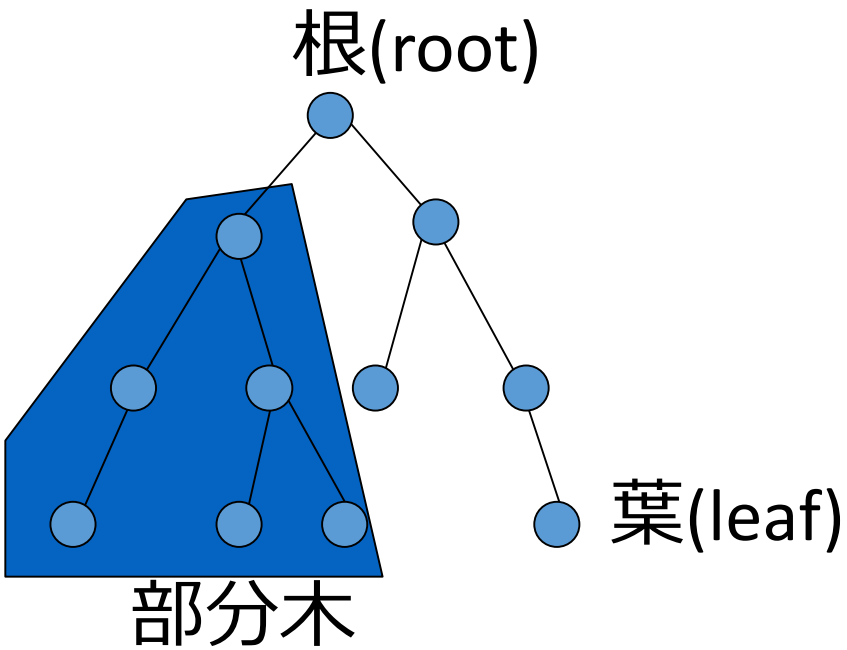
# 木構造

- 幾つかの節点(node)と，それらを結ぶ枝(branch)から構成
  - 節点がデータに対応
  - 枝がデータ間の親子関係に対応
  - 子： 節点の中で下方に分岐する枝の先にあるもの
  - 親： 分岐元の節点




図．単純な木構造

# 木構造



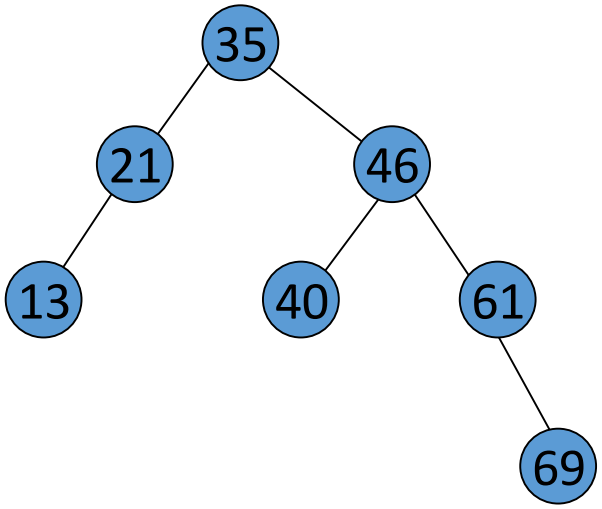

- 根(root)： 木の一番上の節点を根(root)
- 葉(leaf)： 子を持たない節点
- 部分木： 木の中のある節点を相対的な根と考えたときの，そこから枝分かれした枝と節点の集合

