

ファジィ AHP を用いたドライバ最適経路探索
に関する研究

平成 25 年 7 月

日本大学大学院理工学研究科博士後期課程

情報科学専攻 藤 琳

目次

第1章 序論	1
1.1 研究の背景と目的	1
1.2 本論文の構成	3
第2章 ドライバ最適経路	5
2.1 はじめに	5
2.2 カーナビ経路探索機能の現状	5
2.3 本研究におけるドライバー最適経路の定義	7
2.3.1 ドライバ最適経路の定義	7
2.3.2 単一好み経路	8
2.3.3 複数好み経路	8
2.4 本研究における経路探索アルゴリズム	9
2.4.1 道路ネットワークの構成	9
2.4.2 経路探索アルゴリズム	11
2.5 まとめ	12
第3章 ドライバ好みアンケート調査	13
3.1 はじめに	13
3.2 ドライバの好みについて	13
3.3 好みに関するアンケート調査	14
3.3.1 好みアンケート調査	14
3.3.1.1 調査概要	14
3.3.1.2 調査結果	14
3.3.2 走行履歴調査	16
3.3.2.1 調査概要	16

3.3.2.2 調査結果.....	17
3.4 まとめ	22
第4章 ファジィ AHP を用いた最適経路探索の提案	23
4.1 はじめに	23
4.2 AHP 感性評価を用いた最適経路探索.....	23
4.2.1 経路探索ための AHP 階層図の構築	26
4.2.2 一対比較による好み要素のウェイトの計算	26
4.2.3 次リンクの総合評価	28
4.2.4 AHP 感性評価を用いた総合評価	28
4.3 ファジィ AHP を用いた最適経路探索.....	28
4.3.1 ファジィ測度による好み表現	30
4.3.2 ショケ積分による総合評価	31
4.3.3 ファジィ AHP を用いた総合評価	32
4.4 提案する経路探索アルゴリズムの構成.....	33
4.5 ファジィ AHP の総合評価手法の検討.....	34
4.5.1 総合評価の問題点	34
4.5.2 意味論評価水準の検討.....	34
4.6 AHP における重要性尺度の検討	38
4.6.1 重要性尺度の問題点	38
4.6.2 近似尺度導入の検討	38
4.7 まとめ	41
第5章 提案手法による経路探索実験	42
5.1 はじめに	42
5.2 実験の準備	42
5.2.1 好みデータの相関分析	42

5.2.2	経路探索用好みパラメータの定義	45
5.2.3	経路評価用好みパラメータの定義	47
5.3	経路探索実験	48
5.3.1	単一好み経路探索	48
5.3.2	複数好み経路探索	54
5.3.2.1	AHP 感性評価を用いた最適経路探索	54
5.3.2.2	ファジィ AHP を用いた最適経路探索	56
5.3.2.3	ファジィ AHP の総合評価に意味論評価水準を用いた場合	65
5.3.2.4	重要性尺度に近似尺度を用いた場合	66
5.4	まとめ	68
第 6 章	結論	69
	謝辞	71
	参考文献	72
	著者発表論文	74

目次

図 1.1	研究の流れ.....	4
図 2.1	最適経路の分類[12].....	7
図 2.2	ドライバ最適経路の分類.....	8
図 2.3	道路ネットワークの例.....	9
図 2.4	ドライバ最適経路探索アルゴリズムの構成.....	11
図 3.1	走行履歴調査の手順.....	16
図 3.2	被験者 1 の走行範囲地図 (https://maps.google.com/)	17
図 3.3	被験者 1 の走行履歴.....	18
図 3.4	被験者 2 の走行範囲地図 (https://maps.google.com/)	19
図 3.5	被験者 2 の走行履歴.....	19
図 3.6	被験者 3 の走行範囲地図 (https://maps.google.com/)	20
図 3.7	被験者 3 の走行履歴.....	21
図 4.1	AHP の一般的な手順.....	23
図 4.2	AHP の階層図.....	24
図 4.3	経路探索用 AHP 階層図.....	26
図 4.4	好み一対比較アンケート調査用紙.....	26
図 4.5	一対比較行列.....	27
図 4.6	AHP 感性評価を用いた総合評価の流れ.....	28
図 4.7	ショケ積分の計算例.....	30
図 4.8	λ 値による総合評価値の変化.....	32
図 4.9	ファジィ AHP を用いた総合評価の流れ.....	33
図 4.10	提案する経路探索アルゴリズムの構成図.....	33
図 4.11	リンクの距離分布図.....	35
図 4.12	角度データ分布図.....	37
図 5.1	「直進」における角度の表現.....	46
図 5.2	「距離」経路探索結果.....	48
図 5.3	「幅員」経路探索結果.....	49
図 5.4	「信号」経路探索結果.....	49
図 5.5	「直進」経路探索結果.....	50

図 5.6	「距離」経路の好み抽出結果.....	51
図 5.7	「幅員」経路の好み抽出結果.....	51
図 5.8	「信号」経路の好み抽出結果.....	52
図 5.9	「直進」経路の好み抽出結果.....	52
図 5.10	走行履歴の好み抽出結果.....	53
図 5.11	被験者 1 の好みアンケート調査結果.....	54
図 5.12	AHP 感性評価を用いた経路探索結果.....	55
図 5.13	模擬道路ネットワーク.....	56
図 5.14	1 つ好み要素に特化した経路探索結果.....	57
図 5.15	2 つ好み要素を統合した経路探索結果例 ($\lambda=0$).....	57
図 5.16	λ 値に対する経路探索結果の例.....	58
図 5.17	λ 値決定用一対比較アンケート用紙.....	59
図 5.18	ファジィ AHP を用いた経路探索結果.....	60
図 5.19	ファジィ AHP 経路の好み抽出結果 (被験者 1).....	61
図 5.20	被験者 2 の経路探索結果.....	63
図 5.21	被験者 3 の経路探索結果.....	64
図 5.22	意味論評価水準を用いた探索結果.....	65
図 5.23	意味論評価水準を用いた経路の好み抽出結果.....	66
図 5.24	近似尺度を用いた経路探索結果.....	67
図 5.25	近似尺度を用いた経路の好み抽出結果.....	67

表目次

表 2.1	経路探索における最新機能* ¹	5
表 2.2	各メーカーの最新機能装備状況* (2013年6月現在).....	6
表 2.3	実験用道路ネットワークデータ.....	10
表 3.1	ドライバ好み要素.....	13
表 3.2	好みアンケート調査の概要.....	15
表 3.3	被験者情報.....	17
表 4.1	一対比較調査用紙の内容.....	24
表 4.2	重要性尺度と言語表現.....	25
表 4.3	好み要素のウェイトの算出例.....	27
表 4.4	好み要素コスト例.....	31
表 4.5	次リンク評価結果.....	31
表 4.6	距離分類とウェイト付与.....	36
表 4.7	信号分類とウェイト付与.....	36
表 4.8	幅員分類とウェイト付与.....	36
表 4.9	直進分類とウェイト付与.....	37
表 4.10	重要性尺度関係式.....	38
表 4.11	近似尺度の計算結果.....	40
表 5.1	実験条件.....	42
表 5.2	相関係数の解釈[18].....	43
表 5.3	リンクにおける好み間相関係数.....	44
表 5.4	隣接リンクにおける好み間相関係数.....	44
表 5.5	経路ごとの好み相関係数.....	44
表 5.6	直進許容角度アンケート調査.....	46
表 5.7	好み要素のウェイト計算結果.....	54
表 5.8	実験条件.....	56
表 5.9	ユークリッド距離の比較.....	61
表 5.10	総合評価結果 (被験者 1).....	62
表 5.11	好み要素のウェイト計算結果 (被験者 2).....	63
表 5.12	好み要素のウェイト計算結果 (被験者 3).....	63
表 5.13	好み要素のウェイト計算結果.....	66

第1章 序論

1.1 研究の背景と目的

最先端の情報通信技術を用いて「人」と「道路」と「車両」とを情報でネットワークすることにより、交通事故、渋滞などといった道路交通問題の解決を目的に構築する新しい交通システム ITS (Intelligent Transport Systems) の研究開発が進められている[1]。

ITS は日本において、高度道路交通システムと呼ばれ、その開発分野の一つに、「ナビゲーションシステムの高度化」があり、さらにその利用者サービスの一つ「交通関連情報の提供」がある。本研究では、この中の個別利用者サービス「ドライバへの経路情報の提供」に位置づけられる。

「ナビゲーションシステムの高度化」分野における実用例には、カーナビゲーションシステム（以下、カーナビ）がある。国土交通省の統計データによると 2012 年 6 月末までのカーナビ出荷台数累計は 5,170 万台を超え、年々増加している[2]。カーナビの基本的な機能には、測位機能、経路探索機能、情報検索機能、案内機能などがある。この中の経路探索機能は、ドライバを出発地から、目的地まで誘導するための経路を計算する機能であり、一般的に所要時間や走行距離が最短の経路探索が中心となっている。

一方、ドライバの好みは例えば「広くて、信号の少ない道を行きたい」、「直進の多い、走りやすい道が良い」、「距離が短く、信号も少ない道が良い」など、多種多様であり、さらに、複数好み要素を総合的に考慮する場面が多い。すなわち、カーナビから提供される経路は必ずしもドライバの好みを満足させる経路とは限らない。

これに対し、最適経路探索に関する本研究関連の研究について紹介する。

(1) 歩行者を対象としたもの

歩行者を対象とした、道案内サービスいわゆる歩行者ナビでは、歩行者の好みを取り入れた経路が求められている。歩行者の好み調査に基づく経路探索パラメータに対して重み付けを行い、「距離」以外に「歩道のある道（安全）」、「坂道、階段の少ない道（快適）」などを重視する経路を生成している[3]。また、ユーザの主観的な要望（好み）として、「気分転換に散歩したい」、「景観を見回る」などにあわせて用意した経路に対して、道路の印象を属性としたファジィ測度・積分モデルにより、ユーザの主観的な満足度が反映された経路を評価する研究[4]がある。

(2) 鉄道網を対象としたもの

鉄道網を対象とした利用者の経路探索、あらかじめ複数の代表経路を作成し、各経

路に対して、「時間」、「費用」、「心理的要因（車内混雑、乗り心地など）」などの好みを用いて、AHP手法による評価を行い、利用する経路を決定するものがある[5]。

(3) 巡回経路を対象としたもの

巡回経路とは、出発地から複数の場所を経由し、最終的に出発地に戻る経路である。巡回経路対象では、ダイクストラ法と遺伝的アルゴリズムを組み合わせ、ドライバーの好みである道路の種類や車線数などをダイクストラ法の探索コストとして、経路探索に反映している[6]。また、ユーザの好みに合致する経路を探索するため、ドライバーごとの好みベクトルをGA（Genetic Algorithm）の遺伝子の適応度計算に用いて経路を探索する研究[7]などがある。

(4) 特定のOD間経路を対象としたもの

特定のOD間経路とは、特定の2つ地点（Origin：出発地とDestination：目的地）間の経路という。特定のOD間経路対象では、カーナビを利用する時、ドライバーがカーナビの推奨経路から意図的に外れた際に、推奨経路と選択経路の差異、及びその交差点におけるそのほかの経路と選択経路の差異にドライバーの経路選択意図（好み）が含まれると考え、その時の意図を差異増幅アルゴリズムにより推定する手法がある[8]。また、ドライバーの満足度を向上するため、個人的な好みを組み込む経路案内は最も必要であると考え、アダプティブな経路推奨モデルも提案されている。提案モデルでは、OD間の最適経路を複数経路から決定木学習アルゴリズムのC4.5アルゴリズムを用いて決定する。また、経路決定には距離、時間、複雑さ（右左折回数による表現）など7つの好みを用い、作成した線形的な効用関数による最大効用値から経路を求めている[9]。

上記のように、経路問題への好みの導入に関連する様々な研究がなされているが、好みの曖昧性についてはほとんど言及していない。一方で、ドライバーの好みは人間の主観によるものであるため、曖昧性があると考えられる。さらに、複数の好み要素を総合的に考慮する場合、人間の主観による各好み要素に対して重要視する程度が異なり、また好み要素間の相互作用にも影響するため、一意に統合することが困難である。

このような背景から、本研究ではドライバーの好みを満足する経路探索問題について研究している。ドライバーのOD間経路問題を対象に、ドライバーの好みの曖昧性、各好み要素に対する重視度及び好み要素間の相互作用を配慮するため、ファジィAHP（Analytic Hierarchy Process）を用いたドライバー最適経路探索手法を提案する[10]。また、ドライバー対象のOD間経路問題について、複数経路から最適経路を求めるのが一般的であるが、本研究は複数経路から選択することなく、最適経路を直接求めるようにする。なお、対象とする好みとは、ドライバーが経路選択に影響を及ぼすと考えられる要素であり、かつドライバー個人が重視する好み要素を指す。

そして、提案手法の有効性を確認するため、模擬道路ネットワークを用いた経路探索実験を行う。さらに、実道路ネットワークに対し、好み例を用いて経路探索実験を行う。

1.2 本論文の構成

本論文における研究の流れを図 1.1 に示す。図 1.1 に示すように、本研究における経路探索の前処理としては、好み要素のウェイトの算出と好み要素コストの算出がある。

好み要素のウェイトの算出では、まずアンケート調査により主な好み要素を抽出する。次に主な好み要素に対し、一対比較を行い、好み要素のウェイトを算出する。

他方、好み要素コストの算出では、作成した実道路ネットワークに対して、好みパラメータをもとに、リンクごとの好み要素コストを求める。

以上のウェイトとコストを用いた経路探索処理について述べる。本研究における経路探索処理は、好み要素のウェイトと好み要素コストの単純な加重和を用いた関連研究と異なる。好みの主観による曖昧さ及び複数好み要素間の相互作用を経路探索に反映するため、好み統合処理を非加法的性質で表現する必要がある。そこで、まずファジィ測度により、求めた好み要素のウェイトを非加法的な性質で表現する。次に各好み要素をショケ積分により総合評価を行う。この総合評価は、リンクごとに、リンクの各好み要素コストとファジィ測度により好み要素のウェイトをショケ積分により統合するものである。そして、求めた総合評価値を経路探索アルゴリズムの探索コストにすることにより、経路探索に好みを反映する。なお、経路探索アルゴリズムにはダイクストラ法を採用した。また、点線で囲まれた枠内の処理はファジィ AHP の処理に相当する。

なお、道路ネットワーク構成及び経路探索アルゴリズムについては第 2 章、アンケート調査による好み要素の抽出は第 3 章に述べる。そして、ファジィ AHP の処理及びファジィ AHP を用いた最適経路探索については第 4 章、好みパラメータの作成を含む経路探索実験は第 5 章で述べる。さらに、ファジィ AHP の総合評価による探索コストの過小評価と AHP 一対比較による好み要素のウェイトの過小評価問題について、それぞれ意味論評価水準 (4.5 節の $z(y)$) と近似尺度 (4.6 節の $F(K)$) の検討を行う。

本論文は、本章を含め 6 つの章で構成される。

第 1 章 序論では、本論文の背景と目的に続いて、本論文の構成について述べる。

第 2 章 ドライバ最適経路では、まず、カーナビの経路探索機能の現状を調査している。次に本論文で提案するドライバ最適経路について説明し、そして、道路ネットワークの構成と本研究における経路探索アルゴリズムを述べる。

第 3 章 ドライバ好みアンケート調査では、ドライバの好みに対する考察から、好みア

アンケート調査及び個人の好みを調査するための走行履歴調査を述べる。

第4章 ファジィ AHP を用いた最適経路探索の提案では、まず、一般的な AHP について紹介した後、AHP 感性評価による経路探索手法を検討する。次にファジィ AHP を用いた経路探索手法を提案する。最後に、ファジィ AHP による総合評価に意味論評価水準の導入及び AHP における一対比較の重要性尺度について検討し、考察する。

第5章 提案手法による経路探索実験では、まず、実験環境と条件を明らかにして、幾つかの好み例を用いて、単一好み経路探索実験を行っている。次に複数好み要素の統合実験とその結果を示している。以上の実験に対する結果の分析及び考察により、本論文で提案するファジィ AHP を用いた経路探索手法の有効性を示す。

第6章 結論では、本論文の成果及び今後の課題について述べる。

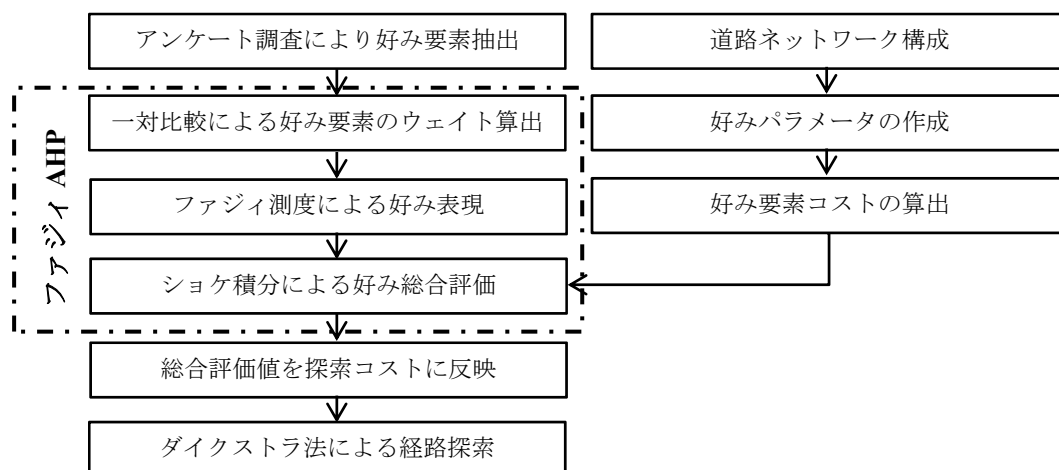


図 1.1 研究の流れ

第2章 ドライバ最適経路

2.1 はじめに

本章では、カーナビ経路探索機能の現状調査、及び本研究におけるドライバ最適経路の位置づけを検討する。そして、ドライバ最適経路を定義し、道路ネットワークの構成及び経路探索アルゴリズムを説明する。

2.2 カーナビ経路探索機能の現状

カーナビの出荷台数は1997年に190万台であったが、2012年6月末には累計で5,170万台を超えた。そして、渋滞情報や交通規制情報をリアルタイムに取得できるVICS（Vehicle Information and Communication System）ユニットも1997年に約12万台であったが、2012年6月末には約3,500万台出荷されている。一方、日本の自動車検査登録情報協会によると、2012年7月までの自動車保有台数の約8,000万台であり、そのうち四輪車は約7,600万台である[11]。このことから、カーナビは半数以上の車に搭載されていると予想され、ドライバに無くてはならないものになってきている。

経路探索に関して、初期のカーナビでは最短距離などを中心としたものであったが、VICSの登場によって渋滞を避けるといった高度な経路探索が行えるようになった。さらに、詳細な道路情報や交通量など様々な情報を含んだ地図データの充実及び探索アルゴリズムの改善により、最短時間による経路探索や道幅、直進優先などの経路探索が行えるようになってきている。

表 2.1 経路探索における最新機能*1

略語	機能説明
道幅	幹線道路を優先する探索機能
信号	信号の少ない道を優先する探索機能
右左折	右左折の少ない道を優先する探索機能
寄り道	経由地点を指定する探索機能
学習	過去に通った経路を優先する探索機能
渋滞	統計値を基にして渋滞を避ける機能
燃費	燃費を考慮した探索機能
診断	学習した経路からドライバの特性を診断する機能

現在のカーナビは、時間優先、距離優先、有料道路優先や推奨経路など幾つかの経路をドライバに提供している。ドライバは、カーナビが提供する複数の経路の中から自分に合った経路を選択して利用することになる。経路探索における最新機能についてまとめたものを表 2.1 に、主要メーカーの装備状況を表 2.2 に示す。なお、表 2.1 の略語は機能説明を表すものとして使用する。

表 2.2 各メーカーの最新機能装備状況*1 (2013 年 6 月現在)

メーカー	発売	道幅	信号	右左折	寄り道	学習	渋滞	燃費	診断
A社	12年5月	○	○	○	5	○	◎	◎	○
B社	12年9月	○			○	○	○	◎	○
C社	12年7月		○	○	5		◎	◎	○
D社	12年6月				5	○	○	○	
E社	12年8月					○	○		
F社	12年8月							○	

注： 寄り道：数字は指定可能な最大数
 渋滞：◎は予測値あり
 燃費：◎は車種まで考慮

一方、ドライバが実際に目的地へ向かう過程で、走行する経路は遠回りでも広い道や直進の多い道を選択したり、信号機を避けた経路を選択したりするなど、個人の運転経験、主観的性格、特性などにより選択する経路は異なると考えられる。また、同じ人物であっても、地理的な知識、運転当時の気持ちなどによっても、選択する経路は変わってくると考えられる。さらに、「広くて信号も少ない道が良い」、「直進が多くて渋滞が少ない道が良い」など、複数の好み要素が入ることも多いと考えられる。すなわち、あらかじめ決められた基準によって求められる経路は必ずしもドライバの好みを満足させるとは限らない。

そこで、本研究では、個々のドライバの好みを満足させるドライバ最適経路探索を目的とし、特に複数好み要素を統合することに着目した。

*1各メーカーのホームページを参考に作成 (2013 年 6 月現在)

2.3 本研究におけるドライバ最適経路の定義

2.3.1 ドライバ最適経路の定義

本論文では、「ドライバ個々の好みを満足させる経路」をドライバ最適経路と定義する。

本研究では、それぞれのドライバの好みに合った経路を提供することを目的とし、特定OD間経路を対象に、特に複数好み要素を総合的に考慮した経路をドライバに提供することを考える。このことから、図 2.1 に示す文献[12]の分類によると、本研究のドライバ最適経路は「個々のユーザ最適経路」に位置づけられる。さらに、ドライバが複数経路から希望する経路を選択する手間を省くことができるため、「非選択型」に分類される。

一方、カーナビにより提供される経路は、いくつかの決められた基準に従った経路が提供されるので、「大多数ユーザ最適経路」「選択型」に相当すると考えられる。なお、経由地を巡回する研究[6][17]もあるが、本論文では対象としない。

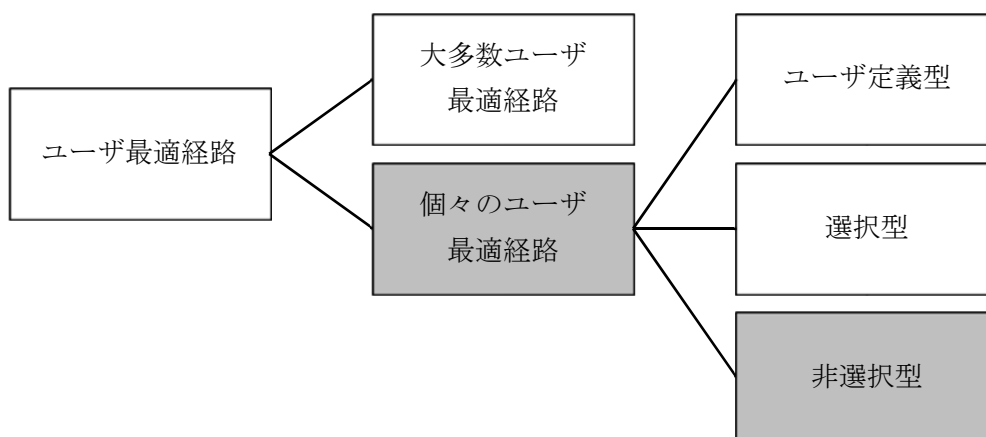


図 2.1 最適経路の分類[12]

上記のドライバ最適経路を実現するためには、ドライバの主要な好み要素を経路探索に反映する必要がある。経路探索アルゴリズムには、最短路問題に用いられるダイクストラ法[13]やA*アルゴリズム[14](ヒューリスティック探索アルゴリズム)が良く用いられている。これらのアルゴリズムの探索コストに好みを反映させればよい[3][6][8]。ところが、複数好み要素を考慮する場合には、その統合が難しい。

複数の好み要素の統合について、関連研究では各好み要素に対する重視度の加重和が用いられている[3][7][9]。しかし、好みは人間の主観によるものであり曖昧さが含まれている。さらに、ドライバ個人によって各好み要素の重視する程度が異なるとともに、それぞれの好み要素間の相互作用もあるため、単純な加重和では表現しきれない。これに対して、意思決定者の曖昧な判断を取り扱うことができるファジィ AHP[15][16]手法は有効であると考

え、ファジィ AHP を用いたドライバ最適経路探索を提案する。

本論文で対象とするドライバ最適経路探索アルゴリズムにはダイクストラ法[13]を用い、好みは探索コストに反映させることとする。すなわち、ダイクストラ法の探索過程に、ファジィ AHP により複数好み要素を探索コストに反映させることにより実現する。ファジィ AHP の採用により、好みの曖昧性及び複数好み要素間の相互作用を考慮でき、よりドライバの好みを柔軟に対応することができる。

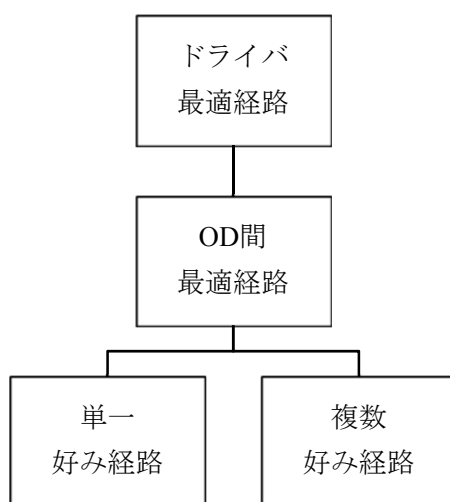


図 2.2 ドライバ最適経路の分類

本研究では、図 2.2 に示すように、OD 間最適経路について単一好み経路と複数好み経路を分類して検討を行う。なお、OD 間最適経路とは Origin である出発地から、Destination である目的地までの最適経路のことである。以下では、出発地を始点 S、目的地を終点 G として説明する。

2.3.2 単一好み経路

単一好み経路とは、ドライバが重視する一つのみの好みを考慮する経路のことである。例えば、あるドライバは信号のみを考慮する場合には、いくら遠回りでも信号を避ける経路を提供すればよい。信号のように道路ネットワークから得られる具体的な好みに対しては、経路探索における探索コストとして容易に反映させることができる。

