

Monitoring and Analysis of Behaviour in Networks

ネットワーク上の行動観測と分析

朝倉康夫

東京工業大学_環境・社会理工学院

asakura@plan.cv.titech.ac.jp

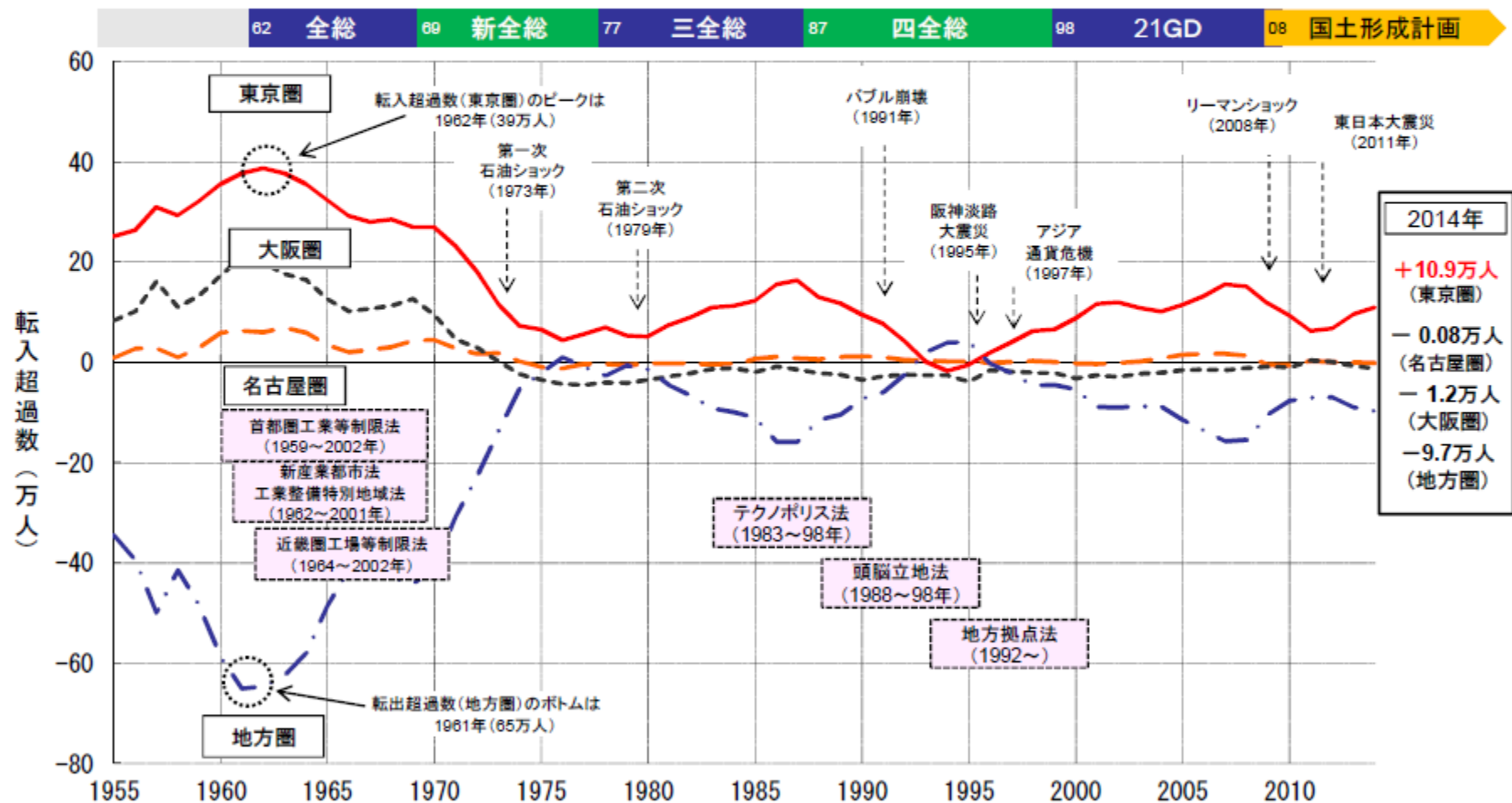
<http://asakura.cv.ens.titech.ac.jp/>

できごと: 世間と自身

	日本	世界	自身
1960	東京五輪(1964) 新幹線開業(1964) 名神高速開通(1965)	アポロ月面着陸(1969)	誕生(1956) 京都府綾部市
1970	大阪万博(1970) 石油ショック(1973)	ベトナム戦争終結(1975)	大学入学(1975)
1980	瀬戸大橋開通(1988)	フォークランド戦争(1982) ベルリン壁崩壊(1989) 天安門事件(1989)	京都大学助手(1981) 初海外出張(1982) 愛媛大学へ異動(1988)
1990	バブル崩壊(1991) 阪神淡路大震災(1995) 明石大橋開通(1998)	湾岸戦争(1991) ソ連崩壊(1991)	UCL滞在(1991)
2000		9.11同時多発テロ(2001) オバマ大統領誕生(2008)	ブラジル滞在(2001) 神戸大学へ異動(2002)
2010	東日本大震災(2011)	COVID-19 (2020)	東工大へ異動(2011) 定年予定(2022)

三大都市圏・地方圏の人口移動の推移

- 高度経済成長期には三大都市圏に人口が流入した。
- 1980年頃にかけて人口流入は沈静化したが、その後、バブル期にかけて東京圏に人口が流入。
- バブル崩壊後は東京圏が一時的に転出超過となったが、2000年代には再び流入が増加した。

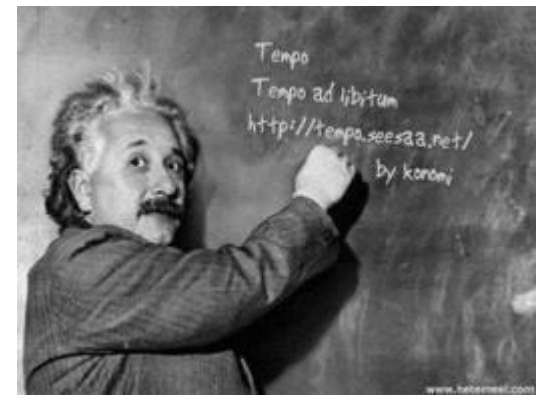


(出典) 総務省「住民基本台帳人口移動報告」をもとに国土交通省国土政策局作成。

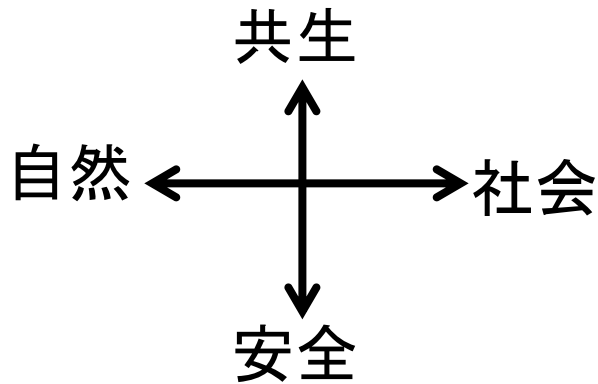
(注) 上記の地域区分は以下のとおり。

東京圏：埼玉県、千葉県、東京都、神奈川県
名古屋圏：岐阜県、愛知県、三重県
大阪圏：京都府、大阪府、兵庫県、奈良県
三大都市圏：東京圏、名古屋圏、大阪圏
地方圏：三大都市圏以外の地域

研究課題の整理軸

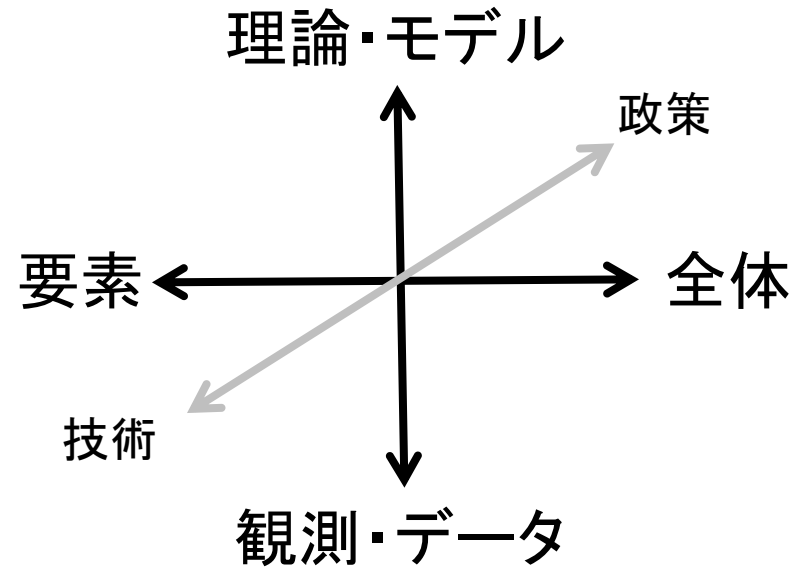
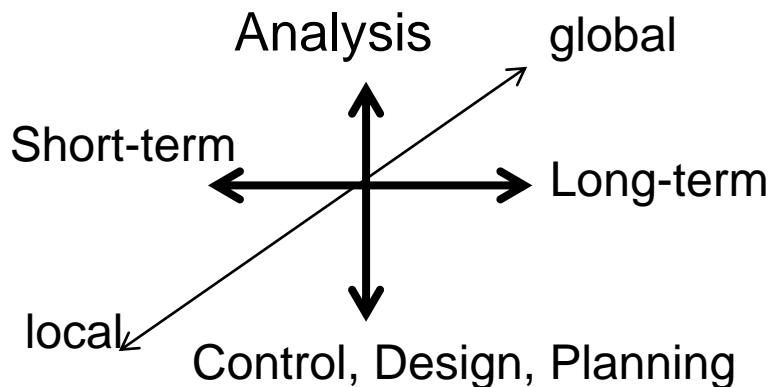


価値 × 対象



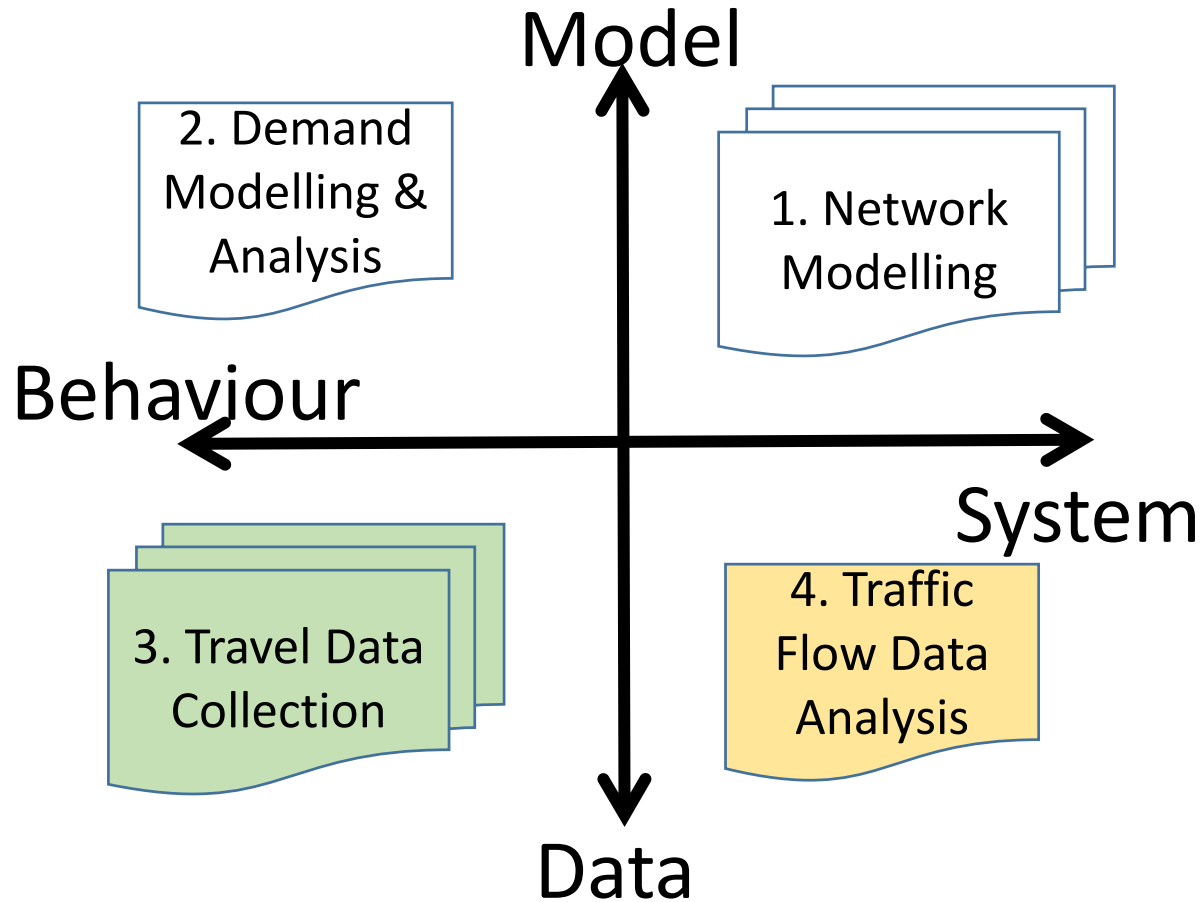
観測なくして理論なし, 理論なくして観測なし.

時間 × 空間 × (分析・設計)



みなさんもご一緒に!

自身の交通研究テーマ：大分類



Today's talk 交通システムと交通行動：観測編

Section 1 交通流の観測と解析 : Contents

1980

1990

2000

2010

2020



- 初めての交通量観測
- 最近の交通量観測
- 円周分布による日変動の推定

- 車両軌跡：阪神高速 Zen Traffic Data
- マクロ分析(Fundamental Diagram)
- ミクロ分析(Car Following)

小学校：夏休みの自由研究



<https://www.illustr-box.jp/sozai/89514/>

- ふつうの少年少女は・・・
 - アサガオを育てる.
 - 夏休み中ずっと1日に咲いた数を記録する.
- 少年Aは・・・
 - 短時間でできることは何か，悪知恵を働かす
 - 近所の道路で2時間ほど交通量を観測する.
 - 5分間の通過台数をグラフにする.

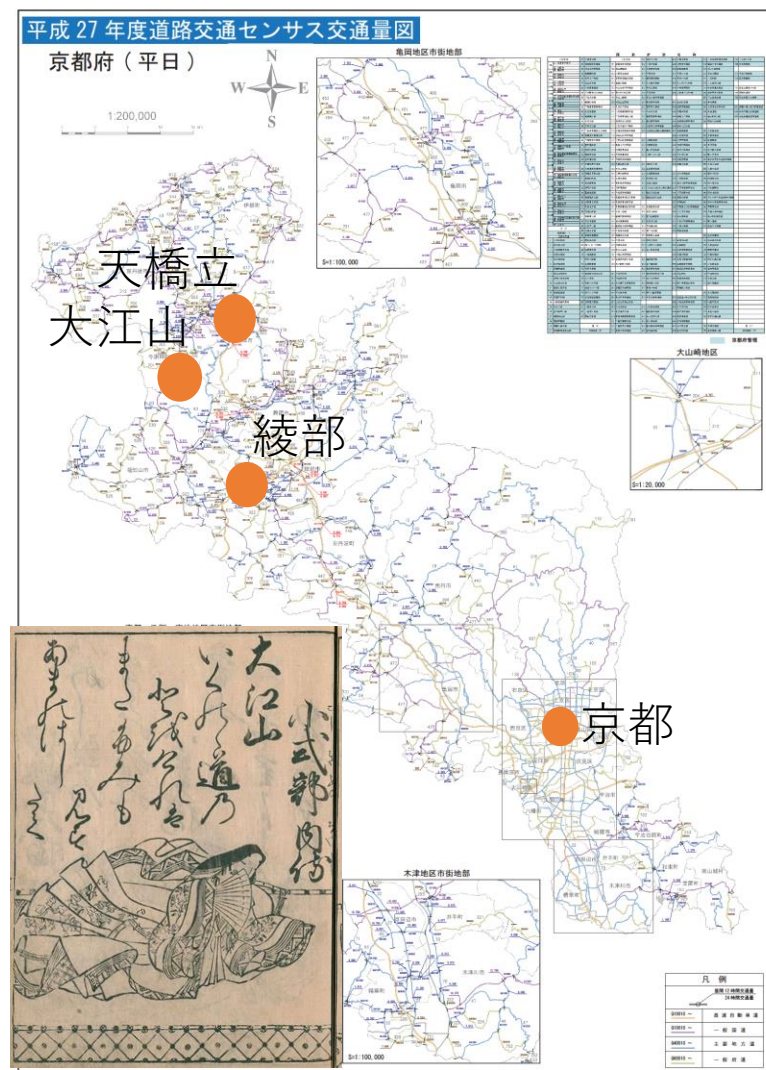
初めての交通量観測(1965)

- 路線：京都府道8号線
(福知山綾部線)
- 地点：綾部高校付近
- 観測日時：1965年夏, 涼しい午前中
- 乗用車保有台数*：
229万台(1966)→6,192万台(2021)
- H27_センサス交通量(小型車)：
16,383(veh./24h)
- 推定日交通量(小型車)：655(veh./24h)
- 平均5分間交通量：2.27(veh./5min.)

*) 自動車検査登録情報協会

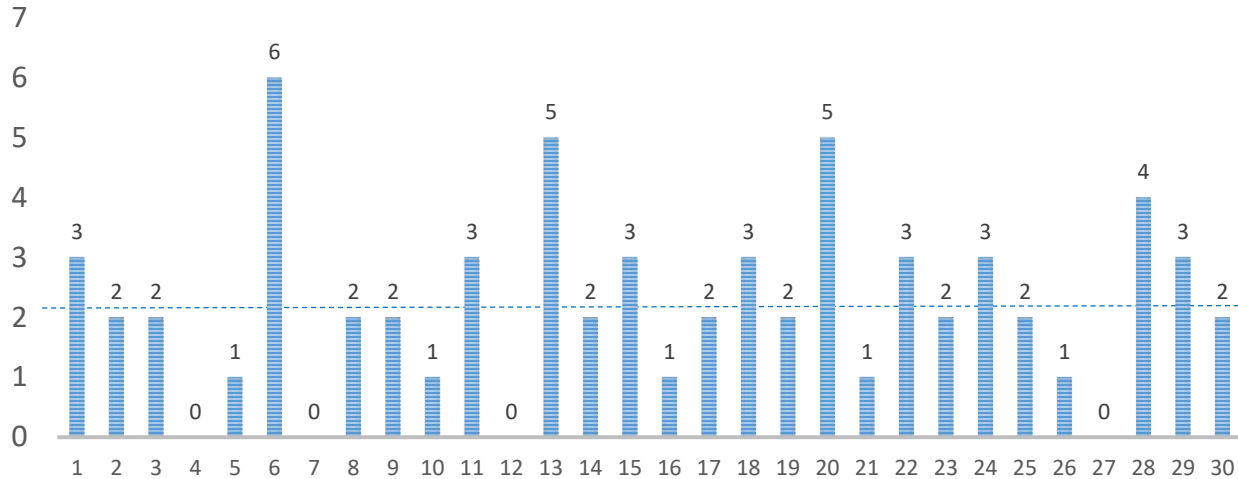
<https://www.airia.or.jp/publish/statistics/number.html>

**) 古文書なび <http://komonjo.rokumeibunko.com/hyakunin/060.html>



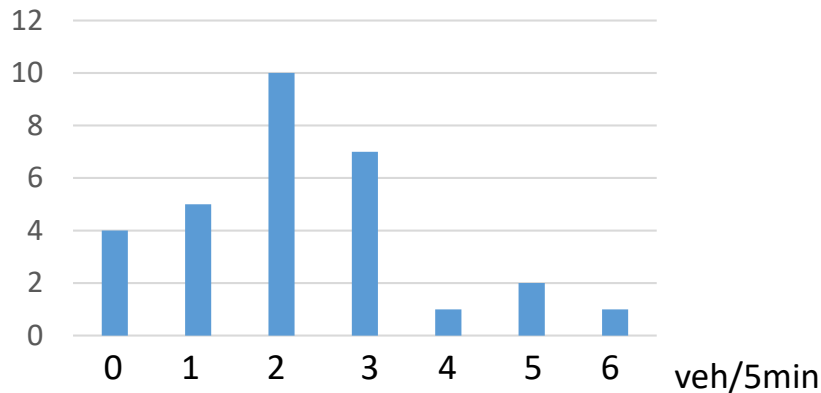
5分間通行台数の時間変化

veh/5min



平均 2.27 veh./5min.

5分間通行台数の頻度分布



$$\text{Prob}(m) = (\lambda \Delta t)^m \exp(-\lambda \Delta t) / m!$$

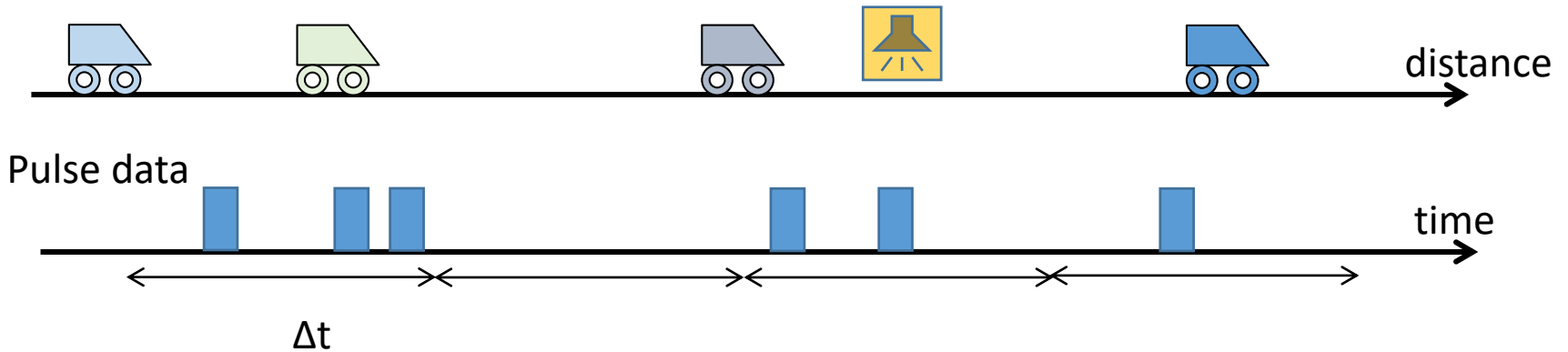
($m=0,1,2,\dots$; λ : parameter)



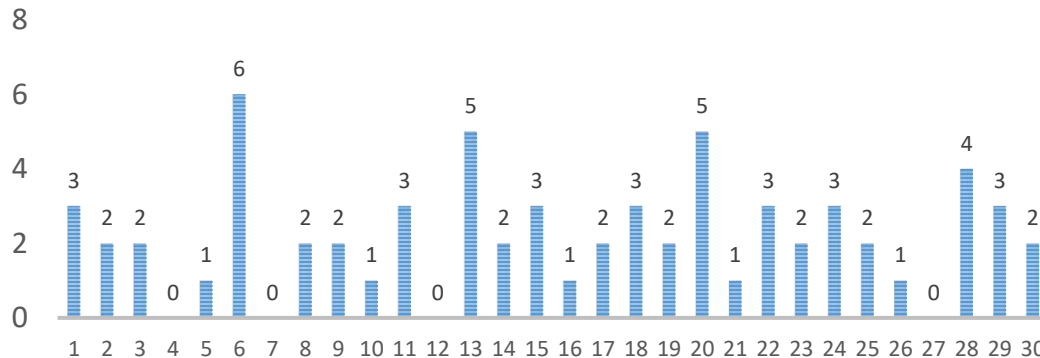
Google Street View
綾部高校付近

最近の交通量観測と分析(2021)

車両検知器(感知器, detector, traffic counter)

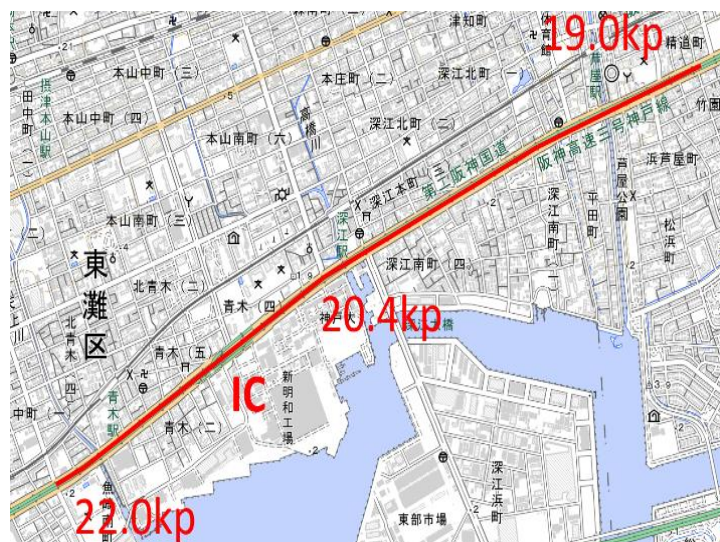


5分間通行台数の時間変化

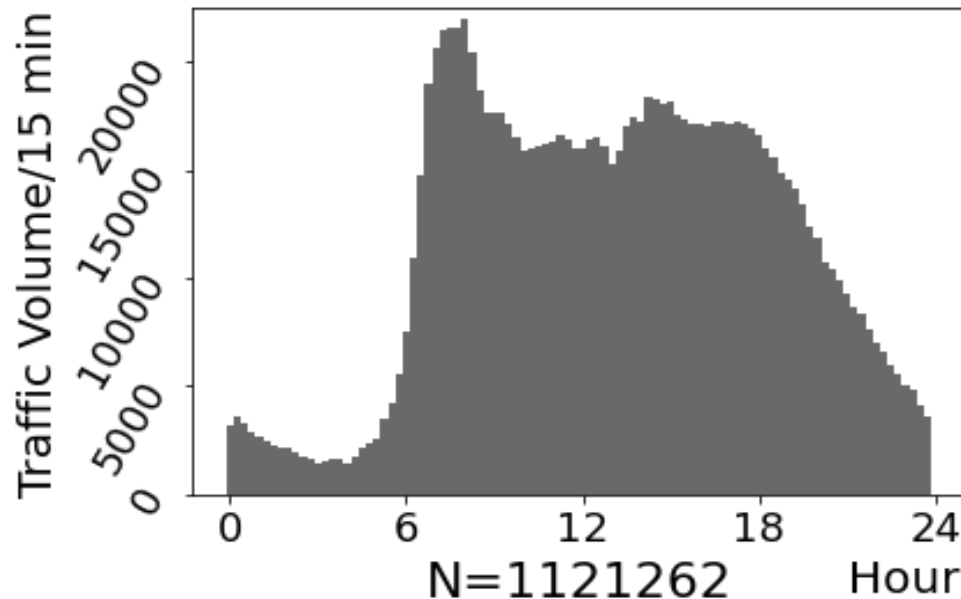


55年間で進化した?

