

第28回研究報告会(2010/11/26)

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

1 . 遅延の現状

2 . 遅延の発生・波及メカニズム

3 . 列車運行シミュレーションの構築

4 . 運行方法による遅延対策の検討

5 . 結論

本日の報告

1. 遅延の現状

2. 遅延の発生・波及メカニズム

3. 列車運行シミュレーションの構築

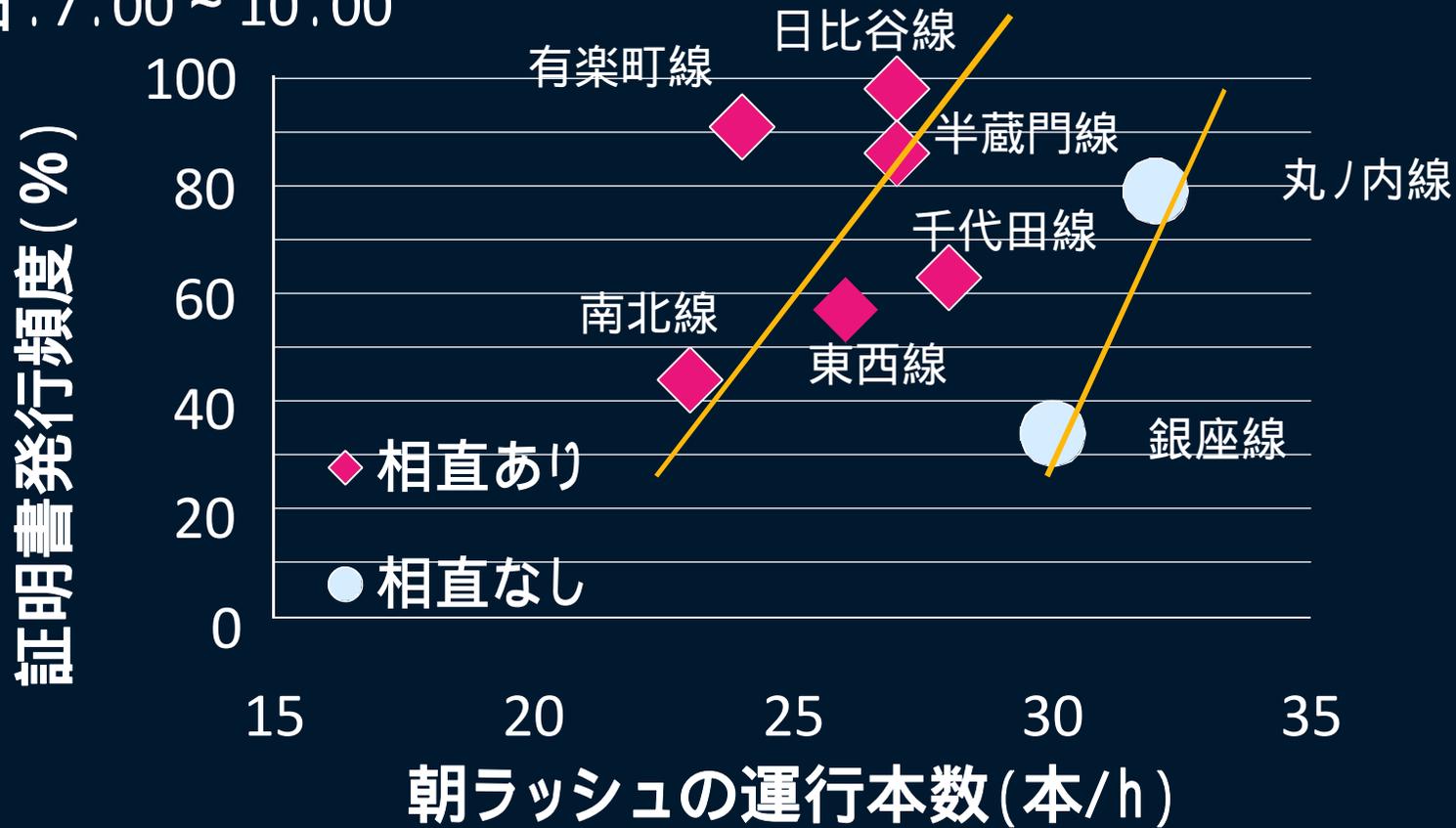
4. 運行方法による遅延対策の検討

5. 結論

慢性的な遅延の発生

東京メトロ8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5分単位切上げで発行〕

平日: 7:00 ~ 10:00



高頻度運行による遅延の発生

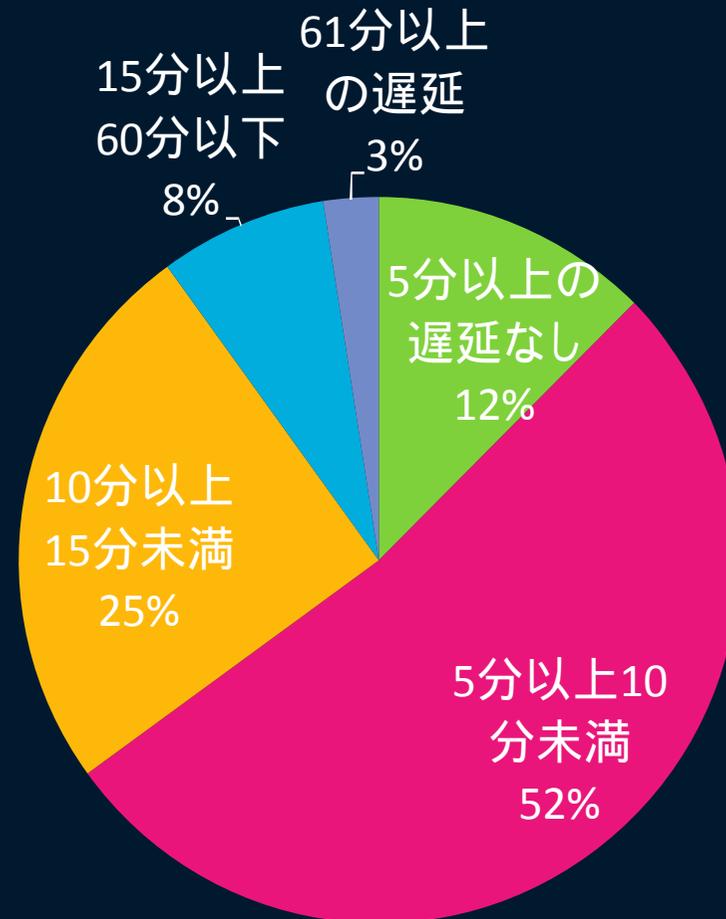
遅延時間の不規則性

東急田園都市線の遅延発行履歴 (H22.9.1 ~ H22.10.31)

(5分以上の遅延に対して5分単位切上げで発行)

平日: 始発 ~ 10:00

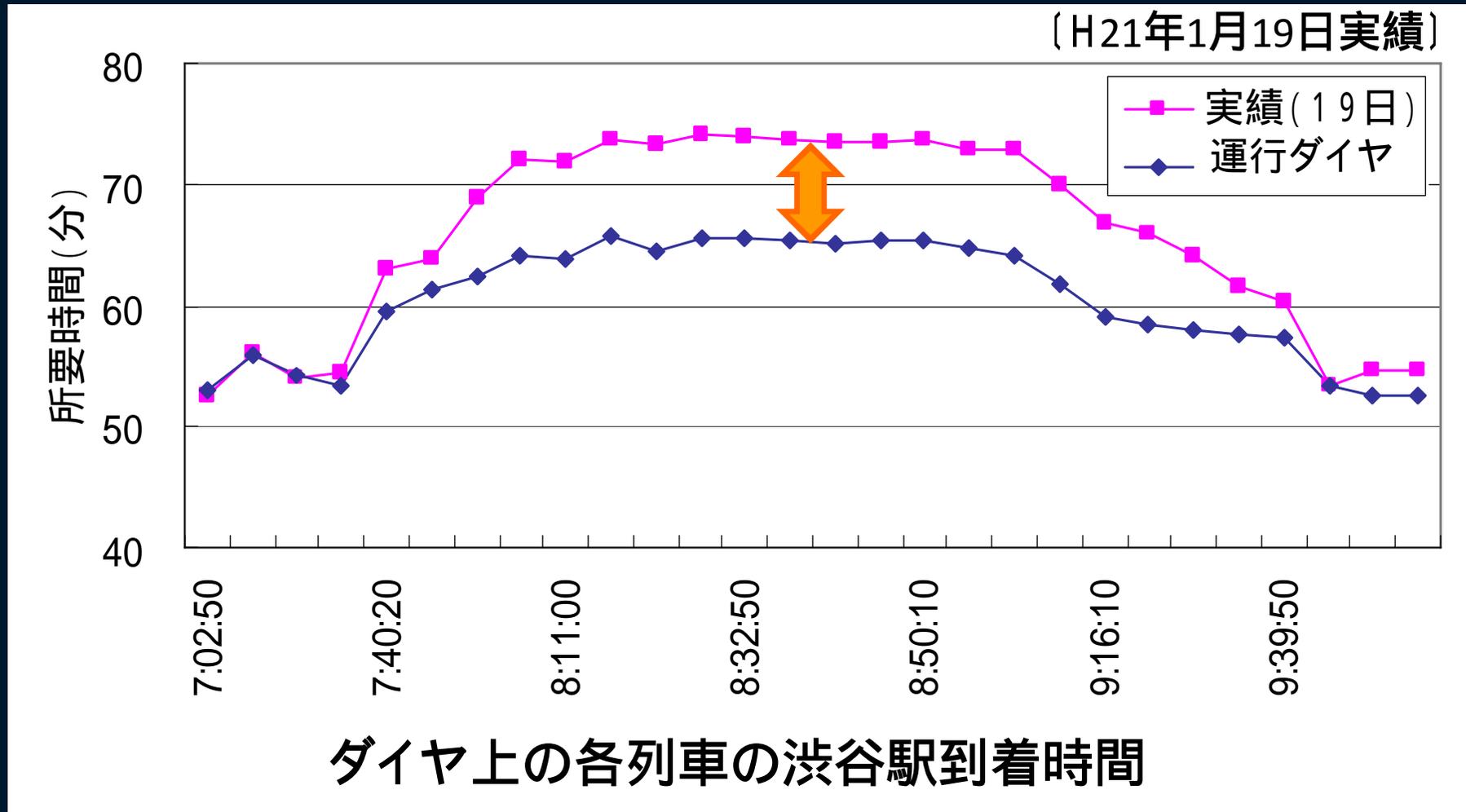
遅延時間の構成



定時性が崩れている

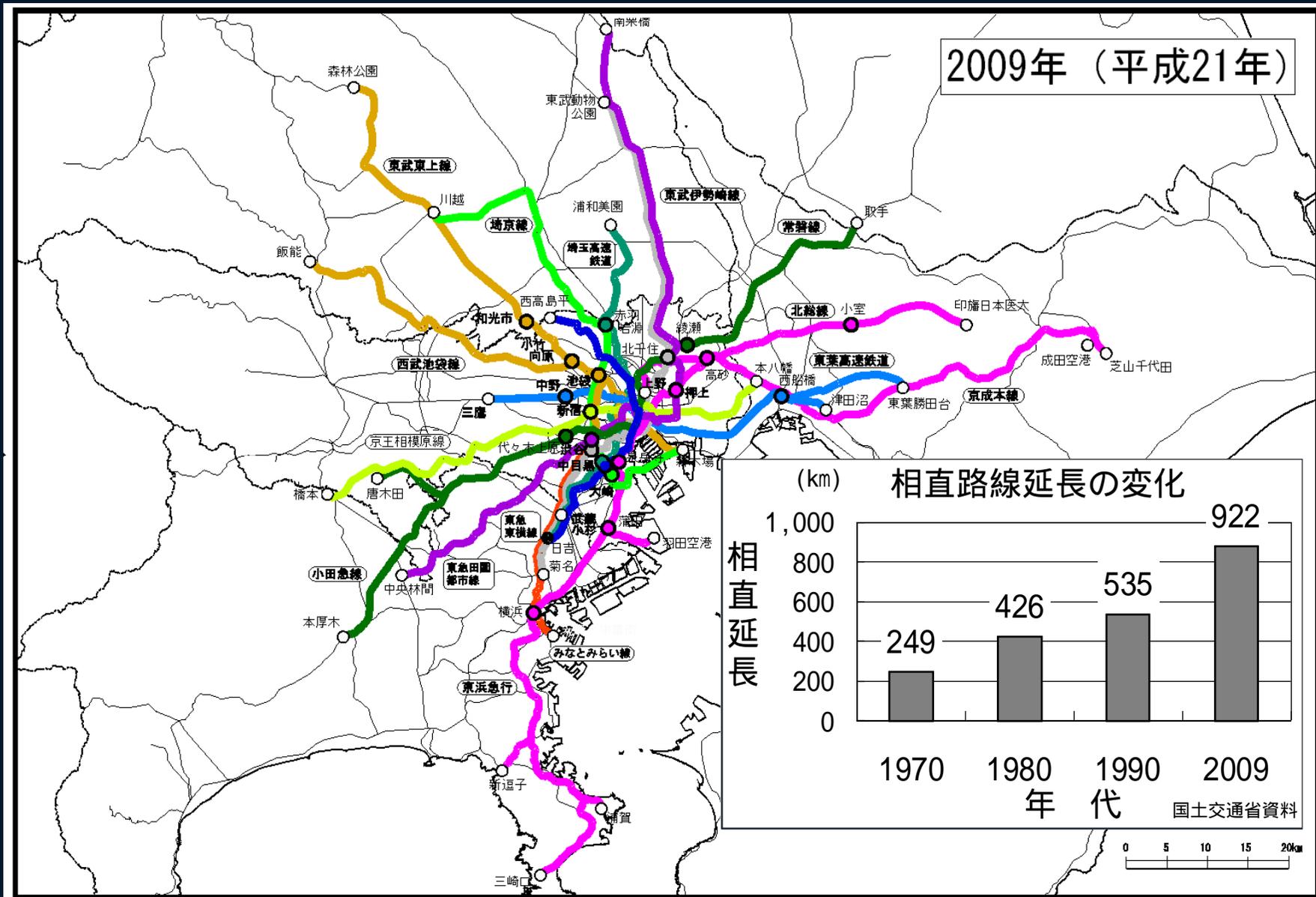
所要時間の増加

田園都市線 中央林間～渋谷間(普通)の所要時間



高混雑、長時間、不確実性の問題

相互直通運転の拡がり



出典：「既存の都市鉄道ネットワークの改良による速達性向上施策に関する調査(H19.3),運輸政策研究機構」を基に一部修正

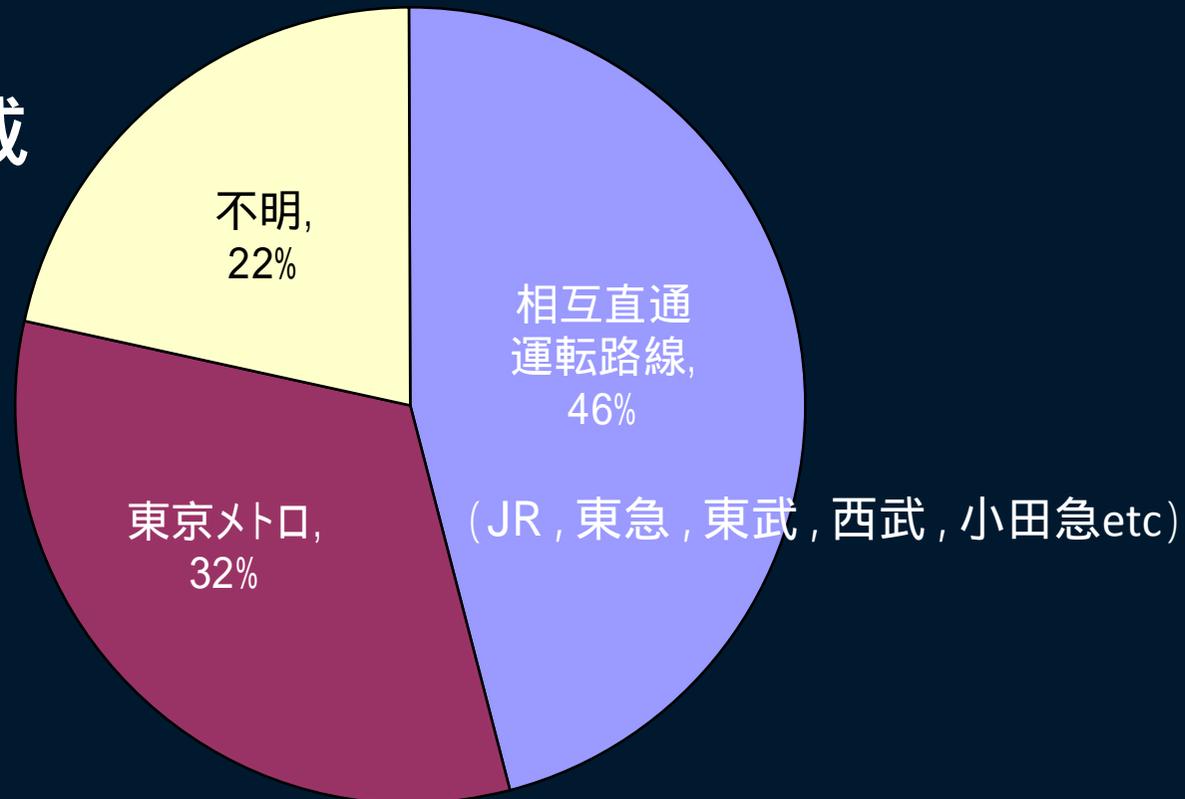
相互直通運転による遅延の波及

東京メトロ 7 路線 (丸ノ内線、銀座線を除く) で

(20分以上)の遅延証明書を発行した際の遅延発生場所

期間: H21.4.1~H21.11.30 (8ヵ月)

発生場所の構成



相互直通路線の相互に遅延が波及

他線への遅延の波及



東海道線沿線火災による振替輸送
京急川崎駅 (H21.11.06)

高密度ネットワークによる振替え輸送
→振替先で新たな遅延の発生



遅延の発生・波及の背景

我が国の特徴的な施策

高頻度運行・相互直通運転・高密度ネットワーク



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. 遅延の他路線への波及
4. 遅延回復の困難性

本日の報告

1 . 遅延の現状

2 . 遅延の発生・波及メカニズム

3 . 列車運行シミュレーションの構築

4 . 運行方法による遅延対策の検討

5 . 結論

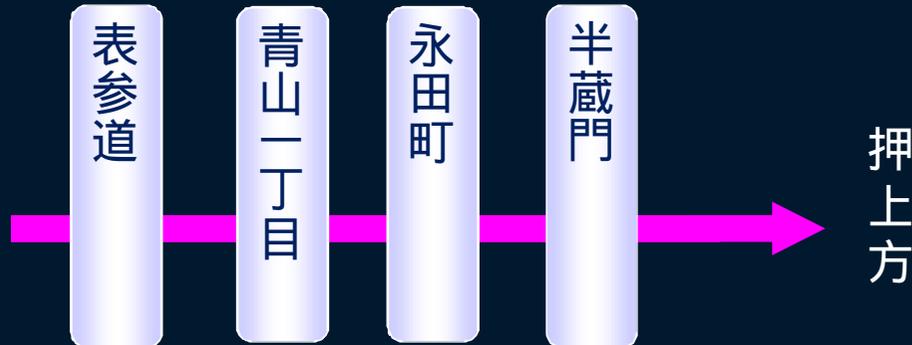
分析対象路線

田園都市線

中央林間方



半蔵門線



- 混雑率: 187%
(池尻大橋→渋谷)
- 運転間隔: 125秒
(上り方面)

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19日(月) 晴
7:00 ~ 11:00

内容: 駅毎に各列車の到着時刻、出発時刻が記載

2. 遅延の発生・波及メカニズム

() 慢性的な遅延

1. 遅延の発生と拡大

2. 遅延の波及 (遅延発生の初期)

3. 遅延の波及 (上流駅間への波及)

4. 遅延時間の構成

() トラブル(外的要因)による遅延

2. 遅延の発生・波及メカニズム

() 慢性的な遅延

1. 遅延の発生と拡大

2. 遅延の波及 (遅延発生の初期)

