

人と人のつながりをモデル化する

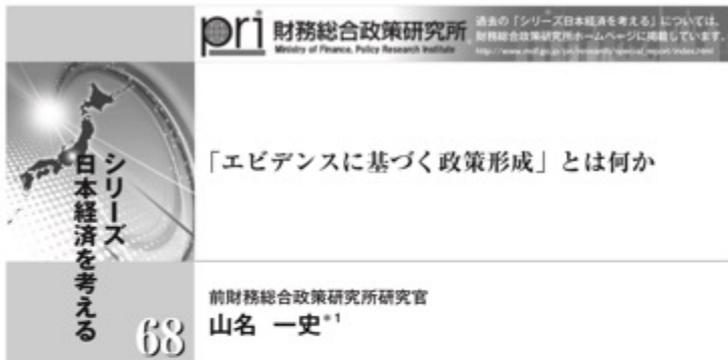
- 多層社会システムにおける感染リスクとイノベーション -

筑波大学 倉橋節也

主な研究領域

- 人と人との関係から社会の動きを予測
人間の行動が招く影響に興味
 - 收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：自分を信じるか、周囲に従うか
 - 習熟度別クラス vs. 混合クラス どちらが速く習得する？
 - 便利な街 vs. 不便な街 その未来は...
 - なぜ有人カウンターへ行ってしまうのか
 - パンデミックの国際協調は有効ではない？
 - 新型コロナの感染経路と予防策

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



pri 財務総合政策研究所
Ministry of Finance, Policy Research Institute

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/series/series/series.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

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節を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

日本では比較的国際機関や先進諸国エビデンス重視の流れ、OECDの教育研



三菱UFJリサーチ&コンサルティング
http://www.murc.jp

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、小林康平
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形成（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。このため「エビデンス」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。

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）－

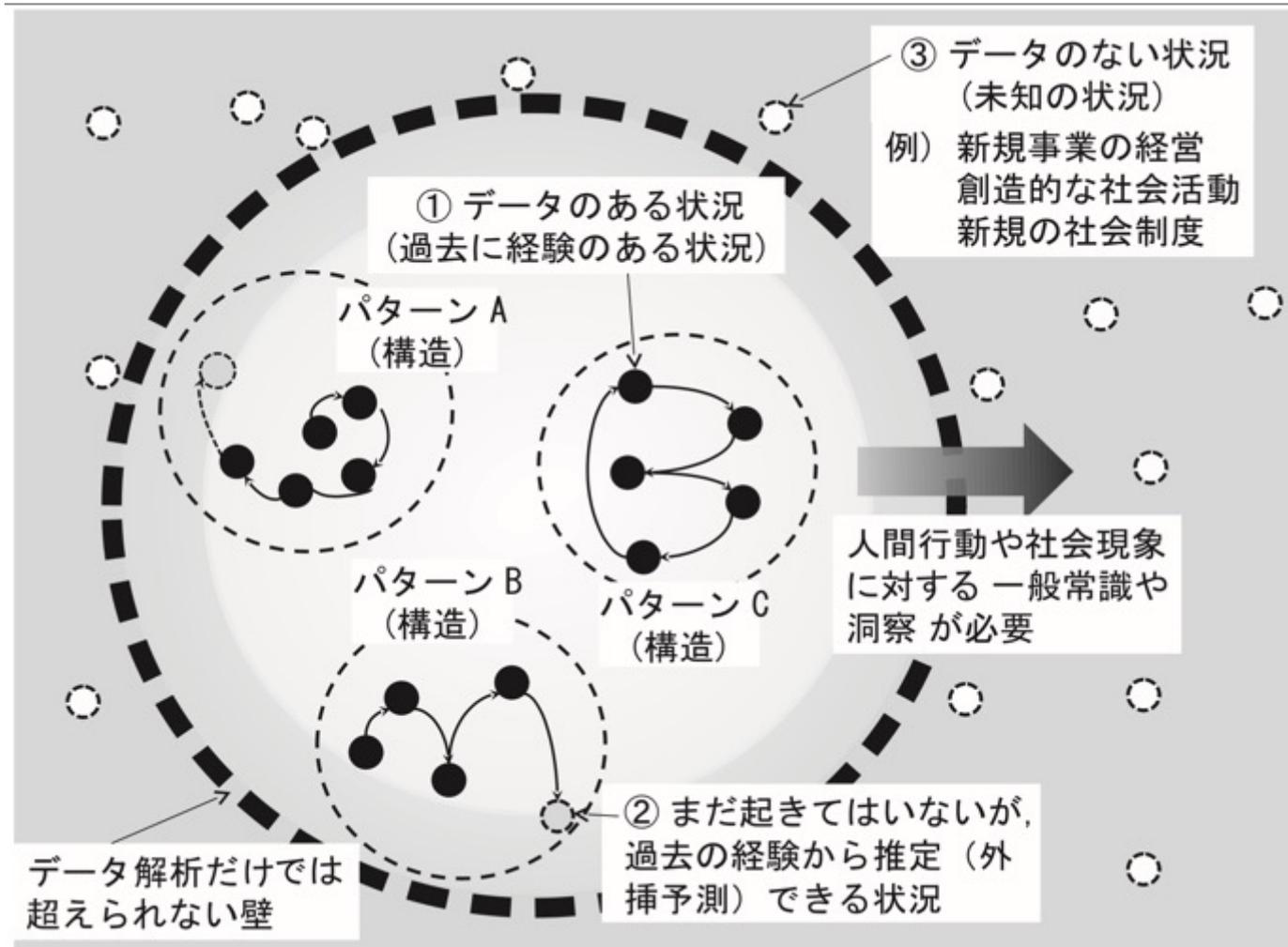
2017年4月4日

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

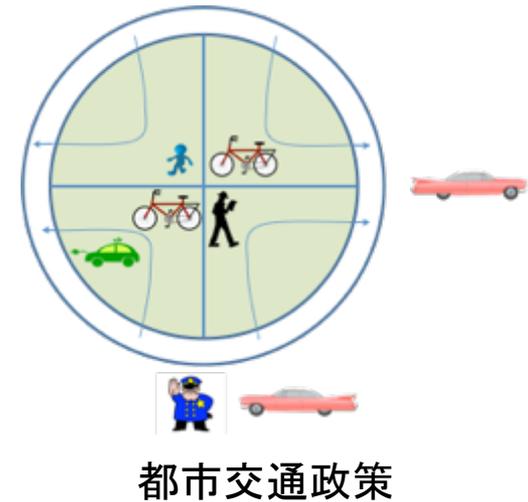
内閣府

社会現象に対するデータ解析の有効範囲



モデルに基づく施策立案

- 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...
- 事前の実験や検証が困難
 - 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



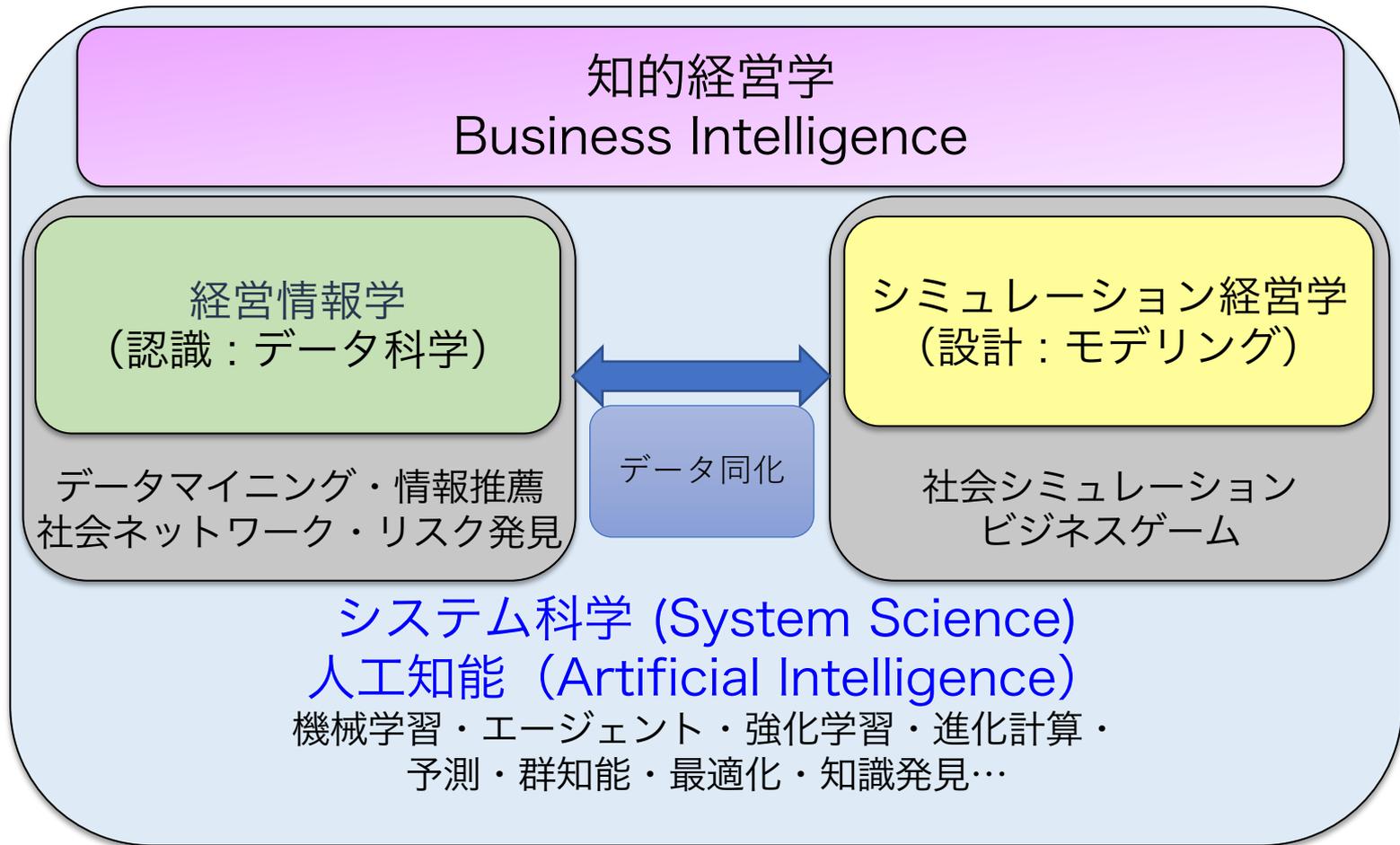
自転車専用道

社会科学でのエージェントベースモデル

- 分析指向・社会科学的視点
 - 複数のエージェント間のインタラクションを通して、複雑社会システムの現象を理解し、説明し、制度設計を支援する生成的社会科学

- 演繹法
 - 一般的原理から論理的推論により結論として個々の事象を導く方法（三段論法など）
- 帰納法
 - 個々の事象から、事象間の本質的な結合関係(因果関係)を推論し、結論として一般的原理を導く方法
- 生成法（構成論的アプローチ）
 - 異質で自律的なエージェントが、局所的な相互作用を通して、マクロな社会秩序の創発を生成的に説明する方法 (Epstein 2007)

データ科学とモデリング



分居モデル

Models of Segregation(Shelling 1969)

人種の動学についてのモデル

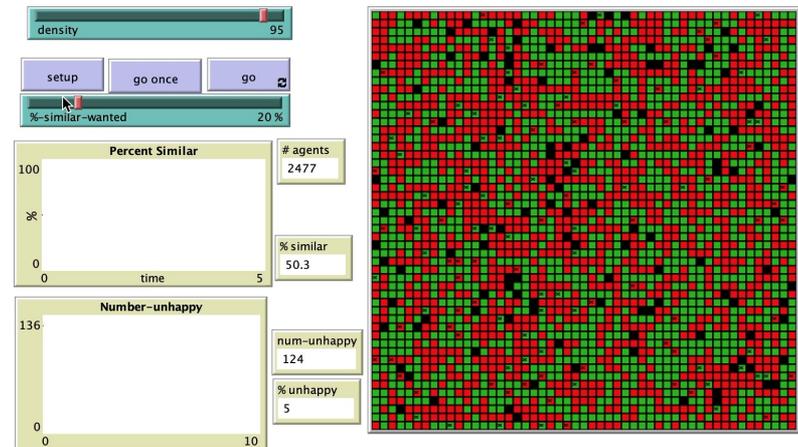
近隣の人に対するちょっとした好みで、全体の分居を生み出すことをモデル化した

ルール

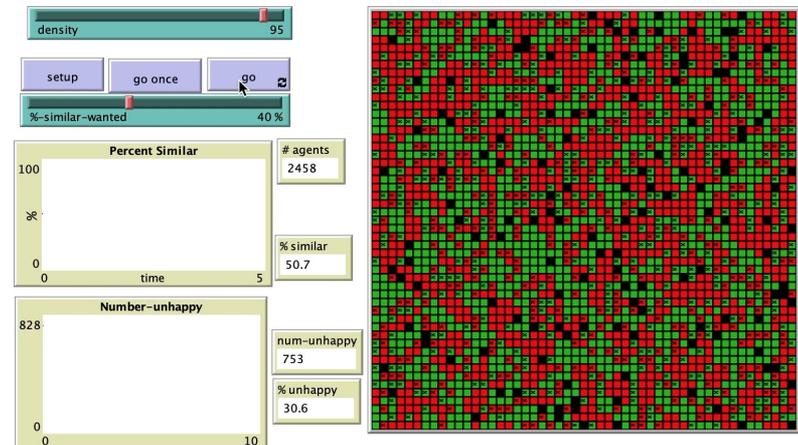
その人が近隣に対して幸福と感じないなら転居する
転居者はランダムに移動し幸福な場所で留まる
幸福度は、自分と近隣の色が等しい比率

人種、ジェンダー、年齢、民族、言語、性的な好み、地域などに適用可能なモデル

類似希望率20%

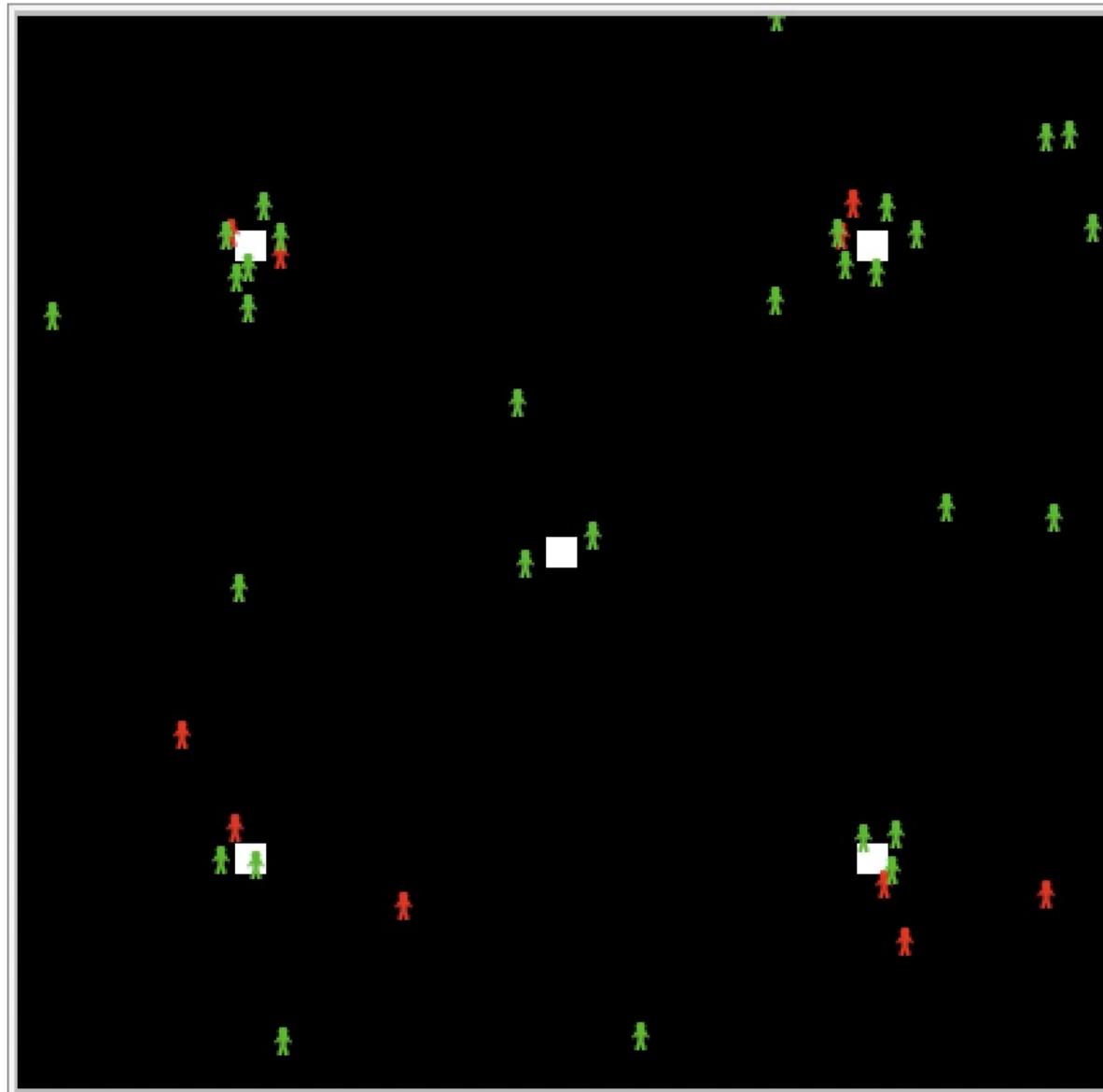


類似希望率40%



懇親会モデル (Kurahashi 2016)

- 立食の懇親会
 - 参加者は自由にテーブルを移動できる
 - 参加者は、自分と同性の人がテーブルに3割はいて欲しい。



Shelling ノーベル経済学賞受賞

The Journal of
**MATHEMATICAL
SOCIOLOGY**

Journal of Mathematical Sociology
1971, Vol. 1, pp 143-186

© Gordon and Breach Science Publishers
Printed in Hertshead, England

issue 2

DYNAMIC MODELS OF SEGREGATION†

THOMAS C. SCHELLING
Harvard University

Most read Most cited

Dynamic models of segregation†
Thomas C. Schelling
Volume 1, Issue 2, 1971

A faster algorithm for betweenness centrality*
Ulrik Brandes
Volume 25, Issue 2, 2001

A statistical model for the analysis of ordinal level dependent variables
Richard D. McKeivey, et al.
Volume 4, Issue 1, 1975

Micro-Macro Links and Microfoundations in Sociology
WERNER RAUS, et al.
Volume 35, Issue 1-3, 2011

December 10, 2005

The Sveriges Riksbank Prize in Economic Sciences in Memory of Alfred Nobel 2005

"Why Does Segregation Arise?"
... Schelling showed that even rather weak preferences regarding the share of like persons in a neighborhood can result in strongly segregated living patterns. In other words, no extreme preferences on the part of individuals are required in order for a social problem to arise."

