

写真のジオコーディング支援に用いる 遺伝的探索における近傍交叉の効果

菊池俊作^{†1} 鈴木徹也^{†2}

我々は写真のジオコーディング支援を目的として撮影地探索システムを開発している。撮影地探索システムは、風景写真の特徴を入力としてその撮影地を探索するシステムである。写真の位置情報はその写真を利用する上で有効なメタデータである。撮影地探索システムにとって、撮影地探索は最適化問題の最適解を探索することである。その探索には遺伝的アルゴリズムを用いる。しかしその探索手法には、探索点が探索空間の中心に偏ってしまうという問題がある。我々は、その問題点を解決するために、遺伝的アルゴリズムに近傍交叉を導入した。そして実験によりその有効性を確認した。

The Effect of Neighborhood Crossover in Evolutionary Search Methods for Landscape Photograph Geocoding Support

SHUNSAKU KIKUCHI^{†1} and TETSUYA SUZUKI^{†2}

The location search system is a system which takes the features of a landscape photograph as its input and searches its location. The objective of the system is to support geocoding of landscape photographs. The geographical information of photographs is useful metadata for the use of them. For the system, location searches are to solve optimization problems. The system uses genetic algorithms for the searches. The current search methods have a problem such that most of search points move to the center of the search space. To solve the problem, we introduced neighborhood crossover into a search method of our system. We confirmed by experiments that the proposed method solved the problem.

1. 研究の背景と目的

写真のジオコーディング支援を目的に、現在我々は風景写真の撮影地を探索するシステム(撮影地探索システム)^{1)~4)}を開発している。

写真に位置情報を結びつけると、様々なサービスが可能になる。例えば、写真と地図を結びつけたサービスとしては、「Google マップ ストリートビュー」⁵⁾が挙げられる。このサービスによって、ユーザは地図上で指定した場所と方向の写真の閲覧できる。また、位置情報は、写真の記録としての価値を向上させる。例えば、「幕末・明治期 日本古写真メタデータ・データベース」⁶⁾は、幕末から明治期の日本の写真を Web 上で公開しているサービスである。そこで公開されている写真には撮影場所が付されており、位置情報が写真を説明する情報の1つになっている。さらに、位置情報が付いた写真は、報道内容などの検証にも利用できる可能性がある。例えば、新聞やニュース番組は、日々、事件事故の写真や映像を我々に伝えている。しかし、それらが説明通りの場所で撮影されたのかを、一般の読者や視聴者が検証することは難しい。もし写真や映像に撮影位置の情報があれば、それは検証の材料となりうる。

上記のようなサービスを提供するには、写真と位置とを結びつける必要がある。例えば、デジタルカメラと全地球測位システム (Global Positioning System, GPS) とを利用すれば、屋外で撮影する写真に位置情報を容易に付与できる。

しかし、撮影地が大まかにしか分からない写真も数多くある。例えば、GPS が一般に普及する以前に撮られた写真や日々伝えられる報道写真、そして映画やテレビドラマの一場面に写る風景などである。それらに位置情報を付与するには多大な労力が必要となる。

つまり、撮影地が不明な写真に対する位置情報付与の労力を軽減することは、上記のような各種サービス向けコンテンツの作成に寄与する。

撮影地探索システムにとって、撮影地探索は最適化問題(最大化問題)の最適解を探索することである。現状ではその探索には主に遺伝的アルゴリズムを用いている。先行研究で探索空間の制限方法の問題点を指摘し、探索問題定義拡張と罰金問題導入により解決した。しかしその手法には探索範囲に偏りがあるという問題がある。この問題により探索効率が下がっ

^{†1} 芝浦工業大学大学院工学研究科電気電子情報工学専攻

Department of Electrical Engineering and Computer Science, Graduate School of Engineering, Shibaura Institute of Technology

^{†2} 芝浦工業大学システム理工学部電子情報システム学科

Department of Electronic Information Systems, College of Systems Engineering and Science, Shibaura Institute of Technology

