

令和2年度卒業研究論文

リニア中央新幹線の需要を最大化する 駅の最適な施設配置

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

17X4017 大下 俊秀

17X4034 鈴木 慶秀

17X4035 鈴木 涼太

指導教員 五島 洋行 教授

学科名	経営システム工学科	学籍番号	17X4017 17X4034 17X4035
申請者氏名	大下俊秀 鈴木 慶秀 鈴木 涼太		
指導教員氏名	五島洋行		

論文要旨

論文題目	リニア中央新幹線の需要を最大化する 駅の最適な施設配置
------	--------------------------------

本研究では、駅利用者の利便性に着目して、リニア中央新幹線の駅を最大被覆問題として最適に配置をする。品川・名古屋間に関しては、各市区町村の人口を最もカバーできる駅位置を求め、計画されている駅候補地の場所とカバーされる人口を比較する。一方、名古屋・大阪間に関して名古屋・大阪間は具体的なルートが決定しておらず、奈良ルート、直線ルート、京都ルートの3候補がある。この3ルートのうち、最も多く需要をカバーできるルートを人口と人口率の2つの評価方法で求めた。また、最もカバーできる人口および人口率が低かったルートに対して、駅数を増加させた場合も実験をする。

本研究から現在計画されているものよりも約200万人の人々がカバーされる最適配置を提案することができた。

目次

第 1 章 はじめに	1
1.1 研究背景	1
1.2 研究目的	2
第 2 章 関連知識	3
2.1 施設配置問題	3
2.2 集合被覆問題	3
2.3 頂点被覆問題	4
2.4 メディアン問題	4
2.5 センター問題	4
2.6 最大被覆問題	5
第 3 章 定式化	6
3.1 定数・変数の定義.....	6
3.2 定式化.....	7
第 4 章 前提条件	8
4.1 計画されているルートと駅位置	8
4.2 駅配置候補点と駅数	8
4.3 需要点と需要量	9
4.4 最短距離	9
4.5 カバー範囲.....	9
4.6 実験環境	10
第 5 章 品川・名古屋間の最適配置.....	11
5.1 品川・名古屋間ルート	11
5.2 定式化.....	12

5.3 実験結果と現在計画との比較.....	14
第 6 章 名古屋・大阪間の最適配置	16
6.1 奈良ルート	16
6.1.1 定式化	16
6.1.2 駅設置位置	17
6.1.3 カバーされる人口と人口率.....	21
6.2 直線ルート	22
6.2.1 定式化	22
6.2.2 駅設置位置	23
6.2.3 カバーされる人口と人口率.....	26
6.3 京都ルート	27
6.3.1 定式化	27
6.3.2 駅設置位置	28
6.3.3 カバーされる人口と人口率.....	31
6.4 実験結果と考察	32
6.5 中間駅を増やした場合の直線ルート	33
6.5.1 定式化	33
6.5.2 駅設置位置	34
6.5.3 カバーされる人口と人口率.....	34
6.5.4 中間駅が 2 駅の場合との比較.....	36
第 7 章 結論	37
参考文献.....	39
謝辞	41

第 1 章 はじめに

1.1 研究背景

現在、東京から名古屋付近を經由し大阪までを超電導リニアで結ぶリニア中央新幹線が計画されている。リニア中央新幹線が導入されることで、世界でも有数の人口集積地域である東京一名古屋一大阪の三大都市圏は相互に約 1 時間で結ばれる。日本の人口の約半数が含まれる世界にも例のない巨大な都市集積圏域が形成され、経済社会活動の効率性を高める。さらに、移動時間の大幅な短縮により、交流の機会及びライフスタイルの転換の可能性が拡大する。また、三大都市圏以外の沿線地域においても、三大都市圏とのアクセス利便性を向上させ、地域振興に寄与することが期待される。

次に、超電導リニア方式は、我が国が独自に開発してきた高速鉄道技術であり、世界的に我が国の鉄道技術を発信するとともに、周辺産業の活性化にも大きく寄与する可能性がある。さらに、国民に技術立国としての自信・自負と将来社会への大きな希望を与えることも期待される。

リニア中央新幹線に期待されていることとして、もう一つ期待されているのが東京一名古屋一大阪を結ぶ大動脈輸送の二重系化である。これまで主として東海道新幹線が担ってきた三大都市圏間の高速かつ安定的な旅客輸送は、日本の国民生活及び経済社会を支える大動脈の中でも最たるものである。リニア中央新幹線の整備は、速達性向上などその大動脈の機能を強化する意義が期待されるのみならず、リニア中央新幹線及び東海道新幹線による大動脈の二重系化をもたらし、東海地震など東海道新幹線の走行地域に存在する災害リスクへの備えとなる [1], [2]。

一方で、ルートや途中駅の問題や、建設費用や費用負担などの多くの問題がある。ルートに関する問題として南アルプス付近のルートに関する問題がある。南アルプス付近のルートは 3 つの候補があった。南アルプスを大きく迂回し甲府と中津川を結ぶ木曽谷ルート、南アルプスを迂回し、甲府と飯田を結ぶ伊那谷ルート、南アルプスを貫く南アルプスルートの 3 ルートである。当初東京大阪間の都府県でつくる建設促進期成同盟会は長野県の要望を受け、伊那谷ルートを採用、JR のパンフレットにも記載されていた。しかし、その後 JR は南アルプスを貫通する南アルプスルートのトンネル掘削が可能であるという報告をまとめ、JR は南アルプスルートを主張、国も歓迎し、南アルプスルートが大本命となった [3]。この南アルプスルートは静岡県の一部を通過する。ここで生じている問題が大井川の水量が減少する問題である。この問題に関してはまだ具体的な解決策は発表されておらず、静岡県と JR 東海の対立は続いている。

名古屋・大阪間についても京都が京都市を通るルートの主張をし、JR 東海にルート変更を申し出るなどいくつかルート案が上がっていた[4]。また、駅配置に関しても多くの市町村が誘致を行い、例えば奈良県では奈良市、生駒市、大和郡山市が駅候補地として名乗りを上げている[5]。

このように、リニア中央新幹線の整備は、三大都市圏間の高速かつ安定的な輸送を中長期的に維持・強化するものであり、国民生活及び経済にとって極めて重要であるが、さまざまな問題を抱えており未だ解決していないものも多い。

1.2 研究目的

品川駅から名古屋駅はルート及び駅位置が決定しており、名古屋駅から新大阪駅は大まかなルートが決定している。品川駅から名古屋駅間の途中駅は神奈川県、山梨県、長野県、岐阜県の4県に1駅ずつ設置することが計画されており、品川駅と長野駅を約45分、品川駅と岐阜駅を約60分で移動することができるようになる。JR 東日本管内の東北新幹線において、定期利用率が極大値になる、すなわち通勤通学手段として新幹線を利用する人が最も多い駅は小山、本庄早稲田駅である[6]。この2駅の東京からの所要時間はそれぞれ約45分、約50分であり、山梨県や、長野県、岐阜県から品川駅や、名古屋駅への所要時間を考えると、リニア中央新幹線が通勤通学手段として多く利用されることが期待される。現在決定している駅位置とルートに関して、JR 東海は品川駅と名古屋駅、さらに大阪までの高速輸送を目指しており、3都市を直線で結ぶことを大前提にしている。さらにリニア中央新幹線を建設するにはかなりの費用がかかり、それを節約するため中間駅の位置選定に需要を考慮していない点もある。新幹線駅において、立地が不便な駅は利用者が少なくなるという。これらより直線のルート上に、需要を考慮した駅を配置することが求められる。そこで本研究では、リニア中央新幹線を利用できる住民を最大化するような駅配置について考える。

第2章 関連知識

本章では、本研究で用いる最大被覆問題に関する知識と、それに関連する知識について記述する。

2.1 施設配置問題

施設配置問題とは、施設の配置可能地点、需要をもつ顧客の集合が与えられて、ある基準を満たす施設の配置場所を決定する問題の総称である。この問題の適用される施設は、工場、倉庫、配送センター、廃棄物処理施設から、消防署、病院等の緊急施設にいたるまで、広範囲な領域が対象として含まれる。

2.2 集合被覆問題

集合被覆問題とは、集合 U とその部分集合の族 $x_1, \dots, x_m$ が与えられたとき、 U の要素を全てカバーするように部分集合の族から最小個数の部分集合を選ぶ問題である。ここで、 $x_1, \dots, x_m$ の和集合は、 U に等しくなるものとする。

各部分集合 x_i に対し重み w_i が与えられ、選択した部分集合の重みの和を最小化する問題のことを指す場合もある。このような場合、重み付き集合被覆問題と区別して呼ぶことも多い。全ての i について w_i が等しいとき、重み無し集合被覆問題と等価なので、重み無し集合被覆問題は、重み付き集合被覆問題の特殊な場合とも言える。

施設例：消防署、警察署、携帯電話基地局、防災無線、etc.

