

反応拡散方程式を用いた東京近郊における待機児童数の予測モデル

横塚 桃^{*1}, 田畑 智章^{*2}

A Prediction Model for the Number of Children on Nursery School Waiting Lists around Tokyo with Reaction-Diffusion Equations

by

Momo YOKOTSUKA^{*1} and Tomoaki TABATA^{*2}

(received on Mar.30, 2019 & accepted on Jun.6, 2019)

あらまし

近年、東京近郊では共働き世帯の増加に伴い、待機児童数が増加している。特に世田谷区、江戸川区など一部の地域に人気集中しているが、そうした人気も時間と共に変化している。一方、国では待機児童数の予測を行っているものの実際の結果と乖離がある事から、自治体が独自に予測を行っている状況にある。そのため、マクロ視点で東京近郊の待機児童数を予測できるモデルが必要となる。そこで本研究では、保育園を必要とする家庭が保育園選択をする際のメカニズムを明らかにし、数理人口学で用いられる反応拡散方程式モデルを援用して待機児童数のマクロ的な予測を行った。その結果、今後は都市近郊地域の待機児童数の増加が見込まれる事が分かった。

Abstract

In recent years, with the increase of double-income households around Tokyo, the number of children on nursery school waiting lists has increased. In particular, some areas such as Setagaya-ku and Edogawa-ku are popular, and such popularity also changes with time. On the other hand, the government predicts the number of them, but there is a gap from actual results. Consequently, the present situation is that each local government is doing its own prediction. Therefore, a model that can predict the number of them around Tokyo from a macro perspective is needed. In this study, we clarified the mechanism of the selection of nursery schools by families requiring nursery schools, and macro-predicted the number of children on nursery school waiting lists using the reaction-diffusion equation model used in mathematical demographics. As a result, we find that the number of them in the suburbs area will increase in the future.

キーワード: 待機児童, 反応拡散方程式, 数値シミュレーション

Keywords: Children on Nursery School Waiting Lists, Reaction-Diffusion Equations, Numerical Simulation

1. はじめに

日本の待機児童数は2009年に20,000人を超えてから現在に至るまで26,000人との間で増減を繰り返している¹⁾。政府や自治体は待機児童の削減に向けて施策を行っており、2008年からの10年間で保育園の受け入れ人数は50万人増加した。しかし、それでも大幅な削減には至らず、2018年現在も約20,000人の待機児童がいる²⁾。これ以外にも隠れ待機児童がいる事も考慮すると今後も削減に向けた対策が必要であるといえる。

厚生労働省の調査³⁾によると、日本全体の待機児童数のうち半数を関東地方が占めていた。中でも東京都の待機児童数が特に多く、関東地方全体の約7割を占めている。東京都の次に多いのは埼玉県、千葉県といった東京都からのアクセスが良い地域だった。東京都

は日本全体の待機児童数の中でも高い割合を占めているうえ、今後も人口の集中により待機児童数の増加が見込まれる。

また、東京都の福祉保健局⁴⁾によると現在の東京の待機児童数のうち約7割を23区が占めている。中でも世田谷区、江戸川区は待機児童数が特に多く、400人を超えている。その一方で豊島区、千代田区、杉並区は待機児童が存在しない。この事から東京都の一部地域に置いて保育園を必要とする家庭が集中している状況だといえる。

東京都では、2013年に都内で0~5歳児を持つ保護者1,500人を対象に国が定めたニーズ調査を実施した。これを元に2018年度までの予測を出したが、実際の需要との乖離が年々大きくなっていった。これを受け、世田谷区を始めとする一部の自治体では独自に予測を行い、待機児童削減に向けて取り組みを行っている。しかし、予測を行っていない地域においては待機児童の予測に関する指標がない状態である。これらの事から、マクロ視点で東京都23区の待機児童数を予測できる指標が必要だと考えた。

次に本研究の下準備として現在保育園に子どもを通わせている家庭、もしくは通わせたいがまだ入園できていない家庭20組にどのような基準で保育園を選

*1 情報通信学部経営システム工学科
School of Information and Telecommunication
Engineering, Department of Management
Systems Engineering

*2 情報通信学部経営システム工学科 准教授
School of Information and Telecommunication
Engineering, Department of Management
Systems Engineering, Associate Professor

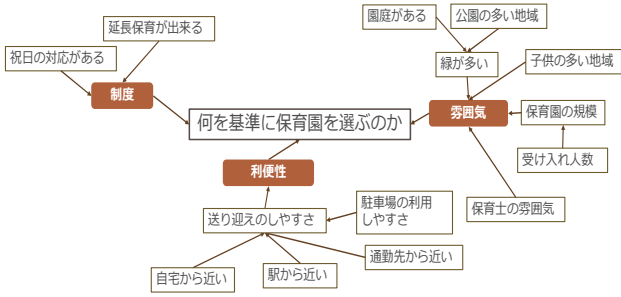


Fig.1 Nursery school selection criteria

んでいるのかヒアリングを行った。その結果、Fig.1に示すように①保育園の制度 ②利便性 ③雰囲気の3つの観点から意見が出た。親の送り迎えのしやすさ、保育園の環境の両面を踏まえて選択している家庭が多い事が分かった。

また、東京都23区のうち待機児童の多い地域上位5区(江戸川区, 世田谷区, 足立区, 大田区, 目黒区)の特徴について考えてみると、5区中の4区が23区内で公園の多い上位5区以内に入っていた⁵⁾他、地価の安い上位3区に江戸川区, 足立区, 大田区が入っていた⁶⁾。この事から公園が多い、地価が安いといった点が待機児童の多い地域の特徴であると考えられる。