2.3.3 複数好み経路

複数好み経路とは、ドライバが重視する 2 つ以上の好み要素を総合的に考慮する経路のことである。ドライバ個々人の好みは多種多様であり、それぞれの好み要素に対する重視度も異なる。また、色々な場面や状況によっても多様な好み要素が考えられる。

本研究では、最適経路の好みに関するアンケート調査により好み要素を抽出する。そして、抽出した主要な好み要素を経路探索に反映することとする。

2.4 本研究における経路探索アルゴリズム

本節では、まず経路探索に用いる道路ネットワークについて述べる。

2.4.1 道路ネットワークの構成

道路網の交差点をノード、交差点間の道路をリンクとし、有向グラフにより表現する。例を図 2.3 に示す。

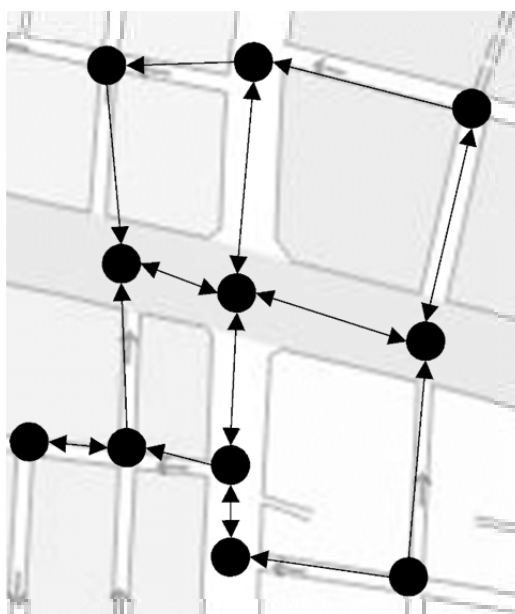


図 2.3 道路ネットワークの例

図 2.3 で、●は交差点であるノードを表し、→は交差点間のリンクを表す。リンクの矢印は通行可能な方向を示し、一方通行は片方向の矢印で示す。また、道路の距離は対応するリンクにコストとして付与する。なお、OD 間経路は、始点から終点までのリンク列で構成される。特定 OD 間には一般に複数の経路があるが、その中のリンクコストの総和が最小である経路が最短経路と呼ばれる。

実験に用いる道路ネットワークデータの概要を表 2.3 に示す。

表 2.3 実験用道路ネットワークデータ

地域	千葉市	木更津市	葛飾区
範囲	3.5km*3.5km	1.5km*2.5km	4km*3.5km
ノード数	1190	650	1235
リンク数	3472	1750	3584
信号機数	42	33	77
平均リンク長[dot]	42.55	74.28	34.46
最小リンク長[dot]	6	8	4
最大リンク長[dot]	255	376	227
平均幅員ランク値	3.75	3.72	3.71

(* : 1dot=3.3m)

表 2.3 に示すデータは、それぞれ千葉県の千葉市花見川区周辺、木更津市木更津駅周辺と東京都の葛飾区区役所周辺のものである。この 3 つの地域の特徴を比較した結果を以下に示す。

- 千葉市：ネットワーク構成密度（リンク数／ノード数）が 2.92 と最も高く、信号機存在率（信号機数／ノード数）が 0.04 と最も低い。また、ほかの 2 ヶ所と比較して、住宅地が多く、駅がない地域である。
- 木更津市：ネットワーク構成密度が 2.69 で他より低い。平均リンク長と最大リンク長が 74.28 と 376 と最も大きく、疎なネットワークである。
- 葛飾区：京成線の駅周辺に信号が多く設置されているため、信号機存在率が 0.06 と最も高い。また、平均リンク長が最も小さく、密なネットワークである。

2.4.2 経路探索アルゴリズム

本研究における経路探索アルゴリズムには最短経路問題を効率よく求めることができるダイクストラ法[13]を用いる。そして、本研究で対象とするドライバ最適経路探索は、ダイクストラ法の経路探索過程において、ドライバ好みを探索コストに反映させるものである。アルゴリズムの構成を図 2.4 に示す。

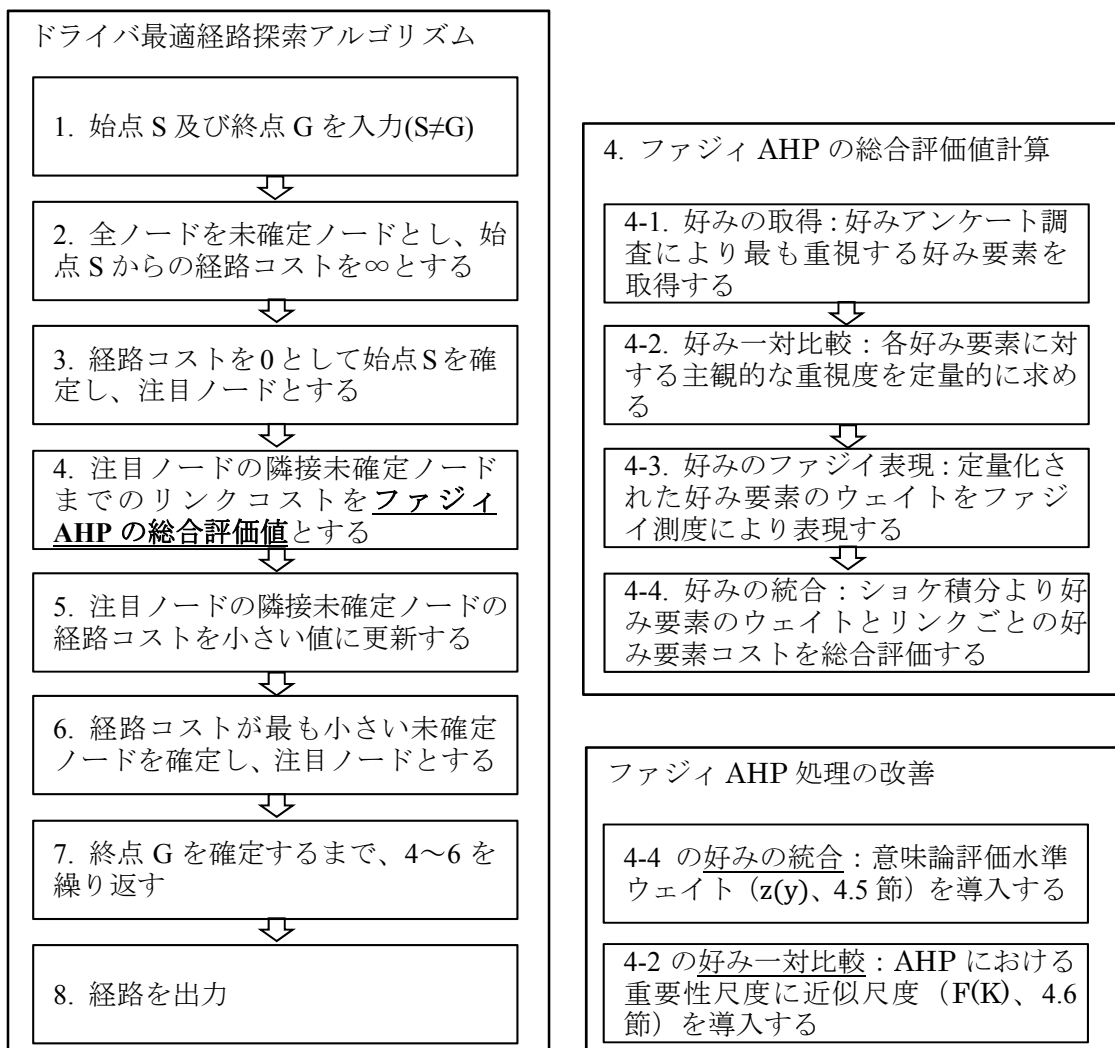


図 2.4 ドライバ最適経路探索アルゴリズムの構成

図 2.4 に示すように、ドライバ最適経路探索アルゴリズムのステップ 4 を除けば、一般的なダイクストラ法の処理手順となる。なお、ファジィ AHP の総合評価値計算はステップ 4 に、ファジィ AHP 処理の改善はそれぞれ 4.4 と 4.2 に対応する。

ダイクストラ法の経路探索過程における注目ノードごとに、探索コストに複数の好み要素をファジィ AHP 手法により反映させて、終点が見つかるまでダイクストラ法の処理を繰り返す。注目ノードごとに逐次的に評価していく手法であるため、ドライバ最適経路がダイレクトに求められる。したがって、あらかじめ複数経路を探索し、それぞれの経路を評価して最適経路を求める処理に比べて、本提案手法は効率が良いと考える。なお、ファジィ AHP と同じくファジィ測度・積分モデルを用いた文献[4]では、用意された複数経路に経路全体としての評価をしているので、提案手法のように経路探索過程でダイナミックにドライバの好みを考慮したものではない。

2.5 まとめ

本章では、カーナビにおける経路探索機能についての調査分析、本論文におけるドライバ最適経路の定義、その経路探索アルゴリズムの構成について述べた。

主な内容を以下にまとめる。

- (1) カーナビから提供される経路には時間優先、距離優先、有料道路優先や推奨経路などがあり、ドライバはその中から希望する経路を選択する。また、最近では新たな機能も追加されているが、ドライバの複数好み要素を含む多様な好みを考慮する場合、提供される経路は必ずしもドライバ個々の好みを満足させるものではないと考える。
- (2) 好みは人間の主観によるものであり、複数好み要素を統合することは難しい。そこで、特に複数好み要素の統合に着目し、人の主観による曖昧さ及び好み要素間の相互作用も考慮できるファジィ AHP を用いた手法を検討する。なお、複数好み要素を経路探索アルゴリズムの探索コストに反映させることにより実現する。
- (3) ダイクストラ法に従って、本研究におけるドライバ最適経路探索アルゴリズムを構成し、ダイクストラ法の注目ノードごとにファジィ AHP の総合評価処理を加えることにより実現する。

第3章 ドライバ好みアンケート調査

3.1 はじめに

本章では、ドライバの好みを抽出するため、好みアンケート調査について述べる。まず、ドライバの好みについて述べ、経路選択に関係する主な好み要素を対象に、好みアンケート調査及び個人好みに対する走行履歴調査とその結果を示す。

3.2 ドライバの好みについて

第2章で述べたように、現在、市販されているカーナビで提示される経路は、主に距離的・時間的最短経路あるいは有料道路利用の有無などである。しかし、ドライバの好みは様々であり、個人によっても異なる。そこで、本研究ではドライバ個々の好みに合った最適経路を提供することを考える。経路選択に関係する主な好み要素は、例えば以下のよう

- ・ 直進が多く（右左折が少ない）、分かりやすい道
- ・ 道幅が広く、運転しやすい道
- ・ 信号が少なく、ノンストップ走行できる道
- ・ 走行距離が短く、省エネになる経路
- ・ 渋滞がなく、所要時間が短い経路
- ・ 通行料金が安い経路 など

表 3.1 ドライバ好み要素

静的な内容	動的な内容
直進（隣接リンクの交角・右左折回数）	渋滞（渋滞長・待ち時間）
幅員（道幅・車線数・道路種類）	工事（時間帯・リンク通行止め）
信号（信号機の有無）	事故（リンク通行止め）
距離（リンクの長さ）	天候
歩道の有無 など	通行料金（曜日・時刻による変動）など

これらの好み要素は例えば、右左折時の隣接リンクの交角[19]で表す「直進」など、道路ネットワークから直接把握できる静的なもの、「渋滞」、「事故」などの外部からタイムリーに情報提供が必要な動的なものに分けられる。静的な好みは、道路ネットワークに基づき、客観的なデータにより表現される。これに対して、動的な好みは、常に変化している

リアルタイム性のあるデータにより表現される。表 3.1 にドライバ好み要素の分類を示す。なお、有料道路の通行料金には曜日・時刻により変わるものがあり、本論文では動的なものとして分類する。

ドライバ最適経路を求めるためには、表 3.1 に示すような各種の好み要素から、個人が重視する好み要素を反映した経路探索が必要となる。そのため、複数の好み要素を重視する場合、これらを総合的に考慮する必要がある。そこで、各好み要素間の相互作用を考慮するため、ファジィ AHP により好み要素の統合を行う。なお、ファジィ AHP により好み要素を統合する手法については第 4 章に詳細を述べる。もちろん、ドライバ個人により、重視する好み要素は 1 つに絞られる場合もあるが、その場合には第 2 章で述べた単一好み経路として扱えば良い。

3.3 好みに関するアンケート調査

本節では、好みに関するアンケート調査について述べる。好みに関するアンケート調査としては、ドライバ個人の好みを取得するための好みアンケート調査とドライバ個人に特化した走行履歴を取得するための走行履歴調査がある。

3.3.1 好みアンケート調査

ドライバの様々な好みから、実際に運転する際、最も重視する好み要素を抽出するため、好みアンケート調査を行った。

3.3.1.1 調査概要

好みアンケート調査の概要を表 3.2 に示す。表 3.2 に示すように、コンテンツ 1 では、経路選択に関係する主な好み要素のうち、運転する際に気にかける好み要素を複数選択可能な形式として回答するとともに、重要視する好み要素の順位も記述する形式とした。コンテンツ 2 では、各好みに関してさらに詳細な質問とした。

3.3.1.2 調査結果

好みアンケート調査から得られた主な結果を以下に示す。

- ・ 全員が複数の好み要素を選択し、1 つの好みに特定する回答がない
- ・ 最も多く選択されたのは経験値である（経験値：走り慣れた道を多く利用）
- ・ 重要視順位：距離＝経験値＞速度・時間＞幅員＞信号＞直進
- ・ 時間帯により、好みが変わる
 - 朝：特に速度・時間
 - 昼：距離または経験値
 - 夜：速度・時間のほか、幅員、経験値と注意点

好みアンケート調査結果から、「走り慣れた道を多く利用」が最も多く選択されたことから、走り慣れた経路には、そのドライバの好み要素が含まれていることが考えられる。また、回答者全員が複数の好み要素を考慮することが分かった。さらに、各個人はそれぞれの好みを持ち、さらに時間帯別でも好みが異なることが確認できた。

表 3.2 好みアンケート調査の概要

目的	ドライバの好み調査
方法	インターネットを利用
対象	日本大学理工学部学生を中心に計 38 名
質問内容	<p>1、回答者属性 性別、年齢、運転経験、運転頻度 など</p> <p>2、コンテンツ 1：気になる好みについて 運転する際に気にかけること（以下の項目から選択） 距離——・距離の短い道を利用（最短距離） 幅員——・道幅が広く、視野が良い道を多く利用 信号——・信号機の少ない道（信号避け） 直進——・曲がる回数が少なめ 経験値——・走り慣れた道を多く利用 速度・時間——・平均運転速度の保障、渋滞避け（裏道利用） 注意——・危険なところを避ける（急カーブ、事故多発など）</p> <p>重要視順位 自由記述（ほかの好み記入） など</p> <p>3、コンテンツ 2：好みに関する質問 好みを優先する際、最短経路との距離差 右左折角度、回数 時間帯別の好み優先順位 など</p>

3.3.2 走行履歴調査

ドライバの個人的、主観的な好みは長い時間をかけて、目に見えない感化作用により日常生活に再現される。これらが積み重なった結果として、日常的によく使う走り慣れた道として形成される。そこで、ドライバの好みは反映されていると考えられる「走り慣れた道」を得るため、走行履歴調査を行った。

3.3.2.1 調査概要

走行履歴の取得方法は、被験者が良く知っている地域において、よく使う数ヶ所までの経路を実地図上に描画する形式とした。カーナビをほとんど使わない熟知地域での走行履歴は、ドライバの好みを良く反映していると考えられる。

走行履歴調査の手順を図 3.1 に示す。また、被験者情報を表 3.3 に示す。

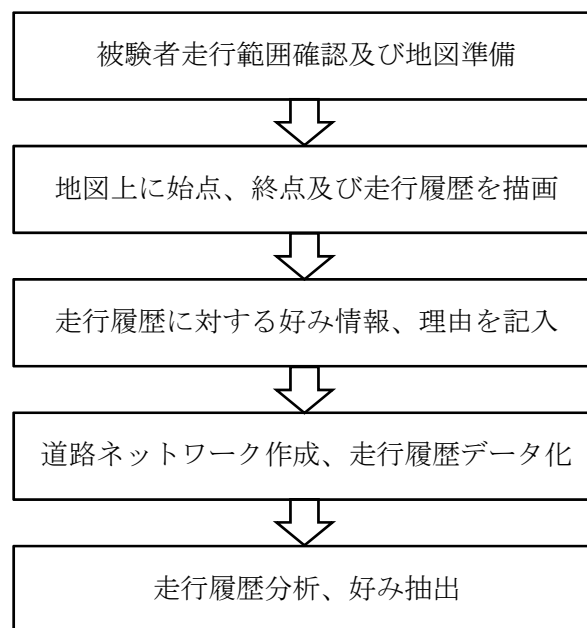


図 3.1 走行履歴調査の手順

まず、被験者の熟知する地域を確認し、それに対応する地域の実地図を準備する。次に、被験者は実地図上に、よく使う走行経路を描画する。その走行経路に対し、なぜその経路を選んだか、影響する要素は何かなどを質問し、その理由及び運転に関する癖あるいは特別な好みなどを記入する。そして、その地図に対応する道路ネットワークを作成し、走行履歴もデータ化する。最後に、走行履歴データを分析し、経路ごとの好み抽出を行う。

表 3.3 被験者情報

被験者番号	1	2	3
被験者属性	20代男性	20代男性	20代男性
調査地域	千葉県千葉市	千葉県木更津市	東京都葛飾区
運転頻度	週に数回	週に数回	週に数回
運転経験	5年	3年	3年
始点	自宅	小学校	自宅
終点	11ヶ所	10ヶ所	7ヶ所

3.3.2.2 調査結果

被験者ごとの走行履歴調査結果及びその結果から得られた被験者ごとの特徴を示す。

(1) 被験者 1

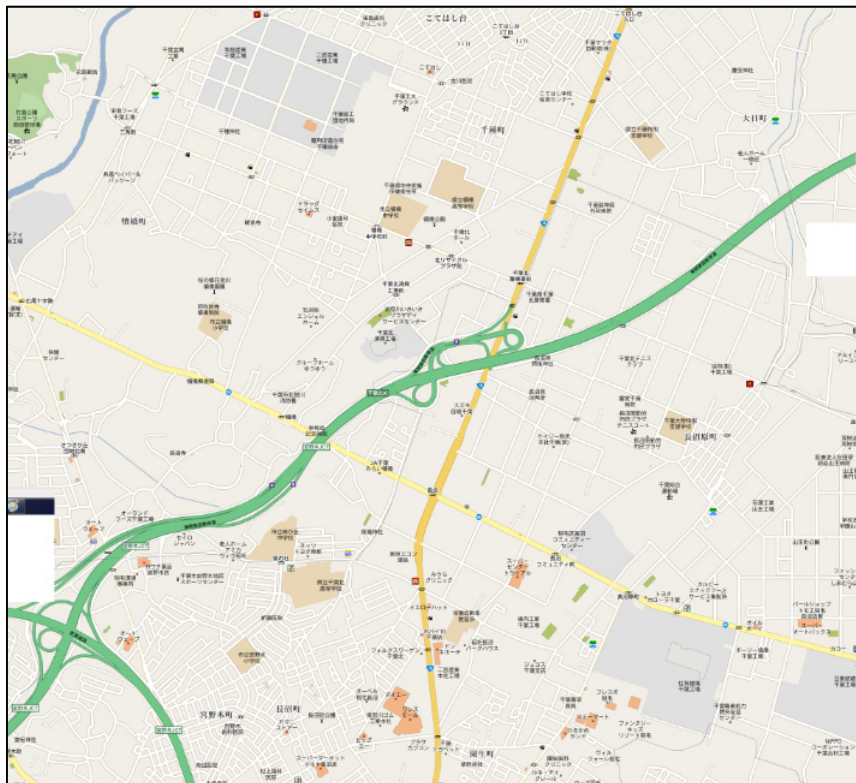


図 3.2 被験者 1 の走行範囲地図 (<https://maps.google.com/>)

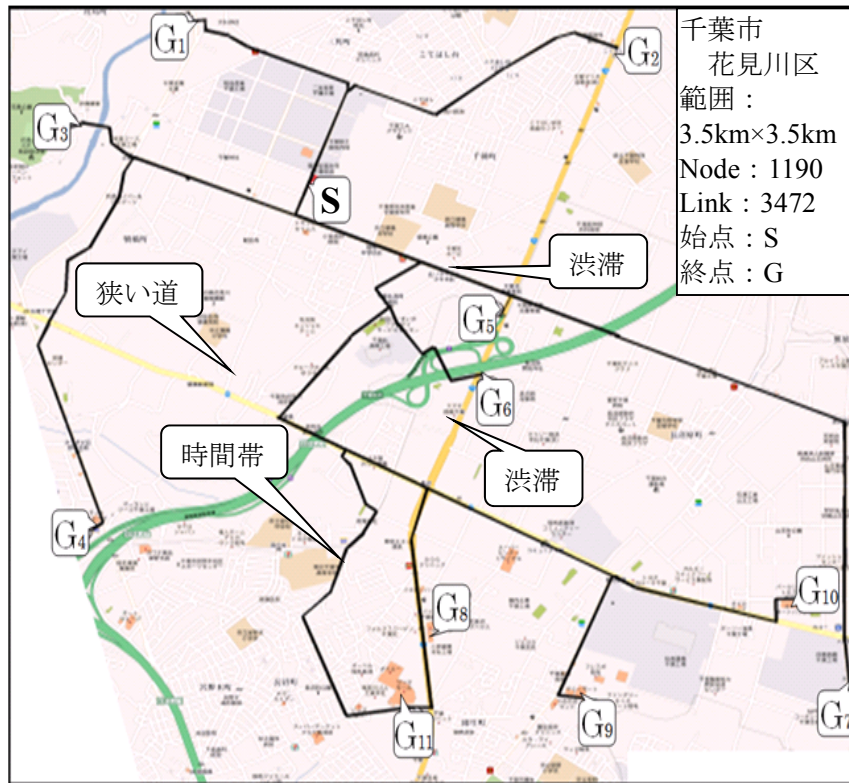


図 3.3 被験者 1 の走行履歴

図 3.2 は被験者 1 の千葉市花見川区にある自宅周辺の 3.5km×3.5km の地図である。図 3.2 の地図上で被験者 1 が自宅(始点 S とする)から、日常によく通う 11 ヶ所(終点 G_i ($i=1\sim 11$) とする)についての走行履歴を描画していただいた。その結果を図 3.3 に黒い線で示す。

図 3.3 から、 G_4 への経路は狭い道を避け、道幅の広い経路を選択している。 G_5 と G_6 への経路は高速道路の出入り口でいつも混雑しているため、高速道路を利用するときにはしか使わない。 G_7 への経路は経路全体を考慮した上で、 G_5 付近の渋滞多発地点を通過している。 G_8 、 G_9 、 G_{10} 、 G_{11} への経路は 2 つの渋滞多発地を避けている。 G_{11} への経路は小学校の周辺で、登下校の時間帯に混雑するため、別の時間帯に通った経路である。また、被験者 1 は右折より左折を優先することが分かった。

被験者 1 の走行履歴調査から得られた内容を以下に示す。

- ・ 走行履歴全体として、右左折回数が少なく、主要道路を重視しながら裏道も利用している。
- ・ 主要道路が多く利用しているため、信号機数も多く、幅員に関しても道幅の広い道の割合が大きい。
- ・ 渋滞を避けるため、裏道を利用する。
- ・ G_4 の経路を避けた狭い道に関しては、すれ違いできないような道である。

(2) 被験者 2

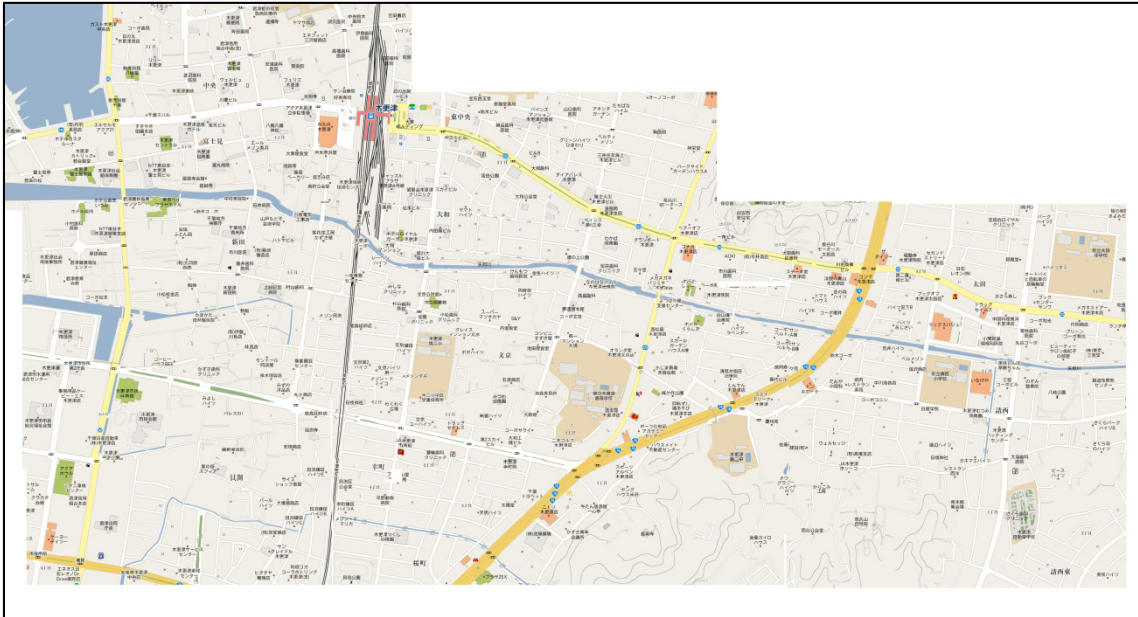


図 3.4 被験者 2 の走行範囲地図 (<https://maps.google.com/>)

