

# ニューヨーク空域における航空管制の現状と空域再編

—我が国首都圏空域・空港容量拡大への示唆—

平田輝満  
HIRATA, Terumitsu

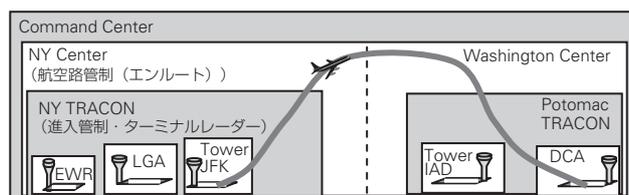
(財)運輸政策研究機構運輸政策研究所研究員

## 1— 研究の背景と目的

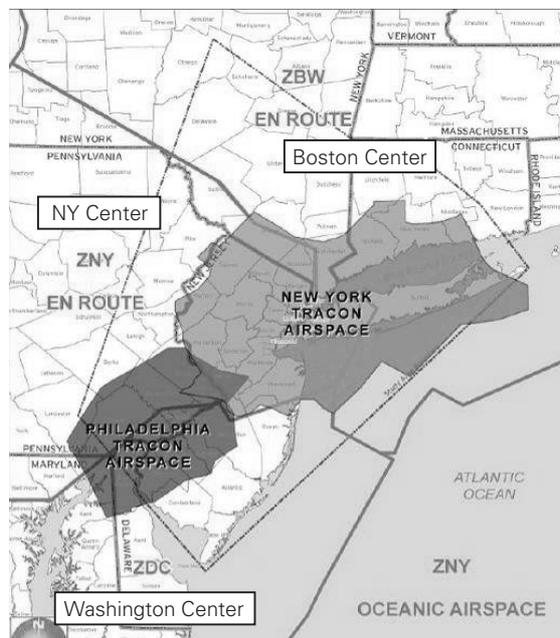
我が国では首都圏の空港容量が慢性的に不足してきた。2010年には羽田再拡張や成田の滑走路延伸が実施予定であるが、中長期的にみればいまだ首都圏の空港容量としては世界と比較しても十分とはいえない。一方、欧米においてもヒースローやフランクフルト、ニューヨーク(以降NY)などの混雑空港・空域で容量拡大や遅延軽減対策が精力的に進められている。特に近年、遅延問題が深刻化しているNY首都圏では、過去に例のない大規模な空域再編が計画され、2007年末に一部実行に移されている。この空域再編により、これまでの非効率な空域や航空路の設計を改善し、遅延や環境影響が大幅に軽減されることが期待されている。本報告では、NY首都圏空域における航空管制の運用実態と空域再編プロジェクトの紹介と考察を行い、我が国首都圏空域・空港の容量拡大に対する示唆について報告を行う。

## 2— ニューヨーク空域における航空管制の運用実態

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ないが、一番の違いは、日本における進入管制・ターミナルレーダー管制業務(離陸直後から巡航高度までの出発機、および巡航高度から降下する到着機を最終進入まで誘導)にあたる部分がTRACON(Terminal Radar Approach Control)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ではTRACON方式で複数空港を一元管制しており、数年後には羽田と成田の空域統合がなされTRACON方式に移行する予定であるが、米国ではNYをはじめ、非常に広域なエリアをTRACONで一元管制する方式が従来から一般的である。近年においてもワシントンのPotomac TRACONや今回のNYのように周辺空域を統合しながらさらにTRACONエリアを拡大し効率化を図っている。飛行場管制は「TowerまたはATCT(Airport Traffic Control Tower)」, 航空路管制は「Center」(日本ではACC), 航空交通管理(ATM)は「Command



■図-1 米国管制機関の概要



出典：FAA:NY/NJ/PHL Metropolitan Area Airspace Redesign - Final Environmental Impact Statement (以降、FEIS)

