

# 航空交通管制システムの発展プロセス

齋 藤 靖

本稿の目的は、航空交通管制システムの歴史と現状、将来の展望について記述することにある。具体的には、航空交通管制システムの歴史的な発展プロセスと航空交通管制業務を説明した上で、現状のシステムをとりまく問題点と次世代航空交通管制システムについて説明し、最後に、まとめと今後の研究課題を提示する。本稿の概要は以下のとおりである。

航空交通管制システムは、航空交通量の増加とともに発展してきた。航空機が発明された当時の航空交通量は多くなかったため、パイロットは比較的自由に飛行することが可能だった。しかし航空機の数が増加すると、航空機同士の衝突を防ぎつつ航空機を効率的に飛行させるための交通整理として、航空交通管制の必要性が生じた。このような状況のなかで、初期の航空交通管制システムとしてライトガンや無線電話、レーダーなどの技術が導入され、空港に設置された管制塔において、航空交通管制官がこれらの技術を用いて管制業務を行うようになった。

日本の航空交通管制システムは第二次世界大戦後に開始された。当初は日本に駐留することになった米軍が航空交通管制業務を行っていたが、その後、徐々に日本へ移管されるに至った。航空交通管制システムが日本へ移管された後も、航空交通量の増加や航空機事故などを契機としてシステムの整備が進め

られた。

航空交通管制システムに関連した業務は、航空交通業務とよばれる。航空交通業務には、航空交通管制業務と緊急業務、飛行情報業務が含まれる。このなかで、航空機が出発地の空港の駐機場を離れてから到着地の空港の駐機場に入るまで直接的に航空機のコントロールを担うのは航空交通管制業務である。航空交通管制業務は、飛行場管制業務と着陸誘導管制業務、進入管制業務、ターミナルレーダー管制業務、航空路管制業務の5つの業務から構成され、各航空交通管制官はこれら業務の一部を担当している。このように、航空交通管制システムは数多くの管制官が多様な業務を行なうことによって成り立つ非常に複雑な組織である。

現在に至る航空交通管制システムの発展を推進した要因のひとつである航空交通量の増加は、現在でもとどまることをしらない。航空交通量の増加は空港や上空の混雑を増大させ、航空機の運航の遅延を生じさせる。世界的に見られる航空交通量の増加に対して、現在、次世代航空交通管制システムの開発・整備が進められている。航空交通の国際機関である国際民間交通機関 (International Civil Aviation Organization; ICAO) は、次世代航空交通管制システムの構想であるFANS構想 (新CNS/ATM構想) を提言し、日本でもこの構想に基づいた次世代航空交通システムの開発・整備が進められている。日本の次世代航空交通システムを構成する主要な要素としては、運輸多目的衛星 (MTSAT) の利用と広域航法 (Area Navigation; RNAV) の導入、航空交通管理センター (ATMセンター) の整備を挙げることができる。

以下では、次の順序で議論を行う。第1節では、航空交通管制システムの成立とその発展を記述する。第2節では、現在の航空交通管制システムを構成する業務の内容、特に航空交通管制業務について説明する。第3節では、現在の航空交通の問題点を提示した上で、次世代航空交通管制システムの概要を記述する。第4節では、第3節までのまとめと、今後の研究課題について述べる。

## 1 航空交通管制システムの発展

本節では、飛行機が発明されてから現在の航空交通管制システムが構築されるまでの歴史的な流れを概観する。はじめに、飛行機が発明された1900年代から航空交通管制業務が開始された1930年代前半までについて記述する。次に、第二次世界大戦後の1950年代から1960年代前半までの、日本の航空交通管制業務が開始された時期について記述する。最後に、1960年代から1990年代中頃までの、日本の航空交通管制システムの発展プロセスについて記述する。

### 1-1 航空交通管制業務の始まり

1903年12月17日、ライト兄弟は飛行機による人類初の有人動力飛行に成功した。アメリカ合衆国（以下、アメリカ）ノースカロライナ州キティホークのキル・デヴィル・ヒル砂丘で、「ライトフライヤー1号」と名づけられた飛行機が36m飛行した。それまでの飛行の試みではジャンプ程度であり、飛行とはほど遠いものでしかなかったのに対して、ライト兄弟による有人動力飛行の成功は、航空機の実用化に道を開く出来事だった。彼ら自身、初飛行に成功した後も飛行機の改良を積み重ね、数年のうちに飛行機の性能を向上させた。2年後には、滞空時間が約40分、航続距離40kmの飛行を達成した。

ライト兄弟による初飛行から6年後の1909年には、ドイツにドイツ飛行船会社が設立され、1910年より世界初の定期航空旅客輸送事業が開始された。「ツェッペリンLZ-7 ドイチュランド」と名づけられた飛行船によるフランクフルトとデュッセルドルフ間が就航し、料金を取って2地点間で貨客を輸送する商業航空が始まった。飛行機については、1913年の末にロシアのイゴール・イワノビッチ・シコルスキーが世界初の旅客機を製作した。「シコルスキー・イリヤ・ムウロメツ」と名づけられたこの飛行機の客室には、肘掛け椅子やテーブル、トイレ、暖房装置が取り付けられていた。

第1次世界大戦後の1919年以降、ヨーロッパ各国およびアメリカ合衆国で次々と民間航空会社が設立された。ドイツではルフトハンザ航空の前身である

ドイチェ・ルフトレデーラ（DLR）社が、フランスではファルマン社が、イギリスではAircraft Transport and Travel（ATT）社が民間の航空会社として設立された。それに対して、オランダではKLM社が、ベルギーではサベナ社が国営の航空会社として設立された。

航空機が誕生して間もない1900年～1920年代後半の頃は、航空交通管制を行う必要はなかった。航空量のそれほど多くなかった当時の空には十分なスペースが存在しており、パイロットは比較的自由に飛行を行っていた。1919年に30以上の国々によって批准された「国際航空条約（パリ条約）<sup>1)</sup>」のなかでも、雲や霧の中などの視界の悪いところを飛行する場合には周囲に十分注意することを定めるだけで、地上からの援助や指示を受けなければならない旨のルールは定められていなかった。離発着する場所に関しても、現在の飛行場のような施設は存在せず、数百メートル程度の空き地や牧草地のような場所が確保でき、色分けされた旗を用いてパイロットに離着陸の合図を送る役割を担当する者<sup>2)</sup>がいるだけで十分だった。

1920年代後半になると、飛行機の数が増加し、飛行機の交通整理を効率的に行う必要がでてきた。離発着場に何機もの飛行機がいる場合には、旗を振って離発着許可の指示を出したとしても、どの飛行機に対して指示を出しているのか不明確な状況が生じる。このような問題を克服するために新たに考えだされたのが、ライトガン（Light Gun）とよばれる指向性の強いライトを用いて飛行機に離発着の合図を送る方法だった。

飛行機の数増加にともなう飛行機の効率的な交通整理のためのもう一つの方法は、無線電話の使用である。1930年、米国のクリーブランド空港に世界初の

- 
- 1) 第一次世界大戦では兵器として航空機が使用されることになったが、戦争による航空機の活躍によって、空における国家主権の問題が新たに表出することになった。そのような問題に対して、領空侵犯を禁止して各国の航空主権を定めた「国際航空条約（パリ条約）」が1919年に30以上の国々によって批准された。国際航空条約による航空主権の確立によって、特に国際線の航空会社の運営が国家主権の枠組みのなかで行われる土台ができた（中野 2001：2）。
  - 2) アメリカ合衆国では、このような役割の人はフラッグマンとよばれた。1920年代にはかなり多くのフラッグマンが存在していたと言われている（中野 2001：4）。

無線電話を使用した航空管制塔が建設された。無線電話の使用によって、パイロットは離着陸時の忙しい時に管制塔のライトガンを注視する必要がなくなり、航空交通管制官も数多くの航空機に対して効率よく指示を出すことが可能になった。無線電話やライトガンなどの機器を用いてパイロットに指示を与える資格を持った管制官が配置されたクリーブランド空港は、本格的な管制業務が行われた世界で初めての空港であった。

また、飛行機の離着陸時のみならず、飛行中の航空機を監視・誘導する技術も開発された。飛行機が空を飛べるようになって間もない頃は、地上の景色を頼りに自分の位置を確認して飛行する「地文航法」や、地上の目標に頼らずに自分の方位と速度、飛行時間を頼りに目的地をめざす「推測航法」が採用されていた。しかし、長時間かけて海を越えた場所へ向かって飛行する場合には、最終目的地へ正確に飛行することが困難になる可能性も高くなる。このような問題を克服するために、1928年に指向性無線航空路標識（Non-directional Radio Beacon; NRB、以下、NRB）とよばれる計器が開発された。

NRBは、飛行中の航空機が、自機の位置（方向に関する情報）を確認するために使用される無線標識施設である。NRBの開発によって、たとえば地上の目標物が視認できないような気象条件の悪い場合や長時間の飛行の場合、海上を長時間飛行する場合でも、パイロットはNRBの電波が最も強く受信できる方向を調べ、その電波を頼りにすることで目的地の空港に辿り着くことが可能になった。

以上のように、1920年代の終わり頃から1930年代前半には、おもに米国各地の多くの空港に管制塔やNRBが設置されたことで航空交通管制の基礎が完成し、その後、欧州各地の空港でもこれらの航空交通管制システムが導入された。それに対して、日本の航空交通管制システム構築の歴史は欧米諸国より約20年遅れて開始されることになる。

## 1-2 日本の航空交通管制システムの成立

日本の航空交通管制システムの歴史は第二次世界大戦後から始まることになる。戦後、日本に駐留することになった米軍が各地の飛行場に基地を設け、羽田（現東京国際空港）や伊丹（現大阪国際空港）、板付（現福岡空港）で航空

交通管制業務を開始した。当初は駐留米軍が空輸や訓練などを行うために飛行場を使用していたため、米空軍が管制業務を行い、日本人は管制業務を行っていなかった。

日本の航空交通管制システムの成立初期の段階では、航空交通管制官の養成に関わる制度の確立に向けた取り組みが行われた。1950年、運輸省（現国土交通省）航空局の3人の技官が航空交通管制の技能を習得するために米国連邦航空局（Federal Aviation Administration; FAA）に派遣された。3人の技官は1951年6月に航空交通管制に関する技能資格を取得して帰国した。1952年2月には、国内における航空交通管制官の養成が開始された。航空交通管制官の第1期生として航空局の18名の職員が訓練を開始した。さらに1954年2月、人事院試験に基づく航空交通管制官の公募・採用が開始された。このように、日本の航空交通管制システム成立初期の段階において、航空交通管制官の採用・研修方式が次第に確立されることになった。

