

大規模火山噴火時における航空機種別最適避難モデルの構築

Construction of an optimal evacuation model for each aircraft type during a large-scale volcanic eruption

室蘭工業大学大学院工学研究科 ○学生員 下谷大(Dai Shitaya)
 室蘭工業大学大学院工学研究科 学生員 田畑凌 (Ryo Tabata)
 室蘭工業大学大学院工学研究科 正員 有村幹治(Mikiharu Arimura)

1. はじめに

近年、火山災害が航空関連（航空機、航空路、空港など）に与える影響が問題となっている。2010年にアイスランドで起きた火山噴火では、長期間に渡って航空関連に悪影響を及ぼした¹⁾。こういった火山災害による悪影響を避けるための手段として、航行中の航空機がダイバート（目的地の変更）を行うことがある。

我が国の航空防災の取り組みとしては、国土交通省航空局管制部が「緊急ダイバート運航総合支援システム」を開発し、2016年に運用を開始している²⁾。このシステムは、首都直下地震や南海トラフ沖地震などの大規模災害により、日本の主要国際空港である羽田・成田空港が閉鎖される事態を想定して、両空港を目的地として飛行している航空機に対して、他空港へのダイバート選定を支援するものである。

しかし、大規模な火山噴火が起こると、広範囲に火山灰が拡散される。そして時間の経過とともに、多数の空港が閉鎖に追い込まれ、航空路の安全が確保できない可能性がでてくる。そのような状況では、航空機のダイバート支援は容易ではないと考える。

2. 航空防災の先行研究と本研究の位置付け

蔵原らは、国内線航空交通ネットワークにおいて、大規模噴火時の空港の避難に関する処理能力を評価する手法を提案している。結果は、羽田空港など大規模な空港が影響を受ける場合、ダイバート及び避難の需要が安全な空港容量を上回る可能性があることを示唆した³⁾。

田畑らは、大規模火山噴火リスクに対する航空機避難問題を定式化し、各航空機避難時間の総和を最小化する最適化モデルを提案した。このモデルでは、空港容量の緩和を考慮している。しかし、割り当てによる空港の混雑、ダイバート後の復旧性を考慮されていないなど、複数の課題が挙げられている⁴⁾。

本研究では、田畑らの先行研究の発展として、新たな大規模火山噴火における最適航空機避難モデルの構築を試みた。具体的には、国内線の航空機をダイバートさせた際に、どの避難空港に割り当てるか、その手法について検討・改良した。従来モデルの改良点として、ICAO（国際民間航空機関）が定めた「飛行場参照コード」を考慮して、各航空機に設定される飛行場参照コードに対応する避難空港への割り当てを行えるようにした。

3. 航空機の航路データ；CARATS Open Data

CARATS Open Dataとは、国土交通省航空局が無償で提供している航空機の航路データである⁵⁾。本研究では、数値計算を行うにあたって、2016年3月11日の航路データを使用した。航路データは、表-1のように時刻、仮想便名、緯度、経度、高度、型式で構成されている。

また、国内線の航路データを推定して使用した。国内線の推定方法は、各航路データにおける始点と終点の高度が20,000ft未満のものを国内線とした。これは、2017年度のCARATS Open Dataに付属される出発・到着空港推定ツール「MakeApt」のアルゴリズムを参考にした⁵⁾。

4. 数値計算の概要；航空機と避難空港の割り当て

本研究では、航空機と避難空港の割り当てについて、遺伝的アルゴリズム（以下、GA）による数値計算を適用して求めた。ただし、避難空港に至るまでの飛行経路については考慮していない。

4.1 対象とする火山と噴火時刻について

本研究では、日本の活火山である鹿児島県の桜島が、1914年に起こった大正大噴火と同規模の噴火を想定している。この噴火により、九州から東北まで広範囲に渡って、火山灰の降灰が観測されている⁶⁾。

また、火山の噴火時刻は10:00とした。

4.2 閉鎖空港と避難空港の設定

閉鎖空港：九州地方、沖縄地方、四国地方に位置する38カ所の空港を閉鎖の対象とした。閉鎖空港には、航空機をダイバートさせない。

避難空港：閉鎖空港に指定されなかった日本に位置する54カ所の空港を避難空港とした。これらの空港にダイバートする航空機を割り当てる。

4.3 ダイバートの対象とする航空機

下記の(1)～(3)の条件に当てはまる航空機をダイバートの対象とした。

- (1) 航空機の出発時刻が火山の噴火時刻よりも前かつ、航空機の到着時刻が火山の噴火時刻よりも後の航路データ
- (2) 火山灰による降灰が予想される空港を目的地とする航路データ
- (3) 火山の噴火後に、最初に観測された航路データ

表-1 CARATS Open Data

Time	FLT	Latitude	Longitude	Altitude	Model
10:00:05.1	FLT0328	24.7417	124.789	18523	B734
10:00:09.2	FLT0346	25.5932	126.06	26028	B734
10:00:08.8	FLT0424	25.2927	125.405	37006	A320
10:00:02.5	FLT0426	26.5603	127.006	40000	B788
10:00:01.0	FLT0477	25.9603	127.79	2960	B734
10:00:08.8	FLT0480	29.0533	130.645	28000	A320

