

交通ネットワークにおけるアクセシビリティの定義*
The definition of accessibility on transportation network

宮城 俊彦** 鈴木 崇児***
Toshihiko MIYAGI Takaji SUZUKI

1. はじめに

交通ネットワークにおけるアクセシビリティは、ある交通結節点からその他の交通結節点への到達のしやすさもしくは、ある交通結節点へのその他の交通結節点からの到達のしやすさとして定義できる。この定義から分かるように、交通ネットワークの整備は、各交通結節点間の到達のしやすさを向上させ、アクセシビリティを増加させる。従来から、アクセシビリティは交通条件の変化を表す指標として分布交通モデルや土地利用モデルの中で距離・所要時間等を変数として経験的に用いられてきた¹⁾。これらのモデルの中で必要となる交通ネットワークの特性は、距離（都市間距離）、容量（道路容量）、ノードの重み（都市の規模）などの各種の属性によって個別に与えられており、これらの属性の組み合わせに関する方法論は論じられていない。

本研究では、「空間の変形」という概念を用いることにより、ネットワークの各種の属性の組み合わせとして表現される多面的な特性を包括的に扱う。ネットワークの変化が各ノード間の係わりぐあいに對して及ぼす変化を各ノードについて計量化する用に定義された中心度関数^{2) 3)}を拡張し、交通ネットワークの変化を各都市のアクセシビリティの変化として計量化する関数を定義する。本研究で提案するアクセシビリティ関数の定義は交通ネットワークの特性や変化を各都市のアクセシビリティの大きさや変化を実数置換数によって捉えるという新し

い分析手法の枠組みを構築するための基礎となる。

2. ネットワークの変化の記述

2.1 空間の変形

篠田、仙石は、ネットワークのノード間の距離・容量とノードの規模を統一的に扱うために、空間の変形という概念を用いている⁴⁾。

今、ノード集合 N とリンク集合 L を要素に持ち、ノード、リンクともに属性を持つネットワークを考える。ネットワークの属性として、ノード集合 N には重み σ 、ノード間には距離 ρ 、容量 γ があるものとする。このネットワークについて、ノード集合 N が持つ距離について、距離空間 $(N; \rho)$ が定義できる。このネットワークに新しいリンクが付加され、ノード間の距離が ρ' に変化したとする。このとき、ネットワークは $(N; \rho')$ という別の距離空間を持つことになる。このときの距離の変化に対応するネットワークの距離空間の変化を距離空間の変形と呼ぶ。さらに、距離だけでなく容量、重みを用いてノード間の関係を $\beta(\rho, \gamma, \sigma)$ と定義し、距離、容量、ノードの重みの変化を空間の変形 $(N; \beta) \Rightarrow (N; \beta')$ として統一的に捉えている。

2.2 拡大変形と縮小変形

点 $p \in N$ に対し、 N の部分集合 V が定義されているものとする。 $(N; \beta')$ は $(N; \beta)$ の変形とし、 $\delta = \beta'(p, s) - \beta(p, s)$ が $\delta \neq 0$ である点 $s \in N$ と V の任意の点 r に対して $\delta' = \beta'(p, r) - \beta(p, r)$ とおく。このとき常に $\delta > 0, \delta \geq \delta'$ ($\delta < 0, \delta \leq \delta'$)を満足するならば、この空間の変形は V を対象として点 p の変化量を最大にする拡大(縮小)変形という。また、常に $\delta > 0$ ($\delta < 0$)のとき、 $\delta \geq 0, (\delta' \leq 0)$ ならば、これを単調拡大(縮小)総称して単調変形という。

