関数型言語と並行処理

Haskellでのネットワークプログラミング

2013.5.24

山本和彦

自己紹介

西の人です

- 山口県光市出身
  - 山口市は西の京を自称しているらしい
- 1988年 九州大学工学部情報工学科に進学
- B4のとき渡米しようとした
  - Sun 本社と国際電話で面接し、
    入社することになっていたが、
    就労ビザの審査が厳しくなり渡米できなくなった
  - 注：英語は苦手です
- 1992年 九州大学大学院に進学

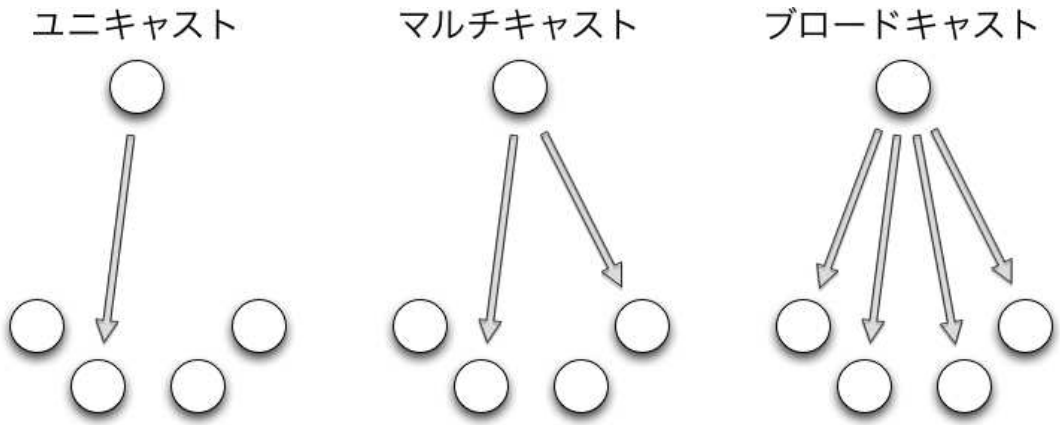
修士時代は記事を書いて生活

- 「ハッピー・ネットワーキング」を執筆し配布
  - 後にアスキー出版局から出版された

- 仕送りがなかったので記事を書いて生活
  - 「ハッピー・ネットワーキング」を Unix Magazine 編集長見せて売り込む
- Unix Magazine
  - 「UNIXの知恵袋」を共同執筆
  - RFC の FYI (For Your Information) シリーズの訳

研究活動

- IP マルチキャスト
  - こちらは鳴かず飛ばす
  - アプリがユニキャストでマルチキャストを実現する方法が主流



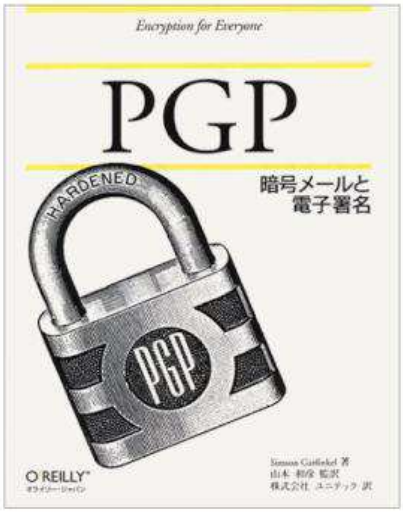
- PEM (Privacy Enhanced Mail) の実験に参加
  - WIDE Project
  - mh-e を改造して PEM を扱えるようにした
  - メールのユーザインターフェイスに興味を持つ

奈良先端大へ

- お世話になった先生が奈良先端大へ
- 修了後 奈良先端大の助手になる
  - 試験のない唯一の国家公務員？
- 京都にはときどき遊びに来てました
  - 鈴虫寺でなぞの黒い物体を食べさせられたり

物書きのはしくれ

- 「転ばぬ先のセキュリティ」
  - Unix Magazine
  - PGP も紹介
- オライリー 「PGP：暗号メールと電子署名」 監訳
  - オライリー・ジャパンの最初の本
  - 研究費として寄付して頂いたので、個人的には1円も
    もらってません。あんなに売れたのに。。。

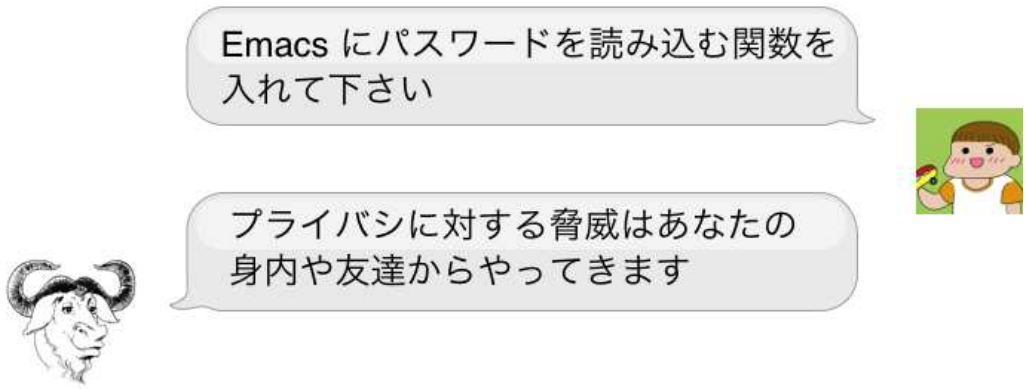


Mew の開発

- マルチメディアメール (MIME) の黎明期
  - 「添付」という考え方さえよく分からなかった時代
  - 書式を統一して混乱に終止符を打つ
    - マルチメティア
    - 文字コード
    - 暗号、電子署名
- Mew
  - たくさんの文字コードをサポート
  - 画像さえも暗号化したり電子署名を付けたりできる
- 複数のEmacs のサポート
  - Emacs の複数のバージョン
  - XEmacs の複数のバージョン

ストールマンと僕と Emacs

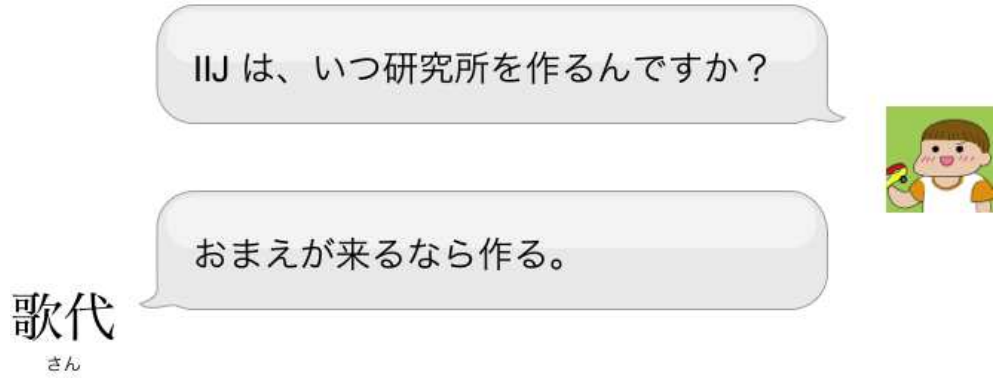
- Mew では自家製のパスワード読み込み関数を実装
  - エコー off



- ストールマンとの交渉は面倒
  - Mew を Emacs に入れてもらうことを諦めた
- その後 read-passwd が実装された
  - gnu.org がクラックされたため

IIJ へ転職

- 東京への転職先を探す
  - KAME プロジェクトを立ち上げるため



- IIJ へ転職
  - 「国家公務員を辞めるなんてバカだ」と言われたが、その後大学も法人化

KAME プロジェクト

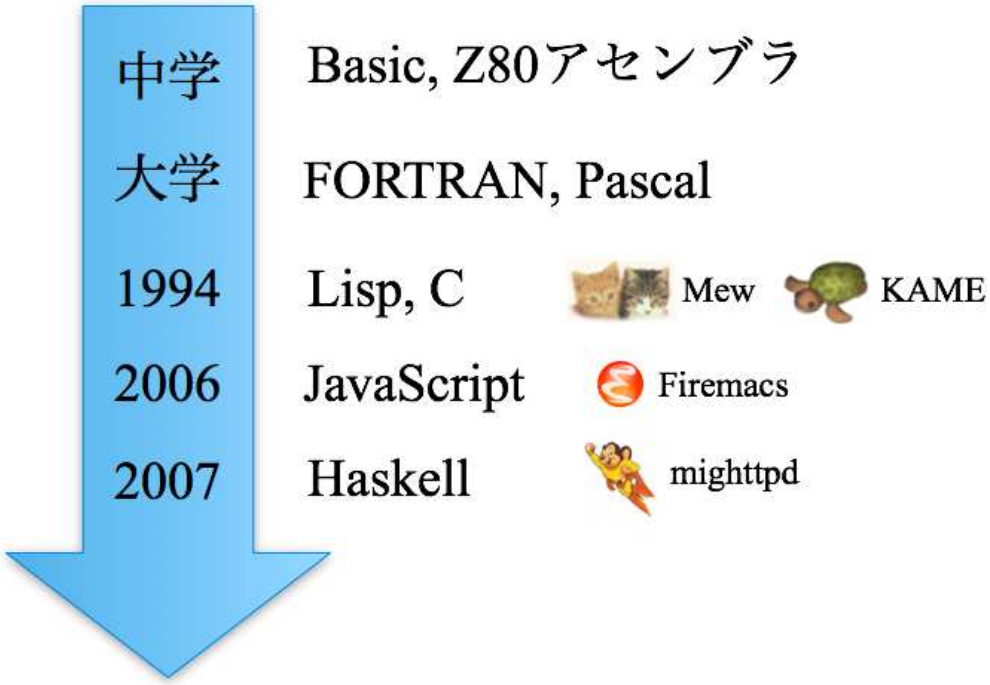
- KAME
  - WIDE プロジェクトのサブプロジェクト
  - BSD 用の IPv6、IPsec、Mobile IPv6 のコードを実装
  - 各企業のエースを集める
    - IIJ、NEC、東芝、日立、富士通、横河電機
- 成果物
  - BSD に IPv6、IPsec、Mobile IPv6 のコードがマージされた
  - Mac で IPv6 を使えるのは KAME プロジェクトのおかげ

