

5. 航空路管制における管制指示の分析

航空交通管理領域 ※青山 久枝

東京大学大学院 井上 諭, 古田 一雄

労働科学研究所 飯田 裕康

1. はじめに

航空交通量は航空交通の需要とともに増加する一方であり、安全を確保しながら航空管制の処理容量も増加させる必要がある。

航空機においては安全を確保するために航法や機器開発による自動化が進んでいるが、航空機の操縦における最終決断を行うのはパイロットである。そのパイロットも民間航空機では複数乗務し、お互いに機器操作等の確認をしている。

航空管制においても、管制業務の自動化についての開発を行ってはいるものの、航空管制官（以下、管制官）つまり人間の処理能力を超えられるものはできていないのが現状である。したがって、処理能力や安全確保は管制官の能力・技量に依存するしかない。航空路管制においては、パイロットと同じように複数の管制官によるチームでの運用をしている。

本稿では、航空管制業務のうち航空路管制業務について業務内容を分析する。そして業務のやり方については、管制官の個人プレーではなくチームプレーで行われている必然性と問題点を捉えることを目的とした。管制官とのディスカッションおよび実時間シミュレーション実験を行った結果より、管制官のタスクフローの一部を記述した。さらにその記述モデルにそって実験結果の管制指示およびそのときの状況を踏まえて、管制官の状況認識過程を分析し、指示間違い等の発生原因を考察してみた。ただし、ここで分析を行った実験はこのようなヒューマンエラーを起こさせることを目的としたものではない。

2. 実時間シミュレーション実施要領

2.1 航空路管制業務の概要

航空路管制業務の対象空域は、空港周辺および制限空域を除く空域である。管制官はその空域内を計器飛行方式で飛行する航空機に対して

定められた管制間隔を取るための指示等を出す。対象空域をセクターと呼ばれる最小単位に区切り、国内空域では主にレーダを使用した管制業務（レーダ管制）を行っている。各セクターは2～3名の管制官で構成させるチームで運用している。

そのチーム構成はレーダ対空席（以下、対空席）とレーダ調整席（以下、調整席）の2名、あるいは地区席を含めた3名の管制官による。

対空席は主にレーダ画面での航空機の追尾と対空通信を行っている。調整席は主に有線通信による他機関への出発機の管制承認発出や到着機の情報提供、他セクター・他機関との調整業務・情報収集、対空席に対して情報提供やアドバイスのサポートを行っている。地区席は、調整席の業務の一部を行っているが、全セクターに配置されている席ではない。

ただし、対空席と調整席の業務分担については明確でない部分があることは事実である。

2.2 実施要領

実時間シミュレーションは電子航法研究所のATCシミュレータを使用し、対象セクターとして東京航空交通管制部・関東北セクター（図1）を模擬した。各試行は対空席と調整席による2名で構成し、当該セクターの資格を有する管制官を被験者とした。

シナリオの試行時間は1回につき約1時間とし、75機を飛行させた。

また、管制間隔は管制方式基準の他に、各管制機関相互に定められた間隔を用い、移管地点はそのまま使用した。

2.3 関東北セクターの特徴

シミュレーション実験を行った関東北セクターの特徴は次のとおりである。まず主な対象機は羽田空港～北海道・東北方面の出発機と到着機、成田空港～ヨーロッパ・ロシア方面の出発

機と到着機である。その他、百里・横田・厚木・入間・下総・宇都宮などの自衛隊・米軍の空港への出発・到着機、管制官のいない空港（ノンレーダ管制）である福島空港の出発・到着機を扱う。セクター境界線外側近くに山形・庄内・仙台・新潟空港があるため、これらの空港の出発・到着機に関しても高度に関する指示が必要となる。

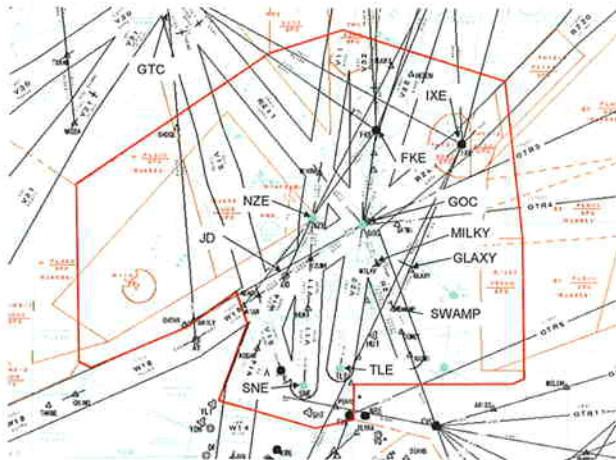


図1. 関東北セクター

出発・到着機が多いため、高度に関する指示は多く出される。さらに管轄空域内に空港が多いことからいろいろな経路を飛行している。シミュレーション実験では現場での交通流に近づけるように20種類以上の経路を飛行させている。また、それぞれの経路が交差する地点も多く、複雑な交通流を扱うセクターと言える。

