

## アルゴリズムとデータ構造III 5回目:11月17日

構文解析 CYK法, チャート法, 動的計画法

授業資料 <http://ir.cs.yamanashi.ac.jp/~ysuzuki/public/algorithm3/index.html>

## 10月27日, 11月24日の補講日

木3時限	12/01	12/08	12/15
木4時限	12/01	12/08	12/15
金1時限	12/02	12/09 補講 B2-31	12/16
金4時限			12/16 補講 B2-41

## 授業の予定(中間試験まで)

1	10/06	スタック(後置記法で書かれた式の計算)
2	10/13	チューリング機械, 文脈自由文法
3	10/20	構文解析 CYK法
4	11/10	構文解析 CYK法
5	11/17	構文解析(チャート法), グラフ(ダイクストラ法)
6	12/01	構文解析(チャート法), グラフ(ダイクストラ法, DPマッチング)
7	12/08	グラフ(DPマッチング, A*アルゴリズム)
8	12/09	グラフ(A*アルゴリズム), 前半のまとめ
9	12/15	中間試験

12/09: 1時限 B2-31, 12/16: 4時限 B2-41

## 授業の予定(中間試験以降)

10	12/16	全文検索アルゴリズム(simple search, KMP)
11	12/22	全文検索アルゴリズム(BM, Aho-Corasick)
12	01/05	全文検索アルゴリズム(Aho-Corasick), データ圧縮
13	01/12	暗号(黄金虫, 踊る人形) 符号化(モールス信号, Zipfの法則, ハフマン符号)テキスト圧縮
14	01/19	テキスト圧縮(zip), 音声圧縮(ADPCM, MP3, CELP), 画像圧縮(JPEG)
15	01/26	期末試験

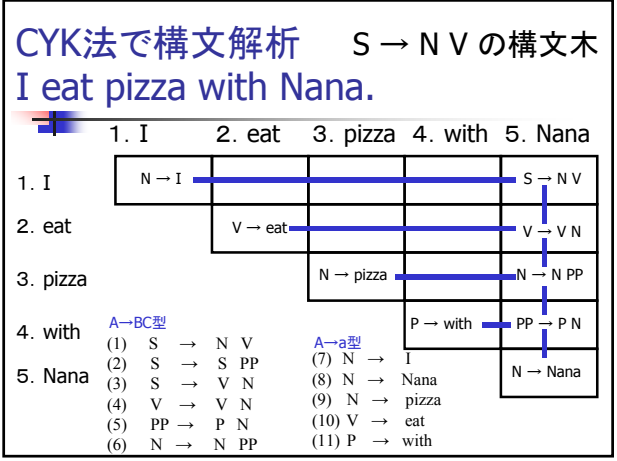
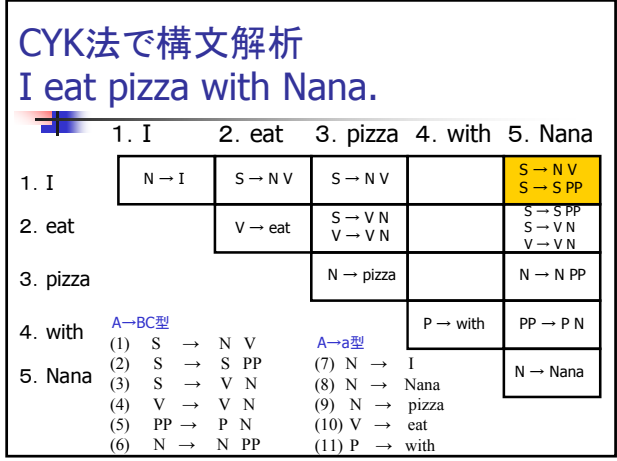
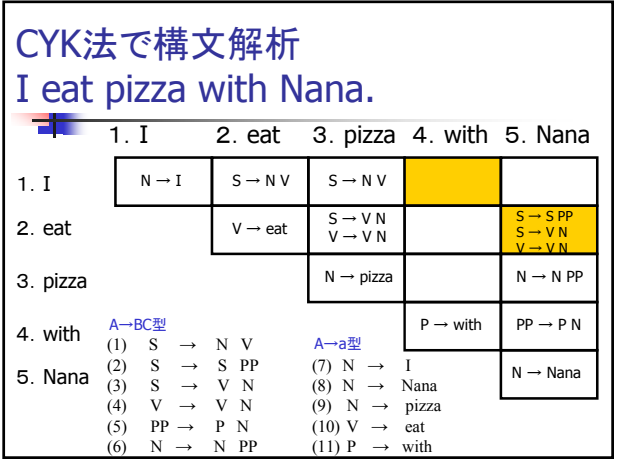
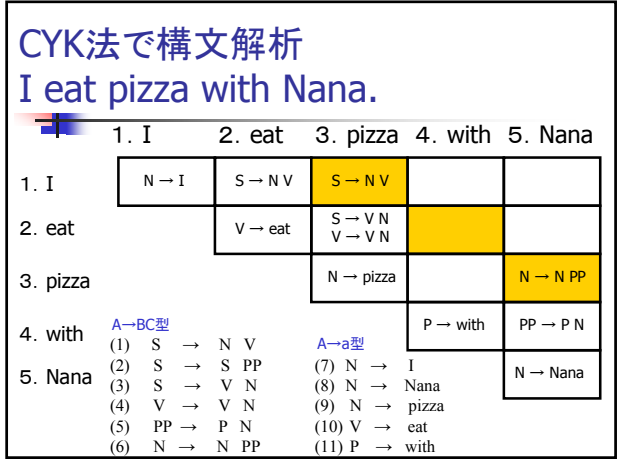
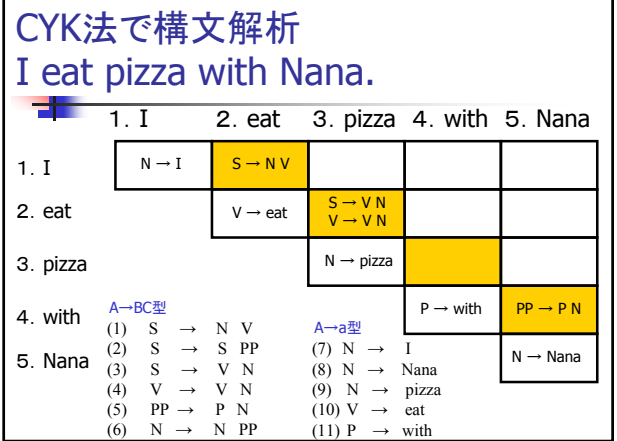
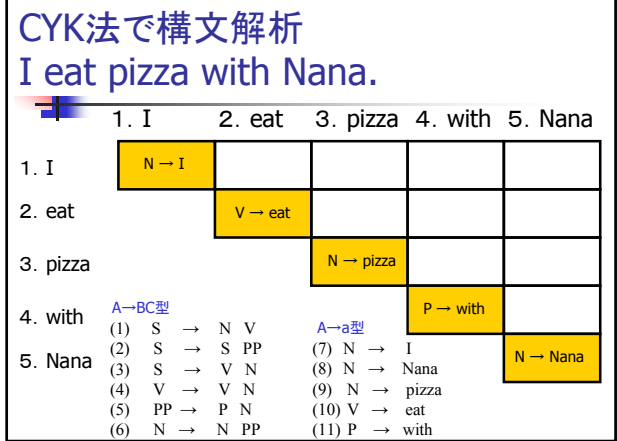
## 本日のメニュー

