

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

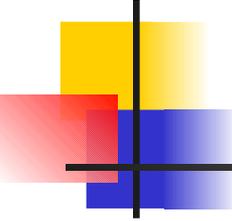
授業資料 <http://ir.cs.yamanashi.ac.jp/~ysuzuki/algorithm3/index.html>

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

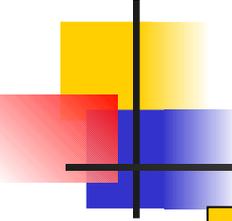
授業の予定(中間試験以降)

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

- 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



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

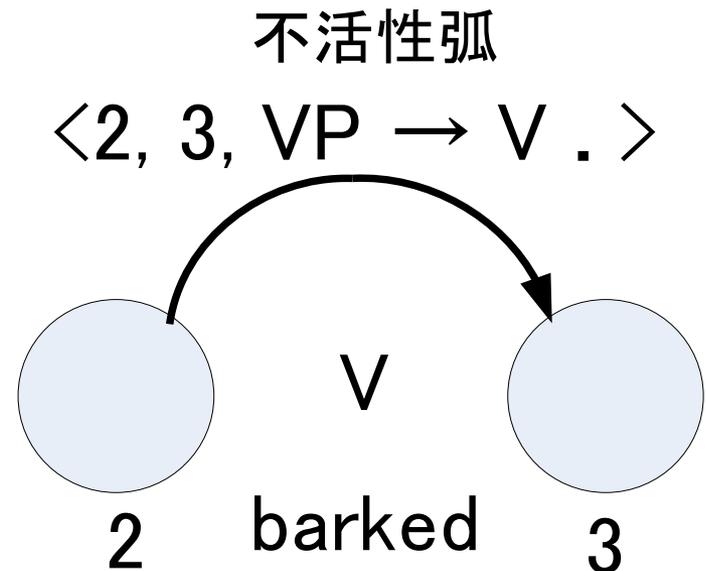
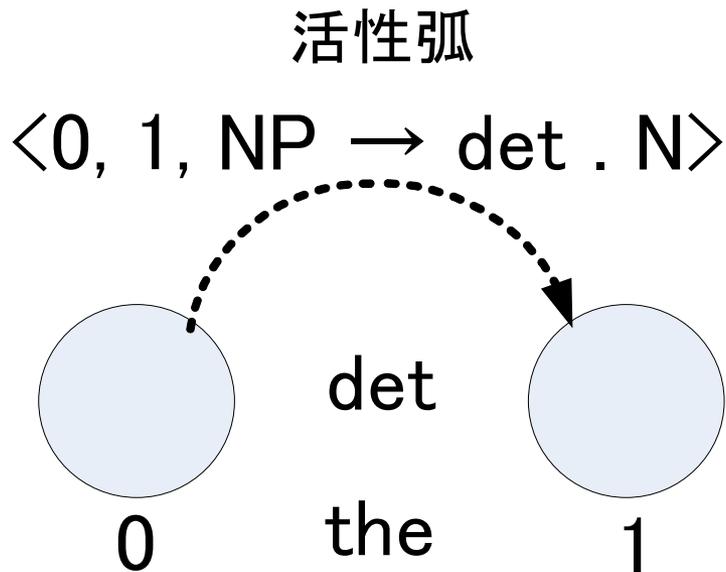
チャート法で使用する用語 1/3

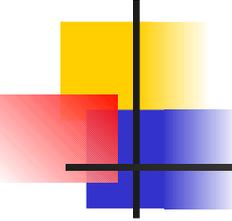
- 節点(ノード)
 - 単語と単語の間に存在する仮想的な点
- 弧(アーク)
 - 節点間を結び、文の部分的な構造を表す
 - $\langle i, j, C \rightarrow \alpha.\beta \rangle$
 - i は弧の始点, j は弧の終点
 - $.$ は解析が終了している位置
 - 節点 i から j まで解析すると α
 - β まで解析できると C

チャート法で使用する用語 2/3

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

弧の例





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
 - チャートに追加するべき弧のリスト

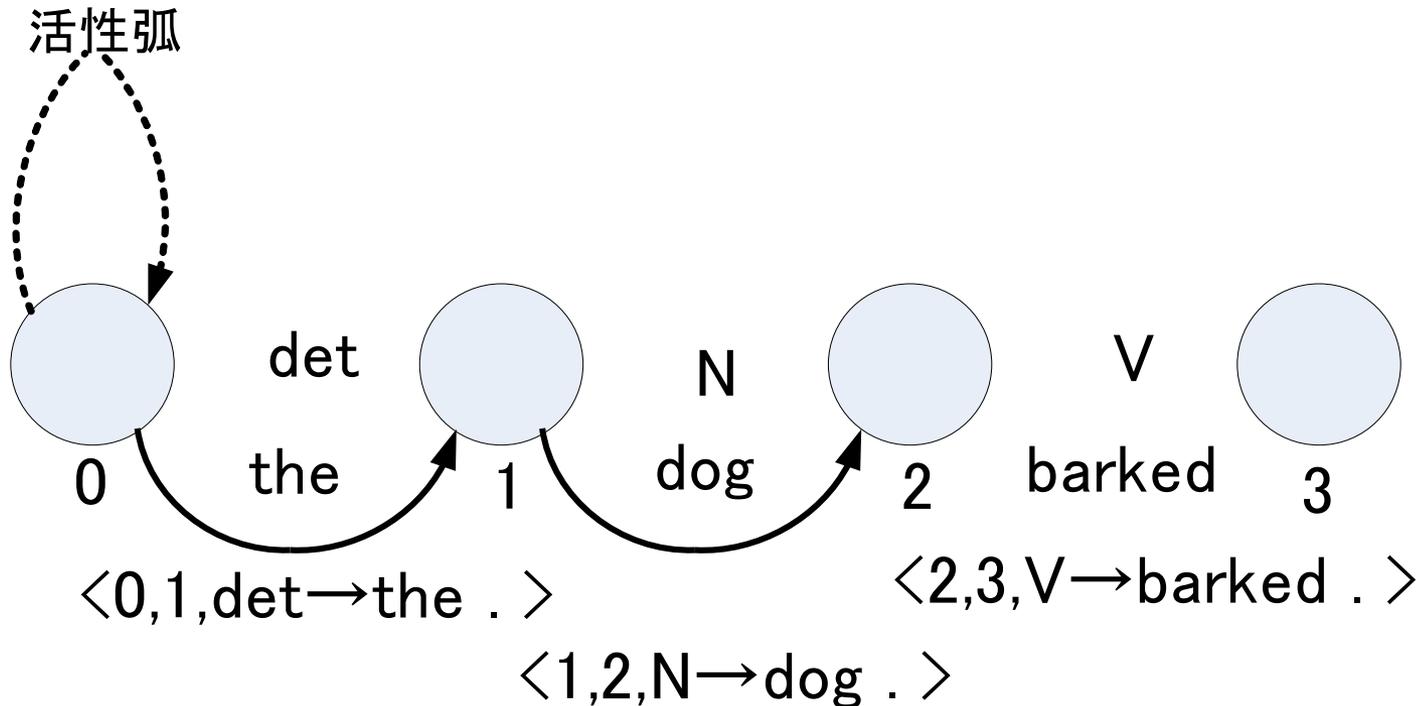
トップダウンチャート法のアルゴリズム(1/2)

■ 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

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



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 $\langle i, k, X \rightarrow aY.\beta \rangle$ 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

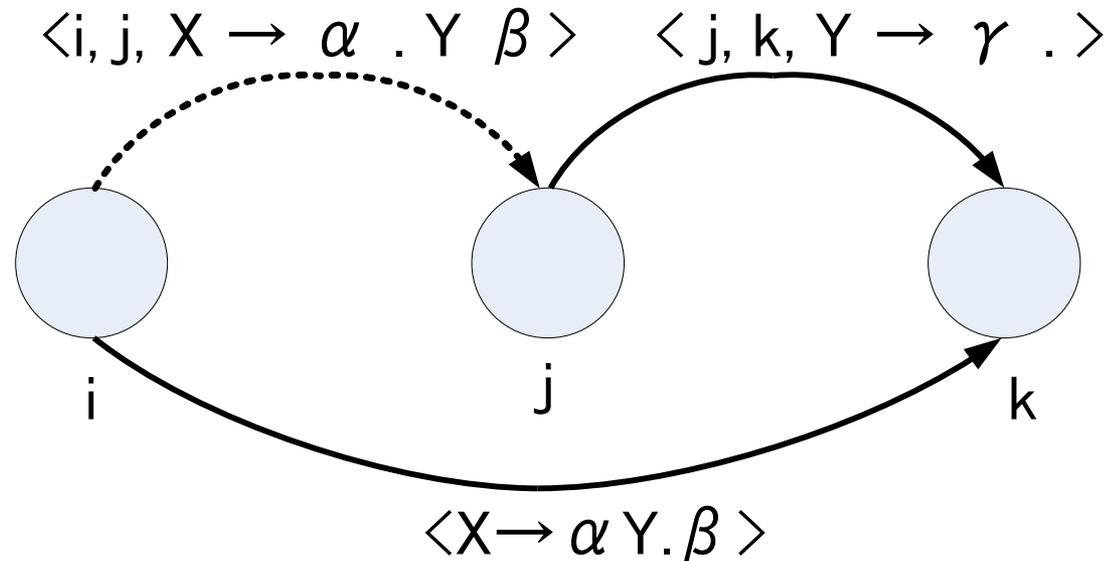
トップダウンチャート法のアルゴリズム

■ 弧の結合

■ 例えば

■ $\langle i, j, X \rightarrow \alpha . Y \beta \rangle + \langle j, k, Y \rightarrow \gamma . \rangle$

■ $\rightarrow \langle i, k, X \rightarrow \alpha Y . \beta \rangle$



■ 不活性弧 $\langle 0, n, S \rightarrow \alpha . \rangle$ 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

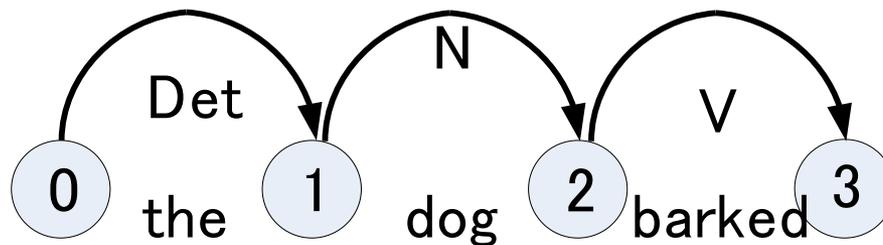
辞書規則の適用

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

チャート



- ### 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

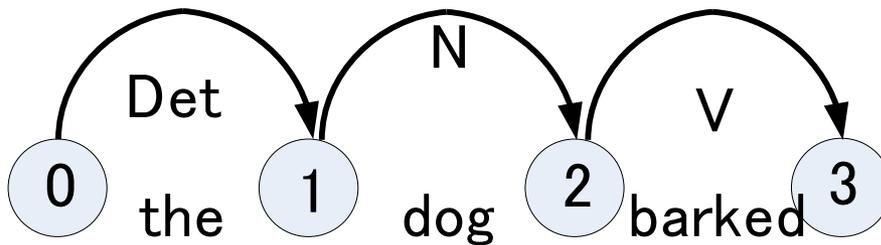
The dog barked. 2/27

文法(の一部)

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

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

チャート



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

アジェンダ

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

The dog barked. 3/27

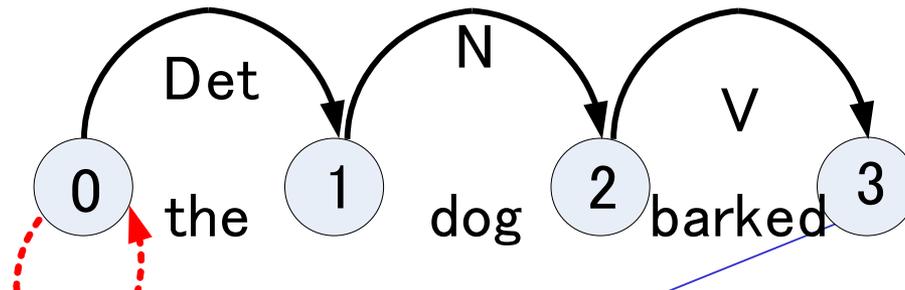
文法(の一部)

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

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

- <0,0,S→ . NP VP>
- <0,1,Det→the . >
- <1,2,N→dog . >
- <2,3,V→barked . >

<0,0,S→ . NP VP>

新しい活性弧<0,0,S→ . NP VP>をアジェンダからチャートにpop

The dog barked. 4/27

文法(の一部)

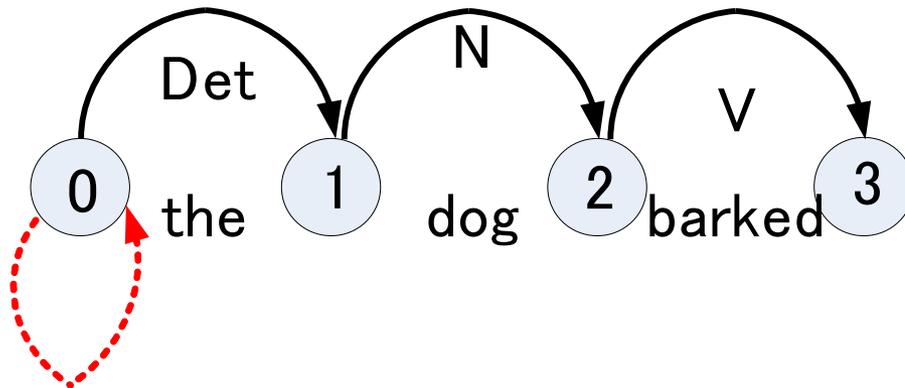
- $S \rightarrow NP VP$
- $NP \rightarrow Det N$
- $VP \rightarrow V$
- $VP \rightarrow V NP$

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

チャート



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

アジェンダ

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

該当無し → 何もしない

The dog barked. 5/27

文法(の一部)

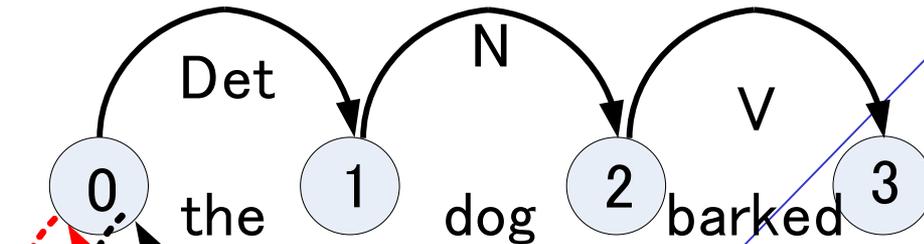
- $S \rightarrow NP VP$
- $NP \rightarrow Det N$
- $VP \rightarrow V$
- $VP \rightarrow V NP$

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

チャート



アジェンダ

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

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

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

The dog barked. 6/27

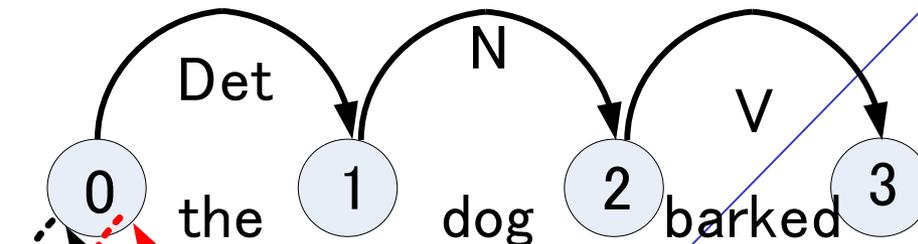
文法(の一部)

