

道路種別構成に着目した 自動車交通のトリップ長分布の特性

久野 陽平¹・秋山 岳²・野中 康弘³

¹ 学生会員 芝浦工業大学大学院 理工学研究科 社会基盤学専攻 (135-8548 東京都江東区豊洲 3-7-5)

E-mail: ah21060@shibaura-it.ac.jp (Corresponding Author)

² 正会員 株式会社道路計画 (〒170-0013 東京都豊島区東池袋 2-13-14 マルヤス機械ビル 5F)

E-mail: akiyama@doro.co.jp

³ 正会員 株式会社道路計画 (〒170-0013 東京都豊島区東池袋 2-13-14 マルヤス機械ビル 5F)

E-mail: y_nonaka@doro.co.jp

高速道路と一般道路が複雑に交差する道路ネットワークにおいて、ドライバーは一般に旅行時間や費用を重視して経路を選択するとされており、多くの既往研究においてもこれらが主要な要因として扱われてきた。しかし、特定の状況下では、走りやすさや安全性などの要素を考慮し、時間や費用を犠牲にした「遠回り経路」が選択される可能性がある。このような行動の広域的な実態や発生要因を体系的に検証した研究は未だ限られている。そこで本研究では、関東圏を対象としてトリップデータを整理し、道路種別構造が遠回り行動に与える影響を検証することを目的とする。具体的には、OD直線距離に対する実走行距離の比を指標とし、道路階層構造との関連を分析することで、広域的な経路選択行動の特性を明らかにすることを狙いとする。

Key Words: Trip length, Network characteristics, Line haul, probe data

1. はじめに

道路交通需要予測に不可欠である経路選択モデルは、旅行時間と費用が支配的な要因であることが知られている。森川ら¹⁾や永井ら²⁾をはじめとする多くの既往研究においても旅行時間と費用が利用経路の選好の主な要因であることを前提に議論が展開されている。一方で、運転者の主観的評価や道路環境の違いが選択行動に与える影響については十分に解明されていない。

実際の経路選択行動では、人々は交通状況や道路環境に合わせてより複雑で多様な要因を総合的に判断していると推察される。伊藤ら³⁾は都市内トリップを対象に、旅行時間が経路選択に最も強く影響する一方、道路階層構成や信号制御などの道路構造的要因も一定の影響を及ぼすことを示している。また、Zhengら⁴⁾は都市内貨物車両を対象に、GPSデータを用いた経路選択モデルを構築し、信号密度や右折回数、道路重複率などネットワーク構造の違いが選好行動に有意な影響を与えることを明らかにしている。さらに、Pécheuxら⁵⁾は米国の都市街路における実走行実験を通じて、道路形状、信号制御の滑ら

かさ、交通流の円滑性、および視覚的快適性が運転者のサービス品質認知や満足度に寄与し、移動の「快適性」や「安心感」といった心理的要因も経路選択に影響することを示している。これらの知見から、経路選択行動が単なる合理的最小化行動ではなく、道路構造や走行快適性などの「移動の質」を含む多面的要因によって形成されていることが考えられる。

しかしながら、これらが選択行動に及ぼす普遍的な影響は明らかにされていない。例えば、高速道路・一般道の両面で複数の環状道路が整備されている関東圏の道路ネットワークにおいて、出発地から目的地までを直線的に移動するのではなく、ドライバーによってはより快適に走行できる経路として、走行距離が長くなる環状道路を利用することが想定される。このような経路選択行動は、経路の大部分を占めるラインホールに相当する区間で円滑な走行が実現されているか否かが選択の要因になっていると考えられる。したがって、ラインホールに相当する区間は個々の移動距離や道路ネットワークの状況によって異なるものの、より規格の高い種別の道路がラインホールとしての役割を担うものと想定される。

そこで本研究では、環状道路の整備が充実している関東圏を対象に、ラインホールの利用状況を加味した自動車交通の移動実態を明らかにする。具体的には、ETC2.0プローブ情報を用いて、出発地から目的地までの直線距離と移動距離の関係を整理するとともに、移動距離に対するラインホールの割合を距離帯別に分析することで、自動車交通のトリップ長分布の特性を把握することを目的とする。