October 10, 2005

Micromotives and Macrobehavior
Thomas C. Schelling
chapter 4:
Sorting and Mixing

Rainer Hegselmann, Thomas Schelling and James M. Sakoda or How to become an unknown pioneer? 2014

実は先駆者がいた

Journal of Mathematical Sociology
1971, Vol. 1, pp 119-132

© Gordon and Breach Science Publishers
Printed in Birkbeck, England

MATHEMATICAL SOCIOLOGY

in the very first issue

THE CHECKERBOARD MODEL OF SOCIAL INTERACTION†

JAMES M. SAKODA
Brown University

*forgotten as a scientist,
still known as a paper folder*

Origami Flowers
James Minoru Sakoda

Modern Origami
James Minoru Sakoda

BRITISH ORIGAMI SOCIETY

The Lister List

James Minoru Sakoda 1916-2005

I am sure that I am only one among hundreds of paper folders who are deeply saddened to read the news that James Sakoda died on 12th June 2005 at the age of 89. I am amazed to read that he was aged 89 because he seemed much younger and was certainly young in spirit. Unlike many paperfolders in the academic world, he did not have a mathematical background. He was survived by his wife, Hettie and his son, Bill.



IBM 1130, introduced 1965,
16 kwords core memory, 18 bit
minimum \$32.280, with disk \$41.230
Picture from: Computer Museum der Fakultät
Informatik, Universität Stuttgart

A simulator of the IBM 1130 can be downloaded at
<http://ibm1130.org/>

FORTAN program
running on IBM 1130

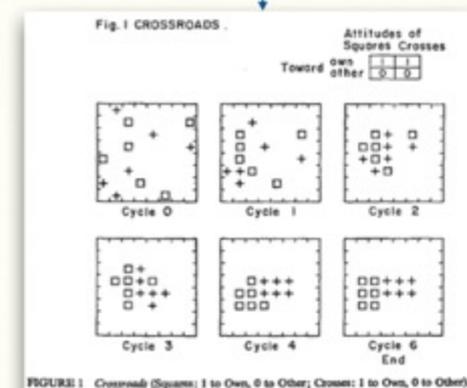
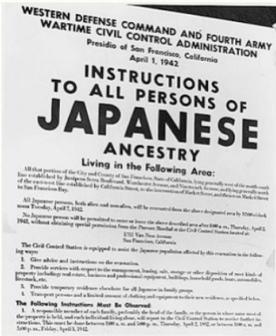


FIGURE 1 Crossroads (Squares: 1 to Own, 0 to Other; Crosses: 1 to Own, 0 to Other).

Rainer Hegselmann, Thomas Schelling and James M. Sakoda or How to become an unknown pioneer? 2014

Sakoda: Living in a relocation centre



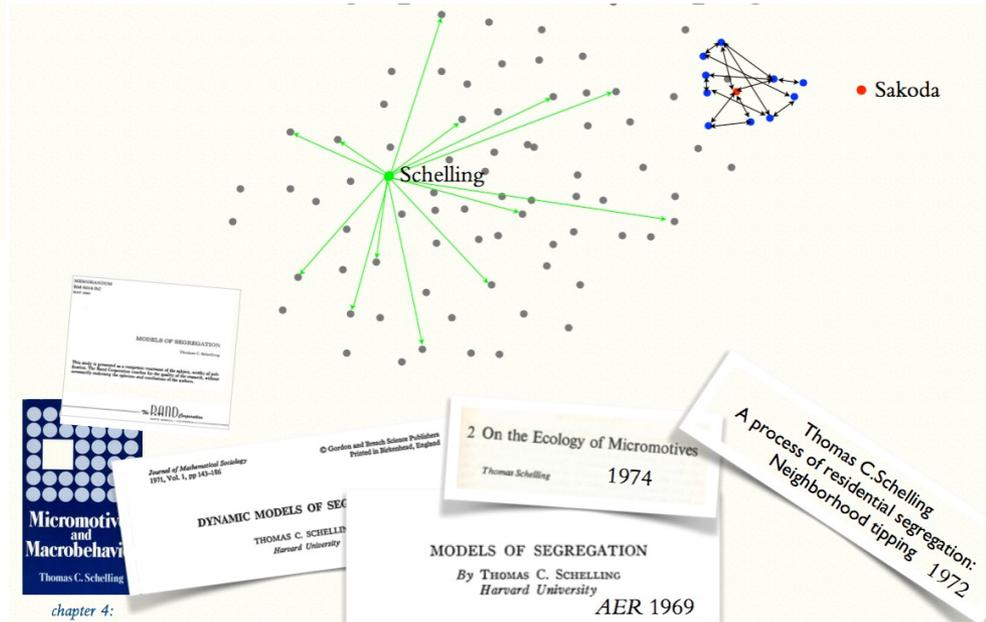
Measures against the Japanese minority in December 1941:

- Restrictions on travelling and moving.
- Internment of suspects.
- Exclusion from all sorts of zones and areas.
- Stay at home requirements between 9 pm and 6 am.
- Idea: Relocation of the whole minority (about 120.000 persons) into inner and eastern parts of the US. But that did not work well. Therefore *segregation centers* in the south west.



Sakoda was born in the US. Together with his parents he returned to Japan after the great depression.

In Japan he „became highly conscious of his American-born status ...“ (Sakoda 1949, p. 5). In 1939 he returned to the US. Sakoda lived in three different relocation/segregation centres (Tule, Tulare, and Minidoka) until March 1945.



Rainer Hegselmann, *Thomas Schelling and James M. Sakoda or How to become an unknown pioneer?* 2014

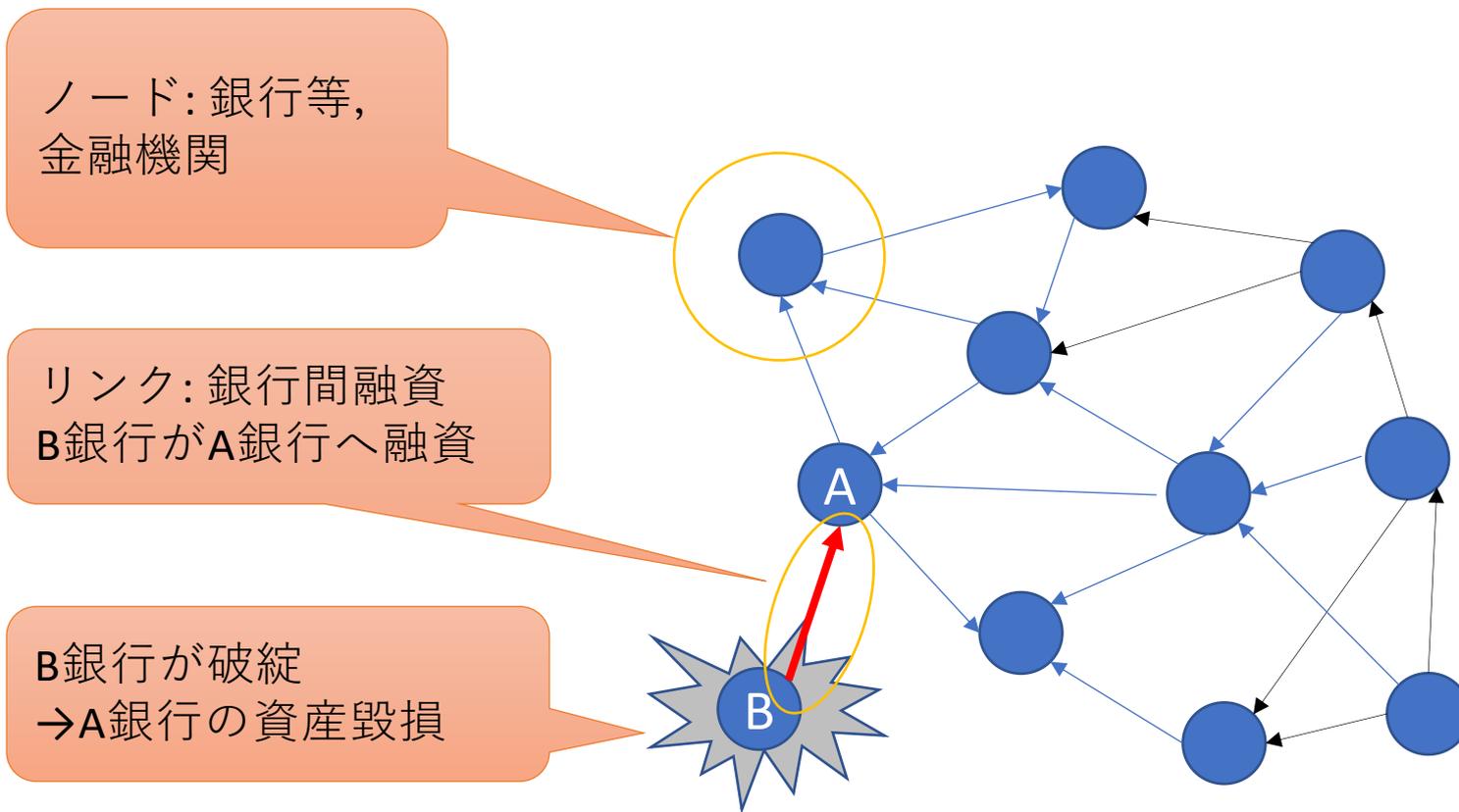
金融危機の推定

システミックリスクモデル

事象が希少で分析や実験が困難な経済政策

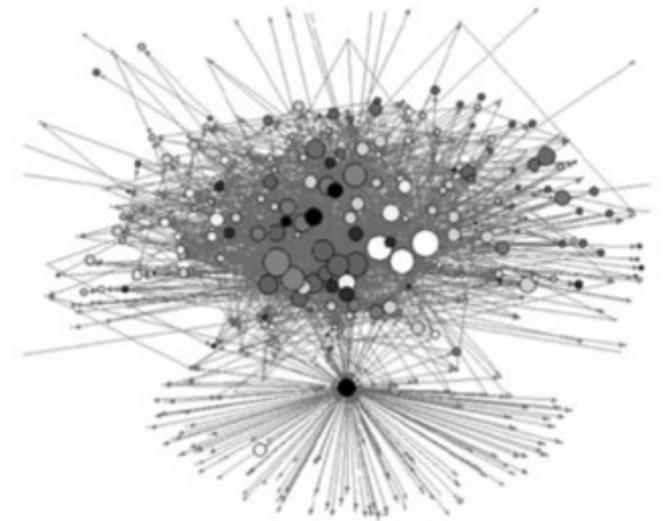
橋本, 倉橋: 資金取引ネットワークモデルに基づく連鎖破綻リスク分析, 人工知能学会論文誌, Vol.32, No. 5, p. B-H21_1-9, 2017

銀行間資金取引ネットワークモデル



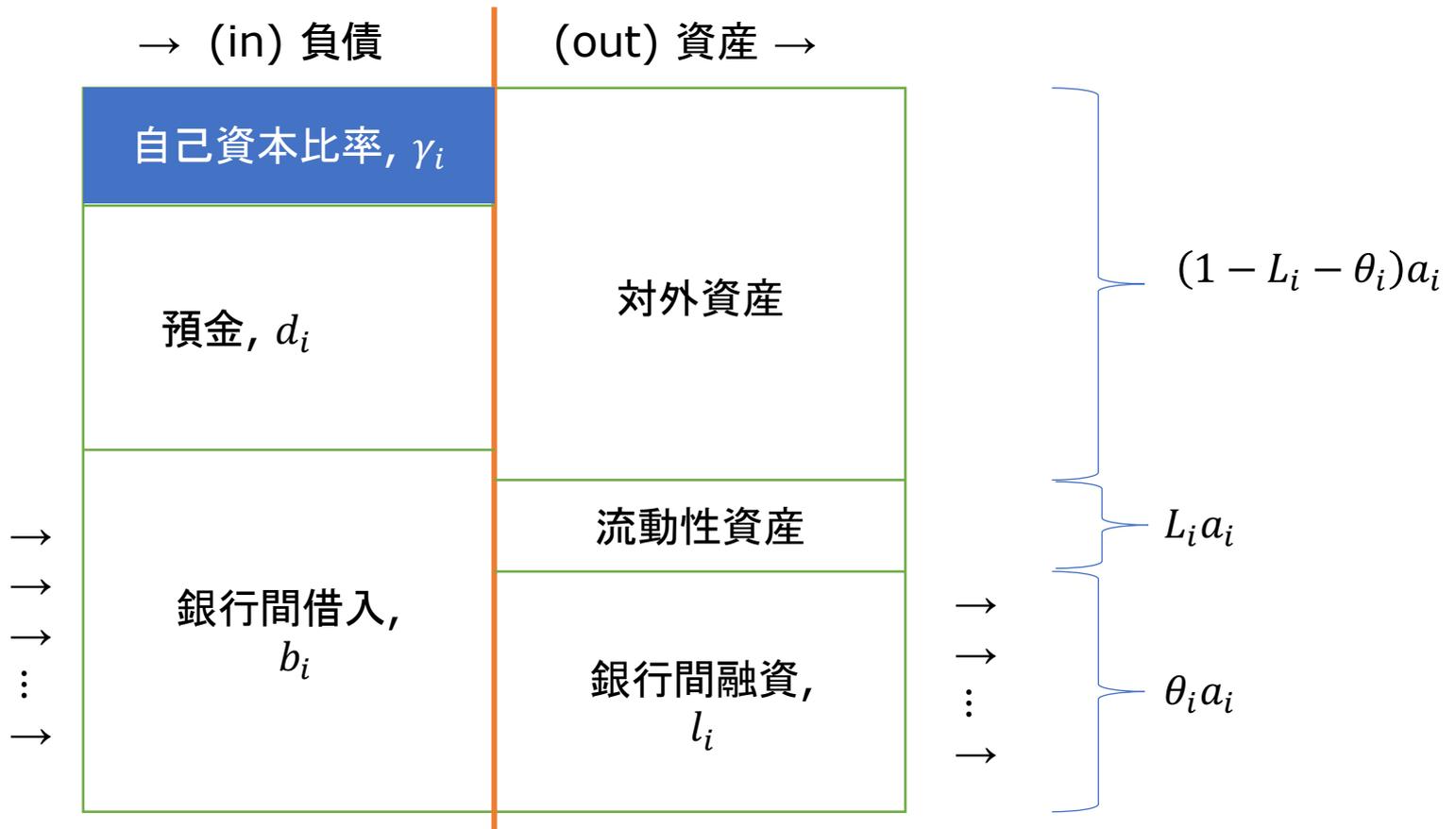
Erdos-Renyi network parameters

- ノード数と結合確率
 - 対象は国内金融機関ネットワーク
 - 日本の金融機関数は (548)
 - コール市場の2005年の平均距離は3ステップ以内 (今久保2008)
結合確率推定値 0.02
 - よって、金融ネットワークモデルを
ノード数500、結合確率0.02でモデル化