■図-2 NY首都圏の空域構成とNY TRACON

Center」と呼ばれる機関でそれぞれ実施されている。

図-2にNY首都圏の空域構成とNY TRACONの管制範囲を示している。NY TRACONは東西150NM, 南北125NM (1NM=約1.85km), 高度17,000ft以下という非常に広域のエリアを管制している(東京から名古屋を含む程度の範囲)。周辺はBoston, NY, Washingtonの3CenterおよびPhiladelphia (PHL) TRACONと隣接している。後述のように今回の空域再編によりこれら周辺空域とNY TRACONの大規模統合を実施予定である。

本エリアでは、主要空港であるJFK, ラガーディア(LGA), ニューアーク(EWR)に加え、ジェネアビ空港ではあるものの

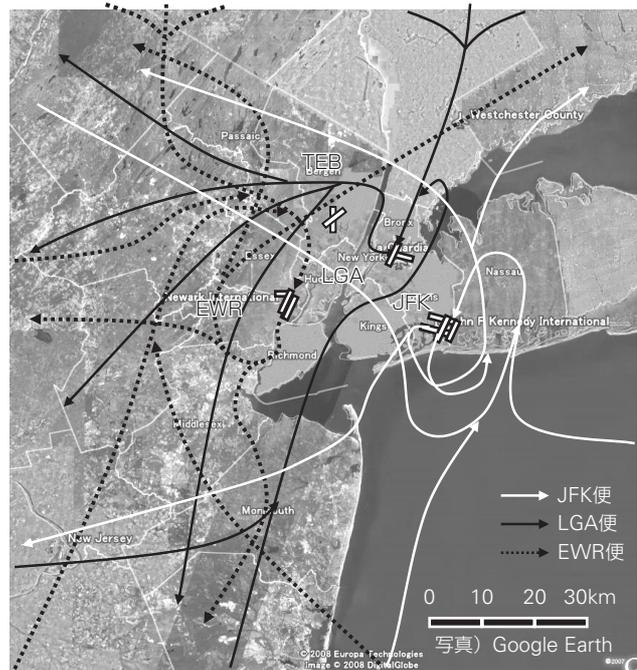
非常に発着回数の多いテタポロ (TEB) (多いときには900回/日程度の離着陸回数) が半径20kmに満たない圏内に密集して配置されており、その周辺には他のジェネアビ空港も多数存在する。羽田と成田が約60kmの距離にあることを考えるとその密集度が相当なものと思像できる。その上、それら各空港で羽田を上回る発着が行われている。

NY空域では近接する各空港へ、多くの離着陸経路が高度差を利用しながら複雑に引かれて管制がなされている(図-3)。例えば、

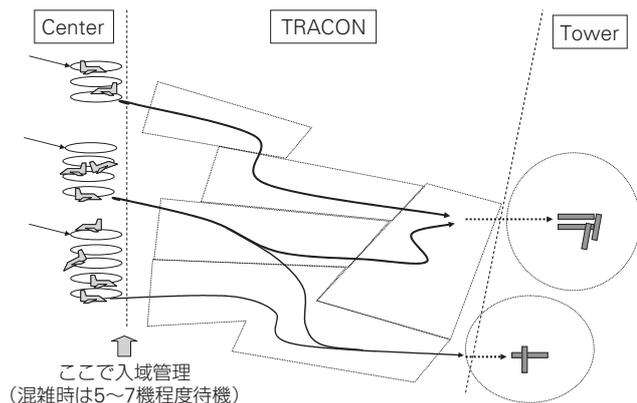
- ・JFKの北西からの到着機は、Over Topと呼ばれ、高高度(19,000ft)を維持しながら他空港の離着陸経路の上を通過後、JFKから12NM離れた地点からJFK周辺で大きく旋回しながら一気に降下(Hammer Approach),
- ・LGA到着機は、JFKとEWRの両空域に挟まれた狭隘な空域に向けて南北2箇所の進入FIXに集約させて(Two-Corner Post System), 空港周辺の非常に狭いセクタでレーダーベクター(誘導)し最終進入で1列に整列(図-5も参照),
- ・EWRの南方出発機はその上昇程度をみながら7,000ftでレベル飛行させているLGAの西方到着機の下方を1,000ftの最低垂直間隔でクリア,

