

## 道路案内用巡回路探索アルゴリズムとシステムの実現

金子亮\*<sup>1</sup> 土屋雅生\*<sup>1</sup> 松永俊雄\*<sup>1</sup> 吉瀬謙二\*<sup>2</sup> 川辺秀樹\*<sup>3</sup>  
\*<sup>1</sup>東京工科大学 \*<sup>2</sup>東京大学 工学研究科 \*<sup>3</sup>NTT SI研

### 概要

インターネットを利用したオンラインリアルタイム型の情報提供サービスの一つとして、観光案内などのサービスがある。ここでは、複数の観光スポットを効率よく回るための道路の巡回路を求めるアルゴリズムとシステムの実現をねらいとしている。いくつかの既知のアルゴリズムの中で最安挿入法、最近挿入法などのアルゴリズムに加え、遺伝的アルゴリズム(GA)について評価を行った。これらの評価結果をもとに、道路案内用の巡回路探索システムを実現し、その実現法を具現化した。

### Algorithm and System of Information Providing Service for a Travelling route of Multiple spots

Ryo Kaneko\*<sup>1</sup> Masao Tuchiya\*<sup>1</sup> Toshio Matsunaga\*<sup>1</sup> Kenji Kise\*<sup>2</sup> Hideki Kawabe\*<sup>3</sup>  
\*<sup>1</sup>Tokyo Engineering University \*<sup>2</sup>The University of Tokyo \*<sup>3</sup>NTT SI Labs.

### Abstract

The information service for a travelling route of multiple spots which uses the Internet is one of information providing service. It is required to provide the optimum route within a few seconds in the online-real time system, although it is difficult to get the optimum solution. This paper describes evaluation results in case of the Genetic Algorithm in addition to Nearest Neighbor method, Cheapest insertion method and so on which are well known algorithm in closed loops. Based on these results, we show an information providing system and embodied the realization method.

### 1. はじめに

インターネットを利用したオンラインリアルタイム型の情報提供サービスの一つとして、観光案内などのサービスがある。ここでは、複数の観光スポットを効率よく回るための順路を提供するシステムの実現をねらいとしている。出発点と終点が一致する巡回型の順路探索と、出発点と終点が一致しない非巡回型の順路探索のそれぞれについて各点間の直線距離をもとにした最適順路を求める順路探索機能と、それをもとにした道路地図上で

の車道に置き換えた順路表示を行う道路順路探索機能により実現したシステムをすでに報告している。ここでは、巡回型、非巡回型のそれぞれに関し、既報告の方法と新たに遺伝的アルゴリズム(GA)を用いた手法について、順路探索の精度と探索時間の比較検討を行った。それら中で最適解からみた近似精度のよいアルゴリズムを用い、さらに道路地図上で道路探索手法を検討し、道路順路探索システムの実現に反映した。以下にこれらの概要について述べる。

## 2. システムの概要

本システムでは、利用者がある観光地において回りたい複数のスポットを指定し、それらを回る際の順路及び所要時間の目安を得ることをねらいとする。システムへのアクセスは、遠隔端末からのアクセスが可能なオンライン・リアルタイム型とし、「道路順路獲得所要時間を数秒以内」を目標とする。システムは図1に示すように多地点経路探索機能と地図上2点間道路順路探索機能から構成される。

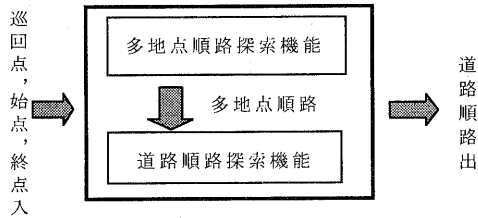


図1 システム構成

## 3. 順路探索アルゴリズム

経路探索においては、道路情報を考慮しないユークリッド距離におけるアルゴリズムを対象とする。経路には出発点と終点が一一致する巡回路と、出発点と終点が一一致しない非巡回路とがある。

### 3.1 巡回路のアルゴリズム

巡回路のアルゴリズムについては既知もの (Nearest Neighbor 法, 最近追加法, 最近挿入法, 最安挿入法など) に加え、以下のように命名した新たなアルゴリズムを提案した。

