

アルゴリズムとデータ構造III 5回目: 10月30日

構文解析 (トップダウン)チャート法

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

1

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 (チャート法), グラフ (ダイクストラ法)
6	11/06	グラフ (ダイクストラ法, DPマッチング)
7	11/13	グラフ (DPマッチング, ビームサーチ)
8	11/20	グラフ (ビームサーチ, A*アルゴリズム)
9	11/27	中間試験

2

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

3

本日のメニュー

- 構文解析
 - (トップダウン)チャート法
- 動的計画法
 - ダイクストラ法

4

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

5

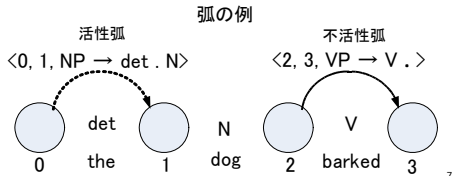
チャート法で使用する用語 1/3

- 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
 - $\langle i, j, C \rightarrow a, \beta \rangle$
 - i は弧の始点, j は弧の終点
 - $.$ 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 a
 - β まで解析できると C

6

チャート法で使用する用語 2/3

- 不活性弧
 - 右辺の最後に・がある弧
- 活性弧
 - 不活性弧以外の弧



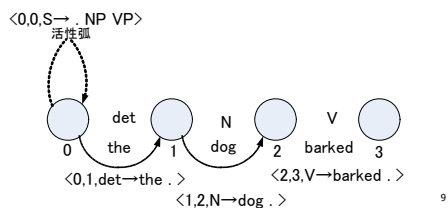
チャート法で使用する用語 3/3

- 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

8

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 $\langle k, k+1, A \rightarrow w_k . \rangle$ をアジェンダに追加
- 活性弧 $\langle 0, 0, S \rightarrow . a \rangle$ をアジェンダの先頭に追加



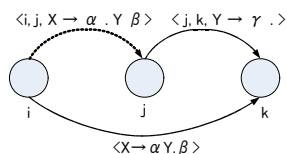
9

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 $\langle i, j, X \rightarrow a . Y \beta \rangle$ 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 (次ページ)
 - 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 $\langle i, k, X \rightarrow a Y . \beta \rangle$ をアジェンダに追加
 - 新しい弧の提案
 - arcが活性弧 $\langle i, j, X \rightarrow a . Y \beta \rangle$ 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

トップダウンチャート法のアルゴリズム

- 弧の結合
 - 例えば
 - $\langle i, j, X \rightarrow a . Y \beta \rangle + \langle j, k, Y \rightarrow \gamma . \rangle$
 - $\rightarrow \langle i, k, X \rightarrow a Y . \beta \rangle$



- 不活性弧 $\langle 0, n, S \rightarrow a . \rangle$ 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
 - $S \rightarrow NP VP$
 - $NP \rightarrow \text{Det } N$
 - $VP \rightarrow V$
 - $VP \rightarrow V NP$
 - $\text{Det} \rightarrow \text{the}$
 - $N \rightarrow \text{dog}$
 - $V \rightarrow \text{barked}$

12

The dog barked. 1/27

辞書規則の適用
入力文の各単語 w_i について、
不活性弧 $\langle k, k+1, A \rightarrow w_i, \cdot \rangle$ 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
 . Det \rightarrow the
 . N \rightarrow dog
 . V \rightarrow barked

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

辞書規則をアジェンダにpush

The dog barked. 2/27

活性弧 $\langle 0, 0, S \rightarrow \cdot, \alpha \rangle$ 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
 $\langle 0, 0, S \rightarrow \cdot, \text{NP VP} \rangle$
 $\langle 0, 1, \text{Det} \rightarrow \text{the}, \cdot \rangle$
 $\langle 1, 2, \text{N} \rightarrow \text{dog}, \cdot \rangle$
 $\langle 2, 3, \text{V} \rightarrow \text{barked}, \cdot \rangle$

$\langle 0, 0, S \rightarrow \cdot, \text{NP VP} \rangle$ 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)