*キーワードズ：交通網計画、アクセシビリティ

**正員 工博 岐阜大学教授 工学部土木工学科
(〒501-11 岐阜市柳戸 1-1, TEL 058(293)2442,
FAX 058(230)1528)

***正員 工修 岐阜大学助手 工学部土木工学科
(同上, TEL 058(293)2446)

3. アクセシビリティ関数の定義

3.1 交通ネットワーク内でのアクセシビリティ

先述したように交通ネットワークの変化は各都市のアクセシビリティの変化として捉えられる。ここでは、直感的に分かる交通ネットワークの変化の種類と各都市のアクセシビリティの変化の関係を整理し、各都市のアクセシビリティを計測する関数を論じるための助けとする。

各都市のアクセシビリティを増加させると考えられる交通ネットワークの変化は、①都市間距離の短縮、②都市間ネットワーク容量の拡大、③ネットワーク内の他の都市の規模の拡大、④ネットワークを構成する都市数の増加が考えられる。さらに、交通ネットワークの単位量の変化に対するアクセシビリティの変化量に着目すれば、都市間距離が短いときの方が長いときよりも距離の短縮による効果が弱く、アクセシビリティの増加量が小さいと考えられる。そして、都市間の距離が長くなればなる程、単位距離の短縮に対するアクセシビリティの増加量は減少する、いわゆる逓減効果が働くものと考えられる。この逓減効果は、他のネットワークの変化に対しても同じように考えることができる(表1)。

表1 アクセシビリティの変化量の逓減効果

⑤都市間距離	長 ← → 短
⑥都市間ネットワーク容量	大 ← → 小
⑦他都市の規模	一定
⑧都市数の増加	一定
アクセシビリティの変化量	小 ← → 大

3.2 従来のアクセシビリティ

交通ネットワークの構造を前提として、アクセシビリティを定義した最も単純な例は、Shinbelによって提案された最短パス操作法である。同じ考え方を無値グラフから有値グラフに対して拡張した方法がブール台数操作法である。この場合の距離は、実距離だけでなく時間、費用、心理的な距離をも含んでいる。

これらのアクセシビリティの測定法では、ノー

ドの規模による影響は考慮されていなかった。それは、大きな都市ほど集積効果によって人や物を引きつけ他都市に対して大きな影響を及ぼすということである。ノードの規模を考慮した例として、人口ポテンシャル型アクセシビリティを以下に示す。

$$V_i = G \sum_{j \in Z} w_j d_{ij}^{-1} \quad (3.1)$$

w_j : 都市 j の人口 G : 定数

d_{ij} : 都市 i, j 間の距離

Z : ネットワークに含まれる都市集合

この場合の w_j は人口であるが、もともと都市の規模を表す指標であることから、総生産額、CBD面積などもその対象となる。

ところで、リンクの属性のうち容量は、ネットワークにおいて距離と並ぶ重要な属性であるにも関わらず、アクセシビリティにおいては明示的に扱われてこなかった。しかし、容量とアクセシビリティの間には、都市間を繋ぐ道路容量が増加すれば、各都市相互の結びつきはより強くなるというアクセシビリティを定義する上で考慮すべき重要な関連が指摘できる。

3.3 中心度関数

中心度関数はネットワーク内でのノードの中心らしさを測るための関数である。任意のネットワークに対してノードの中心らしさを測ることのできる関数が満足すべき条件をネットワークの変形に対応する実数値関数の関数値の変化分の傾向として定式化し、これにあてはまる関数を中心度関数と呼ぶ。ここでは、まずアクセシビリティ関数の基となる中心度関数について説明し、アクセシビリティ関数の関数形を論じる際の出発点とする。

ネットワーク上のノードの中心らしさは、距離、容量、ノードの重みを基にしたノード p と u の間の関係 $\beta(p, u)$ で測られるものとし、ネットワーク上の任意のノード p の中心らしさを測る関数を次のようにおく。

$$F(p; \beta) = \sum_{u \in S} \phi(\beta(p, u)) \quad (3.2)$$

ここで ϕ は $N \times N \rightarrow \bar{R}_+$ 上で定義された実数値関数であり、 $\bar{R}_+$ 上で連続であるとする。また S はノード集合 N の部分集合である。式(3.2)は「 $F(p; \beta)$ はノード p 上の関数であり β を用いて計算する」という意味を持っている。

