

修士論文

格安航空路線の参入による欧米の航空網の頑健性に与える影響

山崎健太

主指導教員 林幸雄

北陸先端科学技術大学院大学
先端科学技術研究科
修士

令和2年3月

Abstract

A network is a component connected by dots and lines. For example, in the real world, networks such as power transmission networks, human relations, company capital relations, electricity, gas and water supply. Others, such as roads, railroads, and aviation, play important roles in social functions. If these malfunction, it will cause great social and economic loss. In particular, the characteristics of aviation infrastructure include long-distance transportation, short-time transportation, and easy movement from one place to many places. There are features that are not found in rail and transport by car or ship; therefore, there is no alternative.

In recent years, the aviation network has been reorganized in Europe and the United States by aviation liberalization. Air liberalization has led to the emergence of an airline called the Low Cost Carrier (LCCs) that takes its own strategy. The LCCs originated from Southwest Airlines in the United States, which commenced operations in 1971, and has since undergone gradual deregulation in the United States, leading to vigorous economic competition. Meanwhile, in the EU, service began with Ryanair in 1986, and the aviation market demand changed due to the gradual liberalization of airlines since the mid-1990s. As a result, diversification of passenger choices, changes in airlines, and revitalization of airports have been successful. In recent years, diversification of choices has progressed, and freedom of choice between FSCs and LCCs has increased. Yes. As a result, networks of multiple layers create one network. Therefore, it is necessary to analyze the characteristics of the aviation network created by the FSCs and the LCCs, while in the USA and the EU, the LCCs has evolved over time as described above. It is considered mature. Over time, FSCs and LCCs have taken different strategies to survive. One of the strategies is about network structure. FSCs created a hub-and-spoke structure, while LCCs adopted a point-to-point structure. The hub and spoke structure is a structure in which nodes with small orders are connected to nodes with large orders called hubs. Point-to-point has a structure in which nodes with similar degrees are connected. This hub-and-spoke structure is known to be vulnerable to malfunctioning of high-order airports called hubs and vulnerable to malicious attacks such as terrorism.

In the current paper, there is an analysis that focuses on the degree distribution and clustering coefficient using four EU FSCs. In addition, robustness using random attacks and centralized attacks has been performed by FSCs around the world and LCCs of three companies. However, these studies are either conducted on LCCs or FSCs only routes, or are analyzes that have established a global network. However, these methods require the assumption that large airports around the world will malfunction multiple times at the same time, making them impractical for natural disasters and terrorist attacks because natural disasters and

terrorism An attack would be a regional damage, i.e. an earthquake or volcanic activity would be a national or regional damage, but would be to the whole of Eurasia and North America .

In this paper, we investigate the robustness of the aviation network against order attack as an example of a malicious attack assuming terrorism. It is considered that the robustness of the aviation network has been increased by linking LCCs to airports with small orders called spokes, as opposed to the hub and spoke structure of FSCs. The target of analysis is the EU, LCCs and FSCs, FSCs + LCCs aviation network, USA 2017, 2018 LCCs, FSCs, FSCs + LCCs aviation network, and analyzed by region. Not only quantitatively, but also the proportion of airports that can be reached if the airline network is disrupted. In this paper, we converted IATA airport codes into invalid simple graphs for analysis by numbering. At this time, the link weight is not considered. Robustness and correlation coefficient are used as analysis indices of the aviation network. Robustness is a numerical value that indicates the ratio of nodes that are isolated from the maximum connected component against a node attack. One correlation coefficient is the degree correlation between adjacent nodes and is calculated using Pearson's correlation coefficient. The correlation coefficient takes a value from -1 to 1. When this is positive, nodes with the same degree tend to be connected, and when negative, nodes with similar degrees tend to be hardly connected. When it is 0, there is no order correlation. In addition, a random graph called a configuration model was used for comparison. First, determine the order of all nodes. After that, any two nodes are selected to generate a node pair. If the selected pair of nodes is less than the setting, a link is created between the nodes. This method is used until all node orders are satisfied. The configuration model was repeated 500 times, and the average values of robustness and correlation coefficient were obtained. Results In this paper,

- EU and USA airlines have characteristics for international flights in addition to domestic or regional flights. In the USA, there are many in Latin America, and there are few flights in Africa, Southeast Asia, and Oceania. On the other hand, it can be seen that the EU offers flights to a wide area such as Africa, Latin America, Asia, and Oceania. On the other hand, in LCCs, domestic flights are dominant and international flights are very limited.

- It was found that the robustness was enhanced by the addition of LCCs to FSCs in Europe and America. It was confirmed that the effect was particularly high in the EU. The improvement in robustness in the USA is small compared to the EU. This suggests that the EU FSCs is creating an extreme hub and spoke structure when compared to the USA FSCs. On the other hand, the robustness of the USA does not mean that the FSCs + LCCs network is as robust as the EU.

This does not mean that the US FSCs is as concentrated in the hub as the EU.

Key words:Aviation network , Robustness, Network analysis

目次

第1章	はじめに	1
1.1	研究背景	1
1.2	研究目的	2
第2章	ネットワークの分析方法	3
2.1	ネットワークとは	3
2.1.1	次数 (Degree)	3
2.1.2	次数相関	3
2.1.3	頑健性	4
2.1.4	ランダムグラフ	4
2.1.5	接続のネットワークデータ化	6
第3章	実験・評価	7
3.1	地域別の航空網図	7
3.2	ネットワーク特性	11
3.3	頑健性	14
3.4	地域の別航空路線	16
3.5	個別の航空会社	18
第4章	おわりに	20
第5章	謝辞	21

目 次

2.1	ランダムグラフ生成過程 step1	5
2.2	ランダムグラフ生成過程 step2	5
3.1	欧州 FSC+LCC	8
3.2	USA18FSC+LCC	8
3.3	USA17FSC+LCC	8
3.4	EUFSC	9
3.5	USA18FSC	9
3.6	USA17FSC	9
3.7	EULCC	10
3.8	USA18LCC	10
3.9	USA 1 7 LCC	10
3.10	EUFSC+LCC	11
3.11	EUFSC	11
3.12	USA18FSC+LCC	12
3.13	USA18FSC	12
3.14	USA18FSC+LCC	13
3.15	USA17FSC	13
3.16	EU 頑健性	15
3.17	USA18FSC+LCC 頑健性	15
3.18	USA1 7 FSC+LCC 頑健性	15

