

研究論文

配送車輛の容量を考慮した相互供給システムに関する研究

栗山 仙之助・久保 貞也*

A Study on Mutual Supply System with Consideration
of Delivery Capacity

Sennosuke KURIYAMA and Sadaya KUBO

【要約】本研究は、異なる経営体による相互供給システムの物流問題を対象としている。具体的には、従来の研究で扱っていなかった配送車輛の容量に着目している。この制約条件を考慮して、物流費用を定式化し、物流センタを用いた配送方式と、相互供給システムの巡回配送方式との比較を行う。そして、数値計算を行い、相互供給システムの有効性について述べる。

1. 緒言

近年の顧客ニーズの多様化・個性化に対して、製造業者はより個性的な製品を顧客に提供する必要に迫られている。このような状況に対応するため、我々は、異なる製品カテゴリを扱う製造業者による相互供給システムを提案した[6]。ここで、対象となるのは、民芸品や、パン、和菓子などを専門的に製造している企業である。これらの企業は、一般に、生産量が少なく、販売拠点も少ないという特徴を有している。相互供給システムが導入されることで、各企業が産み出す個性的な製品を相互に供給しあい、仮想的に販売拠点が多くなり、顧客に提供できる製品カテゴリも増加する。その結果、各企業の経営活動が安定し、より個性的な製品が顧客に提供できるようになると考えている。そして、物流面での有効性を[6]～[9]において論じた。

Received August 28, 1997

* 大阪工業大学大学院工学研究科

しかし、これらの研究では配送する製品の大きさ等の特性を考慮していなかった。そのため、取扱う製品の大きさや配送する際の温度なども異なる場合を考慮する必要がある。

そこで、本研究では配送車輛の容量や機能によって配送費用が変動する数学モデルを構築し、各製品の大きさ等の特性が異なる場合の費用変化の特徴を述べる。次に、製品特性によって同一の配送車輛で混載できない場合の配送費用についても明らかにする。そして、配送費用面に関して、相互供給システムと一般に行なわれている物流センタを用いて一括配送を行うシステム（以下、物流センタ配送システムとする）との比較を行い、相互供給システムの有効性について論じるものである。

2. モデルの設定

2. 1. モデルの前提条件

本研究で使用するモデルについて以下の前提を設ける。

- (1) 対象とする道路網は格子型ネットワークで表し、各ノードに企業が存在するものとする。
- (2) 各企業は、販売施設を1箇所持つ。
- (3) 相互供給システムは巡回配送を行うものとし、その配送経路は、全ての製品に関して同一の経路長を持つ。
- (4) 巡回配送は、各企業が製造した製品を、他の企業に供給することである。
- (5) 各販売施設における各製品の需要量は一定である。
- (6) 取扱う製品は、分割できないものとする。

2. 2. 記号の説明

n	: 格子型ネットワークの横一辺に存在する企業数	
m	: 格子型ネットワークの縦一辺に存在する企業数	
$Sc(\alpha)$: 積載量が α である車輛の固定費	[千円]
Sc_2	: 容量に制約がある場合の車輛の固定費	[千円]
$Vc(\alpha)$: 積載量が α である車輛の単位走行距離当りの変動費	[千円/km]
Vc_2	: 容量に制約がある場合の単位走行距離当りの変動費	[千円/km]
x_i	: 企業 i が配送する製品量	[t]
y_i	: 1販売施設が企業 i に要求する製品量	[t]
Y	: 1販売施設で取扱う製品の総量	[t]
R	: 巡回経路の長さ	[km]
R_i	: 容量に制約がある場合の企業 i の製品に係る走行距離	[km]
r_i	: 物流センタから企業 i までの距離	[km]
b_i	: 容量に制約がある場合に車輛1台で供給できる企業数	
Tq	: 配送車輛1台当りの容量	[t/台]
U_i	: 容量に制約がある場合の企業 i の製品が必要とする車輛数	[台]
U_{i1}	: 物流センタ配送システムにおける企業 i の製品が往路で必要とする車輛数	[台]

配送車輛の容量を考慮した相互供給システムに関する研究

- U_{2i} : 物流センタ配送システムにおける企業 i の製品が復路で必要とする車輛数 [台]
- $a(i)$: 巡回経路上の i 番目の企業から $i+1$ 番目の企業までの距離 [km]
- $d(\beta)$: 巡回経路の出発点から β 番目の企業までの最短距離 [km]
- $\lfloor l \rfloor$: l の小数点以下を切り上げる
- $\lceil l \rceil$: l の小数点以下を切り捨てる

