

21. 北米行き航空機の飛行計画時調整の検討

電子航法評価部

※福島 幸子 井無田 貴岡 恵 福田 豊 塩見 格一

1. はじめに

東アジアの空港整備の拡充に伴い航空需要の増加が予測されている。垂直管制間隔の短縮（RVSM）が北米行きの洋上経路に導入され、経済的な使用可能高度が増加したが、気象状況によっては飛行高度が限定される場合もある。安全維持のために航空機間に管制間隔を保つ必要があるが、洋上ではレーダ管制の管制間隔よりも広い間隔が必要である。北米行き航空機はレーダ覆域内で合流し、洋上の管制間隔を設定する。我が国からの出発機がアジア地域からの通過機と競合すると、間隔を確保するために、出発前調整で出発遅延や高度変更が生じることがある。また、異なる方面から飛行してきた通過機どうしの間隔を確保するために、飛行予定高度を変更する場合もある。交通量が多い時間帯は、出発機の遅延増加や、燃料消費の多い高度での飛行が多く生じている。これらは同一方面へ飛行する航空機のなかで、合流点に地理的に近い成田・関西空港の出発機に集中するため、改善が求められている。

米国では、西海岸の空港から出発する西行きの太平洋横断機に対して、トラックアドバイザリ(TA; Track Advisory)¹⁾を行っている。TAは交通流管理の一手法で飛行計画時調整にあたる。航空会社は飛行経路、経路の入り口となる地点(ゲートウェイ)の飛行高度、通過時刻及び許容遅延時間(その高度で飛行するために何分まで遅延してもよいか)を第8希望まで管制機関に提出する。TAのプログラムは経路毎にスロット(通過時間幅と通過高度)を割り当て、予約結果を航空会社に通知している。TAには、事前に出発時刻の遅れや高度変更がわかることや、それらの公平性という利点がある。しかし、予約スロットを利用できない場合は再予約の必要があり、長い遅延が生ずることもある。

本研究では、日本の飛行情報区を通過して北米に飛行する航空機の交通流管理の方法を検討

している^{2,3,4,5,6,7)}。米国では出発制御が可能な西海岸の出発機のみが対象であるが、我が国の場合は、現在は出発制御を行っていない、東アジアの遠距離の空港からの通過機も考慮する必要がある。

国外からの通過機を含めて飛行計画時調整(以下、調整とする)を行った場合と、現行どおり飛行計画時調整を行わない場合について、管制官参加のシミュレーション実験を行ったので結果を報告する。

2. シミュレータ

飛行計画調整シミュレータと洋上合流シミュレータを用いてシミュレーションを行った。シミュレータの機能を説明し、シミュレーションでの条件を述べる。

2.1 飛行計画調整シミュレータ

飛行計画調整シミュレータ⁴⁾は、飛行計画段階で他の便と希望が競合した場合、飛行高度や出発時刻の変更を模擬する。飛行計画を基に、各航空機のゲートウェイ通過予定情報を提示する。スロット割り当てのルールデータに従って手動もしくは自動的にスロットを割り当てることができる。割り当てられたスロットを基に、調整済みの飛行計画を作成する。

ゲートウェイを図1のレーダ覆域最後の地点

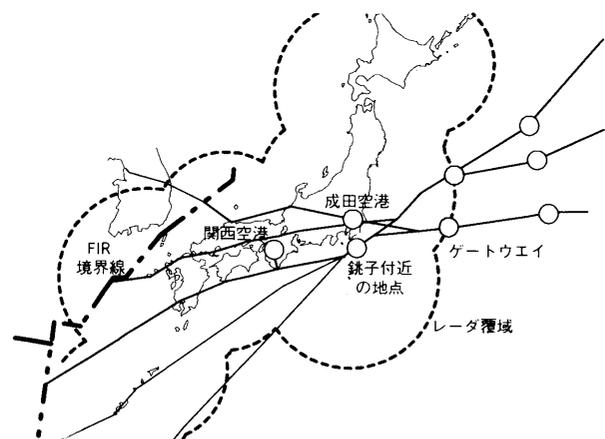


図1 位置関係

とし、飛行予定の航空機は、ゲートウェイの通過予定時刻、希望高度、許容遅延時間を第4希望まで提出することとした。第1希望高度は、出発機は出発承認要求時の要求高度、通過機は銚子近辺の地点での予定高度とした。第2～4希望高度は、ゲートウェイの高度を上限に、順次下の高度とした。各高度での許容待機時間は全て15分とした。ゲートウェイでの管制間隔は機種に関係なく一律15分とした。ゲートウェイ通過予定時刻順に一括でスロットを自動確定した。

