

航空輸送におけるパラダイムシフトと 航空政策：研究レビュー

竹林 幹雄¹

¹正会員 神戸大学教授 大学院海事科学研究科 (〒658-0022 兵庫県神戸市東灘区深江南町 5-1-1)

E-mail:takebaya@kobe-u.ac.jp

コロナ禍によって航空輸送は大きな打撃を受け、未だその復旧段階にある。一方アフターコロナでは、ICAO が示すようにカーボンニュートラルの一層の推進を航空輸送は求められる。このように、航空輸送はコロナ前とは大きく異なったパラダイムのもとで運営される可能性が高くなった。わが国においても航空会社をはじめとしてカーボンニュートラルや公衆衛生、防災をより意識した行動を要求され、またそれを後押しする政策、あるいはそれを支える施設が求められる。本稿では以上のような問題意識のもと、アフターコロナにおけるパラダイムシフトを念頭に置いた航空輸送のあり方について、近年の研究の傾向ならびに関連する政策に関するレビューを行う。

Key Words: *air transport, paradigm shift*

1. 社会のあり方と航空輸送

20 世紀の交通・輸送において、最大の発明の一つは航空輸送が可能になったことであることは論を俟たない。「より早く」「より遠く」という人類の欲求の、ある意味究極の姿が航空輸送の実現という形で具現化されたといえる。第 1 次大戦後、早くも商用飛行が開始され、初期の冒険旅行の色彩が強かった航空輸送から、次第に日常的な利用へと進化してきた。この進化（あるいは大衆化）は、20 世紀型産業が持つパラダイム、すなわち「規模の経済性」に基づく合理的な（サービスの）生産と供給¹に由来するといえることができる。航空機はプロップ機からジェット機へ、またワイド機の開発や、航続距離の延長などその技術的進化の速度は驚異的である。

このような技術的進歩に伴い、航空輸送の大衆化は一層進展し、第 2 次大戦後長らく制限的な輸送の根拠となってきた¹「シカゴ条約」による航空輸送の指針が 1970 年代に大きく変化した。米国国内輸送市場における制限撤廃、いわゆる「デレグ (Deregulation Act)」である²。これにより、路線設定、価格設定などの制限が大幅に緩和・撤廃され、国際線における Open Skies Policy など今に至る輸送の自由化のひな形になったことは周知の事実である。観光需要や貿易の拡大など、社会の要求を反映

（あるいは先読み）して、航空輸送は現実社会の「あり方」に寄り添い続けた。

しかし、21 世紀に入り、様相に変化が見られるようになった。発端は 9.11 (米国同時多発テロ)、3.11 (東日本大震災) などの大惨事、あるいは恒常化する巨大自然災害とも考えられる。いずれにしても、20 世紀ではともすればそれほど注目されなかった²安全性 (security: 防災を含む)、環境問題 (environmental issues)、機会均等性 (accessibility ともいうことができる)、外交問題 (international affairs) といった航空輸送が潜在的にもつ問題に対峙しなければならなくなったといえる。これらは国連が掲げる SDGs と密接に関連するため、好むと好まざるに関わらず航空輸送関係者全てが取り組むべき問題となっているといえる。上述のことがらは、すなわちわれわれが前提とすべき「新たなパラダイム」の一端を示すものといえることができる。

こういった問題は最近出てきたことのように思われる向きもあるが、いくつか先験的な視点で指摘されてきたこともある。また、近年こういった課題について積極的に取り組もうとする向きも見ることができる。本稿では限られたスペースではあるが、最近の調査・研究動向も含めて、「新たなパラダイム」にいかに関与すべきか、

¹一方で、立ち上げ後間もない脆弱な航空輸送産業を保護した、という側面もある。

²あるいは対立項として存在していた（経済成長対環境保護、など）ために、明示的に取り上げなかったともいえよう。

というアカデミアならびに実務の取り組みについて触れていきたいと思う。

2. 航空と安全性

航空輸送と安全性はその機材特性から重要視されてきた。しかし、それは「輸送の安全性」に関わる基本的事項であり、時代の変遷とともに発生する問題、あるいは技術の進歩に伴う改善の必要性を問うものが増えてくるのは必然とも思われる。

(1) 公衆衛生と航空

航空輸送における安全性に関しては、9.11 が非常に大きなインパクトを与えたと考えられる。これは、従来から行われてきた旅客・搭載貨物に対する「信頼性」を脅かすものであった。9.11 以降、国内線・国際線を問わず、セキュリティチェックが厳しさを増した³⁾ことは誰も経験されたことであろう。この「セキュリティの強化」³⁾は一方で航空利用の煩雑さを劇的に増したものと見え、旅客の航空利用にはことさら影響を与えたものと考えられる。こういった課題に対してごく初期の研究としては Gkritza et al. (2006)⁴⁾の待ち時間に対する旅客の評価に関する研究や Olapiriyakul and Das (2007)⁵⁾の 2 段階スクリーニング法に関する研究が挙げられる。

