

弘前市の道路計画が都市空間構造に与える可能性

大橋 忠宏¹， 鷲見 雄哉²

¹弘前大学人文学部（〒 036-8560 青森県弘前市文京町1）

²旭川信用金庫（〒 070-8660 北海道旭川市4条通8丁目）

1. はじめに

弘前都市圏を概観すると、当該地域は様々な都市問題を抱えていると言えよう。たとえば、交通環境については土手町や中心流入部での通勤時の交通混雑の発生や、道路の質の問題としては歩車分離の不徹底による道路の効率的利用の阻害などである。これらの他にも、冬期間の積雪による道路環境の更なる悪化も挙げられる。さらに、都市活動全体の問題としては、都市の郊外化による中心市街地（土手町）の商業活動の停滞や、人口減少が進行していることなどが指摘される。以上の問題に対しての弘前都市圏の道路計画を見ると、後述するように内環状・外環状や放射道路の整備など、環状道路あるいは迂回路による交通混雑の解消にその主眼が置かれている。しかし、道路整備による道路ネットワークの変化は、地域（土手町、城東など）の交通利便性（アクセシビリティ¹）の変化を呼び、産業や人口の配置（住民や企業の立地行動）に大きな影響を与える。すなわち、弘前市での市街地の郊外化による土手町商業地域の衰退と道路整備を含む都市計画は独立なものではなく、お互いに密接に関係しているのである。したがって、道路計画による交通利便性の変化を正しく計測し把握しておく必要がある。

以上のような現状に対して、先行研究、特に、交通施設整備が都市内空間構造に与える影響に関するものには、Miyamoto and Udomsri（1994）や宮城他（1995）などが挙げられよう。これらでは、十分なデータ蓄積に基づいて土地利用・交通モデル²を構築し、交通施設整備が都市内空間構造に与える効果計測が行われている。ただし、このような精緻なモデルを用いる分析を行うためには、詳細な交通行動データや空間属性を持つ社会経済データが必要となる。一般に、このようなデータ整備が行われているのは人口50万人以上の都市や一部の県庁所在地であり、多くの地方都市ではデータ整備そのものも行われていない。しかしながら、大都市と比較して、地方都市の方が中心市街地の衰退や公共交通維持の問題など、交通に起因する都市問題はより深刻であると言えよう。したがっ

¹アクセシビリティの一般的な定義は、潜在的に地域間で交流をもつ可能性（the potential of opportunities for interaction）であるとされる。他の定義として空間における相互作用（spatial interaction）の容易さ、ネットワーク上におけるノードの吸引力などがある。

²土地利用・交通モデルとは、初期には土地利用モデルと交通モデル各々モジュール化し、相互にフィードバックさせるものであったが、最近では土地利用・交通モデルを一つの閉じた系として扱う試みもなされている。

て、地方都市では大都市のように十分なデータ蓄積に支えられた政策分析を望むことは困難であるものの、交通施設整備が都市内空間へ及ぼす効果に関する分析への需要は非常に高いと考えられる。このような要請に対して、最小限のデータ整備で交通施設整備が都市内空間構造に与える効果を精度は落ちて計測できるような手法の開発が必要であると考えられる。このような意味で、市街地のアクセシビリティを計測し、都市内空間構造へ与える可能性について検討することは、簡便かつ代替的な分析手法として有効であると考えられよう。

以上を背景として本稿では、まず、弘前市の道路ネットワーク・道路計画の現状を把握する。そして、必要最低限のデータ整備として、弘前市の道路ネットワークデータを作成し、地域の魅力をアクセシビリティという面から計測し、道路計画による道路ネットワークの変化によって、その地域の魅力がどのような影響を受けるかを分析することを目的とする。

2. では、弘前都市圏の交通環境や都市活動とそれに対する道路計画の現状を把握し、地域相互間の空間的関連性を見るために地域を単位とした弘前都市圏人口集中地区の道路ネットワークデータを作成する。3. では道路ネットワークデータを活用し、道路整備による地域のアクセシビリティの変化を計測し、道路計画の評価を行う。

2. 弘前都市圏の道路計画と道路ネットワークデータの作成

2.1. 弘前都市圏の道路網の特徴

弘前都市圏の道路網は弘前城を中心としたネットワークになっている。これは弘前市が城下町として発展してきたことに起因する。すなわち、弘前城の築城（1603）以来の城郭を中心に道路、街路が形成され、さらに、戦災にもあわず古い町並みそのままに現在の道路ネットワークに反映されている。このことは以下で述べる現況での交通環境の問題に深く関連している。

弘前都市圏における交通環境の問題点として、まず、都心及び都心流入部の交通混雑が挙げられよう。混雑が頻発する路線は、国道7号の2車線区間、弘前環状線、石川百田線、桔梗野富田線などが挙げられる。弘前市の道路網は弘前城を中心とする放射型であり、地域間移動に際して中心部を通過することを余儀なくされる。その結果、中心部への通過交通が発生する。加えて、狭隘な道路幅員と歩道不足による歩車分離の不徹底が交通混雑をさらに悪化させている。ただし、混雑は道路形状や道路の質の問題のみに起因しているのではなく、バスなどの公共交通の利用率低下も一因として考えられる。すなわち、私的交通の利用は土地利用が低密な地域では社会的に望ましい場合もあるが、道路利用という観点からは必ずしも効率的輸送方法ではない。他方、公共交通利用は道路利用の観点からは効率的であるが、アクセスや供給密度の観点からは、旅行者にとって必ずしも利用しやすいもので無く、結果として弘前都市圏では私的交通の利用率が高くなっている（弘前都市圏総合都市体系調査報告書（1992））。また、積雪による道路環境の違いも他の地方都市では見られない特徴と言えよう。

上述の交通問題に対して、弘前都市圏総合都市交通体系調査報告書（1992）によると弘前都市圏では、基本方針として、環状道路、放射道路の整備ならびに歩道、自転車道の整備、そして、土手町商業地区の駐車場整備が計画されている。ただし、報告書ではどちらかと言えば交通環境に関する問題の解決については言及されているが、個別問題に対する対処療法的である場合が多く、さらに、よ

り本質的には上位計画としての都市のマスタープランとの整合性に関して十分な検討が行われていないと考えられる³。すなわち、都市全体の空間構造へ与える影響については十分な検討が行われているとは言い難い。

