

国際線を対象とした ダイバート先候補空港の抽出手法に関する分析 — Flightradar24 を用いた検討 —

藤井 涼¹・森崎 裕磨²・藤生 慎³・高山 純一⁴

¹ 学生会員 金沢大学大学院 自然科学研究科環境デザイン学専攻 (〒920-1192 石川県金沢市角間町)
E-mail: r9685@stu.kanazawa-u.ac.jp

² 学生会員 金沢大学大学院 自然科学研究科環境デザイン学専攻 (〒920-1192 石川県金沢市角間町)
E-mail: yki20@stu.kanazawa-u.ac.jp

³ 正会員 金沢大学准教授 理工研究域地球社会基盤学系 (〒920-1192 石川県金沢市角間町)
E-mail: fujiu@se.kanazawa-u.ac.jp

⁴ フェロー 金沢大学名誉教授 (〒920-1192 石川県金沢市角間町)
E-mail: takayama@se.kanazawa-u.ac.jp

2018年9月6日3時7分59秒、北海道胆振東部地震が発生し最大震度7を記録した。大規模停電と地震動による施設被害の影響で新千歳空港は運用不可能となり復旧まで時間を要した。高い安全基準が求められる航空分野において空港が被災した場合、空港施設のみならず航空機の運航にも大きな影響が生じる。発災直後には被災空港を目的地として飛行中の航空機の対処が急務である。この為に多数の航空機の燃料等を考慮した上でダイバート空港を選定し、安全な着陸を目指す必要がある。そこで本研究では、航空機の過去の航跡データを用いて災害発生を想定した分析を行った。今回は発災時に対応の緊急性が高いと考えられる国際線の航空機を対象とした。出発時の必要搭載燃料量から発災時点での各航空機の航続可能距離を仮定し、ダイバート候補空港の把握を試みた。

Key Words: aviation network, disaster response capability, airport, Flightradar24

1. 本研究の背景と目的

(1) 本研究の背景

近年、我が国では自然災害の多発化や被害の激甚化・多様化により、空港をはじめとする重要な交通インフラの機能に支障をきたすなど、国民生活や経済活動に多大な影響を与えている。近年の被災事例として2011年東北地方太平洋沖地震、平成30年台風21号、平成30年北海道胆振東部地震が原因となった空港被災が挙げられる。平成30年台風21号の事例では関西国際空港が浸水、停電の被害が発生した。被災から3日間は全ての航空機が運航を停止し、全面的な復旧には17日を要した¹⁾。また、平成30年北海道胆振東部地震の事例では最大震度7を記録した。地震動による大規模停電と地震動そのものによる施設被害の影響で新千歳空港は運用不可能となった。一方で滑走路に異常は無く、航空機の運航機能の復旧により国内線は地震翌日の9月7日より運航再開、9

日より通常運航、国際線は翌々日の9月8日より順次運航を再開した²⁾。こうした事例から、高い安全基準が求められる航空分野において空港が被災した場合、その被害規模によっては空港施設のみならず航空機の運航にも大きな影響が生じる可能性が指摘される。

国土交通省航空局は、空港の災害対策について、これまで「地震に強い空港のあり方」³⁾(2007年)及び「空港の津波対策の方針」⁴⁾(2011年)に基づき、各空港における地震・津波対策を進めてきた。しかし、前述した2例のように近年多発する自然災害による空港の被害を鑑み、より強固な対策を講じる必要が生じた。そこで、2019年5月には対象を全国の空港とする「空港における自然災害対策に関する検討委員会」⁵⁾を設置した。この検討委員会では空港は早期の機能回復が必要であり、各空港共通の目指すべき目標として「72時間以内に復旧」を掲げている。

