

# 環境科学概論

- 奈良女子大学理学部・化学生物環境学科
- 環境科学コース・数理生命システム分野
- 高須夫悟担当 2020年10月9日（金）13:00-
- [takasu@es.nara-wu.ac.jp](mailto:takasu@es.nara-wu.ac.jp)
- 地球人口の推移と今後について概説する
  - 第一部：人口動態の実態
  - 第二部：数理モデル
  - 第三部：地球が養える最大人口

# 環境問題の一つとしての人口問題

## 1. 人口増加の実態

- 有史以来の地球人口の推移

## 2. 数理モデルを用いた人口増加の予測

- 簡単な個体群動態モデル
- 齢構造モデル

## 3. 地球はどれだけの人間を養えるか



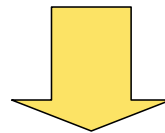
# 人口動態の理解の重要性

過去 200年、地球人口はかつてないほどの速度で増加し続けている

しかし、一部先進国では少子高齢化が急速に進んでいる

人口構成の急激な変化は、社会・経済体制に甚大な影響を及ぼす

少子高齢化をもたらすメカニズムを理解することは、将来を見据えた対策を立案する上で不可欠



人口動態の実態を正しく理解する

数理モデルを用いて人口動態予測を行う方法を理解する

シミュレーション実験を通じて、効果的な少子高齢化対策を探る

# 参考書

新人口論—生態学的アプローチ

重定 南奈子, 瀬野 裕美, 高須 夫悟 共訳 1998

農山漁村文化協会

"How many people can the earth support?"

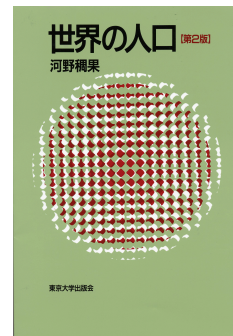
Joel. E. Cohen (1995). W. W. Norton & Company, New York.



世界の人口 第2版

河野稠果 2000

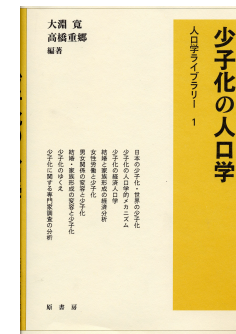
東京大学出版会



少子化の人口学 人口学ライブラリー 1

大淵寛, 高橋重郷 編著 2004

原書房



# 地球人口の推移

2014年	72億
2006年	65億
2003年	63億
2002年	62億
2000年	60億
1986年	50億
1974年	40億
1960年	30億
1930年	20億
19世紀半ば	10億
1600年頃	5億
紀元0年前後	2~3億

トップ

国際

## 世界の人口、最多の72億4400万人に

2014年11月18日 20時48分

ツイート 22

おすすめ 41

8+1 1

国連人口基金（UNFPA）は18日、2014年版「世界人口白書」を発表した。世界の人口は前年から約8000万人増え、最多の72億4400万人となった。



日本は1億2700万人で、12年連続で10位だった。

白書によると、世界の若者（10～24歳）の人口は過去最高水準の約18億人。人口に占める若者の割合は、東ティモールが38%で最も高く、日本は14%だった。

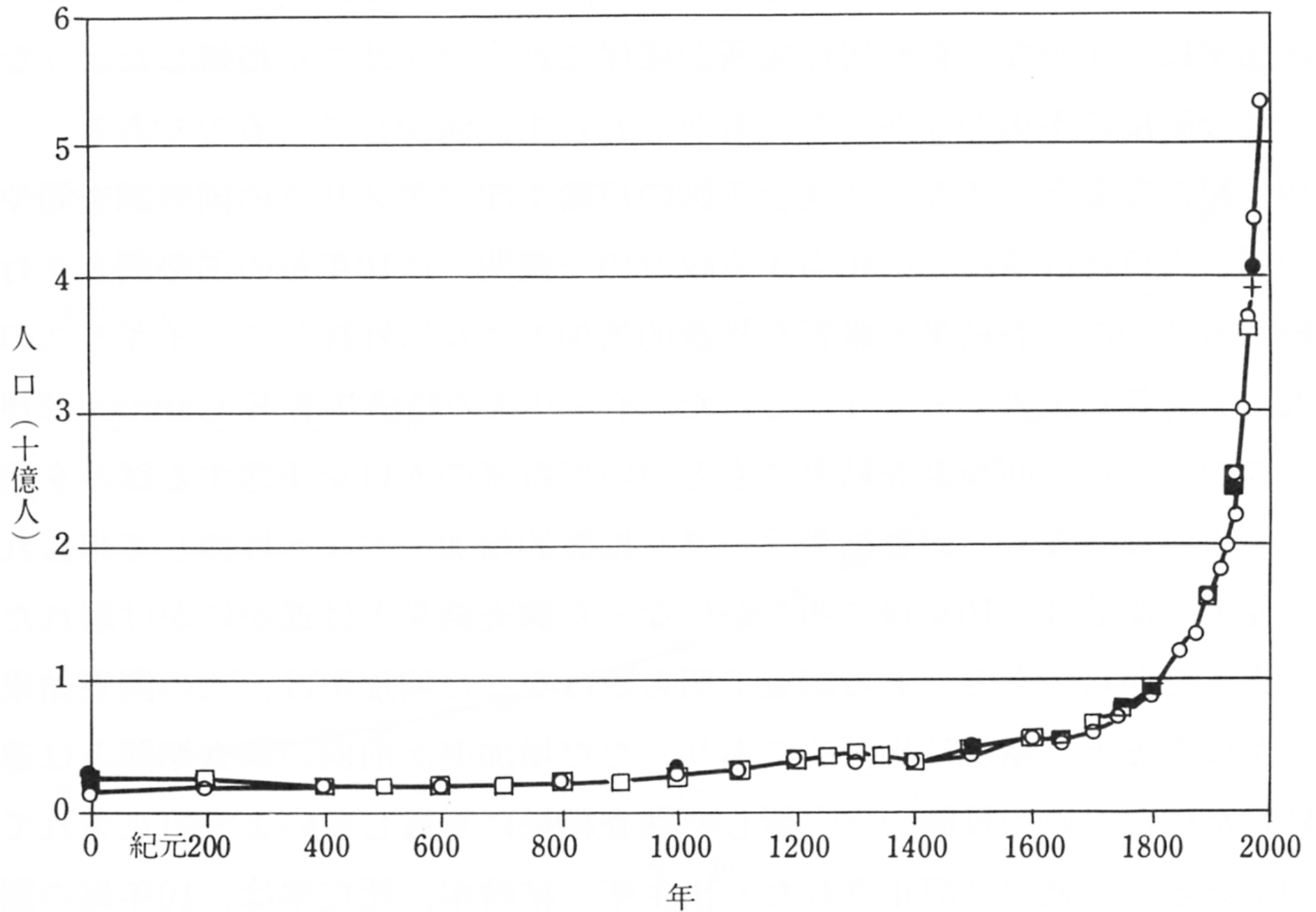
白書はまた、「若者の89%が開発途上国で暮らしており、アフリカなどで急速に増加している」と指摘した。開発途上国では、若者の約6割が就学、就業をしていない。同基

金東京事務所の佐崎淳子所長は「各国政府が教育や保健などに適切な投資をしなければ、若者が社会の不安定要因になる」と述べ、社会の安定化には若者への投資が不可欠との見方を示した。

2014年11月18日 20時48分

Copyright © The Yomiuri Shimbun

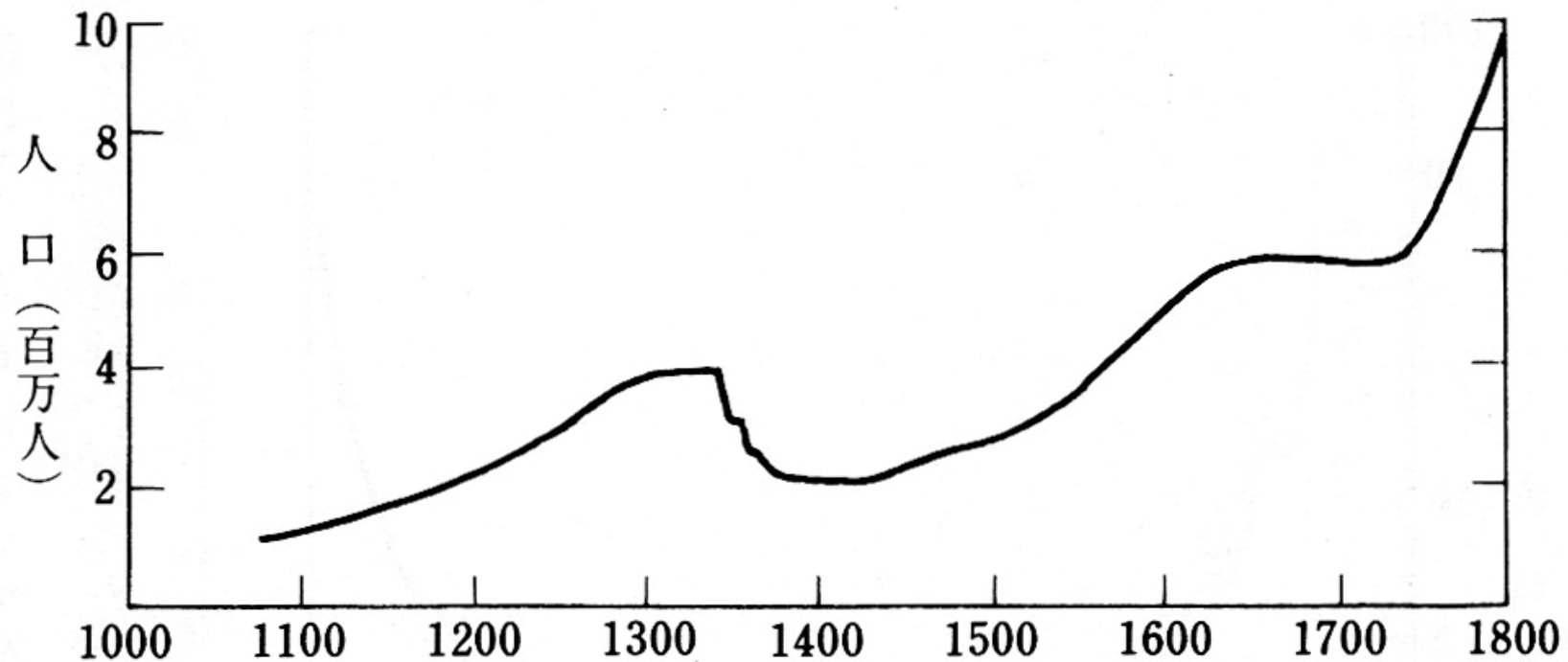
# 過去 2000 年間の世界人口



# 局所的な人口推移 イギリスの例

局所的に見れば人口は必ずしも増加し続けるわけではない

図4 11世紀から19世紀までのイギリス人口の推移

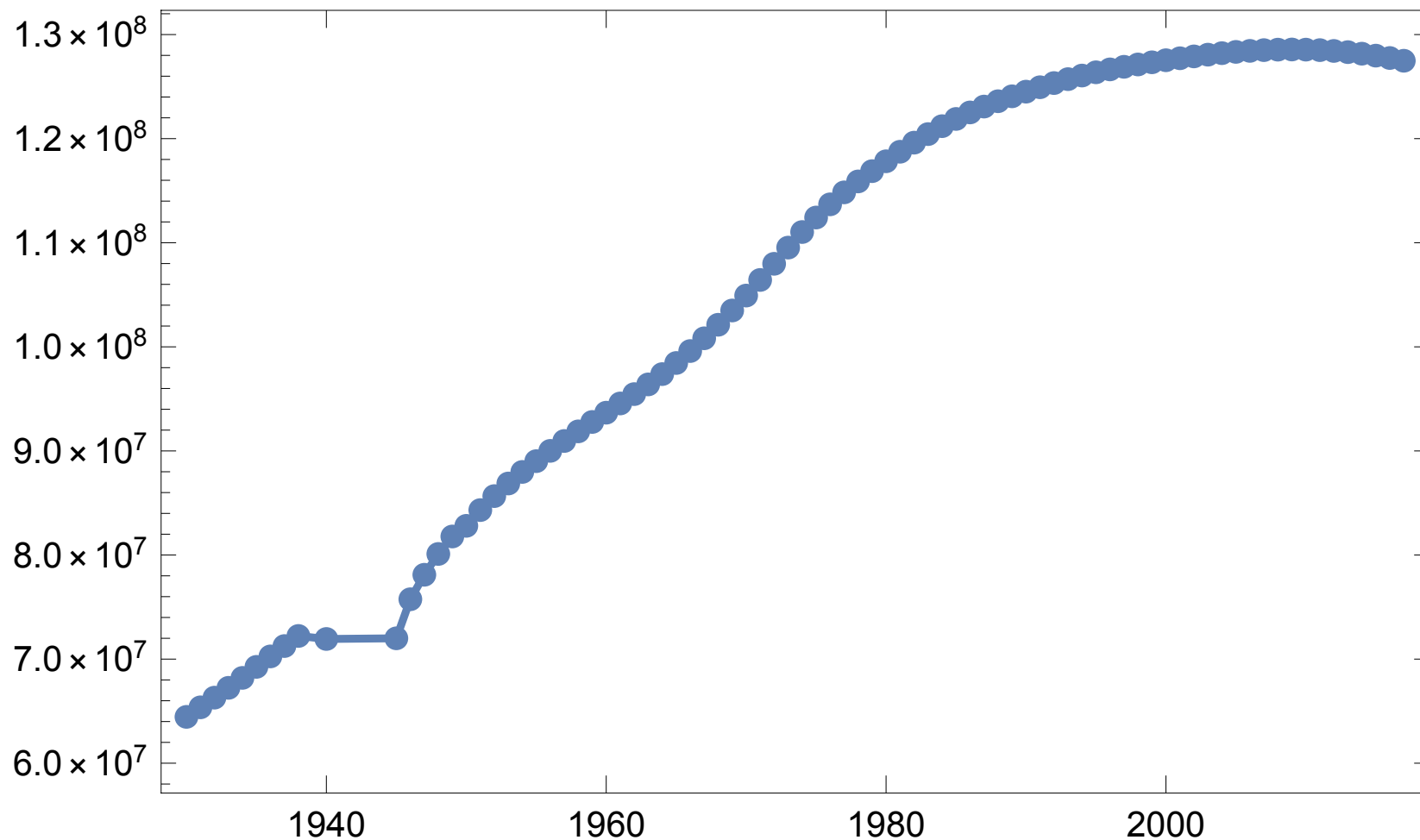


出所：Wrigley (1969).

