

# コンパイラ

第11回 上昇型構文解析(1)

http://www.info.kindai.ac.jp/compiler  
 E館3階E-331 内線5459  
 takasi-i@info.kindai.ac.jp

1

# コンパイラの構造

- 字句解析系
- 構文解析系
- 制約検査系
- 中間コード生成系
- 最適化系
- 目的コード生成系

2

# 構文解析系 (syntax analyzer, parser)

- 構文解析系
  - 構文解析木を作成

3

# 構文解析

- 文法  $G = \{N, T, S, P\}$  が与えられたとき、 $\omega \in T^*$  に対して  $S \Rightarrow \omega$  であるか判定、その導出木を得る

4

# 下降型解析(top-down parsing)

5

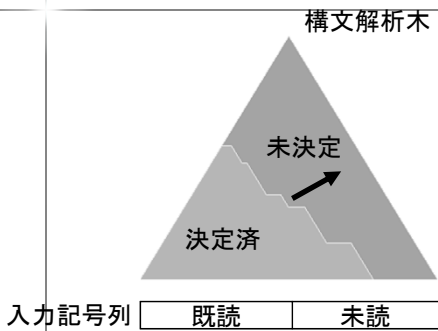
# 下降型解析の例

```

<namelist> ::= <name> | <name> “,” <namelist>
<name> ::= “a” | “b” | “c”
a, b, c <namelist>
  → <name> “,” <namelist>
  → “a” “,” <namelist>
  → “a” “,” <name> “,” <namelist>
  → “a” “,” “b” “,” <namelist>
  → “a” “,” “b” “,” <name>
  → “a” “,” “b” “,” “c”
  <namelist> ⇒ a,b,c
  
```

6

## 上昇型解析(bottom-up parsing)



7

## 上昇型解析の例

```

<namelist> ::= <name> | <namelist> “,” <name>
<name> ::= “a” | “b” | “c”
a, b, c “a” “,” “b” “,” “c”
    → <name> “,” “b” “,” “c”
    → <namelist> “,” “b” “,” “c”
    → <namelist> “,” <name> “,” “c”
    → <namelist> “,” “c”
    → <namelist> “,” <name>
    → <namelist>
    <namelist> ⇒ a,b,c
    
```

8

## 構文解析の種類

情報システムプロジェクトIの構文解析

|                              |  |
|------------------------------|--|
| 下降型解析<br>(top-down parsing)  | 再帰下降解析<br>(recursive descent parsing)                |
|                              | LL解析<br>(Left to right scan & Left most derivation)  |
| 上昇型解析<br>(bottom-up parsing) | 演算子順位構文解析<br>(operator precedence parsing)           |
|                              | LR解析<br>(Left to right scan & Right most derivation) |

9

## 再帰下降構文解析の欠点

- 受理できる言語の範囲が狭い
  - 受理できる原始言語の文法に制限がある
- 左再帰性を除去すると構文木が変わる
  - 演算子の結合性の情報が消失
    - ⇒ 左再帰性の除去時に情報を記録
- 再帰が必要
  - 記述言語が再帰可能な場合のみ使用可能
    - ⇒ スタックを用いる

10

## LL解析

- Left to right scan & Left most derivation 解析
  - 下降型解析
  - スタックと解析表を用いて解析
  - 再帰下降型解析と本質的に同じ

11

## LL解析



12

## 解析表

■ 非終端記号 × 終端記号の表

| N \ T | i (整数) | +    | *    | (   | ) | \$ |
|-------|--------|------|------|-----|---|----|
| E     | TE'    |      |      | TE' |   |    |
| E'    |        | +TE' |      |     | ε | ε  |
| T     | FT'    |      |      | FT' |   |    |
| T'    |        | ε    | *FT' |     | ε | ε  |
| F     | i      |      |      | (E) |   |    |

項目M [T, i] : 生成規則 T → FT'

意味 : 非終端記号 T の解析時に記号 i を読めば  
次は FT' を解析する

空欄は構文解析エラー

13

## 生成規則 → 解析表

$E \rightarrow TE'$        $\text{First}(TE') = \{i, "("\}$

$E' \rightarrow +TE' \mid \epsilon$        $\text{First}(+TE') = \{“+”\}$

$T \rightarrow FT'$        $\text{First}(FT') = \{i, "("\}$

$T' \rightarrow *FT' \mid \epsilon$        $\text{First}( *FT') = \{“*”\}$

$F \rightarrow i \mid (E)$        $\text{First}(i) = \{i\}, \text{First}((E)) = \{“(”\}$

| N \ T | i (整数) | +    | *    | (   | ) | \$ |
|-------|--------|------|------|-----|---|----|
| E     | TE'    |      |      | TE' |   |    |
| E'    |        | +TE' |      |     | ε | ε  |
| T     | FT'    |      |      | FT' |   |    |
| T'    |        | ε    | *FT' |     | ε | ε  |
| F     | i      |      |      | (E) |   |    |

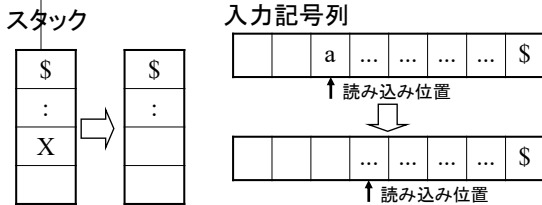
14

## LL解析の手順

X : スタックトップ a ∈ T : 現在の入力記号

■ X が終端記号のとき

- X = a ⇒ X をポップ, 次の文字を読み込む
- X ≠ a ⇒ 構文解析エラー



15

## LL解析の手順

X : スタックトップ a ∈ T : 現在の入力記号

■ X が非終端記号のとき

- 解析表 M[X, a] = X → Y<sub>1</sub>Y<sub>2</sub>Y<sub>3</sub>...Y<sub>k</sub>  
⇒ X をポップ, Y<sub>1</sub>, Y<sub>2</sub>, Y<sub>3</sub>, ..., Y<sub>k</sub> をプッシュ



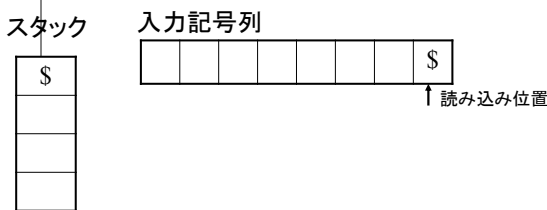
16

## LL解析の手順

X : スタックトップ a ∈ T : 現在の入力記号

■ X = "\$" かつ a = "\$" のとき

- 解析完了



17

## 解析例

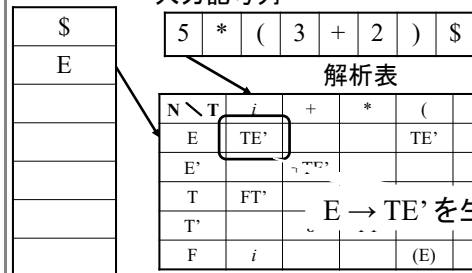
生成規則

$P = \{E \rightarrow TE', E' \rightarrow +TE' \mid \epsilon, T \rightarrow FT',$

$T' \rightarrow *FT' \mid \epsilon, F \rightarrow i \mid (E)\}$

スタック

入力記号列



18

**解析例**  
生成規則  
 $P = \{E \rightarrow TE', E' \rightarrow +TE' | \epsilon, T \rightarrow FT', T' \rightarrow *FT' | \epsilon, F \rightarrow i(E)\}$

スタック

|    |
|----|
| \$ |
| E' |
| T  |

入力記号列

|   |   |   |   |   |   |   |    |
|---|---|---|---|---|---|---|----|
| 5 | * | ( | 3 | + | 2 | ) | \$ |
|---|---|---|---|---|---|---|----|

解析表

| N \ T | i   | +          | * | (   | )          | \$         |
|-------|-----|------------|---|-----|------------|------------|
| E     | TE' |            |   | TE' |            |            |
| E'    |     | +TE'       |   |     | $\epsilon$ | $\epsilon$ |
| T     | FT' |            |   | FT' |            |            |
| T'    |     | $\epsilon$ |   |     |            |            |
| F     | i   |            |   |     |            |            |

T → FT' を生成

19

**解析例**  
生成規則  
 $P = \{E \rightarrow TE', E' \rightarrow +TE' | \epsilon, T \rightarrow FT', T' \rightarrow *FT' | \epsilon, F \rightarrow i(E)\}$

スタック

|    |
|----|
| \$ |
| E' |
| T' |
| F  |

入力記号列

|   |   |   |   |   |   |   |    |
|---|---|---|---|---|---|---|----|
| 5 | * | ( | 3 | + | 2 | ) | \$ |
|---|---|---|---|---|---|---|----|

解析表

| N \ T | i   | +          | * | (   | )          | \$         |
|-------|-----|------------|---|-----|------------|------------|
| E     | TE' |            |   | TE' |            |            |
| E'    |     | +TE'       |   |     | $\epsilon$ | $\epsilon$ |
| T     | FT' |            |   | FT' |            |            |
| T'    |     | $\epsilon$ |   |     |            |            |
| F     | i   |            |   |     |            |            |

F → i(整数) を生成

20

**解析例**  
生成規則  
 $P = \{E \rightarrow TE', E' \rightarrow +TE' | \epsilon, T \rightarrow FT', T' \rightarrow *FT' | \epsilon, F \rightarrow i(E)\}$

スタック

|       |
|-------|
| \$    |
| E'    |
| T'    |
| i(整数) |

入力記号列

|   |   |   |   |   |   |   |    |
|---|---|---|---|---|---|---|----|
| 5 | * | ( | 3 | + | 2 | ) | \$ |
|---|---|---|---|---|---|---|----|

解析表

| N \ T | i   | +          | * | (   | )          | \$         |
|-------|-----|------------|---|-----|------------|------------|
| E     | TE' |            |   | TE' |            |            |
| E'    |     | +TE'       |   |     | $\epsilon$ | $\epsilon$ |
| T     | FT' |            |   | FT' |            |            |
| T'    |     | $\epsilon$ |   |     |            |            |
| F     | i   |            |   |     |            |            |