しかし、COVID-19 により情勢は大きく変化した。パンデミック勃発後、歴史的大打撃を受けた航空輸送に関して International Civil Aviation Organization (ICAO) は 2020 年 5 月には早くも CART と略される COVID-19 を踏まえた航空輸送における手続き、要求される施設の能力などを示した。具体的には COVID-19 の存在を前提に、空港、航空機内、グラウンドハンドリングなどを対象に、望ましいシート配置のあり方や換気、空港での動線確保など事細かに示されている。これは COVID-19 によるものであるが、検疫を含む航空における公衆衛生の確保とそのための空港内スクリーニングの問題は COVID-19 が収束しても終わることはない。今後経済活動が回復し、さらに活動範囲を広げていくことで必然的に新たな脅威にさらされる可能性は否定できないからである。そのためにも、「公衆衛生」と「国際航空輸送」のあり方は今後一層活発に検討されるべき問題ではあるものの、2021 年 9 月現在、新たな視点からの検討は筆者の知る限りほとんど出てきてはいないように思われる⁴⁾。

³⁾ 米国では Transportation Security Administration (TSA) による Aviation and Transportation Security Act (2001)³⁾の適用がなされた。

⁴⁾ なお、COVID-19 と航空輸送、特に需要回復や当座の運用方針などに関する包括的レビューは Sun et al. (2021)⁶⁾で

(2) 災害と航空

航空輸送に関する災害では、頻発するものは台風災害と雪害である。これらは毎年のように発生する。特に近年は地球温暖化との関連が指摘されている巨大台風・ハリケーン、あるいは冬期の「爆弾低気圧」による災害は深刻さを増しているといえる。わが国でも 2018 年の台風 21 号による関西空港水没や 2019 年の台風 15 号での成田空港の孤立化が記憶に新しい。これらの災害に対しては、災害レポートという形で調査内容が発表されている(竹林他, 2020)⁷⁾。一方、航空に関する研究においてこういった災害に関わる研究の多くは Weather rerouting と呼ばれる気象条件を考慮した Air Traffic Control の一分野として成立してきた(Yoon et al., 2011)⁸⁾。特に rerouting に関する研究は盛んで、どのような航路を執ることが有効か、あるいはどのような航路を執ることが予想されるか、といった rerouting の予測あるいは過去の行動からのカテゴリズに関する手法論に関する研究(Olive et al., 2018⁹⁾; Liu and Hansen, 2018¹⁰⁾; Olive and Basora, 2020¹¹⁾; Olive et al., 2020¹²⁾) が近年では盛んである。特に米国ではハリケーンや雷雨などによる空港閉鎖、航路変更が毎年のように発生するため、こういった Weather rerouting との関連での研究が進んでいる。

一方、わが国では 3.11 での仙台空港の被害を契機として、空港における防災が本格的に議論され始めた。例えば荒谷ら(2013)¹³⁾は 3.11 での東北の空港の利用実態に関する調査報告を行っている。ここでは詳細な実態調査であるが、将来的な課題についても示唆を得ることができよう。Wang et al. (2019)¹⁴⁾は 3.11 における岩手県を対象として、災害時に緊急的な空港容量拡張法について議論している。また、実務的には 2018 年の台風 21 号などの被害も考慮し、従来の空港における BCP を抜本的に見直すために、2019 年に新たなガイドライン(A2BCP)を提示するに至った。このように 3.11 を契機として空港における BCP を見直すための手法論、またガイドラインの策定といった動きがわが国にも見られるが、その動きは限定的なものにとどまっている。

「空港の BCP」と銘打っていることは、すなわち「点」での制御ということに精力を注ぐ、という意味になる。これは Weather rerouting の問題も含めて、多くの研究が「点」での制御に注目している。しかし、災害によってはより「面」的な被害をもたらしうるものもある。3.11 もそうであったが、空港に関して言えば大規模な被害は沿岸部に位置した仙台空港 1 箇所に限られる。さらに広範囲に影響が及ぶものに関しても今後は検討する必要があると考えられる。

行われている。

一つの例として、火山災害を挙げておく。火山災害の航空輸送への影響は 1982 年のインドネシア Galunggung 山噴火によるボーイング 747 機のエンジンストールに端を発し、1989 年のアラスカ Redoubt 山噴火ボーイング 747 機のエンジンストールなど、いくつかの重大インシデントが報告されている。その最も大規模なものが 2010 年のアイスランド Eyjafjallajökull 山の噴火である。このときは欧州全土に被害が広がり、17 億ドルもの被害を航空輸送産業にもたらした (ICAO, 2013)¹⁵。このときの反省から ICAO が中心となって安全基準の見直しが行われ (ICAO, 2012)¹⁶、アジア太平洋地域でもその改変が進んでいる (ICAO, 2019)¹⁷。研究に関しては 2010 年の Eyjafjallajökull 山の噴火の影響は Schmitt and Kuenz (2015)¹⁸が航空関連産業への影響を計量している。さらに、Reichardt et al. (2018)¹⁹, (2019)²⁰では航空のプロフェッショナルに対してシナリオベースの行動分析を行うなど、実践面での利用を念頭に研究を行っている。わが国でも Arreras and Arimura (2021)²¹、Takebayashi et al. (2021)²²などが国内の火山噴火の影響、特に広域的な空域封鎖の影響について検討しているが、広域的な影響についての研究はまだ端緒についたばかりとすることができる。火山に限らず、巨大台風、大規模山火事、大規模風雪害などこれらから起こりうる、また既に発生している広範囲に影響をもたらす災害に対する航空のあり方の研究は今後その重要性を増すことになると考えられる。

