1998年度日本オペレーションズ・リサーチ学会
秋季研究発表会

線分都市内での輸送における規模の経済性と最適地域単位

01205430 筑波大学 *鈴木 勉 SUZUKI Tsutomu
筑波大学 川口明子 KAWAGUCHI Akiko

1．はじめに

旅客や物資の輸送を考えたときに，輸送量に対する単位輸送コストが逓減するような規模の経済性が存在する場合には，誰しもまとめて輸送しようとするであろう．しかし，一定の輸送需要密度のもとでは，たくさんまとめようとすると逆に収集コストが大きくなってしまう．従って，両者の間には均衡，すなわち輸送上の適正な地域単位が存在するはずである．

この問題を，四方を海で囲まれた我が国のような有限な領域で考えると，縁辺部では輸送目的地までの平均的な距離が長くなり，ある程度収集・分配にコストがかさんでも，大量一括輸送による利点を生かしやすく，中心部ではその逆であると思われる．現実には需要密度の違いがあって一概にはいえないが，当該地域内の条件が同じでも，輸送目的地までの距離やその分布，全体の領域における位置が，輸送の地域単位に影響を及ぼすものと考えられる．

地域単位は，一括輸送の窓口となる施設（積替施設と呼ぶ；例えば空港・鉄道駅・物流ターミナルなど）の立地と関係する．一般の(Location-Allocation 型の)施設配置問題においては，圏域が領域境界に接しない施設の立地は，境界に影響されない．従って，その地域の人口などの施設近傍の状態で決まる場合が多い．しかし，輸送に関係する施設の立地は，輸送需要が遠距離に及ぶ場合，境界の存在に影響を受けると考えられる．輸送システムにおける階層構造の最適化を意図した家田(1997)のモデルでは，この問題を避けるために一様無限平面を仮定している．

本論文では，有限領域（簡単のため 1 次元都市を扱う）において，輸送コストに規模の経済性が存在する場合，一様な需要のもとでも，輸送コストを最小化する積替施設の配置とそれによって決まる輸送地域単位が均等にならないことを示す．それとともに，輸送目的地が単一（中心）である many-to-one demand と，目的地が出発地と独立に一様である many-to-many demand とで，最適な施設位置がどの程度異なるかを明らかにする．

2．2 段階輸送モデルと輸送需要

図 1 のような線分[0, 1]の都市において，人口（総数 m）が一様に分布しているとする．この都市に n 個（奇数とする）の積替施設をつくり，都市内に発生する（旅客）輸送をなるべく安いコストで処理することを考えよう．

輸送モードには，以下の 2 段階があるとする．

第 1 段階：個々人の積替施設までのアクセス・イグレス
第 2 段階：積替施設間一括輸送

輸送のコストには，規模の経済性が働くとし，輸送量 p(人)に対する単位距離当たり輸送コスト $c(p)$(円/km)は以下の式で与えられるとする．

$$c(p) = p^{\alpha}, \quad 0 \le \alpha \le 1$$

α は輸送における規模の経済性を表すパラメータであり，α が小さいほど規模の経済性が大きい（図 2）．第 1 段階の距離当たり輸送コストは $c(1)=1$(円/人 km)である．各地点の積替施設まで（から）の第 1 段階のコストは，図 1 中の三角形のように表わされる．

輸送需要は次の 2 種類を考える．

1) many-to-one demand:
一様に発生し，そこから最も近い積替施設を経由し，全て中央（左から $n_c=(n+1)/2$ 番目）の施設（都心）まで運ぶ．

2) many-to-many demand:
一様に発生し，それと独立に一様に分布する目的地まで，それぞれに最も近い積替施設を経由して運ぶ．

発生地も目的地も，ある積替施設の圏域内にある場合や，積替施設を経由しない方が安くすむ場合もあるが，ここではこれを無視する．

3．Many-to-one 需要での最適地域単位

第 1 段階におけるコストは，図 1 より，人口密度が m(人/km)であることから，

$$C_F = \frac{m}{4}\left(\sum_{i=1}^{n-1} x_i^2 + \frac{x_0^2}{2} + \frac{x_n^2}{2}\right)$$

