

79. ロードプライシングが物流配送行動に与える影響に関する基礎的考察

*東京商船大学 正会員 兵藤哲朗
 東京商船大学 正会員 高橋洋二
 東京商船大学 学生会員 ○清水高広
 東京商船大学 学生会員 坪井竹彦

1. はじめに

交通渋滞の緩和や環境負荷の低減等といった都市内の交通問題を改善する方策としてロードプライシング(以下RPとする)がある。これまでの物流政策の評価の研究に、マイクロシミュレーションモデルを適用した研究を挙げることが出来る¹⁾。しかし、政策実施にあたって、個々の物流企業がRPによりどの程度の影響を受けるのかという視点は見られない。一方、物流は企業活動の一環であるから、物流政策実施に伴い、個々の企業がどのような影響を受けるか把握する必要があるが、研究事例は少ない。

そこで、本研究では、RPが導入された場合、物流企業の配送行動にどのような影響を与えるか、実際の企業の物流データを用いて費用分析を行った。また、RPによる影響は、課金額やコードンラインの範囲によって異なること、また、企業の配送拠点の位置や数により異なることが予想される。そこで仮想都市を設定し、これらの諸条件を変化させる感度分析を行った。

2. 研究の分析手順

物流企業の実態を踏まえたシミュレーションを行うため、実際の大手物流業者の配送実態や条件を用いてケーススタディを行った。

- ①企業データの配送状況を分析する。
- ②仮想都市を設定し、RPを導入した場合の影響を課金額・課金範囲を変化させ拠点別に分析する。
- ③RPが導入された際に、新たに、コードンライン内に配送拠点を建設することで、課金の影響を抑えるという企業戦略が考えられる。ここでは、コードンライン外側の配送拠点と合わせて計2拠点で各店舗に配送するケース

Keywords: 物流、ロードプライシング、配送計画問題

*連絡先: hyodo@ipc.tosho-u.ac.jp

03-5345-7300 ext. 8510

を分析する。

- ④企業データを用いRPの影響を費用分析する。

3. ケーススタディ対象企業の概要

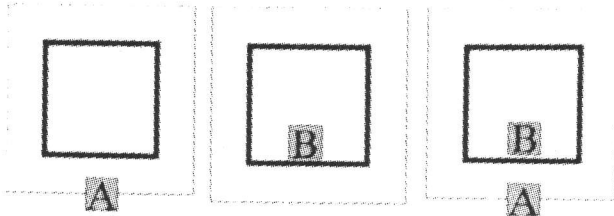
ケーススタディの対象は大手物流業者(A企業)である。A企業の輸配送の特徴として、①半導体のような微小な製品から、発電プラントのような超重量製品まで、様々な大きさの製品を輸配送できる技術を保有している、②日本全国への配送を可能とする配送ネットワークを保有している、ことが挙げられる。

本研究では、A企業が保有する物流センターの中でも、最大規模である、首都圏の2つの物流センターの配送業務をケーススタディの分析対象とした(表1)。

表1 1日の配送データ

	柏配送センター	川崎配送センター	合計
配送容積(m ³)	1456	1977	3433
店舗数	1025	1428	2453
10t車(台)	26	37	63
4t車(台)	15	10	25
2t車(台)	86	118	204

4. シミュレーションの方法



■ B : 配送拠点 □ : コードンライン

図1 仮想都市の図

(1) 分析範囲とネットワーク

シミュレーション分析の対象として、東京を中心とする50km四方の範囲を想定した(図1)。

また、RPの影響を配送拠点別に分析するため、コー

ドライン外側の配送拠点を A、内側の配送拠点を B とした(図1)。B の位置は、コードラインから内側 1 km に設置している。また、A と B の両方に配送拠点を設置するケースについても検討した。

シミュレーションの目的関数は、課金を考慮した最短経路を求めるために総一般化所要時間(総所要時間 + 課金総額/時間価値)とした。所要時間としては、RP が導入された際、迂回ルートをとるため、マンハッタン距離に迂回で増えた走行距離を加えた値を、走行速度 (20 km/h) で除することで求めた。

