

大規模災害時における 空港面運用に関するシミュレータを用いた検討

青山 久枝¹・荒谷 太郎²・間島 隆博³・山田 泉⁴・今込 毅⁵

¹非会員 国立研究開発法人海上・港湾・航空技術研究所 電子航法研究所 研究員
(〒181-0004 東京都調布市深大寺 東町7-42-23)

E-mail: aoyama@mpat.go.jp

²正会員 国立研究開発法人海上・港湾・航空技術研究所 海上技術安全研究所 主任研究員
(〒181-0004 東京都三鷹市新川6-38-1)

E-mail: aratani@m.mpat.go.jp

³非会員 国立研究開発法人海上・港湾・航空技術研究所 海上技術安全研究所 系長
(〒181-0004 東京都三鷹市新川6-38-1)

E-mail: majy@m.mpat.go.jp

⁴正会員 国立研究開発法人海上・港湾・航空技術研究所 電子航法研究所 主任研究員
(〒181-0004 東京都調布市深大寺 東町7-42-23)

E-mail: i-yamada@mpat.go.jp

⁵非会員 国立研究開発法人海上・港湾・航空技術研究所 電子航法研究所 客員研究員
(〒181-0004 東京都調布市深大寺 東町7-42-23)

E-mail: runway21rr@yahoo.co.jp

わが国では、地震のみならず台風や豪雨、火山の噴火等による大規模な災害が発生している。空港は災害時、緊急支援物資の配送拠点や緊急医療活動の後方支援基地としての活用が位置付けられており、広域防災拠点の一つとなっている。2011年に発生した東日本大震災では、1空港に1日100機を超える航空機が集中し、空港面の混雑や駐機スペースの不足が課題となった。その際、誘導路や誘導路横のグラスエリアを臨時駐機スペースとして活用するなど災害時の特殊運用で対応した。このように大規模災害時では、平常時の空港運用とは異なり、本来使えるはずの誘導路が利用できないことによる空港面での混雑やそれに伴う滑走路手前での多数の出発機の離陸待ち行列が発生することが予想される。本研究では、過去の大規模災害の記録や災害時の復旧計画を参考に空港面運用シミュレータを用いて災害発生直後を想定した空港運用シミュレーションを行い、予想される問題点等について考察を行った。

Key Words : *airport surface, multi-agent simulation, large-scale disaster*

1. はじめに

大規模災害時、多くの空港では、緊急支援物資の配送拠点や緊急医療活動の後方支援基地としての活用が位置付けられており、広域防災拠点の一つとなっている。2011年に発生した東日本大震災では、発災直後から消防防災ヘリや自衛隊機などあらゆる運用主体の航空機が被災県周辺の空港に飛来し、救命救助、人員輸送、物資輸送、情報収集などの活動を行った。これら航空機の活動拠点は空港であることが多いが、発災直後は航空機の飛

来が集中するため、駐機スペース不足、航空燃油不足、支援物資の滞留、関係機関間の情報共有・連携不足などの問題が生じた¹⁾。

その際、誘導路や誘導路横のグラスエリアを臨時的駐機スペースとして活用するなどの災害時の特殊運用で対応した。このように大規模災害時には、平常時の空港運用とは異なり、本来使えるはずの誘導路が利用できないことによる空港面での混雑やそれに伴う滑走路手前における多数の出発機の離陸待ち行列が発生することが予想され、処理容量の低下が考えられる。本稿では、空港面

処理能力の算定を行っていくこととする。

空港面運用シミュレータは、個別の航空機をエージェントとし、平常時の空港運用の混雑状況を再現したものである。これまでに成田空港や関西空港等における固定翼機の処理能力の検証等に活用された事例がある⁹⁾。本稿では、大規模災害時への対応として、固定翼機、回転翼機の混在する繁忙な滑走路運用、駐機場外における駐機、空港内の施設間の地上走行等を模擬できるように改良した。これにより、自治体ごとの被災想定や救援計画に基づいた空港運用に対応する検討を行っている。詳しくは発表時に説明を行うこととする。

