

## 第115回 運輸政策コロキウム

## 首都圏空港の容量拡大方策と騒音負担のあり方に関する研究

平成25年7月25日 運輸政策研究機構 大会議室

- |            |      |                                     |
|------------|------|-------------------------------------|
| 1. 講師      | 平田輝満 | 運輸政策研究機構運輸政策研究所非常勤研究員<br>茨城大学工学部准教授 |
| 2. コメンテーター | 鈴木真二 | 東京大学大学院工学系研究科航空宇宙工学専攻教授             |
| 3. 司会      | 杉山武彦 | 運輸政策研究機構運輸政策研究所長                    |

## ■ 講演の概要

## 1—はじめに

## 1.1 首都圏空港の容量拡大ニーズ

我が国の首都圏空港では、成田空港の年間30万回化・羽田空港の再拡張といった拡張事業により大幅な発着容量拡大が達成されつつある。一方で、アジアを中心とした国際需要の伸び、LCC参入による新規需要の創出、新型の小型機材による多頻度化と路線開設、またピーク時間帯の需給逼迫への対応など、中長期的な容量拡大ニーズも依然存在する。

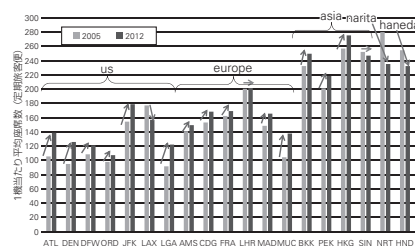
図—1には2005年と2012年における世界の主要空港の1便当たり平均座席数(定期旅客便)を示しているが、国内路線が主の羽田空港であるにも関わらず、相対的に非常に大型化が進展しており、頻度面では低頻度サービスとなっている。2005年以前は欧米では小型多頻度化が進展する傾向にあったが、近年では欧米では燃料費高騰や不景気で大

型化傾向が見られ、逆に、我が国では近年小型化が進展してきている。羽田成田の容量拡大やエアラインの経営効率改善、新規参入などが影響していると考えられるが、依然として欧米の主要空港に比べれば大型である。図—2の機材サイズ別の運航便数シェアを見ても羽田では小型機の運航が依然少ないことが分かる。羽田以上に慢性的な容量不足に悩む英国ヒースロー空港(図中のLHR)では他空港に比べて大型化しているが依然として国内線主体の羽田よりも小型である。

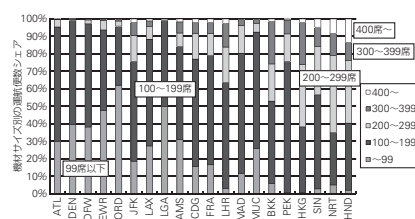
## 1.2 羽田空港とヒースロー空港の容量

羽田とヒースローの滑走路容量はしばしば比較される。羽田再拡張以前は両者ともに滑走路2本(同時運用可能本数)で羽田が約60回/時、ヒースローが約80回/時の離着陸容量であり、現在は羽田が4本滑走路でヒースローと同程度の時間容量となっている。この容量の差は①大型機(Heavy機)比率、②離陸経路

の柔軟性、③滑走路占有時間、④ホールディングの活用と着陸順序付け、で概ね説明できる。特に①②について具体的に離陸容量を対象に試算してみる。連続する離陸機の処理間隔は、先行機がMedium機の場合約95秒(レーダー間隔)、Heavy機の場合は2分(後方乱気流間隔)必要となる。もし先行機がMediumの場合、先行機と後続機の離陸経路が15度以上分岐している場合は約60秒程度まで間隔を短縮できる。ヒースロー空港では離陸滑走路に進入する誘導路を複数使用して、離陸方面別に異なる誘導路に待機させることで、連続する離陸機が極力経路分岐されるようにしている(ある日時に目視で計測すると、概ね7~8割程度は経路分岐離陸させていたが正確には不明)。以上を考



出典：OAG時刻表9月分データから算出  
■図—1 世界の主要空港の1便当たり平均座席数(定期旅客便)



出典：OAG時刻表2012年9月データから計算  
■図—2 世界の主要空港の機材サイズ別の運航便数シェア(定期旅客便)(2012)



講師：平田輝満



コメンテーター：鈴木真二

■表—1 羽田とヒースローの離陸専用滑走路の容量(回/時)の試算結果

		Heavy比率	
		30%	70%
経路分散率	0%	35.1	32.0 (羽田)
	80%	43.4 (ヒースロー)	34.6

慮して、Heavy機とMedium機についてはランダムな順序で離陸することを前提に、ヒースローでは経路分岐離陸の使用率を8割、羽田は都心上空空域の制約のため離陸経路分岐ができないため0割として、離陸滑走路の容量(平均値)を算出すると、表—1のように計算される。このように、(上記の前提条件次第で多少推計結果は変わるが)概ね機材構成と離陸経路の分岐可能性(柔軟性)により離陸容量の差が説明できることが分かる。また、Heavy機が多いと経路分散(分岐)できてもその効果は限定され、羽田においてはHeavy比率がある程度低下しないと、仮に経路分散ができても容量増加の効果は限定されるが、2013年現在ではHeavy率も5割以下に低下しているため、そのような経路設定のための空域制約緩和、都心上空活用について検討する価値も上がってきているのではないだろうか。

