

郵便事業における物流システムの最適化

— 愛知県におけるはがきの最適輸送について —

2000MM024 石川 総一郎

2000MM074 大島 大輝

指導教員 鈴木 敦夫

1 はじめに

1.1 本要旨の流れ

本論文を展開するに当たって、まず研究のアウトラインを説明する。本論文の内容は以下の6点となる

- 郵便システムの調査
- モデル化
- 定式化
- 定式化の計算実行
- 結果の分析
- 考察

本論文は、共同研究であるから、役割分担をした。役割分担は石川は、定式化と、結果の分析を担当した。大島は、郵便システムの調査と、モデル化、定式化の計算実行を担当した。考察は二人で話し合いながらまとめた。

1.2 研究の動機

ここでは、我々が本論文を書く動機について、説明する。その上で本研究の研究方針を記す。我々は郵便サービスを研究しようとした動機は下の通りである。

- 郵便システムは非常に大きな物流システムである。
- 郵便システムの役割がとても重要である。

我々はこのような理由で研究をしようと考えた。具体的な研究方法はまず、問題を明確にする。その上で問題上の数値をデータと考え、数学モデルを作成する。その上で数理計画法を用い解を計算する。必要があれば解の分析をさらにすすめる。この上で考察をする。

2 郵便システムの調査

ここで我々は、郵便システムの形態について記す。まず、調査対象は愛知県とする。その上で愛知県の郵便施設は以下の構成である。

集配局 郵便物を集配、配達する郵便局。例:瀬戸郵便局
無集配局 郵便物を窓口以外では取り扱わない郵便局。
例:瀬戸山口郵便局

地域区分局 その地域の集配局を統括している郵便局。
多地域への郵便物は必ずここに一回集められる。
例:愛知県においては、名古屋集中局、豊橋南局

上の構成のうち、本論文では集配局の統括方法について考える。各集配局は郵便番号によって統括されている。例えば郵便番号の上2桁が45から49の地域は全て名古屋集中局に統括されている。集配局の中でも、2種類の分

類が出来る。普通郵便局と集配特定局である。2施設の相違点は施設規模である。現在、愛知県は集配局は120局(このうち普通郵便局68局、集配特定局52局)、地域区分局は2局である。なお、本論文は集配についての論議であるから、無集配局については研究対象外とする。

3 モデル化

ここでは、まず、どのような事が問題であるかを明確にする。その上で、我々が求めたい解の基準を紹介する。なお修正があったため、定式化については、ここでは述べない。

まず初めに、問題点に関して述べる。現在、愛知県は名古屋集中、豊橋南局が地域区分局である。現在の集配は、尾張地域は名古屋集中に集配され、三河地区は豊橋南局に集配する方法を用いている。ここで、各郵便局毎の担当面積は非常に豊橋南局のが多い。つまり、集配業務をする地域が大きいということは負担が大きい事を意味する。この点が非常に問題であると考えた。

この問題に対して次の状態が求めたい解とした。今現在、2箇所、地域区分局が配置されているのだが、それを白紙にもどす。その上でどこの場所に地域区分局を置けばいいのかを考える。さらに、その地域区分局に管轄される集配局を決定する。このようなことを本論文では目指す。注意しなければいけない所として、決定したいものが、地域区分局の配置と、その管轄という2つであることを特筆しておく。

4 定式化

ここでは先程示した、問題の解決を数理計画法で実行させるための準備をする。まず、愛知県の集配局の集合を記号で示す。

$$I = \{i | i \text{ は集配局の添字} \} \quad (1)$$

$$J = \{j | j \text{ は普通郵便局の添字} \} \quad (2)$$

この集合の分別が必要な理由は、地域区分局の候補地を普通郵便局とするためである。この理由は普通郵便局は施設規模が大きいからである。次に、決定変数を考える。先程示した通り、決定したいことは2つある。したがって、変数も2つ必要である。その変数を次に示す。

$$x_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{普通局 } j \text{ が集配局 } i \text{ を管轄する場合} \\ 0 & \text{それ以外の場合} \end{cases} \quad (3)$$

$$y_j = \begin{cases} 1 & \text{普通局 } j \text{ を地域区分局にする} \\ 0 & \text{それ以外の場合} \end{cases} \quad (4)$$

いずれも0-1変数とした。一方、データとしての定数は下の項目である。

- B_j : 点 j に地域区分局を建てる為の費用
- D_{ij} : $i \sim j$ 間の距離
- M_i : i で扱われるはがきの量
- α : 単位距離あたり集配に必要な費用

