

論文内容の要旨

論文題目 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

氏名 井上 諭

1. はじめに

近年の航空需要の高まりから航空管制システムの果たす役割は大きくなっている。一方で管制官のヒューマンファクターの問題、特にヒューマンエラーの発生はシステムの運用において重大なインシデントにつながる危険性がある。

航空管制システムにおけるヒューマンファクターの問題の本質はどこにあるのかを一般論で見極めることは難しい。航空管制分野の業務は管制業務特有のスキルを必要とするため、有効な対策を実施するためには、現場の航空管制官の行う業務を理解した上での対策が必要となる。

本研究では、日本の航空路管制システムを対象として、エスノメソドロジーに基づき実験的に航空管制官のタスク分析を行い、航空管制業務における管制官のヒューマンモデルを構築することを目的とする。特に本研究では、レーダ管制官の業務に着目しモデル化を行う。

2. 航空路管制業務の特徴

航空路は分割された各セクターで構成される。それぞれのセクターの管制席には2名（図1）以上の航空管制官が配置され業務が行われる。本研究では2人体制（レーダ対空席、調整席）で行われている航空路管制業務を対象とした。航空路管制業務を担当するレーダ対空席と調整席の管制官は、逐次更新されるレーダ管制卓の表示画面とフライトデータストリップのデータに基づいて戦略的に業務を行う。

航空管制の作業にはいくつかの特徴がある。その中でも管制作業の基本は、将来を通して安全な状況を維持、確保するための予測をして指示を出すことである。そのためエンルートではレーダ対空席なら10～15分後、調整席ならさらにその先の状態を予測して、安全間隔が保たれるように現在の状況・情報を基に状況判断し、指示を出す作業を行う。

また、管制では割り込み作業が多い。管制官は担当空域内にいる複数の航空機を同時に扱いながら作業をしているため、航空機からの呼び込みや、他セクターからの航空機の移管がある。調整席の業務も隣接しているセクターからの調整作業では同様の割り込みが生ずる。

さらに、エンルートの管制業務はアプローチなどとは異なり、航空機の目標状態が離陸して上昇、降下して着陸、オーバーフライトなど様々な状態であるので、処理する条件や内容が多くなり、ライン作業のような流れ作業とは異なる思考が必要とされる。



図1 航空路管制業務の様子

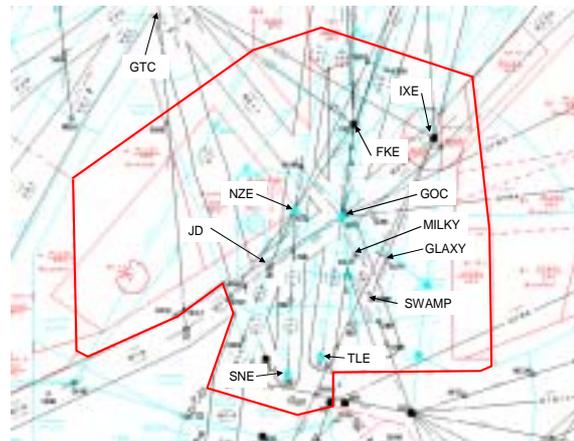


図2 実験対象セクター (T03)

3. シミュレーション実験

3.1 実験概要

本研究ではシミュレータによる認知実験を行なった。シミュレータは電子航法研究所のエンルートシミュレータを利用した。実験では、ケーススタディとして東京航空交通管制部の関東北セクター(図2)を対象とし、実験の被験者は全員、関東北セクターのレーティング(資格)を持っている管制官とした。また、実験では実際の管制業務がどのように行なわれているかを詳細に調べるために、レーダ対空席と調整席の全ての業務を作業記録の対象とした。

実験時間は1時間とし、被験者はレーダ対空席および調整席の2人で1チームとして実施した。シナリオの特徴として東京国際空港や成田国際空港、横田基地など多くの空港からの北方面への離発着に関する航空機が多い地域特性のため、管制処理要領等の規程を満たすための作業として、上昇や降下の指示を多くの航空機に出す必要がある交通流となっている。