世界の人口第2版 河野 2000 より

# 局所的な人口推移 日本 の例

局所的に見れば人口は必ずしも増加し続けるわけではない



日本人口は2010年頃から減少に転じている

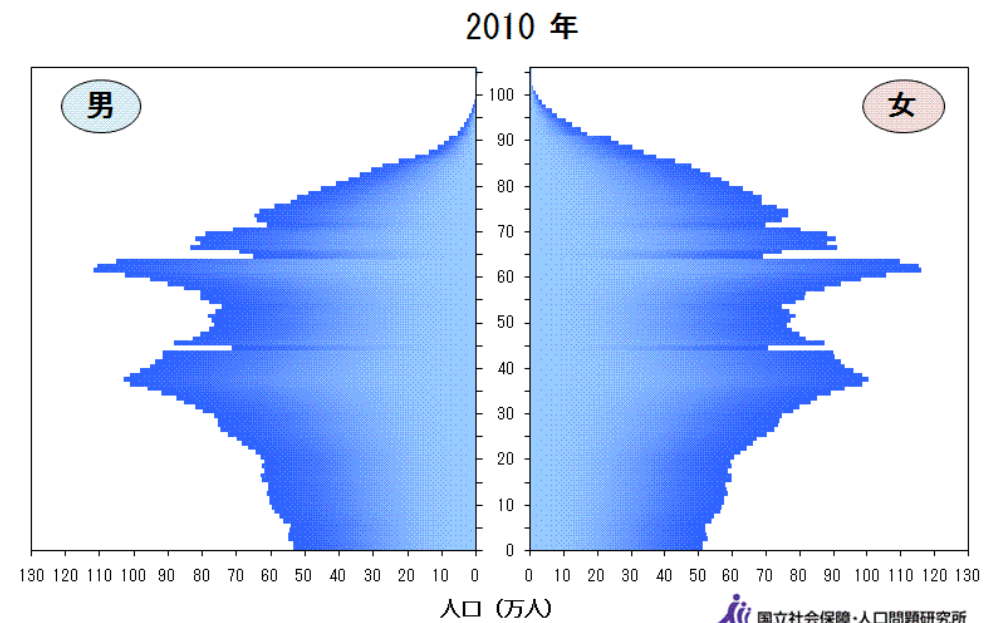
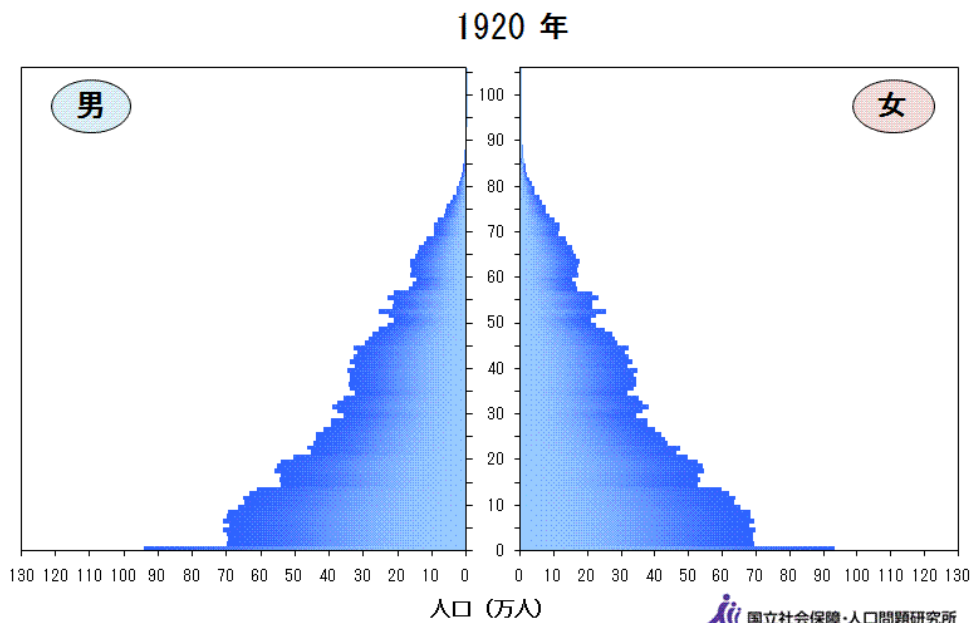


# 日本人口の年齢構成

人口動態は年齢構成に強く影響される

1920年

2010年



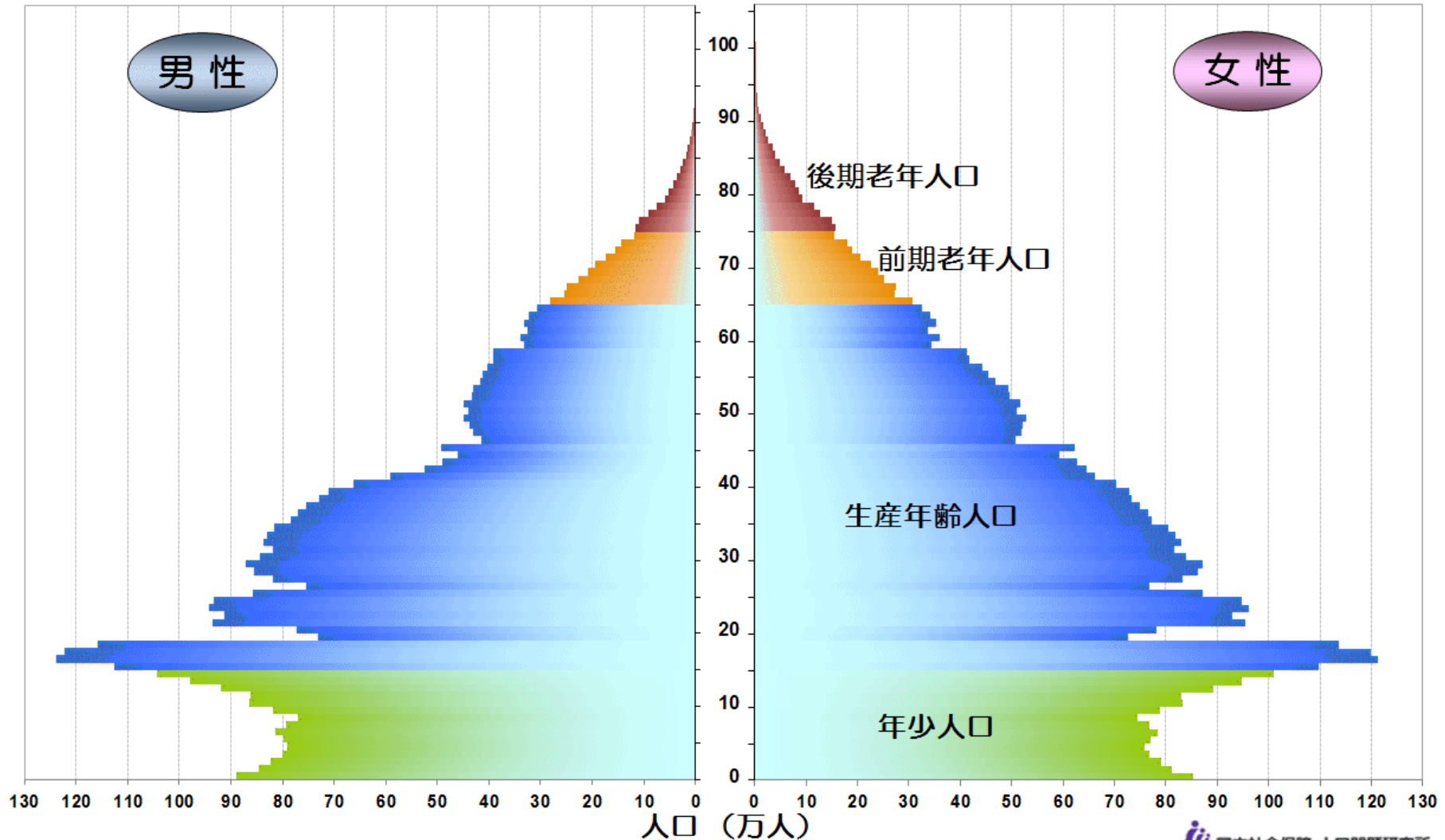
資料：1920～2010年：国勢調査、推計人口、2011年以降：「日本の将来推計人口（平成24年1月推計）」。

資料：1920～2010年：国勢調査、推計人口、2011年以降：「日本の将来推計人口（平成24年1月推計）」。

国立社会保障・人口問題研究所 より  
<http://www.ipss.go.jp/>

# 日本人口の年齢構成

1965



資料：1965～2015年：国勢調査、2020年以降：「日本の将来推計人口（平成29年推計）」。

国立社会保障・人口問題研究所

国立社会保障・人口問題研究所 より  
<http://www.ipss.go.jp/>

# 基礎用語

出生率 女性が産む子供の数の指標。年齢に依存

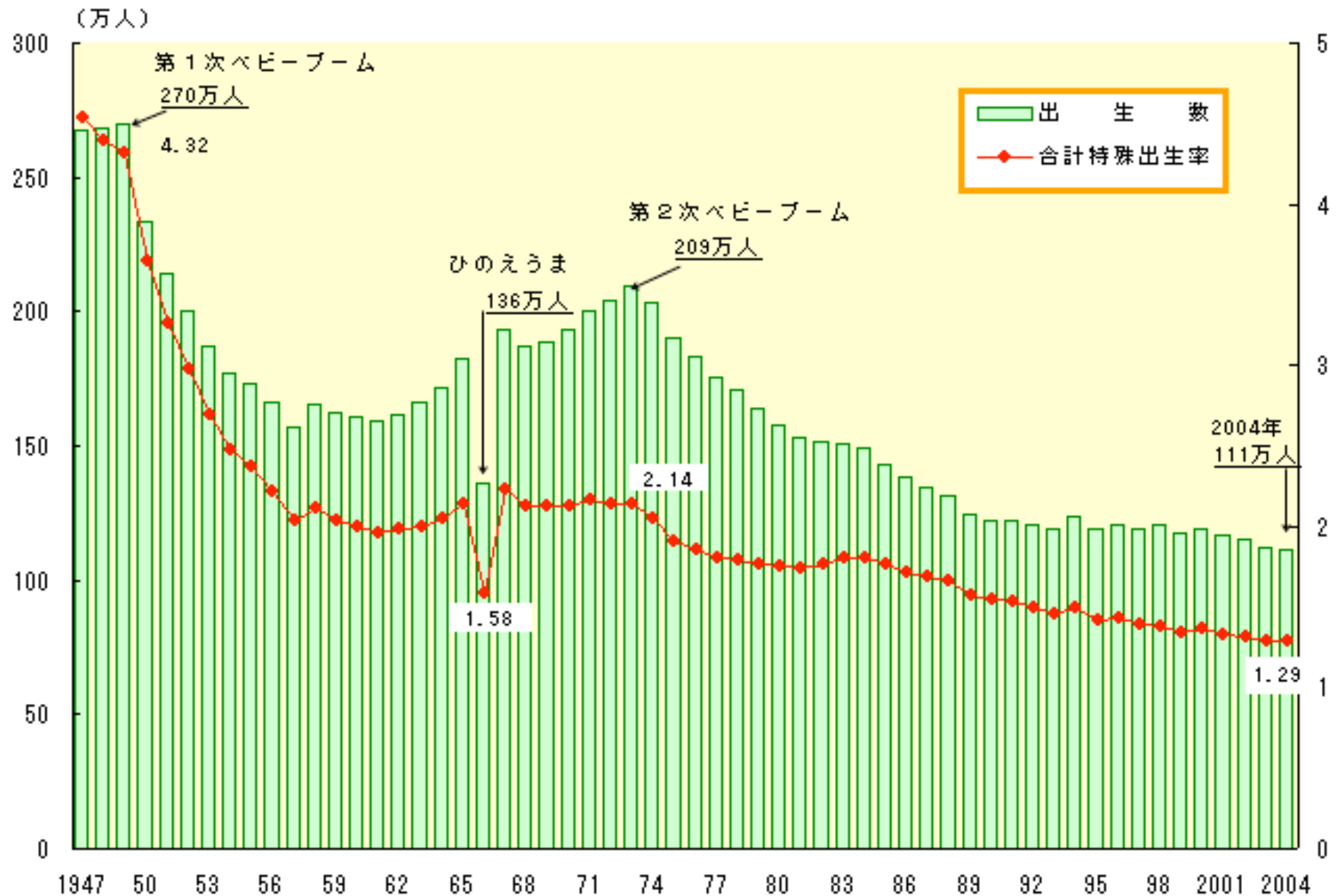
合計特殊出生率 total fertility rate TFR

一人の女性が生涯に産む子供の数の指標  
日本女性の TFR は 1.43 (2017年)

人口の置換水準、置換率

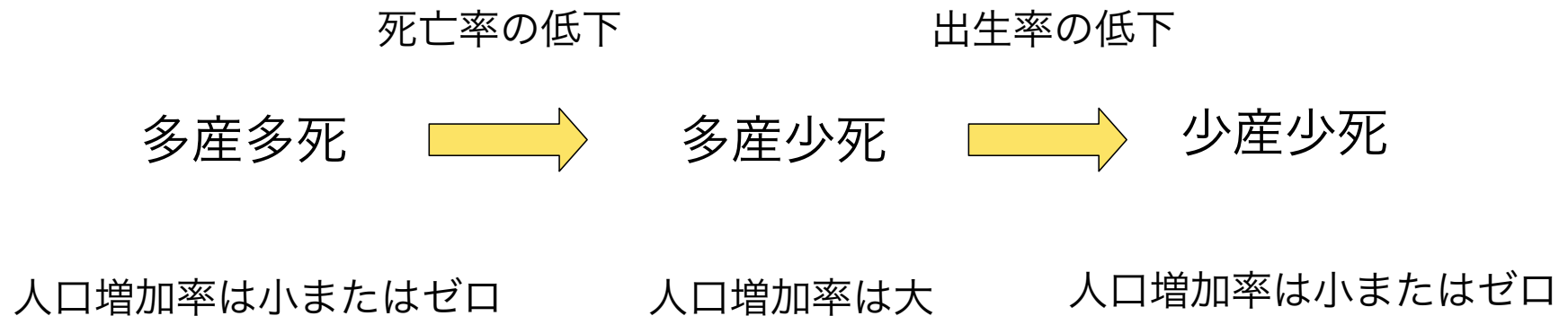
人口が増えも減りもしない状態を維持するために必要な  
合計特殊出生率のこと  
死亡率が高ければ置換水準も高くなる  
死亡率が十分低い先進諸国では概ね 2.1 程度