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

新しい活性弧 $\langle 0, 0, S \rightarrow \cdot, \text{NP VP} \rangle$ 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 $\langle i, j, X \rightarrow \alpha, Y \beta \rangle$ 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 $\langle i, k, X \rightarrow \alpha Y, \beta \gamma \rangle$ 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
 $\langle 0, 1, \text{Det} \rightarrow \text{the}, \cdot \rangle$
 $\langle 1, 2, \text{N} \rightarrow \text{dog}, \cdot \rangle$
 $\langle 2, 3, \text{V} \rightarrow \text{barked}, \cdot \rangle$

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 $\langle i, j, X \rightarrow \alpha Y, \beta \gamma \rangle$ 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

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

$\langle 0, 0, S \rightarrow \cdot, \text{NP VP} \rangle$ と $\langle 0, 0, \text{NP} \rightarrow \cdot, \text{Det N} \rangle$

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

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

$\langle 0, 0, S \rightarrow \cdot, \text{NP VP} \rangle$ と $\langle 0, 0, \text{NP} \rightarrow \cdot, \text{Det N} \rangle$

The dog barked. 7/27

文法 (の一部)
 . S → NP VP
 . NP → Det N
 . VP → V
 . VP → V NP

弧の結合
 arcが活性弧 <ij,X-a.Yβ> のとき、
 arcの右にある不活性弧 <j,k,Y-γ> を探し、結合する
 結合してできた新しい弧 <i,k,X-aY.β> をアジェンダに追加

チャート
 <Det → the .>
 Det (0) → the (1) → dog (2) → barked (3)
 N (1) → dog (2) → barked (3)
 V (2) → barked (3)

アジェンダ
 <0,1,Det-the.>
 <1,2,N-dog.>
 <2,3,V-barked.>

アジェンダ
 <0,0,S → . NP VP>
 <NP → Det . N>

<0,0,NP → . Det N> と <0,1,Det-the.> を結合して <NP → Det . N> を得る。
 <NP → Det . N> をアジェンダにpush

19

The dog barked. 8/27

文法 (の一部)
 . S → NP VP
 . NP → Det N
 . VP → V
 . VP → V NP

新しい弧の提案
 arcが活性弧 <ij,X-a.Yβ> のとき、
 Yを左辺とする規則 Y → γ (辞書規則を除く) があれば、
 新しい活性弧 <j,i,Y-γ> を作ってアジェンダに追加

チャート
 <Det → the .>
 Det (0) → the (1) → dog (2) → barked (3)
 N (1) → dog (2) → barked (3)
 V (2) → barked (3)

アジェンダ
 <0,1,NP-Det . N>
 <1,2,N-dog .>
 <2,3,V-barked .>

アジェンダ
 <0,0,S → . NP VP>
 <NP → Det . N>

規則 Y → γ がない → 何もしない

20

The dog barked. 9/27

文法 (の一部)
 . S → NP VP
 . NP → Det N
 . VP → V
 . VP → V NP

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)

チャート
 <Det → the .>
 Det (0) → the (1) → dog (2) → barked (3)
 N (1) → dog (2) → barked (3)
 V (2) → barked (3)

アジェンダ
 <0,1,NP-Det . N>
 <1,2,N-dog .>
 <2,3,V-barked .>

アジェンダ
 <0,0,S → . NP VP>
 <NP → Det . N>

21

The dog barked. 10/27

文法 (の一部)
 . S → NP VP
 . NP → Det N
 . VP → V
 . VP → V NP

弧の結合
 arcが活性弧 <ij,X-a.Yβ> のとき、
 arcの右にある不活性弧 <j,k,Y-γ> を探し、結合する
 結合してできた新しい弧 <i,k,X-aY.β> をアジェンダに追加

チャート
 <Det → the .>
 Det (0) → the (1) → dog (2) → barked (3)
 N (1) → dog (2) → barked (3)
 V (2) → barked (3)

アジェンダ
 <1,2,N-dog .>
 <2,3,V-barked .>

アジェンダ
 <0,1,NP-Det . N>
 <0,2,NP-Det N .>
 <2,3,V-barked .>

<NP-Det . N> と <N-dog .> を結合して <NP-Det N .> を得る。
 <NP-Det N .> をアジェンダにpush

22

The dog barked. 11/27

文法 (の一部)
 . S → NP VP
 . NP → Det N
 . VP → V
 . VP → V NP

新しい弧の提案
 arcが活性弧 <ij,X-a.Yβ> のとき、
 Yを左辺とする規則 Y → γ (辞書規則を除く) があれば、
 新しい活性弧 <j,i,Y-γ> を作ってアジェンダに追加