2. 分析手順とデータ概要

(1) 分析方針

図-1に本研究で想定するラインホールのイメージ図を示す。道路交通におけるラインホールの一般的な判定基準は定められていない。実際の移動を想定すると、移動距離に応じてラインホールの機能を担う道路種別は異なることが想定されるが、全体経路のうち、スムーズに移動できる区間がこの機能を担っていると考えられる。そこで本研究では、移動経路の中で特に移動がスムーズで、停車や減速の機会が少ない区間をラインホール区間として便宜的に捉えることとする。具体的には、交差点や沿道からの出入りが完全に制限されたフルアクセスコントロール区間や信号交差点の少ない一般道の幹線道路等、各トリップにおいてドライバーが走りやすいと感じる区間を想定する。

これを踏まえて、本研究ではサンプルごとに OD 間直線距離、トリップ長、ラインホール距離を算出し、各数値の関係性を整理することで、トリップ長分布の特性を把握する。ここで、OD 間直線距離はトリップの起終点 3 次メッシュの重心間の距離、トリップ長はリンク長の総和である実走行距離、ラインホール距離はトリップにおけるラインホール区間のトリップ長をそれぞれ指すものとする。本研究の分析手順は図-2に示すとおりであり、具体的な分析手法は各項目で詳述する。

(2) 分析データの生成・加工

分析には ETC2.0 プローブ情報、全国デジタル道路地図データ（以下、DRM リンク）、令和 3 年度全国道路・街路交通情勢調査 箇所別基本表（以下、R3 交通センサス）を用いる。ETC2.0 プローブ情報は、関東圏のうち茨城県、埼玉県、千葉県、東京都、神奈川県を起終点にもつサンプルを使用することとし、利用するデータ項目は表-1に示すとおりである。

図-3にデータの生成・加工手順を示す。ETC2.0プローブ情報と DRM リンクは 2 次メッシュコードと流入／流出ノードの情報、DRM リンクと R3 交通センサスは交通調査基本区間番号と世代管理番号とそれぞれを用いて、

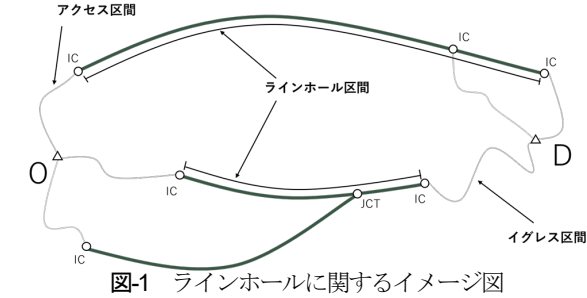


図-1 ラインホールに関するイメージ図

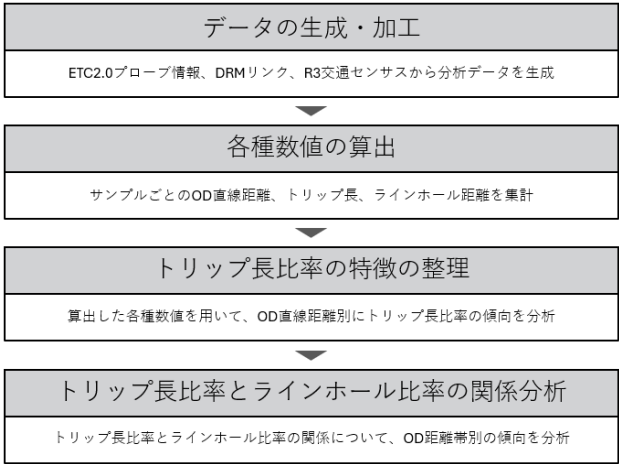


図-2 分析手順

表-1 ETC2.0 プローブ情報データ概要

期間	令和3年7月
様式	走行履歴情報（様式 1－2）
起終点範囲	茨城県・埼玉県・千葉県・東京都・神奈川県
利用データ項目	運行ID1、GPS時刻、マッチング後緯度/経度、2次メッシュコード、流入/流出ノード