避難して滑走路上に配置することも想定されている（図-6参照）。

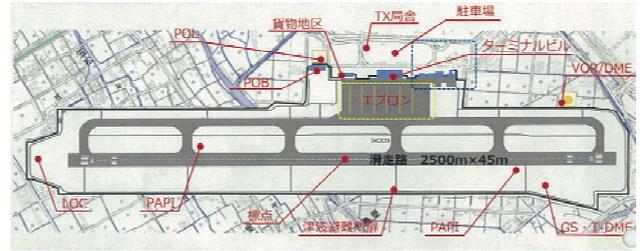


図-5 高知空港全体図⁹⁾

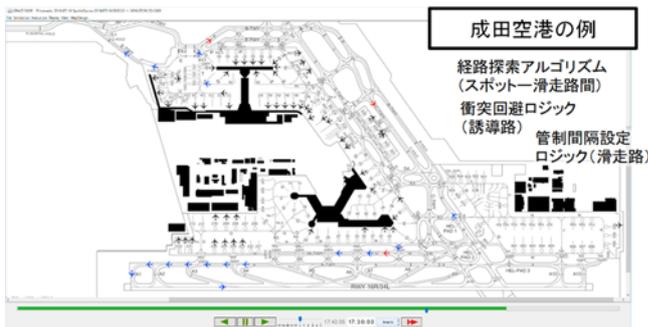


図-4 空港面シミュレータの概要図

4. 大規模災害時を想定したシミュレーション

(1) シミュレーションの設定

大規模災害時において空港ではどの程度航空機の入力が可能なかを事前にシミュレータにより把握するため、本稿では高知空港を対象として、改良した空港面運用シミュレータを用いて南海トラフ地震を想定したシミュレーションを行った。

高知空港は「南海トラフ地震における具体的な応急対策活動に関する計画（令和元年5月改正）」⁷⁾において「航空機用救助活動拠点」に位置付けられており、災害対策活動を行う航空部隊のヘリベースにも指定されている。

高知空港の施設の概要として、滑走路は 2,500m×45m、駐機場は7バースである（図-5参照）。高知空港は南海トラフにより発生する津波の規模で空港全体の南東部で 5.0m～10.0m 最大浸水深が想定されるが、空港施設の被害の想定では、緊急輸送の拠点として必要となる滑走路 2,000m、誘導路およびエプロンでの耐震性（レベル2地震動）は確保されていることから、地震動により構造物が被災する可能性は低いと考えられている。また、地震発生後、空港の制限区域北西端は津波が発生しても浸水しないエリアとされるため、航空機（3機程度）が

