

滑走路と駐機場を考慮した災害時の空港容量評価シミュレーションの開発

交通・地域計画研究室 久保 思温
指導教員 平田 輝満 准教授

【目次】

<u>第1章 序論</u>	4-3 災害時の空港容量評価
1-1 研究の背景	シミュレーションの計算フロー
1-2 研究の目的	4-3-1 シミュレーションのインプットについて
1-3 研究の手順	4-3-2 シミュレーションのフロー
1-4 用語の解説及び定義	4-4 待ち行列理論の解析値による信頼性の検証
	4-4-1 駐機場シミュレーションとM/M/s
	待ち行列モデルの解析値による比較検証
	4-4-2 滑走路シミュレーションとM/G/1
	待ち行列モデルの解析値による比較検証
<u>第2章 既存研究の整理</u>	
2-1 既存研究の整理	
2-2 既存研究の位置づけ	
<u>第3章 災害時の救援機配備計画のための新たな</u> <u>空港容量の考え方と空港運用に関する検討</u>	<u>第5章 東日本大震災時のデータを</u> <u>活用したケーススタディ</u>
3-1 静的容量と動的容量について	5-1 シミュレーションのアウトプット値の 収束について
3-2 本研究での動的容量の定義	5-2 回転翼機のスポット数を19バースとした場合の花 巻空港の容量算出
3-2-1 空港周辺空域と滑走路での運航	5-3 回転翼機のスポット数を40バースとした場合の花 巻空港の容量算出及びボトルネックの評価
3-2-2 駐機場の使用方法	5-4 離陸間隔調整による空港容量の変化
3-3 動的運用の条件	
3-4 動的運用から静的運用へ急変する場合の対応	
<u>第4章 救援機活動を考慮した災害時の</u> <u>空港容量評価シミュレーションの開発</u>	<u>第6章 結論</u>
4-1 災害時の空港容量評価	6-1 結論
シミュレーション開発の目的	6-2 今後の課題
4-2 シミュレーションのインプットに 使用するデータの整理	
4-2-1 回転翼機の駐機時間について	
4-2-2 固定翼機の駐機時間について	
4-2-3 航空機のミッション時間について	
4-2-4 駐機場の位置とスポット数について	

1. 研究の背景

東日本大震災では発災直後から回転翼機などによる救命救助活動や自衛隊の輸送機などによる救援物資輸送など航空機が大きな役割を果たしたが今後の災害に備える上での課題も見出された。例えば東北地方の地方空港では通常時の6~10倍もの航空機(ヘリコプターなど)が押し寄せたが、地方空港であるがゆえに処理能力が必要最低限しかなく、駐機スペース不足、給油待ちなどが生じたことが報告されている¹⁾。この経験を踏まえ、各都道府県は受援計画の策定または見直しを行うこととなった²⁾。この受援計画は航空部隊の進出拠点(ヘリベース)の決定、基本的な情報の明記、臨時駐機場(フォワードベース)の取りまとめなど、緊急消防援助隊が円滑に活動できる体制確保するための基本的な計画として位置づけられている。

なお、この受援計画の中にはそれぞれの拠点ごとに受け入れることのできる航空機数である「最大駐機数」も項目の1つとして明記してあるが、いずれの自治体も拠点となる空港における駐機場のスポット数を基準値として最大駐機数を設定している。ここでスポット数とはある瞬間に空港が同時収容可能な能力、いわゆる「静的容量」を示すが、既述した災害時の駐機スペース不足の問題に対して静的容量を増やすために駐機場の増設を行うことは多大な時間とコストを要するほか、平時には過剰な設備になってしまう可能性もある。災害への備えとして駐機場増設をすべきとも考えられるが、既存ストックの最大活用方策についても十分に検討が必要である。

そこで、単位時間あたりにどれだけの航空機を取り扱うことができるかという「動的容量」を適用することが可能であると考えた。つまり、一定数の救援機は常に空港から離れて活動しているとすれば、その分、追加的に救援機を配備可能である。よって本研究においては災害時における航空機配備に動的容量の考え方を適用することを検討する。空港における動的な処理容量の算出手法としては待ち行列理論などの応用による解析モデルや高速シミュレーションなどが存在する。しかし上記のような災害時の空港運用に関しては空港システム全体を単純にモデル化し、待ち行列理論による解析解を得ることは困難である。また災害時の運用や地方空港の制約を考慮した高速シミュレーションについては開発されていない。そこで災害時の空港活用計画を検討する上で、動的容量を考慮した各空港の救援機の最大受け入れ機数が事前、もしくは発災直後に計算可能なシミュレーションを構築することができれば、より多くの救援機の配備が可能

