

## コンシューマ・システム論文

## 車両のレーン変更を考慮した経路探索方式

丸 三徳<sup>1,a)</sup> 関口 隆昭<sup>1</sup> 林 新<sup>2</sup> 天谷 真一<sup>2</sup>

受付日 2017年9月30日, 採録日 2018年2月14日

**概要:** より安全・安心な車両走行を実現するため、カーナビの経路探索機能の研究を行っている。実際の道路を走行する際にレーン変更が困難となる経路を探索してしまうという問題の解決に向け、車両のレーン変更を考慮した経路探索方式を開発する。本稿では特に、レーン変更が困難となる経路の検出アルゴリズムを提案する。まず、具体的な事例の分析を行い、問題のある経路となる条件を導出した。そして条件に該当するか否かを、カーナビ用地図データを使って判定する方法を検討した。試作・評価により、発見済みの事例以外の事例についてもレーン変更が困難であるか否かを判定できることを示し、提案方式の有効性を確認した。さらに、検出精度向上に向けたカーナビ用地図データの拡張方針を明らかにした。

**キーワード:** カーナビ, 経路探索, レーン変更, 自動運転

## Route Calculation Method Considering Lane-changing of Vehicles

MITSUNORI MARU<sup>1,a)</sup> TAKAAKI SEKIGUCHI<sup>1</sup> ARATA HAYASHI<sup>2</sup> SHINICHI AMAYA<sup>2</sup>

Received: September 30, 2017, Accepted: February 14, 2018

**Abstract:** In order to realize safer and more comfortable driving, we have studied on route calculation function of car navigation systems. To solve a problem that the car navigation systems often provide users with routes including difficult lane-changing, we have developed a route calculation method considering lane-changing of vehicles. In this paper, we propose a method for detecting the route that includes difficult lane-changing. We analyzed case examples of the problem and clarified the conditions for being problematic routes. We considered a method to judge whether the route fulfills those conditions or not by using conventional car navigation map data. By prototyping and evaluating our proposed method, we showed effectiveness of the method that was able to judge whether additional case examples included difficult lane-changing or not. Further, required contents of car navigation map data for improving detecting accuracy were specified.

**Keywords:** car navigation system, route calculation, lane-changing, automated driving

## 1. はじめに

近年、自動運転の実現に向けた取り組みが世界各国で活発に進められている。自動運転の代表的なユースケースである、ユーザが設定した目的地までの自動運転においては、カーナビゲーションシステム（以下、カーナビ）が計算した経路が車両制御に使われることが想定されるため、経路の安全性がより強く求められる。

一方で、従来のカーナビは、実際の道路を走行する際にレーン変更が困難となる経路をユーザに提示することがある。たとえば、複数のレーンで構成される本線道路に左側から合流した後、直近交差点までの短い距離を走行する間に複数回右側にレーン変更して交差点で右折するような経路である。カーナビがこのような経路を提示した場合、ユーザは「無理をして短い距離で複数回レーン変更する」、または「レーン変更および直近交差点での右折を諦めて経路逸脱する」といった対応を迫られ、安心して運転することができない。さらに、このような経路が自動運転車両の制御に使われた場合、ユーザが介入する余地なく車両が自動的に無理なレーン変更を行う可能性があり、安全に支障

<sup>1</sup> 株式会社日立製作所研究開発グループ  
Research & Development Group, Hitachi, Ltd., Yokohama,  
Kanagawa 244-0817, Japan

<sup>2</sup> クラリオン株式会社  
Clarion Co., Ltd., Saitama 330-0081, Japan

a) mitsunori.maru.bd@hitachi.com

をきたす恐れがある。

レーン変更が困難となる経路をカーナビが提示する理由は、従来の経路探索アルゴリズムでは主に道路レベルの接続関係を使って経路を計算しており、道路を構成するレーンレベルの移動を考慮していないことにある。本稿では、より安全・安心な車両走行を実現するための、車両のレーン変更を考慮した経路探索方式について述べる。まず、ヒアリングにより収集した事例の分析を行い、問題のある経路となる条件を導出する。そして条件に該当するか否かを、カーナビ用地図データを使って判定する方式を提案する。通常はカーナビの経路誘導機能の1つである走行レーン案内のために使われる、「ある道路に接続する分岐道路ごとのレーン対応関係を示すデータ」を経路探索に活用することにより、レーン変更が困難な経路の検出が可能となることを示す。

