

人口減少期の土木計画学研究

-都市間旅行回数分析からのアプローチ-

山口 裕通

工学研究科 土木工学専攻 地域計画学/被災地支援研究室

人間・社会領域基盤 D2

27-November, 2014

もくじ

◆土木計画学・交通研究について

- 渋滞問題研究の紹介...

◆「人口減少」という大問題

◆旅行回数分布に着目した、 都市間旅行の現状と将来予測

- 都市間旅行の実態と、近年の経年変化
- コーホートモデルを用いた需要予測

土木計画学とは？

「土木構造物（社会インフラ）が
社会活動，問題解決にどのように寄与するか？」

= “人間の行動”が分析対象

経済学・社会学・心理学と深いつながり

◆交通研究

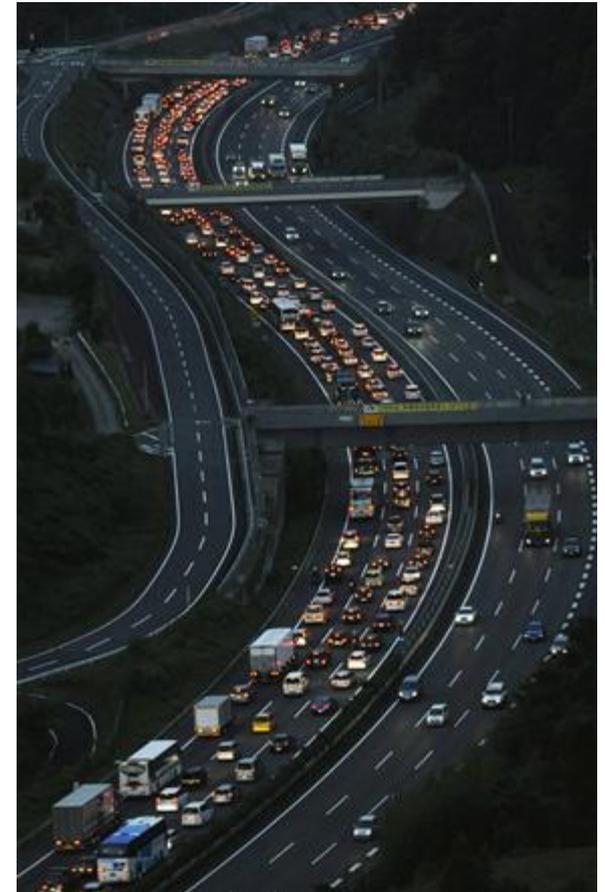
- 対象とするインフラ:

「道路」 「鉄道」 「航空路線」 ...

- 社会問題・活動：**渋滞**，**交流活動** etc...

交通研究の一大テーマ：渋滞問題

- ◆世界共通の都市問題
- ◆莫大な損失時間
 - 日本全国で38.1(億人時間)
一人当たり年間約**30時間**
(国土交通省推計)
- ◆環境問題，交通事故増加...



渋滞問題に対する解決策

◆インフラ整備・改良

- 渋滞発生メカニズムの研究
 - 道路上の“**サグ部**”を解消すべし etc...

