平均/最大移動距離を最小化する行政施設配置問題

太田 佳成　（沼田 一道 助教授）

1. はじめに

私たちが市民生活を送る上で行政施設(窓口)とは切っても切れない関係にある。施設を利用する側は自分の住む町に、極端に言えば家の隣にその施設が設置されている方が便利である。しかし、実際にはすべての住民に対してそのような環境を整えることは物理的にもコスト的にも不可能である。そこで限られた数の施設をどのように配置したら、すべての利用者を平均的に満足させることができるだろうかという問題が生じる。従来の研究ではこれを整数計画問題として定式化し、平均移動距離を最小化する施設配置を求めている[1]。しかし、平均的な満足をめざすと少数の人がしわ寄せを受けて、長距離の移動を余儀なくされることもある。

本研究では、平均移動距離と最大移動距離の双方を考慮できるモデルを提案し、メタヒューリスティック(タブサーチ)を用いて準最適配置を求め、施設数を変化させたときの平均移動距離と最長移動距離の関係を見る。

2. 行政施設最適配置問題

公共施設としての行政施設は一般に次の2つに大別される。施設の職員が実際に目的地へ行くよりも利用者がその施設に出向くことの多い「利用者型」の施設(保健所、税務署など)と、反対に施設職員が現地に赴くことが多い「出張型」の施設(消防署、ゴミ収集施設など)である。利用者型施設の場合は移動する主体がその施設の管轄する地域の住民である。よって、施設配置に際しては住民の平均移動距離をできるだけ小さくするような施設配置が望ましい。他方、出張型施設の場合は移動する主体が職員自体であり、できるだけ需要量の多い地域に近い場所に配置されるのが望ましいと同時に、利用者型施設に比べ事故や災害のために現場に赴く必要性もあるので、施設から最も遠い地域までの距離(最大移動距離)をできるたけ小さくするような施設配置が望ましい。

本研究では、最悪の場合の移動量を考慮した上で、平均移動距離を最小にするような利用者型施設の配置問題を考える。まず、施設を配置する候補となる場所をあらかじめ決定する。対象とする都道府県内の市町村をそれぞれ地域と呼び、地域を一つの点で代表させる。この各地域を代表する頂点を施設配置候補場所とする。頂点の決定に際しては単に地域の中心点をとってもよいし、人口の重心やその他の指標の重心となる点でもよいが、本研究では市役所、役場の所在地を用いる。市役所や役場の所在地は地域の交通の要所になっているので、妥当な仮定と思われる。また、各地域の住民は全員がそれぞれの代表点(施設配置候補場所)に住んでいるものと仮定する。これは、かなり大胆な仮定であるが問題を過度に複雑化させないために妥協する。n を地域総数、N を地域の集合 $N=\{1,2,\cdots,n\}$、z_i を地域 i の人口、Z を全人口 $Z=\sum_{i\in N} z_i$、d_{ij} を地域 i と地域 j の距離、そして配置する施設の数を m とする。さらに地域 i の住民が地域 j に設置される施設に管轄されるか否かを表す変数を $x_{ij}\ (i,j\in N=\{1,2,\cdots,n\})$ とする。

$x_{ij}=1$のとき地域iの住民は地域jに設置されている施設を利用し、$x_{ij}=0$のときは利用しないものとする。$x_{jj}=1$のときは地域jに施設が配置され、$x_{jj}=0$のときは配置されないことを意味する。以上の前提と準備の下で、従来の利用者型施設配置問題は次のように定式化される。

$$
(\mathrm{P})\quad
\begin{array}{lll}
\text{Minimize} & \dfrac{1}{Z}\displaystyle\sum_{i,j\in N} z_i d_{ij} x_{ij} & \\
\text{s.t.} & \displaystyle\sum_{j\in N} x_{ij}=1 \quad i\in N & (1)\\
 & \displaystyle\sum_{j\in N} x_{jj}=m \quad (\le n) & (2)\\
 & x_{jj}\ge x_{ij} \quad i\in N,\ j\in N,\ i\ne j & (3)\\
 & x_{ij}\in\{0,1\} &
\end{array}
$$

目的関数はmヶの施設を配置したときの平均移動距離を最小化することを表す。(1)は管轄に関する制約条件で、任意の地域iがどこかの地域に置かれた施設の管轄下に入らなければならないことを表す。(2)は配置施設総数に関する制約条件で、配置する施設総数がm個(ヶ所)であることを表す。(3)は施設に関する制約条件で、施設のない地域には他のどの地域もその管轄下には入りえないことを表す。$x_{jj}=0$のときは右辺の$x_{ij}(i\ne j)$は0しかとりえないため、施設の配置されないj番目の地域の管轄下に入る地域は存在しない。他方$x_{jj}=1$のときは、x_{ij}は0か1のどちらかの値をとることができるので、地域iが地域jに管轄される場合は1、そうでない場合は0となる。

