

首都圏における航空管制と空港容量に関する研究 －NY空域再編に関する追加考察－

Air Traffic Control and Airport Capacity in Metropolitan Area
- Follow-up Study on NY Airspace Redesign -

平田 輝満

Terumitsu HIRATA

運輸政策研究所 研究員
Research Fellow, ITPS

(C) Dr. Terumitsu HIRATA, Institute for Transport Policy Studies, 2008

1

本日の報告内容

1. 研究の背景と目的
2. 前回報告の概要(ニューヨーク空域における航空管制の現状と空域再編)
3. 前回報告に対する質問・意見と我が国首都圏空域への示唆に関する追加考察
4. 本日の報告のまとめと今後の課題

(C) Dr. Terumitsu HIRATA, Institute for Transport Policy Studies, 2008

2

研究の背景と目的

首都圏空港の慢性的な容量不足

- ⇒ ・ 羽田再拡張, 成田B滑走路延伸
- ・ 関東空域の再編



中長期的な空港容量拡大の必要性



航空管制からみた空港・空域容量拡大方策の検討

(C) Dr. Terumitsu HIRATA, Institute for Transport Policy Studies, 2008

3

海外調査:

NY首都圏空域における取り組み(前回の報告内容)

NYにおける遅延問題が深刻化

空域・航空路の設計が非効率



過去に例のない大規模な空域再編の実行(2007~2011)
(予定)

前回の報告:

- ニューヨーク空域における管制運用の現状と空域再編プロジェクトについて紹介
- 我が国の空港・空域容量拡大への示唆

(C) Dr. Terumitsu HIRATA, Institute for Transport Policy Studies, 2008

4

本日の報告内容

- ・ 前回の報告に対する質問, 意見をもとにしたNY空域再編に関する追加考察
- ・ 我が国首都圏の航空管制と空港容量に関するその他一考察

本日の報告内容

1. 研究の背景と目的
2. 前回報告の概要(ニューヨーク空域における航空管制の現状と空域再編)
3. 前回報告に対する質問・意見と我が国首都圏空域への示唆に関する追加考察
4. 本日の報告のまとめと今後の課題

米国の管制機関の概要

Command Center

NY Center

(航空路管制(エンルート))

NY TRACON

(進入管制・ターミナルレーダー)



Washington Center

Potomac TRACON



飛行場管制:

Airport Traffic Control Tower (**Tower** or ATCT)

進入管制・ターミナルレーダー:

Terminal Radar Approach Control (**TRACON**) ...160 TRACONs

航空路管制(エンルート):

Air Route Traffic Control Center(**Center**)...20 Centers

ATMセンター:

Air Traffic Control System Command Center(**Command Center**)

(C) Dr. Terumitsu HIRATA, Institute for Transport Policy Studies, 2008

7

航空路管制 Air Route Traffic Control Center(Center)

全米を20のCenterに分割し, 航空路管制を実施



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

(C) Dr. Terumitsu HIRATA, Institute for Transport Policy Studies, 2008

8

NY首都圏エリアの空域構成とNY TRACON



NY TRACON
(世界最大の混雑空域の一つ)

NY TRACONの管制エリア
150 × 125NM, 17,000ft以下

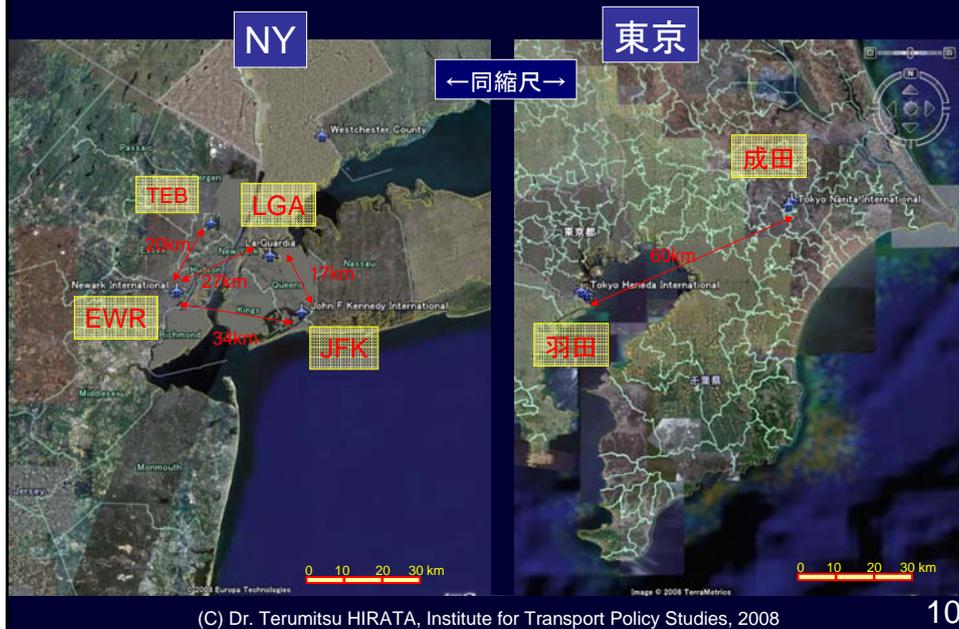
米国では複数空港に発着する航空機をTRACONで一元的に管制
⇒ 空域の有効利用, 柔軟な運用