表 目 次

2.1	空港の接続関係	6
2.2	空港の接続関係のデータ	6
3.1	航空路線の比較表	16
3.2	各航空会社の指標値	18

第1章 はじめに

1.1 研究背景

ネットワークは点と線につながった構成物で、例えば現実社会では送電網、人間関係、会社の資本関係、電気やガスや水道といったものがネットワークをである。他にも、道路、鉄道、航空といった物が例に挙げられ、社会機能に対する重要な役割を果たしている。これらが機能不全になると社会的、経済的に大きな損失になる。特に航空インフラの特徴としては、長距離輸送に加え、短時間輸送、一つの場所から多数の場所への移動が容易であるという特徴があり、これは鉄道及び車や船による輸送にはない特徴である。他方でこれらの特徴は、一つの大きな空港が機能不全を起こすだけで大きな社会的な損失につながることもなり得る。現在の旅客航空業界は航空自由化及び規制緩和によって再編されているが、次の2つに分類できる。一つは従来型の Full Service Carrier (FSC) [1]、もう一つは格安航空会社 Low Cost Carrier(LCC) に大別される。LCCの起源はUSAのサウスウエスト航空と言われ、1971年に運行開始された。その後アメリカでは段階的な航空規制緩和が行われ、活発な経済競争が行われている。一方でEUでは1986年にライアンエアで就航が開始された。そして1990年代中盤以降から段階的な航空自由化による航空市場の需要変化により、乗客の選択の多様化、航空会社の変化、空港の活性化が挙げられている [2]。近年では、選択の多様化が進み、FSC及びLCCの選択の自由が増えているために、FSC及びLCCの2つが作り出す航空網がどのような特性を持っているかについて分析する必要がある。他方で、USA及びEUでは前述の通りLCCが発展して時間的経過が経っている。

FSCやLCCが作るネットワークは、FSCはハブ&スポーク型のネットワークを作り、LCCはポイントツーポイント型のネットワークをつくるのが分かっている。ハブ&スポーク型の航空網はハブ攻撃と言われるネットワーク内の次数が高いノードに対する攻撃に弱い [3]。航空網の研究としては、航空網の就航機材や需要によった経済的最適化、現実の航空網に近い発生をシミュレートする研究がなされている。ネットワーク構造に注目したものとして4つのEUにおけるFSCを分析したものが [4]。これは頑健性を4つのFSCを選び次数分布、クラスタリング係数に注目して分析を行っている。一方、ランダム攻撃及び中心性攻撃に対する頑健性を世界各地のFSC及び3社のLCCで行いLCCが選択敵攻撃及びランダム攻撃に対して強いと結論する研究も存在する [5]。加えて、世界各地の航空網に対する攻撃で世界各地にある破壊されたときに航空網の孤立することに強く影響する空港を発見

する研究もある.[6]. 上記の研究は, LCC または FSC のみの路線で行われているか, 世界的なグローバルネットワークを構築した分析である. しかしながら, これらの方法では, 世界中にある巨大な空港が同時多発的に機能不全を起こす前提としており必要があり, 自然災害においてもテロ攻撃においても現実的ではない. 理由として, 自然災害及びテロ攻撃であるならば, 地域的な被害になるためである. すなわち地震や火山活動であるならば国または地域単位での被害になるが, ユーラシア大陸全土や北アメリカ大陸全体の被害になると考えられる. 故に本論文では地域別の FSC,LCC,FSC+LCC の航空網について分析する

1.2 研究目的

本研究ではテロなどを想定した, 悪意のある攻撃の一例として次数順攻に対する, 航空網の頑健性を調べる. FSC のハブ&スポーク構造に対して, スポークと呼ばれる小さい次数を持つ空港に LCC がリンクすることによって, 航空網の頑健性が上昇していると考えられる. 分析を行う対象は EU,LCC 及び FSC,FSC+LCC の航空網,USA2017,2018 年の LCC,FSC,FSC+LCC 航空網を用い, 地域別に行う.FSC,LCC, FSC + LCC の航空網の攻撃耐性を定量的に分析するこのみならず, 航空網が分断された場合に到達可能な空港の割合についても調べる.

第2章 ネットワークの分析方法

本項ではネットワークの基本的なネットワークの用語及びネットワークを分析する指標について説明する。さらに、ネットワークの比較対象としたランダムグラフについても説明を行う。

2.1 ネットワークとは

ネットワークはノードと呼ばれる点と辺で組成され、グラフ理論における頂点集合 $V = 1, 2, \dots, i, \dots, N$ とノード $i - j$ 間の集合 $E = e_{ij}$ を用いて表示されるグラフは (V, E) と同義である。本論文においては辺のことをリンクと呼ぶ。また、ネットワークのリンクの向きは、リンクの向きが存在する有向グラフ、リンクの向きが存在しない無向グラフの2種類あるが、本論文では全て無向グラフとする。さらに、多重辺と呼ばれる同じノード間に2つ以上のリンクが存在する場合及び自身と同じノードを結ぶリンクを考慮しない単純グラフとして考える。

2.1.1 次数 (Degree)

次数は、ノード i から出るリンク数を次数 k_i として定義する。このときネットワーク内に存在する全てのノードの次数を M としたとき

$$M = \sum_{i=1}^N k_i \quad (2.1)$$

で表され、これは全てのリンクの数の2倍に等しい。

2.1.2 次数相関

次数相関は隣接するノード間の次数の相関であり、ピアソンの相関係数を用いて以下のように表すことができる [7]

$$r = \frac{M^{-1} \sum_i k_i k_j - [M^{-1} \sum_i (k_i + k_j) / 2]^2}{M^{-1} \sum_i (k_i^2 + k_j) / 2 - [M^{-1} \sum_i (k_i + k_j) / 2]^2} \quad (2.2)$$

この相関係数の r は $-1 < r < 1$ を取り, 正のときは次数が同じ次数を持つノードとつながる傾向があり, 負のときは次数の近いノード同士が繋がりにくい傾向を持ち, 0 のときは次数の相関はない.

2.1.3 頑健性

ネットワークのノード除去耐性を示す指標に頑健性がある., ノードの除去率 q だけ除去を行ったときの $s(q)$ は最大連結成分の大きさで $s(q)$ の総和の平均が頑健性 R となる. [3].

$$R = \frac{1}{N} \sum_{q=1/N}^1 s(q) \quad (2.3)$$

除去率は $0 < q < 1$ の間の値を取り, 本論文ではこのノード除去の順番をネットワーク内の次数が高いノードから除去していった場合の R 値を求める.

2.1.4 ランダムグラフ

本研究では, 比較対象としてランダムグラフを使用した.Configuration モデル [3] と呼ばれるランダムグラフにおいて, 図 2.1 のようにまずノードと全てのノードの次数を決定する. その後任意の2つのノードを選択してノード対を生成, その選ばれたノードが次数未満であるならばそのノード間にリンクを張る. これを全てのリンクを満たすまで続ける. 最終的に 2.2 のようになるまで続ける. 以上の手法でランダムグラフを生成した.

