

抜け道と街路の接続特性に関する実証分析

岡本 ありさ¹・小根山 裕之²・石倉 智樹³

¹学生非会員 首都大学東京大学院 都市環境科学研究科 (〒192-0397 東京都八王子市南大沢1-1)
E-mail:okamoto-arisa@ed.tmu.ac.jp

²正会員 首都大学東京大学院 都市環境科学研究科 (〒192-0397 東京都八王子市南大沢1-1)
E-mail:oneyama@tmu.ac.jp

³正会員 首都大学東京大学院 都市環境科学研究科 (〒192-0397 東京都八王子市南大沢1-1)
E-mail:iskr@tmu.ac.jp

日本の生活道路での交通事故発生件数が幹線道路に比べて減少していない原因の一つに生活道路の抜け道としての利用がある。本研究では通過交通が抜け道を利用する要因の一つと考えられる街路同士の接続特性に着目し、抜け道利用との関係性について検証する。ここで、街路の接続特性については、Space Syntax理論のSegment Angular Analysisを用いた上で各街路ごとに定量化し、プローブデータを用いて抽出した抜け道交通の通過台数と比較していくことで、抜け道と街路の接続特性の関係を明らかにした。また、特に抜け道として使われる回数が多い街路について接続特性及びその他関連する指標を用いてクラスター分析を行い、各指標値の組み合わせにより抜け道となりやすい街路の特徴をグループに分けて把握した。

Key Words : *byway, street pattern, space syntax, GIS, probe data, cluster analysis*

1. はじめに

日本における交通事故発生件数は2005年から減少傾向であるものの、幹線道路に比べ、生活道路における死傷事故率は減少していないため、交通事故全体に占める割合が高くなっている。これにより、生活道路での交通事故対策が急務となっているが、原因の一つとして生活道路の抜け道としての利用がある。抜け道の発生には、幹線道路の混雑や距離的に近いことによるショートカットの発生が原因となるが、街路同士の接続性も要因の一つと考えられる。しかし、街路の接続性と抜け道利用の関係は実証的には明らかになっていない。これらの関係性が分かることで、道路計画段階において抜け道の発生しにくい街路ネットワーク計画を立案することが可能となることが期待される。

抜け道に関する既往研究は数多くある。例えば、抜け道の利用意識に対し、ドライバーに対して抜け道・渋滞箇所の認知度・抜け道利用状況・運転特性の観点からアンケート調査を行い、ドライバーから見た抜け道利用の因果関係を分析した研究¹やドライバーの街路空間イメージから通過交通の抑制につなげる知見を得る研究²などがされている。このように意識調査をもとにした研究はされているが、実際に抜け道がどのような場所にでき

やすいのかということ、街路の接続特性などの街路ネットワーク全体から研究している事例はない。

そこで、本研究では通過交通の生活道路への進入原因の一つである街路の接続特性に加え、街路密集度・建物密集度・用途地域に着目し、これらの要因と抜け道としての利用のされやすさの関係を分析し、今度の街路ネットワーク計画における新たな知見を得ることを目的とする。

2. 研究手法

「抜け道」という言葉は一般に使用されるが、明確な定義はないことから、本研究では既往研究を参考にしつつ抜け道交通を定義した上、プローブデータを用いて抜け道交通を抽出し、各道路の抜け道としての利用されやすさと街路の接続特性などとの関係を分析する。ここで、街路の接続特性については、人の空間認知や行動と深く関係する街路構造の接続特性を定量化することができるSpace Syntax理論を用いた上で、抜け道交通と街路の接続特性をGISで整理し、関係性を検証していく。また、その他の街路特性として、道路の周囲500m以内の街路の本数(街路密集度)・建物の数(建物密集度)・利用車両

数・用途地域・旅行時間などを用いる。そして、これらの指標を用いてクラスター分析により抜け道のグループ分けを行い、各指標値から抜け道の特徴を把握していく。

(1) 抜け道交通の定義

抜け道と街路の接続特性の関係を検証していくために、まず始めに抜け道を定義する必要があるが、抜け道という用語について定まった定義はない。ここでは、既往研究における抜け道の定義を参考にしつつ、実際に事故が起きやすい生活道路はどのような道路なのかを踏まえた上で、本研究で対象とする抜け道を定義する。