3. 対空席の管制官のタスクフローモデル

3.1 モデルの根拠

図2は、管制官とのディスカッションを基に記述した、典型的な対空席のタスクフローである。

対空席の管制官は自分のセクター内を飛行する航空機に対して、限られた時間内で適切な指示を出している。受け持つ航空機が多いほど、個別航空機に対し多くの指示が必要となる。したがって指示に要する通信時間が多くなり、思考時間が減らされることになる。指示に要する時間は各管制官個人の話すスピードに依るが、そのほとんどが実験結果では5秒前後である。指示には必ずパイロットからの復唱があるが、

この所要時間も指示の所要時間と大差はない。指示の優先順位、内容が予め用意されていなければ、連続的な指示の発出はほぼ不可能である。

このことから、図2に示したタスクフローにおいて、既知の便名の定期便に関しては、対象機のターゲット認識から管制処理決定までを一瞬のうちに終了させていると考えられる。

このような管制官の行動は、そのほとんどがRasmussenの提唱したSRKモデル^[1]によるスキルベースおよびルールベースの行動と推測される。しかし、便名・目的空港をキーワードとして経路を認識できない航空機に関しては、まず経路を確認し、以前の経験に基づいて類似のケースに当てはめる等の手続きが付加される。

通常、管制官は航空機がセクター内に入域して来ることが判別できた時点で、管制処理を決定し、状況に見合ったフライトのイメージを作り上げ、イメージどおりにフライトをさせるようにタイミングよく指示を出そうとしていると思われる。

航空路管制の場合、レーダ情報は10秒単位で更新される。管制官は変化し続ける状況を的確に認識し、それを基に将来の航空機の位置や高度を予測した上で管制指示の優先順位や内容をイメージに合うように適宜変更していると考えられる。

3.2 思考モデルと管制指示

3.1の内容を前提に考察を進める。管制官が情報の見落としなどにより状況認識を誤ると、それに基づく管制指示も適切さを欠く可能性が高くなると考えられる。常時対空席と調整席の2人チームで同じレーダ画面を見ながら業務を行っていても、常に2人の状況認識が一致しているかの確認をするケースは少ない。特に取り扱う航空機の数が多いときには通信量が増えるため、この両者間の会話ができないことが多くなる。こうした場合、対空席の管制官が誤認識をしていた場合、誤りに気付く可能性が高いのは調整席の管制官である。また、気付く要因となるのは、対空席が当該機あるいは関連する航空機に対して発出した管制指示の内容による。

このようなケースとなるのは、対空席の管制官が時間的抑制を強く受けていると考える。こ

これは思考の中で確認作業を省略してしまうような場合にも起こり得る事例であると推測される。ニアミスアンケートの中でもこれらの事例が多い^[2]ことも事実である。

しかし、状況認識の誤りによる誤った管制指示でも最低の管制間隔は確保されており、直ちに事故に繋がるわけではない。誤りに気付いて指示を出し直す、状況認識を改めてイメージの変更を行う、調整席からのアドバイスを受けるなど誤りを訂正する場合はほとんどである。

また、管制機関毎に規程されている管制間隔は、管制方式基準に定める管制間隔より大きく取られていることが多い。したがって管制官は、管制機関毎の規程の間隔を確保できない場合でも、管制方式基準の最低間隔は確保するように努めている。