スタックトップ = 入力記号  
⇒ 次の入力を読み込む

21

**解析例**  
生成規則  
 $P = \{E \rightarrow TE', E' \rightarrow +TE' | \epsilon, T \rightarrow FT', T' \rightarrow *FT' | \epsilon, F \rightarrow i(E)\}$

スタック

|    |
|----|
| \$ |
| E' |
| T' |

入力記号列

|  |   |   |   |   |   |   |    |
|--|---|---|---|---|---|---|----|
|  | * | ( | 3 | + | 2 | ) | \$ |
|--|---|---|---|---|---|---|----|

解析表

| N \ T | i   | +          | * | (   | )          | \$         |
|-------|-----|------------|---|-----|------------|------------|
| E     | TE' |            |   | TE' |            |            |
| E'    |     | +TE'       |   |     | $\epsilon$ | $\epsilon$ |
| T     | FT' |            |   | FT' |            |            |
| T'    |     | $\epsilon$ |   |     |            |            |
| F     | i   |            |   |     |            |            |

T' → \*FT' を生成

22

**解析例**  
生成規則  
 $P = \{E \rightarrow TE', E' \rightarrow +TE' | \epsilon, T \rightarrow FT', T' \rightarrow *FT' | \epsilon, F \rightarrow i(E)\}$

スタック

|    |
|----|
| \$ |
| E' |
| T' |
| F  |
| *  |

入力記号列

|  |   |   |   |   |   |   |    |
|--|---|---|---|---|---|---|----|
|  | * | ( | 3 | + | 2 | ) | \$ |
|--|---|---|---|---|---|---|----|

解析表

| N \ T | i   | +          | * | (   | )          | \$         |
|-------|-----|------------|---|-----|------------|------------|
| E     | TE' |            |   | TE' |            |            |
| E'    |     | +TE'       |   |     | $\epsilon$ | $\epsilon$ |
| T     | FT' |            |   | FT' |            |            |
| T'    |     | $\epsilon$ |   |     |            |            |
| F     | i   |            |   |     |            |            |

スタックトップ = 入力記号  
⇒ 次の入力を読み込む

23

**解析例**  
生成規則  
 $P = \{E \rightarrow TE', E' \rightarrow +TE' | \epsilon, T \rightarrow FT', T' \rightarrow *FT' | \epsilon, F \rightarrow i(E)\}$

スタック

|    |
|----|
| \$ |
| E' |
| T' |
| F  |

入力記号列

|  |  |   |   |   |   |   |    |
|--|--|---|---|---|---|---|----|
|  |  | ( | 3 | + | 2 | ) | \$ |
|--|--|---|---|---|---|---|----|

解析表

| N \ T | i   | +          | * | (   | )          | \$         |
|-------|-----|------------|---|-----|------------|------------|
| E     | TE' |            |   | TE' |            |            |
| E'    |     | +TE'       |   |     | $\epsilon$ | $\epsilon$ |
| T     | FT' |            |   | FT' |            |            |
| T'    |     | $\epsilon$ |   |     |            |            |
| F     | i   |            |   |     |            |            |

(E)

24

**解析例**  
生成規則  
 $P = \{E \rightarrow TE', E' \rightarrow +TE' | \epsilon, T \rightarrow FT', T' \rightarrow *FT' | \epsilon, F \rightarrow i(E)\}$

スタック 入力記号列

|    |
|----|
| \$ |
| E' |
| T' |
| )  |
| E  |
| (  |

|  |  |   |   |   |   |   |    |
|--|--|---|---|---|---|---|----|
|  |  | ( | 3 | + | 2 | ) | \$ |
|--|--|---|---|---|---|---|----|

解析表

| N \ T | i   | +          | *    | (   | )          | \$         |
|-------|-----|------------|------|-----|------------|------------|
| E     | TE' |            |      | TE' |            |            |
| E'    |     | +TE'       |      |     | $\epsilon$ | $\epsilon$ |
| T     | FT' |            |      | FT' |            |            |
| T'    |     | $\epsilon$ | *FT' |     | $\epsilon$ | $\epsilon$ |
| F     | i   |            |      | (E) |            |            |

25

**解析例**  
生成規則  
 $P = \{E \rightarrow TE', E' \rightarrow +TE' | \epsilon, T \rightarrow FT', T' \rightarrow *FT' | \epsilon, F \rightarrow i(E)\}$

スタック 入力記号列

|    |
|----|
| \$ |
| E' |
| T' |
| )  |
| E  |

|  |  |   |   |   |   |    |
|--|--|---|---|---|---|----|
|  |  | 3 | + | 2 | ) | \$ |
|--|--|---|---|---|---|----|

解析表

| N \ T | i   | +          | *    | (   | )          | \$         |
|-------|-----|------------|------|-----|------------|------------|
| E     | TE' |            |      | TE' |            |            |
| E'    |     | +TE'       |      |     | $\epsilon$ | $\epsilon$ |
| T     | FT' |            |      | FT' |            |            |
| T'    |     | $\epsilon$ | *FT' |     | $\epsilon$ | $\epsilon$ |
| F     | i   |            |      | (E) |            |            |

26

**解析例**  
生成規則  
 $P = \{E \rightarrow TE', E' \rightarrow +TE' | \epsilon, T \rightarrow FT', T' \rightarrow *FT' | \epsilon, F \rightarrow i(E)\}$

スタック 入力記号列

|    |
|----|
| \$ |
| E' |
| T' |
| )  |
| E' |
| T  |

|  |  |   |   |   |   |    |
|--|--|---|---|---|---|----|
|  |  | 3 | + | 2 | ) | \$ |
|--|--|---|---|---|---|----|

解析表

| N \ T | i   | +          | *    | (   | )          | \$         |
|-------|-----|------------|------|-----|------------|------------|
| E     | TE' |            |      | TE' |            |            |
| E'    |     | +TE'       |      |     | $\epsilon$ | $\epsilon$ |
| T     | FT' |            |      | FT' |            |            |
| T'    |     | $\epsilon$ | *FT' |     | $\epsilon$ | $\epsilon$ |
| F     | i   |            |      | (E) |            |            |

27

**解析例**  
生成規則  
 $P = \{E \rightarrow TE', E' \rightarrow +TE' | \epsilon, T \rightarrow FT', T' \rightarrow *FT' | \epsilon, F \rightarrow i(E)\}$

スタック 入力記号列

|    |
|----|
| \$ |
| E' |
| T' |
| )  |
| E' |
| T' |
| F  |

|  |  |   |   |   |   |    |
|--|--|---|---|---|---|----|
|  |  | 3 | + | 2 | ) | \$ |
|--|--|---|---|---|---|----|

解析表

| N \ T | i   | +          | *    | (   | )          | \$         |
|-------|-----|------------|------|-----|------------|------------|
| E     | TE' |            |      | TE' |            |            |
| E'    |     | +TE'       |      |     | $\epsilon$ | $\epsilon$ |
| T     | FT' |            |      | FT' |            |            |
| T'    |     | $\epsilon$ | *FT' |     | $\epsilon$ | $\epsilon$ |
| F     | i   |            |      | (E) |            |            |

28

**解析例**  
生成規則  
 $P = \{E \rightarrow TE', E' \rightarrow +TE' | \epsilon, T \rightarrow FT', T' \rightarrow *FT' | \epsilon, F \rightarrow i(E)\}$

スタック 入力記号列

|    |
|----|
| \$ |
| E' |
| T' |
| )  |
| E' |
| T' |
| i  |

|  |  |   |   |   |   |    |
|--|--|---|---|---|---|----|
|  |  | 3 | + | 2 | ) | \$ |
|--|--|---|---|---|---|----|

解析表

| N \ T | i   | +          | *    | (   | )          | \$         |
|-------|-----|------------|------|-----|------------|------------|
| E     | TE' |            |      | TE' |            |            |
| E'    |     | +TE'       |      |     | $\epsilon$ | $\epsilon$ |
| T     | FT' |            |      | FT' |            |            |
| T'    |     | $\epsilon$ | *FT' |     | $\epsilon$ | $\epsilon$ |
| F     | i   |            |      | (E) |            |            |

29

**解析例**  
生成規則  
 $P = \{E \rightarrow TE', E' \rightarrow +TE' | \epsilon, T \rightarrow FT', T' \rightarrow *FT' | \epsilon, F \rightarrow i(E)\}$

スタック 入力記号列

|    |
|----|
| \$ |
| E' |
| T' |
| )  |
| E' |
| T' |

|  |  |  |   |   |   |    |
|--|--|--|---|---|---|----|
|  |  |  | + | 2 | ) | \$ |
|--|--|--|---|---|---|----|

解析表

| N \ T | i   | +          | *    | (   | )          | \$         |
|-------|-----|------------|------|-----|------------|------------|
| E     | TE' |            |      | TE' |            |            |
| E'    |     | +TE'       |      |     | $\epsilon$ | $\epsilon$ |
| T     | FT' |            |      | FT' |            |            |
| T'    |     | $\epsilon$ | *FT' |     | $\epsilon$ | $\epsilon$ |
| F     | i   |            |      | (E) |            |            |

30

**解析例**  
 生成規則  
 $P = \{E \rightarrow TE', E' \rightarrow +TE' | \epsilon, T \rightarrow FT', T' \rightarrow *FT' | \epsilon, F \rightarrow i(E)\}$

スタック      入力記号列

|    |
|----|
| \$ |
| E' |
| T' |
| )  |
| E' |

|  |  |  |   |   |   |    |
|--|--|--|---|---|---|----|
|  |  |  | + | 2 | ) | \$ |
|--|--|--|---|---|---|----|

↓ 解析表

| N \ T | i   | +          | *    | (   | )          | \$         |
|-------|-----|------------|------|-----|------------|------------|
| E     | TE' |            |      | TE' |            |            |
| E'    |     | +TE'       |      |     | $\epsilon$ | $\epsilon$ |
| T     | FT' |            |      | FT' |            |            |
| T'    |     | $\epsilon$ | *FT' |     | $\epsilon$ | $\epsilon$ |
| F     | i   |            |      | (E) |            |            |

