

宅配貨物輸送における配送拠点の最適配置計画に関する分析*

Optimal Location Plan for Delivery Points for Home Delivery Service

田中 康仁** 小谷 通泰***

by Yasuhiro TANAKA and Michiyasu ODANI

1. はじめに

宅配貨物の取扱量は、年々増加の一途を辿っている。また、宅配市場のシェアは、民間5社、郵政公社による寡占化が進む一方で、郵政公社は民営化による業務開始以降、宅配サービスの拡大を図るなど、事業者間の競争も激化している。宅配貨物輸送においては、迅速性・低廉性ととも、全国均一のサービスを確保するために、配送システムに様々な工夫がみられるが、その一つに配送拠点の階層的構成が挙げられる¹⁾。すなわち、配送拠点を地域間の輸送を担当する上位拠点と地域内の集配送を受け持つ下位拠点に分けた上で、上位拠点は複数の下位拠点を統括している。そして、こうした配送拠点をいかに適切に配置するかは、物流の効率化を図る上で事業者にとっては重要な課題と考えられる。

施設の最適な配置を求める数理的アプローチによる研究では、移動距離もしくは需要の重み付き距離の最小化を目的関数として、連続型の Weber 問題 (MinSum 問題)、離散型の P-Median 問題など様々な問題が定式化されている²⁾³⁾。また、こうした配置問題、特に P-Median 問題を階層型モデルとして拡張した配置問題も定式化されている⁴⁾⁵⁾。

物流関連施設への配置問題の適用研究としては、数多くの事例がみられる。こうした中で、山田・谷口ら⁶⁾による物流ターミナルの最適配置計画や YANG ら⁷⁾による Logistics Terminal の最適な規模および配置を求める研究では、いずれも輸送コスト(輸送距離)と立地コストの最小化による最適化を行っているが、その対象はトラックターミナルや流通センターなどであり、大規模で公共性の高い施設が対象である。また、宅配輸送という企業性の強い配送システムを検証した研究はあまり多く見られないものの、渡辺・鈴木⁸⁾は、宅配輸送が階層性を有していることに着目して、最適な階層数および階層ごとの施設数の決定を試みている。しかしながら、この研究では、施設の具体的な配置場所を求めるには至っていない。

そこで本研究では、近畿圏を分析対象地域として、GIS を活用することによって、宅配大手2事業者の配送システムの実態を明らかにする。さらに、配置計画問題を適用することにより、現状における階層構造をもつ配送拠点の配置の最適性を評価するとともに、新たな配置計画案の検証を試みる。なお、具体的な分析内容は下記の通りである。

1) 配送拠点の立地の階層性に着目して、上位、下位拠点の分布を示すとともに、上位拠点の交通ネットワークへの近接性、下位拠点の配置密度といったそれぞれの拠点が持つ役割を踏まえてそれらの立地特性を把握する。こうした分析を通じて、異なる事業者間の配送システムを比較することにより、両者にみられる共通点や相違点を明らかにする。

2) 配置計画問題としては、輸送コスト最小化(夜間人口を重みとする重み付き距離の総計の最小化)を目的関数とする MinSum 問題と P-Median 問題を考える。まず、上位・下位拠点間の輸送コスト最小化による MinSum 配置と現状の配置を比較することにより、現状の配置の最適性を評価する。次に、P-Median 問題により新たな上位拠点の配置計画の有効性を検証する。さらに、郵政公社を対象に拠点の統廃合計画による輸送の効率性の向上を検証するため、段階的に P-Median 問題を適用することによって配置計画案を求める。すなわち、最初に人口分布をもとに下位階層の拠点配置を決定し、次に下位階層の拠点配置の結果から上位階層の拠点配置を決定する。

2. 分析対象事業者の概要と配置モデルの考え方

(1) 分析対象事業者の概要

宅配貨物の取扱量の全国シェアは民間5社、郵政公社が98%を占めており、この内、今回分析対象とするY社と郵政公社はそれぞれ34.0%、5.7%のシェアを占めている(2002年度)。宅配業務を行っている事業者の内、Y社と郵政公社を選択した理由は、両事業者共にC to Cによる宅配輸送が主力業務のため、階層構造における下位拠点を数多く立地させる必要があること、階層構造、拠点数の面で類似しており、比較分析を進めるのに適切と考えたためである。一方、S社は、B to Cによる宅配輸送を主力業務としているため、宅配取扱量はY社に近い

* ネットワーク：宅配貨物輸送、階層構造、配送拠点、最適配置計画

** 正員、修(工)、広島商船高等専門学校、流通情報工学科
(広島県豊田郡東野町74172-1, TEL&FAX:08466-7-3162)

*** 正員、工博、神戸大学大学院、自然科学研究科
(神戸市東灘区湊江南町5-1-1, TEL&FAX:078-431-6260)

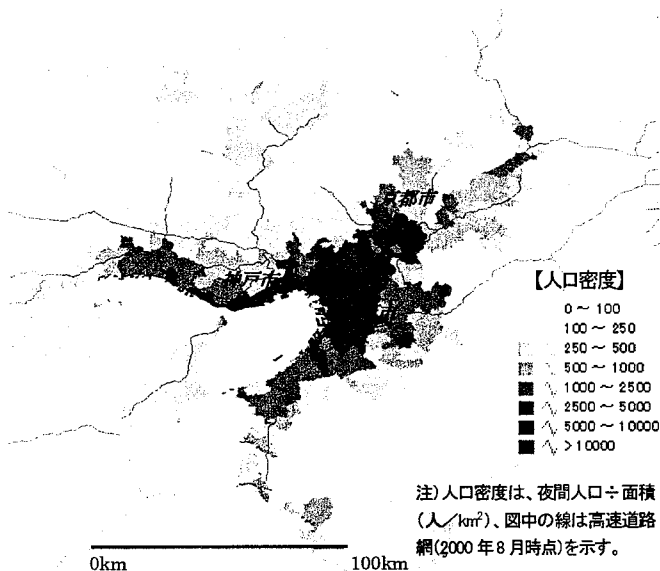


図-1 近畿圏内における人口密度分布

シェアを有しているが、配送拠点数がY社、郵政公社に比べて極端に少ないため、今回は分析対象外とした。Y社、郵政公社の両事業者の配送システムは、配送拠点を地域間の輸送を担当する上位拠点と地域内の集配送を受け持つ下位拠点に分け、それらを階層的に構成している。しかしながら、Y社は宅配貨物需要に対応させた拠点配置を行っているのに対して、郵政公社では、これまでの歴史的な経緯や他の窓口業務を行うことの必要性が拠点の配置形態に少なからず影響を及ぼしている。