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

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

- <0,0,NP→ . Det N>
- <0,1,Det→the . >
- <1,2,N→dog . >
- <2,3,V→barked . >

<0,0,S→ . NP VP>

<0,0,NP→ . Det N>

The dog barked. 7/27

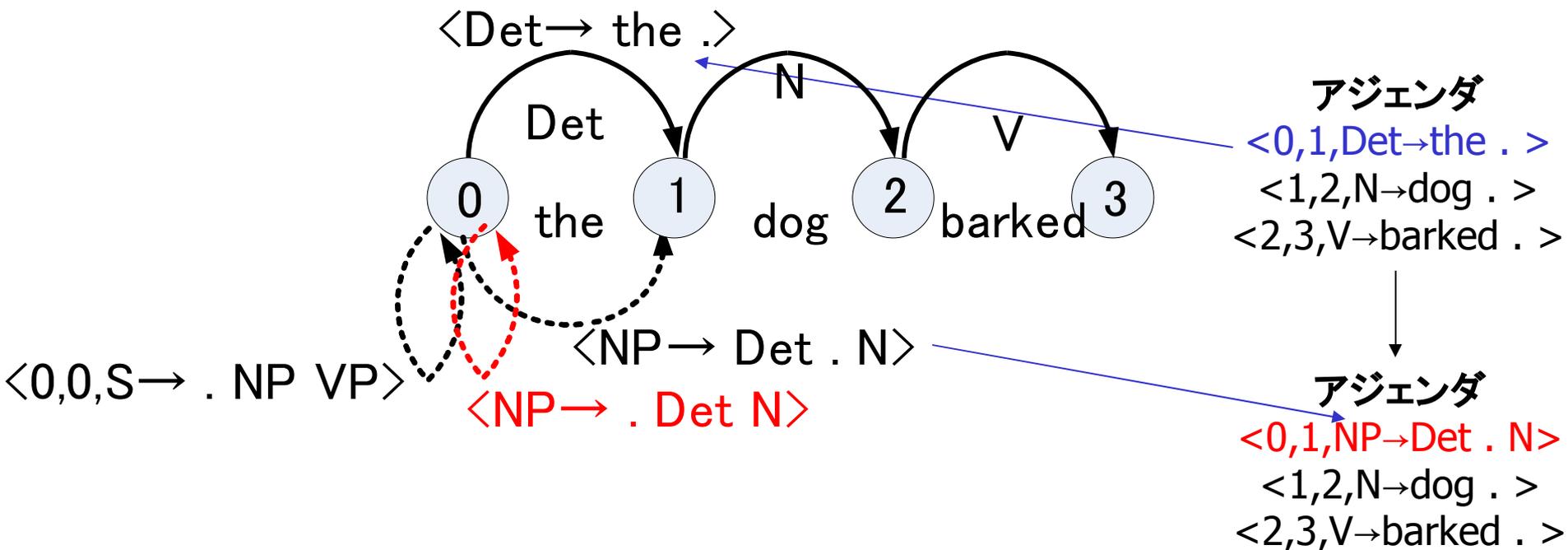
文法(の一部)

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

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

チャート



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

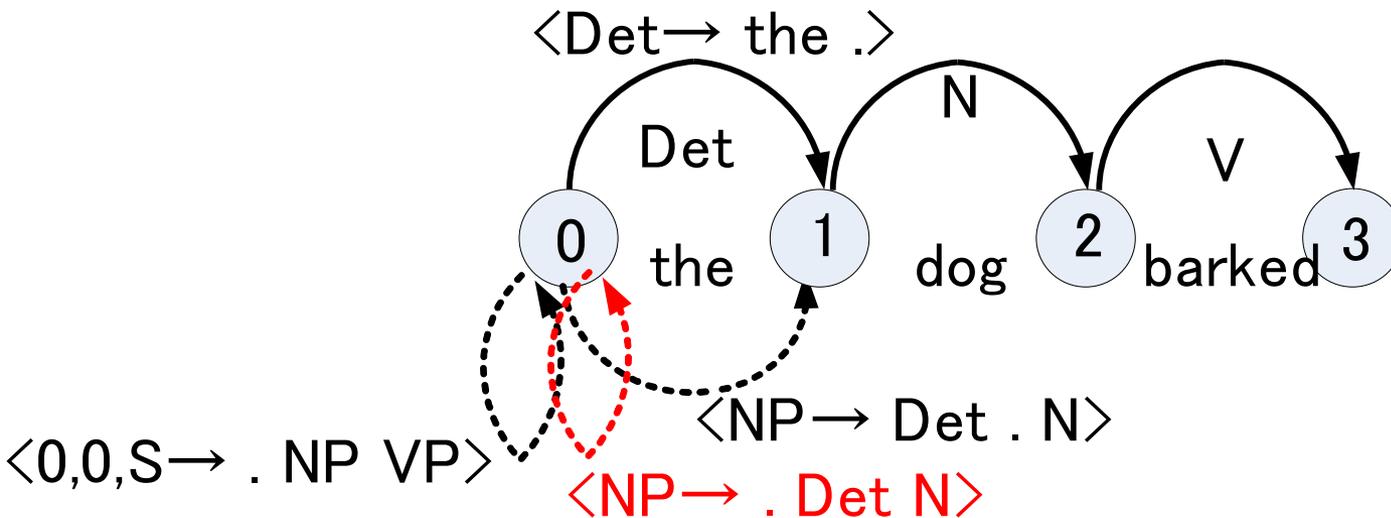
文法(の一部)

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

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

チャート



アジェンダ

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

規則 $Y \rightarrow \gamma$ がない \rightarrow 何もしない

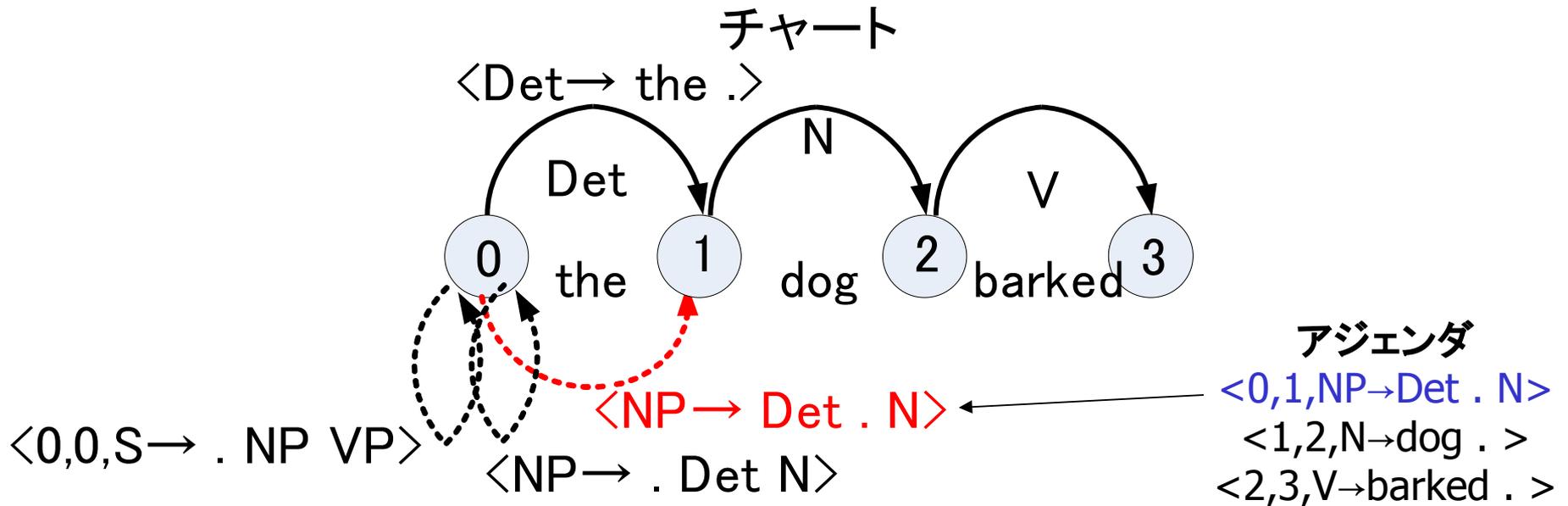
The dog barked. 9/27

文法(の一部)

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

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)



The dog barked. 10/27

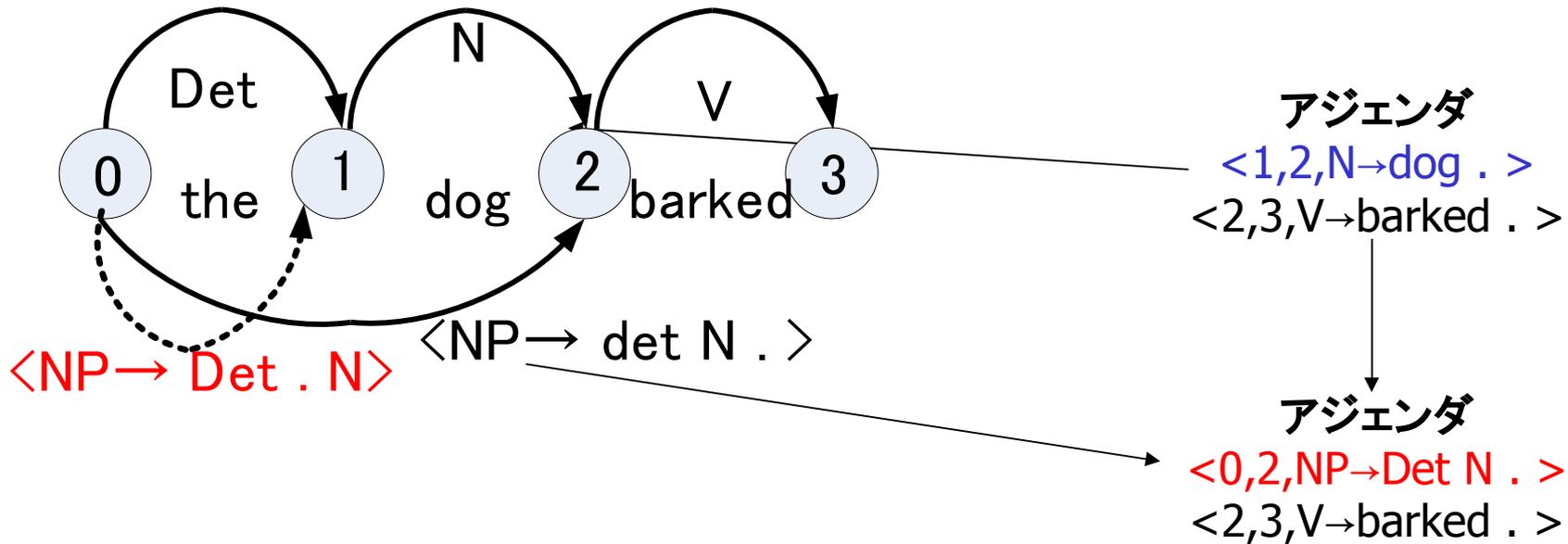
文法(の一部)

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

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

チャート



$\langle NP \rightarrow Det . N \rangle$ と $\langle N \rightarrow \text{dog} . \rangle$ 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

文法(の一部)

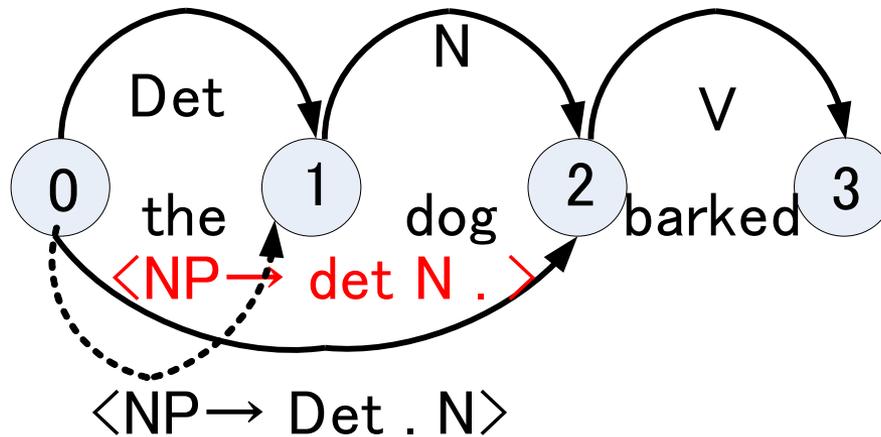
- $S \rightarrow NP VP$
- $NP \rightarrow Det N$
- $VP \rightarrow V$
- $VP \rightarrow V NP$

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

チャート



アジェンダ

- $\langle 0, 2, NP \rightarrow \text{Det } N . \rangle$
- $\langle 2, 3, V \rightarrow \text{barked} . \rangle$

規則 $Y \rightarrow \gamma$ がない \rightarrow 何もしない

The dog barked. 12/27

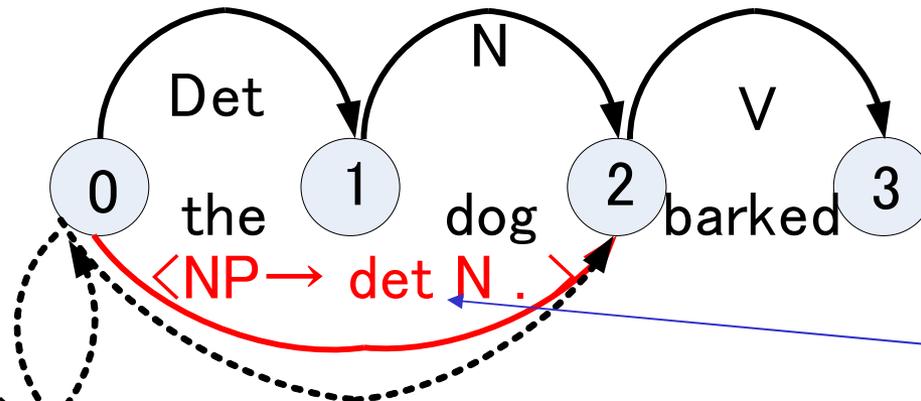
文法(の一部)

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

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

- <0,2,NP→Det N . >
- <2,3,V→barked . >

<0,0,S→ . NP VP>

<0,2,S→ NP . VP>

The dog barked. 13/27

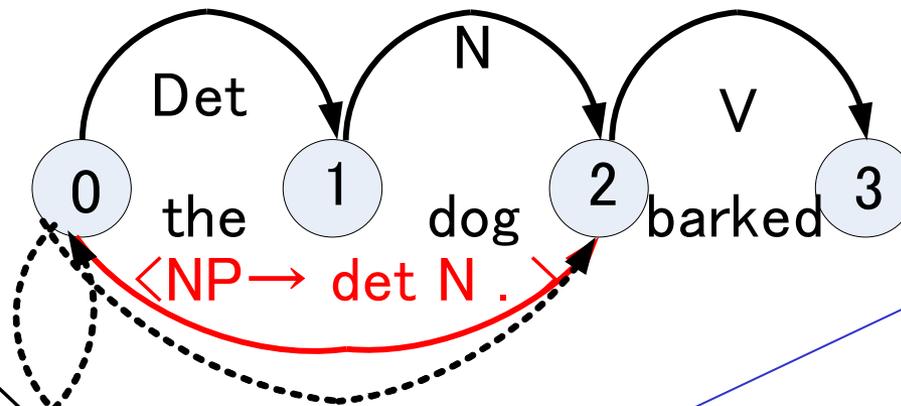
文法(の一部)

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

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 $\langle k, i, X \rightarrow \alpha. Y\beta \rangle$ を探し, 結合する
結合してできた新しい弧 $\langle i, k, X \rightarrow \alpha Y. \beta \rangle$ をアジェンダに追加

チャート



アジェンダ

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

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

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

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

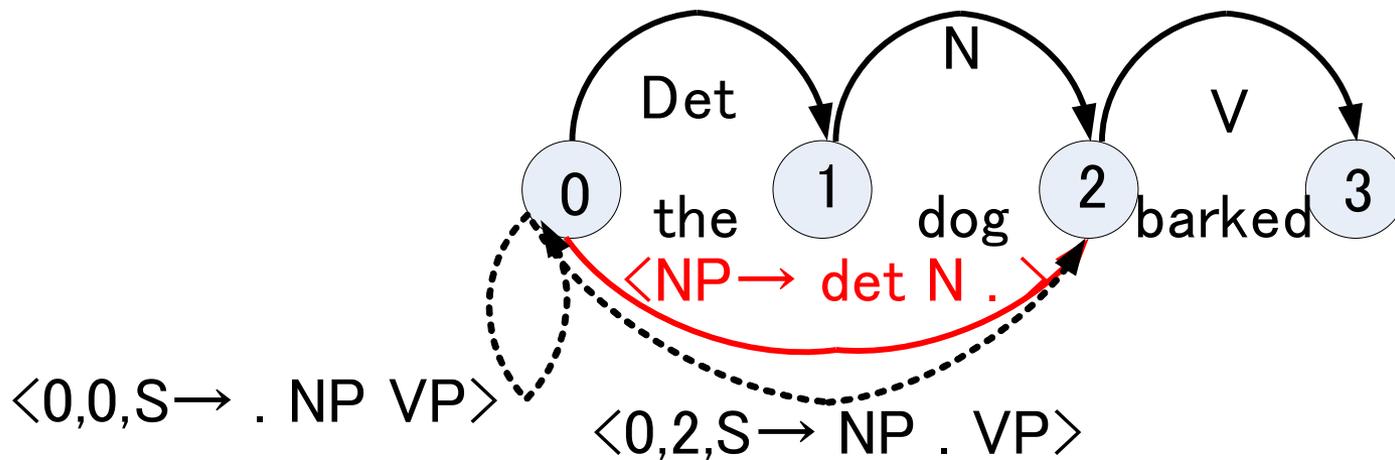
文法(の一部)