2.2 洋上合流シミュレータ

洋上合流シミュレータは出発承認に関わる業務の模擬を行う。検査ルールとしてゲートウェイでの管制間隔を定義する。

希望高度は出発機に対しては出発承認要求時の要求高度、通過機に対しては銚子近辺の地点の予定高度とした。出発承認時に通過機との管制間隔を検査ルールに従い検査する。管制間隔が確保されない場合は、出発機に対しては出発遅延か高度変更、通過機に対しては高度変更を行い、間隔を確保し承認する。管制間隔は機種に関係なく一律15分もしくは12分とした。また、飛行計画調整で調整した出発時刻に遅れた航空機の再予約の方針として、他機の予約スロットを優先する場合、もしくは優先しない場合とした。

3. 実験方法

1998年の交通量の多いときの実績記録を基に、シナリオを作成した。出発機は飛行計画どおりに飛行するように出発時刻と飛行高度を補正し、通過機は実績記録どおりとした。

まず、飛行計画調整シミュレータを用いて、調整を行ったシナリオを作成した。

調整を行わないシナリオと、調整を行ったシナリオそれぞれに対し、管制官が洋上合流シミュレータで出発承認を模擬した。管制間隔は機種に関わらず同一の管制間隔を取ることにした。また、調整どおりに飛行できない場合の模擬として、国内空港からの出発機の予定時刻を、平均0分、標準偏差10分のガウス分布でずらし、再予約を模擬した。

実験経路に現在はRVSMが導入されているがシナリオの基とした日は導入前であったこと

と経路の容量を減少させるため、飛行高度としてRVSMは、導入しなかった。75%以上の航空機の希望高度は33,000ft (FL330)であった。

各試行において、管制間隔、再予約時に他の予約スロットに優先性を認めるかを表1に示す。

表1 実験の条件

	試行1	試行2	試行3
調整時管制間隔	15分	15分	15分
承認時管制間隔	15分	12分	12分
スロットの優先	する	する	しない

4. 実験結果

4.1 出発遅延

調整を行わなかったときの出発承認時の遅延、調整を行ったときの調整時遅延、出発承認時遅延、飛行計画からの遅延についての平均を図2に示す。「試行n」は試行nでの全出発機での平均、「試行n'」は試行nで遅延が生じた航空機数での平均である。

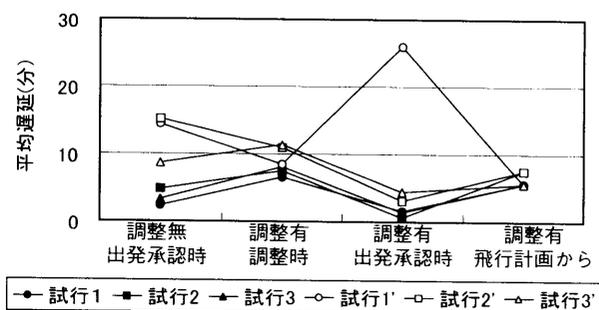


図2 平均遅延

調整を行うと出発承認時の遅延が減少した。出発承認時の遅延は予約に遅れた航空機にしか発生しなかったが、再予約で遅延となり飛行計画から大幅に遅れた航空機もあった。調整を行わなかった場合は少数の航空機に平均15分程度の遅延が生じたが、調整を行った場合は、多数の出発機に平均10分程度の遅延が生じた。

4.2 承認高度

希望が集中するFL330の承認率を図3に示す。調整を行うことにより、出発機は承認率が20～30%向上した。通過機は承認率が低下した場合もあったがいずれも50%以上の承認率であった。

試行3について、飛行計画、出発承認時、調

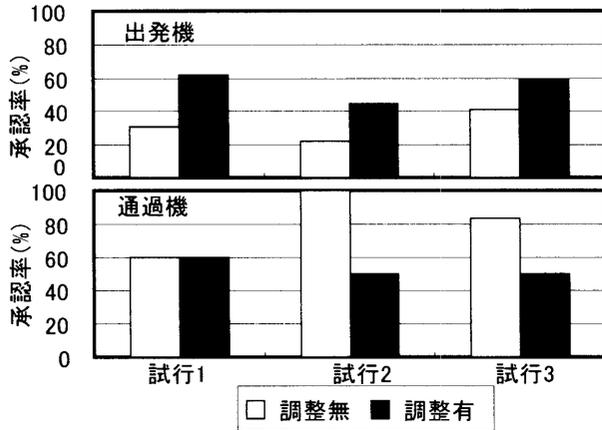


図 3 FL330の承認率

整時の高度を高度帯ごとの機数で図4に示す。先述したように調整を行った場合、希望の多いFL330の承認が出発機は増加し、通過機は減少した。また、全体的に出発承認高度が低くなった。これは、飛行計画調整によってFL330を希望している航空機が第2希望以下の高度を承認されたためである。調整を行わなかった場合、FL350の承認が多かったのは、出発承認時に空き高度がなく、航空機によっては飛行計画で希望した高度よりも高い高度を管制官が指示した