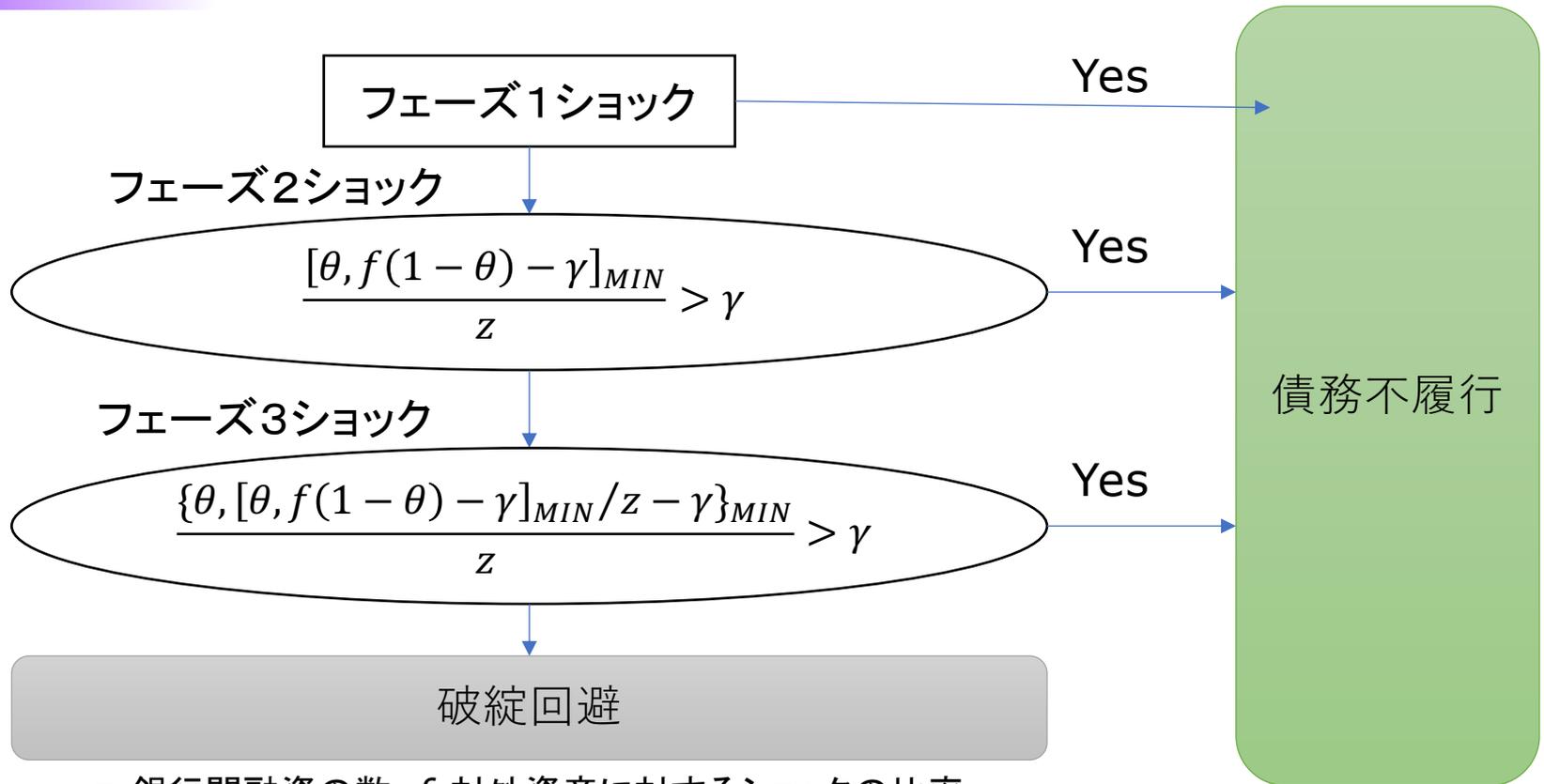


2015年の日本の資金取引ネットワーク
(今久保2008)

流動性リスクを考慮したバランシート

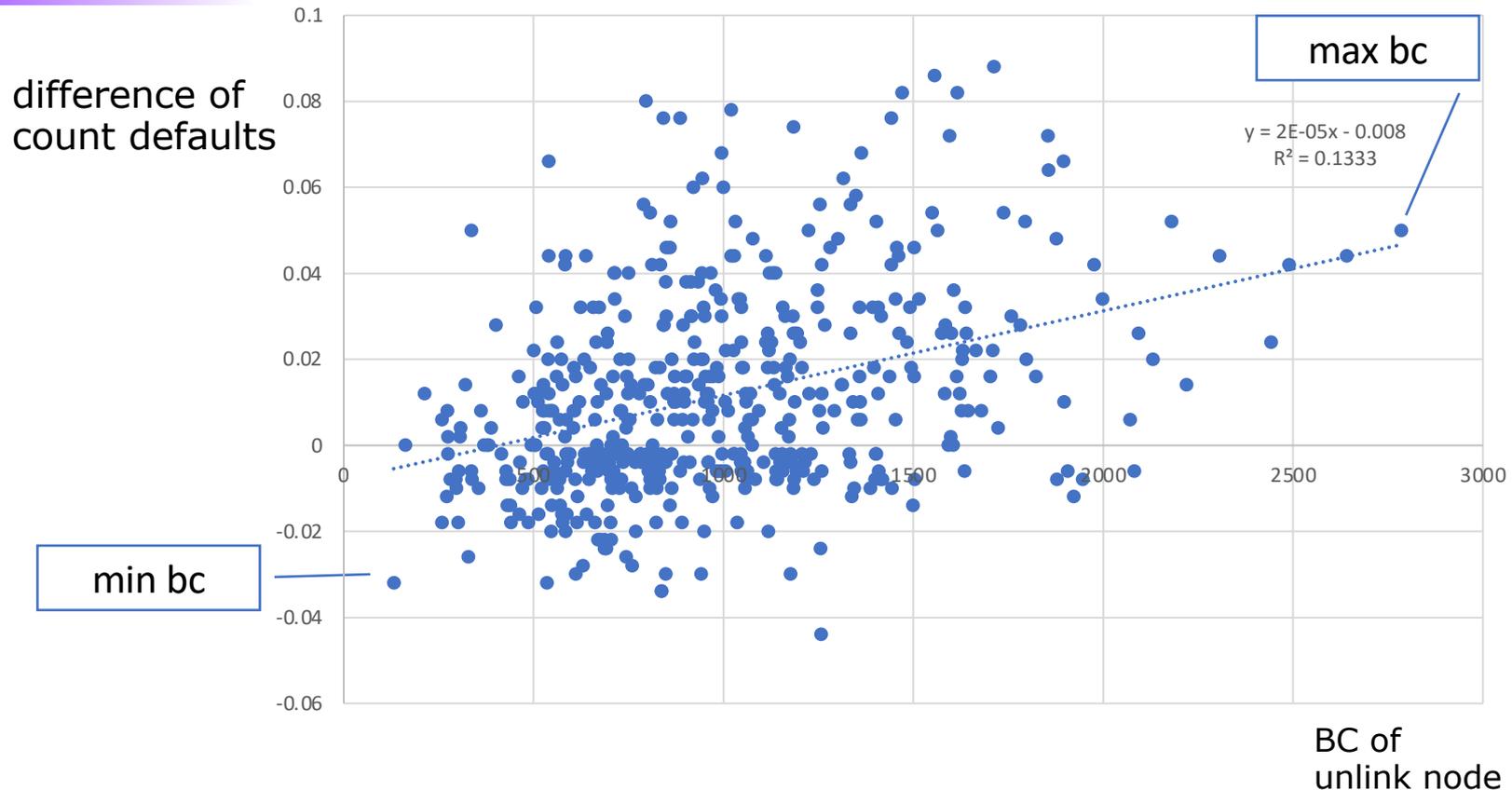


破綻連鎖モデル(May2010)



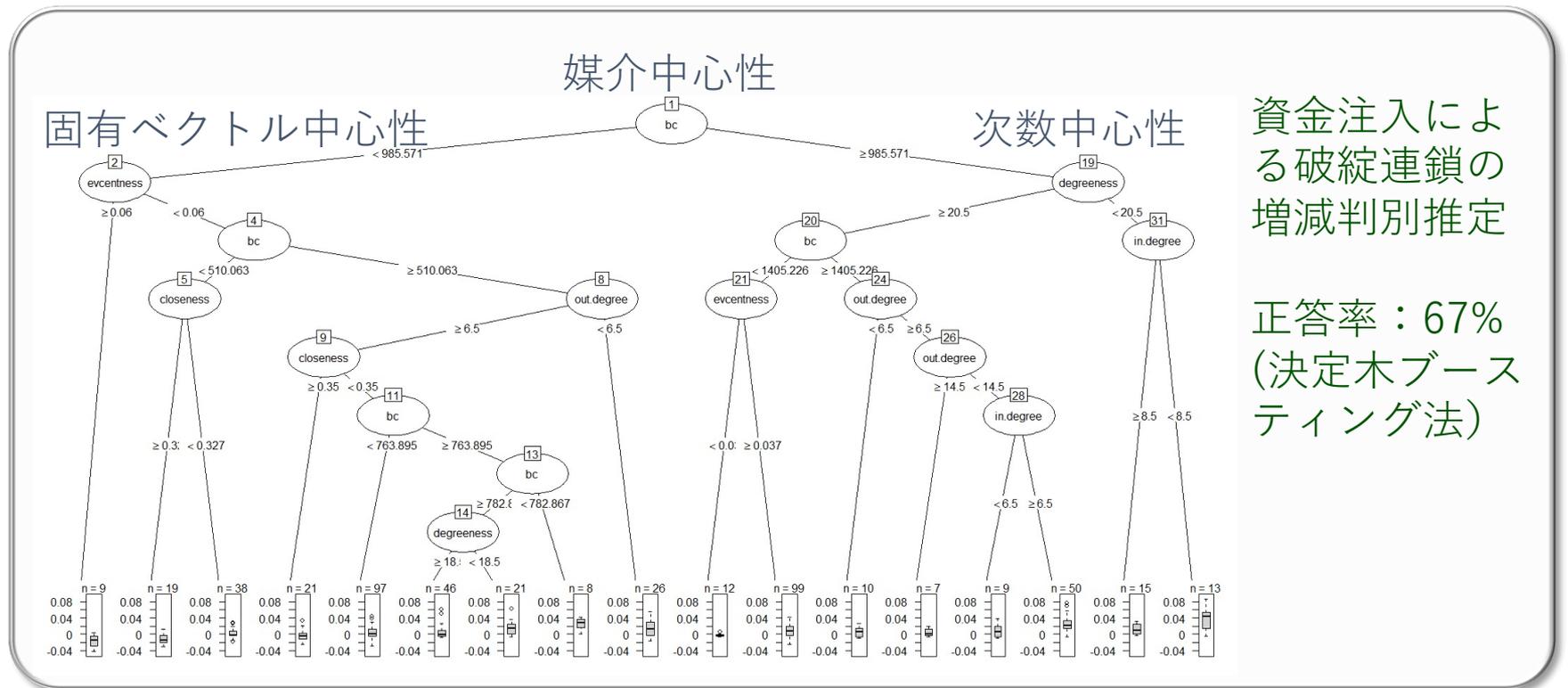
z : 銀行間融資の数, f : 対外資産に対するショックの比率,
 θ : 資産に対する銀行間融資の比率, γ : 自己資本比率

破綻連鎖数と媒介中心性の関係



- ・縦軸はノードのリンクを切る前と後の平均破綻連鎖数の差異、横軸は媒介中心性
- ・流動性ショック考慮前より相関係数が増加($R^2: 0.0835 \rightarrow 0.1333$)

中心性指標の決定木による分析



学校での教授法モデル

実験が困難な教育政策へのアプローチ

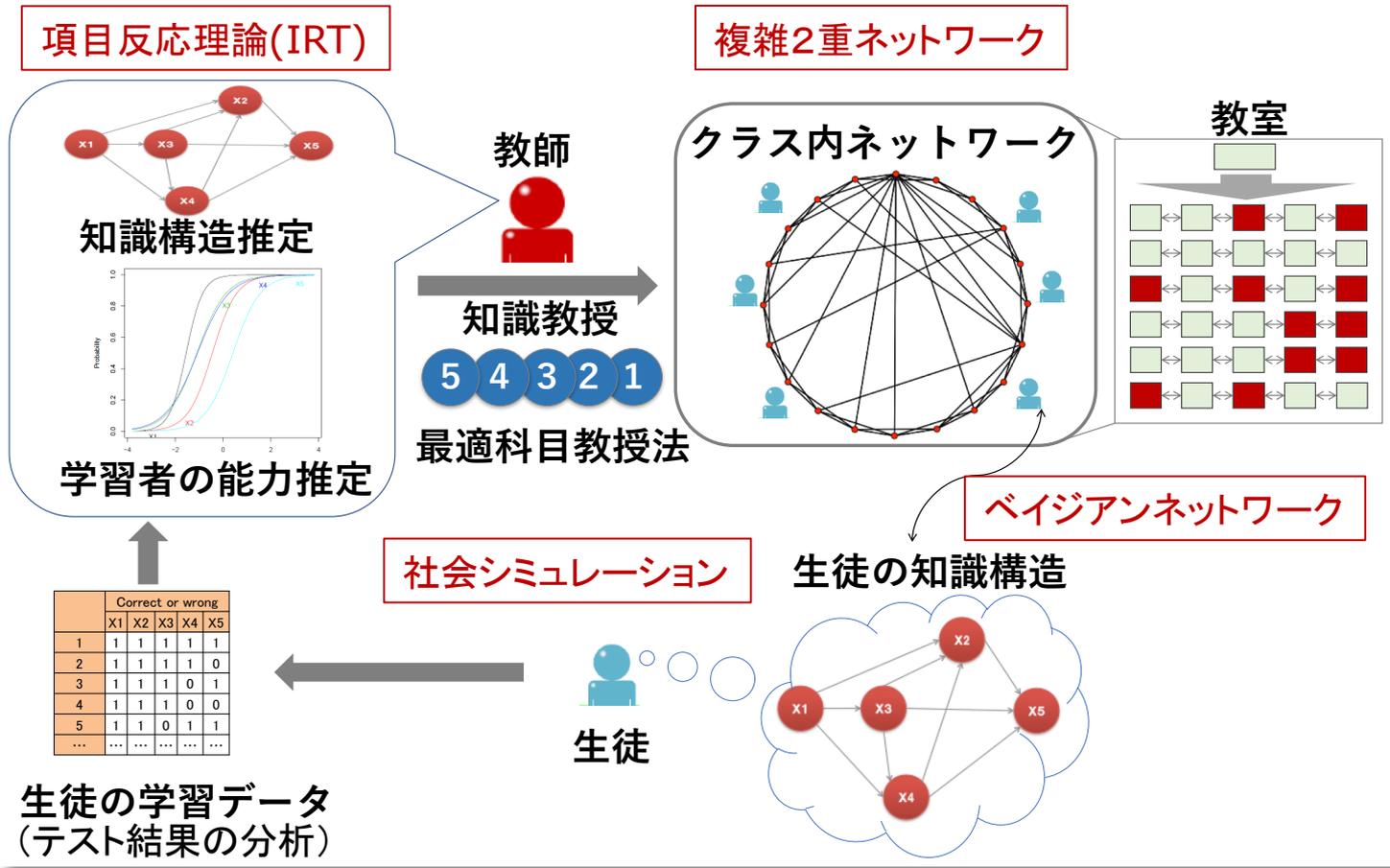
Kuniyoshi, Kurahashi: How do children learn and teach? In-Class Collaborative Teaching Simulation on the Complex Doubly Structural Network, JCMSI 計測自動制御学会英文誌, Vol. 10, No. 6, pp. 520–527, 2017

計測自動制御学会 システム・情報部門論文賞, 2018

研究の目的

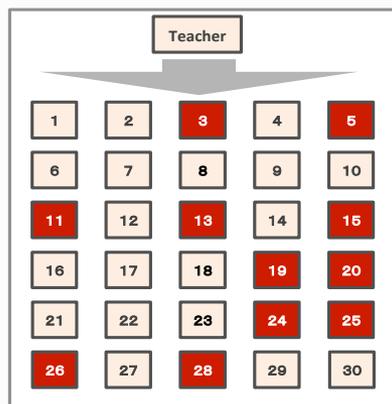
- 教員の教授法の違いは、学習にどう影響するか
生徒の学習データから、教授法と個々の生徒の学習過程をモデル化し、教授法を分析する
- クラス内での協調学習はどのような影響があるか
クラス内の生徒間相互作用をモデル化し、協調学習の効果を分析する