日変動の確率分布推定



阪神高速3号神戸線
深江付近上り(20.4kp)



15分間交通量の日変動

2016年6月6日～7月7日, 8月22日～10月10日, 平日46日間の合計

長崎滉大, 中西航, 朝倉康夫(2021)混合円周分布のパラメータを用いた交通量の時間変動の分析. 土木計画学研究発表会春大会2021

円周分布と混合分布

- 円周分布

角度, 時刻, ...

(1) 全ての实数 θ について, $f(\theta) \geq 0$

(2) 確率の和は1. $\int_a^{a+2\pi} f(\theta) d\theta = 1$

(3) $f(\theta)$ は周期 2π の関数. $f(\theta + 2k\pi) = f(\theta)$

- Kato and Jones(KJ)分布

$$f(\theta | \mu, \gamma, \overline{\alpha}_2, \overline{\beta}_2)$$

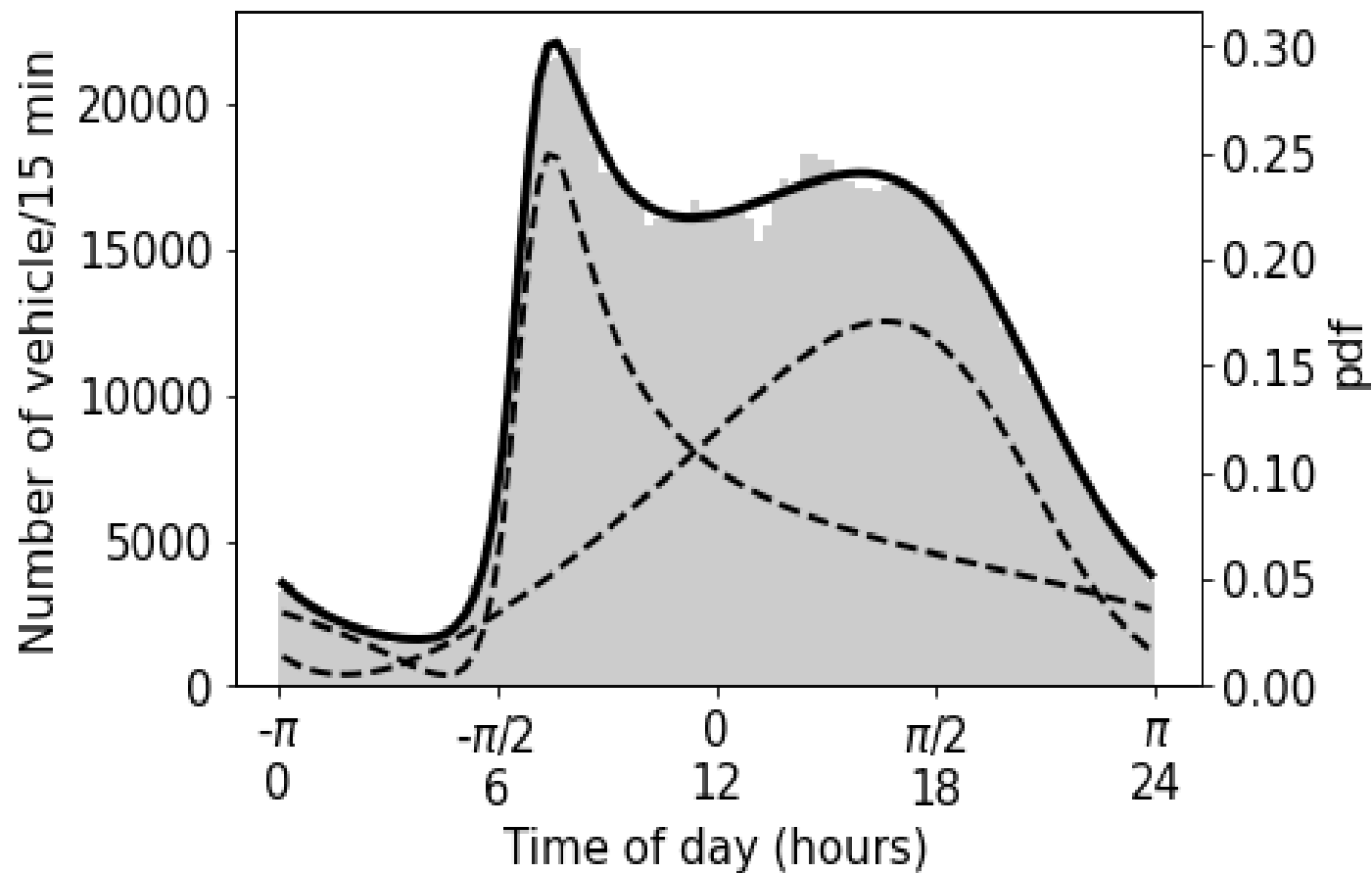
パラメータ

- 混合分布

$$f(\theta) = \sum_{h=1}^m \pi_h g_h(\theta | \mu_h, \gamma_h, \overline{\alpha}_{2h}, \overline{\beta}_{2h})$$

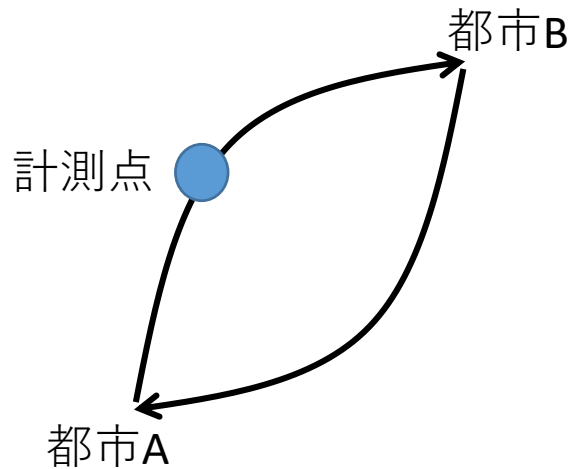
KJ分布にそれぞれ π_h の重みを付して混合. ($0 \leq \pi_h \leq 1, \sum_h \pi_h = 1$)

2つの円周分布(破線)を混合(実線)

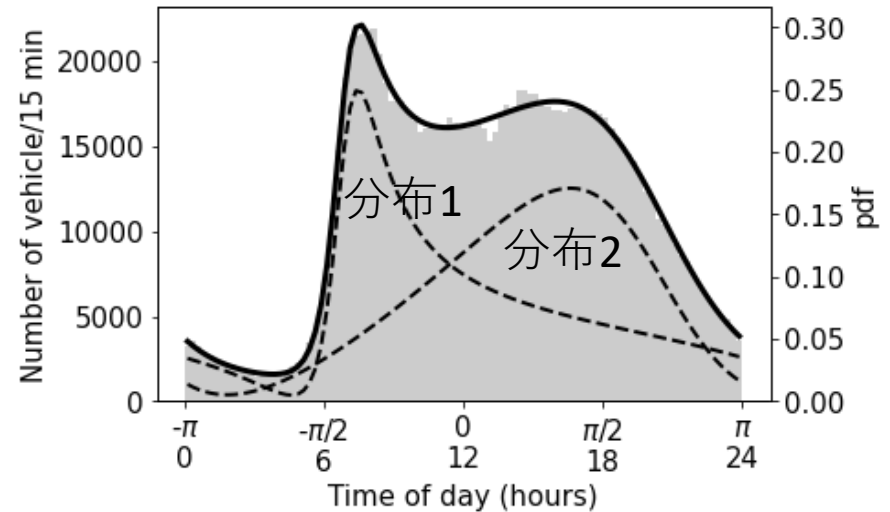


ひとつの分布を複数の分布に分解できると何がわかる？

需要の時間変動を測る



都市Aを起点とするround trip
都市Bを起点とするround trip



分布1：都市Aから発生する需要
分布2：都市Bに戻る夕方の需要

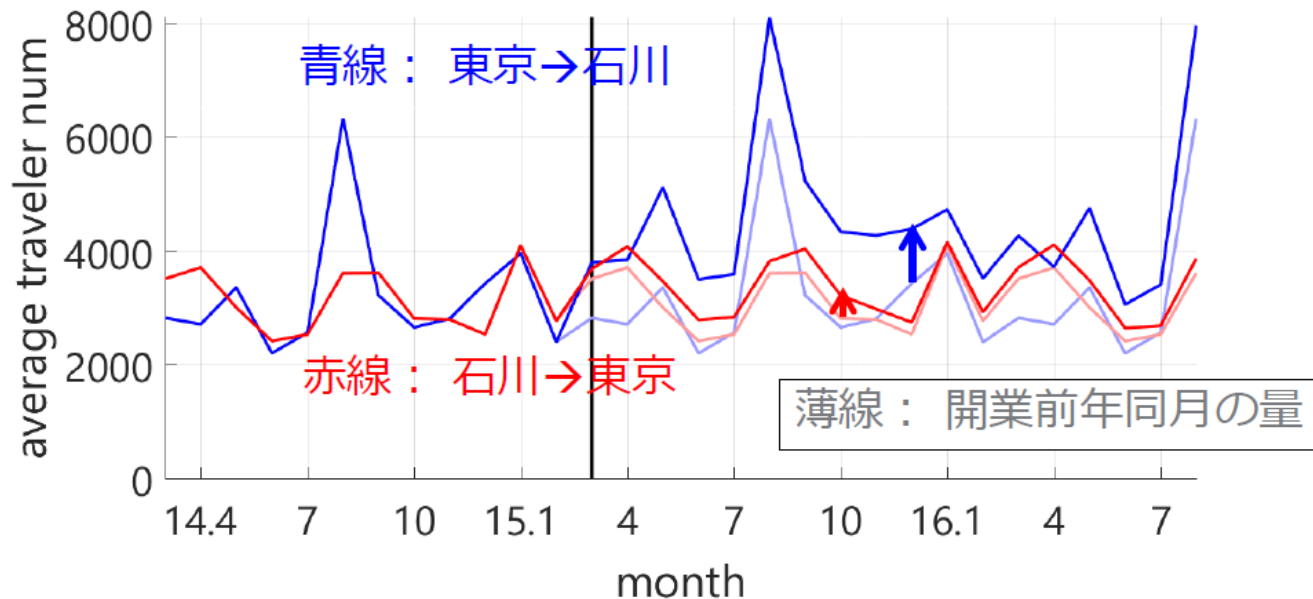
* A→Bだけでなく、B→Aも計測すると、2都市間の需要の時間変動の（非）対称性を議論できる。

* 往路tripと帰路tripの時間変動がわかれば、目的地での滞在時間分布も推定できる。

都市間需要の(非)対称性

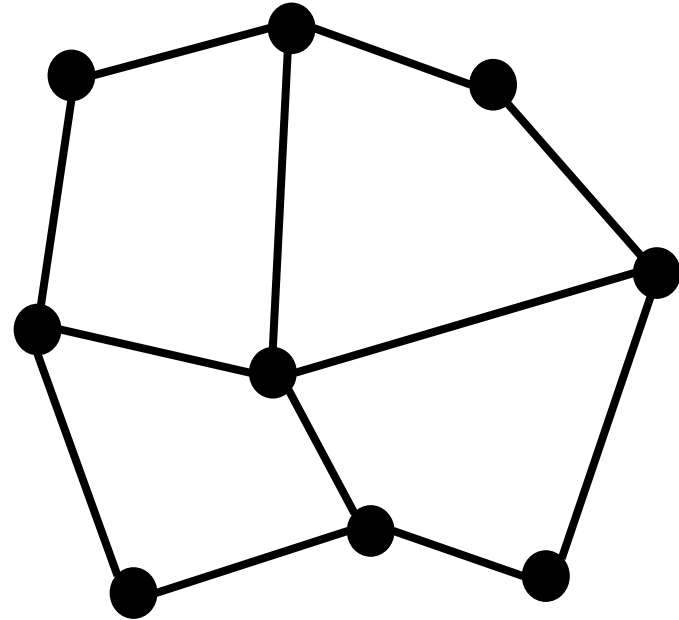
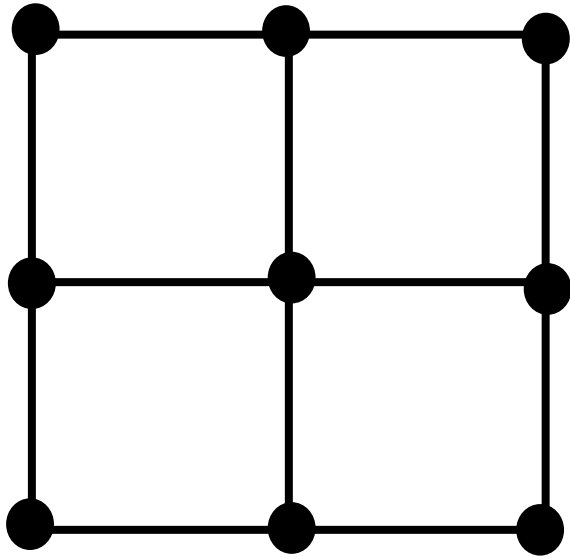
北陸新幹線の整備効果

北陸新幹線の整備効果 (東京 <-> 石川)



- 東京 -> 石川では、滞在人数が1000人/hレベルで増加
→ 新幹線整備によりOD流動量が**非対称に**増加

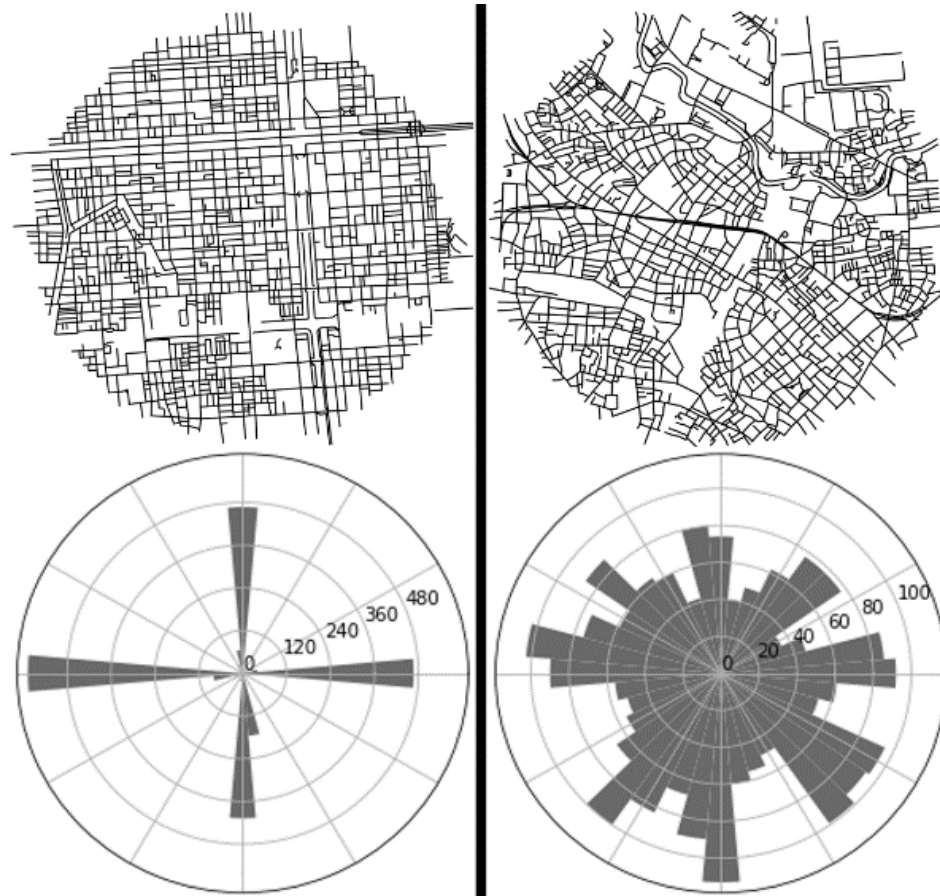
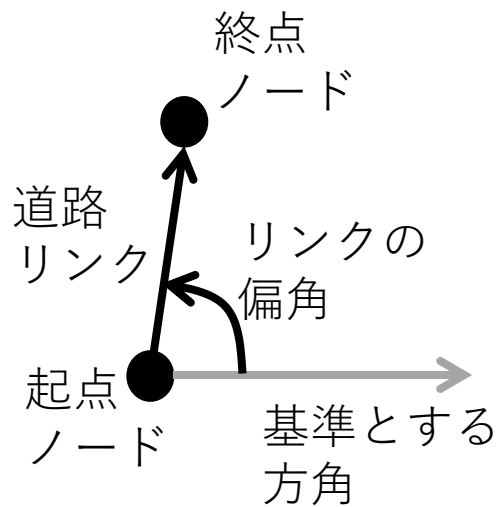
円周分布余談



リンク・ノードのグラフ的な接続関係は同じ。
形を区別したい。（morphology, 形態論）

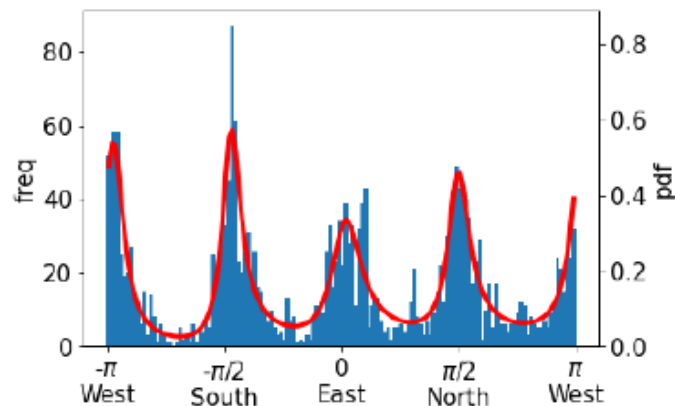
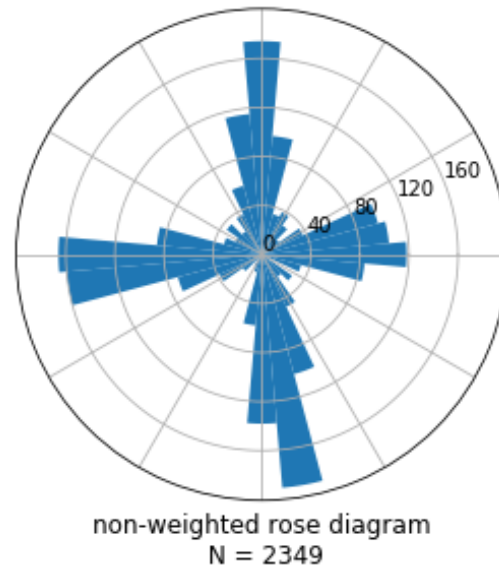
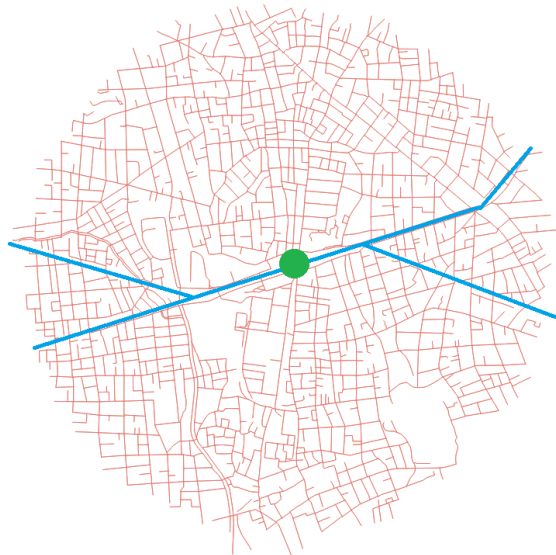
リンクの偏角の分布:バラ図(Rose Diagram)

偏角：決められた方角(ex.東) とリンクが成す角度

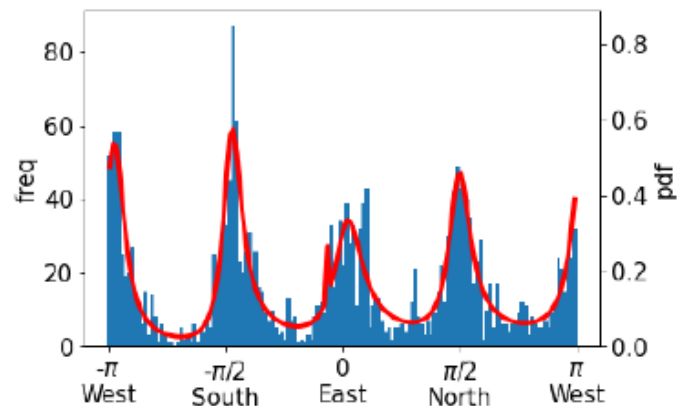


格子状道路網 vs 無秩序道路網

偏角分布の推定結果(例:大岡山駅周辺)



(a) $m = 4$ の推定結果



(b) $m = 5$ の推定結果

“75 Years of the Fundamental Diagram for Traffic Flow Theory”, Transportation Research CIRCULAR #EC149, June 2011, Transportation Research Board.

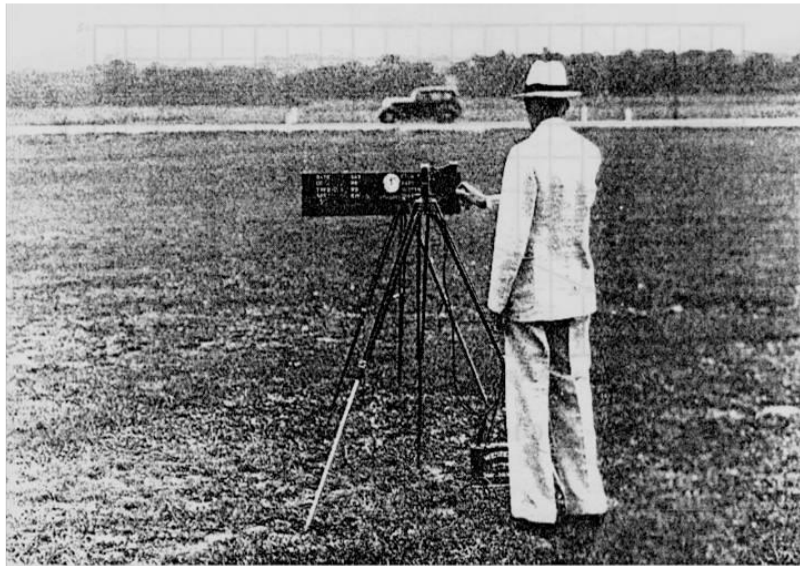


FIGURE 1 Greenshields measurement set up in the 1930s.

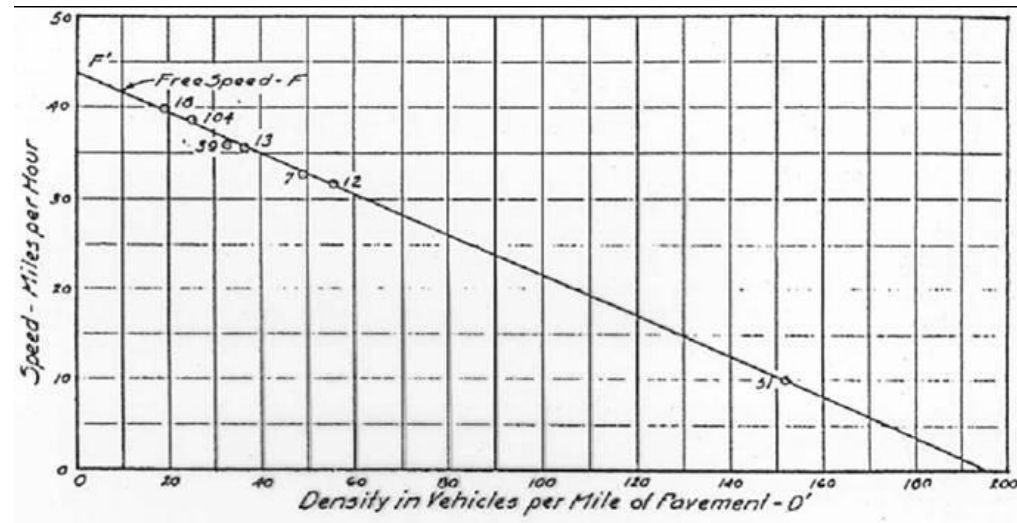


FIGURE 4 Speed–density relation V (Greenshields 1934).

