

テーマパークのOR

— 愛知万博を例として —

2002MM053 真野 祐樹

2002MM082 佐藤 久義

2002MM101 種村 美穂

指導教員 伏見 正則

1 はじめに

テーマパークでたびたび起こる問題として、混雑問題が挙げられる。人気のアトラクションで長時間待たされた経験は、テーマパークに行ったことがある人であれば誰でもあるだろう。各地のテーマパークの人気アトラクションでは、来場者数、時期(休日など)、時間帯やそれらに関係なく混雑が発生してしまう。人気アトラクションで数時間も待たされ、1日に回るアトラクション数が限られてくる。いかに魅力があるアトラクションを回ったとしても、2,3ヶ所もしくは数ヶ所しか回ることができなければ、テーマパークに行った意味があるとは言いがたい。各テーマパークでは、このような問題に対して整理券の配布や人が空く時間帯に誘導するなどして、渋滞の緩和策が考えられている。

しかし、このような渋滞緩和策を講じたとしても、人数や時間帯の状況で必ずしも待ち時間がゼロになるとは限らない。その為、本研究では、愛知万博を例として短い時間でより多くのアトラクションを効率よく回る方法を考える。

2 研究方針

2.1 研究目的

2005年国際博覧会(愛・地球博)を研究対象とする。会場内の多くのパビリオンを効率よく回ることができ、万博を各個人がより一層満足できるような巡回経路を見つけることを目的とする。パビリオンによって人気の格差はあるが、人気パビリオンも回ることができるよう考慮し、できる限り多くのパビリオンを回る巡回経路を考える。

2.2 対象地域

本研究では瀬戸会場は対象外とし、長久手会場だけに限定して考える。長久手会場のグローバル・コモン ~ (約70ヶ国のパビリオン)、日本館、企業パビリオンを対象地域とする。長久手会場内にグローバル・ループと呼ばれる環状道路が敷かれており、上記で紹介したすべてのパビリオンとアクセスが可能である。

3 アプローチ方法

研究方法として巡回セールスマン問題を用いて考える。

3.1 巡回セールスマン問題

巡回セールスマン問題は、ある一定の範囲の中に複数の都市が配置されているとき、その中のある都市からセー

ルスマンが他の都市に向けて出発し、他の全ての都市を1度ずつ訪れ、出発地点に戻る。その総移動距離が最短になるような訪問順序を探す問題を巡回セールスマン問題という。

巡回セールスマン問題では、訪れるべき都市数が少ない場合には、巡回路を総当りで計算・比較し最短経路を選んでも、それほど時間はかからない。しかし、都市数が多くなれば、巡回する順序は爆発的に増大するため、全ての巡回路を計算・比較しようとする、膨大な時間がかかってしまうことになる。そのため、現実的に要望された時間内で厳密な最短経路を求めることは難しい。この困難を避けるために、厳密解を求めることをあきらめて、実用的な時間内にできる限り良い最短経路を求めるのが普通である。この目的を達成するために多くの解法があり、総称してメタヒューリスティックスと呼ばれている。

3.2 算定方法

本研究では巡回セールスマン問題における都市を愛知万博の各パビリオンとして考える。しかし、巡回セールスマン問題では全ての都市を巡回することが条件であるが、愛知万博においては2.2で挙げたようにパビリオン数が多く1日で巡回することは不可能に近い。そこで、まず最初に巡回するパビリオンを10ヶ所に限定して巡回セールスマン問題を考える。もし、10ヶ所のパビリオンを巡回して開場時間に余裕があれば15,20,25,30ヶ所までパビリオンを選び、どれだけ巡回できるかを考える。

巡回セールスマン問題に対するメタヒューリスティックスアルゴリズムをいくつか考え、C言語を用いてプログラムを作成し、解を求める。それぞれのメタヒューリスティックス解法のプログラム実行結果を比較して、どのメタヒューリスティックス解法が最適であるのかを考察する。最終的に選び出したメタヒューリスティックス解法を用いて巡回経路を導き出す。

