

複数の評価基準を考慮した広域物流拠点の最適配置*

Optimizing the Allocation of Interregional Freight Transport Complexes

Considering Plural Evaluation Criteria*

山田忠史**, 谷口栄一***, 則武通彦****, 多賀慎*****

By Tadashi YAMADA**, Eiichi TANIGUCHI***, Michihiko NORITAKE**** and Makoto TAGA*****

1. はじめに

多機能型の広域物流拠点を高速道路あるいは主要な幹線道路と一体的に整備することにより、物流に起因した諸問題を緩和・改善することが期待されている。広域物流拠点は、各企業が保有する物流拠点の集合体であるので、物流拠点の無秩序な立地を抑制すると考えられる。また、広域物流拠点は都市間物流と都市内物流の結節点でもあるので、大型貨物車両の都市内への流入を抑制し、都市内の交通環境の改善に寄与することが予想される。

その他にも、広域物流拠点が整備されることにより、物流拠点の利用と関連して発生するコストの抑制や対象地域内の道路ネットワークを利用する各種車両の走行環境の改善、環境への負荷の軽減が期待されている。しかし、これらの整備効果は道路ネットワーク上の交通状態に依存する。したがって、効果の大きさが配置パターン間で異なるだけでなく、競合することも考えられる。そこで、本研究では、多目的最適化の考えを用いて、広域物流拠点の配置決定法の構築を試みる。

2. 配置決定モデルの概要

(1) 多目的最適化問題と目的関数の設定

一般に、多目的最適化問題はベクトル最小化の形で以下のように定式化される。

*キーワード：物資流動、ターミナル計画

**正員、工修、関西大学工学部土木工学科

(〒564 大阪府吹田市山手町 3-3-35、TEL/FAX 06-368-0964、

E-MAIL tyamada@ipcku.kansai-u.ac.jp)

***正員、工博、京都大学大学院工学研究科土木工学専攻

(〒606-01 京都市左京区吉田本町、TEL 075-753-5125、

FAX 075-753-5907、E-MAIL taniguchi@tranfac.kuciv.kyoto-u.ac.jp)

****正員、工博、関西大学工学部土木工学科 (TEL/FAX 06-368-0905)

*****学生員、関西大学大学院博士前期課程土木工学専攻

(TEL/FAX 06-368-0964、E-MAIL gj7m768@ipcku.kansai-u.ac.jp)

$$\min f(\mathbf{x}) = (f_1(\mathbf{x}), f_2(\mathbf{x}), \dots, f_k(\mathbf{x}))^T \quad (1)$$

subject to

$$\mathbf{x} \in X = \{\mathbf{x} \in R^n \mid g_j(\mathbf{x}) \leq 0, j = 1, \dots, m\} \quad (2)$$

本研究では、決定変数 $\mathbf{x}$ は配置パターンを表すベクトルに相当し、以下のように表される。

$$\mathbf{x} = \langle x_1, x_2, \dots, x_n \rangle, x_i \in \{0, 1\}, \\ i = 1, 2, \dots, n \quad (3)$$

広域物流拠点が候補地 i に立地する場合には、 $x_i = 1$ であり、そうでない場合には $x_i = 0$ である。

本研究では、評価指標として輸送費用、走行時間費用、CO₂ 排出量を取り上げる。評価基準は、以下の関数で表される。

f_1 = (広域物流拠点の整備費用) / (輸送費用の変化量)

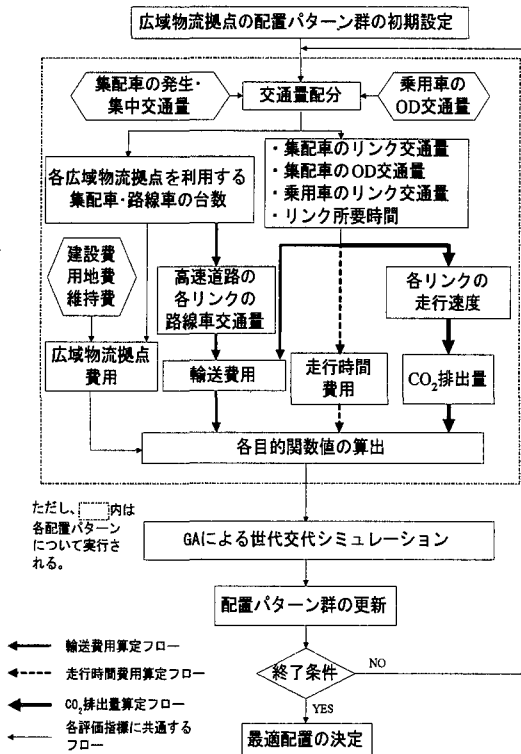
f_2 = (広域物流拠点の整備費用) / (走行時間費用の変化量)

f_3 = (広域物流拠点の整備費用) / (CO₂ 排出量の変化量) (4)