(2) 分析対象地域の概要

本研究では分析対象地域として、近畿圏を取り上げる。近畿圏の人口および面積はそれぞれ2,085万人(2000年

度国勢調査結果)、26,707km²である。圏域内には中心都市である大阪市をはじめ、神戸市、京都市の3つの核都市が存在している。図-1は、近畿圏における人口密度の分布を示している。これによると3つの核都市とその周辺地域で人口密度が高くなっている。

また、本研究では、近畿圏全域を対象とした分析とともに、圏域内から兵庫県域(面積8,390km²、人口555万人)を取り上げて、より詳細な分析を行う。

(3) 配置モデルの考え方

本研究で適用するMinSum問題、P-Median問題の両配置モデルでは、いずれも輸送コストの最小化を目的関数としている。通常、配置問題を考える場合、輸送コストと立地コストを合計した総コストを最小化するのが一般的である。

しかし、本研究では、上位・下位の多数の拠点ごとに立地コストを求めることが困難であること、さらに、ここでは主として輸送の効率性に着目して拠点の配置を分析することから、輸送コストのみを目的関数としている。この輸送コストは、一般的には貨物需要と輸送費の積として表現される。しかしながら、宅配貨物需要に関する詳細なデータは公開されていないことから、本研究では需要量を夜間人口で代用している。なお、唯一入手可能な都道府県単位の小包取扱量と夜間人口には強い相関(相関係数:0.84)がみられることが確認できた。また、貨物需要は従業員人口とも関連があると考えられるが、市区町村別の夜間人口は従業員人口と一定の相関(相関係数:0.68)がみられたため、夜間人口のみで代表す

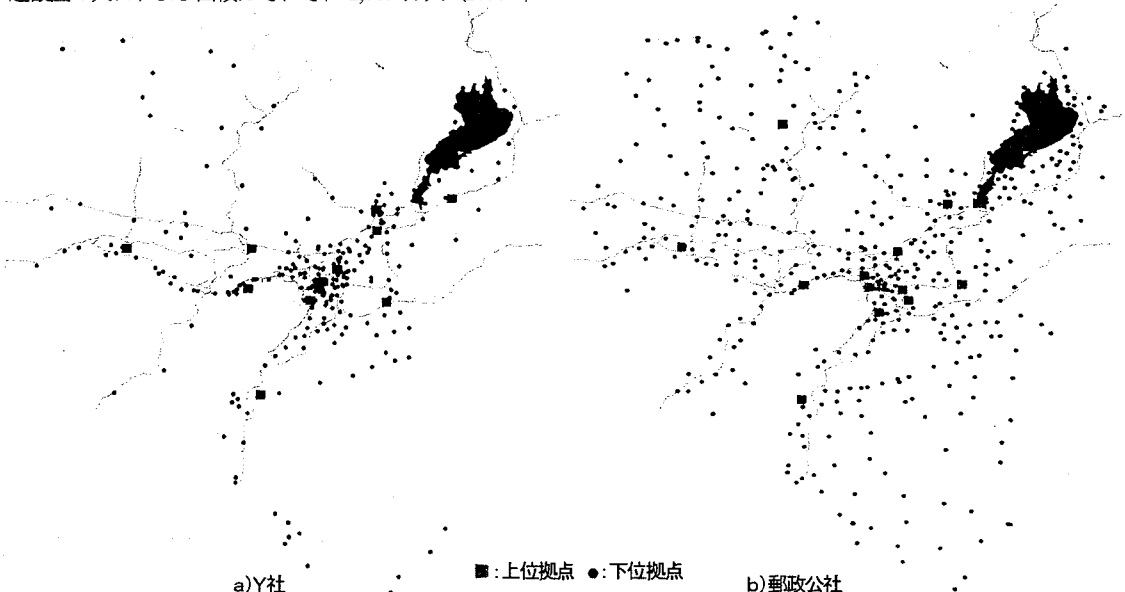


図-2 近畿圏内における配送拠点の分布

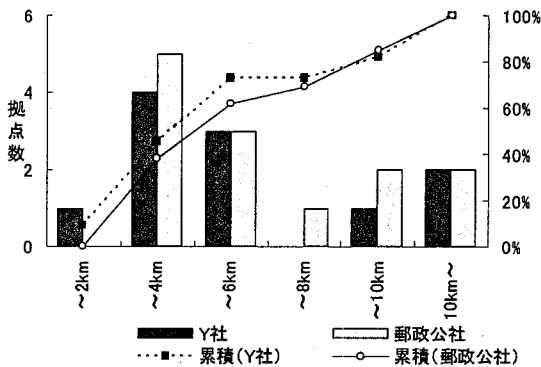


図-3 高速道路インターチェンジへの距離帯別に見た上位拠点数

ることとした。さらに、輸送費については輸送距離に比例するが、道路距離はほぼ直線距離で近似できると考えられるので直線距離を用いることとした。以上のように、本研究では輸送コスト最小化を、夜間人口による重み付き距離の総計の最小化によって表現することとした。

