

施設容量を考慮した集合被覆問題

～中野区ワクチン接種会場の再配置～

豊田 大毅(17X4105) 戸村 朔也(18X4103) 指導教員 五島 洋行

1. はじめに

現在新型コロナウイルス拡大に伴い、ワクチン接種が急がれている。接種を効率的に進めるためにも、利用しやすい接種会場の配置が必要だと考えられる。

そこで本研究では、ワクチン接種会場の中野区におけるワクチン接種会場について、集合被覆問題を用いて施設数を求める。現在中野区では集団のワクチン接種会場を15ヶ所設けており、再配置点及び施設数を求める実験をする。

また、先行研究を基に、施設の容量を考慮したうえで、ワクチン接種会場の再配置点、及び施設数を求めていく。

2. 前提条件

2.1 集合被覆問題

集合被覆問題(Set Covering Problem: SCP)とは、集合 U とその部分集合 S_j に対して、コスト c_j が与えられているとき、 U の要素全てをカバーする分集合 S_j の組み合わせがいくつかあるなかで、コストの総和が最小となるものを求める問題である。

2.2 Location Set Covering Problem

Location Set Covering Problem(以下、LSCP)は、各需要が少なくとも1つの施設によってカバーされるよう施設を配置し、需要点全体をカバーできる施設の中で施設数が最も少なくなるものを求める最適化問題である。1971年に Toregas[1]によって導入された。

2.3 Vincenty 法

地球は完全な球体ではなく、楕円体に近い形である。よって以下の方法で計算する必要がある。

Vincenty 法(Vincenty's formulae)とは、1975年に T. Vincenty が考案した計算方法で、楕円体上の2点間の距離の計算や、一点から指定の方角・距離にある点を求めることに使用する測地法の反復計算アルゴリズムである[2]。

3. 使用データと実験環境

3.1 位置情報データ

利用者の地点は、大字町丁目までのレベル

で配置させる。

位置情報は国土交通省位置参照ダウンロードサービス[3]にて使用する。

3.2 人口データ

住民基本台帳による人口町丁別データ[4]にて使用する。ただし施設容量を考慮した実験を行う際は、施設容量を一日当たりで考えている。そこで接種完了期限を90日と設定し、各地点で人口を90日で割り算出する。

3.3 施設容量

中野区のワクチン供給量と接種予定件数のデータ、また中野区の接種体制の経過[5]から、一施設一日当たり200～300件ほど接種が行われていることが分かる。実験では容量を300と設定する。

3.4 実験環境

実験環境を表1に示す。

4. 実験

4.1 限界距離のみを考慮した実験

実験結果を図1に示す。単位は度分秒。施設配置地点においては、人口の多い中心地に少なくとも1点は配置されており、中心地から離れた地点にも必ず配置されている。メディアン問題のように、利用者が少ない地点では最寄りの施設までの距離が非常に大きくなることはなく、均等に各地に配置されており、全ての利用者にとって必ず1つは最寄りの施設がある。これは全員が接種完了するという目的をより早く達成するためにも、必要な要素の一つであると考えられる。しかしながら、人口が多い地域なのにも関わらず、実験結果において施設が配置されていない地域がある。既存の15ヶ所では、この地域に2つの施設が設置されていることから、

表1 実行環境

CPU	Intel®Core™i6-6260U 1.80GHz
OS	Windows10 Home 64-bit
Memory	32.0GB
Solver	Python Pulp version 1.63

人口が多い地域には施設が隣接して設置されることもあることがわかる。人口は考慮せず限界距離のみを考慮する場合、施設を均等に配置することには成功するものの、人口の多い地域であっても施設が隣接されて設置されることはない。通常施設には利用できる人数の制限がある。この実験では、人口の多い地域は施設数が不足している可能性がある。

4.2 施設容量を考慮した実験

実験結果を図2に示す。単位は度分秒。施設配置地点においては、人口の多い中心地に少なくとも1点は配置されており、中心地から離れた地点にも必ず配置されている。限界距離を900m, 1000mのときの施設数が両者ともに12となっており、施設容量を考慮した実験において、施設数を決定する重要な要因は限界距離ではなく施設容量であるということが分かった。人口が多い地域には、施設が隣接して設置されており、施設容量を追加要素として考慮することにより、施設を各地に均等に配置しつつ、人口の多い地域では隣接されるように設置することに成功した。

5. おわりに

本研究では、新型コロナウイルスのワクチン接種をより早く進めていくために、ワクチン接種会場の利便性を高めることは重要だと考えた。そこで施設配置問題に着目し、中野区の集団ワクチン接種会場15カ所を舞台に、施設を再配置する実験を行った。先行研究では時間軸を考慮した都市施設の配置問題があるが、本研究ではワクチン接種においては時間軸による

需要の変化はないと考え、施設容量を追加で考慮することで基本モデルよりも優位性のある施設配ができると考えた。

今回の実験結果から、追加要素として施設容量を考慮することで、基本モデルよりも有用性の高い施設配置問題を解くことができると考えられる。特に今回設定したワクチン接種会場のように、需要が時間により変化せず、対象者全員の利用完了を目的とするようなサービスを行う施設において、有用性が高いと考えられる。

参考文献

- [1] C.Toregas, "The Location of Emergency Service Facilities", Operations Research, Vol.19, No.6, pp.1363-1373, 1971.
- [2] 長坂直彦, "回転楕円体上の測地線及び皇帝線候航程線の算出について", 海洋情報部研究報告, No. 50, pp.43-49, 2013.
- [3] 国土交通省, "位置情報参照情報ダウンロードサービス", (参照: 2021年7月25日)
https://nlftp.mlit.go.jp/cgi-bin/isj/dls/_choose_files.cgi
- [4] 中野区, "住民基本台帳", (参照: 2021年7月25日)
<https://www.city.tokyo-nakano.lg.jp/dept/152000/d029778.html>
- [5] 中野区, "中野区長定期記者会見資料", News Release, No.7, p.5, 2021.

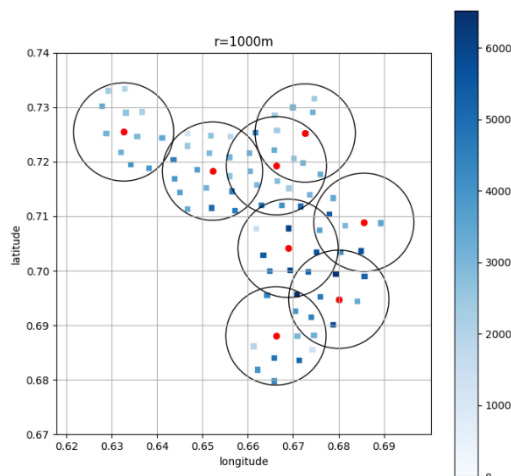


図1 限界距離を1000mとした場合の施設配置

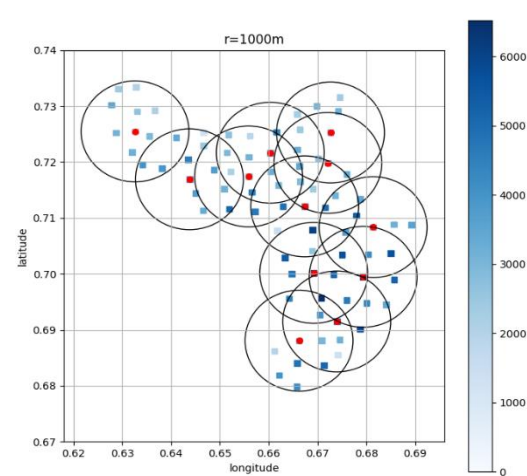


図2 限界距離を1000mとし施設容量を考慮した場合の施設配置

令和 3 年度卒業研究論文

施設容量を考慮した集合被覆問題 ～中野区ワクチン接種会場の再配置～

法政大学 理工学部 経営システム工学科
経営数理工学研究室

18X4103 戸村 朔也

17X4105 豊田 大毅

指導教員 五島 洋行 教授

学科名	経営システム工	学籍番号	18x4103, 17X4105
申請者名		戸村 朔也, 豊田 大毅	
指導教員名		五島 洋行	

論文要旨

論文題目	施設容量を考慮した集合被覆問題 ～中野区ワクチン接種会場の再配置～
現在新型コロナウイルス拡大に伴い、ワクチン接種が急がれている。接種を効率的に進めるためにも、利用しやすい接種会場の配置が必要だと考えられる。 施設配置問題は都市に施設を配置するために用いられており、近年注目されている分野である。そこで本研究では、ワクチン接種会場の中野区におけるワクチン接種会場について、施設の設置コストを抑えるためにも、集合被覆問題を用いて施設数を求める。集合被覆問題では最小施設数を求めることができる。現在中野区では集団のワクチン接種会場を 15 ヶ所設けており、再配置点及び施設数を求める実験をする。 限界距離のみを考慮した集合被覆問題は基本モデルとして既にあるが、現実にはそれぞれの施設には容量または利用可能人数がある。人口が多い地域では、互いに近い場所でも複数設置する必要がある。 そこで本研究では、施設の容量を考慮したうえで、ワクチン接種会場の再配置点、及び施設数を求めていく。また施設容量を考慮することで、人口の多い地域に施設が隣接して設置させることを目的とする。 最適解から得られる施設配置、及び施設数より、現状の施設数より減らすことができ、また施設容量を考慮することで人口の多い地域に、施設が隣接するように設置できるという結果も得られた。	