なお空港などの施設単位でのセキュリティに関しては Lordan et al. (2014)²⁴、Janic (2015)²⁵、Voltes-Dorta et al. (2017)²⁶で計測方法などについて言及している⁵。

3. 環境と航空

環境と航空は、航空を「経済活動の一形態」というように言い換えれば、昔から一種の「対立概念」として語られてきたものの一つである。20 世紀的に考えれば、経済活動を重視すれば環境が損なわれる、環境保全に努めれば、経済活動に影響が出る。単純な二項対立の中の検討、というのが長らく続いてきたと考えられ、われわれもその思考方法に慣れてきたともいうことができる。

この考え方に最後通告ともいえる決定的なインパクトを与えたものが、世界規模での進展を望む地球温暖化対策とそれを推進する一種のアイコンとして機能した Greta Thunberg 氏の「飛び恥 (Flight Shame)」発言といってもよいであろう。COVID-19 の騒ぎの中でも社会的関心の高さは依然として維持されており、アフターコロナでは航空が環境問題とどう折り合いをつけるか、が最も大きな関心事となると各方面で指摘されている。

⁵なお、より一般的な航空におけるリスクの計量に関するレビューでは Netjasov and Janic (2008)²⁶等がある。

その一つの大きな動きとして、ICAO が 2010 年に排出抑制目標 CNG2020 を提案するとともに、CORSLIA と呼ばれる二酸化炭素排出抑制に関する方法論 (スキーム) を提案した (ICAO, 2016)²⁷。2021 年 9 月現在、この CNG2020 に対応した動きを各社・団体は行っていく必要に迫られている。

(1) 環境問題としての航空

この「環境」に着目した航空輸送研究はその歴史は意外と古い。多くの場合、対象は騒音問題であった (Brueckner and Girvin, 2008)²⁸。わが国では大阪空港の騒音問題などが挙げられ、欧米においても例えばサンフランシスコ空港では 1980 年代初頭に騒音軽減策を採択し、現在も継続しているという経緯もある。近年エンジンの性能が飛躍的に向上し、またサイレンサーの機能の大幅改善により、機体そのものの騒音は相当改善されてきてはいるものの、やはりある程度の騒音の発出は現時点ではやむを得ない。ゆえに騒音コンターの予測精度の向上などにより、航路設定の影響などを予測する研究などが行われている (平田ら, 2011)²⁹。

直近 5 年間では本章の冒頭に示したように地球温暖化対策=二酸化炭素 (Green Hous Gas/GHG) 軽減を目指した研究が多く見られるようになった³⁰³¹。実際の計測に関しては Larsson et al. (2018)³²がスウェーデンを対象に国際航空旅客輸送による GHG 排出量の計測を行っている。こういった計測・予測については多方面で行われており、例えば Wynes and Donner (2018)³³も調査対象が大学職員レベルではあるもののビジネスラベルに由来するエミッションの程度計測をインタビュー調査ベースで行っている。最新のものでは例えば Grewe et al. (2021)³⁴がコロナ禍の影響も加味したエミッションの効果予測をシミュレーションによるシナリオ分析により行っている。

このように実際の計測については盛んに行われる一方、エミッションの方法論としてはカーボンオフセットを前提とした市場メカニズムによる解決が参照されることが多い (Anderson and Bernauer, 2016)³⁰。しかし前述の CNG2020 への実現には政策的な課題も多いことが Gössling et al. (2016)³¹によっても指摘されている。機材や燃料の変更による GHG 軽減の期待はされる⁶ものの、当座はカーボンオフセットに頼るか、あるいは後述の他のモードとの協調による軽減以外には難しいといえる。こ

⁶NASA による電動プロップ機の開発はある程度進んでいるが、商用運航に必要な座席数を満足するには至っていない。また、同様に燃料に関しても bio-fuel の大規模供給は現実的にはまだ相当先である。Grewe et al. (2021)のシナリオにおいても A320NEO などの機材の効率性が大幅に向上して実用化されるのはかなり先 (2035 年) とされている。

の意味で経済的な方法論に頼る場合、如何に効果的にカーボンオフセットを実現するか、が手法的には問われることになる。しかし繰り返すが、これは根本的な解決にはならない。問題を先送りするに留まることに注意が必要である。

(2) マルチモーダル輸送

GHG 削減のためのもう一つの考え方として、交通そのものを合理化して、GHG 削減を目指す、というものである。代表的な考え方としては、モーダルシフト、あるいはマルチモーダル輸送の積極的推進が挙げられる。