カバー範囲：半径 1km, 道のり 5 分, etc.

カバー集合 J , 候補集合 I , バイナリ変数 x_i , 部分集合 A_{ij} , コスト $w_i \geq 0$ とすると

目的関数は

$$\sum_{i \in I} w_i x_i \rightarrow \min$$

制約条件はすべてのカバー範囲 j をカバーするため、1 以上となるから

$$\sum_{i \in I} A_{ij} x_i \geq 1$$

と表される。

2.3 頂点被覆問題

頂点被覆問題とは、グラフ・ネットワーク問題の一つで、複数の頂点とそれを結ぶ辺があり、どの辺も少なくともその始点または終点のどちらかが、二つにクラス分けした頂点群のうちの一方のクラスに属する頂点(のいずれか)と接するもので、そのクラスを最小にする問題である。

2.4 メディアン問題

メディアン問題とは、各顧客にとって最も近い施設への重み付き移動距離の総和を最小にするような施設配置点を配置対象の点の中から選択する問題のことである。また、施設数があらかじめ定められている場合、その施設数を p とし、 p -メディアン問題と呼ばれる。

2.5 センター問題

センター問題とは、各顧客にとって最も近い施設への移動距離の最大値を最小にするような施設配置点を配置対象の点の中から選択する問題のことを指す。メディアン問題の場合、総和の最小化を目的とするため、解の中に需要点と施設点の間が極端に離れている組み合わせが含まれている可能性があるが、センター問題の場合は移動距離が極端に大きい組み合わせを作らないように配置をすることが可能になる。そのため、消防署などの緊急施設を配置する際に用いられる。また、メディアン問題と同様に、センター問題の中でも、施設数があらかじめ定められている場合、その施設数を p とし、 p -センター問題と呼ばれる。

2.6 最大被覆問題

最大被覆問題 (Maximal Covering Location Problem ;MCLP) [7]とは、固定された施設数でカバーできる需要を最大化するように施設配置を行う問題である。施設の例として、消防署や防災無線などの公共施設がある。

例えば、消防署に救急車を配置する。救急要請があった現場へ一定時間以内に到着することを制約条件として課されることが多い。これを施設配置問題として考えると、被覆型の配置問題とらえることができる。すなわち、需要点 i を中心にしてある距離 D 以内にある配置候補地の集合 (i の近傍) $N_i = (j \in J | d_{ij} \leq D)$ を考えて、 N_i のいずれかに救急車が配備されれば、 i はカバーされた (被覆された) と考える。このとき、決定変数として、消防署 j に救急車を配置するなら1、しないなら0をとる。よって、カバーされる需要量を最大化する配置を求めるMCLPは次のように定式化できる。

目的関数は

$$\sum_{i \in I} a_i y_i \rightarrow \max,$$

制約条件は

$$\sum_{j \in N_i} x_j \geq y_i, \quad \forall i \in I \quad (1)$$

$$\sum_{j \in J} x_j = K \quad (2)$$

$$x_j \in \{0,1\}, \quad \forall j \in J \quad (3)$$

$$y_i \in \{0,1\}, \quad \forall i \in I \quad (4)$$

目的関数はカバーされた需要の最大化を表す。(1) 式は需要点 i の近傍に救急車が配備された場合のみ、需要点 i をカバーできることを規定している。(2) 式は救急車の配置台数が K であること、また、(3) (4) 式は x_j , y_i の標準的な0-1制約をそれぞれ表している[8]。

第3章 定式化

本章では、最大被覆問題としての定式化を行う。今回は最大被覆問題で一般的に用いられるカバーされる需要を最大化を目的にするのではなく、カバーされない需要を最小化を目的として定式化を行う。この章で行った定式化をもとに第5章以降数値実験を行っている。

3.1 定数・変数の定義

定数の定義は以下のとおりである。

I : 需要点の集合

J : 施設位置の集合

S : カバー距離

d_{ij} : 点 i から点 j までの最短距離

$N_i = \{j \in J | d_{ij} \leq S\}$: 需要点 i でカバーできる施設位置の集合

a_i : 需要点 i でサービスを受ける人口

p : 配置する施設数

i : 需要点の集合の要素

j : 施設位置の集合の要素

変数の定義は以下のとおりである。

$$x_j = \begin{cases} 1: \text{施設}j\text{が割り当てられる} \\ 0: \text{割り当てられない} \end{cases}$$

$$\bar{y}_i = \begin{cases} 1: \text{需要点}i\text{が距離}S\text{以内にカバーされていない} \\ 0: \text{カバーされる} \end{cases}$$

3.2 定式化

3.1 で定義した定数および変数を用いて定式化をする.

目的関数

$$z = \sum_{i \in I} a_i \bar{y}_i \rightarrow \min,$$

制約条件

$$\sum_{j \in N_i} x_j + \bar{y}_i \geq 1 \quad \forall i \in I \quad (5)$$

$$\sum_{j \in J} x_j = p \quad (6)$$

$$x_j = \{0,1\} \quad \forall j \in J \quad (7)$$

$$\bar{y}_i = \{0,1\} \quad \forall i \in I \quad (8)$$

z はカバー距離内でサービスを受けない人口を表し, それを最小化する. 制約式(5)~(8)の意味は下記のとおりである.

- (5) 1つ以上の施設が需要点 i のカバー範囲内に設置されるか, 需要点 i がカバーされないのいずれかである
- (6) 設置する施設数の合計は p
- (7) 施設配置に関するバイナリ変数
- (8) 需要点に関するバイナリ変数

第4章 前提条件

4.1 計画されているルートと駅位置

対象区間は品川駅から名古屋駅を経由し大阪駅までの 438km とする。また、品川駅から名古屋駅間のルート及び駅位置は JR 東海が公開しているもの[9]を使用する。

一方、名古屋駅から大阪駅間のルートは京都府が公開している 3 ルート[10]を使用する。

今回対象区間となる品川駅・大阪駅間のルートを地図上に示したものが図 1 である。



図 1. 品川駅・大阪駅間のルート

4.2 駅配置候補点と駅数

駅が設置可能な位置である駅配置候補点は、計画されているルート上に 5 km 単位で設置する。なお、品川駅、名古屋駅、大阪駅は必ず駅が設置されるものとする。

また、駅数は品川駅名古屋駅間が 4 駅、名古屋駅大阪駅間は 2 駅とする。これは、駅が 1 駅増えると所要時間が増え、リニア中央新幹線の速達性が失われてしまうためである。さらに品川駅名古屋駅間に関しては、現在の計画と比較するために、4 駅という駅数にする。

4.3 需要点と需要量

需要点は計画されているルート上の半径 20km 以内にある市区町村の役所とする。また需要量はその市区町村の人口とする。今回は 2015 年国勢調査都道府県・市区町村別統計表[11]を利用する。

4.4 最短距離

各需要点である市区町村の役所と各駅配置候補点間の最短距離は直線距離を利用する。最短距離の計算には、緯度経度のデータを用い、国土地理院「距離と方角の計算」[12]を利用し計測する。

4.5 カバー範囲

一つの駅がカバーする範囲、すなわちその駅を利用する需要の存在が期待できる地理的な範囲のことを駅勢圏という。駅勢圏を設定する方法として、吸引率を用いた方法がある。しかし、吸引率は駅アクセスに関するアンケート調査などから得られたデータをもとに得られる確率であり、今回吸引率を用い正確な駅勢圏を設定することが困難であるため、吸引率を用いた手法は使わない。一方で、従来は、例えば「駅から 1 km 範囲を駅勢圏とする」といった簡便な定義が用いられていた[13]。そこで今回はこのようにすべての駅の駅勢圏を共通の距離にする。高速鉄道の例として東海道新幹線の駅をもとにカバー範囲を設定する距離を決める。現在、東海道新幹線の東京新大阪間約 515km には 16 の駅が設置されている。これらの駅と駅間の距離の平均が約 32km である。高速鉄道においてカバー範囲が重複するのは好ましくないため、カバー範囲が重複しない範囲は駅間の半分である約 16km である。これらのこと及びリニア中央新幹線は駅数が東海道新幹線よりも少ないことを考慮し、今回はカバー範囲を 20km の距離とする。

4.6 実験環境

数値実験の環境は表 1 のとおりである.