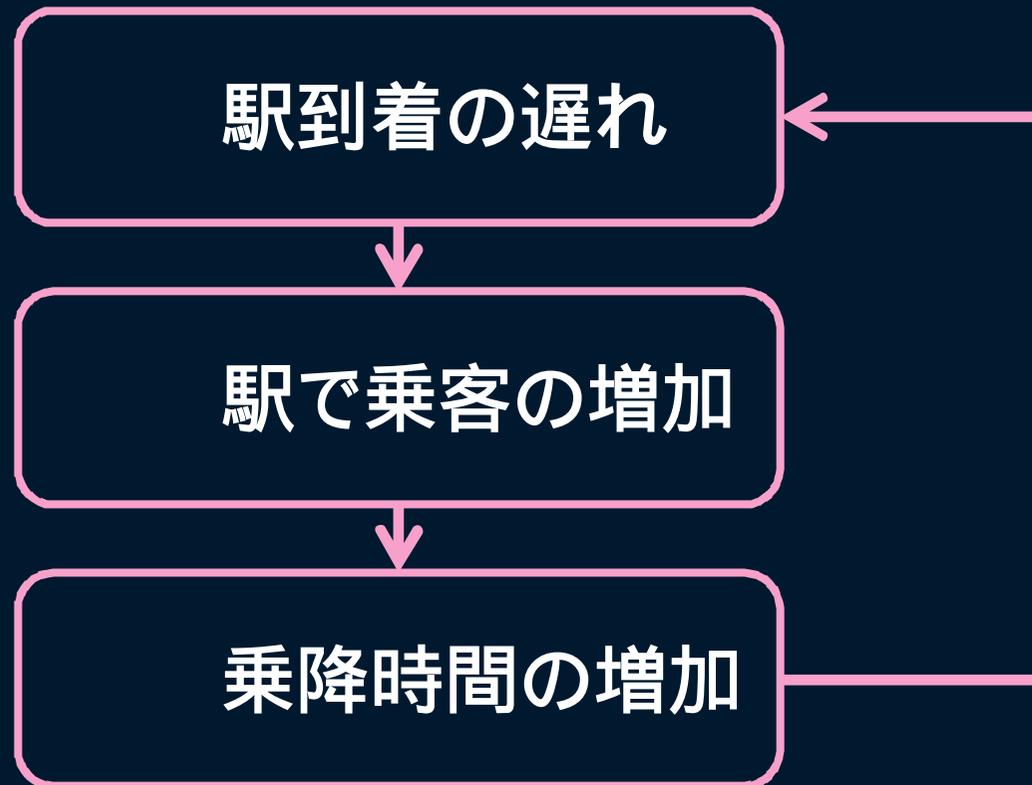
3. 遅延の波及 (上流駅間への波及)

4. 遅延時間の構成

() トラブル(外的要因)による遅延

旅客要因による遅延の発生と拡大

遅延の拡大メカニズム

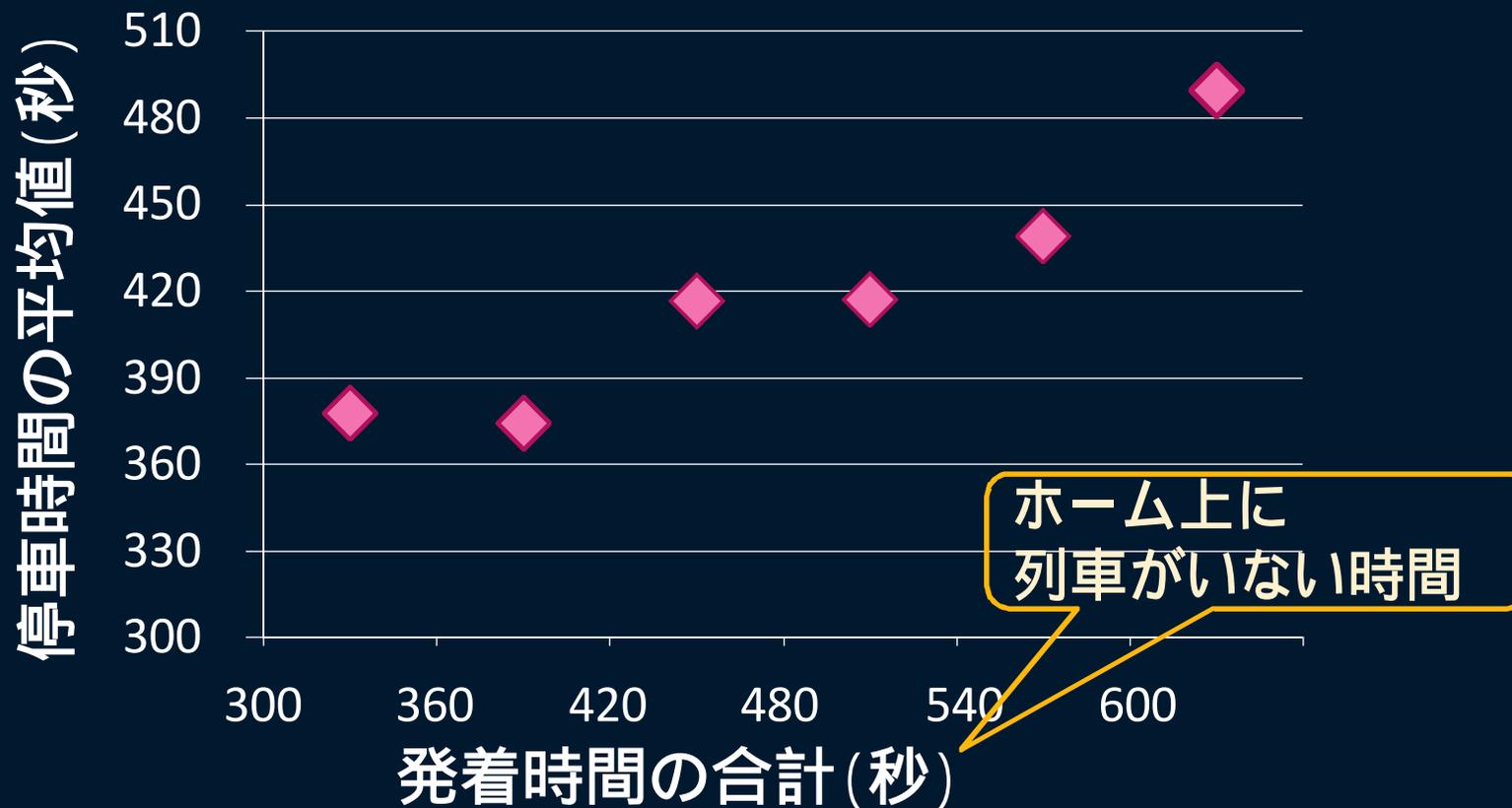


列車1本の遅延(停車時間)が雪だるま式に増加

到着遅れによる停車時間の増加

60秒毎(ランク分け)の発着時間と停車時間の平均値

二子玉川駅～渋谷駅間



列車の到着間隔が大きくなると、停車時間が増加する

2. 遅延の発生・波及メカニズム

() 慢性的な遅延

1. 遅延の発生と拡大

2. 遅延の波及 (遅延発生の初期)

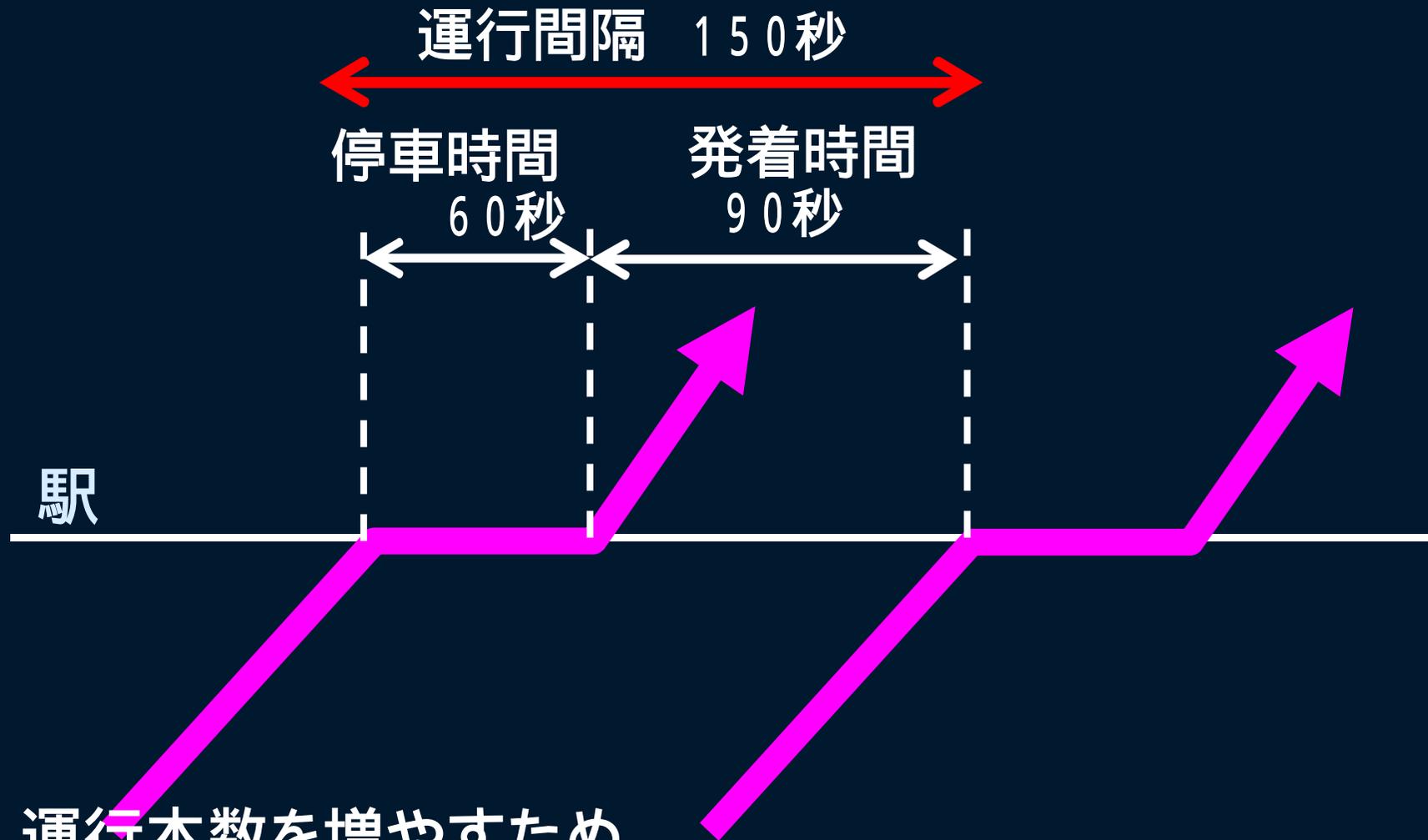
3. 遅延の波及 (上流駅間への波及)