2. 従来研究

2.1 両性人口モデルにおける反応拡散方程式を用いた人口分布の表現について

人は何らかの魅力に対して反応し移動するという仮定の下、行松ら⁷⁾は大腸菌の数理モデル⁸⁾を人口問題に応用し、過密化、過疎化といった人口問題特有のふるまいを反応拡散系で表現する人口動態モデルを提案した。さらにこのモデルを両性人口動態モデル⁹⁾に適用し、独身男性、独身女性、夫婦の支配方程式を用いて属性別の複雑な移動現象を数値シミュレーションによって示した。

ここでは文献⁷⁾で提案されている人口動態モデルについて紹介する。先行研究では都市中心部や人口密度の多い場所は人にとっての魅力が多い場所とし、その魅力を社会的要因と地理的要因に分けて考えている。社会的要因とは地価のように時間と場所に依存する魅力である。人口密度の変化と共に変わるものであり、人口が増加しすぎると低下し、人口が減少しすぎると上昇するものを指す。一方で地理的要因とは場所のみに依存し、時間には依存しない魅力である。例として土地の標高が上げられる。山地と平地を比較した時に、人は平地の方が住みやすく魅力が高いと考えることが出来る。

領域 Ω における、時刻 t 、位置 x での年齢 a の独身男性の人口密度関数を式(1)、年齢 b の独身女性の人口密度関数を式(2)、夫婦歴 c の年齢 a の夫と年齢 b の妻の夫婦の人口密度関数を式(3)に示す。

$$u \equiv u(t, a, x) \quad (1)$$

$$v \equiv v(t, b, x) \quad (2)$$

$$p \equiv p(t, a, b, c, x) \quad (3)$$

それぞれの社会的要因を $\tilde{u}_1(t, x), \tilde{v}_1(t, x), \tilde{p}_1(t, x)$ 、地理的要因を $\tilde{u}_2(x), \tilde{v}_2(x), \tilde{p}_2(x)$ とし、各々の魅力指数を式(4)~式(6)のように表す。

$$\tilde{u} = \tilde{u}_1(t, x) + \tilde{u}_2(x) \quad (4)$$

$$\tilde{v} = \tilde{v}_1(t, x) + \tilde{v}_2(x) \quad (5)$$

$$\tilde{p} = \tilde{p}_1(t, x) + \tilde{p}_2(x) \quad (6)$$

以上を踏まえ、両性人口動態モデルの支配方程式を定式化している。式(7)~式(9)は独身男性、独身女性、夫婦それぞれの両性人口動態モデルを定式化したものである。また、式(10)~式(12)はそれぞれ独身男性、独身女性、夫婦の魅力指数関数である。ここで w は独身男性 u 、独身女性 v 、夫婦 p の総和を表している。 $\gamma_1, \gamma_2, \gamma_3$ は独身男性・独身女性・夫婦に関する走化性の強度(反応の起こりやすさ)、 $\alpha_{\tilde{u}}, \alpha_{\tilde{v}}, \alpha_{\tilde{p}}$ は独身男性・独身女性・夫婦に関する指数密度の上昇速度、 $\beta_{\tilde{u}}, \beta_{\tilde{v}}, \beta_{\tilde{p}}$ は独身男性・独身女性・夫婦に関する魅力指数の低下速度、 $K_{\tilde{u}}, K_{\tilde{v}}, K_{\tilde{p}}$ は独身男性・独身女性・夫婦に関する魅力の上限を制御する値、 $D_{\tilde{u}}, D_{\tilde{v}}, D_{\tilde{p}}$ は独身男性・独身女性・夫婦に関する魅力指数の拡散係数を表している。 $d_1 = d_1(t, a, x)$ は男性死亡率、 $d_2 = d_2(t, b, x)$ は女性の死亡率、 $\sigma = \sigma(t, a, b, c, x)$ は夫婦の離婚率を表す。

$$\begin{aligned} \frac{\partial u}{\partial t} + \frac{\partial u}{\partial a} &= D_u \nabla_x^2 u - \gamma_1 \nabla_x \cdot \left\{ \frac{\nabla_x \tilde{u}}{(\tilde{u}+1)^2} u \right\} \\ &\quad - d_1 u - \int_0^\infty p(t, a, b, 0, x) db \\ &\quad + \int_0^\infty \int_0^\infty \{ \sigma + (1 - d_1) d_2 \} p db dc \end{aligned} \quad (7)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial v}{\partial t} + \frac{\partial v}{\partial b} &= D_v \nabla_x^2 v - \gamma_2 \nabla_x \cdot \left\{ \frac{\nabla_x \tilde{v}}{(\tilde{v}+1)^2} v \right\} \\ &\quad - d_2 v - \int_0^\infty p(t, a, b, 0, x) da \\ &\quad + \int_0^\infty \int_0^\infty \{ \sigma + (1 - d_2) \} p da dc \end{aligned} \quad (8)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial p}{\partial t} + \frac{\partial p}{\partial a} + \frac{\partial p}{\partial b} + \frac{\partial p}{\partial c} &= D_p \nabla_x^2 p - \gamma_3 \nabla_x \cdot \left\{ \frac{\nabla_x \tilde{p}}{(\tilde{p}+1)^2} p \right\} - \{ d_1 (1 - d_2) \\ &\quad + (1 - d_1) d_2 + d_1 d_2 + \sigma \} p \end{aligned} \quad (9)$$

$$\frac{\partial \tilde{u}}{\partial t} = D_{\tilde{u}} \nabla_x^2 \tilde{u} + \alpha_{\tilde{u}} \left\{ 1 - \frac{w}{(K_{\tilde{u}}+w)} \right\} \tilde{u} - \beta_{\tilde{u}} \tilde{u} \quad (10)$$

$$\frac{\partial \tilde{v}}{\partial t} = D_{\tilde{v}} \nabla_x^2 \tilde{v} + \alpha_{\tilde{v}} \left\{ 1 - \frac{w}{(K_{\tilde{v}}+w)} \right\} \tilde{v} - \beta_{\tilde{v}} \tilde{v} \quad (11)$$

$$\frac{\partial \tilde{p}}{\partial t} = D_{\tilde{p}} \nabla_x^2 \tilde{p} + \alpha_{\tilde{p}} \left\{ 1 - \frac{w}{(K_{\tilde{p}}+w)} \right\} \tilde{p} - \beta_{\tilde{p}} \tilde{p} \quad (12)$$

