

## 気象条件に着目した滑走路処理容量の変動特性に関する研究

茨城大学大学院 学生会員 ○蒔田良知

茨城大学 正会員 平田輝満

茨城大学大学院 学生会員 二見康友

### 1. はじめに

近年、首都圏空港(羽田・成田)の航空需要は増加傾向にあり、現在の発着回数 74.7 万回/年から 2032 年には最大 94.1 万回/年に上ると予測されている<sup>1)</sup>。将来的な容量超過が予想されるため、両空港のさらなる容量拡大が必要とされている。

限られた容量を最大限に活用するため、現在羽田空港では航空交通流管理(ATFM)の一環である交通流制御がおこなわれている。交通流制御は、空港・空域の将来交通量を予測し、それらが特定の容量を超えると予想されるとき、出発制御・経路延伸により空港への到着時間を遅らせることで、混雑時の容量(空域容量、滑走路処理容量等)を調整している。しかし、交通流制御の容量予測は気象条件等の状況を考慮するため、予測精度に応じて効果が変化する。効用を最大化するためには容量の正確な予測が必要であり、現在の容量予測の精度では特に滑走路処理容量の精度が低い<sup>2)</sup>。

したがって、滑走路処理容量は気象が与える影響を十分考慮して算出する必要があるが、現状では北風・南風別に滑走路運用の変更や好天・悪天別に着陸進入方式の変更等マクロな考慮に留まる。だが着陸処理容量は、強い向かい風の際に対地速度が減少することで低下するため、この風況条件を考慮する必要がある。

以上より、本研究では羽田空港を対象に風況による到着機間隔の影響を明らかにし、到着機間隔の変動特性から着陸処理容量を算出することで滑走路処理容量の予測精度を向上させ、ひいては滑走路使用効率を向上させることを目的とする。

### 2. 羽田空港到着機の抽出

電子航法研究所が所有する 2014 年度の SSR モード S データ(約 10 秒ピッチの飛行位置、機材、風況等)より羽田空港到着機の抽出を以下の方法で行った。

#### (1) 羽田空港便の抽出

はじめに、各便のデータの最終点から羽田空港の条件範囲(緯度、経度、高度を設定)を満たす便を羽田空港到着機として抽出した。なお、着陸復行機は 1 機で滑走路を複数回占有するため、別途抽出を行った。

#### (2) 使用滑走路の判別

次に、各便の通過位置から使用滑走路端の判別を行った。複数滑走路の配置や滑走路直近のデータの欠損などを考慮し、各滑走路の着陸経路上に滑走路端から一定程度離れた位置・範囲を判別条件として設定した。

#### (3) 着陸時刻の推計

最後に、着陸時刻を推計する際の基準地点として滑走路端から滑走路方向に 3NM 地点(データがない場合は 5NM 地点)を閾値とし、各到着機の閾値の通過時刻を求めた。さらに、閾値と滑走路端到達時の標準的な着陸速度より、閾値から滑走路端までは等加速度運動と仮定して所要時間を求め、着陸時刻を推計した。

### 3. 着陸処理容量に対する風況の影響分析

前章の抽出データより、着陸専用滑走路の処理容量に対する風況の影響分析を以下の方法で行った。

#### (1) 風況が到着機間隔に与える影響の分析

着陸専用滑走路(34L)の処理容量を算出するために、先行機が滑走路端から 3NM の時の到着機間隔に対する風況の影響を統計的に推定した。究極的な処理容量という意味では実績の処理機数から処理容量を統計的に分析するのではなく、到着機間隔の変動特性から容量を予測する方法も有益と考えられる。

そこで、今回は到着機間隔が制御されていない到着機(間隔が一定以上)を除いた到着機ペアをサンプルとして、到着機間隔  $y_{ij}$ [NM]を目的変数に重回帰分析を適用した。説明変数は直接風況データにせず、その影響を加味した実績対地速度  $V_{GSp}$ [kt]とした。また実際の到着機間隔は混雑度が低いと間延びする影響を考慮し、

---

キーワード 滑走路処理容量, 気象, 容量の予測精度

連絡先 〒316-8511 茨城県日立市中成沢町四丁目 12-1 茨城大学工学部都市システム工学科 TEL 0294-38-5326

混雑度(着陸処理機数)  $N_A$ [回/30分]も加えた。さらに連続する機材の組み合わせ別に後方乱気流間隔のルールが異なるため、組み合わせを示すダミー変数  $D$  も加えた。回帰式を算出した結果は表-1 となり、 $F=0$  の有意性が示された。混雑度が上がるほど間隔は小さくなり、対地速度が減少するほど間隔は小さくなる傾向が見られた。また、M-M(最低間隔 3NM)を基準とし、H-H(最低間隔 4NM)と M-H(最低間隔 5NM)が多くなるほど、間隔が広がる傾向も挙げられる。加えて、各機材の組み合わせごとに回帰式を算出しても同様の傾向が見られ、すべての組み合わせで対地速度の低下が間隔短縮に有意に影響している結果となった。

