



アルゴリズムとデータ構造III

4回目: 10月23日

構文解析 CYK法の続き

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

授業の予定(中間試験まで)

1	10/02	スタック(後置記法で書かれた式の計算)
2	10/09	チューリング機械, 文脈自由文法
3	10/16	構文解析 CYK法
4	10/23	構文解析 CYK法
5	10/30	構文解析 CYK法, アーリー法
6	11/06	構文解析, グラフ
7	11/13	グラフ(動的計画法, ダイクストラ法, DPマッチング)
8	11/20	グラフ(DPマッチング, ビームサーチ, A*アルゴリズム)
9	11/27	中間試験

授業の予定(中間試験以降)

10	12/04	全文検索アルゴリズム (simple search, KMP)
11	12/11	全文検索アルゴリズム (BM, Aho-Corasick)
12	12/18	全文検索アルゴリズム (Aho-Corasick), データ圧縮
13	01/08	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	01/15	テキスト圧縮 (zip), 音声圧縮 (ADPCM, MP3, CELP), 画像圧縮 (JPEG)
15	01/29	期末試験



本日のメニュー

- CYK法の続き
 - CYKアルゴリズム
 - 解析例(急いで走る一郎を見た)
 - 練習問題(I eat pizza with Nana.)



構文解析 CYK法

- 先週勉強した文脈自由文法により, 文から自動的に構文木を生成する.



構文解析とは(Wikipediaより)

- ある文章の文法的な関係を説明すること(*parse*)。計算機科学の世界では、構文解析は字句解析 (*Lexical Analysis*) とともに、おもにプログラミング言語などの形式言語の解析に使用される。また、自然言語処理に応用されることもある。
- コンパイラにおいて構文解析を行う機構を**構文解析器** (Parser) と呼ぶ。
- 構文解析は入力テキストを通常、**木構造**のデータ構造に変換し、その後の処理に適した形にする。字句解析によって入力文字列から字句を取り出し、それらを構文解析器の入力として、**構文木**や**抽象構文木**のようなデータ構造を生成する。

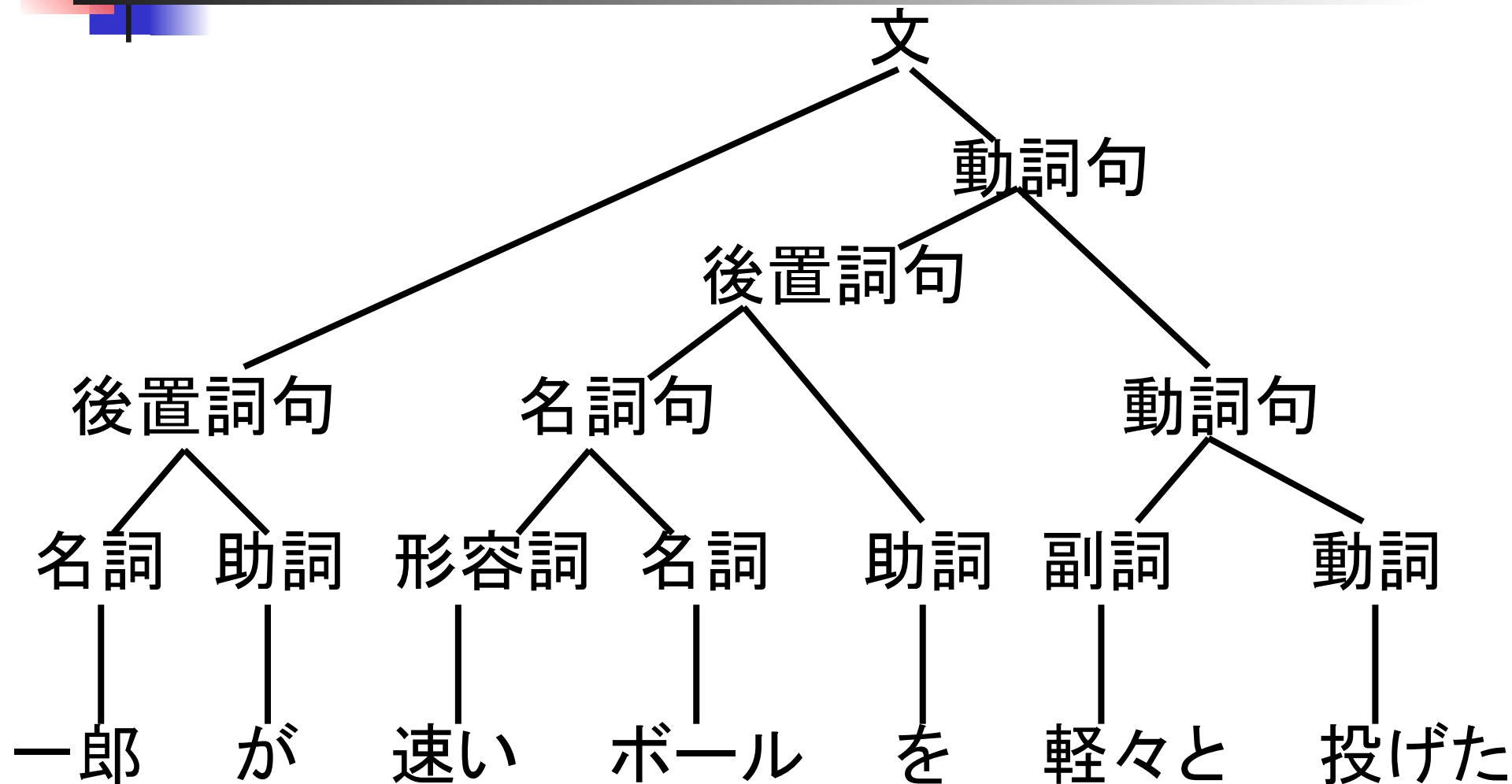


構文解析

- 入力文(記号列)が与えられたとき, 文法によってその文を解析し, その構造を明らかにする
- 代表的な構文解析アルゴリズム
 - CYK法
 - チャート法
 - アーリー法
 - LR法