知識構造ベース協調学習モデル

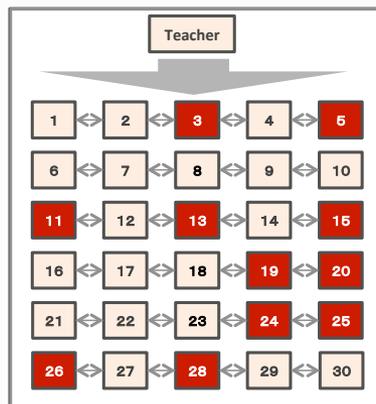


実験 1：科目教授法と協調学習効果

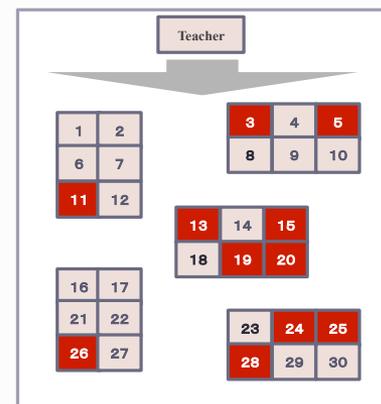
レクチャースタイル
会話なし



レクチャースタイル
隣同士で教え合う



グループスタイル
グループ内で教え合う



■ 成績高位者

結果 1：科目教授法と協調学習効果

科目教授法	協調学習タイプ		
	会話なし	隣同士	グループ
知識構造順	22.5	8.2	6.0
ランダム順	41.4	17.7	13.6
正答率の低い順	32.3	11.8	8.3
正答率の高い順	23.4	9.3	6.0

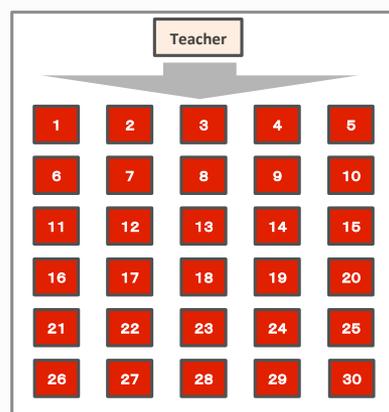
全員が正解になる
までの教授回数

- 知識構造順・正答率の高い順が高い効果
- グループ協調学習が最も高い効果

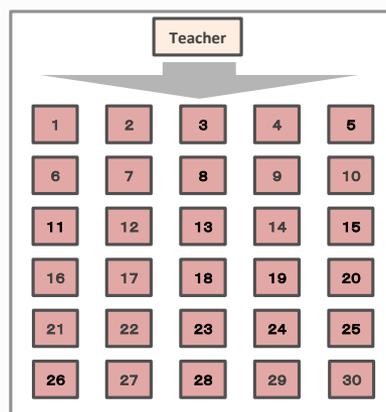
実験 2 : 習熟度別クラスの効果

レクチャースタイル：会話なし

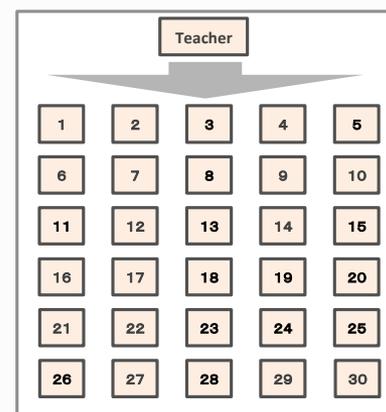
成績が高位のクラス



成績が中位のクラス



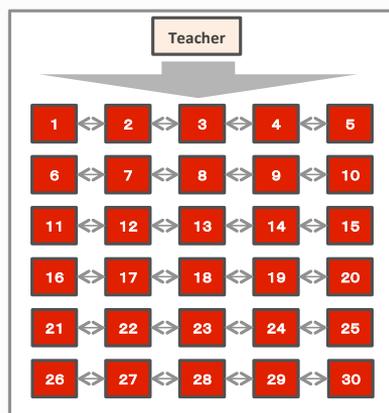
成績が低位のクラス



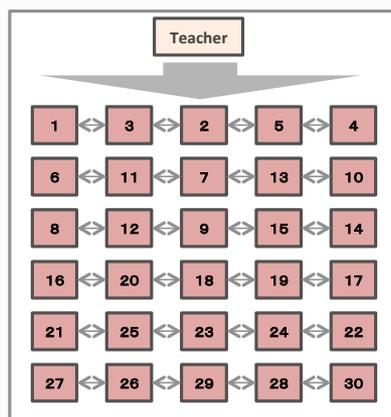
実験2：習熟度別クラスの効果

レクチャースタイル：隣同士で教え合う

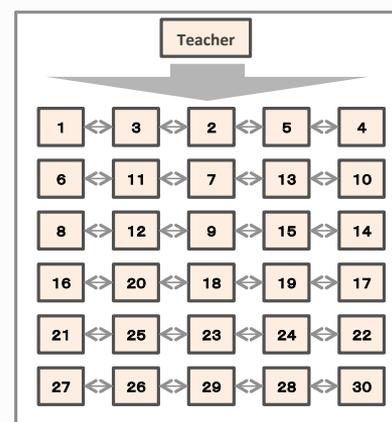
成績が高位のクラス



成績が中位のクラス



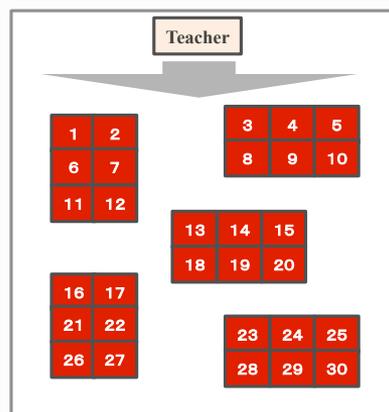
成績が低位のクラス



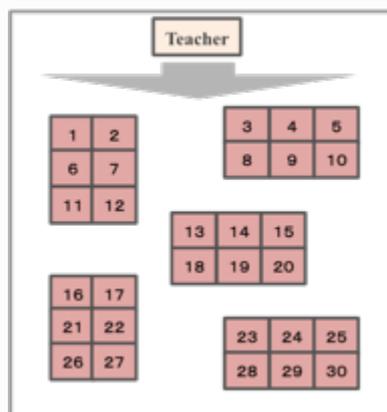
実験 2 : 習熟度別クラスの効果

グループスタイル：グループ内で教え合う

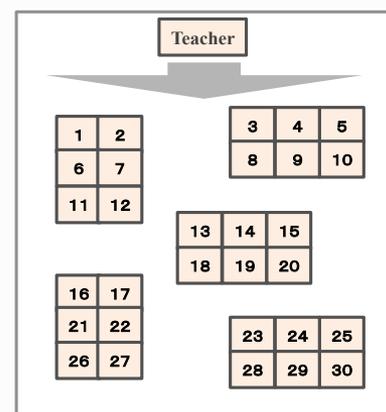
成績が高位のクラス



成績が中位のクラス



成績が低位のクラス



結果 2: 習熟度別クラスの効果

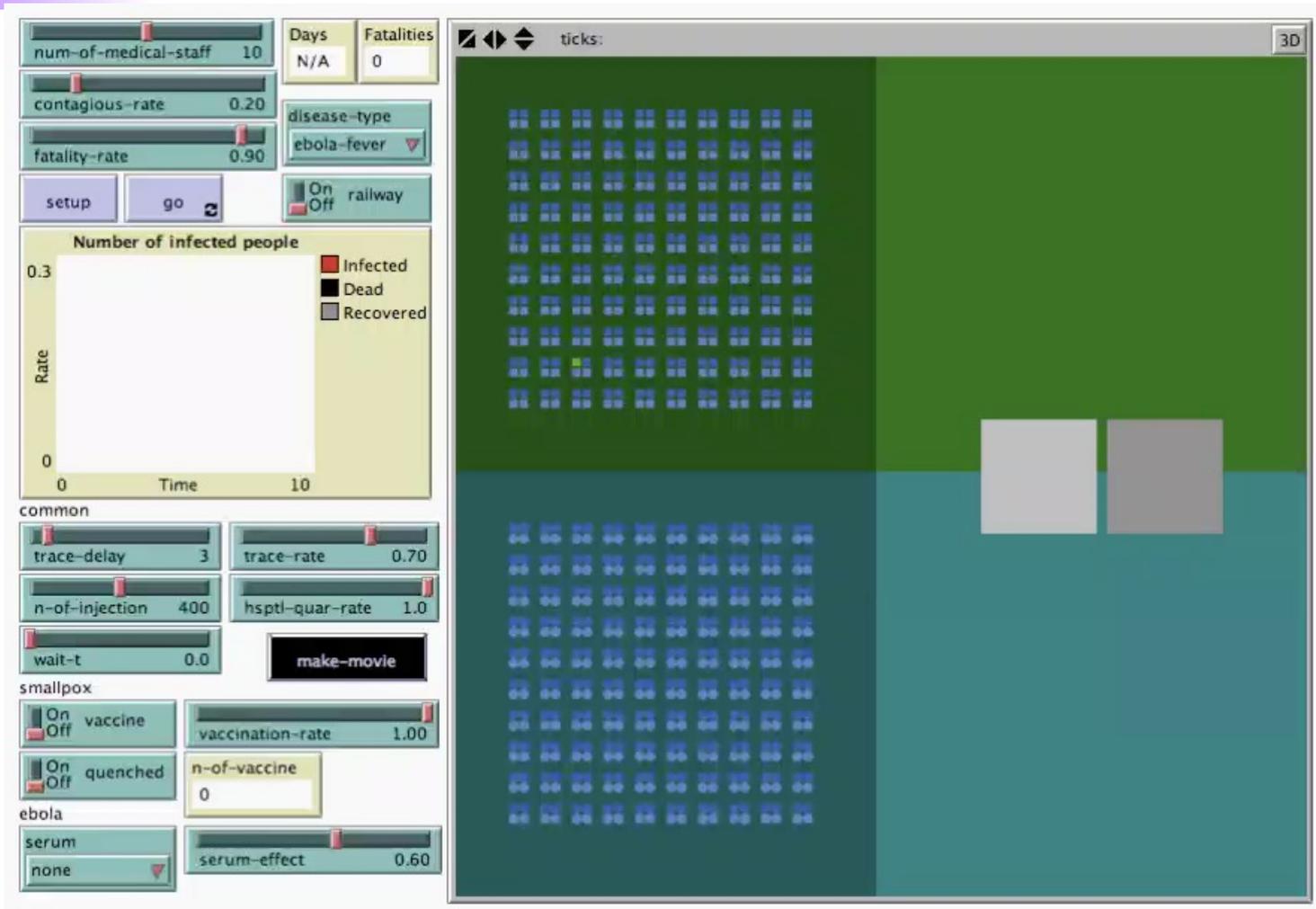
協調学習法	混合クラス	習熟度別クラス
レクチャー：会話なし	67.5	60.7
レクチャー：隣同士	23.1	25.5
グループ：グループ内	16.8	19.9

- レクチャースタイルでは、習熟度別クラスが効果的
- しかし、協調学習があると混合クラスの方が効果的
- グループ協調学習 + 混合クラスが最も効果的

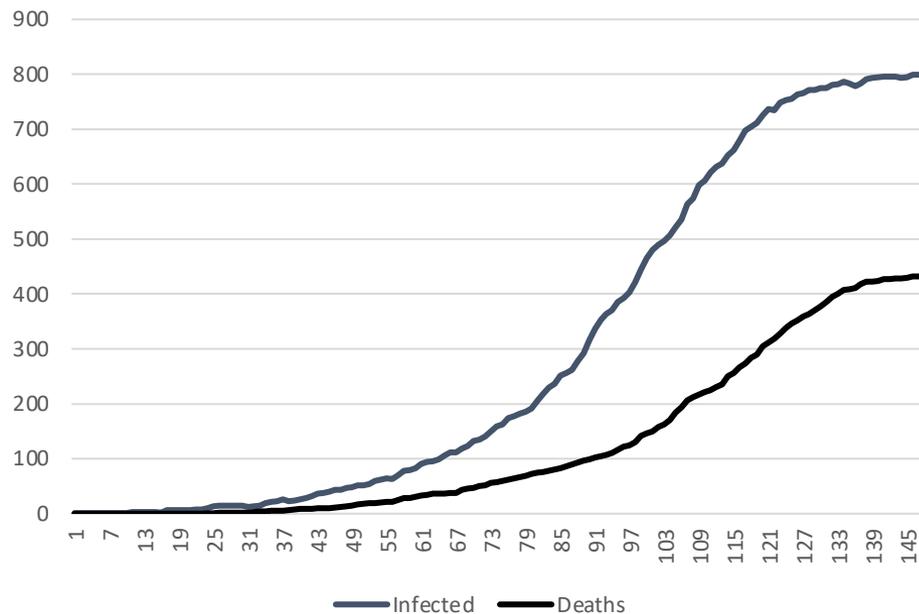
感染症研究

- エボラ出血熱モデル (2015, 2018)
 - 集団ワクチン接種に比べて、追跡ワクチン接種の有効性を確認
- ジカ熱モデル (2016)
 - 蚊を媒体としたモデルによって、人の移動が感染拡大の要因であることを分析
- 新型感染症モデル (2017)
 - 参加型シミュレーションを開発し、国際協調のあり方を分析
- 風疹モデル (2019)
 - 日本における男女での抗体保有率に差や、強い性別役割の影響を分析

エボラ出血熱モデル

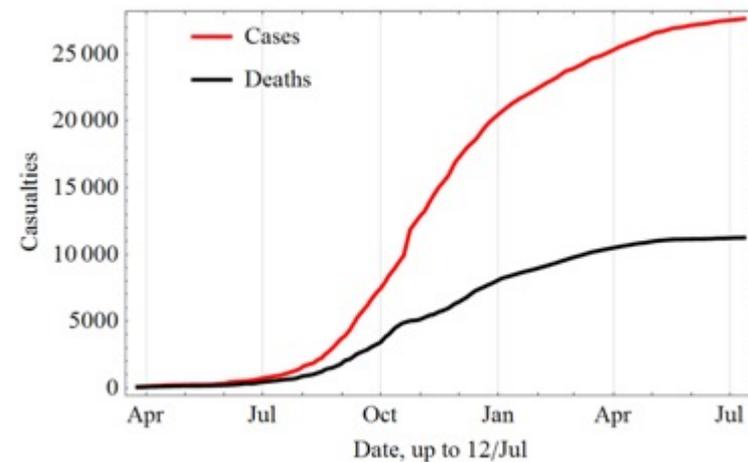


エボラ出血熱モデル (対策なし)



シミュレーション結果

- 流行終息期間：224日
- 累積死亡者数：715名
- 赤：累積感染者数
- 黒：累積死亡者数

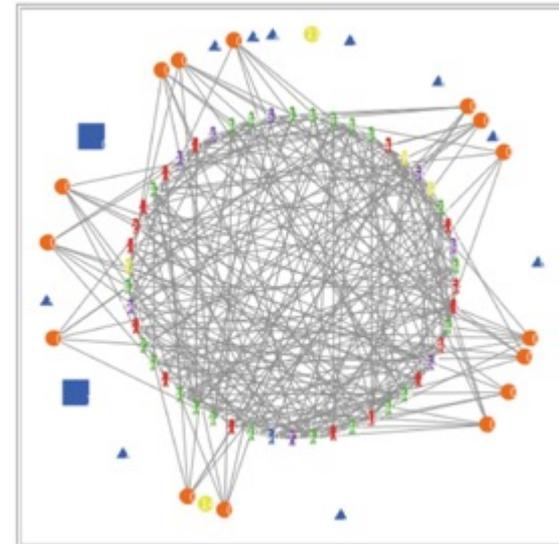


2013-15西アフリカ事例

赤：累積感染者数
黒：累積死亡者数

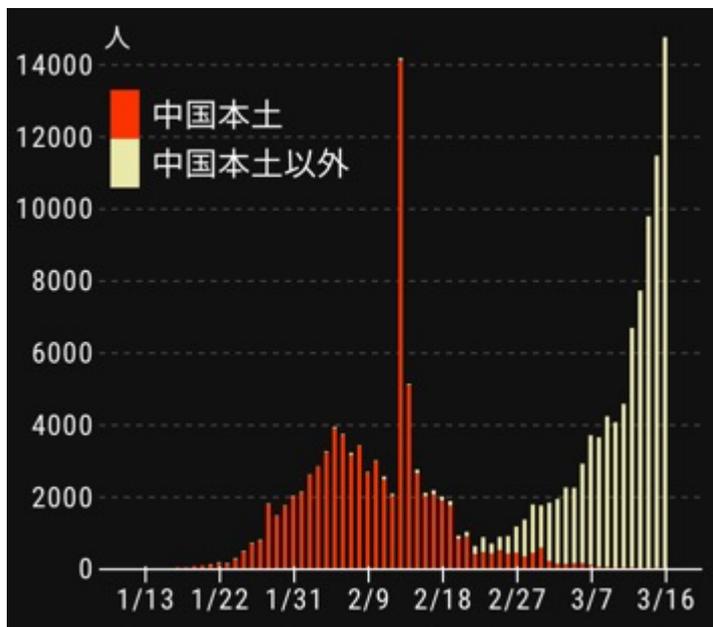
How digital drug users could help to halt the US opioid epidemic (Nature 2018)