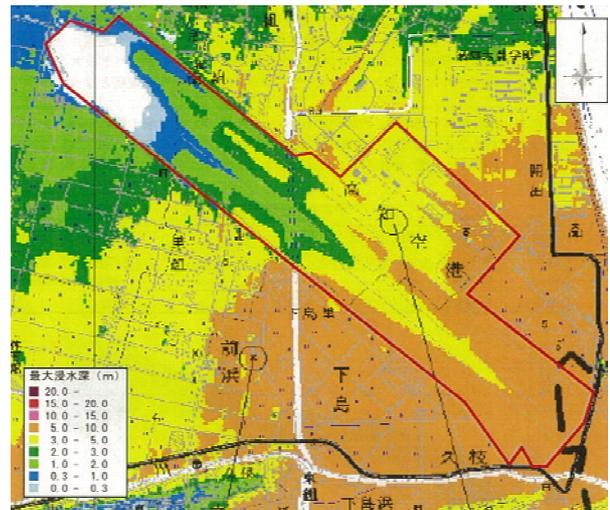


図-6 高知空港最大浸水深分布図⁹⁾

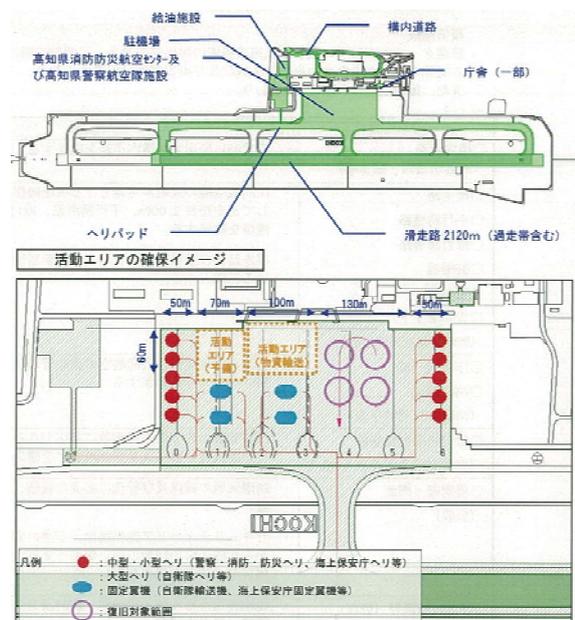


図-7 緊急支援物資・人員等輸送受け入れ機能の確保（回転翼・固定翼機）のための復旧施設¹⁰⁾

シミュレーションは災害発生直後を想定して、高知空港における地震・津波に対応する避難計画・早期復旧計画(図-7 参照)を参考に駐機場の配置や空港内の航空機の走行制限等を設定した(図-8 参照)。

シミュレーションのシナリオ(以下、シナリオ)は過去の大規模災害である東日本大震災(2011年3月12日の1日分)の花巻空港における航空機の駐機数(図-9 参照)等空港運用を参考に、以下の空港の運用を想定して出現する航空機数を表-1、各駐機場の使用状況については図-10のように作成した。

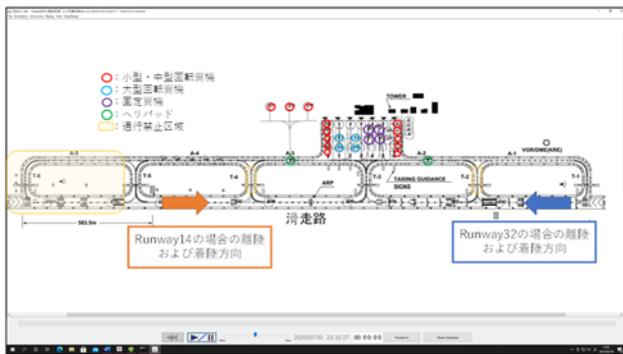


図-8 シミュレーション画面

- ① 駐機場所(23箇所)
 - ・小型・中型回転翼機用: エプロン内に 12 箇所(ヘリパッドを含む)、高知空港隣接施設に 3 箇所
 - ・大型回転翼機用: エプロン内に 4 箇所
 - ・固定翼機用: エプロン内に 4 箇所
- ② ヘリパッド(2箇所)
- ③ 走行および駐機禁止エリア

空港内の一部(滑走路の一部、誘導路 T2、T4 および T6)は走行および駐機に使用しない。
- ④ 運用に関する制限等
 - ・回転翼機の離着陸は滑走路あるいはヘリパッドを使用する。
 - ・固定翼機の出発の場合は滑走路端から滑走路へ進入、到着機は滑走路端に接続する誘導路から離脱する。
- ⑤ その他の条件
 - ・前日から駐機している航空機は小型・中型回転翼機 10 機とする。
 - ・航空機の走行方向等が特定されている場合は、その方向に従って走行する(図-7 参照)。