4. 遅延時間の構成

() トラブル(外的要因)による遅延

ダイヤの設定

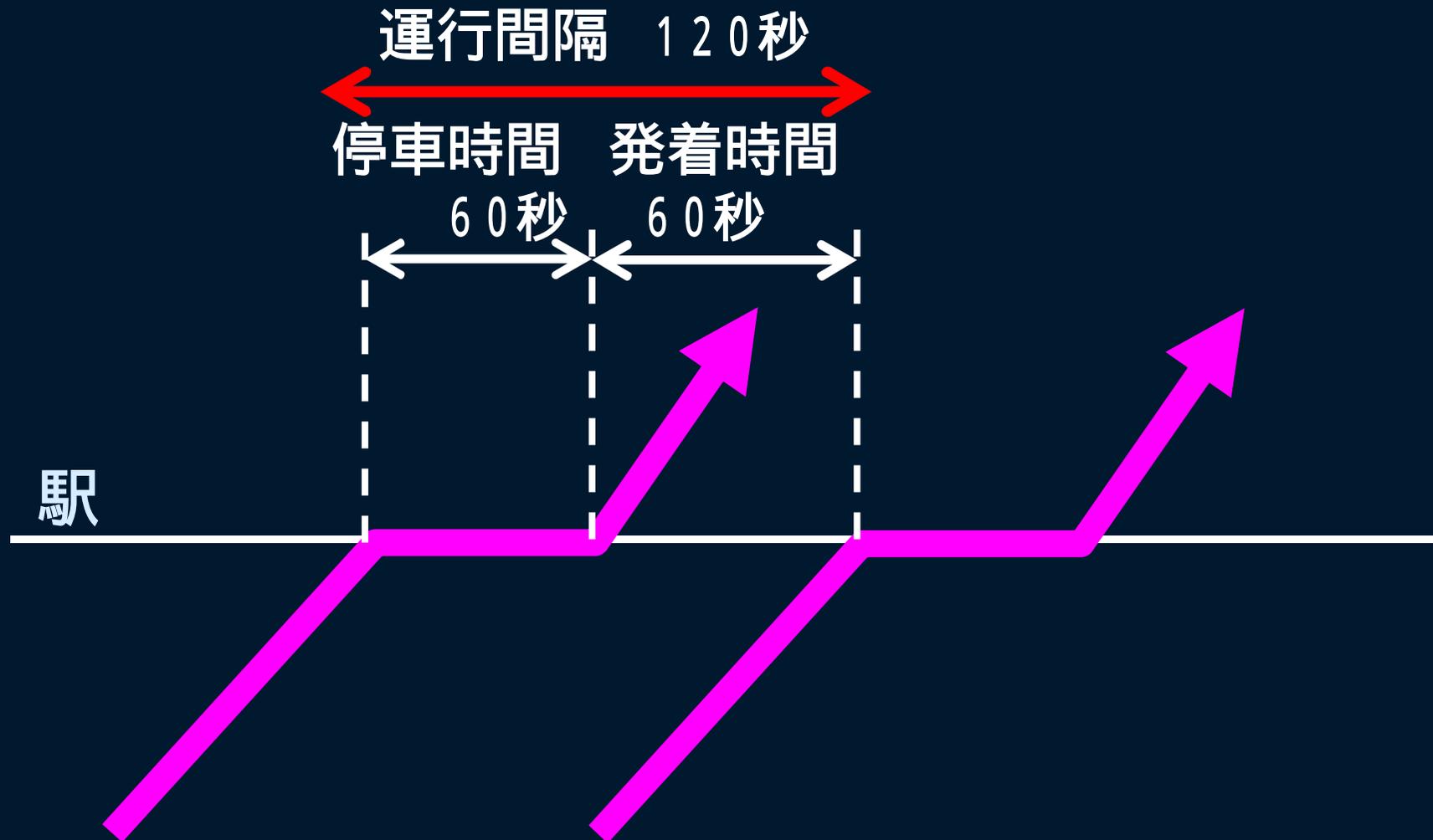
2分30秒間隔の運行の一例



運行本数を増やすため、
発着時間の短縮により、運行間隔を小さくしてきた

ラッシュ時間帯のダイヤ設定

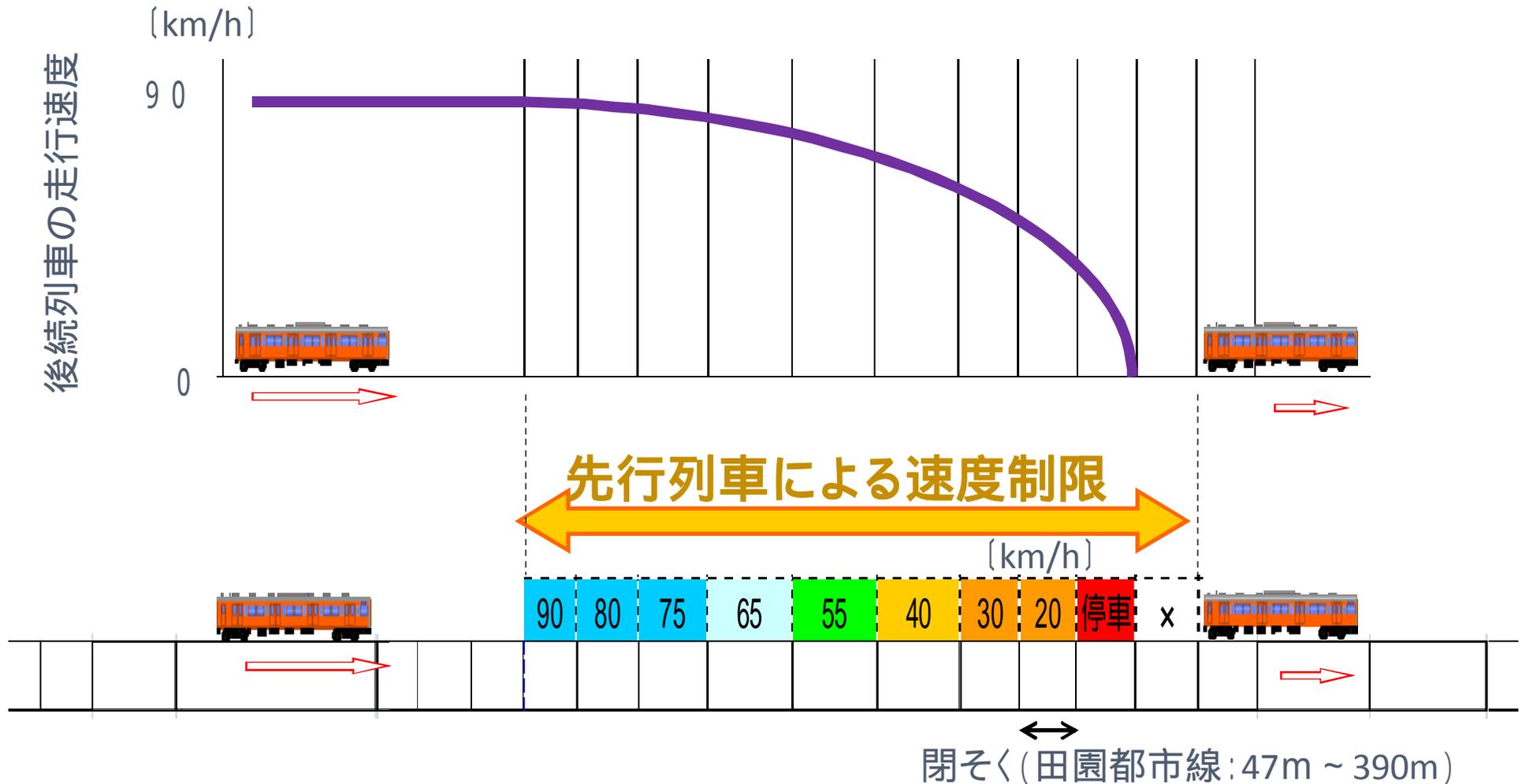
2分間隔の運行の一例



列車同士が短い間隔で運行している

列車の運行システム

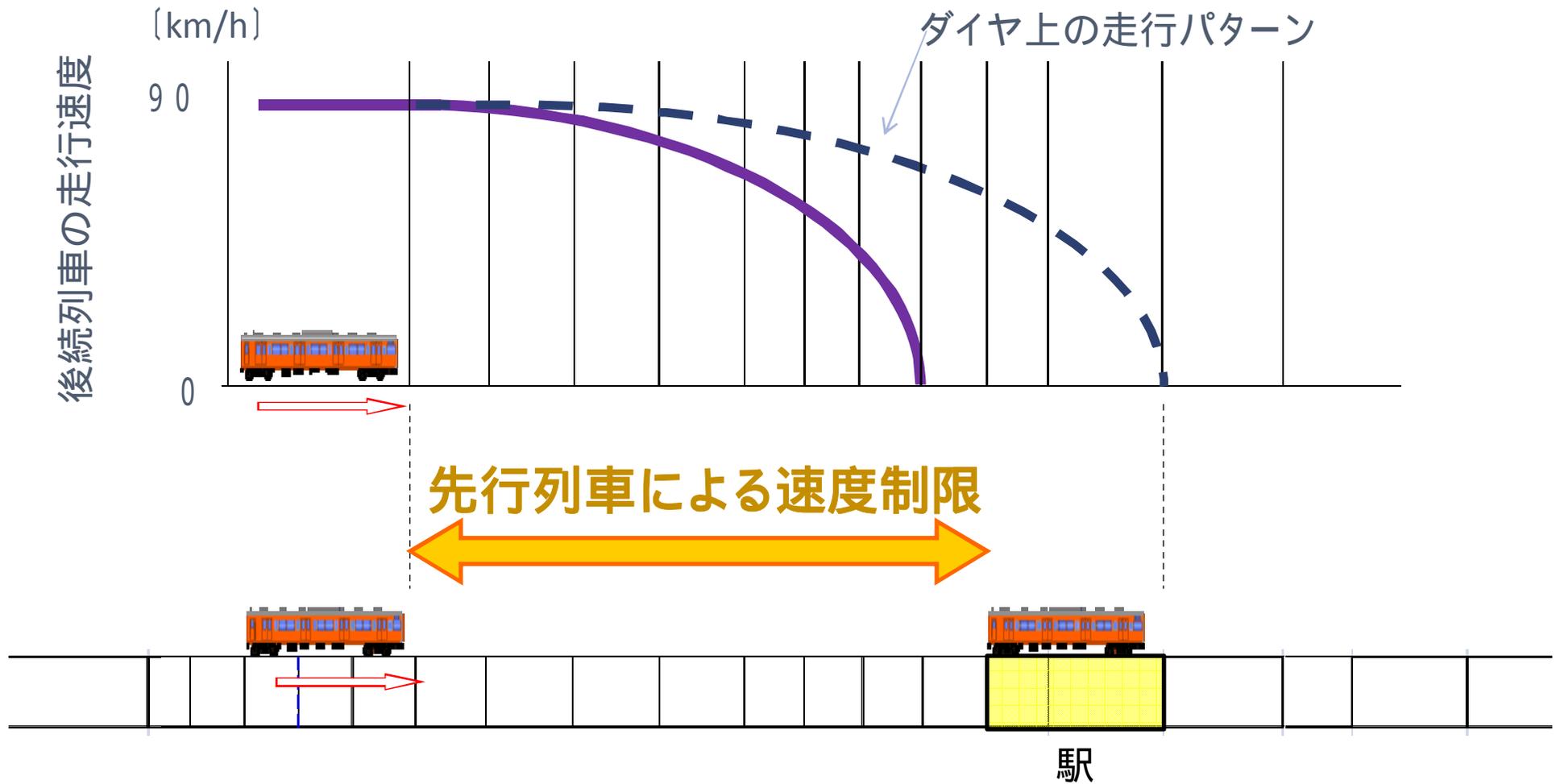
信号システムと閉そく



衝突を防ぎ、安全に停車するために
先行列車の位置によって、後続列車の走行速度が決まる

駅間停車の走行パターン

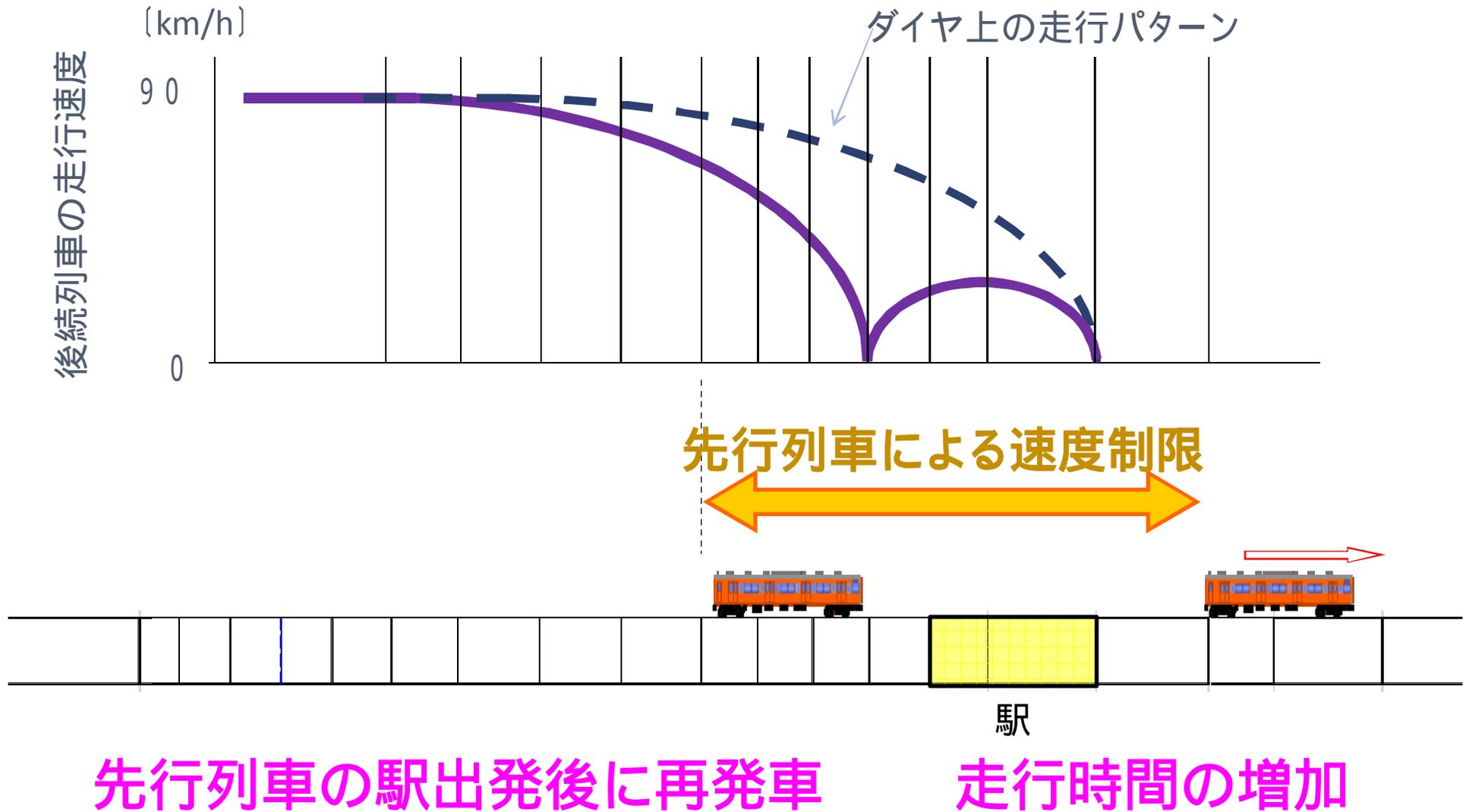
先行列車が駅に停車している時の後続列車の走行挙動



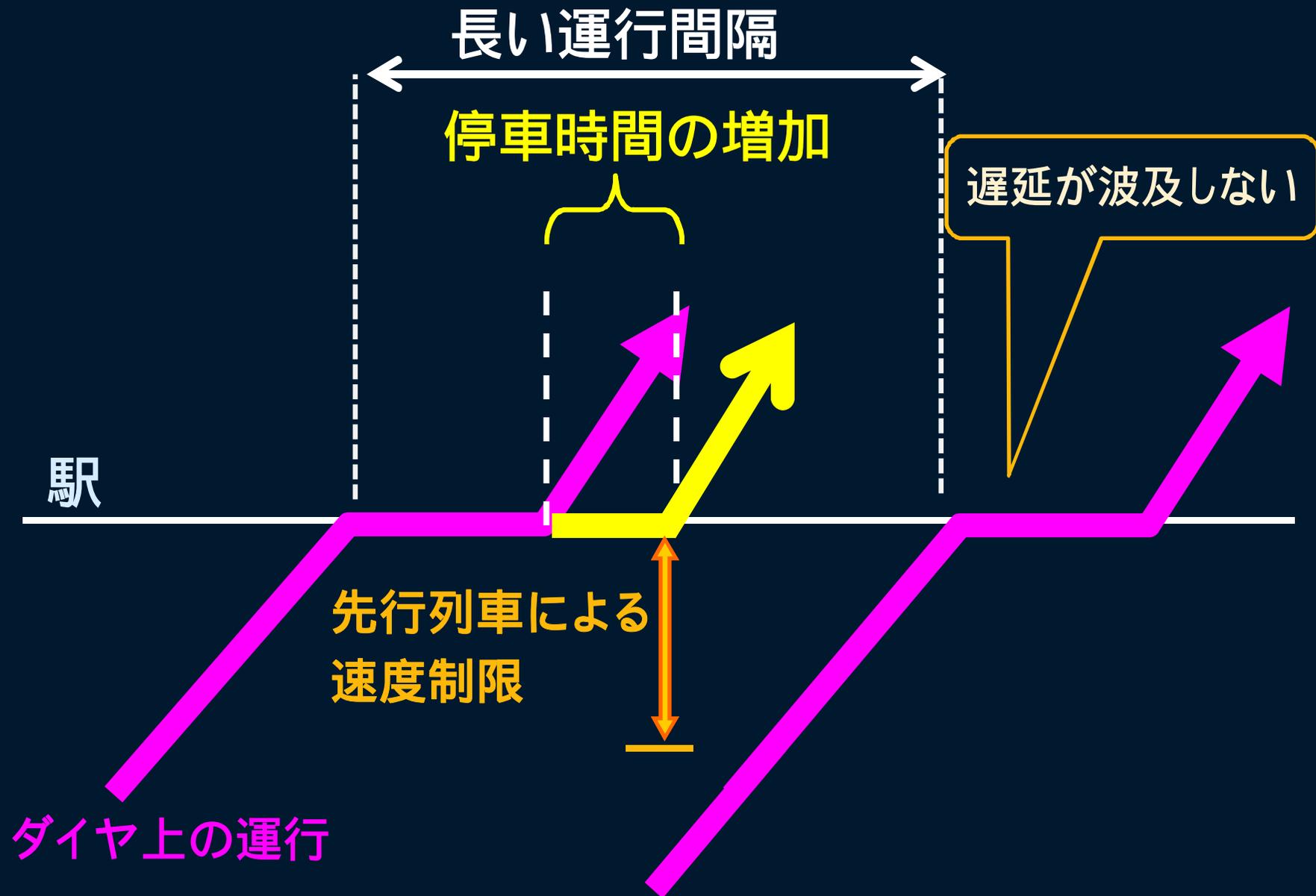
先行列車による速度制限を受けて減速・停車

駅間停車後の走行パターン

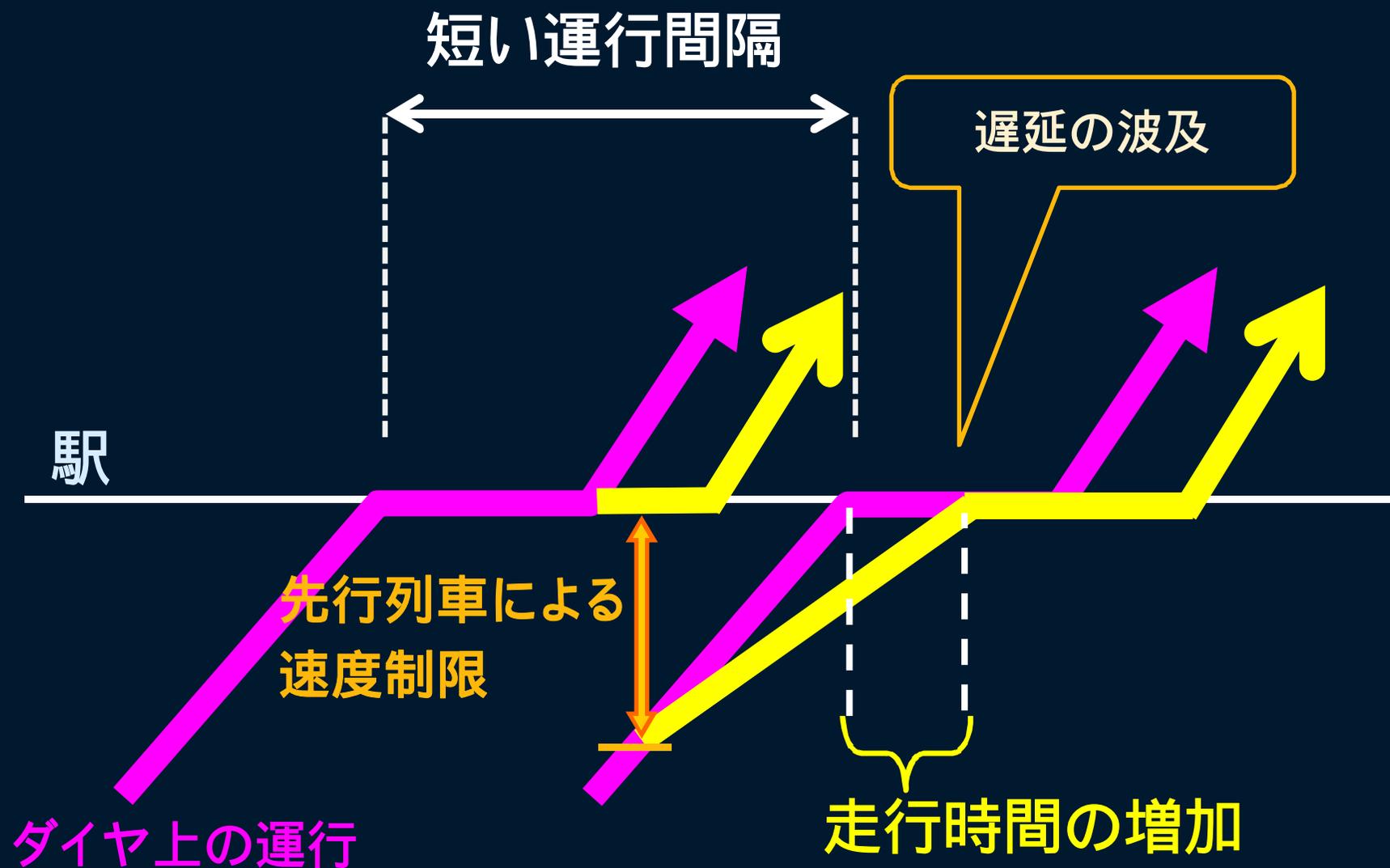
先行列車が駅に停車している時の後続列車の走行挙動



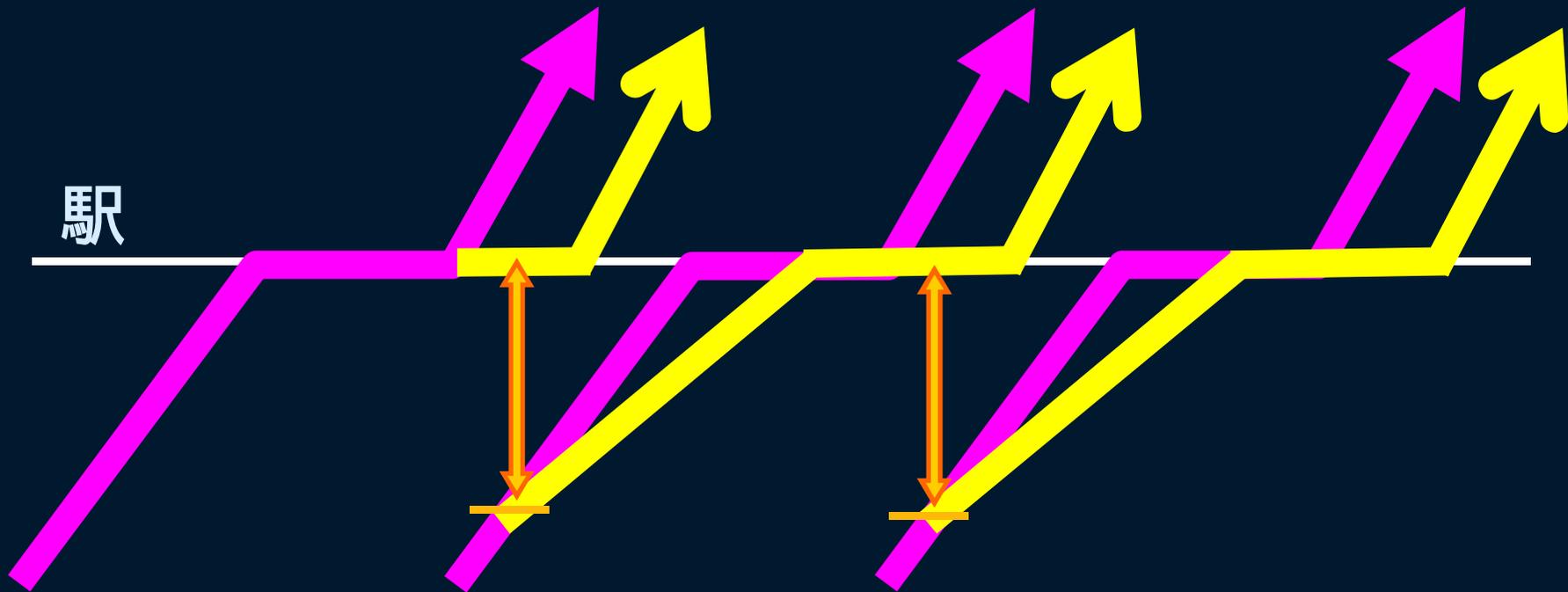
運行間隔が長い場合の列車挙動



運行間隔が短い場合の列車挙動



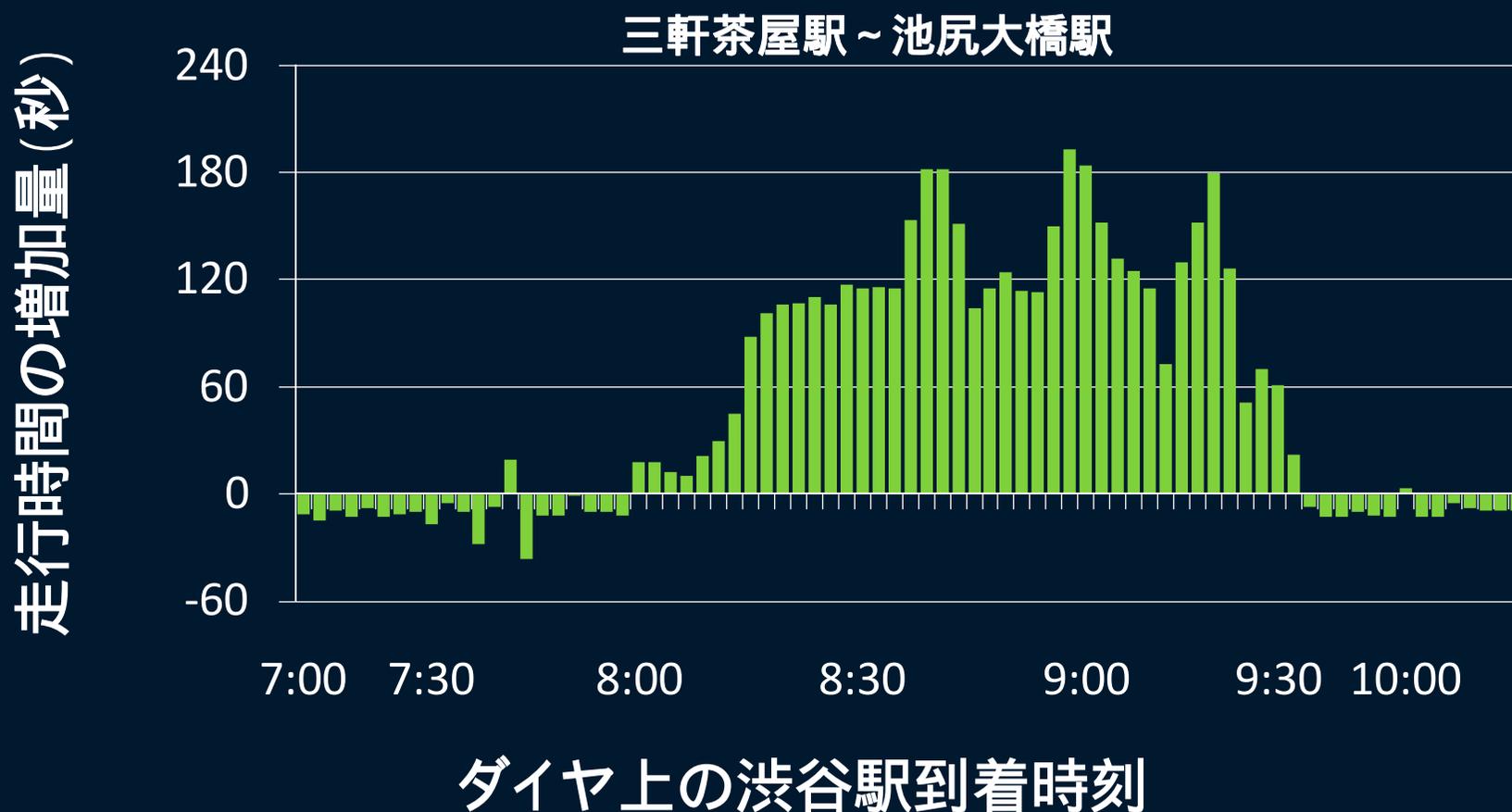
