イベント会場設営業務における作業チーム数配分問題の研究

前嶋　泰徳　（沼田　一道　教授　，松浦　隆文　助教）

１．はじめに

現在，様々な場所でイベントや催し物が行われている．小規模なスペースを利用した地域密着型の催し物から，大きな展示場を貸し切って行われる大規模なイベント，人気アーティストによるコンサート，野球やサッカーなどの数万人動員可能なイベントまで規模や種類は多種多様である．イベント会場設営とは，このようなイベントに必要とされるステージやテント，客席，照明などを設営する業務のことを言う[1]．イベント会場設営には，多くの時間と人手が掛かる．イベントは定期的に開催されるものもあるが，現状では不定期に開催されるものの方が多い．よってイベント会場の設営を行う作業者の大半は日雇いアルバイトである．設営業務は，作業者全体でのミーティング，チームの結成，チームに対する各作業の割り当て，実際の設営作業，全作業終了後に解散という流れになる．現状は，現場での 30 分ほどのミーティングにより作業チームの構成とチームの配分，割当てが行われており，全体作業を通しての効率的なチーム数配分がなされていないと考えられる．イベント会場設営は，作業に使える時間が限られており，また投入チーム数により作業にかかる時間も変わってくる．そこで，効率的な設営業務を行うためには最適なチーム数配分，割当てを考える必要がある．

本研究では，このような日雇いアルバイトを使ったイベント設営業務に着目し，現状を反映した例題を作成し，それを数理計画問題として定式化する．定式化された問題を，汎用 MIP 混合整数計画ソルバーで解き，効率の良いチーム数配分について考える．

2.　取り扱う問題

2.1. 問題設定

本研究では，1000 人規模程度のコンサート会場設営業務について考察する．設営業務に使える時間はL時間とする．チーフ１名アルバイト４名の計５名を１チームとし，合計mチームが構成できたとして，業務全体の終了時刻が最早となるようにこれらmチームを各作業へ配分する問題を考える．

2.2. 前提条件

各作業はチームごとに行う．各作業には何チーム配分してもよいが，配分されたチームが，その作業に最初から最後まで従事する．先行作業が必要な作業も存在する．複数の作業系列があり，全作業者はすべての作業が終了するまで拘束される．この前提条件の下で，現実に存在しそうな作業を列挙し，表１に示す作業リストを作成した．作業は A から P まで 16 あり，それぞれ異なる作業である．先行作業を必要とする作業は，先行作業が終わるまで，始めることができない．

表１　作業リスト

作業名	作業内容	先行作業
A	養生シートの設置	―
B	設営に必要な備品の搬入	A
C	屋外テントの設置	B
D	看板等の設置	B
E	イベント本部の設置	B
F	楽屋の設置	B
G	客席設置	B
H	配電設置	B
I	ステージ設置	H
J	音響・照明の設置	G, I
K	販売店の設置	B
L	案内図の設置	E
M	ゴミ箱等の設置	E
N	最終確認	C, D, F, J, K, L, M
O	備品の撤去	N
P	養生シートの撤去	O

2.3.　人員割り当てのポイント

各作業の所要時間は投入チーム数を増やすと短縮される．また投入チーム数による作業時間の変動は，各作業で異なる．しかし，投入チーム数が増えるにつれ作業時間の短縮効率は悪くなる．また複数の作業系列があるので，特定作業へのみ

投入チーム数を増やしても作業全体が早く終わるとは限らない．よって割当てを考える際，投入チーム数による作業時間の変動を考慮しバランス良く配分する必要がある．また，作業を 1 チームで行う場合は, PERT による解法が適用出来るが[2], 複数チームによる作業時間の変動を考慮する場合には, PERT による対応は難しい．そこで最適な人員配置を求めるために，チームの配分，割当てを数理計画問題として定式化する．

3. 定式化

3.1. 定式化の準備

作業の前後関係を表すため，表１の作業リストをフローダイヤグラム化した（図１）．作業 A,B,N,O,P には並列作業が無いため，必要十分なチーム数投入可能である．よって定式化においては，作業 C～M についてのみ考慮すれば十分である．そこで作業 B 終了時刻を開始時刻 0 ， 作業 N 着手時刻を最終仕事の終了時刻yとする．ここでのyは変数である．次に作業 C～M を新しい番号に割り当てる（図２）．また 6 個の「先行→後続」関係，「1→9」，「3→10」，「3→11」，「5→8」，「6→7」，「7→8」が存在する．