目次

第1章 序論	1
1.1 背景と目的	1
1.2 本論文の構成	3
第2章 関連知識	3
2.1 数理最適化問題	4
2.1.1 線形計画問題	4
2.1.2 非線形計画問題	4
2.1.3 ネットワーク計画問題	4
2.2 施設配置問題	5
2.2.1 メディアン問題	5
2.2.2 センター問題	5
2.2.3 集合被覆問題	5
2.2.4 最大被覆問題	6
2.2.5 Location Set Covering Problem.....	6
2.3 Vincenty 法	6
2.3.1 定数・変数の定義	6
第3章 実験方法	9
3.1 実験手順	9
3.2 カバー判定の方法.....	10
第4章 前提条件と使用データ	13
4.1 施設容量	13
4.2 位置情報データ	13
4.3 人口データ	13

4.4	図形データ	13
4.5	二点間の距離	14
4.6	実験環境	15
第5章	限界距離のみを考慮した実験.....	16
5.1	定数・変数の定義.....	16
5.2	定式化	17
5.3	実験結果	18
第6章	施設容量を考慮した実験	22
6.1	定数・変数の定義.....	22
6.2	定式化	23
6.3	実験結果	24
第7章	結論	28
参考文献		29

第1章 背景と目的

1.1 背景と目的

現在，新型コロナウイルス感染拡大に伴い，世界的にワクチン接種が行われている．本研究を始めた 2021 年 7 月 25 日時点で国内での二回目の接種率は 26.5%と，他の先進国と比べるとかなり遅れをとっていた．2021 年 12 月 23 日では 79.3%と進んでいる[1]．引き続きコロナ終息にむけ接種率 100%になるように，各自治体や企業がワクチン接種を進めている．しかしながら，デルタ株やオミクロン株など変異体の感染拡大により，3 回目の追加接種の必要性も高まっている[2]．

この事態の終息に向け，ワクチン接種を早く進めていく必要がある．ワクチン接種を早く進めるためには，人々が利用しやすい場所に施設を設置すること，つまり施設の利便性を高めることは重要である．さらに，施設を設置するには設置費用，人件費用などコストが多くかかる．コストを最小に抑える．つまり最小施設数でコストを抑えつつ，効率的よく多くの人が利用できる場所に設置するのが，経済的な観点から考えても重要である．

施設配置問題は，利用者の集合と施設の候補地の集合が与えられたとき，施設数及び施設配置を決める問題である．基本モデルとして，1 km 圏内など人々が利用できる距離を設定，利用者の限界距離を考慮して施設を配置するものがある．しかしながら，例えば飲食店では，施設は一日中開いているわけではない．また昼食の時間や仕事終わり夕食の時間などの時間帯は客数が増える．さらに席数には限りがあるため，全員が利用できるわけではない．このように時間による需要の変化や施設の容量による制限など，施設を利用する要素として考慮すべきである．よって限界距離のみを考慮するだけでは不十分であると考えられる．

先行研究として，時間軸を考慮した都市施設の最適施設配置問題[3]がある．この研究では施設配置問題に時間的要素を組み込んでおり，就業者が一定の時間施設に立ち寄ってサービスを受ける状況を仮定し，利用できる人数を最大化することを目的としている．施設のサービス開始時刻が早すぎると，退社後に開始時刻に間に合う人数が少なくなる．反対に開始時刻が遅すぎると終了時刻が遅くなり，帰宅できなくなる人数が多くなる．このようにトレードオフの構

造がモデル化されている．このような問題は「コンサート問題」と呼ばれており，サービス開始時刻に差を付けることで，時間的に異なる性質の利用者が効率的に利用できる地点と時刻を，最大被覆問題を用いて提案している．先行研究では図1のように，頂点 i から頂点 j への移動者が頂点 x にあるコンサート会場に立ち寄り可能かどうかを時間軸を導入して考えている[4]．

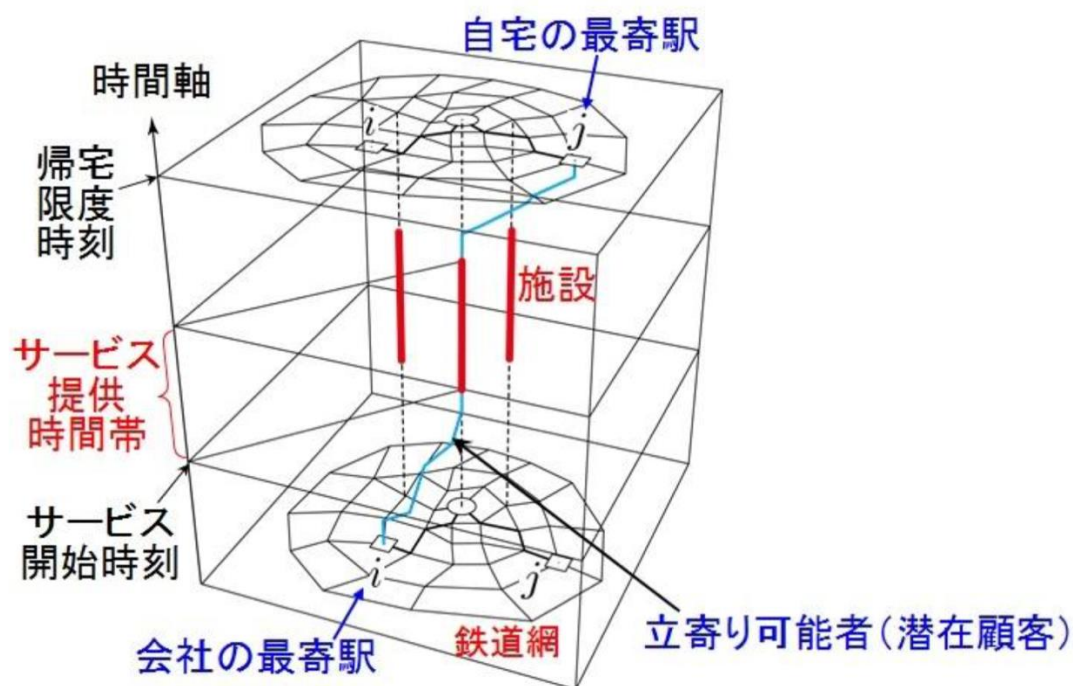


図1 時間空間領域と人の流れの表現[4]

ワクチン接種に関しては，時間帯によってワクチンの需要が変わるということではなく，また個人的な理由で利用するサービスとは違う．職種や年齢などによって利用する必要性が高まることもあるが，ワクチン接種はある一定期間内に，未だ接種を受けていない者全員が利用完了する必要がある．またワクチンの供給数には限りがあるため，一日に接種できる人数も限られている．そこで本研究では，施設一つ当たりを利用できる人数を要素として組み込み，施設容量を考慮した施設配置問題を考える．全員が利用できることと，施設を設置するコストを抑えるためにも，集合被覆問題を用いて全てをカバーするために必要な最小施設数と施設配置点を求めることを目的とする．

中野区は都内でいち早く自治体による集団ワクチン接種を開始した地域である．そのため中野区にはワクチン接種に関するデータが多く得られる．そこで

本研究では、中野区における集団接種会場 15 ヶ所を実験を行う舞台として設定する。この 15 カ所のワクチン接種会場と、実験結果を比較し再配置を検討していく。さらに限界距離のみを考慮した実験結果と、施設容量を考慮した実験結果を比較し、施設容量を追加要素として考慮することの有用性について考察する。

1.2 本論文の構成

本論文は全 6 章で構成されている。

第 2 章では、関連知識について述べる。

第 3 章では、実験の方法について詳しく述べる。

第 4 章では、前提条件として施設容量をどのように設定したのか、また各種実験に使用したデータについて述べる。

第 5 章では、限界距離のみを考慮したうえで定式化し、実験を行い既存の 15 カ所と比較する。

第 6 章では、施設容量を条件として追加したうえで定式化し、実験を行い既存の 15 カ所及び、第 4 章で求められた結果と比較する。

第 7 章では、本論文の結論を述べる。

第2章 関連研究

この章では研究に必要な知識を，関連研究を用いて説明する．

2.1 数理最適化問題

最適化問題(optimization problem)とは，与えられた制約条件の下で，目的関数を最大または最小にする解を求めることである．

数理的な厳密解が求まる．問題によっては解を求めるのに，膨大な計算時間がかかるものもある．例えば NP 困難などが挙げられる．

2.1.1 線形計画問題

ある目的が最適になるよう，意思決定をする問題を数理的に扱う場合，最も基本的なモデルが線形計画問題である．制約条件や目的関数が全て線形の式で表現された数理計画問題．最適化する関数を目的関数(objective function)といい，満たされるべき等式や不等式を制約条件(constraint)が一次式で表される．例として生産計画問題などが挙げられる．

2.1.2 非線形計画問題

制約式や目的関数が線形でなく任意の連続関数である． $\sin$ や $\cos$ ，変数の 2 乗 3 乗が用いられる．例としてイールドカーブ推定問題や，タービンを用いた発電計画問題が挙げられる．

2.1.3 ネットワーク計画問題

空間的，時間的に分離された施設，地点，組織にかかる固定費用とその間を人や物が移動する変動費用を考慮して，何をどこへ移動させるかといった様々な社会構造や物の仕組みをモデル化し，解を求める．例として最短経路問題や最小木問題，最大フロー問題などが挙げられる．

2.2 施設配置問題

私たちが生活する社会において、コンビニエンスストア、飲食店、学校、病院などサービスを提供する施設や、電車の駅やバス停などの交通手段を利用するための重要な施設が多く存在する。こうした施設は配置されている場所によって、集客力や利用しやすさが大きく異なる。

