

# 街コンにおける店舗間移動距離を最小にする訪問店舗割当て問題

松永 心之介 (沼田 一道 教授 松浦 隆文 助教)

## 1 はじめに

街コン [1] とは、街の飲食店が一体化して街の活性化や飲食店等の販売促進、出会いの場の創出を目的として行う大規模なイベントである。街コン参加希望者は、一定額の参加費を支払い、限られた時間内で複数の飲食店を自由に廻り飲食、会話を楽しむ。そのため、可能な限り移動時間を短くし、多くの時間を飲食店で過ごしたいと考えている参加者が多い。しかし、参加者が店舗間の移動を自由に行う現状の運営システムでは、移動した先の店舗が既に満員の場合、新たな店舗へ移動しなければならず移動に費やす時間が長くなっている。また、各店舗にいる男女比にバラつきが生じてしまい、出会いの場を提供できない問題も発生している。そこで、予め各参加者から行きたい店舗を聞き、それに基づいて各参加者に数店舗を割当てることで上に挙げた問題を解決することを考える。本研究では各参加者の訪問したい店舗を考慮し、参加者の店舗間移動距離の合計を最小化するような店舗割当てを行う。街コン実施計画を最適化問題としてモデル化し、解法を提案する。

## 2 本研究で扱う問題

### 2.1 問題設定

街コンの参加人数 ( $2m$ ) は男女同数 ( $m$ ) で予め分かっているものとする。各参加者は  $s$  期の間に順次異なる  $s$  個の店舗を訪れて飲食を行う。店舗間の移動は徒歩で行うものとし、歩行速度は全参加者同一とする。そして、総移動距離 ( 総移動時間 ) が最小となるように各参加者の訪問店舗、訪問順を決定する。このとき、各期各店舗にいる人数は店舗容量を超えず、客のいない店舗は存在しないものとする。また、各期各店舗にいる男女の人数比は 1:1 であるとする。さらに、参加者各自の選好に基づく「好み充足度」が一定値以上になるように店舗を割当てるものとする。

上記の問題を、店舗を点、店舗間の移動の可能性を枝で表した完全グラフ上で扱う。枝には対応する点間の移動距離が与えられる。各参加者はこのネットワーク上を第 1 期の割当て店舗から第  $s$  期の店舗まで各期末ごとに順次移動する。参加者全員分の移動距離を足したものが最小化すべき総移動距離である。

### 2.2 好み充足度の定義

参加者が全店舗に対して訪問したい度合いの点数付けを行う。 $s$  店舗を廻る場合 ( $s$  期) は全店舗に対して  $s \sim 0$  点で点数付けする。一

表 1: 好み充足度の例

店舗	A	B	C	D	E	F
点数	0	4	1	0	2	3

番訪問したい店舗に  $s$  点、それ以降の店舗には  $s-1, s-2, \dots, 0$  点で点数付けする。そして、実際に参加者に割当てた店舗の点数の合計が、参加者の好み充足度 (以下、充足度) となる。表 1 で店舗 A から D に訪問した場合、好み充足度は  $0+4+1+0=5$  となる。

### 2.3 記号の定義・定式化

本研究で扱う記号の定義と定式化を行う。 $V = \{1, 2, \dots, n\}$  を店舗集合、 $M = \{1, 2, \dots, m\}$  を男性集合、 $F = \{1, 2, \dots, m\}$  を女性集合、 $T = \{1, 2, \dots, s\}$  を訪問する店舗数 (期間)、 $p_{ai}$  を男性 (女性)  $a$  の店舗  $i$  に対する点数、 $d_{ij}$  を店舗間距離、 $c_i$  を店舗  $i$  の客容量とする。さらに  $x_{aij}^{(t)}$  を男性 (女性)  $a$  が  $t$  期の終わりから  $t+1$  期の始めにかけて店舗  $i$  から  $j$  へ直接移動する場合を 1、行かない場合を 0 とする決定変数 ( $t = 1, 2, \dots, s-1$ )、 $z_{ai}^{(t)}$  を男性 (女性)  $a$  が  $t$  期に店舗  $i$  にいる場合を 1、いない場合を 0 とする決定変数とする。文献 [2] を参考にし、以上の記号を用いると次頁のように定式化される。