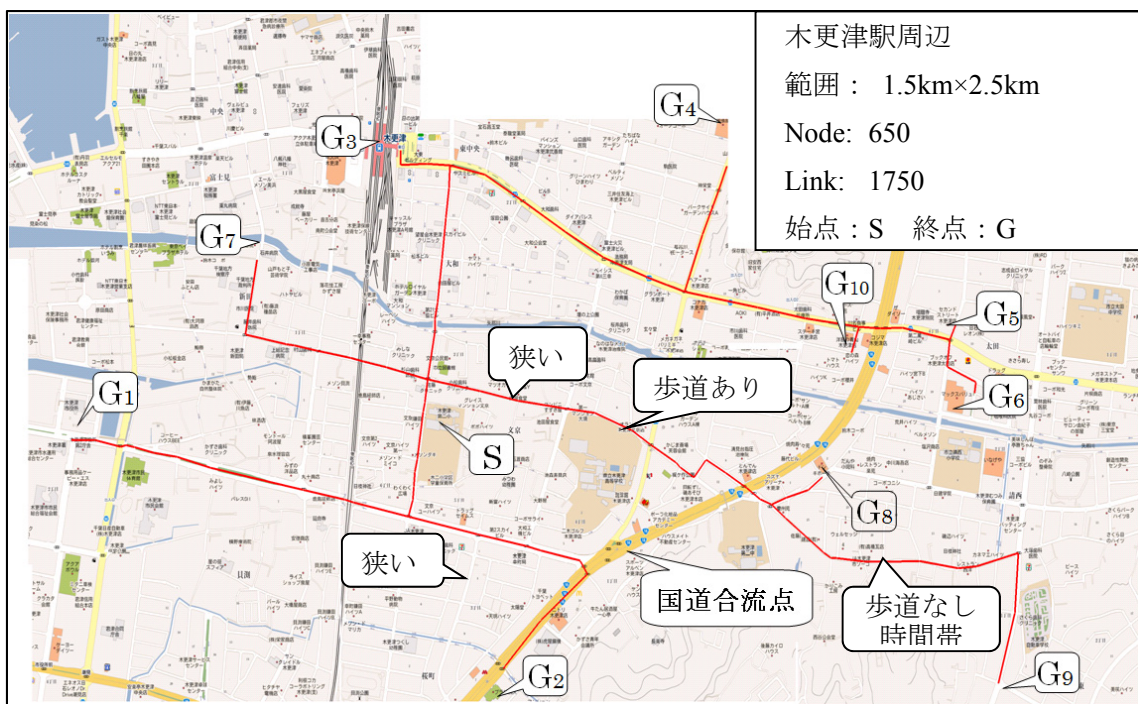


図 3.5 被験者 2 の走行履歴

図 3.4 は被験者 2 の千葉県木更津駅周辺にある自宅周辺の $1.5\text{km} \times 2.5\text{km}$ の地図である。図 3.4 の地図上に被験者 2 が通った小学校（始点 S とする）から、日常的に良く使う 10 ヶ所（終点 G_i ($i=1 \sim 10$) とする）への走行履歴を描画していただいた。その結果を図 3.5 に赤い線で示す。

図 3.5 から、 G_2 への経路は道幅の狭い道避け、道幅の広い国道を選択している。しかし、 G_5 、 G_6 、 G_8 、 G_9 、 G_{10} への経路は国道合流点を避けるため、遠回り道を選んでいる。 G_8 、 G_9 への経路は途中で狭い道があるが、歩道があるので選択している。 G_9 への経路の後半部分に中学校があり、歩道もないため、通学時間帯以外に使っている。 G_4 への経路は道幅の狭い近道を使わず、道幅の広い道を選択している。

被験者 2 の走行履歴調査から得られた内容を以下に示す。

- ・ 走行履歴全体として、右左折回数が少なく、国道などの主要道路を利用するため、道幅の広い道の割合が大きく、信号数が多い。
- ・ 歩道のある道路を選択することが多い。
- ・ 国道合流点のような交通量が多いところを避ける。

(3) 被験者 3

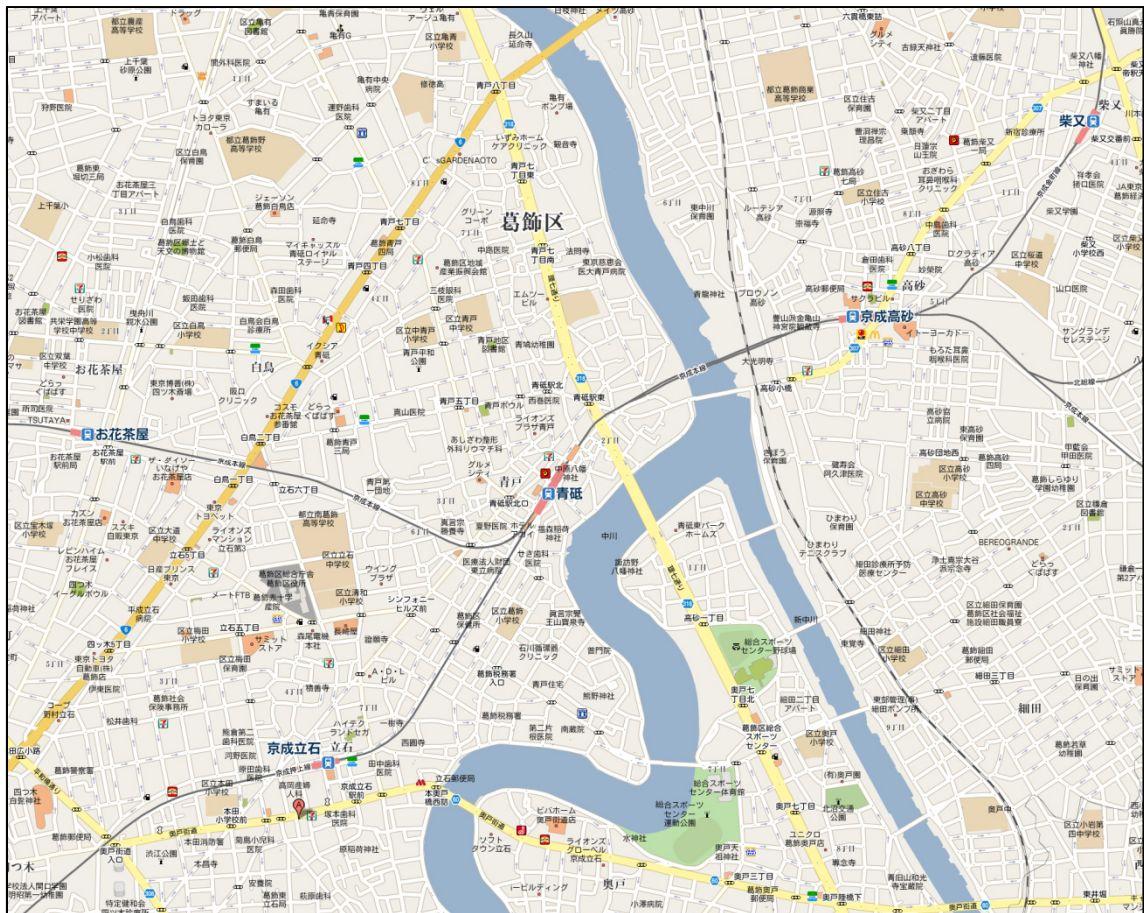


図 3.6 被験者 3 の走行範囲地図 (<https://maps.google.com/>)

図 3.6 は被験者 3 の東京都葛飾区にある自宅周辺の $4\text{km} \times 3.5\text{km}$ の地図である。図 3.6 の地図上に被験者 3 の自宅（始点 S とする）から、日常に良く使う 7 ヶ所（終点 G_i ($i=1 \sim 7$))

とする) についての走行履歴を描画していただいた。その結果を図 3.7 に青い線で示す。

図 3.7 から、 G_1 、 G_2 への経路は渋滞を避けるための迂回路を使用し、渋滞を避けた後、主要道路に戻っている。 G_4 、 G_5 、 G_6 、 G_7 への経路は遠回りであるが、速度の出せる主要道路を利用している。 G_6 への経路は川を渡る橋を利用すれば、距離が短くなるのが分かるが、その橋には大型車がよく通過しているため、ほとんど利用しなかったとのことである。

また、被験者 3 へのヒアリングから、速度の出せる道が好きで、距離はあまり気にしていないとの回答を得た。



図 3.7 被験者 3 の走行履歴

被験者 3 の走行履歴調査から得られた内容を以下に示す。

- ・ 走行履歴全体として、主に主要道路を利用している。
- ・ 渋滞を避けるため、裏道も利用しているが、渋滞多発地点を避けると、主要道路に戻る。
- ・ 道幅の広い道の割合が大きく、直進の右左折回数も少ない経路を中心に選択する。
- ・ 距離的には遠回りの経路であるが、信号機の数が多い。
- ・ 大型車の通る橋を避ける。

3.4 まとめ

本章では、まず、経路探索に関わる主な好み要素を分析し、分類した。次に、実際にドライバの好みに関するアンケート調査を行い、好み情報を集計した。そして、ドライバ個人に対し、走行履歴調査と分析を行い、ドライバ個人の好み傾向を把握できることを確認した。

主な内容を以下にまとめる。

- (1) ドライバの好み要素を直接道路ネットワークと関連する静的なものと、常に変化しているリアルタイム性のある動的なものに分類した。静的な好みでは、道路ネットワークに基づき、客観的なデータにより表現できるため扱いが容易であるが、動的な好みは、常に変化しているリアルタイム性のあるデータであるため、統計データ利用など、さらなる検討が必要である。
- (2) 好みアンケート調査結果から、ドライバは一つの好み要素ではなく、複数の好み要素を総合的に考慮することが分かった。また、走り慣れた道を多く利用するという回答結果から、ドライバの好みはその走り慣れた道に含まれていることが考えられる。
- (3) 走行履歴調査結果から、ドライバの好みは多種多様であり、ドライバごとに差異が見られることが分かった。また、走行履歴調査結果から、ある程度個人の好み把握できることを確認した。

第4章 ファジィ AHP を用いた最適経路探索の提案

4.1 はじめに

第3章で述べた経路探索に関わる好み要素、好みアンケート調査に基づいて、本章では複数好み要素の統合に対し、ファジィ AHP を用いたドライバ最適経路探索の提案手法を示す。まずドライバの複数好み要素の統合で、一般的な AHP 手法を用いた総合評価を検討した後に、非加法的な性質が扱えるファジィ AHP 手法を用いた提案手法を示す。さらに、ファジィ AHP の総合評価手法に、鈴木の意味論評価水準[29]を適用すると同時に、AHP の一対比較における重要性尺度に、より人間の一般的な判断意識を適切に反映できる近似尺度を導入する。なお、手法の説明は、好み要素例を用いて行う。

4.2 AHP 感性評価を用いた最適経路探索

AHP（階層分析法：Analytic Hierarchy Process）は、1970年代にトーマス・L・サーティ教授によって提案され、人間の主観的判断とシステムアプローチとの両面から問題解決型の意思決定手法である[21]。

AHP の一般的な手順は以下の4つステップからなる。

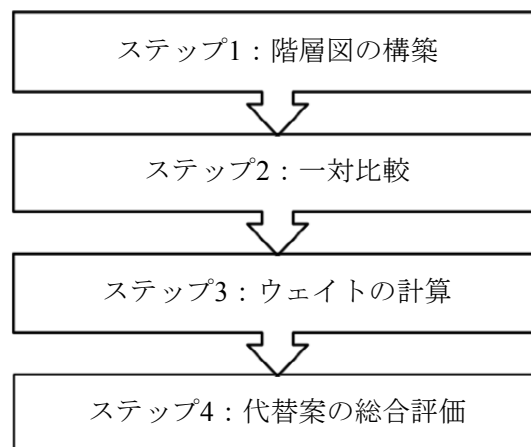


図 4.1 AHP の一般的な手順

ステップ 1 : [階層図の構築]

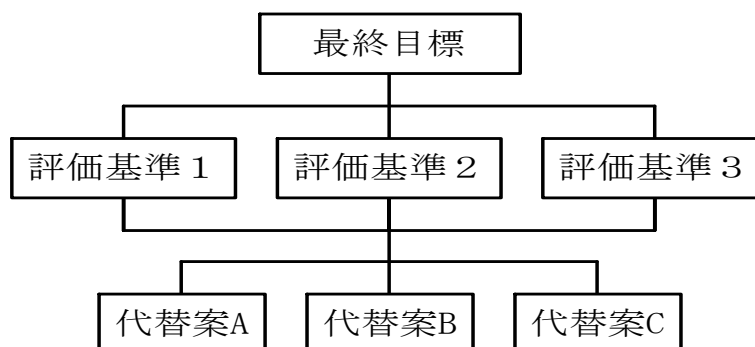


図 4.2 AHP の階層図

問題を明確にするための、一般的な 3 階層の AHP の階層図を図 4.2 に示す。対象とする問題の「最終目標」を達成するために、それぞれの「代替案」がある。その代替案を評価する基準として、幾つかの「評価基準」がある。なお、「評価基準」及び「代替案」に対して主観的な優劣を求めるためには一対比較を用いる。

ステップ 2 : [一対比較]

一対比較は、二つの項目の比較に対して、どちらをどの程度重要視するかを数値化したものである。図 4.2 に示す、評価基準や代替案を全てのペアについて一対比較を行う。

一対比較に用いる調査用紙の内容を表 4.1 に示す。

表 4.1 一対比較調査用紙の内容

	絶 対 的 に 重 要	か な り 重 要	重 要	若 干 重 要	同 じ く ら い 重 要	若 干 重 要	重 要	か な り 重 要	絶 対 的 に 重 要									
評価基準 1										評価基準 2								
評価基準 1										評価基準 3								
評価基準 2										評価基準 3								
	9	8	7	6	5	4	3	2	1	1/2	1/3	1/4	1/5	1/6	1/7	1/8	1/9	

一対比較における重要性尺度には、表 4.2 に示す 1~9 尺度が用いられる。また 2, 4, 6, 8 はその中間値に対応する。なお、表 4.1 に示すように、右の評価基準に対し左の評価基準が重要の場合は 1~9 を用いるが、左の評価基準に対し右の評価基準が重要の場合はその逆数を用いる。

表 4.2 重要性尺度と言語表現

重要性尺度	定義
1	同じくらい重要
3	若干重要
5	重要
7	かなり重要
9	絶対的に重要

表 4.1 に示す調査用紙を使って被験者から回答を得る。同様に、評価基準ごとに代替案の一対比較調査用紙を作成した。

ステップ 3 : [ウェイトの計算]

ウェイトは、評価基準と評価基準ごとの代替案の重要度を表す。被験者の主観判断（表 4.1 に示した一対比較アンケート調査）より、評価基準のウェイトと評価基準ごとの代替案のウェイトを計算する。ウェイトを計算する手法として、幾何平均法や固有ベクトル法などが提案されている[21]。なお、いずれも各要素のウェイトの合計は 1 になるように設定する。

ステップ 4 : [代替案の総合評価]

各代替案の総合評価値は (各評価基準のウェイト) × (各代替案のウェイト) の和であり、合計値は 1 になる。総合評価値により、最適な代替案を求める。

AHP の特徴としては

- ①人間がもっている主観や勘が反映される
- ②多くの目的を同時に考慮できる

などがある。

このように AHP では、人間の主観により各好み要素の重要度を一対比較アンケート調査によって数値化でき、さらに複数の好み要素を同時に考慮できることが考えられる。すなわち、本研究では、AHP 感性評価を用いて複数の好み要素を統合して経路探索に反映することを考える。その詳細を AHP の一般的な手順に従って説明する。

4.2.1 経路探索のための AHP 階層図の構築

ダイクストラ法の注目ノードごとに、次に進むべきリンク（以下、「次リンク」と呼ぶ）に対して AHP 感性評価によりその総合評価値を各次リンクの探索コストに変更する。なお、好み要素例 $x_1 \sim x_4$ の4つを使って説明する。

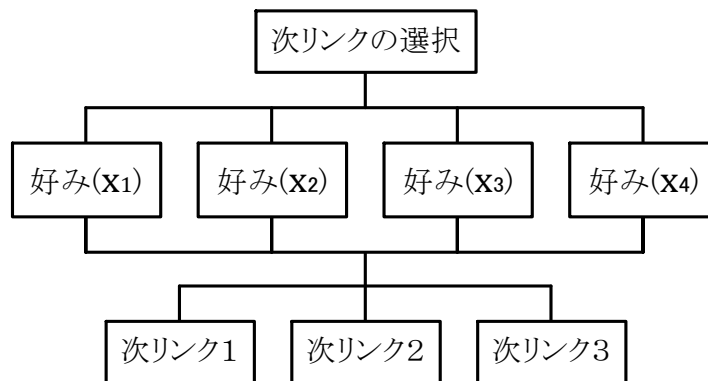


図 4.3 経路探索用 AHP 階層図

ダイクストラ法の各注目ノードにおいて、図 4.3 に示す4つの好み要素を評価基準として採用し、注目ノードとそれに繋がる次リンクを代替案として、各次リンクの総合評価を行う。なお、図 4.3 に示す次リンクが3つのパターンは、交差点が十字路の場合であり、実際の次リンク数は道路ネットワークにおける交差点形状により異なる。また好み要素の数としては9個（整合的な比較評価ができる心理学的な上限）以下が望ましいが、3個の場合は整合性を満たしやすいと言われている[25]。

4.2.2 一対比較による好み要素のウェイトの計算

作成した一対比較アンケート調査用紙を図 4.4 に示す。

	絶 対 的 に 重 要		か な り 重 要		重 要		若 干 重 要		同 じ ぐ ら い 重 要		若 干 重 要		重 要		か な り 重 要		絶 対 的 に 重 要
x_1							○										x_2
x_1					○												x_3
x_1			○														x_4
x_2							○										x_3
x_2					○												x_4
x_3							○										x_4
	9	8	7	6	5	4	3	2	1	1/2	1/3	1/4	1/5	1/6	1/7	1/8	1/9

図 4.4 好み一対比較アンケート調査用紙

図 4.4 に示すように、4 つの好み要素に対して一対比較を行う場合、6 つの組み合わせがある。この 6 つの組み合わせに対して、被験者の主観的な感覚により、好み要素間の優劣比較に対応する言語表現に○をつける。 x_1 が x_2 より若干重要な場合、図 4.4 の 1 行目のように、 x_1 が若干重要（「3」の位置）に○をつけ、逆の場合は x_2 が若干重要（「1/3」の位置）に○をつける。

$$\begin{matrix} & \begin{matrix} x_1 & x_2 & x_3 & x_4 \end{matrix} \\ \begin{matrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ x_4 \end{matrix} & \begin{bmatrix} 1 & 3 & 5 & 7 \\ 1/3 & 1 & 3 & 5 \\ 1/5 & 1/3 & 1 & 3 \\ 1/7 & 1/5 & 1/3 & 1 \end{bmatrix} \end{matrix}$$

図 4.5 一対比較行列

図 4.4 の結果から、図 4.5 に示す 4×4 の一対比較行列を構成する。図 4.4 の場合、 x_1 は x_2 より若干重要なので、図 4.5 の行列の 1 行 2 列の位置に 3 とし、2 行 1 列の位置にその逆数の 1/3 とする。

次に固有ベクトル法により各好み要素のウェイトを算出する。好み要素のウェイトの算出結果を表 4.3 に示す。

表 4.3 好み要素のウェイトの算出例

好み要素	x_1	x_2	x_3	x_4
ウェイト	0.565	0.262	0.118	0.055

なお、AHP の一対比較は人間の主観的な判断意識によるものであり、その評価指標として C.I.(Consistency Index、整合度) が良く使われている[16]。例えば、A, B, C という 3 つの評価基準があった場合、 $A>B$, $B>C$, $C>A$ という評価データでは、明らかに矛盾が生じている。一般的に、一対比較における回答者の判断はそれほど確固としていないため、一対比較の数が多くなるほど、不整合が生じ易くなる。そこで、C.I.により、このデータは整合がとれているかを判別する。その計算式を以下に示す。

$$C.I.=(\lambda_{\max}-n)/(n-1) \tag{4.1}$$

ここで、 n は各階層の要素の数であり、 λ_{\max} は行列の最大固有値である。一般的に、C.I. 値は小さいほど、一対比較の整合性が高いことを表し、経験的に $C.I.\leq 0.1\sim 0.15$ であれば一対比較は有効であるとなされている[26]。また、表 4.3 の結果の一対比較の整合度は $C.I.=0.039$ である。

4.2.3 次リンクの総合評価

(各好み要素のウェイト) × (次リンクの各好み要素の評価値 (以下、好み要素コストと呼ぶ)) の総和を求め、次リンクの総合評価値とする。そして、各次リンクの総合評価値を探索コストに変更し、終点までダイクストラ法による探索を行う。

4.2.4 AHP 感性評価を用いた総合評価

AHP 感性評価を用いた総合評価の流れを図 4.6 に示す。好みの一対比較を用いて、人間の主観評価により好み重要度を数値化し、複数好み要素を加重和により総合評価を行う。

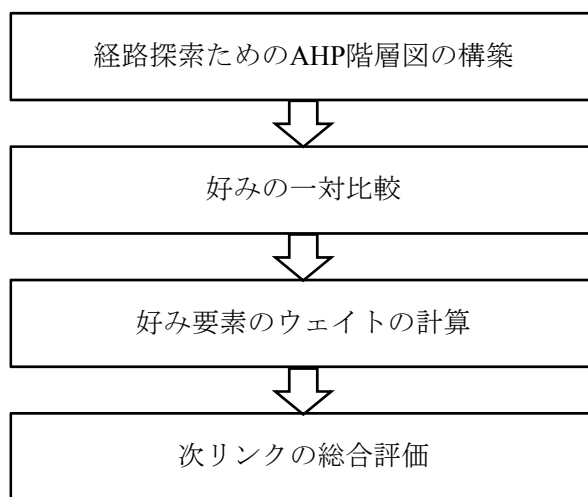


図 4.6 AHP 感性評価を用いた総合評価の流れ

AHP 感性評価による経路探索では、人間の主観感覚により好み要素のウェイトを求めたが、複数の好み要素を統合する際に用いる加重和では、人間の主観による曖昧さ及び好み要素間の相互作用が表現しきれないことがある。そこで、ファジィ AHP 手法を導入する。

4.3 ファジィ AHP を用いた最適経路探索

ファジィ AHP が提案されたのは 1992 年ごろである[22]。その当時は、階層的ファジィ積分 (HFI) と呼ばれたが、現在では、ファジィ AHP という呼び方が主流になっている。

ファジィ AHP は、一般的な AHP の総合評価値の加重和計算を、ファジィ積分に置き換え、非加法的な性質によって総合評価できる手法である。また、非加法的な性質はファジィ測度により表現される[16]。ファジィ AHP の概要について述べるが、一般的な AHP 手順と重複するため、ファジィ測度・ファジィ積分による総合評価計算のみを説明する。

まず、非加法的な性質を表現するファジィ測度について説明する。ファジィ測度は加法性を満たす通常の測度に対して、単調性を満たす非加法的集合関数である。本論文では、好みファジィ集合 A と B を統合するときに使われる λ -ファジィ測度[16]を用いて、以下に説明する。

集合関数 $g_\lambda: X \rightarrow [0, \infty)$ が $A \subset B \subset X \Rightarrow g_\lambda(A) \leq g_\lambda(B)$ かつ $g_\lambda(\emptyset) = 0$ のとき、 g を(単調)ファジィ測度と呼ぶ。

A と B が共通点をもたない、つまり $A \cap B = \emptyset$ のとき、

$$g_\lambda(A \cup B) = g_\lambda(A) + g_\lambda(B) + \lambda g_\lambda(A)g_\lambda(B), -1 < \lambda < \infty \quad (4.2)$$

を λ -ファジィ測度と呼ぶ。すなわち、パラメータ λ の値により、

$$\left. \begin{array}{l} \lambda > 0 \quad g_\lambda(A \cup B) > g_\lambda(A) + g_\lambda(B) \\ \lambda = 0 \quad g_\lambda(A \cup B) = g_\lambda(A) + g_\lambda(B) \\ \lambda < 0 \quad g_\lambda(A \cup B) < g_\lambda(A) + g_\lambda(B) \end{array} \right\} \quad (4.3)$$

となるため、 λ の値によって異なる性質をもつ。 $\lambda > 0$ の場合は、評価項目間のバランスを重視する評価であり、互いに不足しているところを補い、劣った点がないものを重視する。 $\lambda = 0$ の場合は、単純な加重和による評価となる。 $\lambda < 0$ の場合は、長所を重視する評価であり、どれか一つ優れた点があるものを重視する。以上のように、好み要素間の相互作用を考慮するため、好み要素のウェイトを λ -ファジィ測度の値により表現する。

次に、本研究における好み要素のようにウェイトの重み付けが非加法的な場合、各好み要素を統合して総合評価するために用いるファジィ積分について説明する。

ファジィ積分にはいくつかの手法が提唱されているが、代表的なものとして、菅野積分[23]とショケ(Choquet)積分[16]がある。これらの積分は同じ形式であり、使用する演算子のみが異なる。菅野積分の Min-Max 演算に対し、ショケ積分は和と積の演算を用いる。また、菅野積分の評価関数が $[0, 1]$ で有効であることに対し、ショケ積分は非負値に対して有効である[24]。ここでは、より広い値区間で評価できるショケ積分を採用する。ショケ積分について以下に説明する。

定義：

$$(C) \int h dg = h(x_n)g(H_n) + [h(x_{n-1}) - h(x_n)]g(H_{n-1}) + \cdots + [h(x_1) - h(x_2)]g(H_1) \quad (4.4)$$

を関数 $h(\cdot)$ のファジィ測度 $g(\cdot)$ によるショケ積分という。

ただし、 $H_1 = \{x_1\}$, $H_2 = \{x_1, x_2\}$, ..., $H_n = \{x_1, x_2, \dots, x_n\} = X$ とし、 $h(x_1) \geq h(x_2) \geq \cdots \geq h(x_{n-1}) \geq h(x_n)$ とする。

ショケ積分の計算例を図 4.7 に示す。図 4.7 の横軸はファジィ測度 g の値であり、好み要素集合のウェイトに対応する。縦軸は評価値 h の値であり、好み要素コストに対応する。図 4.7 のように、積み木のように評価値を積み、面積の合計を総合評価値とする (式(4.5))。

$$(C) \int hdg = h(x_4)g(x_1, x_2, x_3, x_4) + [h(x_3) - h(x_4)]g(x_1, x_2, x_3) \\ + [h(x_2) - h(x_3)]g(x_1, x_2) + [h(x_1) - h(x_2)]g(x_1) \quad (4.5)$$