このデータの実際の計算方法は次節で述べる。さらに我々が計算途中で定めることが出来る定数は下の通り。

n : 各地域区分局が持つことができる最大の郵便局の局数

m : 地域区分局の使用年数

以上の文字を用い、定式化をすると以下の通り。

$$\text{Minimize } \alpha \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} D_{ij} M_i x_{ij} + \sum_{j \in J} \frac{B_j y_j}{m} \quad (5)$$

$$\text{Subject to } \sum_{j \in J} x_{ij} = 1 \quad \forall i \in I \quad (6)$$

$$\sum_{i \in I} x_{ij} \leq n y_j \quad \forall j \in J \quad (7)$$

$$x_{ij} \in \{0, 1\} \quad \forall i \in I \quad \forall j \in J \quad (8)$$

$$y_j \in \{0, 1\} \quad \forall j \in J \quad (9)$$

なお、 M_i ははがきの量とする。したがって、この問題ははがきについてである。簡単な説明をする。目的関数は2つの項に分かれる。第1項目は、管轄したときに生じる輸送費用である。第2項目建設費用である。ここは中間発表と異なっている部分である。使用年数 m で割ることにより1年あたりの費用とした。

5 定式化の実行

本節では主に定式化の性質と、データの算出方法について記した。

5.1 定式化の性質

先程しめた定式化は0-1整数計画法である。したがって、簡単には解くことが出来ない。問題の規模が大きくなると整数計画法の計算時間は爆発的に長くなる。これは要素の列挙が指数関数にしたがって大きくなるためである。[4] 我々は作成した定式化が本当に解くことが出来るかを調べた。また、解けたとして計算時間がどのくらいかかるかを調べることも有用である。そこで、我々は仮想データを作成し、この二つの疑問に答えを出した。データは、以下のものを使った。

$$B_j \in [10^6, 10^7] \quad (10)$$

$$D_{ij} \in [10^1, 10^2] \quad (11)$$

$$M_i \in [200, 400] \quad (12)$$

$$\alpha = 1.8 \quad (13)$$

$$m = 1 \quad (14)$$

とした。パラメータ n は実験者が操作できるようにした。この操作毎に解の挙動を調べる。その結果は以下のとおりである。なお、データのサイズは建設候補を70局、収集局全体を220局とした。また、計算環境は以下の通りである。

表1 定式化の性質の実験結果

n	目的関数	施設数	計算時間(秒)
18	248000000	16	57
11	258000000	20	34
9	294000000	25	1251
5	352000000	44	9

PC名 EPSON DIRECT endeavor

CPUクロック数 2.79GHz

RAM容量 512MB

OS Microsoft Windows-XP-Professional

数値計画ソフトウェア What's Best! 7.0

この結果より、計算可能であることが分かる。計算時間は待つものの、1日以下で計算できる。この点で我々の作成した定式化は比較的計算しやすい性質を持っていることが分かる。 n を減少させると建設費用は増加する事は施設の個数が増えるためである。

5.2 データについて

ここでは実際のデータで計算する為の準備をする。データのとて収集しないと行けないものは以下の通りである。

- 建設費用
- 距離
- 各はがきの量

5.2.1 建設費用について

建設費用とは、地域区分局を建設するための費用である。本論文ではデータとして、平成八年度に建設された四日市西郵便局を基準とする。四日市西郵便局の建設費は、当時2,573,655,000円である。また地域区分局の建設には、表のような工法がある。現在の四日市南郵便局は

表2 建築でのコスト比較

郵便局の種類 / 工法	RC造	S造	新S造
郊外型一般局	100	107.4	102.5
郊外型地域区分局	100	106.8	101.6

RC造である。本論文では新S造の地域区分局を建設するものとする。このとき、各建設費を、その郵便局が市にある場合は郊外型一般局、それ以外は郊外型地域区分局とする。

5.2.2 距離について

距離は、日本郵政公社発行の平成13年度愛知県(44から49)地域郵便線路図をもとに、県内の各普通郵便局から全普通郵便局と全集配特定局のすべての距離の割りだしを行い距離行列を作成した。使用した各郵便局間の距離は、直線距離ではなく、収集集配を実際に行う際の、郵政公社側も使用している路線での距離である。

