

米国における航空交通流管理の現状—Ground Delay Programに焦点をあてて—*

Current Status of Ground Delay Program for Air Traffic Flow Management in US*

平田輝満**

By Terumitsu HIRATA**

1. はじめに

増加を続けてきた航空交通量に対し、これまで空港整備が世界の主要都市で実施され、また空域の再編や管制運用の工夫による容量拡大、効率化も精力的に進められてきた。その中で、近年注目されているのが航空交通管理（Air Traffic Management : ATM）であり、その近代化が欧米を中心に進められている。米国では2025年を目標に航空交通システムの革新を目指すNextGen（Next Generation Air Transportation System）と呼ばれるプログラムを産官学のコンソーシアムを組み強力的に推進しており、欧州では2020年を目標に空域、管制システムの統合と再編を目指すSESAR（Single European Sky Air Traffic Management Research）と呼ばれるプログラムが推進されている。我が国では、2006年から福岡のATMセンターの本格運用が開始され、システムティックな交通流管理（Air Traffic Flow Management : ATFM）や協調的意思決定システムによる空域管理など、先進的な取り組みが実際に運用されており、今後さらに高度化が計画されている。さらに我が国においても将来の航空交通システムの長期ビジョン（Collaborative Actions for Renovation of Air Traffic Systems : CARATS）の策定が進み、世界と協調しながらも我が国の特徴を踏まえた航空交通システムの革新に向けて動き出したところである。その中でも軌道ベース運航を中核としたATMの高度化が重要とされており、そのベースになると考えられる現在のATFMの実態や課題について分析することが大変重要と考えられる。我が国のATFMの方法や実態に関する基礎分析について筆者らの過去の研究¹⁾²⁾で紹介してきたが、本稿では、海外の先進事例ということで、早くからATFMを実施してきた米国の現状について、米国連邦航空局FAAへのヒアリングと文献により調査した結果を報告し、今後の我が国におけるATMの高度化に対する参考情報を提供することを目的としている。

2. 米国管制機関の概要

まず米国の管制機関について図-1に例示している。基本的な機能としては日本と大差はないが、一番の特徴は、日本における進入管制・ターミナルレーダー管制業務にあたる部分がTRACONと呼ばれる機関で実施され、混雑空域では複数空港に発着する航空機をTRACONで一元的に管制を行っている点である。我が国においても関西空域をはじめ関東空域においても羽田と成田の空域統合がなされTRACON方式に移行しつつある。飛行場管制は「Tower」、航空路管制は「Center」と呼ばれ、上記3機関は航空機を目視もしくはレーダー等で見ながら航空機に直接管制指示を行う。そして、航空交通管理（ATM）は「コマンドセンターもしくはATCSCC（Air Traffic Control System Command Center）」と呼ばれる機関で実施され、ここでは全米の航空機の現在および将来の交通流や気象条件をモニター・予測し、需要と供給（容量）をバランスするために、必要に応じて交通流の制御を決定し、各管制機関に実行の指示を行う。

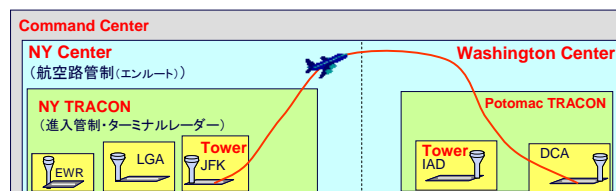


図-1 米国管制機関の概要

3. 米国における航空交通流管理（特にGround Delay Program）の現状

(1) CDM (Collaborate Decision Making : 協調的意思決定) 会議と階層的な交通流管理体制

効率的で効果的なATFMを行うためには、航空交通システムへの多数の参加者が高度に情報を共有し協調的に意思決定することが非常に重要となる（詳細は後述）。そのため、米国では、Command Center内に気象のスペシャリストやエアライン協会、軍関係者などの代表者が常駐するとともに、前章で紹介した各管制機関はもとより、各航空会社、気象専門官、米軍などが参加するCDM会議を定期的（通常2時間に1回のテレカンファレンス）に開き、情報の共有、戦略の共同検討などを実施している。

