公共交通計画のためのアクセシビリティ指標に関する考察*

Space-time Based Accessibility Measure for Public Transport Planning*

谷本圭志**・牧　修平***・喜多秀行****
By Keishi TANIMOTO, Shuhei MAKI and Hideyuki KITA

１．はじめに

公共交通は，自家用車の運転が困難な高齢者や，免許を所持しない学生など移動制約者に対し，活動の機会を保証する役割を担っている．したがって，公共交通計画を策定する際，どの地区にどれだけの活動の機会が提供されているかを把握することが重要である．しかし，公共交通サービスはダイヤや目的地が限定的であり，特に過疎地域など便数が極端に少ない地域では住民の移動の機会を大きく制限しがちである．従来，活動の機会を評価する指標としてアクセシビリティ指標が開発されてきた．しかし，公共交通を利用して実行可能な活動パターンがどの程度存在するかといったような多様性に関する評価が可能な指標はまだない．そこで，本研究では既存のアクセシビリティ指標を比較検討するとともに，活動パターンの多様性を評価し得るアクセシビリティ指標を提案する．

２．既存のアクセシビリティ指標

アクセシビリティ指標は1970年代から開発されており，Handy and Niemeir[1]，Kwan[2]，Geurs and Wee[3]などによると次のような分類がなされている．

交通基盤に基づく指標は，旅行時間や道路等の混雑度など交通システムの機能レベルをアクセシビリティとして評価する指標である．この指標は内容が簡単であり理解しやすく，必要なデータ数が少ない．しかし，交通基盤にのみ着目しているため，活動を捉えることができない．

累積機会（cumulative opportunity）に基づく指標は，既往の研究[4,5]でよく用いられており，所与の移動時間あるいは移動距離内で到達可能な施設，サービスの数を評価する．その際，任意の施設，サービスに到達する場合に要する時間は考慮せず，利用可能な数のみが強調される．また，距離や時間を変数とした逆指数関数や負の指数関数を重みとして用いることで，距離や時間による減衰効果を加味する指標も開発されている．

効用に基づく指標は，ランダム効用理論に基づき，個人は各選択肢のうち効用が最大となる選択肢を選好するという考え方である．到達可能なサービスの集合から得られるログサム値で評価する．

時空間プリズムに基づく指標は，Hägerstrand[6]により確立された時間地理学の中で発展した，個人が時間的，空間的な制約を受けることによって移動できる限界を表現した時空間プリズムの概念を用いる．Lenntorp[7]はその大きさや，それを都市空間に投影した際の面積で評価している．

表1に公共交通計画を策定する場面においてアクセシビリティ指標が満たすべき条件を示す．活動の

表-1　指標の評価

条件＼指標	交通基盤	累積機会	効用	時空間
① 生活活動の機会を表現できる	×	○	○	○
② 個人の満足度に基づかない	○	○	×	○
③ 時空間の制約が反映される	×	×	△	○

○:満足する　△:部分的に満足する　×:満足しない

*キーワーズ：公共交通計画,アクセシビリティ,活動の機会
**正員，工博，鳥取大学工学部社会開発システム工学科
（〒680-8522，鳥取市湖山町南 4-101 TEL:0857-31-5310
FAX:0857-31-0822）
***学生会員，鳥取大学大学院社会開発システム工学専攻
（〒680-8522，鳥取市湖山町南 4-101 TEL:0857-31-5333
FAX:0857-31-0822）
****正員，工博，鳥取大学工学部社会開発システム工学科
（〒680-8522，鳥取市湖山町南 4-101 TEL:0857-31-5309
FAX:0857-31-0822）

機会を評価するためこれを表現できること，住民が公共交通のダイヤから受ける時空間的な制約が反映できる必要がある．また，谷本・喜多[8)]は過疎地域において活動ニーズの満足度のみに着目すべきでないと指摘しており，効用（満足度）に基づかない指標が求められる．以上の議論により，本研究では時空間プリズムに基づく指標を基礎とすることが望ましいと考えられる．