数値シミュレーションを行うにあたり、人口動態現象の数値モデルを定式化し、計算する上で十分な規模の一次元領域 $\Omega \equiv [1, r]$ を計算領域として導入する。領域 Ω を離散近似するために整数 $l > 0$ と自然数 M を選び $Ml = r$ となるようにする。添数 $m = 1, 2, \dots, M-1, M$ を用いて格子間隔 l の格子点 (ml) で構成される離散計算領域を以下の様に定義している。

$$\Omega_l \equiv \{ (ml); m = 1, 2, \dots, M-1, M \}$$

また、各変数、各パラメーターを離散近似するために演算子 \sim を用いて $A \sim B$ を B は A の離散近似であると定義する。すると、時間に関する変数は $t \sim nt$ 、領域に関する変数 x は $x \sim ml$ となる。 $u(t, x), \tilde{u}_1(t, x), \tilde{u}_2(x)$

を $u(t, x) \sim u_m^n, \tilde{u}_1(t, x) \sim \tilde{u}_{1,m}^n, \tilde{u}_2(x) \sim \tilde{u}_{2,m}^n$ ($\tilde{u}_m^n = \tilde{u}_{1,m}^n + \tilde{u}_{2,m}^n$) と離散化する. 離散計算領域 Ω_l における人口密度関数と魅力指数関数それぞれの時間変化を表す式は(13), (14)のように離散化している.

$$u_m^{n+1} = D_u(u_{m+1}^n - 2u_m^n + u_{m-1}^n) \frac{h}{l^2} - \frac{\gamma}{4(\tilde{u}_m^n + 1)^2} \{(u_{m+1}^n - u_{m-1}^n)(\tilde{u}_{m+1}^n - \tilde{u}_{m-1}^n)\} \frac{h}{l^2} + \frac{\gamma}{2(\tilde{u}_m^n + 1)^3} \{u_m^n (\tilde{u}_{m+1}^n - \tilde{u}_{m-1}^n)^2\} \frac{h}{l^2} - \frac{\gamma}{(\tilde{u}_m^n + 1)^2} u_m^n (\tilde{u}_{m+1}^n - 2\tilde{u}_m^n + \tilde{u}_{m-1}^n) \frac{h}{l^2} + u_m^n \quad (13)$$

$$\tilde{u}_m^{n+1} = D_u(\tilde{u}_{m+1}^n - 2\tilde{u}_m^n + \tilde{u}_{m-1}^n) \frac{h}{l^2} + \alpha h \left(1 - \frac{u_m^n}{K + u_m^n}\right) \tilde{u}_m^n - \beta h \tilde{u}_m^n + \tilde{u}_m^n \quad (14)$$

魅力指数の初期値については, 独身男性, 独身女性は夫婦と違い都市中心部に集まると仮定し, 独身男性, 独身女性の走化性の強度を夫婦より高く設定している ($\gamma_1, \gamma_2 = 40, \gamma_3 = 30$). 領域内の人口分布の初期値については計算領域全体において $u_{a,m}^0 = v_{b,m}^0 = p_{a,b,c,m}^0 = 100$ とする. また, 独身男性, 独身女性の魅力指数の初期値はいずれも領域の中心部の魅力が高く, 中心から両端へ徐々に魅力が低くなるようにする. 夫婦については領域の中心部よりも, その周辺部の魅力が高くなるように設定する. 具体的には以下の式(15),(16),(17)を与えている.

$$\tilde{u}_{1,m}^0 = \tilde{v}_{1,m}^0 = 15 \exp\{-(m-26)^2/100\} + 5 \quad (15)$$

$$\tilde{p}_{1,m}^0 = 10 \exp\{-(m-16)^2/80\} + 10 \exp\{-(m-36)^2/80\} + 10 \quad (16)$$

$$\tilde{u}_{2,m}^0 = v_{2,m}^0 = \tilde{p}_{2,m}^0 = 5 \exp\{-(m-26)^2/100\} + 5 \quad (17)$$

3. 本研究の提案

3.1 提案の概要とシミュレーションの構造

本研究では行松ら⁷⁾の研究を元にして東京都 23 区の待機児童数の予測モデルを提案し, Excel 上でシミュレーションを行う.

また, シミュレーションを行うにあたって地理的要因と社会的要因の項目をさらに細分化した. 具体的には 1 章で述べたヒアリングや待機児童数が多い地域の特徴を元に待機児童数と関連のある項目をピックアップした. それぞれの項目と待機児童数で相関を取り, 実際のシミュレーションに取り入れる項目を決定した.

先行研究の人口動態モデルを本研究に置き換えると次のようになる. 式(18)は待機児童数の変化に関する方程式で, 式(19)は魅力指数の変化に関する方程式である.

$$\frac{\partial u}{\partial t} = D_u \nabla_x^2 u - \gamma \nabla_x \cdot \left\{ \frac{\gamma_x \tilde{u}}{(\tilde{u} + 1)^2} u \right\} \quad (18)$$

$$\frac{\partial \tilde{u}}{\partial t} = D_{\tilde{u}} \nabla_x^2 \tilde{u} + \alpha \left(1 - \frac{u}{K + u}\right) \tilde{u} - \beta \tilde{u} \quad (19)$$

領域 Ω における時間 t と 23 区それぞれの位置 x での待機児童関数を $u \equiv u(t, x)$, 魅力指数関数を $\tilde{u} \equiv$

$\tilde{u}(t, x)$ とした. ここで γ は走化性の強度, α は魅力指数密度の上昇速度, β は魅力指数密度の低下速度, K は魅力の上限を制御する値, $D_u, D_{\tilde{u}}$ 待機児童, 魅力指数に関する拡散係数を表す.

