

ソフトウェアアーキテクチャ

第5回 コンパイラ

環境情報学部

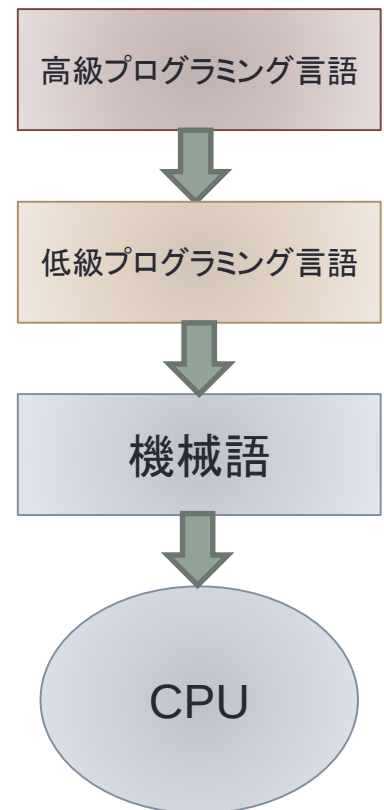
萩野 達也

lecture URL

<https://vu5.sfc.keio.ac.jp/slide/>

プログラミング言語

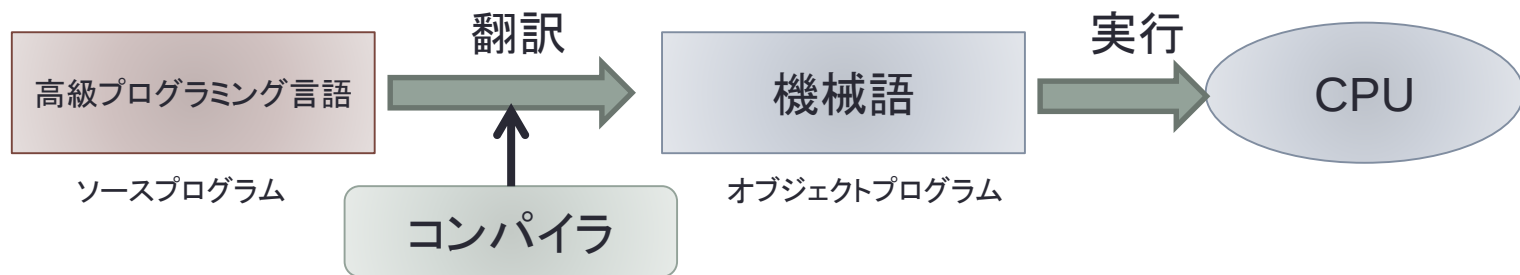
- プログラミング言語
 - コンピュータに処理を伝えるために作られた人工的な言語
- **低級言語** (low-level programming language)
 - コンピュータが直接実行できる機械語と対応
 - アセンブリ言語
 - CPUの種類ごとに異なる
- **高級言語** (high-level programming language)
 - CPUやアーキテクチャに非依存
 - 人が理解しやすい言語
 - コンピュータが直接実行することはできない
 - 低級言語と対応を取る必要がある



プログラミング言語の実行方法

- **コンパイラ**方式 (compiler)

- プログラムを機械語に変換して実行
- プログラムを機械語に変換(翻訳)するプログラムをコンパイラ



翻訳

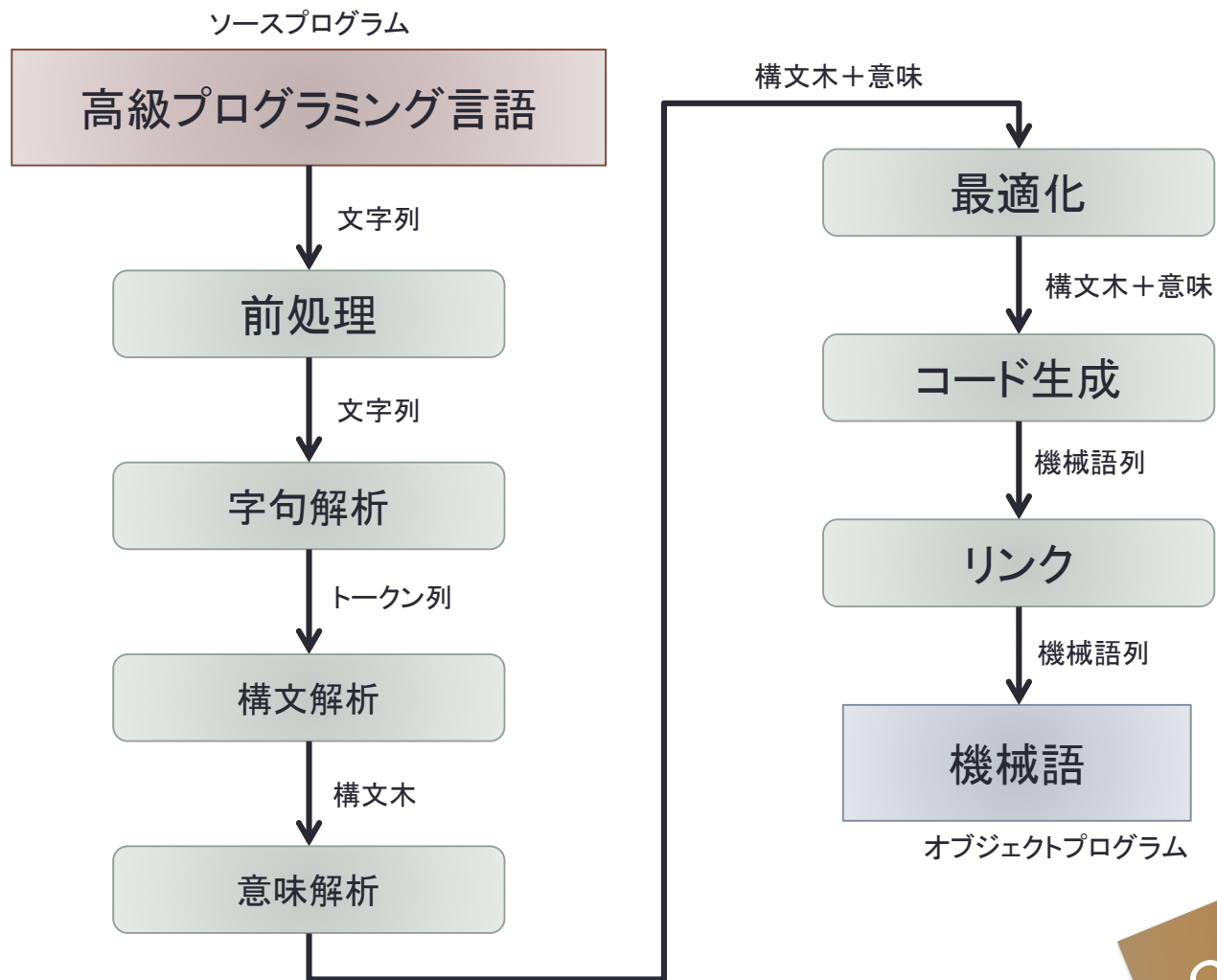
- **インタープリタ**方式 (interpreter)