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

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 $\langle j, j, Y \rightarrow \cdot \gamma \rangle$ を作ってアジェンダに追加

チャート



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

Arcは不活性弧 \rightarrow 何もしない

The dog barked. 15/27

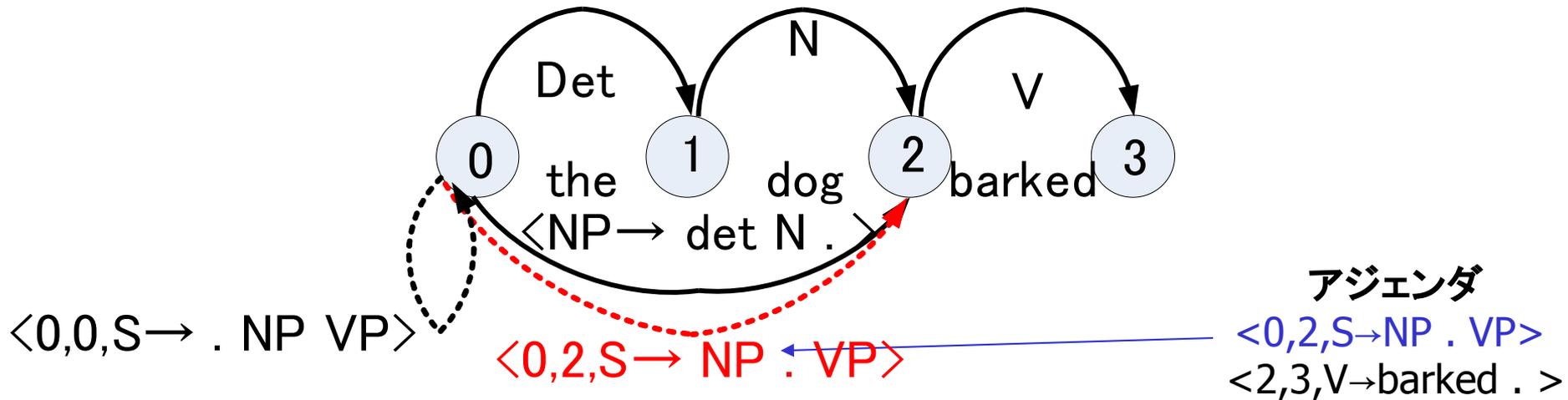
文法(の一部)

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

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

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

The dog barked. 16/27

文法(の一部)

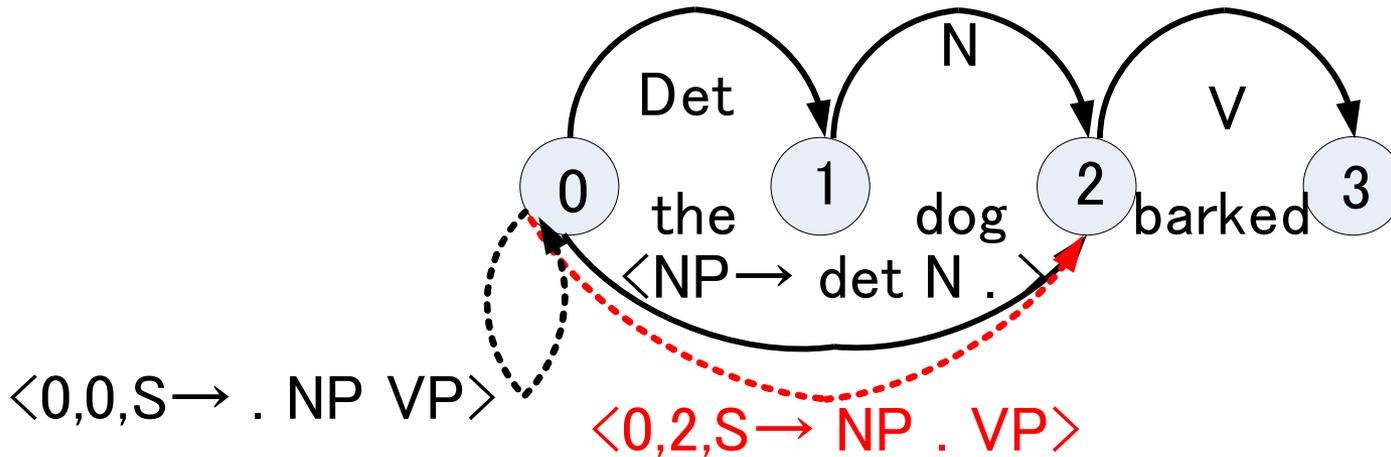
- $S \rightarrow NP VP$
- $NP \rightarrow Det N$
- $VP \rightarrow V$
- $VP \rightarrow V NP$

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

チャート



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

ないので何もしない

The dog barked. 17/27

文法(の一部)

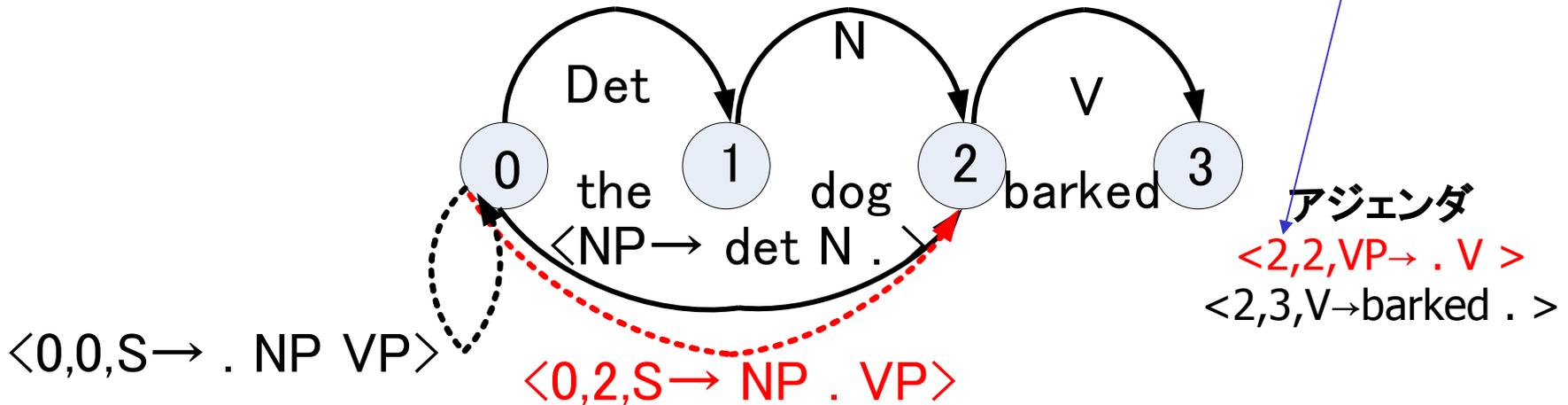
- $S \rightarrow NP VP$
- $NP \rightarrow Det N$
- $VP \rightarrow V$
- $VP \rightarrow V NP$

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

チャート



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

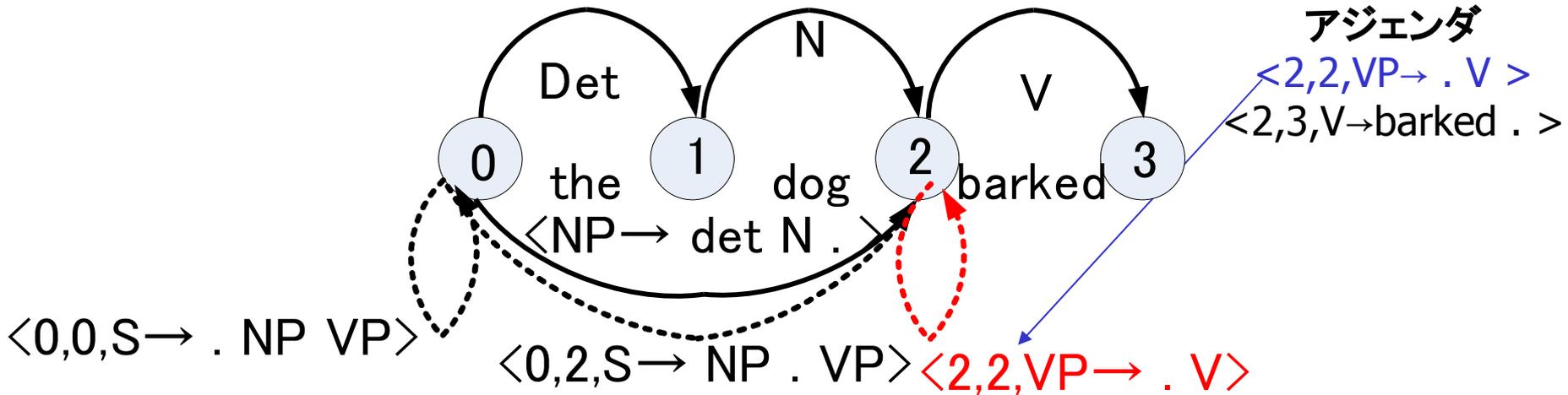
文法(の一部)

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

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



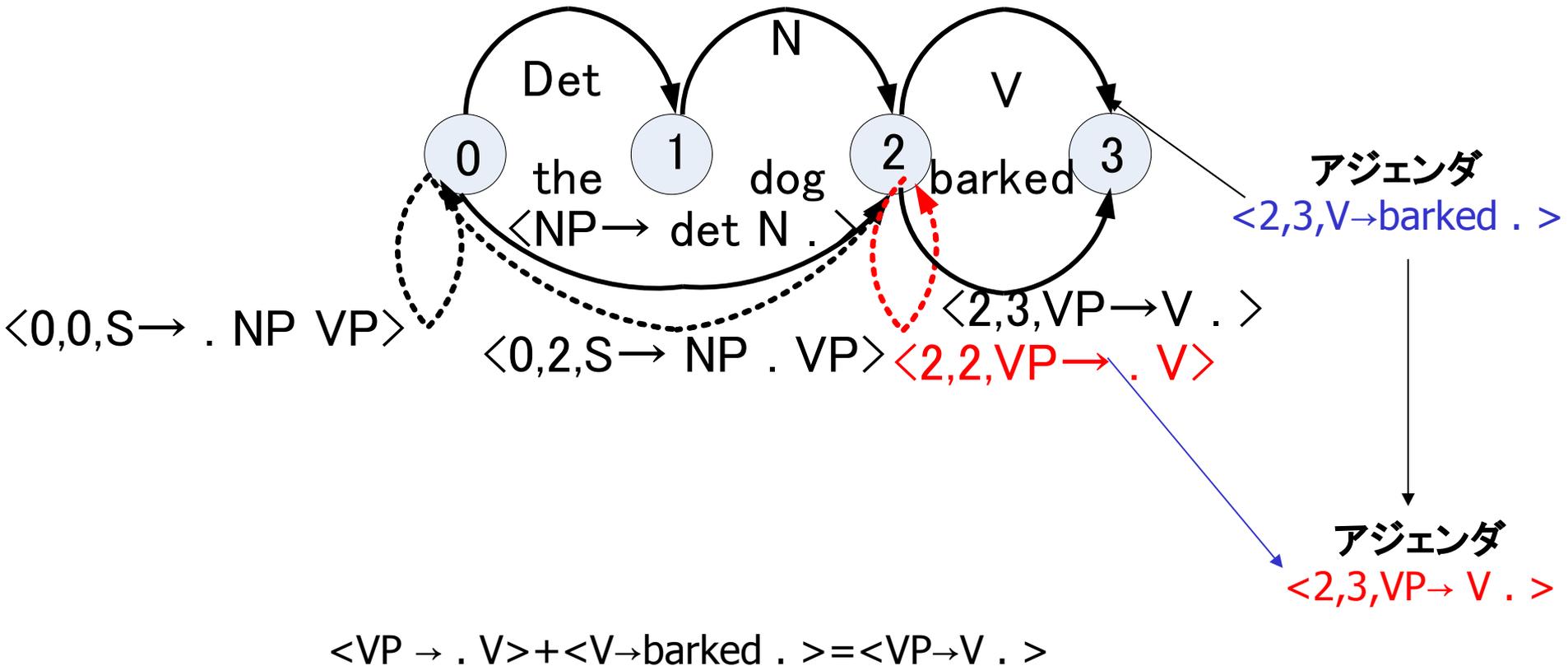
The dog barked. 19/27

文法(の一部)

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

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
 チャート



The dog barked. 20/27

文法(の一部)

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

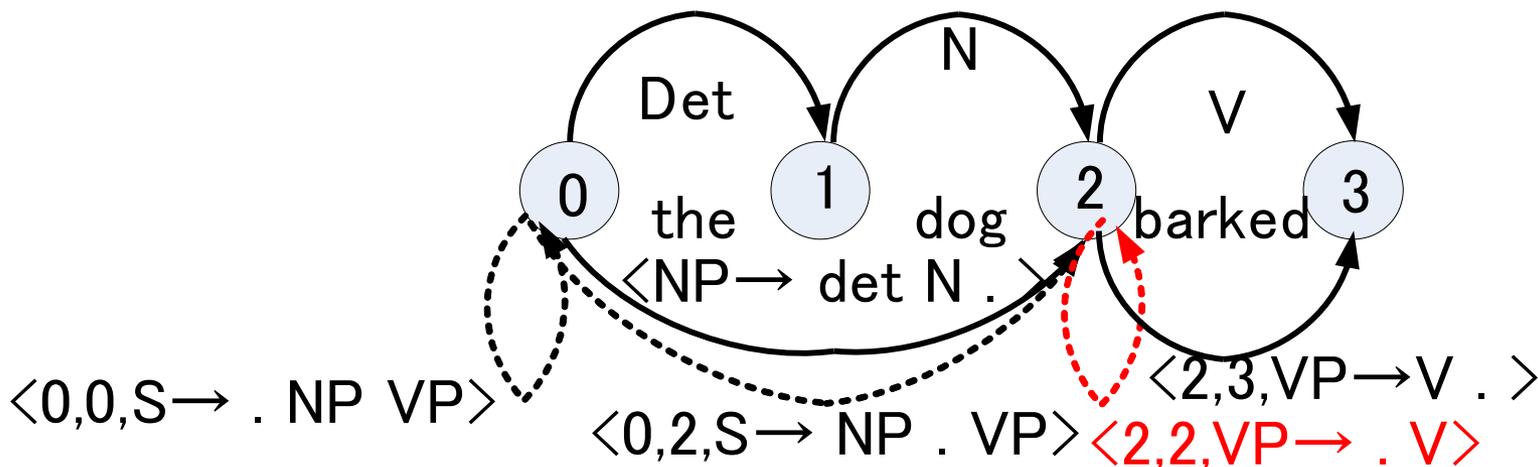
新しい弧の提案

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 $\langle j, j, Y \rightarrow \cdot \gamma \rangle$ を作ってアジェンダに追加

チャート

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



$Y \rightarrow \gamma$ がないので何もしない

The dog barked. 21/27

文法(の一部)