### 1.3 羽田空港における騒音負担問題と都心上空活用

これまで運輸政策研究所において羽田空港のさらなる容量拡大方策について技術検討を行い、新規滑走路整備による大幅な容量拡大には、現在は原則使用していない東京都心上空飛行ルートの開放が必要不可欠であることを示した<sup>1)</sup>。しかしながら都心上空利用は騒音影響からいわばタブー視されてきている。現状の羽田空港発着便の航空機騒音をみても、千葉方面にその負担が偏っている問題が従来から存在し、首都圏全体での騒音の分担の必要性が指摘されることも多い。騒音面だけではなく航

空機の運航や管制の運用面からみても特定の空域に増加する交通流が集中し、その業務負荷が高まっている。一方、成田空港では長年の問題を乗り越え年間発着回数30万回化に向けた地域合意がなされ、その過程では従来は騒音影響を考慮して使用してこなかった空域を開放し航空管制の運用制約の緩和により空域混雑を軽減している。空港の容量拡大に対して空港と地域が一体となって取り組む姿が見られ、羽田空港とは対照的に映る。航空機の低騒音化が進展した今、首都圏の空域全体の有効活用による騒音の広域分担と容量拡大、また管制負荷軽減に向けて、都心上空の活用可能性についても改めて議論をする必要がある。

### 1.4 本報告の目的

以上を研究背景として、本報告では、①海外混雑空港における騒音分散と容量拡大に関連する特徴的な事例の紹介、②都心上空活用による羽田空港の騒音分散の方法と容量拡大に関する一考察、最後に③動的な滑走路容量管理の遅延軽減に対する効果分析、について報告する。

## 2——混雑空港における騒音分散に関する海外事例

### 2.1 調査対象

空港近傍では特定の地域に騒音を閉じ込め騒音暴露人口を最小化し、そこに騒音対策を集中的に行うことが通常であると思われる。一方で、航空機数が増加を続ける中で、騒音の広域分散・公平負担を志向している空港も存在しており、本研究では世界の2大混雑空域であるニューヨークとロンドンに加え、積極的な騒音の広域分散を実施してきたシドニーの事例を紹介する。騒音分散という視点以外にも従来使用しなかった空域の開放という視点でも事例紹介をする。

### 2.2 ニューアーク空港における離陸経路分散と容量拡大

ニューヨーク首都圏空域では航空機の混雑による深刻な遅延問題などを解決するために2007年から大規模な空域再編を実施している(詳細は別稿<sup>2)</sup>を参照)。この中でニューアーク空港やフィラデルフィア空港において遅延削減のために、新たに複数の離陸経路を設定し容量を拡大している。ニューアークでは従来は市街地の中心を避けて飛行経路を設定していたが、空域再編に伴い離陸直後の飛行経路を市街地中心にも設定した。ただし、それら地域の騒音軽減のために新たな離陸経路はピーク時間帯など遅延が拡大した時に限定して使用している。

### 2.3 ヒースロー空港における Runway Alternation と制約解消による騒音負担の公平化

ロンドンのヒースロー空港(LHR)は世界でも有数の混雑空港であり、2本の平行滑走路を有しており、それぞれを離陸専用、着陸専用で離着陸を分離して運用している。これは騒音対策上の理由であり、毎日15時に離陸滑走路と着陸滑走路を交代し、空港近傍の飛行経路直下の地域に対して1日の半分の時間は航空機騒音から解放される時間(Respite Period)を提供している。これを滑走路交代運用方式(Runway Alternation. 以降Rwy.Alt.)と呼んでいる。このRwy.Alt.は西風運用時のみで、東風運用時には実施されていない。これは1950年代から長く続く Cranford 合意(Cranford agreement. 以降Cran.agr.)の存在が影響している。この合意は、北側滑走路の東方直近に位置するCranford地区の上空は騒音影響の大きな離陸経路として使用しない、とするものである。しかし、東風運用時にもRwy.Alt.を行うことで騒音のより公平な負担を実現することを目的として

2009年1月に当該合意を解消することを決定した。この背景には2003年の航空白書(The Future of Air Transport White Paper)で整備の必要性が指摘されたLHRの第3滑走路に関して、その後の3年間の技術検討、2007~2008年にかけて大規模なコンサルテーションを経て、2009年1月に第3滑走路建設を政府がサポートする決定を下したことがある。この一連の検討の中でCran.agr.の解消も議論がされていた。

なお、2012年11月に政府は、独立委員会としてAirports Commission(空港委員会)を設立し、空港容量問題に関する調査と提言を付託した。2013年に中間報告、2015年に最終報告を行うこととされており、その後、政府が英国の空港容量問題への政策方針を決定する予定である(2015年の総選挙後)。2013年7月時点では、Airports Commissionから、欧州における英国の空港の競争力の現状分析、中長期の需要予測、ハブ空港として必要な運用特性、航空機騒音に関する評価や負担方法などについてレポートが公開されている。一方で、Airports Commissionは各ステークホルダーからの提案資料も随時受け付けており、ヒースロー空港会社からはロンドンのハブ空港機能強化案としてヒースロー空港へ第3滑走路の建設オプションや第4滑走路への拡張可能性について、ロンドン市が推しているテムズ川河口新空港案などと比較しながら記載したレポートを、Airports Commissionに提出している。英国の政府や地方自治体、経済界などにおいては、既に英国は欧州でのハブ空港競争に敗北しており、新興国への路線や中規模都市への長距離路線といったネットワークがパリやフランクフルトなどに比べて弱い、といった意見が明示されており、以前にも増して危機感を強めているように見える。Airports Commissionでは、中長期的に英国の国際競争力を維持するために