ファジィAHPは、ファジィ測度を適用するもので、非加法的な加重和により、柔軟な評価が可能となる。

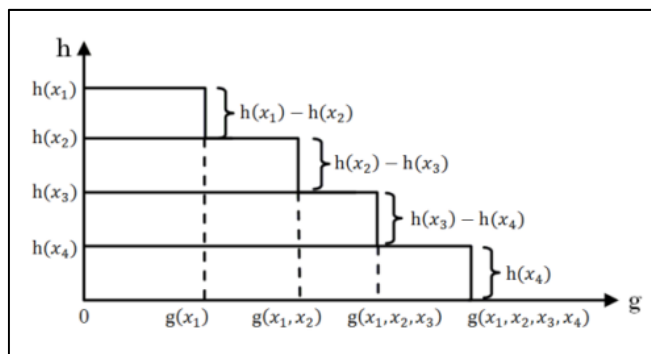


図 4.7 ショケ積分の計算例

4.3.1 ファジィ測度による好み表現

ファジィAHPの計算方法を説明する。なお、AHPの一対比較により好み要素のウェイトの計算までの処理は4.2節を参照されたい。また、4.2節と同様に、好み要素例 $x_1 \sim x_4$ の4つを使って説明する。

好み要素間の相互作用を考慮するため、好み要素のウェイトを λ -ファジィ測度の値により表現する。まず、4つの好み要素のウェイトは式(4.6)を満たす。

$$g_\lambda(X) = g_\lambda(\{x_1, x_2, x_3, x_4\}) = 1 \quad (4.6)$$

表 4.3 から、 $g(x_1) : g(x_2) : g(x_3) : g(x_4) = 0.565 : 0.262 : 0.118 : 0.055$ である。パラメータ $\lambda = 2$ として λ -ファジィ測度を求める場合、まず各 $g(x_i)$ に定数 c を掛けると、 $g(x_1) : g(x_2) : g(x_3) : g(x_4) = 0.565c : 0.262c : 0.118c : 0.055c$ となる。次に $g_\lambda(X) = 1$ を式(4.2)により展開すると c^4 をもつ方程式となる。この方程式を解くのは容易でないため、実用的には近似解を用いる[16]。この場合、近似的に解くと最終的に $c = 0.6814$ に収束する。この c の値を用いて、 λ -ファジィ測度を計算した結果を式(4.7)に示す。

$$\left. \begin{aligned} g(x_1) &= 0.385, g(x_2) = 0.179, g(x_3) = 0.080, g(x_4) = 0.038 \\ g(x_1, x_2) &= 0.702, g(x_1, x_3) = 0.626, g(x_1, x_4) = 0.452, \\ g(x_2, x_3) &= 0.288, g(x_2, x_4) = 0.230, g(x_3, x_4) = 0.124 \\ g(x_1, x_2, x_3) &= 0.895, g(x_1, x_2, x_4) = 0.792, \\ g(x_1, x_3, x_4) &= 0.605, g(x_2, x_3, x_4) = 0.347 \end{aligned} \right\} \quad (4.7)$$

結果から、例えばあるドライバの好み要素 x_1 のみを考えるウェイトは0.385である。好み要素 x_1 と x_2 を考えるウェイトは0.702であり、好み要素 x_1, x_2 と x_3 を考えるウェイトは0.895であることを表す。

4.3.2 ショケ積分による総合評価

ある注目ノードにおいて、4つの次リンクがあるとする。次リンクにおける各好み要素コスト（ショケ積分の評価値に対応）を表 4.4 に示す。なお、説明を容易にするため、100 を基準として正規化した値を用いる。

表 4.4 好み要素コスト例

好み要素	x_1	x_2	x_3	x_4
次リンク1	90	80	60	50
次リンク2	60	90	50	80
次リンク3	70	70	70	70
次リンク4	70	60	80	70

表 4.4 の各次リンクにおける各好み要素コストの平均(Mean)、加重平均(W-Mean)及び提案手法による計算結果を表 4.5 に示す。なお、加重平均は表 4.3 の好み要素のウェイトを用いて計算した。また、提案手法による計算には式(4.7)から得られる好み要素のウェイトをもとに、式(4.5)により求められる総合評価値を用いた。

表 4.5 次リンク評価結果

評価方法	Mean	W-Mean	提案($\lambda=2$)	提案($\lambda=-1$)
次リンク1	70	81.64	76.84	90
次リンク2	70	67.78	64.28	73.87
次リンク3	70	70	70	70
次リンク4	70	68.56	66.85	72.06

表 4.5 から、平均値を用いる評価ではすべての次リンクにおいて同じ評価値となるが、加重平均と提案手法では、次リンクごとに異なる評価値を得た。また、各好み要素コストがすべて同じである次リンク 3 では、各評価方法の結果は全て 70 となった。そして、 λ の設定により、各次リンクの評価順位が変わることがわかる。 $\lambda=2$ のときには、各好み要素間のバランスを重視し、次リンク 4 の評価値は次リンク 2 より高い。逆に $\lambda=-1$ のときには、優れた好み要素（長所）を重視し、次リンク 2 の評価値は次リンク 4 により高い。このことより、 λ の変化により次リンクの評価が変化し、 λ による多様な評価は人間の主観的評価にマッチすると考えられる。さらに、人間の主観的評価はその個性を表せるため、例えば、慎重的な人はさまざまな好み要素を総合的に考慮し、確実性を重視するので、 $\lambda > 0$ に対応する。逆に大胆な人は一つ優れた好み要素があれば、良いとすると考え、 $\lambda < 0$ に対応する。このように、 λ の調整により個人の個性への対応も可能ではないかと考える。ここで、次リンク 1 の提案手法による計算例($\lambda=2$)を式(4.8)に示し、その λ 値に対する総合評価値の変化を図 4.8 に示す。

$$(C) \int hdg = 50 \times 1.0 + (60 - 50) \times 0.895 + (80 - 60) \times 0.702 + (90 - 80) \times 0.385 = 76.84 \quad (4.8)$$

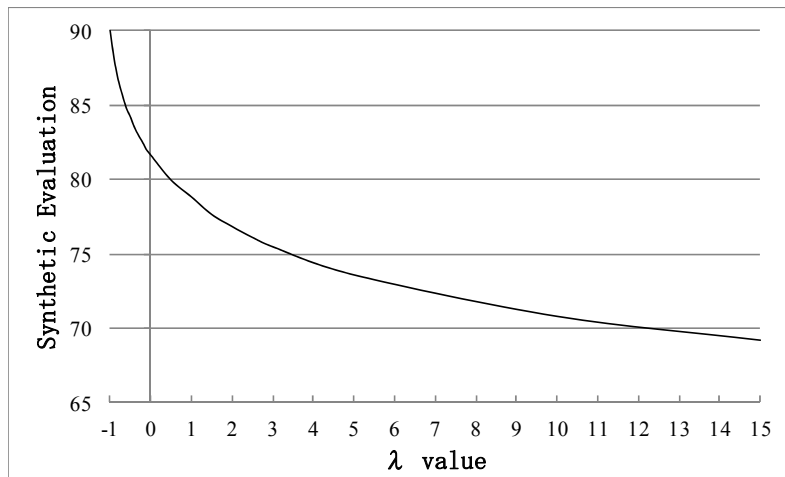


図 4.8 λ 値による総合評価値の変化

図4.8から、提案手法による総合評価値は λ 値により、 $90(\lambda=-1)$ から $69.2(\lambda=15)$ まで変化する。 λ が大きくなるほど、特定の好み要素のみを考えるウェイトが小さくなり、その影響が小さくなる。また、 $\lambda=0$ の場合は加重平均の81.64になり、平均から加重平均までの範囲すべて包含していることがわかる。提案手法の λ 値は $[-1, +\infty)$ の範囲で変化し、その変化が人間の主観の変化に対応できるため、より幅広く、柔軟的に表現できることがわかる。さらに、それぞれの人の λ が求めれば、それぞれの人の個性に対応する評価も可能になる。なお、 λ 値の決定方法については、ある範囲内で λ 値を変化して試す方法、あるいは被験者の主観により決定する方法[27]などがある。

4.3.3 ファジィ AHP を用いた総合評価

ファジィ AHP を用いた総合評価の流れを図 4.9 に示す。AHP の加重和に代わって、ファジィ測度によるショック積分を用いることにより、好みの曖昧さ及び好み要素間の相互作用を考慮することができる。

ダイクストラ法の注目ノードごとに、上述のファジィ AHP の総合評価値を探索コストにすることによって、経路探索に複数の好み要素を反映する。実際に経路探索する場合は、次リンクの各好み要素コストはネットワークの各リンクが持つ実データを用いる。そこで、それぞれの好み要素コストを同じスケールで統合するために正規化する必要がある。提案手法では、好み要素ごとに各次リンクの好み要素コストの総和が 1 になるように正規化する。そして、ダイクストラ法の注目ノードにおいて、全次リンクの好み実データの総和を求め、各次リンクが占める割合をコストにする。

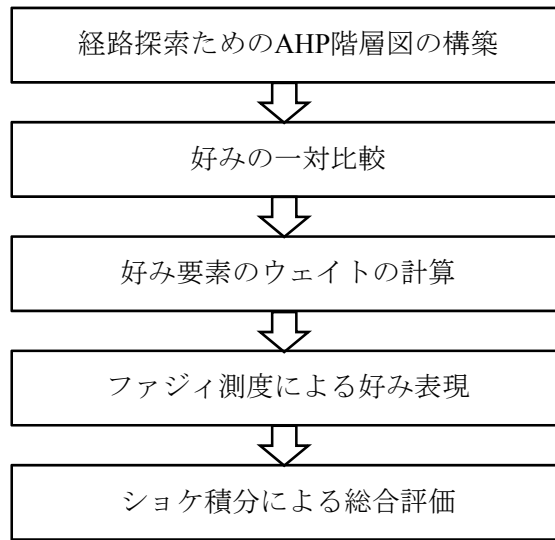


図 4.9 ファジィ AHP を用いた総合評価の流れ

4.4 提案する経路探索アルゴリズムの構成

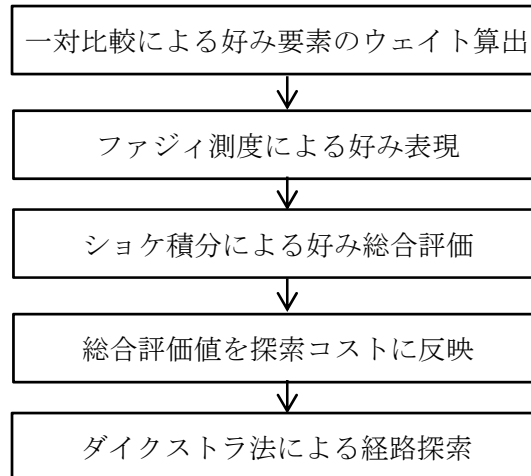


図 4.10 提案する経路探索アルゴリズムの構成

図 4.10 に、提案する経路探索アルゴリズムの構成を示す。提案アルゴリズムはダイクストラ法の注目ノードごとにファジィ AHP を用いて複数好み要素を総合評価することにより実現する。ショケ積分による好み総合評価に関して、探索コストの過小評価問題に対し、意味論評価水準について検討する。また、AHP 一対比較における重要性尺度に関して、好み要素のウェイトの過小評価問題に対し、近似尺度の導入について検討する。

4.5 ファジィ AHP の総合評価手法の検討

前節で示したファジィ AHP の総合評価手法を改善するため、本節では鈴木の意味論評価水準[29]を適用した手法[28]を述べる。

4.5.1 総合評価の問題点

ファジィ AHP を用いた経路探索は、ダイクストラ法の注目ノードごとにファジィ AHP の総合評価を行う。前節で示した手法では、道路ネットワークの構成により、隣接リンクの数が少ないとき、特に次リンクが1つしかない（以下、「一本道」と呼ぶ）場合、リンクの各好み要素コストの値が1になり、総合評価値も1になる。最小コスト経路を求めるダイクストラ法においては、その探索コストが小さくなる（一本道の場合は0になる）ため、探索コストが過小評価となる傾向がある。そこで、正規化基準を注目ノードごとではなく、全体的に統一するため、意味論評価水準を導入する。

4.5.2 意味論評価水準の検討

意味論評価水準は、認知科学や工学の分野における精神物理学の理論から導出されたものであり、評価水準を表現する形容詞的言語の意味論的な刺激は同一文化圏にいる我々にほぼ同様の刺激を与えられている。ここで、Weberの法則[29]から、形容詞的言語の刺激の増分 dy に対応する評価水準のウェイトの増分 dz に関する式を以下に示す。なお、 k は定数である。

$$\frac{dz}{z} = k dy = C, \quad k > 0 \quad (4.9)$$

本研究では、形容詞に表現される人間の好み感覚が一般に非線形的な特性を有すると考え、式(4.9)を適用する。これにより、例えば、好みである距離の感覚で、距離が短いと感度が高く、長いと感度は低く感じる特性を反映させて、前述の総合評価の問題点を改善する。従って、式(4.9)の一般解を意味する式(4.10)の重み増分式を適用する。

$$z(y) = \alpha \exp(\beta y) \quad (4.10)$$

ただし、 y : 好みの言語表現、 z : 好み言語表現のウェイト、 dy 、 dz : それぞれの微小増分、 α : 好み言語表現のウェイトの増分係数、 β : 好み言語表現の係数とする。ここで、係数 (α, β) に対して、鈴木[29]の事例が適用できると考え、ファジィ AHP の総合評価手法における過小評価問題を改善する。

文献[29]では、一般的に高い頻度で用いられると考えられる幾つかの形容詞対に対し、それぞれの3段階[(1.悪い, 2.普通, 3.良い)]と、5段階[(1.とても悪い, 2.悪い, 3.普通, 4.良い, 5.とても良い)]により評価水準ウェイトの理論的な結果及び計算式を検討している。

ここで、計算式は実際のアンケート調査の値に対応する理論的近似式であり、言語表現に用いた形容詞の値により、対応するウェイト値が算出できる。

好み要素コストは経路探索用好みパラメータの設定により、様々な好み要素コストをリンクごとに求めたデータである。4.2 と同じ好み要素例の 4 つを用いて、正規化処理を説明する。なお、道路ネットワークは表 2.3 の千葉市のデータを用いる。まず、各好み要素コストの取り得る範囲を以下に示す。

- ・ 「距離」：リンクの長さ範囲は[6, 255]である。なお、単位は描画時のドットであり、1 ドットは約 3.3m である。
- ・ 「信号」：全 1,190 ノードに 42 個の信号機があり、信号の範囲は[0：無し/1：有り]である。
- ・ 「幅員」：ランク分けのランク値を用いるため、範囲は[2, 3, 4]の 3 つである。
- ・ 「直進」：全 1,190 ノードの隣接リンクの交角データ計 7,197 個があり、範囲は[0, 180]の角度データである。なお、U ターンと一方通行を除いた。

各好み要素コストの値は取り得る範囲が異なるため、複数好み要素を統合するためには、同じスケールに正規化する必要がある。そこで、全体的な正規化基準として、意味論評価水準の設定ウェイトを利用する。

各好み要素コストを地図範囲に正規化基準を設定する。具体的には、それぞれの好みの実データに相応する言語表現に分類し、言語表現に対応する設定ウェイトを直接付与する。詳細を以下に示す。

「距離」：距離が短いほうが良いと考え、「悪い—良い」の言語表現を用いる。そして、距離の取りうる範囲が大きいため、5 段階設定ウェイトを用いる。全 3,472 リンクを長さでソートした距離分布図を図 4.11 に示す。

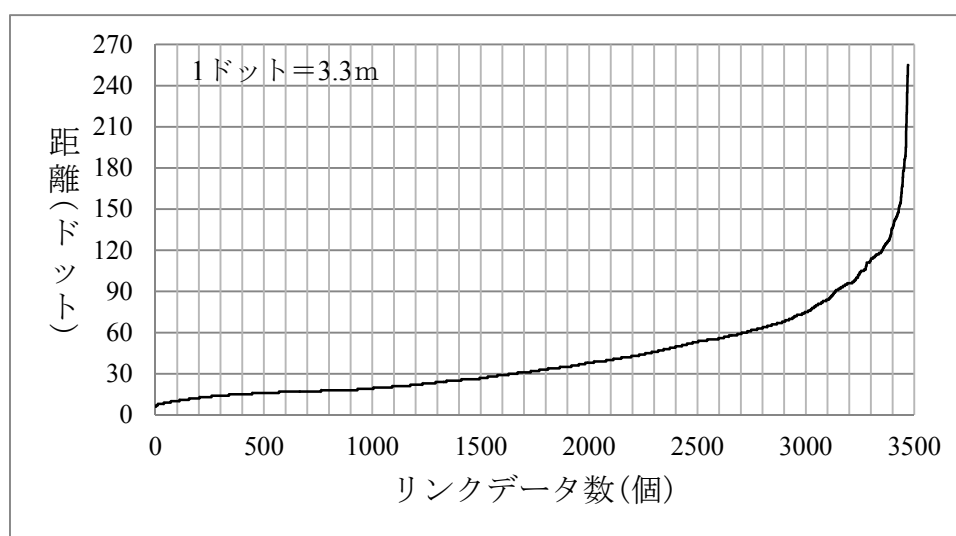


図 4.11 リンクの距離分布図

このリンクの長さを用いて、「とても悪い—とても良い」に対応する5段階設定ウェイトを付与した。リンクの距離分類とウェイトの付与を表4.6に示す。例えば、全リンクの約5割の長さが30未満であり、0.5152を付与する。なお、 z は文献[29]の計算式による。

表 4.6 距離分類とウェイト付与

長さ(ドット)	～30	31～60	61～90	90～120	120～
データ分類	とても短い	短い	普通	長い	とても長い
言語表現(y)	とても良い(5)	良い(4)	普通(3)	悪い(2)	とても悪い(1)
ウェイト(z)	0.5152	0.2584	0.1296	0.0650	0.0326
計算式	$z=0.0163 \exp(0.6901 y)$				

「信号」：信号の無い交差点は、待ち時間がなく通過できるため、運転速度が速いと考えられる。信号は、有り無しとの2種類で、「遅い—速い」の言語表現を用いるが、ウェイトは同ネットワークにおける被験者の信号好み要素のウェイトを利用して設定する。信号好み要素のウェイトは0.1515であり（5章の実験に詳細を述べる）、主観ではあまり気にしないことから、信号による「遅い—速い」の差が小さい。そこで、0.1515をその差とし、「遅い—速い」の2段階ウェイトを作成し、その分類とウェイトの付与を表4.7に示す。

表 4.7 信号分類とウェイト付与

信号の有無	0	1
データ分類	無し	あり
言語表現	速い	遅い
ウェイト	0.5758	0.4242

「幅員」：道幅が広いほど、スピードが出しやすいと考えられる。そこで、幅員のランク値は道幅の広いほど小さい値にした。それに対し、「遅い—速い」の3段階設定ウェイトを用いる。その分類とウェイトの付与を表4.8に示す。なお、 z は文献[29]の計算式による。

表 4.8 幅員分類とウェイト付与

ランク値	2	3	4
データ分類	広い	普通	狭い
言語表現(y)	速い(3)	普通(2)	遅い(1)
ウェイト(z)	0.6888	0.2331	0.0789
計算式	$z=0.0267 \exp(1.0835 y)$		

「直進」: 交差点における右左折角度が小さいほど、直進性が高いと考えられる。そこで、直進性に対し、「とても低い—とても高い」の5段階設定ウェイトを用いる。「距離」と同じように、設定ウェイトにより、全7,197個の隣接リンクの交角データの分布から、分類とウェイトの付与を行う。角度データの分布を図4.12に示す。また、その分類及びウェイト付与を表4.9に示す。なお、 z は文献[29]の計算式による。

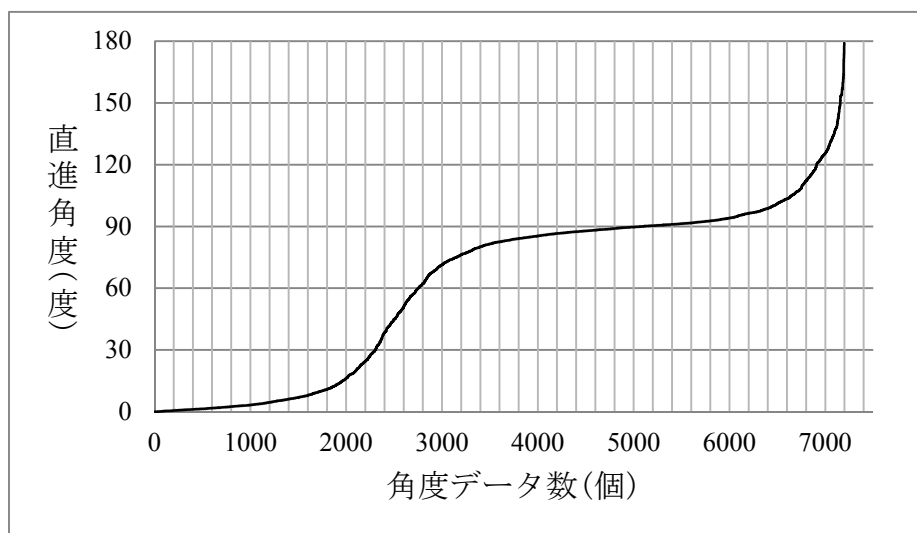


図 4.12 角度データ分布図

表 4.9 直進分類とウェイト付与

直進角度(度)	0~30	31~60	61~120	121~150	151~180
データ分類	とても小さい	小さい	普通	大きい	とても大きい
言語表現(y)	とても高い(5)	高い(4)	普通(3)	低い(2)	とても低い(1)
ウェイト(z)	0.5123	0.2592	0.1311	0.0663	0.0336
計算式	$z=0.0170 \exp(0.6814 y)$				

以上で説明したそれぞれの好み要素に対し、付与されたウェイトをそれぞれの好み要素コストとして用いる。言語表現の設定ウェイトを用いて複数好み要素を統合することにより、全体的な正規化を実現する。一方で、ダイクストラ法の注目ノードごとにおける正規化処理が要らず、経路探索処理の効率向上が考えられる。なお、意味論評価水準の設定ウェイトの計算式は実験対象の平均値の近似式である。本研究の目的として、ドライバ個々の好みを満たすため、個人ごとの評価水準ウェイトの計算が必要と考えている。

4.6 AHPにおける重要性尺度の検討

本節では、提案手法における好み一対比較重要性尺度の問題点を述べ、近似尺度の導入を検討する。

4.6.1 重要性尺度の問題点

提案手法の好み一対比較により求めた好み要素のウェイトから、被験者 1 の幅員ウェイトは 0.049 であり、幅員をほとんど重視しない結果となった（第 5 章を参照されたい）。しかし、被験者 1 の走行履歴結果から、ある程度幅員を重視する傾向が得られた。これは、AHP 一対比較による過小評価が原因であると考えられる。この問題を解決するために AHP における重要性尺度を検討する[30]。

重要性尺度は人間の判断意識を定量的に表現するものである。AHP における一対比較に用いる重要性尺度は、人間の主観を表すためのそれぞれの言語表現に対し、ウェイトを数値化計算するための値である。サーティ教授が最初に提案した尺度[21]は、1 から 9 までの数字を用いて、「同じくらい重要」から、「絶対的に重要」までの言語表現を表していた（表 4.1 を参照）。これは一般的に普通尺度あるいは 1~9 尺度と呼ばれている。

この重要性尺度は 1~9 尺度のほか、指数尺度[31]、分数尺度[32]や近似尺度[33]などが提案されている。それぞれの重要性尺度の関係式を表 4.10 にまとめる。本論文では、人間の一般的な判断意識の平均値曲線[33]に近づき、より人間の選好意識を適切に反映できる近似尺度の導入について検討を行った。

表 4.10 重要性尺度関係式

重要性尺度	関係式
1~9 尺度	K
指数尺度	$a^{(K-1)}$
分数尺度	$9/(10-K)$
近似尺度	$5.4/(6.4-K^{0.8})$
(K=1, 2, 3, ... 9)	

4.6.2 近似尺度導入の検討

文献[33]では人間自身の判断意識に基づき、「重要性程度間の関係に関する」判断意識を非線形計画モデルで表している。さらに、重要性尺度の評価範囲曲線が「人間の判断意識を総合的に反映する」とされ、その平均値曲線に基づいて近似尺度が求められる。

近似尺度は分数尺度に基づき、一般的な関係式によって、平均値曲線を近似する。その近似関係式を以下に示す。

$$F(K) = 1/(\alpha + \beta \cdot K^\gamma) \quad (4.11)$$

重要性尺度の特徴 (F(1)=1, F(9)=9) により、パラメータ α , β , γ には次のような関係式が成り立つ。

$$\alpha = \frac{P \cdot (9^\gamma - 1)}{P \cdot (9^\gamma - 1)} \quad (4.12)$$

$$\beta = \frac{1 - P}{P \cdot (9^\gamma - 1)} \quad (4.13)$$

すなわち、式(4.11)のパラメータ γ を含む近似関係式が次のようになる。

$$F(K, \gamma) = \frac{P \cdot (9^\gamma - 1)}{P \cdot 9^\gamma - 1 + (1 - P)K^\gamma} \quad (4.14)$$

パラメータ γ の変化により、その対応的な重要性尺度曲線が異なる。最小二乗法によって計算すると、平均値曲線に最も近い近似尺度の関係式は式(4.15)となる。

$$F(K) = 5.4 / (6.4 - K^{0.8}) \quad (4.15)$$

式(4.15)に $K=1$ から 9 の数字を代入すると、それぞれの言語表現に対応する近似尺度の値が求められる。近似尺度を計算した結果を表 4.11 に示す。なお、非線形計画モデルによって、重要性に関する判断意識の調査結果から、人間の判断意識に基づいた重要性尺度の評価範囲（上限、下限）曲線を求めることができる。平均値曲線は評価範囲の上、下限曲線に対応する幾何平均値曲線である。その詳細については、文献[33]を参照されたい。

表 4.11 に示した 1~9 尺度と近似尺度の曲線を図 4.13 に示す。点線の 1~9 尺度は線形的な尺度に対し、実線の近似尺度は指数関数の曲線で表されるため、より人間の判断意識を表現できる。

この近似尺度の値を用いて AHP の一対比較アンケート調査を行い、好み要素のウェイトを求める。そして、新たな好み要素のウェイトを用いて、提案手法によりドライバ最適経路を探索する。

表 4.11 近似尺度の計算結果

言語表現	1~9 尺度	近似尺度
同じくらい重要	1	1
その中間	2	1.159
若干重要	3	1.353
その中間	4	1.603
重要	5	1.945
その中間	6	2.447
かなり重要	7	3.259
その中間	8	4.813
絶対的に重要	9	8.993

