

生産性を考慮した立地選定技法に関する研究*

A Basic Research on a Productivity Oriented Method for a Plant Site Selection

相浦 宣徳**、佐藤 馨一***、唐澤 豊****、三添 幹人*****

Nobunori AIURA, Keiichi SATOH, Yutaka KARASAWA and Masato MISOE

1. はじめに

近年、CO₂、NO_x 等による環境破壊が社会的問題として大きく取り上げられ、その最たる発生原因として貨物輸送車による非効率な財の移動、あるいは都市内及び都市間物流の交錯輸送が槍玉に挙げられている。その対処として、即効性、費用効率性から、生産拠点及び物流拠点の統廃合、共同輸・配送による効率化等々に代表される既設設備の有効利用を前提とした物流システムの改善が主として進められている。

このような社会背景と共に、近年の企業戦略としても、生産工場自体を含めた物流拠点の統廃合をベースとした最適配置が大きくとりあげられている。

しかしながら、生産拠点の再配置計画を考える場合、物流拠点配置を考えるように、単に輸送費、輸送回数または輸送距離等の地理的な優位性から解を求めるだけでは生産拠点本来の活動である生産を無視するだけでなく、生産拠点再配置のもう一方の狙いである生産性の向上を妨げる恐れがある。これに対し、生産性を考慮した抜本的な解決手法が求められているが、これまで研究提唱されてきた数多くの工場立地問題の中で工場自体の生産性の向上並びに生産費用と物流費用とのトレードオフに基づいた立地選定について述べているものは少ない。

本研究は生産工場をより上方に位置する物流インフラとして捉え、N 社において現実に提示されている生産工場の立地問題をモデルケースとして位置付け、生産性の向上を考慮した工場立地問題の解法の確立することを目的としたものである。

すなわち、生産費用及び物流関連費用からなる総費用の最小化を目的関数とした生産拠点立地選定技法を提案し、さらには地理的優位性のみにより立地選定を行う重力モデルとの比較により本技法の現実的妥当性を検証している。

2. 問題設定

本研究で取り上げた N 社における生産条件及び本技法で使用する主要パラメータを表 1 に示す。

表 1 主要パラメータ

工場数	現行10拠点(内製本工程のみ4拠点) 候補地は印刷工程を有する6拠点	$P(i=1\sim6)$
工程数	2工程(印刷、製本)	$P(i=1,2)$
生産機械	印刷工程:2機種	$M(i=1,2)$
	製本工程:1機種	M_b
供給量	都道府県単位で設定	$D(i=1\sim47)$
供給地域	都道府県単位で10地域に設定	$E(i=1\sim10)$
製品	2種類	H, T
生産費用	原価償却費、人件費、その他製造費	C_i
物流費用	都道府県庁間距離から基準運賃を基に算出	L_i

全国に点在する 10 ヶ所生産工場は夫々担当する地域を都道府県単位で持ち、各都道府県の需要に応じて、2 種類(T_i,H_i)に大別される製品を生産、供給している。但し、各都道府県から要求される製品には生産物量に反映される若干の差異がある。また、生産は印刷、製本工程の 2 工程により行われいるが、10 工場中 4 工場は印刷工程を持たずに他工場で印刷

*キーワード 産業立地、最適化技法

**学生員 修(工) 北海道大学大学院工学研究科都市環境工学専攻 (札幌市北区北 13 条西 8 丁目、Tel 090-4729-2228、Fax 011-706-2296)

***フェロー 工博 北海道大学大学院工学研究科都市環境工学専攻 (札幌市北区北 13 条西 8 丁目、Tel 011-706-6209、Fax 011-706-2296)

****正員 工博 神奈川大学大学院工学研究科経営工学専攻 (横浜府神奈川区六角橋三丁目 27 番 1 号、Tel 045-481-5661、Fax 045-413-6565)

*****正員 修(工) コンパックコンピュータ(株) (東京都杉並区上萩 1-2-1、Tel 03-5349-7301、Fax 03-5349-7473)

を終えた半製品を受け取り、自社の保有する製本工程により製品化している。使用機械は印刷工程 2 機種、製本工程 1 機種が各々複数台用意されており、使用状況、製品特性により機種が選定される。

