

均質無限平面上における階層的輸送モデルの数値実験による基本特性分析

Comparative Statistical Analysis of the Hierarchical Transport Model through a Numerical Experiment*

村上 迅**・家田 仁***・村木康行**

By Jin MURAKAMI**, Hitoshi IEDA *** and Yasuyuki MURAKI**

1. はじめに

Hub-Spokes タイプ輸送と Point-to-Point タイプ輸送をはじめとして、輸送の形態は極めて多様である。なかでも、輸送途上やターミナルにおけるコスト特性、および「規模の経済」と「輸送の利便性」のトレードオフに立脚した輸送形態は重要な研究課題となっている。

これに対して家田¹⁾は、直行型輸送を多段階集約型輸送の特殊ケースとし、まとめて「階層的輸送」としてとらえ、均質な無限平面上（正三角形で構成される基本格子網上に正六角形（HT）のターミナルテリトリリーをとる）で定式化をおこない、その最適輸送形態を DP（動的計画法）で解く方法を示した。

本稿は、上記の階層的輸送モデルが示す最適輸送形態の特性を、前提となっている諸条件を数値実験的に変化させることで観測する。そして、その結果を統計的に分析することで、諸条件と最適輸送形態の関係を経験式で示し、最適輸送形態の基本特性を明示するものである。

2. 数値実験条件

数値実験の入力条件を表-1に示す。なお、この実験条件は、現段階では必ずしも実際の輸送における諸データに基づいて設定されたものではないことを予めお断りしておく。

正三角形で形成される均質無限平面において、基本格子辺長は D_1 、輸送需要密度は Q_1 、距離係

数は a 、単位輸送コストは C_1 、単位ターミナルコストは C_2 、輸送の規模の経済は S_1 、ターミナルの規模の経済を S_2 で表す（ただし $0 \leq S_1 \leq 1$ 、 $0 \leq S_2 \leq 1$ ）。このとき、距離が r 離れた格子点間の輸送需要は $q_r = we^{-ar}$ 、輸送コストは $C_{C1} = C_1 q_r^{1-S_1} r$ 、ターミナルコストは $C_{C2} = C_2 q_r^{1-S_2}$ と表される。

表-1 数値実験条件

入力条件	
パラメータ	範囲
基本格子長 D_1	0.5~4.0
輸送需要密度 Q_1	1.0E-6~1.0E-3
距離係数 a	0.1~4.0
単位輸送コスト C_1	1.0E-6~1.0E-3
単位ターミナルコスト C_2	1.0E-4~1.0E+6
輸送の規模の経済 S_1	0.5~0.95
ターミナルの規模の経済 S_2	0.05~1.00

3. 数値実験結果とその分析

(1) 各パラメータの影響

上記の各パラメータの変化が、最適輸送形態に及ぼす影響を表-2にまとめる。ここで表-2中のグラフの縦軸は、DP モデルにより出力された最適輸送に対して定義される、以下のの三つの指標である。

