



2020年6月17日



# パンデミック現象および対策のシミュレーション解析

理化学研究所 伊藤 伸泰

## 実施内容：

今回の新型コロナウイルスの感染伝播に伴い、社会経済への影響が広がっている。その様子を可視化し、影響を分析するビッグデータマイニングが試みられている。これらに加えて本研究では、「富岳」はじめとするスーパーコンピュータを活用し、今後生じうる社会経済活動への影響を評価し、収束シナリオとその実現方法を探る。あわせてウイルスの変異などにより感染・発病の経過が変化した場合に起こりうる事象への対応を立案する。そのために、**感染シミュレーション・SNSテキストマイニング・企業活動シミュレーション**を、筑波大学・帝国データバンク・東京工業大学・東京都立駒込病院・兵庫県立大学・琉球大学・ロンドン大学・早稲田大学の研究者とともに進める。



## 期待される成果：

- 今後の感染、社会・企業活動、マクロ経済への影響を左右する行動・施策を探り、悪化を招く因子および改善に導く因子の候補を明らかとすることが期待される。
- 首都圏・関西圏など、地域ごとの感染・社会経済の状況を反映し、複合的な効果を考慮した施策の立案に助することが期待される。
- 今回の新型コロナウイルスの感染伝播に限らず、大規模な災害・事故とその影響の伝搬を制御し、被害を抑える施策にもつながる。

## 研究現況：

### (1) 感染シミュレーション

新型コロナウイルスの感染・発症の臨床データに基づくエージェントモデルを開発し、感染伝播の様子をシミュレートした。特に感染拡大を抑えるための感染クラスター発生の抑止に対して、コンタクトトレスアプリケーションの普及が有効であることを確認し、最適なパラメータを推定した。特に、

- a. 発症からアラート発報までが短いほど有効であることを確認した。
- b. アラートを出す対象接触者を6日以上さかのぼっても感染者の割合の最大値はほぼ変化がなかった。またアラートを受けた人を10日以上隔離しても感染者の割合の最大値はほぼ変化がなかった。
- c. 普及率の2乗に比例した効果が得られることを確認した。

※理化学研究所伊藤伸泰・吉岡直樹、ロンドン大学・遠藤晃、都立駒沢病院・黒川真理子が担当。

### (2) 経済シミュレーション

感染拡大・対策下での経済活動の変化・抑止による企業間取引・売り上げへの影響・被害を、企業間取引データおよびモデルを使って推定する方法の開発を進め、またマクロ経済への影響推定を進めている。

実際のサプライチェーンデータ上で、日々の企業の生産をシミュレーションするモデルを開発し、一部企業の影響がどのように全国の企業に広がるかを推計した。このモデルは東日本大震災の経済活動への影響を使って調整した。**活動自粛が全国で2カ月間の場合、最大で7.8%GDPを押し下げるとする結果を得た。**

※本節は兵庫県立大学井上寛康、早稲田大学戸堂康之、理化学研究所村瀬洋介が担当。

また帝国データバンク（TDB）景気DIを用いて直接被害額を推定し、高安研究室で開発したモデルを用いて直接被害から**全体の売上被害額・年間GDP被害額を売上で -10.0%、GDPで -10.7%と推定**した。現在、計算された売り上げ被害から倒産・連鎖倒産のシミュレーションを準備している。**倒産の効果を含めると売上・GDPの推定値は下振れする可能性がある。**

※本節は東京工業大学高安美佐子・尾崎順一、帝国データバンク北村慎也・後藤隼人・大里隆也。

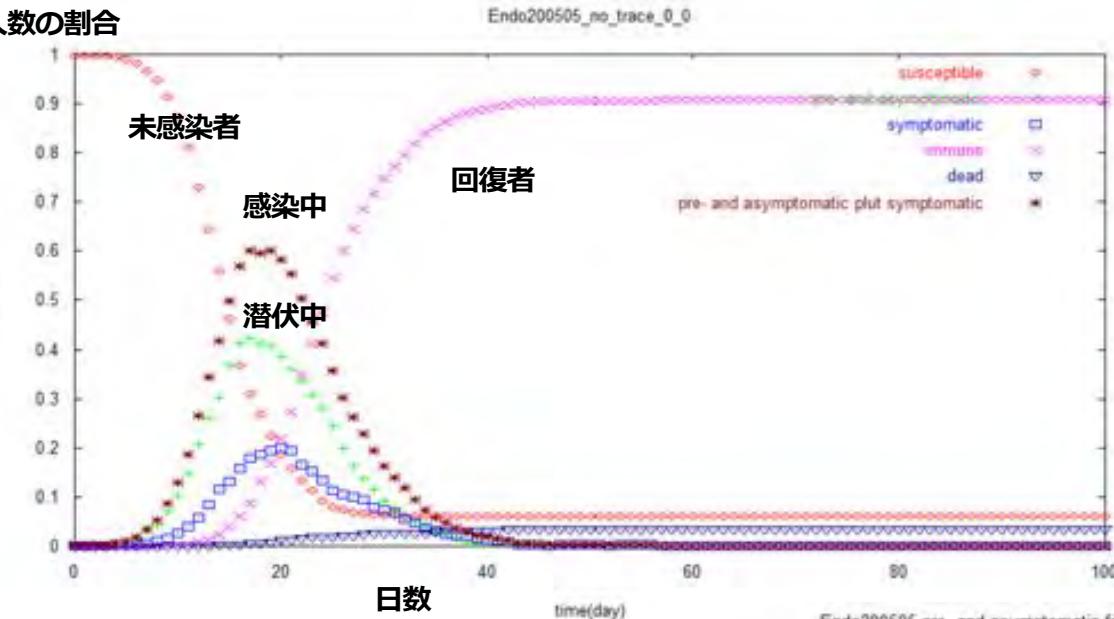
### (3) 社会センチメント分析

SNSテキストの分析により、新型コロナの感染状況下の人々がどのような思いをもち、どのような情報が広まっているのかを分析する手法の確立（社会センチメントの指標の開発）を目指している。今年の2月・3月のTwitterより感情をあらわす150語を含むすべてのツイート3,300万ツイートを用意し、解析を進めている。

※筑波大学佐野幸恵・琉球大学山田健太、東工大・高安美佐子、理化学研究所伊藤伸泰が担当。

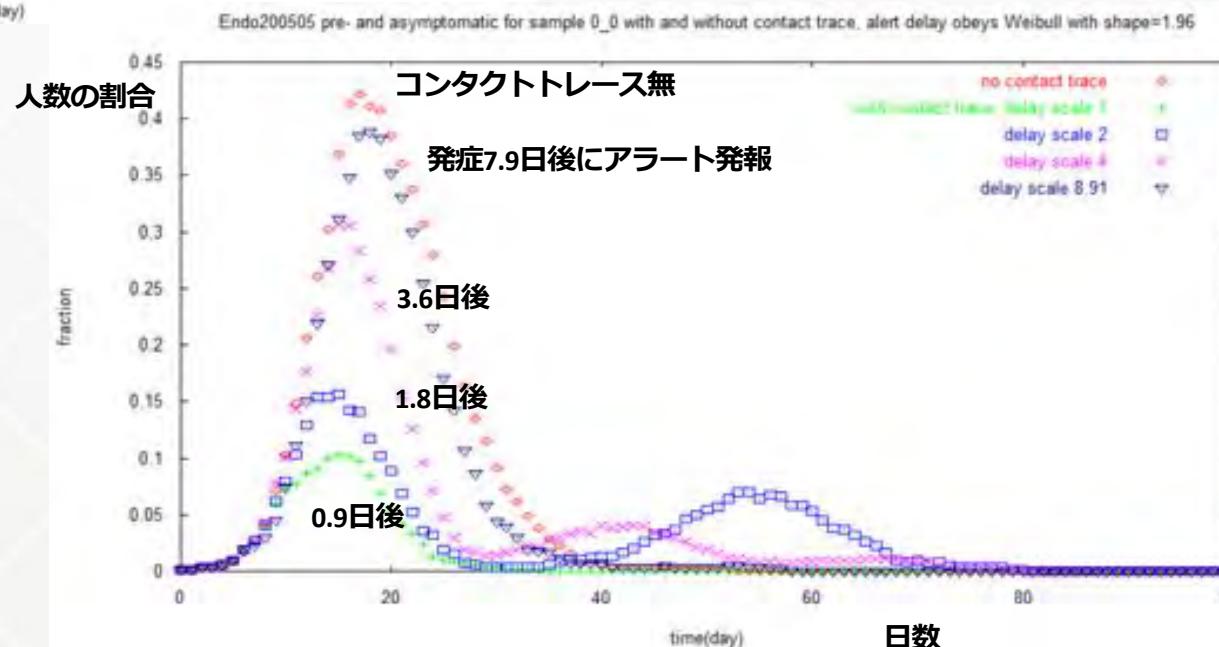
# コンタクトアラートアプリケーションの効果 集団内の感染クラスター発生とその抑止の1例