4 対象パビリオン

ここでは3章で述べた巡回セールスマン問題を用いて以下の8つの場合について計算する。

パビリオン

- 10ヶ所(企業館3ヶ所、外国館6ヶ所、日本館1ヶ所)
- 10ヶ所(外国館10ヶ所)
- 15ヶ所(外国館14ヶ所、日本館1ヶ所)
- 20ヶ所(外国館19ヶ所、日本館1ヶ所)
- 25ヶ所(外国館24ヶ所、日本館1ヶ所)

- f. 30ヶ所 (外国館 28ヶ所、日本館 2ヶ所)
 - g. 35ヶ所 (外国館 32ヶ所、日本館 3ヶ所)
 - h. 40ヶ所 (外国館 37ヶ所、日本館 3ヶ所)
- a は 5 章で北ゲート、東ゲート、西ゲートを出発地点として計算する。b~h は 6 章以降で北ゲートのみを出発地点として計算する。

4.1 パビリオンの位置説明

万博会場内の代表的なパビリオンの位置や各パビリオン間で移動可能な経路を図 1 で示す。図 1 の太線はグローバル・ループを表している。また、図 1 での番号は各グローバル・コモンへの入口やパビリオンを表し、その説明を表 1 と表 2 で示している。さらに、各パビリオン間の距離はキルピメータを用いて最短距離で測定した (青山研究室、田中氏から提供を受けた)。

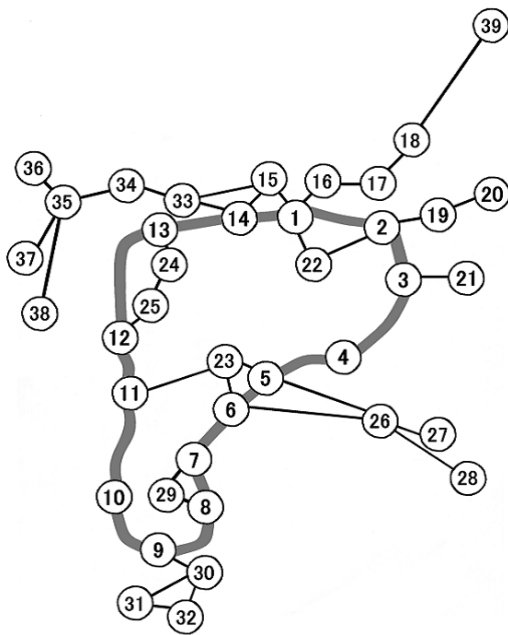


図 1 万博会場経路図

表 1 グローバル・ループ上の施設説明

施設番号	施設名、施設周辺
1	北ゲート
2	サウジアラビア館
3	カナダ館、キューバ館、国連館
4	マンモスラボ
5	各テレビスタジオ
6	「サツキとメイの家」方面入口
7	ドイツ館
8	グローバル・コモン 3 入口
9	グローバル・コモン 4 入口
10	エジプト館 ¹
11	西ゲート
12	グローバル・コモン 6 南側入口
13	グローバル・コモン 6 北側入口
14	ワンダーサーカス電力館

表 2 グローバル・ループの周辺施設説明

施設番号	施設名、施設周辺
15	北ゲート (西側)
16	北ゲート (東側)
17	キッコロ・ Gondola 北駅
18	トヨタ館、三井・東芝館
19	中央アジア館
20	韓国館、中国館
21	赤十字館、アメリカ館
22	グローバル・ハウス
23	大地の塔
24	シンガポール館
25	タイ館、インドネシア館
26	「サツキとメイの家」観覧コース出口
27	「サツキとメイの家」観覧コース入口
28	「サツキとメイの家」
29	スペイン館、トルコ館
30	タイ館、インドネシア館
31	イギリス館 ²
32	ロシア館
33	三菱未来館
34	EXPO ホール
35	ロボットステーション
36	観覧車
37	地球市民村
38	水の広場
39	東ゲート

