

業務平準化のための作業割り当て問題の研究

M2018SS006 永田勇貴

指導教員：鈴木敦夫

1 はじめに

近年、技術の進歩に伴い、人工知能などの導入を行う企業が増えており、IT を活用した最適化による業務上の問題解決が可能になっている ([1] [2] [3])。しかし、まだ多くの企業では最適化の手法が一部の業務でしか活用できておらず、十分な効果を発揮できていない場合が多い。そのため、まだ多くの業務が、最適化手法を用いることで効率化ができるにもかかわらず手作業で行われている。手作業では、手間や時間を費やす上に、ヒューマンエラーを発生する可能性が高く、効率的に業務を行うことができない。そこで、本研究では、ある企業の業務で実際に発生しているスケジューリングの問題を解決する方法を取り扱うことで最適化手法の業務内での運用における有用性を示す。

ここで対象としているある企業では、多くの業務を同時に行い、完了させるために様々な作業割り当てスケジュールや重役のスケジュール管理など様々なスケジューリング問題を抱えている。現状では、それらの問題の大半を手作業で時間を費やしてスケジュール作成を行うことで対応している。しかし、働き方改革などの影響で仕事の効率化をしていきたいこの企業としては、システムによるスケジュールの自動作成に移行していくことで業務効率の向上を行いたいと考えている。そのためには、短時間で人や日毎に作業量の偏りが発生しない最適な作業割り当てスケジュールを作成するシステムの構築を行う必要がある。

本研究では、問題となっている業務の1つである会議を行うための準備業務（会議準備業務）における作業スケジュールを対象として、オペレーションズ・リサーチ（OR）の手法を活用した最適スケジュール自動作成システムを開発する。そして、現場で業務に活用できるシステムとして、実用化することを目的とした。そのため、システムのユーザーインターフェース開発では、この業務におけるスケジュール作成を行う担当者のシステム使用時に起こる抵抗感を減らすために、慎重に打ち合わせを重ねた。打ち合わせの末に、開始日や期限日を考慮した実行可能なスケジュールを提示する可視化の段階と可視化したスケジュールを基に業務内における作業担当者の作業時間が平準化されたスケジュールを提示する段階の2段階に分けてスケジュールを表示することに決定した。システムはExcel上に構築し、実装を行い、実際の業務内で運用することによってスケジュール作成時間短縮をして、1日毎の業務量を平準化したスケジュールの提案をすることで、業務効率の向上を促す。最終的には、優秀な人材の効率的な活用を実現して、残業時間の発生を抑えコストの削減を行うだけでなく、よりクリエイティブな業務に時間を割けるようにす

ることによって利益向上も狙っていく。

2 会議準備業務のスケジュール作成に対する問題背景

2.1 業務の現状

ある企業では、会議準備業務における作業スケジュールを作成している。会議は月に10回以上開催されており、各会議の準備には、会議室の予約、議題の選定、開催案内の作成、資料集約、当日の運営から議事録の作成・発行まで約50項目の作業を全て完了する必要がある。現状では、担当者が1人で全ての作業を手作業で割り当てているためスケジュールの作成に時間を費やしている。また、会議を行う期間が月毎にある程度決まっていますが、複数の会議が同日に行われることが多い。そのため、1日毎の作業量に偏りが出ているため、各作業の締め切りが会議開催日付近に集中しているため、負担が大きい日には長時間残業が発生している。さらに、現在の状況では、作業を行える担当者は6人である。しかし、それぞれの担当者がこの業務を完了するのに必要な作業に対しての優先度を持っている。この優先度は、高いほど早く正確に作業を完了できる担当者である指標として利用されている。優先度の低い担当者は単独でその作業を担当することができず、優先度の高い担当者の指導の下2人以上で作業を行う必要がある。その結果、担当者毎の作業量の差が大きく、一定の担当者へ負担が偏っている。以上の問題点を考慮して、各担当者の1日毎の業務負担が均等になるようなスケジュールを構築する必要性に迫られている。

