

17. 高速シミュレーションによる空港面拡張の検討例

管制システム部 蔭山 康太

1. はじめに

増大する航空需要への対応には空域の有効利用に加えて、滑走路や誘導路の増設などの空港面の拡張による処理容量の拡大が必要とされる。処理容量拡大の効果を最大限とするためには事前の十分な検討が必要とされるが、高速シミュレーションは空港面の拡張が航空機の運航に与える効果の効率的な評価が可能であり、事前の検討に有用な手法となりうる。

本稿では、空港面の拡張による処理容量拡大の効果を高速シミュレーションを用いて検討する手順を紹介する。近年では計算機の性能の発展により、パーソナル・コンピュータなどの汎用的な計算機上でのシミュレーション実施が可能である。

福岡空港をシミュレーションの適用例として、増便が遅延時間へ与える影響を検討するとともに、空港面の拡張による遅延時間低減の効果を検討した。

シミュレーション・ソフトウェアとして、Preston Aviation Solutions 社製の TAAM (Total Airspace and Airport Modeller) Plus Version1.2 を使用した。代表的なシミュレーション・ソフトウェアの一つである TAAM は滑走路や誘導路の配置などの詳細なモデル化や、シミュレーション中の空港面での航空機に対する運用ルールの設定が可能である [1]。

2. シミュレーションによる検討

2.1 基本モデルの作成

シミュレーション実施のために、現在の福岡空港の空港面構成をモデル（以下、基本モデル）化した。基本モデルの外観を図1に示す。図中の文字は、誘導路の各構成要素の一部の名称を表す。離着陸機数全体への割合が90%程度である国内線は東側ターミナルのスポットを、国際線は西側ターミナルのスポットを使用する。

北風時、南風時の2種類の滑走路構成について、それぞれ1日分の実運用の観測データに基づき、各出発機の移動開始予定時刻、および各到着機の到着予定時刻を定義する交通流シナリオ（以下、シナリオ）を作成した。以下、観測データに基づくシナリオを基本シナリオと記す。

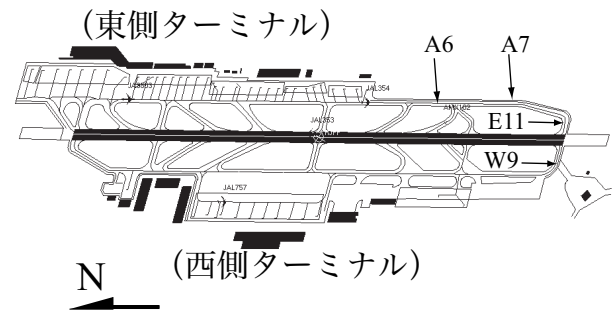


図1 TAAMによる空港面モデル

さらに、観測データや調査結果などに基づいて、機種により使用可能なスポットなどを運用ルール中に設定した。

シミュレーション実施中に、各出発機はシナリオに定義された時刻に基づいてスポットを離脱し、進入誘導路を経由して滑走路へ到達後、離陸する。同様に各到着機はシナリオに定義された時刻に基づいて滑走路に着陸した後、離脱誘導路を経由してスポットへ到達する。滑走路・スポット間の経路は原則的に最短経路に基づいて選択されるが、調査結果などに基づき、機種により優先して使用される離脱・進入誘導路などを運用ルール中に設定した。

2.2 遅延時間

空港面の処理容量の指標としては、一般に航空機の運航で生じる遅延時間が用いられる [2]。遅延時間は“シミュレーション結果より得られた航空機の地上走行所要時間と他の航空機の運航に全く影響を受けない場合の地上走行所要時間の差”として表される。

出発機の遅延は、地上走行時の遅延（走行遅延）スポット離脱時の遅延（スポット遅延）、および、滑走路到達時における先行離陸機との管制間隔の維持や到着機の滑走路からの離脱に必要な待機遅延（滑走路遅延）の3種類に分類される（図2参照）。本稿では出発機の遅延（出発遅延）時間は、走行遅延およびスポット遅延時間の合計値とし、滑走路遅延時間は対象としないこととした。