構文木

(一郎が速いボールを軽々と投げた)





CYK (Cocke-Younger-Kasami) 法

- ボトムアップアルゴリズム
- 扱える文法
 - チョムスキーの標準形
 - $A \rightarrow BC$
 - $A \rightarrow a$
- CYK表
 - 構文解析の途中経過を保持するための表



CYKアルゴリズム

- チョムスキーの標準形の文脈自由文法を対象とした構文解析法
- チョムスキーの標準形
 - $A \rightarrow BC$ ($A, B, C \in V_n$)
 - $A \rightarrow a$ ($A \in V_n, a \in V_t$)

$X \rightarrow aB$ はチョムスキーの標準形ではないが
 $X \rightarrow AB, A \rightarrow a$ に分解できる

$X \rightarrow ABC$ はチョムスキーの標準形ではないが
 $X \rightarrow AY, Y \rightarrow BC$ に分解できる

チョムスキーの標準形の例 「急いで走る一郎を見る」

A→BC型

A→a型

- (1) $s \rightarrow pp \ v$
- (2) $s \rightarrow adv \ vp$
- (3) $vp \rightarrow pp \ v$
- (4) $vp \rightarrow adv \ v$
- (5) $np \rightarrow vp \ n$
- (6) $np \rightarrow v \ n$
- (7) $pp \rightarrow np \ p$
- (8) $pp \rightarrow n \ p$
- (9) $adv \rightarrow 急いで$
- (10) $n \rightarrow 一郎$
- (11) $p \rightarrow を$
- (12) $v \rightarrow 走る$
- (13) $v \rightarrow 見る$

CYK構文解析の概要

1. 急いで 2. 走る 3. 一郎 4. を 5. 見た

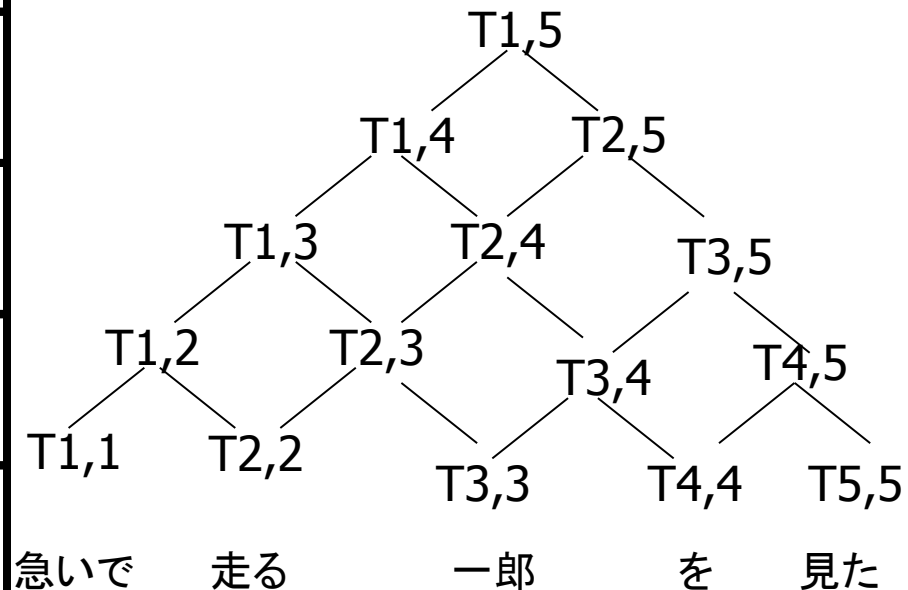
1. 急いで					
2. 走る		T2,2	T2,3	T2,4	T2,5
3. 一郎					T3,5
4. を					T4,5
5. 見た					T5,5