短い運行間隔による遅延の波及



運行間隔が小さいため、回復することが出来ず、遅延の連鎖(波及)が発生する

駅間走行時間の増加量

列車毎のダイヤに対する駅間走行時間の増加量



短い運行間隔による遅延の波及

列車毎のダイヤに対する駅間走行時間の増加量



一度増加すると回復が難しく後続列車へ波及

2. 遅延の発生・波及メカニズム

() 慢性的な遅延

1. 遅延の発生と拡大

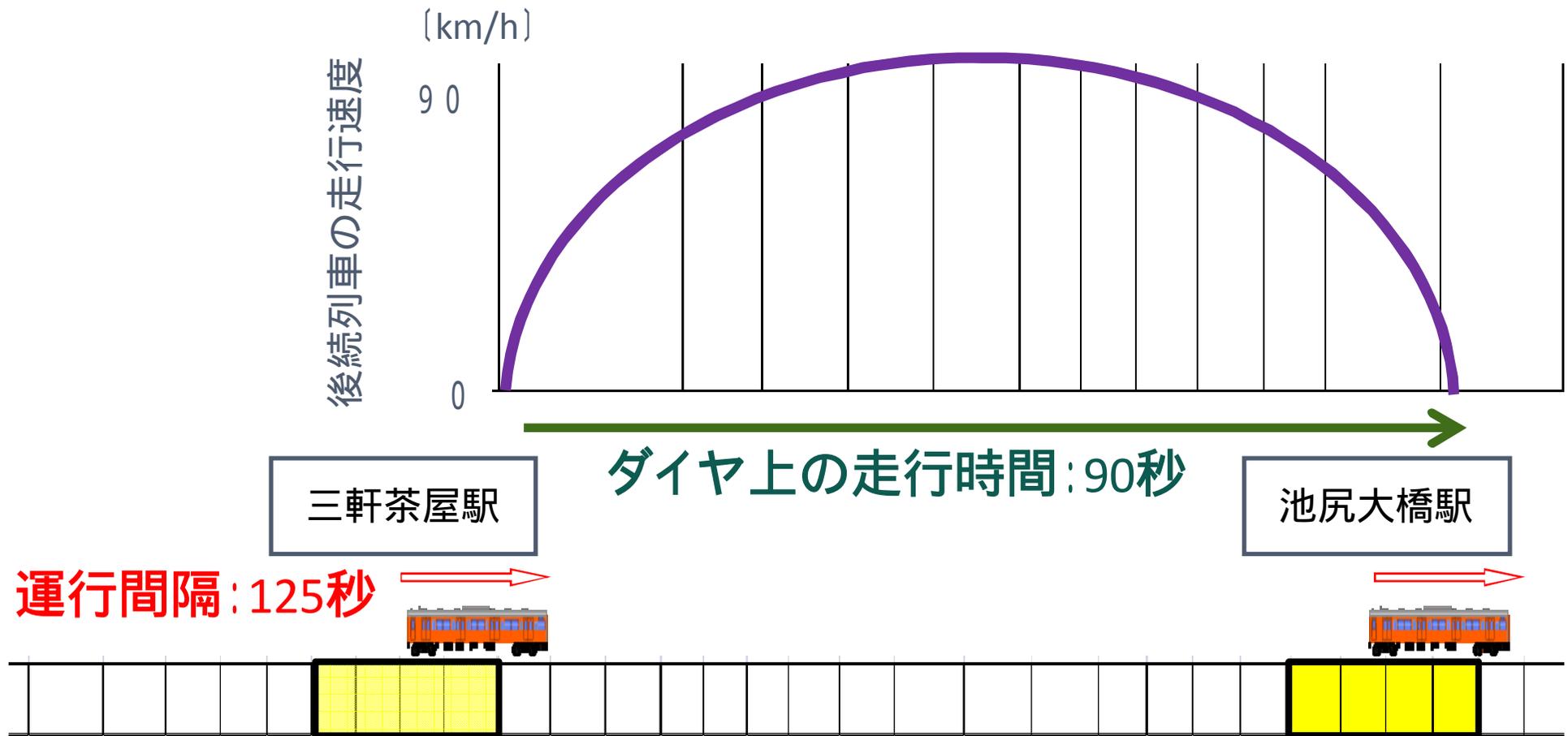
2. 遅延の波及 (遅延発生の初期)

3. 遅延の波及 (上流駅間への波及)

4. 遅延時間の構成

() トラブル(外的要因)による遅延

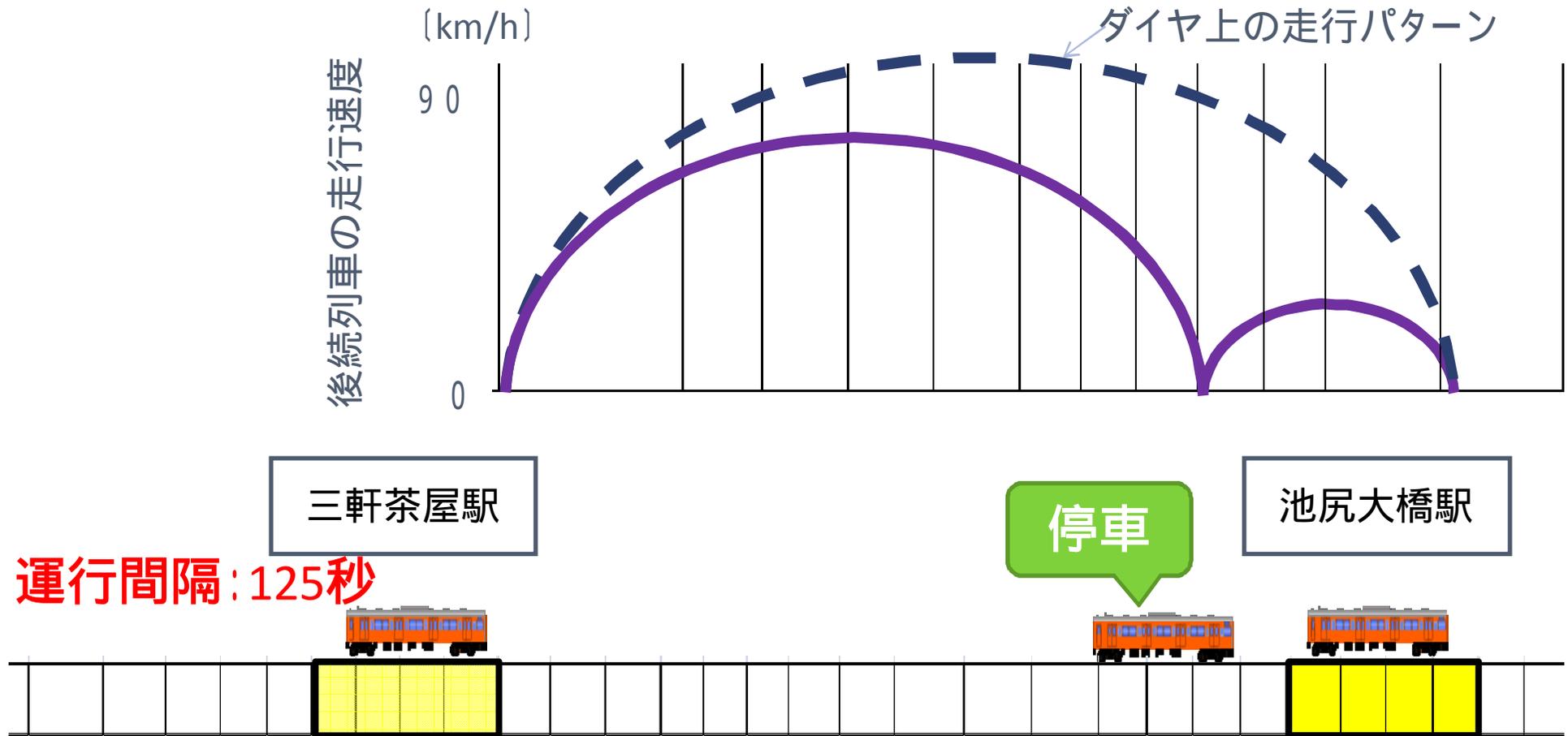
ダイヤ上の走行挙動



先行列車の出発とともに後続列車も出発

走行時間の増加による列車間隔の詰まり

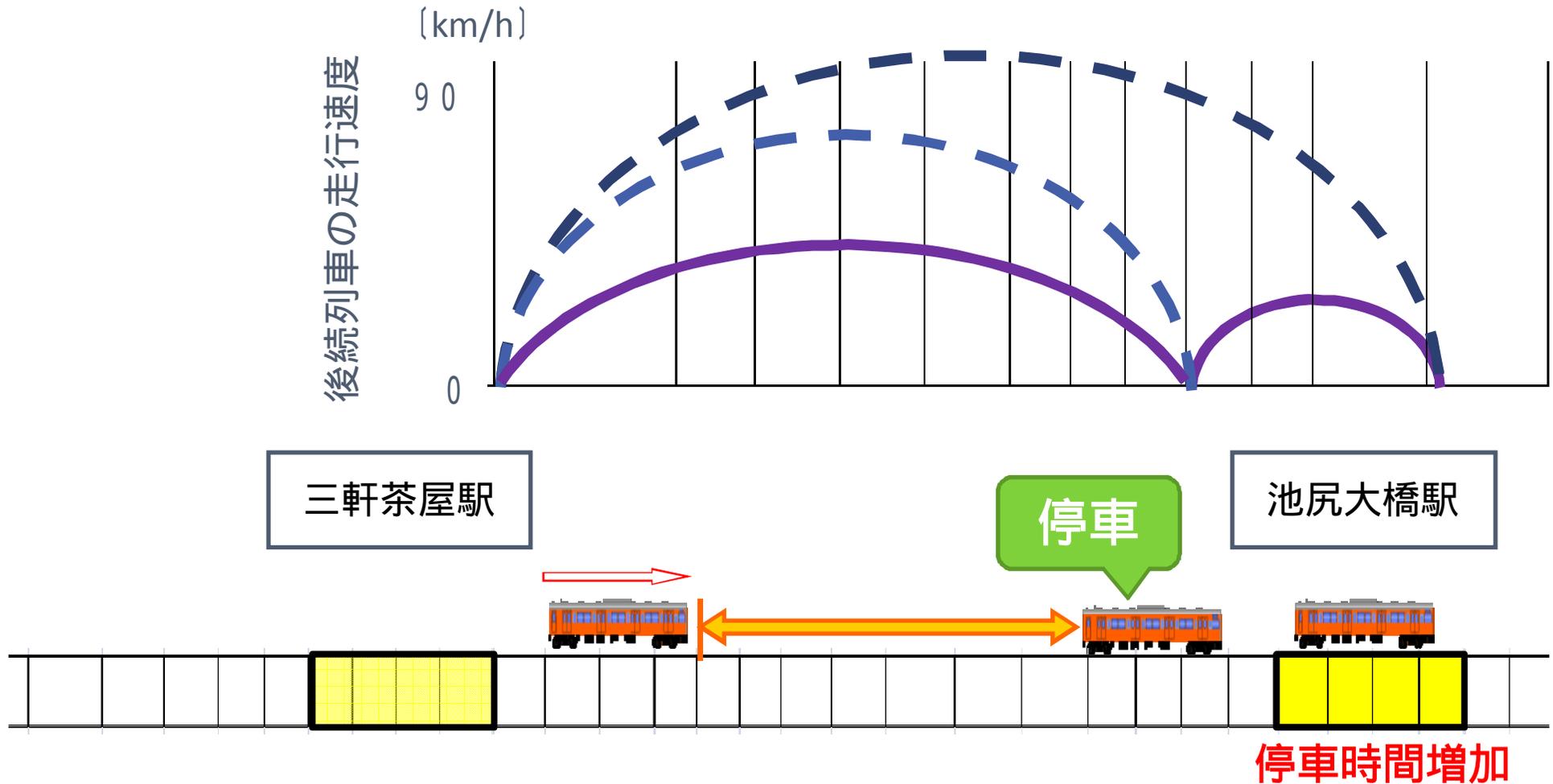
遅延発生時の走行挙動



駅間に列車が存在(停車)

走行時間の増加による列車間隔の詰まり

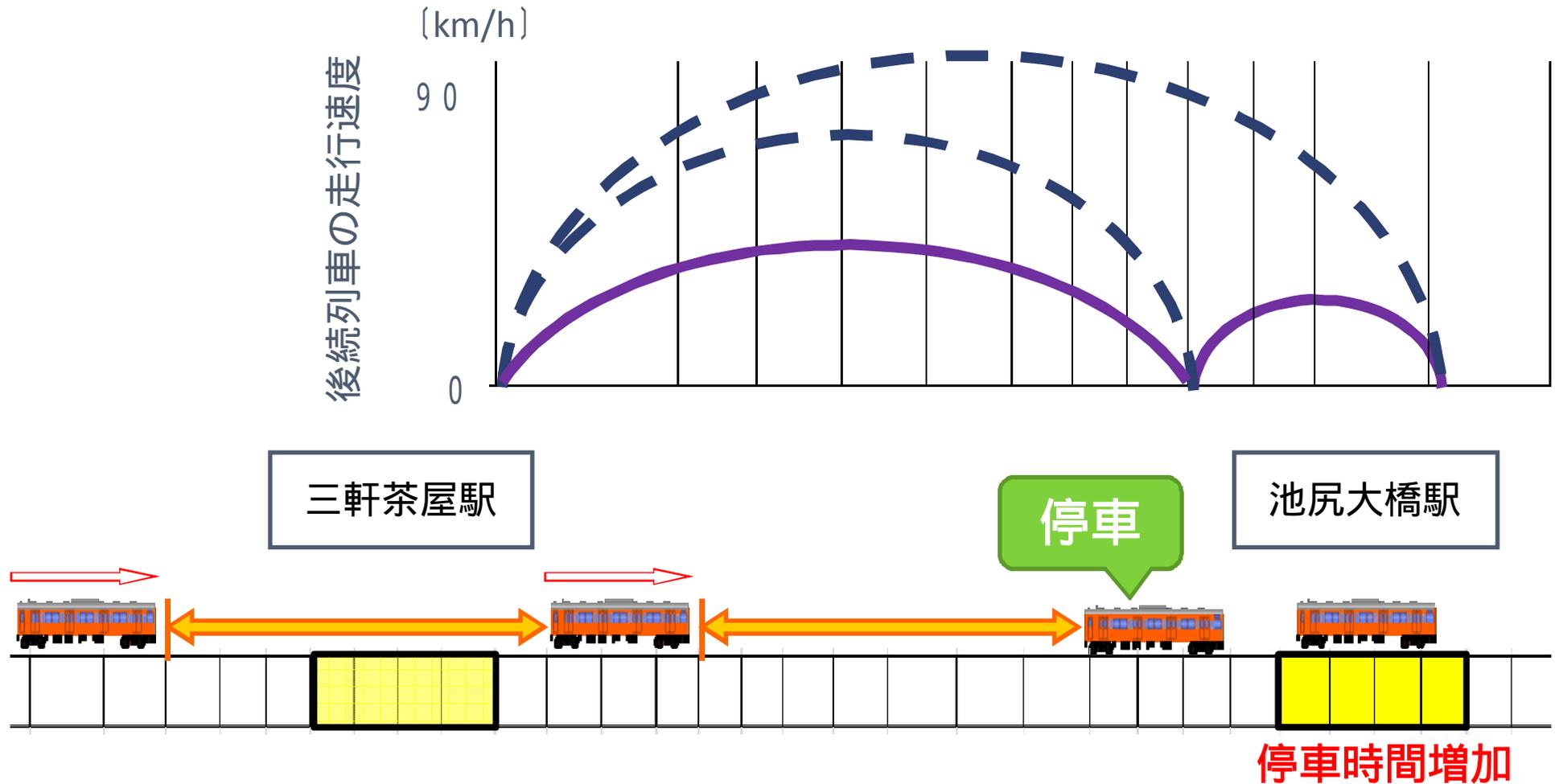
遅延発生時の走行挙動



駅出発の直後から先行列車の速度制限を受ける

走行時間の増加による列車間隔の詰まり

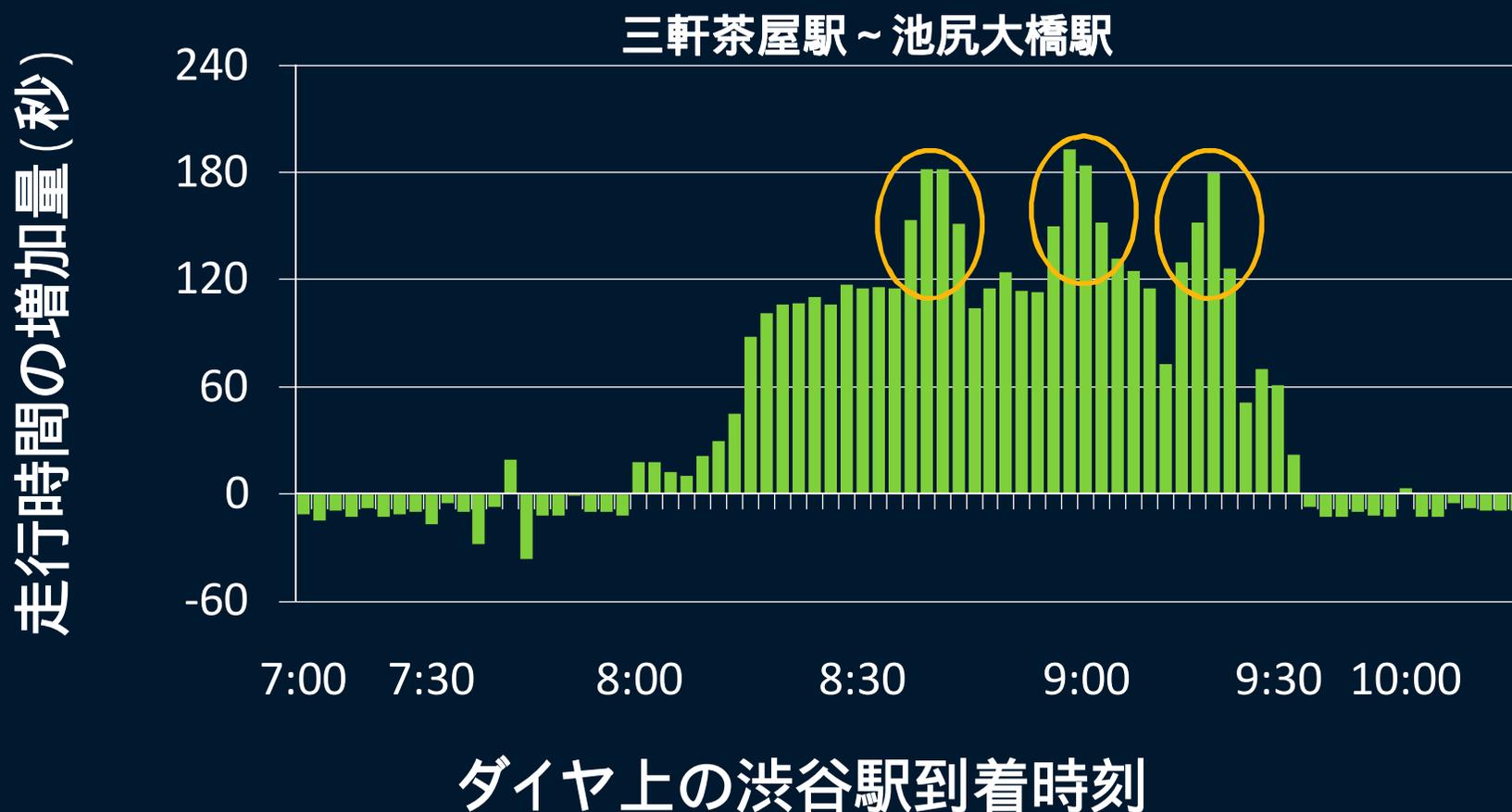
遅延発生時の走行挙動



遅延の影響が上流の駅間へ波及 (ex.ホーム途中での停車)