人数の割合



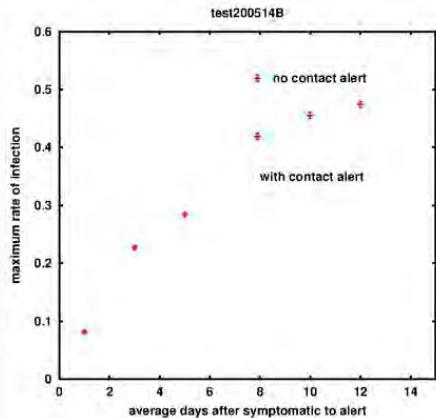
- ・コンタクトトレースアプリケーションによる感染リスクアラートにより、潜伏中の人数の割合が抑止される例。
- ・発症後、アラートを発報するまでの日数（発報遅れ）による感染ピークの様子を示す。
- ・発報から2週間以内に接触した人にアラートを送る。
- ・アラートを受けた人は、ほかの人との接触を14日間止める。
- ・いずれの場合も感染ピークの遞減の効果があることがわかる。

- ・1,000人の集団内で、1日に4回程度、発症していない人と濃厚接觸をする。
- ・0日目には感染した直後の1人と免疫のない未感染者999人とする。



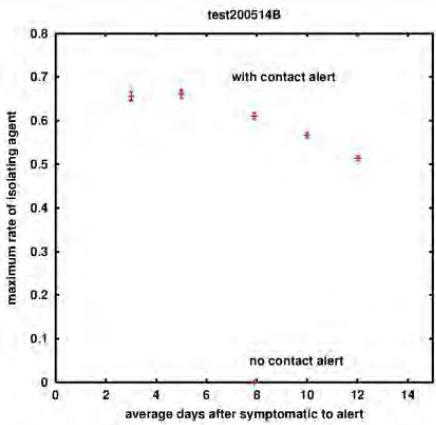
## 発症からアラート発報までの日数

感染者の割合の最大値



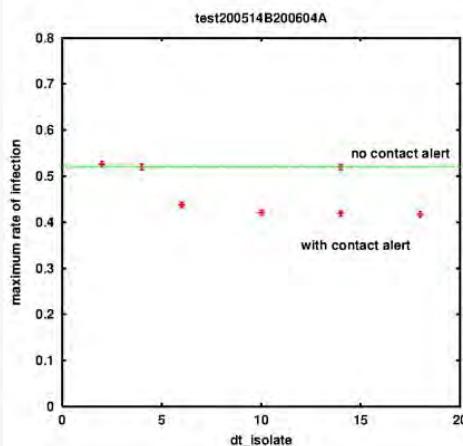
発症からアラート発報までの時間は短いほど良い。

隔離者の割合の最大値



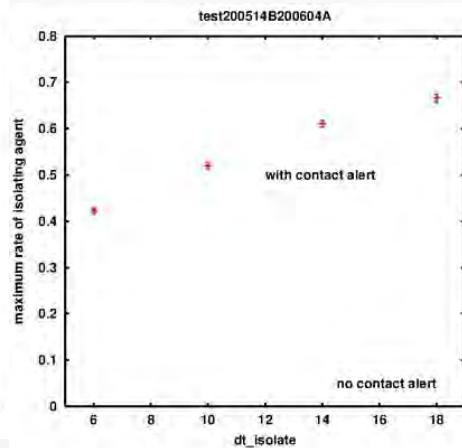
アラート受信後何日間隔離するか

感染者の割合の最大値



10日以上隔離しても感染者の最大値にはほぼ同じ効果

隔離者の割合の最大値

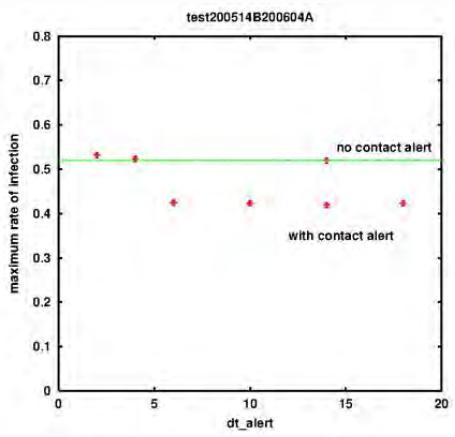


発症しない感染者の割合が増えると感染ピークは少し高くなる

## アラート発報対象日数

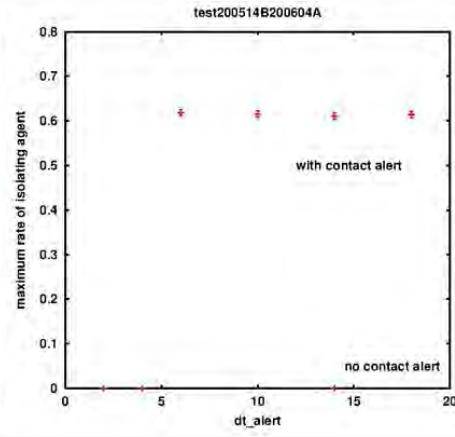
発報時点から何日までさかのぼるか

感染者の割合の最大値



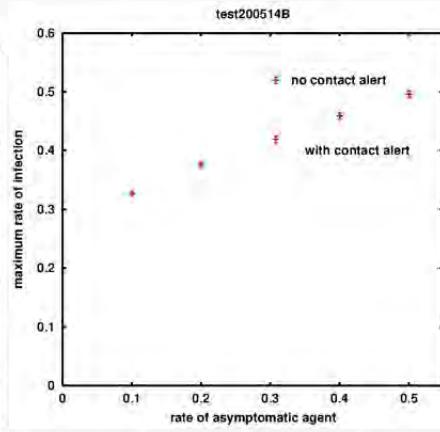
6日以上さかのぼってもほぼ同じ効果

隔離者の割合の最大値

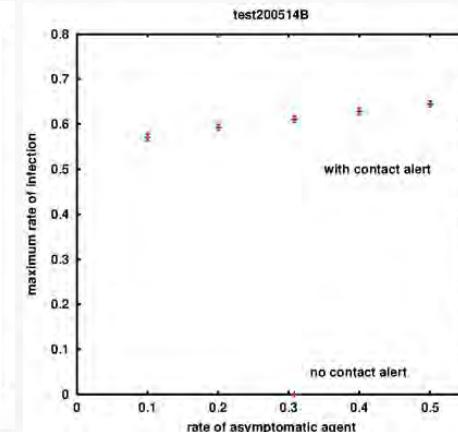