表 1. 実験環境

CPU	Intel®core™i5-6200U 2.30GHz
OS	Microsoft Windows8.1 Enterprise
Memory	4.0GB
Solver	SCIP version5.0.1

第 5 章 品川・名古屋間の最適配置

5.1 品川・名古屋間ルート

JR 東海が現在計画している品川・名古屋間の途中駅は 4 駅計画されている。品川・名古屋間ルートがカバー可能な市区町村は 129 市区町村で、その総人口は 2151.9 万人である。1 駅がカバーする距離を 20km とすると、現在計画されている位置に駅を配置した場合カバーされる人口とカバーされる人口率、そして中間駅 4 駅と品川駅、名古屋駅の位置を表 2 及び図 2 に示す。

表 2. 現在計画されている中間駅の座標位置とカバーされる人口および人口率

駅名 (仮称)	緯度 (° N)	経度 (° E)	カバーされる人口 (万人)	カバーされる人口率 (%)
品川駅	35.629	139.740	1087.9	
神奈川県駅	35.592	139.345	379.0	
山梨県駅	35.600	138.537	60.2	
長野県駅	35.526	137.853	15.6	
岐阜県駅	35.478	137.445	12.7	
名古屋駅	35.171	136.880	392.3	
合計			1947.9	91

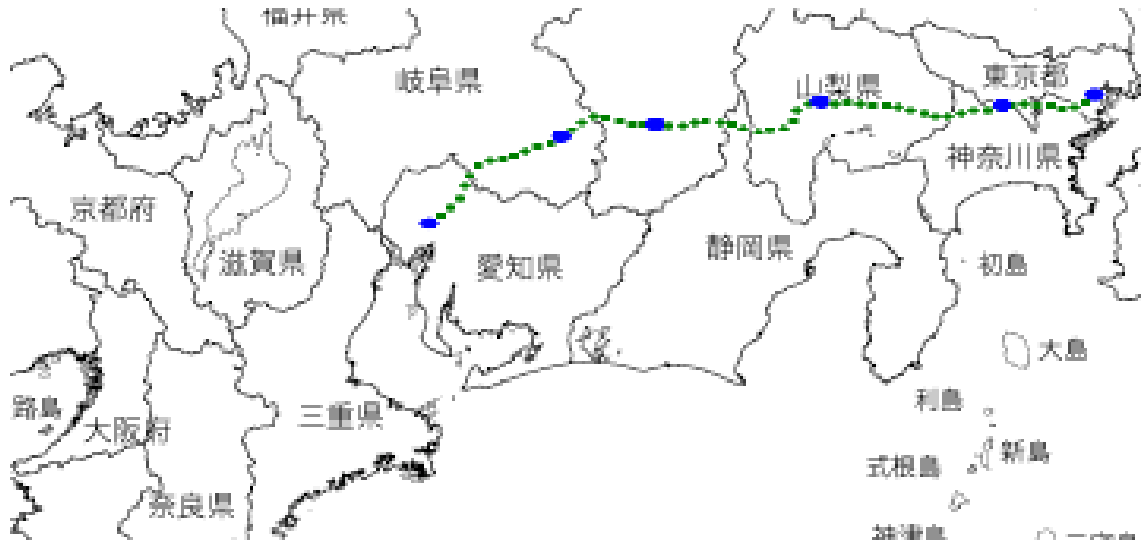


図 2. 現在計画されている駅位置

5.2 定式化

駅が設置可能な位置である駅配置候補点は品川・名古屋間に 59 個設置する．駅配置候補点の番号は品川駅から昇順でつける．すなわち x_1 が品川駅， x_{59} を名古屋駅とする．第 3 章をもとに定式化をする．

途中駅は 4 駅で，品川・名古屋間には合計で 6 駅設置する．

目的関数

$$z = \sum_{i \in I} a_i \bar{y}_i \rightarrow \min,$$

制約条件

$$\sum_{j \in N_i} x_j + \bar{y}_i \geq 1 \quad \forall i \in I \quad (9)$$

$$\sum_{j \in J} x_j = 6 \quad (10)$$

$$x_1 = 1 \quad (11)$$

$$x_{59} = 1 \quad (12)$$

$$x_j = \{0,1\} \quad \forall j \in J \quad (13)$$

$$\bar{y}_i = \{0,1\} \quad \forall i \in I \quad (14)$$

(10) 駅数の合計は 6

(11) 品川駅は必ず設置する

(12) 名古屋駅は必ず設置する

5.3 実験結果と現在計画との比較

実験の結果は表3のようになる。また今回実験により導出した結果と、現在計画されている駅位置との比較を図3に示す。現在計画されている駅位置と実験結果により導出した駅位置を比較すると山梨県、長野県の駅はかなり近い位置が最適解である。一方、岐阜県と神奈川県に配置される予定の駅は、それぞれ愛知県、東京都よりの位置が最適解として求められた。

また、この最適解での駅配置をした場合、カバーされる人口率は8%増え、沿線におけるカバーされる人口が約200万人増える。すなわち、およそ200万人の住民がリニア中央新幹線のカバー範囲に含まれることになり、カバーされない人口はおよそ10分の1となる。

表3. 実験結果による駅位置とカバーされる人口

所在地	j	緯度 (° N)	経度 (° E)	カバーされる人口 (万人)	カバーされる人口率 (%)
品川駅	1	35.629	139.740	1087.9	
東京都町田市 小田急新百合ヶ丘駅付近	6	35.595	139.487	512.5	
山梨県笛吹市 付近	21	35.603	138.672	62.5	
長野県飯田市 付近	40	35.539	137.686	22.0	
岐阜県可児市 付近	52	35.382	137.086	52.6	
名古屋駅	59	35.171	136.880	392.3	

合計				2130.2	99
----	--	--	--	--------	----



図 3. 実験結果と計画の駅位置の比較

第6章 名古屋・大阪間の最適配置

現在、名古屋・大阪間について詳細なルートや駅位置は発表されておらず、奈良市付近を通るルートを採用するということが発表されている。以前は、3つのルート案が提案されていた。一つが奈良市付近を通る奈良ルート、次に、名古屋と大阪を直線で結ぶ直線ルート、もう一つが、京都市付近を通る京都ルートである。今回この3ルートに関して、利用者需要を最大にする駅位置の提案と、それぞれ3ルートでの比較をしていく。

3ルートがカバー可能な市区町村は126市区町村で、その総人口は1477.3万人である。

6.1 奈良ルート

奈良ルートは主に三重県と奈良県を通り大阪駅までを結ぶルートとする。奈良ルートの半径20kmに位置する市区町村の総人口は1149.4万人である。

6.1.1 定式化

駅が設置可能な位置である駅配置候補点は名古屋・大阪間に30個設置する。駅配置候補点の番号は名古屋駅から大阪駅へ昇順でつける。すなわち x_1 が名古屋駅、 x_{30} が大阪駅である。第3章をもとに定式化をする。途中駅は2駅で、名古屋・大阪間には合計で4駅設置する。