- 構文解析
  - CYK法(復習)
  - 他の構文解析アルゴリズム
  - チャート法
- 動的計画法
  - (ダイクストラ法)

## 先週の練習問題

- CYK法を使って“I eat pizza with Nana”の構文解析結果を作成しなさい。

A→BC	}	(1) S → N V
		(2) S → S PP
		(3) S → V N
		(4) V → V N
		(5) PP → P N
		(6) N → N PP
A→a (辞書規則)	}	(7) N → I
		(8) N → Nana
		(9) N → pizza
		(10) V → eat
		(11) P → with



### CYK法で構文解析 S → S PP の構文木

I eat pizza with Nana.

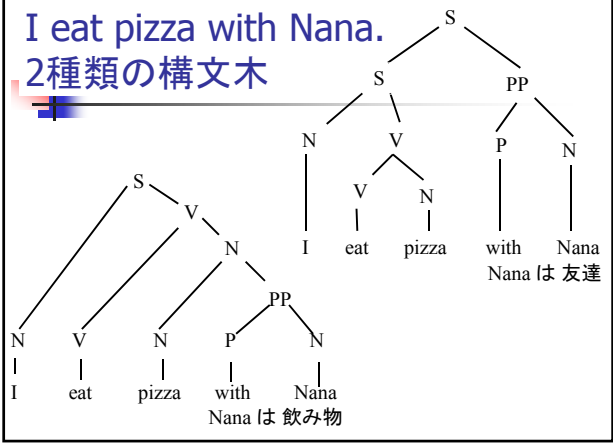
	1. I	2. eat	3. pizza	4. with	5. Nana
1. I	N → I	S → NV	S → S PP		
2. eat		V → eat	V → VN		
3. pizza			N → pizza		
4. with				P → with	PP → PN
5. Nana					N → Nana

**A→BC型**

(1) S → N V
(2) S → S PP
(3) S → V N
(4) V → V N
(5) PP → P N
(6) N → N PP

**A→a型**

(7) N → I
(8) N → Nana
(9) N → pizza
(10) V → eat
(11) P → with



### CYK法のアルゴリズム

adv→急いで	vp→adv v			
	v→見る	np→v n		
		n→一郎	pp→n p	
			p→を	
				v→見た

- BとCの結果をAのマスを埋めるために利用
  - A→BC
- 部分問題の解をより大きな問題を解くために利用
- 同じ問題を2度解かなくても済むように解を格納

### CYKアルゴリズム T<sub>1,2</sub>の計算

- A → aの生成規則を用いて、主対角線上の要素を計算  
for i = 1 to N  
 $T_{i,j} = \{A \mid A \rightarrow w_i\}$
- A → BCの生成規則を用いて、2番目以降の対角線上の要素を計算  
for n = 1 to N-1  
for i = 1 to N-n  
 $T_{i,i+n} = \bigcup_{j=1}^n \{A \mid A \rightarrow BC, B \in T_{i,i+j-1}, C \in T_{i+j,j+n}\}$
- S ∈ T<sub>1,N</sub>であれば、w<sub>1</sub>...w<sub>N</sub>は開始記号Sから導出可能

1,1	1,2	1,3	1,4	1,5
	2,2	2,3	2,4	2,5
		3,3	3,4	3,5
			4,4	4,5
				5,5

T<sub>1,2</sub>の計算  
i = 1, n = 1, j = 1 (1 ≤ j ≤ n)  
T<sub>1,2</sub> = A → BC, B = T<sub>1,1+1-1</sub> = T<sub>1,1</sub>, C = T<sub>1+1,1+1</sub> = T<sub>2,2</sub>