# 日本女性の合計特殊出生率



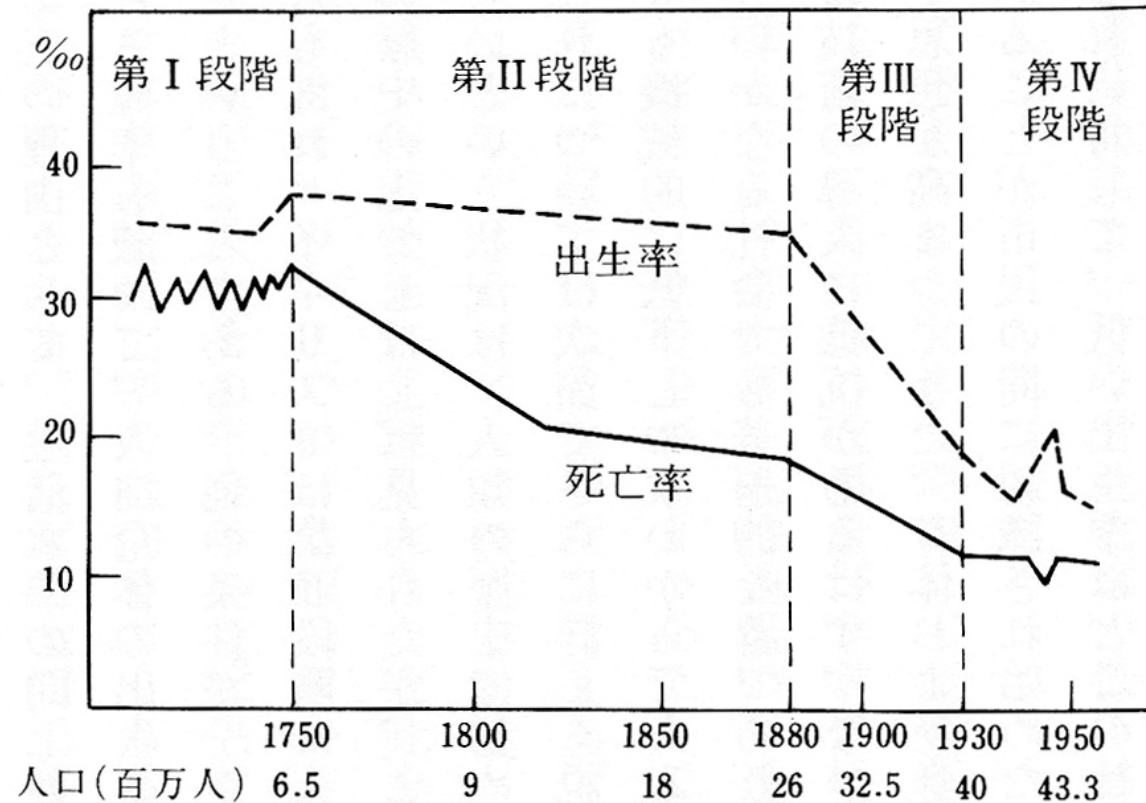
# 人口転換

欧米先進諸国において、  
18～19世紀の死亡率低下と19～20世紀の出生率低下がもたらした人口増加パターンを人口転換 demographic transition と呼ぶ



# 人口転換の例

図5 イギリスの人口転換



出所：Political and Economic Planning (1955).

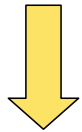
ただし部分的変更を加えた。

世界の人口第2版 河野 2000 より

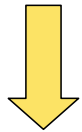
# 人口転換の概念

出生率と死亡率（生存率）は社会の発展につれて変化するという経験則

高出生率・高死亡率 = 低成長率



高出生率・低死亡率 = 高成長率



低出生率・低死亡率 = 低成長率

これらの転換がいつ起こるのかを正確に予測することは困難。  
国毎にどの段階にあるかまちまち（経済状況・政治体制等の違い）なので、地球全体の人口の将来予測は極めて困難。

# 人口転換説

社会・経済の発展により、人口は3つの段階を経て推移すると考える説  
人口統計学的事実に基づく経験則であるが、多くの事例を包括的に説明  
死亡率低下が始まる時期、出生率低下が始まる時期は、国や地域が置かれた  
経済的・政治的・文化的状況に強く依存する

---

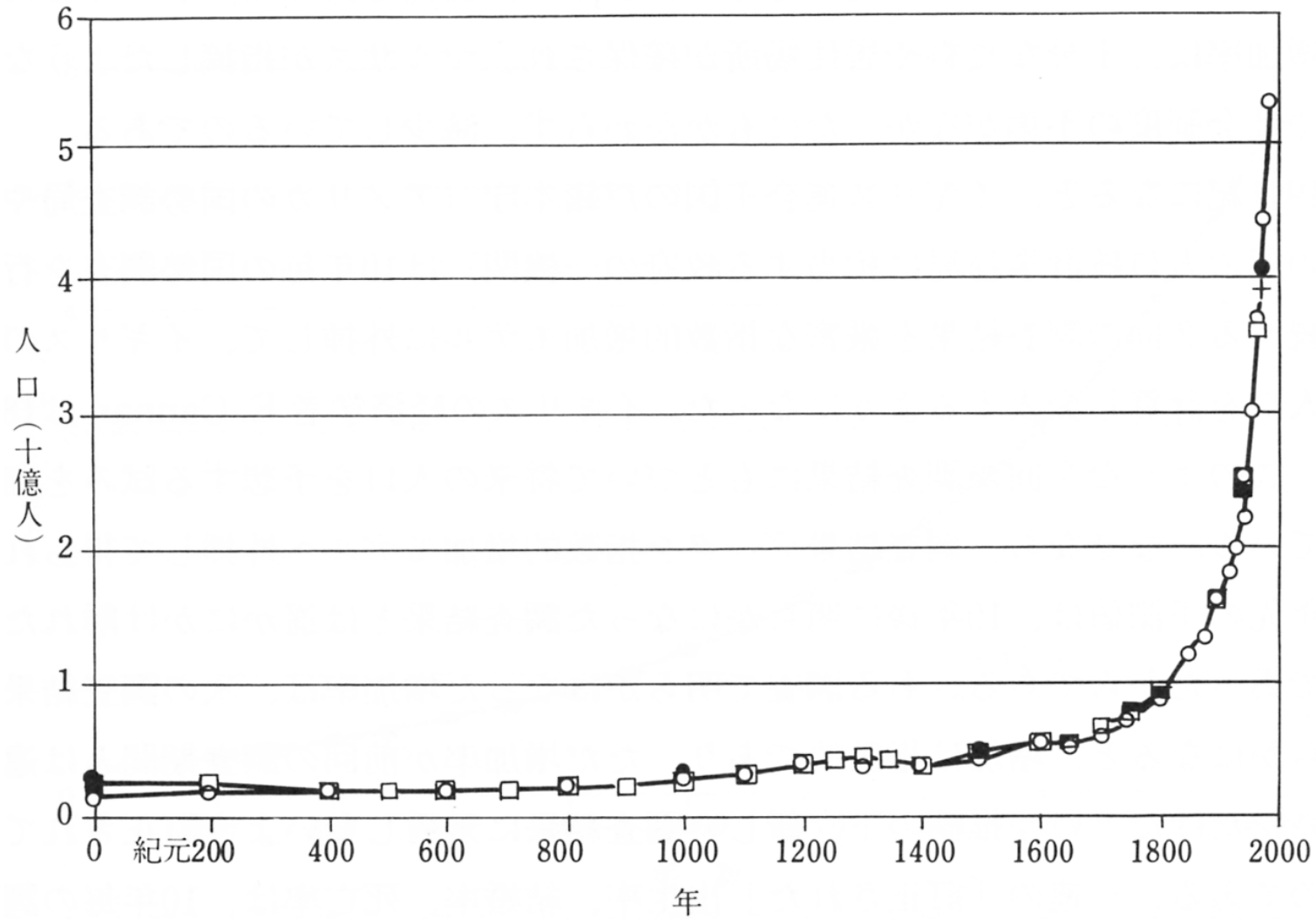
少産少死の段階に至った後、人口はどのように推移するのか？

少子高齢化の根本問題

少子化 = 合計特殊出生率が人口置換率を下回る状況



地球全体の人口はほぼ一貫して増加し続けている



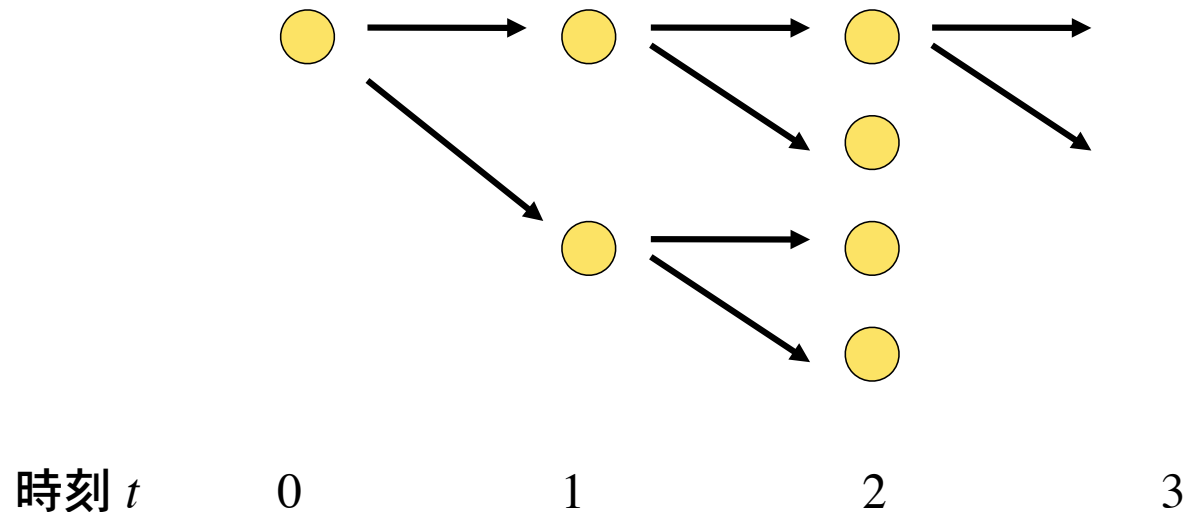
今後、どのように増加するだろうか？

# 人口動態のモデル

モデル：複雑な現象をより良く理解するための理想状況

数理モデル：理想化された状況を数式で記述したもの

各個体が一定の時間間隔毎に同期して分裂して 2 個体になる過程を繰り返す  
仮想的な生物集団



# 個体数の時間変化

時刻  $t$  での個体数を  $N_t$  と書くと、単位時間に 1 個体は 2 個体に分裂

$$N_{t+1} = 2N_t$$

単位時間内に同期して 2 個体に分裂するという仮定に基づくモデル

初期個体数が  $N_0$  のとき、  $N_t = N_0 2^t$

より一般的に、1 個体が単位時間に  $r$  倍に増殖すると仮定すれば、

$$N_{t+1} = rN_t \qquad N_t = N_0 r^t$$

# 指数モデル

単位時間内に各個体が  $b$  個体の子供を生み、生存確率  $s$  で生き延びる仮想的な生物集団

$$N_{t+1} = \underbrace{bN_t}_{\substack{\uparrow \\ \text{集団に新たに} \\ \text{加わる個体数}}} + \underbrace{sN_t}_{\substack{\uparrow \\ \text{生き残る} \\ \text{個体数}}} = \underbrace{(b+s)}_{\substack{\uparrow \\ \text{正味の増加率}}} N_t$$

$$N_t = N_0 r^t \quad r = b + s \quad r: \text{マルサス係数}$$

$r > 1$  の時、集団サイズは時間とともに増加(指数増加)

$0 < r < 1$  の時、指数減少

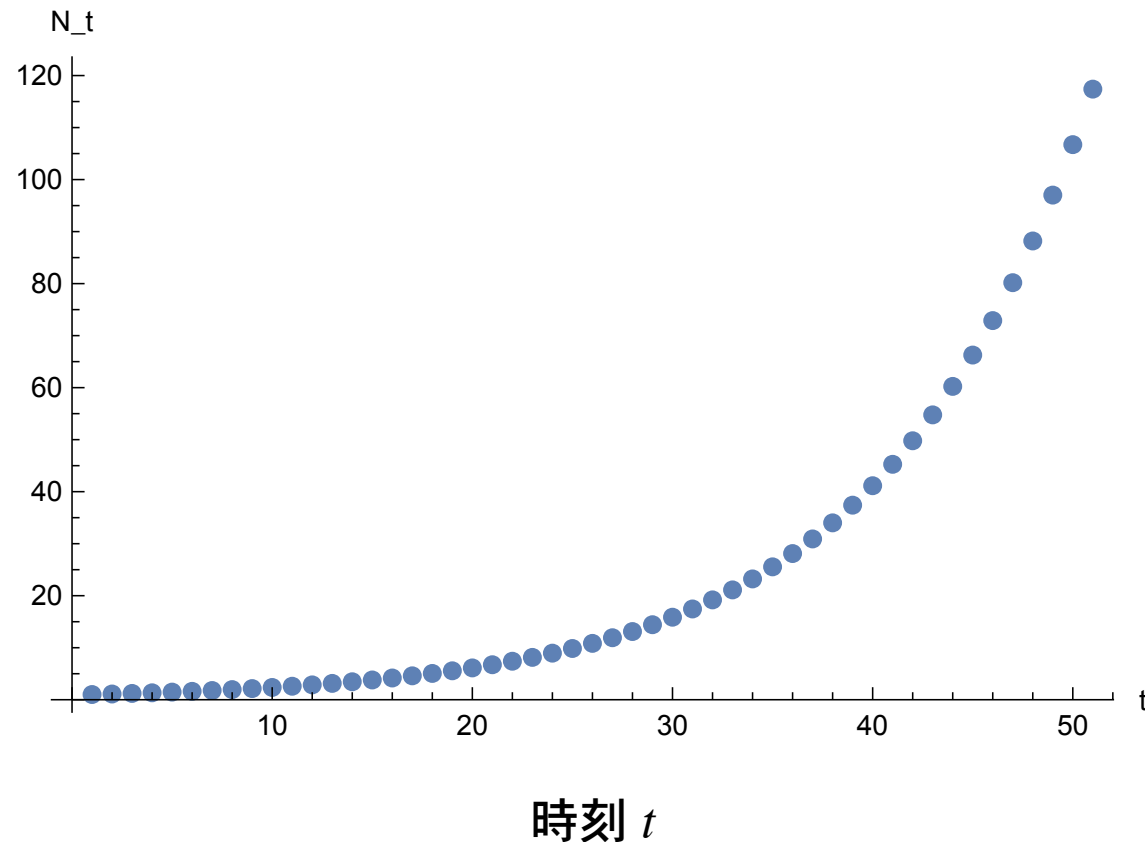
# 指数モデルの例

$r = 1.1, N_0 = 1$  の場合

$$N_t = N_0 r^t$$

$$N_t = 1.1^t$$

{1, 1.1, 1.21, 1.331, 1.4641, 1.61051, 1.77156, 1.94872, 2.14359, 2.35795, 2.59374, ...  
80.1795, 88.1975, 97.0172, 106.719, 117.391}

