

都市鉄道の列車遅延の 拡大メカニズムに関する研究

(財)運輸政策研究機構

運輸政策研究所

仮屋崎 圭司

本日の報告内容

1. 遅延の現状
2. 遅延の発生・波及の分析
3. 遅延の波及メカニズムの究明
4. 運行方法による遅延対策の検討
5. 今後の課題

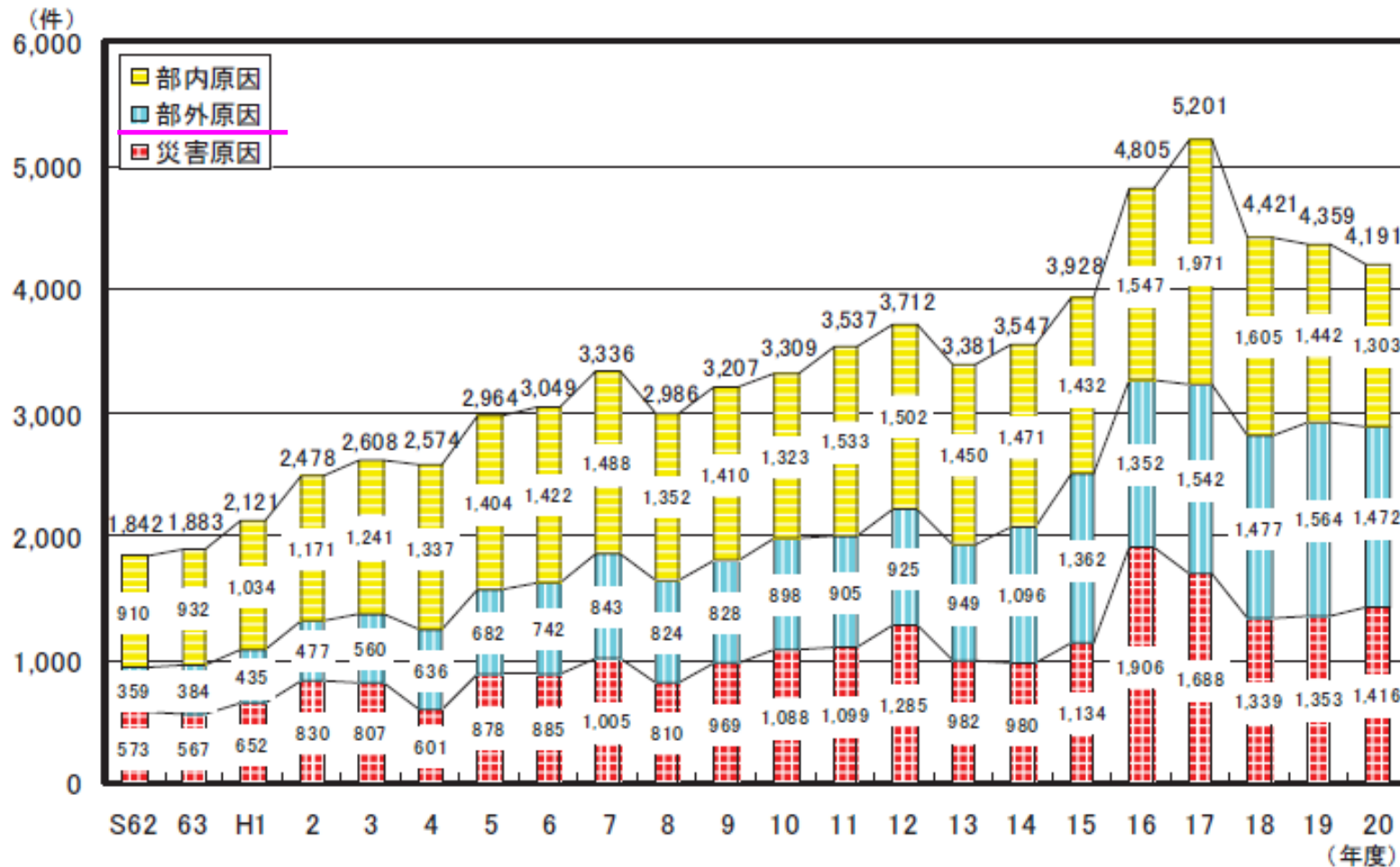
1 . 遅延の現状

1 . 1 発生状況

1 . 2 発生・波及の背景

1 . 3 対策

輸送障害件数の推移



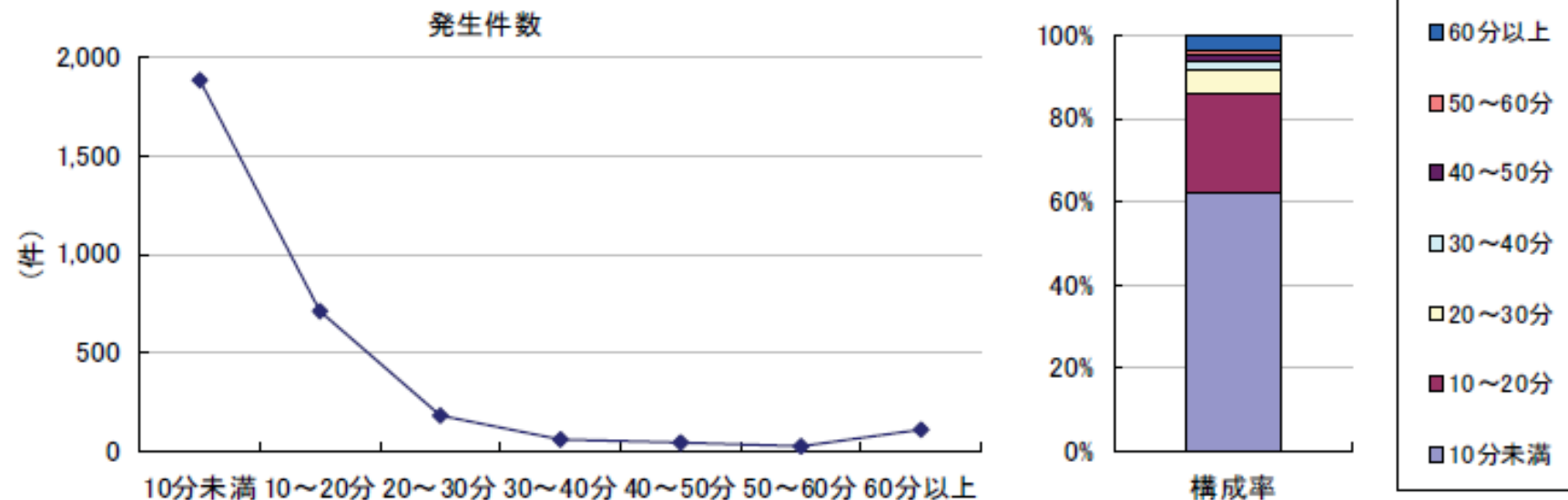
部内原因:鉄道係員の取扱い誤り、車両や鉄道施設の故障等によるもの。

部外原因:旅客のホームからの転落や公衆の線路内立入り等によるもの。

災害原因:地震災害や風雪水害等によるもの。(雨量や風速が基準を超えた場合の運転見合わせ等を含む。)

支障時間別の輸送トラブルの発生件数

三大都市圏 H19年度



注1) 鉄道運転事故は含まない。

注2) 対象：首都圏 15 事業者 22 路線、中部圏 3 事業者 3 路線、近畿圏 7 事業者 8 路線

注3) 支障時間 30 分未満のデータは本調査における鉄道事業者アンケート結果、支障時間 30 分以上のデータは鉄道運転事故等届出書の最大遅延時間 30 分以上のデータによる。

注4) 支障時間 10 分未満については、事業者によって対象とする支障時間の範囲が異なる。

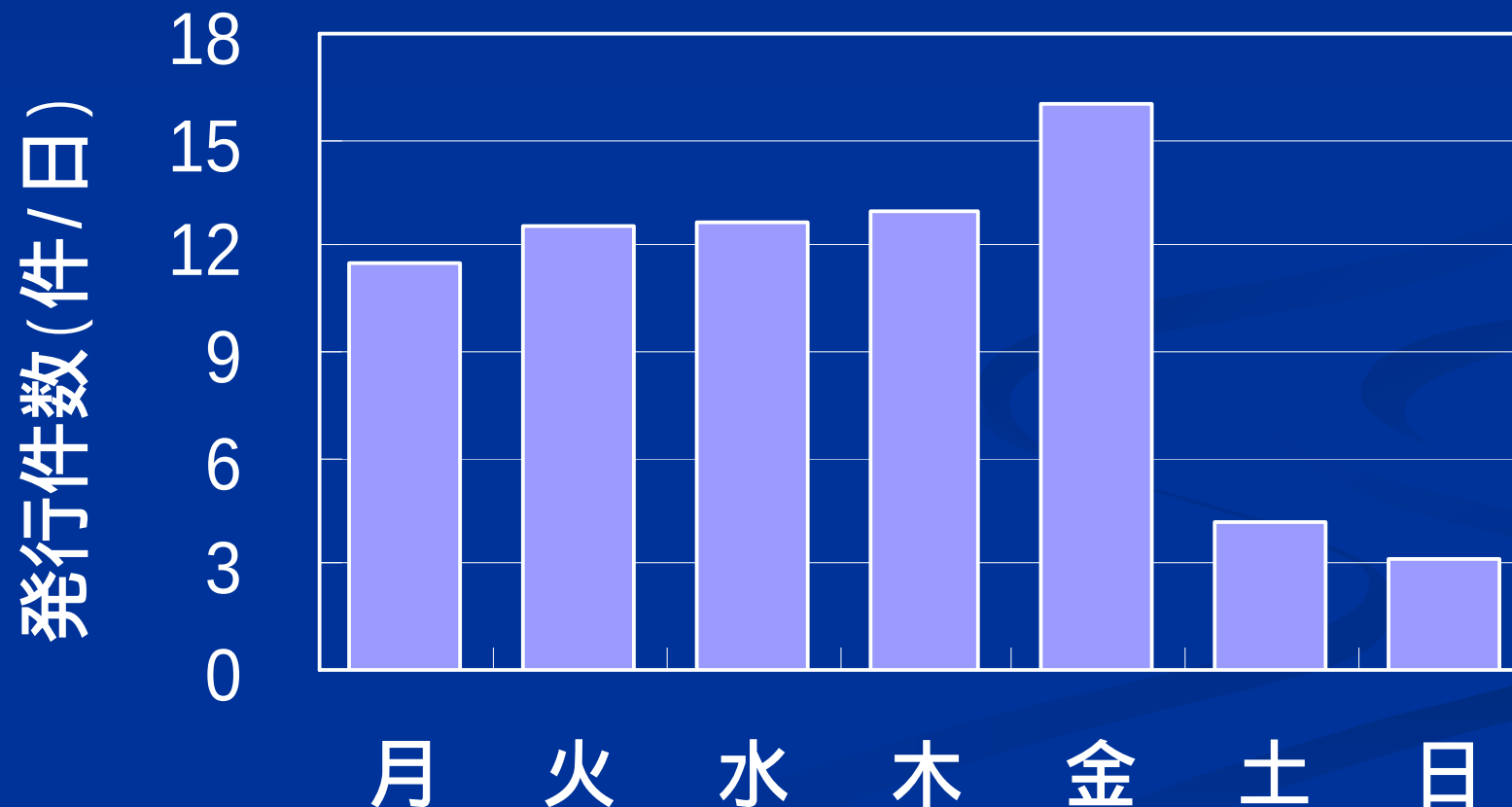
出典：国土交通省

輸送障害に計上されない 10 分未満の遅延：6 割

定常的な遅延の発生

東京メトロ9路線の遅延発行履歴 (H21.4.1 ~ H21.11.30)

〔5分以上の遅延に対して朝・昼・夜の3回/日発行〕

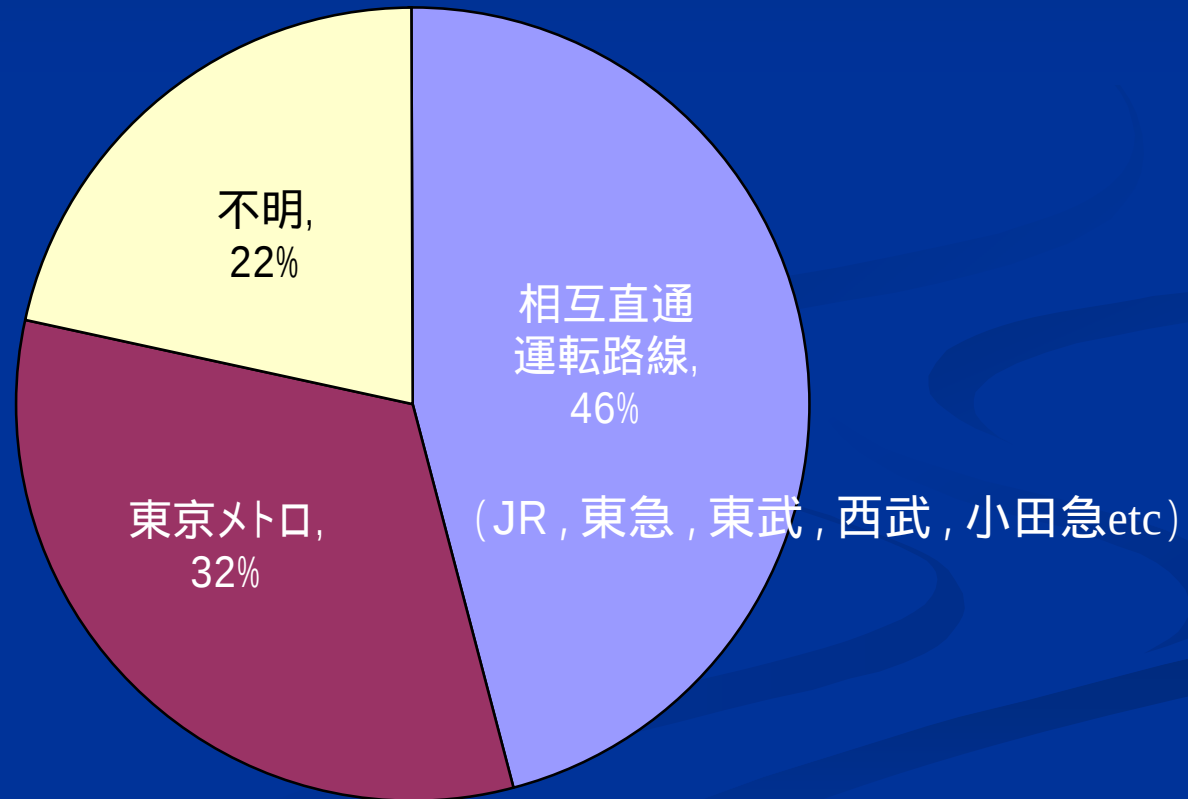


平日の発行件数: 平均13件/日以上

相互直通運転による遅延の波及

対象：東京メトロ 7 路線(丸ノ内線、銀座線を除く)の
遅延証明書(20分以上)の発行件数

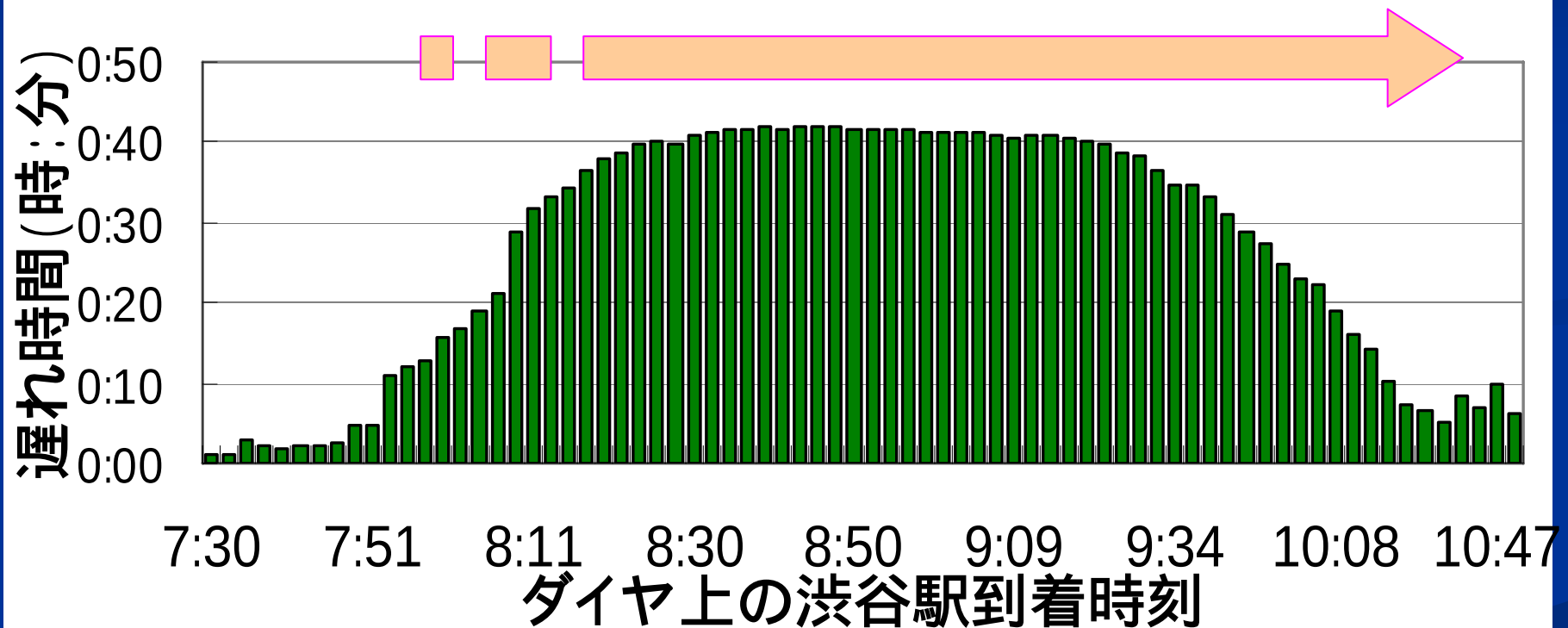
期間：H21.4.1～H21.11.30 (8ヵ月)



相互直通路線の相互に遅延が波及

ダイヤ回復の長時間化

渋谷駅における到着遅れの累積(14日)



ダイヤ回復まで3時間以上

遅延の他路線への影響



東海道線沿線火災による振替輸送
京急川崎駅 (H21.11.06)



1 . 遅延の現状

1 . 1 発生状況

1 . 2 発生・波及の背景

1 . 3 対策

都市鉄道の4つの混雑とその対策

車内の混雑

ネットワーク整備
列車の長編成化
高頻度運行、車両改良

列車の混雑

ネットワーク整備
運行システムの改良
車両の改良

駅構内の混雑

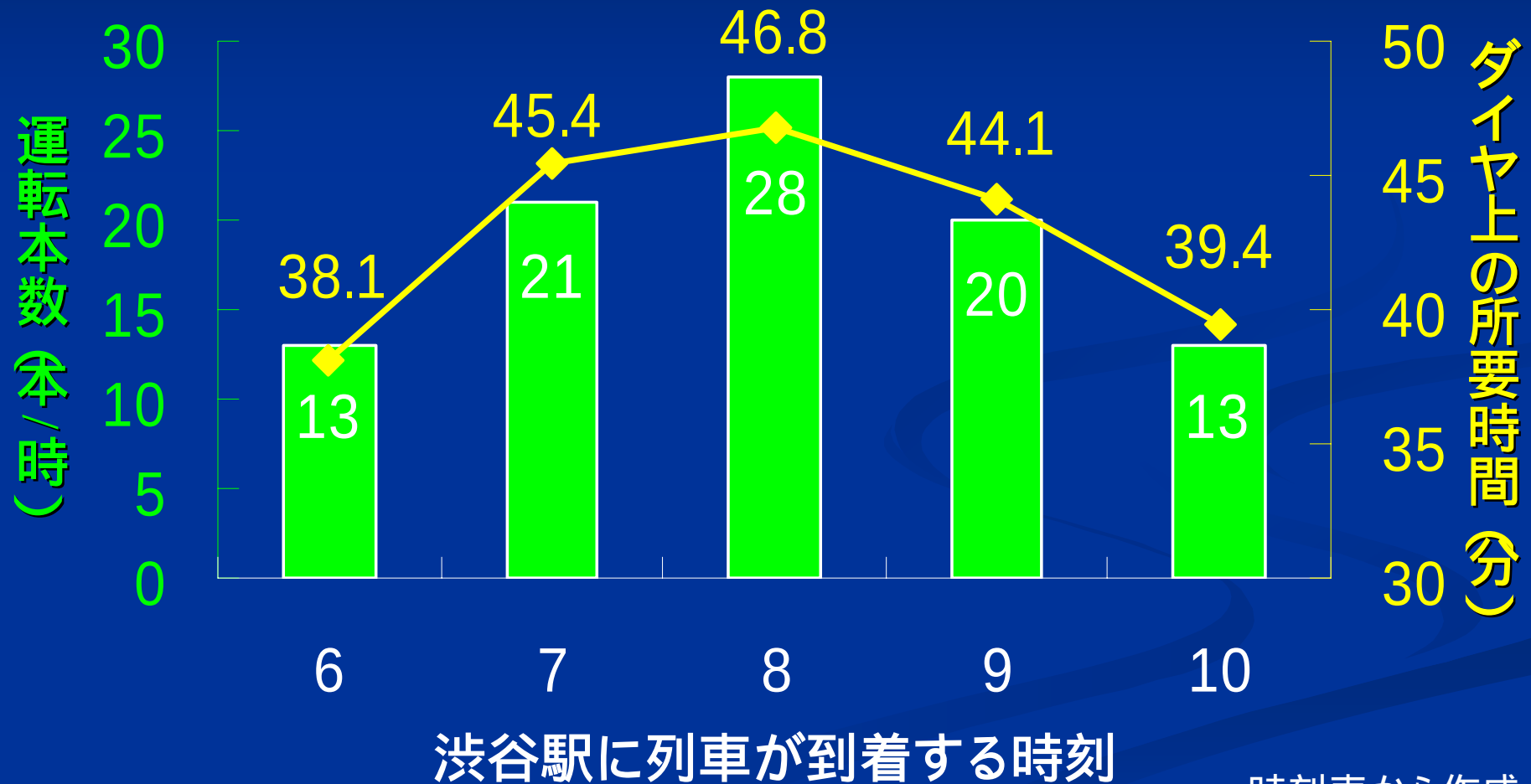
相互直通運転
ターミナルの改良
ICカード導入

踏切の混雑

連続立体交差

時刻表の運転本数と所要時間

(田園都市線 上り[長津田→渋谷] 全列車)



相互直通運転の効果

効果を受ける対象	正の効果(長所)	負の効果(短所)
鉄道利用者	・路線の混雑緩和 (バイパス線効果) ・駅の混雑緩和 ・所要時間の短縮 (乗り換え時間の短縮) ・乗り換え回数の減少 ・切符を買う手間の節約	・運行形態の複雑化 ・着席チャンスの減少 ・他路線の事故等の影響を受ける
鉄道事業者	・駅の混雑緩和 ・需要増加による増収 ・駅施設等の共用による 建設費、経費の削減 ・車両、運転要員の効率化	・車両費が割高となる ・事故等におけるダイヤ調整の煩雑化
その他	・沿線地域のポテンシャル上昇	

