

航空路管制業務におけるチームワークロードの計測手法

筑波大学 ※伊藤誠, 西田開飛, 孟成柱

1 まえがき

航空交通の増大・複雑化と、航空路管制処理システム（Trajectory-based En-route traffic data Processing System: TEPS）などの支援機能の介在による業務の変質が、航空管制官のワークロードに従前とは異なる影響を与えている可能性がある。航空交通管理を適切に行っていくためには、今日の航空管制業務における管制官のワークロードを適切に評価できることが必要と考えられる。

MBB 法[1]に代表される従来のワークロード評価方法は、航空管制業務にかかる客観的な量として算出され、結果系として表れる心的負担ではなく、人間の心身に影響を与える原因系としての心的負荷に相当する。このため、与えられた負荷に応じてどの程度管制官のエラーが生じやすくなるか MBB 法ではわからない。

また、現在の航空路管制業務では、空域セクター単位において、原則、レーダー管制席（TEPS の R 席）と調整席（TEPS の C 席）の二人一組で業務を遂行している。MBB 法はレーダー管制席（R 席）のタスクのみを考慮しているが、実業務においては、C 席は、共通の状況認識を通して、助言を与えるなどにより、R 席のエラーを抑える役割も担っている。このように今日の航空管制業務はチームとして運用されていることから、チームとしてのメンタルワークロードを適切に評価する方法論の確立が重要な課題である。

チームとしてのメンタルワークロードを評価するためには、個々のチームプレイヤーが自身のタスクで生じるワークロードのみならず、協調・コミュニケーションにかかる負担も考慮すべきである。いくつかの試みはすでに存在している([2]など)が、現在の航空路管制業務においてチームのワークロードを適切に評価する方法は確立しているとは言えないのが現状である。

本研究は全体では3か年計画として取り組み、初年度は航空路管制業務におけるチームワーク

ロードの概念の検討[3]、2年目は航空路管制業務チームワークロードの評価手法の基礎的な評価[4]を実施した。これらの成果を踏まえて、本稿では、航空路管制業務チームワークロードの評価手法を実環境レベルで検証することに取り組んだ結果を報告する。

2 実験方法

2.1 参加者

本実験における参加者は、航空管制業務に日ごろ従事している12名である（年齢：平均41.5歳、標準偏差7.1、経験年：平均16.7年、標準偏差6.9、性別：女性5名、男性7名）。1回の実験において参加者から2名を選び、R席とC席の役割を担当させた。なお、実験補助者がパイロット役及び対象セクターと隣接するセクターのC席役を務めている。

2.2 実験装置

今回の実験では、東京航空交通管制部訓練室のTEPSシミュレーターを用いた。TEPSシミュレーターは現役管制官の訓練及び慣熟のために使用されているツールであり、実際のTEPSとほぼ同等の操作性を保持している。

2.3 実験計画

本実験では、セクターと交通量の異なる6つのシナリオを設定した（表1）。

表1 実験シナリオ

シナリオ	セクター	交通量（機）
17-1	T21 & T48(近畿西)	32
17-2	T03(関東北)	33
17-3	T09(関東南 A)	24
18-1	T21 & T48(近畿西)	31
18-2	T03(関東北)	30
18-3	T09(関東南 A)	23

なお、これらのシナリオについて、現在航空交通管理で使われている負荷評価（Modified MBB: MMBB）に相当する値は表2の通りとなっている（実業務では百分率を使用するが、ここでは全体を1として表す）。

表2 各シナリオのMMBB値(30分値)

scenario	MMBB
17_1	1.26
17_2	0.66
17_3	1.40
18_1	1.56
18_2	0.69
18_3	1.25

2.4 タスク

本実験においては、通常の訓練におけるシミュレーションと同様に、現実における業務と同様の管制業務を行わせている。すなわち、実際の規定類に則り管制間隔を維持するため適宜管制指示を発出する管制業務（R席）及び調整が必要な場合は隣接セクター等と適宜調整を実施する業務（C席）を行わせている。一つのシナリオを完了するには、それぞれ約30分を要する。