IETF と私

- Internet Engineering Task Force
  - インターネットのプロトコルを標準化する
  - 成果物は RFC (Request For Comments)として公開
    - RFC は 国際標準化機構 (ISO) に配慮した名前
  - 誰でも参加できる
  - メーリングリストと年三回の会合で議論
- ISO の OSI(Open Systems Interconnection) と戦っていたころの理念

  We reject: kings, presidents and voting.
  We believe in: rough consensus and running code.
- メールと IPv6 の標準化のため僕も参加
- IETF も闘争の場
  - ピュアな技術者として参加すると返り討ちにある

プログラミング言語歴



- 2006 年頃から新たな言語、新たな考え方を学び始めた
- オブジェクト指向もかなり勉強したが、しっくりこず、関数プログラミングへ

JavaScript

- JavaScript の勉強がてらに Firemacs を作った
- Douglas Crockford の文章をたくさん読む
  - 「JavaScript: 世界で最も誤解されているプログラミング言語」

    波括弧や不格好な for 文がある
    JavaScript の C ライクな文法を見ると、
    通常の命令型言語のように思える。

  - 「JavaScript: The Good Parts」

    ある人　　「JSLint は switch のフォールスルーを警告すべき」
    Crockford 「メリットの方が大きい」
    ある人　　「JSLint にはバグがあります」
    Crockford 「フォールスルーが原因だった！」 → 悟り
- どちらも関数プログラミングでは当たり前だった
  - for 文は後述
  - 制御構造は木構造であるべき

山本和彦のジレンマ

山本和彦が Emacs Lisp は知っていたが
Haskell は知らなかったときの話：


Lisp は関数型言語だと言われている


Emacs Lisp も Lisp である


山本和彦は関数型プログラマーだと
思われていた


しかし、本人は何が関数プログラミング
なのか分かっていなかった

なぜ Haskell を始めたか

Q1) Haskell では破壊的代入がないのに
プログラミングできるの？

A) 関数プログラミングのパラダイムを理解すればできます
A) ただし破壊的代入もあります

Q2) Haskell で Web サーバなんか作れるの？

- Marlow 先生の論文
  - 「Developing a high-performance web server in Concurrent Haskell」
  - どこにコードがあるのか、どうやってインストーするのかさえ分からず

A) IO という型を使って入出力ができます
A) Haskell は「世界で最高の命令型言語」でもあります
(c) Simon Peyton Jones

関数プログラミング

パラダイムの違い

命令プログラミング	関数プログラミング
命令を列挙する `A; B; C;`	関数を引数に適用する
状態がある	状態はない (引数で渡す)
破壊的代入を使う	(値を破壊したくなったら) 新たな値を作る

例題

- 入力として整数のリストあるいは配列
{ 10, 20, 30, 40, 50 } がある
- 0 から数えて n 番目の要素には n を掛ける
- それらをすべて足し合わせる

- つまり、以下のような計算をする

10 * 0 + 20 * 1 + 30 * 2 + 40 * 3 + 50 *4 = 400

10 * 0 + 20 * 1 + 30 * 2 + 40 * 3 + 50 *4 = 400

命令プログラマなら
for 文か類似のループで
問題を解く

不格好な for 文

- Douglas Crockford のエッセイ
  「JavaScript: 世界で最も誤解されているプログラミング言語」
  http://www.crockford.com/javascript/javascript.html

波括弧や不格好な for 文がある
JavaScript の C ライクな文法を見ると、
通常の命令型言語のように思える。

これは誤解を与えやすい。
なぜなら、JavaScript は、
C や Java とよりも
関数型言語 Lisp や Scheme との方が
共通点が多いからだ。


for 文って不格好なの？

for の秘密

- 山本和彦は、for について授業で熱く語っていた
- for の意味
  - for は期間の for だ！
  - 例) for two days
- 非対称範囲を使え！
  - `for (i = 0; i < N; i++) { }`
  - 左の境界は入るが、右の境界は入らない
  - 0 から始めると配列と相性がよい
  - N をそのまま使える
  - 個数 = 最後 - 最初 + 1
    - (N - 1) - 0 + 1 = N
  - 不等号を使うと安全性
    - コンピュータでは、1/3 + 1/3 + 1/3 ≠ 1

Java で不格好な for

```
public static int func(int[] ar) {
  int ret = 0;
  for (int i = 0; i < ar.length; i++) {
    ret = ret + ar[i] * i;
  }
  return ret;
}

int[] inp = {10,20,30,40,50};
func(inp);
→ 400
```

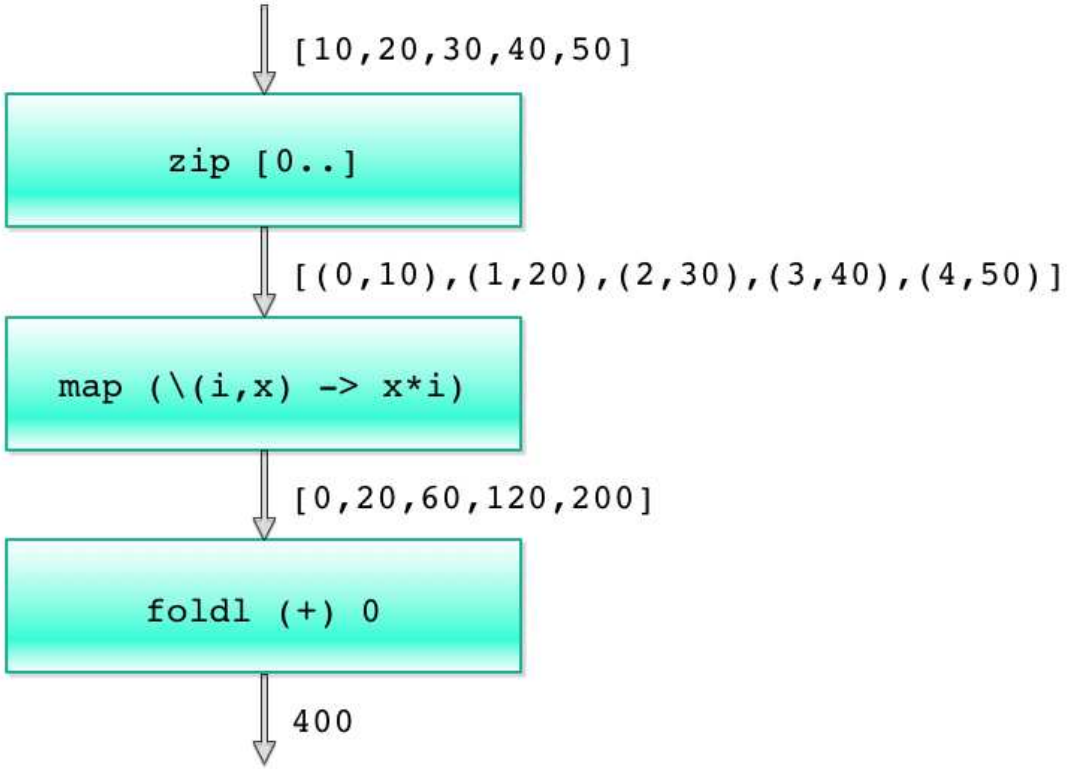
Haskell で MapReduce

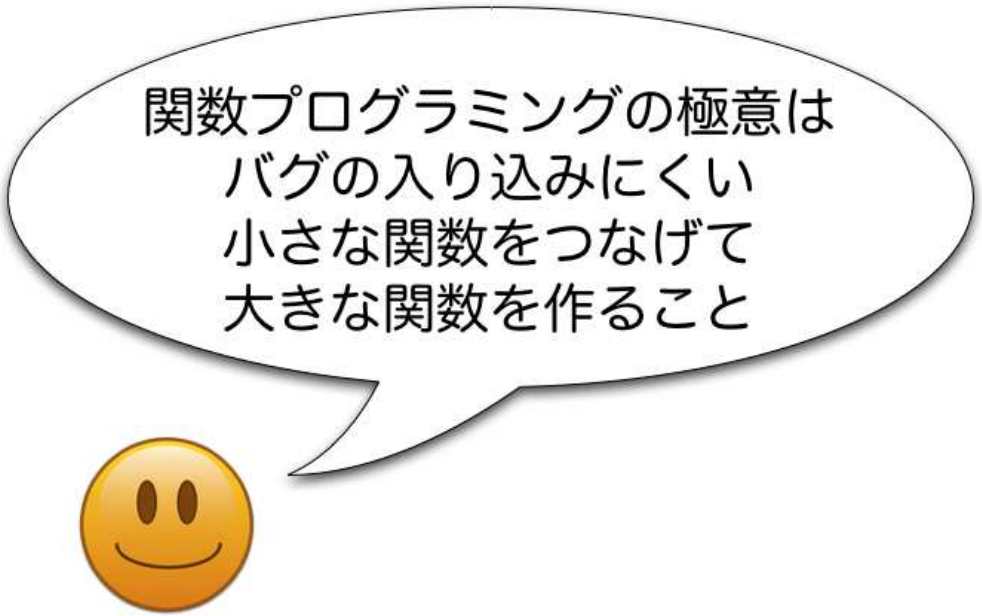
```
zip [0..] [10,20,30,40,50]
→ [(0,10),(1,20),(2,30),(3,40),(4,50)]

map (\(i,x) -> x*i) 上の式
→ [0,20,60,120,200]

foldl (+) 0 上の式
→ ((((0 + 0) + 20) + 60) + 120) + 200
→ 400
```

