

車両のレーン変更を考慮した経路探索方式

丸三徳^{†1} 関口隆昭^{†1} 林新^{†2} 天谷真一^{†2}

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方法を提案する。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、発見済みの事例に加えて新規事例を検出することに成功し、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や検出ロジック改善等の課題を明らかにした。

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^{†1} TAKA AKI SEKIGUCHI^{†1} ARATA HAYASHI^{†2}
SHINICHI AMAYA^{†2}

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 analyze case examples of the problem and clarify the conditions for being problematic routes. We consider 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 show effectiveness of the method succeeding to find additional case examples besides the already detected ones. Further, several issues for improving detecting accuracy are 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。例えば、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一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。

^{†1} 株式会社日立製作所 研究開発グループ
Hitachi, Ltd. Research & Development Group
^{†2} クラリオン株式会社
Clarion Co., Ltd.

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鑑みて、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」を加味した上で Dijkstra 法を実行するアルゴリズムが提案されている[5][6]。

Inchul 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、さらに他車両が移動先レーンを走行していた場合は速度を下げた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

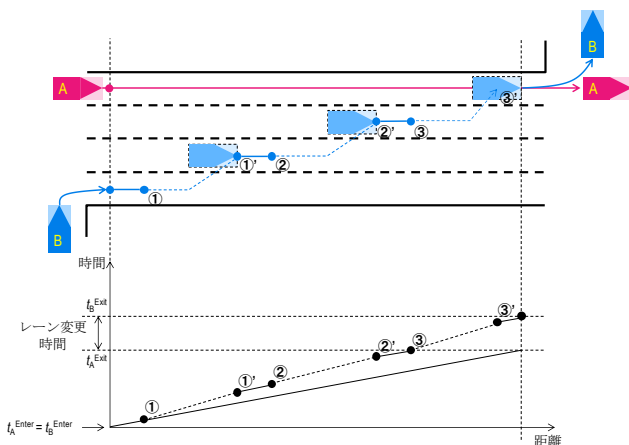


図 1 レーン変更時間の定義

Figure 1 Definition of lane-changing time.

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。例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上で、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、こうしたデータが全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 節で述べた通り、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上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 点の課題を踏まえて、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ロジックを提案する。提案方式により、発見済み事例以外の新たな事例を検出できるか否かを確認し、有効性を検証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の拡張や検出ロジック改善等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、かつ自らも普段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。

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

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、他車両が移動先レーンを走行している可能性も考慮すると、交差点を右折せず一旦直進する方がより安全だと言える。

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、交差点を右折せず一旦直進する方がより安全だと言える。

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言える。

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く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してしまう。

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回だけだが、制限速度が大きいため、交通量が多い場合やドライバが高速道路の運転に不慣れな場合はレーン変更が困難となる。



図2 大和市役所付近の事例

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



図3 新桜ヶ丘 IC 付近の事例

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



図 4 浦和 IC 付近の事例

Figure 4 Case example in the vicinity of Urawa IC.



図 5 箱崎 JCT 付近の事例

Figure 5 Case example in the vicinity of Hakozaki JCT.



図 6 神田橋 IC 付近の事例

Figure 6 Case example in the vicinity of Kandabashi IC.

ヒアリングにより抽出した事例 5 件は、全国にある事例全てをカバーできている訳ではなく、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、事例分析結果を踏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 を全て満たす場合に、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