3. 配送拠点の分布特性

(1) 配送拠点の空間分布

Y社と郵政公社は、近畿圏域内に地域間輸送を担当する上位拠点を11箇所と13箇所に、地域内配送を担当する下位拠点を371箇所と468箇所にそれぞれ配置している。

また図-2は、両事業者の配送拠点の分布状況を示したものである。図中には、高速道路網を実線で、府県境界線を破線で図示している。これによると、いずれの事業者も上位拠点は、地域間輸送を貨物車輸送に依存していることから、高速道路の近くに配置されている。一方、下位拠点は、先の図-1で示した人口分布と比較すると明らかなように、いずれの事業者においても人口密度の高い地域で集中して拠点が立地している。しかし、人口密度の低い地域では、両事業者で顕著な差がみられ、Y社では拠点数が極端に少なくなっているのに対して、郵

表-1 下位拠点数の夜間人口による回帰分析の結果

	非標準化係数	t値	有意確率	R ²
Y社	1.27E-05	23.97	**	0.613
郵政公社	8.94E-06	14.09	**	0.354

**：有意水準1%未満

表-2 下位拠点の担当面積と担当人口

	担当面積(km ²)		担当人口(千人)	
	平均	標準偏差	平均	標準偏差
Y社	89.2	156.4	59.0	41.0
郵政公社	65.0	45.7	43.0	62.5

政公社では拠点が均等に配置されている様子がみられる。

(2) 上位拠点の高速道路インターチェンジへのアクセス距離

図-3は、上位拠点から高速道路の最寄りインターチェンジまでの距離（道路網に沿った距離）帯別に、頻度分布を示したものである。両事業者ともに拠点数が最も多かった距離帯は2～4kmであり、交通アクセスの利便性が比較的高い地点に上位拠点を立地させている。しかし、詳細にそれらの配置をみてみると、郵政公社では、かつて郵便輸送を鉄道に依存していたことから、都心部の鉄道駅周辺に立地させているケースもみられる。

(3) 人口と下位拠点数の関係性

宅配貨物の取扱量は、一般に人口と比例すると考えられる。そこで、それぞれの事業者について、市区町村ごとの下位拠点数を被説明変数、夜間人口を説明変数として回帰分析を行った。表-1はその結果を示したものである。これによると、Y社では、R²値が0.61、説明変数のt値は1%で有意となり、下位拠点の立地件数は夜間人口と強い比例関係にある。また、郵政公社の場合は、説明変数のt値は1%で有意であるものの、R²値が0.35であり、Y社のように顕著な比例関係は認められない。こうしたことから、Y社の方がより夜間人口（すなわち貨物需要）に比例させて拠点の配置を行っていることが推測できる。

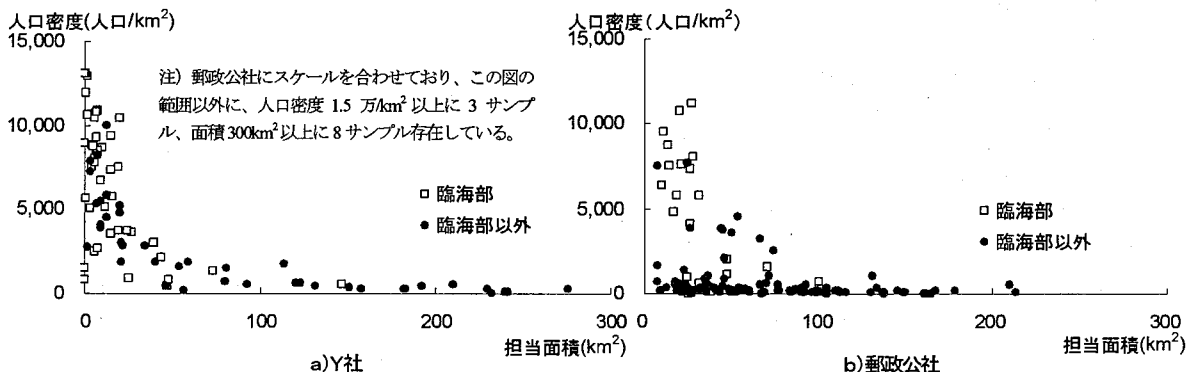


図-4 面積と人口密度の関係

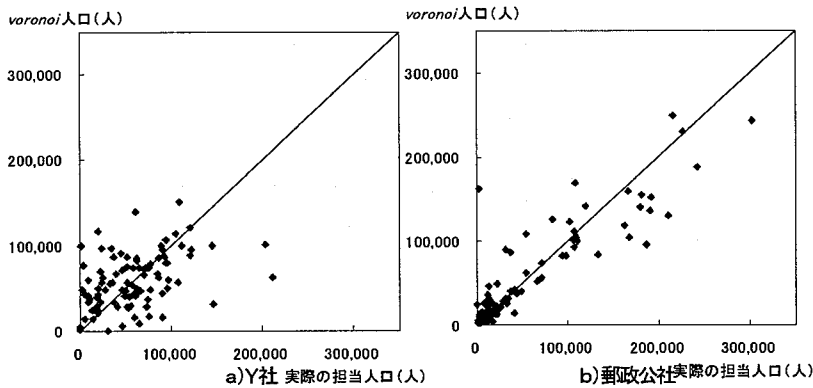
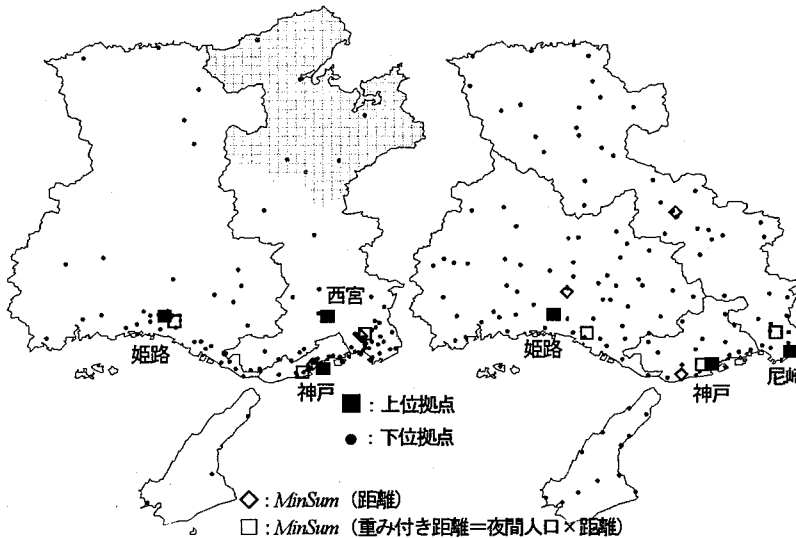