従来、モーダルシフトは輸送効率性の観点からなかなか進まなかったが、GHG 削減の有効な施策として注目されるようになってきた。特に、GHG の排出原単位の小さな鉄道へのシフトを念頭に検討されることが多くなってきている。新幹線に代表される高速鉄道 (high-speed rail/HSR) が日本や欧州だけではなく、中国や台湾で整備され、またインドを含むアジアでも建設が進んでおり、今後の旅客輸送の主要プレーヤーとなることが期待されていることもこの現象に大きく影響しているものと考えられる。

HSR と航空輸送は、基本的に競合関係であると考えられてきた (Adler et al., 2010³⁵; Albarate et al., 2015³⁶; Fu et al., 2012³⁷, 2014³⁸)。ゆえに HSR の強化は航空輸送にとっては市場を侵食されることになり、航空輸送にとっては好ましいとはいえないものであった。しかし、欧州では既に主要国際空港への HSR の乗り入れは各所で行われており、また中国の HSR 整備計画 (8+8 network) でも空港への HSR の直接乗り入れも含め、HSR との接続性の強化はなされている (Wang et al., 2017³⁹; Shuli et al., 2019⁴⁰)。

こういった流れの中、航空と HSR との共存、強いては協調的關係から生み出される効果について検討する研究がこの 10 年間で急速に進展している。Jiang and Zhang (2014)⁴¹、Takebayashi (2014)⁴²はその最も初期の研究の一つとして挙げられる。Jiang and Zhang は空港の容量制約の問題の有効な解決策としての協調の効果を、また Takebayashi は国内市場での HSR の優位が明確な場合、協調關係は国際線旅客の厚生の上をもたらずと指摘している。このように協調による厚生改善に関しては Givoni and Banister (2006)⁴³、Socono and Viccens (2013)⁴⁴、Xia and Zhang (2016)⁴⁵など多数報告され、またその協調の方法も航空会社との協調 (Xia and Zhang, 2017⁴⁶; Liu et al. 2019⁴⁷) や空港との協調 (Takebayashi, 2016⁴⁸) などいくつものバリエーションに関して検討されている。

GHG 削減が本格化される中、上記のような協調を政策的な面で進める研究も始められている。Jiang (2021)⁴⁹は航空と HSR の協調による課税効果 (航空への課税を

HSR 運営の補給金とする) について検討し、効果の現出には HSR 有無における航空への課税率の差違に依存すると結論づけている。こういった租税措置を含めた政策面での効果検討は GHG 削減が本格化し、長期的に持続可能な方策が求められる中、ますます必要となると考えられる。

なお、紙面の都合上触れなかったが、旅客輸送だけではなく、貨物輸送でも航空と他のモードとの協調 (融合)、特に海上輸送 (sea and air) や鉄道 (rail and air) に関しては実務では積極的に進められている。特に中欧班列の盛況により、鉄道と航空の融合は特にユーラシアで進む可能性があるが、これらについては今後の研究成果を待ちたい。

4. 地域と航空

航空輸送は空港同士をつなぐ、という「点」レベルの整備となるため、輸送上は制約の少ないモードといえることができる。一方で、この「点」同士のつながりを維持するのは主として私企業である航空会社であるため、その維持が問題となることが多い。特に航空自由化が進んだ現在、市場原理に則り、採算性の悪い路線は整理される傾向にある。一方で、採算性のよい路線は大都市発着であることが多く、大都市に立地する空港への集積はより進み、一方では整備した空港の効率性が一層低下する、という状態が常態化している。

こういった問題は今に始まったものではないものの、市場での規制緩和・自由化の進展に伴い、より深刻なものとなってきたといえる。

(1) 地域の発展と航空輸送

航空輸送は地域の社会経済的需要によって発生する派生需要であり、地域の需要なしには成立し得ない。逆に航空サービスの活性化が地域の社会経済状況を好転させる、ということも否定できない。このように、「卵と鶏」の話が航空あるいは空港整備でもずっとついて回ってきた。これは需要追従型の空港整備、航空輸送政策では有効であったと思われるが、現在では少々事情が異なってきている。より「戦略性」を持ったものとなると筆者は考えている。需要は「あるもの」から「作るもの・取ってくるもの」という思考形態に入ったと言え過ぎであろうか? 少なくとも、需要を喚起するように航空会社、空港あるいは政府もその戦略を練っているというのが実情である。その最たるものは Low Cost Carriers (LCC) と空港の民営化といっても過言ではない。

21 世紀に入り、最も活発に航空市場を開拓しているのが ASEAN である。21 世紀初頭には早くもアジアで初の LCC である Air Asia が運航を開始している。これは急

速に ASEAN の航空市場での自由化が進んでいた結果といえる。ASEAN では地域全体の発展のための経済統合の一環としての航空市場の自由化 (Tan, 2010⁵⁰) , というように経済政策のスキームと認識できる。また, 航空輸送市場での最大の問題である「第 5 の自由」の行使程度 (無制限行使かあるいは制限的行使か) の問題に直接抵触しない「ジョイントベンチャースタイル」という戦略をアジアの LCC が採用しているという特徴が Hanaoka et al. (2014)⁵¹ で指摘されている。