以下、2章で関連研究、3章で解決すべき課題を説明する。4章において提案方式の詳細を述べ、5章で提案方式を試作して評価した結果を述べる。最後に6章でまとめる。

## 2. 関連研究

### 2.1 カーナビの経路探索アルゴリズム

カーナビの経路探索では、道路をリンクとして、交差点をノードとして扱ったデジタル地図データを使い、出発地から目的地までの旅行時間や距離、燃料/電力消費量等といったコストの総和を最小化する経路を計算する。経路探索アルゴリズムとしては、Dijkstra法 [1] や A\*法 [2] が広く使われている。また、実際の道路走行時の環境を考慮して、交差点での右左折規制を考慮したり [3]、右左折による旅行時間の増加を考慮したり [4] するアルゴリズムが提案されている。

以上で述べたような従来の経路探索では、主に道路レベルの接続関係を考慮するが、道路を構成するレーンレベルの移動はほとんど考慮していなかった。そのため、カーナビ用地図データには、経路探索に使われるリンク（道路）とノード（交差点）の接続関係を示すデータは網羅的に収録されているが、経路誘導に使われるレーンに関するデータは、複雑な分岐ポイント等、詳細なレーン案内が必要となる限られた地点のみ収録されているのが一般的である。

### 2.2 レーン変更を考慮した経路探索アルゴリズム

経路探索におけるリンクの旅行時間コストに「レーン変更にかかる時間」を加味したうえで Dijkstra法 を実行するアルゴリズムが提案されている [5], [6]。

Yangaら [5] によるレーン変更時間の定義を図 1 で説明する。車両 A はレーン変更することなく道路を通過し、車両 B はレーン変更（図 1 の例では 3 回）しながら通過するものとする。当然ながら、レーン変更しながら通過する場合は走行距離が長くなり、さらに他車両が変更先レーンを

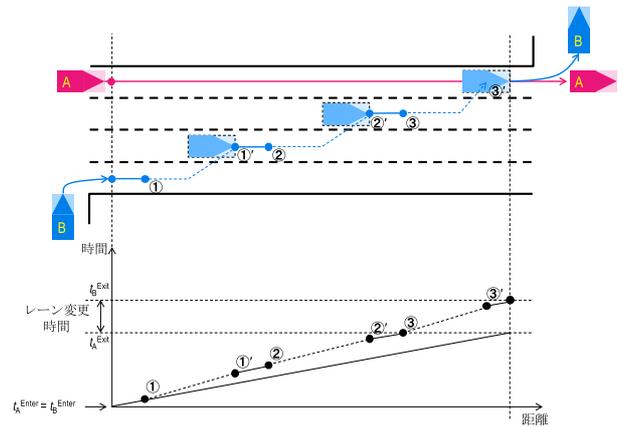


図 1 レーン変更時間の定義

Fig. 1 Definition of lane-changing time.

走行していた場合は速度を下げ移動のタイミングを計る等の対応が必要となるため、レーン変更しない場合に比べて旅行時間が大きくなる。このとき、レーン変更しながら通過した場合の旅行時間  $t_B^{\text{Exit}} - t_B^{\text{Enter}}$  から、レーン変更せずに通過した場合の旅行時間  $t_A^{\text{Exit}} - t_A^{\text{Enter}}$  を差し引いた時間をレーン変更時間と定義する。ここで  $t_A^{\text{Enter}} = t_B^{\text{Enter}}$  であるから、レーン変更時間は  $t_B^{\text{Exit}} - t_A^{\text{Exit}}$  で表せる。

1 回のレーン変更にかかる時間は、その道路の車両密度（単位距離あたりの車両台数）の線形モデルにより推定する。1 回のレーン変更にかかる時間の推定値と、道路通過に際して必要なレーン変更回数とを掛け合わせてコストを得る。

## 3. 課題と目標設定

### 3.1 課題

関連研究の問題点および本稿で解決する課題について述べる。

#### (1) 実際の道路でレーン変更が困難となる条件の明確化

関連研究 [5], [6] では、複数のレーンで構成される道路が接続された比較的単純な道路環境を想定してレーン変更を考慮しているが、実際の道路でレーン変更が困難となるケースはより複雑であることが多い。たとえば法規制によりレーン変更が禁止されていたり、合流地点に信号機が設置されていたりする。合流地点に信号機があれば本線道路のどのレーンにも進入できると判断できるため、実質的にレーン変更は不要と見なせると考えられる。国や地域によって道路構造や関連法規制は異なるため、具体的な事例を確認したうえで、レーン変更が困難となる条件を明らかにすることが必要である。

#### (2) カーナビ用地図での実現可能性の検証

関連研究 [5], [6] では、道路のレーン数や道路間のレーン対応情報等といったデータは与えられるものとして詳しく言及されていないが、こうしたデータがすべてカーナビ用地図データに収録されているとは限らない。2.1 節で述べ

表 1 レーン変更が困難となる事例

Table 1 Case examples of difficult lane-changing.

