

感染症と社会シミュレーション

筑波大学 倉橋節也

目次


- 主な研究領域
- 社会シミュレーション研究事例
- 新型コロナウイルス感染予防策効果
- 経済と両立する観光地モデル
 - 長野モデル
- S⁴共同研究スタート

主な研究領域

- 人と人との関係から社会の動きを予測
 - 収拾がつかない時のリーダーシップとは
 - 国際議定書で温暖化ガスは規制できるのか
 - 科挙から見た「成功する」子育て
 - 広告の戦略：自分を信じ、周囲に従う
 - パンデミックの国際協調は有効ではない？
 - 習熟度別クラス vs. 混沌としたクラス
 - 便利な街と不便な街 その行く末は？
- 感染症研究（2013～）
 - エボラ出血熱モデル(2014)
 - 新型感染症モデル(2015)
 - ジカ熱モデル(2016)
 - 感染症への国際協調モデル(2017)
 - 風疹モデル(2019)
 - 新型コロナウイルス感染症モデル(2020)

エビデンスに基づく政策形成 EBPM(Evidence-based Policy Making)

過去の「シリーズ日本経済を考える」については、財務総合政策研究所ホームページに掲載しています。
<http://www.mof.go.jp/pa/research/special/series/index.html>



「エビデンスに基づく政策形成」とは何か

前財務総合政策研究所研究官
山名 一史*1

2016年2月12日

政策研究レポート

エビデンスで変わる政策形成

～イギリスにおける「エビデンスに基づく政策」の動向、
ランダム化比較試験による実証、及び日本への示唆～

経済・社会政策部 副主任研究員 家子直幸、小林庸平
環境・エネルギー部 副主任研究員 松岡夏子
公共経営・地域政策部 主任研究員 西尾真治

【概要】

政策目的を達成するための効果的な施策を科学的根拠に基づいて意思決定する「エビデンスに基づく政策 (Evidence-Based Policy)」は、欧米の先進国で急速に導入が進んでおり、さらに開発途上国にも展開されているが、日本ではいくつかの政策分野を除き実践例は僅少である。「エビデンスに基づく政策形成」に関連し、近年特に注目されているのが、ランダム化比較試験 (Randomized Controlled Trial) である。このような実証的な手法を活用すれば施策の効果を確認できるが、日本では医学研究領域以外での普及が遅れている。

1. はじめに

巨額な公的債務を抱える我が国において、効率的な資源配分は重要な課題であり、「政策にどれだけの予算がかけられたか」ではなく、「政策目的がどれだけ効率的に達成されたか」という観点から、政策は評価されなければならない。こうしたニーズに応えるため、近年注目を集めているのが「エビデンス (客観的根拠) に基づく政策形成 (Evidence-based policymaking: EBP (M))」

それぞれの長所と短所を考察する。最後に第4節で本稿のまとめとする。

2. 国際機関や諸外国のEBPへの取り組み

日本では比較的新しい取り組みであるが、国際機関や先進諸国ではエビデンス重視の流れがあり、OECDの教育研

財務総合政策研究所

エビデンスに基づく政策立案 の推進に向けて

－ターゲット領域の検討材料の提供(試行)－

2017年4月4日

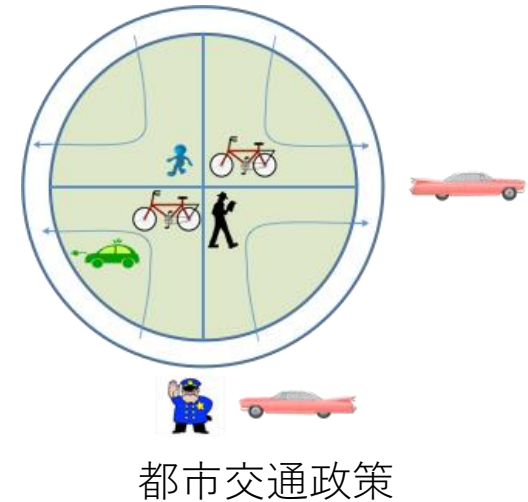
内閣府 総合科学技術・イノベーション会議 (CSTI)
政策統括官(科学技術・イノベーション担当) 付
基本政策担当(エビデンス・チーム)

経産省/三菱UFJ-R&C

内閣府

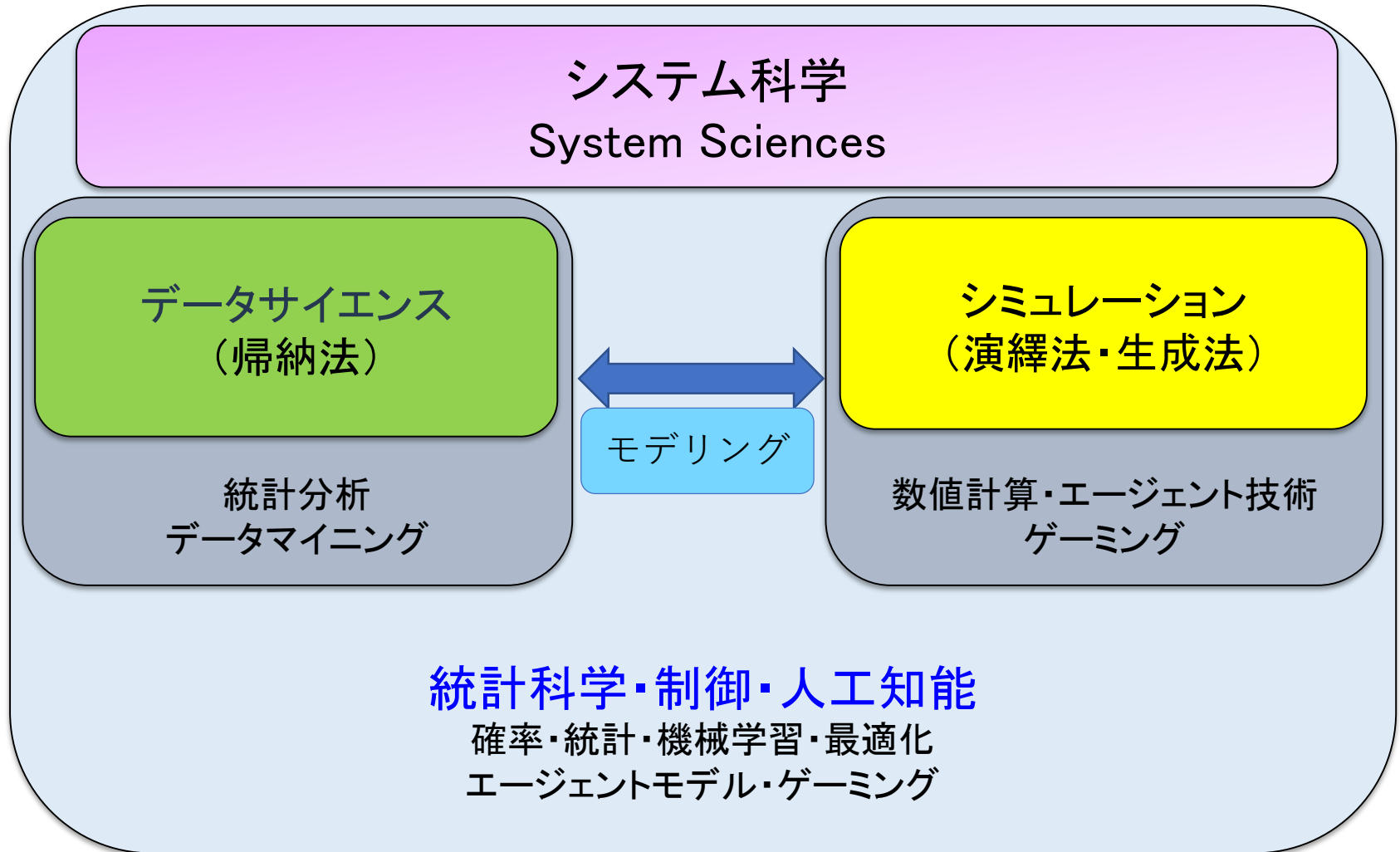
データとシミュレーションに基づく政策形成

- 多くの重要な社会・経済・経営策が日々決定されている
 - 都市の設計, 感染症対策, 事故への対策...
- 事前に実験や検証が困難
 - 過去のデータや事象分析を参考に施策決定がされている
 - 実際は, 新しい対策の効果を予測し評価したい
- モデルに基づく施策立案(MBPM)
 - 効果的な施策の設計
 - 新しい施策のリスク評価
 - モデル=データ & シミュレーション



自転車専用道

データサイエンスとシミュレーション



便利な街と不便な街 その行く末は？

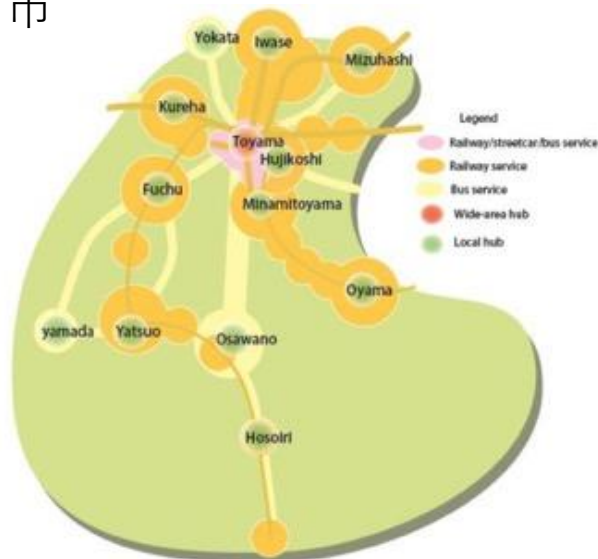
永井秀幸, 倉橋節也, "賑わいが街を変える - 立ち寄り施設と都市動態モデリング-",
人工知能学会論文誌, p.D-G26_1-10, 2017