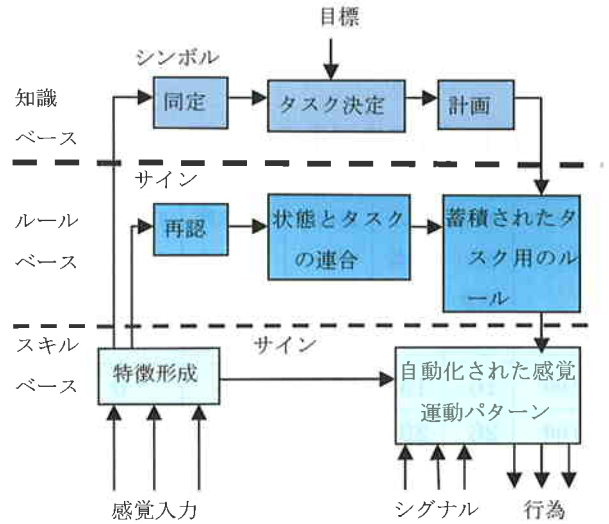


図3 SRKモデル

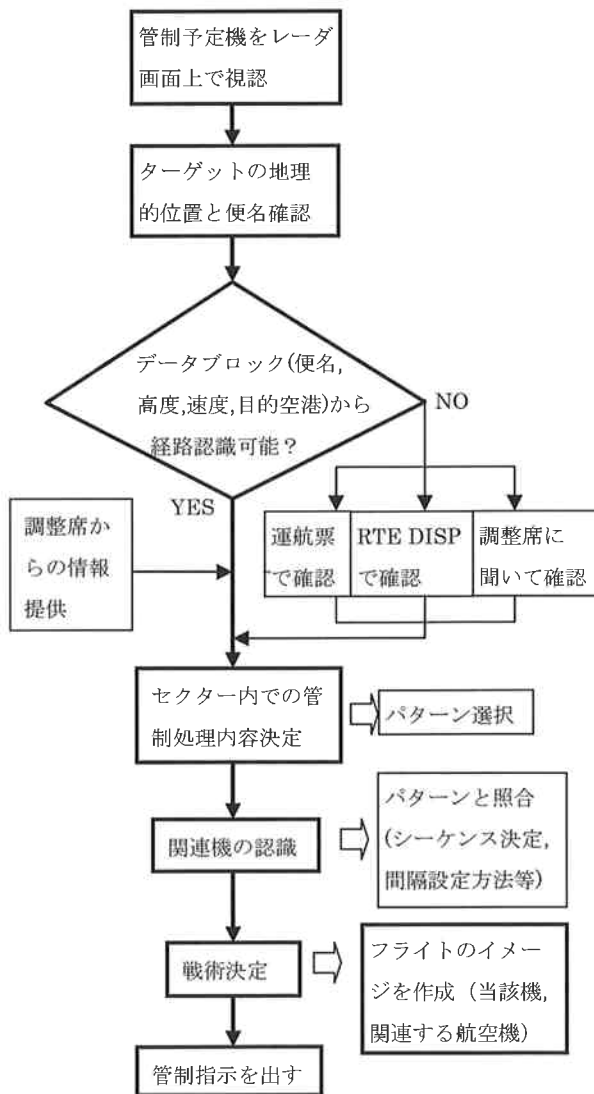


図2 管制官のタスクフロー

4. 管制指示の結果分析

実時間シミュレーション実験の管制指示の分析とレーダ画面の状況分析を行った中で、不適切な管制指示が発出された事例が見られた。

前述のとおりシナリオの交通流は現場での交通流と同様とした。ただし、交通量に関しては通常では交通流制御がかかっているためシナリオほどの量はない。実験後の管制官へのインタビューでは気象状況によってはこのような交通量もあり得るとの意見であった。以下にも管制官へのインタビューも示してある。

4.1 時間的抑圧を受けている例

表1は、ある被験者（対空席）のシミュレーション実験におけるパイロット役との通信記録による管制指示および調整席との会話の計数結果である。

実験開始時から約20分間は取り扱う航空機数が徐々に増えているが、レーダ席の判断で指示を出し、必要な処置が省略されることはほとんど見られない状態であった。また、調整席からも指示のタイミングについてのアドバイスはあまり受けていない。

これに対し、3:20:00以降では調整席から指示を出すタイミングについてアドバイスを受け

ることが多くなっている。さらに、調整席からアドバイスを受けても、他の航空機との交信により指示を出すことができなかつたものもあつた。

表1 時間帯別指示回数等

シナリオ時刻	取り扱 機数 (機)	指示 回数 (回)	通信 時間 (秒)	調整席 からの 指 示 (回)	訂正指 示の回 数(回)	管制移 管の遅 れ(機)
3:00:00-	16	15	232	0	0	0
3:10:00-	26	29	298	8	2	0
3:20:00-	26	35	339	14	5	7
3:30:00-	26	29	353	17	3	16
3:40:00-	29	31	377	6	4	15
3:50:00-	30	28	339	2	1	22

