

航空機運航データを用いた混雑空域における 管制指示に関する分析

鶴岡 興治¹・平田 輝満²・屋井 鉄雄³

¹非会員 成田国際空港株式会社 (元東京工業大学大学院修士課程)

(〒282-8601 千葉県成田市成田国際空港内)

E-mail:k-tsuruoka@naa.jp

²正会員 茨城大学准教授 都市システム工学科 (〒316-5811 茨城県日立市中成沢町 4-12-1)

³正会員 東京工業大学教授 大学院総合理工学研究科 (〒226-8502 横浜市緑区長津田町4259)

上空を飛行する航空機は航空管制官が飛行を監視し、航空機の針路、速度、高度を音声によりパイロットに指示(管制指示)し、調整している。しかし今後、航空機が増えると管制官の監視・指示作業が増え、処理能力を超える可能性がある。

一方で、今まで航空管制に関するデータはその機密性の高さなどから大学等の一般研究機関へ提供されることは少なかった。しかし2014年7月、CARAT Open Dataとして国土交通省航空局より大規模航空軌跡データの提供を、一部研究機関を対象に開始した。またADS-Bと呼ばれる新技術により航空機の運航データを自ら観測することも可能になりつつある。

そこで本研究では今後の活用が見込まれるCARATS Open DataおよびADS-Bを基にした運航データの特性を明らかにした上で、混雑空域を対象に航空管制官の最も基本的作業である管制指示に関する分析を行った。

Key Words : congested airspace, air traffic control instruction, air traffic data, CARATS Open Data

1. 研究の背景と目的

首都圏の航空需要は年々増加しており、羽田空港は2010年にD滑走路が整備され、年間発着容量は44.1万回に、また成田空港では管制方式の高度化等から30万回にそれぞれ拡大された¹⁾。しかし拡大した発着容量でも、アジア諸国の発展や訪日外国人の増加等により今後も首都圏の航空需要は増加し、2020年台には再び発着容量が逼迫する可能性がある。その中で羽田空港における5本目の滑走路の建設や成田空港における3本目の滑走路の建設などが検討されている²⁾。

また空港の発着回数増加に伴い、上空を飛行する航空機の航空交通量も増加している。上空を飛行する航空機に対しては航空管制官(以下、管制官)が飛行を監視し、航空機同士が最低飛行間隔より近づくことが予測された場合、針路、速度、高度を音声によりパイロットに指示し、安全な飛行間隔が保たれるように調整を行う。以上の管制官による航空機の監視は、日本の上空を47に分割し(セクタ)、各セクタを概ね2人の管制官が担当している³⁾。セクタ内の航空機が増えると管制官の監視・指示

作業が増え、管制官が一度に取り扱いができる機数には限界があると考えられる。今まで、空港の発着回数は滑走路の増設等により拡大することができたが、今後さらなる発着容量の拡大を考えた場合、空港の滑走路に起因する容量(滑走路容量)より、空域の管制官の処理能力がボトルネックとなる可能性があり、今後、管制官の処理能力に着目した運用を検討することが重要であると考えられる。

一方で、今まで航空管制に関するデータはその機密性の高さなどにより大学等の一般研究機関公開されることが少なかった。しかし2014年7月にCARAT Open Dataとして国土交通省航空局がもつ航空機の軌跡データを一般研究機関向けに公開した。またADS-B(Automatic Dependent Surveillance-Broadcast)といわれる機器を搭載した航空機に対しては専用のアンテナ・受信機を用いることで航空機の運航データを誰でも取得することが可能である。

以上を踏まえ、本研究では現在入手できる航空管制に関するデータを用いて混雑空域の実態を、管制官の最も基本的な作業である管制指示(針路、高度、速度の指示)から考察する。

2. 既往研究 と本研究の位置づけ

(1) シミュレータを用いた既往研究

管制官の作業(主に管制指示)に関する研究はシミュレータを用いたものが数多く行われている。

高田ら⁴⁾はターミナルレーダー管制業務を模擬可能なシミュレータを開発し、開発したシミュレータを用いて管制指示の内容や管制指示時の航空機の位置情報を同時に分析した。その結果、管制官により高度間隔に伴う指示や針路指示内容などにばらつきがあることを示した。

