

GIS と遺伝的アルゴリズムを用いた観光地の施設配置の評価

井上美佳・山本佳世子

An Evaluation of the Placements of Public Facilities for Sightseeing with GIS and Genetic Algorithm in Sightseeing Spots

Mika INOUE and Kayoko YAMAMOTO

Abstract: The allocation of transportation and tourist facilities such as tourist information has been positioned as important measures in urban planning to promote urban tourism. Thus, this study aims to evaluate the placements of the above-mentioned tourist-related public facilities in sightseeing spots using GIS and GA (Genetic Algorithm). Based on the evaluation results, we propose the appropriate allocation of tourist-related public facilities to raise the efficiency of tourists' excursion behavior in sightseeing spots. As for the method, we show the originality in the point that we reflect GA which responses the issue of combination optimization to placement theory into the tourists' excursion behavior. Moreover, it is possible to evaluate conformity degree numerically and visually, by the advantages of GA that derives the solutions inductively and reflects neighboring influence sufficiently with GIS.

Keywords: 観光地 (sightseeing spots), 観光施設配置 (tourist-related public facilities), 遺伝的アルゴリズム (genetic algorithm), 回遊行動 (excursion behavior)

1. 序論

1.1 研究の背景と目的

近年のわが国では、様々な自治体で都市型観光が積極的に推進されており、観光客向けのサービス提供の場が多く整備されるようになった。このため、自治体の観光都市化計画では、交通網の整備や観光施設の配置も重要な施策として位置づけられている。しかし観光客の訪問が多い地域であっても、上記の交通機関や観光施設の配置は十分ではなく、観光客が各観光スポットを効率的に周ることが難しい場合も少なくない。

そこで本研究は、観光地における観光関連施設の配置を探索しそれを評価することを目的とする。具体的には、地理情報システム（以下 GIS とする）による解析と遺伝的アルゴリズム（以下 GA とする）を使った解の導出を組み合わせた評価を行う。さらに評価対象地域における観光関連施設配置の評価結果を基に、観光客の回遊行動にも反映させ、時間や安全性などの側面から観光ルートの推奨モデルを提案することにより、その効率性の向上を図る。

1.2 関連分野の先行研究と本研究の位置付け

図-1 には、本研究とその関連分野の先行研究の位置づけを示した。観光地や施設配置に関する先行研究のうち、(1) と (2) の両方を評価対象とした研究事例はほとんどなく、(3) の先行研究では GA を観光地に適用していない。また (2) の先行研究では、観光客が移動することを前提として回遊ルートを提案しているが、本研究では観光関連の施設配置を変更することを前提としているため、(2) とは対照的な観点から施設を再配置することを提案する。そして GA を用いて分析を行うことにより、対象地域の状況に適合し、観光客の周遊性を向上させ

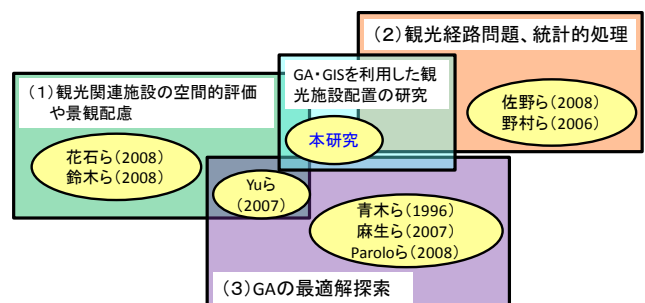


図-1 関連分野の先行研究と本研究の位置づけ

井上美佳 〒182-8585 東京都調布市調布ヶ丘 1-5-1

電気通信大学

Phone: 042-443-5664

E-mail: inoue@ohta.is.uec.ac.jp

ることができるように、観光関連施設の再配置を提案する点において研究意義を示す。加えて、GA のシステムを実際に対象地域に適用する点も、(3)の先行研究と同様に研究意義となる。

2. 評価の枠組みと方法

2.1 評価の枠組み

本研究では、以下の評価の枠組みに従って評価を行う。(2)(3)については、図-2に詳細を示す。

- (1)観光統計を分析することにより、都市型観光地の特徴を抽出し、評価対象地域を選定する。
- (2)対象地域において、次節で詳述するように、組み合わせ最適化問題を取り扱うモデルとして構築するGAとGISを用いて、周囲の地域の状況を考慮した観光関連の交通機関・公共施設配置の最適配置探索を実行し、仮想的に評価を行う(図2-①②)。
- (3)評価結果はGISを用いて可視化して表示し、実際の観光関連施設の立地と比較することにより、適正な施設配置を提案し、観光客がより効率的に周遊できる観光ルートを示す(図2-③④)。