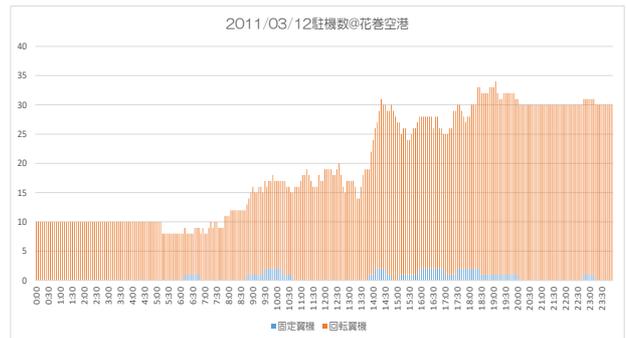


図-9 東日本大震災時の花巻空港の駐機数(2011年3月12日)¹¹⁾

表-1 シナリオに出現する航空機数

高知空港	出発機	到着機
小型・中型回転翼機	59	63
大型回転翼機	2	1
固定翼機	9	9
TOWING		9

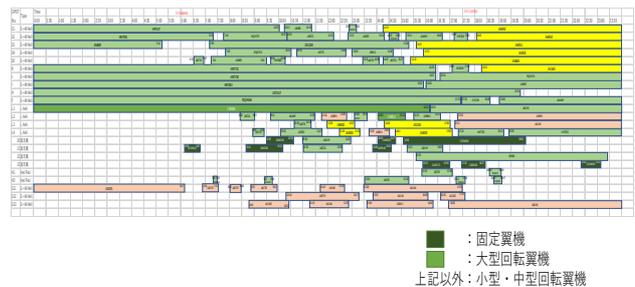


図-10 各駐機場の使用状況

大規模災害時に救急・救助、消防、搜索等で主に活躍するのは回転翼機であり、回転翼機は通常有視界飛行方式(VFR: Visual Flight Rule)で飛行しているため飛行の時間帯としては日の出から日没までとなる。参考とした3月12日も日の出が6時頃、日没が18時頃であり、この時間帯に空港の駐機数が変化していることから多くの航空機の離着陸が行われていることがわかる。また、一部この時間帯を外れて離着陸が行われたと考えられるのは物資輸送などを行った固定翼機である。固定翼機は計器飛行方式(IFR: Instrument Flight Rule)で飛行することが多いため、時間帯や天候にあまり左右されずに飛行できる。ただし、固定翼機は回転翼機に比べサイズが大きいため、駐機場も固定翼機用の場所を別途確保する必要がある。

以上のことから、天候についてはVFRで飛行できる程度を想定し、離着陸数が増える時間帯(13時、15時、17時頃)に空港内の混雑するシナリオとした。その際、航空機は駐機場と滑走路間の走行途中に待機する

ケースでは走行時間が増加することが予想される。そのため、走行時間がどの程度増加しているか、交通状況にどのような影響を及ぼしたか、滑走路の使用方向による違いなどをシミュレーション結果から検討した。

(2) シミュレーション結果

シミュレーションは一つのシナリオ（1 日分）を用いて、風向きによって滑走路の使用方向が異なる 2 つの滑走路運用（Runway 14 運用および Runway 32 運用）でそれぞれ 1 回ずつ行った（図-8 参照）。

駐機数の遷移を図-11 に示す。

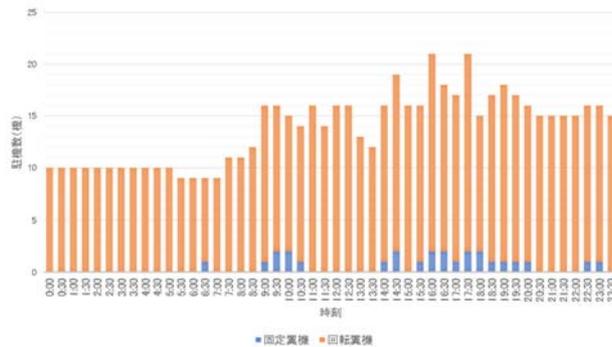


図-11 駐機数の遷移（30 分ごと）

シミュレーション結果から各航空機の滑走路～駐機場間の走行時間により空港内の混雑を表すこととした。出発機は各駐機場から滑走路端まで、到着機は各滑走路進入端から各駐機場まで、を途中で待機することなく走行できた場合に必要となる時間を基準時間として算出した。また、シミュレーション結果より各航空機の走行時間を算出した。出発機については駐機場から出発した時刻、到着機については滑走路進入端を通過した時刻によって 30 分毎に累計し、基準時間を基に比率を求めた。

図-12（Runway 14 運用時）および図-13（Runway 32 運用時）に出発/到着機数（棒グラフ）および基準時間と走行時間の比率を求めたもの（折れ線グラフ）を示す。