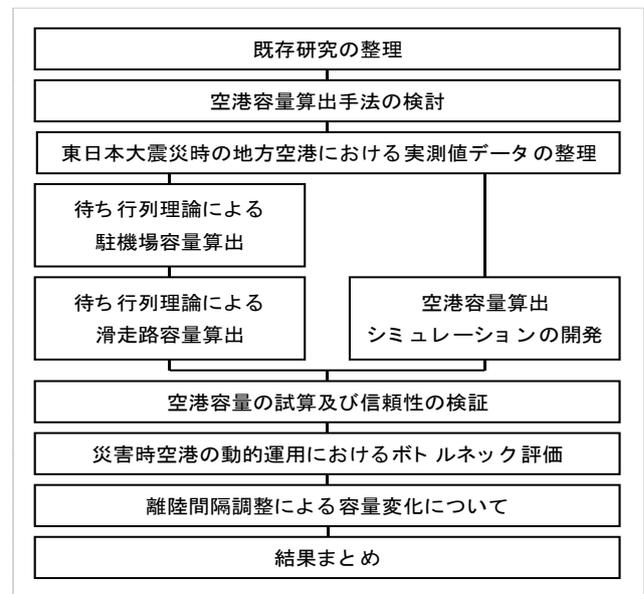


図-1 研究のフロー

となり、ひいてはより多くの人命が救われる可能性がある。

2. 既存研究の整理

荒谷ら¹⁾は東日本大震災時に航空機による救急、救助、人員輸送、物資輸送などの重要な拠点となった空港がどう使われたのかを分析し、東日本大震災時の空港利用の実態を明らかにした。その中で、駐機場のスポット数が空港容量のボトルネックになっている可能性を指摘している。古田土³⁾らは東日本大震災時の東北の地方空港を実測値と空港容量の推定値との比較を行い、滑走路の処理容量が空港容量に影響を与えている可能性を示唆した。一方、駐機場に関する処理容量は簡易的な算出のみとなっている。

以上より我が国において空港全体の動的容量の評価に関する研究はほとんどなされていない。

3. 研究の目的と手順

前述した背景を踏まえ、本研究の目的を以下の3点とする。研究のフローを図-1に示す。

- ①動的容量を適用するための航空機運用方法に関して検討する。
- ②滑走路と駐機場を同時に考慮するとともに、航空機の救援救助活用パターンを内包した災害時の空港容量評価シミュレーションを開発する。
- ③ケーススタディから動的容量を考慮した空港容量のボトルネックに関して考察する。

4. 災害時の救援機配備計画のための新たな空港容量の考え方

港容量の考え方として、ある瞬間に同時収容可能な能力である「静的容量」と単位時間あたりにどれだけの航空機を取り扱うことができるかという「動的容量」の2つに分けて考えることができる。本研究では動的容量に着目して空港処理能力の評価を行うが、動的容量で運用を行うということはスポット数を超える航空機が空港に配備されるということである。よって着陸機に対する過剰な待ち時間が発生しないようにするなど安全面への考慮を欠かすことはできない。そこで本研究では動的容量を「着陸の際に 30 分以上待機する航空機が全体の 1%以内となる処理能力」と定義する。この定義における「30 分」とは、計画飛行時間を 2 時間とした場合に航空法第 63 条⁴⁾の規定に基づく予備燃料搭載量から算出した値である。また、待機時間が 30 分を超えてしまう航空機や夜間駐機・天候悪化時の全機駐機への対応策としては空港周辺の場外離着陸場の利用を予め規定する、空港の駐機数や離着陸数などの交通流予測をもとに空港への到着時刻制御を行う(現在実施している平時の航空交通流制御の有事への応用)などの対策が必要であると考えられる。