既往研究には、「抜け道とは、ある目的地に行く途中で国道や県道などの幹線道路を避けて迂回する道路で、抜け道に対応する幹線道路があることを前提とする。」と定義しているもの¹⁾や抜け道となっている生活道路を「地区に住む人々が地区内の移動あるいは地区から幹線道路（主に国道・県道などで通過交通を担う道路）にでるまでに利用する道路であり、車道幅員の狭い細街路」とした上で、生活道路上の交通事故分析したもの²⁾などがある。また、特に車道幅員が5.5m以下の生活道路における交通事故件数の減少幅が少ないことから、警視庁ではそのような道路に対し、ゾーン30というゾーン内を抜け道として通行する行為の抑制等を図る生活道路対策を行っている。⁴⁾ これらから、抜け道が途中経路で幹線道路（国道・県道）の代替となる道路、幅員の狭い道路ということがわかる。

そこで、本研究では抜け道が途中経路で幹線道路の代替となる道路であることを表すため、図-1のように幹線道路から非幹線道路を通して幹線道路に戻る交通を抜け道交通と定義し、機械的に抜け道を抽出できるようにする。なお、市町村道以下かつ幅員5.5m以下を非幹線道路、それ以外を幹線道路とした。ただし、本研究の定義は沿道の状況、他の道路に対する代替性、計画論上の道路の位置づけの要素を考慮したものではなく、外見的特性に基づく形式的な定義であるといえる。機械的な抽出には効果的であるが、必ずしも一般的感覚としての抜け道と合わない可能性もある。そこで、建物密集度・街路密集度などの沿道の状況と代替案との旅行時間の関係と合わせて抜け道の特徴を把握していく。

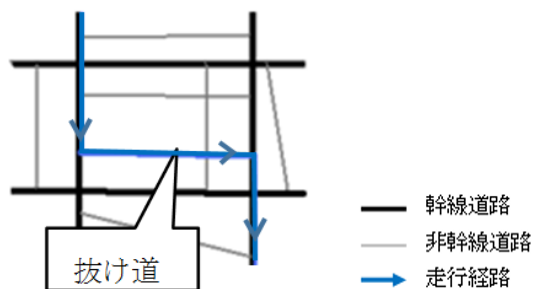


図-1 抜け道交通

(2) プローブデータ

本研究では、抜け道交通を抽出するためのデータとして、エコドライブ診断システム開発プロジェクトにおいて収集されたプローブデータを用いた。対象は、豊田市在住・在勤の一般ドライバー（278ユーザー）であり、2011年3月から12月までのデータ（計160425トリップ）を使用した。本データは、上記プロジェクトにおける分析においてDigital Road Mapの全リンクデータとマッチングされている。

(3) 抜け道の抽出方法

最初にDigital Road Mapの道路管理者データ及び幅員データに基づき、幹線道路と非幹線道路を分ける。次に幹線道路→非幹線道路→幹線道路の順に通ったトリップを抜け道交通と捉え、プローブデータからこの手順で通られた非幹線道路（抜け道）を抽出した。ここで、対象期間内の抜け道として車両走行数を「抜け道通過台数」として定義する。

(4) Space Syntax理論

街路空間接続特性分析にはSpace Syntax理論を用いる。これは、1980年代にロンドン大学UCLのBill Hillier教授が中心となり確立された都市形態解析理論であり、「空間のつながり」と「人の行動」との関係についての客観的な理解を、都市空間の計画や設計に活かそうとするものである。⁵⁾ 同理論には、建築内部空間から都市全体までを含む幅広い分析対象があり、日本においては1980年代から主に建築学会、都市計画学会で論文が発表されている。⁶⁾ 本研究ではこの理論の中で幾何構造の最小単位であるSegmentに街路空間を変換し、そのSegment同士の接続角度から指標値を算出する手法であるSegment Angular Analysisを利用する。この分析において、代表的な指標である近接性と媒介性を評価指標として用いる。近接性はある街路がその周囲の街路とどれだけ近くで接しているか（接続の強さ）を表す指標値である。この指標値が高いものは、周囲の多くの街路と接続しやすい街路（周囲の街路へ何度も曲がらずに行ける街路）である。媒介性はあるSegmentが他の2Segment間の移動の途中経路としてどの程度頻繁に使用されるかを示す指標値である。この指標値が高いほど複数のエリアを結ぶ可能性のある街路である。