このような状態となる原因としては、まず高度変更や規程間隔等の管制処理を必要とする交通量の増加により、状況認識が曖昧になり、出そうとしている管制指示の優先順位を付けられなくなつてきていると考えられる。そのために、調整席から管制指示の優先順位をアドバイスされている。

通常、対空席に時間的余裕がある状態では調整席との会話はレーダ画面上にない情報を受けたり、入域予定の航空機に対するやり方を相談することがほとんどである。

この後、徐々に管制移管を受け取るタイミングが遅れ、管制移管を受けないまま境界線の内側を飛行する航空機が増えてきた。さらに、調整席などからのアドバイスで補うことのできる指示とされる周波数移管の指示など優先順位のあまり高くない指示が欠落する傾向が見られた。

4.2 いつもどおりか否か

忙しい状況下で、確認作業が省略されてしまったと推測できる事例である。通常、管制官は

目的空港によって飛行経路をパターン化し、確認すべき要素を減らしている。図4の赤丸で囲んだANA882とJAL652について、両機はどちらも羽田到着機で、GTC(新潟)とGOC(大子)の間を飛行している。しかし、被験者が3:38:46にANA882に対して出した指示は明らかに成田到着機に対するものであつた。実験では、パイロットから経路にない地点での高度制限が付加されたために確認を受けた。このとき被験者は初めて勘違いしていることに気付いた。

このような状況をまねいた原因として、次のようなことが推測される。

- ①被験者は便名を見て既知の定期便だったため、何度かデータブロックは見ていたが、目的空港を確認していない。
- ②実験ではANA882は飛行計画どおりにGTCからGOCへ向つたが、現場ではそのほとんどがGTCを経由せず、レーダ誘導により経路より南側(図4 緑線)を飛行してGOCへ向う。
- ③GTCからGOCへ向つて定期的に飛行している航空機は、ヨーロッパ・ロシアからの成田到着機や北陸方面からの羽田到着機であるが、成田到着機の機数の方が多い。
- ④ANA882とJAL652が同じ経路で約10マイルの間隔で飛行した。GTCからGOCへ向う羽田到着機にはこのように続いて来るケースはほとんどなく、成田到着機には見られるケースである。
- ⑤忙しい時間帯でもあり、すでに他の航空機に対しても管制処理が遅れがちであつた。ANA882に対しても処理遅れにならないように降下指示を早く出そうとした。

被験者は羽田到着機を成田到着機と判断したために、他の羽田到着機(図4 青丸で囲んだ2機)との間隔設定が非常に困難になり、大きな負荷となつた。

レーダ画面上のデータブロックや運航票から羽田到着機ということが確認できたはずだが、管制処理の遅れによる精神的・時間的圧力の中で、被験者の確認機能が働かなかつたと思われる。

また、対空席の管制官の判断過程は調整席に

はわからないため、調整席もこのような状況になるとは予想できなかったと思われる。しかし、この後は調整席のアドバイスにより、回復措置が取られた。

その後も入域してくる航空機の管制移管を受ける余裕がなくなり、管制移管を受けないままの航空機がセクター内を飛行することになった。このような航空機には通信設定がされていない

ため、管制指示が出せず、次々と管制処理が遅れる結果となった。

また、出すべき指示があるにもかかわらず3:46:00頃約1分間指示を出さなかった。これは被験者が状況認識をし直していたためであることが調整席との会話から推測された。