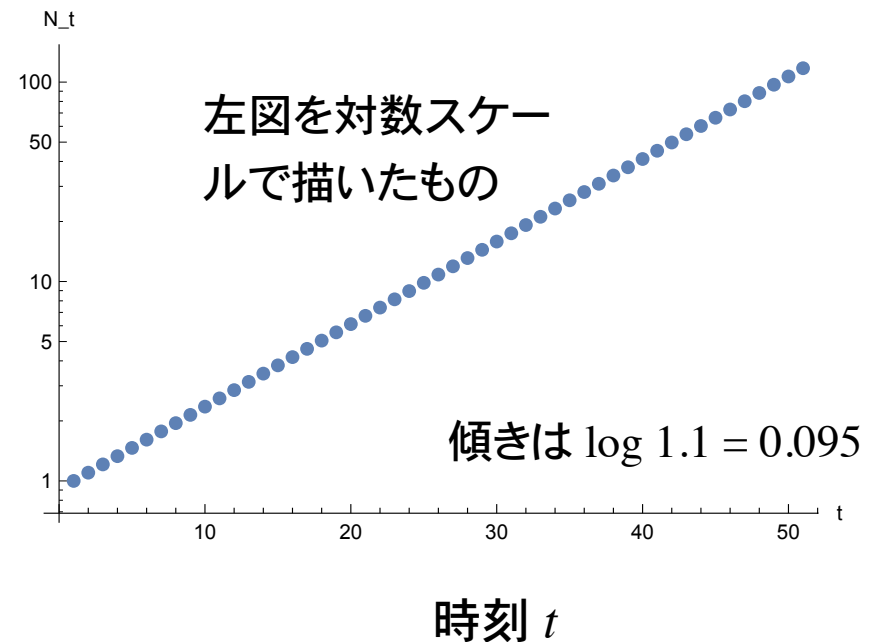
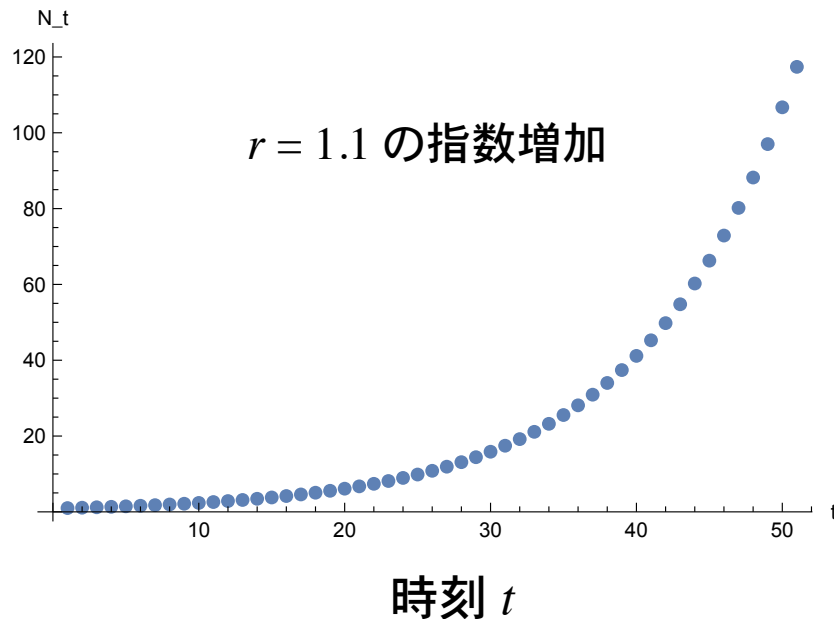


# 対数スケール

$$N_t = N_0 r^t \quad \text{両辺の対数をとって} \quad \log N_t = \log N_0 + t \log r$$

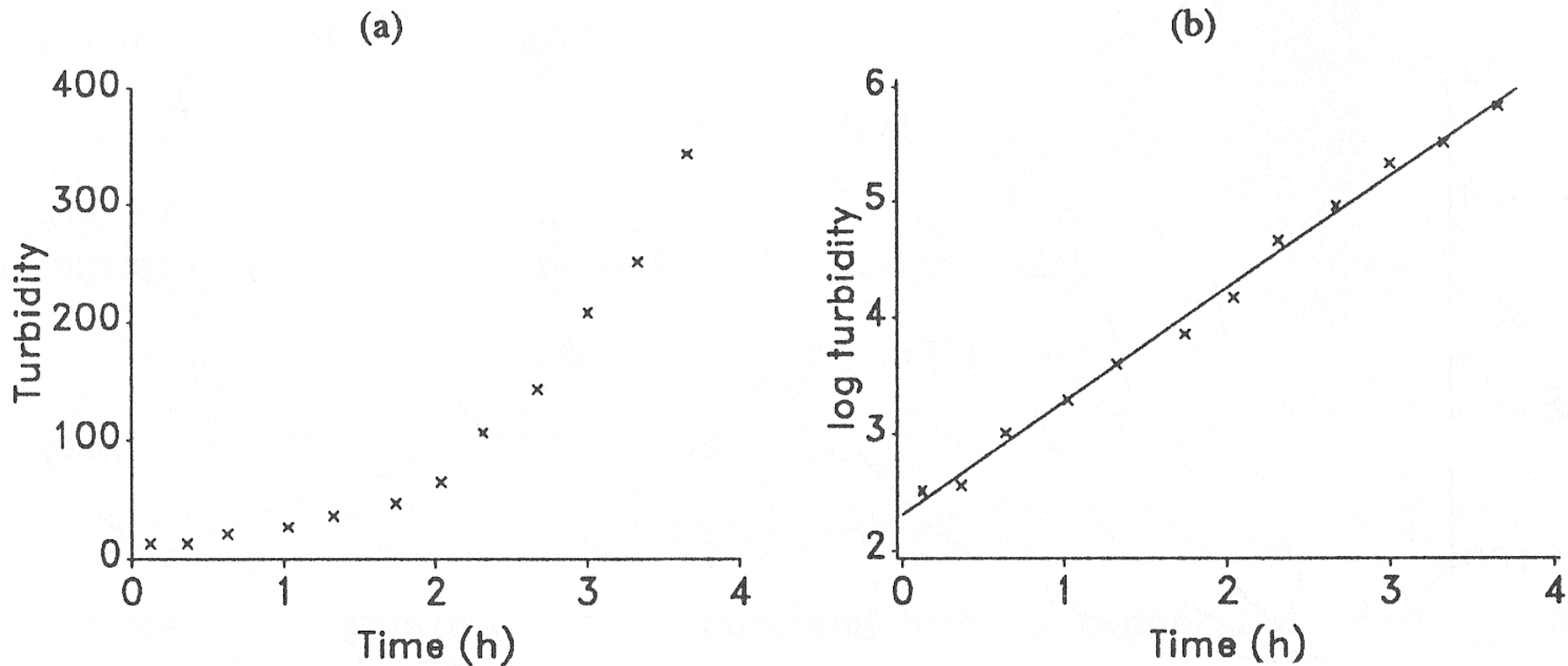
指数増加の場合、個体密度の対数は時間  $t$  に比例して増加

対数スケールのグラフは直線となり、傾きは  $\log r$



# 大腸菌の増殖例

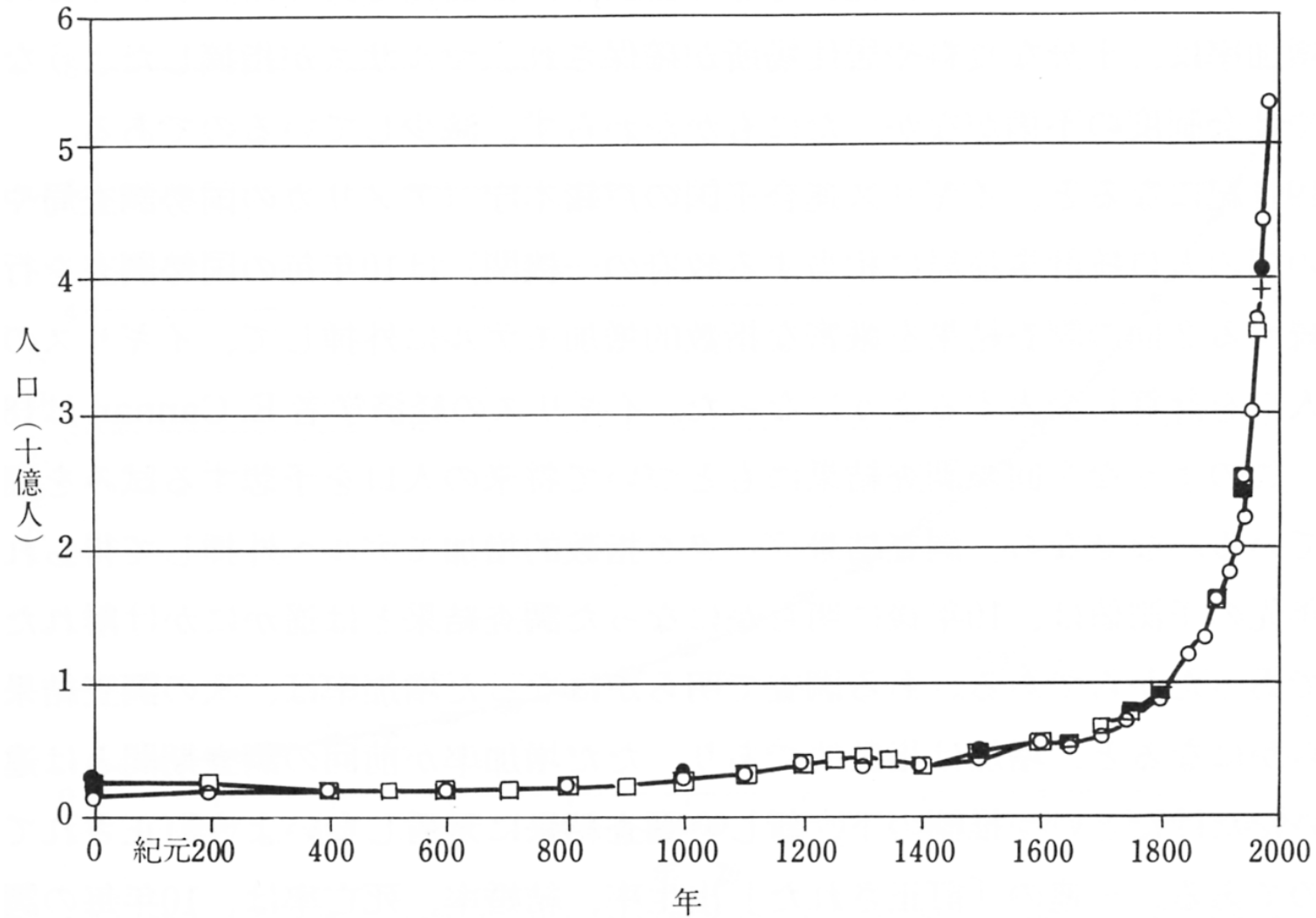
個体密度が指数的に変化しているかどうかを見るには、対数スケールに注目する。指数的に変化するなら直線になるはず。



**Figure 1.3** Exponential growth in the bacterium *E. coli*. (a) Increase in turbidity; (b) increase in log turbidity showing fitted straight line of exponential growth with rate constant  $r = 0.84 \text{ h}^{-1}$ . A turbidity of 100 units corresponds to approximately  $10^8$  cells/ml.

Brown and Rothery 1993

# 地球全体の人口増加



では、どのように人口は増加してきたのか？



# 地球人口は指数モデルに従うか

2000 年前の推定人口は 2.5 億。

現在 (2000 年時) の人口が 60 億となる増加率  $r$  は?

毎年  $r$  倍に指数増加するモデル解  $N_t = N_0 r^t$

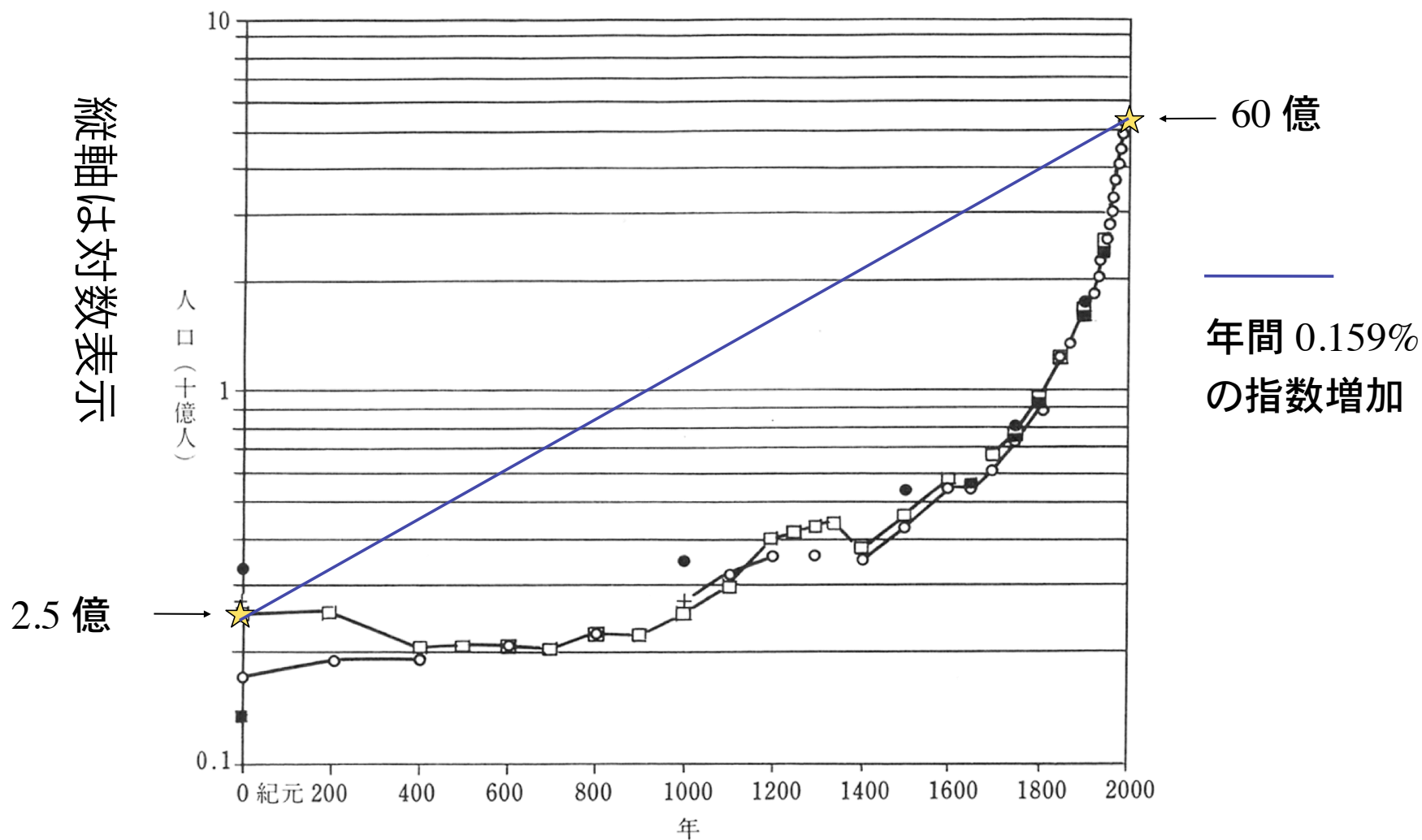
$$60 = 2.5 r^{2000}$$

$$r^{2000} = 60/2.5 = 24$$

$$r = 24^{\frac{1}{2020}} = 1.00159$$

毎年 0.159% の増加を 2000 年間継続すれば 2.5 億から 60 億に達する

# 過去 2000 年間の人口推移（半対数表示）



過去2000年間人口は指数増加よりも急速に増加している！

# ロジスティックモデル

マルサス係数  $r$  が一定であれば指数モデル ( $r > 1$  で指数増加)