### CYKアルゴリズム T<sub>2,4</sub>の計算

- A → BCの生成規則を用いて、2番目以降の対角線上の要素を計算  
for n = 1 to N-1  
for i = 1 to N-n  
 $T_{i,i+n} = \bigcup_{j=1}^n \{A \mid A \rightarrow BC, B \in T_{i,i+j-1}, C \in T_{i+j,j+n}\}$

1,1	1,2	1,3	1,4	1,5
	2,2	2,3	2,4	2,5
		3,3	3,4	3,5
			4,4	4,5
				5,5

T<sub>2,4</sub>の計算  
i = 2, n = 2 (4 = 2 + n), j = 1, 2 (1 ≤ j ≤ n)  
T<sub>2,4</sub> = A → BC, B = T<sub>2,2+j-1</sub>, C = T<sub>2+j,2+2</sub>

j = 1の時 T<sub>2,4</sub> = A → BC, B = T<sub>2,2</sub>, C = T<sub>3,4</sub>

j = 2の時 T<sub>2,4</sub> = A → BC, B = T<sub>2,3</sub>, C = T<sub>4,4</sub>

### 構文解析アルゴリズム

- ボトムアップアルゴリズム
  - 戦略
    - 単語列から出発
    - Sを導出 → 解析終了
  - 代表的なアルゴリズム
    - CYK法
    - LR法
- トップダウンアルゴリズム
  - 戦略
    - S(ルートノード)から出発
    - 目的の単語列を導出 → 解析終了
  - 代表的なアルゴリズム
    - トップダウンチャート法
    - アークリー法(Earley parser)
    - LL法

## チャート法(構文解析)

### ▶ トップダウンチャート法

- Sから出発
- 目的の単語列を導出 → 解析終了

### ■ ボトムアップチャート法

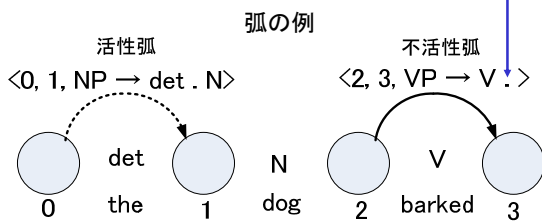
- 単語列から出発
- Sを導出 → 解析終了

## チャート法で使用する用語 1/3

- 節点(ノード)
  - 単語と単語の間に存在する仮想的な点
- 弧(アーク)
  - 節点間を結び、文の部分的な構造を表す
  - $\langle i, j, C \rightarrow \alpha, \beta \rangle$ 
    - $i$ は弧の始点,  $j$ は弧の終点
    - $\cdot$ は解析が終了している位置
    - 節点 $i$ から $j$ まで解析すると $\alpha$
    - $\beta$ まで解析できると $C$

## チャート法で使用する用語 2/3

- 不活性弧
  - 右辺の最後に「 $\cdot$ 」がある弧
- 活性弧
  - 不活性弧以外の弧

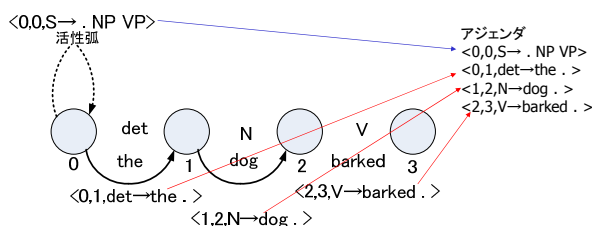


## チャート法で使用する用語 3/3

- チャート
  - ノード, 弧の集合
- アジェンダ
  - チャートに追加すべき弧のリスト

## トップダウンチャート法のアルゴリズム(1/2)

- 辞書規則の適用
  - 入力文の各単語 $w_k$ について, 不活性弧 $\langle k, k+1, A \rightarrow w_k \cdot \rangle$ をアジェンダに追加
- 活性弧 $\langle 0, 0, S \rightarrow \cdot a \rangle$ をアジェンダの先頭に追加



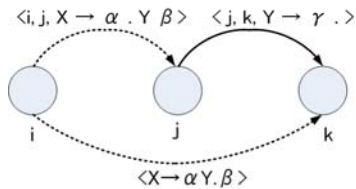
## トップダウンチャート法のアルゴリズム(2/2)

- アジェンダが空になるまで以下の操作を繰り返す
  - 弧の選択
    - アジェンダから弧を1個選びチャートに追加(選んだ弧=arc)
  - 弧の結合
    - arcが活性弧 $\langle i, j, X \rightarrow \alpha \cdot Y \beta \rangle$ のとき, arcの右にある不活性弧 $\langle j, k, Y \rightarrow \gamma \cdot \rangle$ を探し, 結合する(次ページ)
    - arcが不活性弧 $\langle i, j, Y \rightarrow \gamma \cdot \rangle$ のとき, arcの左にある活性弧 $\langle k, i, X \rightarrow \alpha \cdot Y \beta \rangle$ を探し, 結合する
    - 結合してできた新しい弧 $\langle i, k, X \rightarrow \alpha Y \cdot \beta \rangle$ をアジェンダに追加
  - 新しい弧の提案
    - arcが活性弧 $\langle i, j, X \rightarrow \alpha \cdot Y \beta \rangle$ のとき, Yを左辺とする規則 $Y \rightarrow \gamma$ (辞書規則を除く)があれば, 新しい活性弧 $\langle j, j, Y \rightarrow \gamma \cdot \rangle$ を作ってアジェンダに追加

## トップダウンチャート法のアルゴリズム

### ■ 弧の結合

- arcが  $\langle i, j, X \rightarrow \alpha \cdot Y \beta \rangle$  の時
- $\langle i, j, X \rightarrow \alpha \cdot Y \beta \rangle + \langle j, k, Y \rightarrow \gamma \cdot \rangle$
- $\rightarrow \langle i, k, X \rightarrow \alpha Y \cdot \beta \rangle$



- 不活性弧  $\langle 0, n, S \rightarrow a \cdot \rangle$  が生成できれば解析成功

## (トップダウン)チャート法を用いた構文解析例 (例文)

### ■ 解析文

■ The dog barked.