以上より、空港の災害対策の改善・向上は急務な課題

であり、具体的な方策を推進することで、大規模自然災害に強い空港づくりを目指している。

(2) 本研究の目的

前節で述べた被災事例や国土交通省の動きを踏まえ、本研究は大規模な自然災害が発生し空港が被災した場合において、空港の安全な運用・航空機の安全な離発着の継続の実現に寄与する知見の獲得を目指す。空港が被災し着陸が不可能になった場合に直面する問題として、被災空港を目的地として飛行中の航空機への対応が挙げられる。個々の航空機はエンジントラブル等を考慮し、事前に提出する飛行計画の中でダイバート空港を指定している。しかし、空港が被災した場合は同時に多数の航空機のダイバートが必要となる事態が発生する。この場合、個々の航空機の残燃料や飛行位置等の複数航空機の状況を考慮した上でのダイバート空港の選定・誘導・安全な着陸を実現することが重要である。これらの実現のためには、従来の空港の運用・航空機の運航状況の把握を行う必要があると考える。

したがって本研究では、災害が発生した場合を想定して飛行中の航空機がおかれる状況を把握することを目的とした。分析には Flightradar24⁹⁾という航空機レーダー追跡サイトより得られる実際に飛行した航空機の航跡データを使用した。なお、Flightradar24の詳細については第3章において述べる。さらに対象とした各航空機に着目し、航空機ごとのダイバート候補空港の把握を行った。分析を行う際の分析対象航空機の設定、分析の概要・手法などは第4章において詳細に述べる。

2. 既往研究の整理

本章では、「空港を防災の観点で着目した研究」・「運航実績データを活用した研究」の観点から既往研究の整理を行う。その後、既往研究を踏まえた本研究の位置付けを述べる。

(1) 空港を防災の観点で着目した研究

大規模な地震災害発生時において、空港は、被災地への緊急物資輸送や救急医療の観点において非常に重要な役割を果たす。中澤・菅野⁹⁾は軟弱地盤上に建設された空港における滑走路を対象とし、地盤の液状化が滑走路へ及ぼす影響の把握、滑走路における合理的な液状化対策工法の検討および液状化後における滑走路機能について検討を行った。中島・中村⁷⁾は九州地方の臨海部空港を対象とし、複合災害を考慮した空港機能の信頼性を評価する方法の提案を行った。

(2) 運航実績データを活用した研究

平田ら⁸⁾は成田空港と羽田空港を対象に飛行航跡データを用いて航空機の離着陸順序の実態と滑走路容量算定方式の離発着順序の前提（ランダム発生）との乖離について分析を行った。その結果、成田空港においては1本の滑走路を離発着共用で使用する場合に、処理効率の高い離着陸交互運用の発生確率がランダム仮定よりも有意に高く、羽田空港においても交差する滑走路において後方乱気流区分を考慮した離陸順序が処理効率の高い順序付けの発生確率がランダム値よりも同様に有意に高いことが明らかとなった。

(3) 既往研究を踏まえた本研究の位置付け

本研究では、大規模な自然災害が発生し空港が被災した場合において、空港の安全な運用・航空機の安全な離発着の継続の実現に寄与する知見の獲得を目指す。そのための基礎的な検討として、防災直後において、着陸する空港までの距離・位置関係といった各航空機の飛行状況を把握し、ダイバート候補空港の検討を行うものである。前節で述べたように、運航実績データを活用した研究、防災の観点で空港に着目し、それぞれ個別で分析を行った研究は多数存在する。しかし、防災の観点で空港・航空機に着目し、実際の航空機の航跡データを用いて得た飛行実態と、個々の空港の情報とを掛け合わせてダイバート候補となる空港を検討した研究は行われていない。この点で本研究には新規性が認められると考える。

3. Flightradar24より得られるデータの概要

本章では、本分析において使用するデータと対象航空機データの抽出手法について述べる。

(1) Flightradar24より得られるデータの概要

Flightradar24⁹⁾とは、飛行中の民間航空機の現在位置をリアルタイム表示するウェブサイト並びにスマートフォン・タブレット向けアプリケーションである。Flightradar24より得られるデータを表-1に示す。TimestampはUNIX時間を示す。UNIX時間とはコンピューターシステム上での時刻表現の一つである。協定世界時(UTC)での1970年1月1日午前0時0分0秒から形式的な経過秒数として表される。UTCは協定世界時、Callsignは便名、Positionは緯度・経度、Altitudeは飛行高

表-1 Flightradar24より得られるデータ

Timestamp	UTC	Callsign	Position	Altitude	Speed	Direction
1572679823	2019-11-02T07:30:23Z	JAL98	25.064854,121.554253	0	0	297
1572679884	2019-11-02T07:31:24Z	JAL98	25.06525,121.554237	0	9	185

