

通勤ラッシュをソフトウェアで解消する
直下地震による鉄道通勤客の被害を予想する

中央大学工学部 田口 東

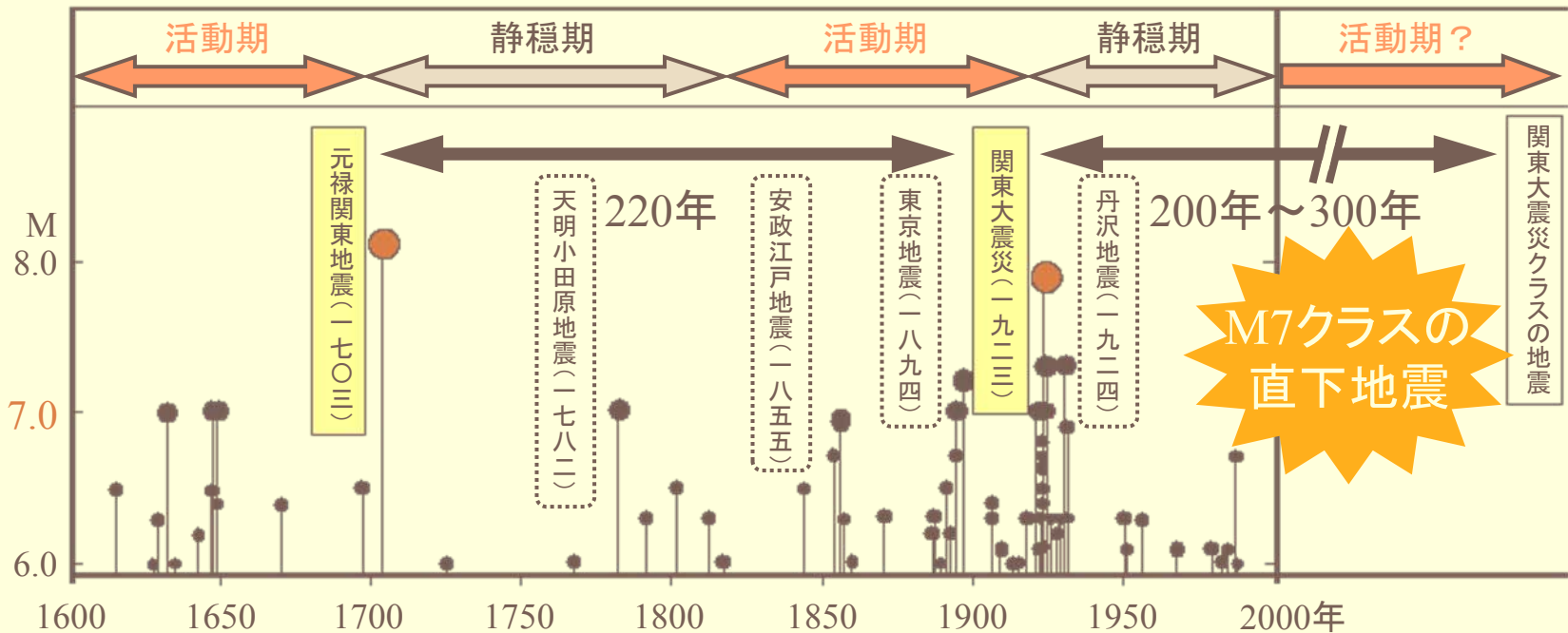


首都直下地震による鉄道通勤客の 被害を予想する

中央大学 田口 東

首都直下地震は間近？

出所：首都直下地震による東京の被害想定（最終報告），東京都



南関東で発生した地震（M6以上，1600年以降）

200年～300年間隔で発生する
関東大震災クラス（M8）の地震の間に
M7クラスの直下地震が数回発生

凡例

- : マグニチュード8クラス
- : マグニチュード7クラス
- : マグニチュード6クラス

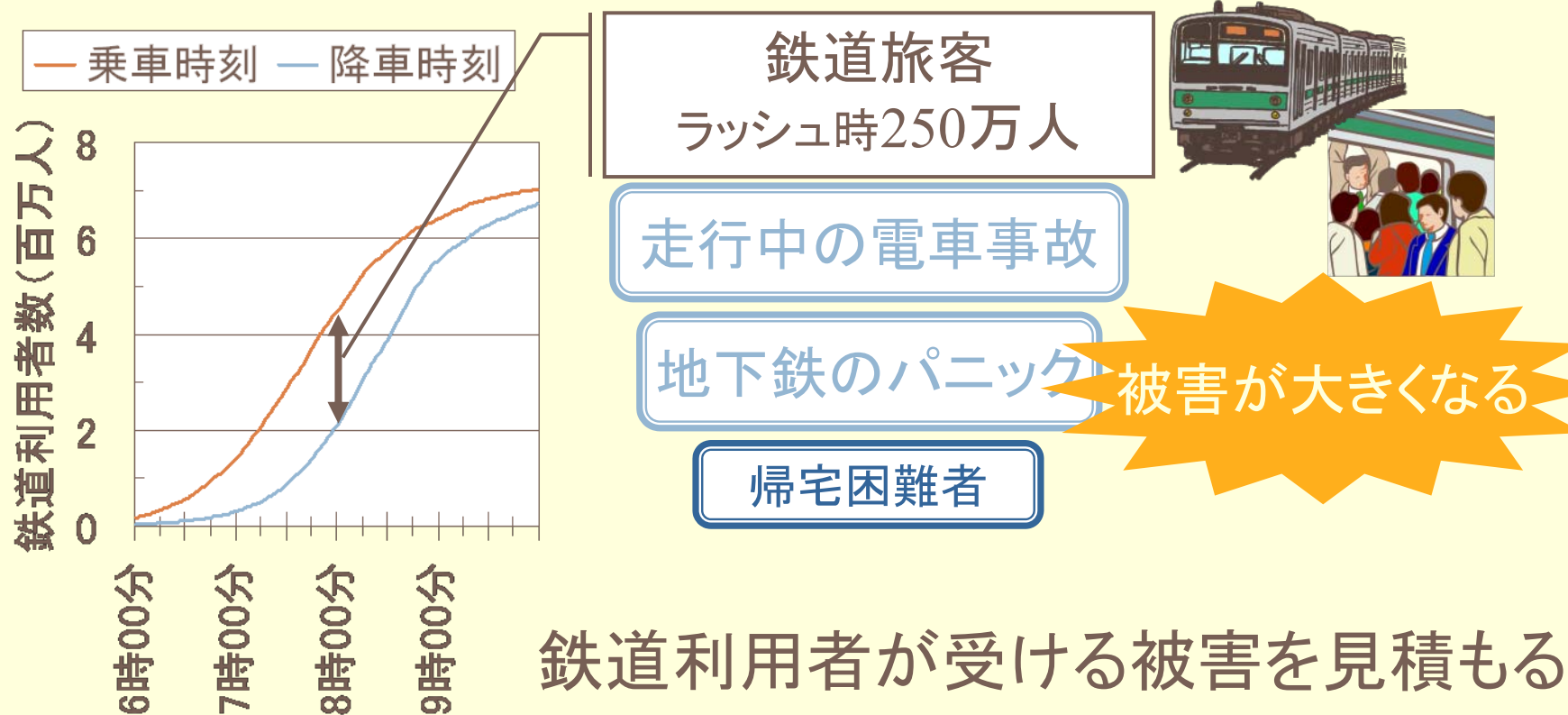


最近の日本の大きな地震

日時	名称	M	震度
2008/7/24	岩手中部地震	6.8	6強
2008/6/14	岩手・宮城内陸地震	7.2	6強
2007/7/16	新潟県中越沖地震	6.8	6強
2007/3/25	能登半島地震	6.9	6強
2004/10/23	新潟県中越地震	6.8	7
2003/9/26/	十勝沖地震	8.0	6弱

多数の通勤客

首都圏の鉄道定期券利用者 → 毎朝約800万人



時空間ネットワーク

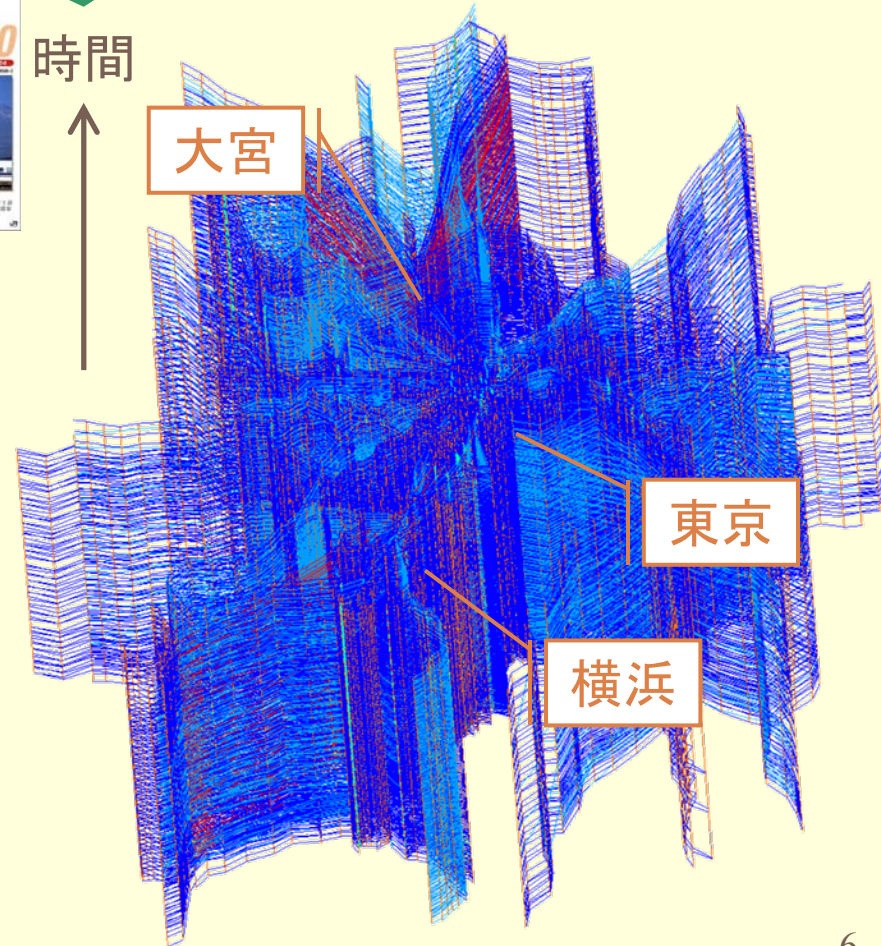
時間軸方向に拡張

時空間ネットワーク

ノード 746,871
リンク 3,053,930



時間



山手線

大宮

千葉

八王子

東京

横浜

首都圏: 128路線 1,815駅

時空間分布

平成12年大都市交通センサス
約23万件(およそ750万人分)
通勤経路の同定



乗車時刻

乗換駅

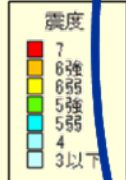
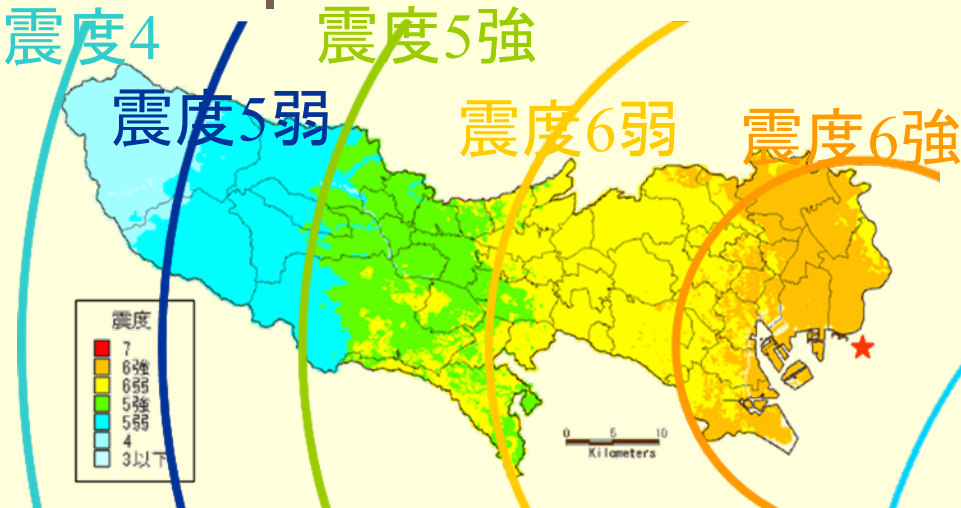
利用経路

電車種別

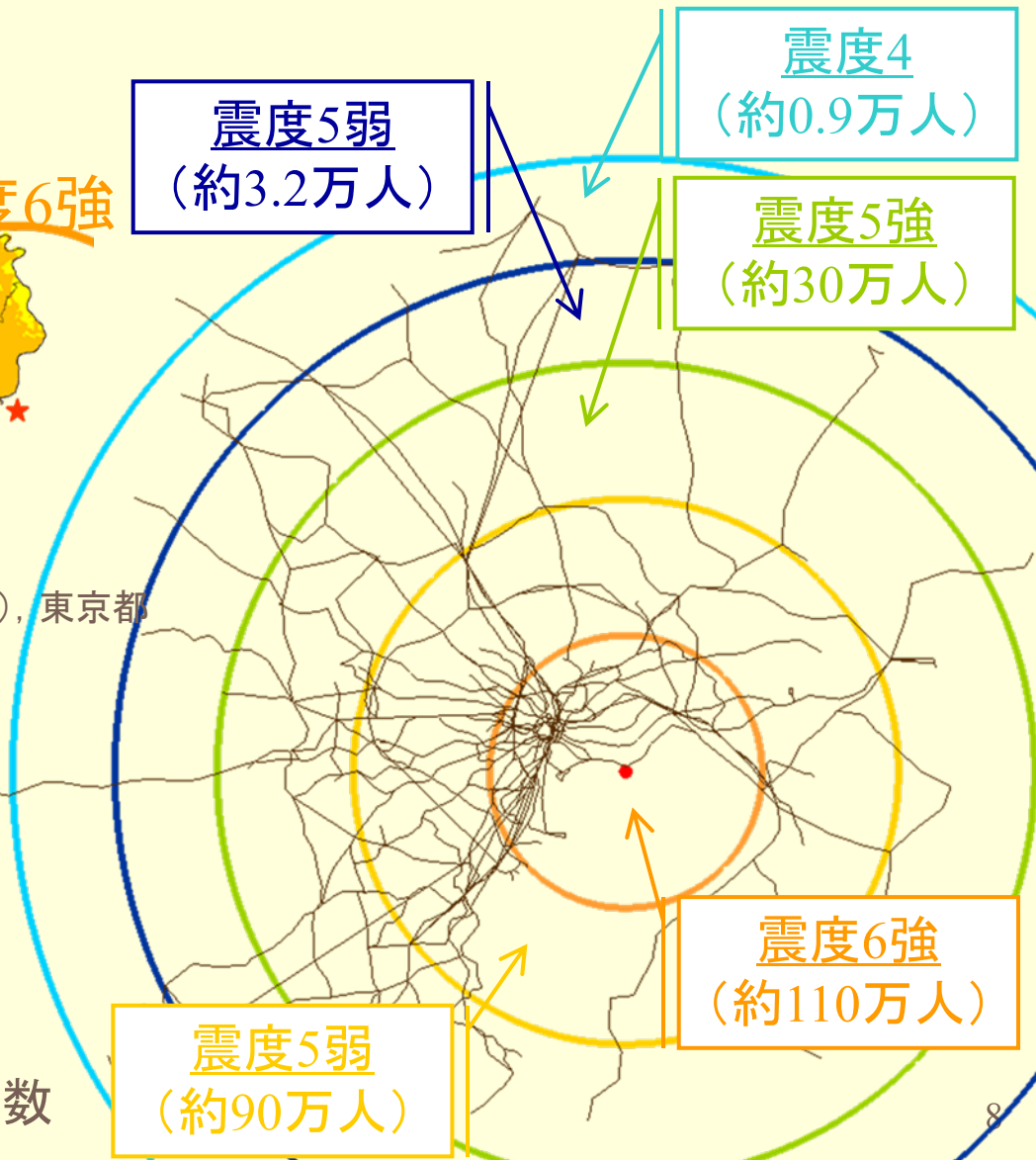
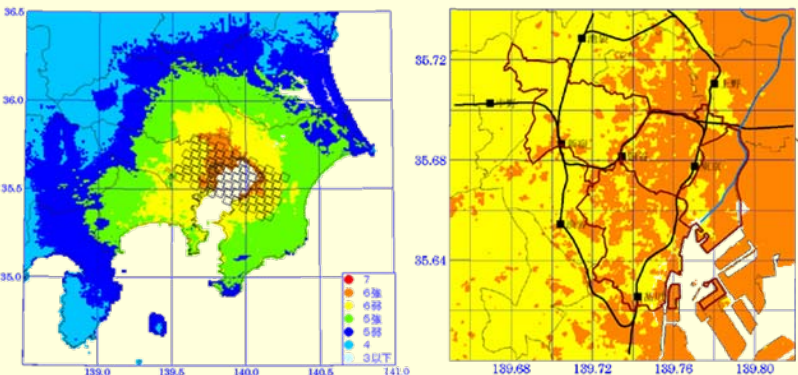
- 普通
- 優等(急行・特急等)
- 有料特急
- 新幹線



東京湾北部地震 M7.3 震度分布

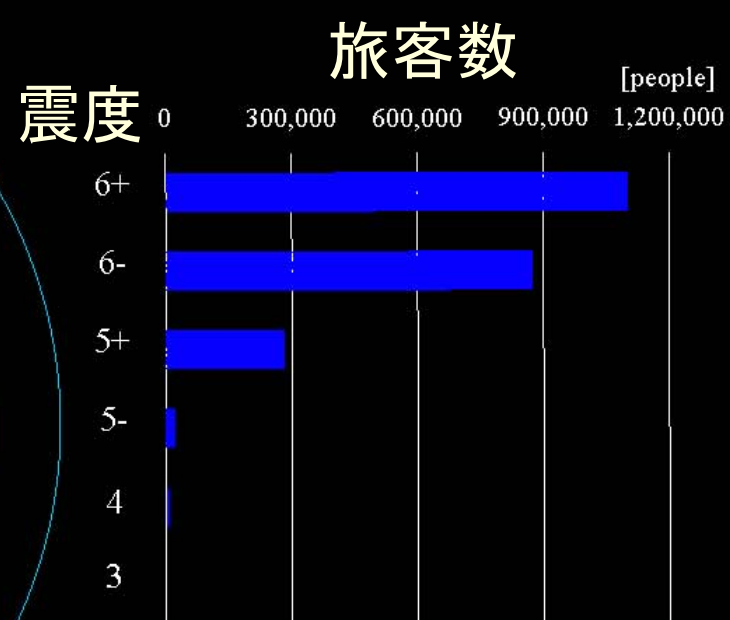
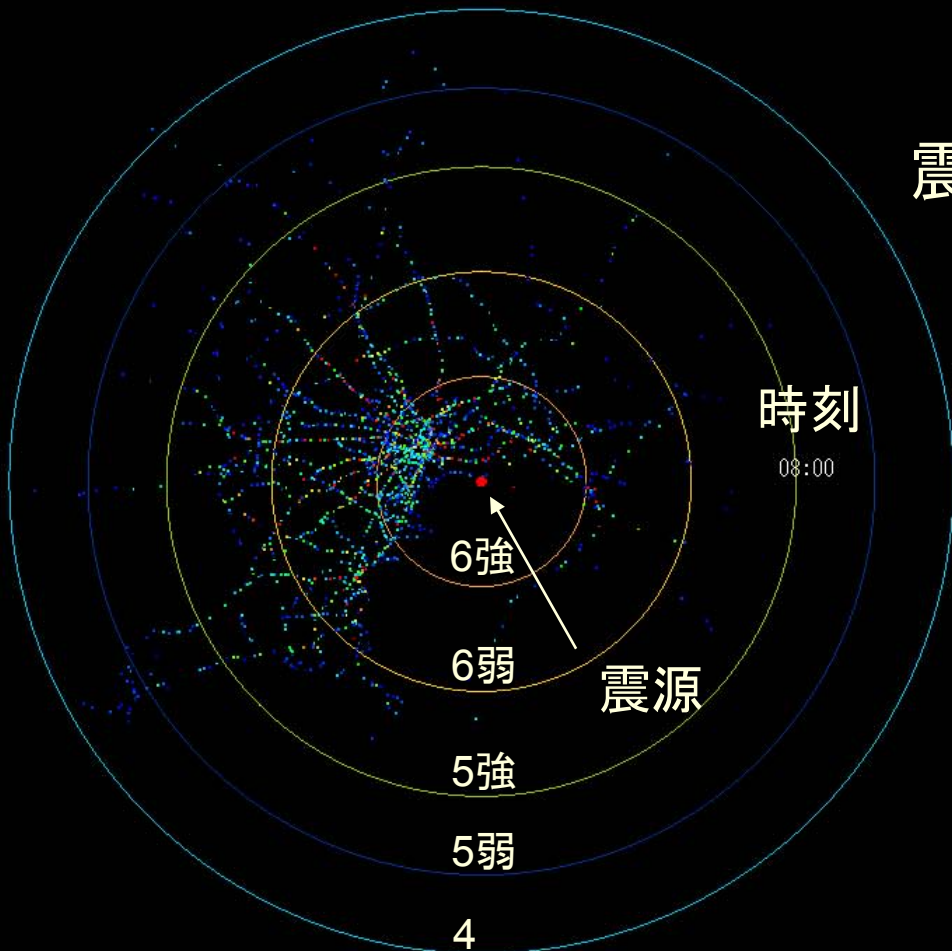