- 1 南アフリカ館はエジプト館から約 50m 離れている
- 2 ベルギー館はイギリス館から約 60m 離れている

5 巡回セールスマン問題 (距離のみ)

5.1 対象パビリオン

パビリオンを 10ヶ所 (企業 3ヶ所、外国館 6ヶ所、日本館 1ヶ所) に限定して考える。企業館からは三菱未来館、ワンダーサーカス電力館、三井・東芝館を、日本館からは大地の塔を、外国館からは韓国、アメリカ、ドイツ、エジプト、イギリス、シンガポールを選ぶ。外国館は各グローバル・コモンからパビリオンを 1ヶ国ずつ選び、日本館からは大地の塔とする。

5.2 計算方法

プログラムは計算誤差や計算時間が平均的である 2-opt 法を組み込み、計算する。

2-opt 法とは 2本の枝の付け替えを繰り返して最適巡回回路を選ぶ方法である。この場合の枝は任意のパビリオン間の経路のことである。現在 (初期) の経路から 2本の枝を付け替えて、もっと短い巡回回路が見つかるならば、更新する。この計算処理を繰り返し行い、最短の巡回経路を探す。

表3 パピリオン待ち時間 [6]

	北ゲート	韓国	中国	カナダ	アメリカ	ドイツ	スペイン	イギリス	ロシア	エンパ	シンガポール	タイ
9時~10時												
10時~11時		10	0	10	10	140	10	10	0	10	10	0
11時~12時						180						
12時~13時												
13時~14時		30	20	15	20	170		30		30		10
14時~15時												
15時~16時						150						
16時~17時							20					
17時~18時				10	10	120		10		20		
18時~19時		10	10									
19時~20時				0	10	100		10	0	10	10	0
20時~21時		0	0	0	0	0		0	0	0	0	0
21時~22時		0	0	0	0	0		0	0	0	0	0
平均時間	0	20	15	10	15	140	20	15	5	20	15	5

	サウジアラビア	トルコ	キューバ	大韓の領	中央アジア	赤十字	国連	ベルギー	南アフリカ	三菱未定館	電力館	三井・東芝
9時~10時	0	0	0	70		50		0	0	45	50	180
10時~11時												
11時~12時				95						75	75	160
12時~13時												
13時~14時				90		60		15	10	80	50	130
14時~15時	10	20	10	75	0					45	40	130
15時~16時												
16時~17時				65		50				40	40	120
17時~18時												
18時~19時		10	5	55				10	5	35	35	100
19時~20時												
20時~21時		0	0	0				0	0	0	0	0
21時~22時		0	0	0				0	0	0	0	0
平均時間	5	10	5	80	0	55	0	10	5	50	55	145

5.3 定式化

記号の定義

V : パピリオンの番号の集合 $\{1, 2, \dots, n\}$

E : 巡回経路の枝集合 $\{(i, j) | i, j \in V, i \neq j\}$

d_{ij} : パピリオン (i, j) 間の距離

X_{ij} : 0-1 変数 = (i, j) 間を通過する場合は 1
 (i, j) 間を通過しない場合は 0

S : V の真部分集合

目的関数: $\min \sum_{(i,j) \in E} d_{ij} X_{ij}$ (1)

制約条件: $\sum_{j \in V \setminus \{i\}} X_{ij} = 1 \quad \forall i \in V$ (2)

$\sum_{i \in V \setminus \{j\}} X_{ij} = 1 \quad \forall j \in V$ (3)

$\sum_{i \in S} \sum_{j \in V \setminus S} X_{ij} = 1 \quad \emptyset \neq \forall S \subset V$ (4)

$X_{ij} \in \{0, 1\} \quad \forall (i, j) \in E$ (5)

5.4 実行結果

1. 北ゲートを出発地点とした場合
巡回路長: 3954m
2. 東ゲートを出発地点とした場合
巡回路長: 4820m
3. 西ゲートを出発地点とした場合
巡回路長: 3952m