- プログラムを変換や翻訳せずに、そのまま直接実行
- コンパイラに比べて実行速度は落ちる
- プログラムを変更してから実行までは早い



通訳

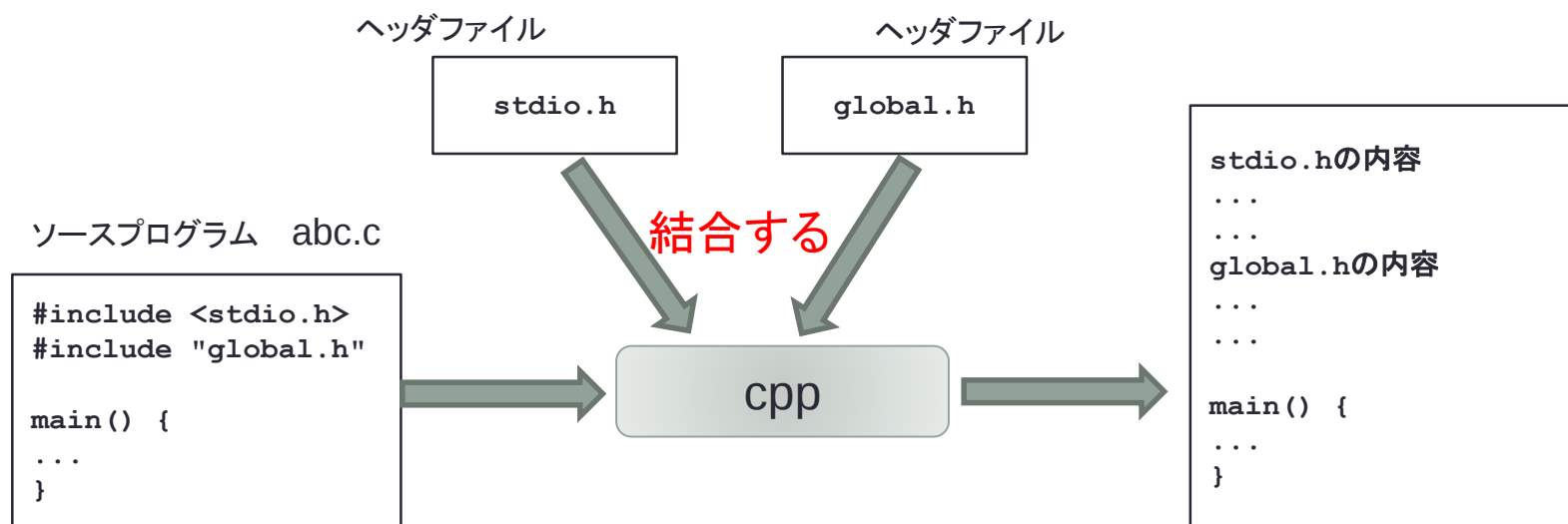
コンパイラの構成



C言語を例とする

前処理(プリプロセッサ)

- C言語コンパイラのプリプロセッサ
 - cpp(C PreProcessor)
- 役割
 - ヘッダなどの他のファイルを読み込みソースプログラムを一つにする.
 - マクロの定義に従いソース中のマクロの展開を行う.
 - 条件に従いソースの一部分の選択的コンパイルを可能にする.



cppのマクロ処理

- 定数に名前を付ける
 - `#define MAX 100`

```
for (i = 0; i < MAX; i++) {  
    a[i] = b[MAX - i - 1];  
}
```

マクロを展開



```
for (i = 0; i < 100; i++) {  
    a[i] = b[100 - i - 1];  
}
```

- プログラムが読みやすくなる
 - 変更が簡単
- 引数を取って、マクロ展開の時に引数を使うことができる
 - 関数呼び出しではなく、単純な文字列置換であることに注意
 - `#define DOUBLE(x) (x) * (x)`

```
a = DOUBLE(5);  
b = DOUBLE(a+1) + DOUBLE(c);  
c = DOUBLE(DOUBLE(a+b));
```