ていると考えられる。

本研究では撮影地探索システムでの探索効率を向上させるという目的のために、遺伝的アルゴリズムに近傍交叉を導入する。

2. 撮影地探索システム

本節では撮影地探索システムについて説明する。

2.1 撮影地探索の手順

撮影地探索システムでは次のような手順で探索を行う。

- (1) 探索問題の定義
- (2) 初期解集合の生成
- (3) 探索
- (4) 解の視覚化

上記手順 1 は手作業で行うが、手順 2, 3, 4 を撮影地探索システムで処理する。以下でこれらの手順について説明する。

2.2 探索問題定義

まずシステムが扱う探索問題を定義する。詳しくは 2.3 節で述べるが、写真から抽出された特徴と探索範囲を宣言的に記述する。例えば写真から読み取れる地形の特徴、カメラパラメータを表す変数とその領域などを記述する。

2.2.1 初期解集合の生成

探索に先立って解集合を生成する。本研究で用いる**解**とは、探索問題で定義された変数からその値への写像である。解の良し悪しは問わない。遺伝的アルゴリズムにおいては、1つの解が1つの個体として扱われる。ここで生成されるそれぞれの解が探索の開始点となる。

2.2.2 探索

システムは、与えられた解集合中の解を探索の開始点として、ユーザに指定された探索アルゴリズムを使ってより良い解を探索する。各探索アルゴリズムは探索時に数値地図を参照する。現状では実数値遺伝的アルゴリズムと局所探索アルゴリズムが利用可能である。

実装済みの実数値遺伝的アルゴリズムは、交叉方法として単峰性正規分布交叉 UNDX(Unimodal Normal Distribution Crossover)-m⁷⁾、世代交代モデルとして DDA(Distance Dependent Alternation)^{8),9)} と MGG(Minimal Generation Gap)¹⁰⁾ を利用できる。

各探索アルゴリズムによって 2 種類の解集合が出力される。1 つは遺伝子型のものであり

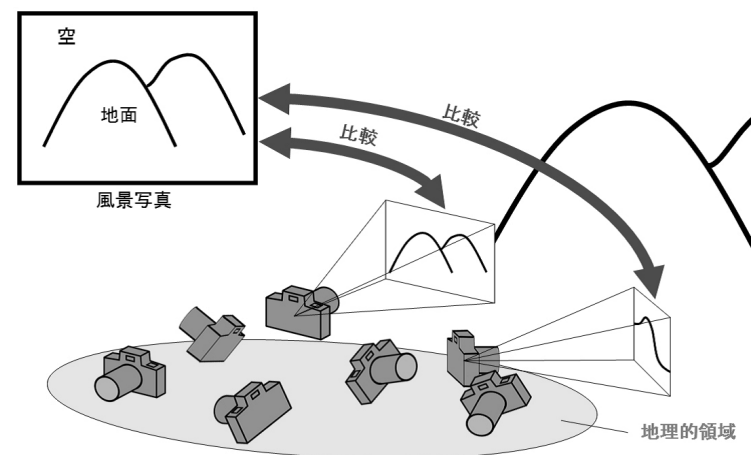


図 1 撮影地探索システムにおける探索のイメージ図

もう 1 つは表現型のものである。出力された解には適応度が付与されている。適応度は 0 以上 1 以下の値で、良い解ほどその値が大きい。

出力された遺伝子型の解集合は再び探索開始点となりうる。したがって、異なる探索アルゴリズムを組み合わせる探索を行うことができる。

探索のイメージを図 1 に示す。図 1 はある風景写真の撮影場所を地理的領域内から探索するという探索問題における探索の様子を表している。図 1 の下部に示されている楕円で表現された地理的領域上で、条件を満たす解を探索するためにカメラが様々な方向、焦点距離、姿勢で探し回るといった作業をシステムは行っている。