*キーワード：航空交通管理，航空管制，空港容量

**正員，博(工)，(財)運輸政策研究機構運輸政策研究所
(東京都港区虎の門3-18-19, TEL03-5470-8415)

なお、主要管制機関（全Center, 主要TRACON, 主要Tower）には航空交通管理コーディネーター（Traffic Management Coordinator : TMC）と呼ばれるATFM関連の業務の専門官が配置されている。長期的広域的な交通流管理はCommand Centerが、短期的な交通流管理（上流空域に対する空中待機の指示やMiles-In-Trail制約の付与など）はCenterやTRACONが独自判断で実施する階層構造となっている。

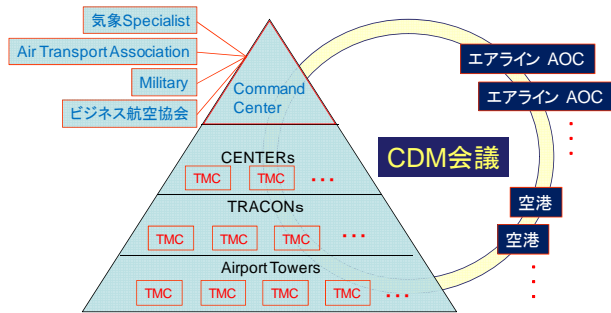


図-2 CDM会議と階層的な交通流管理体制

(2) ATFMの主要ツール

ATFMは需要（航空交通量）と供給（空域や滑走路の容量）のバランスを適正に保ち、過度な交通量の集中を避けつつも、希少なリソース（空域等容量）を最大限に活用できるようにするために実施されるが、そのためのツールは幾つかあり、主要なものを如何に挙げる。

- ①Miles-In-Trail (MIT) : 離陸間隔, Fix通過間隔, セクター通過間隔などを距離で制限
- ②Minutes-In-Trail (MINIT) : Non-Radar環境では時間で間隔を制限
- ③Ground Delay Program (GDP) : 出発空港での地上待機. 最も重要なATFMの方法の一つ（詳細は後述）
- ④Airspace Flow Program (AFP) : 空域の容量低下に対する経路変更等による対応方法
- ⑤Ground Stop (GS) : 空港や空域の極端な容量低下時の完全地上待機

以降では最も重要なツールの一つである③GDPに関して詳細に紹介する。

(3) GDPの概要

GDPは到着空港の需要が容量を超えると予測された場合に出発空港で待機させることであり、日本では出発時刻制御などと呼ばれている。GDPは気象（低雲高, 雷雲, 強風など）の影響で容量が低下した際などに主に実行され、過剰なホールディングやダイバートを回避できる程度の需要をキープし、安全性向上・燃料消費低減と滑走路容量の最大限活用のバランスをとるために実施される。

将来交通量の予測は、数時間～15時間程度前の段階ではOAG（Official Airline Guide : 時刻表）データをもと

に予測しおき、出発の数時間前にエアラインからの管制機関に提出される飛行計画をもとに、より正確な各空港や空域の交通量を予測する。米国は国土が広いこともあり、出発の数時間前（1～2時間前）に提出される飛行計画では正確な将来予測ができないため、これまでのGDPの高度化プロジェクトの中でエアラインからのリアルタイムな飛行計画情報も考慮されるようになった（CDMメッセージ：後述）。

空港（滑走路）の処理容量（Airport Acceptance Rate : AAR）としては1時間当たりの着陸容量が気象条件や滑走路運用方式等により決定している。

