

南山大学キャンパス統合後の南山学園スクールバスの最適化

2011SE209 岡本 亜斗夢 2012SE267 和久田 真未

指導教員：三浦 英俊

1 はじめに

2015年に情報理工学部,2017年には総合政策学部が名古屋キャンパスに集約される事に伴い,瀬戸キャンパスへの大学スクールバスは全面廃止される予定となっている.本研究はキャンパス統合後の南山学園全体のスクールバス運行の再検討を目的とする.今後存続が予定されている聖霊中学・高校と南山国際中学・高校のスクールバスについて研究し,最適なスクールバス配車システムを提案する.

南山国際中学・高校のスクールバスについては,現在大学からバスを借りることで運行している現状を見直し,南山国際中学・高校が保有するバスのみで運行できるような配車システムを提案する.また,学園全体では経費削減を提案していることから今後のランニングコストについても試算してみる.

聖霊中学・高校についても,現状のままの運行は財政上不可能であることから路線の見直しを迫られていることを受け,新たな配車計画を検討する.

2 研究方針

南山国際中学・高校については,参考文献[3]の先行研究を参考にして,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上で数理計画ソフトウェアを用いた解法を考察する.各学校では夏ダイヤ,冬ダイヤ,特別ダイヤ(テスト週間など)が存在するが,ここでは夏ダイヤを扱う.各学校のスクールバス路線図をScribbleMapsというソフトウェアを用いて表す.現在使用されているバス停の位置を理解することにより統合可能路線の検討や再配置検討に役立てる.次にLINDO社のExcelのアドイン数理計画ソフトウェアWhat'sBest!を用いてバスの最低必要台数を求める.現状の出発時刻の変更,経路の変更,停車駅及びバス停の再検討によって1台のバスを最大限に利用することで最適化を検討する.また,ガソリンなどのランニングコストを計算し,変更後にどれほど削減されるかを求めることで最適化の妥当性を明確に表す.

聖霊中学・高校については,学校のスクールバス管理責任者の方に現在の利用者満足度や各路線の乗車人数,運行台数の詳細などをヒアリングし,今後の運行計画についての意見を提案する.

3 南山国際中学・高校スクールバス

3.1 配車システムの現状

現在運行されている配車システムについて理解するために2015年7月31日に南山国際中学・高校を訪問して,スクールバスの実質運行を委託されている塚本産業の国際校

管理責任者である桂川さんにインタビューを行い,ホームページ上では知り得ない配車システムの現状を知るに至った.南山国際中学・高校では登校のピーク時には南山大学瀬戸キャンパスより大型バスを2台借りて運行している.また,ホームページ上の時刻表には載っていない時刻や時刻表上のある同時刻には増便を運行させていることがわかった.表1にヒアリングによって明らかとなったスクールバスの時刻表を示す.

表1 スクールバスの時刻表
(黄色はホームページには載っていないバス)

《浄水線》

| 学校発 | 保見駅発 | 浄水駅発 | 保見駅発 | 学校着 |
|-------|---------|---------|---------|-------|
| 7:10 | | 7:40 | | 7:55 |
| 7:20 | 7:47 | 7:57 | | 8:13 |
| 7:50 | | 8:25 | | 8:35 |
| 8:00 | 8:20 | 8:35 | | 8:50 |
| 8:00 | | 8:35 | | 8:50 |
| 9:13 | 9:28 | 9:35 | | 9:50 |
| 10:13 | 10:28 | 10:35 | | 10:50 |
| 11:13 | 11:28 | 11:35 | | 11:50 |
| 11:57 | 12:12 | 12:19 | | 12:34 |
| 12:50 | 【13:05】 | 【13:12】 | | 13:27 |
| 13:30 | 【13:45】 | 【13:52】 | | 14:07 |
| 14:30 | 【14:45】 | 【14:52】 | | 15:07 |
| 15:45 | | 【16:00】 | | 16:15 |
| 15:45 | | 【16:00】 | 【16:07】 | 16:22 |
| 16:20 | | 【16:35】 | 【16:42】 | 16:56 |
| 17:00 | | 【17:15】 | 【17:22】 | 17:36 |
| 17:55 | | 【18:10】 | | 18:25 |
| 17:55 | | 【18:10】 | | 18:25 |
| 17:55 | | 【18:10】 | 【18:17】 | 18:32 |