施設配置問題は、利用者の集合と施設の候補地点の集合が与えられた下で、目的に応じて最適な配置場所を求める問題である。

代表的なモデルなどとして、メディアン問題、 p -センター問題、集合被覆問題、最大被覆問題がある。

2.2.1 メディアン問題

メディアン問題(median problem)とは、各利用者と施設点間の重み付きの総移動距離を最小にする、つまり移動距離の総和を最小にするように配置する問題である。しかしながら総和を最小化するため、利用者が少ない地点では最寄りの施設までの距離が非常に大きくなる場合がある。施設数を p 箇所と設定された問題は特に p -メディアン問題と呼ぶ。

2.2.2 センター問題

センター問題(center problem)とは、最も遠い利用者からの重み付き距離を最小にするように配置する問題である。メディアン問題とは異なり、どの利用者からもある程度の距離に施設が配置されるようになる。施設数を p 箇所と設定された問題は特に p -センター問題と呼ぶ。

2.2.3 集合被覆問題

集合被覆問題(Set Covering Problem : SCLP)とは、集合 U とその部分集合 S_j に対して、コスト c_j が与えられているとき、 U の要素全てをカバーする分集合 S_j の組み合わせがいくつかあるなかで、コストの総和が最小となるものを求める問題である。

集合被覆問題では、施設が利用者を重複してカバーすることを許しているが、複数個の部分集合でカバーすることを許さない場合は、集合分割問題と呼ばれ、選挙区の設置問題などに応用されている。

2.2.4 最大被覆問題

最大被覆問題(Maximal Covering Location Problem : MCLP)とは、限られた施設数のなかで、できるだけ多くの利用者をカバーするような施設の場所を求める問題である。近年, 文章要約を最大被覆問題に帰着させ, 問題を大域的に解く自動要約手法が研究されており, 高い精度を実現している。

2.2.5 Location Set Covering Problem

Location Set Covering Problem(以下, LSCP)は, 各需要が少なくとも 1 つの施設によってカバーされるよう施設を配置し, 需要点全体をカバーできる施設の中で施設数が最も少なくなるものを求める最適化問題である。1971 年に Toregas[5]によって導入された。例として, 災害時における緊急サービスの配置, 保全エリアの選定などに用いられています。本研究では, LSCP を用いてワクチン接種会場の再配置をし, 各施設の容量を考慮したモデルを定式化する。

2.3 Vincenty 法

地球は完全な球体ではなく, 赤道半径が 6378.137km, 極半径が 6356.752km で楕円体に近い形である。よって地球上の 2 点間を求めるには複雑な計算が必要になる。

Vincenty 法(Vincenty's formulae)[6]とは, 1975 年に T.Vincenty が考案した計算方法で, 楕円体上の 2 点間の距離の計算や, 一点から指定の方角・距離にある点を求めることに使用する測地法の反復計算アルゴリズムである。

2.3.1 定数・変数の定義

定数の定義は以下のとおりである。

a : 直径半径

f : 扁平率

$b = (1 - f)a$: 短軸半径

$U_1 = \tan^{-1}\{(1 - f)\tan\theta_1\}$, $U_2 = \tan^{-1}\{(1 - f)\tan\theta_2\}$: 更成緯度

$L = L_1 - L_2$: 2 点間の経度差

λ_1, λ_2 : 補助球上の経度

α_1, α_2 : 各点における方位角

α : 赤道上での方位角

s : 2 点間での楕円体上の距離

σ : 補助球上での弧の長さ

σ_1 : 補助球上の赤道から地点 1 までの弧の長さ

σ_m : 補助球上の赤道から σ_1 の中点までの弧の長さ

変数の定義は以下のとおりである.

ϕ_1, ϕ_2 : 地点 1,2 の緯度 北緯 : + , 南緯 : -

L_1, L_2 : 地点 1,2 の経度 東経 : + , 西経 : -

2.3.2 逆解法

楕円体上の 2 地点, 地点 1(ϕ_1, L_1), 地点 2(ϕ_2, L_2) が与えられているとき, 地点 1, 2 における方位角 α_1, α_2 と距離を求める.

$$U_1 = \tan^{-1}\{(1-f)\tan\phi_1\}$$

$$U_2 = \tan^{-1}\{(1-f)\tan\phi_2\}$$

$$L = L_1 - L_2$$

$\lambda = L$ で, λ を初期化し, 以下の計算を λ が収束するまで反復する.

$$\sin\sigma = \sqrt{(\cos U_2 \sin\lambda)^2 + (\cos U_1 \cos U_2 - \sin U_1 \cos U_2 \cos\lambda)^2}$$

$$\cos\sigma = \sin U_1 \sin U_2 + \cos U_1 \cos U_2 \cos\lambda$$

$$\sigma = \tan^{-1} \frac{\sin\sigma}{\cos\sigma}$$

$$\sin\alpha = \frac{\cos U_1 \cos U_2 \sin\lambda}{\sin\sigma}$$

$$\cos^2\alpha = 1 - \sin^2\alpha$$

$$\cos(2\sigma_m) = \cos\sigma - \frac{2\sin U_1 \sin U_2}{\cos^2\alpha}$$

$$C = \frac{f}{16} \cos^2\alpha \{4 + f(4 - 3\cos^2\alpha)\}$$

$$L = \lambda - (1 - C)f\sin\alpha[\sigma + C\sin\sigma\{\cos(2\sigma_m) + C\cos\sigma(-1 + 2\cos^2(2\sigma_m))\}]$$

λ が収束後, 以下の処理を行う.

$$u^2 = \cos^2\alpha \left(\frac{a^2 - b^2}{b^2} \right)$$

$$A = 1 + \frac{u^2}{16384} [4096 + u^2\{-768 + u^2(320 - 175u^2)\}]$$

$$B = \frac{u^2}{1024} [256 + u^2\{-128 + u^2(74 - 47u^2)\}]$$

$$\Delta\sigma = B\sin\sigma[\cos(2\sigma_m) + \frac{1}{4}B\{\cos\sigma(-1 + 2\cos^2(2\sigma_m)) - \frac{1}{6}B\cos(2\sigma_m)(-3 + 4\sin^2\sigma)(-3 + 4\cos^2(2\sigma_m))\}]$$

$$s = bA(\sigma - \Delta\sigma)$$

これにより, 2点間の楕円体上の距離を求めることができる.

次章のフローチャートにおいて, 「二点間距離の計算」で用いる.

第3章 実験方法

3.1 実験手順

実験における挙動を説明する図 2.

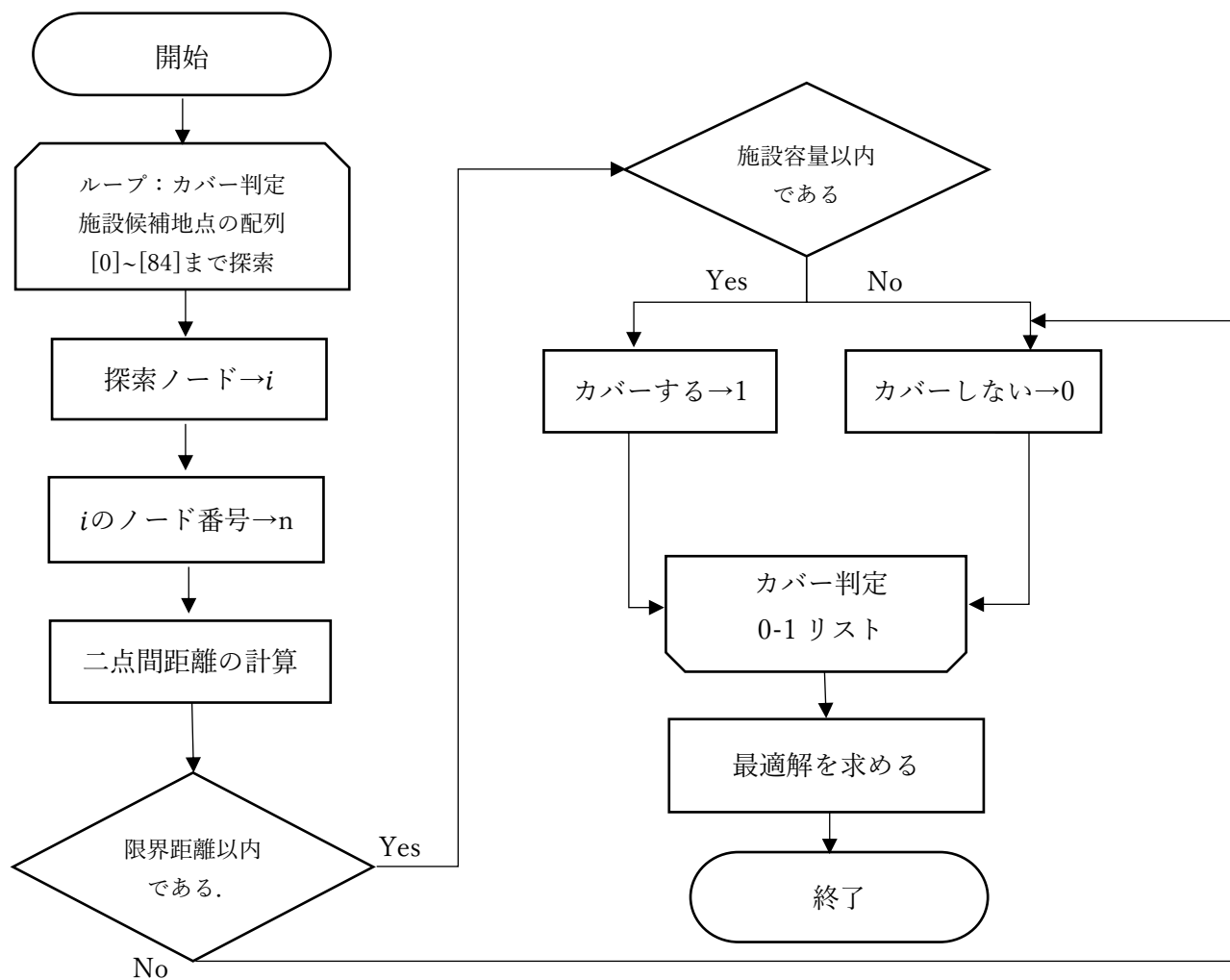


図 2 最適解を計算するフローチャート

施設候補地点は 85 カ所ある．この 85 カ所すべてにおいてこの判定を繰り返す．カバー判定の詳しい挙動については 3.2 にて説明する．

3.2 カバー判定の方法

需要点が設定した距離の範囲内にあるかどうか判定する場合、緯度・経度を平面直角座標系へ変換し、同心円を使い求めるのが一般的な方法である。

平面直角座標系とは、測地学の分野で地籍測量や公共測量など、地図作成のために利用される特別な X,Y 座標系である[7]。図3のように、全国19ヶ所に定義されており[8]、区域ごとに $X=0.0m, Y=0.0m$ とする原点があり、そこを基準として各地における座標値を求める手法である。例えば、東京都中野区は図3から見てとれるように、番号9の地域に属しており、経度 139 度 50 分 0 秒 0000. 緯度 36 度 0 分 0000 の地点が原点となる。