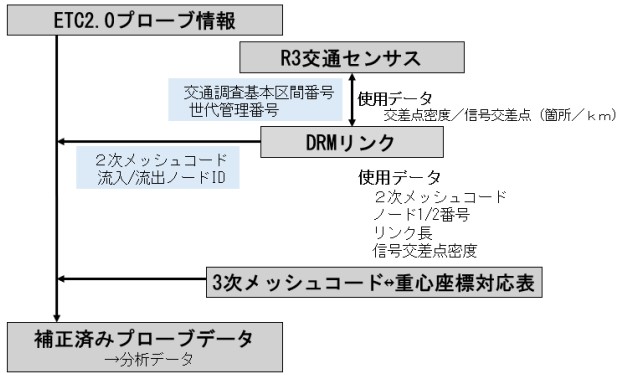


図-3 データの生成・加工手順

表-2 補正済みプローブデータ概要

期間	令和3年7月25日
データ範囲	茨城県・栃木県・群馬県・埼玉県・千葉県・東京都・神奈川県・山梨県・静岡県
データ項目	運行ID、起/終点3次メッシュコード、OD直線距離、旅行時間、旅行距離、ラインホール距離比率、信号交差点密度
データサイズ	190,320トリップ

データの紐づけを行う。DRM リンクは、ETC2.0 プローブ情報データから得られる各サンプルの移動経路にリンク長の情報を付与し、実走行距離の算出精度を確保するために用いる。また、前述のラインホール区間に関する考え方を踏まえて、道路の走行環境を表す指標として、R3 交通センサスから各リンクに信号交差点密度を用いることとし、DRM リンクにこの情報を付与する。

これら 2 種類の経路属性をプローブ情報データに統合するため、リンク情報と補完データを対応させた統合データセットを構築し、補正済みプローブデータを作成した。その概要を表-2 に示す。以降の分析には、この補正済みプローブデータを用いる。

(3) 数値の算出方法

a) OD 直線距離

ETC2.0 プローブ情報の仕様として、自動車のエンジン起動時および停止時の位置から前後 500m のデータは個人情報保護の観点から秘匿される。このため、ETC2.0 プローブ情報から正確な起終点を把握する子が出来ない。そのため、サンプルごとの収集可能なプローブデータのうち、起点・終点が位置する 3 次メッシュ (約 1km 四方) の重心間の距離を OD 直線距離とする。

b) トリップ長、トリップ長比率

各サンプルの実際の移動距離をトリップ長とし、具体的には経路上にある DRM リンクのリンク長を総和することで算出する。また、トリップ長を OD 直線距離で除した値をトリップ長比率とする。この値が大きいものほど、より遠回りの移動をしているサンプルであることを示す。

c) ラインホール距離、ラインホール距離比率

各サンプルの実際の移動距離のうち、ラインホール区間のリンク長の総和をラインホール距離として算出する。本研究ではラインホール区間の判定に信号交差点密度 (略記: SD) を用いることとし、前述した停車や減速の機会が少ない区間を抽出するため、 $0 \leq SD < 0.1$ のリンクをラインホール区間と定義する。また、ラインホール距離がトリップ長に占める割合をラインホール距離比率とする。この値が大きいものほど、停車や減速の少ない経路を走行しているサンプルであることを示す。

(4) 可視化手法

本研究では、トリップ長比率分布の特性および遠回り行動と道路種別構成の関係を多面的に把握するため、以下の 3 種類の可視化を行う。

a) OD 直線距離帯におけるトリップ長比率分布

横軸にトリップ長比率、縦軸に OD 直線距離帯を取り、各距離帯における比率分布の頻度を濃淡で示すヒートマップを作成する。各距離帯内でサンプル数を基準化し、

OD 直線距離の増大に伴う分布形状の変化を視覚的に比較する。

b) OD 直線距離に対するトリップ長比率の散布図

横軸に OD 直線距離、縦軸にトリップ長比率をとり、30km ごとに平均値と標準偏差を算出して、平均および平均±標準偏差の値を折れ線で結ぶ、これにより、距離の増加に伴う遠回り度合いの変化傾向を把握する。

c) 遠回り行動とラインホール比率の関係分析

30km 距離帯毎に、横軸をトリップ長比率、縦軸をラインホール距離比率とした散布図を作成する。これにより、道路種別構造が遠回り行動へ及ぼす影響を距離帯別に比較・検証する。