航空交通管制官の採用・研修方式の確立に加えて、管制権を駐留米軍から日本政府（運輸省）へ移管するための準備や手続きも開始された。日本航空株式会社が設立され、羽田と板付（現福岡市）の間で第1便が運行された1951年10月から約1年後の1952年7月には、日米行政協定第6条に基づいて「航空交通管制に関する取極」が発効し、民間空港の管制業務を米軍から運輸省へ引き継ぐための条件が整えられた。さらに、1956年の日米合同委員会で米軍から運輸省への管制権移管について取り上げられ、その後の航空分科会で議論が重ねられた結果、埼玉県入間の米空軍ジョンソン基地内にあった東京センター（現東京航空交通管制部）の業務を1959年7月1日に日本側へ移管することが決定された。

1950年代後半から、主要空港の管制業務が米軍から日本側に移管された。1955年には、民間空港の自主管制の準備のために宮崎と八尾の空港に日本人の航空交通管制官が派遣され、同年、宮崎飛行場で日本人の手による管制塔の自主運営がはじめて行われた。さらに、1957年10月には大阪国際空港（伊丹）の管制業務が、1958年7月には東京国際空港（羽田）の管制業務が日本側に全面移管され、航空交通管制業務は徐々に日本人の手に移っていった。また、「航空路」

とよばれる上空の決められた道<sup>3)</sup>を飛行中の航空機を管制する航空路管制についても、東京センターへ管制官が派遣され、運輸省航空交通管制本部という名称で1959年7月1日に予定どおり日本側へ移管された<sup>4)</sup>。

### 1-3 日本の航空交通管制システムの発展

#### a 1962～1965年頃

航空路管制業務が米空軍から運輸省へ移管された後、高々度管制や管制の自動化、レーダーの利用などが進められた。高々度管制とは、24,000フィート未満の高度で飛行する航空機とそれ以上の高度で飛行する航空機を分けて管制するというものである。当時、2,000馬力級で平均時速が400キロメートル (km) 程度の航空機が主流であった一方で、エンジン出力が大きく、平均時速も900 km前後のジャンボ旅客機が開発された。そこで、種類の異なる航空機が同時に飛行できるように、従来の航空路とは異なる「ジェット・ルート」とよばれる航空路を設定し、航空路管制の一部は高々度管制として別扱いすることになった。1962年4月より、航空交通管制本部で高々度管制が実施された。

また、航空管制の自動化を目指した取り組みも開始された。具体的には、「ATC自動化研究会」が発足し、成果として「飛行計画情報処理システム (Flight Data Processing System; FDP, 以下, FDP)」が構築された。FDPとは、各地の空港などから航空機の飛行ルートや飛行高度などの情報を自動的に収集・処理する大型コンピュータのシステムで、処理された情報は各管制官に

- 
- 3) 空港を離着陸する航空機を対象とした飛行場管制業務とは異なり、空港を遠くはなれて飛行中の航空機は目視で管制することが不可能である。そのため基本的にパイロットは無線を用いて航空機の位置や高度を連絡し、それに対して管制官は近くに衝突する危険のある航空機が存在をチェックして、衝突する危険がありそうな場合には別のコースや別の高度を飛ばすように指示を出す方法が考えられる。しかし実際には、数十機、数百機もの航空機の位置を聞き、すべての航空機について衝突の危険をチェックした上でそれぞれの航空機に指示を出すことは非常に困難である。そこで、より簡単に安全が確保できるような方法として、航空路を設定することが考案された (阿施 1997: 18-20)。
  - 4) 航空交通管制本部での航空路管制業務のために必要な施設や機材は移管後のしばらくの間、米空軍から借用していたが、後日、各空港の管制塔などの施設や器材と合わせて正式に日本側へ移管する手続きがとられた (中野 1999: 7-8)。

提供される。FDPによって、運行表の作成などの定型的な業務から管制官を解放し、最も重要な判断業務に専念させることが可能になった。

さらに、レーダーを利用した航空交通管制の効率化も進められた。1964年には、東京国際空港に空港監視レーダー（Airport Surveillance Radar; ASR、以下、ASR）が設置された。ASRは、空港から半径100kmのエリアを飛行している航空機の飛行方向と位置を監視するレーダーで、夜間や悪天候のためにパイロットが目視で着陸を行うことができないような時に航空機が滑走路（ランウェイ）方向に進入できるよう誘導するために使われる。また、1965年には、箱根に日本初の航空路監視レーダー（Air Route Surveillance Radar; ARSR、以下、ARSR）が設置され、実験運用が開始された。ARSRは、航空路上を飛行している航空機の進行方向や位置を監視するためのレーダーで、長距離を飛行している航空機も映し出すことが可能である。

#### **b 1966～1971年頃**

高々度管制や管制の自動化、レーダーの利用が実施された後も、航空管制システムの更なる整備が行われた。その引き金となったのは、1966年に起こった3つの航空機事故の発生だった。2月4日には、札幌発羽田行きの全日空ボーイング727型ジェット機が東京湾に墜落し、乗客乗員133名全員が死亡した。また、3月4日には、カナダ太平洋航空のDC-8型ジェット機が羽田空港着陸時に滑走路末端の突堤に衝突して大破炎上し、乗客乗員72名中64名が死亡した。さらに、3月5日には、成田発香港行きの英国海外航空ボーイング707型ジェット機が富士山の2合目付近で墜落した。

これら3つの事故は航空交通管制システムに直接の原因があるものではなかったけれども、事故をきっかけに航空保安システムのあり方も大きな問題として取り上げられた。1966年10月、運輸大臣の諮問機関である航空審議会は滑走路の延長や航空保安施設の整備などの安全対策の強化を求める答申を行い、この答申に沿って第一次空港整備五カ年計画が策定され、1966年から1971年に実施された。実施された主要な安全対策として、以下の7つの点が挙げられる。

第1に、大型ジェット旅客機から小型機まで、すべての航空機が航空交通管制の対象になる「特別管制区域」を東京（羽田）と大阪（伊丹）に加えて、名

古屋と鹿児島、宮崎にも設置した。第2に、ARSRを、箱根に加えて福岡県の三郡山にも設置した。第3に、FDPを航空交通管制本部に設置した。第4に、それまでは管制官がパイロットと中継方式で間接的に行っていた無線交信を直接行えるように、遠隔対空通信施設（Remote Control Air Ground; RCAG、以下、RCAG）が設置された。第5に、ASRが東京と大阪に加えて7つの空港に設置された。第6に、NBDよりも精度が高い超短波全方向式無線施設（VHF Omnidirectional Radio Range; VOR、以下、VOR）が全国17か所に設置された<sup>5)</sup>。第7に、航空保安職員の養成訓練体制を強化するために、航空保安職員訓練センターを運輸省の正式な付属機関である「航空保安職員研修所」に格上げした。

### c 1971～1990年代

航空交通管制システムの継続的な整備が行われるなかで、1971年にまたも航空機事故が発生した。7月30日に、岩手県雫石町上空で東京へ向けて飛行中の全日空ボーイング727型ジェット機の尾翼部分と松島基地所属の航空自衛隊F86Fジェット戦闘機の左翼が接触し、双方が墜落する空中衝突事故が起こった。この事故で全日空機の乗客乗員162名が全員死亡した。前述した事故と同様にこの事故も航空管制システムが関与したわけではなかったが、航空保安システムの抜本的な見直しを求められることになった。内閣総理大臣を座長とする「中央交通安全対策会議」が開催され、航空保安システムについて検討した上で「航空交通安全緊急対策要綱」が決定された。この決定によって、①航空路と訓練空域の分離、②雲上有視界飛行<sup>6)</sup>の禁止、③特別管制区の拡大および新

5) NBDには、夜間誤差や海岸線誤差、空電誤差とよばれる誤差が存在するのに加えて、NBDの周波数（中波）帯の電波乱用による混信の存在などの問題があった。それに対して、VORではこれらの誤差が解消され、周波数帯に関しても中波ではなく超短波を使用している。さらに精度自体の向上も達成したため、NBDでは片側5海里必要だった航空路の幅を4海里に狭めることもできるようになり、空域の有効利用が達成された（阿施 1997：30-31）。

6) 航空機の運航には、有視界方式（Visual Flight Rule; VFR、以下、VFR）と計器飛行方式（Instrument Flight Rule; IFR、以下、IFR）とよばれる2つの飛行方式が存在する。VFRとは、パイロットが地上の目標物を目で見ることによって自分の位置を判断し、山や雲などの障害物や他の航空機を避けて飛行する方法である。それに対してIFRとは、操縦席の計器によって現在位置や高度を正確に把握しながら、航空交通管制官の指示に従って飛行する方法である（阿施 1997：38-39；中野 2001：24-28）。

設，④運輸大臣の防衛庁に対する権限強化，が実施されることになった。

また運輸省はこの頃，航空交通管制システムに関連する法律規則や組織の整備も行った。法律面では，パイロットの外部見張り義務の明確化や，航空機への航空交通管制自動応答装置や気象レーダー，飛行記録などの搭載を義務づけた。組織面では，運輸省航空局に「管制保安部」と「安全監察官」を新設し，航空保安システムの総合的な立案や調整，業務の査察，ニアミスや異常接近などの調査を十分に行えるような体制づくりを実現した。

1972年7月1日に発足した管制保安部は，航空路・進入経路の設定や主要空港における計器着陸装置（ILS，以下，ILS）<sup>7)</sup>の設置，管制業務レーダー化の推進，RCAGの設置など，航空保安システムの近代化に取り組んだ。とりわけ航空交通管制業務の近代化の中心は，レーダー管制と電子計算機の使用による管制業務の自動化であった。これらの近代化は，航空輸送需要の急速な増加に対応するために必要であった。

管制保安部発足時には，東京と大阪，名古屋，鹿児島，千歳，仙台，宮崎，高松の8空港でASRを用いたレーダー管制が行われていたが，その後，全国主要空港のレーダー化が進められ，現在では防衛庁の管轄する空港も含めて民間航空機が離着陸する空港のうち25か所でレーダーが航空交通管制に用いられている。さらに1976年以降，この航空監視レーダーの情報を電子計算機で処理してレーダー画面上に航空機の位置や便名，高度，速度などを表示するターミナルレーダー情報処理システム（Automated Radar Terminal System; ARTS）が整備された。1976年3月に東京国際空港で運用を開始したのを皮切りに，大阪国際空港，名古屋，福岡，鹿児島，宮崎の各空港にもARTSが整備された。

航空路に関してもレーダー管制方式への移行が進められ，箱根と三郡山を含

---

7) ILSは，着陸する航空機に対して，空港に設置した地上施設から進入方向と降下角度を示す2種類の誘導電波を放射する装置である。パイロットは，受信電波を示す操縦席の計器を見ながら機体を制御することによって，悪天候の場合でも所定のコースに沿って自らの力で安全な着陸を行うことが可能となる。なお，この装置の補助的なものとして，着陸のタイミングを示す「アウトター・マーカー」と「ミドル・マーカー」，「インター・マーカー」とよばれる電波が，滑走路末端からそれぞれ決められた位置に垂直扇型に放射されている（フジ・インタネッタウン 2006；中野 2001：120；園山 2003：44）。