2.2.3 解の視覚化

高い適応度を持つ解が正しい撮影位置を指しているとは限らない。例えば探索問題の定義が不十分であった場合にそのようなことが起こる。そこでユーザは、出力されたカメラパラメータによって撮影される風景を視覚化し、解の妥当性を確認する。

例として、本システムで描画した河口湖湖畔の風景を図 2 に示す。描画には国土地理院刊行の「数値地図 50m メッシュ(標高)」を用いた。またその描画に用いたパラメータを表 1 に示す。なお表中の緯度と経度は、日本測地系 2000¹¹⁾ に基づく緯度経度である。

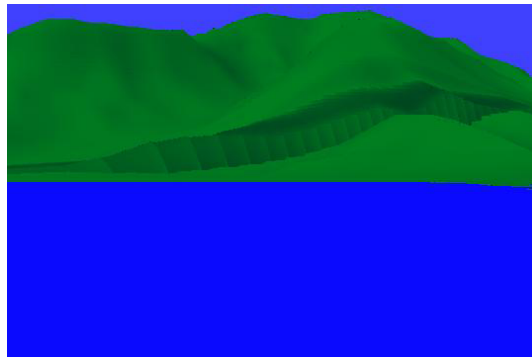


図 2 風景描画の例 (河口湖湖畔)

表 1 表 2 の描画に用いたパラメータ	
パラメータ	値
カメラ位置	北緯 35 度 30 分 38.10 秒, 東経 138 度 43 分 3.50 秒
焦点距離	30mm
投影面の大きさ	23.7mm × 15.7mm
対地高度	1m
方角	200 度
仰角	0 度 (固定)
バンク	0 度 (固定)

2.3 探索問題記述

システムに与える探索問題は次の要素から構成される。

- (1) 地理的領域定義
- (2) 変数定義
- (3) カメラ定義
- (4) 制約記述

以下でこれらを順に説明する。また図 3 にそれを説明するためのイメージ図を示す。

2.3.1 地理的領域定義

地理的領域とは、緯度と経度の 2 次元直交座標系上の点、線分、三角形を要素とする列である。点は緯度と経度の組で定義される。線分は 2 つの点の組で定義される。三角形は点の

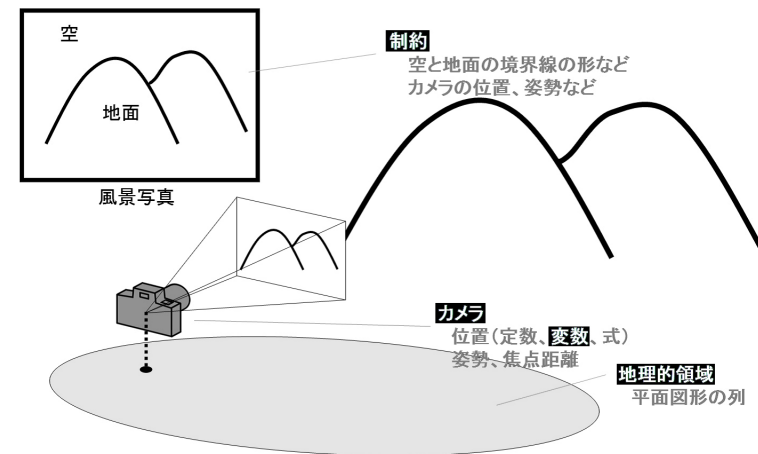


図 3 探索問題定義のイメージ図

3 つ組で定義される。このように定義された地理的領域はカメラ位置を制限するのに使用される他、ある緯度と経度で示される点が地理的領域に含まれるかどうかを判定するのに使われる。例えば、図 3 の下の楕円で表現された範囲が地理的領域である。