- 関数を合成する

```
func = foldl (+) 0
     . map (\(i,x) -> x*i)
     . zip [0..]

func [10,20,30,40,50]
→ 400
```

部品プログラミング


[10,20,30,40,50]
zip [0..]
[(0,10),(1,20),(2,30),(3,40),(4,50)]
map (\(i,x) -> x*i)
[0,20,60,120,200]
foldl (+) 0
400


関数プログラミングの極意は
バグの入り込みにくい
小さな関数をつなげて
大きな関数を作ること

関数プログラミングと変数

- 再代入可能な変数は、ほとんど使わない
  - 状態は引数として渡す
  - 値を破壊したくなったら、新たに作り出す
  - これだけでも多くの問題は解ける
- 再代入可能な型も用意されている
  - 参照型
    - Haskell -- IORef
    - OCaml -- ref
  - 副作用のある関数の中で使う
  - 参照型も引数として渡す
    - グローバルな参照型は、緊急時にしか使わない

関数の分類

純粋な関数

式で構成する
計算をする
引数が同じなら同じ
結果を返す

副作用のある関数

文相当の式で構成する
副作用を起こす
引数が同じでも異なる
結果を返すこともある

一方向性

- 副作用のある関数から純粋な関数は呼び出してよい
- 純粋な関数から副作用のある関数は呼び出してはならない
  - 呼び出すと副作用のある関数になってしまうから

純粋関数型言語

言語が一方向性を要求

黒魔術としての抜け道はあり

Haskell

関数型言語

言語は一方向性を要求しない

F#, OCaml, Scala, SML

Haskell では型で純粋か分かる

- 純粋な関数

```
(+) :: Num a => a -> a -> a
sort :: Ord a => [a] -> [a]
filter :: (a -> Bool) -> [a] -> [a]
```

- 副作用がある関数

```
hGetLine :: Handle -> IO String
writeFile :: FilePath -> String -> IO ()
writeIORef :: IORef a -> a -> IO ()
```

- IO から純粋な関数は呼び出せる
- 純粋な関数から IO は呼び出せない

OCaml では型から純粋か分からない

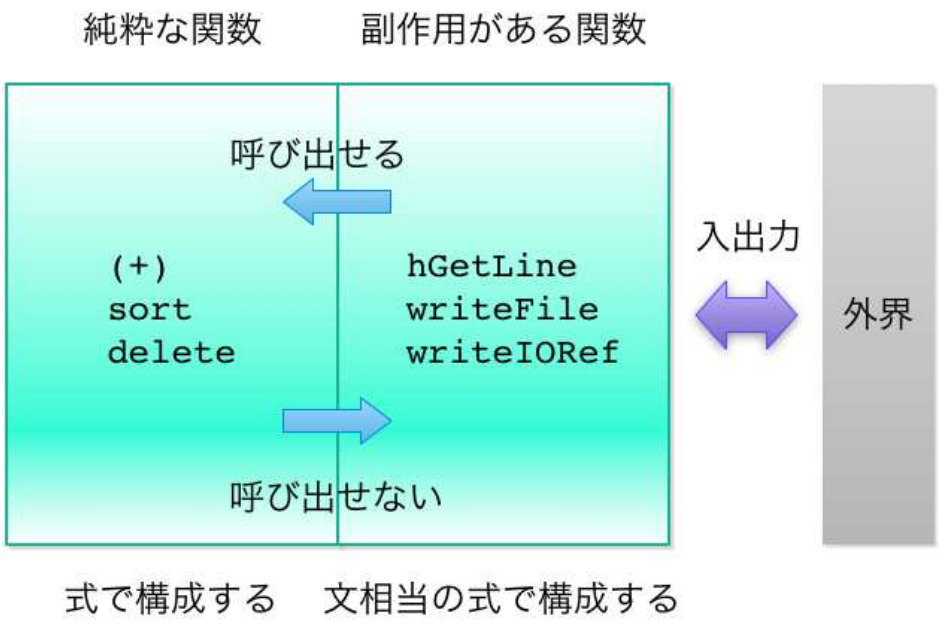
- 純粋な関数

```
(+) : int -> int -> int
sort : ('a -> 'a -> int) -> 'a list -> 'a list
filter : ('a -> bool) -> 'a list -> 'a list
```

- 副作用がある関数

```
input_line : in_channel -> string
write : file_descr -> string -> int -> int -> int
(:=) : 'a ref -> 'a -> unit
```

これまでのまとめ


純粋な関数
副作用がある関数
呼び出せる
(+)
sort
delete
hGetLine
writeFile
writeIORef
呼び出せない
入出力
外界
式で構成する
文相当の式で構成する

外部言語呼び出し

FFI(Foreign Function Interface)

- Haskell の関数から C の関数を呼び出す
  - さらに、その C の関数から Haskell の関数を呼び出し可能
  - データを変換するための機能が充実
- ブロックする C の関数も呼び出せる
  - ブロックする場合：safe 呼び出し
    - 状態を保存しネイティブスレッドを切り出す
  - ブロックしない場合：unsafe 呼び出し
    - 高速
- メモリ管理を型で区別
  - Haskell の GC が回収する：Ptr a
  - 特定のファイナライザが解放する：ForeignPtr a

純粋な関数への FFI

- すでに型が用意されているなら
  foreign 宣言をするだけ

```
{-# LANGUAGE ForeignFunctionInterface #-}

import Foreign.C.Types

foreign import ccall unsafe
    "sin" c_sin :: CDouble -> CDouble

-- realToFranc は Double と CDouble を変換
mySin :: Double -> Double
mySin x = realToFrac (c_sin (realToFrac x))
```

副作用のある関数への FFI

- 副作用がある場合は型に IO を付ける

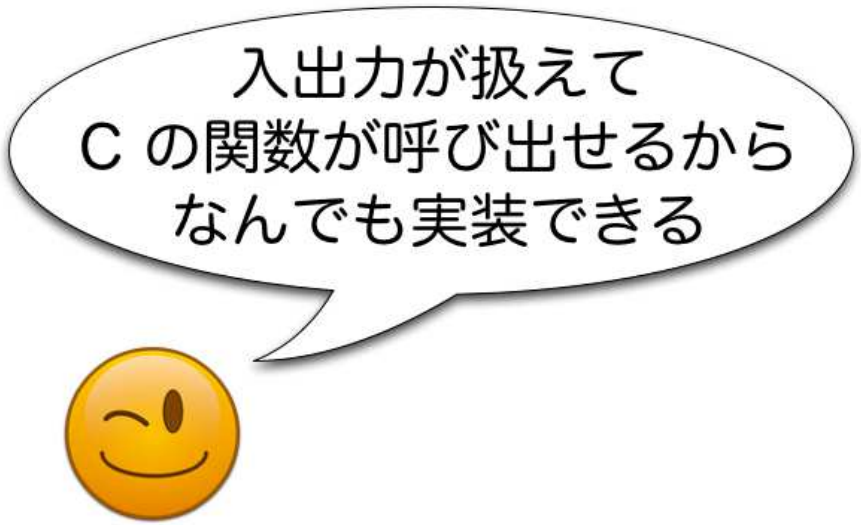
```
{-# LANGUAGE ForeignFunctionInterface #-}

import Foreign
import Foreign.C.String
import Foreign.C.Types

-- time は呼び出すごとに変わる
foreign import ccall unsafe
    "time" c_time :: Ptr CTime -> IO CTime

-- 静的な文字列を使うので副作用がある
foreign import ccall unsafe
    "ctime" c_ctime :: Ptr CTime -> IO CString

timeString :: IO String
timeString = alloca $ \ctime_ptr -> do -- 一時割り当て
    _ <- c_time ctime_ptr
    str <- c_ctime ctime_ptr -- str は静的な文字列
    peekCAString str -- CString を String へ
```