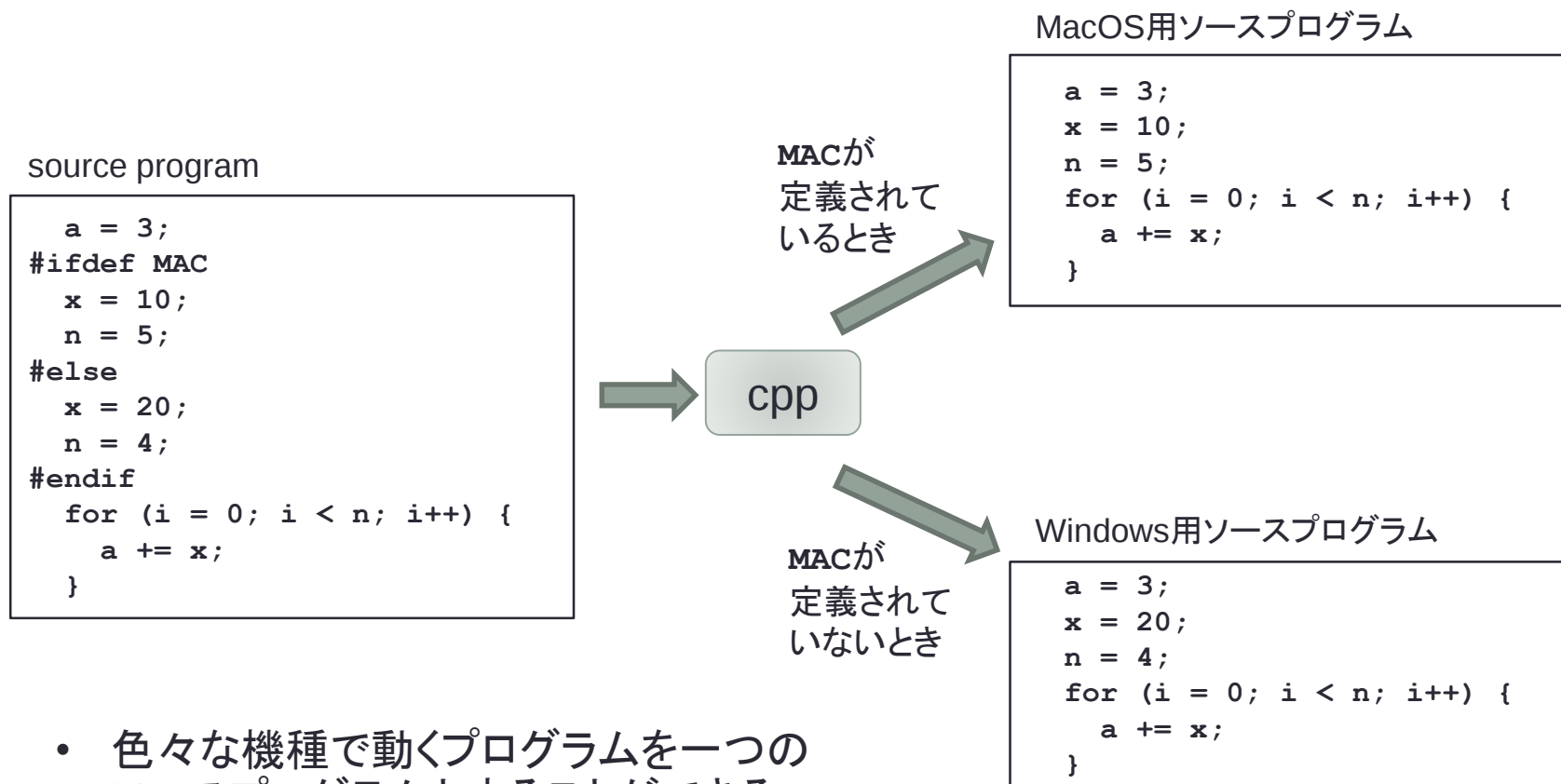
マクロを展開



```
a = (5) * (5);  
b = (a+1) * (a+1) + (c) * (c);  
c = ((a+b) * (a+b)) * ((a+b) * (a+b));
```

条件付きコンパイル

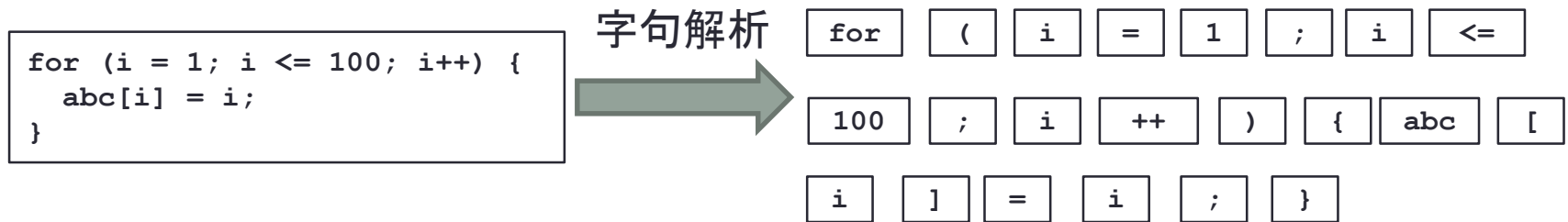
- 条件にしたがってコンパイルするコードを選択する



- 色々な機種で動くプログラムを一つのソースプログラムとすることができる

字句解析

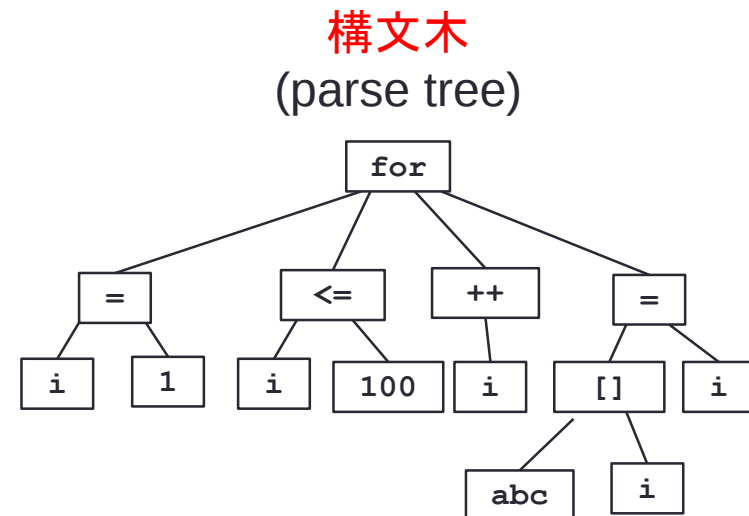
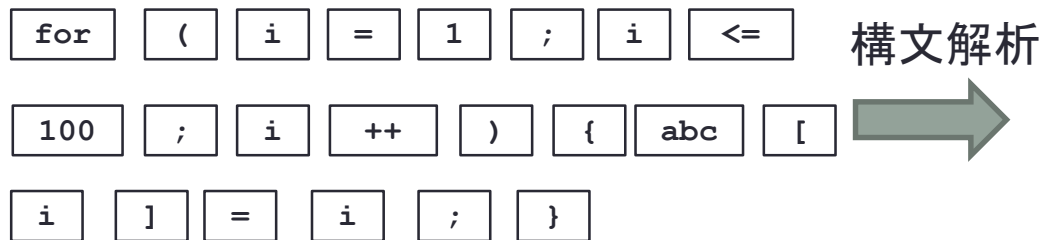
- 字句解析 (lexical analysis)
 - 文字列を意味のある最小単位にまず分ける
 - 変数名や関数名, 数字, 記号などの単位に分ける処理