(1) 式は目的関数であり、男性と女性の総移動距離の最短化が目的である。(2) 式は同じ店舗を 2 回以上訪問しないことを示している。(3) 式は各店舗にいる参加者の男女比は 1:1、(4) 式は各店舗にいる参加者数は店舗容量以下であること、(5) 式は男女の充足度が一定レベル以上。(6) から (7) 式は店舗にいることと移動することの関係式、(8) 式は各期で訪問する店舗は 1 つであることを示している。

$$\min \sum_{t=1}^{s-1} \sum_{a=1}^{2m} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n d_{ij} x_{aij}^{(t)} \quad (1)$$

$$\text{s.t.} \quad \sum_{t=1}^s z_{ai}^{(t)} \leq 1 \quad \forall i \in V, \forall a \in M \cup F \quad (2)$$

$$\sum_{a=1}^m z_{ai}^{(t)} = \sum_{b=1}^m z_{bi}^{(t)} \quad \forall i \in V, \forall t \in T \quad (3)$$

$$\sum_{a=1}^m z_{ai}^{(t)} + \sum_{b=1}^m z_{bi}^{(t)} \leq c_i \quad \forall i \in V, \forall t \in T \quad (4)$$

$$\sum_{t=1}^s \sum_{i=1}^n p_{ai} z_{ai}^{(t)} \geq l \quad \forall a \in M \cup F \quad (5)$$

$$z_{ai}^{(t)} = \sum_{h=1}^n x_{ahi}^{(t-1)} \quad \forall t = \{2, \dots, s\}, \forall a \in M \cup F, \forall i \in V \quad (6)$$

$$z_{ai}^{(t)} = \sum_{j=1}^n x_{aji}^{(t)} \quad \forall t = \{1, \dots, s-1\}, \forall a \in M \cup F, \forall i \in V \quad (7)$$

$$\sum_{i=1}^n z_{ai}^{(t)} = 1 \quad \forall a \in M \cup F, \forall t \in T \quad (8)$$

$$x_{aij}^{(t)} \in \{1, 0\} \quad \forall i, j \in V, \forall a \in M \cup F, \forall t \in T \quad (9)$$

$$z_{ai}^{(t)} \in \{1, 0\} \quad \forall i \in V, \forall a \in M \cup F, \forall t \in T \quad (10)$$

### 3 解法

#### 3.1 厳密解法

前節で示した定式化を基に汎用 MIP ソルバーである gurobi[3] を用いて最適解を求めた。表 2 に求解に要した計算時間を示す。表 2 より、店舗数が少し増加するだけで、計算時間が急激に増加していることが分かる。また、問題例によっては計算機のメモリ不足が原因で解が求められない場合もあった。現実的な問題サイズ(参加店舗 15, 参加者 300 人)に対しては厳密解法で解を求めることは困難である。そこで、現実的な時間で最良な解を求めることができる発見的解法を提案する。

表 2: 厳密解法の計算時間

店舗	計算時間(秒)
5 店舗/50 人	2268.91
6 店舗/60 人	3877.58
8 店舗/80 人	11279.95

#### 3.2 提案解法

提案する解法は、初期実行可能解を生成し、実行可能性を保ちつつ、それを改善していく方法である。改善の段階では 4 つの改善法を順に繰り返す。以下に求解手順を示す。

##### 3.2.1 初期解の求め方

- step1: ランダムな順番で 1 期に男性が訪問する店舗を決定する。割当ては点数  $p_{ai}$  が最も高い店舗に割当てて。既に割当て対象の店舗が容量を超えている場合、次に点数が高い店舗を割当てて。
- step2: 2 ~  $T$  期における男性の訪問する店舗を決定する。既に割当てられている店舗における充足度を計算し、充足度が小さい人から順に次期訪問店舗を割当てて。割当ては未訪問店舗の中で点数  $p_{ai}$  が最も高い店舗を割当てて。
- step3: 男性全員の割当てを終えたら、(3) 式(各店舗の男女比を 1 : 1 とする)を満たすように女性全員に対して Step1 と Step2 を行い、参加者全員に店舗を割当てたら終了する。

