

高齢者の交通負担感を反映したバス停間隔評価の試み

Evaluation of Desirable Bus Stop Interval for Elderly People Considering Travel Effort

新田保次**, 上羽省司***

Yasutsugu NITTA, Shoji UEBA

1. はじめに

わが国の人口高齢化は急速に進み、65 歳以上人口の占める比率は現在 14% を超える。今後もこの高齢化の傾向は続き、2015 年には 25% にも達すると予測されている。高齢社会においては、高齢者や障害者のモビリティ向上が社会的にも強く求められている。このモビリティの向上を促すためには、高齢者・障害者を取り巻く交通環境の整備が必要不可欠である。筆者はこのような視点に立ち、公共交通機関の中でバスに着目し、高齢者が利用しやすい「高齢者対応型バス」の導入を提案した¹⁾。

このバスは、スウェーデンの「サービスルート」²⁾に近いサービスを提供するバスであり、従来の路線バスよりバス停を増やしてバス停間隔を短くし、利用者のバス停までの徒歩距離を短くすることを考えている。また、高齢者がよく利用する施設と住宅地を結ぶよう路線設定にも配慮し、昇降が容易な低床バスとし、着席を原則としている。いずれにせよ高齢者の行動特性を考慮し、高齢者が利用しやすいようなサービスを提供するバスのことである。

この高齢者対応型バスの構想を具体化する事例として、わが国で初めて、1995 年 11 月東京都武蔵野市の事業による「ムーバス」と呼ばれる 29 人乗りバスが運行を開始した。このバスは高齢者が利用しやすいように、バス停間隔を 200m と路線バスより短くし、料金も 100 円と安く設定している。また電動ステップも備え、高齢者の昇降に配慮している⁴⁾。

今後わが国の各自治体において、このような高齢者対応型バスの導入が積極的に行われることを期待するが、バス計画においては、どのような路線配置が利用者にとって、また経営者にとって望ましいか、バス

停間隔はいくらが妥当か、料金はいくらにすべきか、車両構造はどうかなど研究すべき課題は多い。本研究ではこのうちバス停間隔に着目し、高齢者にとって望ましいバス停間隔はいくらかを、高齢者の交通行動時の負担感を考慮し、既存の路線バスと競合する場合も考慮して検討することにした。具体的には以下の手順で研究を行う。

- ① 高齢者の交通負担感を交通形態別等価時間係数により換算した一般化時間^{5) 6)}で表現する。
- ② 一般化時間を用いピストン型、ループ型の 2 種類のバス路線について、バス停間隔を評価する。
- ③ このとき高齢者を徒歩移動困難性および年齢により分類し、それぞれの高齢者のタイプ別にバス停間隔を評価する。
- ④ さらに一般の路線バスと高齢者対応型バスが競合するケースについての高齢者対応型バスの需要面から見たバス停間隔評価を行う。
- ⑤ 最後に以上をまとめて、高齢者にとって望ましいバス停間隔について提案する。

なお、バス停間隔評価に関する既往の研究には、鈴木⁷⁾の研究がある。彼は通勤交通を対象に数理的手法により最適バス停間隔を求め、300~600m の値を示した。また新田ら⁸⁾はニュータウンをモデルケースにし、シミュレーション法によりループ型バス路線の最適バス停間隔を求めた。この場合、最適バス停間隔は 400~500m となった。

いずれにせよ既往の研究においては、一般利用者を対象としており、本研究のように高齢者の交通行動特性を反映してバス停間隔評価は行われていない。

2. 一般化時間による高齢者の交通負担感の計測

(1) 一般化時間モデルと等価時間係数

筆者が提案した一般化時間モデルは、対象とする交通トリップが徒歩、バス乗車、待ちなどの異なる交通

*キーワード：公共交通計画、交通計画評価

**正会員 大阪大学工学部助教授 土木工学科

***学生会員 大阪大学大学院

(〒565 吹田市山田丘 2-1, TEL06-879-7609, FAX06-879-7612)