また, シミュレーションで利用する離散式についても先行研究の式を援用する. 式(20)は待機児童数の変化についての離散式, 式(21)は魅力指数の変化についての離散式を表す.

$$u_m^{n+1} = D_u(u_{m+1}^n - 2u_m^n + u_{m-1}^n) \frac{h}{l^2} - \frac{\gamma}{4(\tilde{u}_m^n + 1)^2} \{(u_{m+1}^n - u_{m-1}^n)(\tilde{u}_{m+1}^n - \tilde{u}_{m-1}^n)\} \frac{h}{l^2} + \frac{\gamma}{2(\tilde{u}_m^n + 1)^3} \{u_m^n (\tilde{u}_{m+1}^n - \tilde{u}_{m-1}^n)^2\} \frac{h}{l^2} - \frac{\gamma}{(\tilde{u}_m^n + 1)^2} u_m^n (\tilde{u}_{m+1}^n - 2\tilde{u}_m^n + \tilde{u}_{m-1}^n) \frac{h}{l^2} + u_m^n \quad (20)$$

$$\tilde{u}_m^{n+1} = D_{\tilde{u}}(\tilde{u}_{m+1}^n - 2\tilde{u}_m^n + \tilde{u}_{m-1}^n) \frac{h}{l^2} + \alpha h \left(1 - \frac{u_m^n}{K + u_m^n}\right) \tilde{u}_m^n - \beta h \tilde{u}_m^n + \tilde{u}_m^n \quad (21)$$

ここで n は時間の差分近似, m は領域の差分近似を表す. また, h は時間の差分刻み幅, l は領域の差分刻み幅を表す.

3.2 シミュレーションの前提条件

<シミュレーション領域>

先行研究同様に一次元領域 $\Omega \equiv [1, r]$ を計算領域として導入した. 領域 Ω を離散近似するために整数 $l > 0$ と自然数 M を選び, $Ml = r$ となるようにする. 添数

$$ml = 1, 2, \dots, M - 1, M$$

を用いて格子間隔 l の格子点 (ml) で構成される計算領域

$$\Omega_l \equiv \{(ml); m = 1, 2, \dots, M - 1, M\}$$

を定義する. 時間と領域の離散近似をするにあたって, 演算子 \sim を用いて $\langle A \sim B \rangle$ を B は A の離散近似である \rangle と定義する. この定義に従うと時間に関する変数は $t \sim nh$ となり, 領域に関する x は離散計算領域の格子点で離散近似されて $x \sim ml \in \Omega_l$ となる. また, $u(t, x), \tilde{u}_1(t, x), \tilde{u}_2(t, x), \tilde{u}_3(t, x), \tilde{u}_4(x), \tilde{u}_5(x)$ を $u(t, x) \sim u_m^n, \tilde{u}_1(t, x) \sim \tilde{u}_{1,m}^n, \tilde{u}_2(t, x) \sim \tilde{u}_{2,m}^n, \tilde{u}_3(t, x) \sim \tilde{u}_{3,m}^n, \tilde{u}_4(x) \sim \tilde{u}_{4,m}, \tilde{u}_5(x) \sim \tilde{u}_{5,m}$ と離散近似した. ここで $\tilde{u}_1, \tilde{u}_2, \tilde{u}_3$ を時間と場所に依存する社会的要因, \tilde{u}_4, \tilde{u}_5 を場所だけに依存する地理的要因とした. 本研究では東京都 23 区を領域対象とするため, 格子点の数を $M=23$ とし, 領域の差分刻み幅を $l=5$, 時間の差分刻み幅を $h=1$ とした.

<各区の位置関係の決定>

シミュレーション領域における 23 区それぞれの位置関係を Table1 の様に決定した.

区は $m=0 \sim 22$ の 23 個の格子点で構成し, 千代田区 ($x=14.12$) をその中心とした. また, 千代田区よりも西側にある区は距離(km)分だけ減算し, 東側にある区は距離(km)分だけ加算して, 23 区それぞれについて計算した.

例えば江東区の場合、中心から 6.76km 離れており千代田区よりも東側にある。そのため位置(x)は次のような計算になる。

$$\text{江東区: } 14.12 + 6.76 = 20.88$$

<境界条件>

待機児童関数と魅力指数関数の境界条件については先行研究同様に Neumann 条件を利用する。Neumann 条件とは境界での流入・流出がなく、勾配が 0 の時に利用される条件である。Neumann 条件で使われる式のうち流入に関する式(22)を練馬区に、流出に関する式(23)を葛飾区に適用する。

$$\frac{u_{m+1}^n - u_m^n}{h} = u(\tilde{u}) \quad (22)$$

$$\frac{u_m^n - u_{m-1}^n}{h} = u(\tilde{u}) \quad (23)$$

3.3 魅力指数に取り入れる項目

社会的要因と地理的要因それぞれに取り入れる項目については 1章で明らかになった保育園選択のメカニズムを元に決定した。23区それぞれにおける項目の値と待機児童数の相関を取り、結果が 0.3 以上のものを魅力指数として取り入れた。その結果、地理的要因には公園の数と乗降客数の 2つの項目を、社会的要因には保育園密度、昼夜人口比率(夜間の人口/昼間の人口)、0~5歳の人口の 3つの項目を取り入れる事とした。