(1) 重心角度ソート法

(2) 重心4分割法

まずこれらのアルゴリズムについて説明する。

#### (1) 重心角度ソート法[1]

この方法は、ある点を中心として回転させるように順番を決めるもので、次のようにして巡回路を生成する。

- ① 全ポイントの重心を求める
- ② この重心を中心とした各ポイントの角度を求める
- ③ その角度を始点と重心を結んだ線からの角度に修正する
- ④ 求めた角度をソートし、その結果を経路順序とする(図2)

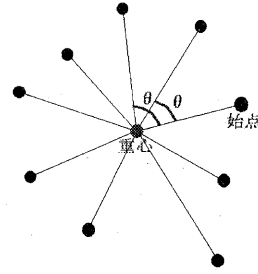


図2 重心角度ソート法

#### (2) 重心4分割法[2]

この方法は、最近挿入法や最安挿入法[3]を応用したものである。これらのアルゴリズムの考え方を簡単に説明する。これらのアルゴリズムは図3に示すような条件の中で、 $(X+Y)-Z$  が最小になる点を選び、挿入していく方法である。この方法を利用して以下の手順で巡回路を生成する。

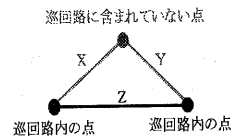


図3 最安挿入法

- ① すべての点の重心を求める
- ② その重心を中心に、点を4つのグループに分ける
- ③ 4つのグループの中から、それぞれ1つの点を任意に選んで、小さい巡回路を作る (グループの中に点がないものはとばす)
- ④ グループ毎に、巡回路に含まれていない点をコストが最小になるように選んで挿入

していく

- ⑤ 1つのグループ内すべての点を巡回路に挿入したら、次のグループに移り、また巡回路に挿入していく
- ⑥ すべての点が含まれるまで繰り返す

これらの概要を図4に示す。

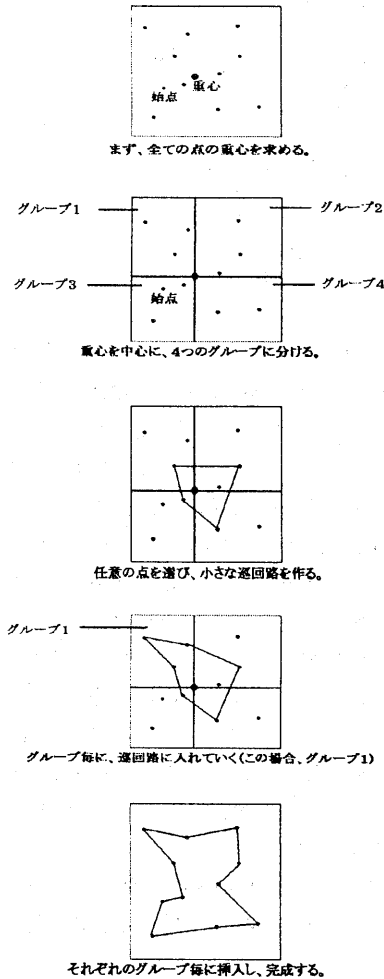


図4 重心4分割法

### 3.2 非巡回路のアルゴリズム

非巡回路の場合、既知のアルゴリズムを直接使うことはできないので、それらを応用したアルゴリズムを提案してきた。加えて遺伝的アルゴリズム(GA)を利用したアルゴリズムについて検討を行った。

#### 3.2.1 既に提案したアルゴリズム[1][2]

##### (1) 領域分割法(非巡回)

巡回路でのアルゴリズムを応用して経路を生成する。非巡回路は基本的に始点から終点方向へ向かって進むと考えられるので、各ポイントを始点側、終点側、始点と終点との間との3つのエリアに分けて、経路探索を行う。

- ① 各ポイント(スポットに相当)を3つのタイプに分ける。図5に示すように始点と終点を結んだ直線に対する、始点・終点における垂線との位置関係より領域分けを行う  
領域1:始点における垂線より、外側のポイント  
領域2:始点における垂線と終点における垂線との間のポイント  
領域3:終点における垂線より、外側のポイント
- ② 各ポイントのソート値を求める  
領域1:始点を中心とした垂線からの角度  
領域2:各ポイントからの直線(始点から終点へ)の垂線の座標  
領域3:終点を中心とした垂線からの角度
- ③ ソート値を領域ごとにソートを行う  
ソート後、それらを以下のように並べる。