5.5 考察

グローバル・ループに均等な距離で配置されているパピリオンを選んだので、3パターンともグローバル・ループにそって移動している。それに加えて、各実行結果に共通することとして、グローバル・ループ上で1度巡回した経路は再度巡回していないことが分かった。グローバル・ループに近い出発地点である北ゲート発と西ゲート発の巡回路長は、それほど変わらない。グローバル・ループから離れている東ゲート発は他と比べて巡回路長が大きいことが結果から分かる。今回の計算で適用した 2-opt 法はパピリオン間の距離の枝が交差する場合に、枝を入れ替えて計算する。

今回のアプローチでは距離のみを計算して最短な巡回路長を選んだ。しかし、実際に愛知万博を巡回する場合、待ち時間が発生してしまう。待ち時間は時間帯により変化し、さらに各パピリオンによっても異なる為、愛知万博の開場時間内 (13 時間) で 5.4 の実行結果として得られた経路が巡回できるとは限らない。

6 巡回セールスマン問題 (距離と待ち時間)

本章では待ち時間も考慮に入れて巡回セールスマン問題を考える。待ち時間のデータは平日晴天の場合で、来場者が 10 万人を超えた平均データを使用する (表 3)。

6.1 対象パピリオン

本研究はできるだけ短い時間で多くのパピリオンを訪れることを目標としている。5 章で選んだパピリオン 10ヶ所 (企業館 3ヶ所、外国館 6ヶ所、日本館 1ヶ所) 以外に外国館 (10, 15, 20, 25, 30, 35, 40ヶ所) のみの集合で巡回するように計算する。また今回の計算においては出発地点は北ゲートに限定する。

6.2 アルゴリズム

巡回する優先条件としては、パピリオン間の距離が最短であることとその時間帯に巡回するパピリオンの待ち時間が最小であることである。パピリオン間の移動距離と待ち時間を合わせて計算することは困難である。そのため、移動距離を移動時間に置き換えて計算する。人の歩行速度を 1m で 0.02 分の時間がかかるものとする。以上の条件を加えて巡回セールスマン問題を考える。

6.3 計算方法

5 章では 2-opt 法を適用したが、今回はより計算精度を高めるためにメタヒューリスティクス解法の中から焼きなまし法 (以下アニーリング法とする) を適用する。2-opt 法は局所集合から最適解を探す特徴がある。そのため、現在地からなるべく近い場所から選び計算をする。この場合の実行結果は巡回経路の先頭の順番は局所集合に偏ってしまう。この問題をアニーリング法により改善する。アニーリング法は局所解集合から最適解を探すのではなく、大域的解集合からランダムに解を選択し、改善ならば移動する。改善ならば、その度合いに応じた局所解集合の周辺に移動する。アニーリング法を適用することにより 2-opt 法による局所探索をなるべく避け、最適解を発見することが予想できる。

6.4 定式化

記号の定義

Z_{ij} : パピリオン (i, j) 間の移動時間

Y_j : パピリオン j の待ち時間

V, E, X_{ij}, S : 5.3 と同じ

目的関数: $\min \sum_{(i,j) \in E} (Z_{ij} + Y_j) X_{ij}$ (6)

制約条件: 5.3 と同じ

6.5 パピリオン 10 ヶ所 (企業館を含む) の巡回経路
距離は 2-opt 法にアニーリング法を加えて計算した。

6.5.1 実行結果

5 章の 2-opt 法での実行結果と比較する。

1. 2-opt 法 + アニーリング法で計算した場合

巡回経路：

(北ゲート) 韓国 大地の塔 ドイツ 三井・東芝館 ワンダーサーカス電力館 シンガポール エジプト イギリス アメリカ 三菱未来館 (北ゲート)

巡回時間：609.16 分 (10.1 時間)

巡回路長：8405.2m

2. 2-opt 法より距離のみで計算した場合 (5 章)

