

航空路管制官のワークロード評価手法と タスクプランニング分析に関する研究

56770 井上 幸一

指導教員 大和 裕幸 教授

Managing workload is an important skill of an air traffic controller, which is supported by adequate task planning. In this paper, a workload model, which consists of four main tasks of enroute air traffic controller with urgency of them, is proposed to investigate how controllers manage workload, then an experiment was carried out to depict controller's planning, which revealed the number of tasks in one's mind, task insertion, dynamic change in task prioritization and four levels of abstractness of task. Strategies chosen by controllers and accuracy of their achievement affected workload level. Results from the experiment indicated that careless planning resulted in increasing in workload and heavy load encouraged controllers to choose a plan easing them. Finally a task planning model combining these findings were described.

Key words: Air Traffic Control, Workload, Task Planning

1. 緒言

医療や操船など、人間が作業を行い、ミスが大きな事故につながるような現場では、良好なパフォーマンスを発揮するために、作業者の負荷（ワークロード）を適切に保つことが重要である。航空管制のように時間制約の厳しい業務ではいかに時間的余裕を作りながら管制を行うことができるかが重要になってくる。ワークロード管理はスキルの高い管制官の重要な要素の1つであると言える。ワークロードを適切に保つためには適当なプランニングを行いながら業務に従事することが必要である。ワークロードを管理するための管制官のタスクプランニングを明らかにすることは教育・訓練においても有用であると考えられる。

そこで、本研究の目的は以下の通りである。

- 航空路レーダー管制官のワークロード指標の提案
- 管制官のワークロード管理方法の分析
- 管制官のタスクプランニングの抽出
- タスクプランニングとワークロードの関係の分析

2. 航空路管制業務の概要

航空路管制業務は航空路上を飛行する航空機間に安全な管制間隔を確保することを第1の目的とする。それに加えて、例えば、本研究で対象とした関東北セクターで特徴的なトラフィックである羽田空港の到着機ではTLE（阿見）という場所までに13,000ftに降下させ、複数の到着機間に10NMの間隔を確保する業務を行う。

3. ワークロードモデル

3.1 分析対象データ

(独)電子航法研究所の青山久枝氏らが2004年10月4日～27日に現役の管制官を被験者として実施したエンルートシミュレーション実験のうち2回分のデータを分析した。

3.2 レーダー管制官のタスクと処理手段

分析ソフトウェアを用いて、管制官のタスクへのアプローチの違いや、それによる負荷への影響を分析し、レーダー管制官の業務を、4つのタスク（衝突回避、高度、ルート、スペーシング）と3つの手段（高度変更、スピード調節、レーダーベクタ）に整理した。

3.3 管制官のワークロードモデル

管制官にインタビューを行い、タスクロードに影響を与える3つの要素(1)同時に抱えるタスクの数、(2)タスクの時間的制約、(3)タスクの継続時間、が得られた。上述した4種類のタス

クに3つの要素を加え、モデル化を行った。各タスクには開始・終了条件があり、完了期限までの残り時間によって3段階の緊急度を設定した。例えば、羽田空港到着機の「高度」のタスクは、該当機とイニシャルコンタクトした時点で開始し、13,000ftへの降下指示を出した時点で終了する。降下指示を出さずにいると、緊急度が上昇する。

Fig. 1は横軸に時間を取り、各管制官のワークロードを図示したものである。色つきのバーは、赤が衝突回避、橙が高度、青がスペーシング、緑がルートを表し、緊急度が上昇するにしたがって色が濃くなる。点線の長方形は、実験を観察した管制官が忙しい状況だと主観的に評価した時間帯である。

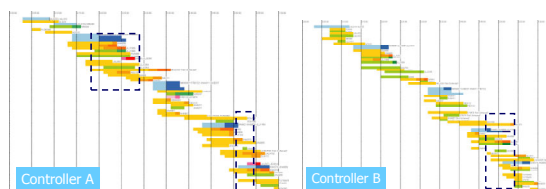


Fig. 1 Comparing workload of two controllers

4. ワークロード管理方法の分析

ワークロードの定量的評価、シミュレーション結果との比較によって、ワークロード管理の分析を行う。

4.1 ワークロードの定量的評価

タスクの平均継続時間は管制官 A が 7.5 分、B が 6.1 分であった。また、同時に抱えるタスク数の平均は A が 7.9 個、B が 6.7 個となった。

Fig. 2は同時タスク数の5分平均の推移を表したグラフで、ピーク時のタスク数に差があり、管制官 A はタスク数の多い時間が続いている。Bの方がワークロードの低い状態を保つことに成功していることが分かる。

4.2 緊急度の評価

Tab. 1は、発生したタスク数と緊急度の表である。Conflict ResolutionはAだけに発生し、そのうち2つは緊急度がHighに達し、航空機間の安全間隔を確保できなかったことを意味する。Altitudeを見ると、Aは36個のうち18個がMidに、Bは32個のうち9個がMidになっており、Aに対してBが高度処理を早い段階で終えていることが分かる。Routeはベクター誘導を開始すると発生するタスクで、管制官のタスク処理方法によって発生個数に違いが現れる。

