居住-移動統合分析に基づく 低炭素街区群デザイン手法の検討

高野　剛志[1]・森田　紘圭[2]・中村　一樹[3]・加藤　博和[4]・林　良嗣[5]

[1]正会員　大日本コンサルタント株式会社　大阪支社技術部（〒541-0058 大阪市中央区南久宝寺町3-1-8）
E-mail:takano_tsuyoshi@ne-con.co.jp

[2]正会員　大日本コンサルタント株式会社　中部支社技術部（〒451-0044 名古屋市西区菊井2-19-11）

[3]正会員　香川大学　工学部（〒761-0396 香川県高松市林町2217-20）

[4]正会員　名古屋大学大学院　環境学研究科（〒464-8603 名古屋市千種区不老町）

[5]フェロー　名古屋大学大学院　環境学研究科（〒464-8603 名古屋市千種区不老町）

低炭素な交通行動を誘導する街区群デザインを検討するため，交通手段ごとの分担率曲線を用いて居住地の周辺環境（土地利用・沿道環境）と交通手段の性能双方を考慮できる交通手段分担率予測モデルを構築した．その上で，都市フリンジ街区群において，将来の建物更新による市街地変化による交通手段分担率変化を予測するとともに，街区群デザインのコントロールや交通インフラ整備（歩道拡幅，自転車道設置，カーシェアリング導入など），公共交通サービス拡充，PMV普及による交通手段分担率の変化とCO_2排出量削減効果を分析した．その結果，歩行環境整備に伴い徒歩のトリップ数分担率は増加するものの，CO_2削減効果は小さいこと，地区内における自転車道設置やカーシェアリング普及を進めることによって，自動車から自転車や公共交通への転換が見込めることが明らかになった．さらに，同規模のインフラ整備や施策を実施しても，居住区域が集約された市街地は拡散している市街地に比べ，居住者の交通手段分担率変化とCO_2排出量削減効果が大きいことが示された．

Key Words : *low carbon city, District Planning, Transport Mode Share, Slow Mobility, Car Shareing*

1.　はじめに

近年，地球温暖化をはじめとした環境問題への対応や，少子高齢化に伴う交通弱者の発生，中心市街地の空洞化など，交通を取り巻く問題が多様化している．それに対し，歩行者や自転車など短距離交通に着目した交通施策，例えば，道路空間再配分による歩道・自転車道の面的整備，ゾーン 30 などが検討，導入されている状況である．さらに，コンパクトシティ政策の一環として歩いて暮らせるまちづくりが提唱されるなど，交通施策のフィールドは幹線交通ネットワークの拡充だけでなく，居住地（目的地）周辺のコミュニティースケールを対象とした対策へと広がりつつある．

加えて，日本における環境未来都市構想やスマートシティの盛り上がりなど，低炭素都市実現に向けた取り組みもまた進んでいる．交通分野の取り組みでは，公共交通への転換だけでなく，Personal Mobility Vehicle（PMV）や EV，PHV 等の次世代自動車の利活用のほか，駐車場集約やカーシェアリングなど，新たな交通手段の導入や交通手段の使い方を提案する施策が多く検討されている．しかし，これまで個々の施策について多くの実証実験・事業がなされ，事業実現性の観点から検討がされてきたものの，そのほとんどが一時的な導入であることから，継続的な居住者の交通手段分担率にどのように影響を及ぼすかといった観点からあまり効果検証はされていない．交通モデルによる検討として，三輪ら [1)]は交通手段経路選択モデルを構築し，自転車道の整備効果を経路選択，交通手段選択の観点から分析している．また，安田 [2)]はゾーン 30，歩道拡幅，自転車道設置位置，駐輪スペース，景観，シェアドスペース等を考慮した都心地区の道路空間デザインについて歩行者・自転車・自動車等の観点から評価を行っている．しかし，これらの研究では定性的な分析が中心であり，行動予測を行っている研究であっても，経路選択モデルにおいて考慮しているものが中心である．手段選択についてはコミュニティスケールでの施策実施による効果を十分に分析できていない．

