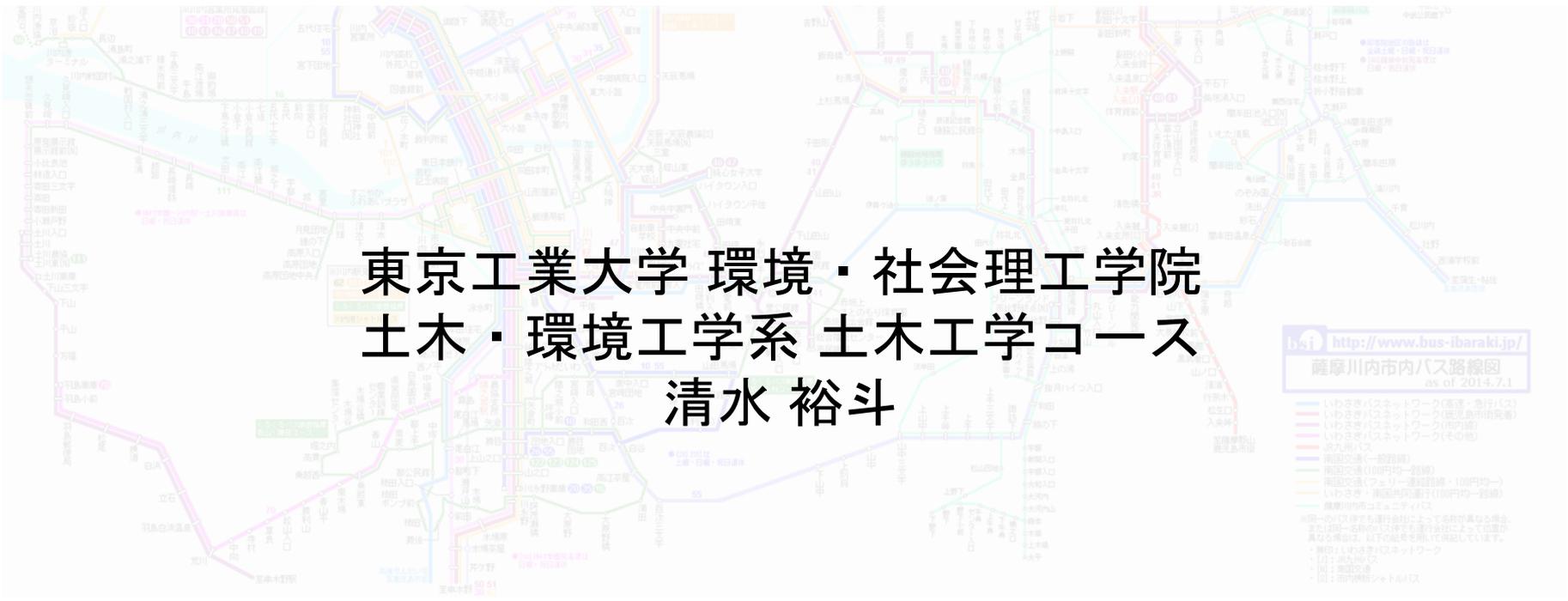


# 降雨が 都市鉄道の列車遅延拡大に及ぼす影響 の分析

東京工業大学 環境・社会理工学院  
土木・環境工学系 土木工学コース  
清水 裕斗



<http://www.bus-ibaraki.jp/>  
蕨摩川内市内バス路線図  
as of 2014.7.1

- いわさきバスネットワーク(高速・急行バス)
- いわさきバスネットワーク(蕨摩市域内線)
- いわさきバスネットワーク(市内線)
- いわさきバスネットワーク(その他)
- 流丸バス
- 南関東バス(一般路線)
- 南関東バス(100円均一路線)
- いわさき・南関東共同運行(100円均一路線)
- 蕨摩市内コミュニティバス

※同一色IDでも運行系統によって名称が異なる場合、また同一名称でも運行系統によってID番号が異なる場合があります。以下の記号を用いて提供しています。

- 無印：いわさきバスネットワーク
- ①：流丸バス
- ：南関東バス
- ：市内共同運行ID

1. 本研究の背景
2. 既往研究のレビュー・本研究の目的
  - 2.1 本研究の位置づけ
  - 2.2 本研究の目的
3. 基礎集計分析
4. ベイジアンネットワークを用いた分析
  - 4.1 ベイジアンネットワークについて
  - 4.2 ベイジアンネットワークと列車遅延分析
  - 4.3 分析イメージ
5. 列車遅延現象のモデル構築と結果
  - 5.1 モデル1構築
  - 5.2 モデル1結果
  - 5.3 モデル2構築(列車間関係分析)
  - 5.4 モデル2結果
6. 結論と今後の課題
  - 6.1 本研究の成果
  - 6.2 今後の課題
  - 6.3 研究活用イメージ

首都圏の都市鉄道における課題

- ・ **様々な要因**により、列車の遅延が慢性的に発生

主な遅延要因

- ① **走行時間**：遅延伝播(信号制御)
- ② **停車時間**：混雑  
乗降時間の増加  
安全確認
- ③ **ダイヤ**：高頻度運転
- ④ **外因性の理由**：天候など

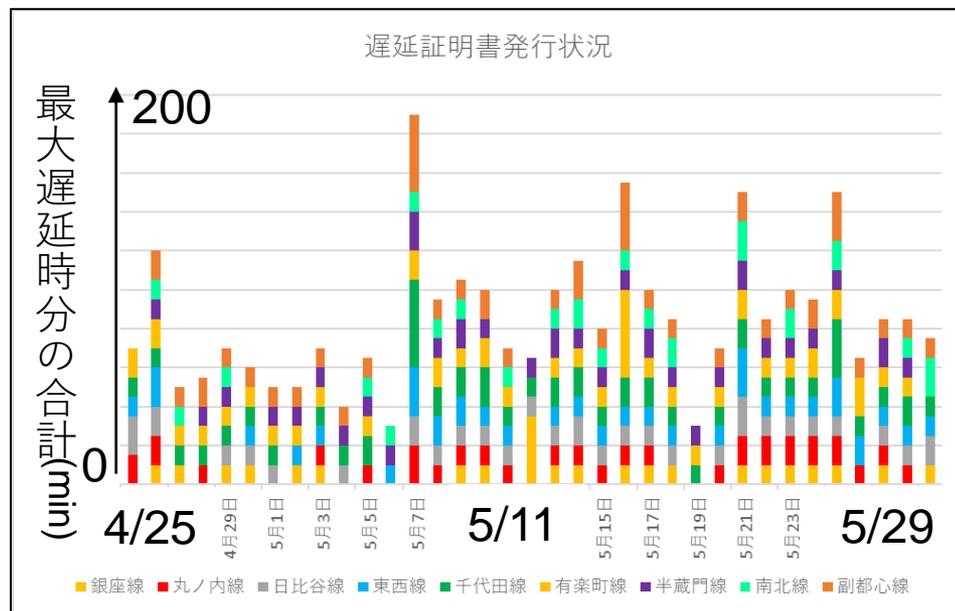


図1:東京メトロ線の遅延証明書発行状況  
2019年 4/25 ~ 5/29

毎日のように遅延が生じている

※東京メトロでは10分以上の遅延で発行される

これらが複雑に絡み合うことで遅延現象が生じるが、

④の**天候**に関しては着目されていない



## 要因④：外因性の理由

天候と列車遅延との関係性

- ・一般的に雨や雪が、列車遅延を引き起こすとされている
- ・特に都市鉄道においては、天候の影響を強く受けやすいとされている



しかし、天候を定量的に考慮した研究は少ない

### 【天候が着目されなかった主な要因】

- ・天候の影響は「走行時間要因」「停車時間要因」と比べ、小さいと考えられるため
- ・運行実績データの取得期間内に降雨が観測された日が少なく、関係性を導けないため

## 要因④：外因性の理由

天候が列車遅延に影響を及ぼす要因は主に2つあると考えられる

### 1.混雑的要因

**利用客の増加によって発車時間が遅延する**

#### I. 利用者の手段選択行動の変化

悪天候により、徒歩や自転車から公共交通機関に利用手段の転換が起きる

#### II. 安全確認

- ・ホーム上に利用客が増加し、安全確認がしにくくなる
- ・混雑によってドアに荷物などが挟まり、安全確認に時間が取られる

### 2. 走行時間要因

**線路状態・視界が悪化し、徐行することによって走行時間が増加する**

#### I. 制限速度の低下

視界不良・線路状態の悪化による安全の確保

#### II. 車両性能の低下

降水によってブレーキ性能が悪化してしまうため、速度を落とす



天候は列車遅延の要因になり得る

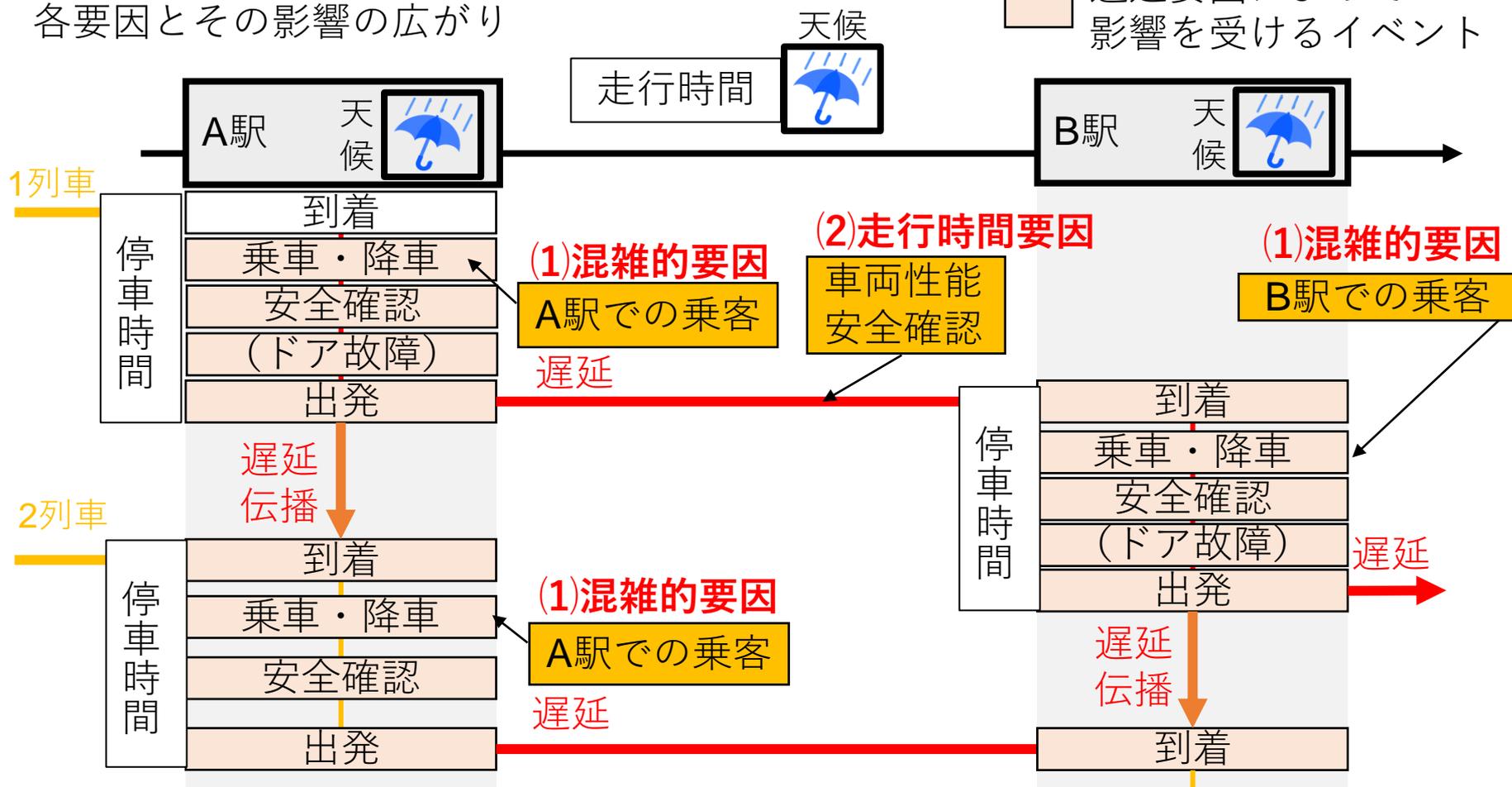
# 1.本研究の背景

## 要因④：外因性の理由



各要因とその影響の広がり

- 雨天時特有の遅延要因
- 遅延要因によって影響を受けるイベント



降雨の影響は時空間的に拡大していく

列車遅延分析における今までの主な2種類のアプローチ

## ①解析的モデルアプローチ

考えられる遅延要因を変数とした数式で、遅延の大きさを表すモデル

**利点** 遅延現象の発生・伝播の**構造を明らかにできる**

**課題**

- ・強い仮定を置く必要がある
- ・**実現象と乖離**してしまう可能性がある

## ②シミュレーションモデルアプローチ

乗客の動きや列車の運行実績・線路・信号制御などの様々なデータから法則を導き出し、遅延現象を詳細に再現するモデル

**利点** 乗客/列車の動きを細部まで再現し、**実現象に近い状態**で遅延現象を再現

**課題**

- ・遅延現象の発生・伝播の**構造が分からない**
- ・設定する条件が多岐にわたる

列車遅延分析における今までのアプローチと本研究との関係

- ・本研究ではベイジアンネットワーク(BN)を用いた列車遅延分析を行う

## ベイジアンネットワークモデル

運行実績データから学習を行い、条件付き確率を用いながら遅延現象を再現するデータ駆動型アプローチモデル

### 利点

- ・データから遅延現象モデルを構築でき、**実現象**を反映できる
- ・遅延現象の発生/伝播の**構造を明らかにできる**

上記モデルを用いると...

- ・今までのアプローチにおける**課題を解決できる**モデルである
- ・「**天候**」を**要因として**、遅延現象の発生/伝播の構造を明らかにできる
- ・「天候」やそれに起因する遅延伝播を加味した、**総合的な遅延構造の把握**に繋がられる

本研究ではベイジアンネットワークモデルを用いる

本研究における目的は以下の通りである

本研究

**ベイジアンネットワーク**を用いて、列車遅延分析を行う



目的

- ① 東京圏の都市鉄道特有の**複雑なダイヤグラム**を表現する
  - ・ 2~3分に1本という**高頻度の運転間隔**を表現
  - ・ 高頻度運転による**列車の詰まり**を表現
- ② 遅延現象の拡大・収束の**メカニズム**を明らかにする
  - ・ 遅延現象を発生/拡大させる**要因**を定量的に明らかにする
  - ・ 特に「**天候**」に着目し、遅延現象との関係性を明らかにする
- ③ **遅延予測**を行う
  - ・ 遅延現象のメカニズムを考慮した遅延予測を行う

目的達成で、以下の3つの時系列的な効果が「鉄道事業者」「利用者」に期待できるが、本研究では「即時的効果」「中期的効果」を扱う

本研究  
の範囲

① 即時的効果 (研究成果をすぐに活用できる)

- ・ **リアルタイム**で、数分後の**遅延予測**ができる
- ・ **明示的に**遅延現象を把握し、**遅延に弱い**箇所を把握する

対象： 鉄道事業者      利用者

② 中期的効果 (ソフト面での遅延対策に活用できる)

- ・ 「**天候**」と遅延現象の関係を明らかにし、**遅延傾向**を把握する
- ・ 明示的な遅延傾向から、**遅延に強い運転計画**を作成できる

対象： 鉄道事業者      利用者

③ 長期的効果 (ハード面での遅延対策に活用できる)

- ・ 遅延傾向から、遅延を考慮した**設備の増強**を効率的にできる  
(例) 線路容量増加・停止位置の変更・信号制御変更など

対象： 鉄道事業者

列車の遅延と天候との関係性を確認するため、基礎集計分析を行った

## 用いたデータ

### (1)列車運行実績データ

実際に列車が運行された時刻（列車運行実績）が秒単位で記載されたデータ

- ・対象路線 : 東京メトロ東西線（中野方面）
- ・データ取得期間 : 2013/4/1～11/29 の朝ラッシュ時間帯  
（西船橋駅発6:00～10:00）
- ・記載されている情報 : ①列車番号  
②列車の種別  
③実際に各列車が各駅に発車・到着した時刻  
④各列車が各駅に発車・到着すべき時刻（定刻）

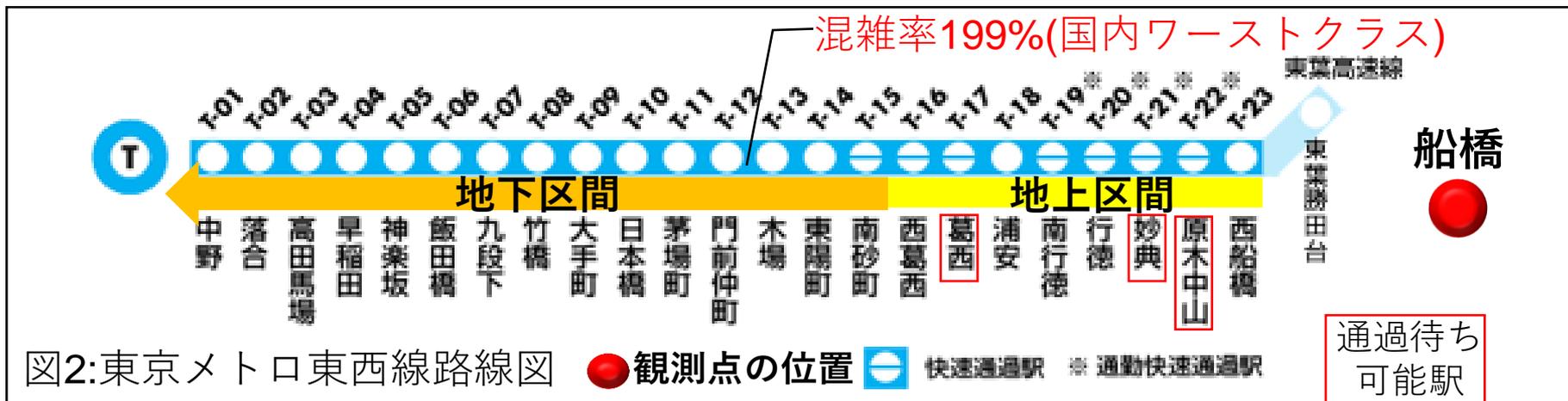
### (2)気象庁データ

対象路線の沿線に設置されているアメダスで観測された降水のデータ

- ・観測所 : 船橋
- ・データ取得期間 : 2013/4/1～11/29（うち、降水があったのは15日間）

## 用いたデータ

東京メトロ東西線について



- ・ 路線は地上区間と地下区間に分けられる
- ・ 種別は「各駅停車」「通勤快速」「快速」の3種類
- ・ 朝ラッシュ時には2~3分に一本の高頻度運行
- ・ 首都圏でトップクラスの混雑路線である

大手町駅8時台時刻表(中野方面)

8	01 03 06 08 11 13 16 18 20
	22 25 27 29 32 34 36 39 41
	43 45 48 50 52 54 57 59

