

スクールバス配車計画の最適化と自動配車システムの作成

M2007MM032 上野礼子

指導教員：鈴木敦夫

1 はじめに

南山大学では2002年以来オペレーションズ・リサーチ(以後, OR とする)を用いた事務の効率化を行っている[1]. そこで本研究では, 南山大学での OR を用いた業務効率化の一つとしてスクールバスの配車について考察し, 自動配車のシステムを作成する.

現在, 南山学園ではスクールバスの運行を行っており, 南山大学瀬戸キャンパス, 聖霊高等学校・中学校及び南山国際高等学校・中学校の生徒, 学生の主要な交通手段の一つになっている. このスクールバスは, それぞれの学校のホームページに掲載されている時刻表や路線図を閲覧することで利用することができる.

このスクールバスの時刻表や管理表などは手動で作成されている. そのため, スクールバスの運行計画を作成するまでに, 多くの時間と労力が費やされている. また行事などのための特別ダイヤ時の配車を編成することは事務職員にとって大きな負担となっている. そこでスクールバスの配車計画をより迅速に, かつ無駄のない配車を考えたいというのが, 本研究に至った動機である.

本研究では, スクールバスの配車計画を 0-1 整数計画法の問題として定式化を行い PC 上の数理計画ソフトウェアを用いた解法を考案する. さらに出発時刻, 到着時刻および行き先などを決定することで, スクールバスの運行管理表を自動的に作成するような, 使いやすさを重視したシステムの構築を目的とする.

第2節では, スクールバスの最適配車計画の問題についての定式化を行う. 第3節では, 実際に南山学園が保有しているスクールバスのデータを第2節で求めた定式化に組み込み, PC 上の数理計画ソフトウェアを用いて最適な配車を行う.

2 スクールバスの配車計画

現在, スクールバスの時刻表及び管理表の作成が手作業で行われており, 多くの時間と労力が費やされ, 特別なダイヤ時などに迅速な対応がしにくい状況にある. そこで, スクールバスの運行管理がより早く自動的に作成できるようなシステムを作成していく.

スクールバスの運行を考えるために第一に考慮しなければならないのが, スクールバスの保有台数である. 従って, まず希望するパターンについて運行可能かどうかの確認を行う. これを第1段階とする. なおパターンとは, 同時刻に同路線へ運行するものを意味する. さらに保有しているスクールバスには, 乗車定員の異なるスクールバスがあるので, 第1段階ではそれぞれのパターンがどの種類のスクールバスで運行するかについても決定する.

運行したいパターンが所有しているスクールバスで運行可能であることを確認した次に考慮すべきことは, 無

駄のないスケジュールを組むことである. そこで, 数理計画ソフトウェアを用いて最適な運行ダイヤを求める. これを第2段階とする.

さらに第2段階終了後, 各スクールバスの1日における運行状況が一目でわかるような運行管理表を Visual Basic for Application(VBA) プログラムを用いて出力する.

2.1 第1段階

第1段階では, まず希望するパターンについて運行が可能かどうかの確認を行う.

このために必要となるデータとして, スクールバスの情報と希望する運行のパターン情報があげられる.

まずスクールバスの情報で必要なものは次の2点である.

- 乗車定員が異なるスクールバスの種類数
- スクールバスの保有台数

さらに, 希望する運行のパターン情報であるが, パターンとは, 同時刻に同路線へ運行するものを1パターンとする. このパターンには, 次の情報が必要となる.

- 出発時刻
- 到着時刻
- 使用したいスクールバスの種類とその台数

上記のデータを基に, ある時刻でのスクールバスの使用台数が保有台数を下回っている, 又は同数であるかどうかを確認する.

さらに確認をした後, スクールバスの種類ごとに運行するパターンを割り当てていく. この割り当ての実現には, VBA プログラムを用いる.

2.2 第2段階

第2段階では, 無駄のないスケジュールを組むことについて考えていく. 第1段階より各種のバスで運行するパターンが得られているので, 第2段階ではバスの種類ごとに各スクールバスの1日の運行ダイヤを決定する.

また第1段階で, 同時刻に同路線へ運行することを意味したパターンを第2段階では, 1パターンで使用するスクールバスを1台として数え直したものをパターンとする.

第2段階では, スクールバスの使用台数をできるだけ少なく効率よく運行する方法について考えたいので, スクールバスの使用台数が最小となるように, 0-1 整数計画法問題として定式化を行う.

そこでスクールバスの使用台数が最小となるよう定式化を行うために条件となるのが, 次の2点である.