出典) 相互直通化事業の具体事案、実施の可否の検討に関する調査、運輸政策研究機構、H13年

遅延の発生・波及の背景

車内の混雑
高頻度運行

駅構内の混雑
相互直通運転



都市鉄道の新たな課題

1. 通勤・通学時の慢性的な遅延
2. 発生した遅延の連鎖 (影響範囲の広域化)
3. 遅延回復の困難性

1. 遅延の現状

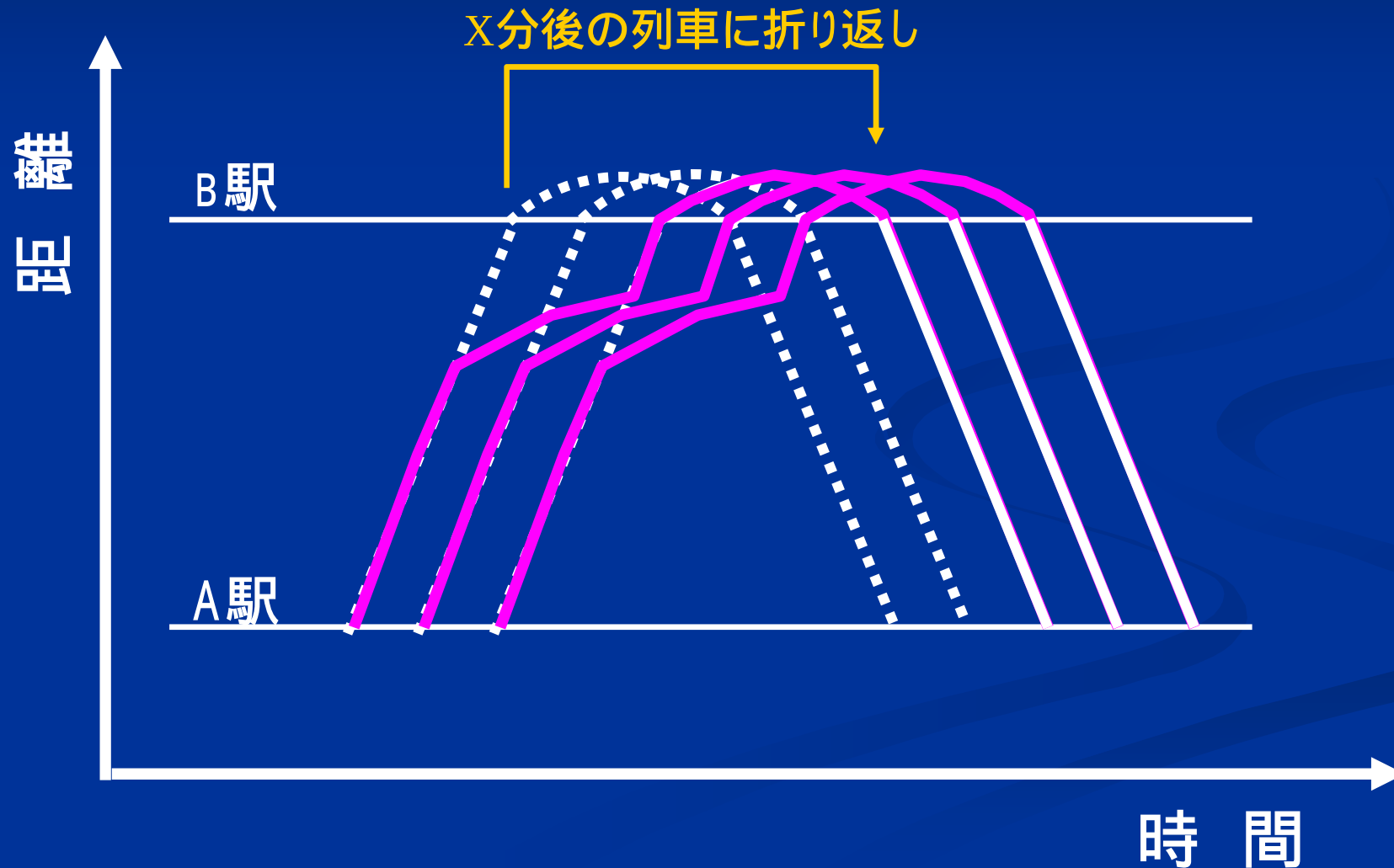
1.1 発生状況

1.2 発生・波及の背景

1.3 対策

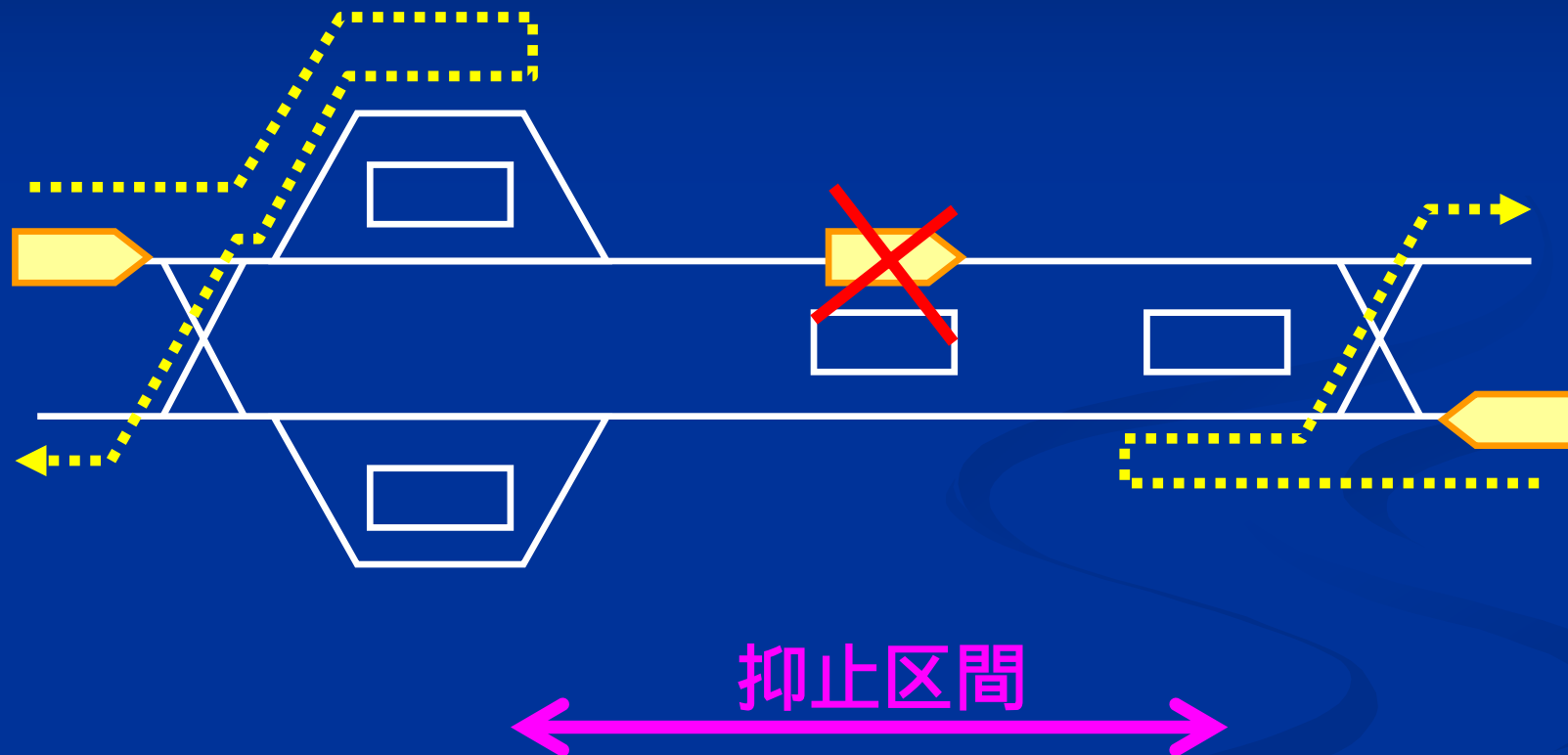
運転整理, ダイヤ作成による対策

【運転整理の模式図】



折返し設備による対策

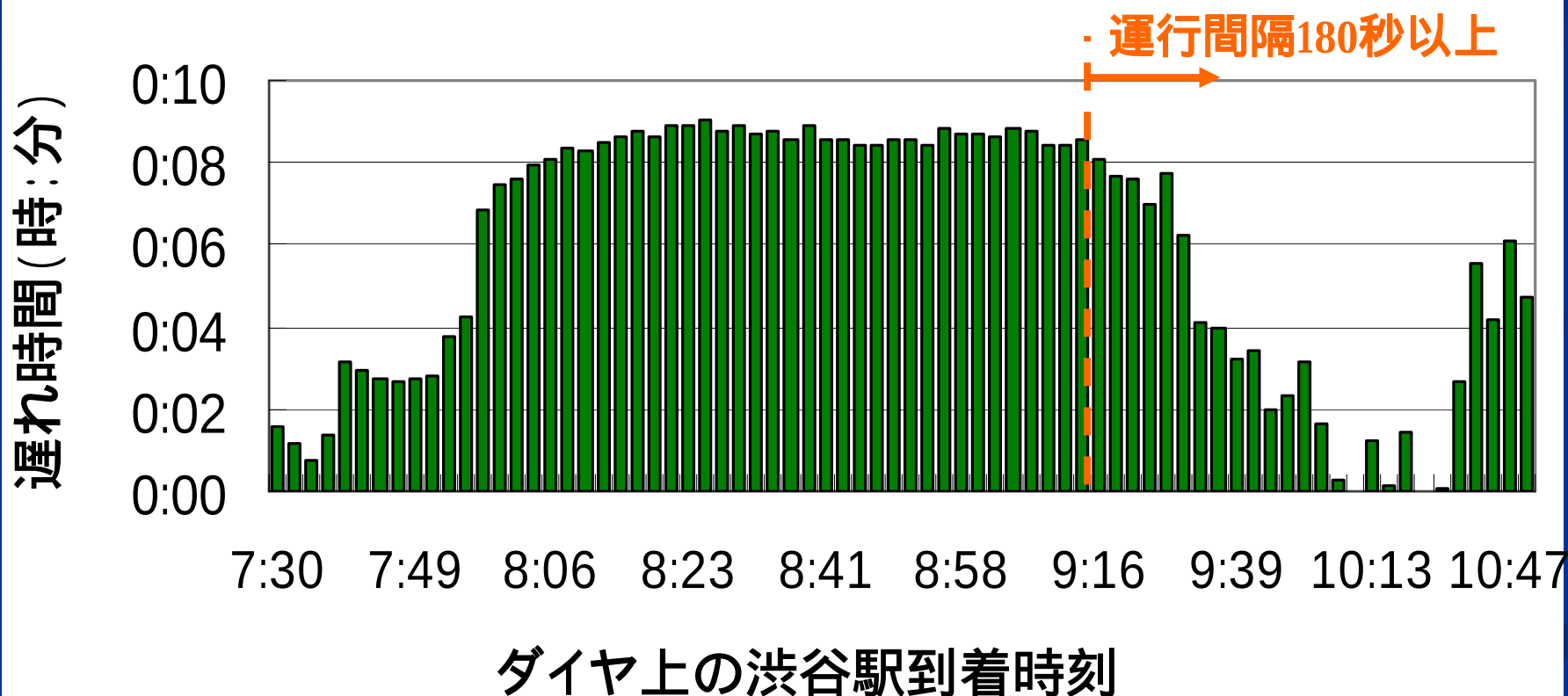
【折返し運転の模式図】



長時間の遅延の回復，遅延の波及抑制への対応

定常的な遅延の対策は？

渋谷駅における到着遅れの累積 (19日)



短時間の遅延の対策に苦慮

研究の目的

遅延の発生と波及の現象について

- ・ 詳細な実態把握と現状分析
- ・ 発生と波及の時系列的な定量分析



遅延の発生・波及メカニズムを究明



遅延拡大の抑制方法
遅延の早期回復方法 の検討

本日の報告内容

1. 遅延の現状
2. 遅延の発生・波及の分析
3. 遅延の波及メカニズムの究明
4. 運行方法による遅延対策の検討
5. 今後の課題

2 . 遅延の発生・波及の分析

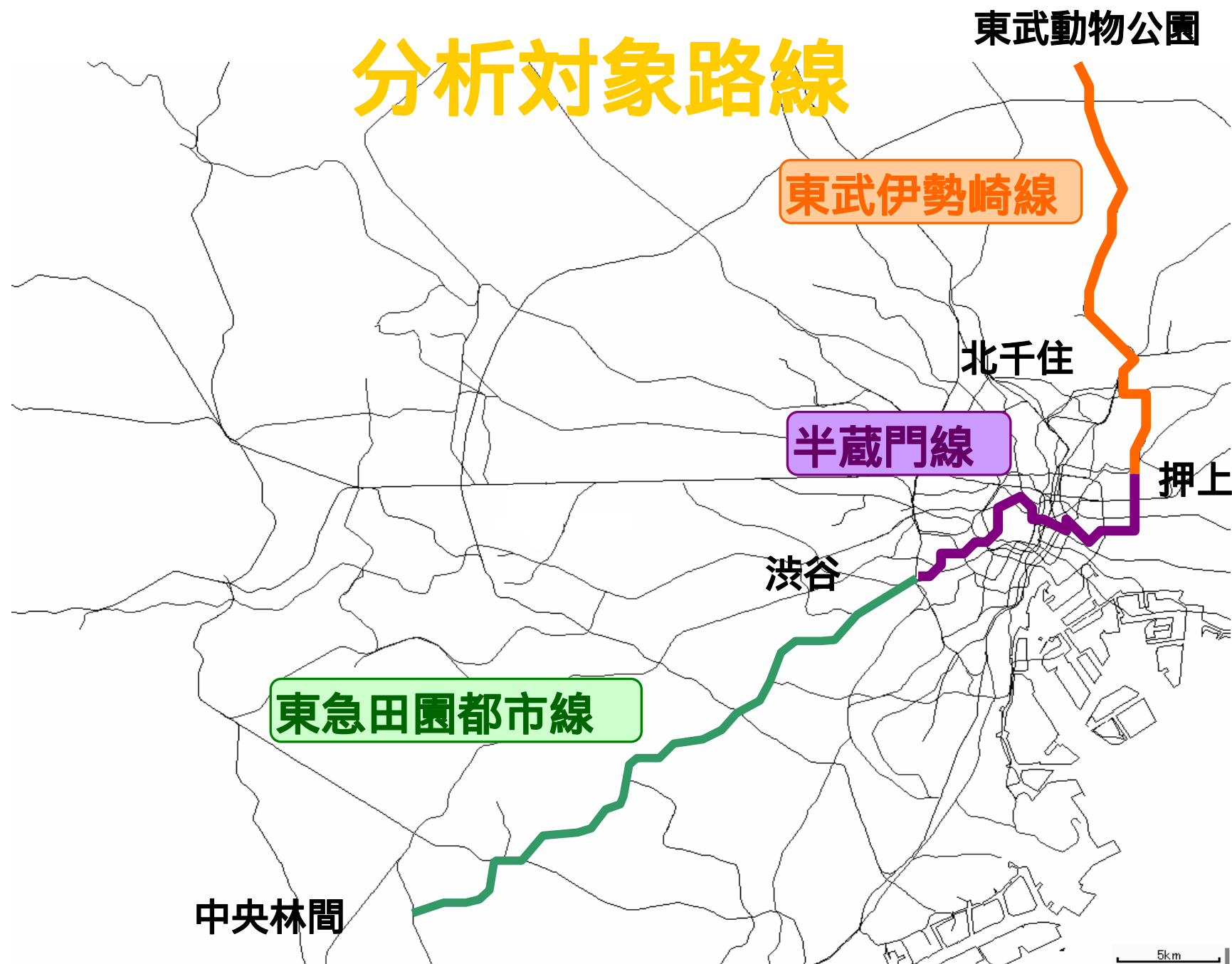
2 . 1 分析データ

2 . 2 所要時間

2 . 3 駅の停車時間

2 . 4 駅間の走行時間

分析対象路線



調査対象の路線概要



各駅乗降人員は、
H19年度都市交通年報より算出

列車運行データ(実績値)

対象路線:

東急田園都市線 → 東京メトロ半蔵門線 →
→ 東武伊勢崎線

対象駅: 中央林間 ~ 渋谷 (全27駅)
表参道 ~ 押上 (全13駅)

日時: 平成21年1月14日(水) 晴

7:00 ~ 12:00

平成21年1月19日(月) ~ 21日(水) 晴

7:00 ~ 11:00

2 . 遅延の発生・波及の分析

2 . 1 分析データ

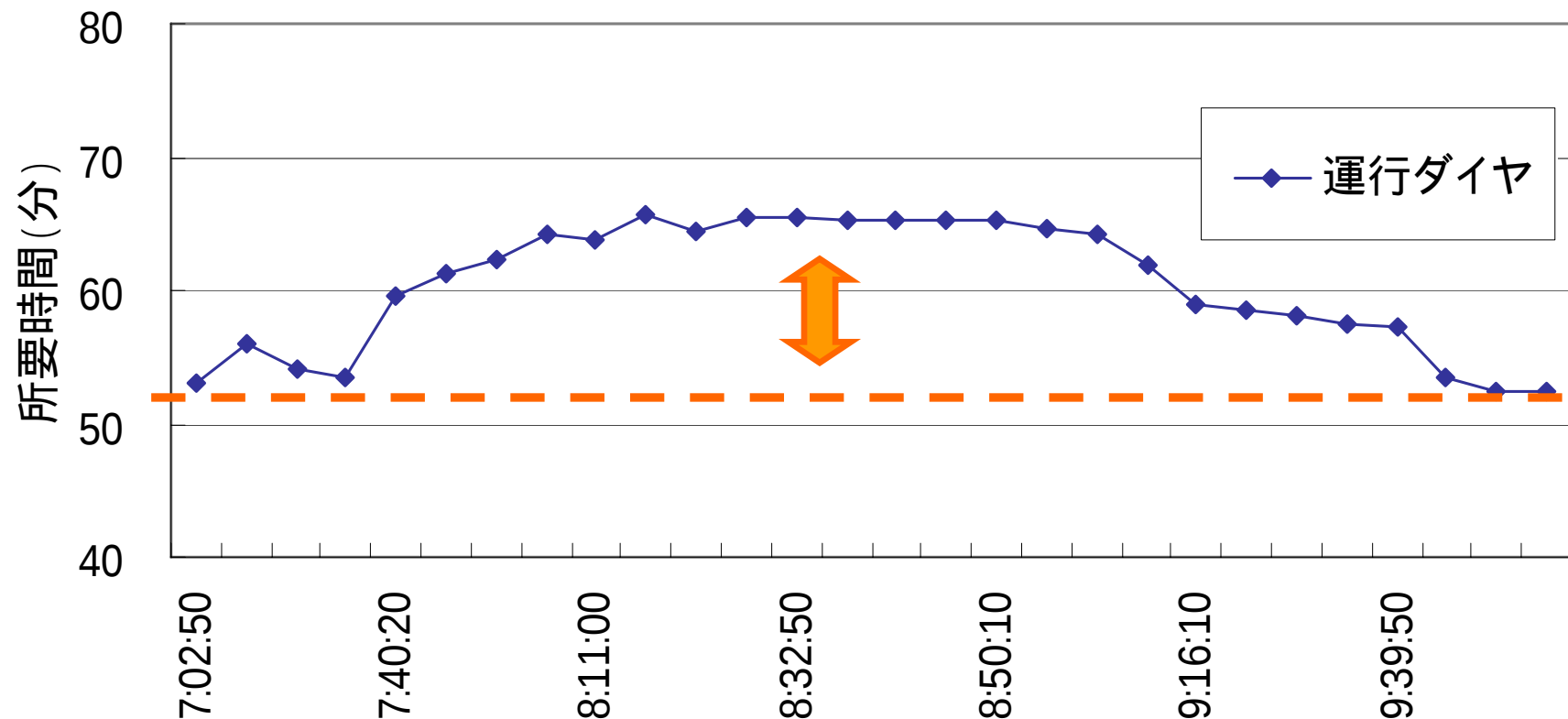
2 . 2 所要時間

2 . 3 駅の停車時間

2 . 4 駅間の走行時間

ラッシュ時の所要時間

田園都市線 中央林間～渋谷間(普通)



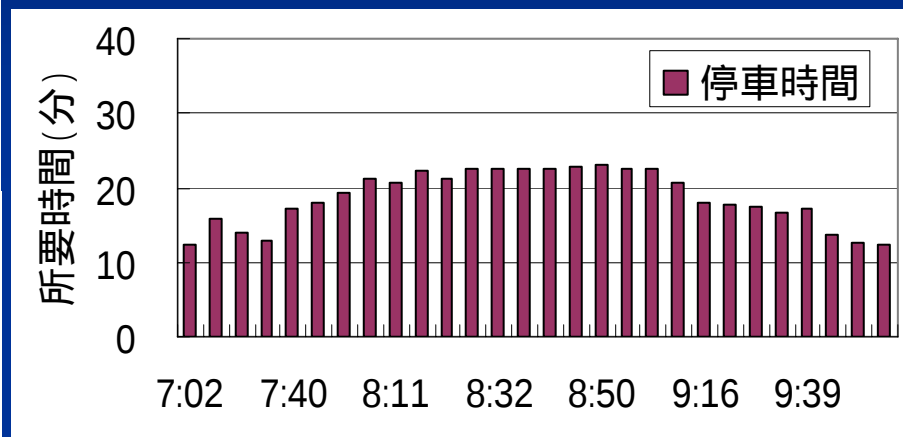
ダイヤ上の各列車の渋谷駅到着時間

非ラッシュ時よりも増加

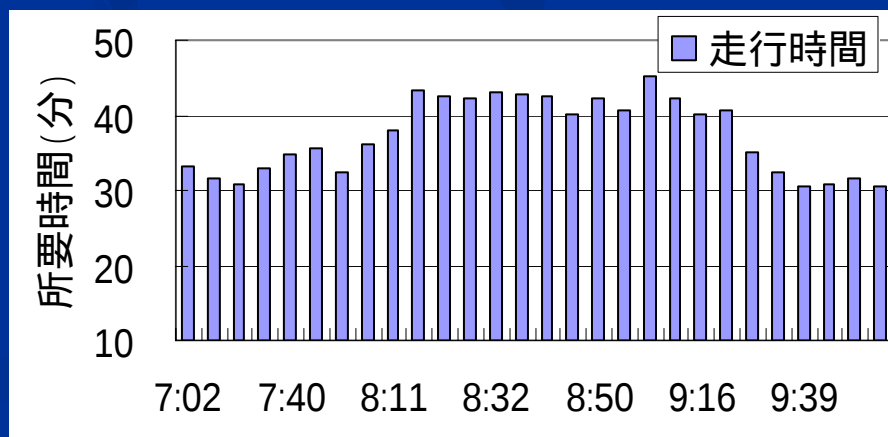
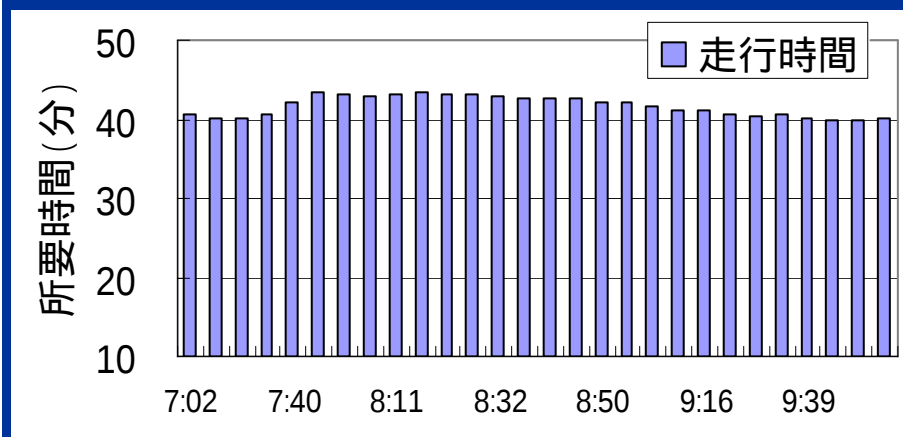
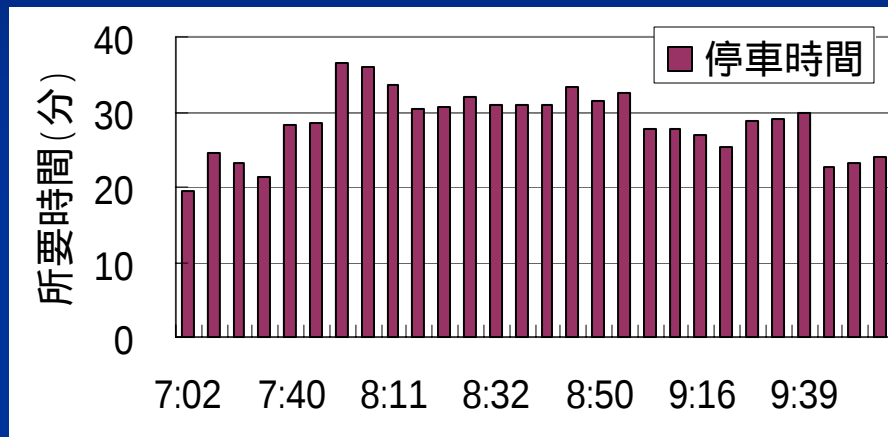
ダイヤの内訳と実績

田園都市線 中央林間～渋谷間(普通)