しかし，先に述べたように，この指標は時空間プリズムの大きさ等に着目しているため，活動の多様性について十分に評価することができない．例として東西に伸びる直線上に3つの地区があるとする．時刻t_1からt_2までが自由に利用可能な時間であるとする．2つのルートから成る公共交通サービスが提供されているとする．一方は地区Aから地区Wまで，他方は地区Aから地区Eまでを結んでいる．どちらのルートも1日1往復である．もし，この公共交共交通サービスを利用して地区Aを時刻t_1に出発し，時刻t_2に戻ってくることが可能ならば，このときの時空間プリズムは図1(1)のようになる．2つの時空間パス（a-1）及び（a-2)は，一日中自宅で活動する場合を除いて，一日での実行可能な活動パターンを示している．もし，公共交通サービスの便数が多く，いつでも移動が可能ならば，時間の使い方の自由度は上昇し，（a-1）及び（a-2）の他に実行可能な活動パターンが加えられる．図1(2)における（b-1），（b-2）及び（b-3）はその例である．注意すべきは，図1及び図2において，ひし形の図形で示される時空間プリズムは完全に合同であることである．これは，所与の時間内に行くことができる範囲はどちらも等しいためである．時空間プリズムでは時間の使い方

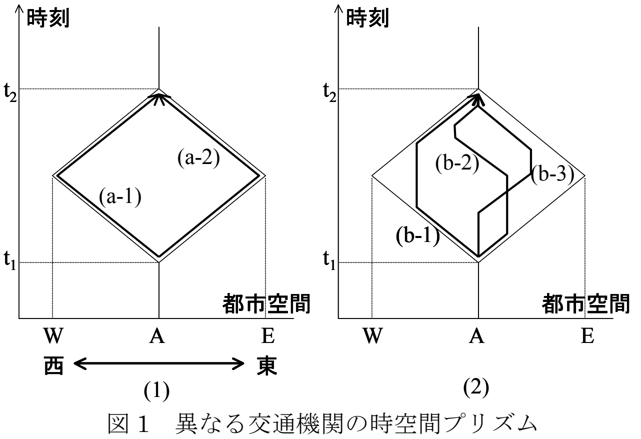

図１　異なる交通機関の時空間プリズム

の自由度や，どの活動が利用可能であるかを示すことができない．すなわち，到達可能な地理空間を示しているに過ぎず，その空間内における実行可能な活動及びその実施時間に関する情報は不明である．本研究では，これを解決するために実行可能な時空間パスを数え上げる方法を用いた指標を提案する．

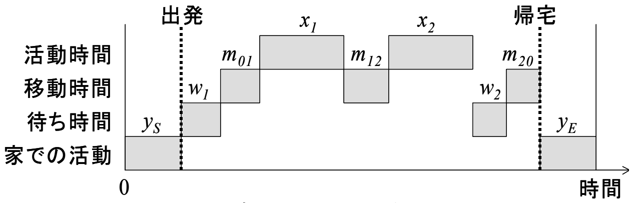

図２　任意の一日の活動パターン

３．指標の構築

図 2 は，住民が一日に 2 つの活動を実行する場合の任意の活動パターンである．総移動時間を$M = m_{01} + m_{12} + m_{20}$，公共交通の待ち時間を$w = w_1 + w_2$，実行する活動の数を$n$とする．外出の前後に自宅に滞在する時間を$y = y_S + y_E$とすると，次式が成り立つ．

$$x_1 + x_2 = T - M - w - y \tag{1}$$

$T - M - w - y$をαとおく．x_1は$[0, \alpha]$の任意の時間をとりうる．x_1が決まればx_2も一意的に決まるため，活動のパターンの多様性はx_1のとりうる範囲として与えられる．すると，活動の数が 2 のときのアクセシビリティ指標$\theta_2(y)$は次式で表わされる．