出所: 首都直下地震による東京の被害想定(最終報告), 東京都



人数はラッシュピーク時の旅客数

震度分布と旅客分布の重ね合わせ

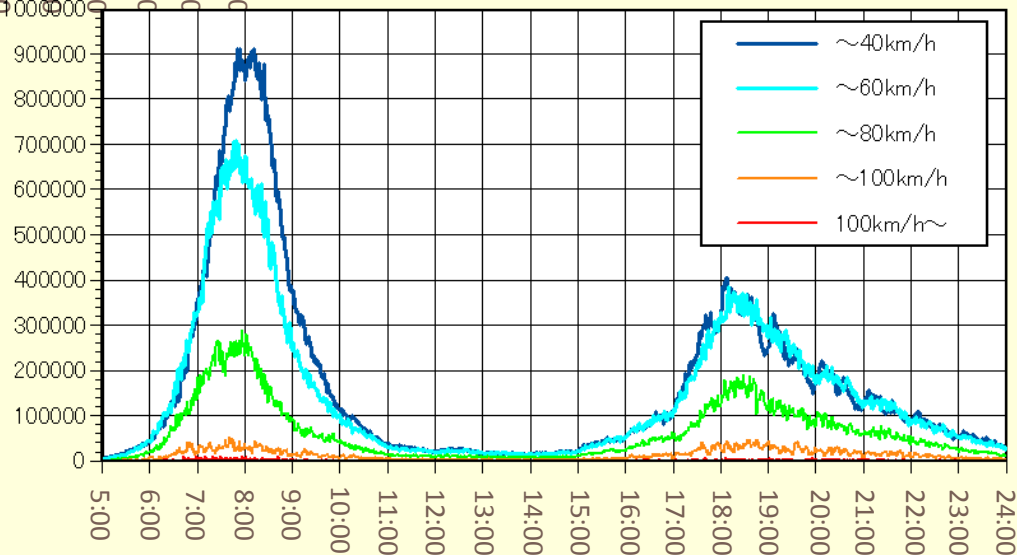


東京湾北部地震 M7.3

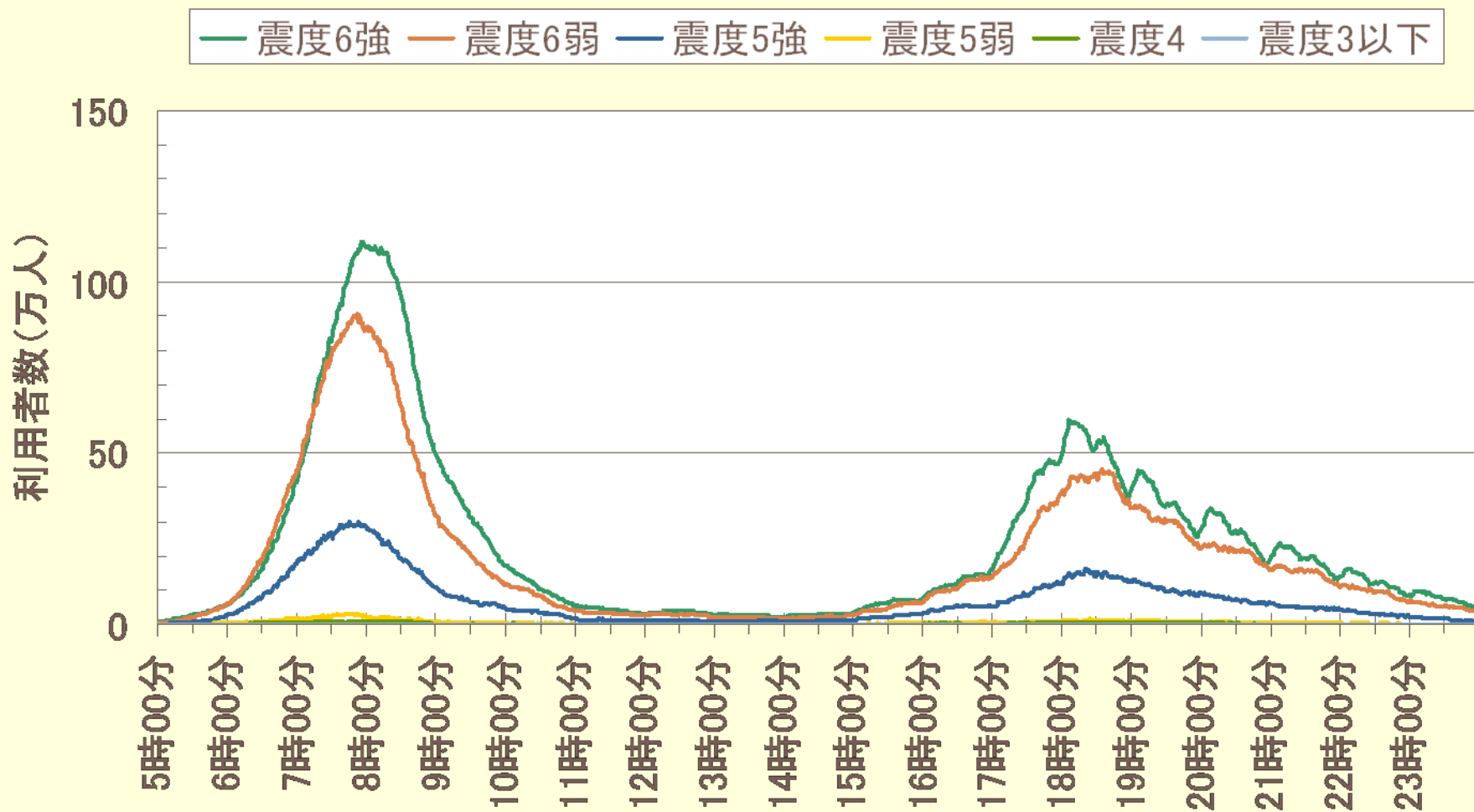
鉄道旅客集計 利用状況別 走行速度別



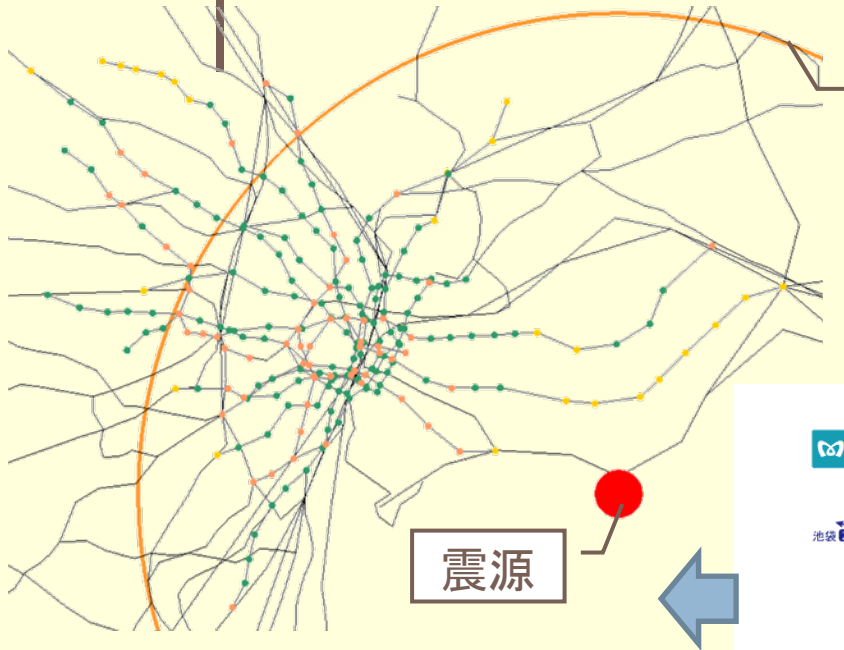
約半分が走行中の電車に乗っている



震度ごとの旅客数 東京湾北部地震



深度別地下鉄駅，路線

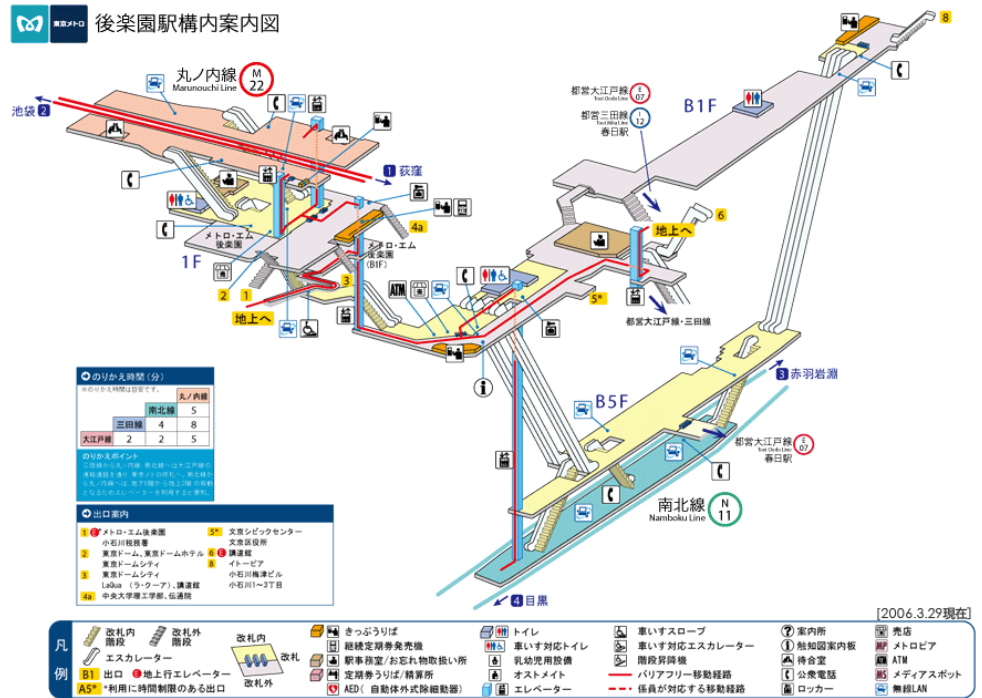


震度6強

震源

桃: 深い
緑: 浅い
黄: 地上

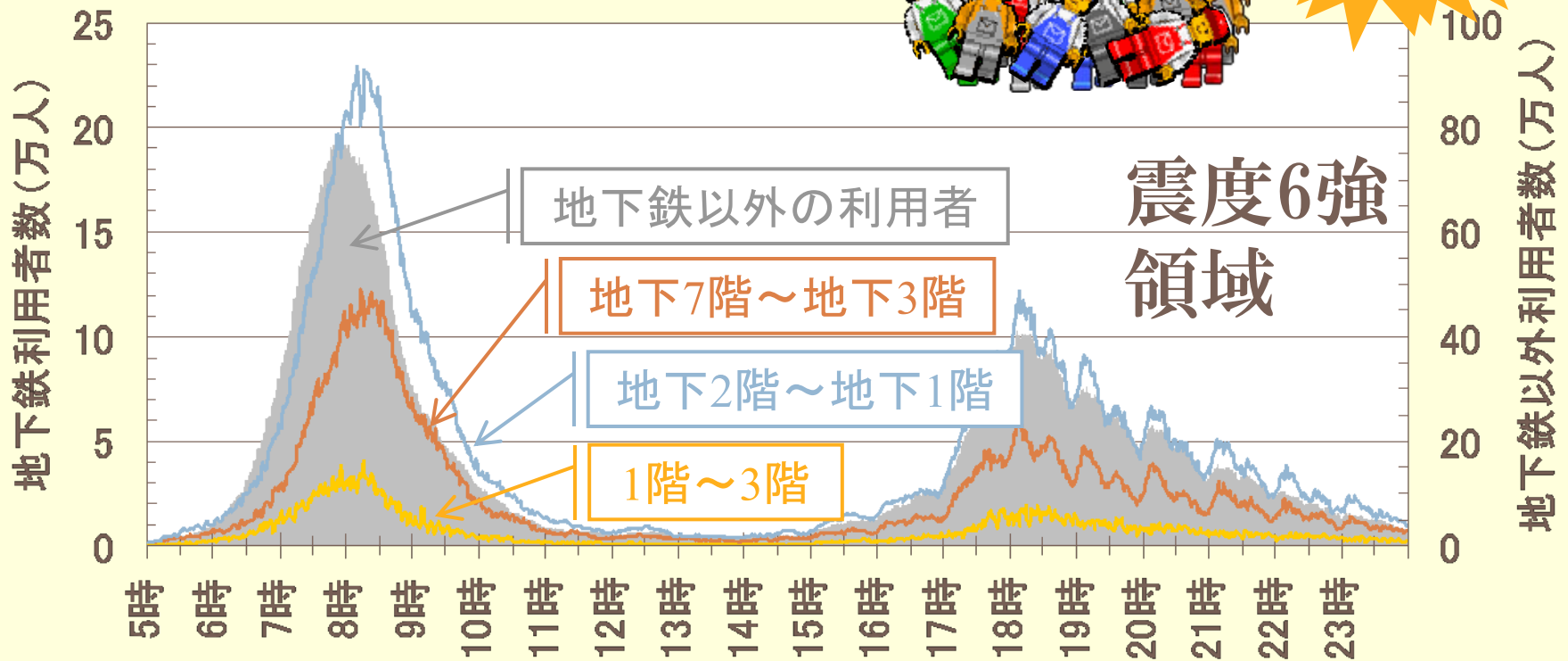
旅客のほとんどは 震度6強領域



地下鉄利用者



パニック



パニック防止のため、利用者を誘導する準備が必要

死傷者数推計 (1)

脱線率・死傷率

脱線率

※ 地下鉄について

銀座線・丸ノ内線・日比谷線・東西線・千代田線
→ 地表と同じ震度
その他の地下鉄
→ 地表より1ランク下の震度

※ 死傷率B

在来線・私鉄: JR福知山線脱線事故
(地下鉄は在来線・私鉄の半分)
新幹線: ドイツICE脱線事故
を参考に設定

震度7	92.90%
震度6強	23.10%
震度6弱	0.00%

死傷率

	死傷率A			死傷率B		
	死者率	負傷者率 (重傷者含)	重傷者率	死者率	負傷者率 (重傷者含)	重傷者率
在来線・私鉄	0.47%	11.50%	1.90%	16.31%	83.69%	13.83%
地下鉄	0.23%	5.80%	0.94%	8.16%	41.85%	6.92%
新幹線	17.00%	39.00%	14.00%	33.33%	66.67%	23.93%

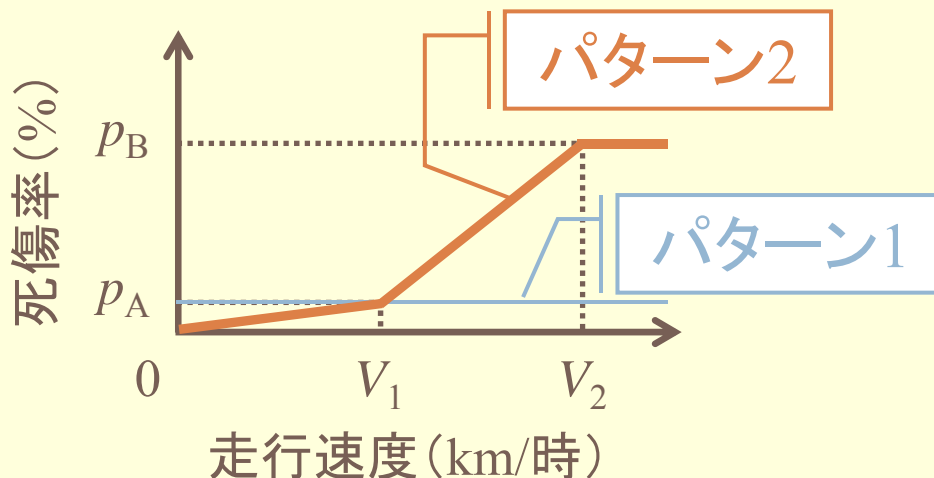
死傷者数推計 (2) 推計パターン



2つのパターンを設定

パターン1 走行速度にかかわらず死傷率一定

パターン2 走行速度により死傷率が変化



p_A : 死傷率A

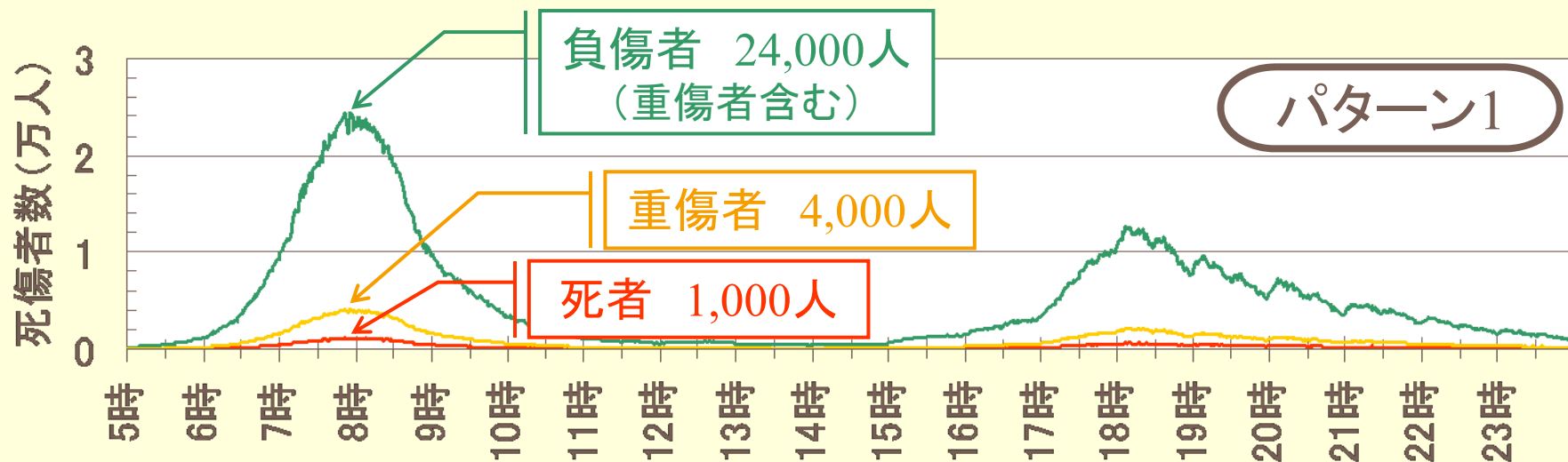
p_B : 死傷率B

$V_1 = 55$ [km/時]

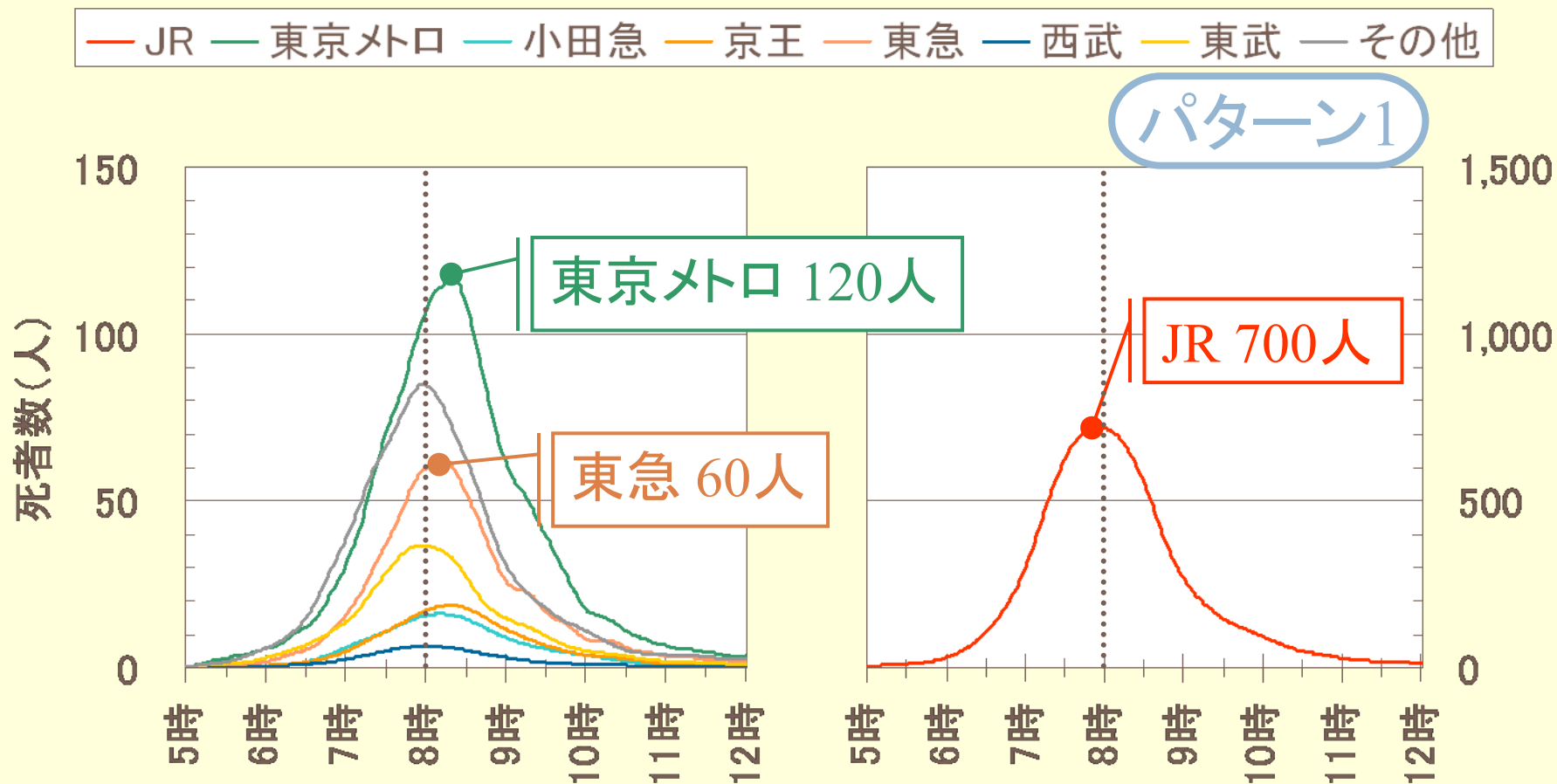
$V_2 = 110$ [km/時]