地方の人口減少と都市への集中

- 日本の特徴
 - 人口減少及び高齢化
 - 巨大都市圏への人口集中



- コンパクトシティへの転換を模索
富山市



富山市HP

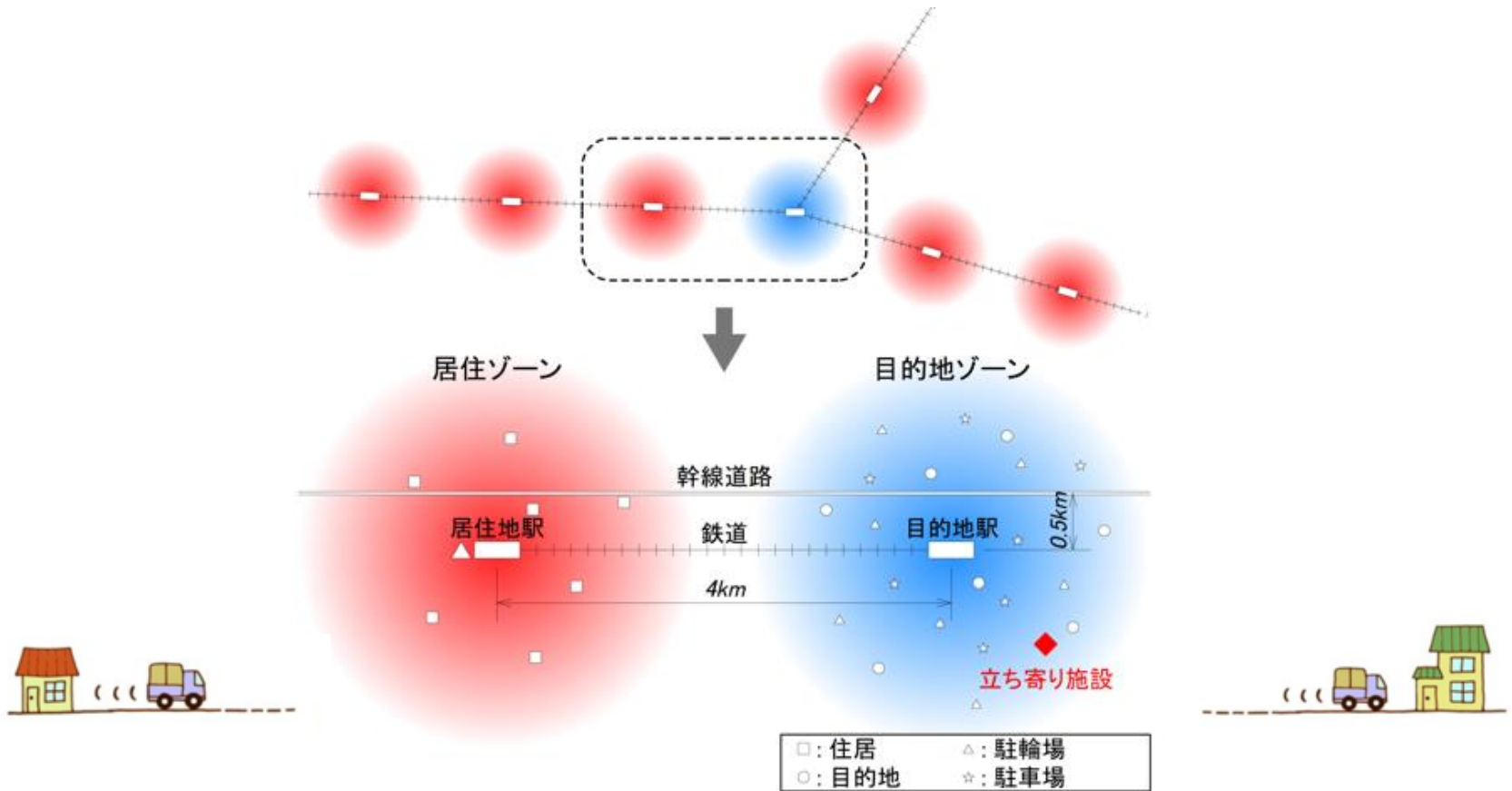
都市政策の実験は困難

- 交通システムのデータ分析
 - 国土交通省・地方自治体で大規模データが蓄積
 - 交通政策のための基礎統計資料が整備されている
- 都市政策に関する実験
 - コスト・実証実験に大きな制約がある
 - 現実に行うことはほぼ不可能
- 適度に単純化した都市モデルで仮想社会実験
 - 間接的に都市の構造を望ましい方向へと変化させる

都市モデル

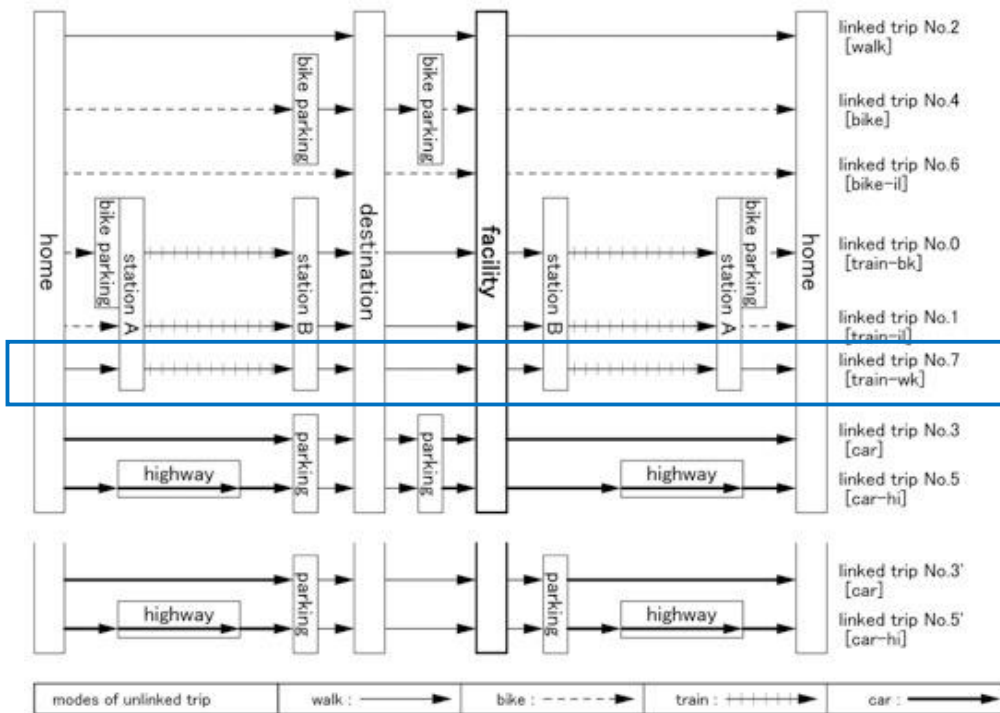
都市モデル空間

居住地と目的地がゾーニングされて配置された都市構造



住民の交通行動選択

- 各住人エージェントは毎日、住居から目的地に向かい、立ち寄り施設に立ち寄ってから住居に戻る(Linked trip)
- その際の代表交通手段は**徒歩**, **自転車**, **鉄道**, **自動車**の4種類



例：Linked trip No.7

自宅→徒歩→A駅→鉄道→
B駅→徒歩→職場→徒歩→
施設→徒歩→B駅→鉄道→
A駅→徒歩→自宅

立ち寄り施設の立地

- 実験 - 立ち寄り施設配置の影響

以下の**2**つの条件を変化させながらモデルを実行する.

- 立ち寄り施設の位置

A : 立ち寄り施設の設置なし

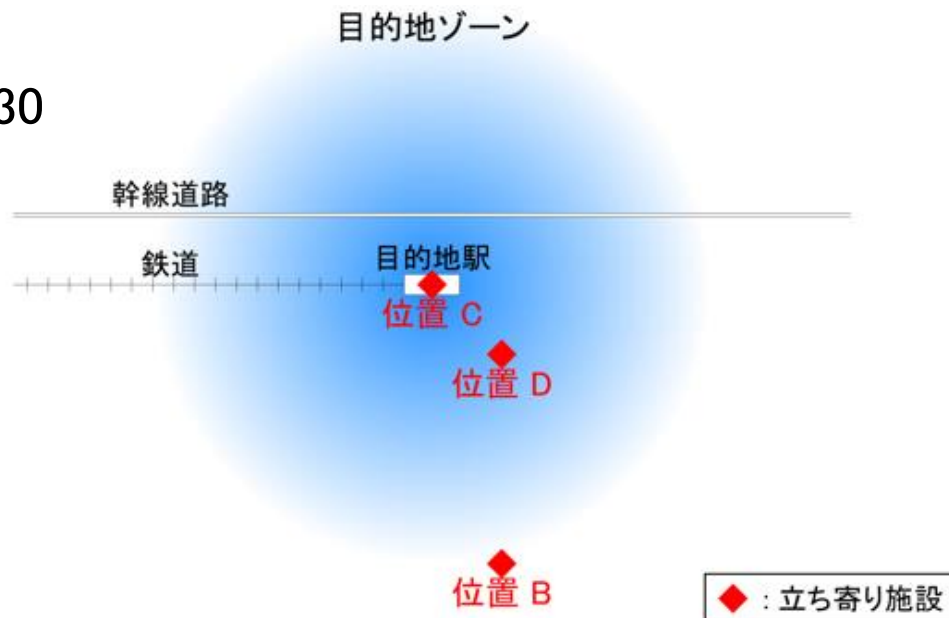
B : 目的地駅から南**2.0km**,東**0.5km**の郊外

C : 目的地駅と同位置 (駅ナカ)

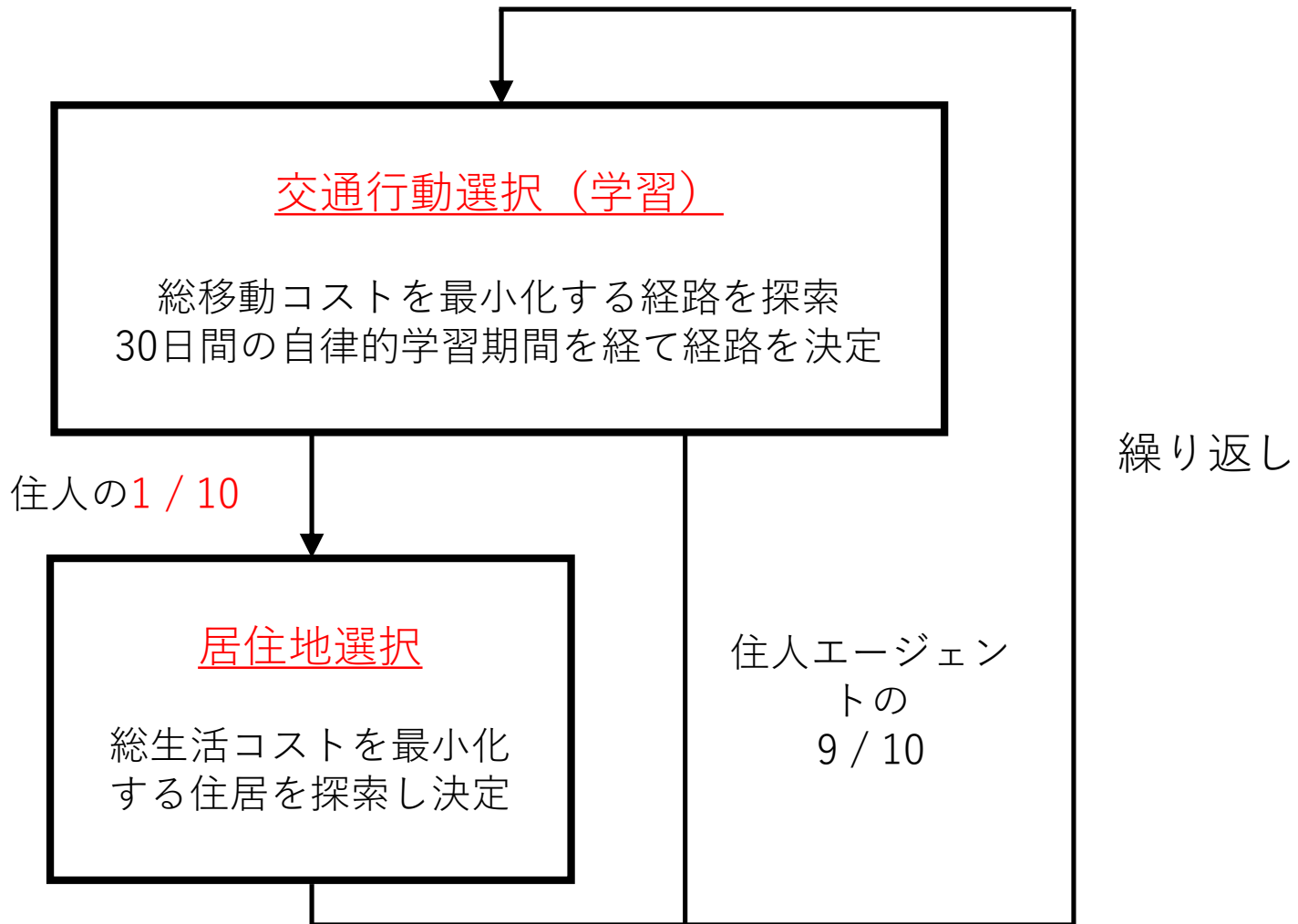
D : 目的地駅から南**0.5km**,東**0.5km**の駅近傍

- 賑わい係数

- $\eta_{pros} = 0, 10, 20, 30$



住民の行動



モデルのデータ & パラメータ

都市モデルのパラメータ	設定値	住人エージェントのパラメータ	設定値
住居の分布の標準偏差 L_h	800(m)	徒歩の速度 V_w	4(km/h)
目的地の分布の標準偏差 L_d	800(m)	自転車の速度 V_b	12(km/h)
駐輪代金 c_b	150(yen)	鉄道の速度 V_t	55(km/h)
駐車代金 c_c	800(yen)	一般道路での自動車の速度 V_N	24(km/h)
鉄道運賃 (片道) c_t	160(yen)	幹線道路での自動車の速度 V_H	60(km/h)
ガソリン代 c_g	0.015(yen/min)	一般道路での自動車の最低速度 V_{cN}^{min}	8(km/h)
違法駐輪ペナルティ c_{il}	3000(yen)	幹線道路での自動車の最低速度 V_{cH}^{min}	20(km/h)
違法駐輪撤去率 P_r	0.5	時間コスト変換係数 η_T	50(yen/min)
地代計算半径 r_R	100(m)	徒歩での疲労コスト変換係数 F_w	180(yen/min)
住居の変換係数 η_R^h	150(yen)	自転車での疲労コスト変換係数 F_b	420(yen/min)
目的地の変換係数 η_R^d	1500(yen)	鉄道での疲労コスト変換係数 F_t	60(yen/min)
住居の広さ A^h	140(m ²)	自動車での疲労コスト変換係数 F_c	60(yen/min)
目的地の広さ A^d	140(m ²)	渋滞計算半径 r_{cong}	150(m)
		渋滞による速度低減率 η_v	0.1
		渋滞コスト変換係数 η_{cong}	100(yen/min)
		最大渋滞コスト F_{cong}^{max}	500(yen/min)
		最大賑わいボーナス P^{max}	$\eta_{pros} * 100$ (yen/min)
		貪欲率 ϵ	0.5
		学習率 α	0.5
		低減率 γ	0.94