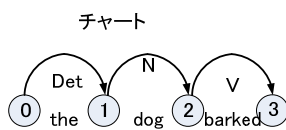
### ■ 文法

- $S \rightarrow NP VP$
- $NP \rightarrow Det N$
- $VP \rightarrow V$
- $VP \rightarrow V NP$
- $Det \rightarrow the$
- $N \rightarrow dog$
- $V \rightarrow barked$

## The dog barked. 1/27

### 辞書規則の適用

入力文の各単語  $w_k$  について、  
不活性弧  $\langle k, k+1, A \rightarrow w_k \cdot \rangle$  をアジェンダに追加



### ■ 文法

- $S \rightarrow NP VP$
- $NP \rightarrow det N$
- $VP \rightarrow V$
- $VP \rightarrow V NP$
- $Det \rightarrow the$
- $N \rightarrow dog$
- $V \rightarrow barked$

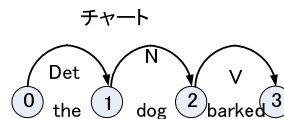
### アジェンダ

- $\langle 0, 1, Det \rightarrow the \cdot \rangle$
- $\langle 1, 2, N \rightarrow dog \cdot \rangle$
- $\langle 2, 3, V \rightarrow barked \cdot \rangle$

辞書規則をアジェンダにpush

## The dog barked. 2/27

活性弧  $\langle 0, 0, S \rightarrow \cdot a \rangle$  をアジェンダの先頭に追加



### 文法 (の一部)

- $S \rightarrow NP VP$
- $NP \rightarrow Det N$
- $VP \rightarrow V$
- $VP \rightarrow V NP$

### アジェンダ

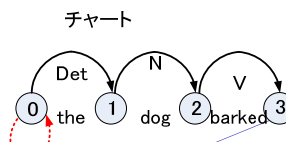
- $\langle 0, 0, S \rightarrow \cdot NP VP \rangle$
- $\langle 0, 1, Det \rightarrow the \cdot \rangle$
- $\langle 1, 2, N \rightarrow dog \cdot \rangle$
- $\langle 2, 3, V \rightarrow barked \cdot \rangle$

$\langle 0, 0, S \rightarrow \cdot NP VP \rangle$  をアジェンダにpush

## The dog barked. 3/27

### 弧の選択

アジェンダから弧を1個選びチャートに追加 (選んだ弧=arc)



### アジェンダ

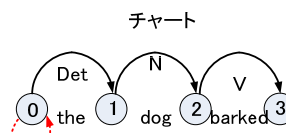
- $\langle 0, 0, S \rightarrow \cdot NP VP \rangle$
- $\langle 0, 1, Det \rightarrow the \cdot \rangle$
- $\langle 1, 2, N \rightarrow dog \cdot \rangle$
- $\langle 2, 3, V \rightarrow barked \cdot \rangle$

新しい活性弧  $\langle 0, 0, S \rightarrow \cdot NP VP \rangle$  をアジェンダからチャートにpop

## The dog barked. 4/27

### 弧の結合

arcが活性弧  $\langle i, j, X \rightarrow \alpha \cdot Y \beta \rangle$  のとき、  
arcの右にある不活性弧  $\langle j, k, Y \rightarrow \gamma \cdot \rangle$  を探し、結合する  
結合してできた新しい弧  $\langle i, k, X \rightarrow \alpha Y \cdot \beta \rangle$  をアジェンダに追加



### 文法 (の一部)

- $S \rightarrow NP VP$
- $NP \rightarrow Det N$
- $VP \rightarrow V$
- $VP \rightarrow V NP$

### アジェンダ

- $\langle 0, 1, Det \rightarrow the \cdot \rangle$
- $\langle 1, 2, N \rightarrow dog \cdot \rangle$
- $\langle 2, 3, V \rightarrow barked \cdot \rangle$

該当無し—何もしない

### The dog barked. 5/27

新しい弧の提案  
arcが活性弧  $\langle i,j,X \rightarrow \alpha.Y\beta \rangle$  のとき,  
Yを左辺とする規則  $Y \rightarrow \gamma$  (辞書規則を除く)があれば,  
新しい活性弧  $\langle j,j,Y \rightarrow \gamma \rangle$  を作ってアジェンダに追加

文法の一部)  
 . S  $\rightarrow$  NP VP  
 . NP  $\rightarrow$  Det N  
 . VP  $\rightarrow$  V  
 . VP  $\rightarrow$  V NP

チャート

アジェンダ  
 $\langle 0,0,NP \rightarrow . Det N \rangle$   
 $\langle 0,1,Det \rightarrow the . \rangle$   
 $\langle 1,2,N \rightarrow dog . \rangle$   
 $\langle 2,3,V \rightarrow barked . \rangle$

$\langle 0,0,S \rightarrow . NP VP \rangle$     $\langle 0,0,NP \rightarrow . Det N \rangle$