青山ら⁵⁾は実時間シミュレーションを用いて航空路管制業務を対象に、管制官のチームワークに着目し分析を行った。その結果対空席だけで管制業務を行っていると思いがちであるが、シミュレーション結果より調整席の管制官が対空席の管制官に対し効果的なサポートをすることで対空席の負荷・負担を減らしていることが確認された。

蔭山ら⁶⁾は管制官参加型の実時間シミュレーションを用いて航空管制官の通信量について考察している。その中で管制官個人により同じニュアンスでも発出する語句が異なることを示した。また管制官が発出する指示を統一することにより管制官とパイロット間での通信量が減ることを示唆した。

以上のより管制官が行う作業に関する研究はシミュレータを用いたものが多く行われているが、管制指示(高度、速度、針路)に関してその実態を対象にした研究は少ない。また実時間シミュレータを用いた研究の課題としてシミュレーションに時間がかかりコストが高いことがあげられる。

(2) 空域容量に関する既往研究

続いて空域容量に関する研究に関しては、加治屋ら⁷⁾は将来の航空機と地上施設の間の通信システムを検討する上に必要な基本的データを求めるために、実測により、進入管制におけるパイロットと管制官の間の音声交信の調査、分析を行なった。また、将来の管制通信のあり方について予備的な検討も行なった。

住谷ら⁸⁾は日本における空域容量の算出方法について言及している。そこでは空港周辺のターミナル空域と、航空路でのエンルート空域において分けた算出方法を用いているとある。ターミナル空域では30分を単位として着陸機数と、レーダ誘導により余分に空域に存在できる時間で算出される。またエンルート空域では30分を単位として空域内に存在する機数に対し「出発」、「到着」、「通過」、「域内」の4分類し重み付けした値を用いている。その結果セクタによって管制官のワークロードは大きく異なることを示した。また上記のような手法は計算コストがかかることから、交通量のみでの管制官のワ

ークロード評価を計測しようと試みた。その結果航空機の近接度合いを用いた管制官負荷量を提案した。

岡ら⁹⁾はシミュレーションを用いて時間調整が行われている場合からそうでない場合の3パターンに分けて時間管理運用の有効性を検討した。その結果空域への過度な滞留は管制官の負荷を増やし、出域間隔が長くなる可能性を示した(このことは空域の混雑がボトルネックになる可能性を示すものだと考えられる)。

平田¹⁰⁾はニューヨーク首都圏空域における航空管制の現状と空域再編プロジェクトを紹介、考察し、日本における適用可能性を示唆した。ニューヨーク首都圏では空域の再編により空域の処理能力を上げることを可能にした。また日本の首都圏においても都心上空の飛行ルートを活用することで空域容量が増加すること示唆した。

Majumdar¹¹⁾は欧州で用いられている管制官Workload指標について空港から近い空域を対象にシミュレータを用いて考察した。その結果管制官のワークロードは日により異なることを示した。

以上から空域容量は管制官のワークロードで算出方法していることが明らかになったが、その具体的な算出方法はブラックボックスになっており不明であるが、管制官の最も基本的な作業である管制指示を分析することで空域容量を分析することができると考えられる。しかしそのためには管制指示音声データを解析する必要があり膨大な労力が必要とされている。そのため多くの論文ではシミュレーションを用いたものとなっている。さらに国外で空域容量(Airspace capacity)の算出方法は管制官のワークロードで評価することは同じであるが算出方法は異なっており、国際的に統一されたものはない。

(3) 本研究の位置づけ

以上から本研究では今まで膨大な労力を要していた管制官のワークロードについて、近年公開されたCARATS Open Dataを用いて航空軌跡から管制指示を抽出し計測することを目的とする。運航軌跡から管制官のワークロードの計測は行われておらず、これが実現すれば、今後、空域容量が容易に算出できるようになる。

またCARATS Open Dataは公開されたばかりのデータであり、その性質や精度などが検証できていない。つまりCARATS Open Dataの精度検証についても本研究のポイントであり、今後のデータ利用の拡大を見据えた場合、データの精度を明らかにすることは重要であると考えられる。またADS-B等、自ら入手したデータを用いた研究は少なく、そのようなデータが航空管制の研究に対して活用可能性を検討することも本研究のポイントである。上記のような公開されているデータを用いて航空管制分野の研究にアプローチすることは今後の航空管制に関する研究の発展に寄与するものだと考えられる。