ネットワークの変形の前後での関数値の変化量を、

$$\Delta(p; \beta) = F(p; \beta') - F(p; \beta) \quad (3.3)$$

とすると、中心度関数は次のように定義できる。

【定義】

ネットワーク上の任意のノード p 及びノード集合 N の任意の部分集合 S に対して、 S を対象とするノード p に関する単調拡大を行ったとき、次の条件、

$$(1) \Delta(p; \beta) \geq 0$$

$$(2) s \in S \text{ に対して}$$

$$\Delta(p; \beta) \geq \Delta(s; \beta)$$

を満足するとき関数 $F(p; \beta)$ を中心度関数という。

この定義は関数 $F(p; \beta)$ に対して(1)関数値の変化量が非負であること、(2)当該ノード p の変化量が他のノードの変化量よりも大きい等しいという条件が満たされることを要求している。

この定義を満たす式(3.2)の ϕ についての条件を導くと、例えば距離については、中心度関数が非増加の凸関数でなければならないという結論が導かれる。その他の変数についても同様に議論できる。その結果容量に関しては非減少の凹関数、ノードの重みに関してはアフィン関数であることが導かれる。

3.4 アクセシビリティ関数

中心度関数は3.1で考察された交通ネットワーク内の各都市に対するアクセシビリティの性質の①～⑧を満たす。以下では中心度関数をアクセシビリティ関数として定義し直した場合の関数の性質と交通ネットワークに適用した場合の意味付けを行う。アクセシビリティ関数の具体的な関数形の例を以下に示す。

$$F(p; \beta) = G \sum_{u \in Z} \exp(-t_{ij}) \{1 - \exp(-u_{ij})\} w_j \quad (3.4)$$

t_{ij} : 都市 i j 間の最短経路所要時間

u_{ij} : 都市 i j 間の最大フロー

アクセシビリティ関数は都市間距離については、非増加の凸関数となっており、距離については、アクセシビリティの変化量は通減する。具体的には新しい道路が開通したとすると、大まかにいえば、開通した道路の近隣の都市の方が、遠方にある都市よりもアクセシビリティが増加することを示している。さらに、都市間距離を短縮する道路の整備を続けていけばいく程、同じ距離を短縮する整備に対してアクセシビリティの増加量が増するということを示している。この性質から、同じ距離を短縮する整備ならば、隣接する都市間の道路網を遠距離の道路網よりも重点的に整備する方が、ネットワーク全体のアクセシビリティは向上するという性質がわかる。

次に容量については、アクセシビリティ関数は都市間距離については、非減少の凸関数になっており、容量についても通減効果があることがわかる。具体的な意味付けとしては、同じ容量の増加に対しては、既に容量が大きい都市間ネットワークを整備するよりも容量の小さな都市間ネットワークを整備した方が大きなアクセシビリティの向上をもたらす。道路容量を増加させるように整備を行うにつれてアクセシビリティの増加量の幅は小さくなるという容量増加型の整備の非効率性がわかる。逆に、都市間のネットワーク容量が少なくなっていくにつれてアクセシビリティの減少量が増す。よって、地方の鉄道やバスの便数の減少では、便数が少なくなるにつれて一便が運行されなくなることの影響は大きくなる。

次に、都市の規模については、増加関数で通減効果がないとしている。この意味は短期のアクセシビリティの変化を計測するため都市の規模は変化しないということを示している。

最後にネットワークに属する都市数に関しては、不連続の増加関数になっており、各都市が一つの都市のアクセシビリティに与える影響を足し合わせる形になっている。

4. 適用例

事例研究として東海地方の主要国道と高速道路を主とする図1に示す道路ネットワークを対象とし、東海北陸自動車道の完成前後で東海地方の所要33都市についてのアクセシビリティ関数値の変化を計測した。