3. トリップ長分布の特性に関する分析

(1) OD 直線距離に着目したトリップ長比率の特徴

図-4 に各 OD 直線距離におけるトリップ長比率の分布を示す。本図は、距離帯ごとのサンプル頻度を正規化し、各距離帯内でのトリップ長比率の構成比を示すものである。全体傾向として、OD 直線距離が短いほど分布が広く、幅広いトリップ形態が存在することが見て取れる。一方で、距離帯が長くなるにつれて分布形は左に縮小し、遠回りを伴うトリップが減少する傾向が確認された。

また、OD 直線距離 0~30km 帯に注目するとトリップ長比率の分散が大きく、主にトリップ長比率 1.0~2.5 の範囲に広く分布している。この距離帯では信号交差点や右左折による走行ロス、都市内道路網の複雑性などが影響し、経路選択に多様性が生じていると考えられる。

30~60km 帯では分布がやや収束し、トリップ長比率 1.0~2.0 の範囲に分布している。

OD 直線距離が 60km を超えると分布の集中が顕著で、長距離帯ではトリップ長比率が 1.1~1.2 付近に収束する。

これらの結果から、短距離移動では局所的なネットワーク構造や走行環境による影響が反映され、OD 直線距離に対して、遠回りをするトリップが一定数含まれ、トリップ長比率のばらつきが大きくなる一方で、長距離帯のトリップでは道路種別構造により合理的な経路が限定されるため、遠回り行動が抑制される傾向があることを確認した。

図-5 に OD 直線距離とトリップ長比率の関係を示す。本図では、横軸を OD 直線距離、縦軸をトリップ長比率として、全トリップを散布図としてプロットしている。さらに OD 直線距離を 30km ごとに区分して各距離帯における平均値を橙色、平均値±標準偏差を赤色、紫色でそれぞれ示している。

全体として、OD 距離の増加に伴いトリップ長比率は減少し、遠回り行動が抑制される傾向が確認された。特

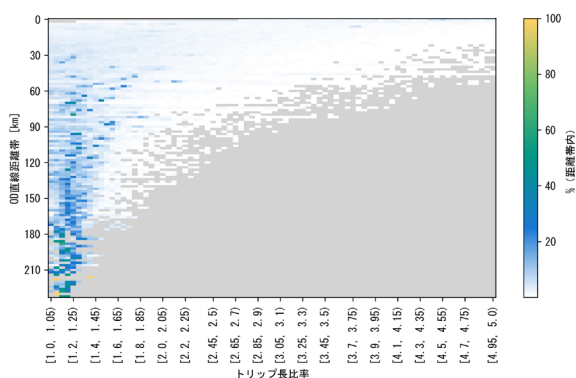


図4 OD直線距離帯におけるトリップ長比率分布

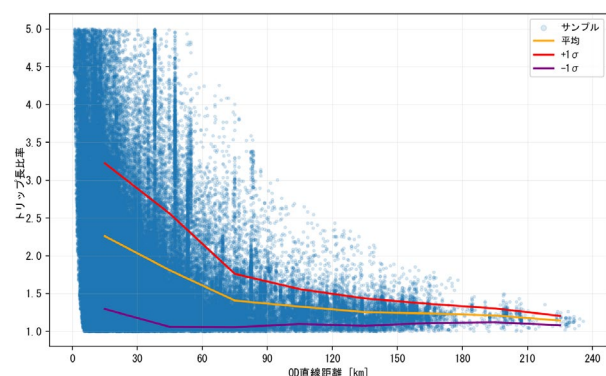


図5 OD直線距離に対するトリップ長比率の散布図

に、60km 付近を境として分布の推移が顕著に変化しており、60km 未満では平均値・分散が大きく、それ以降は急速に収束することが分かる。短距離帯では平均遠回り率が約 1.8 と高く、標準偏差も大きくばらつく。この距離帯では、信号交差点密度の高い都市内移動や右左折の多い経路などの交通環境の影響が強いと考えられる。

一方で、60km を超える距離帯では平均が 1.5 を下回り、ばらつきも小さくなる。この距離帯では、高速道路や自動車専用道路の利用が主流となり、経路選択の幅が制約されることで遠回り行動が抑制されることが多くなると推察される。150km を超える長距離帯では、トリップ長比率はほぼ 1.3 前後に安定し、OD に対する最短経路が選ばれやすくなっている。