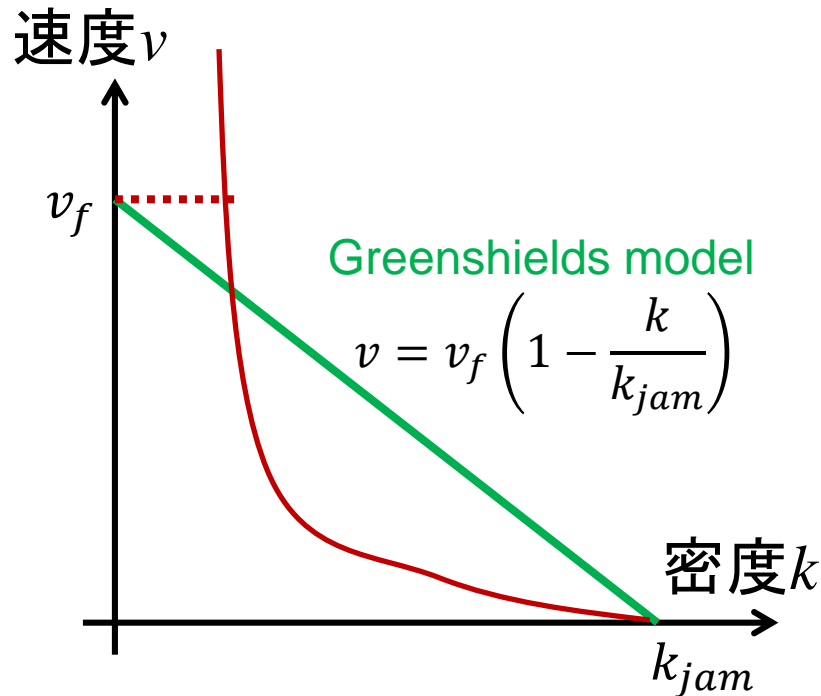
Greenshields model

$$v = v_f \left(1 - \frac{k}{k_{jam}} \right)$$

v_f : free flow speed

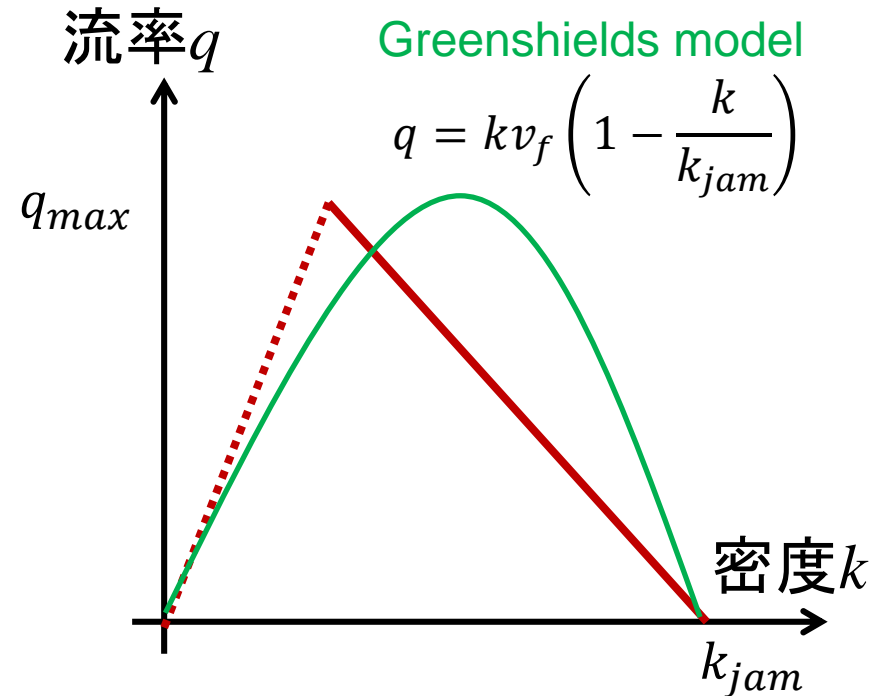
k_{jam} : jam density

Fundamental Diagram



Linear car following model

$$v = \frac{\lambda}{k_{jam}} \left(\frac{k_{jam}}{k} - 1 \right)$$



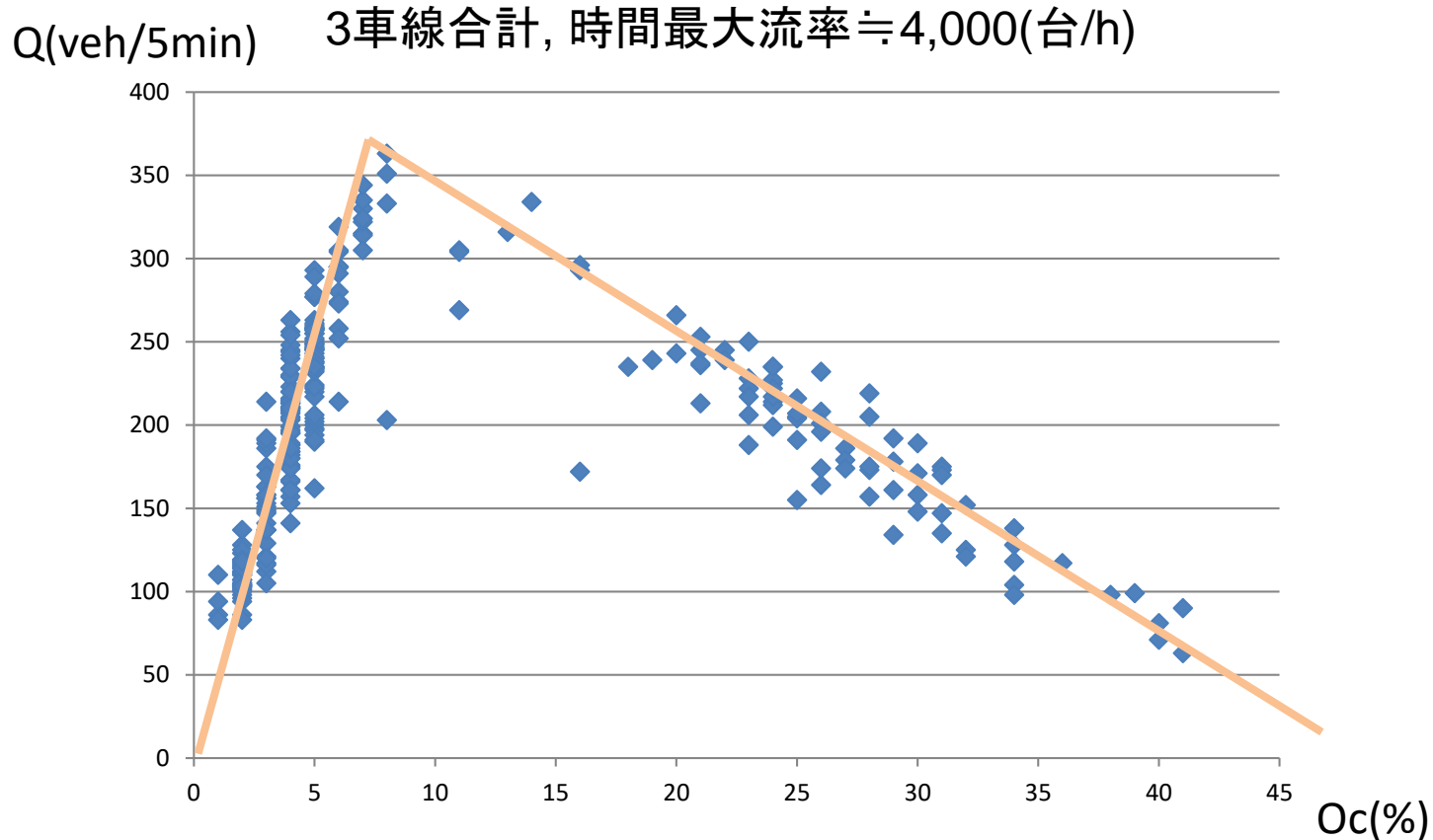
Linear car following model

$$q = \lambda \left(1 - \frac{k}{k_{jam}} \right)$$

密度が低い(車間距離が長い)状態では, 追従挙動は発生せず, 定速=自由流速度 v_f で走行すると考える.

交通流率(Q)と時間占有率(Oc)

東名高速下り, 江田バス停付近(10.48kp)_160917



Oc=50% のとき, 車間距離≒車長
車長=5m であれば, 密度=100(台/km)

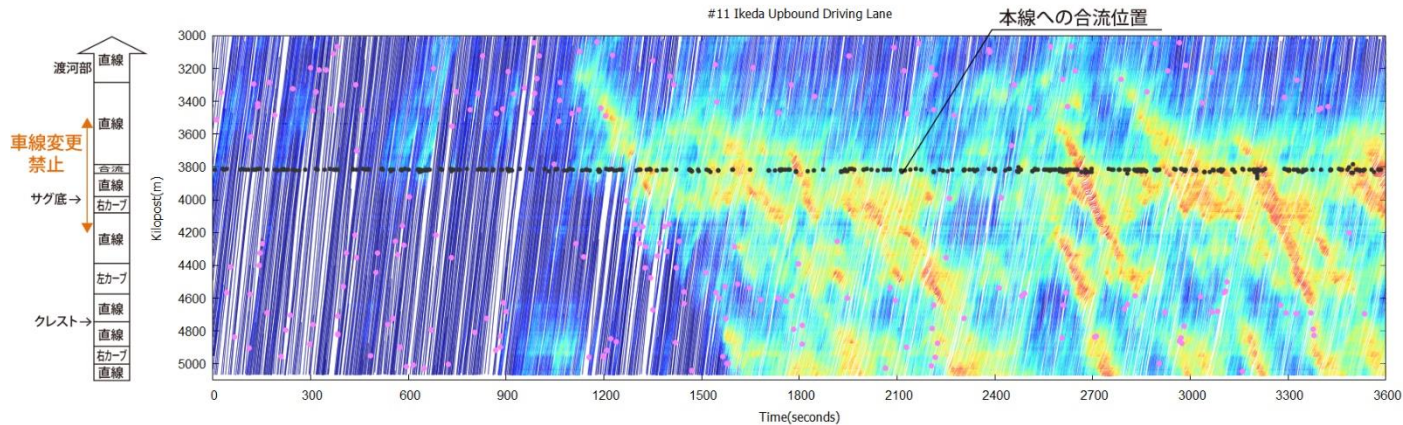
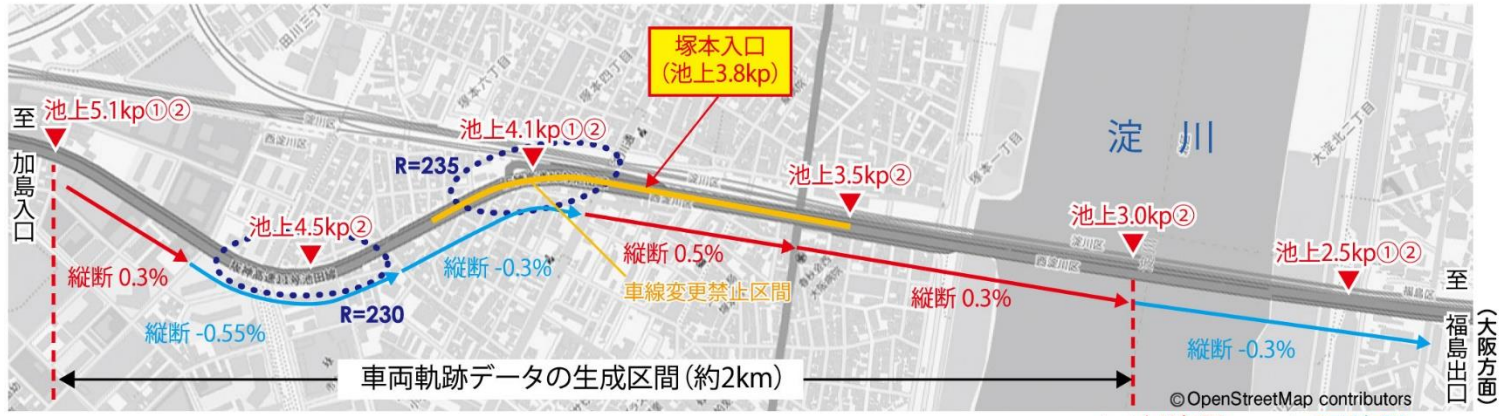
阪神高速 Zen Traffic Data (ZTD)

- 特定区間を通行するすべての車両の0.1秒単位の走行軌跡図(trajjectory)
- 照明柱に設置したカメラ画像から車両と軌跡を抽出.
- 隣接するカメラから得られた軌跡を結合.
- 阪神高速道路(株)がデータ公開.

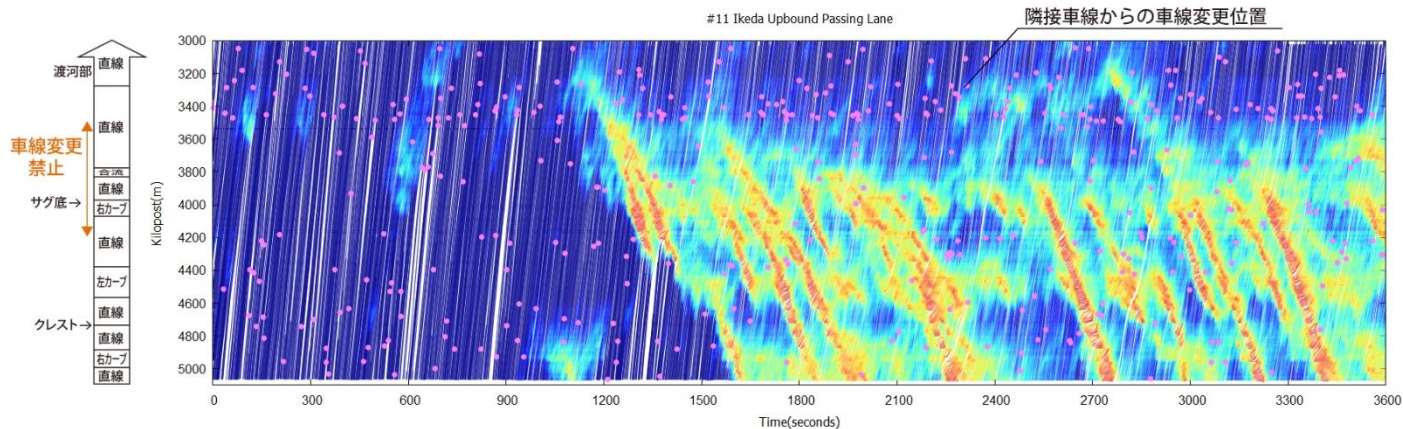
<https://zen-traffic-data.net/>

Toru Seo, Yusuke Tago, Norihito Shinkai, Masakazu Nakanishi, Jun Tanabe, Daisuke Ushiroguchi, Shota Kanamori, Atsushi Abe, Takashi Kodama, Satoshi Yoshimura, Masaaki Ishihara, and Wataru Nakanishi: Evaluation of large-scale complete vehicle trajectories dataset on two kilometers highway segment for one hour duration: Zen Traffic Data, International Symposium on Transportation Data & Modelling (ISTDM2021), Ann Arbor, Michigan, U.S.A., 2021.

▼：車両検知器設置位置(番号は設置車線)



走行車線



追越車線

軌跡図のミクロ分析とマクロ分析

- ミクロ分析: 軌跡をそのままに
 - 追従挙動(縦方向の速度変更)
 - 追い越し(横方向の車線変更)
- マクロ分析: 時空間セルに集計
 - Fundamental diagram
 - 交通状態推定/予測

領域の交通流率*, 密度, 速度

*) 交通流率 (flow rate): 単位時間あたりの交通量

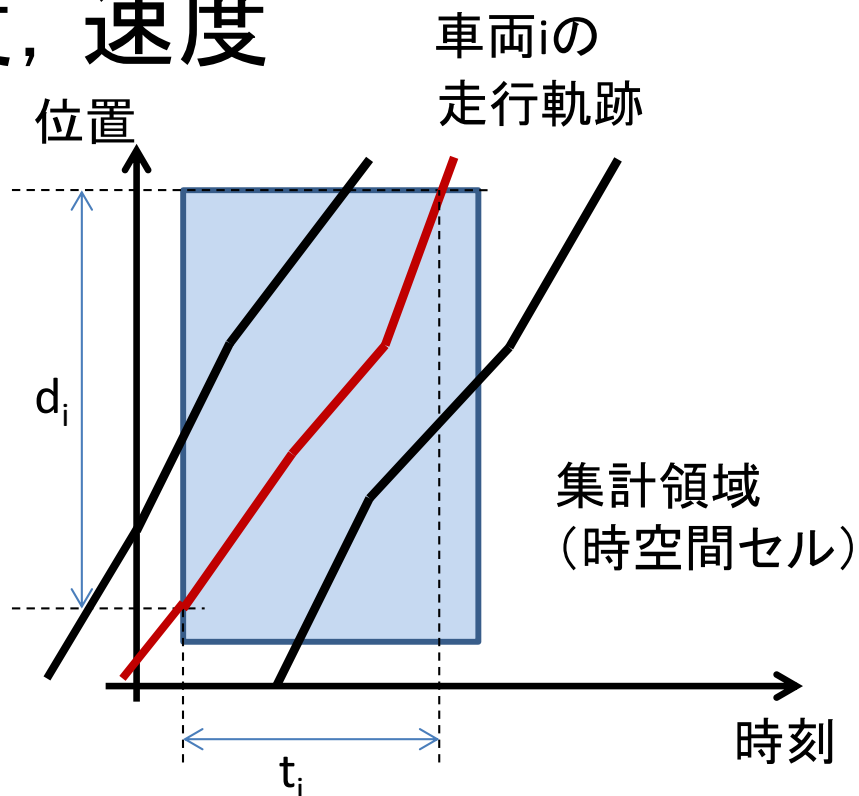
Edie の定義

d_i : 車両 i の領域内移動距離

t_i : 車両 i の領域内移動時間

総走行距離 (台 km): $D = \sum d_i$

総旅行時間 (台時): $T = \sum t_i$



密度 (K) = 総走行時間 / 領域 = T/A (台/km)

交通流率 (Q) = 総走行距離 / 領域 = D/A (台/時間)

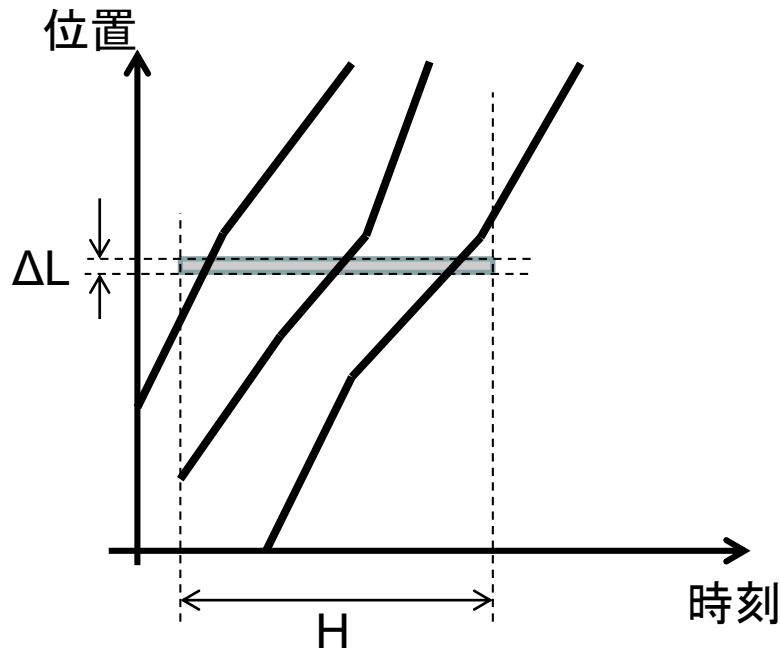
速度** (V) = 総走行距離 / 総旅行時間 = D/T (km/時間)

領域 A
区間 L , 時間 H の
矩形領域なら,
 $A = LH$ (km時間)

**) 空間平均速度

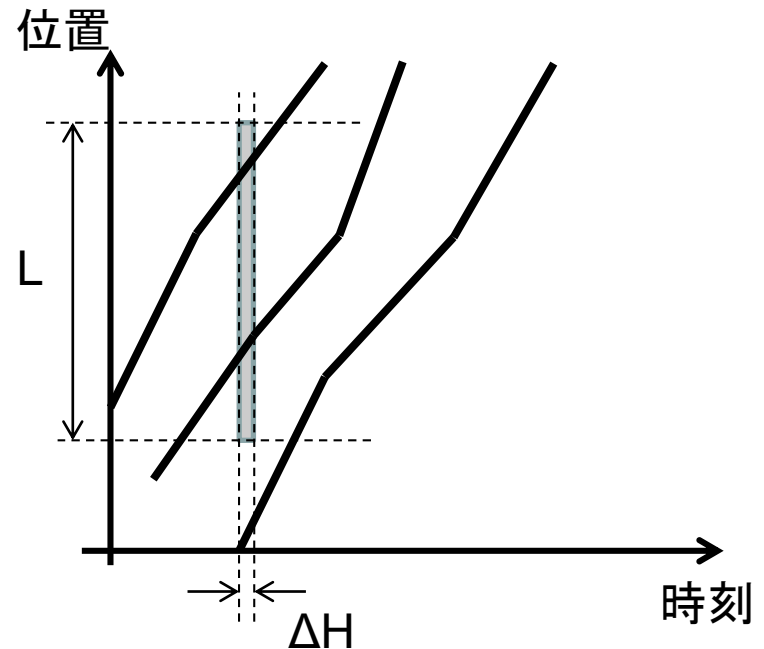
定点観測の交通流率, 定時観測の密度との関係

交通流率 = 台キロ / ($\Delta L \times H$)
 = 領域を通過する台数 / H
 -> 交通量 Q



個々の車両の領域内移動距離 = ΔL
 台キロ = 通過台数 $\times \Delta L$

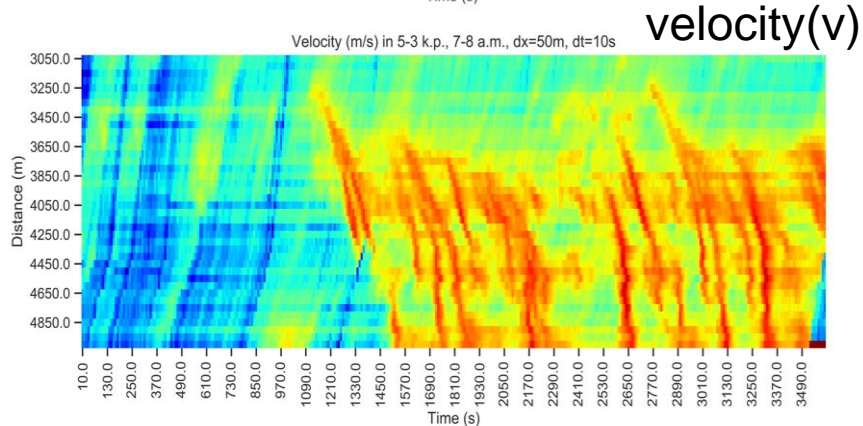
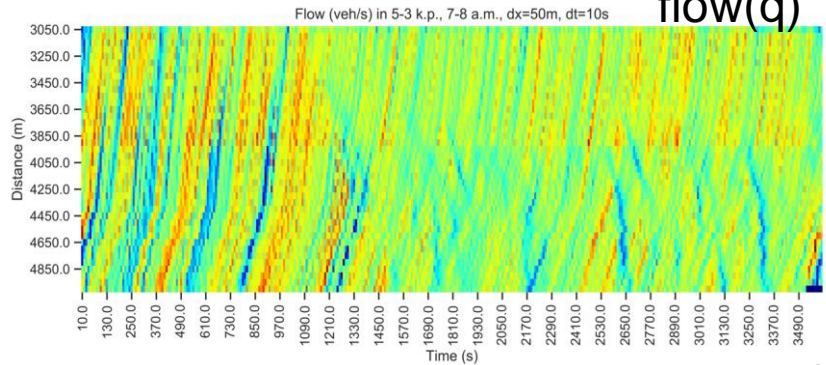
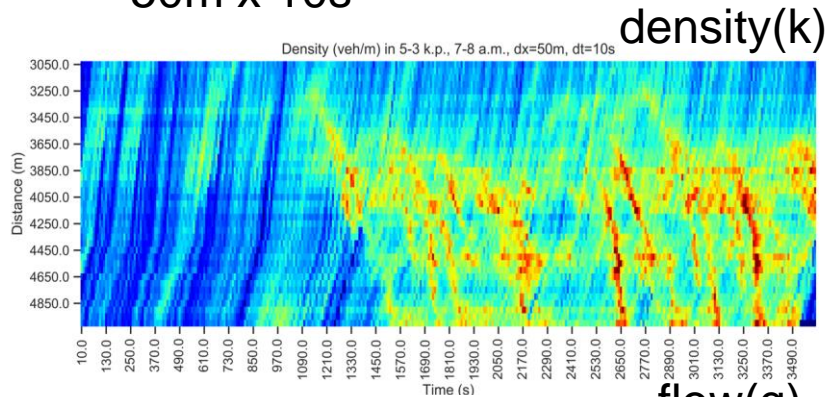
密度 = 台時 / ($L \times \Delta H$)
 = 領域に存在する台数 / L
 -> 密度 K