2.3.2 変数定義

未知のカメラパラメータなどを表すために変数を定義できる。変数の領域は倍精度浮動小数点型の値を要素とする有限集合である。その定義には、値を列挙する方法、取り得る値の上限と下限そして値の間隔の 3 つを指定する方法、定数や他の変数を使った式を指定する方法がある。例えば、図 3 に示されているようにカメラ位置や姿勢を表すための要素の 1 つとして変数が使われる。

2.3.3 カメラ定義

カメラ定義では、ピンホールカメラモデル (図 4) に基づくカメラを 1 つ以上定義する。各カメラに対して定数、変数もしくはそれらを使った式で次を定義する。

- 視点の緯度、経度、高さ
- カメラの方角、仰角、バンク、焦点距離、投影面の大きさ、投影面のピクセル数
- 最大視線追跡距離

方角は北が 0 度、東が 90 度、南が 180 度、西が 270 度となるようにとる。仰角は水平面に対

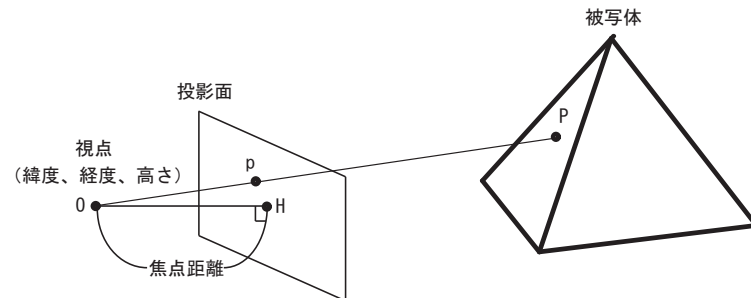


図 4 ピンホールカメラモデル

する光軸の角度である。バンクは光軸を回転軸としたカメラの回転角度である。焦点距離は視点と投影面との距離である。被写体を調べる際、視点から投影面上のある点の先へ向けて視線を延ばす。最大視線追跡距離は、その視線の最長距離である。最大視線追跡距離までの範囲に地面、湖面、海面のいずれかがあった場合、視線とその被写体との交点 P の位置 (緯度、経度、高さ)、視点から交点 P までの距離、交点 P の属性 (地面、湖面、海面) を調べられる。それらのいずれもない場合、被写体の属性は空とされる。

2.3.4 制約記述

ユーザは定義したカメラで撮影される写真の特徴や数式に関する条件を 1 つの制約として記述する。制約には基本制約とメタ制約の 2 種類がある。

基本制約は次の 5 種類に大別される。

- 等号や不等号といった数値の 2 項関係
- 視点から被写体までの距離に基づく制約
- 被写体の位置に基づく制約
- 被写体の属性に基づく制約
- 地理的領域に関する制約

視点から被写体までの距離に基づく制約によって、被写体の前後関係などを記述できる。被写体の位置に基づく制約によって被写体の凹凸が表現される。被写体の属性に基づく制約によって、投影面上の 1 点に対応する被写体の属性が地面、湖面、海面、空のいずれかなのかを宣言できる。投影面上のあまり離れていない 2 点のうちいずれかが空でもう一方が空でないことを宣言することで、地面と空との境界を表現する。地理的領域に関する制約によって、与えられた緯度と経度の組がある地理的領域に含まれるかどうかを宣言できる。

メタ制約は制約を組み合わせるための制約であり、and, or, not, avg の 4 種類がある。

制約の評価値は 0 以上 1 以下の任意の実数を取り、その値が大きいくほどよく充足されているものとする。いま $c_1, c_2, c_3, \dots, c_n$ を n 個の制約とし、制約 c の評価値を $E(c)$ と記述する。このとき各メタ制約の評価値を次のように定義する。

$$E(\text{and}(c_1, c_2, c_3, \dots, c_n)) \equiv \prod_{i=1}^n E(c_i)$$

$$E(\text{or}(c_1, c_2, c_3, \dots, c_n)) \equiv \max_i E(c_i)$$

$$E(\text{not}(c_1)) \equiv 1 - E(c_1)$$

$$E(\text{avg}(c_1, c_2, c_3, \dots, c_n)) \equiv \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n E(c_i)$$