度、Speed は飛行速度をそれぞれ示す。また Direction は飛行方位を示す。北を0度として時計回りの角度で表示される。さらに航空路線毎の使用機体や空港間の総飛行距離（以下、空港間距離）のデータを得ることが可能である。

(2) 分析手法の概要

本分析では、空港が被災した際の影響が大きく、緊急的にダイバート先の選定などの対策を講じる必要があると考え、我が国に存在する空港の中で2019年において最も乗降客数⁹⁾が多い東京国際空港を対象とした。さらに、東京国際空港で最も離発着機が多い時間帯に災害が発生するという仮定の下で航空機飛行状況の把握に関する分析を行うものとする。そこで本節では、分析対象時間の設定方法、及び対象航空機の設定方法について述べる。

a) 分析対象時間の設定方法

東京国際空港のホームページ^{10),11)}を参照し2019年11月2日の時刻表から国際線、国内線それぞれ1時間ごとの出発便、着陸便数を集計することにより東京国際空港で最も離発着便が多い滑走路の過密時間帯を算出した。東京国際空港の離発着便集計結果を図-1に示す。実際の離陸、着陸時間は定刻と異なる場合もあるが全ての航空機が定刻で運航しているものとした。また1時間当たりの集計数が同数であった場合、本分析では災害発生時の対応がより困難であると考えられる夜間に近い時間帯を採用した。今回は9時・10時・19時台が合計80便で同数となったため19時と設定している。

b) 発災時に飛行中の航空機の抽出、及び全航跡情報

発災時点で管制機能が失われた場合や滑走路自体の被災により離発着ができない場合を仮定し、分析対象は、発災時点において飛行中であり、かつ東京国際空港に着陸予定である航空機とした。今回は発災時に対応の緊急性が高いと考えられる国際線の航空機を対象とした。

離陸時間が発災想定時間以降の航空機の場合、到着空港である東京国際空港が被災した情報が伝わることで、

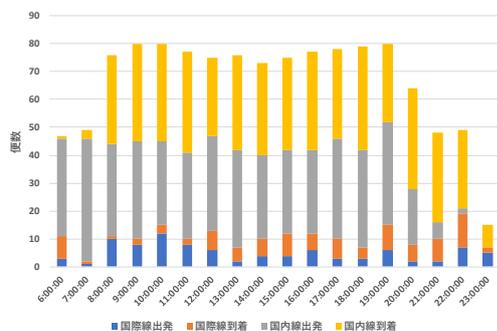


図-1 2019年11月2日における東京国際空港の離発着便数 (国内線・国際線) ^{13),14)}

当該便は欠航になると考えられる。このため、これらの航空機は分析対象外とし、その結果、Flightradar24より得られた発災時点で東京国際空港に向けて飛行中の航空機は7機であった。前述の7機の概要を表-2、日本近郊における航跡データを図-2に示す。

4. 発災時点における飛行位置からのダイバート候補空港の選定に関する分析

本章では、発災時の各航空機のダイバート候補空港の把握を目的として分析を行う。本分析で対象とする航空機の概要、及び分析手法・分析結果について述べる。図-3に本分析の手順を示す。STEP.1として、対象航空機の設定を行った。第3章で得られた発災時点で東京国際空港に向けて飛行中の航空機7機の航跡データを用いた。ただし、7機の中で発災時に日本の航空管制圏を飛行中の航空機を対象とした。ここで、各航空機の搭載燃料が把握できれば出発時点での最大飛行可能距離が算出でき、これに基づくダイバート候補空港の検討が可能である。しかし、航空機の燃料を正確に把握することが出来ないため不可能である。そこで、代替案としてSTEP.2では、

表-2 発災時に東京国際空港に向けて飛行中の航空機

No	便名	出発空港	使用機体	空港間距離
東京国際空港着陸便				
1	JL98	台北松山空港	B787-8	2098
2	JL88	広州白雲国際空港	B787-8	2887
3	JL26	香港国際空港	B777-246	2904
4	NH854	台北松山空港	B787-8	2098
5	NH878	スワンナプーム国際空港	B787-9	4590
6	JL22	台北松山空港	B767-346	2098
7	NH105	ロサンゼルス国際空港	B777-381	8832