必要なハブ空港機能や必要な空港容量についてEvidence based Approachで分析を続けている。

## 2.4 シドニー空港におけるNoise Sharing

シドニー空港(SYD)は空港南部がボタニー湾に面している一方で、他の方面は市街地に非常に近接している。そして1990年代半ばの第3滑走路問題を契機とした航空機騒音の社会問題化を背景に、騒音を極力広域に分散し、薄く広く共有する政策(Noise sharing)を実行してきた。

SYDは1993年以前、2本の交差滑走路を有する空港であったが、1994年に南北平行滑走路を供用開始し容量拡大を行った。しかしながら、それまでは東西南北に比較的均等に騒音が分散されていたが、南北の平行滑走路が主に使用されることとなり、当然ながら空港北部地域に騒音が集中し北部住民の反対運動が激化した。1995年に上院の特別委員会からの報告書を受け、その後、1996年に政府からの指示に基づきAirservices Australia(航空管制会社)が東西滑走路の使用頻度の増加を含めた長期運用計画(Long Term Operating Plan:LTOP)に関する技術検討を行い、LTOPを策定した。1997年から本格的にLTOPに基づく滑走路運用が始まった。

このLTOPの基本方針としては、3本全ての滑走路を活用、空港南部のボタニー湾と非住居エリアの飛行経路を最大限活用、そして、居住エリア上空の飛行による騒音については「公平に負担する(fairly/equitably shared)」などである。着陸経路は技術的に分散することが難しいため滑走路の延長方向に直線的に伸びているが、自由度の高い離陸経路は着陸で使用される経路位置も考慮しながら極力広域に分散するように設定されている。また、LTOPで定められている各方面の空域の使用比率が極力公平になるように目標が設定されてい

る。この飛行経路の分散を行うために、SYDでは10種類の滑走路運用方式を使用している。主要な方式としては大きく2種類あり、南北平行滑走路のみを使用し処理容量の高い「Parallel Mode」と、東西滑走路も併せて使用する「Noise Sharing Mode」である。後者は飛行経路を分散できる一方で交差滑走路の運用となるため滑走路全体の処理容量が低下する。そのためNoise Sharing Modeは早朝・昼間帯・夜間のオフピーク時に使用している。運用方式の選択においては、Parallel Modeで騒音が集中する南北地域に極力Repit Periodが提供することが考慮される。また、SYDでは滑走路運用方式の選択を行う航空管制官に対する支援システム(TARDAS:The Advanced Runway Decision Advisory System)を活用している。これは、Noise sharingの目標を達成するための滑走路運用方式選択について管制官に自動的に推奨するシステムである。

最後にSYDの航空機騒音に関する近年の評価例を紹介したい。政府の空港担当者の評価であるが、「Noise sharingという環境正義のコンセプトは広く受け入れられるようになってきた。騒音に関して「受容できるか?」から「公平か?」という問いに変化してきた。騒音の絶対量より相対的な量に、共通した関心が置かれている」との評価であり、象徴的な文章であると思われる。

## 3—都心上空活用による羽田空港の騒音分散と容量拡大方策に関する一考察

### 3.1 都心上空利用の検討で考慮すべき特性と本研究の視点

先に紹介した海外事例も参考に、従来から原則として使用されてこなかった都心上空空域の活用による羽田空港の騒音分散と容量拡大方策に関して、既存ストックの活用を前提に検討する。

まず都心上空活用において検討すべき主な特性を挙げる。まず、(1)空港の北部・西部が市街地に近接しているため離着陸経路が低高度となり、環境基準上、都心上空の発着回数を大幅に増加することは困難である点である。また、(2)南風運用時の到着ルートが特に千葉上空に集中することと、容量面でも北風運用時に比べ南風運用時の容量制約が厳しいと考えられることから、南風運用時を対象とした検討が重要である。その他、本稿では詳細に検討はしていないが、(3)羽田空港に近接する横田・百里空域、成田空域(セクター)との調整が必要であり、特に軍の基地機能との共存方法の検討が必要であることや、(4)都心の地上物件と制限表面の関係について検討が必要であること、(5)現状の方面別滑走路方式による制約を含む広域の空域設計と飛行方式設計に関わる検討、などが挙げられる。

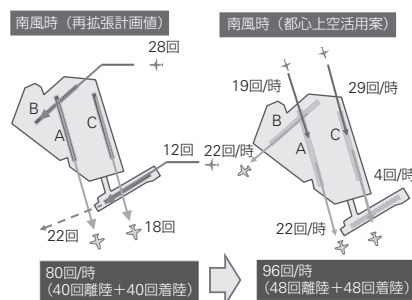
ここで、環境基準となる騒音指標は航空機の単発の騒音の大きさと発生回数(および発生の時間帯)が考慮されるが、これら点から(1)の特性に対しては、大きく2つの対応が考えられる。1つ目は都心上空経路を使用する機数の制限、2つ目は小型機・新型機などの低騒音機材に限定した使用である。前者の機数制限には、①時間発着回数を制限して終日使用、②時間発着回数は大きい時間帯を限定して使用、③都心上空の中で経路を分散、の3つの方法が考えられる。本研究では海外事例も参考に、まとまったRespite時間を提供できる②の時間限定および③の経路分散の視点から考察した。