2.2 評価方法

以下には、GAの概要をはじめ、具体的な評価方法を提示する。

2.2.1 GAの原理

GA (Holland, 1975) は生物の遺伝と進化のメカニズムを工学的にモデル化したもので、選択・交叉・突然変異などの遺伝的操作を繰り返しながら、帰納的に諸問題に対するより良い解を探索するアルゴリズムである。GAではGTYPEという低レベルの局所規則の集合(個体群)が操作対象となる。また解候補となる個体の、優劣の指標となる適合度は、個体が周囲の環境に適合して生き残りやすいことを示す。適合度は目的関数から決まり、上記の通り周囲の影響を受けるものであることから、GAで扱う問題に対して臨機応変に設定することができる。

GAは主に3つの遺伝的操作があり、図-3には一連の動作例、図-4にはその基本的なフローをそれぞれ示す。まず初めに選択では、適合度の大きいものほどより次世代の個体を生み出し、小さいものほど消去されやすいようにする。次の交叉では、二つの染色体間の遺伝子を部分的に組み替えて新たな個体を発生させる。そして突然変異では、遺伝子の一部の値を強制的に変化させて遺伝子集団としての多様性を大きくする。これら3つが終了したら、消去された個体を補完するため、適合度の高い個体から新たな次世代の個体を発生させる。この後、再び次世代の個体の適合度評価に戻り、より良い解に収束するまで上記の流れを繰り返す。

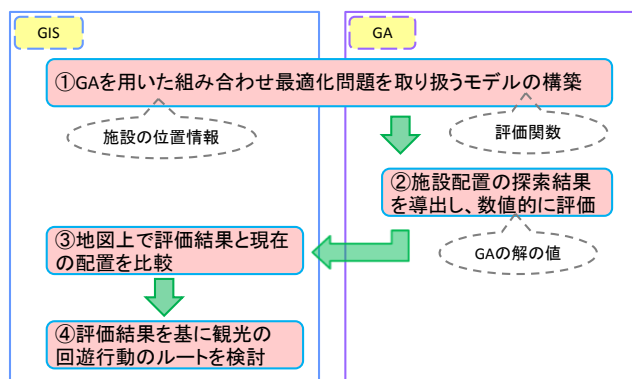


図-2 評価の枠組み

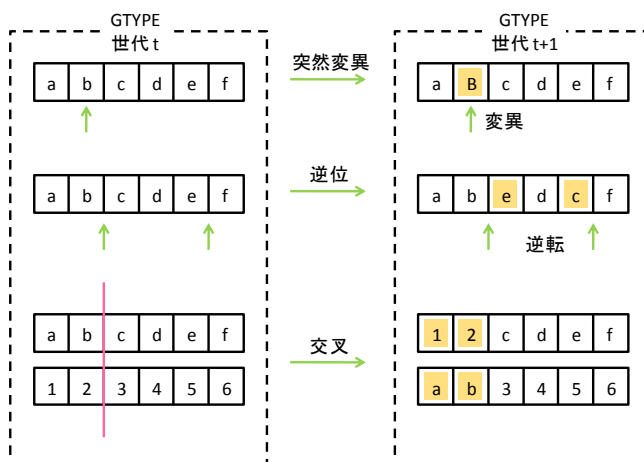


図-3 GAの一連の動作例

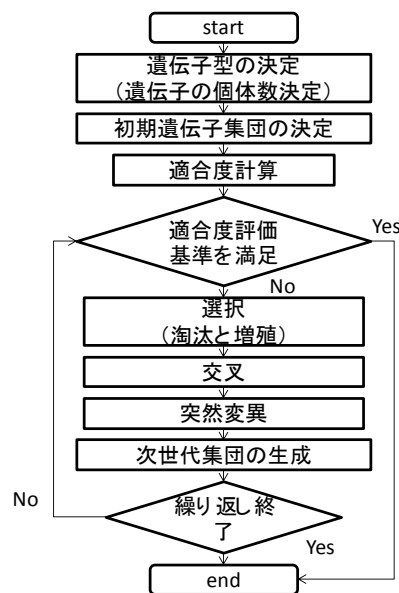


図-4 GAの基本的なフロー

2.2.2 GA を適用した観光地の施設配置の評価方法

GAの一連の流れの詳細と共に、観光施設配置への適用方法の概要を示す。本研究では、青木ら(1996)¹⁾の施設配置最適化アルゴリズムを参考とし、GAを設計する。以下には、(1)～(3)の設計内容を示す。