31

**解析例**  
 生成規則  
 $P = \{E \rightarrow TE', E' \rightarrow +TE' | \epsilon, T \rightarrow FT', T' \rightarrow *FT' | \epsilon, F \rightarrow i(E)\}$

スタック      入力記号列

|    |
|----|
| \$ |
| E' |
| T' |
| )  |
| E' |
| T  |

|  |  |  |   |   |   |    |
|--|--|--|---|---|---|----|
|  |  |  | + | 2 | ) | \$ |
|--|--|--|---|---|---|----|

↓ 解析表

| N \ T | i   | +          | *    | (   | )          | \$         |
|-------|-----|------------|------|-----|------------|------------|
| E     | TE' |            |      | TE' |            |            |
| E'    |     | +TE'       |      |     | $\epsilon$ | $\epsilon$ |
| T     | FT' |            |      | FT' |            |            |
| T'    |     | $\epsilon$ | *FT' |     | $\epsilon$ | $\epsilon$ |
| F     | i   |            |      | (E) |            |            |

32

**解析例**  
 生成規則  
 $P = \{E \rightarrow TE', E' \rightarrow +TE' | \epsilon, T \rightarrow FT', T' \rightarrow *FT' | \epsilon, F \rightarrow i(E)\}$

スタック      入力記号列

|    |
|----|
| \$ |
| E' |
| T' |
| )  |
| E' |
| T  |

|  |  |  |  |   |   |    |
|--|--|--|--|---|---|----|
|  |  |  |  | 2 | ) | \$ |
|--|--|--|--|---|---|----|

↓ 解析表

| N \ T | i   | +          | *    | (   | )          | \$         |
|-------|-----|------------|------|-----|------------|------------|
| E     | TE' |            |      | TE' |            |            |
| E'    |     | +TE'       |      |     | $\epsilon$ | $\epsilon$ |
| T     | FT' |            |      | FT' |            |            |
| T'    |     | $\epsilon$ | *FT' |     | $\epsilon$ | $\epsilon$ |
| F     | i   |            |      | (E) |            |            |

33

**解析例**  
 生成規則  
 $P = \{E \rightarrow TE', E' \rightarrow +TE' | \epsilon, T \rightarrow FT', T' \rightarrow *FT' | \epsilon, F \rightarrow i(E)\}$

スタック      入力記号列

|    |
|----|
| \$ |
| E' |
| T' |
| )  |
| E' |
| T' |
| F  |

|  |  |  |  |   |   |    |
|--|--|--|--|---|---|----|
|  |  |  |  | 2 | ) | \$ |
|--|--|--|--|---|---|----|

↓ 解析表

| N \ T | i   | +          | *    | (   | )          | \$         |
|-------|-----|------------|------|-----|------------|------------|
| E     | TE' |            |      | TE' |            |            |
| E'    |     | +TE'       |      |     | $\epsilon$ | $\epsilon$ |
| T     | FT' |            |      | FT' |            |            |
| T'    |     | $\epsilon$ | *FT' |     | $\epsilon$ | $\epsilon$ |
| F     | i   |            |      | (E) |            |            |

34

**解析例**  
 生成規則  
 $P = \{E \rightarrow TE', E' \rightarrow +TE' | \epsilon, T \rightarrow FT', T' \rightarrow *FT' | \epsilon, F \rightarrow i(E)\}$

スタック      入力記号列

|    |
|----|
| \$ |
| E' |
| T' |
| )  |
| E' |
| T' |
| i  |

|  |  |  |  |   |   |    |
|--|--|--|--|---|---|----|
|  |  |  |  | 2 | ) | \$ |
|--|--|--|--|---|---|----|

↓ 解析表

| N \ T | i   | +          | *    | (   | )          | \$         |
|-------|-----|------------|------|-----|------------|------------|
| E     | TE' |            |      | TE' |            |            |
| E'    |     | +TE'       |      |     | $\epsilon$ | $\epsilon$ |
| T     | FT' |            |      | FT' |            |            |
| T'    |     | $\epsilon$ | *FT' |     | $\epsilon$ | $\epsilon$ |
| F     | i   |            |      | (E) |            |            |

35

**解析例**  
 生成規則  
 $P = \{E \rightarrow TE', E' \rightarrow +TE' | \epsilon, T \rightarrow FT', T' \rightarrow *FT' | \epsilon, F \rightarrow i(E)\}$

スタック      入力記号列

|    |
|----|
| \$ |
| E' |
| T' |
| )  |
| E' |
| T' |

|  |  |  |  |  |   |    |
|--|--|--|--|--|---|----|
|  |  |  |  |  | ) | \$ |
|--|--|--|--|--|---|----|

↓ 解析表

| N \ T | i   | +          | *    | (   | )          | \$         |
|-------|-----|------------|------|-----|------------|------------|
| E     | TE' |            |      | TE' |            |            |
| E'    |     | +TE'       |      |     | $\epsilon$ | $\epsilon$ |
| T     | FT' |            |      | FT' |            |            |
| T'    |     | $\epsilon$ | *FT' |     | $\epsilon$ | $\epsilon$ |
| F     | i   |            |      | (E) |            |            |

36

**解析例**  
生成規則  
 $P = \{E \rightarrow TE', E' \rightarrow +TE' | \epsilon, T \rightarrow FT', T' \rightarrow *FT' | \epsilon, F \rightarrow i(E)\}$

スタック

|    |
|----|
| \$ |
| E' |
| T' |
| )  |
| E' |

入力記号列

|  |  |  |  |  |   |    |
|--|--|--|--|--|---|----|
|  |  |  |  |  | ) | \$ |
|--|--|--|--|--|---|----|

解析表

| N \ T | i   | +          | *    | (   | )          | \$         |
|-------|-----|------------|------|-----|------------|------------|
| E     | TE' |            |      | TE' |            |            |
| E'    |     | +TE'       |      |     | $\epsilon$ | $\epsilon$ |
| T     | FT' |            |      | FT' |            |            |
| T'    |     | $\epsilon$ | *FT' |     | $\epsilon$ | $\epsilon$ |
| F     | i   |            |      | (E) |            |            |

37

**解析例**  
生成規則  
 $P = \{E \rightarrow TE', E' \rightarrow +TE' | \epsilon, T \rightarrow FT', T' \rightarrow *FT' | \epsilon, F \rightarrow i(E)\}$

スタック

|    |
|----|
| \$ |
| E' |
| T' |
| )  |

入力記号列

|  |  |  |  |  |   |    |
|--|--|--|--|--|---|----|
|  |  |  |  |  | ) | \$ |
|--|--|--|--|--|---|----|

解析表

| N \ T | i   | +          | *    | (   | )          | \$         |
|-------|-----|------------|------|-----|------------|------------|
| E     | TE' |            |      | TE' |            |            |
| E'    |     | +TE'       |      |     | $\epsilon$ | $\epsilon$ |
| T     | FT' |            |      | FT' |            |            |
| T'    |     | $\epsilon$ | *FT' |     | $\epsilon$ | $\epsilon$ |
| F     | i   |            |      | (E) |            |            |

38

**解析例**  
生成規則  
 $P = \{E \rightarrow TE', E' \rightarrow +TE' | \epsilon, T \rightarrow FT', T' \rightarrow *FT' | \epsilon, F \rightarrow i(E)\}$

スタック

|    |
|----|
| \$ |
| E' |
| T' |

入力記号列

|  |  |  |  |  |  |    |
|--|--|--|--|--|--|----|
|  |  |  |  |  |  | \$ |
|--|--|--|--|--|--|----|

解析表

| N \ T | i   | +          | *    | (   | )          | \$         |
|-------|-----|------------|------|-----|------------|------------|
| E     | TE' |            |      | TE' |            |            |
| E'    |     | +TE'       |      |     | $\epsilon$ | $\epsilon$ |
| T     | FT' |            |      | FT' |            |            |
| T'    |     | $\epsilon$ | *FT' |     | $\epsilon$ | $\epsilon$ |
| F     | i   |            |      | (E) |            |            |

39

**解析例**  
生成規則  
 $P = \{E \rightarrow TE', E' \rightarrow +TE' | \epsilon, T \rightarrow FT', T' \rightarrow *FT' | \epsilon, F \rightarrow i(E)\}$

スタック

|    |
|----|
| \$ |
| E' |

入力記号列

|  |  |  |  |  |  |    |
|--|--|--|--|--|--|----|
|  |  |  |  |  |  | \$ |
|--|--|--|--|--|--|----|

解析表

| N \ T | i   | +          | *    | (   | )          | \$         |
|-------|-----|------------|------|-----|------------|------------|
| E     | TE' |            |      | TE' |            |            |
| E'    |     | +TE'       |      |     | $\epsilon$ | $\epsilon$ |
| T     | FT' |            |      | FT' |            |            |
| T'    |     | $\epsilon$ | *FT' |     | $\epsilon$ | $\epsilon$ |
| F     | i   |            |      | (E) |            |            |

40

**解析例**  
生成規則  
 $P = \{E \rightarrow TE', E' \rightarrow +TE' | \epsilon, T \rightarrow FT', T' \rightarrow *FT' | \epsilon, F \rightarrow i(E)\}$

スタック

|    |
|----|
| \$ |
|----|

入力記号列

|  |  |  |  |  |  |    |
|--|--|--|--|--|--|----|
|  |  |  |  |  |  | \$ |
|--|--|--|--|--|--|----|

解析表

| N \ T | i   | +          | *    | (   | )          | \$         |
|-------|-----|------------|------|-----|------------|------------|
| E     | TE' |            |      | TE' |            |            |
| E'    |     | +TE'       |      |     | $\epsilon$ | $\epsilon$ |
| T     | FT' |            |      | FT' |            |            |
| T'    |     | $\epsilon$ | *FT' |     | $\epsilon$ | $\epsilon$ |
| F     | i   |            |      | (E) |            |            |