めた全国16か所にARSRを設置し、各サイトから東京と福岡、札幌、那覇にある航空交通管制部にレーダー情報を提供している<sup>8)</sup>。また、1977年には東京と那覇の、1978年には札幌と福岡の各航空交通管制部に航空路レーダー情報処理システム (Radar Data Processing System; RDP, 以下, RDP) を設置した。RDPは、ARSRの情報を収集・処理して管制官へ提供するものであり、FDPやARTSと結んで情報の自動交換を行うことで航空路管制業務の安全性と効率性の向上に貢献することになった。

1970年代後半から80年代にかけて、VOR局と航空機の距離を知ることができる距離情報提供装置 (Distance Measuring Equipment; DME)<sup>9)</sup> が全国各地に次々と設置され、航空路の再編や名称変更が進められた。管制機関の取扱機数は年々増加し、管制席を分割したり、施設を近代化して対応してきた。しかし、取扱機数の増加に十分対応することができずに、航空交通の遅延が解消されない状態が続いた。そこで、特定の空域や空港に航空交通が集中することを回避するため、1994年に「航空交通流管理センター (Air Traffic Flow Management Center; ATFM, 以下, ATFM) という新しい機関を設立した。ATFMの設立によって、空港上空での空中待機や速度調整、迂回などを回避することが可能となり、航空機の安全で経済的な運航が可能になった。

## 2 航空交通管制システムの概要

これまでは、航空交通管制システムが歴史的にどう発展してきたのかについて

- 
- 8) ARSRの届かない洋上空域のなかで国際線が出入りする空域をレーダーでカバーするために、洋上航空路監視レーダー (Oceanic Route Surveillance Radar; ORSR) が開発され、全国4か所 (男鹿, いわき, 八丈島, 福江) に設置されている (中野 2001: 115; 国土交通省 2006)。
  - 9) VORとDMEの両方の機能を持つ装置にボルタック (VORTAC) とよばれるものがある。この装置は、距離測定部分としてDMEの代わりに軍用に開発されたタカン (TACAN) とよばれる装置を利用している。なお、ボルタックとは、VORとTACANを組み合わせでできた略称である (フジ・インタネッタウン 2006)。

て概略を記述してきた。本節では、航空交通管制システムがどのような要素から構成されているのかについて具体的に説明する。はじめに、航空交通業務（Air Traffic Service; ATS）全般の概略について説明する。次に、空域の分類を説明した上で、ATSにおける主要業務と位置づけられる航空交通管制業務を具体的に解説する。

## 2-1 航空交通業務

航空交通業務の目的とその内容は、国際民間航空条約（Convention International Civil Aviation, 通称シカゴ条約）の第11付属書で規定されている。航空交通業務の目的として、以下の5つが挙げられている。

- ① 航空機相互の衝突を防止すること。
- ② 飛行場走行区域内にある障害物と航空機との衝突を防止すること。
- ③ 航空交通の秩序ある流れを維持、促進すること。
- ④ 安全かつ効率的な飛行に有用な助言および情報を提供すること。
- ⑤ 捜査救難の援助を必要とする航空機について適当な機関に通知し、必要な場合にはその機関の援助をすること。

これら5つの目的を達成するために、航空交通業務が定められている。航空交通業務の構成を図1に示す。航空交通業務は、(1)航空交通管制業務（Air Traffic Control Service; ATCS）と(2)緊急業務（Alerting Service）、(3)飛行情報業務（Flight Information Service; FIS）から構成されている。航空交通業務の目的との関係でいえば、①～③の目的と(1)の業務が、④の目的と(3)の業務が、⑤の目的と(2)の業務がそれぞれ対応している。航空交通管制官は、航空交通管制業務はもちろんのこと、緊急業務や飛行情報業務も行っている。

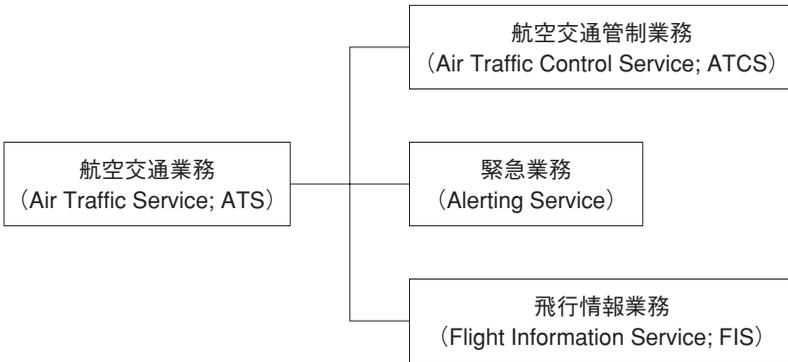


図 1 航空交通業務の構成

出所：中野（2001：21）をもとに筆者が作成した。

## 2-2 空域

航空交通管制業務に関する具体的な説明の前に、「空域」について整理する。図2は、空域の分類を示したものである。

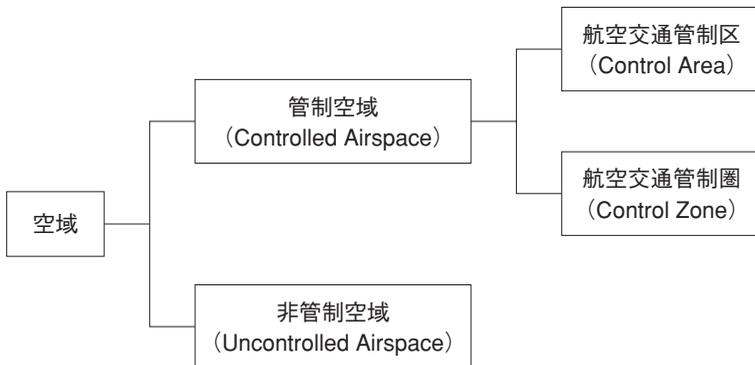


図 2 空域の分類

出所：園山（2003：82）をもとに筆者が作成した。

空域はまず、管制空域 (Controlled Airspace) と非管制空域 (Uncontrolled Airspace) に分類することができる。管制空域は、航空機に対して航空交通業

務が提供される空域であり、航空機同士の衝突を防止する目的のために、管制官から離着陸の順序や飛行の方法、経路などについての指示のみならず、飛行場や航空路周辺の気象状況などの連絡や緊急時の援助が与えられる。管制空域を飛行する航空機は管制官の指示に従わなければならない。

それに対して非管制空域は、管制機関から航空交通業務を受けられないけれども、有視界飛行が可能な気候状態であれば、管制機関からの指示に従うことなく自由に飛行することが可能な空域である。この空域は有視界飛行を行う小型航空機のために設けられている場合が多く、定期便などの大型機が飛行しない低高度の空域になっている。

国際民間航空機関（International Civil Aviation Organization; ICAO, 以下、ICAO）<sup>10)</sup> は、世界中の空域を分割し、世界各国に対して航空交通業務を担当する空域を割り当てている。この空域は飛行情報区（Flight Information Region; FIR, 以下、FIR）とよばれ、日本の空域は「東京FIR」と「那覇FIR」から構成されている。図3は、日本が担当する管制空域を示したものである。

---

10) ICAOは、1947年4月4日に国際連合経済社会理事会の専門機関のひとつとして発足した。第二次世界大戦中における航空技術の著しい進歩に対応するため、1944年11月に米国のシカゴで国際民間航空会議が開催され、国際民間航空に関する暫定協定および国際民間航空条約（通称シカゴ条約）などが締結された。1945年6月には暫定国際民間航空機関が設立され、シカゴ条約に26か国が批准した後に、1947年4月4日、正式にICAOが発足した。国際民間航空条約第44条によると、ICAOの目的は、国際航空の原則および技術を発達させ、国際航空運送の計画および発達を助長することである。日本は、1953年にシカゴ条約を批准し、ICAOに加盟した。本部はカナダのモントリオールにあり、総会と理事会、航空委員会や法律委員会、航空運送委員会、共同維持委員会、財政委員会などの理事会補助機関、事務局（地域事務所を含む）から構成される。またこのほかに、特定の案件について招集される航空会議や地域航空会議、各種部会やパネルなどの専門家会議がある（ウィキペディア 2006；財団法人運輸政策研究機構 2006）。

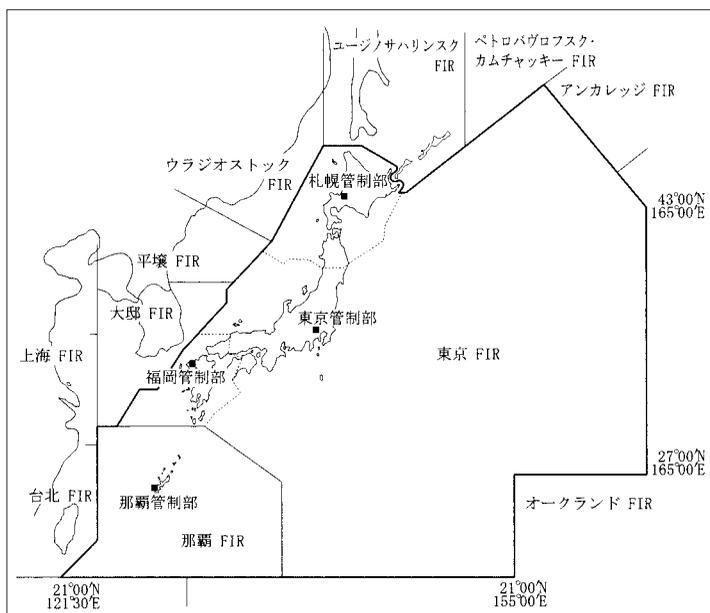


図3 日本の飛行情報区

出所：中野（2001：48）。

管制空域は、航空交通管制区（Control Area）と航空交通管制圏（Control Zone）に分けられる。航空交通管制区は、航空機が計器飛行方式で航行する空域である。航空法第2条第11項によれば「航空交通管制区とは、地表または錐面から200メートル（以下、m）以上の高さの空域であって、航空交通の安全のために国土交通大臣が告示で指定するもの」となっている。特に、高度7,300m以上の空域は全面的に航空交通管制区と指定されており、高高度管制区とよばれている。航空交通管制区は、さらに管制区と進入管制区、洋上管制区に分類される。管制区のかなりの部分は航空路が占めている。また、航空管制の対象や援助の内容などの違いによって進入管制区や特別管制区とよばれる空域が設定されている。