日本でも, 関西空域で実施. 2010年からは羽田・成田の空域も統合し一元管制化

(C) Dr. Terumitsu HIRATA, Institute for Transport Policy Studies, 2008

9

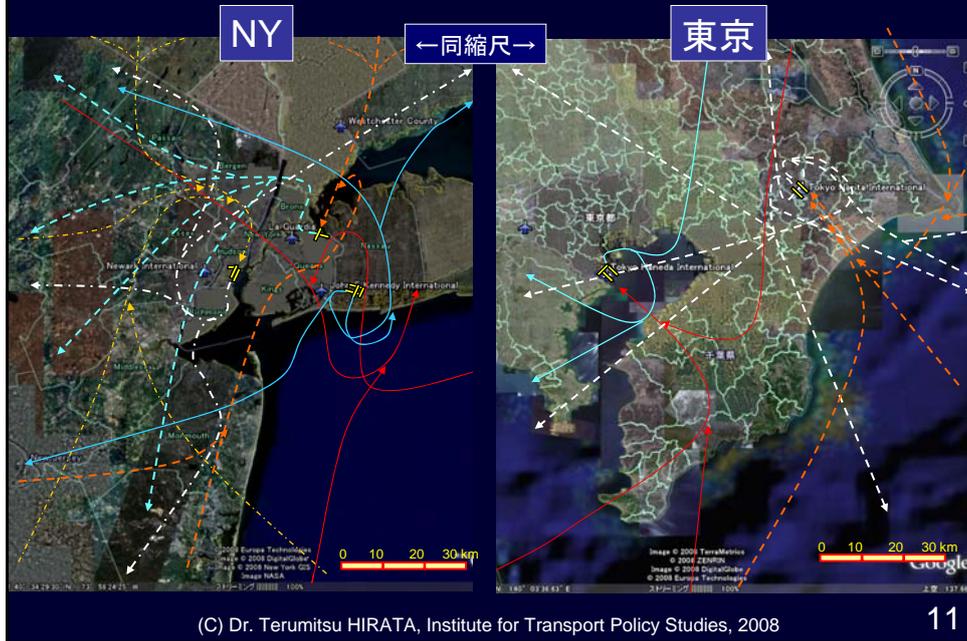
東京首都圏とNY首都圏の比較



(C) Dr. Terumitsu HIRATA, Institute for Transport Policy Studies, 2008

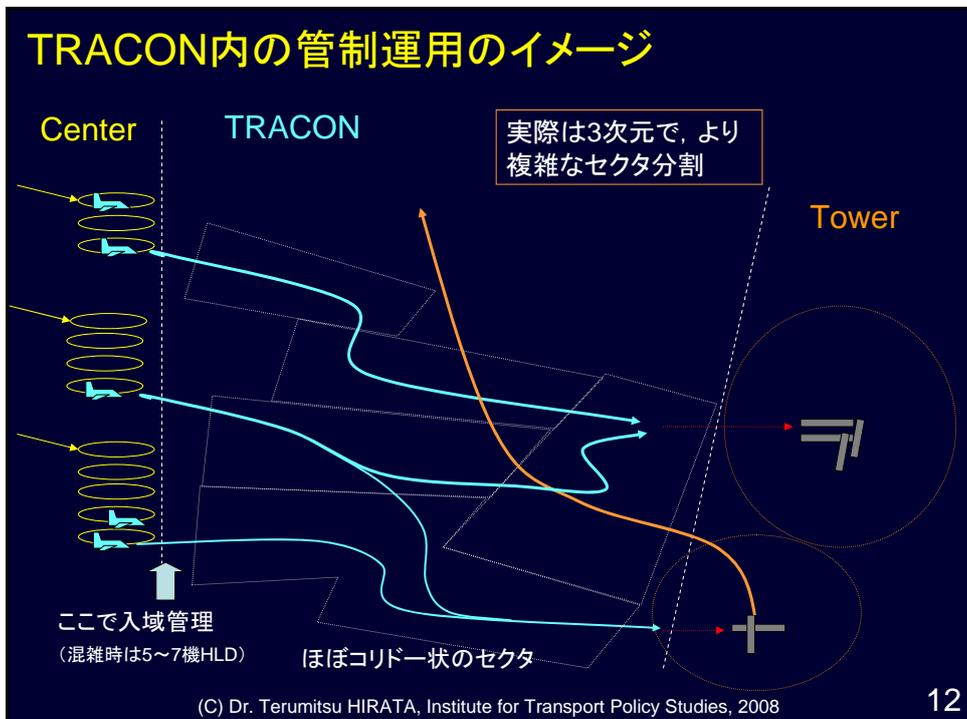
10

出発到着経路の例(複雑に絡み合う経路)



11

TRACON内の管制運用のイメージ



12

ニューヨーク首都圏空域の実際の航跡図(例)
ZNY 08/15/2007 Traffic

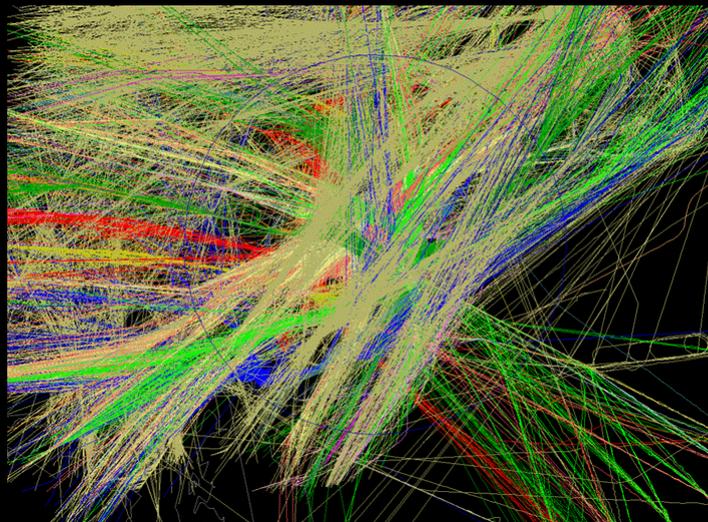


出典) MITRE社 提供資料

(C) Dr. Terumitsu HIRATA, Institute for Transport Policy Studies, 2008

13

LGA Arr EWR Arr JFK Arr LGA Dep EWR Dep JFK Dep PHL Arr PHL Dep
TEB Arr TEB Dep HPN Arr HPN Dep ISP Arr ISP Dep MMU Arr MMU Dep Others