なお、式(4)の右辺にある輸送費用とは、路線車と集配車の走行時間費用の和を表す。また、走行時間費用とは路線車、集配車、乗用車の走行時間費用の和を、CO₂ 排出量とは路線車、集配車、乗用車の CO₂ 排出量の和を意味する。それらの変化量は、広域物流拠点の整備前後を対象として算定される。最終的には、式(4)に示される目的関数を用いた最小化問題を解いて、パレート最適解 $\mathbf{x}^*$ を求めることになる。

(2) 配置決定モデルの構造

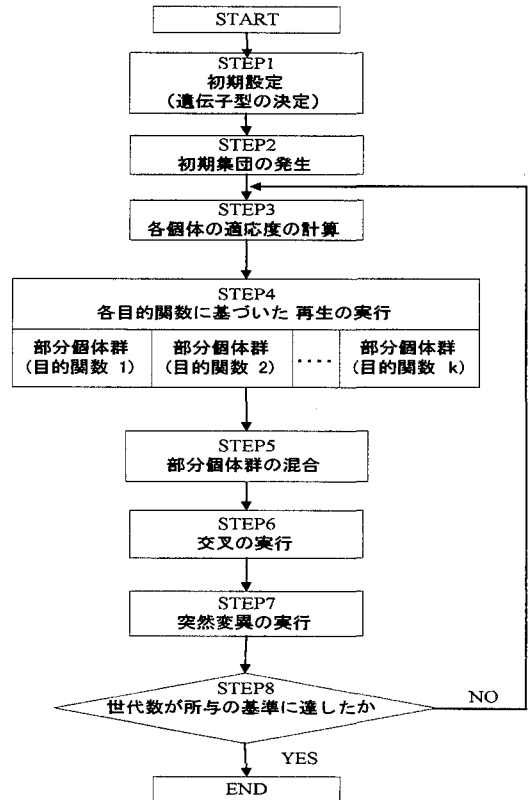
広域物流拠点が整備された場合には、他地域から路線車で輸送された物資は、郊外のインターチェン



図ー１ 広域物流拠点の配置決定モデルの構造

ジ近辺に立地する広域物流拠点で集配車に積み替えられ、その後、都市内各所に配送されるものとする。逆に、都市内各所で集荷された物資は、広域物流拠点で方面別に仕分け・分類された後、大型車に混載されて他地域に輸送されるものとする。このような物流形態のもとに構築された、広域物流拠点の配置決定モデルのフレームが図ー１に示される。

本研究では、最適な配置パターンを探索する手法として GA を用いる。したがって、図ー１に示されるように、最初にランダムに複数の配置パターンを発生させて、配置パターン群を形成させる。次に、配置パターン群中の各配置パターンについて、対象地域内の道路ネットワーク上の交通状態を決定するために交通量配分を行う。このとき、道路ネットワーク内の一般道を走行するのは、乗用車と集配車の２モードとする。また、乗用車の OD 交通量と集配車の発生・集中交通量を既知として、利用者均衡配分原則に従って交通量配分を行う。ただし、高速道



図ー２ VEGA のフロー

路上の各リンクの評価値は交通量と交通容量の関係に影響を受けないものとする。ここで、都市内各所～他地域間の OD 貨物量は外生的に与えられているものとし、トラックの積載量はすべて同一であるとする（路線車＝9t、集配車＝2.6t）。

交通量配分の結果、各広域物流拠点を利用する集配車の台数が決定される。また、集配車の利用台数に基づいて、各広域物流拠点を利用する路線車の台数が求められる。道路ネットワーク上の各リンクの所要時間は交通量配分の結果から求まるので、所要時間に各車種ごとの単位時間当たりの走行費用を乗ずることにより、集配車・路線車の輸送費用（＝走行時間費用）と乗用車の走行時間費用が算定される。さらに、各リンク上の走行速度を求めることにより、車種ごとの CO₂ 排出量も算定される。