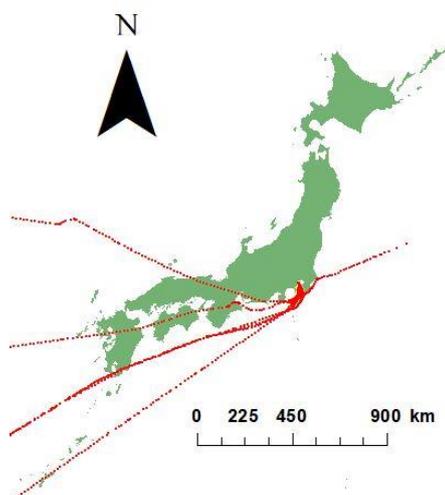


図-2 発災時に東京国際空港に向けて飛行中の航空機7機の日本近郊における航跡データ



図-3 対象航空機抽出のためのデータ抽出の手順

各航空機の出発時点での飛行可能距離を仮定し、発災時点での継続飛行可能距離を算出した。また、発災時点での飛行位置が把握可能であることから発災時点の飛行位置から対象空港までの距離（以下、残距離）の算出、及び総飛行距離に対する発災時点までの各航空機の飛行距離の割合（以下、飛行割合）の算出が可能となった。そして、STEP.3では、各航空機のダイバート候補空港の集計、各航空機とダイバート候補空港の位置関係の把握を行う。

(1) 分析対象航空機の概要

本分析における対象航空機を表-3に示す。前述したように第3章で得られた発災時点で東京国際空港に向けて飛行中の航空機7機の航跡データを用いた。ただし、7機の中で発災時に日本の航空管制圏を飛行中の航空機を対象とした。その結果、対象航空機は4機であった。他の3機は発災時に南シナ海・韓国・アメリカ西海岸上空をそれぞれ飛行中のため分析対象外とした。

(2) 分析手法の概要

本分析では、大規模災害発生を仮定し、飛行中の各航空機のダイバート候補空港の把握、及び航空機と空港の位置関係の把握を目的に分析を行う。そこで本節では、各航空機の発災時点での飛行到達可能域の算出方法、及びダイバート候補空港の抽出方法について述べる。

a) 対象航空機の飛行到達可能域の把握

本分析は発災時点における各航空機の飛行可能距離を把握することで、ダイバート候補空港の把握を行うことが目的である。そのためには本来、出発時点での搭載燃料を把握し、発災時点での残燃料を算出することが必要である。しかし、航空機は補備燃料（extrafuel）¹²⁾と呼ばれる天候状況などによって量が左右される燃料を搭載するため、個々の航空機の燃料について正確に把握することは不可能である。そこで本分析では、出発時点での飛行可能距離を仮定し、発災時点での各航空機の飛行到達可能域を算出した。

表-3 本分析における対象航空機

No	便名	出発空港	飛行割合	空港間距離	残距離
東京国際空港着陸便					
1	JL98	台北松山空港	95.95%	2098	85
2	JL88	広州白雲国際空港	99.83%	2887	5
3	JL26	香港国際空港	59.44%	2904	1178
4	NH854	台北松山空港	43.33%	2098	1189

(単位：km)

表-4 飛行到達可能域、及びダイバート候補空港数

No	便名	出発空港	残距離+5%	候補空港数
東京国際空港着陸便				
1	JL98	台北松山空港	190	8
2	JL88	広州白雲国際空港	149	5
3	JL26	香港国際空港	1323	75
4	NH854	台北松山空港	1294	74

(単位：km) (単位：個)

航空機が出発時に携行しなければならない燃料の量（必要搭載燃料量）は、航空法施行規則第153条¹³⁾及び、運航規程審査要領細則¹⁴⁾の運航管理の基準、必要搭載燃料に定められている。本分析は災害発生により当初の着陸空港が離発着不能になる不測の事態を想定している。そこで「不測の事態」を考慮する燃料の量¹⁵⁾として定められている、「陸地までの飛行を終わるまでに要する燃料の量の5%に相当する燃料の量」を最少搭載燃料量として分析を行う。ただし、航空機の燃料の消費率は離陸から着陸まで一定であると仮定した。