2.5 実験の手順とシナリオ

本実験を実施するにあたり、事前に実験の目的並びに方法について説明し、実際に担当するシナリオについての割り当てを行った。

実験の前に、実施する内容、主観評価の方法について実験者から口頭にて確認を行った。

実験実施中、R席、C席の参加者双方に対して、実験開始直後を含めて5分毎に現時点での負担感を0から100の間の数値として口頭にて答えさせた。また、シナリオ終了後に、R席、C席の参加者双方に対して、チームワークロード評価指標であるTeam Workload Questionnaire(TWLQ)と、R席とC席が互いどれだけ協力したと感じたかを測定するためのIOSスケールのアンケートを記入させた。

2.6 評価指標

2.6.1 Team Workload Questionnaire

Sellers et al. [5]は、NASA-TLXを基盤とし、チームの作業負担を主観的に評価するに当たり、Task Workload, Team workload, Task-Team Balancing, 3つの要素を特定し、Team Workload Questionnaire (TWLQ)を開発した。

今回、日本語版 NASA-TLX の訳語を参考にして、各要素の日本語訳を行った（表3～5）。今回は文献[5]の文言から、管制業務に対応するようにアレンジを加えている。

なお、NASA-TLXにおいては、6つの下位尺度の重みを一対比較で決定し、重みづけ平均としてトータルのワークロードを評価する。

Task Loadについては、今回はこの一対比較による重みづけを行わず、重みなし平均によってトータルのワークロード(AWWL)を算出した。なお、Team Workload, Task-Team Balancingの二つについて全体を踏まえた総合負担（「さまざまな負荷要因、負荷原因、部分部分の課題内容を総合すると、全体としてどの程度の作業負担を感じましたか。」）を別途質問したので、下位尺度に基づく平均は算出しない。

なお、本実験では、3つの次元を踏まえた、全体を通した負担感についても別途評価させた。さらに、シナリオ実施中も5分毎に全体の負担感も評価させている。

表3 Task Workload

尺度名	説明
知的負荷	どの程度の知的、知覚的活動（考える、決める、計算する、記憶する、見るなど）を必要としましたか。
身体的負荷	どの程度の身体的負荷（身体を動かす、制御するなど）を必要としましたか。作業は身体面ではラクでしたか、キツかったですか。
タイムプレッシャー	作業や課題が発生する頻度や速度にどの程度時間的切迫感を感じましたか。ペースはゆっくりとして余裕があるものでしたか。それとも早くて余裕のないものでしたか。
達成感	設定された課題の目標をどの程度達成できたと思いますか。目標の達成に関して自分の作業成績にどの程度満足していますか。
努力	自分自身の作業達成レベルを達成・維持するために、精神的・身体的にどの程度一生懸命に作業しなければなりませんでしたか。
フラストレーション	作業中に不安感、落胆、イライラ、ストレス、不快感をどの程度感じましたか。

表4 Team workload

尺度名	説明
コミュニケーション	話し合い、交渉、意見の受け取り及びフィードバックなど、R席及びC席間のコミュニケーションにおいてどの程度コミュニケーションを必要としましたか。
調整業務	計画変更、修正等に対応するために、R席とC席間での調整にどの程度の作業負担を感じましたか。
チーム達成感	担当セクターで設定された課題をどの程度達成できたと思いますか。R席（またはC席）としての作業成績にどの程度満足していますか。

表5 Task-Team Balancing

尺度名	説明
時間管理	個人で行う仕事とチームで行う仕事の時間配分や管理はどの程度負担を感じましたか。
チーム不満	R席, C席チーム活動中に不安感, 落胆, イライラ, ストレス, 不快感をどの程度感じましたか。
サポート	チームメンバーからのサポート（指導, 手助け, 指示など）を行うこと, 受けることは, どの程度負担を感じましたか。