(1) 遺伝子コードと個体群の生成

対象施設の緯度経度などの位置情報から、遺伝子コードを作る。このときGISを用いて、評価対象地域を100mメッシュ単位程に区切り、仮想的に位置情報を作り出す。メッシュ一つ一つは個体となり、0/1で表現した文字列を付加する。評価対象地域のメッシュ数とほぼ同数の個体群(位置情報)を構成したところで、その中からランダムに初期個体を発生させ、同時に進化世代数を設定する。

(2) 目的関数と適合度

初期個体群について、それぞれ適合度を求める。具体的には、地域の状況や観光の周遊性を考慮したものを因子として、これらに重みづけをしながら目的関数を成形する。本研究では、より多くの観光スポットを効率的に周回することを軸に、立ち寄る観光スポットの数として適合度を計算する。図-5には観光地の施設配置への目的関数の導入の概要、表-1には適合度の計算過程の詳細をそれぞれ示す。

i) 第一段階の適合度の評価

観光スポットと施設配置の解候補との距離を三平方の定理などを用いて計算し、計算結果を基に立ち寄る観光スポットの数を確定する。本研究では、周遊対象の観光スポットから400m圏内外を立ち寄りの有無の基準とする。これは、石原ら(2006)³⁾の日常圏域の研究によると、上記の400mの圏域は一般人の徒歩圏と呼ばれ、日常生活において近所と認識され、徒歩での移動に苦労しない圏域と定義されているためである。また、これよりも範囲を広げた400～800m程度の移動になると、自転車を利用する比率が高くなることも指摘されている。個体と観光スポット間が400m以上の場合には、離れるほど確率的に立ち寄らなくなるように設定する。

ii) 第二段階の適合度の評価

各観光スポット立ち寄り率を第一段階の評価に付加し、適合度を確定する。立ち寄り率とは、観光地を訪れた人々のうち何人が各々の観光スポットに立ち寄ったかの割合を示しており、これを加えることで個体同士の適合度の詳細な比較が可能になる。

(3) 遺伝的操作

最初の選択では、個体群を適合度の良い順に遺伝子の組み換えに選ばれるようにする(ルーレット選択)。次に交叉では、選択に従い適合度の高い個体を親(2つ)として取り出す。そして、交叉処理で子である個体(2つ)をつくる。また突然変異では、

任意の確率で適合度の良い個体を取り出し、その染色体の一部を変化させて、新生の個体として発生させる。最後の選択では、元の解候補である個体の適合度が下位のものを消去し、代わりにこの世代で交叉・突然変異により創られた個体を導入し置き換える。上記の操作でより良い位置情報を出力し、適切なメッシュを決定する。得られた結果は、適合度などの評価による解の決定を介して、現在の施設の位置情報と比較することにより、定量的にGAの有効性を検証する。

2.2.3 観光経路探索方法の概要

本研究では、川井(2010)⁸⁾の周囲の空間情報を反映させる観光ルートモデル構築手法の一部を参考に、観光施設配置を基にした観光ルート提示のために、観光経路探索方法を提案する。具体的には、ある一地点から他の一地点までの移動を想定する単一ルートを構築後に、単一ルートを組み合わせた合成ルートをさらに構築し、これに重みづけをするという段階的な流れで、観光ルートモデルを提案する。この手法は、GISを活用することで多様な情報を詳