・始点→領域1→領域2→領域3→終点

- ④ このとき、各タイプ同士の距離が最小になるようにする

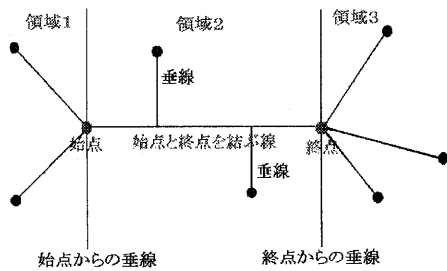


図5 領域分割法

## (2) 最安挿入法の応用(非巡回)

この方法では巡回路でも用いた最安挿入法の考え方を応用する。

- ① 始点と終点を直線で結ぶ
- ② 経路に含まれていない点を直線に挿入する
- ③ すべての点が含まれるまで繰り返す

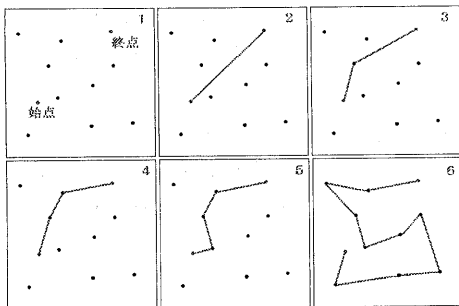


図6 最安挿入法の応用(非巡回)

## 3.2.2 遺伝的アルゴリズム(GA)の応用(非巡回)

この方法では遺伝的アルゴリズム(GA)を応用する[4]. GA は巡回路における巡回セールスマン問題などの最適化問題の解法として用いられている。

GA は選択淘汰や突然変異など、生物進化の原理に着想を得たアルゴリズムであり、最適解を探索することに適している。GA における最適解探索の流れを示す。

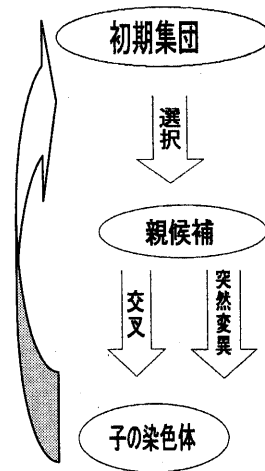


図7 遺伝的アルゴリズムの流れ

## (1)コード化

GA を用いて最適解を求めるためには、その問題における解をコード(染色体)に表現しなければならない。そのために GTYPE と PTYPE という2つの表現方法を用いる。

- ・ GTYPE:遺伝子型のアナロジーで、低レベルの局所規則の集合であり、GA のオペレータの操作対象となる。
- ・ PTYPE:GTYPE の環境内での発展に伴う大域的な行動や構造の発現を表す。ここでは巡回路を表す。この PTYPE から適合度(生き残りやすさ)が決まる。

PTYPE から GTYPE へのコード化における注意点を以下に示す。

- ・ PTYPE はすべて GTYPE で表現できること。
- ・ PTYPE と GTYPE は1対1に対応づけできること。
- ・ PTYPE はすべて最適解の候補であること。

本研究で扱う巡回路をそのまま GTYPE として表現すると、交配によって巡回路以外のものが生じてしまう。これを致死遺伝子という。コード化ではこの致死遺伝子の発生を抑えることが重要になる。

本研究のコード化には Grefenstette の順序表現を用いた。順序表現では、あらかじめアルファベット順にソートされた都市リスト (A,B,C,D,E) をもち、つぎに巡回する都市が残りの都市リスト (未訪問都市リスト) の中で何番目に相当するかを調べ、その番号を遺伝子とし、起点とする都市から順に並べた文字列を染色体とする。

(例) PTYPE: (C,B,D,A,E)

GTYPE: (3,2,2,1,1)

この方法の優れている点は、生成される PTYPE が必ず巡回路を表していることである。

## (2) 遺伝的操作

GA では一般に以下の3種類の遺伝的操作を使用する。

### ・ 選択 (selection)

適応度の高い個体がより多くの子孫を残す。

### ・ 交叉 (crossover)

交叉の対象となる2つの染色体のそれぞれ一部ずつを採ってきて子孫の染色体を作る。

### ・ 突然変異 (mutation)

ある確率で染色体の一部の値を変える。

GA ではこれらの遺伝的操作をある条件が満たされるまで繰り返し行う。本来であれば最適解が求まったところで終了となるが、本研究で扱う巡回路の問題では最適解が既知ではないので、ある程度の世代数の交配を行った時点で終了とする。

