

2.2. 航空交通流制御の高度化に向けた分析手法の検討

航空交通管理領域 ※青山 久枝、狩川 大輔
 (財) 労働科学研究所 飯田 裕康

1. はじめに

航空管制業務（以下、管制業務）は、航空管制官（以下、管制官）に依存していた業務を、徐々に自動化することにより抑制していく傾向にある。これに伴い、より多くの航空機を安全かつ効率的に飛行させるため、広域的な航空交通流制御（以下、交通流制御）の導入と高度化が進められている。

交通流制御は、航空機の出発空港や飛行中の特定地点における時間制御によって、集中する航空交通を分散し、管制官のワークロードが過負荷にならないようにすることを目的の一つとしている。一方で、航空機相互間の管制間隔を保つことに関しては、引き続き、管制官に依存するところが多い。従って、交通流制御と管制官による管制処理との適合性を分析、評価することは重要な課題である。

本稿では、航空路管制業務について、交通流制御によって形成される交通流が管制官の業務負荷に与える影響を評価するための分析ツールとして、管制処理プロセス可視化ツール（COMPASi : COgnitive system Model for simulating Projection-based behaviors of Air traffic controller in dynamic Situations）^[1]の試行的適用を行った結果について報告する。

2. 航空管制業務と管制官

航空管制業務は、飛行場管制・進入管制・航空路管制等に分類される。また、国内の空域では、そのほとんどにおいてレーダ管制業務が行われている。管制官は担当する空域（以下、セクター）ごとに規程に定められた管制間隔や管制処理内容や飛行可能な空域などの情報と、取り扱う航空機についてレーダ画面上で高度を含めた位置や航空機相互間の位置関係などを照らし合わせ、セクター内を飛行する航空機に対して常に管制間隔を保持できるような管制処理をプランニングする。その結果をパイロットに指

示・許可等として伝える。また、同時に複数の航空機を扱うため、セクター全体の交通流や交通状況の変化に合わせた管制処理を行う。

このような管制官の一連の行動は、専門的な知識の習得と共に、実際に交通状況を把握し、知識と照合して、処理を行えるようになるまでに訓練が必要である。また、一度体得してしまった経験による知識は、無意識のうちに再現できるので言語や描画によって説明することは難しい。このように管制官の業務分析はかなり困難なことでとされている。

管制業務には気象状況の変化など不確定要素が多く含まれるが、管制官はそれらの状況に対応しなければならない。十分な時間的余裕をもって業務を遂行していくために、交通状況に対して効率的な処理は不可欠となる。

3. 手法

本稿では、交通流制御と管制処理の適合性を評価するために、複数の交通流制御のパターンを模擬したシナリオと管制官による管制処理の組み合わせに関して、COMPASi を用いたシミュレーションを行った。

評価の指標として用いたタスクレベル（Task Demand Level: 以下、TDL）は、航空路管制業務におけるレーダ席管制官が扱っている各航空機に対して行う処理を分類したものであり、表1にその定義を示す。TDLは、管制官が直面している交通状況に対して感じる主観的なタスクの困難度を表現することを意図して、レベル分けを行っており、時々刻々と変化する交通状況によって、管制官の感じる困難度が変化する様子も捉えることが可能となっている。

また、航空機ごとにTDLの変化と航空機の飛行状態に変化を与えた指示を時系列的に表記した状態遷移図がCAPS（Chart of ATC Processing States）であり、CAPSを用いることにより、タスクの困難度に加えて、管制官が同時に取り扱

った交通量、各航空機の飛行距離、管制指示数なども把握することができる。COMPASiは、シミュレーション結果からCAPSを自動的に作成し、出力する機能を有している。図1にCAPSの例を示す。

表1 タスクレベルの定義

タスクレベル (Lv.)	タスクバーの色	必要な処理
1	緑	パイロットからの要求への対応以外に必要な指示なし
2	黄	定型的な処理
3	橙	定型的な処理+干渉する航空機1機に対する処理
3*	紫	定型的な処理+干渉する航空機複数機に対する処理
4	赤	タスクレベル3および3*の中で、時間的な制約を多く受ける

