東海地震注意情報発令時におけるスクールバスの最適配車問題

2003MM078 中山あすみ　2003MM112 上野礼子
指導教員： 鈴木敦夫

1　はじめに

東海地方では近年大地震の危険が高まっている[2]．この東海地震は直前予知の可能性があり，気象庁より地震の危険性が高まったという注意情報，または予知情報の発表があった場合[1][3]，南山大学では学生を速やかに帰宅させせることとなっている[4]．そこで本研究では，瀬戸キャンパスで学生を一斉に帰宅させる際のスクールバスの配車計画を立案する．

2　研究方針

現在，南山学園では33台のスクールバスを保有し，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・中学校で共同利用している．地震の危険性がある場合は高校生・中学生を優先して帰宅させるため，初めに聖霊高等学校・中学校，南山国際高等学校・中学校の配車計画を作成する．

南山大学の配車計画は高等学校・中学校の計画を基に作成する．スクールバスの行き先を現在の本郷，平針に尾張瀬戸，八草を加えて４箇所とする．４箇所の行き先とそれぞれの利用者数の組み合わせから10通りを選び，シナリオとした．これらのシナリオについて，全ての生徒，学生を輸送するのにかかる最大所要時間を最小とすることを目的として解く．しかしこれはミニマックス型であったため，各スクールバスがなるべく早く出発するということが満たされていないことが予測される．そのため，これを第１段階とし，第２段階でさらに最適化を図る．

第２段階ではのシナリオを４つの目的関数を用いて解く．

3　聖霊高等学校・中学校での最適配車問題

注意情報発令時の下校は，通常の登校時の運行を基にする．聖霊高等学校・中学校の生徒は通常は全員座って乗車している．しかし注意情報発令時には，通常通り全員が着席して乗車できるように座席数を基にする方法と，立って乗車する生徒を含むような乗車定員を基にする方法の2通りを考える．

3.1　記号の定義

添字，定数の定義

I_1：聖霊高等学校・中学校で使用するスクールバスの集合$(i \in I_1)$
J：路線の集合$(j \in J)$
C_i：iの乗車定員
D_i：iの座席数
P_j：jへ行く人数

変数の定義

$$x_{ij} = \begin{cases} 1 & i\text{が}j\text{へ行く場合} \\ 0 & i\text{が}j\text{へ行かない場合} \end{cases}$$

3.2　定式化

座席数から計算する方法

目的関数では，各路線へ帰宅する生徒数とその路線で使用したスクールバスの座席数の総和との差を求め，その総和を最小にする．また，バスの必要台数が27台以上であることがわかっている．これは，各路線ごとの利用者数と１台あたりの座席数から求めた．制約条件は，次の通りである．

- 各路線で使用したスクールバスの座席数の総和は，各路線へ行く生徒数以上である．
- 各スクールバスの使用は１回以上である．
- x_{ij}は０－１変数である．

目的関数

$$\min \quad \sum_{j\in J}\left(\sum_{i\in I_1} D_i x_{ij} - P_j\right) \tag{1}$$

制約条件

$$\sum_{i\in I_1} D_i x_{ij} \geq P_j \quad (j \in J) \tag{2}$$

$$\sum_{j\in J} x_{ij} \geq 1 \quad (i \in I_1) \tag{3}$$

変数制約

$$x_{ij} \in \{0,1\} \quad (i \in I_1, j \in J) \tag{4}$$

乗車定員から計算する方法

目的関数では，各路線へ帰宅する生徒数とその路線で使用したスクールバスの乗車定員の総和との差を求め，その総和を最小にする．また，バスの必要台数が27台以下であることがわかっている．これは，各路線ごとの利用者数と１台あたりの乗車定員から求めた．制約条件は，次の通りである．

- 各路線で使用したスクールバスの乗車定員の総和は，各路線へ行く生徒数以上である．
- 各スクールバスは１回以下である．
- x_{ij}は０－１変数である．

目的関数

$$\min \quad \sum_{j\in J}\left(\sum_{i\in I_1} C_i x_{ij} - P_j\right) \tag{5}$$