初めに、各航空機の出発空港と着陸予定空港間の距離（空港間距離）の5%の距離を算出した。それらを各航空機の発災時点での飛行位置から各航空機の着陸予定空港までの距離（残距離）に加えることで、発災時点における飛行到達可能域を航空機ごとに仮定した。表-4に各航空機の発災時点における飛行到達可能域の計算結果を示す。残距離+5%は、それぞれ空港間距離の5%の距離を残距離に加算した値である。

b) ダイバート候補空港の抽出方法、及び集計結果

各航空機のダイバート候補空港の把握および航空機と空港の位置関係の把握のため、対象航空機や空港を日本地図上に表示して整理した。JL98（台北松山空港発）を例に図-4に示す。また、対象航空機を中心として発災時点での飛行到達可能域を示すバッファを作成した。

ダイバート候補空港数の集計結果を表-4に示す。JL98（台北松山空港発）とJL88（広州白雲国際空港発）の2便は発災時、東京国際空港への着陸直前であることから残燃料が少なくダイバート候補空港が限られるため優先的な対応が必要だと考えられる。一方で、JL26（香港国際空港発）とNH854（台北松山空港発）の2便は飛行割合が60%未満であることから出発空港へ引き返すなど様々な選択肢が検討可能であると考えられる。

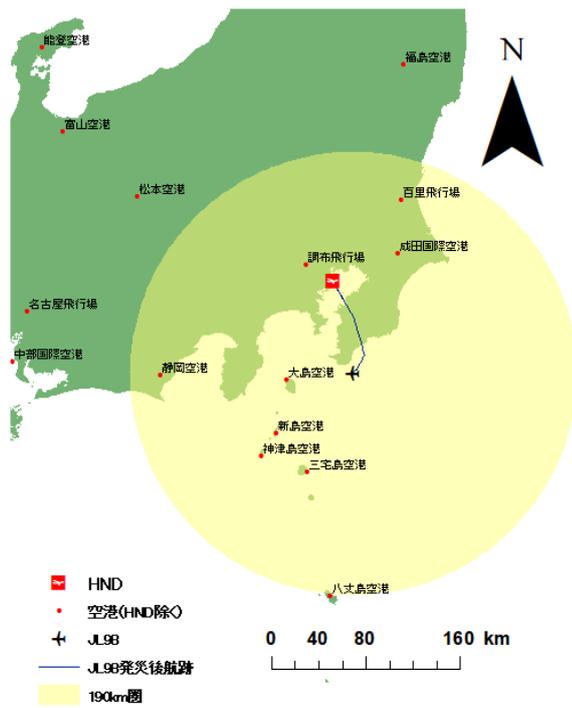


図4 JL98 (台北松山空港発)

5. まとめと今後の課題

本研究では Flightradar24 という航空機レーダー追跡サイトより得られる実際に運航した航空機の航跡データを用いて航空機飛行状況の把握を行った。分析対象とする航空機の便名、出発空港、使用機体、飛行ルートが把握が可能である。さらに、災害発生を想定しその時点において対象航空機の着陸する空港までの距離、位置関係といった飛行状況の基礎的な把握を行った結果、飛行割合の算出が可能となった。

本分析は空港が被災し、同時に多数の航空機がダイバートの必要性に迫られる事態へ対応するための知見を見出すことが目的である。そのための基礎的な検討として、各航空機のダイバート候補空港の把握を行った。前述した飛行割合と航空法で定められた最少搭載燃料から発災時点での飛行可能域を仮定することで、各航空機のダイバート候補空港の把握が可能となった。その結果、飛行割合の増加に伴ってダイバート候補空港数が減少することが明らかとなった。一方で、航空機は分単位で飛行位置が大きく異なることから発災時間の前後によって飛行中の航空機数が変化することが考えられる。本分析では発災時間を各空港の1時間毎の離発着便数をもとに仮定した。今後はより詳細な時間設定をもとに算出する必要があると考える。

最後に、本分析では各航空機の飛行到達可能域に含まる全ての空港をダイバート候補空港とした。しかし、そ

の一方で航空機のサイズや空港の受け入れ能力などが着陸の可否に寄与することは明白である。また、本分析で対象とした国際線に加えて国内線の航空機も同時に存在するため、これらを考慮した分析を今後行っていく。