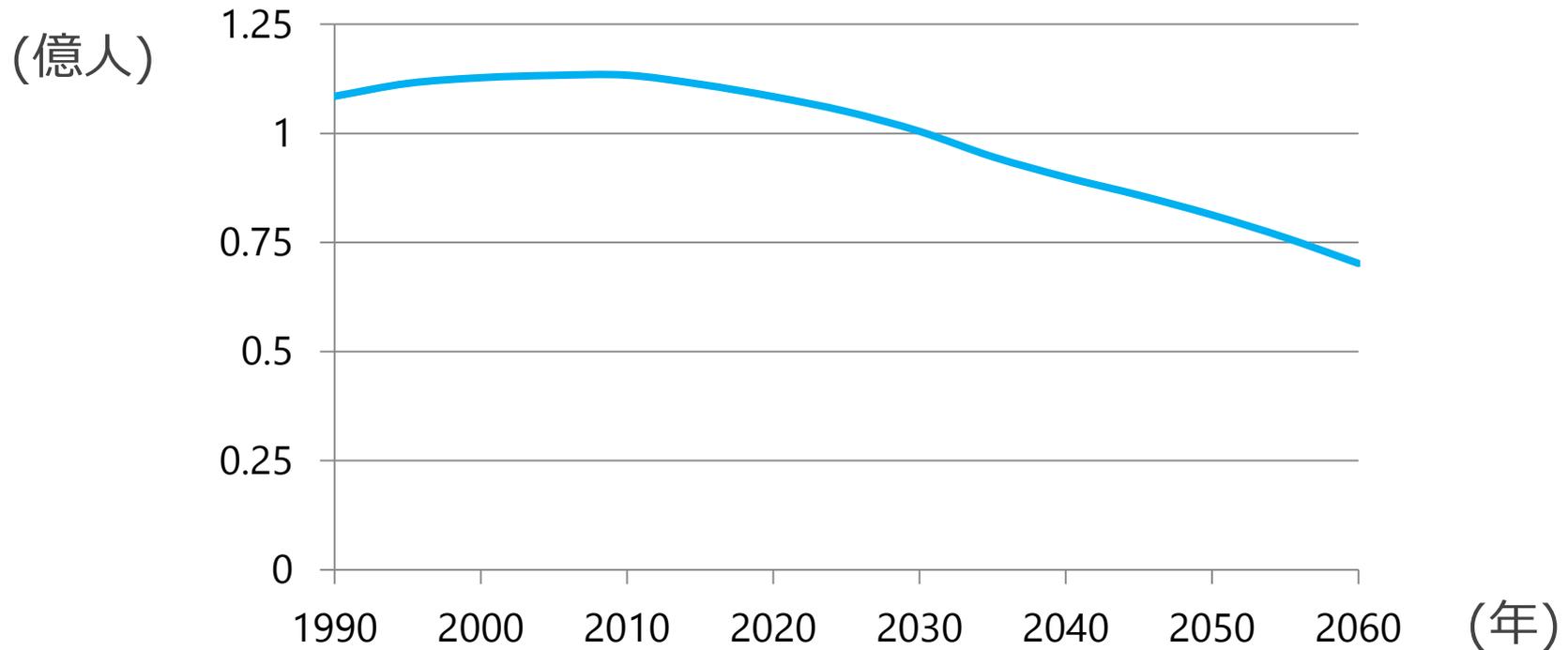
◆交通量の制御

- 負の外部性の内部化（渋滞のコストを支払わせる）
 - 通行権取引制度 etc...

渋滞問題の基本的な原因と解決策

- 原因: 「人が多すぎる・集中し過ぎること」
- 解決策: 「容量を増強する・減らす or 分散させること」

日本が今後直面する問題：人口減少



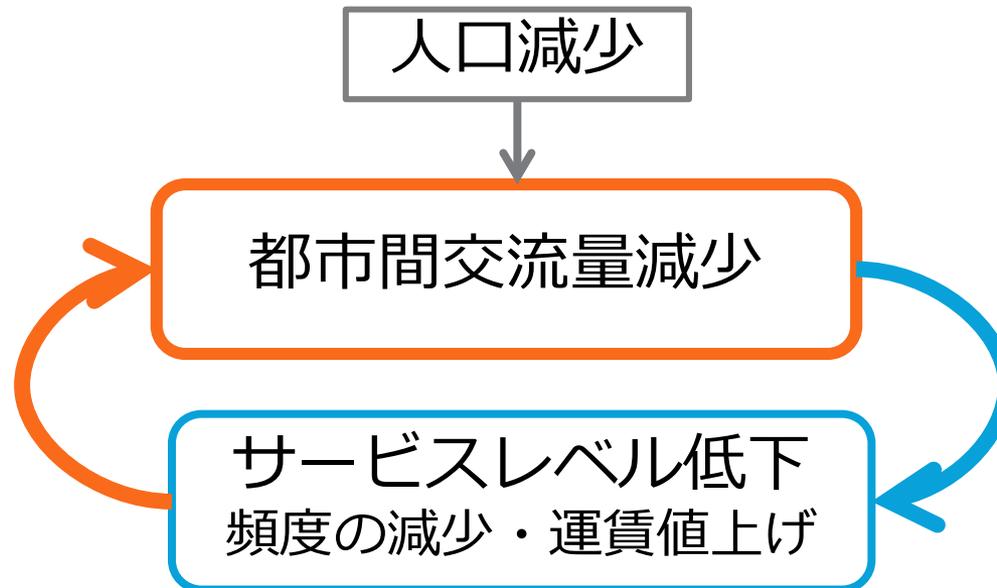
推計将来 10歳以上人口
(国立社会保障・人口問題研究所・中位仮定)

- 渋滞問題とは**真逆** (混雑が緩和される)
- 日本だけの問題ではない, 北欧・中国なども...