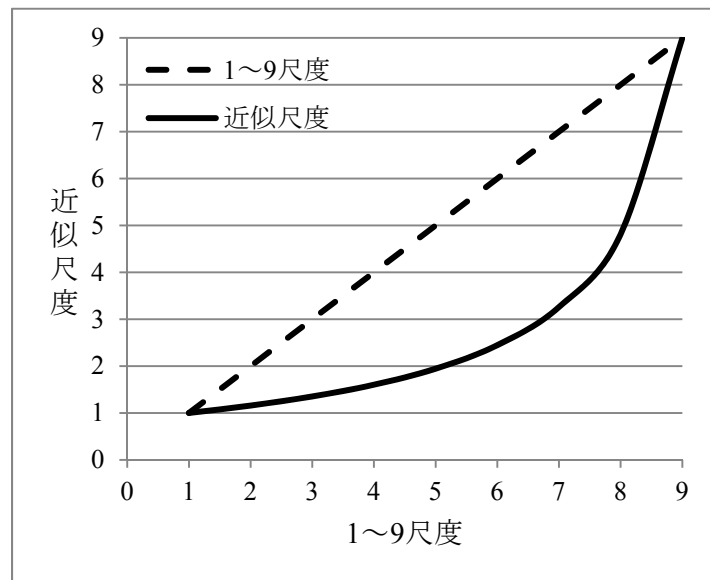


図 4.13 近似尺度の曲線

4.7 まとめ

本章では、本研究におけるファジィ AHP を用いた経路探索手法について述べた。複数の好み要素を統合して経路探索に反映するため、最初に着目したのは AHP 手法である。AHP 感性評価では、人間の主観感覚による好み要素のウェイトを数値化し、複数好み要素の統合にも有効であるが、単純な加重和であるため好みの曖昧さと好み要素間の相互作用を考慮していない。そこで、ファジィ AHP を用いた手法を提案した。さらに、ファジィ AHP の総合評価において、意味論評価水準を導入し、また、より人間の判断意識を総合的に反映するため、AHP 一対比較における重要性尺度に近似尺度の導入を検討した。

主な内容を以下にまとめる。

- (1) AHP 手法では人間のもっている主観や勘が反映され、多くの目的を同時に考慮できるため、AHP 感性評価を用いて複数の好みを統合して経路探索反映することを考えた。人間の主観により各好み要素の重要度を一対比較アンケート調査によって数値化し、さらに複数の好み要素を統合することができる。しかし、加重和を用いた総合評価では、人間の主観による曖昧さ及び好み要素間の相互作用が表現しきれない問題があることがわかった。
- (2) 好みの曖昧さ及び好み要素間の相互作用を考慮するため、非加法的な性質を表現できるファジィ AHP を用いて、ダイクストラ法の注目ノードごとに複数の好み要素を統合して経路探索コストに反映する経路探索手法を提案した。提案手法によれば、 λ -ファジィ測度の λ 値の調整により、好みの曖昧さを柔軟に表現でき、人の個性への対応可能性がある。
- (3) ファジィ AHP の総合評価により、分岐リンクが少ない場合に、次リンクの探索コストが過小評価され、経路探索結果が遠回りとなる可能性が高いという問題があり、これに対して意味論評価水準の導入を検討した。本手法では、ダイクストラ法の注目ノードごとの正規化処理が不要となるため、経路探索の効率向上も期待できる。
- (4) 好みの一対比較により、好み要素のウェイトが過小評価される問題があり、これに対して人間の判断意識を総合的に反映するため、一般的な 1~9 尺度の代わりに近似尺度の導入を検討した。近似尺度は指数関数で表されるため、人間の判断意識に近づき、より細かく好みを表現できると考えられる。

第 5 章 提案手法による経路探索実験

5.1 はじめに

本章では、実験環境などを含めた諸実験条件を示し、提案手法による経路探索実験について述べる。まず、単一好み経路探索実験を行い、探索結果である経路の分析評価について述べる。次に第 4 章で述べた手法についての実験を行い、提案手法に基づく経路探索が有効であることを明らかにする。

5.2 実験の準備

表 5.1 実験条件

実験用ネットワーク	道路ネットワーク (計 3 つ)
好み要素	「距離」、「幅員」、「信号」、「直進」
PC スペック	CPU : Intel® Core(TM) i3 CPU 2.93GHz メモリ : 4.00GB OS : Windows 7 Professional 32 bit
経路探索アルゴリズム	ダイクストラ法
複数好み要素統合アルゴリズム	AHP 法、ファジィ AHP 法
比較経路種類	走行履歴、単一好み経路

表 5.1 に経路探索実験の条件を示す。実験用ネットワークには作成した 3 つの道路ネットワークを用いる。また、好みには静的な好み要素の 4 つを例として用いる。そして、複数好み要素の統合には AHP 並びにファジィ AHP を用いて実験する。評価に用いる経路（比較経路）には、被験者の走行履歴、及び各単一好み経路を用いる。

5.2.1 好みデータの相関分析

道路ネットワークにおける静的な情報である、「距離」、「幅員」、「信号」、「直進」の 4 つを例に説明する。「距離」（リンクの長さ）、「幅員」（リンクの道幅）、「信号」（信号の有無）はリンクごとに表現する。「直進」（交角あるいは右左折）は、隣接するリンクの交角で表現する。一方、ドライバの好みもある程度道路ネットワークに依存していると考えられる。その依存程度に関して、実際の地域の特徴に強く左右されているか、あるいは自分の主観に強く左右されているかを確認するため、好みデータの相関分析を行う。例えば、元の道路ネットワークにおける好み情報が強い相関を持っているとすれば、ドライバの経路選択

は地域の特徴に強く左右されることが考えられる。

相関分析は地図データと好みデータ間の相関係数により行う。本研究では、一般に用いられる相関係数のピアソンの積率相関係数[20]を用いる。ピアソンの積率相関係数を式(5.1)に示す。

$$r(x, y) = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}} \quad (5.1)$$

ピアソンの積率相関係数 $r(x, y)$ は、「変数 x と変数 y の共分散」と「それぞれの変数の標準偏差」から求められる。原則として、 $r(x, y)$ は区間 $[-1, 1]$ の実数値をとり、1に近いとき正の相関、 -1 に近いとき負の相関が強く、0に近いとき相関は弱い。また、一般的な相関係数 $r(x, y)$ の値と相関の強さの関係[18]を表 5.2 に示す。

表 5.2 相関係数の解釈[18]

相関係数の絶対値	解釈
0.0～0.2	ほとんど相関関係がない
0.2～0.4	やや相関関係がある
0.4～0.7	かなり相関関係がある
0.7～1.0	強い相関関係がある

相関係数 $r(x, y)$ を用いて、まず道路ネットワークにおける好みデータ間の相関について検討する。次に、道路ネットワーク上でそれぞれの経路から抽出した好みデータ間の相関を検討する。なお、この実験に用いた地図データは千葉県千葉市花見川区であり、ノード数 1,190、リンク数 3,472 である。

まず、道路ネットワークの各リンクにおける距離、幅員、信号間の相関係数を求める。さらに、各隣接リンクに対する距離、直進（隣接リンクの交角）、幅員、信号間の相関係数を求める。計算に用いるデータを以下に示す。

リンクにおける好みデータ：

距離：リンクの長さ

幅員：ランク値（値が小さいほど道幅が広い）

信号：有無情報（0 は信号無し、1 は信号あり）

隣接リンクにおける好みデータ：

距離：2 つリンクの長さ総和

直進：2 つリンクの交角（3 点座標による角度）

幅員：2 つリンクの幅員ランク値の平均

信号：2 つリンクの信号の総数

相関係数の算出結果をそれぞれ表 5.3 及び表 5.4 に示す。

表 5.3 リンクにおける好み間相関係数

好み	距離－幅員	距離－信号	幅員－信号
相関係数	-0.24	0.24	-0.29

表 5.3 から、全 3,472 リンクの好み相関係数の絶対値は 0.2～0.4 の間にあり、やや相関関係があることが分かった。リンクの距離が長いほど、幅員の道幅が広く、信号も少ない傾向がある。リンクの道幅が広いほど、信号が多い傾向がある。これは現実に沿った結果であると言える。

表 5.4 隣接リンクにおける好み間相関係数

好み	距離－幅員	距離－信号	幅員－信号
相関係数	-0.36	0.37	-0.41
好み	直進－距離	直進－幅員	直進－信号
相関係数	0	0	0

表 5.4 は、全 7,197 の隣接リンクの組み合わせに対し、好みデータ間相関係数を求めた結果である。なお、ここでの 7,197 個の組み合わせでは U ターン及び一方通行は除外した。結果から、表 5.3 とほぼ同じ傾向が得られたが、直進との相関関係がない（右左折かどうかは距離、幅員、信号と関係ない）ことも分かった。

次に、道路ネットワーク上で経路から抽出した好みデータ間の検討を行う。用いた経路は図 3.3 に示した被験者 1 の走行履歴計 11 経路である。なお、ここで用いる好みデータは 5.2.3 で説明する各経路評価用好みパラメータを用いる。経路における好みデータ間相関係数の算出結果を表 5.5 に示す。

表 5.5 経路ごとの好み相関係数

好み		直進			距離		幅員
		距離	幅員	信号	幅員	信号	信号
相関係数	履歴	0.56	0.27	0.40	0.91	0.85	0.88

表 5.5 から、以下のことが分かった。

- ・ 直進と、幅員及び信号の間の相関係数からは、強い相関が見られなかった。
- ・ 距離と幅員の上に強い相関が見られた。
- ・ 距離と信号、幅員と信号の上に強い相関が見られた。これは一般的に距離が長いほど信号数が多くなり、幅員の道幅広い道ほど信号が多く設置されているためと考えられる。

以上の結果から、距離、幅員、信号の 3 つ好みデータ間に強い相関が見られたが、直進とこれら 3 つ好みデータ間の相関はより弱いことも分かった。つまり、実際の経路の右左折回数は距離、幅員、信号とあまり関連していないことが確認できた。また、表 5.5 の結果から、経路ごとの直進以外の好みデータ間に強い相関があるため、経路から好みを抽出することは有効であると考えられる。

以上のように、道路ネットワークから抽出した好みデータ間にはある程度の相関があるとともに、ドライバが利用する経路から抽出した好みデータ間にはさらに強い相関があることを確認した。すなわち、好み要素間の相互作用が強く、経路探索時のリンクコストがドライバの好み要素の重視度との単純な加重和では済まないことを示唆している。

5.2.2 経路探索用好みパラメータの定義

ドライバの好みを経路探索に反映させるため、好みを数値化して探索コストに置き換える必要がある。そのため、経路探索に用いる好みパラメータを定義する。なお、道路ネットワークでは、リンクごとに探索コストを持つため、好みパラメータも同様にリンクごとに定義する。

「距離」：リンクの長さとする。

「幅員」：道路環境（幅員、車線数など）による道路ランクとし、各ランクに対応する値を用いる。

ランク A：高速道路・有料道路

ランク B：片側 2 車線以上

ランク C：幅員 3.6m 以上（中央線が有る）

ランク D：上記を満たさないもの

なお、実際の道路ネットワーク作成時には、Google Map のストリートビューを用いて目視によりランク分けを行った。

「信号」：リンクに信号機の有無とする。

「直進」：現在交差点の手前リンクを基準に、現在交差点と次リンクとの角度で表す。「直進」における角度の表現を図 5.1 に示す。

図 5.1 に示すように、角度は現在位置交差点を中心とする手前リンクと次リンク上の 3 点座標により計算する。なお、右左折を考慮して -180 度から 180 度の範囲に設定する。90 度の場合は一般的な十字路交差点の右折の場合であり、90 度以上の場合は急カーブを表現する。角度が正の場合は右折、負の場合は左折を示す。

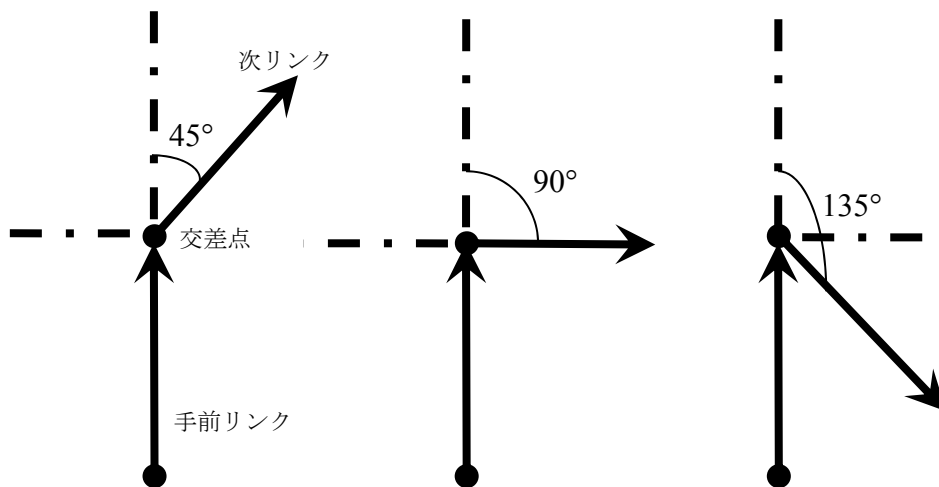


図 5.1 「直進」における角度の表現

実際の道路網においてドライバーが、どのぐらいの角度であれば、右左折として認識するのかわを確認するため表 5.6 に示す直進許容角度に関するアンケート調査を行った。

表 5.6 直進許容角度アンケート調査

質問	<p>ドライバーの直進許容角度について、一般的には十字路の右左折角度は 90 度であると考えられる。次に通るリンクと直前に通ったリンクの延長線の交角の角度を用いて、以下のどちらがあなたが認められる直進許容角度ですか？</p> <p>(0 から 15 度間隔に設定し、60 度まで)</p>
選択項目	<p>① 右左折 15°以上、減速無し、ハンドル微調整</p> <p>② 右左折 30°以上、減速無し、ハンドル調整</p> <p>③ 右左折 45°以上、減速あり、ハンドル調整 (小)</p> <p>④ 右左折 60°以上、減速 (大)、ハンドル調整 (大)</p>

140 名のデータを収集した。回答は①が 28 名、②が 53 名、③が 42 名、④が 17 名であった。結果から 30°が最も多く、本論文ではドライバーの直進許容角度を 30°に設定することとした。なお、140 名の年齢別は 20 代 38 名、30 代 73 名、50 代 17 名、未入力 12 名である。

5.2.3 経路評価用好みパラメータの定義

経路ごとの好みに強い相関があるため、経路ごとの好みパラメータ設定を行い、経路評価に用いる。「距離」、「幅員」、「信号」、「直進」の4つパラメータを以下のように定義する。

「距離」：始点から、終点までの経路を構成するリンク長の総和。

$$S_{\text{距離}} = \text{Dist} (km) \quad (5.2)$$

ここで、Dist は経路距離を表し、単位はキロメートル(km)である。

「幅員」：経路中の単位距離あたりの広い道の割合。なお、中央線のある道路はある程度の道幅が確保され、運転の初心者に対しても、容易にすれ違い可能なため、道路ランク中でランク C（中央線が有る道）以上は広い道とする。

$$S_{\text{幅員}} = \frac{\sum l}{\text{Dist} (km)} \quad \begin{cases} \text{ランク} < C \text{の時}, l = 0 \\ \text{ランク} \geq C \text{の時}, l = 1 \end{cases} \quad (5.3)$$

「信号」：始点を除く、経路中の単位距離当たりの信号機数。

$$S_{\text{信号}} = \frac{\sum s}{\text{Dist} (km)} \quad \begin{cases} \text{信号有り}, s = 1 \\ \text{信号無し}, s = 0 \end{cases} \quad (5.4)$$

「直進」：経路中の単位距離あたりの右左折回数。右左折の判別には隣接するリンクの角度を用いる。ただし、始点に繋がるリンクについては、他のパラメータとの整合から直進の0度とする。

$$S_{\text{直進}} = \frac{\sum t}{\text{Dist} (km)} \quad \begin{cases} \text{角度} > \theta \text{の時}, t = 1 \\ \text{角度} \leq \theta \text{の時}, t = 0 \end{cases} \quad (5.5)$$

なお、右左折の判別に用いる角度は、5.2.2 のアンケート調査結果から 30 度とする。

5.3 経路探索実験

本節ではドライバ最適経路について、単一好み経路、複数好み経路の探索実験及び探索結果を示す。

5.3.1 単一好み経路探索

単一好み経路探索実験は、表 2.3 の千葉市のデータを用い、被験者 1 の走行履歴に対応する経路を探索する。以下に、各単一好み経路について説明する。

「距離」経路：探索コストを距離にすることにより求められる。探索結果を図 5.2 に示す。なお、S は始点、 $G_i(i=1\sim 11)$ は各終点である（以下同様）。

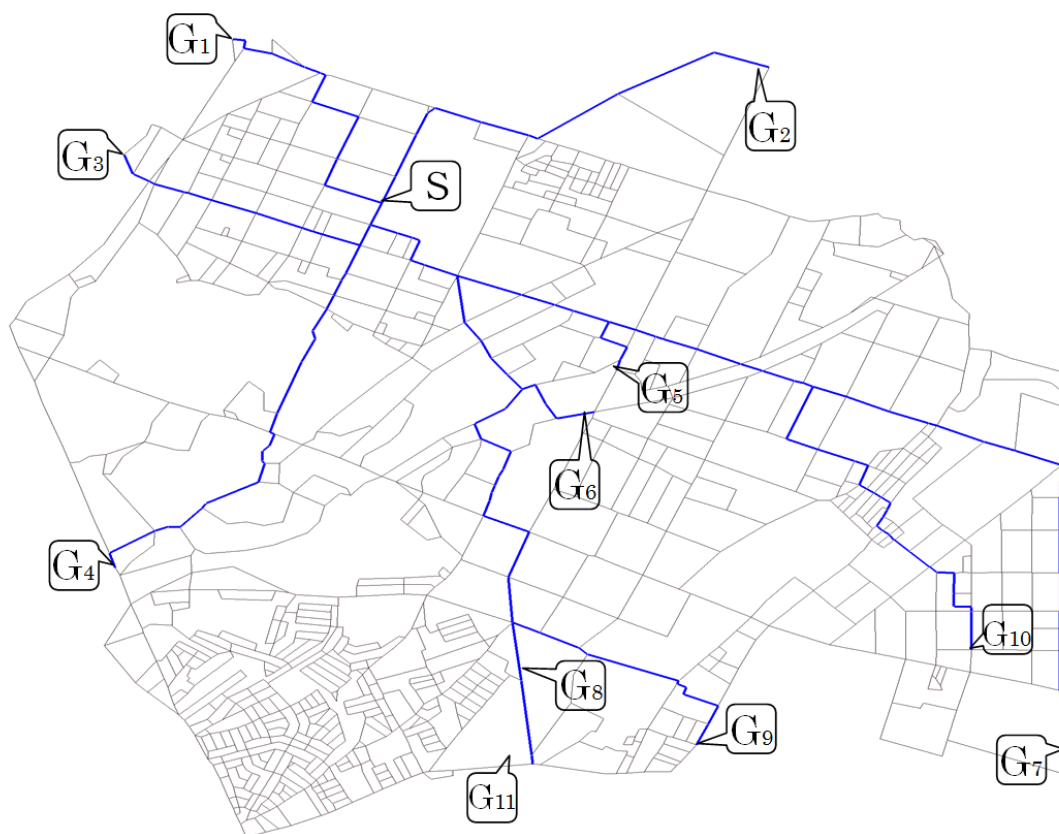


図 5.2 「距離」経路探索結果

「幅員」経路：幅員のランク分けに応じ、道幅が広いほど小さいランク値を与え、ランク値を探索コストにする。探索結果を図 5.3 に示す。

「信号」経路：信号機の有無を探索コストにする。信号機がないとき、探索コストを小さく設定することにより求める。探索結果を図 5.4 に示す。

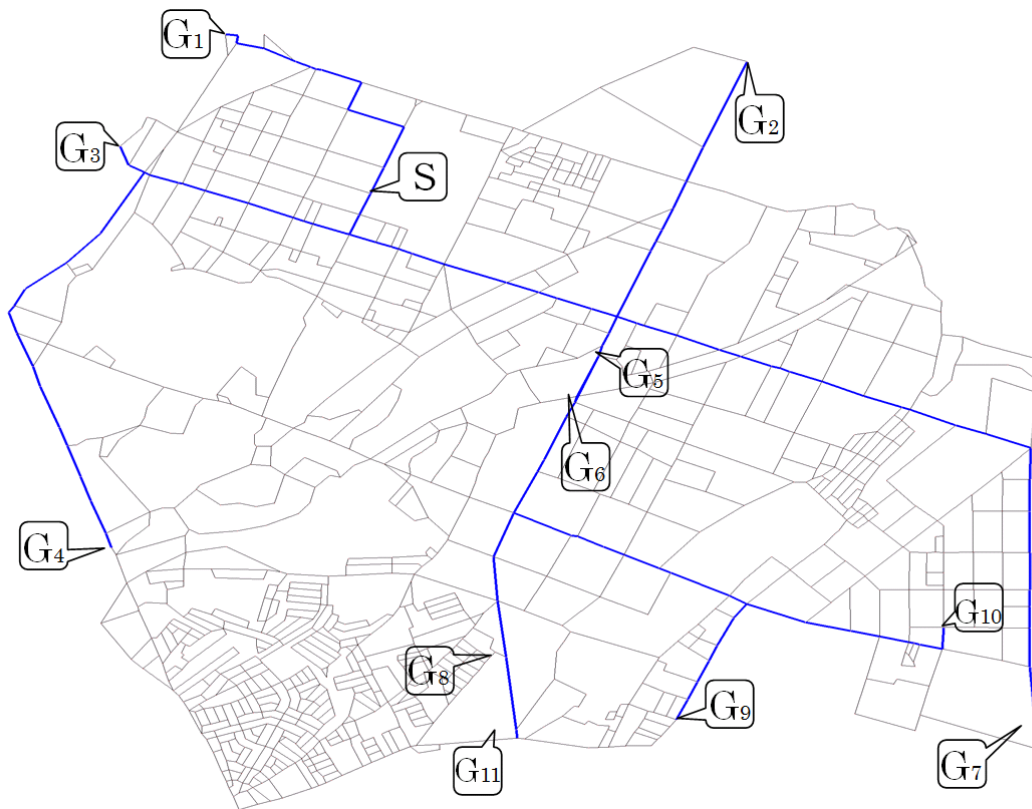


图 5.3 「幅員」 経路探索結果

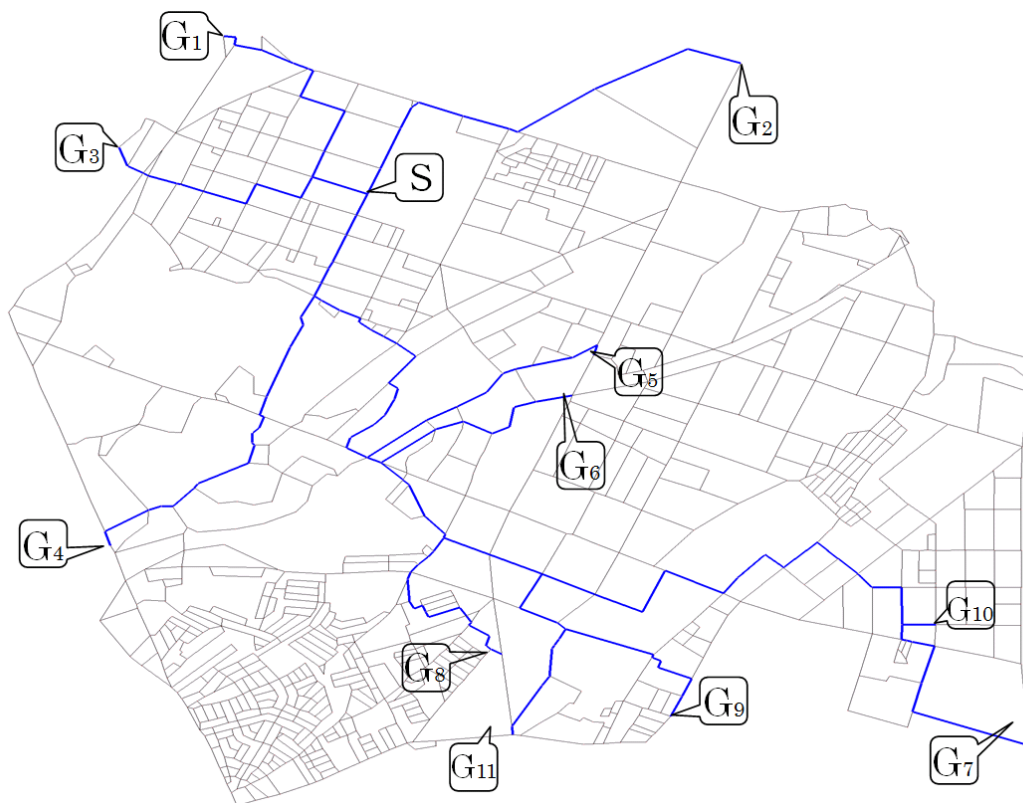


图 5.4 「信号」 経路探索結果

「直進」経路：ダイクストラ法の注目ノードごとに、次に進むリンクの角度により、探索コストを修正する。角度が 30° 以上のとき次リンクのコストを大きくする。なお、基本的に探索コストにはリンクの長さ（距離）を用いる。探索結果を図 5.5 に示す。