No.	発生地点	道路種別	分岐までの距離[m]	レーン変更回数[回]
1	大和市役所付近	一般	107	3
2	新桜ヶ丘 IC 付近	一般	73	3
3	浦和 IC 付近	一般	167	1
4	箱崎 JCT 付近	高速	198	2 または 3
5	神田橋 IC 付近	高速	178	1

たとおり、レーンに関するデータは複雑な分岐ポイント等の限られた地点のみ収録される傾向にあるため、経路探索で容易に使えることを前提にできない。まず標準的なカーナビ用地図データを使って実現可能性の検証を行い、経路探索でレーン変更を考慮するうえで不足するデータを明らかにし、対応策を検討するべきである。

### 3.2 目標設定

以上の2点の課題をふまえて、本研究では、具体的な事例からレーン変更が困難となる条件を導き出し、その条件の該当/非該当をカーナビ用地図を使って判定するアルゴリズムを提案する。提案方式により、発見済み事例以外の事例についてもレーン変更が困難であるか否かを判定できることを示し、有効性を確認することを目標とする。さらに、レーン変更が困難となる経路の検出精度向上のための課題を抽出し、カーナビ用地図データ拡張の観点から対応策を検討することを目指す。

## 4. 提案方式

### 4.1 レーン変更が困難となる要因分析

課題(1)に対して、実際の道路でレーン変更が困難となる要因の分析を行った。まず、レーン変更が困難となる経路の事例をヒアリングにより収集した。ヒアリングの対象としたのは、問題のある経路の事例をより多く把握していると考えられる、「カーナビの製品開発経験があり、かつ自らもふだんカーナビを使い車を運転する人」数名とした。ヒアリングの結果、5件の事例を抽出した。各事例の発生地点や道路種別（一般道か高速道路か）および合流～分岐までの距離、必要なレーン変更回数を表1にまとめた。

以下では、各事例の分析結果について述べる。

No.1は、大和市役所南側にある深見西交差点付近の一般道における事例である(図2)。この事例では、国道246号線のランプから本線道路に合流後、107m 走行する間に右側に3回レーン変更して右折する経路となっている。合流地点には信号機が設置されておらず、合流時は本線道路の最も左側のレーンにのみ進入可能である。右折交差点までの107mという短い距離で3回のレーン変更を行うのは困難である。特に、他車両が変更先レーンを走行している可能性も考慮すると、交差点を右折せずいったん直進する



図 2 大和市役所付近の事例

Fig. 2 Case example in the vicinity of Yamato City Hall.



図 3 新桜ヶ丘 IC 付近の事例

Fig. 3 Case example in the vicinity of Shin-Sakuragaoka IC.

方がより安全だといえる。

No.2は、保土ヶ谷バイパスと環状2号線が交差する新桜ヶ丘 IC 付近の一般道における事例である(図3)。この事例では、やや細い道路から環状2号線の本線道路に左折合流後、73m 走行する間に右側に3回レーン変更して右折する経路となっている。No.1の事例同様、左折合流地点には信号機が設置されておらず、合流時は本線道路の最も左側のレーンにのみ進入可能である。横浜市中心部に向かうような場合は保土ヶ谷バイパスに合流するのが早いですが、交差点を右折せずいったん直進する方がより安全だといえる。

No.3は、浦和 IC の入口付近における事例である(図4)。この事例では、一般道のランプから本線道路に合流後、167m 走行する間に右側に1回レーン変更して右側に分岐する経路となっている。レーン変更回数は1回だが、本線道路は定常的に交通量が多いためレーン変更が困難である。このことから、本線道路の長さやレーン変更回数だけでなく、交通量等の要因を考慮する必要があるといえる。

No.4は、箱崎 JCT から湾岸線方面または京葉道路方面に分岐する高速道路における事例である(図5)。この事例



図 4 浦和 IC 付近の事例

Fig. 4 Case example in the vicinity of Urawa IC.



図 6 神田橋 IC 付近の事例

Fig. 6 Case example in the vicinity of Kandabashi IC.



図 5 箱崎 JCT 付近の事例

Fig. 5 Case example in the vicinity of Hakozaiki JCT.