$$\theta_2(y) = \int_0^{\alpha} 1 dx_1 = \alpha \tag{2}$$

同様に，活動の数が n 個のとき，(1)式は次式に改められる．

$$\sum_{i=1}^{n} x_i = T - M - w - y = \alpha \tag{3}$$

上と同様の議論により，活動数が n 個のときの指標$\theta_n(y)$は以下のように表される．

$$\theta_n(y) = \frac{\alpha^{n-1}}{(n-1)!} \tag{4}$$

【証明】

n=2 のとき，式(2)より式(4)は成り立つ．次に，n=k のとき次式のように与えられるとする．

$$\theta_k(y)=\sum_{i=1}^{k}\frac{\alpha^{k-1}}{(k-1)!} \tag{5}$$

活動数が k+1 個のとき式(3)より次式を得る．

$$\sum_{i=1}^{k+1}x_i=\alpha \tag{6}$$

式(6)より次式を得る．

$$\sum_{i=1}^{k+1}x_i=\alpha-x_{k+1} \tag{7}$$

$\alpha-x_{k+1}$ を固定すると，この時間制約の下での機会の指標は，式(5)，(7)より次式として与えられる．

$$\theta_k=\frac{(\alpha-x_{k+1})^{k-1}}{(k-1)!} \tag{8}$$

x_{k+1}は[0, α]の任意の時間を取り得るため，これらの時間に関して積分を取ると，次式を得る．

$$\theta_{k+1}(y)=\int_0^{\alpha}1\cdot\theta_k dx_{k+1}=\int_0^{\alpha}\frac{(\alpha-x_{k+1})^{k-1}}{(k-1)!}dx_{k+1}=\frac{\alpha^k}{k!} \tag{9}$$

式(9)は n=k+1 のとき式(5)が成り立つことを示している．数学的帰納法より式(4)は成り立つ．

【証明終】

外出時間や待ち時間が長い活動パターンは，体力的な制約から実質的には選択されない．そこで，外出時間と待ち時間に応じた活動パターンの実質性を減衰項によって表す．それぞれの減衰関数を $f(x)$, $g(w)$とし，次式のように与える．

$$f(x)=e^{-\beta(x+M)} \tag{10}$$

$$g(w)=e^{-\gamma w} \tag{11}$$

ただし，βとγはパラメータである．自宅での活動は疲れないため，減衰はないものとする．式(4)，(10)，(11)より，減衰項を導入した指標として次式が得られる．

$$\theta_n(y)=e^{-\beta(M+\alpha)-\gamma w}\frac{\alpha^{n-1}}{(n-1)!}$$
$$=e^{-\beta(T-w-y)-\gamma w}\frac{(T-M-w-y)^{n-1}}{(n-1)!} \tag{12}$$

y は[0, $T-M-w$]の任意の時間をとりうるため，以上と同様の議論により，指標は次式のように定式化できる．

$$\theta_n=\int_0^{T-M-w}e^{-\beta(T-w-y)-\gamma w}\frac{(T-M-w-y)^{n-1}}{(n-1)!}dy$$
$$=e^{-\beta M-\gamma w}\frac{\Gamma(n)-\Gamma(n,\beta(T-M-w))}{\beta^n\Gamma(n)}$$
$$=\frac{1}{\beta^n}e^{-\beta(T-w)-\gamma w}\left\{e^{\beta(T-M-w)}-\sum_{k=0}^{n-1}\frac{\beta^k(T-M-w)^k}{k!}\right\} \tag{13}$$

ここに，$\Gamma(\cdot)$は次式に示すガンマ関数である．なお，$\Gamma(n)$ は$\Gamma(n,0)$ である．

$$\Gamma(n,a)=\int_a^{\infty}t^{n-1}e^{-t}dt \tag{14}$$

４．指標の簡略化

$Z=\beta(T-M-w)$ とおくと，式(13)より次式を得る．

$$\theta_n=\frac{e^{-\beta M-\gamma w}}{\beta^n}\left\{1-e^{-z}\sum_{k=0}^{n-1}\frac{z^k}{k!}\right\} \tag{15}$$

マクローリン展開を用いると，次式を得る．

$$e^{-z}=1-z+\frac{z^2}{2!}-\frac{z^3}{3!}+\cdots \tag{16}$$

よって，式(15)の右辺$\{\}$内の第 2 項は次式のように表すことができる．

$$e^{-z}\sum_{k=0}^{n-1}\frac{z^k}{k!}=\left(1-z+\frac{z^2}{2!}-\frac{z^3}{3!}+\cdots\right)\left(1+z+\frac{z^2}{2!}+\frac{z^3}{3!}\cdots+\frac{z^{n-1}}{(n-1)!}\right) \quad (17)$$