2.2 問題解決の方法

先で述べた問題の解決をスケジュールの可視化と平準化の2段階に分けて行う。1段階目として、Program Evaluation and Review Technique(PERT)を活用して、作業毎に締め切りや先行工程を考慮した最早開始日と最遅開始日とを求め、実行可能な経路とクリティカル・パスを明確にする。しかし、PERTによって求めた解を数値で表すだけではスケジュールとしての実用性に欠ける。そこで、スケジュール表示には、ガントチャートを採用した。2種類の手法を併用して、可視化を行うことでより実用性の高いスケジュールの作成を可能にした。

次に、この可視化したスケジュールを基に誰がいつその作業を行うと効率よく業務を完遂できるかを求めて、担当者の1日毎の作業量を平準化したスケジュールを表示する。このスケジュールを求めるために、0-1混合整数計画法の問題として定式化する。

そして、短時間で効率のよいスケジュールを自動作成す

るシステムを数理計画ソフトウェアを用いて実現する。開発したスケジューリングシステムを利用する問題の規模は現状約1ヶ月分のスケジュールを求める程度になる予定である。しかしながら、一度に全ての会議の作業についてスケジューリングを行うと現状の解法とシステムで利用可能なソルバーでは、解を求めてスケジュールを作成するまでに多大な時間が必要となる。そこで、問題の規模を小さくするために、重要度の高い会議から数段階に分けてスケジュールを作成する。

最終的には、実際の現場へ導入後、担当者方の残業時間を短縮することを目標とする。具体的には、誰がスケジュールの作成を行っても短時間かつ残業発生率が低いスケジュールを自動作成する。そして、スケジュールの作成時間短縮だけではなく、各担当者にできる限り均等に仕事を割り振ることで1人にかかる作業負担を軽減し、会議準備業務における残業の発生を防ぐ。以降、会議準備業務内の作業を工程として定義する。

3 可視化の手法

3.1 PERT

1段階目では、平準化を行うための準備としてスケジュールの可視化を行う。現状では、1人の担当者によって完全に手作業でスケジュールの可視化が行われており、今までの経験から実行可能なスケジュールの作成を行っているため、作成者へ負担が大きくなっている。作成されたスケジュールもいつ・誰が・何を行うのかという情報しかなく、どの工程が遅れるとプロジェクトへ影響が1番大きいかなどの情報を把握することが難しい状態である。また、工程は数時間で完了するものから数日必要とするものまで幅広く存在するため、月単位でスケジュール作成を行い、日単位で表示する。そこで、PERTの手法を利用することで、PERT図によって、各工程の最早開始日から最遅開始日までを求めることでクリティカル・パスを明確にする。そして、指定された期間内に全ての工程が持つ各条件を満たした上で、それぞれの工程を完了して、全ての会議を滞りなく開始することができるスケジュールを考案する。このスケジュールは担当者方がリアルタイムで進捗状況などを見て活用するものでもあるため、スケジュールの精度だけではなく使いやすさ、見やすさも重要である。よって、結果の表示にはガントチャートを活用する。

3.2 可視化を行う上での条件

会議準備業務の工程を可視化する際に、考慮することが必要な条件を以下に述べる。

- 先行工程を持つ工程は全ての先行工程完了前に開始しない
- 開始可能日や期限日が指定されている工程は指定日を厳守する
- 事前に休日として設定された日へ工程の割り当てを行わない