以上の結果から、OD 直線距離 60km 付近を境に経路選択行動の性質が変わることが明らかとなった。具体的には、短距離帯では、都市構造等の影響によって経路候補に多様性が生まれ、経路間に走行快適性の差が生まれやすいため、トリップ長比率の分散が大きくなっていると考えられる。一方で、長距離帯では旅行時間に基づく合理的な経路選択がなされるため、分散が小さくなっていると考えられる。

(2) トリップ長比率とラインホール比率の関係

図-6～図-13 に、ラインホール距離比率とトリップ長比率の関係を OD 直線距離の距離帯別に整理した結果を

示す。本図は OD 直線距離帯を 30km ごとに区分し、各距離帯の対応関係を散布図として表したものである。

全体として、トリップ長比率が高いトリップほどラインホール距離比率は高い傾向が確認できた。つまり、単純な迂回ではなく、高速道路や自動車専用道路などの走りやすい道路を主に使う「快適性を意識した経路選択」がトリップ長比率を押し上げている可能性が示唆される。

一方で、ラインホール距離比率が低いものに関わらず、トリップ長比率が高いトリップは顕著に少なく、一般道路を中心とした不安定な速度環境での長距離迂回行動はほとんど存在しない。これらの傾向から、ドライバーの経路選択行動には、時間短縮に加え、道路種別構成による走行快適性の確保が寄与していることが推察される。

また、短距離帯 (0～30km) においては、明確な傾向がみられなかった。短距離移動では、信号交差点が一定程度存在しても「走りにくい道」として認識することが少なく、本稿における定義ではラインホールを十分に捉えきれていない可能性がある。このことから、ドライバーが快適と感じる道路条件はトリップ距離帯によって異なると考えられる。

さらに、30-60km 帯の分布に着目すると、ほかの距離帯に比べてトリップ長比率が高くラインホール距離比率も高いトリップが多く確認できる。これらのトリップの起終点を可視化した地図を図-14 に示す。この図より、起終点 3 次メッシュが首都圏中央連絡自動車道及びそれに接続する各放射道路に多く存在することが分かる。このことから、関東圏における 30km から 60km ほどの中距離帯での移動においては、環状道路のような高規格道路の走行を優先した遠回りを伴う経路選択が多く行われていると考えられる。したがって、このような遠回り行動の多くは、移動機能性が高い環状道路等のラインホールを経由する移動の質を重視した選択行動であり、道路種別構造がドライバーの主観的評価や走行快適性に基づく経路選択に影響していることが推察される。

以上より、経路選択行動における遠回りは快適性の高い区間の利用を優先した合理的行動である場合が多いことが明らかとなった。また、ラインホールの定義を一律な閾値で固定するのではなく、距離帯別にドライバーの快適性の許容範囲を考慮した設定を行う必要がある。

これらの結果を踏まえ、トリップ長比率・OD 直線距離・ラインホール距離比率の関係を統合的に把握するために、3 変数を同時に可視化した散布図を図-15 に示す。OD 直線距離の増加に伴い、トリップ長比率は低下し、ラインホール距離比率が上昇する傾向が確認できる。すなわち、移動距離が長くなるほど経路は合理化される一方で、高規格道路を主体としたラインホール区間の利用割合が高まることが確認できる。