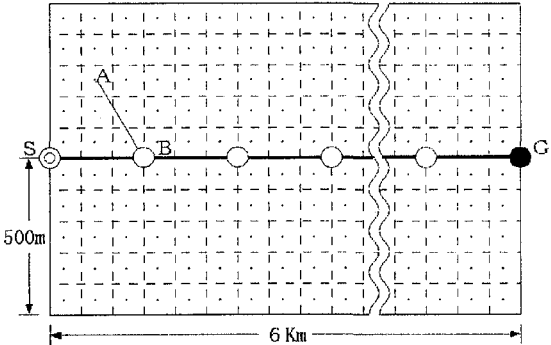
形態によって構成される場合、これらの交通形態の所要時間や乗り換え回数を等価時間係数を用いて、また費用の場合は時間価値を用いて基準となる交通形態の所要時間に換算するもの、つまり基準となる交通形態の所要時間で一般化して示すものであり、次式で示される⁵⁾。

$$G = \sum \mu_i t_i + \mu_e N + M / \lambda \tag{1}$$

ただし、 μ_i = 交通形態*i* の等価時間係数、
 μ_e = 乗り換え回数 1 回の等価時間係数、
 λ = 時間価値、 t_i = 交通形態*i* の所要時間、
 N = 乗り換え回数、 M = 費用

(2) ここでのバス停間隔評価に用いる等価時間係数

バス利用者の立場でバスサービスの評価をする場合に、この一般化時間を用いるとバスサービスの代替案を容易に評価できる。つまり、バスサービスの代替案比較の場合、バス路線配置、バス停配置、頻度、速度、料金、乗り換え回数、着席可能性などが重要なサービス要因として考えられる。これらの要素を一般化時間に組み込むとしたら、バス着席時間、バス立席時間、バス待ち時間、バス停までの徒歩時間、乗り換え回数が重要な変数となろう。これらの交通形態に関する等価時間係数や費用に関する時間価値を用いて、基準の交通形態に対応した一般化時間を計算することができる。本研究では、3章以下の分析で示すように、交通形態としては、徒歩、待ち、バス着席の3つの形態を考えることにした。なお、ここでは電車で着席を基準の交通形態とした。この等価時間係数と時間価値を徒歩移動困難性別、年齢別に示すと、表－1のようになる。この値はすでに筆者が推定し、文献1)に示したものである。全体ではタクシー、バス着席、電車立



太線…バス路線 ◎…バスの始点 ●…バスの終点
 ○…バス停 (図は 300m 等間隔の場合)
 目的施設へ向かう利用者がA点で発生する場合、Aから最寄りのバス停Bまでは歩き、そこからから目的施設へはバスで向かうものとする。

図－1 ピストン型のバス停配置モデル

席、待ち時間、バス立席、徒歩の順に値が大きくなる。徒歩移動が困難になるほど徒歩、バス立席、電車立席、乗り換えでは等価時間係数が大きくなる傾向が表れている。また、徒歩移動が非常に困難な人は時間価値が小さくなっている。

なお、表－1の時間価値は、電車着席 1 分間の価値を示しているが、徒歩を基準とする場合は、この時間価値に徒歩の等価時間係数を乗ずることによって求めることができる。例えば、全体平均の時間価値 3.93 円／分 (電車着席) は、徒歩時間を基準にとると 3.93 × 3.73 = 14.66 円／分 (徒歩) となる。

3. ピストン型バス路線におけるバス停間隔評価

(1) バス停間隔の評価方法

ここでは簡単なバス停配置モデルを仮定し、バス停間隔のケース毎について、2章に示した方法により利用者一人一人について一般化時間を求め、それを平均化することによって求めた平均一般化時間により最適バス停間隔を評価する。このときバス利用者を徒歩移動困難性 (⑥困難なし⑦やや困難⑧非常に困難) 別および年齢別 (① 60～64 歳② 65～69 歳③ 70～74 歳④ 75～79 歳⑤ 80 歳以上) に分類し、それぞれの場合において、どのように最適バス停間隔が変化するかを調べることにした。