時間限定の都心上空活用については使用頻度と発着枠設定の点から2つの方法がある。1つは「固定型」で、毎日決まった時間帯で都心上空を固定的に活用する方法であり、発着枠の拡大も可能である(毎日といっても今回の例でいえば南風時のみ都心上空を使用)。もう1

つは前述の海外事例で実施している「状況依存型」で、遅延拡大時や悪天による容量低下時などのサービスレベル低下時に活用する方法である。または使用頻度はさらに少なくなるがインシデント発生時の代替的滑走路運用方法として活用する方法(地震やバードストライクなどへの緊急対応)も考えられ、いずれにしても発着枠の拡大はせずに状況に応じてサービスレベル維持のためのバッファ容量としての活用である。次節以降では「固定型」を前提に検討を行った。

### 3.2 都心上空活用による羽田空港の容量拡大方策と容量推計

都心上空等を活用すると南北の平行滑走路であるA・C滑走路に北側から直線的に進入が可能となり、さらに空港西側の川崎方面にB滑走路から離陸が可能となる。これらの飛行経路を最大限活用し、騒音影響は千葉方面を避けつつ羽田再拡張後の計画容量である80回/時を超える容量を達成できる可能性のある滑走路運用方法の一例を図—3に示す。この例の運用条件は、①離着陸を交互に運用(後方乱気流による容量減の影響を最小化)、②離陸の順序付けをやや戦略的に実施(A滑走路着陸機の間隔について、間に挟む離陸機数を1機または2機に限定した2種類の間隔のみで運用し、2機挟む場合の1機目の離陸機をMedium機に限定)、③ターミナル空域における着陸間隔は極力一定間隔とする(空域の運用の容易さを考



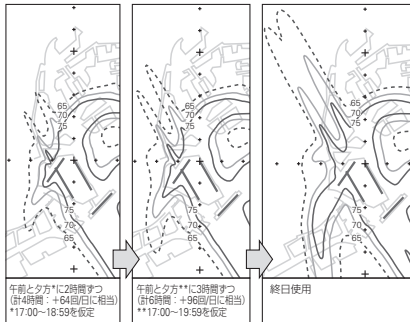
■図—3 都心上空活用による容量拡大方策

慮)であり、この運用により最大で離着陸それぞれ48機/時ずつ合計96回/時の処理が可能と計算できる。なお、北風時においては上記の運用を180度回転した対照型の運用と同様の運用と処理容量が可能である(A滑走路からの北側離陸、いわゆるハミングバードも実施)。また、南風運用時において、ランダム順序およびFCFSを仮定した場合には、離着陸それぞれ、約41~42回/時(C着陸が28回/時の場合)、約43~44回/時(同31回/時の場合)であり、離着陸合計ではそれぞれ82~84回/時、86~88回/時となる。以上の容量計算方法の詳細は別稿<sup>2)</sup>を参照されたい。

### 3.3 都心上空活用時の騒音影響の分析

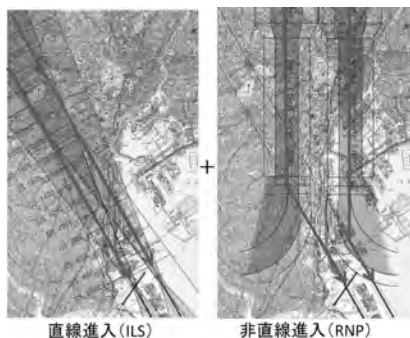
前節で示した都心上空活用時の容量拡大方策の案(時間発着回数を最大で96回/時、つまり2割(+16回/時)増加させる案)を前提に、この滑走路運用方法を使用する時間の長さを変化させた際の騒音影響を評価した。騒音評価は米国連邦航空局(FAA)で開発され海外で広く使用されているIntegrated Noise Model (INM) version 7.0を使用した。評価指標としてはWECPNLを使用した。騒音評価の際の各種パラメータについては、基本的には評価としての安全側(騒音評価値を大きく見積もる側)で設定しているが、設定を簡略化しているため、あくまで参考の騒音影響(カウンター)である(詳細は別稿<sup>1)</sup>を参照)。

図—4は時間限定で都心上空活用案を使用した際の騒音カウンターである。4時間/日(+64回/日の容量増加に相当)と6時間/日(+96回/日の容量増加に相当)の活用ケース、そして参考として終日活用したケースの比較をしている。この結果から終日活用では内陸部に環境基準を超えるエリアが発生するが、上記程度の時間限定をすれば都心方面の環境基準を十分に満たせる可能性があることが分かる。ここで、都心上空を活用し



注：図中の騒音コンターは内側からWECPNL値75、70、65を示す（75：商業地域等の基準、70：住居地域等の基準、65：参考の値）。図-7ではもう一つ外側に参考の値としてWECPNL値60を示している。北風運用時はハミングバード以外は都心上空は使用しない。

