

神奈川大学オープンキャンパス2019

体験授業

「ゲームをつくって学ぶ関数型プログラミング」

理学部情報科学科 馬谷 誠二

詳細情報はこちら↓



<https://umatani.github.io/ku-oc/trial-lec2019.pdf>

今日つくるゲーム

- ...は90分ではムリ！
- 今日はこの程度です(デモ)

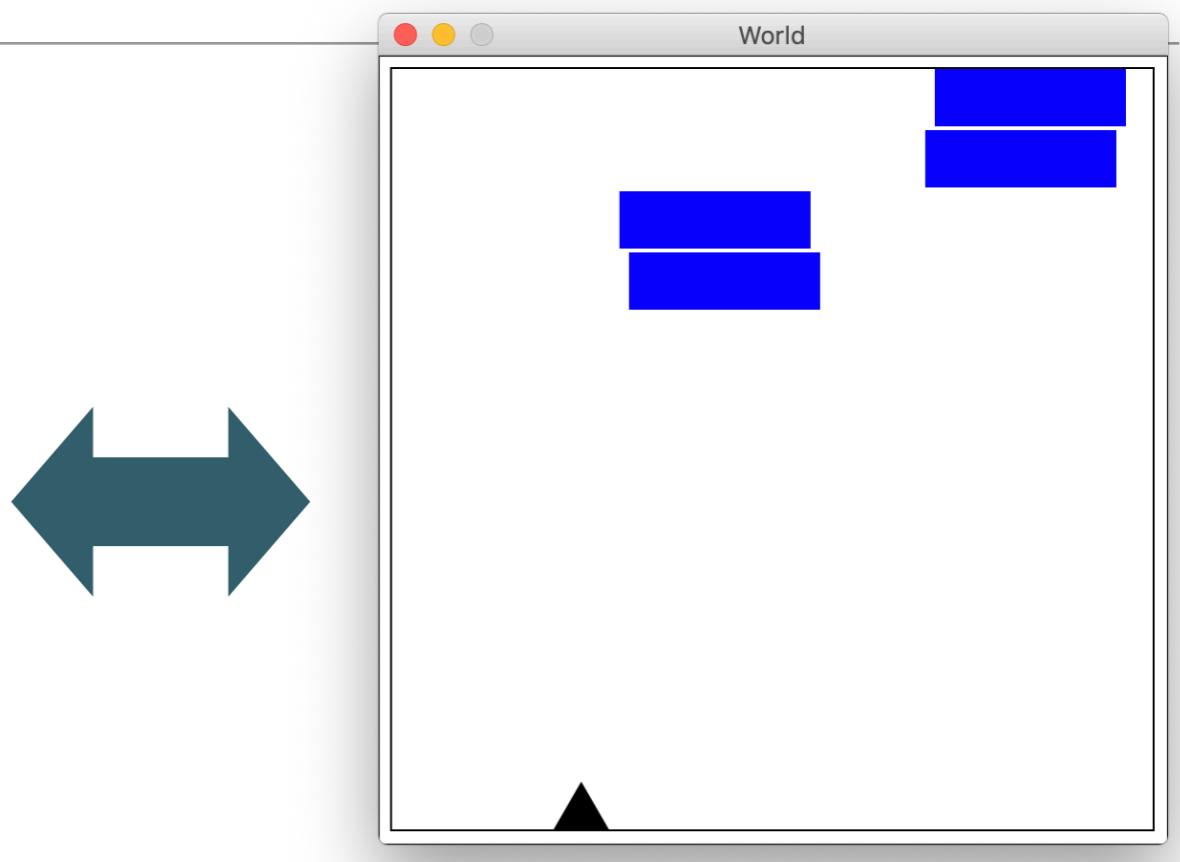
授業の目的

- ・パンフレットからの抜粋

最近のほとんどのプログラミング言語は、数学の基本的概念である**関数**を直接的かつ柔軟に扱う機能を備えています。関数を上手く用いることで、コンピュータの行う複雑な**処理の手順（プログラム）**を如何に美しく簡潔に書けるか学びます。この授業では、処理の具体的題材として、みなさんに馴染みのある簡単な**ゲーム**を取り上げます。