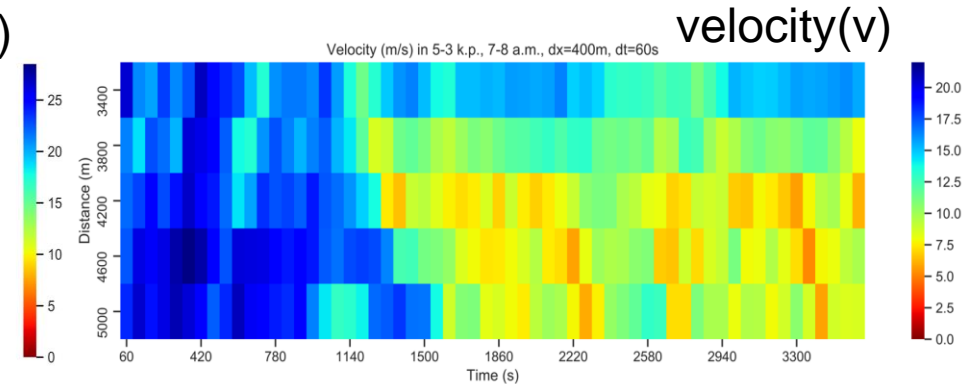
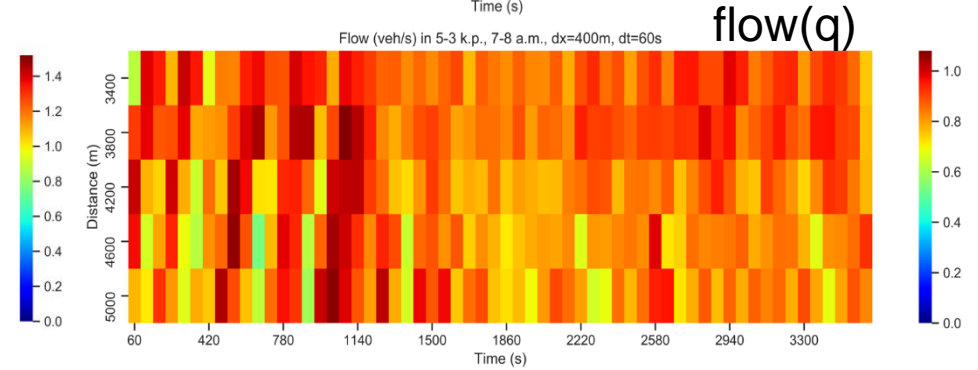
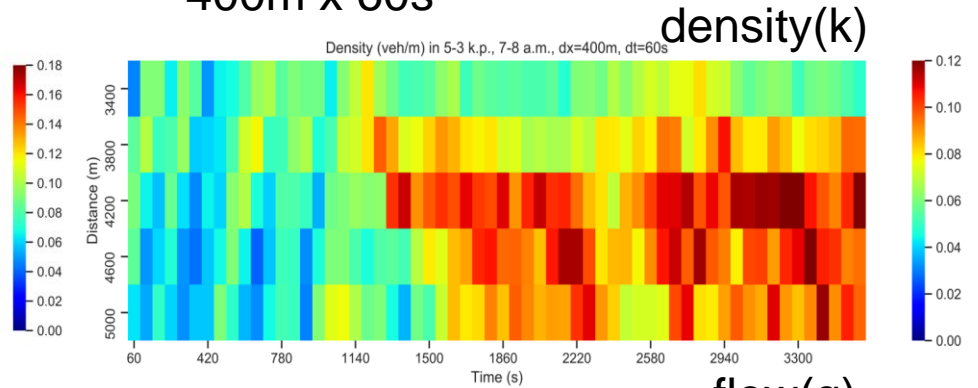
個々の車両の領域内移動時間 = ΔH
 台時 = 存在台数 $\times \Delta H$

ZTDから集計したQ,K,V

50m x 10s



400m x 60s



Fundamental Diagrams

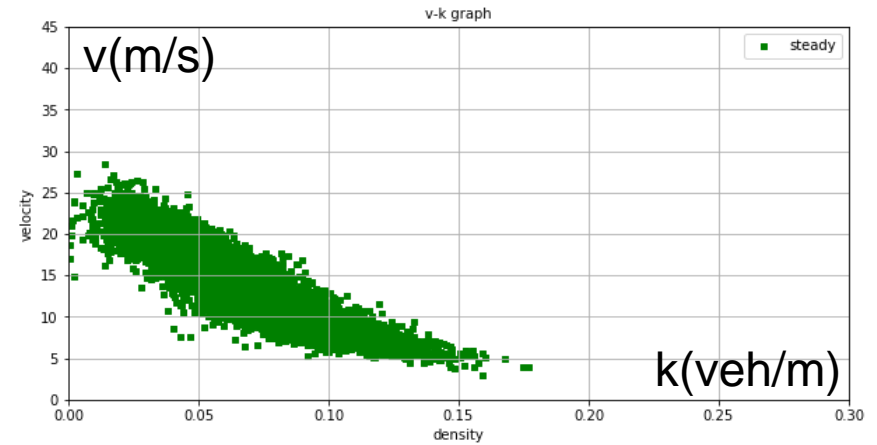
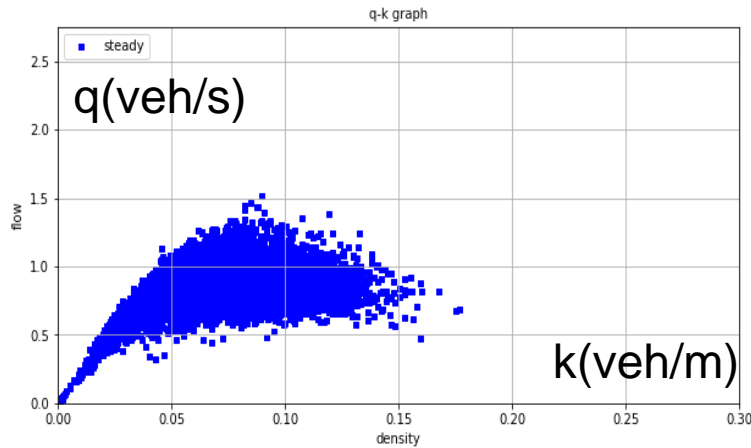
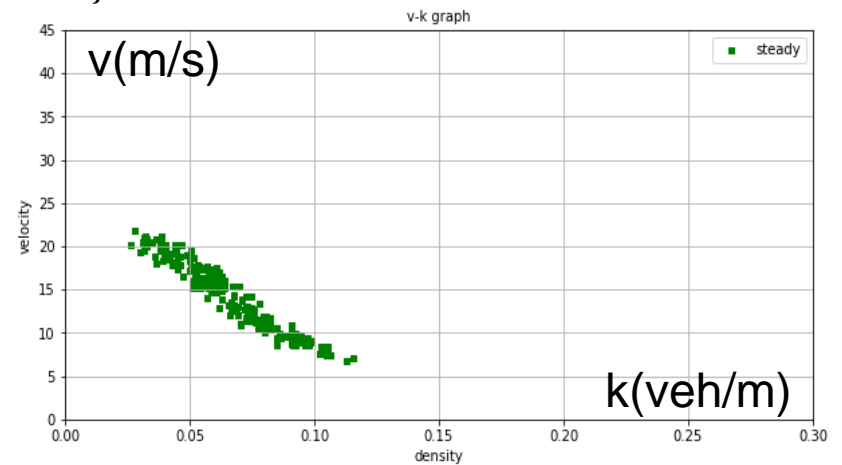
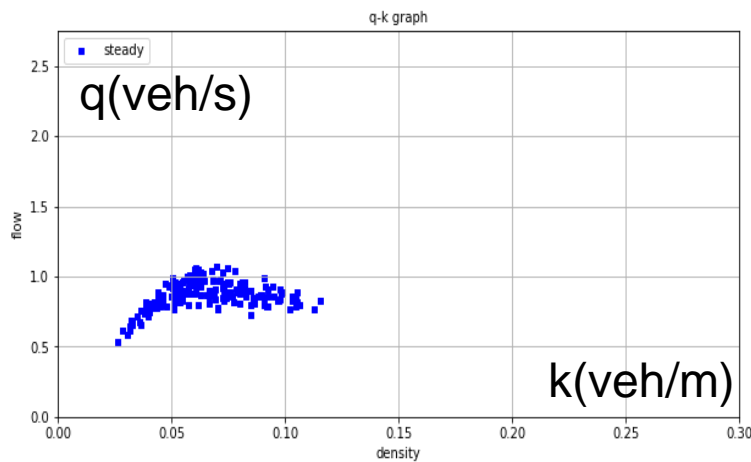


Figure.3. a. (left) q - k plot, 3. b. (right) v - k plot of (steady) ZTD L001_F001 (7:00~8:00 am) for cell size $\{dx=50m, dt=10s\}$



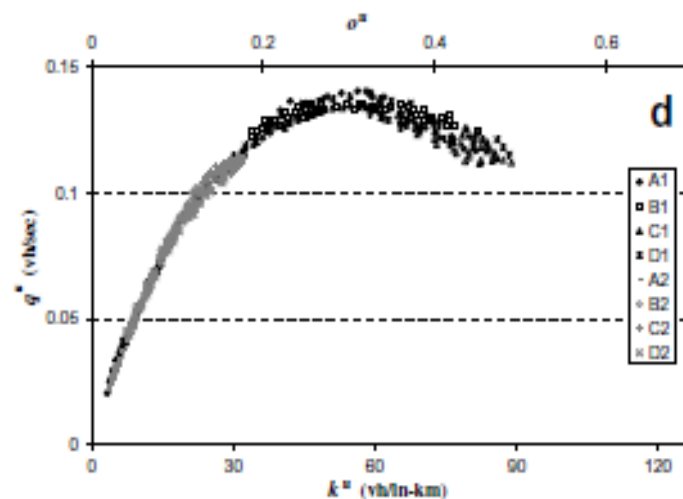
cell size $\{dx=400m, dt=60s\}$

必ずしも美しいとは言えないのは何故？

(1) 分析対象区間が一様でない． 2kmにオンランプ， 曲線区間．

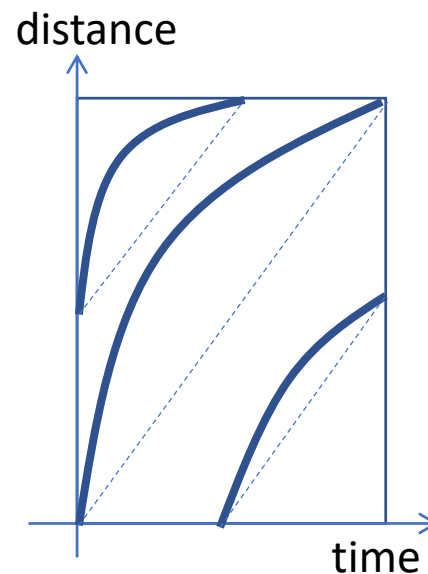
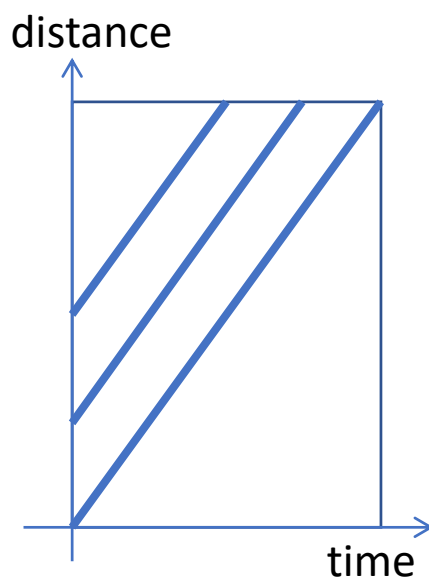
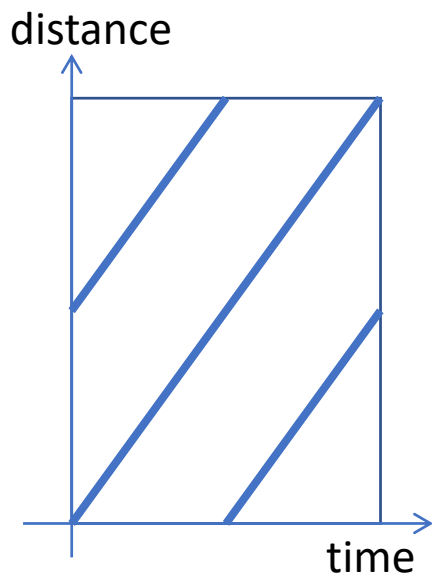
(2) 分析対象時間が短すぎる． 1時間 × 5データセット．

(3) 定常性の判定が甘い．



定常性の判定: on-going

- 定常状態(steady state): ドライバーが加速, 減速の動機を持たず, 一定の車間距離で定速で走行している状態.
- セルを通過する複数の車両の旅行速度の変動係数が一定値以下なら, そのセルは定常状態とみなすことでOKか?



追従モデルとマクロな交通状態との関係

Newell, G.F. (2002) A simplified car following theory: a lower order model, Transportation Research B, Vol.36, pp.195-205.

追従モデル: 個々の車両のミクロな挙動のモデル



集計すると, マクロな交通状態

線形追従モデル

$$\ddot{x}_{n+1}(t+T) = \lambda[\dot{x}_n(t) - \dot{x}_{n+1}(t)]$$

追従は安定的で
定常と仮定



$$dv = \lambda ds$$

積分



$$v = \lambda s + C$$



$$v = \frac{\lambda}{k_{jam}} \left(\frac{k_{jam}}{k} - 1 \right)$$

$$\ddot{x}_{n+1}(t+T) = dv/dt$$

$$\dot{x}_n(t) = v \quad \dots \text{速度}$$

$$x_n(t) - x_{n+1}(t) = s \quad \dots \text{車間距離}$$

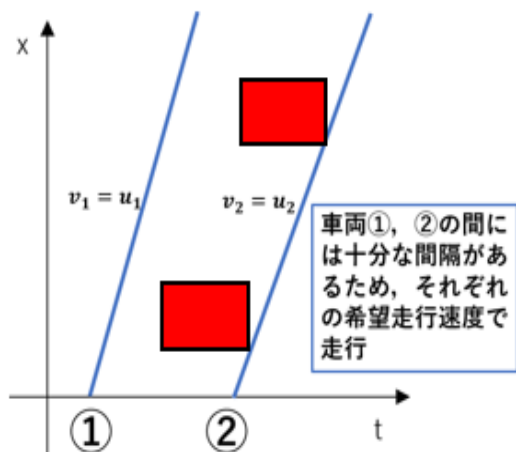
$$\dot{x}_n(t) - \dot{x}_{n+1}(t) = ds/dt$$

境界条件 $v = 0$ at $k = k_{jam}$ より

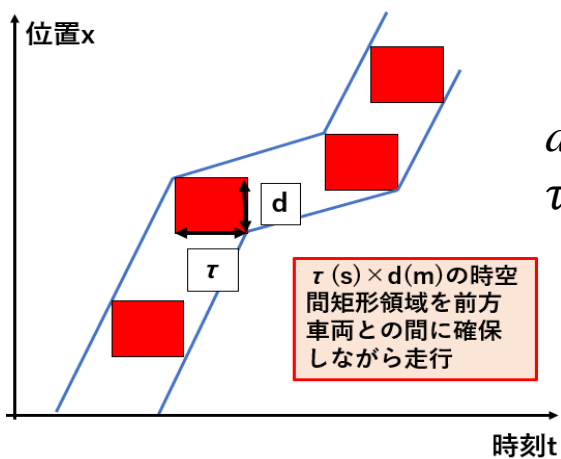
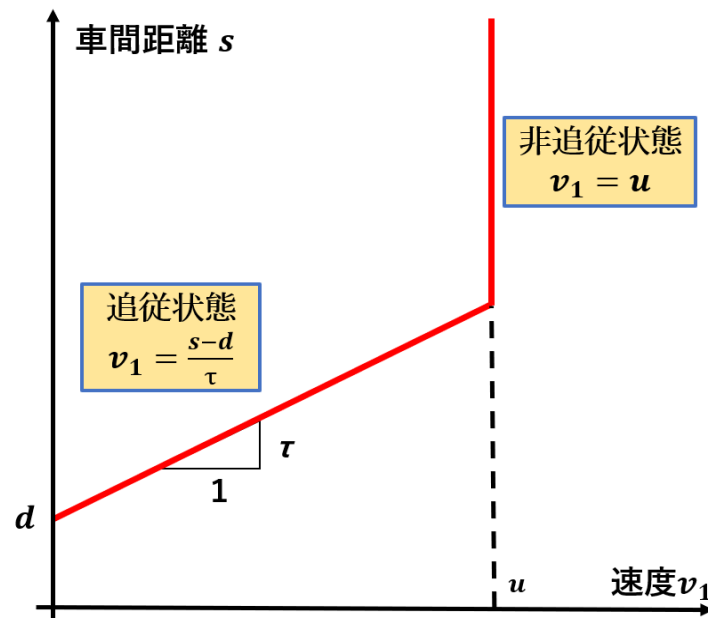
$$C = -\lambda/k_{jam}$$

車間距離=1/密度 $\rightarrow s=1/k$

Newell型線形追従モデル



非追従状態の車両軌跡



追従状態の車両軌跡

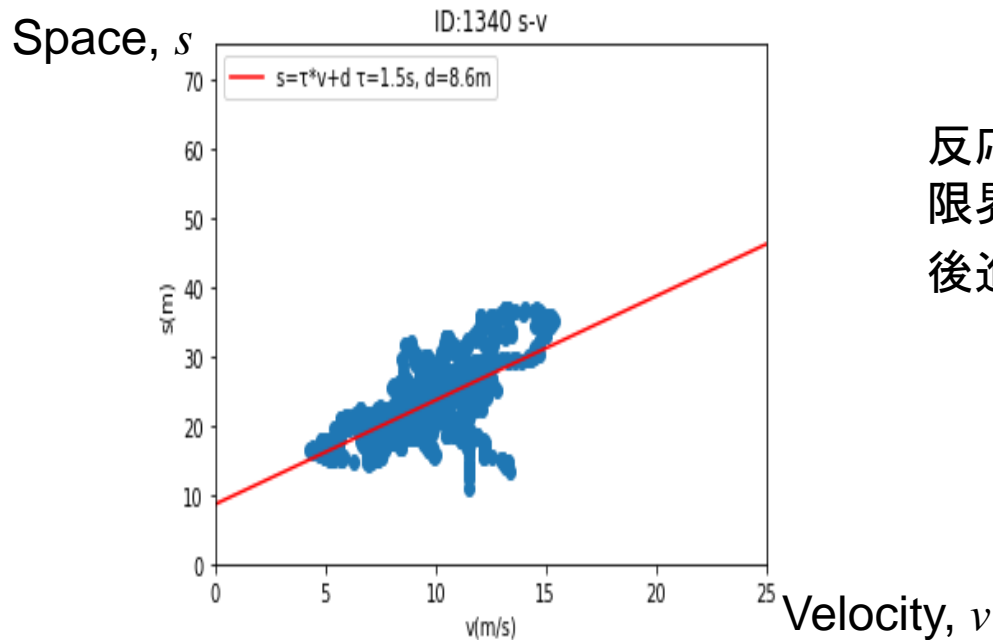
d : 限界車間距離
 τ : 反応時間

線形追従モデル

$$v = \frac{s - d}{\tau}$$

個々の車両の速度(v)と前方車両との車間距離(s)のデータから, τ, d を線形回帰分析により推定

個車のパラメータ推定



反応時間 τ : 1.5 sec
 限界車間距離 d : 8.6 m
 後進波速度 $w = \frac{d}{\tau}$: 20.6 (km/h)

表2.2.1-3 Taylorらによって推定されたNewellモデル式のパラメータ値 (平均値)

パラメータ	推定値
反応時間 τ	1.48 sec
限界車間距離 d	8.06 m
後進波速度 w	20.55 km/h

Taylor, J., Zhou, X., Roupail, N.M., Porter, R.J. (2015) Method for investigating intradriver heterogeneity using vehicle trajectory data : A Dynamic Time Warping approach, Transportation Research Part B 73, 59-80.

推定パラメータの分布

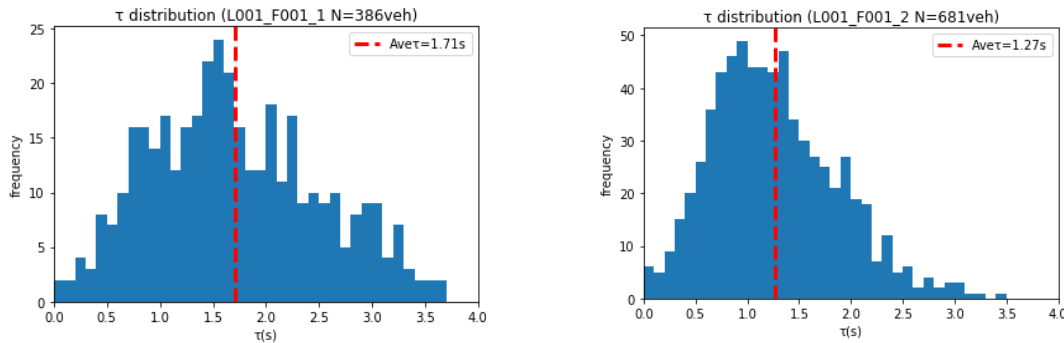


図 4.2-5 個々の車両ごとに算出したパラメータ τ の分布 (赤破線は平均値を示す)
(左：走行車線 右：追越車線)

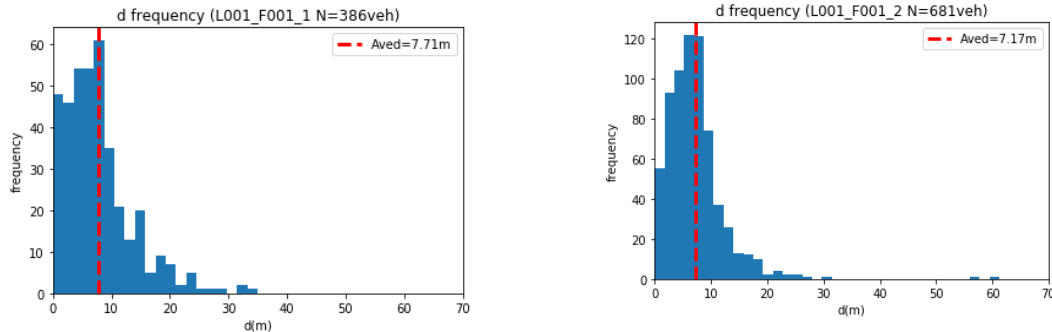


図 4.2-6 個々の車両ごとに算出したパラメータ d の分布 (赤破線は平均値を示す)
(左：走行車線 右：追越車線)

表 4.2-5 補正後の反応時間 τ の平均値 (s)

走行車線	1.71
追越車線	1.27

表 4.2-6 補正後の限界車間距離 d の平均値 (m)

走行車線	7.71
追越車線	7.17

表 4.2-7 RMSE の平均値の比較 (m/(0.1s))

	補正反映前	補正反映後
走行車線	0.697	0.495
追越車線	0.765	0.575

表 4.2-8 モデル式の決定係数 R^2 の比較

	補正反映前	補正反映後
走行車線	0.419	0.454
追越車線	0.421	0.481

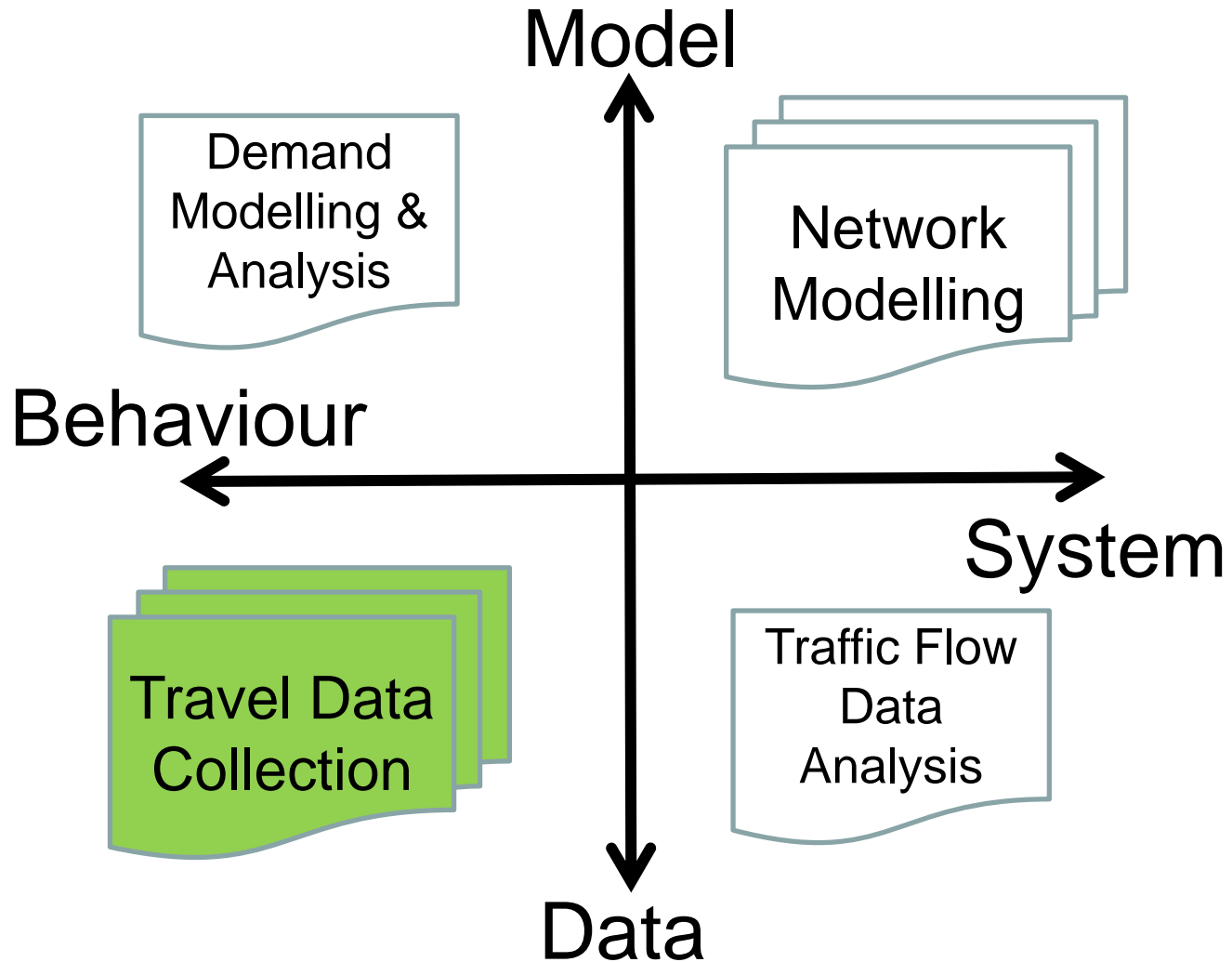
個車のパラメータを推定してどうする？

- パラメータ(τ, d)の相関の解析.
- パラメータの状態依存性(位置, 交通状態)の解析.
- 追従+車線変更の解析.

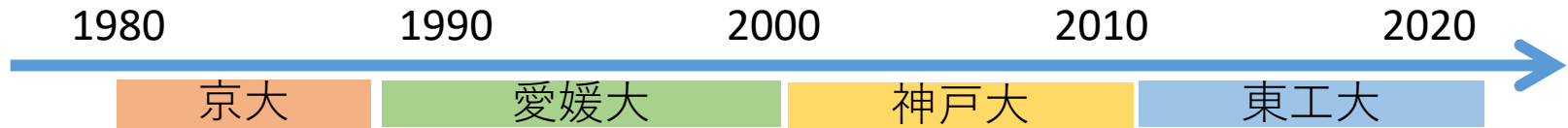
- 個車の挙動の異質性の理解.
- 不安定な交通状態の発生メカニズムの解明.
- 異常挙動車の発見. 安全性, 効率性への影響.
- 異質性がなくても生じる異常と, 異質性が引き起こす異常.