参考文献

- 1) 気象庁, 台風第 21 号による暴風・高潮等, https://www.data.jma.go.jp/obd/stats/data/bosai/report/2018/20180911/jyun_sokuji20180903-0905.pdf
- 2) 国土交通省 大阪航空局, 空港の自然災害対策について (関空の台風 21 号被害を受けて 他), <http://www.pa.kkr.mlit.go.jp/kbutsuryu/pdf/honbukaigou15/06.pdf>
- 3) 新千歳空港ターミナルビルディング (株), 胆振東部地震発生における新千歳空港ターミナルビルの被害状況と利用者への対応等について, <http://www.mlit.go.jp/common/001257465.pdf>
- 4) 国土交通省, 「空港における自然災害対策に関する検討委員会」 第 3 回作業部会 議事概要, <http://www.mlit.go.jp/koku/content/001306817.pdf>
- 5) Flightradar24, <https://www.flightradar24.com/33.15,134.48/6>
- 6) 中澤博志, 菅野高弘: 空港における滑走路を対象とした液状化対策に関する実験的研究, 土木学会論文集 F, Vol. 66, No. 1, p. 27-43, 2010.
- 7) 中島由貴, 中村孝明: 地震時複合被害による空港機能の信頼性評価, 日本地震工学会論文集, Vol. 19, No. 4, p. 4_87-4_99, 2019.
- 8) 平田輝満, 二見康友, 蒔田良知: 混雑空港における離着陸順序付けの実態と滑走路処理容量に関する研究, 土木学会論文集 D3 (土木計画学), Vol. 72, No. 5, p. I_1037- I_1045, 2016.
- 9) 国土交通省, 航空輸送統計年報, <https://www.mlit.go.jp/k-toukei/koukuuyusoutoukei.html>
- 10) HANEDA 羽田空港 国内線旅客ターミナル, フライト情報, <https://www.tokyo-airport-bldg.co.jp/flight/>
- 11) 羽田空港 国際線旅客ターミナル, 国際線フライト情報, <http://www.haneda-airport.jp/inter/>
- 12) 航空実用辞典, 飛行計画, <http://www.jal.com/ja/jiten/dict/p316.html#03-16>
- 13) 航空法施行規則, https://elaws.e-gov.go.jp/search/elawsSearch/elaws_search/lsg0500/detail/327M50000800056_20180401_430M600008000200?revIndex=3&lawId=327M50000800056#1660
- 14) 運航規程審査要領細則, 運航管理の基準 必要搭載燃料, <http://www.mlit.go.jp/notice/noticedata/pdf/201708/00005465.pdf>
- 15) 平成 12 年 9 月 18 日運輸省告示第 319 号, <http://www.mlit.go.jp/notice/noticedata/pdf/201706/00006726.pdf>

(???)

(???)

ANALYSIS ON THE METHOD OF EXTRACTING CANDIDATE AIRPORTS
FOR DIVERTING FOR INTERNATIONAL FLIGHTS
-A STUDY USING FLIGHTRADAR24-

Ryo FUJII, Yuma MORISAKI, Makoto FUJIU, Junichi TAKAYAMA

On September 6, 2018, at 3:07:59 a.m., an earthquake of maximum intensity 7 was recorded in eastern Hokkaido, Japan. New Chitose Airport was out of service due to a massive power outage and damage to facilities caused by the earthquake, and it took a long time to restore the airport. In the field of aviation, where high safety standards are required, a disaster at an airport would have a significant impact on not only airport facilities but also aircraft operations. Immediately after a disaster, there is an urgent need to deal with airplanes that are flying to the affected airports. Therefore, it is necessary to select the divert airport for safe landing, considering the fuel and other factors of many aircraft. In this study, we analyzed past aircraft trajectory data in the event of a disaster. In this study, international airplanes that are considered to have a high level of emergency response in the event of a disaster were targeted. An attempt was made to identify the candidate airports for diverting based on the assumed cruising distances of each aircraft at the time of the disaster, based on the amount of fuel required onboard at the time of departure.