【運行ダイヤ】



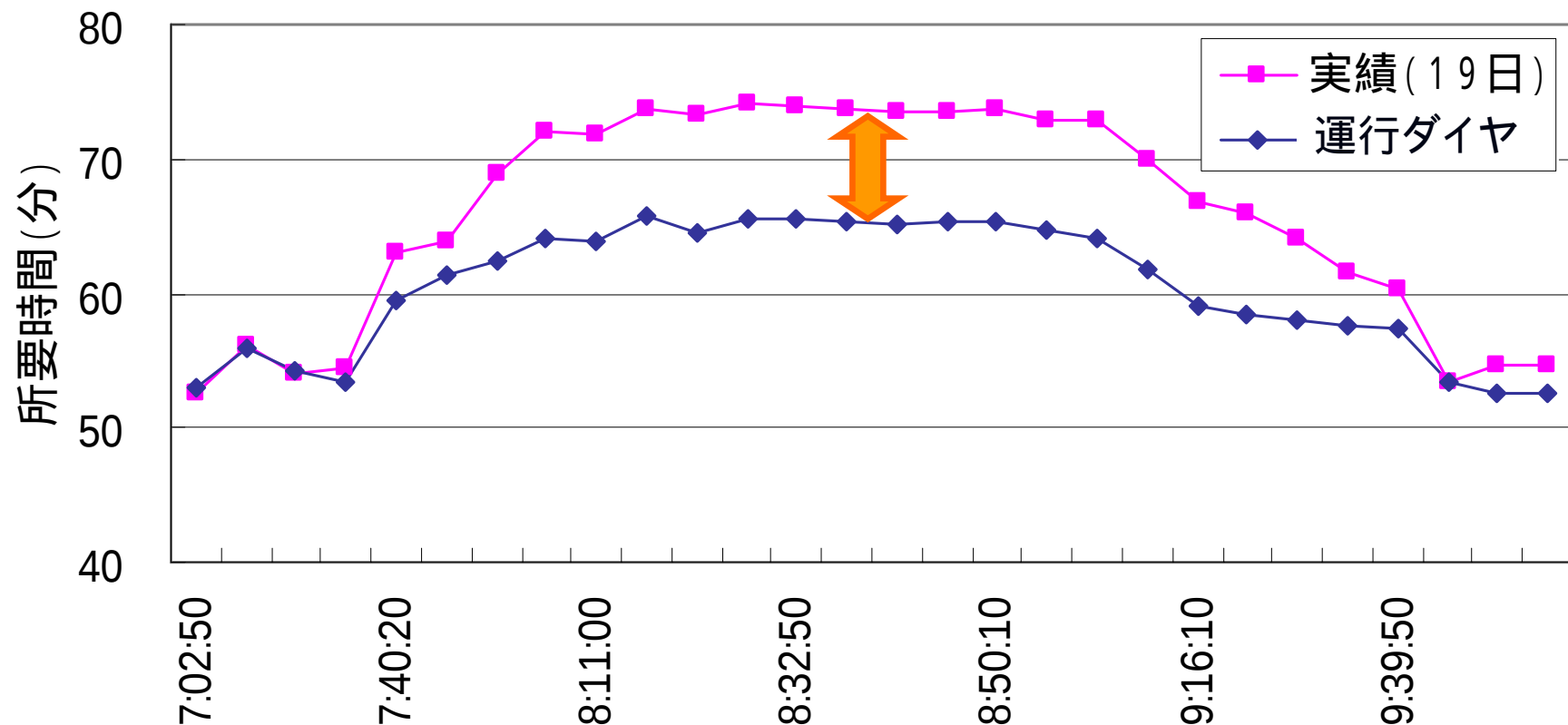
【実績(19日)】



停車時間だけでなく走行時間も増加

所要時間の増加

田園都市線 中央林間～渋谷間(普通)

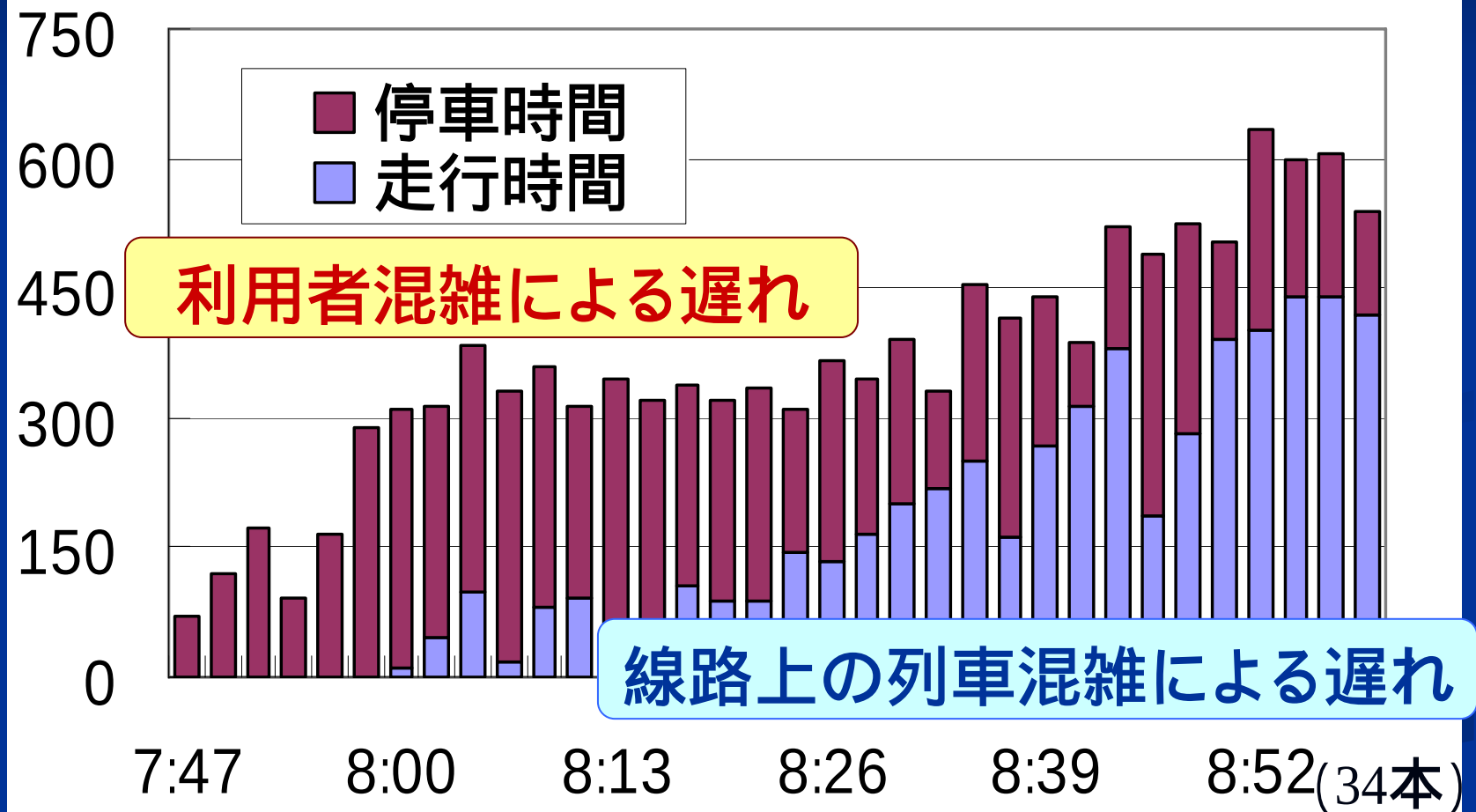


ダイヤ上の各列車の渋谷駅到着時間

ダイヤに対する遅れの内訳

溝の口駅～半蔵門駅(1月19日)

ダイヤに対する
所用時間の増加(秒)



各列車のダイヤ上の渋谷駅到着時間

2 . 遅延の発生・波及の分析

2 . 1 分析データ

2 . 2 所要時間

2 . 3 駅の停車時間

2 . 4 駅間の走行時間

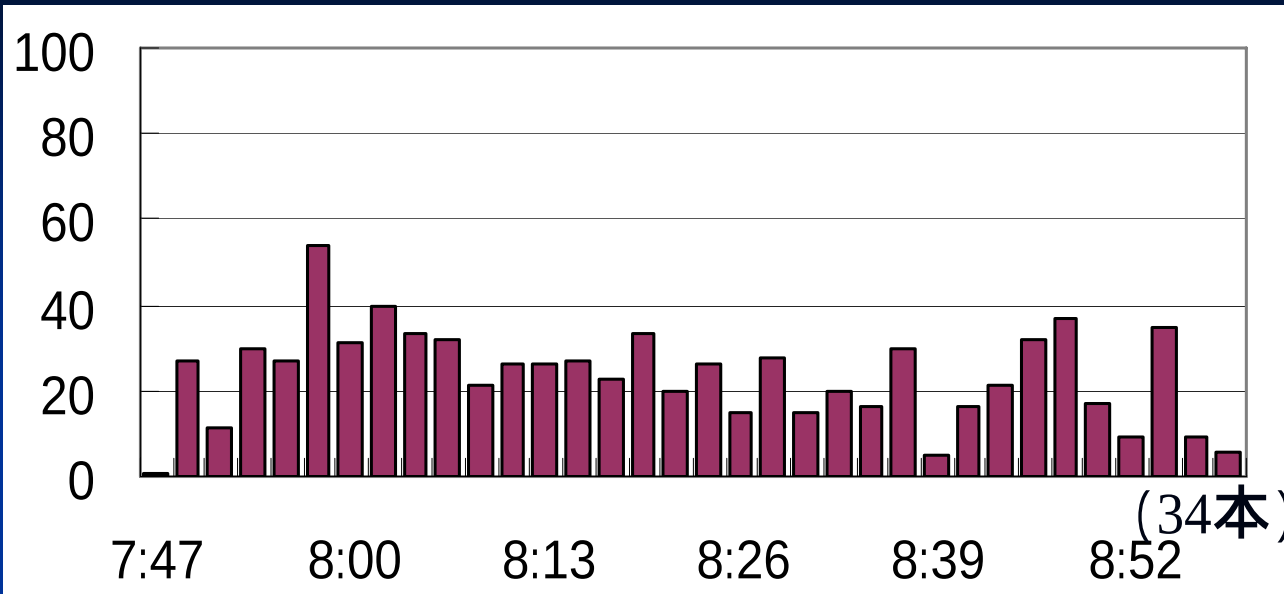
2.3 駅の停車時間

1. 増加時間の分布(日別)
2. 増加時間の分布(時間帯別)
3. 増加時間の構成
4. 車内混雑率との関係

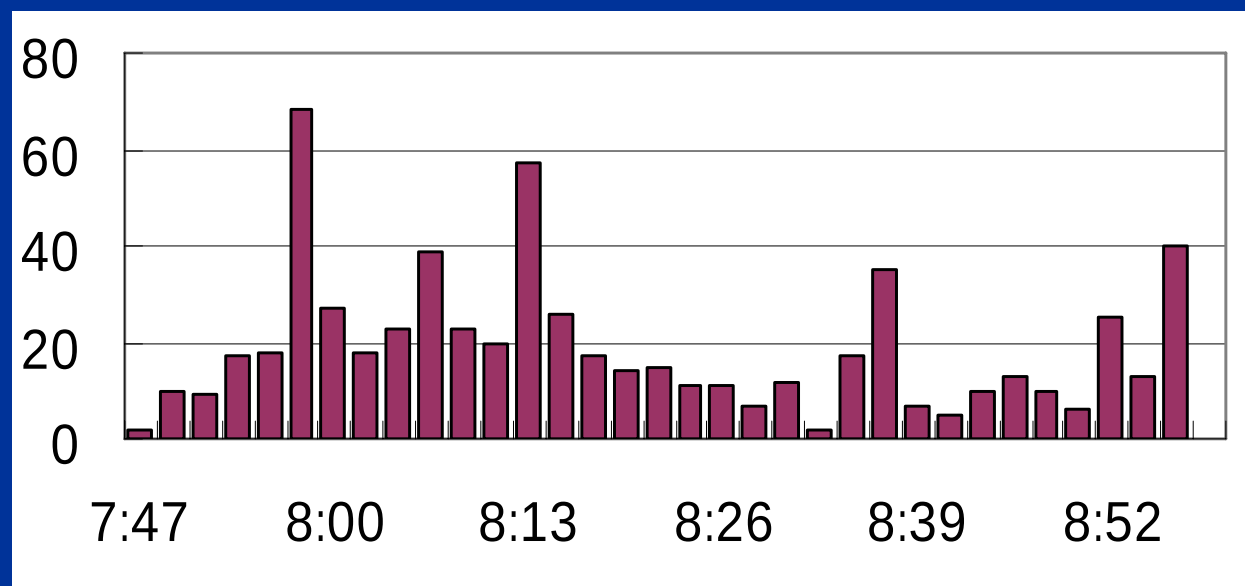
ダイヤに対する駅停車時間の増加

ダイヤに対する
停車時間の増加(秒)

渋谷駅



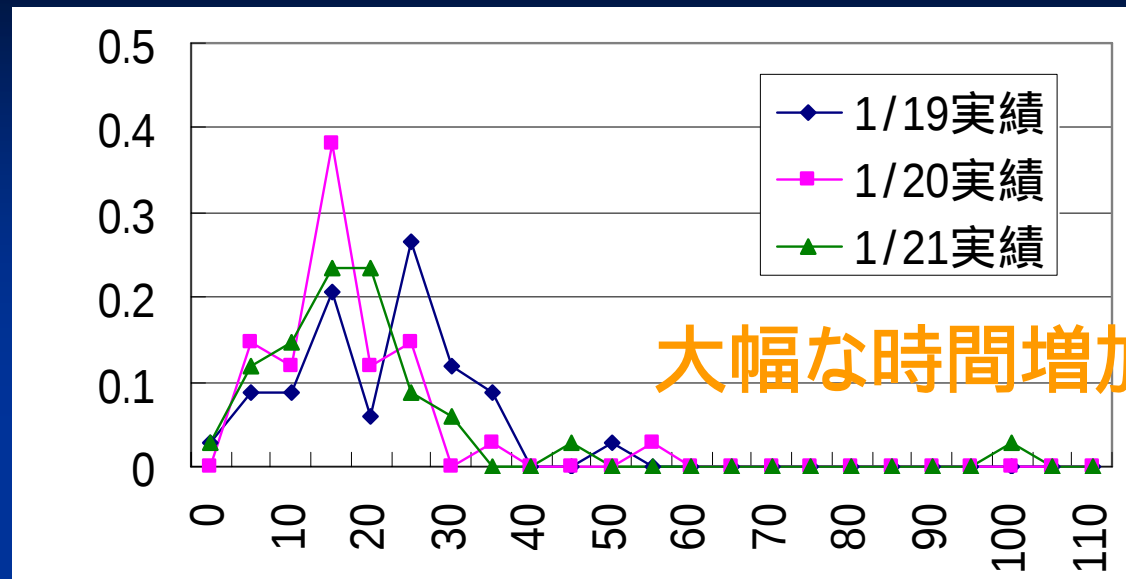
池尻大橋駅



各列車のダイヤ上の渋谷駅到着時間

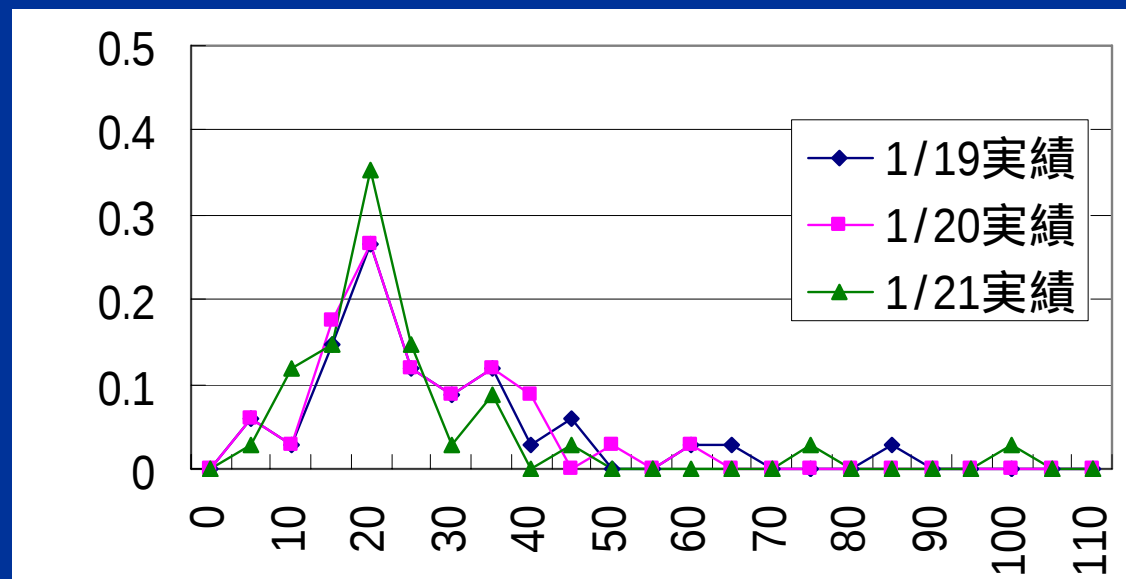
駅停車時間の増加量の分布(日別比較)

渋谷駅



大幅な時間増加は全日で発生

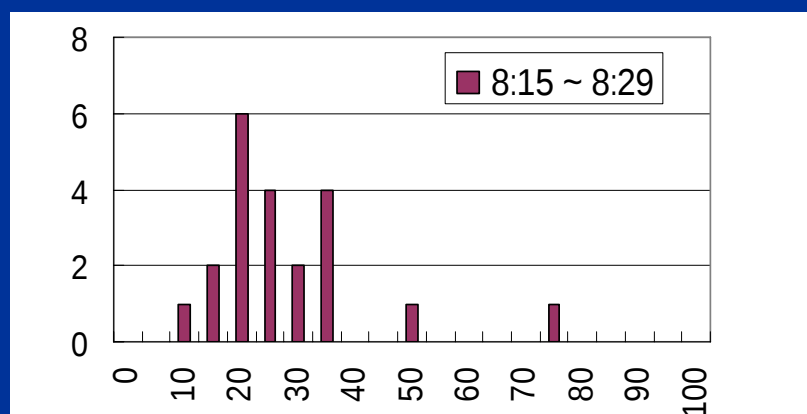
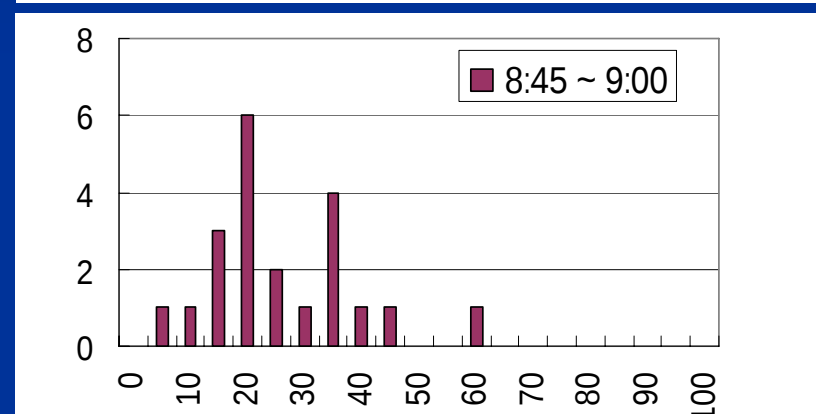
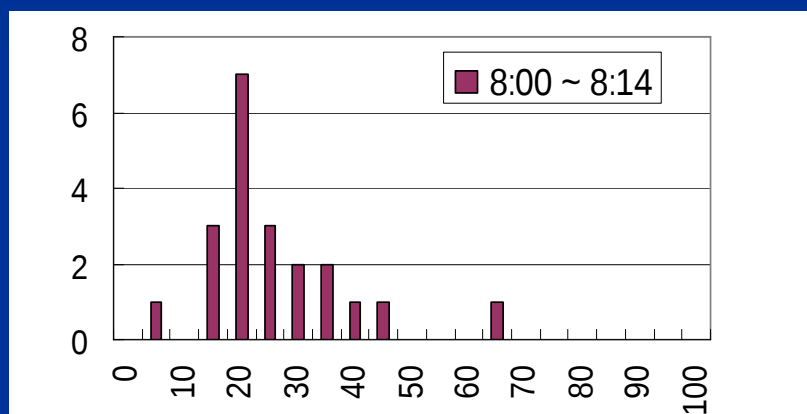
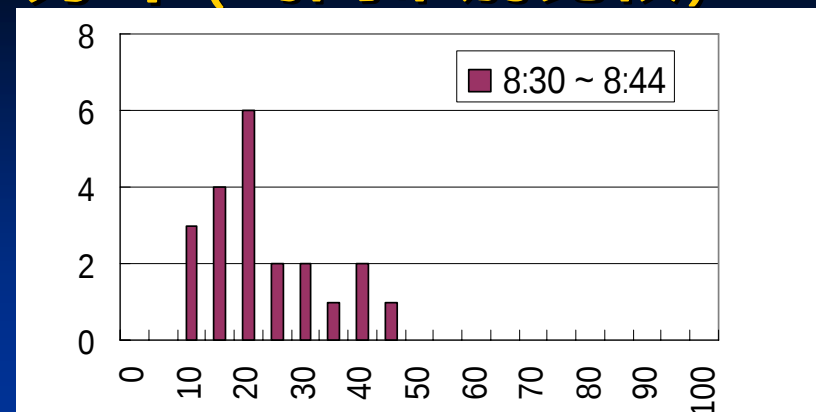
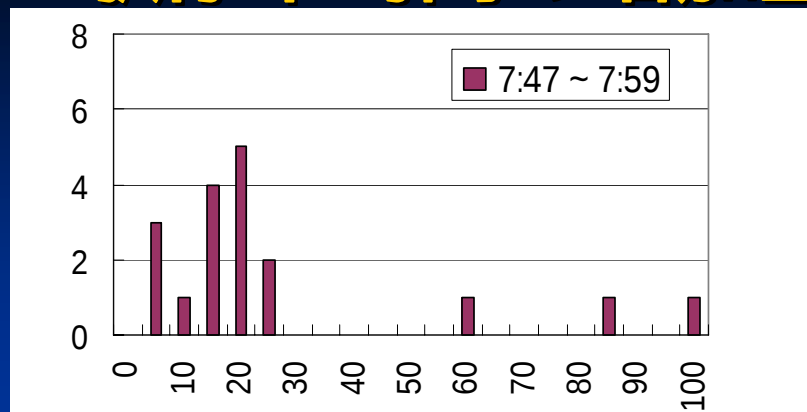
池尻大橋駅



ダイヤに対する増加時間(秒)

駅停車時間の増加量の分布(時間帯別比較)

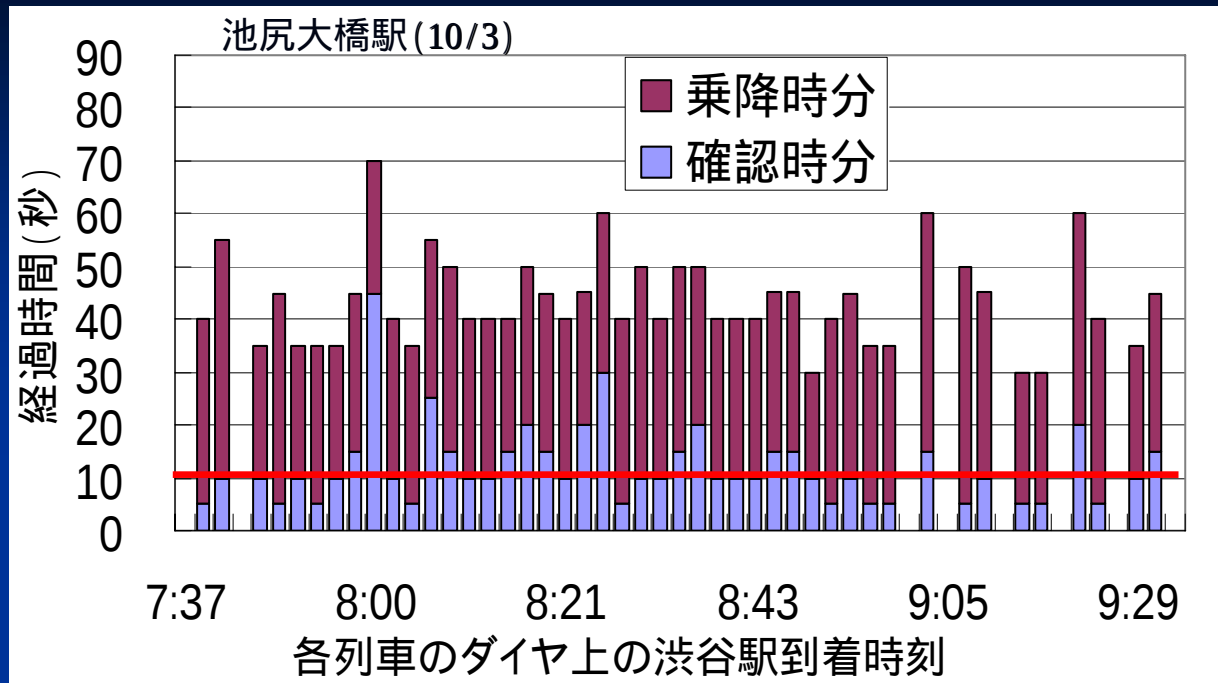
頻度



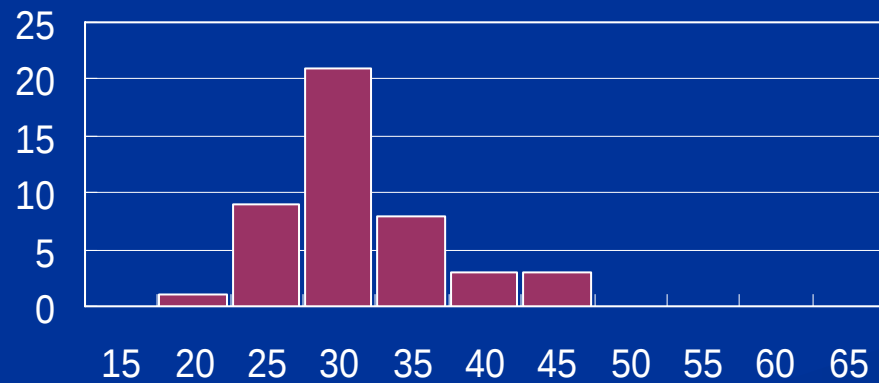
【池尻大橋駅(3日間)】

ダイヤに対する増加時間(秒)