##### 3.2.2 解の改善法

先に求めた初期解を改善するために 4 つの改善法を提案する(図 1)。改善法は店舗の容量, 充足度, 男女比が 1 : 1 を満たすように訪問する店舗を交換することで経路長の改善を行う。改善操作が行える限り、以下に示す 4 つの改善法を局所最適解が求まるまで繰り返し実行する。

**改善法 1** 割当てた店舗を同性間で交換(男性の場合を例に説明する)

- step1:  $t$  期に男性  $a$  が訪問する店舗と  $t'$  期に男性  $a'$  が訪問する店舗が等しい、かつ  $t'$  期に男性  $a$  が訪問する店舗と  $t$  期に男性  $a'$  が訪問する店舗が等しい参加者のペアを見つける。
- step2: 男性  $a$  と男性  $a'$  の  $t$  期と  $t'$  期に訪問する店舗を交換し、経路長が短くなったら交換を行う。
- step3: 総経路長が改善される限り、Step1 と Step2 を繰り返す。

**改善法 2**  $t$  期に店舗 A を訪問し、 $t'$  期に店舗 B を訪問している男性と女性 1 人に対して、 $t$  期に店舗 B を  $t'$  期に店舗 A を訪問するように交換する

- step1: 男性  $a(a \in M)$  が  $t$  期に訪問している店舗と男性  $a$  が  $t'$  期に訪問している店舗を入替える。入替え後、店舗の容量を満たすならば、Step2 へ進む。店舗の容量を満たす組合せが見つからない場合、改善を終了する。

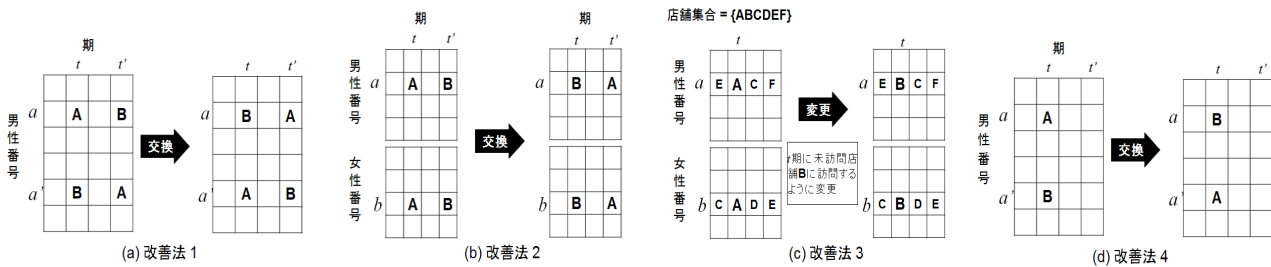


図 1: 改善法の概要

step2: Step1 で男性の訪問順を変更したため、男女比が 1:1 という条件を満たしていない．条件を満たすために、女性の店舗入替えを行う．Step1 で  $t$  期と  $t'$  期に男性と同じ店舗を訪問する女性が見つからない場合、改善を終了する．

step3: 改善が行われる限り、Step 1, Step2 を繰り返す．

**改善法 3** 男性と女性 1 人の既訪問店舗と未訪問店舗を 1 つ交換する．

step1:  $t$  期に男性  $a$  が訪問する店舗  $i$  と未訪問店舗  $j$  を交換する．交換後の男性  $a$  の充足度が  $l$  以上、かつ、店舗  $j$  の容量を満たすならば Step2 に進む．条件を満たす組合せが無い場合、改善を終了する．