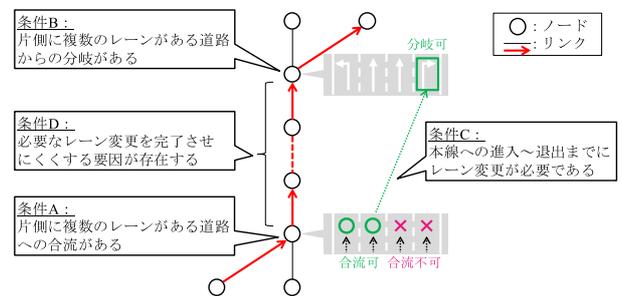


図 7 レーン変更が困難となる条件

Fig. 7 Conditions for being routes including difficult lane-changing.

では、渡り線から本線道路に合流後、198m 走行する間に右側に 2 回または 3 回レーン変更して右側に分岐する経路となっている。渡り線が 2 レーンで構成されているため、本線合流前にどちらのレーンを走行していたかに応じて、必要なレーン変更回数が変わる。この地点では、湾岸線方面に向かう場合、本線道路の最も左側のレーンを走行していればレーン変更は不要なのだが、レーン変更してから同じ湾岸線方面に向かう経路が存在しており、後者の方がコストが小さいと判定されると、無理なレーン変更をする経路を提示することになる。

No.5 は、神田橋 IC の入口付近の高速道路における事例である (図 6)。この事例では、ランプから高速本線道路に合流後、178m 走行する間に 1 回レーン変更して右側に分岐する経路となっている。レーン変更回数は 1 回だが、制限速度が大きいと、交通量が多い場合はレーン変更が困難となる。

ヒアリングにより抽出した事例 5 件は、全国にある事例すべてをカバーできているわけではなく、あくまで一部であると考えられる。そのため、抽出した事例に類似したよ

り多くのパターンの事例もカバーできるように、事例分析結果をふまえてさらに机上検討を行い、レーン変更が困難となる条件を導出した (図 7)。条件 A~D をすべて満たす場合に、レーン変更が困難であると判定する。

- 条件 A: 片側に複数のレーンがある道路への合流がある。
- 条件 B: 片側に複数のレーンがある道路からの分岐がある。
- 条件 C: 本線への進入～退出までにレーン変更が必要である。
- 条件 D: 必要なレーン変更を完了させにくくする要因が存在する。

ここで、条件 A における「合流」は「信号機のない交差点で右左折して本線道路に進入すること」を含んでいる。一般的に「合流」はランプや渡り線等の複数の道路が 1 つに合わさることを意味するが、信号機のない交差点では、右左折した後に進入可能なレーンが限定されるためである。

なお、条件 A, B, C はその地点の道路構造にのみ依存する条件であるが、条件 D は様々な要因により該当するかどうかが決まると考えられる。収集した事例の分析結果をふまえて机上検討を行い、条件 D の該当/非該当に影響を与える要因を洗い出し、表 2 にまとめた。

表 2 必要なレーン変更を完了させにくくする要因  
Table 2 Factors that cause difficult lane-changing.

分類	要因	具体例
静的要因	合流～分岐までの距離	
	レーン変更回数	
	制限速度	
	車線幅員	
動的要因	レーン変更に関する法規制(無条件)	進路変更3秒前に合図(日本の場合)
	交通流	交通量, 交通速度, 交通密度
	ドライバの運転特性	レーン変更時のハンドルの切り方
	車種	車両の全長
	レーン変更に関する法規制(条件付き)	時間等の条件によりレーン変更が禁止される

各要因のうち、道路の構造や場所にのみ依存するものを静的要因、運転時の現況により変化するものを動的要因に分類した。

静的要因として、合流～分岐までの距離、レーン変更回数、制限速度、車線幅員、レーン変更に関する法規制（無条件）を分類した。合流～分岐までの距離が短い場合、レーン変更回数が多い場合、制限速度が大きい場合、車線幅員が大きい場合はレーン変更を完了させにくくなる。レーン変更に関する法規制（無条件）の具体例として、日本の道路の場合、進路変更3秒前に方向指示器による合図を開始しなければならない[7]点があげられる。

動的要因として、交通流、ドライバの運転特性、車種、レーン変更に関する法規制（条件付き）を分類した。交通流の具体例として、交通量や交通速度（車両の走行速度を集団の流れとして見たもの）、交通密度があげられる。ドライバの運転特性の例としては、レーン変更時のハンドルの切り方があげられる。車種については、車両の全長があげられる。レーン変更に関する法規制（条件付き）の具体例としては、日付や時間等の条件によりレーン変更が禁止される規制があげられる。

#### 4.2 レーン変更が困難となる経路の検出アルゴリズム

課題(2)に対して、レーン変更が困難となる経路の検出アルゴリズムを検討した。以下では、レーン変更が困難となる条件A～Dそれぞれについて、カーナビ用地図データを使った判定方法について述べる。本稿では、標準化がなされている地図データ[8],[9]に格納されるデータを使って実現することを想定して検討を行った。