T2,5: 走る一郎を見た

T2,2: 走る | T3,5: 一郎を見た

T2,3: 走る一郎 | T4,5 を見た

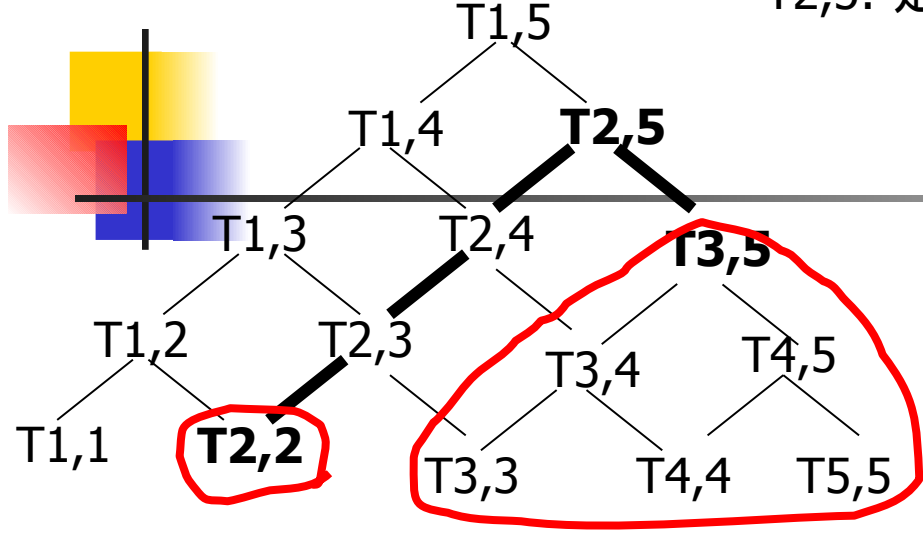
T2,4: 走る一郎を | T5,5 見た



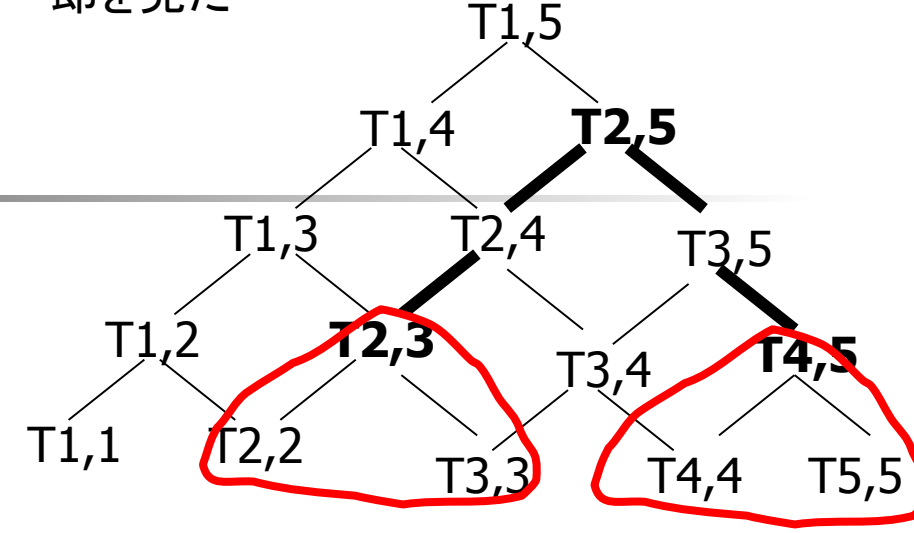
CYK表は構文木を表している

T2,5までの部分木

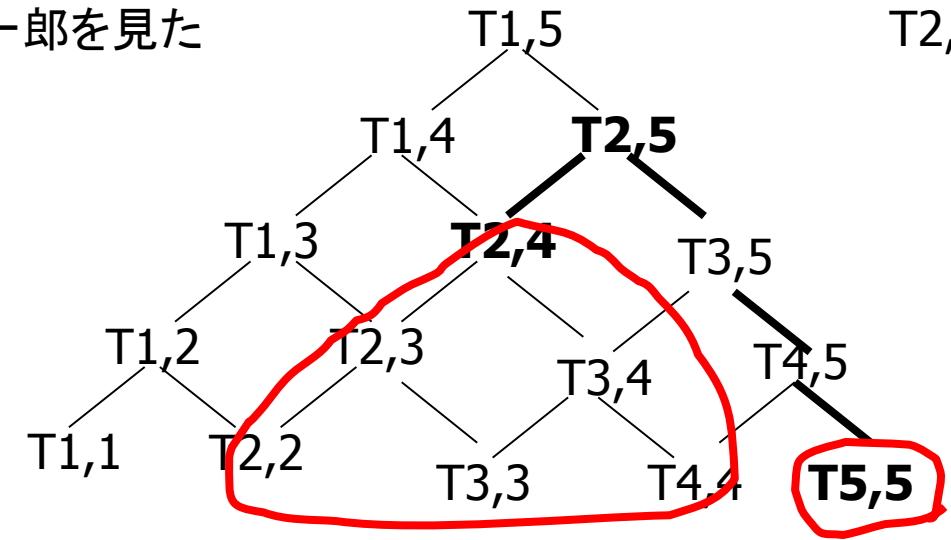
T2,5: 走る一郎を見た



急いで 走る 一郎 を 見た
 T2,2: 走る | T3,5: 一郎を見た



急いで 走る 一郎 を 見た
 T2,3: 走る一郎 | T4,5 を見た



急いで 走る 一郎 を 見た
 T2,4: 走る一郎を | T5,5 見た



CYKアルゴリズム

1. $A \rightarrow a$ 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

$$T_{i,j} = \{A \mid A \rightarrow w_i\}$$

2. $A \rightarrow BC$ 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 $N - n$

$$T_{i,i+n} = \bigcup_{j=1}^n \{A \mid A \rightarrow BC, B \in T_{i,i+j-1}, C \in T_{i+j,i+n}\}$$

3. $S \in T_{1,N}$ であれば, $w_1 \cdots w_N$ は開始記号 S から導出可能

CYK構文解析表(完成)

1. 急いで 2. 走る 3. 一郎 4. を 5. 見た

1. 急いで	adv→急いで	vp→adv v	np→vp n	pp→np p	vp→pp v s→pp v s→adv vp
2. 走る		v→走る	np→v n	pp→np p	vp→pp v s→pp v
3. 一郎	<ul style="list-style-type: none"> ■ (1) s→pp v ■ (2) s→adv vp 		n→一郎	pp→n p	vp→pp v s→pp v
4. を	<ul style="list-style-type: none"> ■ (3) vp→pp v ■ (4) vp→adv v 			p→を	
5. 見た	<ul style="list-style-type: none"> ■ (5) np→vp n ■ (6) np→v n ■ (7) pp→np p ■ (8) pp→n p 	<ul style="list-style-type: none"> ■ (9) adv→急いで ■ (10) n→一郎 ■ (11) p→を ■ (12) v→走る ■ (13) v→見る 			v→見た

CYK構文解析表(1/5)

1. 急いで 2. 走る 3. 一郎 4. を 5. 見た

1. 急いで	adv→急いで				
2. 走る		v→走る			
3. 一郎			n→一郎		
4. を				p→を	
5. 見た					v→見た

- (1) s→pp v
- (2) s→adv vp
- (3) vp→pp v
- (4) vp→adv v
- (5) np→vp n
- (6) np→v n
- (7) pp→np p
- (8) pp→n p
- (9) adv→急いで
- (10) n→一郎
- (11) p→を
- (12) v→走る
- (13) v→見る

