

## 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

菊池 俊作<sup>†1</sup> 鈴木 徹也<sup>†2</sup>

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。その目的は風景写真への位置情報付与と支援である。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。現状ではその探索に遺伝的アルゴリズムを用いており、探索空間を狭めることが重要である。しかし現在利用できる探索空間の制限方法には、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がある。本論文では、その問題点を解決するために、解くべき最適化問題の変換と罰金法とを用いる手法を提案する。そして実験によりその有効性を確認した。

### A Search Method with Priority to Geographical Position in the Location Search System

SHUNSAKU KIKUCHI<sup>†1</sup> and TETSUYA SUZUKI<sup>†2</sup>

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. As the system uses genetic algorithms for the searches, the reduction of the search space is important. The current method for the reduction has a problem such that it is hard for children to inherit geographical positions of parents in crossover operations of genetic algorithms. To solve the problem, we propose a method which translate given optimization problems and apply a penalty function method to the translated problems. We confirmed that the proposed method solved the problem in the reduction method by experiments.

#### 1. はじめに

風景写真へのメタデータ付与と支援を目的に、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)<sup>1)-4)</sup>を開発している。我々が風景写真へ付与したいメタデータは、その風景写真の撮影位置である。

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」<sup>5)</sup>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」<sup>6)</sup>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おり、探索空間を狭めることが重要である。しかし現在利用できる探索空間の制限方法には、交叉において親個

<sup>†1</sup> 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

<sup>†2</sup> 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

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がある。

本論文では、その問題点を解決するために、解くべき最適化問題の変換と罰金法とを用いる手法を提案する。

本論文の構成は次のようになっている。2節では撮影地探索システムとその問題点を述べる。3節でその解決手法を提案する。4節で提案手法を使った探索実験の内容と結果を述べる。5節で提案手法を評価する。6節で関連研究を紹介する。7節で本論文の結論を述べる。

## 2. 撮影地探索システム

撮影地探索システムを使った撮影地探索の手順は次のようになる。

- (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。

### 2.1 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2.4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。

#### 2.1.1 初期解集合の生成

探索に先立って解集合を生成する。本論文で用いる解とは、探索問題で定義された変数からその値への写像である\*1。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。

#### 2.1.2 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、交叉方法法として単峰性正規分布交叉 UNDX(Unimodal Normal Distribution Crossover)-m<sup>7)</sup>、世代交代モデルとして

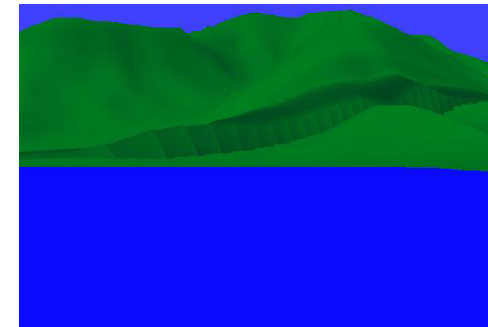


図1 風景描画の例(河口湖畔)

Fig.1 An example of a rendered landscape(Kawaguchiko lake)

表1 図1の描画に用いたパラメータ

Table 1 Parameters for rendering of the landscape in Fig.1

パラメータ	値
カメラ位置	84.0 (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)

DDA(Distance Dependent Alternation)<sup>8),9)</sup> と MGG(Minimal Generation Gap)<sup>10)</sup> 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ことで探索を行うことができる。

#### 2.1.3 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

\*1 解の良し悪しは問わない。

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畔の風景を図 1 に示す\*1。またその描画に用いたパラメータを表 1 に示す。

## 2.2 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。

### 2.2.1 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 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。

### 2.2.2 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。

### 2.2.3 カメラ定義

カメラ定義では、ピンホールカメラモデルに基づくカメラを 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。

### 2.2.4 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。

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

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

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

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

\*1 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。

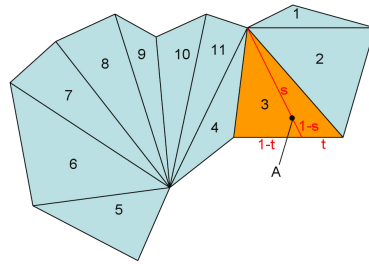


図 2 地理的領域内の点  
Fig.2 A point in a geographical domain

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。

### 2.3 地理的領域を利用した探索範囲限定法

地理的な探索範囲を限定するために地理的領域を利用できる。地理的領域は平面図形(点, 直線, 三角形)の列であるので, その構成要素と 2 つのパラメータが与えられればその地理的領域内の 1 点を指定できる。例えば図 2 では, ある地理的領域の 3 番目の構成要素(三角形)内の 1 点が, 2 つのパラメータ  $s, t$  で指定されている。