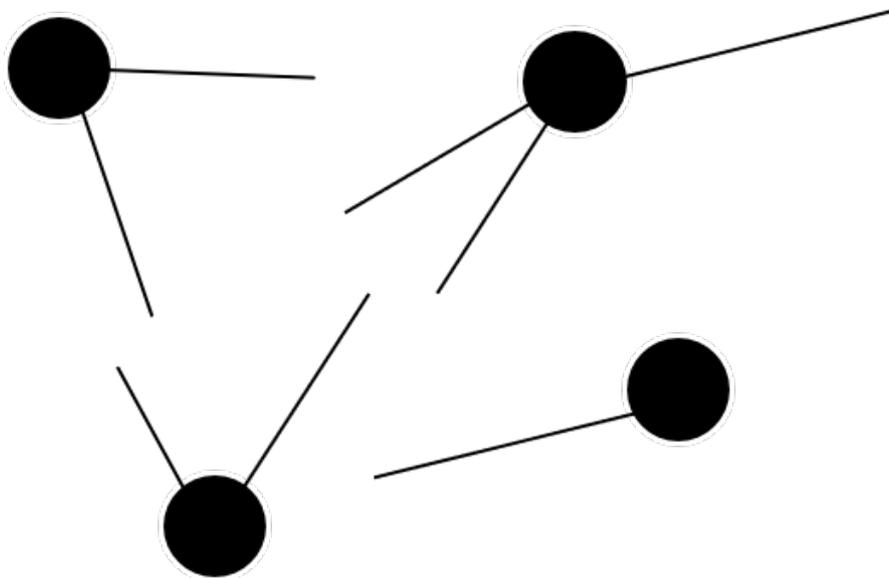


図 2.1: ランダムグラフ生成過程 step1

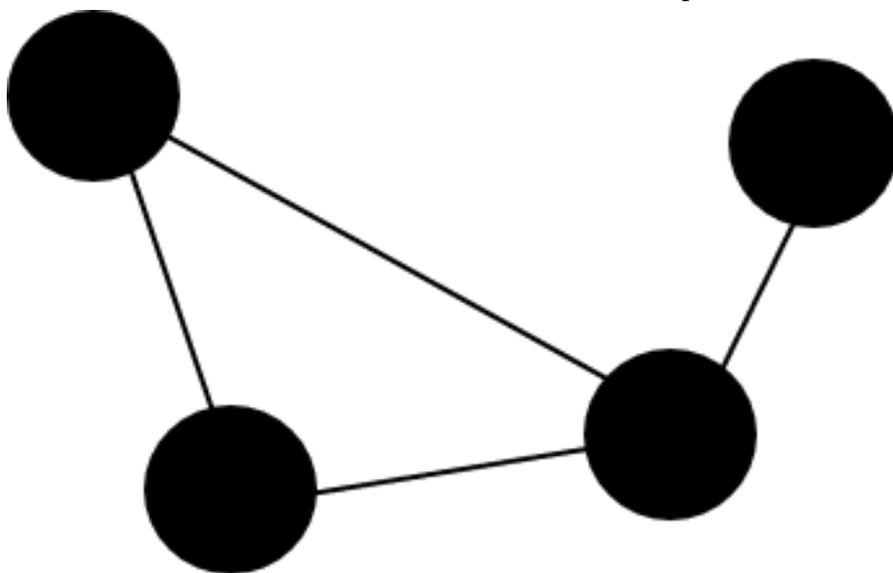


図 2.2: ランダムグラフ生成過程 step2

2.1.5 接続のネットワークデータ化

使用するデータは, 出発空港, 到着空港, そして IATA が定める 3 文字の空港コードを番号化して, 無向単純グラフ変換する. 例として表 2.1 ようなデータが存在するとして,

発着空港	到着空港
成田空港 (NRT)	ロンドン・ガトウィック空港 (LGW)
ロンドン・ガトウィック空港 (LGW)	ロサンゼルス空港 (LAX)
成田空港 (NRT)	ロンドン・ガトウィック空港 (LGW)

表 2.1: 空港の接続関係

これを NRT を 1, LGW を 2, LAX を 3 として NRT → LGW は多重辺になるために削除して以下のように処理する.

出発空港	到着空港
1	2
2	3

表 2.2: 空港の接続関係のデータ

このときのネットワークはリンクの重みを考えない.

第3章 実験・評価

3.1 地域別の航空網図

ハブ&スポーク型のネットワークを示すために図3.1から3.9に,EUとUSA, FSCまたはLCC,FSC + LCCの航空会社をそれぞれ可視化した. 図3.1から図3.3はFSC+LCC, 図3.4, から図3.6はFSCのみ, 図3.7から図3.9はLCCのみの航空網のデータを表示した. 黄色の丸が空港, 赤文字が空港コード, 青の線が接続関係を表している. ただし, 図は最大緯度・経度と最小緯度・経度を元に二次元座標上にプロットしたものであり, 厳密な球面座標またはメルカトル図法で表記したものではない. EUとUSAの航空網において以下の異なる点がある. まずアフリカ地区への就航路線の数が異なっている. 他に他大陸への就航路線数にも差がある. 図3.1を見るとEUから他大陸への路線は概ねまんべんなく就航しているのに対して, 図3.3及び図3.2を見るとUSAの路線では中央アジア, アフリカ, 東南アジアオセアニアへの路線が少ない.

次に欧米のFSCの比較してみると先に述べた傾向がFSCの航空網により形成されていることがわかる. このことは図3.4,3.5,3.6のFSCの画像ではEUおよびUSAの地域から他大陸への就航路線が引かれていることが見られる. 一方図3.7から図3.9のLCCでは殆どが同一国内または同一地区に集中している. このことから国際路線の傾向はFSCの影響が出る. アメリカの大半は国内または南米への路線が, 欧州では欧州地区で密な航空網を形成し, 一部が地域に渡ることが見て取れる. これらの傾向は,LCCは中近距離の少人数輸送を行い,FSCは長距離の輸送を行うことで利益を上げていることに一致する.