Table1 The position of each wards

	m	中心からの距離(km)	位置(x)
練馬区	0	14.12	0.00
大田区	1	13.56	0.56
世田谷区	2	11.96	2.16
板橋区	3	11.87	2.25
杉並区	4	11.45	2.67
品川区	5	8.89	5.23
目黒区	6	8.78	5.34
中野区	7	8.76	5.36
豊島区	8	6.40	7.72
渋谷区	9	5.69	8.43
新宿区	10	4.46	9.66
港区	11	4.18	9.94
千代田区	12	0	14.12
中央区	13	3.01	17.13
文京区	14	3.35	17.47
台東区	15	4.19	18.31
北区	16	5.00	19.12
墨田区	17	6.21	20.33
荒川区	18	6.26	20.38
江東区	19	6.76	20.88
足立区	20	8.00	22.12
江戸川区	21	9.68	23.80
葛飾区	22	11.58	25.70

4. Excel シミュレーション

4.1 地理的要因, 社会的要因の初期値を決定

<理論値の作成>

魅力指数に取り入れる項目それぞれにおける初期値を決め、それを足し合わせて社会的要因, 地理的要因の初期値を決定する。なお、初期値の決定にあたり先行研究の夫婦の数値シミュレーションにおける社会的要因, 地理的要因の初期値を用いて理論値を作成し、本研究で扱うデータがそれに近くなるように項目ごとのパラメーターを調整した。

理論値の作成にあたって先行研究で 51 個だった格子点を 23 個にし、x(位置)についても千代田区からの距離を用いた。式(24),(25)はそれぞれ社会的要因, 地理的要因の理論値を作成するために利用した数式である。社会的要因は現在の傾向を踏まえ、中心の千代田区が低く、板橋区, 江戸川区といった都市郊外の指数が高くなるようにパラメーターを設定した。地理的要因は中心の千代田区が一番高くなるようにパラメーターを設定した。

$$\tilde{u}_{1,m}^0 = 15 \exp\left\{-\frac{(x - 2.25)^2}{30}\right\} + 15 \exp\left\{-\frac{(x - 23.8)^2}{30}\right\} + 5 \quad (24)$$

$$\tilde{u}_{2,m} = 5 \exp\{- (x - 14.12)^2 / 100\} + 5 \quad (25)$$

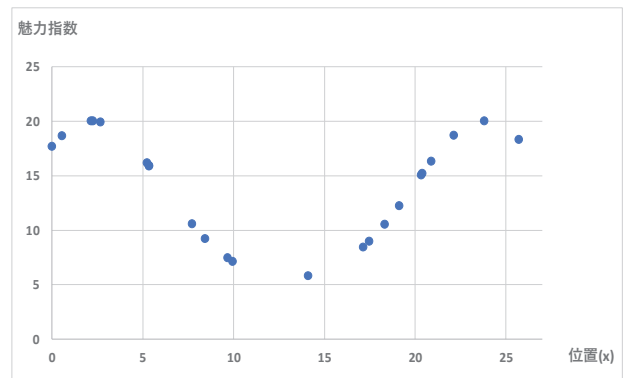


Fig.2 Theoretical value (social factors)

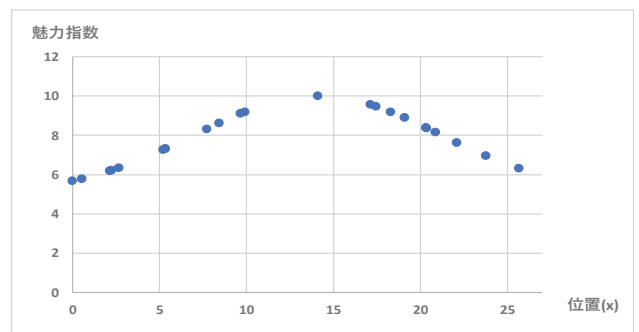


Fig.3 Theoretical value (geographic factors)

<社会的要因の初期値>

保育園密度, 0~5歳の人口, 昼夜人口比率(夜間の人口量)を社会的要因の項目として取り入れる。式(26)

は初期値の算出に利用した式である．ここで $\tilde{u}_{1,m}^0$ を保育園密度を表す指数の初期値， $\tilde{u}_{2,m}^0$ を子どもの数を表す指数の初期値， $\tilde{u}_{3,m}^0$ を夜間の人口量を表す指数の初期値とする．また $\tilde{u}_{1,m}^0$ ， $\tilde{u}_{2,m}^0$ ， $\tilde{u}_{3,m}^0$ それぞれのデータにおいて千代田区よりも東側で一番高い数値を a ，西側で最も高い数値を b に代入した．また Excel のソルバー機能を使い，理論値との差が小さくなるようにパラメーターの c ， d ， e を調整した．扱うデータについては単位をそろえる為にデータを数倍に調節して利用する．

$$\tilde{u}_{1,m}^0, \tilde{u}_{2,m}^0, \tilde{u}_{3,m}^0 = c \exp\left\{-\frac{(x-a)^2}{d}\right\} + c \exp\left\{-\frac{(x-b)^2}{d}\right\} + e \quad (26)$$

保育園密度(0~5歳の子供の数⁸⁾/保育園数)の初期値を算出する式を(27)に記述する． x には各地点における保育園密度を1000倍したものを代入した．また a (東側で最も多い保育園密度)には5.28, b (西側で最も多い保育園密度)には5.64, c には0.01, d には45.43, e には0.06を代入した．

$$\begin{aligned} \tilde{p}_{1,m}^0 &= 0.01 \exp\left\{-\frac{(x-5.28)^2}{45.43}\right\} \\ &+ 0.01 \exp\left\{-\frac{(x-5.64)^2}{45.43}\right\} + 0.06 \end{aligned} \quad (27)$$

