

23. 航空交通流による飛行計画時調整の効果の傾向

管制システム部 ※福島 幸子 福田 豊 井無田 貴 岡 恵 塩見 格一

1. はじめに

航空交通管制では安全維持のために、航空機間に必要な管制間隔が定められている。近年の航空機搭載機器や監視装置の機能向上により、管制間隔は短縮されつつある。

洋上管制ではレーダ管制に比べて広い管制間隔が必要である。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。管制間隔が確保されないときは、間隔確保のために、出発遅延や高度変更が生じることがある。交通量が多い時間帯は、燃料消費の多い高度での飛行や出発機の遅延が生じる。垂直管制間隔の短縮(RVSM; Reduced Vertical Separation Minima)が北米行きの洋上経路に導入されてから、経済的な使用可能高度が増加し、遅延や高度変更は大幅に改善された。

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ー(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)の通過時刻、飛行高度及び許容遅延時間(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が、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²⁻¹²⁾。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。

国外からの通過機は日本の飛行情報区(FIR; Flight Information Region)に入域するとき、同一の洋上経路へ飛行するものは、各入域地点ごとに、同高度で15分以上の管制間隔を保つよう管制されている。RVSMを導入しない場合^{2,3)}は、飛行計画時調整により、遅延、飛行高度の変更量とも改善されたが、RVSMを導入した場合⁷⁻¹¹⁾は、飛行計画時調整の効果は飛行高度の改善にしか現れなかった。

国外からの通過機の入域間隔を、レーダ間隔で実現可能である5分まで縮めた場合、飛行計画時調整の効果や出発承認に係る調整時の遅延や高度変更量がどの程度変わるかを検討したので報告する。

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¹⁴⁾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。飛行計画と希望を基に、各航空機の運航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。

2.2 洋上合流シミュレータ

洋上合流シミュレータ¹⁵⁾は出発承認に関わる業務の模擬を行う。検査ルールとして飛行経路のレーダ覆域内最後の地点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、間隔を確保する。希望高度から順次下の高度までそれぞれ最も早い通過時刻と遅延、評価値を表示する。評価値の計算方法は表1のとおりとした。20分以内の遅延であれば高度が希望に近いほど、遅延が少ないほど評価値は高くなる。2~3分の遅延と1,000ft低い高度がほぼ同値とした。21分以上の遅延では高度に関係なく、遅延が少ないほど、評価値も高くなるようにした。

管制間隔は前後の機種に応じて表2の値とした。なお、出発空港が異なり、どちらかもしくは両方が出発前のときは、表2の数値にさらにバッファとしての10分を加えた値を管制間隔とした。

表1 評価値

| | | | | | | | | |
|----|-------|--------------|----|----|---------------|----|----|----|
| | 高度*1 | 0 | -1 | -2 | -3 | -4 | -5 | -6 |
| | y1*2 | 5 | 7 | 9 | 12 | 14 | 17 | 19 |
| 遅延 | 0~5 | 999-(y1) | | | 999-(y1+x) | | | |
| | 6~10 | 999-(y1+x) | | | 999-(y1+x+5) | | | |
| x分 | 11~20 | 999-(y1+x+5) | | | 999-(y1+x+10) | | | |
| | 21~ | 999-(x+29) | | | | | | |

*1：希望高度との差(x100ft)

*2：希望高度の差によって割り当てた数値

表2 管制間隔

| 先行機タイプ | 後続機タイプ | | | | |
|--------|--------|----|----|----|----|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 1 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 |
| 2 | 18 | 15 | 15 | 15 | 15 |
| 3 | 18 | 18 | 15 | 15 | 15 |
| 4 | 20 | 18 | 18 | 15 | 15 |
| 5 | 30 | 30 | 25 | 20 | 15 |

タイプ1: B747-400 単位：分

タイプ2: B747-100, -200, -300等

タイプ3: DC-10, MD11

タイプ4: A340, B777, IL62等

タイプ5: A310, B767-300等

3. 実験方法

2001年8月のOTR11(COMFE-RIPKI)という経路(図1参照)を通過する交通量の多い日の

実績記録を基に、シナリオを作成した。この経路は可変経路で、この日は主にロサンゼルス方面へ至る経路(TRACK3)であった。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、通過機は高度のみ希望どおりとした。さらに表3の要領で、元の飛行計画を補正したもので出発時刻のみ修正した飛行計画を追加し、交通量を3倍近くまで増加させた。シナリオAとBは交通量は同じであるが、通過機のFIR境界への入域間隔が異なる。シナリオBの間隔は現行と同等である。シナリオの航空機機種を表4に示す。また、シナリオAの1時間あたりのCOMFE通過予定機数を図2に示す。