さらに、N 社では生産上の課題として下記の諸点を挙げている。

- ① 各工場において年間を通して、生産量の極端な山谷が存在。
- ② 平常時の場合でも機械の遊休状態が発生。
- ③ 生産量への生産能力調整は時間外勤務、勤務体制の変更により対応。
- ④ 印刷工程を持たない工場の存在により、無駄な輸送機会の発生、保管スペースの重複等々の費用的損失が発生。

これらの問題に対して N 社は全工場単位での稼働率・輸送効率の向上を目的として、①生産拠点の統廃合、②機械設備の再配分、③担当エリアの再配分等々の検討が行われている。

3. 生産拠点立地選定技法の構築

本技法は、現行生産拠点からの統廃合を前提として、各生産拠点立地の有無はもとより、各々の機械設備配置及び統括地域の検討を行うことにより、全生産拠点の操業度を高水準に保持し、生産関連費用、物流関連費用からなる総費用を最小とする生産拠点配置及びその統括地域を選定する。

(1) 技法の概要

本技法では図 1 に示すように 3 ステップにより最適立地を選定している。

[Step.1]ステップ 1 では 3.(2)項で述べる生産能力割付方式により拠点立地を求める。

[Step.2]その際、各拠点の統括地域に図 2 のような飛び地が発生する場合には飛び地補正を行う。つまり、ステップ 1 の結果として発生した飛び地を調整し、都道府県全てに飛び地がない状態にし、再度、操業度、物流費用及び生産費用を再計算し、総費用を是正する。

[Step.3]飛び地補正をした場合、ステップ 1 で選定した生産拠点が当該地域の最適立地とは限らないた

め、当該エリア内での立地補正が必要となる。そこでステップ 3 ではステップ 2 で選出された各統括地域内での拠点立地を重力モデルによって補正する。

Step.1

生産能力割付方式
による立地選定

- ・生産費用・物流費用により
生産拠点立地を算出
- ・生産拠点は統括地域の重心
- ・所轄地域内に飛び地発生

Step.2

飛び地補正

- ・所轄地域の飛び地調整
- ・生産拠点は統括地域の重心
とは限らない

Step.3

立地補正

- ・生産拠点を統括地域で重心
により再計算
- ・飛び地無

図 1 本技法の処理概要



図 2 生産能力割付方式での飛び地

以後、各ステップにおける方式を各々、生産能力割付方式、飛び地補正方式、立地補正方式と呼ぶ。

(2) 生産能力割付方式

本技法の中心である生産能力割付方式の基本アルゴリズムを具体的に示すと図 3 の通りである。すなわち、

- ① 現行の拠点の中から、起点となる拠点(拠点 A)を決定する。
- ② 全ての供給地(都道府県)を拠点 A に割付け、供給量に応じた生産機械を配置する。
- ③ 現行の拠点の中から次点の拠点 B を選択する。
- ④ 拠点 B へ配置する機械台数(M_1, M_2)を下式に従い決定し、機械別の能力(PM_1, PM_2)を算出する。

$$0 \leq M_1 \leq 7, \quad 0 \leq M_2 \leq 14, \quad M_2 + M_1 \neq 0$$

- ⑤ 拠点 B の統括地域(初期段階では拠点 B が存在する都道府県)に隣り合う県の中で、品目 T_i, H_i の需要量(H_e, T_w)が、

$$T_w \leq PM_1, H_e \leq PM_2,$$

$$2(Tw-PM_i)+He \leq PM_2$$

$$Tw+He-PM_2 \leq PM_1$$

を満たす県を拠点 B への割付候補地とし、これらの中から、拠点 A と比べ拠点 B からの輸送が有利な県を拠点 B へ割り付ける。拠点 B への割付可能地域がそれ以上ない場合はコストの計算をして、手順④に戻り生産機械の再配置を行う。

以上①～⑤の処理を全生産工場、割付可能全生産機械について行い、最小解を求める。

(3) 飛び地補正方式

生産能力割付方式によって得られた立地は生産費用と物流費用のトレードオフによって選定されたものである。このため、生産費用が物流費用に比較して大幅に大きい場合、図 2 で示される飛び地が発生する。この現象は、現実的な解とは言い難いため、本研究では現実的な解の算出という観点から、飛び地が発生した際には第 2 段階の処理として選定された各拠点からの物流単価を基準に拠点の統括地域を再編成している。