なお、条件Dについて、表2における動的要因の判定にはカーナビ外部からの情報を必要とすることが自明であるため、本稿では静的要因を対象として検討を行うこととした。一方で、今後、動的要因を考慮した方式への拡張を見据えて、カーナビ用地図データの拡張や、サーバや車両等の外部システム連携による実現可能性を検討していく必要がある。

#### 条件Aの判定方法

条件Aの判定には、本線道路への進入が「合流である」という情報と、「合流直後のレーン数」が必要である。

まず、合流であることの判定には、地図データに収録されている隣接ノード数（交差点に接続する道路の数に相当）や道路属性、信号機情報を使う。道路属性とは、たとえば「都市間高速道路」や「国道」等といった道路種別や、「本線」や「ランプ」、「渡り線」等といったリンク種別のことである。ある交差点に接続する道路の数を示す隣接ノード数が3以上であること、進入リンクのリンク種別が「ランプ」または「渡り線」であり、退出リンクのリンク種別が「本線」であることを条件として、合流と判定する。もしくは、隣接ノード数が3以上であり、かつ交差点に信号機が設置されていない場合に合流と判定する。

合流直後のレーン数は、地図データに収録されているリンクのレーン数を参照することで分かる。

#### 条件Bの判定方法

条件Bの判定には、本線道路からの退出が「分岐である」という情報と、「分岐直前のレーン数」が必要である。

まず、分岐であることの判定には、条件Aと同様、地図データに収録されている隣接ノード数や道路属性を使う。隣接ノード数が3以上であることと、進入リンクに対する退出リンクのなす角度の大小に応じて道なりか分岐かを判定できる。

分岐直前のレーン数については、地図データに収録されている、道路に接続する分岐道路ごとのレーン対応関係を示すデータを参照すれば正確なレーン数が分かる。

#### 条件Cの判定方法

条件Cの判定には、「合流時に進入可能なレーン」および「分岐時に退出可能なレーン」の情報が必要である。

まず、本線道路への合流時に進入可能なレーンについては、地図データに収録されていないのが一般的である。これは、合流時は分岐時と異なり走行レーン案内が不要な場合がほとんどであるためである。そこで、合流地点における信号機情報の有無を用いて、間接的に進入可能レーンを推定することを考える。信号機が設置されていない場合は最も左側のレーンのみ進入可能、設置されている場合はすべてのレーンに進入可能と見なして進入可能レーンを推定する。しかし、この方法では特殊な道路構造等に対応できない可能性があるため、今後、「合流時に進入可能なレーン」をカーナビ用地図のコンテンツとして追加することを検討する必要がある。

次に、本線道路からの分岐時に退出可能なレーンについては、条件Bの判定方法で述べた、道路に接続する分岐道路ごとのレーン対応関係を示すデータを参照すれば分かる。必要なレーン変更回数は、合流時に進入可能なレーンと分岐時に退出可能なレーンとを比較することで算出可能である。

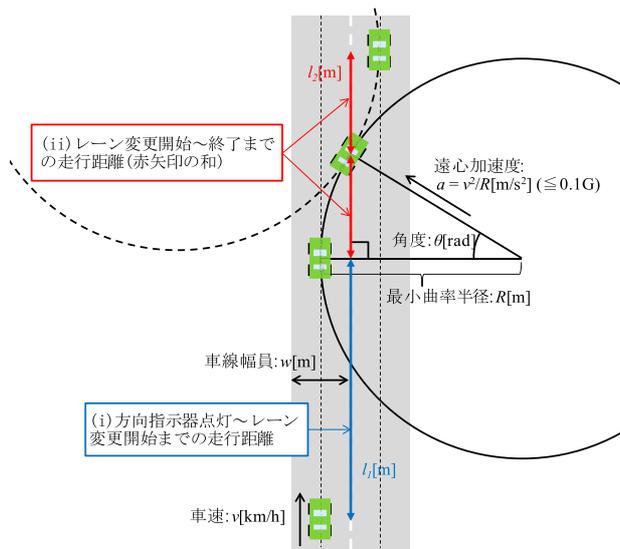


図 8 単純化したレーン変更モデル  
Fig. 8 Simple lane-changing model.