以下に近接性・媒介性の算出方法を示す。⁷⁾ 最初に分析対象となる街路構造をSegmentに変換する。本研究では街路構造データとしてDigital Road Mapを用いる。接続角度の考慮の仕方であるが、2本のSegmentが直交している場合に、これを1stepの関係とする。これを基準としているため、45°で接続する場合は0.5step、27°で接続する場合は0.3stepの関係となる（図-3）。

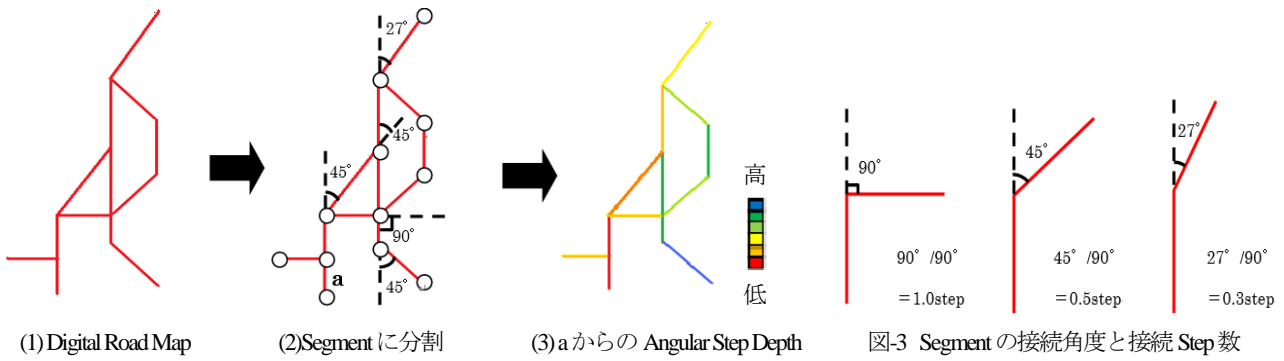


図-2 Angular Step Depthの算出方法

図-3 Segmentの接続角度と接続 Step 数

そして図-3において、Segment aから各 Segment までに到達するために掛かる Angular Step Depth (位相的距離) を求める。

近接性では、最初にある Segment を基準として、全ての Segment の Angular Step Depth (ASD) の合計値 Total Depth (TD) を Segment の本数 (k) で除した Mean Depth (MD) を求める (式 1a)。

$$MD = \frac{TD}{k} = \frac{\sum ASD}{k} \quad (1a)$$

このMDが大きいということは、周囲のいずれの Segment に移動するにしても、何回も屈曲しながらでなければ到達できないような、移動の負荷が大きくなる街路である。つまり、MDの逆数を探ることによって接続の強さを表す指標とすることができる。しかし、このMDは算出の際に用いられる Segment の本数が多いほど大きくなるという傾向がある。そこでMDをさらに Segment の本数 (k) で除した値を算出し、その逆数が接続の強さを表す近接性指標値 (Int.V: Integration Value) とする (式 1b)。

$$Int.V = \frac{k}{MD} = \frac{k \times k}{TD} \quad (1b)$$

媒介性は、接続角度による Step 数を考慮した場合において、任意の 2Segment 間の移動過程における累積の Step 数が最小となる経路を最短経路と定義し、これに基づいて全ての組み合わせの 2Segment 間の最短距離を調べた上で、その街路が最短経路に含まれた回数を指標値とする。

Segment Angular Analysis によって算出される近接性指標や媒介性指標には、指標算定範囲 (Radius) を小さく設定して算出する近隣的な性質を示す指標値、あるいは大きく設定して算出する広域的な性質を示す指標値がそれぞれ存在する。そこで、本研究では Radius の設定値を近隣近接性・近隣媒介性については 500m、広域近接性・広域媒介性については 5000m とした。