①階層数 K

輸送需要の発生から最終輸送までの集約回数

ただし、 $K=1$ は直行型輸送を表す

②累積基本格子点数 ΣP_n

ターミナルテリトリリー内の総基本格子点数

ターミナルのカバレッジを表している

③ターミナル率 t_r

ターミナル数の累積基本格子点数に対する比

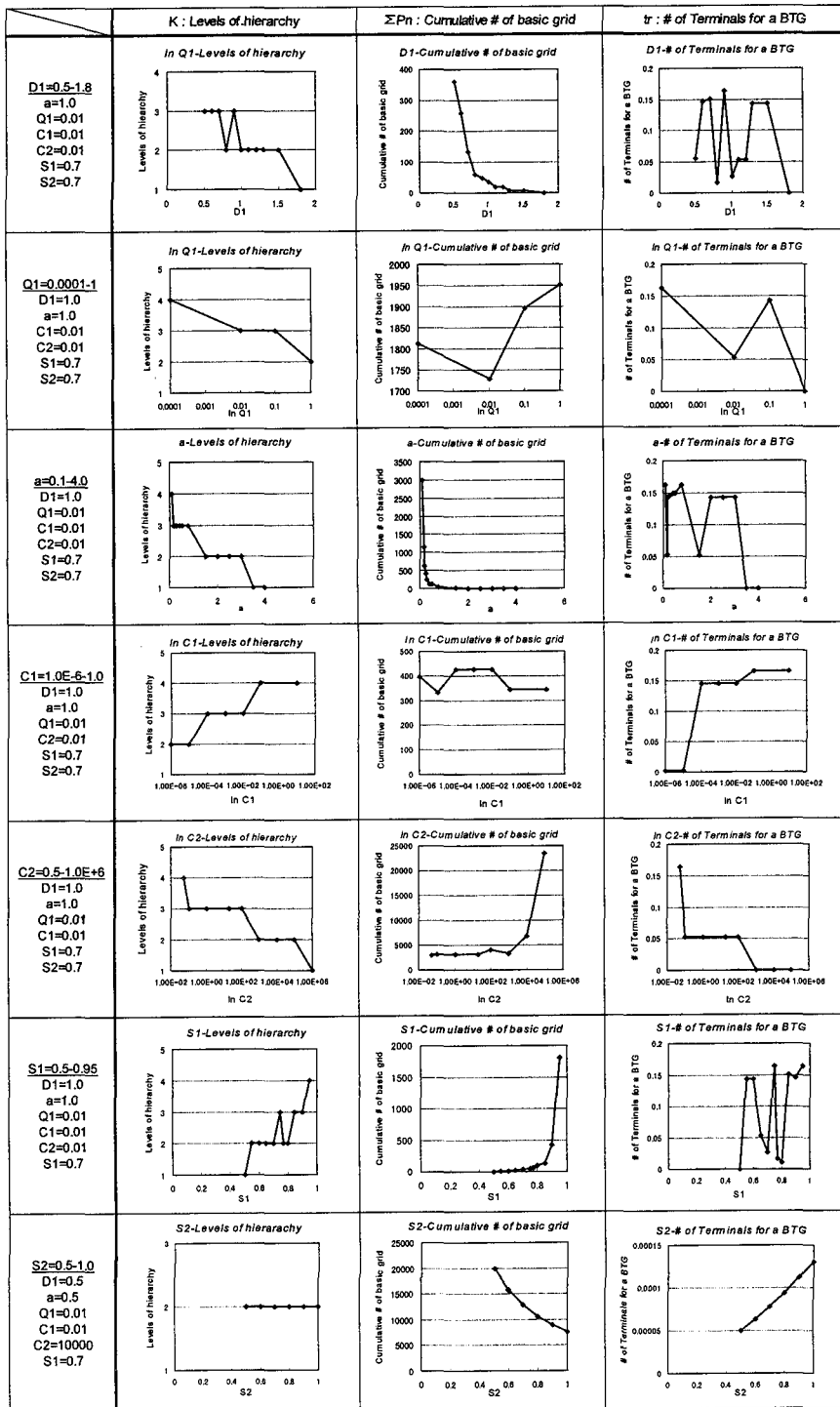
*キーワード：物資流動、交通網計画、ターミナル計画

**学生員、東京大学大学院社会基盤工学専攻

***正会員、工博、東京大学大学院社会基盤工学専攻

113 東京都文京区本郷 7-3-1 社会基盤工学専攻 TRIP 交通研究室

Tel 03-3812-2111ext.6118 Fax03-5800-6868



* K=1 : direct transport

表-2 各パラメータの影響

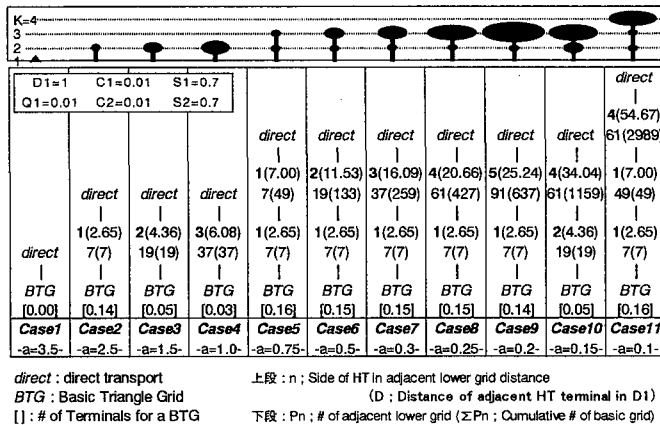


図-1 aの変化による最適輸送形態の変容例

(2)最適輸送形態の変容

図-1は、最適輸送形態の変化の様子を、K 階層目 (K-1 次ターミナル) の正六角形ターミナルテリトリの層数 n_K について模式化した例である。模式図の傘の部分の幅が正六角形ターミナルテリトリ層数を示している。CASE2 から CASE4 に移行していくに伴い、1 次ターミナルの傘の幅は 1 ~ 3 へと増大していく。CASE4 から CASE5 へ移行するとき、2 次ターミナルが出現し、1 次ターミナルの傘の幅は 1 に戻る。さらに、CASE5 から CASE9 へ移行することにより、2 次ターミナルの傘の幅が 1 ~ 5 へと増大する。CASE9 から CASE10 へ移行するとき、一度、2 次ターミナルの傘の幅を 4 に減らし、1 次ターミナルの傘の幅を 2 に増大させる。そして CASE10 から CASE11 になり、3 次ターミナルが出現する。つまり、最適輸送形態は、①最高次ターミナルの傘の幅の増大、②高次ターミナルの出現、という規則性をもって変化する。

この最適輸送形態の変容は、この階層的輸送モデルにおける最大の特徴の一つであるといえよう。

(3)直行型／集約型の判別

