

京都大学教育研究振興財団助成事業 成 果 報 告 書

2021年 5月 5日

公益財団法人京都大学教育研究振興財団
会 長 藤 洋 作 様

所 属 部 局 京都大学・大学院総合生存学館

職 名 教授

氏 名 池田 裕一

助 成 の 種 類	令和 2 年度 ・ 研究活動推進助成			
申請時の科研費 研究 課 題 名	モデル援用データ科学が解き明かすグローバル化世界の分断構造			
上記以外で助成金 を 充 当 した 研 究 内 容	なし			
助成金充当に関 わる共同研究者	(所属・職名・氏名) なし			
発表学会文献等	(この研究成果を発表した学会・文献等) なし			
成 果 の 概 要	研究内容・研究成果・今後の見通しなどについて、簡略に、A4版・和文で作成し、添付して下さい。(タイトルは「成果の概要／報告者名」)			
会 計 報 告	交付を受けた助成金額	1,000,000	円	
	使用した助成金額	1,000,000	円	
	返納すべき助成金額	0	円	
	助成金の使途内訳	費 目	金 額	
		IATA航空旅客データ	1,000,000	

当財団の助成に つ い て	<p>(今回の助成に対する感想、今後の助成に望むこと等お書き下さい。助成事業の参考にさせていただきます。)</p> <p>2018年7月から2020年6月の2年間の航空旅客データの購入のために、本助成金100万円を充てた。京都大学教育研究振興財団に感謝申し上げます。データ購入は2020年9月末、データダウンロードとその確認作業は2021年1月末に完了した。データ解析は2021年3月に開始し、4月末時点の現状を報告した。</p>			

成果の概要

京都大学・大学院総合生存学館・教授 池田裕一

新型コロナウイルス感染症の世界的流行では、その初期段階で航空機による旅客移動が主要な役割を果たしたと考えられている。本研究では、国際航空運送協会（IATA）がまとめた出発地-目的地ごとの航空旅客データ Monthly Statistics Historical Data のネットワーク解析を行い、航空旅客と感染症患者発生との関係性の解明に取り組んでいる。2018年7月から2020年6月の2年間の航空旅客データの購入のために、本助成金100万円を充てた。京都大学教育研究振興財団に感謝申し上げる。2020年1月から2021年4月までの感染症患者発生数は、Johns Hopkins大学のCenter for Systems Science and Engineeringの公表データを使用した[1]。以下に、ネットワーク科学の方法によるデータ解析の現状、および今後の予定を説明する。

Monthly Statistics Historical Data は出発空港-目的空港ごとの航空旅客データであるが、このデータを月次で出発国-目的国ごとに集計して有向重み付きネットワークを構築した。図1に2019年6月の航空旅客ネットワーク、図2に2020年6月航空旅客ネットワークの入次数と出次数の分布とコミュニティ構造を示す。入次数分布 (a) は各国を目的地とする国の数の累積分布、出次数分布 (b) は各国から出発する国の数の累積分布である。国の総数は約220であるので、国の総数に等しかった2019年6月の最大次数は、1年後の2020年6月には150まで減少した。コミュニティとは、ネットワークにおいて密に結合する部分構造を意味する。2019年6月のコミュニティ構造 (c) は大きく4地域に分かれていたが、2020年6月には各コミュニティのサイズは縮小して小さいコミュニティに分割された。さらに、この2年間における航空旅客ネットワークの特徴量の月次推移を図3に示す。(a) から (g) の各パネルは、ノード数、リンク数、平均経路長、クラスター係数、次数相関、1次元ベッチ数、モジュラリティである。(a) は最大連結成分のノード数であり、2020年1月から縮小している。(b) のリンク数も同様の傾向を示している。(c) と (d) から、平均経路長が小さくクラスター係数が大きいスモールワールド性を有することが分かるが、2020年1月以降はその性質が弱くなっている。次数相関 (e) は負の値を示しており、航空移動ネットワークがパブ&スポーク構造を持つことに対応する。1次元ベッチ数 (f) は全体の連結性を失うのに必要なリンクの除去数であるが、2020年1月に半減していることが分かる。モジュラリティ (g) は0.35以上の値であるので、得られたコミュニティ構造は有意であるといえることができる。このように、図1～3の結果から、2020年初頭の感染症の世界的流行によって、航空旅客ネットワーク構造が大きく変化したことが分かる。