- 1台のスクールバスが同時刻に運行できるのは1パターンのみである
- 1パターンを運行するスクールバスは1台のみである

以上のことを踏まえて、定式化したものを LINDO 社の数理計画ソフトウェア (What's Best!9.0.3.3) を用いて解き、最適解を求める。

2.2.1 記号の定義

定数

B : スクールバスの集合 ($b \in B$)

P : パターンの集合 ($p \in P$)

T : 時刻の集合 ($t \in T$)

$A_{tp} =$

$$\begin{cases} 1 & \text{時刻 } t \text{ の時, パターン } p \text{ が運行する} \\ 0 & \text{時刻 } t \text{ の時, パターン } p \text{ が運行しない} \end{cases} \quad (t \in T, p \in P)$$

変数

$x_{bp} =$

$$\begin{cases} 1 & \text{スクールバス } b \text{ が, パターン } p \text{ を運行する} \\ 0 & \text{スクールバス } b \text{ が, パターン } p \text{ を運行しない} \end{cases} \quad (t \in T, p \in P)$$

$y_b =$

$$\begin{cases} 1 & \text{スクールバス } b \text{ を使う} \\ 0 & \text{スクールバス } b \text{ を使わない} \end{cases} \quad (b \in B)$$

2.2.2 定式化

目的関数

使用するスクールバスはできるだけ少なくしたい

$$\min \sum_{b \in B} y_b \quad (1)$$

制約条件

時刻 t の時にスクールバス b が運行しているかどうか

$$\sum_{p \in P} A_{tp} x_{bp} \leq 1 \quad (t \in T, b \in B) \quad (2)$$

1つのパターンはスクールバス1台で運行する

$$\sum_{b \in B} x_{bp} = 1 \quad (p \in P) \quad (3)$$

どのスクールバスがどのパターンを運行するか決定する

$$\sum_{p \in P} x_{bp} \leq |P| y_b \quad (b \in B) \quad (4)$$

変数制約

各パターンと各スクールバスにおける変数

$$x_{bp} \in \{0, 1\} \quad (b \in B, p \in P) \quad (5)$$

各スクールバスの使用の有無における変数

$$y_b \in \{0, 1\} \quad (b \in B) \quad (6)$$

3 事例：南山学園

第2節で定式化したスクールバスの配車計画を、南山学園が所有しているスクールバスを用いて解いていく。

南山学園では多くの生徒・学生及び教職員がスクールバスを利用して通学、通勤をしている。スクールバスには乗車定員別に、大型バス、中型バス、マイクロバスの3種類があり、合計で35台保有している。スクールバスは南山大学瀬戸キャンパスと聖霊高等学校・中学校で共有している。南山国際高等学校・中学校では専用のスクールバスを使用している。

限られた台数のスクールバスを南山大学瀬戸キャンパスと聖霊高等学校・中学校で共有するため、それぞれの登下校の時間帯をずらして運行している。つまり、毎朝高校生・中学生を登校させた後に大学生を登校させている。下校時間のピークは登校時間に比べると時間帯が広い。ため、高等学校・中学校と大学のスクールバスを並行して運行している。登下校時以外の時間帯は大学生の送迎に使用されている。

南山国際高等学校・中学校では全部で9台を専用のスクールバスとして使用しているが、その内3台は南山国際高等学校・中学校の登校時に使用しその後、南山大学瀬戸キャンパスで使用している。

南山大学瀬戸キャンパス、聖霊高等学校・中学校および南山国際高等学校・中学校の各利用状況、運行路線を次に示す。なおスクールバスが運行している所要時間については、目的地へ向かう時間、目的地から戻る時間を含むため各路線の往復時間を示す。

3.1 聖霊高等学校・中学校の現状

聖霊高等学校・中学校の生徒のうち、8割から9割がスクールバスを使って通学している。高等学校・中学校の授業時間は一律であるため、スクールバスの運行は朝の登校時間と夕方の下校時間のみである。運行路線は12路線あり、各路線は生徒の自宅付近の停留所で生徒を乗降させている。表1に各路線と往復時間を示す。

表1 聖霊高等学校・中学校の路線

No.	路線	往復時間
1	多治見線	100
2	豊田線	100
3	豊田線(三好ヶ丘経由)	100
4	植田線	100
5	日進線	100
6	竹越線	80
7	藤ヶ丘線	80
8	上社線	60
9	山口線	20
10	藤岡線	100
11	みどり線	140
12	瀬戸線	140

(単位: 分)

3.2 南山国際高等学校・中学校の現状

南山国際高等学校・中学校の生徒のうち、約 8 割がスクールバスを使って通学している。豊田市内に 2 路線を運行しており、最大 3 つの停留所を経由している。スクールバスの運行は、主に登校時間と夕方の下校時間である。登校時間は 9 台のスクールバスを使用している。9 台のうち 3 台はその後南山大学で使用し、残りの 6 台を夕方の下校時間に使用する。表 2 に各路線と往復時間を示す。