発症しない感染者の割合の影響

感染者の割合の最大値

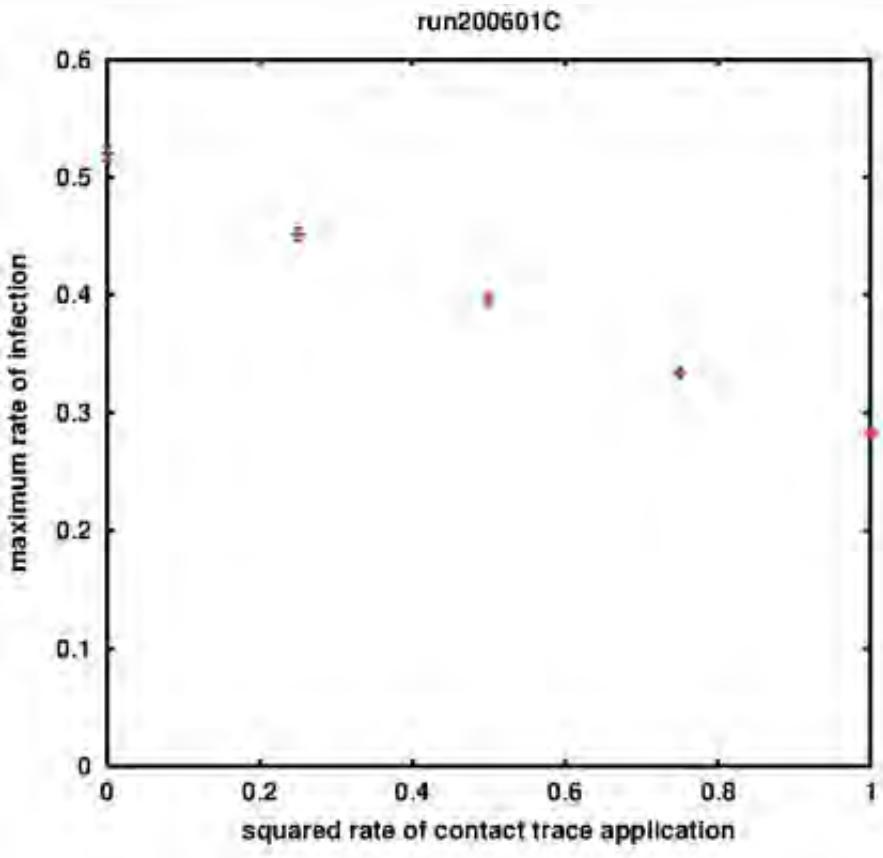


隔離者の割合の最大値



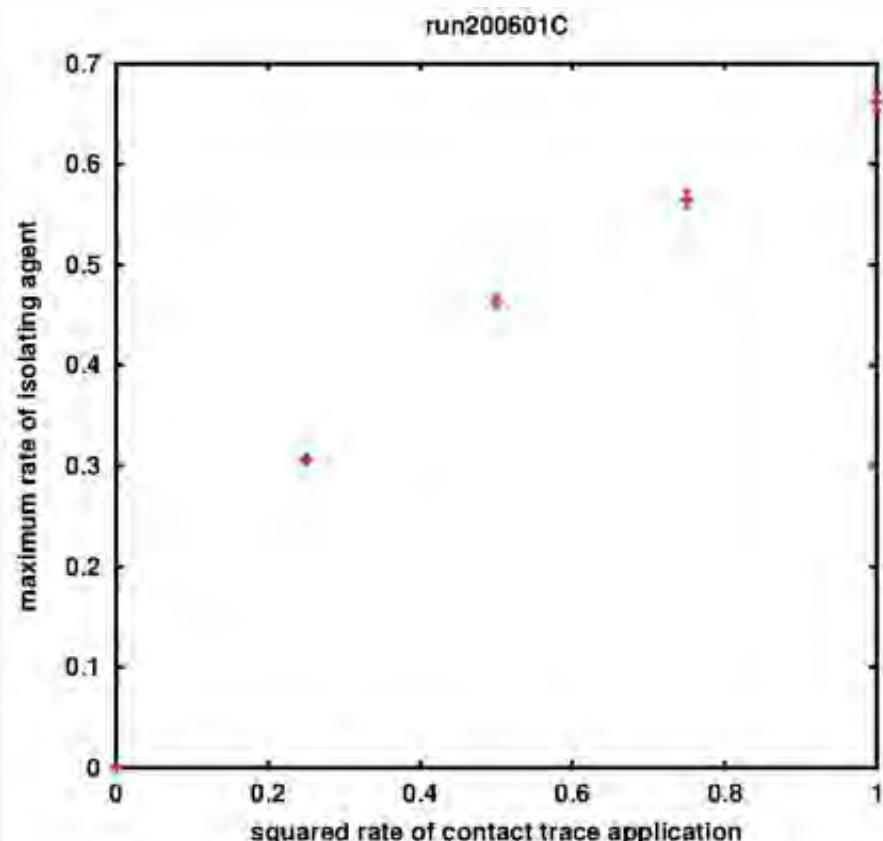
# コンタクトトレースアプリケーションの普及率

感染者の割合の最大値



コンタクトトレースアプリケーション  
の普及率の2乗

隔離者の割合の最大値



コンタクトトレースアプリケーション  
の普及率の2乗

コンタクトトレースアプリケーションの普及率の2乗に比例した効果が期待できる。

兵庫県立大学 井上寛康・理化学研究所 村瀬洋介・早稲田大学 戸堂康之

## 概要

- ・実際のサプライチェーンデータと東日本大震災の被害によって調整されたモデルとを用い、企業活動の時間的・地域的な低下を推計する。
- ・緊急事態宣言による事業自粛は日本経済全体にどのような影響を与えるか推計する。

具体的には、

- ・期間を変えるとどうなるか（2週間、1ヶ月、2ヶ月）
- ・地域（特定警戒都道府県・その他都道府県・あるいは東京だけ）を変えるとどうなるか
- ・自粛の強度・産業を選ぶ等を変えるとどうなるか

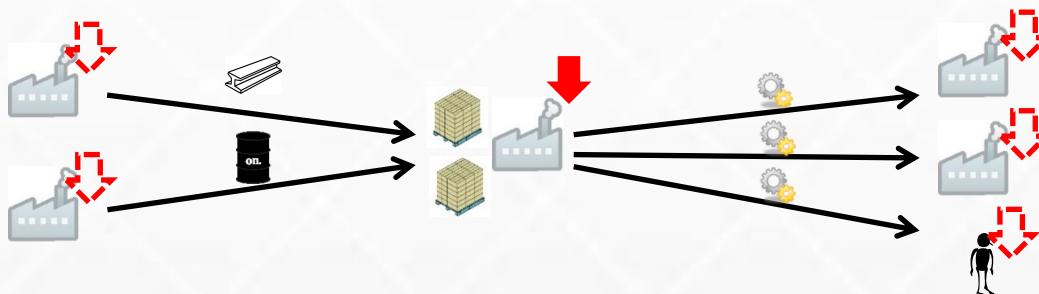
などを行っている。

# 用いたシミュレーションモデル

間接的影響  
(需要サイド)

自粛の直接の影響

間接的影響  
(供給サイド)

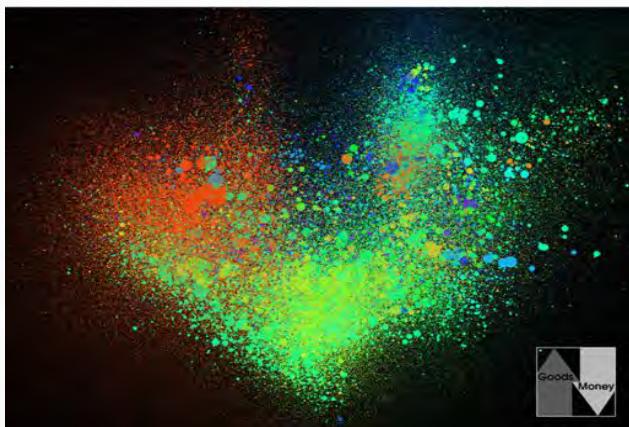


- 各企業は、発注・受注・生産・配送などを通じて日々サプライチェーン上で活動しているというモデルである
- 自粛により、一部企業が活動を低下させると、モノやサービスが下流企業に届かず、下流企業も活動が低下してしまう（供給サイドの間接的影響）
- 同様に、一部企業の活動低下は買い入れも減らし、上流企業への需要が低下してしまう（需要サイドの間接的影響）