目的関数

$$z = \sum_{i \in I} a_i \bar{y}_i \rightarrow \min,$$

制約条件

$$\sum_{j \in N_i} x_j + \bar{y}_i \geq 1 \quad \forall i \in I \quad (15)$$

$$\sum_{j \in J} x_j = 4 \quad (16)$$

$$x_1 = 1 \quad (17)$$

$$x_{30} = 1 \quad (18)$$

$$x_j = \{0,1\} \quad \forall j \in J \quad (19)$$

$$\bar{y}_i = \{0,1\} \quad \forall i \in I \quad (20)$$

- (16) 駅数の合計は 4
- (17) 名古屋駅は必ず設置する
- (18) 大阪駅は必ず設置する

6.1.2 駅設置位置

実験結果が表 4、位置を地図上に表したものが図 4 である。

表 4. 奈良ルートの実験結果

j	所在地	緯度 (° N)	経度 (° E)
11	三重県亀山市付 近	34.879	136.483
25	奈良県奈良市付 近	34.685	135.778

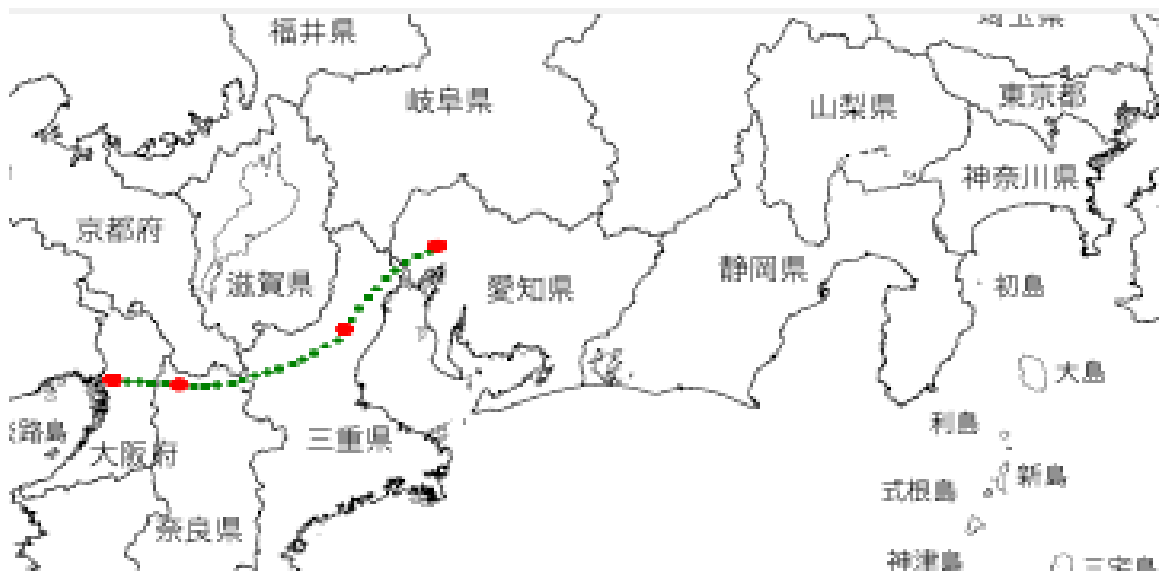


図 4：奈良ルート駅設置位置

また $x_{11} = 1, x_{25} = 1$ の時, $\bar{y}_i = 0$ すなわちカバーされる市区町村の一覧をそれぞれ表 5, 表 6 に, カバーされる市区町村の位置をそれぞれ図 5, 図 6 に示す. 図の作成上, $\bar{y}_i = y(i)$ として表記する.

表 5 $x_{11}=1$ の時カバーされる市区町村

$\bar{y}_i$	市区町村名	人口（万人）
$\bar{y}_{37}$	四日市市	31.1
$\bar{y}_{38}$	菰野町	4.0
$\bar{y}_{39}$	鈴鹿市	19.6
$\bar{y}_{40}$	亀山市	5.0
$\bar{y}_{41}$	津市	28.0

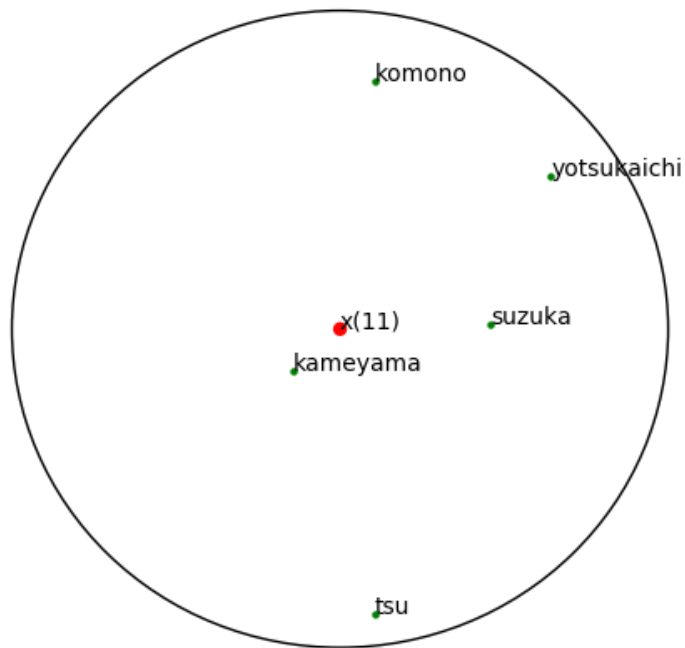


図 5. $x_{11} = 1$ の時カバーされる市区町村の位置

表 6. $x_{25}=1$ の時カバーされる市区町村

$\bar{y}_i$	市区町村名	人口 (万人)
$\bar{y}_{46}$	奈良市	36.0
$\bar{y}_{47}$	桜井市	5.8
$\bar{y}_{48}$	大和高田市	6.6
$\bar{y}_{49}$	広陵町	3.5
$\bar{y}_{50}$	香芝市	7.9
$\bar{y}_{51}$	上牧町	2.3
$\bar{y}_{52}$	河合町	1.8
$\bar{y}_{53}$	王寺町	2.4
$\bar{y}_{54}$	三郷町	2.3
$\bar{y}_{55}$	平群町	1.9
$\bar{y}_{57}$	大和郡山市	8.5
$\bar{y}_{58}$	斑鳩町	1.2
$\bar{y}_{59}$	川西町	0.8
$\bar{y}_{60}$	三宅町	0.8
$\bar{y}_{61}$	天理市	6.6
$\bar{y}_{62}$	橿原市	12.1
$\bar{y}_{79}$	笠置町	0.1
$\bar{y}_{80}$	和束町	0.4
$\bar{y}_{81}$	宇治田原町	0.9
$\bar{y}_{82}$	木津川市	7.8
$\bar{y}_{83}$	精華町	3.7
$\bar{y}_{84}$	井手町	0.8
$\bar{y}_{85}$	京田辺町	7.1
$\bar{y}_{86}$	城陽市	7.4