(5) 対象地域

今回使用しているプローブデータは、豊田市在住・在勤のドライバーを対象としている。このデータを用いて抜け道として利用されている道路を把握するために、比



図-4 対象地域

較的多様なユーザーが利用する可能性があるような地理的範囲を分析対象範囲として設定する必要がある。そこで本研究では、図4において示すように、南側と西側が豊田市境、北側と東側は高速道路に囲まれた豊田市街地を分析対象範囲とする。

なお、本研究ではプローブデータの集計、さらには街路接続特性分析において高速道路を除いた状態で分析している。高速道路はインターチェンジによって周囲と接続し、交差点によって街路同士が接続しあう一般道路と接続形態が異なる。本研究では、人の空間認知から街路構造の特性を評価する手法を用いているため、交差点以外の接続形態を分析に含めることはふさわしくないと考えられる。⁸⁾

3. 各指標値と抜け道の関係

(1) 抜け道交通の通過台数の集計

分析対象地域には全体で 13553 本の道路が存在し、そのうち市町村道以下かつ幅員 5.5m 以下の道路は 7965 本である。これらの道路について、先に説明した方法により抜け道通過台数を集計した結果を図-5に示す。以下に各指標値との関係を検証していく。

(2) 接続特性と抜け道通過台数の関係

抜け道交通の通過台数に影響を与える可能性のある接続特性と抜け道通過台数との関係性を見ていく。まずは近接性との関係であるが、全体的な関係性を統計的に評価するために、近隣近接性・広域近接性と抜け道通過台数との相関係数をそれぞれ求めると近隣近接性では0.18、広域近接性では0.21を示した。

次に近接性のランク別に抜け道通過台数を累積度数分布で表す(図-6)。このグラフは下にあるほど抜け道通過台数が多い街路の占める割合が高いことを表している。これより、近隣・広域ともに近接性のランクが高くなる

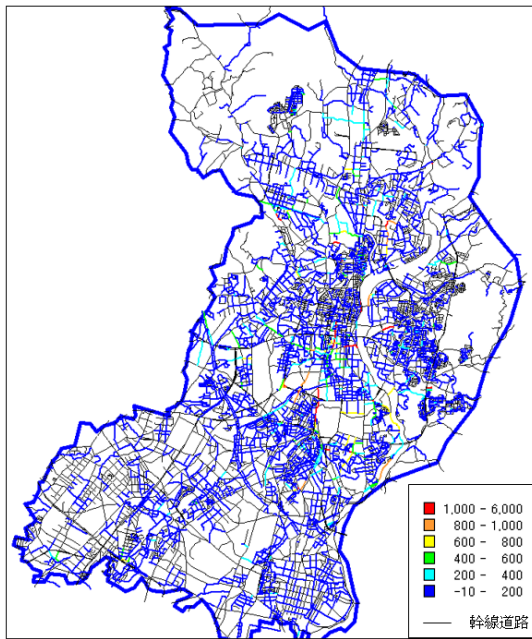
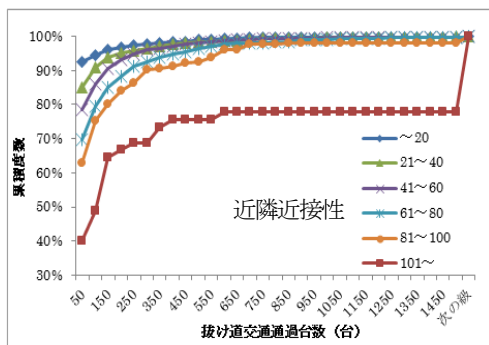


図-5 抜け道交通の通過台数



につれて、抜け道通過台数が多い街路の占める割合が高いことが分かる。また、近接性の最も高いランクにおいて通過台数1500台以上の割合が近隣近接性では3割、広域近接性では1.5割を占め、他のランクに比べて非常に高くなっている。これらのことから、近接性が高い街路は実際に使用される割合が高いことが示された。