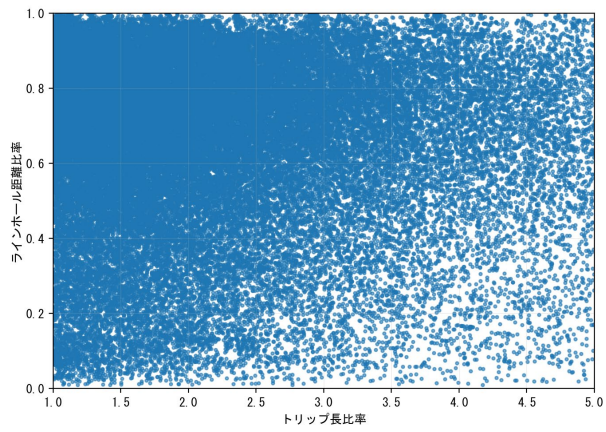


図-6 0-30kmの距離帯における関係図

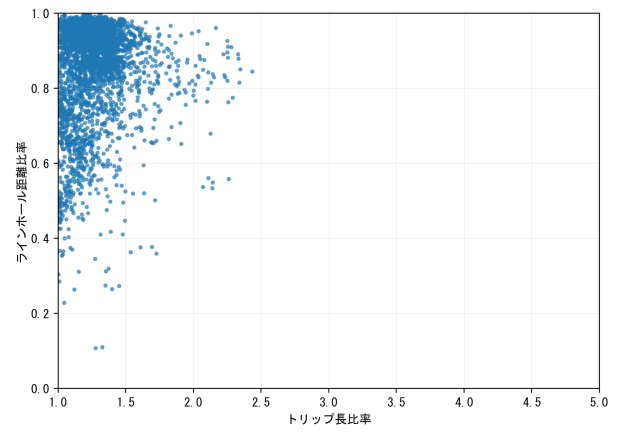


図-10 120-150kmの距離帯における関係図

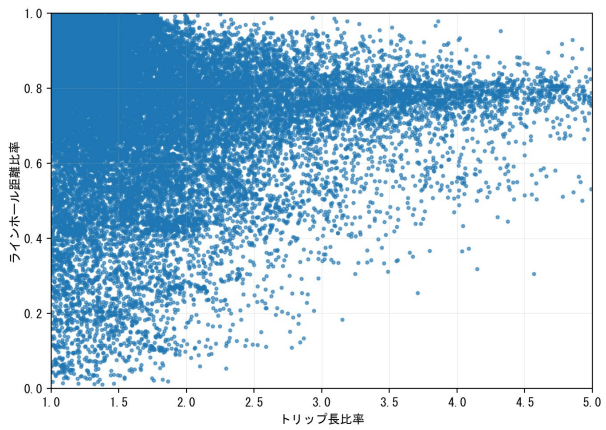


図-7 30-60kmの距離帯における関係図

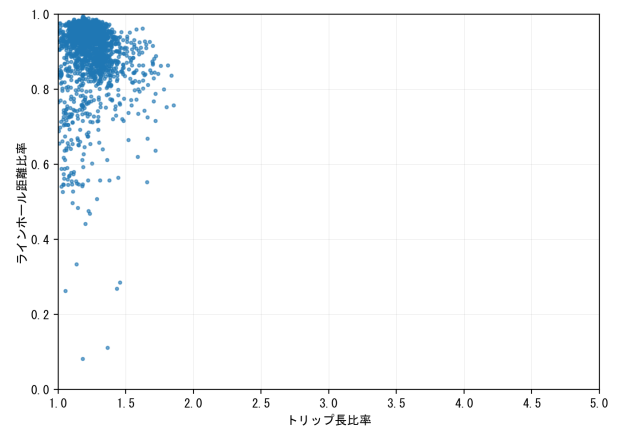


図-11 150-180kmの距離帯における関係図

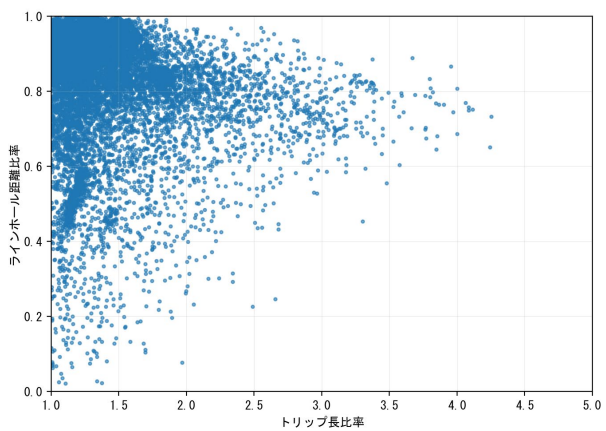


図-8 60-90kmの距離帯における関係図

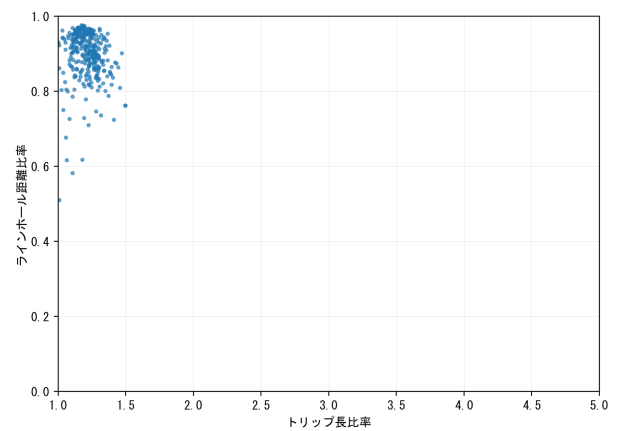


図-12 180-210kmの距離帯における関係図

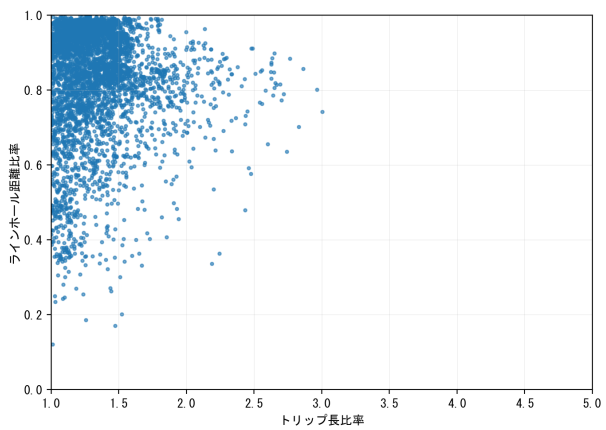


図-9 90-120kmの距離帯における関係図

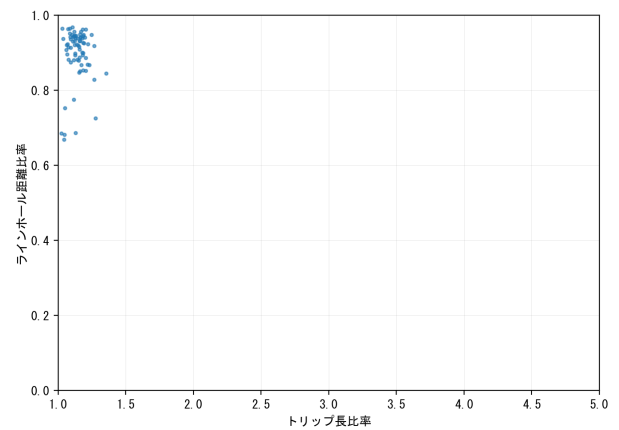


図-13 210-240kmの距離帯における関係図

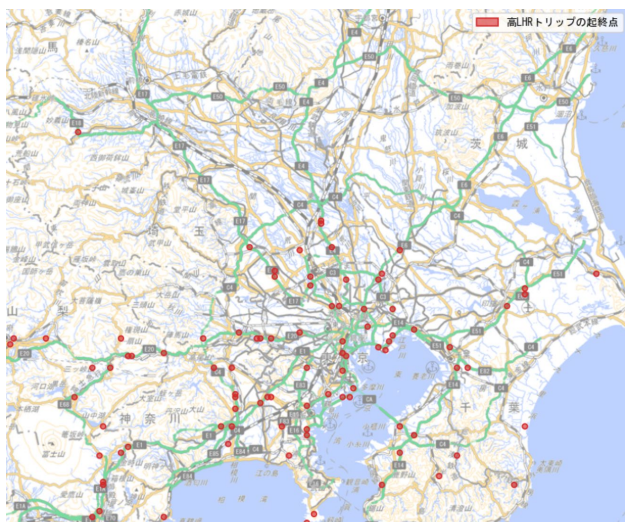


図-14 30-60km 帯における高 LHR トリップの起終点

3D 散布図：トリップ長比率 × OD 直線距離 × ラインホール距離比率

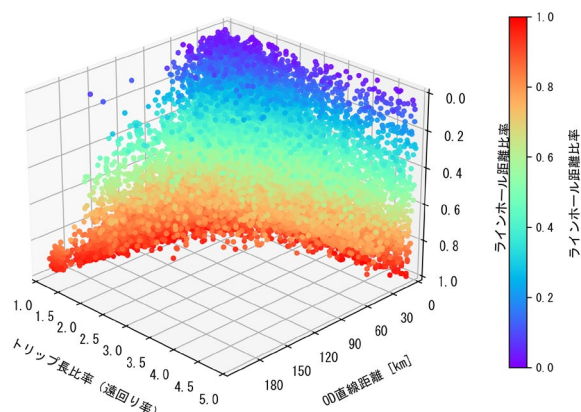


図-15 距離帯別のラインホール比率とトリップ長比率の関係

4. おわりに

本研究では、関東圏を対象として ETC2.0 プローブ情報データを用いて、トリップ長分布および道路種別構成に着目したトリップ長比率に関する分析を行った。その結果、OD 直線距離帯が短いほどトリップ長比率の分布が広く、遠回り行動の多様性が高い一方で、距離が増加するにつれて分布は収束し、経路選択が構造的に制約される傾向が確認された。