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

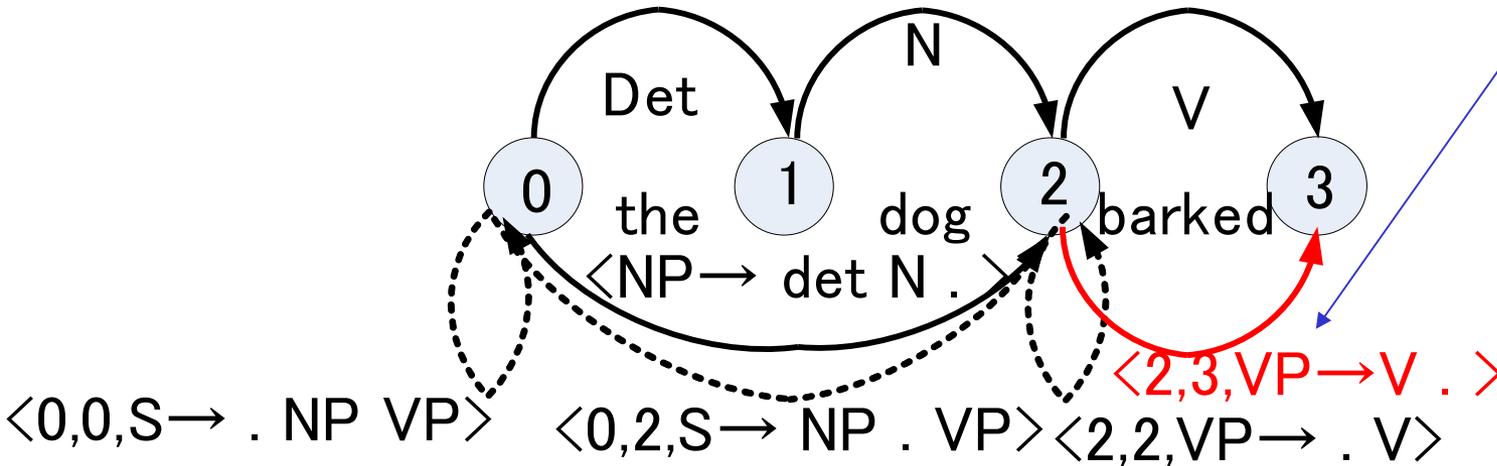
弧の選択

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

$\langle 2,3,VP \rightarrow V . \rangle$



The dog barked. 22/27

文法(の一部)

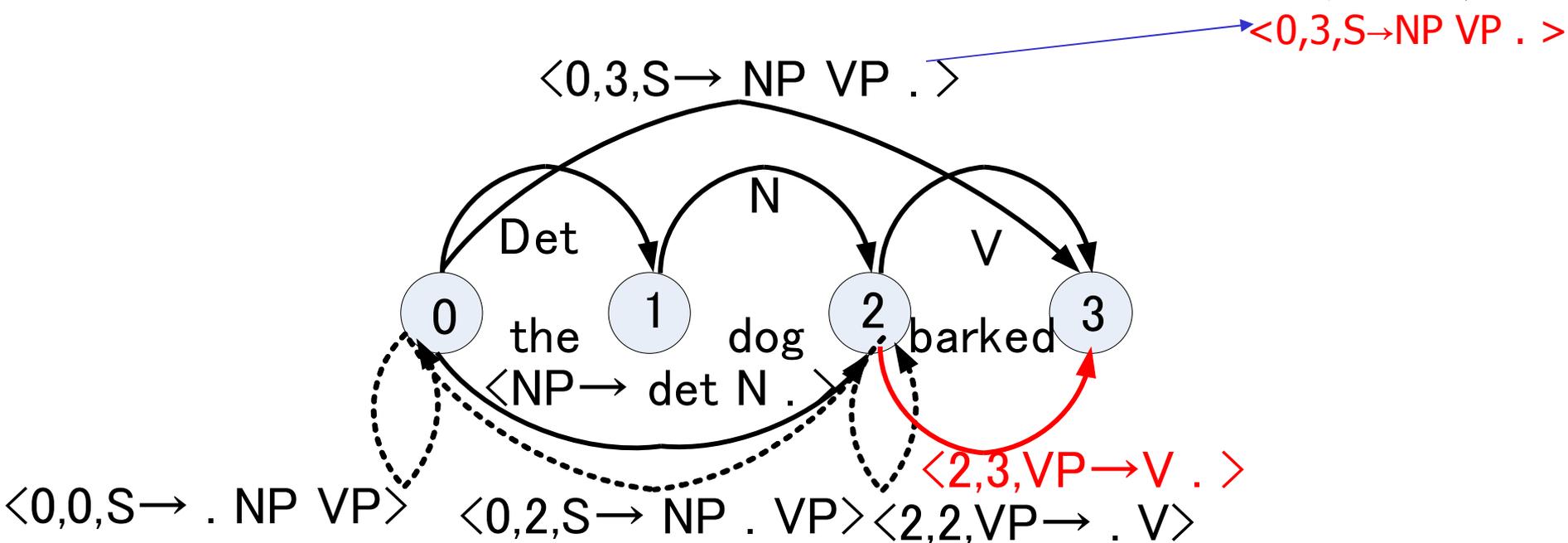
- $S \rightarrow NP VP$
- $NP \rightarrow Det N$
- $VP \rightarrow V$
- $VP \rightarrow V NP$

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** $\langle k, i, X \rightarrow \alpha. Y \beta \rangle$ を探し, 結合する
結合してできた新しい弧 $\langle i, k, X \rightarrow \alpha Y. \beta \rangle$ をアジェンダに追加

チャート

アジェンダ



$\langle S \rightarrow NP . VP \rangle$ 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

文法(の一部)

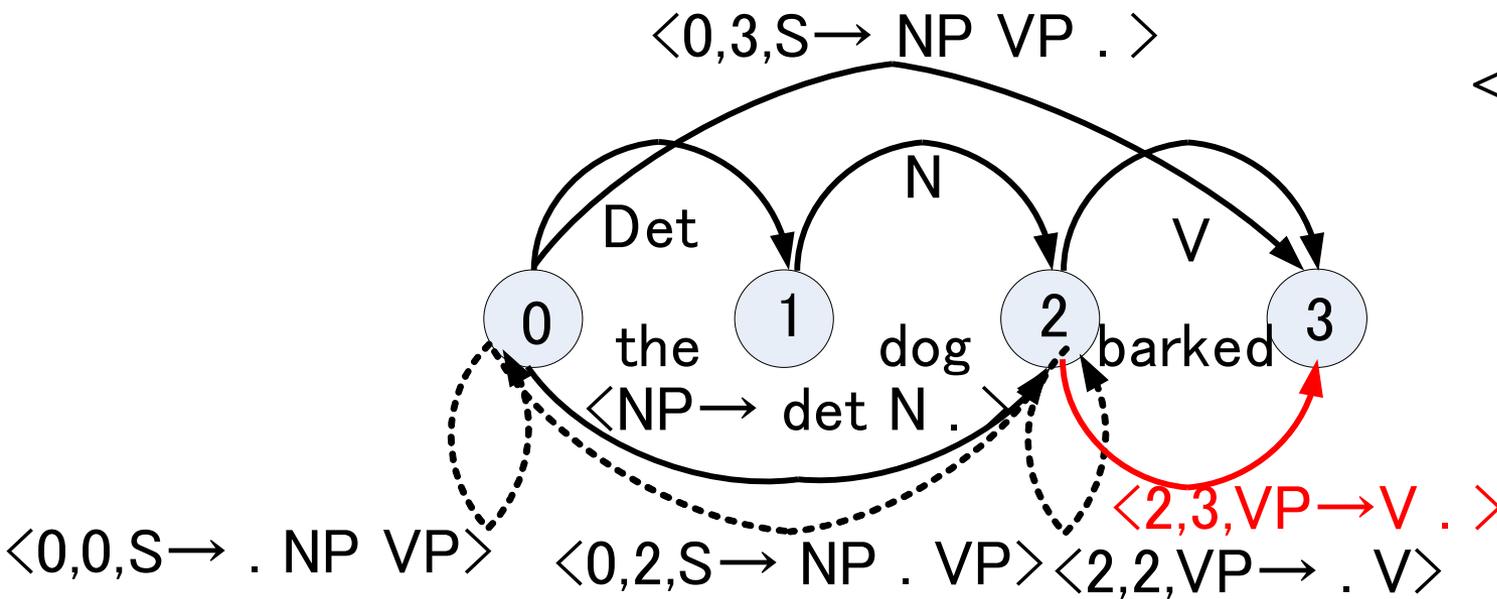
- $S \rightarrow NP VP$
- $NP \rightarrow Det N$
- $VP \rightarrow V$
- $VP \rightarrow V NP$

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

チャート



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

arcは不活性弧なので何もしない

The dog barked. 24/27

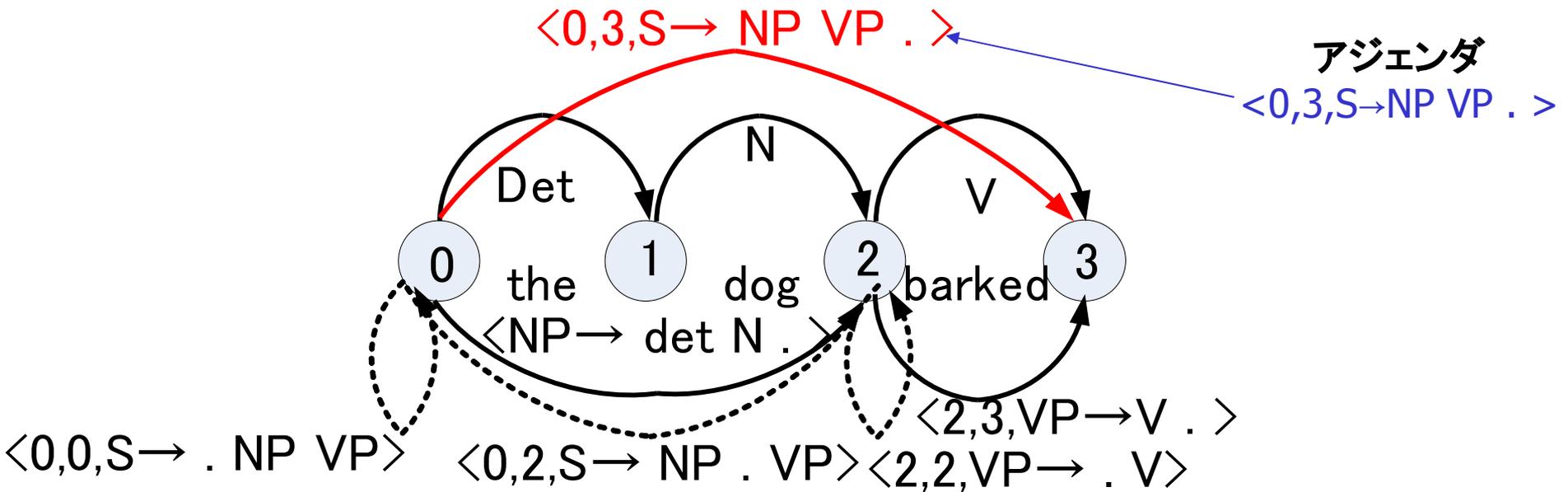
文法(の一部)

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

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



The dog barked. 25/27

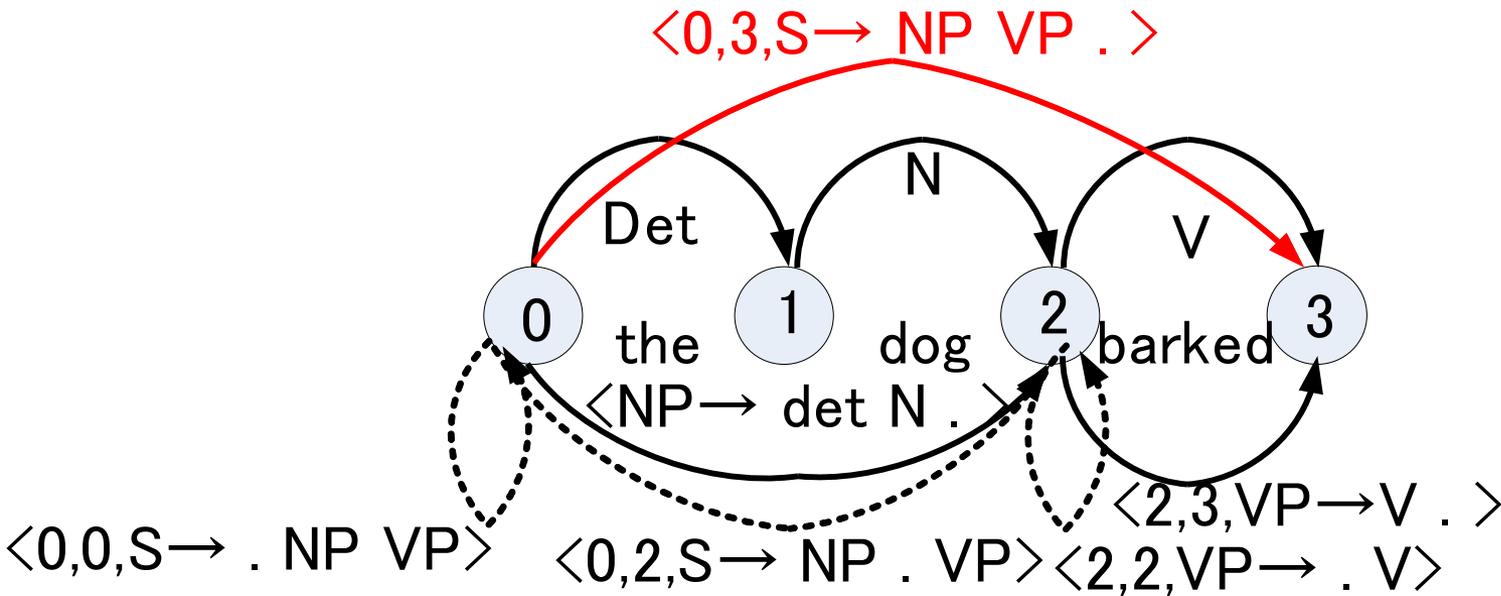
文法(の一部)

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

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** $\langle k, i, X \rightarrow \alpha. Y \beta \rangle$ を探し, 結合する
結合してできた新しい弧 $\langle i, k, X \rightarrow \alpha Y. \beta \rangle$ をアジェンダに追加

チャート



アジェンダ

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

The dog barked. 26/27

文法(の一部)

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

新しい弧の提案

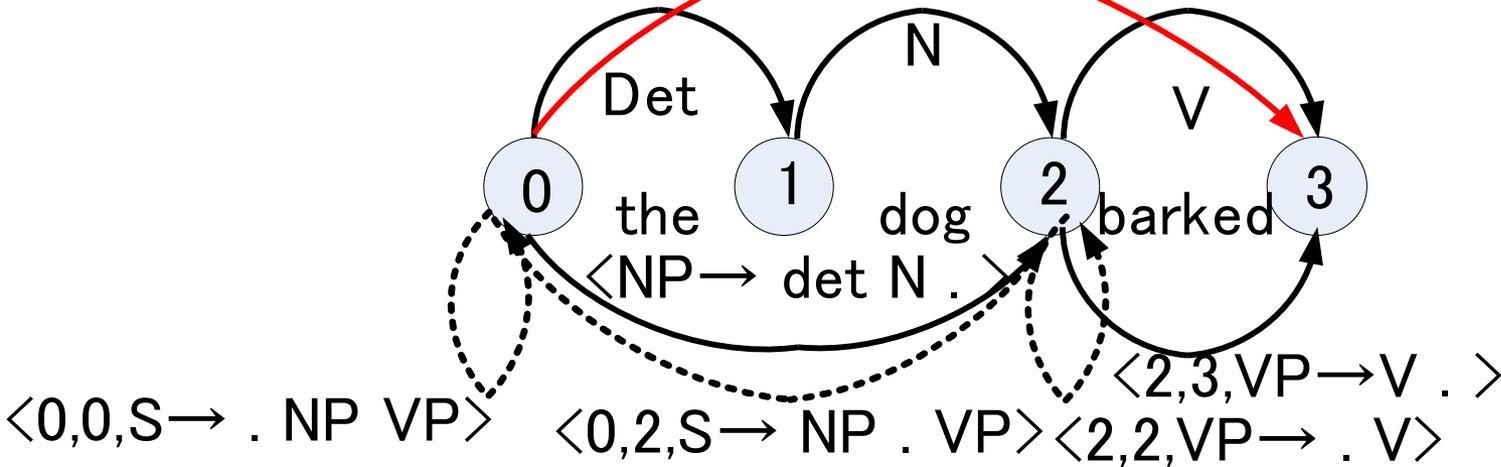
arcが活性弧 $\langle i, j, X \rightarrow a.Y\beta \rangle$ のとき,

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 $\langle j, j, Y \rightarrow \cdot \gamma \rangle$ を作ってアジェンダに追加