次に媒介性と抜け道通過台数の関係を見ていく。まず、近接性と同様相関係数を求めると、近隣媒介性では0.19、広域媒介性では0.33を示した。また、媒介性のランク別に抜け道通過台数を累積度数分布で表す(図-7)。近隣・広域ともに媒介性のランクが高くなるにつれて、抜け道通過台数が多い街路の占める割合が高いことが分かる。これらのことから、媒介性が高い(途中経路として使われやすい空間特性を持つ)街路は実際に使用される割合が高いことが示された。

(3) 各指標値の抜け道への影響の大きさ

次に、抜け道通過台数に影響する各要因の寄与を検証するため、重回帰分析を行った。目的変数として抜け道通過台数、説明変数として接続特性を表す近接性(近隣・広域)・媒介性(近隣・広域)に加え、街路密集度(対象とする道路の周囲500m以内の街路の本数と定義)・建物密集度(対象とする道路の周囲500m以内の建物の数と定義)の6つとした。なお、街路密集度は、単純に街路本数が多いために抜け道となりやすいのかを見るために、建物密集度は、沿道の建物の存在が運転のしにくさに影響を与えられられるために設定したものである。建物密集度の算出にあたっては、国土地理院の

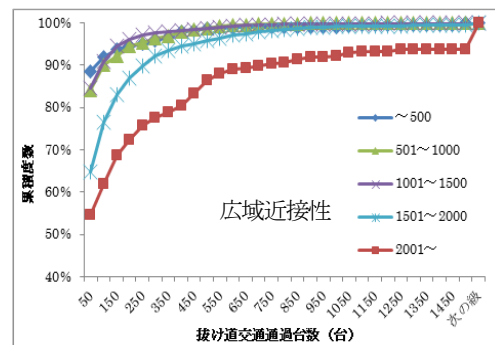


図-6 近接性のランク別抜け道交通通過台数の累積度数分布

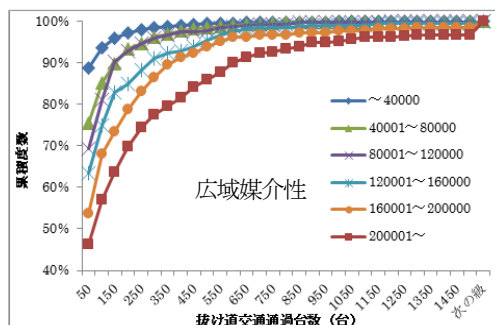
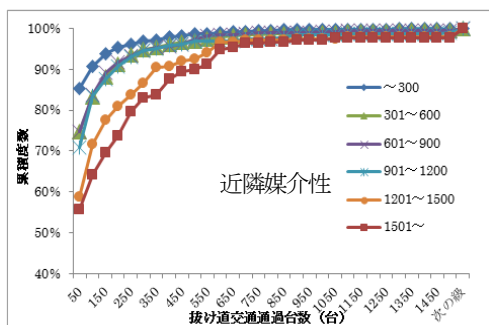


図-7 媒介性のランク別抜け道交通通過台数の累積度数分布

基盤地図情報縮尺レベル2500の建物外周線とDRMをGIS上で可視化し、DRM上の対象とする道路を中心に半径500mの円を書き、その中に含まれる建物の数とした。また、説明変数・目的変数を標準化し、重回帰分析によって得られた係数を抜け道への影響の大きさとして解釈出来るようにした。

表-1は重回帰分析の結果である。なお、各間の相関は最大でも0.56であり、多重共線性の影響は小さいと考えられる。抜け道としての利用への影響の大きい順に広域媒介性>広域近接性>近隣媒介性>街路密集度となった。このことから、近隣よりも広域の街路接続性が抜け道としての利用に関係があることが分かった。また、街路同士の接続の強さを表す近接性よりも途中経路としての含まれやすい街路構造を表す媒介性の方が抜け道としての使われやすさに影響があることが分かる。

それに対し、近隣近接性は抜け道への影響の大きさが負の値をとっていることから、近隣近接性が大きいほど通過台数が少ないということを示している。近隣での接続が良くても、必ずしも幹線道路などの通過台数の多い道路と接続しているわけではないことが原因として考えられる。また、建物密集度に関しては有意とはならなかった。