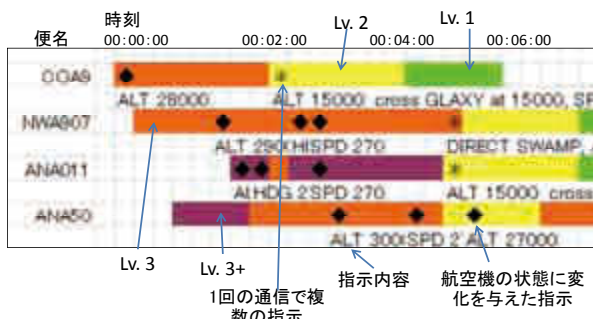


図1 CAPSの例

4. シミュレーション実験

4.1 対象空域とシナリオ

先行研究^[2]において、電子航法研究所のATCシミュレータを用いて行った有資格管制官を被験者とする東京航空交通管制部 関東北セクターのシミュレーション実験のシナリオと結果をもとに、複数のサンプル・シナリオを作成した。

当該セクターの特徴は、交通流の複雑さである。当該セクターでは、交通量の多い羽田空港および成田空港の出発機・到着機に対して、出域先との間で規程に定められた高度および水平間隔にすることに加えて、セクター内に限らずセクター境界近辺の空港あるいは自衛隊や米軍基地の出発機や到着機の上昇・降下などの業務を扱っている。また、性能が異なる様々な機種が飛行することにより、速度や上昇/降下率などにも注意が必要である。

セクターを出域するまでに、必要に応じてレーダ誘導、速度調整などが行われるが、セクター内の制限空域を避けることや他の航空機との管制間隔も保持することも条件となるため、管

制官にとって各航空機をセクター内でどのように処理するか意思決定や、航空機の位置や状態の予測が高いワークロードの原因となる。

シナリオについては、先行研究^[2]における実験シナリオを基準シナリオとして、これをもとに特定の航空機のセクター入域タイミングを変えることによって交通流制御が行われた状態を模擬したシナリオを2つ用意した。

それぞれのシナリオの概要を図2に、各航空機に対して規程で定められている管制処理の内容を表2に示す。

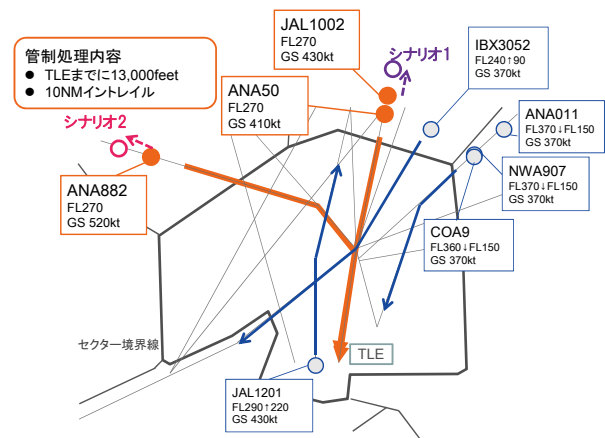


図2 シナリオの概要

表2 管制処理の内容

便名	管制処理
ANA882, ANA50, JAL1002	高度 TLEまでに13,000feet 間隔 10NMイントレイル
COA9, NWA907, ANA011	高度 GLAXYまでにFL150 間隔 10NMイントレイル
IBX3052, JAL1201, JAL3047, ADO11	高度 パイロットの要求高度まで上昇

※すべての航空機相互間に最低間隔(5NMあるいは1,000feet)を設定する。

基準シナリオでは、ANA882、ANA50、JAL1002の3機は、同一空港の到着機であり、2つの方向から入域した後、GOCで合流してTLEにほぼ同じ時刻に到着する。これらをTLEに向かって10NM (Nautical Mile)の水平間隔で一列に並べ、TLEまでに13,000feetに降下させることが必要な管制処理である。

シナリオ1は、基準シナリオに対してJAL1002を5NM後方(約1分)から開始する。また、シナリオ2は基準シナリオに対してANA882を5NM(約1分)後方から開始とする。JAL3047とADO11は図2に記載されていない

が、シミュレーションの途中から JAL1201 と同様に入域して来る。

本稿では、ANA882、ANA50、JAL1002 の 3 機を評価対象とし、2 通りの管制官の管制処理方法（以下、処理方法）について、交通流制御との適合性に関する試行的評価を行った。