(4) 立地補正方式

本技法の第 3 段階の処理として、第 2 段階において再編成した各拠点の統括地域内で立地を補正している。統括地域内であれば拠点立地を任意の地点に選定しても操業度は普遍であり最適立地は最小輸送費にのみに依存するため、この段階では重力モデルによる立地選定を採用した。この処理により、統括地域内最適立地と飛び地補正後の最適立地との乖離の有無の検証が可能となる。

4. シミュレーション結果と考察

(1) 結果

本技法の各ステップで得られた結果の比較分析により特性を明らかにすると共に、本技法の現実的

妥当性の検証として、各ステップを経ずに最初から重力モデルを適用した際の結果との比較を行っている。重力モデルとは複数の輸・配送先で構成されるネットワークの中から $\sum t \cdot k$ または $\sum$ 物量・輸送単価が最小となる立地を選択するモデルであり、純粋に輸送効率のみを追求するものである。尚、重力モデルにおける操業度、総費用は選定結果に見合った生産機械を各拠点に割付け算出したものである。

(2) 考察

(a) 立地選定結果に関する考察

シミュレーションの対象とした 4 方式 5 種類(1 拠点～5 拠点)合計 20 ケースにおいて各々求められた拠点立地に要する総費用を表 2 に総括する。最小値つまり最適拠点立地は立地補正方式で求められた拠点数 2 拠点であり約 105.5 億円、これに対し最大値は 1 拠点の場合の 114.8 億円となりその差は約 9.3 億円になっている。

表 2 選定立地費用総括表

(単位:百万円)

方式	1拠点		2拠点		3拠点	
	総費用	%	総費用	%	総費用	%
本モデル						
生産能力割付方式	11,476	100.0%	10,549	96.3%	10,712	98.6%
飛び地補正方式	11,476	100.0%	10,656	97.3%	10,753	99.0%
立地補正方式	11,476	100.0%	10,604	96.8%	10,642	97.9%
重力モデル	11,476	100.0%	10,957	100.0%	10,867	100.0%

(単位:百万円)

方式	4拠点		5拠点	
	総費用	%	総費用	%
本モデル				
生産能力割付方式	10,696	98.3%	10,902	99.7%
飛び地補正方式	10,731	98.6%	10,799	98.8%
立地補正方式	10,617	97.5%	10,686	97.8%
重力モデル	10,884	100.0%	10,930	100.0%

また、拠点配置点つまり拠点が設置される場所は 3 拠点を除いて 4 方式ともほぼ共通している(表 3 参照)。

表 3 拠点総括表

方式	1拠点	2拠点	3拠点	4拠点	5拠点
本モデル					
生産能力割付方式	愛知	埼玉・大阪	宮城・埼玉・大阪	宮城・埼玉・大阪・熊本	宮城・埼玉・愛知・大阪・熊本
飛び地補正方式	愛知	埼玉・大阪	宮城・埼玉・大阪・熊本	宮城・埼玉・大阪・熊本	宮城・埼玉・愛知・大阪・熊本
立地補正方式	愛知	埼玉・大阪	北海道・東京・大阪	北海道・東京・大阪・熊本	北海道・東京・愛知・大阪・熊本
重力モデル	愛知	埼玉・大阪	埼玉・大阪・熊本	宮城・埼玉・大阪・熊本	宮城・埼玉・愛知・大阪・熊本

(b) 方式別拠点数別比較分析

20 ケースについて拠点数に基く特性を要約すると

下記の通りである。

①立地補正方式による選定結果が拠点数 2 拠点の場合を除く全ての拠点数において総費用最小となっている。

②重力モデルで得られた総費用を 100%とした場合、拠点数毎の最大増減幅は-2.1%～-3.7%であり、年額 2 億円から 4 億円強となる。また、平均値では拠点数 2 が最小である。

③拠点数 1 で得られた総費用を 100%とした場合、方式毎の最大増減幅は-5.3～-8.1%であり、年額 6 億～8 億円強の差となる。平均値では立地補正方式が最小である。