チャート
 <Det → the .>
 Det (0) → the (1) → dog (2) → barked (3)
 N (1) → dog (2) → barked (3)
 V (2) → barked (3)

アジェンダ
 <0,2,NP-Det N .>
 <2,3,V-barked .>

アジェンダ
 <NP → det N .>
 <NP → Det . N>

規則 Y → γ がない → 何もしない

23

The dog barked. 12/27

文法 (の一部)
 . S → NP VP
 . NP → Det N
 . VP → V
 . VP → V NP

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)

チャート
 <Det → the .>
 Det (0) → the (1) → dog (2) → barked (3)
 N (1) → dog (2) → barked (3)
 V (2) → barked (3)

アジェンダ
 <0,2,NP-Det N .>
 <2,3,V-barked .>

アジェンダ
 <0,0,S → . NP VP>
 <0,2,S → NP . VP>

24

The dog barked. 13/27

文法 (の一部)
 . S → NP VP
 . NP → Det N
 . VP → V
 . VP → V NP

弧の結合
 arcが不活性弧 <i,j,Y-v.> のとき、
 arcの左にある活性弧 <k,j,X-a.Yβ> を探し、結合する
 結合してできた新しい弧 <i,k,X-a.Y.β> をアジェンダに追加

新しい弧の提案
 arcが活性弧 <i,j,X-a.Yβ> のとき、
 Yを左辺とする規則 Y → v (辞書規則を除く) があれば、新しい活性弧 <j,j,Y-v.> を作ってアジェンダに追加

チャート

アジェンダ
 <0,0,S → . NP VP>
 <0,2,S → NP . VP>
 <2,3,V → barked . >

<NP → Det N .> と <S → . NP VP> を結合して <S → NP . VP> を得る。
 <S → NP . VP> をアジェンダに push

25

The dog barked. 14/27

文法 (の一部)
 . S → NP VP
 . NP → Det N
 . VP → V
 . VP → V NP

弧の結合
 arcが不活性弧 <i,j,Y-v.> のとき、
 arcの右にある不活性弧 <j,k,Y-v.> を探し、結合する
 結合してできた新しい弧 <i,k,X-a.Y.β> をアジェンダに追加

新しい弧の提案
 arcが活性弧 <i,j,X-a.Yβ> のとき、
 Yを左辺とする規則 Y → v (辞書規則を除く) があれば、新しい活性弧 <j,j,Y-v.> を作ってアジェンダに追加

チャート

アジェンダ
 <0,0,S → . NP VP>
 <0,2,S → NP . VP>
 <2,3,V → barked . >

Arcは不活性弧 → 何もしない

26

The dog barked. 15/27

文法 (の一部)
 . S → NP VP
 . NP → Det N
 . VP → V
 . VP → V NP

弧の結合
 arcが不活性弧 <i,j,Y-v.> のとき、
 arcの右にある不活性弧 <j,k,Y-v.> を探し、結合する
 結合してできた新しい弧 <i,k,X-a.Y.β> をアジェンダに追加

新しい弧の提案
 arcが活性弧 <i,j,X-a.Yβ> のとき、
 Yを左辺とする規則 Y → v (辞書規則を除く) があれば、新しい活性弧 <j,j,Y-v.> を作ってアジェンダに追加

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)

チャート

アジェンダ
 <0,0,S → . NP VP>
 <0,2,S → NP . VP>
 <2,3,V → barked . >

27

The dog barked. 16/27

文法 (の一部)
 . S → NP VP
 . NP → Det N
 . VP → V
 . VP → V NP

弧の結合
 arcが不活性弧 <i,j,Y-v.> のとき、
 arcの右にある不活性弧 <j,k,Y-v.> を探し、結合する
 結合してできた新しい弧 <i,k,X-a.Y.β> をアジェンダに追加

新しい弧の提案
 arcが活性弧 <i,j,X-a.Yβ> のとき、
 Yを左辺とする規則 Y → v (辞書規則を除く) があれば、新しい活性弧 <j,j,Y-v.> を作ってアジェンダに追加

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)