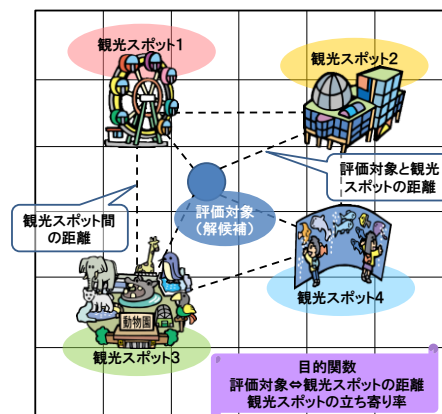


図-5 施設配置への目的関数の導入の概要

表-1 GAにおける施設配置の適合度計算過程

	目的関数	重みづけ	適合度計算(適合度: 立ち寄る観光スポットの数)
距離による適合度の評価(第一段階)	評価対象と各観光スポットとの距離 $d[m]$ $d = \text{評価対象の位置} - \text{観光スポットの位置} $	任意の距離 $r[m]$ $r \leq 400$: 必ず立ち寄る $r > 400$: 離れるほど立ち寄らない(確率)	$r \leq 400$: 適合度 $\text{fitness}+1$ $r > 400$: 適合度は確率的に $\text{fitness}+1$ または $\text{fitness} \pm 0$
立ち寄り率による適合度の評価(第二段階)	各観光スポットの立ち寄り率(観光地を訪れた人々が何人観光スポットに立ち寄ったか)	立ち寄り率が高いほど適合度が上がる	m 人が x ヶ所、 $n-m$ 人が $x \pm 1$ ヶ所立ち寄る場合 $\text{fitness} = mx + (n-m)(x \pm 1)$

細な空間スケールで反映させ、重みづけや場合分けを行うことにより精度を向上させることができるという利点がある。また、実際の観光施設配置と観光客の回遊行動を考慮した観光ルートを構築する場合に、特に有用であると考えられる。

3. 評価対象地域の選定とデータベースの構築

3.1 評価対象地域の選定

評価対象地域は、以下の二段階の調査により選定した。まず、最初に各都道府県の観光統計^{注1)}を収集し、その中でも共通項目として記載されている観光入込客数について、地域ごとに年度推移で調査する。この分析結果から、観光入込客数の変化に特徴がみられる地域を選定した。次に観光関連の新聞記事^{注2)}や先行研究などから観光地の実態を調査し、これらを大まかに把握することで、観光地のカテゴリーを設定した。基準は、観光資源となるものがあるか否か、観光の中心的な対象となるものは何かなどとした。

以上の二段階の調査により、本研究の目的に適合した観光地の条件を抽出した。具体的には、①観光資源が元々存在する、②施設などが互いに離れず点在（施設間）で回遊行動が可能な範囲）、③貴重な自然資源があるという観光地としての3点の条件を持つ地域を想定した。これらのことから、次節で詳述するように入込客数の変化に特徴があり、上記3点の条件にも当てはまる場所として、都市型観光地として知られる神奈川県横浜市みなとみらい地区周辺を選定した。図-6には、2001-2010年間の横浜市の観光入込客数を示す。

3.2 評価対象地域の特性

みなとみらい地区周辺は様々な種類の観光スポットが集中しており、子供から大人までを対象とした場所となっている。交通機関も豊富で、電車の他には市内観光バスや観光船があり、これら自体を利用することも観光の一つとなり得る。

その一方で、各観光施設間の交通の不便さに起因する観光客の周遊性の低下が懸念されている。ある狭い範囲の地域のみに着目した場合には、観光施設

が集中しているため、短時間でその場所にある複数の観光スポットを周ることが可能である。しかし、より広範囲での観光を考える場合には、一旦その地域を離れると次の観光スポットまでかなり距離があるため、徒歩での移動には長時間を要し、複数の地区間の移動は効率が悪いことになってしまう。そして交通機関の利用を考えても、一度駅を経由する必要性が生じるため、余計な遠回りをする事になってしまう場合もある。このような問題に対して、公共機関・施設の補完や既存の観光施設の空間的配置を改善することが重要であると考えられる。

本研究では、観光回遊行動の対象となる観光スポットとして、みなとみらい（パシフィコ横浜、コスモワールド、赤レンガ倉庫など）・元町山手（中華街、外国人墓地、港の見える丘公園、元町商店街など）・野毛山（野毛山動物園、馬車道商店街など）の3地区を取り上げ、これらの地区間の観光客の周遊性の効率化を図るために、評価対象の観光関連施設の適正配置を提案する。

3.3 評価対象地域におけるデータベースの構築

現在の施設配置と評価結果に基づいて提案する適正配置を視覚的に比較し、評価対象地域の道路状況などを考慮した観光ルートを表示するために、GIS上で観光回遊行動のデータベースを作成する。