他方，中道ら[3]は町丁目単位で住区をタイプ分けし，それぞれの住区タイプごとに居住者による自動車利用を原単位的に集計可能なシステムを構築している．しかし，原単位的な計算に基づくことから，カーシェアや PMV など，現在あまり普及していない施策については影響の分析が難しい．

しかし，こうした居住地周辺における沿道環境や交通手段の性能がもたらす居住者の交通手段分担率への影響は無視できないものと考えられる．**図-1** は第 5 回中京都市圏パーソントリップ調査より，基本ゾーン単位で徒歩または自転車の分担率が 50%となる距離を算出した結果である．歩行者自転車道が整備され，商業等の密度が高い名古屋市内では徒歩・自転車の利用距離が長く，郊外部や山間地では短い．同じ交通手段でも居住地によって利用する距離が大きく異なる．これには単に交通ネットワークの問題だけでなく，居住地周辺の沿道環境による影響も大きいと考えられる．

以上を踏まえ，本研究では居住地の周辺環境（土地利用・沿道環境）と居住者の交通手段選択を統合的に捉えた居住-移動統合型の交通手段分担率予測モデルを構築する．さらに，それを用いて都市フリンジ街区群における低炭素な交通行動を誘導しうる空間デザインについて，土地利用や交通インフラ（道路断面），各交通手段のサービス向上の観点から検討する．

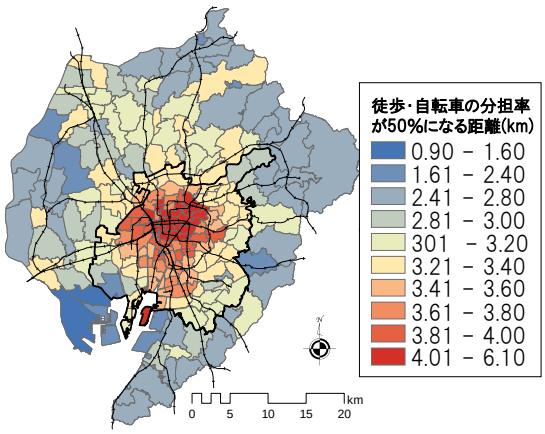


図-1　H23中京PTから集計した徒歩・自転車の分担率が50%になる距離

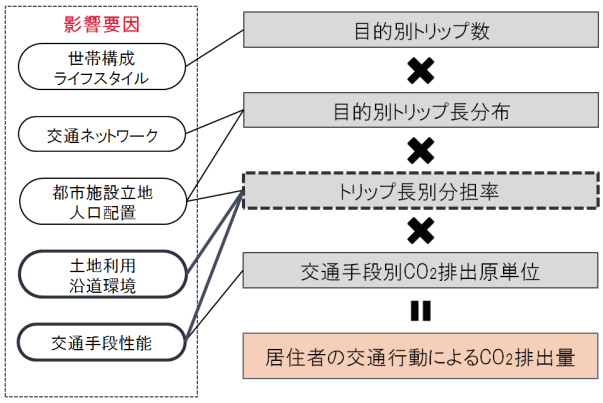


図-2　モデルの基本的考え方

2.　居住-移動統合型交通手段分担率モデルの構築

(1)　モデルの全体構成

モデルの全体構成を**図-2**に示す．一般的な非集計型の交通行動モデルでは，通常トリップインターチェンジ（ある目的のもとでの出発地から目的地までの移動，すなわちOD）が分析単位として用いられる．本研究では，特定の地区における施策効果の検討を簡易的に行うことを目的とするため，トリップインターチェンジでなく，対象地区のトリップエンド（対象地区を発着とするトリップ）を単位として，交通行動をトリップ数，トリップ長分布，トリップ長別分担率（分担率曲線）により説明できるものとし，それぞれが独立であると仮定する．トリップ数は主に世帯構成やライフスタイルの変化に，トリップ長分布は主に交通ネットワークや施設立地に，トリップ長別交通手段分担率は主に居住地周辺の土地利用や沿道環境などの地区デザインや交通手段の性能によって決定されると考えられる．本研究では沿道環境と交通手段の性能に着目することから，トリップ長別交通手段を対象に予測モデルを構築し，その他の要素については変化しないと想定する．