《豊田線》

| 学校発 | 新豊田駅発 | 五ヶ丘発 | 学校着 |
|-------|---------|---------|-------|
| 7:00 | 7:36 | | 8:00 |
| 7:50 | 8:36 | | 8:55 |
| 7:50 | 8:36 | 8:15 | 8:57 |
| 15:45 | 【16:05】 | | 16:25 |
| 15:45 | 【16:05】 | 【16:15】 | 16:50 |
| 16:20 | 【16:40】 | | 17:00 |
| 17:55 | 【18:10】 | | 18:30 |
| 17:55 | 【18:10】 | 【18:20】 | 18:50 |

浄水線では,授業開始時刻に間に合う登校便は7:20,8:00,8:00に学校を出発するバスのみ記載されているが,実際には7:10,7:50にも運行している.また,このうち7:20,8:00の2台は大学から借りたバスで運行している.部活動後の下校時刻の17:55分には1台増便を運行しているため合計で3台が同じ時間帯に運行していることになる.

豊田線では,7:00の便の学校到着時間が7:51とあるが実際には平均8:00着である.また,7:25発の便は仮停車する場所が使用禁止となったため7:50発に変更し,その結果

7:50 発は合計 2 台運行することとなった (表 1). 南山国際中学・高校のスクールバスの概要についてまとめると以下のようになる.

- ・バスの台数及び定員数
大型バス 5 台 + 大学バス 2 台 = 7 台
(座席数は 45 席で, 最大乗車人数は 87 人)
マイクロバス 1 台 (最大乗車人数は 29 人)
- ・乗車予定人数
浄水線 311 人 (保見駅 51 人, 浄水駅 260 人)
豊田線 123 人 (新豊田駅 116, 五ヶ丘公園前 7 人)

3.2 課題と今後の改善点

バスの定員数と乗車予定人数を比較すると一見余裕があるようにさえ考えられるが, 実際は部活動の朝練習をする生徒がいるため, 比較的座席数に余裕のあるバスを早朝に走らせており, ピーク時にバスが足りないため大学からバスを借りることを余儀なくされている. また浄水駅前には他大学や他社の送迎バスも多く停まるためバスを長時間停車することができないといった問題があるので, バス停の再配置を検討中である. また運行当初から来客用並びに宣伝として, 昼時間帯にも乗車者がいなくても空状態で 1 時間に 1 本大型バスを運行しているため, 相当のランニングコストがかかっていることが問題として挙げられる. これらの問題点をまとめると以下の 3 点となる.

1. 大学からバスを借りることなく運行可能にする
2. ランニングコストの削減
3. 浄水駅のバス停の再配置



図 1 現在のスクールバス路線図

4 現在の配車システムの妥当性

4.1 最低必要台数を求める

参考文献 [3] を参考として運行に必要なバスの最低必要台数を求める. 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るため, スクールバスの使用台数が最小になるように, 0-1 整数計画問題として定式化を行う.

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 What's Best! を用いて解き, 最適解を求める. なおパターンとは, 同時刻に同路線を運行するもののことを意味する.

4.1.1 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 ($t \in T$)

t は 5 分刻みとする.

$A_{tp} =$

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

変数

$x_{bp} =$

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

$y_b =$

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

4.1.2 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

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

4.2 実行結果

表2 運行表 (0は省略)

| | 7:05 | 7:10 | 7:15 | 7:20 | 7:25 | 7:30 | 7:35 | 7:40 | 7:45 | 7:50 | 7:55 | 8:00 |
|---|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 1 | | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 2 | | | | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 3 | | | | | | | | | | | | 1 |
| 4 | | | | | | | | | | 1 | 1 | 1 |
| 5 | | | | | | | | | | | | 1 |
| 6 | | | | | | | | | | | | 1 |

表2はExcel上のパラメータ A_{tp} によって、その時刻にバスが運行している間は1、運行していない間は0を表している。4.1.2の最適化問題をWhat's Best!を用いて解き、最低必要台数は7台とわかった。現状で7台運行している時間帯は8時台前半だけであり、下校の時間帯は部活動に所属していない生徒が早めに帰宅するためピーク時の18時台でも5台で運行することができている。

表3 What'sBest!の実行結果 (赤色は大学から借りているバス)

| 国際 | 浄水 | 豊田 | 1001 | 1002 | 1003 | 1004 | 1005 | 1006 | 1007 | | |
|-----|----|----|------|------|------|------|------|------|------|---|-----|
| yb | | | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 7 | |
| xbp | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | = 1 |
| | 2 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | = 1 |
| | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | = 1 |
| | 4 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | = 1 |
| | 5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | = 1 |