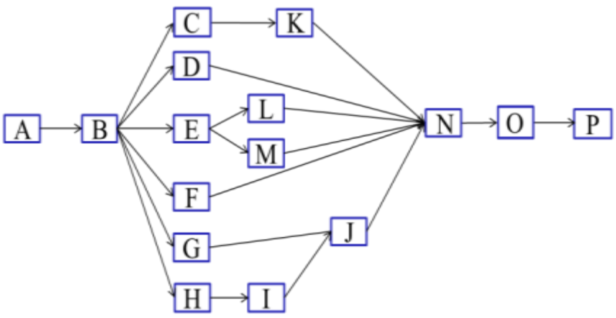

図１　フローダイヤグラム

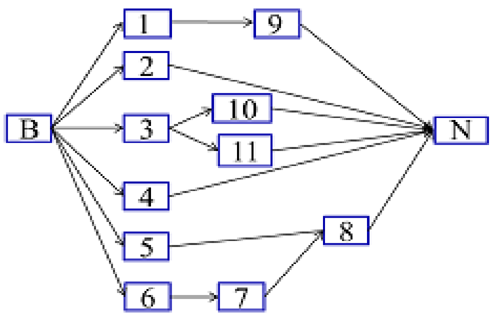

図２　番号図

3.2. 定式化

以上の問題設定を基に，次のように定式化を行った．

＜記号の定義＞

仕事の集合：$J = \{1,2 \dots i,j \dots n\}$　　チーム数の集合：$G = \{1,2 \dots k \dots m\}$

仕事iをチーム数kで行った時の所要時間：d_{ik}

＜決定変数＞

$$x_{ikt} = \begin{cases} 1: \text{仕事}i\text{を時刻}t\text{からチーム数}k\text{で開始する} \\ 0: \text{それ以外} \end{cases}$$

$$u_{ikt} = \begin{cases} 1: \text{時刻}t\text{で仕事}i\text{をチーム数}k\text{で行っている} \\ 0: \text{それ以外} \end{cases}$$

仕事iの開始時刻：s_i　　仕事iの終了時刻：e_i

最遅終了仕事の終了時刻：$y\ (= \max e_i)$

＜目的関数＞

$$\text{Minimize}\ \ y \qquad \text{最遅終了仕事の終了時刻を最早にする} \qquad \dots(1)$$

＜制約条件＞

$$e_i \le y \quad (i = 1,2, \dots n) \qquad \dots(2)$$

$$\sum_{t=0}^{L} \sum_{k=1}^{m} x_{ikt} = 1 \quad (i = 1,2, \dots n) \qquad \dots(3)$$

$$s_i = \sum_{k=1}^{m} \sum_{t=0}^{L} t \ x_{ikt} \quad (i = 1,2, \dots n) \qquad \dots(4)$$

$$e_i = \sum_{k=1}^{m} \sum_{t=0}^{L} (t + d_{ik} - 1) \ x_{ikt} \quad (i = 1,2, \dots n) \qquad \dots(5)$$

$$u_{ikt} = \sum_{\tau=t-d_{ik}+1}^{t} x_{ik\tau} \quad (1 \le k \le m, 0 \le t \le L, 1 \le i \le n) \qquad \dots(6)$$

$$\sum_{k=1}^{m} \sum_{i=1}^{n} k \ u_{ikt} \le m \quad (0 \le t \le L) \qquad \dots(7)$$

$$e_i \le s_j \ , \forall i,j \ \ \mathrm{s.t.} \ 「i \rightarrow j」 \qquad \dots(8)$$

$$x_{ikt} \in \{0,1\}, \ u_{ikt} \in \{0,1\} \qquad \dots(9)$$

(1)式は最遅終了仕事の終了時刻y を最早にするという目的関数である．(2)式は，すべての作業の終了時刻はyより遅くならないことを示している．(3)式は，どの作業iも，ある時刻t（$0 \le t \le L$）に，あるチーム数配分kで１度だけ開始されることを示している．(4)式は，仕事iの開始時刻の定義式．(5)式は，仕事iの終了時刻の定義式である．(6)式は，時刻t における実行状態と開始時刻の関係を示している．(7)式は，どの時刻t（$0 \le t \le L$）でも作業しているチームはmチーム以下であることを示している．(8)式は，仕事iが仕事jに先行する場合，jの開始時刻はiの終了時刻以降である事を示している．

4.解法手順

前節の定式化およびデータファイルを混合整数計画問題記述言語の１つである LP ファイルに変換するプログラムを作成し，変換した LP ファイルを汎用ソルバーGurobi4.0.1[3]に入力して最適解を求める．

5.数値実験

5.1. データの作成

２節で述べた人員割当てのポイントを踏まえたうえで，実際に近い形でチーム数変動を考慮した作業時間（10 分単位）の変動表（表２）を作成した．この表は１チーム投入時の作業時間～６チーム以上投入時の作業時間を表したものである．