3. 本研究で対象とする空域と航空管制の概要

本研究では日本で最も発着回数が多い羽田空港周辺空域でも到着する航空機が集中するT09, T14セクタを研究対象とする。図1に本研究で対象となる空域を示す。T09, T14セクタは西方面から羽田空港に向かうすべての航空機が通過する空域である。

T09セクタは浜松付近から伊豆半島までを飛行するすべての航空機と、それに加え伊豆半島から房総半島沖の高度27000フィート(約8200m)以上を飛行する航空機を担当している。T14セクタ高度27000フィート以下で、伊豆半島付近から房総付近までを飛行する航空機を担当する。T14セクタが27000フィート以下の航空機を担当する理由は、T14セクタは羽田空港に到着する航空機を主に取り扱うためである(つまり高高度を飛行する通過機はすべてT09セクタが担当する)。

T09セクタに入域した羽田空港到着機は管制官から高度、針路、速度を指示され、整流作業が開始する。T09で整流できなかった航空機はT14セクタの管制官が引き続き整流作業を行う。そして最終的には航空機は7NM(約13km)間隔に整列させられ、羽田空港進入管制区に移管される(移管ポイントはADDUM, 10000フィートで指定されている)。



図1 羽田空港到着機の飛行経路(AIP¹²⁾より筆者作成)

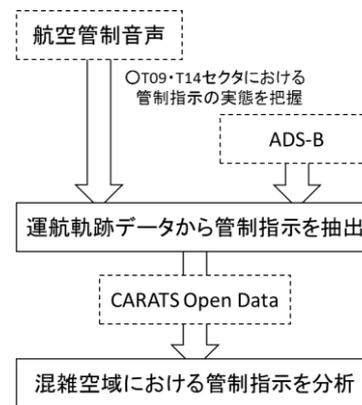


図2 分析フロー

4. 使用データについてと研究のながれ

本研究では国土交通省航空局が2014年7月から公開したCARATS Open Data, 筆者が自ら受信したADS-Bをもとにした運航軌跡データ, またADS-Bと同時に受信した航空管制音声データを用いる。表4-1にデータの概要を示す。

本研究における分析のフローを図2に示す。まず観測した航空管制音声のデータから管制指示をデータベース化しT09・T14空域における管制指示を分析する。また同時に取得したADS-Bの運航軌跡データと管制指示の関係性及び特性を分析し、飛行軌跡(緯度、経度、高度)から管制指示を抽出するアルゴリズムを作成する。そして作成したアルゴリズムをCARATS Open Dataに適用し混雑空域での管制指示の全容を明らかにする。

(1) CARATS Open Dataの概要

CARATS Open Dataはそれまで専門的な研究機関しか利

表1 使用データの概要

	CARATS Open Data	ADS-B	航空管制音声
データの概要	航空機の運航軌跡	航空機の運航軌跡と飛行状態	パイロットと管制官の音声
データソース	航空路管制で用いられているレーダ	GPS	航空管制無線
データの期間	2012年度 各奇数月 第1月曜日～日曜日	2014/12/3 16:45～20:20	
記録間隔	概ね10秒	受信感度による	
記録対象	計器飛行方式による 全定期便	ADS-Bを搭載した航空機	IFRにより対象空域に入域した全航空機
記録されているデータ	時刻、緯度、経度、高度、機種、便名(仮想)	時刻、緯度、経度、高度、機種、便名、速度、針路	対象空域を飛行する航空機と管制官との音声

表2 CARATS Open Dataの表示例

時刻	便名	緯度	経度	高度	機種
0:00:00	FLT0002	27.44285	126.7386	31000	B744
0:00:00	FLT0003	35.40709	139.8609	3024	B738
0:00:04	FLT0004	36.42122	137.5901	36000	B744
...
...