1時間に26本の列車が到着する

## 集計結果

降水量を0mm/hと0.5mm/h以上に分け、その降水があった時間に走っていた列車の「到着時間遅延秒」を10秒単位で20分まで集計した

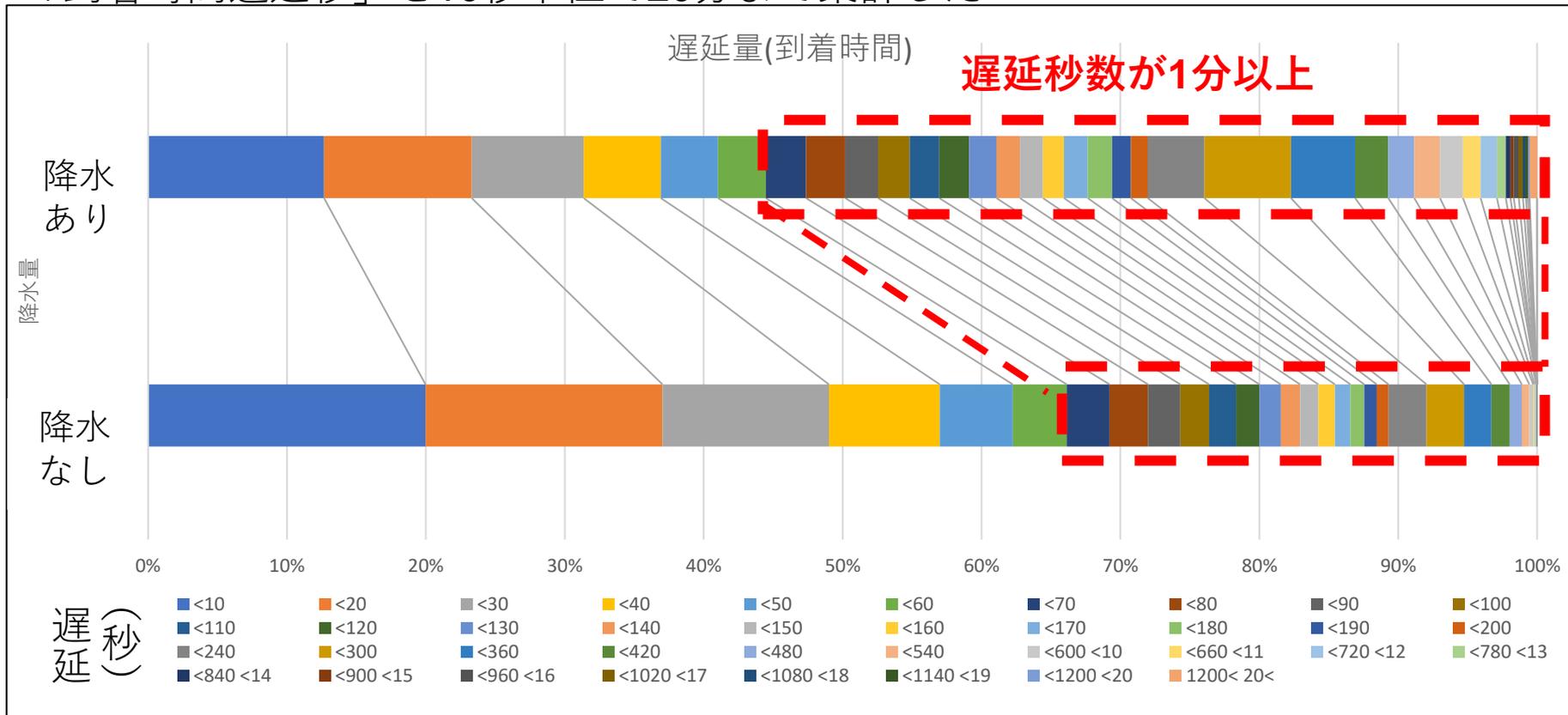


図3:降水の有無による到着遅延秒の大きさの違い

降水がある(0.5mm/h以上)場合、遅延秒数は大きくなる傾向にある

## 集計結果

降水量を1mm/hごとに分け、その降水があった時間に走っていた列車の「到着時間遅延秒」を10秒単位で20分まで集計した

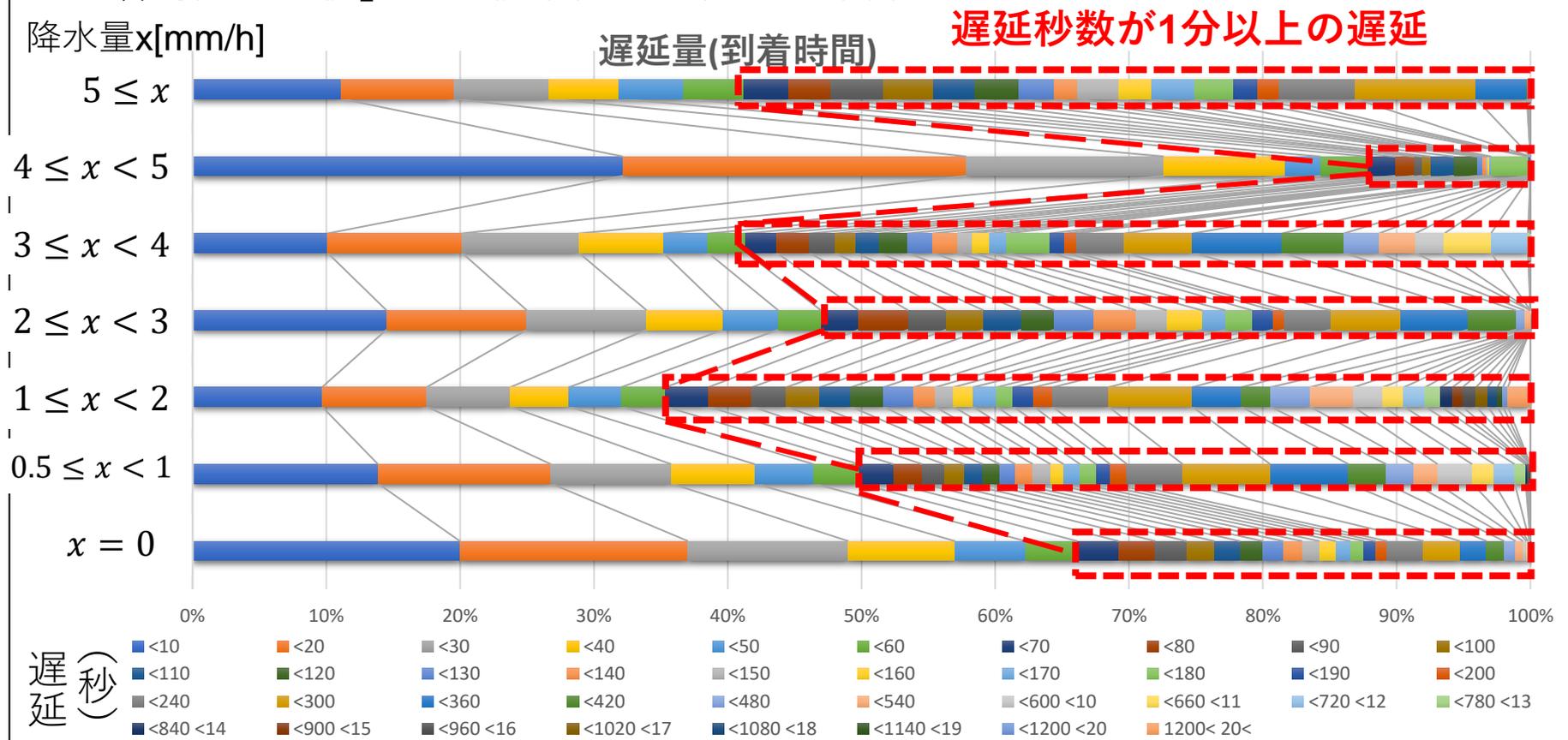


図4:降水量の違いによる到着遅延秒の大きさの違い

降水量が大きいほど、遅延秒数は大きくなる傾向にある

## 集計結果

降水日の列車遅延秒から降雨が無い日の列車遅延秒を引いた中央値を算出  
(雨天時列車の出発・到着時刻の遅れ) - (晴天時列車の出発・到着時刻の遅れ)

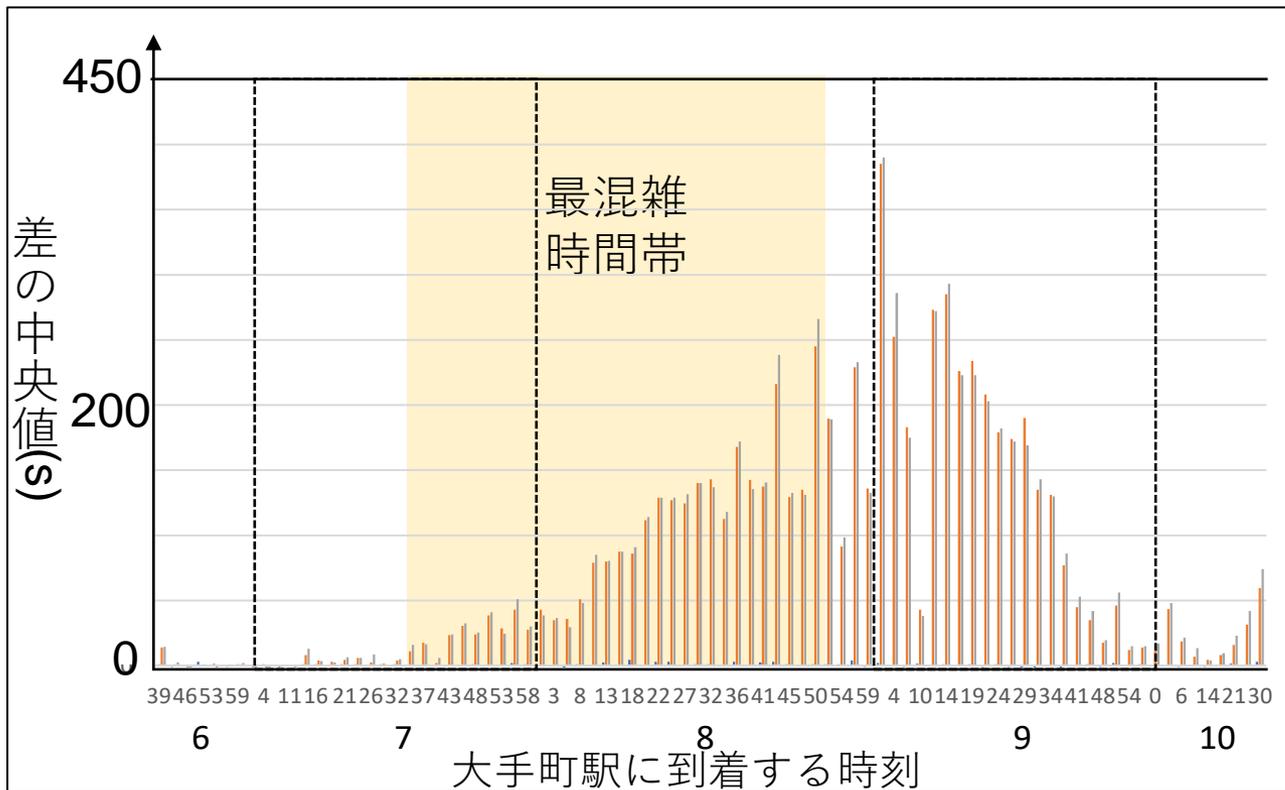
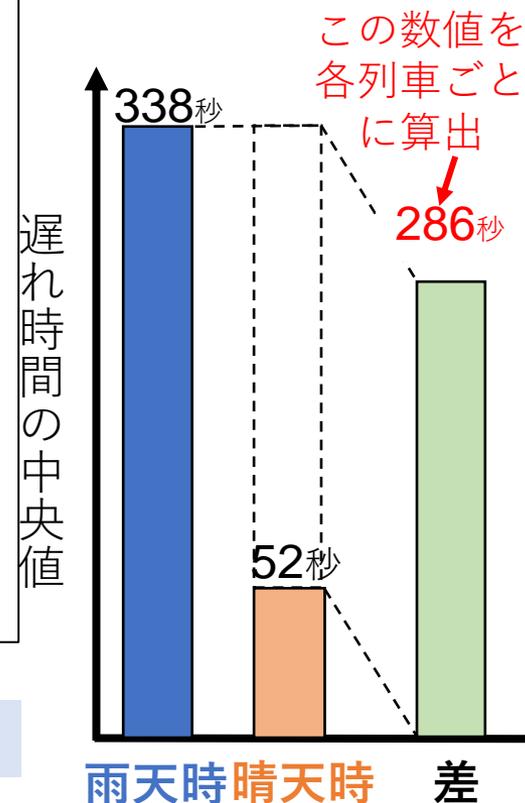


図5:雨天時と晴天時の遅れの比較

天候はラッシュ時間帯ほど影響を及ぼす

都市を走る鉄道、独特の天候の影響が表れている

例 大手町駅に  
9:04に到着する列車



## ベイジアンネットワーク (BN)

- 因果関係を確率で記述するグラフィカルモデルの一つ
- 複雑な因果関係の推論を**有向非循環グラフ (Directed Acyclic Graph)(DAG)**で表す
- 個々の変数の関係を**条件付き確率**で表せる



列車遅延分析に適用すれば...

- ダイアグラムをネットワークで再現できる
- **どの要因が遅延現象に大きな影響を及ぼすか**を分析できる
- 遅延現象の拡大・伝播を説明できる

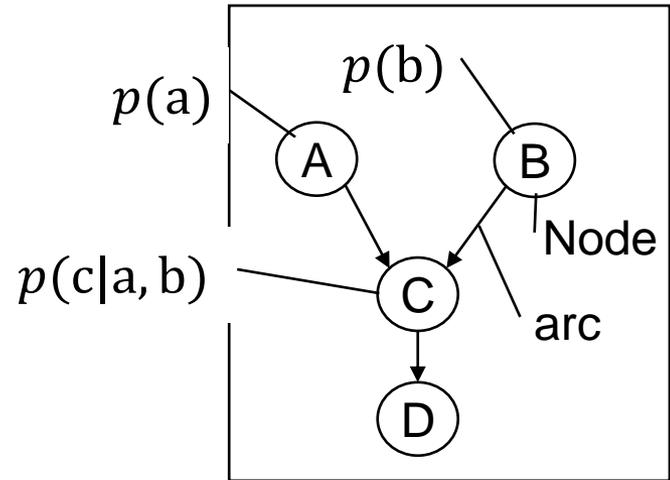


図6:DAG

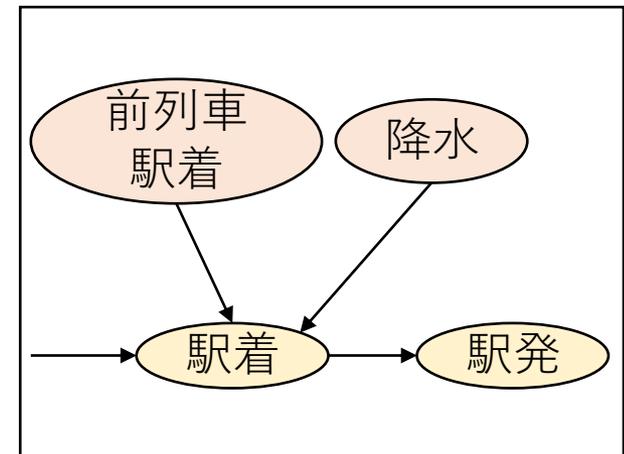


図7:BNを列車遅延分析に適用させた例

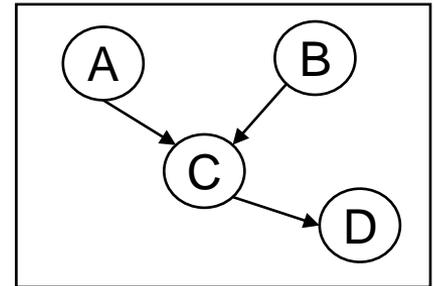
## ベイジアンネットワーク (BN)

ベイジアンネットワークにおける分析の主な流れ

### 構造学習

(方法)

- ・変数間の確率的な関係の構造をデータから学習する
- ・与えられたデータに対して最適な予測ができるようなモデル構造を推定する
- ・予測性の評価は評価関数によって判定する



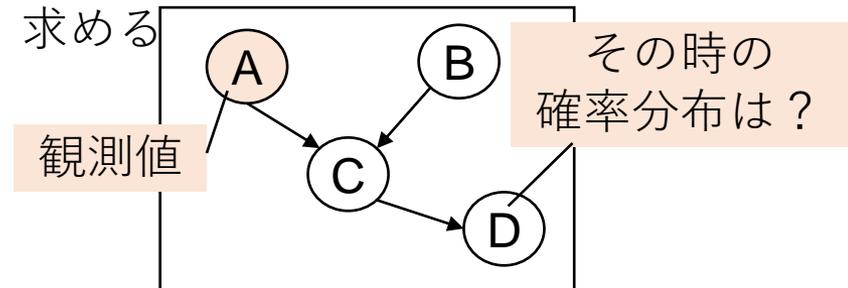
学習結果を使って...