チャート

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

アジェンダ



Arcは不活性弧なので何もしない

The dog barked. 27/27

文法(の一部)

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

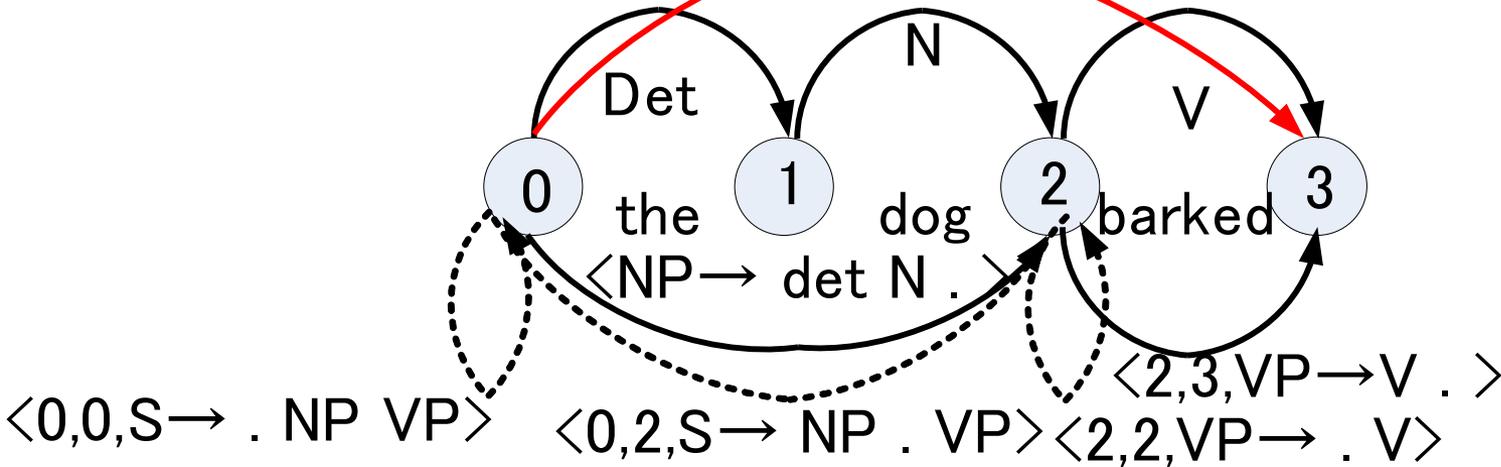
弧の選択

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

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

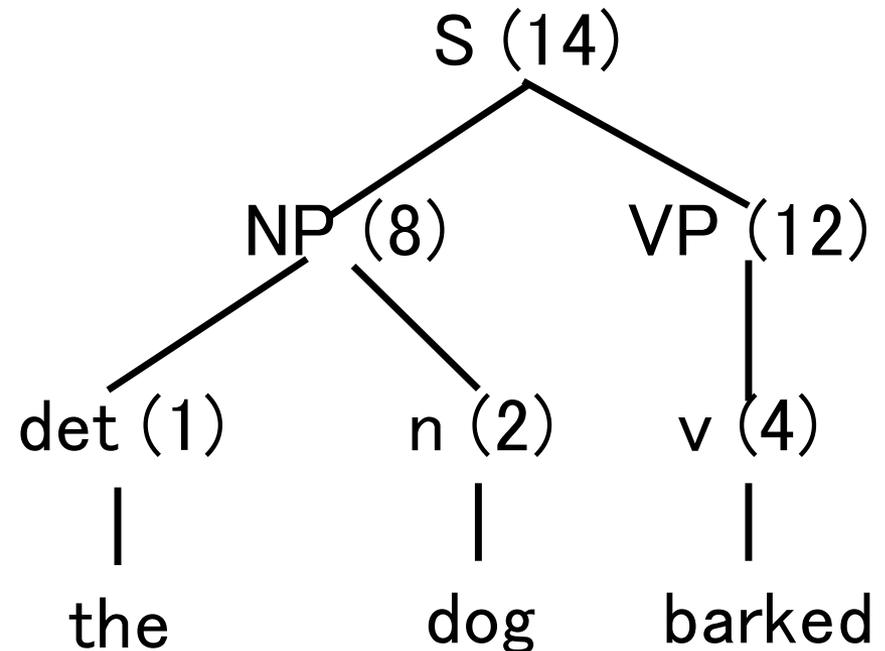
アジェンダ

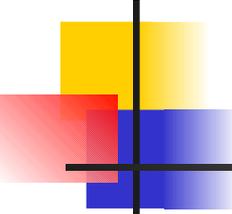


アジェンダになにも無いので処理終了

構文木の復元

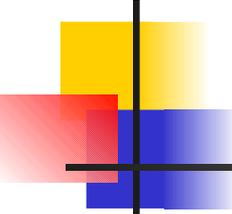
- 弧に履歴を残す.
 - 弧に識別番号をつける
 - 右辺がどの不活性弧によって構成されるかを記録
- 不活性弧の履歴をたどれば構文木が復元できる
- 得られる構文木の例
 - 番号は不活性弧の番号





チャート法の特徴

- 計算量は $O(n^3)$
- 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

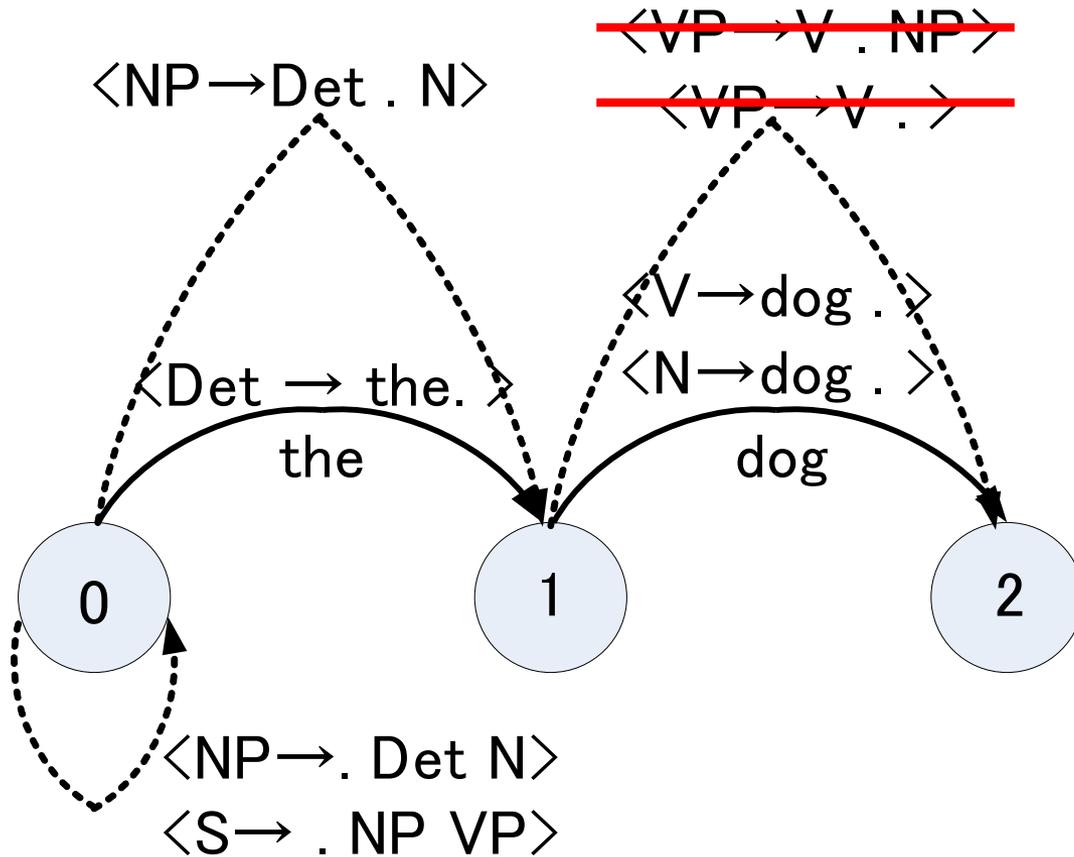


縦型探索と横型探索

- 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

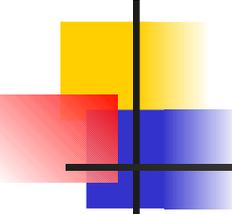
文法の予測能力

- 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



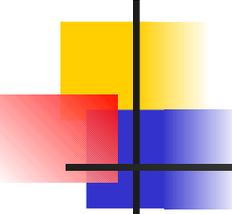
文法

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



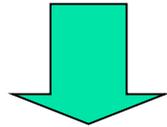
グラフ

- 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

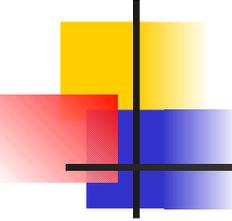


ダイクストラ法

- 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

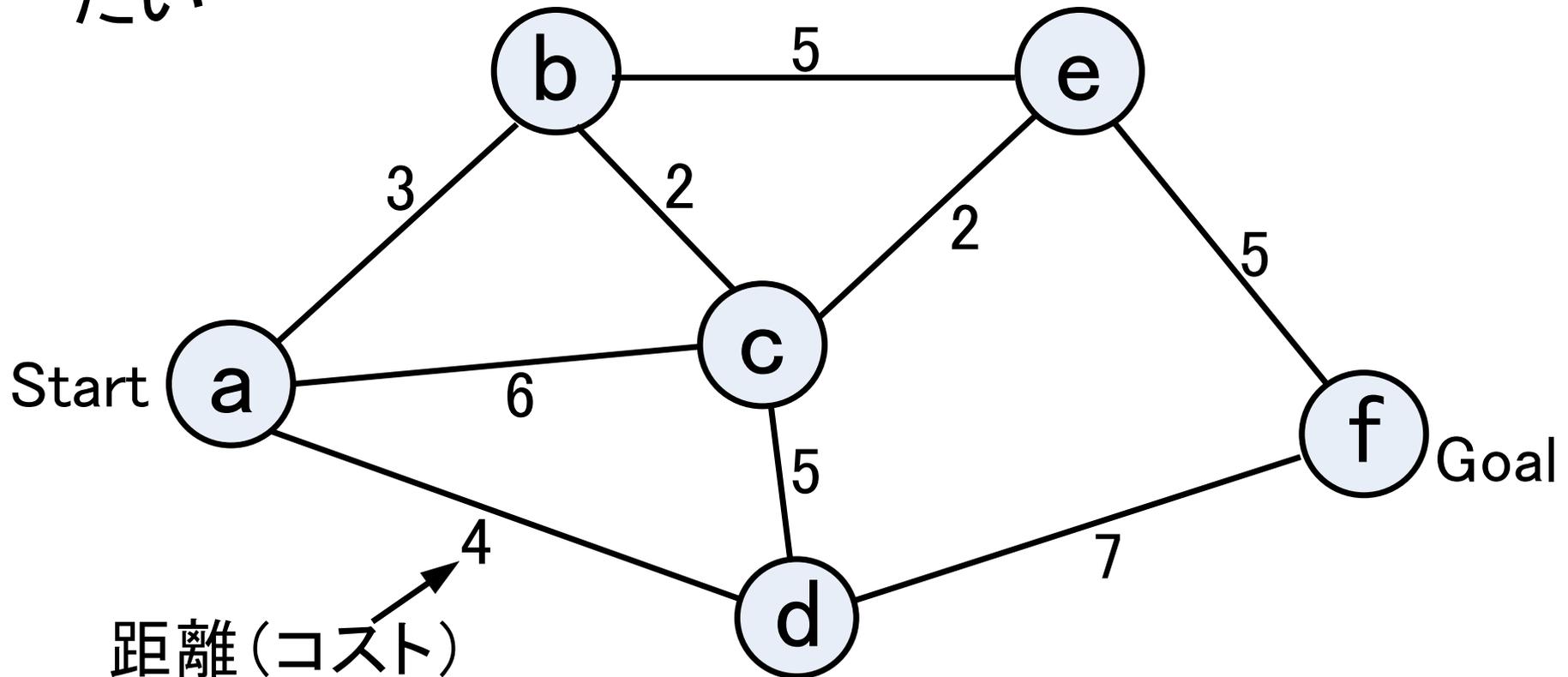


身近な最短経路問題

- 道路の経路探索(カーナビなど)

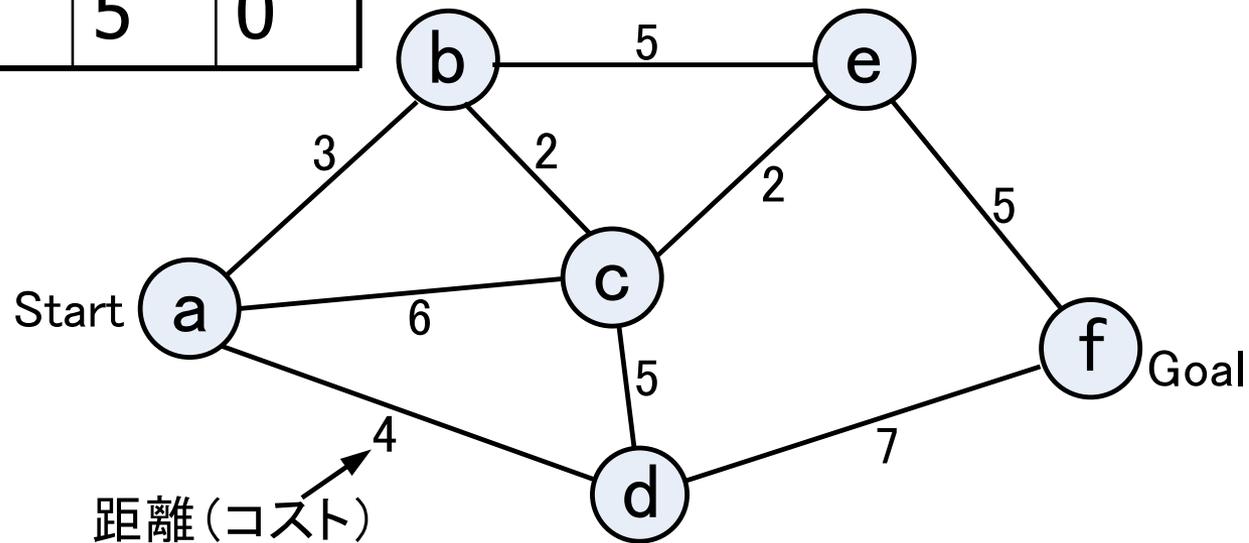
ダイクストラ法 (最短経路問題用 アルゴリズム)

- StartノードからGoalノードへ最小コストで移動したい

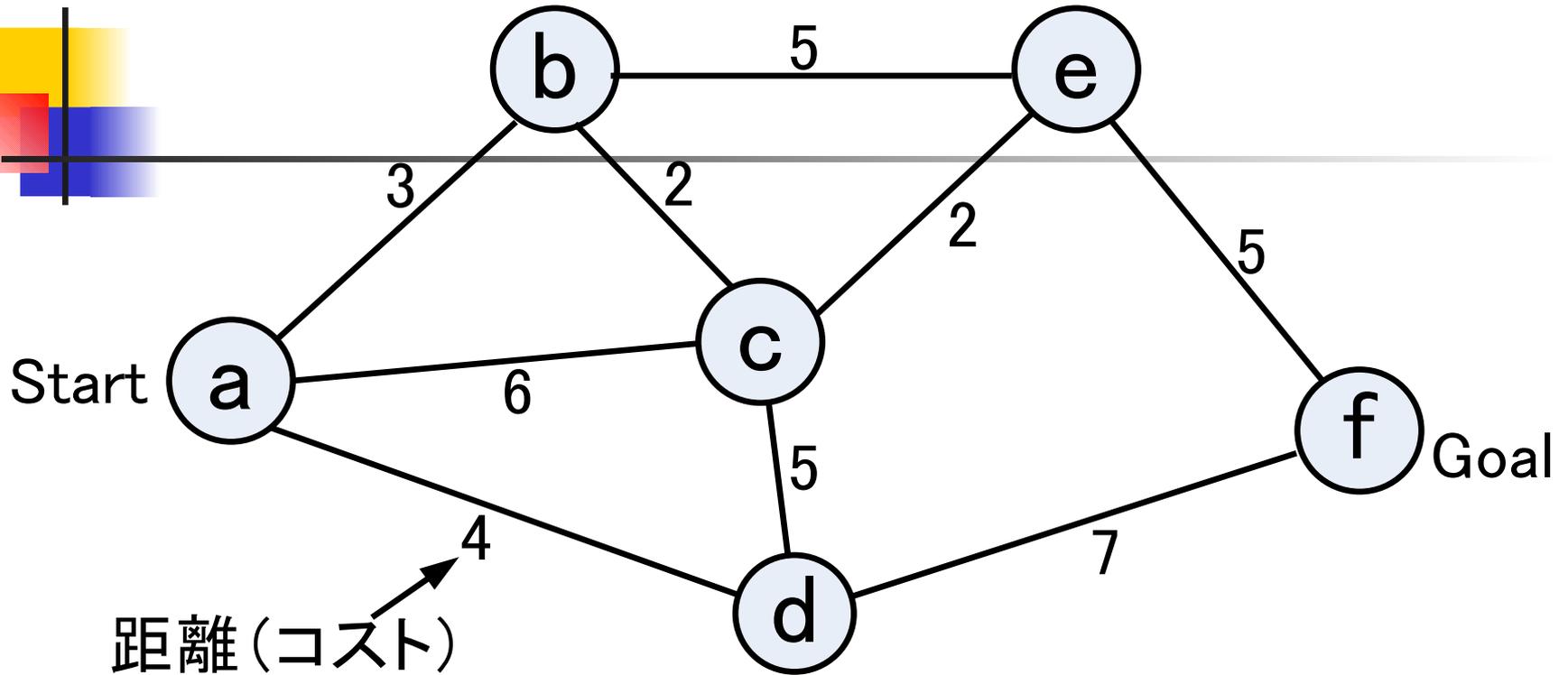


隣接行列 (コスト付き)