- 交通流シミュレータの入力情報(分布を入力)としての利用.

Next Talk



Section 2 交通行動の観測: Contents



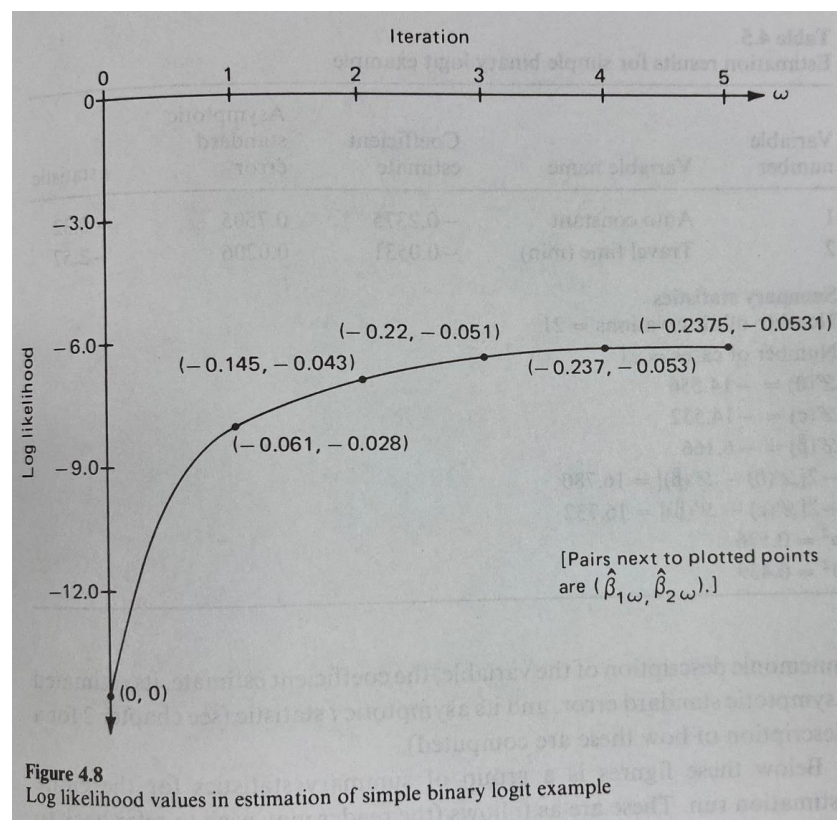
- 離散選択モデル(1981)
- 自前の交通行動調査(1983)
- 携帯機器以前の経路選択調査(1995)

- PHSによる追跡型の行動調査(1998)
- PEAMON開発(2000)
- プロブパーソン調査(2007)
- 鉄道ICカード解析(2005)
- 回遊(2002), 避難(2016)

- 自己学習する行動調査(2016)

はじめての離散選択モデル

- MIT夏季セミナー(1981)
- 助手1年目
- 東京に二週間私費出張
(高山純一先生と同宿)
- 録音したが再生せず
- 帰学して研究室で報告
- Gumbel分布
- 最尤法によるパラメータ推定のアルゴリズムとプログラミング
- 非線形計画法

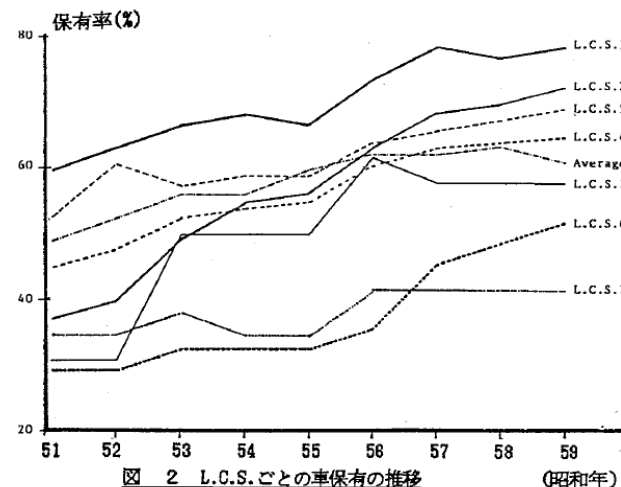


はじめての交通行動調査

- 既存のPT調査の精度に疑問
- 洛西・向島NT調査(1983)
- 300世帯の行動調査の企画と実施
- 不在10%と拒否10%
- ライフサイクルステージ
- 車の保有と利用の分析

あった。表 1 ライフサイクルステージの分類

L.C.S.	各ステージの説明
1	世帯構成員の最低年齢が35才以下で子供のいない世帯
2	就学前の子供がいる世帯
3	就学前の子供と小学生以上の子供がいる世帯
4	すべての子供が小学生以上である世帯 (一番下の子供が11才以下で就学している)
5	すべての子供が中学生以上である世帯 (一番下の子供が12~17才)
6	すべての子供が就業年齢に達した世帯 (一番下の子供の年齢が18才以上)
7	世帯構成員の最低年齢が36才以上の世帯



佐佐木 綱, 朝倉 康夫, 木村 宏紀, 和田 明(1986) 世帯のライフサイクルステージと車保有・利用の関連分析, 都市計画論文集, 21, 145-150.

携帯機器以前の経路選択行動調査

- Bovy & Stern(1990), 経路認知と選択
- 実道路網での経路選択実験,
- 同乗者が経路を地図上に記録
- 松山(1996), 熊本(1997)
- 経路選択肢集合の生成
- Screening + EBA(Elimination by Aspects)

表1 EBAに用いる属性

EBAに用いる属性(Aspects)

- Aspect1: 距離・・・最短経路距離の1.5倍以下
(ここでは9km以下)
- Aspect2: 右左折数・・・2回以下
- Aspect3: 重複距離率・・・50%以下

重複距離率の計算方法

$$\text{重複距離率} = \frac{K \text{ 番目最短経路と経路 } A_j \text{ の重複距離}}{\text{経路 } A_j \text{ の経路距離}} \times 100$$

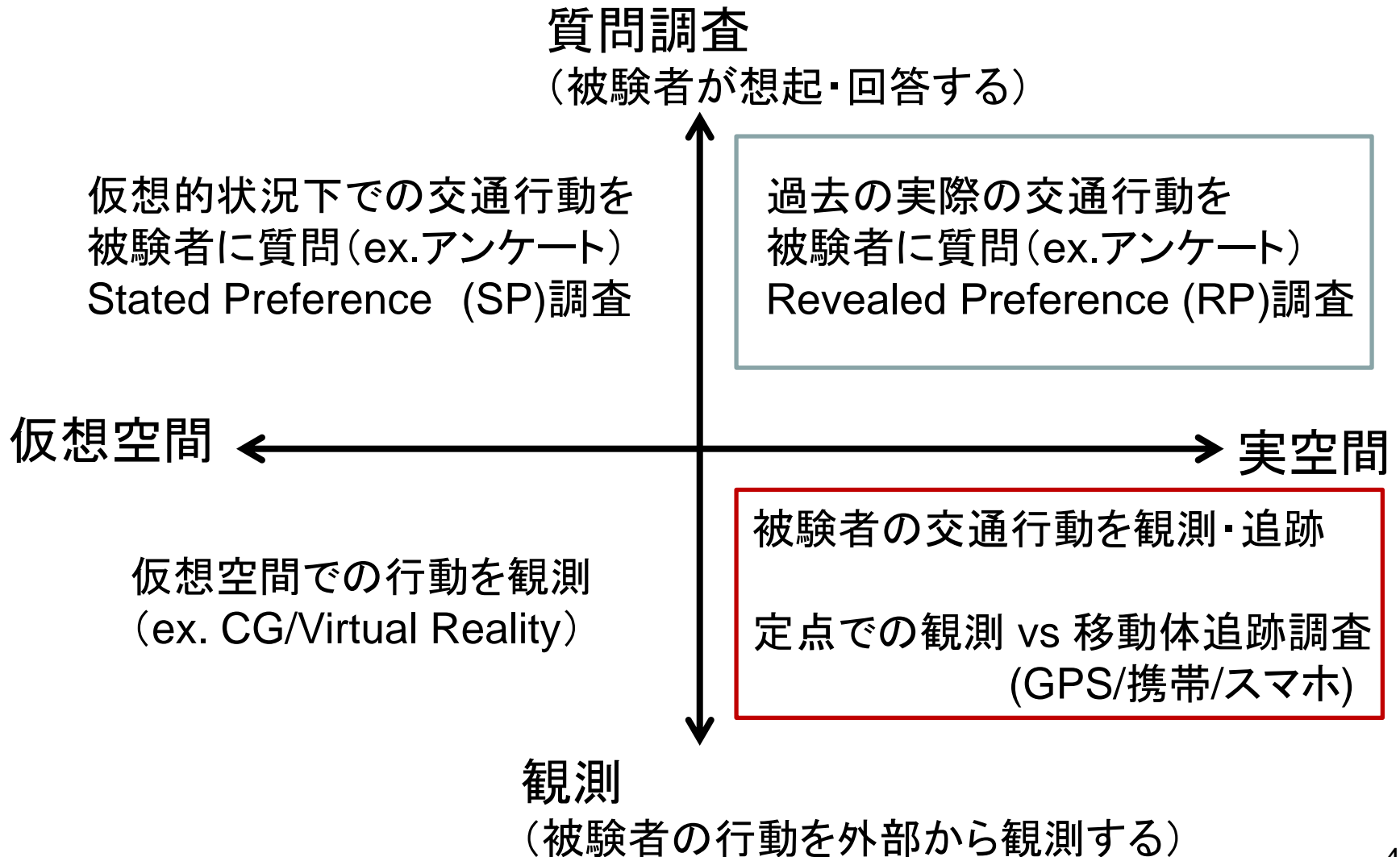
経路 A_j : 経路集合 S に含まれる経路
($j=1, \dots, n$, n : その時点で経路集合 S に含まれる経路数)

Piet H Bovy and Eliahu Stern (1990) Route Choice: Wayfinding in Transport Networks. Kluwer Academic Publishers.

真浦靖久, 朝倉康夫, 羽藤英二, 宗貞孝太郎(1999) 経路選択集合生成アルゴリズムの提案と松山市道路網での検証, 土木計画学研究・講演集, 22(2), 187-190.

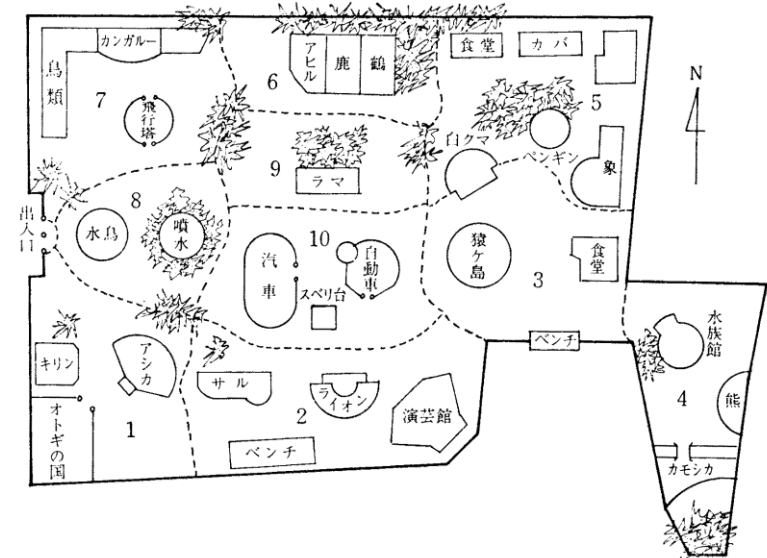
朝倉康夫, 羽藤英二(2000) 交通ネットワーク上の経路選択行動: 観測と理論. 土木学会論文集, 660/IV-49, 3-13.

交通行動調査の類型



追跡型の行動調査とマルコフ連鎖モデル

図-3 京都岡崎動物園略図



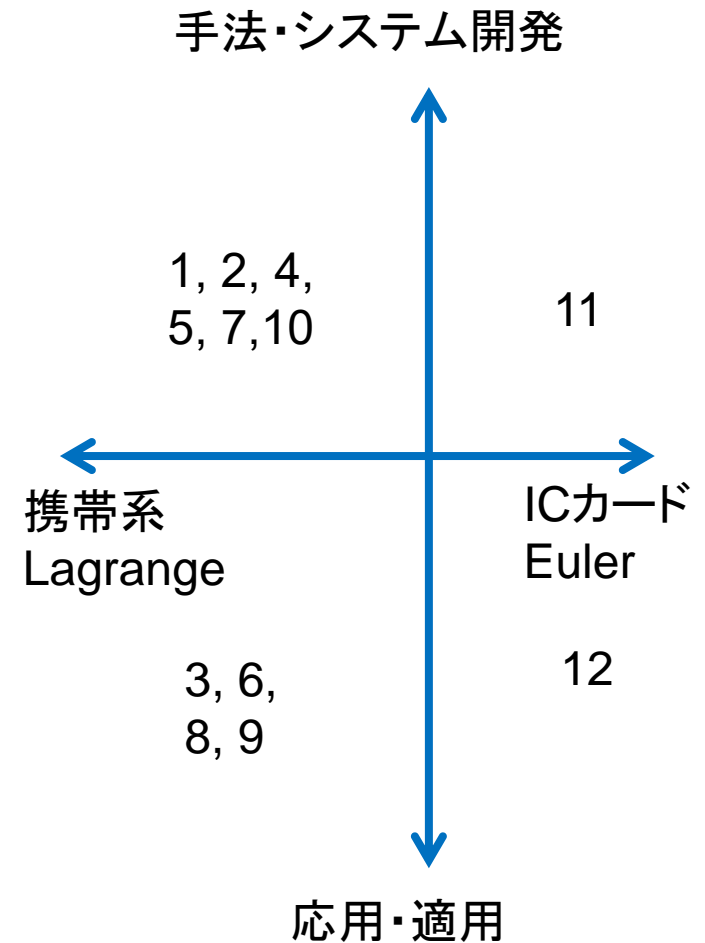
- 佐佐木綱, 松井寛 (1968): 会場内の観客流動モデル. 土木学会論文集, 159号, pp.90-95.
- グループ別(家族連れ, 友人連れ, アベック)の観客追跡
- 展示ゾーン間の推移確率行列の推定
- 吸収マルコフ連鎖モデルによる解析
- セミマルコフ過程による観客の動的流動解析

表-2 家族連れの推移確率行列

r	s	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
1	0.18											
2		0.80						0.05	0.15			
3			0.71					0	0.07		0.04	
4			0.20	0.32							0.48	
5				0	0.31	0.61	0			0.04	0.04	
6					1							
7					0.13		0.60			0.27		
8					0.06		0.06	0.75	0.13			
9	0.50							0.17	0.33	0		
10	0.43							0.21	0	0		
									0.29	0.14	0.07	0.36
									0.10	0.26	0.16	0

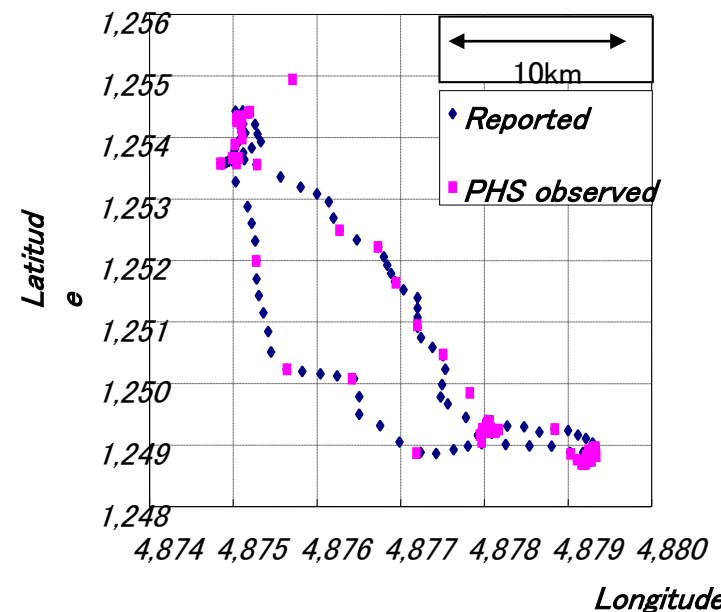
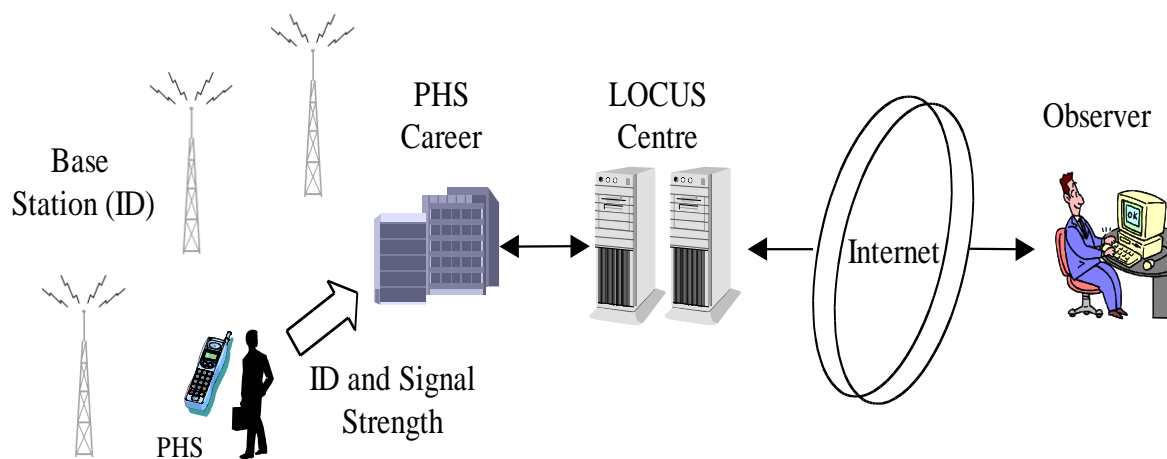
行動観測の手法と調査 (history & classification)

- 1) PHSによる日常行動調査(1998)
- 2) 移動滞在判別, マップマッチング(1998)
- 3) イベント観客行動調査, SUMO (1999)
- 4) 観測機器(PEAMON)開発(2000)
- 5) 基地局情報を使わない位置特定(2002)
- 6) 北野町回遊行動調査(2003)
- 7) プロブパーソンシステム(2004)
- 8) PP+SPによる交通需要調査, トヨタ(2007-09)
- 9) PP+SPによる避難行動調査, 科研S(2014-18)
- 10) 自己学習する行動観測(2017-19)
- 11) 鉄道ICカード解析, 阪神・阪急 (2006-10)
- 12) 商業施設と鉄道連携調査(2007)



携帯機器による行動調査の始まり

PHSの位置特定機能を利用したOn-line行動観測



佐佐木綱先生→長谷川利治先生→神島博昭氏

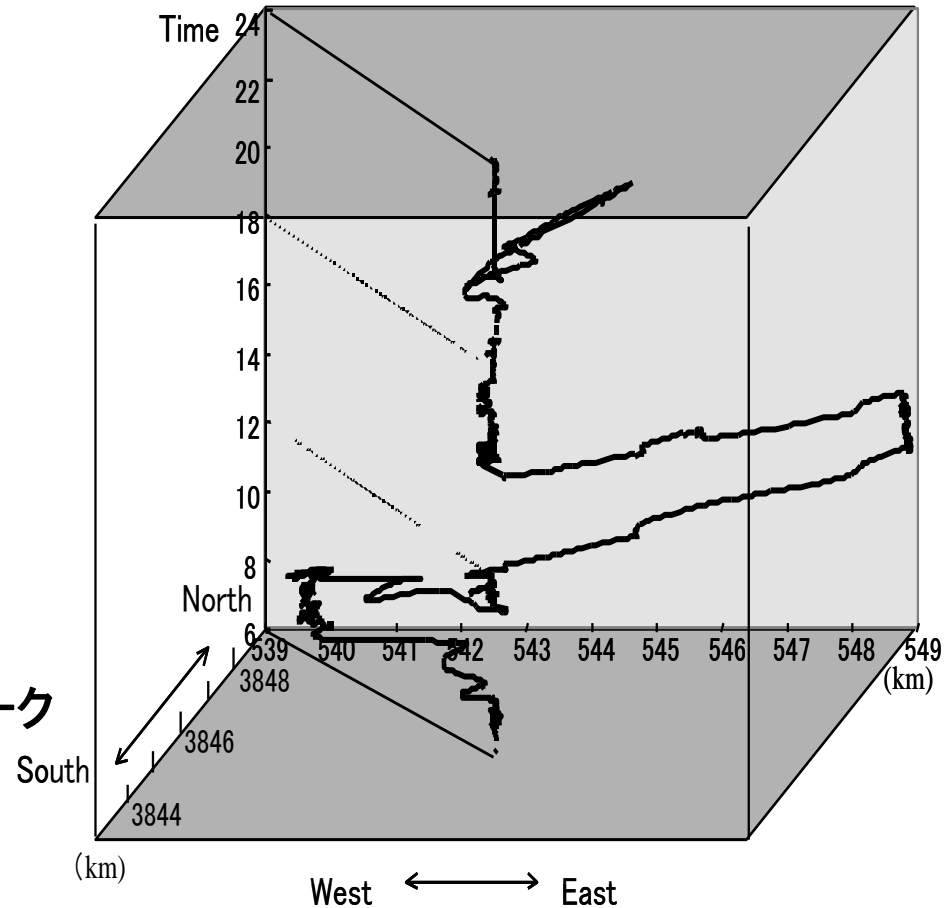
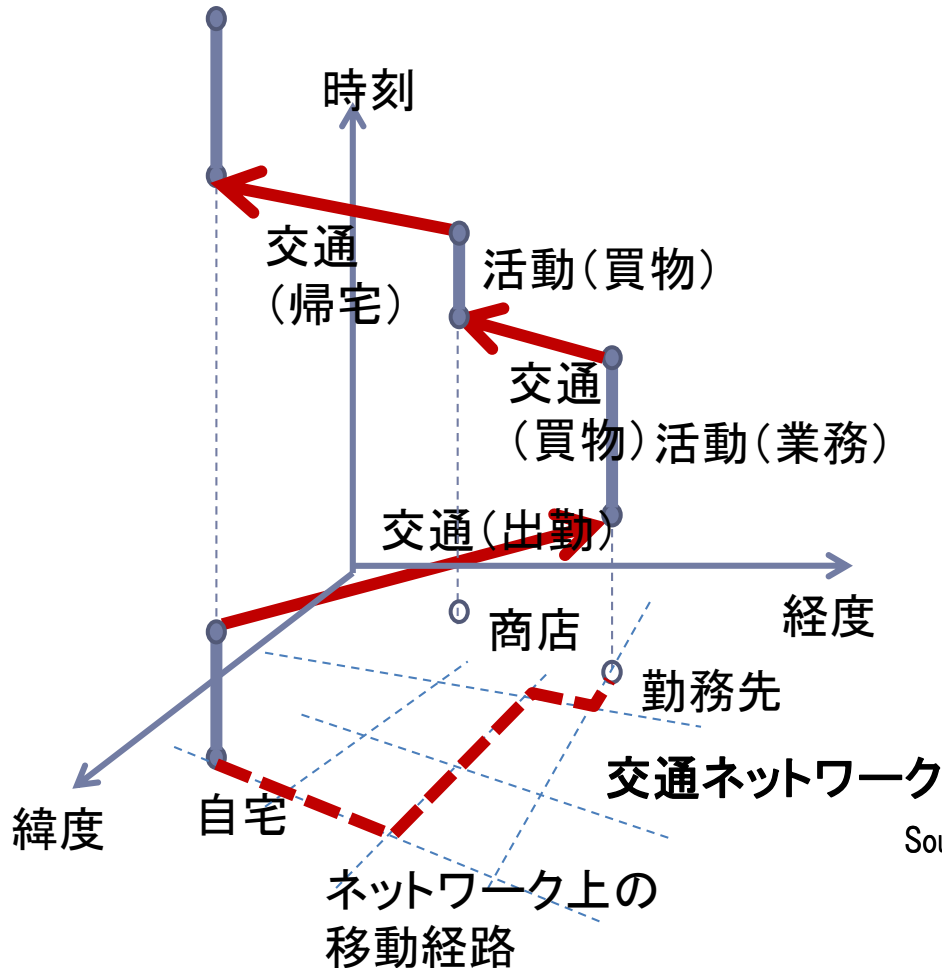
1998年4月 LOCUS社による位置特定サービスの開始

1998年11月 愛媛大学チーム(朝倉・羽藤・柏谷)による世界で最初の交通行動調査
(被験者数@阪神高速10名, 2週間, 2分に1回の位置特定)

朝倉康夫, 羽藤英二, 大藤武彦, 田名部淳(2000) PHSによる位置情報を用いた交通行動調査手法. 土木学会論文集, No.653 /IV-48, pp.95-104.

Asakura, Y. Hato, E. (2004) Tracking survey for individual travel behaviour using mobile communication instruments. Transportation Research Part C: Emerging Technologies 12 (3-4), 273-291.