たとえば、土手町商業地区における駐車場不足と公共交通利用率の低下を挙げ、各々に対しての対処療法的な解決策が計画されている⁴。しかし、これら2つの問題は相互に関連している。土手町商業地区における駐車場の不足は公共交通利用率の低下すなわち自動車に代表されるような私的交通の増加に起因している。したがって、公共交通機関の利用率低下を解決しない限り、駐車場不足の問題も解決できないと考えられる。また、都市活動上の問題として土手町商業地区の衰退や、中心部の人口減少・ドーナツ化が問題としてあげられているが、それに対する道路計画からの解決策は明示されていないと言えよう。すなわち、当該報告書では都市活動における問題と交通の問題を別々に捉えられているのである⁵。本来、交通需要は都市活動（家計の消費行動や企業の業務活動）に派生的に生じるものである。しかし、当該道路計画では環状線などの道路拡張による交通混雑の解消⁶に主眼がおかれており、商業地区などでの地域の多様な活動という観点については殆ど言及されていない。商業地区の活性化策には、地域の交通利便性（アクセシビリティ）という視点が不可欠なのである。この視点が欠けていることは、地域間の相対的關係という視点から道路計画を考えるということがなされていないと考えられよう。

2.2. 道路ネットワークデータ作成のための基礎データ作成

弘前 DIDs (Densely Inhabited Districts : 人口集中地区) を対象に作成した道路ネットワークデータについて説明しよう⁷。基礎データ作成は以下の手順に従った。ノード番号対応表を表-1に、道路ネットワークを図-1に示す。

- (1) **ゾーンの設定**：DIDs を対象に基本的に町を単位にゾーン分割。
- (2) **ノードの設定**：各ゾーンの交差点にセントロイド（ゾーンの中心点）とそれ以外のノードの設定。
- (3) **リンクの設定**：ノード間を結ぶリンクの設定。
- (4) **リンクデータの入力**：リンク情報のデータ化。

³当該報告書では交通実体調査（交通量調査が中心）に基づく検討がなされている。交通量調査では断面交通量の把握が主であり、短期的な交差点改良などには効果的であるが、当該調査から OD 交通量を把握することは困難である。すなわち、交通環境を把握する上で、理想としては旅行目的別の OD 交通量の把握することが重要であり、これにより、交通機関や経路選択に関する旅客の嗜好の把握が可能となる。さらには、他の経済データとあわせることで道路計画と都市構造との関係について精緻な分析が可能となる。

⁴駐車場の問題に対しては、駐車場を新たに増設する。公共交通機関の問題にたいしては、その有効活用としか述べられておらず明確な解決策は策定していない。

⁵都市経済学の観点からは、一般に都市はコンパクトかつ多少の混雑がある方が社会的に最適であることが広く知られている（たとえば佐々木、文（2000））。すなわち混雑がない状況は土地利用という観点からは非常に無駄が多いのである。

⁶交通混雑の解消もまた、公共交通機関の利用率低下問題の解決なくしては達成できないと考えられる。

⁷依田（2001）は、「ネットワークとは、ヒト、モノ、エネルギーまたは情報を運ぶために形成され、層構造を持ち、場所の制約を伴う物理的媒体」と定義している。

まず、(1) のゾーンの設定について、基本的に町丁字を1つのゾーンとする。ただし、極端に人口・面積が小さい町については周辺ゾーンに統合する。この理由はゾーン規模の格差を最小限し、道路ネットワークデータより求められるアクセシビリティ計測をより正確に行えるようにするためである。また、アクセシビリティ計測は各地域の1995年度国勢調査に基づく人口データを用いるが、当初の町丁字境界が現在と異なっている部分が数箇所ある。この場合、平成1995年度の町境界を採用する。

次に、(2) のノードの設定について、ゾーンのセントロイドとなるノードは、ad hoc であるが、当該ゾーン内の交差点に設定する。ゾーン内には一般に複数の交差点が存在するが、選定基準は他のゾーンへ移動する場合の利用可能性である。その際、交差点の利用可能性の優越がつけがたい場合、ゾーン内の人口密度を考慮して、より高い人口密度が高い部分に含まれる交差点を選定している。ゾーン内に交差点がない場合は、バス停をセントロイドとし、バス停がゾーン内に複数ある場合には交差点同様、ゾーン内の人口密度を考慮してより高い人口密度が高い部分に隣接するバス停を選定している。さらにゾーンのセントロイド以外にも、ゾーン内において主要な交通結節点となる交差点にノードを設定している。なお、道路整備により新設される交差点にもノードを配置している。

(3) のリンクの設定について、ノード間を結ぶリンクは、ノード間の主要かつ最短距離の経路とする。ただし、街路は特別な場合を除き除外する。この最短経路はゼンリンの電子地図を利用する。

最後に、(4) リンクデータについて、リンクの情報は、道路長、時間距離、リンク上に存在する信号数、踏切の数、リンクに設定された道路の車線数としている。なお、車線数は次のように分類する。片側1車線で、歩道・自転車道がない道路を1、片側1車線で歩道、自転車道がある道路を1.5とし、片側1車線だが幅員が極端に狭い、あるいは曲折が多く自動車の走行速度が低く制限される道路を0.5とした。片側2車線道路を2、片側3車線道路を3と分類する。また、特定のリンクに関して車線数にばらつきがある場合、最も狭隘となる地点での車線数を当該リンクの車線数としている。リンク長については、道路長をゼンリンの電子地図より計測し、時間距離の観測データは実際に道路を走行して計測している。なお、アクセシビリティ算出のための時間距離は、道路改善効果を計測するため、リンク長や車線数、信号数による推定値を利用する。

2.3. 道路ネットワークデータの作成

(1) リンク時間距離モデル

リンクの時間距離は、路線の道路長、路線に存在する信号数、踏切数によって決定されると考える。257の観測値による推定結果は以下の通りである。

$$\ln(T) = -0.574 + 0.833 \ln(D) - 0.197 \ln(R) + 0.133 \ln(S), \text{ adj. } R^2 = 0.802$$

(-7.764)
(28.476)
(-5.827)
(4.699)

T はリンクの時間距離、 D は道路長、 R は道路の車線数、 S はリンクに存在する信号・踏切の数である。パラメータの下段にある括弧内の数値は値であり、いずれも高度に有意である。したがって、式(2.8)のリンク時間距離モデルから推定される時間距離をリンクデータとして採用する。

(2) 地域間旅行時間マトリックスの作成

地域間の移動所要時間は、道路ネットワークにおける地域間の時間距離の最短経路（最短パス）探索により求める⁸。なお、最短経路はダイクストラ法によって求める。ダイクストラ法とは、交通ネットワークのようなリンク、ノードが多数存在する大規模な道路ネットワークにおけるノード間のルート検索を効率的に計算する方法である。ダイクストラ法のアルゴリズム、Fortran95 上でのプログラムリスト、入出データについては鷺見（2003）の付録を参照されたい。

3. アクセシビリティ計測に基づく道路計画の評価

前述したように、地域のアクセシビリティの変化は長期的には都市の空間構造をも変えてしまう。そして道路計画、すなわち、道路ネットワーク整備は、地域のアクセシビリティに直接的に変化をもたらす一つの大きな要因である。したがって、道路ネットワーク整備は、地域のアクセシビリティ変化を十分に考慮した計画を基に行われるべきである。しかしながら、弘前都市圏における道路計画は、交通渋滞の解消にその主眼がおかれ空間構造の変化については必ずしも十分に計測された計画とはなっていない。