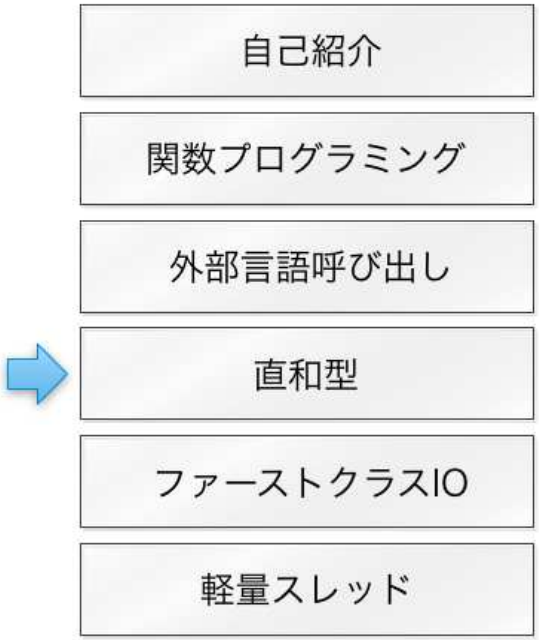
環境の違いを埋める .hsc

```
{-# LANGUAGE ForeignFunctionInterface #-}

import Data.UnixTime.Types
import Foreign.C.Error
import Foreign.C.Types
import Foreign.Marshal.Alloc
import Foreign.Ptr
import Foreign.Storable

#include <time.h>
#include <sys/time.h>

type CTimeVal = ()
type CTimeZone = ()

foreign import ccall unsafe "gettimeofday"
    gettimeofday :: Ptr CTimeVal -> Ptr CTimeZone -> IO CInt

getUnixTime :: IO UnixTime
getUnixTime =
  allocaBytes (#const sizeof(struct timeval)) $ \ p_timeval -> do
    gettimeofday p_timeval nullPtr
    sec <- (#peek struct timeval,tv_sec) p_timeval
    usec <- (#peek struct timeval,tv_usec) p_timeval
    return $ UnixTime sec usec
```

hsc2hs が作成した .hs

```
{-# LANGUAGE ForeignFunctionInterface #-}

import Data.UnixTime.Types
import Foreign.C.Error
import Foreign.C.Types
import Foreign.Marshal.Alloc
import Foreign.Ptr
import Foreign.Storable

type CTimeVal = ()
type CTimeZone = ()

foreign import ccall unsafe "gettimeofday"
    c_gettimeofday :: Ptr CTimeVal -> Ptr CTimeZone -> IO CInt

getUnixTime :: IO UnixTime
getUnixTime =
  allocaBytes (8) $ \ p_timeval -> do
    c_gettimeofday p_timeval nullPtr
    sec <- ((\hsc_ptr -> peekByteOff hsc_ptr 0)) p_timeval
    usec <- ((\hsc_ptr -> peekByteOff hsc_ptr 4)) p_timeval
    return $ UnixTime sec usec
```


入出力が扱えて
C の関数が呼び出せるから
なんでも実装できる



直和型

Java でお母さんDB

```
public class Person {
  String name;
  int age;
}


HashMap<String,Person> db
  = new HashMap<String,Person>();

Person sazae = new Person("サザエ", 24);
Person fune  = new Person("フネ", 52);

map.put("タラオ",sazae);
map.put("サザエ",fune);
//"フネ" のお母さんは亡くなっている
```

おばあちゃんを探せ

```
String me = "タラオ";
Person mother = db.get(me);           // "サザエ"
Person gramma = db.get(mother.name); // "フネ"

String me = "サザエ";
Person mother = db.get(me);           // "フネ"
Person gramma = db.get(mother.name); // null

String me = "フネ";
Person mother = db.get(me);           // null
Person gramma = db.get(mother.name); // 例外
```

安全におばあちゃんを探せ

```
String me = "フネ";
Person mother = db.get(me);
Person gramma = null;
if (mother != null) {
  gramma = db.get(mother.name);
}
```

null の問題点

```
<Person> get(<String>)
```

- null は、いろんな型になれる
- 型から null を返すか分からない
  - 返すかもしれないし
  - 返さないかもしれない
- Java プログラマは必ず null を踏む
  - コンパイラの支援がないので null の処理を忘れる

nullは
10億ドルの失敗

Tony Hoare

Haskell でお母さんDB

```
data Person = Person String Int

name :: Person -> String
name (Person n _) = n

age :: Person -> Int
age  (Person _ a) = a

db :: [(String, Person)]
db = [("タラオ", Person "サザエ" 24)
     ,("サザエ", Person "フネ" 52)]
```

lookup と Maybe

- DB の検索関数

```
lookup :: String
       -> [(String, Person)]
       -> Maybe Person
```

- Person は、失敗しない型
- Maybe Person は、失敗するかもしれない型
  - 答えなし: `Nothing`
  - 答えあり: `Just (Person "サザエ" 24)`

安全におばあちゃんを探せ

- Maybe Person はパターンマッチで処理
  - case ... of 式
  - すべての場合を網羅しないとコンパイラが警告を出す

```
findGramma :: String -> Maybe Person
findGramma me = case lookup me db of
    Nothing     -> Nothing
    Just mother -> lookup (name mother) db
```


関数の振る舞いは
適切な型で表現しよう

安全にひいおばあちゃんを探せ

- おばあちゃんを探せ (Java 版再掲)

```
String me = "フネ";
Person mother = db.get(me);
Person gramma = null;
if (mother != null) {
  gramma = db.get(mother.name);
}
```

- ひいおばあちゃんを探せ

```
String me = "フネ";
Person mother = db.get(me);
Person gramma = null;
Person ggramma = null;
if (mother != null) {
   gramma = db.get(mother.name);
  if (gramma != null) {
    ggramma = db.get(gramma.name);
  }
}
```

安全にひいおばあちゃんを探せ

- おばあちゃんを探せ(Haskell 版再掲)

```
findGramma :: String -> Maybe Person
findGramma me = case lookup me db of
    Nothing     -> Nothing
    Just mother -> lookup (name mother) db
```

- ひいおばあちゃんを探せ

```
findGGramma :: String -> Maybe Person
findGGramma me = case lookup me db of
    Nothing     -> Nothing
    Just mother -> case lookup (name mother) db of
        Nothing     -> Nothing
        Just gramma -> lookup (name gramma) db
```


入れ子はイヤ！
エラー処理にロジックが
埋もれるのもイヤ！

Maybe とは何なのか？

- Maybe は「直和型」の一種
  - Java の列挙型は直和型の一種
- 直和型
  - 「または」を表す型
- 真理値

```
data Bool = False | True
```

- 成功に値がある

```
data Maybe a = Nothing | Just a
```

- 成功にも失敗にも値がある

```
data Either l r = Left l | Right r
```

演算の直列化

- 真理値は直列にできる

```
isAlive me && isAlive mother
```

- Maybe a も直列にできないか？

```
findMother me &&> findMother mother
```

地下配線

- 地下配線 &&>

```
mx &&> f = case mx of
    Nothing -> Nothing
    Just x  -> f x
```

- 直列版

```
findGGramma :: String -> Maybe Person
findGGramma me =
  lookup me db
  &&> \mother -> lookup (name mother) db
  &&> \gramma -> lookup (name gramma) db
```

- 入れ子版(再掲)

```
findGGramma :: String -> Maybe Person
findGGramma me = case lookup me db of
    Nothing     -> Nothing
    Just mother -> case lookup (name mother) db of
        Nothing     -> Nothing
        Just gramma -> lookup (name gramma) db
```


エラー処理は
地下配線に押し込めよう

ファーストクラスIO

Web サーバでの静的ファイルの処理

- ファイル処理
  - パス末尾が "/" なら
    - "パス/index.html.ja", "パス/index.html.en", "パス/index.html" の順に調べて存在したファイルを返す (200 OK)
  - そうでないなら
    - パスのファイルが存在すれば返す (200 OK)
- 向け直し処理
  - パスの末尾が "/" でないなら
    - "パス/index.html.ja", "パス/index.html.en", "パス/index.html" の順に調べてファイルが存在すれば "パス/" へ向け直し (MovedPermanently 301)
- デフォルト処理
  - NotFound (404) を返す

お題：これを部品プログラミングで
実装するにはどうする？

IO は値である

コード

```
ios :: [IO ()]
ios = [ putStrLn "Hello!", putStrLn "Hi!" ]

main :: IO ()
main = do
    ios !! 1
    ios !! 0
```

出力

```
Hi!
Hello!
```

注意： Hi! の方が先に出力されている

IO とは何か？

- 近似の理解
  - 命令プログラマ or Haskell初心者向け
  - IO とは副作用を表す型
    - `getChar :: IO Char` は、一文字読み込む命令
    - 呼び出すごとに違う文字を返す
- 本当の理解
  - IO とは命令書を表す型
    - getChar :: IO Char は、一文字読み込めという命令書
    - 評価されると常に同じ命令書が返る
    - だから「純粋」であると呼ばれる
  - main からつらなる IO の文脈に取り出されると命令書が破られて命令が実行される
    - 命令を実行するのはランタイム

OCaml で Haskell の IO を模倣する

- io は unit を取って 'a を返す関数
  - 関数はファーストクラスだから io もファーストクラス

```
type world = unit
type 'a io = world -> 'a

(*  write : string -> unit io  *)
let write str = fun () -> print_string str

(*  read : string io  *)
let read = read_line

(*  run : a' io -> 'a  *)
let run prog = prog ()

(*  (>>=) : 'a io -> ('a -> 'b io) -> 'b io  *)
let (>>=) io f = fun () -> let res = run io
                           in run (f res);;

run (read >>= write);;
```

命令書を作れ

- ファイルのリスト
  - `files :: [FilePath]`
    - 例 ["パス/index.html.ja", "パス/index.html.en", "パス/index.html"]
  - HTTP 要求から作る
- 引数のファイルを HTTP 応答で返す関数
  - `sendFile :: FilePath -> IO ()`
- 命令書のリストを作る
  - `ios :: [IO ()]`
  - `ios = map sendFile files`
- このうち有効な最初の命令書が処理されればよい

例外の活用

- ファイルがなければ例外が起きる
- ある処理で例外が起きたら
  次の処理をすれば部品化できる？

例外のジレンマ

- Java で実現すると入れ子になる
  - try ～ catch は構文

```
try {
    処理1;
} catch (...) {
    try {
        処理2;
    } catch (...) {
        処理3;
    }
}
```

Haskell での例外処理

- Haskell の catch は単なる関数
  - `catch :: IO a -> (IOError -> IO a) -> IO a`
- 無理矢理 Java 風版

```
catch (
  処理1
) (\_ ->
  catch (
    処理2
  ) (\_ ->
    処理3
    )
  )
)
```

  - 注：説明を簡単にするため古い catch を使っています

IO の直列化

- 地下配線 ||>

```
(||>) :: IO a -> IO a -> IO a
x ||> y = catch x (\_ -> y)
```

- 直列版

```
処理1 ||> 処理2 ||> 処理3
```

- 無理矢理 Java 風版(再掲)