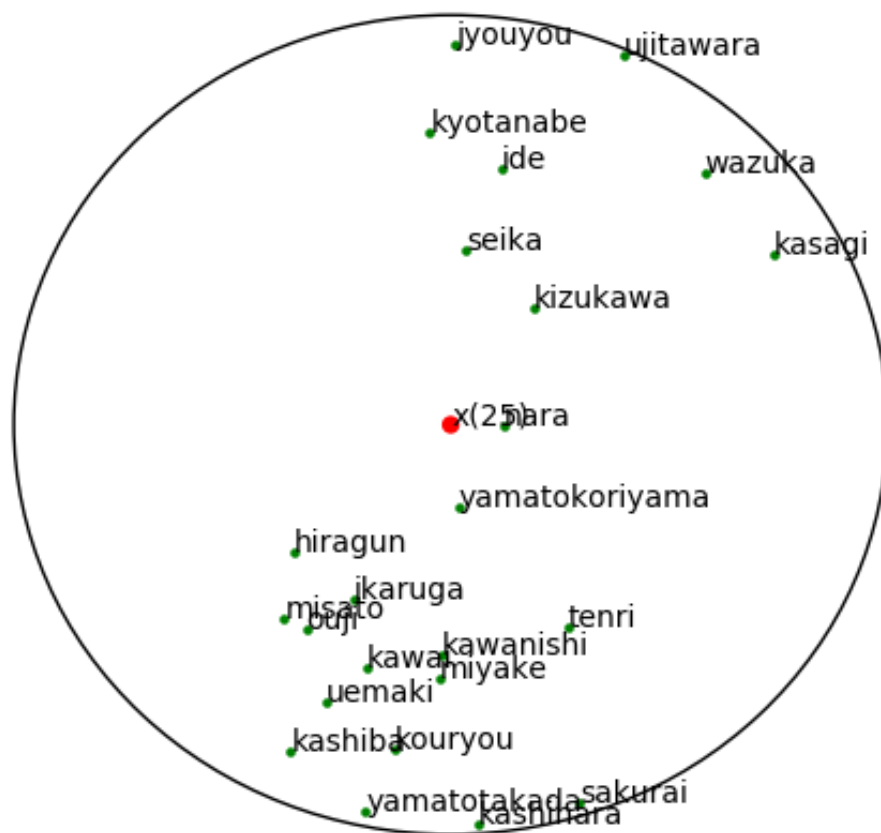


図 6. $x_{25} = 1$ の時カバーされる市区町村の位置

6.1.3 カバーされる人口と人口率

人口を評価方法とした場合、実験結果よりカバーされない人口は 366.7 万人である。すなわち、奈良ルートの場合、カバーされる人口は 1110.4 万人である。次に人口率を評価方法とした場合を考える。今回、ルートの半径 20km 以内に位置する市区町村の人口をどの程度カバーできているかを人口率とする。奈良ルートの半径 20km 以内に位置する市区町村でカバーされない人口は 38.9 万人である。奈良ルート半径 20km 以内に位置する市区町村の総人口は 1149.4 万人なので、カバーされる人口率は 97%である。

6.2 直線ルート

次に直線ルートに関する実験をする．直線ルートは名古屋駅から大阪駅までを直線で結ぶルートとする．直線ルート半径 20km の人口は 1180.1 万人である．

6.2.1 定式化

駅が設置可能な位置である駅配置候補点は名古屋・大阪間に 28 個設置する．駅配置候補点の番号は名古屋駅から大阪駅へ昇順でつける．すなわち x_1 が名古屋駅， x_{28} が大阪駅である．第 3 章をもとに定式化をする．

途中駅は 2 駅で，名古屋・大阪間には合計で 4 駅設置する．

目的関数

$$z = \sum_{i \in I} a_i \bar{y}_i \rightarrow \min,$$

制約条件

$$\sum_{j \in N_i} x_j + \bar{y}_i \geq 1 \quad \forall i \in I \quad (21)$$

$$\sum_{j \in J} x_j = 4 \quad (22)$$

$$x_1 = 1 \quad (23)$$

$$x_{28} = 1 \quad (24)$$

$$x_j = \{0,1\} \quad \forall j \in J \quad (25)$$

$$\bar{y}_i = \{0,1\} \quad \forall i \in I \quad (26)$$

(22)駅数の合計は 4

(23)名古屋駅は必ず設置する

(24)大阪駅は必ず設置する

6.2.2 駅設置位置

実験結果が表 7, 位置を地図上に表したものが図 7 である.

表 7. 直線ルートの実験結果

j	所在地	緯度 (° N)	経度 (° E)
9	新名神高速道路菰野 IC 付近	35.034	136.474
24	大阪府交野市付近	34.777	135.715

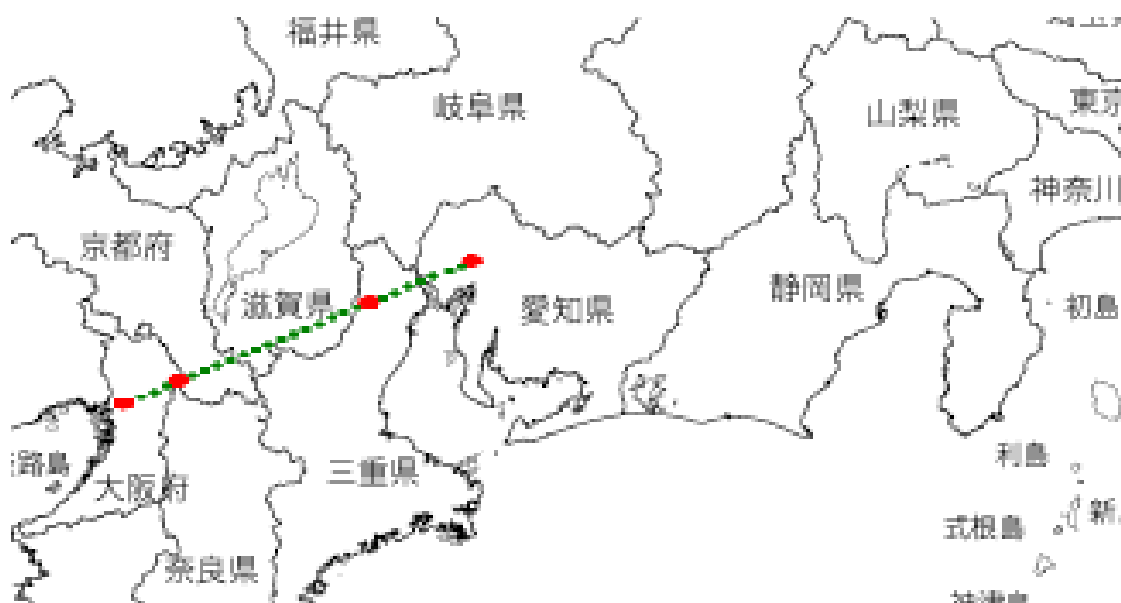


図 7. 直線ルート駅位置地図

また $x_9 = 1, x_{24} = 1$ の時, $\bar{y}_i = 0$ すなわちカバーされる市区町村の一覧を表 8,

表 9

に，カバーされる市区町村の位置をそれぞれ図 8，図 9 に示す．図の作成上， $\bar{y}_i = y(i)$ として表記する．

表 8. $x_9 = 1$ の時カバーされる市区町村

x_i	市区町村名	人口 (万人)
$\bar{y}_{31}$	いなべ市	4.6
$\bar{y}_{32}$	桑名市	14.0
$\bar{y}_{34}$	朝日町	1.0
$\bar{y}_{35}$	川越町	1.5
$\bar{y}_{36}$	東員町	2.6
$\bar{y}_{37}$	四日市市	31.1
$\bar{y}_{38}$	菰野町	4.0
$\bar{y}_{39}$	鈴鹿市	19.6
$\bar{y}_{40}$	亀山市	5.0

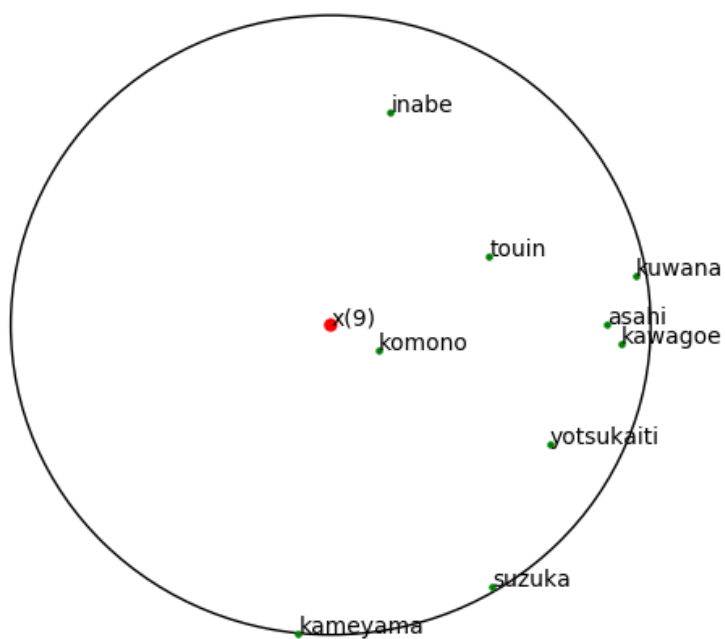


図 8. $x_9 = 1$ の時カバーされる市区町村の位置

表 9. $x_{24} = 1$ の時カバーされる市区町村

$\bar{y}_i$	市区町村名	人口 (万人)
$\bar{y}_{46}$	奈良市	36.0
$\bar{y}_{54}$	三郷町	2.3
$\bar{y}_{55}$	平群町	1.9
$\bar{y}_{57}$	大和高田市	8.5
$\bar{y}_{58}$	斑鳩町	1.2
$\bar{y}_{80}$	和束町	0.4
$\bar{y}_{81}$	宇治田原町	0.9
$\bar{y}_{82}$	木津川市	7.8
$\bar{y}_{83}$	精華町	3.7
$\bar{y}_{84}$	井手町	0.8
$\bar{y}_{85}$	京田辺市	7.1
$\bar{y}_{86}$	城陽市	7.4
$\bar{y}_{87}$	八幡市	7.1
$\bar{y}_{88}$	宇治市	18.5
$\bar{y}_{89}$	久御山町	1.6
$\bar{y}_{90}$	大山崎町	1.5
$\bar{y}_{91}$	長岡京市	8.0
$\bar{y}_{117}$	島本町	3.0