※ JR福知山線脱線事故を参考に設定

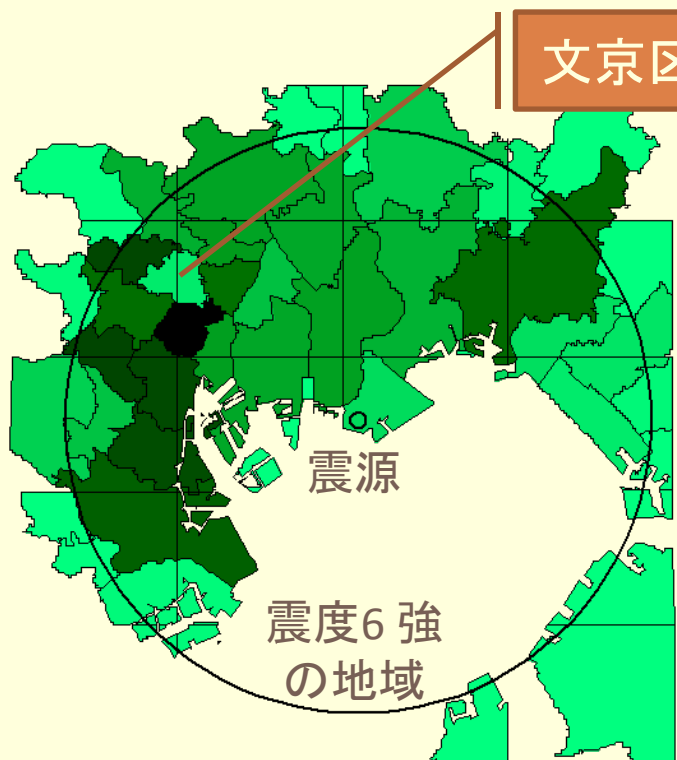
死傷者数推計 東京湾北部地震



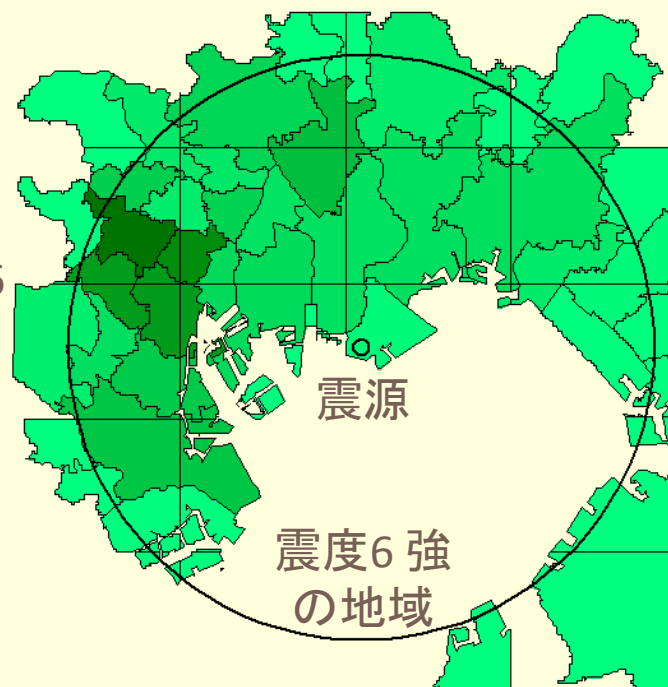
事業者別死者数推計 東京湾北部地震



行政区別負傷者数 東京湾北部地震



(a) 8時00分



(b) 9時00分

まとめ

首都直下地震により鉄道旅客が受ける被害を
詳細に推計するためのデータを提供した



首都直下地震により鉄道旅客が受ける被害の
見積もりを行なった

- パニックの発生しやすい地下鉄の利用者
- 脱線による死傷者



今後の課題

震度分布の仮定
電車の走行速度
死傷率の設定

- － 走行速度
- － 混雑率

- － 風速
- － カーブなどの地理的要因 など



属性別の被害想定

- － 年代別
- － 性別



通勤ラッシュをソフトウェアで解消する

中央大学工学部 田口 東

経緯

- 2002- 東京首都圏通勤交通モデルの作成
- 2004-2005 電車の遅れと改善に関する研究, 成果公表
- 2005.6 通勤電車の遅延計算モデル 日本オペレーションズ・リサーチ誌

- 2007.3 田園都市線, 東西線で, 朝のラッシュ時に優等電車を降格する
急行電車の混雑緩和
混雑が原因となる遅れの解消

- 2007.3 中央大学webの上位ページに掲載
- 2007.3-5 アエラ, 産経新聞, 東京新聞
- 2007.5.16 ニッポン放送「森永卓郎と垣花正の朝はニッポン一番乗り」
- 2007.7.17 テレビ東京「ワールドビジネスサテライト」
- 2007.8.11 NHK教育「サイエンスZERO」

パナソニックがおすすめする Windows Vista® Business

個人向けPC TOP > PC Cafe(活用情報) > レッツノートは軽量 | レッツノートは長時間 | レッツノートは頑丈



レッツノートは

日常のトラブルにも動じない。
ハードなモバイル使用に負けない

共通特長③
頑 丈
タ フ

頑丈設計と言うけれど
レッツノートはどこがすごいの？
頑丈設計と言うけれどレッツノートはどこがすごいの？

A レッツノートの頑丈設計は、満員電車での振動・圧迫に負けず、落下の衝撃にも強く、キーボードにうっかり水をこぼしてもあわてない。実用的なシーンを考え抜いたこだわりの頑丈設計をさらに強化。
一般的な机と同じ高さの「76cm落下試験」*1や26方向からの「30cm落下試験」*2を実施。また、従来からの満員電車を想定した圧迫・振動に耐える「耐100kg級ボディ」*2を継続して実現しています。さらに、ノートパソコンの破損原因の上位にある「液体こぼし」に対応すべく、「キーボード全面防滴」*3を実現し、口常に濡れ様々なトラブルや、ハードウェアの劣化から大切な

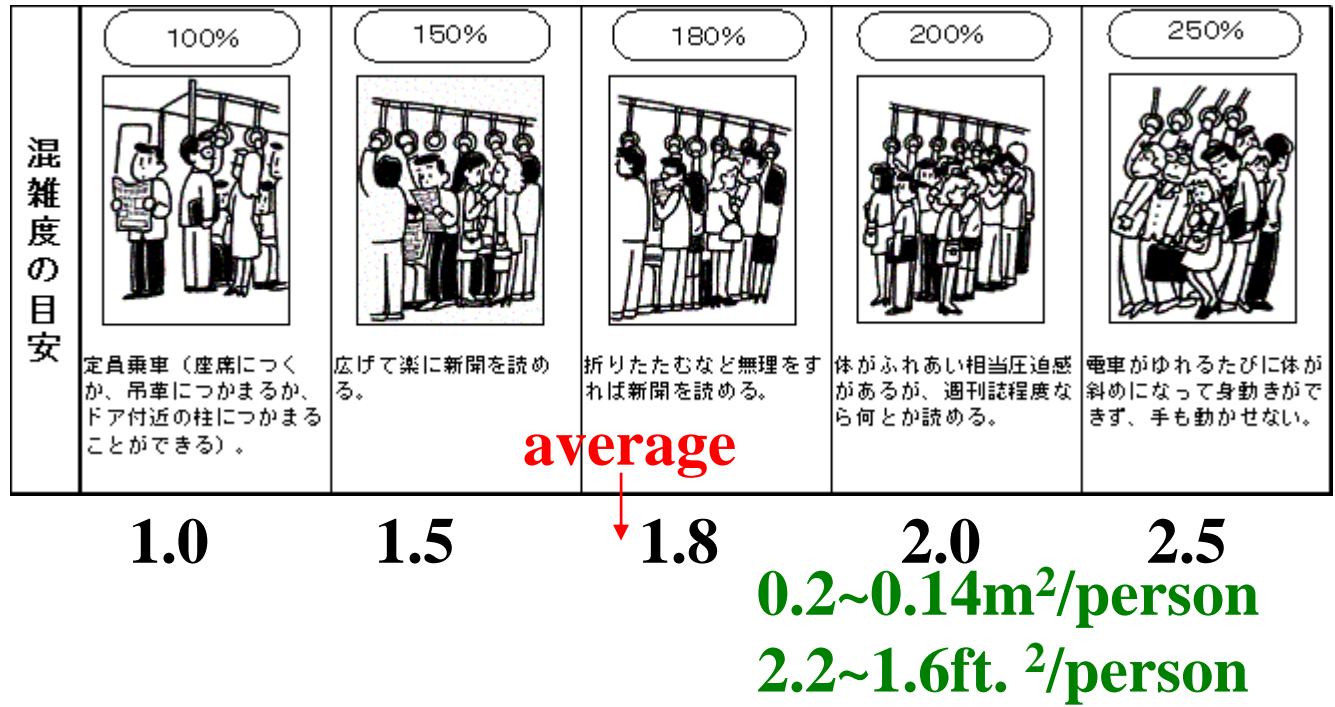
満員電車を想定した圧迫・振動に耐える 「耐100kg級ボディ」を実現しています。

★本製品の耐衝撃・耐圧迫・防滴性能は、無破損・無故障を保証するものではありません。予めご了承ください。

Let'snoteの頑丈さがわかる、7種類の実証試験を公開！



Illustrative explanation of congestion rate



congestion rate =
 number of passengers on a car / its capacity
 capacity ≈ number of seats × 2

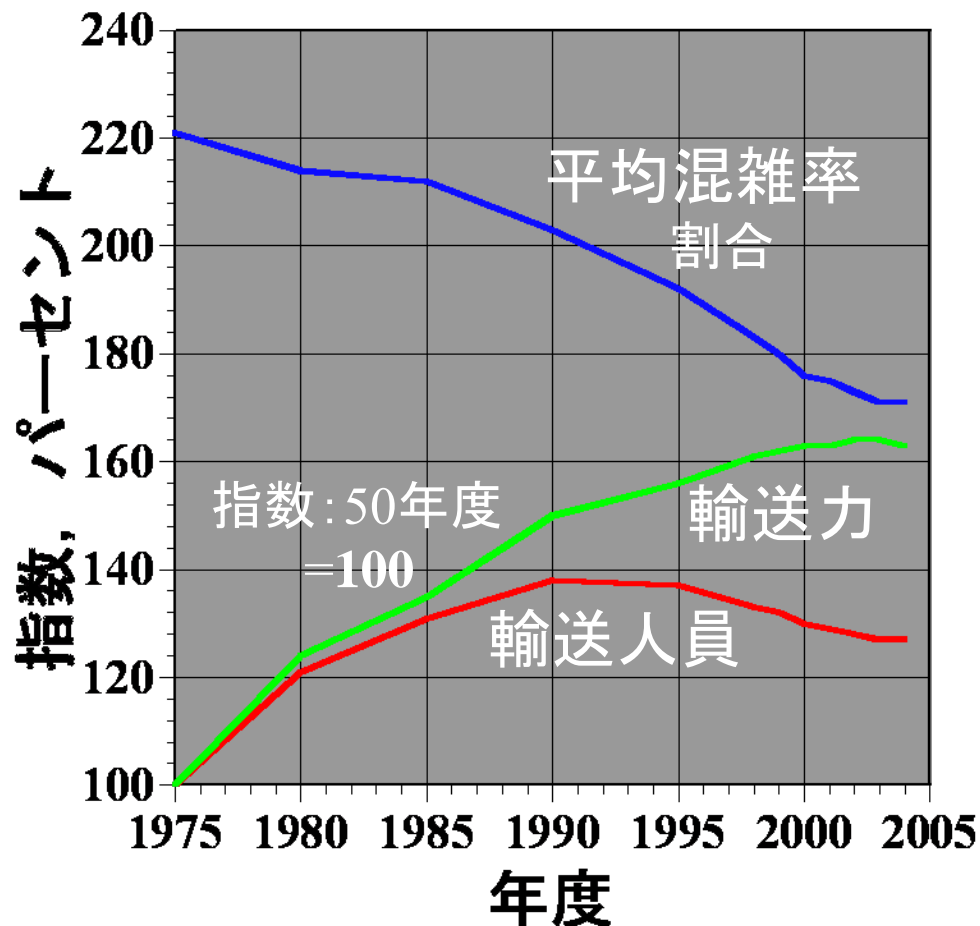
東京の電車最混雑区間

- ワースト10 - (in 2001)

会社	路線	区間	乗車率
JR	京浜東北線	上野 → 御徒町	2.30
JR	中央線	中野 → 新宿	2.18
JR	総武線(普通)	錦糸町 → 両国	2.12
JR	常磐線(普通)	亀有 → 綾瀬	2.07
JR	東海道線	川崎 → 品川	2.07
JR	常磐線(快速)	松戸 → 北千住	2.03
JR	横須賀線	新川崎 → 品川	1.91
メトロ	東西線	木場 → 門前仲町	1.98
東急	田園都市線	池尻大橋 → 渋谷	1.95
メトロ	千代田線	町田 → 日暮里	1.91
			(主要 31 路線の平均) 1.75

ピーク時1時間あたりの平均値

(参考) 東京首都圏最混雑区間における 平均混雑率・輸送力・輸送人員の推移



対象とする首都圏電車ネットワーク

Network size

1,815 stations

128 lines

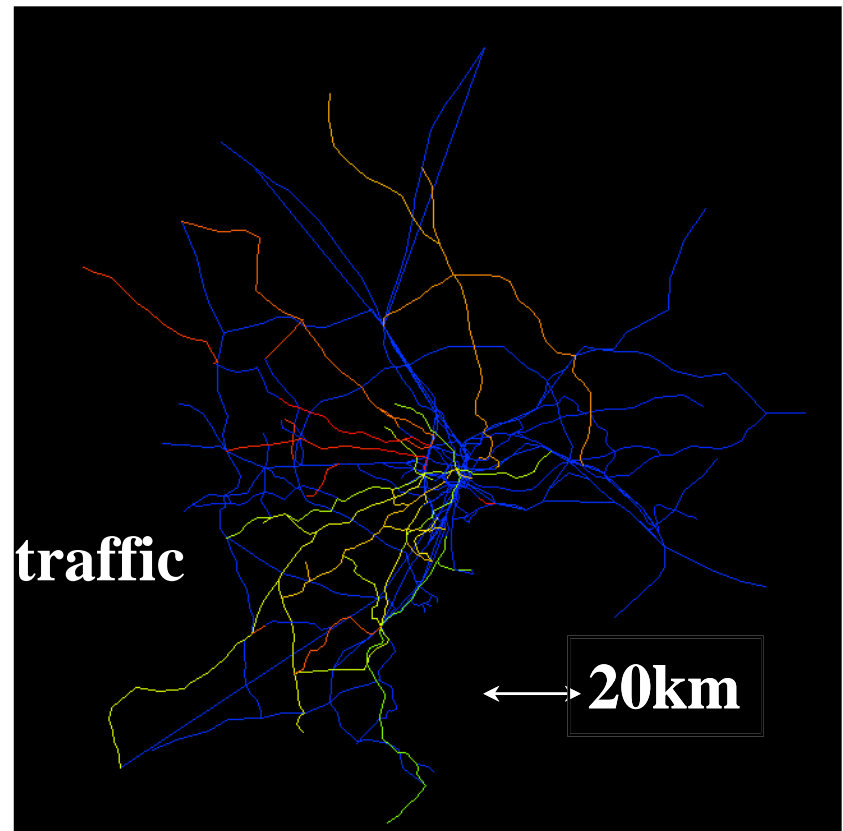
7,586 trains

(5:30a.m. - 10 a.m.)

Census data of commuters' traffic

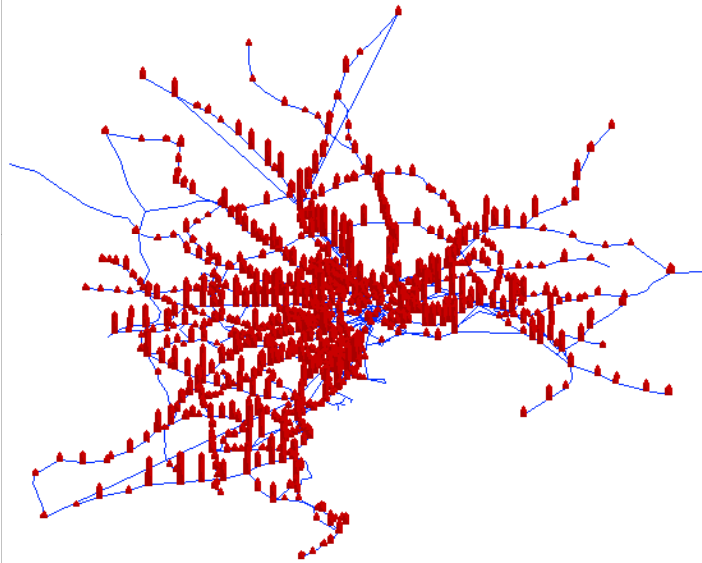
284,472 sampled commuters

(out of 6,850,044)

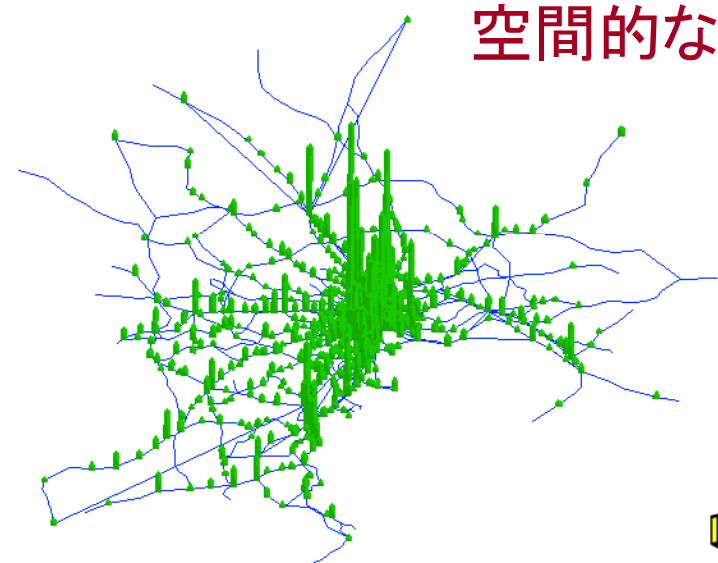


東京首都圏通勤交通の出発駅と目的駅

?? commuters within the radius of 60km (38mi.) of the central district of Tokyo get on trains going to their offices.