# モデル – 東日本大震災の事例による調整

- ・モデルにはパラメータが存在するため、実際の企業活動に合わせる必要がある
- ・実際のサプライチェーンデータの上で、東日本大震災のシミュレーションを異なるパラメータで大量に行い、東日本大震災後の経済のふるまいに合うようにパラメータを探索した

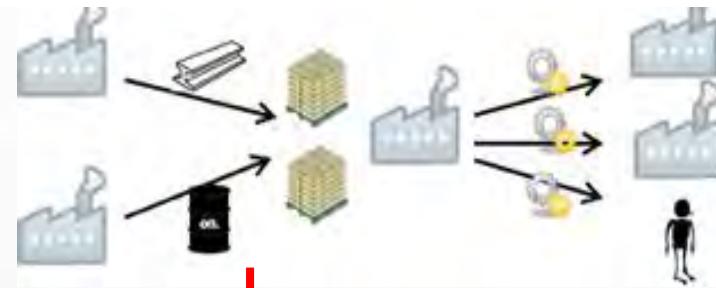
実際のサプライチェーン  
取引関係データ



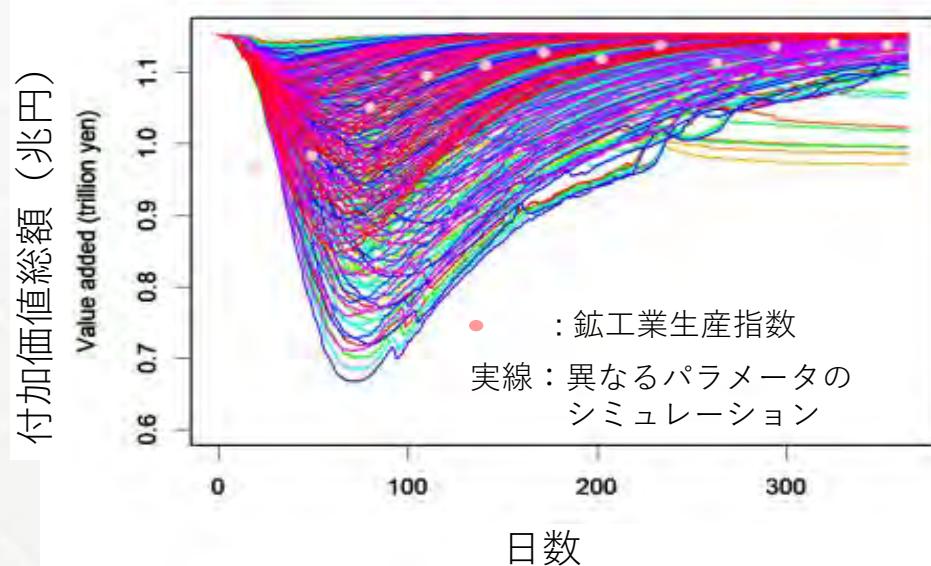
東日本大震災に  
による直接被害の  
データ  
(地震・津波)