5. 結果

5.1 処理方法 A に関する比較

処理方法 A は評価対象の 3 機の到着順を ANA882、ANA50、JAL1002 として、ANA882 を入域後に TLE 方向へレーダ誘導して、ANA50 および JAL1002 より先行させる。基準シナリオ、シナリオ 1、シナリオ 2 の各シナリオについて、処理方法 A をとった場合（それぞれ基準シナリオ A、シナリオ 1-A、シナリオ 2-A とする）の CAPS を図 3(a)~(c)に示す。

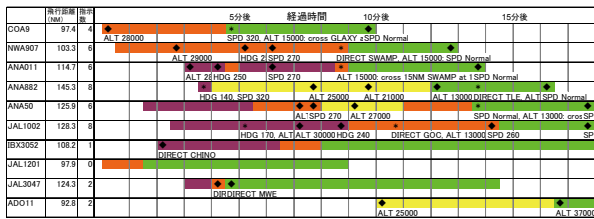


図 3(a) 基準シナリオ-A

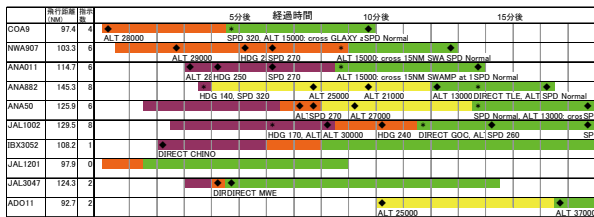


図 3(b) シナリオ 1-A

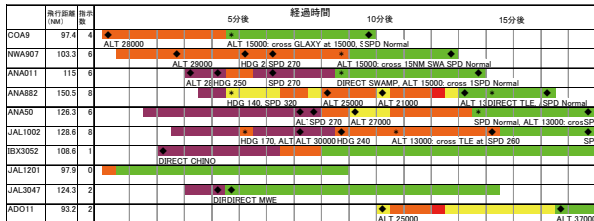


図 3(c) シナリオ 2-A

シミュレーション開始から 10~15 分後に、入域する位置を変更した JAL1002 の TDL が図 3(a) より図 3(b)の方が低くなった。JAL1002 と干渉している ANA50 の TDL も、図 3(a)より図 3(b)の方が低くなった。ANA882 への影響はみられ

なかった。また、この交通状況では、干渉していた他の航空機（IBX3052、ANA011）の TDL も概ね同等か低くなっていることが分かる。以上のことから、シナリオ 1 のような交通流制御が管制官のワークロード軽減に有効に機能する可能性を示唆した例と言える。

図 3(c)では、ANA882 の TDL がシナリオ開始後の 6~13 分にかけて高くなっている。また、ANA882 に対して基準シナリオあるいはシナリオ 1 で干渉することがなかった ADO11 が、シナリオ開始後 11~13 分にかけて干渉したため、TDL が高くなった。

以上のことから、処理方法 A に対して、シナリオ 2 のような交通状況が発生する交通流制御を行った場合、管制官のワークロード軽減に関する有効性は確認できなかった。

5.2 処理方法 B に関する比較

処理方法 B では、評価対象機の到着順を ANA50、JAL1002、ANA882 として、ANA882 を入域後 JAL1002 の後方に位置するように東方向へレーダ誘導する。基準シナリオ、シナリオ 1、シナリオ 2 の各シナリオについて、処理方法 B をとった場合（それぞれ基準シナリオ B、シナリオ 1-B、シナリオ 2-B とする）の CAPS を図 4(a)~(c)に示す。

処理方法 B では、全体的に、3 番機となった ANA882 に対する高い TDL がシミュレーション開始 13~15 分後まで継続していることがわかる。また、各シナリオ間で TDL の差はあまりみられなかった。

以上から、シナリオ 2 のような交通状況が発生するような交通流制御を行った場合、管制官のワークロード軽減に関する有効性は確認できなかった。しかし同時に、シナリオ 1-B で見られたような高い TDL が発生する状況も発生しなかった。