ここでは、以上のような問題意識の下で、地域のアクセシビリティという視点から実際に弘前都市圏を対象地区として進められている道路計画のうち、富士見町撫牛子線、内環状線の二つの道路整備についてアクセシビリティ計測に基づくシミュレーションを通じ、都市における空間構造の変化の可能性について評価を行う。

3.1. アクセシビリティ指標

評価の基本的な考え方は次の通りである。まず、弘前都市圏における道路ネットワーク整備がDIDs内の各ゾーンのアクセシビリティを変化させることによって、町の魅力度、地域間の効率性の相対比に影響を与える。次に弘前都市圏内の人口配置や投資の地域配分に変化を呼び、それを受け最終的に弘前都市の構造に影響を及ぼすというものである。

POP_i を地域*i*の人口、 T_{ij} を地域間の時間距離として地域の絶対的アクセシビリティ指標を次のように定義する⁹。

⁸道路整備によって、現況の道路ネットワークには新規リンクが追加され、既存のリンクも改善がなされる。整備後の道路ネットワークデータを作成するためには新たに追加されるリンク、または整備によって車線数が増加するリンクの時間距離を推計する必要がある。再推計にはリンク時間距離モデルを用いる。そして、推計値を基に各道路（後述される内環状線・富士見町撫牛子線）整備後の地域間旅行時間マトリックスを作成する。なお、新規リンクの情報については、まず道路長は弘前市発行の都市計画地図に基づきゼンリン電子住宅地図で計測している。信号数・踏切数は設置箇所を予測し（信号機は既存の道路と交差する場所、踏切は鉄道線路と交差する箇所に設置される）入力している。道路整備によって車線数が増加するリンクはリンク時間距離モデルを用いて再度時間距離を推計する。

⁹代替的指標として、たとえば $ACCH_i^A = \sum_j POP_i \cdot POP_j / T_{ij}$ についても計算したが、現況再現の観点から最終的には式（1）の指標を採用した。

$$ACCI_i^A = \sum_j \frac{POP_j}{T_{ij}} \quad (1)$$

式(1)は人口規模が大きい町への訪問時間がより短いほど望ましいことを意味している。以上の指標を用いて現況の道路ネットワークと内環状線・富士見撫牛子線整備後の道路ネットワークにおける各町のアクセシビリティ値を、それぞれ計測し、両値を比較することにより、道路ネットワーク整備による町のアクセシビリティへの影響を分析する。各地域の人口は、1995年の国勢調査人口のデータを用いる。

次に、地域の相対的アクセシビリティを計測する指標は、式(1)で計測される絶対的アクセシビリティ指標を元に次のように定義される。

$$ACCI_i^R = \frac{ACCI_i^A}{\sum_k ACCI_k^A} \quad (2)$$

3.2. 評価対象となる計画路線の選定と分析シナリオの設定

評価対象となる路線の選定に際しての基準は、まず、都市計画区域内に設置される路線で優先順位の高いものとする。ちなみに、弘前市が設定している都市計画区域とDIDsはほぼ一致している。したがって、たとえば外環状線は、一部都市計画区内を通過するが大部分は対象区域外を通過する計画になっており本稿のシナリオの対象からは除外する。整備優先度について、弘前市における道路計画は、計画された路線整備のすべてが同時に実施されるわけではなく、青森県が独自の基準により整備優先路線を選定し、優先度順に整備が行われる。以上の二点の基準を満たす路線は、県で優先度の高い路線として中期道路網計画路線にも上位で選定されている内環状線と富士見町撫牛子線である。

また、上記の二路線は、弘前都市圏総合都市交通体系調査報告書(1992)では、渋滞解消という観点から内環状線、環状道路へ誘導する放射道路整備の重要性を唱えているという点からも適当であると考えられ、将来基本ネットワークパターンに組み込まれている路線である。放射道路については他にも優先度が高く設定されている計画路線もあるが、富士見町撫牛子線は、内環状線、外環状線に誘導する放射道路と広域重要幹線道路と報告書で定義されている点から選定している。

以上により、弘前都市圏における道路ネットワーク整備に関するシナリオとして、評価対象である内環状線・富士見町撫牛子線の整備完了順で2ケースを設定する。

シナリオ0： 現況

シナリオ1： 富士見町撫牛子線のみ整備

シナリオ2： 富士見町撫牛子線に加えて内環状線整備

主要商業地区としては、土手町、駅前、城東、和徳の4地区を想定する。4地区の地理的關係については図-1も併せて参照されたい(ノードの対応關係については表-1を参照のこと)。この内、土手

町，駅前，和徳の3地区はいわゆる中心市街地に相当する。当該4地区の特徴として，土手町商業地区は古くからの小規模商店が密集したアーケード街を中心に中三デパートが立地し，鍛冶町に飲食街が展開している。駅前商業地区は，駅を中心にダイエー・イトーヨーカ堂が立地し，比較的新しい小規模商店などが展開している。和徳商業地区は，土手町同様，古くからの小規模商店が密集し，大型小売店舗は立地していない。城東商業地区は，さくら野百貨店を中心に映画館など大型商業施設を展開させている。

表-1：ノード番号対応表

ノード番号	町名	ノード番号	町名
1	石渡	93	櫛の町，茜町3
8	撫牛子，神田	94	西茂森
10	青山	96	在府町，根良町，南塘町
11	向外瀬	97	桶屋町，南川端町，銅屋町
12	沼中，藤野1，藤野2	99	吉野町，住吉町，紙漣町，桜林町
13	浜の町北，外瀬1，外瀬2	103	新寺町，新寺町新割町，北新寺町
14	浜の町，浜の町西，浜の町東	105	茂森新町
17	宮園	106	常盤坂
20	堅田，和泉	110	桔梗野
21	宮川	111	寒沢町
22	八幡町	112	富士見町
25	西城北，東城北	113	富田
26	栄町，春日町	114	御幸町，品川町
27	藤代	118	松森町
30	田町	120	川先
31	城東北，高崎	123	富田町
33	俵元	124	富野町，大富町
36	野田，北横町	125	樹木
37	田茂木町，禰宜町	128	西ヶ丘町
40	亀甲町，馬喰町，小人町，若党町，大浦町	130	文京町
42	紺屋町，五十石町，袋町	132	南富田町
43	山王町，笹森町	133	取上
45	松ヶ枝，稲田	134	小比内
46	田園	136	門外
47	末広	137	大清水
49	城東中央	140	北園
50	東和徳町	141	豊原
52	和徳町，茶畑町	142	稔町
55	東長町，長坂町，蔵主町	144	若葉
58	元寺町，上元寺町，下鞆師町，上鞆師町，元寺小路	145	緑ヶ丘
59	百石町，百石町小路，徒町，徒町川端町	147	清水
62	新町，西大工町，平岡町，河原町，馬越町	149	旭ヶ丘
63	馬屋町，鷹匠町	150	城南
65	下白銀町，上白銀町	151	三岳町
68	北瓦ヶ町，代官町，植田町，萱町，坂本町，南横町，北柳町，徳田町，南郷町，山下町，田代町，中瓦ヶ町，上瓦ヶ町，南瓦ヶ町，西川岸町，緑町	152	学園町
70	駅前	153	清原
74	高田	154	安原
75	豊田	155	松原東，広野
76	外崎	156	中野
78	城東	157	山崎
80	大町，南大町	161	金属町
85	土手町，山道町，鍛冶町，新鍛冶町，北川端町	162	青樹町
88	本町，元長町，元大工町，塩分町，森町，覚仙町	163	大開
89	茂森町	165	大原
90	南城西，南袋町	168	松原西
91	城西，茜町1，茜町2	169	富士見台
		172	千年
		174	原ヶ平
		177	桜ヶ丘