となる．一方，第 2 段階のコストは

$$C_L^{MO} = m^{\alpha}\left[\sum_{1 \le i < n_c} \left\{\left(\sum_{k=i}^{n_c-1} x_k\right)(A_i)^{\alpha}\right\} + \sum_{n_c < i \le n} \left\{\left(\sum_{k=n_c}^{i-1} x_k\right)(A_i)^{\alpha}\right\}\right]$$

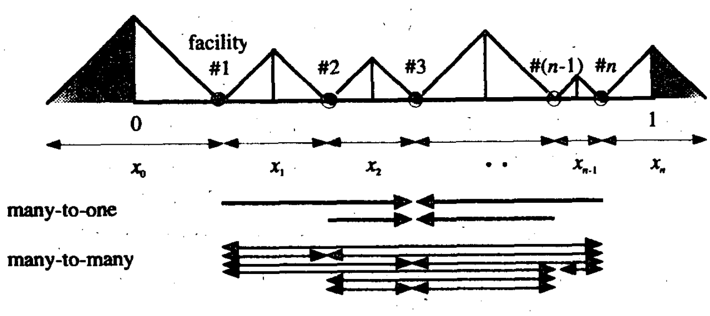

図 1　2 段階輸送モデルと輸送需要

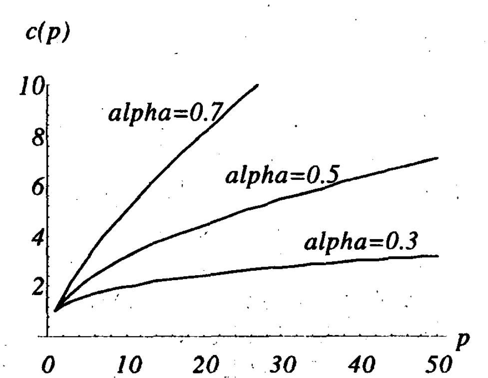

図 2　輸送量と輸送コストの関係

と表される．但し，

$$A_i = \frac{x_{i-1}+x_i}{2}$$ ：積替施設 i の圏域(km)

である．従って，輸送コストを最小化する問題は，

$$\min_{\{x_i\}} \quad C^{MO} = C_F + C_L^{MO}$$

$$s.t.\begin{cases}\sum_{i=1}^{n-1} x_i + \frac{x_0}{2}+\frac{x_n}{2}=1,\\ x_i \ge 0, \quad i=0,\dots,n\end{cases}$$

と表され，一般には非線形計画問題となる．

図３(黒●)は，n=9, m=10^4 のときの α による積替施設の最適配置の変化を見たものである．まず，積替施設の密度が中心部ほど高くなることであり，その度合いは α が大きくなるほど強まるということがわかる．輸送量の多少にかかわらず単位距離当たりコストが一定となる α=0 という極端なケースでは，第１段階のコストを最小化するために均等配置となる．他方の極端として規模の経済性のない α=1 のケースでは中心に集中立地し，個々人がそれぞれ直接中央に運ばれる．

図４(黒●)は，α=0.5 に固定し，人口(密度)m による変化を見たものである．人口密度が低い場合や，対象地域が狭くて人口が少ない場合は，規模の経済性が働かず，積替施設の密度が中心部ほど高くなることが読みとれる．

４．Many-to-many 需要での最適地域単位

往きのみを考える（帰りも同じ）と，第１段階の輸送コスト C_F は 1)と同じである．第２段階のコストは，OD の対称性から右方向のみの輸送を考えると，

$$C_L^{MM} = m^{\alpha} \sum_{i \le j, i \ne 0} \{(\sum_{k=1}^{j-1} x_k)(A_i A_j)^{\alpha}\}$$

と表される．これを用いて，前章と同様に，

$$\min_{\{x_i\}} \quad C^{MM} = C_F + C_L^{MM}$$

$$s.t.\begin{cases}\sum_{i=1}^{n-1} x_i + \frac{x_0}{2}+\frac{x_n}{2}=1,\\ x_i \ge 0, \quad i=0,\dots,n\end{cases}$$

を解くと，図３(灰●)，図４(灰●)のようになる．Many-to-one の場合に比べて少し中心部の密度が高まる傾向がある．しかし，α=1 のケースでは，逆に，一点に集中しない．