このように LCC の活況を背景とした航空輸送の活性化はコロナ禍により大きく減退している。特に LCC は運航頻度とロードファクターに大きく依存するため, 経営上極めて大きな打撃を受けている⁷。加えて, 前出の CNG2020 への対応やコロナ禍以降の公衆衛生への対応など, 従来の LCC のビジネスモデルとは相容れない条件も今後は重要となると考えられ, ビジネスモデルの再構築が必要になると考えられる。これは地域の交通サービスにとっては大きな問題となり, 地域の成長戦略の見直しも必要となると予測される⁸。

一方で, 空港運営の民営化に関する議論もこの 10 年間に盛んになった (例えば Noruzolizade et al., 2015⁵²; Czemy et al., 2017⁵³)。そういった中で例えば Xu et al. (2019)⁵⁴ は北海道の複数空港民営化を取り上げ, 複数空港の民営化による総余剰増加の可能性を示唆し, 空港と地域のあり方に一石を投じたといえる。一方で, 民営化のリスクは例えば 2 章で述べた災害などの不測の事態への責任の所在など, 今後世界的な規模で災害などのリスク (コロナ禍のような公衆衛生上の問題も含む) についても今まで以上に検討される必要がある。

(2) No One Left Behind のための航空

SDGs の主要な理念として “No One Left Behind (誰も置き去りにしない)” というものがある。これは格差是正を謳ったものであるが, これは航空の世界でも例外ではない。主要国での航空輸送を念頭に置いた研究では効率性あるいは厚生への改善の観点からの議論が多数を占めるが (例えば McLay and Reynolds-Feighan, 2006⁵⁵; Basso and Zhang, 2008⁵⁶; Barbot, 2009⁵⁷; Czemy and Zhang, 2014⁵⁸; Lin and Zhang, 2017⁵⁹) , こういったアプローチは需要規模が小さな市場 (さらに付け加えれば, 今まで視野に入っ

なかった市場) に対してはあまり有効とはいえない。そもそも前提としている「競争」が働きにくい市場であるためである。その端的な例を太平洋上の小規模島嶼国 (Pacific Small Islands Developing States/PSIDS) に見ることができる。PSIDS については ICAO が継続的な調査の必要性を論じているものの (ICAO, 2019⁶⁰; Hooper 2020⁶¹) , まだまだ未知・未開拓の領域である。コロナ禍によりこれら小規模市場の置かれた状況はことさらに悪化したことは言うまでもない (Hooper (前掲))。

このような分野に関する研究は現時点では残念ながら非常に少ない。その中でもいくつか注目に値する先駆的研究はなされてきた。Özcan (2014)⁶² は遠隔地への生活維持のための航空サービス (essential air service) の地域経済への貢献に着目し, 2 段階最小自乗法を用いた実証分析を通じて言及している。同様の問題意識を持った中出・竹林 (2015)⁶³ は奄美群島, 伊豆七島などの島嶼地域を対象に地域への航空サービスの水準と補助金投入との関連性について検討している⁹。空港レベルでの問題に関しては, Adler et al. (2013)⁶⁴ は地域航空を支える小規模空港の持続可能性について包絡面分析 (DEA) を適用し, 分析を試みている。これらはいずれも厳しい状況に置かれている小規模空港, 遠隔地輸送の現実を直視し, それに対する処方を見出そうとした先験的研究と位置づけられる。

小規模市場へのサービスに関しては, わが国では中山間地域の問題 (田中, 2009)⁶⁵ と類似の構造を持つともいえるものの, 交通条件などより深刻な場合が多いと認識されている (国土交通省, 2009)⁶⁶。離島地域はことさらに航空輸送への依存度が高く, これは今後も変わらない。SDGs への対応が本格化するコロナ禍以降において, 離島・島嶼地域の航空輸送サービスの維持存続に関わる研究は今まで以上に必要とされるといえよう。

5. おわりに

本稿ではアフターコロナを見据えた今後の航空輸送研究の方向性について概観した。本稿で見てきたように, SDGs を端緒とした新たなパラダイムを下敷きとした航空輸送のあるべき方向性は漠然とはしているもの示されつつある。しかしながら, それはまだ正にスタートラインについたばかりかもしれない。サプライチェーンの安定化のようにコロナ禍でその重要性が図らずもクローズアップされたものも他にいくつもあると思われる。そういった「偶発的に見つかった課題」から新たなパラダイムは進行していくと筆者は願っている。

⁷ Cirium 社 Dashboard (オンラインデータベース) によれば Air Asia Group は 2020 年の対前年比収入は 70% の減収であり, ネットワークキャリアの Capathay Pacific (55%), ANA グループ (62%) と比較しても有意に高い減収である。