なぜ人口減少が問題か？

◆ 規模の経済性が働く，公共交通では大問題！

- 旅客が多いほど，高頻度 or 低価格なサービスが提供しやすい

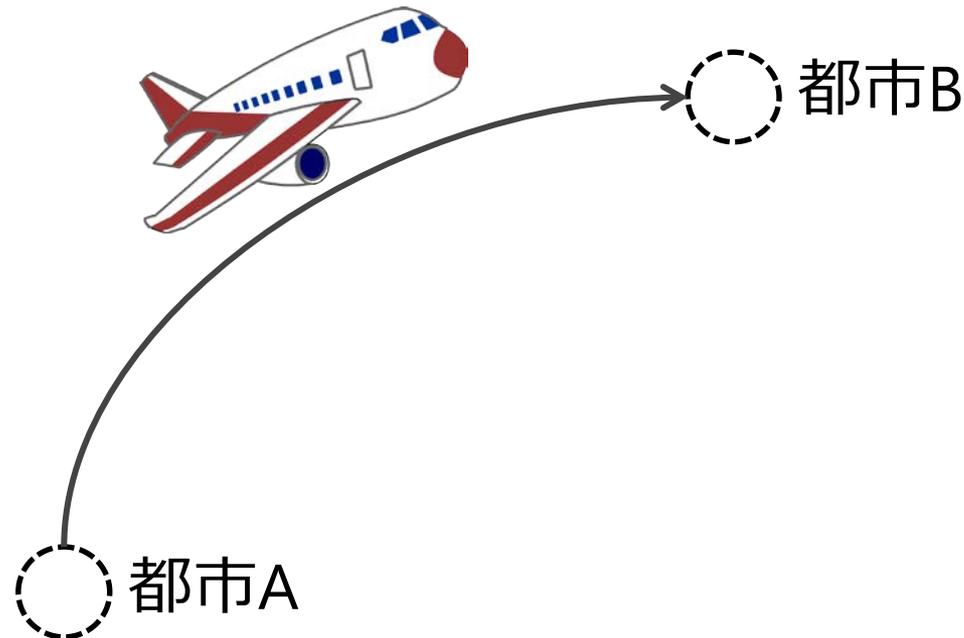


都市間交通のサービスレベルが累積的に低下
⇒ 都市間の交流が極端に困難になる可能性

公共交通における人口減少問題のモデル分析

◆シンプルに...

- 都市A → 都市Bの旅行を分析
- (頻度を自由に決定できる) 独占の航空会社が運行



旅客行動モデル

◆ 離散選択モデル (ロジットモデル)

- 仮定: 個人 i は, 旅行の有無 ($k_i = \{1,0\}$) を頻度から選択
- 効用最大化としての定式化 (効用: 満足度)

$$\max_{k_i} U_i = k_i \left(\varepsilon_i - \frac{1}{f} \right) \quad \forall i \quad f: \text{運行頻度}$$

- ε_i : i にとっての旅行の価値 (個人毎に異なる)

これがGumbel分布に従うとき, 旅行者数 q は

$$q = \text{人口} \times \frac{1}{1 + \exp\left(\frac{\alpha}{f} - \beta\right)}$$

α, β : Gumbel分布のパラメータ

交通事業者（航空会社）のモデル

◆ 頻度決定モデル

- 利潤最大化に従って運行頻度 $f \in \{0, 1, 2, \dots\}$ を決定

$$\max_f \pi = pq - Ff$$

- pQ : 運賃収入 (運賃 p × 旅行者数 q)