など、細かい管制運用ルールや飛行制限を設けることでこのような多くの離着陸経路を設定可能としている。また、図-4のTRACON内の管制運用のイメージ図に示すように、TRACON内では空域を細かく分割し、コリドー状のセクタを設定している(1セクタを1人の管制官が担当)。この設定により、近接した多数の出発到着経路を独立に運用し、一定の空域でより多くの航空機を取り扱うことを可能としている。一方、各セクタの幅が狭いため、最低限のレーダーベクターと速度調整により航空機間のスペーシング(間隔設定)を行っている。つまり、ほぼ決まった経路と高度を飛行しており、ある意味では次世代型の管制運用(Tailored Arrival, 4D管制など)に近いとも言える。しかしながら、現在のNY TRACONの空域の基本設計は1960年代から大きくは変わっておらず(80年代半ばに若干変更: Expanded East Coast Plan), 非効率な運航を強いられている面が多々ある。例えば、低高度帯での長時間飛行による燃費や騒音の悪化、西行き出発経路の不足などである。この非効率性が現在の深刻な遅延問題の一因となっているため、今回の大規模な空域再編が計画された。

CenterからTRACONへの移管についてみると、TRACON内のTraffic Management Unitで各空港の滑走路容量(気象条件等により変化)と予定到着機数を比較し、必要に応じて、TRACONへの入域直前でホールディング(空中待機、以下HLD)をさせており、混雑時は多い時で各入域点に5~7



■図-3 NY3空港 (JFK, LGA, EWR) への出発到着経路の例



■図-4 TRACON 内の管制運用 (到着機) のイメージ図 (実際は3次元でより複雑なセクタ分割)

機程度HLDするそうである。なお、HLDの管理は現在Centerで行っているが、当然ながらTRACONで管理した方が、HLDからの誘導が効率化されるため、HLDのTRACON内移設も検討されている。少なくとも、HLDスタックの下3層程度をTRACON管理下とし、航空機のヘディングをみながら、任意の層からのHLD離脱を可能とすることで間隔設定のロスを最小化したいとのことであった。

図-5にはLGA到着機の航跡図の例と空港周辺でベクター可能な範囲を示している。前述のとおりLGAは東西をJFKとEWRの空域に挟まれているため、最も狭隘な空域でのシーケンシング(到着順序付け)とスペーシングを強いられている最も厳しい空域である。空域制限などがあるため単純比較は出来ないが、横田と成田の空域に挟まれ比較的狭いとも言われる羽田の進入管制区とその到着の航跡図(一部作

成) (図一六)と比較しても、LGA到着セクタでの処理の厳しさが分かる。

- ・以上、NYにおける管制運用の現状をまとめると、
- ・空域を細かいセクタに分割し、高度差を利用しながら各空港の出発到着経路を数多く引いている、
- ・非常に狭い空域セクタで最終進入へのレーダーベクターを実施、
- ・TRACON内のTraffic Management Unitが到着交通量を調整→入域直前のCenter内のホールディングを活用、
- ・現在の空域・航空路の設計には非効率な面が多々存在し、空域再編によりその解消が期待されている。

また、その他の特徴としては、以下の通りである。

- ・騒音影響を考慮しつつも、市街地上空ルートも積極的に使用、
- ・気象条件変化に伴う滑走路運用の変更はTRACONがイニシアティブをとって決定(複数空港の出発到着経路が互いに従属関係にあるため、滑走路運用の変更は全空港同時に実施)、
- ・到着機は、基本的にはFirst Come First Serveであるが(空域が狭いため)、出発機は、機材や方面を考慮し容量を最大化する順序付けを実施、
- ・好天候時はVisual Separationを積極活用し、管制間隔の短縮、管制官のワークロード軽減を図っている(後述)。