それに対して、航空交通管制圏は、空港や飛行場の標点から半径9キロメートル（以下、km）の円内で、3,000フィート（約900m）または6,000フィート

(約1,850m)の高さまでの空域を指す。空港や飛行場に近い空域は、滑走路に着陸するための航空機や滑走路から離陸する航空機が狭い空域に集中し、航空機の間隔の設定や離着陸順序のつけ方などが他の空域よりも複雑であるため、航空交通管制圏とよんで区別している。

### 2-3 航空交通管制業務

航空交通管制業務は航空交通管制区あるいは航空交通管制圏を飛行している航空機に対して、航空法の第96条と第97条に定められた規定に基づいて行われている<sup>11)</sup>。それぞれの規定は以下のとおりである。

#### 航空法 第96条

航空機は、航空交通管制区または航空交通管制圏においては、国土交通大臣が航空交通の安全を考慮して、離陸もしくは着陸の順序、時機もしくは方法または飛行の方法について与える指示に従って航行しなければならない。

#### 航空法 第97条

航空機は、計器飛行方式により、国土交通大臣が指定する飛行場から出発し、または航空交通管制区もしくは航空交通管制圏を飛行しようとするときは、国土交通省令で定めるところにより国土交通大臣に飛行計画を通報し、その承認を受けなければならない。承認を受けた飛行計画を変更しようとするときも同様である。

今日では、特殊な場合を除いてほとんどの航空機が計器飛行方式を採用して飛行しているため、航空機が出発地の駐機場（スポット）を離れてから目的地の駐機場に到着するまでのすべてのプロセスが航空交通管制業務の対象になっ

---

11) 航空法の規定をさらに具体化したものとして航空法施行規則がある。航空法第96条と第97条の条項は、航空法施行規則の第199条から第209条でより具体的に規定されている(中野 2001 : 54-55)。

ている。航空機は出発地の空港で管制官から管制承認を受け、さらに地上走行の許可を受けて誘導路の移動を開始し、滑走路手前で離陸許可を受けた上で滑走路に入って離陸する。離陸した後は管制官から指示された出発方式に従って上昇し、巡航高度に達した後も指示された航空路上を目的地の空港へ向かって飛行する。目的地の空港に近づくと、管制官の指示に従って降下を開始し、着陸許可を得て指示された滑走路に着陸する。着陸した後は、管制官からの指示どおりに誘導路を走行し、指示された駐機場に入って飛行が完了する。

航空機が出発地の駐機場を離れてから目的地の駐機場に到着するまでの間に行われる航空交通管制業務の全体を整理したのが図4である。航空交通管制業務には相互に重なる部分が存在するものの、「空港とその周辺」に関わる管制業務と「航空路」に関わる管制業務に分けられる。さらに具体的に、飛行場に近い業務から順番に「飛行場管制業務」と「着陸誘導管制業務」、「進入管制業務」、「ターミナルレーダー管制業務」、「航空路管制業務」の5つの管制業務に分類されることが航空法施行規則によって規定されている。以下では、これら5つの管制業務について説明する。

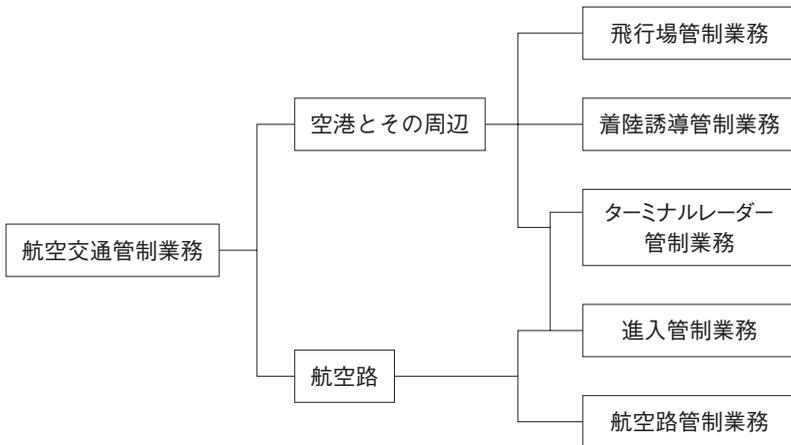


図4 航空交通管制業務の全体像

出所：中野（2001：56）をもとに筆者が作成した。

### a 飛行場管制業務

飛行場管制業務は、飛行場内の地上と航空交通管制圏内の空港を対象として、管制塔（VFRルーム）から目視によって空港を離発着する航空機に様々な指示や助言を伝達する業務を指す。この業務はさらに、「管制承認業務」と「誘導路走行指示業務」、「離陸および着陸許可指示業務」に分類され、異なる人がそれらの業務を担当する。飛行場管制業務の構成を図5に示す。

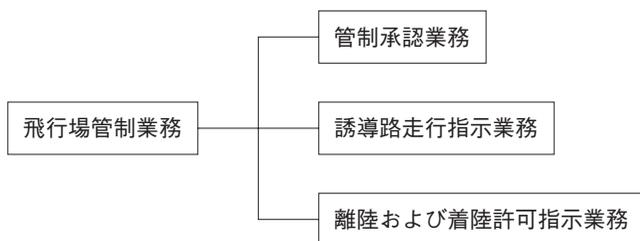


図5 飛行場管制業務の構成

管制承認業務とは、飛行実施計画書（以下、フライトプラン）に記載されたルートや高度、速度、周辺の交通状況などの飛行承認の内容を、出発機に伝達する業務を指す。この業務は、管制承認伝達席（Clearance Delivery）の管制官（以下、デリバリー）が担当し、エンジンスターートの5分前にパイロットから管制承認の要請を受けた上で許可を与える。

より具体的に説明すると、管制承認の許可は以下のプロセスを経て行われる。パイロットから管制承認の要請を受けたデリバリーは、出発機の駐機場を確認した上で当該機の運行票（以下、ストリップ）をフライトデータ席の管制官（東京航空交通管制部のFDPからストリップを受け取る業務を担当する管制官、以下、フライトデータ）に渡す。ストリップを受け取ったフライトデータは、東京航空交通管制部と連絡を取り、あらためて出発機の承認要求を伝える。出発機の承認要求を受け取った東京航空交通管制部では、すでにフライトプランに記載された内容を参考にして出発機に割り振るルートや高度などを最終的に決定し、管制承認（ATCクリアランス）として再度フライトデータに伝える。フライトデータは、東京航空交通管制部から受けた管制承認の内容をストリッ

プに記入しデリバリーに渡し、デリバリーは無線で出発機に管制承認の許可を伝達する。

誘導路走行指示業務とは、離陸しようとしている航空機が駐機場を出て滑走路に向かうまでの経路、あるいは着陸した航空機が滑走路を出て駐機場に入るまでの経路に関して指示を与える業務を指す。この業務は、地上管制席 (Ground Control) の管制官 (以下、グラウンド)<sup>12)</sup> が担当する。航空機は機体が大きく、自動車のように容易に後進することができない。したがってグラウンドは、航空機が無駄な動きをしなくていいように、また少ない誘導路 (タキシューエイ) を有効に使用するために適切な指示を行う必要がある。

出発機の場合、パイロットはグラウンドに対して航空機を誘導路へ進入させるための許可を求める。グラウンドは、他の航空機の走行との関係を判断した上で特に支障がない場合には誘導路への進入を許可する。駐機場を離れてブッシュバックが完了した出発機は、再びグラウンドに滑走路へ向けて誘導路を走行するための許可を求め、グラウンドは他機の状況を見ながら許可を出す。到着機の場合は、滑走路から出た航空機に対して、他機の状況を見ながら駐機場までの誘導路の走行許可を与える。ただし、この許可は駐機場へ進入する許可も含まれているため、到着機は駐機場の手前でグラウンドから再度許可をもらう必要はない。

離陸および着陸許可指示業務とは、離陸する出発機や着陸する到着機に対して効率的で安全に離着陸が可能となるように指示を出す業務を指す。この業務は、飛行場管制席 (Local Control) の管制官 (以下、ローカル) が担当する。滑走路に関する重要な規則に「1本の滑走路上には同時に1機の航空機しか利用できない」というものがある。したがって、滑走路を1機の航空機が離陸しているときには、次の出発機はその手前の誘導路で待機しなければならない。

---

12) グラウンドは誘導路指示業務のほかに2つの業務を担当している。ひとつは、駐機場でのエンジン始動許可を与える業務である。通常、航空機は飛行承認が下りたあとにエンジンを始動することになっているが、特別な理由でパイロットから飛行承認が出る前にエンジンの始動を求められた場合に、グラウンドがその許可を与える。もうひとつは、駐機場と格納庫の間の移動許可を与える業務である。回送の航空機を格納庫へ牽引したり、格納庫から駐機場へ航空機を牽引する場合の許可をグラウンドが与える (フジ・インタネットタウン 2006)。

同様に、着陸する時も、既に着陸した航空機が滑走路を出て誘導路に入るまでは次の到着機が着陸することはできない。そこでローカルは、進入してくる到着機と、これから離陸しようとしている出発機を見て、これらをどのような順番でいかに安全かつ効率的に離着陸させるかを判断し、各航空機に指示を出す。

### **b 着陸誘導管制業務**

着陸誘導管制業務とは、後述する進入管制機関、あるいはターミナルレーダー管制機関から誘導された航空機を、レーダーを監視しながら最終的に滑走路へ誘導する業務を指す。この業務は、着陸誘導席（Final Control）の管制官（以下、ファイナルコントローラー）が行う。ファイナルコントローラーは、ASRと精密進入レーダー（Precision Approach Radar; PAR）を用いて、着陸する航空機の進入角度（高度）と進入方向を細かく指示し、パイロットが滑走路を視認する地点まで誘導する。この時点の航空機は滑走路手前から数マイルの地点まで近づいているため、機種の方角の指示は1度単位で行われ、上昇・下降率に関しても基準線より「少し高い、少し低い」などといった内容が2～3秒ごとに1回の割合で行われる。ただし現在、多くの民間航空用の空港ではILSが設置されているため、ファイナルコントローラーは着陸誘導せずに、おもにILSに誘導された航空機の状況をレーダーで監視する業務のみを行っている。

### **c 進入管制およびターミナルレーダー管制業務**

進入管制業務とは、空港から離陸した航空機、あるいは空港へ進入してくる航空機に対して指示や助言を行う業務を指す。ターミナルレーダー管制業務とは、レーダー装置を用いた進入管制業務を指す。両者の業務の違いは、航空管制の道具としてレーダー装置を使用するかしないかの違いに過ぎない。交通量の多い主要空港では、レーダー装置を用いたターミナルレーダー管制が行われている。進入管制業務は管制塔（VFRルーム）で行われるのに対して、ターミナルレーダー管制業務は空港内のレーダー管制室（以下、IFRルーム）で行われる。通常、IFRルームは管制塔の地下にあることが多い。

進入管制業務およびターミナルレーダー管制業務はさらに、「出域管制業務」と「入域管制業務」、「搜索誘導業務」に分けられる。進入管制業務およびターミナルレーダー管制業務の構成を図6に示す。