以上のようにして、初期配置パターン群における輸送費用、走行時間費用、CO₂ 排出量が算出されると、これらの値を基にして、広域物流拠点の各配置

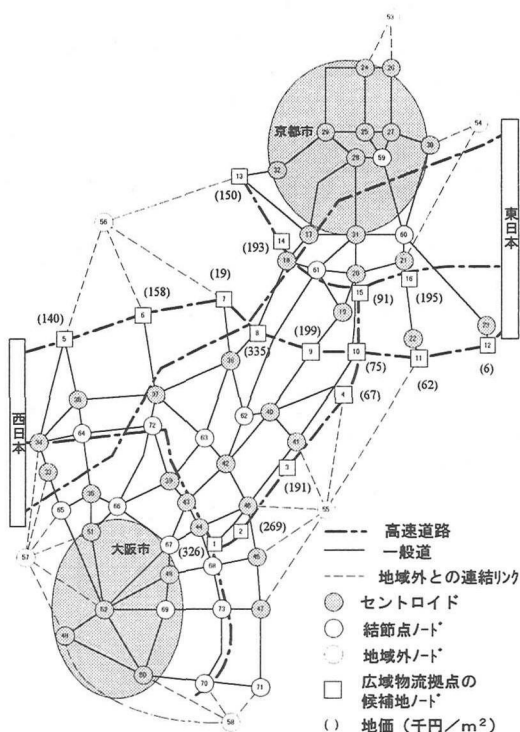


図-3 計算対象とする道路網

パターンの適応度が求められる。適応度に応じて配置パターン群が更新されるが、多目的最適化問題であることを考慮して、配置パターン群を更新する際には、ベクトル評価遺伝的アルゴリズム(Vector Evaluated Genetic Algorithms : VEGA)¹⁾を適用する。VEGA は、複数個の個体の発生による多点探索であるという GA の特性を活用したものであり、パレート最適解の部分集合を直接的に求めることができるという特徴を有する。

VEGA のフローは図-2 に示される。目的関数が単一である場合の GA との相違点は、各目的関数に応じて独立に個体を選択して再生を行い、部分個体群を生成することにある。その後、部分個体群は混合され、交叉や突然変異の処理は、混合後の個体群に対して適用される。

3. 実際の道路ネットワークへのモデルの適用

本章では、図-3 に示される京阪地域の道路網を

表-1 単一の評価指標下での最適な配置パターン

評価指標	輸送費用	走行時間費用	CO ₂ 排出量
最適配置	(5,7,10)	(1,2,5,15)	(5,7,10)

利用して最適配置に関する分析を行う。初めに、式(4)に示される 3 つの目的関数を単独に用いた場合に求められる、最適な配置パターンを表-1 に示す。この場合には VEGA ではなく、適合度が高い個体を優先的に次世代に残すエリート保存選択等の処理を単純 GA に加えた方法が使用されている²⁾。

輸送費用を評価指標とした場合に重視されるのは集配車の走行環境であり、CO₂ 排出量を評価指標とした場合に重視されるのは路線車の走行環境であった。しかし、結果的には、いずれの場合も最適な配置パターンは(5,7,10)となった。この結果には、候補地 5,7,10 はいずれも、地価が比較的低廉であるため、整備費用が抑制されることが影響しているものと考えられる。

一方、走行時間費用を評価指標とした場合には、乗用車の走行環境が重視されるため、大阪市や京都市のような貨物の大需要地近傍の候補地を含む配置パターン(1,2,5,15)が最適となった。候補地 1,2 は、地価が相対的に高いが、集配車の走行距離が減少し、乗用車の走行環境が大幅に改善されるので、最適な配置パターンとして選択されたと考えられる。

次に、VEGA を用いて多目的最適化問題の解を求めた結果、表-2 に示されるようなパレート最適解集合が得られた。表-2 はエリート保存選択を採用した場合のパレート最適解集合を示したものである。つまり、表-2 は、図-2 に示される VEGA のフローの STEP4 において、適合度に応じて個体が確率的に再生されるだけでなく、目的関数ごとに適合度の高い個体がエリート個体として選択され、優先的に次世代に保存されるという操作を加えてパレート最適解集合を求めた結果である。また、表-3 は、表-2 に示される各配置パターンがパレート最適解集合中に占める順位を、各評価指標ごとに示したものである。なお、表-3 には、3 つの評価指標の他に、整備費用についての順位も示されている。

表-2 より、最適な配置パターンに含まれる候補地は、1,2,4,5,6,7,10,15 に限定されているのがわかる。中でも候補地 5 は、貨物の需要量が大さい大阪市に