3. モデルの定式化

3. 1. 容量を考慮しない場合

・相互供給システム (Mutual Supply System : MSS)

MSSにおいて、各企業は図1のような配送経路で巡回配送を行う。この場合の配送費用は次式によって求められる。

$$\sum_{i=1}^{n \cdot m} Sc(x_i) + \sum_{i=1}^{n \cdot m} (Vc(x_i) \cdot R) \quad (1)$$

ただし、 $x_i = y_i \cdot (n \cdot m - 1)$

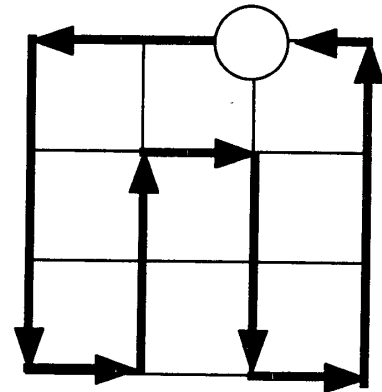


図1. MSSの配送経路

・物流センタ配送システム (Logistics Center Delivery System : LCDS)

LCDSは、図2のように各経営体から物流センタまでの輸送と、物流センタから各販売施設に全ての製品を配送する部分とに分けられる。そこで、経営体から物流センタまでの往路と復路を分割して定式化する。

往路 (経営体 → 物流センタ)

$$\sum_{i=1}^{n \cdot m} Sc(x_i) + \sum_{i=1}^{n \cdot m} (Vc(x_i) \cdot r_i) \quad (2)$$

ただし、 $x_i = y_i \cdot n \cdot m$

復路 (物流センタ → 経営体)

$$\sum_{i=1}^{n \cdot m} Sc(Y) + \sum_{i=1}^{n \cdot m} (Vc(Y) \cdot r_i) \quad (3)$$

ただし、 $Y = \sum_{i=1}^{n \cdot m} y_i$

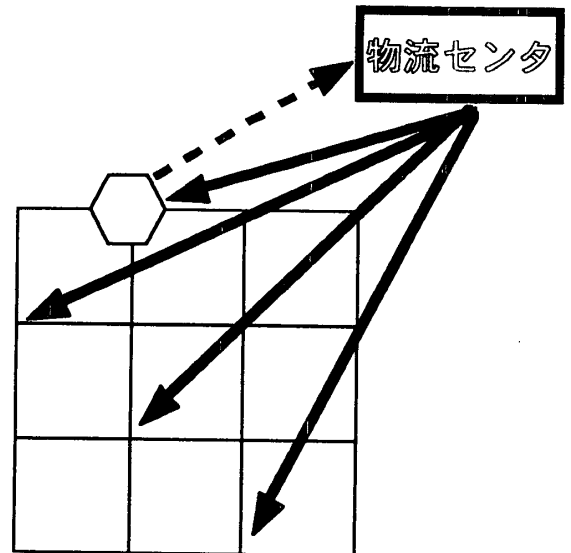


図2. LCDSの配送経路

3. 2. 容量に制約がある場合

次に、配送車輛の容量を考慮する。この場合は、製品1個当りの大きさによって使用する車輛数が変化する。

・MSS

車輛の固定費は以下の手順で算出する。

企業*i*から車輛1台で配送できる企業数*b_i*は、配送車輛の容量を1販売施設が要求する製品量で割ることによって求まる。

$$b_i = \left\lceil \frac{Tq}{y_i} \right\rceil \quad (4)$$

経営体*i*が使用する車輛数*U_i*は、システム内に存在する企業数から1減じたものを*b_i*で割ることで算出される。

$$U_i = \left\lceil \frac{n \cdot m - 1}{b_i} \right\rceil \quad (5)$$

となり、したがって固定費は、1台当りの固定費を乗じて

$$\sum_{i=1}^{n \cdot m} S c_2 \cdot U_i \quad (6)$$

となる。

この場合の配送経路は、図3に示す順序となる。まず、*b_i*と同数の販売施設（企業）に巡回経路を通過して製品を配送する。次の車輛は、*b_i+1*番目の販売施設まで最短経路で移動し、その後、巡回経路に沿って配送を行う。また、配送が終了した車輛は最短経路で出発地点の企業に戻る。これらの走行距離は、以下の式で求められる。