### 条件 D の判定方法

本稿では表 2 のうち静的要因を対象とすることとしたため、「合流～分岐までの距離」、「必要なレーン変更回数」、「制限速度」、「車線幅員」、「レーン変更に関する法規制（無条件）」を使って条件 D を判定する方法を考える。ここで、「合流～分岐までの距離」は値が大きいほどレーン変更がしやすくなるのに対し、それ以外の 4 つは「レーン変更に必要な距離」を大きくし、レーン変更しにくくするように作用すると考えられる。そのため、「合流～分岐までの距離」と「レーン変更に必要な距離」の算出方法を検討し、両者の大小関係により条件 D を判定することとする。

まず、合流～分岐までの距離は、地図データに収録されているリンク長を合流地点から分岐地点までにわたって足し合わせることで算出できる。

レーン変更に必要な距離は、図 8 に示す簡単なレーン変更モデルを考えて見積もる。(i) 方向指示器を点灯させてからレーン変更を開始するまでの走行距離  $l_1$  と、(ii) レーン変更を開始してから終了するまでの走行距離  $2 \times l_2$  に分けて考える。1 回のレーン変更に必要な距離は  $l_1 + 2 \times l_2$  で表せる。

まず (i) については、日本の道路交通法施行令 [7] の第 21 条に「進路変更 3 秒前に合図を示さなければならない」という法令があることから、車速  $v$  [km/h] で 3 秒間直進する距離とする。したがって  $l_1$  [m] は式 (1) で算出できる。

$$l_1 = v \times 60^2 \div 1000 \times 3 \quad (1)$$

次に (ii) については、レーン変更中の車両の乗り心地を考慮して、横方向の加速度（遠心加速度）が  $0.1G$  [m/s<sup>2</sup>] ( $G = 9.8$ ) を超えない最小の曲率半径を持つ円に沿って進むと仮定して考える。図 8 に示すように、 $l_2$  は、最小曲率半径  $R$  と、車両が円に沿って進みレーン分離線をまたぐま

で描く弧に対応する角度  $\theta$  を用いて、 $l_2 = R \sin \theta$  で表せる。遠心加速度  $a = v^2/R$ 、車線幅員  $w = 2 \times R(1 - \cos \theta)$  であることを用いると、 $l_2$  [m] は式 (2) で算出できる。

$$l_2 = R \sin \theta = \frac{v^2}{0.98} \times \sin \theta \quad (2)$$

$$\text{where, } \theta = \cos^{-1} \left( 1 - \frac{w}{2R} \right)$$

ここで、車線幅員  $w$  は日本の道路構造令 [10] を参考にし決定することができる。たとえば、都市部の高速道路であれば、第 2 種・第 1 級として定義される道路の車線幅員 3.5 [m] を適用するとよいと考えられる。

最後に、レーン変更 1 回あたりの走行距離  $l_1 + 2 \times l_2$  に条件 C で算出したレーン変更回数を掛け合わせることで、必要なレーン変更を完了するまでの走行距離を得る。

以上で述べた条件 A～D の判定方法を組み合わせて、レーン変更が困難となる経路を検出する。まず、条件 A, B の判定方法を用いて合流と分岐を検出し、その間の距離を求め、次に条件 C, D の判定方法を用いてレーン変更に必要な距離を求め、両者の大小を比較する。後者の方が大きい場合にレーン変更が困難であると判定する。

なお、表 2 で動的要因に分類した交通流（交通量等）については、統計情報に基づいて静的に見積もることも可能である。ヒアリングで収集した事例の中にも、交通量が多いためにレーン変更が困難となる事例が含まれていることから、交通量等を考慮したモデルの検討は重要である。そこで、静的に見積もった交通量等がレーン変更に与える影響について検討する。交通量が多い場合、変更先レーンを走行する車両の車間距離が短くなっていると考えられる。そこで、交通量等に基づいて推定した車間距離が、仮に前方を走行する車両が急停止しても衝突を回避可能な停止距離より小さい場合に、レーン変更が困難であると考えられる。特に自動運転車両を制御する場合、安全性の観点から、人間のように多少無理をしてでもレーン変更を行うような動作を許すことは考えにくく、車間距離が短い場合はレーン変更を諦めざるをえない状況が生じると考えられる。

車間距離は、交通量等を使って推定できる。まず、交通量  $Q$ 、交通密度  $K$ 、交通速度  $V$  の間に成り立つ  $Q = KV$  という関係 [11] を用いて、交通量と交通速度の統計情報から交通密度を推定する。交通密度の逆数を取り平均車頭距離を求め、さらに車両の全長を差し引くことで平均車間距離を求める。また、停止距離は、ドライバーが危険を察知してからブレーキを踏むまでに進む空走距離と、ブレーキを踏んでから車両が停止するまでに進む制動距離の和として求めることができる。