(4) GDPの高度化の歴史とDouble Penalty問題の解消

GDPは1980年代前半から実施されている。初期のころは管制機関やエアライン間でのCDMの重要性が認識されておらず、その結果、GDPの効率性・効果が低かった。管制機関（FAA）とエアラインの間で様々な議論をし、実験も行いながら、システム開発も進み、CDMによるGDPの効率化が達成されてきた。

a) Enhanced Traffic Management System (ETMS) と旧式の問題点

ETMSは現在飛行中の便や気象情報などをリアルタイムでモニターし、15時間先までの交通量予測も行うシステムである（DOTの一組織The Volpe National Transportation Systems Centerにある）。旧式ETMSのフライトに関するインプットデータは、①OAG : 出発の15時間前にデータロード、②Flight Plan（飛行計画書） : 出発の約1時間前、③Departure Message : 離陸時、であったが、1～1.4時間前の中で飛行計画に関する何の情報も更新されず（Zone of Ignorance）、この間のキャンセル便や遅延便に関する情報はなく、交通量予測の精度が低下する大きな要因となっていた。この背景としては、制度設計上、エアラインにとって正確な（アップデートされた）フライト情報を提供するディスインセンティブが存在していたことと、リアルタイムでデータ共有するシステムがそもそもないという課題があった。

b) GDP Enhancementプロジェクト

そこで90年代半ばからGDP Enhancementプロジェクト（GDPE）がFAA, エアライン, 産業界, 学界が参加し始まった。旧来型GDP解決のための2つの主要なコンセプト変化として、①Common Situational Awareness（状況認識の共有化）、②Distributed Planning（分散型計画）が決まった。

Common Situational Awarenessのための具体的な施策としては、

- ・ETMS情報とエアラインからのCDM情報（フライトキャンセル, 新規発生便, 遅延（15分以上の遅れは報告義務））の統合解析システムの開発（CDM string）；

- ・エアラインからのリアルタイムフライト情報の報告義務化；
 - ・Aggregate Demand List (ADL：16時間先までの空港別交通量予測) の作成と情報共有；
 - ・Flight Schedule Monitor (FSM) の開発：空港別交通量、容量、気象、GDPの効果・影響分析 (Power Run) によるGDPオプション別の遅延量分布や特性分析) など、様々な情報の共有や解析が可能；
- などである。

Distributed Planningのためには2つの基本メカニズムでGDPにおけるスロット配分 (出発制御時刻の配分、つまり出発遅延量の配分) を実施することになった。それは、①Technical mechanism：FAAによる、限られた資源 (スロット) のエアラインへの効率的かつ公平な配分、と②Response mechanism：エアラインによる、経営的視点からみた配分スロットの効率的最大限利用、である。より具体的には、FAAとエアラインで下記のような役割分担を行うことである。

①FAA Command Center：

- ・NAS (National Airspace System) における容量と需要の問題を起こす制約をモニター
- ・これら制約についてエアライン等のNASユーザーに情報提供
- ・ユーザーとともに問題解決のための基本対策 (GDP など) を検討、決定

②エアライン (Airline Operation Center：AOC)

- ・FAAによる交通流管理に関する情報と意図を常にモニター
- ・FAAによる基本対策の範囲内でエアラインとしての対応計画 (フライトキャンセルやスロット交換など) をFAAに情報提供

c) Double Penalty問題とその解決策 (Ration-By-Schedule (RBS) とCompression)

従来のGDPでは、エアラインがリアルタイムのフライト情報 (遅延など) をFAAに提供し、GDPが実行されると、2重に遅延を被り、遅延報告をしない方が個々のフライトでは得をする可能性があった (Double Penalty問題)。このため、エアラインからリアルタイムの飛行計画情報が集まらず、交通量予測精度が落ち、結果、不必要なGDPを実行したり、逆に必要なGDPが実行されなかったりする問題点が生じていた。これを解決するための以下の2つのアルゴリズムを開発した (→FSMに統合)

①Ration-By-Schedule (RBS)

出発制御遅延を割り当てる際に、元々のスケジュール上 (ダイヤ上) の到着予定時刻で到着スロット配分の優先順位を決め、遅延などにより更新された到着予定時刻では決めないこと。

②Compression

フライトのキャンセルや遅延により空いたスロット (Open Slot) の使用权は、元々スロットを保有していたエアラインの便にあり、もしそのエアラインが使用しない (できない) 場合には他のエアラインが到着予定時刻順で使用できるようにすること。このようなスロットのエアライン内・エアライン間の交換や便の繰り上げをSlot Substitutionとも呼ぶ。