# 二分木 (binary tree)

- 木構造で，各節点から出る枝が二本以下のもの
- 木構造に関するアルゴリズムの中で，中心的なデータ構造

# 二分探索木 (binary search tree)

- 二分木の一種
- データの配置に規則あり
  - 左側のすべての子は親より小さい
  - 右側のすべての子は親より大きい
- データの探索のためのデータ構造



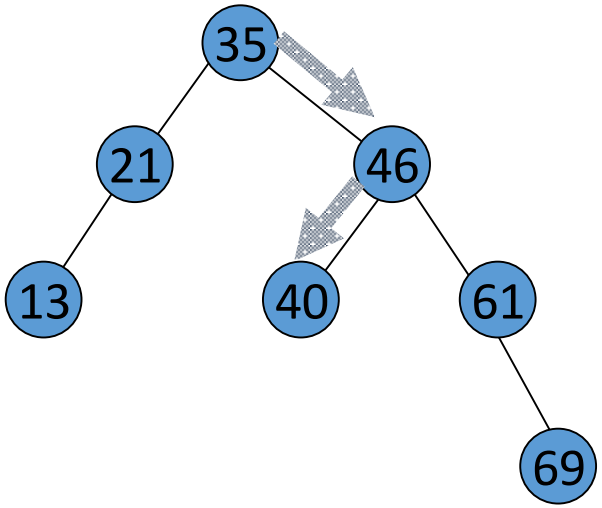
# 二分探索木による探索

- 根(root)から始める
- 探索キーの値と，各節点のデータを比較し，目標となるデータを探す
  - 探索キーよりも節点のデータが小さいときは，右側の子をたどる
  - 探索キーよりも節点のデータが大きいときは，左側の子をたどる

# 二分探索木による探索の例

(例） 40である節点を探す場合

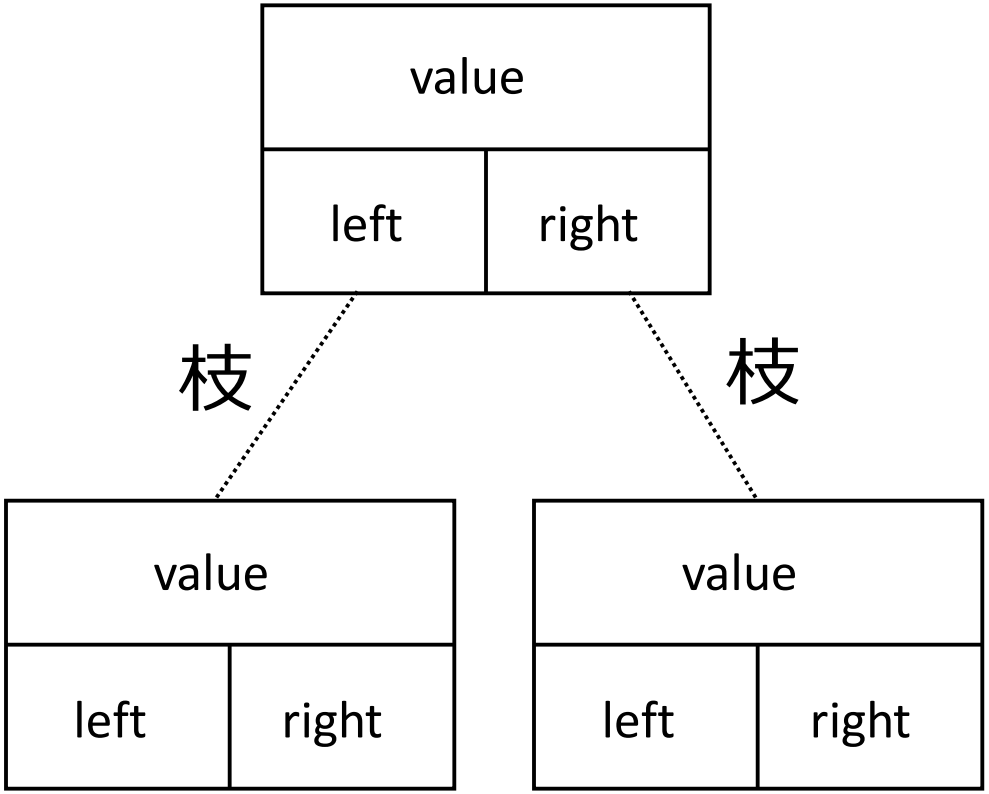
1. 根の値(35)と，探索キー(40)を比較
2. 探索キーの方が大きいので，右側の子節点へ移る
3. 次に移った節点の値(46)と探索キー(40)を比較し
4. 探索キーの方が小さいので，左の子節点へ移る
5. 次に移った節点(40)が，目標の節点である