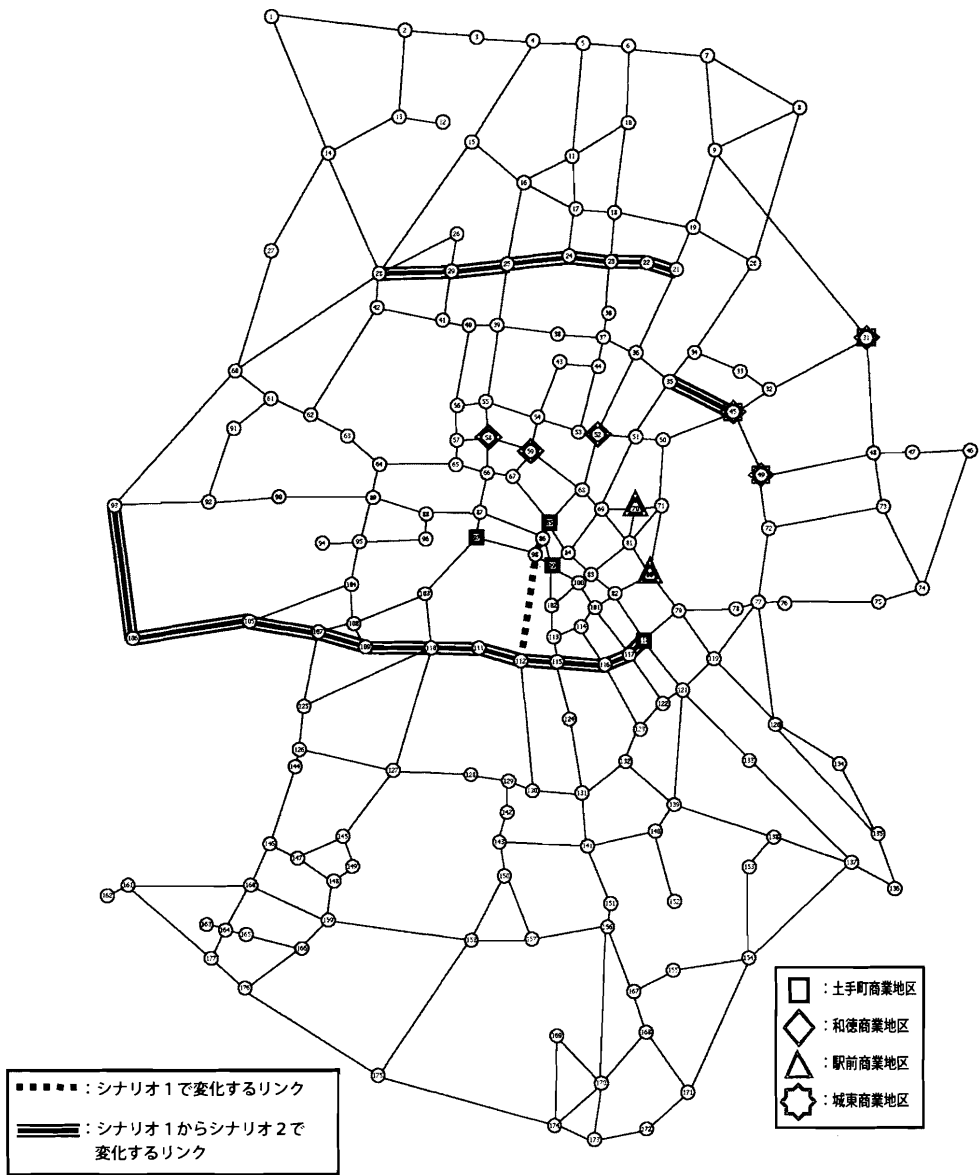


図-1：弘前市の道路ネットワークと分析シナリオの設定

3.3. シミュレーション結果と評価

(1) シナリオ0：現況再現

まず、現況の道路ネットワークにおける各町のアクセシビリティを式(1)、(2)により計測している。アクセシビリティの計測結果は表-2に示される。表-2によると、4商業地域である土手町や駅前、和徳、城東でのアクセシビリティは他地域と比べて相対的に高くなっており、直感的に現況をうまくトレースしていると考えられる¹⁰。したがって、概ね、以降のシナリオ分析に耐えうるものであると判断する。

表-2：現況再現

ノード	ACCI ^A	ACCI ^R ×10 ³	ノード	ACCI ^A	ACCI ^R ×10 ³	ノード	ACCI ^A	ACCI ^R ×10 ³	ノード	ACCI ^A	ACCI ^R ×10 ³
1	297	27.9	47	392	36.9	96	506	47.6	141	565	53.1
8	340	32.0	49	471	44.3	97	581	54.7	142	527	49.6
10	387	36.4	50	587	55.2	99	613	57.7	144	448	42.1
11	456	42.9	52	607	57.1	103	551	51.8	145	420	39.5
12	317	29.8	55	565	53.1	105	384	36.1	147	428	40.3
13	383	36.0	58	608	57.2	106	313	29.4	149	396	37.2
14	342	32.2	59	601	56.5	110	516	48.5	150	457	43.0
17	458	43.1	62	467	43.9	111	623	58.6	151	607	57.1
20	403	37.9	63	503	47.3	112	603	56.7	152	439	41.3
21	548	51.5	65	551	51.8	113	662	62.3	153	448	42.1
22	547	51.5	68	628	59.1	114	602	56.6	154	502	47.2
25	447	42.0	70	640	60.2	118	619	58.2	155	444	41.8
26	401	37.7	74	395	37.2	120	480	45.2	156	517	48.6
27	349	32.8	75	475	44.7	123	566	53.2	157	500	47.0
30	544	51.2	76	517	48.6	124	546	51.4	161	344	32.4
31	383	36.0	78	535	50.3	125	426	40.1	162	297	27.9
33	480	45.2	80	599	56.3	128	480	45.2	163	416	39.1
36	602	56.6	85	552	51.9	130	536	50.4	165	412	38.8
37	635	59.7	88	536	50.4	132	553	52.0	168	503	47.3
40	510	48.0	89	514	48.3	133	455	42.8	169	338	31.8
42	468	44.0	90	422	39.7	134	443	41.7	172	358	33.7
43	492	46.3	91	373	35.1	136	467	43.9	174	335	31.5
45	503	47.3	93	342	32.2	137	527	49.6	177	348	32.7
46	339	31.9	94	410	38.6	140	522	49.1			