用できなかった航空機の運航軌跡データを、航空管制分野の研究の裾野を広げる目的で2014年7月に一般の研究機関向けに公開された。研究機関に所属する者は、航空局にそのデータの利用申請をすることで、誰でも航空機の運航軌跡データを利用することができる。

公開されたデータの対象はIFR(Instrument Flight Rules:計

器飛行方式)で飛行する全定期航空便である。この対象にならない航空機には米軍や自衛隊の軍用機や、個人所有の航空機等がある。位置情報のデータソースは航空路管制用に用いられているレーダである。公開されたデータ期間は表1に示す通り2012年度の奇数月の第一月曜日から第一日曜日までの1週間、計6週間、42日分である。データは航空機の緯度、経度、高度、機種、便名(実際の便名ではなくナンバリングのためにつけられた仮名の便名)が概ね10秒間隔(記録されている時刻のミリ秒未満は切り捨て)で記録されており、表2に示すような形でCSV形式で保存されている。

(2) CARATS Open Dataの精度に関する問題

CARATS Open Dataの位置情報は日本各地に設置された航空管制用のレーダをもとにしており、その精度に関しては問題が指摘されている¹³⁾。そこで分析を始める前にCARATS Open Dataの精度に関する検証を行った。その結果以下の問題が明らかになった。

a) 高度が0になる

図3は高度が0と記録された航空機の位置を示したものである。東日本では空港周辺付近で高度が0となっているのに対し、西日本では海上で高度が0となっている場所が多く確認できる。また北海道の内浦湾周辺でも高度0は見られる。

b) 空港付近で軌跡が連続しない

図4は羽田空港に到着する航空機の軌跡を示したものである。A・C滑走路に着陸する際に航空機の軌跡が不連続になっていることが確認できる。またこの現象は羽田空港に限らず福岡空港など多くの空港で確認した。

c) 軌跡の緯度経度がばらつく

図5は航空機の緯度経度から針路を算出し、その前後の軌跡から針路の変化量を算出し変化量が ± 2 (度/10秒)以上となったところに赤ないし緑の色を付けたものである。右ないし左旋回飛行を行っているとき色がつかないが、赤枠で示すところは局所的に針路が変化している。また、緑枠で示す北陸では直線飛行していると考えられている航空機に対しデータ上で針路が左右に細かく変化している。

上記のa), b), c)を提供元の(独)電子航法研究所に問い合わせたところ、a)については詳しい原因は不明であるがレーダの精度によるものが考えられるとのことであった。またb)については高度が低い地点で局所的にこのよ