- ・面白いゲームを作る事ではなく、関数プログラミング入門が主題

今日つくるゲームと市販ゲームの違い

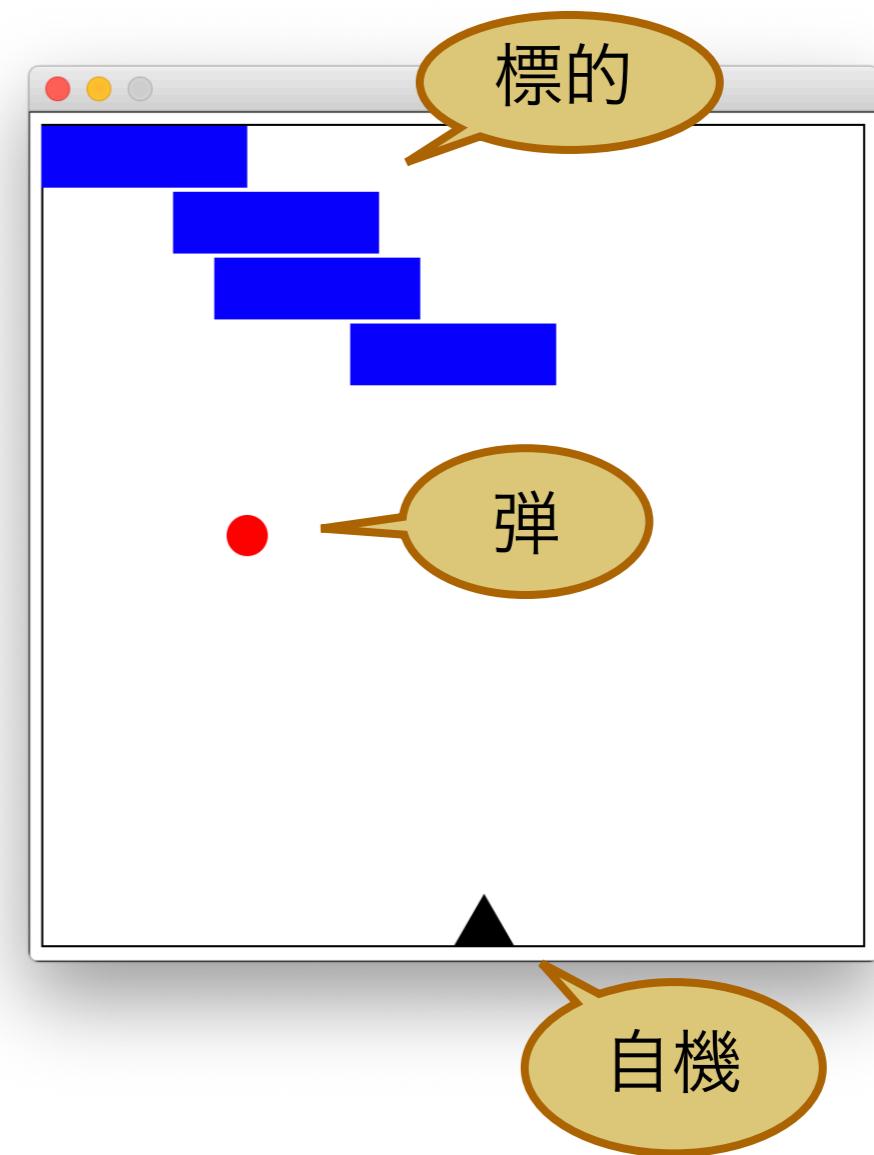


- でも、基本要素は一緒（のはず）
 - 画像の表示
 - アニメーション
 - 時間経過による世界の変化
 - キーボードやマウスによる入力の処理

全然違う！

作成手順

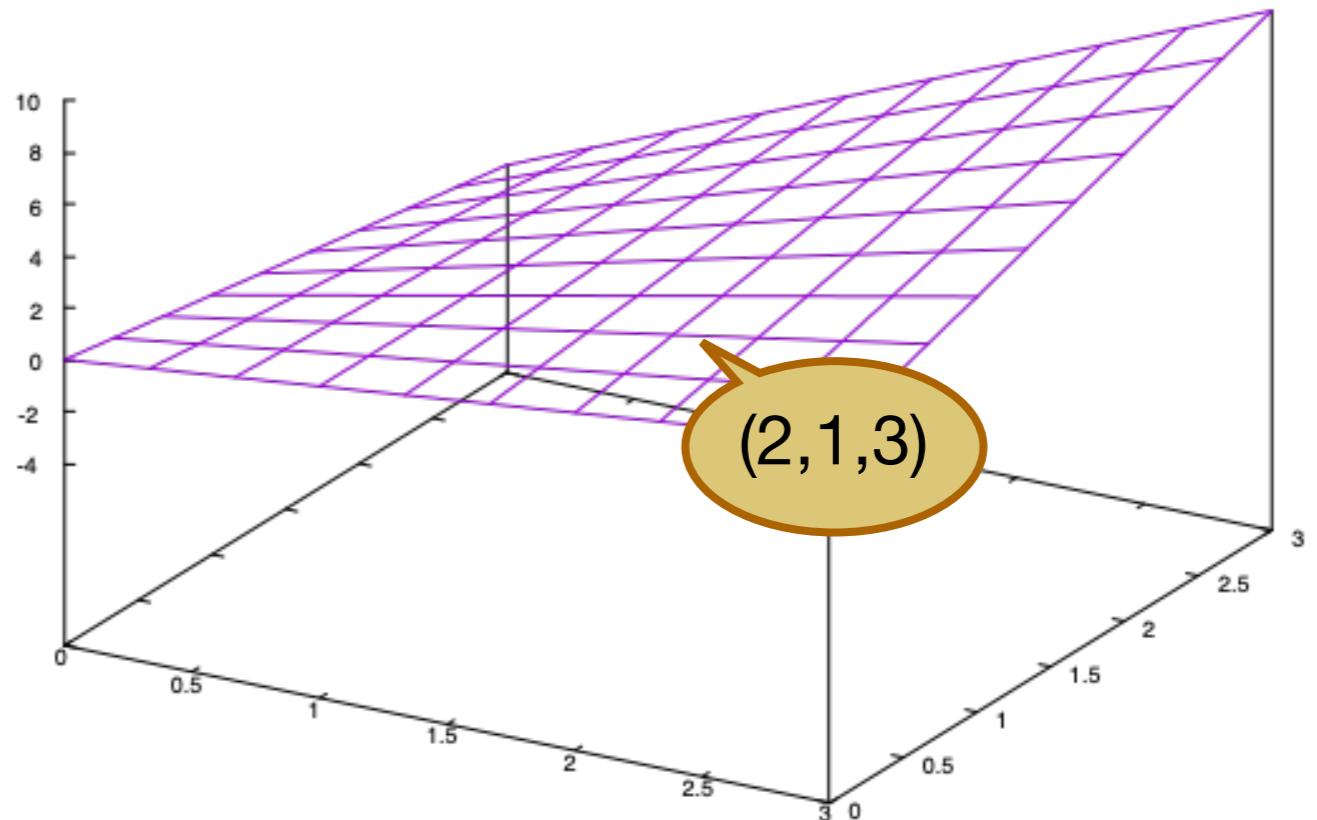
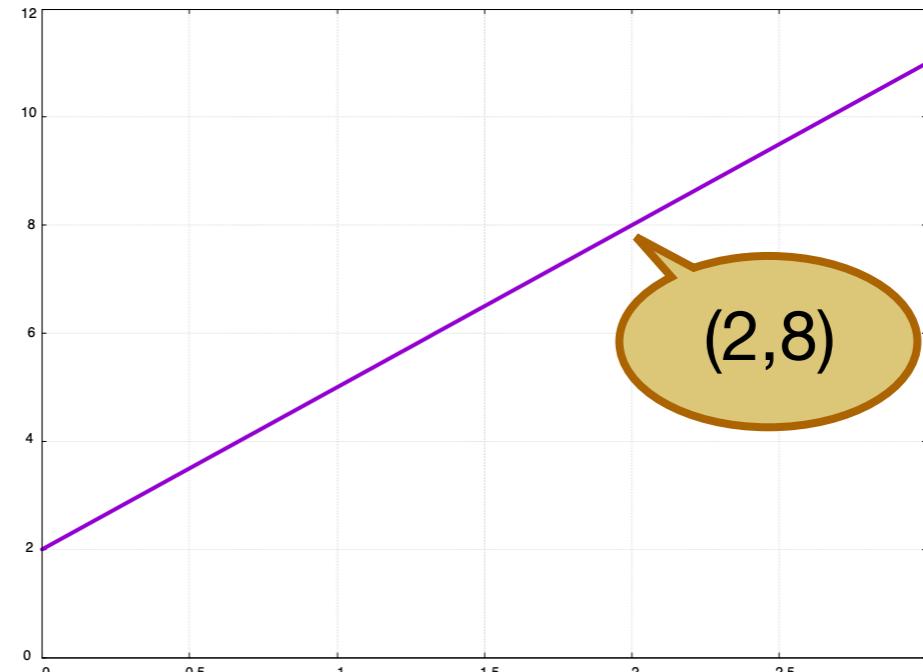
1. 自機の表示と操作
2. 弾の追加
3. 標的の追加
4. 標的の動作の改良
5. 弾の連射機能
6. 完成



1. 自機の表示と操作～プログラムの基本要素～

高校数学における関数 (?)