表-2 飛行場参照コード

航空機		滑走路
コード	翼幅 W [m]	必要滑走路長 L [m]
A	$W < 15$	$L < 800$
B	$15 \leq W < 24$	$800 \leq L < 1200$
C	$24 \leq W < 36$	$1200 \leq L < 1800$
D	$36 \leq W < 52$	$1800 \leq L < 2400$
E	$52 \leq W < 65$	$2400 \leq L < 3000$
F	$65 \leq W < 80$	$3000 \leq L$

4.4 航空機と空港の飛行場参照コード

ICAO (国際民間航空機関) の第一巻・付録 14 の飛行場参照コードによると、各航空機は翼幅と特定の滑走路長での離着陸能力に関連する A~F の 6 つのグループに分類されている⁷⁾。また、A~C グループに属する航空機の必要滑走路長も明記されている⁷⁾。

しかし、D~F グループに属する航空機の必要滑走路長は明記されていない。そのため、本研究においては、D~F グループに属する航空機の必要滑走路長を表-2 のように設定した。(A~C の必要滑走路長はそのまま引用)

これにより、各航空機の飛行場参照コードに対応する避難空港の割り当てを可能にした。しかし、あくまでも本研究の数値計算上の設定であることに留意されたい。

航空機と避難空港の割り当て方法の例として、航空機の飛行場参照コードが“D”ならば、空港側の飛行場参照コードは“D”・“E”・“F”のいずれかに対応する避難空港を割り当てる。(航空機の飛行場参照コード“D”よりも低い、“A”・“B”・“C”に対応する空港は割り当てない)

4.5 GA による数値計算

航空機の位置座標から、避難空港までの距離を算出して、各航空機の巡航速度で除した値を避難時間とした。この避難時間の総和が最も小さい解を探索する。

距離の算出方法や、GA の計算手順・目的関数・ペナルティ関数などの数式については、講演時にまとめて発表する。ここでは、簡易的な説明に留める。

目的関数の定義

各航空機避難時間の総和の最小化を目指す。

空港容量の設定

本研究では、避難空港のエプロンに駐機可能な航空機の最大数を空港容量とした。算出方法としては、大型機・中型機・小型機ごとのスポット数を、AIS japan に掲載されている各空港の 2.8 APRONS, TAXIWAYS AND CHECK LOCATIONS DATA から数え上げた⁸⁾。

空港容量を超えて、航空機と避難空港の割り当てがなされたとき、下記にて説明するペナルティ関数により、避難時間が加算される。

ペナルティ関数の定義

二つのペナルティ関数、(1)と(2)を定義した。いずれも、ペナルティ関数に設定した条件を満たしたとき、避難時間が加算される仕組みとなっている。

- (1) 航空機に設定された飛行場参照コードに、割り当てられた避難空港が非対応の場合、避難時間を加算
- (2) 空港容量を超過したら避難時間を加算

このペナルティ関数を設定することで、ペナルティ関数の条件を満たさない解候補、すなわち割り当てられた航空機と避難空港の飛行場参照コードが対応して、空港容量を超過しないような解候補を探索する狙いがある。

5. 数値計算の結果

数値計算の結果は、講演時にまとめて発表する。

参考文献

- 1) 安田成夫, 梶谷義雄, 多々納裕, 小野寺三朗: アイスランドにおける火山噴火と航空関連の大混乱, 京都大学防災研究所年報, 第 54 号 A 平成 23 年 6 月 p.59-65
- 2) 国土交通省航空局管制部:「緊急ダイバート運航総合支援システム」の運用開始~大規模災害発生時においても、更に安全かつ効率的な着陸を実現~, <https://www.mlit.go.jp/common/001135097.pdf> (最終閲覧日: 2020 年 12 月 14 日)
- 3) 藏原これほる, 大西正光, Haris RAHADIANTO: 大規模噴火時の航空機避難に関する空港処理能力, 第 62 回土木計画学研究発表会・講演集
- 4) 田畑凌, 下谷大, ARREERAS Saharat, 有村幹治: 大規模火山噴火時における空港容量制約緩和を考慮した航空機避難モデルの構築, 第 62 回土木計画学研究発表会・講演集
- 5) 岡恵: CARATS オープンデータの概要説明, CARATS オープンデータ活用促進フォーラム 2019 年 11 月 27 日, <https://www.mlit.go.jp/common/001321736.pdf> (最終閲覧日: 2020 年 12 月 14 日)
- 6) 内閣府: 災害教訓の継承に関する専門調査会報告書, 1914 桜島噴火, 第 2 章 大正噴火の経過と災害 p.36, http://www.bousai.go.jp/kyoiku/kyokun/kyoukunnokeishou/rep/1914_sakurajima_funka/pdf/05_chap02.pdf (最終閲覧日: 2020 年 12 月 15 日)
- 7) ICAO: Aerodrome Design and Operations, Aerodrome reference code in Annex 14 - volume 1, p.1-14
- 8) AIS japan, <https://aisjapan.mlit.go.jp/> (最終閲覧日: 2020 年 12 月 15 日)