- 字句
 - 数字: 数字の列
 - 名前: 英文字で始まる英数字文字列
 - 記号: 1文字あるいは2文字の記号列
- 字句解析では字句の種類と値に分けられる

構文解析

- 構文解析 (syntax analysis)
 - 意味となるかたまりに分ける
 - 式や文のかたまりに分ける
 - 字句の列から構文木を作る



- 構文
 - 正しい文や式として解釈するための規則
 - 文法規則で書かれることが多い
 - **文脈自由文法** (context free grammar)
 - 構文解析は文法に基づいて解析を行う

構文規則

- for文の構文規則



- 構文規則は文脈自由文法として与えられることが多い
 - BNF(Bacus Naur Form)による定義

```
<for> ::= 'for' '(' <expr> ';' <expr> ';' <expr> ')' <statement>
```

- C言語の構文規則は大きく5つに分けられる
 - 式
 - 文
 - 関数
 - 変数宣言
 - 型宣言

英語の5文型

SV

SV C

SVO

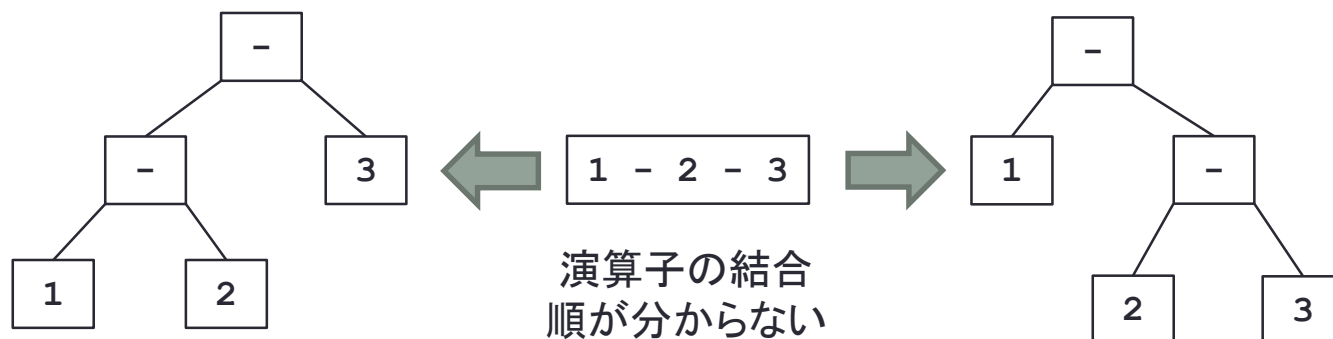
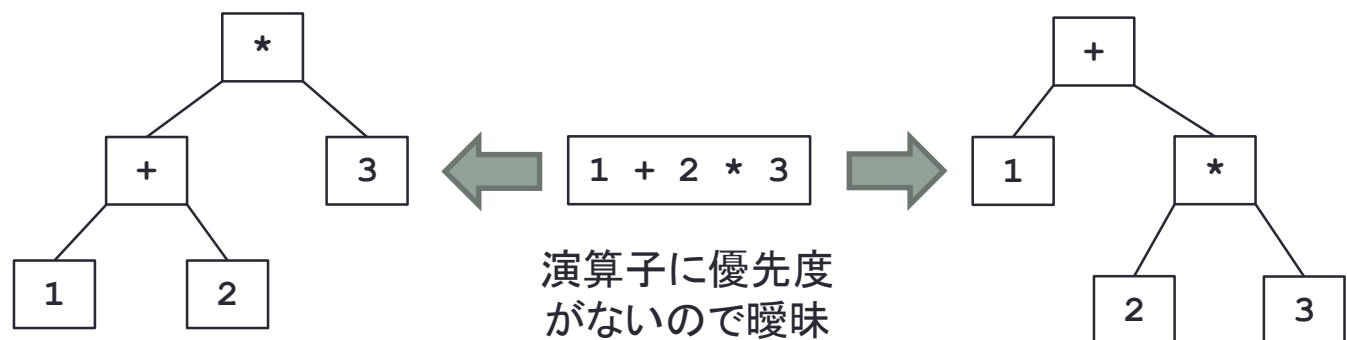
SVOO

SVOC

式の構文規則

• 四則演算の構文規則

$\langle \text{式} \rangle ::= \langle \text{数} \rangle \mid \langle \text{式} \rangle '+' \langle \text{式} \rangle \mid \langle \text{式} \rangle '-' \langle \text{式} \rangle \mid \langle \text{式} \rangle '*' \langle \text{式} \rangle \mid \langle \text{式} \rangle '/' \langle \text{式} \rangle$



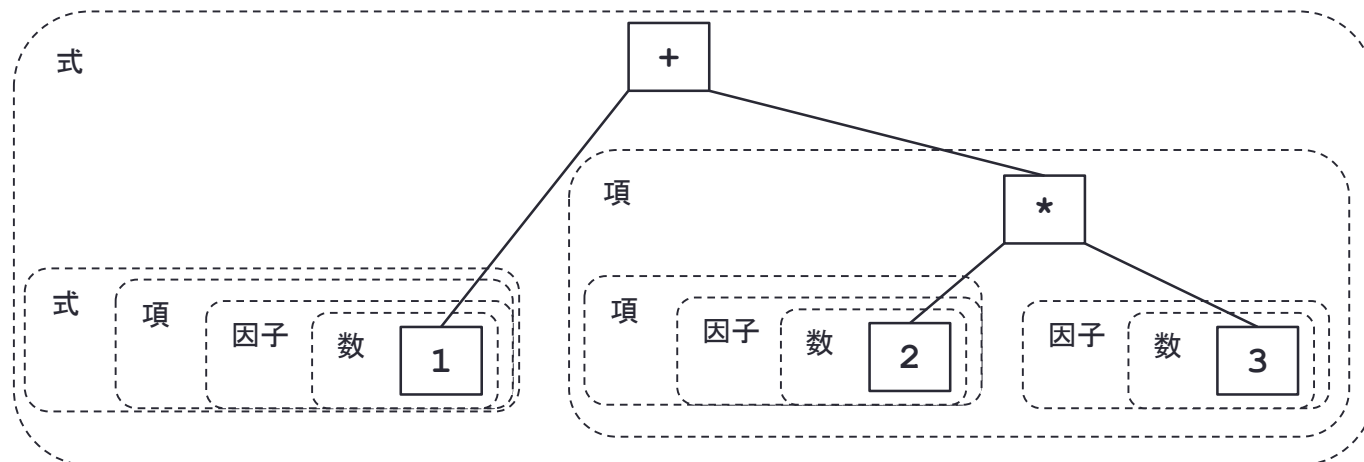
曖昧性のない式の構文規則

- 優先度別に式の規則を分ける

$\langle \text{式} \rangle ::= \langle \text{式} \rangle '+' \langle \text{項} \rangle \mid \langle \text{式} \rangle '-' \langle \text{項} \rangle \mid \langle \text{項} \rangle$