## A. 適応度とスケールリング

染色体はそれぞれ適応度という値を持ち、この値が高いものほど、多くの子孫を残そうとする。本研究で扱う巡回路の問題では、巡回路のユークリッド距離が短いものほどよいとされるため、次の式で適応度を求める。

$$F(x) = U - u(x) \quad (1)$$

式(1)において  $F(x)$  は適応度、 $U$  はその世代の最悪の経路、 $u(x)$  は経路の距離である。この式で求められた  $F(x)$  が大きいものほど、適応度が高いことになる。

しかしこの値をそのまま選択時の確率に反映させても、適応度の違いが明確にならない場合がある。そのため、何らかの関数を導入して適応度の違いを拡大または縮小させる必要がある。このような関数を導入することをスケールリング (scaling) と呼ぶ。基本的な手法としては、線形スケールリング、シグマスケールリング、べき乗スケールリングがある。もとの適応度を  $f$ 、新たな適応度を  $f'$  とすると、導入される関数の一般型は以下ようになる。

表1 スケールリングの方程式

スケールリングモデル	方程式
線形スケールリング	$f' = af + b$
シグマスケールリング	$f' = f - (f - c) \times \sigma$
べき乗スケールリング	$f' = f^k$

## B. 選択 (selection)

選択淘汰の圧力を与える際に重要なのが、どの固体同士を交配させるかである。現在までにいくつかの方法が提案されている。その中で代表的な方法の概要は以下の通りである。

### 1) ランク戦略

ランク戦略は適応度によって各個体をランクづけし、あらかじめ各ランクに対して決められた確率で子孫を残せるようにする。各個体は、その適応度ごとにランキングされており、選択確率は適応度には依らず、ランクに依存する。ランク戦略の問題点は、適応度とランクによって与えられる選択確率の違いである。

### 2) エリート戦略

エリート戦略は、集団中でもっとも適応度の高い個体をそのまま次世代に残す方法である。この方法を採用すると、その時点でもっとも良い解がクロス・オーバーや突然変異で破壊されないという利点がある。ただし、局所

解に陥る危険もあり、一般にこの戦略は他の選択戦略との組み合わせで使われる。

### 3) トーナメント戦略

トーナメント戦略は、集団から決められた数の個体は無作為に選択し、中でもっとも適応度の高い個体を次の世代に残すという手続きを、次の世代に残したい数の個体が選択されるまで繰り返す方法である。

本研究では巡回路をある程度保つためにエリート戦略とトーナメント戦略を併用して行った。

## C. 交叉

交叉は、2つの親の染色体を組み替えてこの染色体を作る操作である。その代表的なものを示す。

### 1) 一点交叉

交叉する位置を1つ決めてその前と後で、どちらの親の遺伝子型を受け継ぐかを変える方法である。交叉位置が5なら個体Aの先頭から4番目までと個体Bの5番目から最後までまでの遺伝子が新しい個体の遺伝子となる。またその逆が他の新しい個体の遺伝子となる。

### 2) 複数点交叉

交叉位置が複数ある方法である。交叉位置が2と5なら、新たな個体の1つは個体Aの先頭から2番目まで、個体Bの3番目から5番目まで、個体Aの6番目から最後までによって、遺伝子が作られる。またその逆が、他の新しい個体の遺伝子となる。

### 3) 一様交叉

交叉時にマスクをかけてそれによってどちらの親の遺伝子を受け継ぐかを決定する方法である。マスクのビットが0の時、個体Aの遺伝子をコピーし、1の時には個体Bの遺伝子をコピーする。一様交叉も、複数交叉の一種と考えることができる。

### 4) その他の交叉

おのおのの問題領域ごとに、様々な交叉

手法が提案されている。巡回セールスマン問題向けには、部分一致交叉 (Partially Matched Crossover:PMX)、順序交叉 (Ordered Crossover:OX)、周期交叉 (Cycle Crossover:CX)などが提案されている[5]。