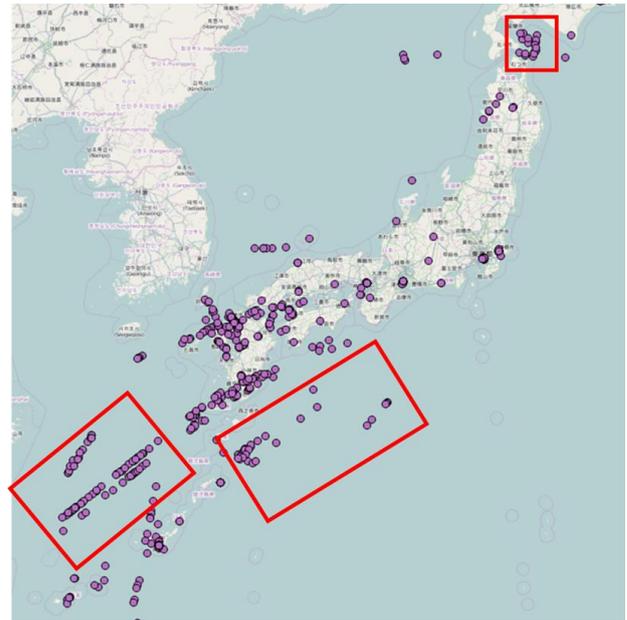


図3 高度0の位置

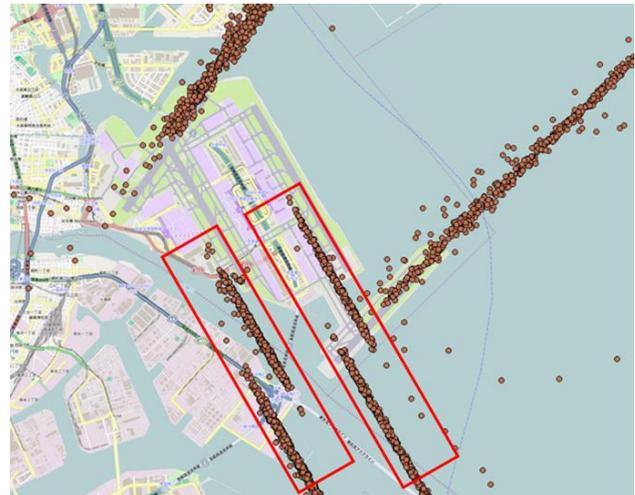


図4 羽田空港着陸機の飛行

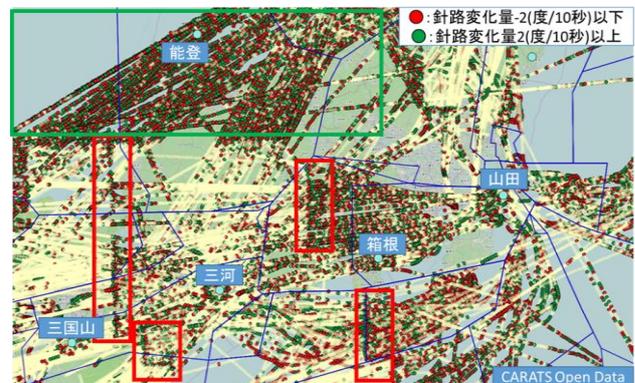


図5 航空機の針路変化量

うな現象が起きるとのことであった。最後にc)に示す現

象であるが緑枠で示した面的に広がっているものはレーダの精度の可能性はあるが具体的には原因は不明、赤枠の局所的に緯度経度がずれるところは複数のレーダ境界付近で切り替えを行っていることが原因であるとの回答を得ることが出来た。

(3) ADS-B及び航空管制音声データの概要

a) ADS-Bの概要

ADS-BとはGPSを用いて自らの位置情報を観測し、またその他の監視情報(識別, 速度, 経路等)と合わせて監視者に一括送信する装置である。

従来型の航空機の監視では地上にあるレーダ局から周辺の航空機に対し質問波を発信し、発信された質問波を航空機が受信、そのレスポンスとして応答波を地上のレーダ局に発信し、レーダ局で応答波を受信することで方位、距離を計測し位置を算出している。これに対しADS-Bを用いた監視では、航空機に搭載されたADS-Bが位置情報を、GPSを用いて絶えず計測している。その計測された位置情報を地上に絶えず送信している。ADS-Bを用いることで高精度かつ信頼性の高い監視情報が得られ、一方向間の電波のやりとりで済むので電波の利用コストが安く済み、地上のアンテナ局の設置コストも安く済む。また航空機が周辺に自らの位置情報を送信するため周辺の航空機間でお互いの飛行情報を認識しながら飛行することが可能である。現在新造される多くの航空機ではこの機器が搭載されているが、すべての航空機にこの機器が搭載されているわけではない。

b) ADS-Bおよび航空管制音声の受信

ADS-Bは1090Mhz帯の電波を用いて、一方的に発信される電波であるため、その電波帯を受信できるアンテナと受信機があれば、誰でもADS-B電波を受信できる。

本研究ではイギリスKinetic社が開発、製造している専用の受信機(SBS-3)を用いてADS-B電波を受信した。またSBS-3には広帯域受信機能が搭載されており航空無線用のアンテナを接続すれば航空管制音声聞くことができる。ADS-B及び航空管制無線用のアンテナをSBS-3に接続し航空機の観測を行った結果、ADS-Bは概ね300km半径をカバーし、航空管制音声についてもT09, T14の両セクタの音声とともに受信できた。また当日の羽田空港の発着状況と照らしあわせた結果、ADS-Bを搭載している航空機の割合は66%程であった。

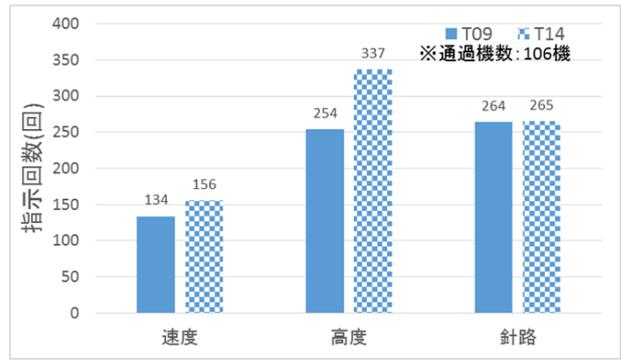


図6 セクタごとの管制指示回数

表3 T09, T14セクタにおける定型的な管制指示

	T09	T14
速度	・Transit Speedと言われる速度の変換が指示される	・ターミナル管制移管時にNormal speed(速度調整の終了を意味する指示
高度	・降下指示が発出される	・ターミナル管制移管時に高度10000フィートを指示する
針路		・最終的にポイントADDUMへの直行指示