3. 最大移動距離を考慮したモデル

前節で定式化した問題は最大移動距離を考慮していない。そこで、住民が施設に移動する際、最も移動する人の移動距離を限界移動距離θ以下に制限する。これは

$$\forall i,j\in N, d_{ij}>\theta \quad\Rightarrow\quad x_{ij}=x_{ji}=0 \quad (4)$$

という制約を問題(P)に追加したことに他ならない。このように変更したモデルは地域を点、距離がθ以下の頂点間を枝で結んだグラフ$G=(N,E_\theta)$上で、m点からなる頂点の部分集合の中で然るべき条件を満たすものを求める問題となる。

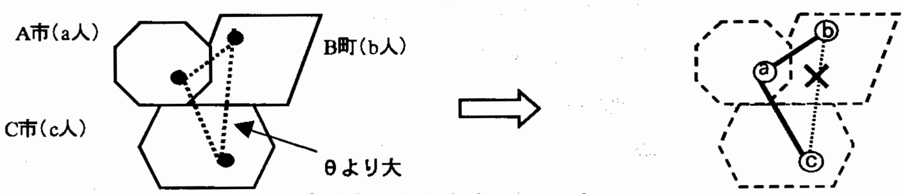

図1: 最大移動距離を考慮したモデル

施設の置かれる頂点集合をS、そうでない頂点を$N-S$とする。$N-S$に属する頂点iの住民の移動する施設はd_{ij}が最小となる頂点$j(\in S)$であり、これを$g_\theta(i)$と書く。すると、最大移動距離をθ以下にした上で平均移動距離を最小化する問題は

$$(\mathrm{Q})\quad \text{Minimize}\quad \frac{1}{Z}\sum_{i\in N-S} p_i d_{ig_\theta(i)}$$

と書ける。

4. 問題(Q)に対するタブサーチの適用

問題(Q)は組合せ最適化問題でありn,mが大きくなると厳密な最適解を実用的時間内に求めることは困難である。そこで、メタヒューリスティックの一種であるタブサーチを本問題に適用して準最適解を求める。タブサーチは"現在の解"を少しだけ変化させた解集合("現在の解"の近傍)の中の最も良い目的関数値を持つ解を次の"現在の解"とし、これを繰り返して探索を行う。しかし、これだけでは局所最適解(極小解)に陥り易いので最近探索した解("現在の解"とした解)を禁断リストに保持し、禁断リストの中にある解への移動を禁ずることによって大域的な探索を可能としている。$S^* \in N(|S^*|=m)$を"現在の解"(施設が配置されている頂点の集合)とするとき、S^*の近傍$U(S^*)$を

$U(S^*)=\{S \mid S=S^*-\{k\}+\{l\}, k \in S^*, l \notin S^*\}$

と定める。

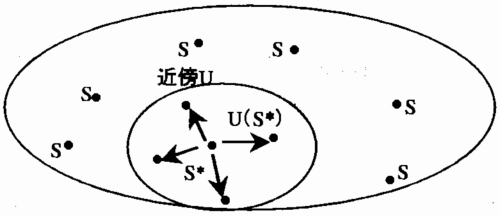

図2: 近傍探索

4.1. 目的関数値(平均移動距離)の計算

各地域ごとの住民の総移動距離をすべての地域について求め、その人口重み付きの総和を全人口で割ったものが目的関数値(平均移動距離)となる。地域iの住民の移動距離は、地域iに施設が配置されている場合は0、地域iに施設が配置されていない場合で隣接した地域に施設が配置されている場合は、その中で一番近い地域までの距離と地域iの人口との積であり、隣接した地域に施設が配置されていない場合は十分大きな値を与える。

4.2. 初期解

初期解S_0は$S_0=\{1,2,\cdots,m\}$とする。

4.3. 近傍への移動

S^*に属する頂点$(k \in S^*)$と$N-S^*$に属する頂点$(l \notin S^*)$を一個所入れ替えた解の中で最も良い目的関数値を持つ解を次の解$S(=S^*-\{k\}+\{l\}, k \in S^*, l \notin S^*)$とする。このとき、施設が配置されなくなった頂点$k$を禁断リストに入れて、しばらくの間$k$に配置を行うような解を禁ずる。近傍の中の最良解への移動を十分な回数繰り返し、そこまでに得られた解のうち、最小の目的関数値を与える解を準最適解とする。

5. 数値実験及び考察

本研究では、例題として神奈川県内の市町村区($N=\{1,2,\cdots,60\}, n=60$)に複数の利用者型行政施設を配置することを考える。

まず、$\theta=10$(限界移動距離10km)として施設数mを変えたときの平均移動距離の変化をみる。$\theta=10$のときの地域グラフ$G(N,E_{10})$は図3の通りである。