(C) Dr. Terumitsu HIRATA, Institute for Transport Policy Studies, 2008

14

NY/NJ/PHL首都圏空域再編プロジェクト

(NY/NJ/PHL Metropolitan Area Airspace Redesign)

背景

- ・遅延問題の深刻化
- ・空域設計の複雑性・非効率性

目的

NY/NJ/PHLエリア全域の空域・航空路の再編



- ・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の導入を促進

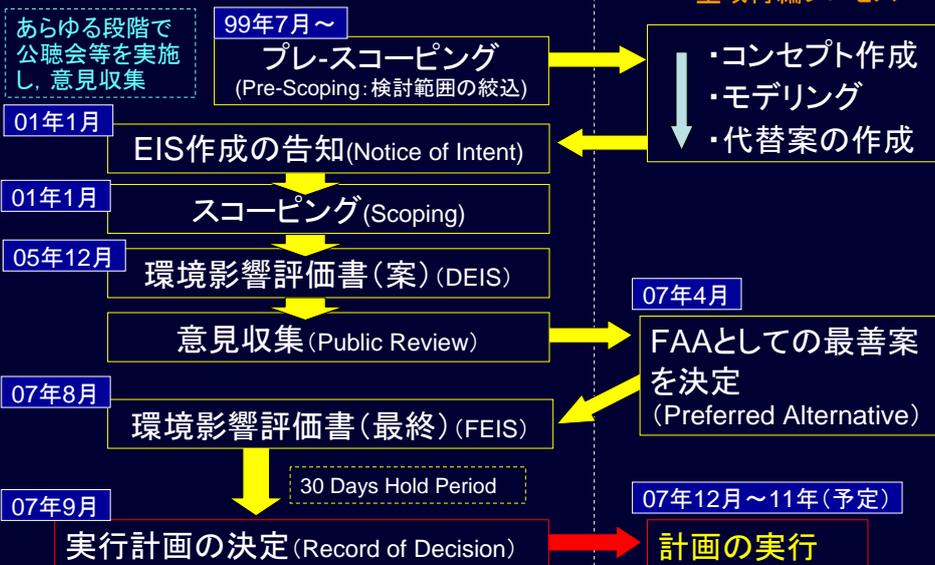
(C) Dr. Terumitsu HIRATA, Institute for Transport Policy Studies, 2008

15

空域再編プロジェクトにおける検討の流れ

NEPAプロセス(国家環境政策法)

空域再編プロセス



(C) Dr. Terumitsu HIRATA, Institute for Transport Policy Studies, 2008

16

最終決定案(ICC)と、空域再編の主なねらい

最終決定案: **Integrated Airspace Alternative with Integrated Control Complex (ICC)**: 統合型複合管制機関による空域統合

① TRACONエリアを拡大し、Centerと統合

→ Integrated Airspace with Integrated Control Complex(ICC)

② 出発方式の工夫(Fanned Departure)による離陸容量の拡大

③ 出発・到着経路の再設計

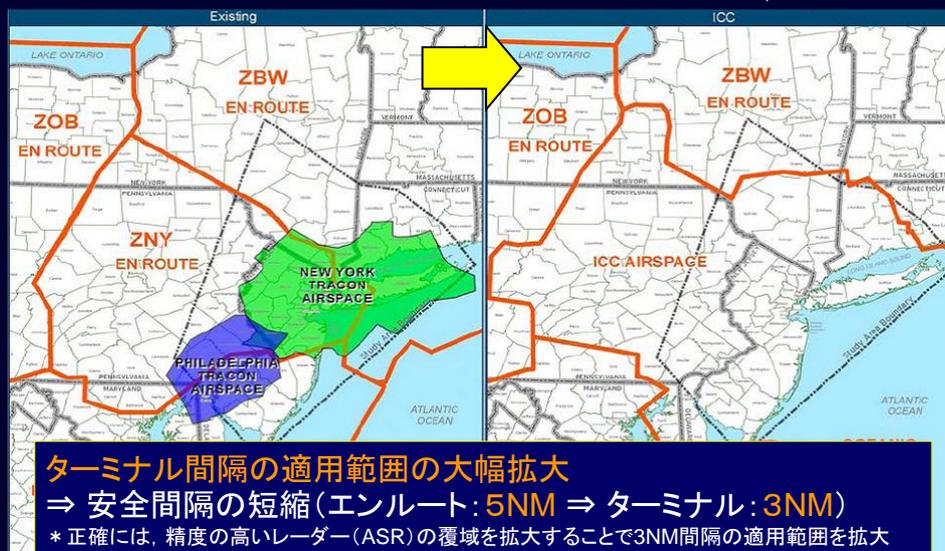
(C) Dr. Terumitsu HIRATA, Institute for Transport Policy Studies, 2008

17

① ICCによるTRACONエリアの拡大

現状のNY TRACON(17,000ft以下)

NY ICC(23,000ft以下)



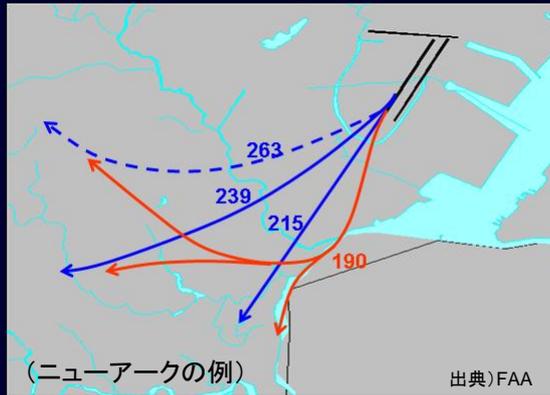
(C) Dr. Terumitsu HIRATA, Institute for Transport Policy Studies, 2008