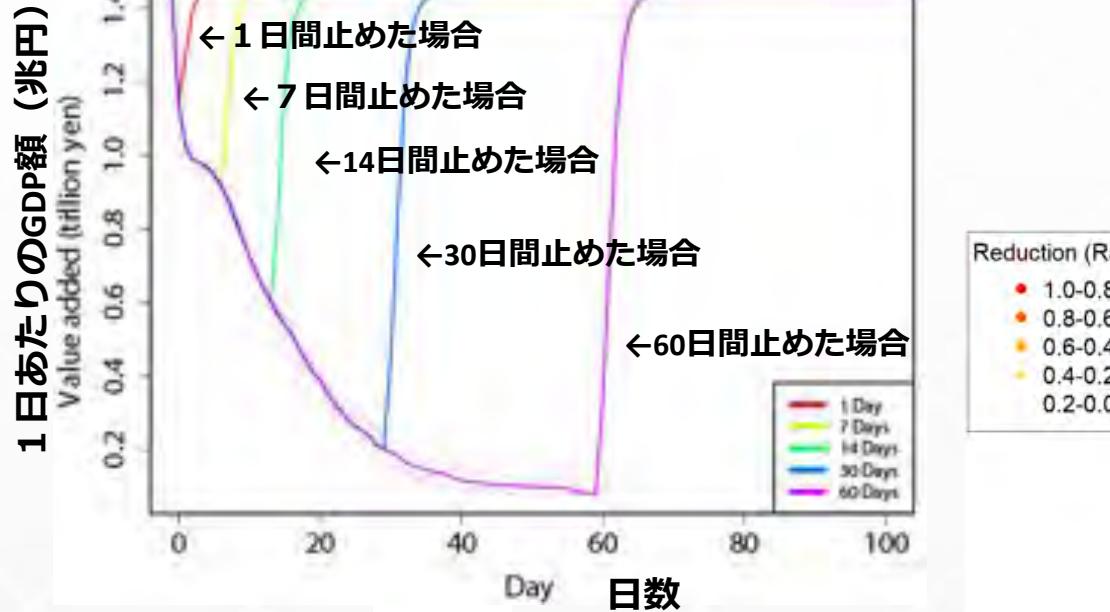


企業間取引関係のネットワークモデル  
モデル内のパラメータが未定



モデル内パラメータの調整



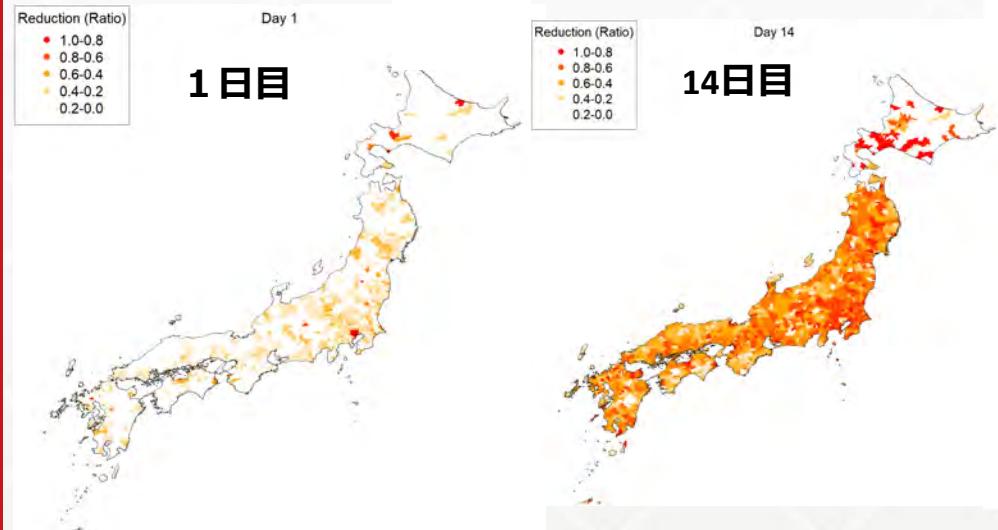


## 損害の伝搬の様子 (21日間)

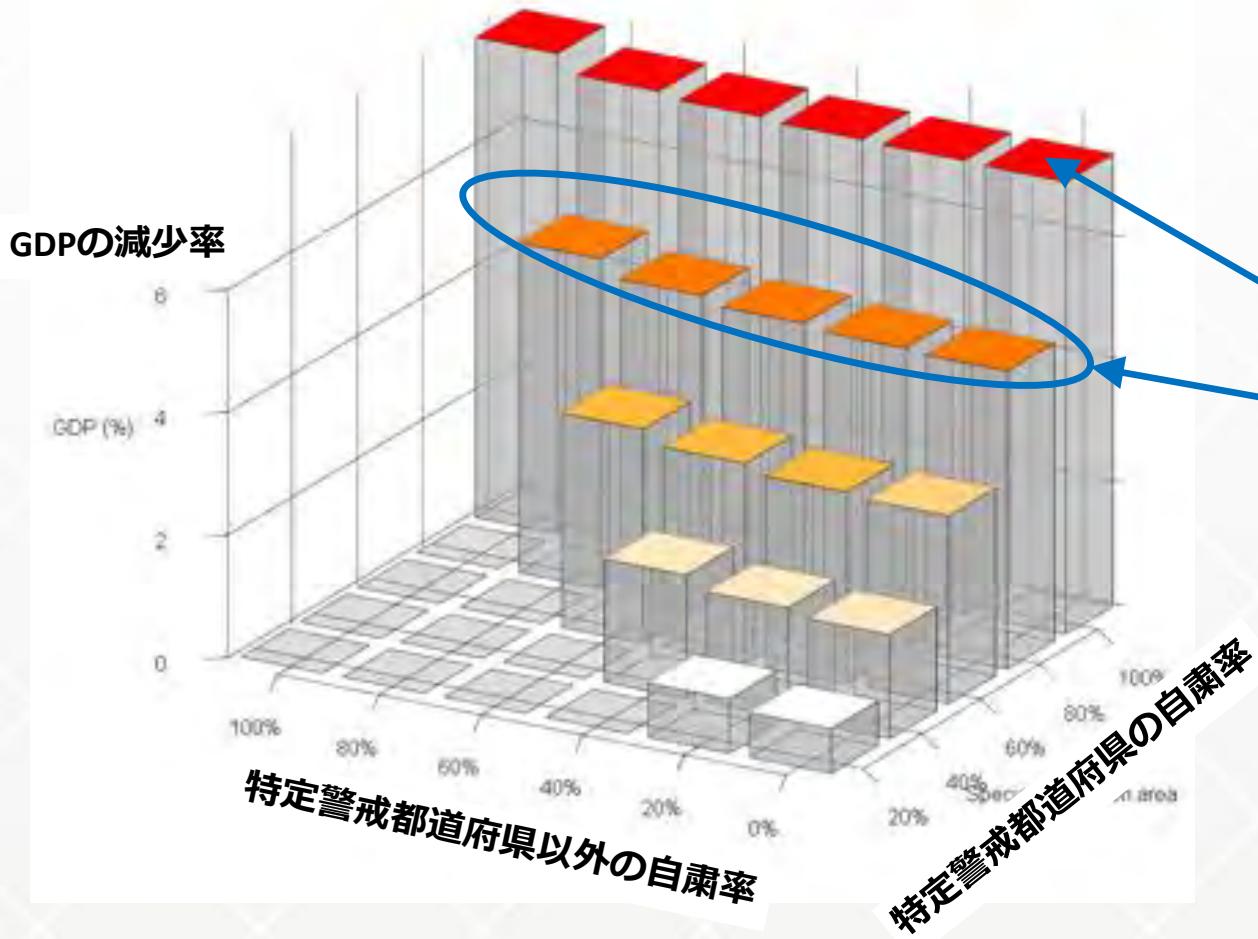
↓

Day -1

動画



注：サプライチェーンその他の状況が変化しないことを仮定している。また政府による経済政策等も考慮していない。したがって経済損失は強く推計される。



特定警戒都道府県に対する自粛の経済的影響はその他地域より圧倒的に大きい

例えば、その他地域を完全に解除する影響（特定100%・その他0%）より特定警戒都道府県の自粛の強さを20%下げるこのほうが経済的影響は小さくなる（特定80%の列）

すなわちその他地域の100%の自粛よりも特定地域の20%の自粛の方が影響は大きい

注：サプライチェーンその他の状況が変化しないことを仮定している。また政府による経済政策等も考慮していない。したがって経済損失は強く推計される。

- まず、今年5月のTDB景気DI（月次のアンケート）とリーマンショック時の売り上げ減少のデータから、業種ごとにCovid-19の直接被害額を推定。
- 次に、高安研開発の重力モデル（国内全企業100万社のサプライチェーンネットワークのお金の流れの効果）を用いて、日本全体への波及効果を計算し、年間の売上・GDPの前年比成長率を推定。

## 帝国データバンク先端データ解析共同研究講座 COVID19 報告



帝国データバンク社 TDB RESEARCH INSTITUTE

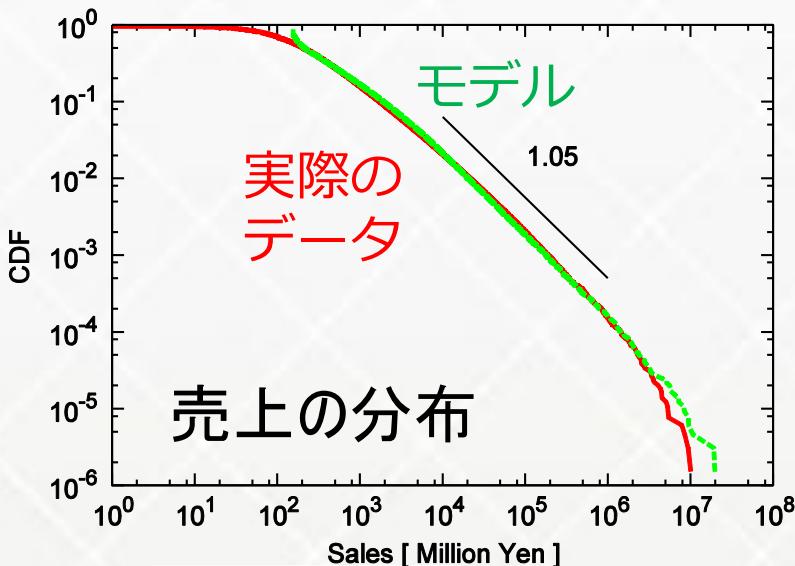
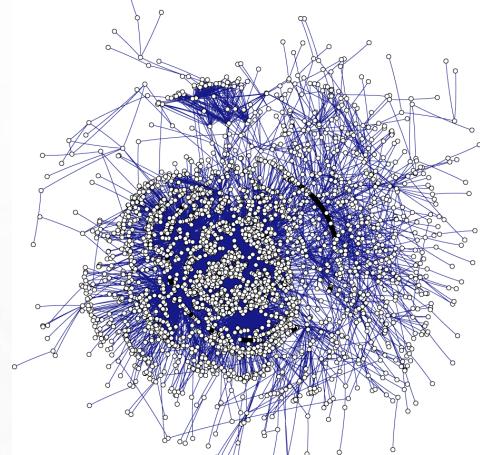
北村 慎也・後藤 隼人・大里 隆也

東京工業大学科学技術創成研究院 教授  
ビッグデータ数理科学研究ユニット リーダー  
帝国データバンク先端データ解析共同研究講座代表  
**高安 美佐子**

