

## カーナビ経路探索における運転者希望経路の反映

根笹 賢一 宮岡 伸一郎

東京工科大学大学院バイオ・情報メディア研究科 メディアサイエンス専攻  
〒192-0982 東京都八王子市片倉町 1404-1  
Email: [g3106015ee@gss.teu.ac.jp](mailto:g3106015ee@gss.teu.ac.jp)

あらまし 近年経路探索技術の発達により様々な条件で経路が探索できるようになっているが、ある目的地へ向かう為の経路を探索することが主であり、立寄地を設定することはできるがその巡回順序まで探索することは難しい。本研究では、このような巡回経路の探索が行えるような経路探索法を提案するとともに、運転者が希望する道路を通行できる経路が探索されるよう経路探索の手法を工夫する。また、商品化されているカーナビの探索経路と比較し、本手法の有効性を検証する。

### A Route Search Method

### Considering the Driver Demands

Kenichi NEZASA and Shinichiro MIYAOKA

Graduate School of Media Science, Tokyo University of Technology

Email: [g3106015ee@gss.teu.ac.jp](mailto:g3106015ee@gss.teu.ac.jp)

**Abstract** Recently, route searching technology have been developed and various search conditions can be considered. However, it is difficult to search the round route. In this paper, we propose a method to search the round route including the road that a driver wants to pass. In addition, we verify that the searched route is useful comparing with the route searched by a navigation system used in public.

#### 1 はじめに

近年、カーナビゲーションシステム（以下カーナビ）の発達がめざましく、2007年3月現在、カーナビの出荷台数は2600万台を超え[1]、多くの車に標準装備、もしくはオプション装備として装着されている。また、現在のカーナビの機能には、元々の目的であった経路探索、案内機能に加え、最近ではオーディオ機能や車のメンテナンス管理情報も持たせるなどの機能が加わり、車の一部としてカーナビが重要な役割を果たすようになってきた。

その一方で、従来からの機能であった経路探索、案内機能にも充実が見られ、地図データの提供がCDからDVDへと変遷し、現在ではHDDによる高精細な地図が多く利用されている。さらに経路探索には、複数の経路の探索、VICS

による渋滞情報を加味しての検索といった高度な検索方法が次々に開発されてきた。現在ではカーナビは第3世代を迎え、経路探索の方法はメーカーによって多少の差はあるものの、基本的な機能としては固まってきている。しかし、細かい条件の設定や、通過道路の指定といった面では、事前に通過道路の登録作業などが必要な上、思った通りの探索結果が得られないことが多い。

そこで、本研究では、車を「運転する」ということに重点を置く運転者にとって、現在のカーナビの機能では物足りないと感じる点に注目し、運転者の希望する経路を探索するという点を重点的に考える。本研究では単一の目的地まで向かうための経路ではなく、ある点を出発点として複数の目的地を巡回して戻る、いわ

ゆる巡回経路探索を扱う。これは、複数の目的地を回った後は出発地点に戻ってくることが多いからである。例えば、自宅から出発した自家用車は、観光スポットなどを回った後最終的に自宅に戻ってくる。また、空港や駅を出発するレンタカーは、最終的に（乗り捨てなどを利用しない限り）元の空港や駅に戻ってくると考えるのが自然である。また、巡回経路探索に関する研究も数多くなされており、特に旅行計画に役立つものが多い[2]。従って、巡回経路として探索することは、現実には即した経路探索としての設定であると考えられる。