航空旅客ネットワークにおいて、アメリカ大陸、欧州、東アジア、西アジアの4つの地域に属する国が同じコミュニティに分類され、その分類が安定的であることを、表1から確認できる。ここで、アメリカ大陸では米国・カナダ・ブラジル・メキシコ、欧州では英国・ド

イット・フランス・イタリア・ロシア，東アジアでは日本・インドネシア・中国・韓国・フィリピン，西アジアではインド・イラン・イラク・パキスタン・トルコを4つの地域に属する代表的な国とした。表1の数字は当該年月におけるコミュニティの番号であり，各地域に属する国が同じ番号であればコミュニティは地域で分割されていることを意味する。トルコは西アジアに位置するが，航空旅客ネットワークでは欧州に近いことが分かる。2020年5月の時点において，図3に示す航空旅客ネットワークの特徴量には変化がみられるが，表1に示すコミュニティ構造が大きく変化していないことは注目に値する。

次に，感染症患者発生と航空旅客ネットワーク構造の関係性を検討する。4つの地域での感染症患者発生数の月次推移を，図4に示す。欧州(b)では，各国の感染症患者発生の様子がよく似ていることが分かる。また，東アジア(c)では，感染症の世界的流行が2020年2月に中国から始まったことを明確に読み取ることができる。いずれの地域においても，航空機による国際的な旅客移動が制限された後でも，半年以下の周期で感染症患者発生の流行を繰り返している。これは，非線形物理学で知られる「モード間の再帰現象」として解釈できる可能性があり，「非線形相互作用」の存在を示唆している。さらに，表2に，感染症患者発生数のコミュニティ間の相関係数を示す。この表から，感染症患者発生数の相関係数は，コミュニティ内で大きく，異なるコミュニティ間では小さいことが分かる。従って，航空機による旅客移動が，新型コロナウイルス感染症の世界的流行の主要な要因の一つであることが明確となった。これらの結果から，経済システムにおけるショック伝播モデル[2]を感染症流行に適用することが妥当であると期待できる。このモデルでは，感染症患者の発生は，コミュニティ内では「非線形の直接相互作用」により伝播する。このとき，異なるコミュニティからの影響は「外場」として取り扱うことができる。

今後，経済システムにおけるショック伝播モデル[2]をもとに，世界における新型コロナウイルス感染症の伝播モデルを開発して，感染症流行のシミュレーションを実施する。このモデルによれば，欧州における感染症が中国からの旅客移動によって始まった可能性について，モデルパラメータの推定によって検証することができる。また，このモデルを用いて，他国からの影響や自国内での影響の伝播，感染症患者発生の流行について，その特性を定量的に理解できるようになると期待できる。得られた研究成果は，学術論文誌に査読付き論文として投稿するとともに，学館HPなどで公開していく。これによって，グローバル化の結果として生じた世界の分断が与える経済・社会へのインパクトを広く世に問う考えである。

[1] C. Appel, D. Beltekian, D. Gavrillov, C. Giattino, J. Hasell, B. Macdonald, E. Mathieu, E. Ortiz-Ospina, H. Ritchie, L. Rodés-Guirao, M. Roser, "Our World in Data COVID-19 dataset", <https://github.com/owid/covid-19-data/tree/master/public/data>

[2] Y. Ikeda and H. Yoshikawa, "Macroprudential Modeling Based on Spin Dynamics in a Supply Chain Network", RIETI Discussion Paper Series 18-E-045, 1-25 (2018)