帝国データバンク先端データ解析共同研究講座特任教授  
**高安 秀樹**

ビッグデータ数理科学研究ユニット助教  
**尾崎 順一**

## 企業取引ネットワーク



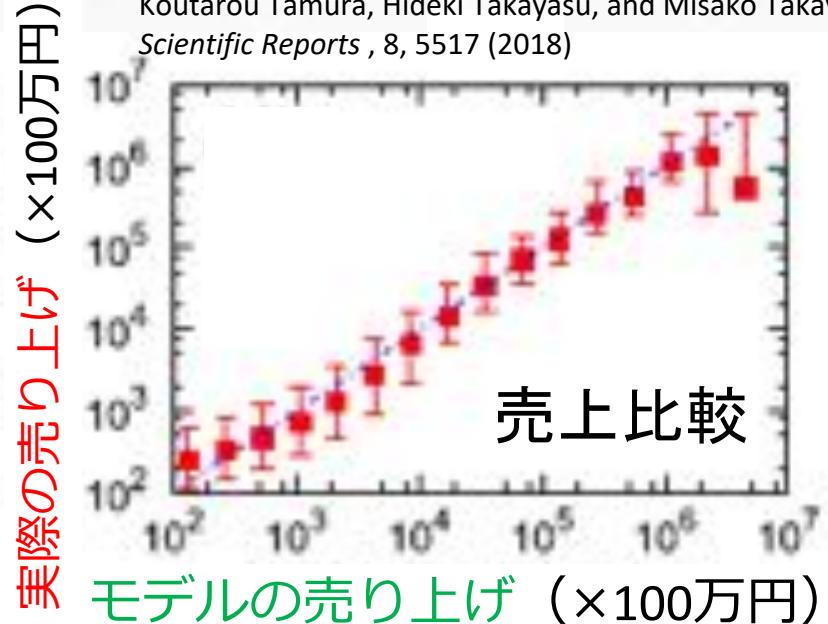
ネットワーク構造( $A_{ij}$ )を与えれば、売上( $S$ )や企業間取引額が推定できるモデル  
(地域経済分析システムRESASでも使用されている)

重力モデル: 約100万変数の非線型連立方程式

$$\frac{dS_M(t)}{dt} = \sum_{i=1}^N A_{iM} \frac{S_M^\beta(t)}{\sum_{j=1}^N A_{ij} S_j^\beta(t)} DS_i^\alpha(t) - (D + \nu) S_M^\alpha(t) + F_M$$

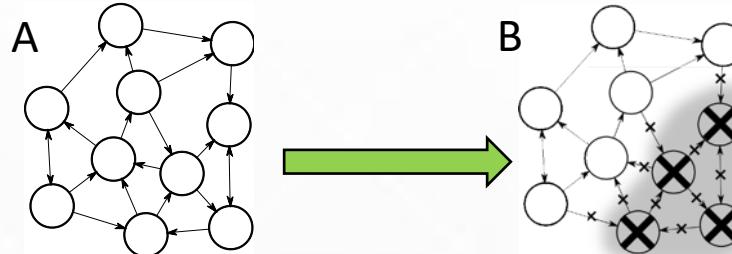
GIM-TDB方程式

Koutarou Tamura, Hideki Takayasu, and Misako Takayasu  
*Scientific Reports*, 8, 5517 (2018)

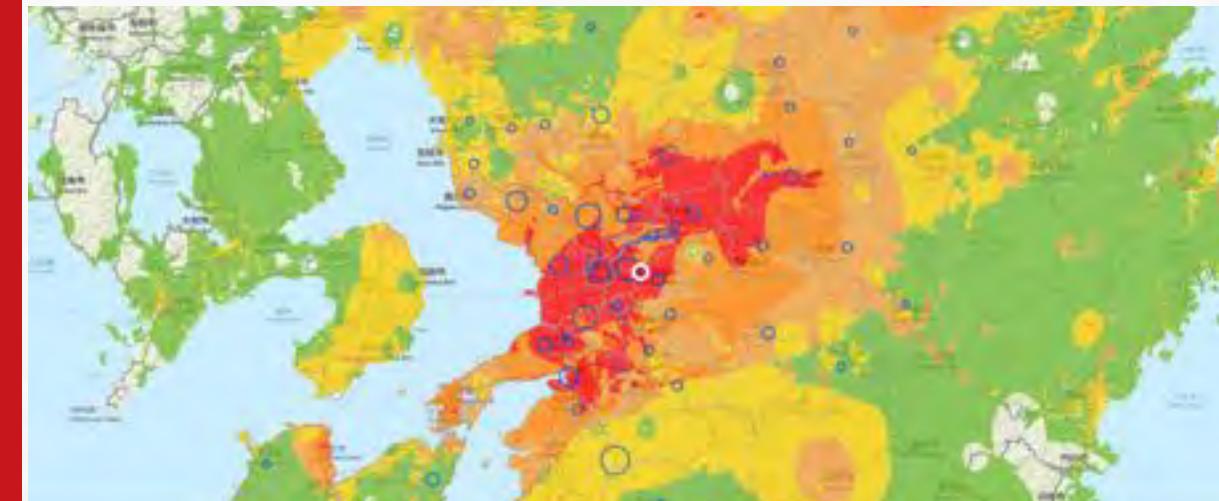


地震などの災害で、ある地域の企業活動が停止したと想定。被災した地域の企業のノードを除外したネットワークで全国の企業の売上を推定。サプライチェーンを通した日本全体の売り上げの減少額を見積もる。