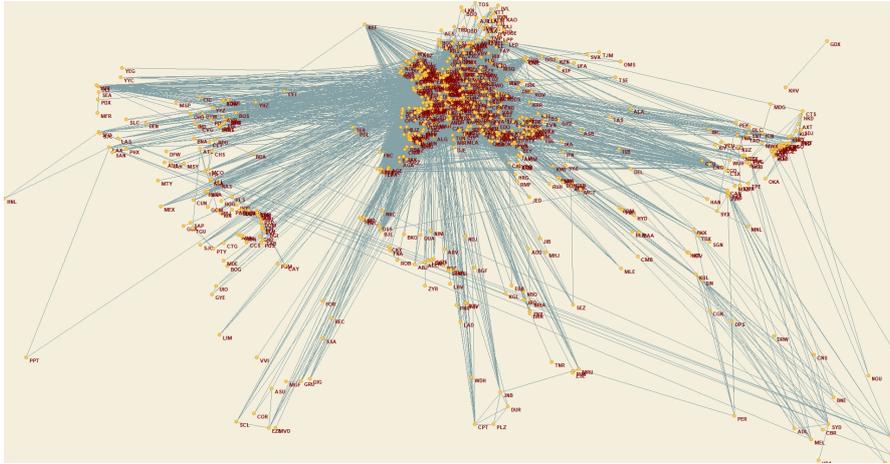


图 3.1: 欧州 FSC+LCC

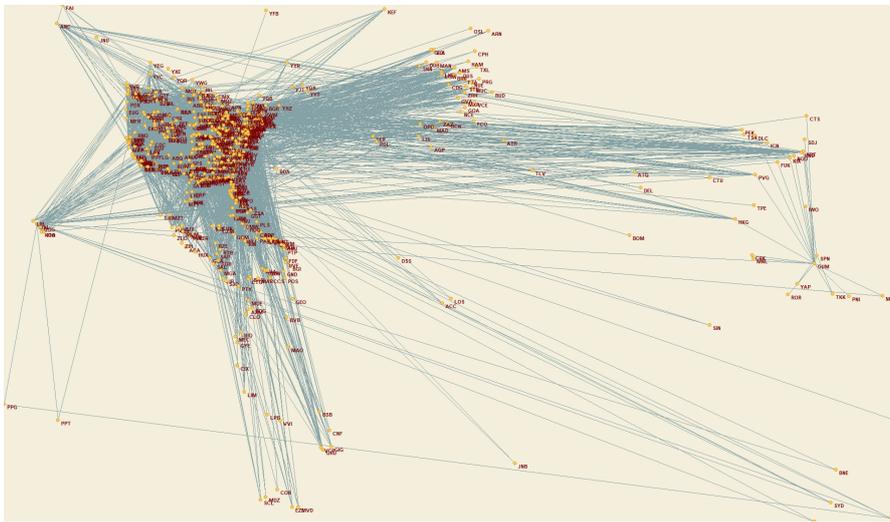


图 3.2: USA18FSC+LCC

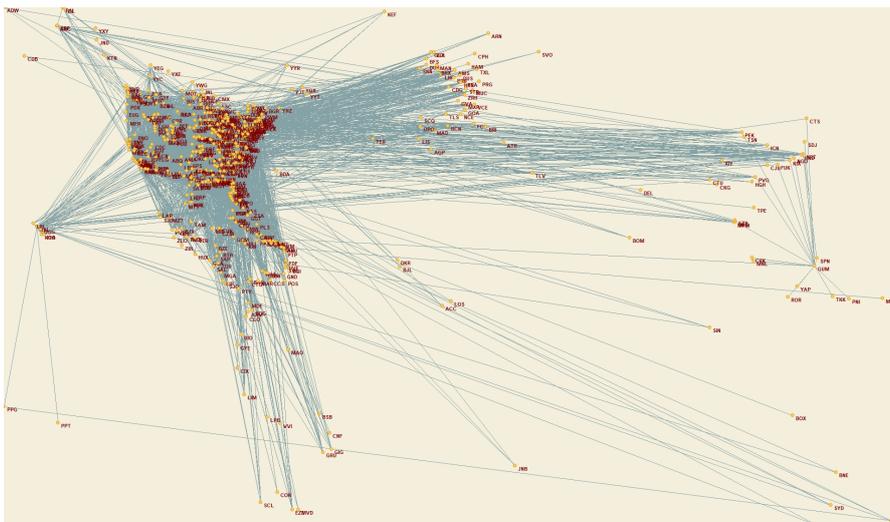


图 3.3: USA17FSC+LCC

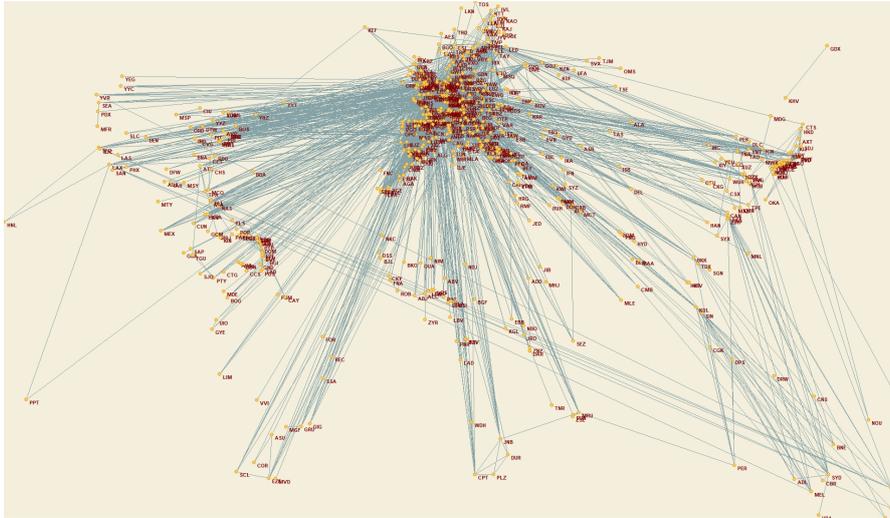


图 3.4: EUFSC

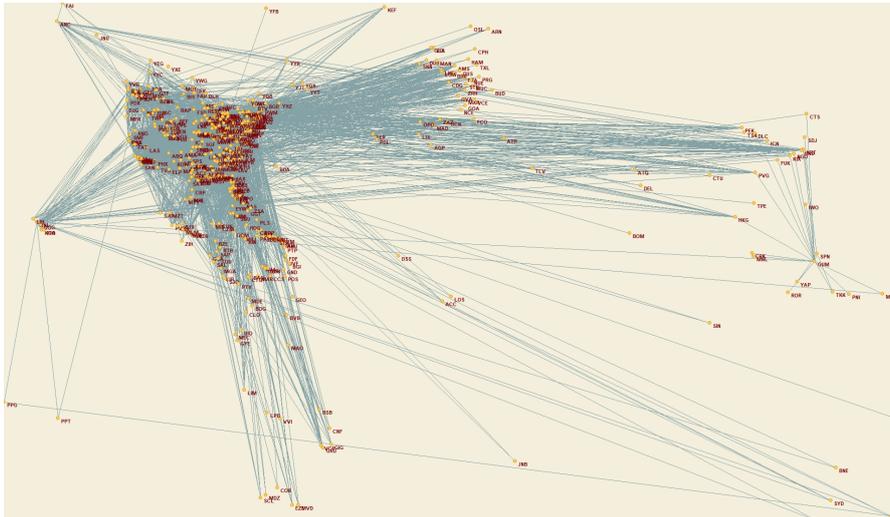


图 3.5: USA18FSC

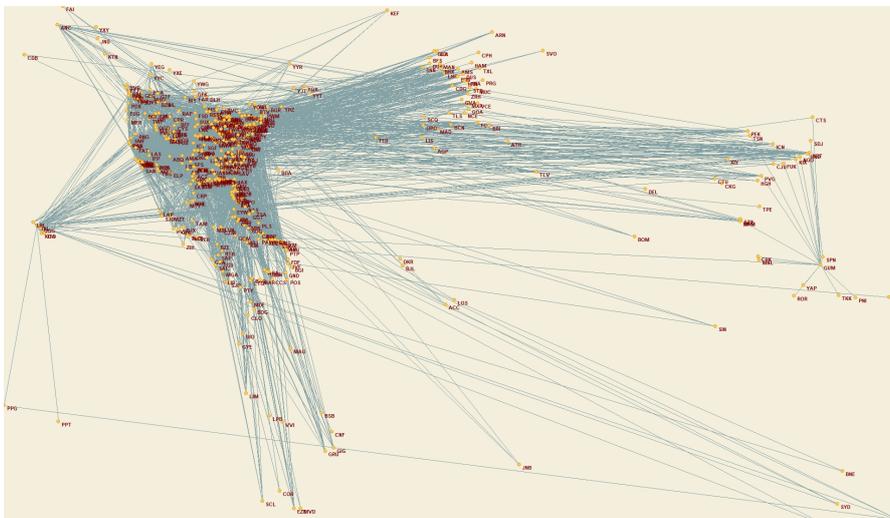


图 3.6: USA17FSC