図-5 実際の担当人口と voronoi 分割による人口の比較



注) Y社では、図中でハッチを施した京都府域の一部を含む。

a) Y社 b) 郵政公社

図-6 下位拠点からみた上位拠点の MinSum 配置計画

4. 下位拠点の配置密度

ここでは、近畿圏内のうち兵庫県域（ただし、Y社は京都府域の一部を含む）を対象として、両事業者の下位拠点の配置密度について分析を行う。

(1) 担当エリアの面積と人口密度の関係

表-2は、各事業者の下位拠点が担当するエリアの面積と夜間人口を整理したものである。両者を比較すると、平均値は、面積、夜間人口のいずれもY社の方が郵政公社よりやや大きくなっており、標準偏差は、面積は郵政公社の方が小さく、夜間人口はY社の方がやや小さくなっている。

次に、図-4は、各下位拠点の担当するエリアの夜間人口密度と面積の関係を示したものである。図中では、人口密度の高い臨海部（神戸市、芦屋市、西宮、尼崎市）とそれ以外の地域に立地する拠点到に区分して図示し

ている。

まずいずれの事業者も、人口密度の高い臨海部とそれ以外の地域で比較してみると、臨海部に立地する拠点では、担当エリアの人口密度が高く、面積が小さい拠点多くみられる。

次に事業者ごとにみても、Y社では、面積が小さく人口密度が高い部分に多くの下位拠点が分布しているが、面積が大きくなると人口密度が小さな部分に下位拠点が分布するようになっており、両者の間に反比例の関係がみられる。このことから、各下位拠点の担当人口を一定にする傾向が伺える。

これに対して郵政公社では、面積が小さく人口密度の大きな部分に拠点が集中しているものの、面積の大小には関係なく人口密度が小さい部分にも多くの拠点が分布している。先の担当面積の分散が小さいことや、このように面積と人口密度との関連が小さいことは、拠点が均等配置される傾向の強いことを反映していると考えられる。

(2) 担当エリア人口と voronoi 分割領域人口の比較

図-5は、下位拠点の位置を母点とする voronoi 分割領域内の人口と、実際の下位拠点の担当人口を比較したものである。これによると、Y社では、対角線上から外れた拠点が比較的多くみられるのに対し、郵政公社ではほぼ対角線上に分布している。このことは、実際の担当エリアと voronoi 分割領域がほぼ対応していることによるものであり、下位拠点が担当エリアの中心付近に位置していることが類推できる。

5. MinSum 問題による上位拠点の配置の評価

ここでは、前項と同様に兵庫県域を対象として、両事業者の現状における上位拠点の配置の最適性を評価する。なお、配置の評価にあたっては、下位拠点と上位拠点間の夜間人口による重み付き距離の総計の最小化を目的関数とする MinSum 問題による配置と、現状の拠点配置との適合性について比較する。この場合、上位拠点の位置

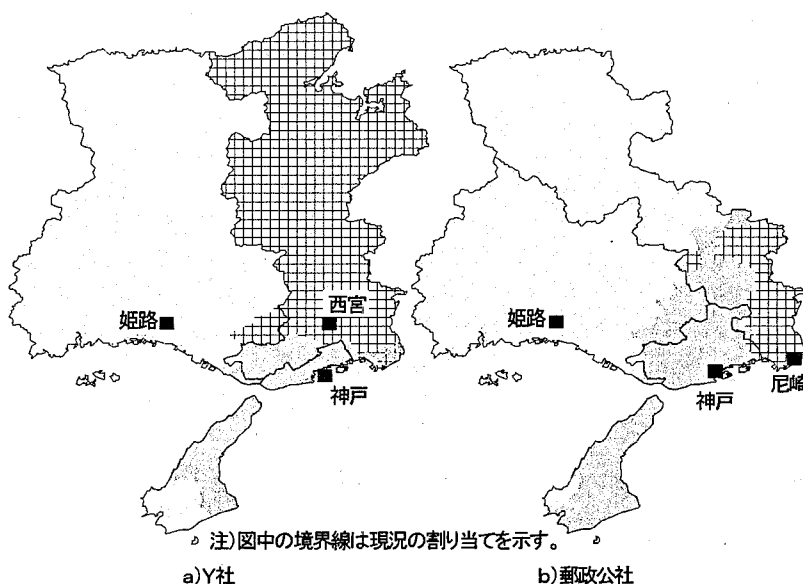


図-7 MinSum問題(上位拠点固定)による下位拠点の割り当て計画

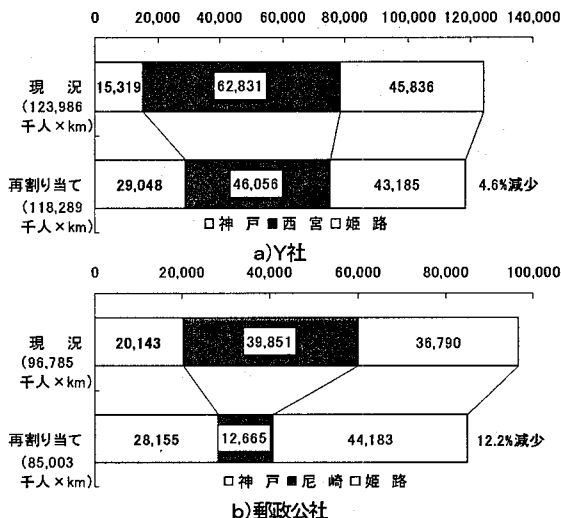


図-8 再割り当てによる重み付き距離の総計の変化

を変動させるケースと、上位拠点の位置を固定して下位拠点の割り当てを変更する2つのケースにより評価する。

(1) 上位拠点の位置を変動させる場合

下位拠点との距離、および重み付き距離(夜間人口×距離)の総計をそれぞれ最小化する上位拠点の MinSum 配置を求め、実際の位置と比較した。図-6は、その結果を示したものである。この図に示すように、Y社では、距離と重み付き距離の MinSum 配置はほぼ同じ場所に位置している。これは、人口密度の高い地域に下位拠点を集中して配置しているため、人口による重み付き距離を用いても差が生じないためと考えられる。なお、現況と MinSum 配置の重み付き距離の総計を比較すると、現況