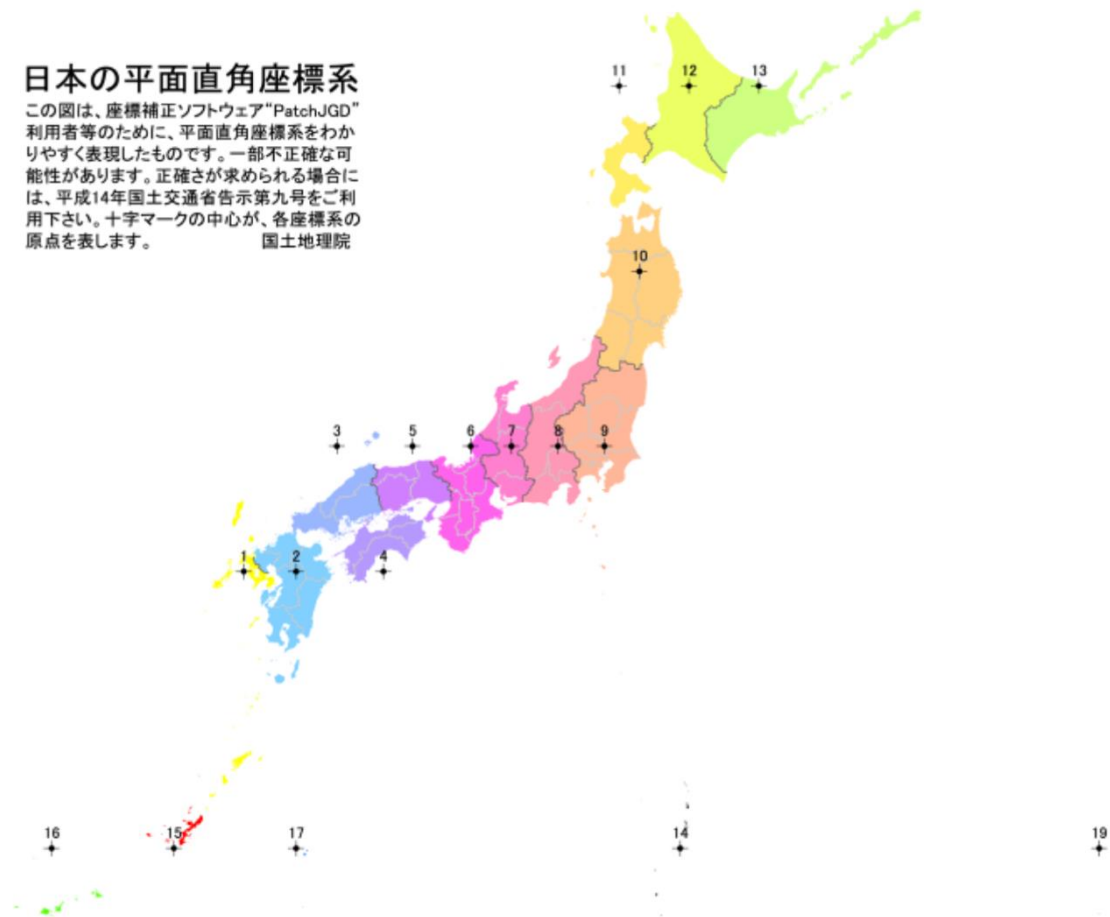


図3 全国19の平面直角座標[8]

本研究ではこの手法を用いず、緯度・経度を変換することなく、直接カバーするかどうかの判定を計算している。本研究で行った計算方法について、例として図4を用いて説明する。

青点が需要点、赤点が施設候補地点、矢印は2点間の距離を表している。

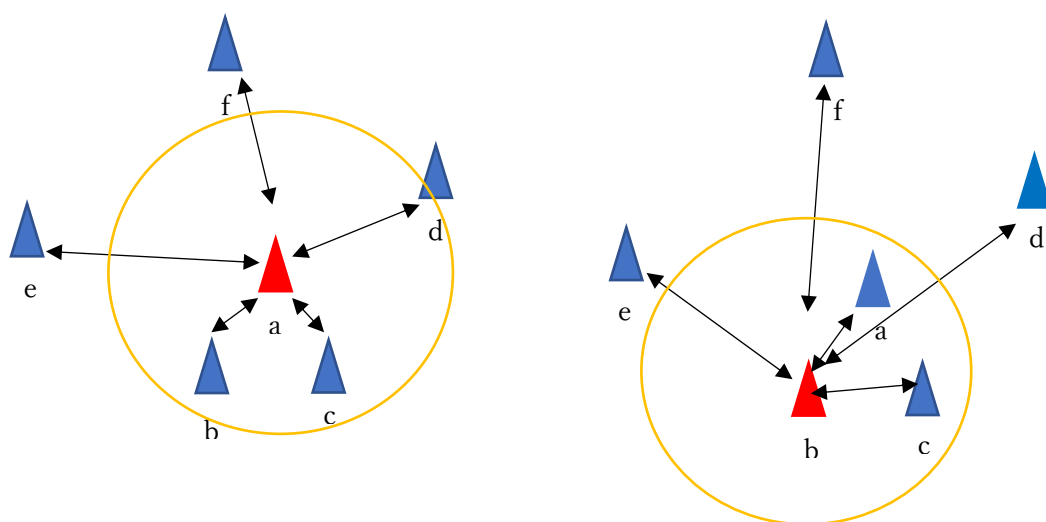


図4 カバー判定の例

それぞれ緯度・経度の位置データが与えられているとき、Vincenty法を用いて正確な2点間の距離を求めることができる。まず図4左のようにaを施設候補地点とし、a-d間の距離を計算する。これが設定した限界距離以内であればカバーすると判定し、そうでない場合はカバーしないと判定する。これを例で表しているa-c, a-d, a-e, a-f間のように、施設候補地点と需要点との間で繰り返し行う。そうすることで限界距離である範囲円内に属している需要点が判る。この例では、施設候補地点aは需要点b,c,dをカバーしていることになる。次に図4右のようにbを施設候補地点とし、上記と同じことを繰り返す。このように施設候補地点を変更していき計算を行い、fまで行ったら判定は終了である。つまり全ての地点において、施設候補地点と設定し、施設候補地点以外との2点間距離を計算し、その距離が限界距離以内か、即ちカバーしているかどうか判定する。

この判定した結果を用いて、最小施設数で全てをカバーすることのできる配置点を求めている。

施設容量を考慮した実験では、この判定に条件を加える。それぞれ緯度・経度の位置データと、地点にいる利用者数のデータが与えられているとする。上記と同じ手順で、全ての地点においてカバーしている需要点を求める。

ここからは施設候補地点 a を例に説明する図 5。

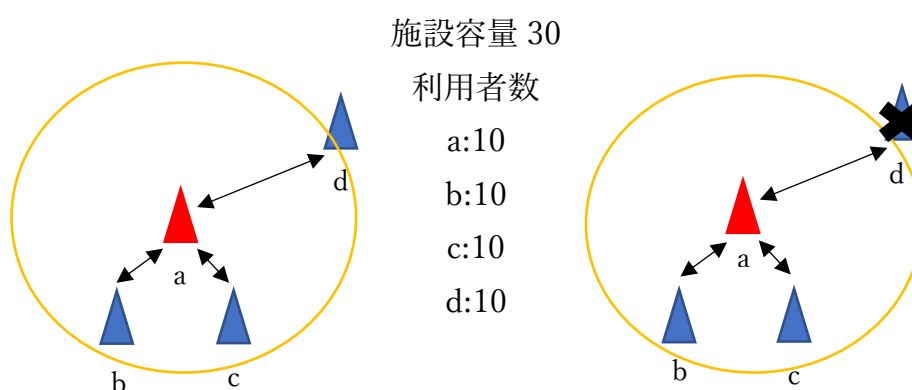


図 5 施設容量を考慮したカバー判定

施設候補地点 a は需要点 b,c,d をカバーしている。まず施設候補地点から近い順に、計算する順番をソートする。この例では、a から近い順に c,b,d となっている。次に施設候補地点 a と需要点 c にいる利用者数の合計値を求め、その合計値が施設容量を超えてなければカバーしていると判定する。これを繰り返し行う。この例では、a,b,c 地点の利用者を合計した時点で容量と等しく、d 地点の利用者が入る余地はないため、d はカバーしないという判定になる。このように、たとえ限界距離以内であっても、利用者合計値が施設容量を超えたのなら、カバーしていないという判定にする。このようにして、施設容量を考慮したカバー判定の計算を行っている。この判定した結果を用いて、最小施設数で全てをカバーすることのできる配置点を求めている。