18

② Fanned Departure (出発方位の分岐)による離陸容量の増加

出発方位が15度以上分岐する場合, 出発初期間隔が短縮可能:
3NM→1NM

・離陸直後の飛行方位を分散
⇒ 出発初期間隔の短縮
⇒ 離陸容量の増加



(C) Dr. Terumitsu HIRATA, Institute for Transport Policy Studies, 2008

19

NY空域における管制の現状と空域再編 ～まとめ, その他

- 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
- TRACON内のTraffic Management Unitが到着交通量を調整
→ 入域直前(Center内)のホールディングを活用
- 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行っている
- 空域再編によって, TRACONエリアの拡大による効率化, Fanned Departureによる離陸容量拡大などを計画, 実施している

(C) Dr. Terumitsu HIRATA, Institute for Transport Policy Studies, 2008

20

本日の報告内容

1. 研究の背景と目的
2. 前回報告の概要(ニューヨーク空域における航空管制の現状と空域再編)
3. 前回報告に対する質問・意見と我が国首都圏空域への示唆に関する追加考察
4. 本日の報告のまとめと今後の課題

3. 前回報告に対する質問・意見と我が国首都圏空域への示唆に関する追加考察

- ① Visual Approachの活用と発着スロット設定
- ② Fanned Departureの適用可能性と騒音問題
- ③ TRACON(進入管制区)の拡大の関東空域への示唆
- ④ 羽田国際化の航空管制への影響に関する一考察

日米の空港容量と管制運用の比較

* (参考) FAA Airport Capacity Benchmark Report 2004

	羽田	ニューヨーク		
		JFK	LGA	EWR
年間発着回数実績	約 31万回 (滑走路 3本)	約 40万回, (4本)	約 46万回 (2本)	約 50万回 (3本)
離着陸・容量 (回/時)	63回 (31回着陸・32回離陸)	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率)	約 70% ⇒後方乱気流の影響大	約 45%	約 10%	約 20%
飛行方式	Visual Approachは基本的に使用しない	好天時はVisual Approachを積極適用		
空域制限等	内陸上空ルートの制限 横田・百里空域による制約	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(管制部)	TRACONI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)		

(C) Dr. Terumitsu HIRATA, Institute for Transport Policy Studies, 2008

23

Visual Approach (視認進入) のメリット

- ・ レーダー管制間隔よりも、通常、**短い間隔で飛行でき、滑走路の処理容量も増加** (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が必要)
- ・ 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も低減**
- ・ 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**



(C) Dr. Terumitsu HIRATA, Institute for Transport Policy Studies, 2008

24

発着容量(スロット数)設定と遅れ時間

- Visual Approachの活用についての意見

* 好天時の容量をもとにスロット設定をするには悪天時に生じる遅れを許容しなくてはならない

Visual Approachを前提に発着容量(スロット数)を決める場合には、悪天時には遅れが生ずることを社会的に許容する必要がある。

気象条件の影響も含め、「発着容量」を考えるとときに「遅れ」を同時に議論すべき

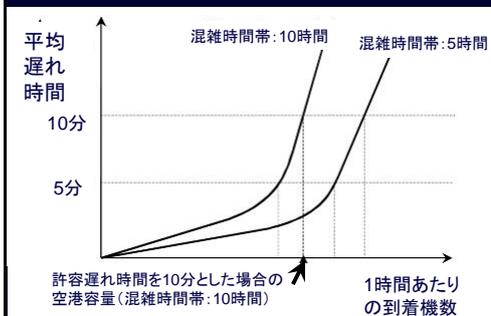
(C) Dr. Terumitsu HIRATA, Institute for Transport Policy Studies, 2008

25

発着容量と遅れ時間(欧米ケース)

欧米では通常、発着容量を決定する場合、想定される遅れ時間について考慮している

発着容量(輸送力) ↔ 遅れ時間



許容遅れ時間の例

Heathrow	Gatwick	Frankfurt
12min	10min	4min
Los	Munich	CDG (Paris)
6min	12min	6min

出典) Airport capacity/ demand profiles 2004

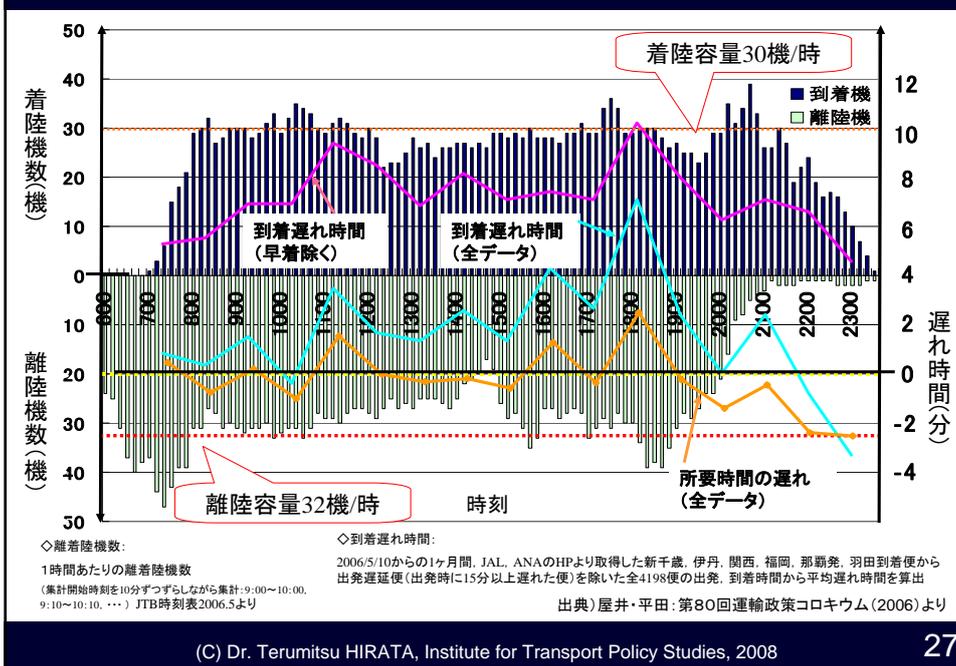
出典) B. S. Tether and J. S. Metcalfe (2001)