⁸ 例えば LCC 需要に大きく依存した空港が立地する地域においては, LCC のビジネスモデルの変更が地域の経済に直接的に反映される可能性がある。

⁹ 離島地域への交通サービスについては海上輸送に着目したアプローチ (寺田, 2014⁶⁷; 黒山ほか, 2018⁶⁸) も行われているが実例は極めて少ない。

最後に本稿で述べたものはあくまでもごく限られたテーマに関するものであり、本稿では触れていない新たな課題、今までの視点とは全く異なる視点からの課題の発掘は今後ますます続くと期待し、本稿を終えることとする。

参考文献

- 1) Stigler, G. J.: The economies of scale, the Journal of Law and Economics 1, 54-71, 1958.
- 2) 村上英樹他編著：航空の経済学, 2006.
- 3) Transportation Security Administration: Aviation and Transportation Security Act, 2001.
- 4) Gkritza, K., Niemeier, D., Mannering, F.: Airport security screening and changing passenger satisfaction: An exploratory assessment, Journal of Air Transport Management 12, 213-219, 2006.
- 5) Olapiriyakul, S., Das, S.: Design and analysis of a two-stage security screening and inspection system, Journal of Air Transport Management 13, 67-74, 2007.
- 6) Sun, X., Wandelt, S., Zheng, C., Zhang, A.: COVID-19 pandemic and air transportation: Successfully navigating the paper hurricane, Journal of Air Transport Management 94, 102062, 2021.
- 7) 竹林幹雄, 大西正光, 平田輝満, 轟朝幸, 大石哲: 台風 15 号における 成田 国際 空港における利用者滞留問題, 令和元年 台風 15 号による停電の長期化に伴う影響と風水害に関する総合調査 (代表: 丸山喜久), 2020.
- 8) Yoon, Y., Hansen, M., Ball, M.O.: Optimal route decision with a geometric ground-airborne hybrid model under weather uncertainty, Transportation Research Part E 48, 34-49, 2012.
- 9) Olive, X., Grignard, J., Dubot, T., Saint-Lot, J.: Detecting controllers' actions in past mode S data by autoencoder-based anomaly detection, 8th SESAR Innovation Days, hal-02338690 (<https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-02338690>), 2018.
- 10) Liu, Y., Hansen, M.: Predicting Aircraft Trajectories: A Deep Generative Convolutional Recurrent Neural Networks Approach, Machine Learning (<https://arxiv.org/abs/1812.11670>), 2018.
- 11) Olive, X., Basora, L.: Detection and identification of significant events in historical aircraft trajectory data, Transportation Research Part-C 119, 102737 (<https://doi.org/10.1016/j.trc.2020.102737>), 2020.
- 12) Olive, X., Sun, J., Lafage, A., Basora, L.: Detecting events in aircraft trajectories: rule-based and data-driven approaches, Proceedings 2020, 59, 8 (<https://doi.org/10.3390/proceedings2020059008>), 2020.
- 13) 荒谷太郎, 平田輝満, 長田哲平, 花岡伸也, 轟朝幸, 引頭雄一: 東日本大震災時の航空機活動と空港運用の実態分析—いわて花巻・山形・福島空港を対象として—, 土木学会論文集 D3 (土木計画学), Vol.69, No.5 (土木計画学研究・論文集第 30 巻), I_229-I_246, 2013.
- 14) Wang, Q, Hirata, T., Kubo, S.: Simulation analysis of airport capacity for disaster relief activities, Journal of EASTS 13, 2334-2352, 2019.
- 15) ICAO: Heeding Eyjafjallajökull's lessons, ICAO Journal, 68, No. 1, 6-8, 2013.
- 16) ICAO: Flight safety and volcanic ash—Risk management of flight operations with known or forecast volcanic ash contamination, ICAO Doc. 9974, International Civil Aviation Organization, 2012.
- 17) ICAO Asia and Pacific Office, 2019. Asia/Pacific region ATM contingency plan version 3.0 ([https://www.icao.int/APAC/Documents/edocs/Regional ATM Contingency Plan Version 3.0.pdf](https://www.icao.int/APAC/Documents/edocs/Regional_ATM_Contingency_Plan_Version_3.0.pdf)).
- 18) Schmitt, A. R., Kuenz, A.: A Reanalysis of Aviation Effects from Volcano Eruption of Eyjafjallajökull in 2010, AIAA/IEEE Digital Avionics Systems Conference (34th DASC), 1B3-1-1B3-7, <https://ieeexplore.ieee.org/document/7311335>, 2015.
- 19) Reichardt, U., Ulfarsson, G. F., Pétursdóttir, G.: Volcanic ash and aviation: Recommendations to improve preparedness for extreme events, Transportation Research Part A, 113, 101-113, 2018.
- 20) Reichardt, U., Ulfarsson, G. F., Pétursdóttir, G.: Developing scenarios to explore impacts and weaknesses in aviation response exercises for volcanic ash eruptions in Europe, Journal of Air Transport Management, 79, (1-10), 101684, 2019.
- 21) Arreras, S., Arimura, M.: A study on shelter airport selection during large-scale volcanic disasters using CARATS open dataset, Transportation Research Part C 129, 103263, 2021.
- 22) Takebayashi, M., Onishi, M., Iguchi, M.: Large volcanic eruptions and their influence on air transport: The case of Japan, Journal of Air Transport Management 97 (ID102136), 2021 (<https://doi.org/10.1016/j.jairtraman.2021.102136>), 2021.
- 23) Lordan, O., Sallan, J. M., Simo, P., Gonzalez-Prieto, D.: Robustness of the air transport network, Transportation Research Part E 68, 155-163, 2014.
- 24) Janic, M.: Modelling the resilience, friability and costs of an air transport network affected by a large-scale disruptive event, Transportation Research Part A 71, 1-16, 2015.
- 25) Voltes-Dorta, A., Rodríguez-Déniz, H., Suau-Sanchez, P.: Vulnerability of the European air transport network to major airport closures from the perspective of passenger delays: Ranking the most critical airports, Transportation Research Part A, 96, 119-145, 2017.
- 26) Netjasov, F., Janic, M.: A review of research on risk and safety modelling in civil aviation, Journal of Air Transport Management 14, 213-220, 2008.
- 27) ICAO: On Board: a sustainable future, 2016 (<https://www.icao.int/environmental-protection/Documents/ICAO%20Environmental%20Report%202016.pdf>).
- 28) Brueckner, J.K., Girvin, R.: Airport noise regulation, airline service quality, and social welfare, Transportation Research Part B 42, 19-37, 2008.
- 29) 平田輝満, 清水吾妻介, 屋井鉄雄: 羽田空港再拡張後の新規滑走路整備による容量拡大方策と騒音影響に関する研究, 土木学会論文集 D3 (土木計画学), Vol.67, No.5 (土木計画学研究・論文集第 28 巻), I_1011-I_1022, 2011.
- 30) Anderson, B., Bernauer, T.: How much carbon offsetting and