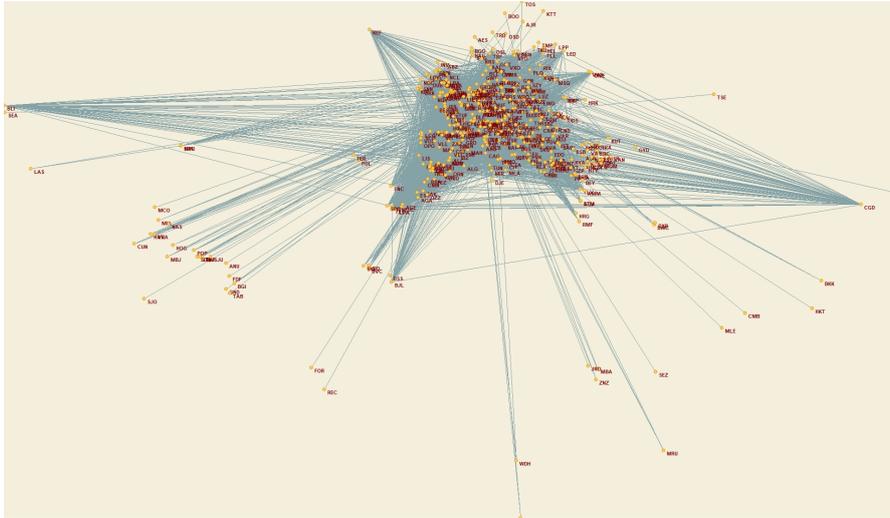


図 3.7: EULCC

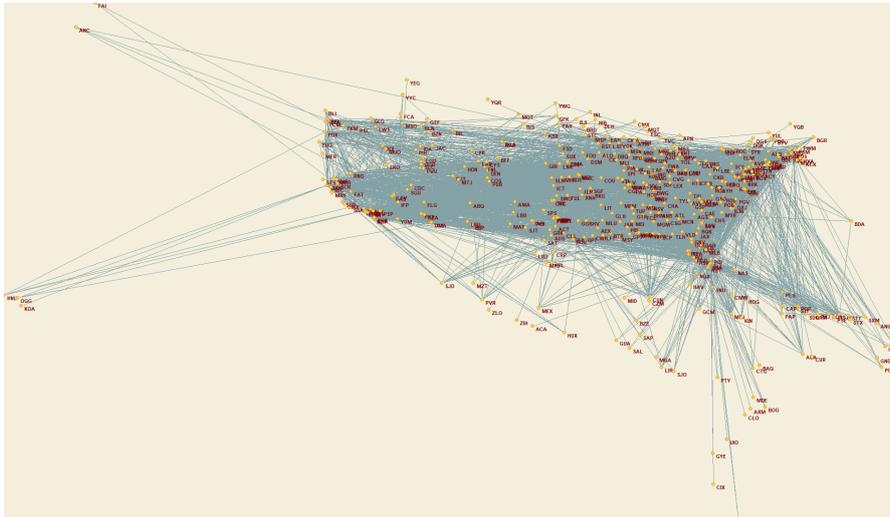


図 3.8: USA18LCC

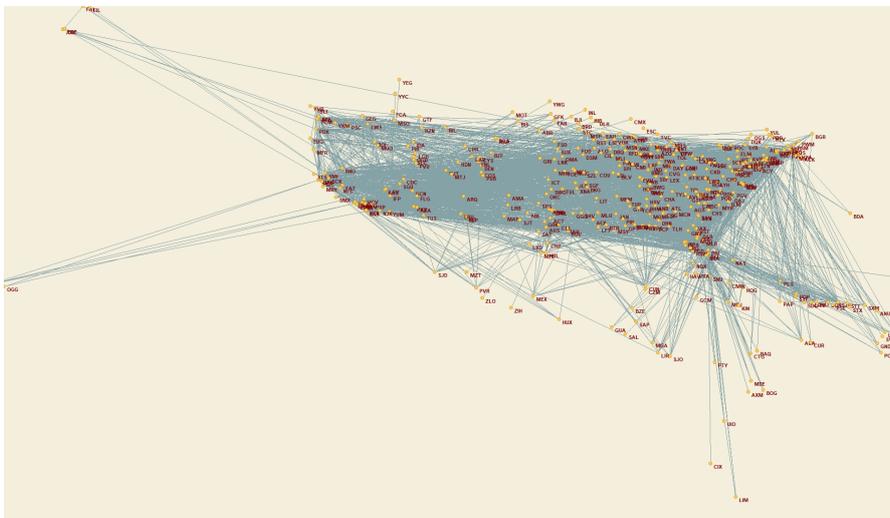


図 3.9: USA 1 7 LCC

3.2 ネットワーク特性

次の図 3.10 から図 3.15 は, 横軸がノードの次数 k , 縦軸が k を持つノードが現れる確率 $p(k)$ を両対数グラフで表している. 両対数グラフにおいて直線的部分が主であることから, どの航空網も, べき乗則に則っていることが分かる. これは大きなハブと呼ばれる空港の存在を示し, この航空網はハブ&スポーク型のネットワークを形成していると言える.