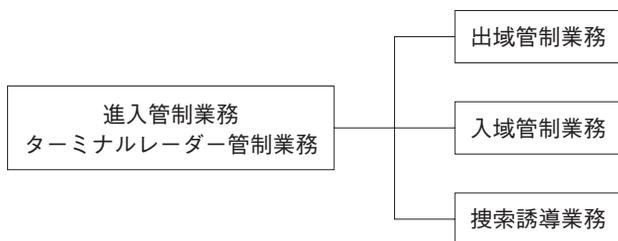


図6 進入管制業務およびターミナルレーダー管制業務の構成

出域管制業務とは、離陸した航空機が指示された航空路上へ合流できるように高度変更などの指示を行う業務を指す。この業務は、出域管制席 (Departure Control) の管制官 (以下、デパーチャー) が担当する。レーダー装置を用いる場合、デパーチャーは離陸直後の出発機を航空路に向けてレーダー誘導し、あらかじめ決められた地域で航空路管制機関に引き継ぐ。レーダー装置を用いない場合には、無線電話で航空機の位置と高度を確認して出発順位や他機との間隔を計算し、航空路への上昇を指示する。

入域管制業務とは、到着機に対して空港へ着陸する航空機の着陸順序や着陸滑走路方向への誘導、高度変更などの指示を行う業務を指す。この業務は、入域管制席 (Approach Control) の管制官 (以下、アプローチ) が担当する。レーダー装置を用いる場合、アプローチは航空路管制機関から引き継いだ航空機をあらかじめ決めた地点 (通常、滑走路から20~40海里の範囲内) までレーダー誘導する。レーダー装置を用いない場合には、無線電話で航空機の位置と高度を確認して着陸順位や他機との間隔を計算し、空港ごとに公示されている計器進入方式を利用して進入するよう指示する。

搜索誘導業務とは、アプローチから引き継いだ航空機を滑走路延長上約10海里の地点でファイナルコントローラーに管制移管するまでレーダー誘導する業務を指す。この業務は、搜索誘導席 (Feeder Control) の管制官 (フィーダー) が担当する。搜索誘導業務は、入域管制機関だけでは指示できる数に限界があるため、飛行する航空機が多くなる時間帯に一時的に行われる。

### d 航空路管制業務

航空路管制業務とは、航空路上を飛行している航空機に対して、高度や位置を常にレーダーで監視しながらお互いの航空機が適切な間隔を保つように速度調整や進路を指示したり、パイロットからの高度変更などの要求を承認する業務を指す。この業務は、航空交通管制部の管制官が担当する。前述のように、航空交通管制部は東京と札幌、福岡、那覇にあり、東京FIRは東京航空交通管制部と札幌航空管制部、福岡航空管制部が担当し、那覇FIRは那覇航空管制部が担当している。実際には、各航空交通管制部の担当空域もさらに細かい空域（以下、セクター）に分割されており、通常はそれぞれ別の航空交通管制官が各セクターの航空管制を担当している。したがって、航空機が同じ航空交通管制部の空域内を飛行中でも、セクターを横切って飛行する場合には、セクターごとに担当の航空交通管制官が引き継がれていく。図7は、航空交通管制部の分担空域とセクターを示したものである。

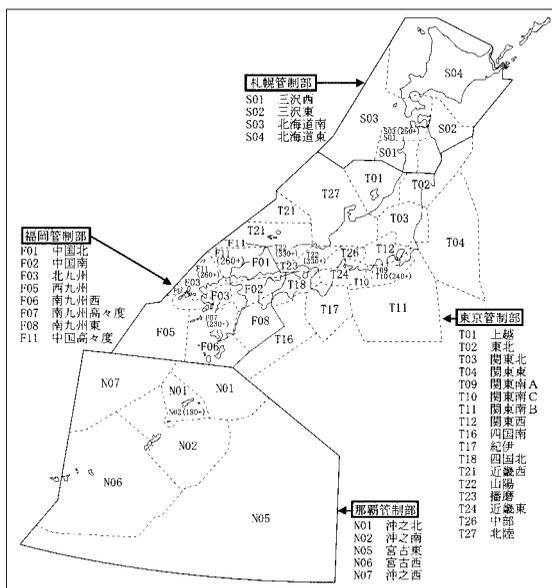


図7 航空交通管制部の分担空域とセクター

出所：中野（2001：83）。

航空路管制業務は、おもに以下の4つのルールに従って行われる。第1に、航空機は航空路とよばれる決められた経路を飛行しなければならないというルールである。各航空機が目的地への最短空路を勝手に設定して飛行してしまうと、管制官が数多くの航空機の現在位置をその都度把握することは困難になり、航空機同士の衝突事故の可能性が高くなってしまう。したがって、航空機にとって多少遠回りになってしまっても、特定の航空路上を飛行させる必要がある。航空路を設定することによって、同じ方向に進む航空機と反対方向から進んでくる航空機だけとなり、航空機の安全と管制官による管制業務の効率性を達成することができる。

第2に、反対方向から進んでくる航空機間の衝突を避けるために、進行方向によって特定の高度を飛行しなければならないというルールである。計器飛行方式の場合、方位0～179度を飛行する航空機は「奇数千フィート」を、方位180～359度を飛行する航空機は「偶数千フィート」を飛行することになっている。それに対して有視界飛行方式の場合、方位0～179度を飛行する航空機は「奇数千フィート+500フィート」を、方位180～359度を飛行する航空機は「偶数千フィート+500フィート」を飛行することになっている。

第3に、何機もの航空機が同じ高度を飛行するような場合に、航空機間に一定の時間差をつけなければならないというルールである。第2のルールは、反対方向を飛行する航空機ばかりでなく、同一方向を飛ぶ航空機の衝突防止にも役立つ。しかし、同一方向に設定できる航空路の層には限界があり、航空機によって最も適した飛行高度が存在するため、同一高度に多数の航空機が飛行する可能性もでてくる。そこで、同じ航空路の同じ高度を飛行する航空機の間には規定以上の時間をあけるルールが設定されている。具体的には、国内航空路の場合は10分以上、洋上航空路などでは15分以上の間隔をあげなければならない。

第4に、同一高度を飛行している航空機同士の横の間隔を一定以上あげなければならないというルールである。航空機間の横の間隔は、利用する航行援助施設の種類によって異なる。原則として、VORを利用している場合は8海里、NDBを利用している場合は10海里が最低間隔として規定されている。ただし、どちらかの航空機が無線標識から出方向（アウトバウンド）に飛行する場合には、これらの2分の1の間隔が最低間隔とされる。

### 3 航空交通管制システムの課題と対応

本節では、第2節で述べてきた航空交通管制業務の問題点と、それに対する解決策としての次世代航空交通管制システムについて説明する。はじめに、航空交通管制業務の問題として、航空旅客数および航空交通量と、航空交通管制官の数の推移についてとりあげる。次に、それらの問題に対するICAOの新CNS/ATM構想の概略を説明する。最後に、新CNS/ATMに基づく、日本の次世代航空交通管制システムについて記述する。

#### 3-1 航空交通管制システムが抱える課題

航空交通管制が開始されて以来、様々な技術革新や管制システムの開発・改良によって、航空交通管制システムは著しく近代化された。しかし、それと並行して世界的な航空交通量の増加はとどまることを知らない。特に欧米諸国を中心に航空交通の遅延が問題となっているが、日本も例外ではない。国内の航空旅客数については、平成15～16年に減少傾向が見られるもののほぼ一貫して増加傾向にあり、将来もさらに増加すると予測されている。海外の航空旅客数についても、米国同時多発テロやイラク戦争、SARSなどの影響で国際航空旅客需要の減少時期が見られるものの、将来的にはますます増加する傾向にあると予測されている。

航空旅客数の増加と呼応して、航空交通量が增大し、空港や上空の混雑の程度も増大している。この点は、航空交通制御実績回数の指標から明らかである。航空交通流制御実施回数とは、航空交通管制官の担当空域の交通量が一定値を超える場合に、当該空域の交通量を一時的に抑えた回数を指す。平成9～15年の回数を見た場合、1～12月のほぼすべての月で制御実施回数が増加している。このことは、上空を飛行している航空機が慢性的に混雑していることを示すと同時に、空港でも慢性的な混雑が存在していることを示している。なぜなら、航空機の交通量が制御される場合には、空港で離陸しようとしている航空機が離陸予定時刻を過ぎても駐機場や誘導路上などで待機させられる可能性が高くなるからである。

このような航空旅客数や航空交通量の急速な増大に対して、航空管制官の数はそれほど増加していない。昭和60年～平成16年の間に管制取扱機数は約2倍（約230万機→約436万機）増加しているのに対して、航空管制官の人数は約1.15倍（3,755名→4,323名）しか増加していない。管制官1人が取り扱うことのできる航空機数には限界があるため、増加する国内航空量に対処する能力には限度が存在する。

### 3-2 新CNS/ATM構想

世界的に拡大を続ける航空旅客需要や航空交通量に対して、1983年にICAOは「次世代航空システム特別委員（以下、FANS委員会）」を設置した。FANS委員会では、航空運行者が予定する出発・到着時刻と希望する飛行経路・高度で飛行することを可能とし、全世界的に継ぎ目のない航空交通管理を達成するための新たな航空航法システム技術のあり方について検討が行われた。委員会は、1988年に全世界規模の航法システムの考え方をFANS構想として取りまとめた。

FANS構想は、通信（Communication）と航法（Navigation）、監視（Surveillance）にそれぞれ新技術を導入することで、航空交通管理（Air Traffic Management; ATM、以下、ATM）の実現を目指している。現在では、FANS構想は新CNS/ATM構想ともよばれている。図8は、新CNS/ATM構想を図に示したものである。

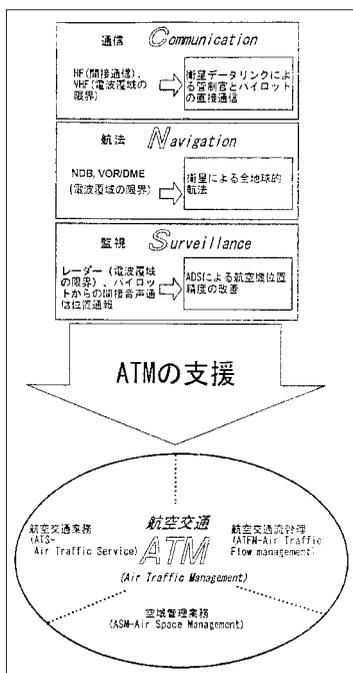


図8 新CNS/ATM構想

出所：国土交通局航空局管制保安部（2006）。

通信 (Communication) については、現在は無線電話を用いた音声による間接通信が行われているが、将来的には衛星を用いたデータ通信 (文字通信) の達成が目指されている。航法 (Navigation) については、現在はNDBやVOR/DMEなどの航行援助施設によって航空機の位置を確認する方法が用いられているが、将来的には衛星を使用した精度の高い位置確認の達成が目指されている。監視 (Surveillance) については、現在はレーダーやパイロットからの間接音声通信による位置通報を主な手段とした監視業務が行われているが、将来的には衛星を利用することによる自機の位置や高度、速度、次地点の予定通過時刻などの情報の精度向上が目指されている。このシステムは、自動従属監視 (Automatic Dependent Surveillance; ADS) システム (ADSシステム)