これらの新たな制度設計により、スロットの未使用を最小限にし、トータルの遅延の最小化を図った。なお、欧州ではUSと同様にRBS (First Planned First Serve) でスロット配分をしているが、複数個所での空域混雑・空港混雑がネックとなってCompressionはUSほど自由にはできない (同エアライン内のみのスロット交換でかつ他空域等への影響がないことをEurocontrol (Central Flow Management Unit：CFMU) が確認できた場合のみ)。

(5) GDP対象の範囲 (Scope) と出発制御時刻 (EDCT) の順守規則

a) GDP対象とする範囲 (Scope)

GDPでは、公平性の観点からは、制御対象時間に到着予定のすべての便に、うすく広くDelayを割り当てたほうが1便あたりのDelayも小さくて良いが、長距離便についてはかなり事前にGDPの実施判断をしなくてはならず、容量 (気象) の予測精度の問題から近距離便のみにGDP遅延を割り当てることしばしばある。例えば、天候が好転し容量低下がなくなった場合などに対処できない (Unrecoverable Delay) ためである。なお、GDPを実施するとScope内の航空機がGDP対象機になるが、実際はScope外の空港からの機にも当初の離陸時刻と近い出発制御時刻 (EDCT) が割り当てられる (→Slot Substitutionのため)。Scopeの決め方はいくつかあり、大きくは以下の2種類がある (図-3)。

①Tier-based Program：

GDP原因空港 (混雑が予測された空港) が所在するCenterとの隣接関係から対象機の範囲を決定する。First Tier (GDP空港が所在するCenterとそれに隣接す

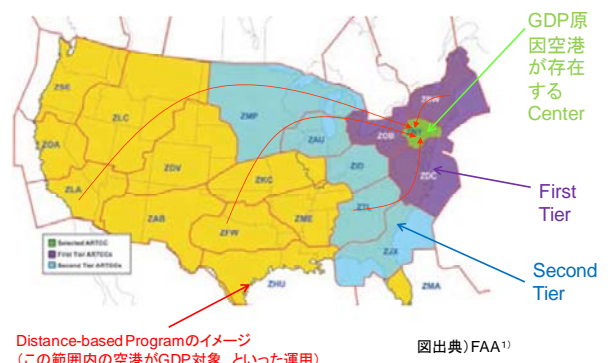


図-3 Scopeの決め方の例

るCenter) , Second Tier (First Tierに隣接するCenter) , Six West (West Coast Airports) , No West (East Coast Airports) , All (全空港) といった5種類の範囲がある。

②Distance-based Program :

GDP原因空港からの距離に応じて対象機を決定

b) GDP対象機の出発制御時刻 (EDCT : Expected Departure Clearance time) の順守について

将来交通量の予測と実際の交通量に乖離が生じると過度の混雑やスロットの空きが生じてしまう。そのような交通量予測における不確実性の原因としては、フライトのキャンセルや遅延、Pop-up (ジェネアビなどの想定外の便の出現) , Drift (離陸予定時刻や飛行時間のズレ) などが挙げられ、この中で、Driftの影響が大きく、予想以上の交通集中による空中待機やダイバート、スロットの未使用などの非効率性につながる。そのため、管制機関から各フライトにEDCTが割り当てられた場合に、そのEDCTの順守 (指定した離陸時刻を順守) させるルールとして、EDCTの割り当てられた航空機は、EDCTから「-5分~+5分」の範囲内で離陸するよう義務付けられており、もしその時間内に離陸できないと予想されたら出発空港のクリアランスデリバリーにコンタクトし、新たなEDCTをリクエストすることになっている。なお、欧州Eurocontrol (Central Flow Management Unit : CFMU) では、EDCTから「-5分~+10分」の間での離陸が義務付けられており、日本では「EDCT以降の離陸 (早発のみ禁止)」となっている。