3次元空間での行動の可視化 (時空間パスダイアグラム)



移動・滞在判別

- 位置データ(点列)から行動(trip)の抽出に必須
- 観測点に移動(move), 滞在(stay)のラベルを貼る
- 連続する2個の観測点間の距離(d)がしきい値(D)内にあるか否か

a)時刻tの点が滞在→ $d \leq D$ なら時刻t+1の点は滞在, $d > D$ なら暫定的移動

b)時刻tの点が暫定的移動→ $d \leq D$ なら時刻tと時刻t+1の2点は同一点での滞在, $d > D$ なら時刻tの点は真の移動, 時刻t+1の点は暫定的移動

- 滞在時間制約と移動時間制約

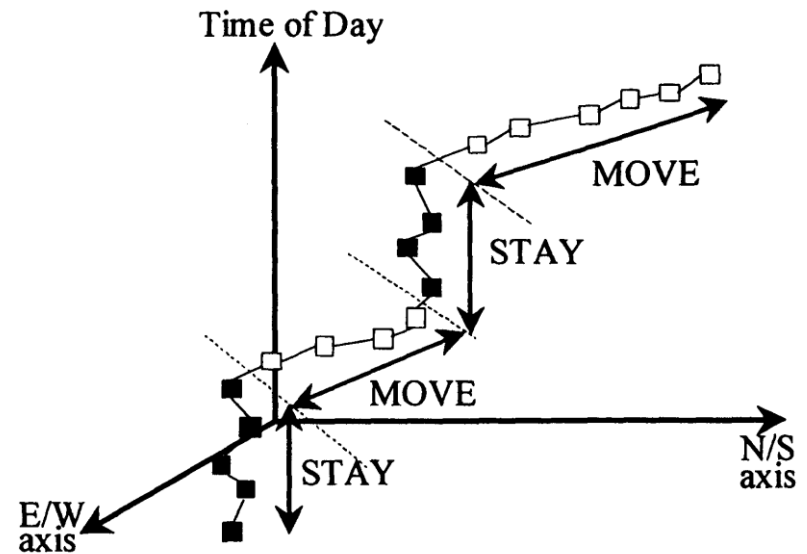
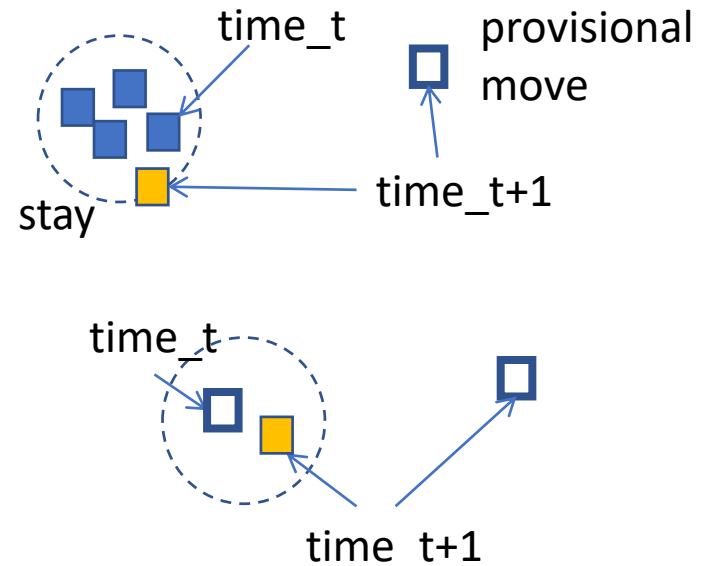


図-3 PHSによる位置座標データと時空間パス

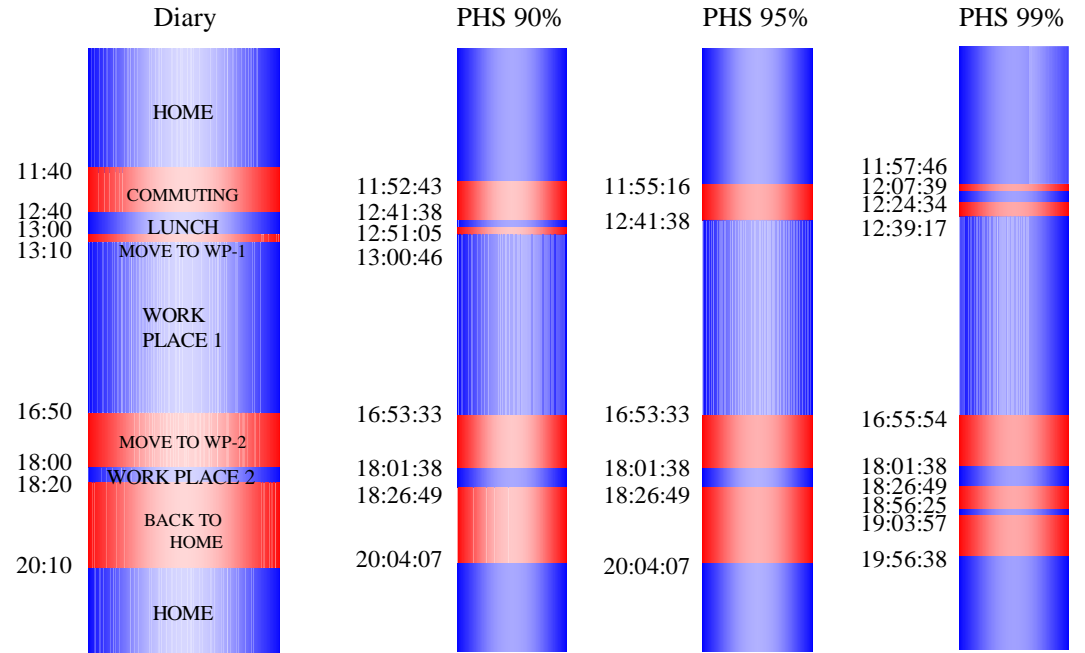
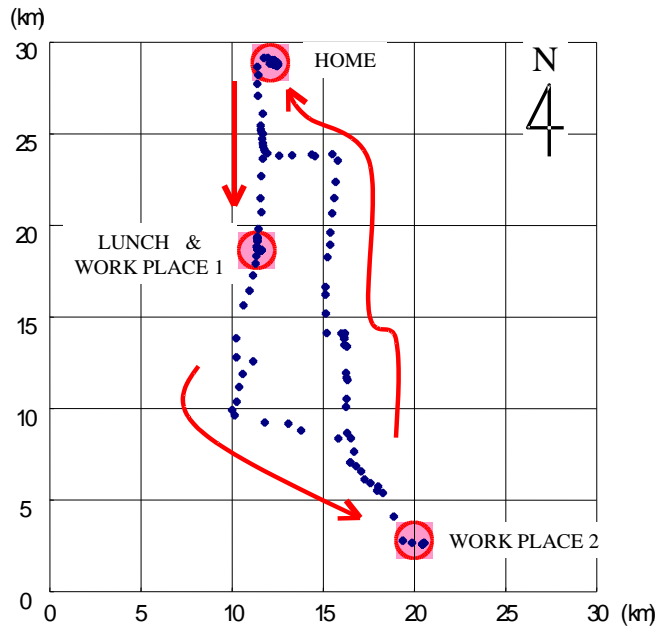


特許(出願#_1999-281941, 公開#_2001-101562)

朝倉康夫, 羽藤英二, 大藤武彦, 田名部淳

データ処理装置およびデータ処理プログラムを記録した記録媒体

行動軌跡(平面)と時間利用の再現性



しきい値： 短(170m) 中(250m) 長(500m)

経路特定(map matching)

- 移動(move)と判別された点列が利用した経路の特定
- サブネットワーク(帯): 移動点から半径D以内に存在するリンクの集合
- 連結性の判定. 非連結網ならDを拡大
- 起終点間の最短経路を移動経路に特定
- 移動点を経路上のリンクに吸着
- 修正ルール(Screening法)
 - サブネットワークの経路を列挙
 - 移動点と経路との距離を評価

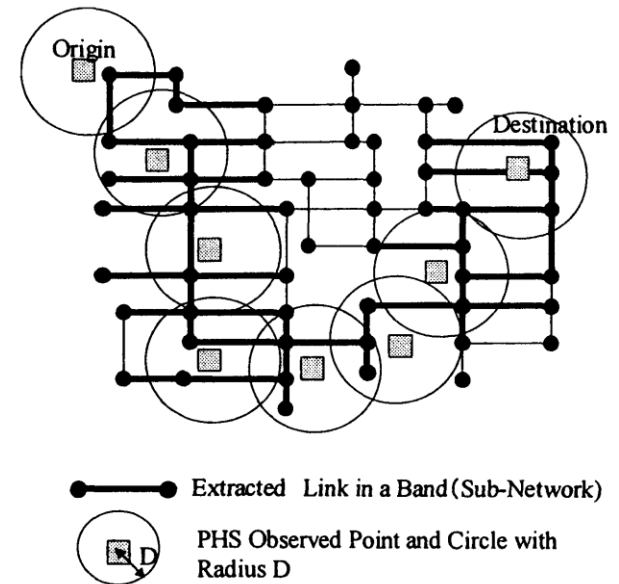


図-4 帯状のサブネットワークのイメージ

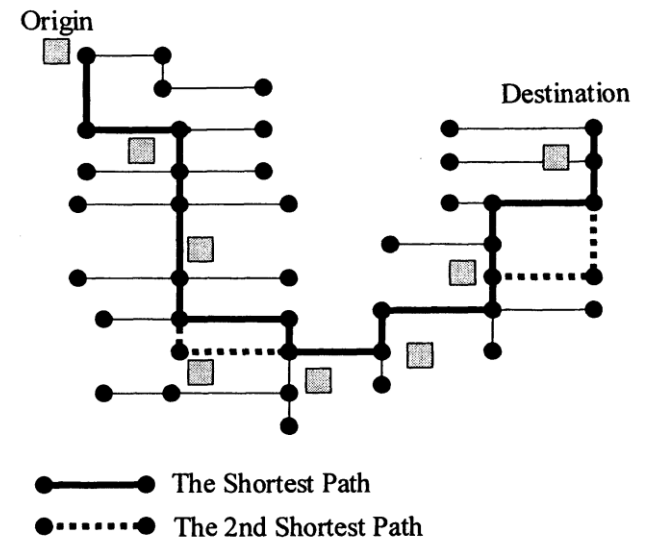


図-5 修正ルールによる経路抽出の概念図 48

特許(出願#_1999-281941, 公開#_2001-101563)

朝倉康夫, 羽藤英二, 大藤武彦, 田名部淳

データ処理装置およびデータ処理プログラムを記録した記録媒体

SUMO project

- SUMO: Survey Using Mobile Observatory
- 大相撲@大阪城ホール,
1999年4月3日
- イベント観客の行動
- 入場, 滞在, 出場, 周辺回遊
- 観客100名
- PHS-online
- 弓取式はCongestion Management

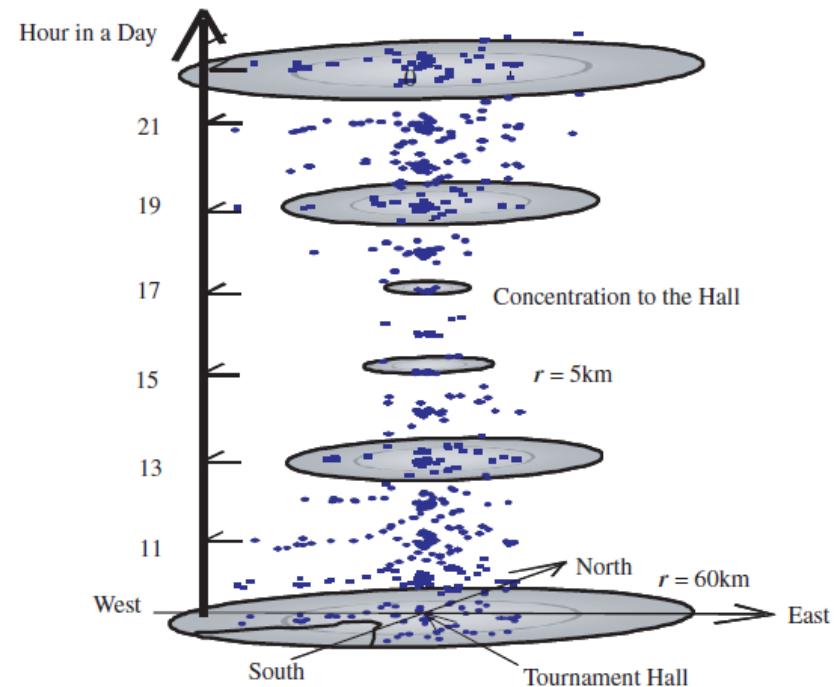


Fig. 7. Space-time distribution of SUMO spectators.

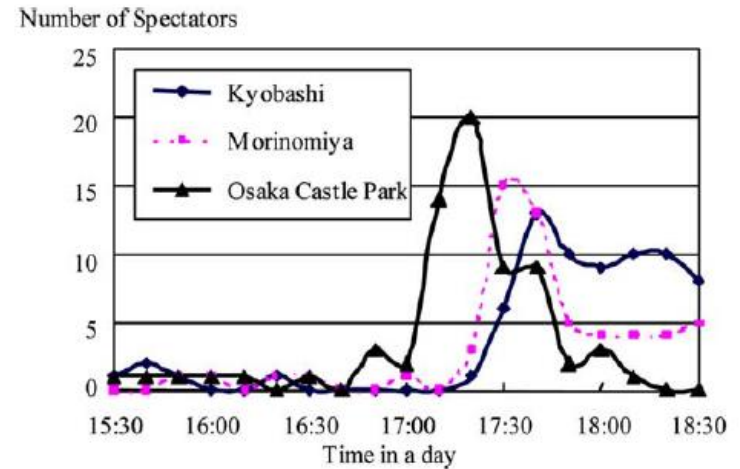


Fig. 9. Return to home demand concentration to three JR stations.

行動観測機器の開発

- PEAMON (2000)
PErsonal Activity MONitor
- L(120)xW(70)xH(12), 125g
- PHSによる位置データの蓄積(オフライン調査)
- 3次元加速度センサー
- スペクトル解析による交通手段判別



表 3.1.1 移動手段別実験波形分析結果

移動手段	標準偏差	パワースペクトル 3Hz以下の割合
徒歩	0.02	-
バス	0.002	54%
乗用車	0.004	38%
電車	0.003	35%
地下鉄	0.002	25%

岡本篤樹, 鈴木明宏, 李竜煥, 田名部淳, 朝倉康夫(2000) PEAMON (PErsonal Activity MONitor)の開発と機能実験. 土木計画学研究・講演集, 23(1), pp.659-662.

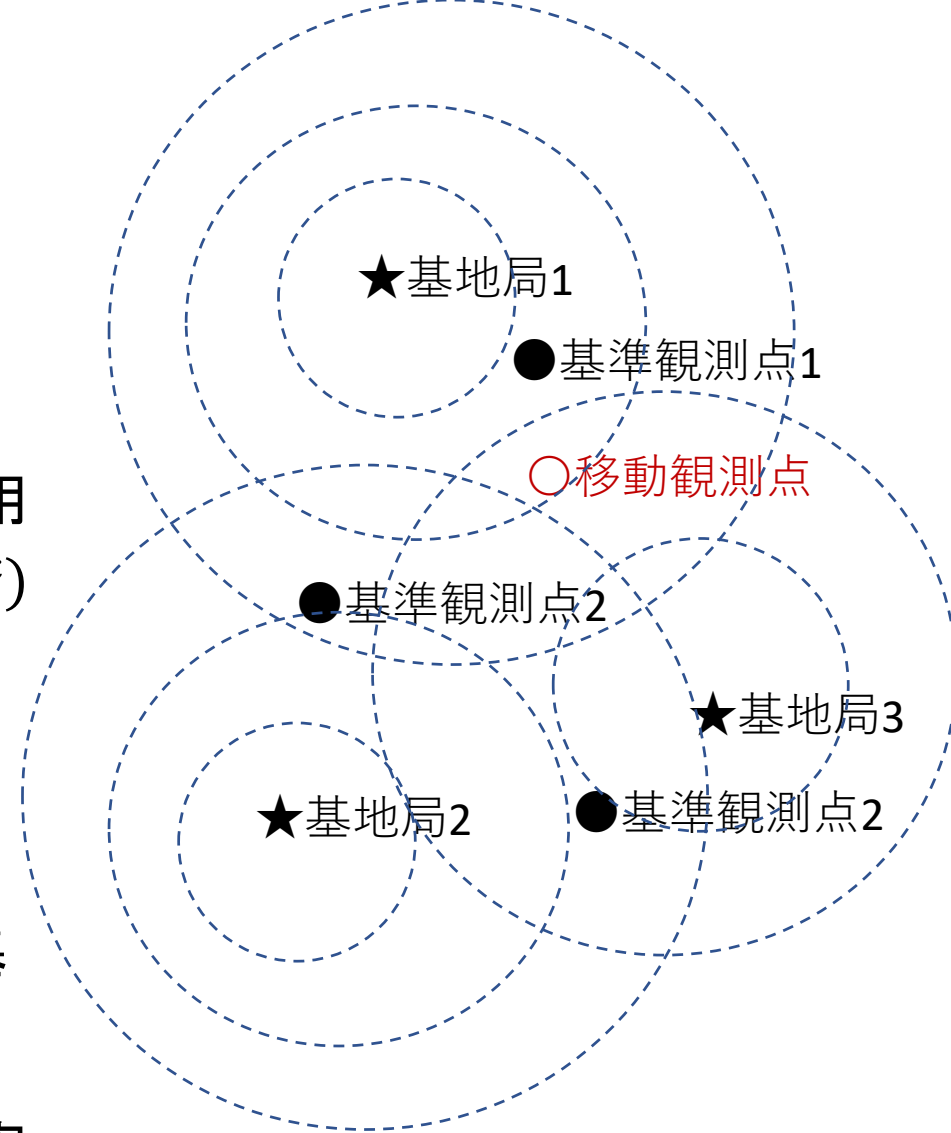


位置特定手法

- PHSの位置特定は, 電界強度と基地局座標を利用
- 基地局座標が未知の場合でも, 電界強度の指紋(基準観測点)を利用
- 基準観測点の電界強度ベクトル($\vec{\alpha}$)と移動観測点の電界強度ベクトル($\vec{\beta}$)の類似度を評価

$$F = \frac{|\vec{\alpha} - \vec{\beta}|^2}{|\vec{\alpha}|^2 + |\vec{\beta}|^2}$$

- 移動観測点の位置座標の推定: 基準観測点の位置座標を類似度(F)の逆数による重み付平均
- PEAMONとパワーアンテナによる実験: 誤差30~40m



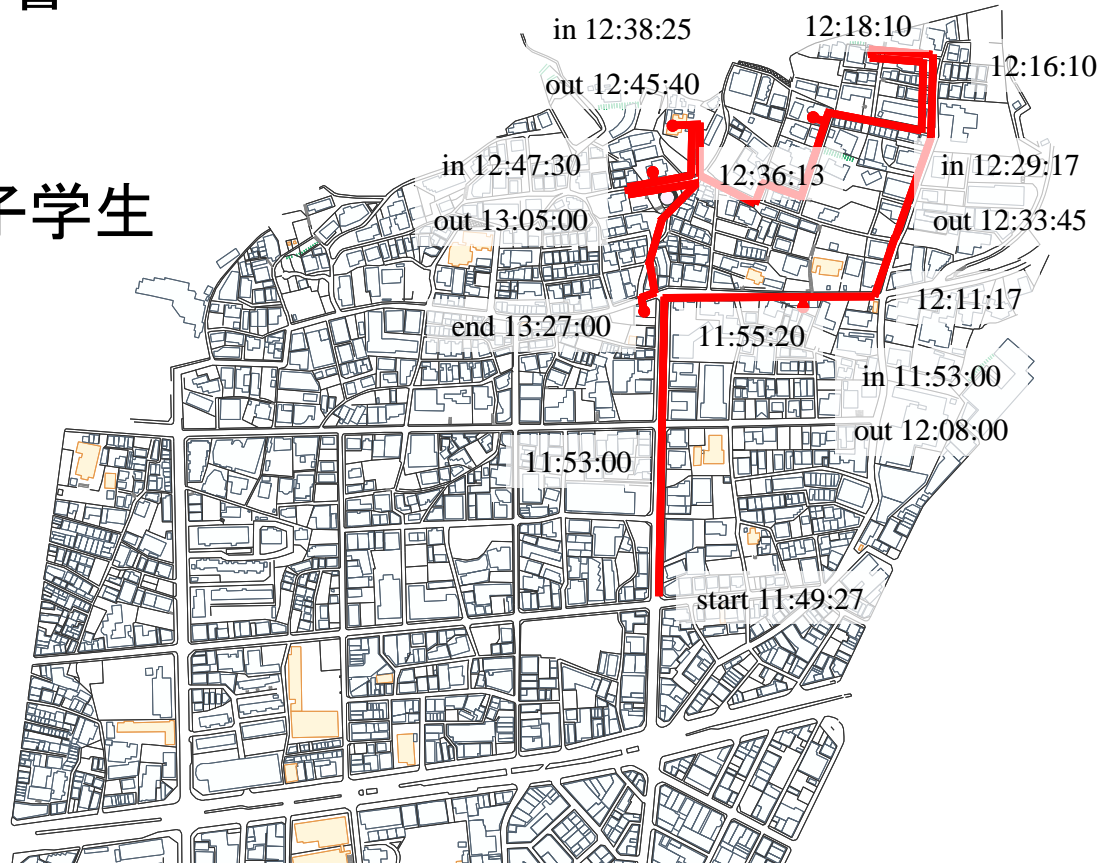
神戸北野町_回遊行動調査

目的: 回遊行動パターンの抽出,
情報量の差異の影響

調査機器: PEAMON,
パワーアンテナ

被験者: 2名 × 56組の女子学生

調査時期: 2003



This couple walked 1700 meters and visited 4 spots. It took 38 minutes for stay and 53 minutes for move.

回遊パターンのモデル化

- Route Topology Index: ツアーが参照点を時計回り(+1), 反時計回り(-1)で回るか, 参照点を含まないか.
- RTIベクトルの違いによるツアーのクラスタリング
- 参照点: 街路で囲まれたブロック(約70m × 70m, 21個)

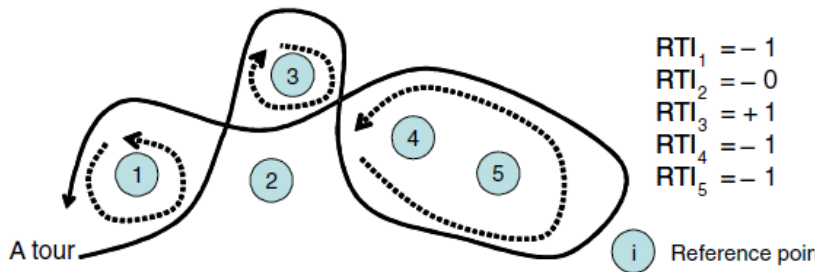
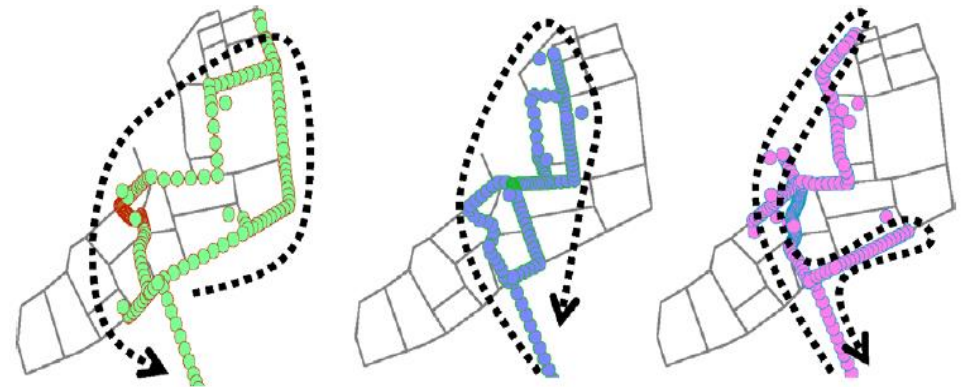


Fig. 1. Route topology index.



Tour route in Cluster A

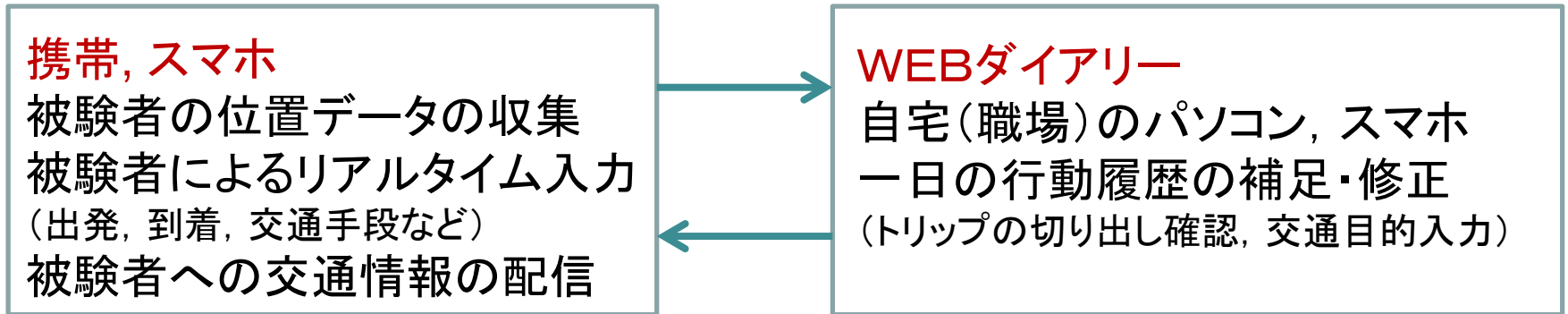
Tour routes in Cluster B

Fig. 5. Typical tour routes in clusters A and B.