数値実験により得られた結果から、与えられた諸条件下において輸送が直行型になるか階層的な集約型になるか判別する簡易判別式を推定する。判別結果を表-3に示す。非常に高い中率となっており、規模の経済が働くほど、また、輸送の

需要密度が高いほど集約型になる傾向が表れている。

表-3 直行型／集約型の判別結果

		DPによる最適化の結果		
		集約	直行	総計
簡易式による判別	集約	63	4	67
	直行	1	22	23
	総計	64	26	90

的中率 94. 4%

簡易判別式

$$\delta = 0.739 - 1.40S_1 - (2.70E-6) \ln S_2^{C_2/C_1} \\ [4.09] \quad [6.86] \quad [4.00] \\ - 0.0530 \ln (Q_1/D_1^2) + 0.176aD_1 \\ [2.28] \quad [10.9]$$

$\delta > 0.5$: 直行型

$\delta \leq 0.5$: 集約型

$R = 0.857$ サンプル数 90 []内は t 値

(4)簡易式による階層数の算出

数値実験により得られた結果から、与えられた諸条件下における最適輸送形態の階層数 K を算出する簡易式を推定する。図-2はDPモデルによる

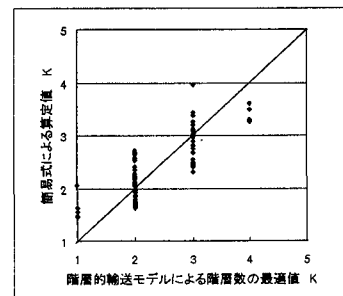


図-2 階層数における最適値と算定値の関係

る最適階層数と簡易式の算出階層数の関係を示している。トータルコストのうち、輸送コストが占めるウェイトが大きい（ターミナルコストが小さい）ときに集約の度合いが高まることがわかる。

簡易算出式

$$K = -1.13 + 4.13S_1 + (3.34E-8) \ln S_2^{C_2/C_1} \\ \begin{matrix} [2.05] & [6.62] & [2.53] \\ -0.105 \ln (Q_1/D_1^2) + 0.0750 \ln C_1 \\ [1.88] & [3.23] \\ -0.078 \ln C_2 - 0.583 \ln aD_1 \\ [6.16] & [9.39] \end{matrix} \\ K: \text{階層数 (ただし } K=1 \text{ は直行型)} \\ R=0.850 \quad \text{サンプル数 } 70 \quad [] \text{内は } t \text{ 値}$$