国土交通省、JR、厚生労働省、名古屋市の統計資料、および先行研究

都市動態モデル

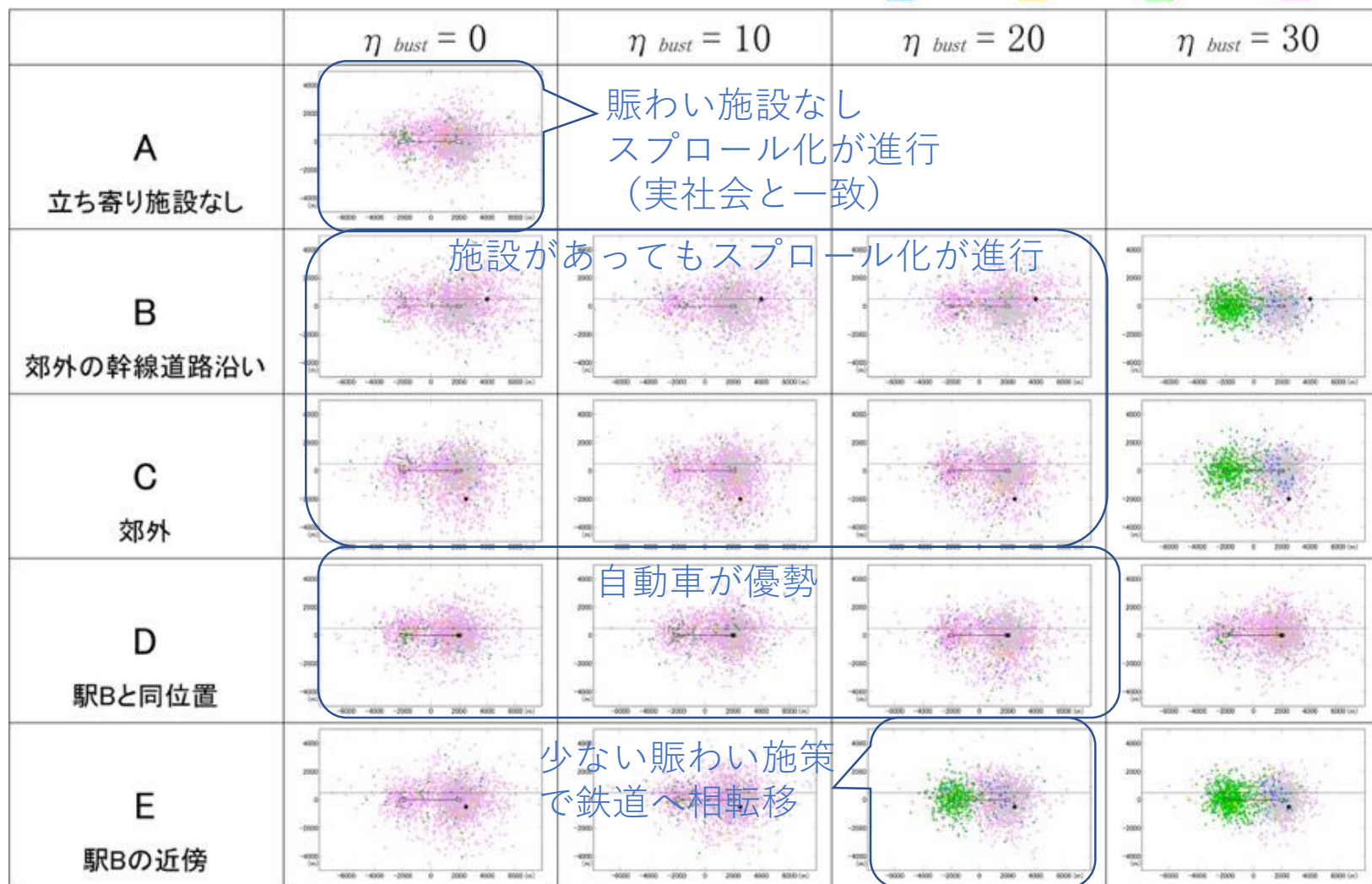
The screenshot displays the NetLogo interface for an urban dynamics model. The interface is organized into several sections:

- Control Panel (Top):** Includes buttons for 'setup', 'go', and 'go once'. It features sliders for parameters such as 'n-people' (1000), 'd-habit' (30), 'n-candi' (10), 'n-moving' (20), 'd-size' (1), '*c-gass' (1), 'hw-ycor' (5), '*v-bike' (1.0), '*f-bike' (1.00), 'mode-p' (normal-dist), 'p-distance' (15), 'mode-f' (facility), 'f-location', 'coeff-for-...' (0), 'f-xcor' (0), and 'f-ycor' (0).
- Plots (Middle):** Two empty plots are visible: 'Cost' and 'Totals'. The 'Totals' plot includes a legend with seven categories: 0-train-bk, 1-train-il, 2-walk, 3-car, 4-bike, 5-car-hi, 6-bike-il, and 7-train-wk.
- Monitoring Displays (Bottom):** A grid of monitors showing various metrics:

2-W	4-Bw	6-B*	0-bTw	1-b*Tw	7-wTw	3-Cw	5-cCHw	sum of car-mc
0	0	0	0	0	0	0	0	0
ratio-walk	ratio-bike	ratio-train		ratio-car		avg-of-t-mov		
0	0	0		0		0		
ctr-of-h-xco	ctr-of-h-ycor	sd-of-h-xco	sd-of-h-xco		avg-of-t-arnd			
0	0	0	0		0			
coeff-for-...	rate-m	pref-mo...	pref-time	pref-fat...	pref-bu...			
1.50	10	1	1	1	1			
- 3D View (Right):** A 3D visualization showing a dense cluster of particles in various colors (green, blue, red, orange, pink, yellow) on a black background, representing the spatial distribution of different transport modes.

立ち寄り施設配置の影響

■ : walk ■ : bike ■ : train ■ : car



自転車利用促進施策を考慮

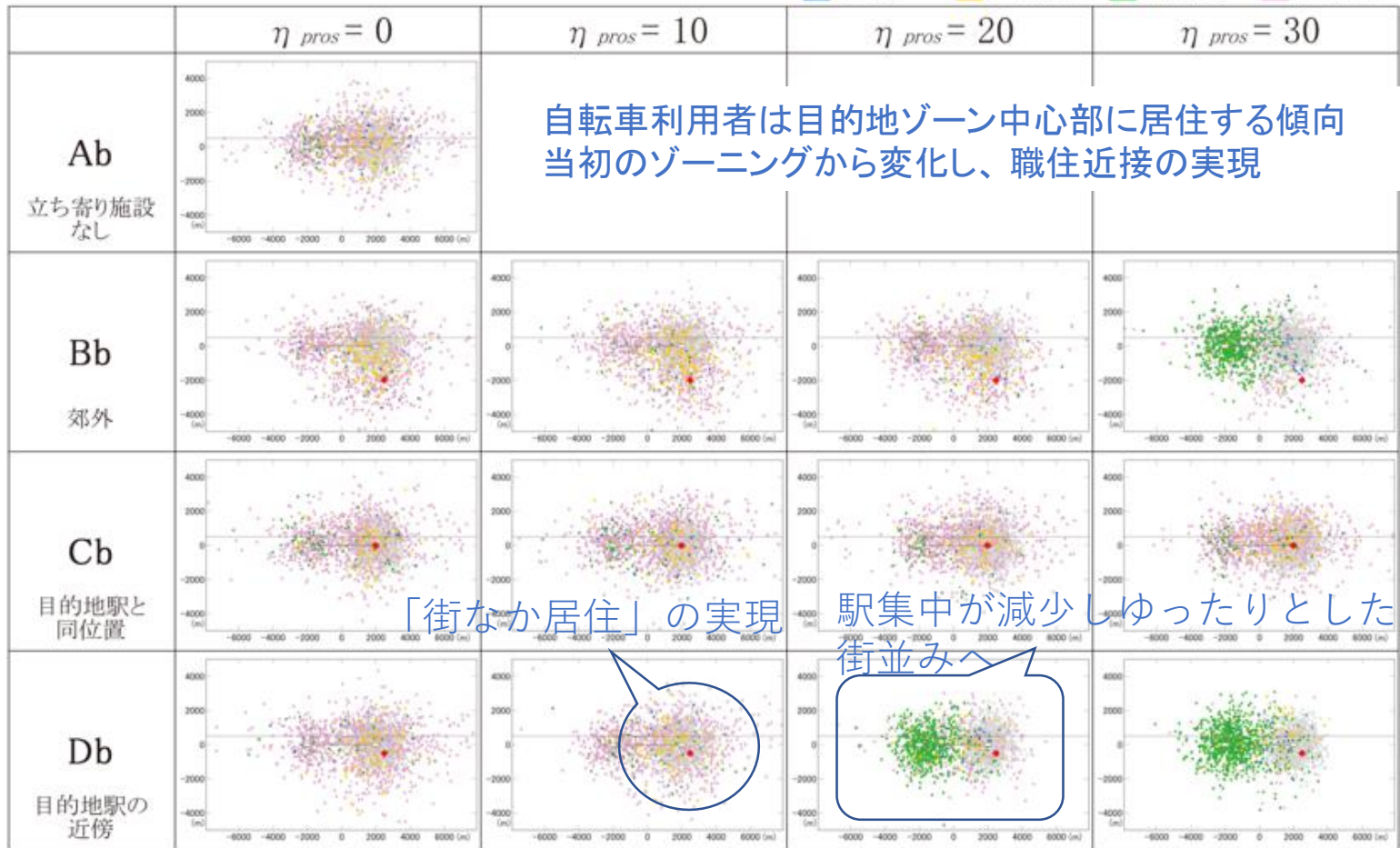
実験の概要

- 日本においても近年、自転車専用道の整備、自転車共同利用システムや電動アシスト自転車購入に際しての補助の実施等、**自転車利用促進の機運が高まりつつある。**
- こうした自転車利用促進施策が十分に実施された場合を実験
 - ・ 自転車での**移動速度が120%、疲労が50%**



賑わい施設 + 自転車利用促進策 (専用道・電動アシスト)