41

| スタック         | 入力記号列     | 生成                    | スタック         | 入力記号列 | 生成                        |
|--------------|-----------|-----------------------|--------------|-------|---------------------------|
| E\$          | 5*(3+2)\$ | $E \rightarrow TE'$   | T'E')T'E'\$  | +2)\$ | $T' \rightarrow \epsilon$ |
| TE'\$        | 5*(3+2)\$ | $T \rightarrow FT'$   | E')T'E'\$    | +2)\$ | $E' \rightarrow +TE'$     |
| FT'E'\$      | 5*(3+2)\$ | $F \rightarrow i$     | +TE')T'E'\$  | +2)\$ |                           |
| iT'E'\$      | 5*(3+2)\$ |                       | TE')T'E'\$   | 2)\$  | $T \rightarrow FT'$       |
| T'E'\$       | *(3+2)\$  | $T' \rightarrow *FT'$ | FT'E')T'E'\$ | 2)\$  | $F \rightarrow i$         |
| *FT'E'\$     | *(3+2)\$  |                       | iT'E')T'E'\$ | 2)\$  |                           |
| FT'E'\$      | (3+2)\$   | $F \rightarrow (E)$   | T'E')T'E'\$  | )\$   | $T' \rightarrow \epsilon$ |
| (E)T'E'\$    | (3+2)\$   |                       | E')T'E'\$    | )\$   | $E' \rightarrow \epsilon$ |
| E)T'E'\$     | 3+2)\$    | $E \rightarrow TE'$   | )T'E'\$      | )\$   |                           |
| TE')T'E'\$   | 3+2)\$    | $T \rightarrow FT'$   | T'E'\$       | \$    | $T' \rightarrow \epsilon$ |
| FT'E')T'E'\$ | 3+2)\$    | $F \rightarrow i$     | E'\$         | \$    | $E' \rightarrow \epsilon$ |
| iT'E')T'E'\$ | 3+2)\$    |                       | \$           | \$    |                           |

42

### 移動還元構文解析 (shift reduce parsing)

- 上昇型構文解析
- 構文解析表とスタックで解析

スタック      入力記号列

|    |   |   |   |   |   |   |     |    |
|----|---|---|---|---|---|---|-----|----|
| \$ | ( | 4 | + | x | ) | * | ... | \$ |
|    |   |   |   |   |   |   |     |    |
|    |   |   |   |   |   |   |     |    |
|    |   |   |   |   |   |   |     |    |
|    |   |   |   |   |   |   |     |    |

トップに "\$"      末尾に "\$"

43

### 移動還元構文解析 (shift reduce parsing)

- 構文解析表とスタックで解析
  - 初期状態
    - 入力記号列末尾に "\$"
    - スタックトップに "\$"
  - if (スタックトップが生成規則の右辺に一致)
    - 生成規則の右辺をポップ, 左辺をプッシュ (還元)
    - else 入力記号をプッシュ (移動)
  - if (スタックトップが開始記号 かつ 入力記号が "\$")
    - 解析終了

44

### 還元(reduce)

- 還元
  - 生成規則の右辺から左辺に戻す
- ハンドル
  - 右辺に一致する部分

$\langle \text{namelist} \rangle ::= \langle \text{name} \rangle \mid \langle \text{namelist} \rangle \text{ , } \langle \text{name} \rangle$   
 $\langle \text{name} \rangle ::= \text{ "a" } \mid \text{ "b" } \mid \text{ "c" }$   
 "a" , "b"  
 $\rightarrow \langle \text{name} \rangle \text{ , } \langle \text{name} \rangle$      $\langle \text{name} \rangle \rightarrow \text{ "a" }$  の還元  
 $\rightarrow \langle \text{namelist} \rangle \text{ , } \langle \text{name} \rangle$      $\langle \text{namelist} \rangle \rightarrow \langle \text{namelist} \rangle$  の還元

ハンドル

45

### 還元

生成規則  
 $P = \{ E \rightarrow T+T, T \rightarrow F * F, F \rightarrow i, F \rightarrow (E) \}$

スタック

|    |
|----|
| \$ |
| (  |
| T  |
| +  |
| T  |
|    |
|    |
|    |

右辺 T+T をポップ  
 左辺 E をプッシュ

E → T+T の右辺と一致 = ハンドル

出力  
 ADD

|    |
|----|
| \$ |
| (  |
| E  |
|    |
|    |
|    |
|    |
|    |

対応するコードを出力

46

### 移動(shift)

生成規則  
 $P = \{ E \rightarrow T+T, T \rightarrow F * F, F \rightarrow i, F \rightarrow (E) \}$

スタック

|    |
|----|
| \$ |
| (  |
| E  |
|    |
|    |
|    |
|    |
|    |

入力記号列

|   |     |     |     |    |
|---|-----|-----|-----|----|
| ) | ... | ... | ... | \$ |
|---|-----|-----|-----|----|

右辺と不一致      入力記号をプッシュ

47

### 移動と還元

- 移動: 右辺を読み込み途中
- 還元: 右辺を読み込み完了

例:  $E \rightarrow T+T$      $\Rightarrow$  読み込み位置を移動

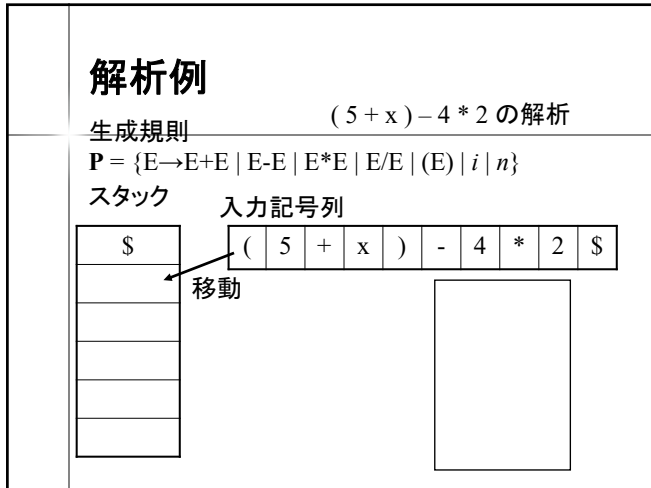
$E \rightarrow T+T$      $\Rightarrow$  読み込み位置を移動

$E \rightarrow T+T$      $\Rightarrow$  読み込み位置を移動

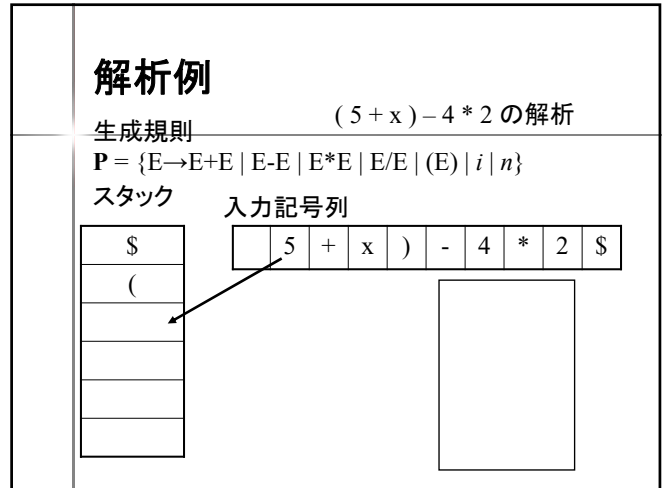
$E \rightarrow T+T$      $\Rightarrow$  読み込み完了, 還元する