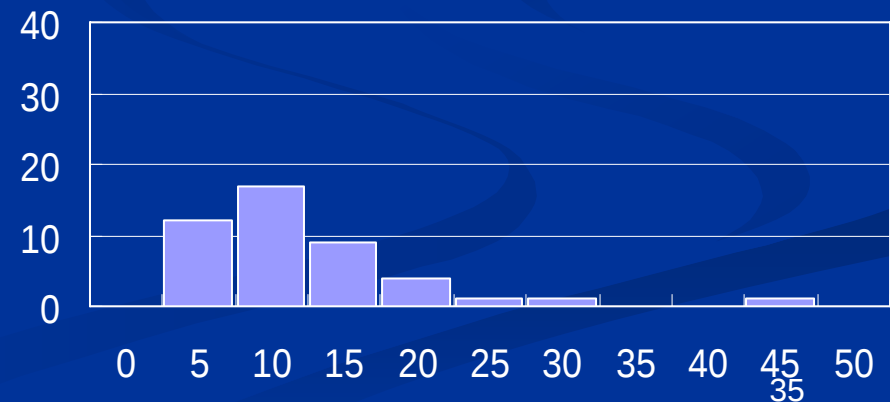
列車毎の駅停車時間の構成



乗降時分の頻度



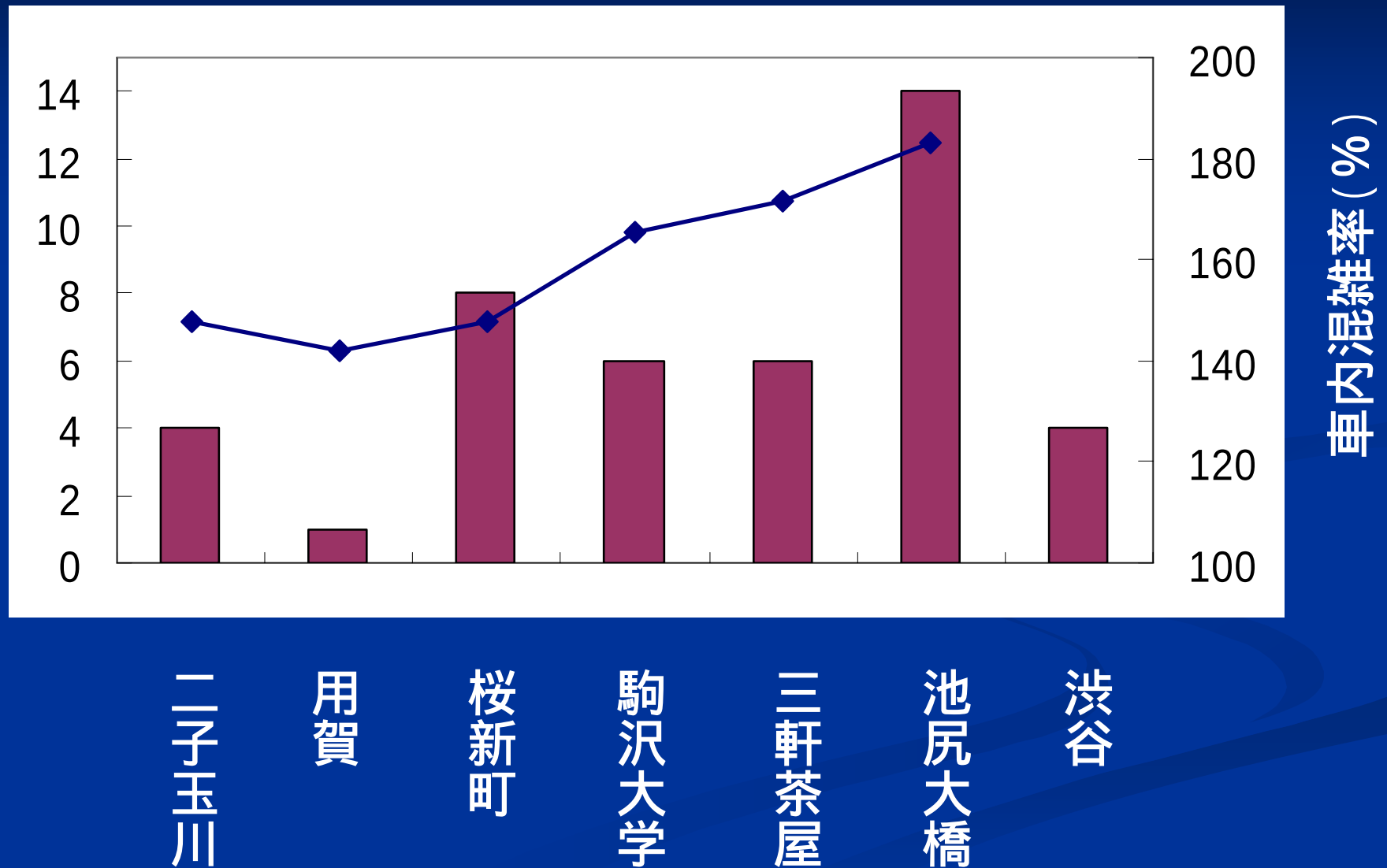
確認時分の頻度



列車毎の詳細な分析が必要

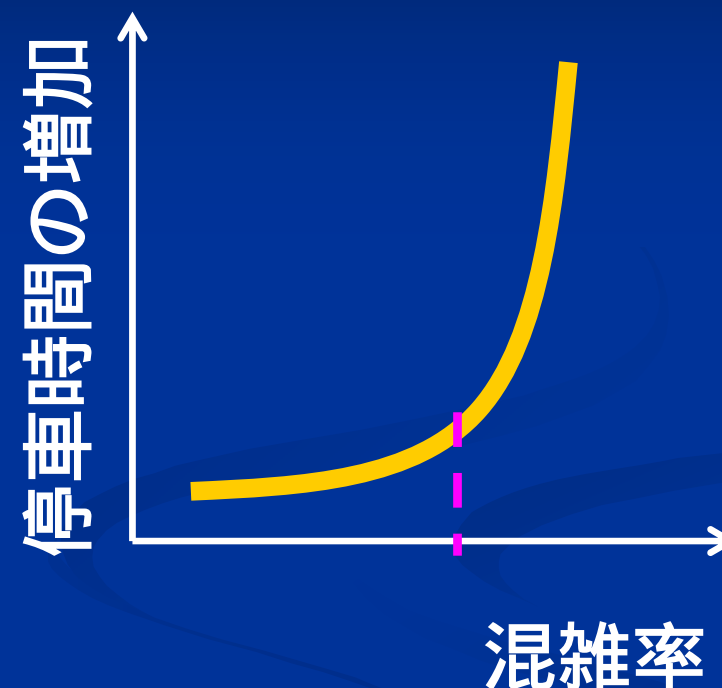
停車時間増加と混雑率の関係

停車時間の増加(40秒以上)の頻度



混雑率は(1月19日)の渋谷駅到着8:30の列車(10号車)

遅れた列車の遅延の増大



臨界点の存在

車内混雑率と遅延(停車時間)の分析が必要

遅延の発生・波及の分析

【駅の停車時間】

- ・時間増加の発生分布は、駅毎にある程度の傾向あり
- ・大幅な時間増加の発生は、一定の傾向はみられない(日別、時間帯別)
- ・乗車時分、降車時分、確認時分および混雑率との関係から列車毎の分析が必要

2 . 遅延の発生・波及の分析

2 . 1 分析データ

2 . 2 所要時間

2 . 3 駅の停車時間

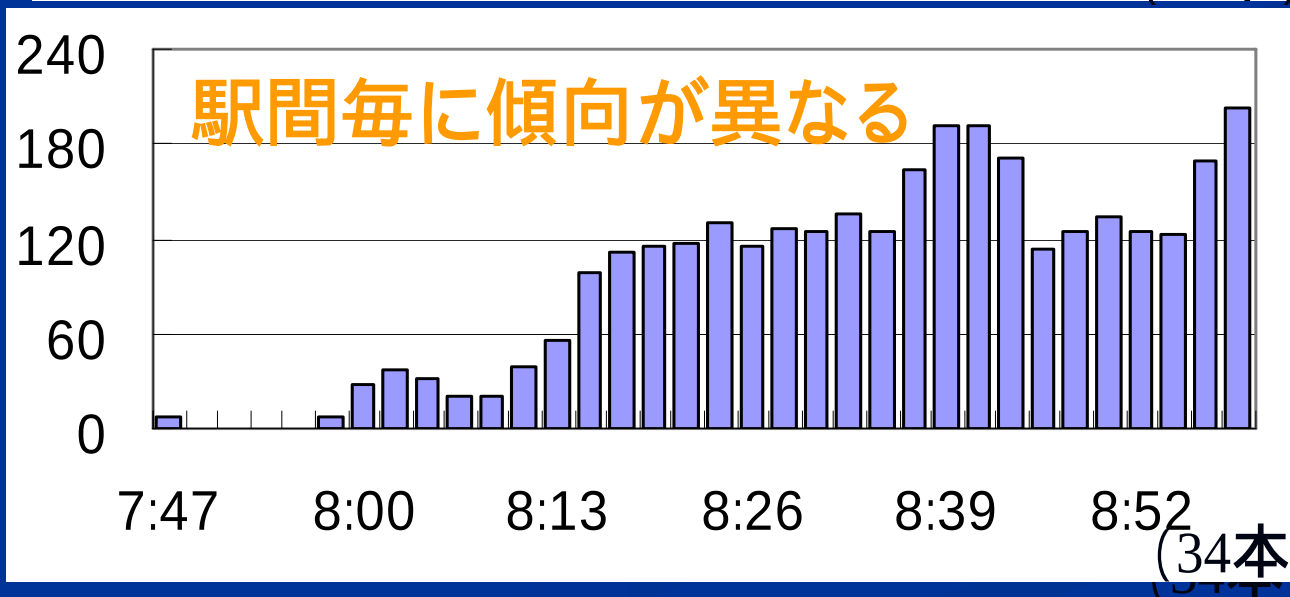
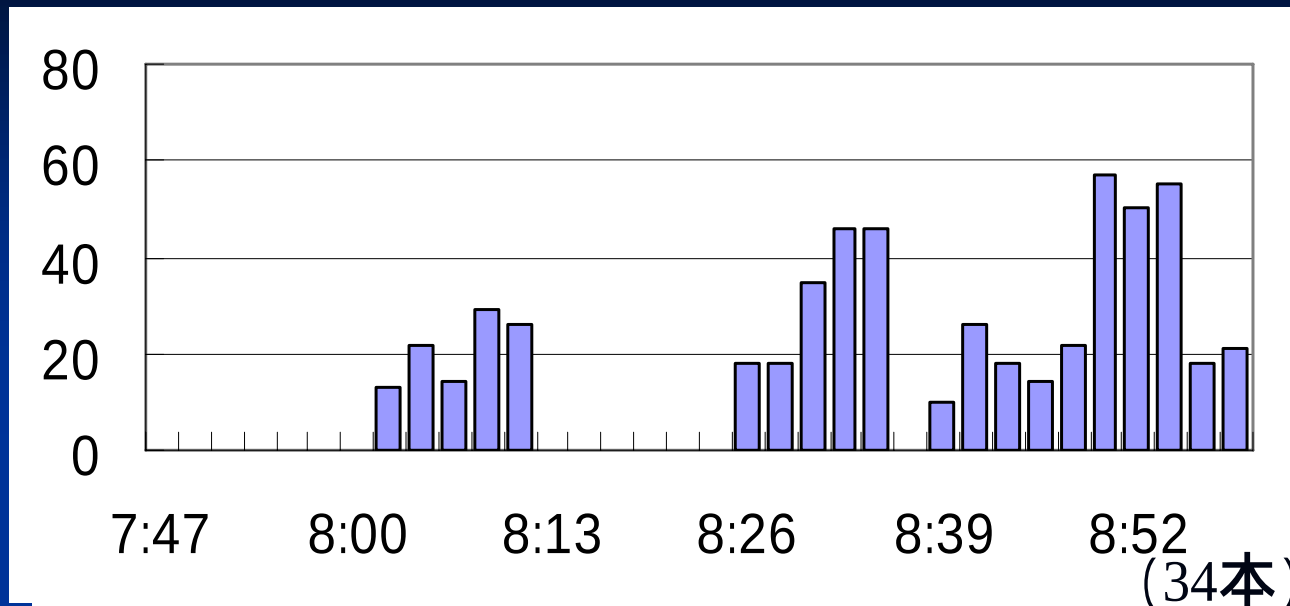
2 . 4 駅間の走行時間

2.3 駅間の走行時間

1. 増加時間の分布(日別)
2. 増加時間の分布(時間帯別)
3. 先行列車との関係

ダイヤに対する走行時間の増加

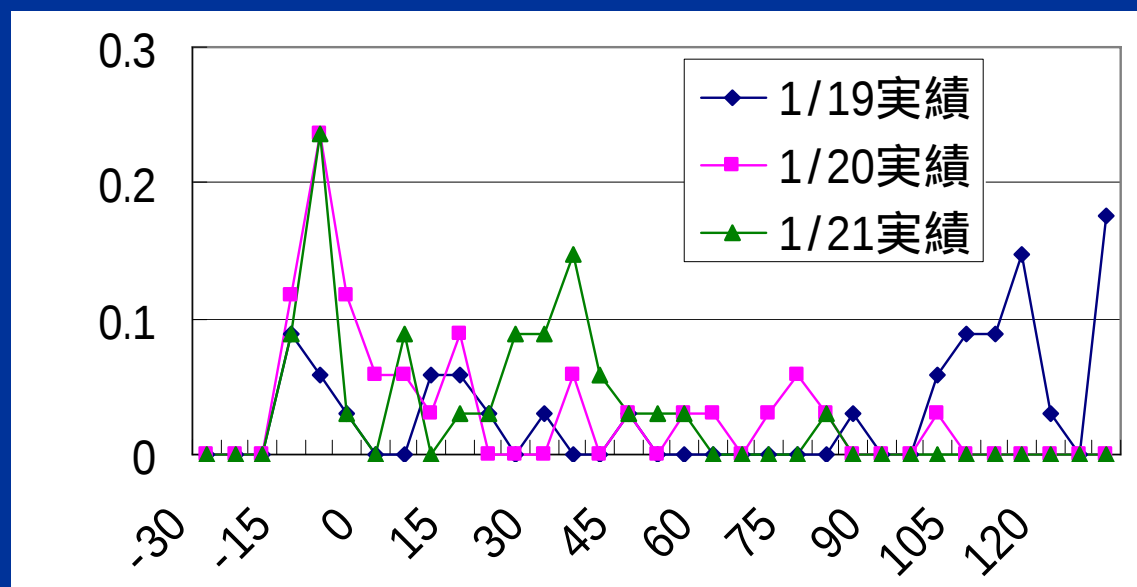
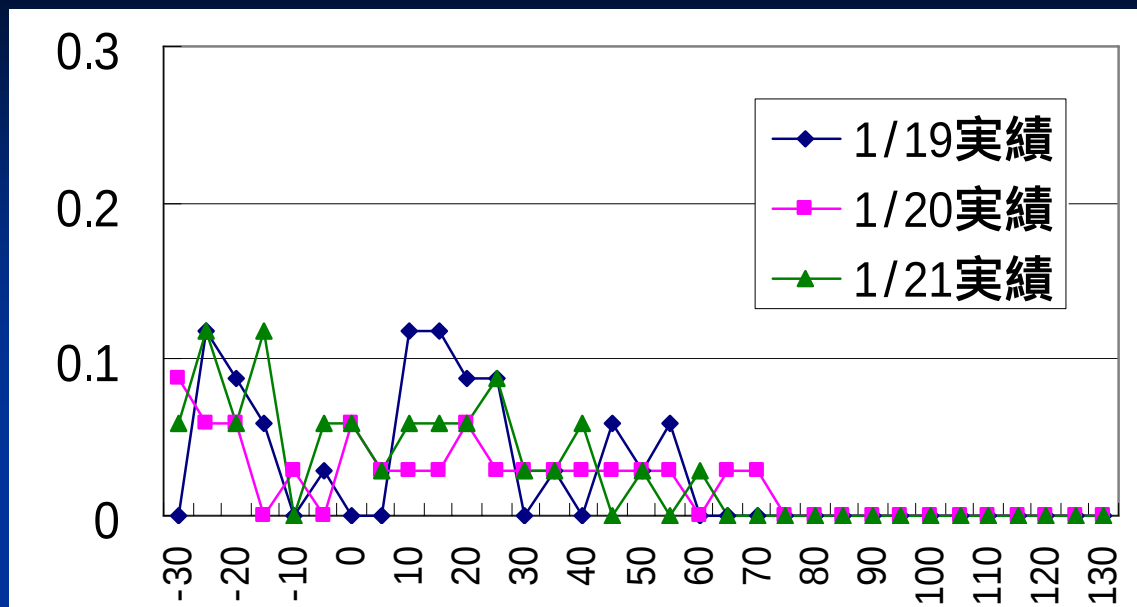
ダイヤに対する
走行時間の増加(秒)



各列車のダイヤ上の渋谷駅到着時間

走行時間の増加量の分布(日別比較)

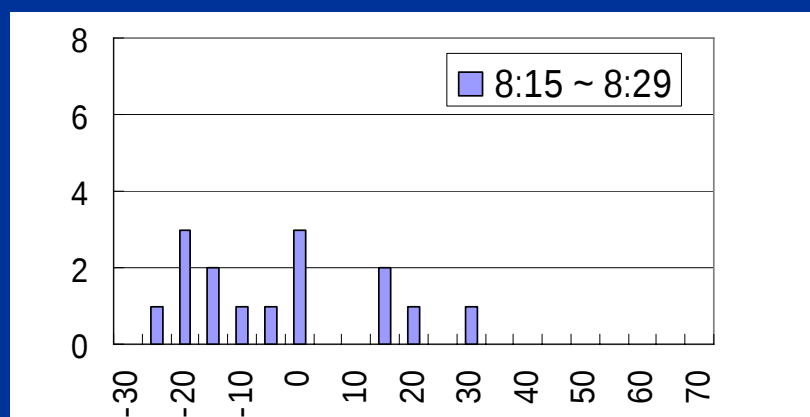
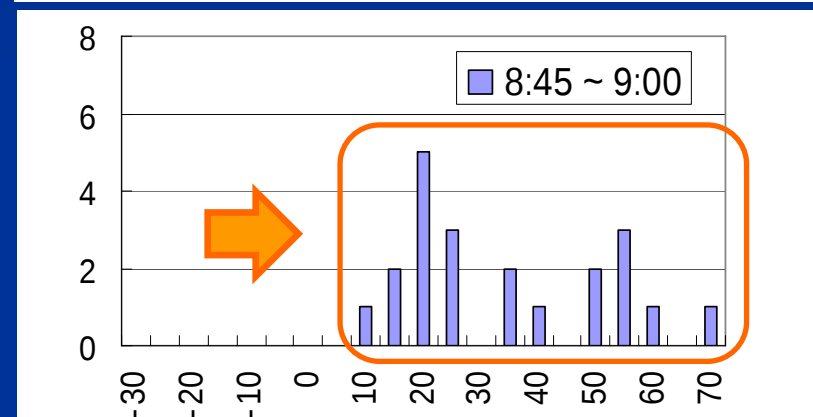
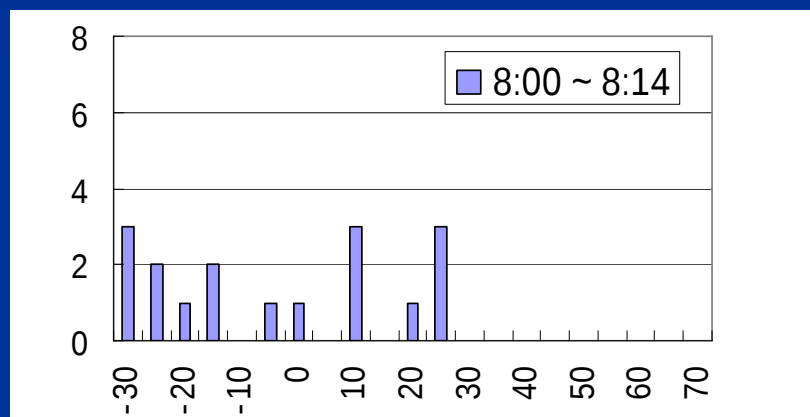
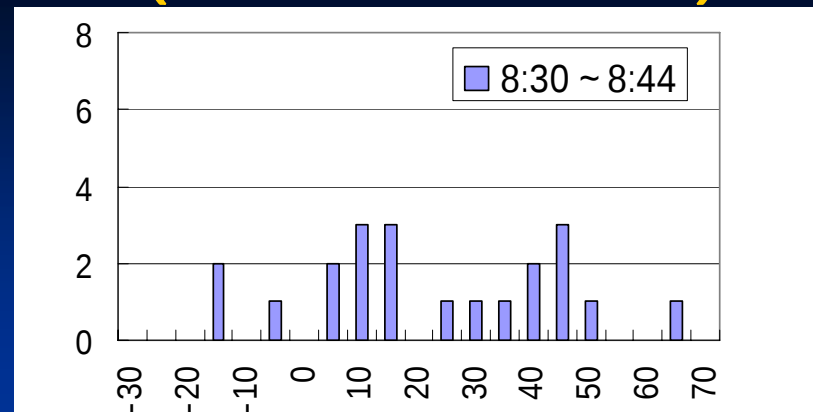
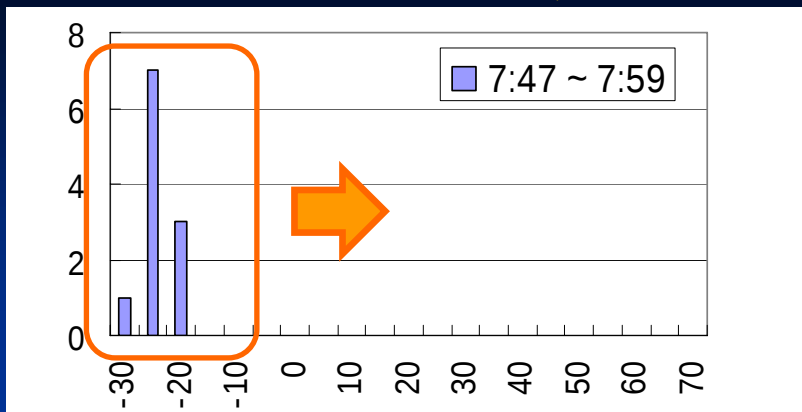
相対度数



ダイヤに対する増加時間(秒)

走行時間の増加量の分布(時間帯別比較)

頻度



【池尻大橋駅～渋谷駅(3日間)】

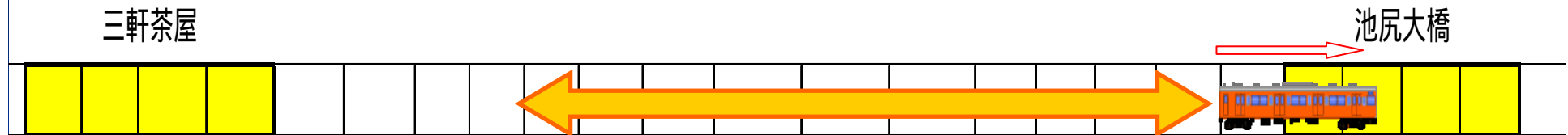
時系列で変化

ダイヤに対する増加時間(秒)