(2)顧客及び車両

顧客数を 250 とした。顧客の空間分布は、一様に設定している。各顧客の需要量は、分析対象企業データの値を参考に平均 0.5 m³、分散 0.2 m³と算出した。配送車両は、2t車とし最大積載量を 10 m³としている。全て庸車とし、その庸車費用を一律 2 万円とした。本研究では、課金額、コードラインの感度分析を行うことを目的としているので、これらの条件を固定している。

(3)代替案の設定条件

プライシング方式は、コードライン法を採用している。課金額については、500 円、1000 円、2000 円とした。課金額 2000 円については、課金額を大幅に増やした時の費用、時間への影響を見るために分析した。コードラインについては、①5km 四方、②10km 四方、③15km 四方、④20km 四方、⑤40km 四方とした。これらの設定は概ね①環状2号隅田川区域、②山手線・隅田川区域、③環状6号・隅田川区域、④環状7号荒川区域を想定し、⑤はコードラインを広げた場合の配送費用及び配送時間の特性を分析するために設定した。

(4)費用

本研究では、費用を庸車費用、課金総額、運送費用に分けて、以下のように設定した。なお、これらの費用は、1 日当りの費用として算出している。

$$\begin{aligned} \text{庸車費用} &= \text{庸車費用 (2 万円/台)} \times \text{トラック台数} \\ \text{課金総額} &= \text{課金額 (円)} \times \text{課金された回数} \\ \text{運送費用} &= \text{配送時間 (h)} \times \text{時間価値 (2000 円/h)} \end{aligned}$$

(5)代替案の設定

以下のように代替案を設定した(表2)。代替案1~8 は、課金額を変化させた場合、代替案 9~18 は、コードラインを変化させた場合、代替案 19~23 は、2 拠点から配送する場合でのそれぞれの配送費用、配送時間、コードライン内外の配送時間を算出した。

表2 計算ケース

	計算ケース	拠点位置	課金額	コードライン
課金額の変化	1	A	0円	20km
	2		500円	
	3		1000円	
	4		2000円	
	5	B	0円	
	6		500円	
	7		1000円	
	8		2000円	
コードラインの変化	9	A	500円	5km
	10			10km
	11			15km
	12			20km
	13			40km
	14	B		5km
	15			10km
	16			15km
	17			20km
	18			40km
2拠点から配送	19	AとB	-	5km
	20		-	10km
	21		-	15km
	22		-	20km
	23		-	40km

(6)解法の概略と精度の検証

本研究では、配送計画問題 (VRP: Vehicle Routing Problem) の手法の一つであるセービング法に若干の改良を加えたものを解法に採用した。セービング法は、配送拠点から各配送先へ往復経路を生成し、次に、配送経路を次々に統合した場合に配送時間の短縮量(セービング値)が大きい方から順に統合していき、配送経路の最適化を図る方法である。しかし、セービング値の大きい方から経路を次々に統合していくことは、必ずしも最適解が得られない。本研究では、セービング値の大きい方から少しだけ小さい方へ確率的(3/10)に入れ替えて、経路を統合している。経路を統合した後、巡回セールスマン問題(TSP: Traveling Salesman Problem)の手法の一つである2-optで、経路の改善を行っている。

この手法の精度を検証するために Augerat set A を用いベンチマークテストを行った²⁾。平均すると本方法の最適解の値は、ベンチマークテスト最適解に対し、約1.6%の誤差であり、使用に耐えうると判断した。

表3 RP条件を変化させた時の各費用(万円)