	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

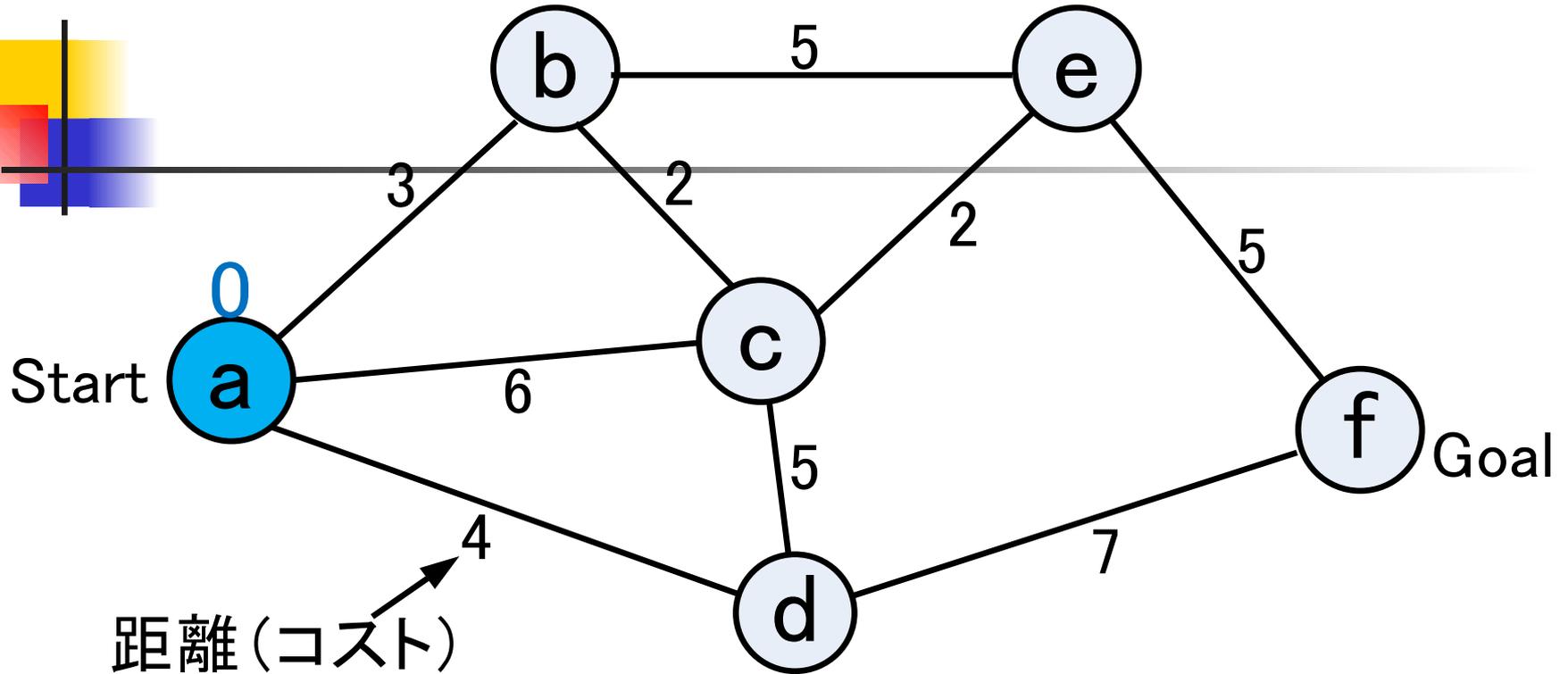


ダイクストラ法 動作例 1/13



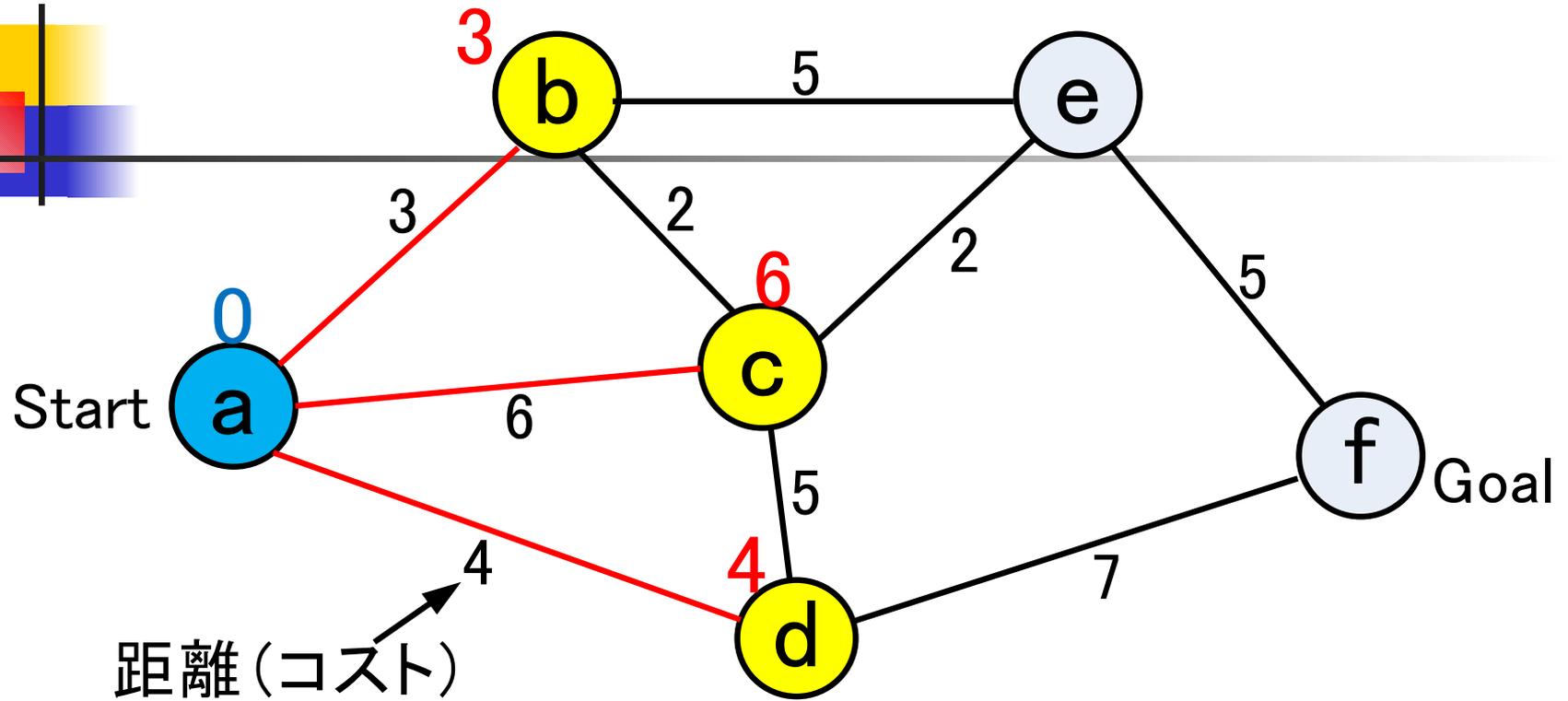
- Startからの最短経路が確定していないノード
- Startからの最短経路を確定中のノード
- Startからの最短経路が確定したノード
- 7 Startからの最短距離候補(未確定)
- 7 Startからの最短距離(確定済)
- 確定済ノードからのアーク
- 次期確定ノード決定に使用

ダイクストラ法 動作例 2/13



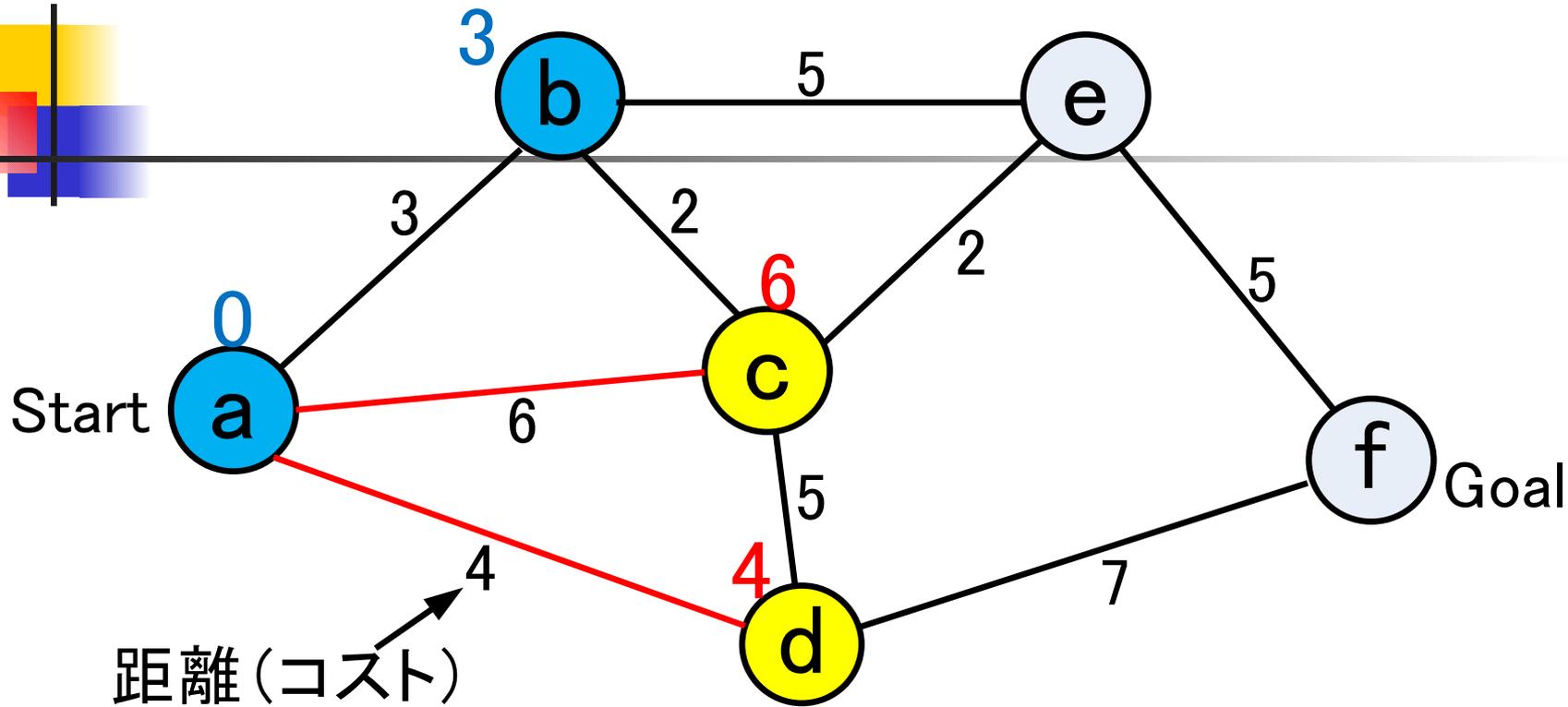
- Startからの最短経路が確定していないノード
- Startからの最短経路を確定中のノード
- Startからの最短経路が確定したノード
- 7 Startからの最短距離候補 (未確定)
- 7 Startからの最短距離 (確定済)
- 確定済ノードからのアーク
次期確定ノード決定に使用

ダイクストラ法 動作例 3/13



- Startからの最短経路が確定していないノード
- Startからの最短経路を確定中のノード
- Startからの最短経路が確定したノード
- 7 Startからの最短距離候補(未確定)
- 7 Startからの最短距離(確定済)
- 確定済ノードからのアーク
- 次期確定ノード決定に使用