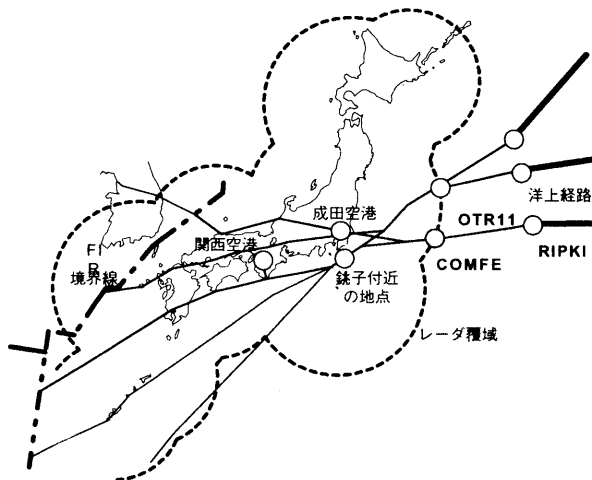


図1 飛行経路

表3 シナリオの交通量の増やし方

| シナリオ | 成田の出発機 | 成田以外の出発機 | 通過機 |
|------|-----------|--------------|--------------|
| A | 15分後に1機追加 | 15分前後に1機ずつ追加 | 5分前後に1機ずつ追加 |
| B | 15分後に1機追加 | 15分前後に1機ずつ追加 | 15分前後に1機ずつ追加 |

表4 航空機機種ごとの機数

| | 出発機(機) | 通過機(機) |
|------|--------|--------|
| B744 | 18 | 27 |
| B742 | 5 | 0 |
| B772 | 15 | 0 |
| MD11 | 7 | 3 |
| A343 | 0 | 3 |

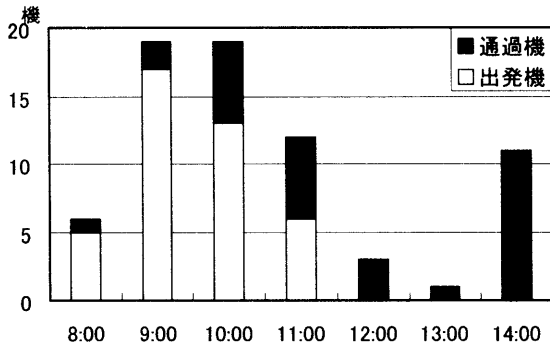


図 2 COMFE 通過予定機数(シナリオ A)

まず、飛行計画調整シミュレータを用いて、シナリオ A,B に対して、調整を行ったシナリオ A',B'を作成した。調整では、航空会社は出発機は遅延が少なく、通過機は高度変更が少なくなるような希望をだしたものとし、1機あたり15分の間隔をとった。

各シナリオに対し、洋上合流シミュレータで出発承認に係る業務を通過機は FIR 境界入域、出発機はエンジン始動 5 分前(出発承認要求時)の順に業務の模擬を行った。出発承認要求時刻が同じ航空機に対しては検査点(COMFE)に近い空港から、同一空港どうしでは検査点の通過予定時刻が早い順に確定した。出発承認要求と通過機の入域時刻が同じものについては、通過機優先、通過機どうしについては、検査点に遠いものを優先した。なお、調整を行った A',B'のシナリオについては飛行計画時調整による通過機の予約を優先した。

飛行高度は最大の評価値を与える高度を選択した。また、出発前の航空機は間隔を広くとっている(2.2 参照)ので、離陸後に可能であれば希望高度に近づくように上昇させた。

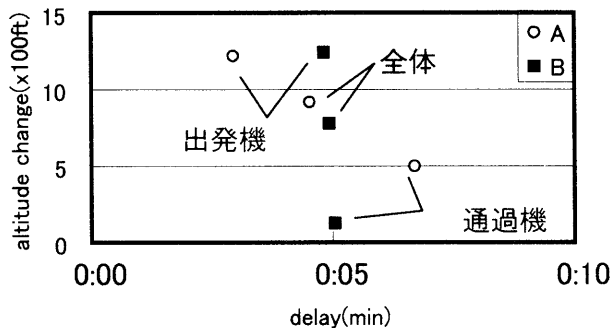


図 3 飛行計画時調整での調整量

4. 実験結果

4.1 飛行計画時調整での調整量

飛行計画時調整での遅延と高度変更量の出発機、通過機、全体の平均値を図3に示す。通過機に関しては、通過機が入域時に洋上の管制間隔が取れている、シナリオ Bの方が調整量が少ないことがわかる。しかし、シナリオの機数は A,Bとも同数であり、通過機の調整量が少ない分、出発機の調整量は多くなった。

4.2 出発機の変更量

出発機の遅延と高度変更量について、飛行計画からの変更量の平均と飛行計画時調整からの変更量の平均(A'_Cl, B'_Cl)を図4に示す。

A'_Cl, B'_Clとも出発承認時の遅延が、A,Bに比べて半減した。A'は調整を含んだ飛行計画からの遅延も減少したが、B'では調整分を考慮すると飛行計画からの遅延は増加した。高度はA',B'いずれも A,Bに比べて変更量が増加した。