0~5歳の人口¹¹⁾の初期値を算出する式を(28)に記述する． x には各地点における子供の数を1/1000倍したものを代入． a (東側で最も多い子供の数)=3.77, b (西側で最も多い子供の数)=3.05, $c=5.0$, $d=5.1$, $e=1.0$ を代入した．

$$\tilde{p}_{2,m}^0 = 5 \exp\left\{-\frac{(x-3.77)^2}{5.1}\right\} + 5 \exp\left\{-\frac{(x-3.05)^2}{5.1}\right\} + 1 \quad (28)$$

昼夜人口比率¹²⁾(夜間の人口/昼間の人口)の初期値を算出する式を(29)に記述する． x には各地点における昼夜人口比率を10倍したものを代入． a (東側で最も多い昼夜人口比率)=11.75, b (西側で最も多い昼夜人口比率)=12.13, $c=2.0$, $d=30.0$, $e=6.0$ を代入．

$$\tilde{p}_{3,m}^0 = 2 \exp\left\{-\frac{(x-11.75)^2}{30}\right\} + 2 \exp\left\{-\frac{(x-12.13)^2}{30}\right\} + 6 \quad (29)$$

3つの魅力指数を合計した結果, Fig.4のような結果になった．都市中心部である千代田区($x=14.12$)の値が最も低く, 中心から離れるにつれ魅力の高い分布になった．

<地理的要因>

公園の数, 乗降客数を地理的要因として取り入れる．式(30)に利用した式を記述する．

$$\tilde{p}_{4,m}^0, \tilde{p}_{5,m}^0 = g \exp\left\{-\frac{(x-f)^2}{h}\right\} + i \quad (30)$$

ここで $\tilde{p}_{4,m}^0$ を公園の数を表す指数の初期値， $\tilde{p}_{5,m}^0$ を乗降客数を表す指数の初期値とする．また $\tilde{p}_{4,m}^0$ ， $\tilde{p}_{5,m}^0$ それぞれにおいてデータの中で一番高い数値を f に代入した．また，社会的要因の時と同様に Excel のソルバー機能を使い，理論値との差が小さくなるようにパラメーターの g ， h ， i で調節した．扱うデータについては単位をそろえる為に数倍して利用する．それぞれの項目の魅力指数を以下に示す．

公園の数⁵⁾についての初期値を求める為に式(31)を利用する． x には各地点における公園の数を1/100倍したものを代入． f (最も多い公園の数)=6.88, $g=0.1$, $h=100.0$, $i=0.1$ を代入．

$$\tilde{p}_{4,m} = 0.1 \exp\left\{-\frac{(x-6.88)^2}{100}\right\} + 0.1 \quad (31)$$

乗降客数についての初期値を求める為に式(32)を利用する． x には各地点における乗降客数を1/100000倍したものを代入． f (最も多い乗降客数)=7.787, $g=9.5$, $h=133.4$, $i=0.1$ を代入．

$$\tilde{p}_{5,m} = 9.5 \exp\left\{-\frac{(x-7.787)^2}{133.4}\right\} + 0.1 \quad (32)$$

それぞれの魅力指数を合計した結果, 以下の Fig.5のような結果になる．都市中心部である千代田区の魅力が最も高く, 端になるにつれて魅力が低くなる分布になった．

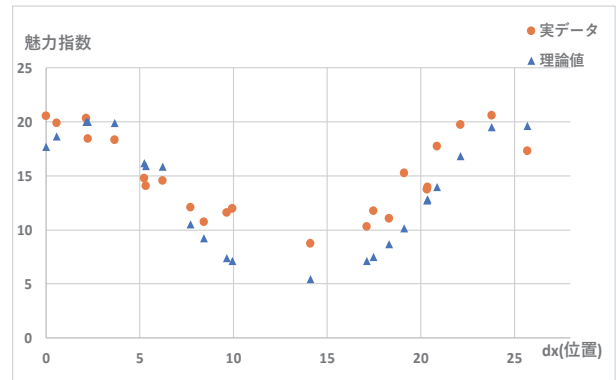


Fig.4 Attractiveness index (social factors)

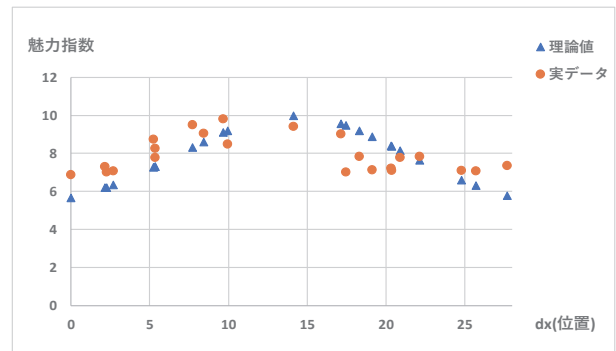


Fig.5 Attractiveness index(geographic factors)

4.2 時系列ごとの魅力指数の算出

社会的要因についての魅力指数を時系列ごとに算出し, 地理的要因の値を各時点における社会的要因に加算したものを魅力指数とする．時系列ごとの社会的要因については3章で記述した式(21)を用いて $t=400$ まで計算を行った．

それぞれ時間の差分刻み幅を $h=1$, 領域の差分刻み幅を $l=5$ に設定した．パラメーターについては D_u に0.4, h に1, l に5, α に0.001, K に20, β に0.00028を代入した．

4.3 時系列ごとの待機児童数の算出

式(20)を用いて時系列ごとの人口を算出した。パラメーターについては D_u に0.1, h に1, l に5, r に30を代入した。 $t=400$ まで計算すると Fig.6 のような分布になった。ばらつきのあった待機児童数が時間と共に平準化された。

$t=0$ のときの分布を Fig.7 に示す。江戸川区, 世田谷区の待機児童数が特に多く, 千代田区, 杉並区, 豊島区においては待機児童数が0人の状態にある。都市中心から離れた地域の待機児童数が多い傾向にある。