以上で述べた方法により推定した平均車間距離と停止距離の大小を比較し、後者の方が大きい場合にレーン変更が困難であると判定する。

レーン変更が困難と判定された場合の事後対応

以上で述べた判定方法によりレーン変更が困難であると判定された場合は、迂回路を案内用経路として選択する。レーン変更が困難となる経路のコスト調整や、迂回路とのコスト比較は行わない。ただし、迂回路が見つからない場合はレーン変更が困難と判定された経路を選択することになる。レーン変更が困難となる経路をユーザに提示せざるをえない場合の案内方法については、今後、実用化に向けて検討する必要がある。

5. 評価

クラリオン製のカーナビを母体として、4章で述べた提案方式のプロトタイプを試作した。検出アルゴリズムは従来の経路探索処理の中に追加実装することにより、レーン変更が困難となる経路を探索処理中に検出できるようにした。レーン変更が必要な地点を検出した場合、そのレーン変更が「困難」か「容易」かの判定結果を出力するようにした。

5.1 検出アルゴリズムの評価（交通流非考慮）

まず、4.2節条件Dの判定方法で述べた交通流による影響を考慮しない場合の検出アルゴリズムを評価した。著者らにより、日本の道路において無作為に抽出したレーン変更が必要な地点（200地点）について、各地点でのレーン変更が「困難」か「容易」かのラベルを付与し、これをデータセットとした。データセットに含まれる各地点に対して、検出アルゴリズムを用いて「困難」または「容易」の2値判定を行った結果を表3に示す。精度（precision）は58%、再現率（recall）は100%であり、F-measureは73%という結果となった。

実際にはレーン変更が困難である経路を「容易」と判定することはなく、かつ実際にレーン変更が困難である経路を正しく「困難」と判定することができ、提案方式の有効性が確かめられた。

一方で、実際にはレーン変更が容易である地点を「困難」と判定する誤検出は37件と多く見られたため、実用化に向けて改善が必要である。誤検出が発生した地点には、「合流直前の道路が複数のレーンで構成される地点」や、「合流直後に本線道路のレーン数が増加する地点」が含まれていた。提案方式では、合流地点に信号機が設置されていない場合は最も左側のレーンにのみ進入可能と判定するため、どち

表3 検出アルゴリズムの評価結果（交通流非考慮）

Table 3 Evaluation result (without considering traffic flow).

		実際	
		困難(positive)	容易(negative)
判定結果	困難(positive)	52	37
	容易(negative)	0	111

らの場合もレーン変更回数を正しく算出できなかった。前者については「合流時に進入可能なレーンを示すデータ」が、後者については「リンクの内部でレーンが増減することを示すデータ」が必要であると考えられる。これらのデータは、検出精度を向上させるうえで重要なデータであると考えられる一方、従来のカーナビ用地図データには含まれていない。そのため、主に自動運转向けに整備が進むレーン単位の高精度地図データを併用することや、必要なコンテンツをカーナビ用地図データに追加すること等の検討が必要である。

5.2 検出アルゴリズムの評価（交通流考慮）

次に、4.2節条件Dの判定方法で述べた交通流による影響を考慮した場合の検出アルゴリズムを評価した。5.1節で用いたデータセットに含まれる各地点について、まず、交通量等に応じた平均車間距離によりレーン変更が困難であるか否かを判定し、その後、レーン変更に必要な距離による判定を行うこととした。なお、交通量等を静的に見積もるための統計情報として、長期にわたり集計したデータは入手できなかったため、数年に1度実施されている全国規模の交通量等の調査結果である道路交通センサス [12] データを用いることとした。道路交通センサスデータに含まれる昼間12時間の合計交通量を1時間・1レーンあたりに換算した値と平均旅行速度から交通密度を求めた。平均車間距離は、交通密度の逆数である平均車頭距離から、道路運送車両法 [13] において小型自動車に分類される車両の全長の上限である4.7[m]を差し引いて求めた。比較対象である停止距離は、平均旅行速度に対応した空走距離と制動距離の和として求めた。空走距離は、人間の反応時間を1[s]として求めた。制動距離は、乾いた路面の摩擦係数を0.7として求めた。以上のようにして求めた平均車間距離と停止距離の大小比較による判定を行い「容易」と判定された地点については、さらにレーン変更に必要な距離による判定を行った。2値判定を行った結果を表4に示す。精度（precision）は49%、再現率（recall）は100%であり、F-measureは66%という結果となった。

交通流を考慮しない場合は「容易」と正しく判定できていた111件のうち17件が「困難」と判定され、誤検出が増えるという結果であった。これら17件の地点は合流～分岐までの距離が長く2[km]を超えるものも含まれており、交通量が多く車間距離が短いとはいえ、実際にはレー

表4 検出アルゴリズムの評価結果（交通流考慮）

Table 4 Evaluation result (considering traffic flow).