CYK構文解析表(2/5)

1. 急いで 2. 走る 3. 一郎 4. を 5. 見た

1. 急いで	adv→急いで	vp→adv v			
2. 走る		v→走る	np→v n		
3. 一郎	<ul style="list-style-type: none"> ■ (1) s→pp v ■ (2) s→adv vp ■ (3) vp→pp v 		n→一郎	pp→n p	
4. を	<ul style="list-style-type: none"> ■ (4) vp→adv v ■ (5) np→vp n 			p→を	
5. 見た	<ul style="list-style-type: none"> ■ (6) np→v n ■ (7) pp→np p ■ (8) pp→n p 	<ul style="list-style-type: none"> ■ (9) adv→急いで ■ (10) n→一郎 ■ (11) p→を ■ (12) v→走る ■ (13) v→見る 			v→見た

CYK構文解析表(3/5)

1. 急いで 2. 走る 3. 一郎 4. を 5. 見た

1. 急いで	adv→急いで	vp→adv v	np→vp n		
2. 走る		v→走る	np→v n	pp→np p	
3. 一郎	<ul style="list-style-type: none"> ■ (1) s→pp v ■ (2) s→adv vp ■ (3) vp→pp v 		n→一郎	pp→n p	vp→pp v s→pp v
4. を	<ul style="list-style-type: none"> ■ (4) vp→adv v ■ (5) np→vp n 			p→を	
5. 見た	<ul style="list-style-type: none"> ■ (6) np→v n ■ (7) pp→np p ■ (8) pp→n p 	<ul style="list-style-type: none"> ■ (9) adv→急いで ■ (10) n→一郎 ■ (11) p→を ■ (12) v→走る ■ (13) v→見る 			v→見た

CYK構文解析表(4/5)

1. 急いで 2. 走る 3. 一郎 4. を 5. 見た

1. 急いで	adv→急いで	vp→adv v	np→vp n	pp→np p	
2. 走る		v→走る	np→v n	pp→np p	vp→pp v s→pp v
3. 一郎	<ul style="list-style-type: none"> ■ (1) s→pp v ■ (2) s→adv vp ■ (3) vp→pp v 		n→一郎	pp→n p	vp→pp v s→pp v
4. を	<ul style="list-style-type: none"> ■ (4) vp→adv v ■ (5) np→vp n 			p→を	
5. 見た	<ul style="list-style-type: none"> ■ (6) np→v n ■ (7) pp→np p ■ (8) pp→n p 	<ul style="list-style-type: none"> ■ (9) adv→急いで ■ (10) n→一郎 ■ (11) p→を ■ (12) v→走る ■ (13) v→見る 			v→見た

CYK構文解析表(5/5)

1. 急いで 2. 走る 3. 一郎 4. を 5. 見た

1. 急いで	adv→急いで	vp→adv v	np→vp n	pp→np p	vp→pp v s→pp v s→adv vp
2. 走る		v→走る	np→v n	pp→np p	vp→pp v s→pp v
3. 一郎	<ul style="list-style-type: none"> ■ (1) s→pp v ■ (2) s→adv vp 		n→一郎	pp→n p	vp→pp v s→pp v
4. を	<ul style="list-style-type: none"> ■ (3) vp→pp v ■ (4) vp→adv v 			p→を	
5. 見た	<ul style="list-style-type: none"> ■ (5) np→vp n ■ (6) np→v n ■ (7) pp→np p ■ (8) pp→n p 	<ul style="list-style-type: none"> ■ (9) adv→急いで ■ (10) n→一郎 ■ (11) p→を ■ (12) v→走る ■ (13) v→見る 			v→見た

CYK構文解析表(完成！)

1. 急いで 2. 走る 3. 一郎 4. を 5. 見た

1. 急いで	adv→急いで	vp→adv v	np→vp n	pp→np p	vp→pp v s→pp v s→adv vp
2. 走る		v→走る	np→v n	pp→np p	vp→pp v s→pp v
3. 一郎			n→一郎	pp→n p	vp→pp v s→pp v
4. を				p→を	
5. 見た					v→見た

CYK構文解析表 → 構文木 (s→pp v の構文木)