に対して 6.8%の減少となっている。

一方、郵政公社では、距離の MinSum 配置が実際の位置と離れた位置に存在する上位拠点もみられるが、重み付き距離の MinSum 配置では実際の位置に近い。郵政公社では、人口密度の大小よりもむしろ下位拠点を均等に配置する傾向が強いことが、こうした乖離を生じさせたと推測される。なお、MinSum 配置による重み付き距離の総計は、現況に比べて 9.5%の減少となっており、Y社に比べるとその減少幅が大きい。

(2) 上位拠点の位置が

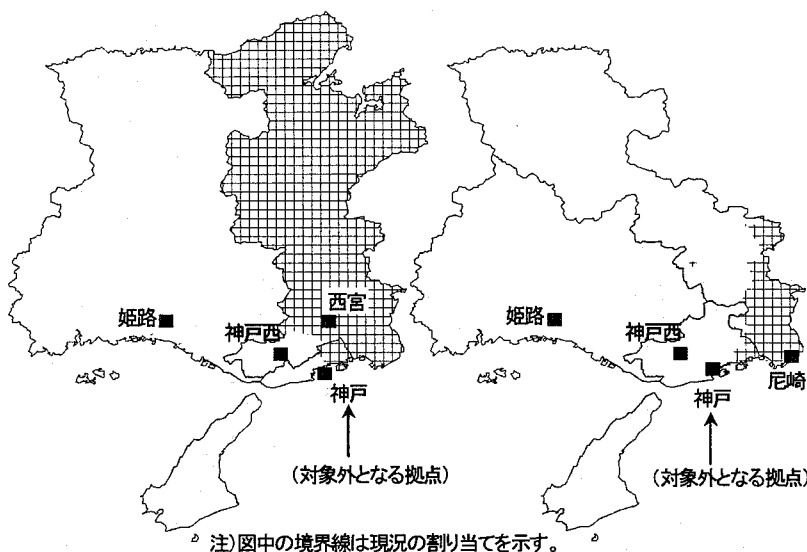
固定の場合

前述では、下位拠点からみた上位拠点の最適な立地場所について検討を行ったが、ここでは、上位拠点を現在の場所に固定し、下位拠点の割り当てを変更することにより重み付き距離の総計を最小化する。

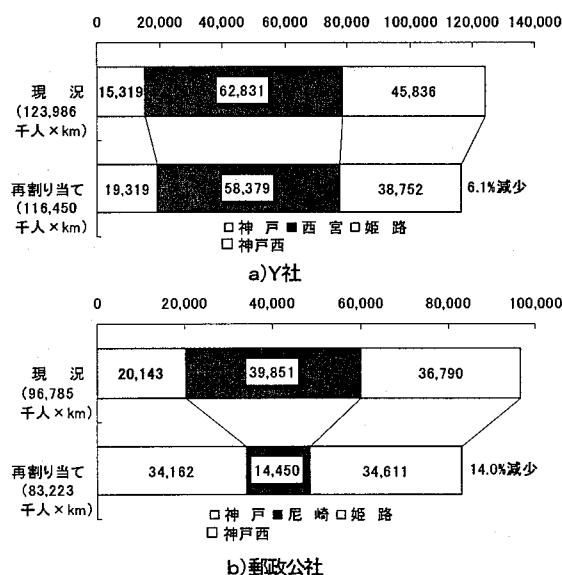
図-7は、両事業者について重み付き距離の総計を最小化したときの、下位拠点の割り当て結果を地図上に表示したものである。なお、図中に描いた境界線は、現況の下位拠点の割り当て範囲を示している。また、図-8は、両事業者ごとに、下位拠点を再割り当てした場合の重み付き距離の総計を現況の値と比較したものである。なお図中では、個々の上位拠点が担当する重み付き距離の総計の変化も示している。これらの結果から以下のことがわかる。

まず、Y社については、個々の上位拠点でみると西宮から神戸への下位拠点の大幅な移行がみられた結果、両者で重み付き距離の総計が変化しているものの、姫路では比較的一致しており、全拠点の総計では現況に対して 4.6%減に留まっている。一方、郵政公社では、尼崎が担当する下位拠点が他の2カ所(神戸、姫路)に振り分けられた結果、尼崎で重み付き距離の総計の変化が大きく、全拠点の総計についても、現況に対して 12.2%減とY社と比べて大きくなっている。

以上(1)(2)で述べてきたように、MinSum 問題の配置と現状の配置の乖離は、Y社では比較的小さく、現状の拠点配置が重み付き距離の総計の最小化を反映した配置となっていることが推察できる。これに対し郵政公社では、こうした乖離が大きくなっており、輸送コスト最小化による配置計画により貨物輸送の効率性を向上させる可能性が大きいことを示唆しているといえる。



図一9 P-Median 問題による上位拠点の配置計画と下位拠点の割り当て



図一10 P-Median 問題による重み付き距離の総計の変化

6. P-Median 問題による配置計画

兵庫県域において、新たな上位拠点の候補地点を1箇所(神戸西)取り上げ、その有効性を検証する。新たな候補地点は、高速道路網の結節点にあるため交通利便性が高く、大規模な流通業務団地の計画が進められていることや、人口集中地域へのアクセス性も高いことなど、好立地条件にある。