図 3 と図 4 は, この手法を使って, カメラ:camera を地理的領域:  $g$  内に限定する例である。図 3 は, 変数:  $B$ (変数:  $C$ ) を地理的領域:  $g$  の  $i$  番目の構成要素内の点の緯度(経度)として定義する例である。2 変数:  $s$  と:  $t$  が, その構成要素内の 1 点を指定する。図 4 は, その 2 変数を使ってカメラの緯度と経度を指定している。

### 2.4 地理的領域を利用した探索範囲限定法の問題点

2.3 節で述べた探索範囲限定法では, 遺伝的アルゴリズムの交叉によって, 親個体の地理的座標が子個体へうまく継承されない可能性がある。それは地理的領域内の点の表現方法に原因がある。

図 5 は, ある地理的領域内の 11 番目の構成要素内にある個体と 3 番目の構成要素内にある個体との 2 つを親として, 子個体を生成する例である。地理的な位置を考慮すれば, 子個体はそれらの親の中間付近である 4 番目の構成要素のあたりに多く生成したい。しかし, 実際には数値的に 3 と 11 の中間である 7 番目の構成要素内に子個体が生成されやすい。地理的にみると, この 7 番目の構成要素は 2 つの親が属する構成要素の間にはない。

```
var :B, :angle, bof(gdomain(:g), var(:i), var(:s), var(:t))
var :L, :angle, lof(gdomain(:g), var(:i), var(:s), var(:t))
```

図 3 変数定義の例

Fig.3 An example of variable definition

```
camera :camera do
  B      var(:B)
  L      var(:L)
  :
end
```

図 4 カメラ定義の例(一部)

Fig.4 An example of camera definition

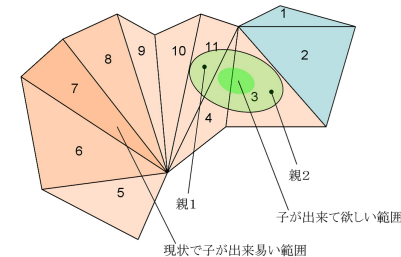


図 5 地理的領域内での交叉

Fig.5 A crossover operation in a geographical domain

## 3. 地理的位置を優先した探索法

2.4 節で指摘した問題点を解決する手法を提案する。

### 3.1 探索問題定義の拡張

2 変数の組と地理的領域とを関連づけるあらゆる変数定義法を, 探索問題定義に導入する。例えば図 6 は, 2 変数:  $B, :L$  の組と地理的領域:  $g$  とを関連づける記述である。いま 2 変数の組  $(x, y)$  と地理的領域  $g$  とが関連づけられているとする。このとき地理的領域  $g$  を囲む最小の長方形を  $R$  とすると, 変数  $x$ (変数  $y$ ) の領域は  $R$  の緯度(経度)の範囲とする。

さらに, 2 変数の組と地理的領域との関連づけに対応して制約を変更する。いま 2 変数の組  $(x_i, y_i)$  と地理的領域  $g_i (i = 1, 2, \dots, n)$  とが関連づけられているとする。

```
gvar :B, :L, gdomain(:g)
```

図 6 地理的領域と変数との関連づけ

Fig.6 Relating two variables to a geographical domain

このとき、探索問題定義に明示的に記述された制約を  $c$  とすると、探索には制約  $\text{and}(\text{region}(x_1, y_1, g_1), \text{region}(x_2, y_2, g_2), \dots, \text{region}(x_n, y_n, g_n), c)$  を用いることにする。ここで制約  $\text{region}(x, y, g)$  は、緯度  $x$  経度  $y$  の点が地理的領域  $g$  内に含まれるなら 1、そうでなければ 0 と評価される制約である。