- *Agent-based modelling offers opportunities to explore the complex social interactions at the heart of the addiction crisis.*

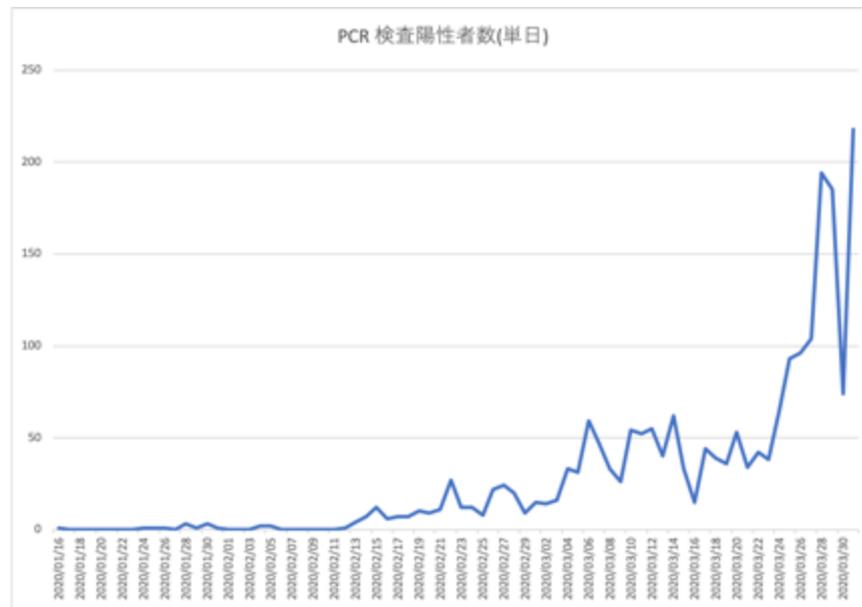


COVID-19：感染者数の推移 2020/1

- 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。



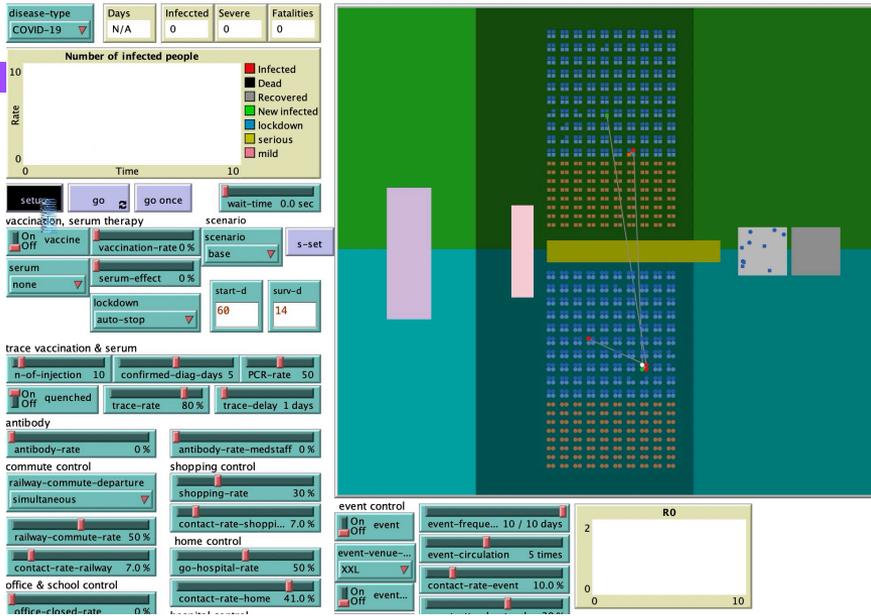
1～3月世界の新規感染者数



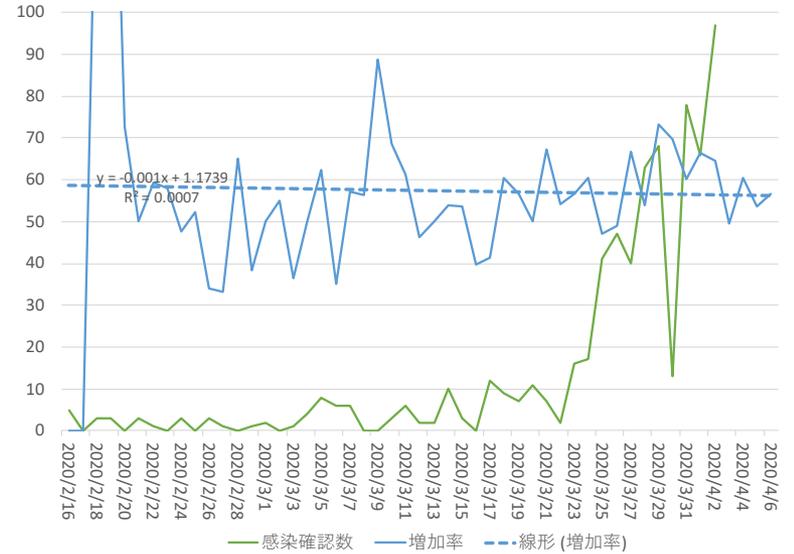
1～3月日本の陽性者数

COVID-19モデル

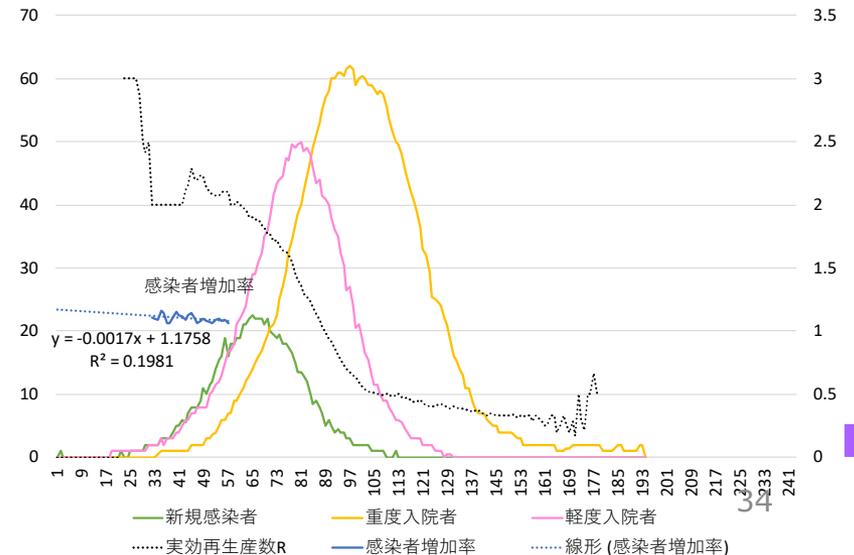
(2020/2)



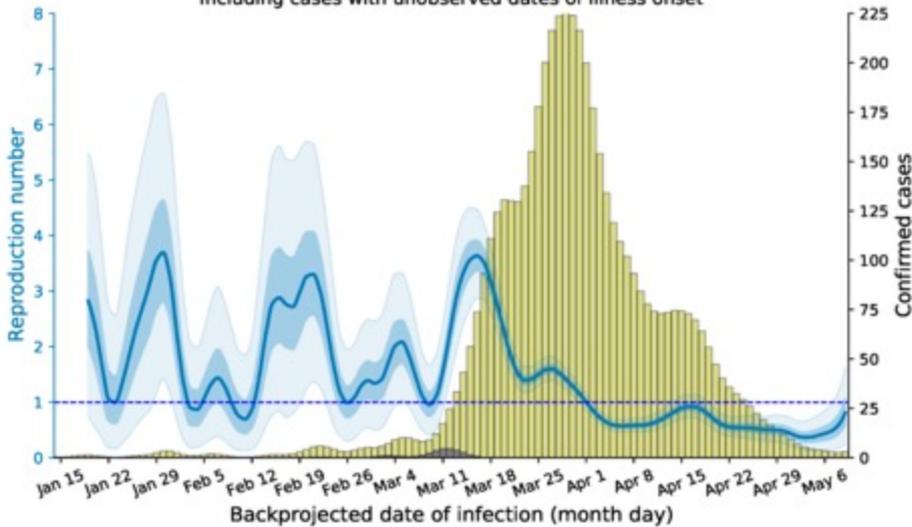
感染者数・感染者増加率（東京都）



ベース(積極的疫学調査) 新規感染者・重度/軽度入院者(中央値)



Including cases with unobserved dates of illness onset

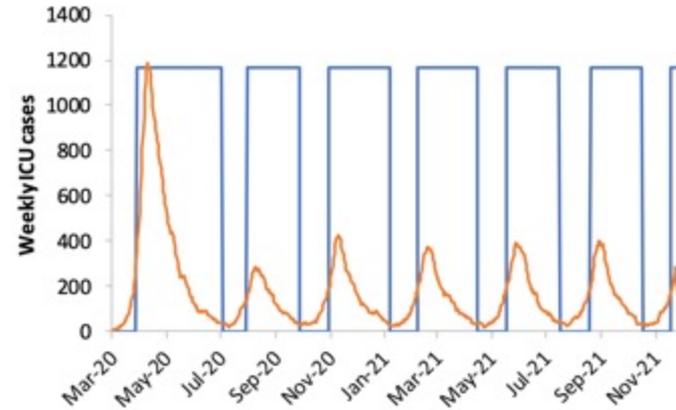
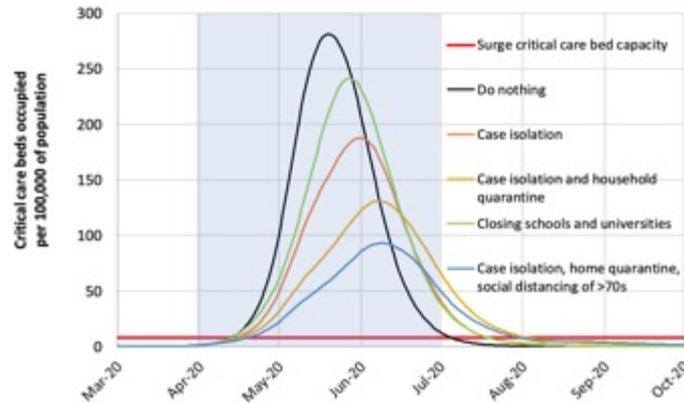


二つの町モデルの結果

- 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。

Impact of non-pharmaceutical interventions (NPIs) to reduce COVID- 19 mortality and healthcare demand

Neil M Ferguson et al. (ICL, 16 March)



R_0	On Trigger	Total deaths								Peak ICU beds								Proportion of time with SD in place							
		Do nothing		CI HQ SD		PC CI SD		PC CI HQ SD		Do nothing		CI HQ SD		PC CI SD		PC CI HQ SD		CI HQ SD		PC CI SD		PC CI HQ SD			
2	60	410,000	47,000	6,400	5,600	130,000	3,300	930	920	96%	69%	58%	410,000	47,000	9,900	8,300	130,000	3,500	1,300	1,300	96%	67%	61%		
	100	410,000	46,000	17,000	14,000	130,000	3,500	1,900	1,900	95%	66%	57%	410,000	46,000	17,000	14,000	130,000	3,500	1,900	1,900	95%	66%	57%		
	200	410,000	45,000	24,000	21,000	130,000	3,500	2,200	2,200	95%	64%	55%	410,000	45,000	24,000	21,000	130,000	3,500	2,200	2,200	95%	64%	55%		
	300	410,000	44,000	30,000	26,000	130,000	3,800	2,900	2,700	94%	63%	55%	410,000	44,000	30,000	26,000	130,000	3,800	2,900	2,700	94%	63%	55%		
	400	410,000	44,000	30,000	26,000	160,000	7,600	1,200	1,100	96%	82%	70%	460,000	62,000	9,700	6,900	160,000	7,600	1,200	1,100	96%	82%	70%		
2.2	60	460,000	61,000	13,000	10,000	160,000	7,700	1,600	1,600	96%	80%	66%	460,000	61,000	13,000	10,000	160,000	7,700	1,600	1,600	96%	80%	66%		
	100	460,000	64,000	23,000	17,000	160,000	7,700	2,600	2,300	89%	76%	64%	460,000	64,000	23,000	17,000	160,000	7,700	2,600	2,300	89%	76%	64%		
	200	460,000	65,000	32,000	26,000	160,000	7,300	3,500	3,000	89%	74%	64%	460,000	65,000	32,000	26,000	160,000	7,300	3,500	3,000	89%	74%	64%		
	300	460,000	68,000	39,000	31,000	160,000	7,300	3,700	3,400	82%	72%	62%	460,000	68,000	39,000	31,000	160,000	7,300	3,700	3,400	82%	72%	62%		
	400	460,000	68,000	39,000	31,000	180,000	11,000	1,200	1,200	87%	89%	78%	510,000	85,000	12,000	8,700	180,000	11,000	1,200	1,200	87%	89%	78%		
2.4	60	510,000	87,000	19,000	13,000	180,000	11,000	2,000	1,800	83%	88%	77%	510,000	87,000	19,000	13,000	180,000	11,000	2,000	1,800	83%	88%	77%		
	100	510,000	90,000	30,000	24,000	180,000	9,700	3,500	3,200	77%	82%	74%	510,000	90,000	30,000	24,000	180,000	9,700	3,500	3,200	77%	82%	74%		
	200	510,000	94,000	43,000	34,000	180,000	9,900	4,400	4,000	72%	81%	74%	510,000	94,000	43,000	34,000	180,000	9,900	4,400	4,000	72%	81%	74%		
	300	510,000	98,000	53,000	39,000	180,000	10,000	5,700	4,900	68%	81%	71%	510,000	98,000	53,000	39,000	180,000	10,000	5,700	4,900	68%	81%	71%		
	400	510,000	98,000	53,000	39,000	230,000	15,000	1,500	1,400	68%	94%	85%	550,000	110,000	20,000	12,000	230,000	15,000	1,500	1,400	68%	94%	85%		
2.6	60	550,000	110,000	26,000	16,000	230,000	16,000	1,900	1,800	67%	93%	84%	550,000	110,000	26,000	16,000	230,000	16,000	1,900	1,800	67%	93%	84%		
	100	550,000	120,000	39,000	30,000	230,000	16,000	3,600	3,400	62%	88%	83%	550,000	120,000	39,000	30,000	230,000	16,000	3,600	3,400	62%	88%	83%		
	200	550,000	120,000	56,000	40,000	230,000	17,000	5,500	4,700	59%	87%	80%	550,000	120,000	56,000	40,000	230,000	17,000	5,500	4,700	59%	87%	80%		
	300	550,000	120,000	71,000	48,000	230,000	17,000	7,100	5,600	56%	82%	76%	550,000	120,000	71,000	48,000	230,000	17,000	7,100	5,600	56%	82%	76%		
	400	550,000	120,000	71,000	48,000	230,000	17,000	7,100	5,600	56%	82%	76%	550,000	120,000	71,000	48,000	230,000	17,000	7,100	5,600	56%	82%	76%		

新型コロナウイルス感染症 観光地モデル

観光地におけるCOVID-19感染予防策(2020/6)