候補地点と既存の3箇所の立地地点の計4箇所を考え、これら4箇所の中から重み付き距離の総計が最小となる3箇所($P=3$)を選択する P-Median 問題^{主1)}を解くこと

によって、最適な上位拠点の配置を求める。

図-9は、求められた上位拠点の最適配置とそれに対する下位拠点の割り当て結果を地図上に表示したものである。また、図-10は、両事業者ごとに、選択された上位拠点と、その上位拠点に対して下位拠点を再割り当てした場合の重み付き距離の総計を現況の値と比較したものである。なお図中では、個々の上位拠点が担当する重み付き距離の総計の変化も示している。これらの結果より以下のことがわかる。

Y社、郵政公社ともに新規上位拠点を含む3箇所の上位拠点の組み合わせが最適解として求まった。両者ともに、新規上位拠点と最も近くに位置する神戸が上位拠点の組み合わせから外れることとなった。

事業所ごとにみると、まずY社では、神戸に代わって神戸西が選択されたが、個々の上位拠点が担当する重み付き距離の総計に大幅な変更はみられず、P-Median 問題による重み付き距離の総計も現況に対して6.1%の減少に留まっている。

一方、郵政公社では、姫路では重み付きの距離の総計に大きな変更はないものの、新たな上位拠点である神戸西の重み付き距離の総計が大幅に増加しているのに対し、尼崎のそれが大幅に減少している。これに伴い、P-Median 問題による重み付き距離の総計は現況に対して14.0%の減少と大きくなっている。

以上のように、P-Median 問題による配置計画の結果から、既存3拠点よりも新規拠点を加えた3拠点の方が重み付き距離の総計を小さくすることが可能であることが確認できたが、Y社では、新たな拠点を加えた配置計画案でも担当する下位拠点の構成の変化および重み付き距離の総計の減少幅が小さいのに対し、郵政公社は新たな拠点の追加に伴い、担当する下位拠点の構成の変化および重み付き距離の総計の減少幅が大きくなっている。このように、P-Median 問題による新たな配置計画を考えた場合も前項の MinSum 問題と同様に、Y社に比べて郵政公社の方が輸送効率性を向上させる可能性が高いことが確認できる。

7. 上位・下位の両階層における最適配置計画

前項までの配置計画問題では、下位拠点からみた上位

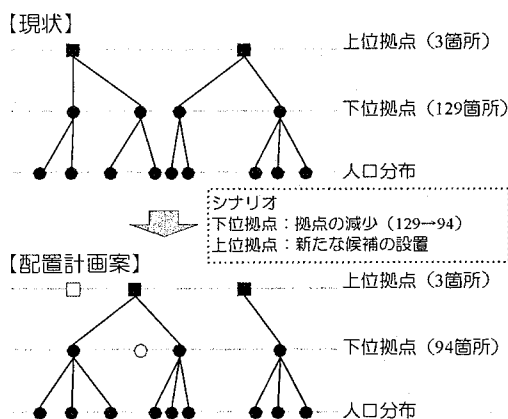


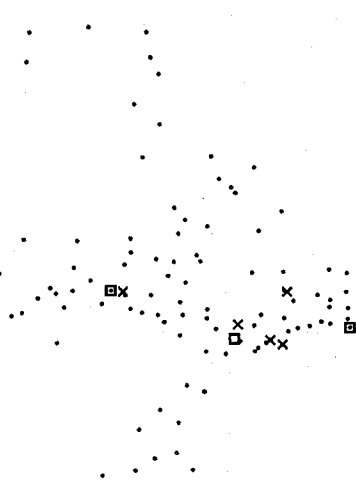
図-11 階層別の最適配置を求めるシナリオ

拠点の最適配置計画について検証しており、下位拠点の最適配置計画については触れていない。また、上述までの配置計画の結果より、Y社に比べて郵政公社の方が配置計画による効率性の向上の可能性が大きいことが確認できた。そこでここでは、郵政公社のみを対象として、上位と下位の両階層における配送拠点を最適化することを試みる。このためには、各階層ごとに *P-Median* 問題を段階的に適用するが、本研究のように多数の下位拠点がある場合、組み合わせの数が膨大になり厳密解を求めることが難しく、上位と下位の両階層における配送拠点の最適配置を同時に決定することは困難である。このため、まず人口分布をもとに *P-Median* 問題を用いて下位階層の拠点配置を決定し、次いで、この下位階層の配置結果から上位階層の拠点配置を同様に *P-Median* 問題を用いて求める。



●: 立地する下位拠点(94箇所)
×: 立地しない下位拠点(35箇所)

図-12 下位階層の拠点配置



□: 立地する上位拠点(3箇所)
×: 立地しない上位拠点(5箇所)

図-13 上位階層の拠点配置

表-3 担当人口の比較

担当人口の平均(千人)	
削減対象となる拠点(N=35)	8.4
立地する拠点(N=94)	55.9

(1) 配置計画案の策定

既に述べているように郵政公社は、均一のサービスを保つという役割と下位拠点に相当する集配局が窓口業務を行っていることから下位拠点を均等に立地させている。しかしながら一方で、事業の効率性と宅配貨物取扱量の増大を目的に民営化以降、郵便局の整理・統合による集配配送拠点の集約化や宅配輸送ネットワークの改善によって、宅配輸送の効率性を向上させる戦略的な配送拠点の配置が模索されてきており⁹⁾、下位拠点に相当する集配局の統廃合による削減計画が検討中である。

そこで、上述のことを勘案して、図-11に示すように、郵政公社について新たな配置計画案を考えた。配置計画案の作成にあたっては、上位・下位拠点の数について明確な基準がないため、より効率的な輸送を実現していると考えられるY社の拠点数を基準とした。具体的には、①既存の下位拠点の数を現在の129箇所からY社と同等の94箇所に減少し、②新たな上位拠点^{補注2)}(兵庫県内の流通業務団地とY社の上位拠点)を加えた上位拠点候補8箇所の中から現在と同じ数の上位拠点3箇所を選択することとした。