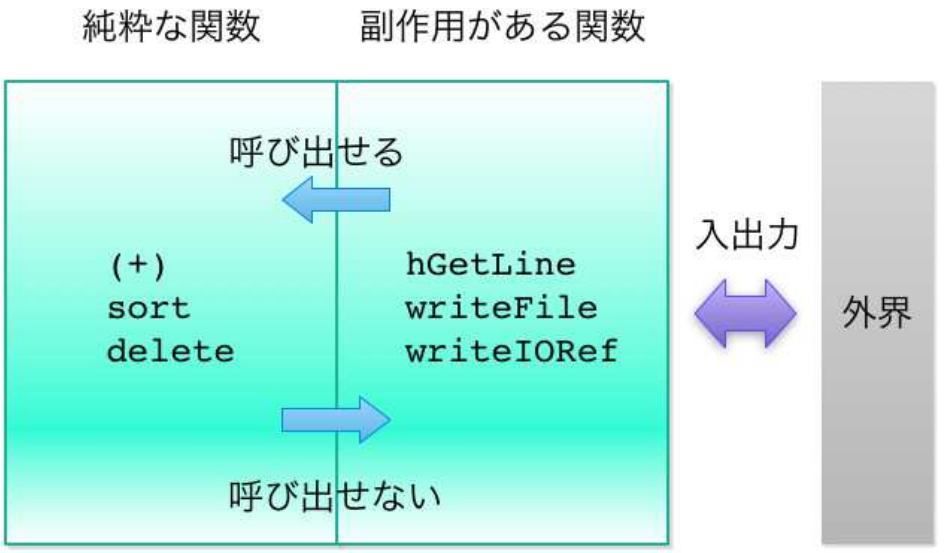
```
catch (
  処理1
) (\_ ->
  catch (
    処理2
  ) (\_ ->
    処理3
    )
  )
)
```

命令書のリストを直列化

- これまでに作った命令書のリスト
  - `ios :: [IO ()]`
  - `ios = map sendFile files`
- ||> でつなぐには畳み込む
  - `foldr1 (||>) ios`

直和型と例外

- 純粋な関数は全域関数であるべき
  - 失敗は直和型で表す
- 副作用のある関数は例外を投げてよい



軽量スレッド

並列と並行

並列
Parallel

一つの仕事を複数に分割して
それぞれを同時にこなすこと

例：シュミレーション

並行
Concurrent

複数の仕事同時にこなすこと

例：Web アプリ

注：「疑似並列が並行だ」という人もいます

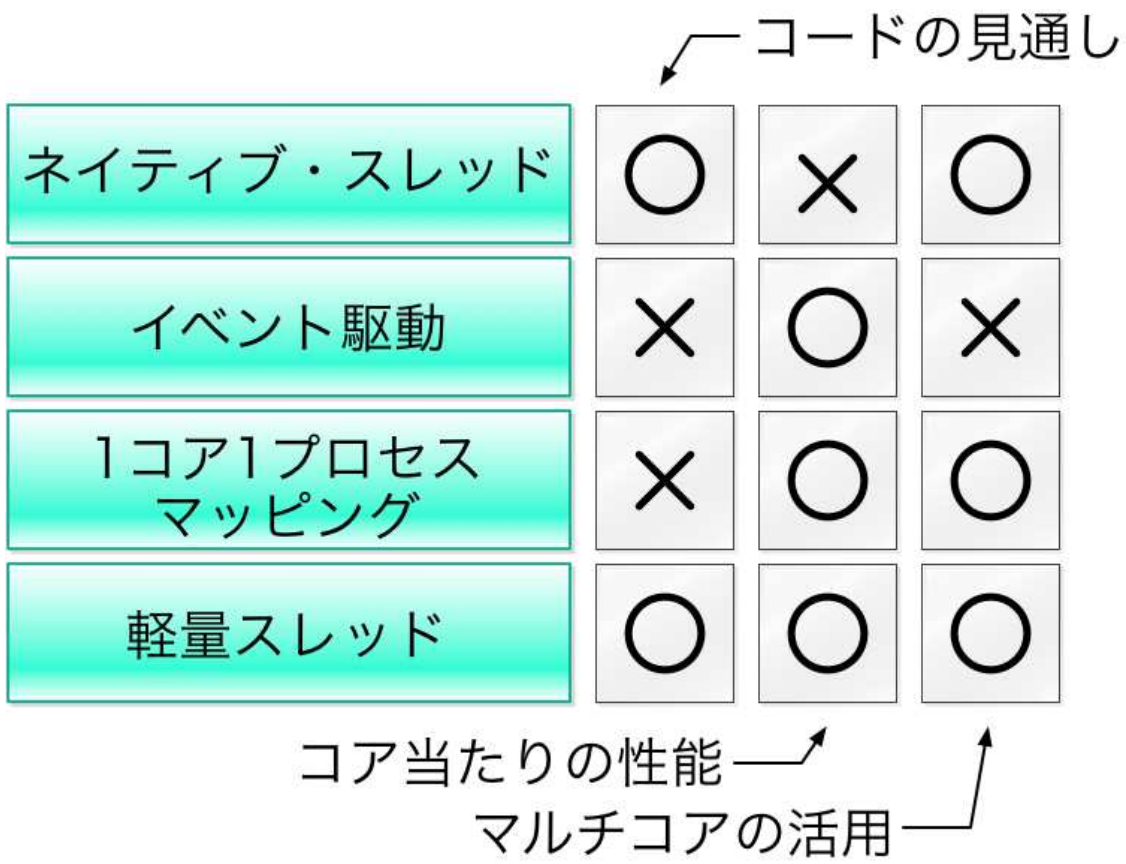
破壊的な代入が制限されている
関数型言語は並行/並列処理に
向くと言われています

しかし、すべての関数型言語が
並行/並列処理に取り組んでいる
訳ではありません

Haskell は並行/並列処理に
取り組んでいますが
僕は並列処理のことはよく分かりません


今日は
Haskell の並行(concurrent)
の話

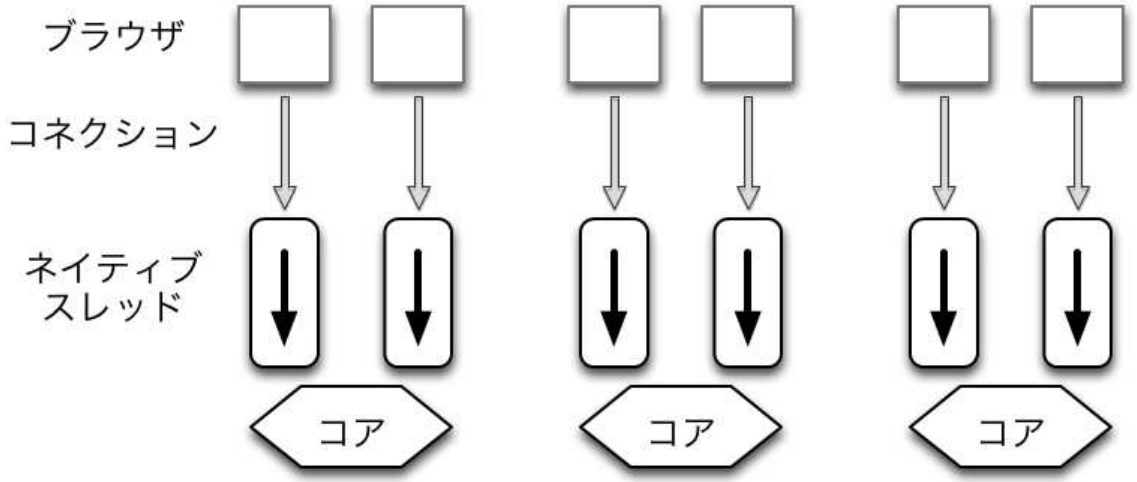
アーキテクチャの比較



- 今日は最後の軽量スレッドを改良する話

ネイティブスレッド

- コネクションごとにネイティブスレッドを生成する
  - 古くはプロセスを生成する
  - 生成の仕方にも種類がある
    - 新しいコネクションが来る度に生成
    - あらかじめ生成しておいて使い回す (プール)
  - コードの見通し ○
    - 制御を占有できる
  - コア当たりの性能 ×
    - ネイティブスレッド/プロセスのコンテキストスイッチが多い
  - マルチコアの活用 ○