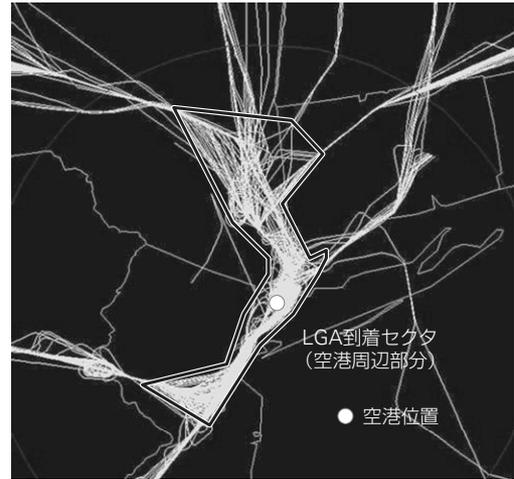
### 3—NY首都圏空域再編プロジェクト

#### 3.1 空域再編の目的と検討の流れ

空域再編プロジェクトは、遅延問題の深刻化と空域設計の複雑性・非効率性を背景に、およそ10年前から開始された。本再編の実行により、航空管制システムの効率性・信頼性の向上、遅延の軽減、次世代管制システム導入の促進などが達成されることが期待されている。

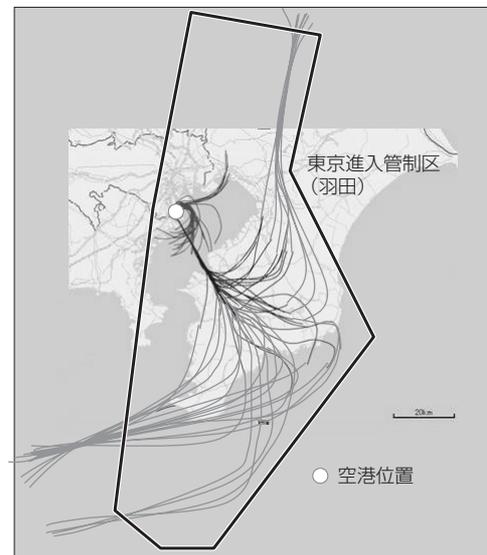
図一七に空域再編における検討の流れを示している。本プロジェクトは米国国家環境政策法 (NEPA: National Environmental Policy Act) のプロセスに則り実施されてきた。図一七に示すあらゆる段階で市民に対して様々な情報提供や意見収集を行う機会が提供され、トータル120回以上におよぶPublic Meeting/Workshop等が開催された。収集された意見等は一般に公開され、空域再編計画の代替案作成にも反映がなされている。

NEPAプロセスにおいては、事業の目的に照らして複数の代替案を設定し、No Action Alternative (何の対策もしない場合)とも比較しながら、それぞれの効果、影響について分析をする必要がある。詳細検討案を絞り込む前に空域再



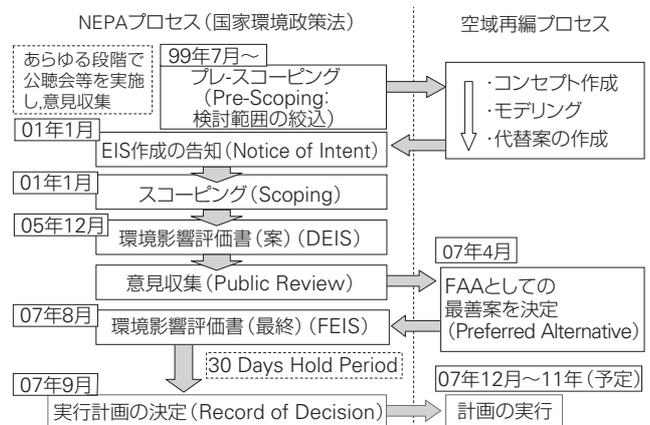
出典：MITRE社提供資料

■図一五 LGA到着機の航跡図と空港周辺におけるベクター可能範囲 (西方はEWR, 東方はJFKの空域)