(2) 富士見町撫牛子線が整備される場合（シナリオ 1）

富士見町撫牛子線が整備される場合（シナリオ 1）の結果を表-3に示す。シナリオ 1（富士見町撫牛子線整備）によって相対的アクセシビリティが大きく上昇する地域は、土手町地域（ノード番号 85, 28% 増）、富士見町（ノード番号 112, 12% 増）、北瓦ヶ町地区（ノード番号 68, 10% 増）であり、いずれも富士見町撫牛子線整備によってノードから延びるリンク数が増える地域である。その中でも土手町地域が飛躍的に相対的アクセシビリティを上昇させている。一方、安原（ノード番号 154, 2.75% 減）、門外（ノード番号 136, 2.74% 減）、清原（ノード番号 153, 2.74% 減）など、DIDs 南東部地域の相対的アクセシビリティの減少が最も大きい。

商業地区 4 地区で見ると土手町商業地区では、相対的アクセシビリティが上昇している地域は、土手町地区（ノード番号 85, 28% 増）、吉野町地区（ノード番号 99, 7% 増）、桶屋町地域（ノード番号 97, 4.35%）で、減少している地域は松森町（ノード番号 118, 2.7% 減）のみであり、商業地区全体でみた場合、上昇傾向となる。以降では、商業地区において、アクセシビリティの相対比が増加している地域が多い場合は商業地区の相対的アクセシビリティが上昇傾向であると定義し、逆に相対的アクセシビリティが減少している地域が多い商業地は、減少傾向と呼ぶこととする。

駅前商業地区では駅前町（ノード番号 70）の 0.36% 増とわずかな上昇に留まり、大町地区（ノード番号 80）は 2.4% 減少している。城東商業地区は、城東北地区（ノード番号 31, 1.4% 減）、城東中央（ノード番号 49, 1.8% 減）と共に相対的アクセシビリティを低下させている。和徳商業地区で

¹⁰ 厳密には、OD 交通量データが整備された環境の下で、OD 交通量を被説明変数とする回帰分析により、統計的な検証が必要であるが、今回は検証可能なデータが存在しないため、評価指標そのものの候補について入手可能なデータを利用して試行錯誤的に検討している。

表-3：富士見町撫牛子線整備（シナリオ1）

	ノード番号	ACCI ^A	ACCI ^R ×10 ³	ACCI ^R の変化率		ノード番号	ACCI ^A	ACCI ^R ×10 ³	ACCI ^R の変化率
D	85	730	15.6	28.47%	J	172	363	7.7	-1.39%
	112	698	14.9	12.48%		31	389	8.3	-1.40%
	68	713	15.2	10.41%		11	462	9.9	-1.43%
D	99	673	14.4	6.74%	174	340	7.2	-1.44%	
	111	671	14.4	5.16%	168	510	10.9	-1.44%	
W	52	655	14.0	4.94%	125	432	9.2	-1.46%	
	130	576	12.3	4.45%	40	517	11.0	-1.55%	
D	97	624	13.3	4.35%	105	388	8.3	-1.60%	
	142	556	11.9	2.61%	25	453	9.7	-1.63%	
	110	542	11.6	2.28%	144	453	9.7	-1.67%	
W	128	505	10.8	2.14%	63	509	10.9	-1.70%	
	36	631	13.5	1.92%	26	405	8.4	-1.79%	
	150	479	10.2	1.92%	62	471	10.1	-1.79%	
	124	571	12.2	1.57%	106	316	6.8	-1.80%	
	59	623	13.3	0.86%	49	475	10.1	-1.82%	
	21	567	12.1	0.74%	91	377	8.0	-1.84%	
	88	555	11.8	0.64%	42	472	10.1	-1.85%	
	157	517	11.0	0.61%	177	351	7.5	-1.93%	
	37	657	14.0	0.57%	14	345	7.4	-1.97%	
	30	563	12.0	0.51%	162	299	6.4	-1.99%	
E	70	661	14.1	0.36%	163	419	9.0	-2.05%	
	22	565	12.1	0.35%	161	347	7.4	-2.06%	
	50	606	12.9	0.34%	165	415	8.8	-2.07%	
W	96	521	11.1	0.05%	1	298	6.4	-2.12%	
	43	506	10.8	0.00%	12	319	6.8	-2.14%	
	20	414	8.8	-0.02%	27	351	7.5	-2.15%	
	8	349	7.5	-0.03%	13	386	8.2	-2.18%	
	141	578	12.3	-0.42%	94	412	8.8	-2.30%	
	10	396	8.5	-0.45%	47	394	8.4	-2.35%	
	33	492	10.5	-0.49%	80	602	12.9	-2.35%	
	145	430	9.2	-0.49%	46	341	7.3	-2.35%	
	65	563	12.0	-0.61%	132	555	11.9	-2.42%	
	58	622	13.3	-0.62%	140	523	11.2	-2.52%	
J	149	404	8.6	-0.78%	152	441	9.4	-2.53%	
	45	513	11.0	-0.79%	78	536	11.4	-2.55%	
	103	562	12.0	-0.90%	76	518	11.1	-2.60%	
W	147	436	9.3	-0.93%	120	481	10.3	-2.61%	
	17	467	10.0	-0.97%	114	603	12.9	-2.64%	
	156	526	11.2	-1.01%	134	443	9.5	-2.65%	
	55	576	12.3	-1.02%	75	476	10.2	-2.65%	
	89	523	11.2	-1.03%	118	619	13.2	-2.68%	
	151	618	13.2	-1.10%	75	396	8.4	-2.69%	
	113	673	14.1	-1.19%	133	456	9.7	-2.71%	
	93	347	7.4	-1.22%	123	567	12.1	-2.71%	
	90	48	9.1	-1.30%	137	527	11.2	-2.74%	
	155	451	9.6	-1.30%	153	448	9.6	-2.74%	
169	343	7.3	-1.36%	136	467	10.0	-2.74%		
				154	502	10.7	-2.75%		

D：土手町商業地区
E：駅前商業地区

J：城東商業地区
W：和徳商業地区

は北瓦ヶ町（ノード番号 68）で 10.4% 増, 和徳町地域（ノード番号 52）で 5% の増加, 百石町地域（ノード番号 59）では 0.86% と僅かな上昇, 元寺町地域（ノード番号 58）で 0.6% と僅かな減少となっている。よって和徳商業地区全体でみると相対的アクセシビリティは上昇傾向といえる。