チャート

アジェンダ
 <0,0,S → . NP VP>
 <0,2,S → NP . VP>
 <2,3,V → barked . >

ないので何もしない

28

The dog barked. 17/27

文法 (の一部)
 . S → NP VP
 . NP → Det N
 . VP → V
 . VP → V NP

弧の結合
 arcが不活性弧 <i,j,Y-v.> のとき、
 arcの右にある不活性弧 <j,k,Y-v.> を探し、結合する
 結合してできた新しい弧 <i,k,X-a.Y.β> をアジェンダに追加

新しい弧の提案
 arcが活性弧 <i,j,X-a.Yβ> のとき、
 Yを左辺とする規則 Y → v (辞書規則を除く) があれば、新しい活性弧 <j,j,Y-v.> を作ってアジェンダに追加

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)

チャート

アジェンダ
 <0,0,S → . NP VP>
 <0,2,S → NP . VP>
 <2,2,VP → . V >
 <2,3,V → barked . >

新しい活性弧 <2,2,VP → . V> をアジェンダに push

29

The dog barked. 18/27

文法 (の一部)
 . S → NP VP
 . NP → Det N
 . VP → V
 . VP → V NP

弧の結合
 arcが不活性弧 <i,j,Y-v.> のとき、
 arcの右にある不活性弧 <j,k,Y-v.> を探し、結合する
 結合してできた新しい弧 <i,k,X-a.Y.β> をアジェンダに追加

新しい弧の提案
 arcが活性弧 <i,j,X-a.Yβ> のとき、
 Yを左辺とする規則 Y → v (辞書規則を除く) があれば、新しい活性弧 <j,j,Y-v.> を作ってアジェンダに追加

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)

チャート

アジェンダ
 <0,0,S → . NP VP>
 <0,2,S → NP . VP>
 <2,2,VP → . V >
 <2,3,V → barked . >

30

The dog barked. 19/27

文法 (の一部)
 . S → NP VP
 . NP → Det N
 . VP → V
 . VP → V NP

弧の結合
 arcが活性弧 <i,j,X→a.Yβ> のとき、
 arcの右にある不活性弧 <j,k,X→aY.β> を探し、結合する
 結合してできた新しい弧 <i,k,X→aY.β> をアジェンダに追加
 チャート

アジェンダ
 <2,3,V→V.>
 <2,3,VP→V.>

アジェンダ
 <2,3,VP→V.>

<0,0,S→.NP VP>
 <0,2,S→NP.VP>
 <2,3,VP→V.>

<VP→.V> + <V→barked.> = <VP→V.>

31

The dog barked. 20/27

文法 (の一部)
 . S → NP VP
 . NP → Det N
 . VP → V
 . VP → V NP

新しい弧の提案
 arcが活性弧 <i,j,X→a.Yβ> のとき、
 arcの左にある活性弧 <k,i,X→a.Yβ> を探し、結合する
 Yを左辺とする規則 Y→γ (辞書規則を除く) があれば、新
 しい活性弧 <j,i,Y→γ> を作ってアジェンダに追加

チャート

アジェンダ
 <2,3,VP→V.>

アジェンダ
 <2,3,VP→V.>

<0,0,S→.NP VP>
 <0,2,S→NP.VP>
 <2,3,VP→V.>

Y→γがないので何もしない

32

The dog barked. 21/27

文法 (の一部)
 . S → NP VP
 . NP → Det N
 . VP → V
 . VP → V NP

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)

チャート

アジェンダ
 <2,3,VP→V.>

アジェンダ
 <2,3,VP→V.>

<0,0,S→.NP VP>
 <0,2,S→NP.VP>
 <2,3,VP→V.>

33

The dog barked. 22/27

文法 (の一部)
 . S → NP VP
 . NP → Det N
 . VP → V
 . VP → V NP

弧の結合
 arcが不活性弧 <i,j,Y→γ.> のとき、
 arcの左にある活性弧 <k,i,X→a.Yβ> を探し、結合する
 結合してできた新しい弧 <i,k,X→aY.β> をアジェンダに追加

チャート

アジェンダ
 <0,3,S→NP VP.>

アジェンダ
 <0,3,S→NP VP.>

<0,0,S→.NP VP>
 <0,2,S→NP.VP>
 <2,3,VP→V.>

<S→NP.VP> と <VP→V.> を結合して <S→NP VP.> を得る

34

The dog barked. 23/27

文法 (の一部)
 . S → NP VP
 . NP → Det N
 . VP → V
 . VP → V NP

新しい弧の提案
 arcが活性弧 <i,j,X→a.Yβ> のとき、
 Yを左辺とする規則 Y→γ (辞書規則を除く) があれば、新
 しい活性弧 <j,i,Y→γ> を作ってアジェンダに追加