ピーク時の 30 分あたりの離着陸回数は 11 回/30 分であり、滑走路およびヘリパッドの処理容量としては特段の問題は発生しなかった。

出発/到着機がほぼ基準時間と同じ時間で走行できる場合（グラフの右軸 100% 近辺）は走行途中で待機等がなかったことを意味する。図-12 および図-13 より、同じシナリオを実行した場合でも滑走路運用の違いによって走行時間に差が出ることがわかる。特に、Runway 14 運用時の 15:00～15:30 あるいは 17:00～17:30 では出発機の走行時間が基準時間の約 3 倍になっている。その理由として以下のことが考えられる。

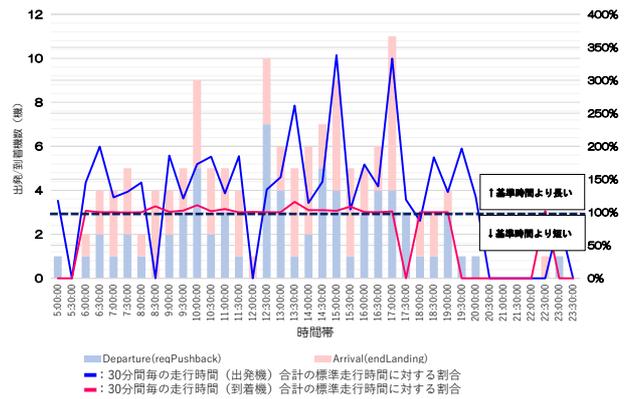


図-12 出発/到着機の基準時間と走行時間の比較（Runway 14 運用時）

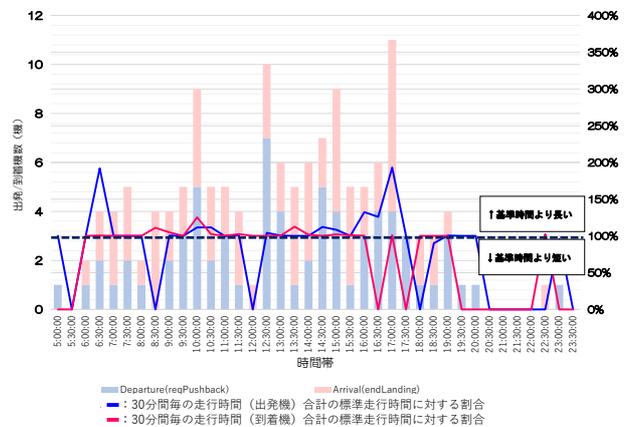


図-13 出発/到着機の基準時間と走行時間の比較（Runway 32 運用時）

- ① 滑走路の一部が運用できないことにより到着機の占有時間が異なる。Runway 14 運用時、回転翼機は、誘導路 T-4 および T-6 が通行できないため、最短でも誘導路 T-3 での離脱となることが考えられる（図-14 参照）。（一方、Runway 32 運用時、回転翼機は、滑走路端から進入し誘導路 T-2 で離脱することが可能である。）

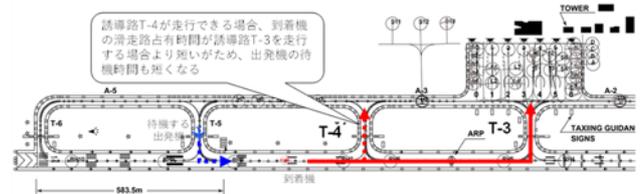


図-14 誘導路 T-4 が使用できない場合の例

- ② 到着機は着陸後誘導路 T3 経由で駐機場に向かうが、駐機場を出て滑走路に向かう出発機も同じ誘導路 T3 を経由するため、出発機は到着機が駐機場に入るまで駐機場内での待機を強いられる（図-15 参照）。
- ③ 到着機が続いて着陸する場合、出発機が続いて離陸する待機場所や迂回するための誘導路を考慮する必要がある、空港面が混雑する。