- 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

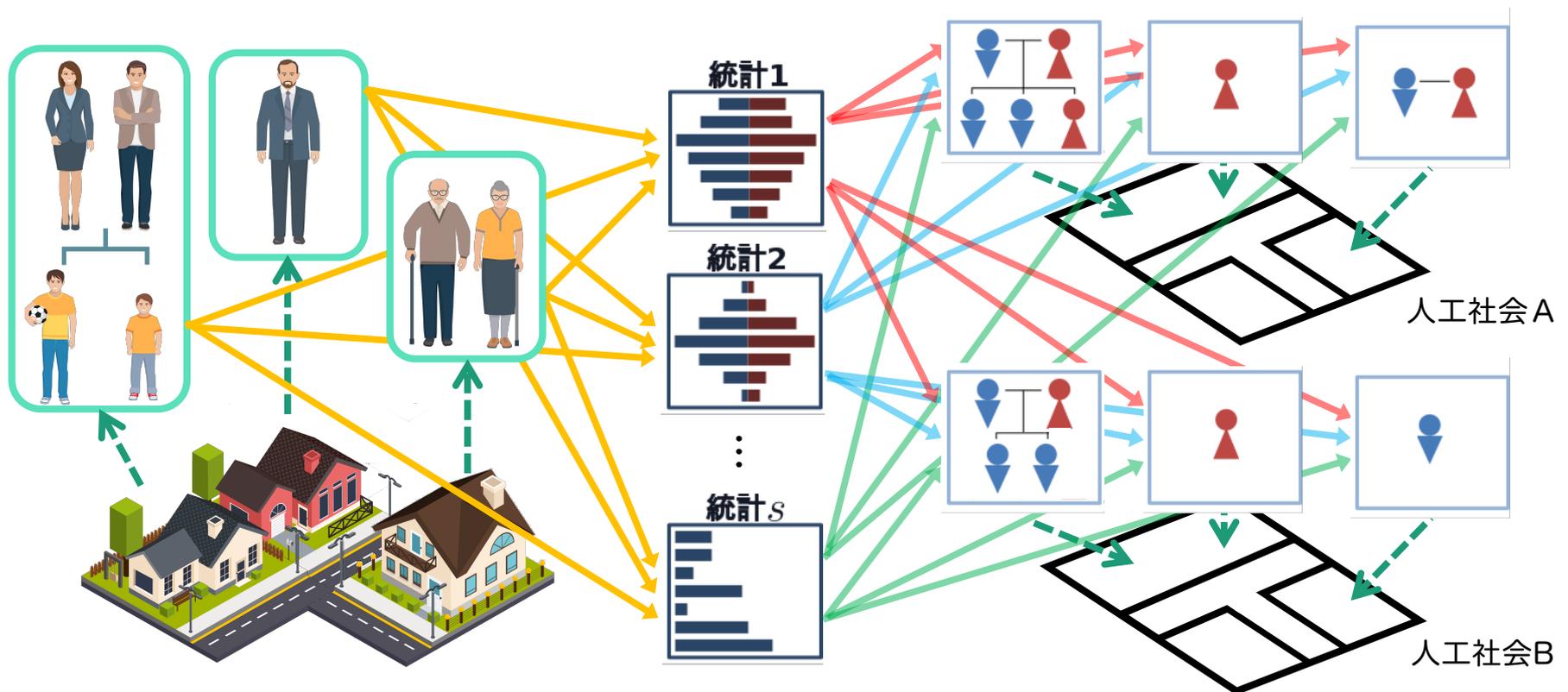
- 各エリアに居住する住民は，市外・市内の職場・学校に通勤通学をしている。
- 観光客向け施設として以下の4種類がある。
 - ショッピングモール，ホテル，ナイトスポット，ツーリストスポット
- 各エリアに地元スーパーマーケットがあり，感染予防策は実施している。
- それぞれのパラメータは，A市の詳細な人口構成データに基づいて設定。
 - 関西大学 村田忠彦研究室から，日本の国勢調査をもとにしたA市の合成人口データの提供を受けた。

リアルスケール人工社会

関西大学村田研究室

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**

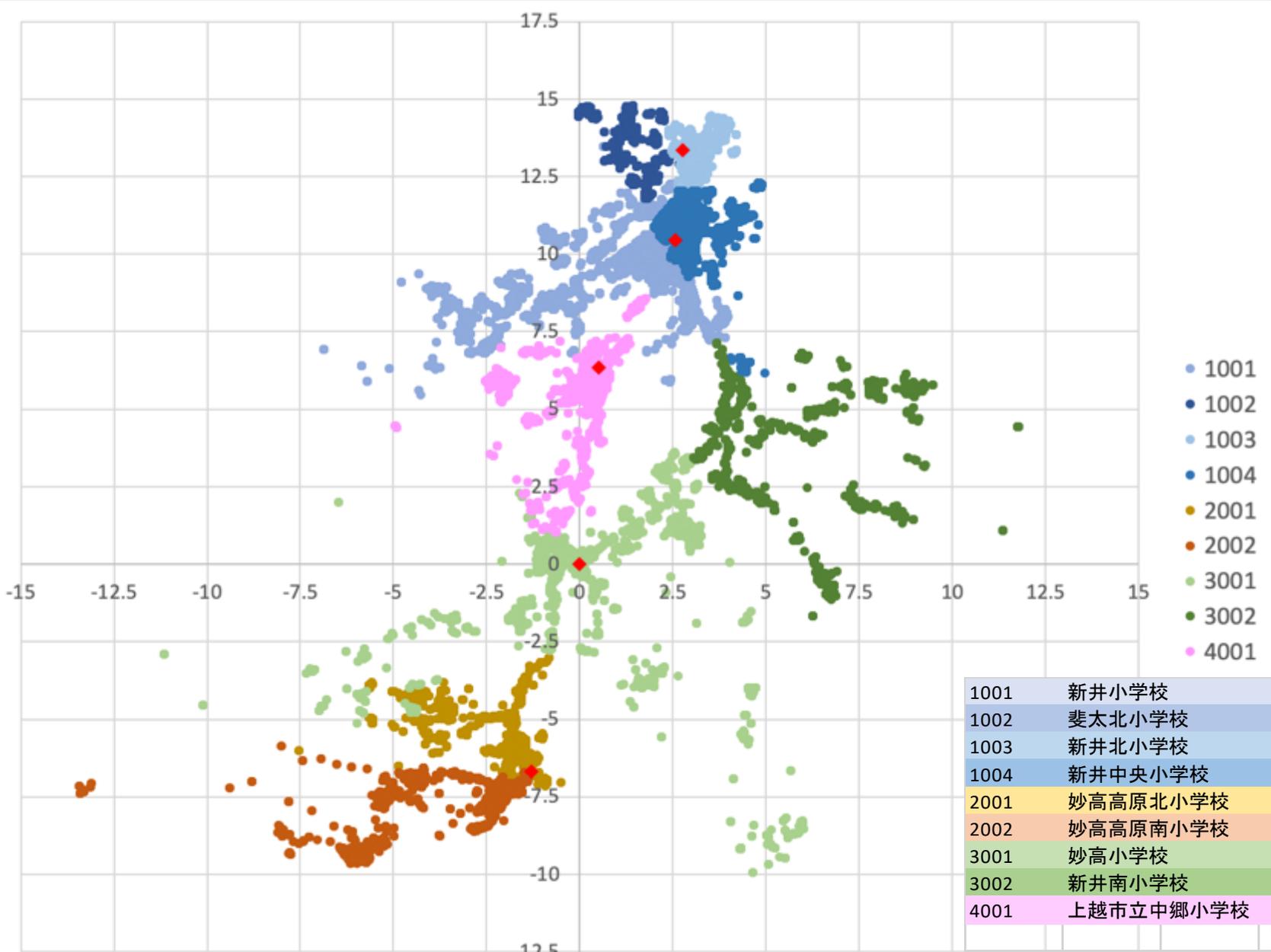
複数の人工社会での
分析・シミュレーション

合成人口データ

関西大学村田研究室



妙高市(+上越中郷区)世帯マップ



妙高市人口構成

世帯構成

population	1001	1002	1003	1004	2001	2002	3001	3002	4001	pop
独居(adult)	58	12	16	36	12	12	22	12	20	200
独居(elder: not care)	56	13	13	36	13	13	23	13	20	200
独居(elder: care)	18	0	0	40	0	0	13	29	0	100
夫婦のみ(adult)	70	16	20	44	16	16	28	16	24	250
夫婦のみ(elder)	230	50	56	140	50	50	90	50	84	800
夫婦+子供1人	258	57	60	162	57	57	102	57	90	900
夫婦+子供2人	288	64	72	176	64	64	112	64	96	1000
親1人+子供1人	144	32	36	88	32	32	56	32	48	500
夫婦+両親	56	12	16	36	12	12	24	12	20	200
夫婦+ひとり親	90	18	24	54	18	18	30	18	30	300
夫婦+子供1人+両親	60	10	15	40	10	10	25	10	20	200
夫婦+子供2人+両親	180	36	48	108	36	36	60	36	60	600
夫婦+子供1人+ひとり親	176	36	48	108	36	36	64	36	60	600
夫婦+子供2人+ひとり親	40	10	10	30	10	10	15	10	15	150
	1724	366	434	1098	366	366	664	395	587	6000
population	1001	1002	1003	1004	2001	2002	3001	3002	4001	pop
adult	792	170	204	492	170	170	302	170	270	2740
young	434	94	109	269	94	94	165	94	147	1500
elder	498	102	121	337	102	102	197	131	170	1760
	1724	366	434	1098	366	366	664	395	587	6000
	28.7%	6.1%	7.2%	18.3%	6.1%	6.1%	11.1%	6.6%	9.8%	
新井小学	斐太北小	新井北小	新井中央	妙高高原	妙高高原	妙高小学	新井南小	上越市立中郷小学	杉	

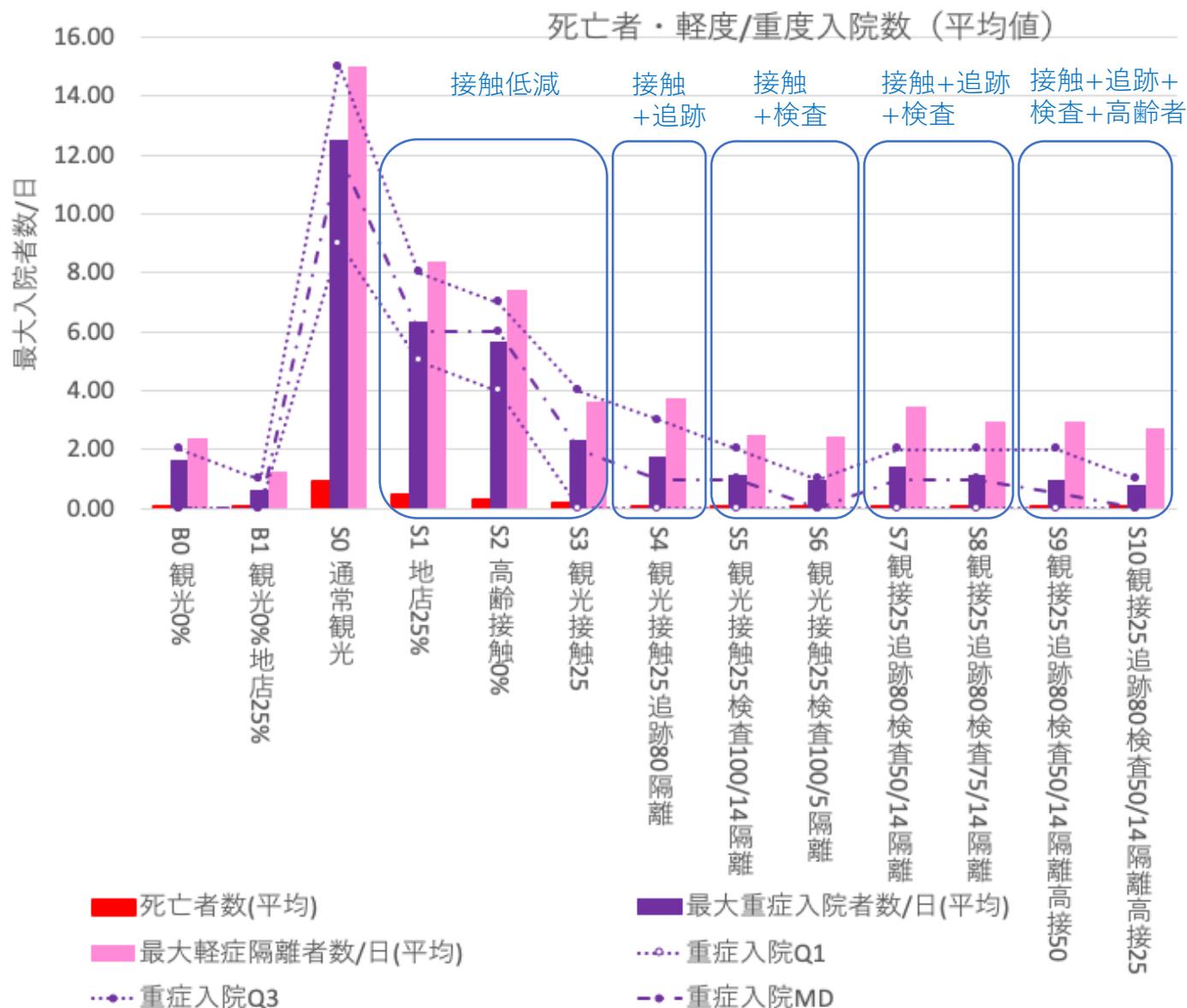
産業別就業者数

	就業者数	
A 農業, 林業	959	6.3%
D 建設業	1,712	11.2%
E 製造業	3,213	21.1%
F 電気・ガス・熱供給・水道業	48	0.3%
G 情報通信業	84	0.6%
H 運輸業, 郵便業	479	3.1%
I 卸売業, 小売業	1,732	11.4%
J 金融業, 保険業	211	1.4%
K 不動産業, 物品賃貸業	115	0.8%
L 学術研究, 専門・技術サービス業	279	1.8%
M 宿泊業, 飲食サービス業	1,444	9.5%
N 生活関連サービス業, 娯楽業	773	5.1%
O 教育, 学習支援業	524	3.4%
P 医療, 福祉	1,844	12.1%
Q 複合サービス事業	244	1.6%
R サービス業(他に分類されないもの)	843	5.5%
S 公務(他に分類されるものを除く)	586	3.8%
T 分類不能の産業	164	1.1%
	15,254	100%

妙高モデル実行画面

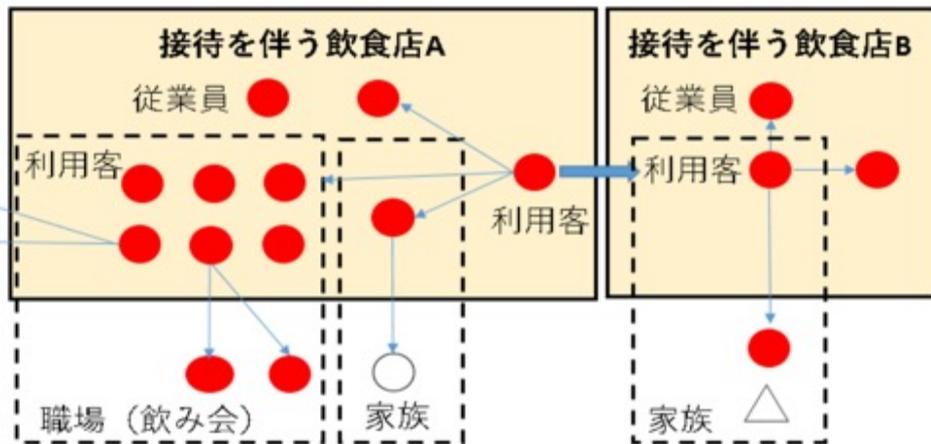
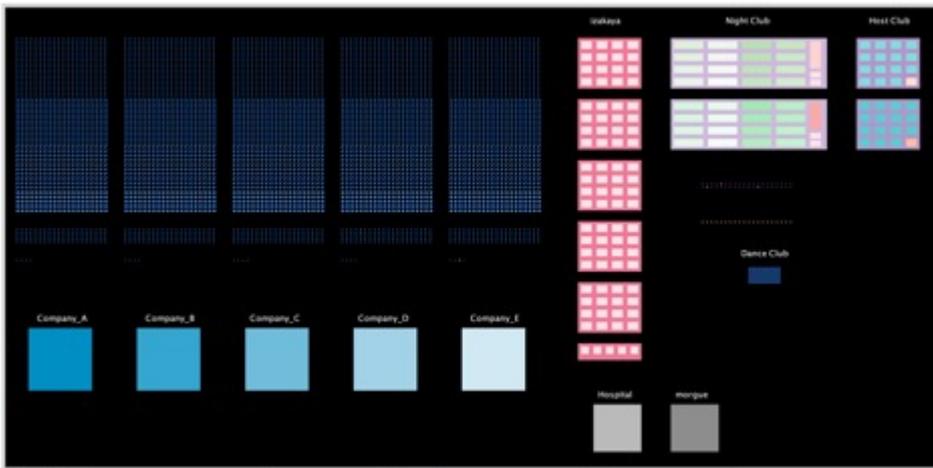


感染予防策の実験結果



歌舞伎町モデル 夜の街リスク(2020/11)

(クラスター発生事例を参考に、10000人の街のモデルを構築し、感染者拡大リスクを評価)



会社勤務世帯-合計:5,500世帯(10580人)

夜の街勤務世帯-合計:世帯60~85世帯

単身(昼_会社員&夜_キャバクラ嬢)

単身(キャバクラ嬢)、単身(ホスト)