表-1 重回帰分析の結果

説明変数	係数	t値
街路密集度	0.042	2.391 *
建物密集度	-0.019	-1.272
近隣近接性	-0.049	-2.751 **
広域近接性	0.115	8.774 **
近隣媒介性	0.101	7.349 **
広域媒介性	0.284	23.907 **
R ²		0.129
標準誤差		0.933
標本数		7965

※t値における**は1%有意、*は5%有意を表す

4. クラスタ分析による抜け道の分類

ここでは、特に抜け道通過台数の多い道路についていくつかの指標を用いてクラスタ分析を行い、4グループに分類することで、指標値の組み合わせにより抜け道の特徴を把握していく。

(1) 使用する指標値

本研究での抜け道の定義は、沿道の状況、他の道路に対する代替性を考慮していない。これらを考慮するため、クラスタ分析で使用する説明変数として、抜け道を使用したユーザー数、接続特性である近接性（近隣・広域）、媒介性（近隣・広域）、街路密集度、建物密集度、抜け道が含まれる地域の用途地域（住居地域（用途

地域において準住居地域以上⁹⁾）：1、それ以外：0）を選定した。加えて、旅行時間の影響を把握するため、図-8のように幹線道路（市町村道以下かつ幅員5.5m以下でない道路）のみを通った場合と途中で抜け道を利用した場合の平均旅行時間をプローブデータに基づき算出し、幹線道路のみを通った方が早い場合を1、途中で抜け道を利用した方が早い場合を0とすることで数値化する指標を加えた（以降、「旅行時間」と称する）。

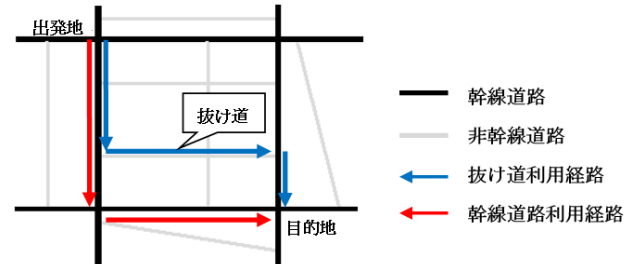


図-8 旅行時間指標の算出

(2) 各グループの特徴

通過台数が1000台以上の抜け道55本についてクラスタ分析を行い、4つのグループに分け、GIS上で可視化した結果が図-9である。また、各グループごとに指標値の平均をとったものを図-10に示す。これらを用いた上で、各グループの特徴を述べていく。

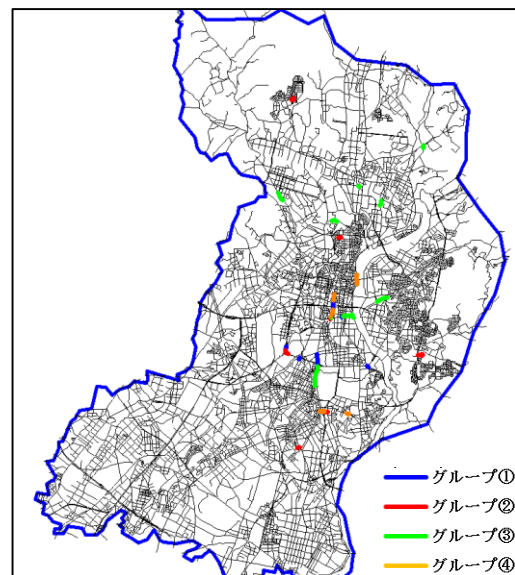


図-9 各グループの位置

グループ①<広域移動に抜け道として使われる街路>

特に通過台数の多い抜け道55本の中で16%を占め、図-10より他のグループに比べて広域媒介性が非常に高い値を示していることが分かる。また、広域近接性も比較的高い値を示しているが、近隣媒介性や近隣近接性は他のグループと差はない。このことから、広域への移動に