5 新配車システムの作成

ここでは3.2で述べた3点の課題点を改善し、全生徒を授業開始時刻の9時10分までに送り届ける配車システムを考える。まず、大学から2台のバスを借りないため、使用できるバスの台数は大型5台とマイクロバス1台となる。来客用並びに宣伝用のバスの運行はマイクロバスを使い、頻度も2時間に1本に減らすことでランニングコストを削減する。

5.1 バス停の再検討

現在のバス停及び乗客予定人数は以下の通りであり、保見駅、新豊田駅では愛知環状線、浄水駅では名鉄豊田線が通っている。

浄水線 311人 (保見駅 51人, 浄水駅 260人)

豊田線 123人 (新豊田駅 116, 五ヶ丘公園前 7人)

そこで五ヶ丘公園前のバス停を廃止して、保見駅と新豊田駅の利用者を貝津駅へ統合することを検討する。貝津駅は愛知環状線の駅であるため、現在五ヶ丘公園前、保見駅、新豊田駅から乗車している生徒が貝津駅を利用すると仮定するとバス停及び乗客予定人数は以下の通りになる。

浄水・貝津線 434人 (浄水駅 260人, 貝津駅 174人)



図2 変更後の南山国際校スクールバス路線図

貝津駅と浄水駅への統合により、バス停から学校の距離が短くなりガソリンなどのランニングコストが減り、また通勤ラッシュ時の渋滞にはまるリスクが少なくなる(図2)。さらに、2路線から1路線の環状線となったことで同時刻に運行するバスの本数を減らすことが可能となる。

5.2 時刻表の作成

現在の時刻表を元に、部活動の朝練習に行く生徒を乗せるバスを3台、授業開始時刻の9時10分に間に合うためのバスを5台運行することを条件とする。バスの学校と貝津駅間の所要時間は約10分、学校と浄水駅間は15分、貝津駅と浄水駅間は10分であるが、乗降車の時間を想定して表4のように時刻表を作成した。

表4 スクールバスの時刻表 変更後

(青色、緑色はマイクロバスで運行し、緑色は回送時刻)

| 学校発 | 貝津駅発 | 浄水駅発 | 貝津駅発 | 学校着 |
|-------|---------|---------|---------|-------|
| 7:10 | 7:25 | 7:40 | | 7:55 |
| 7:20 | 7:35 | 7:50 | | 8:05 |
| 7:30 | 7:45 | 8:00 | | 8:15 |
| 8:10 | 8:25 | | | 8:35 |
| 8:10 | | 8:30 | | 8:45 |
| 8:15 | | 8:35 | | 8:50 |
| 8:20 | 8:35 | | | 8:45 |
| 8:20 | | 8:40 | | 8:55 |
| 8:30 | 8:45 | | | 8:55 |
| 9:05 | 9:20 | 9:35 | | 9:50 |
| 10:05 | 10:20 | 10:35 | | 10:50 |
| 11:05 | 11:20 | 11:35 | | 11:50 |
| 13:05 | 【13:20】 | 【13:35】 | | 13:50 |
| 15:05 | 【15:20】 | 【15:35】 | | 15:50 |
| 15:45 | | | 【16:00】 | 16:10 |
| 15:45 | | 【16:05】 | | 16:20 |
| 15:45 | | 【16:05】 | | 16:20 |
| 15:45 | | 【16:05】 | 【16:20】 | 16:30 |
| 16:20 | | 【16:40】 | 【16:55】 | 17:05 |
| 17:00 | | 【17:20】 | 【17:35】 | 17:45 |
| 17:55 | | | 【18:10】 | 18:20 |
| 17:55 | | | 【18:10】 | 18:20 |
| 17:55 | | | 【18:10】 | 18:20 |
| 17:55 | | 【18:15】 | | 18:30 |
| 17:55 | | 【18:15】 | | 18:30 |
| 17:55 | | 【18:15】 | 【18:30】 | 18:40 |

5.3 実行結果

この新たな時刻表を元に、前述と同様にスクールバスの使用台数が最小になるように、0-1整数計画問題として定式

化を行い,What's Best!を用いて解いたところ,バスの最低必要台数は6台(大型5台,マイクロバス1台)となり条件を満たす結果を得た。

表6 What'sBest!の実行結果
(水色はマイクロバス)

| 浄・貝 | 1101 | 1102 | 1103 | 1104 | 1105 | 1106 | | | |
|-----|------|------|------|------|------|------|---|---|-----|
| yb | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 6 | | |
| xbp | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | = 1 |
| | 2 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | = 1 |
| | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | = 1 |
| | 4 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | = 1 |
| | 5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | = 1 |