(a) バス停配置と利用者の発生

図－1にバス停配置モデルを示した。バス路線は直線で 6 km のものを 1 本想定する。バス停間隔は等間

表－1 等価時間係数と時間価値

	電車立席	バス立席	バス着席	タクシー	待ち時間	徒歩	乗換1回	時間価値
全体平均	1.99	3.04	1.44	1.09	2.62	3.73	20.05	3.93
困難なし	1.88	2.40	1.23	1.06	2.32	3.04	16.10	3.96
やや困難	2.46	3.93	1.57	1.16	2.86	4.11	22.88	4.12
非常困難	2.74	4.69	1.59	0.85	2.60	5.97	31.85	3.66
60～64歳	1.94	2.31	1.17	0.83	2.18	2.82	16.04	4.18
65～69歳	1.95	2.90	1.40	1.31	2.54	3.57	17.82	3.90
70～74歳	1.93	3.13	1.60	1.21	2.85	4.10	22.21	4.06
75～79歳	2.08	3.20	1.40	1.10	2.59	4.63	20.50	3.81
80歳以上	2.35	4.38	1.75	1.14	3.11	4.67	37.19	3.70

注) 電車立席の等価時間係数が 1.99 とは、電車立席 1 分間は電車着席 1.99 分に等しいことを示す。乗換 1 回の等価時間係数が 20.05 とは、乗換 1 回は電車着席 20.05 分に等しいことを示す。また時間価値の単位は円／分であり、電車着席 1 分の価値を示す。

隔とし 100、200、300、400、500m の5つのケースを
考える。バス路線を中心に幅 1 km、長さ 6 km の矩形
の対象ゾーンを考え、バス利用者は対象ゾーンを 100m
メッシュで分割したゾーン中心から発生するとした。
よって総利用者は 10×60=600 人となる。

(b) バスサービス条件

バスのサービス条件は表-2のように仮定した。始
点を出発したバスはすべてのバス停で乗客を拾いな
がら終点に向かうことになるが、バス停での停車時間
は考慮しないものとする。

(c) 歩行速度

高齢者の歩行速度を表-3に示す。高齢者におけ
る直線距離の歩行速度は、徒歩移動困難性別に実距離
の歩行速度⁹⁾を換算係数で割ったものを用いた。また
年齢別の歩行速度は、表-4に示した各々の年齢層に
おける徒歩移動困難者の割合¹⁾から重み平均をとって
求め、表-5に示した。なお換算係数は腰塚、小林¹⁰⁾
によると、都市内の道路に対して2点間の実距離をR、
直線距離をuとすると $R=1.3u$ と表せるとしている。
渡辺¹¹⁾によると $R=1.19u$ と表せるとしている。
そこで本論では両者の中間をとって $R=1.25u$ とし
た。

(d) 最寄りのバス停選択

バス利用者は各発生地点から直線距離が最短とな
るバス停を利用するものとする。なおこの直線距離を
前述した歩行速度で移動するものとする。

表-2 仮定したバスサービス条件

バス路線長		6000m
バス停間隔		等間隔(100、200、300、400、500m)
走行特性	加 速 度	1m/sec ²
	減 速 度	-1m/sec ²
	最 高 速 度	50 km/h
	停車時間*	0 分
バス待ち時間		5 分 (ただし終点のみ0分)
車内混雑状況		着 席
乗 り 換 え		な し

*停車時間とはバス停でのバスの停車時間のこと

表-3 高齢者の歩行速度

		実距離の 歩行速度 (m/分)	直線距離の 歩行速度 (m/分)
徒歩 移動 困難性	困難なし	74.4	59.5
	やや困難	66.6	53.3
	非常に困難	46.2	37.0

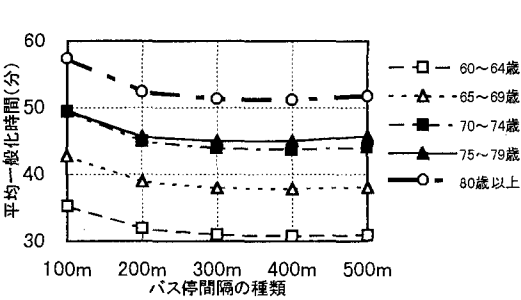


図-2 バス停間の距離別、平均一般化時間
(年齢別)