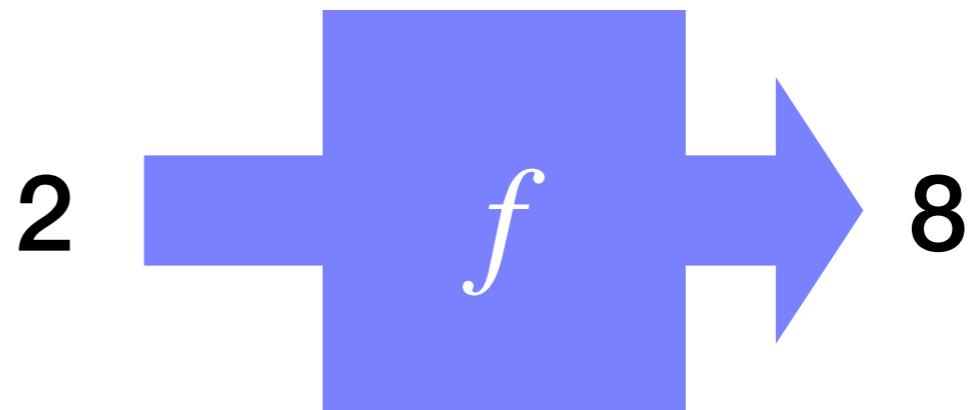
- 1引数関数 $f(x)$
 - $y = f(x) = 3x + 2$
- 2引数関数 $g(x, y)$
 - $$\begin{aligned} z &= g(x, y) \\ &= xy + x - y \end{aligned}$$



計算手続きとしての関数

- 入力を受け取って出力を計算する**処理**（手続き）

$$f(x) = 3x + 2$$



$$g(x, y) = xy + x - y$$



Racket言語

- 関数型プログラミング言語
 - プログラム = 処理 = ブラックボックス関数
- 開発環境 (デモ: basic.rkt)
 - インタラクション領域
 - 定義領域 (後述)
 - プログラムの実行 = 関数を用いる式の評価
 - 数
 - テキスト (文字列)
 - 画像

呼び出す

数を扱う簡単な関数

- 例: 絶対値関数
- 定義: $|x| = f(x) = \begin{cases} x & (x \geq 0 \text{ のとき}) \\ -x & (\text{それ以外}) \end{cases}$
- 呼出し: $|3| \Rightarrow 3, f(-8) \Rightarrow 8$
- Racketで呼出しはこう書く (定義は後述)

```
↪ (absolute 3)  
3  
↪ (absolute -8)  
8  
↪
```

- 関数には意味のある名前をつける
- 括弧の付け方が全然違う (全体を囲む)

数の四則演算

- 簡単な演算も、実は**関数の一種**
 - 普段書いている書き方は、関数を呼び出す一般的な書き方の省略形

省略形（数学）	一般形（数学）	Racketコード
$1 + 2$	$+(1,2)$	(+ 1 2)
$1 - 2$	$-(1,2)$	(- 1 2)
1×2	$\times(1,2)$	(* 1 2)
$1 \div 2$	$\div(1,2)$	(/ 1 2)

プログラムとは

- 複数の関数呼び出しを組み合わせた式
 - + いくつかの定義（後述）
- 半径3の球の体積 : $\frac{4}{3}\pi r^3$, $\div(\times(4,\times(\pi,\times(\times(3,3),3))),3)$
- Racketコード :

```
;; 読みにくい
(/ (* 4 (* 3.141592 (* (* 3 3) 3))) 3)
;; 読みやすい
(/ (* 4 (* 3.141592
            (* 3 3 3)))
   3)
;; 読み間違える
(/ (* 4 (* 3.141592
            (* 3 3 3)))
   3)
```

空白は自由に入れて
かまわない

定数の定義

- 何度も出てくる値に名前をつける → 読みやすくなる
 - 数学でもよくある

球の半径 (3) を r , 円周率 (3.141592) を π とする.

球の体積は $\frac{4}{3}\pi r^3$, 表面積は $4\pi r^2$ によって求められる.

- Racketコード (定義エリアのデモ)

```
(define r 3)
(define pi 3.141592)
(define volume (/ (* 4
                     (* pi
                        (* r r r)))
                  3))
(define surface (* 4 (* pi (* r r))))
```

関数の定義

- 特定の球ではなく、任意サイズの球の体積を計算したい！
 - 数学でもよくある

円周率 (3.141592) を π とする。

球の体積は 関数 $f(r) = \frac{4}{3}\pi r^3$ によって求められる。

例えば、半径3の球の体積は $f(3) = \frac{4}{3}\pi \cdot 3^3 \doteq 113.1$ である。

- Racketコード（呼び出しをデモ）

```
(define pi 3.141592)  
  
(define (volume r)  
  (/ (* 4  
        (* pi  
            (* r r r)))  
      3))
```

$$\pi = 3.141592$$

$$\text{volume}(r) = \frac{4}{3}\pi r^3$$

文字列

- 人間に読める文字のならび
 - 例：色の名前
 - 赤：“red”， 青：“blue”， 黒：“black”
- 原理的には（内部的には）数だけで十分
 - 人間にとつての分かりやすさ
- Racketコード（デモ）
 - 文字列に対する演算（数に対する足し算のようなもの）

```
"red"  
(string-append "This is a "  
              "Racket code.")  
(string-length "Hello")
```

画像データ (1)