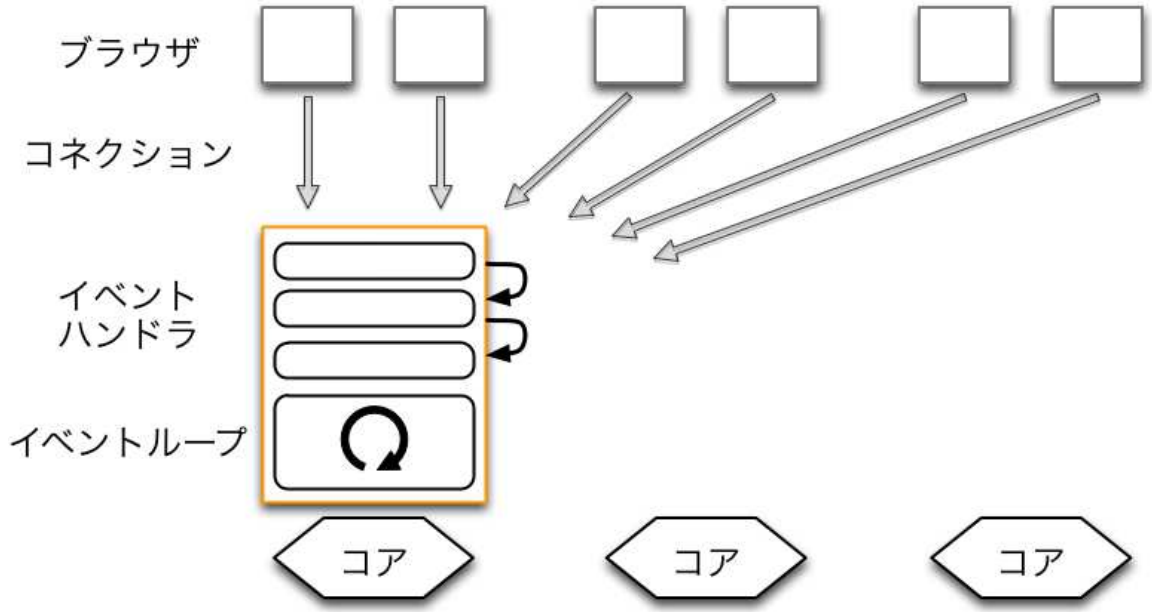


プロセスとスレッド

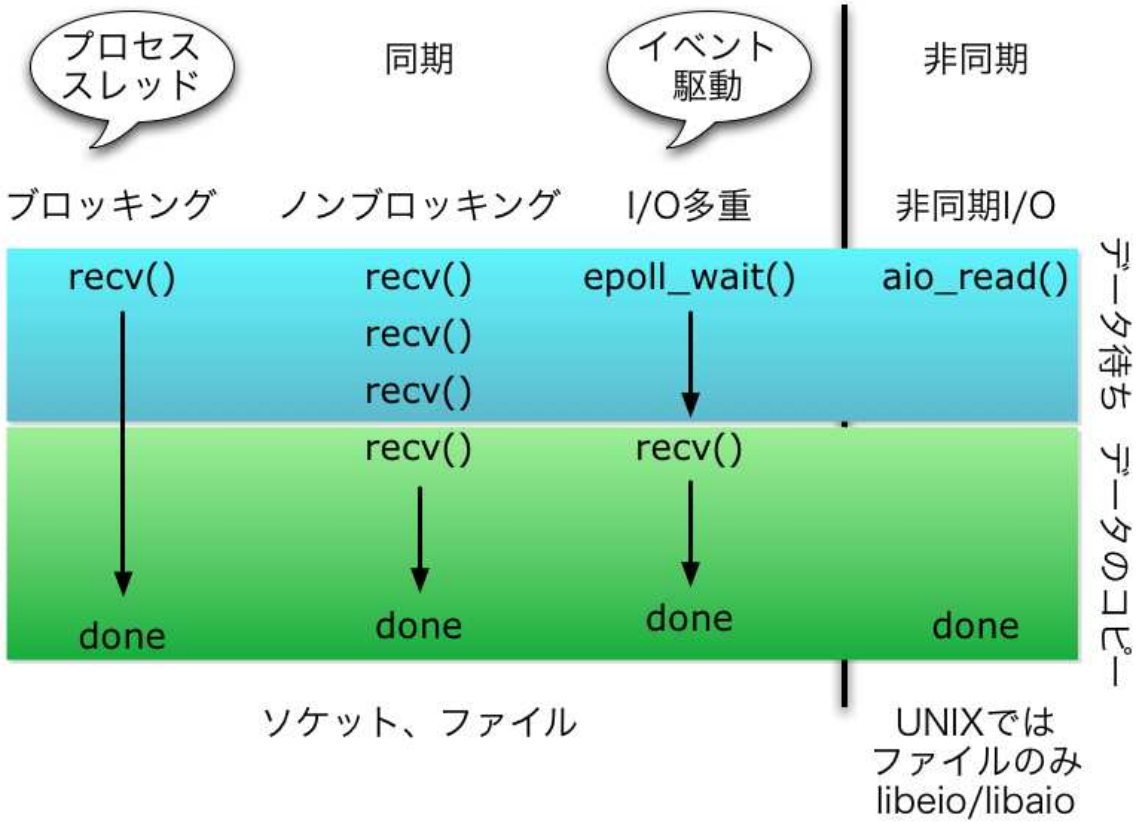
軽量 = 10万個上げても大丈夫

イベント駆動

- epoll/kqueue を使ったイベントループが ハンドラ(コールバック)を駆動する
  - コードの見通し ×
    - コールバック地獄：コードがぶつ切りになる
  - コア当たりの性能 ○
  - マルチコアの活用 ×



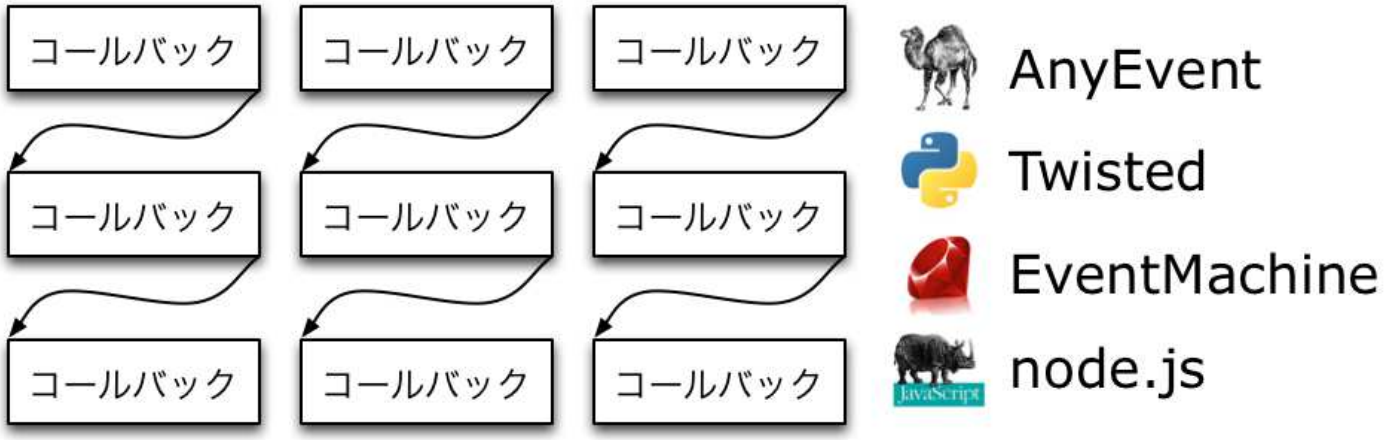
ブロッキングとI/O多重



- I/O多重は同期だが、上位層からは非同期に見える

コールバック

- イベント駆動をプログラマに見せる



- 各種コールバック(ハンドラ)を登録する
  - あるいはコールバックを渡して行く (継続渡しスタイル)
- コードがぶつ切りとなり見通しが悪い
- コールバック地獄が発生する

コールバック地獄

- 通常のスタイル (同期)

```
var x = f();
var y = g(x);
var z = h(y);
```

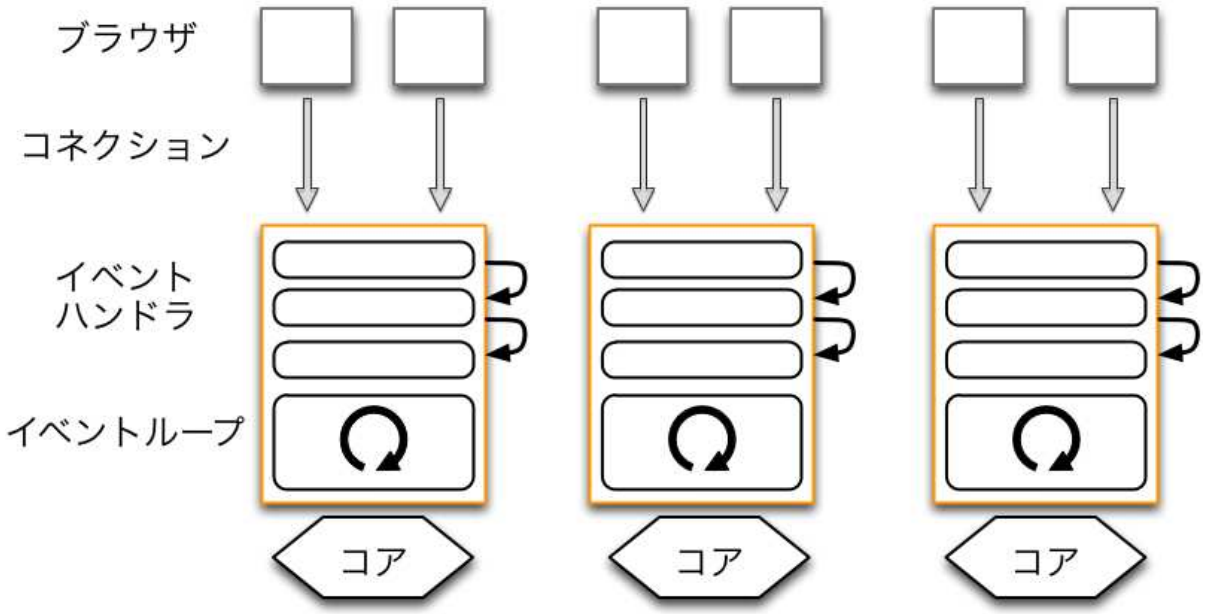
- コールバック・スタイル (非同期)

```
f(function(x) {
  g(x,function(y) {
    h(y,function(z) {
      ...
    });
  });
});
```