ダイクストラ法 動作例 4/13



○ Startからの最短経路が確定していないノード

● Startからの最短経路を確定中のノード

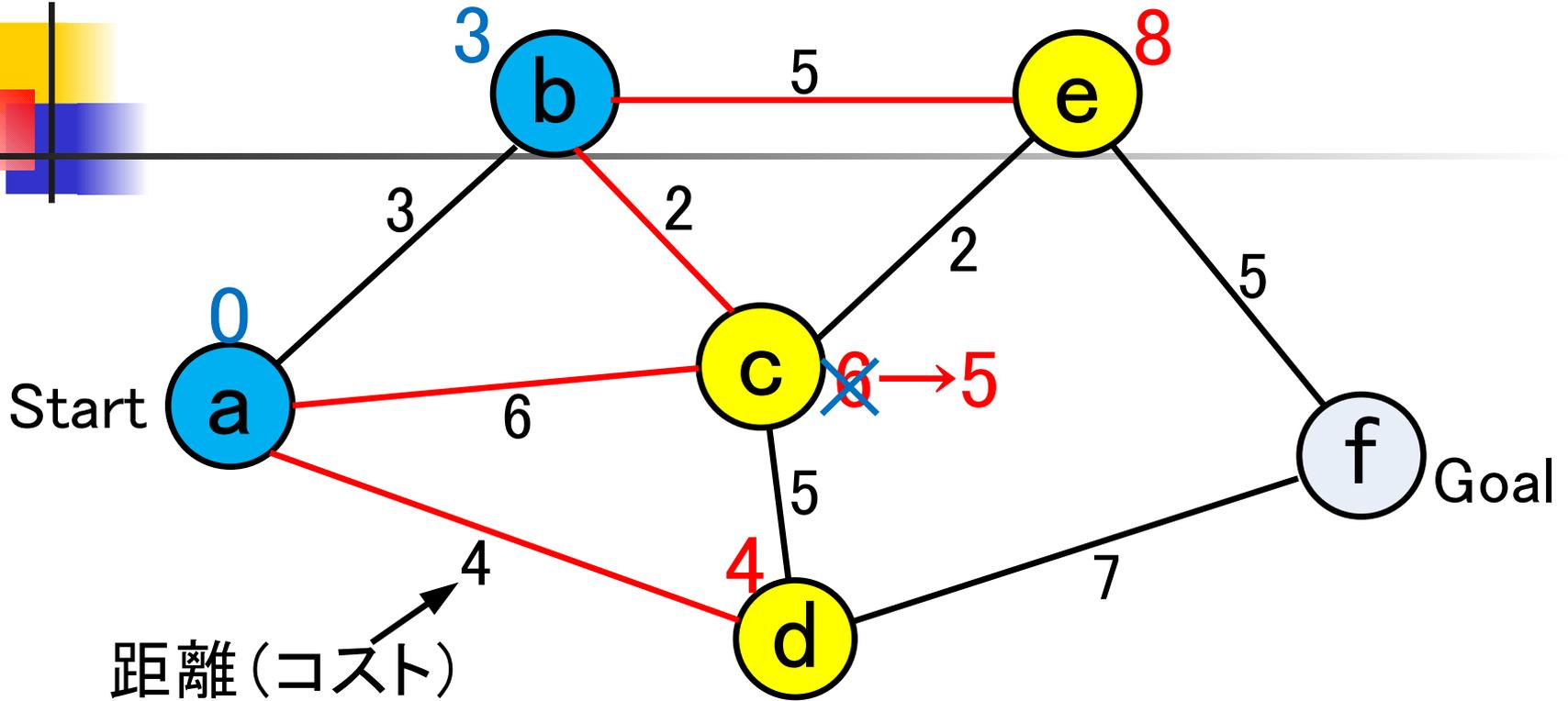
● Startからの最短経路が確定したノード

7 Startからの最短距離候補 (未確定)

7 Startからの最短距離 (確定済)

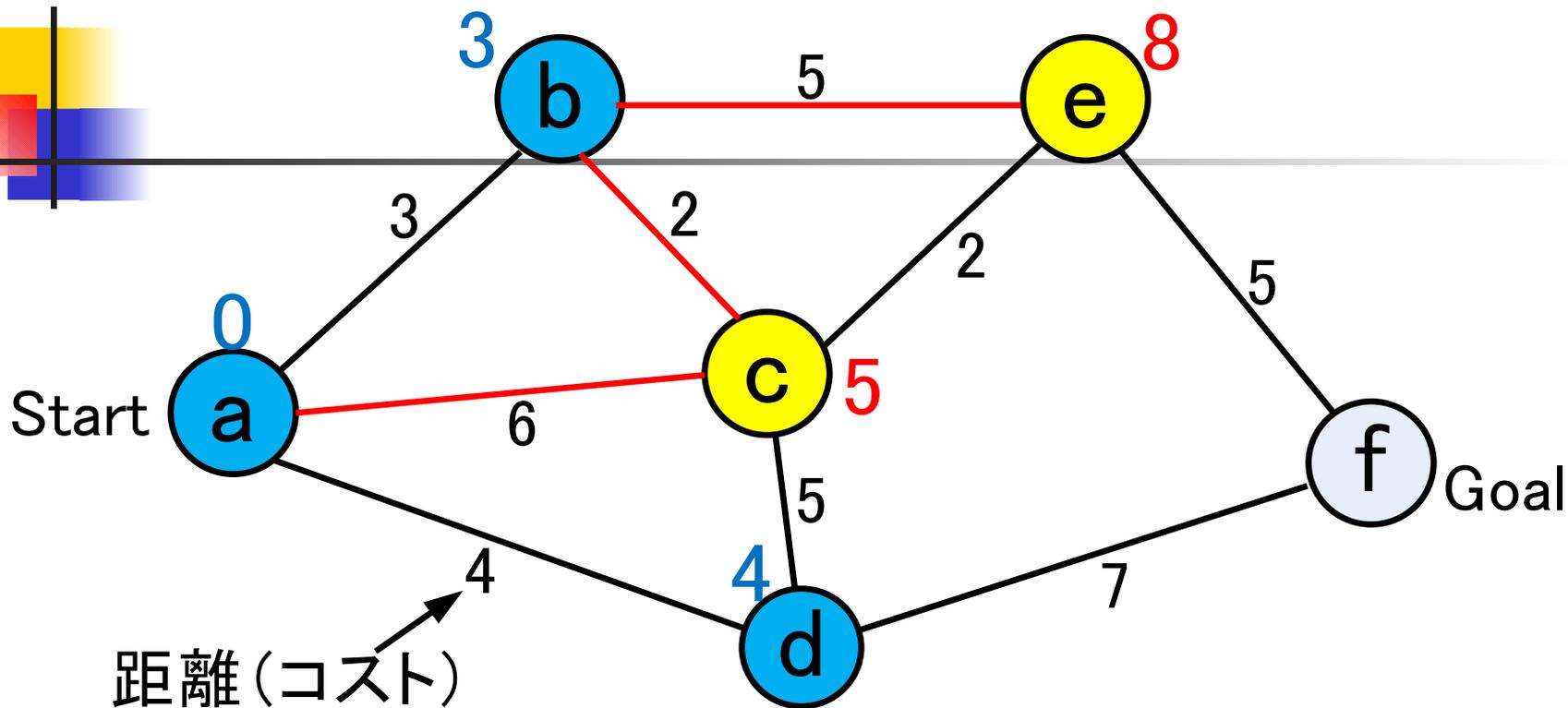
— 確定済ノードからのアーク
次期確定ノード決定に使用

ダイクストラ法 動作例 5/13



- Startからの最短経路が確定していないノード
- Startからの最短経路を確定中のノード
- Startからの最短経路が確定したノード
- 7 Startからの最短距離候補 (未確定)
- 7 Startからの最短距離 (確定済)
- 確定済ノードからのアーク
- 次期確定ノード決定に使用

ダイクストラ法 動作例 6/13



○ Startからの最短経路が確定していないノード

● Startからの最短経路を確定中のノード

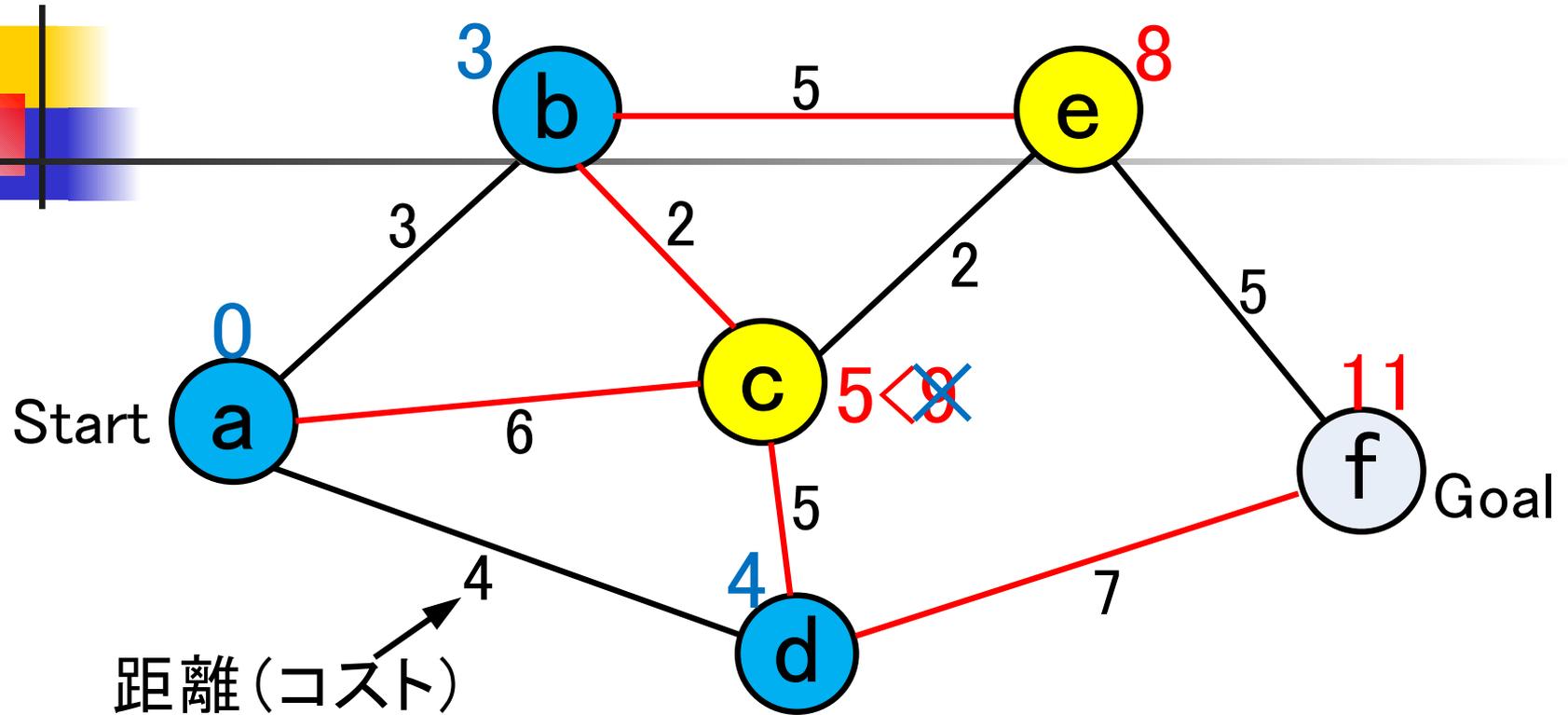
● Startからの最短経路が確定したノード

7 Startからの最短距離候補 (未確定)

7 Startからの最短距離 (確定済)

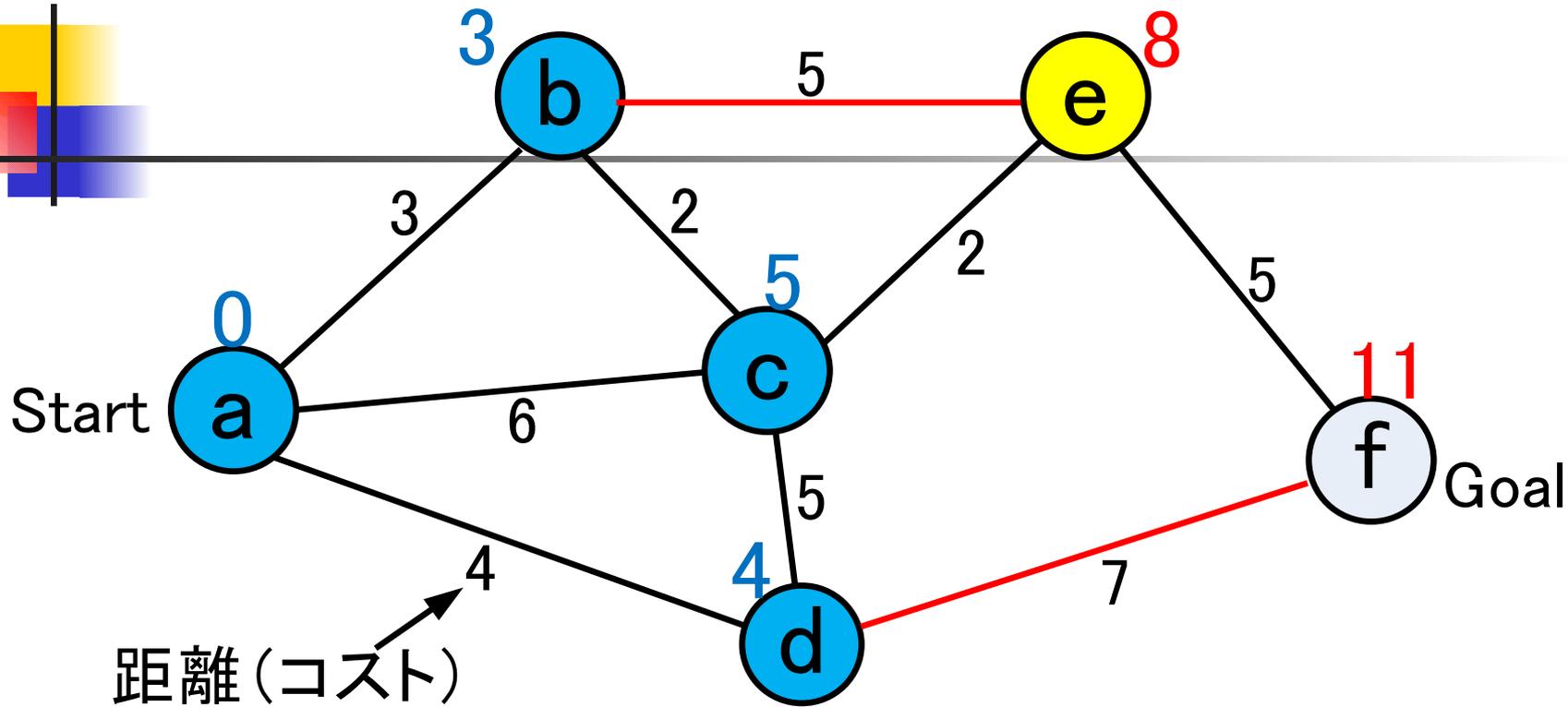
— 確定済ノードからのアーク
次期確定ノード決定に使用

ダイクストラ法 動作例 7/13



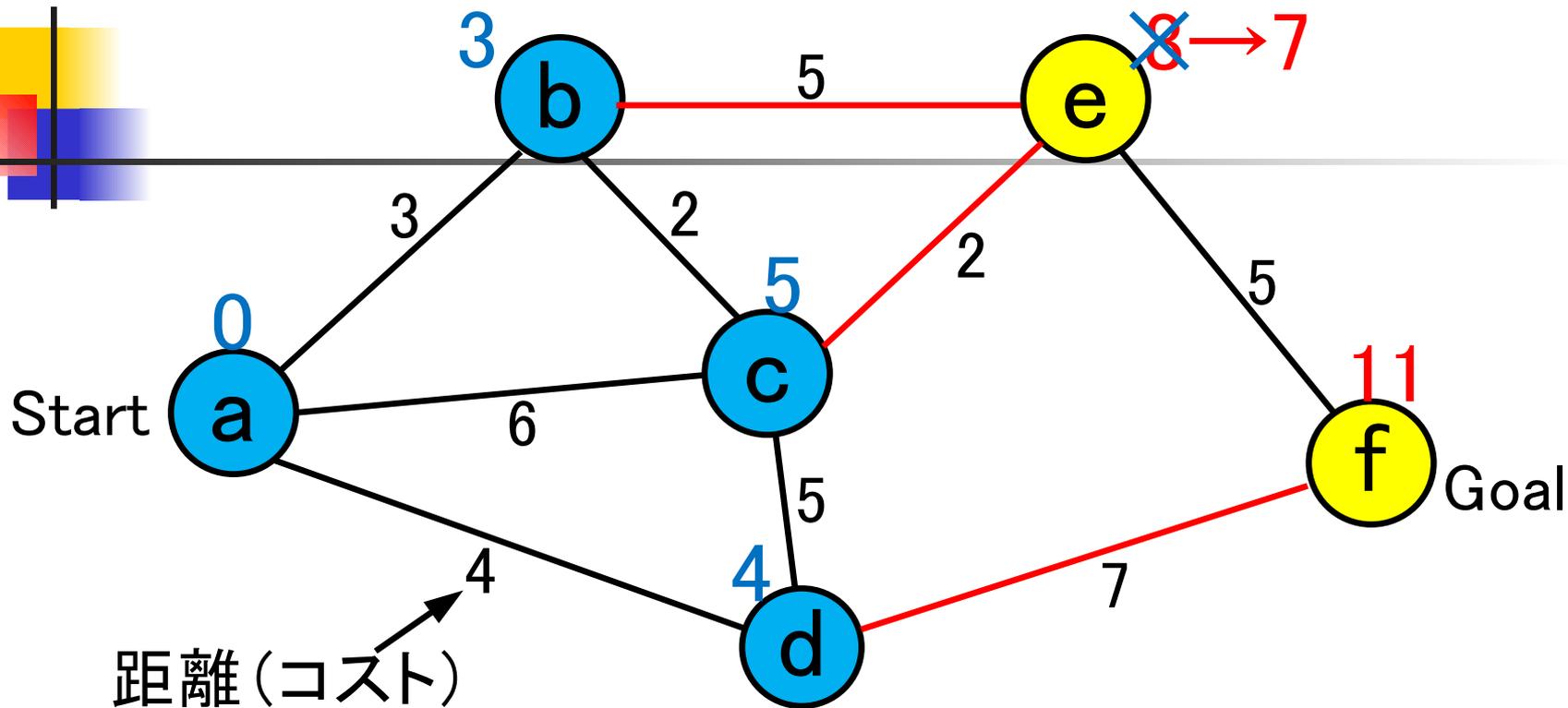
- Startからの最短経路が確定していないノード
- Startからの最短経路を確定中のノード
- Startからの最短経路が確定したノード
- 7 Startからの最短距離候補 (未確定)
- 7 Startからの最短距離 (確定済)
- 確定済ノードからのアーク
次期確定ノード決定に使用