■図-4 時間限定の都心上空活用時の騒音コンター

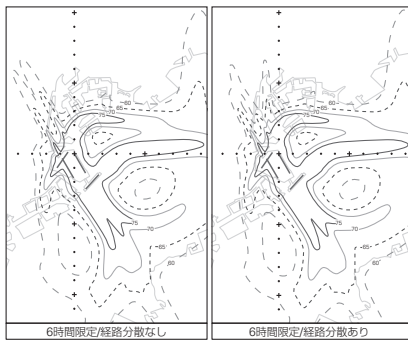


■図-5 都心上空の経路分散の例

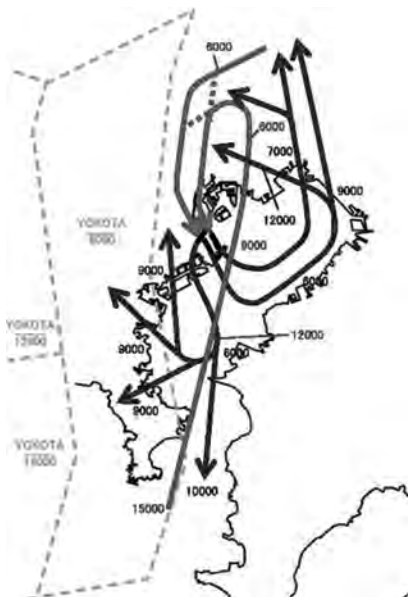
ている時間帯は千葉上空の到着ルートの使用を回避できるため、その時間は千葉にRespite時間が提供でき、騒音影響の軽減が可能となる。

次にこの時間限定方式に加え都心上空経路の分散方式を併用したケースを検討した。図-5に示すとおり直線進入方式に加えて都心上空を使用する時間の半分を非直線進入方式にする経路分散を考えた。図-6に6時間/日の時間限定ケースにおいて経路分散の有無による騒音コンターの相違を示す(コンターの差を分かりやすくするためWECPNL60まで図示)。滑走路端の比較的近傍から経路分散されているC滑走路進入経路では特に騒音分散が促進されている様子が分かる。また、以上の騒音影響評価結果からは、今回仮定した運用では都心方面の騒音影響は騒音指標の上では千葉県飛行経路直下(海岸付近)と同程度であることも分かる。

最後に、本節で試案として提示した都



■図-6 経路分散による騒音コンターの変化



■図-7 都心上空活用時の広域飛行経路設定のイメージ図(南風運用時)

心上空活用時の滑走路運用に対応した広域の経路設定(空港周辺のターミナル空域程度まで)に関して簡易ながら検討した結果を図-7に示す。基本的な空域制約は現状と同様を仮定している。南からの到着経路は千葉上空を避けるため東京湾と羽田空港上空を北上し、都心上空で旋回して着陸する設定である。出発については3経路あるが、ターミナル空域内の運用が複雑化することを避けるため、基本的にA滑走路出発と出発機数の少ないC滑走路出発を北方面、B滑走路出発を南方面への経路設定としているが、限定されるものではない(例えばB滑走路出発で一旦南下した後に北行可能)。これらの経路は、相互に独立運用を可能とすることも可能と考えられる。あくまで簡易検討であり、実際の設定可能

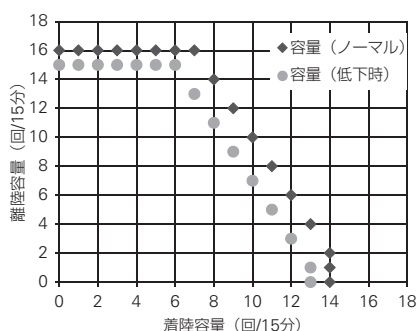
性については、経路間の安全間隔や方面別の機材配分方法などについて詳細な検討が必要である。また、図-7が唯一の経路配置というわけではなく、異なった経路設定も当然考えられる。さらに、首都圏西部に位置している横田空域の都心北西上空部分を利用することができれば、最終進入経路へ至る到着経路を西側にも分散させて設定すること、またレーダー誘導可能なエリアの拡大が可能となり、羽田北(～北東)側の内陸部における現状あるいは将来の騒音集中を軽減することも出来ると考えられる。

### 3.4 まとめ

羽田空港は市街地に近接していることから内陸の発着回数を限定する必要性が高く、時間限定方式やバッファ容量としての活用は一つのオプションであると考えられる。今回は再拡張後の計画値より時間容量の拡大できる滑走路運用方法を前提として検討したが、一方で、時間容量の拡大を前提としない騒音分散対策としてだけの都心上空活用では、より様々な滑走路運用方法のオプションが考えられるであろう。

## 4— 動的な滑走路容量管理の遅延軽減に対する効果分析

最後に、最近検討した動的な滑走路容量管理に関する分析結果を紹介する。我が国で滑走路容量というと日単位や平均的な時間容量を議論することが多かったが、再拡張後の羽田空港のように離陸機と着陸機が相互に複雑に従属運用となったり、離着陸機比率が時々刻々と変化したりする場合に、各時間帯で離着陸のどちらをどの程度優先すべきかによって、空港全体の容量や遅延時間が変化する。わが国の将来の航空交通システムの長期ビジョン(CARATS)でも混雑空港における離着陸機の高精度な時間管理が重要課題として挙げられているが、これに関連した基礎研究として、羽田