表4 1機あたり管制指示回数の5%タイル値

	T09	T14
速度	0	1
高度	1	2
針路	0	1

5. 混雑空域での管制指示分析

(1) 航空管制音声を用いた管制指示に関する分析

航空管制音声进行分析することによりT09, T14セクタにおける管制指示の実態を把握する。

セクタごとの速度、針路、高度の管制指示回数を図6に示す。最も多い管制指示はT14セクタにおける高度指示となった。しかし航空管制の音声を個別に分析すると空域を通過する航空機に定型的に発出される指示が存在している(例えば高度指示の場合、必ず10000feetにするよう指定している)。このように定型的に発せられていた管制指示を表3に示す。このような指示は混雑に関係なく必ず発出されていることから速度・高度・針路の回数を単純に比較する事は有効ではないと考えられる。そこで1機ごとの各管制指示回数を算出し、その5%タイル値を求めた。求めた値を表4に示す。T09セクタでは高度指示が1回、T14セクタでは速度指示と針路指示が1回、高度指示が2回、以上の指示がほぼ必ず発出されており概ね表2の回数と一致していることが確認できる。以上よ

り表3の混雑に関係なく定型的に発出されると考えられる指示を引いた値を有効管制指示回数とし算出した。

各セクタの有効管制指示回数を図7に、1機あたりの有効管制指示回数を箱ひげ図で図8に示す。また図9にT09セクタにおける5分間の有効管制指示回数と空域内の滞在機数を示す。図7よりT09セクタにおける有効管制指示回数が多く主にT09セクタの方が管制官の負荷が高いことが伺える。また図8よりT09セクタにおける針路と高度のばらつきが多い。ばらつきの多さは混雑の影響度が高い管制指示だと考えられ、管制官は混雑時、高度と針路指示により航空機を処理していることが示唆される。逆に速度指示は指示回数も少なく、ばらつきも小さいことから混雑に関係なく定型的に発出されている管制指示である。最後に図9より時間帯により管制指示回数は大きく変動している。また滞在機数が多いからといって必ずしも管制指示回数が多くない。

続いてT09セクタで最もばらつきが多い高度指示について、軌跡データから指示の抽出という観点で考察する。針路指示発出時の高度をADS-Bから求め、前回の高度指示と比べたところ、約9割の高度指示において前回の指示高度に達する前に、次の高度指示が発出されており、高度指示は連続的に発出されていることが確認された(図10)。このように連続的に発出される高度指示を運航軌跡から把握することは難しいと考えられる。

(2) 針路指示の抽出アルゴリズム

(1) 分析結果を踏まえ、管制指示の回数が最も多く検出が容易な針路指示に着目し、飛行軌跡から針路指示の抽出を試みた。抽出方法は針路の変化があった場合、針路指示が発出されたとした。針路の変化を検出するアルゴリズムを図11に示す。CARATS Open Dataでは針路がばらつく(3.2)ため、ある2点間(区間:A)の針路変化量が一定区間(区間:B)継続して閾値(C)を超えた場合、針路が検出されたとするアルゴリズムを採用した。アルゴリズムのパラメータA,B,Cを様々な組み合わせで航空管制音声と、同時に受信したADS-Bに適用し針路指示の抽出率を検証した。また同様のアルゴリズムを深夜時間帯のCARATS Open Dataに適用し誤検出について検証した。その結果A=30秒, B=40秒, C=3.0度としたとき、ADS-Bを用いた抽出率88.9%, CARATS Open Dataの誤検出も概ね観測されない結果となった。以上から上記のパラメータを用いたアルゴリズムをCARATS Open Dataに適用し針路