■ : 徒歩 ■ : 自転車 ■ : 鉄道 ■ : 自動車



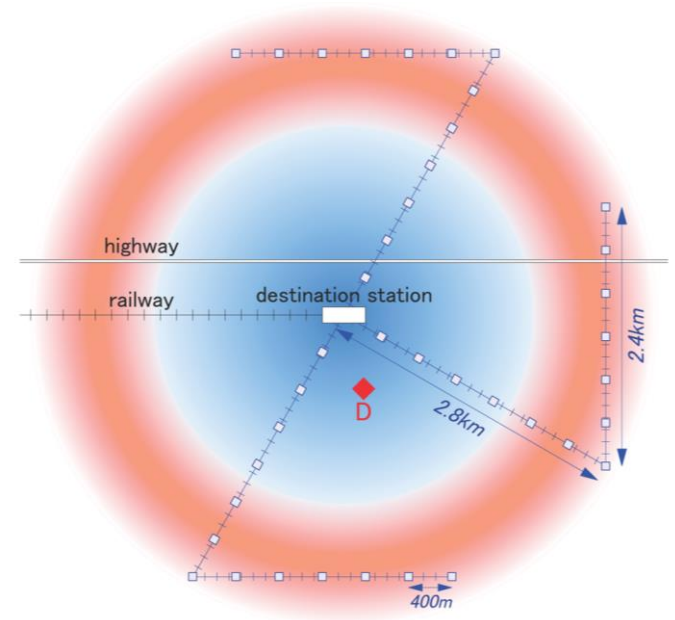
スプロール化した街を変える トラム導入モデル

実験設定

トラム設置の効果を検証

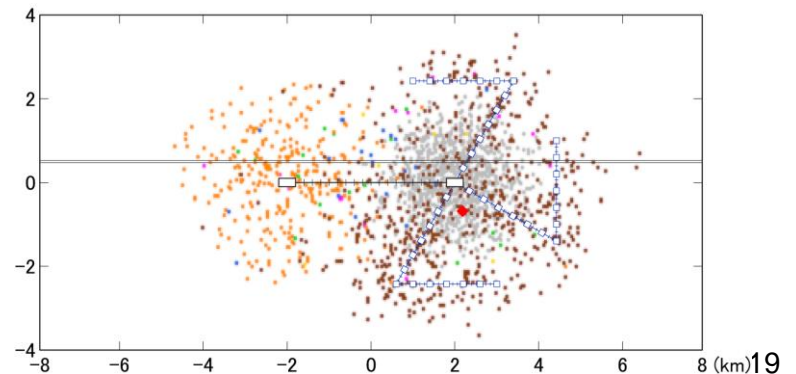
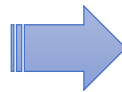
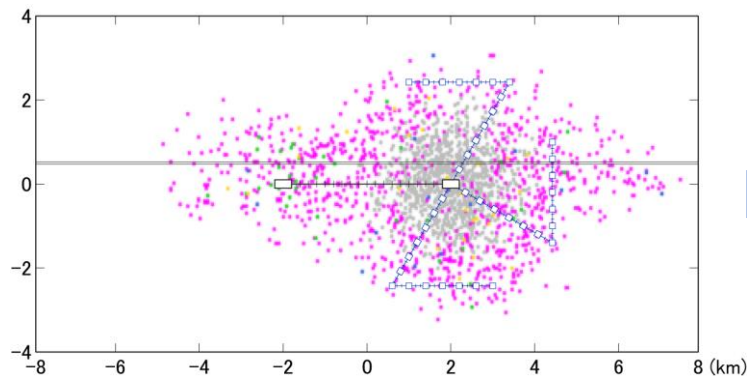
初期設定は、スプロール化された街

- S字型の3路線のトラムを設置 (ドイツ型)
- リンクトリップを追加
 - ・ トラム, 徒歩, 自転車
 - ・ 鉄道とトラムのコンビネーション



自動車利用率 19%, トラム利用率 42%

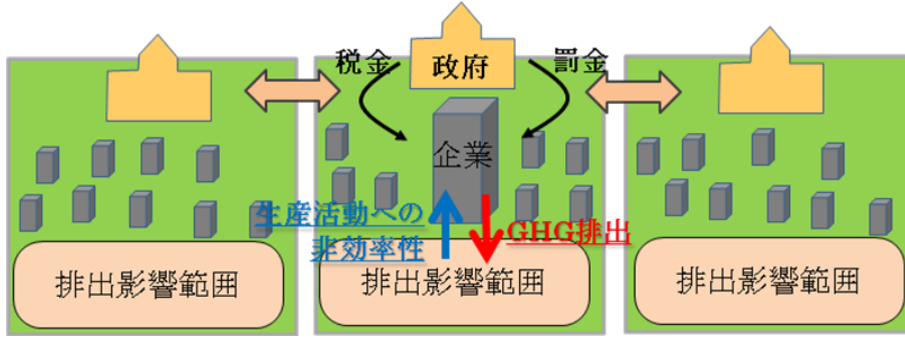
居住者は、居住ゾーンとトラム周辺に二分化しスプロール構造の解消



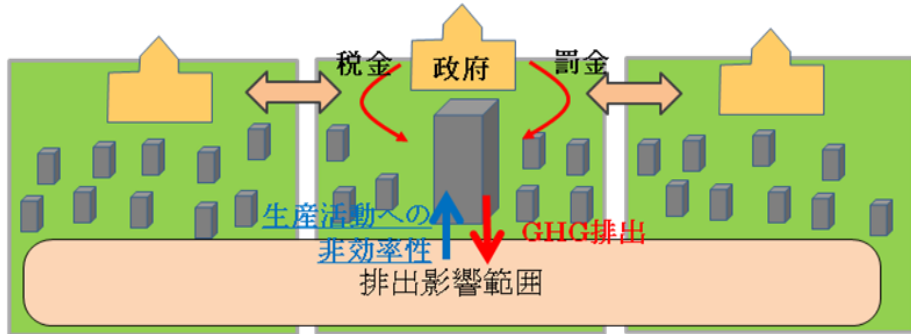
国際議定書で温暖化ガス は規制できるのか

Setsuya Kurahashi, Masato Ohori, "Analysis of greenhouse gases trading system using conversations among stakeholders", International Journal of Computer Applications in Technology, Vol. 38, No. 4, pp. 274-282, 2010

温室効果ガス規制モデル



ローカルモデル (公害/廃棄物)

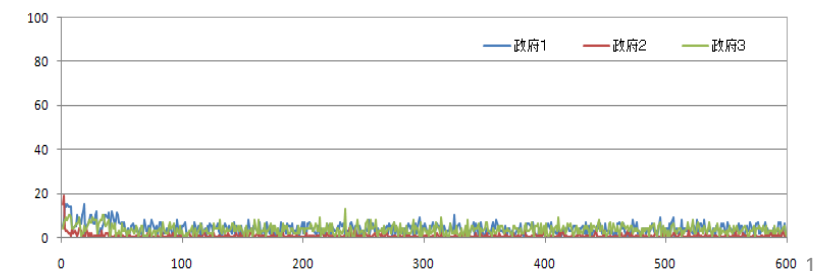
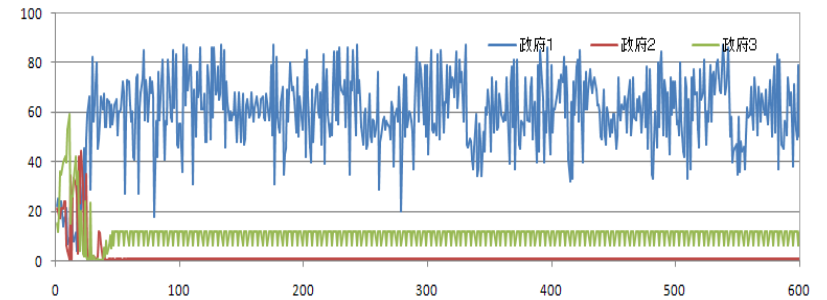
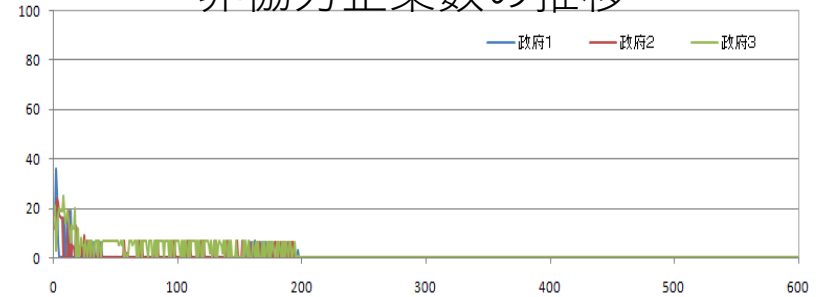


グローバルモデル (地球温暖化問題)



市民参加グローバルモデル (地球温暖化問題)

非協力企業数の推移

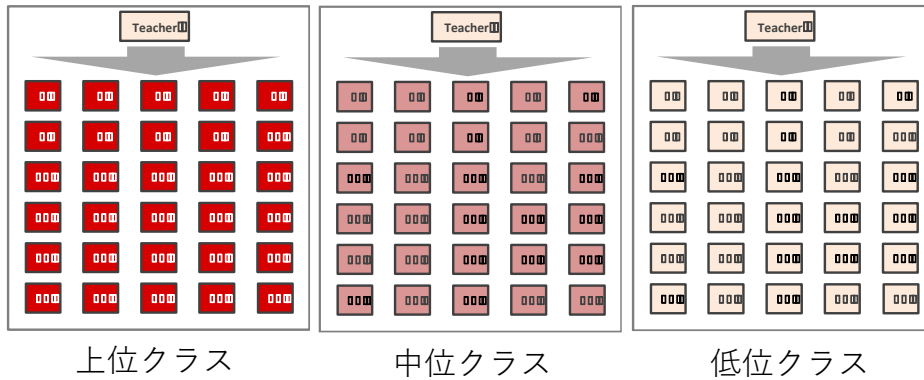


習熟度別クラス vs. 混沌としたクラス

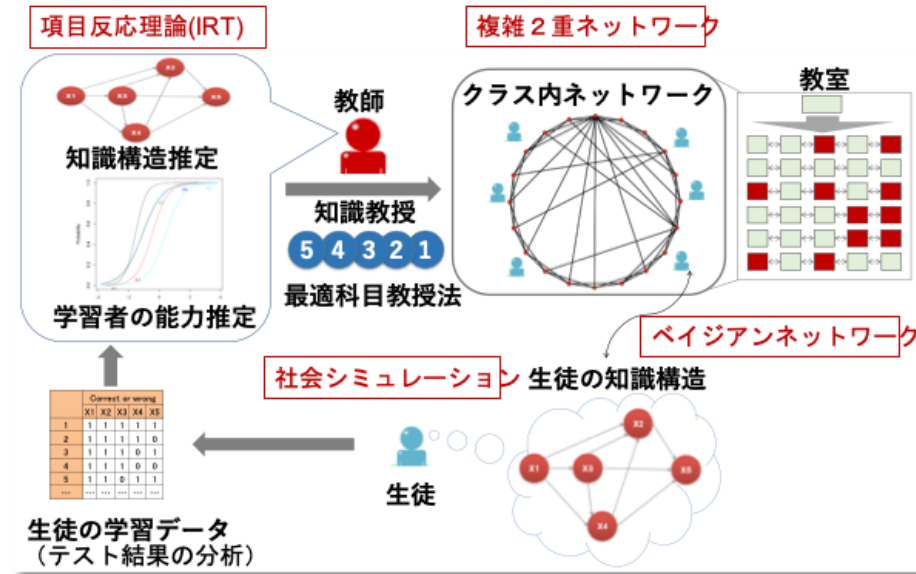
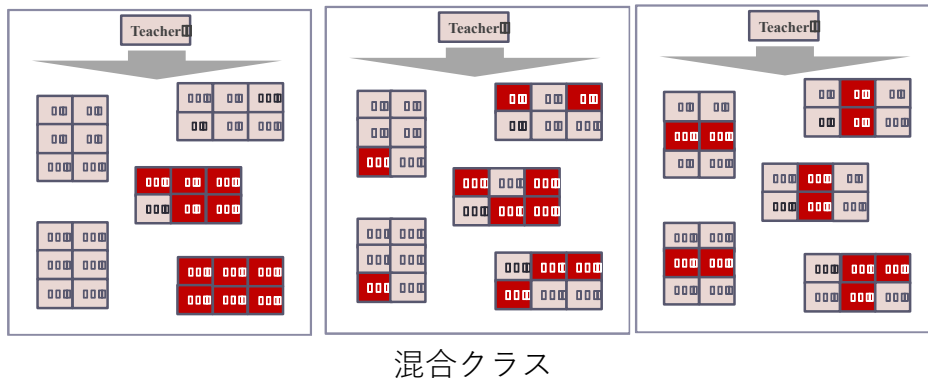
國吉啓介, 倉橋節也, "複雑二重ネットワークモデルによる知識教授シミュレーションに関する研究", 計測自動制御学会, Vol.49, No.11, pp.1004-1011, 2013