$$\begin{aligned} R_i = & \sum_{i=1}^{b_i} a(i) + d(b_i) \\ & + d(b_i + 1) + \sum_{i=b_i+2}^{2 \cdot b_i} a(i) + d(2 \cdot b_i) + \dots \\ & + d((U_i - 1) \cdot b_i + 1) + \sum_{i=(U_i-1) \cdot b_i+2}^{n \cdot m - 1} a(i) + d(n \cdot m - 1) \end{aligned} \quad (7)$$

以上から、総費用は次の式で求められる。

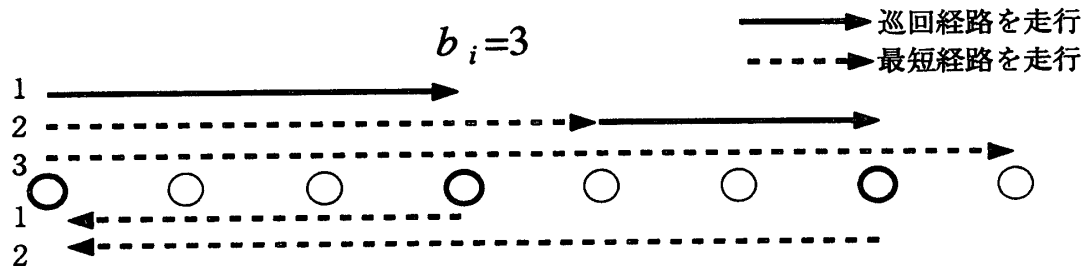


図3. 配送車輛の容量を考慮した場合のMSSの配送経路

$$\sum_{i=1}^{n \cdot m} S_{C_2} \cdot U_i + \sum_{i=1}^{n \cdot m} V_{C_2} \cdot R_i \quad (8)$$

• LCDS

LCDSの場合、企業から物流センタまでと物流センタから販売施設までを分けて考える。経営体から物流センタ間で使用する車輛数は、企業が供給する製品量を車輛の容量で除して求める。また、物流センタから各販売施設間で使用する車輛数は、販売施設が取扱う総量を車輛の容量で除して求める。

$$\text{往路 } U_{1i} = \left\lfloor \frac{Tq}{y_i} \right\rfloor \quad (9)$$

ただし、 $x_i = y_i \cdot n \cdot m$

$$\text{復路 } U_{2i} = \left\lfloor \frac{Y}{Tq} \right\rfloor \quad (10)$$

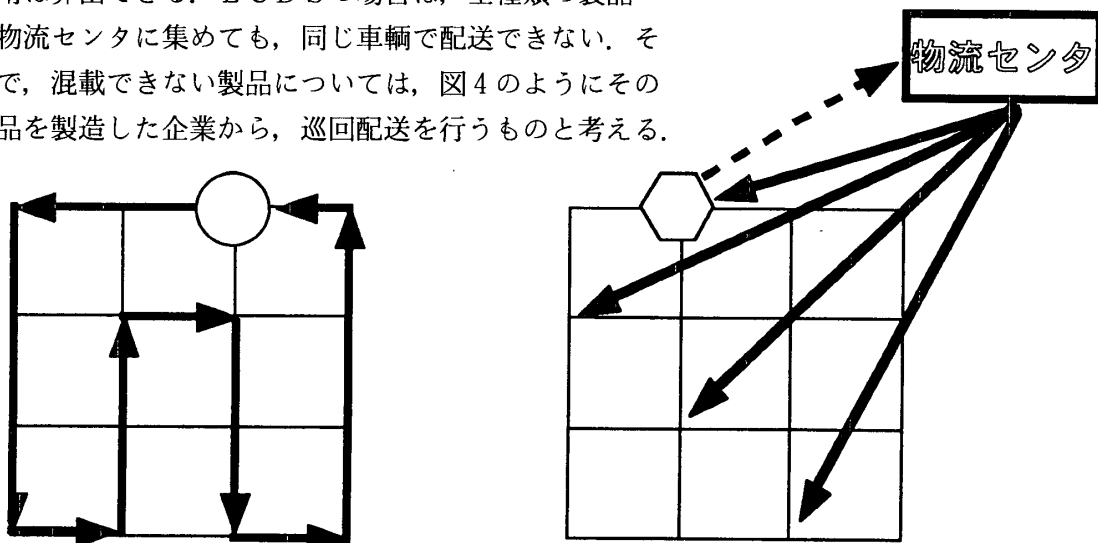
したがって、総費用は次の式で求められる。

$$\text{往路 } \sum_{i=1}^{n \cdot m} S_{C_2} \cdot U_{1i} + \sum_{i=1}^{n \cdot m} V_{C_2} \cdot r_i \cdot U_{1i} \quad (11)$$