出典) 屋井・平田: 第80回運輸政策コロキウム(2006)より

(C) Dr. Terumitsu HIRATA, Institute for Transport Policy Studies, 2008

26

羽田空港離着陸機数と到着機の遅れ時間



発着容量(スロット数)設定と遅れ時間 ～検討すべき今後の課題

遅れ時間を考慮した発着容量設定方法の検討

- ・ 遅れの実態と発生メカニズム- 発着回数との関係など
- ・ ダイヤの設定(偏りなど) → 管制官ワークロードへも影響
- ・ 遅れに対するバッファ(ファイアーブレイク枠)の設定方法の検討
- ・ 気象条件と管制運用方式を考慮した容量の検討
- ・ 容量増と遅れ時間増のバランス

3. 前回報告に対する質問・意見と 我が国首都圏空域への示唆に関する追加考察

- ① Visual Approachの活用と発着スロット設定
- ② Fanned Departureの適用可能性と騒音問題
- ③ TRACON(進入管制区)の拡大の関東空域への示唆
- ④ 羽田国際化の航空管制への影響に関する一考察

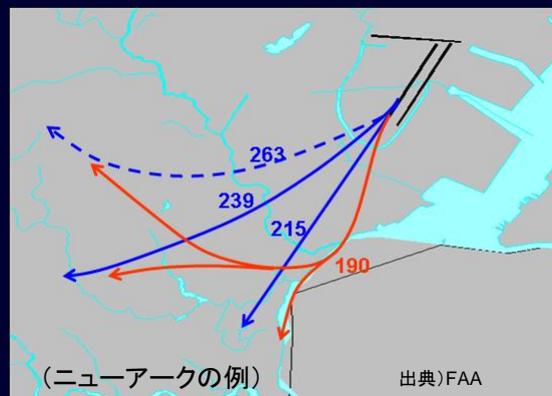
(C) Dr. Terumitsu HIRATA, Institute for Transport Policy Studies, 2008

29

② Fanned Departure(出発方位の分岐)による離陸容量の増加

出発方位が15度以上分岐する場合, 出発初期間隔が短縮可能:
3NM→1NM

・離陸直後の飛行方位を分散
⇒ 出発初期間隔の短縮
⇒ 離陸容量の増加



(C) Dr. Terumitsu HIRATA, Institute for Transport Policy Studies, 2008

30

Fanned Departureの我が国への適用性

- Fanned Departureの活用に対する意見, 質問
 - * 後方乱気流の影響は?
 - * 騒音問題の解決が困難である



羽田などは大型機比率が高い

⇒ 単一滑走路やクローズドパラレル滑走路において連続離陸する場合は、後方乱気流間隔(2分)が出発初期間隔のネックとなるため、その容量拡大効果は限定

⇒ 空域制限や市街地上空の飛行制限により分岐経路を引くことは困難

(C) Dr. Terumitsu HIRATA, Institute for Transport Policy Studies, 2008

31

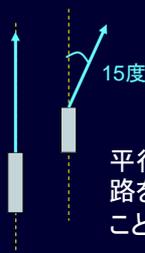
Fanned Departureの我が国への適用性

後方乱気流の観点からの考察

- オープンパラレル滑走路
- 小型機が比較的多い地方空港

⇒ 後方乱気流の影響はなく(or 少なく), Fanned Departureの効果が十分期待できる.

成田における
技術検討の例



平行滑走路からの離陸経路を15度以上分岐させることで、同時離陸が可能



交通新聞08/4/25

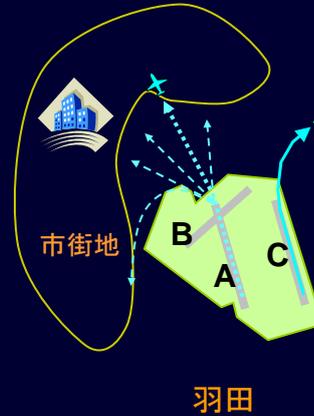
(C) Dr. Terumitsu HIRATA, Institute for Transport Policy Studies, 2008

32

Fanned Departureの我が国への適用性

騒音影響の観点からの考察

- ① 分散ルート分散
- ② 騒音軽減ルート
⇒ RNAVの活用による非住宅地域(工業地域, 河川, 高速道路上空など)に沿う経路設定(NYでも実施)
- ③ 条件付の限定運用(遅延解消用)
⇒ 遅延がある一定時間を越えたときのみ運用を許可(NY, London, Amsterdamなどでも実施)
- ④ 機材別滑走路運用
⇒ 中小型機(後方乱気流が小 & 低騒音)を内陸側滑走路(A滑走路)から集中的に離陸
⇒ 出発初期間隔の短縮も可能, 騒音影響もさらに軽減
(小型機限定のFanned Departure: AMSで実施)



(C) Dr. Terumitsu HIRATA, Institute for Transport Policy Studies, 2008

33

3. 前回報告に対する質問・意見と我が国首都圏空域への示唆に関する追加考察

- ① Visual Approachの活用と発着スロット設定
- ② Fanned Departureの適用可能性と騒音問題
- ③ TRACON(進入管制区)の拡大と関東空域への示唆
- ④ 羽田国際化の航空管制への影響に関する一考察