表 2 南山国際高等学校・中学校の路線

路線	停留所	往復時間
浄水線	浄水駅	40
	保見駅	
豊田線	新豊田駅	60
	五ヶ丘公園	
	市木町	

(単位：分)

3.3 南山大学瀬戸キャンパスの現状

南山大学では 1000 人以上の学生がスクールバスを利用している。大学の授業は個々によって異なるため、スクールバスは朝夕のピーク時を中心に各時間帯に運行している。運行路線は 2 路線と、瀬戸キャンパスと名古屋キャンパスを往復するシャトルバスがある。各路線では、1 箇所の停留所で学生を乗降車させている。表 3 に各路線と往復時間を示す。

表 3 南山大学瀬戸キャンパスの路線

路線	往復時間
本郷	60
平針	80
シャトルバス	80

(単位：分)

ただし本郷の路線では、「瀬戸交流会館前」及び東部丘陵線 (Linimo)「愛・地球博記念公園」駅で乗降することも可能である。また、本郷と平針の路線の一部では、愛知環状鉄道「山口」駅での乗降も可能である。

3.4 スクールバス運行表と時刻表の作成

スクールバスの運行をスムーズに行うためには、スクールバスの時刻表及び運行管理表が必要となる。スクールバス運行管理表とは、35 台の各スクールバスが 1 日に何時にどこへ運行するのかを表にしたものである。

現在、このスクールバスの時刻表及び運行管理表は、手動で作成されている。通常の時刻表は、ほぼ年間を通してあまり変化はないものの、特別な行事があるときなどは、その編成にかなりの時間と労力を必要としている。

特に、南山大学瀬戸キャンパスでは、表 4 のような運行パターンがいくつかあり、特別パターン時が最も編成に苦労している。

表 4 南山大学瀬戸キャンパス：スクールバス運行パターン

運行パターン	詳細
A	月・火・木・金
B	水
C	土
D	長期休業中および授業のない平日
特別	A~D パターンに当てはまらない運行を行う日
運休	運行を行わない日

この現状を踏まえ、今回は 2007 年度実際に運行されていたスクールバス運行管理表を基に最適な配車計画を考える。

3.5 第 1 段階

南山学園はスクールバスを合計で 35 台保有し、乗車定員別に、大型バス、中型バス、マイクロバスの 3 種類がある。今回は、南山国際高等学校・中学校で専用に使っている 9 台の内、南山大学瀬戸キャンパスで使用しない 6 台を除く。つまり、今回の配車計画でのスクールバスの台数は表 5 のようになる。

表 5 スクールバス保有台数

種類	台数
大型バス	25
中型バス	1
マイクロバス	3
合計	29

2007 年度に実際運行していたデータから、同時刻に同路線へ運行するパターン数は 99 パターンあった。それらのパターンが運行可能かどうか確認を行う。さらに各種類のバスへパターンを割り当てる。また第 2 段階での計算をスムーズに行うために、パターンを 1 つにつきスクールバス 1 台使用としてパターンを数え直す。

この結果、大型では 115 パターン、中型では 4 パターン、マイクロバスでは 8 パターンとなった。

3.6 第 2 段階

スクールバスの運行は全て午前 6 時から午後 11 時の間で運行を行っているので、今回の定式化での時間の集合 T は、午前 6 時から午後 11 時の間を 5 分刻みで区切った集合とする。