出典：飛行コース公開システム(航空局)をもとに作成

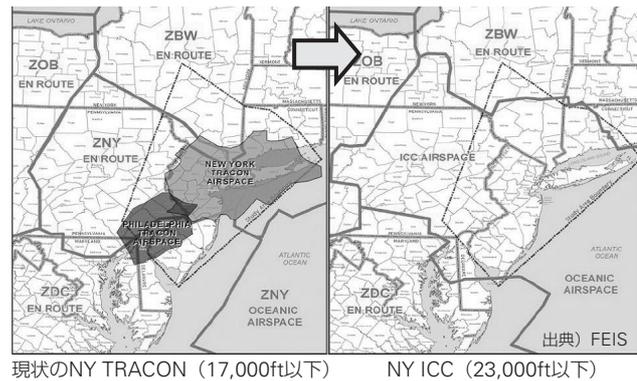
■図一六 羽田の進入管制区と到着機の航跡図(図一五と同縮尺)



■図一七 空域再編プロジェクトにおける検討の流れ

編案以外の代替案(サテライト空港の活用や、スロット規制・混雑税の導入などによる混雑マネジメントプログラム等)が検討され、空域再編案以外は目的が達成できないと判断し、そ

の後空域再編案について①既存の出発到着ルート of 修正, ②海上ルート(騒音回避型), ③既存ルートを前提としない最も効率的な再編, の3つについて詳細検討された。詳細検討においては, No Action Alternativeとも比較しながら, 複数の指標(空域の複雑性, 管制通信量の軽減, 遅延の軽減, 飛行経路設定の柔軟性など)について定量評価した結果, 最終決定案としては, 「Integrated Airspace Alternative with Integrated Control Complex (ICC)」(統合型複合管制機関による空域統合案)となった。



■図—8 ICCによるTRACONエリアの拡大

**3.2 Integrated Airspace Alternative with Integrated Control Complex (ICC) の概要と主なねらい**

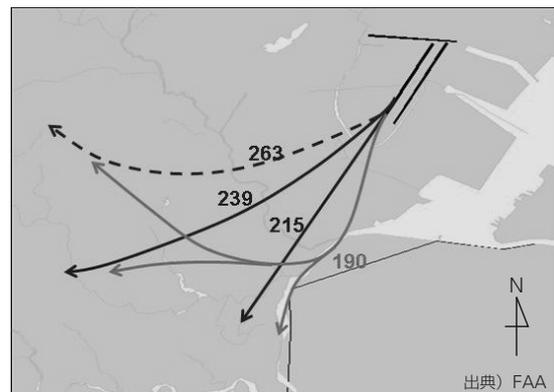
約10年間の検討を経て, FAAとして最善の案として最終決定されたICCによる空域統合案は, 既存の設定空域, 飛行ルートを全く前提とせず, 過去に例のない大規模な空域・航空路の再編による混雑問題の改善策である。この空域統合案の概要と主なねらいを以下に述べる。

①TRACONエリアを拡大し, Centerと統合

図—8に現状のNY TRACONと空域再編後のNY TRACON (NY ICC)のエリアを示している。現状でも非常に広域なエリアであるが, 周辺のCenterおよびPHL TRACONを統合することでさらに拡大させ, 高度も23,000ftまでをNY ICCで管制することになっている。東京から大阪をカバーするような広域をターミナルレーダー管制業務として管制するのである。これにより, ターミナル管制間隔(3NM)を広域で適用でき, より効率的な管制が可能となる(エンルートでは5NM, かつレーダーの更新時間も遅い)。また, 現在よりも空港から離れた地点からTRACONでシークエンシングが可能となり, 無駄な誘導の回避や管制官のワークロードの軽減が可能となる。高高度を長時間維持することも可能となることから燃料効率や騒音影響が大幅改善される。

②出発便処理の効率化

NYの地理的位置関係から西行きの出発機が比較的多いため, 現在は特に西行きの出発経路が不足している。また特にJFKからの西行き出発便はEWR等からの出発経路の合間を縫う構造になっていたり, それらと重複していたりするため管制が複雑で, かつ無駄に低高度を維持させられていたりしている。NY ICCでは現在の出発到着経路を大幅にデザインし直し, 西行きの出発経路を増加させ, またDeparture Fixを鉛直方向にも複層化(Stacked Departure)することで大幅な出発容量拡大を図っている(例えば, 西行きの場合, 東よりにあるJFK出発便の方がEWR出発便より同じ地点では高度が当然高いため, その地点でのDeparture Fixを複層化可能となる)。これらにより, 出発容量を増加させるだけでなく, 離陸後



