

## 回転翼航空機に対する搭乗員割当問題

02602700 防衛大学校理工学研究科 研修生 \*森本達也 MORIMOTO Tatsuya  
01504810 防衛大学校理工学研究科 宝崎隆祐 HOHZAKI Ryusuke

### 1 はじめに

現在、海上自衛隊回転翼航空部隊において、搭乗員の練度維持を図るための訓練や通常任務の飛行（フライト）に搭乗員を割当てるためのフライト・スケジュールは人手による作成が主流である。しかしその作成には多種多様な制約を踏まえる必要があり、人手による方法では制約条件に対する正確な考慮が難しく、多大な時間も必要とするという問題点がある。本研究では、主として線形計画法により多種多様な制約条件を正確に満足させ、入手による作成の際に暗黙のうちに考慮していた評価尺度を明示的に組込んだフライト・スケジュールリング法を提案する。

### 2 フライト・スケジュールリング問題

ここでのフライト・スケジュールリング問題は、ある一定期間において利用可能な飛行線表に、後に示す制約を考慮しつつ搭乗員（パイロット、センサーマン）を割当てる問題である。その際、搭乗員の座席も指定する。対象期間は1週間とする。なお、スケジュール作成に当たっては、ヘリコプターの整備計画及び整備員の勤務形態といった条件も考慮しなければならないがそれらは割愛する。

**[飛行訓練]** 哨戒ヘリコプターは、通常機長兼操縦を担当するパイロット、同補佐であるコ・パイロット及び各種装備品の操作を担当するセンサーマン2名の計4名（1クルーと呼ぶ）で運航される。飛行線表は特別な場合を除き午前、午後、夜間に分けられており、その訓練形態としては実際にヘリコプターで飛行するフライト（F）、4種類の地上シミュレーターWS T（W）、OFT（O）、SOT（T）、SNT（N）による訓練に分類される。F、Wについては、パイロット、センサーマン共通の訓練であり、Oはパイロット、T及びNはセンサーマンのみの個別訓練である。これらF、W、O、T、Nの利用可能な飛行線表は既知であるものとする。

**[搭乗員の資格と養成訓練]** 資格とは搭乗員に対して公式に認定された飛行技量を示し、一定の任務に従事するためには定められた資格が必要とされる。パイロットに関しては6種類、センサーマンには3種類の資格がある。資格取得には、訓練形態F、W、O、T、Nの順序と訓練内容の定められたシラバスから成る養成訓練をクリアすることが必要である。当該スケジュールリング期間（1週間）内において各養成訓練に配置さ

れる個人名は予め決定されているとする。

フライト・スケジュールリングの第1の役割は、各訓練生のシラバスの進捗を管理し、決められた順序どうりの訓練形態（F、W、O、T、N）と訓練生の搭乗座席を飛行線表に割当てることである。通常、飛行線表の半数以上がこの養成訓練に当てられ、残りは練度維持訓練といわれる養成訓練生以外の搭乗員の練度維持に当てられる。フライト・スケジュールリングの第2の役割は、この練度維持訓練への搭乗員の割当である。全搭乗員に対する飛行時数を極力平均化し、平等に練度向上の機会を与えるため、養成訓練以外の飛行線表に主としてシラバスを持たない搭乗員（ノンシラバス者）を割当てる。

**[応急待機]** 応急待機とは、例えば災害派遣等緊急を要する事態に迅速に対応するため1クルーないしは2クルーが待機するものである。この待機により要員は長時間にわたる拘束を受けるため、平日、休日での待機実績を含んだ過去のデータに照らし、平等に搭乗員を割当てる必要がある。

### 3 制約条件

これまでフライト・スケジュールリングの対象と目的を分類して述べたが、それらのスケジュールリングに共通して考慮すべき多数の制約もその性質に従っていくつか分類できる。その第1は、実フライトにせよ訓練装置にせよ搭乗員が実際に座る座席に関する制約である（座席制約）。第2は、同一フライトにおける同席者間の組合せに関する制約であり、資格だけでなく期別及び階級によって許可されない搭乗員の組合せも存在する（同乗者制約）。第3は、養成訓練に見られるように訓練形態とその順序の指定に関する制約であり、養成訓練生に対しては決められた順序どうりに飛行線表にシラバスを割当てる必要がある（訓練形態指定制約）。第4は、搭乗の負荷とフライトの組合せに関する制約であり、特に応急待機においては、当日及びその前後日において全ての訓練又は一部の訓練禁止といった厳しい制約を受ける（フライト組合せ制約）。なお、スケジュールリング対象（養成訓練、練度維持訓練、応急待機）毎に考慮すべき制約条件は異なっておりここで詳述することはできないため、表1で各対象をスケジュールリングする際に上の各制約条件がどの程度厳しいものかを示した。◎は対象に対する制約が厳しいもの、○はある程度制約を受けるもの、△は多少なりとも制約があるものを示している。

ここでは、1PA養成訓練を例にとってその具体的な

制約条件の一部を説明する。この養成訓練は5個のシラバスから成り、最初のシラバスではWまたはOのコンソール席に座って訓練を受ける等々が決められている。また訓練形態Fにおいては、訓練生がヘリコプターの左席に、教官は右席を占めると決められている。更には、教官には1PA以上の資格が必要である。応急待機の例では、右に乗るパイロットが期別、階級とも左席よりも上であることが要求される。また、当日の待機要員は当日の訓練のみならず前日の夜の訓練や翌日の午前中の訓練にも就くことはできない。