1. 急いで 2. 走る 3. 一郎 4. を 5. 見た

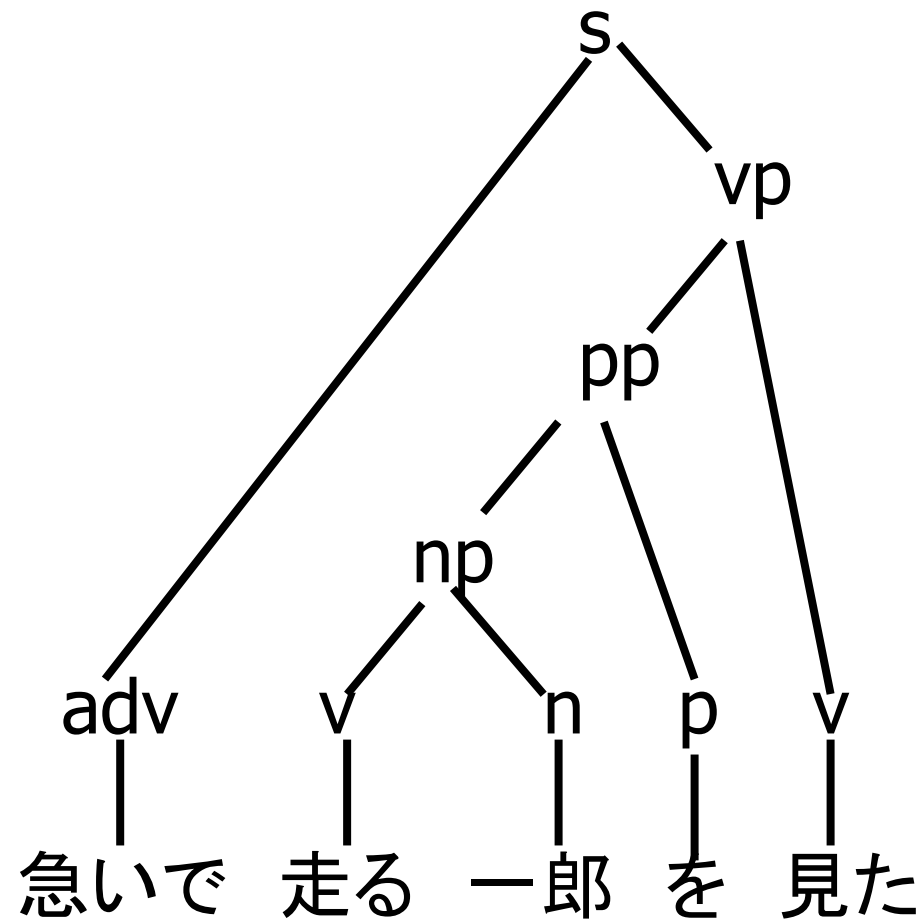
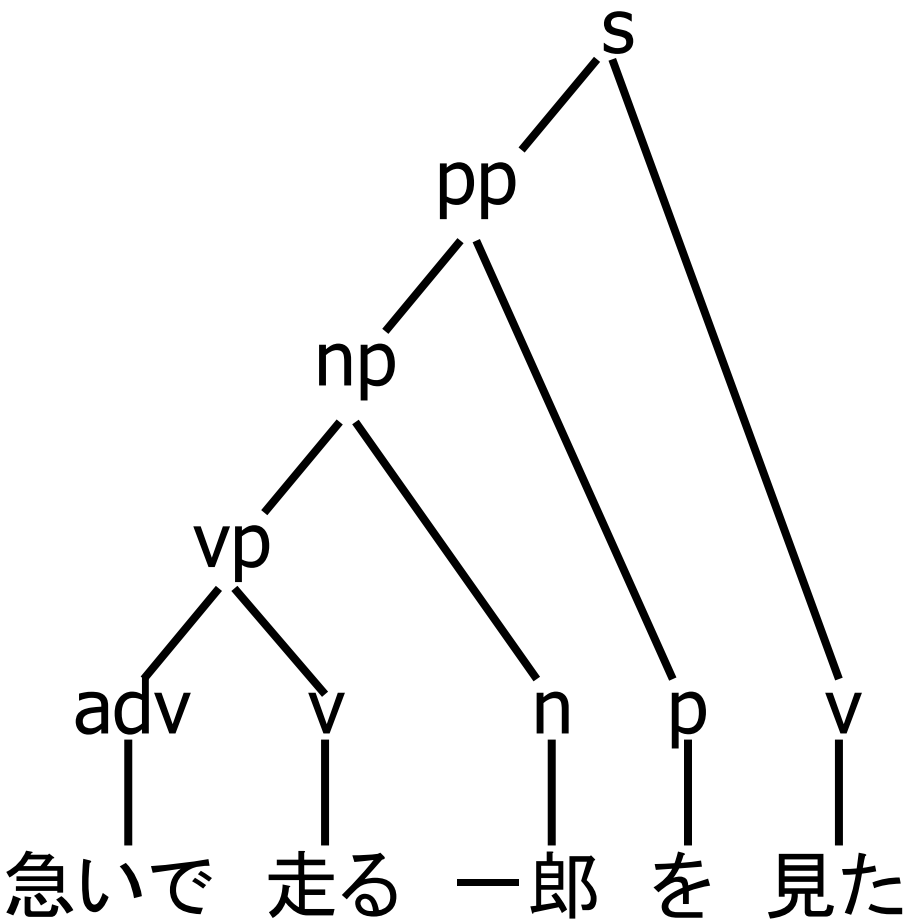
1. 急いで	adv→急いで	vp→adv v	np→vp n	pp→np p	s→pp v
2. 走る		v→走る			
3. 一郎			n→一郎		
4. を				p→を	
5. 見た					v→見た

CYK構文解析表 → 構文木 (s→adv vp の構文木)

1. 急いで 2. 走る 3. 一郎 4. を 5. 見た

1. 急いで	adv→急いで				s→adv vp
2. 走る		v→走る	np→v n	pp→np p	vp→pp v
3. 一郎			n→一郎		
4. を				p→を	
5. 見た					v→見た

文脈自由文法に基づく構文木



練習問題1

- 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
<hr/>					
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

I eat pizza with Nana.

1. I 2. eat 3. pizza 4. with 5. Nana

1. I	N → I				
2. eat		V → eat			
3. pizza			N → pizza		
4. with				P → with	
5. Nana					N → Nana

- S → N V
- S → S PP
- S → V N
- V → V N
- PP → P N
- N → N PP

- N → I
- N → Nana
- N → pizza
- V → eat
- P → with

CYK法で構文解析

I eat pizza with Nana.

1. I 2. eat 3. pizza 4. with 5. Nana

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

- S → N V
- S → S PP
- S → V N
- V → V N
- PP → P N
- N → N PP

- N → I
- N → Nana
- N → pizza
- V → eat
- P → with

CYK法で構文解析

I eat pizza with Nana.

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

•	S	→	N V		
•	S	→	S PP	•	N → I
•	S	→	V N	•	N → Nana
•	V	→	V N	•	N → pizza
•	PP	→	P N	•	V → eat
•	N	→	N PP	•	P → with

CYK法で構文解析

I eat pizza with Nana.