制約条件

$$\sum_{i\in I_1} C_i x_{ij} \geq P_j \quad (j \in J) \tag{6}$$

$$\sum_{j \in J} x_{ij} \leq 1 \quad (i \in I_1) \tag{7}$$

変数制約

$$x_{ij} \in \{0, 1\} \quad (i \in I_1, j \in J) \tag{8}$$

4 南山国際高等学校・中学校での最適配車問題

注意情報発令時において，南山国際高等学校・中学校も聖霊高等学校・中学校と同様に，普段バス通学している生徒は，普段の路線で帰宅することとする．南山国際高等学校・中学校には全ての生徒を一斉に帰宅させるのに十分なスクールバスが常駐していない．しかしスクールバスを瀬戸から豊田まで運ぶのには時間がかかるため，ピストン輸送することとする．

4.1 記号の定義

添字，定数の定義

I_2：南山国際高等学校・中学校で使用するスクールバスの集合$(i \in I_2)$

G：路線の集合$(g \in G)$

C_i：iの定員

M_g：gへ行く人数

S_g：gへの往復時間

変数の定義

$$w_{ig} = \begin{cases} 1 & i\text{が}g\text{へ行く場合} \\ 0 & i\text{が}g\text{へ行かない場合} \end{cases}$$

4.2 定式化

目的関数では，各スクールバスの所要時間の最大値を最小にする．制約条件は，次の通りである．

- 各路線で使用したスクールバスの乗車定員の総和は，各路線へ行く生徒数以上である．
- w_{ig} は $0-1$ 変数である．

目的関数

$$f \longrightarrow \min \tag{9}$$

制約条件

$$\sum_{g \in G} S_g w_{ig} \leq f \quad (i \in I_2) \tag{10}$$

$$\sum_{i \in I_2} C_i w_{ig} \geq M_g \quad (g \in G) \tag{11}$$

変数制約

$$w_{ig} \in \{0, 1\} \quad (i \in I_2, g \in G) \tag{12}$$

5 高等学校・中学校の考察

座席数から計算する方法では，スクールバスを大学生の帰宅に使用できるのは最も早くても30分後である．しかし30分後に使用できるのは１台の大型バスと２台のマイクロバスであることから，大学生の帰宅が本格的になるのは70分後となる．

乗車定員から計算する方法では，10台のスクールバスを初めから大学で使用することができるため，座席数から計算したときと比べて大学生の帰宅が大幅に早くなることが期待できる．

6 南山大学瀬戸キャンパスでの最適配車問題

6.1 第１段階

座席数から求めた結果を基にする大学での運行方法を座席法とし，乗車定員から求めた結果を基にする大学での運行方法を定員法とする．

6.1.1 記号の定義

添字，定数の定義

I：スクールバスの集合$(i \in I)$

K：行き先の集合$(k \in K)$

L：路線の集合$(l \in L)$

L_k：kへ行く路線の集合$(l \in L_k)$

A_i：座席法におけるiの使用開始可能時刻

B_i：定員法におけるiの使用開始可能時刻

C_i：iの乗車定員

T_l：lへの往復時間

Q_k：kへ行く人数

変数の定義

$$y_{il} = \begin{cases} 1 & i\text{が}l\text{へ行く場合} \\ 0 & i\text{が}l\text{へ行かない場合} \end{cases}$$

6.1.2 定式化

定員法

目的関数では，全ての生徒，学生を輸送するのにかかる最大所要時間を最小にする．制約条件は次の通りである．

- 各路線への運行は１回以下である．
- 各行き先において使用したスクールバスの乗車定員の総和は，各行き先へ行く学生数以上である．
- y_{il} は $0-1$ 変数である．

目的関数

$$f \longrightarrow \min \tag{13}$$

制約条件

$$\sum_{l \in L} T_l y_{il} + B_i \leq f \quad (i \in I) \tag{14}$$

$$\sum_{i \in I} y_{il} \leq 1 \quad (l \in L) \tag{15}$$

$$\sum_{l \in L_k} \sum_{i \in I} C_i y_{il} \geq Q_k \quad (k \in K) \tag{16}$$

変数制約

$$y_{il} \in \{0,1\} \quad (i \in I, l \in L) \tag{17}$$

座席法の定式化では，B_iをA_iに置き換える．

6.2 第２段階

第１段階において，座席法と定員法では最大所要時間に大きな差が見られた．本研究では，注意情報発令時に速やかに帰宅することを想定しているため，第2段階以降は定員法のみを考えていくこととする．

6.2.1 記号の定義

添字，定数の定義

I：スクールバスの集合($i \in I$)
K：大学での行き先の集合($k \in K$)
E：スクールバスの運行順の集合($e \in E$)
C_i：iの乗車定員
Q_k：kへ行く人数
O_k：kへ行く人数の上限
R_{ie}：iがeで運行した時の所要時間
U_{ie}：iがeで運行した時の累計運行時間
N_{ie}：iがeで運行した時の累計出発時刻
V_{ie}：iがeで運行した時の最終出発時刻
P_{ek}：eでkへ行く回数
H：スクールバスの最大所要時間