Many-to-one 需要の場合の交通量分布に比べて many-to-many 需要の場合の交通量分布(腰塚(1992)，大津・腰塚(1997))が相対的にやや中心部に片寄っていることが，このような結果をもたらしていると考えられる．

５．結論と課題

本論文では，輸送コストに規模の経済性が存在する線分都市上で，many-to-one 需要と many-to-many 需要の両者を考え，積替施設の最適配置及び輸送の地域単位が均等にならないことを明らかにした．

現実の有限領域内での Hub 施設の配置や輸送システムの最適化を考えるためには，今後，階層構造がより複雑に多段階になった場合や需要分布の一般化，２次元への拡張とその際の第２段階が完全グラフでないネットワーク(最短木・Steiner 木など)の場合への展開が考えられる．

本研究は平成 10 年度文部省科学研究費補助金（奨励研究(A)）（課題番号:10780273）による研究成果の一部である．

参考文献

[1] 家田 仁 (1997): Hub-Spokes/Point-to-Point や集約型／直行型輸送など階層的輸送システムの均質無限平面上における定式化と解法，土木計画学研究・論文集，**14**, 773-782.

[2] 腰塚武志 (1992): 都市域の流動に関する理論的考察，都市計画論文集，**27**, 343-348.

[3] 大津 晶・腰塚武志 (1997): 都市域の交通流集中に関する数理的分析，都市計画論文集，**32**, 133-138.

[4] 田口 東 (1995): 都市空間の道路と住居への配分，OR 学会論文誌，**38**, 4, 398-408.

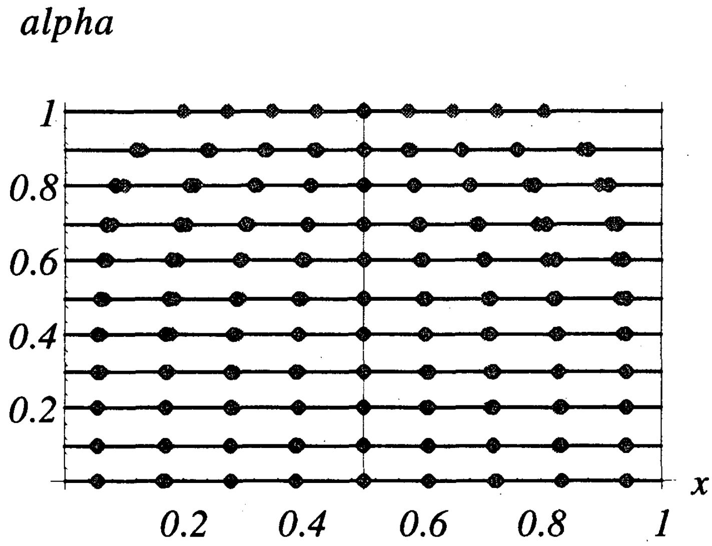

図３　積替施設の最適配置
(n=9, m=10^4; many-to-one(黒), many-to-many(灰))

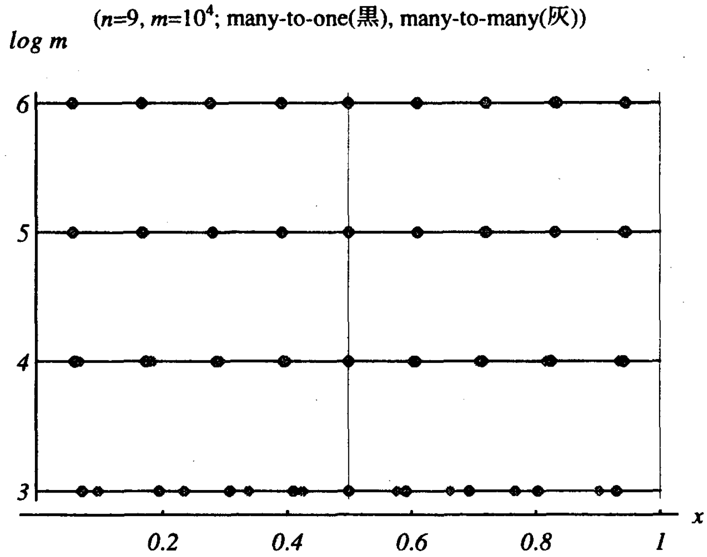

図４　積替施設の最適配置
(n=9, α=0.5; many-to-one(黒), many-to-many(灰))