表1 スケジューリング対象と制約条件の関係

対象		制約条件			
		1	2	3	4
養成訓練	1PA養成訓練	○	△	◎	
	1PB養成訓練	○	○	◎	△
	1PC養成訓練	△	○	◎	△
	2PA養成訓練	△	○	◎	△
	2P習熟訓練	○	○	◎	△
	1P慣熟訓練	○	○	◎	△
	2P慣熟訓練	○	○	◎	△
	SMA養成訓練	△	○	◎	
	SMB養成訓練	△	△	◎	
	SMC養成訓練	△	△	◎	
訓練	SM慣熟訓練	△	△	◎	
	応急待機	○	◎		◎
	練度維持訓練	○	△		△

#### 4 スケジューリング手順

多種多様な制約条件を含むフライト・スケジューリングにおいて、その対象全てを一度にスケジューリングすることは技法上困難である。またスケジューリング対象毎にその目的が異なるため、次の要領で逐次的にスケジューリングを行う方法を用いる。(1) まず養成訓練生の技量の定着度及び先週末までの進捗状況から今週の進捗度(クリアすべきシラバス)を決定する。(2) 次に、訓練生のフライト・スケジュールを養成訓練課程毎に線形計画法により個々に決定してゆくが、ある養成訓練のスケジューリングを行う際には、事前に決定した訓練生の割当は固定変数とする。(3) パイロットの訓練生割当が終了した後に、センサーマンの訓練生の全養成訓練のフライト・スケジューリングを行う。(4) 以上により養成訓練生の割当を決定した後、応急待機要員資格を持つ全ての搭乗員の中から1日当りの待機要員8名(2クルー)を1週間分決定する。(5) 最後に、すでに決定した養成訓練生のフライトに同乗する教官及び空いている飛行線表を練度維持訓練として使用しノンシラバス者を割当てて終了する。

#### 5 整数計画問題による定式化

前節での手順のほとんどに整数計画法を用いた。ここでは、一例として応急待機のスケジューリングのための

0-1整数計画問題による定式化をパイロットの割当に関係する部分のみ抜粋して記述する。0-1整数変数 $x_{pfc}$ はパイロット $p$ がフライト $f$ で座席 $c$ に搭乗する場合に1を、そうでなければ0をとる。

[記号]  $D$ : 1週間における日の集合,  $P$ :パイロット集合,  $\tau_p$ :パイロット $p$ の階級,  $t_p$ :パイロット $p$ の過去2ヶ月における応急待機回数,  $t_p^h$ :パイロット $p$ の過去2ヶ月における休日応急待機回数,  $C_p^R$ :応急待機におけるパイロット席,  $C_p^l$ :訓練形態 $l = \{F, W, O\}$ におけるパイロット席,  $F_k^R$ : $k$ 日における応急待機のフライト集合,  $F_{k,l}^d$ : $k$ 日における $d = \{AM, PM, N(夜)\}$ に利用可能な $l = \{F, W, O\}$ のフライト集合

[定式化]

$$\text{Min} \sum_{p \in P} \sum_{c \in C_p^R} (3 * t_p^h \sum_{f \in F_k^R \cup F_k^l} x_{pfc} + t_p \sum_{k \in D} \sum_{f \in F_k^R} x_{pfc}) \quad (1)$$

+(センサーマンに関する部分)

subject to

$$\sum_{p \in P} x_{pfc} = 1, \quad c \in C_p^R, \quad f \in F_k^R, \quad k \in D, \quad (2)$$

$$\sum_{p \in P} x_{pfl} \tau_p \geq \sum_{p \in P} x_{pfl} \tau_p, \quad f \in F_k^R, \quad k \in D, \quad (3)$$

$$\sum_{f \in F_k^R} \sum_{c \in C_p^R} x_{pfc} + \sum_{f \in F_{k-1}^R} \sum_{c \in C_p^R} x_{pfc} \leq 1, \quad p \in P, \quad k \in D, \quad k \geq 2, \quad (4)$$

$$\sum_{f \in F_k^R} \sum_{c \in C_p^R} x_{pfc} + \sum_{l \in \{F, W, O\}} \sum_{f \in F_{k-1,l}^R} \sum_{c \in C_p^l} x_{pfc} \leq 1, \quad p \in P, \quad k \in D, \quad k \geq 2, \quad (5)$$

$$\sum_{f \in F_k^R} \sum_{c \in C_p^R} x_{pfc} + \sum_{l \in \{F, W, O\}} \sum_{f \in F_{k+1,l}^R} \sum_{c \in C_p^l} x_{pfc} \leq 1, \quad p \in P, \quad k \in D, \quad k \leq |D| - 1. \quad (6)$$

(センサーマン、その他に関する制約条件が続く。)

上記の問題における各式の意味は次のとおりである。

- (1) 重み付けした応急待機実績合計の最小化。
- (2) 毎日の応急待機は必ず埋める。
- (3) 1席に座るパイロットの階級は2席のそれ以上。
- (4) 2日続きの連続応急待機の禁止。
- (5) 前日夜間の訓練装置及びフライトの禁止。
- (6) 翌日午前の訓練装置及びフライトの禁止。

商用アプリケーションNUOPT((株)数理システム)を用いて行った実際のスケジューリング結果については、紙面の都合上発表会当日に報告する。

#### 6 今後の課題

各航空隊毎に定められている細かな制約事項についても考慮し、かつ突発的な再スケジューリングにも柔軟に対応できる手法の提案が今後の課題である。