### ①変数間の関係の把握

- ・潜在的な変数関係の発見
- ・リンクの大きさ (影響力)

### ②確率推論

ある変数の情報が観測されたとき、知りたい変数の事後確率分布を求める



## ベイジアンネットワーク (BN)

構造学習

グラフモデル構造イメージを以下に示す

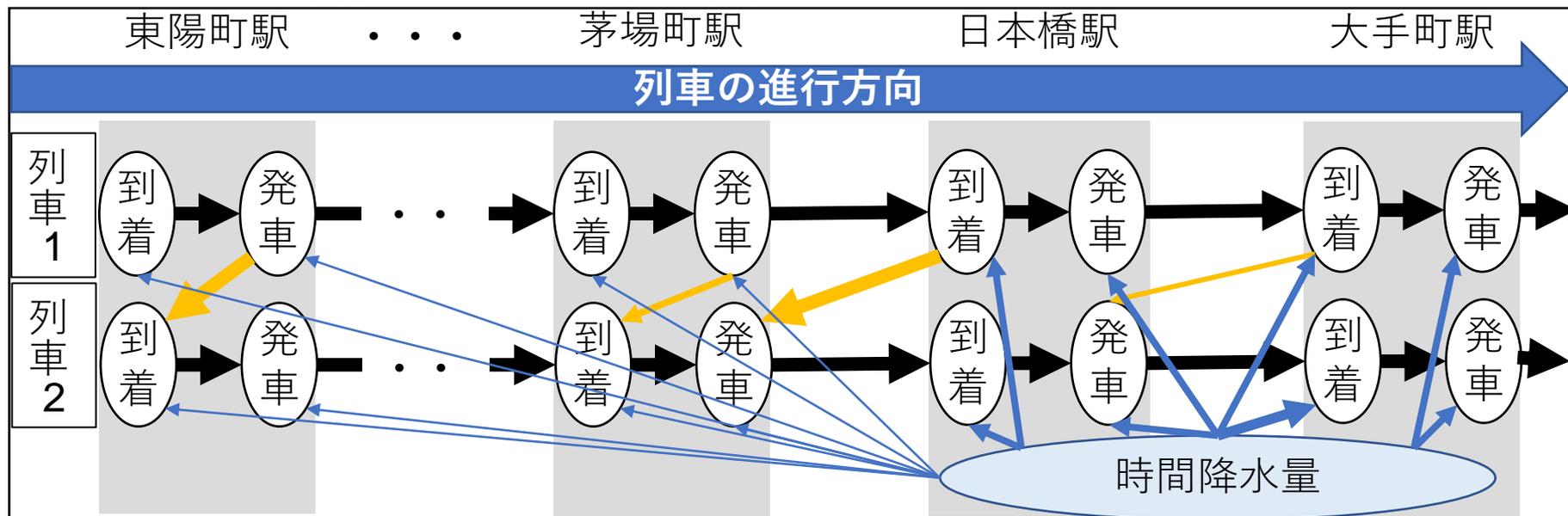
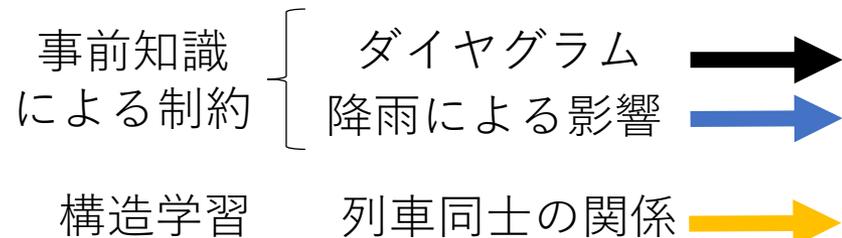
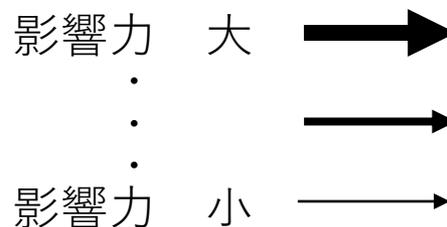


図8:列車遅延構造BNイメージ

構造(構成リンク)



影響力



**構造学習で  
明示的に  
遅延傾向を  
把握**

## ベイジアンネットワーク (BN)

確率推論

グラフモデル構造イメージを以下に示す

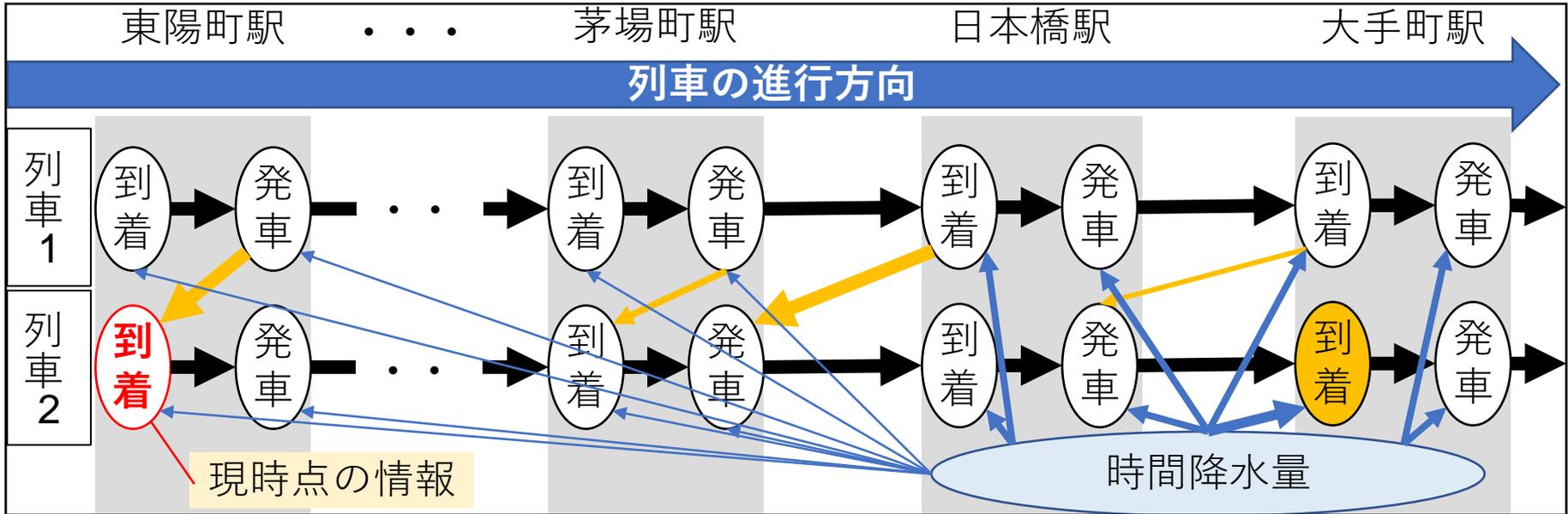


図9:列車遅延構造BNイメージ (確率推論)

- 今後の遅延量を予測する  
ベイジアンネットワークの確率推論を用いる  
(例) 現時点で「東陽町駅」に到着している列車が  
「大手町駅」ではどれほどの遅れになっているか

**確率推論で**  
将来の  
遅延量を  
予測

ベイジアンネットワークを用いた分析をおこなった

## 用いたデータ

### (1)列車運行実績データ

データ取得期間

2013年4/1～2013年11/29

- ・東京メトロ東西線の8時台に走行していた列車の走行データ
- ・各列車の発着時刻が**秒単位**で書かれる

### (2)気象庁データ

データ取得期間

2013年4/1～2013年11/29

観測点

東京・船橋・江戸川臨海

観測項目：時間降水量(mm/h)

用いた製品：BayoLinkS

- ・運行実績データに関しては、降雨の影響を一番大きく受ける8時台に走行していた列車27本を対象とした
- ・気象庁データにおける観測点は基礎集計分析と比べ、観測点を2点増やした  
(増やした観測点はどちらも東西線沿線のポイントである)

## 用いたデータ

### (1)列車運行実績データ

運行実績データについて詳細を記す

- ・遅延秒のデータ：各列車の各駅発着時刻の遅延秒（※）を集計

※「遅延秒」の算出方法

$$\text{遅延秒} = (\text{実際の実績値} - \text{定刻の発着時刻})$$

例：列車1

	東陽町発	木場着	木場発	門前仲町着	門前仲町発	茅場町着	茅場町発	日本橋着
	R1T14d	R1T13a	R1T13d	R1T12a	R1T12d	R1T11a	R1T11d	R1T10a
4月1日	13	13	10	12	16	5	8	12
4月2日	12	14	13	14	19	10	16	19
4月3日	12	13	10	10	15	4	12	14
・	40	41	36	36	40	29	36	39
・	9	9	9	9	15	5	13	15
・	7	6	1	2	3	14	10	8
・	11	13	20	21	29	19	32	35
	12	13	13	13	20	11	23	27
	15	17	23	25	34	26	36	39

列車1の日本橋駅への到着が4/1に12秒遅延した

単位：秒

図10:列車運行実績データ



- ・ 1秒単位の詳細な運行実績データ
- ・ **柔軟な離散化**が可能なデータ（例：閾値30秒・1分・・・）

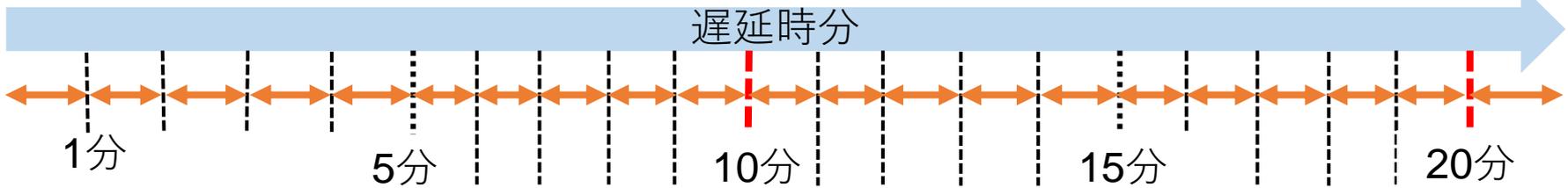
## 離散化

分析において、各データの離散化を以下のように行った

### 列車運行実績データ

- ・ 列車遅延秒の離散化

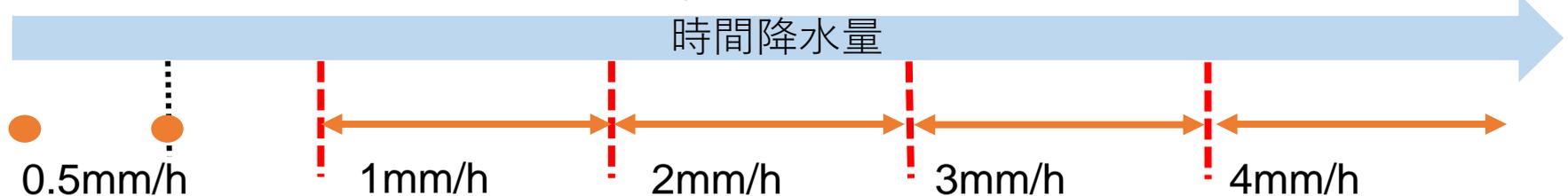
遅延秒数を1分ごとに（20分まで）分け、21値で離散化を行った



### 気象庁データ

- ・ 降雨の離散化

時間降水量を1mm/hごとに分けて離散化を行った



時間降水量：アメダスの1時間ごとに観測している降水量データ  
(前1時間の降水量)

## 構造学習

構造学習では、事前に以下の制約を加えた

- ・ 制約①：**ダイヤグラム制約**  
路線の駅順、ダイヤグラム通りの列車順序になるように制約を加え、列車の通過待ちも考慮する
- ・ 制約②：**降水制約**  
降水データと各駅の発車・到着ノードを結び、各駅の降水状況を反映できるように制約を加える

それ以外のノード間の関係性については「候補(※1)」として、以下のように構造学習を行った

アルゴリズム	： 欲張り法(Greedy Strategy)
評価基準	： AIC(赤池情報量)
欠損処理	： ペアワイズ法
正規化	： MAP(Maximum a posteriori)
確率推論	： LoopyBP

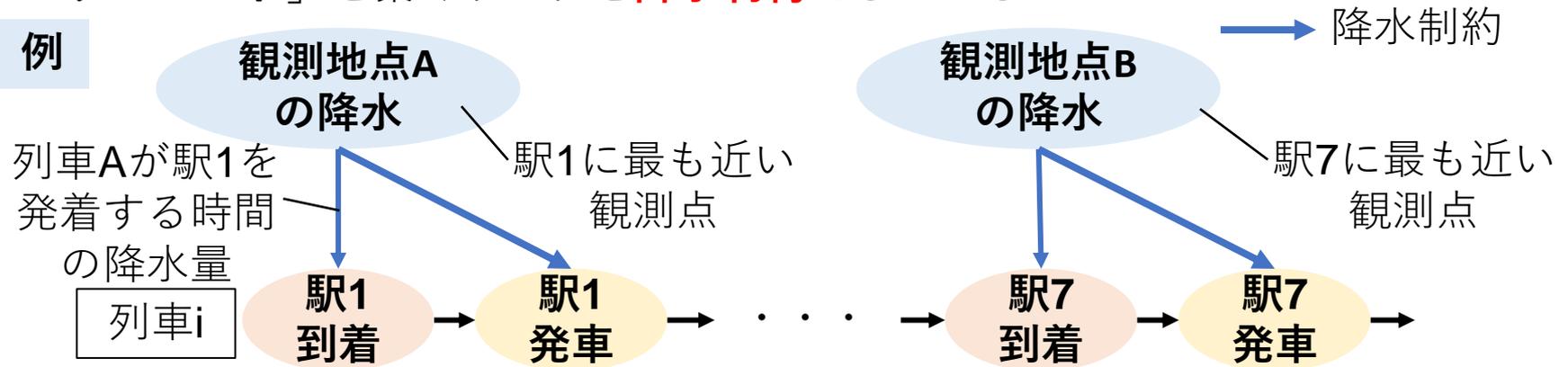
※1：構造学習を行い、スコアが改善するならば関係を持たせるノード間の設定

## 構造学習

制約②の**降水制約**について詳しく記述する

各駅の降水状況を、最寄りの気象庁の観測点における降水データで再現し、「**観測所の降水データのノード**」と「**各列車の各駅の発車・到着における遅延秒データのノード**」を繋ぐリンクを**降水制約**としている

例



東京メトロ東西線の場合、降水制約は以下のように設定する

- 観測点「船橋」 : 西船橋駅・原木中山駅
- 観測点「江戸川臨海」 : 妙典駅～東陽町駅間
- 観測点「東京（大手町）」 : 木場駅～中野駅間

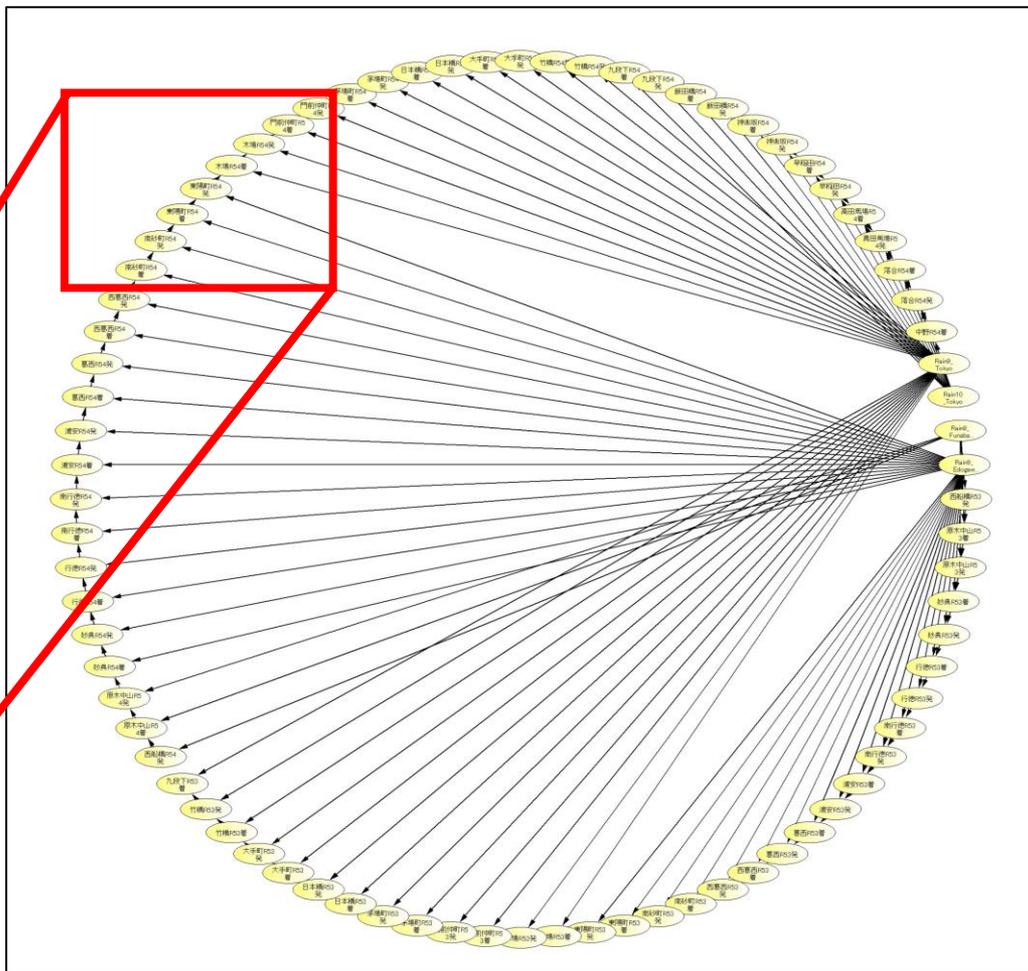
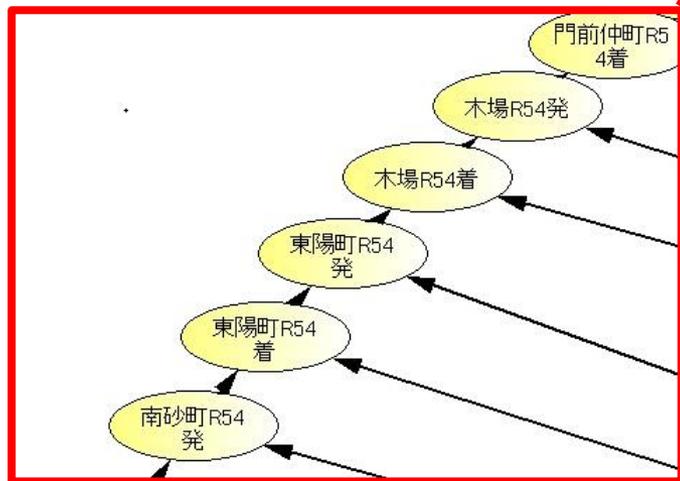
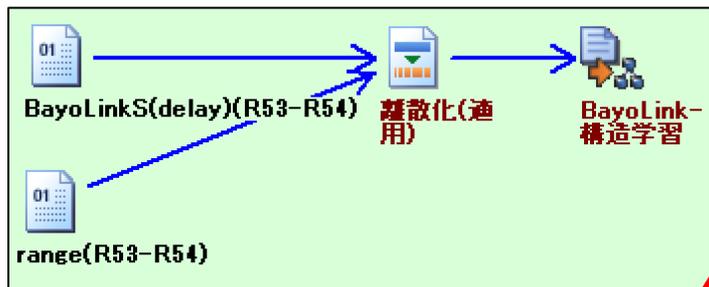
また、列車27本で構造学習を行うと巨大なネットワークとなり、  
 詳細な分析が困難となる恐れがあったため、  
 今回は列車を以下の9グループに分けて分析を行った。

(**青字**のグループの境界となった列車間同士で**橙字**のグループも作成した)

Group境界の列車	Group	Group	西船橋駅	妙典駅	大手町駅	中野駅
列車1	1		07:29	=	08:03	08:21
列車6		2		07:43	08:13	08:33
列車7	3			07:43	=	08:15
列車11		4			07:59	08:29
列車12	5			07:53	08:01	08:32
列車17		6		08:03	08:08	08:38
列車18	7			08:08	=	08:40
列車24		8		08:16	08:21	08:54
列車25	9			08:24	=	08:56
列車27				08:26	08:31	09:01

※**緑字**：通勤快速    =：通過

## ネットワーク構造



- 大規模なネットワーク
- 各列車の各駅の発着ノードと降水ノードを結んでいる

図11:ネットワーク構造例 (R53-R54)

## 各グループでのスコアの結果

※全てGreedy SearchとAICで構造学習

Group	1	2	3	4	
列車数	6	2	5	2	
ノード総数	263	96	225	100	
リンク総数	494	166	423	174	
ML	115127.051	35716.856	122250.285	75492.449	
AIC	370576.102	114373.712	383596.57	231654.898	
Group	5	6	7	8	9
列車数	6	2	7	2	3
ノード総数	268	100	303	91	147
リンク総数	508	173	573	150	259
ML	268528.415	114122.06	334654.735	76196.823	162435.579
AIC	815866.83	343274.12	1015697.47	232209.646	489473.158