$$\text{復路 } \sum_{i=1}^{n \cdot m} S_{C_2} \cdot U_{2i} + \sum_{i=1}^{n \cdot m} V_{C_2} \cdot r_i \cdot U_{2i} \quad (12)$$

3. 3. 混載できない製品が含まれる場合

冷凍食品などの特殊な車輛を必要とする製品を取扱う場合を考える。MSSでは、各経営体が自社製品を配送するため、企業毎に車輛の固定費の違いが発生するが、式(4)から(8)で、その費用は算出できる。LCDSの場合は、全種類の製品を物流センタに集めても、同じ車輛で配送できない。そこで、混載できない製品については、図4のようにその製品を製造した企業から、巡回配送を行うものとする。



混載できない場合

混載可能な場合

図4. 混載できない製品を含む場合の配送形態

4. 数値計算例

4. 1. パラメータの設定

相互供給システムと物流センタ配送システムを比較するために、数値計算を行った。そして、数値計算で用いたパラメータは以下の通りである。

- 固定費 (3.1:各企業毎に決定 3.2:システム全体で決定)
宅配便の配送料金を参考に設定 (製品の3辺の合計 × 10 [円])
- 変動費 (3.1:各企業毎に決定 3.2:システム全体で決定)
燃費として配送する製品の大きさによって変化 (10 + 配送する製品量 × 0.02 [円])
- 企業間の距離は全て 1 km
- 格子型ネットワークから物流センタまでの最短距離は 5 km
- 格子型ネットワークの大きさは 3 × 3 から 9 × 9 まで縦横 1 ずつ増加
- 製品の大きさは 3 辺 6 ~ 30 を乱数によって決定する
- 配送車輛の容量は 3 辺の合計を 60 ~ 1000 で変化

4. 2. 結果と考察

配送車輛の容量を考慮しない場合の総費用の比較を図5に示す。製品数に比例する企業数が増加するにしたがって、配送費用は増加する。しかし、MSSの方が緩やかに増加していることが分かる。図6に配送車輛の容量を考慮した場合のMSSの総費用を示す。企業数が大きくなるにつれて、使用する車輛数が増加し、その費用は大きくなっている。これに対し、図7にLCDSの場合の結果を示す。ここでは、配送車輛の容量に対し、大きく費用が減少する部分がある。これは、物流センタから配送する総量と配送車輛の容量が合致している部分である。そのため、LCDSにおいては、配送車輛の容量が費用に影響を与える要因と考えられる。この要因を詳しく見るために、固定費と変動費に分けて図8、図9に結果を示す。固定費に関して、MSSの場合は緩やかに増加しているが、LCDSは、容量が420の点で減少している。これは、販売施設が必要とする製品の総量が420であり、物流センタからの配送車輛数が最小にな

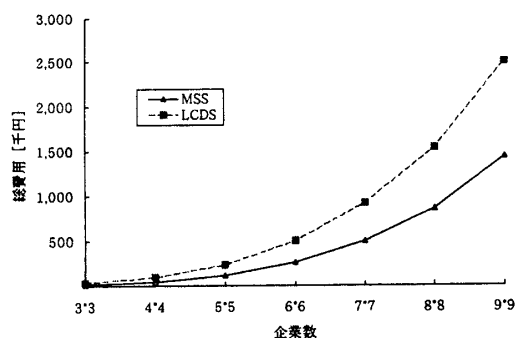


図5. 配送車輛の容量を考慮しない場合

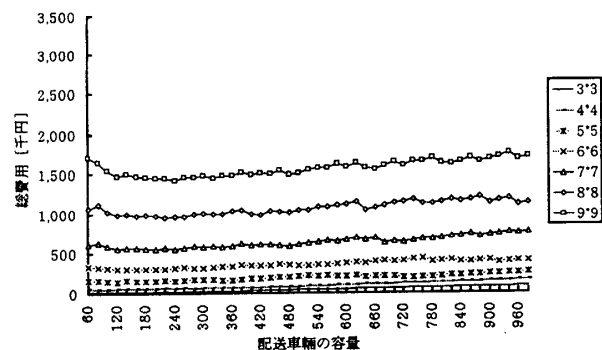


図6. 配送車輛の容量に制約がある場合(MSS)