$\langle \text{項} \rangle ::= \langle \text{項} \rangle '*' \langle \text{因子} \rangle \mid \langle \text{項} \rangle '/' \langle \text{因子} \rangle \mid \langle \text{因子} \rangle$

$\langle \text{因子} \rangle ::= \langle \text{数} \rangle \mid '-' \langle \text{因子} \rangle \mid '(' \langle \text{式} \rangle ')'$

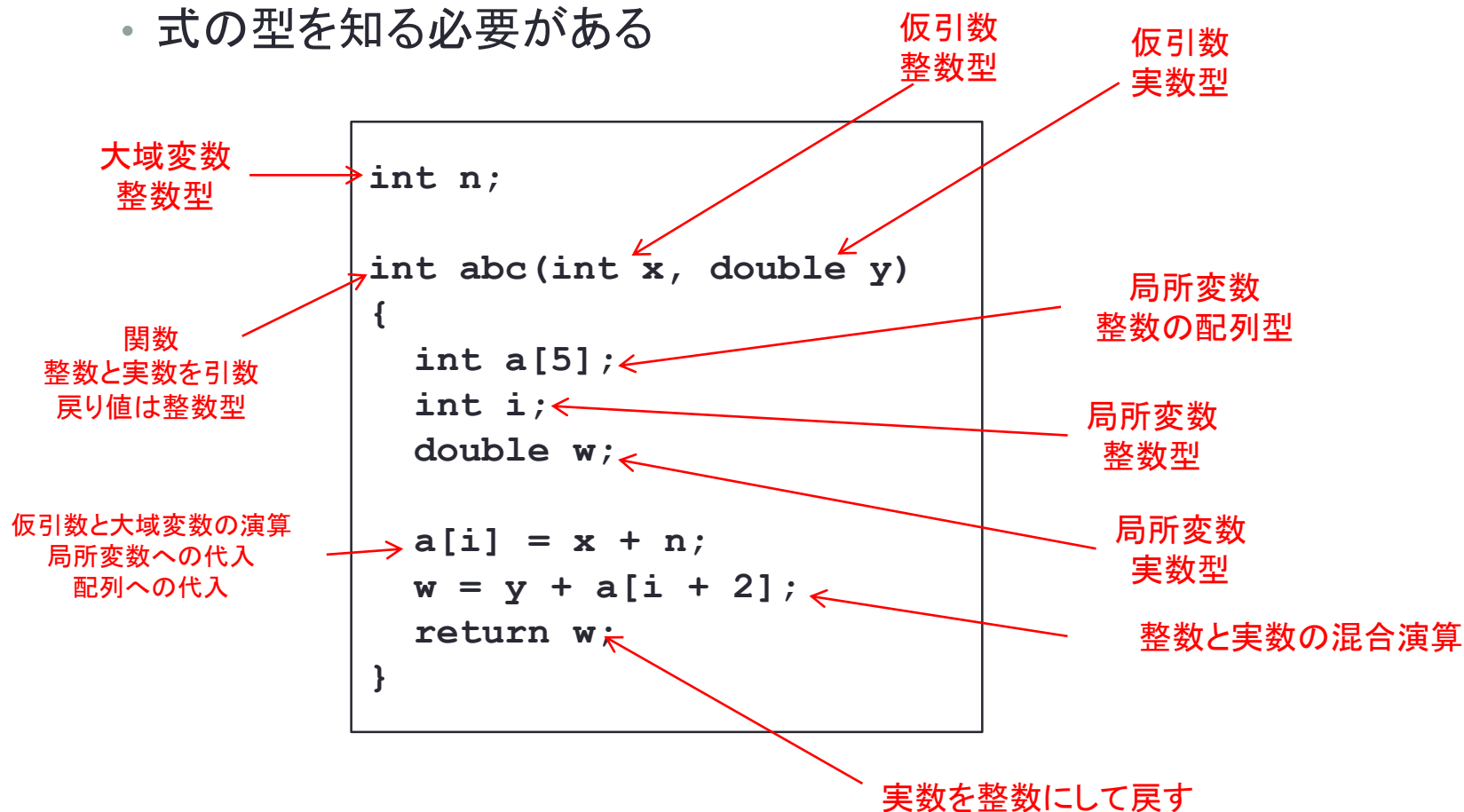


C言語の文のBNF構文

```
<文> ::= <式> ';' |  
        'if' '(' <式> ')' <文> ( 'else' <文> )? |  
        'while' '(' <式> ')' <文> |  
        'for' '(' <式> ';' <式> ';' <式> ')' <文> |  
        'switch' '(' <式> ')' '{'  
            (('case' <定数> | 'default') ':' <文>)* '}' |  
        'do' <文> 'while' '(' <式> ')' |  
        '{' <文>* '}'
```