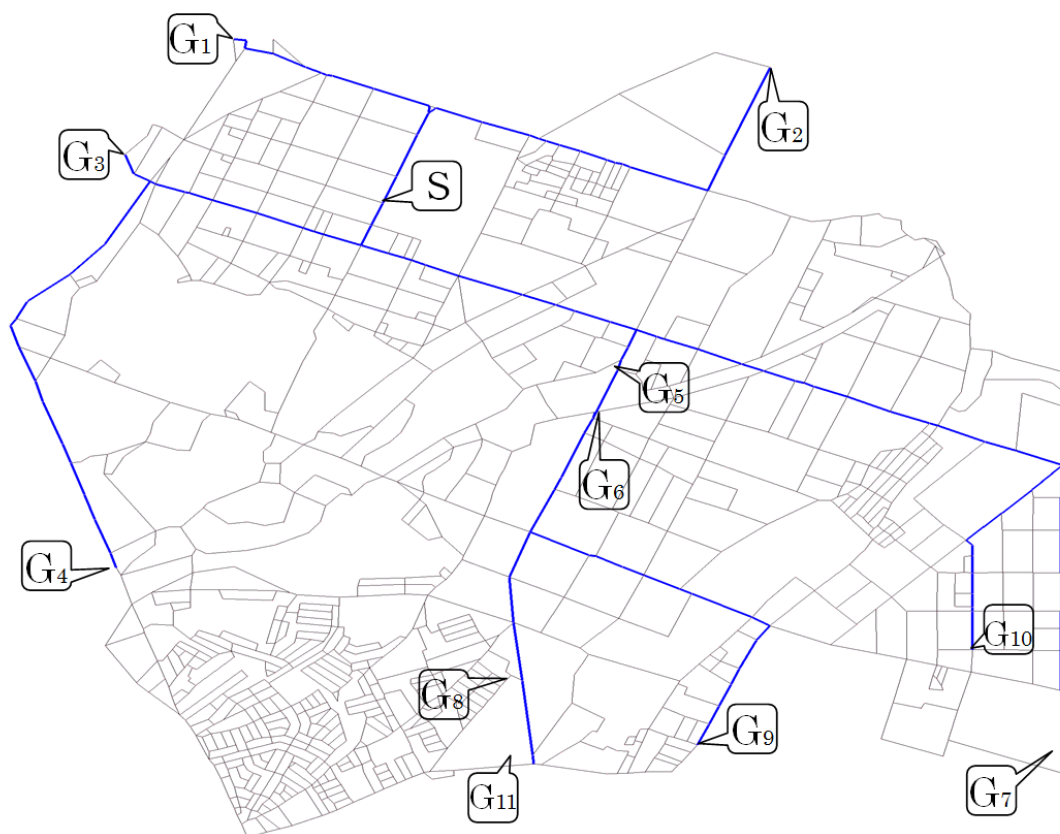


図 5.5 「直進」経路探索結果

図 5.2～5.5 のそれぞれは、最も距離の短い経路、最も幅員の広い経路、最も信号の少ない経路、そして最も直進の右左折回数少ない経路である。特に図 5.4 に示す「信号」経路は、信号機を避けるためにくねくねした経路の探索結果となった。

次に、求められた単一好み経路に対し、経路ごとに好み抽出して定量的な分析を行う。好み抽出の結果を図 5.6～5.9 に示す。なお、好み抽出には 5.2.3 に示す経路評価用好みパラメータを用いた。

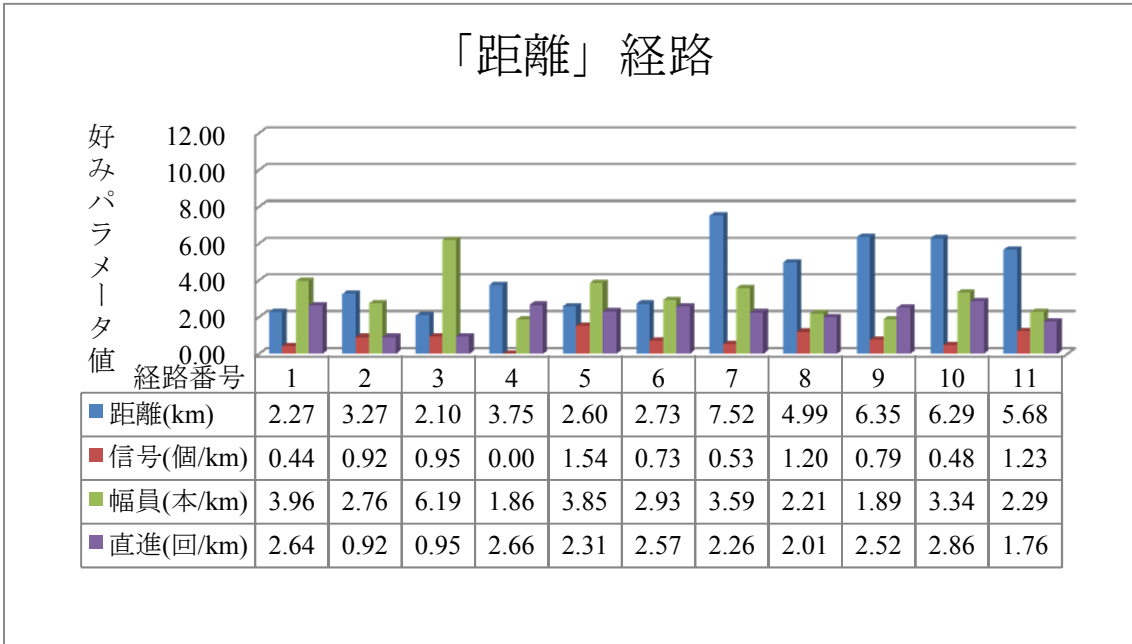


図 5.6 「距離」 経路の好み抽出結果

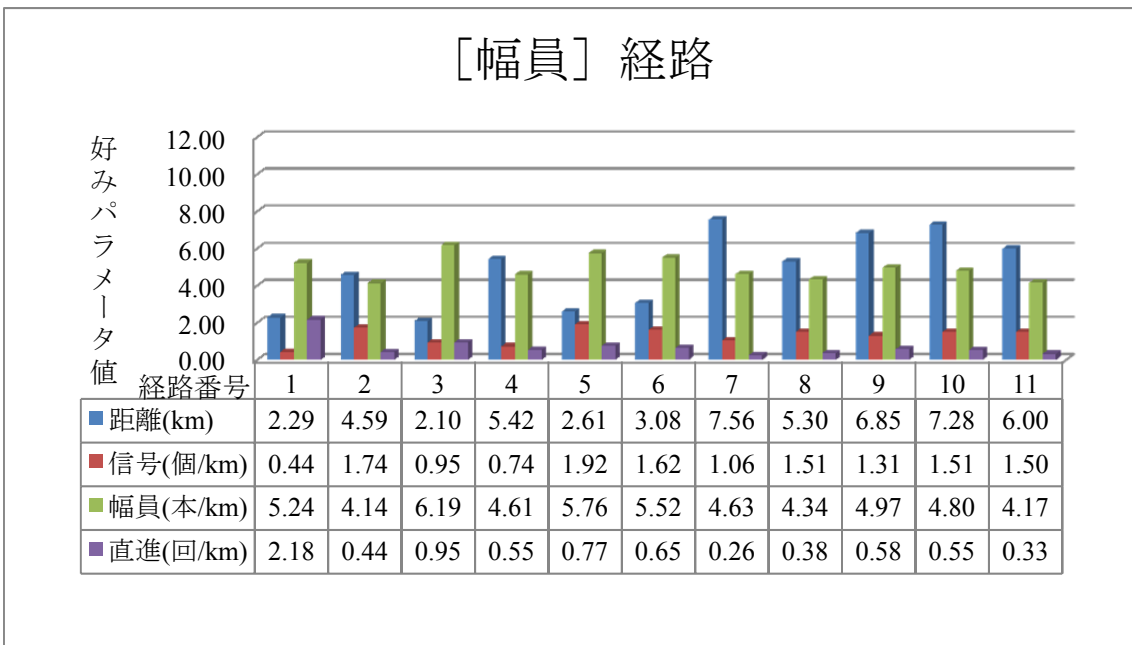


図 5.7 「幅員」 経路の好み抽出結果

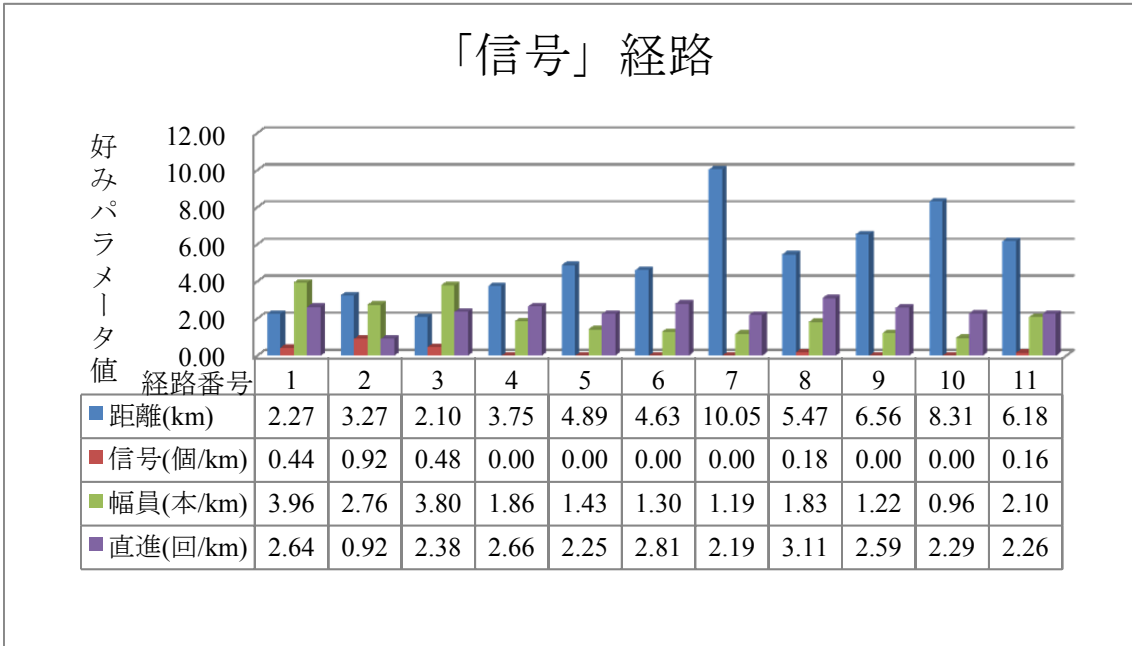


図 5.8 「信号」 経路の好み抽出結果

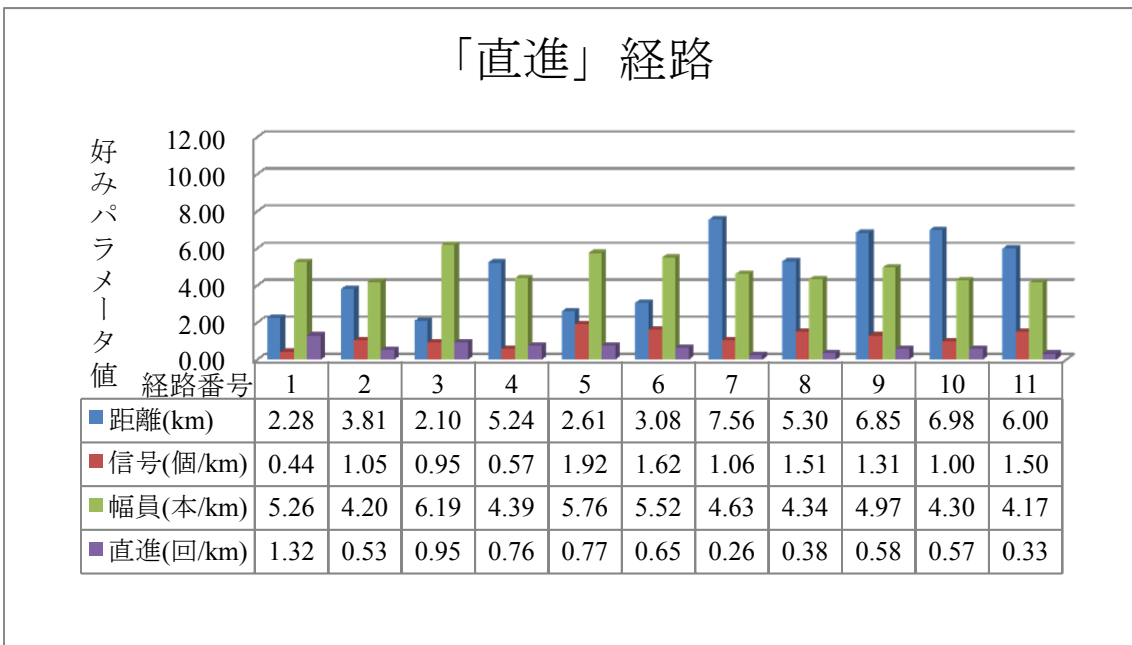


図 5.9 「直進」 経路の好み抽出結果

図 5.6～図 5.9 の好み抽出結果から、単一好み経路は好みを適切に反映していることが確認できる。「幅員」経路と「直進」経路は G_1 、 G_2 、 G_{10} 以外すべて同じである。一般に道幅が広い経路は主要道路など直進の場合が多く、逆に右左折が少ない経路は道幅が広いことが多いことによる。また、「信号」経路では、道幅の狭く右左折の多い従道路を通ることによって、距離も長くなることがある。

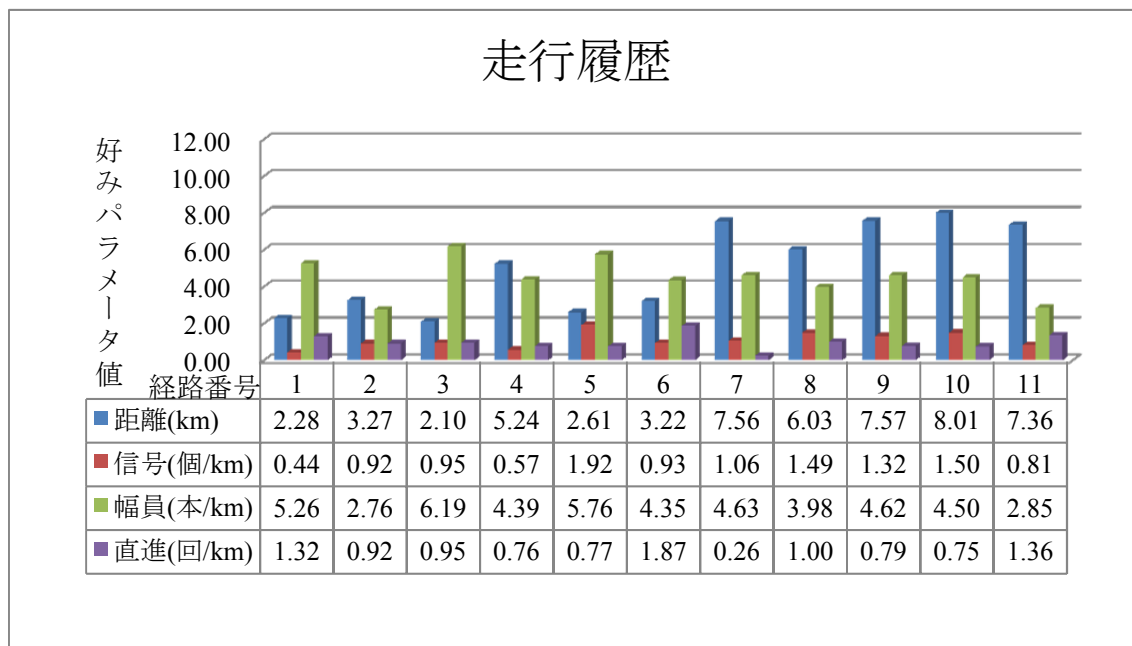


図 5.10 走行履歴の好み抽出結果

一方、被験者 1 の走行履歴から、好み抽出した結果を図 5.10 に示す。結果から、11 経路中、わずか一部の経路は単一好み経路と同じである (G_2 、 G_3 は「距離」経路と一致、 G_3 、 G_5 、 G_7 は「幅員」経路と一致、 G_2 は「信号」経路と一致、 G_1 、 G_3 、 G_5 、 G_7 は「直進」経路と一致)。言い換えると、このことは複数好み要素を考慮しており、単一好み経路ではドライバの好みを満足する経路を求めるのは難しいことを示している。

5.3.2 複数好み経路探索

本節では複数好み経路探索実験について述べる。本研究では、統合手法として、AHP、及びファジィ AHP を用いた手法に対する実験を行う。さらに、第 4 章で説明した提案手法の問題点に対し、意味論評価水準と近似尺度を導入した経路探索実験を述べる。なお、提案手法及び各手法の詳細は第 4 章を参照されたい。

5.3.2.1 AHP 感性評価を用いた最適経路探索

まず、図 4.3 と同じ経路探索 AHP 階層図を構築する。

次に、被験者 1 に対し好みの一対比較アンケート調査を行う。その結果を図 5.11 に示す。

	絶 対 的 に 重 要	か な り 重 要	重 要	若 干 重 要	同 じ ぐ ら い 重 要	若 干 重 要	重 要	か な り 重 要	絶 対 的 に 重 要									
距離		○								幅員								
距離			○							信号								
幅員								○		信号								
直進				○						信号								
距離				○						直進								
直進			○							幅員								
	9	8	7	6	5	4	3	2	1	1/2	1/3	1/4	1/5	1/6	1/7	1/8	1/9	

図 5.11 被験者 1 の好みアンケート調査結果

図 5.11 の結果から求めた各好み要素のウェイトの計算結果を表 5.7 に示す。

表 5.7 好み要素のウェイト計算結果

好み	距離	幅員	信号	直進
ウェイト	0.5474	0.0449	0.1515	0.2562

最後に、ダイクストラ法の注目ノードごとに、AHP による複数の好み要素を統合して総合評価値を求め、各次リンクの探索コストにして経路探索を行う。経路探索結果を図 5.12 に示す。

なお、リンクの総合評価値は「各好み要素のウェイト」×「各探索用好みパラメータ」の総和のため、直進（角度データの取り得る範囲が大きい）の影響が大きい。このため、各好み要素のスケールの正規化を検討する必要がある。

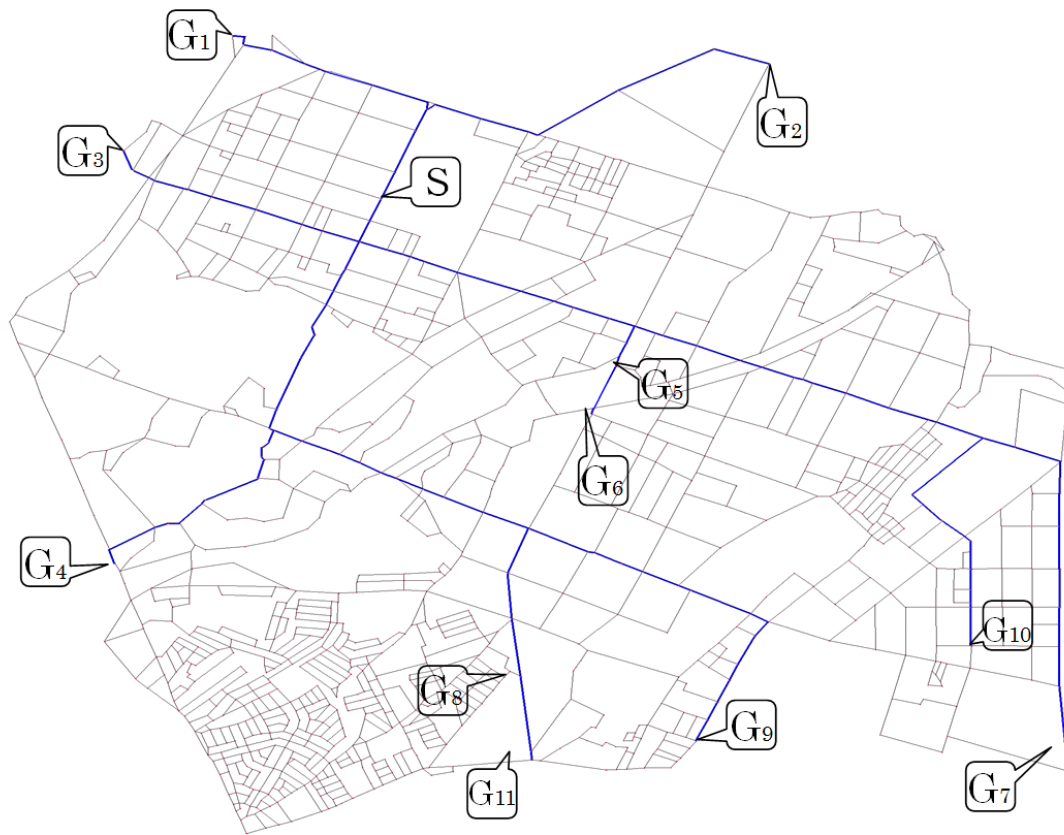


図 5.12 AHP 感性評価を用いた経路探索結果

図 5.12 の経路探索結果から、図 5.5 の「直進」経路探索結果と似ていることが分かった。それは、リンクの総合評価値の計算に直進の角度データの影響が大きいことが考えられる。また、走行履歴と比較すると、G₁、G₂、G₃、G₅、G₇への経路は一致した。G₄、G₈、G₉、G₁₁への経路は距離なども考慮したため、「距離」経路と同じように、G₄への経路にある細い道を選択した。すなわち、AHP 感性評価を用いた経路探索は複数好み要素を総合的に考慮していることを確認できた。

5.3.2.2 ファジィ AHP を用いた最適経路探索

まず、シンプルな模擬道路ネットワークを用いた実験により、提案手法の有効性を検証する。次に、4つの好み例を用いた経路探索実験を行う。

- ・ 模擬道路ネットワーク実験

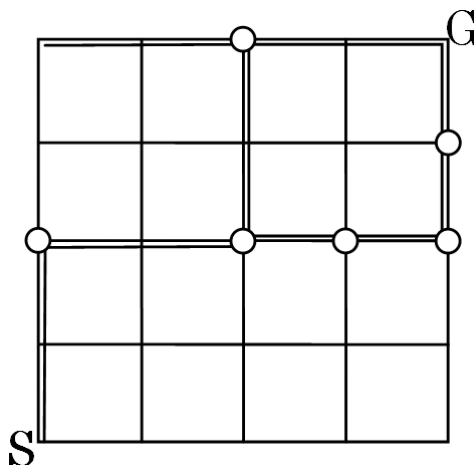


図 5.13 模擬道路ネットワーク

提案手法の有効性を検証するため、単純な模擬道路ネットワークを用いる。模擬道路ネットワークは格子状とし、図 5.13 に示す。○印は信号のある交差点を表し、二重線は道幅の広いリンクを表す。好み要素は、道路ネットワークから直接把握できる 4つ：「距離」、「幅員」、「信号」、「直進」とする。ここで、好み要素コストはリンクごとの設定とし、好み要素のウェイトを変化させ、提案手法が好みを反映した経路探索を行えているかを実験で検証する。実験条件を表 5.8 に示す。

表 5.8 実験条件

ネットワーク	ノード数：25 信号交差点数：6 リンク数：80 (広いリンク：28)
好み要素コスト	直進：右左折=1 直進=0.5 信号：あり=1 無し=0.5 幅員：狭い=1 広い=0.5 距離：全リンク=1
好み要素のウェイト表示	(直進, 幅員, 信号, 距離)

表 5.8 に示すように、格子状ネットワークのリンクの距離コストはすべて 1 に設定する。リンクの距離が同じであると、始点 S と終点 G 間には複数の「距離」経路が存在し、距離

以外の好み要素に対する検証が可能となる。ダイクストラ法は総コスト最小の経路を求め
 るため、各好み要素コストが小さいほど当該好み表現することになる。なお、各好み要
 素間の優劣がないように、コストのレンジを $[0, 1]$ とした。すなわち、「直進」コストの設
 定は隣接リンクの交角により、 90° の場合を右左折で1、 0° の場合を直進で0.5とする。Sに
 接続するリンクについては隣接リンクの交角により表現できないため、「直進」の0.5にし
 た。また、好みなしを意味する値0を除いて0.5と1に設定した。

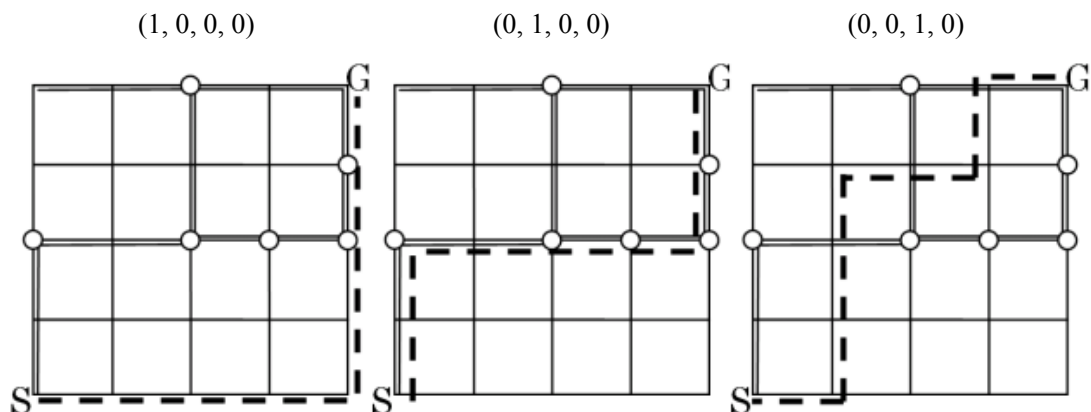


図 5.14 1つ好み要素に特化した経路探索結果

実験では、距離の影響を除くため距離の好み要素のウェイトを0にし、他の好み要素の
 ウェイトを変化させることとした。なお、好み要素のウェイト表示は、表 5.8 に示すよう
 に（直進、幅員、信号、距離）と表す。

1つ好み要素に特化した経路探索結果を図 5.14（点線）に示す。「直進」、「幅員」、「信号」
 のそれぞれ1つの好みに特化した経路探索では、それぞれ直進の多い経路、リンク幅の広
 い経路及び信号のない経路が求められた。これより1つの好み要素のみで求められた経路
 はそれぞれの好み特徴を再現しているといえる。

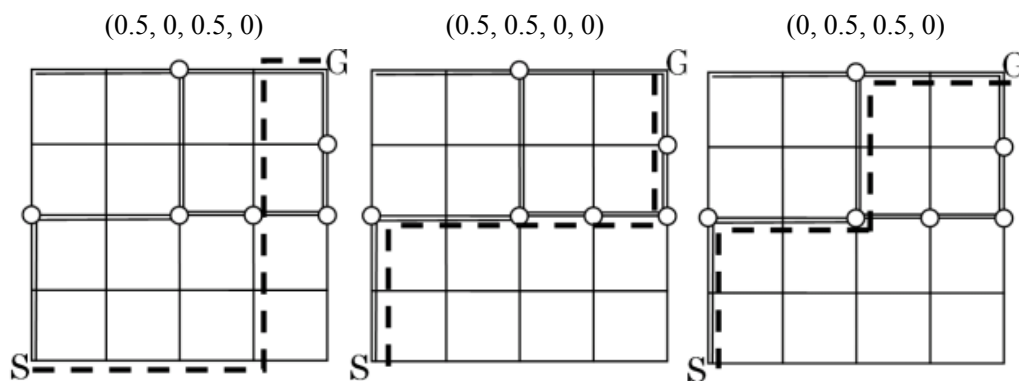


図 5.15 2つ好み要素を統合した経路探索結果例 ($\lambda=0$)