配送車輛の容量を考慮した相互供給システムに関する研究

ることを意味している。変動費を見てみるとMSSの場合は、各企業が提供する製品の大きさが異なるため、大きく減少する部分はない。これに対し、LCDSの場合は、固定費と同様に容量が420の部分で大きく減少し、その後、緩やかに上昇している。すなわち、容量420までは、使用する車輛数が減少していくため、費用が低下し、それ以降は、容量の増加により単位当たりの変動費が上昇するため、費用が上昇することが分かる。

また、混載できない製品が含まれる場合については、図10のように、その製品数が増加するにしたがって、MSSと同結果に近づくため減少する。次に、配送車輛の容量を考慮した場合の結果を図11に示す。ここでは、混載できない製品数が少ない場合は、配送車輛の容量に影響を受ける部分が存在することが分かる。

配送車輛の容量は、LCDSに影響を与えるが、実際にはその容量を微妙に変化させるのは困難である。したがって、配送車輛の影響を受けにくく、費用も低く抑えられるMSSの方が有効であると思われる。

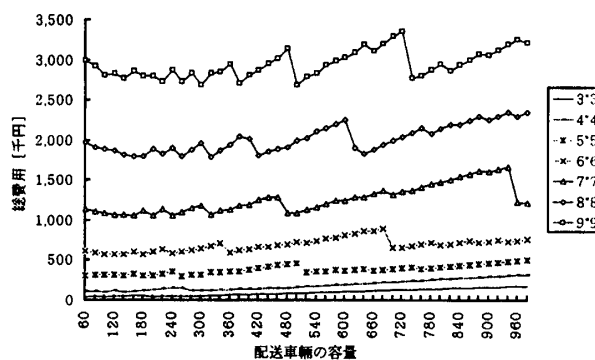


図7. 配送車輛の容量に制約がある場合(LCDS)

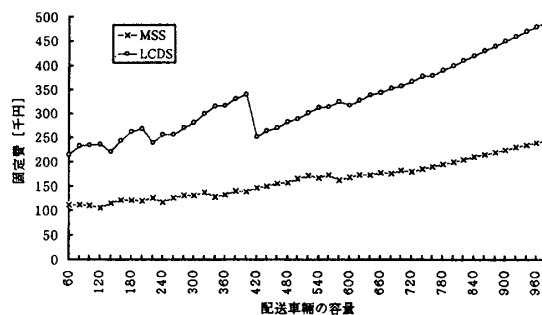


図8. 配送車輛の容量に制約がある場合の固定費

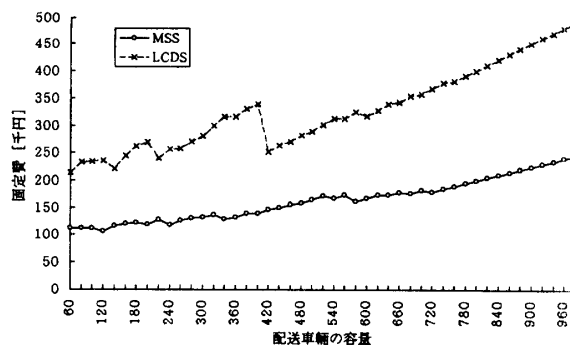


図9. 配送車輛の容量に制約がある場合の変動費

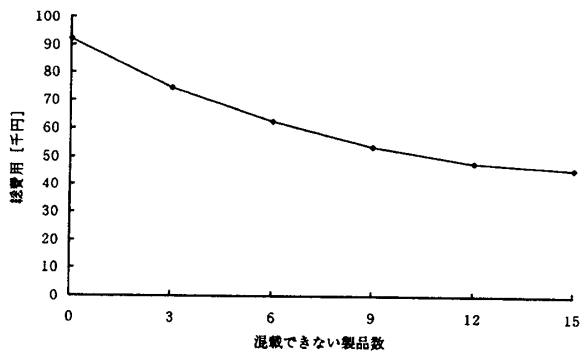


図10・混載できない製品がある場合(容量に制約なし)