ネットワーク学習モデル

習熟度別レクチャー形式



混合グループ協調学習形式



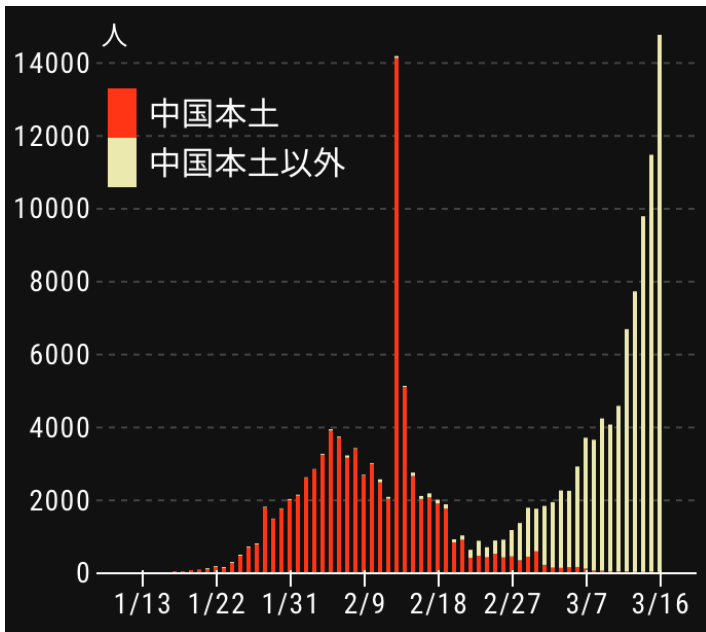
学習スタイル	混合クラス	習熟度別クラス
レクチャー受講	67.5	60.7
グループ協調学習	16.8	19.9

新型コロナウイルスにおける 感染予防策の推定

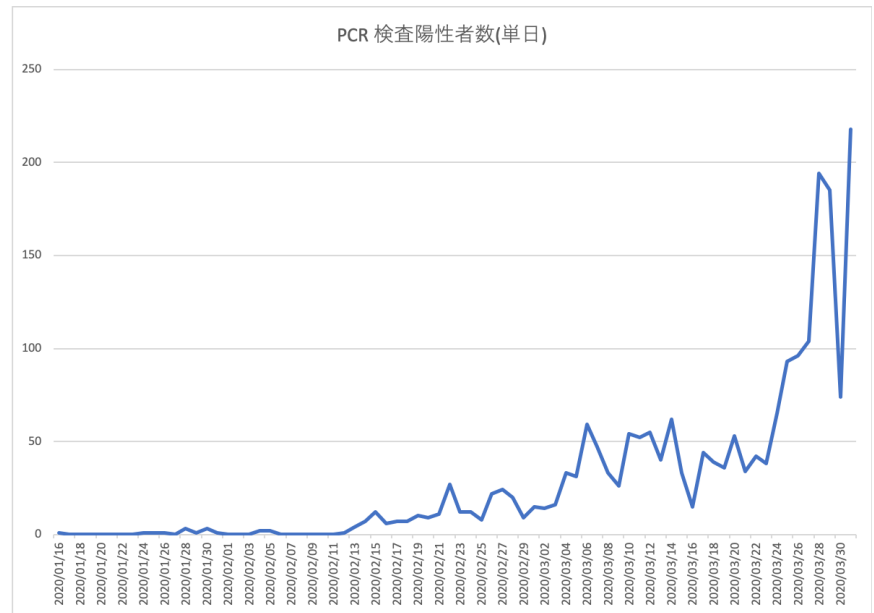
倉橋節也, 新型コロナウイルスにおける感染予防策の推定, 人工知能学会論文誌, 35 卷
3 号 p. D-K28_1-8, 2020

研究の背景：感染者数の推移

- 2019年12月頃に中国湖北省武漢で発生した新型コロナウイルス（COVID-19）は、急速な勢いで世界各地に感染が拡大した。



1～3月世界の新規感染者数



1～3月日本の陽性者数

研究の背景：予防策情報

- 厚生労働省や各自治体，研究機関，メディアから，さまざまな感染予防策が提示されている
 - 石鹸やアルコール消毒液などによる手洗い
 - 咳などの症状がある場合は咳エチケット
 - 持病のある人は公共交通機関や人混みを避ける
 - 濃厚接触者の在宅勤務指示
 - テレワークや時差出勤
 - 外出や対面の会議を避ける
 - 学校閉鎖...
- どれが有効なのか不明のまま，次々に情報が垂れ流されている

個体ベースの感染症モデルIBM

- 中程度の粒度のモデル
 - ある程度の細かさで社会や個人の動きを再現して、各種予防効果を比較する。(SIRよりは細かいモデル)
- 隣接する2つの町
 - 子供のいる四人家族100世帯と、大人だけの二人家族80世帯が住んでいる。(全体で1120人)
- 自宅・通勤・通学・商業施設・公共交通機関
 - 親の10%が別の町に通勤、共同の病院が一つあり、各町から勤務。通勤者のうち半分は電車通勤、二人家族は高齢者で通勤はしない。

新型コロナウイルス感染プロセス

Day	感染プロセス
1-5	感染から平均で5日間は潜伏期間
2-5	発症する3日前には、潜伏期間中にもかかわらず他者への感染力を持つ。
6	潜伏期間が終了する6日目に発熱、咳、下痢などが出現する。
6-9	発熱後、50%の確率で病院で受診し自宅待機し、残りは解熱剤などで自己治療し、通勤通学を続ける。
9	発熱が4日以上続いて病院を受診した人はPCR検査を行い、翌日に検査結果が出て、感染者は入院となる。
20	感染から20日後に、20%の感染者が重症・重篤となり、事前に受診しなかった人も病院に搬送され入院する。
27	軽度の感染者は感染後27日で回復し、一時的に免疫を獲得する。
41	41日までに若年者は0.06%、成年者は0.21%、高齢者は1.79%が死亡する。
49	重症入院者は感染後49日で回復し、一時的に免疫を獲得する。

二つの町モデル

倉橋節也 (2020/2/20)

disease-type: COVID-19

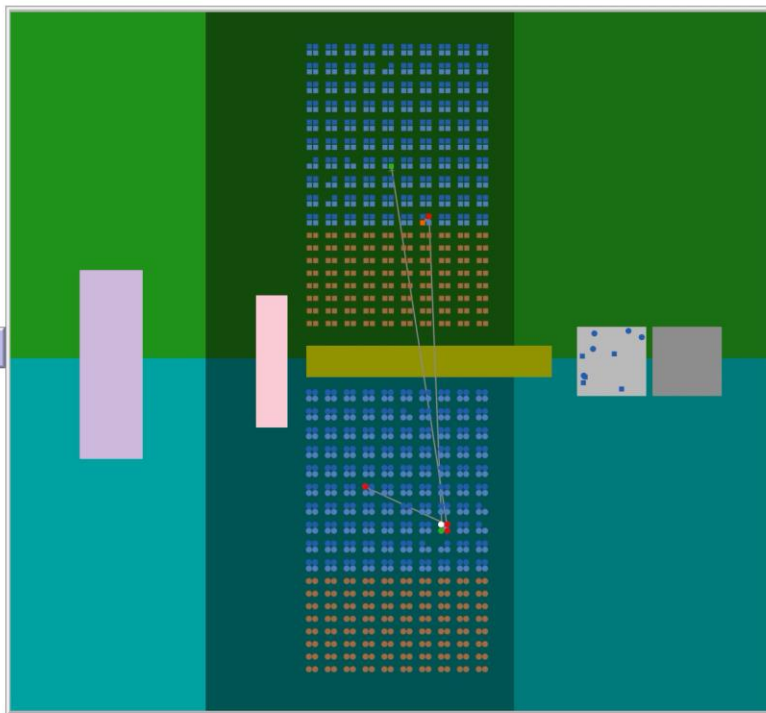
Days	Infected	Severe	Fatalities
N/A	0	0	0

Number of infected people

Legend: Infected (red), Dead (black), Recovered (grey), New infected (green), lockdown (blue), serious (yellow), mild (pink)

Control panels:

- vaccination, serum therapy: On/Off vaccine, vaccination-rate 0%, serum-effect 0%, lockdown auto-stop
- scenario: scenario base, start-d 60, surv-d 14
- trace vaccination & serum: n-of-injection 10, confirmed-diag-days 5, PCR-rate 50, On/Off quenched, trace-rate 80%, trace-delay 1 days
- antibody: antibody-rate 0%, antibody-rate-medstaff 0%
- commute control: railway-commute-departure simultaneous, railway-commute-rate 50%, contact-rate-railway 7.0%
- shopping control: shopping-rate 30%, contact-rate-shoppi... 7.0%
- home control: go-hospital-rate 50%, contact-rate-home 41.0%
- office & school control: office-closed-rate 0%
- event control: On/Off event, event-freque... 10 / 10 days, event-venue-... XXL, event-circulation 5 times, contact-rate-event 10.0%