48

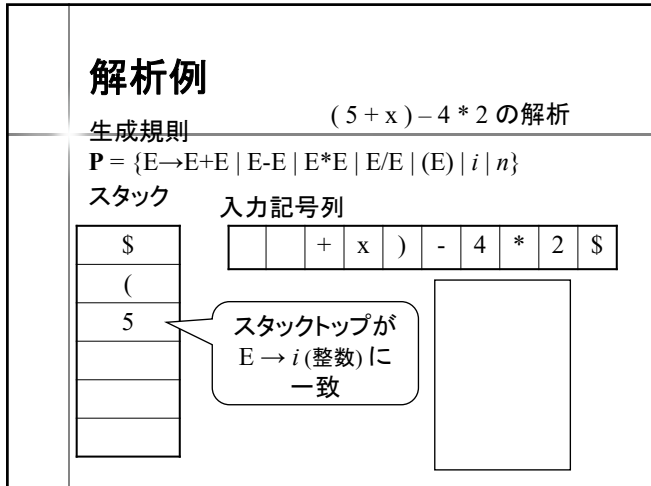




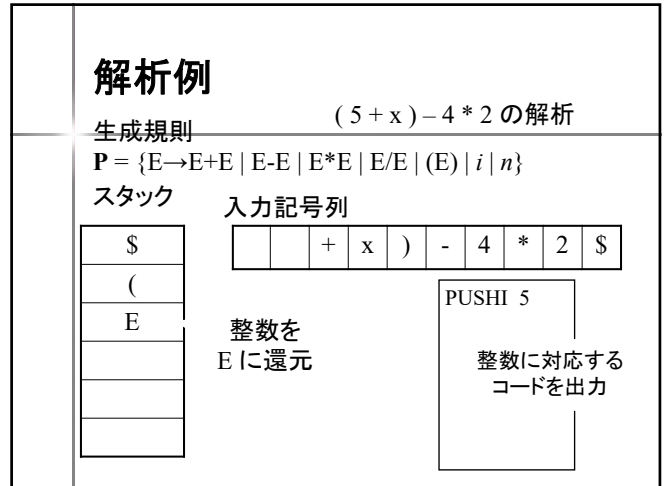
49



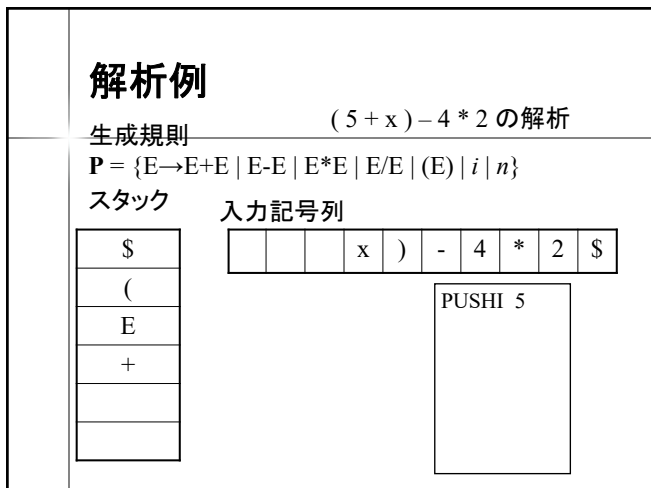
50



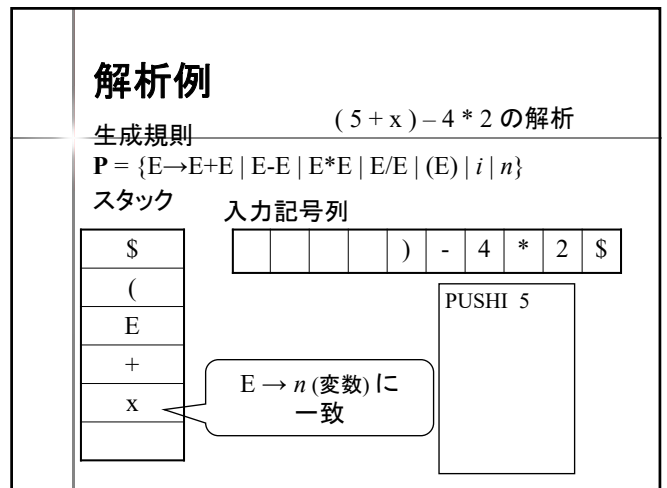
51



52



53



54

**解析例**  $(5+x)-4*2$  の解析

生成規則  $P = \{E \rightarrow E+E \mid E-E \mid E*E \mid E/E \mid (E) \mid i \mid n\}$

スタック 入力記号列

|    |  |  |  |  |   |   |   |   |   |    |
|----|--|--|--|--|---|---|---|---|---|----|
| \$ |  |  |  |  | ) | - | 4 | * | 2 | \$ |
| (  |  |  |  |  |   |   |   |   |   |    |
| E  |  |  |  |  |   |   |   |   |   |    |
| +  |  |  |  |  |   |   |   |   |   |    |
| E  |  |  |  |  |   |   |   |   |   |    |

$E \rightarrow E+E$  に一致

PUSHI 5  
PUSH &x

55

**解析例**  $(5+x)-4*2$  の解析

生成規則  $P = \{E \rightarrow E+E \mid E-E \mid E*E \mid E/E \mid (E) \mid i \mid n\}$

スタック 入力記号列

|    |  |  |  |  |   |   |   |   |   |    |
|----|--|--|--|--|---|---|---|---|---|----|
| \$ |  |  |  |  | ) | - | 4 | * | 2 | \$ |
| (  |  |  |  |  |   |   |   |   |   |    |
| E  |  |  |  |  |   |   |   |   |   |    |
|    |  |  |  |  |   |   |   |   |   |    |
|    |  |  |  |  |   |   |   |   |   |    |

PUSHI 5  
PUSH &x  
ADD

56

**解析例**  $(5+x)-4*2$  の解析

生成規則  $P = \{E \rightarrow E+E \mid E-E \mid E*E \mid E/E \mid (E) \mid i \mid n\}$

スタック 入力記号列

|    |  |  |  |  |   |   |   |   |    |  |
|----|--|--|--|--|---|---|---|---|----|--|
| \$ |  |  |  |  | - | 4 | * | 2 | \$ |  |
| (  |  |  |  |  |   |   |   |   |    |  |
| E  |  |  |  |  |   |   |   |   |    |  |
| )  |  |  |  |  |   |   |   |   |    |  |

$E \rightarrow (E)$  に一致

PUSHI 5  
PUSH &x  
ADD

57

**解析例**  $(5+x)-4*2$  の解析

生成規則  $P = \{E \rightarrow E+E \mid E-E \mid E*E \mid E/E \mid (E) \mid i \mid n\}$

スタック 入力記号列

|    |  |  |  |  |   |   |   |   |    |  |
|----|--|--|--|--|---|---|---|---|----|--|
| \$ |  |  |  |  | - | 4 | * | 2 | \$ |  |
| E  |  |  |  |  |   |   |   |   |    |  |
|    |  |  |  |  |   |   |   |   |    |  |
|    |  |  |  |  |   |   |   |   |    |  |
|    |  |  |  |  |   |   |   |   |    |  |

PUSHI 5  
PUSH &x  
ADD

58

**解析例**  $(5+x)-4*2$  の解析

生成規則  $P = \{E \rightarrow E+E \mid E-E \mid E*E \mid E/E \mid (E) \mid i \mid n\}$

スタック 入力記号列

|    |  |  |  |  |  |   |   |   |    |  |
|----|--|--|--|--|--|---|---|---|----|--|
| \$ |  |  |  |  |  | 4 | * | 2 | \$ |  |
| E  |  |  |  |  |  |   |   |   |    |  |
| -  |  |  |  |  |  |   |   |   |    |  |
|    |  |  |  |  |  |   |   |   |    |  |
|    |  |  |  |  |  |   |   |   |    |  |

PUSHI 5  
PUSH &x  
ADD

59

**解析例**  $(5+x)-4*2$  の解析

生成規則  $P = \{E \rightarrow E+E \mid E-E \mid E*E \mid E/E \mid (E) \mid i \mid n\}$

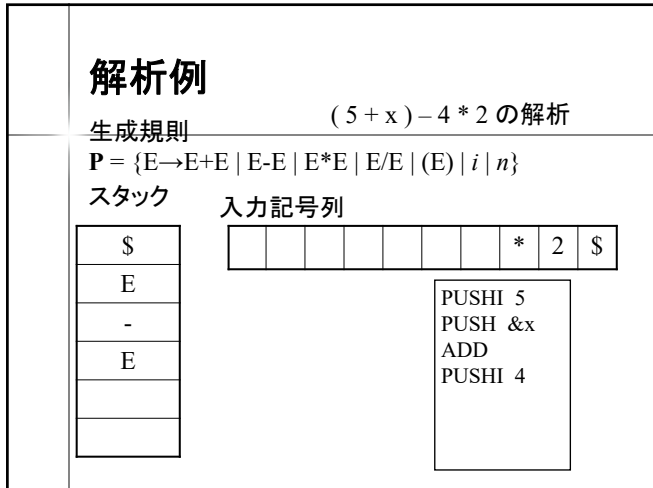
スタック 入力記号列

|    |  |  |  |  |  |  |   |   |    |  |
|----|--|--|--|--|--|--|---|---|----|--|
| \$ |  |  |  |  |  |  | * | 2 | \$ |  |
| E  |  |  |  |  |  |  |   |   |    |  |
| -  |  |  |  |  |  |  |   |   |    |  |
| 4  |  |  |  |  |  |  |   |   |    |  |

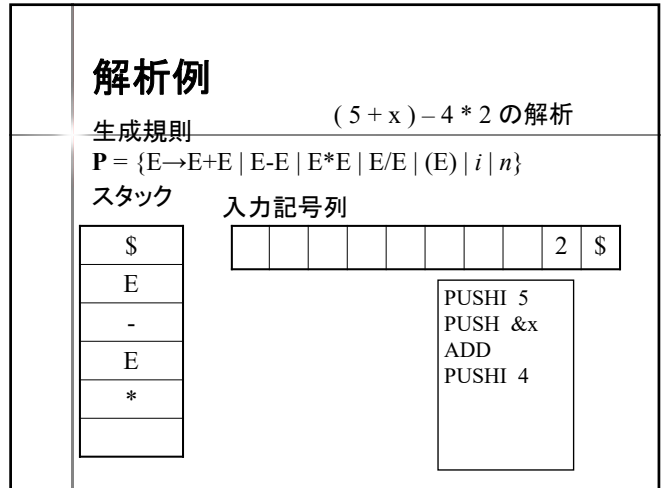
$E \rightarrow i$  (整数)