$t=400$ の時の分布を Fig.8 に示す。全体の待機児童数は $t=0$ の時と同じだが, 平準化された事により顕著に待機児童の多い地域がなくなった。また, 都市中心部は低く, 都市中心から離れるにつれて待機児童が多くなる傾向自体は変わらなかった。

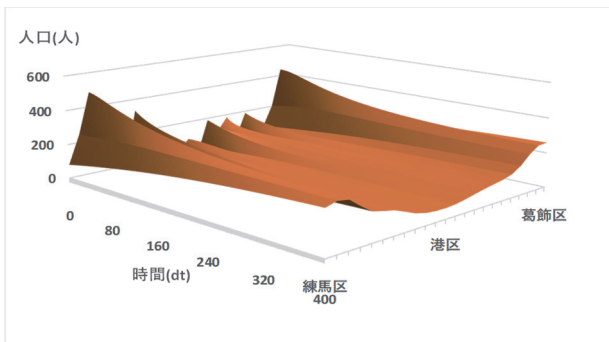


Fig.6 Time series distribution of the number of children on nursery school waiting lists

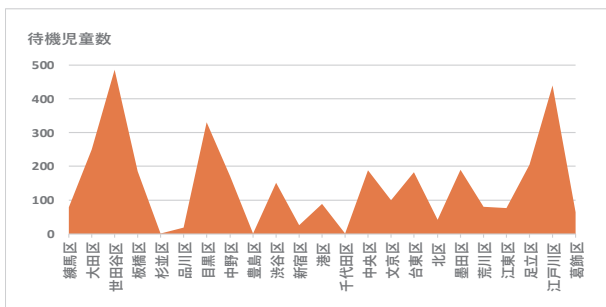


Fig.7 The distribution of the number of children on nursery school waiting lists ($t=0$)

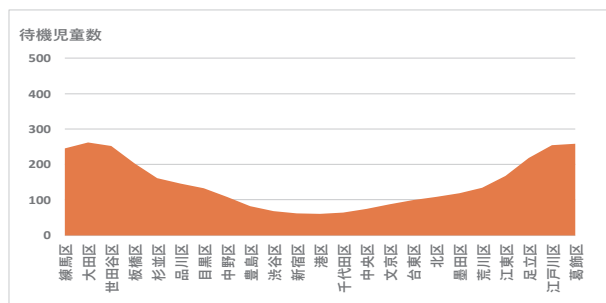


Fig.8 The distribution of the number of children on nursery school waiting lists ($t=400$)

次にこれらをエリアごとに分けて考える。中心(千代田区)からの距離で23区を3つのブロックに分けた。小数第一位で四捨五入し, 中心からの距離が0~4kmの地域を都市中心ブロック, 5~9kmの地域を都市近郊ブロック, 10km以上の地域を都市郊外ブロックとする。Fig.9に23区それぞれが当てはまるグループを示す。

まず2018年現在のブロックごとの待機児童数の分布について考える。Fig.10は $t=0$ における待機児童数の分布をエリアごとに色分けしたものである待機児童数は地域によってばらつきがあり, 都市郊外や都市近郊の待機児童数が多く, 都市の中心になるにつれ少ない。また, 都市郊外ブロックの待機児童数平均が250.7人であるのに対して, 都市中心部の待機児童数が97.7人と150人近い差があった。地域によって待機児童数に約500人の差がある。

Fig.11は $t=400$ における待機児童数の分布をエリアごとに色分けしたものである。地域における待機児童のばらつきが $t=0$ に比べて平準化されたが, 都市中心部の待機児童数が少なく, 郊外の待機児童数が多い傾向は変わらなかった。都市郊外ブロックの待機児童数平均が226.4人, 都市中心部の待機児童数が74.8人と差自体は $t=0$ の時と変わらないが, 都市近郊の数値が増えた事により都市郊外の待機児童数が極端に多い地域がなくなった。また, 全体的な待機児童数の差は200人程度に縮まった。

$t=0, t=200, t=400$ それぞれにおけるブロックごとの平均待機児童数を比較するとTable2のようになる。時間が経つにつれて都市中心部と郊外の待機児童数が減り, 代わりに都市近郊の待機児童が増加した。

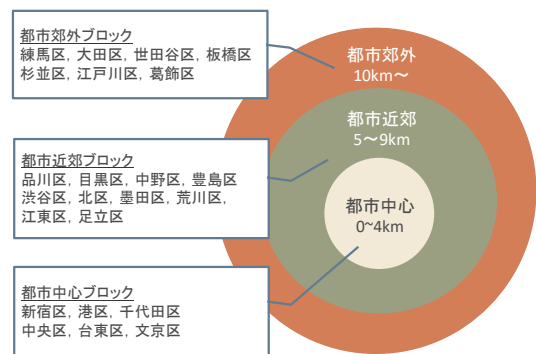


Fig.9 Area division of 23 wards

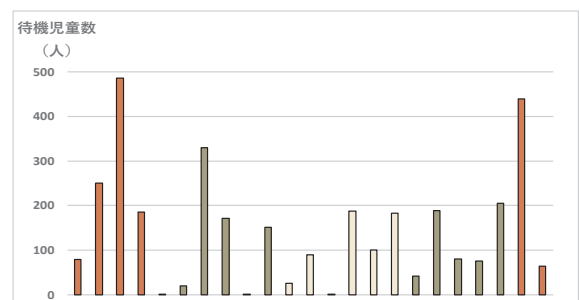


Fig.10 The distribution of each block ($t=0$)