2.3 駅間の走行時間

1. 増加時間の分布(日別)
2. 増加時間の分布(時間帯別)
3. 先行列車との関係

先行列車による後続列車の制限速度

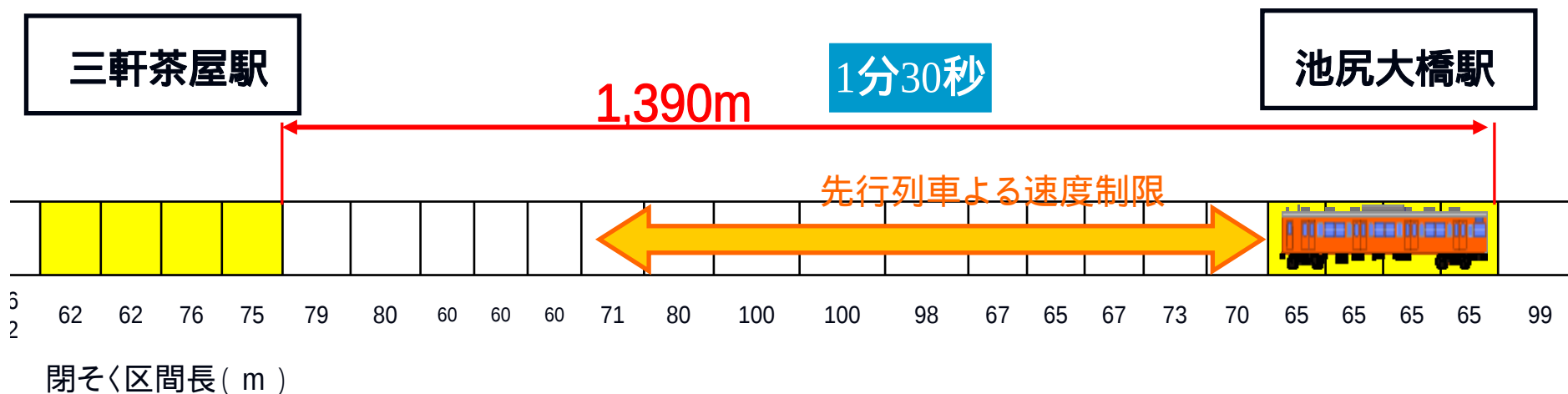
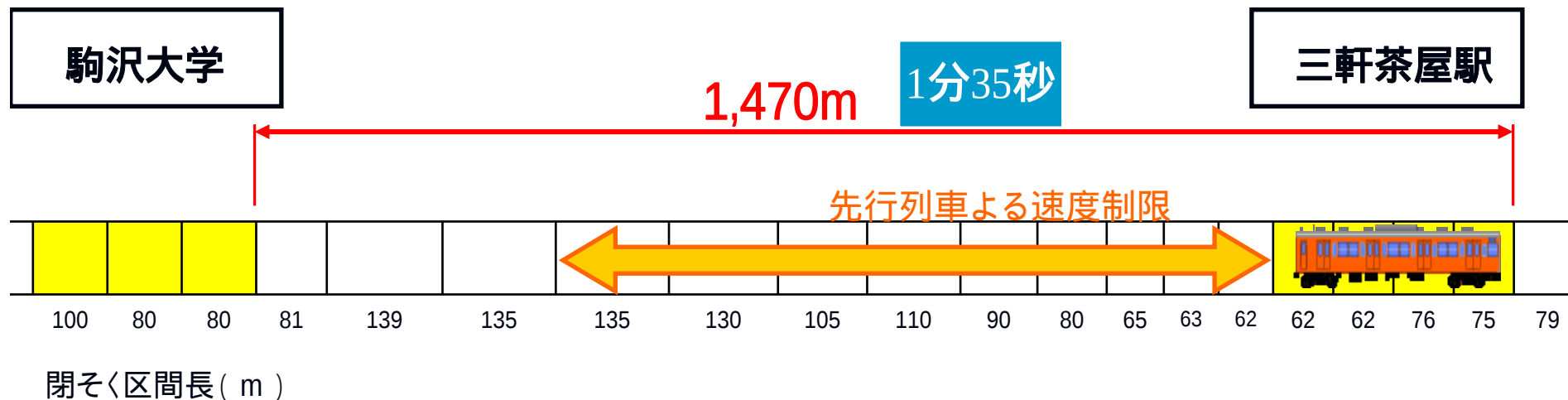


				90	90	80	75	65	55	40	30	20	停車	×	
			75	90	85	75	65	55	45	30	20	停車	×		
			75	85	80	70	60	50	35	20	停車	×			
			75	80	70	65	55	40	25	停車	×	>>			
		75	75	70	65	55	40	25	停車	×	>>				
	75	75	70	60	55	40	25	停車	×	>>					
75	75	65	60	50	40	25	停車	×	>>						

単位〔km/h〕

先行列車の位置により後続列車の速度が決まる

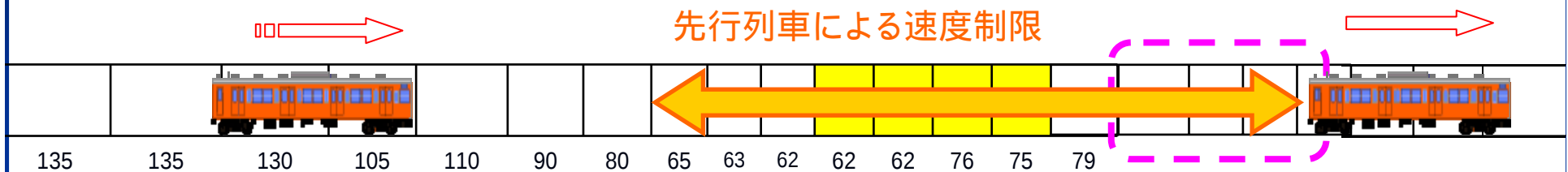
三軒茶屋駅～池尻大橋駅の走行時間の増加要因



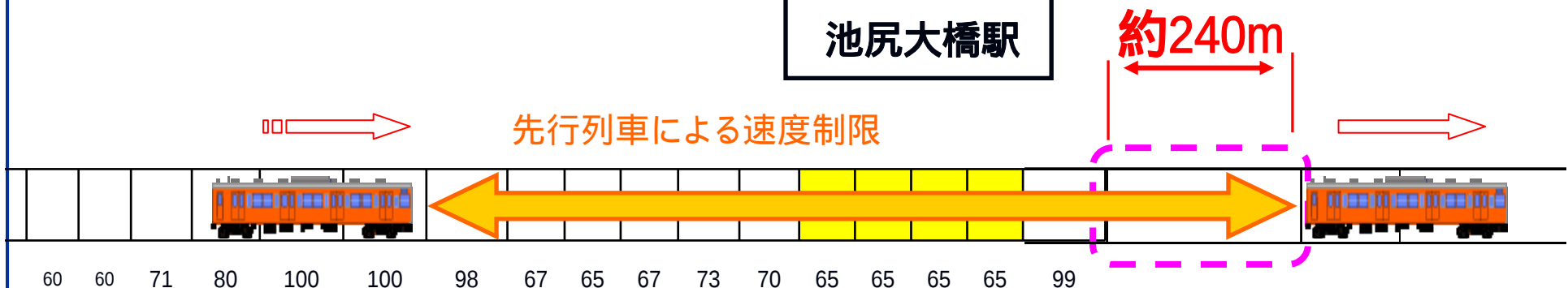
駅間の閉そく区間割りはほぼ同様

三軒茶屋駅～池尻大橋駅の走行時間の増加要因

三軒茶屋駅

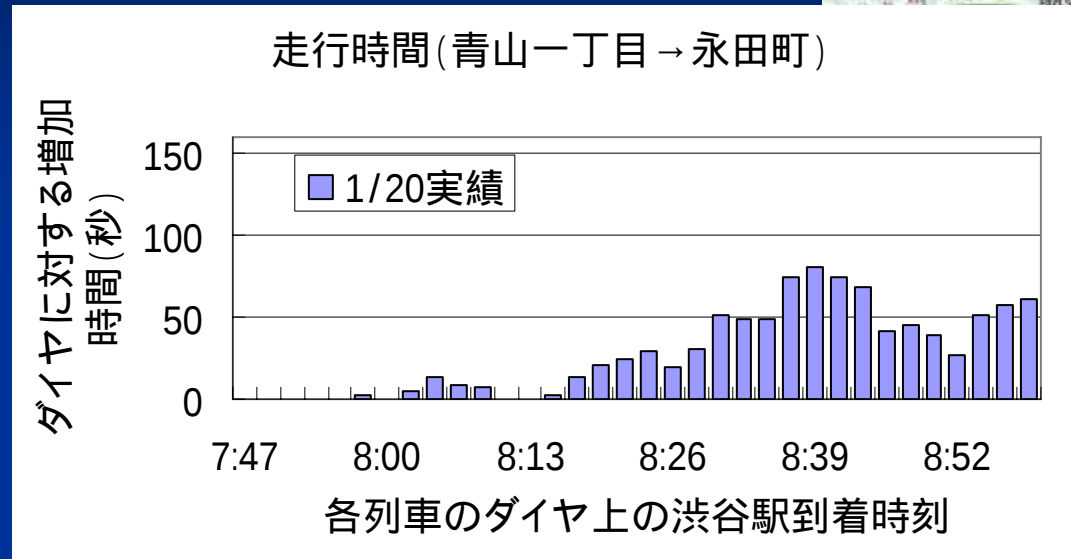


池尻大橋駅



駅を出発した直後の閉そく区間割り～ 後続列車へ影響

線形と走行時間増加量の関係



駅発直後の曲線線形の影響

遅延の発生・波及の分析

【駅間の走行時間】

- ・時間増加の発生は、先行列車の挙動に影響される
- ・閉そく区間を考慮し時系列に列車1本1本の挙動を追う必要あり

本日の報告内容

- 1 . 遅延の現状
- 2 . 遅延の発生・波及の分析
- 3 . 遅延の波及メカニズムの究明
- 4 . 運行方法による遅延対策の検討
- 5 . 今後の課題

3 . 遅延の波及メカニズムの究明

3 . 1 シミュレーションの概要

3 . 2 停車時間増加の影響

3 . 3 遅延の波及メカニズム

シミュレーションの概要

【シミュレーション・プログラム】

【使用データ】

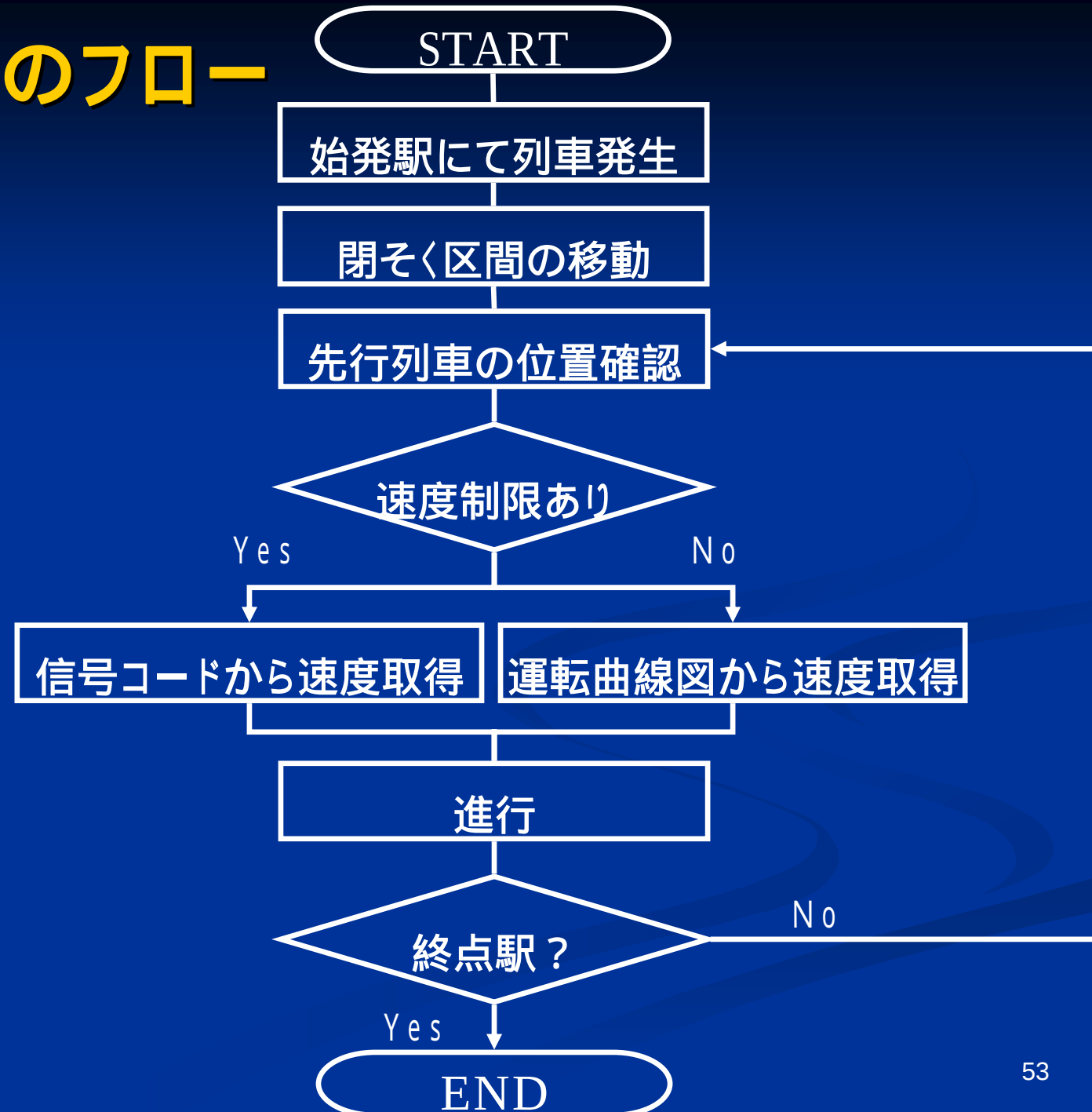
- ・時刻表(ダイヤ)
- ・信号コード表
- ・運転曲線図
- ・列車性能(加・減速度)

駅停車時間

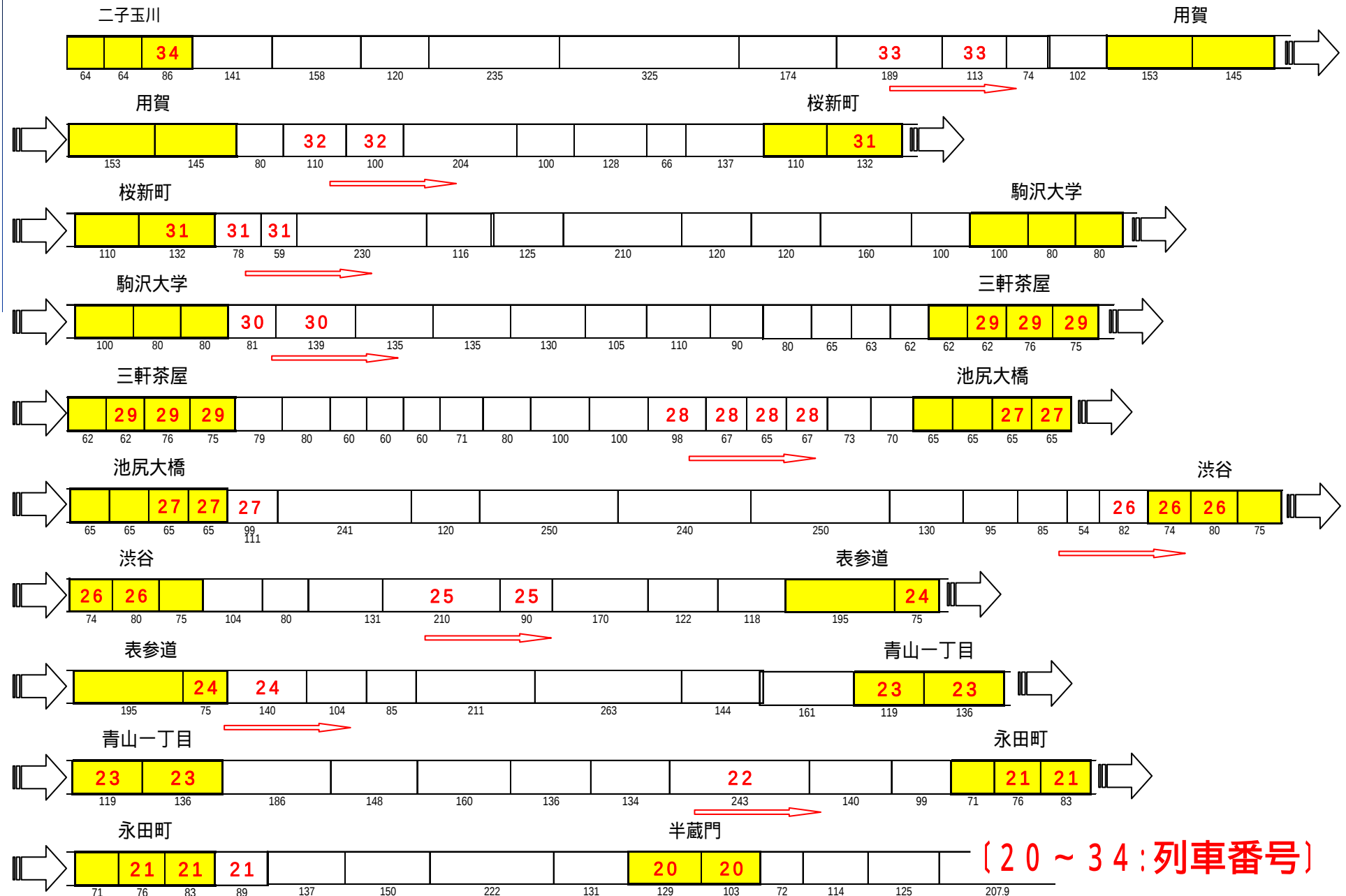
(駅停車時間の実績値を使用)

列車運行状況を再現

プログラムのフロー

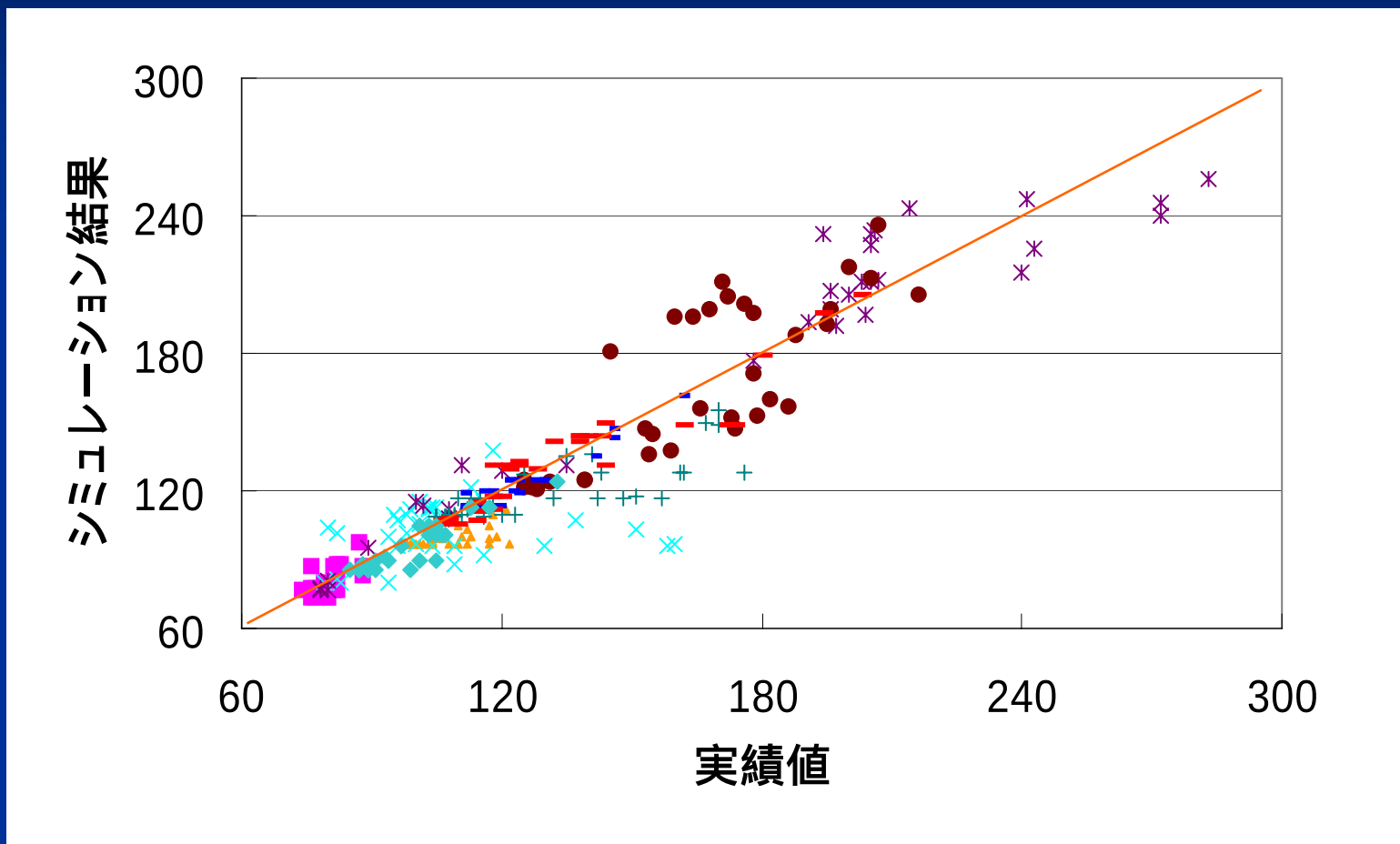


シミュレーション実行時のイメージ図



実績値とシミュレーション結果の比較

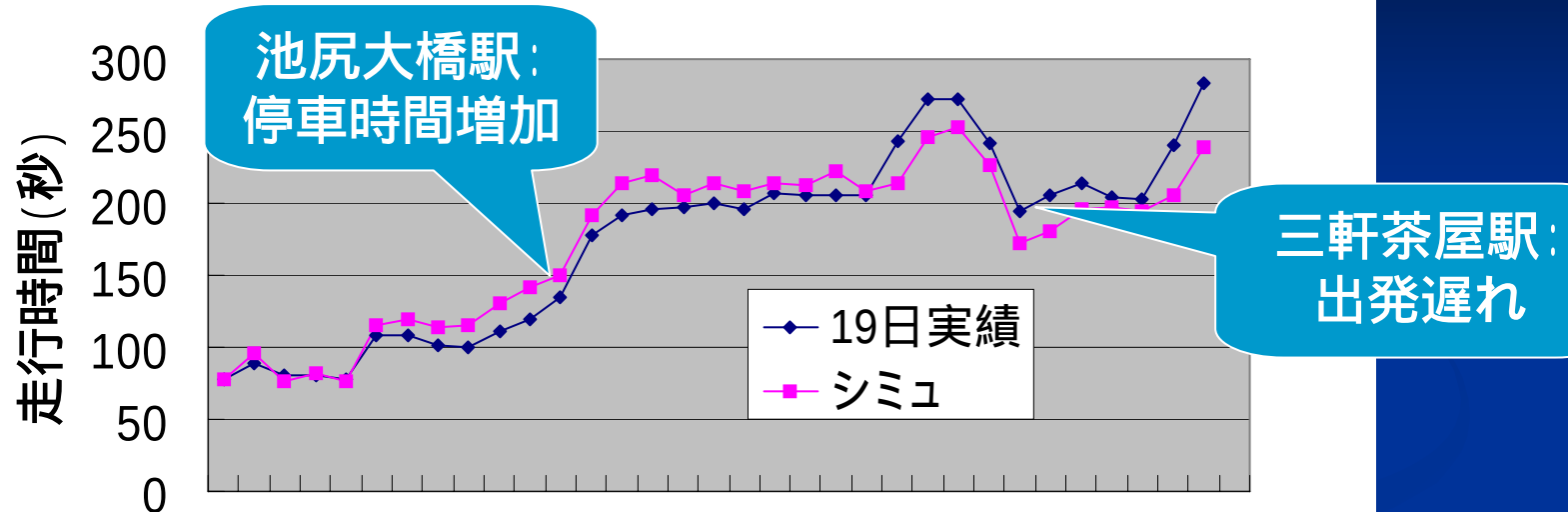
$R^2 = 0.91$



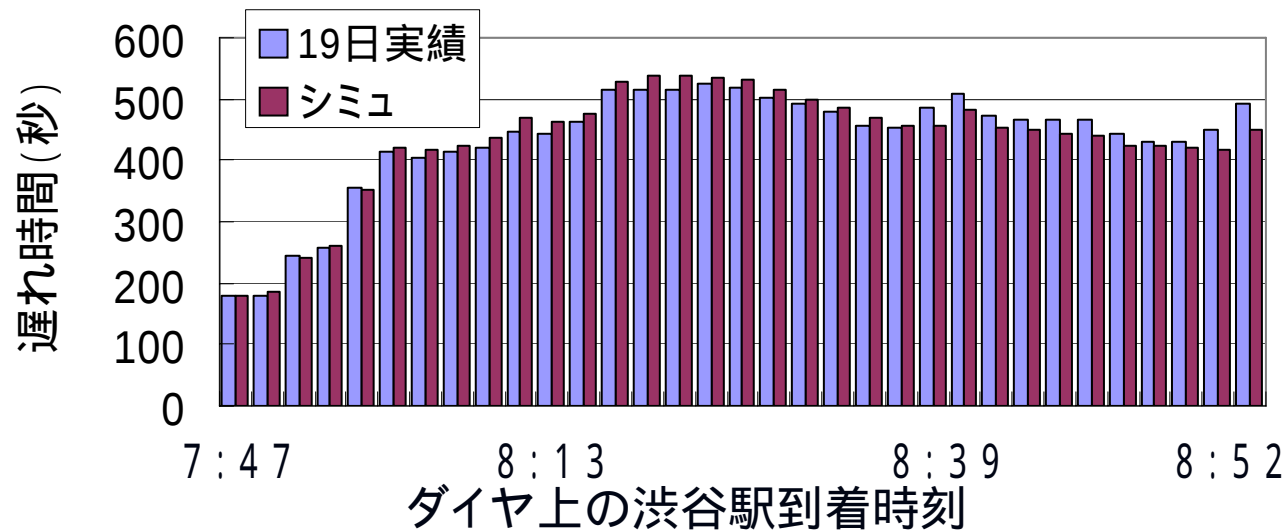
- | | | | | |
|-----------|----------|-------------|-------------|-------------|
| ◆ 二子玉川-用賀 | ■ 用賀-桜新町 | ▲ 桜新町-駒沢大学 | ✕ 駒沢大学-三軒茶屋 | ✕ 三軒茶屋-池尻大橋 |
| ● 池尻大橋-渋谷 | + 渋谷-表参道 | - 表参道-青山一丁目 | - 青山一丁目-永田町 | ◆ 永田町-半蔵門 |