本システムの探索アルゴリズムは、ある解に対する制約の評価値をその解の適応度として扱い、適応度の高い解を探索する。

3. 既存の探索範囲限定法とその問題点

3.1 既存の探索範囲限定法

以前我々は探索空間の制限方法に問題点があることを指摘した。それは交叉において親個体が持つ地理的な位置が子個体に継承されにくいという問題点である。その問題点を解決するために、地理的位置を優先した探索手法¹²⁾を提案した。これは探索問題定義の拡張と罰金問題の導入とを適用した探索手法である。

探索問題定義の拡張により親個体の持つ地理的位置が子個体に継承されにくいという問題点を解決した。しかし探索問題定義の拡張に伴い、地理的領域外に解が生成されてしまうという問題が生じた。その問題点を解決するために罰金問題を導入した。罰金問題から得られる評価値を用いて、地理的領域外のカメラ位置を地理的領域に近づけるような移動を行うことで問題点を解決した。

そして実験によりその有効性を確認した。

3.2 既存の探索範囲限定法の問題点

既存の探索範囲限定法には探索範囲の中心寄りに子個体が生成されやすいという問題点がある。子個体の生成範囲が、探索範囲の中心を含むような範囲となる場合が多くなること予想され、それが原因であると考えられる。それは個体間の距離が長い個体同士を親個体として選択した場合に生じやすいと考えられる。その結果解集合が徐々に探索範囲の中心に

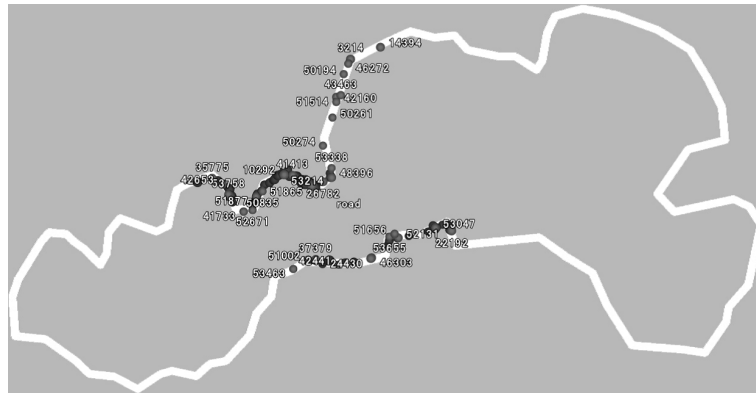


図 5 河口湖湖畔問題における探索後の解の分布例

集まり、探索範囲の端ほど探索されづらくなる。これにより探索後の解の分布は探索範囲の中心近くに密集する状態になる。

その例を図 5 と図 6 に示す。白い範囲が地理的領域を示し、それとそれを囲う灰色の範囲は探索範囲を示す。また丸い点は各解のカメラ位置を表している。図 5 は河口湖湖畔から写真の撮影地を探索する問題での探索結果の一例である。解の分布に偏りがあることがわかる。これは探索範囲の中心近くに解が生成され、それらが罰金問題の評価値を用いた解の移動により中心から近い地理的領域に移動した結果であると予想される。また、図 6 は中国のラサ市街地で撮影されたと思われる映像から撮影地を探索する問題での探索結果の一例である。探索範囲の中心に解が密集していることがわかる。

4. 関連研究

遺伝的アルゴリズムにおける交叉には近傍交叉という手法がある。近傍交叉は遺伝子空間上でなるべく近い個体同士を親個体とする手法である。これにより多様な解を得ることが出来る。

近傍交叉を遺伝的アルゴリズムに導入した例には吉井らの研究¹⁴⁾で紹介されている手法や、石黒らの研究¹⁵⁾で紹介されている手法がある。吉井らの研究では目的関数空間で距離が近い順にソートした後、隣合う個体をペアとし交叉を行っている。また、繰り返し同じペアで交叉を行うことを防ぐために、ソート後にある一定間隔の幅において個体をランダムに