- ・列車数が多いとスコアが大きくなる傾向が見られた
- ・9:00頃の列車になるとスコアが大きくなる傾向が見られた

## ①ネットワーク構造

ここでは、ネットワークの一部を示す

→ ダイアグラム制約    ● 発車ノード  
→ 降水制約                    ● 到着ノード

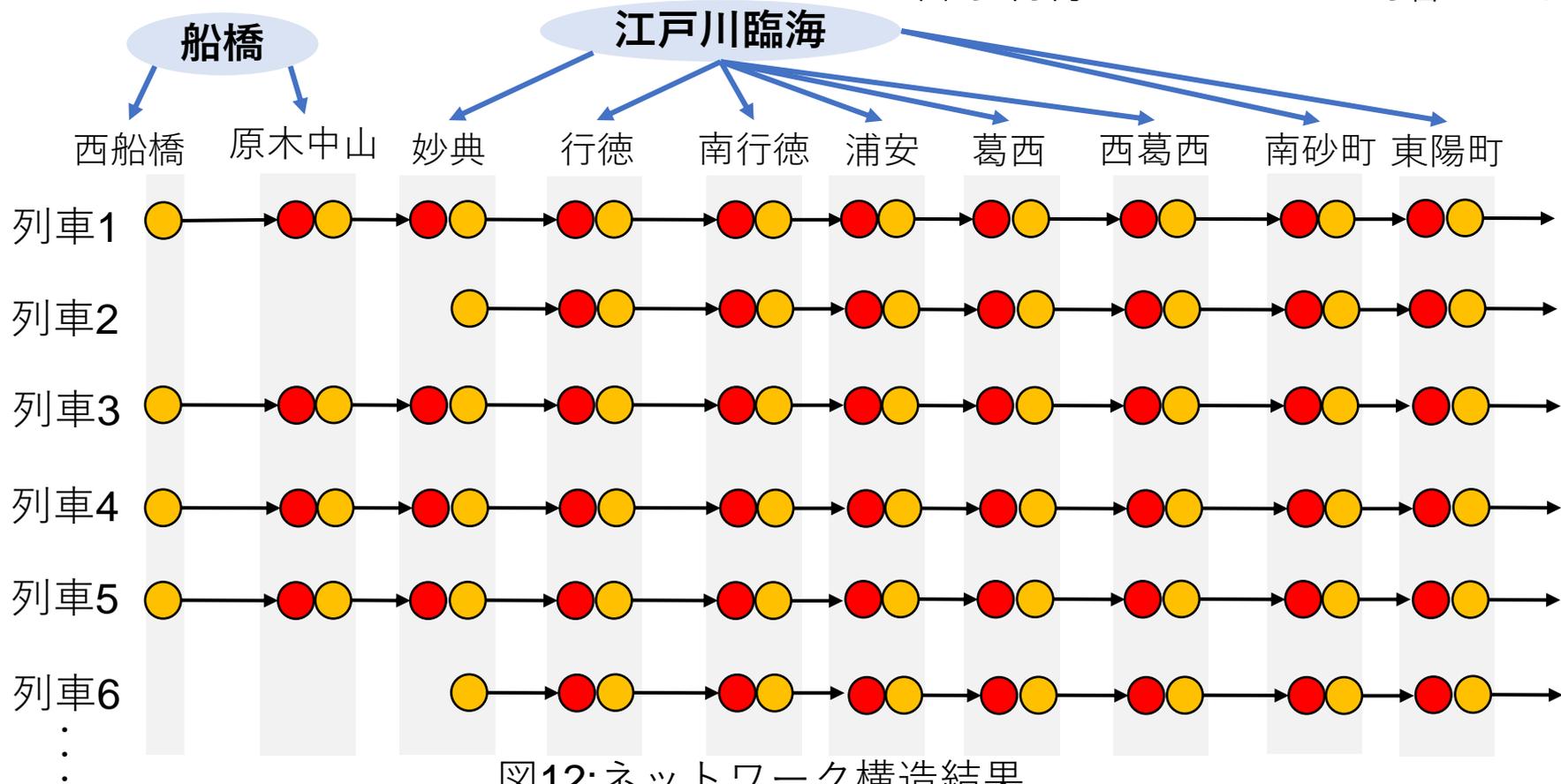


図12: ネットワーク構造結果

事前知識の制約条件以外の関係性は無く、列車間の関係性は見られなかった

## ②確率推論

降水量を入力し、各列車の各駅の発車・到着時の遅延を予測した

<table border="1"> <caption>Rain8_Funabas...</caption> <thead> <tr><th>状態名</th><th>値</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>Rain0</td><td>1.0</td></tr> <tr><td>Rain0.5</td><td>0.0</td></tr> <tr><td>Rain1</td><td>0.0</td></tr> <tr><td>Rain2</td><td>0.0</td></tr> <tr><td>Rain4</td><td>0.0</td></tr> </tbody> </table>	状態名	値	Rain0	1.0	Rain0.5	0.0	Rain1	0.0	Rain2	0.0	Rain4	0.0	<table border="1"> <caption>Rain8_Edogawarinkai</caption> <thead> <tr><th>状態名</th><th>値</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>Rain0</td><td>1.0</td></tr> <tr><td>Rain0.5</td><td>0.0</td></tr> <tr><td>Rain1</td><td>0.0</td></tr> <tr><td>Rain2</td><td>0.0</td></tr> <tr><td>Rain3</td><td>0.0</td></tr> <tr><td>Rain4~</td><td>0.0</td></tr> </tbody> </table>	状態名	値	Rain0	1.0	Rain0.5	0.0	Rain1	0.0	Rain2	0.0	Rain3	0.0	Rain4~	0.0	<table border="1"> <caption>Rain9_Edogawarinkai</caption> <thead> <tr><th>状態名</th><th>値</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>Rain0</td><td>1.0</td></tr> <tr><td>Rain0.5</td><td>0.0</td></tr> <tr><td>Rain1</td><td>0.0</td></tr> <tr><td>Rain2</td><td>0.0</td></tr> <tr><td>Rain4</td><td>0.0</td></tr> </tbody> </table>	状態名	値	Rain0	1.0	Rain0.5	0.0	Rain1	0.0	Rain2	0.0	Rain4	0.0	<table border="1"> <caption>Rain8_Tokyo</caption> <thead> <tr><th>状態名</th><th>値</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>Rain0</td><td>1.0</td></tr> <tr><td>Rain0.5</td><td>0.0</td></tr> <tr><td>Rain1</td><td>0.0</td></tr> <tr><td>Rain2</td><td>0.0</td></tr> <tr><td>Rain3</td><td>0.0</td></tr> <tr><td>Rain4</td><td>0.0</td></tr> </tbody> </table>	状態名	値	Rain0	1.0	Rain0.5	0.0	Rain1	0.0	Rain2	0.0	Rain3	0.0	Rain4	0.0	<table border="1"> <caption>Rain9_Tokyo</caption> <thead> <tr><th>状態名</th><th>値</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>Rain0</td><td>1.0</td></tr> <tr><td>Rain0.5</td><td>0.0</td></tr> <tr><td>Rain1</td><td>0.0</td></tr> <tr><td>Rain2</td><td>0.0</td></tr> <tr><td>Rain4</td><td>0.0</td></tr> </tbody> </table>	状態名	値	Rain0	1.0	Rain0.5	0.0	Rain1	0.0	Rain2	0.0	Rain4	0.0																																							
状態名	値																																																																																																										
Rain0	1.0																																																																																																										
Rain0.5	0.0																																																																																																										
Rain1	0.0																																																																																																										
Rain2	0.0																																																																																																										
Rain4	0.0																																																																																																										
状態名	値																																																																																																										
Rain0	1.0																																																																																																										
Rain0.5	0.0																																																																																																										
Rain1	0.0																																																																																																										
Rain2	0.0																																																																																																										
Rain3	0.0																																																																																																										
Rain4~	0.0																																																																																																										
状態名	値																																																																																																										
Rain0	1.0																																																																																																										
Rain0.5	0.0																																																																																																										
Rain1	0.0																																																																																																										
Rain2	0.0																																																																																																										
Rain4	0.0																																																																																																										
状態名	値																																																																																																										
Rain0	1.0																																																																																																										
Rain0.5	0.0																																																																																																										
Rain1	0.0																																																																																																										
Rain2	0.0																																																																																																										
Rain3	0.0																																																																																																										
Rain4	0.0																																																																																																										
状態名	値																																																																																																										
Rain0	1.0																																																																																																										
Rain0.5	0.0																																																																																																										
Rain1	0.0																																																																																																										
Rain2	0.0																																																																																																										
Rain4	0.0																																																																																																										
<table border="1"> <caption>浦安R35発</caption> <thead> <tr><th>状態名</th><th>値</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>0</td><td>0.8632</td></tr> <tr><td>1~2</td><td>0.0479</td></tr> <tr><td>2~3</td><td>0.0311</td></tr> <tr><td>3~4</td><td>0.031</td></tr> <tr><td>6~7</td><td>0.0269</td></tr> </tbody> </table>	状態名	値	0	0.8632	1~2	0.0479	2~3	0.0311	3~4	0.031	6~7	0.0269	<table border="1"> <caption>葛西R35発</caption> <thead> <tr><th>状態名</th><th>値</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>0</td><td>0.7157</td></tr> <tr><td>1~2</td><td>0.1663</td></tr> <tr><td>2~3</td><td>0.0518</td></tr> <tr><td>3~4</td><td>0.0354</td></tr> <tr><td>7~8</td><td>0.0307</td></tr> </tbody> </table>	状態名	値	0	0.7157	1~2	0.1663	2~3	0.0518	3~4	0.0354	7~8	0.0307	<table border="1"> <caption>東陽町R35発</caption> <thead> <tr><th>状態名</th><th>値</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>0</td><td>0.5227</td></tr> <tr><td>10~11</td><td>0.0391</td></tr> <tr><td>1~2</td><td>0.2075</td></tr> <tr><td>2~3</td><td>0.0792</td></tr> <tr><td>3~4</td><td>0.0589</td></tr> <tr><td>4~5</td><td>0.0536</td></tr> <tr><td>5~6</td><td>0.0391</td></tr> </tbody> </table>	状態名	値	0	0.5227	10~11	0.0391	1~2	0.2075	2~3	0.0792	3~4	0.0589	4~5	0.0536	5~6	0.0391	<table border="1"> <caption>茅場町R35発</caption> <thead> <tr><th>状態名</th><th>値</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>0</td><td>0.2625</td></tr> <tr><td>11~12</td><td>0.0426</td></tr> <tr><td>1~2</td><td>0.2464</td></tr> <tr><td>2~3</td><td>0.1378</td></tr> <tr><td>3~4</td><td>0.0775</td></tr> <tr><td>4~5</td><td>0.085</td></tr> <tr><td>5~6</td><td>0.0509</td></tr> <tr><td>6~7</td><td>0.0507</td></tr> <tr><td>7~8</td><td>0.0467</td></tr> </tbody> </table>	状態名	値	0	0.2625	11~12	0.0426	1~2	0.2464	2~3	0.1378	3~4	0.0775	4~5	0.085	5~6	0.0509	6~7	0.0507	7~8	0.0467	<table border="1"> <caption>大手町R35発</caption> <thead> <tr><th>状態名</th><th>値</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>0</td><td>0.2458</td></tr> <tr><td>11~12</td><td>0.0445</td></tr> <tr><td>1~2</td><td>0.1897</td></tr> <tr><td>2~3</td><td>0.1786</td></tr> <tr><td>3~4</td><td>0.0798</td></tr> <tr><td>4~5</td><td>0.0972</td></tr> <tr><td>5~6</td><td>0.0577</td></tr> <tr><td>6~7</td><td>0.0533</td></tr> <tr><td>7~8</td><td>0.0533</td></tr> </tbody> </table>	状態名	値	0	0.2458	11~12	0.0445	1~2	0.1897	2~3	0.1786	3~4	0.0798	4~5	0.0972	5~6	0.0577	6~7	0.0533	7~8	0.0533	<table border="1"> <caption>中野R35着</caption> <thead> <tr><th>状態名</th><th>値</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>0</td><td>0.2878</td></tr> <tr><td>10~11</td><td>0.0438</td></tr> <tr><td>1~2</td><td>0.2021</td></tr> <tr><td>2~3</td><td>0.1309</td></tr> <tr><td>3~4</td><td>0.0684</td></tr> <tr><td>4~5</td><td>0.0679</td></tr> <tr><td>5~6</td><td>0.0599</td></tr> <tr><td>6~7</td><td>0.0477</td></tr> <tr><td>8~9</td><td>0.0438</td></tr> <tr><td>9~10</td><td>0.0477</td></tr> </tbody> </table>	状態名	値	0	0.2878	10~11	0.0438	1~2	0.2021	2~3	0.1309	3~4	0.0684	4~5	0.0679	5~6	0.0599	6~7	0.0477	8~9	0.0438	9~10	0.0477
状態名	値																																																																																																										
0	0.8632																																																																																																										
1~2	0.0479																																																																																																										
2~3	0.0311																																																																																																										
3~4	0.031																																																																																																										
6~7	0.0269																																																																																																										
状態名	値																																																																																																										
0	0.7157																																																																																																										
1~2	0.1663																																																																																																										
2~3	0.0518																																																																																																										
3~4	0.0354																																																																																																										
7~8	0.0307																																																																																																										
状態名	値																																																																																																										
0	0.5227																																																																																																										
10~11	0.0391																																																																																																										
1~2	0.2075																																																																																																										
2~3	0.0792																																																																																																										
3~4	0.0589																																																																																																										
4~5	0.0536																																																																																																										
5~6	0.0391																																																																																																										
状態名	値																																																																																																										
0	0.2625																																																																																																										
11~12	0.0426																																																																																																										
1~2	0.2464																																																																																																										
2~3	0.1378																																																																																																										
3~4	0.0775																																																																																																										
4~5	0.085																																																																																																										
5~6	0.0509																																																																																																										
6~7	0.0507																																																																																																										
7~8	0.0467																																																																																																										
状態名	値																																																																																																										
0	0.2458																																																																																																										
11~12	0.0445																																																																																																										
1~2	0.1897																																																																																																										
2~3	0.1786																																																																																																										
3~4	0.0798																																																																																																										
4~5	0.0972																																																																																																										
5~6	0.0577																																																																																																										
6~7	0.0533																																																																																																										
7~8	0.0533																																																																																																										
状態名	値																																																																																																										
0	0.2878																																																																																																										
10~11	0.0438																																																																																																										
1~2	0.2021																																																																																																										
2~3	0.1309																																																																																																										
3~4	0.0684																																																																																																										
4~5	0.0679																																																																																																										
5~6	0.0599																																																																																																										
6~7	0.0477																																																																																																										
8~9	0.0438																																																																																																										
9~10	0.0477																																																																																																										
<table border="1"> <caption>浦安R36発</caption> <thead> <tr><th>状態名</th><th>値</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>0</td><td>0.8821</td></tr> <tr><td>1~2</td><td>0.047</td></tr> <tr><td>2~3</td><td>0.0412</td></tr> <tr><td>6~7</td><td>0.0297</td></tr> </tbody> </table>	状態名	値	0	0.8821	1~2	0.047	2~3	0.0412	6~7	0.0297	<table border="1"> <caption>葛西R36発</caption> <thead> <tr><th>状態名</th><th>値</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>0</td><td>0.7932</td></tr> <tr><td>1~2</td><td>0.095</td></tr> <tr><td>2~3</td><td>0.051</td></tr> <tr><td>3~4</td><td>0.0305</td></tr> <tr><td>7~8</td><td>0.0303</td></tr> </tbody> </table>	状態名	値	0	0.7932	1~2	0.095	2~3	0.051	3~4	0.0305	7~8	0.0303	<table border="1"> <caption>東陽町R36発</caption> <thead> <tr><th>状態名</th><th>値</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>0</td><td>0.5905</td></tr> <tr><td>1~2</td><td>0.1499</td></tr> <tr><td>2~3</td><td>0.0781</td></tr> <tr><td>3~4</td><td>0.0573</td></tr> <tr><td>4~5</td><td>0.0479</td></tr> <tr><td>5~6</td><td>0.0381</td></tr> <tr><td>9~10</td><td>0.0381</td></tr> </tbody> </table>	状態名	値	0	0.5905	1~2	0.1499	2~3	0.0781	3~4	0.0573	4~5	0.0479	5~6	0.0381	9~10	0.0381	<table border="1"> <caption>茅場町R36発</caption> <thead> <tr><th>状態名</th><th>値</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>0</td><td>0.2334</td></tr> <tr><td>11~12</td><td>0.0428</td></tr> <tr><td>1~2</td><td>0.2461</td></tr> <tr><td>2~3</td><td>0.1538</td></tr> <tr><td>3~4</td><td>0.0861</td></tr> <tr><td>4~5</td><td>0.0847</td></tr> <tr><td>5~6</td><td>0.0512</td></tr> <tr><td>6~7</td><td>0.055</td></tr> <tr><td>7~8</td><td>0.0469</td></tr> </tbody> </table>	状態名	値	0	0.2334	11~12	0.0428	1~2	0.2461	2~3	0.1538	3~4	0.0861	4~5	0.0847	5~6	0.0512	6~7	0.055	7~8	0.0469	<table border="1"> <caption>大手町R36発</caption> <thead> <tr><th>状態名</th><th>値</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>0</td><td>0.236</td></tr> <tr><td>11~12</td><td>0.0445</td></tr> <tr><td>1~2</td><td>0.1943</td></tr> <tr><td>2~3</td><td>0.1701</td></tr> <tr><td>3~4</td><td>0.0844</td></tr> <tr><td>4~5</td><td>0.0973</td></tr> <tr><td>5~6</td><td>0.0666</td></tr> <tr><td>6~7</td><td>0.0534</td></tr> <tr><td>7~8</td><td>0.0534</td></tr> </tbody> </table>	状態名	値	0	0.236	11~12	0.0445	1~2	0.1943	2~3	0.1701	3~4	0.0844	4~5	0.0973	5~6	0.0666	6~7	0.0534	7~8	0.0534	<table border="1"> <caption>中野R36着</caption> <thead> <tr><th>状態名</th><th>値</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>0</td><td>0.3254</td></tr> <tr><td>1~2</td><td>0.1115</td></tr> <tr><td>2~3</td><td>0.1028</td></tr> <tr><td>3~4</td><td>0.1308</td></tr> <tr><td>4~5</td><td>0.0731</td></tr> <tr><td>5~6</td><td>0.061</td></tr> <tr><td>6~7</td><td>0.0488</td></tr> <tr><td>7~8</td><td>0.0488</td></tr> <tr><td>8~9</td><td>0.0488</td></tr> <tr><td>9~10</td><td>0.0489</td></tr> </tbody> </table>	状態名	値	0	0.3254	1~2	0.1115	2~3	0.1028	3~4	0.1308	4~5	0.0731	5~6	0.061	6~7	0.0488	7~8	0.0488	8~9	0.0488	9~10	0.0489		
状態名	値																																																																																																										
0	0.8821																																																																																																										
1~2	0.047																																																																																																										
2~3	0.0412																																																																																																										
6~7	0.0297																																																																																																										
状態名	値																																																																																																										
0	0.7932																																																																																																										
1~2	0.095																																																																																																										
2~3	0.051																																																																																																										
3~4	0.0305																																																																																																										
7~8	0.0303																																																																																																										
状態名	値																																																																																																										
0	0.5905																																																																																																										
1~2	0.1499																																																																																																										
2~3	0.0781																																																																																																										
3~4	0.0573																																																																																																										
4~5	0.0479																																																																																																										
5~6	0.0381																																																																																																										
9~10	0.0381																																																																																																										
状態名	値																																																																																																										
0	0.2334																																																																																																										
11~12	0.0428																																																																																																										
1~2	0.2461																																																																																																										
2~3	0.1538																																																																																																										
3~4	0.0861																																																																																																										
4~5	0.0847																																																																																																										
5~6	0.0512																																																																																																										
6~7	0.055																																																																																																										
7~8	0.0469																																																																																																										
状態名	値																																																																																																										
0	0.236																																																																																																										
11~12	0.0445																																																																																																										
1~2	0.1943																																																																																																										
2~3	0.1701																																																																																																										
3~4	0.0844																																																																																																										
4~5	0.0973																																																																																																										
5~6	0.0666																																																																																																										
6~7	0.0534																																																																																																										
7~8	0.0534																																																																																																										
状態名	値																																																																																																										
0	0.3254																																																																																																										
1~2	0.1115																																																																																																										
2~3	0.1028																																																																																																										
3~4	0.1308																																																																																																										
4~5	0.0731																																																																																																										
5~6	0.061																																																																																																										
6~7	0.0488																																																																																																										
7~8	0.0488																																																																																																										
8~9	0.0488																																																																																																										
9~10	0.0489																																																																																																										