6 ランニングコストの計算

6.1 計算方法

ランニングコストについて試算する。塚本産業が所有するバスは三菱ふそうのエアロスター,日野のブルーリボン,ブルーリボンシティの三種類で参考文献[4]によれば,燃費はそれぞれ4.45km/l,4.75km/l,4.6km/lである。計算にはこの平均値の4.6km/lを使用することとする。マイクロバスの燃費値は8.6km/lである。

現在の停車駅は,浄水駅,保見駅,新豊田駅,五ヶ丘公園前でそれぞれの距離は国際校-浄水駅 5.8km 浄水駅-保見駅 3km 保見駅-国際校 5.4km 国際校-新豊田駅 7.5km 新豊田駅-五ヶ丘公園前 6.4km 五ヶ丘公園前-国際校 11.3kmである。変更後の停車駅は浄水駅と貝津駅のみでそれぞれの距離は国際校-浄水駅 5.8km 浄水駅-貝津駅 3km 貝津駅-国際校 3.7kmである。

一日あたりの総走行距離を計算し,ガソリンの使用料を求める。軽油の料金は1lが111円(2015年11月12日)として計算し,一日あたりのコストを現在と変更後とで比較する。

6.2 計算結果と考察

計算の結果,現在の配車システムの一日あたりの総走行距離は約405kmで,ガソリンの使用料は約87lである。変更後の総走行距離は約283kmで,ガソリンの使用料は約59lである。

現在の配車システムでは一日あたり約9608円であるのに対し,求められたコストは約6546円となり31.8%削減された。路線図の距離だけでは一見大幅に削減できるように思われるが,元々豊田線は浄水線に対して運行本数が少ないので総走行距離は3割ほどしか変わらず,その結果ランニングコストも3割減と妥当な数字になった。

7 聖霊中学・高校スクールバス

7.1 現状と南山国際校との違い

表7 各路線のバスの台数と利用者数

| | | | | | | | |
|-----|---------|--------|---------|-----|---------|------|--------|
| 上社線 | 7台 261人 | 藤ヶ丘極楽線 | 1台 54人 | 竹越線 | 2台 89人 | みどり線 | 2台 80人 |
| 植田線 | 3台 151人 | 豊田三好線 | 2台 102人 | 日進線 | 1台 28人 | 多治見線 | 1台 49人 |
| 藤岡線 | 1台 15人 | 守山瀬戸線 | 6台 218人 | 山口 | 3台 142人 | | |

2015年度では11系統,13路線を28台のバス(マイクロバ

ス2台,中型バス1台を含む)で運行している。みどり線の内1台は植田線の立ち席になる分をカバーして運行している。毎年度の各路線の利用者人数に応じて増減便や他路線からのカバーなどの対応をしており,一概に各路線何便必要であるとは言い難い状況である。国際校とは違い,乗車場所及び路線数が多く,路線によっては1台のみでの運行も実施されている。また,利用者人数が多いために座る席がないという状況はほとんどないのも国際校との違いである。

7.2 改善案の提案

路線数が多く,各路線の運行台数が少ないため,国際校のように配車計画を0-1整数計画法の問題として検討するのは相応しくない。結論として立ち席を使用する前提で検討すれば大幅にバスの必要台数を減らすことは可能であるが,現在の満足度をキープしつつ路線の統合は非常に難しい。日進線と藤岡線などの利用者数が極端に少ない路線にはマイクロバスや中型バスを使用できるため,現状の配車システムは最適に限りなく近いと言える。そこで現状の配車システムを損なわず,聖霊校から最も近く乗車人数も比較的多い山口駅で各路線のバスが停車し立ち席で生徒を乗せて運行することを提案する。

8 おわりに

本研究では南山国際校の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った上で,What's Best!を用いて最低必要台数を求めた。その結果を元に最適な配車システムを作成した。また,聖霊校についてはバスの管理責任者の方へのヒアリングにより運行状況や利用者満足を把握したが,わずかな路線の統合の提案に留まり,路線の廃止やバスの削減といった大幅な改定案を出すところまでは至らなかった。今後の研究では生徒や保護者にアンケートを行い,立ち乗車も視野に入れて実際に運行可能な配車システムの作成を行っていきたい。

参考文献

- [1] 南山国際高等学校・中学校ホームページ:
<http://www.nanzan-kokusai.ed.jp/index.html>
2015年9月アクセス
- [2] 南山大学ホームページ:
<https://www.nanzan-u.ac.jp/Menu/index.html>
2015年9月アクセス
- [3] 上野礼子,指導教員:鈴木敦夫 『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』.2009年
- [4] 国土交通省
<http://www.mlit.go.jp>
2015年11月アクセス