なお，交通施策導入による低炭素化効果を検証するための指標として，各交通手段群の平均限界トリップ長（説明は後述），トリップ数分担率（総トリップ数に対する各交通手段のトリップ数割合），トリップ長分担率（総トリップ長に対する各交通手段のトリップ長の割合），居住者の交通行動による CO_2 排出量を用いる．

(2)　トリップ長別手段選択モデルの定式化

交通手段の選択は，本来は出発地から目的地までの経路に基づく効用から決定されるものである．しかし，本研究では特に居住地周辺の土地利用や沿道環境に着目することから，目的地は居住地からの距離により表現し，各交通手段における分担率曲線の重ね合わせであると仮定する．具体的にはまず，選択可能交通手段集合 M（徒歩，自転車，自動車，バス・鉄道）を 2 つの群 s，t に分けた場合に居住地 i に住む個人 p が距離 l を移動するときに交通手段群 s を選択する確率 $P_i^p(s|l)$ を，式(1)のとおりロジスティック曲線によって近似する．

$$P_i^p(s|l) = \frac{1}{1+\exp(c_s^p(a_{is}^p - l))} \tag{1}$$

ここで，c_s^p ：距離低減パラメータ，a_{is}^p ：それぞれの交通手段群の分担率が 50%となる距離である．ここで，a_{is}^p を平均限界トリップ長と呼ぶこととする．これは，平均的な人が移動をするときに，どの距離まではその交通手段を利用するか（限界距離）を示すものであり，各交通手段別の平均移動距離とは異なる点に留意が必要である．その上で，a_{is}^p は目的地までの距離と地区 i の土地利用，沿道環境に影響されると想定し，ある交通手段群 s，t を想定した時の a_{is}^p は式(2)で表されるものとする．

$$a_{is}^p = \beta_{ik}^p X_{ik} + \gamma_s^p \qquad (2)$$

ここで，X_{ik} は地区 i における影響要因 k の説明変数，β_{ik}^p と γ^p はパラメータである．交通手段群 s，t の組み合わせを変えてそれらを重ね合わせると，**図-3** のようなロジスティック曲線によるトリップ長別分担率曲線を得ることができる．

(3) アンケート調査によるパラメータの推定

次に各交通手段別の影響要因 k（式(2)）を設定する．影響要因の設定にあたっては，以下の 2 つの条件と，分析を行う施策の観点から設定する（表-2）．

1) トリップ長の増加に伴い，交通手段の選択は徒歩，自転車，自動車，公共交通の順に変化する．
2) トリップ長が短い（徒歩・自転車）ときは主に居住地周辺の土地利用・沿道環境の影響が大きく，トリップ長が長くなるにつれて交通手段の性能による影響が大きくなる（**図-3**）．

指標の設定を行ったうえで，各影響要因の重みパラメータをアンケート調査（**表-1**）によって推定する．アンケート調査は居住地周辺の交通環境や交通手段の性能に関する 4 指標それぞれ 2 水準と目的地までの距離 3 水準の組み合わせで提示した各仮想条件（プロファイル）下で，どちらの交通手段群を利用したいかを選んでもらう形式とする．得られた選択結果をもとに，統計ソフトウェア（データ解析環境 R）を利用し，条件付きロジットモデルのパラメータの最尤推定法によりパラメータを推定する．この際，各影響要因のパラメータを目的地までの距離パラメータで除すことで，各変数を追加的に 1 単位増加させたときの各交通手段群の平均限界トリップ長の増減値が求められる．パラメータの推定結果および各変数と各交通手段群の平均限界トリップ長との関係を**表-2** に示す．