第4章 前提条件と使用データ

4.1 施設容量

第5章では施設容量を考慮した実験を行う。中野区のワクチン供給量と接種予定件数のデータ、また中野区の接種体制の経過[9]から、一施設一日当たり200～300件ほど接種が行われていることが分かる。実験では容量を300と設定する。施設容量が大きくなれば大きくなるほど、収容できる需要点の数が増えることになる。

接種の新規予約の停止などワクチンの供給状況次第で、ワクチン接種を受けられないこともある。しかし本研究の実験では常に安定してワクチンが供給されることを前提とする。つまり供給量の減少や増加に伴う、施設容量の変化は考えないものとする。

4.2 位置情報データ

利用者の地点は、大字町丁目までのレベルで配置させる。
位置情報は国土交通省位置参照ダウンロードサービス[10]にて使用。

4.3 人口データ

住民基本台帳による人口町丁別データ[11]にて使用。ただし第5章の実験を行う際は、3.1で述べたとおり、施設容量を一日当たりで考えている。そこで接種完了期限を90日と設定し、各地点で人口を90日で割り算出する。これを一日当たりの利用者数として設定する。それにより接種期限の日数は実験において変数になり、期日が長ければ長いほど一日当たりの利用者数は減少するため、施設容量に収まる需要地点は増えると考えられる。

4.4 図形データ

中野区における集団ワクチン接種会場15ヶ所は図6のようにになっている[12]。

実験においては3.2,3.1データを用いてグラフ上に地図をプロットする。図7

緑の地点は既存の 15 ケ所を表しており、青の地点は利用者である。人口が多い地域ほど色が濃くなっている。



22

図 6 集団ワクチン接種会場 15 カ所[12]

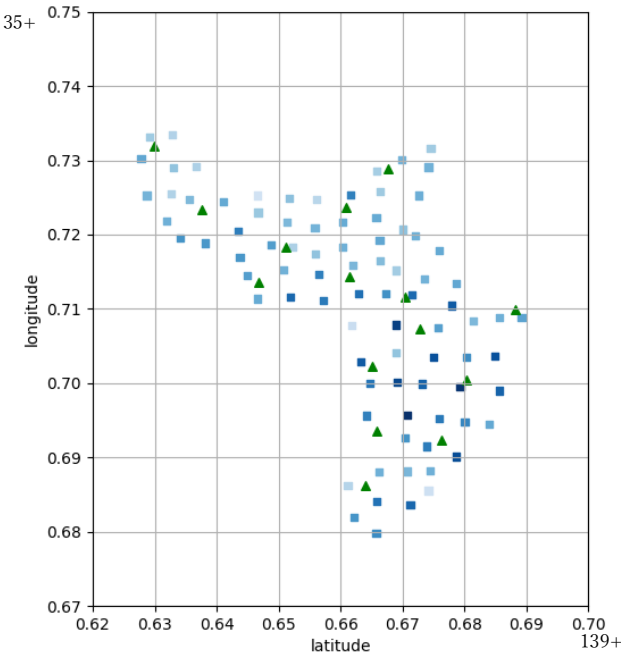


図 7 既存の 15 ケ所と利用者の地点

4.5 二点間の距離

Vincenty 法により正確な距離を求めている。4.2 で得た緯度・経度を地点データとして利用する。例えば、東京都中野区上鷺 4 丁目と 5 丁目間の距離は 340m と、メートル単位で決まる。

4.6 実験環境

実験環境は表 1 のとおりである.

表 1 実験環境

CPU	Intel®Core™ i5-6260u 1.80GH
OS	Windows 10 Home 64bit
Memory	32.0GB
Solver	Python Pulp version 1.63

第5章 限界距離のみを考慮した実験

本章及び本章以降では，第3章で述べた前提条件をもとに実験を行っている．この章では基本モデルとして限界距離のみを考慮した実験を行う．全ての利用者をカバーするための最小施設数と，そのときの施設配置を求める．

5.1 定数・変数の定義

定数の定義は以下のとおりである．

- i : カバーされる需要点である住民ノード番号
- I : カバーされる需要点である住民ノードの集合
- j : 配置される施設候補地点の施設ノード番号
- J : 配置される施設ノードの集合
- M : カバーされる人口ノードの最大値
- N : 配置される施設ノードの最大値
- s_{ij} : 住民地点 i と施設候補地点 j の距離

変数の定義は以下のとおりである．

r : 限界距離

$$x_j = \begin{cases} 1: \text{施設候補地点}j\text{に施設を配置する} \\ 0: \text{施設候補地点}j\text{に施設を配置しない} \end{cases}$$
$$a_{ij} = \begin{cases} 1: s_{ij}\text{が限界距離}r\text{の範囲内である} \\ 0: s_{ij}\text{が限界距離}r\text{の範囲外である} \end{cases}$$

5.2 定式化

定義した定数と変数をもとに定式化する.

Minimize

$$Z = \sum_{j \in J} x_j \quad (5)$$

subject to

$$\sum_{j \in J} a_{ij} x_j \geq 1, \quad \forall i \in I \quad (6)$$

$$x_j, a_{ij} \in \{0, 1\} \quad (7)$$

$$I = \{1, 2, 3, \dots, i, \dots, M\} \quad (8)$$

$$J = \{1, 2, 3, \dots, j, \dots, N\} \quad (9)$$

(5)施設配置数の総和の最小化

(6)施設利用条件

全ての需要点にとって利用可能な施設がある.

(7)決定変数の 0-1 制約

(8)(9)定数の制約

5.3 実験結果

以下の図 6,7,8 のとおりである．図の上が既存の 15 カ所との比較を表しており，図の下が施設及び利用者地点，円は候補地点がカバーすることのできる限界距離の範囲を表している．