チャート

アジェンダ
 <0,3,S→NP VP.>

アジェンダ
 <0,3,S→NP VP.>

<0,0,S→.NP VP>
 <0,2,S→NP.VP>
 <2,3,VP→V.>

arcは不活性弧なので何もしない

35

The dog barked. 24/27

文法 (の一部)
 . S → NP VP
 . NP → Det N
 . VP → V
 . VP → V NP

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)

チャート

アジェンダ
 <0,3,S→NP VP.>

アジェンダ
 <0,3,S→NP VP.>

<0,0,S→.NP VP>
 <0,2,S→NP.VP>
 <2,3,VP→V.>

36

The dog barked. 25/27

文法 (の一部)
 . S → NP VP
 . NP → Det N
 . VP → V
 . VP → V NP

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

新しい弧の提案
 arcが活性弧 $\langle i,j,X-\alpha.Y\beta \rangle$ 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 $\langle i,j,Y-\gamma \rangle$ を作ってアジェンダに追加

チャート

アジェンダ

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

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

37

The dog barked. 26/27

文法 (の一部)
 . S → NP VP
 . NP → Det N
 . VP → V
 . VP → V NP

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

新しい弧の提案
 arcが活性弧 $\langle i,j,X-\alpha.Y\beta \rangle$ 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 $\langle i,j,Y-\gamma \rangle$ を作ってアジェンダに追加

チャート

アジェンダ

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

Arcは不活性弧なので何もしない

38

The dog barked. 27/27

文法 (の一部)
 . S → NP VP
 . NP → Det N
 . VP → V
 . VP → V NP

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)

チャート

アジェンダ

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

アジェンダになにも無いので処理終了

39

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

40

チャート法の特徴

- 計算量は $O(n^3)$
- 任意の文脈自由文法が扱える
 - A → BCDも、A → 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

41

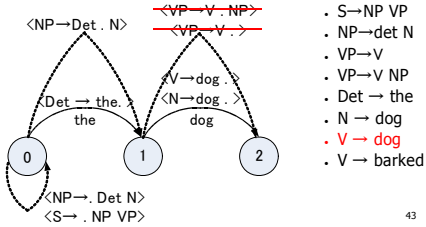
縦型探索と横型探索

- 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どうか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ます
- 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

42

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



43

グラフ

動的計画法 (Dynamic Programming)

- 解くのに時間のかかる問題を、複数の部分問題に分割することで効率的に解くアルゴリズム
- 例
 - ダイクストラ法
 - DPマッチング
 - CYK法

44

ダイクストラ法

- 動的計画法を最短経路問題に適用
- 最適経路中の部分経路もまた最適経路になっている

45

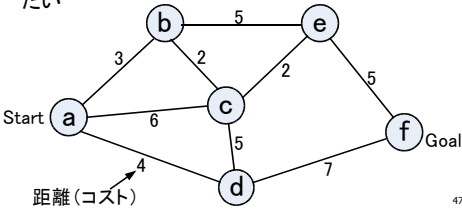
身近な最短経路問題

- 道路の経路探索 (カーナビなど)

46

ダイクストラ法 (最短経路問題用アルゴリズム)

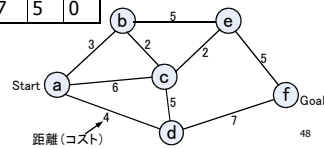
- StartノードからGoalノードへ最小コストで移動したい



47

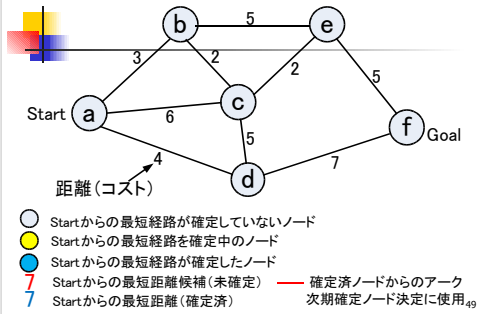
隣接行列 (コスト付き)

	a	b	c	d	e	f
a	0	3	6	4	-	-
b	3	0	2	-	5	-
c	6	2	0	5	2	-
d	4	-	5	0	-	7
e	-	5	2	-	0	5
f	-	-	-	7	5	0