## 2 経路に対しての要求

本来、目的地に到着することだけを目指すのであれば、最短距離、最短時間の経路を常に選択すればよい。しかし、中には途中で立ち寄りたい場所が複数ある場合や、途中で通りたい道がある場合、さらには、たとえ遠回りになっても運転自体を楽しみたいのでも単調な道は避けたい、などといったドライブの要素が加わることがあり、そのような場合は、単純に距離や時間だけで探索するだけでは不十分である。また、運転者によっては、俗に酷道や険道と呼ばれる非常に細い、あるいは整備の行き届いていない国道、県道を通りたいという嗜好があり、そのような希望には現状の探索方法では通過点の指定により探索結果を絞り込む程度しかなく、対応が難しい。そこで、本研究では通常の経路探索では考慮されにくいこのような希望にも沿った、運転者の希望する経路を探索することが可能な探索方法を提案し、そのための条件設定を考えていく。

運転者の希望として、本研究では次の要素を考える。

- ・ 通行する道路の種類  
(国道・主要地方道・一般都道府県道など)
- ・ 道路の車線数  
(1車線、2車線、4車線など)

これらの要素を挙げた理由として、道路の種類については、一般的に国道や主要地方道は、他の道路と比べて広く、整備も行き届いているため安全に走行ができる。車線数が多ければなおのこと整備がされており、安全である。逆に、国道であっても1車線の道を選ぶこともでき

るため、峠道などをあえて選択することも可能である。逆に、一般都道府県道などでも車線数が多く広い道は存在し、そのような道路は国道のバイパスとして造られた新しい道路であることが多く、国道よりも快適であることもある。

例えば1車線の道路を考えると国道でも一般県道等でも狭い街路や峠道ではあるが、国道の方がまだ整備がされており、走りやすい可能性が高い。逆に、4車線の道路だからといって国道が走りやすいかというと、幹線道路で渋滞が多発していることがあり、同じ4車線道路でも国道のバイパスとして作られた県道が快適に走れるといった例が存在する。

なお、要素としてはこれ以外にも右左折の回数や信号の数などが考えられるが、今回の地図データから信号数を得ることができないことや、運転者希望をどの程度正確に反映することができるかどうかを検証するため、今回はこの2つの要素に絞って考える。

これら2つの選択肢の組み合わせで考えられることをまとめると、以下の表1のようになると考えられる。

表 1 車線数と道路種別の関係

	国道等 ←	→ 県道・細街路
1 車線	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 峠道</li> <li>・ それなりの整備がなされている</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 細い峠道</li> <li>・ 走行困難</li> </ul>
4 車線	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 幹線道路</li> <li>・ 渋滞の発生が懸念される</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 地方の幹線</li> <li>・ 快適</li> </ul>

## 3 現在の経路探索技術

現在の経路探索技術には、ダイクストラ法、遺伝的アルゴリズムがあり、これらを改良したアルゴリズムも考案されている[3]。それぞれの特徴について以下に述べる。

### 3.1 ダイクストラ法

ダイクストラ法は、2点間を結ぶ最短経路を求めるアルゴリズムであり、このアルゴリズムによって求めた経路は厳密な意味で最適解となる。しかし、ダイクストラ法では計算がすべて終了するまで解を得ることが

できず、探索範囲が大きくなると計算量も膨大となり、時間内に解を求めることが難しい[5]。また、2点間の最短経路を求めるというアルゴリズムの特性上原理的に巡回経路探索には利用できない。

### 3.2 遺伝的アルゴリズム

遺伝的アルゴリズムは、遺伝子により表現した経路を世代交代させていくことで進化させ、最適解を求めるアルゴリズム[4]であり、この手法を用いると巡回経路の探索を行うことができる。しかし、探索範囲が大きくなると、意味のない部分での探索が増加し、計算量も増加するため地図データ全体に対して適用すると、所要時間が大幅に増加してしまうと考えられる。

## 4 経路探索手法

本研究では、これら2つの方法を組み合わせて使用する。具体的には、図1探索手法に示すように、まず通過点として指定されたノード(以下目的地ノード)をすべて集め、それらすべての目的地ノード間に擬似的なリンクを張り、完全グラフを作る。そして、実地図上で目的地ノード間の探索をダイクストラ法で行い、完全グラフのリンクのコストおよび実地図上の対応経路を求める。続いてこの完全グラフを元にして、これらの目的地ノードをすべて巡回する経路を遺伝的アルゴリズムによって求めるといふ二重構造にする。