		実際	
		困難(positive)	容易(negative)
判定結果	困難(positive)	52	54
	容易(negative)	0	94

ン変更が容易に行える地点であった。本稿では、交通流を静的に見積もり、平均車間距離と停止距離の大小関係により「困難」か「容易」かを2値判定するモデルを用いて評価を行ったが、今後、誤検出を減らすため、交通流がレーン変更に必要な距離に与える影響をモデル化する方法の検討を行っていく予定である。

## 6. おわりに

本稿では、より安全・安心な車両走行を実現するための、車両のレーン変更を考慮した経路探索方式を提案した。まず、ヒアリングにより収集した事例の分析を行い、問題のある経路となる条件を導出した。そして条件に該当するかどうかを、カーナビ用地図データを使って判定する方式を提案した。発見済みの事例以外の事例についてもレーン変更が困難であるかどうかを判定できることを示し、提案方式の有効性を確認した。

今後、提案方式の実用化に向けて、カーナビ用地図データに対する網羅的な評価を行う必要がある。本稿では、従来の経路探索処理中に検出アルゴリズムを追加実装して評価を行ったが、この方法では探索されないノードやリンクが残る可能性があり網羅性が明確とならない。地図データに含まれる全ノードからのリンク追跡により検出を行う等、従来の経路探索とは異なる評価方法を検討する予定である。また、本稿では考慮しなかった、レーン変更を完了させるべくする動的要因に対応した方式の検討に取り組む予定である。

## 参考文献

- [1] Dijkstra, E.W.: A Note on Two Problems in Connexion with Graphs, *Numerische Mathematik*, No.1, pp.269-271 (1959).
- [2] Hart, P.E., Nilsson, N. and Raphael, B.: A Formal Basis for the Heuristic Determination of Minimum Cost Paths, *IEEE Trans. Systems Science and Cybernetics*, No.4, pp.100-107 (1968).
- [3] Easa, S.M.: Shortest Route with Movement Prohibition, *Transportation Research B: Methodological*, Vol.19, No.3, pp.197-208 (1985).
- [4] Ziliaskopoulos, A.K. and Mahmassani, H.S.: A Note on Least Time Path Computation Considering Delays and Prohibitions for Intersection Movements, *Transportation Research B: Methodological*, Vol.30, No.5, pp.359-367 (1996).
- [5] Yanga, I., Jeonb, W.H., Kimc, H.-J. and Kimd, H.: Development of Realistic Driving Route Calculation Algorithm Considering Lane-Changing Time, *Journal of Advanced Transportation*, Vol.50, No.4, pp.541-551 (2016).
- [6] Kim, O.T.T., Nguyen, V.D., Moon, S.I. and Hong, C.S.: Finding Realistic Shortest Path in Road Networks with Lane Changing and Turn Restriction, *Asia-Pacific Network Operations and Management Symposium (AP-NOMS)*, pp.1-4 (2016).
- [7] 道路交通法施行令 (昭和 35 年 10 月 11 日政令第 270 号).
- [8] Navigation Data Standard (NDS), NDS Association, available from (<http://www.nds-association.org/>).
- [9] Kiwi フォーマット仕様書 Ver.1.22, 入手先 ([http://kiwi-w.org/format/format\\_kihon.html](http://kiwi-w.org/format/format_kihon.html)).
- [10] 道路構造令 (昭和 45 年 10 月 29 日政令第 320 号).
- [11] 高速道路交通管制技術ハンドブック, 高速道路交通管制技術ハンドブック編集委員会 (2017).
- [12] 平成 27 年度全国道路・街路交通情勢調査一般交通量調査 (国土交通省), 入手先 (<http://www.mlit.go.jp/road/census/h27/>).
- [13] 道路運送車両法施行規則 (昭和 26 年運輸省令第 74 号).



丸 三徳

2011 年東北大学大学院情報科学研究科システム情報科学専攻修士課程修了。同年 (株) 日立製作所入社。車載情報システムに関する研究開発に従事。



関口 隆昭

2001 年京都大学大学院情報科学研究科通信情報システム専攻修士課程修了。同年 (株) 日立製作所入社。車載情報システムに関する研究開発に従事。



林 新

クラリオン (株) 所属。現在、車載情報システムの設計、開発に従事。



天谷 真一

1987 年日立製作所入社, 2009 年よりクラリオン (株) 出向。現在、車載情報システムの設計、開発に従事。