  - 工夫はできるが、やはり見通しが悪い
  - コールバックごとの例外処理もつきまとう

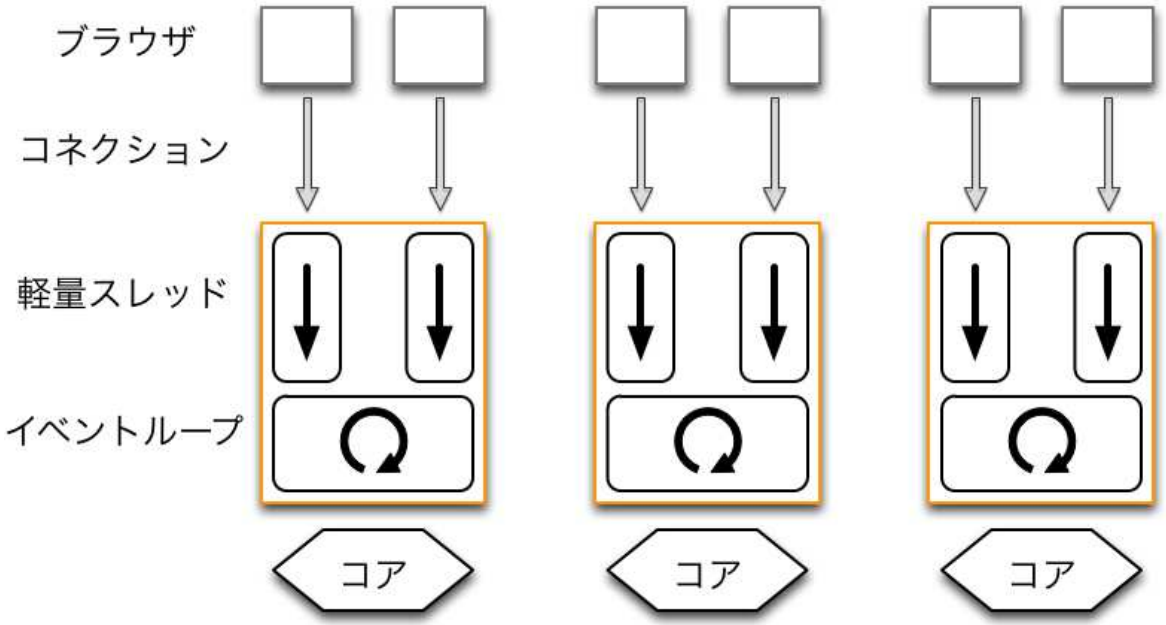
1コア1プロセス・マッピング

- コアごとにプロセスを起動し、ポートを共有する
  - コードの見通し ×
  - コア当たりの性能 ○
  - マルチコアの活用 ○



軽量スレッド

- 1コア1プロセス・マッピングに、さらに軽量スレッドを組み合わせる
  - コードの見通し ○
    - 制御を占有できる
  - コア当たりの性能 ○
  - マルチコアの活用 ○



本当は難しい軽量スレッド

標準ライブラリ

標準ライブラリがブロックする

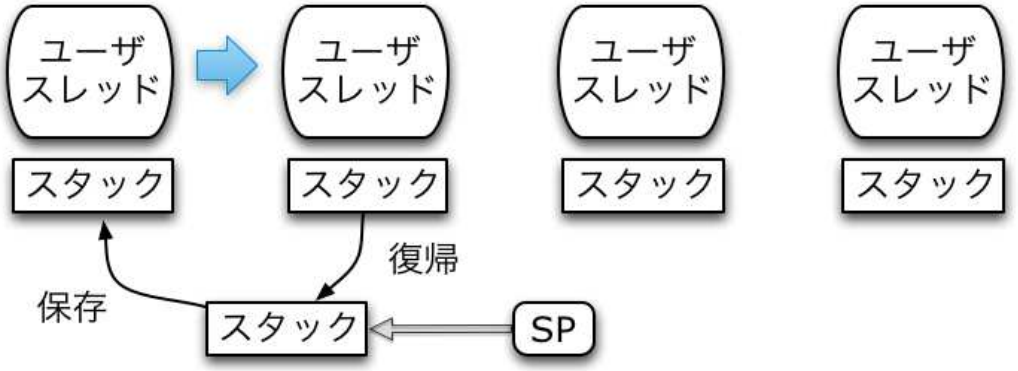
過去の資産のしがらみ

外部言語呼び出し

呼び出した外部言語がブロックする

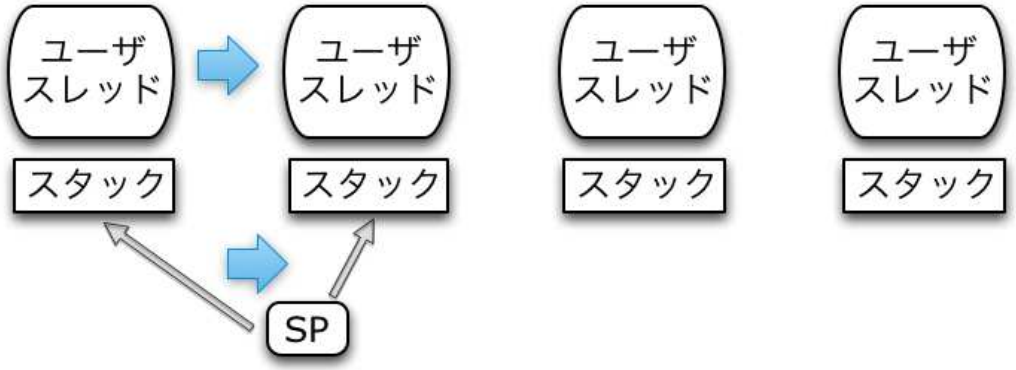
ユーザスレッドがうまくいか
なくなる最大の原因

Ruby の場合



- Ruby のユーザスレッドは重かった
  - ユーザスレッドのスタックを
    コンテキストスイッチの際にコピー
  - スタックポインタの差し替えにしないのは、
    マシン依存にしないため
- Ruby 1.9 からネイティブスレッドへ移行した

Haskell の場合

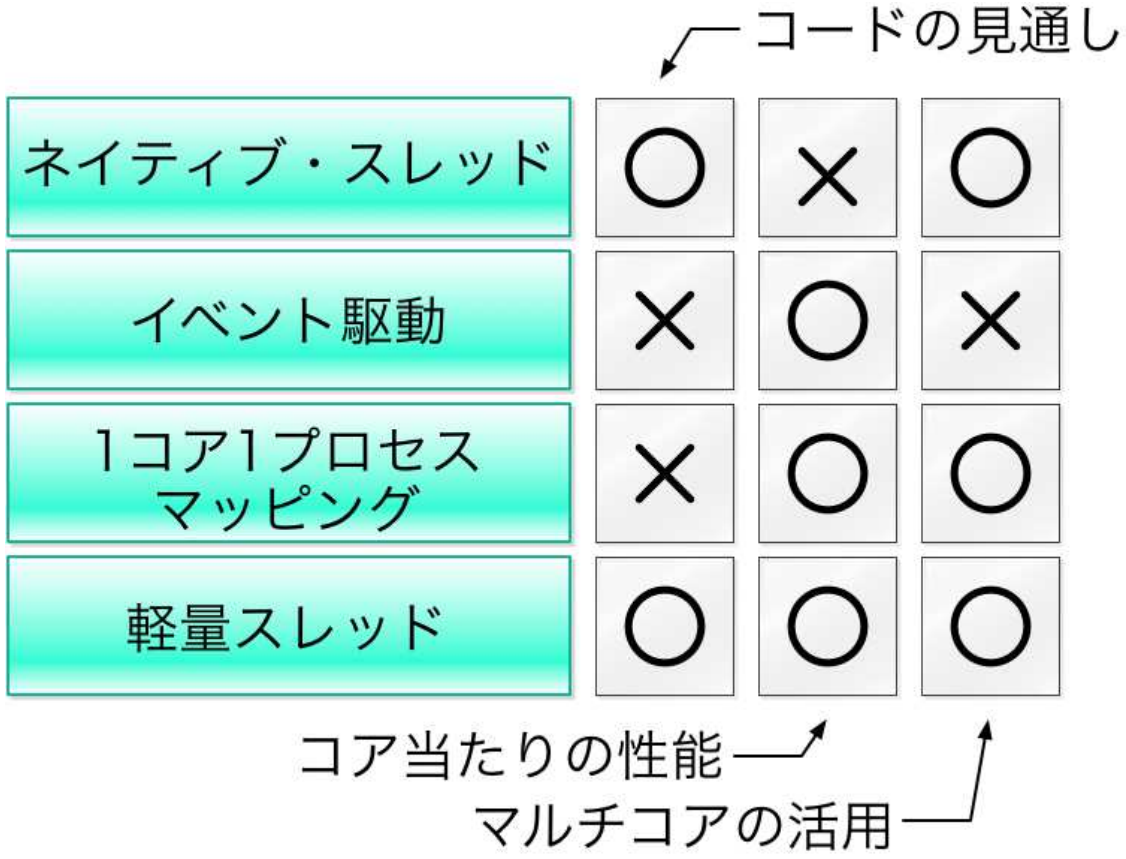


- 軽量スレッド
  - スタックにはスタックポインタではないレジスタを使う
  - コンテキストスイッチの際は、そのレジスタの差し替えで OK
  - 小さいスタックから始めて、必要に応じて大きくできる

標準ライブラリは
ブロックしない

ブロックする外部言語
呼び出しはネイティブ
スレッドに任せる

アーキテクチャ比較(再掲)