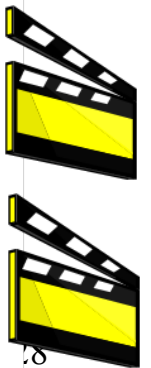


Number of commuters starting their “home” stations
(suburban area)

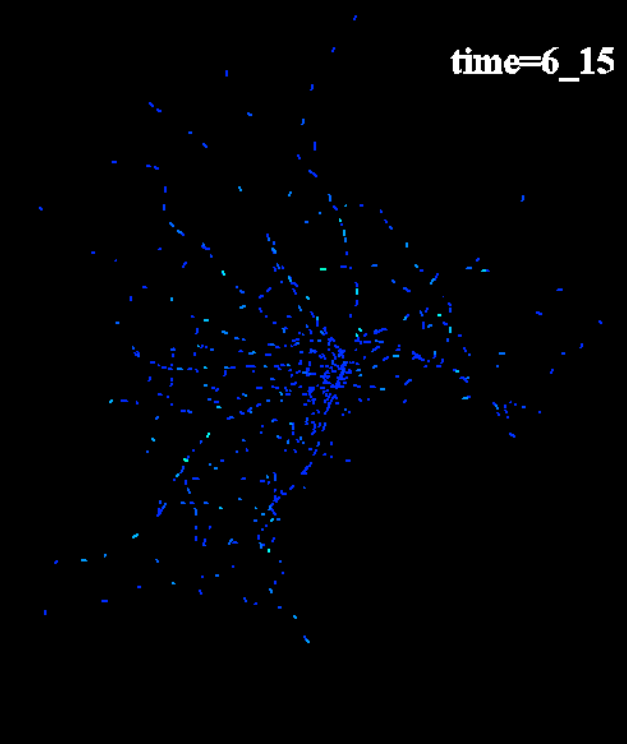


Number of commuters arriving their “office” stations
(center of Tokyo)