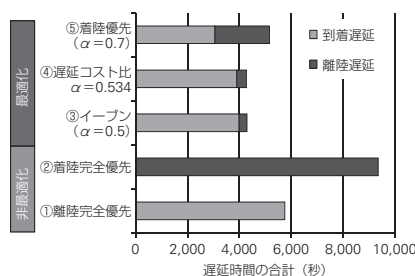
■図—8 羽田空港全体の容量カーブ(推計値)

空港における時間帯別の離着陸便数の最適配分手法の効果について紹介する。

図—8は既開発の羽田空港の容量算定モデル(別稿<sup>2)</sup>参照)をもとに作成した離散的な容量カーブ(南風運用時)である。「容量(低下時)」は離着陸それぞれ1回/15分の容量低下を仮定。離着陸が相互従属運用であるため、当然ながら、着陸容量を増やすと離陸容量が減少する。D滑走路への1機の着陸がA・C滑走路からの2機の離陸をブロックする形であるため、着陸を増やすと、それ以上に離陸容量が減少する。この特性を考慮すると基本的には離陸を優先した方が空港全体の容量が上がり、遅延時間も軽減できる傾向があることが予想される。

今回の分析では、1日を15分ごとの時間枠に区切り、その時間枠ごとの将来需要(離陸と着陸の数)が分かっているときの各時間枠の離着陸容量の最適配分方法を検討した。各時間枠の配分容量に応じて生じる離陸機と着陸機の遅延時間を重みづけして合計した値を最小化する数理最適化問題である。詳細は別稿<sup>2)</sup>を参照されたい。

分析結果の例を図—9に示す。この例では2011年7月時点の羽田空港の発着ダイヤを40.7万回/年となるように単純に同比率で各時間帯の発着数を増加させた需要を仮定し、容量配分オプションとしては図—8の「容量低下時」のケースで最適化した結果を示している。図中①②は離着陸のどちらかを完全に優先



■図—9 離着陸容量の最適配分時の遅延時間(容量低下時、 $\alpha$ は到着遅延時間の重み係数)

ケースと考えられる。①②を比較すると着陸優先の方が総遅延時間は大きい。これは羽田の容量カーブの特徴が影響しており、前述のとおり到着1機が離陸2機と干渉することから到着比率を増やすと空港全体の容量が低下するからである。当然ながら離着陸の需要バランスや時系列の推移も影響するが、そのバランスに大きな差がなければ、どちらか一方を優先する際には羽田の場合離陸を優先させた方が総遅延時間は小さくなる傾向にあると考えられる。③の離着陸に公平な重みで最適化計算をすると①②と比べて総遅延時間が削減できることが分かる。上記の理由から基本的には離陸を優先させた方が総遅延時間を削減できるが、離着陸の需要推移を長期的に見て最適に容量配分を行うとさらに遅延が削減できることが分かる。遅延の内訳をみると、やはり離陸を優先させたほうが総遅延時間は削減できる傾向であるため到着遅延が相対的に大きくなる容量配分となっている。また当然ながら④⑤のように到着の重みを増やせば到着遅延から離陸遅延に付け替えが起こるが、総遅延時間は増加する。図—9は単に総遅延時間で比較しているため、各重み付けにおける目的関数値はそれぞれ最適になっている。

以上のような簡易な最適化計算ではあるが、羽田空港における時間帯別の動的な容量管理、羽田発着便に対するフローコントロール(出発制御や流入量制御)において、将来需要と羽田の滑走

路容量特性を加味した需要/容量バランスの考え方を導入する効果は一定程度存在すると考えられる。

## 5—おわりに

本報告では、我が国首都圏空港の容量拡大ニーズを背景に、近年の空港容量の実際に関する国際比較、混雑空港における騒音分散と空域有効活用の事例紹介、都心上空活用による騒音分散と容量拡大の可能性に関する分析、動的な容量管理による遅延軽減効果分析、について紹介した。海外事例でも紹介した通り、首都圏空港などの重要インフラに関して長期の政策方針に基づく計画プロセスのもとで国民的議論を実施しながら、各国が空港容量問題の解決、そして都市の国際競争力確保に向けて努力をしている。今後、わが国においても、中長期的空港容量拡大の必要性に関する共通認識と合意形成、そのための技術的・社会環境的な課題の整理と容量拡大方策の具体的技術検討が進むことが期待される。

## ■コメントの概要

まず、平田講師の研究に関する研究をご紹介したい。私の大学に留学していたアンドリーバさんと言う方の学位論文であるが、機種により到着順位を変えることでトータルの燃料消費を節約することが可能かという研究である。大型機(B747相当)に比べて中型機(B737相当)は消費燃料が少ないため、後者の到着順位を調整することによって、効率的な燃料消費が可能ではないかと考えた。結果として、4機ごとに順位の入替えを単純なルールにより実施した場合には(図—10)、到着順に管制した場合に比べて燃料増加量を17%削減することに成功し、最適な並べ替えを行った場合の削減量35%の半分の効果を達成できると彼女は指摘している。容量拡大

や騒音の問題についても、このような順位付けを研究していただければと考えている。

続いて、私が現在行っている研究についていくつかの例をご紹介したい。現在、ベテランパイロットの操縦技能分析と破損した飛行機でも安定性を維持できる自動操縦技術にニューラルネットワークを適用する研究を行っている。