駅間走行時間の増加量

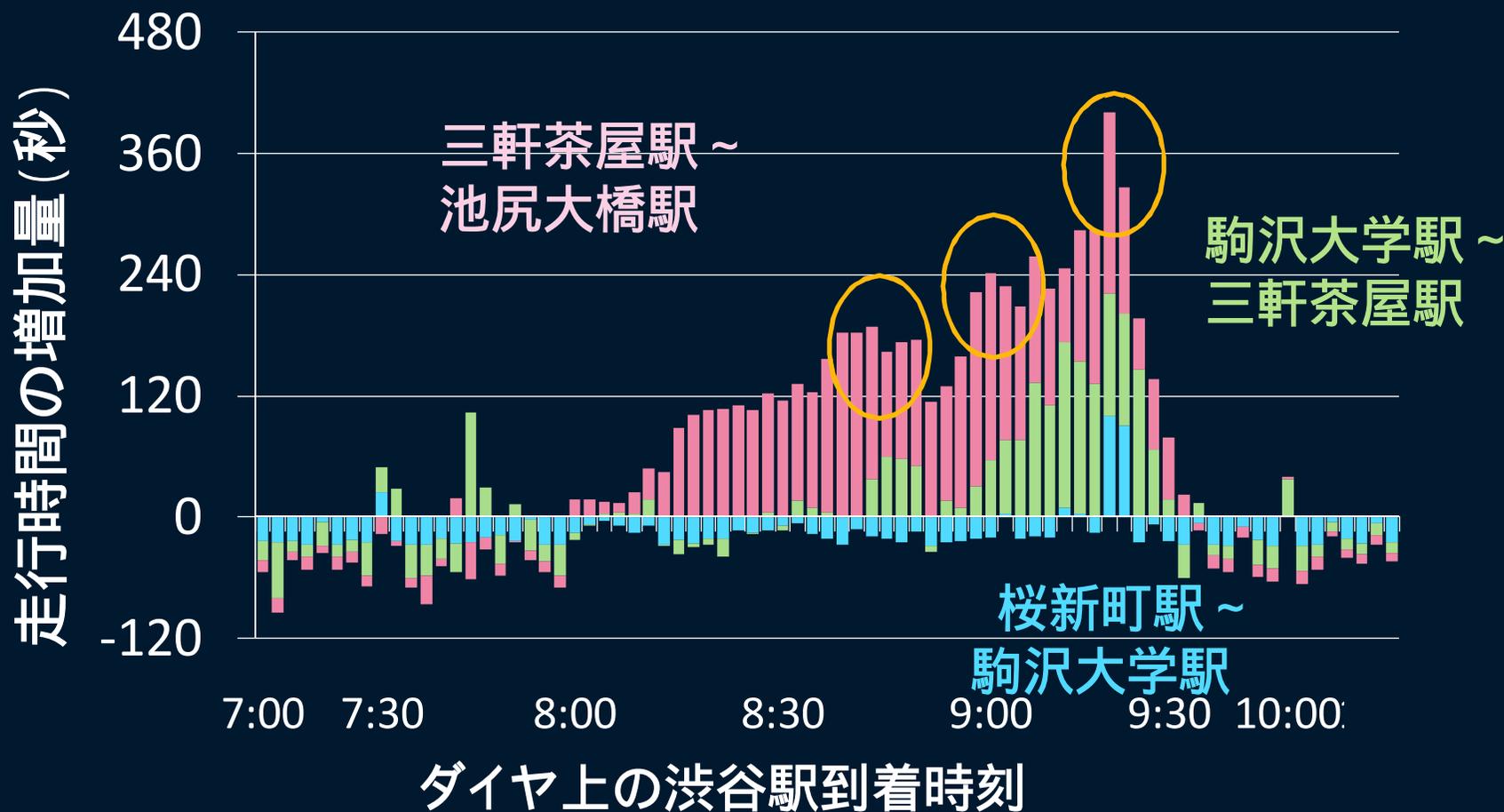
列車毎のダイヤに対する駅間走行時間の増加量



上流駅間への遅延の波及

列車毎のダイヤに対する走行時間の増加量

【桜新町駅 ~ ~ 駒沢大学駅 ~ ~ 三軒茶屋駅 ~ ~ 池尻大橋駅】



遅延の影響が上流へ波及し、列車毎の所要時間が増大

2. 遅延の発生・波及メカニズム

() 慢性的な遅延

1. 遅延の発生と拡大

2. 遅延の波及 (遅延発生の初期)

3. 遅延の波及 (上流駅間への波及)

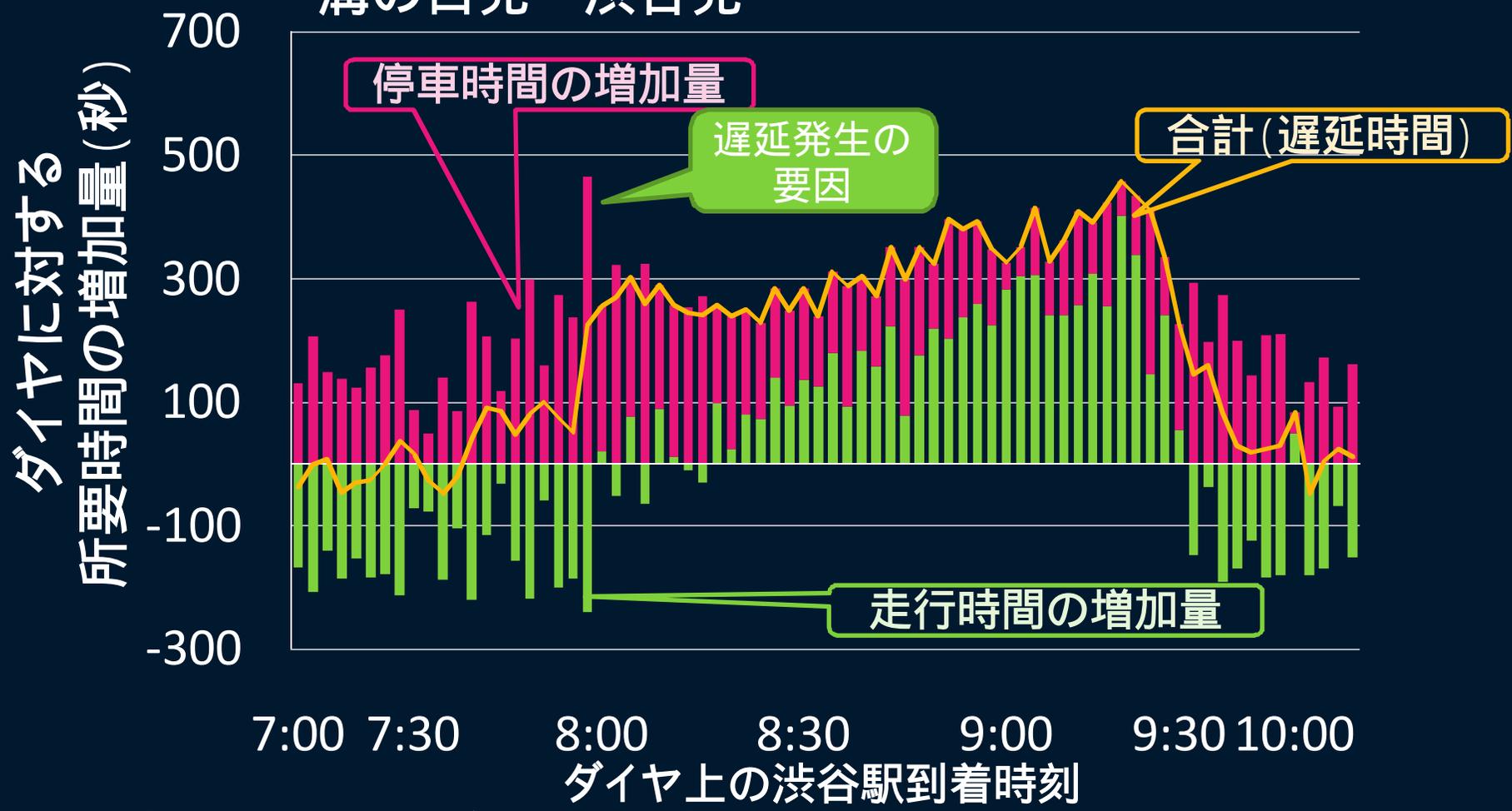
4. 遅延時間の構成

() トラブル(外的要因)による遅延

遅延時間の構成

列車毎のダイヤに対する停車時間・走行時間の増加量

溝の口発～渋谷発

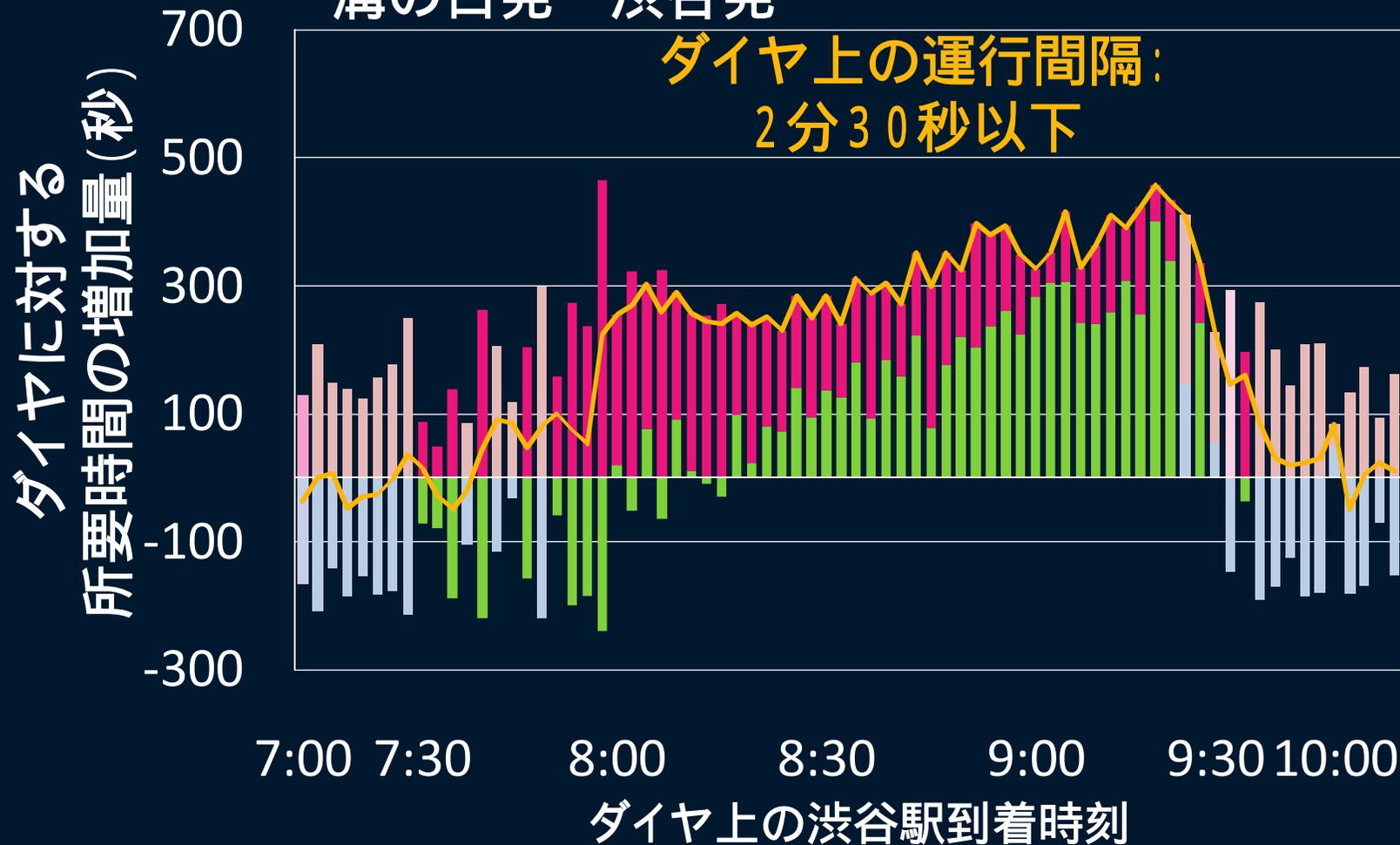


停車時間の増加が、走行時間の増加へ波及

遅延時間の構成

列車毎のダイヤに対する停車時間・走行時間の増加量

溝の口発～渋谷発



運行間隔が長くなると、走行時間の増加が解消

2. 遅延の発生・波及メカニズム

() 慢性的な遅延

1. 遅延の発生と拡大

2. 遅延の波及 (遅延発生の初期)

3. 遅延の波及 (上流駅間への波及)

4. 遅延時間の構成

() **トラブル(外的要因)による遅延**

外的要因による遅延の発生

〔列車運行実績値〕

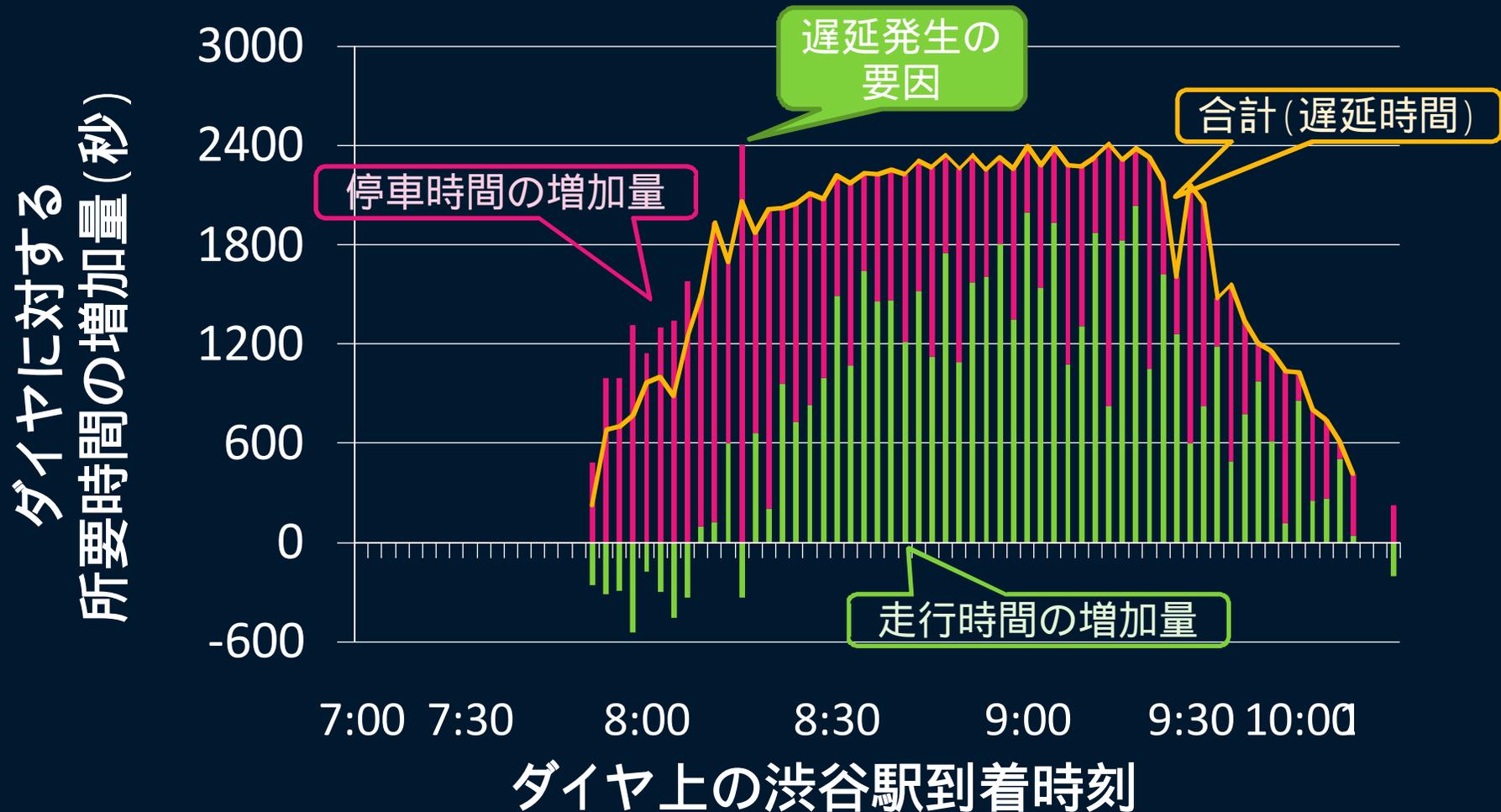
平成21年1月14日(金) 7:25分頃

- ・東急田園都市線 田奈駅で乗客トラブルによる遅延発生
- ・田奈駅での乗車時間が約4分増加
- ・渋谷駅の最大到着遅延は約40分
- ・遅延の回復は12:00過ぎ

外的要因による遅延の状況

列車毎のダイヤに対する停車時間・走行時間の増加量

長津田駅～渋谷駅間

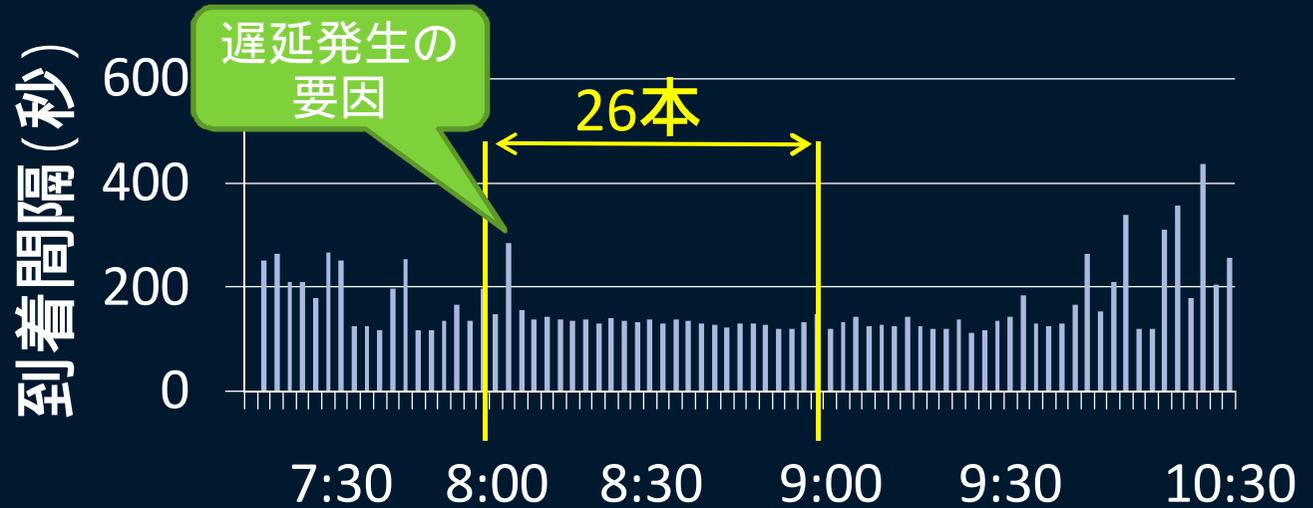


各駅の停車時間の増加 → 後続列車の走行時間の増加

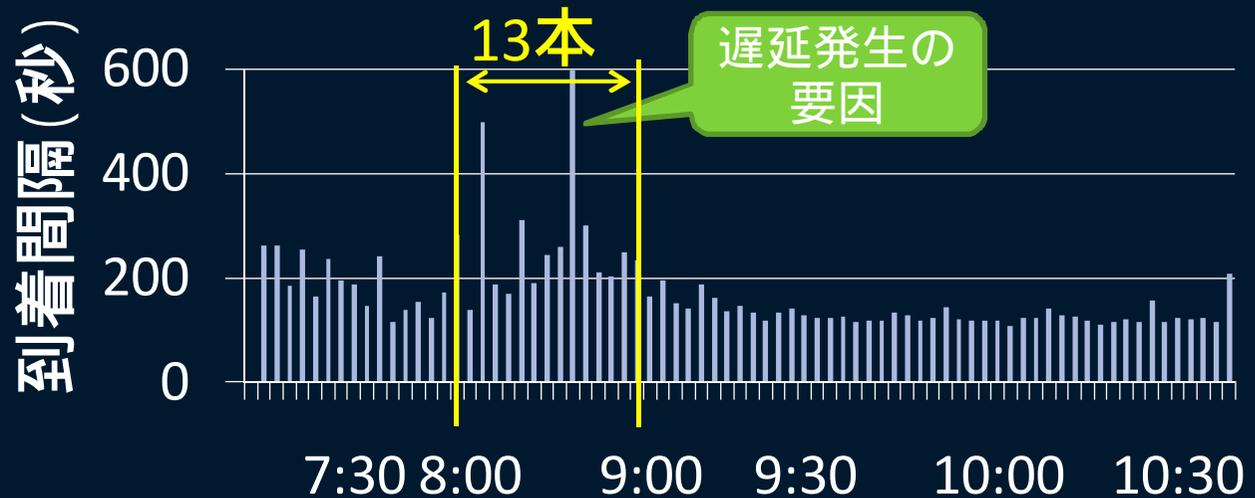
遅延による輸送量の低下

渋谷駅の実際の列車到着間隔

慢性的な遅延
(19日)