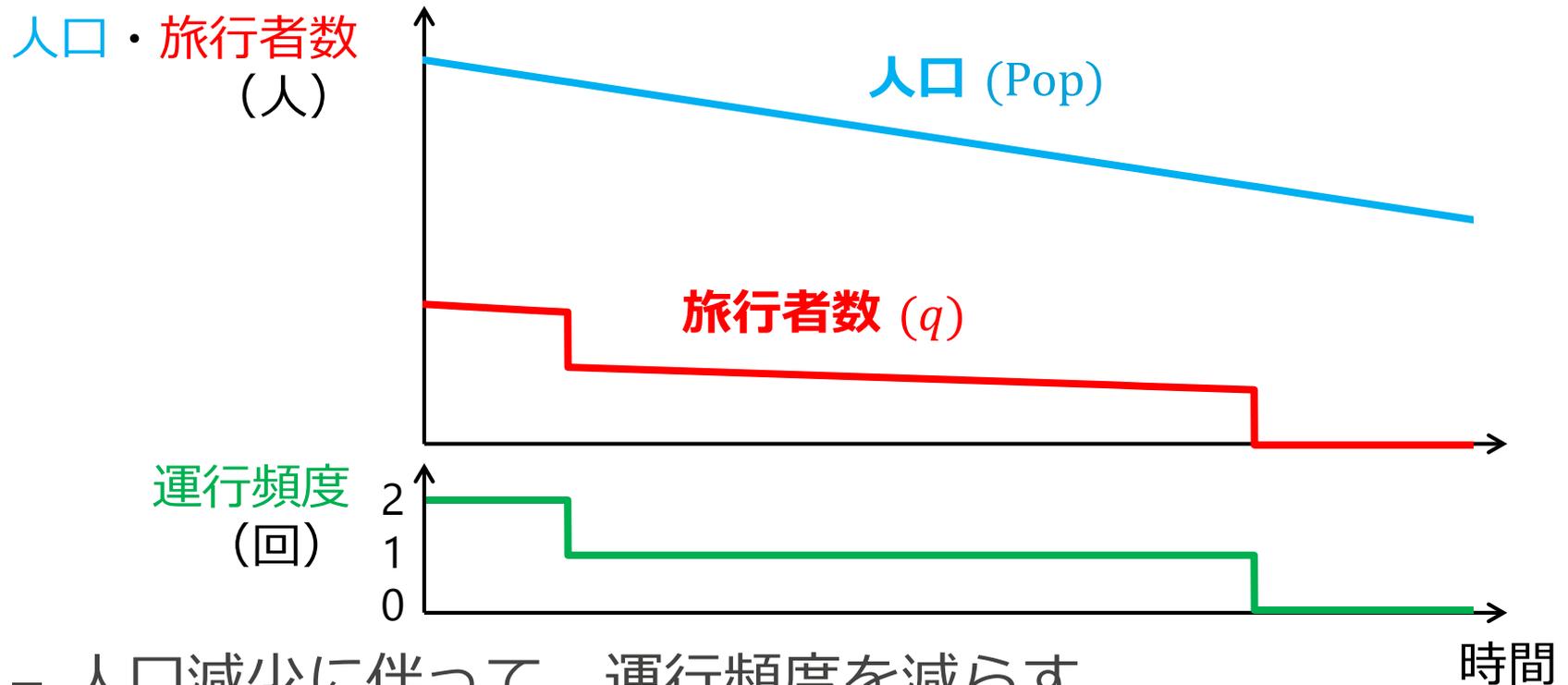
※ 運賃は所与とする

- Ff : 運行費用 (1便当たりの運行費用 F × 頻度 f)

◆ 交通事業者と旅客の均衡解を算出

--需要と供給が釣り合っている状態

人口減少問題の進展（線形の人口減を仮定）



- 人口減少に伴って、運行頻度を減らす
⇒ 旅客数が人口減少のペースより早く減少
- 最終的にサービスがなくなる（頻度=0）
⇒ 都市間の交流活動が困難に

人口減少期問題についてまとめ

◆問題の原因と基本的な解決策

- 原因： 利用者が減り十分な規模が確保できない
- 解決策： 利用者を**集中**させること。
(一部のサービスをあきらめる)
⇒ 複数モード大規模ネットワークの議論

◆人口減少期問題（縮小問題）の性質

- **“減少”が累積的に進展** (“渋滞”とは逆)
- 均衡状態となる端点解が複数存在
(均衡状態の一意性・安定性の議論が、
大規模ネットワークでは困難)

人口減少期問題についてまとめ cont.

◆私の研究へ...

“需要サイドの行動分析”

利用者の効用関数の形・パラメータをデータから推定

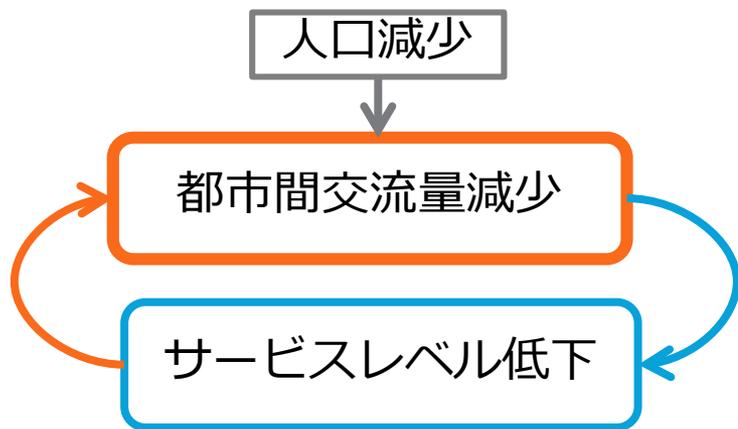
- 都市間旅行需要の将来予測
- LOS (Level of Service; 頻度・運賃など) と需要の関係
⇒ 縮小問題の理解