5.2.3 はがきの量

はがきの量は、日本郵政公社の公社規則により公開できなかったため、我々が推定した。推定の方法は次の通りである。まず、愛知県全域の郵便番号を検索する。またそれに対応する郵便番号毎の市区町村町域までの範囲で住所を割りだした。次に愛知県内の収集集配を行うそれぞれの郵便局（普通郵便局、集配特定局）が管轄する全町域を検索。これに対応させることにより、各収集集配局がうけもつ町域がわかるの郵便収集集配地図を作成した。さらに、愛知県の各市区町村町域までの範囲で人口数を調べる。この郵便収集集配地図をもとに管轄地域毎の人口数を割りだした。これは、実際の収集集配郵便局が収集集配を行う地域の範囲が同様であるためである。日本郵政公社は専用機械により各収集集配局が扱うはがきの量がわかる。我々は、これを知ることが出来なかったため、社会人口など通勤通学その他での各地域の人口増加を含まない、地域毎の人口に、日本郵政公社発表の愛知県の一人あたりの第二種郵便物の量をかけて、各地域毎の郵便物の量とした。愛知県の一人あたりの、年間はがき利用量は、50,341,820,631 通である。小数点以下は切り上げとした。これは日本郵政公社発表のはがきの量と一致する。

6 結果

6.1 実行結果の表し方

ここでは結果の出し方について記す。我々が求めた結果は以下のものである。

- 目的関数値
- 地域区分局の場所
- 定式化で計算した解
- 現在の管轄と計算で出した管轄の比較

ここで現在の管轄と計算で出した解との比較は検定の技術を用いた。実行する意図は、はがきの量を乱数で変動させてその合計費用を比較することである。方法は次の通りである。まず、はがきの量を正規乱数で各集配局毎に発生させる。その上で、全集配局の費用を現在の管轄と計算で出した管轄で別々に計算する。そして、それを反復させて多数サンプルとする。そのサンプルで正規分布の差の検定をする。なお正規乱数ははがきの量を平均としその3分の1を標準偏差とした。これは、正規分布の性質上、平均 $\pm 3 \times$ 標準偏差の範囲内にほぼ100%の値が入るのを利用している。そのためはがきの量が非負であることを実現できた。しかし、今回は分散を計算するのが非常に大変なので、未知と言うことにしてウエルチの検定をした。その結果、費用に差がでるかどうかを調べる。補足として、まず α は明確なデータが入手できなかったため1とした。さらに、紙面の都合上 n, m は実験者が自由に操作できるのだが、今回は $n = 100, m = 5$ を掲載した。

6.2 実行結果

実行結果は表3に掲載させておく。ここでは、実行結果の簡単な説明をする。地域区分局は名古屋集中、豊橋、岡崎局に配置するという結果になった。管轄数はその地域

区分局が受け持つ収集局の数である。この数は、式(7)の左辺の値でもある。管轄数には地域区分局も数えてある。管轄場所は、その地域区分局が受け持つ収集局の名前である。目的関数値は式(5)の値である。検定結果は95%の信頼度で効果が認められたかを示した。

7 考察

ここでは、本論文の考察およびまとめをする。本節は以下の順番で記して行く。

- モデル化について考察
- 結果についての考察
- まとめ

モデル化については数学的考察である。結果については、計算した定式化の結果についてと結論を述べた。

7.1 モデル化についての考察

まず、我々は最適基準についての考察をする。本論文では、地域区分局の配置と管轄を同時に求めることを目標とした。そのため目的関数の式(5)は建設費用と管轄したときの輸送費用の和とした。この段階ではあまり問題は無かった。少し注意した点は非常に目的関数に必要なデータが多いということである。しかし、 α の値は見つけることが出来なかったが、それでもまずまずの結果は出ることが出来た。その点で今回の定式化は有用であると言える。

