

2102C：広場・歩行空間における 群衆行動の観測とその制御によ る安全性向上に関する研究

PL：吉田長裕（大阪公立大学大学院工学研究科）

<会員>

- 吉田長裕 (大阪市立大学・交通工学)
- 今井猛嘉 (法政大学・法学)
- 上條俊介 (東京大学・高度交通システム)
- 北村友人 (東京大学・教育学)
- 小竹元基 (東京大学・自動車工学)
- 中村彰宏 (中央大学・ミクログロ経済学)
- 平岡敏洋 (東京大学・知能機械学)

<特別研究員>

- 海老澤綾一 (警視庁交通部・交通管理)
- 大澤彩 (法政大学・法学)
- 大須賀美恵子 (大阪工業大学・生理心理学)
- 長田哲平 (宇都宮大学・都市計画)
- 加登遼 (大阪市立大学・建築・都市計画)
- 鎌倉快之 (大阪工業大学・情報学)
- 紀ノ定 保礼 (静岡理工科大学・交通心理学)
- 木村 貴彦 (関西福祉科学大学・認知心理学)
- 塩見 康博 (立命館大学・交通工学)
- 椎名啓雄 (警視庁交通部・交通管理)
- 瀧澤重志 (大阪市立大学・都市解析)
- 藤山拓 (ロンドン大学・交通計画)
- 松下光範 (関西大学・情報学)
- 松村 真宏 (大阪大学・仕掛学)
- 山口敬太 (京都大学・空間設計)
- 葉 健人 (大阪大学・交通工学)
- Caroline Lebreton (法政大学・法学)
- Marjan Hagenzieker (デルフト工科大学・交通心理)
- Reka Solymosi (マンチェスター大学・犯罪学)

<オブザーバー>

- 石附弘 (評議員/警察庁OB)

<学生>

- 西村直峻、中井智仁 (大阪市立大学大学院)

<事務局>

- 鎌田、橋居、谷川、幕田、松村、(河野)



(1年目)

- 事例収集：交通結節点での混雑群集/人流と犯罪発生リスクの関係 (海外事例)
- 事例調査：プローブデータ等を使ったイベント時の群集状態調査

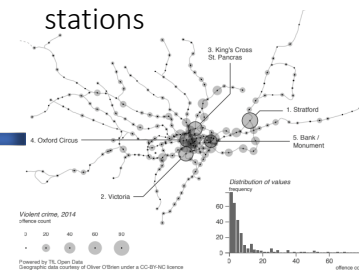
(2年目)

- ポイント型プローブデータを使った群集状態の解析
- 犯罪×群集に関する国際ハッカソンイベント
- (事例共有)群集・人流に関する研究動向：音、画像、動画(塩見先生・立命館大学、葉先生・大阪大学、瀧澤先生・大阪市立大学)

(3年目)

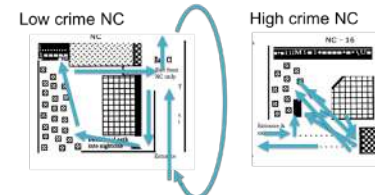
- モバイルプローブデータを使った中域レベル(数百m~1km)の歩行者行動分析
- (事例共有)空間統計学手法を使った都市レベルの交通行動分析(未計測地点予測手法:加登先生・大阪市立大学)
- 群集状態の詳細解析(AI画像解析)と交通工学的手法による可視化、結果の解釈
- 歩行空間設計に関する国際ワークショップ(ロンドン、パリ(3月開催予定))

Mapping high count stations



(Solymosi, 2017)

Example of flow in nightclubs



(Macintyre and Homel, 1996)



渋谷ハロウィーン車横転

2018.12.5 10:58 | 社会 | 事件・疑惑



東京・渋谷のセンター街で、

6つの大規模ターミナル駅周辺における歩行者交通量の比較：2019年12月21・22日(休日) 駅中心1km四方

歩行者分布
抽出ログ数(区内
抽出率)

(抽出条件)

- 緯度・経度が各対象地内に含まれる
- 移動速度が0m/s以上2.5m/s未満
- 各エリア2000m四方内で10回以上ログを取得
- 駅周辺(中心から400m四方)で1回でもログを取得
- accuracyが10m以下

渋谷 6,103(0.06%)



新宿 12,416(0.06%)



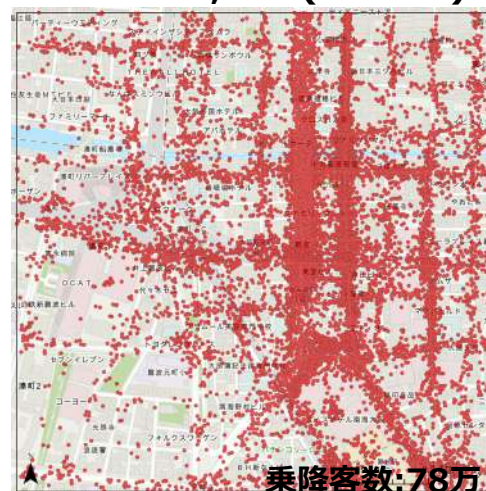
池袋 5,605(0.05%)



天王寺 8,502(0.11%)



難波 28,356(0.22%)



梅田 8,548(0.09%)

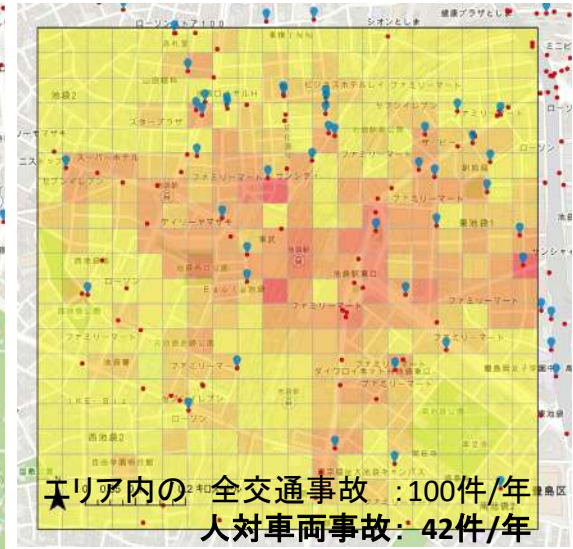
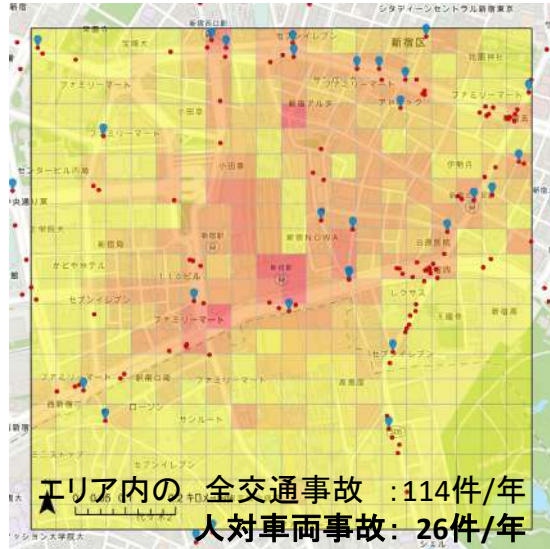
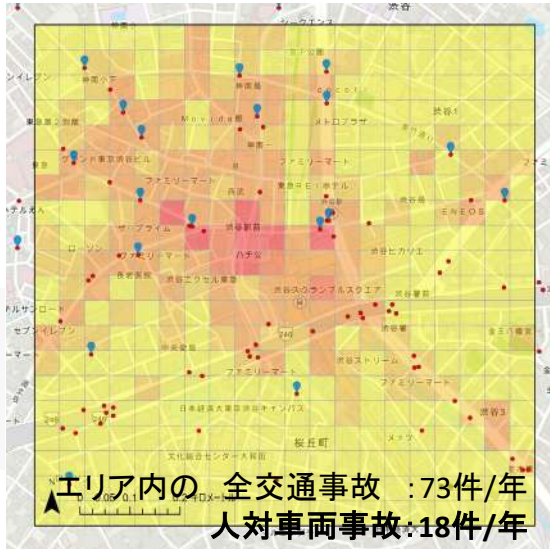