PUSHI 5  
PUSH &x  
ADD

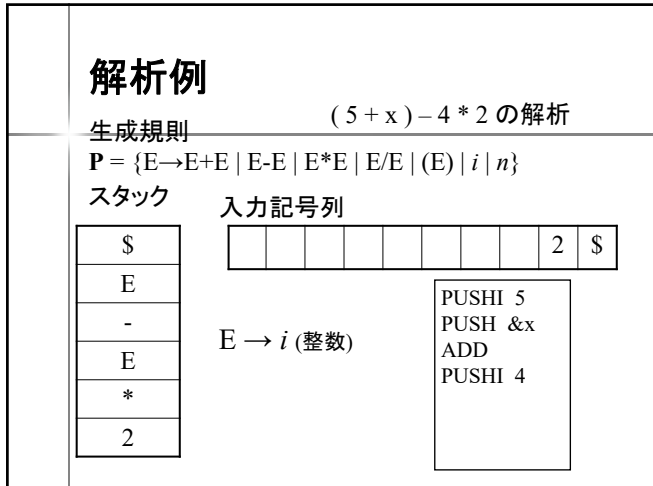
60



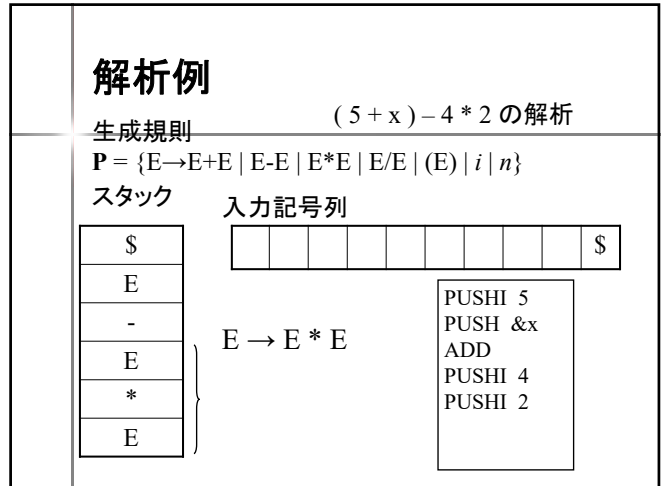
61



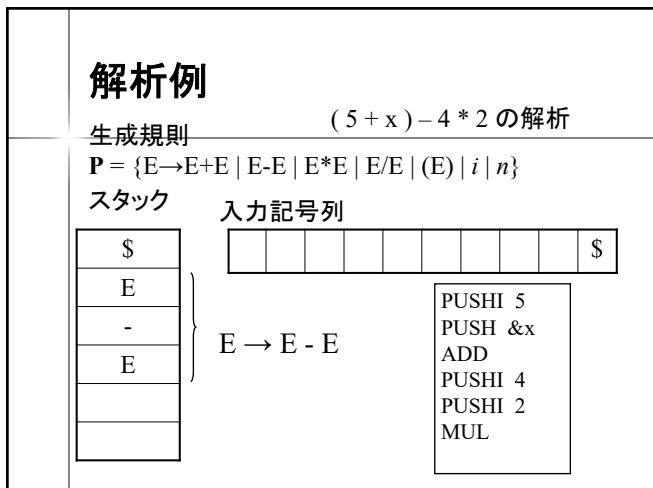
62



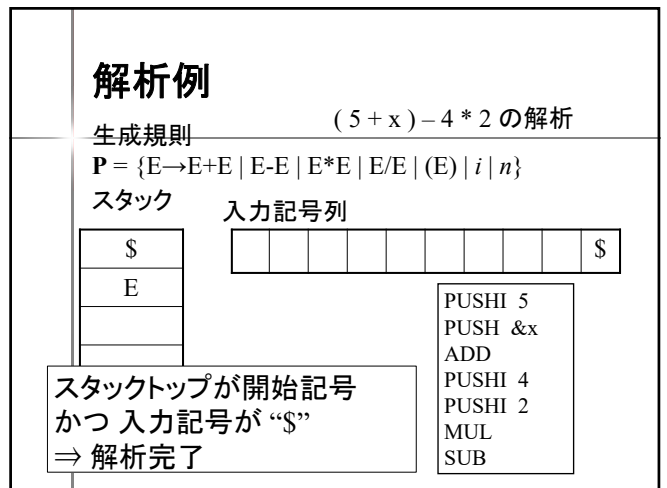
63



64



65

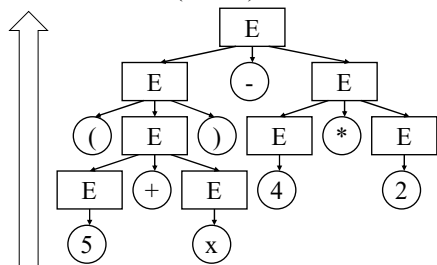


66

## 移動還元構文解析の導出木

- 最右導出の導出木が生成される

入力記号列:  $(5+x)-4*2$



67

| スタック    | 入力列         | 操作                        | 出力                               |
|---------|-------------|---------------------------|----------------------------------|
| \$      | $(5+x)-4*2$ | 移動                        |                                  |
| \$(     | $5+x)-4*2$  | 移動                        |                                  |
| \$(5    | $+x)-4*2$   | 還元 $E \rightarrow i$ (整数) | PUSHI 5                          |
| \$(E    | $+x)-4*2$   | 移動                        |                                  |
| \$(E+   | $x)-4*2$    | 移動                        |                                  |
| \$(E+x  | $)-4*2$     | 還元 $E \rightarrow n$ (変数) | PUSH &x                          |
| \$(E+E  | $)-4*2$     | 還元 $E \rightarrow E+E$    | ADD                              |
| \$(E    | $)-4*2$     | 移動                        |                                  |
| \$(E)   | $-4*2$      | 還元 $E \rightarrow (E)$    |                                  |
| \$E     | $-4*2$      | 移動                        |                                  |
| \$E-    | $4*2$       | 移動                        |                                  |
| \$E-4   | $*2$        | 還元 $E \rightarrow i$ (整数) | PUSHI 4                          |
| \$E-E   | $*2$        | 移動                        | ここは還元 $E \rightarrow E-E$ ではなく移動 |
| \$E-E*  | $2$         | 移動                        |                                  |
| \$E-E*2 |             | 還元 $E \rightarrow i$ (整数) | PUSHI 2                          |
| \$E-E*E |             | 還元 $E \rightarrow E*E$    | MUL                              |
| \$E-E   |             | 還元 $E \rightarrow E-E$    | SUB                              |

68

## 演算子順位構文解析 (operator precedence parsing)

- 演算子間の優先順位を定義
    - $A \ll B$ : A の優先順位 < B の優先順位
    - $A \gg B$ : A の優先順位 > B の優先順位
    - $A = B$ : A と B は同じハンドル内
- 例:  $* \gg +$     \* は + よりも優先順位が高い  
 例:  $( = )$     ( と ) 同じハンドル内

69

## 記号の優先順位 (演算子と被演算子)

- 記号 A が B よりも優先順位が高い = 逆ポーランド記法にしたときに A が先に来る
- 例:  $x + 5$      $x, 5, +$     + より  $x, 5$  が先  
 ( $x$  の優先順位) > ( $+$  の優先順位)  
 ( $+$  の優先順位) < ( $5$  の優先順位)  
 $x \gg +, + \ll 5$
- 被演算子と演算子とでは常に被演算子優先

70

## 記号の優先順位 (+と\*)

例:  $x + y * z$   
 $x, y, z, *, +$      $+ \ll *$

例:  $x * y + z$   
 $x, y, *, z, +$      $* \gg +$

\* と + とでは常に \* 優先

71

## 記号の優先順位 (+同士)

例:  $x +_1 y +_2 z$   
 $x, y, +_1, z, +_2$      $+_1 \gg +_2$

例:  $x + y - z$   
 $x, y, +, z, -$      $+ \gg -$

例:  $x - y + z$   
 $x, y, -, z, +$      $- \gg +$

+ 同士, - 同士, + と - とでは先に来た方が優先 (左結合的)

72

### 記号の優先順位 (=同士)

例 :  $x =_1 y =_2 z$

$x, y, z, =_2, =_1 \quad =_1 \ll =_2$

= 同士では後に来た方優先 (右結合的)

73

### 記号の優先順位 (\$)

例 : \$ (数式) \$

全ての処理が終われば \$ を処理  
 $\Rightarrow$  \$ は優先順位最低

$\$ \ll$  (全て), (全て)  $\gg \$$

$\$ ** \$$  : \$ 同士ならば受理

74

### 記号の優先順位

例 :  $(5 + 2) * (7 - 6)$

5, 2, +, 7, 6, -, \*

() がある場合は () 内を優先

$( \ll$  (全て), (全て)  $\ll$  (  
 $) \gg$  (全て), (全て)  $\gg$ )

75

### 演算子の優先順位

- 演算子 f, g
  - f が g より優先順位が高い  $\Rightarrow f \gg g, g \ll f$
  - f と g の優先順位が同じ
    - f, g が左結合的  $\Rightarrow f \gg g, g \gg f$
    - f, g が右結合的  $\Rightarrow f \ll g, g \ll f$

76

### 優先順位表

|      | 右側<br>左側 | 整数    | 変数    | +, -  | *, /  | =     | ( )   | \$    |
|------|----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 整数   |          |       | $\gg$ | $\gg$ |       |       | $\gg$ | $\gg$ |
| 変数   |          |       | $\gg$ | $\gg$ | $\gg$ |       | $\gg$ | $\gg$ |
| +, - | $\ll$    | $\ll$ | $\gg$ | $\ll$ |       | $\ll$ | $\gg$ | $\gg$ |
| *, / | $\ll$    | $\ll$ | $\gg$ | $\gg$ |       | $\ll$ | $\gg$ | $\gg$ |
| =    | $\ll$    | $\ll$ | $\ll$ | $\ll$ | $\ll$ | $\ll$ | $\gg$ | $\gg$ |
| (    | $\ll$    | $\ll$ | $\ll$ | $\ll$ | $\ll$ | $\ll$ | $\gg$ |       |
| )    |          |       | $\gg$ | $\gg$ |       |       | $\gg$ | $\gg$ |
| \$   | $\ll$    | $\ll$ | $\ll$ | $\ll$ | $\ll$ | $\ll$ |       | **    |

空欄は構文解析エラー

77

### 解析手順

1. 入力記号列から非終端記号を取り除く
2. 入力記号列に優先順位を挿入する
3. 左から見て最初の  $\gg$  を探す
4. 3.の位置から最も手前の  $\ll$  を探す
5.  $\ll$  から  $\gg$  までを還元する

$\$ ** \$$  になれば受理

78

**解析例**

■ 入力列  $(5 + x) - 4 * 2$

$\$ \langle \langle \langle 5 \rangle \rangle + \langle \langle x \rangle \rangle \rangle \rangle - \langle \langle 4 \rangle \rangle * \langle \langle 2 \rangle \rangle \$$

$\langle \langle \rangle \rangle$  の間がハンドル  
 $\Rightarrow \rangle \rangle$  があればその左側を還元

5 を  $E \rightarrow i$  で還元  
 $\$ (E + x) - 4 * 2 \$$

79

**解析例**

優先順位判定では  
非終端記号は削除

還元後の記号列:  $\$ (E + x) - 4 * 2 \$$

$\$ \langle \langle \langle \langle + \rangle \rangle \rangle \rangle - \langle \langle 4 \rangle \rangle * \langle \langle 2 \rangle \rangle \$$

x を  $E \rightarrow n$  で還元  $\$ (E + E) - 4 * 2 \$$

$\$ \langle \langle \langle \langle + \rangle \rangle \rangle \rangle - \langle \langle 4 \rangle \rangle * \langle \langle 2 \rangle \rangle \$$

+ を  $E \rightarrow E + E$  で還元  $\$ (E) - 4 * 2 \$$

$\$ \langle \langle \langle \langle = \rangle \rangle \rangle \rangle - \langle \langle 4 \rangle \rangle * \langle \langle 2 \rangle \rangle \$$

$=$  は同じハンドル内

80

**解析例**

還元後の記号列:  $\$ (E) - 4 * 2 \$$

$\$ \langle \langle \langle \langle = \rangle \rangle \rangle \rangle - \langle \langle 4 \rangle \rangle * \langle \langle 2 \rangle \rangle \$$