(a) ～ (c) では公共交通の固有変数以外は全て t 値が 1.96（有意確率 5%）を上回るパラメータが推定された．また，(a) 徒歩，(b) 徒歩・自転車では目的地までの距離に対する t 値が他の変数の t 値よりも大きく，徒歩や自転車は目的地までの距離に影響を受けやすいこと，(c) 公共交通は目的地までの距離に対する t 値が

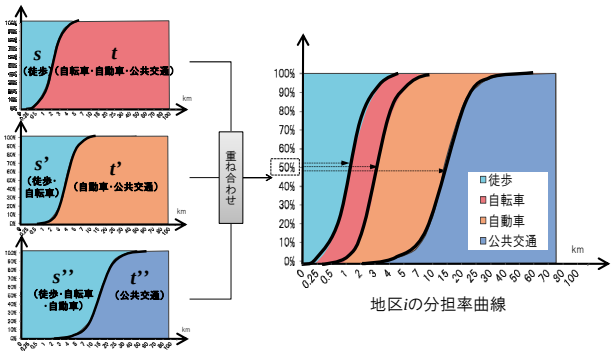


図-3 地区iの代表交通手段トリップ長別分担率曲線

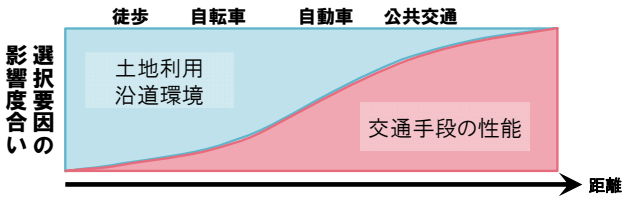


図-4 分担率曲線における仮定

小さく，目的地までの距離よりも，他の要素に影響を受けやすいことが明らかとなっている．

平均限界トリップ長に着目すると，坂道が及ぼす各交通手段群への影響では，徒歩は高低差が 10m 増加することにより平均限界トリップ長が 230m 減少するのに対し，徒歩・自転車では 670m 減少することから，自転車のほうが坂道の影響を影響を受けやすいことが示される．また，歩道幅を 1m 拡幅すると，徒歩の平均限界トリップ長は 240m 増加するのに対し，自転車道の設置では徒歩・自転車において 1.5km の増加となっており，同様の道路空間を配分するにあたっては，自転車のほうが影響が大きいことが明らかとなっている．

なお，(d) 端末交通手段については，本研究の推定では有意なパラメータが得られなかった．そのため，分担率や CO_2排出量を算出する際には端末交通は全て徒歩として，算出を行うものとした．

(3) 交通起源CO_2排出量の推計

以上で得られたトリップ長別交通手段分担率を用いて，低炭素性を評価するための CO_2排出量を推計する．居住者の交通行動による CO_2排出量は前述のとおりトリップ数，トリップ長分布，トリップ長別分担率，CO_2排出量原単位を掛け合わせた値であり，式(3)で算出できる．

$$E_i^p = n_i^p \cdot \sum_l \sum_m l \cdot P(m|l) \cdot e_m \qquad (3)$$

ここで，E_i^p ：i 地区の居住者 p の交通行動による CO_2排出量，n_i^p ：トリップ数，e_m ：交通手段 m の CO_2排出原単位である．なお，ケーススタディに用いる目的別ト

表-1　アンケートの概要

実施時期	実施方法	実施地域	サンプル数	実施対象	アンケート実施内容
2013/12/19～21	WEBアンケート	名古屋20km圏内	1,040サンプル	20-60代男女	●仮想条件下での交通手段群選択 ●個人属性