歩行者交通量×人身事故発生状況 (2019年) IATSS

渋谷

新宿

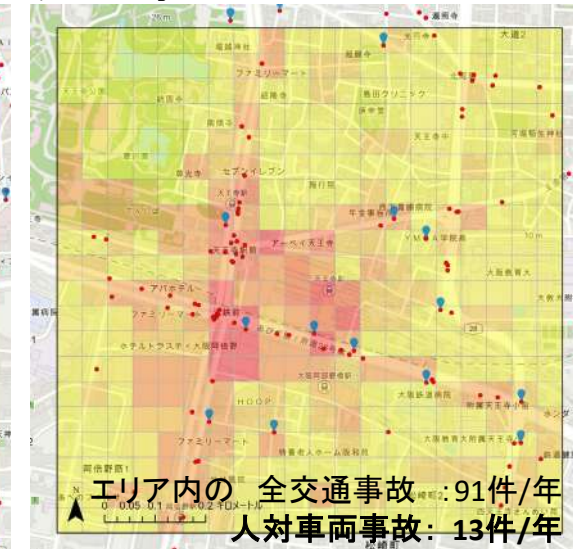
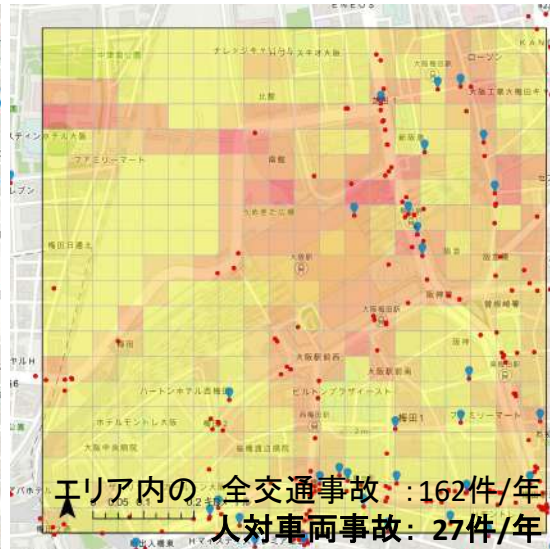
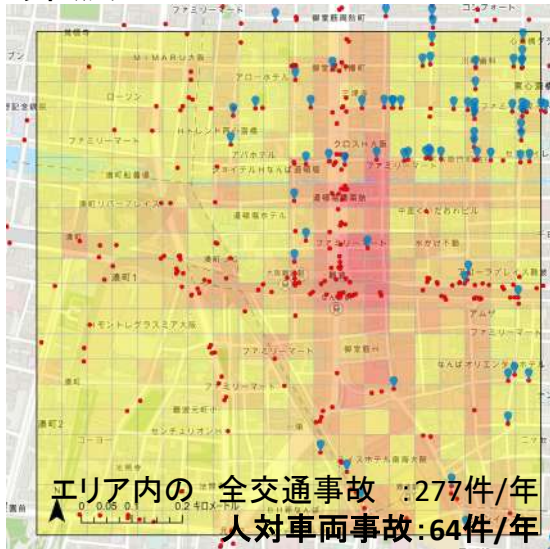
池袋



難波

梅田

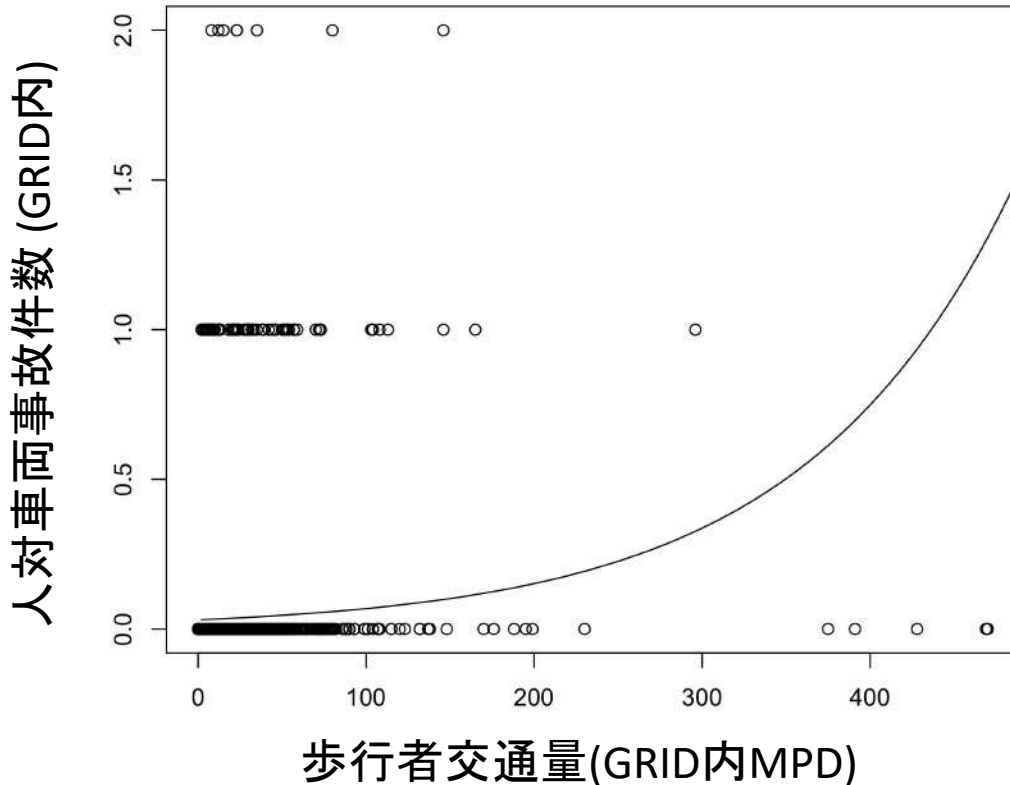
天王寺



歩行者交通量×人身事故発生状況（2019年）



ポアソン回帰分析結果
(6地区、n=2,400)



	estimate	Std. Error	z value	
切片	-3.479	0.115	-30.173	**
歩行者交通量	0.008	0.001	7.693	**

Null deviance: 594.75
Residual deviance: 566.56

(考察)

- 歩行者交通量の多いところで人对車両の事故が発生している傾向
- 幹線道路沿いで事故が多くなる傾向

群集×犯罪事例 (1年目)

交通結節点での混雑

- 滞留空間の考慮
 - 主動的滞留 (滞留したいから滞留する)
 - 受動的滞留 (滞留せざるを得ないから滞留)

副次効果の考慮

- 犯罪、セキュリティ
- 商店・経済

様々なアプローチ

- 空間デザイン問題
- 制御問題 (経路分散、警備員配置、最適化)

群集/人流のコントロールによる犯罪発生リスク

- 混雑/群衆時の犯罪タイプ：接触、暴行
- 犯罪場所のタイプ

- Crime generator** (犯罪件数多い、犯罪率低い)

→人が集まりたまたまそこに居合わせた犯罪者に犯罪の機会を与える場所

- Crime attractor** (犯罪件数多い、犯罪率高い)