まず基図となる電子地図データを、施設配置の評価の準備段階でGISに取り込む。GISとしてESRI社のArcGISDesktop10.0、基図として昭文社発行のMAPPLE10000を利用する。MAPPLE10000は、道路ネットワークや建造物などのレイヤーから構成されており、施設配置や道路環境に関する情報など多くの地理情報を保持している。本研究の解析では、図-7のように現在の観光関連の施設及び交通機関の配置、道路状況などに関するデータ（歩行者ネットワークデータなど）を利用し、これらと共にGAでの探索結果も付加する。以上によって、前章で示したGA実装によって得られる適合度の値に加えて、視覚的な評価も行う。

さらに評価結果を基に、道路状況や時間的な側面から周遊性の高い観光ルートを提案し、GIS上で施設の位置情報とともにデータベース化する。本研究で評価対象とする施設は、公園や史跡など不変の場所ではなく、バスの停留所や観光案内所などの可変のものとする。一方で、観光回遊行動の対象となる観光スポットは、3.2節で詳述したように、観光客に親しまれている場所や、評価対象地域における著者らの現地調査により決定した。

図-8には、以上のデータベース作成過程を整理して示す。

4. 観光地の施設配置の評価

4.1 GAによる施設配置の検討

施設配置探索のためのGAを構築し、初期段階で

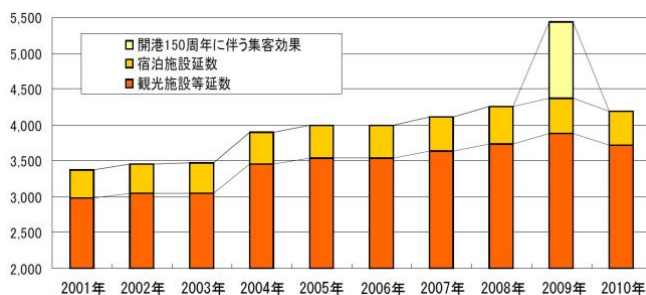


図-6 横浜市の2001-2010年間の観光入込客数^{注3)}

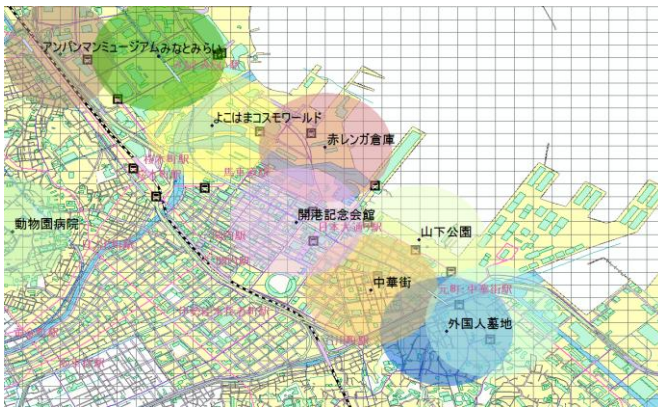


図-7 MAPPLE10000 によるみなとみらい地区における観光関連施設の立地

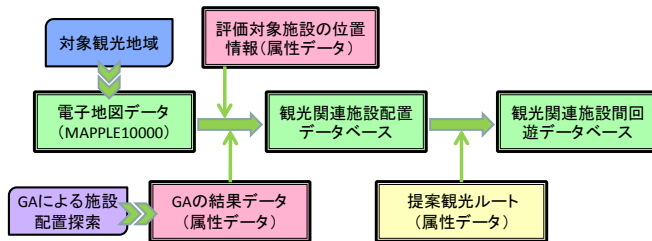


図-8 観光回遊行動データベース作成過程



図-9 適合度の良い初期個体の配置図

ある初期個体の発生とその適合度評価、さらに親の選択までを実装した。乱数により作った個体は、まず表-1 に示した第一段階のみの適合度計算により、それぞれ評価した。最も良い適合度値は、全ての対象観光スポット数 (10) となり、図-9 にはこのときの初期個体の配置図 (カラー部分) を示す。初期個体の配置図を詳細に検討すると、特定の観光スポ

ットに近接している個体やバスの路線を部分的に含む個体がある。また、どの観光スポットからも離れすぎておらず、均等な距離を保っている個体もあり、初期段階であっても一部では比較的良好な解候補を示すことができたといえる。