$$N_{t+1} = \underline{r}N_t$$

マルサス係数  $r$  が個体密度  $N_t$  に比例して減少する場合  
(食料不足・環境悪化等などの密度効果)

$$N_{t+1} = \underline{r(1 - aN_t)}N_t$$

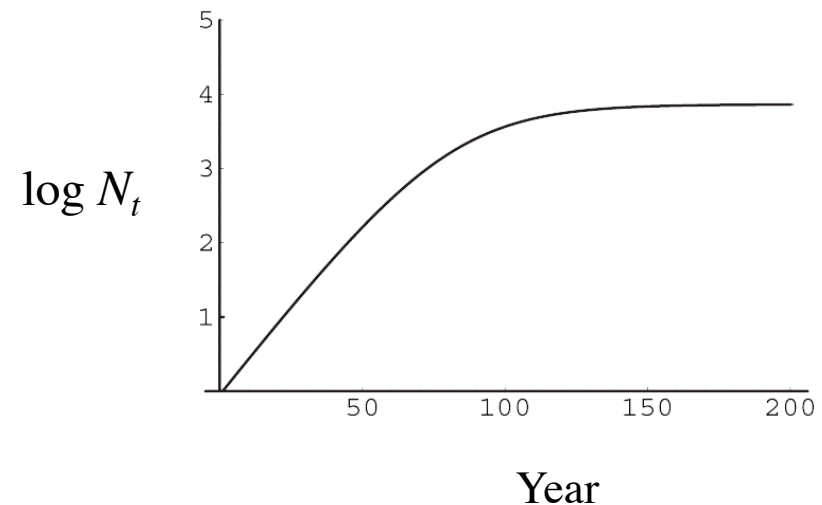
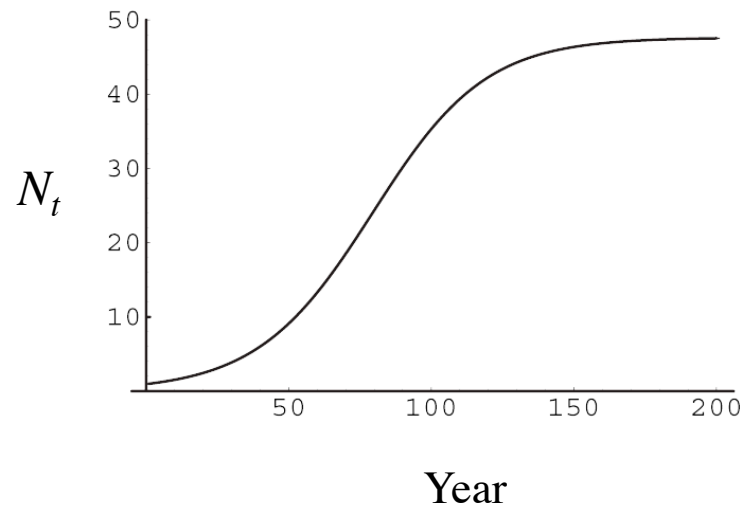
この時、個体密度はロジスティック成長 logistic growth を示す

# ロジスティック成長

$$N_{t+1} = r(1 - aN_t)N_t \quad r = 1.05, a = 0.001$$

$$N_0 = 1.0$$

{1, 1.04895, 1.10024, 1.15398, 1.21028, 1.26926, 1.33103, 1.39572, 1.46346, 1.53439, 1.60864, 1.68635, 1.76768, 1.85278, 1.94182, 2.03495, 2.13235, 2.23419, 2.34066, 2.45194, 2.56823, 2.68971, 2.8166, 2.9491, 3.08743, 3.23179, ... , 47.619}



# ロジスティック成長の上限

$N_{t+1} = r(1 - aN_t)N_t$  に従う数列の極限

$$N_{t+1} = N_t = N^* \quad N^* = r(1 - aN^*)N^*$$

$$N^* = \frac{r-1}{ra} = K \quad \text{環境収容量}$$

$$N_{t+1} = r \left( 1 - \frac{r-1}{rK} N_t \right) N_t$$

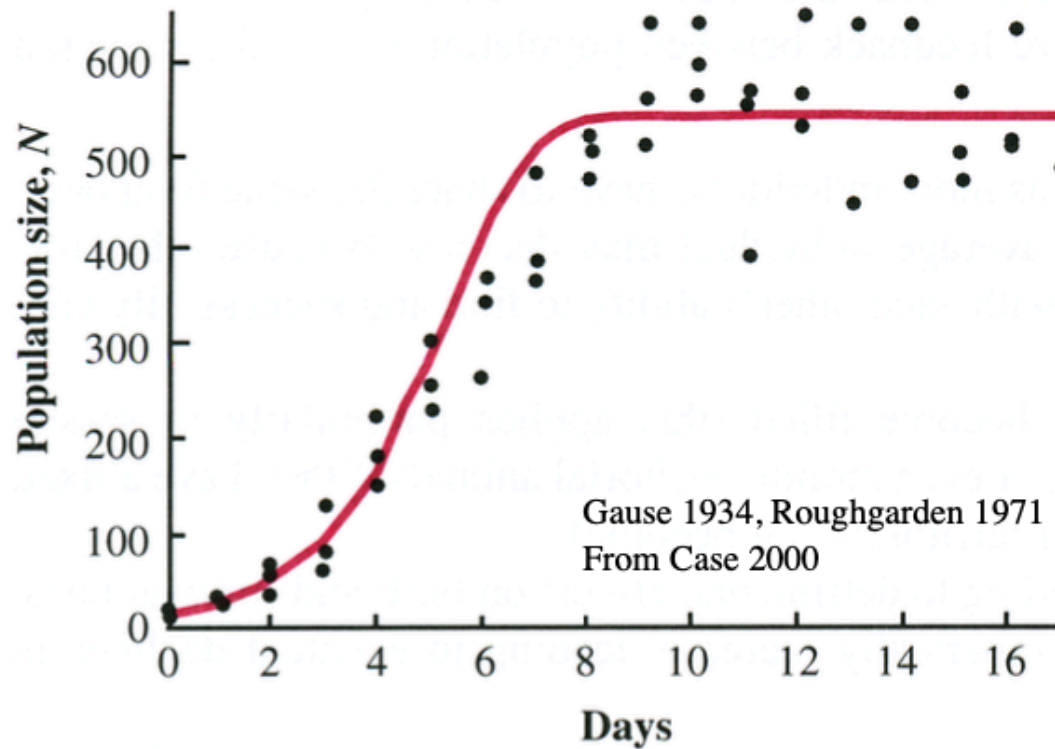
$$= N_t + \underbrace{(r-1) \left( 1 - \frac{N_t}{K} \right)}_{\text{年間変化}} N_t$$

年間変化  $N_t = K$  の時ゼロ

# ロジスティック成長の実例

ゾウリムシの個体群動体

*Paramecium aurelia*



Case 2000 より



Image from <http://mtlab.biol.tsukuba.ac.jp/www/PDB/Images/Ciliophora/Paramecium/aurelia/>

環境は有限なので指数増加は永遠には続かないはず

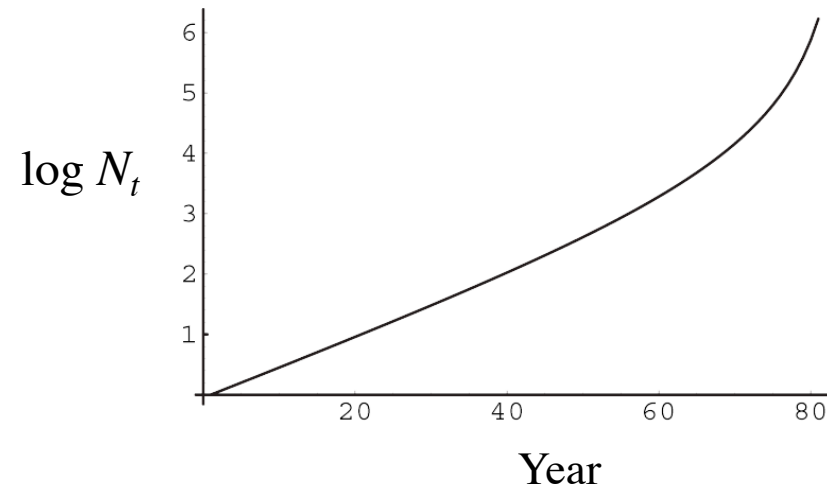
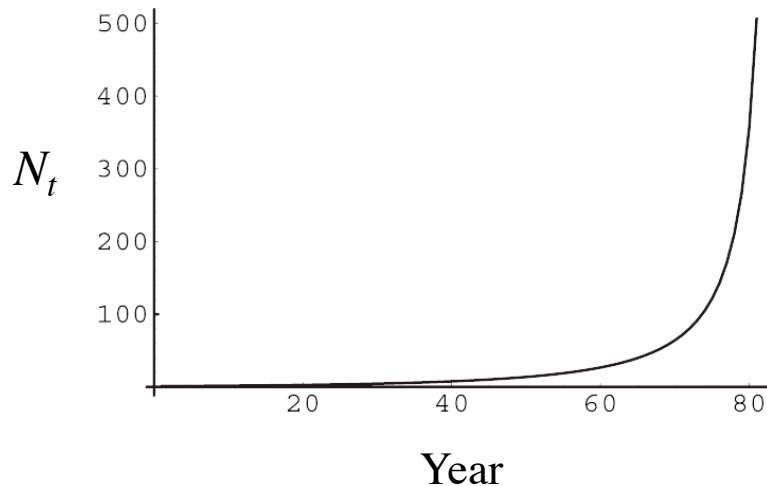
# 最後の審判日モデル

「新人口論—生態学的アプローチ」  
農山漁村文化協会 1998  
Joel E. Cohen著 重定・瀬野・高須共訳

マルサス係数  $r$  が個体密度  $N_t$  に比例して増加する場合

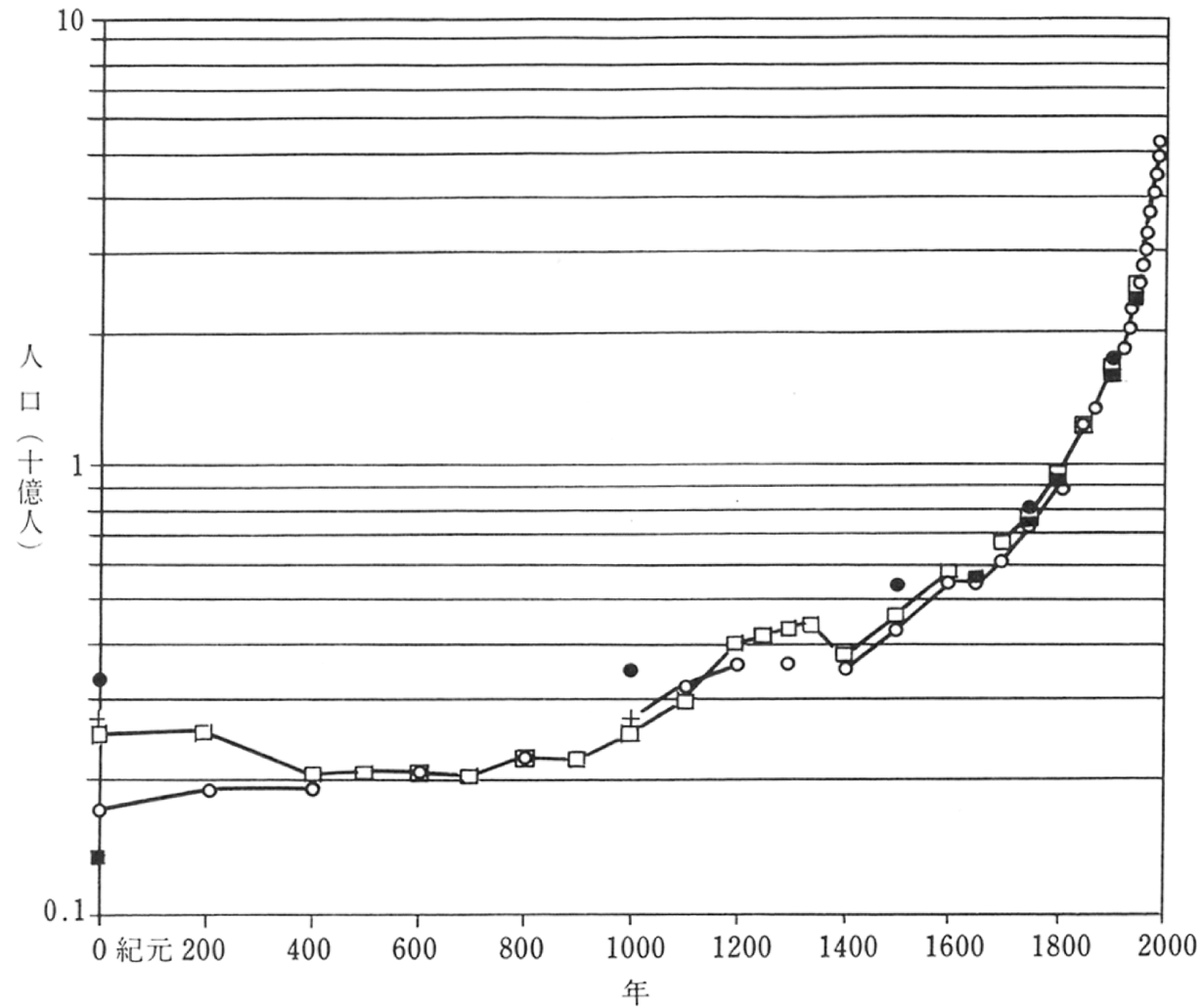
$$N_{t+1} = \underline{r(1 + aN_t)}N_t \quad r = 1.05, a = 0.001 \quad N_0 = 1.0$$