トラブルの遅延
(14日)



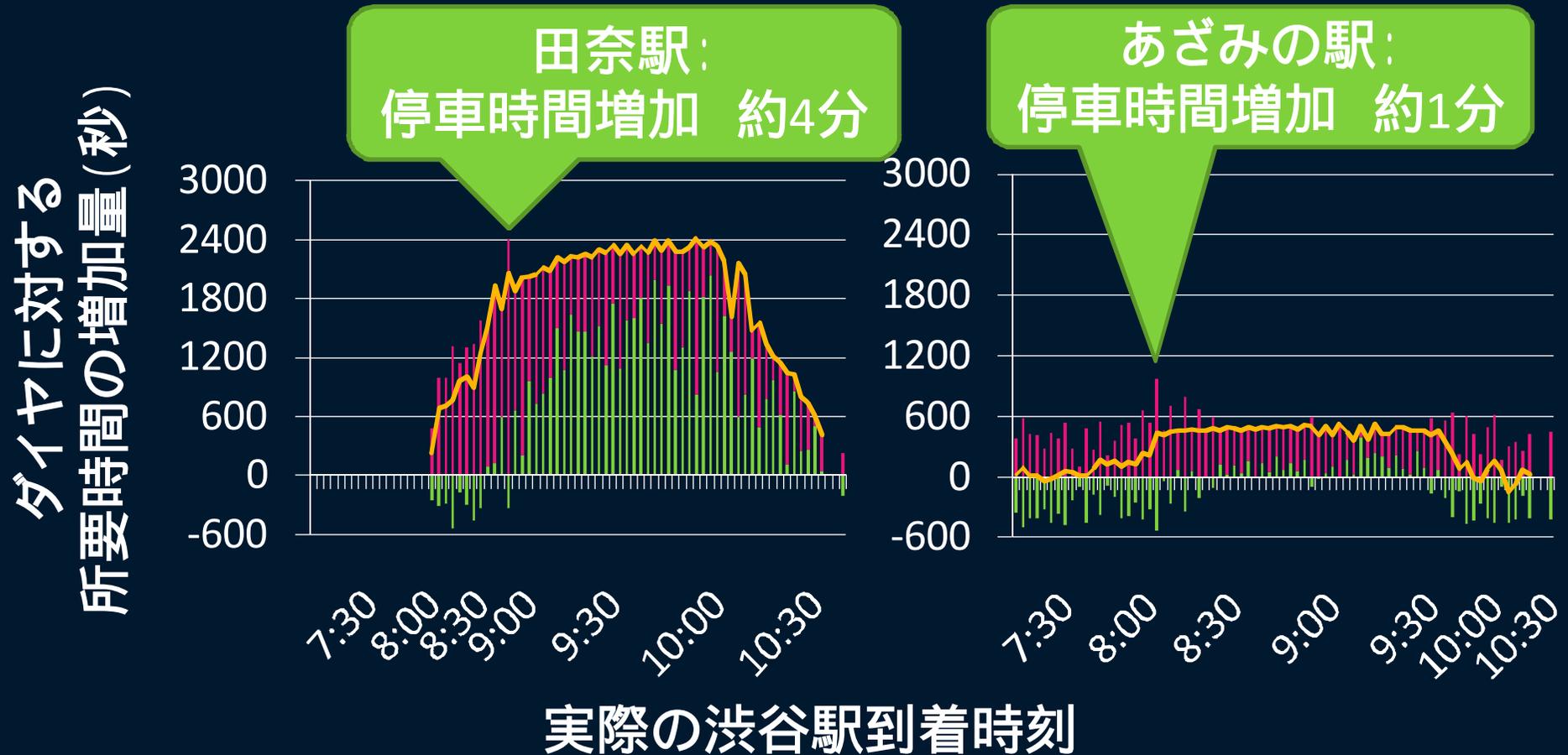
実際の渋谷駅到着時刻

時間調整の列車にも遅延の拡大

遅延時間の比較

列車毎のダイヤに対する所要時間の増加量の比較

長津田駅～渋谷駅間



数分の遅延が長時間の遅延に拡大する可能性

2. 遅延の発生・波及メカニズム

() 慢性的な遅延

1. 遅延の発生と拡大 → 旅客の要因

2. 遅延の波及(遅延発生の初期) → 列車間隔の要因

3. 遅延の波及(上流への波及) → 列車間隔の要因

4. 遅延時間の構成

() トラブル(外的要因)による遅延

2. 遅延の発生・波及メカニズム

() 慢性的な遅延

1. 遅延の発生と拡大 → 旅客の要因

2. 遅延の波及(遅延)

3. 遅延の波及(上流)

4. 遅延時間の構成



- ・乗降に時間を要する駅
- ・ドアばさみ(安全確認)に時間を要する駅

() トラブル(外的要因)

- ・停車時間の増加が発生する駅
- ・そもそも列車が遅れて到着する駅

2. 遅延の発生・波及メカニズム

() 慢性的な遅延

1. 遅延の発生と拡大 → 旅客の要因

2. 遅延の波及(遅延発生の初期) → 列車間隔の要因

3. 遅延の波及(上流への波及) → 列車間隔の要因

4. 遅延時間の構成

() トラブル(外的要因)による遅延

本日の報告

1 . 遅延の現状

2 . 遅延の発生・波及メカニズム

3 . 列車運行シミュレーションの構築

4 . 運行方法による遅延対策の検討

5 . 結論

シミュレーションの概要

駅間の列車運行挙動を再現し、走行時間を出力する

【入力データ】

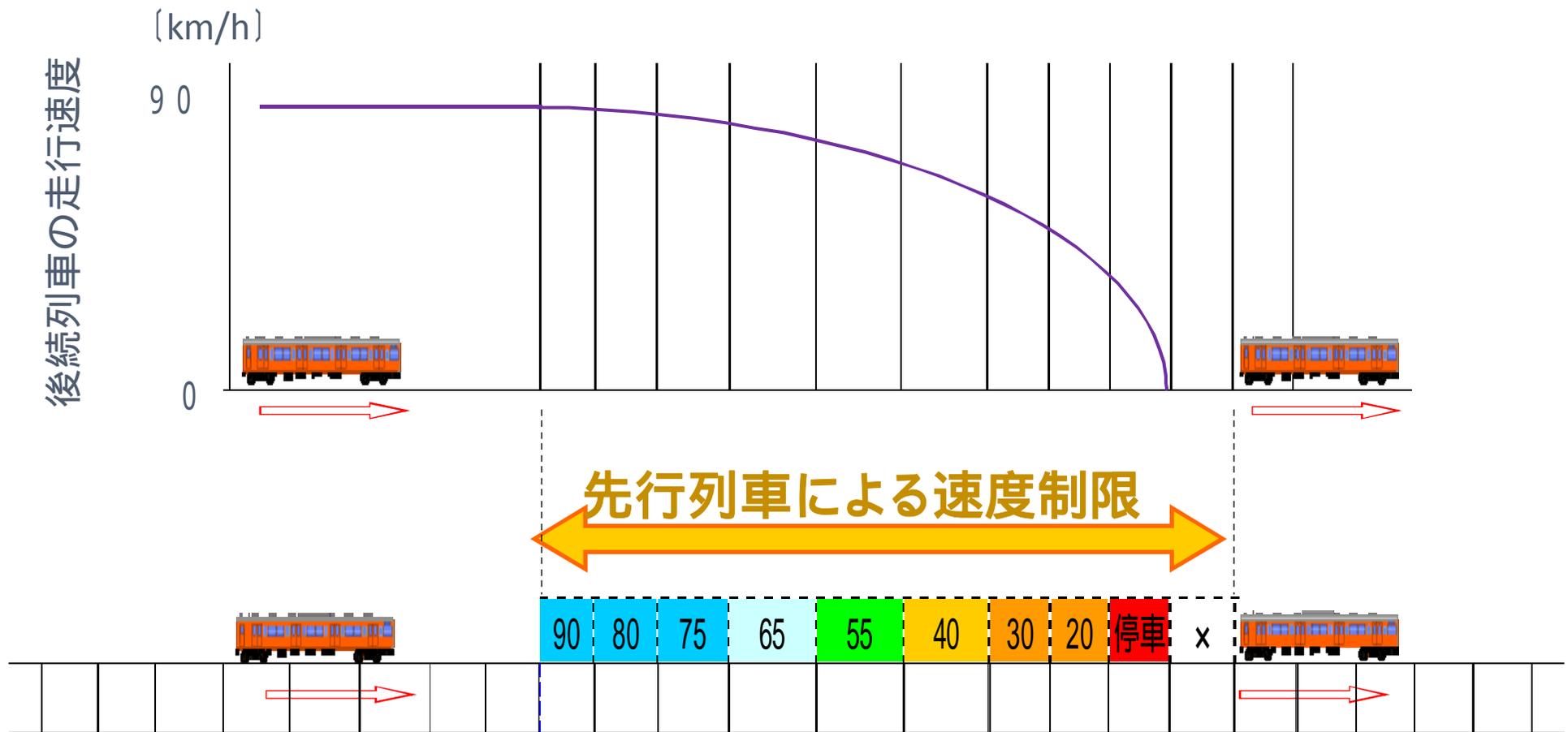
- ・信号コード表(信号表示・閉そく区間割)
- ・時刻表(運行ダイヤ)
- ・運転曲線
- ・列車性能(加・減速度)
- ・駅停車時間(列車運行実績値)

*** 駅間の運行挙動に着目し、停車時間は実績値を使用**

シミュレーションの運行システム

実際の信号システムと同様に列車の相互作用を反映

信号システムと閉そく



モデルの対象路線

田園都市線

中央
林間
方



半蔵門線



押
上
方

・ 準急運転時間帯
(二子玉川駅から各駅停車)

7:50 ~ 9:00

・ 列車本数: 33本

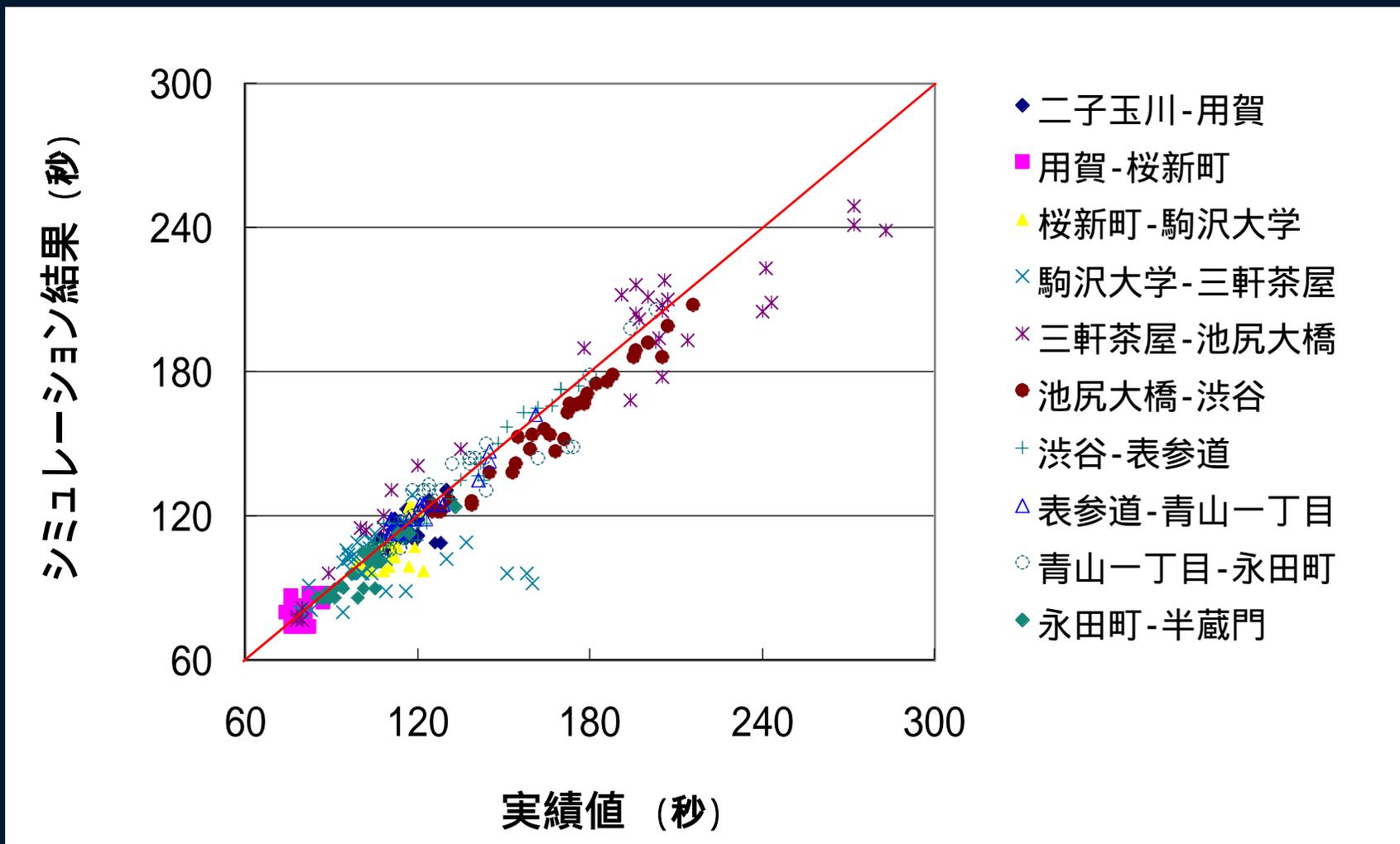
実績値とシミュレーション結果の比較

駅間毎の駅間走行時間(秒)の比較

(サンプル数:330 【10駅間×33本】)