- 日程変更不可の工程の場合、必ず指定された日にのみ割り当てる

4 平準化の手法

4.1 混合整数計画法による定式化

2段階目では、PERTによって可視化したスケジュールを基に平準化を行う。会議準備業務の工程には、先行工程を持っているものがあり、その工程は先行工程終了後にしか開始できない。また、担当者はそれぞれの工程に対しての割り当て優先度を持っており、優先度が低い担当者をそれぞれの工程へ割り当てる場合、一定の優先度を越えた担当者との組み合わせる必要があり、単独での割り当てが不可となっている。この優先度は仕事効率パラメータにも関係している。優先度が高いほどこの仕事効率パラメータは高くなるように設定しており、比例の関係にある。仕事効率パラメータとは、各担当者の工程に対する完了に必要な時間の差をそれぞれに0から1の数値で表したものである。このパラメータが1の担当者であればその工程を最大効率で完了することができる。また、パラメータの値が小さくなるとその工程に対する効率が低下して行く。担当者の組み合わせによってそれぞれの労働時間が細かく変動するため、1日の勤務時間を連続変数として解を求めることが必要であると考えた。

そこで、0-1混合整数計画法を活用して、各担当者の1日における労働時間が平準化できる割り当てを行う定式化を考案した。

4.2 平準化を行う上での条件

会議準備業務の工程を担当者毎へ割り当てる際に、必要な条件を以下に述べる。

- 先行工程を持つ工程は全ての先行工程が完了するまで開始できない
- 各工程には、完了に必要な日数と時間が定められている
- 各工程はPERTによって定められた割り当て可能な期間にのみ割り当てる
- 各担当者へ1日毎に割り当てる工程を行うことによって発生する労働時間は規定の労働時間を越えない
- 工程の割り当てが可能な状態の担当者が出勤している日にもみ工程を割り当てる
- 各担当者には工程毎に割り当ての優先度が定められており、一定の優先度を越えている担当者を必ず1人以上割り当てる必要がある
- 一定の優先度を下回る担当者をその工程へに割り当てる場合、一定の優先度を越える担当者と同日程で割り当てる必要がある(図1)
- 担当者の仕事効率パラメータは優先度比例の関係になるように設定する(図2)

担当者の優先度	1	2	3	4	5
1	×	×	×	×	○
2	×	×	○	○	○
3	×	○	×	×	×
4	×	○	×	×	×
5	○	○	×	×	×

図1 優先度毎の同時に工程へ担当可能な担当者の組み合わせ（優先度が5段階の場合）

優先度	5	4	3	2	1
仕事効率	1	0.95	0.85	0.75	0.7

図2 仕事効率パラメータ（優先度が5段階の場合）

4.3 定式化

スケジュール作成期間内における全担当者の労働時間を平準化する計算を行う。そのため、それぞれの担当者が1日で行う必要がある労働時間を最少化するために、規定労働時間内の労働時間が発生した場合と規定労働時間を越えた分の労働時間が発生した場合にそれぞれペナルティを付けた。そして、目的関数は担当者が1日で行う総労働時間と規定労働時間を越えた分の労働時間の重み付き和を最小化することである。それによって、担当者毎の労働時間が均等にして平準化する。上記で述べた条件を数式で表現すると次のようになる。

定数

- I : 工程の集合 $I = \{1, 2, \dots, o\}$
 J : 工程を行える日付の集合 $J = \{1, 2, \dots, r\}$
 K : 担当者の集合 $K = \{1, 2, \dots, e\}$
 P_i : 工程 i の先行工程の集合
 a_{ik} : 担当者 k の工程 i に対する仕事効率パラメータ
 s_i : 工程 i を完了するのに必要な時間
 n_i : 工程 i を完了するのに必要な日数
 m : 規定労働時間
 b_{jk} : j 日における担当者 k の最大で労働可能な時間
 c_1 : 労働時間に対するペナルティ
 c_2 : 規定労働時間を越えた場合のペナルティ
 u_i : 工程における担当者の割り当てできる人数の上限

$$g_{ij} = \begin{cases} 1 & j \text{ 日に工程 } i \text{ を実行可能} \\ 0 & j \text{ 日に工程 } i \text{ を実行不可} \end{cases}$$