{1, 1.05105, 1.10476, 1.16128, 1.22076, 1.28337, 1.34926, 1.41864, 1.49168, 1.5686, 1.64962, 1.73495, 1.82486, 1.9196, 2.01945, 2.12471, 2.23568, 2.35271, 2.47616, 2.60641, 2.74386, 2.88896, 3.04217, ... }



有限時間で個体密度は発散

# 人間の数の増加



「新人口論—生態学的アプローチ」  
農山漁村文化協会 1998  
Joel E. Cohen 著 重定・瀬野・高須共訳

地球人口は指数増加よりも急激に増加している！



# モデルの検討

指数モデル

$$N_{t+1} = N_t + (r - 1)N_t$$

マルサス係数  $r$  は定数ではなく、時代もしくは社会情勢に左右される。

ロジスティックモデル

$$N_{t+1} = N_t + (r - 1) \left( 1 - \frac{N_t}{K} \right) N_t$$

成長の限界である環境収容量はどれだけか不明

最後の審判日モデル

$$N_{t+1} = N_t + (r - 1)N_t + raN_t^2$$

有限時間で人口は発散

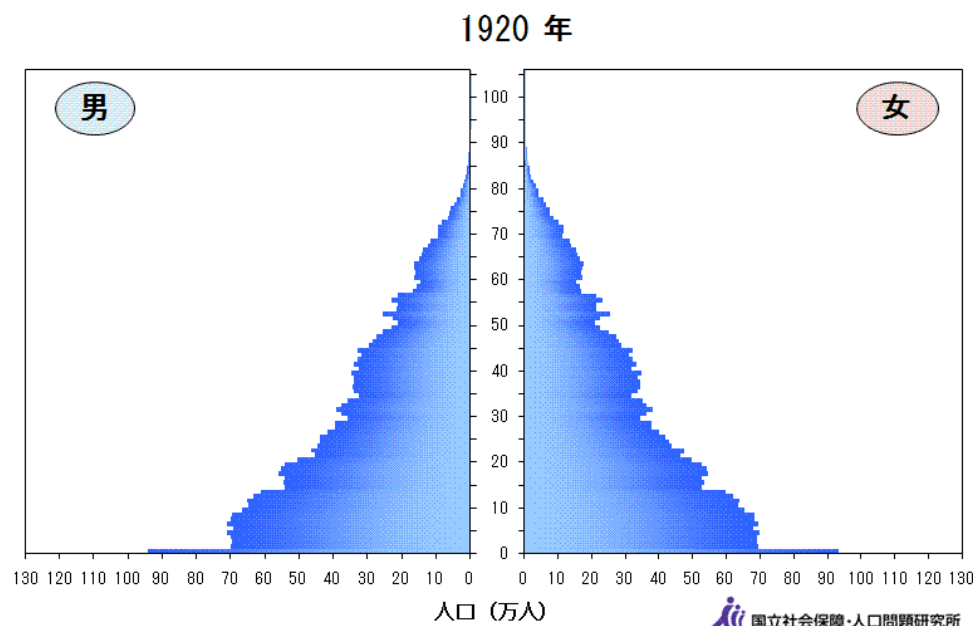
人間集団には様々な齢の個体が存在。若齢者が多い集団とそうでない集団では当然、個体数（人口）の変化も異なるはず。上記モデルは年齢構造を無視

# 人口増加の予測モデル

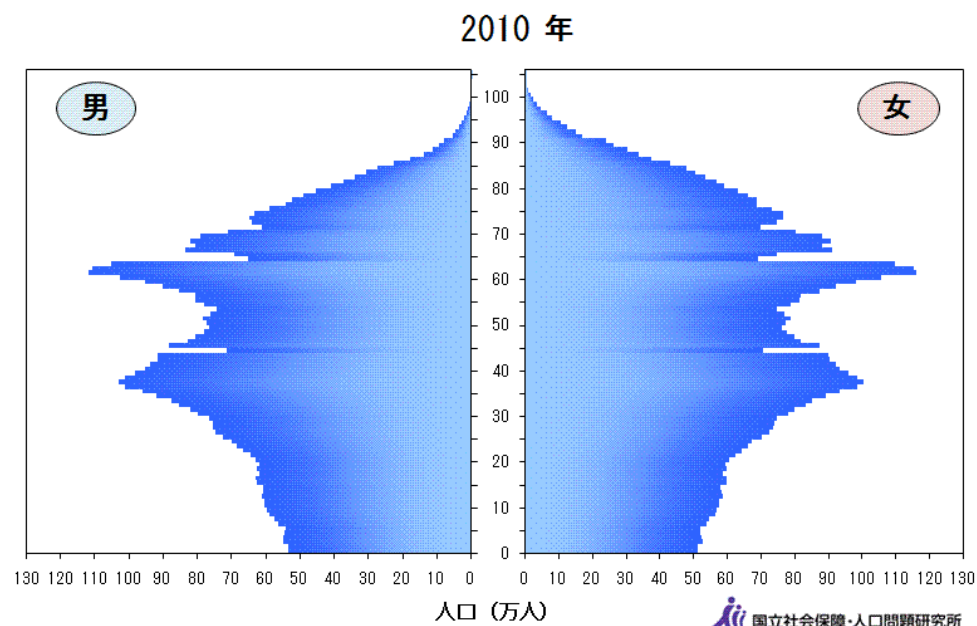
人間集団には様々な年齢の個体が存在し、生存率や出生率は年齢毎に異なる。具体的な人口予測をするには集団の**年齢構造**を考慮する必要がある。

## 日本人口の年齢構造

国立社会保障・人口問題研究所 <http://www.ipss.go.jp/>



資料：1920～2010年：国勢調査、推計人口、2011年以降：「日本の将来推計人口（平成24年1月推計）」。



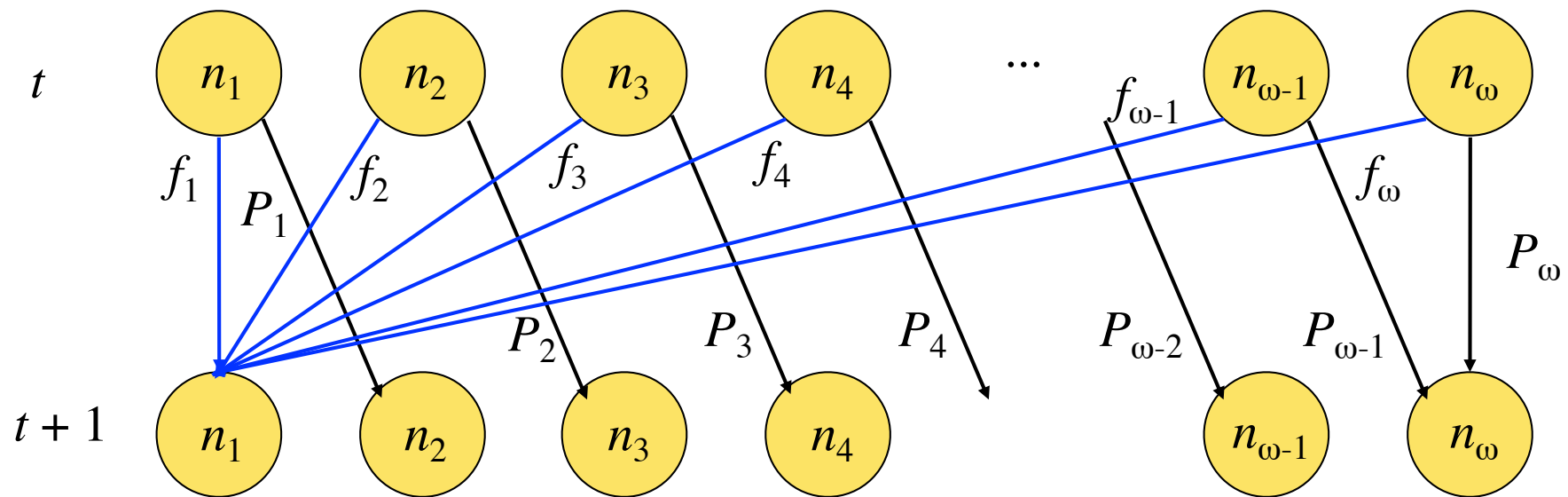
資料：1920～2010年：国勢調査、推計人口、2011年以降：「日本の将来推計人口（平成24年1月推計）」。

# 齡構造モデル

年齢  $i$  の人口を  $n_i$  とする ( $i = 1, 2, 3, \dots$ )

$x$  歳の個体は 1 年後、生存確率  $P_x$  で  $x+1$  歳になる(時間の単位は年)

$x$  歳の個体が産む子供のうち 1 歳まで成長する数は  $f_x$



$\omega$  歳以上をひと括りに  
する場合

# 齡構造モデル

$$n_x(t+1) = P_{x-1}n_{x-1}(t) \quad x = 2, 3, \dots, \omega - 1$$

生存に関する式

$$n_\omega(t+1) = P_{\omega-1}n_{\omega-1}(t) + P_\omega n_\omega(t)$$

$$n_1(t+1) = f_1n_1(t) + f_2n_2(t) + \dots + f_\omega n_\omega(t) = \sum_{x=1}^{\omega} f_x n_x(t) \quad \text{出生に関する式}$$

ベクトルと行列の形式で表記すると

$$\begin{bmatrix} n_1(t+1) \\ n_2(t+1) \\ n_3(t+1) \\ \vdots \\ n_{\omega-1}(t+1) \\ n_\omega(t+1) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} f_1 & f_2 & f_3 & \dots & f_{\omega-1} & f_\omega \\ P_1 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ 0 & P_2 & 0 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & \dots & 0 & P_{\omega-2} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \dots & 0 & P_{\omega-1} & P_\omega \end{bmatrix} \begin{bmatrix} n_1(t) \\ n_2(t) \\ n_3(t) \\ \vdots \\ n_{\omega-1}(t) \\ n_\omega(t) \end{bmatrix}$$

**レスリー 行列** (Leslie): 出生率や死亡確率(生存確率)のデータから推定

# 齡構造モデルの性質

生存率  $P_i$  および出生率  $f_i$  が定数である場合、行列  $A$  は定数行列となり

$$\mathbf{n}(t+1) = \mathbf{A}\mathbf{n}(t)$$

$$\mathbf{n}(t) = \mathbf{A}\mathbf{n}(t-1) = \mathbf{A}\mathbf{A}\mathbf{n}(t-2) = \mathbf{A}\mathbf{A}\mathbf{A}\mathbf{n}(t-3) \cdots$$

$$\mathbf{n}(t) = \mathbf{A}^t \mathbf{n}(0)$$

この式は解析的に解ける(線形代数)

$$\mathbf{n}(t) = \mathbf{A}^t \mathbf{n}(0) = c_1 \lambda_1^t \mathbf{e}_1 + c_2 \lambda_2^t \mathbf{e}_2 + c_3 \lambda_3^t \mathbf{e}_3 + \cdots + c_\omega \lambda_\omega^t \mathbf{e}_\omega$$

$\lambda_i$  は行列  $A$  の固有値、 $\mathbf{e}_i$  は固有ベクトル、 $c_i$  は初期分布  $\mathbf{n}(0)$  で決まる定数  
( $i = 1, 2, 3, \dots, \omega$ )

$$\mathbf{n}(t) = \mathbf{A}^t \mathbf{n}(0) = c_1 \lambda_1^t \mathbf{e}_1 + c_2 \lambda_2^t \mathbf{e}_2 + c_3 \lambda_3^t \mathbf{e}_3 + \cdots + c_\omega \lambda_\omega^t \mathbf{e}_\omega$$

十分時間が経つと ( $t \rightarrow \infty$ ),

$$\mathbf{n}(t) \propto \lambda_1^t \mathbf{e}_1 \quad \lambda_1 \text{ は行列 } A \text{ の最大固有値 (実数)}$$

齢構造モデルにおいて Leslie 行列  $A$  が定数行列であれば、十分時間が経った後の総個体数は、単位時間に行列  $A$  の最大固有値  $\lambda_1$  倍になる。

最大固有値  $\lambda_1 > 1$  なら、指数的に増加

最大固有値  $\lambda_1 < 1$  なら、指数的に減少

その時の齢分布は、最大固有値に対応する固有ベクトル  $\mathbf{e}_1$  で与えられる。

# 齡構造モデル

年齢  $i$  の人口を  $n_i(t)$

年齢  $i$  の個体の出生率を  $f_i$

年齢  $i$  の個体の年間生存確率を  $P_i$  ( $i = 1, 2, 3, \dots, \omega$ )