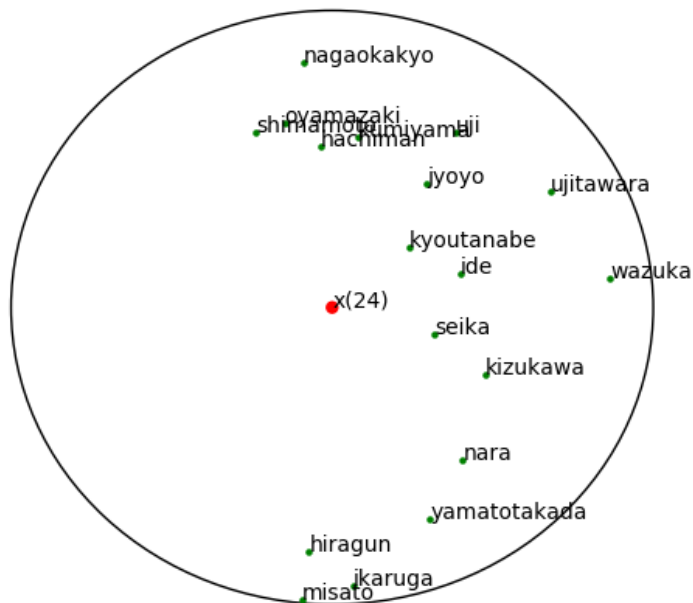


図 9. $x_{24} = 1$ の時カバーされる市区町村の位置

6.2.3 カバーされる人口と人口率

人口を評価方法とした場合，実験結果よりカバーされない人口は 382.1 万人である．すなわち，直線ルートの場合，カバーされる人口は 1095.1 万人である．次に人口率を評価方法とした場合を考える．人口率については奈良ルートの場合と同様とする．直線ルートの半径 20km 以内に位置する市区町村でカバーされない人口は 84.9 万人である．直線ルート半径 20km 以内に位置する市区町村の総人口は 1180.1 万人なので，カバーされる人口率は 93%である

6.3 京都ルート

最後に京都ルートに関する実験をする．京都ルートは主に滋賀県，京都府を通り大阪駅までを結ぶ図 7 のルートとする．駅が設置可能な位置である駅配置候補点は，28 カ所である．また，京都ルート半径 20km の人口は 1276.4 万人である．

6.3.1 定式化

駅が設置可能な位置である駅配置候補点は名古屋・大阪間に 30 個設置する．駅配置候補点の番号は名古屋駅より昇順でつける．すなわち x_1 が名古屋駅， x_{30} を大阪駅とする．第 3 章をもとに定式化をする．

途中駅は 2 駅で，名古屋・大阪間には合計で 4 駅設置する．

目的関数

$$z = \sum_{i \in I} a_i \bar{y}_i \rightarrow \min,$$

制約条件

$$\sum_{j \in N_i} x_j + \bar{y}_i \geq 1 \quad \forall i \in I \quad (27)$$

$$\sum_{j \in J} x_j = 4 \quad (28)$$

$$x_1 = 1 \quad (29)$$

$$x_{30} = 1 \quad (30)$$

$$x_j = \{0,1\} \quad \forall j \in J \quad (31)$$

$$\bar{y}_i = \{0,1\} \quad \forall i \in I \quad (32)$$

(28)駅数の合計は 4

(29)名古屋駅は必ず設置する

(30)大阪駅は必ず設置する

6.3.2 駅設置位置

実験結果が表 10. 京都ルートの実験結果, 位置を地図上に表したものが図 10 である.

表 10. 京都ルートの実験結果

j	所在地	緯度 (° N)	経度 (° E)
6	東名阪自動車 道長島 IC 付近	35.126	136.669
20	滋賀県大津駅 付近	34.973	135.871

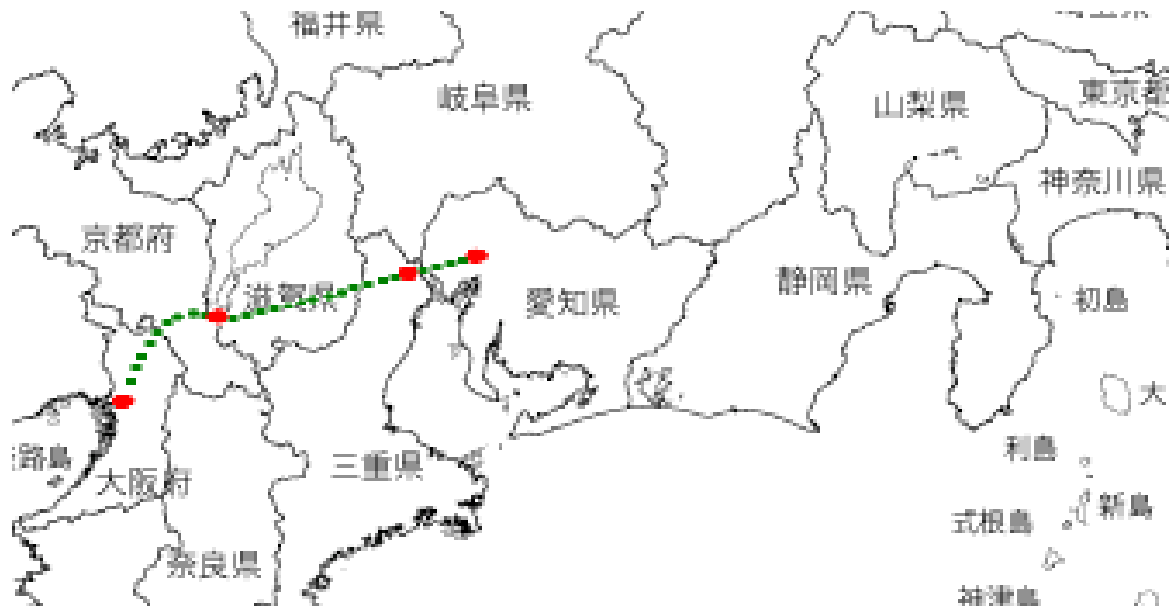


図 10. 京都ルート駅配置地図

また $x_6 = 1, x_{20} = 1$ の時, $\bar{y}_i = 0$ すなわちカバーされる市区町村の一覧表 11,

表 12 に，カバーされる市区町村の位置をそれぞれ図 11，図 12 に示す．図の作成上， $\bar{y}_i = y(i)$ として表記する．

表 11. $x_6 = 1$ の時カバーされる市区町村

$\bar{y}_i$	市区町村名	人口（万人）
$\bar{y}_{28}$	海津市	3.5
$\bar{y}_{30}$	輪之内町	1.0
$\bar{y}_{31}$	いなべ町	4.6
$\bar{y}_{32}$	桑名市	14.0
$\bar{y}_{34}$	朝日町	1.0
$\bar{y}_{35}$	川越町	1.5
$\bar{y}_{36}$	東員町	2.6
$\bar{y}_{37}$	四日市市	31.1
$\bar{y}_{38}$	菰野町	4.0