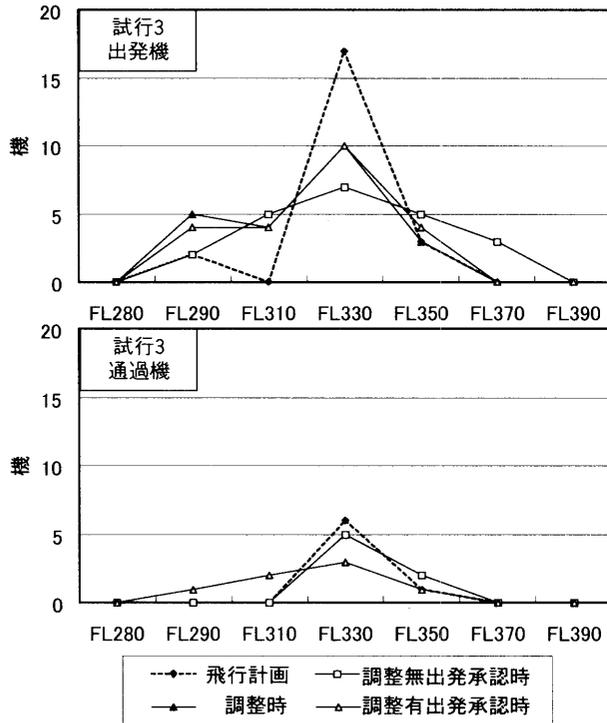


図 4 高度分布

ためである。

4.3 飛行高度帯の利用

試行3の各高度帯のゲートウェイ通過時刻を図5に示す。75%以上の航空機がFL330を希望していた。調整を行わなかった場合は、FL330で9:10~9:48の38分間を利用しなかったが、調整を行った場合は、FL330を利用しなかったのは最長で19分間であった。

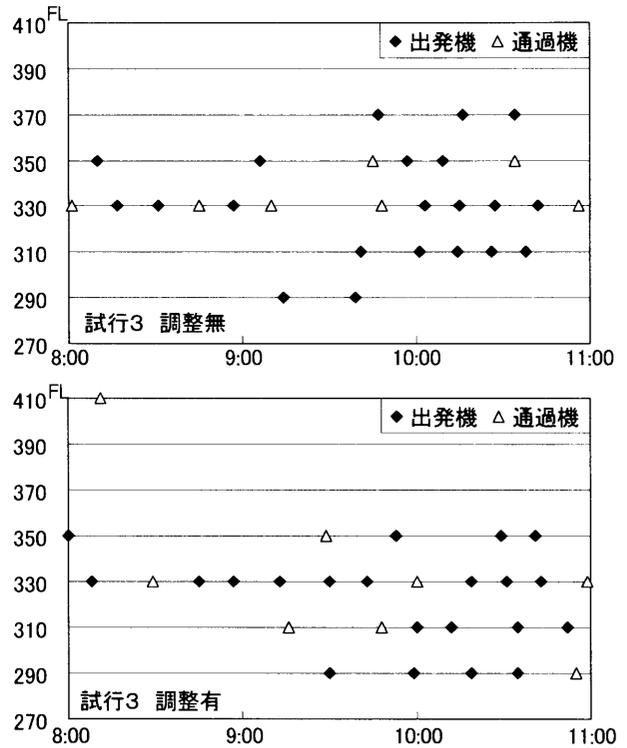


図 5 ゲートウェイ通過時刻

4.4 再予約の例

再予約の具体例を示す。「希望高度FL330であったが、飛行計画時調整で9分の出発遅延とFL310への高度変更となったが、その予約に24分遅れたため再予約となった」出発機の扱いについて試行ごとに表2に示す。飛行計画時調整と出発承認時の管制間隔の差をバッファとした。試行1は出発承認時の管制間隔が長いことから、バッファがないことから、「遅延が長く低高度の承認」となった。試行2,3は出発承認時の管制間隔が長いことと、3分のバッファがあることから、「遅延無しで低高度」もしくは、「遅延は長い希望高度」で承認された。調整時と出発承認時の間隔にはバッファが必要であ