$R^2 = 0.924$

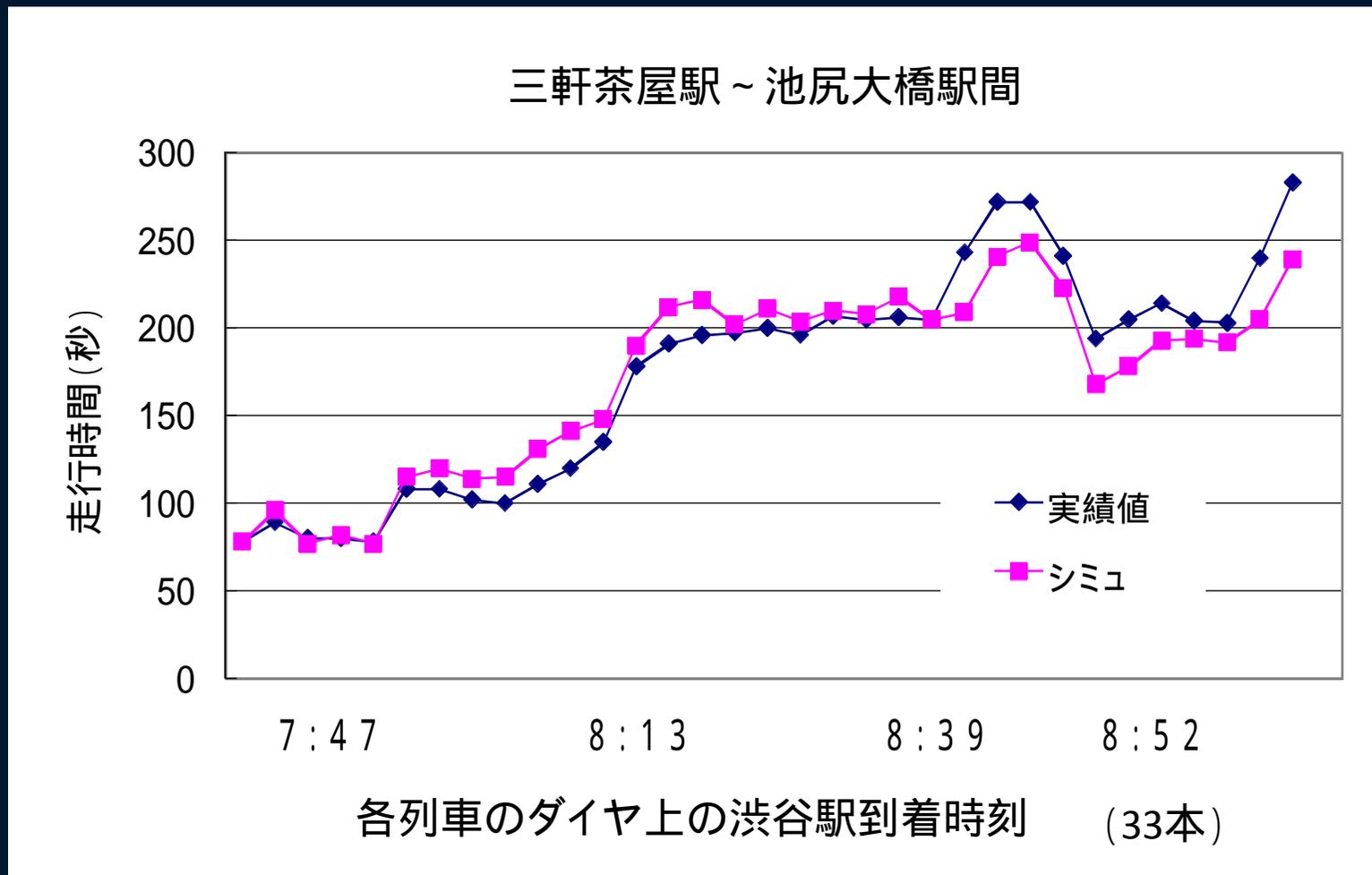
RMS誤差 = 10.7



実績値とシミュレーション結果の比較

列車毎の駅間走行時間

準急運転時間帯：7:50～9:00 【33本】



本日の報告

1 . 遅延の現状

2 . 遅延の発生・波及メカニズム

3 . 列車運行シミュレーションの構築

4 . 運行方法による遅延対策の検討

5 . 結論

4. 運行方法による遅延対策の検討

() 慢性的な遅延

列車間隔を保持する運転方法

1. 区間制限速度の低下
2. 閉そく割りの違いによる余裕時間の活用

() トラブル(外的要因)による遅延

4. 運行方法による遅延対策の検討

() 慢性的な遅延

列車間隔を保持する運転方法

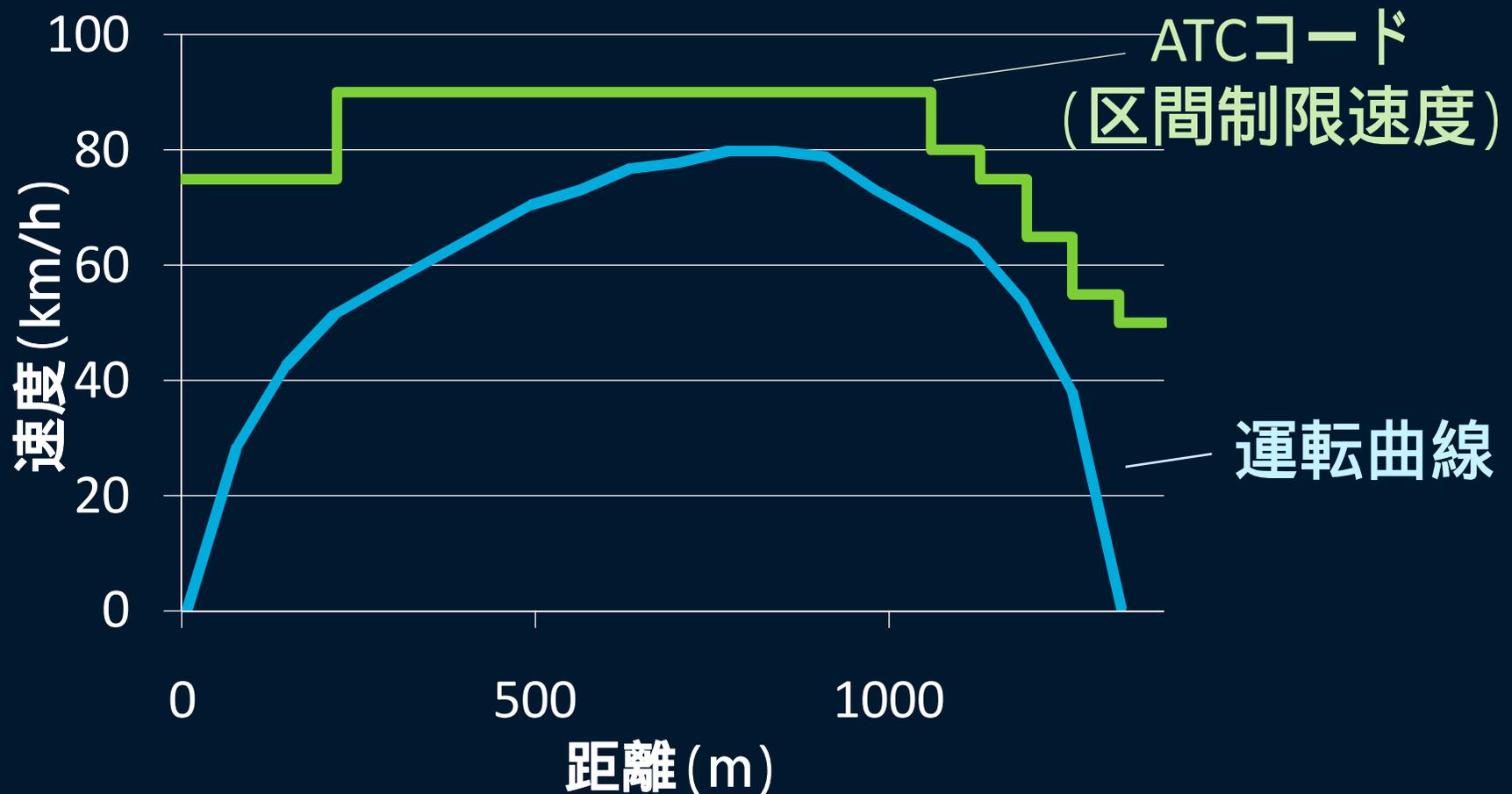
1. 区間制限速度の低下

2. 閉そく割りの違いによる余裕時間の活用

() トラブル(外的要因)による遅延

運転曲線と区間制限速度の関係

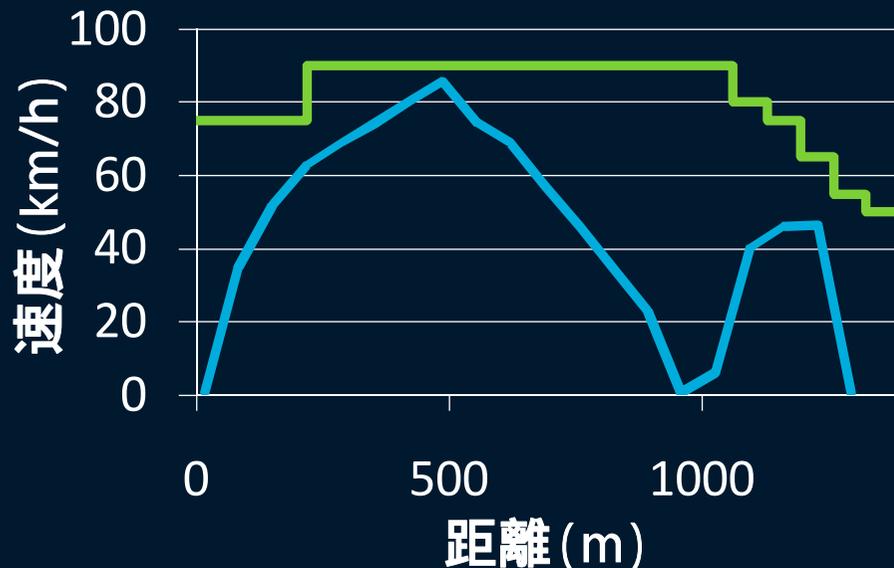
ATCコードとダイヤ上の運転曲線



列車は各閉そく区間の制限速度以下で運転される

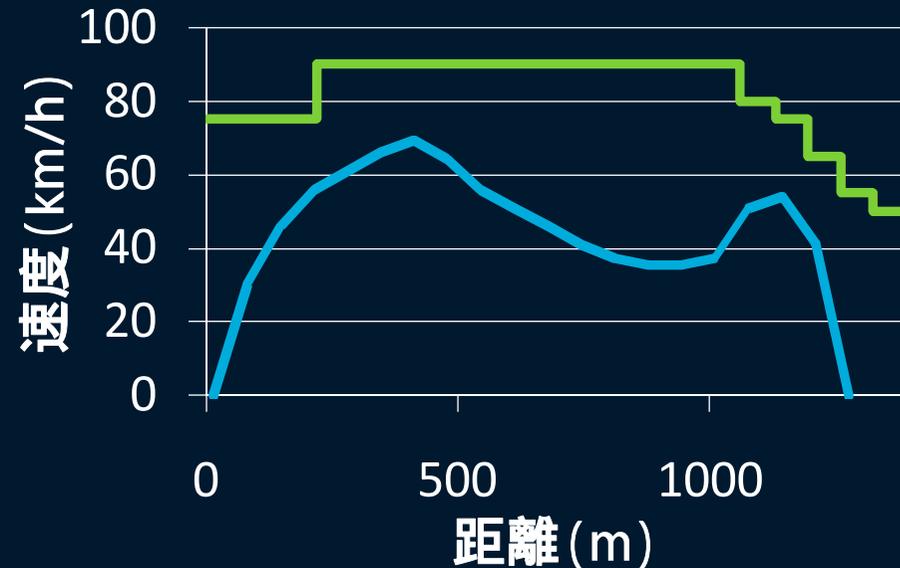
先行列車に接近した場合の運転曲線

【常に最高速度を目指した運転】



- ・ 最高速度まで加速
- ・ 先行列車による速度制限
- ・ 駅手前で一時停車

【速度を低下させた運転】



- ・ 前もって速度を低下
- ・ 先行列車との間隔を保持
- ・ 一時停車を回避

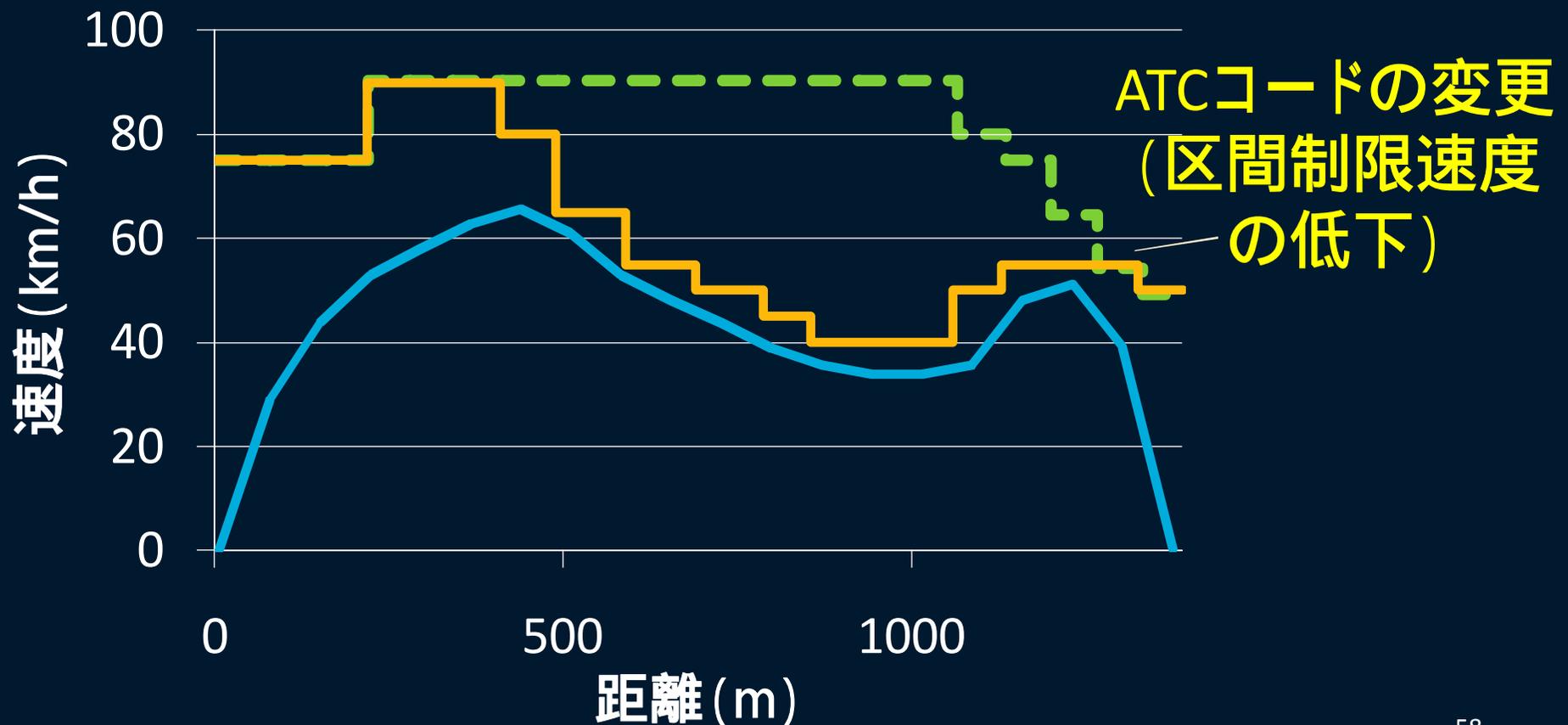
列車間隔を空けるための速度低下により
結果的に早く駅に到着する！？

シミュレーションの設定

(ATCコードの設定変更: 区間制限速度の低下)

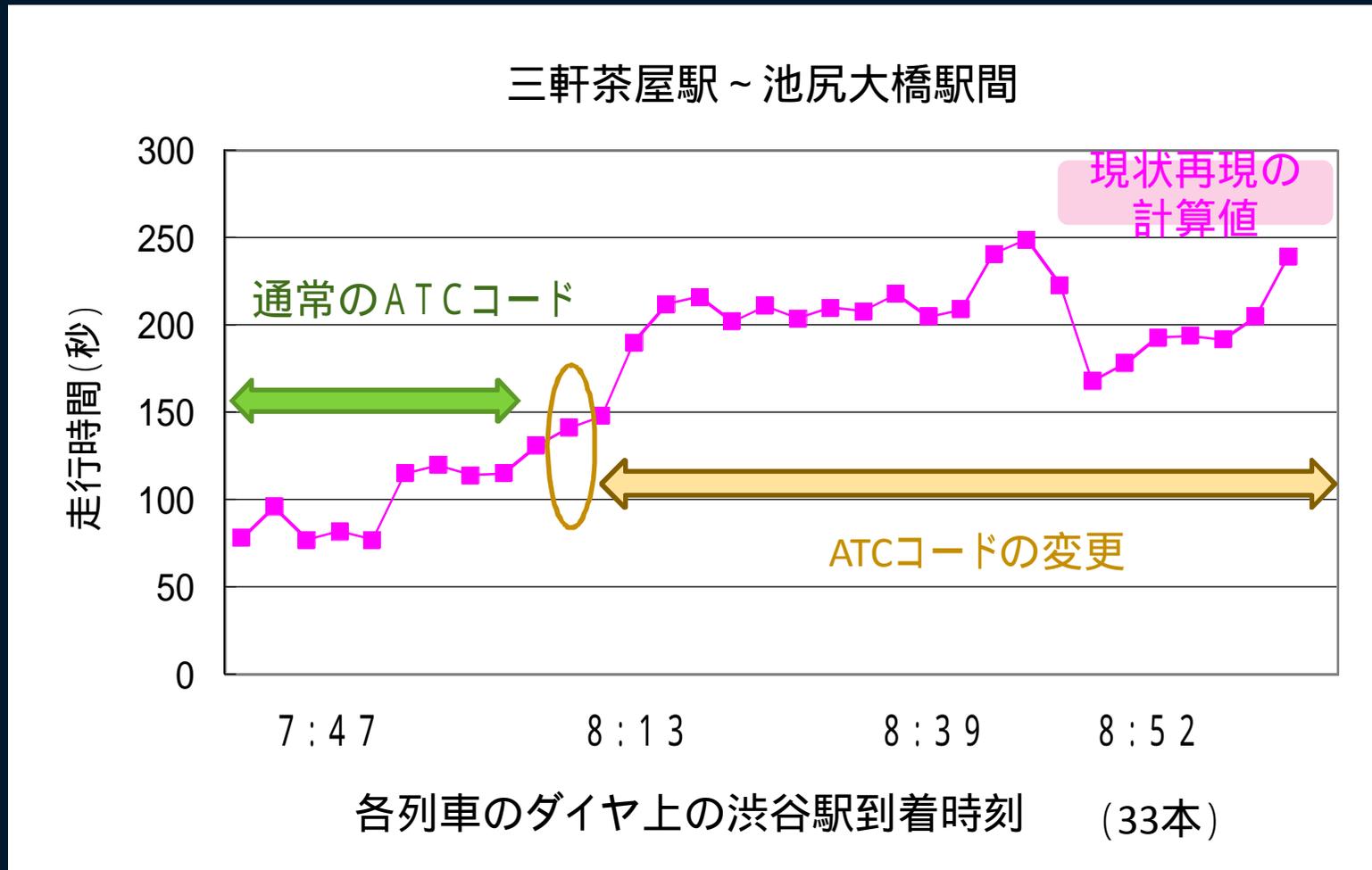
区間制限速度の低下により

先行列車との間隔を保持した運転を行う



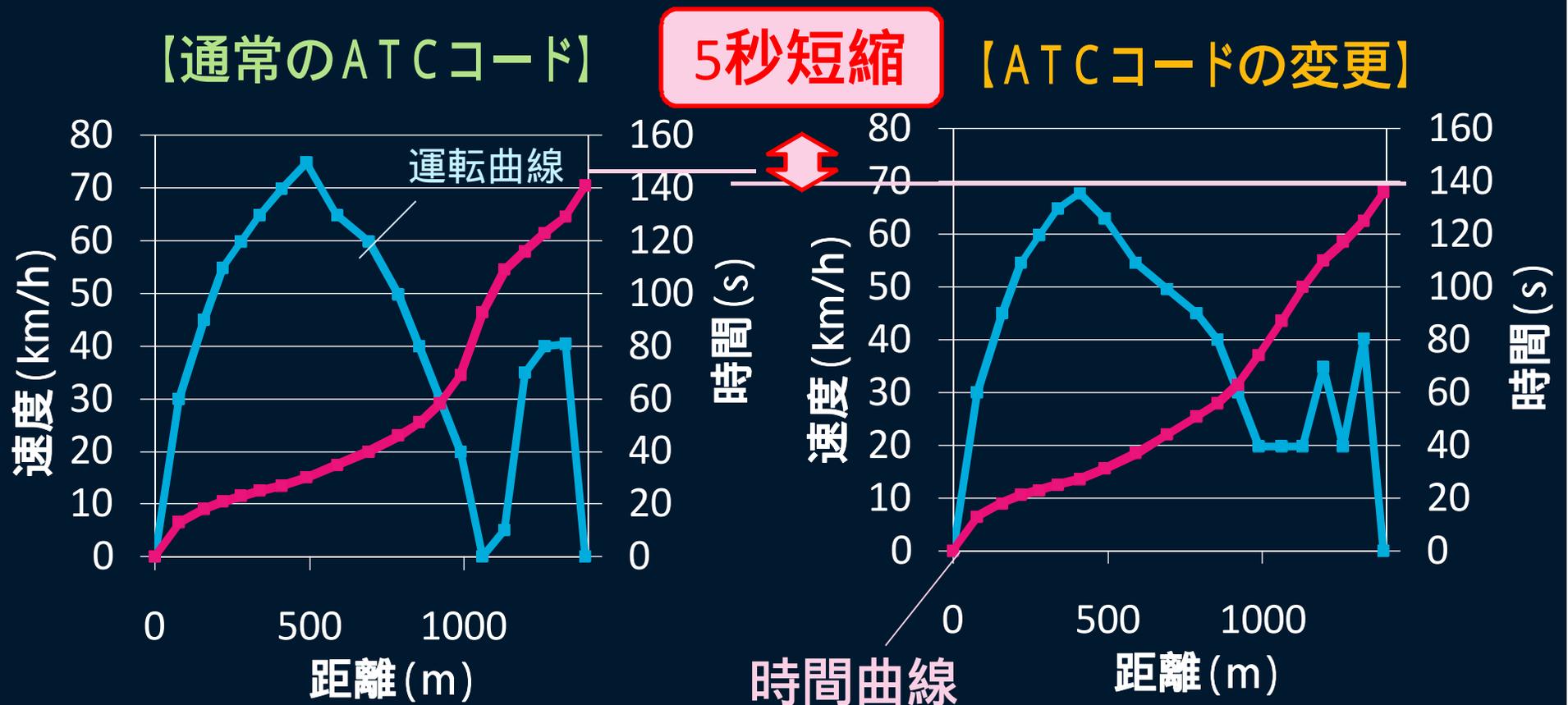
ATCコード設定変更の対象列車

走行時間が1分以上増加した列車に対して
区間制限速度の低下を設定する



シミュレーション結果

ATCコードの違いによる運転曲線・時間曲線の変化



ATCコード変更により走行時間が5秒短縮

走行時間と到着時刻の変化

ATCコードを変更した列車の運転時間の変化



1本目: 5秒 + 2秒 3秒
(停車の回避)

2本目: 15秒 + 3秒 12秒
(停車の回避)

3本目: 15秒 + 1秒 14秒
(一時停車)