A: anti-clockwise (16/49) B: clockwise (28/49)

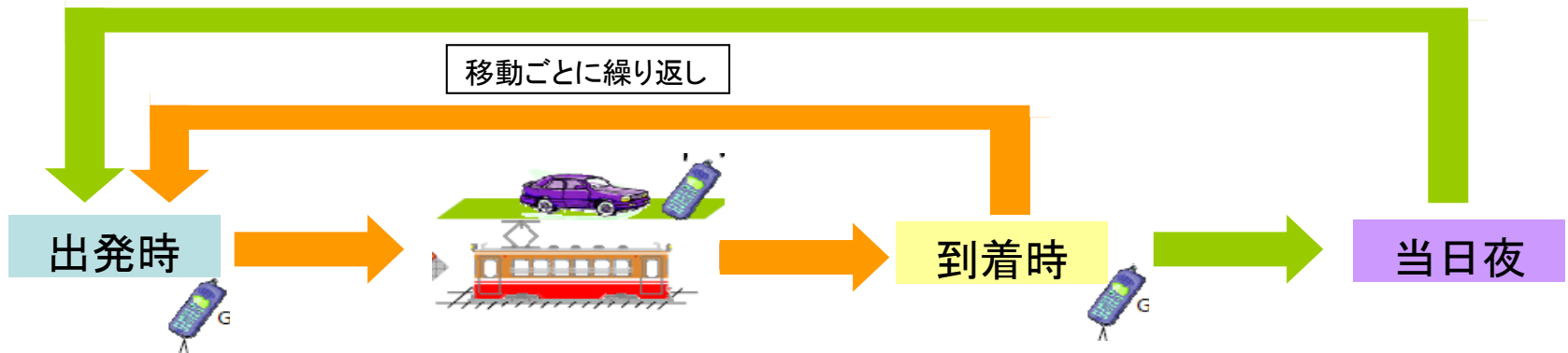
プローブパーソン(PP)調査システム

携帯機器だけでは、位置(移動軌跡)を観測できても、トリップの切り出しは不確実で、交通目的の推定は困難



1日ごとに繰り返す

移動ごとに繰り返す



出かけるときにはGPS
携帯の「出発」ボタンを
押す。

移動中は自動的に位置情報
センターに送信する。
(特別な操作は必要なし。)

目的地に着いたらGPS
携帯の「到着」ボタンを
押す。

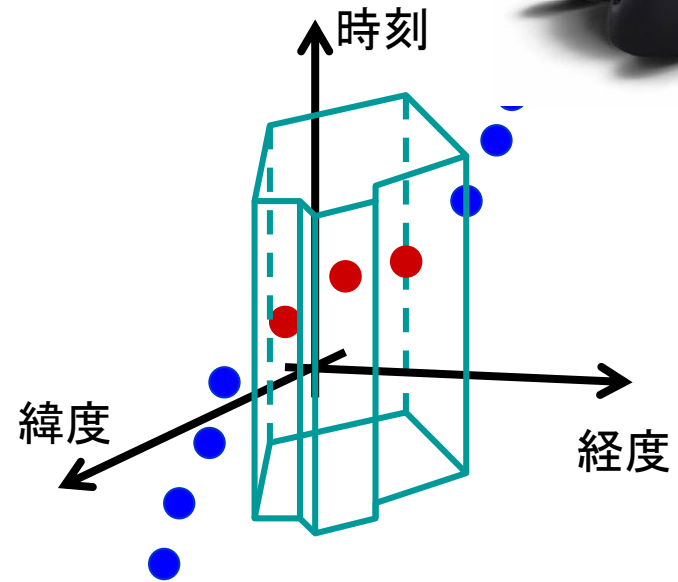
パソコンで当日の行動
をWebダイアリーに
入力する。

実存しない交通手段の選択意向

実際の移動軌跡を用いたSP調査 (PP+WEB-SP)



●PPシステムから得られた行動軌跡




●ある時空間領域 (ex. 図の枠内)
に入ったトリップを抽出

●WEB-SP調査

選択対象代替案の条件 (料金, 時間etc.) を示し,
利用意向を尋ねる.

災害時避難行動の調査・分析イメージ

住民の日常行動の調査



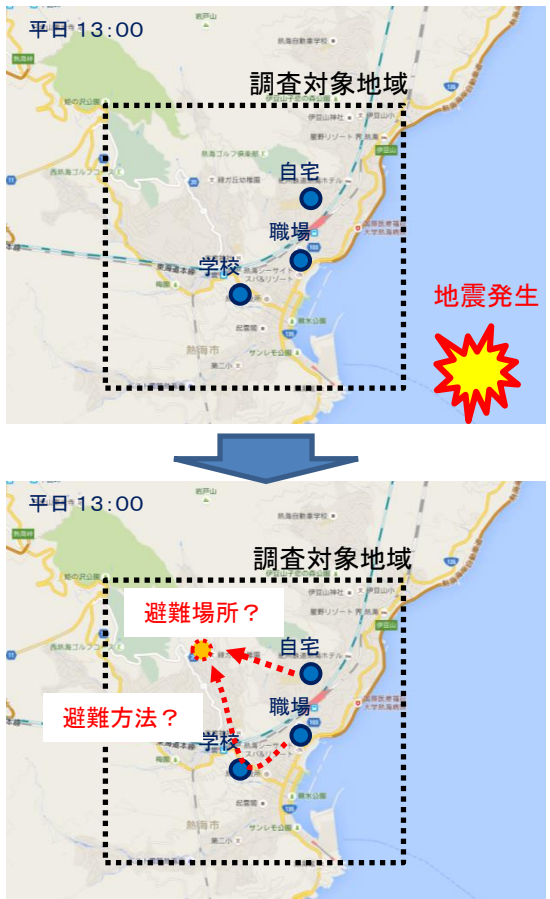
PP (Probe Person) 調査

- 被験者の移動軌跡データ (GPSデータ) やトリップ情報データを収集する調査

生活時間調査

- 典型的な一日の時間帯ごとの行動を尋ねる調査

災害時避難行動調査(SP)

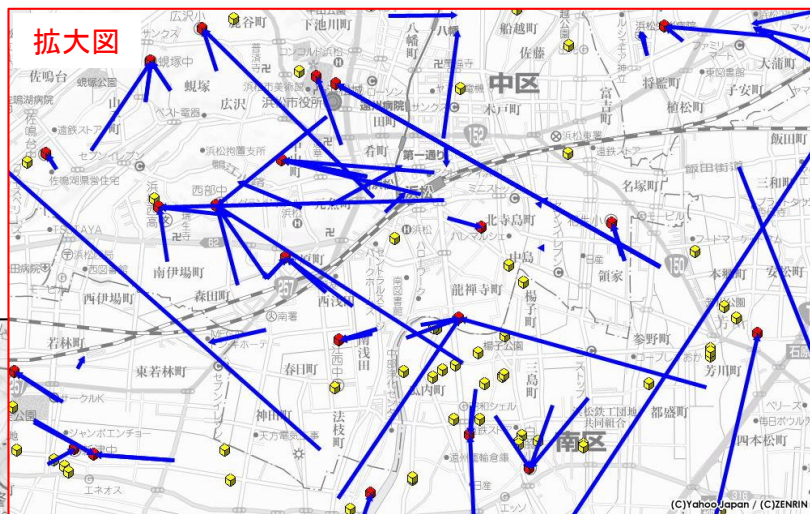


災害時避難行動分析

- 分析内容
- 想定した避難場所は安全か？
 - 避難方法は適切か？
 - どのような避難行動が行われるか？
 - 適切な避難場所はどこか？
- …等
- 分析の特徴(メリット)
- 災害発生状況(場所, 時刻)に応じて変化する避難行動を把握可能
 - 個人の避難行動だけでなく、家族や知人等の相互作用を考慮した避難行動データが取得できるため、より現実に即した避難行動を把握可能
 - 被験者の想定する避難場所のリスクが分析でき、適切な防災対策(広報, 避難場所配置)の評価が可能

- 仮想的な災害状況の下で、被験者がどのような避難行動をとるかを尋ねる
- 家族や知人等との相互作用を考慮

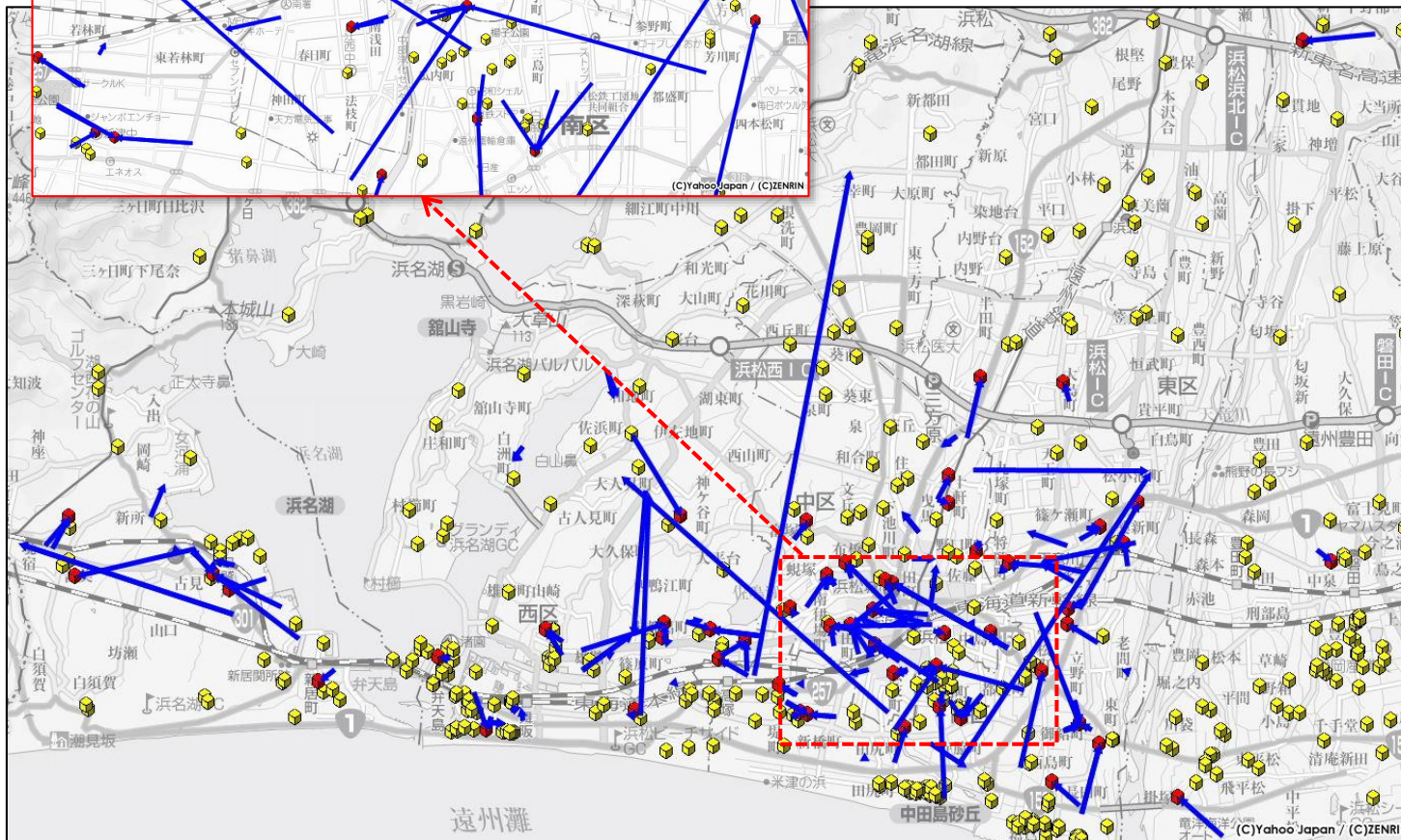
避難行動調査の結果⑦ (避難行動Q9)



Q9. 現在地と避難先の関係

※地図上に表示した避難施設以外に、
地図上の任意の地点を自由回答可能

- : エリアに含まれる避難施設
- : 本調査で選択された避難施設
- : 現在地→避難場所

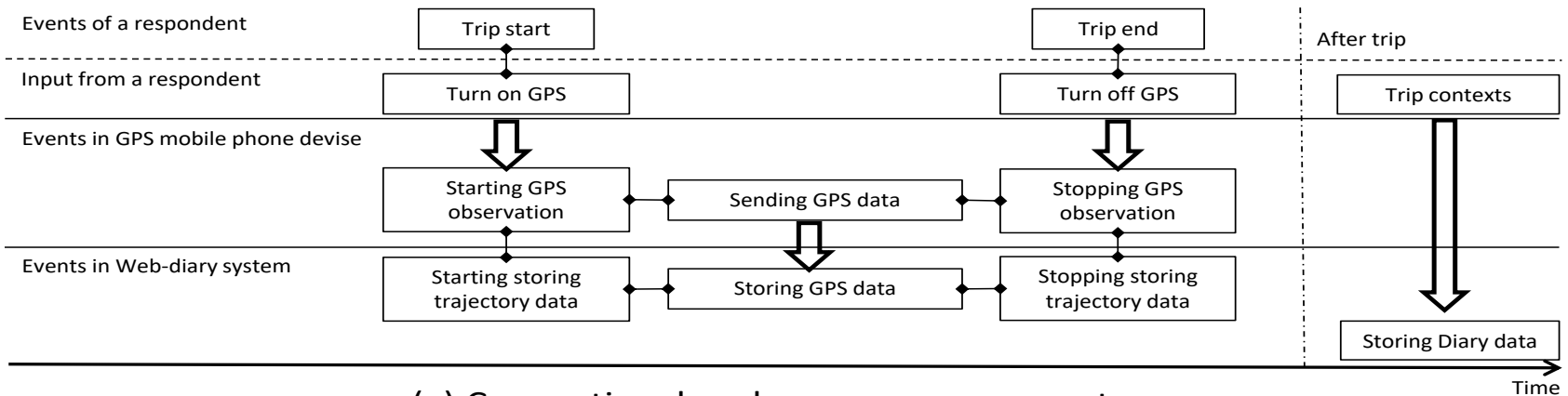
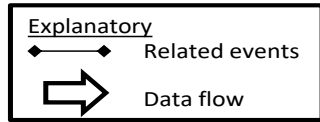


Q9. 選択された避難先

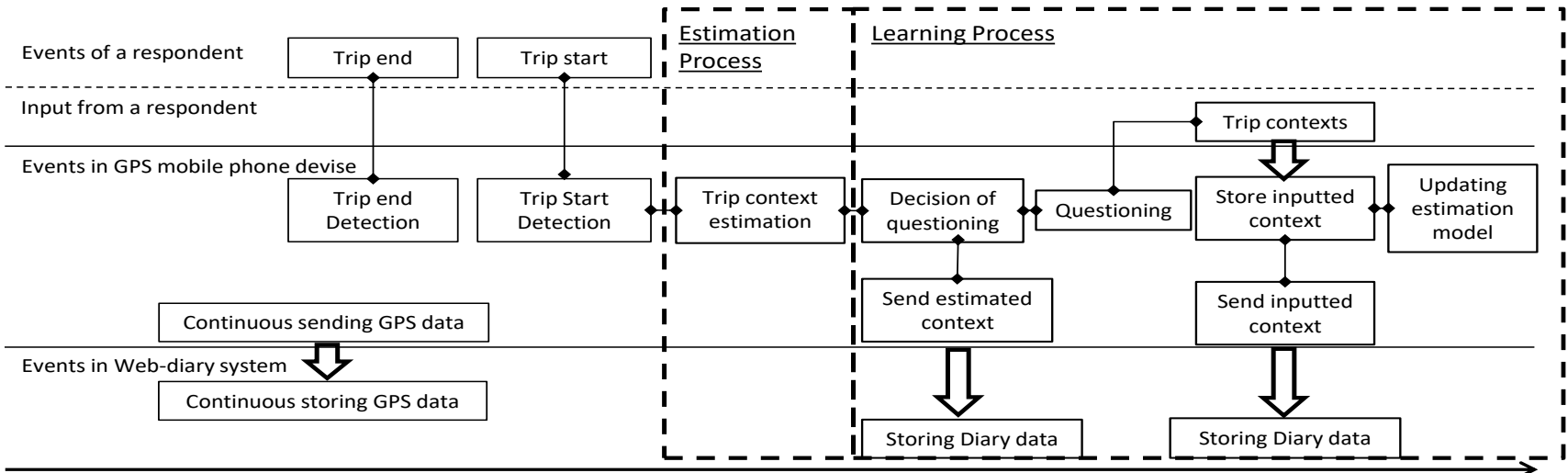
避難施設名	選択数
東陽中学校	6
県居小学校	5
元城小学校	5
浅間小学校	5
蛸塚中学校	5
浜松市立舞阪中学校	5
鷺津中学校	5
西小学校	4
西部中学校	4
南部中学校	4
和田小学校	4
篠原小学校	4
入野中学校	4
新津小学校	4
鶴江広域避難地	3
相生小学校	3
雄踏小学校	3
白鷺小学校	3
浜松南病院	3
広沢小学校	2
佐鳴台中学校	2
蒲小学校	2
西都台小学校	2
千鳥園ゲートボール場	2
入野小学校	2
可美小学校	2
河輪小学校	2
岡崎中学校	2
(旧)高砂小学校	1
良馬中学校	1
上島小学校	1
船越公園広域避難地	1
浜松城公園広域避難地	1
富塚小学校	1
大瀬小学校	1
中ノ町小学校	1
有玉小学校	1
和田東小学校	1
クランオン	1
コンフォート志都呂	1
神久呂小学校	1
五島小学校	1
新津中学校	1
中部浄化センター汚泥処理棟	1
東部中学校	1
飯田小学校	1
芳川小学校	1
特別養護老人ホーム白寿園	1
磐田西小学校	1
豊岡中学校	1
アメニティプラザ	1
新居高等学校	1
鷺津コミュニティ防災センター	1

自己学習型の行動調査システム

最初は質問(どこに行くのか等)が多くてうるさいが、行動パターンの学習が進むと次第に口数が減る。

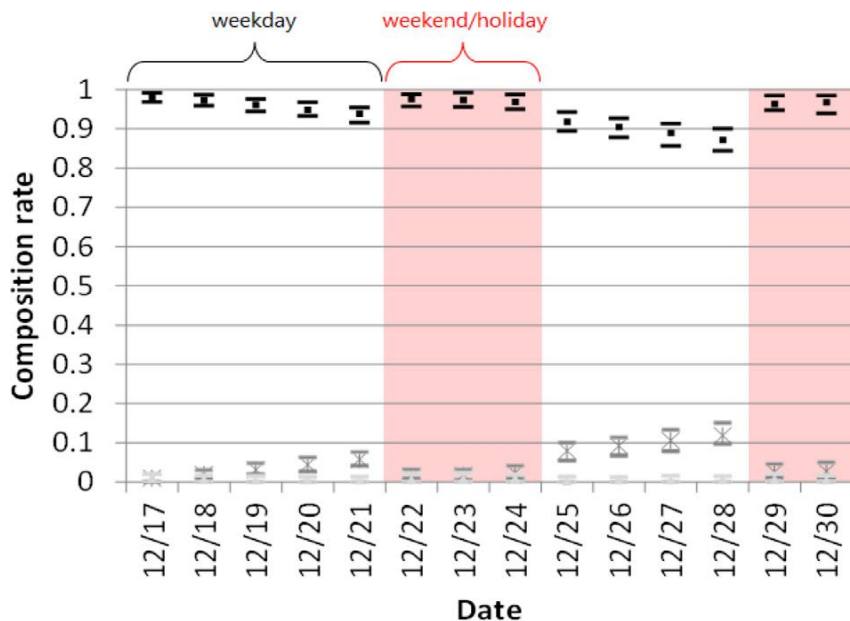


(a) Conventional probe person survey system

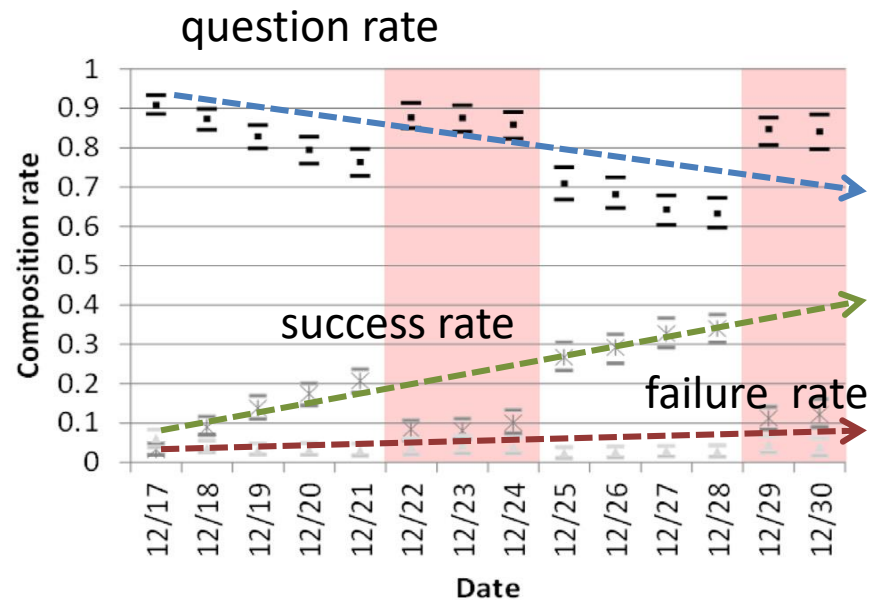


(b) probe person survey system with online machine learning method

松山PPデータによる検証



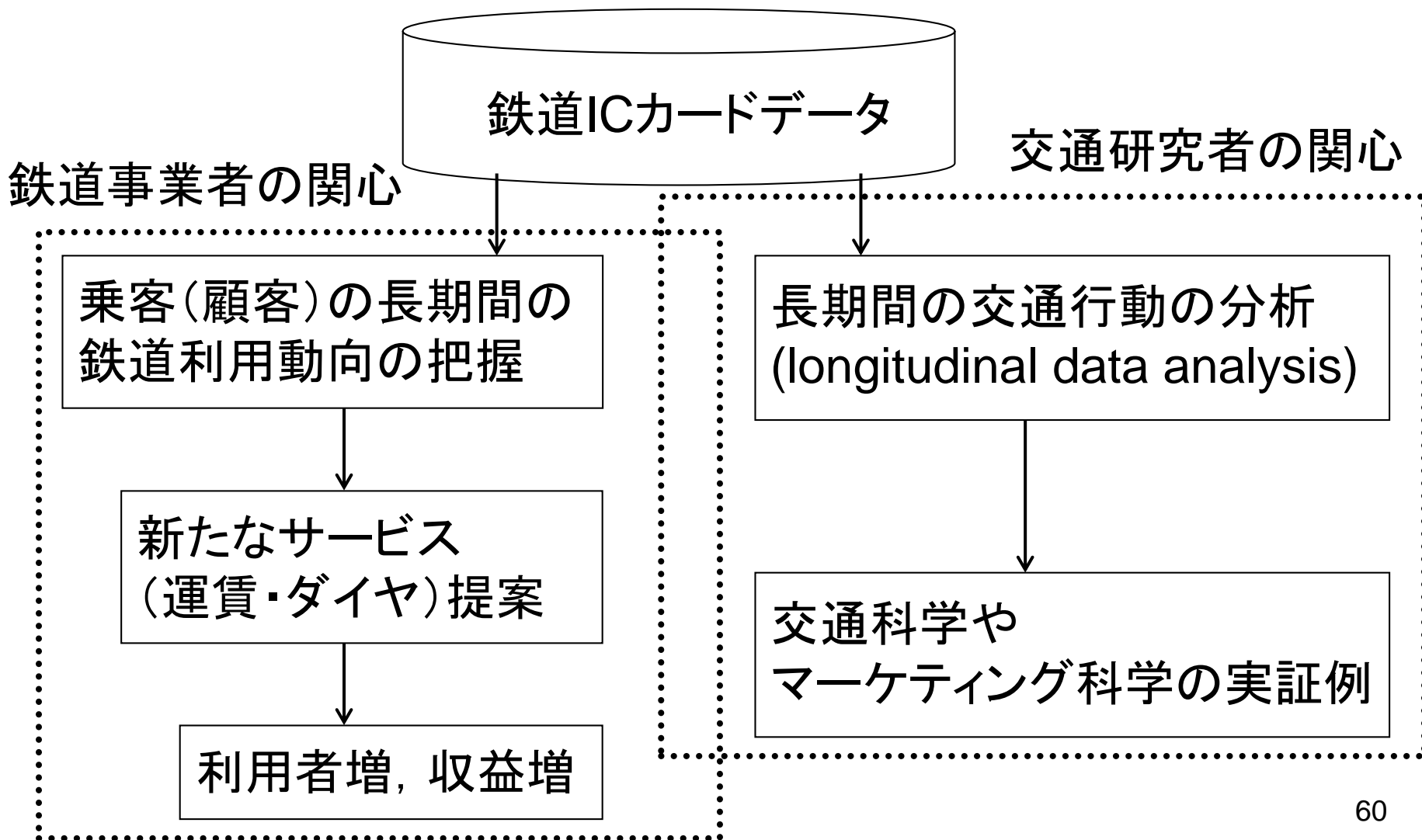
(a) acceptable failure rate $p_{af} = 1\%$