課金額	コードンライン	課金総額(万円)			運送費用(万円)			庸車費用(万円)		
		A	B	AとB	A	B	AとB	A	B	AとB
0円	20km	0.0	0.0	0.0	15.3	12.3	14.6	26.0	26.0	26.0
500円		0.4	0.7	0.0	15.9	12.5	14.6	26.0	26.0	26.0
1000円		0.7	1.3	0.0	15.8	13.4	14.6	26.0	26.0	26.0
2000円		0.8	2.2	0.0	16.2	13.3	14.6	26.0	26.0	26.0
500円	5km	0.1	0.7	0.0	15.3	12.3	15.4	26.0	26.0	28.0
	10km	0.1	0.7	0.0	15.9	12.7	14.8	26.0	26.0	28.0
	15km	0.2	0.6	0.0	15.8	12.8	14.8	26.0	26.0	30.0
	20km	0.4	0.7	0.0	15.9	12.5	14.6	26.0	26.0	26.0
	40km	0.9	0.5	0.0	15.5	13.8	14.7	26.0	26.0	26.0

(4)分析結果

① 課金額を変化させた時のRPの特性

課金額を変化させた時、コードンラインを変化させた時の課金総額、運送費用、庸車費用を示した(表3)。まず、課金総額の特性について考察する。課金総額は、課金額の増加に比例して増加しているもののA(コードンライン外の配送拠点)とB(コードンライン外の配送拠点)で費用の伸びが異なっている。これはA、Bで課金される回数が異なるからであり、BはAに比べ課金を増加させることで急速にその課金回数を減らしている(表4)。

運送費用は、課金額に比例して増加していないことが分かる。運送費用は配送時間に比例するが、課金額とは比例関係にない(表6)。このことから、課金額の増加は必ずしも運送費用の増加を意味しないといえる。

庸車費用は、配送に使用したトラック台数に比例するが、RP前後でトラック台数に変動がなかったため、庸車費用は変化しなかった。

②コードンラインを変化させた時のRPの特性

課金総額についてみると、コードンラインを広げることで、Aで課金総額が増加しているのに対して、Bでは課金総額が減少している(表3)。課金回数を見てみると、Aでは、課金回数が大幅に増加していることが分かる(表4)。一方で、Bでは、課金回数が減少している。これは、コードンライン内にあるBにとって、コードンラインを広げていくことで、コードンライン外の顧客数が減少するからである。コードンラインの設定によって、配送拠点がどこにあるかで、支払う課金総額が異なることが示された。

次に運送費用について見てみるが、本研究の設定では、Bがコードンラインから常に1km内側と設定しているのでAについてのみ分析する。表3を見るとコードン

表4 課金回数(回)

課金額	コードンライン	A	B
0円	20km	0	0
500円	20km	8	13
1000円	20km	7	13
2000円	20km	4	11
500円	5km	1	13
500円	10km	2	13
500円	15km	3	12
500円	20km	8	13
500円	40km	17	10

表5 配送時間増加率(%)

課金額	コードンライン	A	B
500円	20km	4.2%	1.5%
1000円	20km	3.5%	8.6%
2000円	20km	6.1%	8.3%
500円	5km	0.1%	3.4%
500円	10km	3.9%	7.3%
500円	15km	3.4%	6.7%
500円	20km	4.2%	1.5%
500円	40km	1.4%	0.6%

ラインを広げることがその費用増加につながってはいない。コードンライン5kmでは、コードンラインの範囲も小さく、顧客数が少ないことから、迂回をする必要がなく、その費用は少ないが、コードンライン10kmから20kmのところでは、費用が最も高くなっている。さらにコードンラインを40kmまで広げると迂回する余地がなくなり、また、コードンラインの顧客数が増えるために、課金されることを選択しているといえる(表4)。コードンラインの範囲が広がることは、必ずしも運送費用を増加させないことが明らかとなった。

庸車費用については、コードンラインを変化させてもトラック台数の変化がなかったため、費用は変化しなかった。

③2拠点での配送

AとBの2拠点からの配送をするということで課金を避ける企業戦略が成立するかどうかを分析した(表3)。課金されないで、課金総額はないが、運送費用では、B単独で配送する場合よりも多くなった。これは、Aが、コードンライン内に入れないために、迂回が非常に増えたからである。庸車費用では、2拠点がそれぞれ、コードンライン内、外と配送担当エリアが決まっていることから、トラック台数が増え、結果的に1つの拠点から配送する場合よりも庸車費用が増加した。