実績値とシミュレーション結果の比較

駅間走行時間 三軒茶屋駅→池尻大橋駅



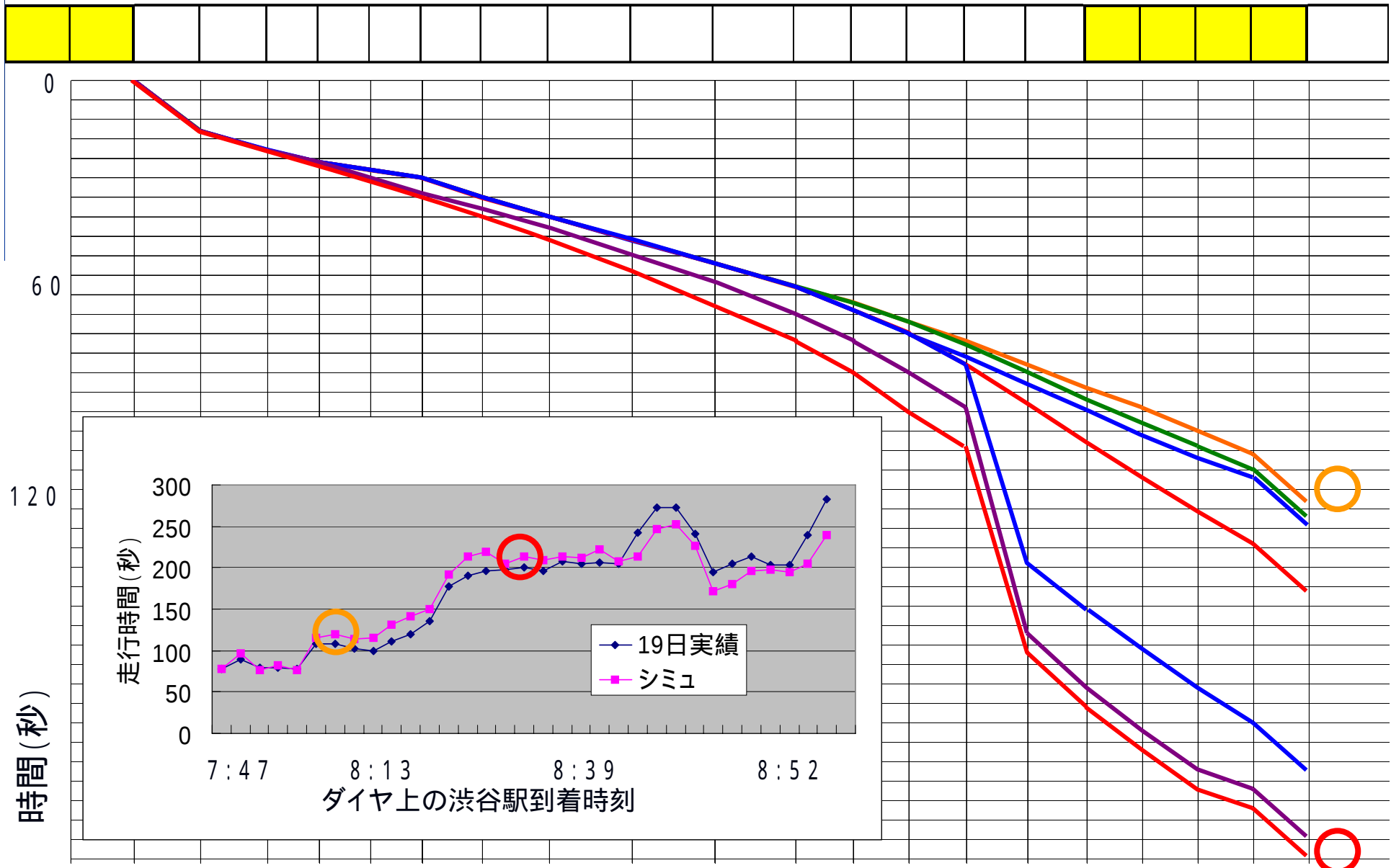
ダイヤに対する池尻大橋駅の到着遅れ



駅間の列車挙動を再現

三軒茶屋駅

池尻大橋駅



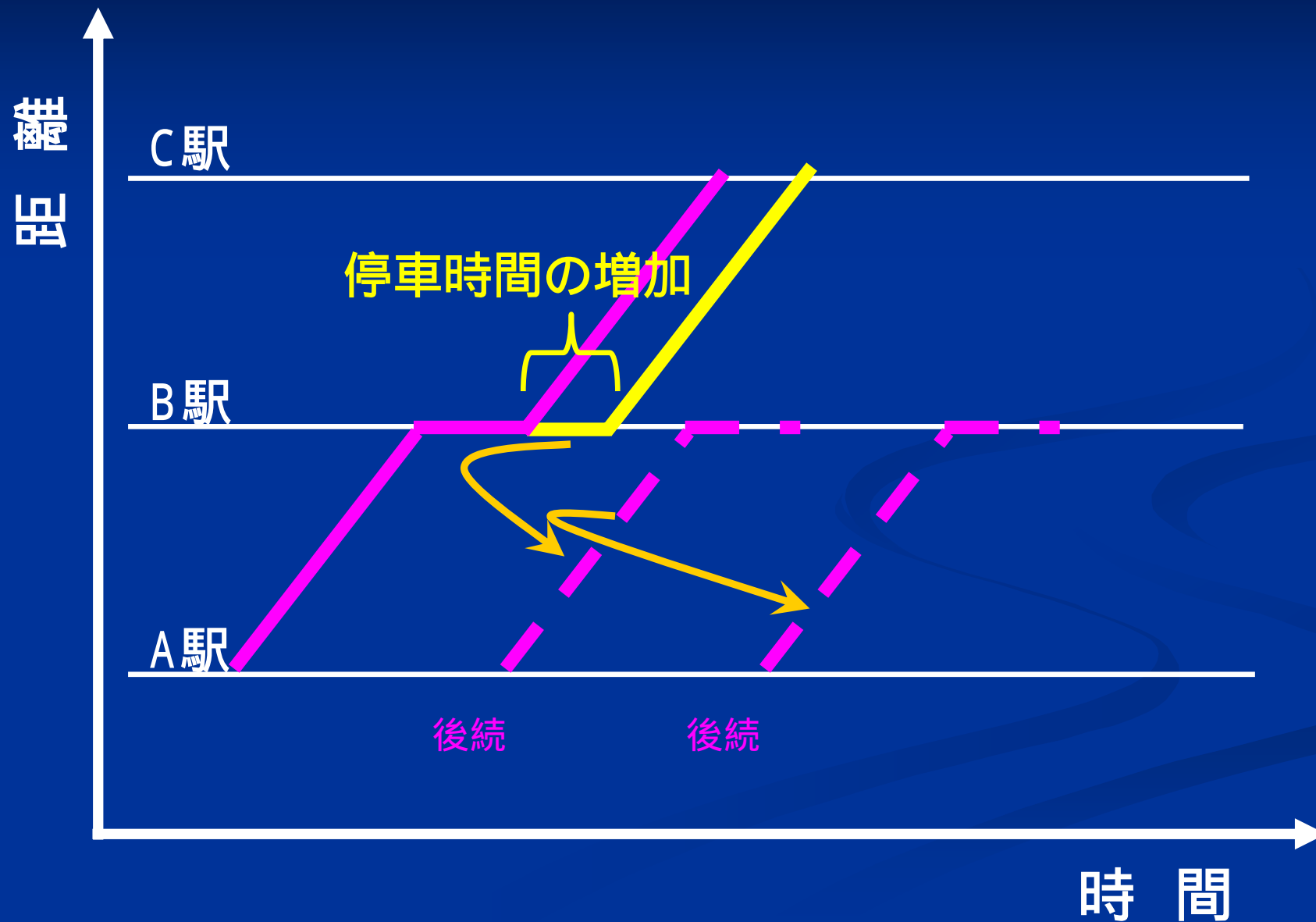
3 . 遅延の波及メカニズムの究明

3 . 1 シミュレーションの概要

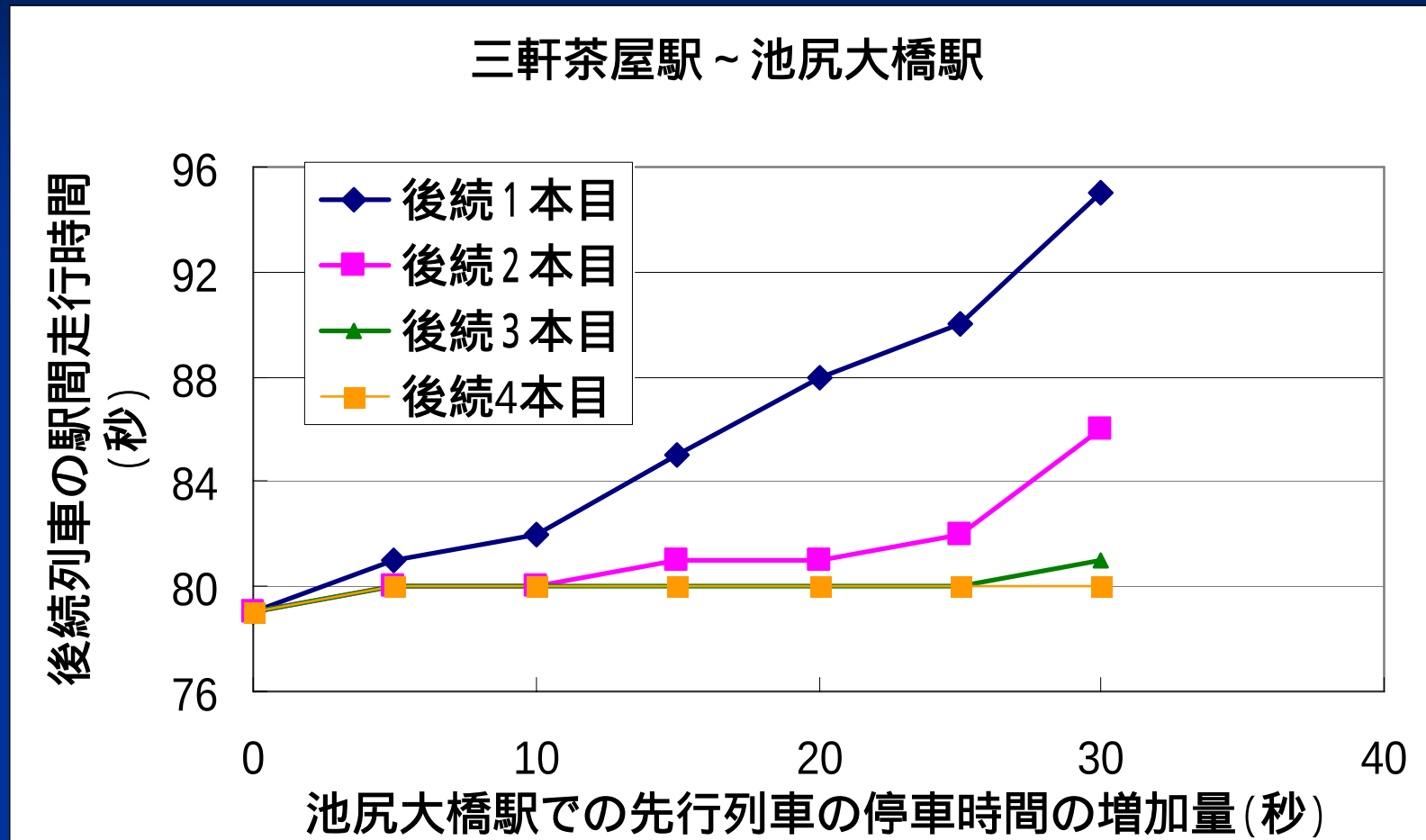
3 . 2 停車時間増加の影響

3 . 3 遅延の波及メカニズム

ダイヤの模式図

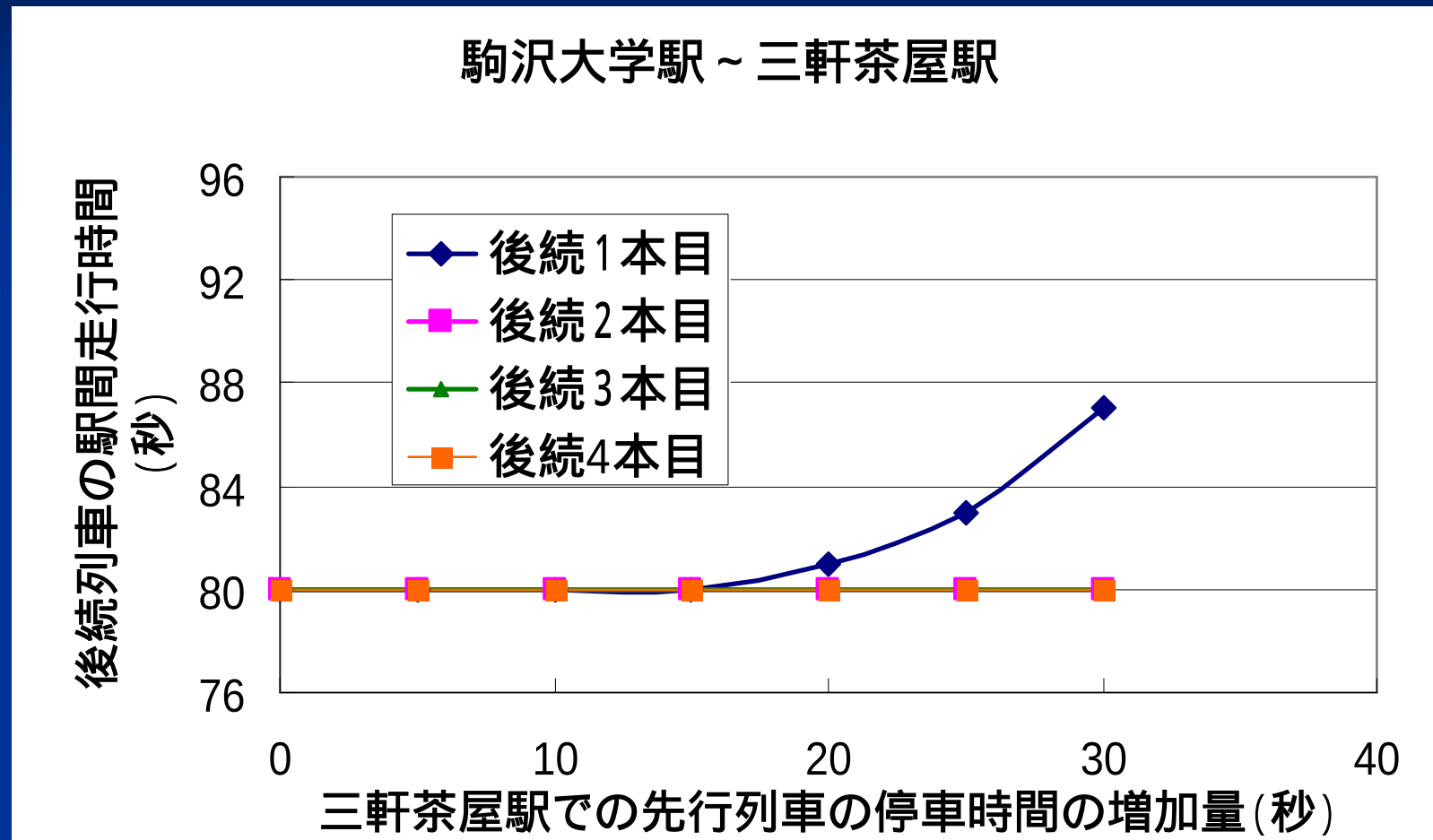


駅停車時間の増加が後続列車に及ぼす影響



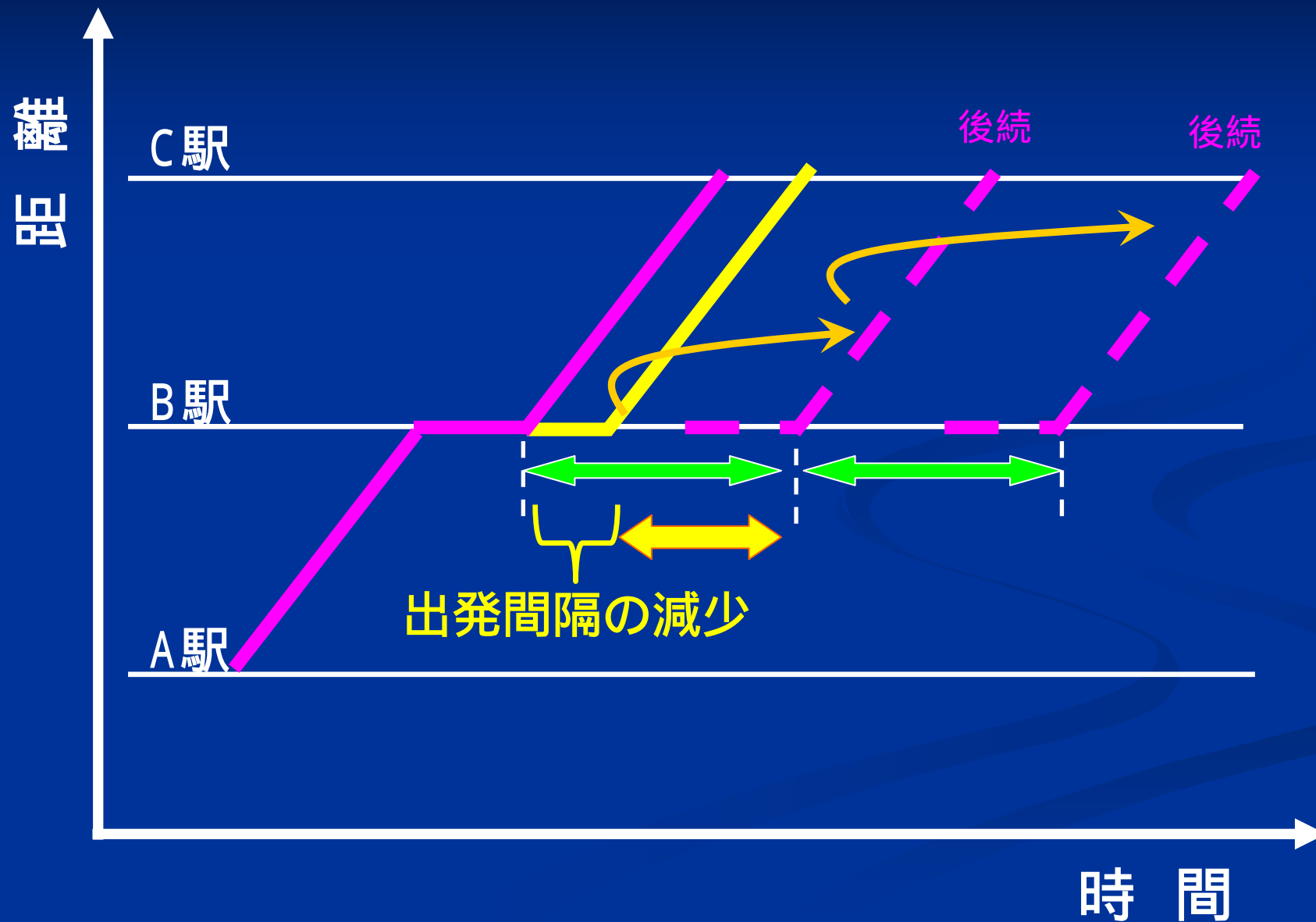
池尻大橋駅の停車時間増加は後続列車へ直ちに波及⁶⁰

駅停車時間の増加が後続列車に及ぼす影響



増加時間に15秒まで余裕があるが...