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

•	S	→	N V		
•	S	→	S PP	•	N → I
•	S	→	V N	•	N → Nana
•	V	→	V N	•	N → pizza
•	PP	→	P N	•	V → eat
•	N	→	N PP	•	P → with

CYK法で構文解析

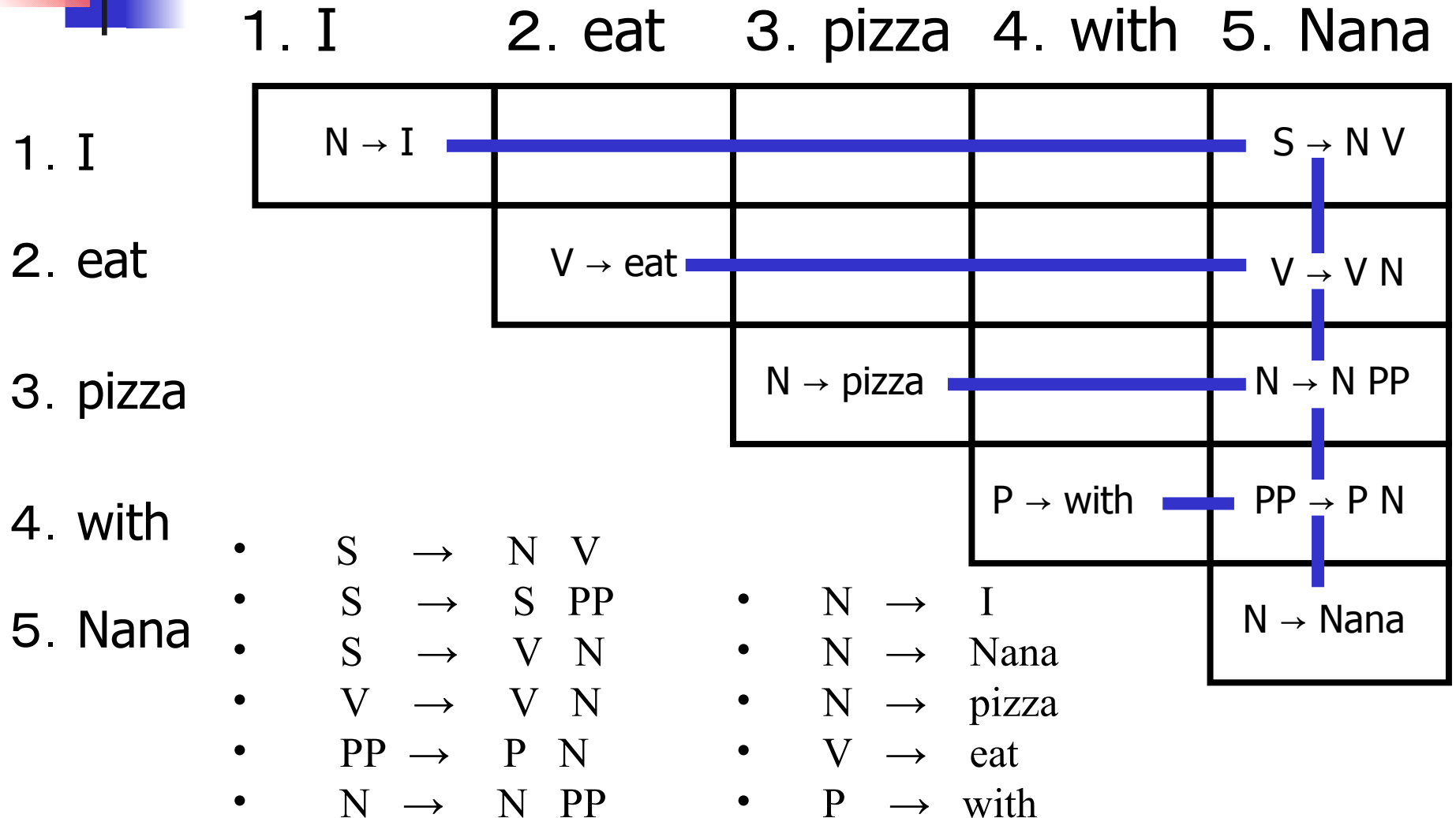
I eat pizza with Nana.

	1. I	2. eat	3. pizza	4. with	5. Nana
1. I	N → I	S → N V	S → N V		S → N V S → S PP
2. eat		V → eat	S → V N V → V N		S → S PP S → V N V → V N
3. pizza			N → pizza		N → N PP
4. with				P → with	PP → P N
5. Nana	<ul style="list-style-type: none"> • S → N V • S → S PP • S → V N • V → V N • PP → P N • N → N PP 		<ul style="list-style-type: none"> • N → I • N → Nana • N → pizza • V → eat • P → with 		N → Nana