なお、到着機の遅延（到着遅延）は走行遅延のみにより生じる。

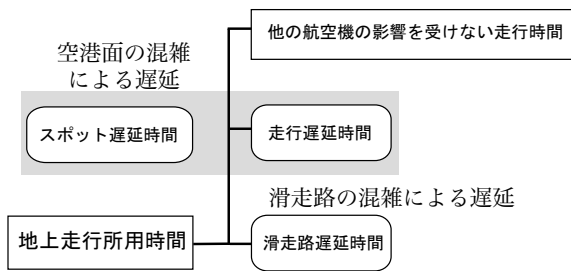


図 2 出発機の遅延時間の分類

2.3 検討の手順

高速シミュレーションは通常、代替案間での相対評価に用いられる [3]。増便時のシミュレーションを実施し、基本シナリオによる結果と比較することで、遅延時間へ与える影響を検討した。同様に拡張時の空港面をモデル化し、基本モデルと結果を比較することで空港面拡張の効果を検討した。

TAAM は、シミュレーション中の各航空機の離陸時刻や地上走行時間などを詳細に記録したログファイルを生成する機能を有する。シミュレーション結果の検討は、このログファイルの解析により行った。

3. 基本モデルの検証

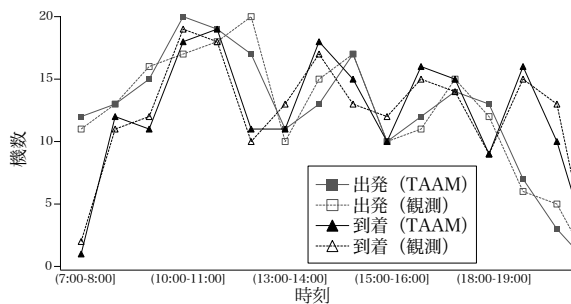


図 3 離着陸機数の比較（北風）

高速シミュレーションによる相対評価は、ある程度現実の運用を反映したモデル上で行われる必要がある。そこで、基本モデルの妥当性をはじめに検証した。各航空機の移動開始予定時刻や到着予定時刻はシナリオ中に定義されるが、シミュレーション中の出発機・到着機の滑走路到達時刻は運用ルールの設定内容により変化する。そこでシミュレーション結果における離着陸機数を観測データと比較し、運用ルール設定内容の妥当性を検証した。

北風時の滑走路構成を例として、図 3 に比較結果を示す。横軸は各時間帯（1 時間単位）の始まりを表し、縦軸は各時間帯における離着陸機数を表す。ま

表 1 相関値（離着陸機数）

	離陸	着陸
北風	.96	.98
南風	.96	.96

表 2 地上走行時間の平均値

	出発		到着	
	実運用	TAAM	実運用	TAAM
北風	10.7	12.0	2.4	2.1
南風	8.0	7.9	4.3	4.6

た、1 時間単位の離陸機数・着陸機数について、シミュレーション結果と観測データの相関値を表 1 に示す。それぞれの滑走路構成について離陸機数・着陸機数とも非常に強い相関が得られており、基本モデルの観測データに対する再現性は高いと考える。

地上走行時間についてもシミュレーション結果と観測データを比較し、ある程度近い値が得られていることを確認した（表 2 参照）。なお、出発機の地上走行時間は観測データでは“スポット出発時刻から滑走路進入時刻まで”であるのに対して、TAAM では“滑走路離陸時刻まで”となる。

4. 増便の影響の検討

4.1 増便シナリオの作成

基本モデル上で、離着陸機数を増便したシナリオ（増便シナリオ）によるシミュレーションを実施し、増便による影響を検討した。

単一滑走路において、出発機と到着機が交互に滑走路を使用する場合の物理的容量を 34 機/時と仮定して、年間交通量に換算すると約 17 万回相当となる。物理的容量の前後の遅延時間を検討するために、年間交通量が約 16 万回（以下、16 万回シナリオ）、および 18 万回（以下、18 万回シナリオ）に相当する増便シナリオを 1 種類ずつ作成した。なお、観測データが記録された平成 14 年の福岡空港の年間交通量は約 14 万回である。

各増便シナリオは 1 日分の長さとし、全ての航空機の予定出発時刻あるいは予定到着時刻は 8 時から 22 時の範囲に基本的に収まるように調整した。なお、各増便シナリオを用いたシミュレーションでの運用ルールの設定内容は基本シナリオの場合と同様とした。