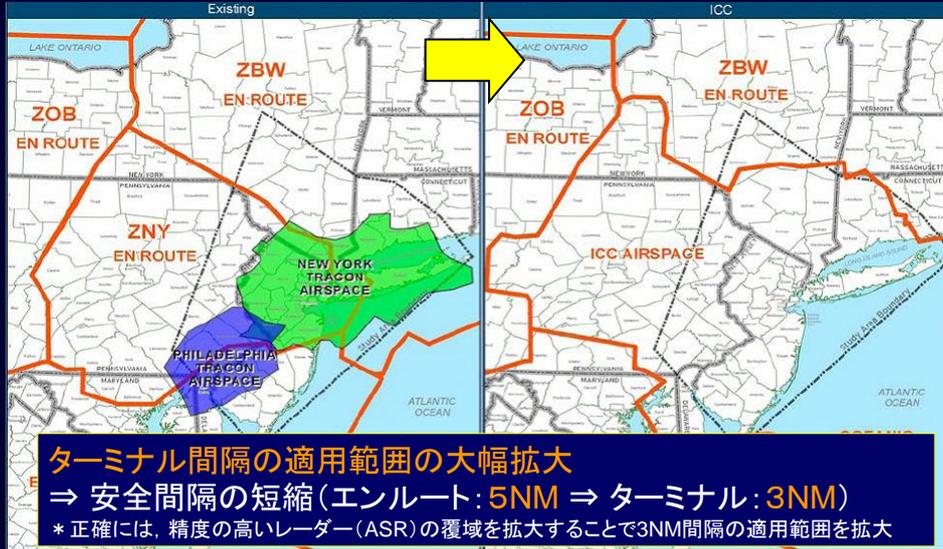
(C) Dr. Terumitsu HIRATA, Institute for Transport Policy Studies, 2008

34

TRACONの拡大と管制運用の効率化

現状のNY TRACON (17,000ft以下)

NY ICC (23,000ft以下)



(C) Dr. Terumitsu HIRATA, Institute for Transport Policy Studies, 2008

35

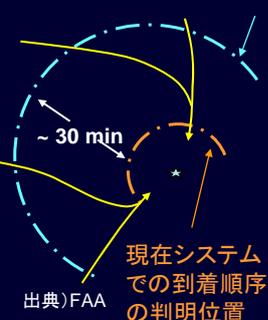
TRACONの拡大と管制運用の効率化

- TRACON拡大の効果に対する意見・質問

- * TRACON(進入管制区)の拡大による短縮間隔の適用範囲の拡大によってなぜ効率化や容量拡大が可能なのか？
- * 最終的には滑走路容量が問題となるのでは？

- * レーダーの精度(3NM), 情報更新レート(4秒)が高い
⇒ 縦・横方向の間隔を短縮でき, レーダー誘導も行きやすい
- * 早めに到着順序付けができる
⇒ 上記も含め, 間隔設定の精度向上・管制官のワークロードの低減
- * 最終的な滑走路容量も当然重要
⇒ 上記の効率化により戦略的シーケンシングや到着のバラツキ軽減などにより滑走路容量増加の可能性もあり

空域拡大後の到着順序の判明位置



出典)FAA

現在システムでの到着順序の判明位置

(C) Dr. Terumitsu HIRATA, Institute for Transport Policy Studies, 2008

36

TRACONの拡大と管制運用の効率化

- TRACON拡大の効果に対する意見・質問
 レーダーサイトからの距離によって短縮間隔の適用範囲が決定するはずだが、どうやって広域で短縮間隔を達成しているのか？

管制方式基準：
 レーダーサイトから40NM以内 ⇒ 3NM, 40NM以遠 ⇒ 5NM



* 複数のレーダーにより覆域を拡大すればよく、NYもそのようにしている(NYは5つの空港監視レーダーを使用)

* 次世代管制システムの可能性
 ⇒ 従来型の地上レーダー施設に頼らない次世代管制システム(ADS-B*)の活用

* Automatic Dependent Surveillance - Broadcast: 放送型自動従属監視

(C) Dr. Terumitsu HIRATA, Institute for Transport Policy Studies, 2008

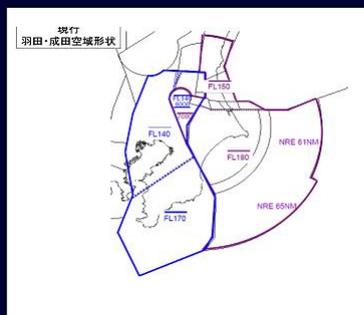
37

TRACON拡大の関東空域への示唆

関東空域の再編(2010～)

- ・ 羽田と成田の進入管制区を統合
- ・ 統合空域を縮小し、中間空域を創設
 (中間空域は、航空路管制を行う東京管制部が管理)

進入管制区に入域する前に到着順序付けを完了させ、進入管制区内ではなるべくレーダー誘導を実施しないことが1つのコンセプト



出典) 航空局「関東空域再編について」CNS/ATMシンポジウム2008

(C) Dr. Terumitsu HIRATA, Institute for Transport Policy Studies, 2008

38

TRACON拡大の関東空域への示唆

航空路管制機関による中間空域の管制～幾つかの懸念

- ① 中間空域において、現状の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
- ② 現在より狭い進入管制区で、最終進入での精度の高い間隔設定が可能かどうか
- ③ ターミナル管制エリアの状況変化やインシデント(自然災害, 事故など)発生時への対応(緊急的な誘導や空中待機など)や異なる機関間のコーディネーションが迅速に実施可能か