- where? Implications of efficiency, effectiveness, and ethicality considerations for public opinion formation, *Energy Policy* 94, 387-395, 2016.
- 31) Gössling, S., Cohen, S.A., Haresd, A.: Inside the black box: EU policy officers' perspectives on transport and climate change mitigation, *Transport Geography* 57, 83-93, 2016.
 - 32) Larssona, J., Kamba, A., Nässéna, J., Åkermanb, J.: Measuring greenhouse gas emissions from international air travel of a country's residents methodological development and application for Sweden, *Environmental Impact Assessment Review* 72, 137-144, 2018.
 - 33) Wynes, S., Donner, S.D.: Addressing Greenhouse Gas Emissions from Business-Related Air Travel at Public Institutions: A Case Study of the University of British Columbia, Pacific Institute for Climate Solutions, University of British Columbia, 2018 (https://pics.uvic.ca/sites/default/files/AirTravelWP_FINAL.pdf).
 - 34) Grewe, V., Rao, A.G., Grönstedt, T., Xisto, C., Linke, F., Melert, J., Middel, J., Ohlenforst, B., Blakey, S., Christie, S., Matthes, S., Dahlmann, K.: Evaluating the climate impact of aviation emission scenarios towards the Paris agreement including COVID-19 effects, *Nature Communications* 2021: 12-3841, 2021 (<https://doi.org/10.1038/s41467-021-24091-y>).
 - 35) Adler, N., Pels, E., Nash, C.: High-speed rail and air transport competition: Game engineering as tool for cost-benefit analysis, *Transportation Research Part B* 44, 812-833, 2010.
 - 36) Albalade, D., Bel, G., Fageda, X.: Competition and cooperation between high-speed rail and air transportation services in Europe, *Journal of Transport Geography* 42, 166-174, 2015.
 - 37) Fu, X., Zhang, A., Lei, Z.: Will China's airline industry survive the entry of high-speed rail?, *Research in Transportation Economics* 35, 13-25, 2012.
 - 38) Fu, X., Oum, T.H., Yan, J.: An analysis of travel demand in Japan's inter-city market: Empirical estimation and policy simulation, *Journal of Transport Economics and Policy* 48, 97-113, 2014.
 - 39) Wang, K., Xia, W., Zhang, A.: Should China further expand its high-speed network? Consider the low-cost carrier factor, *Transportation Research Part A* 100, 105-120, 2017.
 - 40) Shuli, L., Wan, Y., Ha, H. K., Yoshida, Y., Zhang, A.: Impact of high-speed rail network development on airport traffic and traffic distribution: Evidence from China and Japan, *Transportation Research Part A* 127, 115-135, 2019.
 - 41) Jiang, C., Zhang, A.: Effects of high-speed rail and airline cooperation under hub airport capacity constraint, *Transportation Research Part B* 60, 33-49, 2014.
 - 42) Takebayashi, M.: The future relations between air and rail transport in the island country, *Transportation Research Part A* 62, 20-29, 2014.
 - 43) Givoni, M., Banister, D.: Airline and railway integration, *Transport Policy* 13, 386-397, 2006.
 - 44) Socorro, M.P., Viacens, M.F.: The effects of airline and high speed train integration, *Transportation Research Part A* 49, 160-177, 2013.
 - 45) Xia, W., Zhang, A.: High-speed rail and air transport competition and cooperation: A vertical differentiation approach, *Transportation Research Part B* 94, 456-481, 2016.
 - 46) Xia, W., Zhang, A.: Air and high-speed rail transport integration on profits and welfare: Effects of air-rail connecting time, *Journal of Air Transport Management* 65, 181-190, 2017.
 - 47) Liu, S., Wan, Y., Ha, H.K., Yoshida, Y., Zhang, A.: Impact of high-speed rail network development on airport traffic and traffic distribution: Evidence from China and Japan, *Transportation Research Part A* 127, 115-135, 2019.