6. 結論と今後の課題

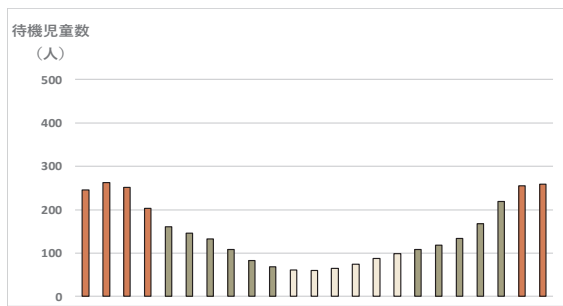


Fig.11 The distribution of each block (t=400)

Table2 Change of the number of children

	t=0	t=200	t=400
都市中心 (人)	97.7	83.6	74.8
都市近郊 (人)	114.8	128.7	131.5
都市郊外 (人)	250.7	242.5	226.4

5. 考察

オフィスが集中する都市中心は今後も地価が高い事が予想されるため、都市中心と都市郊外の待機児童数が平準化されるという状況は考えにくい。シミュレーション結果と同様に今後もエリアによって待機児童数に差が出る事が想定できるため、待機児童数の予測モデルの結果は妥当であると言える。

また、シミュレーションの結果を近年の待機児童数の年次データに照らし合わせると、t=400 時点は実際の時間としては 10 年～16 年後に相当すると考えられる。

なお、シミュレーション結果から、都市中心・近郊・郊外の 3 ブロックについて次のような事が考察できた。

都市中心ブロック

最終的な待機児童数は他のブロックに比べると少ない傾向にある。現在、地価が高いとされている千代田区や港区等を中心に住宅補助を出す等の方法で移住者を増やす取り組みが必要である。

都市近郊ブロック

今後、待機児童数の増加が予測される。このエリアは都市郊外エリアよりも待機児童数が少なく、都市中心エリアに比べると地価が安い傾向にあることから、豊島区や江東区など都市郊外寄りの地域を中心に居住者が増えると考えられる。それに伴い保育園ニーズも上昇する。今後は保育園を増設するなどの方法で受け入れ人数を増やすことが必要である。

都市郊外

現在は待機児童が集中しているが、今後は都市近郊に集中することにより平準化していくと考えられる。引き続き、待機児童の受け入れに向けた取り組みが求められる。

東京都 23 区は待機児童数が多い上に、一部の区において入所希望者が集中している。人気のある区は時間と共に変化している為、マクロ的な視点で待機児童問題を捉える必要がある。しかし、国がこれまで行った待機児童予測は実際の結果との乖離が見られている。

そこで本研究では、従来研究を援用して東京都 23 区における待機児童の予測を次の手順で行った。

- ① ヒアリング調査などにより待機児童数に関連のある項目を決定した。
- ② ①の項目を地理的要因と社会的要因に分けて初期値を算出した。
- ③ 魅力指数の数値を時系列ごとに算出した。
- ④ ③の魅力指数から待機児童数を時系列ごとに算出した。

このシミュレーション結果から今後は都市近郊地域の待機児童数の増加が見込まれることが分かった。今後は東京都 23 区以外に神奈川県、埼玉県など他の地域にも応用できるモデルを作成する事や年齢ごとの予測が出来るようにモデルの改良に取り組む必要がある。また、各自治体が行っている施策を指数にする等、待機児童数により関連のある項目を魅力指数に取り入れる事も課題として挙げられる。

参考文献

- 1) 厚生労働省社会保障審議会児童部会保育専門委員会 (第 2 回) 資料 2 「保育をめぐる現状」, 2018 年 1 月.
- 2) 朝日新聞 DIGITAL, 待機児童問題「見える化」プロジェクト, <http://www.asahi.com/special/taikijido/> (最終閲覧日: 2019 年 1 月 17 日)
- 3) 厚生労働省保育所等関連状況取りまとめ, 2017 年 4 月.
- 4) 東京都福祉保健局, 都内の保育サービスの状況について (2018 年 7 月 30 日), <http://www.metro.tokyo.jp/tosei/hodohappyo/press/2018/07/30/04.html> (最終閲覧日: 2019 年 3 月 5 日)
- 5) 東京都建設局, 東京都都市公園等区市町村別面積・人口割比率表 (平成 30 年 4 月 1 日現在), <http://www.kensetsu.metro.tokyo.jp/content/000040089.pdf> (最終閲覧日: 2019 年 1 月 17 日)
- 6) 土地価格相場が分かる 土地代データ, <https://tochidai.info/tokyo23/> (最終閲覧日: 2019 年 1 月 17 日)
- 7) 行松健一, 松本俊, 松浦義則, 井上智生: “両性人口モデルにおける反応拡散方程式を用いた人口分布の表現について”, 電子情報通信学会技術研究報告(信学技報), vol.104, No.583, pp.51-56 (2005 年)
- 8) 川崎廣吉, 望月敦史, 重定南奈子: “バクテリアのコロニー・パターン形成の数理モデル”, 計測と制御, vol.34, No.10, pp. 811-815 (1995 年)
- 9) T.Matsumoto, S.Oharu, K.Shitaoka: “On the semigroup approach to age-dependent spatially distributed two sex models of population dynamics” *Adv*, vol.13, No.2, pp423-442 (2003)

- 10) 松浦義則，新原智之，下岡光一，大春慎之助：“地域的分布を考慮した両性人口モデルと計算機シミュレーションによる人口動態解析”，地球環境レポート，vol.9，pp62-70（2004年）
- 11) 「住民基本台帳による東京都の世帯と人口(平成30年1月)」東京都，
<http://www.toukei.metro.tokyo.jp/juukiy/2018/jy18q10701.htm>（最終閲覧日2019年3月5日）
- 12) 東京都総務局統計部，平成27年国勢調査による東京都の昼間人口（従業地・通学地による人口），
<http://www.toukei.metro.tokyo.jp/tyukanj/2015/tj-15index.htm>（最終閲覧日：2019年3月5日）