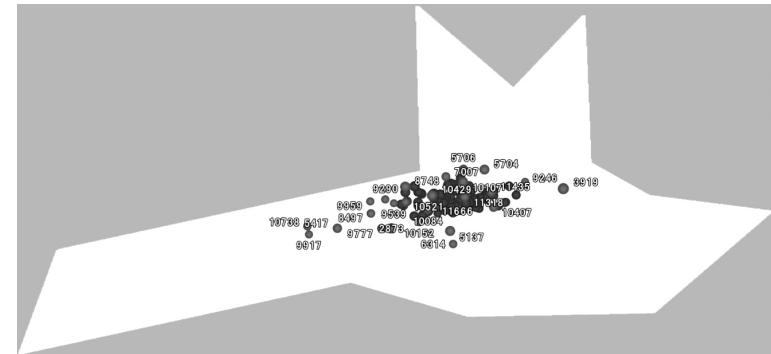


図 6 ラサ問題における探索後の解の分布例

入れ替える近傍シャッフルを行っている。石黒らの研究では交叉する親個体のペアを選ぶ際に、親個体群からランダムにペアを選ぶ方法（通常交叉）から、遺伝子空間上で探索個体群中のハミング距離の平均より距離が近くなるようにペアを選択する交叉方法を用いている。

5. 遺伝的アルゴリズムにおける近傍交叉の導入

指摘した問題点を解決するために遺伝的アルゴリズムにおいて近傍交叉を導入する。

導入する近傍交叉は、次の手順で選択される m 個体を親個体とする交叉方法である。

- (1) 親個体として解集合からランダムに解を 1 つ選択する。
- (2) 選択された親個体から遺伝子空間上の距離が近い順に解集合をソートする。
- (3) 親個体から近い順に解を残りの親個体として $m - 1$ 個選択する。

これによりなるべく近い個体同士を親個体として選択し交叉させることができる。遠い個体同士を親個体にさせないことで、探索範囲の中心寄りに子個体が生成されないと予想され、探索の偏りがなくなると考えられる。

6. 実験

6.1 実験の目的

本実験は提案手法と従来手法とで探索効率を比較することで提案手法の有用性を確認することを目的としている。

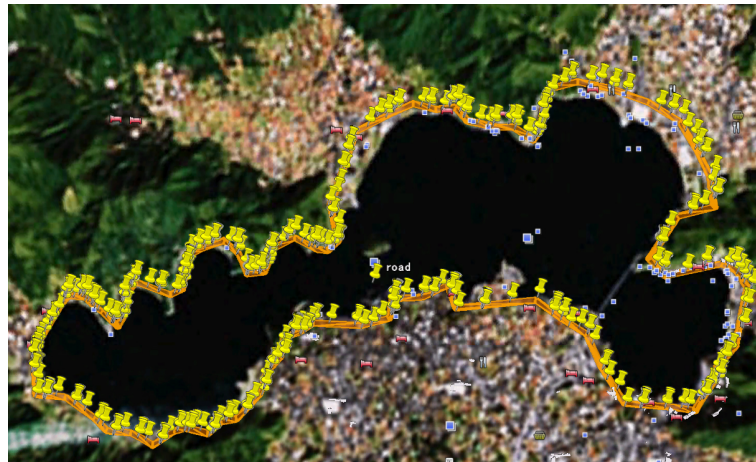


図 7 探索問題 1 の地理的領域 (河口湖湖畔)

6.2 実験に用いる探索問題

探索問題 1 河口湖の湖畔から写真の撮影地を探す問題である。その地理的領域は環状になっている。また、その地理的領域は三角形のみの列によって構成されている。地球儀ソフトウェア Google Earth¹³⁾ により視覚化した地理的領域を図 7 に示す。