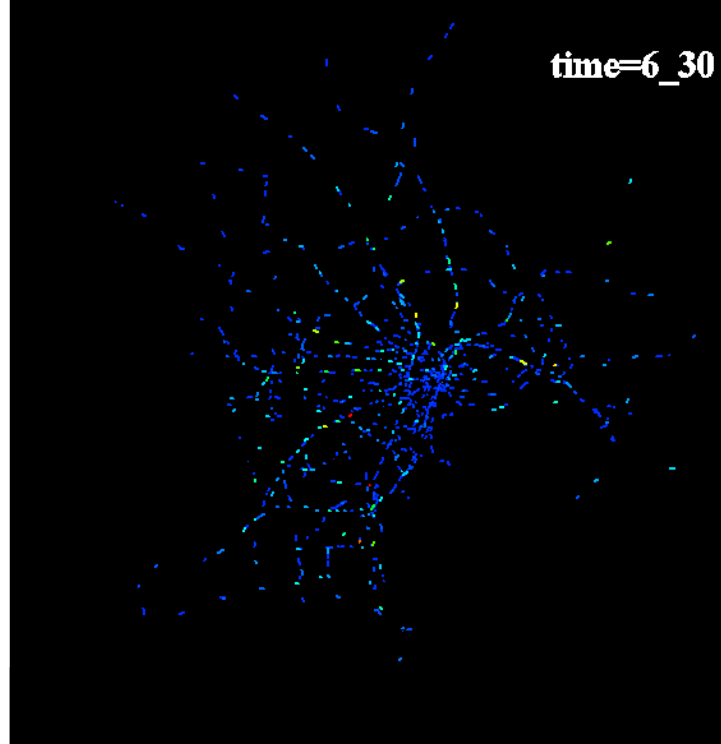
空間的な偏在



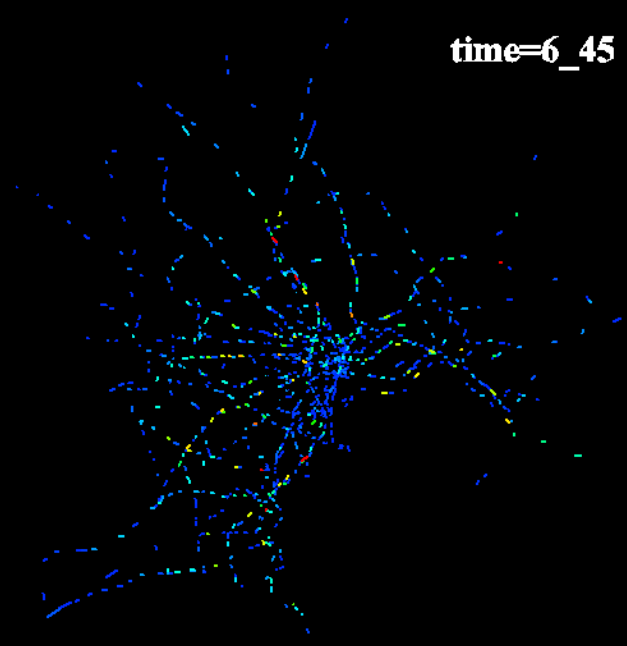
time=6_15



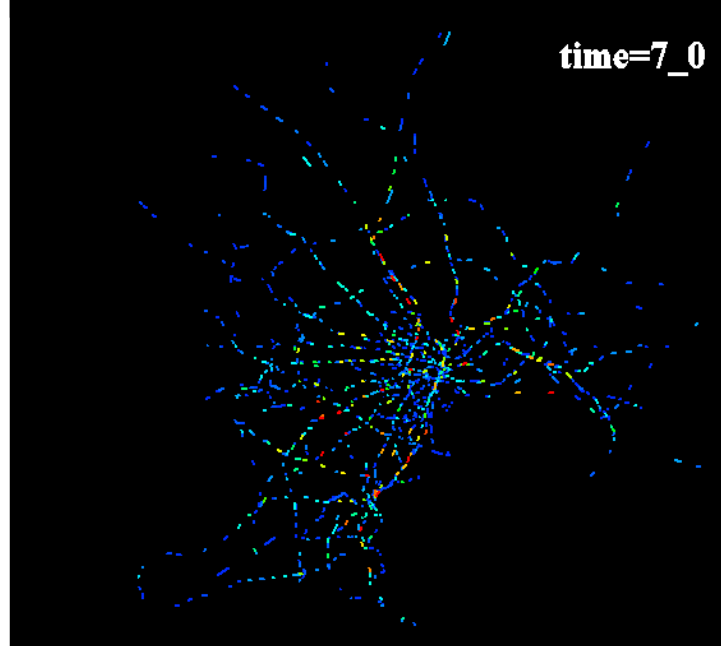
time=6_30



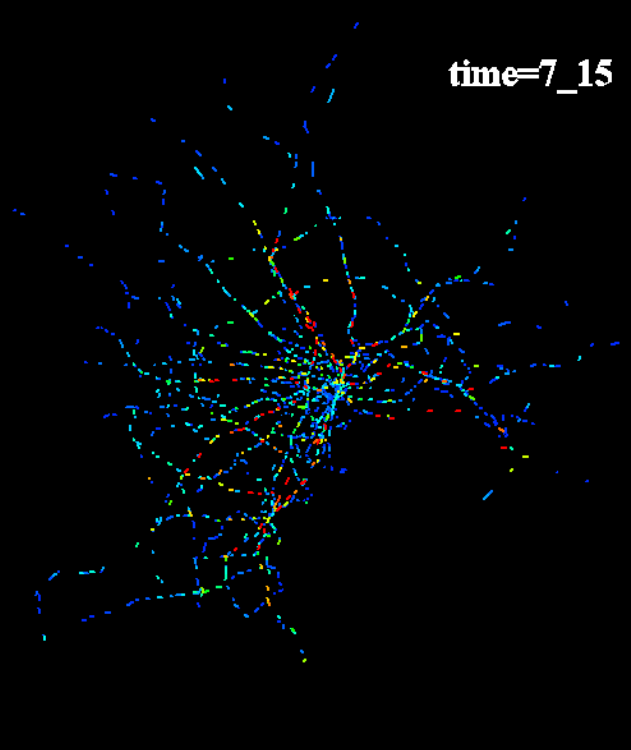
time=6_45



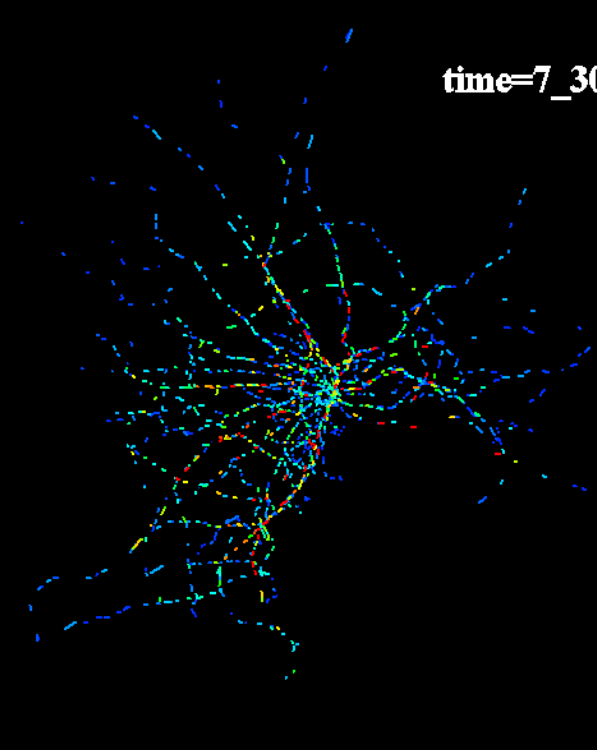
time=7_0



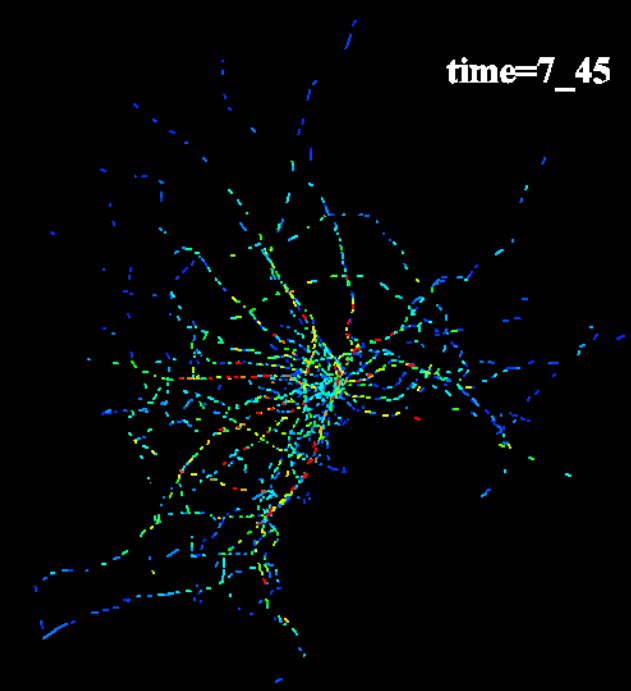
time=7_15



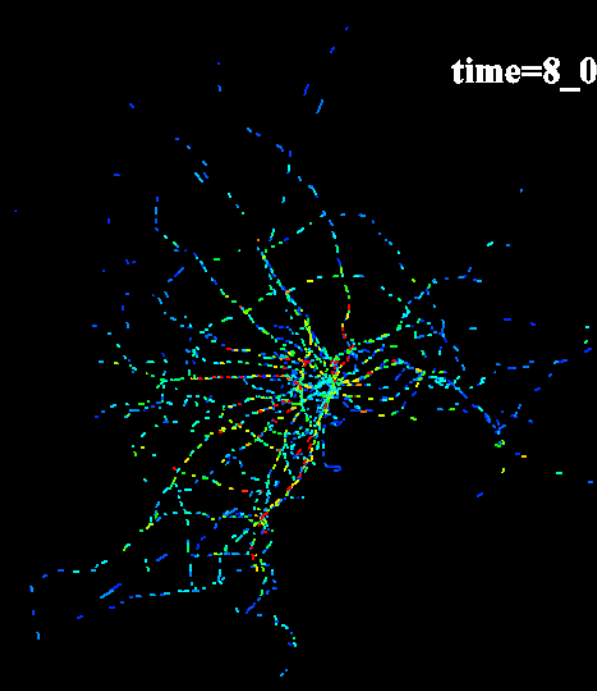
time=7_30



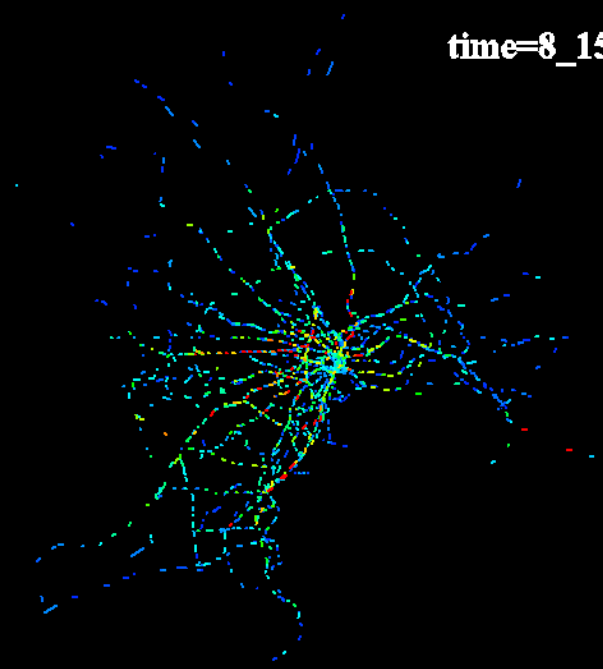
time=7_45



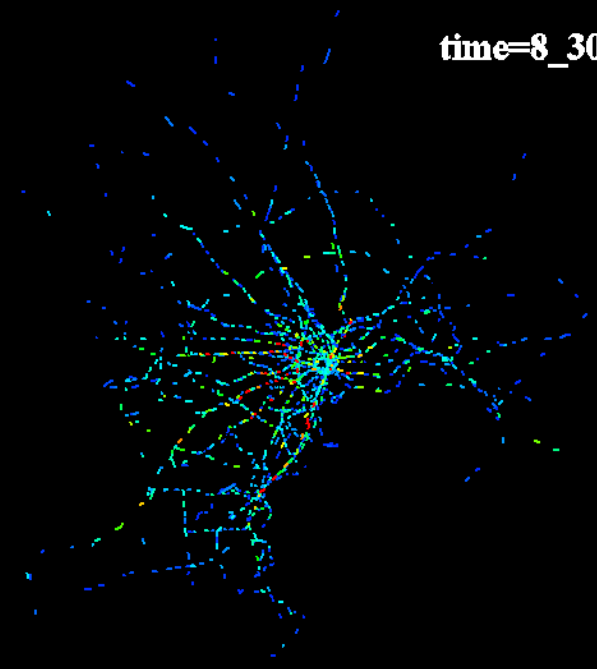
time=8_0



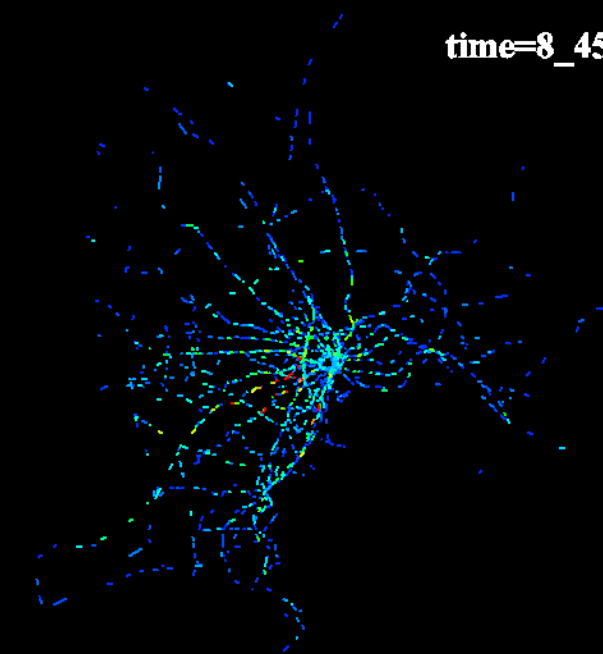
time=8_15



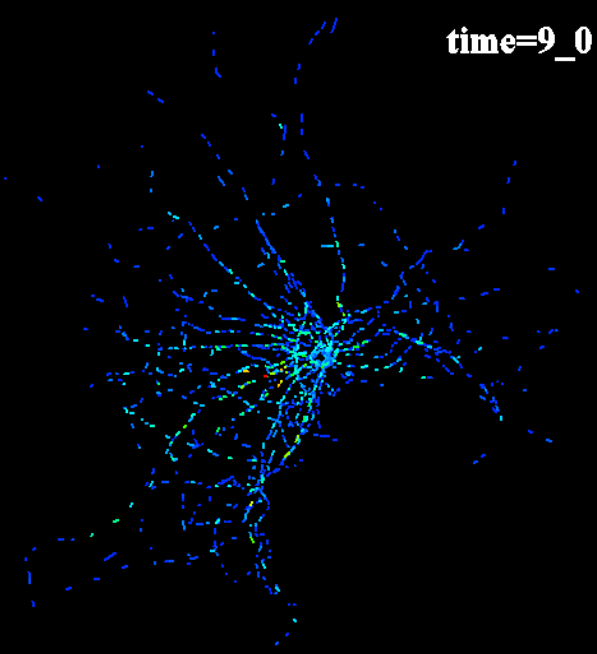
time=8_30



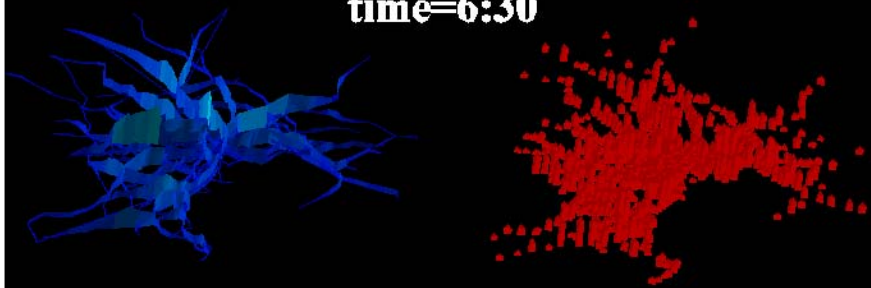
time=8_45



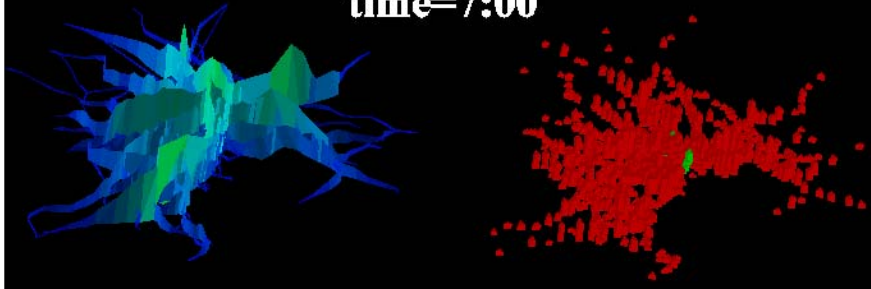
time=9_0



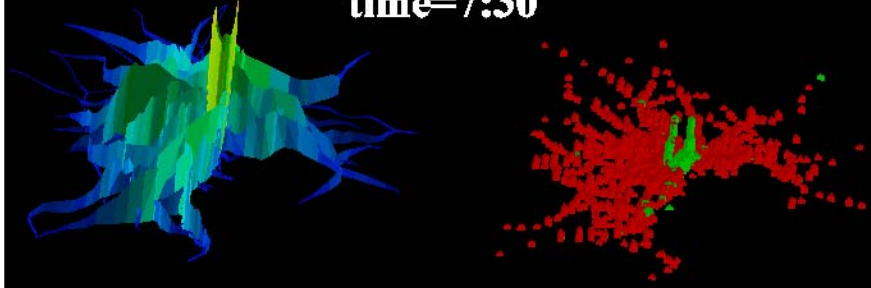
time=6:30



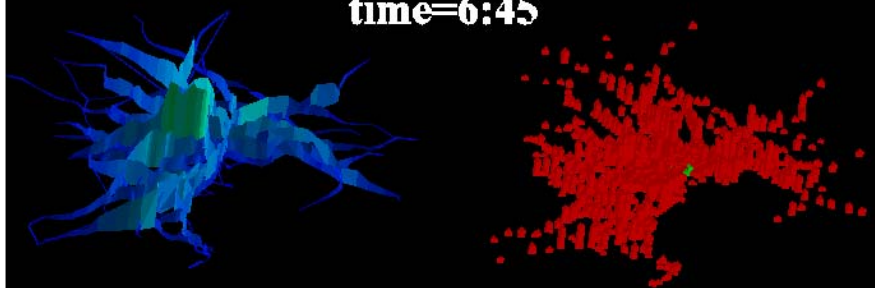
time=7:00



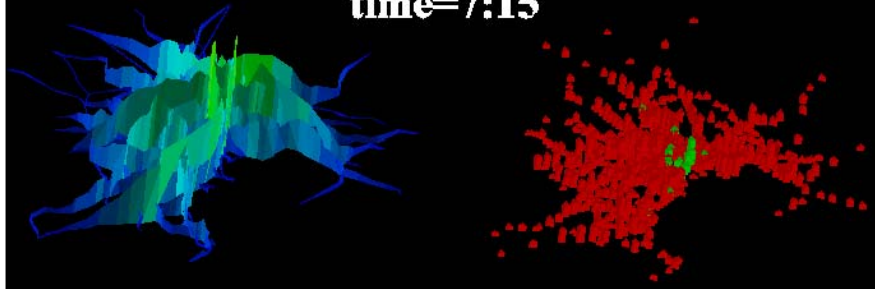
time=7:30



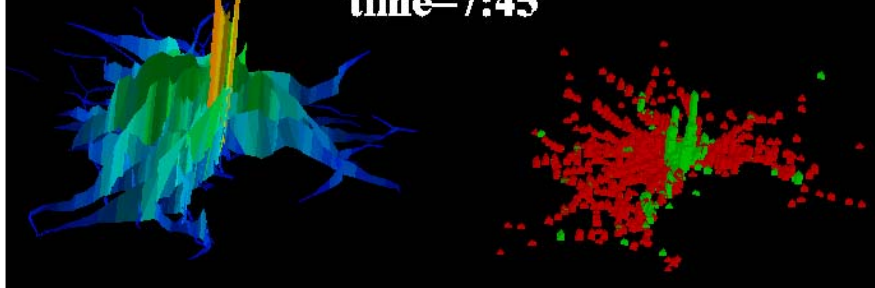
time=6:45

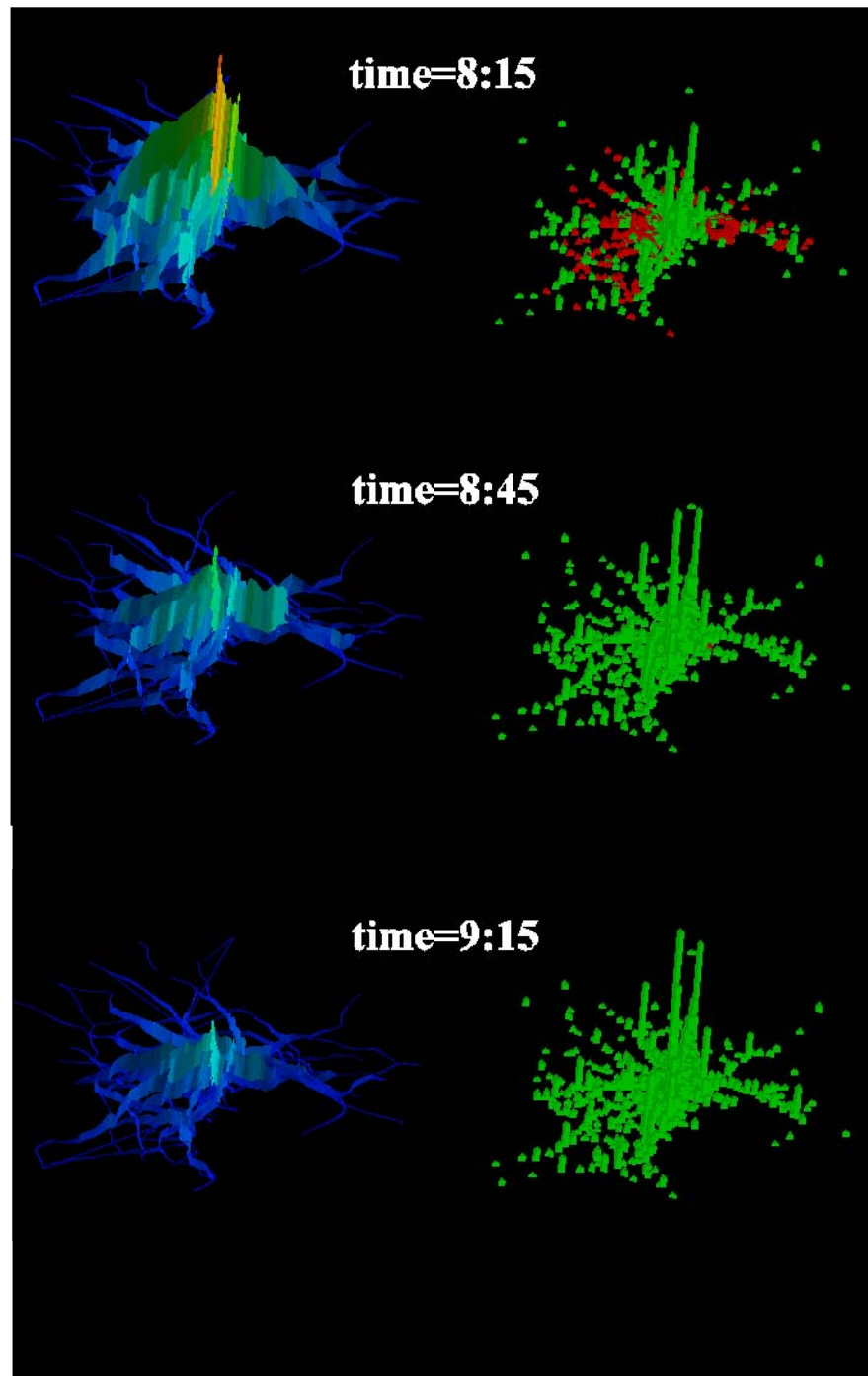
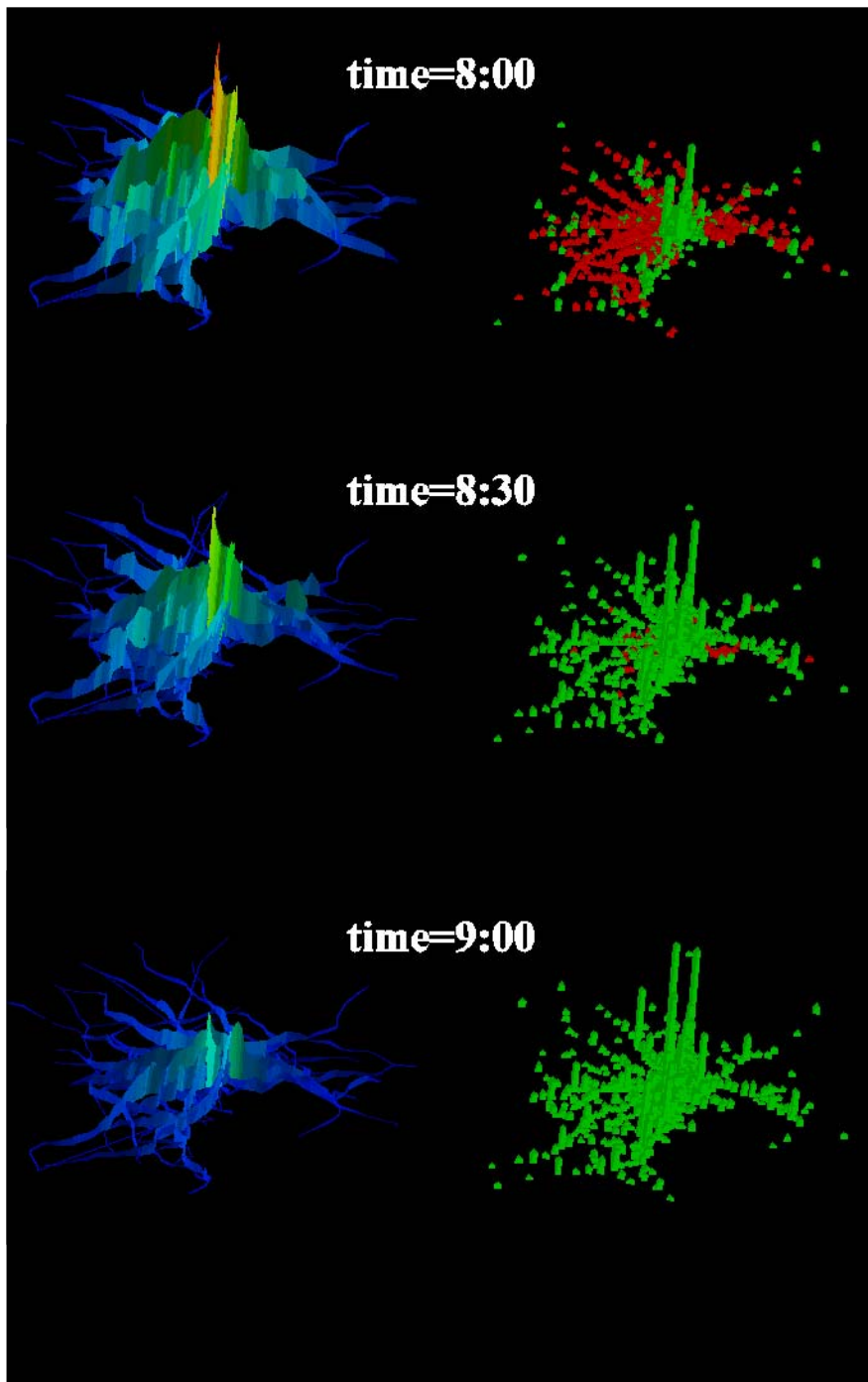


time=7:15



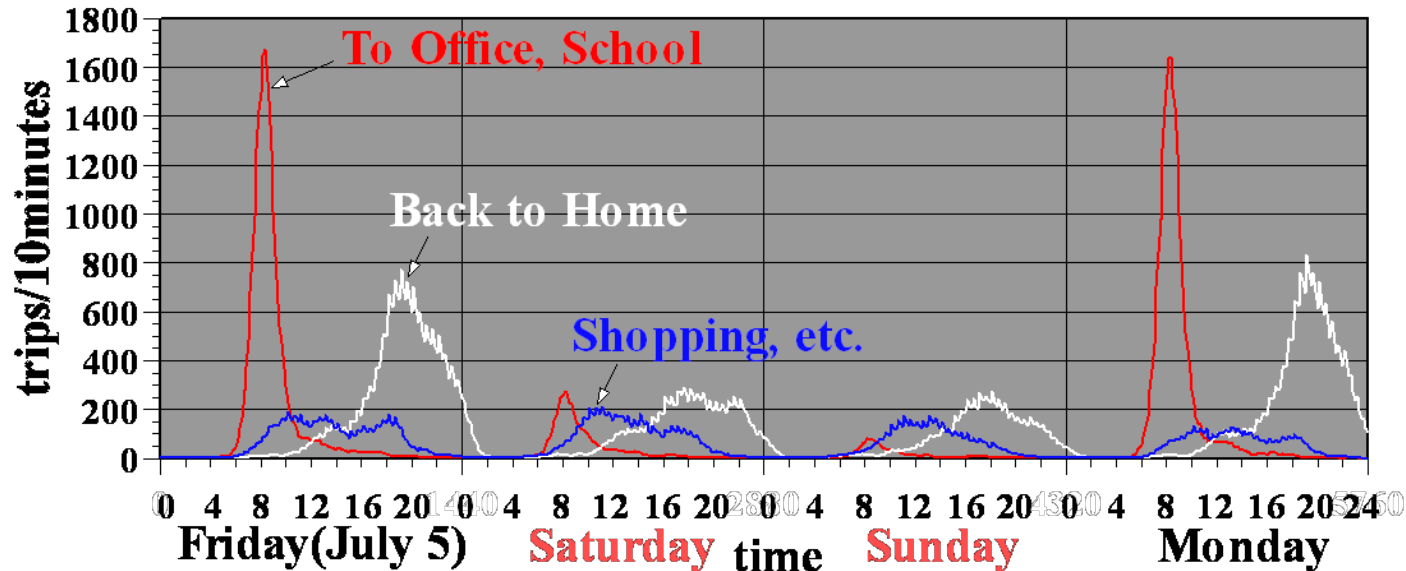
time=7:45





電車交通量の時間変動

時間的な偏在



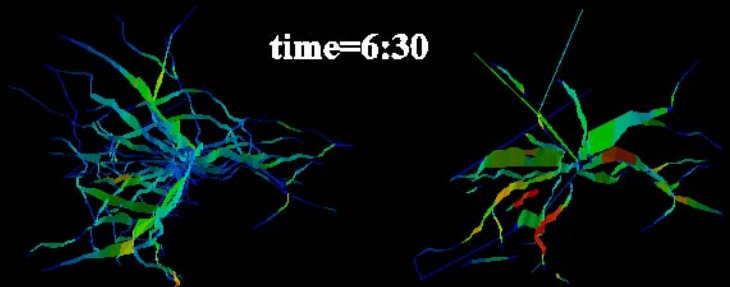
Number of passengers riding on trains in each 10 minutes.

Sharp and heavy traffic of eight million (8,000,000) commuters appears in the morning rush 7:00-9:00.

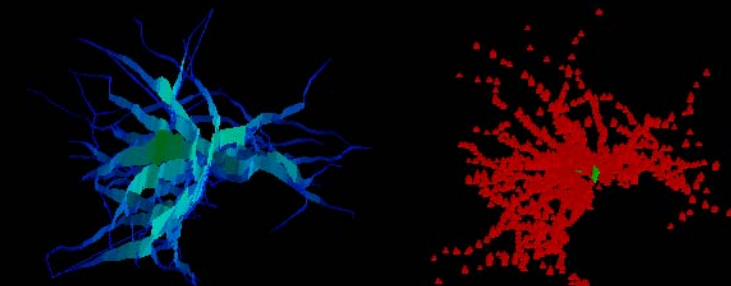
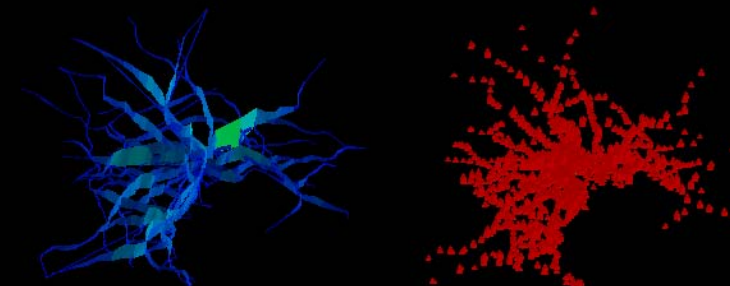
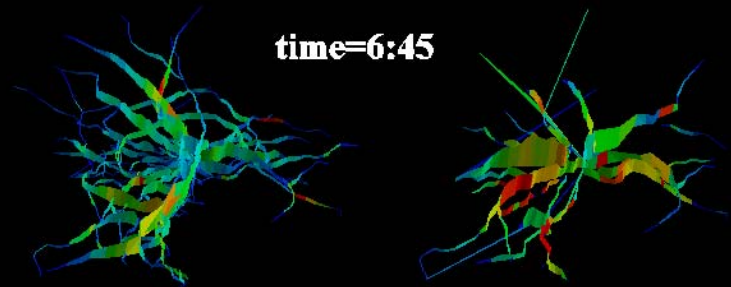
優等電車に偏る



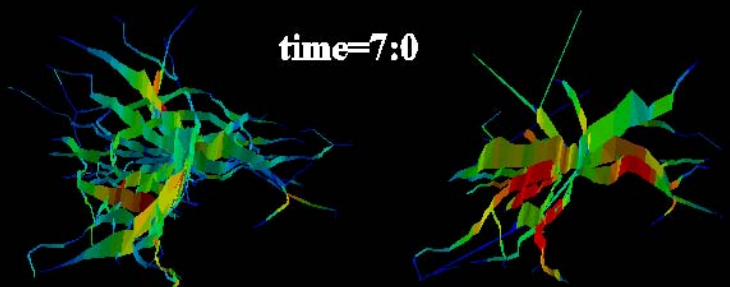
time=6:30



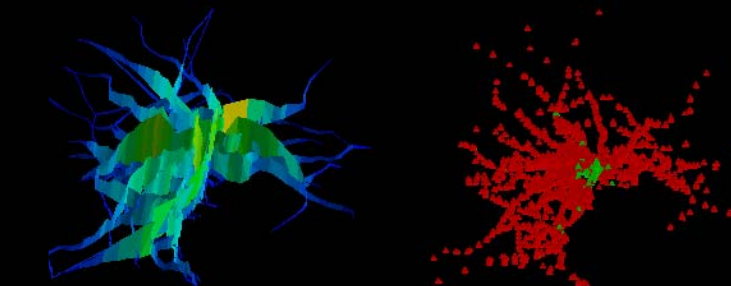
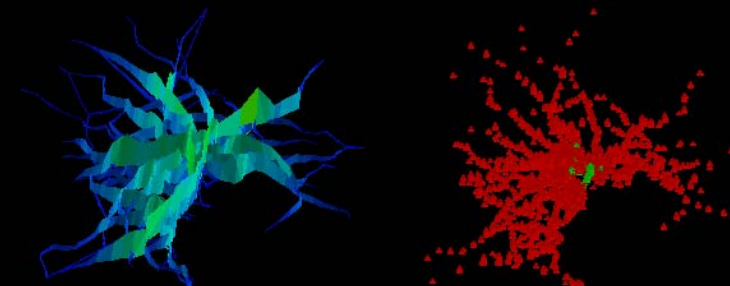
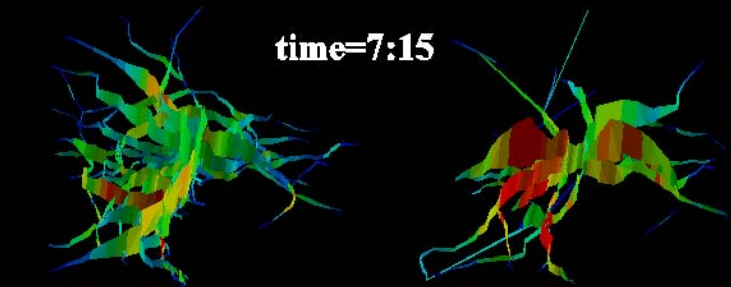
time=6:45

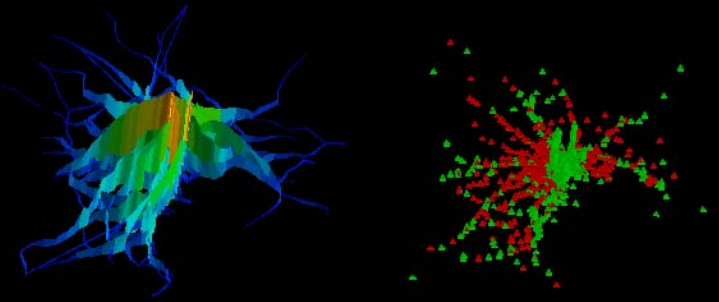
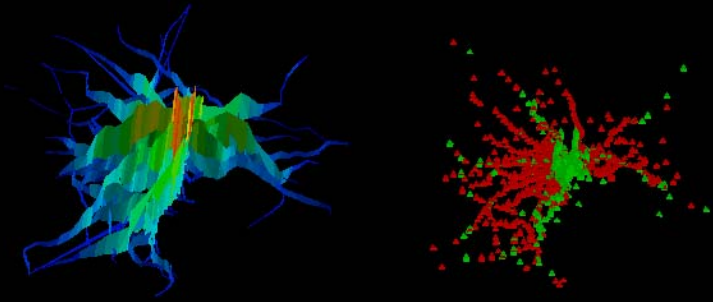
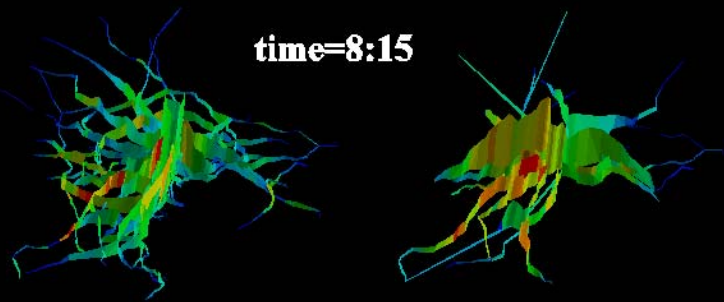
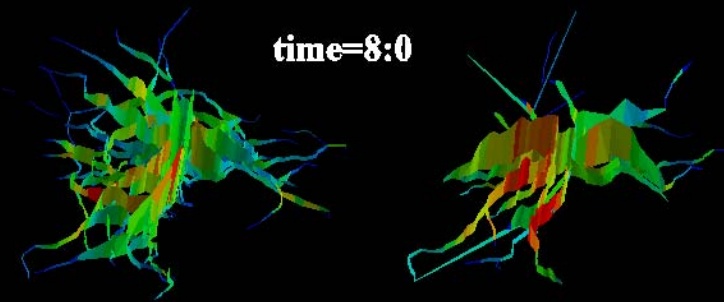
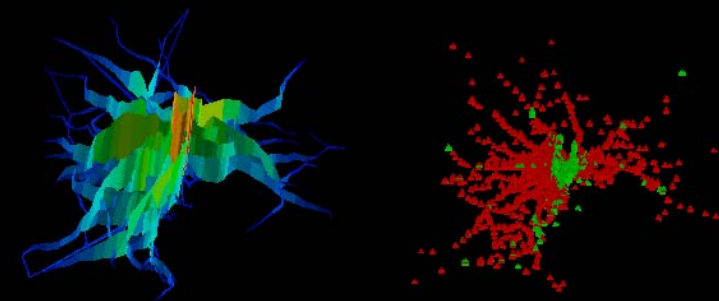
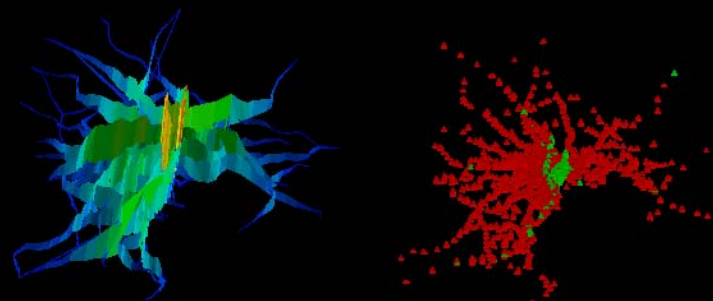
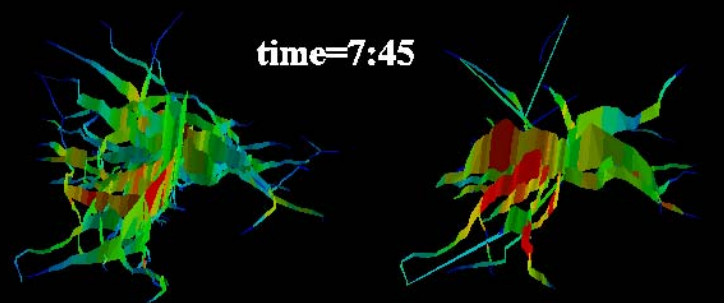
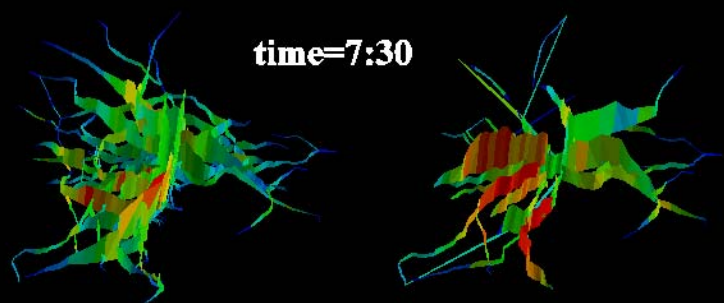