上式を近似すると，次式が得られる．

$$e^{-z}\sum_{k=0}^{n-1}\frac{z^k}{k!}\fallingdotseq 1-\frac{z^n}{n!} \quad (18)$$

よって，式(16)，(18)より指標は次式のように簡略化できる．

$$\theta_n = e^{-\beta M-\gamma w}\frac{(T-M-w)^n}{n!} \quad (19)$$

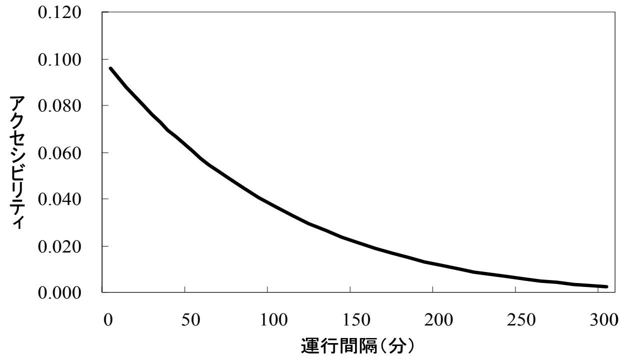

図 3　運行間隔に対するアクセシビリティ値

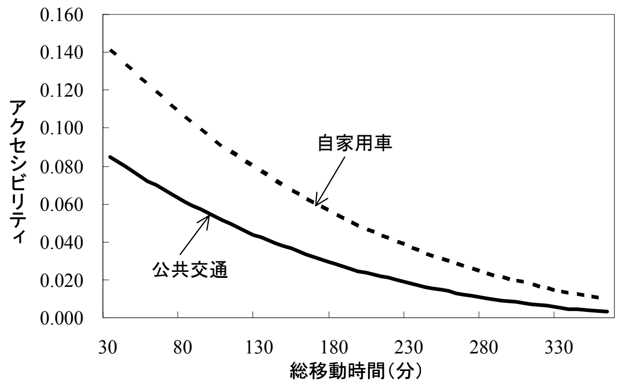

図 4　総移動時間に対するアクセシビリティ値

５．数値例

次式に示す数値を代入した際のアクセシビリティ指標の数値例を示す．

$$\beta=0.188,\ \gamma=1.814,\ M=96(分),\ n=3 \quad (20)$$

w を 0 から 300(分)の間で変化させると図 2 のような曲線を得る．次いで，w=60(分)とし，M を 0 から 360(分)の間で変化させると，公共交通，自家用車についてそれぞれ図 3 のに示す曲線を得る．ただし，自家用車とは待ち時間が 0 であることを意味する．

６．おわりに

今後は，この指標を用いた公共交通計画を検討したい．

参考文献

1) S. L. Handy and D. A. Niemeier : Measuring Accessibility : An Exploration of Issues and Alternatives, Environment and Planning A 29, pp.1175-1194, 1997.
2) M.-P. Kwan : Space-Time and Integral Measures of Individual Accessibility: A Comparative Analysis Using a Point-based Framework, Geographical Analysis 30(3), pp.191-216, 1998.
3) K. T. Geurs and B. van Wee : Accessibility Evaluation of Land-use and Transport Strategies: Review and Research Directions, Journal of Transport Geography 12, pp.127-140, 2004.
4) 日野智，清原裕幸，佐藤馨一 ：歩行時間・待ち時間を考慮したコンプリメンタリィ・アクセシビリティ指標の構築，第55回年次学術講演会講演概要集, CD-ROM, 2000.
5) 新田保次，黄靖薫 ：二酸化炭素排出量とアクセシビリティからみた自転車重視型道路配置地区の評価，第36回日本都市計画学会学術研究論文集, pp.547-552, 2001.
6) T. Hägerstrand : What about People in Regional Science? People of the Regional Science Association 24, pp.7-21, 1970.
7) B. Lenntorp : Paths in Time-Space Environments : A Time Geographic Study of Movement Possibilities of Individuals, 1976.
8) 谷本圭志，喜多秀行 ：地方における公共交通計画に関する一考察 －活動ニーズにのみ着目することへの批判的検討－，土木計画学研究・論文集，Vol.23，2006. （投稿中）