次に、2 つ好み要素を統合した経路探索例を図 5.15 (点線) に示す。「直進」と「信号」ウェイトが共に 0.5 のとき、直進が多くかつ信号の少ない経路が得られた。「直進」と「幅員」ウェイトが共に 0.5、そして「幅員」と「信号」ウェイトが共に 0.5 のときにも同様に、それぞれの特徴を表現する経路が得られた。すなわち、2 つ好み要素を統合した経路探索結果は、好み要素のウェイトの設定通りの好み特徴をもつ経路となった。なお、図 5.15 に示す経路探索結果は $\lambda=0$ として計算した。

そして、各好み要素間の相互作用を表す λ 値に関する実験を行った。いくつかの好み要素のウェイト値について、 λ を $[-1, 10]$ の範囲で 0.5 間隔に変えて経路探索実験を行ったが、ほとんど結果に変化はみられなかった。つまり、 $\lambda=0$ の場合の単純な加重和と同じ結果になった。これは模擬道路ネットワークにおけるリンクの好み要素コストの設定値 (0.5 又は 1) によると考えられる。なお、単純な加重和では表現できない例を図 5.16 に示す。

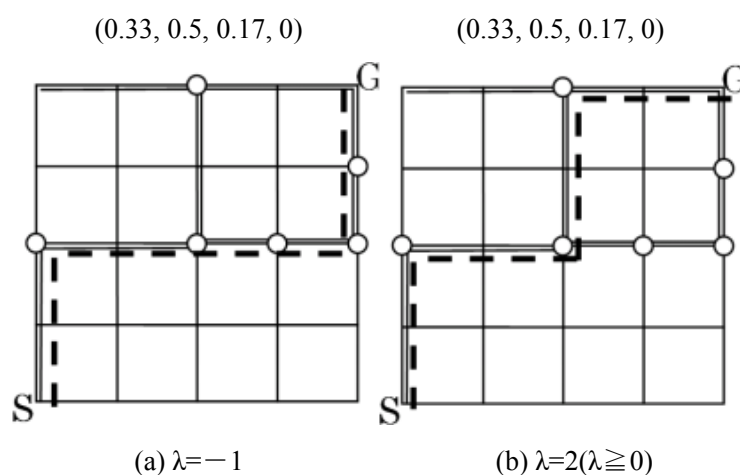


図 5.16 λ 値に対する経路探索結果の例

図 5.16 に示すように、好み要素のウェイト (直進, 幅員, 信号, 距離) を (0.33, 0.5, 0.17, 0) とし、 λ を 0.5 間隔で変化させた実験を行った結果、 $\lambda < 0$ の場合は図 5.16 (a)、 $\lambda > 0$ の場合は図 5.16 (b) と異なる結果が得られた。すなわち、 λ -ファジィ測度の λ 値により、 $\lambda < 0$ では優れた点である「幅員」ウェイトの 0.5 を重視し、 $\lambda > 0$ では各好み要素のバランスを重視することが分かった。このことから、提案手法は、好み要素のウェイトが同じであっても λ 値によって、主観の異なる個人への対応可能性が示唆される。そして、提案手法は単純な加重和を用いる関連研究よりも、幅広くかつ柔軟に評価できると考えられる。

・ 実道路ネットワークに対する実験

被験者 1 の好みアンケート調査結果 (図 5.11) から求められた表 5.7 の好み要素のウェイトを用いる。λ-ファジィ測度の λ 値については、被験者の選択傾向の調査から求める。これは文献[27]を参考にして、「総合」(すべての好み要素を重視する)と「特化」(1つの好み要素を重視する)のいずれをどのくらい重要視するかによって決めることとする。これを調査するための一対比較アンケート用紙を図 5.17 に示す。

	絶 対 的 に 重 要		か な り 重 要		重 要		若 干 重 要		同 じ ぐ ら い 重 要		若 干 重 要		重 要		か な り 重 要		絶 対 的 に 重 要	
総合																		特化
	9	8	7	6	5	4	3	2	1	1/2	1/3	1/4	1/5	1/6	1/7	1/8	1/9	

図 5.17 λ 値決定用一対比較アンケート用紙

また、一対比較アンケート調査結果により算出する。λ 値の計算式を式(5.6)に示す。

$$\lambda = \frac{\text{「総合」のウェイト}}{\text{「特化」のウェイト}} - 1 \quad (5.6)$$

被験者 1 は「特化」に対し、「総合」を「かなり重要」と選択し、式(5.6)より λ=6 と求められる。なお、「総合」のウェイトは「かなり重要」に対応する 7 を使い、「特化」のウェイトはデフォルトの 1 とする。λ=6 から、被験者 1 はすべての好み要素をバランスよく重視することが分かる。各好みに対する λ-ファジィ測度の計算結果を以下に示す。なお、括弧内の数字 1~4 はそれぞれ距離(1)、直進(2)、信号(3)及び幅員(4)に対応するものとする。また、計算の詳細は 4.3 節を参照されたい。

$$\begin{aligned} g(1) &= 0.2560, & g(2) &= 0.1198, & g(3) &= 0.0709, & g(4) &= 0.0210 \\ g(1,2) &= 0.5599, & g(1,3) &= 0.4357, & g(1,4) &= 0.3093, \\ g(2,3) &= 0.2416, & g(2,4) &= 0.1559, & g(3,4) &= 0.1008 \\ g(1,2,3) &= 0.8688, & g(1,2,4) &= 0.6515, & g(1,3,4) &= 0.5117, & g(2,3,4) &= 0.2931 \end{aligned}$$

上記の結果は、被験者 1 が距離のみを考えるウェイトは 0.2560、距離と直進を考えるウェイトは 0.5599、距離、直進及び信号を考えるウェイトは 0.8868 であることを示す。

以上の結果を用いて、ファジィ AHP を用いた経路探索結果を図 5.18 に示す。

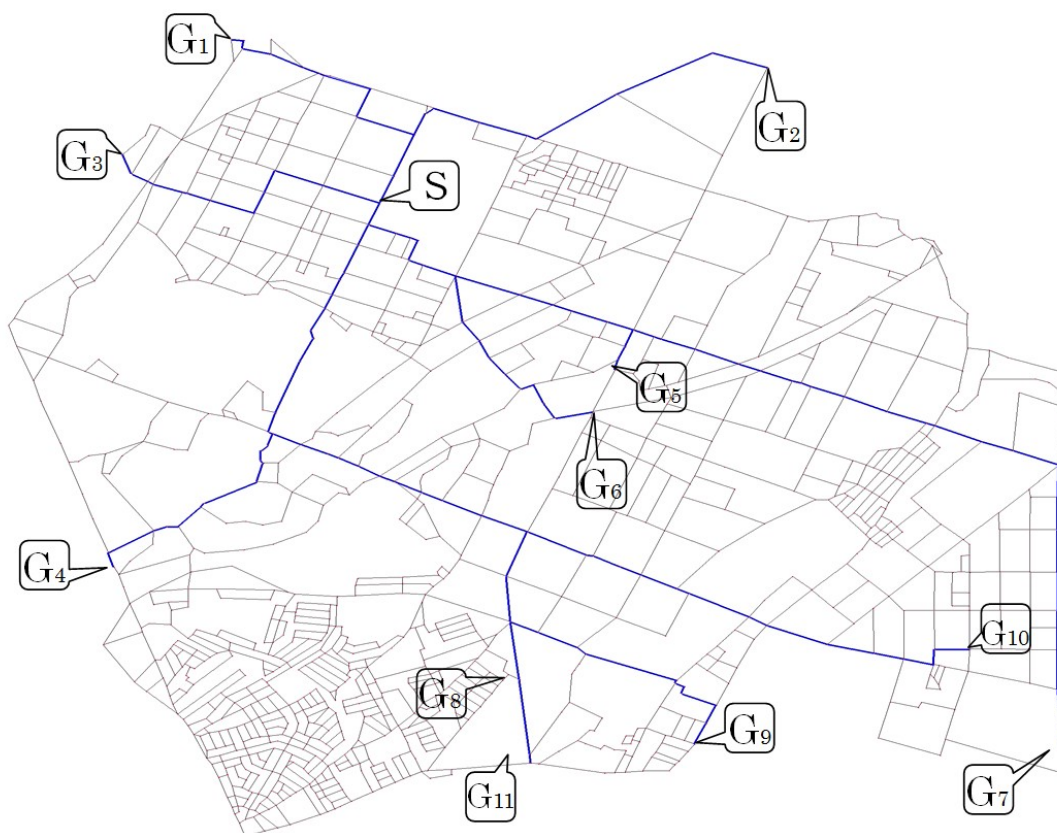


図 5.18 ファジィ AHP を用いた経路探索結果

図 5.12 の AHP による経路探索結果に比べ、図 5.18 のファジィ AHP による経路探索結果は、特に経路 G₅ と G₆ について、被験者の走行履歴に合うような大きく異なる経路になっている。すなわち、AHP の加重和を用いた統合に対し、ファジィ AHP による経路探索は λ -ファジィ測度による非加法的性質を用いたため、経路探索結果にもより細かく調整できることが確認できた。図 5.18 のファジィ AHP による経路から、好み抽出した結果を図 5.19 に示す。

ファジィAHP経路

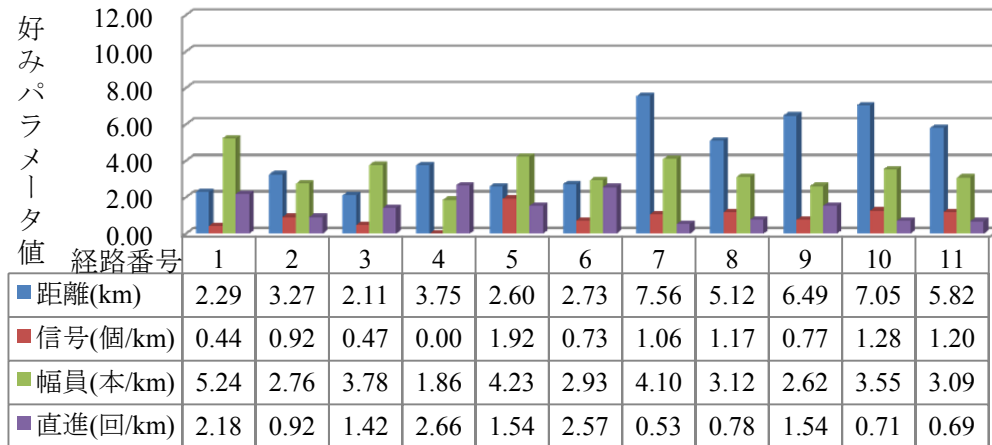


図 5.19 ファジィ AHP 経路の好み抽出結果 (被験者 1)

表 5.9 ユークリッド距離の比較

経路評価用好みパラメータ	直進	幅員	信号	距離
提案と履歴	2.611	4.823	1.098	2.779
最短と履歴	4.566	5.206	1.541	3.285
信号と履歴	5.006	9.106	3.516	4.292
幅員と履歴	2.006	2.323	1.287	2.287
直進と履歴	1.772	2.339	1.101	2.065

提案手法により求められた経路と、各比較経路及び走行履歴との類似度を求めた結果を表 5.9 に示す。なお、類似度には、各経路評価用好みパラメータについて、全 11 経路とのユークリッド距離を用いた。ユークリッド距離が 0 に近いほど類似することを示す。

表 5.9 の結果から、幅員と直進の単一好み経路は走行履歴とのユークリッド距離が小さいので、提案手法よりも走行履歴に類似していることがわかる。しかし、実際に地図上で経路を確認したところ、被験者 1 の走行履歴 (図 3.3 を参照) は地図中央にある国道 16 号線を避けるのに、幅員と直進の単一好み経路はそれぞれ 6 経路と 5 経路が国道 16 号線を選択している。提案手法は特に幅員のユークリッド距離が大きい、それは好みアンケート調

査により幅員ウェイトが 0.0449 で経路探索に幅員が重視されていないことによる。

また、提案手法による経路探索結果について、走行履歴に対応する被験者 1 にアンケート調査を行った。地図上に各始点と終点間の「距離」経路、走行履歴及び提案手法による経路を描き、さらに各種経路の各経路評価用好みパラメータ値も提示した。被験者は好みパラメータを参照しながら、地図上で経路を確認して総合評価を行う。評価基準としては、「1：とても不満、2：不満、3：普通、4：満足、5：とても満足」の 5 段階評価とし、さらに各提案手法に対するコメントも記入していただいた。被験者 1 による総合評価の結果を表 5.10 に示す。

表 5.10 総合評価結果（被験者 1）

経路番号	「距離」経路評価値	提案手法評価値
1	3	4
2	5	5
3	5	4
4	2	2
5	2	3
6	2	3
7	1	4
8	2	3
9	2	3
10	2	4
11	2	5

表 5.10 から、「距離」経路より、11 経路中 8 経路について提案手法が良く、その内 5 経路が満足以上となった。また、提案手法による経路に対するコメントから、「道幅を優先しているのが良い」、「信号機が少ない所が良い」、「すべての好み が考慮されている」などの良好な評価を得た。しかし、G₄ への経路に対しては、「道幅が狭すぎる」、G₉ への経路は「道幅、右左折が悪い」などのコメントがあった。

以上の結果から、提案手法による経路には、例として採用した複数好み要素を有効に統合して経路探索結果に反映したと言える。また、被験者 1 に対し、提案手法による経路は「距離」経路より良く、限られた好み情報であるが、走行履歴にある程度マッチした。

なお、好みアンケート調査での過小評価の問題を再検討する必要がある。そして、渋滞、交通量などのリアルタイム情報及び被験者に対する特有な好み（小学校のそばを通りたくない、右折より左折したいなど）に対する検討が今後の課題である。

次いで、被験者 2 と被験者 3 に対する実験を行う。それぞれの好み要素のウェイトの計算結果を表 5.11 と表 5.12 に示す。

表 5.11 好み要素のウェイト計算結果（被験者 2）

好み	距離	幅員	信号	直進
ウェイト	0.159	0.514	0.049	0.278

表 5.12 好み要素のウェイト計算結果（被験者 3）

好み	距離	幅員	信号	直進
ウェイト	0.175	0.2407	0.175	0.4093

被験者の選択傾向の対比較アンケート調査結果から、被験者 2 は「特化」に対し「総合」を「重要」と選択し、式(5.1)による計算から $\lambda=4$ と求められる。また、被験者 3 は「総合」に対し「特化」を「かなり重要」と選択し $\lambda=-0.857$ と求められる。被験者 2 と被験者 3 について、これらの λ 値を用いた経路探索結果を図 5.20 と図 5.21 に示す。

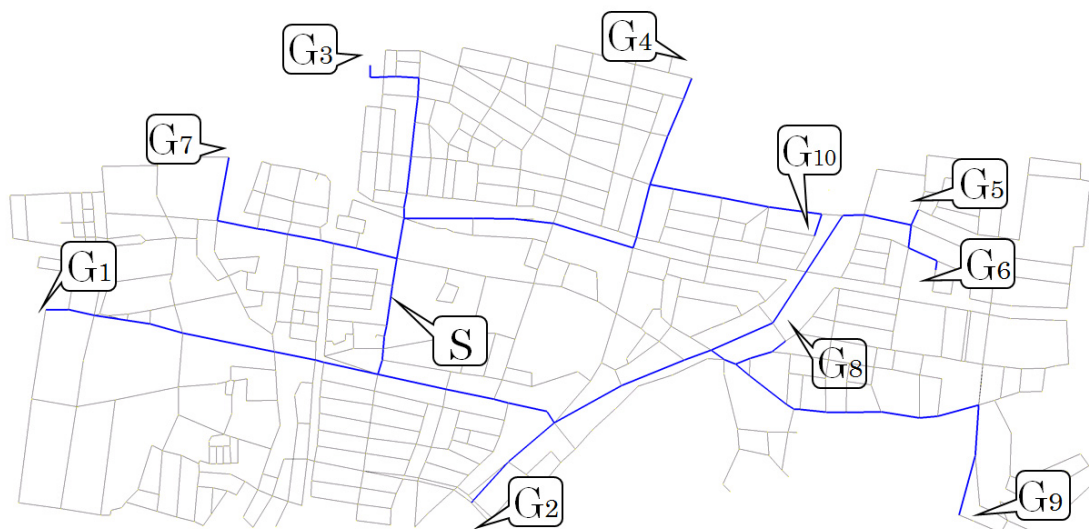


図 5.20 被験者 2 の経路探索結果

図 5.20 から、 G_5 、 G_6 への 2 経路については「幅員」、「直進」のほかに「距離」もある程度考慮し、 G_8 、 G_9 への 2 経路については「距離」のみではなく、「幅員」も考慮した経路と考えられる。すなわち、被験者 2 の好みに対応し、主に「幅員」、「直進」及び「距離」を考慮した結果が得られた。しかし、走行履歴で避けている国道合流点（図 3.5 を参照）について、経路探索の G_5 、 G_6 、 G_8 、 G_9 への 4 経路はいずれも避けていない。これは、本研究における経路探索では、このような状況を考慮していないためである。

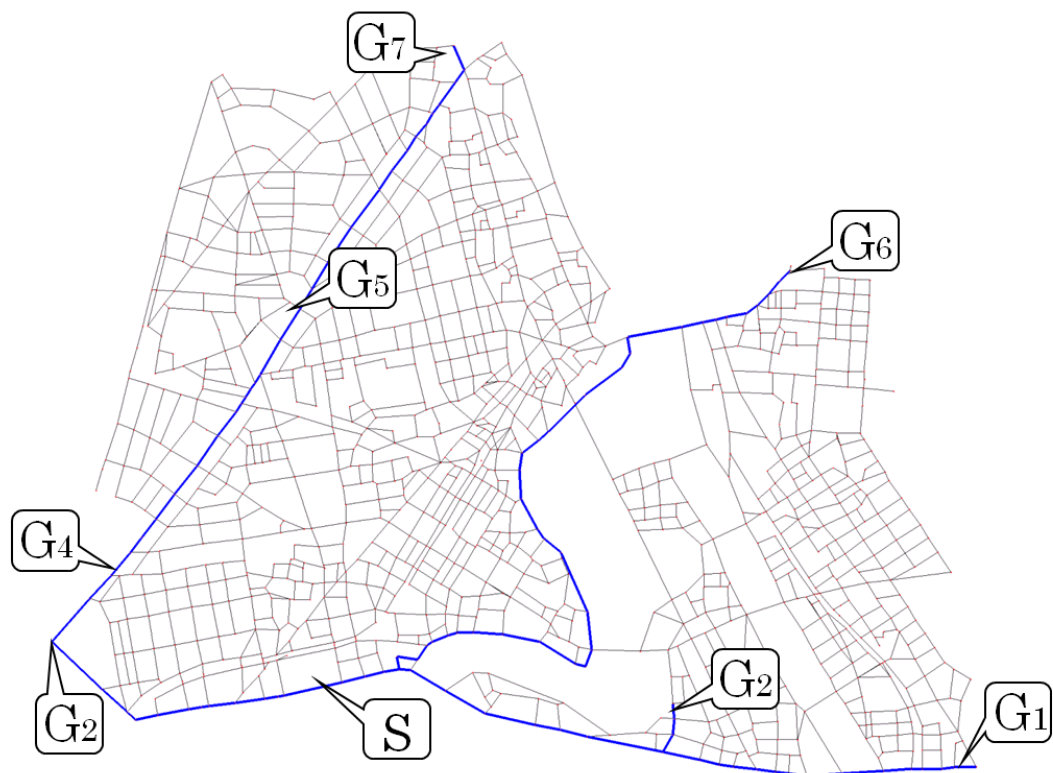


図 5.21 被験者 3 の経路探索結果

図 5.21 から、特に「直進」を中心とした経路が得られた。「幅員」もある程度考慮しているため主要道路を採用していることがわかり、被験者 3 の結果は概ね好みに応じた結果が得られた。なお、S から G₂ の間にある渋滞箇所（図 3.7 を参照）は避けていないが、経路探索実験に渋滞は考慮していないことによる。また、G₆ への経路は川沿いで緩やかなカーブが、角度が小さいため直進とみなされている。

以上、模擬道路ネットワーク及び実道路ネットワークを用いた実験結果から、ファジィ AHP を用いた提案手法は複数好み要素の統合手法として有効であると考えられる。一方、実道路ネットワークによる実験では、4 つの好み例と被験者 3 名とデータが少ないため、今後データを増やして実験する必要がある。

5.3.2.3 ファジィ AHP の総合評価に意味論評価水準を用いた場合

4.5 で述べたように、「距離」、「信号」、「幅員」、「直進」の 4 つ好みに対し、意味論評価水準の結果を用いてウェイトの付与を行う。実験対象は被験者 1 である。ファジィ AHP 手法による経路探索結果を図 5.22 に示す。探索結果から、経路ごとに好み抽出した結果を図 5.23 に示す。

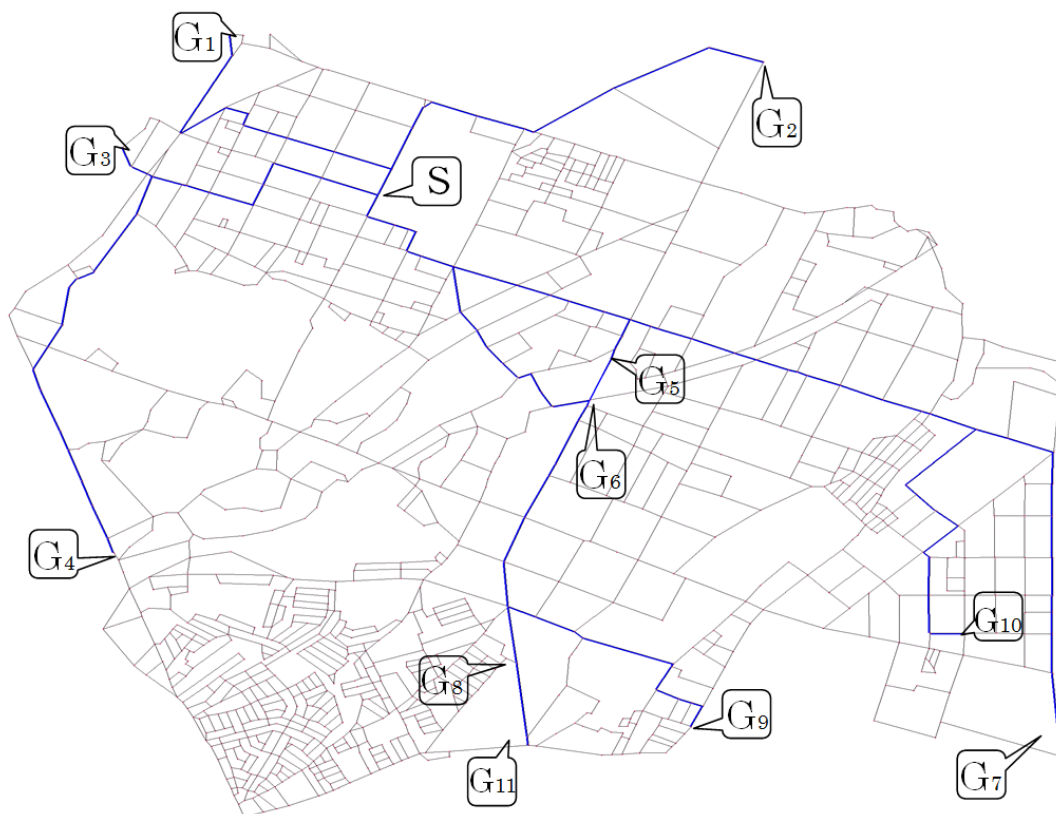


図 5.22 意味論評価水準を用いた探索結果

図 5.23 の経路探索結果から、図 5.18 に示す手法では幾つかの経路が G_4 への経路中にある狭い一本道を通っていたが、正規化されたウェイトを用いることにより、道幅が広い道を採用した経路となった。ただ、広い道にシフトした代わりに、信号機の数が多くなっている。また、 G_1 への経路は大きく変わり、逆に道幅の狭い道を多数選択している。これは、正規化によりリンクコストがすべて $[0, 1]$ の範囲に収められ、リンクコストの差が小さくなったためと考えられる。

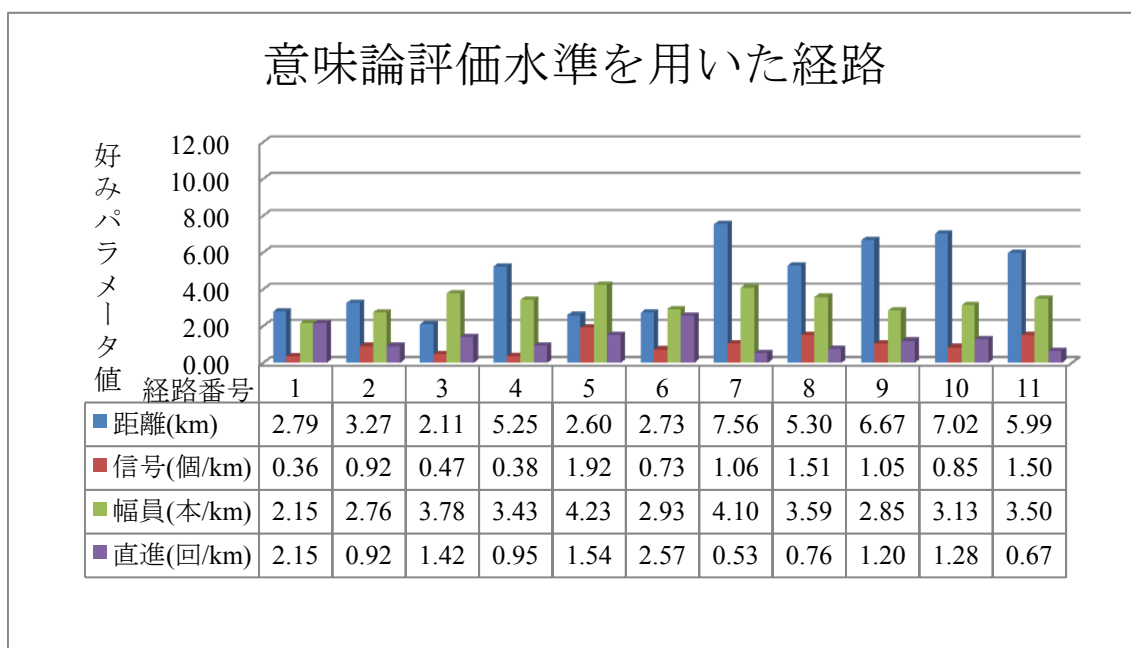


図 5.23 意味論評価水準を用いた経路の好み抽出結果

5.3.2.4 重要性尺度に近似尺度を用いた場合

5.3.2.2 で一対比較により好み要素のウェイトの過小評価問題に対して一対比較の重要性尺度への近似尺度導入について検討した。表 5.7 の好み要素のウェイトを、近似尺度を用いて計算した結果を表 5.13 に示す。