7.2 結果についての考察

結果より発生した論議すべき点は、以下の通りである。

- 5年使用の解である
- 郵便事業にかかる費用は膨大である。
- 検定の結果の信頼度

まず最初に使用年数について論議する。一般的に施設費用を5年で払う事は考えられない。使用年数を増加させた場合、結果は非常に悪いものになった。これは、建設費用を年数で割っているためである。これは、郵便局ははがきだけを集めているわけではないからである。以上より、はがきだけで、郵便システムを分析する場合は以下の事を考えなければならない。それは郵便システムにおけるはがき業務の負担の割合である。これは推定しなければいけない。しかし、この割合が分かれば、我々は5年以上で実験が出来ると考える。この実験はまだ、実行していないためにここでは掲載しない。次に、費用に関する考察をする。億単位の費用がかかることが分かった。これは、解がとても重要であることを示している。ただし、我々の目指す配置を実践する為にはどのくらい費用がかかるのが分かった。この点は他の意志決定者の決定の参考になると考える。検定の信頼度はこれは、輸送費用に差がある事は結果から分かった。しかし、注意したいところとして、施設の数を増加させた場合輸送費用は必ず減少する点である。しかし、本研究は輸送費用のみを考えた定式化ではなかった。つまり、建設費の条件によっては、輸送費用が増加してしまう可能性があった。そのために検定

をした。結果としては非常に高い確率で輸送費用を減少できることが分かった。以上3点の考察より地域区分局を岡崎に配置することは費用面では非常に有用である。

7.3 今後の課題

以上より本論文の課題は以下のとおりである

郵便局サービス全体に対応したモデル作り 本研究では郵便サービスにおける、はがきのみを対象とした。しかし、現実の郵便局ははがきだけをしていない。そのためのモデル作りをする。

全国区における計算 本研究では対象地域を愛知県とした。愛知県外へ出された郵便物の輸送方法に関しては何も言及することが出来なかった。したがって、愛知県外についてもシステムの解析が必要である。

データについて 今回は各郵便局のはがきの量のデータと輸送費に関して法律上の問題により公開開示請求させてもらえなかった。この2つのデータがあればさらに最適な結果や解が得られた。

謝辞

本研究において、郵便システムについて懇切、丁寧に教えていただいた、東海郵政事業部一様には心からお礼を申したいと思います。さらに、多忙の際も我々の相談にのってくださいました鈴木敦夫先生、及び中間発表時に貴重な意見をくださいました、伏見正則先生、松田眞一先生にも心からお礼を申し上げます。

参考文献

- [1] 浅井 喜代治：現代システム工学の基礎，オーム社(1979).
- [2] Erlenkotter,D : A Dual-Based Procedure for Uncapacitated Location, Operations Research 26 pp992-1009(1978).
- [3] 福島雅夫：数理計画法入門，朝倉書店(1996).
- [4] 岡部篤行・鈴木敦夫：最適配置の数理朝倉書店(1992).
- [5] 大山 達雄，田村 浩之，佐野 貴子：郵便局の置局配置に関する調査研究，郵政研究所月報(1999.11).
- [6] 白旗 慎吾：統計解析入門，共立出版(1992).
- [7] 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(2000.11).

表3 結果

配置場所	管轄数	管轄場所
名古屋集中	67	名古屋集中, 東海北, 知多, 半田, 大府, 豊明, 豊田高岡, 日進, 長久手, 春日井, 小牧, 名古屋中央, 西春, 江南, 一宮, 木曽川, 稲沢, 蟹江, 東海南, 常滑, 武豊, 東浦, 知立, 三好, 尾張旭, 瀬戸, 高蔵寺, 岩倉, 扶桑, 犬山, 尾西, 祖父江, 甚目寺, 津島, 弥富, 名東, 天白, 昭和, 瑞穂, 名古屋南, 緑, 熱田, 名古屋港, 中川, 中村, 枇杷島, 名古屋北, 名古屋中, 名古屋東, 守山, 千種, 阿久比, 河和, 美浜, 師崎, 豊浜, 内海, 上郷, 品野, 坂下, 美和, 豊山, 葉栗, 萩原, 奥町, 平和, 十四山
岡崎	28	豊田, 刈谷, 岡崎, 豊田北, 高浜, 安城, 岩津, 幸田, 西尾, 碧南, 一色, 吉良町, 幡豆, 明治, 桜井, 藤川, 額田, 常盤, 形埜, 松平, 下山, 盛岡, 足助, 阿摺, 明川, 旭, 藤岡, 小原
豊橋	27	豊橋南, 豊橋, 豊川, 新城, 田原, 渥美, 蒲郡, 形原, 小坂井, 御油, 御津, 二川, 老津, 赤羽根, 石巻, 三河一宮, 作手, 長篠, 鳳来寺, 段嶺, 設楽, 名倉, 稲武, 津具, 東栄, 豊根

目的関数値 = 7,432,122,839(約7.4億円)

検定統計量 2518.751614 (95%の信頼度で効果あり)