ダイクストラ法 動作例 8/13



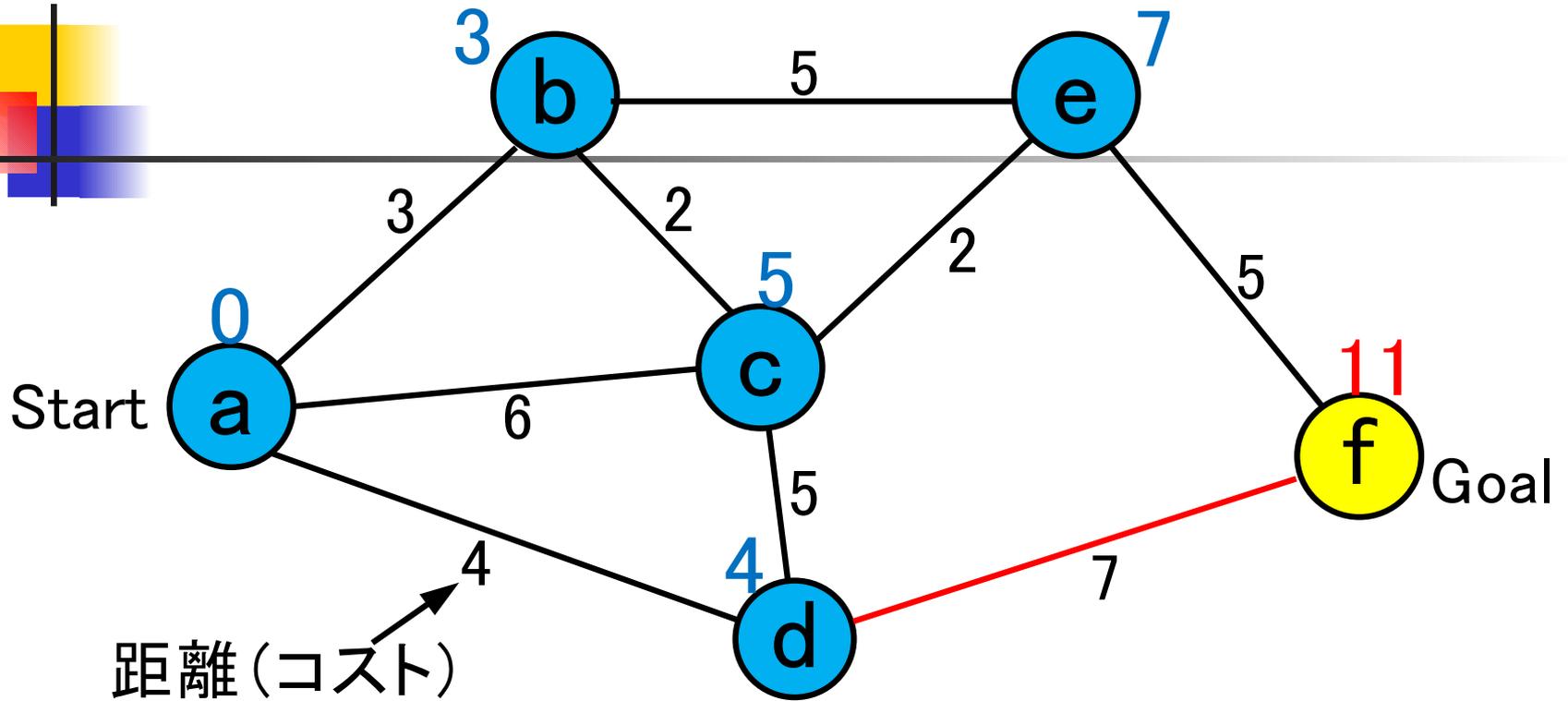
- Startからの最短経路が確定していないノード
- Startからの最短経路を確定中のノード
- Startからの最短経路が確定したノード
- 7 Startからの最短距離候補 (未確定)
- 7 Startからの最短距離 (確定済)
- 確定済ノードからのアーク
- 次期確定ノード決定に使用

ダイクストラ法 動作例 9/13



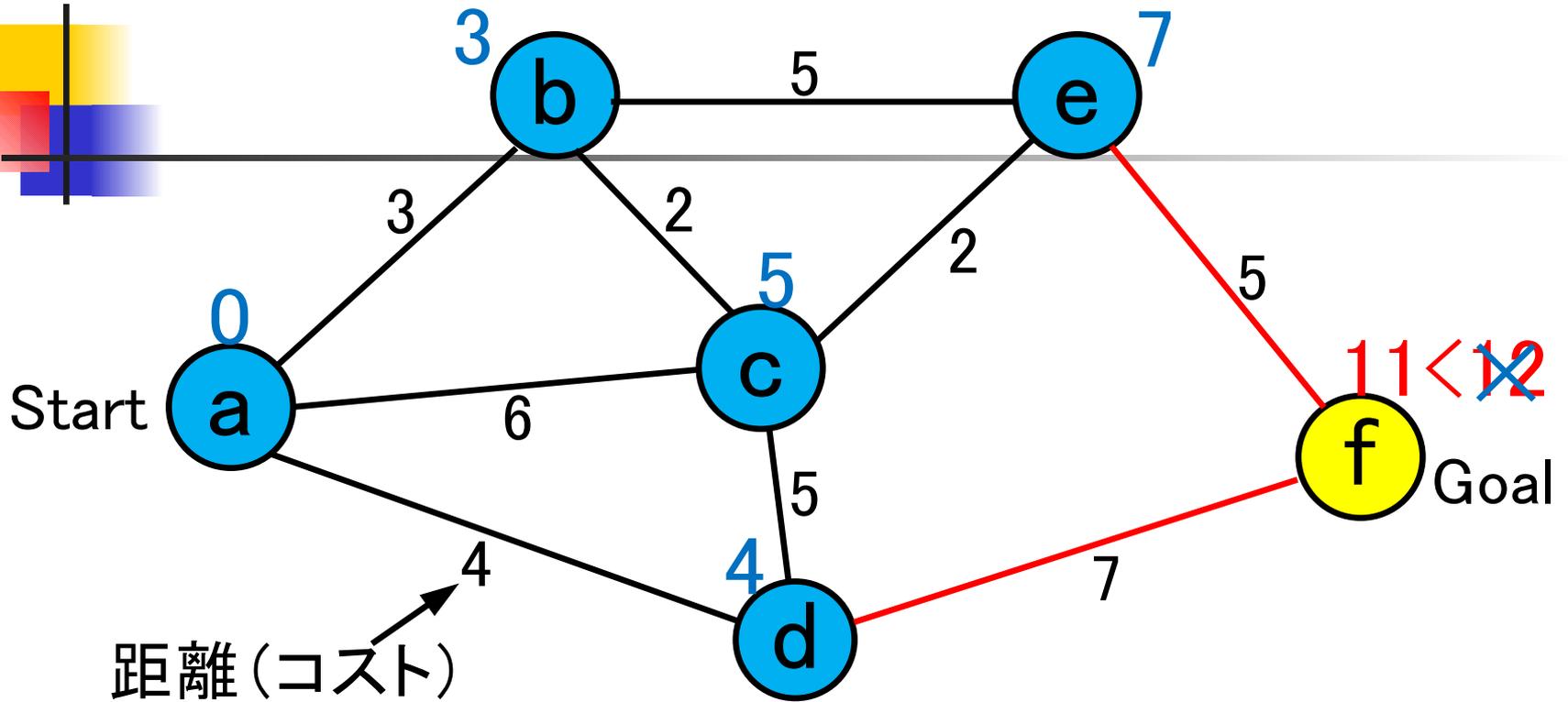
- Startからの最短経路が確定していないノード
- Startからの最短経路を確定中のノード
- Startからの最短経路が確定したノード
- 7 Startからの最短距離候補 (未確定)
- 7 Startからの最短距離 (確定済)
- 確定済ノードからのアーク
- 次期確定ノード決定に使用

ダイクストラ法 動作例 10/13



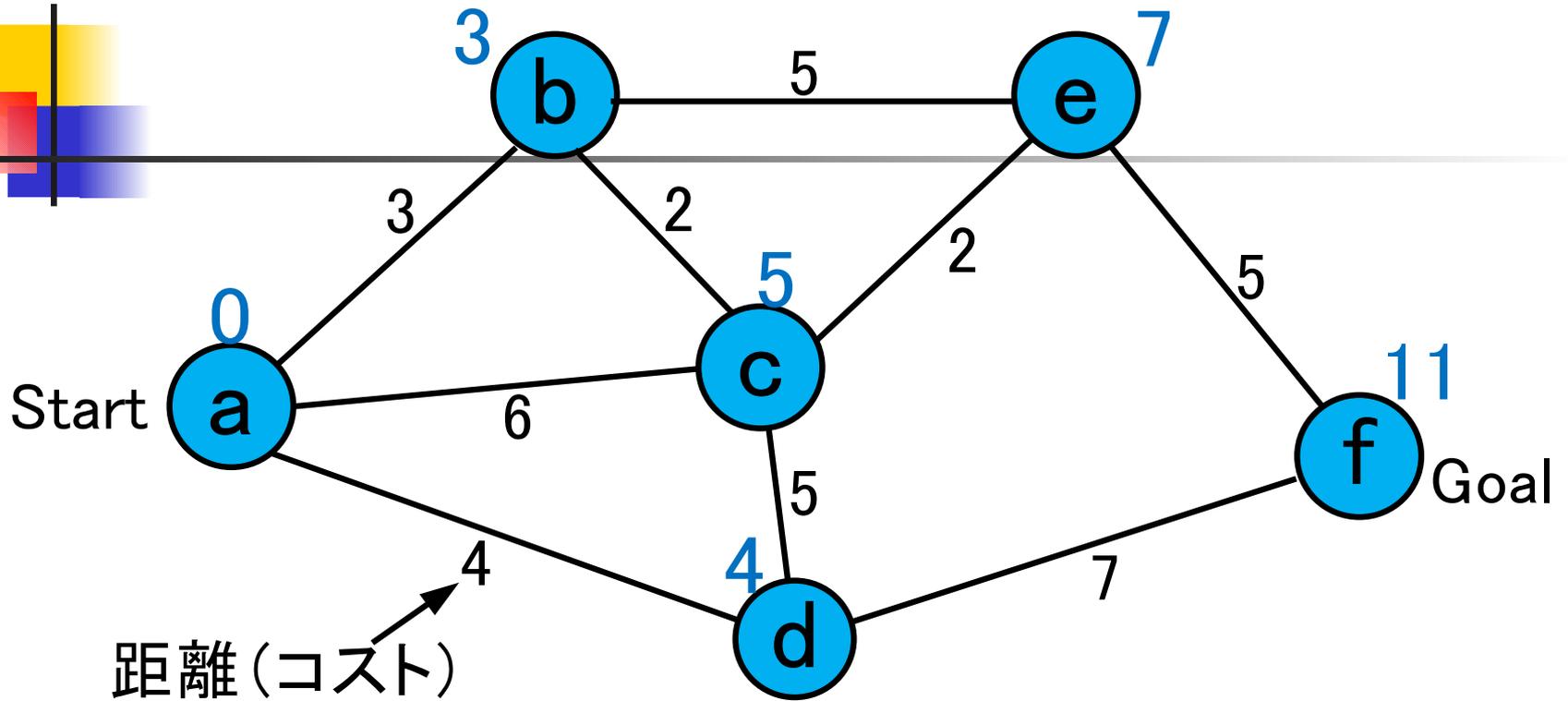
- Startからの最短経路が確定していないノード
- Startからの最短経路を確定中のノード
- Startからの最短経路が確定したノード
- 7 Startからの最短距離候補 (未確定)
- 7 Startからの最短距離 (確定済)
- 確定済ノードからのアーク
次期確定ノード決定に使用

ダイクストラ法 動作例 11/13



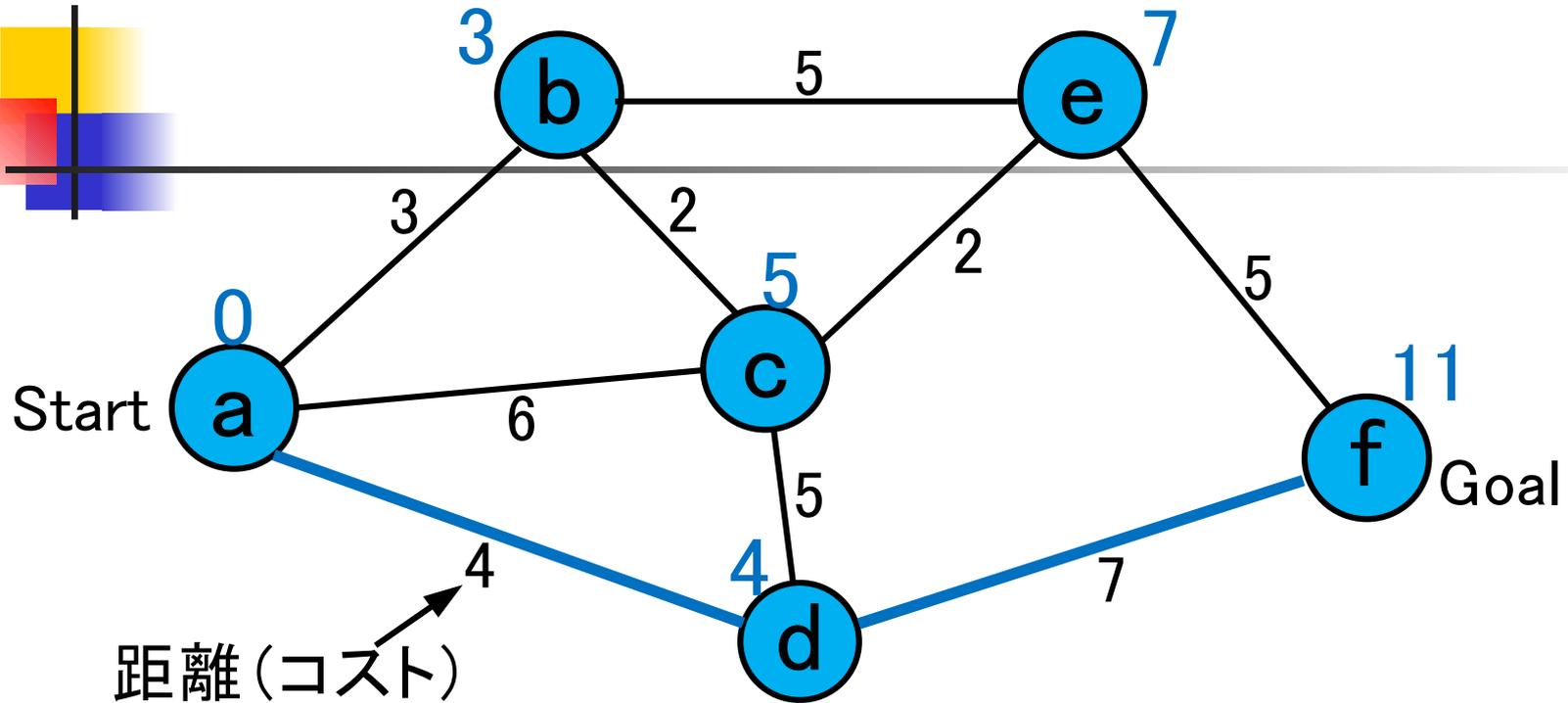
- Startからの最短経路が確定していないノード
- Startからの最短経路を確定中のノード
- Startからの最短経路が確定したノード
- 7 Startからの最短距離候補 (未確定)
- 7 Startからの最短距離 (確定済)
- 確定済ノードからのアーク
次期確定ノード決定に使用

ダイクストラ法 動作例 12/13



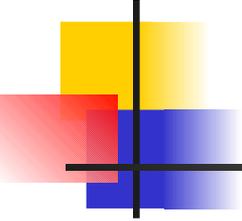
- Startからの最短経路が確定していないノード
- Startからの最短経路を確定中のノード
- Startからの最短経路が確定したノード
- 7 Startからの最短距離候補 (未確定)
- 7 Startからの最短距離 (確定済)
- 確定済ノードからのアーク
- 次期確定ノード決定に使用

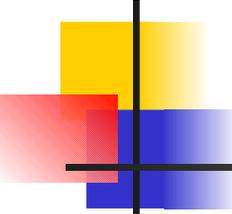
ダイクストラ法 動作例 13/13



- Startからの最短経路が確定していないノード
- Startからの最短経路を確定中のノード
- Startからの最短経路が確定したノード
- 7 Startからの最短距離候補 (未確定)
- 7 Startからの最短距離 (確定済)
- 確定済ノードからのアーク
次期確定ノード決定に使用
- StartからGoalまでの最短経路

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も小さければ更新.



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.

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