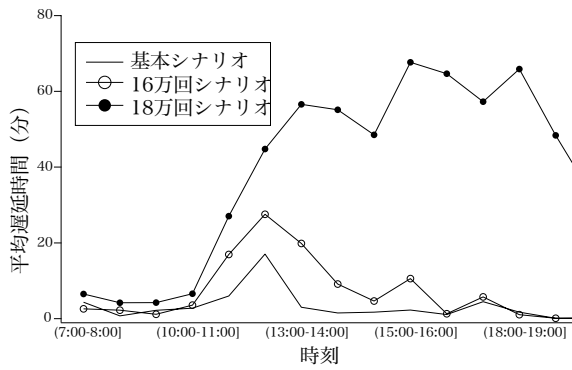


図 4 増便による出発遅延時間の比較

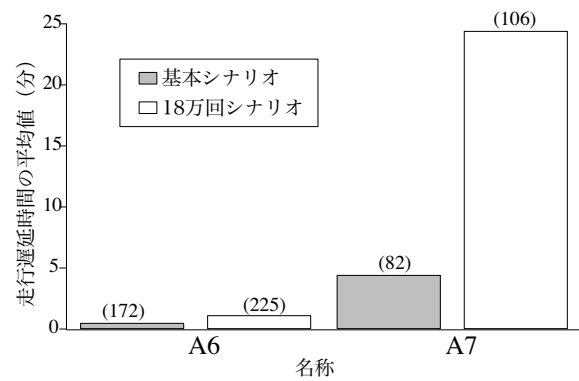


図 6 構成要素上の出発機の走行遅延時間の平均値

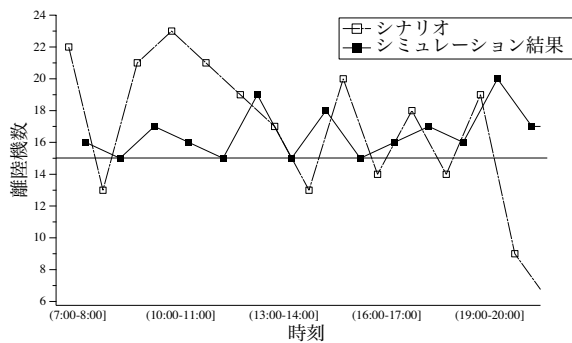


図 5 離陸機数の比較

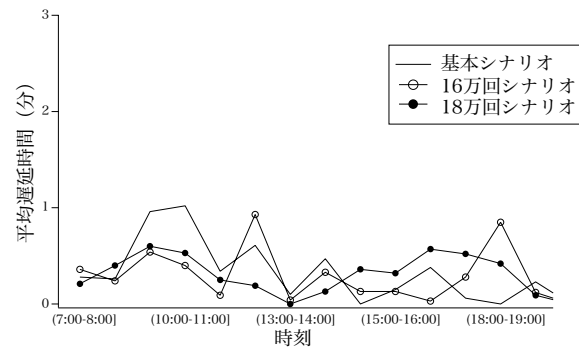


図 7 増便による到着遅延時間の比較

4.2 出発遅延時間

以下、北風時の滑走路構成を対象としてシミュレーション結果を示す。基本シナリオと16万回、18万回シナリオの出発遅延時間の1時間単位の平均値の比較を図4に示す。横軸は時間帯の始まりを表し、縦軸は各時間帯における平均値を表す。18万回シナリオでは11時以降、恒常的に長時間の出発遅延が発生する。

図5に、18万回シナリオ中の移動開始予定時刻と、同シナリオによるシミュレーション結果より得られた離陸時刻に基づいて、出発機の離陸機数を1時間単位で比較した結果を示す。シミュレーション結果では、移動開始予定時刻による機数に関わらず、全ての時間帯で常に15機以上の出発機が離陸している。全体的に離陸時刻が予定より遅れるとともに、各時間帯の離陸機数が平均化されている傾向があるため、18万回シナリオにおいては空港面の処理容量が限界に達していると考えられる。

18万回シナリオにおける長時間の出発遅延の検討のため、誘導路の構成要素であるA6、A7(図1参照)上での出発機の走行遅延時間の平均値の比較を図6に示す。図の括弧中の数値は各構成要素を通過

した出発機の延べ機数を表す。

18万回シナリオにおいては、特にA7上での走行遅延時間が長くなる。設定ルールでは半数近くの出発機が構成要素E11から滑走路に進入するとともに、西側ターミナルのスポットを使用する全ての出発機は構成要素W9から滑走路に進入するために、特にE11を使用する出発機の滑走路遅延時間が長くなる結果として、特にA7上での走行遅延時間において増便が与える影響が大きいと考える。また、TAAMはシミュレーション実施中に航空機の運航を動画により表現することで、遅延の発生状況の確認を容易としている。

4.3 到着遅延時間

図7に基本シナリオと16万回、18万回シナリオによる到着遅延時間の1時間単位の平均値を示す。図4と同様に横軸は時間帯の始まりを表し、縦軸は各時間帯における到着遅延時間の平均値を表す。交通量による遅延時間の平均値の差は1分間以内に収まっており、増便が到着遅延時間に与える影響は非常に小さいと考える。