(b) $p_{af} = 5\%$

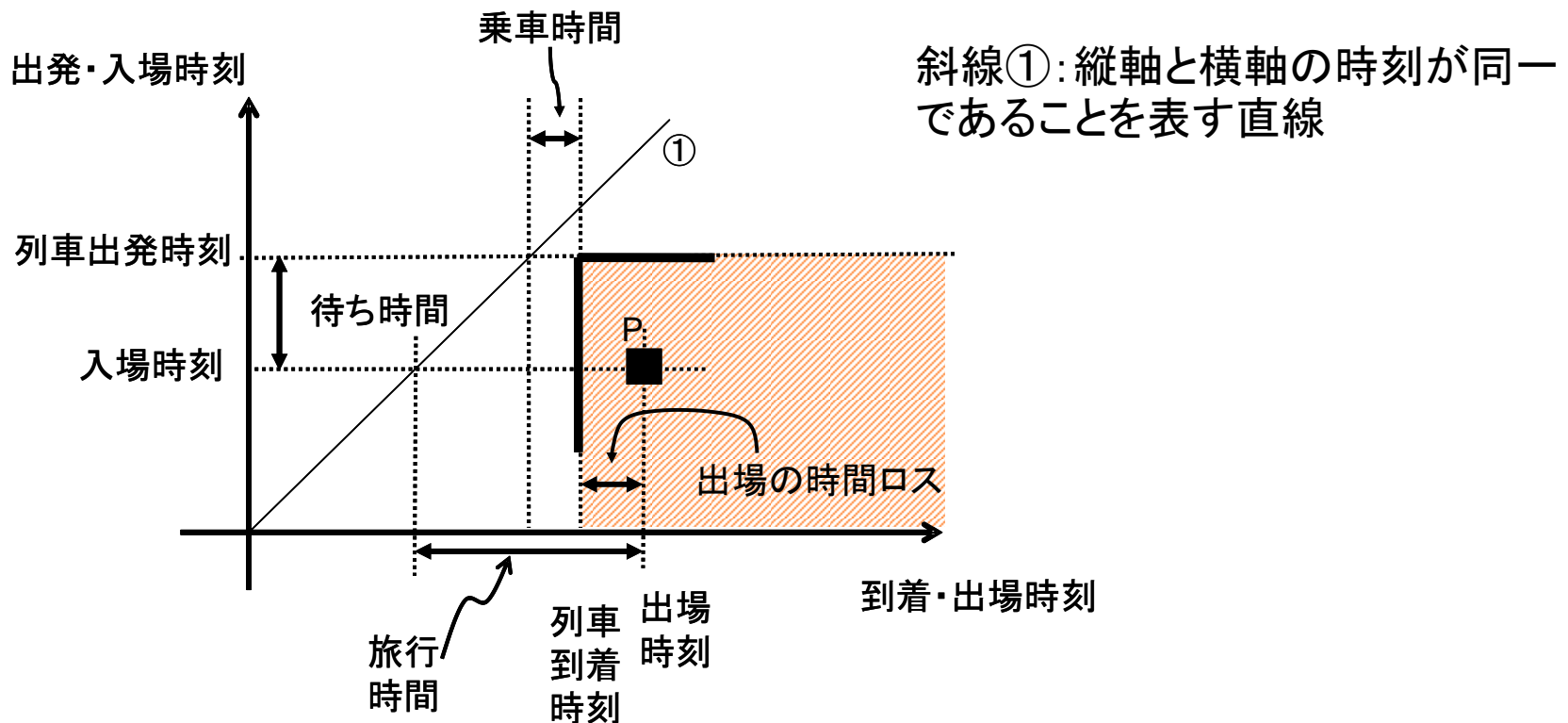
質問率は日を重ねるにつれて減少する。
5%の失敗を許容すると10日間で70%程度まで減少。
高い正答率を求めると質問率は減らない。

交通系ICカードの利用可能性



改札通過時刻と列車ダイヤとの重合せ

- 利用者がある駅間を利用したとき、出発駅の入場時刻、到着駅の出場時刻をそれぞれ縦軸、横軸として時刻軸上にプロットする。
- 点Pは、ある利用者の特定の駅間を移動したときの入场時刻、出場時刻を表している。

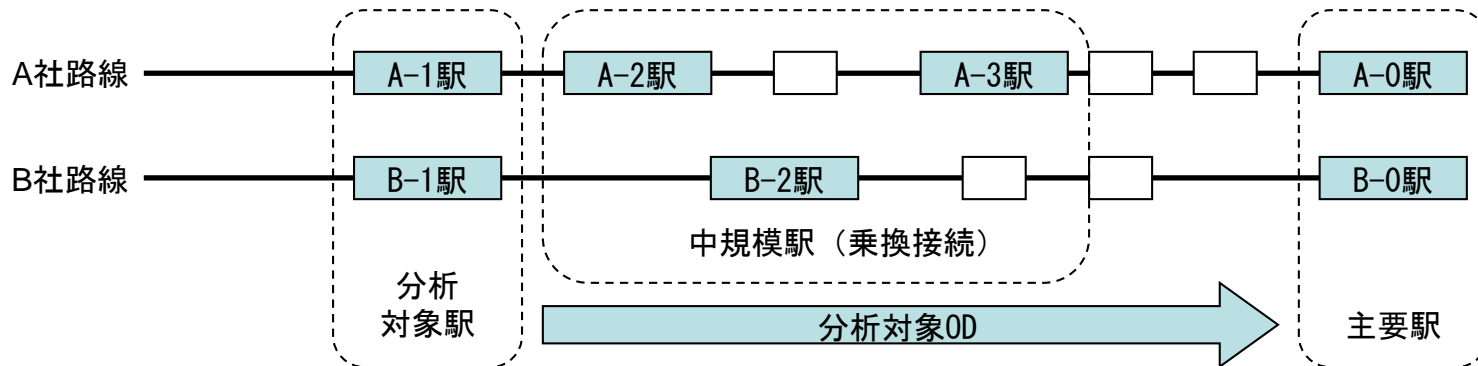


分析に用いた駅と分析対象者

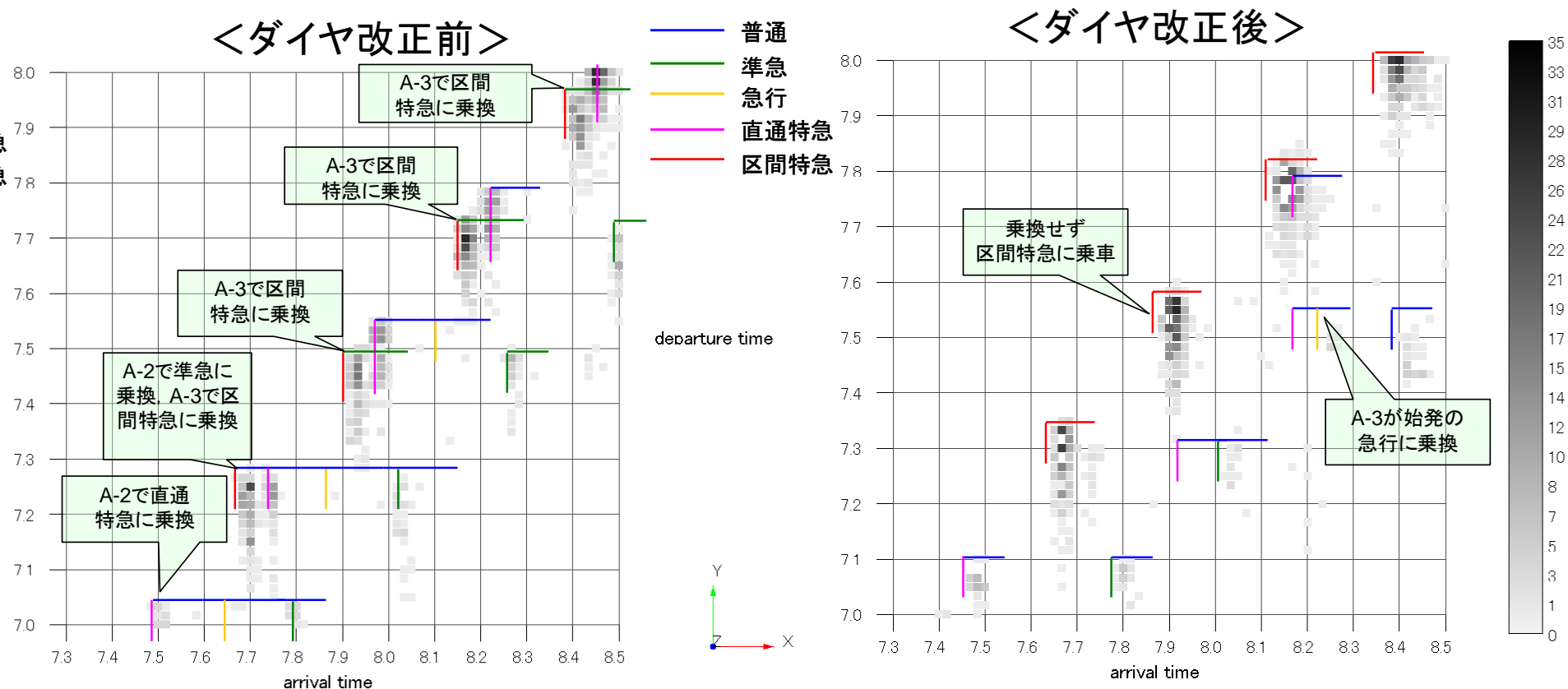
- A-1→A-0駅、B-1駅→B-0駅へ向かった利用者.
- 出発駅から到着駅の途中で乗換が可能な場合、乗換可能な列車を抽出.
- A-1駅、B-1駅にはダイヤ改正後、特急が停車.



- 利用者の乗車した列車を推定.
- ダイヤ改正前後の利用者の動きを分析.



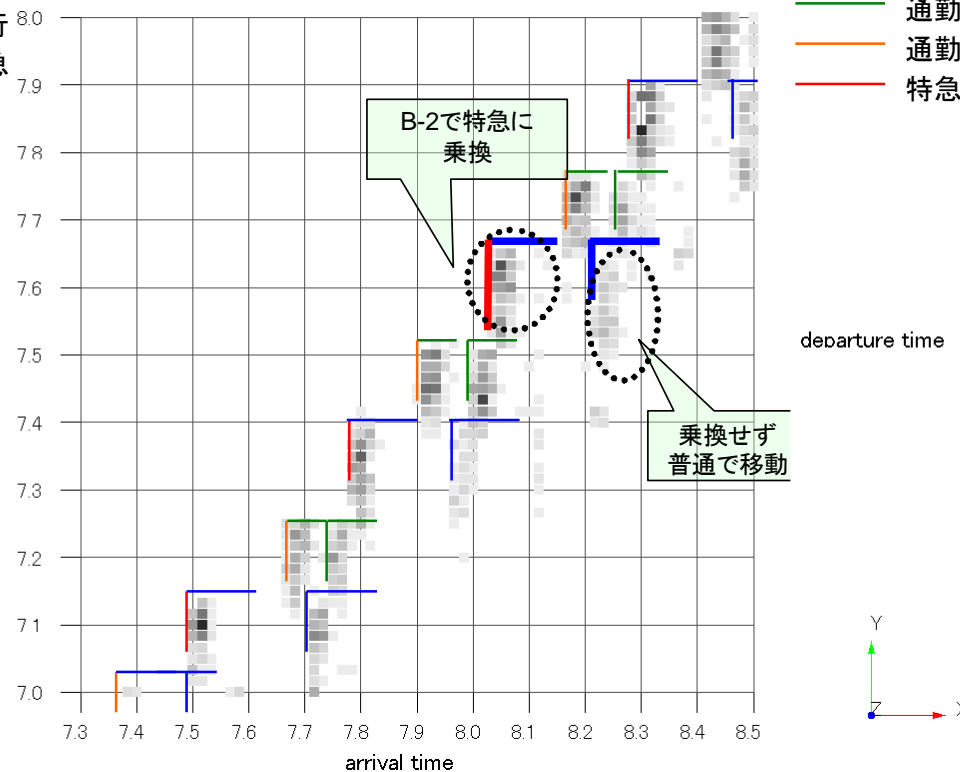
ダイヤ改正前後の利用者の動き(A-1駅)



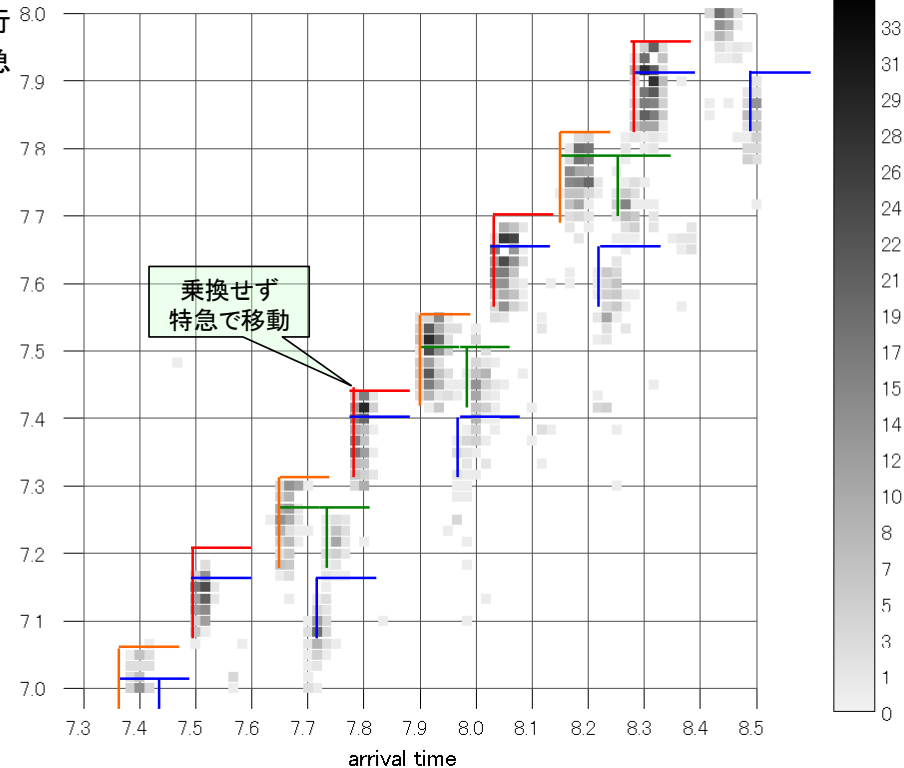
- ダイヤ改正前は、A-1駅で普通または準急に乗車後、A-2駅、A-3駅で直通特急や区間特急に乗り換えてA-0駅に向かうグループが多かった。
- ダイヤ改正後では、停車するようになった区間特急に乗車するグループが、圧倒的に多くなっている。

ダイヤ改正前後の利用者の動き(B-1駅)

＜ダイヤ改正前＞

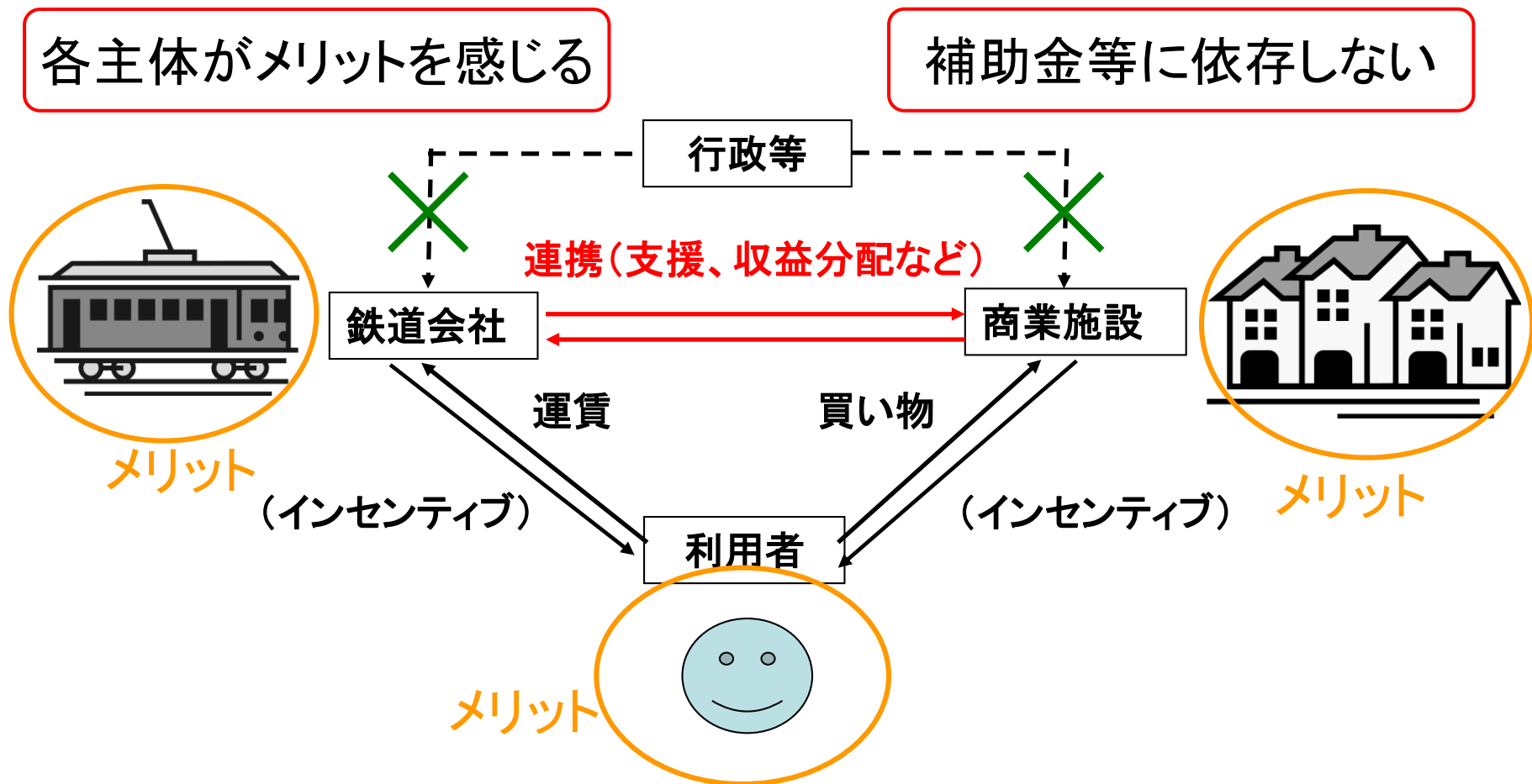


＜ダイヤ改正後＞



- B-1駅で普通に乗車後、B-2駅にて特急に乗り換えB-0駅に向かうグループと、B-1駅で普通に乗車後、乗換を行わずB-0駅に向かうグループがある。
- ダイヤ改正後は、多くの利用者が特急に乗車後、乗換を行わずにB-0駅に向っている。しかし、普通、通勤急行に乗車し、乗換を行わずB-0駅に向かうグループもみられる(時間短縮より混雑を避ける)。

鉄道会社と商業施設の連携による ICカードを活用した利用者サービス

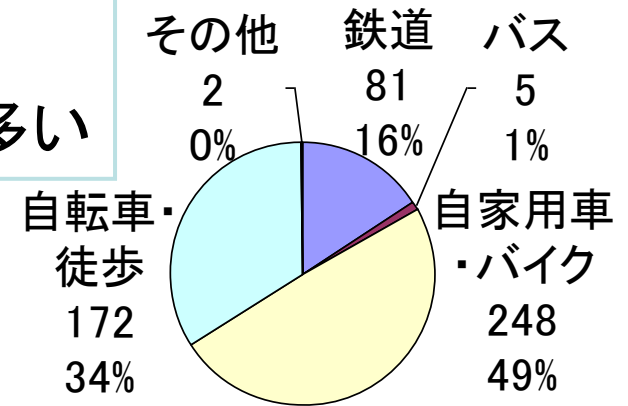


鉄道会社と商業施設が連携した利用者サービス

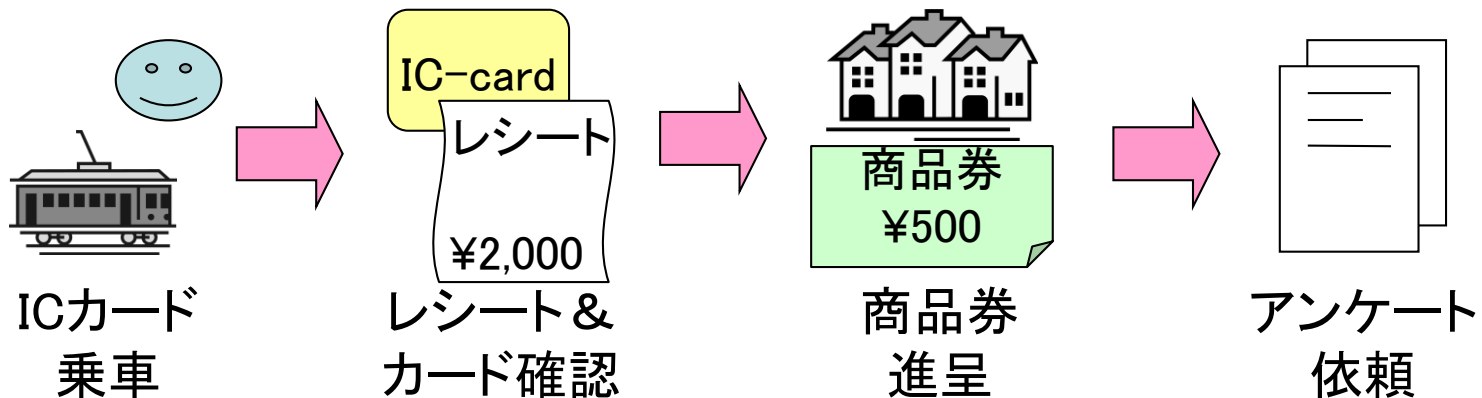
利用者サービスの検証実験

- ・ 駅から徒歩5分にある大型商業施設
- ・ 大型駐車場があり自家用車での来店が多い

事前調査(508名へのヒアリング)
により得られた来店手段の割合

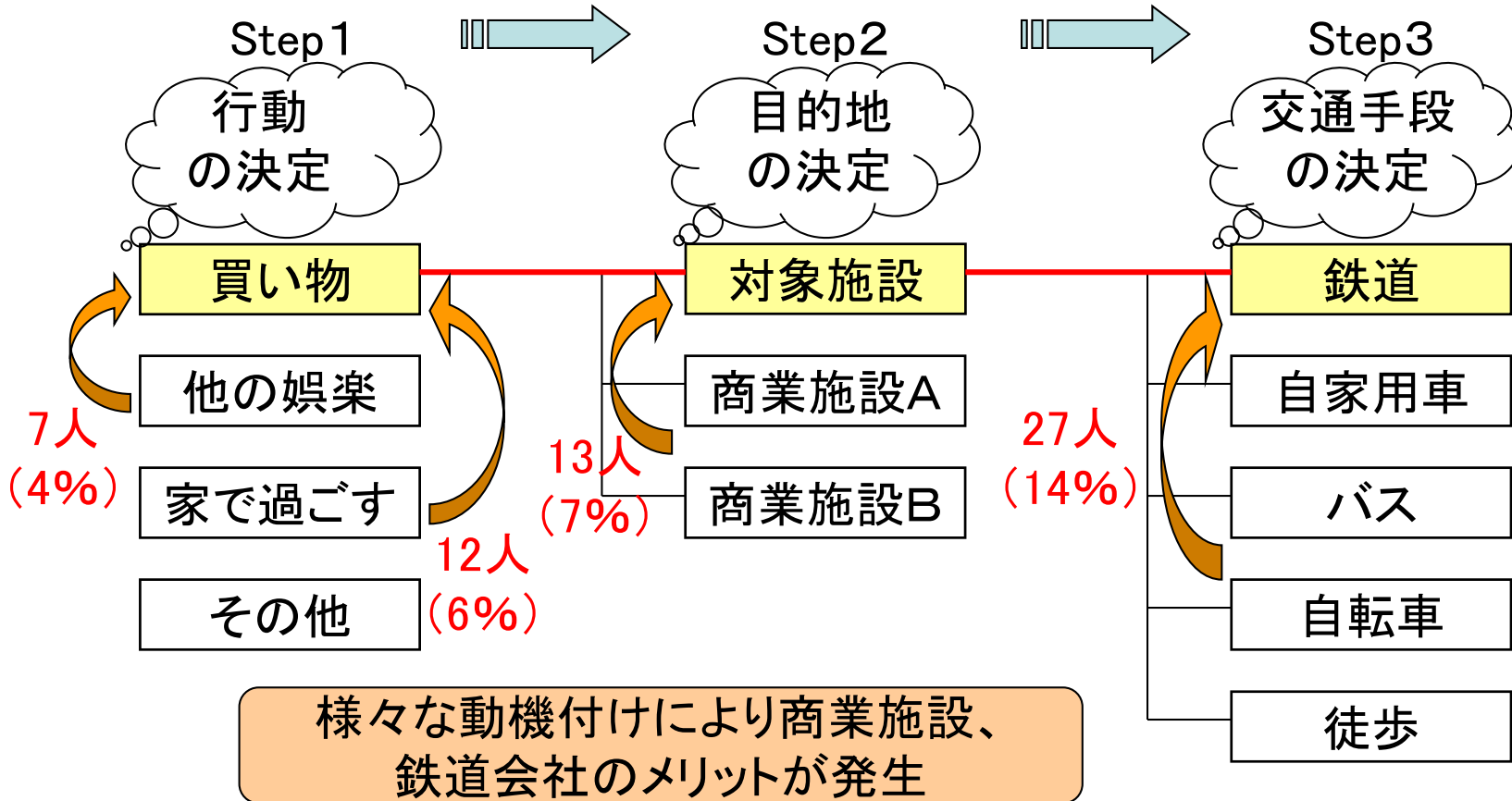


- ・ 開催: 2007/11/3(祝), 4(日), 17(土), 18(日)
- ・ 交通系ICカードで電車に乗り、対象商業施設で2,000円以上買物をした利用者に対し、500円分の商品券を進呈



利用者の行動変化

キャンペーンによる利用者の行動(意思決定)の変化



鉄道ICカード分析の活用

■研究成果の活用

- ①鉄道系ICカードの有効利用で、質問紙ベースの大規模交通調査(パーソントリップ調査, 交通センサス等)を補完する高精度の交通調査・需要分析手法として利用。
- ②鉄道事業者の経営施策への活用と、鉄道利用の促進と沿線の魅力向上を狙う新しい地域活性化戦略を議論するためのツールとして活用。

■研究の社会的インプリケーション

- ①鉄道事業者が旅客の長期間の鉄道利用動向を把握することで、実用性の高いダイヤや企画乗車券といったサービス実現による利便性向上。
- ②環境や資源の制約下で、既存鉄道インフラを最大限に利用した地域活性化策は都市の持続的な成長に必須の要件。

T Kusakabe, T Iryo, Y Asakura (2010) Estimation method for railway passengers' train choice behavior with smart card transaction data. *Transportation* 37 (5), 731-749.

T Kusakabe, Y Asakura (2014) Behavioural data mining of transit smart card data: A data fusion approach. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies* 46, 179-191

おわりに

今日：交通流と交通行動の観測

人間行動や交通現象のwatchingはいつも興味深い。

観測して理解することは重要。それで満足？

後日：ネットワークモデル(信頼性)と行動モデル(最近はsharing)

いずれ：交通システム計画に関わる「価値感」の議論

伝統的価値：効率, 安全, 環境

流行的価値：持続可能性, 頑健性・復元可能性, 多様性