比較的近接しており、地価もそれほど高価ではないために、全てのパレート最適解中に含まれている。また、候補地 1 や 2 が含まれる配置パターンでは、配置が分散する傾向が見られる。候補地 1 や 2 は地価が相対的に高いために、集配車や路線車が集中して広域物流拠点が大規模化すると、物流拠点の整備費用が膨大になる。したがって、配置パターンの中に候補地 1 や 2 が含まれる場合には、地価が低廉な候補地を含んだ形で分散化せざるを得ない。ただし、表-3 に見られるように、分散型の配置は、集配車や路線車の利用経路を分散させるので、乗用車の走行環境が改善され、走行時間費用の削減面では大きな効果をもたらす。

エリート保存選択を採用しない方法により得られるパレート最適解集合は、表-2 に示される No.1・No.2・No.3・No.4・No.6・No.8・No.9 の 7 つの配置パターンから形成された。エリート保存選択を用いた場合と比較して、明らかに解集合が小さい。

VEGA の問題点として、一つの目的関数に対して極端により解を得ることができるが、パレート最適解集合の中で全ての目的関数がある程度バランスよく達成されている妥協解が得られにくいことが指摘されている³⁾。しかし、このケースにおいては、妥協解の抽出よりも、走行時間費用を評価指標とした場合の最適解である No.11 の配置パターンが含まれていないことの方が問題となる。VEGA にエリート保存選択を組み込むことにより、この点が改善されるばかりでなく、計算時間の短縮の面でも大きな効果が見られた。

4. おわりに

本研究では、広域物流拠点の配置を決定する場合に、複数の評価基準を同時に考慮する必要があることに注目し、多目的最適化の考えに基づいて広域物流拠点の最適な配置を決定するモデルの構築を試みた。評価指標として、輸送費用、走行時間費用、CO₂ 排出量を取り上げ、京阪地域を対象として配置パターンに関するパレート最適解集合を求めた。エリート保存選択の処理が付加されたベクトル評価遺伝的アルゴリズムを用いて、パレート最適解集合を求めた場合には、単一の評価指標下で求まる最適配置を

表-2 得られたパレート最適解集合

No.	候補地番号 配置パターン	配置パターンの文字列表現															
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1	(5,7,10)	0	0	0	0	1	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0
2	(5,6,7)	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	(5,15)	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
4	(5,10)	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
5	(2,5,7,10)	0	1	0	0	1	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0
6	(5,6,10)	0	0	0	0	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
7	(1,4,5,7,15)	1	0	0	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1
8	(1,5,7,10,15)	1	0	0	0	1	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	1
9	(1,2,5,7,15)	1	1	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1
10	(1,5,10,15)	1	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1
11	(1,2,5,15)	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1

表-3 各配置パターンが解集合中に占める順位

No.	配置パターン	解集合中での順位			
		輸送費用	走行時間費用	CO ₂ 排出量	整備費用
1	(5,7,10)	1	11	1	1
2	(5,6,7)	2	10	3	2
3	(5,15)	3	9	7	4
4	(5,10)	4	8	6	3
5	(2,5,7,10)	5	7	10	6
6	(5,6,10)	6	6	4	5
7	(1,4,5,7,15)	7	5	5	7
8	(1,5,7,10,15)	8	4	2	8
9	(1,2,5,7,15)	9	3	8	9
10	(1,5,10,15)	10	2	9	10
11	(1,2,5,15)	11	1	11	11

含む、適切な結果を得られることが確認できた。

また、パレート解の中には、特定の評価指標において優位な配置パターンや全ての評価指標で平均的な位置を占める配置パターンが存在した。多目的意思決定システム全体としてみた場合には、最終的な選好解を選び出す上での問題が残されている。今後は、整備費用や各候補地の規模に上限を設けるなどして、解集合を限定すると共に、適当な選好解を抽出する方法についても検討する必要がある。

参考文献

- 1) Schaffer, J.D.: Multiple objective optimization with vector evaluated genetic algorithms, Proceedings of the First International Conference on Genetic Algorithms and Their Applications, pp.93-100, 1985.
- 2) 山田忠史, 谷口栄一, 則武通彦, 泉谷透: トラックターミナル機能に注目した物流拠点の最適配置, 土木計画学研究・講演集 19(2), 土木学会, pp.175-178. 1996.
- 3) Goldberg, D.E.: Genetic Algorithms in Search, Optimization, and Machine Learning, Addison Wesley, 1989.