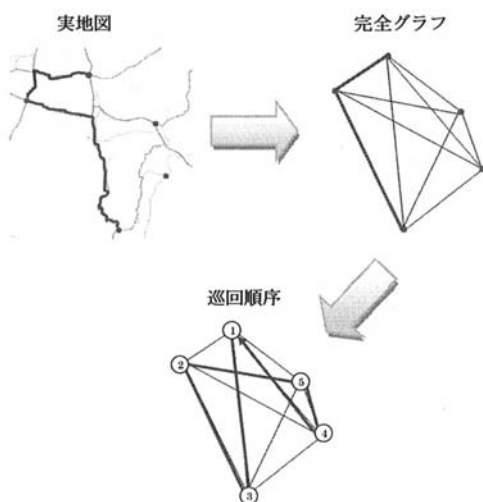


図1 探索手法

はじめに、最も単純な最短距離で経路を求める例について説明する。ダイクストラ法での探索では、目的地ノード(図1中の●)間の通過道路を探索する。これは、2点間の最短経路探索であり、通常ダイクストラ法を適用することで探索が可能である。その結果求めた最短経路のコストを、完全グラフの中の疑似リンクのコストとする。これをすべての目的地ノード間で行うことで、ある目的地ノードから他のすべての目的地ノードまでの最短経路と、途中で通過する経路を求めることができる。

次に、これらの目的地ノードの巡回順序を求めるために、遺伝的アルゴリズムによる探索を行う。巡回順序の探索は、目的地ノードのノード番号を並べた個体をランダムに発生させ、それらの個体同士で交叉、突然変異を行うことで探索を進める。選択淘汰を行うための評価値は、ダイクストラ法で求めた各目的地ノード間の疑似リンクのコストをすべて足し合わせたものとする。探索手法とパラメータは以下の表2のように設定した。

表2 遺伝的アルゴリズムのパラメータ

個体数	30
交叉手法	PMX(Partially Matched Crossover)
突然変異手法	IVM(Inversion Mutation)
交叉確率	80%
突然変異確率	8%
最適化方向	コスト最小化
世代数	50 世代無進化で終了

## 5 希望経路の反映手法

先に述べた運転者の希望経路の反映方法については、二重構造にしたアルゴリズムのどちらかに反映させる必要がある。二重構造にしたアルゴリズムのうち、実際の道路を扱うのはダイクストラ法であるから、こちらに希望経路を反映させた処理を行う。遺伝的アルゴリズムに対し、探索範囲に対して重み付けを行い、類似しない経路を探索する方法は提案されている[6]が、本研究ではダイクストラ法で最短経路を求めているためそのような方法では対応がで

きないと考えられる。

まず、あらかじめ運転者希望である2つの項目(道路の種類・車線数)について、どの程度の強さで希望するかというパラメータを設定する。道路の種類は「国道」「主要地方道」「一般都道府県道」「その他細街路」の4種類とする。また、車線数は「4車線以上」「2車線」「1車線」の3種類に分けるものとする。ここで「2車線」とは、車線の区別がある上下1車線ずつの道路のことであり、いわゆる片側2車線で中央分離帯が存在するような道路は「4車線」とであると定義する。