これらの費用を合計し、さらに、施設費用等も考慮す

ると2拠点で配送することで課金を避けるという企業戦略は成立しないことが分かった。

④コードンライン内外の配送時間の变化

都市の中心部の混雑緩和について分析した。本研究では、コードンライン内外の交通量を算出することは困難であるが、a)コードンライン内の顧客間の移動、b)コードンライン外の顧客間の移動、c)コードンラインを跨ぐ顧客間の移動の3つに分けて、コードンライン内の配送時間、コードンライン外の配送時間を算出した。

コードンライン内の配送時間は、課金額の増加に比例せずに減少している場合と逆に増加している場合がある(表6)。一方、表4をみると課金額が増加することで課金回数が減少している。このことから、コードンライン内の車両の台数削減が配送時間の減少を必ずしも意味しないといえる。本研究では、RP前後の配送先の顧客分布や需要量、車両の走行速度を固定しているので短期的には、必ずしも配送時間減少を見込めないといえる。しかし、長期的に見れば、これらの条件が変化することが予想されることからコードンライン内の配送時間は短縮される可能性がある。

5. 実際の企業データを用いた分析

4. では顧客の分布が空間的に一様と仮定したが、実際の分布は中心部ほど多いなど空間的偏りがある。そこで、実際の企業データ(顧客位置、顧客の需要量)を用いて費用、配送時間の算出を行った。課金額を500円、コードンラインを20kmで、対象範囲は、東京を中心とする50km四方と設定している。ここでは、柏と川崎の両支店からの対象範囲への配送を対象にその配送費用を算出した。柏は、426、川崎は945の顧客を担当している(図2)。

分析の結果、RPによって、11万円の費用増となった(表7)。これを、対象企業が課金額を負担した場合の費用(費用=庸車費用+課金額)、配送を委託している運送業者が負担した場合の費用(費用=運送費用+課金額)への影響として考えると、対象企業では、3%の費用増加につながり、運送業者では、8.9%の費用増加となった(表8)。

日々、顧客分布および配送量が異なることやシミュレーションの誤差を考慮しても数%の課金による費用増

表6 コードンライン内外の配送時間増加率(%)

		500円	1000円	2000円
A	コードンライン内	22.2	22.2	-11.1
B	コードンライン内	-22.2	-11.1	-11.1
A	コードンライン外	10.2	8.2	18.4
B	コードンライン外	4.8	14.3	16.7

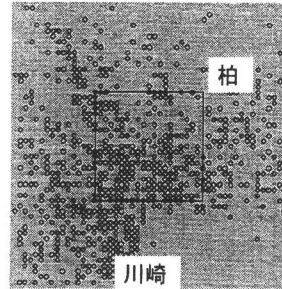


図2 実際のデータを用いた時の配送拠点と顧客分布

表7 RP前後の費用(万円)

	庸車費用(万円)	課金額(万円)	運送費用(万円)
RPなし	122.0	0	245.9
RPあり	124.0	1.6	254.0

表8 RP前後の負担費用(万円)と負担費用増加率(%)

対象企業が課金額を負担	運送業者が課金額を負担
125.3(3.0%)	53.6(8.9%)

であることが予想される。

6. まとめ

本研究では、①課金額、コードンラインを変化させることによる、課金総額、運送費用、庸車費用の変化を把握し、②課金を避けるために2つの拠点から配送するという戦略が成立するか分析し、③RP前後のコードンライン内外の配送時間の増加率を把握し、④実際の企業データからRPによる費用への影響を分析した。

今後の課題としては、顧客分布を変化させる感度分析や、プライシング実施後の状況を想定したシミュレーション、プライシング実施後に予想されるような企業行動についてもシミュレーションする必要がある。また、制約条件を加味することでより精緻な解を求める必要もある。

【参考文献】

- 1) 細谷、家田、福田、佐野、加藤:企業行動構造を明示的に考慮した大都市圏物流政策評価マイクロモデルの構築、土木計画学研究・講演集、No. 25、CD-ROM、2002
- 2) <http://student.dei.uc.pt/~jast/vrp/>