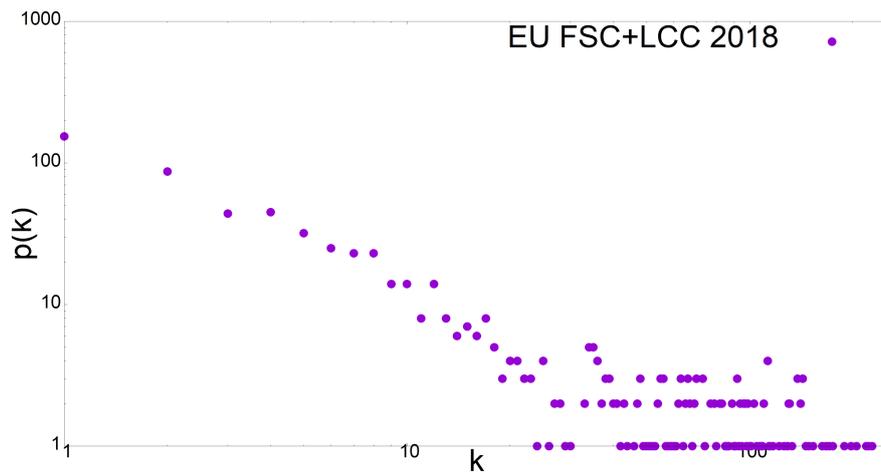


図 3.10: EUFSC+LCC

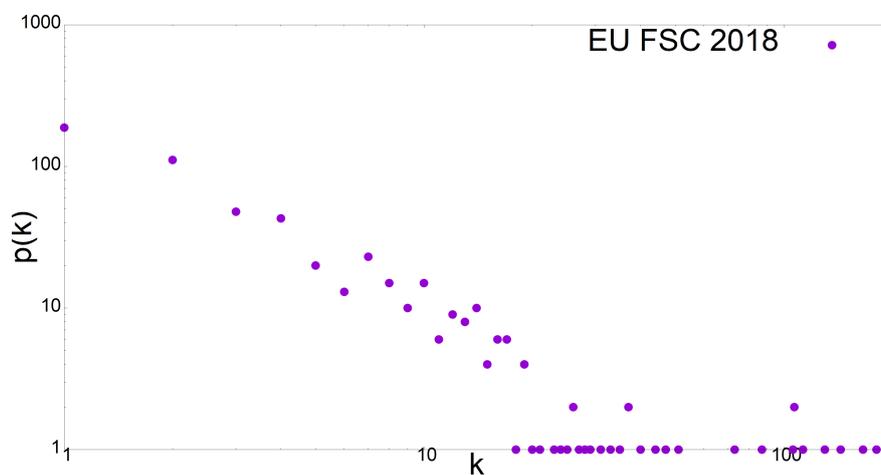
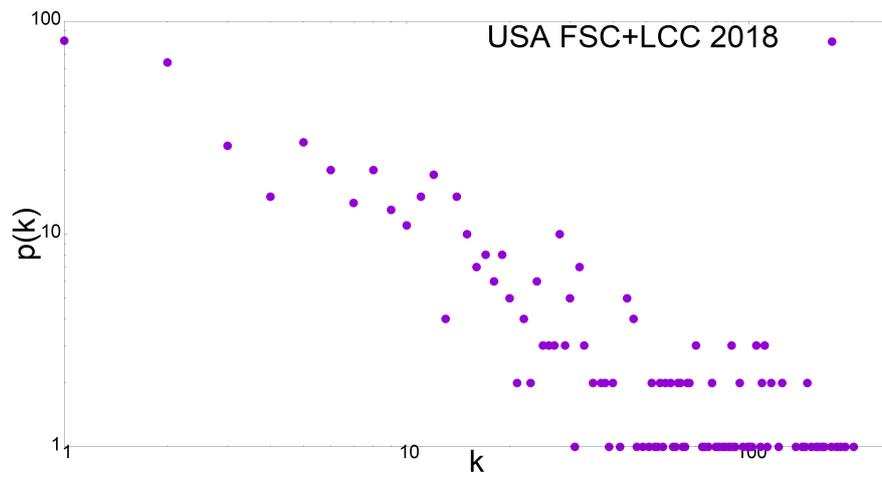
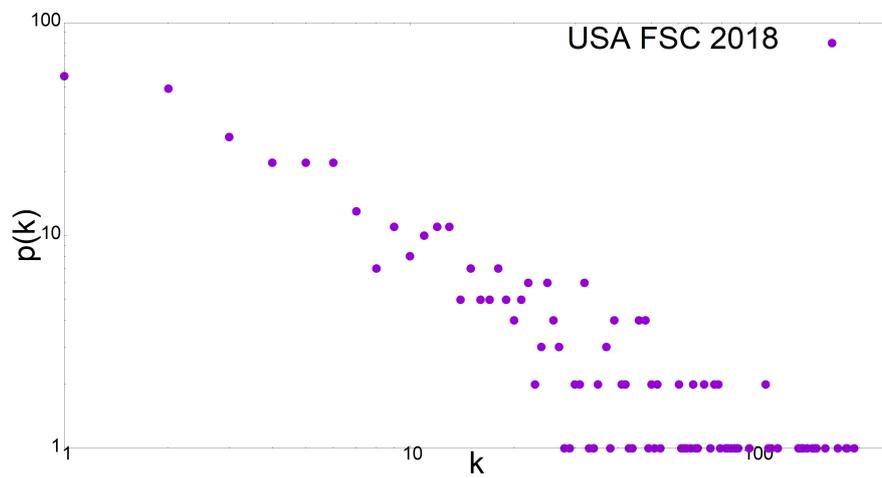