■図—9 Fanned Departureによる出発容量の増加(EWRの例)

に高高度まで無制限の連続上昇をさせることが可能となり, 燃料効率, 騒音, 管制ワークロードの軽減も図られる。

③Fanned Departure (出発方位の分岐)による離陸容量増加

管制方式基準上, 単一滑走路もしくは近接した平行滑走路からの連続する離陸機間の出発初期間隔は, 出発直後の離陸経路が15度以上分岐している場合, 1NMまで短縮が可能としている(通常は最低レーダー間隔の3NM)。この方式を利用して出発容量を拡大している。図—9はEWRの例であるが, これまでは南方離陸機の離陸経路は190の方向(真南が180)の単一経路であった。それを215・239・263というそれぞれが15度以上分岐する3種類の出発方位を設定した(それぞれの方角は騒音影響を考慮)。Fanned Departureは技術的な問題というよりも, 空域制限や騒音問題が大きく影響する。EWRの例でも, 新たに設定した3方位は市街地上空(Elizabeth市)であり, これまではそこを避けるように飛行させていたのである。当然ながら住民から騒音悪化に反対する意見が提出されたが, 騒音軽減策(夜間やオフピークにおける非住宅地域や河川上空ルートの飛行, RNAVによる高速道路に沿う出発経路の設定による騒音軽減)を講じることで, 本方式による出発を実行に移している。ここで, 先行出発機が大型機(Heavy機)の場合は後続機との間隔に対して後方乱気流間隔が適用されるため, Fanned Departureによる

■表—1 羽田とニューヨークの空港発着データと管制運用の比較

	羽田	ニューヨーク		
		JFK	LGA	EWR
発着回数 (2007) *	約31万回 (滑走路3本)	約44万回 (4本)	約39万回 (2本)	約44万回 (3本)
旅客数 (2007) *	約6,500万人	約4,700万人	約2,500万人	約3,600万人
離着陸容量 (回/時) (NYは参考値**)	63回 (31回着陸・32回離陸：2007年9月時点)	87回 (好天時) ~ 67回 (悪天時)	85回 (好天時) ~ 74回 (悪天時)	92回 (好天時) ~ 66回 (悪天時)
機材構成 (Heavy・Medium率) ***	H：約70%， M：約30%	H：約35%， M：約64%	H：約2%， M：約98%	H：約14%， M：約85%
Visual Approach	基本的に使用しない	好天時は積極活用		
空域制限等	内陸上空ルートの制限 横田空域等による制約	内陸上空ルートも飛行可能 海上に軍用空域あり		
進入管制	羽田単一の進入管制区 ⇒関東空域再編により成田空域と統合、 中間空域の創設 (東京ACC)	TRACONによる複数空港の一括管理 ⇒空域再編によりTRACONエリアの拡大 (Integrated Airspace with ICC)		

\* NYについては、「The Port Authority of NY&NJ Annual Report 2007」を参照

\*\* 「FAA Airport Capacity Benchmark Report (2004)」のOptimum RateとIFR Rateそれぞれの最大値を好天時、悪天時の数値としている

\*\*\* 2008年現在の典型的比率 (FAAヒアリングより)

出発初期間隔の短縮はできない。そのため、Heavy機の多い我が国では適用範囲は限られる(後述)。

以上が、ICCによるNY空域再編の主なねらいである。その他にも、出発・到着ルートや空域・セクタの再設計により、現在の管制運用における複雑性の軽減や効率化を図っている。また、FAAは今回の計画で、騒音影響についても評価しているが、騒音影響の軽減自体は空域再編の目的にはしていない。当然ながら計画の中で騒音軽減策については極力検討しているが、今回対象となっている2,900万人が住む広域エリアの空域再編を行う上では、騒音問題の改善は実際困難であるとしている(空港周辺や人口密度の高い地域では、あるエリアの騒音改善は他のエリアでの騒音悪化を意味するし、異なる騒音レベルに対する暴露人口の分布を広域で比較する場合、何をもって騒音軽減と判断するかも困難である、との意見)。その他詳細については、FEISやRecord of Decisionを参照されたい。