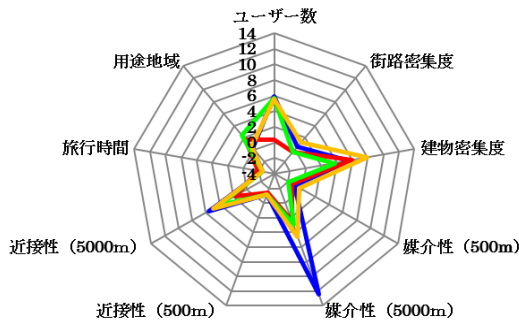


図-10 グループ別の各指標値の平均

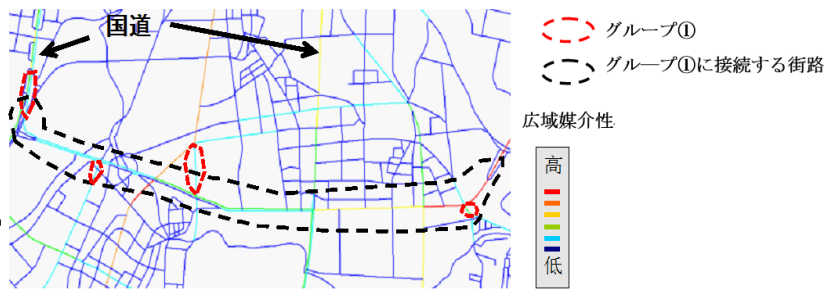


図-11 グループ①の一例

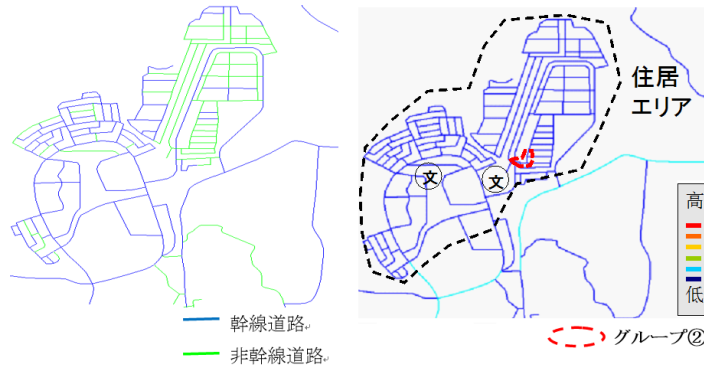


図-12 グループ②の一例



図-13 グループ④の一例

有利な空間特性を持つ街路であることが分かる。

また、図-9よりグループ①は中心市街地付近に多くみられる。特に集中しているエリアを抜きだし、広域媒介性のランク別に色分けしたものが図-11である。グループ①に接続する道路(黒の点線部分)ではグループ①と同様広域媒介性が高く、広域に移動できる2本の国道に接続している。そのため、グループ①は黒の点線部分の道路・国道を経由した上で、実際に広域の移動に使われやすいと考えられる。

グループ②<一部利用者が定常的に利用する地区内街路>

全体の18%を占め、図-10より他のグループと比較して接続特性があまり良くないため、認知されにくく途中経路に含まれにくい空間特性を持つ街路であることが分かる。しかし、ユーザー数が非常に少ないことから、ある特定の人々が何度もこれらの街路を利用しているため通過台数が多くなっていると考えられる。

また、図-9から分かるようにグループ②は全体的に中心市街地から外れた場所にある。また、建物密集度・用途地域が他のグループに比較し、若干ではあるが高くなっている。グループ②の用途地域を確認していくと、90%が住居を目的としたエリアであることから、建物密集度が高いと考えられる。そのため、グループ②は単純に建物が多いと運転しづらくなり通過台数が少なくなってしまうところだが、地区内交通として仕方なく利用しているため通過台数が多くなっていると考えられる。図-12はグループ②の一例を示したものであるが、すべて

住居エリアで幹線道路・非幹線道路が混在している地域である。そのため、幹線道路沿いに住んでいる人々が他地域に移動するために赤い点線部分の抜け道を地区内交通として利用し、通過台数が多くなっていると考えられる。

グループ③<他の経路選択肢が少ない街路>

全体の38%と最も多い割合を占めている。また、図-10より他のグループと比較すると街路密集度が低い街路である。そのため、経路選択肢が少ないため特定の街路に集中してしまい、通過台数が多くなっていると考えられる。