event control

On/Off event

event-freque... 10 / 10 days

event-venue-... XXL

event-circulation 5 times

contact-rate-event 10.0%

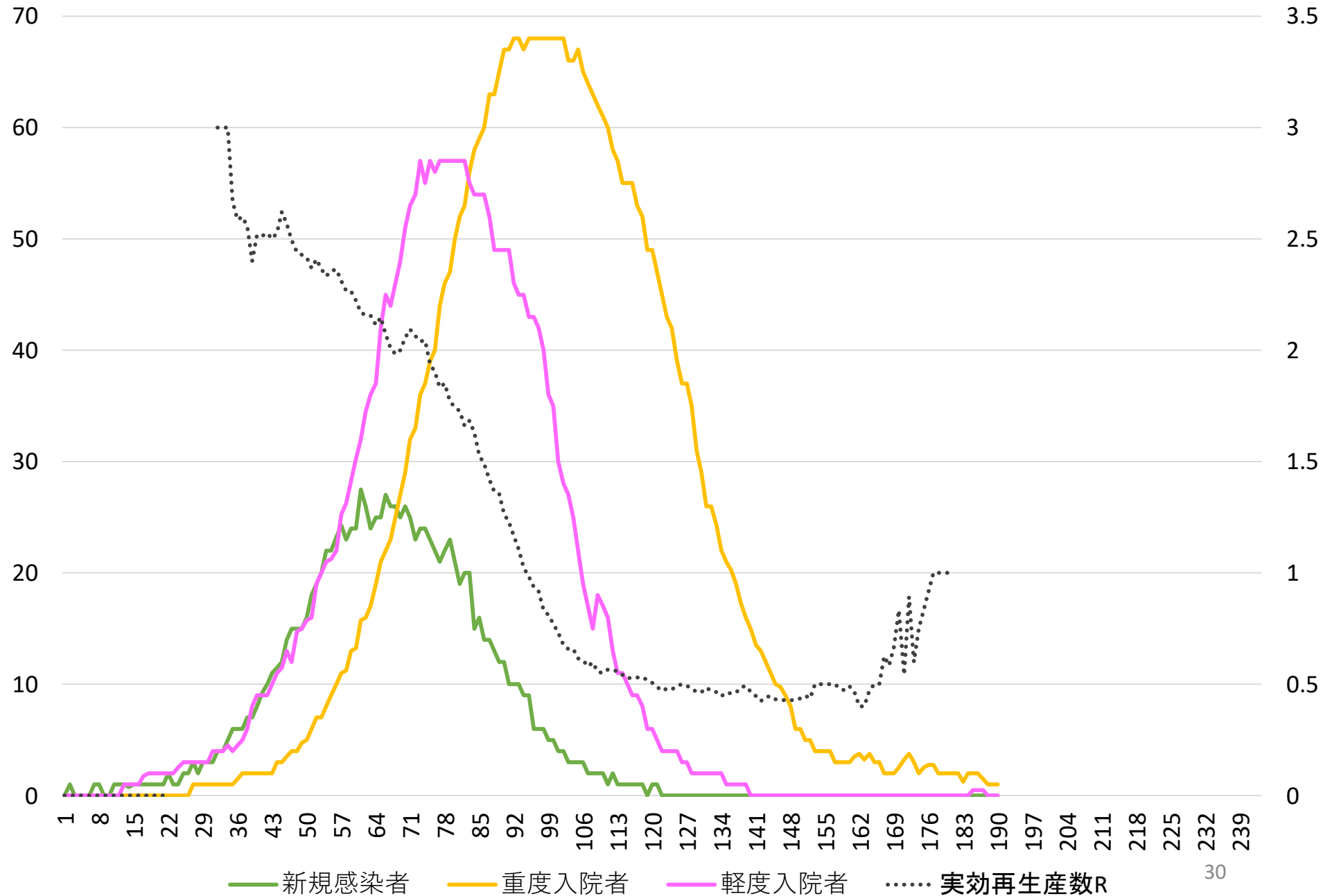
R0



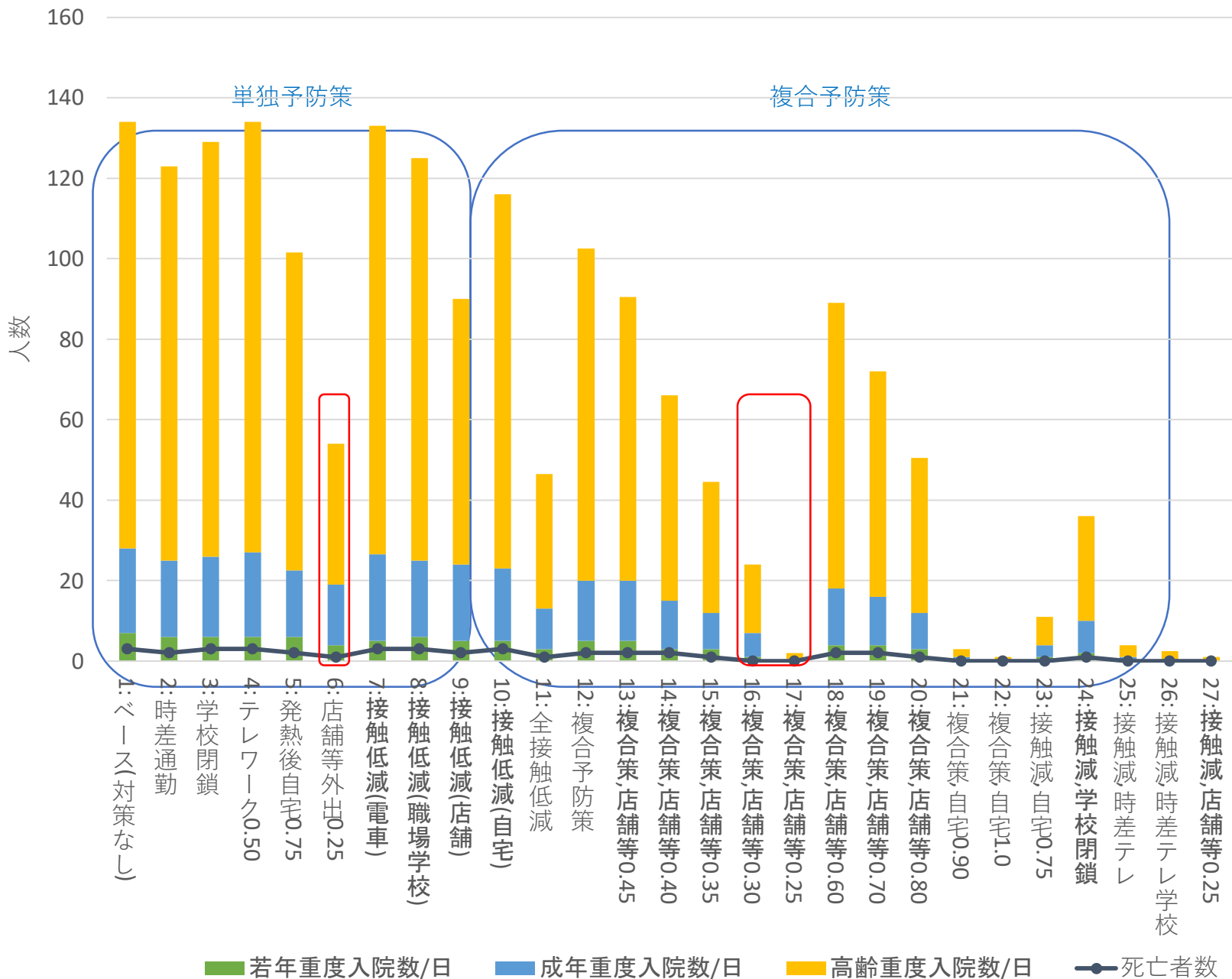
新型コロナウイルス 研究者試算 対策組み合わせで入院患者6割以上減

2020年2月20日 18時35分

ベース(積極的疫学調査のみ)新規感染者・重度/軽度入院者数



死亡者・重篤入院数・感染速度（中央値）

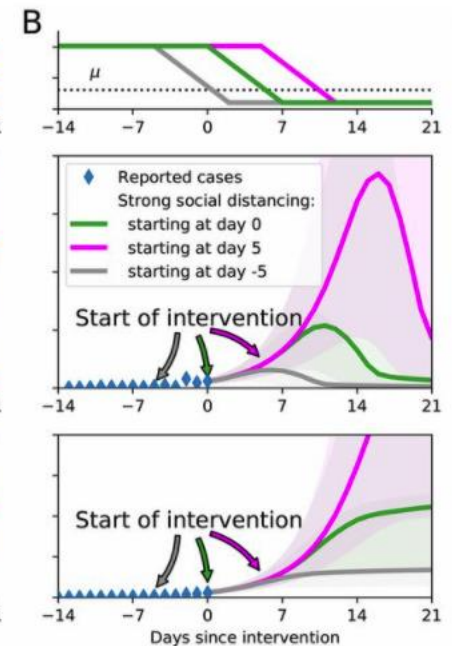
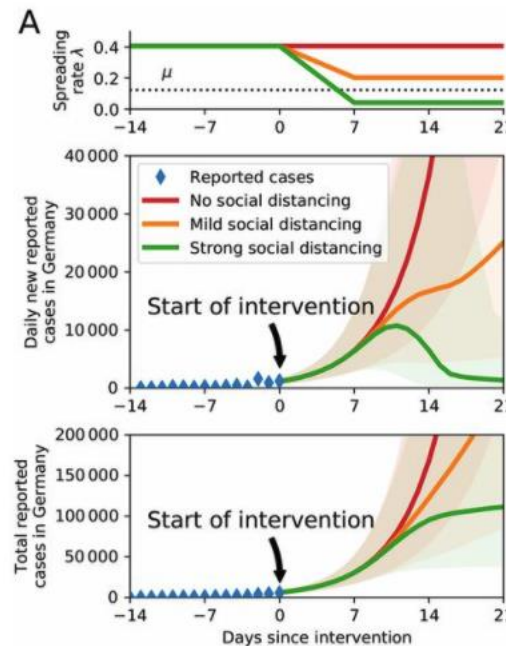
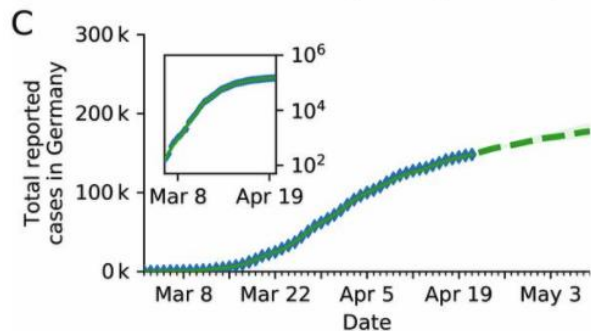
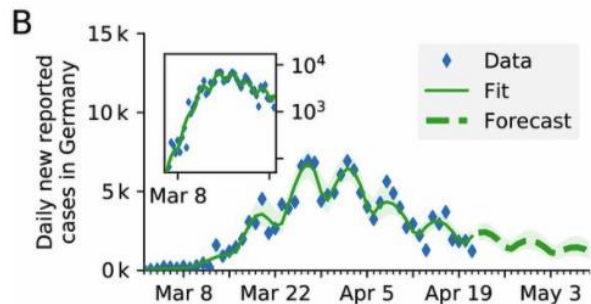
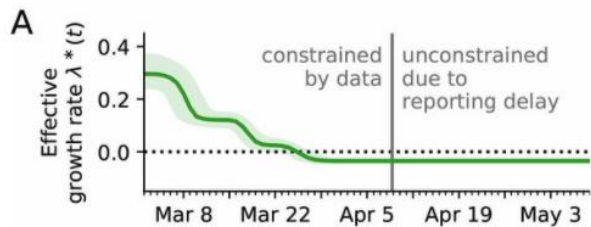


二つの町モデルの結果

- 単独の予防策では効果がほとんどない
 - 個々の感染予防策（時差通勤、テレワーク、学級閉鎖、自宅待機）を単独あるいは部分的に複合して実施しても、効果は少ない。
- 商業施設の接触低減が効果あり
 - 複合予防策（時差通勤、テレワーク、学校閉鎖）に商業施設の予防策を組み合わせた場合に大きな効果がある。
 - 商業施設には親や子供に加えて高齢者も定期的に訪れており、感染クラスターが発生するリスクが高い。

Inferring change points in the spread of COVID-19 reveals the effectiveness of interventions

Jonas Dehning et al. (Max Planck Institute, 15 May)



6/17 NHK 可視化でまるわかり！ 新型コロナ対策の新常識

https://www3.nhk.or.jp/news/special/coronavirus/special-program_0617/



観光地における COVID-19感染予防策

Setsuya Kurahashi, Estimating Effectiveness of Preventing Measures for 2019 Novel Coronavirus Diseases (COVID-19) , 9th International Congress on Advanced Applied Informatics, 2020