設定シナリオ

飲食参加者 :会社5社間、会社内、部署ごと

飲食参加人数 :8名グループ、4名グループ

店舗営業時間 :100%、50%

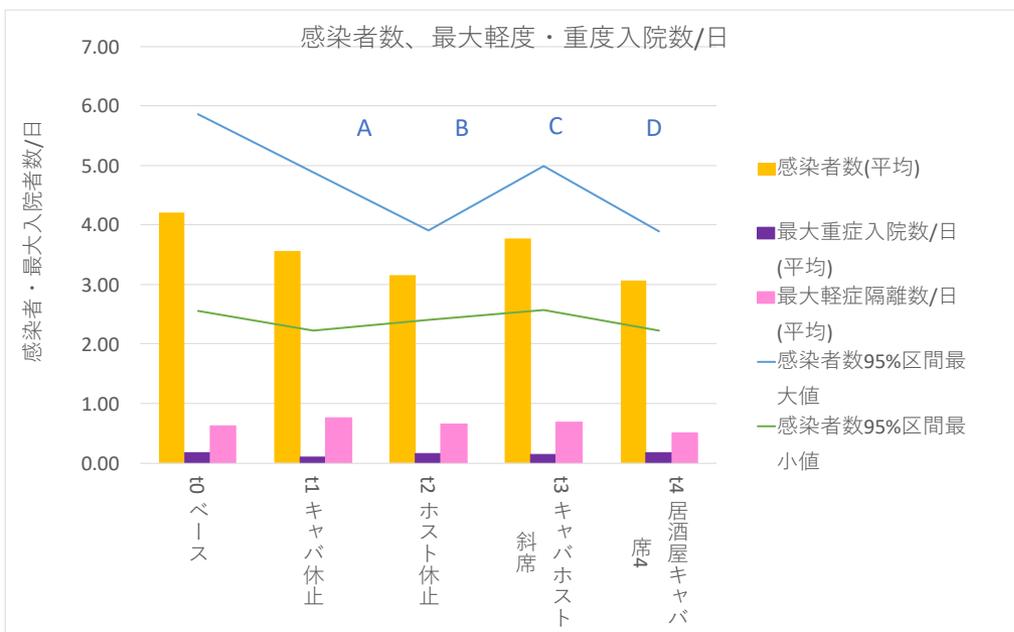
企業・居酒屋・キャバクラ・ホストクラブ・ダンスクラブ
が混在する街で生活する人々をエージェントとして定義し、
コロナウイルスの感染拡大を抑止する行動・対策を行った
場合の挙動をシミュレーションする。

繁華街での感染防止策1 (2020/12)

■ 繁華街での居酒屋, ナイトスポットサービスが感染拡大へ与える影響を個体ベースシミュレーションで評価

繁華街での感染者発生と飲食・接客対策の影響比較

評価結果



• キャバクラ休止(A)	0.85倍
• ホストクラブ休止(B)	0.75倍
• キャバクラホスト斜め席(C)	0.90倍
• 居酒屋キャバクラ4人席制限(D)	0.73倍

最大8人までの飲食・接客に対して、最大4人までに制限することで0.73倍まで感染者を抑制する効果がある

斜め席の効果よりも、グループ人数の制限効果の方が高い

キャバクラ・ホストクラブの中止よりも、居酒屋を含めたグループ人数の制限効果の方が高い

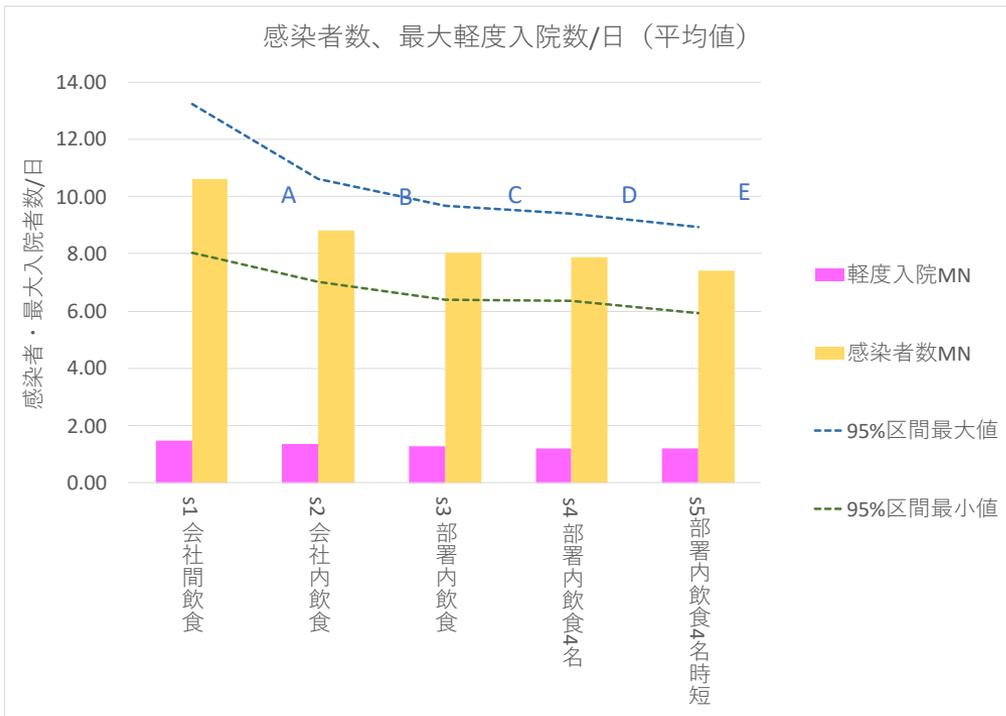
最大8人までの飲食・接客に対して、最大4人までに制限することで0.73倍まで感染者を抑制する効果がある

繁華街での感染防止策2 (2020/12)

■ 企業で働く人が、繁華街での居酒屋、ナイトスポットで感染拡大へ与える影響を評価

繁華街での感染者発生と飲食・接客対策の影響比較

評価結果



• 会社間で飲食 (A)	1.00倍
• 会社内で飲食 (B)	0.83倍
• 部署内で飲食 (C)	0.76倍
• 部署内で飲食4名制限(D)	0.74倍
• 部署内で飲食4名制限時短 (E)	0.70倍

会社間 (自社 + 他社) の人たちと飲食をした場合に比べて、自社内の人に限定すると0.83倍、部署内に限定すると0.76倍まで、感染者数は減少する。

時短をした居酒屋で部署内に限定した飲食をすると、0.70倍まで感染者数は減少する。

飲食の範囲を限定することは、ある程度効果がある。



時短をした飲食店での同伴者を部署内に限定すると、0.7倍まで感染者を抑制する効果がある。

札幌市 長距離移動の影響評価 (2020/12)

- 流入リスク(他都府県からの推定感染者流入数)の増加は、数ヶ月に渡って累積的に感染拡大に影響する(A)
- 2020年7月以降の流入リスクが0.5倍なら、11月の感染者数は0.68倍(B1)まで減少していたと推定

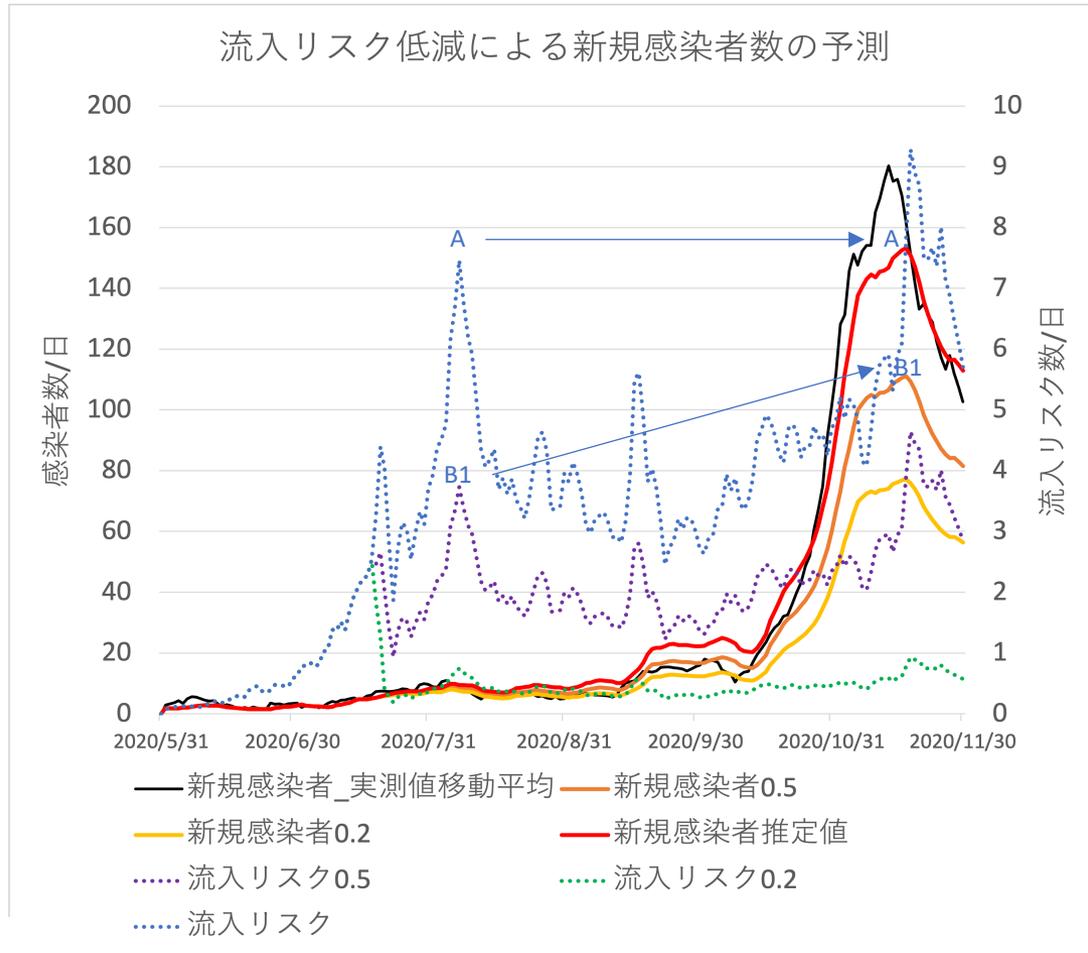
$$flow_risk_t = \frac{\sum_{i=1}^j flow_{i,t} * cp_t * ur}{pop}$$

$$\frac{dS}{dt} = mN - mS - b \frac{S(I + in_risk)}{N}$$

$$\frac{dE}{dt} = b \frac{S(I + in_risk)}{N} - (m + a)E$$

$$\frac{dI}{dt} = aE - (m + g)I$$

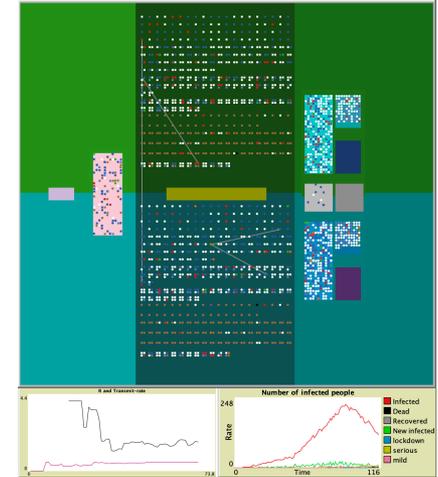
$$\frac{dR}{dt} = gI - mR$$



東京 第2次宣言効果推定 (2021/1)

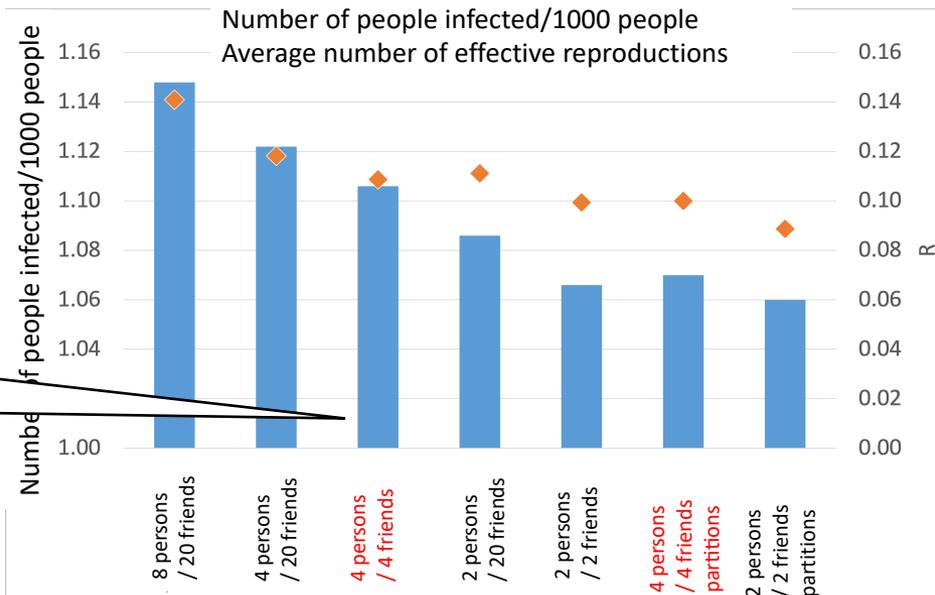
- 東京郊外の世帯構成で2つの街で構成されたエージェントで表現したモデル
- 緊急事態宣言で呼びかけられた主要な感染予防策を比較
- 友達ネットワークモデルの実装

各街の世帯構成	世帯数
高齢单身	18
高齢夫婦	30
3世代同居	6
成年单身	40
成年夫婦	35
親1人子供1人	4
親2人子供1人	21
親2人子供2人	12



感染予防策	設定
飲食店 20 時閉店	飲食店来客数を 1/2
飲食店 18 時閉店	飲食店来客数を 1/4
テレワークの強化 50%	出勤率を 50%
テレワークの強化 70%	出勤率を 30%
大規模イベント制限	会場制限

「いつもの4人まで
パーティション」
ポリシー



第2次緊急事態宣言の効果推定(2021/2)

- 進化的探索アルゴリズムと準ニュートン法を組み合わせたAI最適化手法で、感染率を逆シミュレーション法で推定 (誤差: 1.2人/day)

$$b_{i,j} = a_{i,j}(R_t^i x_1 - x_2)$$

$$\min \sum_{t=1}^{now} (pred_t(\mathbf{R}_t, \mathbf{a}, \mathbf{x}) - observ_t)^2$$

subject to.

$$x_1^i > 0$$

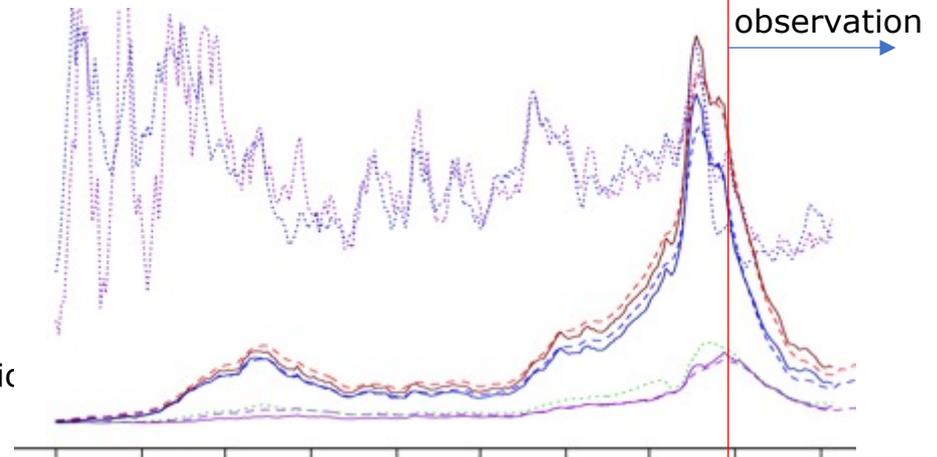
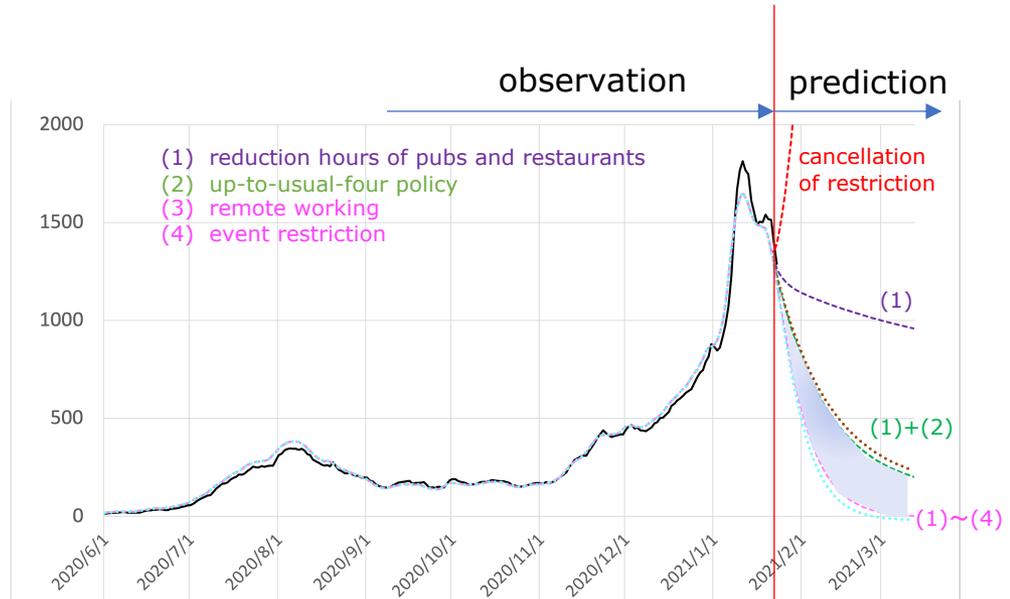
$$1 \geq a_{i,i} \geq 0$$

$$a_{i,i} + \sum_{j, i \neq j} a_{i,j} = 1$$

R_t^i = Effective reproduction number

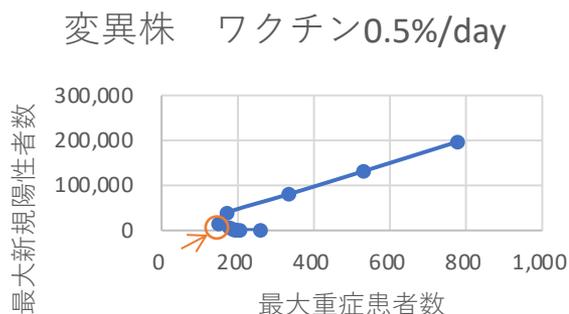
x_k = coefficient

$a_{i,j}$ = infection rate between generatic



変異株ワクチン接種戦略比較 (2021/4)