表 5.13 好み要素のウェイト計算結果

ウェイト	距離	直進	信号	幅員	C.I.
1~9 尺度	0.547	0.256	0.152	0.045	0.12
近似尺度	0.384	0.267	0.242	0.107	0.02

表 5.13 から、幅員と信号の好み要素のウェイトが大きくなったことが分かった。また、評価指標の C.I 値が 0.02 であり、1~9 尺度より整合性が高いことが分かった。

表 5.13 の好み要素のウェイト計算結果を用いて経路探索を行う。ファジィ AHP を用いた提案手法に、意味論評価水準による正規化されたウェイトを用い、さらに近似尺度を導入した経路探索結果を図 5.24 に示す。経路ごとに好み抽出した結果を図 5.25 に示す。

図 5.25 の経路探索結果は、図 5.22 の経路探索結果とほぼ同じであるが、始点 S の真下の交差点を通る経路が変更になった。右左折回数が 2 回少なく、道幅が広い道への探索ができた。さらに、G₁₀ への経路はより広い道を選択し、右左折回数も少なくなった。全体的には走行履歴に近づいた。以上の結果から、近似尺度はより人間の主観を表すのに有効であると考えられる。

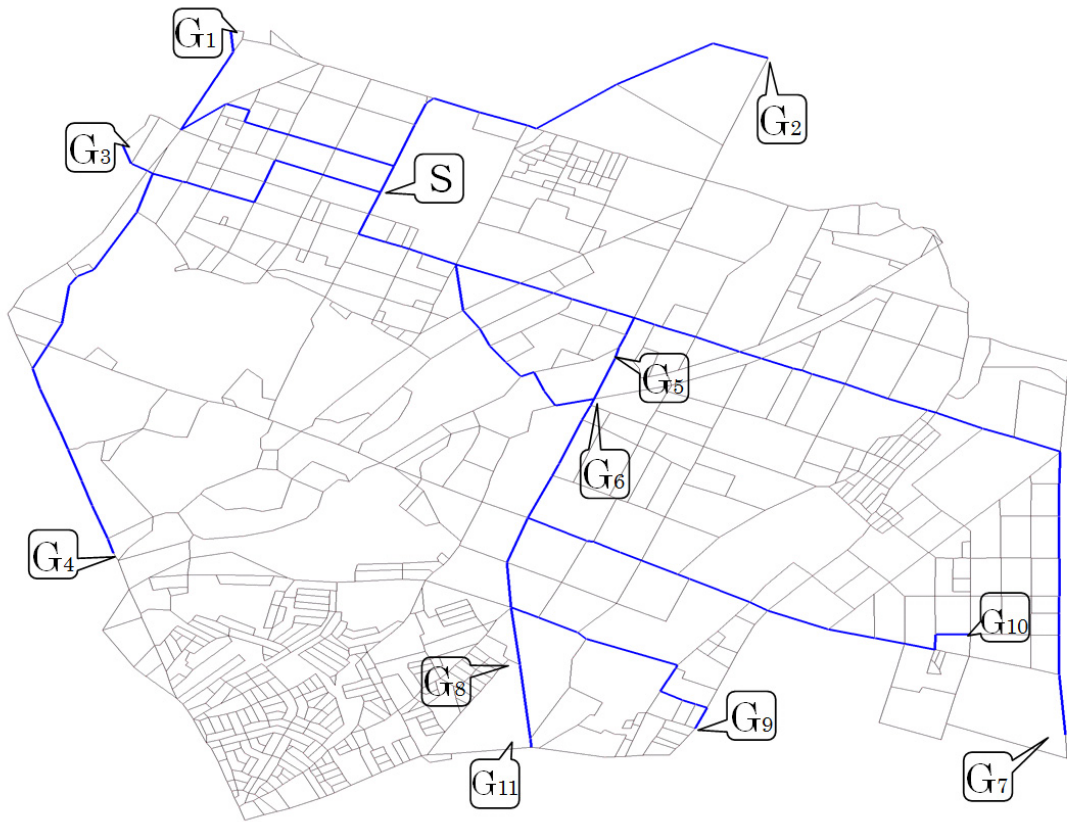


図 5.24 近似尺度を用いた経路探索結果

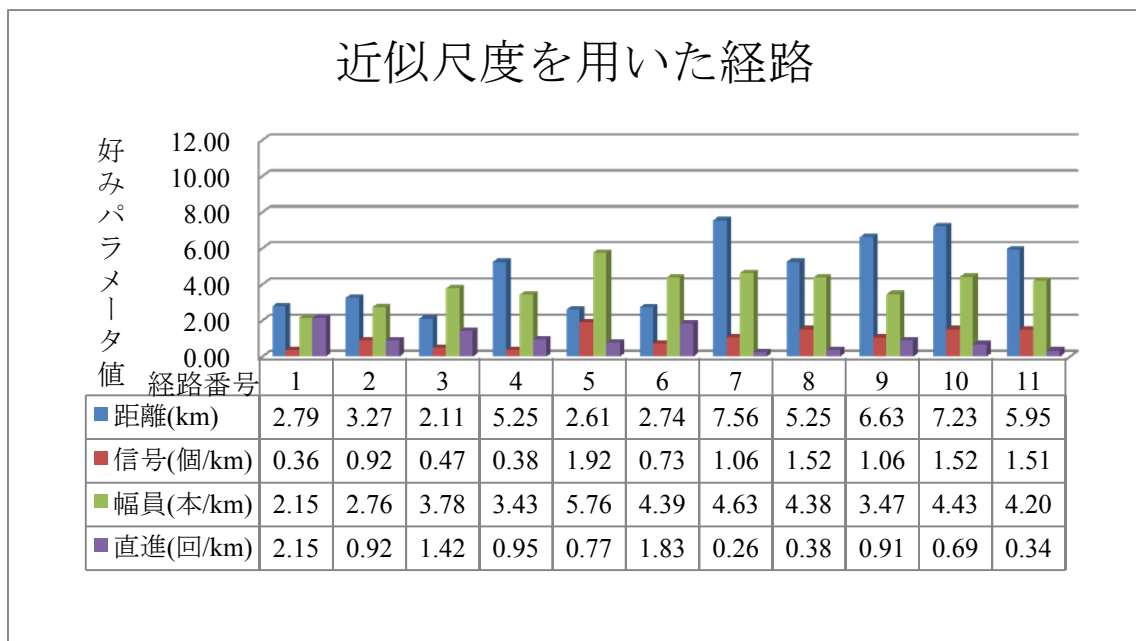


図 5.25 近似尺度を用いた経路の好み抽出結果

5.4 まとめ

本章では、提案手法による経路探索実験について述べた。まず、比較経路である各単一好み経路の実験結果を示した。次に、複数好み要素を統合する手法として、AHP 手法による好み統合とファジィ AHP 手法による好み統合の実験結果を示した。そして、ファジィ AHP による総合評価や好み要素のウェイトの過小評価問題に対して、意味論評価水準を導入した実験結果と近似尺度を導入した実験結果も示した。

主な結果を以下にまとめる。

- (1) 単一好み経路の実験結果から、各好みを最も良く反映する経路が得られた。この結果を経路評価のための比較経路として利用することとした。
- (2) AHP を用いた手法の実験では、人間の主観感覚により好み要素のウェイトを定量的に求め、そしてドライバの複数好み要素を統合して経路探索に反映できることを確認した。
- (3) ファジィ AHP を用いた実験では、まずシンプルな模擬道路ネットワークを用いて複数好み要素の統合手法の有効性を検証した。結果から、好みが有効に経路探索結果に反映することが確認できた。さらに、 λ 値によって好み要素のウェイトが同じであっても、主観の異なる個人への対応可能性が示唆された。そして、実道路ネットワークによる実験結果から、「距離」経路よりも走行履歴に近づいたことを確認した。
- (4) 意味論評価水準を導入した実験結果から、分岐リンクが少ない場合の探索コストの過小評価問題が改善されることを確認した。
- (5) 重要性尺度に人間の判断意識に近づく近似尺度を用いた実験結果から、好み要素のウェイトの過小評価が解消され、整合性の高い好み要素のウェイトが得られた。経路探索結果から、走行履歴に近づいた経路が得られ、より人間の主観意識を反映できることを確認した。

本章では、提案手法による実験及び考察により、提案手法は複数好み要素の統合手法としての有効性を検証した。

第 6 章 結論

本論文では、ドライバ個々の好みを反映するドライバ最適経路の実現を目的としている。好みは人間の主観的な意識によるものであるため、曖昧さが含まれている。また、異なるドライバに対し、重視する好み要素が異なり、複数好み要素の場合はどの要素に対してどのくらい重視するのかもはっきり言えない。さらに、好み要素間の相互作用を考えると、複数好み要素を統合した効果は一般的な加法性だけでは表現しきれず、相乗的な効果及び相殺的な効果も考えられる。そこで、本研究では、意思決定者の曖昧な判断を取り扱うことができるファジィ AHP 手法の応用を考えた。特に複数好み要素を統合する場合に対し、ファジィ AHP 手法を用いた経路探索手法を提案した。

以下に本論文の成果をまとめる。

- (1) 各メーカーのカーナビ経路探索機能調査を行った結果、ドライバ個人の好みに関する最新機能としては、道幅優先、直進優先なども扱われているが、多くの提供経路は主に距離優先、時間優先及び料金優先の 3 つをベースとしている。そのため、提供経路は必ずしもドライバの複数好みを満足させる経路では限らないことが分かった。
- (2) ドライバの好みを抽出するため、好みアンケート調査を行い、経路探索に関わる主な好み要素を抽出することができた。また、走行履歴調査では、被験者が複数好み要素を重視することを確認でき、好み傾向を把握することもできた。そして、地図データにおける好み要素間の相関を調べた結果、相関があることがわかり、好み要素間の相互作用もあることが確認できた。さらに、主な好み要素に対する、経路探索用好みパラメータ及び経路評価用好みパラメータを検討した。
- (3) 複数好み要素を経路探索に統合するため、ファジィ AHP を用いた手法を提案した。模擬道路ネットワークによる実験結果から好みは有効に経路探索結果に反映し、さらに実道路ネットワークによる実験でもその有効性を確認した。なお、 λ -ファジィ測度の計算により、提案手法は λ 値によって個々のドライバの個性に対応可能と考える。そして、本提案手法によると、始点から終点まで一回辿るのみで良いので、複数経路を探索して評価する手法に比べて、効率が良いと考える。
- (4) 提案手法による総合評価において、意味論評価水準を導入することを提案した。経路探索実験結果から、分岐リンクが少ないときの探索コスト過小評価問題を解消した。また、注目ノードごとに行った正規化処理を省くことができたので、処理効率の向上も考えられる。
- (5) 提案手法の AHP における重要性尺度に対し、近似尺度の導入を提案した。好み要素のウェイトの計算結果から過小評価の問題が解消され、整合性が高くなったことを確認

した。経路探索実験結果から、経路に対する好みパラメータの比較ではドライバの走行履歴に近づいたことを確認した。

今後の課題には、以下のようなものがある。

- (1) 提案手法の経路探索実験では、20代男性の被験者3名について検討した。今後、年代別及び性別を含めた被験者データの追加実験が必要である。
- (2) 個々のドライバの個性を反映するため、パラメータのチューニング、意味論評価水準ウェイト及び重要性尺度のさらなる検討が必要である。
- (3) 渋滞などリアルタイムな好み情報、あるいは右折より左折が良いなどより詳細な好み要素の検討が必要である。
- (4) 実用に供する観点から、提案手法の処理時間についての検討が必要である。

本研究の成果は、将来のモビリティ社会において、利用者個々の個性にあった経路情報を提供する上での基礎となり得るものであり、今後の成果に期待する。

謝辞

本研究を進めるにあたり、指導教授としてご指導を賜りました日本大学理工学研究科情報科学専攻 泉 隆教授に厚く御礼を申し上げます。

本論文をまとめるにあたり有益なご助言をいただいた日本大学理工学研究科情報科学専攻 中村 英夫教授、ならびに電子工学専攻 涌井 文雄元教授に御礼を申し上げます。

そして、在学中ご指導ご鞭撻を賜りました日本大学理工学研究科情報科学専攻ならびに理工学部電子情報工学科の先生方に感謝いたします。

最後に、本研究に協力いただいた泉研究室の皆様に感謝いたします。

参考文献

- [1] 国土交通省道路局 ITS ホームページ <http://www.mlit.go.jp/road/ITS/j-html/> (2012.11)
- [2] 国土交通省道路局 ITS ホームページ カーナビ・VICS の出荷台数[PDF]
http://www.mlit.go.jp/road/ITS/j-html/vics_pdf/navi_vics.pdf (2012.11)
- [3] 松田三恵子, 杉山博史, 土井美和子:「歩行者の経路への好みを反映した経路生成」, 電子情報通信学会論文誌 A Vol.J87-A, No.1, pp.132-139(2004)
- [4] 赤坂優太, 鬼沢武久:「経路選択に個人の好みを反映させた歩行者ナビゲーションソフトウェア測度・積分モデルの妥当性評価」, 日本知能情報ファジィ学会誌 Vol.18, No.6, pp.900-910(2006)
- [5] 木下栄蔵:「AHP 手法と応用技術」, 第 2 章, pp.18-22, 総合技術センター, (1993)
- [6] 根笹賢一, 宮岡伸一郎:「カーナビ経路探索における運転者希望経路の反映」, 情報処理学会研究報告, MBL, モバイルコンピューティングとユビキタス通信研究会研究報告 (116), 1-7(2007)
- [7] 沢柳佑, 濱川礼:「GA によるあいまいな目的地を複数含むユーザ最適経路の計算」, 情報処理学会研究報告, MPS, 数理モデル化と問題解決研究報告 (19), 25-28(2009)
- [8] 須下善隆, 中島伸介, 北山大輔, 角谷和俊, NaiwalaP. CHANDRASIRI, 那和一成:「カーナビ利用時の運転者の意図推定に基づく経路推薦手法」, DEIM Forum 2012 B3-3(2012)
- [9] K. Park, M. Bell, I. Kaparias and K. Bogenberger: “Learning user preferences of route choice behaviour for adaptive route guidance”, IET Intell. Transp. Syst., Vol. 1, No. 2, June 2007
- [10] 藤琳, 泉隆, 魯曉鋒, 涌井文雄:「ファジィ AHP を応用した最適経路探索の一手法」, 電気学会論文誌 C, Vol.133, No.6, pp.1269-1276(2013)
- [11] 自動車検査登録情報協会 自動車保有台数統計データ
<http://www.airia.or.jp/number/pdf/01.pdf> (2012.11)
- [12] 泉隆:「道路網における最適経路案内システムの開発状況」, 機械の研究, 第 46 巻, 第 7 号, pp.722-728(1994).
- [13] E.W.Dijkstra: “A note on two problems in connexion with graphs”, Numerische Mathematik 1, 269-271 (1959)
- [14] PETER E. HART, NILS J. NILSSON, BERTRAM RAPHAEL: “A Formal Basis for the Heuristic Determination of Minimum Cost Paths”, IEEE TRANSACTIONS OF SYSTEMS SCIENCE AND CYBERNETICS, VOL. ssc-4, NO. 2, JULY(1968)
- [15] 木下栄蔵:「AHP 手法と応用技術」, 総合技術センター(1993)
- [16] 中島信之, 竹田英二, 石井博昭:「ファジィ理論入門」, 裳華房(1994)

- [17] 温雪梅, 滕琳, 泉隆:「ドライバ最適経路探索—実道路網を用いた巡回経路探索—」, 平成 23 年度日本知能情報ファジィ学会, 3-5(2011)
- [18] 小塩真司:「SPSS と Amos による心理・調査データ解析—因子分析・共分散構造分析まで」, 東京図書(2004)
- [19] 磯部翔, 高橋聡, 泉隆:「道路網におけるユーザ最適経路探索システム—経路履歴からドライバ選好経路特徴の抽出—」, 平成 20 年電気学会全国大会, A34-B1 (2008)
- [20] J.L. Rodgers and W. A. Nicewander:“Thirteen ways to look at the correlation coefficient”, The American Statistician, 42(1), 59–66, February(1988)
- [21] T.L Saaty : “The Analytic Hierarchy Process”, McGraw-Hill(1980)
- [22] 杉山孝男, 椎塚久雄:「階層的ファジィ積分による意思決定法」, 日本ファジィ学会誌 Vol.5, No.4, pp.772-782, (1993)
- [23] 菅野道夫, 室伏俊明:「ファジィ測度(講座ファジィ 3) 」, 日刊工業新聞社(1993)
- [24] Luis M. de Campos and M. Jorge Bolafios : “Characterization and comparison of Sugeno and Choquet integrals”, Fuzzy Sets and Systems 52 (1992) 61-67
- [25] 保脇祥充, 千田裕司, 倉重賢治, 亀山嘉正:「AHP における一対比較結果に対する信頼性指標の提案」, オペレーションズ・リサーチ:経営の科学 49(8), 518-524, (2004)
- [26] 中島信之:「ファジィ数学のお話」, 培風館(1997)
- [27] 高萩栄一郎:「重要度と λ による λ ファジィ測度の同定について」, 日本ファジィ学会誌 12(5), pp.73-84(2000)
- [28] 滕琳, 泉隆:「AHP を応用したドライバ最適経路探索の検討」, 平成 24 年電気学会全国大会, 4-229(2012-03).
- [29] 鈴木聡士:「AHP における意味論的評価法の提案」, 土木学会土木計画学研究・論文集, No.16, pp.147-154(1999)
- [30] 滕琳, 泉隆:「ファジィ AHP を応用したドライバ好み経路探索～AHP における近似尺度の導入～」, 日本知能情報ファジィ学会 第 28 回ファジィシステムシンポジウム, WN3-1(2012-09).
- [31] 舒康, 梁镇韓:「AHP 中的指数標度法」, 系統工程理論与实践 (中国語), (1990 年 1 月)
- [32] 汪浩, 馬達:「層次分析標度評価与新標度方法」, 系統工程理論与实践 (中国語), (1993 年 9 月)
- [33] 張崎, 西村昂:「AHP における重要性尺度の適当性評価に関する研究」, 土木計画学研究・論文集 No.13, 145-152(1996)

著者発表論文

審査付き論文 (4 件)

- [1] Xiaofeng Lu, Takashi Izumi, Lin Teng, Tadahiro Horie, Lei Wang : “A Novel Background Subtraction Method for Moving Vehicle Detection”, 電気学会論文誌 A, Vol. 132(2012), No. 10, pp.857-863(2012-10).
- [2] 藤琳, 泉 隆, 魯曉鋒, 涌井文雄 : 「ファジィ AHP を応用した最適経路探索の一手法」, 電気学会論文誌 C, Vol. 133, No.6, pp.1269-1276(2013-06).
- [3] Lin Teng, Takashi Izumi, Xiaofeng Lu : “A New Proposal to Reflect Preferences into Route Search for Individual Driver”, SICE Annual Conference 2013 Proceedings, (2013-09 掲載予定).
- [4] Xiaofeng Lu, Takashi Izumi, Lin Teng, Lei Wang : “Adaptive Multiple-Feature Fusion for Moving-Object Tracking Using Particle Filter”, SICE Annual Conference 2013 Proceedings, (2013-09 掲載予定).

研究会発表 (4 件)

- [1] 泉隆, 磯部翔, 藤琳, 矢坂悠 : 「経路履歴からドライバ選好経路特徴抽出の検討」, 電気学会 ITS 研究会, ITS-09-13, pp.7-10(2009-06).
- [2] 藤琳, 魯曉鋒, 泉隆 : 「AHP 感性評価によるドライバ最適経路探索の検討」, 電気学会 ITS 研究会, ITS-11-17, pp.5-8(2011-06).
- [3] 魯曉鋒, 泉隆, 藤琳, 堀江忠裕, 王磊 : 「背景差分を応用した車両抽出」, 光応用・視覚計測合同研究会, LAV-12-008 IM-12-016 (2012-02).
- [4] 魯曉鋒, 堀江忠裕, 泉隆, 藤琳 : 「背景差分を応用した車両抽出」, 電気学会 ITS 研究会 (電子情報通信学会 ITS 研究会連催, 情報処理学会 ITS 研究会共催), 2012-ITS-50, pp.1-4 (2012-09).

口頭発表 (20 件)

- [1] 藤琳, 磯部翔, 泉隆 : 「踏切道のあるネットワークにおける情報提供による交通流平準化」, 第 4 回電気学会東京支部千葉支所研究発表会, 2-1(2008-12).
- [2] 山澤純基, 矢坂悠, 藤琳, 泉隆 : 「実コスト調整によるドライバ嗜好を考慮した経路探索システムの作成」, 第 5 回電気学会東京支部千葉支所研究発表会, 3-5(2009-12).
- [3] 藤琳, 泉隆 : 「ドライバ選好経路特徴抽出へのファジィ手法の導入」, 第 5 回電気学会東京支部千葉支所研究発表会, 4-2(2009-12).

- [4] 小野寺央恵, 矢坂悠, 藤琳, 泉隆:「アンケート調査に基づく新しい情報提供サービス抽出に関する検討」, 第5回電気学会東京支部千葉支所研究発表会, 4-3(2009-12).
- [5] 船戸淳史, 藤琳, 泉隆:「ドライバの好みに合った経路探索～アンケートの調査と検討～」, 第6回電気学会東京支部千葉支所研究発表会, 1-2(2010-12).
- [6] 及川裕貴, 藤琳, 泉隆:「ドライバの好みを考慮した経路探索～経路探索手法の比較～」, 第6回電気学会東京支部千葉支所研究発表会, 1-3(2010-12).
- [7] 温雪梅, 藤琳, 泉隆:「ドライバ個性化最適経路探索～蟻コロニーアルゴリズムについての検討～」, 第6回電気学会東京支部千葉支所研究発表会, 1-4(2010-12).
- [8] 温雪梅, 藤琳, 泉隆:「ドライバ最適経路探索～実道路網を用いた巡回経路探索～」, 日本知能情報ファジィ学会 第37回ファジィ・ワークショップ, 3-5(2011-03).
- [9] 藤琳, 魯曉鋒, 泉隆:「ドライバ最適経路探索～AHP 感性評価導入の検討～」, 平成23年電気学会産業応用部門大会, 2-62(2011-09).
- [10] 温雪梅, 藤琳, 泉隆:「ドライバ最適経路探索～実道路網を用いた巡回経路探索～」, 平成23年電気学会産業応用部門大会, 2-63(2011-09).
- [11] 及川裕貴, 藤琳, 泉隆:「ドライバ最適経路探索システム～走行履歴からの選好経路特徴抽出に対する検討～」, 平成23年電気学会産業応用部門大会, Y-111(2011-09).
- [12] 藤琳, 魯曉鋒, 泉隆:「ドライバ最適経路探索の検討～ファジィ AHP を利用した好み表現～」, 日本知能情報ファジィ学会 第27回ファジィシステムシンポジウム, TG1-4(2011-09).
- [13] 江原達也, 及川裕貴, 温雪梅, 藤琳, 泉隆:「デジタル道路地図データベースを利用した経路探索システムの構築～道路ネットワークの作成～」, 第7回電気学会東京支部千葉支所研究発表会, 3-7(2011-12).
- [14] 及川裕貴, 藤琳, 泉隆:「ドライバ最適経路探索システム～走行履歴からの選好経路特徴抽出に対する検討～」, 日本知能情報ファジィ学会 第38回ファジィ・ワークショップ, 情報 IV-3(2012-03).
- [15] 藤琳, 泉隆:「AHP を応用したドライバ最適経路探索の検討」, 平成24年電気学会全国大会, 4-229(2012-03).
- [16] 及川裕貴, 藤琳, 泉隆:「ドライバの好みに合わせた経路探索～走行履歴からの選好経路特徴抽出」, 平成24年電気学会産業応用部門大会, Y-132(2012-08).
- [17] 藤琳, 泉隆:「ファジィ AHP を応用したドライバ好み経路探索～AHP における近似尺度の導入～」, 日本知能情報ファジィ学会 第28回ファジィシステムシンポジウム, WN3-1(2012-09).
- [18] 山崎祐子, 藤琳, 泉隆:「ドライバの好みによる経路探索のためのアンケート調査～アンケート分析法の検討～」, 第8回電気学会東京支部千葉支所研究発表会, 2-4(2012-12).
- [19] 藤琳, 泉隆, 魯曉鋒:「ファジィ AHP によるドライバ最適経路探索手法の検討」, 第11回 ITS シンポジウム 2012 , 2-B-03(2012-12).

[20] 藤琳, 泉隆:「ファジィ AHP を応用したドライバ好み経路探索手法の検討」, 情報処理学会第 75 回全国大会, ITS 応用, 3V-7(2013-03).

日本大学工学部学術講演会 (5 件)

[1] 藤琳, 泉隆:「ドライバ選好経路特徴抽出へのファジィ手法の導入」, 日本大学工学部学術講演会, G-4(2009-11).

[2] 藤琳, 泉隆:「ドライバ最適経路探索～AHP 感性評価の導入～」, 日本大学工学部学術講演会, G-4(2010-11).

[3] 藤琳, 泉隆:「ドライバ最適経路探索～正規化手法の検討～」, 日本大学工学部学術講演会, G-4(2011-11)

[4] 温雪梅, 藤琳, 泉隆:「ドライバ最適経路探索～実道路網を用いた巡回経路探索～」, 日本大学工学部学術講演会, G-13(2011-11).

[5] 及川裕貴, 藤琳, 泉隆:「ドライバ最適経路探索～走行履歴評価の検討～」, 日本大学工学部学術講演会, G-11(2012-11).