また、スクールバスの保有台数 B およびパターン数 P は、第 1 段階より次のようになる。

大型バスは $B = 25$, $P = 115$, 中型バスは $B = 1$, $P = 4$, マイクロバスは $B = 3$, $P = 8$ となる。

これらを第 2 節の定式化に代入し、数理計画ソフトウェアを用いて解く。

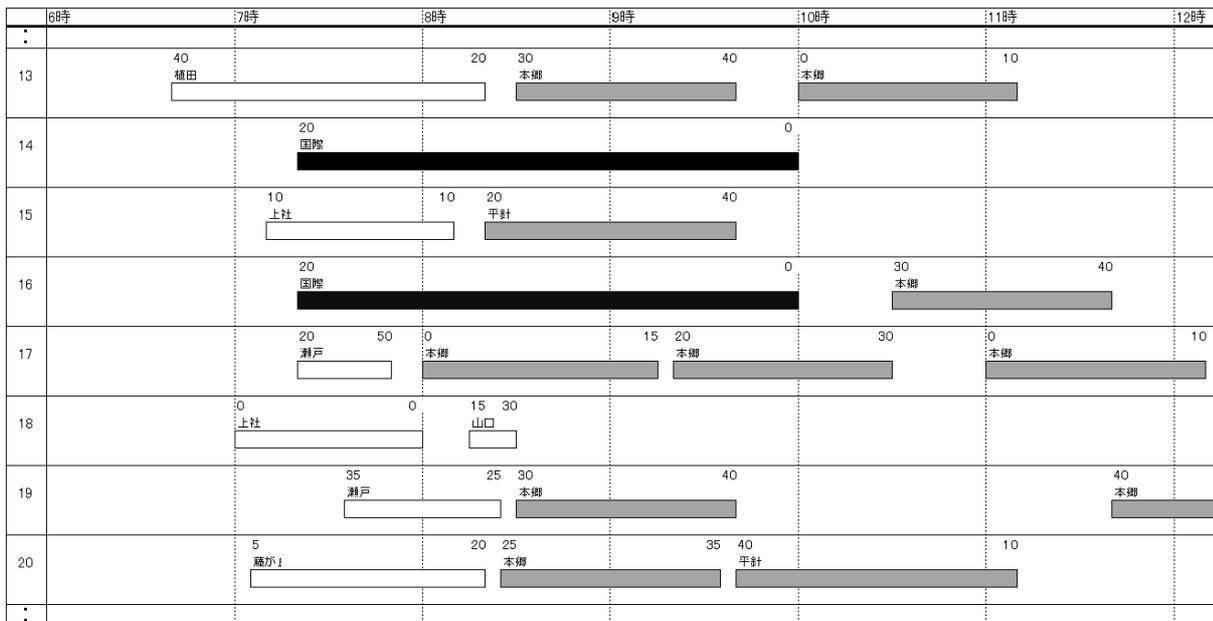


図 1 作成したスクールバス運行管理表の一部

3.7 実行結果

各種のバスにおける 0-1 整数計画問題として定式化した問題の規模と必要な計算時間は、次の通りである。なお、使用した PC の CPU は、Intel(R) Pentium(R) M 1.60GHz、メモリが 504MB、OS は Microsoft Windows XP である。この PC で、LINDO 社の数理計画ソフトウェア (What's Best!9.0.3.3) を用いて解いた。

大型バスは、変数の数が 2900、制約条件の数が 5265 であり、約 19 秒で解くことができた。

中型バスは、変数の数が 5、制約条件の数が 210 であり、約 3 秒で解くことができた。

マイクロバスは、変数の数が 27、制約条件の数が 626 であり、約 2 秒で解くことができた。

以上より南山学園が保有する 3 種類のスクールバスの配車について、それぞれ大型バスは 25 台、中型バスは 1 台、マイクロバスは 3 台のスクールバスで最適な配車を行うことができた。

このシステムを実際に使用するため、結果をスクールバス運行管理表として見やすい形に出力する。VBA プログラムを用いて出力した大型バスの一部が図 1 である。

図 1 は 1 日の運行ダイヤを、スクールバスごとに表している。また、南山学園のスクールバスは南山大学瀬戸キャンパス、聖霊高等学校・中学校、南山国際高等学校・中学校で使用されているので、それぞれのパターンはどこが使用しているのかわかるように、パターンごとに南山大学瀬戸キャンパスが使用しているものは灰色で、聖霊高等学校・中学校が使用しているものは白色で、南山国際高等学校が使用しているものは黒色で区別して表している。さらに 1 つ 1 つのパターンの出発時刻、到着時刻及び路線名も記されている。

今回、VBA プログラムを用いたのは、希望する出発時刻、到着時刻、使用したいバスの種類、使用する学校名、路線名を手作業で入力した後から図 1 を出力するまでである。プログラムを動かす途中の第 1 段階と第 2 段階の間で、確認などによる多少の時間差はあるが、データ入力から図 1 を出力するまでに約 3 分で最適なスクールバスの運行ダイヤが計算できた。

4 おわりに

本研究ではスクールバスの配車を、0-1 整数計画問題として定式化を行い、無駄のない配車となるようスクールバスを割り当てた。さらに VBA プログラムによってスクールバスの運行管理表の自動作成を実現した。スクールバスの配車を考案する際に、運行を希望する出発時刻、到着時刻、使用したいバスの種類、路線名などを入力し、コマンドボタンをクリックするのみで、スクールバスの運行管理表が作成されるようになり、従来のような多くの時間と労力を費やすことなく、スクールバスの運行管理ができるようになった。

さらに、このシステムの途中、第 1 段階と第 2 段階の間で、人の手による確認、修正、付加することを可能にし、より使いやすく、より希望に添える配車ができるようなシステムの構築に努めた。

今までよりも早く配車計画が立てられ人為的なミスも防げることから、特別ダイヤや新たなダイヤの考案などに役に立てば幸いである。

参考文献

- [1] Atsuo Suzuki, Katsushige Sawaki, Toshiharu Hasegawa: An OR/MS Approach to Managing Nanzan Gakuen(Nanzan Educational Complex): From the Strategic to the Daily Operational Level, Interfaces, Vol.36, No.1, January-February, pp.43-54.