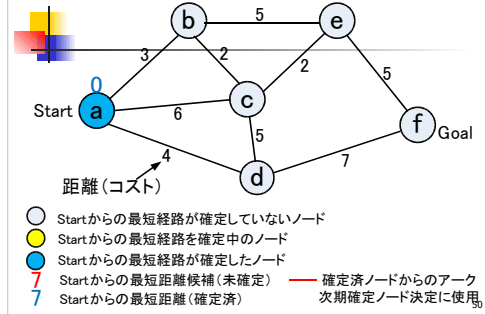


48

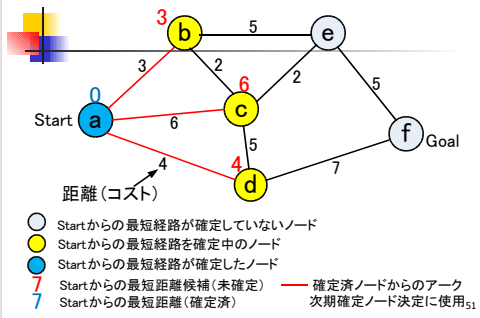
ダイクストラ法 動作例 1/13



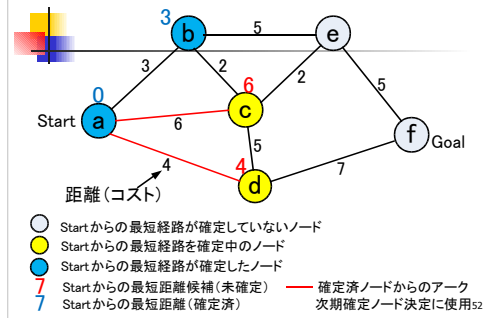
ダイクストラ法 動作例 2/13



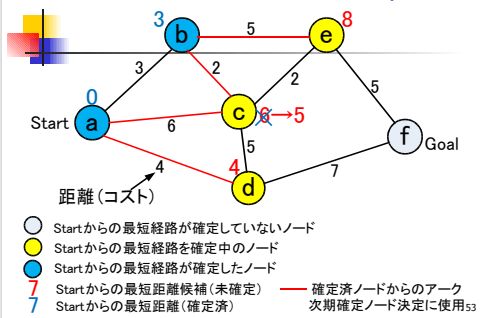
ダイクストラ法 動作例 3/13



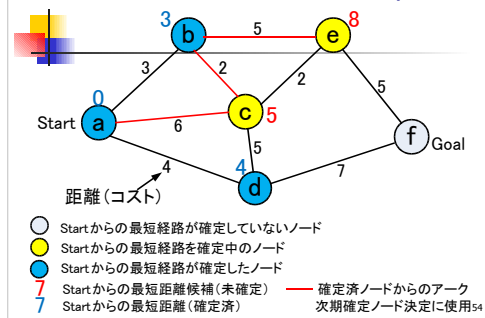
ダイクストラ法 動作例 4/13



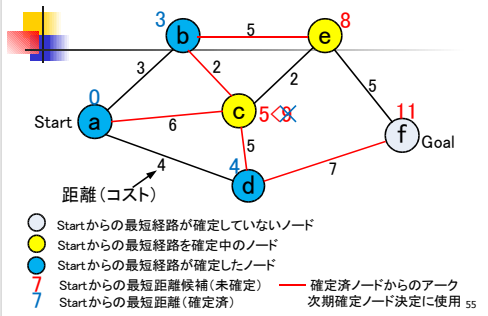
ダイクストラ法 動作例 5/13



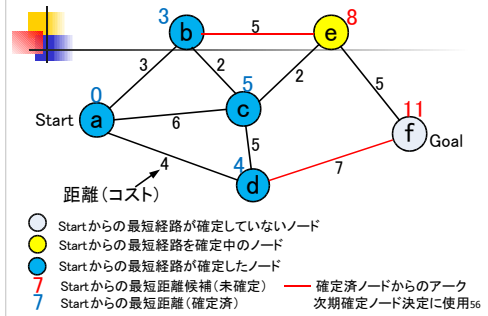
ダイクストラ法 動作例 6/13



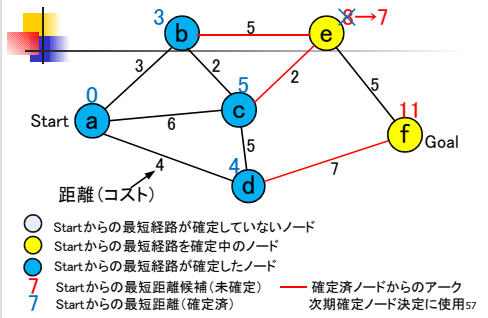
ダイクストラ法 動作例 7/13



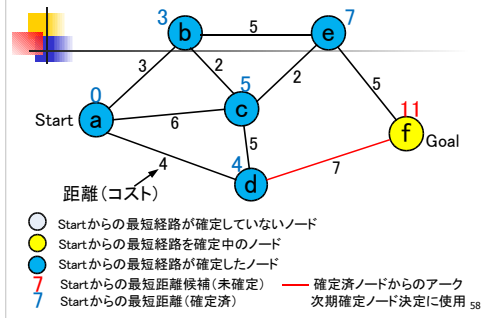
ダイクストラ法 動作例 8/13



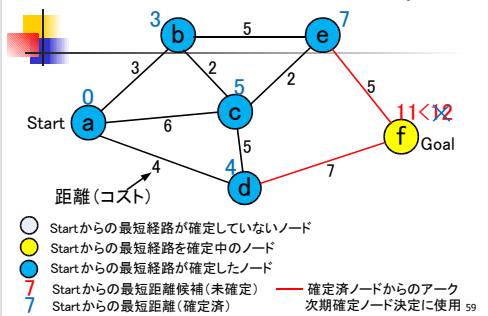
ダイクストラ法 動作例 9/13



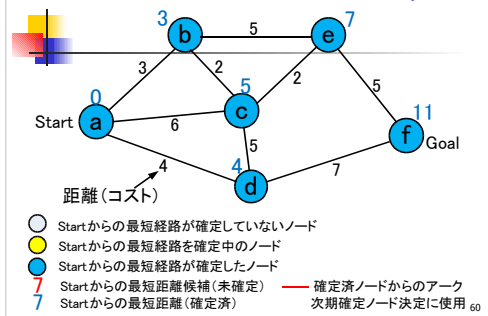
ダイクストラ法 動作例 10/13