解法の手順は、まず、市区町村よりも更に細かい町丁目・字等の単位の人口分布¹⁰⁾をもとに *P-Median* 問題を解き^{補注3)}、既存の129箇所から94箇所($P=94$)の下位拠点を決定する。次に、こうして得られた下位拠点の配置結果に対して再度、8箇所の上位拠点候補の中から3箇所($P=3$)の拠点を求める *P-Median* 問題を解く。このように、各階層に対して、段階的に *P-Median* 問題を適用する。

(2) 両階層の最適配置

上述のシナリオにより、まず人口の分布から下位拠点の最適配置を求めた結果が図-12である。この図の×印が削減対象となる拠点である。これによると、山間部の人口が少ない地域に立地する下位拠点で×印が多くみられる。実際、これらの削減対象となる下位拠点は表-3に示すように、選択された下位拠点に比べて、実際の担当人口が極端に少ないことがわかる。

また、下位拠点数をY社と同等にしたことにより、平均の担

当人口はY社とほぼ同じ59.0千人となったが、標準偏差は57.8千人でありY社の41.0千人に比べると大きいものの、現況の値(62.5千人)よりは小さくなっている。

次に図-13は、先の94箇所の下位拠点の配置結果をもとにP-Median問題を解いて3箇所の上位拠点の配置を求めたものである。新たな上位拠点候補として、宅配輸送を行う上で好立地条件であると思われる流通業務団地、宅配輸送に特化しているY社の上位拠点がそれぞれ存在している地点を追加したが、実際に選択された配置は、既存の郵政公社の2箇所(尼崎、姫路)と神戸流通団地(布施畑IC付近)であった。

以上のように、両階層における配送拠点の最適配置を同時に求めた結果、重み付き距離の総計は82,919千人×kmとなり、現況の値(96,785千人×km)と比較して14.3%の減となったが、前項で述べた下位拠点が現行の129箇所のP-Median問題の結果(83,223千人×km)とはほとんど差はみられなかった。しかしながら、より少ない下位拠点で、しかもより均等化された人口を担当できるようにになっていることから、得られた配置計画によって効率性はさらに高まっていると考えられる。

7. おわりに

本研究で得られた成果は、以下の通りである。

- 1) 近畿圏域内における配送拠点の分布をみると、上位拠点については両者で総数に大差はなく、ほぼ高速道路の近辺に立地している。しかし、下位拠点については、両者で総数に差がみられ、Y社の方がより人口分布に対応させた拠点配置を行っている。
- 2) 兵庫県域を対象に下位拠点の配置密度を分析した結果、いずれの事業者も人口密度の高い地域に拠点を集中的に配置している。そしてY社では各下位拠点の担当人口を一定にする傾向がみられたのに対して、郵政公社では担当面積の分散がY社より小さく、担当エリアの人口密度と面積の関係も小さいことなど、拠点が均等配置される傾向があることを示した。また、voronoi分割領域と実際の担当エリアの人口の比較から、郵政公社の方が担当エリアの中心に拠点が配置されている傾向がみられた。
- 3) 重み付き距離の総計の最小化を目的関数とするMinSum問題によって、現状の拠点配置の最適性を評価した結果、Y社と郵政公社では差異がみられ、Y社の方がMinSum問題の解との適合度が高く、より輸送の効率性が高いことが示された。このように、比較的簡易なモデルであるが、輸送効率性の観点から拠点配置を評価することが可能なことが確認できた。また、新たな上位の拠点の設置の可能性をP-Median問題により検討した結果、新たな拠点の設置効果が検証できたが、輸送効率性の低い郵政公社の方がY社を上回る改善効果が確認でき

た。

- 4) 郵政公社のみを対象として両階層の拠点の最適配置をP-Median問題により段階的に求めた結果、下位拠点は人口過疎地域を中心に削減対象となる拠点がみられ、上位拠点は既存の郵政公社の拠点が選ばれた。この結果、重み付き距離の総計の減少は、他の配置計画と同程度であったが、より少ない下位拠点で、より均等化された人口を担当できることから他の配置計画以上に効率性が高まっていることが確認できた。

最後に、本研究に残された今後の課題として、以下の諸点があげられる。

- 1) 今回の配置モデルは、夜間人口と直線距離という限られた要因のみを取り込んだ簡易なモデルであったため、個々の拠点配置の詳細な位置を特定するためには、より詳細な配置モデルの構築が必要である。このためには、業種別の従業人口などの新たな指標を追加することによって、より精度の高い宅配貨物需要量の推計方法を確立することが求められる。また、距離の指標として直線距離に代わって、道路ネットワーク上での輸送距離(あるいは時間距離)を用いることも必要である。
- 2) 階層構造をもつ拠点配置に対して、下位階層から段階的にP-Median問題を解く方法を適用したが、より正確な最適解を求めるためには、階層間の結果をフィードバックすることが可能な階層型P-Median問題¹⁰⁾などの援用を検討していきたい。
- 3) 拠点配置の変遷といった時系列データと社会経済指標などの時系列データを比較することによって、輸送コスト以外の拠点配置の要因についてもより詳細に分析することが必要である。

【参考文献】

- 1) 田中康仁、小谷通泰、原田亜紀子：近畿圏におけるトラック事業所の空間分布特性の分析と立地モデルの作成、土木計画学研究論文集Vol. 20, No. 3, pp673-680, 2003年
- 2) Drezner, Z and Hamacher, H, Facility Location: Application and Theory, Springer, Berlin, 2002
- 3) Daskin, M. S., Network and Discrete Location: Models, Algorithms and Applications, John Wiley and Sons, Inc., New York, 1995
- 4) Weaver J. R., Church R. L., The nested hierarchical median facility location model, INFOR 29, pp.100-115, 1991
- 5) Galvão, R., Espejo, L. and Boffey, B., A hierarchical model for the location of perinatal facilities in the municipality of Rio de Janeiro, European Journal of Operational Research 138 (3), pp495-517, 2002
- 6) 山田忠史、則武彦彦、谷口栄一、多賀慎：物流ターミナルの最適配置計画への多目的計画法の適用、土木学会論文集 No. 632/IV-45, pp41-50, 1999年
- 7) Zhongzhen YANG, Chong LIU, Xiangqun SONG, OPTIMIZING THE SCALE AND SPATIAL LOCATION OF CITY LOGISTICS TERMINALS, Journal of the Eastern Asia