$$d_{jk} = \begin{cases} 1 & \text{担当者 } k \text{ が } j \text{ 日に出勤している} \\ 0 & \text{担当者 } k \text{ が } j \text{ 日に出勤していない} \end{cases}$$

$$f_{ik} = \begin{cases} u_i & \text{担当者 } k \text{ が工程 } i \text{ を単独で担当可能} \\ & \text{かつ割り当て優先度が最大値である} \\ 1 & \text{担当者 } k \text{ が工程 } i \text{ を単独で担当可能} \\ & \text{かつ割り当て優先度が最大値ではない} \\ -1 & \text{担当者 } k \text{ が工程 } i \text{ を単独で担当不可} \\ & \text{かつ割り当て優先度が最小値ではない} \\ -2 & \text{担当者 } k \text{ が工程 } i \text{ を単独で担当不可} \\ & \text{かつ割り当て優先度が最小値である} \end{cases}$$

変数

$$x_{ijk} = \begin{cases} 1 & j \text{ 日に工程 } i \text{ を担当者 } k \text{ へ割り当てる} \\ 0 & j \text{ 日に工程 } i \text{ を担当者 } k \text{ へ割り当てない} \end{cases}$$

$$v_{ik} = \begin{cases} 1 & \text{担当者 } k \text{ が工程 } i \text{ を行う} \\ 0 & \text{担当者 } k \text{ が工程 } i \text{ を行わない} \end{cases}$$

w_{ij} : 工程 i を j 日に行うとき 1 になる連続変数
 $(0 \leq w_{ij} \leq 1)$

Z : 担当者毎に総労働時間を考えたとき、それらの総労働時間内の最大値を表す連続変数

V : 担当者毎に規定労働時間を越えた分の総労働時間を考えたとき、それらの総労働時間内の最大値を表す連続変数

y_{ijk} : 担当者 k が j 日に工程 i に対して行う労働時間

目的関数

$$\min. c_1 Z + c_2 V$$

制約条件

$$\sum_{i \in I} y_{ijk} \leq m + V, \quad j \in J, k \in K \quad (1)$$

$$\sum_{i \in I} y_{ijk} \leq Z, \quad j \in J, k \in K \quad (2)$$

$$\sum_{i \in I} y_{ijk} \leq b_{jk}, \quad j \in J, k \in K \quad (3)$$

$$\sum_{j \in J} \sum_{k \in K} a_{ik} y_{ijk} \geq s_i, \quad i \in I \quad (4)$$

$$x_{ijk} \leq g_{ij} d_{jk}, \quad i \in I, j \in J, k \in K \quad (5)$$

$$\sum_{j'=1}^j w_{i'j'} \geq n_{i'} w_{ij}, \quad i \in I, j \in J, i' \in P_i \quad (6)$$