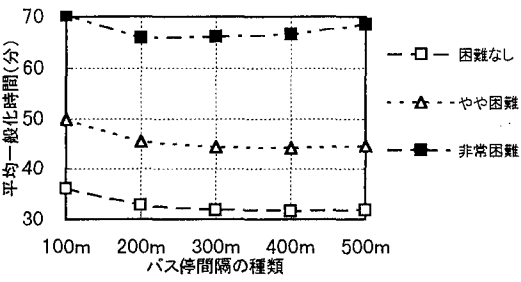


図-3 バス停間の距離別、平均一般化時間
(徒歩移動困難性別)

(2) 評価結果

前節で示した方法による、ピストン型バス路線のバ
ス停間の距離別平均一般化時間は図-2、図-3のよ
うになった。

徒歩移動困難性による分類では困難なし層、やや困
難層では 400m のときに一般化時間が最小になったも
のの、300m の場合との差はあまりなかった。ところが

表-4 年齢別の徒歩移動困難者の割合 (%)

	困難なし	やや困難	非常に困難
60~64 歳	73	23	4
65~69 歳	58	31	12
70~74 歳	52	35	13
75~79 歳	26	52	23
80 歳以上	28	39	33

表-5 高齢者の年齢別の歩行速度

		実距離の 歩行速度 (m/分)	直線距離の 歩行速度 (m/分)
年 齢	60~64 歳	71.5	57.2
	65~69 歳	69.4	55.5
	70~74 歳	68.0	51.4
	75~79 歳	64.6	51.7
	80 歳以上	62.1	49.7

非常に困難層ではバス停間隔が 200m のときに一般化時間が最小となり、300m、400m とバス停間隔が広がるにつれて、平均一般化時間も大きくなっていくのが分かった。一方、年齢による分類ではバス停間隔が 300m ～400m のときに一般化時間が最小となったが、年齢が増すにつれて 200m のときの一般化時間との差は縮まった。

4. ループ型バス路線におけるバス停間隔評価

(1) 評価方法

本章ではループ型バス路線を対象とし、前章と同じように一般化時間によりバス停間隔評価を試みる。本章以降ではバス利用者を徒歩移動困難なし層と非常に困難層の2層に限定した。

(a) バス停配置と利用者の発生

図-4 にバス停配置モデルを示した。ループ型バス路線は、路線長が直線型のバスが1往復するのに値する 12km 環状型とし、バスは双方向に走るものとする。このモデルではピストン型バスと平行に走る区間において、巡回する幅（ピストン型路線との平行間隔）を変えることが可能である。本論においてはこの平行間隔が 100m、200m、300m、400m の場合について考えた。図-4 ではこれを 100m 巡回、200m 巡回というように表現している。

なお、バス停間隔は3章と同様に等間隔とし、100、200、300、400、500m の5つのケースを考え、幅 1 km、長さ 6 km の対象ゾーンを 100m メッシュで分割し、各ゾーン中心からバス利用者が発生するとした。

(b) バスサービス条件など

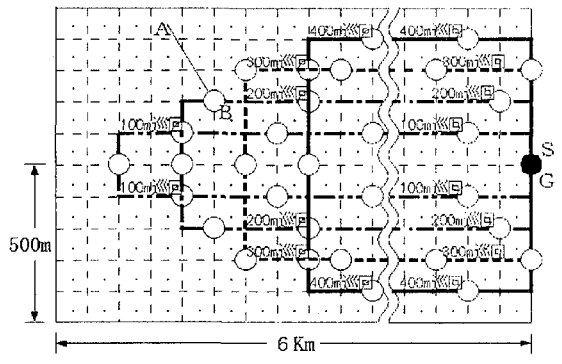
バス路線長以外のバスサービス条件は表-2、高齢者の歩行速度は表-3の値を用いた。また、利用者は最短で目的地に行く路線を選ぶものとする。

(2) 評価結果

前節で示した方法によるループ型バス路線のバス停間の距離別平均一般化時間は図-5、図-6のようになった。

まず、バス停間隔で見ると、徒歩移動困難なし層ではいずれの巡回幅でもバス停間隔が 300m～400m のときに平均一般化時間は最小になるが、非常に困難層では 200m のときに最小となった。