ダイヤの模式図



3 . 遅延の波及メカニズムの究明

3 . 1 シミュレーションの概要

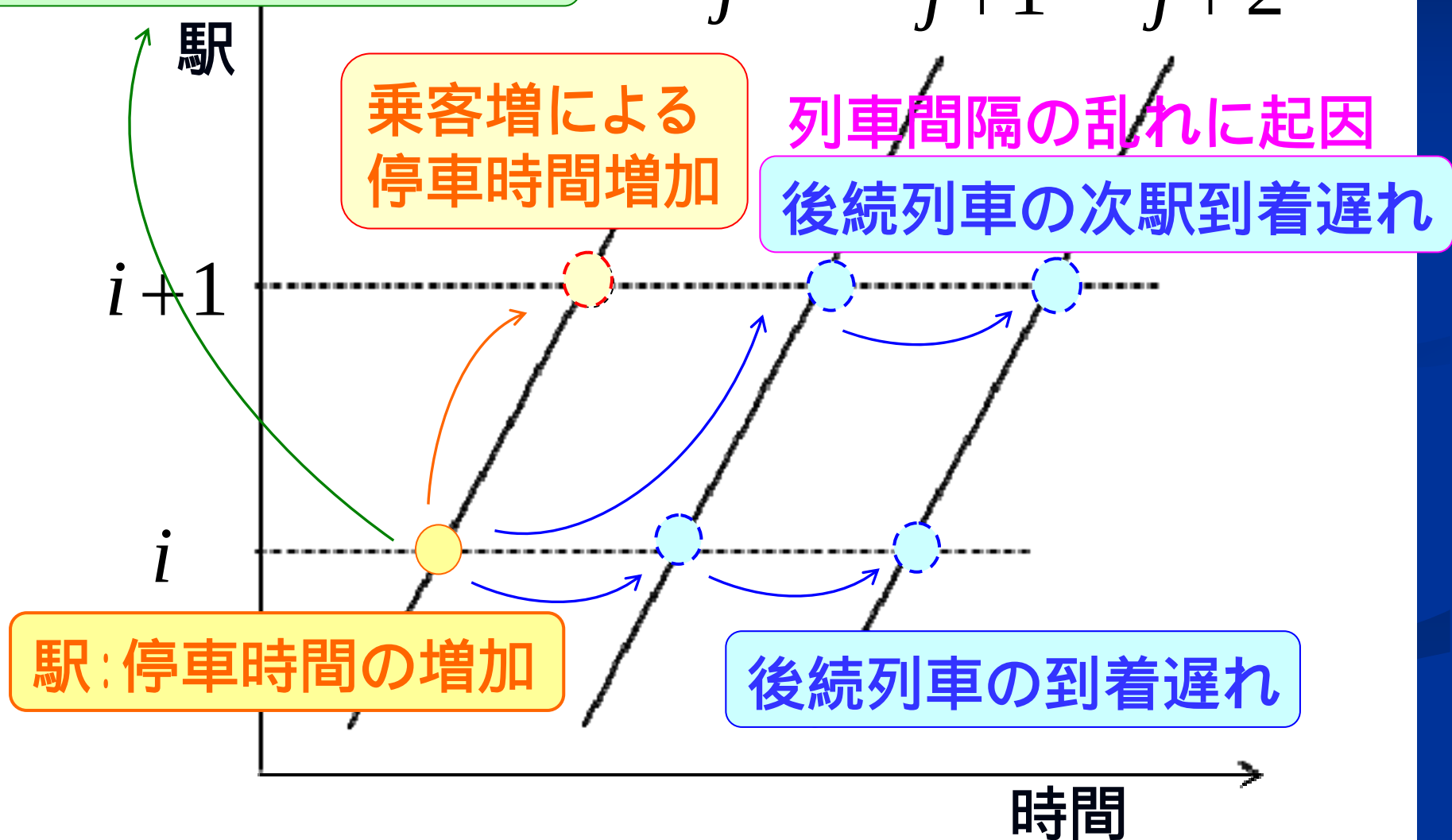
3 . 2 停車時間増加の影響

3 . 3 遅延の波及メカニズム

遅延の波及・拡大の要因

先行列車の時間調整

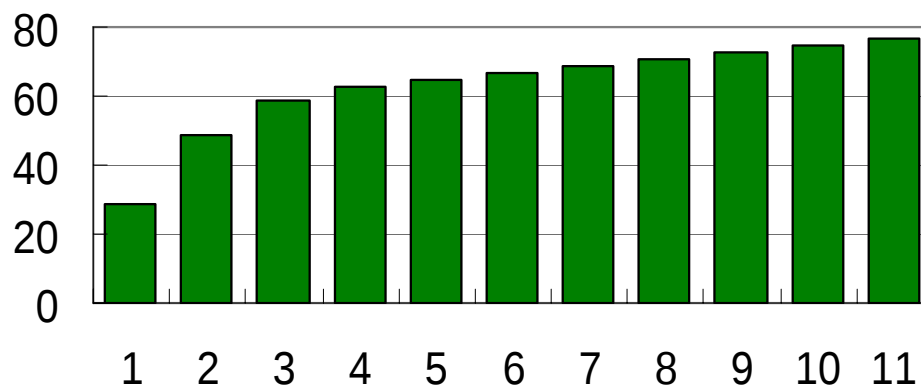
優等列車の追越し待ち



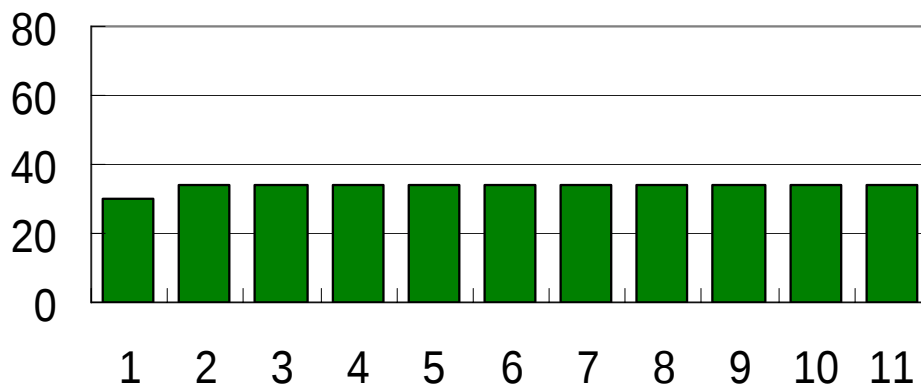
桜新町駅で30秒の遅れ(停車時間増加)が発生すると・・・

遅れ時間(秒)

渋谷駅の到着遅れ



桜新町駅の出発遅れ



列車番号

渋谷駅にて
3本目の後続列車で
60秒の遅延

本日の報告内容

1. 遅延の現状
2. 遅延の発生・波及の分析
3. 遅延の拡大メカニズムの究明
4. 運行方法による遅延対策の検討
5. 今後の課題

4 . 運行方法による遅延対策の検討

4 . 1 走行速度の低下

【定常的な遅延】 , 【外的要因による遅延】

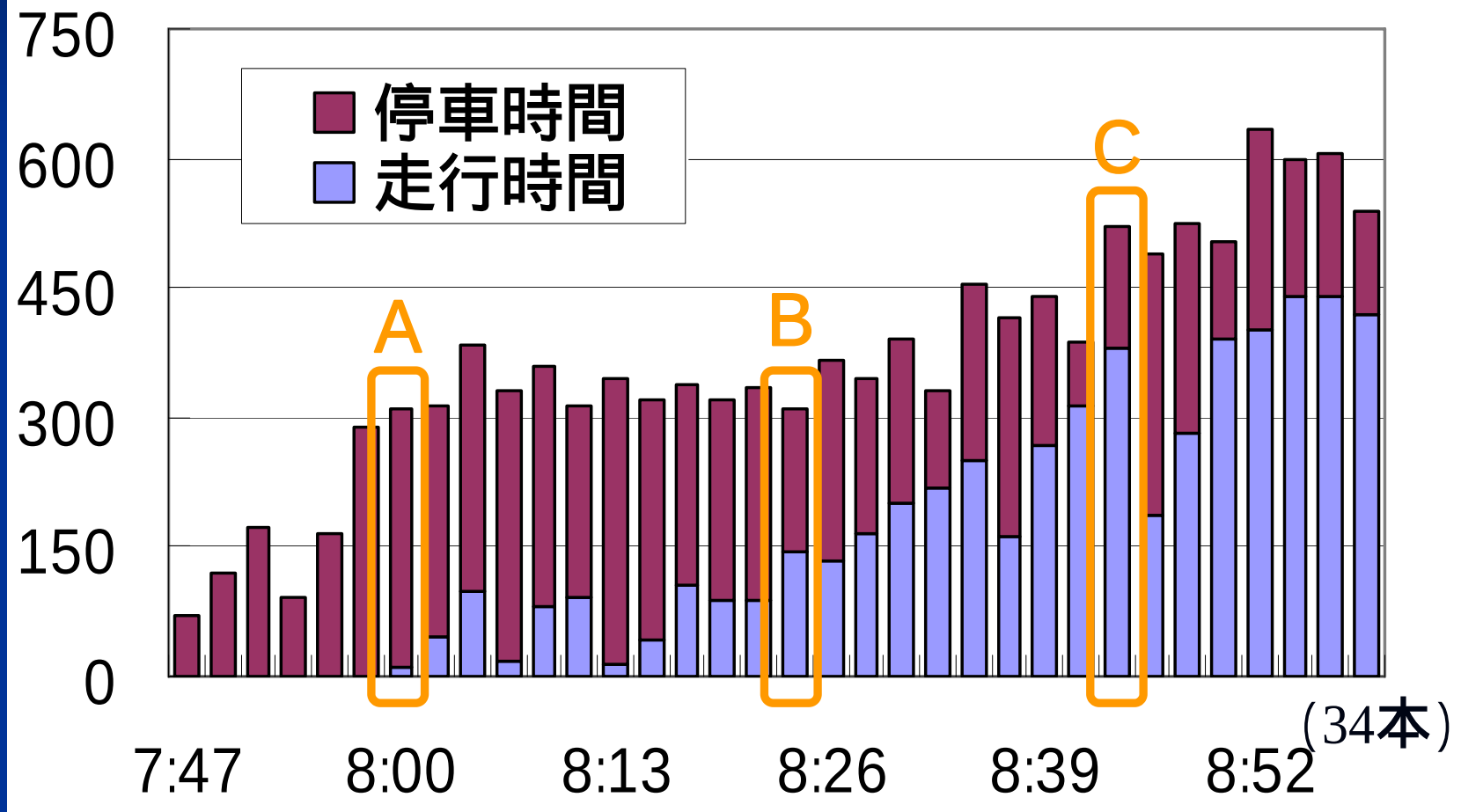
4 . 2 後続列車の一時停止

【外的要因による遅延】

ダイヤに対する遅れの内訳

溝の口駅～半蔵門駅(1月19日)

ダイヤに対する
所用時間の増加(秒)

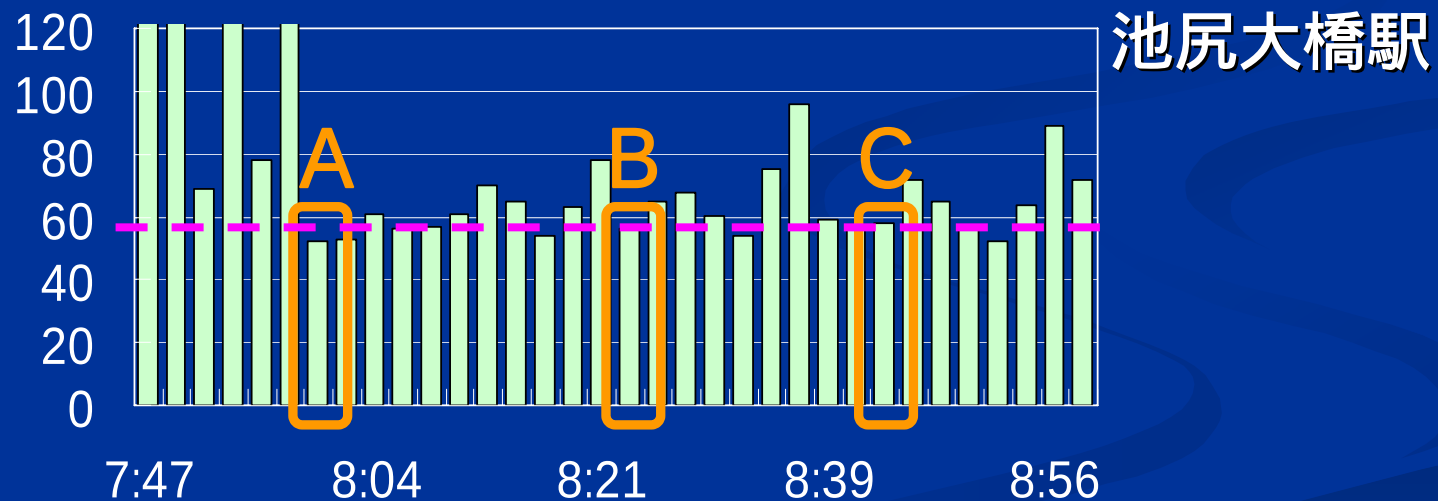
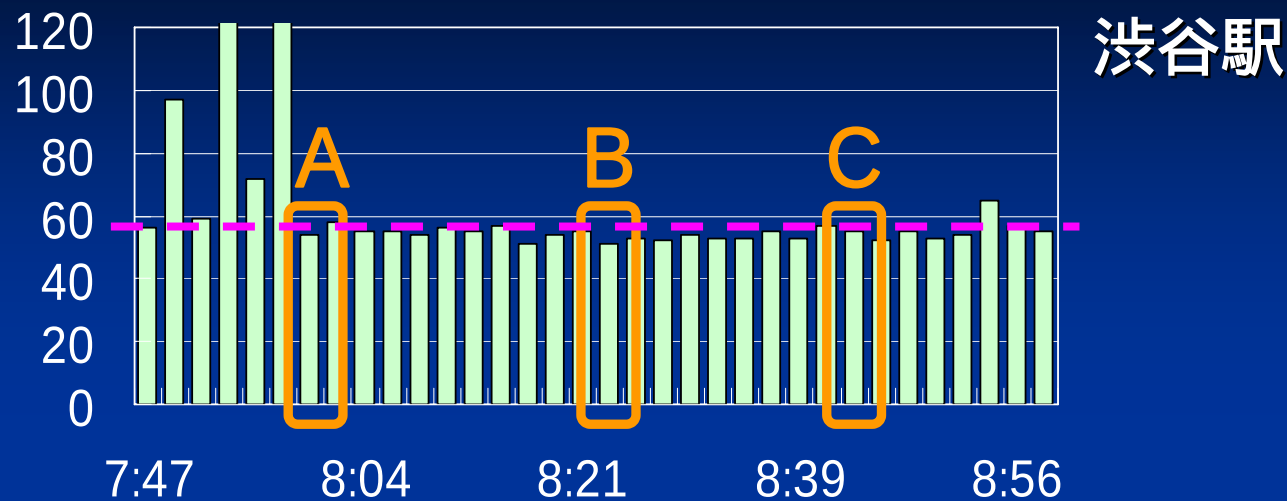


各列車のダイヤ上の渋谷駅到着時間

各列車で遅延の要因が異なる

各列車の発着間隔

発着間隔(秒)