time=7:0



time=7:15



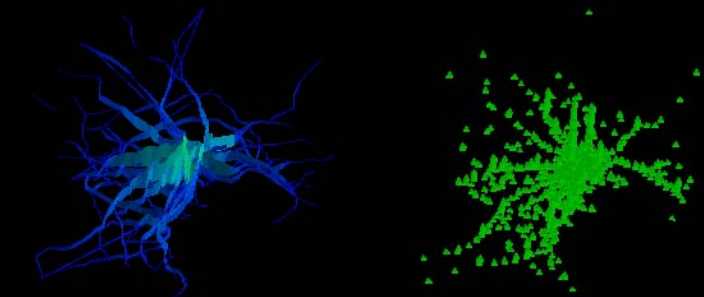
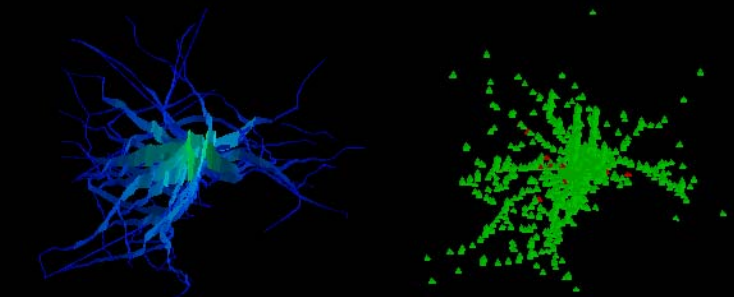
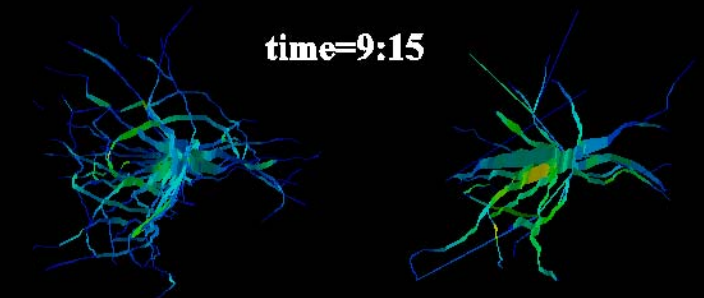
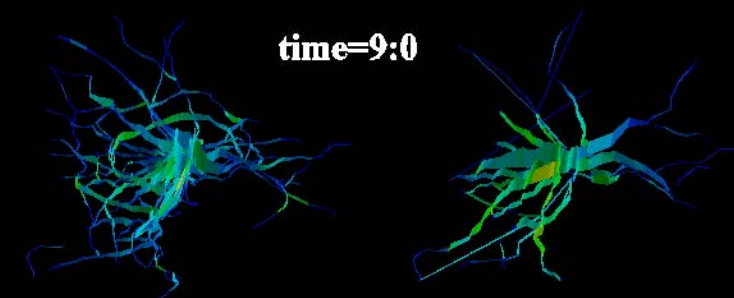
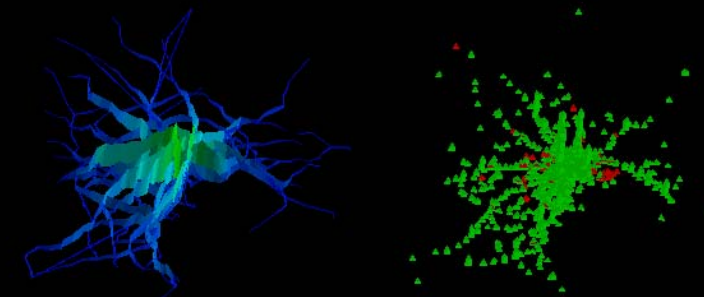
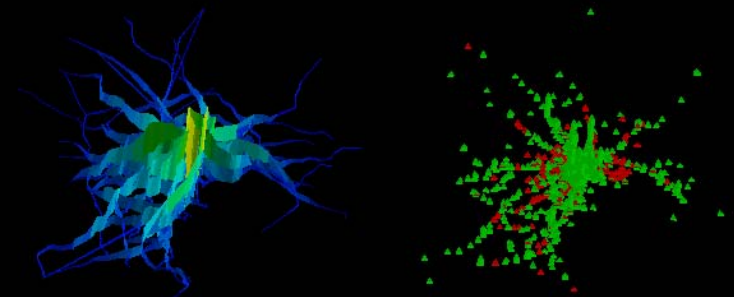
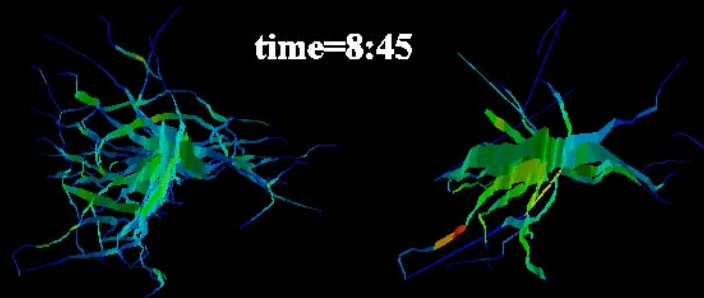
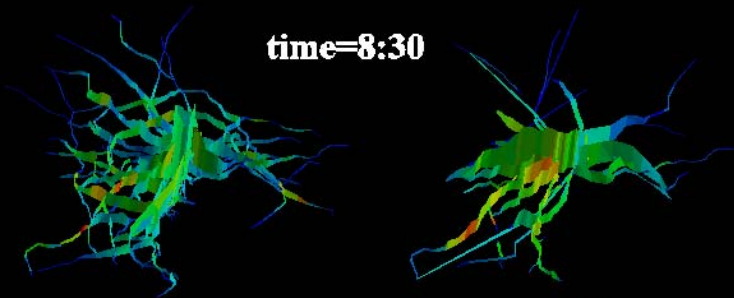


time=8:30

time=8:45

time=9:0

time=9:15



混雑の原因→緩和

空間的偏在
時間的偏在

職住近接, 在宅勤務(?)
時差出勤(?)

輸送能力の拡大

容量(線路, 列車)
スケジューリング

優等電車への偏在

利用者意識の改革(?)

.....→
選択の可能性を無くして(不自由にして)効用を増す

大都市交通センサス

5年毎に行われている公共交通機関の利用実態調査

(1) 鉄道定期券利用者調査

- ・ 個人（調査票）ごとに出勤（登校）時の電車利用が記述されている。
- ・ サンプル調査。（2000年調査28万件，700万人）
- ・ 乗り換えは8回まで記録。
- ・ 1995年，2000年

均衡配分計算 両端の出発駅と到着駅，出発時刻

検証計算 +途中利用駅，路線，列車種別

(very hard!)

(2) 普通券利用者調査



大都市交通センサス

precise description of the route
from my home to office
300,000 samples

Home 7:00



Korakuen st.
8:10



Den'en-toshi
line



Azamino st.
7:10

Nagata-cho st.

Hanzoh-mon line



Office 8:15



調査項目

- 1 識別コード
- 2 事業者コード
- 3 定期券発売所コード
- 4 調査票番号
- 5 定期券種別
- 6 調査票記入の有無
- 7 性別
- 8 年齢
- 9 居住地ゾーンコード
- 10 勤務地・就学地ゾーンコード
- 11 出勤・登校しなかった日
- 12 フレックスタイム制の選択
- 13 コアタイムの開始時間
- 14 コアタイムの終了時間
- 15 住まいの出発時間
- 16 乗車時刻
- 17 鉄道駅までの利用交通手段
- 18 鉄道駅までの合計所要時間
- 19 鉄道利用回数
- 20 鉄道利用方法 乗車駅コード, 降車駅コード, 列車種別
- 21 鉄道駅からの利用交通手段
- 22 鉄道駅からの合計所要時間
- 23 降車時刻
- 24 勤務地・就学地の到着時刻
- 25 前日の曜日
- 26 前日の帰宅のための乗車時刻
- 27 前日の帰宅のための降車時刻
- 28 前日の帰宅のための乗車駅コード
- 29 前日の帰宅のための降車駅コード
- 30 帰宅時刻
- 31 拡大率

電車ネットワークモデル 地表面

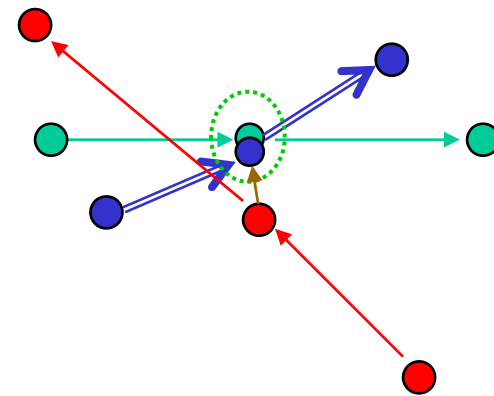
電車による移動リンク---大都市交通センサスから
乗換リンク

同一視する駅

例 山手線と中央線東京駅

乗り換え可能駅

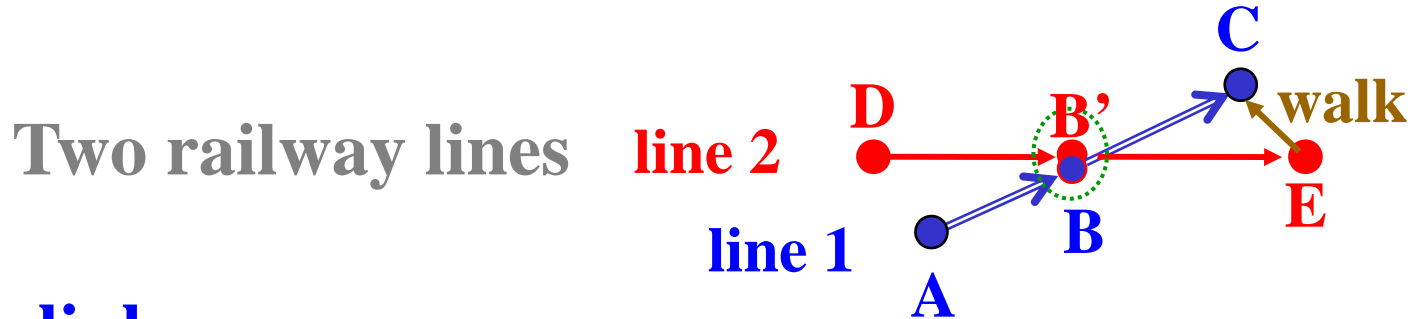
例 各路線大手町駅



同一駅，乗換駅は，

- 駅間距離，
 - 同一事業者か異なる事業者か，
 - 実際のデータに乗り換える例があるかどうか，
- 等を考慮して決めた．

乗換ネットワーク (時空間ネットワーク)



train link

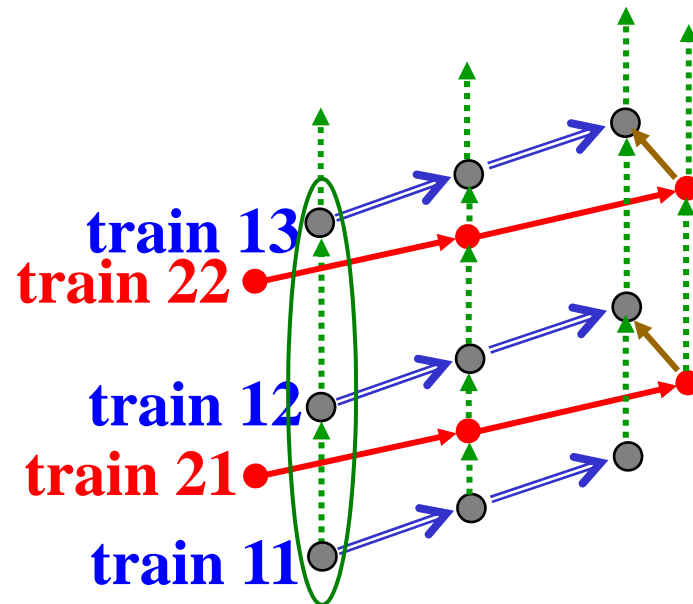
train traveling from a station to the next

wait link

waiting a coming train
at a station

exchange link

moving to a nearby station
to exchange trains



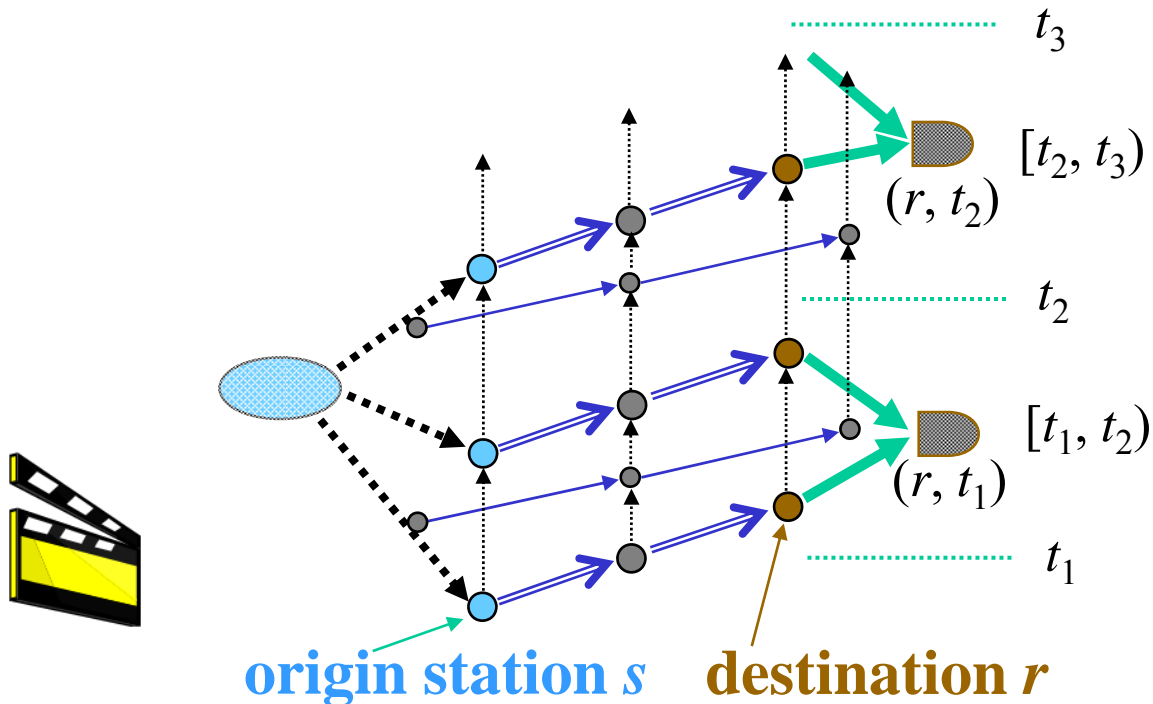
センサスからOD 交通量を負荷する

sink (r,t) 駅×時刻

aggregate passengers arriving at their destination (station r) within time interval $[t, t+\Delta)$. $\Delta = 15$ minutes in the calculation

source s

source node of passengers starting station s .



census data:
arrive destination
 r in $[t_2, t_3)$

census data:
arrive destination
 r in $[t_1, t_2)$

(&origin stations)

電車リンク a のコスト関数

$$\phi_a(u) = t_a \left(1 + \gamma \left(\frac{u}{c_a} \right)^\alpha \right)$$

u number of passengers

t_a travel time

c_a train capacity

(1) **Parameters** : tuned in order that our model is a good approximation to the **census** commuter traffic

(a) until 7:30 $\gamma = 0.02, \alpha = 4.5$

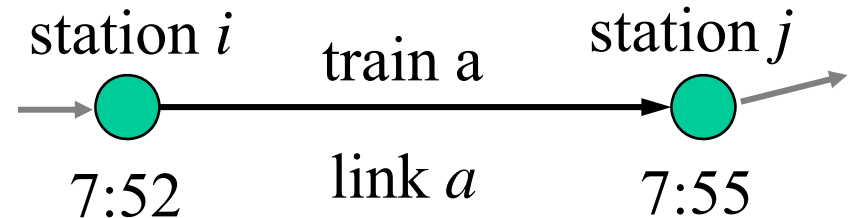
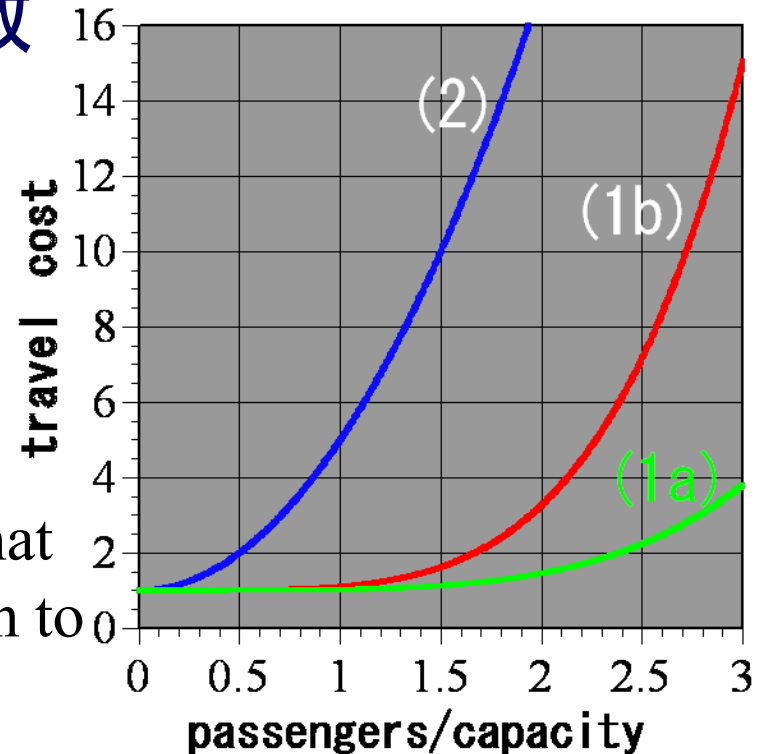
(b) after 7:30 $\gamma = 0.1, \alpha = 4.5$

旅行時間 > 空いた電車

(2) 仮想的なパラメータ

$\gamma = 4, \alpha = 2$

旅行時間 < 空いた電車



他にどんなことができるか

- 利用実態の把握
- 新線建設の効果
- 運行スケジュール変更の効果
- 時差出勤の効果
- 少子化高齢化の影響

提案が具体的にできる

影響(効果)を定量的に把握できる



通勤ラッシュをソフトウェアで解消する

中央大学 田口 東

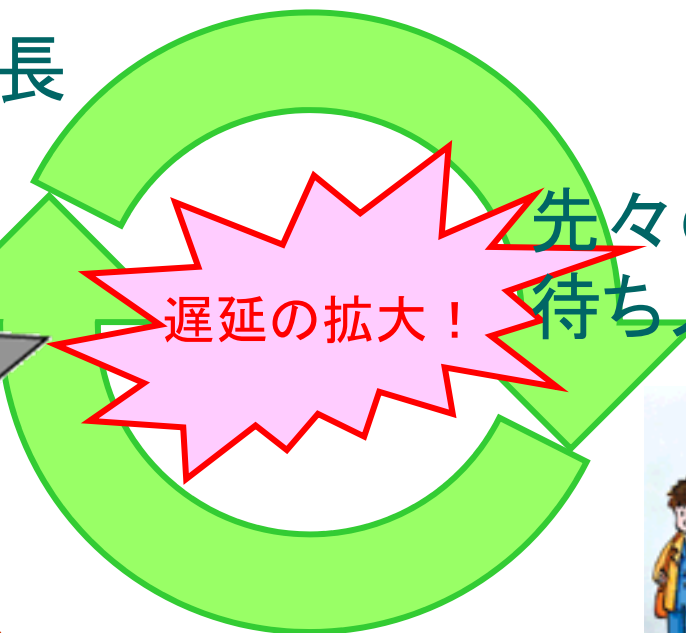


通勤電車の遅れは拡大する

電車が混雑してくると...

ドア故障
病気
けんか
駆け込み

乗降時間が延長



先々の駅における
待ち人数が増加



混雑時特有のアクシデント
以下の計算では考慮外

混雑による遅れをシミュレートしたい

時刻表は正しいか

←混雑による遅れを正しく見込んでいるか？

混雑による電車の遅れを計算する

- 各時刻に電車を待つ乗客数
- 電車の乗降人数
- 乗り降りにかかる時間

遅れ緩和対策と評価



時刻表が持っている余裕

標準所要時間

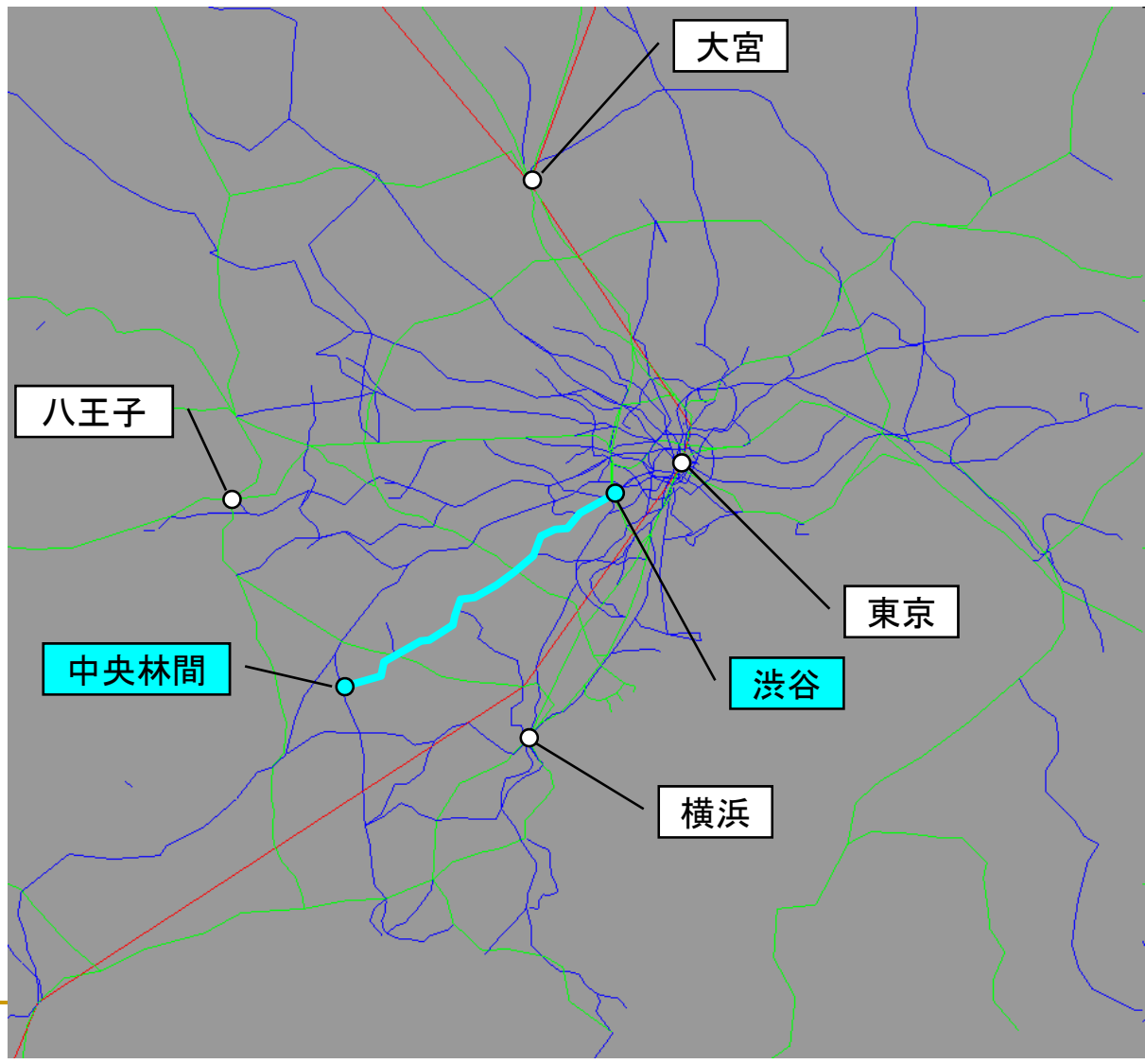
駅名	各停	急行	駅名	各停	急行
渋谷	0	0	たまプラーザ	26	19
池尻大橋	2		あざみ野	28	20
三軒茶屋	4	4	江田	30	
駒澤大学	6		市が尾	32	
桜新町	9		藤が丘	34	
用賀	11		青葉台	35	25
二子玉川	14	10	田奈	37	
二子新地	15		長津田	39	28
高津	16		つくし野	41	
溝の口	18	13	すずかけ台	43	
梶が谷	19		南町田	45	
宮崎台	21		つきみ野	46	
宮前平	23		中央林間	49	34
鷺沼	25	17			