$\langle 0,0,NP \rightarrow . Det N \rangle$  をアジェンダに追加

### The dog barked. 6/27

弧の選択  
アジェンダから弧を1個選びチャートに追加 (選んだ弧=arc)

文法の一部)  
 . S  $\rightarrow$  NP VP  
 . NP  $\rightarrow$  Det N  
 . VP  $\rightarrow$  V  
 . VP  $\rightarrow$  V NP

チャート

アジェンダ  
 $\langle 0,0,NP \rightarrow . Det N \rangle$   
 $\langle 0,1,Det \rightarrow the . \rangle$   
 $\langle 1,2,N \rightarrow dog . \rangle$   
 $\langle 2,3,V \rightarrow barked . \rangle$

$\langle 0,0,S \rightarrow . NP VP \rangle$     $\langle 0,0,NP \rightarrow . Det N \rangle$

アジェンダから  $\langle 0,0,NP \rightarrow . Det N \rangle$  をチャートにpop

### The dog barked. 7/27

弧の結合  
arcが活性弧  $\langle i,j,X \rightarrow \alpha.Y\beta \rangle$  のとき,  
arcの右にある不活性弧  $\langle j,k,Y \rightarrow \gamma \rangle$  を探し, 結合する  
結合してできた新しい弧  $\langle i,k,X \rightarrow \alpha Y \beta \rangle$  をアジェンダに追加

文法の一部)  
 . S  $\rightarrow$  NP VP  
 . NP  $\rightarrow$  Det N  
 . VP  $\rightarrow$  V  
 . VP  $\rightarrow$  V NP

チャート

アジェンダ  
 $\langle 0,1,Det \rightarrow the . \rangle$   
 $\langle 1,2,N \rightarrow dog . \rangle$   
 $\langle 2,3,V \rightarrow barked . \rangle$

アジェンダ  
 $\langle 0,1,NP \rightarrow Det . N \rangle$   
 $\langle 1,2,N \rightarrow dog . \rangle$   
 $\langle 2,3,V \rightarrow barked . \rangle$

$\langle 0,0,S \rightarrow . NP VP \rangle$     $\langle NP \rightarrow . Det . N \rangle$

$\langle 0,0,NP \rightarrow . Det N \rangle$  と  $\langle 0,1,Det \rightarrow the . \rangle$  を結合して  $\langle NP \rightarrow Det . N \rangle$  を得る.  
 $\langle NP \rightarrow Det . N \rangle$  をアジェンダにpush

### The dog barked. 8/27

新しい弧の提案  
arcが活性弧  $\langle i,j,X \rightarrow \alpha.Y\beta \rangle$  のとき,  
Yを左辺とする規則  $Y \rightarrow \gamma$  (辞書規則を除く)があれば,  
新しい活性弧  $\langle j,j,Y \rightarrow \gamma \rangle$  を作ってアジェンダに追加

文法の一部)  
 . S  $\rightarrow$  NP VP  
 . NP  $\rightarrow$  Det N  
 . VP  $\rightarrow$  V  
 . VP  $\rightarrow$  V NP

チャート

アジェンダ  
 $\langle 0,1,NP \rightarrow Det . N \rangle$   
 $\langle 1,2,N \rightarrow dog . \rangle$   
 $\langle 2,3,V \rightarrow barked . \rangle$

$\langle 0,0,S \rightarrow . NP VP \rangle$     $\langle NP \rightarrow . Det . N \rangle$

規則  $Y \rightarrow \gamma$  がいない  $\rightarrow$  何もしない

### The dog barked. 9/27

弧の選択  
アジェンダから弧を1個選びチャートに追加 (選んだ弧=arc)

文法の一部)  
 . S  $\rightarrow$  NP VP  
 . NP  $\rightarrow$  Det N  
 . VP  $\rightarrow$  V  
 . VP  $\rightarrow$  V NP

チャート

アジェンダ  
 $\langle 0,1,NP \rightarrow Det . N \rangle$   
 $\langle 1,2,N \rightarrow dog . \rangle$   
 $\langle 2,3,V \rightarrow barked . \rangle$

$\langle 0,0,S \rightarrow . NP VP \rangle$     $\langle NP \rightarrow . Det . N \rangle$

$\langle 0,1,NP \rightarrow Det . N \rangle$  をアジェンダに追加

### The dog barked. 10/27

弧の結合  
arcが活性弧  $\langle i,j,X \rightarrow \alpha.Y\beta \rangle$  のとき,  
arcの右にある不活性弧  $\langle j,k,Y \rightarrow \gamma \rangle$  を探し, 結合する  
結合してできた新しい弧  $\langle i,k,X \rightarrow \alpha Y \beta \rangle$  をアジェンダに追加

文法の一部)  
 . S  $\rightarrow$  NP VP  
 . NP  $\rightarrow$  Det N  
 . VP  $\rightarrow$  V  
 . VP  $\rightarrow$  V NP

チャート

アジェンダ  
 $\langle 1,2,N \rightarrow dog . \rangle$   
 $\langle 2,3,V \rightarrow barked . \rangle$

アジェンダ  
 $\langle 0,2,NP \rightarrow Det N . \rangle$   
 $\langle 2,3,V \rightarrow barked . \rangle$

$\langle NP \rightarrow Det . N \rangle$     $\langle NP \rightarrow det N . \rangle$

$\langle NP \rightarrow Det . N \rangle$  と  $\langle N \rightarrow dog . \rangle$  を結合して  $\langle NP \rightarrow Det N . \rangle$  を得る.  
 $\langle NP \rightarrow Det N . \rangle$  をアジェンダにpush

