年代別人口モデルによる
人口推移のシミュレーション

学籍番号:
氏名:

****年**月**日提出

1　はじめに

ある生物集団における個体数の変動について考えることは様々な面において有用である．特に人間社会における人口推移 [1] は政府・企業において将来計画を建てる上で重要な判断基準となる．当然完全な予測・計算は不可能ながら，大まかな流れや傾向が分かるだけでも有用である．例えば，現在の経済状況に対する日本人口推移を予測した結果，日本国が成り立たなくなるまで減少していく，という予測が立った場合には，人口推移の予測が上昇するように経済状況の対策が考えられるようになる．反対に人口がどんどん増え続け，密集しすぎて住む土地すらなくなるところまでいく，という予測がたったならば，経済状況の見直しが図られるとともに高層ビルの建築計画や宇宙進出による人口密度の改善が試みられるかもしれない．このように,「予測」とは当てるためにあるのではなく，事前に注意を喚起し対策を練る材料とすることで将来の禍根を回避し,「悪い予測」を回避するためにある．一般に深刻な問題は生じてからでは遅いのである．

現在では，このような「予測」する手法としてコンピュータを用いたシミュレーションがよく用いられている．その特徴は演算能力の向上による大規模計算が可能なことである．そのため複雑な物理計算を行うことが可能となり，より現実に即したシミュレーションを行えたり，多数の要因を考慮に入れて (今までは，ほとんど単一の要因について考えて他の要因は無視していた) シミュレーションを行うことが出来るようになっている．

このようなシミュレーションを行うものとして，これまでの演習においてロジスティック方程式を用いた人口推移シミュレータの作成を行ってきた [5]．このシミュレータでは，観察対象である集団全体を極限まで簡素化しており，非常に少数の要素を用いて表現した．このため全体の挙動や大域的・長期的な挙動を解析しやすい．その反面，非常に簡素化しているので現実的・具体的な挙動との一致は重要視しておらず，また実際に現実的・具体的な事例を表せることは稀である．一般的に現実的・具体的挙動を表現するためには，対象について観察し，対象に特化した具体的な要素をなるべく多く盛り込む必要がある．ただし，考慮に入れる要因が複数あったとしてもそれぞれの重要性が皆おなじであるとは限らない．その為，もし仮に (不可能であるが) 全ての要因についてプログラムによる実装を行えたとしても，それぞれの要因の影響に関するバランスを欠くために思うような挙動を示さない場合がほとんどである．そこで一般的には，重要度の高いと思われる要因から一つずつ実装を行い，対象を表すモデルの精度を少しずつ挙げるという方法がとられる．

人口推移のモデル作成における上記の重要な要素の一つとして，各世代ごとの人口変化を考えることができる．若年齢層と高齢層とでは子供を産む数も死亡する確立も異なることは経験的に納得できる．そこで年齢毎に世代層を分け，それぞれにおいて人口推移をシミュレートすることで，より精密な人口推移のシミュレートを行うことができると考えられる．

以上のように，本演習では各世代ごとの人口推移シミュレータについて注目し，その実現を考える．

2　製作対象

単一の集団について (他集団との協調・競合を考えない)，人口推移シミュレータを作成する．特に以下の点について考慮することで，より現実に即したシミュレータの作成を考える．

- 人口を年齢層のグループに分けて，年代別人口の変化に注目する．
- 成長率について，各年代別の出生率と生存率 (死亡率) に分けて考える．

本演習では日本国人口を対象として，過去の人口推移の一致と将来の人口推移の予測の実現を目指す.

2.1 年齢層のグループ化について

ある集団に対して，同じ年代層のグループに分けて分析を行うことがある．この年代層をコホート (cohort) といい，年齢 j〜k を第 i 世代とする，といった分け方をする．例えば年齢を 10 代，20 代,... と 10 年毎に分けると，世代 i は年齢 $(i \times 10)$〜$((i+1) \times 10 - 1)$ となる (表.1).

表 1: 例:10 年毎の世代

第 0 世代	第 1 世代	第 2 世代	...	第 n 世代
0 歳〜9 歳	10 歳〜19 歳	20 歳〜29 歳	...	$(n \times 10)$ 歳〜$((n+1) \times 10 - 1)$ 歳

第 i 世代の人口を x_i と考える．すると，ある時点 k での第 i 世代の人口は $x_i(k)$ と表すことができる．ここで単位時間 (k の+1 増分) を年代層とあわせると (10 年毎の世代の例では単位時間を 10 年とすると)，時刻 k をひとつ進めると第 i 世代は第 $i+1$ 世代へと遷移する (例えば，10 代は 20 代へ遷移する)．この場合，コホートを用いた人口推移モデルは以下のように記述することができる.

$$x_i(k) \mapsto x_{i+1}(k+1) \tag{1}$$

2.2 出生率と死亡率

人口には変動がある．その変動の要因として，ここでは出生率と死亡率を考える.