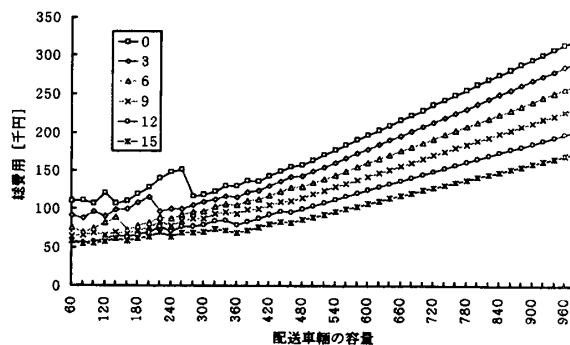


図11・混載できない製品がある場合(容量に制約あり)

5. 結 言

本研究において以下のことが判明した。

- (1) 配送車輛の費用が積載量によって変化する場合の数学モデルを構築し、相互供給システムと物流センタ配送システムの比較を行った。
- (2) 配送車輛の容量に制約がある場合の数学モデルを構築し、その特徴を数値例より示した。
- (3) 混載できない場合の数学モデルを、(1)、(2)を応用して構築し、数値例を示すことで、相互供給システムの有効性を明らかにした。

<引用・参考文献>

- [1] Ajith B. Wijertne, Mark A. Turnquist, Pitu B. Mirchandani: “Multiobjective routing of hazardous materials in stochastic networks”, *European Journal of Operational Research*, pp.33-43, Vol.65, (1993)
- [2] 阿保栄治:「ロジステイクス革新戦略」, 日刊工業新聞社, (1993)
- [3] 本間寛子, 高柳正盛: “ECR軸に流通を再編”, *日経ロジステイクス*, pp.14-26, No.38, (1994)
- [4] John Current, HoKey Min: “Multiobjective design of transportation networks: Taxonomy and annotation”, *European Journal of Operational Research*, pp.187-201, Vol.26, (1986)
- [5] 川辺信雄:「セブン-イレブンの経営史 日米企業・経営力の逆転」, 有斐閣, (1994)
- [6] 久保貞也, 栗山仙之助, 能勢豊一: “小規模製造業ネットワークにおける配送効率に関する研究”, *日本経営システム学会 第14回全国大会講演論文集*, pp.34-36, (1995)
- [7] 久保貞也, 栗山仙之助, 能勢豊一: “異なる経営体による相互供給システムの巡回経路決定アルゴリズムに関する研究”, *平成八年度日本経営工学会 春季大会予稿集*, pp.161-162, (1996)
- [8] 栗山仙之助:「総合経営情報システム研究」, 株式会社日本経営協会総合研究所, (1995)
- [9] 栗山仙之助, 船橋伸康, 久保貞也: “異なる経営体による相互供給システムにおいて交通渋滞を考慮した配送計画に関する研究”, *摂南大学経営情報学部「経営情報研究」vol.5, No.1*, pp.99-106, (1997)
- [10] (株)交通工学研究会:「道路の交通容量 1985」, コロナ社, (1987)
- [11] 近藤次郎:「応用確率論」, 日科技連, (1985)
- [12] Nicolas Dubois, Frederic Semet: “Estimation and determination of shortest path length in a road network with obstacles”, *European Journal of Operational Research*, pp.105-116, Vol.83, (1995)
- [13] 日通総合研究所編:「物流の知識 (第3版)」, 東京経済新報社, (1993)

- [14] Pitu B. Mirchandani, Hossein Soroush: “Optimal paths in Probabilistic networks: A case with temporary preferences”, *Computer & Operations Research*, pp. 365-381, Vol. 12, No. 4, (1985)
- [15] 佐藤良則: 「物流・配送センター 設置と効率化のポイント」, 日刊工業新聞社, (1993)
- [16] Turgut Aykin: “The hub location and routing problem”, *European Journal of Operational Research*, pp. 200-219, Vol. 83, (1995)
- [17] 田口東, 大山達雄: “ネットワーク構造に基づく道路の重要度評価 — 都市内道路網への適用 — ”, *オペレーションズ・リサーチ*, pp. 465-470, Vol. 38, No. 9, (1993)