本研究では交叉によって巡回路以外のもの(致死遺伝子)が生じないように一様交叉と部分一致交叉を併用して行った。

## D. 突然変異

突然変異は遺伝子を一定の確率で変化させる操作である。突然変異がない場合には、初期の遺伝子の組み合わせ以外の空間を探索することができず、求められる解にも限界が出てくる。一般的に突然変異は固定された確率で各遺伝子が変化するように設定される。

## E. 初期遺伝子

通常、初期遺伝子はランダムによって生成される。しかし初期の遺伝子が最適解からあまりにも離れていては、解の収束に時間がかかってしまう。そこで非巡回の対象ポイントを初期遺伝子とし、その生成方法として、巡回路の重心分割法の適用を考える。

- 1) すべての点の重心を求め、そこを中心に4つのグループに分ける。
- 2) それぞれのグループで染色体を生成。
- 3) グループをつないで一つの染色体を生成。

このようにして初期集団を生成する方法を4分割法と呼ぶことにする。

本研究での検討手法をGA98と命名し、下記の3つについて検討を行った。

1. ランダムで初期集団生成 (GA98 ランダム)
2. 4分割法で初期集団生成 (GA984分割)
3. ランダムと4分割法を併用して初期集団生成 (GA98 併用)

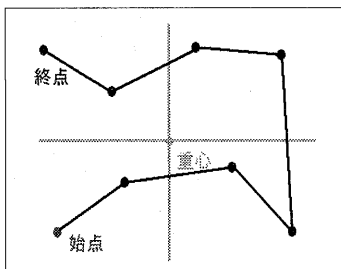
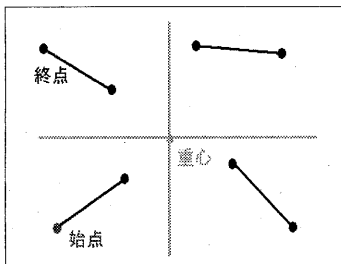
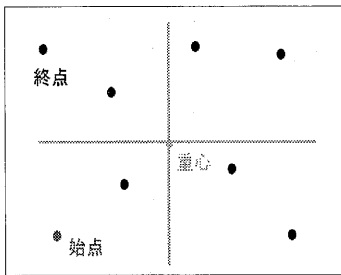


図8 4分割のアルゴリズム

## 4. 検討結果

### 4.1 巡回路について

巡回路については既存のアルゴリズムと、本研究で提案したアルゴリズムを TSPLIB のデータベースにある評価用の都市配置 (観光スポット配置に相当) を用い評価した結果を図9に、ランダムに都市を配置した場合の評価結果を図10に示す。

これらの結果から、本研究で提案したアルゴリズムでは重心4分割法が既存のアルゴリズムに比較して最適解に対する近似精度は良いと考えられる。

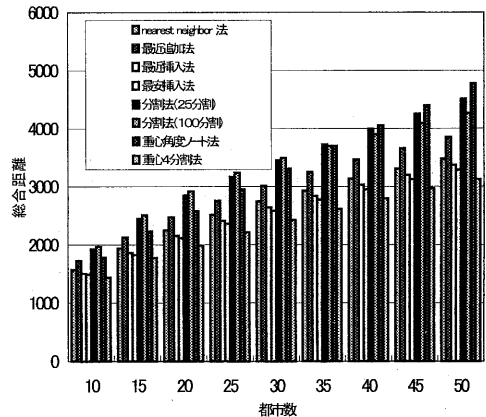


図9 巡回アルゴリズムの精度比較(1)

—(ランダム実行回数 1000 回の平均値)—

アルゴリズムの精度比較(最適解を1とした場合)

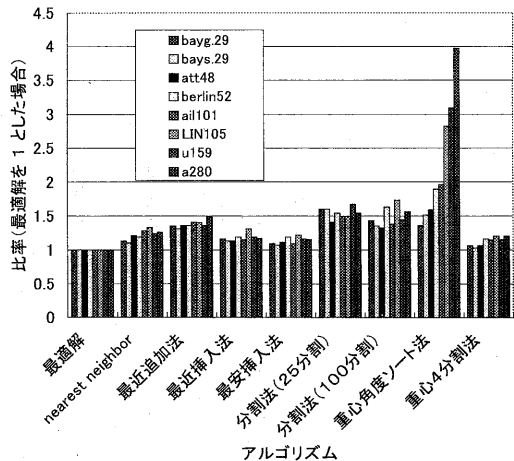


図10 巡回アルゴリズムの精度比較(2)