降水量に0mm/hを入力

各駅発着の遅延予測は0~1分の確率が最も高いと予測される

降水なし  
(列車6・7)

図13-1:確率推論の例 (降水なし)

## ②確率推論

降水量を入力し、各列車の各駅の発車・到着時の遅延を予測した

<table border="1"> <caption>Rain8_Funabas...</caption> <thead> <tr><th>状態名</th><th>値</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>Rain0</td><td>0.0</td></tr> <tr><td>Rain0.5</td><td>0.0</td></tr> <tr><td>Rain1</td><td>0.0</td></tr> <tr><td>Rain2</td><td>0.0</td></tr> <tr><td>Rain4</td><td>1.0</td></tr> </tbody> </table>	状態名	値	Rain0	0.0	Rain0.5	0.0	Rain1	0.0	Rain2	0.0	Rain4	1.0	<table border="1"> <caption>Rain8_Edogawarinkai</caption> <thead> <tr><th>状態名</th><th>値</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>Rain0</td><td>0.0</td></tr> <tr><td>Rain0.5</td><td>0.0</td></tr> <tr><td>Rain1</td><td>0.0</td></tr> <tr><td>Rain2</td><td>0.0</td></tr> <tr><td>Rain3</td><td>0.0</td></tr> <tr><td>Rain4</td><td>1.0</td></tr> </tbody> </table>	状態名	値	Rain0	0.0	Rain0.5	0.0	Rain1	0.0	Rain2	0.0	Rain3	0.0	Rain4	1.0	<table border="1"> <caption>Rain9_Edogawarinkai</caption> <thead> <tr><th>状態名</th><th>値</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>Rain0</td><td>0.0</td></tr> <tr><td>Rain0.5</td><td>0.0</td></tr> <tr><td>Rain1</td><td>0.0</td></tr> <tr><td>Rain2</td><td>0.0</td></tr> <tr><td>Rain4</td><td>1.0</td></tr> </tbody> </table>	状態名	値	Rain0	0.0	Rain0.5	0.0	Rain1	0.0	Rain2	0.0	Rain4	1.0	<table border="1"> <caption>Rain8_Tokyo</caption> <thead> <tr><th>状態名</th><th>値</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>Rain0</td><td>0.0</td></tr> <tr><td>Rain0.5</td><td>0.0</td></tr> <tr><td>Rain1</td><td>0.0</td></tr> <tr><td>Rain2</td><td>0.0</td></tr> <tr><td>Rain3</td><td>0.0</td></tr> <tr><td>Rain4</td><td>1.0</td></tr> </tbody> </table>	状態名	値	Rain0	0.0	Rain0.5	0.0	Rain1	0.0	Rain2	0.0	Rain3	0.0	Rain4	1.0	<table border="1"> <caption>Rain9_Tokyo</caption> <thead> <tr><th>状態名</th><th>値</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>Rain0</td><td>0.0</td></tr> <tr><td>Rain0.5</td><td>0.0</td></tr> <tr><td>Rain1</td><td>0.0</td></tr> <tr><td>Rain2</td><td>0.0</td></tr> <tr><td>Rain4</td><td>1.0</td></tr> </tbody> </table>	状態名	値	Rain0	0.0	Rain0.5	0.0	Rain1	0.0	Rain2	0.0	Rain4	1.0																																							
状態名	値																																																																																																										
Rain0	0.0																																																																																																										
Rain0.5	0.0																																																																																																										
Rain1	0.0																																																																																																										
Rain2	0.0																																																																																																										
Rain4	1.0																																																																																																										
状態名	値																																																																																																										
Rain0	0.0																																																																																																										
Rain0.5	0.0																																																																																																										
Rain1	0.0																																																																																																										
Rain2	0.0																																																																																																										
Rain3	0.0																																																																																																										
Rain4	1.0																																																																																																										
状態名	値																																																																																																										
Rain0	0.0																																																																																																										
Rain0.5	0.0																																																																																																										
Rain1	0.0																																																																																																										
Rain2	0.0																																																																																																										
Rain4	1.0																																																																																																										
状態名	値																																																																																																										
Rain0	0.0																																																																																																										
Rain0.5	0.0																																																																																																										
Rain1	0.0																																																																																																										
Rain2	0.0																																																																																																										
Rain3	0.0																																																																																																										
Rain4	1.0																																																																																																										
状態名	値																																																																																																										
Rain0	0.0																																																																																																										
Rain0.5	0.0																																																																																																										
Rain1	0.0																																																																																																										
Rain2	0.0																																																																																																										
Rain4	1.0																																																																																																										
<table border="1"> <caption>浦安R35発</caption> <thead> <tr><th>状態名</th><th>値</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>0</td><td>0.251</td></tr> <tr><td>1~2</td><td>0.1784</td></tr> <tr><td>2~3</td><td>0.2139</td></tr> <tr><td>3~4</td><td>0.1784</td></tr> <tr><td>6~7</td><td>0.1784</td></tr> </tbody> </table>	状態名	値	0	0.251	1~2	0.1784	2~3	0.2139	3~4	0.1784	6~7	0.1784	<table border="1"> <caption>葛西R35発</caption> <thead> <tr><th>状態名</th><th>値</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>0</td><td>0.2143</td></tr> <tr><td>1~2</td><td>0.2143</td></tr> <tr><td>2~3</td><td>0.1786</td></tr> <tr><td>3~4</td><td>0.2143</td></tr> <tr><td>7~8</td><td>0.1786</td></tr> </tbody> </table>	状態名	値	0	0.2143	1~2	0.2143	2~3	0.1786	3~4	0.2143	7~8	0.1786	<table border="1"> <caption>東陽町R35発</caption> <thead> <tr><th>状態名</th><th>値</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>0</td><td>0.1373</td></tr> <tr><td>10~11</td><td>0.1373</td></tr> <tr><td>1~2</td><td>0.1764</td></tr> <tr><td>2~3</td><td>0.1373</td></tr> <tr><td>3~4</td><td>0.1373</td></tr> <tr><td>4~5</td><td>0.1373</td></tr> <tr><td>5~6</td><td>0.1373</td></tr> </tbody> </table>	状態名	値	0	0.1373	10~11	0.1373	1~2	0.1764	2~3	0.1373	3~4	0.1373	4~5	0.1373	5~6	0.1373	<table border="1"> <caption>茅場町R35発</caption> <thead> <tr><th>状態名</th><th>値</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>0</td><td>0.1191</td></tr> <tr><td>11~12</td><td>0.1071</td></tr> <tr><td>1~2</td><td>0.1071</td></tr> <tr><td>2~3</td><td>0.1314</td></tr> <tr><td>3~4</td><td>0.1071</td></tr> <tr><td>4~5</td><td>0.1071</td></tr> <tr><td>5~6</td><td>0.1071</td></tr> <tr><td>6~7</td><td>0.1071</td></tr> <tr><td>7~8</td><td>0.1071</td></tr> </tbody> </table>	状態名	値	0	0.1191	11~12	0.1071	1~2	0.1071	2~3	0.1314	3~4	0.1071	4~5	0.1071	5~6	0.1071	6~7	0.1071	7~8	0.1071	<table border="1"> <caption>大手町R35発</caption> <thead> <tr><th>状態名</th><th>値</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>0</td><td>0.1071</td></tr> <tr><td>11~12</td><td>0.1071</td></tr> <tr><td>1~2</td><td>0.119</td></tr> <tr><td>2~3</td><td>0.131</td></tr> <tr><td>3~4</td><td>0.1071</td></tr> <tr><td>4~5</td><td>0.1071</td></tr> <tr><td>5~6</td><td>0.1071</td></tr> <tr><td>6~7</td><td>0.1071</td></tr> <tr><td>7~8</td><td>0.1071</td></tr> </tbody> </table>	状態名	値	0	0.1071	11~12	0.1071	1~2	0.119	2~3	0.131	3~4	0.1071	4~5	0.1071	5~6	0.1071	6~7	0.1071	7~8	0.1071	<table border="1"> <caption>中野R35着</caption> <thead> <tr><th>状態名</th><th>値</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>0</td><td>0.097</td></tr> <tr><td>10~11</td><td>0.097</td></tr> <tr><td>1~2</td><td>0.1266</td></tr> <tr><td>2~3</td><td>0.097</td></tr> <tr><td>3~4</td><td>0.097</td></tr> <tr><td>4~5</td><td>0.097</td></tr> <tr><td>5~6</td><td>0.097</td></tr> <tr><td>6~7</td><td>0.097</td></tr> <tr><td>8~9</td><td>0.097</td></tr> <tr><td>9~10</td><td>0.097</td></tr> </tbody> </table>	状態名	値	0	0.097	10~11	0.097	1~2	0.1266	2~3	0.097	3~4	0.097	4~5	0.097	5~6	0.097	6~7	0.097	8~9	0.097	9~10	0.097
状態名	値																																																																																																										
0	0.251																																																																																																										
1~2	0.1784																																																																																																										
2~3	0.2139																																																																																																										
3~4	0.1784																																																																																																										
6~7	0.1784																																																																																																										
状態名	値																																																																																																										
0	0.2143																																																																																																										
1~2	0.2143																																																																																																										
2~3	0.1786																																																																																																										
3~4	0.2143																																																																																																										
7~8	0.1786																																																																																																										
状態名	値																																																																																																										
0	0.1373																																																																																																										
10~11	0.1373																																																																																																										
1~2	0.1764																																																																																																										
2~3	0.1373																																																																																																										
3~4	0.1373																																																																																																										
4~5	0.1373																																																																																																										
5~6	0.1373																																																																																																										
状態名	値																																																																																																										
0	0.1191																																																																																																										
11~12	0.1071																																																																																																										
1~2	0.1071																																																																																																										
2~3	0.1314																																																																																																										
3~4	0.1071																																																																																																										
4~5	0.1071																																																																																																										
5~6	0.1071																																																																																																										
6~7	0.1071																																																																																																										
7~8	0.1071																																																																																																										
状態名	値																																																																																																										
0	0.1071																																																																																																										
11~12	0.1071																																																																																																										
1~2	0.119																																																																																																										
2~3	0.131																																																																																																										
3~4	0.1071																																																																																																										
4~5	0.1071																																																																																																										
5~6	0.1071																																																																																																										
6~7	0.1071																																																																																																										
7~8	0.1071																																																																																																										
状態名	値																																																																																																										
0	0.097																																																																																																										
10~11	0.097																																																																																																										
1~2	0.1266																																																																																																										
2~3	0.097																																																																																																										
3~4	0.097																																																																																																										
4~5	0.097																																																																																																										
5~6	0.097																																																																																																										
6~7	0.097																																																																																																										
8~9	0.097																																																																																																										
9~10	0.097																																																																																																										
<table border="1"> <caption>浦安R36発</caption> <thead> <tr><th>状態名</th><th>値</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>0</td><td>0.31</td></tr> <tr><td>1~2</td><td>0.2153</td></tr> <tr><td>2~3</td><td>0.2594</td></tr> <tr><td>6~7</td><td>0.2153</td></tr> </tbody> </table>	状態名	値	0	0.31	1~2	0.2153	2~3	0.2594	6~7	0.2153	<table border="1"> <caption>葛西R36発</caption> <thead> <tr><th>状態名</th><th>値</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>0</td><td>0.2509</td></tr> <tr><td>1~2</td><td>0.1782</td></tr> <tr><td>2~3</td><td>0.1782</td></tr> <tr><td>3~4</td><td>0.2144</td></tr> <tr><td>7~8</td><td>0.1782</td></tr> </tbody> </table>	状態名	値	0	0.2509	1~2	0.1782	2~3	0.1782	3~4	0.2144	7~8	0.1782	<table border="1"> <caption>東陽町R36発</caption> <thead> <tr><th>状態名</th><th>値</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>0</td><td>0.1509</td></tr> <tr><td>1~2</td><td>0.1901</td></tr> <tr><td>2~3</td><td>0.1318</td></tr> <tr><td>3~4</td><td>0.1318</td></tr> <tr><td>4~5</td><td>0.1318</td></tr> <tr><td>5~6</td><td>0.1318</td></tr> <tr><td>9~10</td><td>0.1318</td></tr> </tbody> </table>	状態名	値	0	0.1509	1~2	0.1901	2~3	0.1318	3~4	0.1318	4~5	0.1318	5~6	0.1318	9~10	0.1318	<table border="1"> <caption>茅場町R36発</caption> <thead> <tr><th>状態名</th><th>値</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>0</td><td>0.107</td></tr> <tr><td>11~12</td><td>0.107</td></tr> <tr><td>1~2</td><td>0.1193</td></tr> <tr><td>2~3</td><td>0.1316</td></tr> <tr><td>3~4</td><td>0.107</td></tr> <tr><td>4~5</td><td>0.107</td></tr> <tr><td>5~6</td><td>0.107</td></tr> <tr><td>6~7</td><td>0.107</td></tr> <tr><td>7~8</td><td>0.107</td></tr> </tbody> </table>	状態名	値	0	0.107	11~12	0.107	1~2	0.1193	2~3	0.1316	3~4	0.107	4~5	0.107	5~6	0.107	6~7	0.107	7~8	0.107	<table border="1"> <caption>大手町R36発</caption> <thead> <tr><th>状態名</th><th>値</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>0</td><td>0.1071</td></tr> <tr><td>11~12</td><td>0.1071</td></tr> <tr><td>1~2</td><td>0.119</td></tr> <tr><td>2~3</td><td>0.119</td></tr> <tr><td>3~4</td><td>0.119</td></tr> <tr><td>4~5</td><td>0.1071</td></tr> <tr><td>5~6</td><td>0.1071</td></tr> <tr><td>6~7</td><td>0.1071</td></tr> <tr><td>7~8</td><td>0.1071</td></tr> </tbody> </table>	状態名	値	0	0.1071	11~12	0.1071	1~2	0.119	2~3	0.119	3~4	0.119	4~5	0.1071	5~6	0.1071	6~7	0.1071	7~8	0.1071	<table border="1"> <caption>中野R36着</caption> <thead> <tr><th>状態名</th><th>値</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>0</td><td>0.0971</td></tr> <tr><td>1~2</td><td>0.0971</td></tr> <tr><td>2~3</td><td>0.1262</td></tr> <tr><td>3~4</td><td>0.0971</td></tr> <tr><td>4~5</td><td>0.0971</td></tr> <tr><td>5~6</td><td>0.0971</td></tr> <tr><td>6~7</td><td>0.0971</td></tr> <tr><td>7~8</td><td>0.0971</td></tr> <tr><td>8~9</td><td>0.0971</td></tr> <tr><td>9~10</td><td>0.0971</td></tr> </tbody> </table>	状態名	値	0	0.0971	1~2	0.0971	2~3	0.1262	3~4	0.0971	4~5	0.0971	5~6	0.0971	6~7	0.0971	7~8	0.0971	8~9	0.0971	9~10	0.0971		
状態名	値																																																																																																										
0	0.31																																																																																																										
1~2	0.2153																																																																																																										
2~3	0.2594																																																																																																										
6~7	0.2153																																																																																																										
状態名	値																																																																																																										
0	0.2509																																																																																																										
1~2	0.1782																																																																																																										
2~3	0.1782																																																																																																										
3~4	0.2144																																																																																																										
7~8	0.1782																																																																																																										
状態名	値																																																																																																										
0	0.1509																																																																																																										
1~2	0.1901																																																																																																										
2~3	0.1318																																																																																																										
3~4	0.1318																																																																																																										
4~5	0.1318																																																																																																										
5~6	0.1318																																																																																																										
9~10	0.1318																																																																																																										
状態名	値																																																																																																										
0	0.107																																																																																																										
11~12	0.107																																																																																																										
1~2	0.1193																																																																																																										
2~3	0.1316																																																																																																										
3~4	0.107																																																																																																										
4~5	0.107																																																																																																										
5~6	0.107																																																																																																										
6~7	0.107																																																																																																										
7~8	0.107																																																																																																										
状態名	値																																																																																																										
0	0.1071																																																																																																										
11~12	0.1071																																																																																																										
1~2	0.119																																																																																																										
2~3	0.119																																																																																																										
3~4	0.119																																																																																																										
4~5	0.1071																																																																																																										
5~6	0.1071																																																																																																										
6~7	0.1071																																																																																																										
7~8	0.1071																																																																																																										
状態名	値																																																																																																										
0	0.0971																																																																																																										
1~2	0.0971																																																																																																										
2~3	0.1262																																																																																																										
3~4	0.0971																																																																																																										
4~5	0.0971																																																																																																										
5~6	0.0971																																																																																																										
6~7	0.0971																																																																																																										
7~8	0.0971																																																																																																										
8~9	0.0971																																																																																																										
9~10	0.0971																																																																																																										

降水量に4mm/h  
以上を入力

各駅発着の  
遅延予測は  
0~1分の確率  
は小さくなる

降水あり  
(列車6・7)

図13-2:確率推論の例 (降水4mm/h)