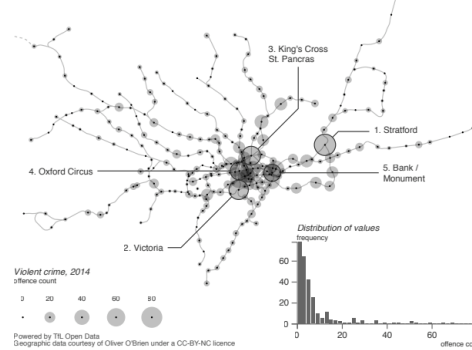
→犯罪者が特にターゲットとする場所、敷地、物件

- Crime enabler (犯罪件数少ない、犯罪率高い)

- Crime detractor (犯罪件数少ない、犯罪率低い)

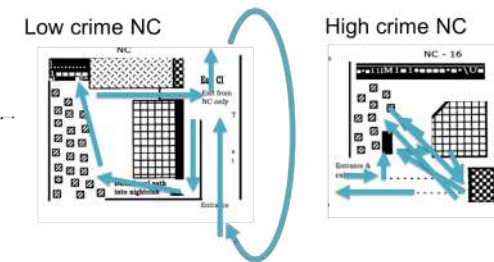
→犯罪者や犯罪を抑止する場所 (例：監視が行き届く、結束力の強い)

Mapping high count stations



(Solymosi, 2017)

Example of flow in nightclubs



(Macintyre and Homel, 1996)

TWENTY FIVE TECHNIQUES OF SITUATIONAL PREVENTION

Increase the Effort	Increase the Risks	Reduce the Rewards	Reduce Provocations	Remove Excuses
1. Target barriers • Strong volume locks and immobilisers • Anti-robbery screens • Tamper-proof packaging	6. Extend guardianship • Make routine precautions go out in group at night, leave signs of occupancy, carry phone • "Cocoon" neighborhood watch	11. Conceal targets • Off-street parking • Gender-neutral phone directories • Unmarked bulletin boards	16. Reduce frustrations and stress • Litter-free spaces and point-of-service • Expanded seating • Softening unannounced lights	21. Set rules • Ground agreements • Harassment codes • Hotel registration
2. Control access to facilities • Entry phasers • Electronic card access • Baggage screening	7. Assist manual surveillance • Improved street lighting • Defensible space design • Suggester windows/doors	12. Remove targets • Remove car radio • Women's religious • Pay paid cards for pay phones	17. Avoid disputes • Separate enclosures for rival soccer fans • Reduce crowding in pubs • Fixed cab fares	22. Post instructions • "No Parking" • "Private Property" • "Extinguish camp fires"
3. Screen exits • Ticket needed for exit • Export documents • Electronic merchandise tags	8. Reduce anonymity • Taxi driver IDs • "How's my driving?" decals • School uniforms	13. Identify property • Property marking • Vehicle licensing and parts marking • Carbo branding	18. Reduce emotional arousal • Controls on violent pornography • Enforce good behavior on soccer field • Prohibit retail stores	23. Alert conscience • Roadside speed display boards • Signatures for cautious pedestrians • "Shoplifting is stealing"
4. Deflect offenders • Street closures • Separate bathrooms for women • Disperse pubs	9. Utilize place managers • CCTV for double-deck buses • Two checks for convenience stores • Elevated vigilance	14. Disrupt markets • Monitor pasta shops • Controls on automated ads • License street vendors	19. Dismantle peer pressure • "Take a break and drive" • "It's OK to say No" • Disperse troublemakers at school	24. Assist compliance • Easy library checkout • Public restrooms • Litter bins
5. Control tools/ weapons • "Seat" guns • Disabling stolen cell phones • Restrict spray paint sales to premises	10. Strengthen formal surveillance • Red light cameras • Bright screens • Security guards	15. Deny benefits • Ink merchandise tags • One/fit cleaning • Speed bumps	20. Discourage imitation • Rapid repair of condition • V-chips in TVs • Cruise deaths of madmen operators	25. Control drugs and alcohol • Breathalyzers in pubs • Server micro-intox • Alcohol-free events

<https://popcenter.asu.edu/content/25-techniques-0>

Suitable Target + Motivated Offender + Capable Guardian



歩行者交通量×犯罪発生状況（2019年）



渋谷



新宿

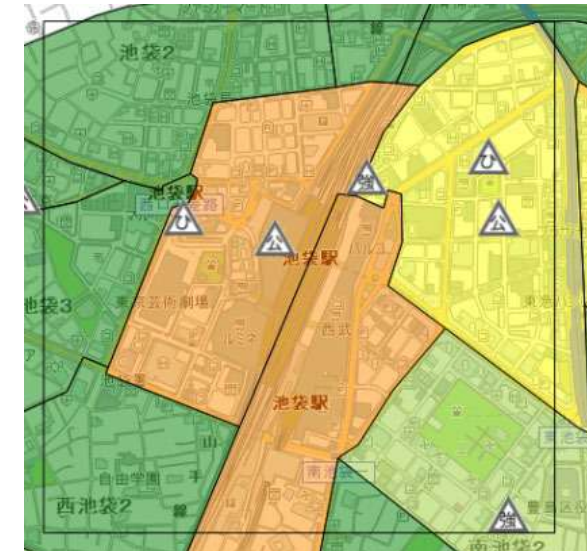
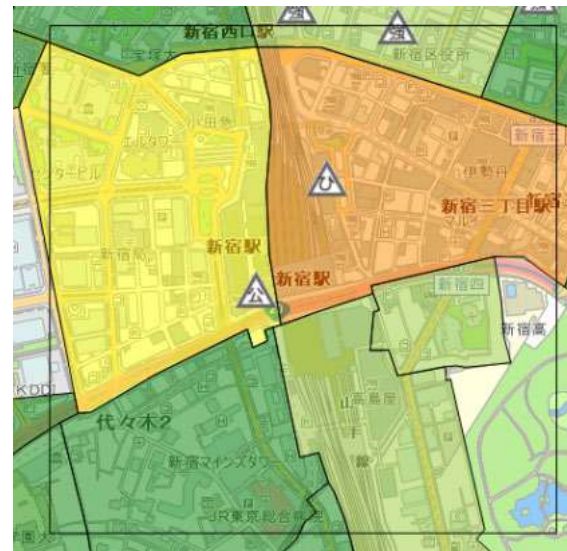
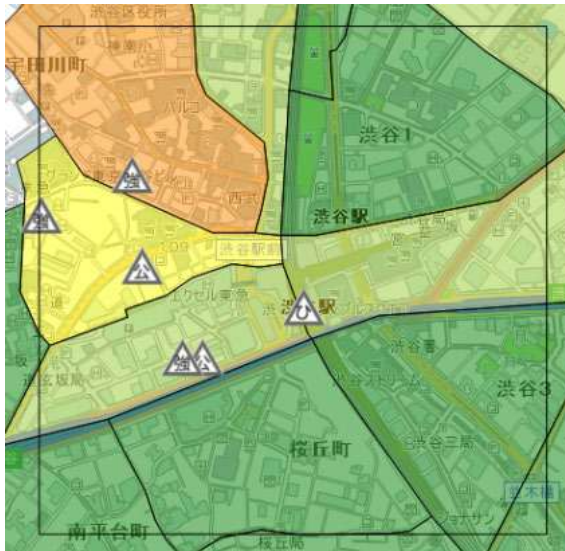