- 色々な幾何図形を生成する関数
 - 例：三角形（デモ）

```
(triangle 50 "solid" "red")
```

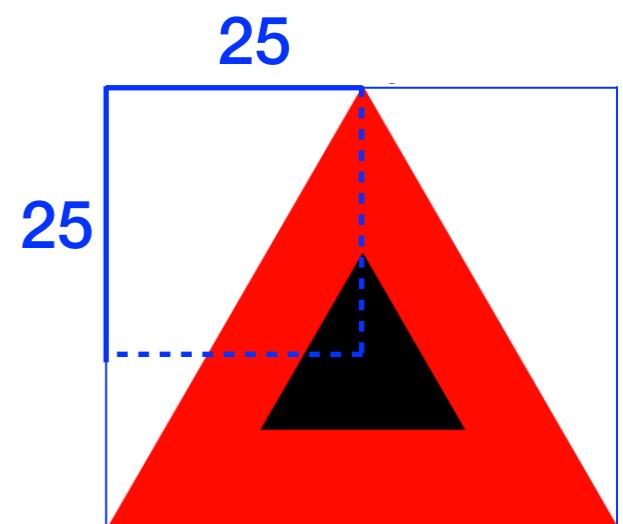
辺の長さ

塗りつぶし

赤

- place-image関数（デモ）
 - 画像に対する計算

```
(place-image (triangle 20 "solid" "black")
             25 25
             (triangle 50 "solid" "red"))
```

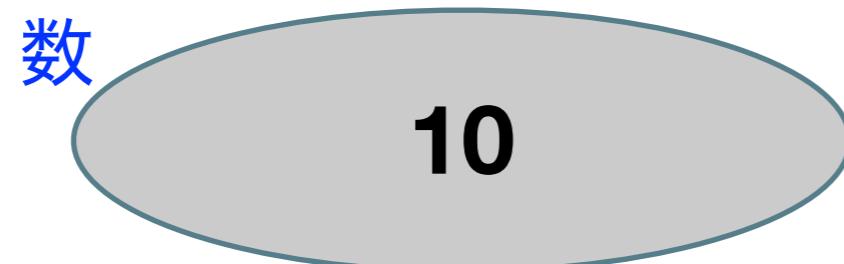


画像データ(2)

- 画像ファイルを定数として読み込んで表示する（デモ）
- `above`, `besides`関数
- ただし、今日はこれ以上は扱わない。
 - 見た目がみずぼらしいけれど、簡単な図形だけで

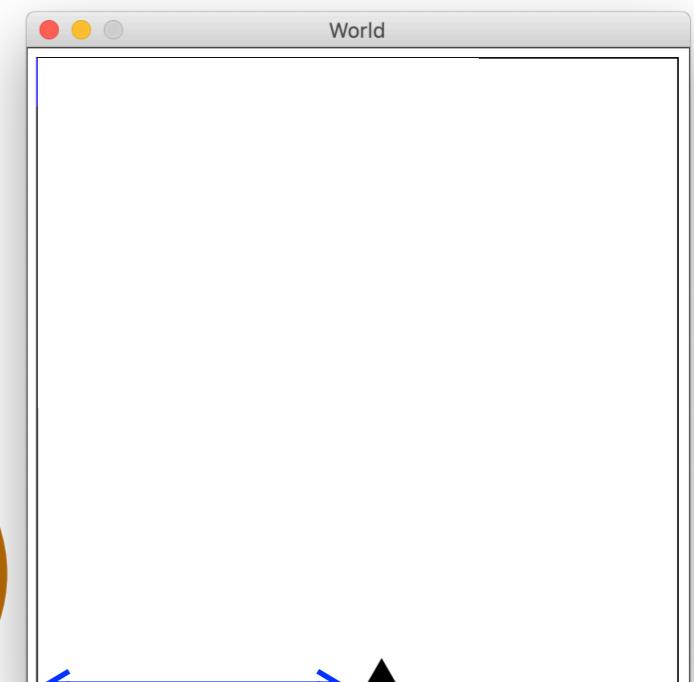
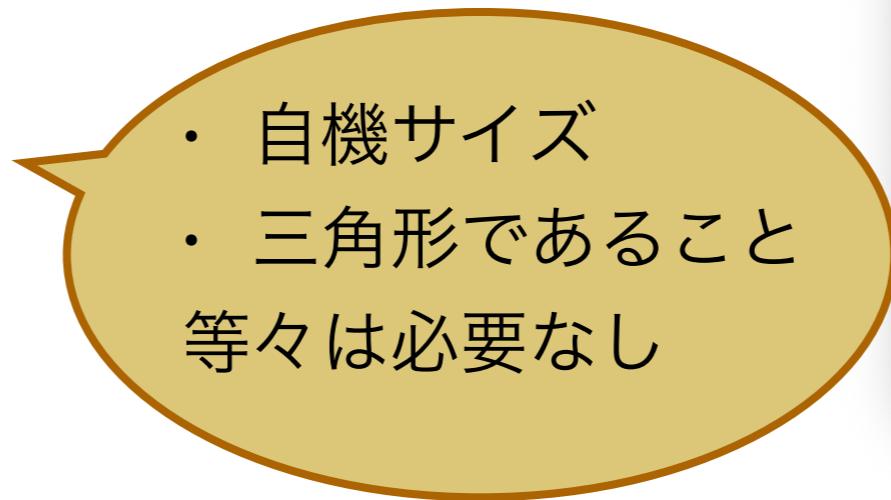
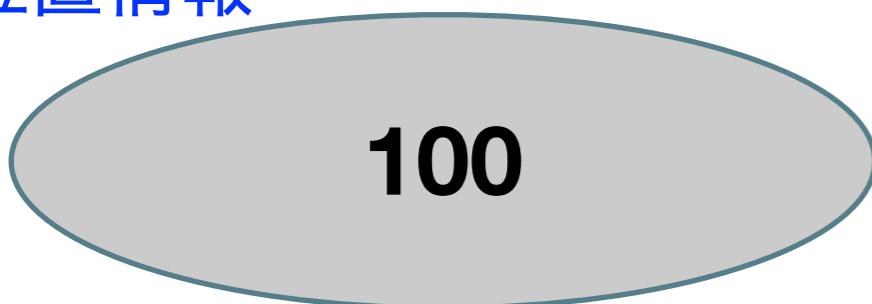
いよいよゲームの世界へ

- 世界 = 時間とともに変化していく状態
 - 状態 = ゲームの世界に存在するモノの性質
 - 画面上に見える全てを記録する必要はない
- 例1：カウントダウン（デモ）



- 例2：自機だけからなるシューティングゲーム

位置情報



ゲーム画面の生成

- 状態（ただのデータ）から画像（見た目）を生成する関数

```
;; ゲーム画面のサイズ
(define SCENE-SIZE 400)
;; ゲーム画面
(define SCENE (empty-scene SCENE-SIZE SCENE-SIZE "white"))
;; 自機
(define ME (triangle 30 "solid" "black"))

;;;; 描画処理
(define (draw-scene me-x)
  (place-image ME
    me-x (- SCENE-SIZE
      (/ (image-height ME) 2))
    SCENE))
```