- ✓ 企業の年間売上変化
- ✓ 企業間の取引額変化

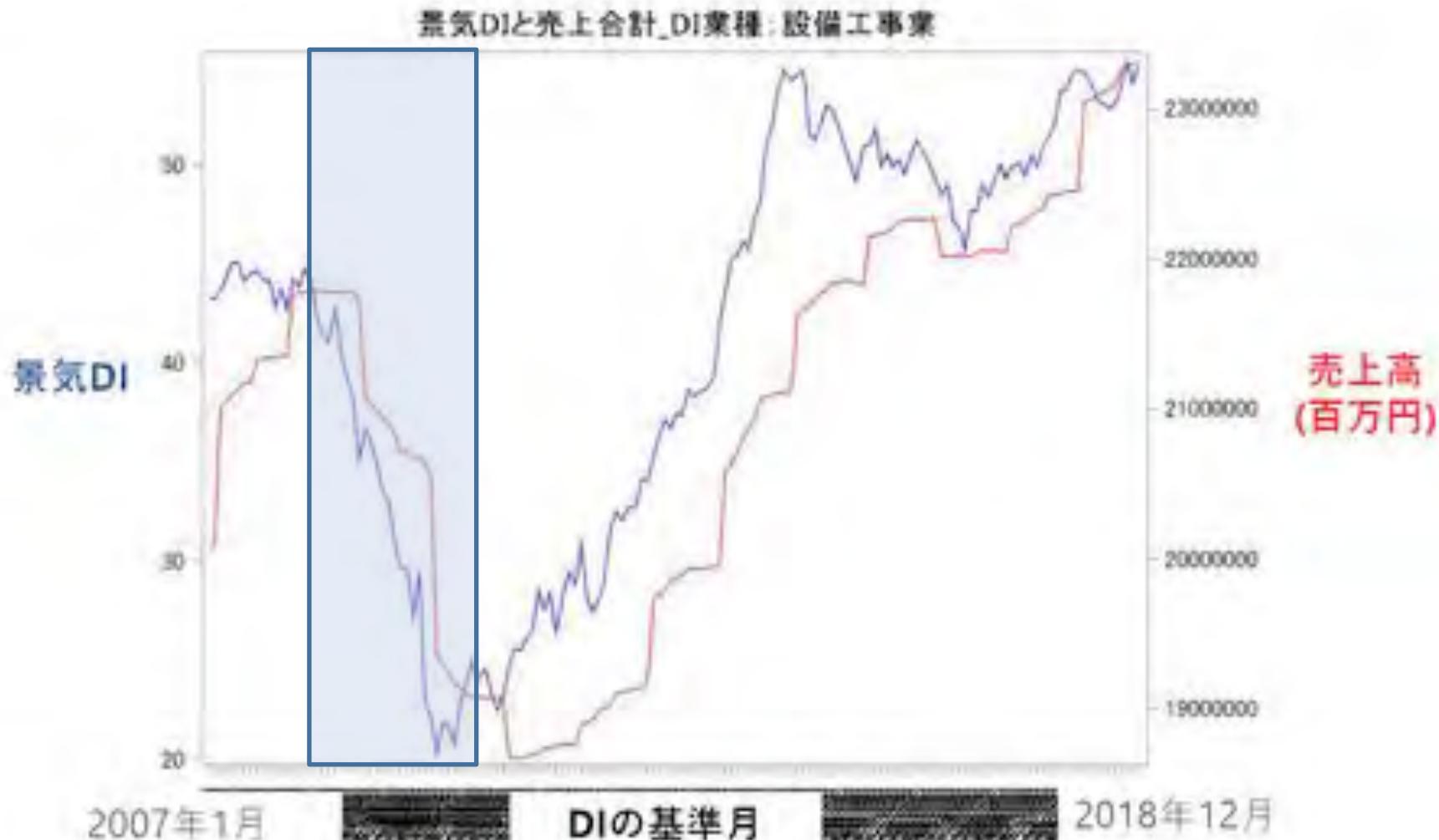


A : 元の企業間ネットワーク  
B : 一部のノードに被害がある場合の  
企業間ネットワーク



災害による企業ダメージが日本の経済全体に及ぼす影響、政策が企業間のお金の流れをどのように変えるか、など科学的に推定する。

景気DI：帝国データバンク社が毎月行っている景気動向調査から定義される景気指数（地域別、業種別に算出されている）



## [運動性のある業種]

2019年5月と2020年5月での景気DIと予想売上高の差分を推定変化率とする

- 人材派遣や輸送用機械など現状でも影響が出ている業種の売上高が減少している
- 建材や電気機械製造など、長期的な要因が多い業種は、減少幅が少ない

DI業種		売上高 変化率 201905	DI 201905	DI 202005	DI業種		売上高 変化率 201905	DI 201905	DI 202005
D53.25	鉄鋼・非鉄・軽金属製品卸売	-0.8%	43.4	23.2	D53.13	鉄鋼・非鉄・軽金属	-0.5%	45.5	23.8
D53.19	電気機械製造	-9.4%	44.7	27.8	D53.33	自動車・同部品小売	-6.6%	43.3	17.0
D53.52	その他サービス	-8.1%	50.2	21.2	D53.36	その他の中古	-9.6%	43.8	26.9
D53.09	建材・家具・家電・土石製品製造	-9.5%	45.7	29.2	D53.04	総合工事業	-9.3%	51.5	34.0
D53.06	不動産	-9.3%	48.7	21.9	D53.16	輸送用機械・器具製造	-8.2%	49.4	22.2
D53.53	その他	-9.0%	44.9	24.4	D53.26	機械・器具卸売	-8.7%	45.9	25.9
D53.07	飲食料品・調剤製造	-8.9%	42.2	24.8	D53.24	再生資源加工	-8.0%	41.0	19.7
D53.44	旅館	-9.5%	41.7	22.9	D53.17	精工器械・医療機械・器具製造	-8.7%	47.3	27.2
D53.41	リース・貿易	-8.9%	54.1	27.8	D53.45	メンテナンス・設備・修理	-8.7%	48.1	27.5
D53.10	パルプ・紙・紙加工品製造	-9.1%	45.7	24.0	D53.03	輸出工事業	-9.0%	52.8	32.6
D53.19	飲食料品卸売	-8.8%	41.1	21.3	D53.21	建材・家具・家電・土石製品卸売	-8.6%	45.8	27.9
D53.46	人材派遣・紹介	-8.0%	53.5	21.0	D53.05	設備工事業	-9.2%	54.3	35.0
D53.47	情報サービス	-8.7%	59.6	33.7	D53.49	専門サービス	-8.0%	51.5	31.4
D53.37	運輸・倉庫	-9.0%	48.2	22.4	D53.14	機械製造	-8.7%	49.0	25.3

注意：リーマンショック時の景気DIの下落と売り上げの減少の関係から  
1年間の売上減少を予測している、リーマンショックとは異なる反応を  
する業種に関しては、別途補正が必要となる。

# COVID19による被害の推定方法

全売上被害 = **景気DIによる推定被害**(企業数35%)

+ **重力モデルによる推定被害**(企業数65%)

**景気DIによる推定被害**: Covid-19による消費低下や供給不足による直接的な売上減少量が大きい業種が多い。

**重力モデルによる推定被害**: 企業間取引を介したサプライチェーンネットワークから伝搬して生じる売上減少（間接被害）。

※ 間接被害まで推定できるのが高安研のモデルのメリット。

**入力**：下記の業種の売上被害（**企業数35%**）

- 1) 5月の景気DIからリーマンショック時を参照に予測される売上が前年比10%以上下落した業種を抽出
- 2) リーマンショック時からの補正（コロナ禍特有の**緊急事態宣言効果**）として下記を導入した。**飲食店：5割減少<sup>1\*</sup>** **旅館・ホテル：8割減少<sup>1\*</sup>**

<sup>1\*</sup>ロイヤルホールディングス株式会社決算書の結果（4月分）を業種全体に外挿できることを仮定。

**出力**：1) 入力値を入れた業種に関しては、その値が出力値となる。

- 2) その他の業種に関しては、重力モデルを用いたCovid-19のサプライチェーン効果による各企業の間接売上被害（企業数65%を重力モデルで推定）

# 出力 (全売上被害)

## 売上前年比

- ① DIを用いた推定被害 (35%) : -5.6%
- ② 全売上被害 : -10.0%

## GDP前年比

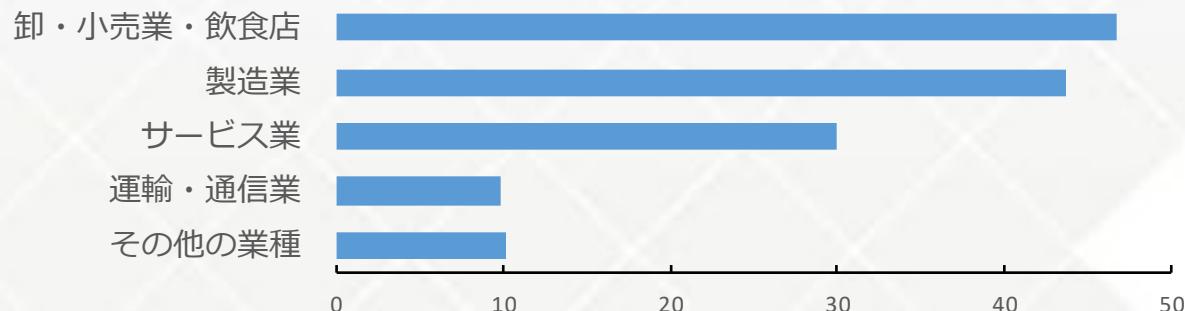
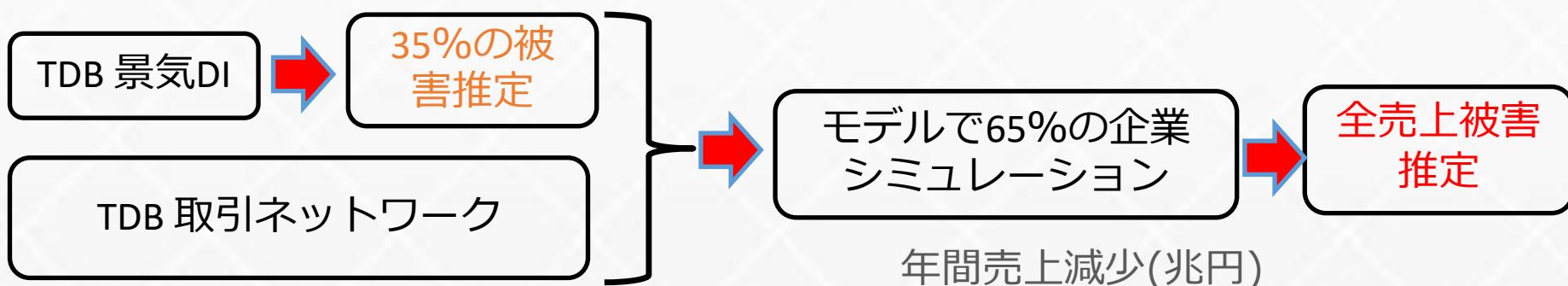
- ① DIを用いた推定被害 (35%) : -5.8%
- ② 全売上被害 : -10.7%