### The dog barked. 11/27

新しい弧の提案  
arcが活性弧  $\langle i,j,X \rightarrow a.Y\beta \rangle$  のとき、  
Yを左辺とする規則  $Y \rightarrow \gamma$  (辞書規則を除く) があれば、新しい活性弧  $\langle j,j,Y \rightarrow \gamma \rangle$  を作ってアジェンダに追加

文法の一部)  
 . S  $\rightarrow$  NP VP  
 . NP  $\rightarrow$  Det N  
 . VP  $\rightarrow$  V  
 . VP  $\rightarrow$  V NP

チャート

アジェンダ  
 $\langle 0,2, NP \rightarrow Det N . \rangle$   
 $\langle 2,3, V \rightarrow barked . \rangle$

規則  $Y \rightarrow \gamma$  がいない  $\rightarrow$  何もしない

### The dog barked. 12/27

弧の選択  
アジェンダから弧を1個選びチャートに追加 (選んだ弧=arc)

文法の一部)  
 . S  $\rightarrow$  NP VP  
 . NP  $\rightarrow$  Det N  
 . VP  $\rightarrow$  V  
 . VP  $\rightarrow$  V NP

チャート

アジェンダ  
 $\langle 0,2, NP \rightarrow Det N . \rangle$   
 $\langle 2,3, V \rightarrow barked . \rangle$

$\langle 0,2, NP \rightarrow Det N . \rangle$  をアジェンダからpopしてチャートに追加

### The dog barked. 13/27

弧の結合  
arcが不活性弧  $\langle i,j,Y \rightarrow \gamma \rangle$  のとき、  
arcの左にある活性弧  $\langle k,i,X \rightarrow a.Y\beta \rangle$  を探し、結合する  
結合してできた新しい弧  $\langle i,k,X \rightarrow aY.\beta \rangle$  をアジェンダに追加

文法の一部)  
 . S  $\rightarrow$  NP VP  
 . NP  $\rightarrow$  Det N  
 . VP  $\rightarrow$  V  
 . VP  $\rightarrow$  V NP

チャート

アジェンダ  
 $\langle 0,2, S \rightarrow NP . VP \rangle$   
 $\langle 2,3, V \rightarrow barked . \rangle$

$\langle NP \rightarrow Det N . \rangle$  と  $\langle S \rightarrow NP VP \rangle$  を結合して  $\langle S \rightarrow NP . VP \rangle$  を得る。  
 $\langle S \rightarrow NP . VP \rangle$  をアジェンダにpush

### The dog barked. 14/27

新しい弧の提案  
arcが活性弧  $\langle i,j,X \rightarrow a.Y\beta \rangle$  のとき、  
Yを左辺とする規則  $Y \rightarrow \gamma$  (辞書規則を除く) があれば、新しい活性弧  $\langle j,j,Y \rightarrow \gamma \rangle$  を作ってアジェンダに追加

文法の一部)  
 . S  $\rightarrow$  NP VP  
 . NP  $\rightarrow$  Det N  
 . VP  $\rightarrow$  V  
 . VP  $\rightarrow$  V NP

チャート

アジェンダ  
 $\langle 0,2, S \rightarrow NP . VP \rangle$   
 $\langle 2,3, V \rightarrow barked . \rangle$

Arcは不活性弧  $\rightarrow$  何もしない

### The dog barked. 15/27

弧の選択  
アジェンダから弧を1個選びチャートに追加 (選んだ弧=arc)

文法の一部)  
 . S  $\rightarrow$  NP VP  
 . NP  $\rightarrow$  Det N  
 . VP  $\rightarrow$  V  
 . VP  $\rightarrow$  V NP

チャート

アジェンダ  
 $\langle 0,2, S \rightarrow NP . VP \rangle$   
 $\langle 2,3, V \rightarrow barked . \rangle$

$\langle 0,2, S \rightarrow NP . VP \rangle$  をアジェンダからpopしてチャートに追加

### The dog barked. 16/27

弧の結合  
arcが活性弧  $\langle i,j,X \rightarrow a.Y\beta \rangle$  のとき、  
arcの右にある不活性弧  $\langle j,k,Y \rightarrow \gamma \rangle$  を探し、結合する  
結合してできた新しい弧  $\langle i,k,X \rightarrow aY.\beta \rangle$  をアジェンダに追加

文法の一部)  
 . S  $\rightarrow$  NP VP  
 . NP  $\rightarrow$  Det N  
 . VP  $\rightarrow$  V  
 . VP  $\rightarrow$  V NP

チャート

アジェンダ  
 $\langle 0,2, S \rightarrow NP . VP \rangle$   
 $\langle 2,3, V \rightarrow barked . \rangle$

Arcの右にないので何もしない

### The dog barked. 17/27

新しい弧の提案  
arcが活性弧 $\langle i,j,X \rightarrow a.Y\beta \rangle$ のとき、  
Yを左辺とする規則 $Y \rightarrow \gamma$ (辞書規則を除く)があれば、新しい活性弧 $\langle j,j,Y \rightarrow \gamma \rangle$ を作ってアジェンダに追加

文法の一部)  
 . S $\rightarrow$ NP VP  
 . NP $\rightarrow$ Det N  
 . VP $\rightarrow$ V  
 . VP $\rightarrow$ V NP