探索問題 2 中国のラサ市街地で撮影されたとする映像の撮影地を探す問題である。その地理的領域は凹凸のある 12 角形であり、10 個の三角形の列により構成されている。Google Earth により視覚化した地理的領域を図 8 に示す。

6.3 比較する探索手法

次の 2 つの探索手法を比較する。

探索手法 1 従来手法

探索手法 2 探索手法 1 に対して 5 節で述べた近傍交叉を導入した探索手法。

6.4 探索条件

次の 5 点を条件として探索を行う。

初期解数 100 個。この初期解は探索空間中にランダムに配置する。

探索世代数 400 世代

交叉の種類 UNDX-m

世代交代モデル MGG

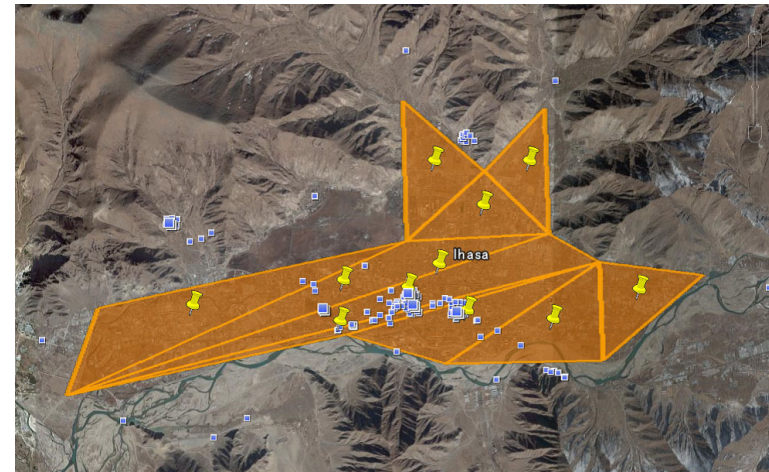


図 8 探索問題 2 の地理的領域 (中国 ラサ市街地)

探索回数 50 回

6.5 実験方法

実験は次のように行った。探索問題 1 と 2 の最適解を探索手法 1, 2 のそれぞれで探索する。各探索における交叉数は同じになるようにする。そして、それぞれの探索について、得られた解の最高適応度の平均を算出する。

6.6 実験結果

探索問題 1 と探索問題 2 における実験結果をそれぞれ表 2 と表 3 に示す。また、それぞれの探索問題において探索手法 2 を用いた実験結果から探索後の解の分布を視覚化した例の 1 つをそれぞれ図 9, 図 10 に示す。白い範囲が地理的領域を表しており、黒い点の位置は解のカメラ位置を表している。

7. 評価

表 2, 表 3 に注目し、各探索手法の探索効率を評価する。最高適応度の平均値は、どちらの

表 2 探索問題 1 における最高適応度の平均

	探索手法 1	探索手法 2
平均	0.428	0.528

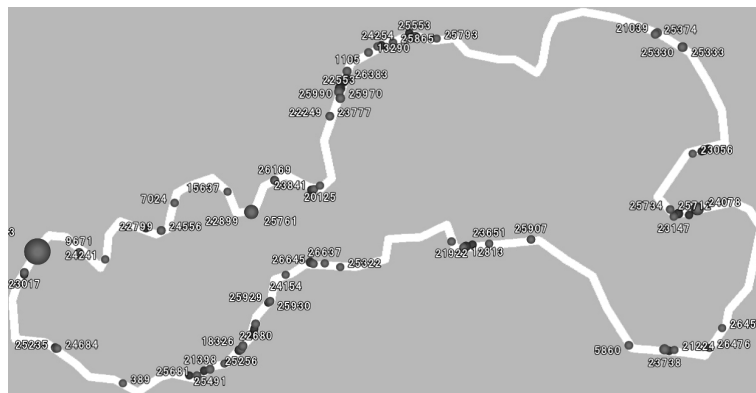
[illegible]