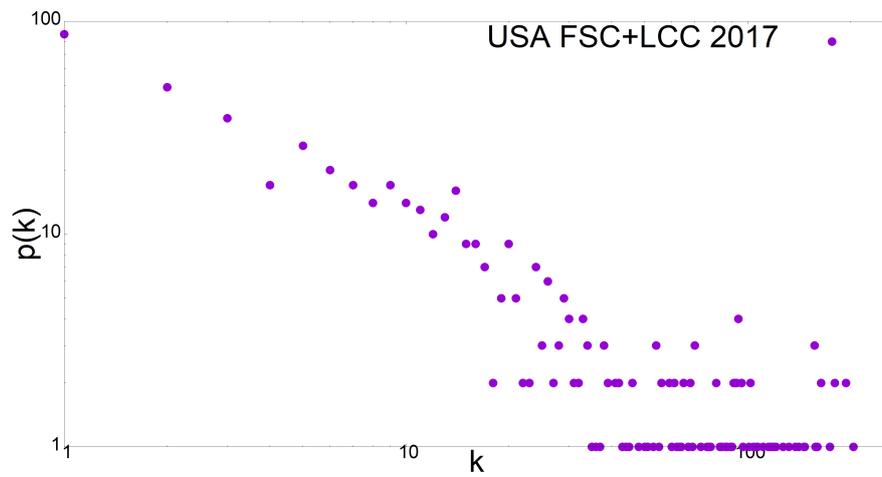
図 3.11: EUFSC



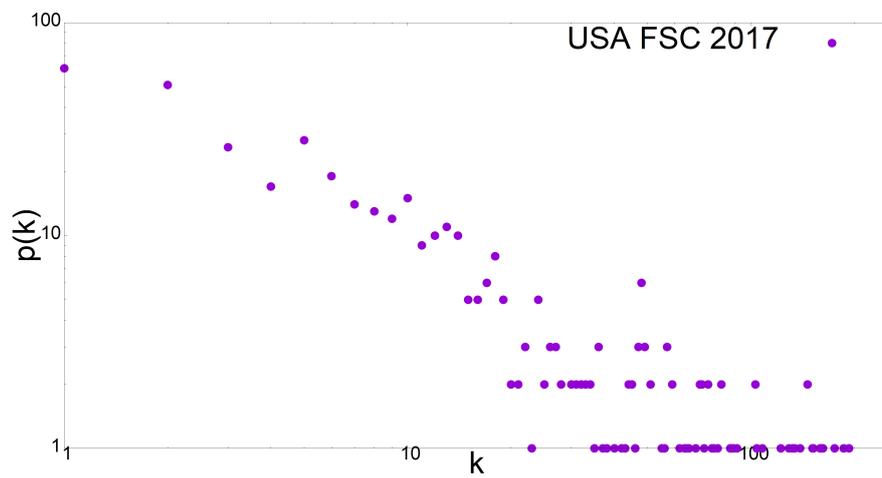
☒ 3.12: USA18FSC+LCC



☒ 3.13: USA18FSC



☒ 3.14: USA18FSC+LCC



☒ 3.15: USA17FSC

3.3 頑健性

図 3.16 から図 3.18 にはノード除去率 q で, 縦軸が最大連結成分の残存ノードの比率 $s(q)/N$ である. 紫の実線が FSC, 緑色の実線が LCC, 青色の実線が FSC+LCC の頑健性である. 3.16 では EU の頑健性を示した. EU の FSC では紫色の実線を見ると, ノード除去率 0.1 の状態ですでに R 値がほぼ 0 に近い値を取り, 孤立ノードが壊滅を起こしている. これは航空網がハブ&スポーク構造を取り, 巨大空港 (ハブ) にしかつながっていない小さい空港 (スポーク) が多いためである. 一方で水色の実線を見ると, FSC+LCC では頑健性が FSC に比べて改善が見られる. q が 0.1 のとき, $s(q)/N$ はおよそ 0.45 付近に存在しており, 同じ割合取り除いた場合でも接続が保たれている空港が多い. 頑健性がほぼ同値になるにはおよそ 0.23 取り除く必要があり, 高い頑健性が保たれていることが分かる. 図 4.17, 図 4.18 では USA の頑健性について示した. USA では, 頑健性の差は EU ほど大きくない. 加えて, EU 程頑健性が改善されているとは言えないが, 水色の実線から FSC+LCC ネットワークは頑健性が FSC のみにくらべ高くなっている事が分かる.

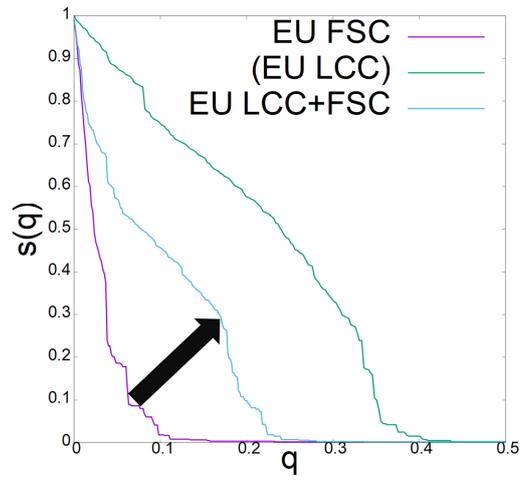


图 3.16: EU 頑健性

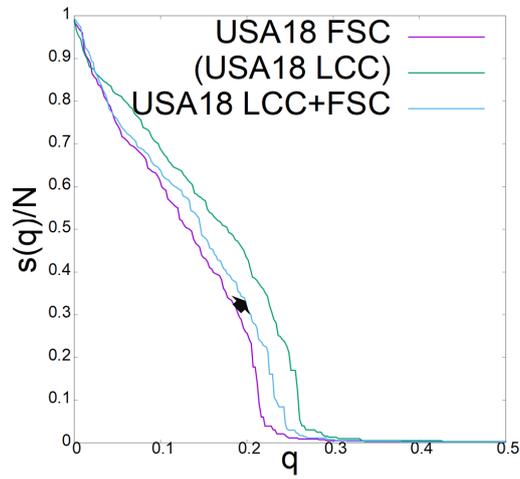


图 3.17: USA18FSC+LCC 頑健性

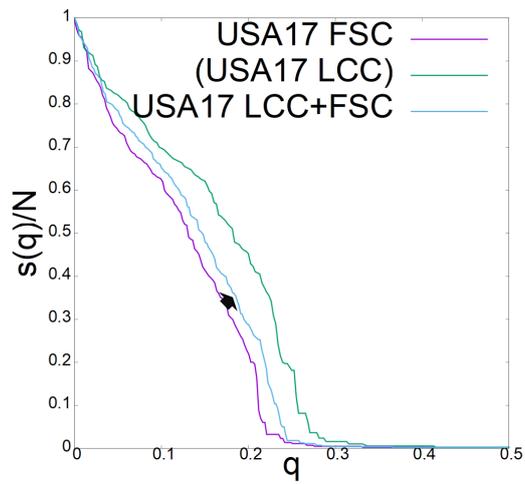


图 3.18: USA17 FSC+LCC 頑健性

3.4 地域の別航空路線

社名	M	N	$\langle k \rangle = 2M/N$	k_{max}	r	R
米 LCC	3489	380	18. 363	142	-0.256	0.162
米 FSC	4544	434	20.94	252	-0.408	0.123
米 LCC+FSC	6531	539	24. 234	259	-0.346	0.134
コンフィグ LCC+FSC 米 17	6531	539	24. 234	259	-0.325	0.179
米 LCC18	3489	380	18. 363	142	-0.22	0.158
米 FSC18	4544	434	20.94	252	-0.397	0.126
米 LCC+FSC18	6930	548	25. 292	257	-0.326	0.137
コンフィグ LCC+FSC 米 18	6930	548	25. 292	257	-0.309	0.184
欧州 LCC	6808	408	33. 373	168	-0.213	0.216
欧州 FSC	2423	598	8. 104	196	-0.48	0.032
欧州 LCC+FSC	8436	710	23. 763	259	-0.312	0.097
コンフィグ LCC+FSC	8436	710	23. 763	259	-0.214	0.203

表 3.1: 航空路線の比較表

表 3.2 において, 社名は航空会社名, M は航空網のリンク数, N は航空網のノード数, k_{max} は航空網の最大次数を持つノードの次数, r が相関係数, R は頑健性である. 表 3.2 では FSC もしくは LCC の各路線のみ, および FSC + LCC 路線についてまとめた. なお参考までに, コンフィグレーションモデルとの比較を行い, ネットワーク内リンク数及びノード数の影響について考える. 表中ではコンフィグと命名した. ランダムで 500 回試行し, R と r の平均値を取った. まず FSC のみのグラフに LCC が加わることによって USA2017 は r は -0.408 から -0.346 に上昇 R は 0.123 から 0.134 に上昇した, 2018 では r は -0.397 から -0.326 に上昇, R は 0.126 から 0.137 に上昇, EU では r が -0.48 から -0.312, R が 0.032 から 0.097 に上昇した. これらの上昇値は僅かであるが FSC 航空網に LCC が加わることで頑健性を表す尺度 R 値が高くなるということが言える. FSC のみの場合に比べると r 値の相関係数 USA2017, USA2018, EU 全てで高くなっており, これらのことからネットワーク内では, より自身と近いノード次数のとつながる傾向が見られるようになっているということが言える. ランダムモデルとの比較では, FSC + LCC 航空網の相関係数と頑健性が高くなる余地があるといえる. 更に FSC に LCC が加わることによって頑健性が上昇したということは, LCC に FSC が加わることによって頑健性が上昇するということではないことから, FSC に LCC が加わったことで頑健性が上昇したと考えられる. つまり, ネットワークのリンク数が増えたことによる頑健性の向上である場合, FSC+LCC は LCC より頑健性が高くならなければならない. 表の中で最も低い r 値 -0.48 及び R 値 0.032 持つ欧州 FSC では極端なハブ&スポーク構造の航空網を形成していると言える. さらに, 空港の平均次数も本論文で収集した範

圏内で最も低いことから言える.EU の航空網と USA の航空網の違いは,FSC と LCC の R 及び r の差に特徴が出ている.EU では LCC と FSC の R 及び r の差で r が 0.267,R が 0.184 は一方 USA2017 が r 値の差 0.152, r 値の差 0.039,USA2018 r 値の差が 0.177,R 値の差 0.032 と比べ大きい値をとっている. この結果からは, USA では EU ほど FSC のネットワーク形状はハブに集中しているということではない.