池袋



子供や女性の防犯情報：地点（子供/女性に対する声かけ等）

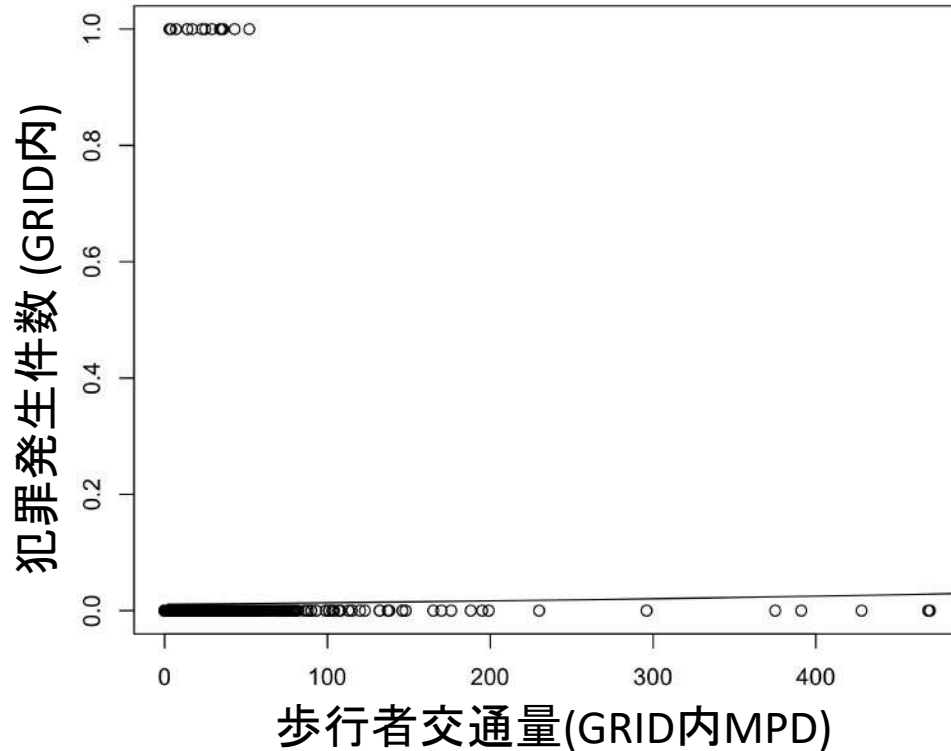
万引き
2021年件数（背景色）+地点（ひったくり、路上強盗、公然わいせつ）



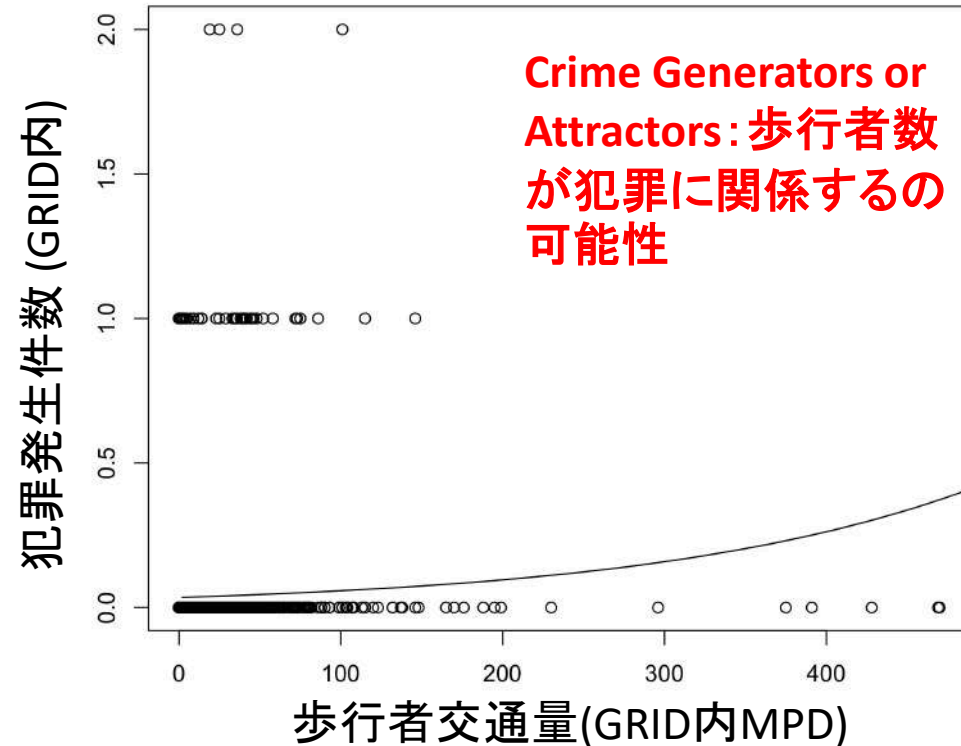
歩行者交通量×犯罪発生状況（2019年）



ポアソン回帰分析結果: ひったくり、路上強盗、公然わいせつ（東京3地区、n=1,200）



ポアソン回帰分析結果: 子供/女性に対する声かけ等（東京3地区、n=1,200）

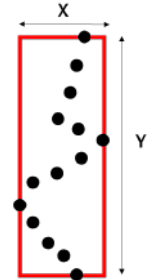


	estimate	Std. Error	z value	
切片	-4.495	0.296	-15.183	**
歩行者交通量	0.002	0.005	0.376	
Null deviance: 124.63				
Residual deviance: 124.51				

	estimate	Std. Error	z value	
切片	-3.352	0.158	-21.151	**
歩行者交通量	0.005	0.002	2.828	**
Null deviance: 320.1				
Residual deviance: 315.1				

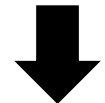
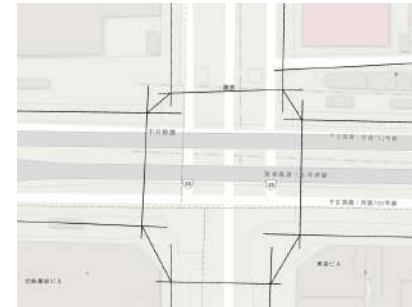
歩行者行動の特徴分析

- 各エリアのdailyid ごとの緯度・経度の最大値・最小値
⇒ **一人当たりの東西の移動幅X** と **南北の移動幅Y**、**移動面積XY**を算出
- 各エリアで50m メッシュを作成
⇒ **回遊密度[%]**の算出（回遊密度 = 各グリッド内ポイント数/各エリア全体のポイント数）



街路構成の特徴分析

- Space Syntax理論に基づくInt値（接続性と歩きやすさ指標）の算出
⇒ 各エリアの接続性やアクセス性の高い/低い街路の分布



歩行者交通量・街路構成の関連分析

重回帰分析：回遊密度に影響を及ぼす街路構成要因を分析

ポイント取得総数	駅からの距離ダミー	Int値平均	商業施設の延べ床面積*
↑グリッド内歩行者交通量	↑距離抵抗	↑歩行空間の歩きやすさ指標	↑駅及び商業地を歩行者ODと想定