状態

ゲームスタート

- big-bang関数
 - 別アプリケーションとして起動
 - 以下2つの情報を指定
 - 初期状態
 - 状態を描画する関数

```
(define (start)
  (big-bang 100
    [to-draw draw-scene]))
```

キーボード入力によるゲームの操作

- まずは簡単なカウントダウン（デモ）
 - 何らかのキーが押されたら1減らす
- 状態とキーボード情報を受け取り、変化後の状態を計算する関数

どのキーが押されたかの情報

```
(define (control x k)
  (- x 1))
```

- big-bang関数で次のように指定

```
(define (start)
  (big-bang 10
            [to-draw draw-scene]
            [on-key control]))
```

自機の操作

- 「←」が押された場合と「→」が押された場合では処理が異なる
 - 「←」：自機を5だけ左に動かす
 - 「→」：じきを5だけ右に動かす

cond式

- ・ 場合 (condition) 分けして各々で異なる計算
- ・ 数学でもよくある
 - ・ 例：絶対値関数

$$|x| = \begin{cases} x & (x \geq 0 \text{ のとき}) \\ -x & (\text{それ以外}) \end{cases}$$

- ・ Racketコード

```
(define (absolute x)
  (cond [(>= x 0) x]
        [else (- x)]))
```

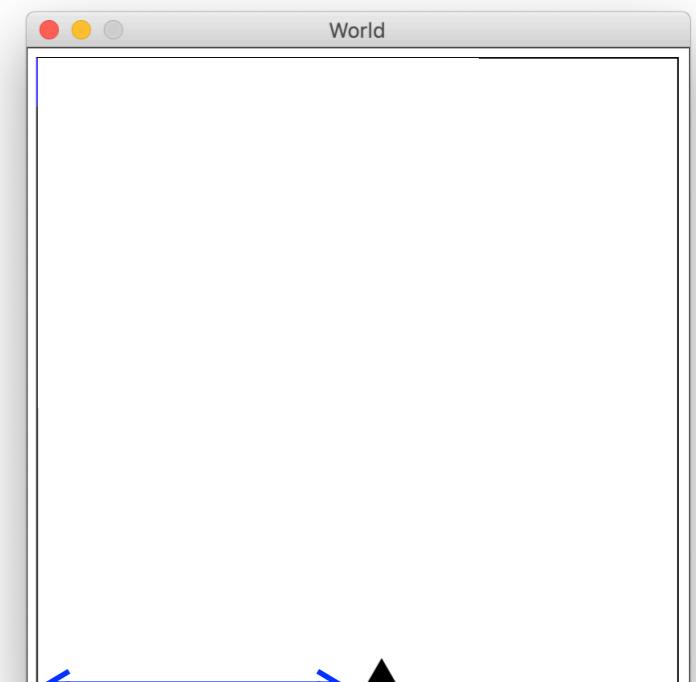
自機操作コード（デモ）

```
;;;; キーボード入力を処理
```

```
(define (control me-x k)
  (cond [(string=? k "left") (- me-x 5)]
        [(string=? k "right") (+ me-x 5)]
        [else me-x]))
```

```
;;;; アプリケーションの実行を開始
```

```
(define (start me-x)
  (big-bang me-x
            [to-draw draw-scene]
            [on-key control]))
```



me-x

2. 弾の追加～複雑なデータと時間の扱い～

まずはデモ

考えなくてはいけないこと

1. 世界に複数個のモノが存在（自機と弾）

- これまで1つだけだった
 - カウントダウンの数
 - 自機の位置情報（x座標）
- 状態をどうやって表すか？

2. 何も操作しなくとも勝手に変化

→ 時間経過の概念

2つの物体を扱うにはどうする？

- リスト構造
 - 2つのデータを含む1つのデータ
 - list: 2つのデータを受け取ってリストを作る関数
 - first, second: リストから各要素を取り出す関数
- Racketコード（デモ）

```
(define x (list 1 "black"))

(first x)

(second x)
```

世界（状態）の定義の更新

- 自機
 - 位置情報（x座標）

- 弾
 - x,y座標のリスト（発射されている場合）
 - “none”（発射されてない場合）

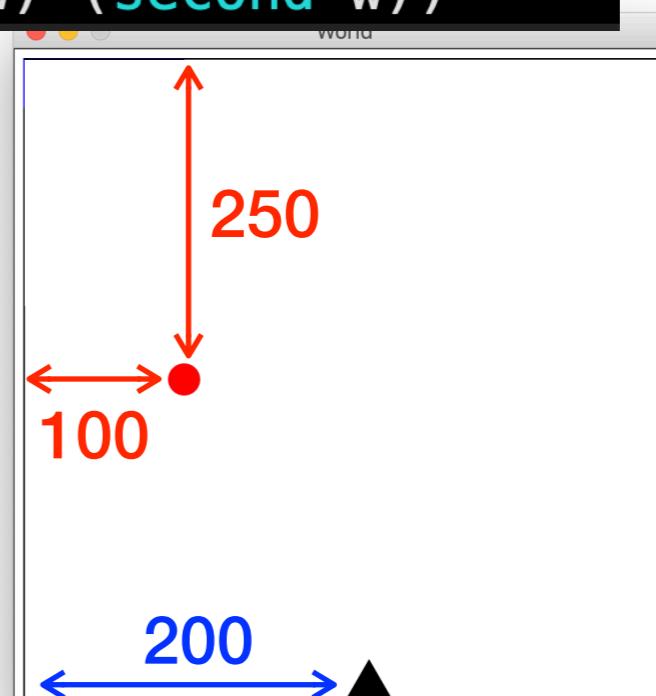
- 世界
 - 自機と弾のリスト

```
(define (missile x y) (list x y))  
(define (missile-x m) (first m))  
(define (missile-y m) (second m))
```

```
(define (world me-x mi) (list me-x mi))  
(define (get-me-x w) (first w))  
(define (get-missile w) (second w))
```

使用例（デモ）

```
(define m (missile 100 250))  
(define w (world 200 m))  
(define w2 (world 200 "none"))
```