### 4.2 非巡回路について

非巡回路については既知のアルゴリズムは使えないので、提案したアルゴリズムのみで精度比較を行った。非巡回路については最適解が既知でないため、都市数(スポット数)が10の場合のみ、最適解を求めて比較を行った。その結果を図11に示す。また、都市数を変化させた場合の比較結果を図12に示す。

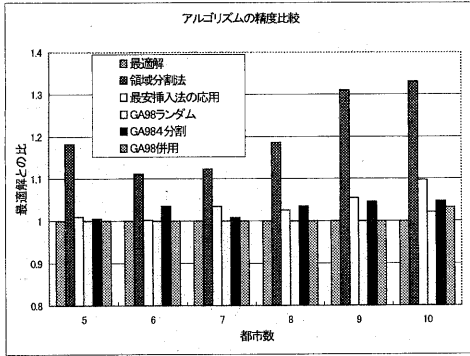


図 11 非巡回アルゴリズムの精度比較 (1)

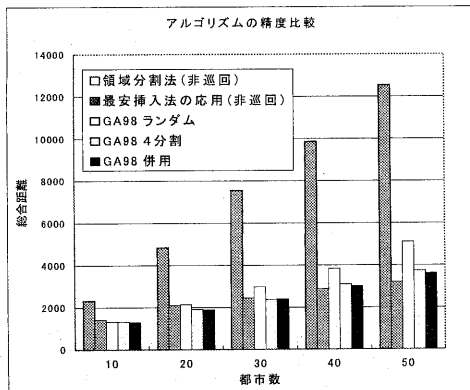


図 12 非巡回アルゴリズムの精度比較 (2)

これらの結果から、都市数が20程度までの場合は GA98 を用いたアルゴリズムの精度がよいことがわかる。その中でも4分割法を適用することによってランダムよりも若干精度が良くなっている。また GA をもちいたアルゴリズムについては速度に問題が見られたが、4分割により世代数が少なくても近似解への収束が速くなり、数秒以内に解が得られる。本研究で用いた GA のパラメータはまだまだ最適化がされていないと考えられるので、これらについては今後の検討課題としたい。

## 5. 地図上の道路探索

ここまでの検討は、道路情報を考慮しないユークリッド距離のアルゴリズムであり、これらを道路地図上の道路探索に利用する。道路

地図上の2点間の道路探索アルゴリズムとして、通ったノード点(地図上の交差点)にフラグを立てそこから終点まで直線を引き、リンクしている交差点までの角度が一番小さい交差点に進む手法を具体化した。この手法により終点にたどり着くまで繰り返すことで最短ルートを得る。また道路の形状が階段状になっているところや、ロの字状になっている所などでの誤りが出ないようにした。

実現したシステムを利用した道路探索例を図13に示す。

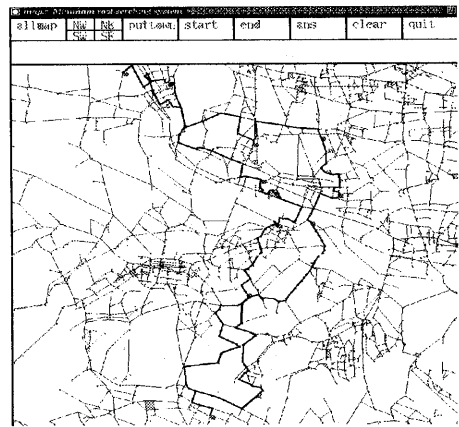


図 13 地図上における道路順路探索結果の表示例

## 参考文献

- [1] 吉江, 石原, 松永, 吉瀬, 川辺: オンライン型道路経路・巡回路探索法の検討, 情報処理学会全国大会, 6S-04, (1997)
- [2] 坂内, 松坂, 松永, 吉瀬, 川辺: 道路案内用巡回路探索システムの検討, 情報処理学会全国大会, 3U-02, (1998)
- [3] 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)
- [4] 伊庭齊志: 遺伝的アルゴリズムの基礎-GA の謎を解く-, オーム社 (1994)
- [5] 三宮信夫・喜多一・玉置久・岩本貴司: 遺伝アルゴリズムと最適化, 朝倉書店 (1998)