分析単位：50mグリッド

歩行者交通行動分析：移動幅・面積の分析

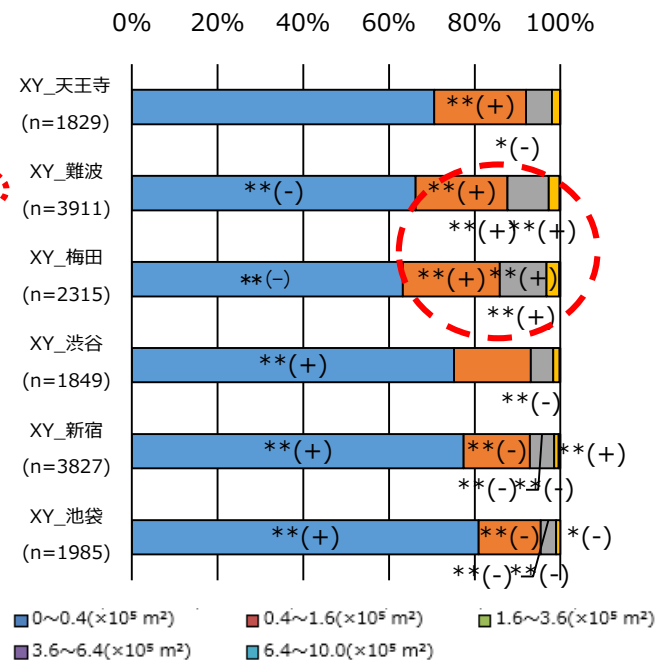
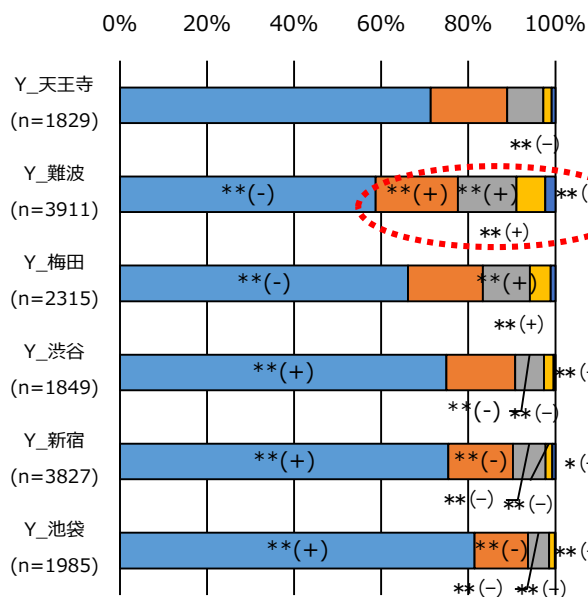
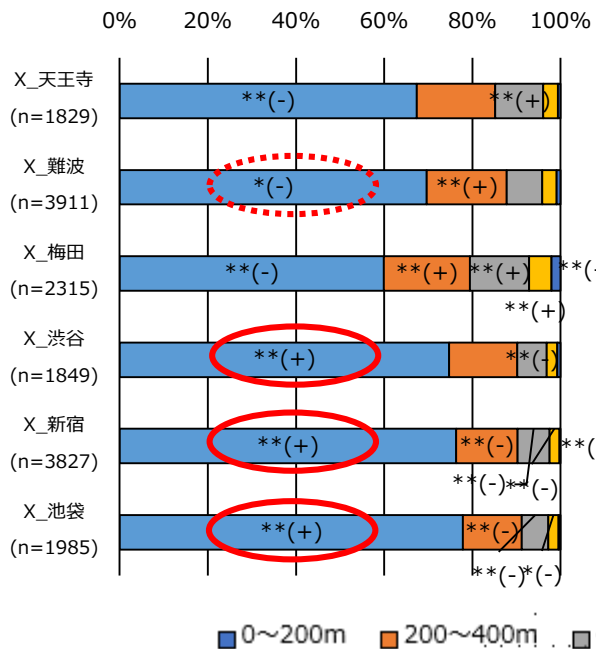
一人当たりの移動幅・面積 (X,Y,XY) のエリアごとの構成率
⇒ クロス集計の残差分析

クロス集計の残差分析
** : 1%有意 * : 5%有意
(+) : 割合が高い (-) : 割合が低い

X (東西方向) の比較

Y (南北方向) の比較

XY (移動面積) の比較



独立性の検定 P値 : 2.15×10^{-60}
1%有意

独立性の検定 P値 : 1.98×10^{-122}
1%有意

独立性の検定 P値 : 9.99×10^{-66}
1%有意

- : 東京の3エリアの方が200m以下の短い距離で回遊が終わる、狭い面積の回遊で終わる傾向
- ⊖ : 難波ではX短くYが長い傾向⇒南北に縦長に回遊が行われる傾向
- ⊕ : 難波、梅田が大きい範囲の回遊が行われる傾向

分析結果：重回帰分析による要因分析

重回帰分析結果

※目的変数：メッシュ内ポイント取得数（密度）

説明変数		渋谷		新宿		池袋		天王寺		難波		梅田	
		t	p	t	p	t	p	t	p	t	p	t	p
切片		-1.19	0.24	-0.37	0.71	-1.18	0.24	0.09	0.93	-0.21	0.83	0.87	0.38
駅からの 距離	0~100m四方	2.73	0.01 **	13.37	0.00 **	9.38	0.00 **	8.77	0.00 **	1.60	0.11	1.26	0.21
	100~200m四方	9.29	0.00 **	-0.05	0.96	3.19	0.00 **	8.49	0.00 **	3.68	0.00 **	3.52	0.00 **
	200~300m四方	3.94	0.00 **	1.81	0.07	3.96	0.00 **	6.06	0.00 **	5.54	0.00 **	5.41	0.00 **
	300~400m四方	1.90	0.06	3.05	0.00 **	6.17	0.00 **	7.62	0.00 **	8.40	0.00 **	5.97	0.00 **
	400~500m四方	3.09	0.00 **	0.86	0.39	2.59	0.01 **	2.19	0.03 *	4.01	0.00 **	2.02	0.04 *
	500~600m四方	0.69	0.49	0.82	0.41	2.21	0.03 *	1.38	0.17	0.48	0.63	1.63	0.10
	600~700m四方	0.96	0.34	0.40	0.69	1.17	0.24	1.15	0.25	0.25	0.80	0.63	0.53
	700~800m四方	0.55	0.58	0.29	0.77	0.21	0.84	0.13	0.90	0.66	0.51	0.80	0.42
	800~900m四方	0.76	0.45	0.26	0.80	-0.08	0.93	1.05	0.29	0.06	0.95	0.78	0.44
900~1000m四方	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Int値平均（歩きやすさ）		2.05	0.04 *	5.22	0.00 **	2.44	0.02 *	2.74	0.01 **	2.88	0.00 **	3.30	0.00 **
商業施設の延床面積[m ²]		5.79	0.00 **	2.68	0.01 **	-0.97	0.33	7.05	0.00 **	4.44	0.00 **	1.73	0.09
補正R ²		0.278		0.541		0.242		0.455		0.295		0.150	

注) いずれも観測数 n=400 *: p<.05, **: <.01

- Int値（歩きやすさ）はすべてのエリアで有意
- 渋谷、新宿、天王寺、難波では商業地の影響大きい
- 池袋では商業地マイナス、補正R²低い←公園や施設への道など、その他の影響が大きいのでは
- 梅田では補正R²低い←地下街の影響が大きいのでは
- 各エリアで駅からの距離の影響の大きさが異なる

対象イベント:2019 渋谷ハロウィン



対象地	渋谷スクランブル交差点 ～センター街周辺
対象地面積	約0.12km ²
参加者数【1日当たり】	主催者おらず不明 (推定10万～100万人)
空間条件	街路・交差点
群集の移動方向	誘導なし、ただしセンター街のみ混雑時1方向