図 10 探索問題 2 における探索手法 2 による探索後の解の分布例

また、図 9 と図 10 に注目する。どちらも図 5、図 6 と比べて地理的領域内に解が広く分散していることがわかる。近傍交叉の導入することは偏った探索を避けることに貢献していることが確かめられた。

本研究では、撮影地探索システムにおける遺伝的アルゴリズムによる探索の際、探索点が探索範囲の中心近くに密集してしまうという問題点を指摘した。そして、それを解決するために近傍交叉を導入した。

実験によりその問題点が改善されたことを確認した。また、実験により提案手法が探索効率の向上に繋がることを確認し、提案手法の有効性を確認できた。

- 1) 鈴木徹也：風景写真の撮影地探索システムの開発（セッション 1），情報処理学会研究報告. DD, [デジタル・ドキュメント], Vol.2006, No.11, pp.1-8 (20060127).
- 2) Suzuki, T. and Tokuda, T.: A System for Landscape Photograph Localization, ISDA (1), IEEE Computer Society, pp.1080-1085 (2006).
- 3) Suzuki, T. and Tokuda, T.: Initial Solution Set Improvement for a Genetic Algorithm in a Metadata Generation Support System for Landscape Photographs, LKR (Tokunaga, T. and Ortega, A., eds.), Lecture Notes in Computer Science, Vol.4938, Springer, pp.67-74 (2008).
- 4) 鈴木徹也：風景写真の位置情報生成支援の試み，電子情報通信学会第 2 種研究会資料 WI2-2008-4775, pp.13-14 (2008).
- 5) Google: Google マップ ストリートビュー.
<http://www.google.co.jp/help/maps/streetview/>.
- 6) The University of Nagasaki Library: Japanese Old Photographs of the Bakumatsu-Meiji Periods. <http://oldphoto.lib.nagasaki-u.ac.jp/>.
- 7) Ono, I., Yamamura, M. and Kita, H.: Real-Coded Genetic Algorithms and Their Applications, *em Journal of Japanese Society for Artificial Intelligence*, Vol. 15.

表 3 探索問題 2 における最高適応度の平均

	探索手法 1	探索手法 2
平均	0.526	0.544

- No.2, pp.259–266 (20000301).
- 8) Takahashi, O., Kita, H. and Kobayashi, S.: A Real-Coded Genetic Algorithm using Distance Dependent Alternation Model for Complex Function Optimization, in Proceedings of the Genetic and Evolutionary Computation Conference (GECCO '00), pp.219–226 (2000).
 - 9) 小林重信: GA の研究に取り組んで十余年, 人工知能学会誌, Vol.18, No.4, pp.439–451 (2003).
 - 10) Sato, H., Ono, I. and Kobayashi, S.: A New Generation Alternation Model of Genetic Algorithms and Its Assessment, in Journal of Japanese Society for Artificial Intelligence, Vol.12, No.5, pp.734–744 (19970901).
 - 11) 飛田幹男: 世界測地系と座標変換, 日本測量協会 (2002).
 - 12) 菊池俊作, 鈴木徹也: 撮影地探索システムにおける地理的位置を優先した探索手法, 研究報告-情報学基礎 (FI) Vol.2010-FI-97, No.5, pp.1–8 (2010).
 - 13) Google: Google Earth. <http://earth.google.com/>.
 - 14) 吉井健吾, 廣安知之, 三木光範: 多目的遺伝的アルゴリズムにおける近傍交叉の効果, 情報処理学会論文誌 Vol.47, No.4, pp.1234–1241 (2006).
 - 15) 石黒 英敬, 吉川 大弘, 古橋 武: 遺伝的アルゴリズムにおける遺伝子一評価値関係の可視化と遺伝的演算へのフィードバック, 知能と情報 (日本知能情報ファジィ学会誌) Vol.21, No.3, pp.327–337 (2009).