以上をまとめると、富士見町撫牛子線整備を地域のアクセシビリティという視点から評価すると、整

備によって土手町地域を中心とした DIDs 中心部の町の相対的アクセシビリティが向上し、商業地区別でみた場合も土手町商業地区と和徳商業地の相対的アクセシビリティが上昇傾向となる。よって、弘前都市圏総合都市交通体系調査報告書（1992）で述べられている弘前中心商店街の衰退、人口減少、ドーナツ化現象をくいとめる中心市街地の再開発という面からは、この路線整備単独で見た場合、報告書（1992）の方向性にある程度、即した道路計画となっているように解釈されよう。しかし、駅前商業地区については、相対的アクセシビリティはさほど変わらない。むしろ僅かな減少傾向と言ってよい。また、これは富士見町撫牛子線整備のみを評価したものであって、シナリオ 2 の内環状線整備の効果と総合して、分析しなければより正確な評価は出来ない。

(3) 富士見町撫牛子線に加えて内環状線整備される場合（シナリオ 2）

まず、富士見町撫牛子線を追加した道路ネットワークにおける地域のアクセシビリティから内環状線整備後のアクセシビリティの相対比変化をシミュレートしたものである。シナリオ 1 からシナリオ 2 への変化に関する分析結果は表 -4 に、現況（シナリオ 0）からシナリオ 2 への変化に関する分析結果は表 -5 に示される。

まず、表 -4 を観て行こう。内環状線整備による各地域の相対的アクセシビリティの変化は、シナリオ 1 と同様、基本的に内環状線沿いに存在する地域の相対的アクセシビリティが飛躍的に上昇している。商業地区別でみると、土手町商業地区では松森町（ノード番号 118, 2.3% 増）のみが相対的アクセシビリティを上昇させているだけで、残りの土手町地域（ノード番号 85）、吉野町（ノード番号 99）、桶屋町地域（ノード番号 97）では 1% から 2% 減少させている。駅前商業地区も同様に、駅前町（ノード番号 70）、大町地域（ノード番号 80）では共に 2% ほど減少させている。また、和徳商業地区においても地区内の各地域で 1% から 2% 相対的アクセシビリティを下げている。一方、城東商業地区の相対的アクセシビリティは、松ヶ枝地域（ノード番号 45, 10.4% 増）を筆頭に、城東中央（ノード番号 49, 5% 増）、城東北地域（ノード番号 31, 3% 増）で上昇している。

以上をまとめると内環状線の整備は土手町商業地区内、駅前商業地区内、和徳商業地区内の全ての地域でアクセシビリティを減少させており、城東商業地区のみが上昇傾向であるということになる。次にシナリオ 1、シナリオ 2 を比較するとシナリオ 1（富士見町撫牛子線整備）によって、相対的アクセシビリティが上昇傾向であった土手町、和徳商業地区がシナリオ 2（内環状線整備）では減少傾向に転じている。逆に、富士見町撫牛子線整備後では減少傾向であった城東商業地区は、内環状線整備によって上昇傾向となっている。つまり、このシミュレーションでは土手町、和徳、城東、各商業地区の相対的アクセシビリティにとって、富士見町撫牛子線整備と内環状整備は、まったく逆の効果を及ぼしているということが言える。また、最も注目すべき点として、駅前商業地区でシナリオ 1、シナリオ 2 共に相対的アクセシビリティが減少傾向であることが挙げられる。

表-4：シナリオ1→シナリオ2への変化

ノード番号	ACCI ^A	ACCI ^R ×10 ³	ACCI ^R の変化率		ノード番号	ACCI ^A	ACCI ^R ×10 ³	ACCI ^R の変化率	
	106	396	8.1	20.41%		8	357	7.3	-1.56%
	25	549	11.3	16.73%	W	52	669	13.7	-1.66%
	26	464	9.5	10.35%		8120	491	10.1	-1.80%
J	45	587	12.1	10.15%		68	727	14.9	-1.83%
	105	444	9.1	10.14%		145	438	9.0	-1.96%
	111	763	15.7	9.03%		62	480	9.9	-2.00%
	22	632	13.0	7.80%		177	357	7.3	-2.00%
	110	602	12.4	6.86%		13	392	8.1	-2.08%
	21	622	12.8	5.55%		137	536	11.0	-2.10%
J	112	764	15.7	5.42%	E	12	324	6.4	-2.12%
	49	519	10.7	5.18%		70	671	13.8	-2.16%
	93	378	7.8	4.80%		162	304	6.2	-2.21%
	17	503	10.3	3.74%		134	450	9.3	-2.22%
	123	607	12.5	3.19%		130	585	12.0	-2.23%
J	30	602	12.4	3.10%		163	426	8.8	-2.23%
	31	415	8.5	2.74%	D	97	633	13.0	-2.25%
	36	673	13.8	2.60%		55	584	13.0	-2.28%
D	118	658	13.5	2.30%		165	421	8.6	-2.29%
	113	710	14.6	1.59%		149	410	8.4	-2.31%
	125	456	9.4	1.56%		161	352	7.2	-2.32%
	37	689	14.2	0.89%		147	443	9.1	-2.34%
	124	598	12.3	0.85%	E	80	610	12.5	-2.35%
	132	582	12.0	0.83%	W	59	632	13.0	-2.43%
	20	433	8.9	0.73%		136	473	9.7	-2.44%
	76	541	11.1	0.55%		153	454	9.3	-2.46%
	42	492	10.1	0.31%		96	528	10.8	-2.47%
	103	585	12.0	0.23%		65	570	11.7	-2.50%
	14	358	7.4	0.01%		89	530	10.9	-2.52%
	78	557	11.4	-0.04%	W	58	629	12.9	-2.56%
	10	410	8.4	-0.29%		141	585	12.0	-2.56%
	94	426	8.8	-0.44%		90	434	8.9	-2.58%
	75	492	10.1	-0.47%		1	302	6.2	-2.58%
	47	407	8.4	-0.50%		88	561	11.5	-2.59%
	50	626	12.9	-0.52%		63	514	10.6	-2.61%
	46	352	7.2	-0.60%		140	528	10.8	-2.87%
	74	408	8.4	-0.62%		128	509	10.5	-2.90%
	40	532	10.9	-0.90%		156	530	10.9	-2.93%
	33	506	10.4	-0.91%		152	444	9.1	-2.95%
	11	475	9.8	-0.97%		151	622	12.8	-2.95%
	144	466	9.6	-1.02%		142	560	11.5	-3.02%
	27	361	7.4	-1.05%		154	505	10.4	-3.13%
	114	619	12.7	-1.08%		150	482	9.9	-3.15%
	43	20	10.7	-1.13%		169	345	7.1	-3.16%
	91	387	7.9	-1.18%		155	454	9.3	-3.16%
D	99	689	14.2	-1.43%		168	512	10.5	-3.18%
D	85	747	15.4	-1.45%		172	365	7.5	-3.22%
	133	466	9.6	-1.52%		174	341	7.0	-3.36%
						157	519	10.7	-3.47%