発射キー入力処理の追加（デモ）

```
;;;; キーボード入力を処理
(define (control w k)
  (cond [(string=? k "left")
          (world (- (get-me-x w) 5)
                 (get-missile w))]
         [(string=? k "right")
          (world (+ (get-me-x w) 5)
                 (get-missile w))]
         [(string=? k " ")
          (world (get-me-x w)
                 (cond [(string? (get-missile w))
                         (missile (get-me-x w)
                                   (- SCENE-SIZE (image-height ME)))]
                       [else (get-missile w)]))]
         [else w]))
```

```
;;;; アプリケーションの実行を開始
(define (start me-x)
  (big-bang (world me-x "none")
            [to-draw draw-scene]
            [on-key control]))
```

ミサイル情報はそのまま
自機のx座標を-5

自機のx座標はそのまま
ミサイルを自機のすぐ上に発射
(発射済みならそのまま)

ミサイルが発射されて
いない状態

時間経過処理

- 一定時間（1/28秒）が経過する毎に任意の関数を呼び出すことが可能
- 状態を少しだけ変えると動いてるように見える

```
(define (start me-x)
  (big-bang (world me-x "none")
    [to-draw draw-scene]
    [on-tick next]
    [on-key control]))
```

- next関数：状態を受け取り、変化後の状態を計算
 - 例：カウントダウン（デモ…しても見えない）

```
(define (next x)
  (- x 1))
```

弾を動かすためのコード

;;;; 世界の状態を更新する処理

```
(define (move-missile m)
  (missile (missile-x m) (- (missile-y m) 8)))
```

```
(define (next w)
```

```
  (world (get-me-x w))
```

```
    (cond [(string? (get-missile w)) "none"]
          [(>= (missile-y (get-missile w)) 0)
           (move-missile (get-missile w))]
          [else "none"])))
```

ミサイルのy座標を-8する関数

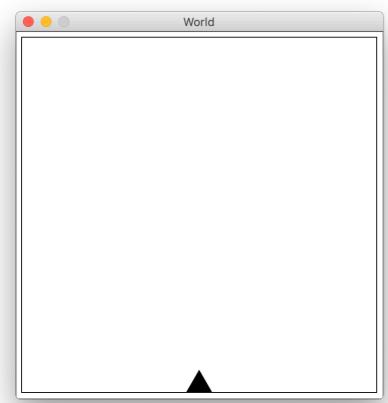
ミサイルが発射されていない場合

ミサイルが画面の上端まで到達していない場合

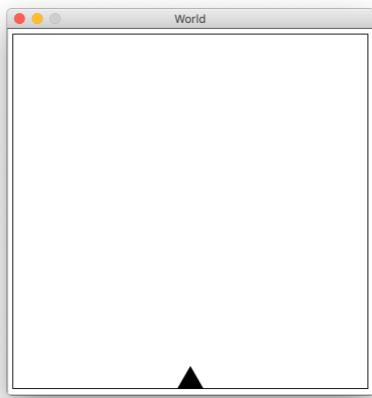
ミサイルが画面の上端に到達した場合

まとめ：状態変化の時系列

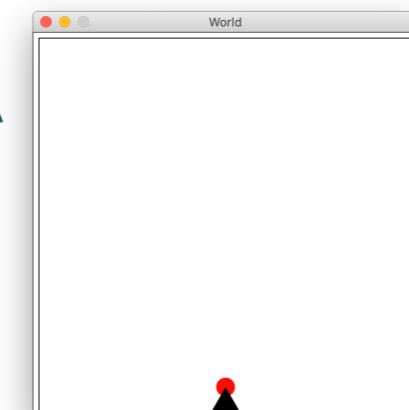
初期状態



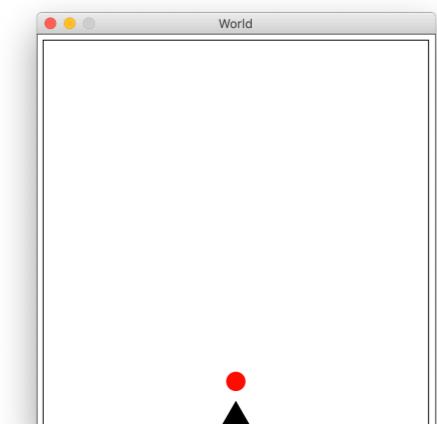
next関数



control関数



next関数



あらゆる状態変化を
関数で表現

時刻t

3. 標的の追加～複雑な条件の指定～

標的の追加 (1)

- 状態

変更前: (200 (100 230))

自機の位置 弾の位置

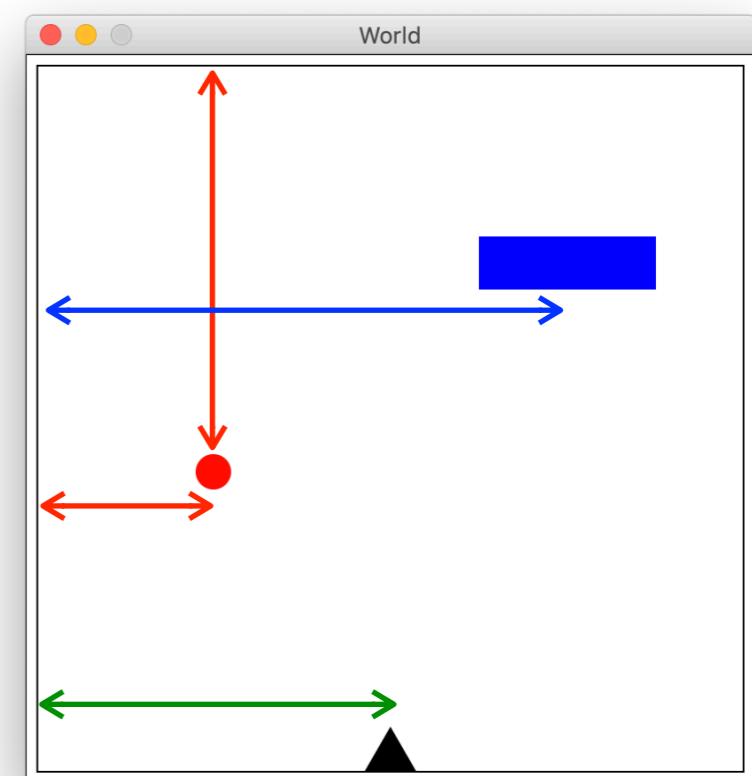
変更後: (200 300 (100 230))