Spacingは本来シナリオが同じであれば、発生数は同じであるはずだが、調整席の管制官の調整によるサポートでAの11個に対してBは9個と少ない。管制官BにRouteのタスクが多く、Altitudeのタスクを早い段階で処理していることから、ベクター誘導を多く用いて高度処理を速く終えていることが明らかとなった。一方Aは擦過を待っての高度処理、スピード調節によるスペーシングを行ったと考えられる。

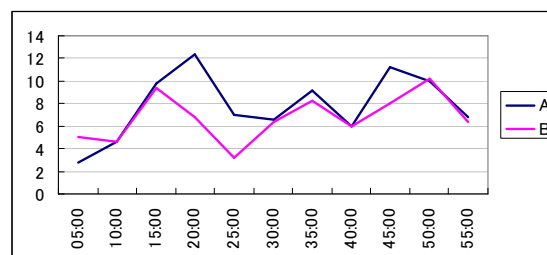


Fig. 2 Average numbers of tasks

Tab. 1 The number of tasks and urgency

	Controller A			Controller B		
	Low	Mid	High	Low	Mid	High
Conflict Resolution	1	3	2	0	0	0
Altitude	36	18	6	32	9	3
Route	10	3	0	20	3	0
Spacing	11	8	0	9	6	1

シミュレーションの結果（アウトカム）として、レーダー間隔違反、到着機高度処理の失敗、到着機スペーシングの失敗、福島空港進入許可までの時間、周波数移管忘れ、ハンドオフアクセプトまでの時間、の6つについて計測した（Tab. 2）。Aは重要度の高い「レーダー間隔違反」などの失敗をしているが、Bは到着機の高度処理やスペーシングについて目標を達成できておらずワークロードは低いタスク処理の正確性が犠牲になっていることが明らかとなった。

実験を観察した管制官に7項目の採点表²⁾を用いて採点してもらった結果、分析内容とよく一致することを確認した。

Tab. 2 Outcome of two controllers

	Controller A	Controller B	
High ↑ Importance ↑	Radar separation violation	2	0
Incomplete altitude change	5	7	
Incomplete spacing	1	4	
Time to clear to land to Fukushima airport	34m41s*	11m18s	
Unexecuted frequency change	6	17	
Low ↓ Importance ↓	Time to accept handoff	1m57s	2m00s

5. タスクプランニング抽出実験

管制官のタスクプランニングの仕組みを抽出し、ワークロード管理との関係を明らかにすることを目的とし、実験を行った。

被験者は、実験対象とした関東北セクターを含む関東北地区の資格を持っている航空管制官で、計 8 回の試行を行った。

5.1 実験手法

シミュレーション中にシナリオをフリーズし、その時点で予定している指示や行動を付箋紙に書き出し、時間軸上の実行予定時刻に貼り付けてもらう作業、入域してくる羽田到着機 3 機のシーケンス（到着順序）とスペーシングするための飛行ルートプランを図示する作業の 2 つを行ってもらった。シナリオ終了後にはインタビューを行った。

5.2 タスクプラン書き出し結果

タスクプラン書き出しの一例を **Fig. 3** に示す。時間軸の 1 番上がフリーズ時で、1 分間隔で区切られている。各プラン左の丸囲みの数字はシナリオ再開後に実行された順番を表している。結果から以下のことが明らかとなった。

- 書き出されたタスク数は、6~9 個（平均 7.5 個）であった。これは 7 ± 2 個と言われるワーキングメモリの容量と一致する。
- 書き出されたタスク以外のタスクの割り込みは 1 個~6 個と幅があった。
- プランと実行結果を比較すると、時間的感覚、タスクの優先順位ともに正確ではなかった。

タスクプランの抽象度

書き出された内容には抽象度の幅が見られ、それらを内容から以下の 4 種類に分類した。

- **プランニング**：タスクとして認識しているが、具体的な指示や指示を出すタイミングはこれからプランニングするというものである。例「JTT（羽田空港）行き Sequence を正確に決める」
- **指示イメージ**：指示の大まかなイメージはできているが、具体的な数字までは決定していないもの、実施するために状況判断など認知的な作業が要求されるものである。例「ADO11 Climb」
- **具体的指示**：指示としてそのまま発出できるもの、あるいは実行にあたりそれ以上詳細化の必要がない作業もここに分類

- した。例「福島行にアプローチをかける」
- **ハンドオフ&通信移管**：レーダーハンドオフ（システム上でのハンドオフ）と周波数移管指示である。

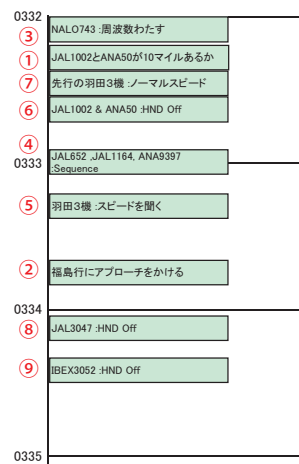


Fig. 3 An example of task planning

5.3 スペーシングプラン書き出しの結果

Fig. 4 にスペーシングプランの一例を示す。3 機のシーケンスは 1 番機を左の JAL652 にするか、右の ANA9397 にするかで 4 通りが見られた。被験者の 1 人はシナリオ再開後にシーケンスを変更した結果、実際には 3 通りとなった。