5. 救援機活動を考慮した災害時の空港容量評価シミュレーションの開発

シミュレーション作成にあたって、インプットとなるデータの整理を既往研究から行った。インプットとして必要なデータと参考数値を(1)~(3)として以下に示す。

(1) 駐機時間

駐機時間は既往研究¹⁾によって実測値が明らかになっており、回転翼機はガンマ分布によって駐機時間を近似して、固定翼機は実測値をランダムで付与することとした。

(2) 滑走路占有時間

既往研究³⁾により算出された滑走路占有時間(Runway Occupancy Time; ROT)を用いる。ROT は先行機・当該機・後続機の 3 機の組み合わせで決定される。また先行機・当該機・後続機それぞれが、固定翼であるか回転翼であるか、どの駐機場を使用するか(使用したか)、着陸機であるか離陸機であるかも ROT に影響する。例として、花巻空港において回転翼機が連続して離陸をする場合、ROT は 141 秒である。また、東日本大震災時に、駐機スペースの問題から花巻空港では平行誘導路の一部を駐機場化したことにより駐機場を2つとして運用していた。駐機場の位置が違えば滑走路までの距離も異なり ROT も異なるため、使用する駐機場も設

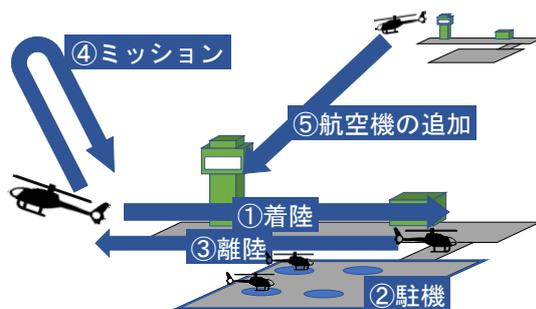


図-2 シミュレーションのイメージ図

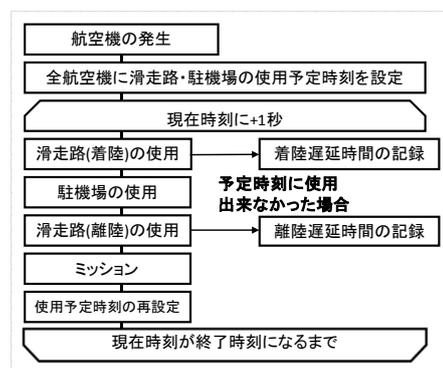


図-3 シミュレーションのフロー

定する必要がある。

(3) ミッション時間

東日本大震災時の花巻空港を参考にするると、沿岸部まで 100km ほどの距離があり、回転翼機の速度を 200km/h とすると海岸部への往復には 1 時間程度の時間を要する。目的地での活動時間を 30 分と仮定すると、海岸部でのミッションは合計 1 時間半必要と考えられ、シミュレーションでは 30 分から 90 分の一様分布によってミッションの時間を与えることとした。

6. シミュレーションの計算フロー

シミュレーションのイメージとフローを図-2、図-3 に示す。シミュレーションでは発生した全ての航空機に滑走路や駐機場の使用予定時刻を設定し、シミュレーション内の時刻に沿ってそれぞれの航空機は着陸→駐機→離陸→ミッションを行う(シミュレーション開始時に空港内に駐機している航空機は離陸から開始)。ミッションを終えると使用予定時刻の再設定を行い、再び空港に着陸する。そして一定時間経過後、他空港から追加航空機が到着し動的容量による運用を始める。動的運用を始めると、滑走路が使用中であったりスポットの空きがなかったりすることにより、予定時刻に離着陸を行えず遅延が生じる場合がある。この遅延の時間をアウトプットとして動的容量の評価を行う。

7. 待ち行列理論の理論値との比較による精度の検証

空港全体を単純にモデル化させて解析解を得ることは困難であるが、滑走路と駐機場それぞれ単体を考えた場合はモデル化が可能となる。そこで、作成した空港シミュレーションのうち滑走路部分と駐機場部分を抜き出して待ち行列理論との比較を行った。

駐機場部分はM/M/s待ち行列モデルの30分以上待ち確率との比較において待ち行列理論値が5.79%となる条件でシミュレーションを行ったところ、同待ち確率の値は5.7~6.0%に収束した。また滑走路部分はM/G/1待ち行列モデルにおいて平均待ち時間の待ち行列理論値は4.14分となるが、シミュレーションにおいては同待ち時間が4.5分付近に収束した。これらの結果からシミュレーションから得られる値に対する信頼性を確認した。