渋谷着	急行	
7:16	28	0
7:49	38	+10
8:32	39	+11
9:25	31	+2

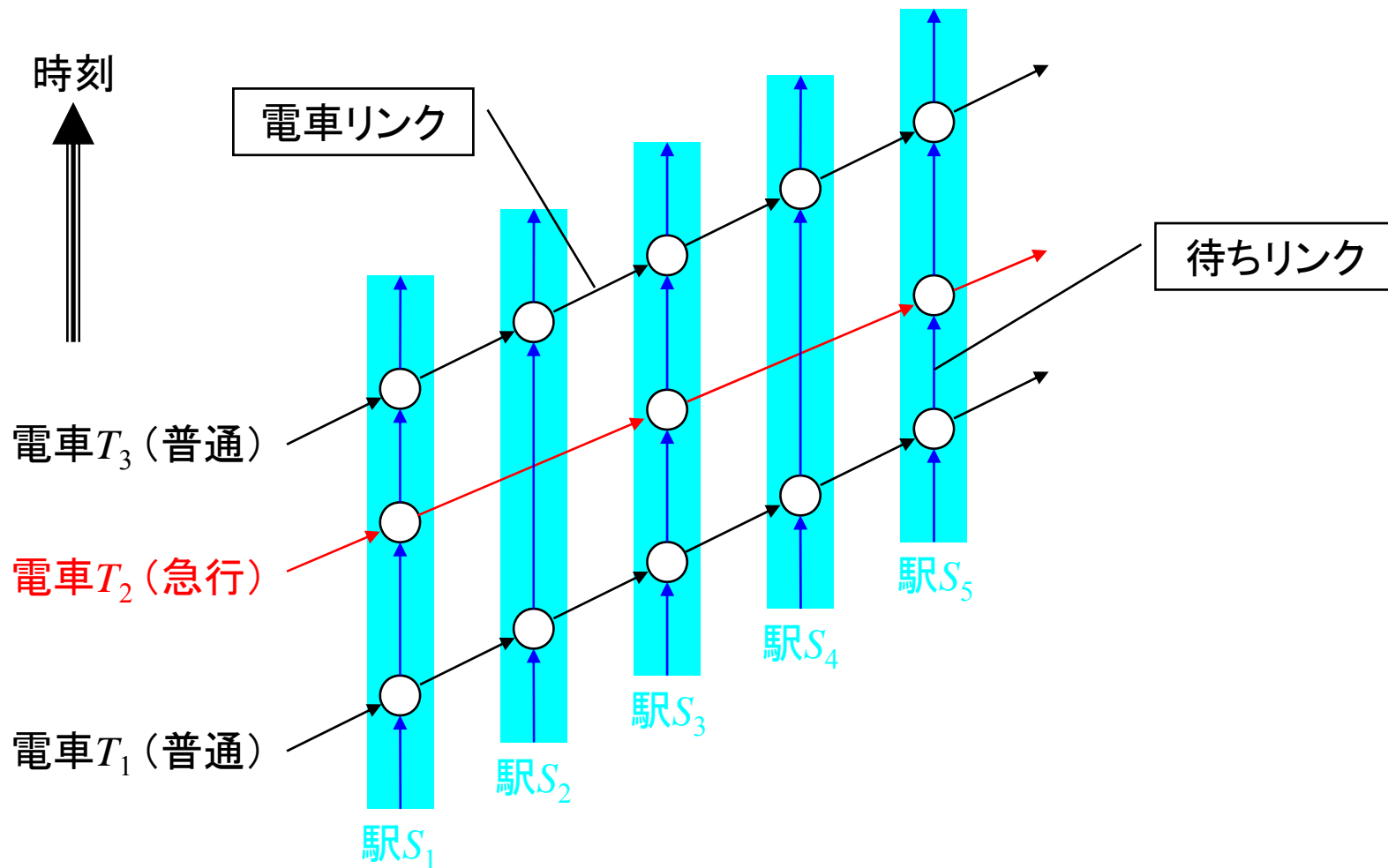
渋谷着	各停	
6:56	40	+1
7:47	48	+9
8:39	53	+14
9:40	45	+6

余裕(調整時間)
時刻表-標準所要時間

東急田園都市線+半蔵門線

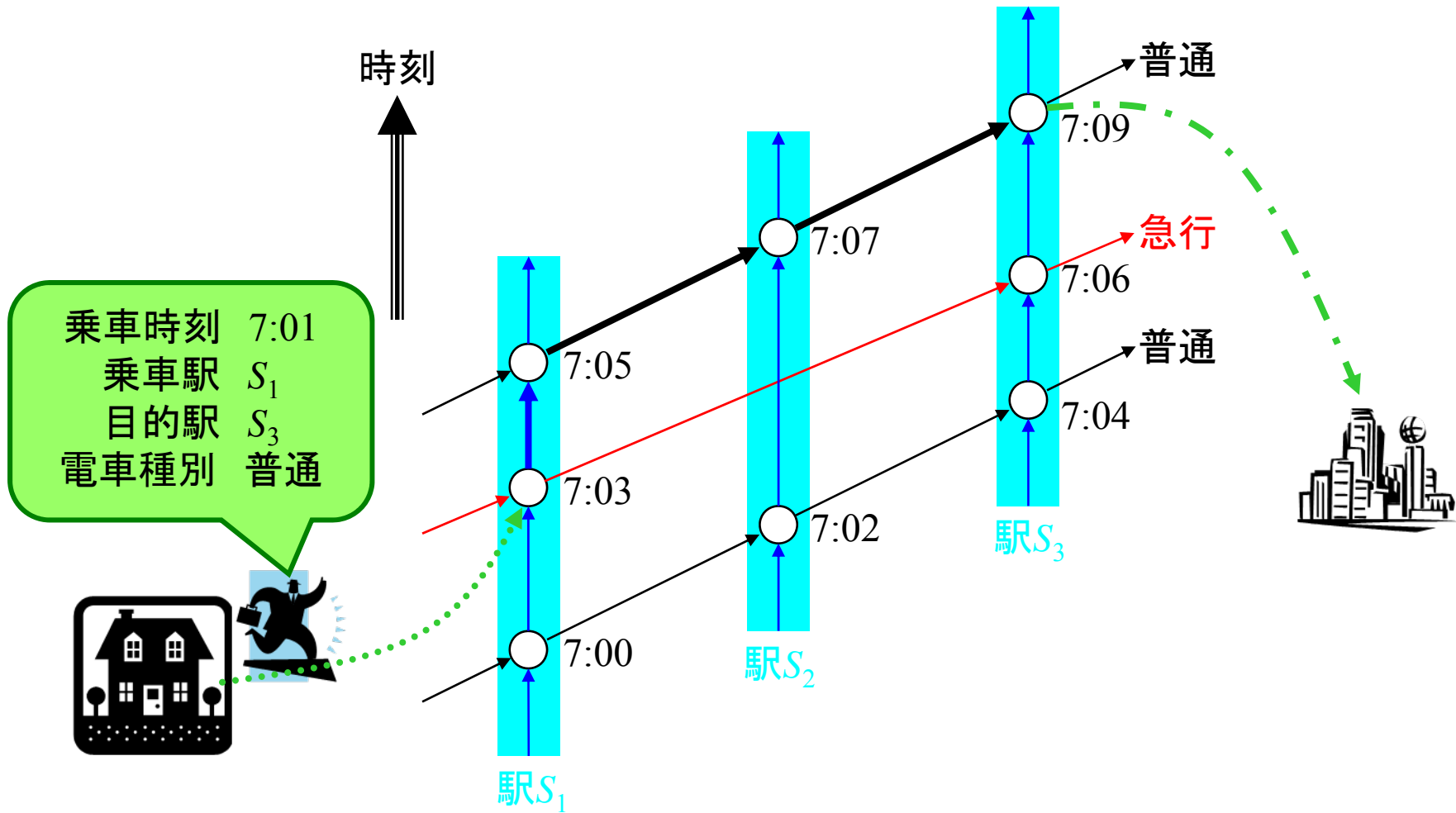


時空間ネットワークの作成





交通量配分



遅れ計算モデル

混雑によって引き起こされる遅延を計算し、遅延時間に伴って電車ネットワーク構造を変化させることで、遅延を含んだ電車の運行を表現するモデルを提案する。





停車時間関数

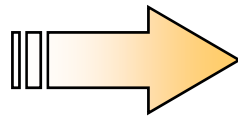
停車時間 D は, 乗客の乗降に要する時間に依存

最も混雑している扉での乗降人数 x によって決定

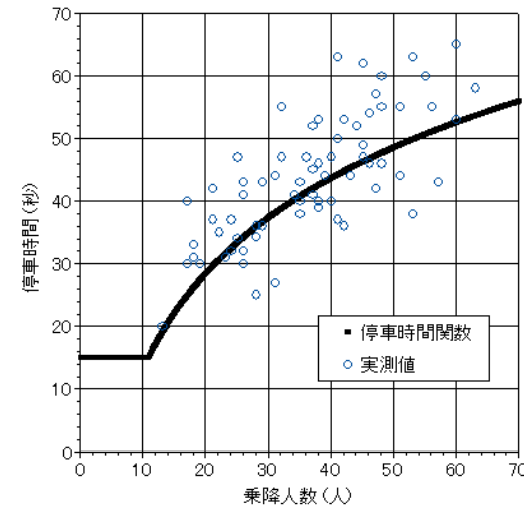
$$D = \max(21.9 \log x - 37.1, \underline{15}) \quad [\text{秒}]$$

↑最低停車時間

日時: 2003年7月22日(火)
 場所: 東急田園都市線溝の口駅, 二子玉川駅
 対象: 7時20分~8時41分発の上り電車37本(溝の口駅)
 7時27分~8時50分発の上り電車38本(二子玉川駅)
 項目: (最も混雑している扉での)乗車人数, 降車人数,
 乗降所要時間, 停車時間, 混雑度



現地調査から
妥当性を確認



遅れ計算アルゴリズム

時刻表どおりの電車ネットワークが与えられたときに、各駅における各電車に対して、乗降人数をもとに遅延時間を算出し、時刻方向に遅延時間分だけ発着ノードをずらすことで遅延を表現する。

乗降時間が延長



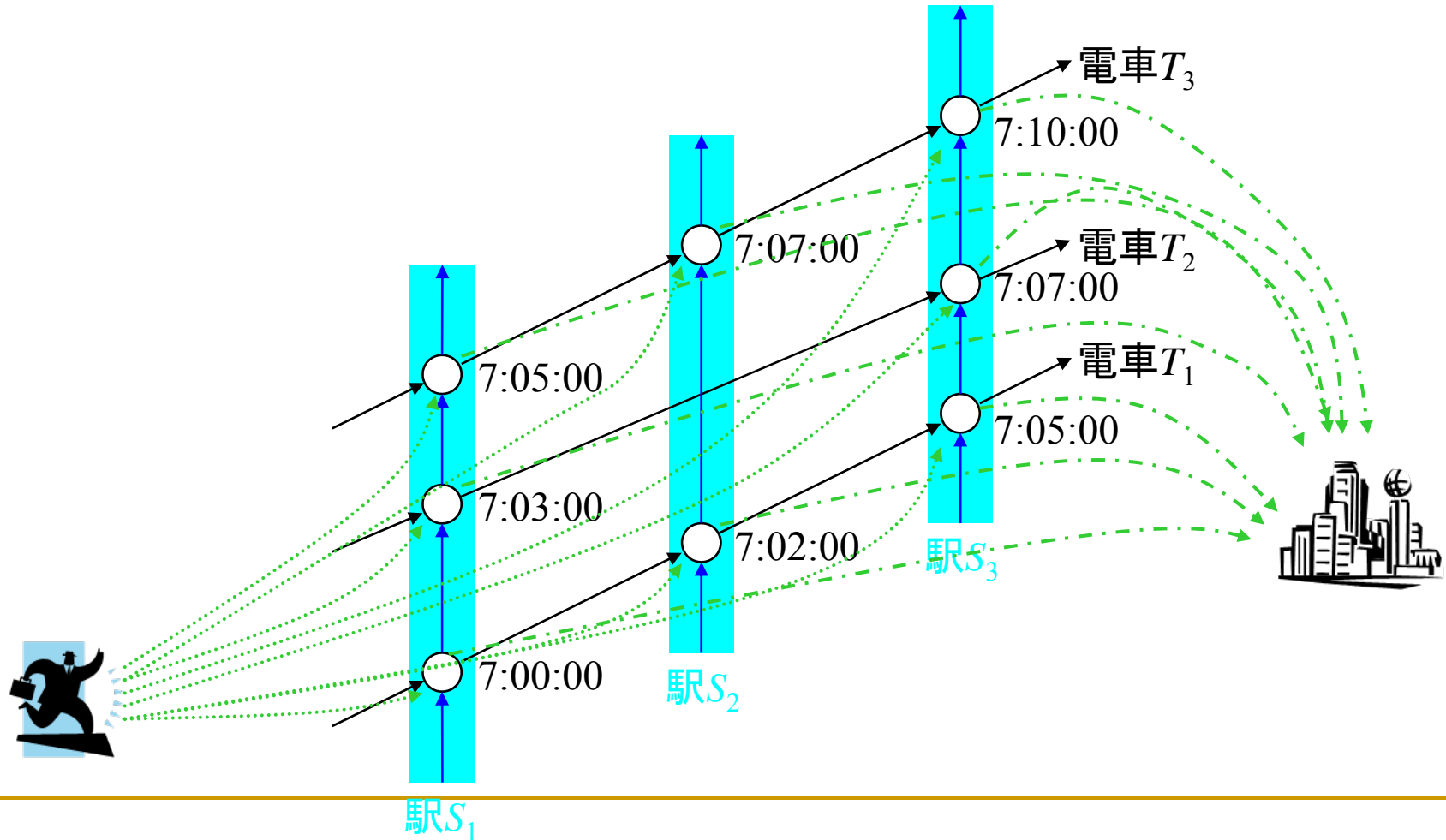
状態が一定となる
まで繰り返す

先々の駅における
待ち人数が増加



Step1 交通需要の付加

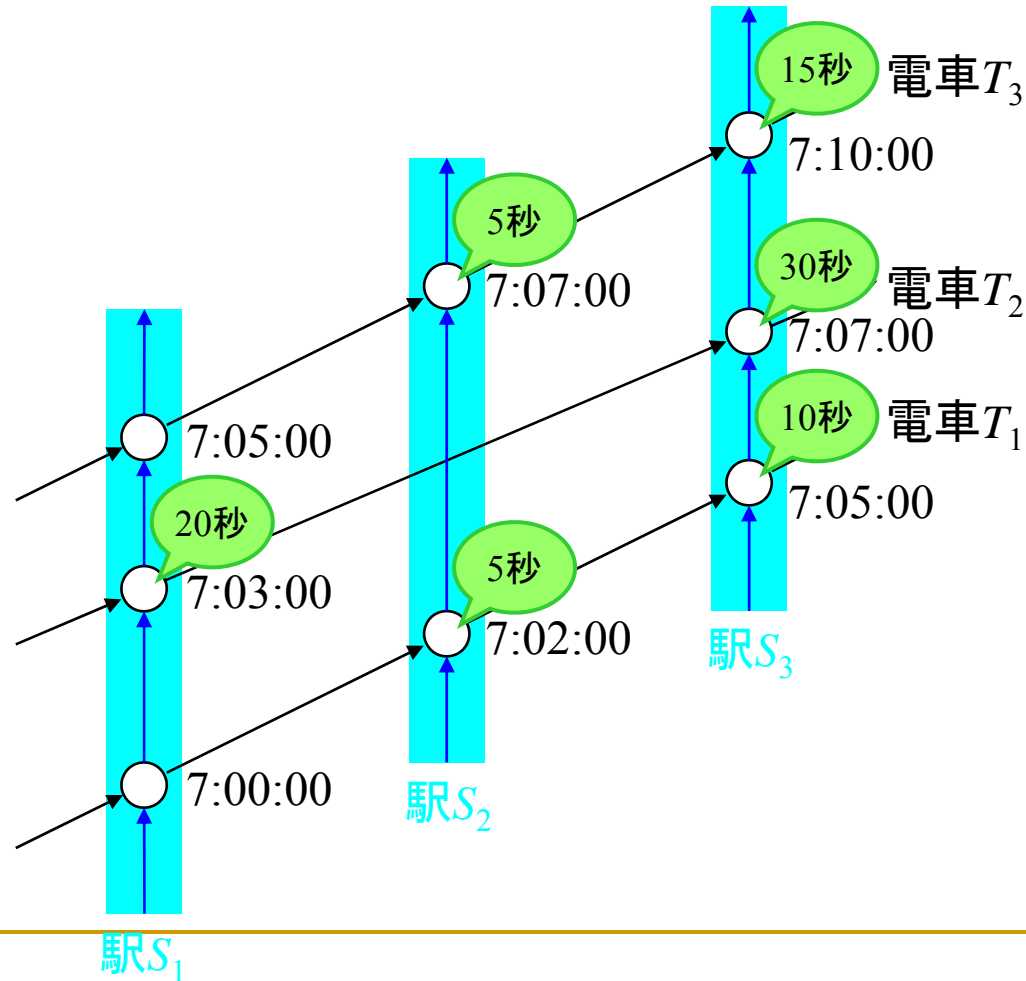
鉄道利用者を電車ネットワークに割り当てる。
→各駅の乗降人数が決まる。





Step2 遅れ時間の算出

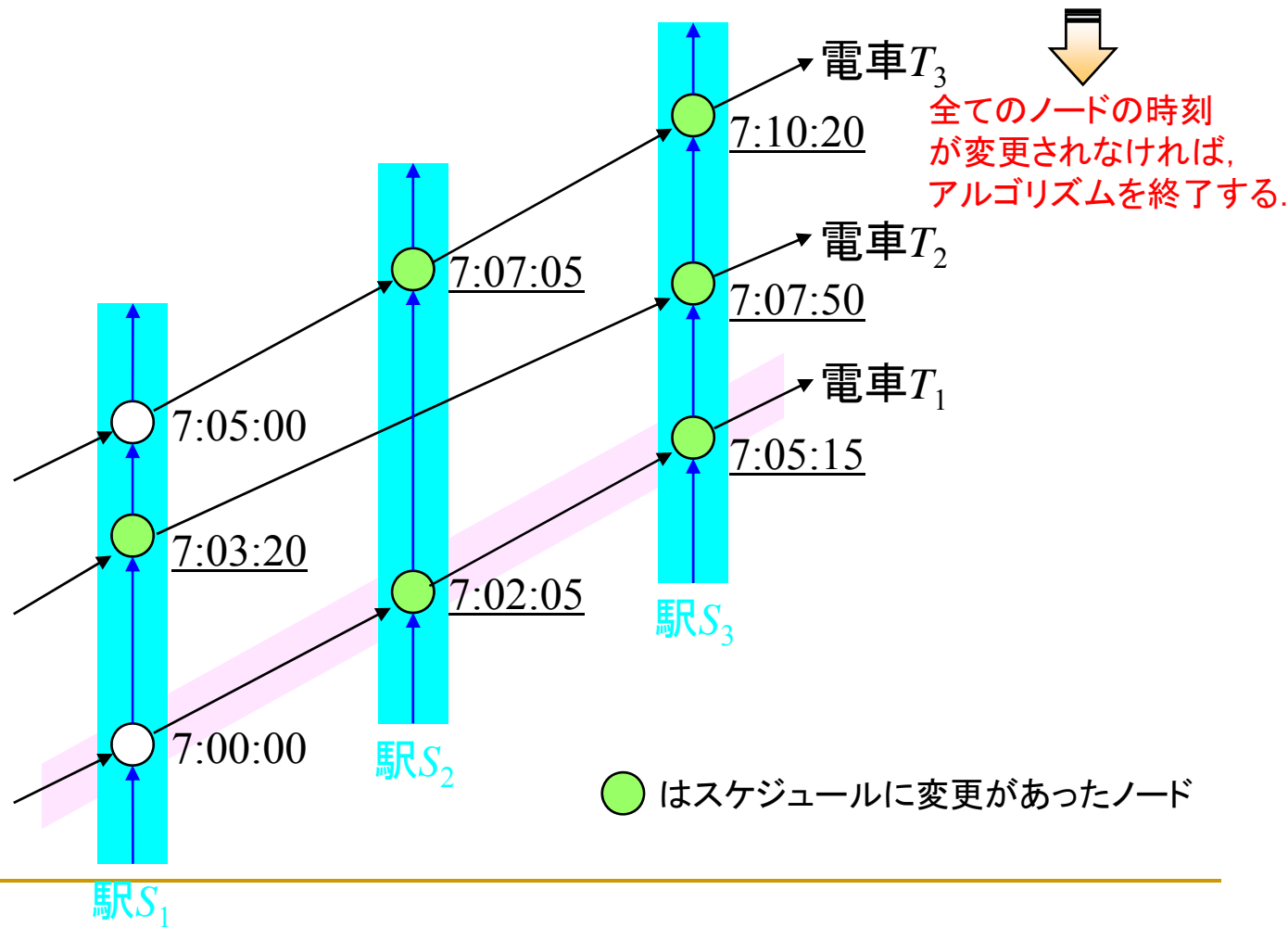
各駅において、乗降人数をもとに停車時間及び遅延時間
(標準停車時間20秒を越えた停車時間相当分)を算出する。