## ②確率推論（遅延現象の把握）

- 観測値として「時間降水量mm/h」を入力し、各遅延時分となる確率を分析した下図は例として列車27の確率推論の結果を示す

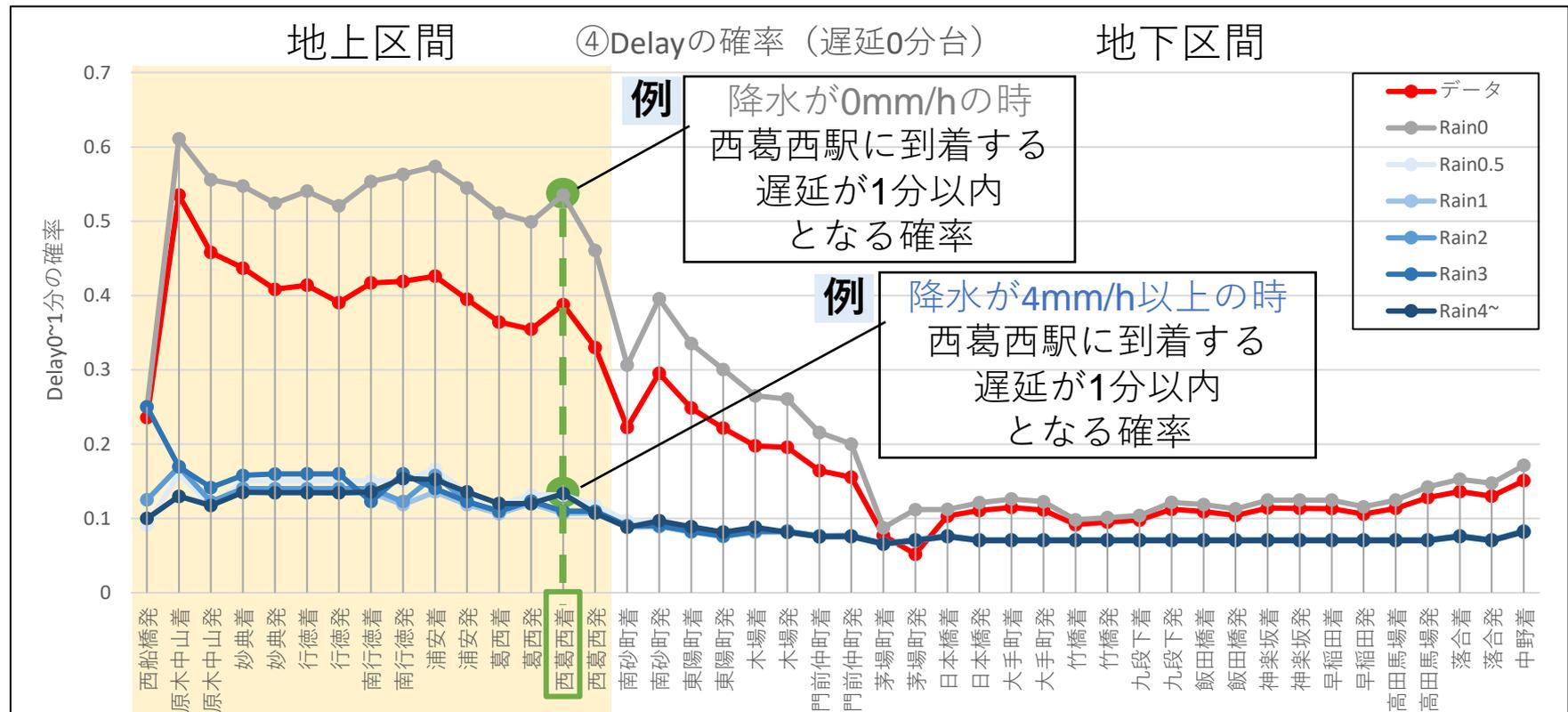


図14-1:確率推論の例（遅延が0~1分となる確率）

降水がない方が、遅延しにくいことが分かった

## ②確率推論（遅延現象の把握）

- 観測値として「時間降水量mm/h」を入力し、各遅延時分となる確率を分析した下図は例として列車27の確率推論の結果を示す

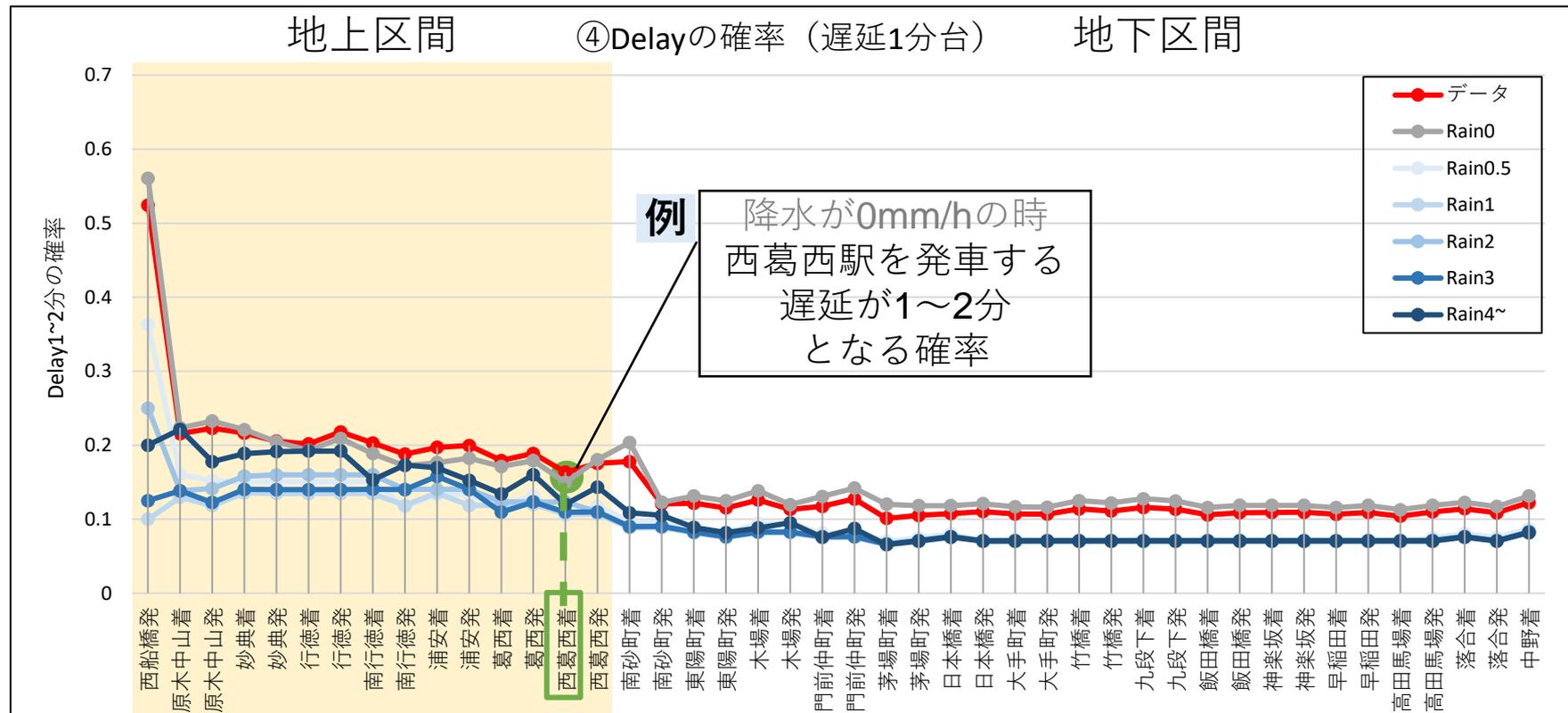


図14-2:確率推論の例（遅延が1~2分となる確率）

降水がない方が、遅延が1~2分となる確率が若干高かった

## ②確率推論（遅延現象の把握）

- 観測値として「時間降水量mm/h」を入力し、各遅延時分となる確率を分析した下図は例として列車27の確率推論の結果を示す

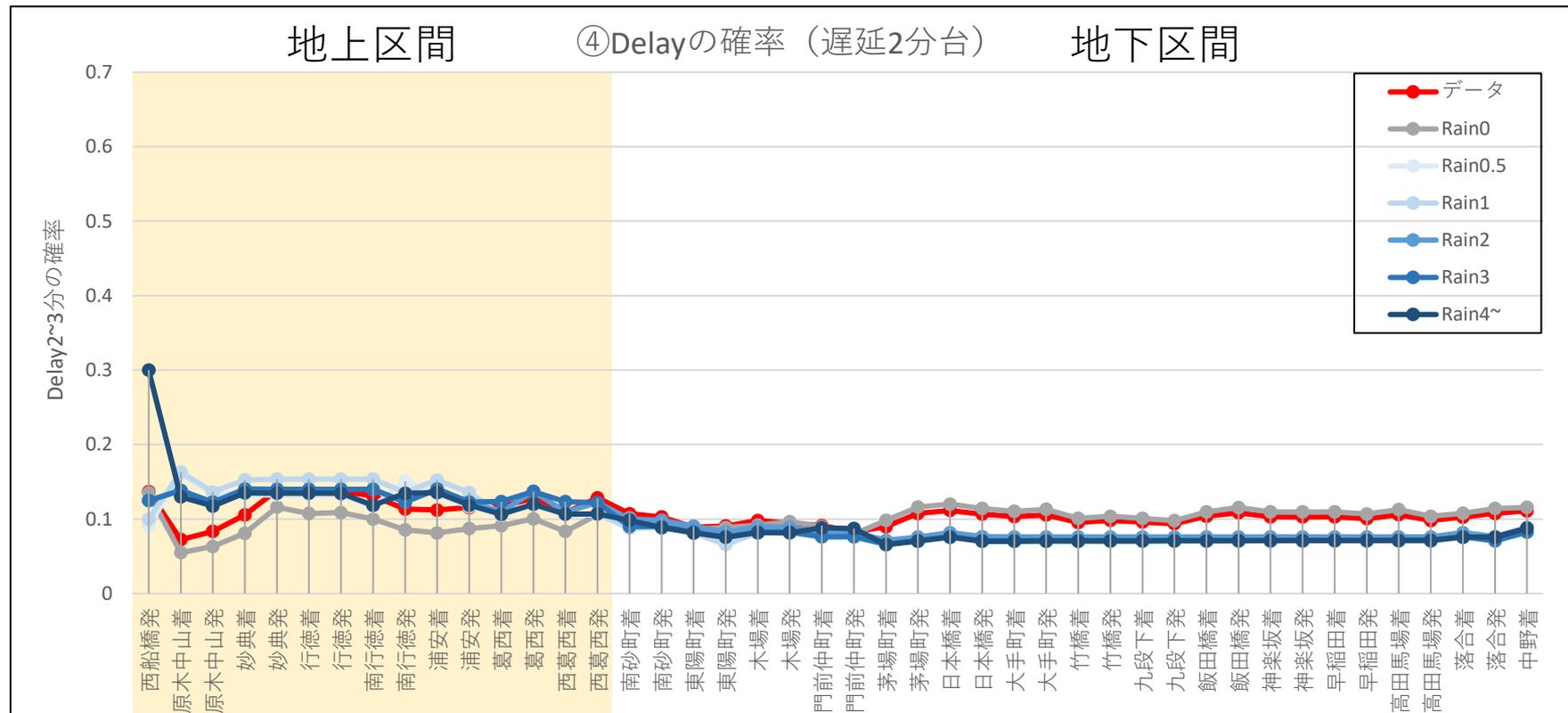


図14-3:確率推論の例（遅延が2~3分となる確率）

遅延が2~3分となる確率は降雨なし・ありの場合もほぼ同じだった

## ②確率推論（遅延現象の把握）

- ・観測値として「時間降水量mm/h」を入力し、各遅延時分となる確率を分析した下図は例として列車27の確率推論の結果を示す

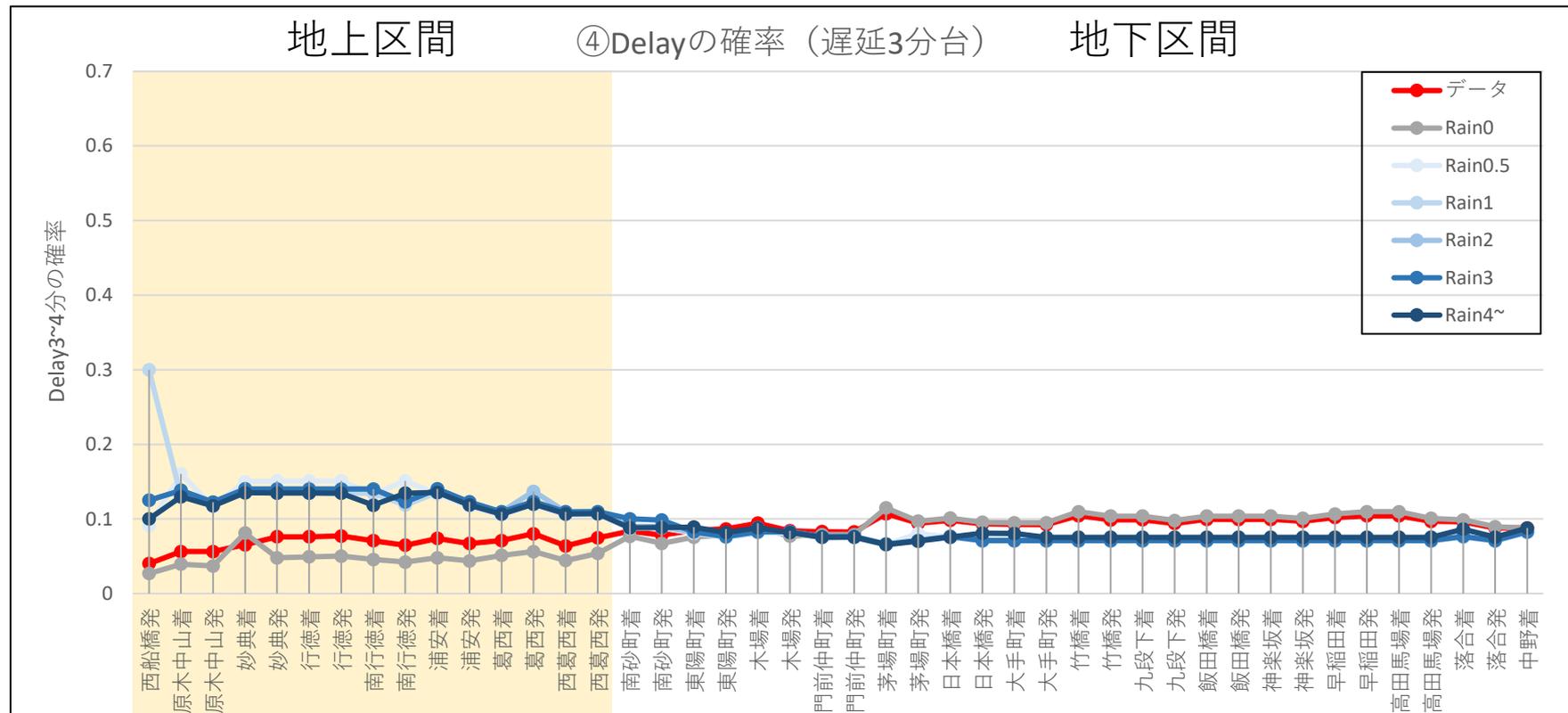


図14-4:確率推論の例（遅延が3~4分となる確率）

遅延が3~4分になる確率は、降水ありの場合の方が高くなった

## ②確率推論（遅延現象の把握）

- 観測値として「時間降水量mm/h」を入力し、各遅延時分となる確率を分析した下図は例として列車27の確率推論の結果を示す

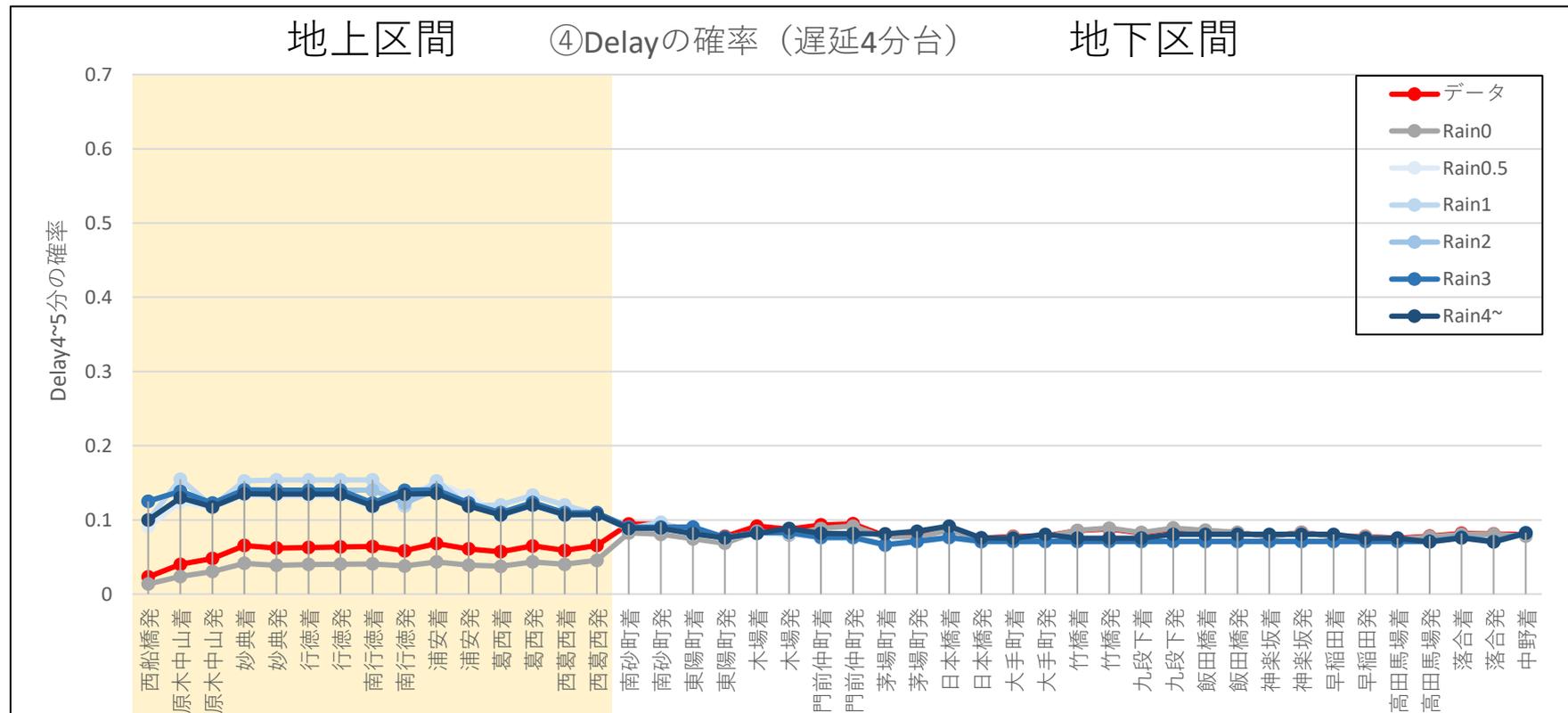


図14-5:確率推論の例（遅延が4~5分となる確率）

遅延が4分台になる確率は、降水がある場合の方が高くなった（特に地上区間）

## ②確率推論（遅延現象の把握）

- 観測値として「時間降水量mm/h」を入力し、各遅延時分となる確率を分析した下図は例として列車27の確率推論の結果を示す

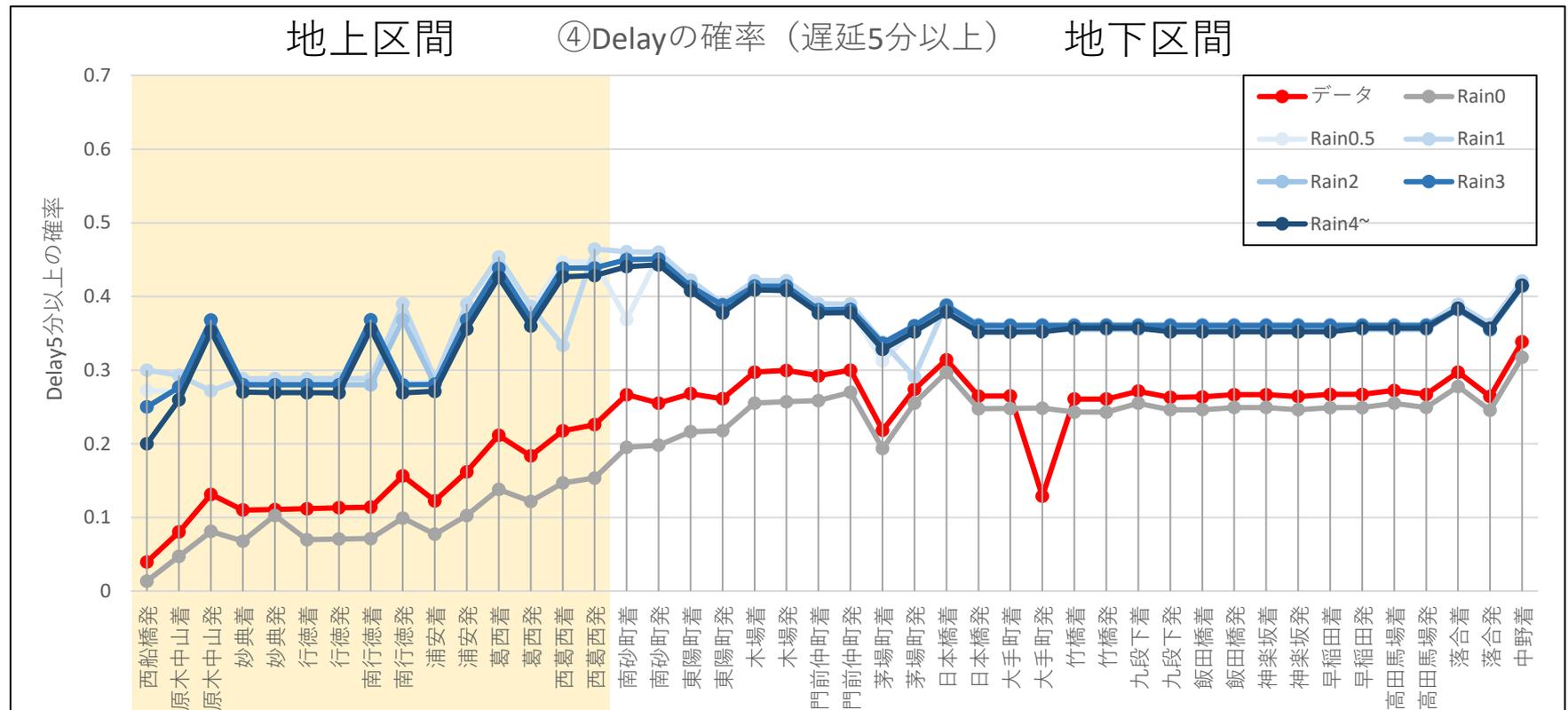


図14-6:確率推論の例（遅延が5分以上となる確率）

遅延分が5分以上になる確率は、降水がある場合の方が高くなった

## ②確率推論（遅延現象の把握）

### 【考察】

考察 i : 降水がある場合の方が、大きな遅延時分になりやすい

- ・降水量が大きくなるほど、遅延が大きくなるという関係は見られなかった

考察 ii : 地上区間では、特に降水の有無で大きな差が見られた

- ・先述の降水が遅延要因とみなされる2つの理由の内、**走行時間要因**が大きく関わっていると考えられる  
(後述の感度分析の結果も大きく関係していると考えられる)
- ・この区間は代替できる路線が少なく、降水による**混雑的要因**も特に大きくなっていると考えられる