※アンケート調査は株式会社マクロミルにより実施

表-2　パラメータ推定結果および各交通手段群の平均限界トリップ長との関係

(a)徒歩／自転車・自動車・公共交通

	評価指標	変数	パラメータ	t 値	徒歩の平均限界トリップ長との関係
①	歩きやすさ	歩道幅(m)	0.122	2.90	+240m/歩道幅 1m 整備
②	沿道風景	立ち寄ったり見たりできる場所(公園や商店)の多さ(%)	0.00631	4.42	+120m/立ち寄れる場所 10%整備
③	快適性	緑の多さ(街路樹の本数・枝の広がり)(%)	0.00566	3.59	+110m/街路樹 10%整備
④	坂道の多さ	目的地までの高低差(m)	-0.0117	-3.66	-230m/高低差 10m
⑤	目的地までの距離	目的地までの距離(km)	-0.514	-23.0	—
⑥		徒歩(固有変数)	0.766	5.75	何も整備されていない状態で 1.5km
		サンプル数	5814		
		修正 ρ^2	0.183		

(b)徒歩・自転車／自動車・公共交通

	評価指標	変数	パラメータ	t 値	徒歩・自転車の平均限界トリップ長との関係
①	自転車の利用しやすさ	自転車が走るところが明示されているかどうか(dummy)	0.437	7.79	+1.5km/自転車道の設置
②	坂道の多さ	坂道の多さ(m)	0.0187	-6.66	-670m/高低差 10m
③	自転車の性能	自転車の性能・アシスト率(%)	0.738	6.56	+2.6km/電動アシスト率 50%
④	自動車の利用方法	自動車がいつでも利用できるか(dummy)	-0.101	-8.24	-360m/自家用車を自由に利用可能
⑤	目的地までの距離	目的地までの距離(km)	-0.279	-20.2	—
⑥		徒歩・自転車(固有変数)	0.907	8.87	何も整備されていない状態で 3.2km
		サンプル数	5814		
		修正 ρ^2	0.0854		

(c)徒歩・自転車・自動車／公共交通

	評価指標	変数	パラメータ	t 値	公共交通の平均利用開始トリップ長※との関係
①	自動車の利用方法	自動車がいつでも利用できるか(dummy)	-0.142	-11.6	+3.4km/自家用車を自由に利用
②	最寄りの公共交通機関	最寄りの公共交通機関が鉄道かバスか(鉄道 dummy)	0.176	3.14	-4.3km/最寄りの公共交通が鉄道
③	最寄りの公共交通機関のサービス水準	最寄りの公共交通の待ち時間(分)	-0.0580	-10.3	-1.4km/待ち時間 1 分短縮
④	最寄りの公共交通機関までの距離	最寄りの公共交通機関までの距離(km)	-0.455	-12.1	+11km/1km 遠くなる
⑤	目的地までの距離	目的地までの距離(km)	0.0413	3.46	—
⑥		公共交通(固有変数)	0.0251	0.22	何も整備されていない状態で-600m
		サンプル数	5784		
		修正 ρ^2	0.0839		

※公共交通を利用しはじめる平均距離

(d)公共交通選択時における端末交通手段(徒歩・自転車／自動車)

	評価指標	変数	パラメータ	t 値	徒歩・自転車の平均限界トリップ長との関係
①	歩きやすさ	歩きやすさ	0.0635	1.52	+80m/歩道幅 1m 整備
②	自転車の利用しやすさ	自転車の利用しやすさ	0.0857	1.38	+110m/自転車道の設置
③	坂道の多さ	坂道の多さ	-0.0238	-7.57	-310m/高低差 10m
④	コミュニティサイクルシェア	コミュニティサイクルシェア	0.111	1.78	+140m/コミュニティサイクルを利用可能
⑤	最寄りの公共交通機関までの距離	最寄りの公共交通機関までの距離	-0.779	-33.8	—
⑥		徒歩・自転車(固有変数)	2.45	22.7	何も整備されていない状態で 3.2km
		サンプル数	5784		
		修正 ρ^2	0.203		

リップ数は，第 5 回中京圏パーソントリップ調査から性・年代別に集計したトリップ数を用いる．また，トリップ長分布についてはパーソントリップ調査から基本ゾーン別のトリップ長別トリップ数を用いる．