4. 運行方法による遅延対策の検討

() 慢性的な遅延

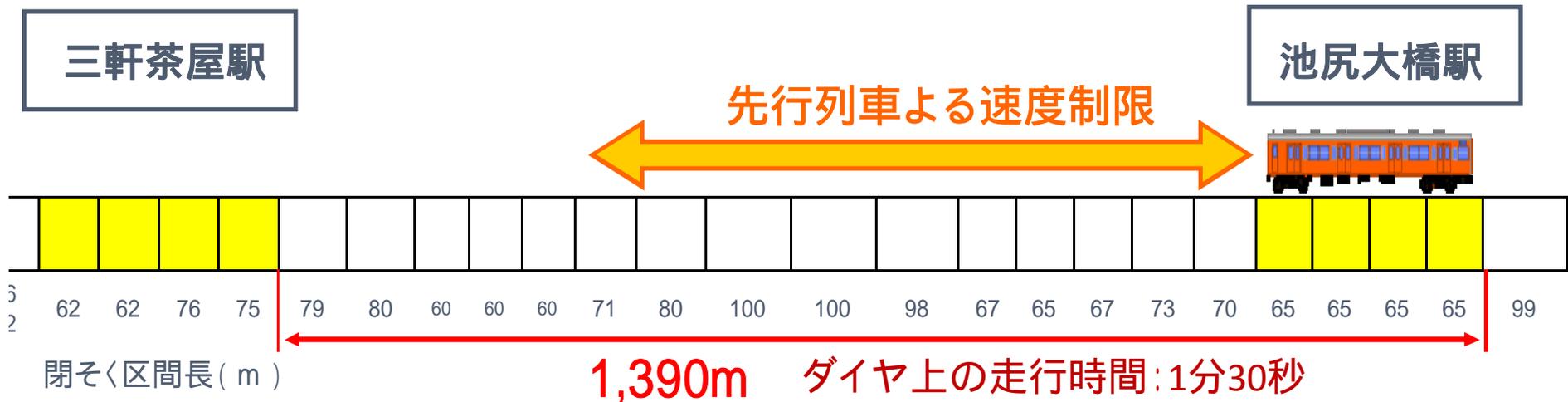
列車間隔を保持する運転方法

1. 区間制限速度の低下

2. 閉そく割りの違いによる余裕時間の活用

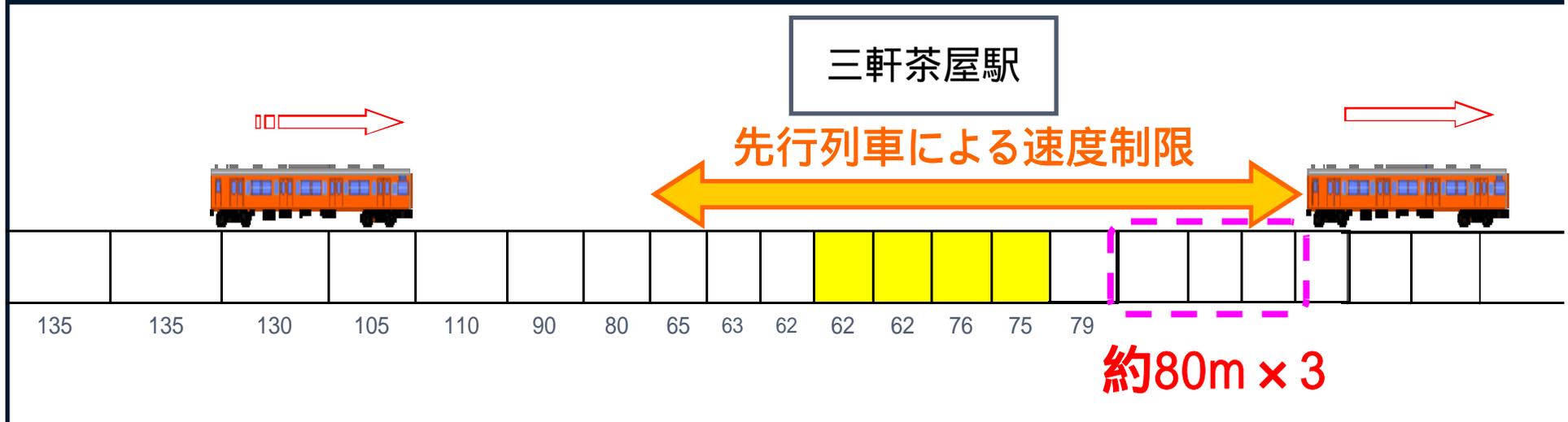
() トラブル(外的要因)による遅延

先行列車による速度制限と閉そく割り



駅間の閉そく区間割りにはほぼ同様

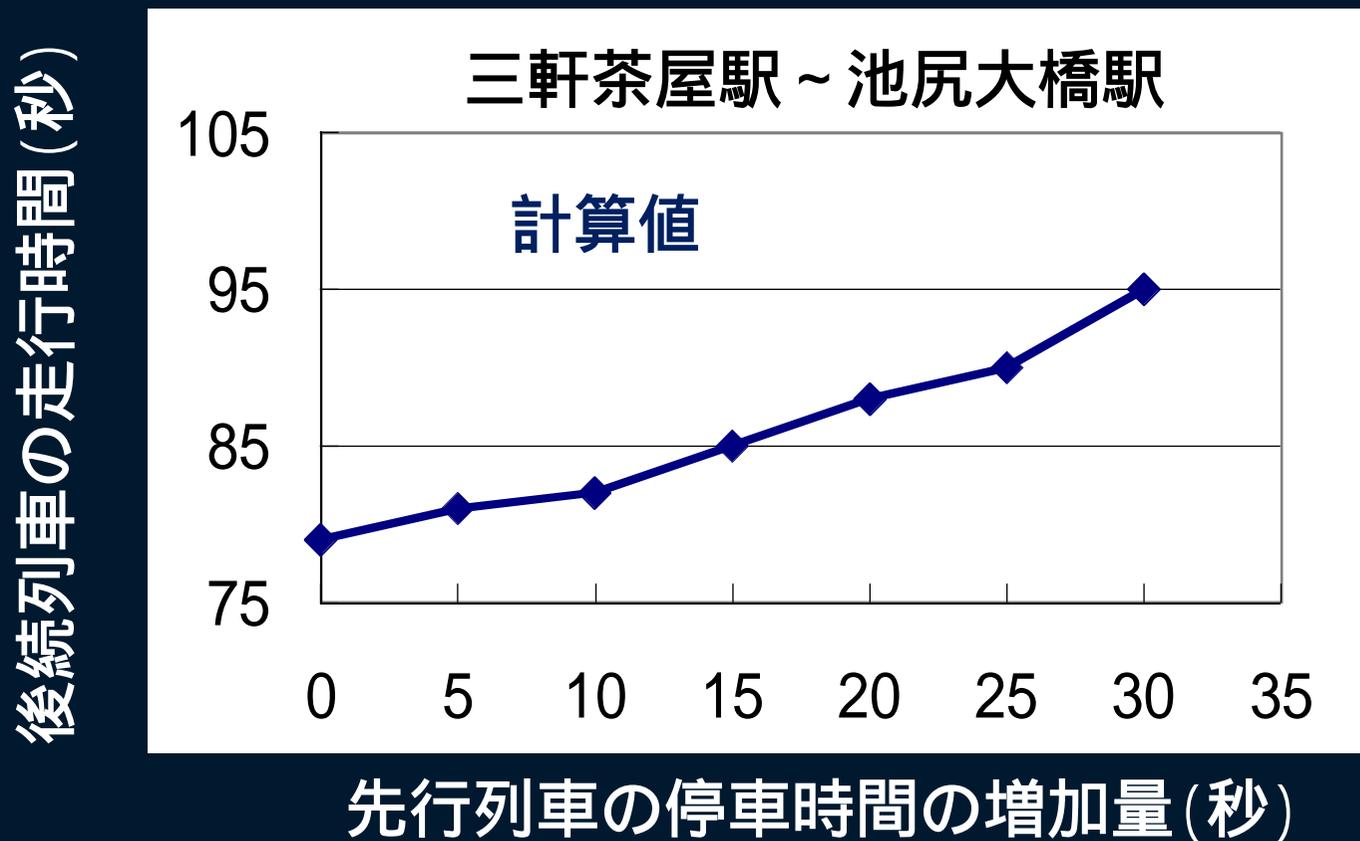
先行列車による速度制限と閉そく割り



駅を出発した直後の閉そく区間割り ~ 後続列車へ影響

駅停車時間の増加が後続列車に及ぼす影響

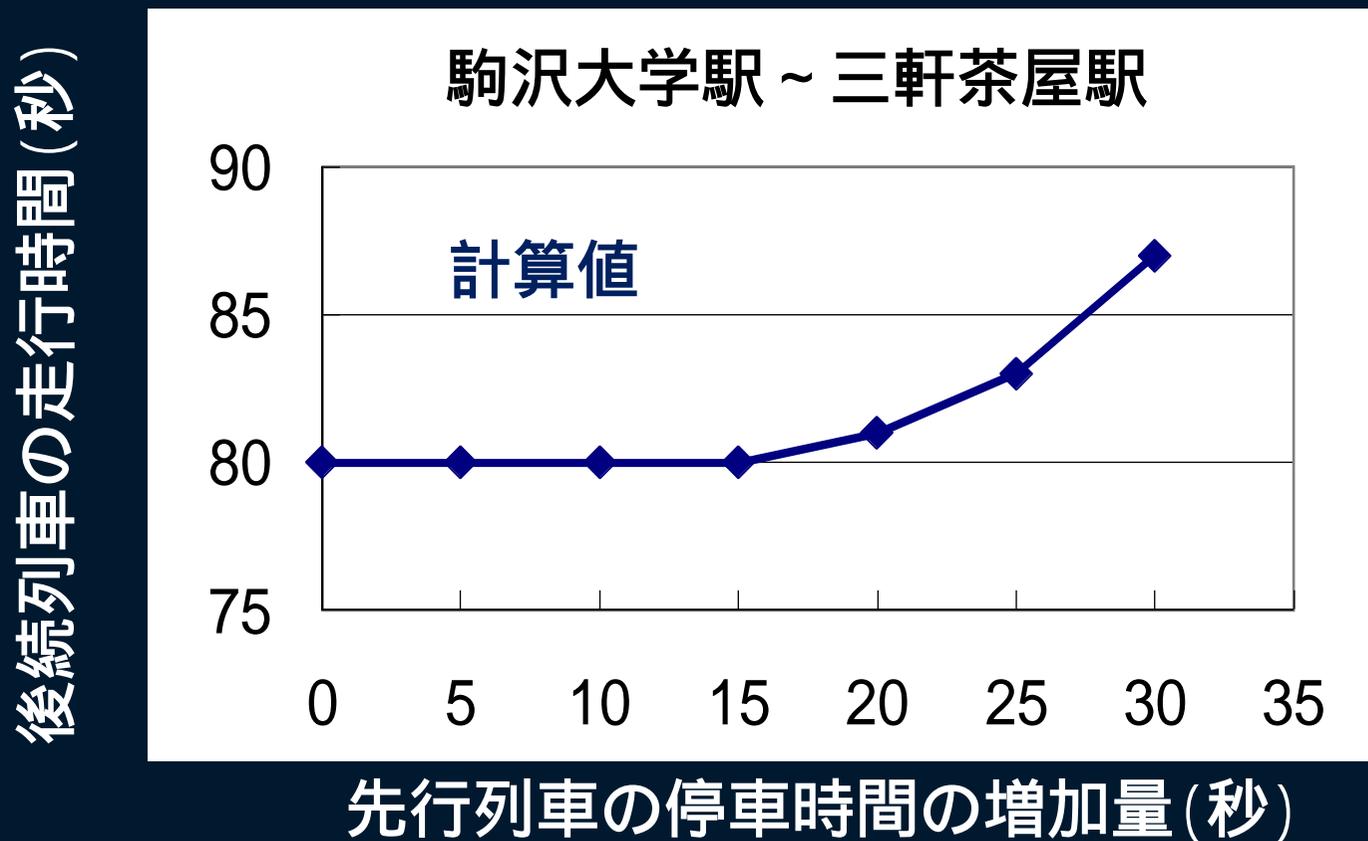
池尻大橋駅での停車時間の増加に対する
後続列車の走行時間の変化（運行間隔：125秒）



池尻大橋駅の停車時間増加は後続列車へ直ちに波及⁶⁵

駅停車時間の増加が後続列車に及ぼす影響

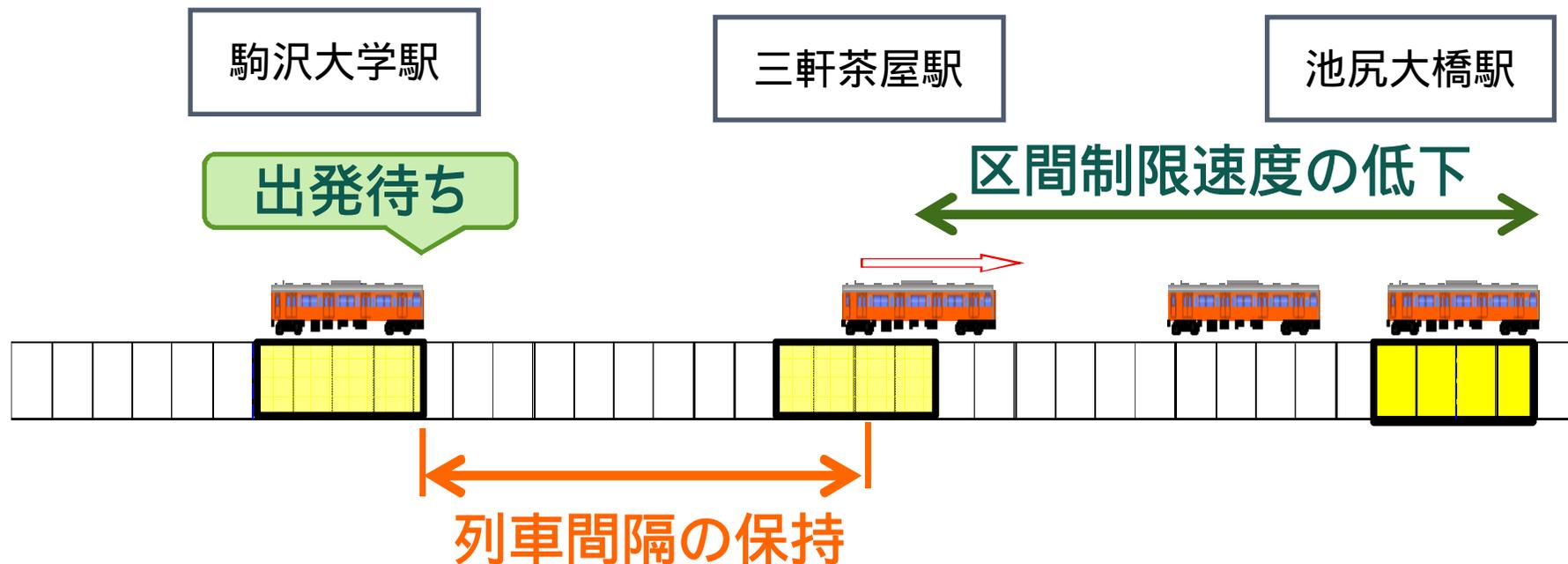
三軒茶屋駅での停車時間の増加に対する
後続列車の走行時間の変化 (運行間隔: 125秒)



増加時間に15秒程度の余裕がある

路線全体での遅延回復

運転方法工夫の組み合わせ



- ・混雑ピーク時間帯を過ぎた後の運転方法の工夫
- ・複数駅間の運転方法の組合せで列車間隔を保持する

4. 運行方法による遅延対策の検討

() 慢性的な遅延

列車間隔を保持する運転方法

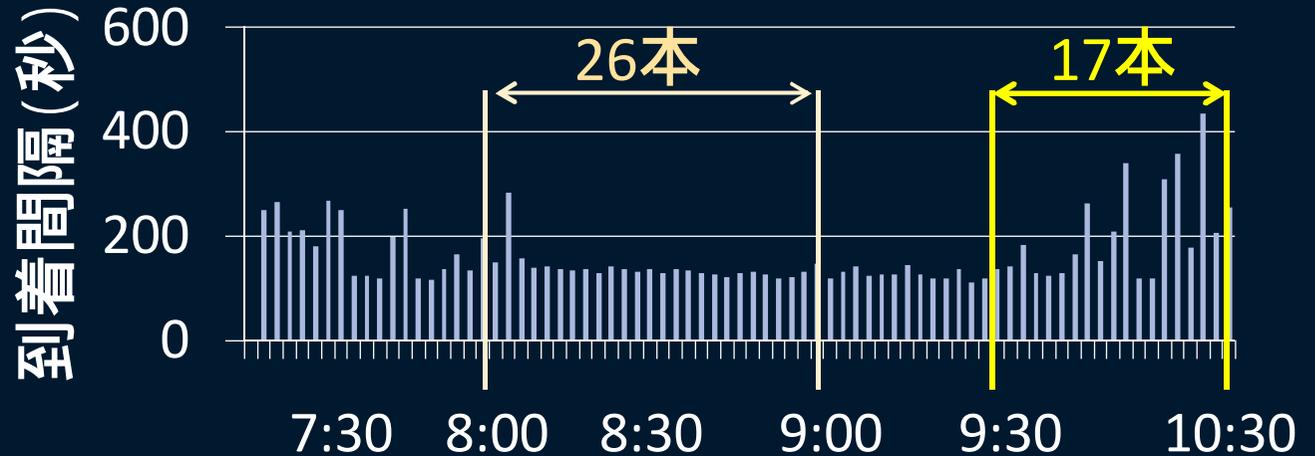
1. 区間制限速度の低下
2. 閉そく割りの違いによる余裕時間の活用

() **トラブル(外的要因)による遅延**

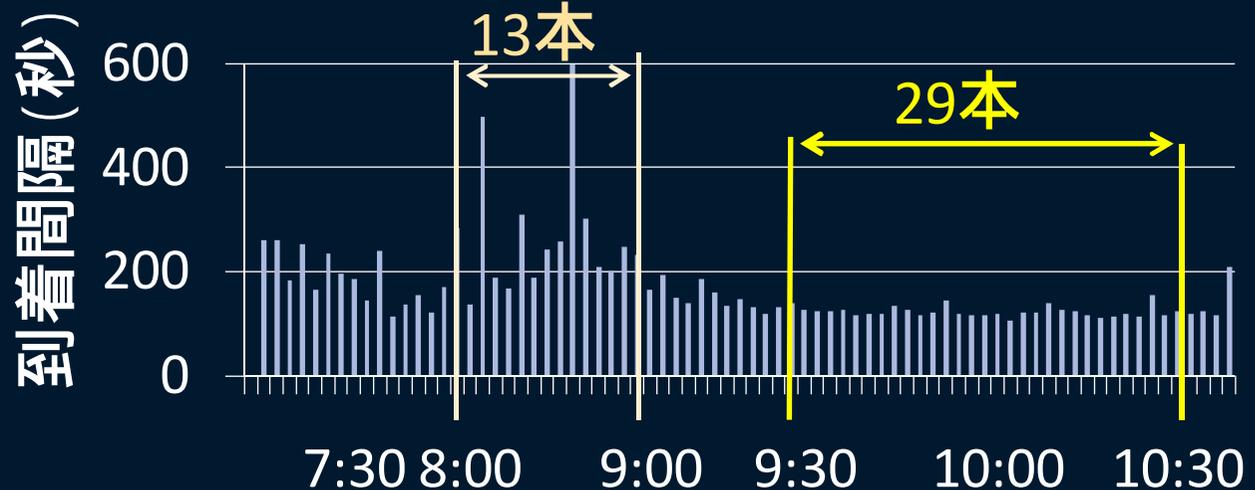
遅延による輸送量の不均衡

渋谷駅の実際の列車到着間隔

慢性的な遅延
(19日)



トラブルの遅延
(14日)



時間帯によっては
供給過多の可能性

実際の渋谷駅到着時刻
間引きによる遅延の早期回復

本日の報告

1 . 遅延の現状

2 . 遅延の発生・波及メカニズム

3 . 列車運行シミュレーションの構築

4 . 運行方法による遅延対策の検討

5 . 結論

結論

- ・ 旅客要因により発生・拡大した遅延が列車間隔の要因により連鎖して上流へ波及・拡大する。
- ・ 旅客要因による遅延の拡大を防ぐ方策の副作用が、駅間の列車間隔の詰まりとして顕在化している。
- ・ 先行列車との間隔を保持する運転は、結果的に列車の到着を早くする。
(慢性的な遅延・長時間の遅延)

結論

- ・ 旅客の混雑状況に応じて、あるいは
遅延の発生状況に応じて、
運転方法の工夫(列車間隔の保持)を実施



遅延時間の増加抑制、遅延の早期回復
を図る取組みの検討が必要

ご清聴ありがとうございました