巡回幅で見ると、徒歩移動困難なし層、非常に困難



太線…バス路線 ●…バスの始点および終点 ○…バス停
(図は 300m 等間隔の場合を示す)
目的施設へ向かう利用者が A 点で発生する場合、A から最寄りのバス停 B までは歩き、そこからから目的施設へはバスで向かうものとする。

図-4 ループ型のバス停配置モデル

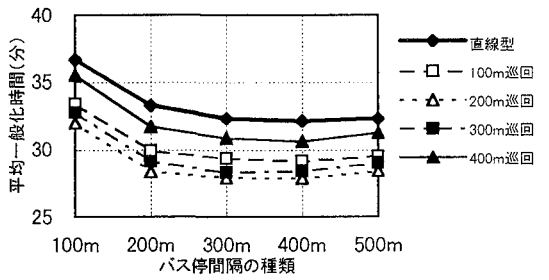


図-5 バス停間の距離別、平均一般化時間
(路線別・徒歩移動困難性：困難なし)

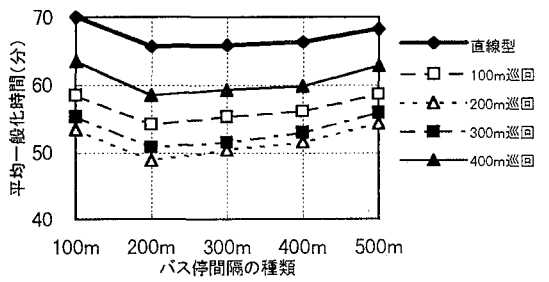


図-6 バス停間の距離別、平均一般化時間
(路線別・徒歩移動困難性：非常に困難)

層とも、200m 巡回の場合が最も平均一般化時間が最小となり、以下 300m 巡回、100m 巡回、400m 巡回の順である。なお、どの巡回幅でもピストン型よりは平均一般化時間が小さくなった。

巡回幅を広げてゆくにつれて、200m 巡回までは平均一般化時間が小さくなり、全体的に徒歩距離が短縮されることが分かるが、300m 以上になると平均一般化時

間は大きくなり、逆に徒歩距離が長くなる場所が増加することが分かった。

5. 路線バスと競合する場合の需要差から見たバス停間隔評価

(1) 評価方法

ここでは、既存の路線バスに加えて、新たに高齢者対応型バスを導入したケースを考える。このようなモデルでは、既存路線バスから高齢者対応型バスにどれだけの利用者が移るのか、その転換量の需要予測を行えばよい。この転換率がバス停配置パターン別にどうなるのかを考察する。なお、転換対象者は路線バスを利用している高齢者とし、転換モデルは次に示す(2)(3)により構築した。

(a) バス路線と運賃

路線バス、高齢者対応型バスとも路線は図-1に示した直線型とする。路線バスのバス停間隔は500m等間隔、運賃は200円とする。高齢者対応型バスのバス停間隔はピストン型の場合と同様とし、運賃は無料、100円、200円、300円の4ケースを考える。

(b) バスサービス条件など

バスの走行特性、待ち時間、車内混雑状況、乗り換えについては、路線バス、高齢者対応型バスとも表-2の値を用い、高齢者の歩行速度は表-3の値を用いた。バス利用者は各メッシュの発生地点から直線距離が最短となるバス停を利用するものとする。

(2) 高齢者対応型バスへの転換モデル

路線バスから高齢者対応型バスへの転換モデルは次式に示すように、高齢者対応型バスへの転換率を現状の路線バスと高齢者対応型バスの一般化時間差により説明するロジットモデルとなっている¹²⁾。

$$P_A = 1 / \{1 + \exp(a\Delta G_i + b)\} \quad (2)$$

$$\Delta G_i = G_{IB} - G_{IA}$$

但し、 P_A ：高齢者対応型バスへの転換率

G_{IB} ：既存路線バスの一般化時間

G_{IA} ：高齢者対応型バスの一般化時間

a, b ：パラメーター

ここでは、図-1の100mのメッシュの中心から発生する個々の利用者について、既存路線バスの一般化時間 G_{IB} を計算し、つづいて高齢者対応型バスの一般化時間 G_{IA} を計算し、その差を用いて式(2)により各