前者についてだが、自動化が進んだ現在でも着陸の際にはほとんど人間の技に頼ることとなり、ベテランパイロットと初心者それぞれのそれぞれについて、視覚情報から操縦までの情報処理・操作をニューラル・ネットワークに学習させ、分析してみた(図一11)。その結果、ベテランと初心者には、見た目には同じ着陸をしているものの、情報処理・操作にはかなりの違いがあり、ベテランの方が適切な情報を適切なタイミングで有効に活用していることがわかった。

また、ニューラルネットワークにより飛行中に故障した機体でも簡単に操縦することができるよう、飛行中の特性の変

化をリアルタイムに学習し、最適な入力を自動生成する研究を行っている。そのひとつとして、飛行中に翼端をわざと分離させ、ソフトウェアで安定的に飛行できることを実験で確認することができた(図一12)。模型ではあるが、民間機を使ったこのような実験を行ったのは我々が初めてであると思っている。

最近では、小型の無人機でも高度な自立飛行が可能となっており、広島県自然再生事業の空撮調査や千葉県飯岡海岸の津波被害調査で活用実験を行った。

今後は無人機の活用の領域が増えていくものと考えられる。ICAOでは、大きな無人機と有人飛行機とを同じように管制する方式を検討しているところであり、欧米では大型無人機が飛んでいる。日本は対応が遅れているが、今後これは大きな課題となると考えられるので、取り組んでいきたい。

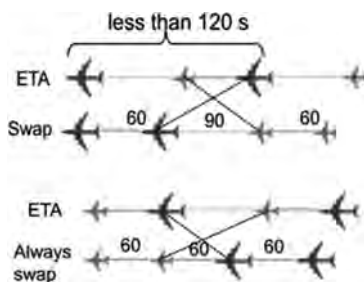
さらに、JAXAが主体となって、産学官連携で晴天時の乱気流事故防止のためのドップラーレーザを活用した技術開発を進めようとしているところである。ア

メリカでは、マイクロバーストによる事故が相次いで起きたことから、様々な計測装置が空港や飛行機に設置・搭載が義務づけられてきている。日本でも昨今の異常気象の発生状況を考えると、このような研究が重要になるのではないかと考えている。また、我が国でもこのような装置の設置の義務付けを検討する必要があるのではないだろうか。

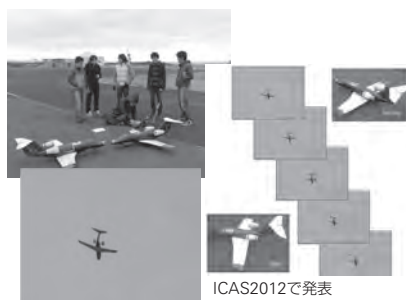
最後に、大学における人材育成を紹介したい。国産旅客機(MRJ)の開発やビジネスの世界でのLCCの参入等昨今の航空を巡る環境を踏まえ、従来のように工学、法律、経済と分かれて教育するのではなく、横断的な教育研究プログラムを作っていかなければならないと考えている。すなわち、分野連携、国際連携、産学官連携の視点に立った航空に関する人材育成である(図一13)。大学院では、知識のみではなく、交渉学と言ったものも学習させるようにしており、海外航空メーカーと連携した国際航空に関するゼミも行っている。昨年、講義体系をまとめた、『現代航空論～技術から政策・産業まで』(東京大学出版会)という本も編集したところである。

■ 質疑応答概要

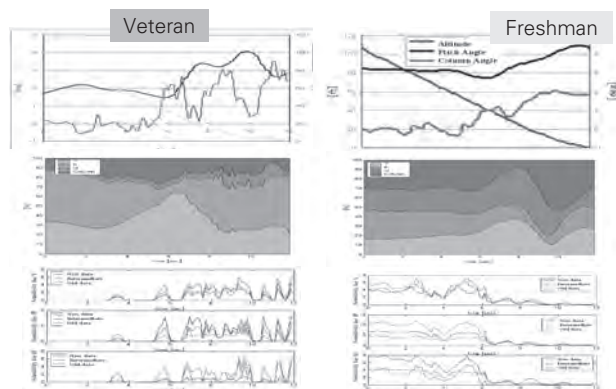
Q 羽田空港への飛行ルートとして、コンビナート上空を活用したB滑走路からの西方離陸や、フランクフルトで検討されていた、滑走路端を滑走路内側



■図一10 Rules defining the most efficient swaps<sup>3)</sup>



■図一12 飛行中に翼端を分離させる試験<sup>4)</sup>



■図一11 飛行データ

国際的かつ分野横断的な課題に対応できる人材を、分野連携、国際連携、産学官連携の三元的視点によって育成

<p>大学院講義 『航空技術・政策・産業特論』</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▶ 航空イノベーション研究会が計画、実施に参与</li> <li>▶ 交渉学を演習に取り入れた「航空ビジネスシミュレーション」</li> <li>▶ ボーイングサマーセミナー、エアバスサマーセミナー</li> </ul>	<p>工学部・工学系共通 『国際航空ゼミ』</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▶ 国際航空ビジネス入門(エアバスとの連携)</li> <li>▶ 航空国際プロジェクト(ボーイングとの連携)</li> </ul>	<p>学部講義 『航空技術イノベーション特論』</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▶ 東大+JAXA+企業によるそれぞれの立場での研究開発を講義</li> <li>▶ JAXA実験設備体験</li> </ul>
---	---	---