(C) Dr. Terumitsu HIRATA, Institute for Transport Policy Studies, 2008

39

TRACON拡大の関東空域への示唆

中間空域は、NY TRACONのコリドー状のセクタ設計に近いとも言える



中間空域を実施する航空路管制システムの高度化やTRACON(進入管制区)による実施により、さらに効率化が可能か

(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を受ける)



出典) 航空局「関東空域再編について」
CNS/ATMシンポジウム2008

(C) Dr. Terumitsu HIRATA, Institute for Transport Policy Studies, 2008

40

3. 前回報告に対する質問・意見と 我が国首都圏空域への示唆に関する追加考察

- ① Visual Approachの活用と発着スロット設定
- ② Fanned Departureの適用可能性と騒音問題
- ③ TRACON(進入管制区)の拡大の関東空域への示唆
- ④ 羽田国際化の航空管制への影響に関する一考察

④ 羽田国際化の航空管制への影響に関する一考察

羽田国際化の航空管制への影響

- 1) 到着遅延(or 早着)の拡大(就航路線の距離次第)
- 2) 国際便はATMセンターによるフローコントロール(出発時刻制御)が困難



到着便数の偏りによる混雑の発生頻度や混雑の度合いが増加する可能性あり



現状以上の混雑への対処方法の検討が必要か

NYの例：到着便混雑への対処方法



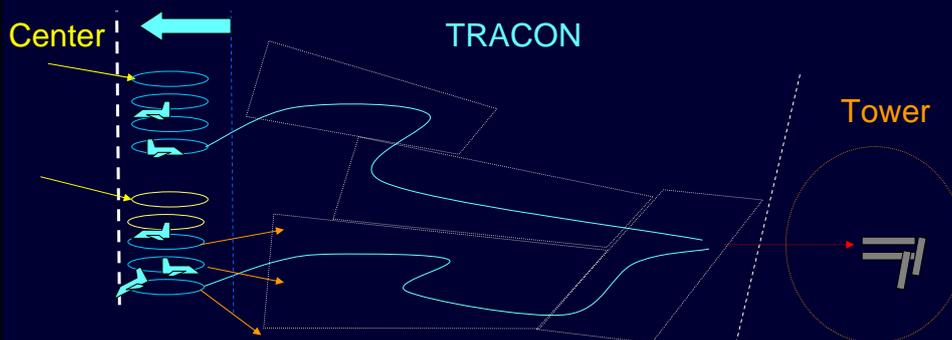
米国空港では、絶対的な交通量の多さや国際便が多数入っていることもあり、全米を管理するCommand Center(日本ではATMセンター)による制御だけでは到着便数の適正化は困難
⇒ 階層的なフローコントロール

TRACON内がレーダー誘導で処理できないほど混雑した場合
⇒ TMU(Terminal Management Unit)の判断で、入域前でホールディング(空中待機)させるようCenterに指示

(C) Dr. Terumitsu HIRATA, Institute for Transport Policy Studies, 2008

43

ホールディングのTRACON内移設による効率化



⇒ 一度ホールディングさせると離脱指示のタイミングの問題で間隔設定にロスがしやすい(Centerが管理していると特に)

ホールディングの管理をTRACONで実施できると・・・

⇒ ホールディングの開始や離脱の指示をより効率化(15度分岐離脱による同時離脱&降下も可能)

(C) Dr. Terumitsu HIRATA, Institute for Transport Policy Studies, 2008

44

3. 前回報告に対する質問・意見と 我が国首都圏空域への示唆に関する追加考察

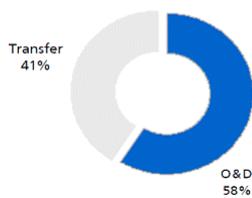
- ① Visual Approachの活用と発着スロット設定
- ② Fanned Departureの適用可能性と騒音問題
- ③ TRACON(進入管制区)の拡大の関東空域への示唆
- ④ 羽田国際化の航空管制への影響に関する一考察
- ⑤ (参考) 離着陸回数のバランスと発着スロット設定