この拡張により最適解の地理的座標は変更されない。さらに、遺伝的アルゴリズムの交叉において、親個体の地理的座標が子個体へ継承しやすくなると考えられる。

### 3.2 罰金問題の導入

ある制約に対して、以下の変換規則  $T$  で得られる制約を、その制約の罰金問題と呼ぶことにする。

$$T(\text{and}(c_1, c_2, c_3, \dots, c_n)) \equiv \text{and}(T(c_1), T(c_2), T(c_3), \dots, T(c_n))$$

$$T(\text{or}(c_1, c_2, c_3, \dots, c_n)) \equiv \text{or}(T(c_1), T(c_2), T(c_3), \dots, T(c_n))$$

$$T(\text{avg}(c_1, c_2, c_3, \dots, c_n)) \equiv \text{avg}(T(c_1), T(c_2), T(c_3), \dots, T(c_n))$$

$$T(\text{region}(x, y, g)) \equiv \text{penalty}(x, y, g)$$

$$T(\text{penalty}(x, y, g)) \equiv \text{penalty}(x, y, g)$$

$$T(< \text{その他の制約} >) \equiv \text{true}$$

制約  $\text{penalty}$  は今回新たに導入する制約であり、次のように評価される。

$$E(\text{penalty}(x, y, g)) \equiv 1 - \frac{L}{L_{max}}$$

ここで  $L$  は、点  $(x, y)$  と地理的領域  $g$  までの距離である。ただし点  $(x, y)$  が  $g$  に含まれる場合には  $L$  は 0 とする。 $L_{max}$  は、地理的領域  $g$  を囲う最小の長方形の長辺の長さである。ここで用いる距離・長さは緯度-経度平面上のユークリッド距離である。

制約  $\text{true}$  は、 $E(\text{true}) \equiv 1$  となる制約である。つまり常に評価値が 1 となる制約である。

### 3.3 初期解集合の罰金問題を用いた改善

通常、初期解集合は乱数を用いて探索空間内に一様に生成される。しかし、3.1 節で導入した手法を用いると、カメラ位置が地理的領域外となる解も生成されうる。

そこで初期解集合に含まれる各解について、罰金問題の評価値が 1 未満となるならば、罰金問題の評価値が増加するように、局所探索を用いてその解を移動する。

この操作によって、地理的領域外にあるカメラ位置が元の位置から近い地理的領域の端へ移動すると期待できる。

### 3.4 遺伝的交叉対象の罰金問題を用いた改善

遺伝的アルゴリズムの交叉において、カメラ位置が地理的領域内にある個体を親に選択しても、その子個体のカメラ位置も地理的領域内に収まるとは限らない。そこで交叉において次の操作を行う。

- (1) 交叉の親として選択した個体を、罰金問題の評価値が増加するように局所探索を用いて、移動する。
- (2) 移動後の親を用いて子個体を生成する。
- (3) 生成した子個体を、罰金問題の評価値が増加するように局所探索を用いて、移動する。
- (4) 移動した結果を子個体とする。

### 3.5 世代交代の罰金問題を用いた改善

遺伝的アルゴリズムでは、親個体とそこから生成した子個体の中から、次世代に残す個体を選択する。適応度が高い個体ほど次世代に残りやすい。撮影地探索システムでは、制約の評価値を適応度として扱う。

3.1 節の手法だけでは、カメラ位置が地理的領域外となる個体の適応度はどれも 0 となる。したがって、次世代への生き残りやすさについて、それらの個体間に差は生まれない。

そこで、カメラ位置が地理的領域外となる個体の中でも地理的領域に近い個体をなるべく残すために、適応度を  $E(C) + E(P)$  とする。ここで  $C$  は 3.1 節の手法によって得られた制約、 $P$  はそれに対応する罰金問題である。

## 4. 実 験

提案手法の有効性を確認するために 3 つの探索実験を行った。はじめにそれらの実験に共通する事項を説明する。そして、その 3 つの実験の内容と結果を順に説明する。

### 4.1 実験の準備

#### 4.1.1 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。Google Earth<sup>11)</sup> により視覚化した地理的領域を図 7 に示す。

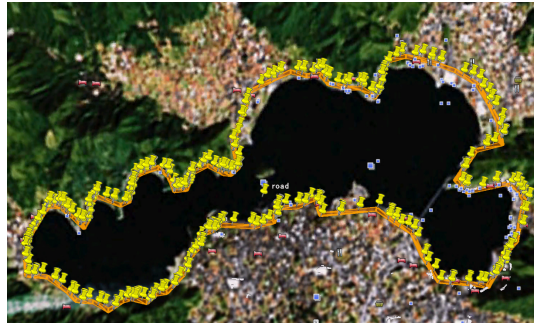


図 7 探索問題 1 の地理的領域 (河口湖)  
Fig. 7 The geographical domain in the search problem 1

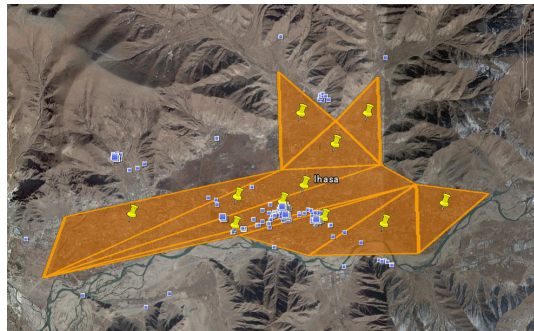


図 8 探索問題 2 の地理的領域 (中国 ラサ市街地)  
Fig. 8 The geographical domain in the search problem 2