次に、ダイクストラ法のコスト計算部分に運転者希望を反映させる。具体的な手順を以下に示す。ノード*i*からノード*j*までの距離を  $D_{ij}$ 、コストを  $C_{ij}$  とすると、通常のダイクストラ法では距離=コストとして探索するため、コストは次のように表現される。

$$C_{ij} = D_{ij}$$

ここで、希望しない道路を通行する経路が選択された場合にはコストを増加させ、経路の候補となりにくくさせることを考える。そのため、道路種別によるパラメータ ( $p_1$ ) および、車線数によるパラメータ ( $p_2$ ) を用いて、運転者希望を反映させたコストを表現する。どちらも希望通りであればコストを増やさず、希望から外れているほどコストを増加させるようにすると、次のようになる。

$$C_{ij} = D_{ij} \times p_1 \times p_2$$

$$\text{ただし、} p_1 \geq 1.0, p_2 \geq 1.0$$

## 6 実験・評価

運転者希望を反映させた経路探索を行うため、Java 言語によりシミュレーションプログラムを実装し、検証を行う。

### 6.1 実験データの作成

本研究では、現実の道路ネットワークを元にして探索するため、(財)日本地図センター発行の数値地図「JMC マップ」より、四国地方の道路データを使用する。この数値地図では、行政界や鉄道、河川などとともに道路のネットワークデータが収録されており、道路データは交差点と交差点を結ぶ区間毎に区切られて

区切りのデータとなっている。この数値地図から、交差点となる端点を読み込み、端点同士をつなぐ直線をリンクとして保存する。これは、ダイクストラ法のリンクとなる。また、リンク同士が接する部分は道路上の交差点となり、この交差点をノードとして保存する。本研究で使用する四国地方の道路データには、約 10,000 のノードと、約 14,000 のリンクが存在する。

数値地図には後述するリンク種別およびリンクの通過する座標値のみが記録されているため、いくつかのデータは数値地図のデータを読み込んだ上で生成することとなる。これらデータの一覧を表 3 に示す。このデータを元にして探索を行う。

表 3 ノード・リンクデータ

ノード	リンク
ノード番号	リンク番号
接続先リンク番号	接続先ノード番号
座標値	リンク種別
目的地ノードフラグ	車線数
	コスト

以下各データについて説明する。

#### ① ノード番号・リンク番号

数値地図データに無いため、ファイルから読み込まれた順番に連番で記録する。探索に利用するノード、リンクはこの番号で識別される。

#### ② 接続先リンク番号・接続先ノード番号

ノードの場合は、そのノードから出ているリンクの番号、リンクの場合はリンクの両端にあるノードの番号が格納される。すべての地図データを読み込んだ後、全ノード・リンクの接続を調べて記録する。

#### ③ 座標値

数値地図のデータはメッシュと呼ばれる 80km 四方に区切られた区画毎に記録されており、その中をさらに 8×8 に区切った 2 次メッシュという単位で座標値が記録されている。そのため、メッシュ番号とメッシュ内座標で記録されている座標値を、地図全体での座標値に変換して登録する。地図データ内では、リンクの座標として記録されているが、端点の座標のみをノードの座



標値として登録する。

④ 目的地ノードフラグ

当該ノードが目的地ノードであるかどうかを記録する。これは地図データから記録するものではなく、後でユーザが指定するパラメータである。

⑤ リンク種別

高速自動車国道・国道・主要地方道・一般都道府県道・その他細街路の区別を記録する。地図データに記録されている。

⑥ 車線数

1車線・2車線・4車線以上の区別を記録する。地図データに記録されていないため、手動での登録となる。

⑦ コスト

リンクの長さを記録する。長さはリンクに沿って計測した道のりとする。地図データの座標値から計算によって求める。

これらのデータおよび数値地図データを元に地図を表示すると、図 2 のようになる。ここで、出発地点および複数の立寄地点を設定することができる。本来はここで複数の立寄地点を設定し、巡回経路を探索することになるが、ここでは運転者希望が反映されているかどうかの検証を重点的に行いたいため、立寄地は1カ所とする。すると、必然的に巡回経路は同じ道路を往復する経路を探索することになるが、それにより通過道路に運転者希望が反映されているかどうかの検証をしやすくなると考える。



図 2 地図表示例

さらに、希望条件を設定しない場合と設定した場合の2種類を設定する。設定する希望条件は、なるべく国道を通るが、車線数は少ないものを優先し、いわゆる酷道を通るような設定を行った。今回の検証で用いる探索条件は以下の表 4 のようになる。