step2:  $t$  期に訪問する店舗  $i$  を訪問しており、全ての期において店舗  $j$  を訪問していない女性  $b$  を見つける．女性  $b$  の  $t$  期の訪問店舗を店舗  $j$  に変更した結果、女性  $b$  の店舗充足度が  $l$  以上かつ、総経路長が短くなるならば更新する．条件を満たす組合せが見つからない場合、改善を終了する．

step3: 改善可能な組合せが見つかる限り、Step1, Step2 を繰り返す．

**改善法 4** 訪問店舗を同性間で期毎に交換．

次に示す条件を満たす組合せが見つかる限り、 $t$  期に男性  $a$  が訪問する店舗  $i$  と男性  $a'$  が訪問する店舗  $j$  を交換することで経路長の改善を行う．A(男性  $a$  が店舗  $j$  を未訪問、男性  $a'$  が店舗  $i$  を未訪問)、B(交換後の男性  $a$  と  $a'$  の充足度が  $l$  以上)、C(総経路長が短くなる)．

## 4 数値実験と考察

店舗容量を男女合計 10 人として、店舗数 (参加者数)、訪問する店舗数を変化させた問題例を作成し、厳密解法と提案解法で得られた解の比較を行った．実験で扱った問題例は、A(店舗数 5, 参加者数 (男女合計)50 人)、B(店舗数 6, 参加者数 60 人)、C(店舗数 8, 参加者数 80 人)の 3 パターンとし、廻る店舗数は  $s = 3, 4$  と設定した．満たさなければならない充足度の値は  $s = 3$  の場合、 $l = 3$ 、 $s = 4$  の場合、 $l = 5$  とした．提案解法のプログラムは Borland 社の Delphi6 を用いて実装した．提案解法の性能評価は「誤差率 = (提案解法で得た解 - 最適解)/最適解」で求めた．表 3 から、店舗数 (参加者数) が増加するにつれて誤差率も増加していることがわかる．表 4 に  $s = 4$  の場合の厳密解法と提案解法の計算時間を示す．厳密解法は計算時間が長いのに対し、提案解法ではどの問題例でも 1 秒以内で解を求めることができた．また、表 3 と表 4 より、first move と best move では計算時間に大きな差は見られないが、first move よりも best move の方がより精度の高い解が得られた．

$n = 8$ 、参加人数 80 人、 $s = 3$  の場合で、厳密解法と提案解法における各参加者の充足度の結果を図 2 と図 3 に示す．充足度の最大値は 6 で最小値は 3 である．図 2、図 3 から、厳密解法では充足度 6 の参加者が 1 人に対し、提案解法では 5 人、また、提案解法の方が厳密解法に比べ、充足度 3 の参加者数が少

表 3: 厳密解法と提案解法の経路長比較

		厳密解	提案解法		誤差率
			first move	best move	
3 店舗廻る	5 店舗/50 人	22786	23322	22855	0.3028
	6 店舗/60 人	26494	27170	27134	2.4156
	8 店舗/80 人	36794	39249	37878	2.9461
4 店舗廻る	5 店舗/50 人	33434	33857	33652	0.6520
	6 店舗/60 人	39120	41031	40333	3.1007
	8 店舗/80 人	54427	59479	57270	5.2235

表 4: 厳密解法と提案解法の計算時間比較 (単位:秒)

	厳密解法	提案解法	
		first move	best move
5 店舗/50 人	2268.91	0.891	0.758
6 店舗/60 人	3877.58	0.454	0.456
8 店舗/80 人	11279.95	0.833	0.723