$$w_{ij} \geq x_{ijk}, \quad i \in I, j \in J, k \in K \quad (7)$$

$$\sum_{j \in J} x_{ijk} = n_i v_{ik}, \quad i \in I, k \in K \quad (8)$$

$$1 \leq \sum_{k \in K} f_{ik} v_{ik} \leq u_i, \quad i \in I \quad (9)$$

$$\sum_{k \in K} v_{ik} \leq u_i, \quad i \in I \quad (10)$$

$$y_{ijk} \leq s_i x_{ijk}, \quad i \in I, j \in J, k \in K \quad (11)$$

$$x_{ijk} \in \{0, 1\}, \quad i \in I, j \in J, k \in K \quad (12)$$

$$v_{ik} \in \{0, 1\}, \quad i \in I, k \in K \quad (13)$$

$$y_{ijk} \geq 0, \quad i \in I, j \in J, k \in K \quad (14)$$

● 目的関数の説明

担当者が1日で行う総労働時間と規定労働時間を超えた分の労働時間の重み付き和を最小化する

● 制約条件の説明

- (1) 担当者が1日で行う工程に対する労働時間の総和が規定労働時間を越えた分の最大値を V とする
- (2) 1日でも最も長い時間労働を行った担当者の労働時間の最大値を Z とする
- (3) 担当者 k の j 日における労働時間を b_{jk} 時間以下にする
- (4) 工程 i を s_i 時間以上行い完了する
- (5) 工程 i を行うことができ、担当者 k が出勤している j 日にのみを割り当てる
- (6) 先行工程 P_i が全て完了していなければ j 日に工程 i を割り当てない
- (7) 工程 i を j 日に実行するなら担当者を割り当てる
- (8) 工程 i を担当者 k が1日以上実行するなら完了まで行う
- (9) 工程 i についての優先度が一定以下の担当者 k を単独で実行するまたは担当者の優先度の合計が一定以上になる j 日へ割り当てない
- (10) 工程 i を行える担当者は u_i 人以下
- (11) 担当者 k が工程 i を行う j 日にのみ労働時間が発生する
- (12) バイナリ条件
- (13) バイナリ条件
- (14) 非負制約

5 会議準備業務のスケジュール可視化・平準化システム

本研究では、最終的にスケジューリング問題を解決するシステムを作成した。システムは、Microsoft Excel 上に VBA と Python を用いている。可視化には、VBA を用いて PERT によってスケジュール表を自動作成して、ガントチャートで表示を行えるようにした。その後、そのスケジュール表を基に、Python 上で線形計画問題を解くためのモデリング API である `mypulp` 内に同梱されている COIN Branch & EPL ライセンス (CBC) というソルバーをメインソルバーとして活用して、平準化を行い、各担当者に工程を割り当てを行っている。

検証を行う中で、実業務で使用されている規模のデータでスケジュールを平準化する場合、計算時間が長時間になることが判明した。つまり、実業務で最適化を行うと大規模な計算となってしまう、実用的でないシステムとなってしまう。そこで、最適化したスケジュールの表示と実業務で運用する上で必要な機能を実装したシステムを実現するために可視化・平準化の際に利用した手法に加えてシステム上では以下のような変更を行うことで対応した。

5.1 実業務におけるシステム上での可視化

- 最早開始日・最遅開始日の間に余裕がある場合、その期間を変更可能期間として表示を行う
- 各会議終了後に行う必要がある議事録関係の業務 (PERT とは紐づいていない) を約 1 週間程度の期間を設けて割り当てる
- 事前に休日として設定された日を表示する
- 割り当ての際、求めるスケジュールの範囲外に割り当てられる工程は PERT の計算とは関係なくスケジュールの表示だけを行う

5.2 実業務におけるシステム上での平準化

- 最適化計算を行う会議は 3 会議分 (約 150 工程) として、重要度の高い会議から順に平準化を行う

5.3 システムの導入と検証

現状の成果は、システム化をしたことによって、スケジュールが自動作成できるようになり、PERT による可視化によってスケジュールの作成時間を従来の半分以下にすることに成功したことである。

現場でトライアンドエラーを繰り返し、実業務に向けた改善を行う。

6 おわりに

現在システムは試作段階のものを試験的に業務へ導入して、実業務内で運用可能なレベルにするために実験と検証を繰り返している。最終的には、実業務へシステムを正式に導入して、手作業で作成していたときよりも短時間で条件を満たすスケジュールを作成できるようにする。そして、スケジュール作成による業務負担を減らすことによって、減らした分の空いた時間を別の業務に費やすことができるようにして、企業の利益へ繋げたい。

参考文献

- [1] 大野勝久・玉置光司・石垣智徳・伊藤崇博：『Excel による経営科学』。コロナ社、東京、2005。
- [2] 佐々木文夫：「造船におけるシステム技術 (その 16) 一日程計画および工程管理システム」。日本造船学会誌、661 巻 (1984), pp. 402-413。
- [3] 関根智明：『PERT・CPM』。日科技連出版社、東京、1975。