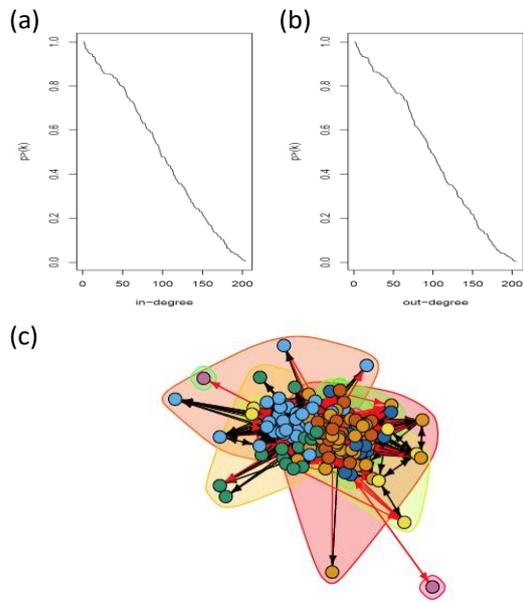


図1 2019年6月航空旅客ネットワーク

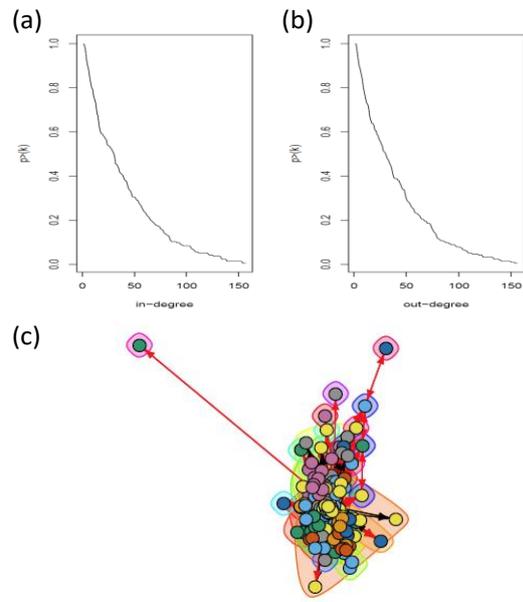


図2 2020年6月航空旅客ネットワーク

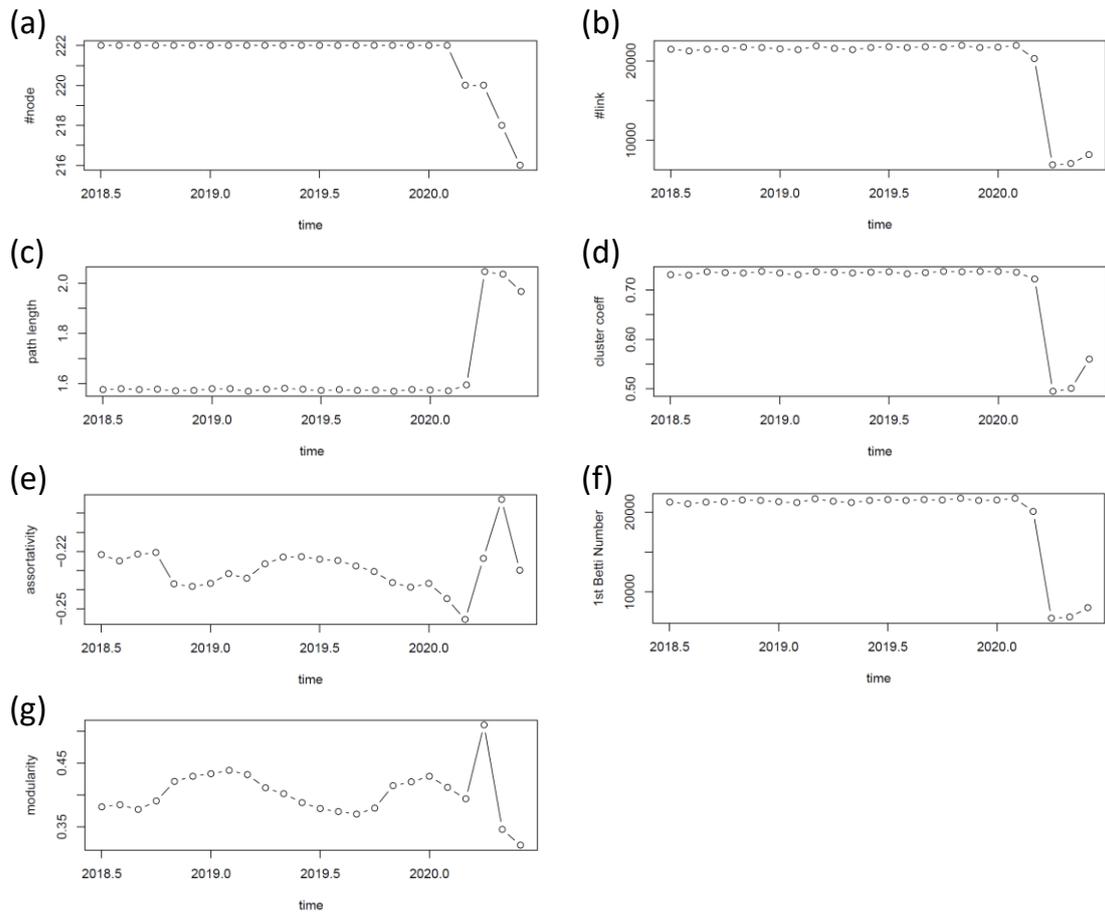


図3 航空旅客ネットワークの特徴量の月次推移

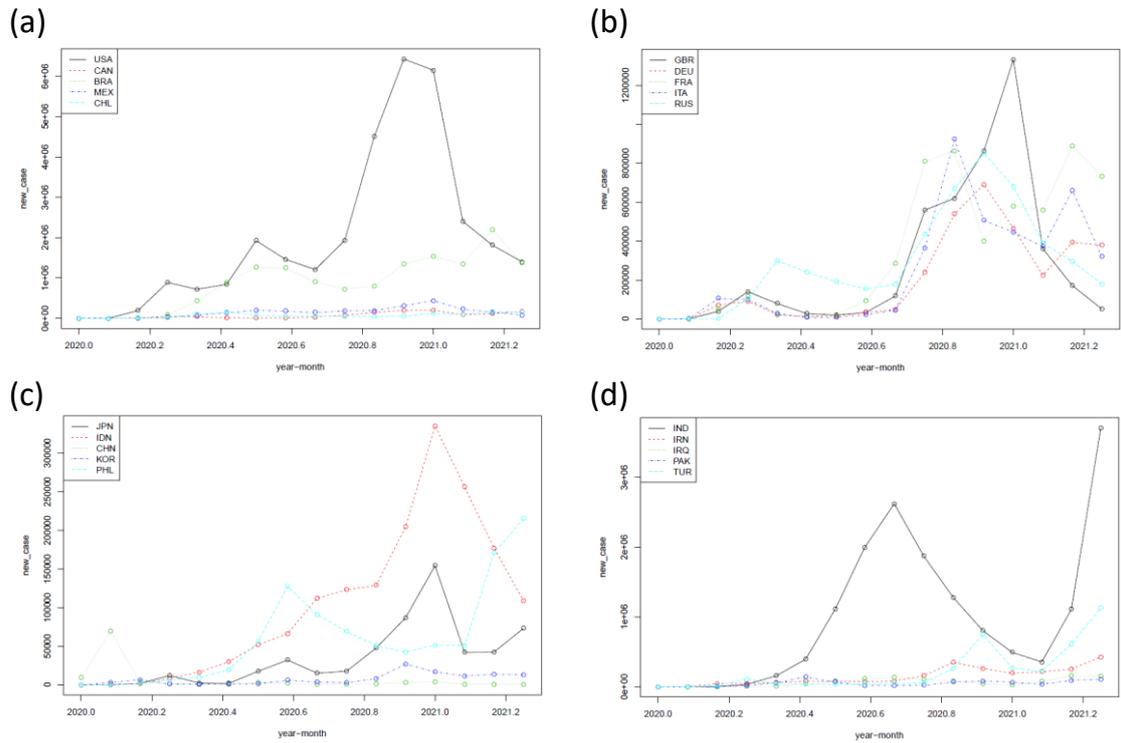


図4 4つの地域での感染症患者発生数の月次推移

表1 4つの地域でのコミュニティ構造の安定性

	USA	CAN	BRA	MEX	CHL	GBR	DEU	FRA	ITA	RUS	JPN	IDN	CHN	KOR	PHL	IND	IRN	IRQ	PAK	TUR
Jul-18	6	6	6	6	6	5	5	5	5	5	2	2	2	2	2	7	5	5	7	5
Aug-18	7	7	7	7	7	6	6	6	6	6	1	1	1	1	1	3	3	3	3	6
Sep-18	6	6	6	6	6	7	7	7	7	7	4	4	4	4	4	5	5	5	5	7
Oct-18	8	8	8	8	8	4	4	4	4	4	6	6	6	6	6	2	2	2	2	4