D：土手町商業地区
E：駅前商業地区

J：城東商業地区
W：和徳商業地区

※シナリオ2における変化率は、富士見町撫牛子線整備後のACCI^Rから内環状線整備後のACCI^Rの変化率である。

次に、表-5に示される、現況(シナリオ0)からシナリオ2への変化を観て行こう。ここでは2路線整備を総合して評価する。現況と2路線整備後の各町または地域の相対的アクセシビリティの変化率は表2.7に示される。この結果からシナリオ1(富士見町撫牛子線整備)における土手町など、

表-5：現況（シナリオ0）→シナリオ2への変化率

	ノード番号	ACCI ^R の変化率		ノード番号	ACCI ^R の変化率
D	85	26.60%	W	40	-2.43%
	112	18.57%		145	-2.45%
	106	18.25%		78	-2.59%
	25	14.83%		144	-2.67%
	111	14.66%		94	-2.74%
	110	9.29%		47	-2.84%
J	45	9.28%		157	-2.88%
	68	8.39%		46	-2.94%
	26	8.38%		141	-2.97%
	105	8.38%		91	-3.00%
	22	8.18%		149	-3.07%
D	21	6.33%		65	-3.10%
	99	5.21%		75	-3.11%
	36	4.57%		58	-3.16%
	30	3.65%		27	-3.18%
J	93	3.62%		147	-3.24%
	49	3.27%		55	-3.29%
	52	3.19%		74	-3.30%
W	17	2.73%		89	-3.53%
	124	2.43%		114	-3.70%
	130	2.12%		62	-3.75%
D	97	2.01%		90	-3.84%
	37	1.46%		177	-3.89%
J	31	1.30%		156	-3.91%
	20	0.71%	151	-4.01%	
D	123	0.39%	162	-4.16%	
	113	0.38%	133	-4.19%	
	125	0.07%	12	-4.21%	
	50	-0.19%	13	-4.21%	
	118	-0.44%	163	-4.25%	
	142	-0.49%	63	-4.27%	
	103	-0.67%	165	-4.31%	
D	10	-0.74%	161	-4.33%	
	128	-0.83%	120	-4.36%	
	43	-1.13%	155	-4.42%	
	150	-1.29%	169	-4.48%	
	33	-1.40%	172	-4.56%	
	42	-1.55%	168	-4.57%	
	8	-1.58%	80	-4.65%	
	W	59	-1.59%	1	-4.65%
		132	-1.61%	174	-4.75%
	E	70	-1.81%	137	-4.78%
14		-1.96%	134	-4.81%	
88		-1.97%	136	-5.12%	
76		-2.06%	153	-5.13%	
11		-2.39%	140	-5.32%	
E	96	-2.42%	152	-5.40%	
			154	-5.79%	

D：土手町商業地区
E：駅前商業地区

J：城東商業地区
W：和徳商業地区

DID 中心部の町、地域の相対的アクセシビリティの上昇はシナリオ2（内環状線整備）によって相殺され、幾つかの町（土手町、富士見町、寒沢町）では二路線整備後も相対的アクセシビリティを大きく上昇させているものの、全体を概観するとドラステックに変化させるものではない。また、商業地区別でみた場合、土手町商業地区はシナリオ1（富士見町撫牛子線整備）の影響が大きく、その中心地である土手町地域は26%増と大きく上昇し、吉野町は5%上昇、松森町は僅かに減少してい

るものの、全体的にみれば上昇傾向といってよい。和徳商業地区においては2地域が上昇、残り2地域が減少と上昇傾向か減少傾向かを一概に判断することは出来ない。一方、城東地区商業地区は3地域（城東中央、城東北、松が枝）ともに相対的アクセシビリティを上昇させている点で土手町商業地区同様、上昇傾向となっている。また、ここで最も注目すべき商業地区はシナリオ2（内環状線整備）における評価の部分でも述べた駅前商業地区である。駅前商業地区は、シナリオ1、シナリオ2ともに減少傾向となっており、2路線整備によって駅前町が2%減、大町地域が5%減と減少傾向となっている。したがって、地域のアクセシビリティと経済活動が相互に密接に関係すると考えるならば、道路計画による2路線の整備は駅前商業地区にとって地域の魅力度を相対的に減少させるという点で集客、立地魅力面を減少させてしまう可能性があるという評価できよう。また、2路線整備によって土手町商業地区の相対的アクセシビリティは、確かに上昇傾向となったが、同時に城東商業地区も上昇傾向となっており、アクセシビリティという面からみた両地域の魅力度の違いは現状と、差ほど変化していないと推測できる。この結果より、この2路線の整備は、報告書（1992）において述べられている中心商店街の活性化という面で必ずしもそれに即した道路計画とはなっていないと評価できよう。都市計画で述べられている中心商店街の活性化を促すような道路計画は土手町商業地区の相対的アクセシビリティを上昇させる計画であることが最も重要であるが、このシミュレーションでは土手町商業地区と城東商業地区を比較した場合、道路整備による相対的アクセシビリティは両地域とも上昇しており、交通利便性（集客性）という面で、両地域の優位性の関係は現状とほとんど変わらないのである。

4. おわりに

本稿では、アクセシビリティの観点から弘前都市圏の道路計画が地域の魅力にどのような影響を与えるかを評価することを目的として分析した。まず、弘前人口集中地区（DIDs）を対象に道路ネットワークデータを作成した。次に道路ネットワークデータを用いて、弘前都市圏における富士見撫牛子線、内環状線整備という2つの計画道路を分析対象として、道路整備が地域のアクセシビリティにどのような影響を及ぼすのか変化するかシミュレーションした。その結果を要約すると次の通りである。弘前都市圏における道路計画（富士見撫牛子線、内環状線の2道路整備）は、各地域の絶対的アクセシビリティを上昇させるが駅前商業地区の相対的アクセシビリティは減少させる。また土手町商業地区と城東商業地区は2道路整備に伴い、両地区共に相対的アクセシビリティが上昇することによって、この2地域のアクセシビリティから見た優位性の関係は現状の道路ネットワークにおける関係とほとんど変化しないことが明らかになった¹¹。つまり、中心市街地の活性化という観点から、この道路計画は土手町商業地域の相対的な魅力を上昇させるものとはなっていないのである。都市計画においては現在、財政難により、効率的な公共施設の建設が必要とされている。しかし、弘前都市圏における道路計画は、渋滞解消にはつながるかも知れないが、中心市街地活性化には必ずしも