り、米国では 10 分のバッファをとっている。どの程度のバッファが適当かは今後検討したい。

表 2 承認高度と遅延の例

	高度	遅延	バッファ
試行 1	FL280	26 分	0 分
試行 2	FL280	0 分	3 分
試行 3	FL330	25 分	3 分

4.5 管制官意見

飛行計画時調整を行うと、出発承認時の業務は予約から変動した航空機の微調整(再予約)が主となり、スムーズになる。予約を守れない航空機が今回は出発機に限定されたため、空いている低高度で承認できた。また、機種組み合わせにかかわらず管制間隔を一律としたが、実際は前後の機種の組み合わせによって間隔は 2 倍程度の差があるので、再予約の処理は今回よりも複雑になる、との意見が得られた。

5. 考察

飛行計画時調整での許容待機時間により、調整結果は変化する。出発機の許容待機時間を、0 分、5 分、10 分、15 分と変えて、今回使用したシナリオについて飛行計画時調整を行った。通過機の許容待機時間は全て 15 分とした。1 機あたりの平均遅延と承認高度の平均変更量を出発機、通過機ごとに図 6 に示す。出発機の許容待機時間（分）を四角で囲って示す。

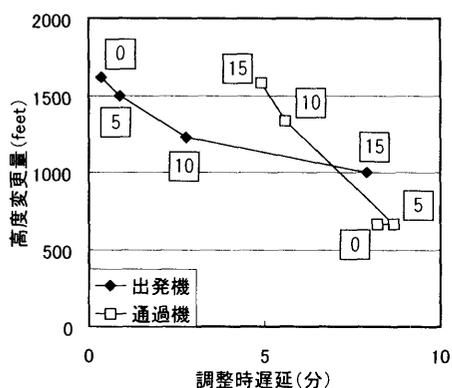


図 6 許容待機時間による遅延と高度変更量

許容待機時間が短くなると、出発機は遅延が減少し、高度変更量が増加した。通過機は遅延が増加し、高度変更量が減少した。

6. まとめ

飛行計画時調整について管制官参加のシミュレーションを行った。

飛行計画時調整を行うと、希望高度で飛行できる航空機が増加した。交通量が多い場合でも、国内空港からの一部の出発機に高度変更や遅延が偏らず、それらを多数の航空機で少しずつ分け合い、公平性が高まった。

通過機は予約時刻どおりに飛行し、出発機のみ予約を守れないものがあるとした。再予約の出発機に対して低高度の承認や出発遅延が発生した場合があった。現実是通过機の変動幅も大きく、残燃料によっては低高度による飛行ができないことがある。その場合は、出発機の予約スロットを使用せざるを得ず、通過計画の検討が必要である。また、出発機も通過機と同時に調整するためには出発の 5 時間以上前に調整する必要がある、変動要素が大きい。変動時の再予約を容易にするには、出発承認時の間隔より調整時の間隔を長めにとればよいが、遅延が多く発生する。

次回の実験では、航空機の型式による管制間隔の適応、調整時の管制間隔と出発承認時の管制間隔のバッファや許容待機時間、再予約の処理について検討する予定である。

本研究の実施について貴重なご意見をいただきました。航空会社、航空局ならびに東京航空交通管制部の関係各位に深く感謝いたします。

参考文献

- [1]"Track Advisory User's Guide for Dispatchers", Oakland ARTCC Traffic Management Unit, Aug. 2000.
- [2]福島他, "洋上航空交通流の管理手法に関する一検討", SANE99-42, pp.41-48, 1999, Jul.
- [3]福島他, "トラックアドバイザーの検討", 第 37 回飛行機シンポジウム講演集, 1999.10
- [4]井無田他, "飛行計画調整シミュレータについて", 第 32 回電子航法研究所研究発表会講演概要, pp.81-84, 2000.6
- [5]福田他, "洋上合流シミュレータについて", 第 32 回電子航法研究所研究発表会講演概要, pp.81-84, 2000.6
- [6]福田他, "国際航空交通流管理の支援システムの試作", 第 38 回飛行機シンポジウム講演集, 2000.10
- [7]福島他, "洋上経路への出発調整に関する一検討", 電子情報通信学会 2001 年総合大会講演論文集, 通信 1, p.236, 2001.3