3.　都市フリンジ街区群の低炭素デザイン検討

(1)　対象地区の概要

構築したモデルを用いて，愛知県西春日井郡豊山町の志水小学校区を対象にケーススタディを実施した．この地区は**図-5**に示すように名古屋市の北に位置したフリンジ地域であり，もとは農地集落であったが農地転用で低密市街地が広がった経緯がある．周辺の幹線道路ネットワークは概ね整備されているものの，旧農地集落内の道路は多くが狭あいである．また，他の都市フリンジ街区群と同様に自動車利用者が多い地区である．町内の公共交通はバスが基本となるが，運行本数が少なく，バス停までの距離も比較的遠い．こうした農地転用による市街地の拡散が農業集落と混合した地域は，大都市周辺に多くみられるものである．

(2) 分析シナリオの設定

対象地域で検討するシナリオを**表-3** に示す．土地利用に関するシナリオでは，2050 年まで現在の建物がそれぞれ自由に建て替えられた場合のなりゆき型市街地パターン（BAU）に加え、「拡散型市街地パターン（P1）」，「集約型市街地パターン（P2）」を設定した．また，交通施策として，a）インフラ整備（歩道拡幅・街路樹整備・自転車道整備（P2 のみカーシェアを導入）），b）公共交通のサービス水準（バス路線編成・運行頻度の増加），c）車両の技術革新・普及（EV，PMV，EV バス，新型鉄道の普及）を積み上げ式に導入し，それぞれの土地利用シナリオと交通施策の組み合わせパターンの変化によるトリップ数分担率，トリップ長分担率，交通起源 CO_2排出量の評価を行った．なお，検討においては，トリップ長分布や 1 人あたりトリップ数は変化しないものとし，検討のために必要な基本情報の計測は，住宅地図と現地調査より判読した．

また，算出条件である各交通手段の CO_2排出原単位については，既存資料から**表-4** を使用した．

(3) 施策の導入結果

図-5，**図-6** に各シナリオのトリップ数分担率，1 人あたり CO_2 排出量の変化を示す． 土地利用シナリオのみの比較では，P1 と BAU はほとんど変化がない一方で，P2 では公共交通の分担率の差が大きく，BAU に比べて 4.8%の CO_2 削減が見込める．また，P2 は市街地が集約化することで，エリア内高低差が小さくなり，自転車の分担率が BAU より大きくなっている．その上で，さらに交通インフラを整備した場合においては，トリップ数分担率は土地利用整備のみを行った場合に比べ，徒歩の