2.6.2 Inclusion of Other in the Self (IOS) Scale

本研究では、他の人やグループとどれだけ親密に感じているかを測定する Inclusion of Other in the Self (IOS) スケール[6]を用いて、TWLQが航空路管制業務に使える評価指標であるか、また、R席とC席がお互い感じる協力傾向を調べた。「あなたとチームメンバーのタスクにおける関係を最もよく表すイメージに丸(○)を付けてください。」という質問と一緒に7つのスケールを提示した。なお、本稿では紙面の都合上IOSに関する分析は省略する。

3 結果と考察

図1に、Task Workload (AWWL), Team Workload と Task-Team Balancing の総合負担 (team 負担感総合) と、全体を通した負担感との関係を示す。個人の作業にかかる負担 (AWWL) よりも、チームとしての負担 (team 負担感総合) の方が全体として、より整合するものであるといえる。このことは、TWLQ を評価することの意義を裏付けるものといえよう。

図2に、MMBB 値とメンタルワークロードの主観評価値との関係を示す。図2(a)から、R席とC席の間では主観評価に大きな差異はない。このことは、主観評価は当てにならないという(よくある)批判に対する反論の材料となりうるデータである。プロの管制官の場合、ワークロードの主観評価における個人差は想像よりもはるかに小さいというべきであろう。

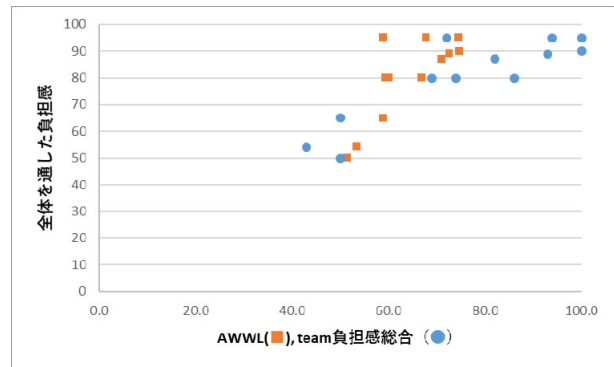
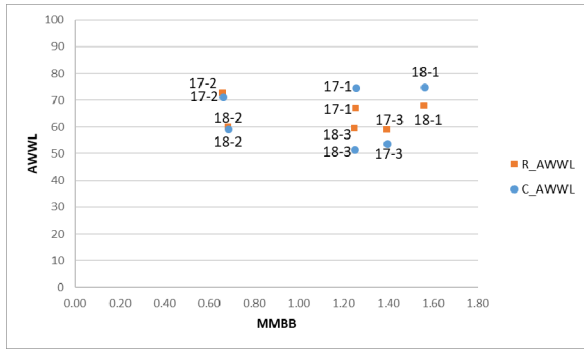


図1 個人のタスク、チームとしての活動のワークロードと全体のワークロードとの関係

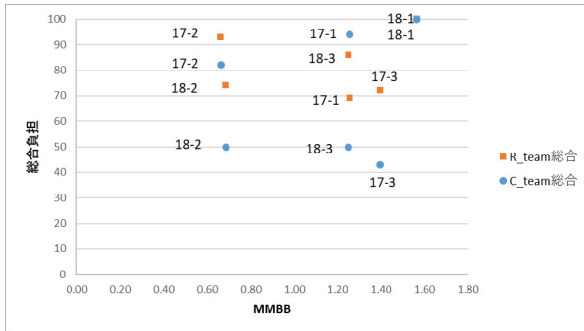
また、MMBB と Task Workload との間には相関が認められないという点が興味深い。シナリオ 1, 3 のように MMBB が変わっても Task Workload がほとんど変わらないものもあれば、シナリオ 2 のように MMBB の値はほとんど変わらないのに Task Workload に大きな影響を与えるものもある。