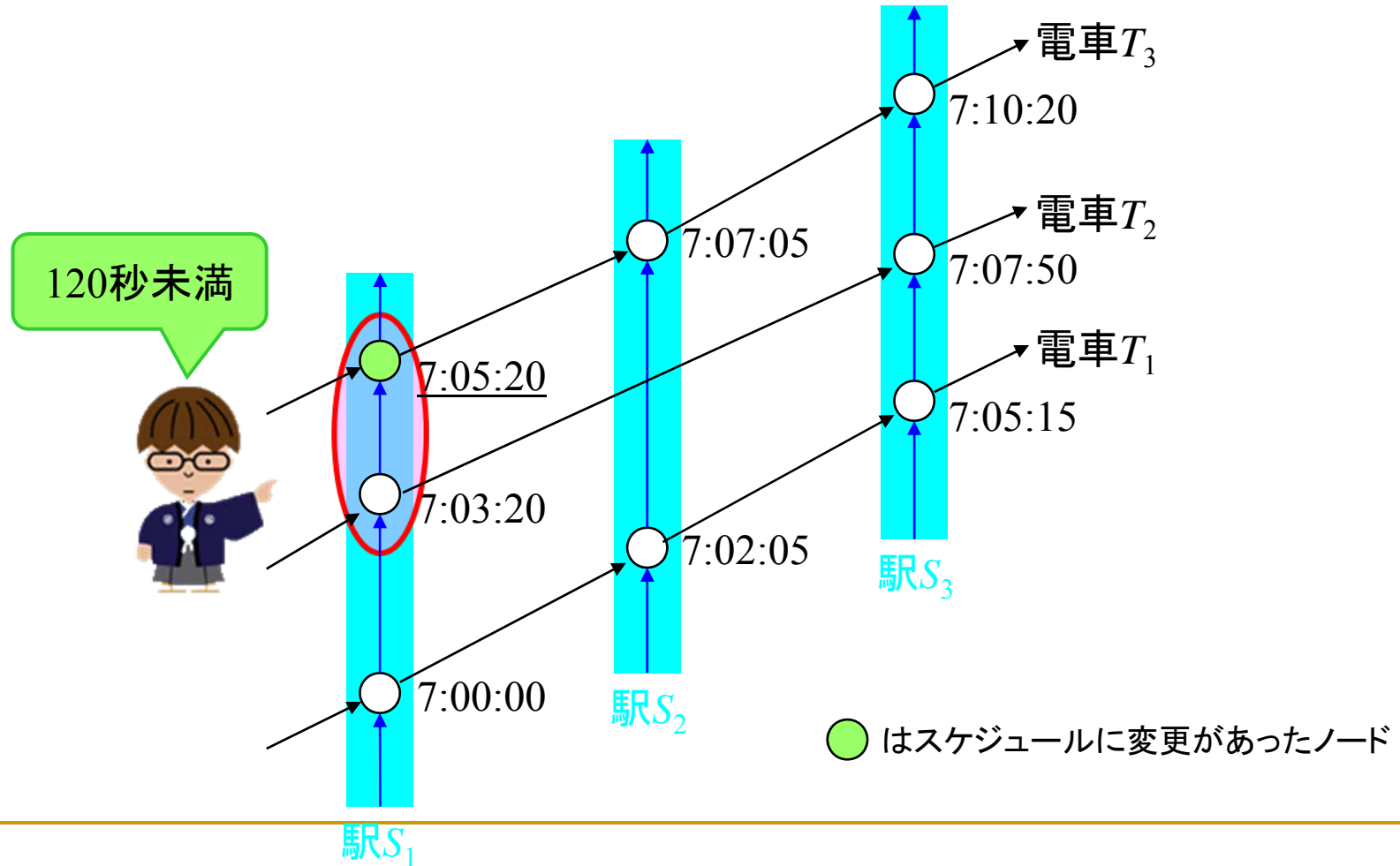
Step3 遅れ時間の蓄積

各電車に対して、経路に沿って遅延時間を蓄積し、出発時刻に付加する。
遅延時間 < 調整時間ならば、遅延させず、調整時間を遅延時間分減らす。



Step4 運行間隔のチェック

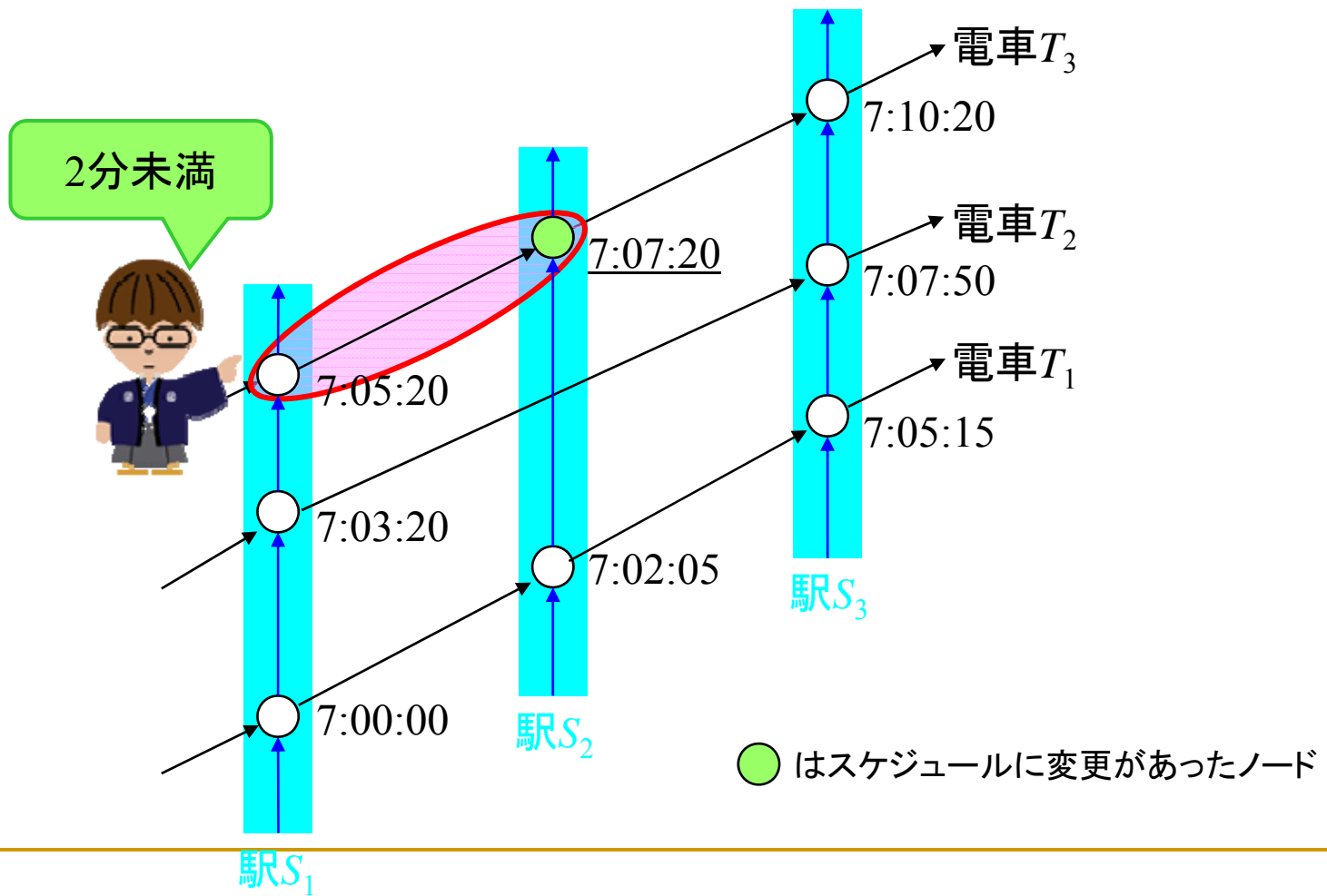
各駅における各電車に対して、先行電車との時間間隔を算出し、最低時間間隔(120秒)未満であったなら、後続電車の出発時刻を遅らせる。





Step5 標準所要時間のチェック

各電車において、駅間の所要時間が標準所要時間よりも短い場合、駅間を標準所要時間で移動するように、次駅の到着時刻を遅らせる。



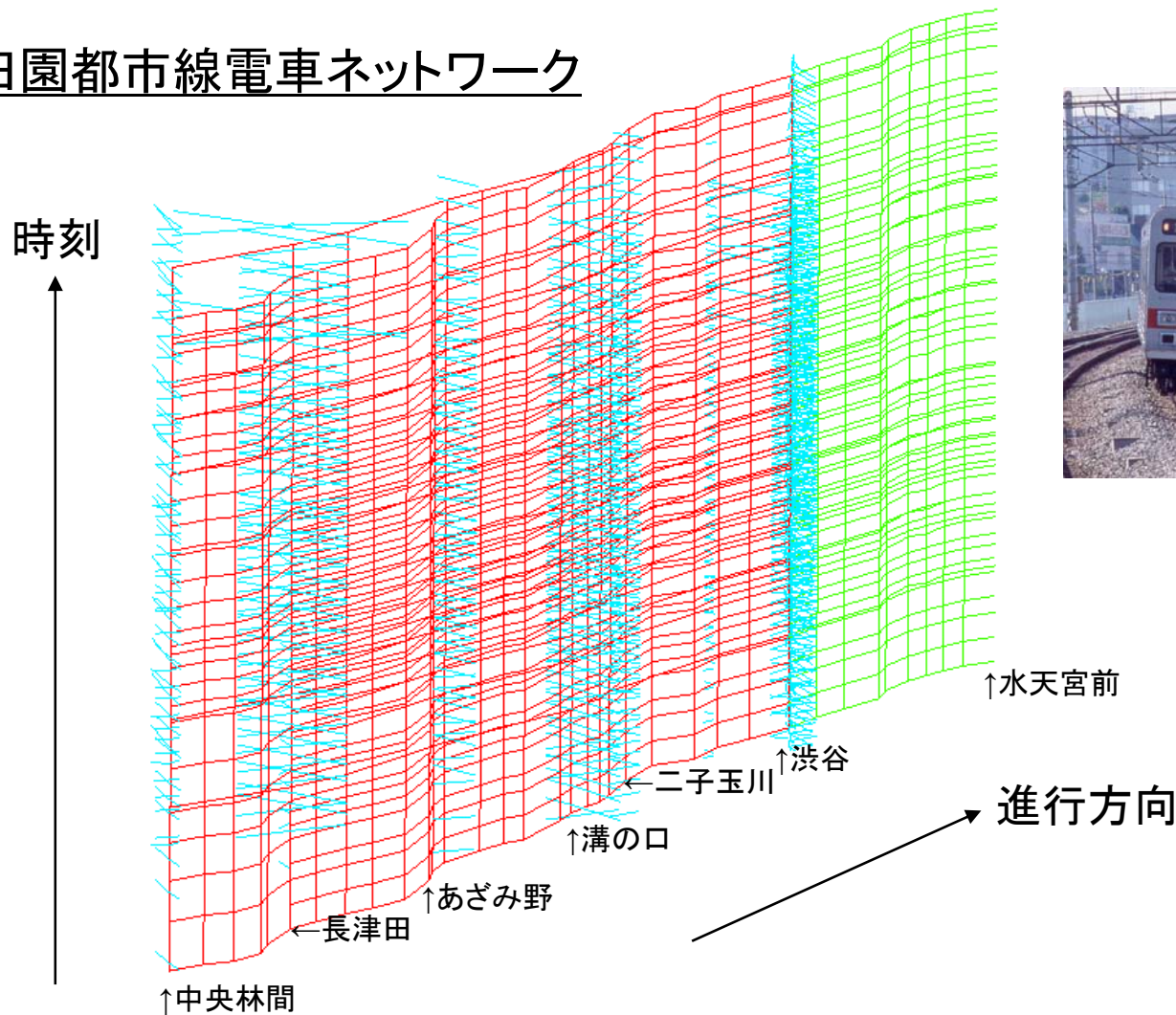
Step6 スケジュールチェック

- Step4あるいはStep5において、各駅における各電車の出発時刻が1ヶ所でも変更された場合、Step4へ戻る。そうでない場合はStep1へ戻る。

本アルゴリズムでは、スケジュールが変更されると、各電車の乗客数が変わるので、新しいスケジュールを用いてネットワークを再構築し、再度交通量配分を行う。

東急田園都市線への適用

東急田園都市線電車ネットワーク



行
普通

時刻表

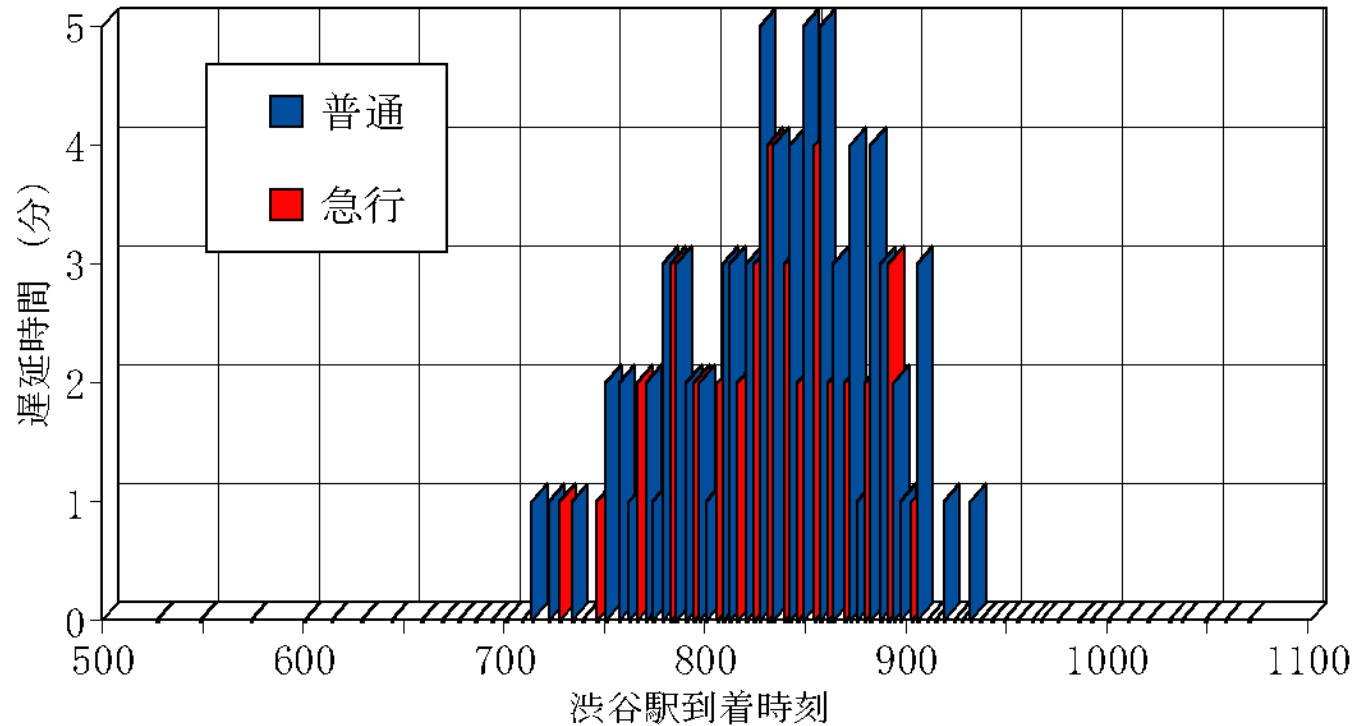
行
普通

時刻表
&遅れ

中央林間 長津田 青葉台 鷺沼 溝の口 二子玉川 三軒茶屋 渋谷 水天宮

07:54

シミュレーション結果 ～遅延時間～

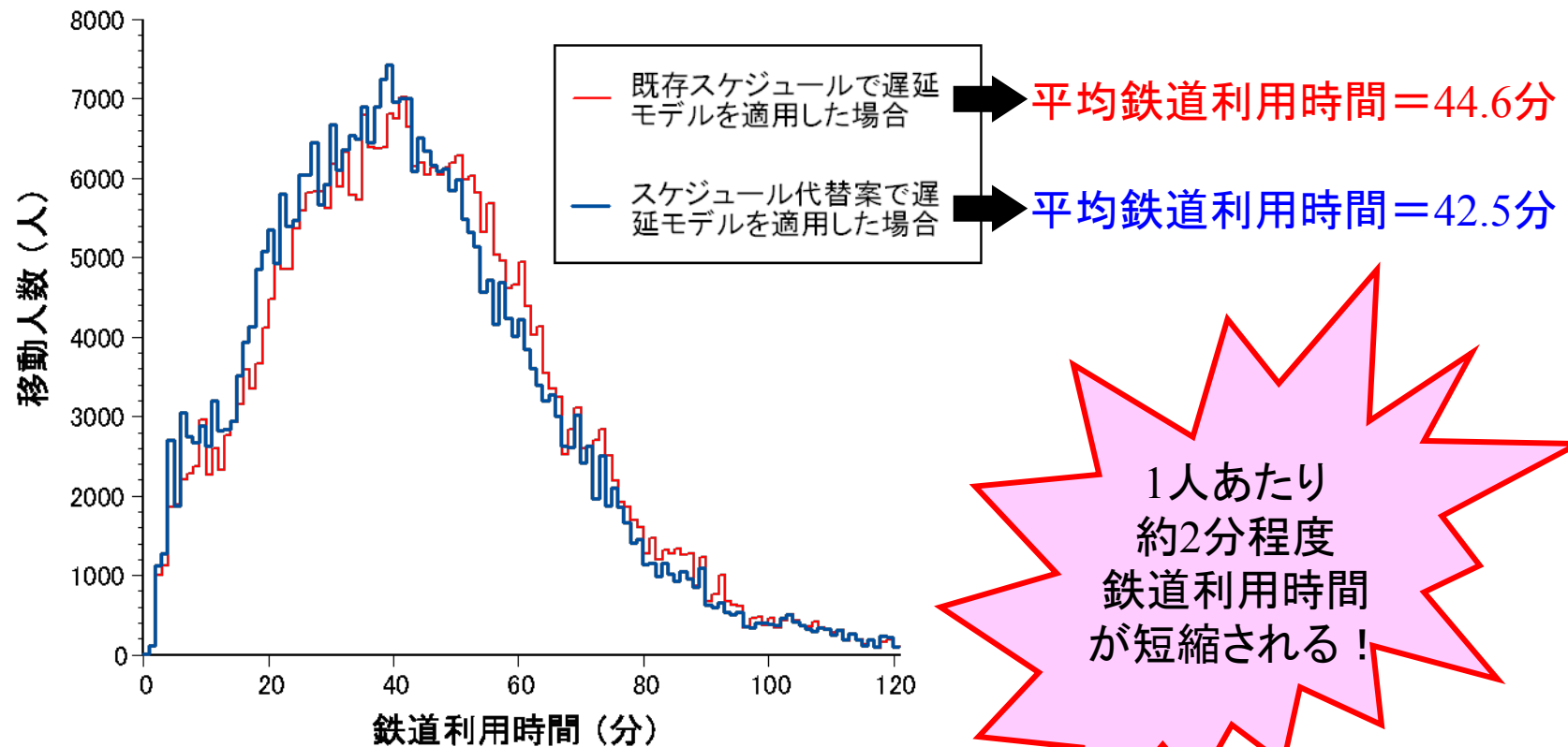


遅延モデルから算出した最大遅延時間は5分

||

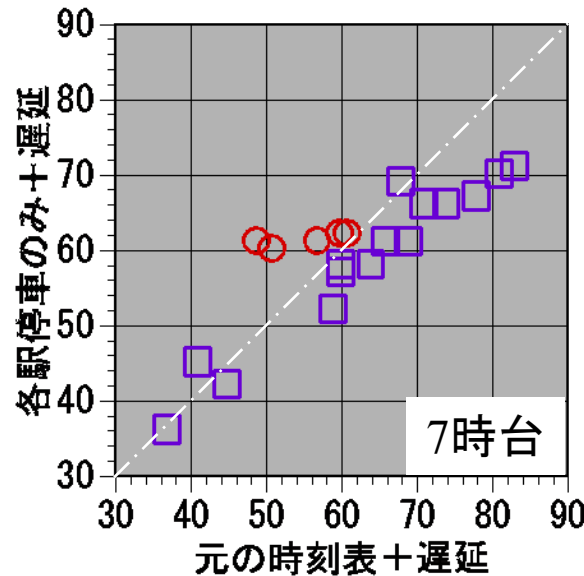
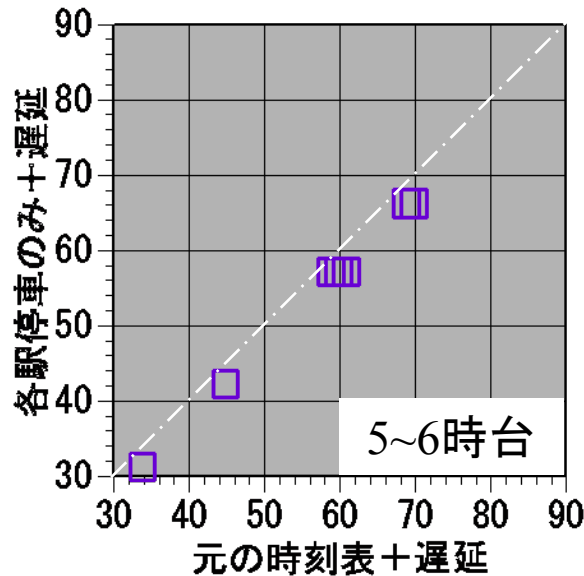
現実においても、日常的に5分程度の遅延が発生

運行スケジュール代替案 ～急行電車を普通電車に～





運行スケジュール代替案



- 急行→普通に格下げ
- 普通→普通