4.3 高度変更量

飛行予定高度と実際に飛行できた高度との差の平均を出発機、通過機ごとに図5に示す。

出発機は調整を行うと A,Bいずれも高度変更量が増加した。

通過機は調整を行うと高度変更量が減少した。特にシナリオ Aの方が高度変更量が少なく、飛行計画時調整による変更量の改善が多かった。

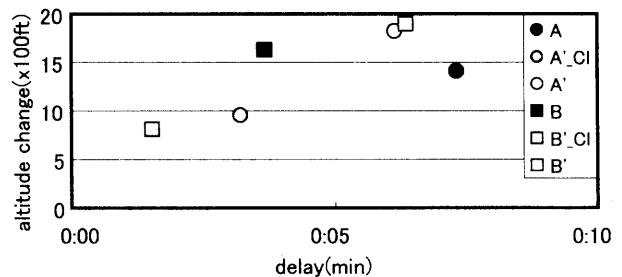


図 4 出発機の変更量

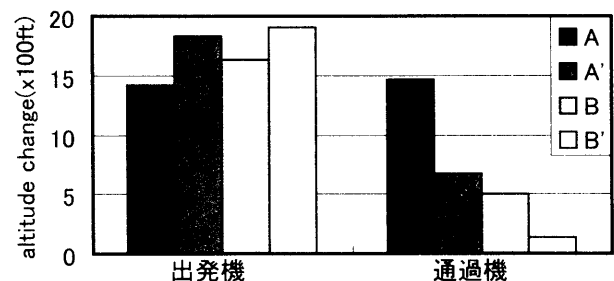


図 5 COMFE 通過高度の差(x100ft)

これは、通過機同士が交錯した場合は遅延できないため、低高度を飛行するためである。通過機はシナリオ A では5分間隔で同一方向から飛行してくるので、飛行計画時調整を行わない場合の高度変更量は大きく、調整の効果は大きい。シナリオ B は 15 分間隔で飛行してくるので、異なる方向からの通過機が交錯しても、高度変更量は少なくすむ。飛行計画時調整の効果はあったが少なかった。

検査点である COMFE の通過高度と希望高度の差を図 6 に示す。シナリオ A は飛行計画時調整を行うことにより、6000ft 以上の変更量となる航空機がなくなったが、シナリオ B ではあまり変わらなかった。

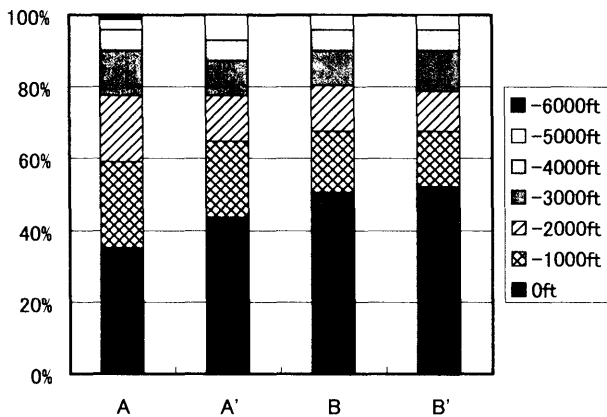


図 6 COMFE 通過高度

4.4 変更量の多かったもの

飛行計画からの遅延が 15 分以上もしくは高度変更量が 5000ft 以上の機数を表 5 に示す。シナリオ A では調整量の多い航空機数も A' は改善されたが、シナリオ B では機数に差はなかった。

表 5 変更量の多かった航空機数

| シナリオ | 調整なし | | シナリオ | 調整あり | |
|------|------|-----|------|------|-----|
| | 出発機 | 通過機 | | 出発機 | 通過機 |
| A | 8 | 1 | A' | 6 | 1 |
| B | 4 | 0 | B' | 4 | 0 |

単位：機

5. まとめ

飛行計画時調整について通過機の交通流パターンを変えてシミュレーションを行った。

シナリオ B の通過機が日本の FIR に洋上の管制間隔を保って入域してくる現在の方法は効率的であり、今回のシミュレーションでは飛行計画時調整による効果は少なかった。

シナリオ A の通過機が日本の FIR にレーダ間隔で入域してきた場合は、飛行計画時調整を行わない現在の方法だと、通過機が低高度になることや出発機の遅延が大きくなることが示された。しかし、飛行計画時調整を行うことで、出発機の遅延が合計でも縮小されることや通過機の飛行高度が低くなりすぎず有効であることが示された。

出発機の高度が飛行計画時調整で改善されなかったが、出発機の高度もある程度保証されるような飛行計画時調整を行うことを今後検討したい。

今回はアジアと北米を結ぶ経路のうち、トラック 3 について検討を行ったが、今後は他の経路についても同様の検討を行いたい。

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", 信学総合大会講演論文集, 通信 1,p236,2001.3
- [8]福島他, "飛行計画時調整の検討", 第 1 回電子航法研究所研究発表会講演概要, pp.101-104,2001.6
- [9]福島他, "飛行計画時調整のシミュレーション概要", 信学技報 SANE2001-41, pp.67-72, 2001,Jul.
- [10]福島他, "飛行計画時調整のシミュレーション実験", 第 39 回飛行機シンポジウム講演集 3B-1,2001.10
- [11]福島他, "洋上航空路での希望高度の実現性の検討", 信学技報 SANE2001-121,pp.61-66,2002,Jan.
- [12]福島他, "北米行き航空機の洋上航空路上での飛行高度について", 信学総合大会講演論文集, 通信 1,p277,2002.3