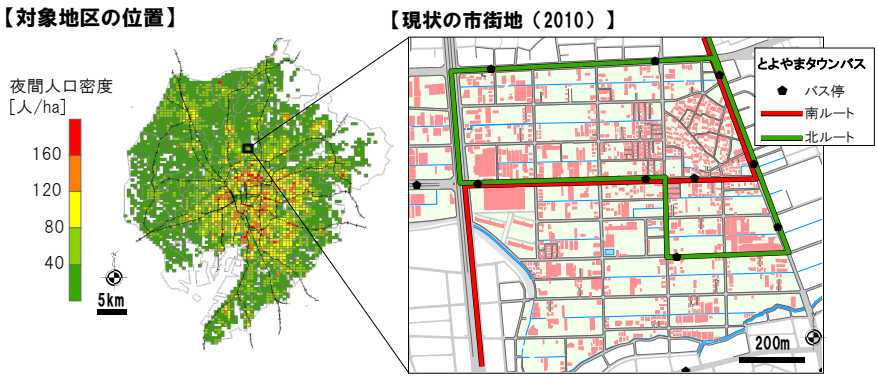


図-5 対象地区の概要（愛知県春日井郡豊山町志水小学校区）

表-3 分析シナリオの設定

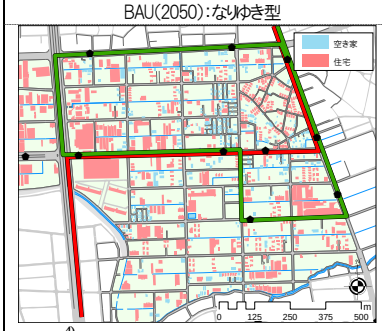
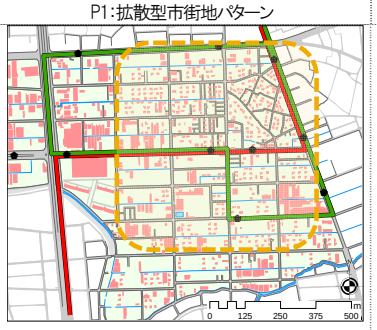
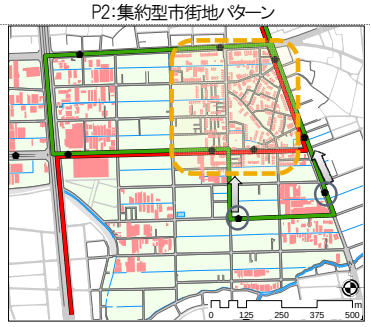
土地利用シナリオ	BAU(2050)：なりゆき型  森田ら[4]を参考に建物更新シミュレーションを実施 農地転用が続き，1970年代開発地が 需要減少により空地・空家化	P1：拡散型市街地パターン  各住宅の敷地を広くとり，個々の住宅の快適性を重視した市街地に	P2：集約型市街地パターン  旧農村集落部に住宅地を集約し， 利便性と屋外空間を重視した市街地に
交通施策	各市街地パターンに同量の交通施策を導入		
a. インフラ整備	対象：歩道拡幅，街路樹整備，自転車道の整備 集約型市街地パターン(P2)のみ，充分な駐車場が確保できないことから，建物集約化・敷地再配置を行う際，駐車場集約化・カーシェアポートの設置を行うと想定		
b. 公共交通サービスの拡充	対象：とよやまタウンバス バス停を旧農村集落に集約し，運行頻度を現状の2倍に設定		
c. 車両の技術革新・普及	自動車・バスは全てEVに，自転車は全てPMVに，鉄道は新型鉄道に転換されていると想定		