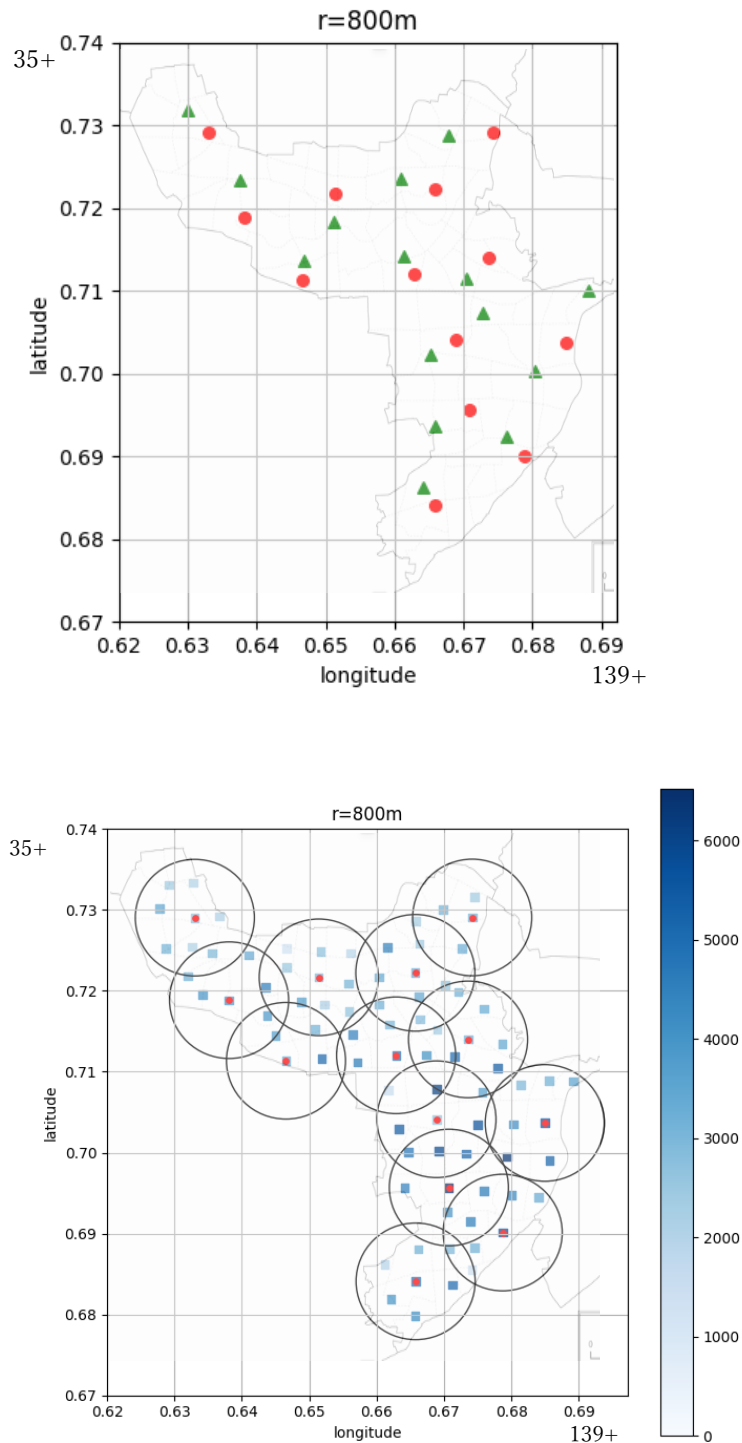


図 8 限界距離 800m とした場合の実験結果

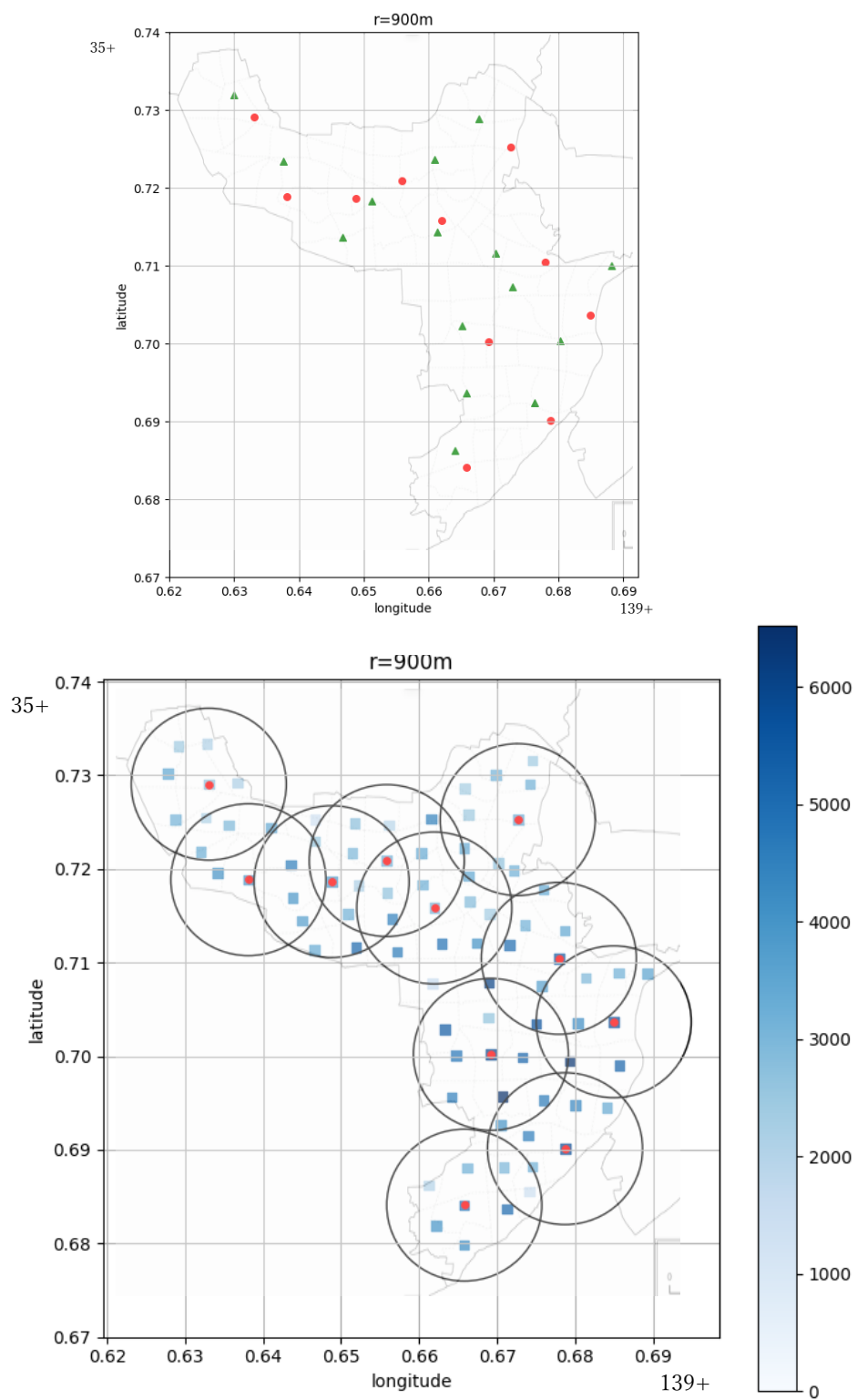


図 9 限界距離 900m とした場合の実験結果

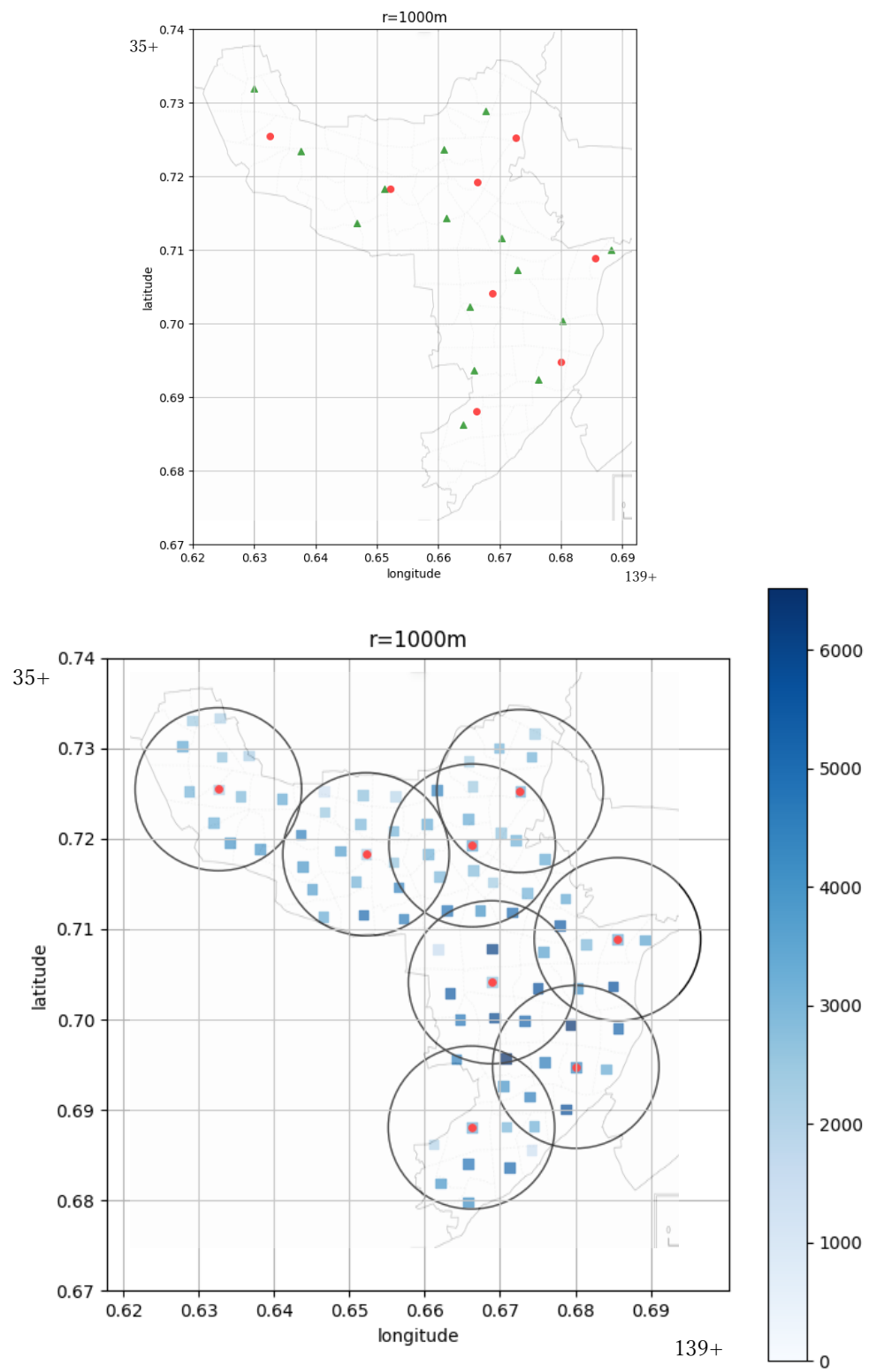


図 10 限界距離を 1000m とした場合の実験結果

施設配置数の結果を以下の表のとおりである。

表 2 実験結果

r (限界距離)	x (施設数)
800m	13
900m	11
1000m	8

実験結果は表 2 のようになる。既存の 15 箇所から、減らすことに成功している。また限界距離が大きければ大きいほど、施設数が減ることも確認できる。

施設配置地点においては、人口の多い中心地に少なくとも 1 点は配置されており、中心地から離れた地点にも必ず配置されている。メディアン問題のように、利用者が少ない地点では最寄りの施設までの距離が非常に大きくなることはなく、均等に各地に配置されている。つまり全ての利用者にとって必ず 1 つは最寄りの施設がある。これは全員が接種完了するという目的をより早く達成するためにも、必要な要素の一つであると考ええる。

しかしながら、 x 軸 0.67~0.68・ y 軸 0.69~0.71 周辺は人口が多い地域なのにも関わらず、3 つの実験結果において施設が配置されていない。既存の 15 ケ所では、この地域に 2 つの施設が設置されていることから、人口が多い地域には施設が隣接して設置されることもあることがわかる。人口は考慮せず限界距離のみを考慮する場合、施設を均等に配置することには成功するものの、人口の多い地域であっても施設が隣接されて設置されることはない。通常施設には利用できる人数の制限がある。この実験では、人口の多い地域は施設数が不足している可能性がある。

そこで次の章では、施設容量を追加要素として考慮することにより、施設を各地に均等に配置しつつ、人口の多い地域では隣接されるように設置されることを目的として実験を行う。

第6章 施設容量を考慮した実験

この章では追加要素として、施設容量を考慮した実験を行う。

6.1 定数・変数の定義

定数の定義は以下のとおりである。

- i : カバーされる需要点である住民ノード番号
- I : カバーされる需要点である住民ノードの集合
- j : 配置される施設候補地点の施設ノード番号
- J : 配置される施設ノードの集合
- M : カバーされる人口ノードの最大値
- N : 配置される施設ノードの最大値
- s_{ij} : 住民地点 i と施設候補地点 j の距離

変数の定義は以下のとおりである。

- r : 限界距離
- w_i : 接種期限 90 日としたときの、 i 地点 1 日当たりの利用者数
- z : 施設容量300

$$x_j = \begin{cases} 1: \text{施設候補地点}j\text{に施設を配置する} \\ 0: \text{施設候補地点}j\text{に施設を配置しない} \end{cases}$$

$$a_{ij} = \begin{cases} 1: s_{ij}\text{が限界距離}r\text{の範囲内である} \\ 0: s_{ij}\text{が限界距離}r\text{の範囲外である} \end{cases}$$

$$b_{ij} = \begin{cases} 1: s_{ij}\text{が限界距離}r\text{の範囲内かつ, } w_i\text{が}z\text{を越えていない} \\ 0: s_{ij}\text{が限界距離}r\text{の範囲内かつ, } w_i\text{が}z\text{を越えている} \end{cases}$$

6.2 定式化

定義した定数と変数をもとに定式化する.