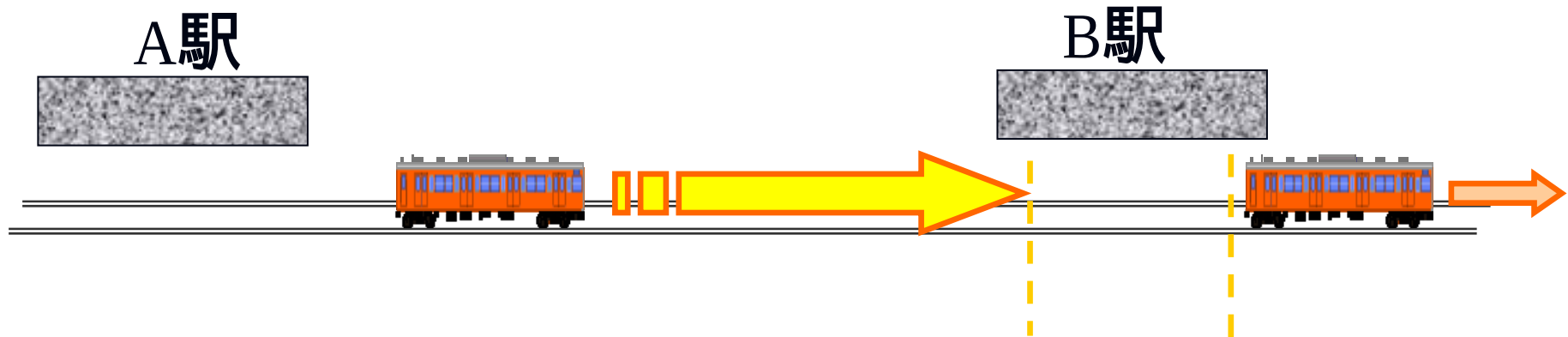


各列車のダイヤ上の渋谷駅到着時間

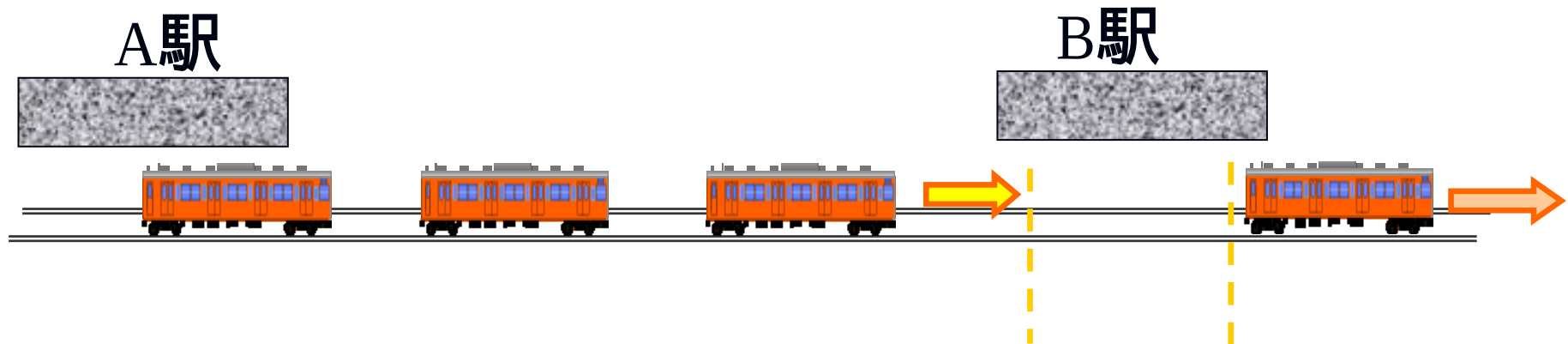
駅での到着間隔は一定

列車間隔と駅の到着時間

先行列車との間隔が大きい場合



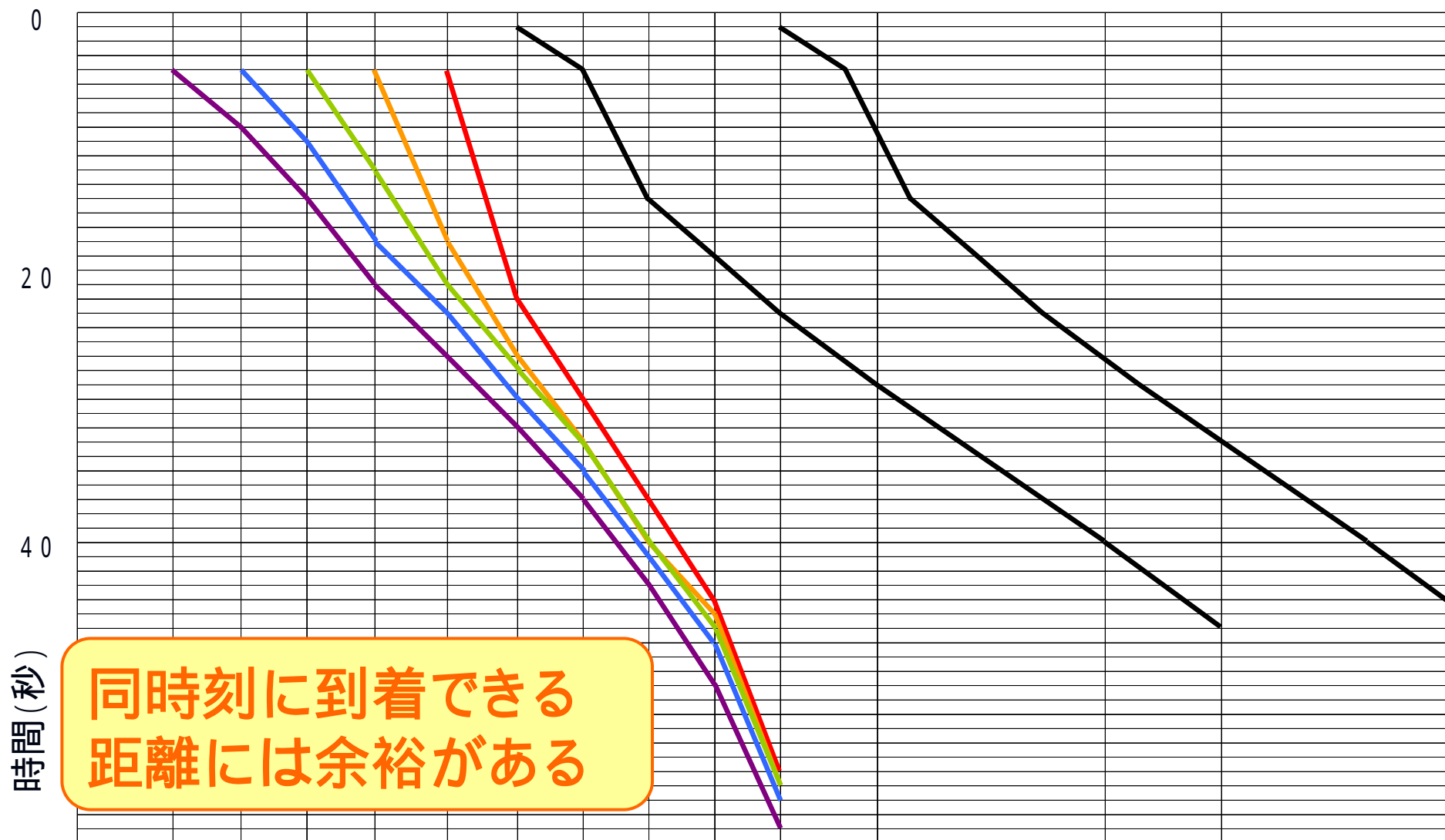
先行列車との間隔が小さい場合



どちらの場合も駅到着間隔(先行車発・後続車着)は同じ

後続列車の位置と駅到着時間

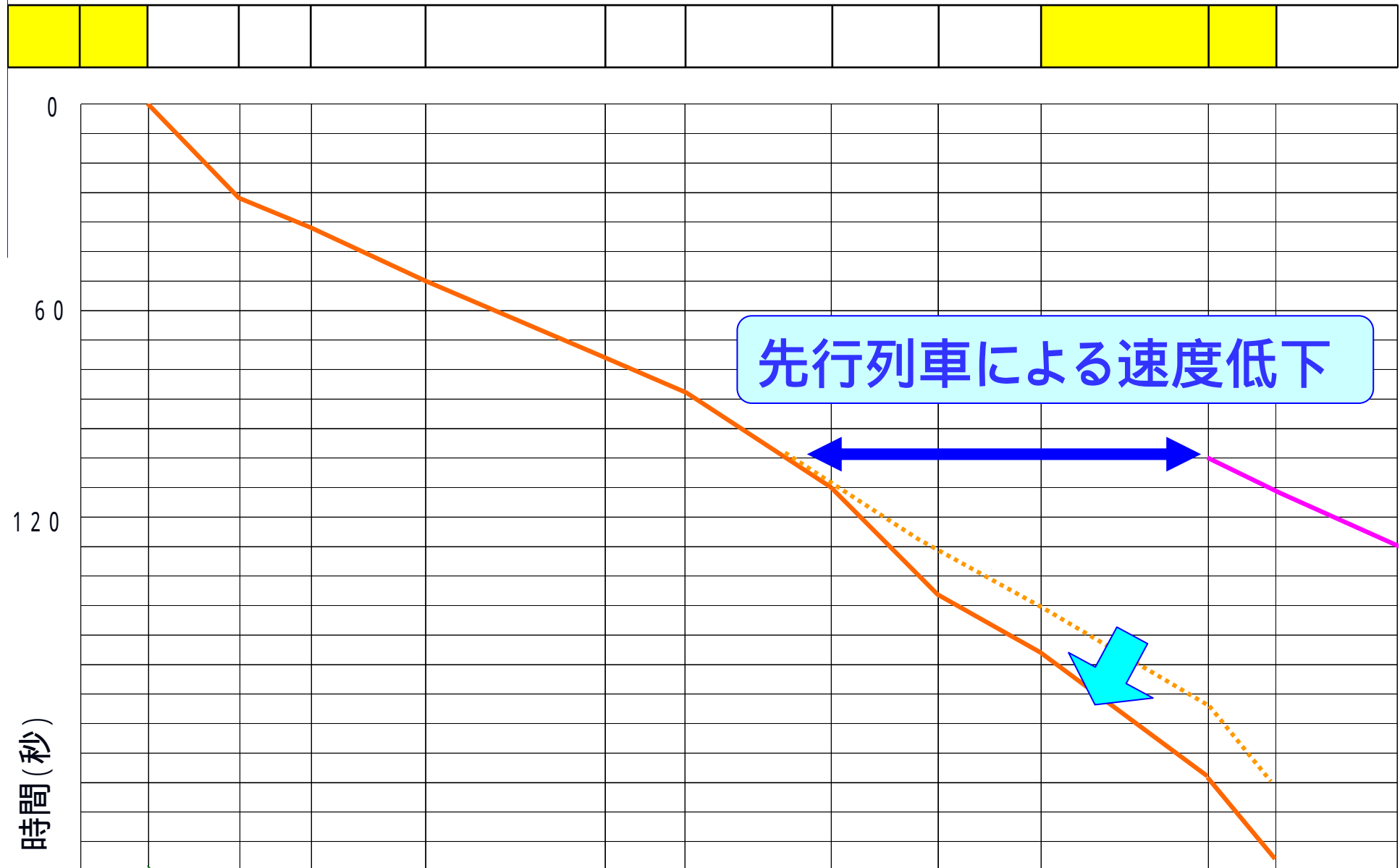
池尻大橋駅



先行列車による走行挙動の変化

渋谷駅

表参道駅

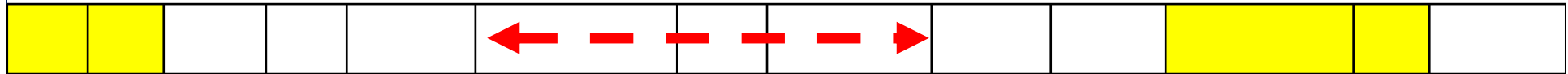


区間最高速度の低下による走行挙動の変化

渋谷駅

区間最高速度の低下 20km/h低下

表参道駅



—— 通常時
- - - 速度低下時

列車の先頭

走行挙動の変化
→ 時間短縮

—— 通常時
- - - 速度低下時

列車の先頭

列車の最後尾

列車間隔を空けた方が早く駅に到着可能

ダイヤに対する渋谷駅到着遅れの比較

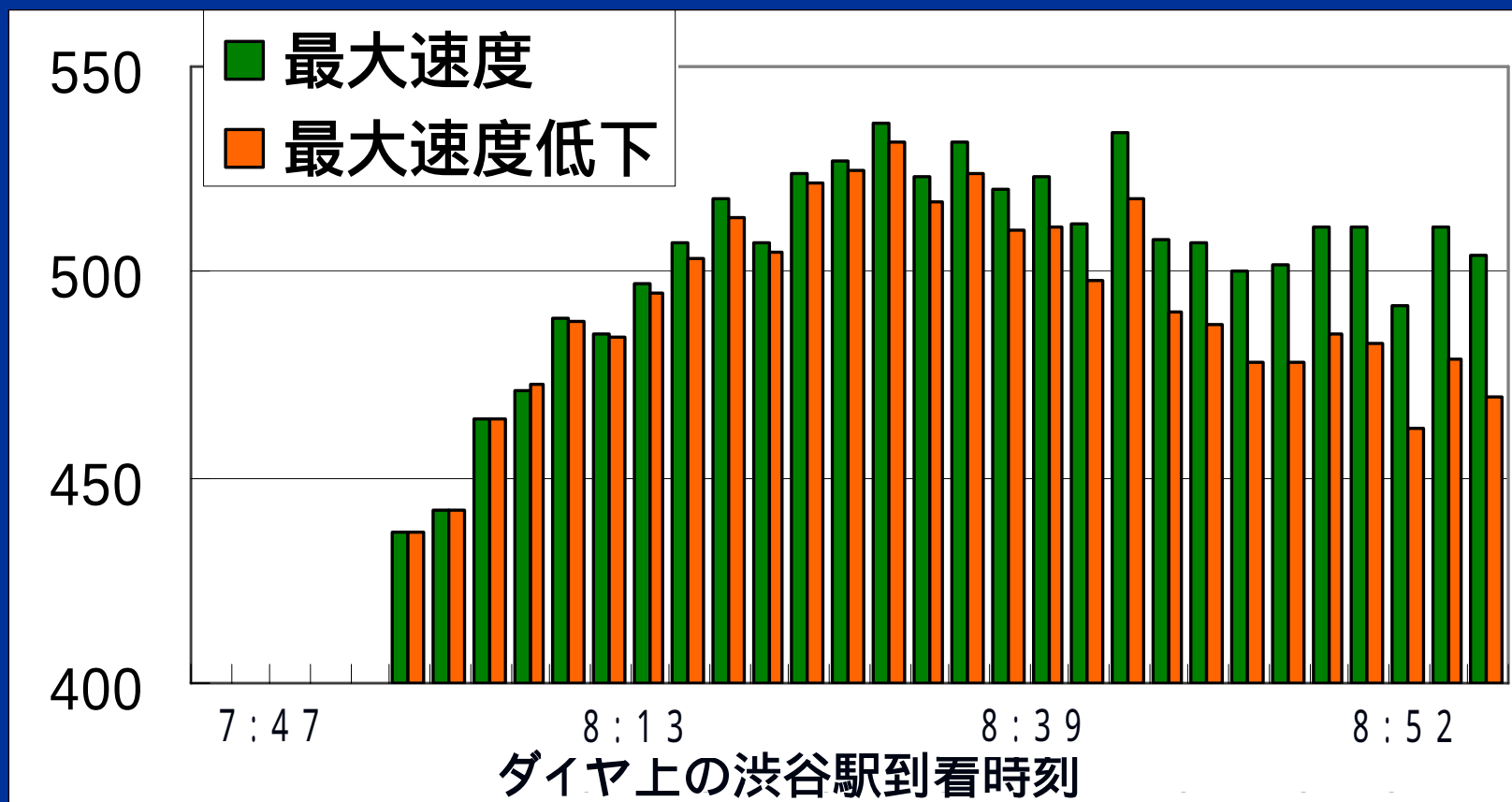
三軒茶屋駅～池尻大橋駅：

3本(最高速度低下20km/h)、3本(最高速度低下30km/h)

池尻大橋駅～渋谷駅：

3本(最高速度低下20km/h)、3本(最高速度低下30km/h)

ダイヤに対する渋谷駅
到着遅れ時間(秒)



4 . 運行方法による遅延対策の検討

4 . 1 走行速度の低下

【定常的な遅延】 , 【外的要因による遅延】

4 . 2 後続列車の一時停止

【外的要因による遅延】

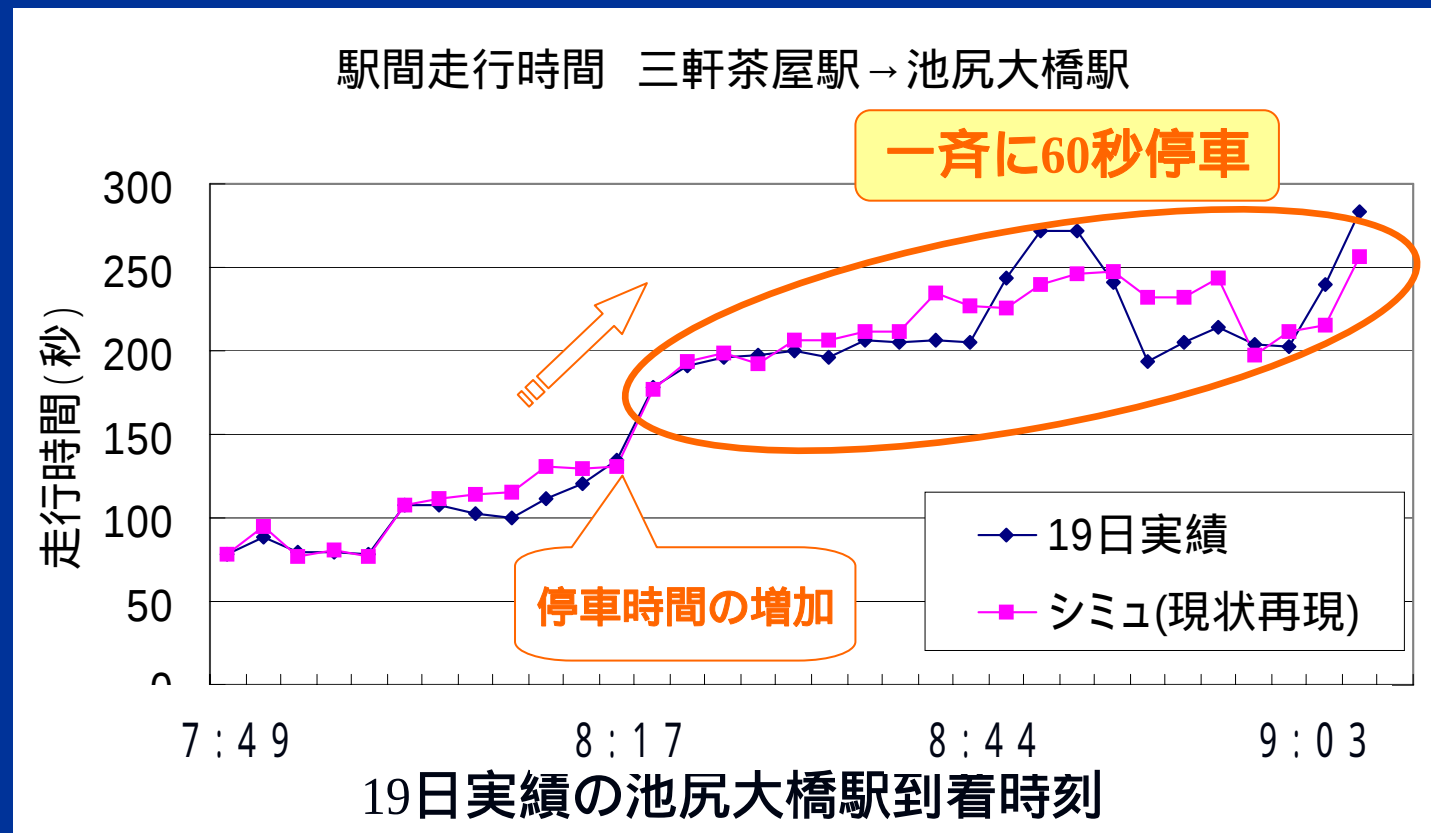
全ての後続列車を一時停車

池尻大橋駅〔8:17〕到着の列車が当駅にて停車時間増加

→ 後続列車へ遅延波及(駅間走行時間の増加)

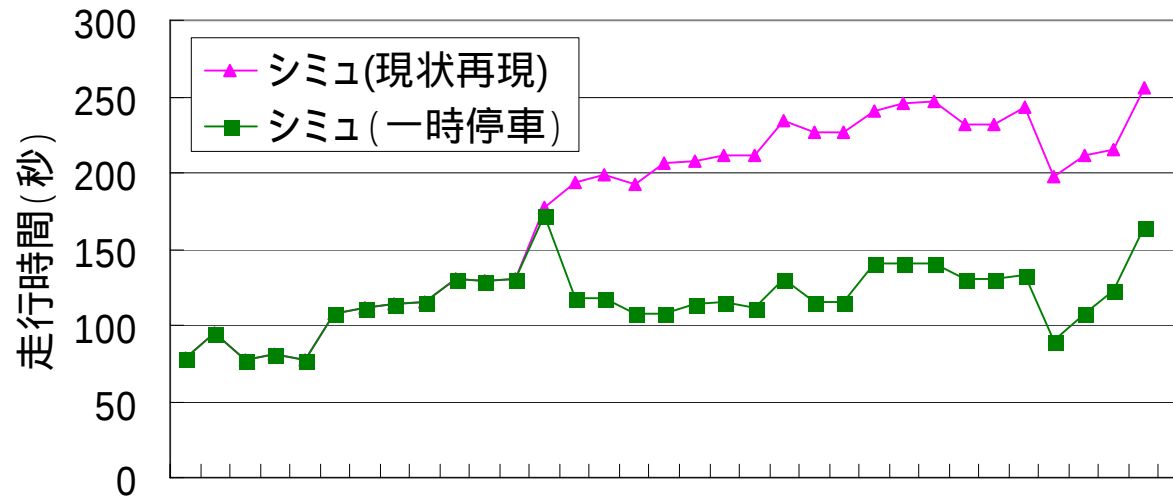


【全ての後続列車をその場にて60秒間停車】

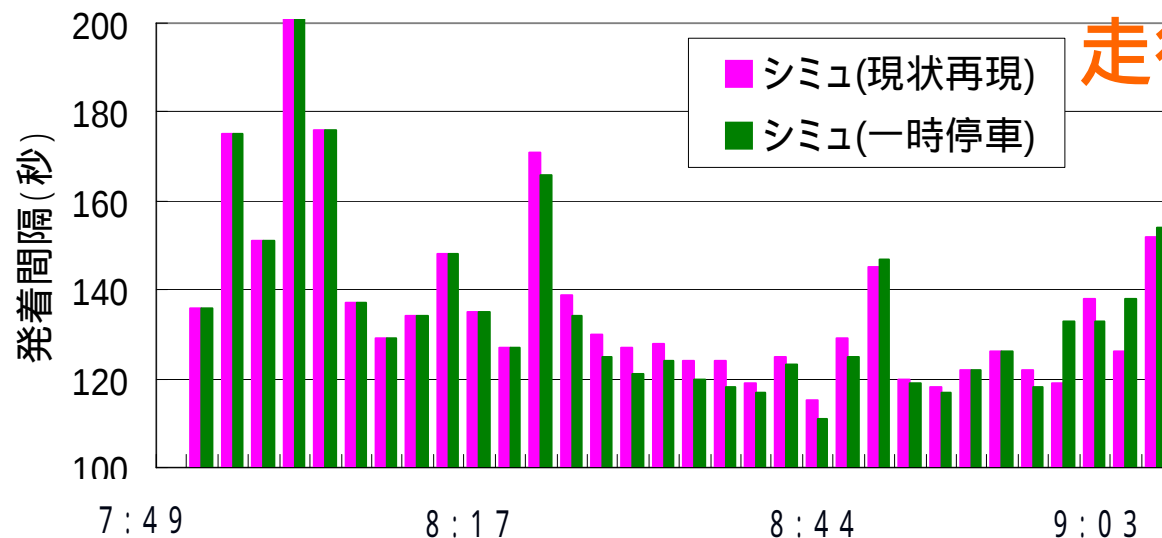


走行時間と発着間隔の比較

駅間走行時間 三軒茶屋駅→池尻大橋駅



池尻大橋駅 到着間隔

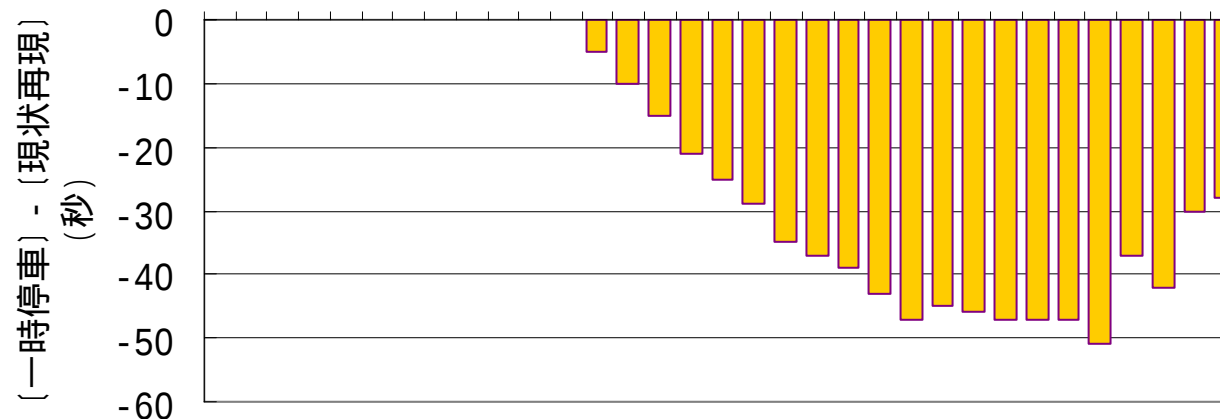
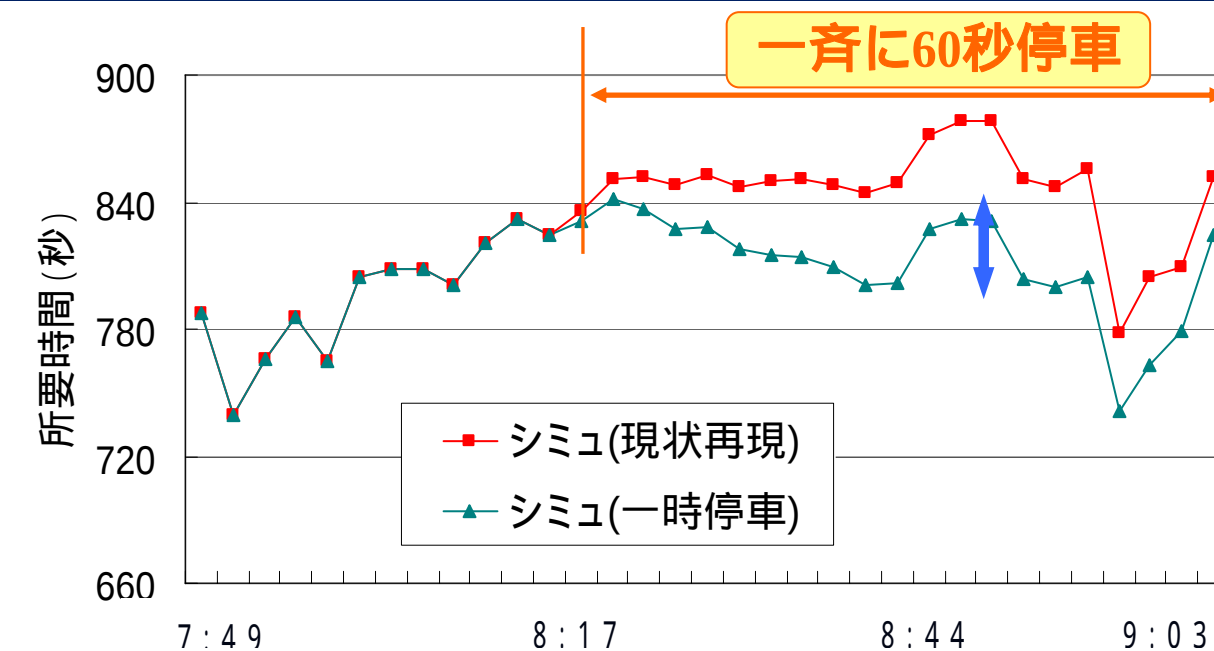


19日実績の池尻大橋駅到着時刻

到着間隔を変えずに
走行時間の低減が可能

2地点の所要時間の変化

二子玉川駅発～池尻大橋駅着の所要時間



19日実績の池尻大橋駅到着時刻

一斉停車(21本)

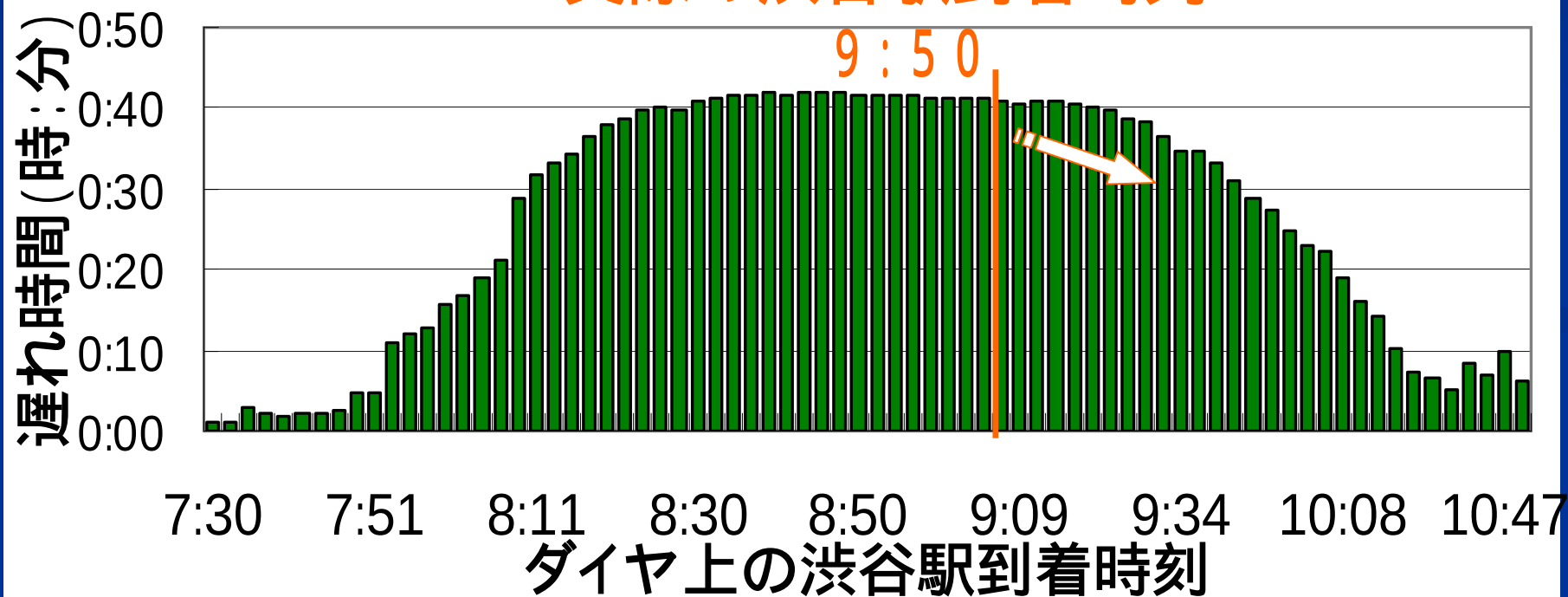
【短縮時間】

平均 34秒/本
合計 約12分

長時間の遅延への対策

渋谷駅における到着遅れの累積(14日)

実際の渋谷駅到着時刻



- ・ラッシュ時間帯を避けて実施
- ・早期のダイヤ回復、所要時間の低減

運行方法による遅延対策

先行列車との間隔を空けることにより

【走行速度の低下】

走行時間の短縮, 駅到着時刻の早期化

【後続列車の一時停車】

ダイヤ回復時間の縮減

駅毎に“前へ前へ”の運行でなく
路線全体での遅延対策が重要

本日の報告内容

- 1 . 遅延の現状
- 2 . 遅延の発生・波及の分析
- 3 . 遅延の波及メカニズムの究明
- 4 . 運行方法による遅延対策の検討
- 5 . 今後の課題

課題1 最適な列車間隔とダイヤの検討

遅延発生時は輸送量(本/h)が低下

例) ダイヤ : 29本/h

実 際 : 27本/h

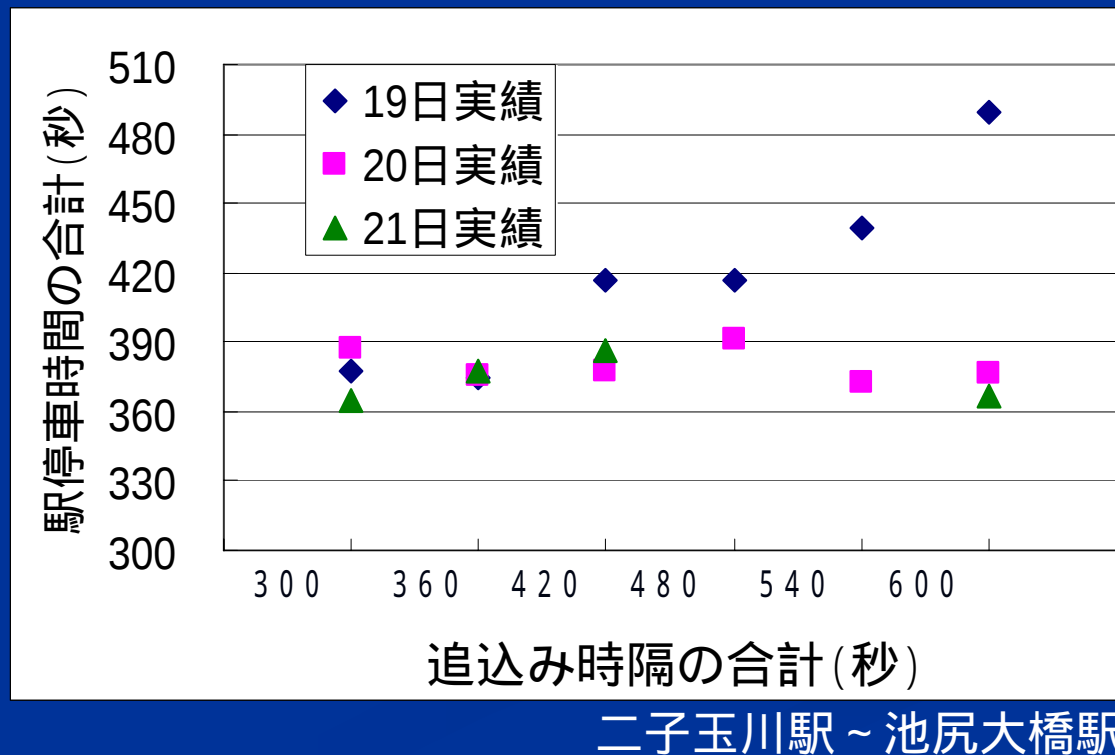
最適値 : 28本/h ... ?

(ダイヤの見直しにより輸送量と遅延の
改善は可能か?)

課題2 列車間隔と駅停車時間の考慮

列車運行シミュレーションの改良

- ・列車の到着間隔の変化による
駅停車時間の変化をシミュレーションに反映



課題3 運行信頼性の評価指標の提案

施設整備・改良による 遅延対策効果の定量的評価

- ・ 駅施設の改良
駅構造(ホーム幅、階段、1面2線)
- ・ ネットワーク改良

ご清聴ありがとうございました
Thank you so much