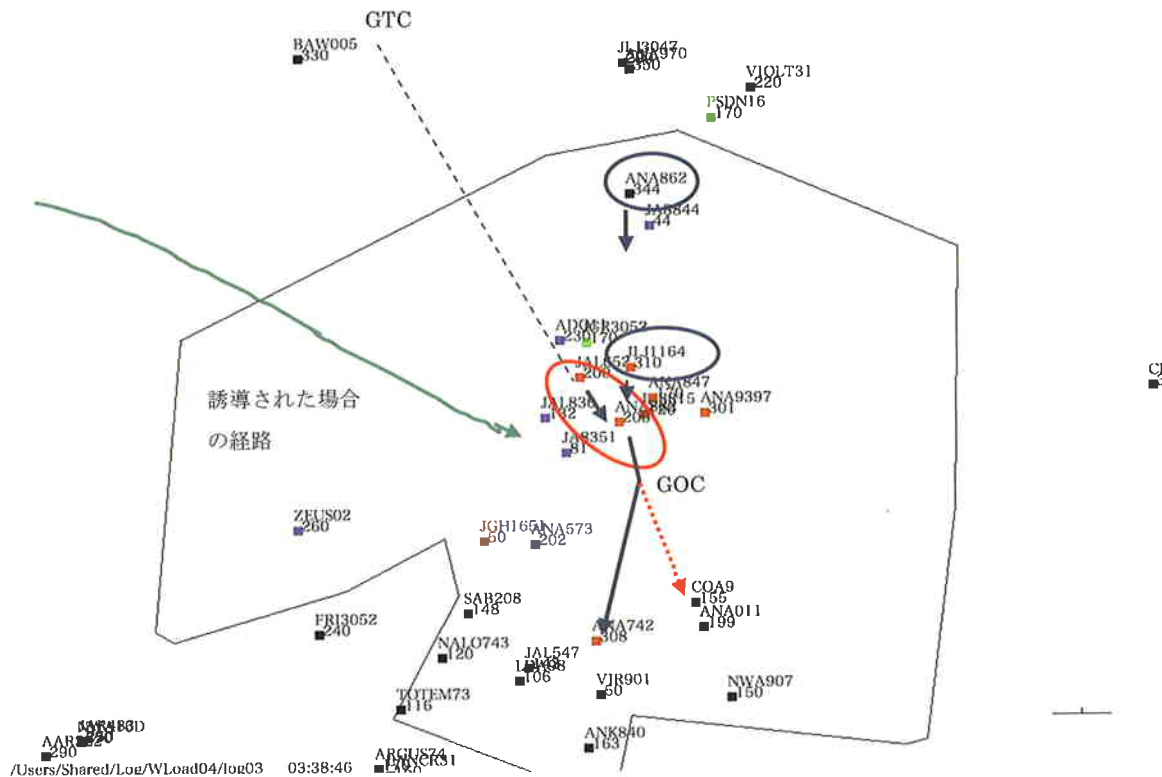


図4 3:38:46での各航空機の位置

5. 考察

航空路管制は2～3名のチームで行われているため、お互いの意思決定を何らかの手段で知る必要がある。また、知ることによって相互確認もできるはずである。

通常現場では対空席と調整席の管制官は随時管制のやり方について確認をしていないことが多い。時間的余裕がない場合は特にできないのが現状であるが、交通量が多いときほど両者の思考・判断が一致していないと業務の効率をあ

げることは不可能と思われる。

対空席と調整席の管制官がお互いに意志の疎通をはかることができれば会話をしなくても業務はスムーズに行えるはずである。的確な指示をタイミングよく発出できることは、管制官だけでなく、指示に従うパイロットにとっても負担を減らすことと思われる。特に交通量の多いケースや気象状況の悪いケースにおいては、調整席が対空席の思考・判断を少しでも早く察知し、サポートすることで、対空席の業務負担を軽減し、効率のよい業務を行うことができるは

ずである。

6. まとめ

本報告では、航空管制業務のうち航空路管制業務について業務内容を分析し、業務のやり方については、管制官の個人プレーではなくチームプレーで行われている必然性と問題点を捉えることを目的とした。

航空路管制においては対空席だけがすべての責任を負っているように捉えられがちである。しかし、実験の中で調整席が対空席に対して効果的なサポートをすることにより、対空席の負荷・負担を軽減していることも見られた。調整席が対空席の思考・判断を推測し、先回りして必要な調整をしたり、情報を取り入れて適宜対空席に提供していた。対空席に限らず管制官が業務中、精神的・時間的余裕をもつことができれば、ヒューマンエラーも減少していくはずである。

管制業務はチームで行う業務であるからには、チーム内の思考・判断過程をある程度標準化しなければならいと考える。さらに、TRM(Team Resource Management)やCRM(Crew Resource Management)といった訓練も有効であると思われる。思考・判断過程の標準化をどのように行うかは今後の課題である。また、調整席の業務タスク分析を行っていき、対空席への効率的なサポートについても調査していきたい。

謝辞

実験にご協力いただいた東京航空交通管制部、航空保安大学校 岩沼研修センターの管制官の皆さまに感謝の意を表します。

参考文献

- [1]Rasmussen, J. :Skills, rules, knowledge: signals, signs, and symbols and other distinctions in human performance models
- [2]宮城 雅子: “複雑大規模システムにおける事故防止(I)”
- [3]井上 諭: “航空路管制業務における管制官のヒューマンモデルに関する研究”
- [4]Damme, D. V. , Wordring, M. , Barbarino, M. ,

Skonieczki, A. & Philipp, W. :Integrated Task and Job Analysis of Air Traffic Controllers-Phase 3