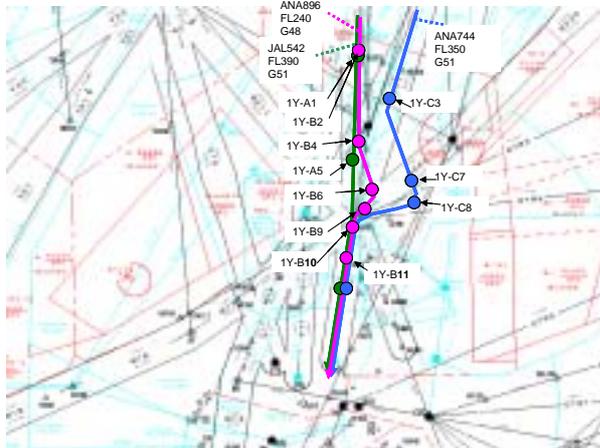
3.2 実験結果

実験では1時間分の対空通信記録、調整内容の記録などのプロトコルデータ、そしてシミュレータログ等のデータを取得し、実験時間内の各状況について分析を行った。ここではそれらの結果のうち、対象セクターでの主要なトラフィックとされる一例をケーススタディとして示す。

実験では取り上げたケースの状況には対象となっている機以外にも航空機は複数飛行しており、実際にはそれらも含めて同時に管制を行っているが、ここでは分析対象とした状況に関連していない航空機は図中に表示しないこととした。図3に被験者1のケースを例として示す。図3のケースでは、関連する航空機それぞれの初期位置関係をデータブロックから引かれた線で示し、色矢印の線は各機それぞれのルートを示している。また、各航空機を示すデータブロックは上から

順にその時点のコールサイン，高度，対地速度を表している．図 3 中の色丸は時間経過との位置関係を示したものである．また図中の番号は表 1 の通信ログの整理番号と対応したもので，指示を出したタイミングを示している．

表 1 実験の対空通信内容の結果



整理番号	指示内容
1Y-A1	JAL542:イニシャルコンタクト
この間3回	他の機と交信
1Y-B2	ANA896:イニシャルコンタクト
この間8回	他の機と交信
1Y-C3	ANA744:イニシャルコンタクト, レーダーベクター(ヘディング170を指示)
1Y-B4	ANA896:レーダーベクター(ヘディング170を指示)
1Y-A5	JAL542:高度13,000ftまで降下してTLE通過を指示
この間10回	他の機と交信
1Y-B6	ANA896:速度250ノットに減速を指示, レーダーベクター終了(GOCへ)
1Y-C7	ANA744:レーダーベクター(ヘディング250を指示), 高度FL280まで降下を指示
この間3回	他の機と交信
1Y-C8	ANA744:レーダーベクター終了(GOCへ), 高度13,000ftまで降下してTLE通過を指示
1Y-B9	ANA896:高度13,000ftまで降下してTLE通過を指示
この間3回	他の機と交信
1Y-B10	ANA896:速度調整を終了
この間2回	他の機と交信
	JAL542:移管
この間3回	他の機と交信
1Y-B11	ANA896:周波数移管指示

図 3 実験の飛行経路結果例

3.3 ケーススタディ (3機のRJTTインバウンド)

このケーススタディは，関東北(T03)セクターで特徴的な北方面からのいずれもRJTTへ向う連続した到着機で，JAL542，ANA896，ANA744の3機が来ている状況である(図3)．管制官は管制要領に従い，これら3機を安全間隔を保ちつつ降下させてTLEのポイントを高度13,000ftで通過させ，それに加えて水平間隔を10nm間隔毎に並べて東京アプローチへ移管する処理を行う．

この状況においてはいずれの結果からも全ての管制官がレーダーベクター処理(レーダーに基づいて航空機の針路を誘導する方法)をルートの上側で行いながらスペーシングを行って，TLEのポイントまでに13,000ftに降下させていた．また航空機を並べた順番は3チームを比較した結果いずれの管制官も同じでJAL542，ANA896，ANA744の順だった．

4. タスク分析

ケーススタディのように実験中のその他の各ケースについても，細かく分析すると，指示の回数やレーダーベクター，高度指示などの指示内容とそのタイミングなど手段の適用方法は管制官毎に異なるケースも存在するという結果であった．これは管制官の個人差によるところでもあるし，最初に出した指示内容によってその後状況が変化することにおける対応の違いによるものであると考えられる．しかしながら，状況に対する戦略は管轄するセクターの地域特性や管制要領など取決め事項によって制限があるため，結果からある程度の共通性を見ることもできた．