経済か感染予防か？ 二者択一ではないアイデア

- 動機

- 各自の心がけ（三密回避・移動自粛）か、さもなくば緊急事態宣言か、ではなく、地域経済を持続可能にする感染予防策が求められている

- 目的

- 地域で本当に困っている人々に対する、実現可能で効果的な感染予防策を見つける

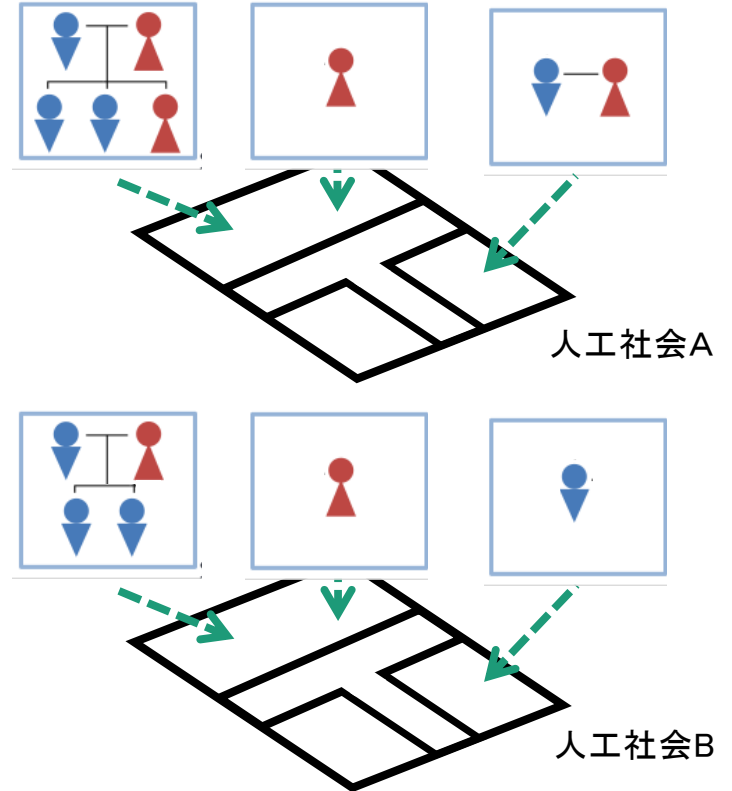
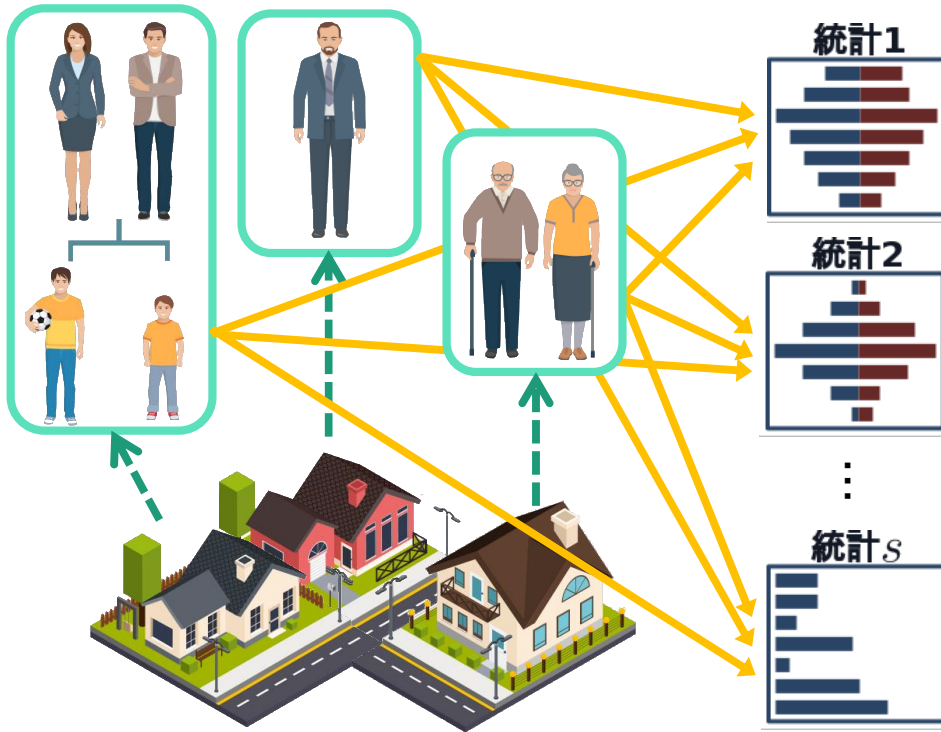
モデルの概要

- 各エリアに居住する住民は，市外・市内の職場・学校に通勤通学をしている。
- 観光客向け施設として以下の4種類がある。
 - ショッピングモール，ホテル，ナイトスポット，ツーリストスポット
- 各エリアに地元スーパーマーケットがあり，感染予防策は実施している。
- それぞれのパラメータは，A市の詳細な人口構成データに基づいて設定。
 - 関西大学 村田忠彦研究室から，日本の国勢調査をもとにしたA市の合成人口データの提供を受けた。

合成人口データ

実社会

リアルスケール人工社会

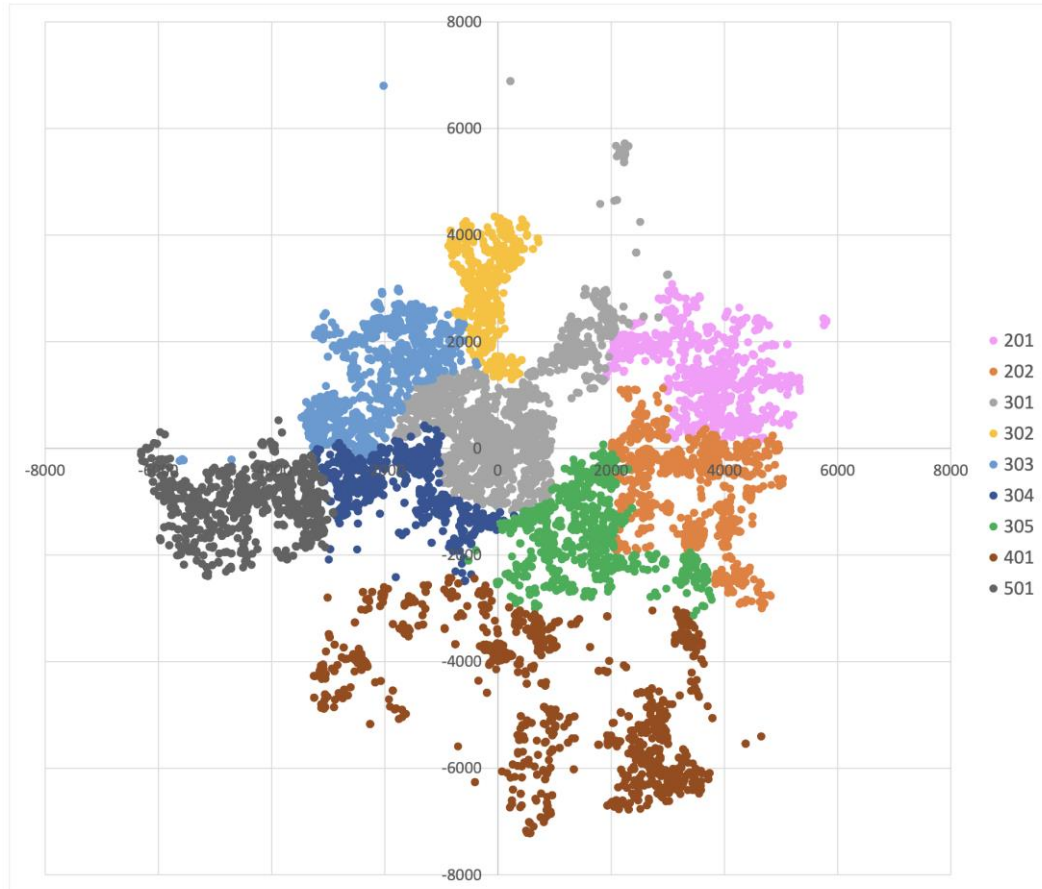


社会調査

統計との適合性
個人情報**の排除**

複数の人工社会での
分析・シミュレーション

対象地域 長野県A町



A市の人口構成

総人口	16,911
0～18歳	15.4%
19～70歳	65.5%
71歳～	19.1%
平均年齢	48
世帯数	7,561
主要エリア	9



モデルの人口構成

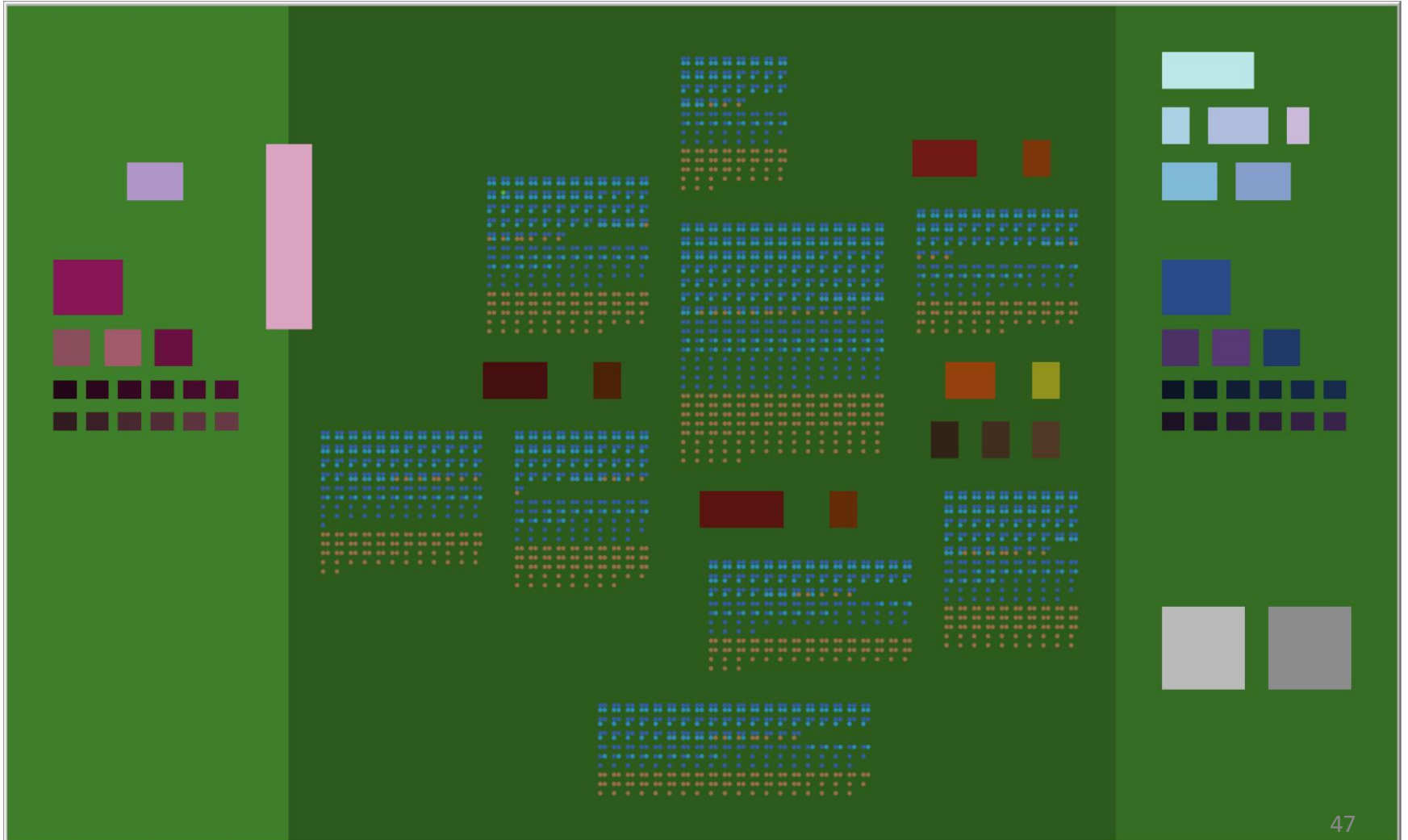
総人口	3,200
0～18歳	15.4%
19～70歳	65.5%
71歳～	19.1%
世帯数	48
平均年齢	1,459
主要エリア	9

モデルの人口構成

population	201	202	301	302	303	304	305	401	501	pop
独居(adult)	22	25	55	15	28	25	25	30	25	250
独居(elder)	18	20	45	15	22	18	18	24	20	200
夫婦のみ(adult)	20	24	60	16	28	24	24	30	24	250
夫婦のみ(elder)	50	60	130	40	70	60	60	70	60	600
夫婦+子供1人	54	60	135	36	72	54	54	75	60	600
夫婦+子供2人	60	72	160	48	80	64	64	80	72	700
親1人+子供1人	20	24	60	16	30	24	24	28	24	250
										0
夫婦+両親	0	4	4	0	4	0	0	4	4	20
夫婦+ひとり親	9	9	21	6	9	9	9	9	9	90
夫婦+子供1人+両親	0	5	10	0	5	5	5	5	5	40
夫婦+子供2人+両親	6	6	12	6	6	6	6	6	6	60
夫婦+子供1人+ひとり親	4	8	12	4	8	4	4	8	8	60
夫婦+子供2人+ひとり親	5	10	20	5	10	5	5	10	10	80
	268	327	724	207	372	298	298	379	327	3200

population	201	202	301	302	303	304	305	401	501	pop
adult	130	157	353	97	179	143	143	184	157	1543
child	63	77	172	49	88	68	68	88	77	750
elder	75	93	199	61	105	87	87	107	93	907
	268	327	724	207	372	298	298	379	327	3200
	8.4%	10.2%	22.6%	6.5%	11.6%	9.3%	9.3%	11.8%	10.2%	