() を  $E \rightarrow (E)$  で還元  $\$ E - 4 * 2 \$$

$\$ \langle \langle \langle \langle 4 \rangle \rangle \rangle \rangle * \langle \langle 2 \rangle \rangle \$$

4 を  $E \rightarrow i$  で還元  $\$ E - E * 2 \$$

$\$ \langle \langle \langle \langle * \rangle \rangle \rangle \rangle \langle \langle 2 \rangle \rangle \$$

81

**解析例**

還元後の記号列:  $\$ E - E * 2 \$$

$\$ \langle \langle \langle \langle * \rangle \rangle \rangle \rangle \langle \langle 2 \rangle \rangle \$$

2 を  $E \rightarrow i$  で還元  $\$ E - E * E \$$

$\$ \langle \langle \langle \langle * \rangle \rangle \rangle \rangle \$$

\* を  $E \rightarrow E * E$  で還元  $\$ E - E \$$

$\$ \langle \langle \langle \rangle \rangle \rangle \$$

82

**解析例**

還元後の記号列:  $\$ E - E \$$

$\$ \langle \langle \langle \rangle \rangle \rangle \$$

- を  $E \rightarrow E - E$  で還元  $\$ E \$$

$\$ ** \$$

$\$ ** \$$  になったので受理

83

**解析例**

■ 入力列  $(5 + x) - 4 * 2$

| 入力列                     | 優先順位付記号列  | 還元                    | 出力      |
|-------------------------|---|-----------------------|---------|
| $\$ (5 + x) - 4 * 2 \$$ | $\$ \langle \langle \langle \langle 5 \rangle \rangle \rangle + \langle \langle x \rangle \rangle \rangle \rangle - \langle \langle 4 \rangle \rangle * \langle \langle 2 \rangle \rangle \$$ | $E \rightarrow i$     | PUSH 5  |
| $\$ (E + x) - 4 * 2 \$$ | $\$ \langle \langle \langle \langle + \rangle \rangle \rangle \rangle - \langle \langle 4 \rangle \rangle * \langle \langle 2 \rangle \rangle \$$   | $E \rightarrow n$     | PUSH &x |
| $\$ (E + E) - 4 * 2 \$$ | $\$ \langle \langle \langle \langle + \rangle \rangle \rangle \rangle - \langle \langle 4 \rangle \rangle * \langle \langle 2 \rangle \rangle \$$   | $E \rightarrow E + E$ | ADD     |
| $\$ (E) - 4 * 2 \$$     | $\$ \langle \langle \langle \langle = \rangle \rangle \rangle \rangle - \langle \langle 4 \rangle \rangle * \langle \langle 2 \rangle \rangle \$$   | $E \rightarrow (E)$   |         |
| $\$ E - 4 * 2 \$$       | $\$ \langle \langle \langle \langle 4 \rangle \rangle \rangle \rangle * \langle \langle 2 \rangle \rangle \$$   | $E \rightarrow i$     | PUSH 4  |
| $\$ E - E * 2 \$$       | $\$ \langle \langle \langle \langle * \rangle \rangle \rangle \rangle \langle \langle 2 \rangle \rangle \$$   | $E \rightarrow i$     | PUSH 2  |
| $\$ E - E * E \$$       | $\$ \langle \langle \langle \langle * \rangle \rangle \rangle \rangle \$$   | $E \rightarrow E * E$ | MUL     |
| $\$ E - E \$$           | $\$ \langle \langle \langle \rangle \rangle \rangle \$$   | $E \rightarrow E - E$ | SUB     |
| $\$ E \$$               | $\$ ** \$$  |                       |         |

84

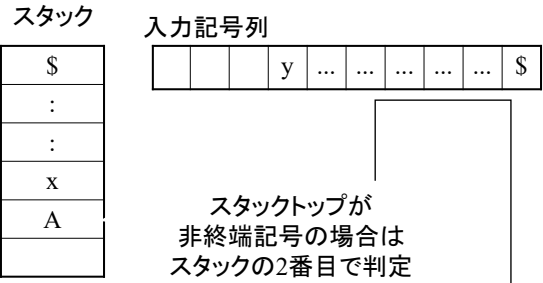
## 演算子順位構文解析

- 演算子間の優先順位を定義
  - $A \ll B$ : A の優先順位 < B の優先順位
  - $A \gg B$ : A の優先順位 > B の優先順位
  - $A == B$ : A と B は同じハンドル内
- 演算子の優先順位から操作を決定
  - $A \ll B \Rightarrow B$  をスタックに移動
  - $A \gg B \Rightarrow A$  を含むハンドルを還元
  - $A == B \Rightarrow B$  をスタックに移動
  - $A ** B \Rightarrow$  受理 ( $**$  のみ)
  - $A \text{ err } B \Rightarrow$  構文解析エラー

85

## 解析手順

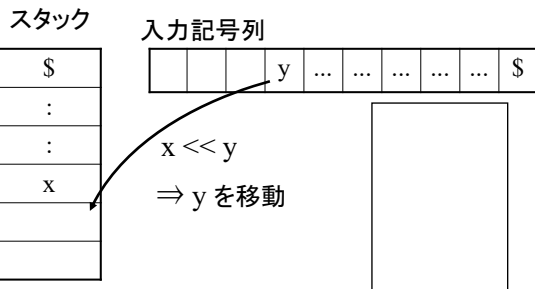
- スタックトップの終端記号  $x$  の優先順位と  
入力記号の先頭  $y$  の優先順位を比較



86

## 解析手順

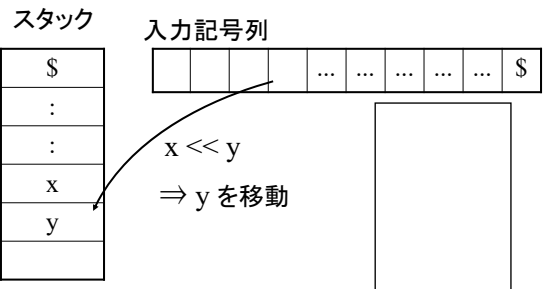
- スタックトップの終端記号  $x$  の優先順位と  
入力記号の先頭  $y$  の優先順位を比較



87

## 解析手順

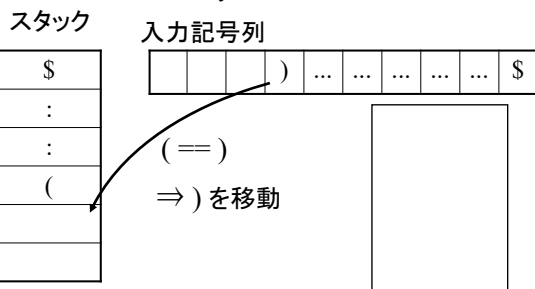
- スタックトップの終端記号  $x$  の優先順位と  
入力記号の先頭  $y$  の優先順位を比較



88

## 解析手順

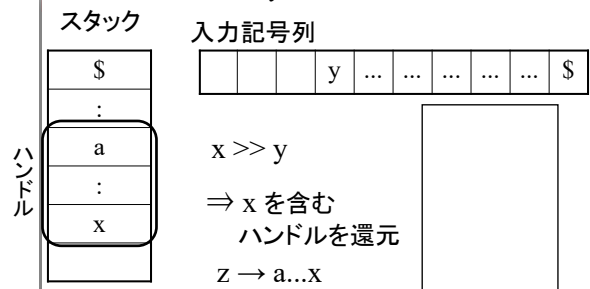
- スタックトップの終端記号  $x$  の優先順位と  
入力記号の先頭  $y$  の優先順位を比較



89

## 解析手順

- スタックトップの終端記号  $x$  の優先順位と  
入力記号の先頭  $y$  の優先順位を比較



90

### 解析手順

■ スタックトップの終端記号  $x$  の優先順位と  
入力記号の先頭  $y$  の優先順位を比較

スタック

|    |
|----|
| \$ |
| :  |
| z  |
|    |
|    |
|    |

入力記号列

|  |  |  |   |     |     |     |     |  |    |
|--|--|--|---|-----|-----|-----|-----|--|----|
|  |  |  | y | ... | ... | ... | ... |  | \$ |
|--|--|--|---|-----|-----|-----|-----|--|----|

$x \gg y$

⇒  $x$  を含む  
ハンドルを還元

$z \rightarrow a...x$

x のコード

対応するコードを  
出力

91

### 解析例

■ 入力列  $\$(a * 3)\$$

スタック

|   |
|---|
| ( |
|   |
|   |
|   |
|   |
|   |

入力記号列

|   |   |   |   |   |    |
|---|---|---|---|---|----|
| ( | a | * | 3 | ) | \$ |
|---|---|---|---|---|----|

$\$ \ll ($

⇒ ( を移動

92

### 解析例

■ 入力列  $\$(a * 3)\$$

スタック

|    |
|----|
| \$ |
| (  |
|    |
|    |
|    |
|    |

入力記号列

|  |   |   |   |   |    |
|--|---|---|---|---|----|
|  | a | * | 3 | ) | \$ |
|--|---|---|---|---|----|

(  $\ll a$

⇒ a を移動

93

### 解析例

■ 入力列  $\$(a * 3)\$$

スタック

|    |
|----|
| \$ |
| (  |
| a  |
|    |
|    |
|    |

入力記号列

|  |  |   |   |   |    |
|--|--|---|---|---|----|
|  |  | * | 3 | ) | \$ |
|--|--|---|---|---|----|

$a \gg *$

⇒ a を還元

94

### 解析例

■ 入力列  $\$(a * 3)\$$

スタック

|    |
|----|
| \$ |
| (  |
| E  |
|    |
|    |
|    |

入力記号列

|  |  |   |   |   |    |
|--|--|---|---|---|----|
|  |  | * | 3 | ) | \$ |
|--|--|---|---|---|----|

(  $\ll *$

⇒ \* を移動

E は非終端記号

PUSH &a

95

### 解析例

■ 入力列  $\$(a * 3)\$$

スタック

|    |
|----|
| \$ |
| (  |
| E  |
| *  |
|    |
|    |

入力記号列

|  |  |  |   |   |    |
|--|--|--|---|---|----|
|  |  |  | 3 | ) | \$ |
|--|--|--|---|---|----|