とよばれており、このシステムによって管制官は航空機の精確な位置を常に監視することが可能になり、管制間隔の短縮が可能となる。

航空航法システムに関する以上のような新技術の導入に基づいて、将来的なATMの実現が目指されている。ATMはおもに3つの要素から構成されている。第1の要素は、航空交通業務（ATS）である。ATSについては、第2節で既に説明している。

第2の要素は、交通流管理（Air Traffic Flow Management; ATFM, 以下, ATFM）である。ATFMとは、適正な航空交通の流れを維持し運行効率を向上させることを目的に、混雑が予測される空域への航空機の進入を制限するために出発時刻を遅らせたり、代替経路を推奨するなどの業務を指す。空港やその周辺のターミナル空域あるいは航空路の交通量が管制処理能力を超えることが予想される場合、そのまま放置すれば空中待機しなければならない航空機が出てしまう。空中待機は無駄な燃料を消費することになり、航空運行者にとって大きな費用になる。このような事態を避けるために、航空交通の流れを管理・制御する必要がある。ATFMは、航空交通流の予測を可能な限り早くかつ正確に行うことによって航空交通の運行効率を向上させる役割を担っているのである。

第3の要素は、空域管理（Air Space Management; ASM, 以下, ASM）である。ASMとは、与えられた空域構造を前提にして、空域を最大限有効利用するために行われる業務を指す。具体的な業務として以下のようなものが考えられる。

- ① 効率的で利便性の高い経路や空域などを整備し、その運用方式を設定・評価する。
- ② 空域の使用に関して関係機関（米軍や自衛隊を含む）と調整を行い、より安全で効率的な航空機の運航を確保する。
- ③ 管制官が安全に処理できる交通量（適正交通量）を空域の条件などを考慮しながら算出する。

これらの業務は、業務に関係する行為主体との相互調整によって行われる。たとえば、防衛庁と航空管制官との相互調整によって、訓練空域として指定されている空域でも、訓練が行われていない時間帯には一般の航空交通のために当該空域を開放してもらい、空域の時間分割利用ということも可能になる。

### 3-3 日本の次世代航空交通管制システムに向けた取り組み

ICAOの新CNS/ATM構想を踏まえて、日本の次世代航空交通管制システムへ向けた取り組みが開始された。1994年の航空審議会第23号答申で、新CNS/ATM構想に基づいた将来の航空保安システム確立の必要性が提言され、現在その構築が進められている。様々な取り組みが行われているなかで、以下では3つの主要な取り組みの概要を説明する。

#### a 運輸多目的衛星の整備

新CNS/ATM構想を実現するための取り組みとして、運輸多目的衛星(Multi-functional Transport Satellite; MTSAT, 以下、MTSAT)の整備がある。MTSATは、航空交通管制の目的に使用されるほかに気象衛星「ひまわり」の後継機としての役割もある。航空交通管制としては、通信と航法、監視の各機能を持っており、MTSATの導入によって上述したようなCNSシステムの機能向上が達成される。つまり、通信機能としてはデータ通信が、航法機能としては精度の高い位置確認が、監視機能としてはADSシステムの確立が可能となるのである。MTSATの運用段階では、信頼性向上のために常時2機体制で運用する方式を採用している。1号機は2005年2月26日に打ち上げられ、2006年2月18日に2号機が打ち上げられた。

MTSATの整備によるCNSシステムの機能向上の結果として、洋上空域における管制間隔の短縮や、地上無線施設を利用した航法からGPSなどの衛星を利用した航法への移行が達成されることによる、離島空港などの就航率の改善などの効果が期待できる。特に現在、北太平洋ルート of 航空交通量が多く、混雑時を中心に非効率な航空路や高度を航行せざるを得ない航空機が多数発生している。MTSATが整備されれば、従来の約2倍の航空交通量を取り扱うことが可能になる。

MTSATの関連施設として、航空衛星センターと運輸多目的衛星用衛星航法補強システム（MTSAT Satellite-based Augmentation System; MSAS, 以下、MSAS）がある。航空衛星センターでは、MTSATの位置や姿勢、運用状況などの制御や監視を行うとともに、衛星を介して航空機と航空路管制機関の中継を行う。これは地上側の通信基盤になるもので、神戸と茨城県常陸太田の2か所に設置されている。また、MSASは、GPSによる航空機の安全な航法を可能にするために、MTSATを利用して広域にGPSの補強情報を提供するシステムである。MSASの運用には、MSASの信号を監視するための地上監視局（Ground Monitor Station; GMS, 以下、GMS）と、MSASの性能を十分に発揮するために必要な情報やMTSATの位置を決定するためのデータを収集する標定局（Monitor and Ranging Station; MRS, 以下、MRS）が必要である。現在、GMSは全国の4か所にある航空交通管制部に、MRSはハワイとオーストラリアに設置されている。図9は、MTSATシステムの概要を示したものである。

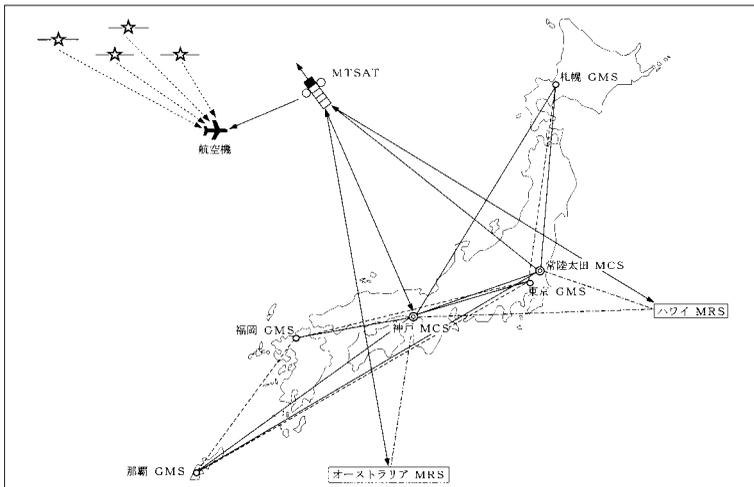


図9 運輸多目的衛星（MTSAT）システム

出所：中野（2001：156）。

## b 広域航法の導入

新CNS/ATM構想のなかの航法（Navigation）技術の向上を目指した取り組みとして、現在、広域航法（Area Navigation; RNAV, 以下, RNAV）の導入が行われている。RNAVとは、航行援助無線施設の覆域内もしくは航空機に搭載している航法機器の能力の限界内で任意の飛行経路を航行する方式を指す。この方式では、従来のNDBやVOR/DMEのように地上航法施設からの電波を受信して電波発信源に向けて飛行する方式とは異なり、DPSを含めた電波を利用して自機位置を測位し、地上施設の配置にとらわれることなく飛行コースなどを設定して飛行することができる。従来のVOR/DMEによる航法とRNAVの比較を図10に示す。

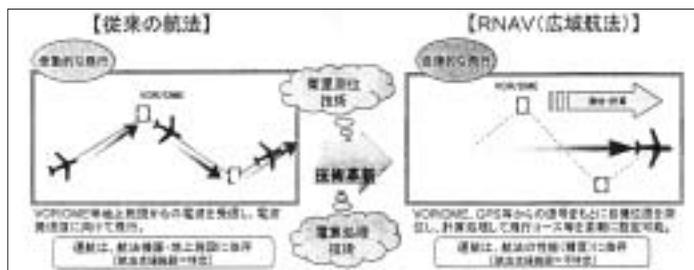


図10 航法の比較

出所：山口（2006）。

従来のVOR/DMEを利用した航法では、航空機は地上にあるVOR/DME施設からの電波を受信し、電波発信源に向けて飛行を行うという意味で受動的な飛行である。さらに、運航は航法機器や地上施設に依存しているためにジグザグに飛行しなければならず、その点で非効率な航法であるといえる。それに対して、RNAVでは、VOR/DMEやGPSなどからの信号をもとに自機位置を測位・計算処理することによって飛行コースを柔軟に設定可能であるという意味で相対的に自律的な飛行である。さらに、運航は航法機器や地上施設に沿ってジグザグに飛行する必要はないため、その点でより効率的な航法であると言える。たとえば、羽田―新千歳間の往復経路を考えた場合、VOR/DMEによる経路は902

海里であるのに対して、RNAVによる経路は890.1海里であり、短縮経路は11.9海里になる。この点を含めて、RNAVの導入によって以下のような効果が期待できる。

- ① 航空機に対して効率的な直行経路を提供できる。
- ② 複数の平行ルートの設定が容易になり、航空路管制の交通容量の拡大が可能になる。
- ③ 特定空域および経路へ集中する航空交通の分散が可能となり、円滑な交通流が確保できる。
- ④ 航空保安無線施設が故障や保守によって使用できない場合には、代替ルートの設定が容易になる。

現在、国土交通省航空局を中心にRNAV整備の推進が図られている。推進活動としては、「RNAV連絡協議会」と「RNAV/ATM推進協議会」、「RNAV整備チーム」の活動を挙げることができる。それぞれの活動の概要を表1に示す。

表1 RNAV整備のための推進活動

推進組織	関係主体	活動内容
RNAV連絡協議会 (平成16年8月～平成17年)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・国土交通省航空局</li> <li>・航空会社</li> <li>・航空関係法人</li> <li>・研究機関, など</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・現行のRNAV運航の見直し</li> <li>・RNAVの中・長期的な導入・展開計画の検討</li> <li>・「RNAV展開計画（ロードマップ）」の提言</li> </ul>
RNAV/ATM推進協議会 (平成17年7月～平成19年3月(予定))	<ul style="list-style-type: none"> <li>・国土交通省航空局</li> <li>・航空会社</li> <li>・航空関係法人</li> <li>・研究機関, など</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・RNAV連絡協議会で提言された「RNAVロードマップ」に基づき、RNAV具体化を推進</li> <li>・航空関係者間で情報共有、共通認識化、意見交換</li> </ul>
RNAV整備チーム (平成17年10月～平成18年9月(予定))	<ul style="list-style-type: none"> <li>・国土交通省航空局技術部</li> <li>・国土交通省航空局保安部</li> <li>・航空会社</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・RNAV整備に向けた集中作業</li> </ul>