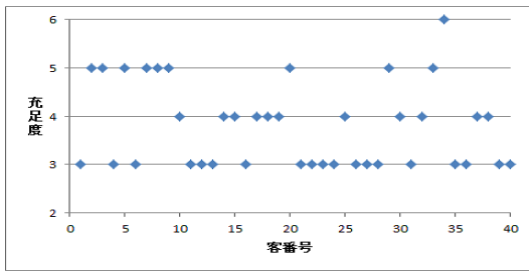


図 2: 厳密解法における参加者の充足度

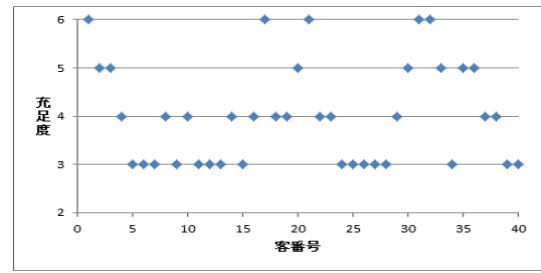


図 3: 提案解法における参加者の充足度

ない結果となった。参加者が選んだ店舗が  $s$  店舗とも近い位置にある場合を除いて、基本的に店舗間移動距離を短くすると、点数が低い店舗を含むことになる。また、店舗間移動距離を短くする上で、店舗を回る順番が重要であるが、提案解法では、初期解の割当てを行う際、店舗間移動距離を無視して、より点数が高い店舗から順に割当てている。したがって初期解を改善する際、各店舗の容量の制約などによって、店舗間移動距離が短くなる順番に店舗の割当て結果を更新することが難しく、局所解に陥ってしまうと考えられる。初期解の求解法を改善することによって、提案解法の精度をさらに高めることができると思われる。

表 5: 提案解法の実験結果

厳密解法では解けなかった問題に対して、提案解法で解を求めた結果を表 5 に示した。実際に九段下で行われている街コンを基に、A~C(店舗数 10, 回る店舗数 4,  $l = 4$ ) と D(店舗数 15,

	初期解	first move	best move	計算時間 (秒)	充足度平均	
					男性	女性
A10 店舗/200 人	236422	154649	153296	5.23	6	6
B10 店舗/240 人	284989	184238	183935	3.57	6	7
C10 店舗/260 人	310694	198756	198577	4.11	6	6
D15 店舗/300 人	514768	290777	289423	12.3	9	9

回る店舗数 5,  $l = 5$ ) とし、参加者数を変化させて実験した。問題の規模が大きい場合でも first move よりも best move の方が、良い解が得られた。表 4 と比較すると計算時間は長いですが、この程度の計算時間は現実的である。表 5 の結果から 1 人あたりの店舗間移動距離を計算すると、A の場合が 766.48m, B が 766.39m, C が 763.757m, D が 964.743m となった。実際に九段下で行われている街コンに参加している店舗の位置を基に考察すると、4 店舗回る場合で移動距離が約 760m, 5 店舗回る場合で約 960m という結果は現実的に妥当な結果だと考えられる。また、参加者の歩行速度を 70m/分とすると、4 店舗回る場合で、店舗間の移動に費やす時間は約 11 分, 5 店舗回る場合では約 13 分である。さらに、A において、店舗間移動距離が最大の男性は 1061m(約 15 分), 女性は 1080m(15 分) となった。街コンで客に与えられる時間は約 5 時間であるので、店舗間の移動に費やす時間が 11~13 分, 最大でも約 15 分という結果は現実的に考えても妥当な結果であり、提案解法は実問題に十分対応できているといえる。

## 5 まとめと今後の課題

本研究では、街コンの実施計画を最適化問題としてモデル化し、参加者の好み充足度を考慮した店舗間移動距離を最短化するような店舗割当てを考え、厳密解法と提案解法の両方を用いて解を求めた。厳密解法は提案解法よりも精度の高い解を得られるが、求解に膨大な計算時間を要した。それに対し、提案解法は厳密解法に比べ、解の精度は劣るが、現実的な計算時間で求解できた。また、本研究では、店舗に対する点数付けはバラつくという前提で改善法を考えているが、実際には人気の店舗に高点数が集中する場合もある。そのような場合にもうまく働く解法を構成する必要があるが、それは今後の課題である。

## 参考文献

- [1] パワースポット縁結び, <http://chiyoda.foodvillage.jp/index.php> (2012.12.22).
- [2] 藤沢克樹, 梅谷俊治, (2009), 応用に役立つ 50 の最適化問題, 朝倉書店出版, pp.12-35.
- [3] Gurobi, <http://www.gurobi.com/> (2012.12.22).