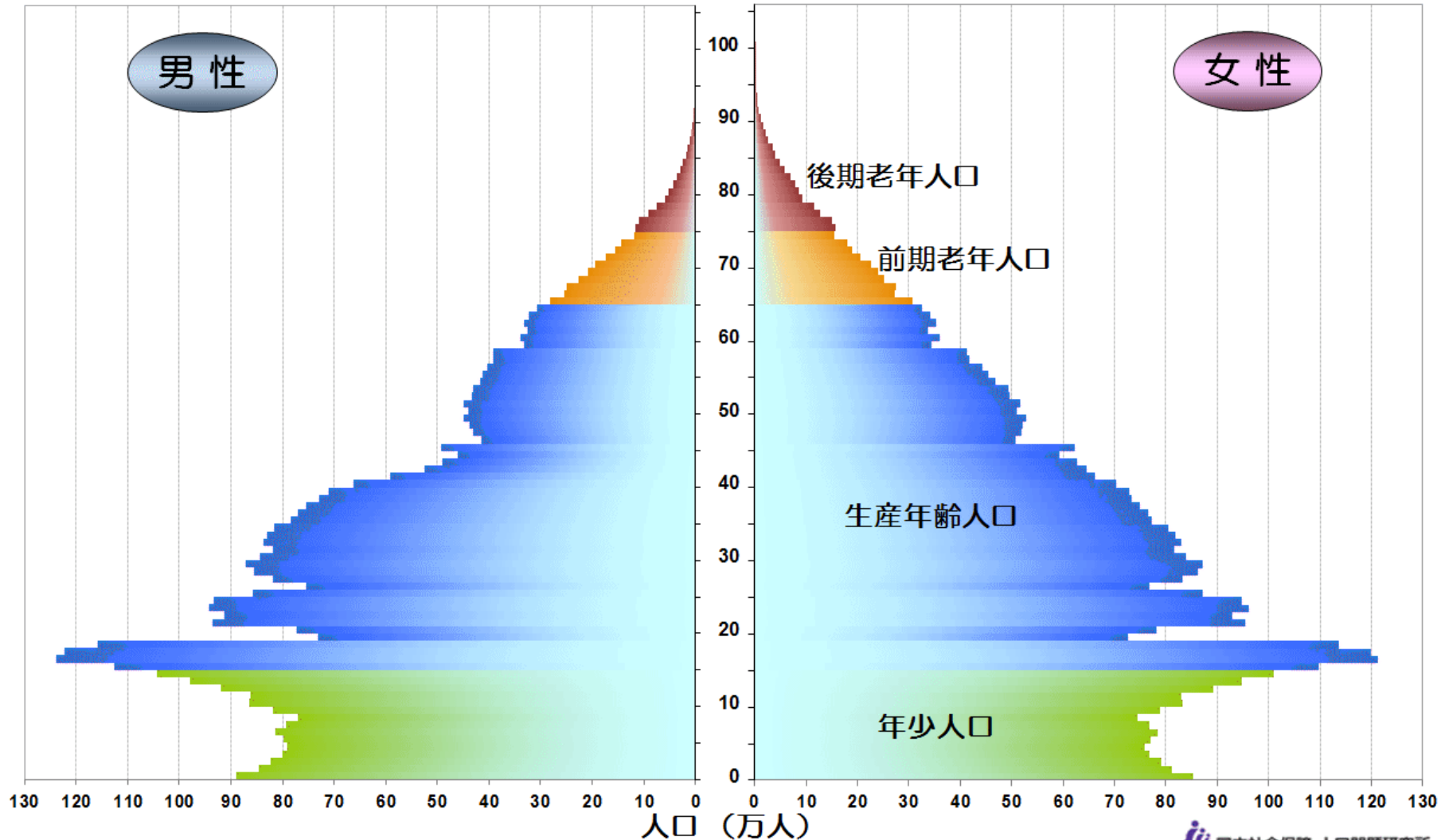
Leslie 行列  $A$  を用いて、翌年の各年齢人口が決まる

$$\begin{bmatrix} n_1(t+1) \\ n_2(t+1) \\ n_3(t+1) \\ \vdots \\ n_{\omega-1}(t+1) \\ n_{\omega}(t+1) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} f_1 & f_2 & f_3 & \cdots & f_{\omega-1} & f_{\omega} \\ P_1 & 0 & 0 & \cdots & 0 & 0 \\ 0 & P_2 & 0 & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & 0 & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ 0 & \cdots & 0 & P_{\omega-2} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \cdots & 0 & P_{\omega-1} & P_{\omega} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} n_1(t) \\ n_2(t) \\ n_3(t) \\ \vdots \\ n_{\omega-1}(t) \\ n_{\omega}(t) \end{bmatrix}$$

レスリー行列  $A$  の各要素(年齢依存する出生率と死亡確率)は  
時代とともに変化する

# 日本人口の年齢構成

1965



資料：1965～2015年：国勢調査、2020年以降：「日本の将来推計人口（平成29年推計）」。

国立社会保障・人口問題研究所

国立社会保障・人口問題研究所 より  
<http://www.ipss.go.jp/>



# 人口増加の予測とは？

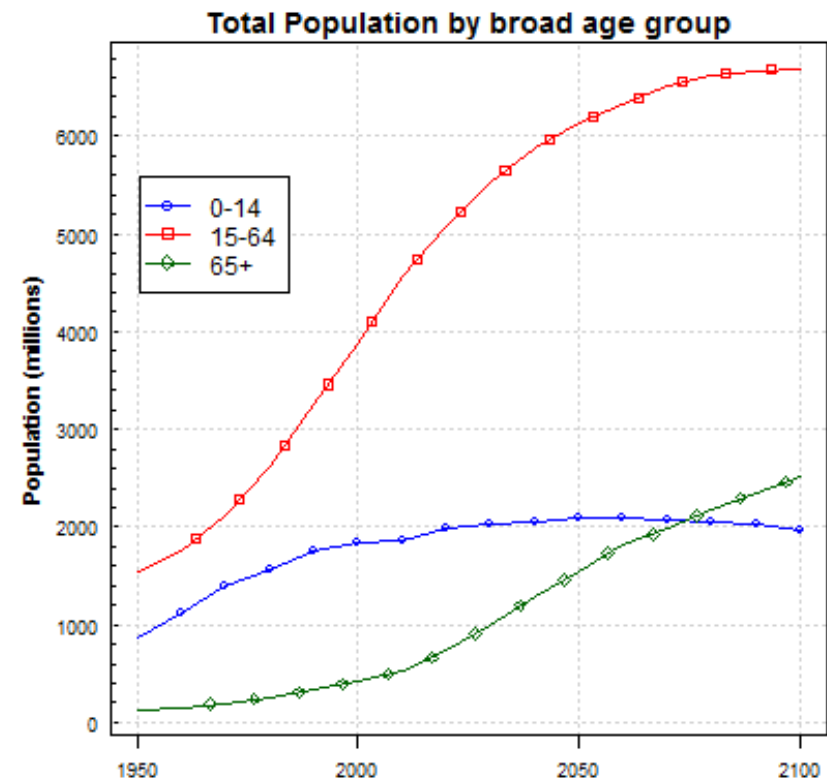
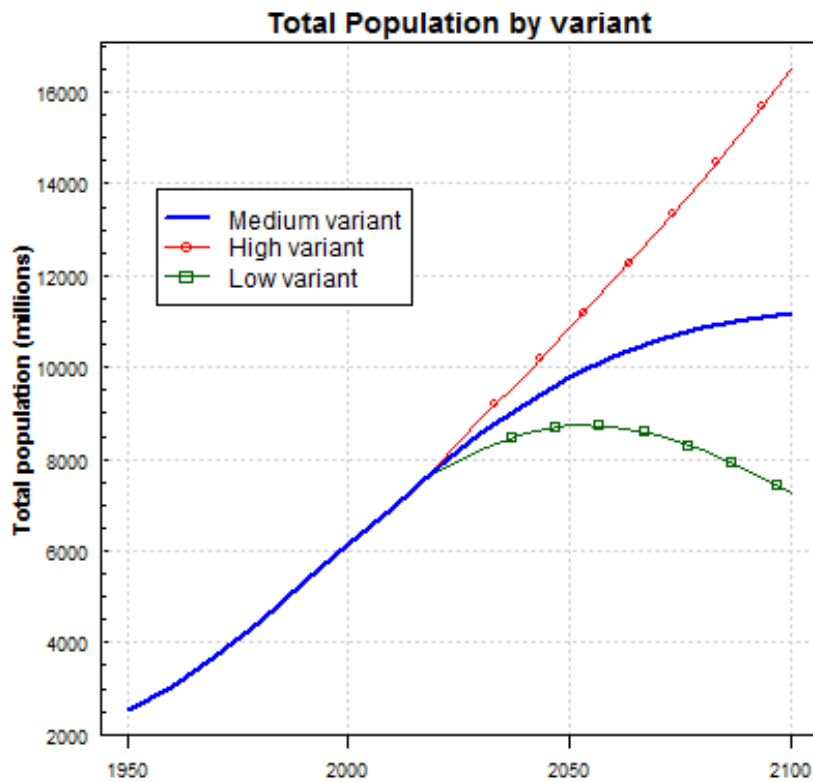
人口増加の将来予測とは、各年齢クラスの出産率や生存率の変化について、幾通りかのシナリオ（仮定）を設定し、このシナリオの下で人口がどのように増えるのかを計算した結果に他ならない

前提となるシナリオ（仮定）が成り立たなければシミュレーション結果は意味を失う。予測が現実のものとなるとは限らない

出生率や生存率は、公衆衛生や社会体制や制度等に大きく影響される。これらの影響を正確に推し量って人口増加を予測するのは困難

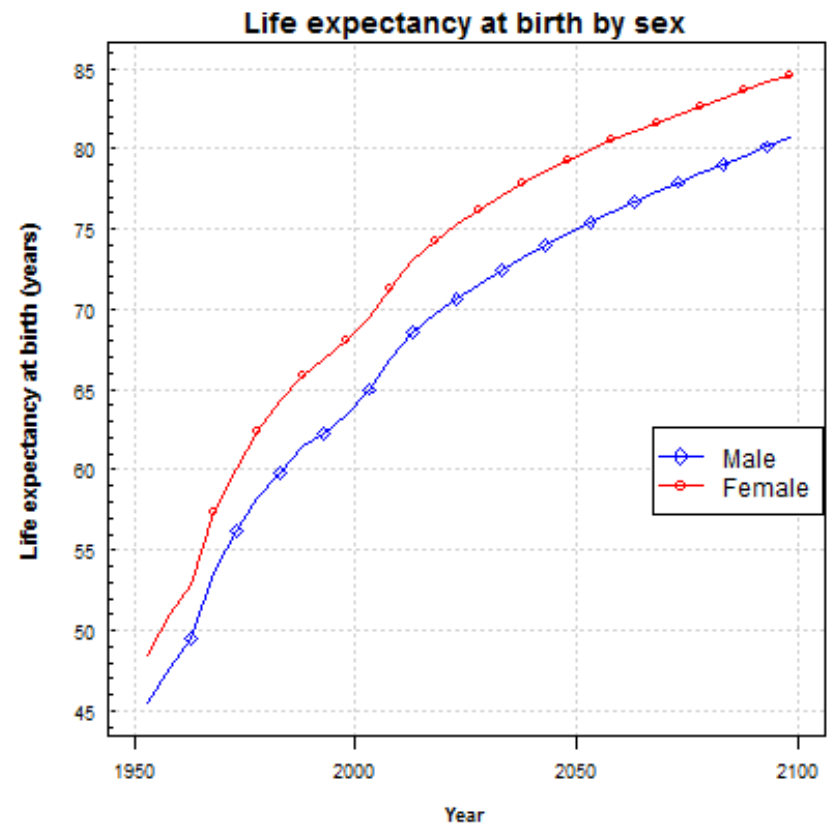
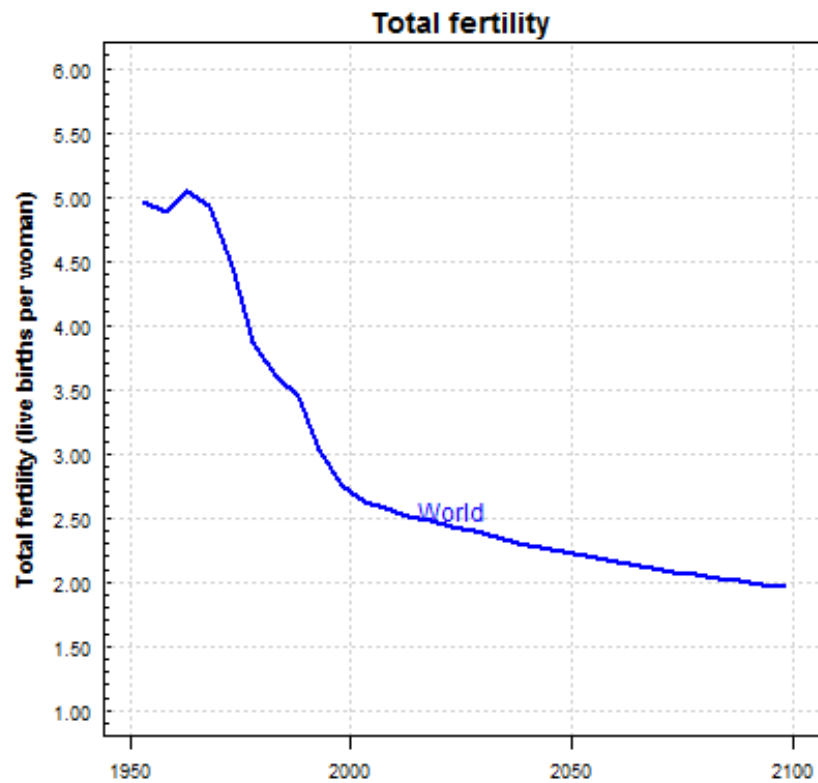
# 世界人口の将来予測