出所：山口（2006）をもとに筆者が作成。

2004年8月から2005年3月まではRNAV連絡協議会（以下、連絡協議会）が設置された。連絡協議会は国土交通省航空局と航空会社、航空関係法人、研究機関などから構成され、RNAVの導入と展開に関する中・長期的なロードマップが検討された。RNAVロードマップの提言が行われた後の2005年7月からは

RNAV/ATM推進協議会（以下、推進協議会）が設置された。連絡協議会と同様に推進協議会も国土交通省航空局と航空会社、航空関係法人、研究機関などから構成され、連絡協議会から提言されたRNAVロードマップに基づいてRNAVの具体化を進めている。推進協議会の活動は2007年3月までを予定している。さらに、2005年10月よりRNAV整備チーム（以下、整備チーム）が設置された。整備チームは国土交通省航空局の技術部および管制保安部と航空会社から構成され、RNAVの整備に向けた集中的な作業を行った。整備チームの活動は2006年9月に終了した。

連絡協議会で提言されたRNAVロードマップは、RNAVの推進・整備段階を現在・短期・中期・長期に分けて、それぞれの段階での到達目標を定めたものである。以下では、航空路に限定してRNAVロードマップを簡単に説明する。図11は、航空路に関わるRNAVロードマップを示したものである。

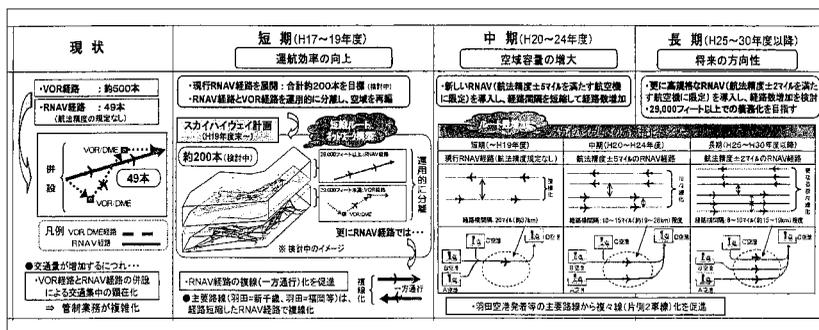


図11 RNAVロードマップ（航空路）

出所：山口（2006）。

現状では、VOR/DME航空路が約500本に対してRNAV経路は49本存在し、これら2つの経路は併設した形で運用されている。つまり、同じ高度でVOR/DME航空路を飛行している航空機とRNAV航空路を飛行している航空路とが混在しているのである。現時点ではこのような混在した形態で大きな問題は起こっていない。しかし、将来的に航空交通量が増加した場合には、VOR/DME経路とRNAV経路の交わる地点で航空機の集中的な混雑が発生する

可能性が高い。

短期（平成17～19年度）では、このような混雑の発生を解決し、航空機の運航効率を向上させることが目標となる。具体的には、約200本を目標としてRNAV経路を拡張し、さらに29,000フィート以下を従来のVOR/DME経路に、29,000フィート以上をRNAV経路として双方の経路を分離する「スカイハイウェイ計画」の実施が目標とされている。

中期（平成20～24年度）および長期（平成25～30年度以降）では、おもにスカイハイウェイの経路を増やすことによって空域容量の増大を図ることが目標とされている。中期では、新しい高精度のRNAVを導入することによって、現行の航空路における航空機間の横の間隔として設定されている20マイルを10～15マイルに短縮することが目指されている。さらに長期では、さらに高精度のRNAVを導入することによって、航空機間の横の間隔を8～10マイルにまで短縮することが目指されている。航空機間のこのような短縮によってRNAV経路の数を増やし、空域のより効率的な利用を達成しようとしている。

### c 航空交通管理センターの整備

ICAOの新CNS/ATM構想に基づく航空交通管理（ATM）を着実かつ効果的に推進するため、2006年2月よりATMの主導的な役割を担う中核的組織として、福岡に航空交通管理センター（以下、ATMセンター）が設立され、本格的な運用が開始された。上述のとおり、ATMセンターでは、ATSとATFM、ASMの3つの機能を果たすことによって、すべての関係者が協調して継ぎ目のない航空サービスを提供し、安全性と効率性をダイナミックに統合した航空交通と空域の管理を達成することが目指されている。同センターは、前身の航空交通流管理センター（ATFMCセンター）を拡充整備して空域管理機能および洋上管制機能を加え、これらを密接に連携させることによって国内航空交通はもとより管轄するFIRを飛行する国際航空交通を対象に、総合的なATMサービスを展開する組織である。図12は、ATMセンターの業務全体のイメージを示したものである。

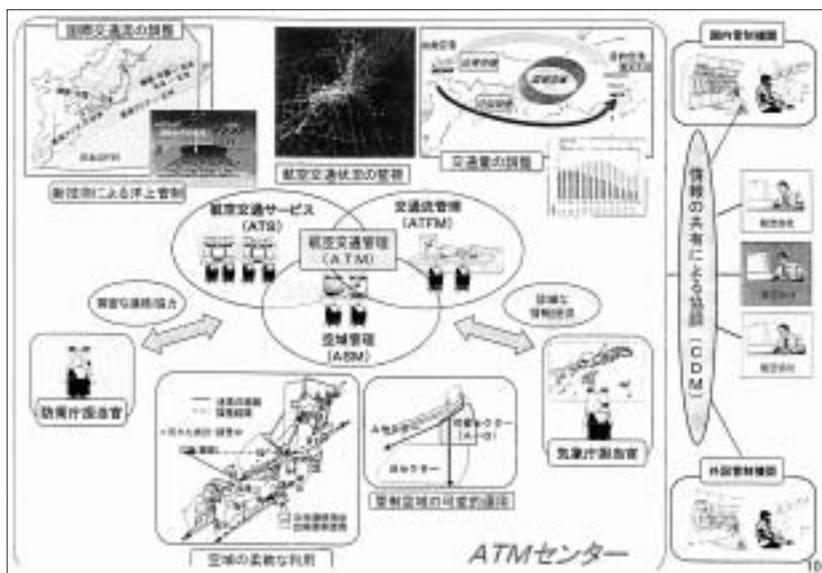


図12 ATMセンターの業務イメージ

出所：山口（2006）。

ATMセンターの業務の最大の特徴は、多様な行為主体が共通の状況認識を持った上で、それぞれの役割と責任に基づいて協調的な意思決定を行うという仕組みを導入している点にある。このような仕組みのことを「協調的意思決定 (Collaborative Decision Making; CDM, 以下, CDM)」とよぶ。CDMに関連する行為主体としては、ATMの情報官はもちろん、航空交通管制部や空港の管制官、航空会社の運行管理者（ディスペッチャー）<sup>13)</sup>、気象庁予報官、防衛庁連絡調整官、外国管制機関の管制官などが存在する。これらの行為者が情報の共有化と協調的な意思決定を行うことによって、必要最小限の制約でより安全かつ効率的な航空機の運航の実現を図るのである。CDMの内容と効果の例は以下のとおりである。

13) 運行管理者（ディスペッチャー）とは、航空会社に勤務し、会社のすべての便のフライトプランの作成を仕事としている（ウィキペディア 2006）。

- ① 防衛庁や米軍との強調による空域の有効利用。
- ② 航空気象業務との連携による気象状況の変化への的確な対応。
- ③ 航空会社との強調による航空会社の意思の反映。
- ④ ATS機関との連携強化によるより効率的なサービス提供。
- ⑤ 関係国機関との強調による国際的にシームレスなサービス提供。

航空機の運航に関する情報の共有化と協調的な意思決定を担うATMセンターは、航空機の運航に関連する既存の組織（行為主体）を統合する役割を果たしている。この点でATMセンターは、既存の組織の上の階層に位置する組織として考えることができるだろう。なお、ATMセンターの運用開始に合わせて2006年2月から、それまで「東京FIR」と「沖縄FIR」の2つに別れていた日本の航空管制担当空域が統合され、「福岡FIR」とよばれることになった。

### 3-4 航空交通管制システムの理想像

従来型の航空交通管制システムは、地上のレーダー施設に依存しながら、管制官の監視や指示のもとで航空機が運航する体系である。航空機は運航上の様々な制約のもとで飛行することを余儀なくされている。それに対して、航空旅客需要と航空交通量の増大にともなうICAOの新CNS/ATM構想に基づいた次世代航空交通管制システムへの移行は、航空機側による自律的な飛行が多少なりとも可能になることを示している。つまり、航空機側に与える制約が従来型の航空交通管制システムよりも緩くなると考えることができるのである。

このような流れを受けて、将来的な航空交通管制システムの理想像として現時点で描かれているものに、「フリーフライト」という考え方がある。これは、IFRで飛行するパイロットが、経路や高度、速度などをかなりの程度自由に設定して飛行することができるというものである。具体的には以下のような考え方である。航空機のすぐ周りに保護空域を、さらにその外側に警戒空域を設定する。保護空域は他機の保護空域と重なってはならず、警戒空域同士が接すると、経路や高度、速度などを変更する措置がとられる。保護空域や警戒空域の大きさは、航空機の種類や性能、搭載CNS装置などによって異なるけれども、

従来の管制間隔よりも大幅に短縮される。

フリーフライトの実現のためには、航空機は自らの運航情報を発信し、航空機相互が交錯することを自動的に回避するシステムを構築することが課題となる。しかし、これらの課題が解決した場合には、航空機相互に安全間隔をとりながら最も効率的な経路や高度、速度で飛行することが可能となる。また、管制官は監視することが主要な業務となり、安全確保上で必要な場合だけ指示を出すことことになる。つまり、究極的な航空機の自律的飛行が達成されることになるのである。これが、現時点で世界の航空関係者が目標としている航空交通の理想像である。

#### 4 まとめと研究課題

本稿では、航空交通管制システムの発展の歴史と業務内容、さらに航空管制システムにおける課題とその対応について記述した。航空交通管制システムは、航空交通量の増加に伴って生じる問題や航空機事故に対処するという形で発展を遂げてきた。特に近年では、航空旅客需要の増加に伴う航空交通量の増加が深刻な問題となっている。今後も増え続けると予測されている航空交通量に対応するために、世界各国で次世代の航空交通管制システムへの移行・整備が進められている。日本でも、ICAOによる新CNS/ATM構想に基づいて、安全で効率的な航空機の運航を達成するための次世代航空交通管制システムへの移行に向けて様々な取り組みが行われているところである。

航空交通管制システムは非常に複雑なシステムであり、本稿の記述のみでは未だ不明確な点が数多く残されている。したがって、今後も航空交通管制システムに関する調査を継続する必要がある。今後の調査の方向として、次の2つが考えられる。ひとつは、航空交通管制システム全般に関する調査であり、もうひとつは、航空交通管制システムの長期的な変化プロセスに関する調査である。