巡回経路：

(北ゲート) 三菱未来館 ワンダーサーカス電力館 シンガポール 大地の塔 エジプト イギリス ドイツ アメリカ 韓国 三井・東芝館 (北ゲート)

巡回時間：648.82 分 (10.8 時間)

巡回路長：3954m

6.5.2 考察

2 パターンの実行結果を比較すると、大きな違いは巡回路長と巡回時間である。巡回路長で考えると、(1) の計算結果は距離のみを優先した (2) の 2-opt 法による実行結果と比べると倍近く巡回路長がある。しかし、巡回時間で考えると、(1) の 2-opt 法 + アニーリング法による実行結果は、(2) の実行結果に比べるとわずかに巡回時間が短い。(2) でアニーリング法により計算精度を高めることで巡回路長は大きくなるが、巡回時間は効率よく短縮されているのが分かる。

(1) のアニーリング法を用いた巡回経路を考えると、出発地点の次の「韓国館」から突然大きく距離の外れた「大地の塔」に移動している。これは移動時間と待ち時間が最小になるようにしているので、「韓国館」から一番近いパピリオンに行くよりも、「大地の塔」に行ったほうが目的関数を小さくすることができるからであると考えられる。

優先条件に距離を加えて、移動時間と待ち時間を考えることで各時間帯よってのスケジューリングができる。しかし、反省点としては巡回路長が大きすぎるので、まだ計算精度を上げる必要がある。

6.6 外国館のみで考えた巡回経路

今回の実行結果は待ち時間の比較的少ない外国館を選んだ。限られた時間内でどれだけ巡回できるかを検証する。

6.6.1 実行結果

1. パピリオン 10 ヶ所で計算した場合

巡回時間：414.0875 分 (約 6.9 時間)

2. パピリオン 15 ヶ所で計算した場合

巡回時間：491.025 分 (約 8.2 時間)

3. パピリオン 20 ヶ所で計算した場合

巡回時間：619.225 分 (約 10.3 時間)

6.6.2 考察

外国館は企業館と比べて各パピリオンの待ち時間が短いため、短時間で次のパピリオンに移動できる。アニーリング法を適用したことで、どの巡回経路も遠回りな移動の仕方をしている。また、パピリオンを 10 ヶ所に限った巡回経路では突然待ち時間の大きいスペイン館、ドイツ館を最初に移動していることが実行結果から分かった。どの巡回経路も 2, 3 ヶ所は近くのパピリオンを巡回して、距離が離れた場所に移動するところが共通している。

実行結果より最大で 20 ヶ所のパピリオンを開場時間内 (13 時間) で巡回できることが分かった。さらに、パピリオン 20 ヶ所以上でも開場時間内に巡回できるかどうかを考えたが、きりが無いので今後はパピリオン 10, 15, 20 ヶ所の実行結果を利用し、どのメタヒューリスティクス解法が最適であるかを選ぶ。最後に、最適なメタヒューリスティクス解法でいくつまでパピリオンを巡回できるかを考える。

7 その他のメタヒューリスティクス解法

本章ではメタヒューリスティクスに含まれる代表的な解法として、以下を用いて、計算する。6 章で取り上げたアニーリング法以外のメタヒューリスティクスをいくつか用いて実行結果を比較し、結果の良いものを今後使用する。

1. アニーリング法 (6 章)
2. 多スタート局所探索法
3. タブー探索法

7.1 多スタート局所探索法

今回も精度の高い計算をするために、メタヒューリスティクス解法から多スタート局所探索法を適用する。多スタート局所探索法とはランダムに生成した複数個の初期解に対して局所探索を繰り返しおこない、得られた解の中でもっとも優れた解を出力する方法である。しかし、多スタート局所探索法は複数解の探索をおこなうために計算量は増加してしまう欠点がある。