- 変異株に対するワクチン優先接種戦略
 - 高齢者優先に加えて、59歳以下への同時並行接種が有効
 - 重症者数と新規陽性者数の同時最小化最適解



変異株 新規陽性者



変異株 重症者数

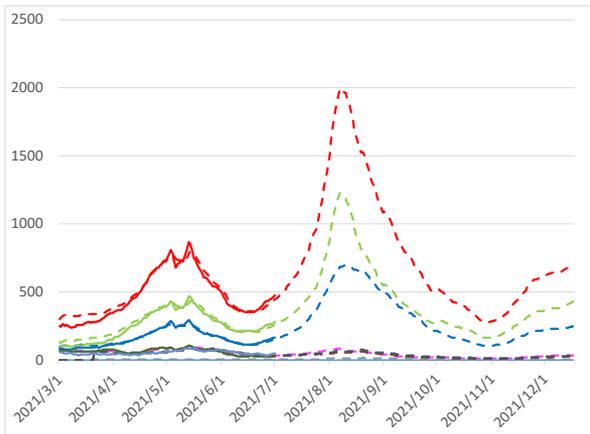


オリンピック開催・無観客影響(2021/7)

- 6/21に緊急事態宣言を緩和して7/11まで継続
7月23日～8月8日に22万人/日（50%が都外）の
人口流動増加

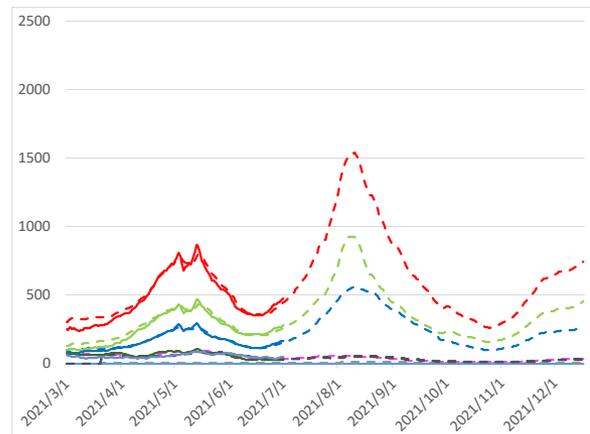
赤:新規陽性者総数(15歳以上)
 緑:新規陽性者数(15歳～39歳)
 青:新規陽性者数(40歳～64歳)
 紫:新規陽性者数(65歳～)
 濃紫波線:重症者数
 実線:実測数 波線:推定数

オリンピック開催 2次宣言効果相当



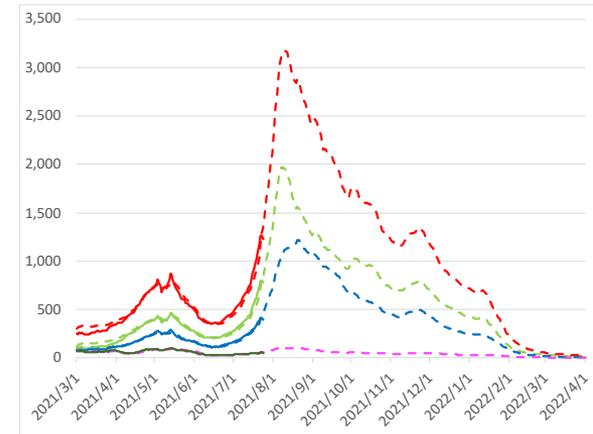
8/8 感染者 2000

オリンピック無観客 2次宣言効果相当



8/11 感染者 1540

オリンピック無観客 4次宣言

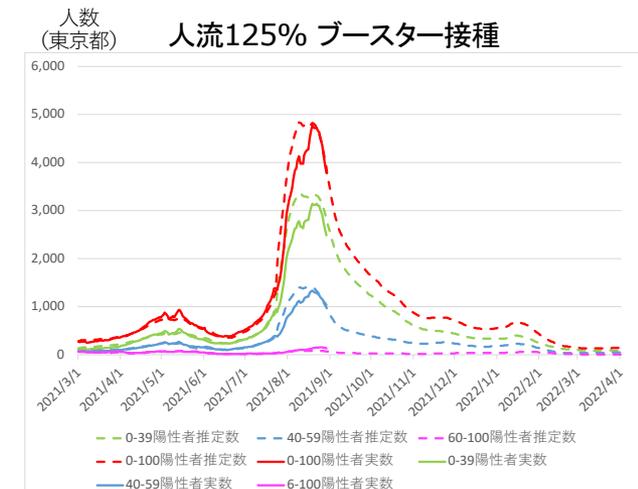
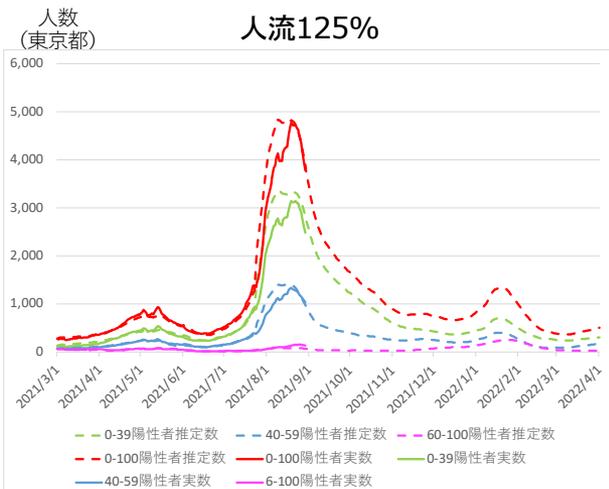
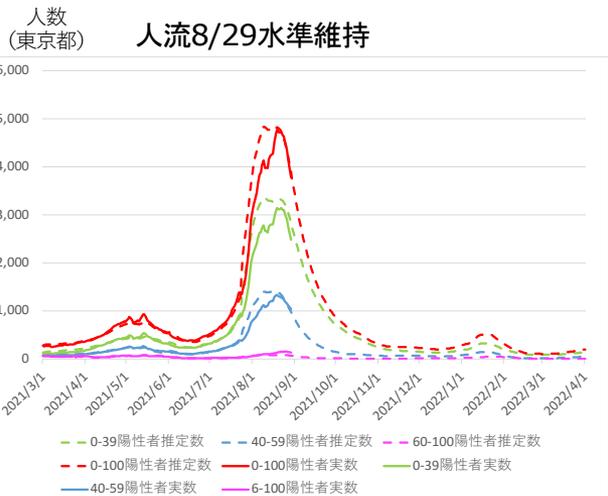
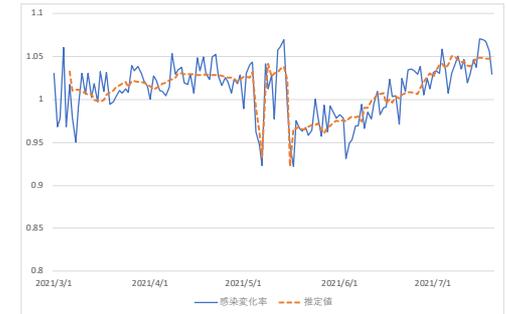


8/10 陽性患者 3180

人流増加の影響とブースター接種 (2021/9)

10/1以降の19時繁華街滞留人口は8/29の1.25倍 (=6月下旬)
 180日後ワクチン感染予防効果0.7、260日以降0.5
 ブースター接種で180日後の感染予防率は0.85~0.7
 人流と実効再生産数の関係は統計モデルで分析

実効再生産数と人流の関係モデル



0-39歳 感染者数	40-59歳 感染者数	60歳以上 感染者数	感染者数合計
2021/8/10	2021/8/19	2021/8/11	2021/8/10
3,354	1,405	84	4,833

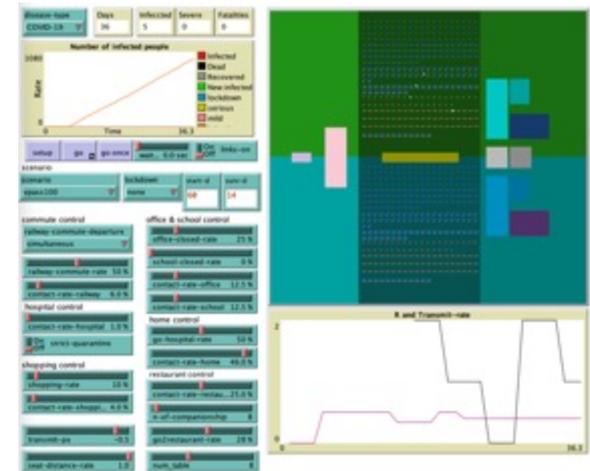
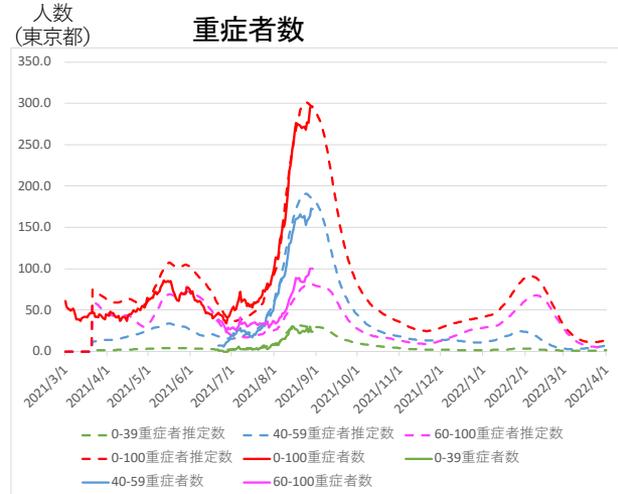
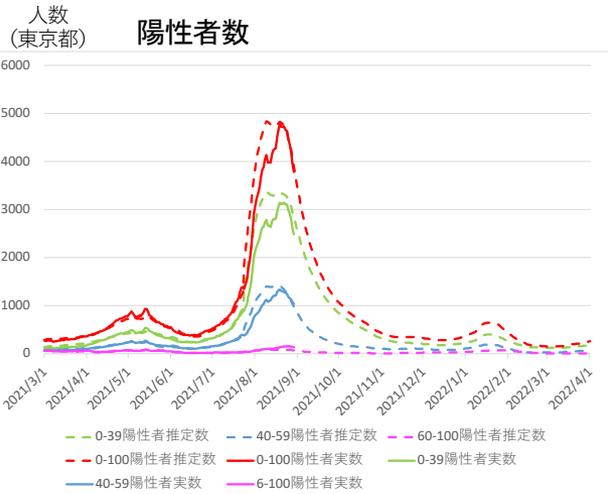
0-39歳 感染者数	40-59歳 感染者数	60歳以上 感染者数	感染者数合計
2021/8/10	2021/8/19	2022/1/25	2021/8/10
3,354	1,405	255	4,833

0-39歳 感染者数	40-59歳 感染者数	60歳以上 感染者数	感染者数合計
2021/8/10	2021/8/19	2021/8/11	2021/8/10
3,354	1,404	84	4,833

ワクチン接種証明による抑制効果推定 (2021/9)

10/1以降の19時繁華街滞留人口は8/29の1.43倍 (=5月下旬)
 職場、飲食店、イベントの50%がワクチン接種証明で入場制限
 180日後ワクチン効果感染予防0.7、260日以降0.5
 東京都基準重症者数から統計モデルで重症者数推定

東京近郊エージェントモデル(友達ネットワーク推定)で、ワクチン接種証明による実効再生産数低減効果をシミュレーション推定し、SEIRに設定



0-39歳 感染者数	40-59歳 感染者数	60歳以上 感染者数	感染者数合計
2021/8/10	2021/8/19	2021/8/11	2021/8/10
3,354	1,405	84	4,833

0-39歳 重症者数	40-59歳 重症者数	60歳以上 重症者数	重症者数合計
2021/8/21	2021/8/25	2021/8/28	2021/8/26
31	190	81	301

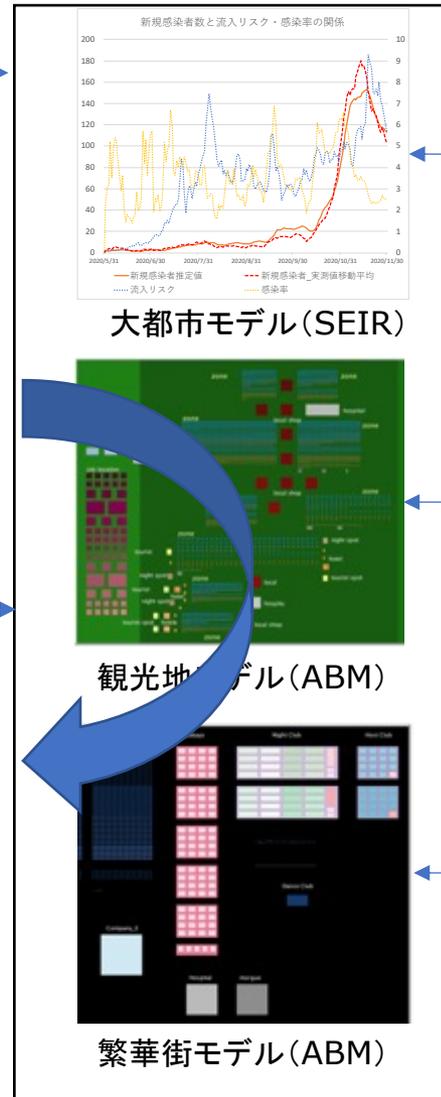
政策シナリオ

1. 感染予防策
2. 変異種リスク
3. 医療経済政策

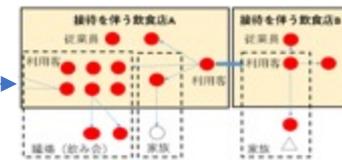
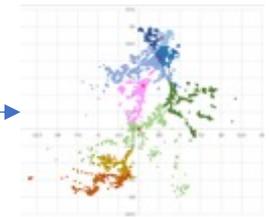
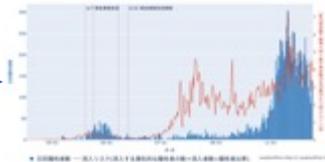
多層社会システム

大都市レベル(マクロ層)
観光地レベル(ミドル層)
繁華街レベル(マイクロ層)

多層社会システムモデル



多層社会データ (実データ)



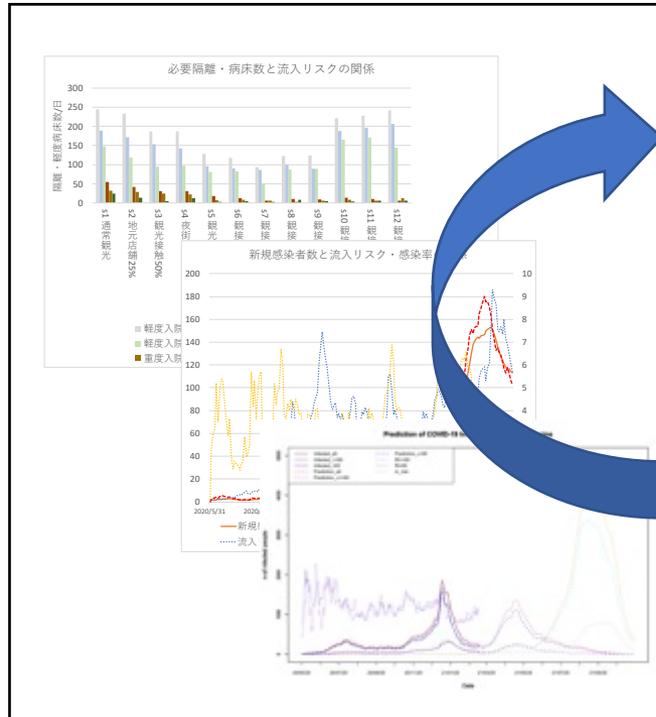
マクロデータ推定

マイクロデータ推定

データ推定技術

- 合成人口推定
- 逆シミュレーション
- データ同化
- 進化的最適化

政策効果推定



全体システム評価

飲食店時短効果
医療経済評価

政策シナリオ分析

NTTデータ数理システム



AIシミュレーションの意義

- データ分析によって正確さは追求するが、未来は常に不確定
- AIシミュレーションに正解を出してもらうのではなく、自分が意思決定をする際の一助とする
- あ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