しかし、みなとみらいのエリアから離れた南東部に位置する個体のように、決して最適とは言えない個体も、適合度が最大になっているため、適合度評価時の精度が問題であると考えられる。そのため、表-1 に示した第二段階において適合度計算を追加することや、第一段階の適合度計算の改良、そして遺伝的操作による多くの個体の評価が必要となる。また本研究では、図-9 で示した個体一つ一つをそれぞれ個別の解として取り扱っているが、実際には評価対象の施設のうち複数ヶ所が隣接して立地している場合もある。よって、このような複数の施設の位置情報を一つの解候補としてまとめて、一個体として適合度評価を行い、これらの施設を同時に配置することにより、できるだけ多くの観光スポットを周遊できるような解を最終的に検討することが必要である。

4.2 基本的な観光ルートの検討

2.2.3 節で述べた観光ルート構築手法に従い、実際の観光関連施設配置を立ち寄る経路を導出し、GIS 上に示す。まず、観光地スポットの影響や観光客の客層などを加味せず、距離のみをコストとする最短経路を検討した。最初に、周遊の対象とする観光スポット・駅・バス停などの位置情報を付加し、これらのポイントデータをそれぞれ始点と終点とし、複数の単一ルートをつくる。その一例を図-10 に示す。

次に、このような単一ルートの組み合わせを複数考慮し、これらを組み合わせたものが合成ルートとなる。その一例が図-11 であり、対象の観光スポット 10ヶ所全ての立ち寄りを想定している。これは交通機関の利用の有無を考慮せず、徒歩での最短経路を導出している。総距離は約 11.7km であり、歩行速度を平均的な時速 3km とすると、全て徒歩で移動した場合、移動時間だけでも約 4 時間を費やすことになる。またそれぞれの観光スポットの滞在時間も加算すると、ほぼ全ての周遊を終えることに丸 2 日程はかかる。そのため、対象の観光スポットをより少ない時間で多く回り、かつ遠方まで立ち寄ることを容易にするためには、交通機関の利用を増やすことや中継地点を考えることが必要となる。

そのため、バス停の配置に着目すると、図-11 の経路にはバスが通る経路が一部含まれているが、短距離で途切れているため、バスの乗降と徒歩を何度も繰り返すことになり、効率的はあまり良くない。そこで、バス停をこの経路上付近に増やすか、または観光スポットごとに偏りがないように配置する

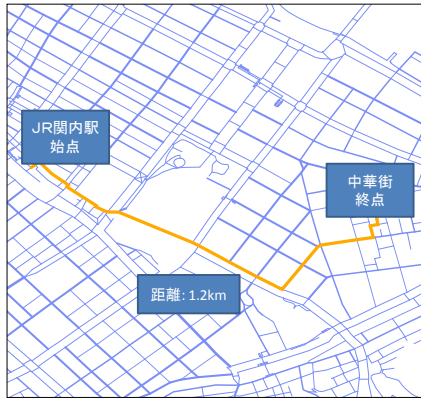


図-10 単ルートの一例

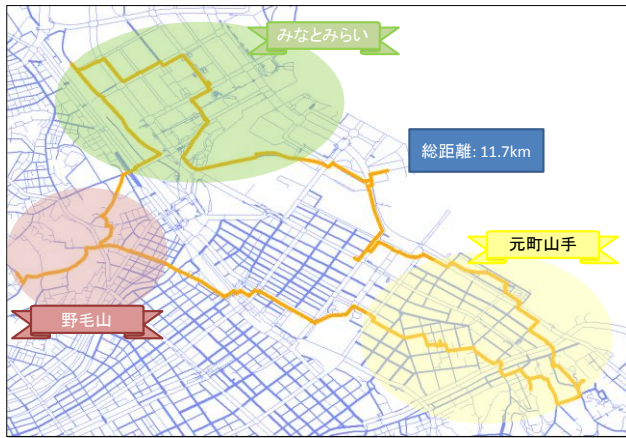


図-11 合成ルートの一例

かによって、より長い経路を乗車できると考えられる。よって理想的には、GA で得られる配置は合成ルートの経路上にあるか、もしくは近接していることが望ましい。一方で道幅も経路を選ぶ一つのコストとなるので、道幅を重視したルートを構築し、GA で得られる配置と共に検討することも課題となる。