7.1.1 計算方法

6 章で用いた 2-opt 法 + アニーリング法のプログラムに多スタート局所探索法を組み込む。

7.1.2 定式化

記号の定義と定式化は 6.4 と同じである。

7.1.3 実行結果

1. パピリオン 10 ヶ所で計算した場合

巡回時間：287.68 分 (約 4.8 時間)

2. パピリオン 15 ヶ所で計算した場合

巡回時間：425.36 分 (約 7.1 時間)

3. パピリオン 20 ヶ所で計算した場合

巡回時間：531.54 分 (約 8.9 時間)

7.1.4 考察

多スタート局所探索法を加えることにより、6 章の 2-opt 法 + アニーリング法の実行結果と比べて、全ての巡回経路で巡回時間が短くなった。6 章での 2-opt 法 + アニーリング法はいくつかの巡回経路で初期解が最適解となったが、今回は全ての巡回経路においての巡回時間が初期解よりも改善された。アニーリング法の特徴である、近傍以外の巡回経路も選ばれている。しかし、その選ばれたパピリオン間の移動距離は小さい。計算精度を上げたことで、最適解が出るまでに約 1 時間程度がかかってしまった。今後もメタヒューリスティックス解法からいくつか解法を選び、今回の結果と比較していく。

7.2 タブー探索法

今回も精度の高い計算をするために、メタヒューリスティックス解法からタブー探索法を適用する。タブー探索法は近傍探索を続けることにより、現在の解から近似解に到達できる過程のもとで行う方法である。この方法は人間の脳の働きを真似た手法で、探索経路を一定の間記憶することで、ループして探索することを防ぎ、局所最適解を避けることができる。記憶しておく期間は、タブー探索法の重要なパラメータであり、タブー長と呼ぶ。探索がループすることを避けるために遷移をおこなった解をタブーリストに書き込みタブー長の間、その解への移動を禁止する。タブー探索法は記憶をおこない解を改善させて最良解を選択する。また、探索が最適解に到達したのかどうか、アルゴリズム自体が知る術を持たないので、これらのアルゴリズムに対して探索が終了する条件を設定する。

7.2.1 計算方法

5 章で用いた 2-opt 法のプログラムにタブー探索法を組み込む。

7.2.2 定式化

記号の定義と定式化は 6.4 と同じである。

7.2.3 実行結果

1. パピリオン 10 ヶ所で計算した場合
巡回時間：333.8 分 (約 5.56 時間)
2. パピリオン 15 ヶ所で計算した場合
巡回時間：497.86 分 (約 8.3 時間)
3. パピリオン 20 ヶ所で計算した場合
巡回時間：514.92 分 (約 8.58 時間)

7.2.4 考察

2-opt 法のプログラムにタブー探索法を加えた。この実行結果を 7.1 の 2-opt 法 + アニーリング法 + 多スタート局所探索法の実行結果と比べる。パピリオン 10, 15 ヶ所においては、多スタート局所探索法で計算した解がタブー探索法で計算した解より巡回時間が短い。また、パピリオン 20 ヶ所においては、タブー探索法で計算した解が多スタート局所探索法で計算した解より巡回時間が短い。6

章での 2-opt 法 + アニーリング法はいくつかの巡回経路で初期解が最適解となった。今回のタブー探索法も全ての巡回経路においての巡回時間が初期解よりも改善された。計算時間は多スタート局所探索法の場合、計算時間が約 1 時間程度かかったのに対して、今回のタブー探索法は、約 5 分程度で計算が終了した。パピリオン 20 ヶ所ではタブー探索法を用いたプログラムが最短時間で巡回しているため、パピリオン 20 ヶ所以降を計算する場合はタブー探索法を用いる。

8 結果と考察

「愛知万博」に行ったことがある人を対象にアンケート調査を行った。数問程度であるが、実際に、万博に行って 1 日にどの程度パピリオンを巡回できたか、などを中心に回答してもらった。愛知万博では、夕方からは入場料が違っている。入場時間を各時間帯別で集計して、朝から (9 時 ~ 22 時)・昼過ぎから (13 時 ~ 22 時)・夕方から (17 時 ~ 22 時) の 3 つに分けて巡回数を見る。今回のアンケート集計結果で、次のパピリオン 25, 30, 35, 40 ヶ所の入力データに追加する。