¹¹ 今回の分析では弘前市のDIDsのみが対象となっているが、現実には弘前都市圏と他地域との交流・交易が行われる。このような観点から言えば、他地域への玄関口に当たる城東地域の交通利便性からの優位性は今回の分析以上に大きいと考えられる。

資するものではなく、上位の計画との整合性には疑問をはさむものである。今後は、長期的な人口減少が予想される中、従来型の経済成長は望めない。したがって、行政コスト削減に向けて都市構造もよりコンパクトにし、集積の利益を最大限享受できるような都市形態が望まれるであろう。しかし、今回対象とした道路計画は、郊外化をより促進させる可能性を有していると言わざるを得ない。

ただし、次のような課題も残されている。すなわち、道路ネットワーク整備による地域のアクセシビリティの変化を計測する際に、地域の規模を表す指標として、国勢調査の人口データ（すなわち、夜間人口）を用いたが、規模を表すものは人口だけではなく域内総生産や昼間人口などによる検討も望まれる。また、地域間のアクセシビリティの格差を計測する際、地域内空間やゾーニングの違いは捨象されている。今後はこれらの要因も考慮したアクセシビリティ計測も必要であろう。最後に各商業地区のアクセシビリティによる魅力度の関係を見てきたが、商業施設の質については考慮されていない。あくまで交通利便性・集客性から見たその商業地域の魅力度を計測しているのである。しかし、商業施設の質、たとえば駐車場の広さや、扱われている財の多様性なども考慮できるような分析が必要となる。それによって、今後の道路計画の評価がより適確に行うことが出来ると考える。

謝辞：本稿は平成13・14年度弘前大学人文学部長裁量経費による研究プロジェクトの成果の一部をとりまとめたものである。研究プロジェクト遂行に当たり弘前大学人文学部学部長裁量経費による補助を受けている。これらの企画・作成を通じて、弘前大学の後藤寛助教授、船木洋一教授、赤城国臣教授、笠原幹助教授から多くの貴重な助言をいただいた。第8回数量経済学研究会では、弘前大学の山本康裕助教授、小谷田文彦助教授、飯島裕胤助教授、李永俊講師から建設的なコメントをいただいた。ここに記して感謝の意を表す。なお、本稿に関するあらゆる誤りや責任は筆者に帰属するものである。

参考文献

- 青木俊明，稲村肇，増田聡，高橋伸輔（1999），地区レベルでみた都市の居住特性の変化，『土木学会論文集』，No.625/IV-44，pp.79-88.
- Armstrong, W. and Taylor, J. (1993) , *Regional Economics and Policy 2nd ed.*, Harvester Wheatsheaf.
- Duluwate, S. and Ando, A. (1994) , Transportation and regional agglomeration in Japan: through a long-term simulation model 1920-85, *Journal of Advanced Transportation*, vol.29 (2) , pp.213—233.
- Duluwate, S. and Ando, A. (1993) , Impacts of regional Transportation improvements on urban development in Japan, *Journal of Advanced Transportation*, vol.28 (1) , pp.29—51.
- Forslund, U.M. and Johansson, B. (1995) , Assessing road investments: accessibility changes, cost benefit and production effects, *Annals of Regional Science*, vol.29 (2) , pp.155—174.
- 春名攻，山田幸一郎，堀整，川上浩太（2002），地方中核都市における中心市街地活性化をめざした交通施設整備の地区に及ぼす影響に関する研究，『土木計画研究会・講演集』，Vol.26，CD-ROM.

- 弘前都市圏総合都市交通計画協議会（1992），『弘前都市圏総合都市交通体系調査・報告書』，
 柏谷増男，朝倉康夫（2001），公共施設配置モデルを用いた広域道路網の評価，『応用地域学研究』，
 No.6, pp.39-50.
- 金広文，土井健司，後藤亮（2002），都市居住機能の向上が中心市街地活性化に及ぼす影響に関する
 研究，『土木計画研究会・講演集』，Vol.26, CD-ROM.
- 美濃雄介，青山吉隆，中川大，松中亮治，赤堀圭佑（2002），都市内高速道路網における拡幅プロジ
 ェクト実施順序に関する研究，『土木計画研究会・講演集』，Vol.26, CD-ROM.
- 三谷哲雄，山中英生（1998），中街路整備計画の評価とその適正整備水準，『土木学会論文集』，
 No.597, pp.87-97.
- 宮城俊彦，奥田豊，加藤人士（1995），数理最適化手法を基礎とした土地利用・交通統合モデルに関
 する研究，『土木学会論文集』，No.518/IV-28, pp.95—105.
- Miyamoto, K. and Udomsri, R.（1994），Present situations and issues of planning and
 implementation regarding land-use and transport in developing metropolises, *Journal of*
Infrastructure Planning and Management, No.482/IV-22, pp.87—97.
- 西井和夫，佐々木邦明，楊慶雲，寺林良平（2002），立地魅力度の距離低減関数を用いた製造業立地
 選択モデル，『土木計画研究会・講演集』，Vol.26, CD-ROM.
- 財団法人計量計画研究所（2001），『ミクロ的基礎を踏まえたシミュレーションに関する研究・中間
 報告書』.
- 衣田高典（2001），『ネットワーク・エコノミクス』，日本評論社．
- Reggiani, A. (ed.)（1998），*Accessibility, Trade, and Locational Behaviour*, Ashgate.
- Rietveld, P. and Bruinsma, F.（1997），Is Transport Infrastructure Effective?, Springer.
- Rietveld, P. and Boonstra, J.（1995），On the supply of network infrastructure: highways and
 railways in European regions, *Annals of Regional Science*, vol.29（2），pp.207—220.
- Sasaki, K., Kuniyama, S., and Sugiyama, M.（1995），Evaluation of road capacity and its spatial
 allocation, *Annals of Regional Science*, vol.29（2），pp.143—154.
- Sasaki, K., Ohashi, T., and Ando, A.（1997），High-speed rail transit impact on regional systems;
 does the Shinkansen contribute to dispersion?, *Annals of Regional Science*, vol.31, pp.77-98.
- 佐々木公明，大橋忠宏，安藤朝夫（1997），高速鉄道整備の地域システムに与える影響，『交通学研究』，
 1996年研究年報，pp.111—125.
- 佐々木公明，文世一（2000），『都市経済学の基礎』，有斐閣アルマ．
- Stough, R., Vickerman, R., Button, K., and Nijkamp, P. (eds.)（2002），*Transport Infrastructure*,
 Edward Elgar Publishing.
- 鷲見雄哉（2003），『弘前市における道路ネットワーク整備が市街地の魅力に与える影響』，平成14
 年度弘前大学人文学部卒業論文.
- Vickerman, R.W.（1995），The regional impacts of Trans-European networks, *Annals of*
Regional Science, vol.29（2），pp.237—254.