## ③逆行型推論・感度分析（遅延現象の把握）

感度分析：それぞれの列車の各駅の発着ノードにおける親ノードである「最寄りの降水量」ノードの影響力（相互情報量）を示した

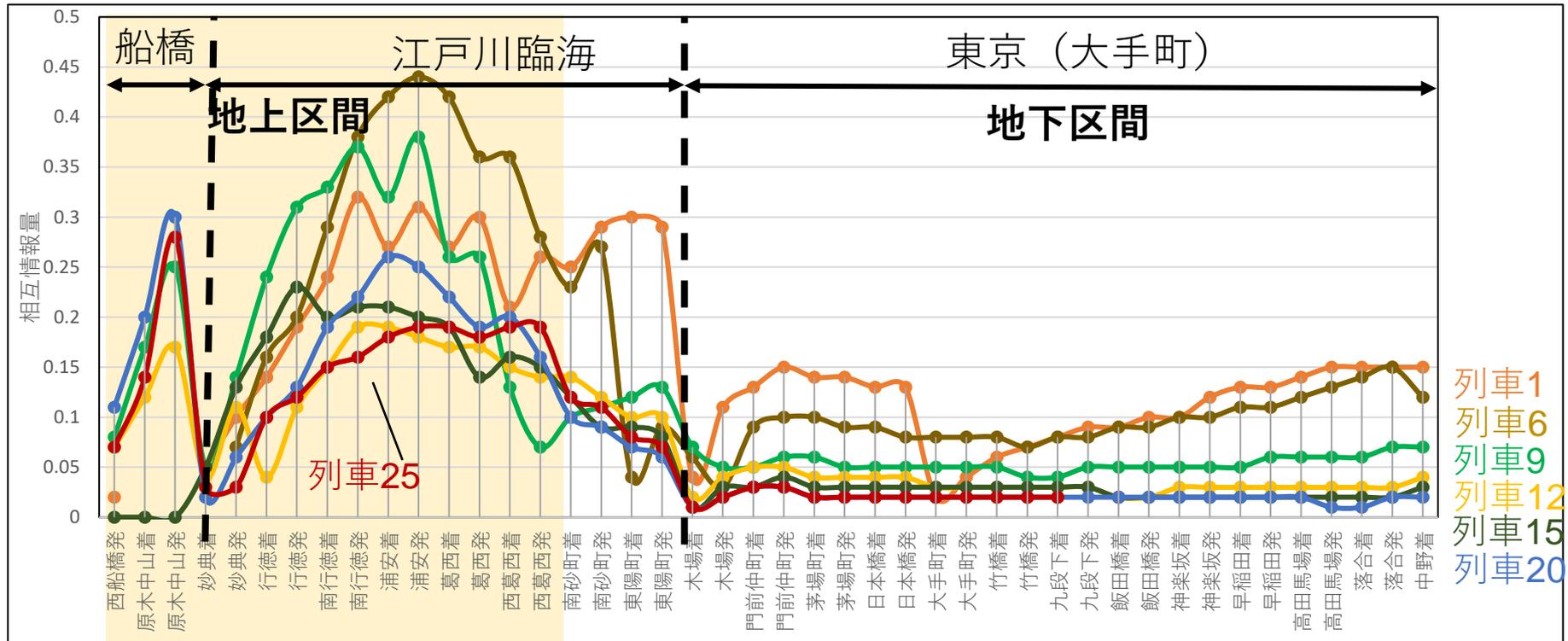


図15:感度分析の例（列車7本分）

- ・ 地上区間では降水の影響力が大きい
- ・ 8時台の前半の列車では、地下区間でも影響力が大きいことが分かった

## ③逆行型推論・感度分析（遅延現象の把握）

### 【考察】

考察 i : 地上区間では「降水の影響力」が大きくなる

- ・天候が列車遅延に影響を及ぼす要因の2つ目である「**走行時間要因**」が大きく影響していると考えられる
- ・この区間は乗換できる他の路線が少なく、「**混雑的要因**」が他の区間と比べ、影響が大きくなることが考えられる

考察 ii : 8時台後半になると、地下区間での「降水の影響力」は減っていく

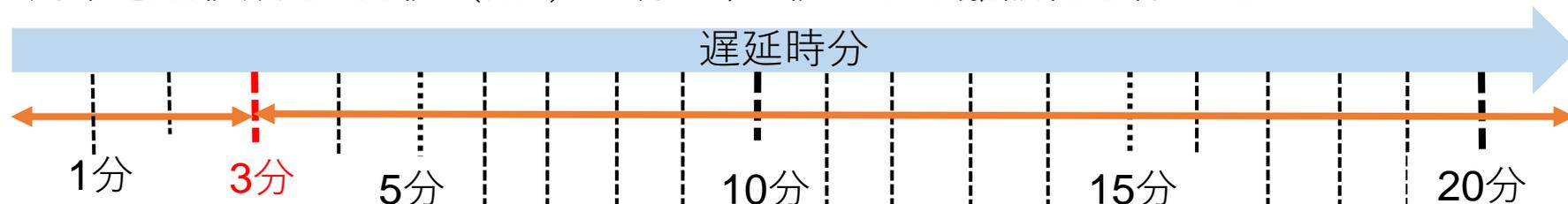
- ・8時台前半は**最混雑時間帯**であるため、地上区間で降水とそのための混雑の影響による遅延を引きずって、列車の詰まりが起きていると考えられる
- ・8時台後半は混雑時間帯から抜け出し、間隔調整などを行ったため地上区間にまで影響が出なかったためと考えられる

以上の構造学習では、列車間の関係性は導かれなかった。  
そこで追加分析として離散化を2値に設定し、ベイジアンネットワークを用いて列車間の関係性のみを見る分析を行った

## 離散化

### 列車運行実績データ

- ・列車遅延秒数を180秒（※1）で分け、2値による離散化を行った



※1 遅延3分は、予定していた乗換などが出来なくなる可能性があるため

### 気象庁データ

- ・時間降水量を1mm/hごとに分けて離散化を行った



また、先述のモデル同様に27本の列車を9つのグループに分けた

## 構造学習

構造学習は、前回と同様の制約を加え、アルゴリズム等も同様である

加えた制約

- ・ 制約①：**ダイヤグラム制約**

路線の駅順、ダイヤグラム通りの列車順序になるように制約を加え、列車の通過待ちも考慮する

- ・ 制約②：**降水制約**

降水データと各駅の発車・到着ノードを結び、各駅の降水状況を反映できるように制約を加える

アルゴリズム：欲張り法(Greedy Strategy)

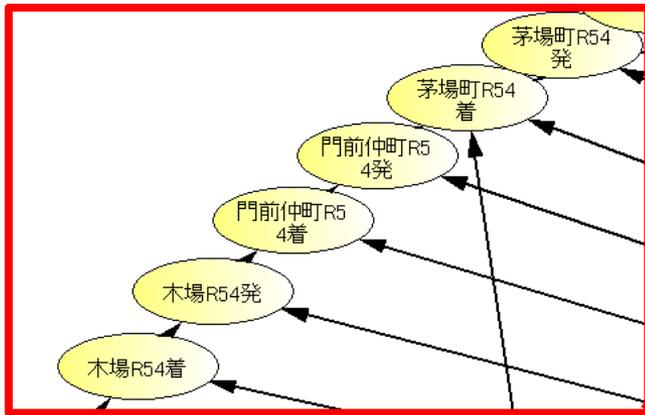
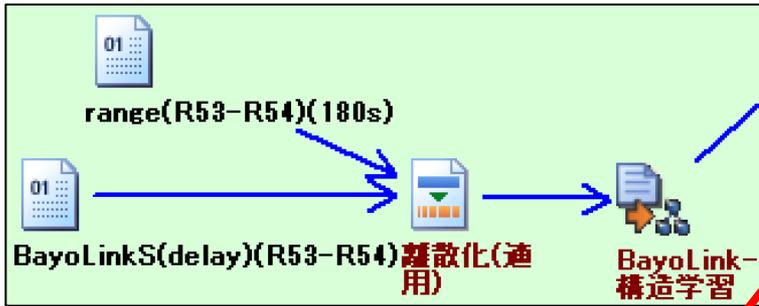
評価基準：AIC(赤池情報量)

欠損処理：ペアワイズ法

正規化：MAP(Maximum a posteriori)

確率推論：LoopyBP

## ネットワーク構造



モデル1と比べ、モデル2では  
列車間の関係性が見られた

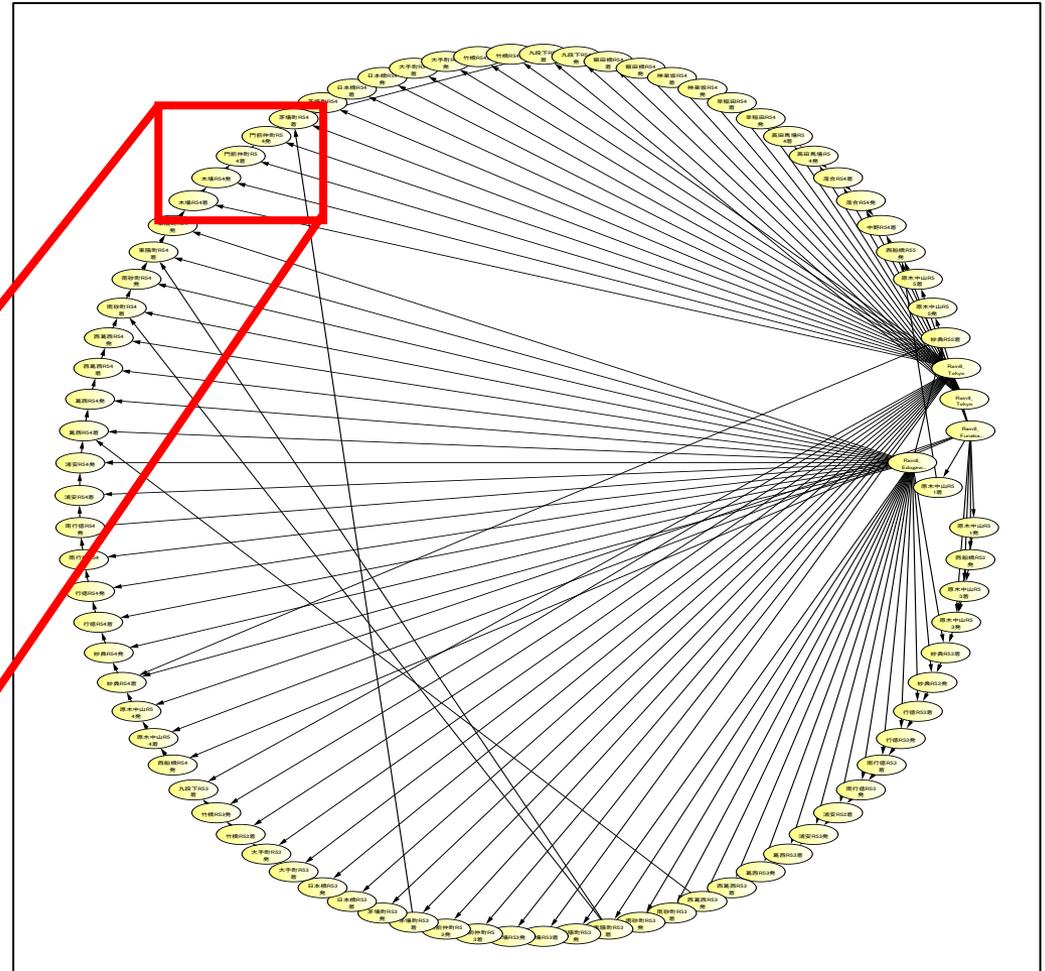


図16:ネットワーク構造例 (R53-R54)

## 各グループでのスコアの結果

※全てGreedy SearchとAICで構造学習

Group	1	2	3	4
列車数	6	2	5	2
ML	3778.745	2001.715	4053.366	2373.17
AIC	13297.49	6057.43	13240.732	6964.34

Group	5	6	7	8	9
列車数	6	2	7	2	3
ML	6065.646	2540.699	6557.329	2352.772	2569.802
AIC	18601.292	7439.338	20614.658	6765.544	8251.604

## 【考察】

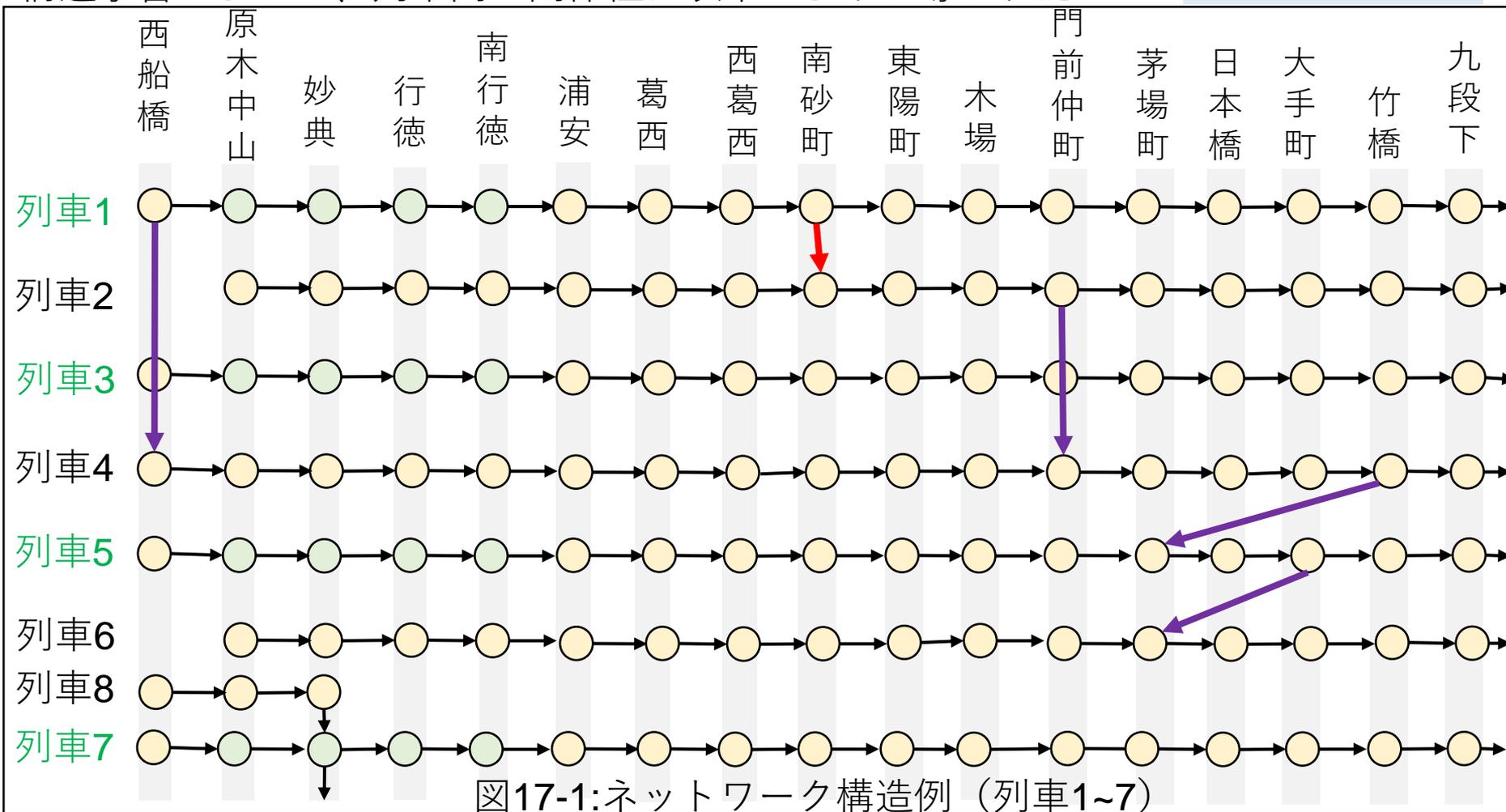
- ・モデル1と比べ離散値数を減らしたため、スコアは小さくなった
- ・列車本数が多いグループでは、スコアが大きくなった