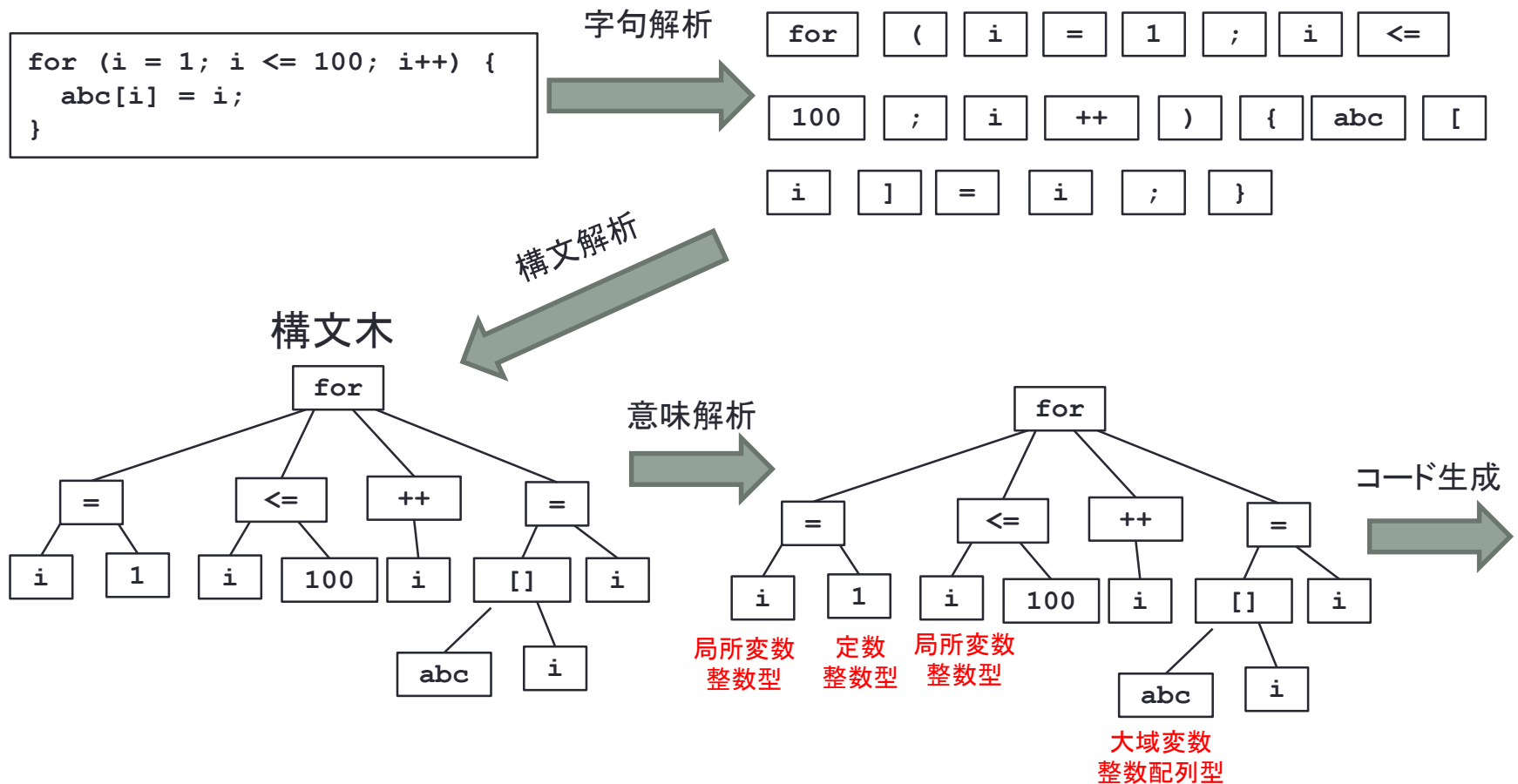
意味解析

- 構文が正しいだけでは翻訳できない
 - 変数は前もって宣言しておく必要がある
 - 式の型を知る必要がある



コード生成

- 字句解析, 構文解析, 意味解析が終わるとコードを生成することができる

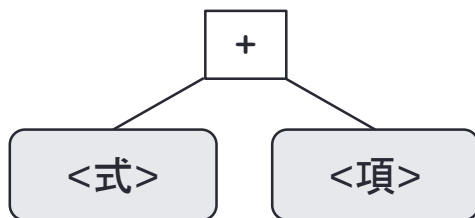


コード生成の方法

- コード生成 (code generation)
 - 構文木からターゲットとするCPUのアーキテクチャにあったコードを生成
 - 変数や引数に対する参照の解決

- コード生成の方法
 - 構文木ごとにコード生成を決めればよい.