# データ構造

- 複雑なプログラムを作成する時，データ構造について考える必要がある
- データ構造
  - アルゴリズムを容易にするために工夫されたデータの並び
  - 基本的なデータ構造は，配列，キュー，スタック，リスト構造，木構造など

# 二分探索木のための node structure




```
(define-struct node
  (value left right))
```

# 例題８．二分探索木

- 二分探索木のプログラムを作り，実行する
  - 二分探索木の節点を扱うために，define struct 文を使って，node structure を定義する
  - １つの二分探索木は，節点が集まって，入れ子の構造になる

# 二分探索木の節点

- 二分探索木の節点を，define-struct 文を使って定義する

名前

```
(define-struct node
    (value left right))
```

属性の並び
（それぞれの属性にも名前がある）

# define-struct の機能

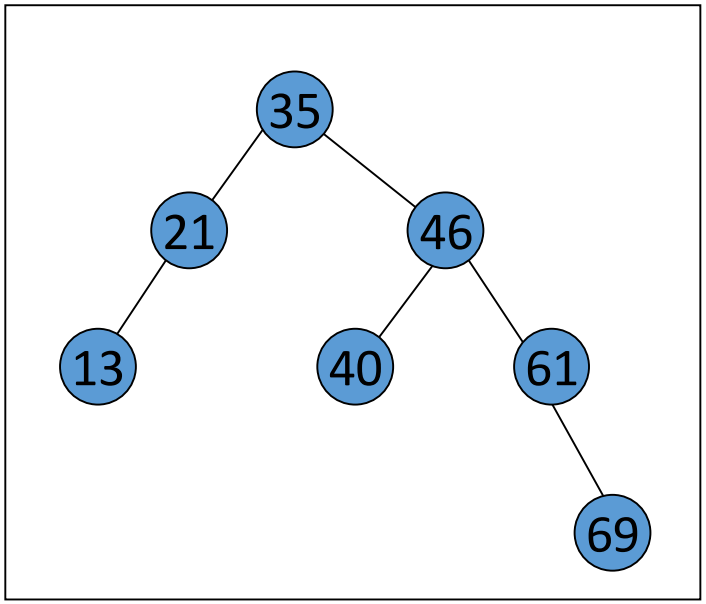
```
(define-struct node
    (value left right))
```

- 上記のプログラムの実行によって
  - make-node
  - node-value
  - node-left
  - node-right

  が使えるようになる

属性 value, left, right の取得

```
(make-node 35
    (make-node 21
        (make-node 13 false false)
        false)
    (make-node 46
        (make-node 40 false false)
        (make-node 61
            false
            (make-node 69 false false))))
```




上のプログラムが表現する
２分探索木
（「false」は「データが無い」こと
を示す特別な値）

# 例題９．二分探索木による探索

- 二分探索木の探索のプログラムを作り，実行する
  - データが二分探索木の中にあれば

    → true
  - 無ければ

    → false

```
(define-struct node
        (value left right))
(define (search x a-tree)
  (cond
    [(eq? a-tree false) false]
    [(< x (node-value a-tree)) (search x (node-left a-tree))]
    [(< (node-value a-tree) x) (search x (node-right a-tree))]
    [else true]))
```

左を探す

右を探す

Untitled
(define ...)
Save
Check Syntax | Step | Execute | Break

```
(define-struct node
               (value left right))
(define (search x a-tree)
  (cond
    [(eq? a-tree false) false]
    [(< x (node-value a-tree)) (search x (node-left a-tree))]
    [(< (node-value a-tree) x) (search x (node-right a-tree))]
    [else true]))
```

```
> (define tree
    (make-node 35
               (make-node 21
                          (make-node 13 false false)
                          false)
               (make-node 46
                          (make-node 40 false false)
                          (make-node 61
                                     false
                                     (make-node 69 false false)))))
> (search 20 tree)
false
> (search 21 tree)
true
```

20:3 | not running

# まとめ

- ２分探索木を「入れ子になった node structure」として表現した