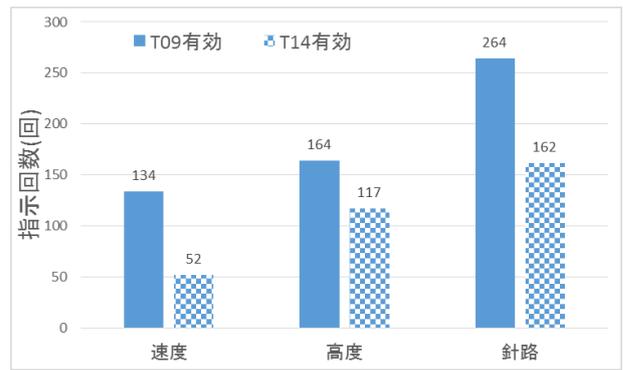


図7 各セクタの有効管制指示回数

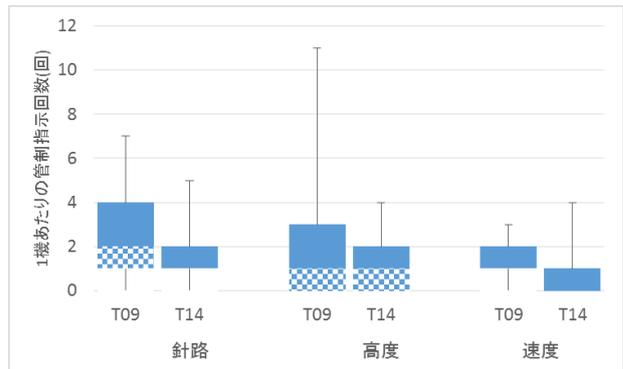


図8 各セクタにおける1機あたりの管制指示回数

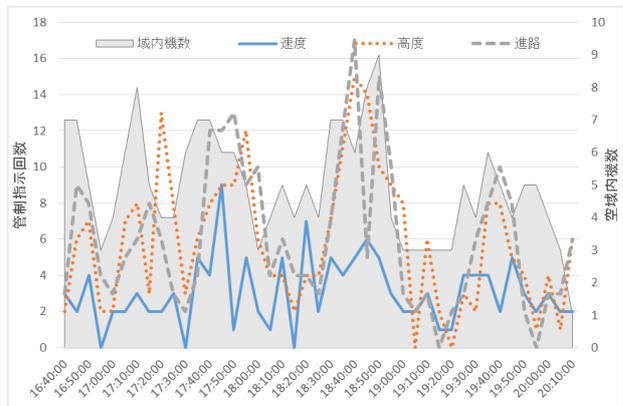


図9 T09セクタにおける5分おきの管制指示と滞在機数

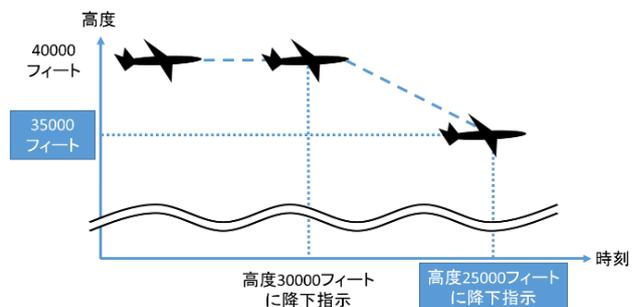


図10 高度の連続指示のイメージ

指示を抽出した。

(3) CARATS Open Dataを用いた針路指示に関する分析

CARATS Open Dataを用いた分析の一例として滑走路容量の違いによる空域の混雑状況を紹介します。航空機は向かい風に向かって離着陸を行い、羽田空港では北風時と南風時で滑走路の運用が異なる。滑走路の運用が異なることから、北風時は南風時に比べ滑走路容量は高いことがわかっており⁹⁾、滑走路容量が空域の混雑に影響しているかを分析する。1日を通して同じ運用であった日(南風：7月10日～15日、北風1月8日～13日)を抽出し比較考察を行った。各日の1機あたりの管制指示回数を図12に示す。

図12より北風時に比べ南風時における管制指示回数が多くなっていることがわかる。また各風向き時のすべての航空機を対象とし検定を行ったところt値：9.4(1%有意)となり有意差が確認できる。以上から分析対象としたT09、T14セクタでは滑走路容量が空域の管制指示に影響していることが示唆された。

6. おわりに

本研究では日本の空域の中でも最混雑空域の一つであるT09・T14セクタに着目し、航空管制音声からその実態を把握した。またCARATS Open Dataの精度を検証したのち、針路指示を抽出し滑走路容量とT09セクタの針路指示を比較考察した。本研究から得られた知見として以下のものがあげられる。