また、ラインホール距離比率とトリップ長比率との関係分析から、中距離帯(30km～60km)におけるラインホール距離比率が高いトリップの多くが起終点を環状道路やそれに接続する放射道路沿いに存在することが明らかとなり。この距離帯では、時間短縮よりも移動の質を重視した経路選択が行われている可能性が確認された。

一方で、短距離帯では、ラインホール距離比率とトリップ長比率の対応関係が明確ではなく、信号交差点密度のみを一律に用いたラインホールの定義では都市内の快適な道路を十分に表現できていない可能性が示唆された。

これらの結果を踏まえた今後の課題として、ドライバーが快適とみなす道路条件は距離帯によって異なり、ラインホールの定義を一律の閾値で固定するのではなく、移動距離帯等に応じて柔軟に設定する必要があることが推察される。そのため、信号交差点密度に加え、平均旅行速度や速度変動といった走行環境指標を統合的に活用することで、経路選択に影響する移動の質についてより多面的に評価することが求められる。

また、今回の分析対象から、旅行時間が必ずしも最小でないにもかかわらず遠回り経路を選択したトリップを抽出し、その行動特性を分析することで、ラインホール比率と経路選択行動との関連性をより高い精度で明らかにすることとしたい。

REFERENCES

- 1) 森川高行, 今西一男: プローブカーデータを利用した経路選択行動に関するモデル分析, 土木学会論文集 D3 (交通工学), Vol. 68, No. 5, pp. 317-327, 2004[Tomio, MIWA. and Takayuki, MORIKAWA.: The Model Analysis on Route choice behavior based on Probe-Car Data, Journal of Japan Society of Civil Engineers, Vol. 68, No. 5, pp.317-327, 2004.]
- 2) 永井政伸, 日比野直彦, 森地茂: ETC-OD データを用いた都市高速道路における経路選択行動に関する研究, 土木計画学研究・論文集, 第 67 巻, 5 号, pp 589-597, 2011 年 [Nagai, M. Hibino, N. and Morichi, S.: A study