CSRNet：拡張畳み込みニューラルネットワーク



深層学習を用い、歩行者の分布から密度マップを作成し、群集人数推定を行う密度推定モデルの1つ。

K-V関係式（既往研究）

毛利ら¹⁾の密度-速度関係式(1)(2)

$$V = -0.204K + 1.48 \quad (K < 1.5) \dots (1)$$

$$V = 1.32 \cdot \log\left(\frac{9.16}{K}\right) \quad (K > 1.5) \dots (2)$$

吉岡ら²⁾の密度-速度関係式(1)(2)

$$V = 1.35 - 0.38K \dots (3)$$

分析の流れ

追加学習



ShanghaiTech_：約1200枚
+
渋谷ハロウィン：10枚

パラメータ更新



画像のトリミング



単路部分のみの人数推定

約5時間分を
1枚/1秒単位
人数推定



推定人数結果

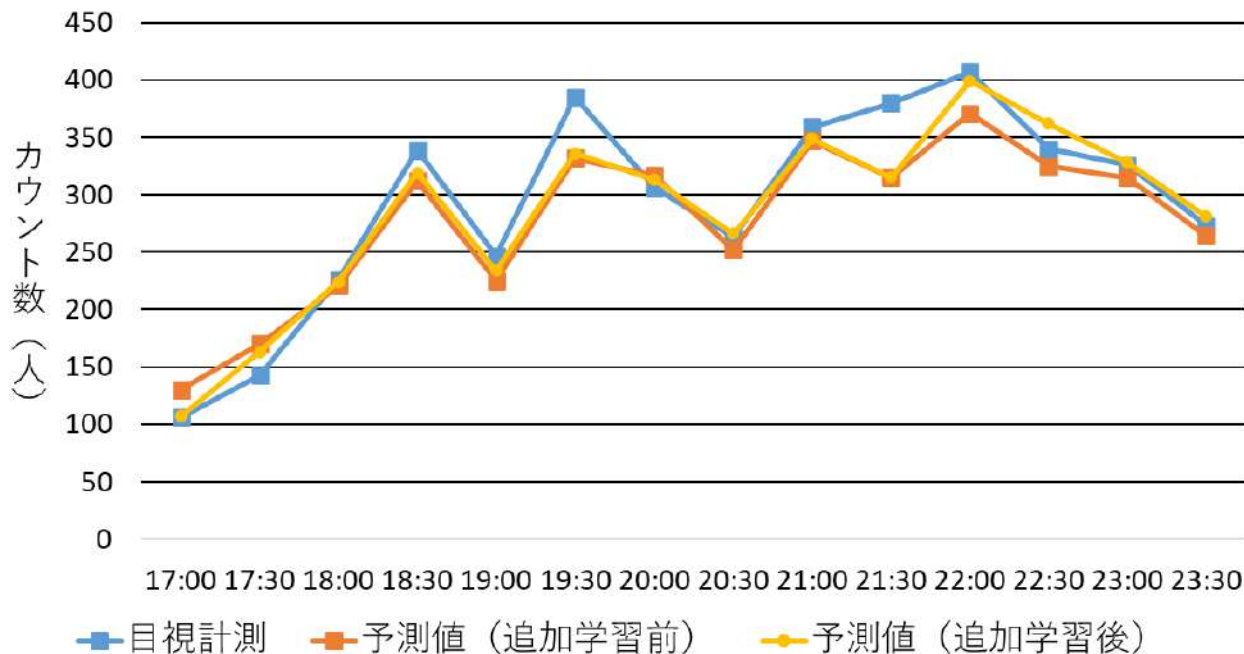
÷面積

密度 (K)

K-V関係式

推定速度 (V)

イベント当日のセンター街10枚の追加学習後、目視計測と比較



Mean Absolute Error (MAE)

$$MAE = \frac{\sum_i |y_{obs,i} - y_{pred,i}|}{n}$$

Root Mean Squared Error (RMSE)

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_i (y_{obs,i} - y_{pred,i})^2}{n}}$$

$y_{obs,i}$: 実測値, $y_{pred,i}$: 予測値

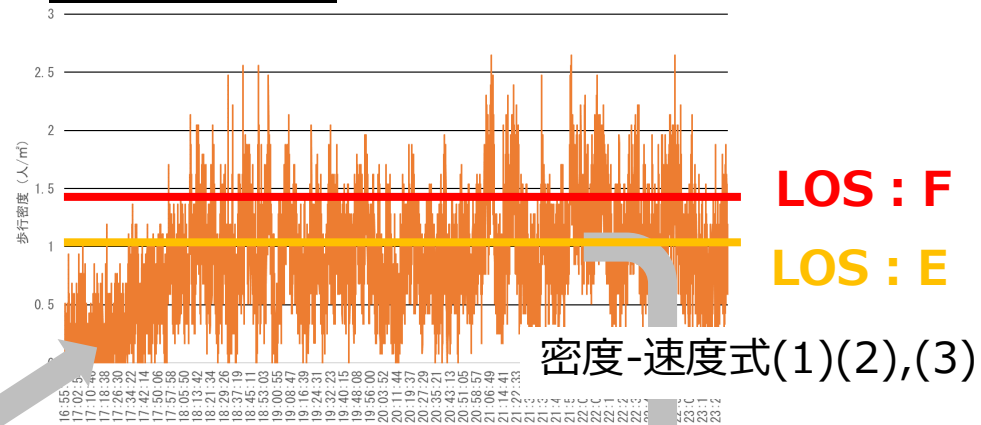
	追加学習前	追加学習後
MAE	23.4	16.4
RMSE	28.9	24.5
RMSE/MAE	1.23	1.49
R ²	-0.04	0.76

追加学習後、MAEの大幅な低（改善）を確認

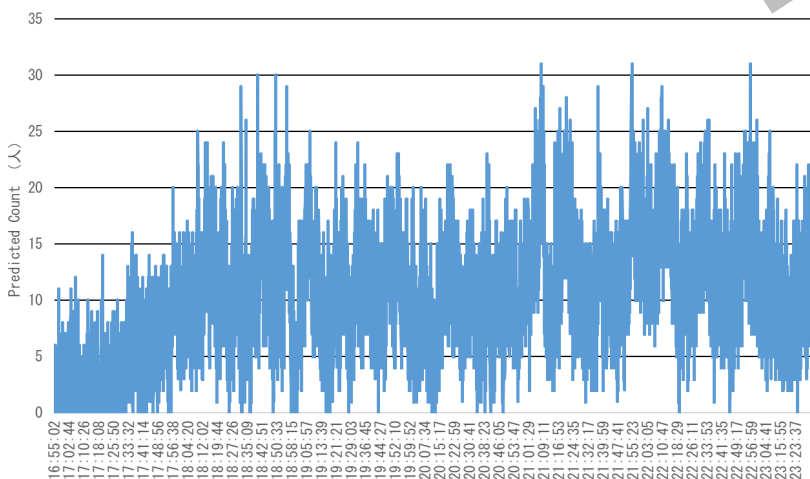
→RMSE/MAE > 1.253より、予測を大きく外しているデータが存在する可能性