標的の位置

- 描画関数

```
;; 壁の横幅
(define BRICK-WIDTH 100)
;; 壁の縦の高さ
(define BRICK-HEIGHT 30)
;; 壁
(define BRICK (rectangle BRICK-WIDTH BRICK-HEIGHT "solid" "blue"))

(define (place-brick b s)
  (place-image BRICK b 112 s))
```



標的の追加 (2)

- next関数

```
(define (move-brick b)
  (modulo (+ b 5) SCENE-SIZE))

(define (next w)
  (world (get-me-x w)
         (move-brick (get-brick w))
         (cond [(string? (get-missile w)) "none"]
               [(>= (missile-y (get-missile w)) 0)
                (move-missile (get-missile w))]
               [else "none"]))))
```

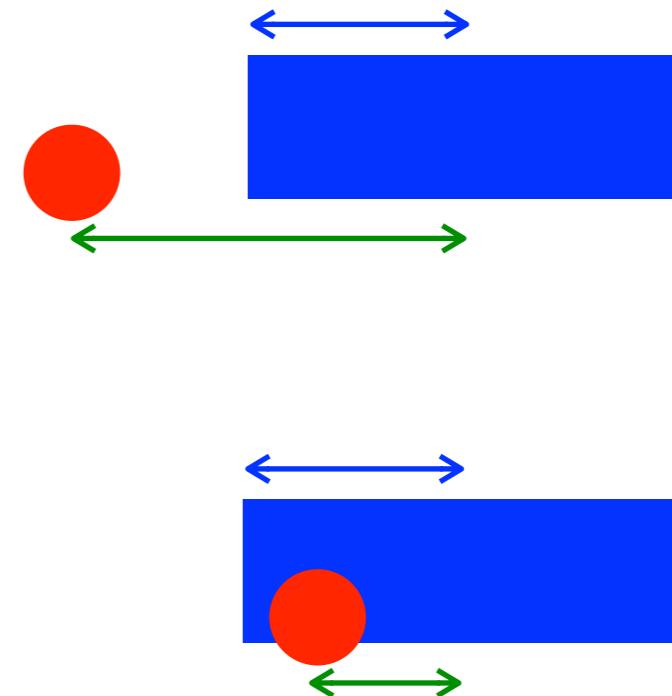
- デモ

- これだけだと、弾が当たっても何も起こらない

衝突判定

- 弾と標的が充分に近づけば衝突
- 正確な条件

1. 弾が存在する ("none"ではない)
2. 標的が存在する ("none"ではない)
3. 両者のx座標の差が標的の幅の半分以下である
4. 両者のy座標の差が標的の高さの半分以下である



- 上の複雑な条件をコードにするには？

論理関数

1. 弾が存在する ("none"ではない)
2. 標的が存在する ("none"ではない)
3. 両者のx座標の差が標的の幅の半分以下である
4. 両者のy座標の差が標的の高さの半分以下である

“none”である
≒ 文字列である
= (string? m)

- (*not A*)
 - 「Aではない」
 - *Aが成り立たないとき, 成り立つ*
- (*and A B C D*)
 - 「A,かつB,かつC,かつD」
 - *全ての条件が成り立つとき, 成り立つ*

衝突判定関数

- (`hit? m b`)
 - ミサイルmと標的bは衝突している？

1. 弾が存在する ("none"ではない)
2. 標的が存在する ("none"ではない)
3. 両者のx座標の差が標的の幅の半分以下である
4. 両者のy座標の差が標的の高さの半分以下である

```
(define (hit? m b)
  (and (not (string? m))
       (not (string? b))
       (< (abs (- (missile-x m) b))
           (/ BRICK-WIDTH 2)))
       (< (abs (- (missile-y m) 112))
           (/ BRICK-HEIGHT 2)))))
```

- (`missile-alive? m b`)
 - ミサイルmは生き残っている？
= 標的bと衝突しておらず、かつ、画面の上端を越えていない

```
(define (missile-alive? m b)
  (and (not (hit? m b))
       (>= (missile-y m) 0))))
```

next関数

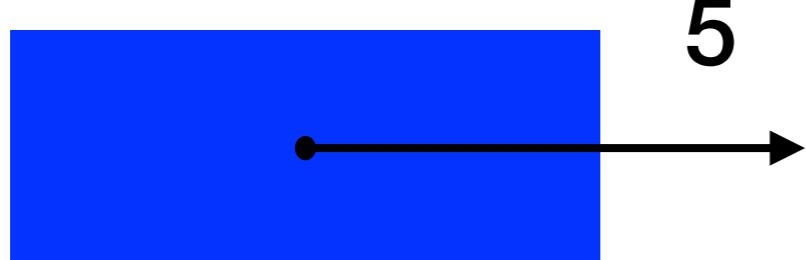
```
(define (next w)
  (world (get-me-x w)
    (cond [(string? (get-brick w)) "none"]
          [(not (hit? (get-missile w) (get-brick w)))
           (move-brick (get-brick w))]
          [else "none"])
    (cond [(string? (get-missile w)) "none"]
          [(missile-alive? (get-missile w) (get-brick w))
           (move-missile (get-missile w))]
          [else "none"]))))
```

4. 標的の動作の改良～ちょっとした幾何問題～

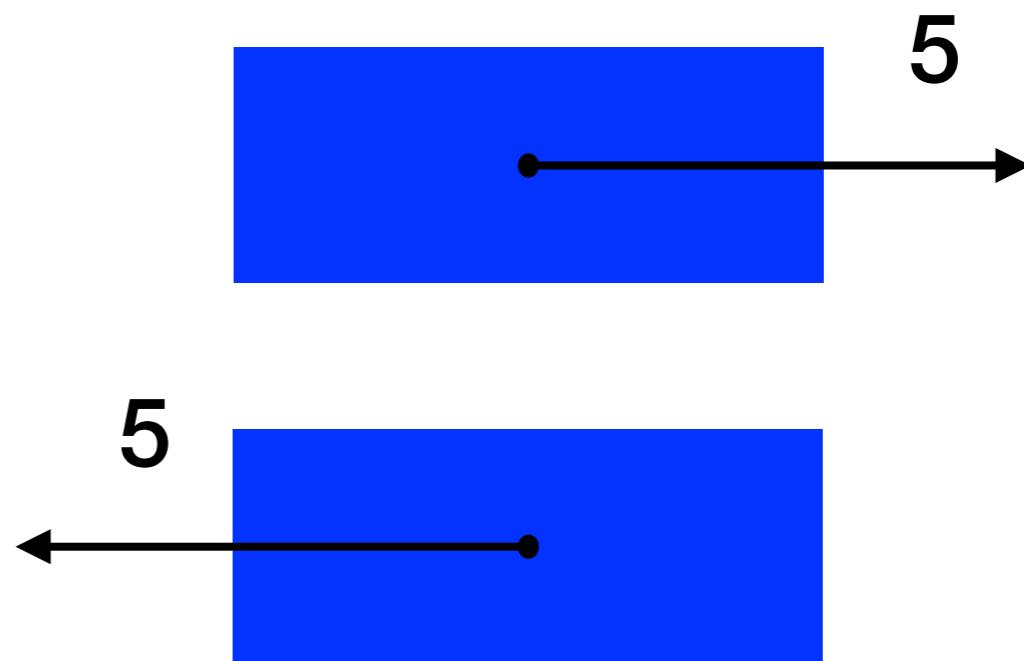
壁の動作が面白くしよう (1)