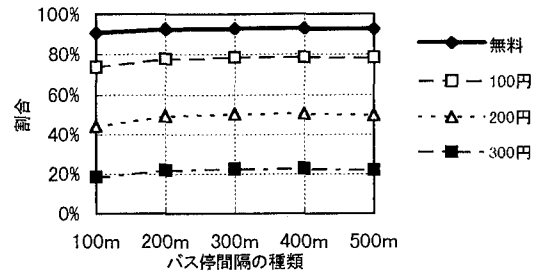


図-7 高齢者対応型バスへの転換率（運賃別）
（徒歩移動困難性：困難なし）

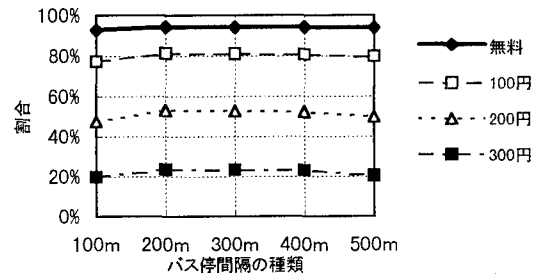


図-8 高齢者対応型バスへの転換率（運賃別）
（徒歩移動困難性：非常に困難）

人の高齢者対応型バスへの転換率 P_A を求める。

(3) パラメーターの推定

1992年12月に吹田市内の高齢者を対象に行った調査¹⁾で高齢者対応型バスの利用意向を調べた。このデータより式(2)の転換モデルのパラメーター推定を行った。路線バスから高齢者対応型バスへ転換する場合、行き先が市民病院の場合は $a = -0.050$ 、 $b = 4.85$ 、市役所の場合は $a = -0.047$ 、 $b = 2.67$ となった。そこで a については、両者ともほぼ同じなので、 $a = -0.05$ とした。 b については、行き先によって変動し、地域性が反映していると考えられる。ここでは一般的なモデルを考えていることもあり、この地域の特殊性は考えず、 $b = 0$ で転換率が50%になる状態を考えた。つまり $b = 0$ と仮定した。

(4) 評価結果

高齢者対応型バスへの転換率の推定結果を、徒歩移動困難なし層については図-7に、非常に困難層については図-8に示した。図-7に示すように、困難なし層では既存バスと同一運賃の200円の時は若干バス停間隔400mのときに転換率が50%を超え、最も高い

転換率となっている。しかし、200 m、300 m と大差はない。100 m ではやや低くなる。この傾向は他の運賃ケースについてもいえる。もちろん運賃が安くなれば、転換率は高い方にシフトする。既存バスの半額の100 円にすると、転換率は80%弱の値をとる。図-8 に示す非常に困難層では、既存バスと同一運賃200 円の時は、バス停間隔200~400 m において転換率は50%を上回っている。その中でもやや200 m のときにおいて高くなる。料金水準による変化傾向は困難なし層とほぼ同じである。

以上より、バス停間隔で見た場合の高齢者対応型バスの需要量は、困難なし層では100 m ではやや少なくなるが200~500 m ではあまり差はないといえる。非常に困難層では200~400 m でやや多くなる。いずれにせよバス停間隔がバス需要量に与える影響より、料金による影響の方が大きいことが判明した。

6. まとめ

本論では高齢者のためのバスサービスについて、バス停間隔に着目した研究を行い、次のようなことがわかった。

- (1) ピストン型バス路線の場合、徒歩移動が困難でない層に対してはバス停間隔がほぼ400m とするのが望ましい。非常に困難層ではほぼ200m となる。
- (2) ループ型のバス路線では、徒歩移動困難なし層で

はバス停間隔が300~400m のとき、非常に困難層では200m のときが最も望ましくなった。

- (3) 既存バスから高齢者対応型バスへの転換率を求めたら、徒歩移動困難なし層ではバス停間隔が400m のときに若干転換率が高くなった。非常に困難層では200m のときにやや転換率が高くなった。しかし運賃による影響の方が大きいことが判明した。