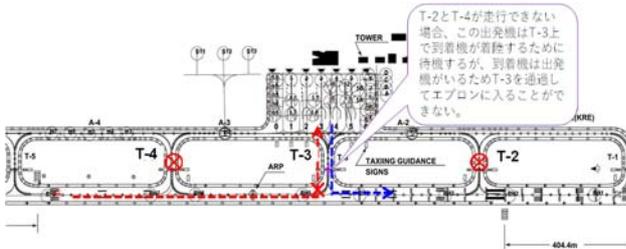


図-15 誘導路 T-2 および T-4 が使用できない場合の走行の例

5. 考察

シミュレーション結果より、以下のような運用における問題点等を考察した。

- ・本シミュレーションでは、駐機場を増やすためにヘリパッド（図-8 参照）も一時的に駐機する場所として使用したが、ヘリパッドは誘導路 A-2 および A-3 に設置されているため、航空機や車両の走行に支障をきたす可能性がある。また、滑走路端を使用して離着陸する固定翼機などの走行には迂回が必要となるが、迂回経路が確保できない場合も発生する。また、走行経路に滑走路が含まれるなど他の航空機の遅延等の原因となり得る（図-16 参照）。高知空港においてはグラスエリアでの駐機について回転翼機の重量に耐えられる強度があると考えられることから、想定している駐機数によってはグラスエリアでの駐機もシミュレーションに設定して行くことにより現実的なシミュレーションとなる。

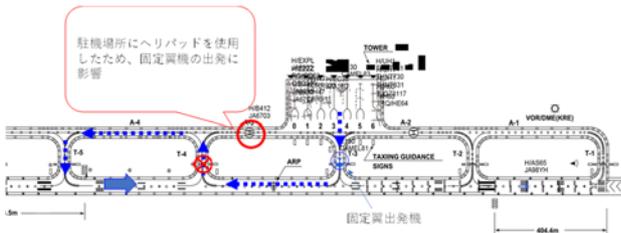


図-16 固定翼機の迂回例

- ・エプロン内に固定翼機用のスポット 4 箇所を設定し、矢印の方向に航空機を走行させるようシミュレーションを行ったが、これらのスポットの使用頻度が上がると駐機している航空機のために出発できない航空機が発生する状況も起こり得る（図-17 参照）。固定翼機用の駐機場においては図-18 に示すように短い距離で転回させて走行させたが、このケースに関しては現地担当者への確認が必要である。

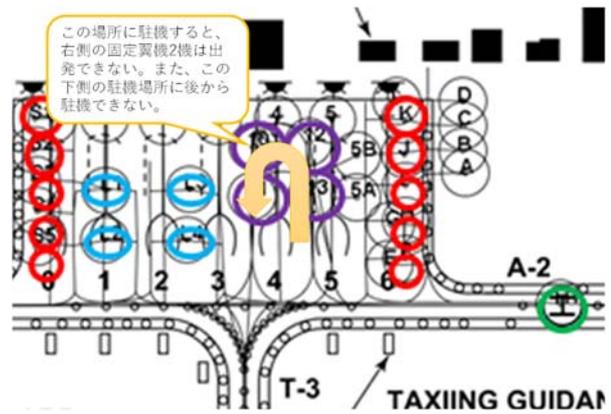


図-17 固定翼機用の駐機場と走行方向

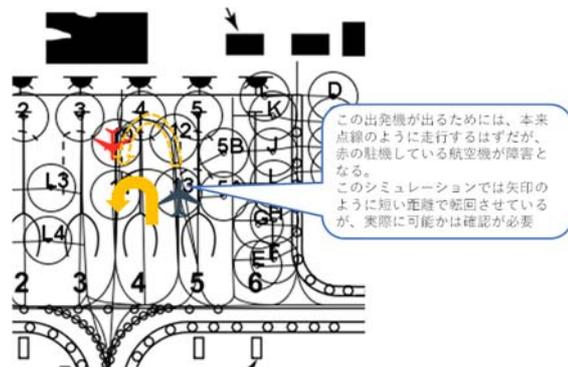


図-18 シミュレーションでの走行への対応

- ・本シナリオでは飛来する固定翼機を自衛隊機のみと仮定し、固定翼機用・大型回転翼機用など駐機場の分類は資料¹⁰⁾に基づいて設定した。固定翼機より多数飛来すると想定される回転翼機の駐機場については大型あるいは小型・中型のみの分類で設定しており、それぞれの回転翼機の所属や飛行目的別には分類しなかった。大規模災害時には、ドクターヘリのような回転翼機の駐機場について救急車両や先導車両の制限区域立ち入りゲートからの動線も考慮して設定することも今後の