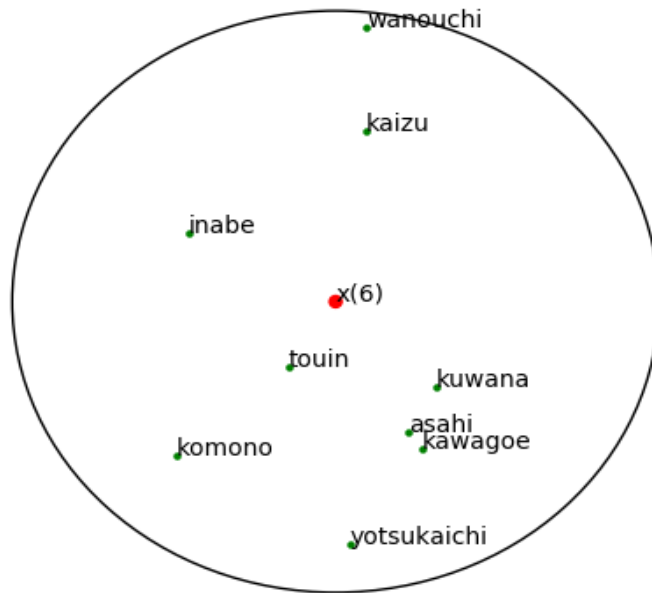


図 11. $x_6 = 1$ の時カバーされる市区町村の位置

表 12. $x_{20} = 1$ の時カバーされる市区町村一覧

$\bar{y}_i$	市区町村名	人口（万人）
$\bar{y}_{69}$	湖南省	5.4
$\bar{y}_{70}$	野洲市	5.0
$\bar{y}_{71}$	守山市	8.0
$\bar{y}_{72}$	草津市	13.7
$\bar{y}_{73}$	栗東市	6.9
$\bar{y}_{74}$	大津市	34.1
$\bar{y}_{80}$	和束町	0.4
$\bar{y}_{81}$	宇治田原町	0.9
$\bar{y}_{85}$	京田辺市	7.1
$\bar{y}_{86}$	城陽市	7.4
$\bar{y}_{87}$	八幡市	7.1
$\bar{y}_{88}$	宇治市	18.5
$\bar{y}_{89}$	久御山町	1.6
$\bar{y}_{90}$	大山崎町	1.5
$\bar{y}_{91}$	長岡京市	8.0
$\bar{y}_{92}$	向日市	5.3
$\bar{y}_{93}$	京都市	147.5

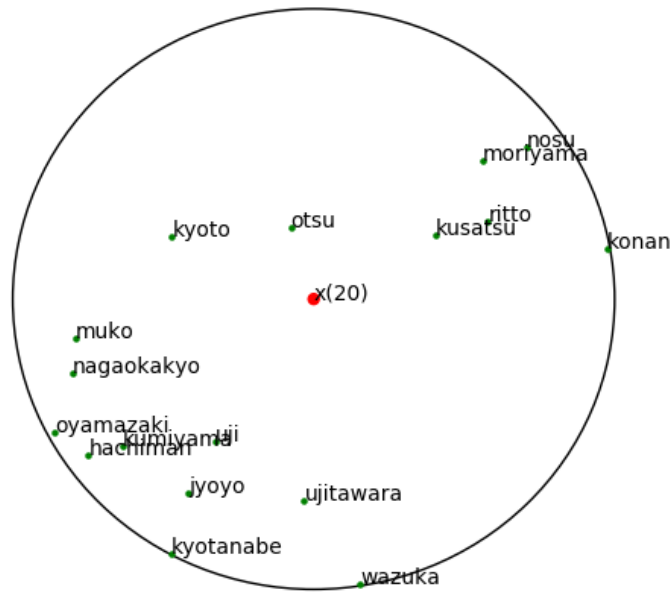


図 12. $x_{20} = 1$ の時カバーされる市区町村の位置

6.3.3 カバーされる人口と人口率

人口を評価方法とした場合、実験結果よりカバーされない人口は 260.6 万人である。すなわち、京都ルートの場合、カバーされる人口は 1216.6 万人である。次に人口率を評価方法とした場合を考える。人口率については奈良ルート、直線ルートの場合と同様とする。京都ルートの半径 20km 以内に位置する市区町村でカバーされない人口は 59.8 万人である。京都ルート半径 20km 以内に位置する市区町村の総人口は 1276.4 万人なので、カバーされる人口率は 95%である。

6.4 実験結果と考察

奈良ルート，直線ルート，京都ルートの3ルートのカバーされる人口と，人口率を表13にまとめる．

表13 3ルートのカバーされる人口とカバーされる人口率

	カバーされる人口 (万人)	カバーされる人口率 (%)
奈良ルート	1110.4	97
直線ルート	1095.1	93
京都ルート	1216.6	95

表13より，最もカバーすることができる人口が多いのは京都ルートである．京都ルートは京都市をカバーしており，京都市の人口が他の市区町村と比較して多くの人口があることから，京都ルートは多くの人口をカバーできていると考えられる．一方，カバーできる人口率が高いのは奈良ルートである．奈良ルートは奈良県と三重県の間が山間部であり，市区町村がルート中間付近にあまり分布していない．このことから，2駅で97%の人口率をカバーできると考えられる．3ルートの中で最もカバー人口率が低いのは直線ルートである．そこで直線ルートについて中間駅数を増やし，3駅として実験をする．

6.5 中間駅を増やした場合の直線ルート

直線ルートに関して，中間駅が3駅の場合について実験していく．

6.5.1 定式化

途中駅が2駅の場合の直線ルートと同様に定式化をする．途中駅は3駅で，名古屋・大阪間には合計で5駅設置する．

目的関数

$$z = \sum_{i \in I} a_i \bar{y}_i \rightarrow \min,$$

制約条件

$$\sum_{j \in N_i} x_j + \bar{y}_i \geq 1 \quad \forall i \in I \quad (33)$$

$$\sum_{j \in J} x_j = 5 \quad (34)$$

$$x_1 = 1 \quad (35)$$

$$x_{28} = 1 \quad (36)$$

$$x_j = \{0,1\} \quad \forall j \in J \quad (37)$$

$$\bar{y}_i = \{0,1\} \quad \forall i \in I \quad (38)$$

(34)駅数の合計は4

(35)名古屋駅は必ず設置する

(36)大阪駅は必ず設置する

6.5.2 駅設置位置

実験結果より求められた途中駅の緯度経度を表 14 に、駅の位置を地図上に示したものを図 13 に示す。

表 14. 途中駅 3 駅設置した場合の実験結果

j	所在地	緯度 (° N)	経度 (° E)
9	新名神高速 道路菰野 IC 付近	35.034	136.474
19	京都府宇治 田原町付近	34.864	135.967
24	大阪府交野 市付近	34.777	135.715