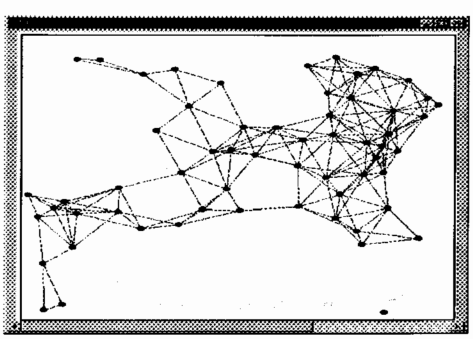
図3: グラフ$G(N,E_{10})$

表1: 施設数と総移動距離の関係(θ=10km)

施設数	平均移動距離	施設配置地域
10	-	3 13 21 26 36 39 47 50 52 59
11	4.51	3 13 21 26 27 36 39 47 49 54 58
12	3.90	3 6 16 26 27 31 36 39 47 49 52 58
13	3.40	3 6 17 19 26 27 31 36 39 47 49 54 58
14	3.13	3 6 17 18 21 26 27 31 36 69 47 49 54 58
15	2.90	3 6 17 18 21 26 27 31 32 36 39 47 49 54 58
16	2.70	3 6 11 16 21 22 26 27 31 32 36 39 47 49 54 58
17	2.50	3 6 11 17 18 21 25 26 27 31 31 36 39 47 49 54 58

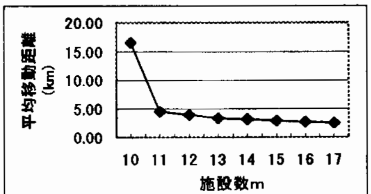

図4: 施設数と平均移動距離の関係

上の表とグラフより、施設数が10ではすべての地域が管轄されておらず、施設数が11で始めて全地域の管轄が可能となることがわかる。また、施設数が12、13と増えるのに伴なって平均動距離は減少しているがその割合はほぼ一定と言える。施設数が11以上で1つ増えるのに伴う平均移動距離の減少量は0.34kmである。これは施設を1つ増やすという大掛かりな方策に対する改善量としては小さいように思える。

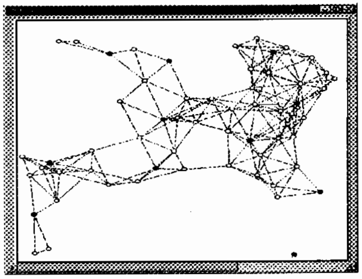
図5: 準最適解(施設数m=11)

次に限界移動距離θと施設数mを変化させたときの平均移動距離を調べる。

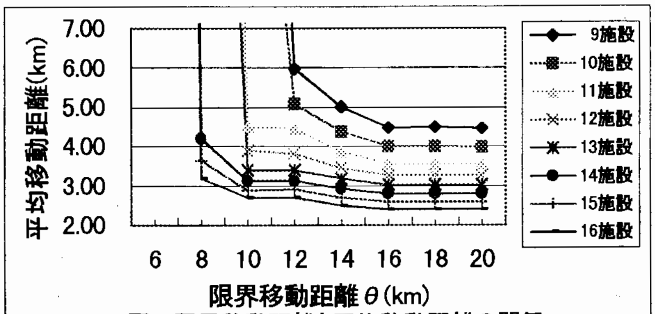

図6: 限界移動距離と平均移動距離の関係

右のグラフより、各施設数での折れ線グラフの変化の様子はほぼ同じである。限界移動距離が伸びるとどの施設数でも平均移動距離が減少していくが、限界移動距離が16km以上ではほとんど変化がなく横ばいである。これは、長さが16以上の枝があまり使われていないことを意味している。また、当然のことながら限界移動距離が同じであれば、施設数が多いほど平均移動距離は減っている。

6. おわりに

本研究では、行政施設配置問題に対して住民の平均移動距離と最大移動距離の双方を考慮できるモデルを提案し、神奈川県の市町村を地域として準最適配置を求めた。同じ施設数で限界移動距離が伸びるのに伴って平均移動距離が減少しているのは、施設配置場所が人口の多い地域やその隣接地域に移っているためであり、過疎地域の住民はやはり冷遇されていることになる。移動距離について大胆な仮定をしているなど限定的ではあるが、税務署や保健所等を配置するときの指標の一つとして役立つのではないかと思われる。

本研究は、配置施設が対象地域に一つも存在していないという前提で行ってきた。すでにいくつかの施設が存在している問題への拡張、移動距離の精密化は今後の課題である。

〈参考文献〉

[1]大山　達雄　：最適化モデル分析，日科技連，1993.

[2]室田　一雄(編)　：離散構造アルゴリズムⅣ，近代科学社，1995.