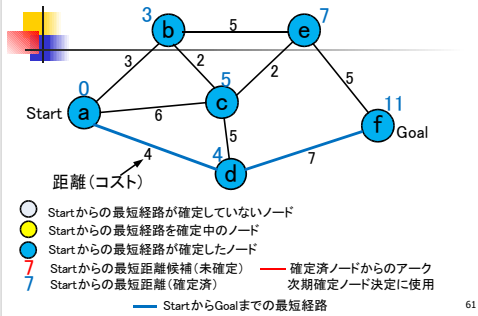
ダイクストラ法 動作例 11/13



ダイクストラ法 動作例 12/13



ダイクストラ法 動作例 13/13



61

ダイクストラ法 アルゴリズム

1. 初期化: スタートノードの値 (最小コスト候補) を 0, 他のノードの値を無限大に設定
2. 未確定ノードが無くなるまで以下のループを繰り返す.
 1. 確定中ノードのうち, 最小の値を持つノードを見つけ, 確定ノードとする.
 2. 確定ノードからのエッジに対して「確定ノードまでのコスト + エッジのコスト」を計算し, そのノードの現在値より小さければ更新.

62

ダイクストラ法の特徴

- 最短経路の見つけ方
 - ゴールノードから「どこから来たのか」調べ, さかのぼる.
- マイナスのコストを持つエッジは扱えない.
- 特定のノードからの最短距離およびその経路が全てのノードに対して求まる.

63

DPマッチング (例: 文字列の照合)

- 2つの文字列がどのくらい似ているかを調べる.
 - Yamanashi は kamonohashi と takahashi
- 音声認識にも使える
 - 音声を文字列に変換した後, 登録単語と比較
 - (現在主流の) HMM (Hidden Markov Model) に拡張可能
- DNAの比較にも使える
 - A (アデニン), G (グアニン), C (シトシン), T (チミン) の並び方の比較
 - ACTGAGCATT と CTGGACTACG の比較