課題となる。

また、本件で対象とした制限を受けた空港面において、以下の対策は、空港運用の効率化に繋がる。

- ・ヘリパッドでの駐機時間を最小限に抑えて走行を妨げないことで混雑緩和の可能性に繋がる。
- ・東日本大震災時の花巻空港の例（図-1 参照）などから、滑走路の両側に駐機場があることにより滑走路への出入りを増やすことで混雑の緩和も期待できる。

6. おわりに

大規模災害時において空港面で発生すると想定される課題について紹介し、空港面運用シミュレータを活用した検討状況について述べた。大規模災害時、他県からの航空機の多くが被災県およびその周辺の空港へ飛来することが想定されている。回転翼機と固定翼機の混在や駐機場外での駐機など、大規模災害発災直後はイレギュラーな空港運用が想定され、空港本来の処理能力を発揮できない可能性が考えられる。特に陸上、あるいは、海上の緊急輸送ルートが確保されるまでは、航空機による空からの救助活動が重要な役割を担う。

本稿では、高知空港について高知県の具体的な応急対策活動に関する計画等を参考に災害復旧段階におけるシミュレーションを設定し、過去の大規模災害時の航空機運用を参考にしたシナリオを作成し、シミュレーションを行った。その結果から制限された空港運用における航空機の駐機や走行に関する問題点等を考察した。今後もさらに現地担当者への調査を行い、洗い出した問題点の対策やシミュレーション条件などの設定を変えて、大規模災害時用に、駐機場外における駐機、空港内の施設間の地上走行等を模擬できるようにシミュレータの性能向上を行い、事前にどの程度の大規模災害時に空港が処理能力があるのかを検討していく予定である。

謝辞：シミュレーションを行うため、国土交通省大阪航空局高知空港事務所に高知空港の現状や災害対策等についての資料提供および調査のご協力をいただいた。また、本研究は、交通運輸技術開発推進制度（JPJ002223）（課題名：大規模災害時における海上・航空輸送に関わるボトルネック解析～マルチエージェントシステムによるシミュレータの開発～）の支援により実施されているものである。

参考文献

- 1) 轟朝幸, 花岡伸也, 平田輝満, 長田哲平, 荒谷太郎: 災害時における多様な航空機活動を支える空港運用のあり方に関する研究, 航空政策研究会 2011 年度研究プロジェクト支援報告書, 航政研シリーズ, No. 556, 2013.
- 2) 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, pp. I_229-I_246, 2013.
- 3) Wataru KODATO and Terumitsu HIRATA: Fundamental Analysis of Airport Operation and Capacity in Disaster, 11th International Conference of Eastern Asia Society for Transportation Studies, Cebu, Phillipines, 2015.
- 4) 山形県企画振興部交通政策課・県土整備部空港港湾課: 東日本大震災の記録 (空港編), 2012.
- 5) Yamada, I., Aoyama, H., Brown, M., Sumiya, M.: A Simulation Study on a Method of Departure Taxi Scheduling at Haneda Airport, Proceedings of the 3rd ENRI International Workshop on ATM/CNS (EIWAC2013), EN-024, 2013.
- 6) 西澤優里, 青山久枝, 鳥居塚崇: 関西国際空港における航空機地上走行経路に関する分析, 日本人間工学会第 59 回大会講演集, 1B2-2, 2018 年 6 月
- 7) 中央防災会議: 南海トラフ地震における具体的な応急対策活動に関する計画, 2018.
- 8) 国土交通省 大阪航空局 高知空港事務所: 高知空港の概要 -2020-, 2020.
- 9) 高知県: 南海トラフ巨大地震による震度分布・津波浸水予測, 2012 年 12 月 10 日.
- 10) 高知空港における地震・津波に対応する避難計画・早期復旧計画協議会: 高知空港における地震・津波に対応する避難計画・早期復旧計画, pp.58, pp.89, 2020 年 3 月.
- 11) 轟朝幸, 引頭雄一: 災害と空港, 成山堂書店, 2018 年 2 月 28 日発行.