表２　投入チーム数変動における各作業時間の変動表（単位：10 分）

作業名	作業内容	作業時間(1T)	作業時間(2T)	作業時間(3T)	作業時間(4T)	作業時間(5T)	作業時間(6T以上)
1	屋外テントの設置	48	36	32	30	29	28
2	看板等の設置	18	15	12	10	9	8
3	イベント本部の設置	30	24	20	18	16	15
4	楽屋の設置	30	24	20	18	16	15
5	客席設置	72	60	48	42	36	33
6	配電設置	24	18	15	13	12	11
7	ステージ設置	60	50	42	36	32	30
8	音響・照明の設置	36	27	24	21	18	16
9	販売店の設置	48	36	30	27	24	21
10	案内図の設置	12	9	8	7	6	6
11	ゴミ箱等の設置	9	6	5	4	3	3

5.2. 実験内容

表２のデータを基に，総投入チーム数mを変動させて実験を行う．本実験ではm＝10，８ の場合について実験を行い，投入チーム数による最適割当ての違いを検証した．

5.3. 結果

mを変化させて実験を行った結果を表３，表４に示す．

投入チーム数の最適解は，表３の通りになった．

目的関数yの最適値は，

m=10 のとき　y=e_2 = e_8=70，

m=８のときy=e_8=77 となった（表４）．

次にガントチャートを作成、投入チーム数変動を考慮した作業割当を検証した．

表３　作業別投入チーム数

作業＼m	10	8
J1	3	2
J2	1	1
J3	1	1
J4	1	1
J5	3	2
J6	4	2
J7	3	3
J8	6	5
J9	2	2
J10	1	1
J11	3	3

表４　実験結果

作業＼m	10	8
s(J1)	0	0
s(J2)	53	0
s(J3)	13	0
s(J4)	32	42
s(J5)	0	0
s(J6)	0	0
s(J7)	13	18
s(J8)	55	60
s(J9)	32	36
s(J10)	43	30
s(J11)	48	72
e(J1)	31	35
e(J2)	70	17
e(J3)	42	29
e(J4)	61	71
e(J5)	47	59
e(J6)	12	17
e(J7)	54	59
e(J8)	70	77
e(J9)	67	71
e(J10)	54	41
e(J11)	52	76

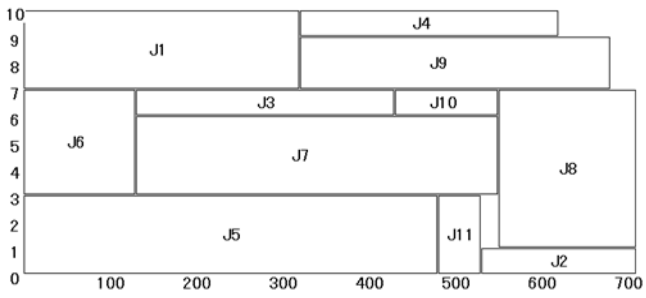

図３　ガントチャート（m=10）

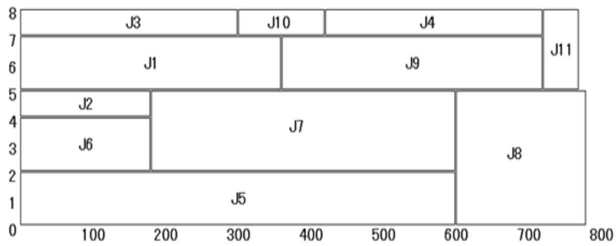

図４　ガントチャート（m=8）

5.4. 考察

作業を行う総チーム数が 10 チームの場合，最遅終了仕事の終了時刻は 710 分，8 チームの場合は 780 分となり 70 分の作業時間の違いが生じた．これよりmを増やすと目的関数の最適値は小さくなることがわかる．次にガントチャートを見ると，10 チーム投入の場合（図３）より 8 チーム投入（図４）の方が作業をしていないチームがある時間帯が少なく密に割り当てられていることがわかる．また 2 つのガントチャートから見る限り，手計算では難しいであろうと思われるような非常に綿密なチーム配分と時間帯ごとによる作業割り当てが成されていることがわかる．このモデルによって，作業者数と作業に使える時間，相互の変化に対応した精密な作業計画の作成が可能であると考える．

6.まとめと今後の課題

本研究では，投入チーム数による作業時間の変動を考慮して，最適なチーム数配分を求める求解モデルを提案し，現実に即した例題に適用した．実験した規模の問題だと５分程度で最適なチーム数配分とそのスケジュールを求めることが出来た．このような計画を PERT 等の方法で立てるのは困難だと思われるので，提案モデルには意義があると考える．また提案モデルを，投入可能チーム数を変化させて解くことにより，必要なチーム数（作業者数）を見積もることも可能である．ただし，問題の規模が大きくなると提案モデルを直接汎用ソルバーで解くのは難しくなる．これに対処できる発見的解法の構築は今後の課題である．

参考文献

[1] 「イベントバイト.com」，http://www.eventarbeit.com/，(2012.1.10)

[2] 加藤　豊，小沢　正典(1998)，OR の基礎－AHP から最適化まで，実教出版，207pp.

[3] gurobi，http://www.gurobi.com/，（2012.1.10）