Minimize

$$Z = \sum_{j \in J} x_j \quad (5)$$

subject to

$$\sum_{j \in J} b_{ij} x_j \geq 1, \quad \forall i \in I \quad (6)$$

$$x_j, b_{ij} \in \{0, 1\} \quad (7)$$

$$I = \{1, 2, 3, \dots, i, \dots, M\} \quad (8)$$

$$J = \{1, 2, 3, \dots, j, \dots, N\} \quad (9)$$

(5)施設配置数の総和の最小化

(6)施設利用条件

全ての需要点にとって利用可能な施設がある.

(7)決定変数の 0-1 制約

(8)(9)定数の制約

6.3 実験結果

以下の図のとおりである．図の上が既存の15カ所との比較を表しており，図の下が施設及び利用者地点，円は候補地点がカバーすることのできる限界距離の範囲を表している．

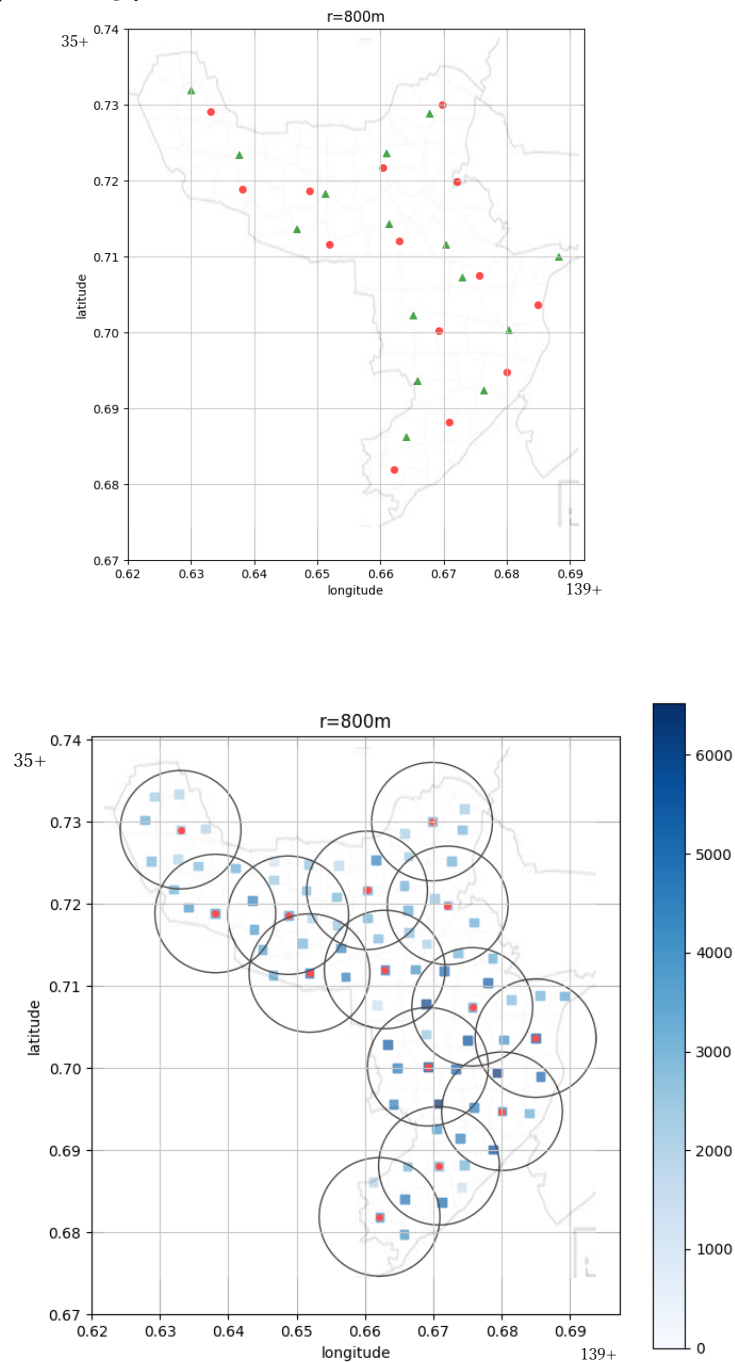


図 11 限界距離 800m とした場合の実験結果

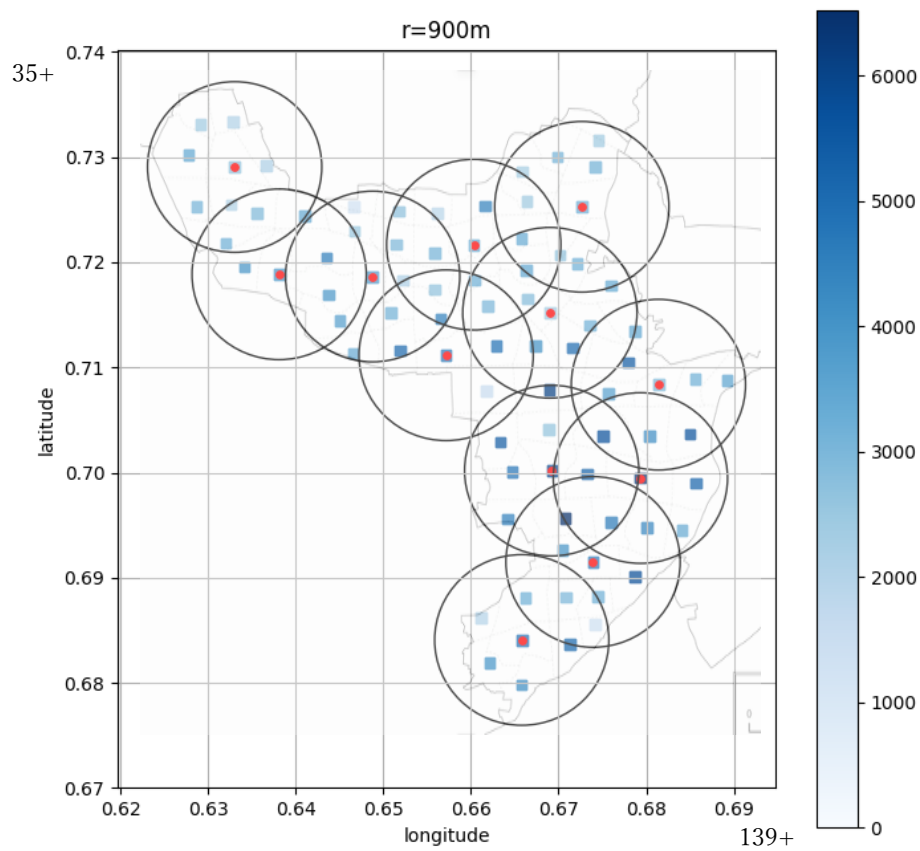
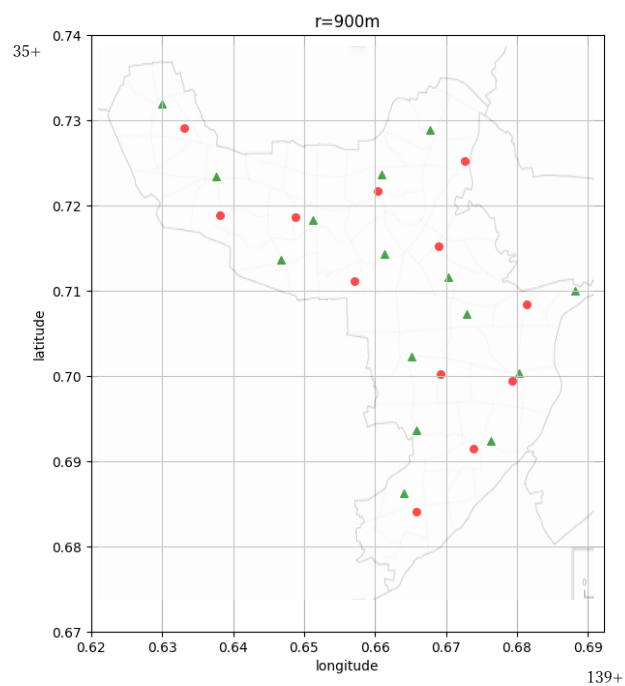