以上より、向い風が強い時、到着機間隔を意図的に短縮している可能性が考えられる。これは、ヒースロー空港で 2015 年から試行されている Time-based Separation(TBS)の考えに近い。

(2) 風況を考慮した着陸専用滑走路の処理容量の算出

風況を考慮した到着機間隔の予測モデルを用いて、34L 着陸機を対象に処理容量の予測方法を検討した。具体的には、電子航法研究所と同様の方法<sup>3)</sup>で(1)~(2)式より偏流角  $\phi_D$ [°]と滑走路方向の理論対地速度  $V_{GSi}$ [kt]を算出し、(3)~(5)式を用いて、図-1 の流れより風況を考慮した 34L 滑走路の処理容量を算出した(図-2)。ただし、予測モデルには混雑度(着陸処理機数、つまり処理容量と同じ概念)が含まれているため、この値と予測処理容量が一致するという制約条件を加味し、(3)~(6)式の連立方程式を解いて、容量算出を行った。

$$\phi_D = \sin^{-1} \left\{ \frac{W}{V_{TAS}} \sin(\phi_W - \phi_T) \right\} \quad (1)$$

$$V_{GSi} = V_{TAS} \cos \phi_D + W \cos(\phi_W - \phi_T) \quad (2)$$

$$y_{ij} = 0.022V_{GSi} - 0.09N_A + 0.265D_{HH} + 0.58D_{HM} + 2.834 \quad (3)$$

$$T_{ij} = \frac{y_{ij}}{V_{GSij}} \quad (4)$$

$$CAP = \frac{1800}{\sum_{i,j=H,M} P_i P_j T_{ij}} \quad (5)$$

$$CAP = N_A \quad (6)$$

ここで、 $V_{TAS}$ : 真対気速度[kt](H,M機の2種類で仮定)、 $\phi_W$ : 風向[°],  $W$ : 風速[kt],  $\phi_T$ : トラック角[°],  $i$ : 先行機,  $j$ : 後続機,  $T_{ij}$ : 1機あたりの処理時間[s],  $CAP$ :

滑走路処理容量[回/30分],  $P$ : 機材の発生確率とする。

表-1 到着機間隔に影響を与える要因(予測モデル)

説明変数	係数	t
切片	2.832	20.72
実績対地速度 kt	0.022	28.78
混雑度(着陸処理機数 回/30分)	-0.09	-17.5
H-H(ダミー)	0.265	10.71
H-M(ダミー)	0.577	23.25
重決定R <sup>2</sup>	0.246	



図-1 風況を考慮した着陸処理容量の算出の流れ

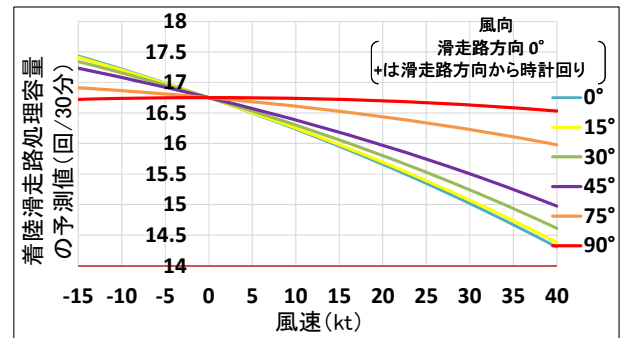


図-2 風況を考慮した着陸容量予測結果の例

算出した結果、風向が 0° (向い風成分 100%)のときの変動幅が最大であり、風況変化に対して約 1~2 回/30分の容量変動が確認された。

4. 結論

以上より、風況が容量変動の一つの要因であることを明らかにし、風況を考慮した着陸専用滑走路における処理容量の予測方法を提案した。さらに、機材データ等を精緻化すれば、気象条件の容量変換や気象予測誤差の影響も定量評価可能である。

参考文献

- 国土交通省:首都圏空港の機能強化策について, <http://www.mlit.go.jp/common/001047128.pdf>
- 平田輝満, 屋井鉄雄: 空中待機時間からみた羽田空港到着機に対する出発制御の有効性分析, 第44回土木計画学研究発表会・講演集, CD-ROM, 2011.
- 福田豊ほか: トラジェクトリモデルに関する研究, 電子航法研究所報告 No.132, 2015.
- 二見康友, 平田輝満: 混雑空港における離着陸順序の付けの実態と容量算定に関する分析, 第52回土木計画学研究発表会・講演集, CD-ROM, 2015.