(5) 簡易式による累積基本格子点数の算出

数値実験により得られた結果から、与えられた諸条件下における最適輸送形態の累積基本格子点数 ΣP_n を算出する簡易式を推定する。図-3は DP モデルによる最適累積基本格子点数と簡易式の算出累積基本格子点数の関係を示している。また簡易算出式から、ターミナルコストのウェイトが大きいほどカバレッジを広げる傾向が表れている。

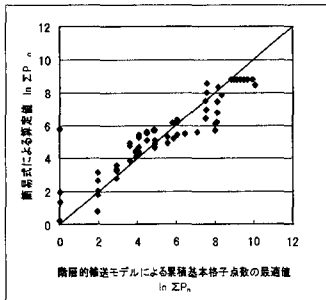


図-3 累積基本格子点数における最適値と算定値の関係

簡易算出式

$$\ln \Sigma P_n = -0.652 + 12.4S_1 + (2.72E-7) \ln S_2^{C_2/C_1} \\ \begin{matrix} [0.42] & [6.95] & [7.24] \\ +0.232 \ln (Q_1/D_1^2) + 0.228 \ln C_2 - 2.06aD_1 \\ [1.46] & [6.67] & [9.74] \end{matrix} \\ \Sigma P_n: \text{累積基本格子点数} \\ R=0.905 \quad \text{サンプル数 } 70 \quad [] \text{内は } t \text{ 値}$$

(6) 簡易式によるターミナル率の算出

数値実験により得られた結果から、与えられた諸条件下における最適輸送形態のターミナル率 t_r を算出する簡易式を推定する。図-4は DP モデルによる最適ターミナル率と簡易式の算出ターミナル率の関係を示している。単位ターミナルコストが大きくなるとターミナル率が小さくなり、1

つのターミナルに対する依存度が高くなることがわかる。また輸送コストが大きくなると1つのターミナルに対する依存度は小さくなる。

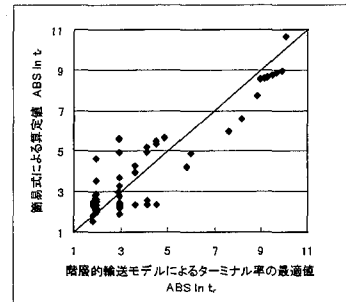


図-4 ターミナル率における最適値と算定値の関係

簡易算出式

$$\ln t_r = -5.57 + (6.12E-7) \ln S_2^{C_2/C_1} \\ \begin{matrix} [7.71] & [1.81] \\ -0.582 \ln (Q_1/D_1^2) + 0.291 \ln C_1 \\ [4.13] & [3.94] \\ -0.412 \ln C_2 - 0.229 \ln aD_1 \\ [11.8] & [1.35] \end{matrix} \\ t_r: \text{ターミナル率} \\ R=0.917 \quad \text{サンプル数 } 64 \quad [] \text{内は } t \text{ 値}$$

4. まとめと今後の課題

本稿の成果は以下の通りである。

- ①各パラメータと最適輸送形態の指標である階層数、累積基本格子点数、ターミナル率の関係を示した。
- ②パラメータの変化による最適輸送形態の変容の規則性を模式化した。
- ③直行型輸送/集約型輸送の判別をおこなう簡易判別式を推定した。
- ④最適輸送形態を表す三つの指標（階層数、累積基本格子点数、ターミナル率）について簡易算出式を推定した。

今後、不均質性と有限性を取り込んだ階層的輸送システムを定式化したとき、本稿の階層的輸送に対する数値実験のアプローチは、大変に有効であり、その基本特性を把握する手段として活用されることが期待される。

参考文献

- 1) 家田仁：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 掲載予定 (1997)