CYK法で構文解析

$S \rightarrow N V$ の構文木

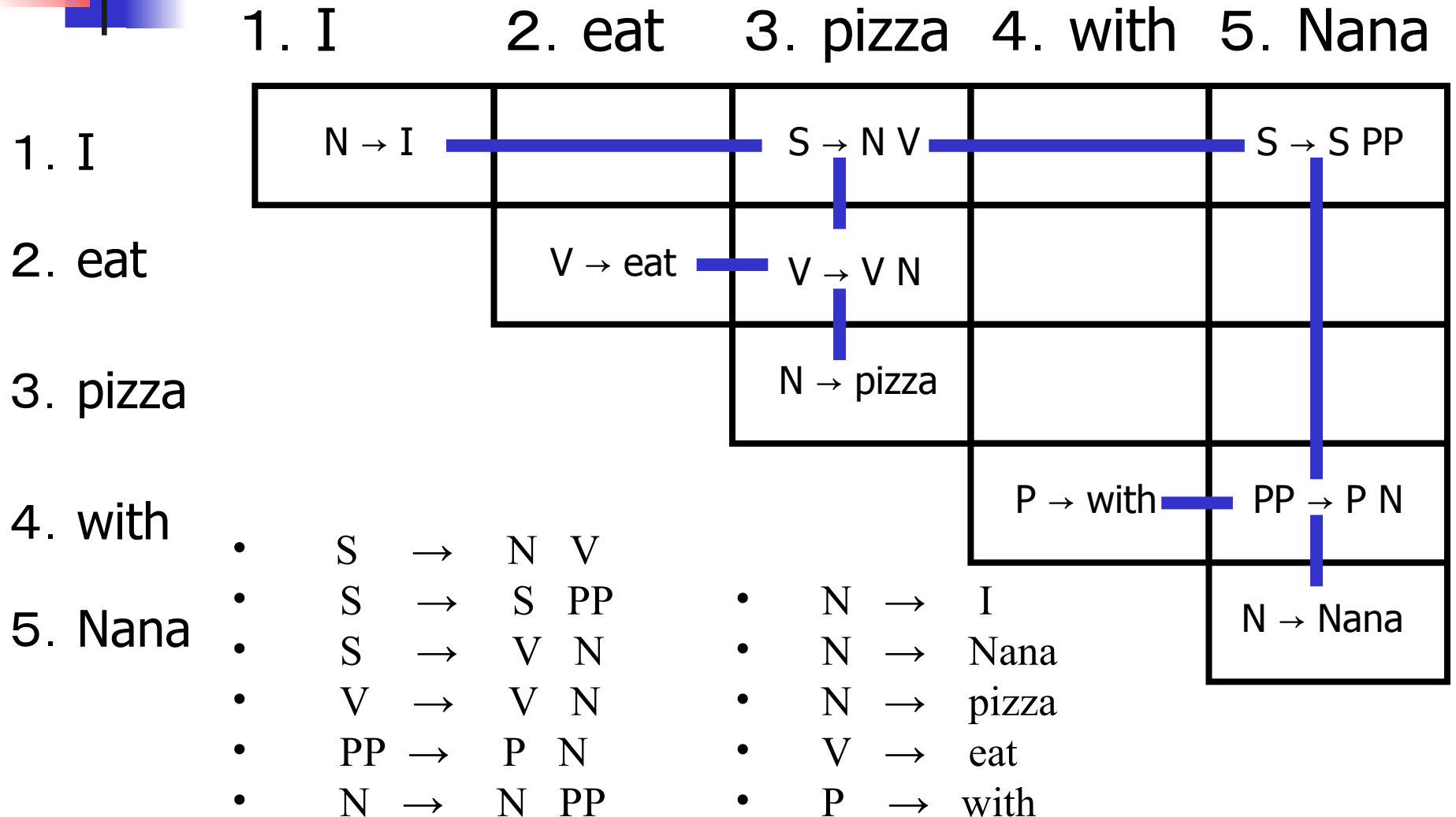
I eat pizza with Nana.