出生率とは，各世代の女性が一年間に産む子供の数である．第 i 世代の女性の出生率を $baby_i$ と定義すると第 i 世代の女性が産む子供の数は，$baby_i \times$ 女性の数 となる．男女の人数比を 1:1 とすると，女性の数は $x_i/2$ となるので，$baby_i \times$ 女性の数 $= baby_i \times x_i/2$ となる．ここで単位時間 (k の+1 増分) を δt とする．例えば 10 年毎の世代の例では，$\delta t = 10$ である．この時，$k \to k+1$ で δt 年が過ぎるので，$k \to k+1$ で第 i 世代の女性が産む子供の数は $baby_i \times \delta t \times x_i(k)/2$ となる．世代数が 0 世代から n 世代までであるとすると，新しく生まれる子供の人口は次式のようになる.

$$x_0(k+1) = baby_0 \times \delta t \times x_0(k)/2 + baby_1 \times \delta t \times x_1(k)/2 + \cdots + baby_n \times \delta t \times x_n(k)/2 \tag{2}$$

ここで時刻 $k+1$ の時点で新しく生まれる子供は，前の時間 (時刻 k) の各世代の人数に依存していることに注意する．出生率は各世代の女性が一年間に産む子供の数であるが，一般によく見かける「特殊合計出生率」とは女性が一生を通じて産む子供の数であり，現在では，1.3 程度となっている.

次に死亡率の定義を行う．第 i 世代において一年間の死亡率を $dead_i$ とすると生き残る率は $1 - dead_i$ となる．この時，第 i 世代の人間の人数 x_i が n 年生き残る確率は $(1 - dead_i)^n$ であるので，単位時間 (k の+1 増分) を δt 年とすると

$$x_{i+1}(k+1) = (1 - dead_i)^{\delta t} \times x_i(k) \tag{3}$$

となる.

2.3　人口推移モデル

コホート，および出生率と生存率を用いて人口推移モデルを構築する．第 i 世代の人口を x_i とし，第 n 世代まで考えるとすると，人口推移モデルは以下の式で表される．

$$
\begin{aligned}
x_0(k+1) &= baby_0 \times \delta t \times x_0(k)/2 + baby_1 \times \delta t \times x_1(k)/2 + \cdots + baby_n \times \delta t \times x_n(k)/2 \\
x_1(k+1) &= (1 - dead_0)^{\delta t} \times x_0(k) \\
x_2(k+1) &= (1 - dead_1)^{\delta t} \times x_1(k) \\
&\vdots \\
x_n(k+1) &= (1 - dead_{n-1})^{\delta t} \times x_{n-1}(k)
\end{aligned}
$$

人口ベクトル $\boldsymbol{x} = [x_0, x_1, \cdots, x_n]^T$ とすると，

$$
\boldsymbol{x}(k+1) = \begin{pmatrix}
baby_0 \times \delta t/2 & baby_1 \times \delta t/2 & \cdots & baby_n \times \delta t/2 \\
(1-dead_0)^{\delta t} & & & \\
 & (1-dead_1)^{\delta t} & & 0 \\
 & & & \\
 & 0 & \ddots & \\
 & & (1-dead_{n-1})^{\delta t} & 0
\end{pmatrix} \boldsymbol{x}(k) \tag{4}
$$

と表すこと出がきる．また，全人口数を $y(k)$ とすると，

$$
y(k) = x_0(k) + x_1(k) + \cdots + x_n(k) \tag{5}
$$

パラメータとして，最大世代数 n(何世代まで考えるか)，各世代の初期値 $(x_0(0), x_1(0), \cdots, x_n(0))$，各世代の出生率 $(baby_0, baby_1, \cdots, baby_n)$，各世代の死亡率 $(dead_0, dead_1, \cdots, dead_n)$ を決定することで人口推移シミュレーションを行うことができる．この時，状態変数 (対象の状態を表す変数) は時刻 k における各世代の人口 $(x_0(k), x_1(k), \cdots, x_n(k))$ や全人口数 $y(k)$ となる．

3　実験

式 (4) および式 (5) の人口推移モデルを用いて実験を行う．本演習ではコホートの幅とモデルの単位時間 (k の+1 増分) の幅を合わせて行う．

3.1　未来予測

現在の日本国に関するパラメータを用いて 200 年未来までの人口予測を行う．この時使用するパラメータを表 2 に示す．なお，パラメータ決定においては [2] の平成 17 年のデータを参考にした．

表 2: 未来予測に関するパラメータ

δt	コホートおよび世代刻み幅	10
n	最大年齢層 (最大年齢 $n \times \delta t$ 歳)	12
$x_i(0)$	初期人口 (単位 1,000 人), $i = 0, 1, \cdots, n$	別表 3
$baby_i$	出生率 (女子 1000 人につき), $i = 0, 1, \cdots, n$	別表 3
$dead_i$	死亡率 (人口 1000 人につき), $i = 0, 1, \cdots, n$	別表 3
$[a, b]$	対象とする時間領域	$[0, 200]$