航空交通管制システム全般に関連した調査として、航空交通管制システムの構成についてさらに詳細かつ綿密な調査が必要である。本稿では主に航空交通

業務のなかの航空交通管制業務の内容と管制業務に関連した技術について若干解説したにすぎない。今後は、航空交通管制業務以外の飛行情報業務や緊急業務の内容について調査を進めると同時に、それぞれの業務に関わる規則や手順、あるいは業務に携わる管制官の訓練内容などに関するより深い調査が必要になる。また、各業務を担当する主体間がどのような関連性を持っているのかについての調査も必要だろう。具体的には、関連主体間相互の結びつき方や各主体の自律性の程度、利害関係などの解明が考えられる。

航空交通管制システムの構成について明らかにした後の調査の方向としては、不測の事態に対する問題解決プロセスの解明が考えられる。航空交通管制業務に関してよく言われることとして、管制官が直面する状況が同じ日は一日たりともないということがある。ある航空管制官は日々の業務に関して次のように述べている。

毎日同じ日なんてありません。飛行機の数も状況の複雑さも違うし、天気も違います。乗客が遅れることも含めて条件は毎回変わりますが、そこが魅力でもありますね。ぼーっとしている暇はありません。いつも気を張っています、毎日毎日が違いますから。(ディスカバリーチャンネル 2003)

このように日々刻々と変化する状況に対して、航空交通管制システムを支える各主体間が連携することでどう問題解決に至るのか。短期的に現れる事前に予測不可能な状況に対する組織的な対応プロセスを解明することはひとつの重要な調査テーマであろう。米国では、不測の事態にうまく対応することによって持続的に安全性を達成する組織を研究するグループが存在する (LaPorte and Consolini 1991; Roberts 1989, 1990a, 1990b, 1993; Roberts, et al. 1994; Rochlin 1989; Weick and Roberts 1993; Weick and Sutcliffe, 2001)。高信頼性組織 (High Reliability Organization; HRO, 以下, HRO) 研究とよばれるこれら一連の研究も参考にしながら、日本の航空交通管制システムの実態調査を行うことも調査のひとつの方向性として考えられる。

不測の事態に対する問題解決プロセスを解明するためのより具体化した調査

テーマのひとつとして、航空交通管制業務に関わる規則や手順と日々行われる管制業務という組織実践の関係性の解明が考えられる。効率性と安全性を同時に追求している航空交通管制業務は、他の様々な組織と比べて厳格な規則や手順に従って行われている (Vaughan 2002, 2005)。しかし一方で、前述のように航空管制業務は日々刻々と生じる不測の事態に瞬時に対処しなければならないという性質を持っている。不測の事態とは既存の規則や手順では必ずしも対処できないような状況であり、このような不測の事態を打破するためには既存の規則や手順とは異なる行為を新たに生み出さなければならないという側面がある。

このことは、航空交通管制官の業務に対するやりがいに関する発言からも読み取ることができる。つまり、航空交通管制業務は厳格な規則や手順に従って行われているという意味において非常に官僚制的な組織であると考えられることができる一方で、航空交通管制官は、「厳格に規定された単純でつまらない業務の繰り返し」として管制業務を捉えておらず、業務に対して大きなやりがいを持っている。ある航空管制官は、航空管制業務について次のように述べている。

私は聖書の研究者になろうと思って大学へ行ったんですが、途中で何か違うと気づきました。他にやりたいことがあると思ったんです。この仕事についてからは転職を考えたことはありません。(ディスカバリーチャンネル 2003)

また、別の管制官は次のように述べている。

この仕事以外は考えられないです。私は金融を勉強してニューヨークのウォールストリートで働きました。でもやっぱりこれですよ。私にとってはこの仕事の世界が一番です。(ディスカバリーチャンネル 2003)

どちらの航空交通管制官も、業務に対して大きなやりがいを感じていると解釈できるだろう。特に、2番目の航空管制官は、環境変化の激しい金融業界に

身を置いていたにもかかわらず、それと比較して厳格な規則と手順に拘束される航空管制業務のほうが、やりがいがあると理解できるような発言をしている。

このように管制業務に携わる管制官は、既存の規則や手順に基づきつつも、それらとは異なる行為を主体的に生み出すことを行っているのである。様々な制度的制約に縛られながらも主体性を発揮することで組織目標を達成するといことがいかにして行われるのか。航空交通管制システムの調査を通じてこの点を解明することは組織論、とりわけ官僚制組織の実践的側面の解明として重要なテーマのひとつであると考えられるし、HROの研究者たちが「高信頼性組織は集権と分権をうまく融合させている」と言及したことについての具体的な解明にもつながると考えられる。

次に、航空交通管制システムの長期的な変化プロセスに関する調査のひとつとして、航空機の自律的飛行（フリーフライト）へ向けた航空交通管制システムの変革プロセスの解明が考えられる。第3節で記述したように、航空旅客数と航空交通量の増加に伴い、空港や上空の混雑の程度が増加している。その一方で、航空交通管制官の数はそれほど増加していない。このような状況のなかで、ICAOによる新CNS/ATMに基づく次世代航空交通管制システムへの移行が推進・展開されている。次世代航空交通管制システムへの移行は、IFRで飛行するパイロットが、経路や高度、速度などをかなりの程度自由に設定して飛行することができる、フリーフライトという理想像へ向けた第一歩の試みであると考えることができる。

さらに、この流れを航空機が発明された当時からのより長期的な歴史のなかに位置づけると、次世代航空交通管制システムへの移行は、航空機が発明された当時の状況へ回帰しようという流れであると考えられることもできる。第1節で述べたように、航空機が発明された当時は航空機の数も少なく、各航空機は自律的に飛行することが可能であった。つまり、航空交通管制システムの観点から考えると、自律的飛行→飛行に関する厳密なルール化→自律的飛行という歴史的な流れになっており、現在は厳密なルール化→自律的飛行に向けた動きであると考えられるのである。

航空旅客数および航空交通量の増大に伴うこのような航空交通管制システム変革がどのようなプロセスを経て行われているのか。より具体的に言えば、航空管制システムの集権度の長期的な変化プロセス、つまり、分権的システム→集権的システム→分権的システムのプロセスを組織論的に解明することは上記同様、組織論としての重要なテーマを解明するためのひとつのきっかけになると考えられる。特に以下の2つの点は興味深い。

第1に、現在の航空管制システムは、分権的システムを構築しようと試みているにもかかわらずATMセンターを新たに設立するといった、より集権的なシステムを構築しているとも解釈できるような逆説的な現象が生じている。このような現象がなぜ生じているのかということをもより深く解明することによって、「集権一分権」という組織を構成するひとつの重要な要素について意義深い洞察を得ることができよう。

第2に、次世代航空交通管制システムへの取り組みとして現在重点的に進められているRNAV導入プロセスである。第3節で記述したように、RNAVの導入は国土交通省や航空会社、航空関係法人、研究機関など多様な行為主体が関わるプロセスである。多様な利害を持った行為主体が参加したなかでRNAV導入という制度変革がどのようにして行なわれているのか。詳細な事例調査を通じてこの変革プロセスを明らかにすることによって、制度・組織変革プロセスに関する意義深い洞察を得ることができよう。

### 【参考文献】

- 阿施光南, 1997, 『航空管制官になる本：人気の仕事, 航空管制官を目指す人のための, 仕事と受験のオールガイド』イカロス出版。
- Cerulo, Karen, 2002, *Culture in Mind : Toward a Sociology of Culture and Cognition*, New York : Routledge.
- ディスカバリーチャンネル, 2003, 『Understanding航空管制』(DVD)。
- フジ・インタネッタウン, 2006, 「航空交通管制情報官」  
(<http://www.fujichan.jp/atc/index.html>, 2006. 3.15)。
- Hutter, Bridget and Michael Power eds., 2005, *Organizational Encounters with Risk*,

- New York and Cambridge : Cambridge University Press.
- 国土交通省航空局管制保安部, 2006, 「航空保安業務の内容」  
([http://www.mlit.go.jp/koku/04\\_hoan/index.html](http://www.mlit.go.jp/koku/04_hoan/index.html), 2006. 3.15).
- LaPorte, Todd R. and Paula M. Consolini, 1991, “Working in Practice But Not in Theory : Theoretical Challenges of ‘High-Reliability Organizations’,” *Journal of Public Administration Research and Theory*, 1 (1) : 19-47.
- 中野秀夫, 2001, 『航空管制のはなし』成山堂書店。
- Roberts, Karlene H., 1989, “New Challenge in Organizational Research : High Reliability Organizations,” *Industrial Crisis Quarterly*, 3 (2) : 111-125.
- Roberts, Karlene H., 1991a, “Some Characteristics of One Type of Highly Reliability Organization,” *Organization Science*, 1 : 160-176.
- Roberts, Karlene H., 1990b, “Managing High Reliability Organizations,” *California Management Review*, 32 : 101-113.
- Roberts, Karlene H., 1993, *New Challenges to Understanding Organizations*. New York : Macmillan Publishing Company.
- Roberts, Karlene H., Denise M. Rousseau and Todd R. La Porte, 1994, “The Culture of High Reliability : Quantitative and Qualitative Assessment Aboard Nuclear-Powered Aircraft Carriers,” *The Journal of High Technology Management Research*, 5 (1) : 141-161.
- Rochlin, Gene I., 1989, “Informal Organization Networking as a Crisis-avoidance Strategy : US Naval Flight Operations as a Case Study,” *Industrial Crisis Quarterly*, 3 (2) : 159-176.
- 園山耕司, 2003, 『航空管制の科学：飛行ラッシュの空をどうコントロールするか』講談社。
- Vaughan, Diane, 2002, “Signal and Interpretive Work : The Role of Culture in a Theory of Practical Action,” Karen Cerulo ed., *Culture in Mind : Toward a Sociology of Culture and Cognition*, New York : Routledge, 28-54.
- Vaughan, Diane, 2005, “Organizational Rituals of Risk and Error,” Bridget Hutter and Michael Power eds., *Organizational Encounters with Risk*, New York and Cambridge : Cambridge University Press.
- Weick, Karl E. and Karlene H. Roberts, 1993, “Collective Mind in Organizations : Heedful Interrelating on Flight Decks,” *Administrative Science Quarterly*, 38 (3) : 357-381.
- Weick, Karl E. and Kathleen M. Sutcliffe, 2001, *Managing the Unexpected : Assuring High Performance in an Age of Complexity*. San Francisco, CA : Jossey-Bass, (=西村行功訳『不確実性のマネジメント：危機を事前に防ぐマインドとシステムを構築する』ダイヤモンド社, 2002.)
- ウィキメディア財団, 2006, 「フリー百科事典『ウィキペディア (Wikipedia)』」  
(<http://ja.wikipedia.org/wiki/メインページ>, 2006. 3.15).
- 山口勝弘, 2006, 「次世代の航空交通ネットワーク」第10回ネットワークガバナンス研究会報告資料。