(c)操業度についての比較分析

操業度についてシミュレーション結果を表 4 に総括する。要約すると下記の通りである。

①印刷機の操業度は、当然の結果として生産能力割付方式が最良となり、飛び地補正、立地補正の両方式は同値を示している。尚、拠点数 5 拠点で 3 方式全てにおいて同じ結果が得られているが、これは生産能力割付け方式の段階で飛び地が発生しなかったことを示している。

②拠点数別の結果は、2 拠点で 95.2%、3 拠点で 88.5%、4 拠点で 89.5%、5 拠点で 84.0%となり、拠点ごとに差異があり基本的には拠点数が少ない方が高稼働率を示している。

③製本機の操業度は 2 拠点、3 拠点、4 拠点、5 拠点とも 88.7%と一定である。

(d)重力モデルとの比較分析

本技法の立地選定技法としての現実的妥当性の検証として、重力モデルとの比較分析を行った結果を下記に要約する。

①各拠点における統括地域は一部を除きほぼ同一であったが、費用的には本技法の優位性が明白である。

②本技法による総費用が最小となる拠点立地は、東京・大阪の 2 拠点で約 105.5 億円であるのに対し、重力モデルでの最小値は 3 拠点の約 108.7 億円となり、その差は年間 2.7 億円である。

③全てのケースにおいて、本技法の操業度が、重力モデルの操業度を上回っている。2 拠点では 77.4%対 95.2%と生産能力割付方式が 17.8%上回っている。同様に 3～5 拠点においてそれぞれ、7.4%、18.7%、13.7%本技法が上回っている。

5. 結 論

本研究では、生産拠点をより上方に位置する物流チャネルとして捉え、生産拠点の本来の機能である生産と輸送の両面を考慮した生産拠点立地選定技法を提案し、さらには地理的優位性のみにより立地選定を行う重力モデルとの比較により本技法の現実的妥当性を明らかにした。

参考文献

- 1) 唐澤豊, "物流システム入門", 株式会社現代工学社発行, 1976 年 1 月 20 日初版
- 2) 三添 幹人, 唐澤 豊, 相浦 宣徳, "最適拠点選定シミュレーションモデルに関する基本的研究" 日本経営工学会秋季研究大会 予稿集 P.P. 154～155, 1997
- 3) 岡部篤行, 鈴木教夫, "最適配置の数理", 株式会社朝倉書店発行, 1992 年 4 月 20 日初版
- 4) D. M. Smith, "工業立地論(上・下)" 株式会社大明堂, 昭和 57 年 7 月 15 日初版

表 4 拠点評価

(単位:台数%)																		
方式	1拠点						2拠点						3拠点					
	印刷機(M1)		印刷機(M2)		製本機(M3)		印刷機(M1)		印刷機(M2)		製本機(M3)		印刷機(M1)		印刷機(M2)		製本機(M3)	
	台数	稼働率	台数	稼働率	台数	稼働率	台数	稼働率	台数	稼働率	台数	稼働率	台数	稼働率	台数	稼働率	台数	稼働率
本モデル																		
生産能力割付方式	5	92.0	2	100.0	10	94.3	5	93.8	2	96.5	11	88.7	4	100.0	4	77.0	11	88.7
飛び地補正方式	5	92.0	2	100.0	10	94.3	5	92.8	2	96.9	11	88.7	4	100.0	4	75.5	11	88.7
立地補正方式	5	92.0	2	100.0	10	94.3	5	92.8	2	96.9	11	88.7	4	100.0	4	75.5	11	88.7
重力モデル																		
	5	78.2	2	85.0	10	80.2	4	85.0	4	69.7	10	83.7	4	83.3	4	79.9	11	76.2

方式	4拠点						5拠点					
	印刷機(M1)		印刷機(M2)		製本機(M3)		印刷機(M1)		印刷機(M2)		製本機(M3)	
	台数	稼働率	台数	稼働率	台数	稼働率	台数	稼働率	台数	稼働率	台数	稼働率
本モデル												
生産能力割付方式	4	97.0	4	82.8	11	88.7	4	88.3	5	79.6	11	88.7
飛び地補正方式	4	96.8	4	82.8	11	88.7	4	88.3	5	79.6	11	88.7
立地補正方式	4	96.8	4	82.8	11	88.7	4	88.3	5	79.6	11	88.7
重力モデル												
	5	83.0	3	59.5	12	89.9	6	74.6	2	65.9	13	64.4