(C) Dr. Terumitsu HIRATA, Institute for Transport Policy Studies, 2008

45

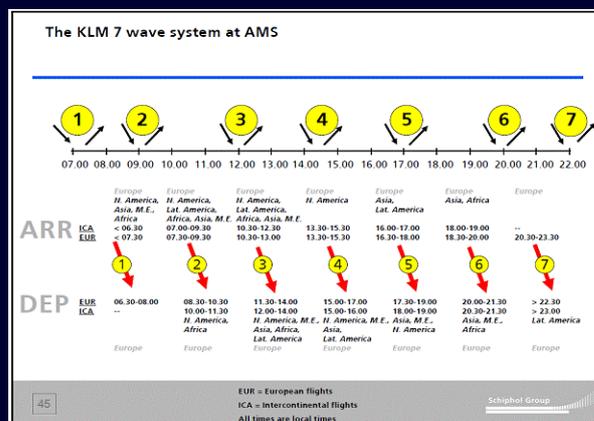
(参考)アムステルダム スキポール空港(AMS)の旅客特性

Transfer vs. Origin & Destination



出典) Schiphol空港会社
提供資料

乗継旅客が比較的多い
⇒ KLMのダイヤ設定: 7 Wave System



(C) Dr. Terumitsu HIRATA, Institute for Transport Policy Studies, 2008

46

AMSの旅客・運航特性に応じた滑走路運用とスロット配分

KLMの7 Wave System

⇒ 周期的に、離陸と着陸のピークが交互に存在



「2+1 Runway System」の採用

滑走路運用

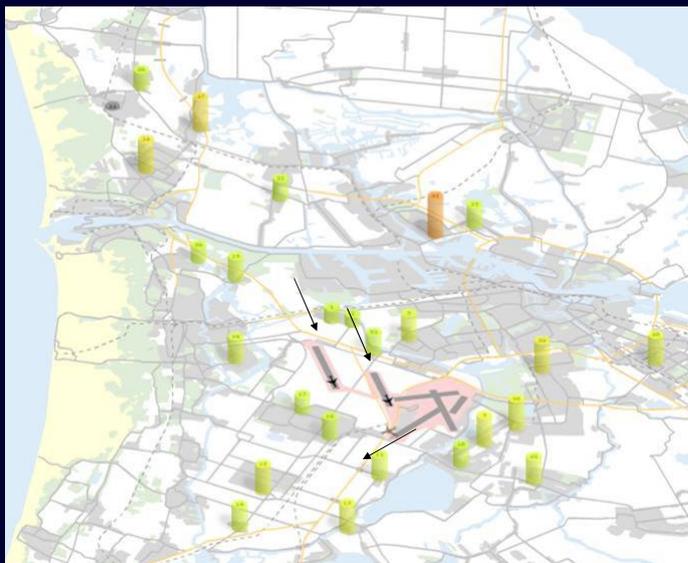
① 2本:離陸, 1本:着陸

② 1本:着陸, 2本:離陸

(C) Dr. Terumitsu HIRATA, Institute for Transport Policy Studies, 2008

47

2+1 Runway System



(C) Dr. Terumitsu HIRATA, Institute for Transport Policy Studies, 2008

48

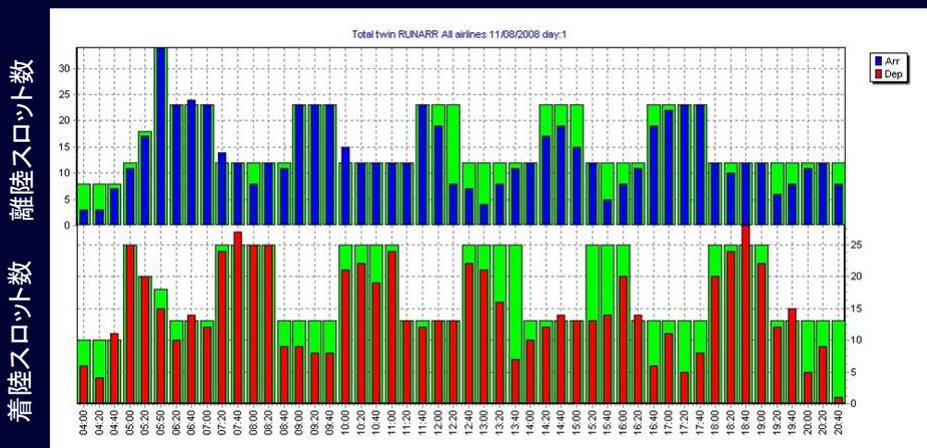
2+1 Runway System



(C) Dr. Terumitsu HIRATA, Institute for Transport Policy Studies, 2008

49

スロット配分も滑走路運用を考慮



Reference: http://www.slotcoordination.nl/info_graphs.asp

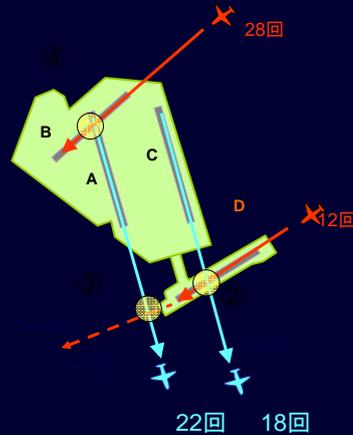
(C) Dr. Terumitsu HIRATA, Institute for Transport Policy Studies, 2008

50

羽田再拡張後の滑走路運用の複雑性

南風時の離着陸機の交錯
⇒ 離着陸数同数の原則だと
Capacity Loss
⇒ 国際化の進展などにより乗
継客が増えるとAMS方式も部
分的に効果があるか???

(D着陸を抑えて離陸は増やせるが、
着陸を増やす方式が別途必要)



(C) Dr. Terumitsu HIRATA, Institute for Transport Policy Studies, 2008

51

3. 追加考察 ~まとめ

- ① Visual Approachの活用と発着スロット設定
⇒ 遅れ時間を考慮した発着容量の考え方
- ② Fanned Departureの適用可能性と騒音問題
⇒ 後方乱気流間隔, 騒音軽減策からみた適用性
- ③ TRACON(進入管制区)の拡大の関東空域への示唆
⇒ TRACON拡大と関東・中間空域の高度化
- ④ 羽田国際化の航空管制への影響に関する一考察
⇒ 国際化による到着便混雑の変化と空中待機機の
処理の効率化

(C) Dr. Terumitsu HIRATA, Institute for Transport Policy Studies, 2008

52

本日の報告内容

1. 研究の背景と目的
2. 前回報告の概要（ニューヨーク空域における航空管制の現状と空域再編）
3. 前回報告に対する質問・意見と我が国首都圏空域への示唆に関する追加考察
4. 本日の報告のまとめと今後の課題

本日の報告のまとめ

➤ 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及び、我が国の空域・空港容量拡大に対する示唆

⇒ 上記に関する前回報告に対する意見・質問を参考に追加考察を行った

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、NYの計画やシステムは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

今後の課題

- 日米欧の航空管制運用の比較分析
- 次世代管制システムの適用方法の検討
- 首都圏空港の容量拡大方策の検討
- 空港発着容量の算定, 設定方法の検討

etc

ご清聴, 有難う御座いました.

『首都圏における航空管制と空港容量に関する研究
—NY空域再編に関する追加考察—』

(財)運輸政策研究機構 運輸政策研究所 平田 輝満
[hirata @jterc. or. jp](mailto:hirata@jterc.or.jp)