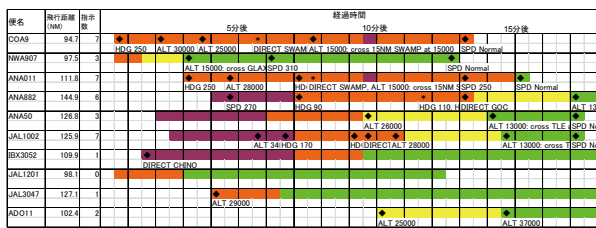


図 4(a) 基準シナリオ-B

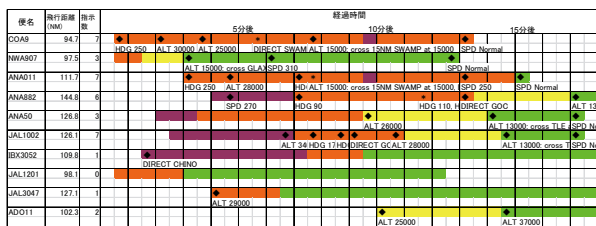


図 4(b) シナリオ 1-B

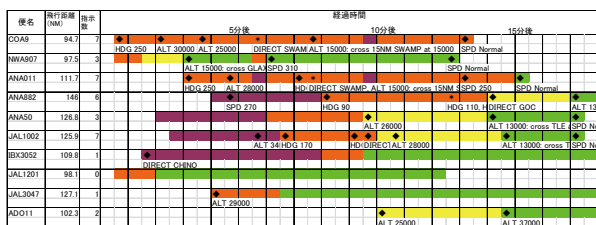


図 4(c) シナリオ 2-B

6. 考察

図 3(b)(c)および図 4(b)(c)の結果を比較すると、少なくとも処理方法 B では高い TDL の発生は見られず、処理方法 A より処理方法 B の方が交通状況の違いに対してより高い適応性を有していることが分かる。

シナリオ 1 は基準シナリオと比較して、1機のみ約 1 分の制御により、図 3(b)に示されるような TDL の低下に繋がったが、シナリオ 1 を想定した交通流制御が、その制御パターンや精度の問題によって図 3(c)のような高い TDL になる可能性を充分検討しなければならない。

また、ここでは 3 つのシナリオに対して、2通りの管制処理方法によるシミュレーションを行ったが、現実にはある交通状況に対して効果的な管制官の処理方法でも、異なる交通状況に対して常に効果的になるとは限らないと思われる。先行研究^[2]の結果でも示されたように、同じ交通状況においても管制官によって数通りの処理方法があった。常に管制官が同じ処理方法を行うと仮定した交通流制御を行なうのであれば、管制官の処理方法を事前に調査した上で、

それに合わせた交通流制御を検討することが望ましいと思われる。現状では、管制官が交通状況によってより安全で効率的な処理方法を決めて業務を行なっており、緊急事態等を除けば、管制官の交通状況認識と取得情報による予測から意思決定されるものである。今後、管制支援のシステムによって到着順が事実上一意に決定される場合、管制官はそれに対応できる業務のスキルを必要とされ、そのようなスキルを身につける教育・訓練が必要である。また、各空域を担当する管制官が、交通流制御のプロセスや制御のかけ方についての正しい知識や経験をもっていなければ、気象状況等による交通流の乱れや、不測の事態が生じた場合に効果的に対応することは困難であると思われる。

7. まとめ

交通流制御によって航空交通量の集中を時間的に分散させることを想定したシナリオと管制処理方法の組み合わせについて、COMPASⁱを用いてシミュレーションを行い、管制処理の困難度の違いの観点から試行的評価を行った。その結果、管制処理方法によって交通流制御によるワークロード軽減効果の表れ方は異なることが確認され、交通流制御と管制処理方法との適合性評価が必要である可能性が示された。今後も様々なセクターや交通状況に対する適応性の高い管制処理方法について検討していきたい。

謝辞

本研究は、独立行政法人 鉄道建設・運輸施設整備支援機構「運輸分野における基礎的研究推進制度」、および科学研究費補助金（課題番号：21310103）の支援により実施された。

文献

- [1] 狩川他：” レジリエンス工学に基づく複雑システムの安全研究(4) -管制官の実践知伝承支援インタフェース”，ヒューマンインタフェースシンポジウム 2011 論文集，pp.55-60，2011
- [2] 青山他：レジリエンス指向型安全支援研究(4) -航空交通流制御の評価と改良に向けた検討-，ヒューマンインタフェースシンポジウム 2012 論文集，pp.53-58，2012