図 12 限界距離 900m とした場合の実験結果

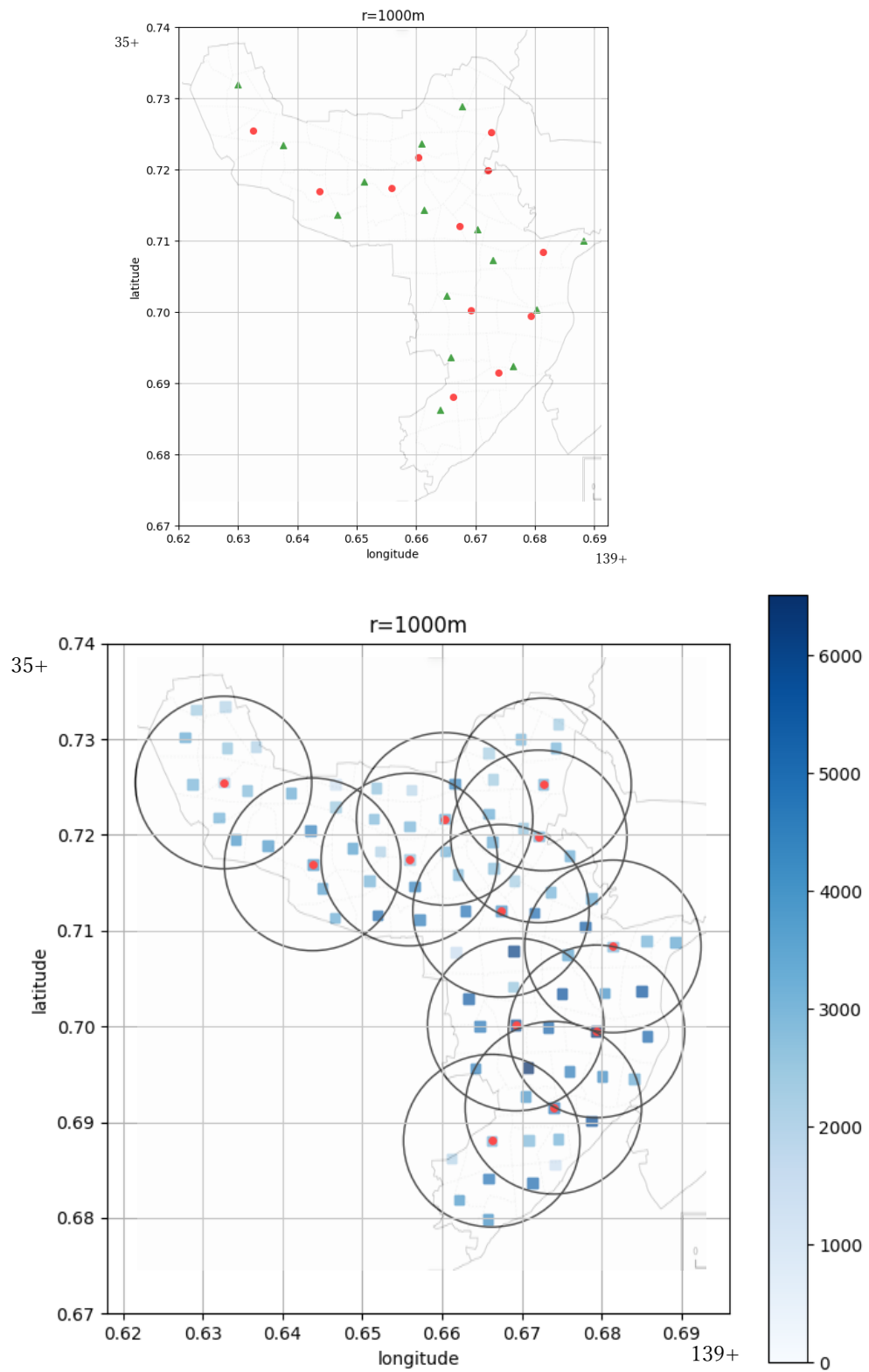


図 13 限界距離 1000m とした場合の結果

施設配置数の結果を以下の表にまとめた。

表 3 実験結果

r (限界距離)	限界距離のみを考慮した実験 x (施設数)	施設容量を追加考慮した実験 x (施設数)
800m	13	14
900m	11	12
1000m	8	12

実験結果は表 3 のようになる。既存の 15 箇所から、施設数を減らすことに成功している。第 5 章の実験では、限界距離が大きければ大きいほど施設数も減少しているが、施設容量を追加考慮したこの章の実験では、限界距離が 900m、1000m のときの施設数が変化していない。施設容量を考慮した実験において、施設数を決める重要な要素は限界距離ではなく、1 日あたりに利用できる人数である施設容量、また 1 日あたりの利用者数を求めるために設定した接種期限、といった変数である。

施設配置地点においては、人口の多い中心地に少なくとも 1 点は配置されており、中心地から離れた地点にも必ず配置されている。

x 軸 0.67~0.68・ y 軸 0.69~0.71 周辺は人口が多い地域には、施設が隣接して設置されており、900m、1000m を比較してみると、この地域の周辺の配置点が一致している。限界距離にかかわらず、人口が多い地域に必要な配置点はある程度一致することがわかる。

施設容量を追加要素として考慮することにより、施設を各地に均等に配置しつつ、人口の多い地域では隣接されるように設置することに成功した。

第7章 結論

本研究では、新型コロナウイルスのワクチン接種をより早く進めていくために、ワクチン接種会場の利便性を高めることは重要だと考えた。そこで施設配置問題に着目し、中野区の集団ワクチン接種会場15カ所を舞台に、施設を再配置する実験を行った。先行研究では時間軸を考慮した都市施設の配置問題があるが、本研究ではワクチン接種においては時間軸による需要の変化はないと考え、施設容量を追加で考慮することで基本モデルよりも優位性のある施設配ができると考えた。

限界距離のみを考慮した実験では、既存の15箇所と比べ施設数は大幅に減り、また限界距離が大きければ大きいほど、施設数が減ることも確認できた。施設配置地点においては、人口の多い中心地に少なくとも1点は配置されており、均等に各地に配置された。しかしながら、人口が多い地域なのにも関わらず、施設が配置されていなかった。基本モデルでは、施設を均等に配置することには成功するものの、人口の多い地域であっても施設が隣接されて設置されることはなかった。通常施設には利用できる人数の制限がため、人口の多い地域は施設数が不足している可能性があることが考えられた。

施設容量を追加考慮した実験では、限界距離が900m、1000mのときの施設数が変化せず、施設容量を考慮した実験において、施設数を決める重要な要素は限界距離ではなく、1日あたりに利用できる人数である施設容量、また1日当たりの利用者数を求めるために設定した接種期限、といった変数であることがわかった。人口が多い地域には、施設が隣接して設置され、かつ各地に均等に配置することに成功した。

今回の研究では、追加要素として施設容量を考慮することで、基本モデルよりも有用性の高い施設配置問題を解くことができると考えられる。特に今回設定したワクチン接種会場のように、需要が時間により変化せず、対象者全員の利用完了を目的とするようなサービスを行う施設において、有用性が高いと考えられる。

参考文献

- [1] M. Roser, “Our World in Data”, https://ourworldindata.org/covid-vaccinations?country=OWID_WRL
(参照: 2021 年 12 月 23 日)
- [2] 厚生労働省, “ホームページ新型コロナワクチンについて”,
https://www.mhlw.go.jp/stf/seisakunitsuite/bunya/vaccine_00184.html,
(参照 : 2021 年 12 月 23 日)
- [3] 田中健一, “ネットワーク空間におけるコンサート問題と東京鉄道網への適用”, 都市計画報告集, No. 6, pp.177-122, 2008., https://cpij.or.jp/com/ac/reports/6-4_117.pdf
(参照 : 2021 年 7 月 25 日)
- [4] 田中健一“時間軸を考慮した都市施設の最適配置問題”
<https://www.st.keio.ac.jp/education/learning/1512.html>
(参照 : 2021 年 8 月 15 日)
- [5] C. Toregas, “The Location of Emergency Service Facilities”, Operations Research, Vol. 19, No. 6, pp.1363-1373, 1971.
(参照: 2021 年 12 月 23 日)
- [6] 長坂直彦, “回転楕円体上の測地線及び皇帝線候航程線の算出について”, 海洋情報部研究報告, 第 50 号, pp.43-49, 2013.
<https://www1.kaiho.mlit.go.jp/GIJUTSUKOKUSAI/KENKYU/report/rhr50/rhr50-sa02.pdf>
(参照: 2021 年 12 月 23 日)
- [7] 石井大輔, “緯度・経度から平面直角座標系への変換について”. No. 7, pp.85-90, 2006.
https://catalog.lib.kyushu-u.ac.jp/opac_download_md/17069/2006-1.pdf
(参照 : 2021 年 12 月 30 日)
- [8] 国土地理院, “わかりやすい平面直角座標系”
<https://www.gsi.go.jp/sokuchikijun/jpc.html>
(参照 : 2021 年 12 月 30 日)
- [9] 中野区, “News Release 中野区長定期記者会見資料”, News Release, No. 7, p. 5, 2021.
https://www.city.tokyo-nakano.lg.jp/dept/102500/d030943_d/fil/20210715kisyakaikenn.pdf
(参照 : 2021 年 10 月 15 日)
- [10] 国土交通省, “位置情報参照情報ダウンロードサービス”, https://nlftp.mlit.go.jp/cgi-bin/isj/dls/_choose_files.cgi,
(参照 : 2021 年 7 月 25 日)
- [11] 中野区, “住民基本台帳”, <https://www.city.tokyo-nakano.lg.jp/dept/152000/d029778.html>
(参照 : 2021 年 7 月 25 日)
- [12] 新型コロナウイルスワクチン接種実施計画（案）について
<https://kugikai-nakano.jp/shiryoku/21316133435.pdf>
(参照 : 2021 年 7 月 14 日)