 - 48) Takebayashi, M.: How could the collaboration between airport and high speed rail affect the market?, *Transportation Research Part A* 92, 277-286, 2016.
 - 49) Jiang, C.: Aviation tax and railway subsidy: An integrated policy, *Transportation Research Part B* 146, 1-13, 2021.
 - 50) Tan, A.K.J.: The ASEAN multilateral agreement on air services: En route to open skies?, *Journal of Air Transport Management* 16, 289-294, 2010.
 - 51) Hanaoka, S., Takebayashi, M., Ishikura, T., Saraswati, B.: Low-cost carriers versus full service carriers in ASEAN: The impact of liberalization policy on competition, *Journal of Air Transport Management* 40, 96-105, 2014.
 - 52) Noruzoliaee, M., Zou, B., Zhang, A.: Airport partial and full privatization in a multi-airport region: Focus on pricing and capacity, *Transportation Research Part E* 77, 45-60, 2015.
 - 53) Czerny, A.I., Cowan, S., Zhang, A.: How to mix per-flight and per-passenger based airport charges: The oligopoly case, *Transportation Research Part B* 104, 483-500, 2017.
 - 54) Xu, F., Hanaoka, S., Onishi, M.: Multi-airport privatization in a Japanese region with trip-chain formation, *Journal of Air Transport Management* 80, 101690, 2019.
 - 55) McLay, P., Reynolds-Feighan, A.: Competition between airport terminals: The issues facing Dublin Airport, *Transportation Research Part A* 40, 181-203, 2006.
 - 56) Basso, L.J., Zhang, A.: On the relationship between airport pricing models, *Transportation Research Part B* 42, 725-735, 2008.
 - 57) Barbot, C.: Airport and airlines competition: Incentives for vertical collusion, *Transportation Research Part B* 43, 952-965, 2009.
 - 58) Czerny, A.I., Zhang, A.: Airport congestion pricing when airlines price discriminate, *Transportation Research Part B* 65, 77-89, 2014.
 - 59) Lin, M.H., Zhang, Y.: Hub-airport congestion pricing and capacity investment, *Transportation Research Part B* 101, 89-106, 2017.
 - 60) ICAO: Pacific Small Island Developing States Aviation Needs Analysis (PSIDS Study), ICAO, 2019.
 - 61) Hooper, P.: Creating a New Aviation Future for Small Island Developing States, ICAO World Civil Aviation Report - Volume 4, 82-90.
 - 62) Özcan, I. Ç. : Economic contribution of essential air service flights on small and remote communities, *Journal of Air Transport Management* 34, 24-29, 2014.
 - 63) 中出貴大, 竹林幹雄: 本土との接続性を考慮した離島・島嶼地域における交通サービスに関する実証分析, *運輸と経済*, 75 巻 12 号, 67-78, 2015.
 - 64) Adler, N., Ülkü, T., Yazhemy, E.: Small regional airport sustainability: Lessons from benchmarking, *Journal of Air Transport Management* 33, 22-31, 2013.
 - 65) 田中耕市: 中山間地域における公共交通の課題と展望, *経済地理学年報*, 第 55 巻, 33-48, 2009.
 - 66) 国土交通省国土審議会政策部会第 1 回議事要旨, 2009 (https://www.mlit.go.jp/policy/shingikai/kokudo01_sg_000050.html).
 - 67) 寺田一薫: 部分的帰省緩和・分権下の離島交通政策に関する研究 - 鹿児島県の離島を中心に -, *海運経済* Vol. 48, 1-12, 2014.

- 68) 黒山良洋, 寺田一薫, 寺田英子 : 離島居住者のアクセシビリティと離島航路政策に関する研究—長崎県および鹿児島県における定量分析—, 海運経済研究 52, 41-50, 2018.

(2021.10.01 受付)

PARADIGM SHIFT IN AIR TRANSPORT SECTOR AND AVIATION POLICIES: LITERATURE REVIEWS

Mikio TAKEBAYASHI

This paper aims to overview the direction of the air transport research after COVID-19 pandemic via research review. After the pandemic, the “new paradigm” of driving the world would rise. The movement of “Sustainable Development Goals” is the typical phenomenon of rising of the new paradigm. In this paper, we pick up some representative research papers as well as policies reflecting this new trend and discuss the future direction of what the air transport industry should (or sometimes “must”) do. Finally, we discuss the direction for tackling three important issues, i.e. environmental issues, security affairs, and accessibility.