チャート

アジェンダ  
 $\langle 0,0,S \rightarrow . NP VP \rangle$   
 $\langle 0,2,S \rightarrow NP . VP \rangle$   
 $\langle 2,2,VP \rightarrow . V \rangle$   
 $\langle 2,3,V \rightarrow barked . \rangle$

新しい活性弧 $\langle 2,2,VP \rightarrow . V \rangle$ をアジェンダにpush

### The dog barked. 18/27

弧の選択  
アジェンダから弧を1個選びチャートに追加(選んだ弧=arc)

文法の一部)  
 . S $\rightarrow$ NP VP  
 . NP $\rightarrow$ Det N  
 . VP $\rightarrow$ V  
 . VP $\rightarrow$ V NP

チャート

アジェンダ  
 $\langle 2,2,VP \rightarrow . V \rangle$   
 $\langle 2,3,V \rightarrow barked . \rangle$

$\langle 2,2,VP \rightarrow . V \rangle$ をアジェンダからpopしてチャートに追加

### The dog barked. 19/27

弧の結合  
arcが活性弧 $\langle i,j,X \rightarrow a.Y\beta \rangle$ のとき、  
arcの右にある不活性弧 $\langle j,k,Y \rightarrow \gamma \rangle$ を探し、結合する  
結合してできた新しい弧 $\langle i,k,X \rightarrow aY\beta \rangle$ をアジェンダに追加

文法の一部)  
 . S $\rightarrow$ NP VP  
 . NP $\rightarrow$ Det N  
 . VP $\rightarrow$ V  
 . VP $\rightarrow$ V NP

チャート

アジェンダ  
 $\langle 2,3,V \rightarrow barked . \rangle$   
 $\langle 2,3,VP \rightarrow V . \rangle$

アジェンダ  
 $\langle 2,3,VP \rightarrow V . \rangle$

$\langle VP \rightarrow . V \rangle + \langle V \rightarrow barked . \rangle = \langle VP \rightarrow V . \rangle$

### The dog barked. 20/27

新しい弧の提案  
arcが活性弧 $\langle i,j,X \rightarrow a.Y\beta \rangle$ のとき、  
Yを左辺とする規則 $Y \rightarrow \gamma$ (辞書規則を除く)があれば、  
新しい活性弧 $\langle j,j,Y \rightarrow \gamma \rangle$ を作ってアジェンダに追加

文法の一部)  
 . S $\rightarrow$ NP VP  
 . NP $\rightarrow$ Det N  
 . VP $\rightarrow$ V  
 . VP $\rightarrow$ V NP

チャート

アジェンダ  
 $\langle 2,3,VP \rightarrow V . \rangle$

Y $\rightarrow$ がないので何もしない

### The dog barked. 21/27

弧の選択  
アジェンダから弧を1個選びチャートに追加(選んだ弧=arc)

文法の一部)  
 . S $\rightarrow$ NP VP  
 . NP $\rightarrow$ Det N  
 . VP $\rightarrow$ V  
 . VP $\rightarrow$ V NP

チャート

アジェンダ  
 $\langle 2,3,VP \rightarrow V . \rangle$

$\langle 2,3,VP \rightarrow V . \rangle$ をアジェンダからpopしてチャートに追加

### The dog barked. 22/27

弧の結合  
arcが不活性弧 $\langle i,j,Y \rightarrow \gamma \rangle$ のとき、  
arcの左にある活性弧 $\langle k,i,X \rightarrow a.Y\beta \rangle$ を探し、結合する  
結合してできた新しい弧 $\langle i,k,X \rightarrow aY\beta \rangle$ をアジェンダに追加

文法の一部)  
 . S $\rightarrow$ NP VP  
 . NP $\rightarrow$ Det N  
 . VP $\rightarrow$ V  
 . VP $\rightarrow$ V NP

チャート

アジェンダ  
 $\langle 0,3,S \rightarrow NP VP . \rangle$   
 $\langle 2,3,VP \rightarrow V . \rangle$

$\langle S \rightarrow NP . VP \rangle$ と $\langle VP \rightarrow V . \rangle$ を結合して $\langle S \rightarrow NP VP . \rangle$ を得る



### The dog barked. 23/27

新しい弧の提案  
arcが活性弧  $\langle i,j,X \rightarrow a.Y\beta \rangle$  のとき、  
Yを左辺とする規則  $Y \rightarrow y$  (辞書規則を除く) があれば、新しい活性弧  $\langle j,j,Y \rightarrow y \rangle$  を作ってアジェンダに追加

文法の一部)  
 . S  $\rightarrow$  NP VP  
 . NP  $\rightarrow$  Det N  
 . VP  $\rightarrow$  V  
 . VP  $\rightarrow$  V NP

チャート

アジェンダ  
 $\langle 0,3,S \rightarrow NP VP . \rangle$   
 $\langle 0,3,S \rightarrow NP VP . \rangle$

$\langle 0,0,S \rightarrow . NP VP \rangle$   $\langle 0,2,S \rightarrow NP . VP \rangle$   $\langle 2,2,VP \rightarrow . V \rangle$   $\langle 2,3,VP \rightarrow V . \rangle$

arcは不活性弧なので何もしない

### The dog barked. 24/27

弧の選択  
アジェンダから弧を1個選びチャートに追加 (選んだ弧=arc)

文法の一部)  
 . S  $\rightarrow$  NP VP  
 . NP  $\rightarrow$  Det N  
 . VP  $\rightarrow$  V  
 . VP  $\rightarrow$  V NP

チャート

アジェンダ  
 $\langle 0,3,S \rightarrow NP VP . \rangle$   
 $\langle 0,3,S \rightarrow NP VP . \rangle$