8.1 アンケート比較と考察

アンケート集計結果の考察をする。愛知万博に行った人を対象に集計した結果、最高で 1 日 23 ヶ所、パピリオンを巡回した回答があった。企業館は 1 日平均して 2, 3 ヶ所、外国館は 7, 8 ヶ所巡回している。アンケートで集計した、各時間帯別のパピリオンの巡回数とプログラムで計算したパピリオンの巡回数を比較した結果は 8.2 に示す。

8.2 各時間帯に入場する場合の巡回経路

パピリオン 20 ヶ所のデータを各時間帯に分けて計算する。多スタート局所探索法を用いたプログラムで計算した。

8.2.1 実行結果

1. 朝 (9 時 ~ 22 時)
巡回時間：531.54 分 (約 8.9 時間)
2. 昼過ぎ (13 時 ~ 22 時)
巡回時間：490.16 分 (約 8.2 時間)
3. 夕方 (17 時 ~ 22 時)
巡回時間：300 分以上 (5 時間)
(スペイン, ドイツは巡回できなかった)

8.2.2 考察

パピリオン 10, 15 ヶ所で計算した場合は全ての時間帯において時間内に巡回することができた。パピリオン 20 ヶ所で計算した場合は夕方から (17 時 ~ 22 時) の時間帯でパピリオン 2 ヶ所 (スペイン館、ドイツ館) が巡回できなかった。スペイン館で並んで待っている間に巡回が終了した。

アンケートの集計結果より各時間帯で平均パピリオン巡回数は、朝から (9 時 ~ 22 時) パピリオン 10 ヶ所、昼

過ぎから (13 時～22 時) パビリオン 7, 8 ヶ所、夕方から (17 時～22 時) パビリオン 5 ヶ所であった。プログラムの計算結果は朝：パビリオン 20 ヶ所、昼：パビリオン 20 ヶ所、夕方：パビリオン 15 ヶ所巡回した。以上を比較し、いつの時間帯でもプログラムの計算結果が巡回数を上回ることができた。

8.3 1 日に巡回できるパビリオン数

8.3.1 対象パビリオン

アンケートの集計結果をもとに各グローバル・コモンからパビリオンを均等に選び、パビリオン 40 ヶ所まで追加した。2-opt 法 + タブー探索法を用いたプログラムで計算し、何ヶ所までパビリオンを巡回できるかを検証する。待ち時間のデータは平日晴天の場合で、来場者が 10 万人を超えた日の平均データを使用する (表 4)。

表 4 追加したパビリオンの待ち時間 [6]

	マレーシア	アンデス共同	フランス	オーストラリア	イタリア	ブルガリア	フィリピン
9時～10時	0	10	10	10	10	10	0
10時～11時							
11時～12時							
12時～13時							
13時～14時	10	15		30		15	15
14時～15時					20		
15時～16時			20				
16時～17時							
17時～18時		10		10		10	10
18時～19時	5						
19時～20時		0		10	5	0	0
20時～21時	0		0	0	0	0	0
21時～22時	0		0	0	0	0	0
平均時間	5	10	20	15	20	10	10

	長久手日本館	カタール	アイルランド	愛知県館	ベトナム	オランダ	スイス
9時～10時	145	0	10	20	5	10	10
10時～11時							
11時～12時	130						
12時～13時				40			
13時～14時	110	10	15			30	
14時～15時							15
15時～16時	95				10		
16時～17時				30			
17時～18時	85		10			20	
18時～19時		0					
19時～20時	65		0	10		15	10
20時～21時	0				0	0	0
21時～22時	0				0	0	0
平均時間	105	5	10	30	10	20	10