on route choice behavior in urban-expressway based on ETC-OD data, Journal of Japan Society of Civil Engineers, Vol.67, No.5, pp.589-597, 2011.]
- 3) 伊藤融, 井之上慶一郎, 安井一彦: 都市内トリップにおける経路選択行動のモデル化について, 土木計画学研究・論文集, 第 12 巻, pp.485-491, 1995[Ito, T. Ikenoue, K. and Yasui, K.: Modeling of Drivers' Route Choice Behavior in Urban Area, Journal of Japan Society of Civil Engineers, Vol.12, pp.485-491, 1995.]
- 4) Zheng, L., Gao, T., Meng, L., Ding, T., and Chen, W.: Research on the Route Choice Behavior of Urban Freight Vehicles Based on GPS Data, *Mathematics*, Vol. 12, No. 2, 2024, Article 291.
- 5) Pécheux, K. K., Flannery, A., Wochinger, K., Rephlo, J., and Lappin, J.: Automobile Drivers' Perceptions of Service Quality on Urban Streets, *Transp. Res. Rec. (Transportation Research Record)*, No. 1883, 2004, pp. 167-175.

CHARACTERISTICS OF AUTOMOBILE TRIP LENGTH DISTRIBUTION FOCUSING ON ROAD TYPE COMPOSITION

Yohei KUNO, Takeshi AKIYAMA and Yasuhiro NONAKA