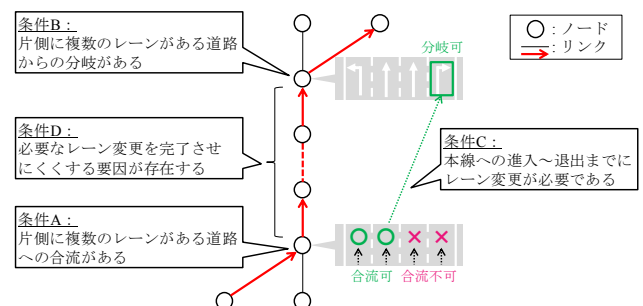


図 7 レーン変更が困難となる条件

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

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一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否かが決まると考えられる。収集した事例の分析結果を踏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	
	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)
動的要因	交通量	
	ドライバーの運転特性	急ハンドルを切る人, 運転が苦手な人
	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]点が挙げられる。動的要因として、交通量、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。交通量が多い場合はレーン変更しにくくなると考えられるが、道路が渋滞している場合は速度が低下しているため、逆にレーン変更しやすい場合があると考えられる。ドライバの運転特性については、例えば、運転が荒く急ハンドルを切る傾向にある人であればレーン変更に必要な距離が短くなったり、運転が苦手な人であればレーン変更に必要な距離は長くなったりすると考えられる。また車種については、運転する車両の全長等に影響を受けると考えられる。さらに、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挙げられる。レーン変更が困難であるケースに加え、法規制によりレーン変更が禁止されるケースも考慮する必要がある。

4.2 レーン変更が困難となる経路の検出ロジック

課題(2)に対して、レーン変更が困難となる経路の検出ロジックを検討した。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、例えば「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わかる。

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わかる。

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全てのレーンに進入可能とみ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わかる。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。

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」は値が大きい程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渡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。一回のレーン変更に必要な距離は $l_1 + 2 \times l_2$ で表せる。

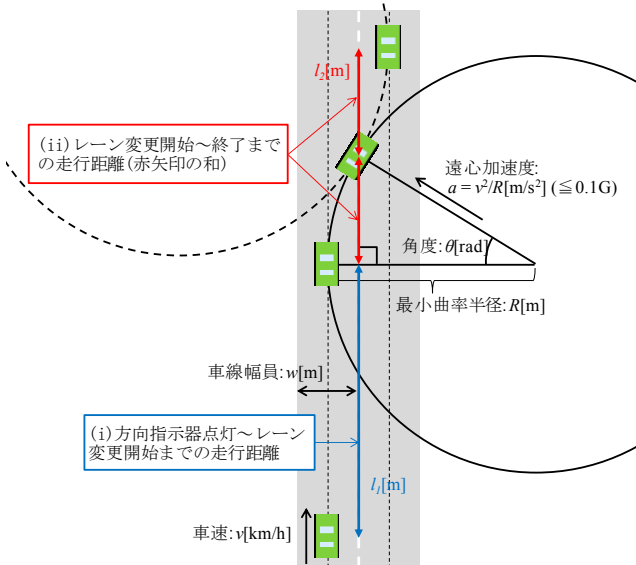


図 8 単純化したレーン変更モデル
 Figure 8 Simple lane-changing model

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/s²] ($G = 9.8$) 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跨ぐまでに描く弧に対応する角度 θ 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。例えば、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、レーン変更一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、両者の大きさを比較する。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。

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。検出ロジックは従来の経路探索処理の中に追加することにより、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。問題のある経路を検出した場合は、レーン変更に関する情報(場所を示す情報、合流～分岐までの距離、レーン変更回数、レーン変更に必要な距離)をログとして出力するようにした。

5.1 既知事例の検出

試作したプロトタイプを使って、レーン変更が困難であることがわかっている表 1 の発見済み事例を検出できるか否かを確認した。各事例について、レーン変更が困難となる地点が経路に含まれるように出発地と目的地を設定して経路探索を動作させ、検出ログが出力されるかを確認した。

結果は、5 件中 4 件の事例を検出することができた（検出率 80%）。検出できなかった 1 件は、No.3 の浦和 IC 付近の事例である。これは、本線道路にレーン数が収録されていないこと、高速道路ランプへの分岐ポイントにレーン対応関係を示すデータが収録されていないことが理由となり、条件 B や条件 C の判定ができないことが原因である。現状は経路誘導用のデータであるレーン情報を経路探索でも活用することを見越して、カーナビ用地図のコンテンツを拡張する等の検討が必要になることが確認できた。