- ・到着機が集中する空域では、管制官は主に針路指示と高度指示により航空機を整流させており、速度指示による調整はあまり行われていない。

- ・対象としたT09・T14セクタではT09セクタの有効管制指示回数が多く管制官の作業負荷が高い。

- ・滑走路容量が小さい南風時では北風時と比べおける管制指示回数が多く、滑走路容量が未だボトルネックになっている可能性がある。

今後の課題としては、本研究にて管制指示回数を管制官の処理能力とした妥当性の検討、また針路指示以外の管制指示の抽出、空域の形状や広さと管制官の処理能力との比較検討などが考えられる。

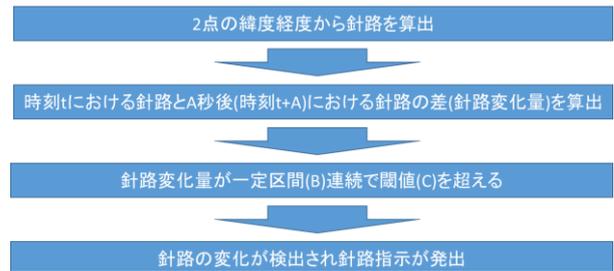


図11 針路の変化検出アルゴリズム

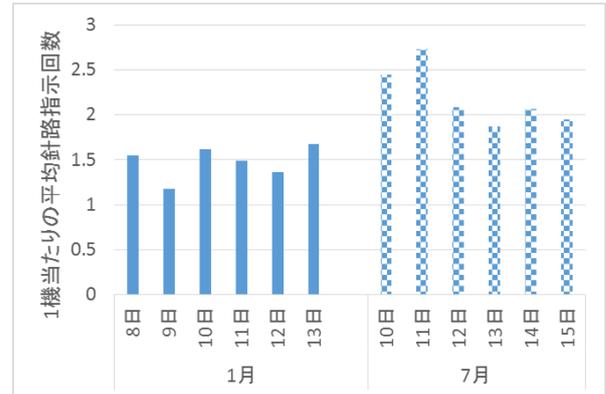


図12 滑走路運用の違いによる管制指示回数(T09セクタ)

参考文献

- 1) Japan Schedule Coordination (JSC), Japan Aeronautic Association(JAA)
- 2) 国土交通省：首都圏空港の機能強化策について 中間とりまとめ, 2014
- 3) 国土交通省航空局：航空交通量の増大に対応した管制空域のあり方,2013
- 4) 屋井鉄雄, 平田輝満, 高田潤一郎：ターミナルレーダー管制シミュレータの開発と管制指示方法に関する基礎的分析 土木学会論文集 D Vol.65 No.2,pp.88-100,2009.4
- 5) 青山久枝, 井上諭, 古田一雄, 飯田雄祐康：航空路管制における管制指示の分析, 電子航法研究所発表会, 2006.6
- 6) 蔭山康太, 山本哲士, 岡恵, 青山久枝：実時間シミュレーションにおける航空管制通信量の一解, 電子航法研究所研究発表会, 2006.6
- 7) 加治屋隆, 伊藤紘二：航空交通管制におけるパイロットと管制官の間の無線通信について, 東京大学宇宙航空研究所報告 13(1_A), pp.83-106, 1977.2
- 8) 住谷美登里, 福島幸子, 福田豊：航空交通流管理における交通量の指標値に関する 1 提案, 電子航法研究所報告, 2009.3
- 9) 岡恵, 福田豊, 蔭山康太, 宮津義廣：時間管理運用における入域時間の調整幅について, 電子航法研究所研究発表会, 2012

- 10) 平田：ニューヨーク首都圏空域における航空管制の現状と空域再編－我が国首都圏空域における航空管制運用の効率化への示唆－，運輸政策研究，Vol.13 No.2 2010 Summer pp.33-41
- 11) Arnab Majumdar, Washington Y. Ochieng：The factors affecting airspace capacity in Europe: A Framework Methodology based on Cross Sectional Time-Series Analysis using Simulated Controller Workload Data，6th ATM Seminar, 2005
- 12) AIS JAPAN Japan Aeronautical Information Service Center
- 13) 岡恵, 福田豊, 上島一彦：航空交通の運用データの一般公開と活用，第 52 回飛行機シンポジウム，2014

USING AIR TRAFFIC DATA TO ANALYZE OF AIR TRAFFIC CONTROL INSTRUCTIONS IN CONGESTED AIRSPACE

Koji TSURUOKA, Terumitsu HIRATA and Tetsuo YAI