### 3.3 Record of Decision後の訴訟

2007年9月にRecord of Decisionが出され、同年12月から一部の空域再編計画が実行に移されている。しかしながら一方で、前述の通りFAAは120回以上にも及ぶPublic Meetingを開催してきたのにも関わらず、Record of Decision後に数多くの訴訟が起きている。空域再編により、騒音値が上昇する地域からの訴訟が多く、原告団は、FAAの再編プロジェクト調査に関する手続きについて、NEPAプロセス等に従っていない等の理由で訴訟を起している。原告団の例としては、前述のEWR南方のCity of Elizabethや、EWR北方のRockland County、PHL南西のDelaware County、NY北東のEastern Connecticut region などである。FAAの担当者によると、法で定められたNEPAプロセスに適切に準拠して

計画してきたので問題はないと考えているが、今後1年程度は法廷で争うことになり、その判決次第では再編計画に修正が必要であるとのことであった。今後の進展が注目される。

## 4—我が国首都圏空域・空港への示唆

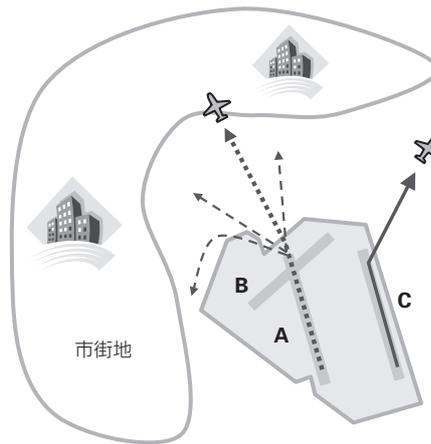
表—1に日米比較として、羽田とNY3空港の空港発着データと管制運用の比較を示している。従来から言われているように、羽田では中大型機による大量輸送が行われ、NYでは、国際線が多く発着するJFKにおいても小型多頻度運航がなされていることが分かる。

米国では空港の離着陸容量を明示的に示していないため単純には比較ができないが(表中にはFAAレポートから参考値として掲載)、ここで強調したいことは好天時と悪天時で離着陸容量が異なることである。これは米国では好天時はVisual Approach(視認進入)を積極的に実施していることが1つの理由である。通常、管制官の判断と指示に従い航空機間の管制間隔を設定するが、米国では好天時などパイロットが先行機を視認可能な場合、Visual Approachによる着陸進入を指示し、管制間隔はパイロットの判断で設定させることが通常である。管制官が管制間隔を設定するにはレーダーを使用していることから、そのレーダーの性能(分解能や測位誤差)の影響を考慮したレーダー管制間隔以上を維持させる(3NMなど)。一方、Visual Approachの場合はパイロットが先行機を視認しながら自分の判断で管制間隔を維持するため、レーダー管制間隔よりも、通常、短い間隔で飛行でき、その結果、滑走路の処理容量も増加する。さらに管制官としても間隔設定作業から開放されるため、管制官のワークロードの低減にも繋がる。また河川等に沿うような柔軟な着陸ルートも設定可能であることから騒音軽減も可能である。しかし

ながら、好天時の容量に合わせて発着容量を設定するということは、悪天時に容量が低下した時には遅延が発生することを意味する。米国では幾つかの例外空港を除き発着回数規制は基本的に行われていないため問題が大きくはない。しかし、どのような気象条件でも安定的に処理可能なスロット数を設定している我が国において、仮にVisual Approach等の実施により好天時の容量が増加し、その容量に合わせて発着回数(スロット数)を決める場合には、悪天時には遅延が生ずることを社会的に許容する必要がある。実際には、好天時悪天時の処理容量と遅延予想時間、悪天発生頻度などの気象データをもとに、スロット数拡大と遅延増加のトレードオフを比較検討しながら、社会・経済的に望ましいスロット数について議論し設定することが必要であろう。Visual Approachの実施による容量拡大に対しては、運航側においてもパイロットの操縦技術や間隔設定意識の向上も必要である。