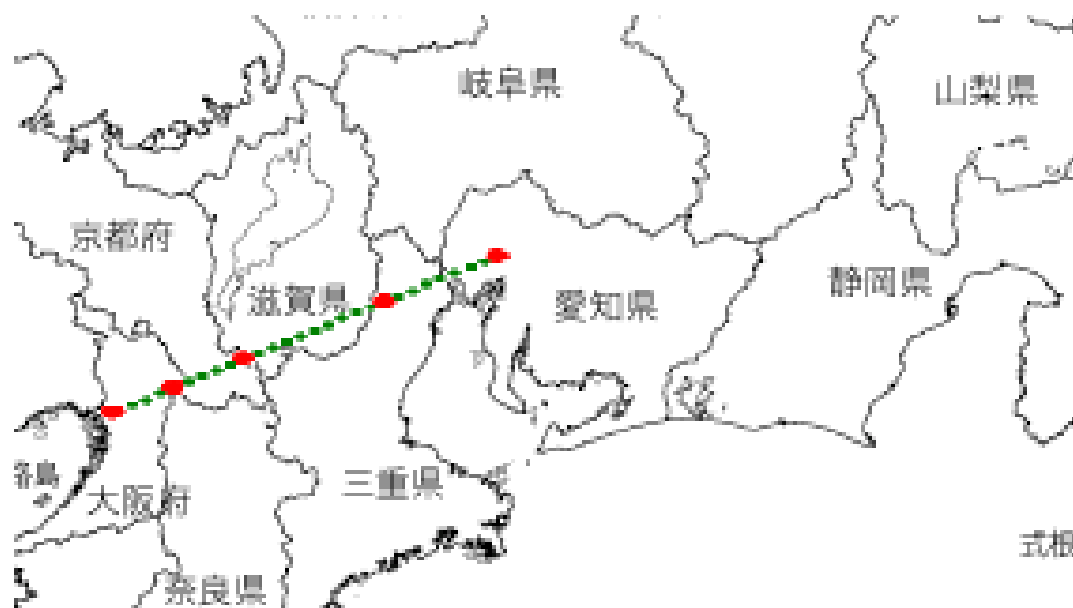


図 13. 中間駅が 3 駅の場合の直線ルート駅配置地図

6.5.3 カバーされる人口と人口率

人口を評価方法とした場合、実験結果よりカバーされない人口は 335.33 万人である。すなわち直線ルートにおいて中間駅を 3 駅設置した場合、カバーされる人口は 1141.92 万人である。次に人口率を評価方法とした場合を考える。人口率については中間駅が 2 駅の場合と同様とする。直線ルートの半径 20km 以内に位置

する市区町村でカバーされない人口は 38.14 万人である。京都ルート半径 20km 以内に位置する市区町村の総人口は 1180.1 万人なので、カバーされる人口率は 97%である。

6.5.4 中間駅が2駅の場合との比較

直線ルートに関して、途中駅が2駅の場合と3駅の場合のカバーされる人口とカバーされる人口率を表15にまとめる。途中駅を3駅とした場合、2駅の場合と比べてカバーされる人口が約50万人増加する。また、カバー率も97%と奈良ルートの場合と同等な割合まで高くなる。直線ルートは他の2ルートと比べ、総距離が短い。さらにカーブが少ないため駅間をより高速走行できる。これらのことより、直線ルートは他の2ルートに比べ所要時間が短くなると考えられる。よって、途中駅を1駅増やすと所要時間が増えるが、多くの需要をカバーできる途中駅3駅設置が直線ルートの場合には最適であると考えられる。

表 15. 直線ルートにおけるカバーされる人口とカバーされる人口率

	途中駅 2 駅	途中駅 3 駅
カバーされる人口（万人）	1095.1	1141.9
カバーされる人口率（%）	93	97

第 7 章 結論

本研究では、リニア中央新幹線において、カバーされる需要を最大化する駅の配置や、カバーされる人口の現計画との比較、またルートごとの比較を行った。リニア中央新幹線は高速輸送を目指しているため、需要を最大化するために駅数を増やすことは所要時間が増えてしまい、あまり好ましくない。そのため今回は最大被覆問題として駅配置の最適化に取り組んだ。品川・名古屋間については、駅数やルートを変えずにカバーされる需要を最大化することを目的とした駅配置を求め、現計画との比較をした。名古屋・大阪間については3つのルートでそれぞれ駅数を固定し、カバーされる需要を最大化することを目的とした駅配置を求め、カバーされる人口と人口率という視点から評価を行った。

はじめに、ルートの決定している品川・名古屋間の実験を行った。JR 東海の現在の計画では品川・名古屋間の途中駅は4駅で計画されているため、本研究では途中駅の数も4駅に固定し、品川駅と名古屋駅を含む6駅を配置した。現在 JR 東海が計画している駅配置ではカバーされる人口は約 1948 万人であるのに対して、実験結果の駅配置でのカバーされる人口は約 2130 万人となり、約 182 万人多くカバーされる人口を増加させることができた。

続いて、詳細なルートが発表されていない名古屋・大阪間の実験を行った。奈良ルート、直線ルート、京都ルートのそれぞれのルートは全て途中駅を2駅で固定し名古屋駅と大阪駅を含む4駅を配置した。評価方法は、一つがカバーされる人口で、もう一つがカバーされる人口をルートの半径 20km 以内の市区町村の総数で割る人口率を用いた。奈良ルートの実験の結果、カバーされる人口が約 1110.4 万人で、人口率は 97%であった。直線ルートの実験の結果、カバーされる人口が約 1095.1 万人で、人口率は 93%であった。京都ルートの実験の結果、カバーされる人口が約 1216.6 万人で、人口率は 95%であった。これらより、カバーされる人口が最も多いルートは京都ルートであるが、人口率が一番高いルートは奈良ルートである。京都ルートは京都市をカバーしており、京都市の人口が他の市区町村と比較して多くの人口があることから、京都ルートは多くの人口をカバーできていると考えられる。また、奈良ルートは奈良県と三重県の間が山間部であり、市区町村がルート中間付近にあまり分布していない。このことから、2駅で97%の人口率をカバーできると考えられる。

さらに、3ルートの中で最もカバー人口率が低いのは直線ルートであり、そこで直線ルートについて中間駅数を増やし、3駅として実験した。結果は、途中駅を3駅とした場合、2駅の場合と比べてカバーされる人口が約 50 万人増加し、カバー率も 97%と奈良ルートの場合と同等な割合まで高くなった。よって直線ルートを採用する場合、途中駅を

1 駅増やすと所要時間が増えるが，多くの需要をカバーできるため，3 駅配置する方が適していると考えられる．

参考文献

- [1] 山梨県立リニア見学センター，リニア中央新幹線について（参照 2021 年 1 月 5 日）.
<https://www.linear-museum.pref.yamanashi.jp/about/shinkansen.html>
- [2] 国土交通省，交通政策審議会，中央新幹線小委員会；平成 23 年 5 月 12 日 第 20 回議事録（参照 2021 年 1 月 5 日）.
<https://www.mlit.go.jp/common/000147462.pdf>
- [3] 東京新聞：2020 年 8 月 30 日，考えるリニア着工なぜ決まった C ルート（上）（参照 2021 年 1 月 5 日）.
<https://www.tokyo-np.co.jp/article/52209>
- [4] SankeiBiz：2013 年 8 月 4 日，JR 東海、京都のリニア誘致に辟易 上から目線の要望に「えっ？」
<https://www.sankeibiz.jp/gallery/news/130804/gll1308041801001-n1.htm>
- [5] 奈良市；リニア中央新幹線概要と誘致の現状（参照 2021 年 1 月 5 日）.
<https://www.city.nara.lg.jp/soshiki/107/10136.html>
- [6] 武者忠彦：“新幹線は都市をどのように変えるのか”，帝国書院，地理・地図資料，2015 年度 1 学期号
https://www.teikokushoin.co.jp/journals/geography/pdf/201501g/03_hsggbl_2015_01g_p03_p06.pdf
- [7] R. Church and C. ReVelle: The maximal covering location problem. Papers in Regional Science, 32 (1974), 101–105.
DOI:10.1007/BF01942293
- [8] 古田壮宏，諸星穂積：“救急車配置のためのシミュレーションと最適化モデル”
http://www.orsj.or.jp/archive2/or65-9/or65_9_484.pdf
- [9] JR 東海；リニア中央新幹線の工事計画 ルート・工事マップ
（参照 2021 年 1 月 5 日）.
<https://linear-chuo-shinkansen.jr-central.co.jp/plan/>
- [10] 京都府；リニア中央新幹線 名古屋・大阪ルート比較（参照 2021 年 1 月 5 日）.
<https://linear-chuo-shinkansen.jr-central.co.jp/plan/>
- [11] 2015 年国勢調査都道府県・市区町村別統計表
https://www.e-stat.go.jp/stat-search/files?page=1&layout=datalist&toukei=00200521&tstat=000001049104&cycle=0&tclass1=000001049105&stat_infid=000031594311&tclass2val=0
- [12] 国土地理院，測量計算（距離と方位角の計算）

<https://vldb.gsi.go.jp/sokuchi/surveycalc/surveycalc/bl2stf.html>

- [13] 公益財団法人，鉄道総合技術研究所；鉄道競合地域における定量的な駅勢力圏設定手法
(参照 2021 年 1 月 5 日).

<https://www.rtri.or.jp/rd/division/rd47/rd4750/rd47500112.html>