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。

#### 4.1.2 比較する探索手法

次の 3 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 3.1 節で述べた探索問題定義の拡張のみを適用した探索手法。

探索手法 3 探索手法 2 に対して 3.3 節と 3.4 節で述べた初期解集合と遺伝的交叉対象の改

善を適用し、かつ 3.5 節で述べた世代交代の改善を適用した探索手法。

#### 4.1.3 探索条件

次の 4 点を共通の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

探索回数 50 回

#### 4.2 交叉時の親子の距離関係に関する実験

この実験の目的は、交叉において親個体の地理的な位置が子個体へうまく継承されているかを検証することである。

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, 3 のそれぞれで探索する。そして探索問題と探索手法との組み合わせのそれぞれについて、次の指標  $D$  の平均と分散を求める。

指標  $D$  は、子個体の地理的な位置が親個体の地理的な位置の重心からどの程度離れているかを示す値である。指標  $D$  を定義する前に、1 回の交叉における指標  $d$  を次のように定義する。

$$d \equiv \frac{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n ((c_{b_i} - g_b)^2 + (c_{l_i} - g_l)^2)}{\frac{1}{m} \sum_{i=1}^m ((p_{b_i} - g_b)^2 + (p_{l_i} - g_l)^2)}$$

ただし、 $m$  は親個体の個数、 $n$  は生成された子個体の個数、組  $(p_{b_i}, p_{l_i})$  は  $i$  番目の親個体の座標 (緯度, 経度)、組  $(c_{b_i}, c_{l_i})$  は  $i$  番目の子個体の座標 (緯度, 経度)、そして  $(g_b, g_l)$  は親個体の重心とする。ここで、1 回の探索中に  $k$  回の交叉が行われ、それぞれの指標  $d$  を  $d_1, \dots, d_k$  としたとき、指標  $D$  を以下のように定義する。

$$D \equiv \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k d_i$$

この指標  $D$  が小さいほど、親個体の重心近くに子個体が生成されたと考えられる。

実験結果を表 2 に示す。

#### 4.3 解集合の更新状況に関する実験

本実験の目的は、そのカメラ位置が地理的領域内に存在する解の個数を確認することである。

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, 3 のそれぞれで探索する。そして探索問題と探索手法との組み合わせのそれぞれについて、各世代における地理的領域内に存在する解の個数を計測する。そしてその平均を求める。

実験結果を表 3 に示す。

#### 4.4 探索効率に関する実験

この実験の目的は、探索効率を比較することである。

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, 3 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と分散を算出する。

実験結果を表 4 に示す。

表 2 値  $D$  の平均と分散

Table 2 The average and the variance of  $D$

	探索問題 1			探索問題 2		
	探索手法 1	探索手法 2	探索手法 3	探索手法 1	探索手法 2	探索手法 3
平均	15.21099	0.861107	1.184789	8.597457	1.038031	0.954252
分散	180.6329	0.187232	0.200306	32.03421	0.261409	0.161377

表 3 地理的領域に含まれる解の個数

Table 3 The number of solutions in the geographical domain

世代数	探索問題 1			探索問題 2		
	探索手法 1	探索手法 2	探索手法 3	探索手法 1	探索手法 2	探索手法 3
0 世代目 (解集合)	100	4.22	100	100	38.5	100
100 世代目	100	30.8	100	100	87.96	100
200 世代目	100	43.24	100	100	97.32	100
300 世代目	100	48.98	100	100	99.28	100
400 世代目	100	53.4	100	100	99.68	100

表 4 最高適応度の平均と分散

Table 4 The average and variance of the best scores

	探索問題 1			探索問題 2		
	探索手法 1	探索手法 2	探索手法 3	探索手法 1	探索手法 2	探索手法 3
平均	0.355384	0.245175	0.42759	0.510053	0.510118	0.525998
分散	0.003383	0.00708	0.005546	0.003444	0.005398	0.008499