また、図-9からわかるように住居・中心街などさまざまなエリアに混在している。他のグループに比べ、グループ④の周囲には公園やスタジアム・トヨタ自動車本工場などの比較的視野の開けた空間が近くにある。さらに、建物密集度が低い街路であるため、人通りも比較的少なく、運転しやすい街路だと考えられる。

グループ④<近隣移動に抜け道として使われる街路>

全体の28%を占め、図-10より他のグループに比べて近隣媒介性が高い値を示している。このことから近隣の移動に有利な空間特性をもつ街路であることが分かる。

また、グループ④は建物密集度も比較的高い値をとっている。図-9からグループ④は住居・中心街などさまざまなエリアに混在していることから、建物といっても住宅街や商業施設など様々なものが含まれていると考えら

れる。

図-13 はグループ④の一例を抜き出し、近隣媒介性のランク別に色分けしたものである。この街路は住宅・店舗の集中するエリアを結ぶ役割を果たしていることから、実際にグループ④の街路から比較的近隣の場所に移動する際に使われると考えられる。

5. 結論

本研究では、大量のプロープデータから抜け道交通を抽出し、Space Syntax 理論の Segment Angular Analysis を用いて接続特性を算出することで、抜け道交通の通過台数と接続特性との関係性を把握していった。これにより、接続特性の指標値が高くなるにつれて、抜け道通過台数が多い街路の占める割合が高いことが示された。

また、抜け道としての利用への影響の大きい順に広域媒介性>広域近接性>近隣媒介性>街路密集度となった。このことから、近隣よりも広域、近接性よりも媒介性が抜け道としての利用に関係があることが分かった。それに対し、近隣近接性は値が大きいほど通過台数が少ないという結果になった。近隣での接続が良くても、必ずしも幹線道路などの通過台数の多い道路と接続しているわけではないことが原因と考えられる。また、建物密集度に関しては有意とはならなかった。

最後に特に通過台数の多い抜け道（都道府県道並みの交通量を持つ道路）についていくつかの指標を用いてクラスター分析を行い、4グループに分類した。広域移動に抜け道として使用される街路・一部利用者が定常的に利用する地区内街路・経路選択肢が少ないため利用される街路・近隣移動に抜け道として使用される街路とそれぞれの抜け道の特徴を指標値の組み合わせにより把握することができた。

今後の展望として、実際の抜け道の発生しにくい街路ネットワーク計画に応用できるような街路接続性を用いた指標の作成があげられる。

謝辞： 本論文を作成するにあたり、スペースシンタックス・ジャパン株式会社の高松誠治氏から、丁寧かつ熱心なご指導を賜りました。ここに感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 井戸章博、嶋田喜昭、橋本成仁：ドライバーの「抜け道」利用メカニズムの検討，土木計画学研究・論文集 vol.23, 2006
- 2) 橋本成仁・谷口守・吉城秀治：ドライバーの街路空間イメージを利用した通過交通の抑制に関する研究，都市計画論文集，No.44-3, pp.67-72, 2009
- 3) 交通事故総合分析センター：生活道路上の歩行者事故の特徴
- 4) 警視庁：「ゾーン 30」の概要
http://www.npa.go.jp/koutsuu/kisei32/H25_zone30.pdf
- 5) Hillier,B.: Space is the Machine, Cambridge University Press, 1996
- 6) 高野裕作, 佐々木葉：Space Syntax を用いた都市空間構造研究の動向と展望，景観・デザイン研究講演集，No.6, pp.183-190, 2010.12
- 7) 高松誠治, 堀口良太, 赤羽弘和：道路網の位相幾何学的評価尺度を導入した交通事故リスク推計モデルの構築，交通工学，Vol44, pp.54-62, 2009.1
- 8) 西村卓也：街路の利用特性と接続特性の関係に関する実証研究，土木計画学研究・講演集，2013
- 9) 豊田市 HP：都市の基盤づくり（道路）
http://www.city.toyota.aichi.jp/division/an00/an05/1252475_17400.html