01_農業	0.953	33_鉄・非鉄金属製造	0.885	70_電気	0.906
05_農業サービス	0.981	34_金属製品製造	0.885	71_ガス	0.905
06_林業	0.981	35_一般機械器具製造	0.868	72_水道	0.988
08_漁業	0.944	36_電気機械器具製造	0.905	73_熱供給	0.926
09_水産養殖	0.962	37_輸送機械製造	0.826	74_物品賃貸	0.886
10_金属鉱業	0.885	38_精密・医療機械製造	0.873	75_旅館・ホテル	0.200
11_石炭・亜炭鉱業	0.885	39_その他製造	0.915	76_家事サービス	0.806
12_原油天然ガス鉱業	0.885	40_卸売（1）	0.908	77_洗濯・理容・浴場	0.806
13_非金属鉱業	0.885	41_卸売（2）	0.938	78_他の個人サービス	0.806
15_職別工事	0.968	42_代理商, 仲立業	0.917	79_映画・ビデオ制作	0.774
16_総合工事	0.956	43_各種商品小売	0.915	80_娯楽	0.774
17_設備工事	0.938	44_織物・衣服小売	0.841	81_放送	0.869
19_武器製造	0.898	45_飲食料品小売	0.955	82_自動車整備駐車場	0.855
20_飲食料品・飼料製造	0.888	46_飲食店	0.500	83_その他の修理	0.871
21_たばこ製造	0.898	47_自動車自転車小売	0.811	84_協同組合	0.929
22_繊維工業	0.877	48_家具・什器等小売	0.899	85_広告、情報サービス	0.853
23_繊維製品製造	0.877	49_その他の小売	0.928	86_他の事業サービス	0.818
24_木材・木製品製造	0.959	59_不動産	0.956	87_専門サービス	0.934
25_家具・装備品製造	0.948	61_鉄道	0.896	88_医療	0.996
26_パルプ・紙製造	0.914	62_道路旅客運送	0.896	89_保健衛生廃棄物処理	0.952
27_出版・印刷業	0.878	63_道路貨物運送	0.896	90_宗教	0.994
28_化学工業	0.938	64_水運	0.896	91_教育	0.863
29_石油石炭製品製造	0.907	65_航空運輸	0.896	92_社会保険・福祉	0.995
30_ゴム製品製造	0.899	66_倉庫	0.896	93_学術研究機関	0.942
31_皮革・同製品製造	0.882	67_運輸サービス	0.896	94_政・経・文化団体	0.976
32_窯業・土石製品製造	0.945	68_郵便・電気通信	0.881	95_その他のサービス	0.939
				96_外国公務	1.000

しわ寄せのいく  
業種・地域を網  
羅可能

# まとめ

1. Covid-19の経済への影響を推定するにあたり、TDB景気DIを用いて35%の企業の売上被害額を推定した。
2. 高安研開発の重力モデルを用いて、残りの65%の企業の売上被害額を推定し、あわせて年間GDP成長率を推定した。（売上: -10.0%、GDP: -10.7%）
3. 重力モデルを用いた倒産・連鎖倒産モデルを構築中であり、計算された売り上げ被害から倒産・連鎖倒産の計算が実行可能になる。倒産・事業縮小の効果によって、売上・GDP被害がより大きくなる可能性がある。景気DIから見積もった売り上げ被害推定は、5月の直接被害が今後一年間続くと仮定して計算しているが、状況が改善されれば、被害は小さくなる。



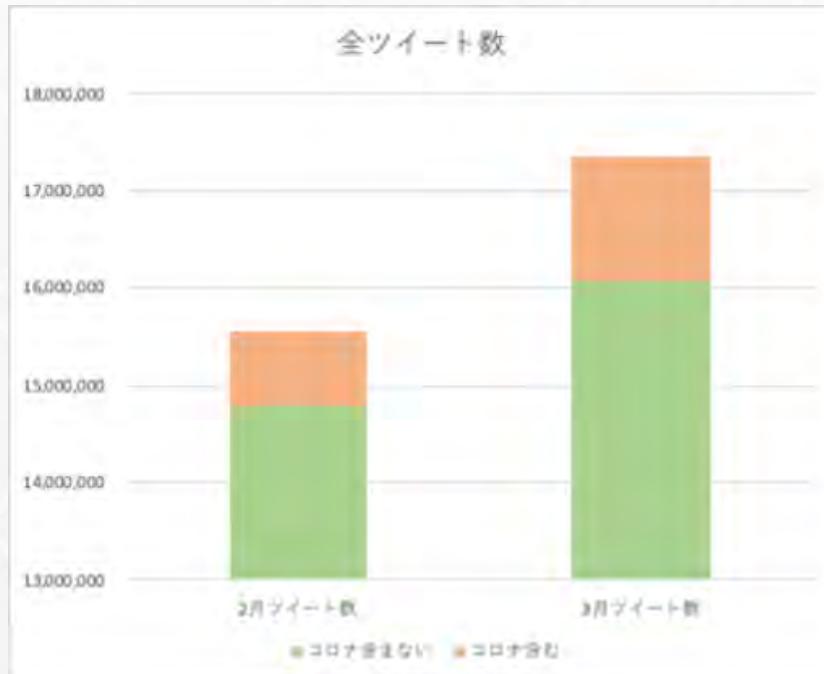
筑波大学 佐野幸恵・琉球大学 山田健太・東京工業大学 高安美佐子・理化学研究所 伊藤伸泰

## 概要

- SNSデータを用い、日本国内でどのような感情が相対的に増減したのかを推計し、数値化する。
- 具体的には、公開された日本語のTwitterへの書き込みを用いて、
  - ・ 緊急事態宣言によって、緊張感はどの程度増えたのか、また持続したのか？
  - ・ 連休や天候の影響によって、緊張感の緩みはあったのか？
  - ・ 著名人のCOVID-19病死による影響は？
  - ・ 在宅勤務の影響は？
- などを数値化する指標の開発を目指す。
- 書き込みの詳細や、書き込んだ人の属性には立ち入らず、大雑把にキーワードをもとに変化を追うことで、社会全体の緊張感や疲労感を数値化することを目的とする。

# 対象とするSNSデータ

- 公開されているTwitterへの書き込み
  - 日本国内で4500万ユーザがいるといわれている
- 入手ツイート数: 約3,300万ツイート(1日あたり50万ツイート程度, おそらく国内全体の2%程度)
  - うちRTは44%
  - 「コロナ」を含むのは数%



# 感情に関連するツイート

- **Profile of Mood States (POMS)という心理学手法に基づく**
- 以下の6感情で「緊張」や「疲れ」を含む
- これらの感情に関連するキーワードを含むツイートをカウント
- ブログの感情分析で構築した辞書を再利用

感情	<i>Anger</i>	<i>Confusion</i>	<i>Depression</i>	<i>Fatigue</i>	<i>Tension</i>	<i>Vigor</i>
	怒り	混乱	抑うつ	疲れ	緊張	活気
単語例	怒る	グダグダ	孤独	ぐったり	ソワソワ	活発
	ケンカ	啞然	不安だ	だるい	懸念	元気いっぱい
	イライラする	まとまらない	悲しく	疲れた。	落ち着かない	陽気な
	反抗	混同	憂鬱	うんざり	緊張する	生き生き
単語数	25	35	25	22	21	20

See details at *PLoS ONE* 14(3): e0213843 (2019).