$\langle 0,0,S \rightarrow . NP VP \rangle$   $\langle 0,2,S \rightarrow NP . VP \rangle$   $\langle 2,2,VP \rightarrow . V \rangle$   $\langle 2,3,VP \rightarrow V . \rangle$

$\langle 0,3,S \rightarrow NP VP . \rangle$  をアジェンダからpopしてチャートに追加

### The dog barked. 25/27

弧の結合  
arcが不活性弧  $\langle i,j,Y \rightarrow y \rangle$  のとき、  
arcの左にある活性弧  $\langle k,i,X \rightarrow a.Y\beta \rangle$  を探し、結合する  
結合してできた新しい弧  $\langle k,j,X \rightarrow aY.\beta \rangle$  をアジェンダに追加

文法の一部)  
 . S  $\rightarrow$  NP VP  
 . NP  $\rightarrow$  Det N  
 . VP  $\rightarrow$  V  
 . VP  $\rightarrow$  V NP

チャート

アジェンダ  
 $\langle 0,3,S \rightarrow NP VP . \rangle$   
 $\langle 0,3,S \rightarrow NP VP . \rangle$

$\langle 0,0,S \rightarrow . NP VP \rangle$   $\langle 0,2,S \rightarrow NP . VP \rangle$   $\langle 2,2,VP \rightarrow . V \rangle$   $\langle 2,3,VP \rightarrow V . \rangle$

$\langle k,i,X \rightarrow a.Y\beta \rangle$  がないので何もしない

### The dog barked. 26/27

新しい弧の提案  
arcが活性弧  $\langle i,j,X \rightarrow a.Y\beta \rangle$  のとき、  
Yを左辺とする規則  $Y \rightarrow y$  (辞書規則を除く) があれば、新しい活性弧  $\langle j,j,Y \rightarrow y \rangle$  を作ってアジェンダに追加

文法の一部)  
 . S  $\rightarrow$  NP VP  
 . NP  $\rightarrow$  Det N  
 . VP  $\rightarrow$  V  
 . VP  $\rightarrow$  V NP

チャート

アジェンダ  
 $\langle 0,3,S \rightarrow NP VP . \rangle$   
 $\langle 0,3,S \rightarrow NP VP . \rangle$

$\langle 0,0,S \rightarrow . NP VP \rangle$   $\langle 0,2,S \rightarrow NP . VP \rangle$   $\langle 2,2,VP \rightarrow . V \rangle$   $\langle 2,3,VP \rightarrow V . \rangle$

Arcは不活性弧なので何もしない

### The dog barked. 27/27

弧の選択  
アジェンダから弧を1個選びチャートに追加 (選んだ弧=arc)

文法の一部)  
 . S  $\rightarrow$  NP VP  
 . NP  $\rightarrow$  Det N  
 . VP  $\rightarrow$  V  
 . VP  $\rightarrow$  V NP

チャート

アジェンダ  
 (空)

$\langle 0,0,S \rightarrow . NP VP \rangle$   $\langle 0,2,S \rightarrow NP . VP \rangle$   $\langle 2,2,VP \rightarrow . V \rangle$   $\langle 2,3,VP \rightarrow V . \rangle$

アジェンダになにも無いので処理終了  
不活性弧  $\langle 0,n,S \rightarrow a \rangle$  を生成できたので解析成功!

### 構文木の復元

- 弧に履歴を残す.
  - 弧に識別番号をつける
  - 右辺がどの不活性弧によって構成されるかを記録
- 不活性弧の履歴をたどれば構文木が復元できる
- 得られる構文木の例
  - 番号は不活性弧の番号

## チャート法の特徴

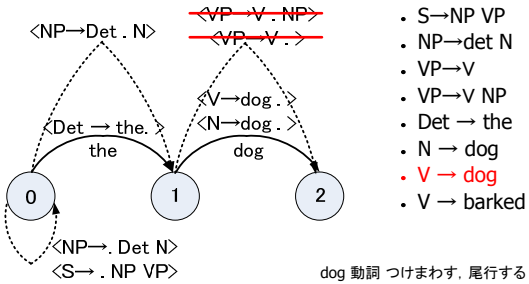
- 任意の文脈自由文法が扱える
  - $A \rightarrow BCD$ も,  $A \rightarrow bC$ もOK
- 4種類の方式
  - トップダウンとボトムアップ
  - 縦型探索と横型探索
- 文法の予測能力が使える
  - 無駄な弧を生成しないので効率が良い(トップダウンチャート法)
- 広く使われている

## 縦型探索と横型探索

- 縦型探索
  - 1つの解の候補の解析を優先的に進める
  - 文が文法によって生成できるかだけを調べるときに便利
- 横型探索
  - 全ての解の候補の解析を並列に進める
  - ビームサーチが使える
- チャート法では両方とも可能
- アジェンダをスタック(LIFO)にしたときは縦型探索
- アジェンダをキュー(FIFO)にしたときは横型探索

## 文法の予測能力

- 無駄な弧は生成されない
- 文法によってDetの後にはVが現れないことが予想されている



## 動的計画法(Dynamic Programming)

- 部分問題の解をより大きな問題を解くために利用
- 同じ問題を2度解かなくても済むように解を格納
- 最適解に利用できない部分問題は省略する
- アルゴリズムの例
  - CYK法(構文解析)
  - ダイクストラ法(最短経路問題)
  - DPマッチング(パターンマッチング DNAの解析にも利用)
  - DPを使った解法(ナップサック問題)
  - ビタビアルゴリズム(音声認識など)