他方、図2(b)の team 負担感総合の方では、R席とC席との間で主観評価値に大きな違いがみられる。Task Workload で見たように主観評価自体が信用ならないというわけではないと考えられることから、図2(b)におけるR席とC席の評価値の差異はチームにおけるコミュニケーションにかかる負担の差異の現れとみるべきであろう。シナリオ1ではC席の方が負担を高く感じる傾向があるのに対し、シナリオ2, 3ではC席の方がR席よりも負担を小さく感じる傾向がある。なぜこれらの傾向が得られるのかについては、シナリオの特性と合わせて考察を深める必要がある。

図3に、10分単位で、1分毎にスライドさせた MMBB 値と、5分毎の全体の負担感自己評価との関係を示す。紙面の都合上、特徴的な二つのシナリオに限定して示す。なお、MMBB 値の算出にあたり、到着機 (a), 出発機 (d), 通過機 (o) に分けて示してある。図3から伺われるように、MMBB 値とトータルの負担感がよく整合するケース (図3(a)) と、両者が整合しないケース (図3(b)) とがある。現在、MMBB 値と負担感のずれをもたらず要因の特定を試みているところであるが、それがうまくいけば、チームワークロードを考慮に入れた客観的ワークロード評価の計算方法の改善につながると期待される。

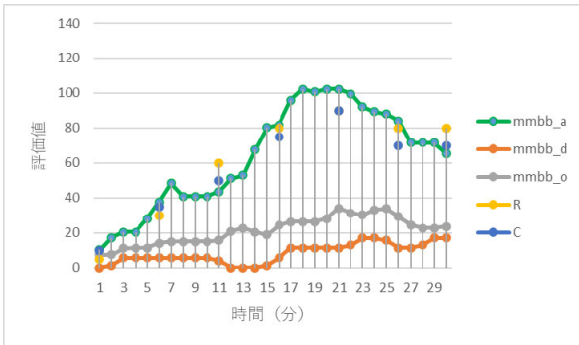


(a) MMBB と個人のタスクの負担感



(b) MMBB とチームワークロードの総合負担

図2 MMBB と主観的メンタルワークロード



(a) 18-1



(b) 18-3

図3 10分毎のMMBBと5分毎のワークロード主観評価

4 まとめ

本研究では、航空路管制業務チームワークロードの主観評価評価手法を、現実の航空管制業務にあたっている管制官を対象として適用、分析を行った。

実験の結果、個人の作業にかかるワークロードの評価は個人によらず安定した評価が得られる見込みが得られた。本実験の結果を踏まえた、MMBBの改善が今後の課題である。

謝辞

本研究は、公募型研究「管制支援機能が管制業務作業量に及ぼす影響に関する研究」（令和2-4年度）として行われたものです。

参考文献

- [1] ICAO (1984), “Doc. 9426 - Air Traffic Services Planning Manual,” The International Civil Aviation Organization (ICAO), Montreal, Canada.
- [2] W.L. Bedwell et al. (2014), “Team workload: A multilevel perspective,” *Organizational Psychology Review*, vol.4, no.2, pp.99-123.
- [3] 伊藤誠, 孟成柱(2021), 航空路管制業務におけるチームワークロードの計測手法の研究報告書, 令和2年度 電子航法研究所公募型研究
- [4] 伊藤誠, 孟成柱(2022), 航空路管制業務におけるチームワークロードの計測手法の研究報告書, 令和3年度 電子航法研究所公募型研究局
- [5] J. Sellers et al. (2014), “Development of the team workload questionnaire (TWLQ),” *Proceedings of the human factors and ergonomics society annual meeting*, vol.58, no.1, pp.989-993.
- [6] A. Aron et al. (1992), “Inclusion of other in the self scale and the structure of interpersonal closeness,” *Journal of personality and social psychology*, vol.63, no.4, pp. 596-612.