8. 東日本大震災時のデータを活用したケーススタディ

東日本大震災時の花巻空港をモデルに、回転翼機を何機追加で受け入れることのできるかという空港の動的容量の算出をシミュレーションにて試算した。なお、前提条件として同空港が有する回転翼機用スポットの数を19バースとした。

図-4は横軸が19バースに対する追加航空機数で縦軸が30分以上遅延した航空機の割合である。本研究の動的容量の定義では花巻空港は5機~6機程度追加で航空機を受け入れることが可能であるということが明らかとなった。また東日本大震災の際には同空港において未供用の誘導路を駐機場として運用することで20バース程度の臨時スポットが提供可能であったことが既存研究により明らかにされている。そのような状況を想定し40バースに対し40機の航空機を配備した場合、追加航空機数が0でも30分以上遅延する確率が10%を超えることが分かった。よって、平行誘導路を持たない空港に多くの航空機を配備する際には滑走路が航空機処理上のボトルネックとなることが示唆された。

9. 離陸間隔の調整による空港容量の変化

8章で行ったシミュレーションは結果が収束するまで航空機を発生させることで定常状態における処理能力を表現しているが、収束までには数千機以上の再現が必要になる。しかし、地方空港が1日に処理できる航空機の数には150機ほどであり、実運用の再現という点では現実的でない。そこでシミュレーション内の時間で12時間のみ行うシミュレーションをそれぞれ100回試行した。運用上の特徴を示す変数としてシミュレーション開始時に離陸する航空機の時間間隔を導入し

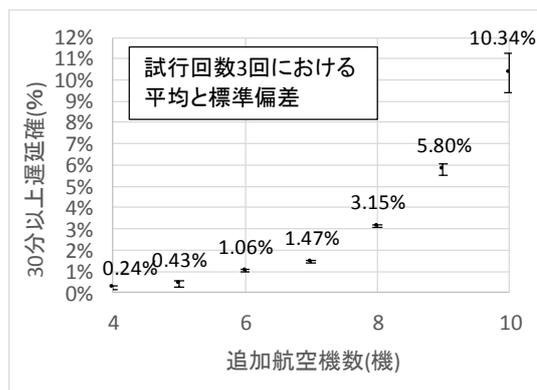


図-4 花巻空港をモデルとした動的容量試算結果

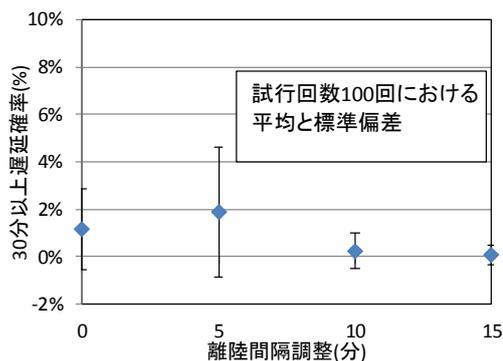


図-5 離陸間隔調整による容量の変化

た(図-5)。結果として間隔を10分,15分...と長くすることで、当該航空機が空港に到着する際の30分以上の遅延確率が減少することが分かった。しかし、着陸数も間隔を広げることによって減少しているため実運用の際には離陸の間隔調整の検討を十分に行う必要がある。

10. 結論

本研究では災害時の空港処理能力に関して、単位時間あたりに何機の航空機を処理することができるかという動的容量の算出のための空港容量シミュレーションの開発を行った。試算の結果、回転翼機のスポット数19バース、固定翼機のスポット数5バースに対して、回転翼機25機固定翼機5機の処理が行える可能性を示し、平行誘導路が存在しない空港では滑走路がボトルネックとなることを示した。

参考文献

- 1) 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), pp.I 229-I 246, 2013.
- 2) 総務省消防庁：消防広報162号緊急消防援助隊航空部隊に係る受援計画の作成または見直し.
- 3) 古田土渉・平田輝満：大規模災害時の空港運用方法と容量に関する基礎的研究,第51回土木計画学研究学会・講演集2015.
- 4) 国土交通省, 航空法第63条.