国際連合ウェブサイトより <https://population.un.org/wpp/>



# 世界人口の将来予測

国際連合ウェブサイトより <https://population.un.org/wpp/>

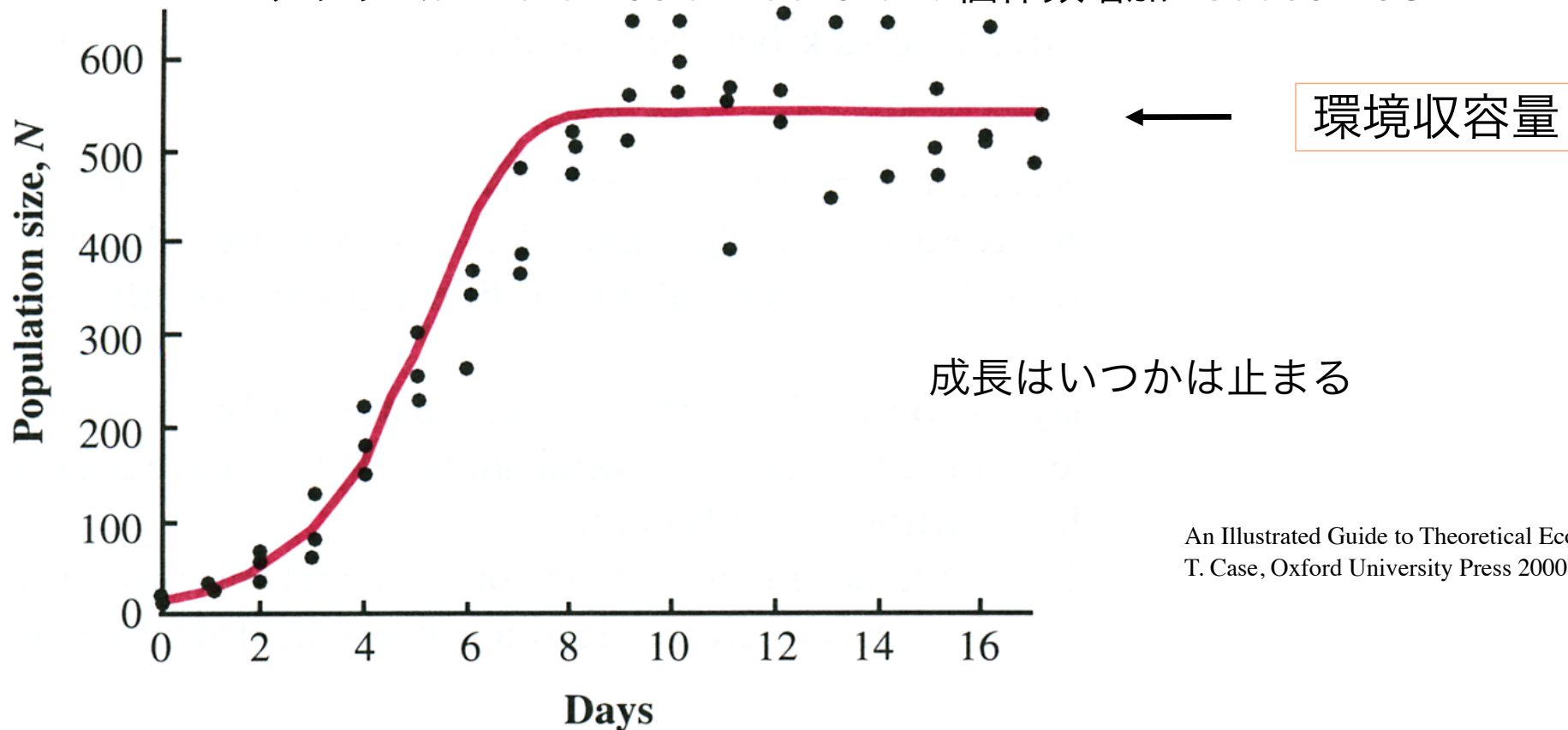


# 地球が養える最大人口はどれだけか？

人口増加が無限に続くことは物理的に不可能。

人口増加につれて、食料・資源の不足、過密による環境悪化等の影響で、増加率は小さくなると思われる（密度依存効果）。

ゾウリムシ *Paramecium aurelia* の個体数増加 Gause 1934



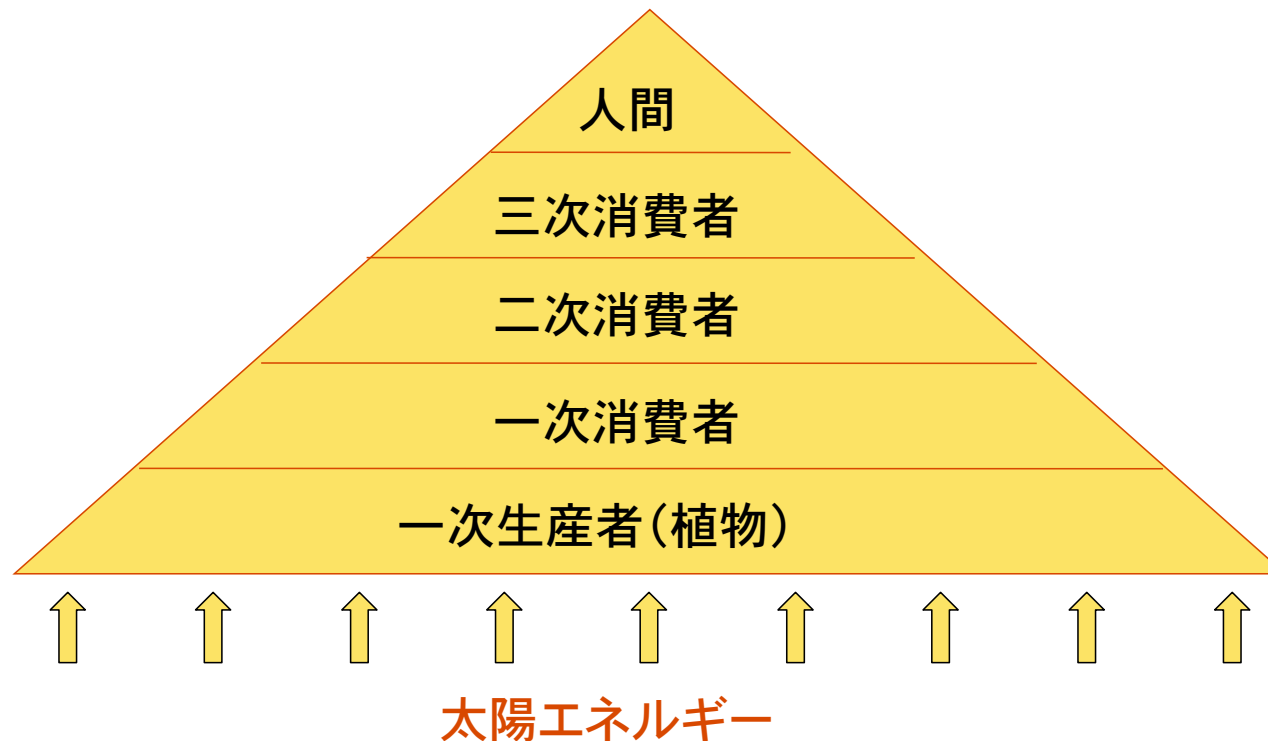
An Illustrated Guide to Theoretical Ecology  
T. Case, Oxford University Press 2000

# 最大人口の試算

人間が生きるために必要な消費エネルギーの観点から考える

エネルギーの流れ

太陽光（光合成） ⇒ 炭水化物 ⇒ 食物連鎖網 ⇒ 人間



# De Wit の試算

光合成が制限要因である場合の地球の最大人口の試算

地球の最大人口  $P$  の算出方法

$$P = \frac{\text{生産面積} \times \text{単位面積あたりのエネルギー生産量}}{\text{一人が必要とする栄養量}}$$

一人の人間が必要とするエネルギーは、年間 100 万キロカロリー  
(1日 2,740 kcal)

地表面単位面積あたりに光合成により生産されるエネルギー  
(緯度によって異なる) を求めて  $P$  を試算する

# De Wit の推定値

表10-4 地球の炭水化物生産能力と扶養可能人口に関する De Wit の推定(1967)。炭水化物生産は光合成にのみ依存すると仮定してある。

「新人口論—生態学的アプローチ」  
農山漁村文化協会 1998  
Joel E. Cohen著 重定・瀬野・高須共訳

北緯緯度 <sup>(1)</sup> (度)	土地面積 (億ha)	気温が10 度以上の 月数	炭水化物 量/年/ha (千キログ ラム) <sup>(2)</sup>	生活を維持するために必要な1人当たりの面積				農地比率
				都市機能および余暇 施設を含めない場合		都市機能および余暇 施設として1人当 り750平方メートルを 考慮した場合		
				1人当たり 面積(m <sup>2</sup> )	人口 (億人)	1人当たり 面積(m <sup>2</sup> )	人口 (億人)	
列1	2	3	4	5	6	7	8	9
70	8	1	12	806	100	1,556	50	52
60	14	2	21	469	300	1,219	110	38
50	16	6	59	169	950	919	170	18
40	15	9	91	110	1,360	860	180	13
30	17	11	113	89	1,510	839	200	11
20	13	12	124	81	1,050	831	160	10
10	10	12	124	81	770	831	110	10
0	14	12	116	86	1,210	836	170	10
-10	7	12	117	85	870	835	90	10
-20	9	12	123	81	1,120	831	110	10
-30	7	12	121	83	880	833	90	10
-40	1	8	89	113	90	863	10	14
-50	1	1	12	833	10	1,583	10	53
合計	131				10,220		1,460	

10,220 億人

1,460 億人

注：(1) De Wit (1967, p. 318) ではおのおのの行は10度毎に区切った緯度に対応しているが、その

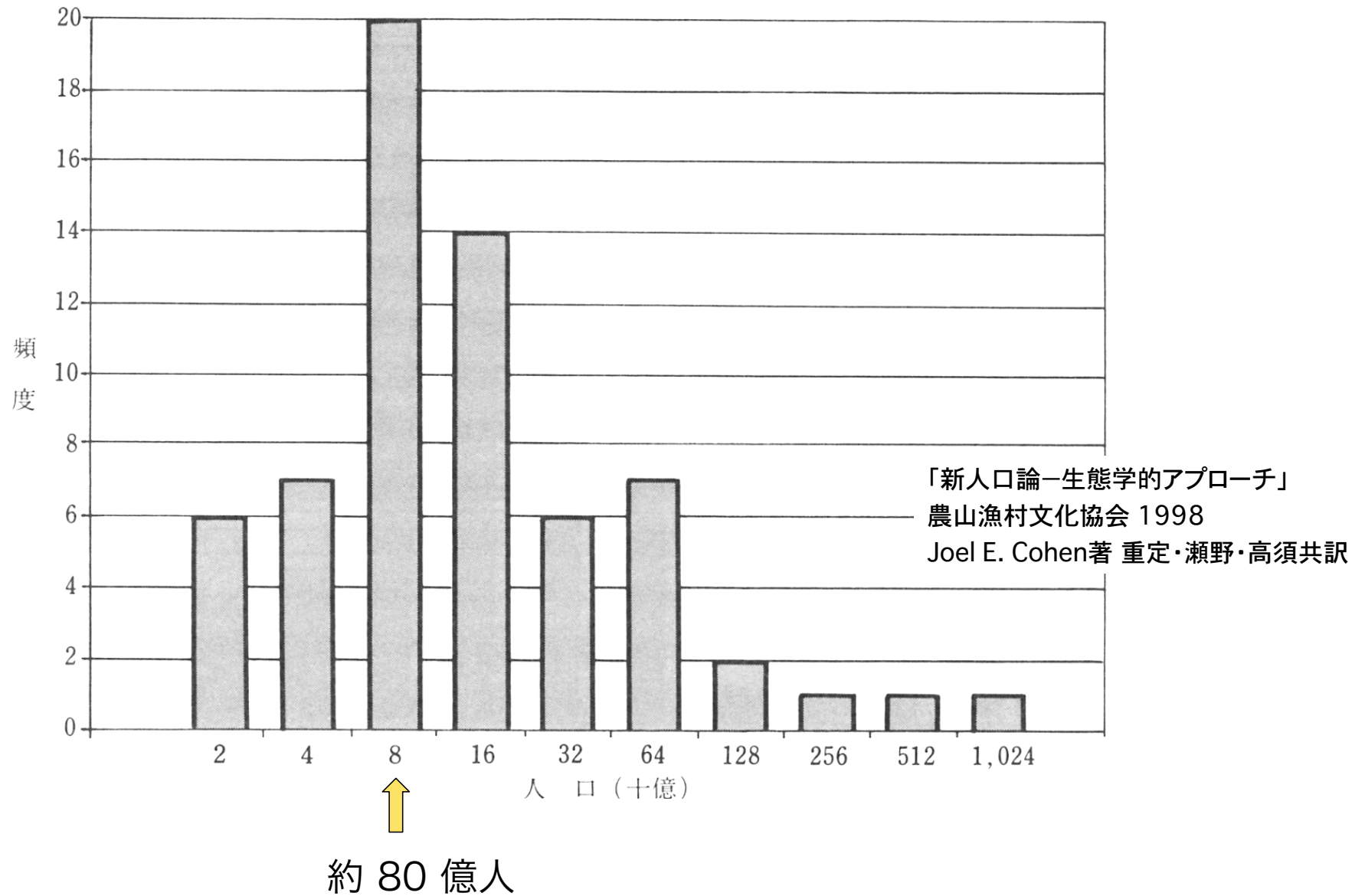
# 光合成以外の制限要因

- 穀物生産に必要な肥料、灌漑施設、水資源
- 高次消費者（いわゆる高級食物材）の問題
- 住環境・公衆衛生の維持（感染症対策）
- 石油等の社会活動に必要な資源
- 社会システムの制限

こういった制限要因を総合して、地球の最大人口を試算する必要がある。



# 最大地球人口の試算値の頻度分布



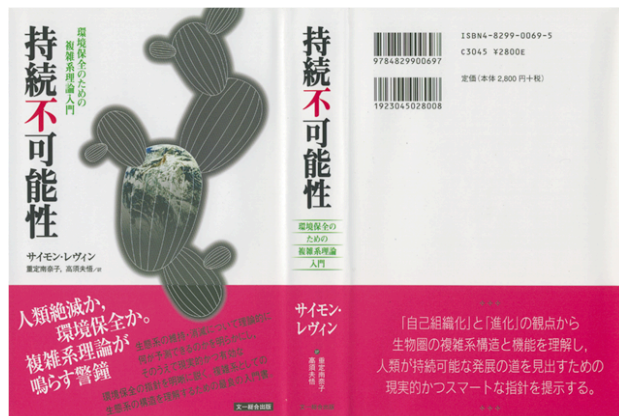
どのような制限要因を考えるかで試算値は異なってくる

# 持続可能性という考え方

漁業・農業・エネルギー採掘などが、将来にわたって長期安定して維持可能かどうか**が持続可能性**

目の前の獲物を獲れるだけ獲る（根こそぎ収穫）は、短期的な利益をもたらすが、持続可能ではない

社会制度（経済システム・社会保障制度など）の制定にも持続可能性という概念が求められる。地球の最大人口もどのような持続可能な社会を築くのかに大きく依存

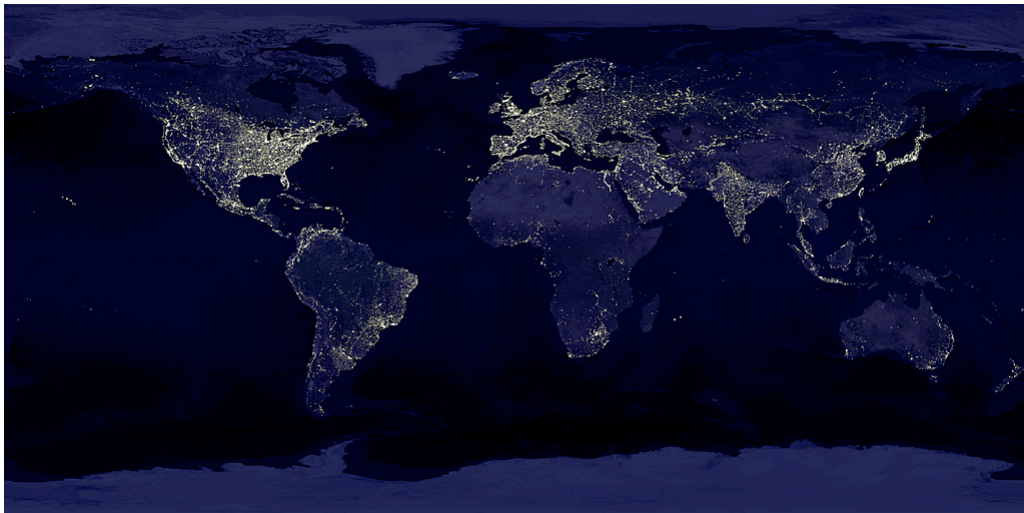


複雑適応形の1つであるエコシステムが、どのように進化し、維持されているのかを一般向けに解説した書籍

Simon Levin 著 重定南奈子・高須夫悟訳  
文一総合出版 2003年 2,800円

# 地球の最大人口は、

我々人類が地球上で  
どのような生活を営むのか、  
どのような経済を発展させるのか、  
どのような社会を築くのか、  
に依存する。



将来は我々の選択しだい

# 課題（レポート）

- 環境問題の一つとしての人口問題（人口減少・人口爆発など）に関して、数理的アプローチが果たす役割について考察せよ
- +感想（自由形式）
- 10月16日（金）13:00までにG311に提出（紙・電子媒体）
- 他者の文章を丸写ししたもの・出典が無い引用は不可