CYK法で構文解析

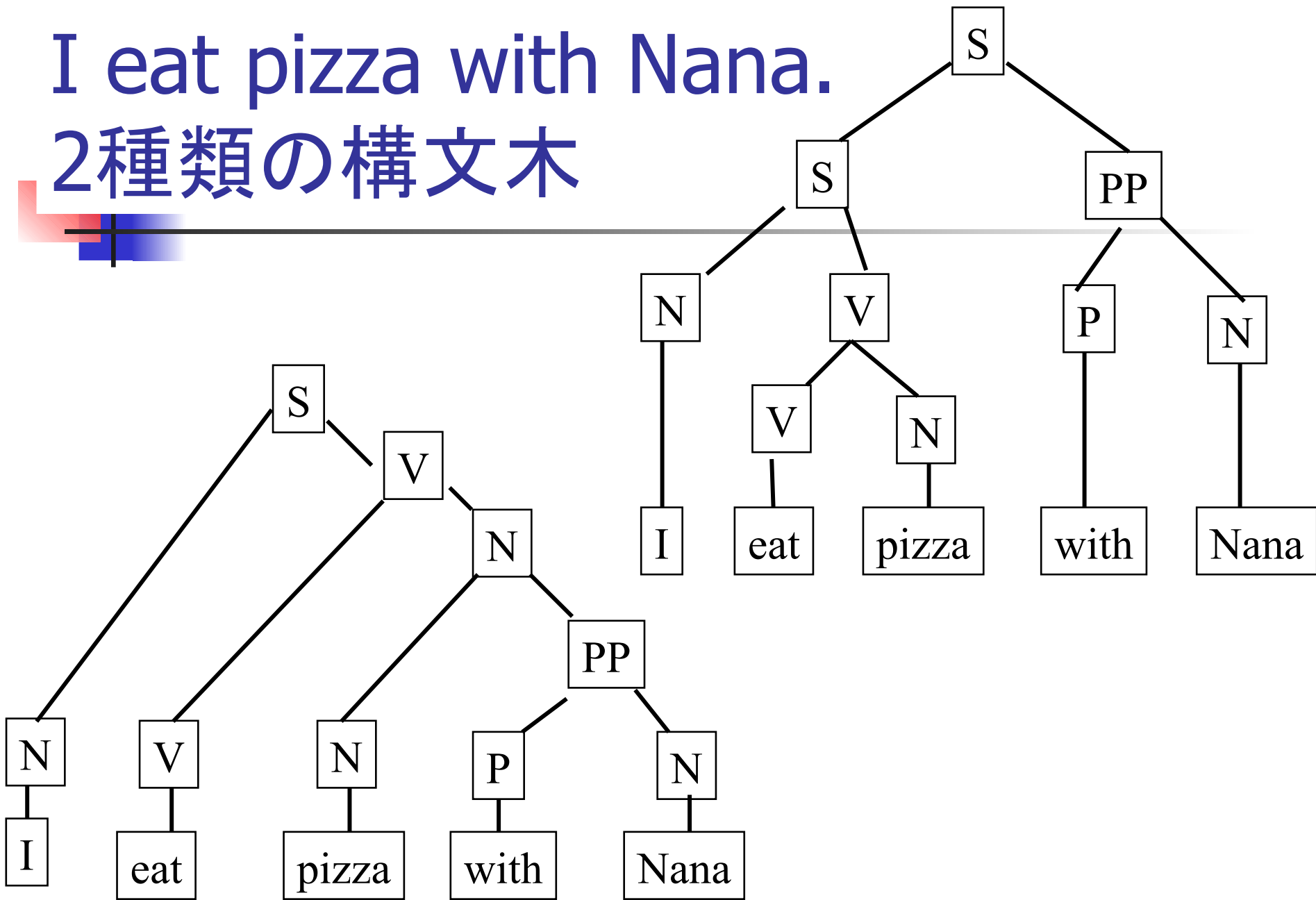
$S \rightarrow S PP$ の構文木

I eat pizza with Nana.



I eat pizza with Nana.

2種類の構文木



CYK法のアルゴリズム

adv→急いで B	vp→adv v A			
	v→走る C	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 $T_{1,2}$ の計算

1. $A \rightarrow a$ 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

$$T_{i,i} = \{A \mid A \rightarrow w_i\}$$

2. $A \rightarrow BC$ 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 $N - n$

$$T_{i,i+n} = \bigcup_{j=1}^n \{A \mid A \rightarrow BC, B \in T_{i,i+j-1}, C \in T_{i+j,i+n}\}$$

3. $S \in T_{1,N}$ であれば, $w_1 \cdots w_N$ 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

$T_{1,2}$ の計算

$i = 1, n = 1, j = 1 (1 \leq j \leq n)$

$$T_{1,2} = A \rightarrow BC, B = T_{1,1+1-1} = T_{1,1}, C = T_{1+1,1+1} = T_{2,2}$$

CYKアルゴリズム $T_{2,4}$ の計算

2. $A \rightarrow BC$ 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 $N - n$

$$T_{i,i+n} = \bigcup_{j=1}^n \{A \mid A \rightarrow BC, B \in T_{i,i+j-1}, C \in T_{i+j,i+n}\}$$

$T_{2,4}$ の計算

$i = 2, n = 2$ ($4 = 2 + n$), $j = 1, 2$ ($1 \leq j \leq n$)

$T_{2,4} = A \rightarrow BC, B = T_{2,2+j-1}, C = T_{2+j,2+2}$

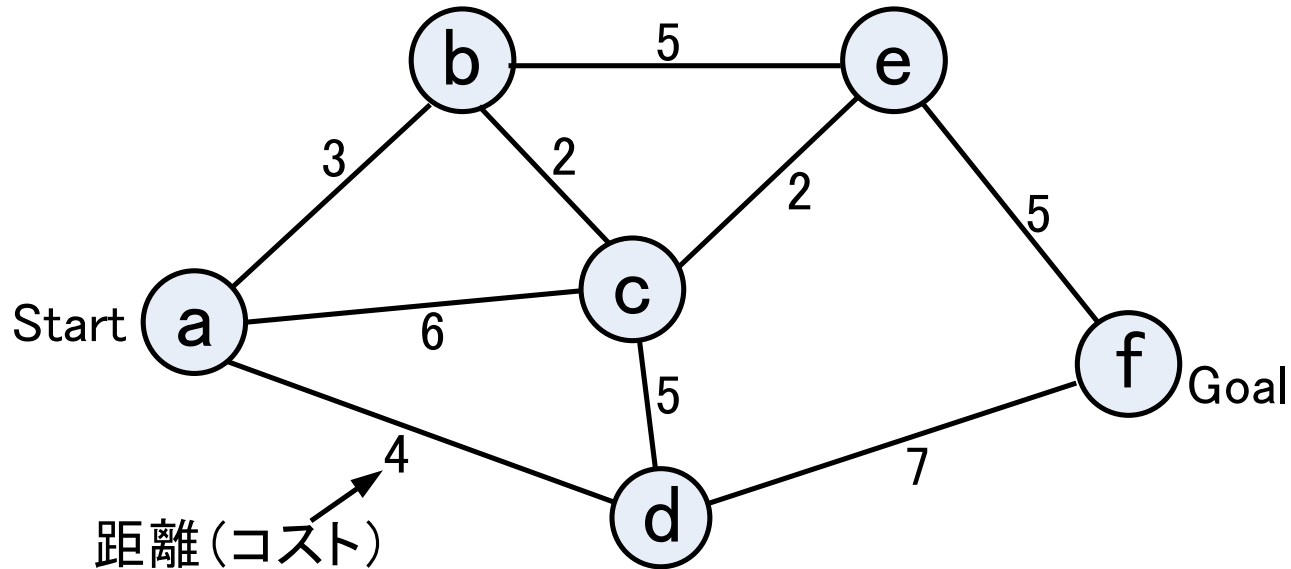
$j = 1$ の時 $T_{2,4} = A \rightarrow BC, B = T_{2,2}, C = T_{3,4}$

$j = 2$ の時 $T_{2,4} = A \rightarrow BC, B = T_{2,3}, C = T_{4,4}$

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

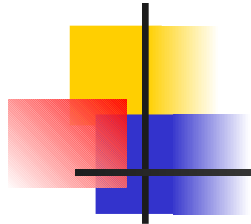
ダイクストラ法 (最短経路問題用 アルゴリズム)

- StartノードからGoalノードへ最小コストで移動したい



- a-e, a-dなどの最短距離をa-fの最短距離を見つけるために利用
- 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

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

- 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)

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
 - アーリー法(Earley parser)
 - LL法