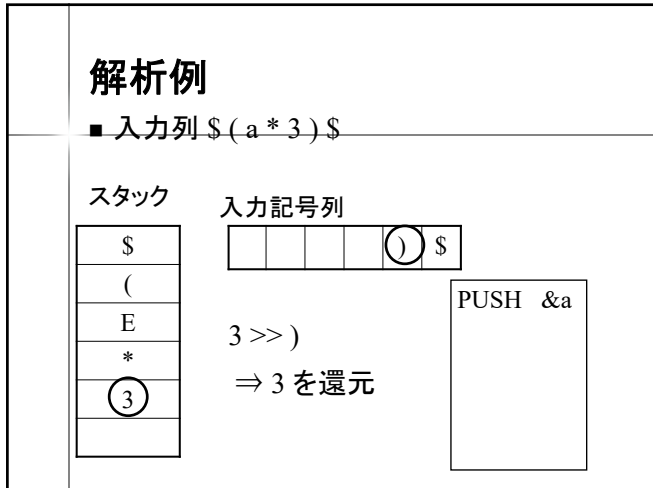
\*  $\ll 3$

⇒ 3 を移動

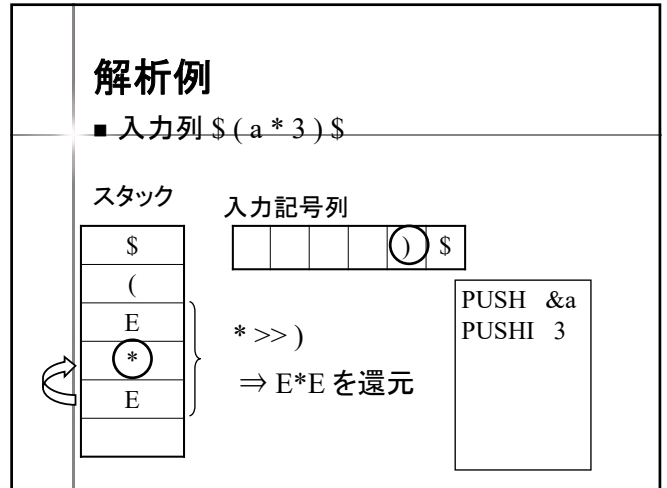
PUSH &a

96

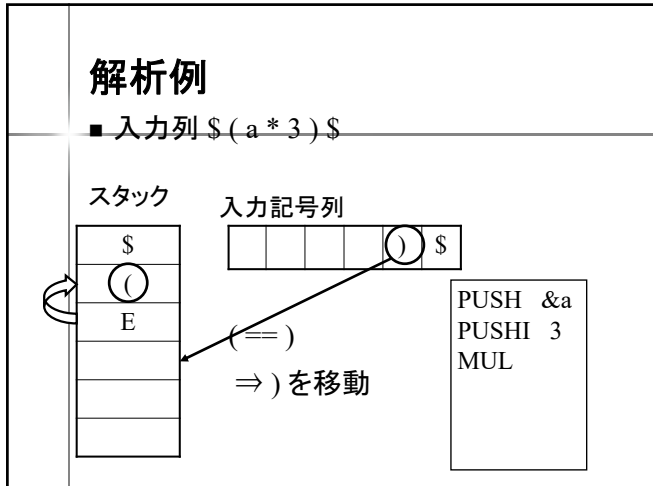




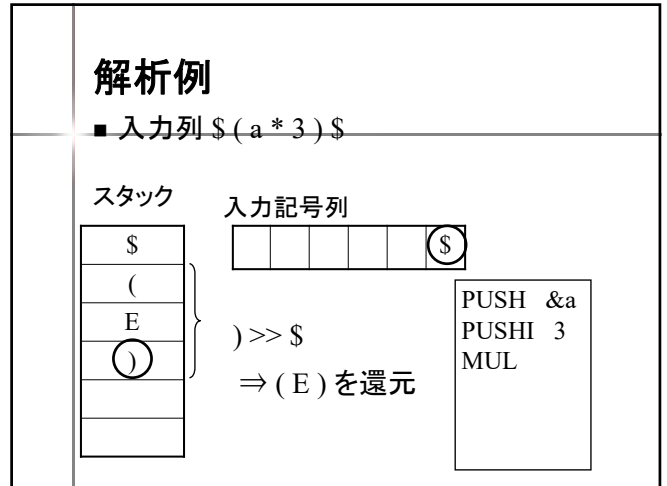
97



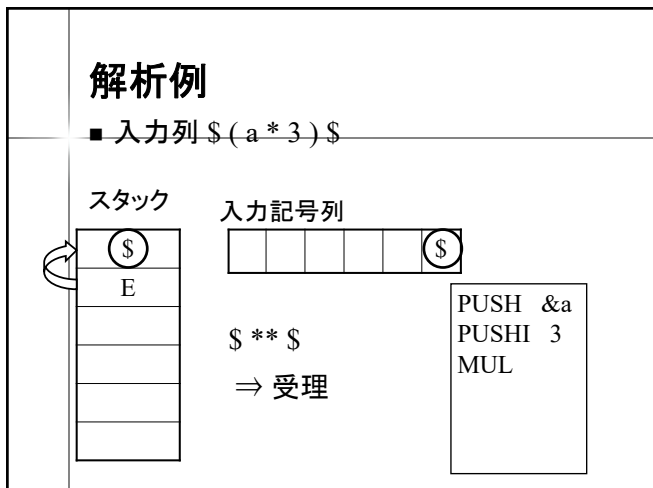
98



99



100



101

### 解析例

■ 入力列 \$(a \* 3)\$

| スタック      | 入力列          | 優先順位付記号列                          | 判定       | 操作 |
|-----------|--------------|-----------------------------------|----------|----|
| \$        | ( a * 3 ) \$ | \$ << ( << a >> * << 3 >> ) >> \$ | \$ << (  | 移動 |
| \$(       | a * 3 ) \$   | \$ << ( << a >> * << 3 >> ) >> \$ | ( << a   | 移動 |
| \$( a     | * 3 ) \$     | \$ << ( << a >> * << 3 >> ) >> \$ | a >> *   | 還元 |
| \$( E     | * 3 ) \$     | \$ << ( << * >> << 3 >> ) >> \$   | ( << *   | 移動 |
| \$( E *   | 3 ) \$       | \$ << ( << * >> << 3 >> ) >> \$   | * << 3   | 移動 |
| \$( E * 3 | ) \$         | \$ << ( << * >> << 3 >> ) >> \$   | x >> )   | 還元 |
| \$( E * E | ) \$         | \$ << ( << * >> ) >> \$           | * >> )   | 還元 |
| \$( E     | ) \$         | \$ << ( = ) >> \$                 | ( = )    | 移動 |
| \$( E )   | \$           | \$ << ( = ) >> \$                 | ) >> \$  | 還元 |
| \$ E      | \$           | \$ ** \$                          | \$ ** \$ | 受理 |

102

## 優先順位の数値化

- 優先順位には半順序関係が成立
  - 半順序関係
    - $A \ll B \wedge B \ll C \Rightarrow A \ll C$

⇒各記号に整数値を割り当てる  
(優先順位が高い方に大きい数値)

例: “+” = 3, “\*” = 5

103

## 優先順位の数値化

|         | 右側 q(y) | 整数 | 変数 | +, - | *, / | =  | ( ) | \$ |    |
|---------|---------|----|----|------|------|----|-----|----|----|
| 左側 p(x) |         | 7  | 7  | 3    | 5    | 2  | ∞   | 0  | -1 |
| 整数      | 7       |    |    | >>   | >>   |    |     | >> | >> |
| 変数      | 7       |    |    | >>   | >>   | >> |     | >> | >> |
| +, -    | 4       | << | << | >>   | <<   |    | <<  | >> | >> |
| *, /    | 6       | << | << | >>   | >>   |    | <<  | >> | >> |
| =       | 1       | << | << | <<   | <<   | << | <<  | >> | >> |
| (       | 0       | << | << | <<   | <<   | << | <<  | == |    |
| )       | ∞       |    |    | >>   | >>   |    |     | >> | >> |
| \$      | -1      | << | << | <<   | <<   | << | <<  |    | ** |

104

## 解析手順

- スタックトップの終端記号 x の優先順位 p(x) と  
入力記号の先頭 y の優先順位 q(y) を比較

例: スタックトップ: +  
入力記号の先頭: \*

$p(+)=4, q(*)=5 \Rightarrow + \ll *$

105

## 演算子順位構文解析の問題点

- 複数の順位を持つ演算子の存在
  - 例: 2項演算子の - と単項演算子の -

\* >> 2項演算子の - \* << 単項演算子の -  
両者を区別する必要あり

下降型構文解析なら構文解析時に区別可能  
上昇型構文解析では構文解析時に区別不可能  
⇒ 字句解析時に区別

106

## 演算子の区別

- $\langle \text{Exp} \rangle ::= \langle \text{Term} \rangle \{ (+ | -) \langle \text{Term} \rangle \}$ 
  - 2項演算子の - は  $\langle \text{Term} \rangle$  の後にのみ

⇒ if (一つ前のトークンが  $\langle \text{Term} \rangle$  の末尾)  
2項演算子の -, else 単項演算子の -

$\langle \text{Term} \rangle$  の末尾:  
NAME, INTEGER, “inputint” “]” “)” 等

107

## 演算子の区別

- 字句解析プログラム(の一部)

```

if (currentChar == "-") {
  if (lookAhead() == "=") {
    currentChar = nextChar();
    token = new Token (ASSIGNSUB);
  } else if (lookAhead == "-") {
    currentChar = nextChar();
    token = new Token (DEC);
  } else if (prevToken == NAME
             | prevToken == INTEGER
             | prevToken == "inputint" ...) {
    token = new Token (SUB); // 2項演算子
  } else token = new Token (CSIGN); // 単項演算子
}

```

直前の  
トークンで  
判定

108