## ネットワーク構造

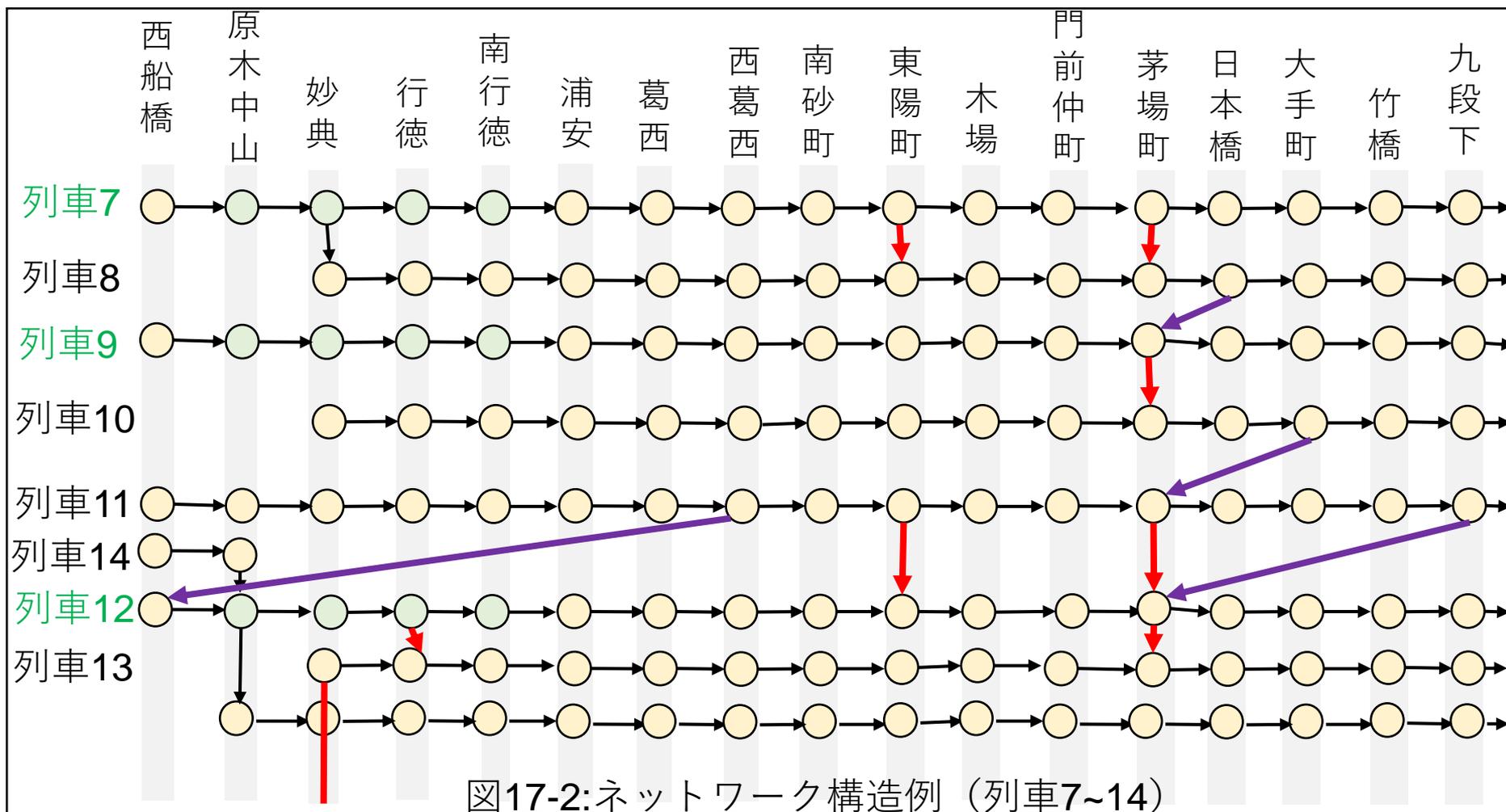
● 発着ノード → 事前制約  
● 通過ノード

**列車間関係**  
 → 列車の詰まり  
 → それ以外

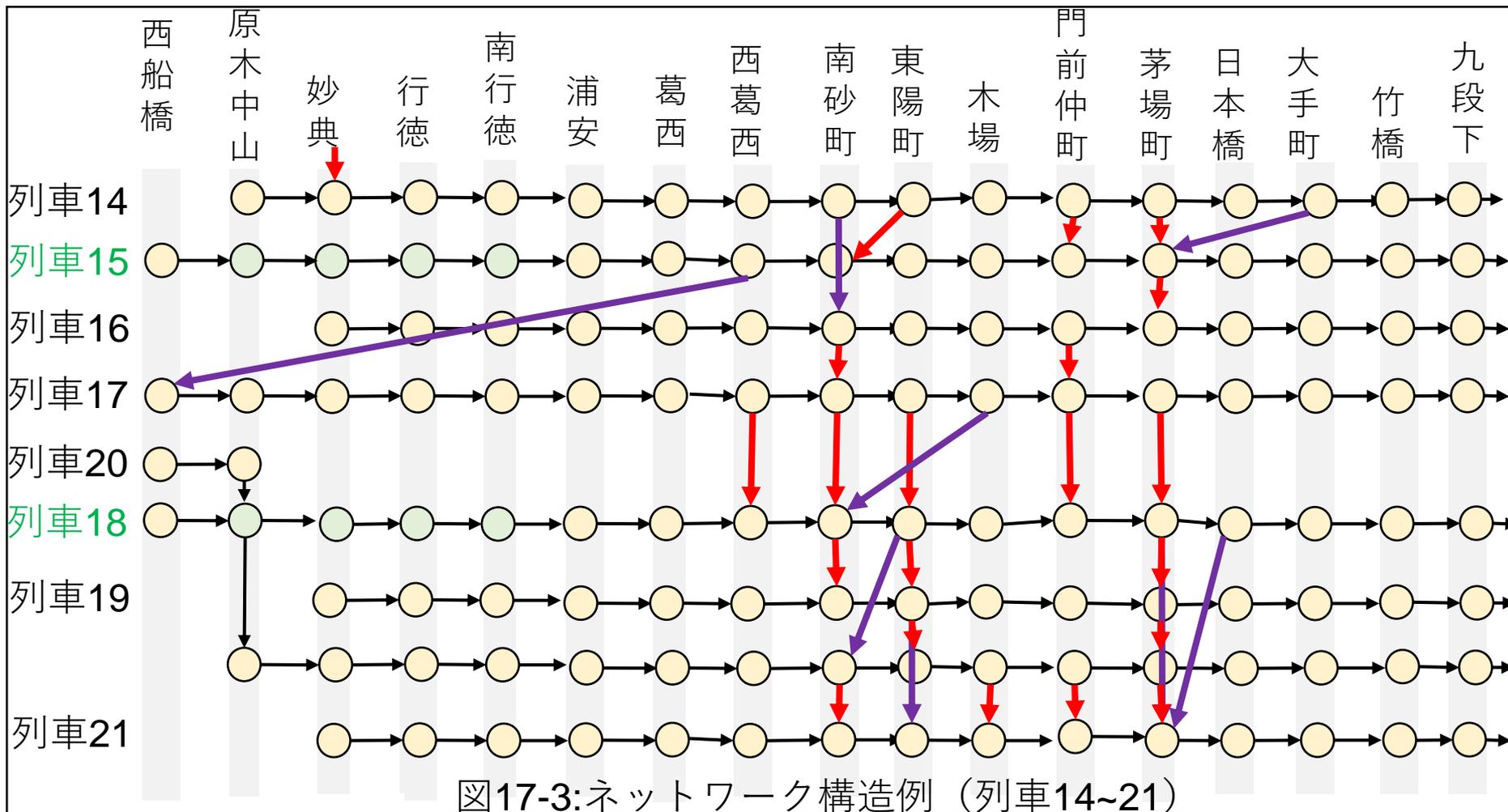
構造学習によって、列車間の関係性は以下のように導かれた



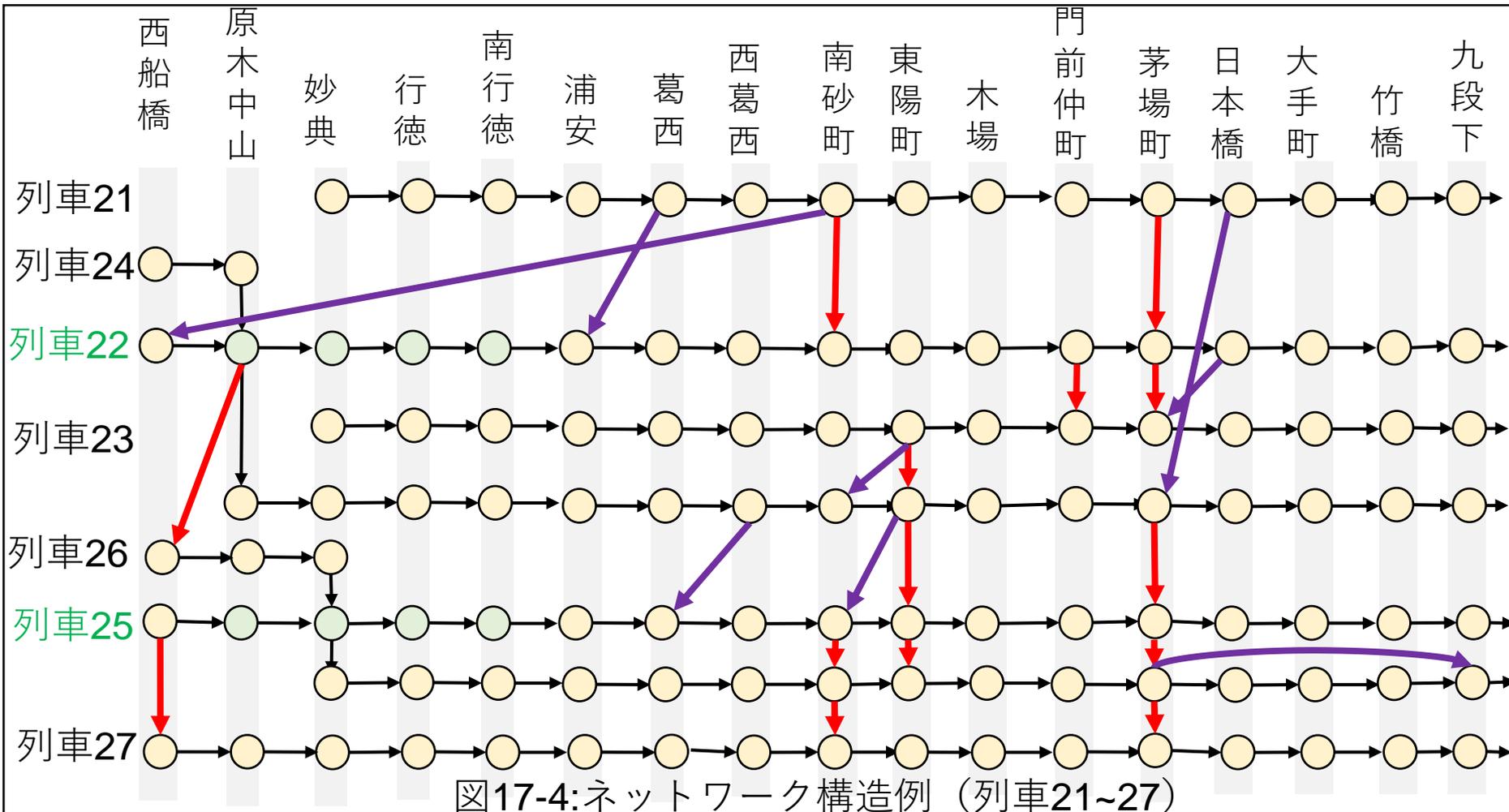
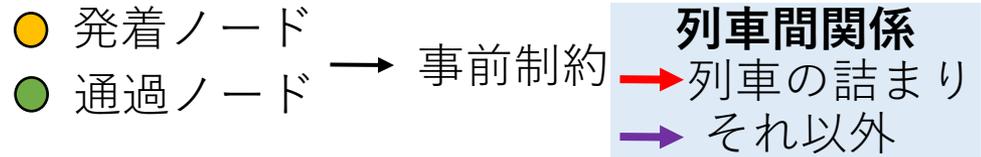
## ネットワーク構造



## ネットワーク構造



## ネットワーク構造



## 【考察】

考察 i : 「列車の詰まり」 (※1) を構造学習によって再現できた

- ・都市鉄道特有の列車の詰まりによる遅延を再現できた
- ・8時台後半に列車の詰まりが多く発生し、特に南砂町・東陽町・茅場町の各駅で生じていた

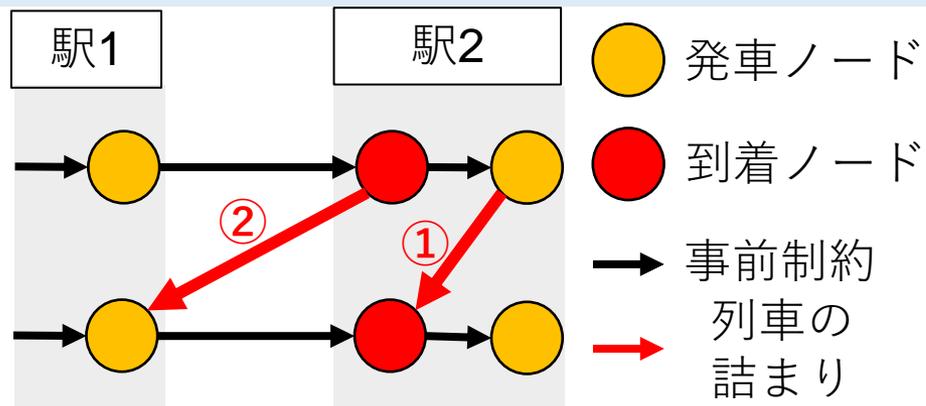
※1列車の詰まり：前の列車が遅延し、後続の列車が詰まってしまうこと  
ネットワークでは以下の2つのパターンが該当する

### ①ホーム上の混雑要因

前列車が発車しないと、次列車が到着できない

### ②駅間停車抑制

前列車が到着しないと、次列車が発車できない



考察 ii : 「列車の詰まり」以外にも列車間の関係性が確認された

- ・離れた駅間/列車間にも関係性が確認された
- ・更に考察が必要である

## ① 複雑なダイヤグラムの再現

ベイジアンネットワークにおける**条件付き確率**によって、都市鉄道特有の**複雑なダイヤグラム**を再現できた

## ② 構造学習で列車間関係性の表現

ベイジアンネットワークにおける**構造学習**によって、**列車間の関係性**を示せた

## ③ 確率推論によるリアルタイム遅延予測

ベイジアンネットワークにおける**確率推論**によって、リアルタイムでの**遅延予測**や天気予報を考慮した**遅延予測**を行える可能性を示せた

## ④ 感度分析による降水の影響力を再現

ベイジアンネットワークにおける**感度分析**によって、遅延要因としての**降水の「影響力」**を定量的に示せた

① 遅延秒の離散値をできるだけ細分化した状態での列車間の関係性を表現する

⇒ 降水と列車の詰まり等を同時に再現しながら、**遅延を1分単位で予測**できる

② 感度分析を追加考察する

- ・ モデル2における列車の詰まりの**影響力**を示す
- ・ 事前制約の**影響力**を示す

⇒ ダイヤグラムにおける、**遅延に弱い列車・区間**を明らかにする

この研究によって、鉄道事業者・利用者に以下のような効果が期待される

本研究がもたらす効果（鉄道事業者）

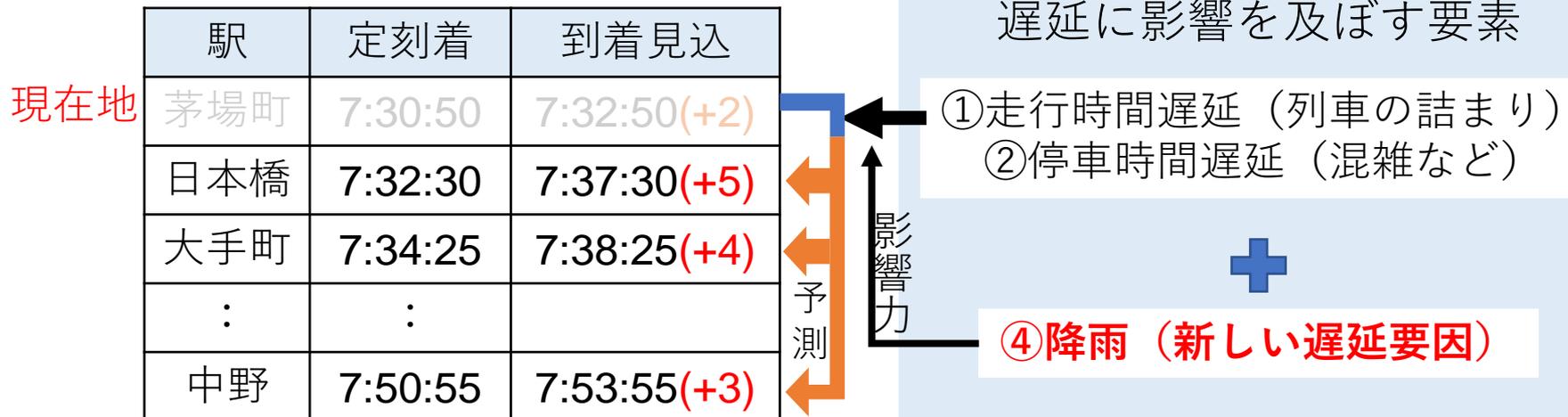
## ・遅延現象のメカニズムの把握

### ①遅延現象・遅延要因の更なる把握

- ・天候を「遅延を引き起こす要因」として特定する
- ・天候の影響を加味した、より詳細な遅延傾向を把握する

### ②リアルタイムで把握する

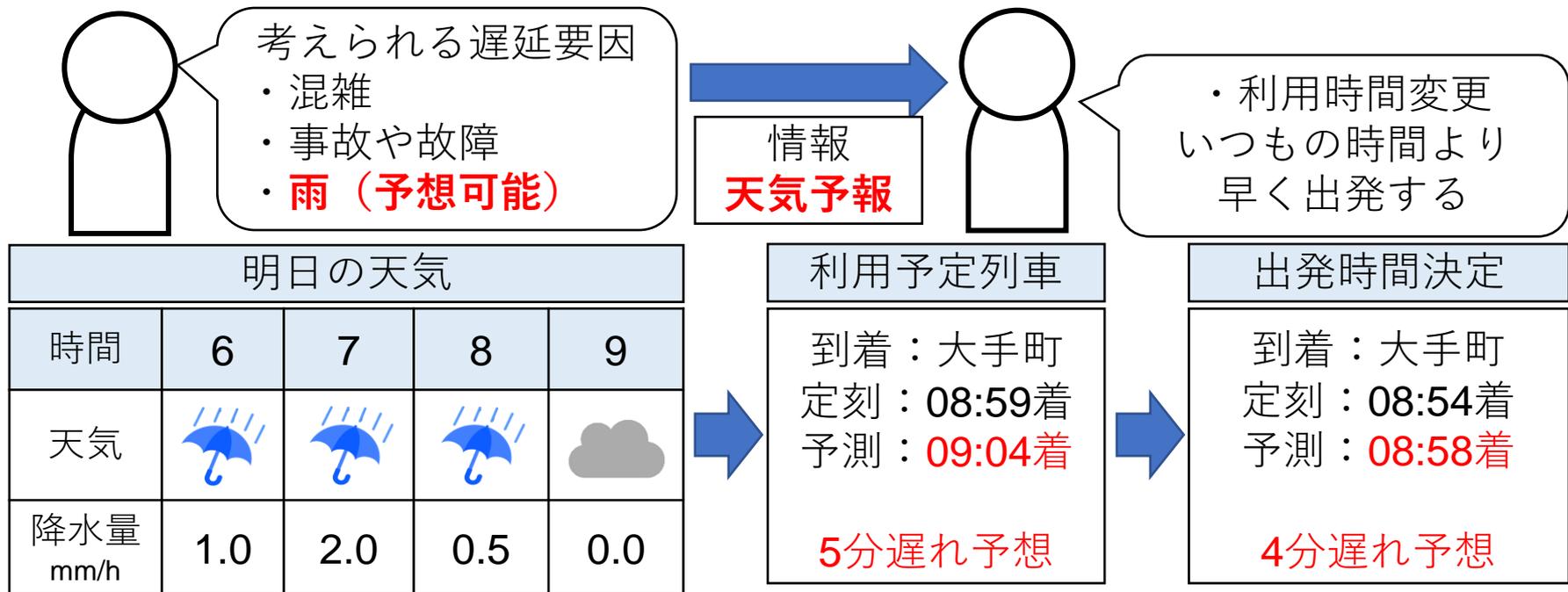
- ・取得した現在の運行実績から、到着時刻の予測を行う
- ・都市鉄道のダイヤに合わせ、10秒単位の詳細な予測を行う



①～④：P3で考えられた遅延要素

本研究がもたらす効果（利用者）

- ・ サービス水準の向上（出発前）
  - ・ **遅延傾向**を把握できる
    - ・ 遅延要因を明確にし、その知識を活用した行動ができる
    - ・ 利用者は、目的地の到着に間に合うか・乗換が保持されるかを事前に知ることができる



本研究の結果をもとに、遅延傾向を考慮した**旅行計画**を立てられる

- ・ 国土交通省気象庁 過去の気象データ探索  
<https://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/index.php>
- ・ 株式会社 NTTデータ 数理システム BayoLinkS
- ・ 株式会社 NTTデータ 数理システム BayoLinkS 7.4 マニュアル