表 4 検証用探索条件

出発地・到着地	徳島市徳島駅前
立寄地	高知市高知駅前
希望条件	国道優先、1車線優先

## 6.2 検証

探索された経路の検証、評価を行うため、シミュレーションプログラムと実在のカーナビによって経路の探索を行った。

まず、表 4 の条件を元にシミュレーションプログラムにより経路の探索を行う。探索は経路の希望を入れない状態と入れた状態の2種類で行う。探索された経路は以下ようになった。なお、探索結果の表示は、シミュレーションプログラムの結果表示を縮小表示すると見づらくなってしまうため、別の地図ソフトで同一経路を選択して表示したものである。

① 希望経路を設定しない場合

希望経路を設定せず、最短距離の経路として探索した場合は、図 3 のようになった。

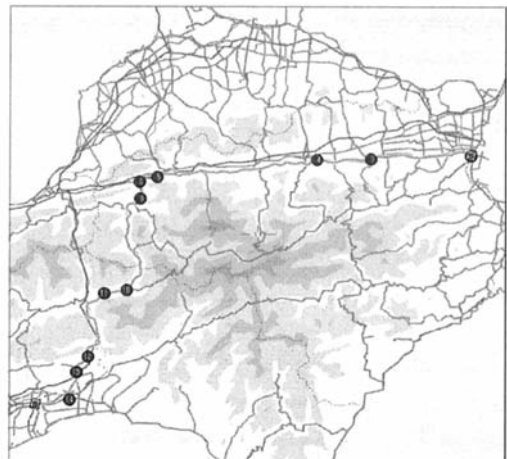


図 3 希望経路を設定しない探索結果

徳島駅前から国道 192 号線を通り、途中から国道 32 号線を通る経路である。総走行距離は

155km となる。

## ② 希望経路を設定した場合

次に、希望経路を設定して探索を行うと、図 4 のようになった。

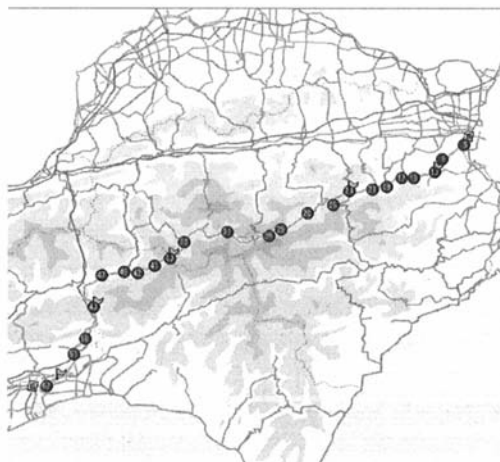


図 4 希望条件を設定した探索結果

徳島駅前から国道 438 号線、国道 439 号線を通り、最終的には国道 32 号線を通る経路である。途中峠道を通るためか、直線経路ではあるものの、総走行距離は 184km となる。

これにより、希望経路を設定した場合は、道路の走行距離は 30km ほど増加するものの、国道を通り、なおかつ 1 車線区間の長い道路を通る経路を表示できることが確認された。

次に、この経路を検証するために、実際に現在発売されているカーナビ (Pioneer 製サイバーナビ「AVIC-VH009」) を使用して、探索を行った。探索では、希望経路を設定しない場合の経路が妥当であることを確かめるため、出発地は表 4 と同じ、到着地を表 4 の立寄地と同じとし、有料道路は使用しない設定で片道での探索を行った。その結果、図 3 とほぼ同様の結果が提示された。これにより、シミュレーションプログラムで探索した結果は妥当であると判断できる。