変数の定義

$$z_{ie} = \begin{cases} 1 & i\text{を}e\text{で運行する場合} \\ 0 & i\text{を}e\text{で運行しない場合} \end{cases}$$

6.2.2 定式化

①累計運行時間の総和の最小化

目的関数では，各スクールバスの累計運行時間の総和を最小にする．制約条件は次の通りである．

- 各スクールバスが採る運行順は１つのみである．
- 各スクールバスの所要時間は，最大所要時間以下である．
- 各行き先において使用したスクールバスの乗車定員の総和は，各路線へ行く学生数以上である．
- z_{ie} は $0-1$ 変数である．

目的関数

$$\min \qquad \sum_{e \in E} \sum_{i \in I} U_{ie} z_{ie} \tag{18}$$

制約条件

$$\sum_{e \in E} z_{ie} = 1 \quad (i \in I) \tag{19}$$

$$\sum_{e \in E} R_{ie} z_{ie} \leq H \quad (i \in I) \tag{20}$$

$$\sum_{e \in E} \sum_{i \in I} C_i P_{ek} z_{ie} \geq Q_k \quad (k \in K) \tag{21}$$

変数制約

$$z_{ie} \in \{0,1\} \quad (i \in I, e \in E) \tag{22}$$

②累計出発時刻のミニマックス型

目的関数では，各スクールバスの累計出発時刻の最大値を最小にする．制約条件は次の通りである．

- 各スクールバスが採る運行順は１つのみである．
- 各スクールバスの所要時間は，最大所要時間以下である．
- 各行き先において使用したスクールバスの乗車定員の総和は，各行き先へ行く学生数以上である．
- z_{ie} は $0-1$ 変数である．

目的関数

$$f \longrightarrow \min \tag{23}$$

制約条件

$$\sum_{e \in E} N_{ie} z_{ie} \leq f \quad (i \in I) \tag{24}$$

$$\sum_{e \in E} z_{ie} = 1 \quad (i \in I) \tag{25}$$

$$\sum_{e \in E} R_{ie} z_{ie} \leq H \quad (i \in I) \tag{26}$$

$$\sum_{e \in E} \sum_{i \in I} C_i P_{ek} z_{ie} \geq Q_k \quad (k \in K) \tag{27}$$

変数制約

$$z_{ie} \in \{0,1\} \quad (i \in I, e \in E) \tag{28}$$

③累計出発時刻の総和の最小化

目的関数では，各スクールバスの累計出発時刻の総和を最小にする．制約条件は次の通りである．

- 各スクールバスが採る運行順は１つのみである．
- 各スクールバスの所要時間は，最大所要時間以下である．
- 各行き先において使用したスクールバスの乗車定員の総和は，各行き先へ行く学生数以上である．
- z_{ie} は $0-1$ 変数である．

目的関数

$$\min \qquad \sum_{e \in E} \sum_{i \in I} N_{ie} z_{ie} \tag{29}$$

制約条件

$$\sum_{e \in E} z_{ie} = 1 \quad (i \in I) \tag{30}$$

$$\sum_{e \in E} R_{ie} z_{ie} \leq H \quad (i \in I) \tag{31}$$

$$\sum_{e \in E} \sum_{i \in I} C_i P_{ek} z_{ie} \geq Q_k \quad (k \in K) \tag{32}$$

変数制約

$$z_{ie} \in \{0,1\} \quad (i \in I, e \in E) \tag{33}$$

④最終出発時刻のミニマックス型

目的関数では，各スクールバスの最終出発時刻の最大値を最小にする．制約条件は次の通りである．

- 各スクールバスが採る運行順は１つのみである．
- 各スクールバスの所要時間は，最大所要時間以下である．
- 各行き先において使用したスクールバスの乗車定員の総和は，各行き先へ行く学生数以上である．
- 各行き先において使用したスクールバスの乗車定員の総和は，各行き先へ行く学生数の上限以下である．
- z_{ie} は $0-1$ 変数である．