5.2 新規事例の検出

試作したプロトタイプを使って、レーン変更が困難となる新規事例を検出できるかどうかを評価した。まず、評価コースとして、ユーザの使用頻度が高い道路が含まれるよう、首都圏および地方の主要都市にある施設どうしを結ぶ

6 コースを選択した。選択した 6 コースで経路探索を動作させ、検出ログが出力されるかを確認した。

評価コースおよび検出した新規事例を表 3 に示す。6 つの評価コースでの経路探索中に、13 件の新規事例を検出した。各事例について、航空写真等を閲覧可能なオンライン地図サービスを使って該当地点付近の道路状況を目視にて確認し、レーン変更が困難となる事例であることを確認した。既知事例に加えて新規事例の検出に成功したことで、提案方式の有効性を確認できた。

一方で、実際にはレーン変更が困難ではない事例の誤検出も見られた。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のみ進入可能と判定したが、本線道路への合流直後にレーンが 2 つに分かれるようなケースにおいて正しいレーン変更回数を算出できないこと等が誤検出の原因となっていた。合流時に進入可能なレーンについて、カーナビ用地図データの拡張や検出ロジック改善を検討する必要があることが確認できた。

表 3 提案方式により検出した新規事例

Table 3 Newly detected cases by using proposed method.

コース	No.	場所	分岐までの距離[m]	レーン変更回数[回]
戸塚駅～横浜駅	1	保土ヶ谷 IC 付近	174	2
	2	新横浜駅南西側	119	3
東京駅～新宿駅	3	西神田 IC 付近	28	1
	4	赤坂見附駅付近	146	2
名古屋駅～名古屋ドーム	5	新洲崎 JCT 付近	341	3
	6	吹上東 IC 付近	102	2
仙台駅～利府駅	7	仙台港 IC 北西側	81	2
札幌駅～札幌ドーム	8	雁来 IC 付近	200	2
博多駅～太宰府天満宮	9	月隈 IC 付近	96	4
	10	板付 IC 付近	39	2
	11	東浜 IC 付近	116	2
	12	福岡 IC 南側	146	2
	13	箱崎 IC 付近	194	2

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。発見済みの事例に加えて新規事例を検出することに成功し、提案方式の有効性を確認した。

今後は、レーン変更が困難となる経路の検出精度（誤検出や見逃し等）を評価し、対応策の検討を進める。また、提案した検出ロジックでは考慮しなかった、レーン変更を完了させにく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] Edsger W. Dijkstra, “A Note on Two Problems in Connexion with Graphs”, *Numerische Mathematik*, 1:269-271, 1959.
- [2] Peter E. Hart, Nils Nilsson, and Bertram Raphael, “A Formal Basis for the Heuristic Determination of Minimum Cost Paths”, *IEEE Transactions on Systems Science and Cybernetics*, 4:100-107, 1968.
- [3] Said M. Easa, “Shortest Route with Movement Prohibition”, *Transportation Research B: Methodological*, Volume 19, Issue 3, pp. 197-208, 1985.
- [4] Athanasios K. Ziliaskopoulos and Hani S. Mahmassani, “A Note on Least Time Path Computation Considering Delays and Prohibitions for Intersection Movements”, *Transportation Research B: Methodological*, Volume 30, Issue 5, pp. 359-367, 1996.
- [5] Inchul Yanga, Woo Hoon Jeon, Hyung-Jin Kim, and Hyunmyung Kim, “Development of Realistic Driving Route Calculation Algorithm Considering Lane-Changing Time”, *Journal of Advanced Transportation*, Volume 50, Issue 4, pp.541-551, 2016.
- [6] Oanh Tran Thi Kim, VanDung Nguyen, Seung Il Moon, and C. S. Hong, “Finding Realistic Shortest Path in Road Networks with Lane Changing and Turn Restriction”, *Asia-Pacific Network Operations and Management Symposium (APNOMS)*, 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, <http://www.nds-association.org/>
- [9] Kiwi フォーマット仕様書 Ver.1.22, 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）