長野モデル画面

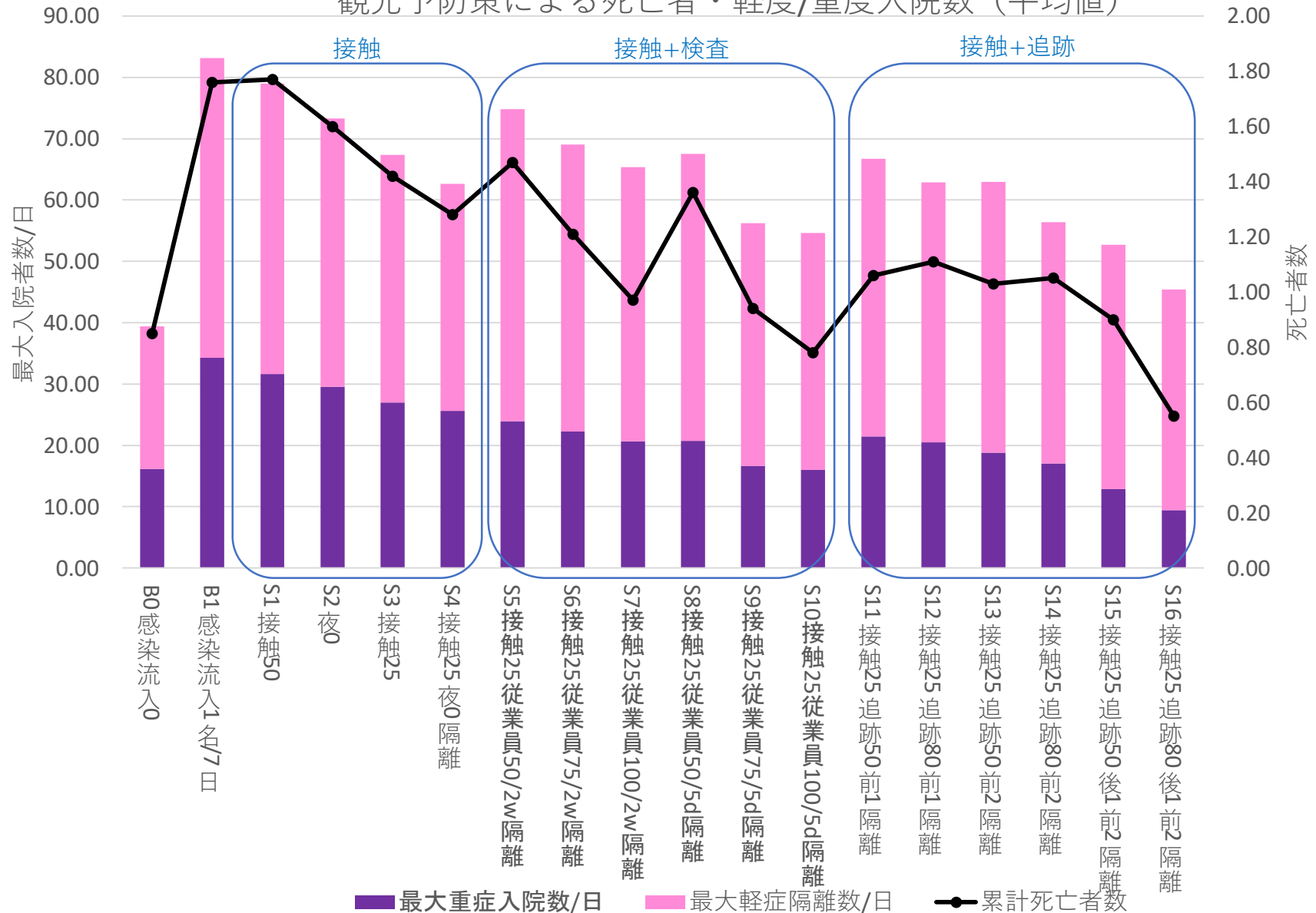


観光地 感染予防策

- ショッピングモール，ホテル，ナイトスポット，ツーリストスポットでの接触予防策
- 観光客と接する従業員への選択的ウイルス検査
- 感染確認者への追跡調査や接触確認アプリによる濃厚接触者の発見と陽性者隔離

感染予防策の実験結果 (実験100回の平均値)

観光予防策による死亡者・軽度/重度入院数 (平均値)

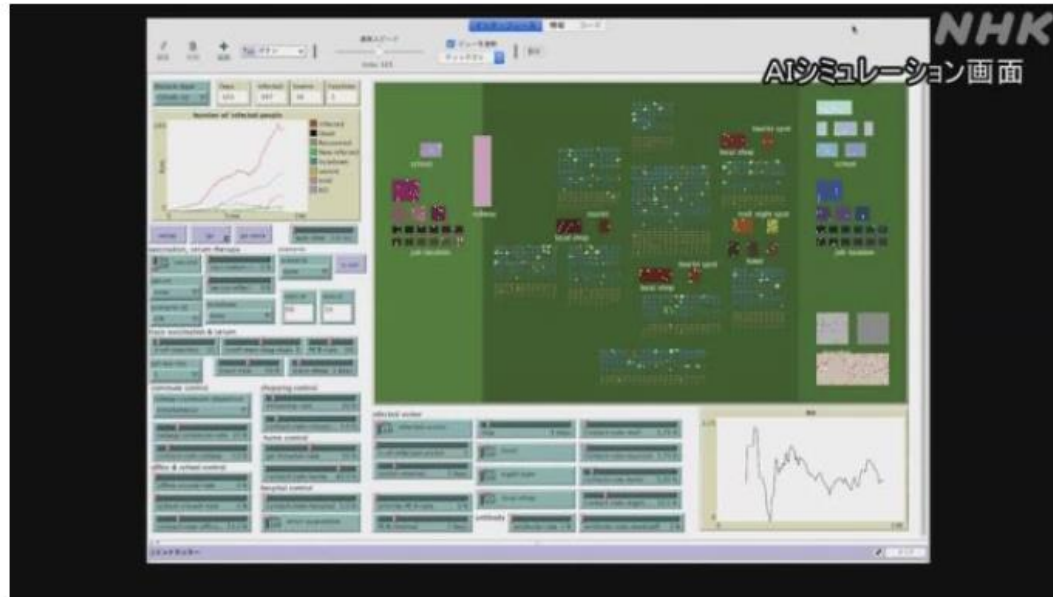


長野モデルのまとめ

- 複合予防策の効果
 - 複合予防策で観光休止(B0)に対して1.59倍(S4)と効果は限定的
- 複合予防策+従業員ウイルス検査の効果
 - 5日毎の検査で観光休止(B0)に対して0.99倍
 - しかし毎週の全従業員検査は困難
- 複合予防策+追跡調査の効果
 - 前方2回(S13)追跡率80%で1.06倍
 - しかし保健所職員などの人手に頼るのは限界がある
接触確認アプリCOCOA等の利用者増加が鍵
市民50%~80%、訪問者100%の普及率で効果大

6/27 NHK BSスペシャル

7/21 NHK ニュースウォッチ9



感染拡大防ぎながら旅行楽しむには…筑波大がシミュレーション

2020年7月21日 18時24分 新型コロナウイルス

22日から「Go Toトラベル」が東京発着以外の旅行を対象に始まります。新型コロナウイルスの感染拡大を防ぎながら旅行を楽しむにはどうすればいいのかわ、筑波大学のグループがAI＝人工知能を使ってシミュレーションを行ったところ、カギとなるのは濃厚接触者の追跡だという結果になりました。

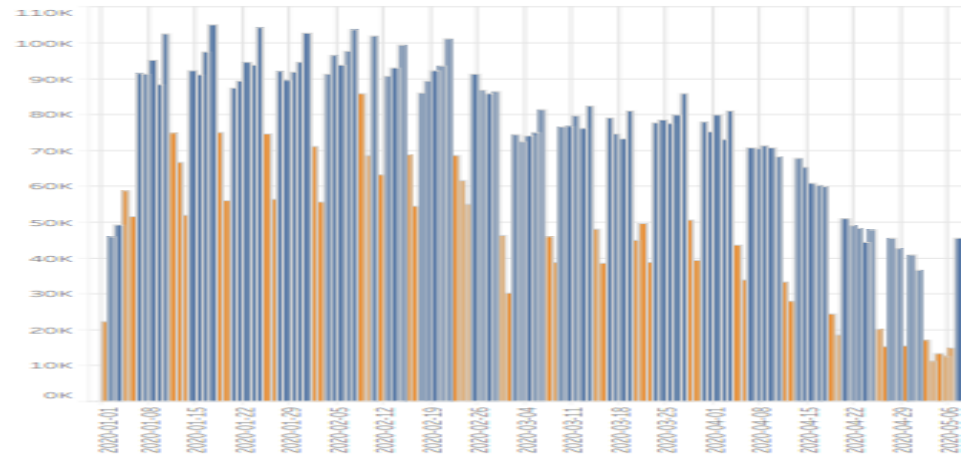
シミュレーションの意義

- 正確さは追求するが、未来は常に不確定
- シミュレーションは、正解を求めるよりも、意思決定をする際の一助として活用するもの
- 敢えて幅のある解釈の余地を残し、人間の力の見せ所をつくるもの

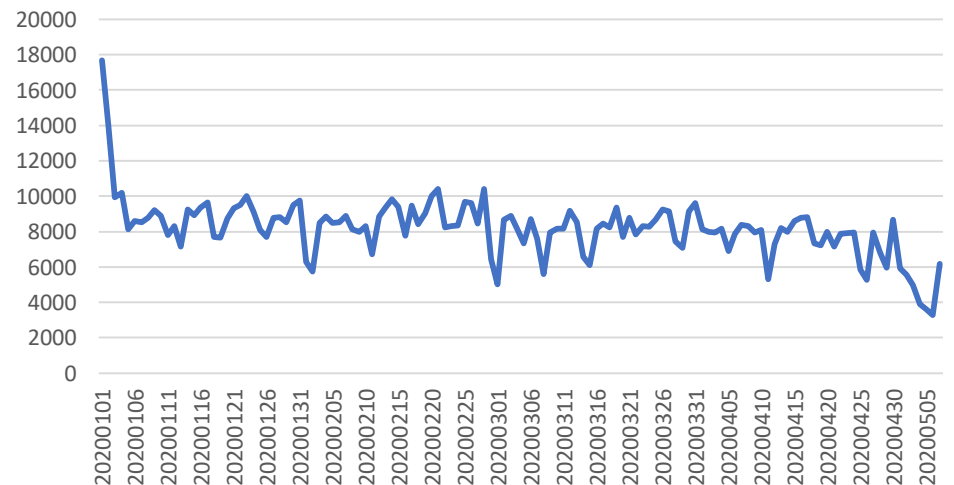
S⁴による移動感染拡大モデル

- 人の移動と感染拡大の関係を分析
- 分散SIRモデルと連続/離散イベントの融合
 - 離散イベント
 - 連続型SD
 - エージェント
- S⁴ simulation systemを用いた感染予測共同研究をスタート

札幌市大通駅500m人口



札幌市中央区→小樽市移動人口



データ提供:株式会社AgooP



内閣官房
Cabinet Secretariat

エス・クワトロ シミュレーション システム



Mathematical
SYSTEMS
INCUBATION

S⁴ Simulation System