ここで、エアラインの都合以外での離陸遅れ (滑走路脇での離陸混雑による待ちなど) について、米国ではそういった場合にはEDCT+5分を過ぎても離陸させるが、EDCT時点でターミナルのスポットにまだいた場合にはEDCTの取り直しが必要となる。

(6) ホールディングの計画的使用と効率性

軽微な遅延予想の場合は計画的にホールディング (到着空域における旋回しながらの空中待機) を使用し、容量にあったトラフィックの供給を維持させる。GDPの目的は、到着交通量を安全上の適正值に調整することであるが、限られた資源 (滑走路到着容量) を最大限活用ことも極めて重要であるためである。

(7) Traffic Management Advisor (TMA)

GDPと直接には関係ないが、ターミナル空域における到着機処理の管制支援を目的としたオートメーションツール (1996年~) についても簡単に紹介する。TMAとは、複数経路の合流到着の管制支援をするために、巡航高度から着陸滑走路端までの効率的な飛行軌道 (時間も含めた) を計画するための総合的自動化ツールである (NASA

で研究開発)。TMAは、空港周辺での間隔調整作業負荷を減らし、かつ空港やTRACONの容量を最大化するために、機材の種類やフライトの特性を考慮して、outer fix, meter fix, final approach fix, runway thresholdまでの順序付けと通過スケジュール (予定到着時刻 : STA) を自動生成し、管制支援を行う。Traffic Management Coordinator (TMC) がこのTMAを使用する。TMAでは当初の飛行計画から各地点 (FIX) の予定到着時刻 (STA) を計算し、その後TMCの入力した制約条件 (各地点の容量など) をもとに各フライトに必要な遅延量を表示する。TMAにより通常3~5%の容量が拡大され、いくつかの空港ではそれ以上の容量拡大が実現しているとのことである。現在はTMAとGDPは独立で運用されており、両者の統合システムは研究開発中である。

4. 米国交通流管理の実態のまとめと考察

以上で紹介したGDPについてのまとめを列挙する。

- ・米国では90年代前半にCDMによるGDPの効率化を推進 (状況認識の共有化システムの開発や、エアラインが協力するようなインセンティブを与える制度設計など)
- ・出発制御時刻EDCTの遵守規則は「指定時刻から±5分」⇔日本は「指定時刻以降 (早発の禁止のみ)」
- ・国土の広さから、予測の不確実性と路線距離を考慮に入れた制御方法が存在

我が国と比較した場合、基本的な交通流制御の方法は同じであるが、GDPによるEDCTの割り当て方法やその順守ルールなど、幾つかの相違点も存在する。ネットワークや交通流の状況、市場環境など、様々な状況の差異がそもそも存在するため、一概に米国流の方法が我が国にも適しているかは言えないが、スロットの効率的使用のための制度設計やCDMの推進、交通量予測精度向上のためのGDP対象範囲指定やEDCT順守ルールなど、参考となる情報が多く含まれる。今後の課題としては、これら海外の取り組みも参考にしながら、我が国のATFMの実態分析およびその効率化方法について検討することが挙げられる。

参考文献 :

- 1) 平田輝満 : 航空交通流管理の現状と空港容量に関する一考察, 第39回土木計画学研究発表会, CD-ROM, 2009.
- 2) 三村大地, 平田輝満, 清水吾妻介, 屋井鉄雄 : 羽田空港到着機を対象とした出発制御の実態に関する基礎的分析, 第41回土木計画学研究発表会, CD-ROM, 2010.
- 3) FAA Air Traffic Organization : Traffic Flow Management in the National Airspace System, October 2009.
- 4) Kan Chang et al.: Enhancements to the FAA Ground-Delay Program under collaborative Decision Making, Interfaces, Vol.31, pp.57-76, 2001.
- 5) NASA Ames Aviation Systems Division WEBPAGE, <http://www.aviationsystemsdivision.arc.nasa.gov/research/foundations/tma.shtml>
- 6) Michael Robinson et al.: Traffic Management Advisor (TMA) – weather integration, 14th Conference on Aviation, Range, and Aerospace Meteorology, 2010.