ノードの属性として代表都市を中心とする都市圏の人口をリンク属性として対象道路の所要時間と容量を用いる。なお、アクセシビリティ関数は、式(3.4)を用いており、ネットワークの都市間距離としては最短経路所要時間 t_{ij} を、都市間ネットワーク容量としては、最大フローを u_{ij} を定義した。

アクセシビリティ関数値の変化量の計測結果は図1のノード内の数値である。まず、すべての都市でアクセシビリティが増加している。これは、東海北陸自動車道の開通が、最大容量については空間の単調拡大、最短経路所要時間については単調縮小という空間の変形をもたらした現象をアクセシビリティ関数が数値として適切に捉えたと考えてよい。

次に、各都市から高山への最短経路所要時間が東海北陸自動車道により大幅に短縮された結果アクセシビリティは顕著に向上した。

対象ネットワークの中に高山以北の都市が入っていないため、東海北陸自動車道以南の都市では、本来あるべき北陸地方の諸都市との間で起こるアクセシビリティ大きな変化が計測されていないが、これらの都市間での比較は十分考察の対象となり得る。

一宮は東海北陸自動車道と名神高速道路との結節点となることからアクセシビリティが大きく向上している。名古屋は一宮や岐阜のアクセシビリティの変化を下回った。その理由は、名古屋が既に大きな道路網の中心に位置しており、最大容量に関するアクセシビリティの増加量に逓減効果が働いたためである。また、各都市の数値の比較からネットワークの中心から離れ不便になるほど変化量が小さくなっている様子が伺える。これは最短経路所要時間に関する逓減効果が働いているためである。

5. おわりに

本研究で示したアクセシビリティ関数は、ネッ

トワークの各属性を統一的に用いてアクセシビリティの一般形を記述しており、その関数形から、従来の経験的に用いられてきたアクセシビリティの概念を含み、過去にアクセシビリティを用いたモデルに対して理論的な裏付けを与えるものである。

今回のケーススタディで、アクセシビリティ関数による計測をおこなった結果、交通ネットワークの変化を各都市に定義したアクセシビリティの変化として関数値で捉えることができることが確認できた。現段階では、二つの大きな課題が挙げられる。ひとつはネットワークの範囲を特定するための方法論の欠如である。もう一つは所要時間と容量のアクセシビリティへの相対的な影響を決めるパラメータの設定方法である。

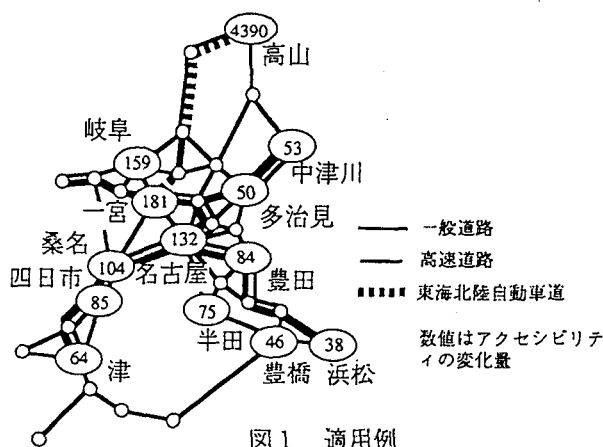


図1 適用例

参考文献

- 1) 村山祐司：交通の基礎モデルについて、季刊 MOBILITY, pp.42～59, 1991 冬
- 2) 平松闕：社会ネットワーク、福村出版、pp.123～135, 1990
- 3) 梶谷洋司、丸山剛司：グラフにおける中心度の関数表示—通信網評価への応用—、電子通信学会論文誌、'76/7 Vol.J59-A No.7
- 4) 篠田庄司、仙石正和：空間の変形とネットワークの点中心らしさを測る関数の理論、電子通信学会誌、'86/1 Vol. J69-A No.1