- Society for Transportation Studies, Vol. 6, pp.2937-2946, 2005
- 8) 渡部大輔, 鈴木勉: 規模の経済性を考慮した階層的収集・配送輸送システムに関する研究, 都市計画論文集, Vol135, pp1027-1032, 2000年
 - 9) 田村佳章: 郵便の区分・輸送ネットワークに関する調査研究, 郵政研究所月報, No. 146, pp13-26, 2000年
 - 10) 総務省統計局 GIS統計プラザ <http://gisplaza.stat.go.jp/GISplaza/>
 - 11) 前掲4)5)

【補注】

- 1) P -Median問題は以下のように定式化できる。なお、変数 x_{ij} と y_j は選択するか否かを示す 0 or 1 の離散変数であるが、大規模な問題を解く際は、これを 0~1 の連続変数に変換することで計算量（演算時間）を減少させることが可能である。

$$\begin{aligned}
 & \text{Minimize} && \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} Q_i D_{ij} x_{ij} \\
 & \text{Subject to} && \sum_{j \in J} x_{ij} = 1, \quad \forall i \in I \\
 & && \sum_{j \in J} y_j = P \\
 & && x_{ij} - y_j \leq 0, \quad \forall i \in I, j \in J \\
 & && x_{ij} \in \{0,1\}, \quad \forall i \in I, j \in J \\
 & && y_j \in \{0,1\}, \quad \forall j \in J \\
 & I && : \text{下位拠点の集合} \\
 & J && : \text{上位拠点候補地の集合} \\
 & P && : \text{立地させる上位拠点数}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Q_i (i \in I) & : \text{下位拠点の担当夜間人口} \\
 D_{ij} (i \in I, j \in J) & : \text{下位拠点} i \text{ と上位拠点} j \text{ の直線距離} \\
 y_j (j \in J) & : \text{上位拠点を候補地に立地させる} \\
 & \text{場合1、否の場合0} \\
 x_{ij} (i \in I, j \in J) & : \text{下位拠点が上位拠点に属する} \\
 & \text{場合1、否の場合0}
 \end{aligned}$$

- 2) 郵政公社の3箇所に加えて、兵庫県にある3箇所の流通業務団地（西宮、布施畑、神戸西）とY社の上位拠点3箇所の合計8箇所とする。なお、9箇所では無く、8箇所であるのはY社の1箇所が西宮の流通業務団地内に立地しているためである。
- 3) 市区町村よりも更に細かく町丁目・字単位のゾーンで人口分布のデータを整備すると、兵庫県だけでゾーン数が9,788にも及ぶ。このゾーン単位の人口分布をもとにした下位拠点の最適配置を求めるには、下位拠点の候補数 $129 \times$ ゾーン数 $9,788$ の膨大な変数（上記補注1）の x_{ij} に相当）の P -Median問題を解く必要があるが、メモリの制約上、求解は困難である。実際に、市販の数値計画ソフト μopt （アルゴリズムに分岐限定法）により P -Median問題の離散変数を連続変数に変換した上で、 $\text{cpu}2.26\text{GHz}$ （Pentium4）、メモリ1GBの環境では求解することが出来なかった。対策としては、近似解を求めるアルゴリズムを導入する方法もあるが、本研究では、現実的に問題を解くことの出来る範囲まで変数を削減する方法をとった。上述のPC環境では、 $129 \times 2,000$ 以下が求解可能な範囲である（検証済み）。そこで、人口が1,000未満のゾーンについては、近隣するゾーンへの割り当てを行った。なお、人口が1,000以上のゾーンは1,547であり、求解可能な範囲である。割り当てについては、1,547のゾーンを母点とするvoronoi領域を作成し、その領域内に含まれる人口を集計した。

宅配貨物輸送における配送拠点の最適配置計画に関する分析

田中 康仁・小谷 通泰

近年、取扱量が増加している宅配貨物輸送においては、迅速かつ均質なサービスを確保するために、配送拠点を地域間（上位）と地域内（下位）拠点に分類した上で、それらを階層的に配置している。そこで本研究では、近畿圏域を対象として、こうした配送拠点が階層構造をもつ大手宅配2事業者（民間事業者と郵政公社）を取り上げ、各事業者の配送システムの実態を明らかにするとともに、配置計画問題を適用することにより、現状における階層構造をもった配送拠点の配置の最適性を実証的に検討した。この結果、民間宅配事業者は貨物需要である人口分布を考慮して拠点を配置しているのに対し、郵政公社は拠点を均等に配置しており、こうした状況を反映し、郵政公社の方が配置計画により配送効率を向上できる可能性が大きいことが示唆できた。

Optimal Location Plan for Delivery Points for Home Delivery Service

by Yasuhito TANAKA and Michiyasu ODANI

This study aims to show home delivery service systems with extra attention paid to the hierarchical structure (two-level) of delivery points, comprising inter-area transport point and intra-area delivery point. The focus is on the delivery systems of two major home delivery service operators (private operator and Japan Post) in the Kinki region. First, we examine the spatial distribution of two-level of delivery points in the entire region. Second, the density of the spatial intra-area delivery points inside Hyogo Prefecture of the region is analyzed. We also find out the optimal arrangement of inter-area transport and intra-area delivery points by using MinSum Problem and P -Median Problem. Based on the results, the home delivery systems of these two operators are compared to highlight their similarities and differences, and the possibility of improving the delivery efficiency in Japan Post is implied.