表-4 各交通手段の CO_2排出原単位[5]（g-CO_2/人 km）

	徒歩・自転車	PMV	自動車	バス	鉄道
現状(2010)	0	10	170	51	21
2050	0	4.7	80.6	24.2	14.7

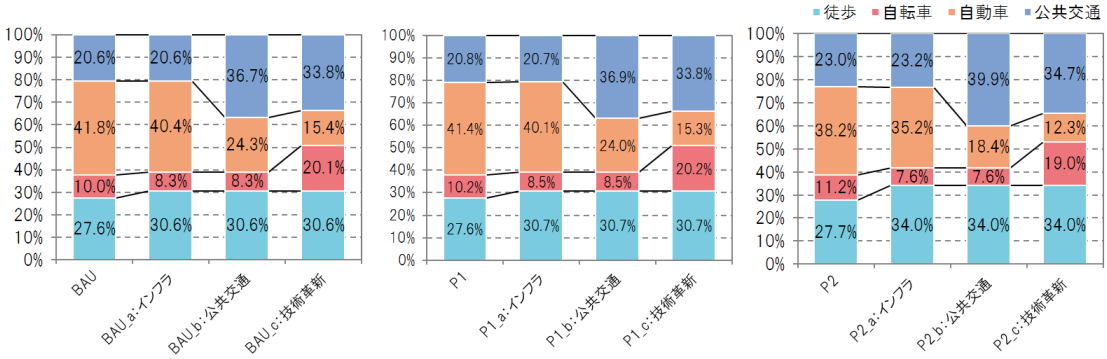


図-5　各シナリオのトリップ数分担率

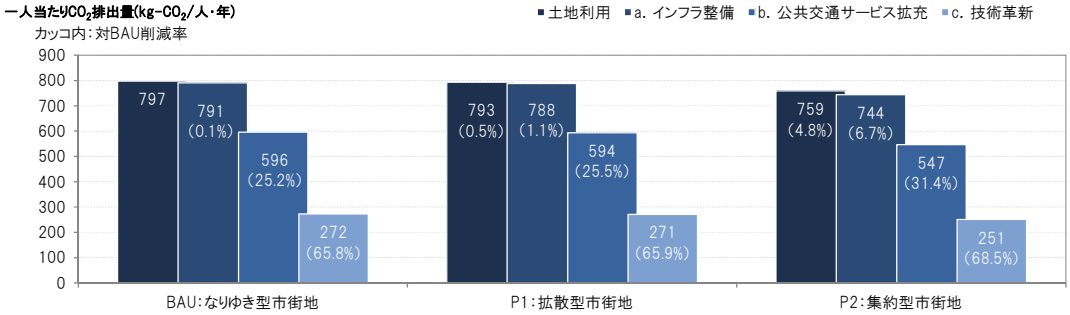


図-5　各シナリオの１人当たり CO_2 排出量および削減率

分担率が増加し，自転車，自動車の分担率が減少した．ただし，徒歩はトリップあたりの移動距離がもともと短く，自転車からの転換が多いことから，CO_2 削減効果は小さい．加えて公共交通サービスの拡充を行った場合，公共交通の分担率は交通インフラ整備時に比べ，全市街地パターンで 16%以上増加した．CO_2 排出量では，P2_b の削減量が最も大きく，31.5%の削減が期待される．最後に，車両の技術革新・普及施策を行った結果，自転車の分担率が大きく増加した．これは自転車がすべて PMV に転換するという強い仮定による影響が大きいが，小型モビリティが短距離の自動車代替となる可能性が示唆された．CO_2 排出量では， BAU_c，P1_c，P2_c はそれぞれ BAU に比べ 65%以上の削減が期待された．

4.　おわりに

本研究では，居住地の周辺環境と交通手段性能を統合的に捉えた交通手段分担率予測モデルを構築し，地区の計画検討における有効性を確認した．また，ケーススタディにより得られた知見は以下のとおりである．

・自転車道設置やカーシェアリング普及によって，自動車からの転換が見込める．

・同量のインフラ整備を行っても集約された市街地は居住者の交通行動変化および CO_2 削減効果が大きい．

謝辞：本研究は，環境省地球環境研究推進費 1E-1105「低炭素社会を実現する街区群の設計と社会実装プロセス」及び 2-1414「地域インベントリ解析による環境成長拠点の計画と評価モデルの開発」を受けて実施した．ここに記して謝意を表する．

参考文献

1) 三輪富生，山本俊行，森川高行：名古屋市における自転車走行空間の利用意向調査と整備効果の分析，都市計画論文集，No. 46-3，pp.793-798，2011.

2) 安田克博：都心における道路空間のデザインについて，名古屋都市センター，23 年度自主研究報告書，No.100，2012.

3) 中道久美子，谷口守，松中亮治：都市コンパクト化政策に対する簡易な評価システムの実用化に関する研究-豊田市を対象にした SLIM CITY モデルの応用-，都市計画論文集，No.39-3，pp.67-72，2004.

4) 森田紘圭，杉本賢二，加藤博和，村山顕人，飯塚悟，柴原尚希，林良嗣：4D-GIS を用いた地区統合環境性能評価モデルの構築，土木学会論文集 D3 (土木計画学), Vol.69, No.5 (土木計画学研究・論文集第 30 巻), pp.I_297-308，2013.

5) 環境省 2013 年度以降の対策・施策に関する検討小委員会自動車 WG とりまとめ，平成 24 年 4 月 19 日．

A LOW CARBON NEIGHBORHOOD DESIGN
BASED ON INTEGRATED HABITATION AND MOBILITY ANALYSIS

Tsuyoshi TAKANO, Hiroyoshi MORITA, Kazuki NAKAMURA,
Hirokazu KATO and Yoshitsugu HAYASHI