- (4) 徒歩移動困難者にとって、移動時の負担を減らすという意味で望ましいバス停間隔は既存バスのバス停間隔の約半分の200m であることが分かった。

本研究におけるバス停配置やバスのサービス条件では、バス需要面から見た評価において、バス停間隔より料金水準の影響が大きくなった。本研究では各メッシュで発生した人は全員バスを利用するとしているが、実際にはバス停まで歩けないために、バスを利用できないというケースが生じる。このような限界徒歩距離を考慮すると、バス停間隔や路線配置が需要に強く影響する可能性がある。利用者の行動特性をさらにふまえ、バスの多様なサービス条件も考慮した評価を行うことが今後の課題である。

また、本研究においては、既存のバス路線と高齢者対応型バスが競合する場合に、高齢者対応型バスへの路線バスからの転換のみをバス停間隔を介して考えたが、今後は両者の需要推計をバス停間隔以外のバス指標も加えて総合的に行う必要がある。

<参考文献>

- 1) 新田保次、三星昭宏、森 康男：モビリティ確保の視点から見た高齢者対応型バス計画についての一考察、土木学会論文集、No. 518/IV-28、pp. 43~54、1995. 7
- 2) 中村実男、秋山哲男：欧米諸国のモビリティ・ハンディキャップ対策、総合都市研究、第 45 号、pp. 5~19、1992
- 3) 秋山哲男、三星昭宏：第 5 章 高齢者・障害者の公共交通計画 3. バス、秋山哲男編、高齢者の住まいと交通、日本評論社、pp. 214~228、1993
- 4) 武蔵野市：ムーバス コミュニティバス事業概要、1995
- 5) 毛利正光、新田保次：一般化時間を組み込んだ交通手段選択モデルに関する基礎的研究、第 343 号、pp. 63~72、1984
- 6) 新田保次：一般化時間を組み込んだ経路選択モデルにおける時間価値について、交通科学、Vol. 13、No. 2、pp. 33~41、1984
- 7) 鈴木勉：通勤バス路線上の停留所の最適配置、昭和 62 年度第 22 回日本都市計画学会学術研究論文集、pp. 247~252、1987. 10
- 8) 毛利正光、新田保次：郊外鉄道駅を起終点とするループ状バス路線の運行改善に関する一考察、第 12 回道路会議論文集、pp. 653~654、1975
- 9) 狩野徹：第 6 章 高齢者・障害者の道路交通計画 1. 高齢者の歩行特性と屋外歩行空間、秋山哲男編、高齢者の住まいと交通、日本評論社、pp. 235~255、1993
- 10) 腰塚武志、小林純一：道路距離と直線距離、都市計画、pp. 43~48、1983
- 11) 渡辺千賀恵：鉄道駅における自転車駐車場の規模と配置の計画手法に関する研究、学位論文、1982
- 12) 毛利正光、新田保次、安田扶律：交通手段転換モデルによる急行バスの需要推計について、交通工学、Vol. 20、No. 4、pp. 3~13、1985

高齢者の交通負担感を反映したバス停間隔評価の試み

新田保次、上羽省司

本研究では高齢者の交通負担感を考慮したバス停間隔を評価することを試みた。等価時間係数と時間価値を組み込んだ一般化時間モデルにより高齢者の交通負担感を示し、バス路線はピストン型、ループ型の 2 種類を考慮した。さらに路線バスと高齢者対応型バスが競合する場合について需要面から見た評価を試みた。

その結果、徒歩移動が非常に困難な者に対しては 200m にするのが望ましいが、そうでない高齢者に対してはバス停間隔が 400m となることが判明した。路線バスと高齢者対応型バスが競合する場合の需要面から見た評価では、バス停間隔よりむしろ料金水準の影響が大きいことが判明した。

Evaluation of Desirable Bus Stop Interval for Elderly People Considering Travel Effort

by Yasutsugu NITTA, Shoji UEBA

This paper aims to evaluate what is the most desirable bus stop interval for elderly people considering travel effort and demand. Travel effort is quantified by generalized time incorporating each travel mode equivalent coefficient and value of time. Bus route has two types of piston and loop. Furthermore, we attempted to evaluate competition between ordinal buses and special bus ones. As a result, it is clarified that the most desirable bus stop interval is about 200m for elderly people who are the most difficult to walk and others are about 400m.