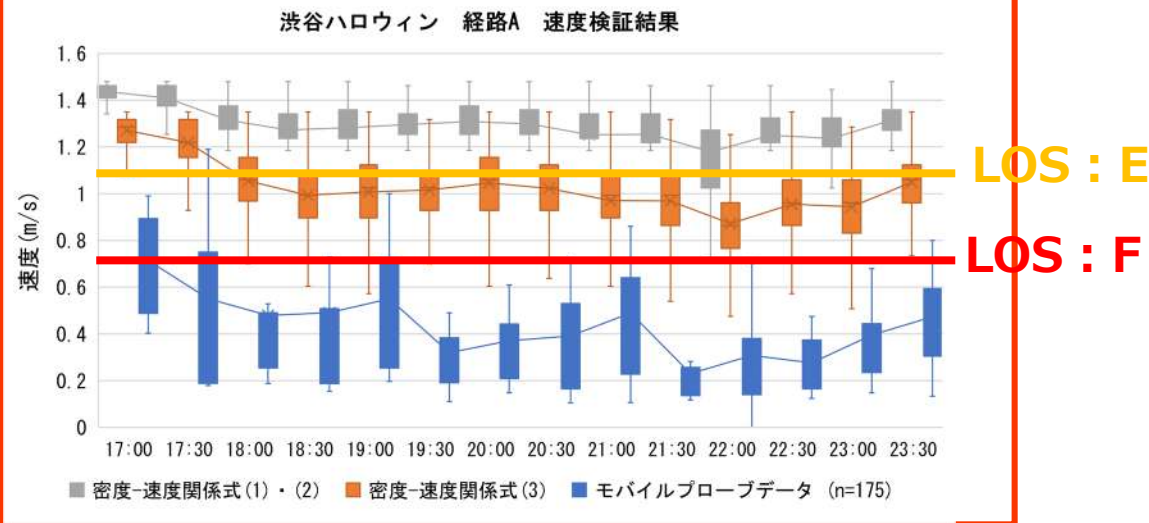
密度算出結果



人数予測結果



動画解析×モバイルプローブデータ 速度比較

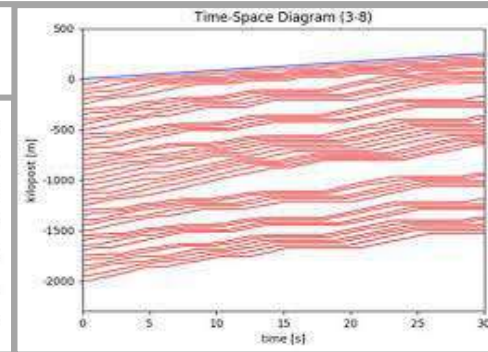
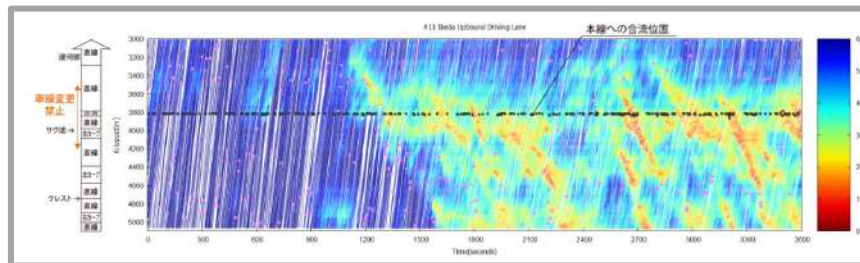


→混雑時の密度・速度変換式の精度向上必要、動画から密度・速度のモデル化

Time Space ☒

横軸に時間(t),縦軸にある点からの距離(x)を取り、車両の位置を連続的に示す
 ⇒渋滞地点 (ボトルネック) の把握、傾きである速度変化、空間平均速度

画像センシングにより対象区間を走行する全車両の走行軌跡データを生成
 阪神高速道路 Zen Traffic Data : <https://zen-traffic-data.net/>

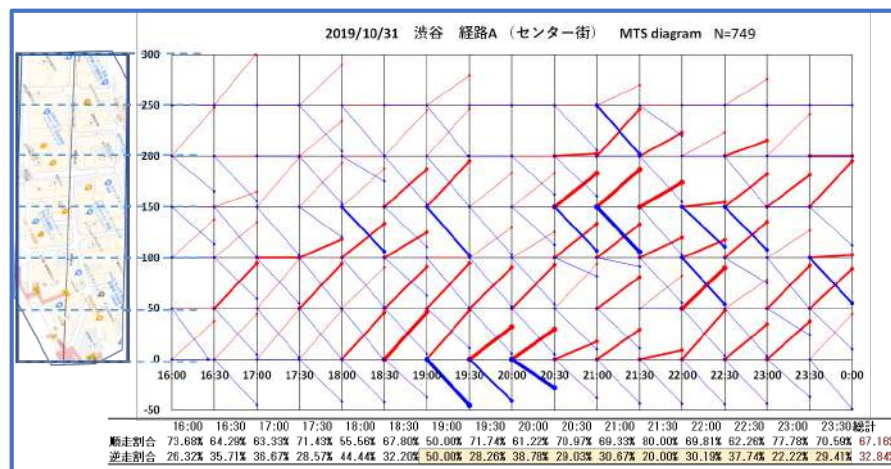


対象：歩行者⇒端末数が多い、流れが非定常なため、車両と同じ軌跡表現は困難

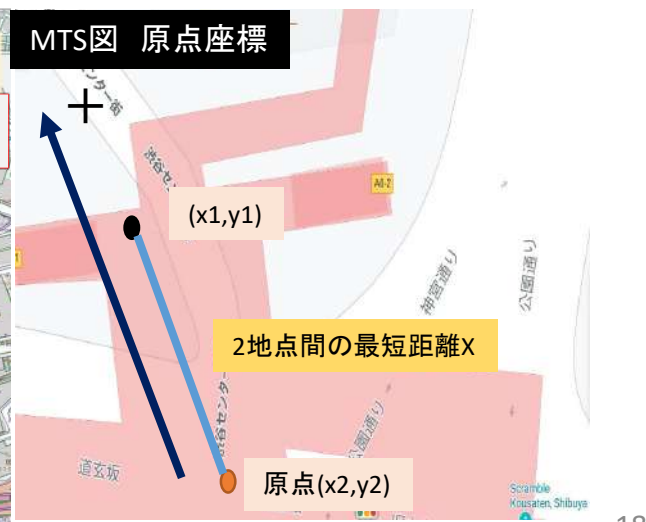
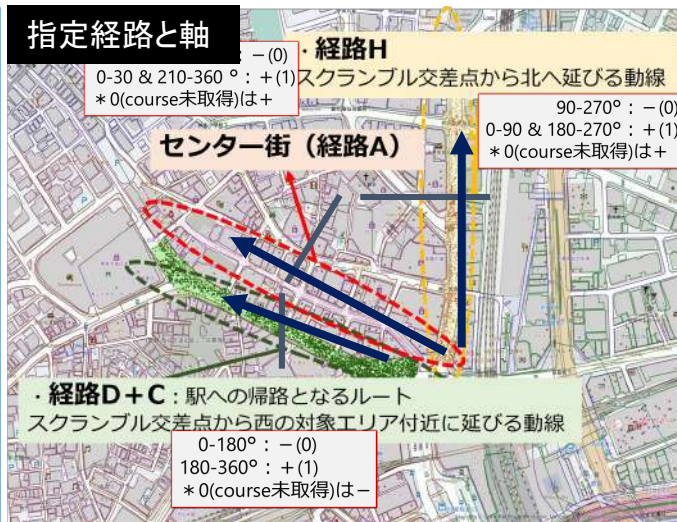
メッシュ単位 Time Space ☒