目的関数

$$f \longrightarrow \min \tag{34}$$

制約条件

$$\sum_{e \in E} V_{ie} z_{ie} \leq f \quad (i \in I) \tag{35}$$

$$\sum_{e \in E} z_{ie} = 1 \quad (i \in I) \tag{36}$$

$$\sum_{e \in E} R_{ie} z_{ie} \leq H \quad (i \in I) \tag{37}$$

$$\sum_{e \in E} \sum_{i \in I} C_i P_{ek} z_{ie} \geq Q_k \quad (k \in K) \tag{38}$$

$$\sum_{e \in E} \sum_{i \in I} C_i P_{ek} z_{ie} \leq O_k \quad (k \in K) \tag{39}$$

変数制約

$$z_{ie} \in \{0,1\} \quad (i \in I, e \in E) \tag{40}$$

7　実行結果

行き先が本郷と平針である場合，第１段階，及び第2段階の②，④で良い結果が得られている．本研究では，各スクールバスがなるべく早く出発することを目的としているので，我々は④での結果を最適解とする．④での運行方法を図1に掲載する．

8　考察

①累計運行時間の最小化

多くのシナリオがスクールバスの乗車定員に影響され，なるべく早く出発するということが満たされていない．

②累計出発時刻のミニマックス型

多くのシナリオで良い結果が得られた．各行き先に行きたい人数よりも多くを送り届ける傾向があった．

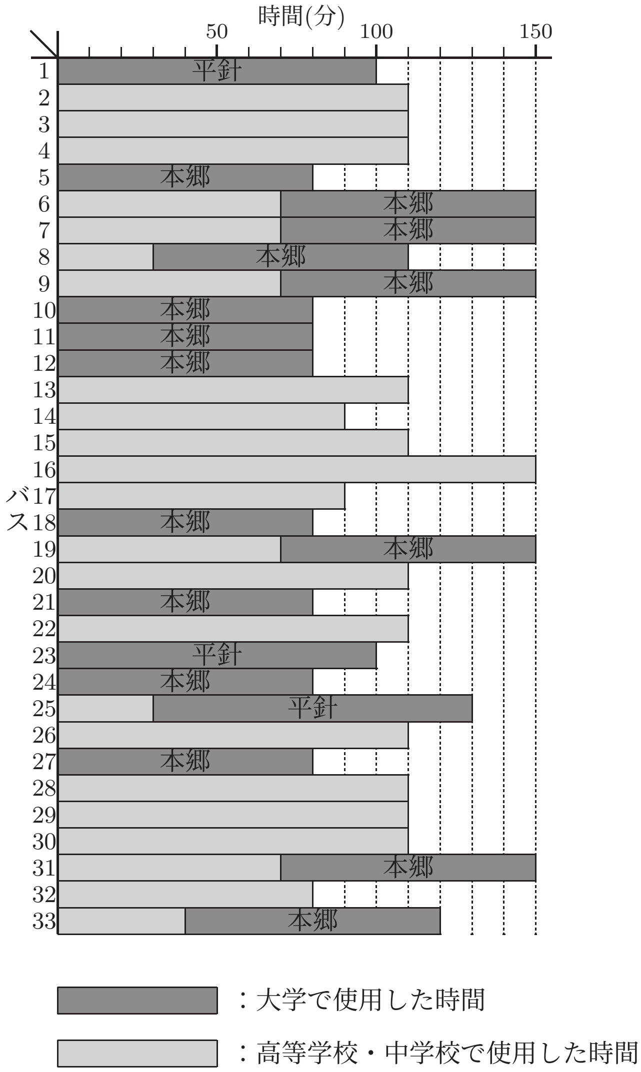

図 1: 本郷・平針の実行結果

③累計出発時刻の総和の最小化

全てのシナリオにおいて乗車率は高く，人数に見合った回数の運行となっている．なるべく早く出発するということが満たされていないシナリオもあった．

④最終出発時刻のミニマックス型

人数の上限を付けたことで高い乗車率を得た．半数のシナリオでは良い結果が得られたが，スクールバスの乗車定員に影響を受けるシナリオもあった．

参考文献

[1] 気象庁：東海地震について http://www.seisvol.kishou.go.jp/.

[2] 黒沢大陸，小林舞子：｢防災対策進度に濃淡(東海地震警告30年)｣『朝日新聞』，2006年４月25日，20ページ.

[3] 内閣府政策統括官（防災担当）：大規模地震対策特別措置法（昭和53年法律第73号），(警戒宣言等)第九条.

[4] 南山大学：瀬戸キャンパス学生情報，南山大学概要 http://www.nanzan-u.ac.jp/.