エアバス、ボーイングなどと連携して実施する航空国際サマーセミナー

エアラインチームとメーカーチームに分かれて「交渉学」を演習する航空ビジネスシミュレーション

■図一13 航空イノベーションを担う東大での人材育成<sup>5)</sup>

にもう一つ設置して後方乱気流の影響を軽減するHALS/DTOPなどの運用の可能性についてはどのように考えるか。

- A 発表の中で紹介した容量拡大策においてもB滑走路からの西方離陸の活用を考えており、一定の容量拡大効果は期待される。コンビナート上空の飛行は高度制限がかけられているが、昨今のコンビナートの活用状況や上空飛行のリスクを改めて評価し、当該飛行経路の活用可能性も検討すべきと考える。HALS/DTOPについては羽田に近接平行滑走路がないため単一滑走路で2つの滑走路端を運用することが想定され、フランクフルトの運用状況と若干異なると思うが、米国で単一滑走路に着陸する際にパイロットが自主的にタッチダウン地点を滑走路内側にして先着陸機の上方を飛行し後方乱気流を避けることができると聞いたこともある。羽田でも滑走路長が許せば可能性はあるかもしれない。

Q 騒音分散について関係者の合意がなされた海外事例の紹介があったが、特に騒音が増える地域で合意に至ったポイントは何か。そのような地域では騒音問題は今では全て解消しているのか。

- A ニューヨーク首都圏の空域再編の例では、政策決定後に騒音悪化地域を中心に数多くの訴訟が起きたが、制度化された計画プロセスに基づく連邦航空局側の長年の技術検討と環境影響評価・市民参画状況に問題は認められず、計画実行を続けている。ロンドンでも長期の政策方針に基づき、大規模なパブリックコンサルテーションを実施しながら国民的議論の中で

政府が責任をもって政策決定をしている。シドニーでは、騒音共有コンセプトが浸透したからかどうかは分からないが、新たに騒音暴露地域となった地域からの苦情も一時は増加したがその後減少しているようである。それぞれの地域で騒音増加地域から苦情が出ているようではあるが、空港容量拡大の社会的重要性、当該飛行経路の設定の必要性などを、きっちりとした計画プロセスに則って検討を行い、幅広い地域やステークホルダー間で問題意識や政策の内容を共有し、合意形成することが重要ではないかと思う。

Q 首都圏上空には米軍の管理する空域があるが、このことが空港容量の制約となっていないか。また、ルート設定が自由にできるとした場合、安全性への影響はないか。

- A 現在の羽田の滑走路容量は基本的に滑走路占有時間や滑走路近傍での離着陸機間の最低間隔で決まっています。横田空域などが滑走路容量に対して直接的にボトルネックになってはいないと思う。ただし、着陸専用滑走路の容量が以前は31回/時であったのが現在は28回/時に低下している。これは千葉上空の陸域最低通過高度を上げ、最終進入経路が伸びたことが要因の一つとされている。空域における運用制約が滑走路容量に影響している一例ではあるが、今後さらなる容量拡大時や都心上空活用を活用した新たな離着陸経路を検討する際には、着陸経路へ誘導するターミナル空域の大きさや形状、間隔設定の役割分担に関わる空域の再設計も重要となり、横田空域についても再検討する必要があると思う。

Q ヒースローでは既に騒音を受けている地域があるのに対し、東京都における羽田への飛行ルートは海上である。両者は状況が異なるのではないか。

- A スタート地点の状況の差は確かにあると思う。羽田では低高度飛行による比較的高い騒音を海上で全て処理できることから、現状では都心上空を使用していない。そのような高い騒音は決して住民には聞かせないというコンセプトが共通認識として合意されていればそれでも良いかもしれないが、航空機の低騒音化も進み中で、増え続ける航空機の騒音を特定の地域に閉じ込める方法が持続可能かどうか、公平性の面で問題はないか、空港周辺の利便性を享受している地域の責任はないか、さらには、騒音面だけではなく特定空域の活用による空域混雑の悪化や管制官・運航者のワークロード軽減の必要性など、総合的に議論することが必要かと思う。

#### 参考文献

- 1) 首都圏空港将来像検討調査委員会[2010], 『運政研叢書 首都圏空港の未来～オープンスカイと成田・羽田空港の容量拡大』, 運輸政策研究機構, Vol. 006.
- 2) 平田輝満[2013], “混雑空港の容量拡大方策と騒音負担のあり方に関する研究”, 『ITPS Report』, Vol. 201301.
- 3) Andreeva-Mori A., Suzuki S., Itoh E., [2013], “Sequencing of Arrival Aircraft with Operational Constraints”, *IAENG Transactions on Engineering Technologies*, Vol. 186, pp. 65-79.
- 4) Suzuki S, Miyaji K, Tsuchiya T, Naruoka M, Sato T, Itabashi N, Yanagida A [2012], “Flight demonstration of fault tolerant flight control system”, *28th international congress of the aeronautical sciences*.
- 5) 岡野まさ子・一色正彦・鈴木真二[2012], “航空工学教育におけるビジネス・シミュレーション及び交渉学演習の導入”, 『工学教育』, Vol. 60, No. 6, pp. 68-73.

(とりまとめ: 平田輝満, 北河 渉)