表 3: 初期人口・出生率・死亡率 (総務省統計局の平成 17 年度日本国データより)

i	0	1	2	3	4	5	6
$x_i(0)$	11506	12583	15631	18491	15807	19051	15978
$baby_i(\times 10^{-3})$	0	2.6	60.95	60.85	2.55	0	0
$dead_i(\times 10^{-5})$	42.5	18.7	49.2	74.45	167.2	408.1	909.5
i	7	8	9	10	11	12	
$x_i(0)$	11900	5261	1077	0	0	0	
$baby_i(\times 10^{-3})$	0	0	0	0	0	0	
$dead_i(\times 10^{-5})$	2425.1	7028.2	19531.25	37771.1	0.5×10^5	1×10^5	

3.2 整合性の検証

大正 14 年 (1925 年) の日本に関するパラメータを用いて [3]，300 年間の人口予測を行う．使用するパラメータを表 4 に示す．実際の過去 100 年間の人口推移と考案した人口推移モデルとを比較することでモデルの妥当性を検証する．また，更に 200 年未来まで予測して前節で行った未来予測との違いを観察するとともに，過去 100 年間の実測データとの相違から 200 年間の未来予測の妥当性を検証する (図 1).

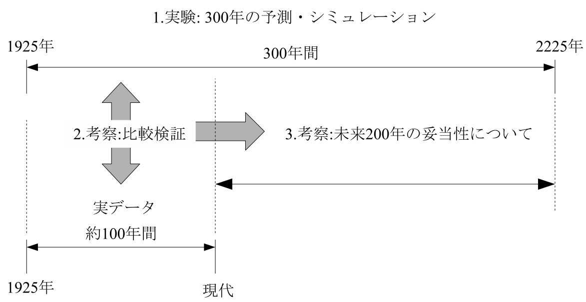

図 1: 実験・整合性の検証

ただし，表 3 と表 5 において，死亡率 ($dead_i$) のオーダーが異なっていることに注意する．表 3 では死亡率は 10^{-5} のオーダーの値であり，表 5 では死亡率は 10^{-3} のオーダーの値である．

表 4: 整合性の検証に関するパラメータ

δt	コホートおよび世代刻み幅	10
n	最大年齢層 (最大年齢 $n \times \delta t$ 歳)	12
$x_i(0)$	初期人口 (単位 1,000 人), $i = 0, 1, \cdots, n$	別表 5
$baby_i$	出生率 (女子 1000 人につき), $i = 0, 1, \cdots, n$	別表 5
$dead_i$	死亡率 (人口 1000 人につき), $i = 0, 1, \cdots, n$	別表 5
$[a, b]$	対象とする時間領域	$[0, 300]$

表 5: 初期人口・出生率・死亡率 (総務省統計局の大正 14 年度日本国データより)

i	0	1	2	3	4	5	6
$x_i(0)$	15189	12620	9454	7165	6277	4442	2863
$baby_i(\times 10^{-3})$	0	20.6	233.2	192.6	40.55	0	0
$dead_i(\times 10^{-3})$	30.2	6.05	9.3	8.85	11.85	21.25	45.7
i	7	8	9	10	11	12	
$x_i(0)$	1442	285	0	0	0	0	
$baby_i(\times 10^{-3})$	0	0	0	0	0	0	
$dead_i(\times 10^{-3})$	103.3	197.4	0.3×10^3	0.4×10^3	0.5×10^3	1×10^3	

4 結果

実行した結果を載せること．
数値の羅列やそれをグラフ化したものもなど色々な表現方法がある．
その中で他人に最も伝えやすい表現とは何かを考えて結果を表現すること．
また，それらの結果から何が言えるかを考え，文章化すること．
基本的には，目的は人口推移のシミュレーションの実現である．
よって人口推移の観点から，結果を分析すること．

5 考察

全体の総括として本レポートで何が言えたかを考え，文章化すること．
基本的には，目的は人口推移のシミュレーションの実現である．
目的は達成できたのか？完全に達成できたと思えるならばその理由．
不完全であったと思うなら，その理由など．改善方法などもあればもっといい．
完全に失敗したと思うなら，その理由を考え明記する．
大事なことは，成功することではなくて行ったことを，正確にかつ客観的に分析することである．

6 参考文献

参考文献

[1] 総務省 統計局・統計研修所 人口・統計データ, http://www.stat.go.jp/data/nihon/02.htm

[2] 総務省 統計局・統計研修所 人口・統計データ, http://www.stat.go.jp/data/nihon/02.htm, p.26-27, 2007

[3] 総務省 統計局・統計研修所 人口・統計データ 2-27b 年齢 5 歳階級，年齢５歳階級，男女別死亡率（大正９年〜平成１４年）, http://www.stat.go.jp/data/chouki/02.htm, 2007

[4] 阿曽 弘具, "C による情報処理入門", 昭晃堂, pp.160–167, 1999

[5] 自分の名前, "ロジスティック方程式による人口推移のシミュレーション", 2007

A　資料:作成したプログラム

```
#include <stdio.h>

int main(){
  printf("hoge\n");
  return 0;
}
```

```
\% a.out
hoge
```