5. 結論と今後の研究課題

本研究では、観光統計や観光地の現状から観光地の位置づけを分類し、その中の都市型観光に着目した結果、公共機関・施設の空間的な配置に関する問題が明らかになった。これに対し、組み合わせ最適化問題を配置論に対応させた GA を用いて、観光客の周遊性の効率化を図るための施設配置の初期段階の評価を行った。また、GA の帰納的に解を導出する汎用性、周囲の影響を十分に反映させる利点と、GIS の評価を組み合わせることにより、適合度の数値的な評価と視覚的な評価の双方が可能になったといえる。

今後は、仮想的に配置した一つの施設の評価過程

と結果を基に、回遊行動の対象となる観光スポットの多くを効率的に周ることができるような複数の施設配置を提案する。以下には、具体的な今後の研究課題を述べる。

- (1) GA による評価を繰り返す過程において、評価関数や遺伝的操作に改良を加えると共に、複数の評価対象を扱うアルゴリズムに拡張する。
- (2) GIS 上において、観光スポットの影響などを考慮したより詳細な観光ルートを構築し、GA の評価結果と現在の施設配置とを比較して、より良い周遊性を持つ観光ルートを検討し再提案する。

補 注

注 1) 「都道府県の観光統計リンク」:

<<http://nezimaki.nobody.jp/kankou/toukei-link.html>> (2010.12.10 参照)

注 2) 日本経済新聞「トラベルナビ」(水曜日夕刊 7 面)

注 3) 横浜市記者発表資料、経済観光局観光振興課、「国の共通基準準じた新たな観光集客指標」:

<<http://www.city.yokohama.jp/ne/news/press/201104/images/phpfhFEy1.pdf>> (2011.6.8 参照)

参考文献

- 1) 青木義次・村岡直人(1996):「遺伝的アルゴリズムを用いた地域施設配置手法」, 日本建築学会計画系論文集, No. 484, pp129-135
- 2) 麻生稔彦・松本頼一・森下和久(2007):「遺伝的アルゴリズムを用いた災害時避難所の最適配置に関する研究」, 山口大学工学部研究報告, Vol. 58, No. 1, pp522-533
- 3) 石原宏・清水敏治・泉善弘(2006):「日常生活圏域の基礎的研究」, アーバン・アドバンス, No. 45, pp68-76
- 4) 伊庭斉志(1994):「遺伝アルゴリズムの基礎-GAの謎を解く」, オーム社
- 5) 伊庭斉志(2008):「Cによる探索プログラミング:基礎から遺伝的アルゴリズムまで」, オーム社
- 6) 井上美佳・山本佳世子(2011a):「遺伝的アルゴリズムを用いた観光地における公共施設配置の空間的評価の提案」, 日本計画行政学会関東支部第5回若手研究交流会予稿集, pp74-77
- 7) 井上美佳・山本佳世子(2011b):「遺伝的アルゴリズムを用いた観光地の施設配置の評価方法の提案」, 2011年日本社会情報学会(JASI&JSIS)合同研究大会研究発表論文集(印刷中)
- 8) 川井博之(2011):「空間再現性を考慮した観光ルートモデル構築手法に関する研究」, 電気通信大学大学院情報システム学研究科2010年度修士論文
- 9) Gilberto Parolo et al(2009):「Optimization of tourism impacts within protected areas by means of genetic algorithms」, Ecological Modeling, No. 220, pp1138-1147
- 10) 佐野由有・伊藤香織(2008):「観光行動からみる横浜都心部の交通構造-自転車利用可能性を探る」, 日本建築学会大会学術講演梗概集 F-1, pp445-446
- 11) 鈴木晃志郎・若林芳樹(2008):「日本と英語圏の旅行案内書からみた東京の観光名所の空間分析」, 地学雑誌, Vol. 117, No. 2, pp522-533
- 12) 野村幸子・岸本達也(2006):「GPS・GISを用いた鎌倉市における観光客の歩行行動調査とアクティビティの分析」, Architectural Institute of Japan 総合論文誌, No. 4, pp72-77
- 13) 萩原将(1994):「ニューロ・ファジィ・遺伝的アルゴリズム」, 産業図書
- 14) 花石一・三宅諭(2008):「可視領域と観光地からの見え方に着目した風力発電施設の立地に関する研究-岩手県遠野市の事例-」, 日本建築学会大会学術講演梗概集 F-1, pp859-860
- 15) Bin Yu et al(2007):「Optimizing the distribution of shopping centers with parallel genetic algorithm」, Engineering Applications of Artificial Intelligence No. 20, pp215-223