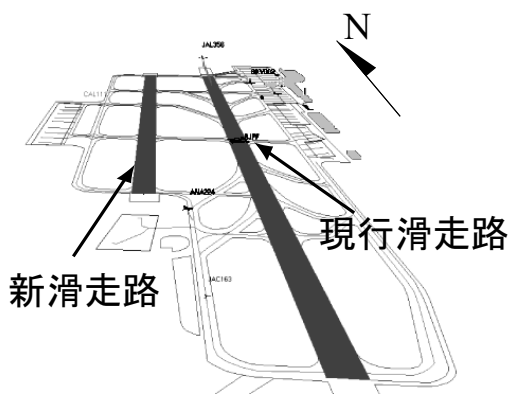


図 8 滑走路増設モデル

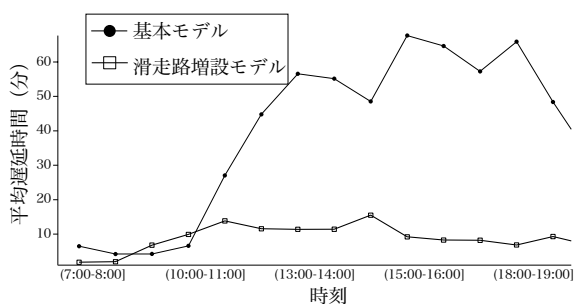


図 9 出発遅延時間の比較 (18 万回シナリオ)

5. 空港面の拡張の検討例

空港面拡張の検討例として、現行滑走路の西側に 2,000m 長の新滑走路を増設し、現行滑走路と併用したモデル（滑走路増設モデル）によるシミュレーション結果を簡単に示す。図 8 に滑走路増設モデルの外観を示す。

滑走路増設モデル上での運用ルール設定では、原則的に東側ターミナルのスポットを使用する航空機は現行滑走路を、西側ターミナルのスポットを使用する航空機は新滑走路を使用することとした。ただし、西側ターミナルのスポットを使用する航空機中で、新滑走路では離着陸に要する長さが不十分であると判断される機種の場合は現行滑走路を使用することとした。また、離発着機は使用滑走路の異同に関わらず、同一滑走路を使用する場合と同じ間隔値を維持するものとした。

シミュレーション結果の一例として、18 万回シナリオにおける出発遅延時間の 1 時間単位の平均値について、滑走路増設モデルと基本モデルの比較を図 9 に示す。横軸は各時間帯の始まりを、縦軸は各時間帯における平均値を表す。滑走路増設モデルにおいては、長時間の遅延の恒常的な発生は解消されており、滑走路増設による出発遅延時間の低減効果を確

認できる。なお、滑走路増設モデルによるシミュレーションでは運用ルールを簡易に設定しており、詳細なルールの検討により、さらなる遅延時間低減の可能性が存在する。

6. おわりに

高速シミュレーションを用いて増便や空港面の拡張による遅延時間への影響を検討する手順を紹介した。はじめに基本モデルの再現性を検証し、現実の運用をある程度反映していることを確認した。ついで、基本モデル上で増便が与える影響を検証し、特に出発遅延時間の増加が著しいことを示した。また、滑走路増設モデルによるシミュレーションを実施し、出発遅延時間の低減の効果を検討した。

シミュレーションでは各交通量について 1 種類のシナリオのみを使用した。交通流のパターンによる遅延時間への影響が予想されるため、詳細な検討には多数のシナリオの使用が望ましい。

特に空港面を対象とした場合、TAAM 上でのシミュレーション実施により、滑走路の配置などに関する具体的なモデルに基づいた結果の取得が可能であり、拡張の検討に有用な手法となりうると考える。また、TAAM では空域のモデル化も可能であるため、包括的なモデルの作成により空域における運航を加味した処理容量の検討が可能となる。

謝辞

シミュレーション実施に際して、観測データなどのご提供を頂いた日本工営様、九州地方整備局様など関係各位に感謝いたします。

参考文献

- [1] A. R. Odoni *et al.* Existing and Required Modeling Capabilities for Evaluating ATM Systems and Concepts. Massachusetts Institute of Technology Technical Report, 3 1997.
- [2] R. Horonjeff, F. X. Mckelvey. *Planning and Design of Airports*. McGraw-Hill Book Company, 3rd edition, 1983.
- [3] A. L. Politano *et al.* Toward Making the NAS More Productive: GPS-Enabled Direct Routing in the New England Region. *Air Traffic Control Quarterly*, Vol. 4, No. 2, pp. 81-107, 1997.