	ギリシャ	インド	プーテン	アフリカ共同館	メキシコ	ヨルダン
9時～10時	10	0	0	5	5	0
10時～11時						
11時～12時						
12時～13時						
13時～14時	20	15		10	15	
14時～15時			10			10
15時～16時						
16時～17時						
17時～18時	15					
18時～19時		10		5	10	
19時～20時	10		0			5
20時～21時	0	0		0	0	0
21時～22時	0	0		0	0	0
平均時間	15	10	5	5	10	5

8.3.2 実行結果

1. パビリオン 25 ヶ所で計算した場合
巡回時間：579.8 分 (約 9.6 時間)
2. パビリオン 30 ヶ所で計算した場合
巡回時間：682.86 分 (約 11.4 時間)
3. パビリオン 35 ヶ所で計算した場合
巡回時間：747.92 分 (約 12.5 時間)
4. パビリオン 36 ヶ所で計算した場合
巡回経路：

(北ゲート) アメリカ ギリシャ スイス イギリス 中国 中央アジア カタール キューバ フィリピン 赤十字 サウジアラビア マレーシア インド オーストラリア ベトナム ロシア アイルランド トルコ カナダ アンデス共同 シンガポール 大地の塔 愛知県館 フランス スペイン イタリア 国連 ブルガリア オランダ 長久手日本館 タイ エ

ジプト 南アフリカ ベルギー (巡回終了)
(ドイツ, 韓国は巡回できなかった)
巡回時間：780 分以上 (13 時間)

8.3.3 考察

プログラムの計算結果はパビリオンを最大 35 ヶ所巡回することができた。パビリオン 36 ヶ所を選んだ巡回経路はドイツ館の待ち時間中で巡回が終了した。パビリオン 35, 36 ヶ所の巡回経路を比較するとパビリオン 1 ヶ所を加えるだけでも巡回経路が大きく変化した。

本研究の目的である巡回セールスマン問題を用いて、「できる限り多くのパビリオンを回る巡回経路」を考える。アンケートの集計結果から、最高で 23 ヶ所、パビリオンを巡回した回答があった。プログラムの計算結果とアンケートの集計結果を比較しても、プログラムの計算結果がより多くパビリオンを巡回することができた。

9 おわりに

本研究では、愛知万博を例として、巡回セールスマン問題に適用し、その有効性の検証を行った。その結果、巡回セールスマン問題を用いて計算した巡回数が、人がパビリオンを巡回する平均数を上回ることができた。このような待ち時間を加えた問題においても、ある程度良好な解を得ることができた。

巡回セールスマン問題を、メタヒューリスティクス解法の中からアニーリング法と多スタート局所探索法、タブー探索法を用いて解いた。また、メタヒューリスティクスは、まだいくつかの解法が存在する。比較実験による結果は、取り扱う問題や比較の目的、さらにアルゴリズムの実現法によって異なるので、一般的な結論は導き難い。巡回セールスマン問題はどの解法が最適であるかは、現在明らかでなく、今後の発展が望まれている。

参考文献

- [1] 山本芳嗣, 久保幹雄：巡回セールスマン問題への招待, 朝倉書店, 1997.
- [2] 久保幹雄, 田村明久, 松井知己：応用数理計画ハンドブック, 朝倉書店, 2002. (pp.3-6, pp.240-244, pp.598-609)
- [3] 柳浦親憲, 茨木俊秀：組合せ最適化 - メタ戦略を中心として -, 朝倉書店, 2001.
- [4] 梅谷俊治：2004 年度数理科学科特別講義 (OR) 組合せ最適化 - 巡回セールスマン問題を中心として -, <http://www.toyota-ti.ac.jp/kikai/5k40/cad/umetani/lecture/nanzan2004.html>.
- [5] (財)2005 年日本国際博覧会協会: EXPO 2005 AICHI JAPAN, <http://www.expo2005.or.jp/>.
- [6] Tokai Walker : 角川書店, 2005.5.10 号, pp.36-47; 2005.6.21 号, pp.30-35; 2005.8.2 号, pp.36-37.