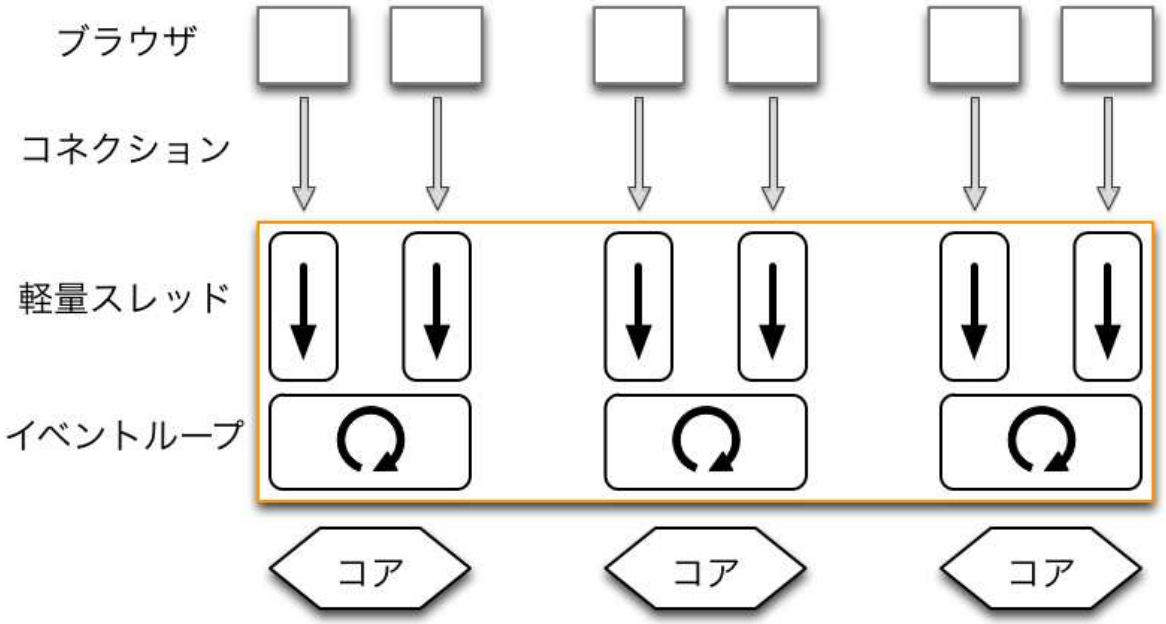


軽量スレッド+プロセス/コアの問題点

- 定型コードの再発明
  - コアごとにプロセスを起動し
    ポートを共有するコードを毎回書かないといけない
- 共有資源の欠如
  - たとえば設定ファイルをすべてのプロセスで
    再読み込みする必要がある。
  - そのためのプロセス間通信のコードも必要
- 新しい獣群の暴走(thundering herd)
  - 新しいコネクションが来るとすべてのプロセスが起こされる
  - Blocking accept() では解決済み
  - Non-blocking accept() で再び現れる

新しいアーキテクチャ

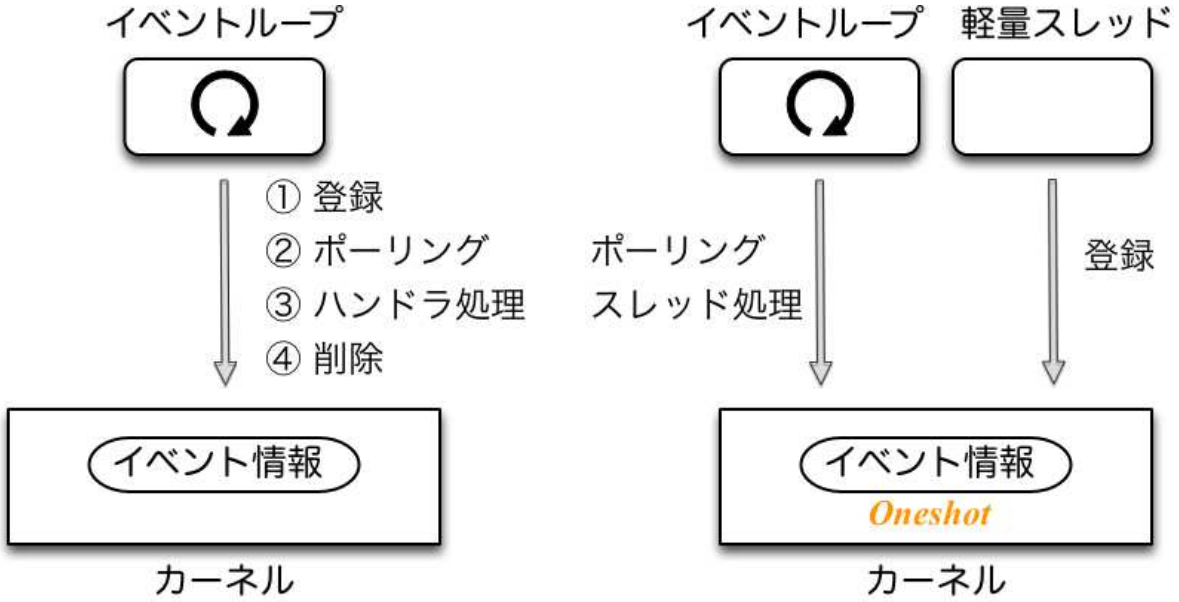
- プロセス内に複数のイベントループを回す



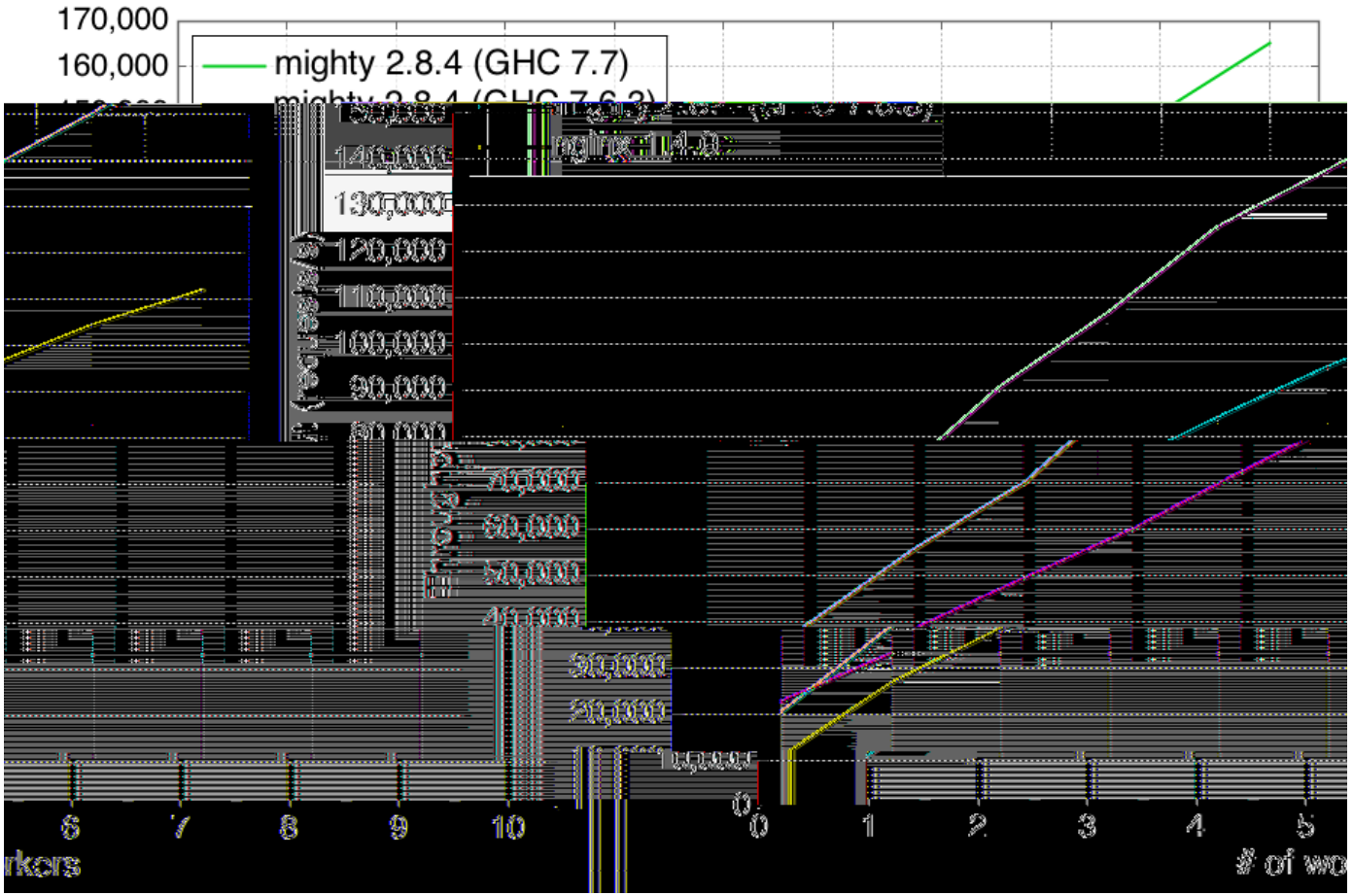
- 同一プロセス
  - 定型コードの再発明は不要
  - 共有資源あり
- 一つのイベントループが新しいコネクションを処理
  - 新しい獣群の暴走はなくなる

新しいイベント処理

- これまでのイベント処理
  - libevent → libev → libuv
  - select() のセマンティクスを継承している
- 我々のイベント処理
  - 登録とポーリングの分離
  - Oneshot の活用
  - あらゆる OS のバグを踏んだ！



ベンチマーク



- 注：nginx の方がはるかに多機能です

成果物のマージ

再実装

レビューしやすいように
コミットを再構成

レビュー

あっさり通った

自動検証

MacOS のバグを踏んだ。
長い戦いの始まり。

マージ

2013年秋に GHC 7.8.1
に含まれてリリース