## 5. 評価

### 5.1 交叉時の親子の距離関係に関する実験の評価

表 2 に注目し、交叉において親個体の地理的な位置が子個体へ継承されているかを評価する。

まず表 2 の指標  $D$  に注目する。ここでは探索手法 1, 2, 3 の指標  $D$  をここでは  $D_1, D_2, D_3$  と呼ぶことにする。探索問題 1 では  $D_2$  と  $D_3$  は  $D_1$  の約 7.8 % 以下である。一方、探索問題 2 では  $D_2$  と  $D_3$  は  $D_1$  の約 12 % 以下である。

次に表 2 の指標  $D$  の分散に注目する。探索問題 1 では、 $D_2$  の分散と  $D_3$  の分散は  $D_1$  の分散の約 0.1 % である。一方、探索問題 2 では、 $D_2$  の分散と  $D_3$  の分散は  $D_1$  の分散の約 0.8 % である。

上記 2 点より、探索手法 1 と比べて、探索手法 2, 3 は親個体の重心近くに子個体を安定して生成していると考えられる。

### 5.2 解集合の更新状況に関する実験の評価

表 3 に注目し、解の改善 (初期解の改善と交叉対象の改善) を評価する。

探索手法 2 では、地理的領域内に含まれる初期解は少ないが、探索が進むにつれて徐々にその数が増加する。また探索問題 1 は地理的領域が狭いため、全体的に地理的領域に含まれる解の数が少ない。

探索手法 2 に対して解の改善を行う探索手法 3 では、従来手法である探索手法 1 と同様に、初期解から最終世代まで地理的領域内に全ての解が収まっている。つまり、従来手法の利点であった地理的領域内に必ず解が収まっているという特徴が、探索手法 3 でも再現できた。

これらの結果から、探索手法 3 に導入した解の改善は、解を地理的領域に収めるのに効果があったと言える。また、それはは地理的領域が狭いほど有効であると言える。

### 5.3 探索効率に関する実験の評価

表 4 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、どちらの探索問題においても、探索手法 3 が最も高い。

探索問題 2 における最高適応度の平均値に大差はないが、探索問題 1 における探索手法 2 の最高適応度の平均値が小さくなった。これは地理的領域が環状になっていることと、地理的領域が細くて狭いことが原因であると考えられる。探索手法 2 では、生成される子個体が地理的領域外に生成され易いためと考えられる。提案手法 3 は、解の改善によりそれを避けている。

以上より、探索手法 3 は探索効率の向上にも貢献していると考えられる。

## 6. 関連研究

文献<sup>12)</sup>では、遺伝的アルゴリズムを使った探索に対して、実行領域外の個体を実行領域へ引き戻す方法が提案されている。その手法は、最適化問題における制約条件を線形近似する。そして線形近似した式を制約条件とする 2 次計画問題を繰り返し解くことで、実行領域外の個体を近くの実行領域へ引き戻す。

本研究で提案した手法も、実行可能領域外の個体を実行領域内へ引き戻す手法である。しかし提案手法では、実行領域を近似したり設計変数とカメラ位置との関係を解析したりはせずに、単純に局所探索法を用いる。しかし実験で示したように、提案手法は探索効率の向上に貢献する。

## 7. おわりに

本研究では、撮影地探索システムでの遺伝的アルゴリズムを使った探索中に、親個体の地理的な位置が子個体へうまく継承されないという問題点を指摘した。そして、それを解決するために、探索問題定義の拡張と罰金法を適用した探索手法を提案した。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。

## 参考文献

- 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.lb.nagasaki-u.ac.jp/>.

- 7) Ono, I., Yamamura, M. and Kita, H.: Real-Coded Genetic Algorithms and Their Applications, *Journal of Japanese Society for Artificial Intelligence*, Vol.15, 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, *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, *Journal of Japanese Society for Artificial Intelligence*, Vol.12, No.5, pp.734-744 (19970901).
- 11) Google: Google Earth. <http://earth.google.com/>.
- 12) MIMURA, Y., Yoshimura, S., HIROYASU, T. and MIKI, M.: DEVELOPMENT OF MULTI-STAGE AND HYBRID REAL-CODED GENETIC ALGORITHMS WITH ACTIVE CONSTRAINTS, *Proceedings of 2002 ASME Design Engineering Technical Conferences (DETC) & The Computers and Information in Engineering Conference, DETC2002/DAC-34059 (CD-ROM)* (2002).