続いて、前章で紹介したFanned Departureについてであるが、大型機比率の高い羽田空港では後方乱気流間隔が出発初期間隔のネックとなるため、単一の滑走路(または、羽田には存在しないが、近接する平行滑走路)においてはその容量拡大効果は限定される。しかしながら、羽田や成田のオープンパラレルの滑走路の場合や、小型機が比較的多い地方空港ではFanned Departureの効果が十分期待できる。図一10に示す羽田の北風運用を考えた場合は、A・C滑走路から15度以上分岐させた経路を設定することでそれぞれ独立運用が可能となるが、A滑走路からの北側離陸が市街地上空を飛行することになる。この際、分散ルート(つまりA滑走路からの経路を複数設定し、さらにNYでも検討しているような非住宅地域(工業地域、河川、高速道路上空など)に沿った経路設定などを実施することで、騒音軽減が可能となる。また後方乱気流が小さく、低騒音機材でもある中小型機(Medium機以下)をA滑走路から集中的に離陸させることで、出発初期間隔の短縮も可能となり、騒音影響もさらに軽減できる。ここで出発経路を多く設定し過ぎると管制指示が複雑化することも考えられるので注意が必要である。

最後に、進入管制区のエリアについてであるが、NYではTRACONエリアを大幅拡大し効率化を図っていることを紹介した。一方、我が国の首都圏においても2010年には関東空域の再編が計画されている。この再編の中では、羽田・成田の進入管制区を統合するとともに、その統合空域を縮小し、中間空域が新たに創設される。到着用の中間空域は、航空路管制を行う東京管制部が管制し、シーケエンシングを実施する予定である。羽田再拡張後の出発到着経路が現在より複雑化するため、進入管制区に入域する前にシーケエンシングを完了させ、進入管制区内ではなるべくレーダーベクター



■図一10 羽田空港北風時を想定したFanned Departureの例

を実施しないことがこの計画のコンセプトの1つであると思われる(見方によっては、この点はNY TRACONのコリドー状のセクタ設計に近いとも言え、その意味では、レーダーサイト(ASR)を増やし中間空域をターミナルレーダーで実施するとNYの運用に近いと考えられる)。しかしながら、一見するとNYの空域再編と逆の動きをしている。幾つかの懸念としては、中間空域において航空路管制システムで効率的な順序付けや間隔設定が可能かどうか、現在より狭い進入管制区でファイナルへの誘導等における柔軟性に支障はないか、またターミナル管制エリアの状況変化に対してその手前でのシーケエンシングや待機に関するコーディネーションが迅速に効率よく実施可能か、といった点である。羽田の滑走路運用方法や出発到着経路の設定、またATMセンターによるフローコントロールのパフォーマンスにも大きく影響されると考えられるが、将来的にはNYのように進入管制区の拡大の方が望ましい可能性もある。

## 5—おわりに

本報告では、ニューヨーク空域における航空管制の現状と空域再編プロジェクトの紹介及び考察を行い、我が国の空域・空港容量拡大に対する示唆を幾つか示した。NYの計画やシステムがすぐに我が国に適用可能か、また有効かどうかは、様々な制約や文化の相違などが存在するため簡単には判断できないが、我が国にとっても参考となる視点が数多く含まれていると思われる。

### 参考文献

- 1) FAA: New York/New Jersey/Philadelphia Airspace Redesign - Final Environmental Impact Statement (FEIS), 2007.
- 2) FAA: New York/New Jersey/Philadelphia Airspace Redesign - Record of Decision, 2007.
- 3) FAA: Airport Capacity Benchmark Report, 2004.