3.5 個別の航空会社

社名	種別	M	N	$\langle k \rangle = 2M/N$	k_{max}	r
アメリカン航空	FSC	1743	290	12	163	-0.399
アメリカン航空 2018	FSC	1809	287	12. 6	170	-0.414
デルタ航空 2018	FSC	2586	334	15. 5	251	-0.348
デルタ航空 2018	FSC	2493	321	15. 5	242	-0.333
ユナイテッド航空 2017	FSC	1700	303	11. 2	180	-0.391
ユナイテッド航空 2018	FSC	1854	321	11. 6	180	-0.368
ハワイアン航空	FSC	126	36	7. 00	28	-0.475
ハワイアン航空 2018	FSC	69	35	3. 94	27	-0.504
イベリア航空	FSC	286	115	4. 98	101	-0.651
フィンエアー	FSC	280	131	4. 28	130	-0.875
ブリティッシュエアウエイズ	FSC	310	239	2. 6	159	-0.59
ルフトハンザ	FSC	912	324	5. 62	193	-0.505
オーストリア航空	FSC	181	160	2. 26	137	-0.63
スイスエアライン	FSC	203	170	2. 38	160	-0.746
エア・ヨーロッパ	FSC	136	88	3. 1	61	-0.429
エールフランス	FSC	424	258	3. 28	194	-0.392
アリタリア航空	FSC	189	113	3. 34	97	-0.505
KLM オランダ	FSC	282	224	2. 52	179	-0.493
Jet 2	LCC	346	67	13. 1	53	-0.897
イージージェット	LCC	851	109	15. 6	106	-0.527
ウィズエアー	LCC	660	146	9. 04	65	-0.455
ライアンエアー	LCC	2238	254	17. 6	140	-0.297
ユーロウィング	LCC	393	137	5. 74	101	-0.622
tui fly グループ	LCC	3055	120	50.9	242	-0.285
サウスウエスト 2017	LCC	1581	156	20.3	87	-0.269
サウスウエスト 2018	LCC	1684	162	20.8	85	-0.246
ジェットブルー 2017	LCC	632	122	10.4	95	-0.394
ジェットブルー 2018	LCC	698	131	10.7	98	-0.379
フロンティア航空 2017	LCC	512	66	15. 5	56	-0.445
フロンティア航空 2018	LCC	432	100	8. 64	93	-0.417
ヴァージン・アメリカ 2017	LCC	50	31	3. 22	28	-0.71 3
ヴァージン・アメリカ 2018	LCC	61	31	3. 94	30	-0.607
スピリット航空 2017	LCC	338	75	9. 02	59	-0.414
スピリット 2 航空 018	LCC	418	88	9. 5	64	-0.409
アレジアント・エア 2017	LCC	811	242	6. 7	88	-0.287
アレジアント・エア 2018	LCC	849	263	6. 46	87	-0.271
サンカントリー 2017	LCC	661	256	5. 16	124	-0.292
サンカントリー 2018	LCC	497	270	5. 9	125	-0.241

表 3.2: 各航空会社の指標値

表3.2において各航空会社のネットワークの指標を示す。なお、ヴァージン・アメリカの2018年は経営統合によって消滅しているため同年4月までの情報であり、TUIフライグループは、時刻表の形式の都合によってTUIフライグループ全体の航空網である。USAのFSCの相関係数は $-0.504 < r < -0.333$ に収まっている。一方でEUでは $-0.875 < r < -0.392$ の範囲に収まっており幅が広がっている。LCCの戦略としてポイントツーポイントの構造を取る航空網を作ると言われるが、最小値を持つジェット2ハブ&スポーク構造のネットワークを作るLCCも存在すると考えられる。

第4章 おわりに

本研究ではEU及びUSAにおいて、頑健性及び相関係数を求め、欧米におけるFSC及びLCC,FSC+LCCの航空網について頑健性が高くなっていることを見つけた。また,LCCにはポイントツーポイントの航空会社だけではなく、ハブ&スポーク構造を取る会社の存在が考えられる。ハブ&スポーク構造をもつFSCはハブの空港の機能不全に敏感であり、ポイントツーポイントネットワークを持つLCCに比べてFSCは大きな損害が発生する。しかしFSCのネットワークにLCCが加わることによって頑健なネットワークが構築できることが確認できた。これはハブ&スポーク構造の末端にポイントツーポイントの構造が加わることでネットワークが破壊されたときでも到達が可能であると言える。// ・EUとUSAの航空会社では、国内線または地域線のほかに、国際線についての特徴が現れた。USAでは、中南米に多く、アフリカ、東南アジア、オセアニアには便が少ない。一方、EUではアフリカ、中南米、アジア、オセアニアと広い地域に便を出していることが分かる。一方でLCCでは国内線が中心になり、国際線は非常に数が限られている。・欧米のFSCにLCCが加わったことによって頑健性が高くなることが分かった。特にEUでの効果が高いことが確認できた。またUSAにおいての頑健性の向上はEUと比べると小さい。これはEUのFSCがUSAのFSCと比べると極端なハブ&スポーク構造を作っていると考えられる。一方でUSAの頑健性ではFSC+LCCネットワークでもEU程頑健性が高くなっているわけではない。これはUSAのFSCがEUほどハブに集中しているということではない。

第5章 謝辞

本研究を進めるのに当たり、林幸雄教授には、終始ご指導をを頂きましたことを恐悦至極に存ずる。また、研究室のメンバーには、支援をいただいた。研究を支えていただきました皆様にはこの場をお借りして深く感謝の意を表す。

参考文献

- [1] W. P. Anderson, G. Gong, and T. R. Lakshmanan, “COMPETITION IN A DEREGULATED MARKET FOR AIR TRAVEL : THE U . S . DOMESTIC EXPERIENCE AND LESSONS FOR GLOBAL MARKETS,” vol. 13, no. 05, pp. 3–25.
- [2] Copenhagen Economics(2012) 「 Airport Competition in Europe 」 ,Report for ACI Europe.
- [3] Réka Albert, Hawoong Jeong, Albert-László Barabási ”Error and attack tolerance of complex networks” nature ,vol.406,pp378-381
- [4] D. Han, J. Qian, and J. Liu, “ Network topology and correlation features affiliated with European airline companies,” vol. 388, no. 1, pp. 71–81, 2009.
- [5] O. Lordan, J. M. Sallan, N. Escorihuela, and D. Gonzalez-prieto, “Robustness of airline route networks,” Physica A, vol. 445, pp. 18–26, 2016.
- [6] O. Lordan, J. M. Sallan, P. Simo, D. Gonzalez-Prieto, “Robustness of the air transport network,” Transp. Res. Part E Logist. Transp. Rev., vol. 68, pp. 155–163, 2014.
- [7] M. E. J. Newman, “ Assortative Mixing in Networks,” Phys. Rev. Lett., pp. 1–4, 2002.