- まずはデモ
- 考えなくてはいけないこと
 1. 壁を表す状態の複雑化
 - 位置だけでなく、**速度**が必要

改良前

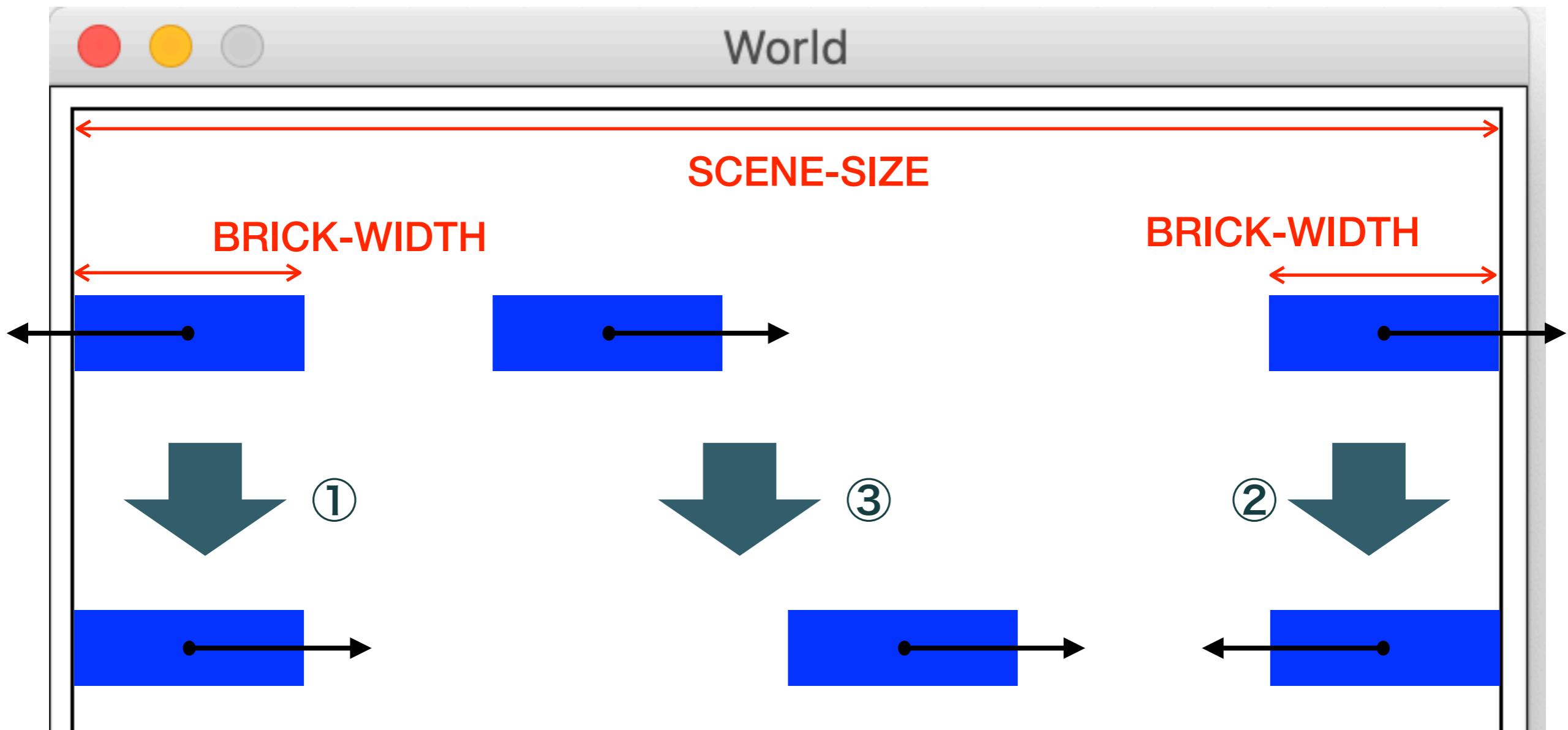


改良後



壁の動作を面白くしよう (2)

2. 壁の動作を今どこにいるかによって場合分け



move-brick関数の更新

更新前

```
(define (move-brick b)
  (modulo (+ b 5) SCENE-SIZE))
```

更新後

```
(define (move-brick b)
  (cond [(< (brick-x b) (/ BRICK-WIDTH 2))
         (brick (/ BRICK-WIDTH 2)
                (- (brick-v b)))]
        [(> (brick-x b) (- SCENE-SIZE (/ BRICK-WIDTH 2)))
         (brick (- SCENE-SIZE (/ BRICK-WIDTH 2))
                (- (brick-v b)))]
        [else (brick (+ (brick-x b) (brick-v b))
                     (brick-v b)))]))
```

最後に一言： 関数を究める

- コンピュータ上で行われる全ての処理は**関数で記述可能**
 - 伝統的なスタイルに比べ、シンプルで理解しやすい
- λ -calculus
 - 処理だけじゃなく、データも含め全てが**関数**
 - 例：自然数

```
(define (zero f z) z)
(define (one f z) (f z))
(define (two f z) (f (f z)))

(define (plus m n)
  (define (k f z) (m f (n f z)))
  k)
```

- 大学の学問
 - 一見役に立ちそうに見えなくとも「**計算すること**」の本質を追求

参考情報

- Racket公式ホームページ
 - <https://racket-lang.org>
 - ソフトウェアのダウンロードやマニュアル（ただし英語）
- 本講義スライド・ソースコード
 - <https://github.com/umatani/ku-oc.git>
- Scheme言語（Racket含む）の日本語入門ページ
 - <https://www.sampou.org/scheme/t-y-scheme/t-y-scheme.html>