- 例
 - 式の足し算に関するコード生成
 - i386のコードを生成



コード生成



<式> ::= <式> '+' <項>

計算結果は%eaxに入れる

<式>に対するコード

<式>を計算

pushl %eax

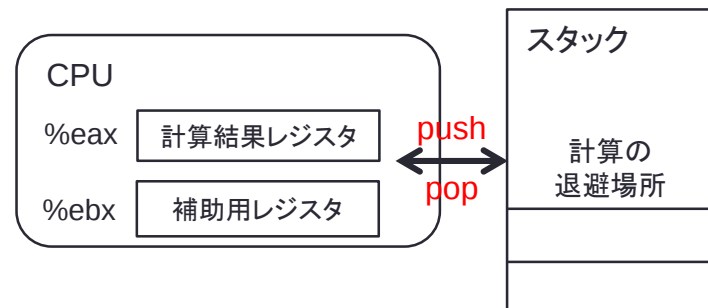
<式>の計算結果を
スタックに退避

<項>に対するコード

<項>を計算

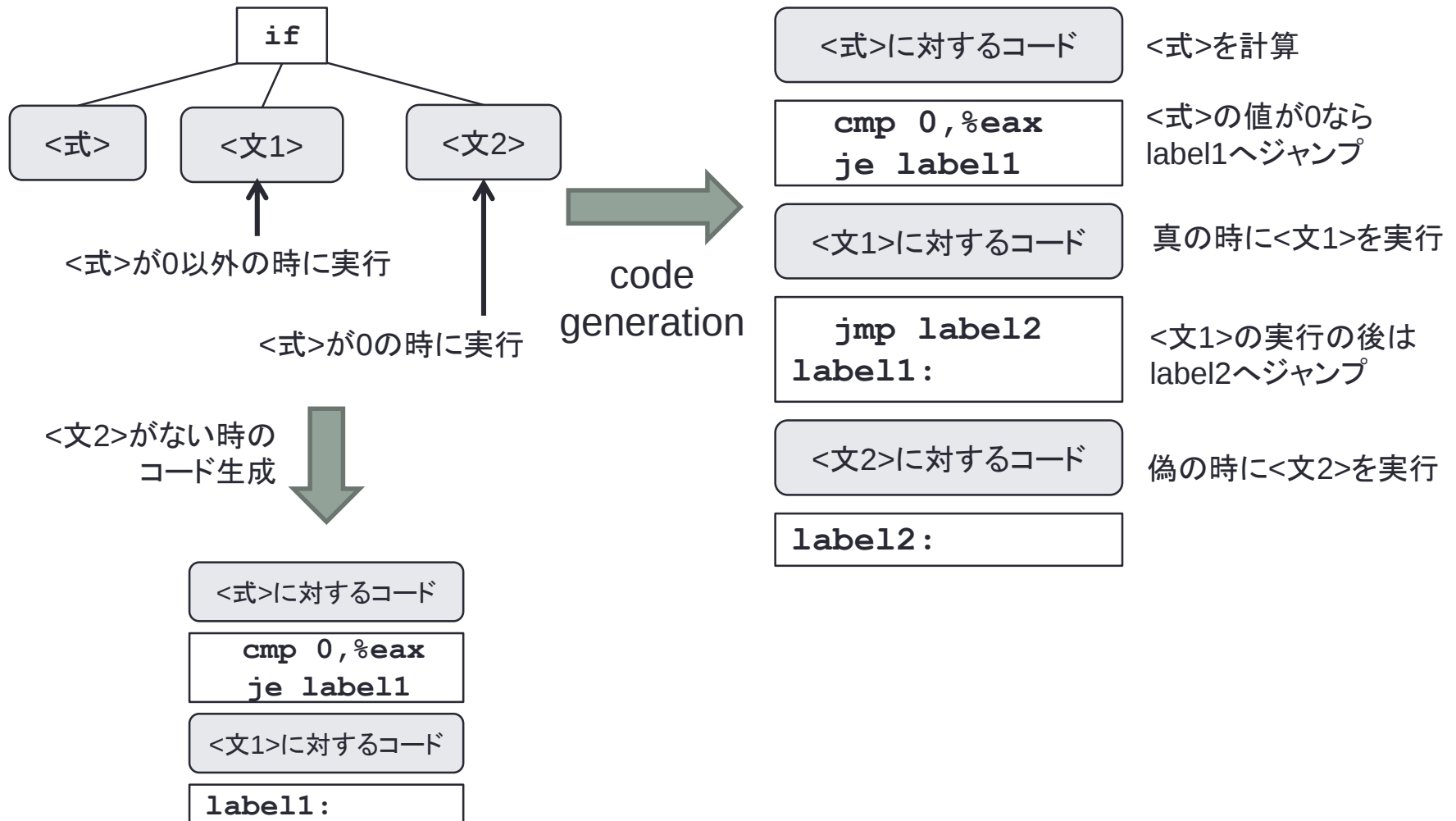
**movl %eax,%ebx
popl %eax
addl %ebx,%eax**

<式>の計算結果を
スタックから戻し
<項>計算結果を
加える



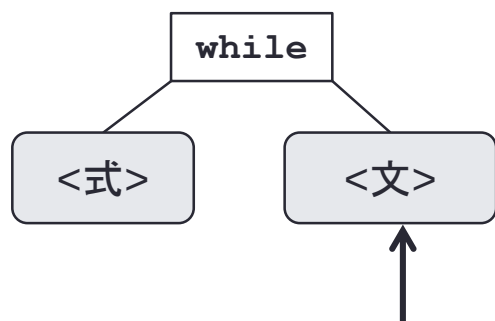
if文のコード生成

$\langle \text{if文} \rangle ::= \text{'if' ' (' } \langle \text{式} \rangle \text{ ')' } \langle \text{文1} \rangle \text{ ('else' } \langle \text{文2} \rangle \text{) ?}$



while文のコード生成

`<while文> ::= 'while' '(' <式> ')' <文>`



<式>が0になるまで実行

コード生成

label1:

<式>に対するコード

<式>を計算

cmp 0,%eax
je label2

<式>の値が0なら
label2へジャンプして終了

<文>に対するコード

<文>を実行

jmp label1
label2:

もう一度<式>をチェック

より良い
コード生成

jmp label2
label1:

<文>に対するコード

label2:

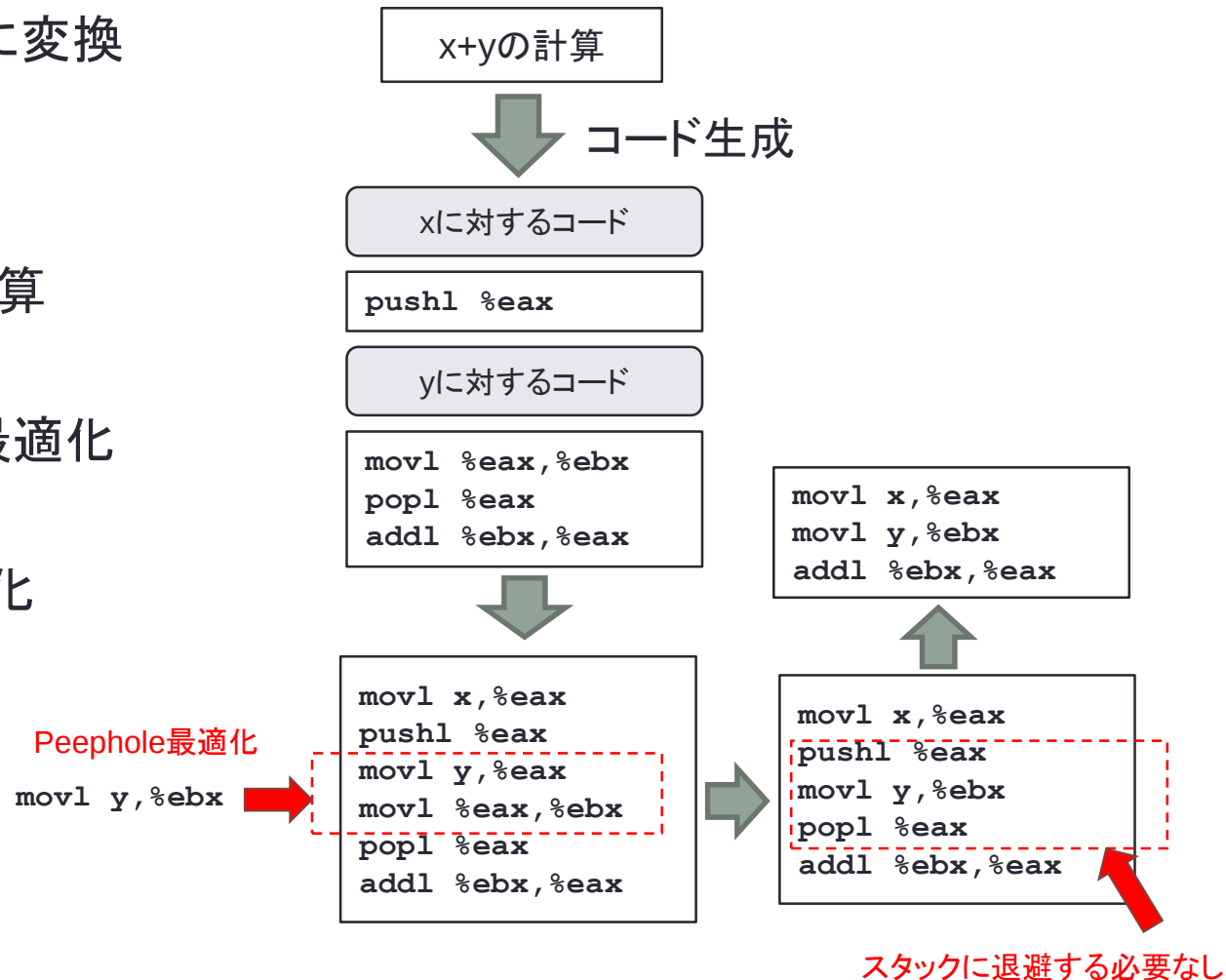
<式>に対するコード

cmp 0,%eax
jne label1

最適化

- 最適化 (optimization)
 - 効率の良いコードに変換
- 最適化の手法
 - 定数だけの式の計算
 - Peephole最適化
 - 繰り返しにおける最適化
 - レジスタの利用
 - グローバルな最適化

Peephole最適化 (例)



繰り返しの最適化

- ・ 繰り返しで変化しないものは外に出す
- ・ 掛け算は足し算に置き換える

```
for (i = 0; i < 1000; i++) {  
    b = x * x + 3;  
    a = a + b + i * 4;  
}
```



変化しないものは外に出す

```
b = x * x + 3;  
for (i = 0; i < 1000; i++) {  
    a = a + b + i * 4;  
}
```



掛け算を
足し算に

```
b = x * x + 3;  
j = 0;  
for (i = 0; i < 1000; i++) {  
    a = a + b + j;  
    j = j + 4;  
}
```

計算コスト

足し算
引き算

<

掛け算

<

割り算

コンパイラは何言語で書く？

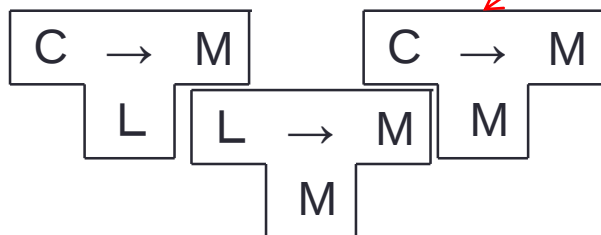
- C言語のコンパイラも高級言語で書かれている
 - コンパイラをコンパイルしなくてはならない
 - 最初のC言語コンパイラは別言語で書く必要がある
 - 一度できるとC言語自身でC言語のコンパイラを書いても良い

• T図式



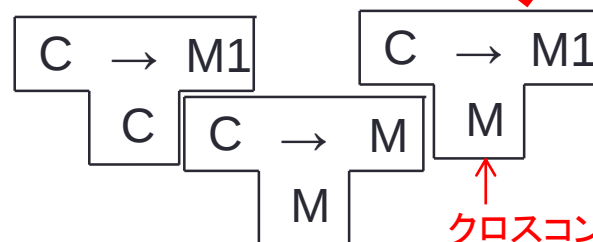
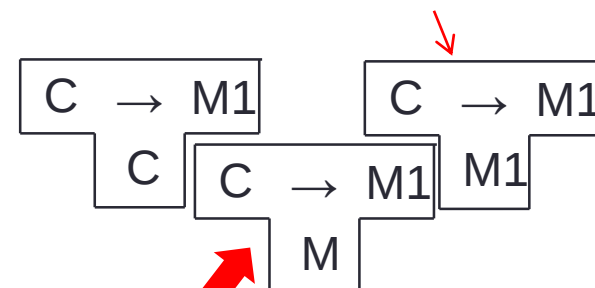
N言語で書かれた
言語Lから言語Mへのコンパイラ

M用C言語コンパイラ



L言語で書かれたC言語コンパイラ
L言語コンパイラでコンパイル

M1用C言語コンパイラ

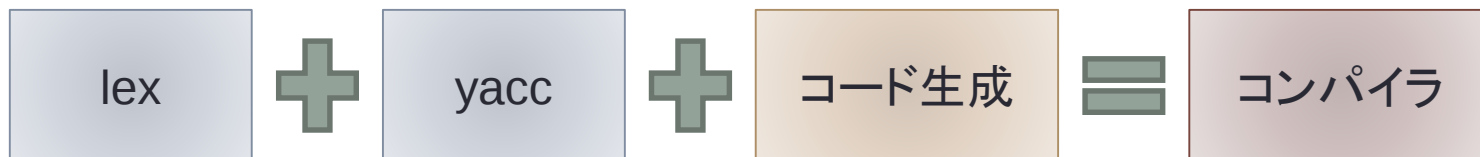


クロスコンパイラ

C言語コンパイラのM1への移植

コンパイラコンパイラ

- コンパイラを最初からすべて書くのは面倒
 - 字句解析を自動生成
 - lex
 - 正規表現を使って字句を定義
 - 構文解析を自動生成
 - yacc
 - Yet Another Compiler Compiler
 - 文脈自由文法から構文解析を自動生成



まとめ

- 言語処理系
 - インタープリタ
 - コンパイラ
- コンパイラの処理
 - 前処理 (preprocess)
 - 字句解析 (lexical analysis)
 - 構文解析 (syntax analysis)
 - コード生成 (code generation)
 - 最適化 (optimization)