Nov-18	8	8	8	8	8	3	3	3	3	3	1	1	1	1	1	9	9	9	9	3
Dec-18	3	3	3	3	3	6	6	6	6	6	5	4	4	4	4	5	5	5	5	6
Jan-19	3	3	3	3	3	6	6	6	6	6	1	2	2	2	2	1	1	1	1	1
Feb-19	6	6	6	6	6	8	8	8	8	8	7	3	3	3	3	7	7	7	7	8
Mar-19	7	7	7	7	7	4	4	4	4	4	8	1	1	1	1	8	8	8	8	4
Apr-19	5	5	5	5	5	6	6	6	6	6	3	3	3	3	3	7	7	7	7	6
May-19	3	3	3	3	3	7	7	7	7	7	6	6	6	6	6	2	2	2	2	7
Jun-19	2	2	2	2	2	6	6	6	6	6	3	3	3	3	3	1	1	1	1	6
Jul-19	5	5	5	5	5	6	6	6	6	6	2	2	2	2	2	3	6	6	3	6
Aug-19	3	3	3	3	3	6	6	6	6	6	2	2	2	2	2	4	6	6	4	6
Sep-19	6	6	6	6	6	7	7	7	7	7	3	3	3	3	3	1	1	1	1	7
Oct-19	1	1	1	1	1	7	7	7	7	7	9	9	9	9	9	8	8	8	8	7
Nov-19	1	1	1	1	1	6	6	6	6	6	3	3	3	3	3	7	7	7	7	6
Dec-19	5	5	5	5	5	4	4	4	4	4	3	3	3	3	3	8	8	8	8	4
Jan-20	7	7	7	7	7	4	4	4	4	4	5	6	6	6	6	5	5	5	5	4
Feb-20	7	7	7	7	7	4	4	4	4	4	6	2	2	2	2	6	6	6	6	4
Mar-20	5	5	5	5	5	6	6	6	6	6	2	1	1	1	1	2	2	2	2	6
Apr-20	5	5	5	5	5	4	4	4	4	4	13	1	1	1	1	6	6	6	6	6
May-20	7	7	7	7	7	4	19	19	7	19	13	3	3	3	3	5	5	5	5	19

表2 感染症患者発生数のコミュニティ間相関係数

	america	europa	east_asia	west_asia
america	0.47	0.28	0.23	-0.05
europa	0.28	0.50	0.08	-0.01
east_asia	0.23	0.08	0.25	-0.03
west_asia	-0.05	-0.01	-0.03	0.35