また、希望経路を設定した条件での探索は、実在のカーナビでは経由地を細かく指定することでしか結果を得ることができなかった。

## 6.3 巡回経路への応用

これまでの検証により、シミュレーションプ

ログラムの経路探索では道路種別、および車線数を考慮した希望を探索経路に反映させられることがわかった。これを、巡回経路に反映させることにより、希望経路を反映させた巡回経路探索を行うことができる。図 5 は、四国内の道の駅 10 カ所を、国道優先で通行する条件で探索した結果である。探索手法とパラメータは表 2 のように設定した。

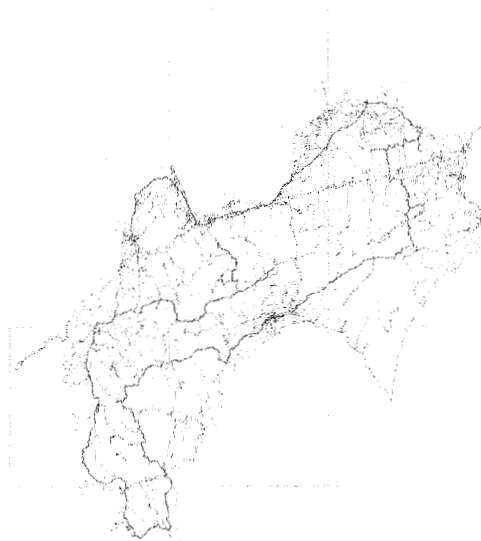


図 5 巡回経路探索の結果

さらに、遺伝的アルゴリズムにおける経路の進化の過程を表すグラフを図 6 に示す。これにより、遺伝的アルゴリズムによって経路が進化し、最終的に収束していることが分かる。

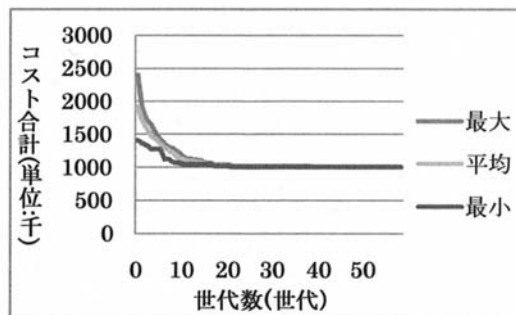


図 6 経路進化の過程

## 7 おわりに

ダイクストラ法と遺伝的アルゴリズムを組

み合わせて経路探索を行うことで、巡回経路の探索を行い、ダイクストラ法のコスト計算を工夫することで、運転者の希望を細かく反映させて経路探索を行うことができた。今回の検証では主に 2 点間の経路に希望が反映されていることを確認したが、この探索方法を用いれば複数経由地を巡回しつつ、希望する経路を通過する旅行の計画を立てることもできると考える。今後は、よりきめ細かい希望の反映と、巡回経路の探索ができるよう目指す。

#### 参考文献

- [1] 国土交通省道路局「カーナビ・VICS 出荷台数」  
<http://www.mlit.go.jp/road/ITS/j.html/index.html>
- [2] 丸山,柴田,村田,安本,伊藤,複数目的地を時間制約付きで巡回するための経路探索アルゴリズム,DOCOMO2003 シンポジウム,pp. 469-472 (2003)
- [3] 新居, ナビゲーションシステム, 山海堂
- [4] 北野宏明, 遺伝的アルゴリズム①. 産業図書
- [5] 狩野,遺伝的アルゴリズムを用いたカーナビのための経路案内方式, 情報処理学会 研究報告 Vol.2002, No.21, pp 51-58(2002)
- [6] 稲垣,長谷山,北島,遺伝的アルゴリズムを用いた経路探索における複数経路候補の決定法, 電子情報通信学会論文誌 D-I Vol.J82 No.8 pp1102-1111(1999)
- [7] 川口,ドライバーの経路に対する主観的評価値と態度指標を用いた最適経路に関する研究,名古屋大学大学院環境学研究科都市環境学専攻修士論文