時間 (横軸) と原点距離 (縦軸) を一定の値間隔のメッシュ状にデータを分割し、各メッシュ毎の**平均速度を傾き**、**ログ数を線の太さ**で表現

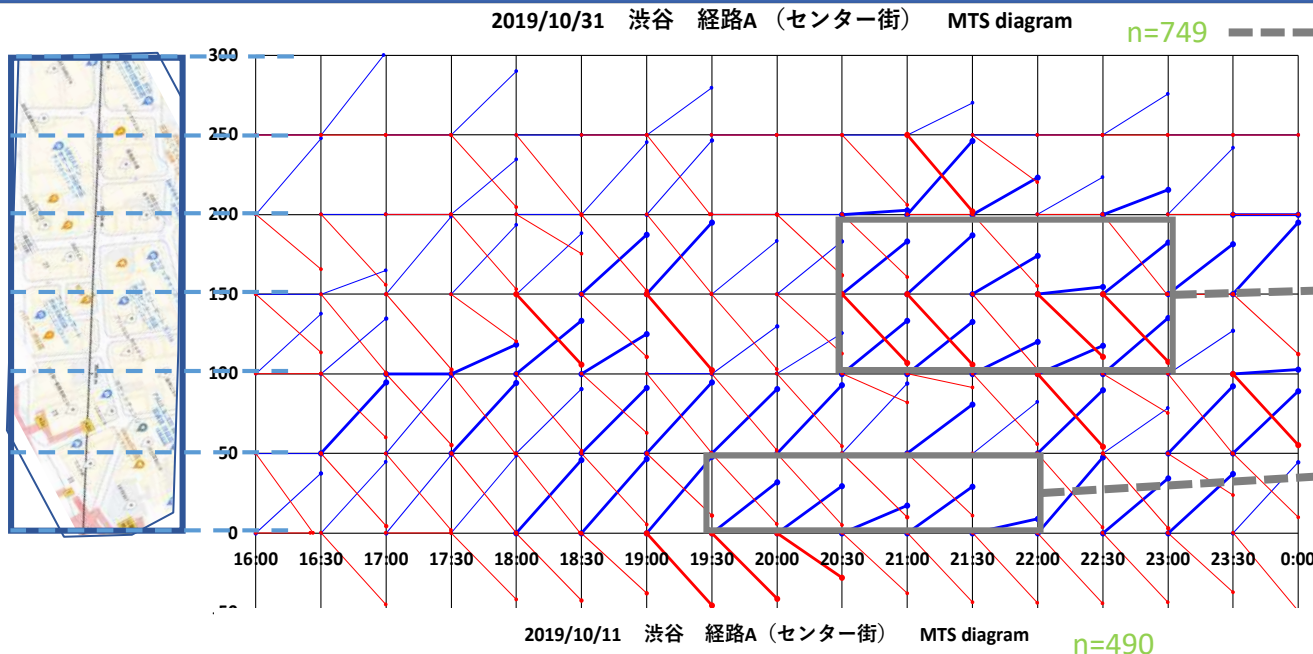
- ・ **新たな可視化手法の提案**
- ・ **イベント時&混雑状態における**
 → **街路単位**の歩行者交通流の把握



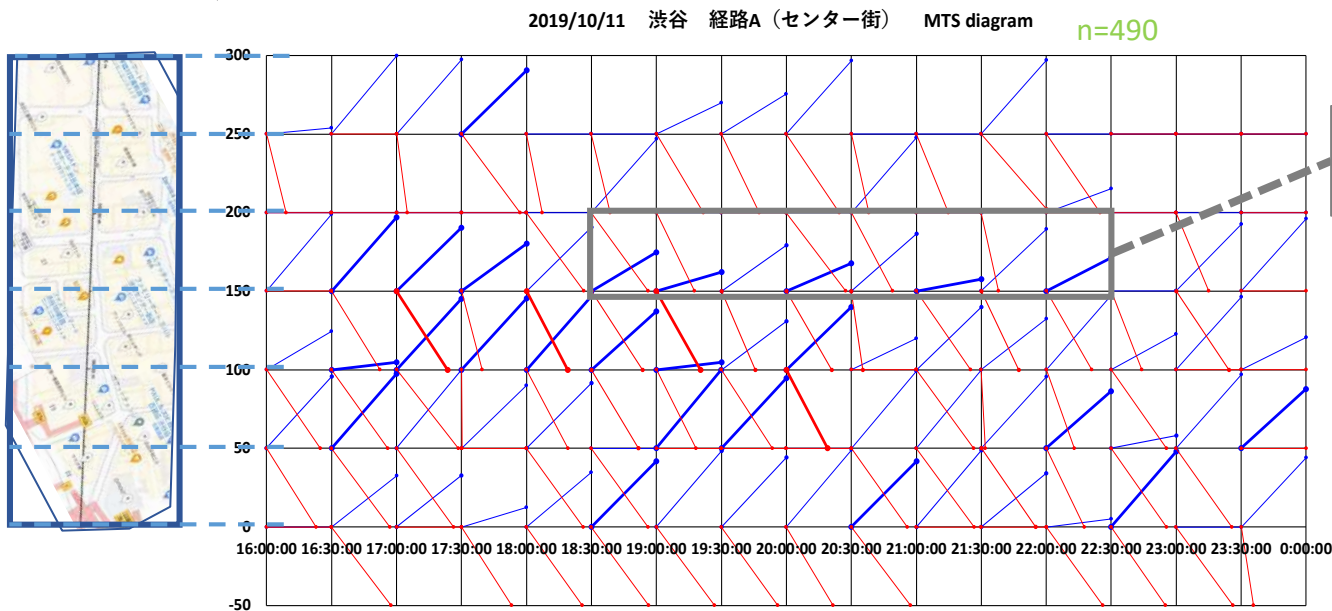
渋谷イベント時 経路（図の経路A,D+C,H）メッシュ単位のTS図



イベント時 (平日)



非イベント時 (平日)



解析手法

- ポイント型流動データ (マクロ)
 - タイムスペース図による異なるイベント時の異なる歩行状態の可視化
 - 制御の違い(規制：一方通行、滞留抑制)が流れの違いがTS図に反映
 - 因果関係(流れの向きや滞留などの行動制御)を明示できず
 - 画像解析データ(ミクロ)
 - 群集状態の人数カウント、密度推定精度の向上
- 方向、停止挙動などをミクロな交通流の状態を考慮した分析手法の高度化による (トラッキングなど) 流れの要因分析

今後の課題

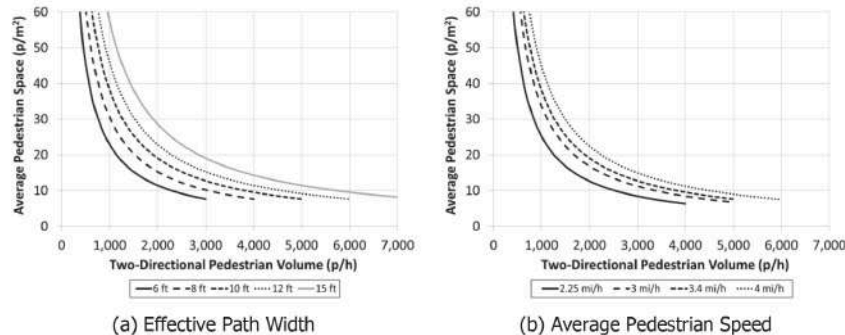
- 複数手法の組み合わせによる推定精度の向上検証、歩行空間の質

HCM2016 Ch.24

Pedestrian Plazas, Zones

- LOSとは異なる指標の必要性:
"Successful pedestrian zone is expected to be relatively crowded."
- LOSの高いゾーン: "a potential personal security risk."

Exhibit 24-19
Illustrative Effect of Pedestrian Volume, Effective Path Width, and Average Pedestrian Speed on Average Pedestrian Space



Note: Calculated using this chapter's methods, using PHF = 0.85. In Exhibit 24-19(a), average pedestrian speed = 3.4 mi/h. In Exhibit 24-19(b), effective path width = 10 ft.

• 歩行者交通量に関わる分析結果

- 人身事故（人対車両）：大規模駅周辺の幹線道路沿いにおける歩行者・歩行空間を対象とした安全対策の必要性
- 犯罪：歩行者交通量が、子供/女性に対する声かけ等に対するCrime GeneratorsもしくはCrime Attractorsの要因
- 歩行空間の歩きやすさが歩行者量に影響
→交通量に応じた広場・歩行者空間の提供（駅→広場・歩行空間→目的に繋がる空間設計の重要性。とくに大規模ターミナル地区では幹線道路の空間に余裕があるが歩行空間の供給が少ない状態）

• 群集状態の解析

- モバイルプローブデータ(MPD)を活用した街路単位の歩行状態の解析
- 画像解析手法を用いた定点観測地点による群集状態の解析
→歩行者速度に関する比較・精度検証
- MPDを用いたグリッドタイプのTime-Space図による可視化
→歩行状態（混雑・群集）は表現も、要因特定までには解像度不足で至らず



公益財団法人 国際交通安全学会

International Association of Traffic and Safety Sciences