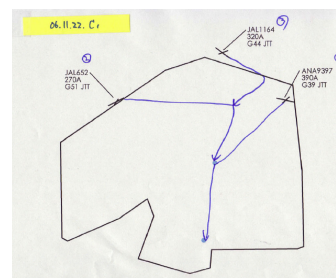


Fig. 4 Spacing plan

5.4 シーケンスとワークロードの関係

フリーズ時に入域していた 3 機の到着機の後続機として **Fig. 5** のように 2 機の到着機が存在した。後続 2 機がスペーシング対象となったかどうかと、先行 3 機のシーケンスに相関が見られた。**Tab. 3** にスペーシングの有無と先行 3 機のシーケンスプランをまとめた。×はスペーシング無し、V、S はスペーシング手段を表す。JAL652 を 1 番機にした 5 名の被験者はスペーシング無しか、ANA862 のみのスペーシングを行ったのに対し、ANA9397 を 1 番機にした 3 名の被験者は全員後続 2 機ともスペーシン

グしている。シーケンスプランの選択が将来のワークロードに影響を与えている。

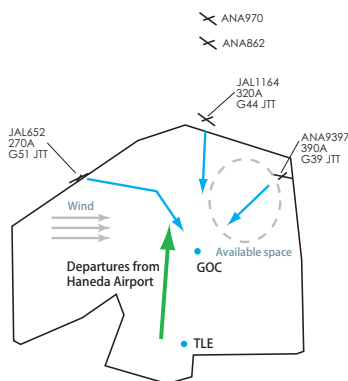


Fig. 5 Characteristics of Kanto-North sector

の選択にはその時のワークロードが影響している。

実験から明らかになったプランと実行結果の相違、タスクの抽象度の違いから、Fig. 6のようなタスクプール中のタスクの詳細化、タスクの入れ替え、キューの発見とタスクの実行を行う管制官のプランニングのモデルを提案する。タスクの選択には緊急度が影響を与えている。

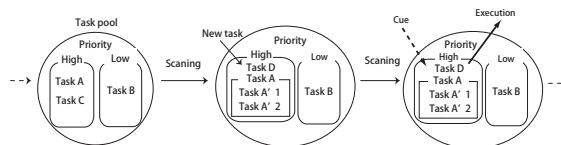


Fig. 6 Task planning model

Tab. 3 Relation between sequence and additional spacing

	Following two aircraft		Order in three arrivals		
	ANA862	ANA970	JAL652	JAL1164	ANA9397
C1	V	V	②	③	①
C2	V	x	①	③	②
C3	VS	VS	③	②	①
C4	SV	SV	③	②	①
C5	x	x	①	③	②
C6	x	x	①	③	②
C7	x(S)	x	①	③	②
C8	V	x	①	②	③

V: Radar vector S: Speed adjust X: No spacing

6. 結論

- 管制官へのインタビューや作業分析から、レーダー管制官の負荷となる4種類のタスクと3つの要素を組み合わせたワークロードモデルを提案した。
- 管制官のワークロード管理方法の分析を行い、管制官の戦術や指示タイミングの違いがワークロードに影響すること、タスク処理を諦めることで全体のワークロードを低い状態に保っていることを明らかにした。
- タスクプラン抽出実験を行い、管制官の持っているプランの数、タスクの割り込み、タスクの抽象度が4種類に分類できること、優先順位がダイナミックに変化することなどを明らかにした。
- スペーシングプランとワークロードの関係を分析し、ワークロードとプラン選択に相互作用があることを明らかにした。

5.4.1 プランの選択

どちらを1番機にするかというプランの選択について考える。

- 速度の違いと、強い西風の影響も大きく、JAL652を1番機にし、ショートカットした方が3機の処理は早く終わるが、ショートカットすると南からの羽田出発機との「衝突回避」発生に注意を向けなければならない。また両者の高度処理も慎重になる必要がある。
- 一方セクター右上部は比較的他のトラフィックの少ないスペースであり、スペーシングや高度処理の行いやすい空域である。ANA9397を1番機にすると、残りの2機はこの空域でスペーシングや高度処理を行うことができるので、負荷は低くなるが、3機の「スペーシング」や「高度」のタスクを完了するまでにより長い時間が必要となる。

つまり、タスク終了までの時間と、負荷がトレードオフの関係にあり、一時的に負荷は大きいですが終了が早いプランと、負荷は小さいが時間を要するプランの選択といえる。プラン

文献

- 1) Moray, N., Dessouky, et al. (1991). Strategic behavior, workload, and performance in task scheduling. *Human Factors*, 33(6), 607-629.
- 2) Ramos, R. A., et al. (2001). Documentation of Validity for the AT-SAT Computerized Test Battery Volume II. (DOT/FAA/AM-01/6). Office of Aviation Medicine, Washington..