ケーススタディでは東京国際空港行きの到着機を扱うケースであったが，この場合，管制機関の取決め事項として，阿見(TLE)のポイントで13,000ftを通過する条件がある．これは東京国際空港への到着機の出口が1つということの意味する．さらにルートの西側は東京国際空港を離陸して上昇しながら北側に出て行く航空機が通るルートがあるため，予定ルートの西側への進路変更はしにくい状況がある．このようないくつかの条件に対し，訓練された管制官は全員がほぼ

同様の戦略をもって、ルート上の東側のスペースを使いながら、10nm のセパレーションを確保して業務を移管するという共通の戦略をとっていることが理解できた。このようなことから、管制官の戦略には、地域特性や管制要領など取決め事項による条件などから、ある程度共通なものが存在することも分かった。また、すでに行った予備実験の結果と今回の実験の観察も総合して考えると、管制官の状況判断は、いくつかの戦略に基づいた業務プロセスの動的なルーティンがメンタルモデル内に存在し、それらをマッチングしながら指示を決定するというモデルが妥当であると考えられる。ただ、このルーティンの細かい種類や量は管制官によって個人差があるので、今回の分析ではおおよそのセクターでレーティングを持つ管制官が一般的にモデルとして理解できる基本的なものだけを確認した。

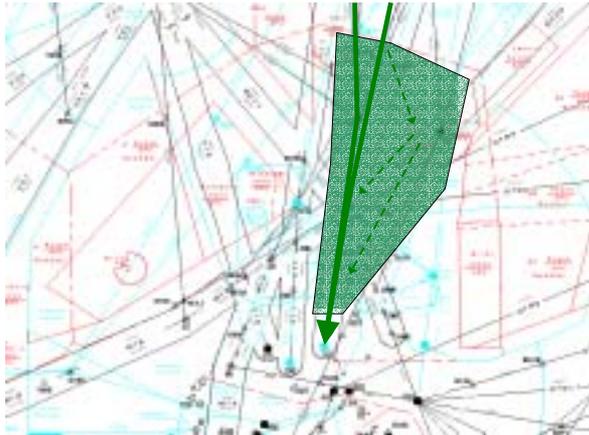


図4 ケーススタディでのルーティンの概念

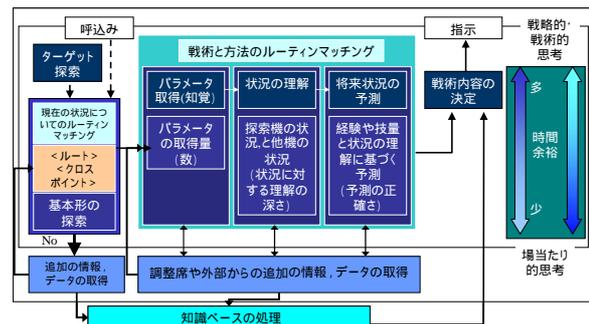


図5 管制官の認知プロセスモデル

5. レーダ管制官の認知モデル

分析結果と考察を総合して、通常のタスク状態におけるルーティンを適用するときのレーダ管制官の認知プロセスのモデルを Fig.3 のように考えた。このモデルは管制官が任意の状況に対して管制指示を決定するまでの認知の過程を示したものである。

モデル内におけるルーティンのマッチングは2種類のプロセスでマッチング処理が行われる。管制官はターゲットとなる航空機を探索すると、まず自分のルーティンのテンプレートにその航空機のトラフィックのルーティンとしてあてはまるものがあるかどうかのマッチングを行う。ルーティンがモデルとして存在すれば、さらに戦略や指示内容を決定するためのルーティンマッチングのプロセスに行く。このプロセスは航空機の状態を知るためのパラメータの取得(知覚)を行い、対象とする状況の理解、将来予測のプロセスを経て指示内容の決定に至る。パラメータの取得はターゲットとなる航空機の高度、針路、対地速度や目的地などのデータの取得をする。対象とする状況の理解はターゲットとなる航空機自体の状況を理解した上でそのターゲットを取り巻く状況を理解をする。さらに将来の予測はここまでのプロセスで得た情報、状況理解と管制官自身の持つ経験を基に考えられる将来の状況の予測を行う。

6. まとめ

本研究は航空路管制システムにおいてエスノメソドロジーに基づき、実験的な手法で航空管制業務のタスク分析を行った。また、その分析に基づきヒューマンファクターの視点から、通常のタスク状態におけるレーダ対空席の管制官の認知プロセスのモデルを提案した。