「止めれるサービスの特定」

- ～ 需要の**集中施策**の検討
- ～ 補助金政策などの妥当性検討

旅行回数分布に着目した 都市間旅行の現状と将来予測

～ 減少のFeedback効果なしで、旅行量はどれだけ減るか？～



着眼点とデータの説明

◆年間宿泊旅行回数の分布に着目

- 長距離, 非日常の交通行動

⇒ 都市間交通機関（新幹線, 航空機）の需要予測

⇒ 個人間の差異が大きく, 分布の形を議論

◆データ： 社会生活基本調査

- 国内宿泊旅行のデータを利用

「各目的の国内宿泊旅行を年間何回しましたか？」

- 旅行目的分類： (1) 観光, (2) 私用・帰省, (3) 業務

- サンプル数: 各年 約20万人

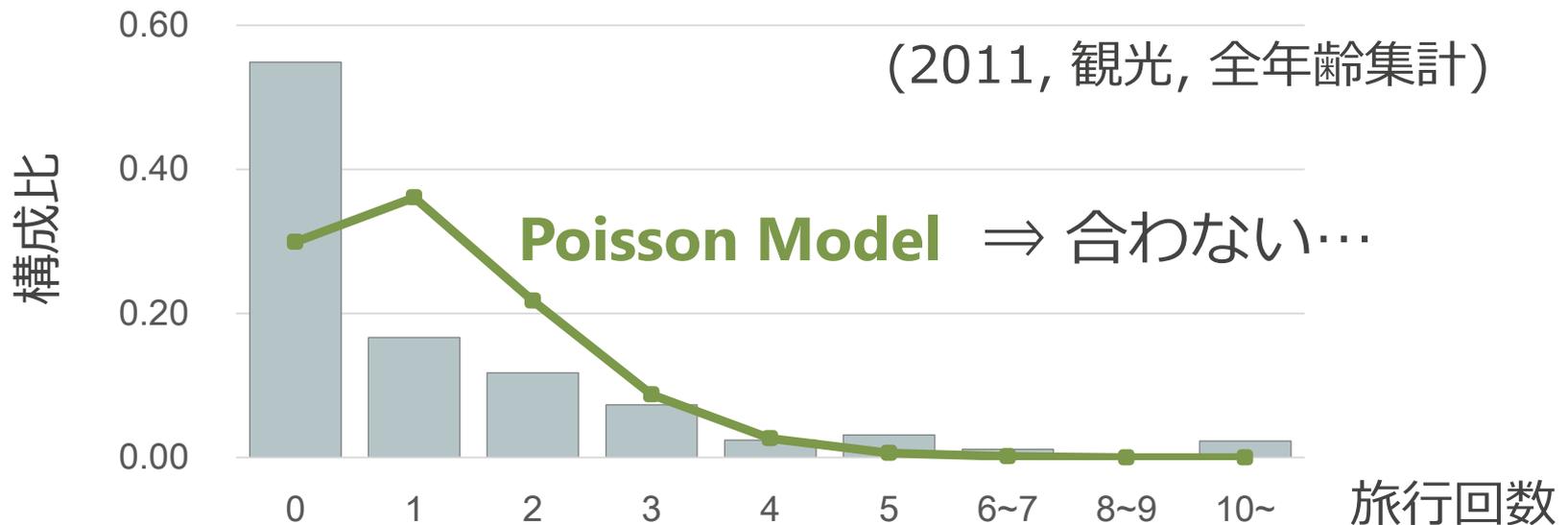
- 利用データ年次: 1991, 1996, 2001, 2006, 2011年

旅行回数分布のモデル化

- ◆ 旅行回数分布の情報を少数のパラメータに集約
⇒ その経年変化を確認し, 将来予測...

- ◆ Poisson分布 :

離散的事象の単位時間当たりの発生回数分布



Poisson分布×指数分布

- ◆ 期待旅行回数 λ (> 0) の個人の観測旅行回数
⇒ **Poisson分布**に従うと仮定

$$P(k|\lambda) = \frac{\lambda^k}{k!} e^{-\lambda} \quad (k: \text{旅行回数})$$

- ◆ 期待旅行回数 λ が個人毎に異なると仮定
⇒ その λ が**指数分布**に従うとする

$$P(\lambda|\mu) = \frac{1}{\mu} e^{-\frac{1}{\mu}\lambda}$$

⇒ k 回のサンプルが観測される確率

$$P(k|\mu) = \int_0^{\infty} P(k|\lambda)P(\lambda|\mu)d\lambda = \frac{\mu^k}{(\mu + 1)^{k+1}}$$

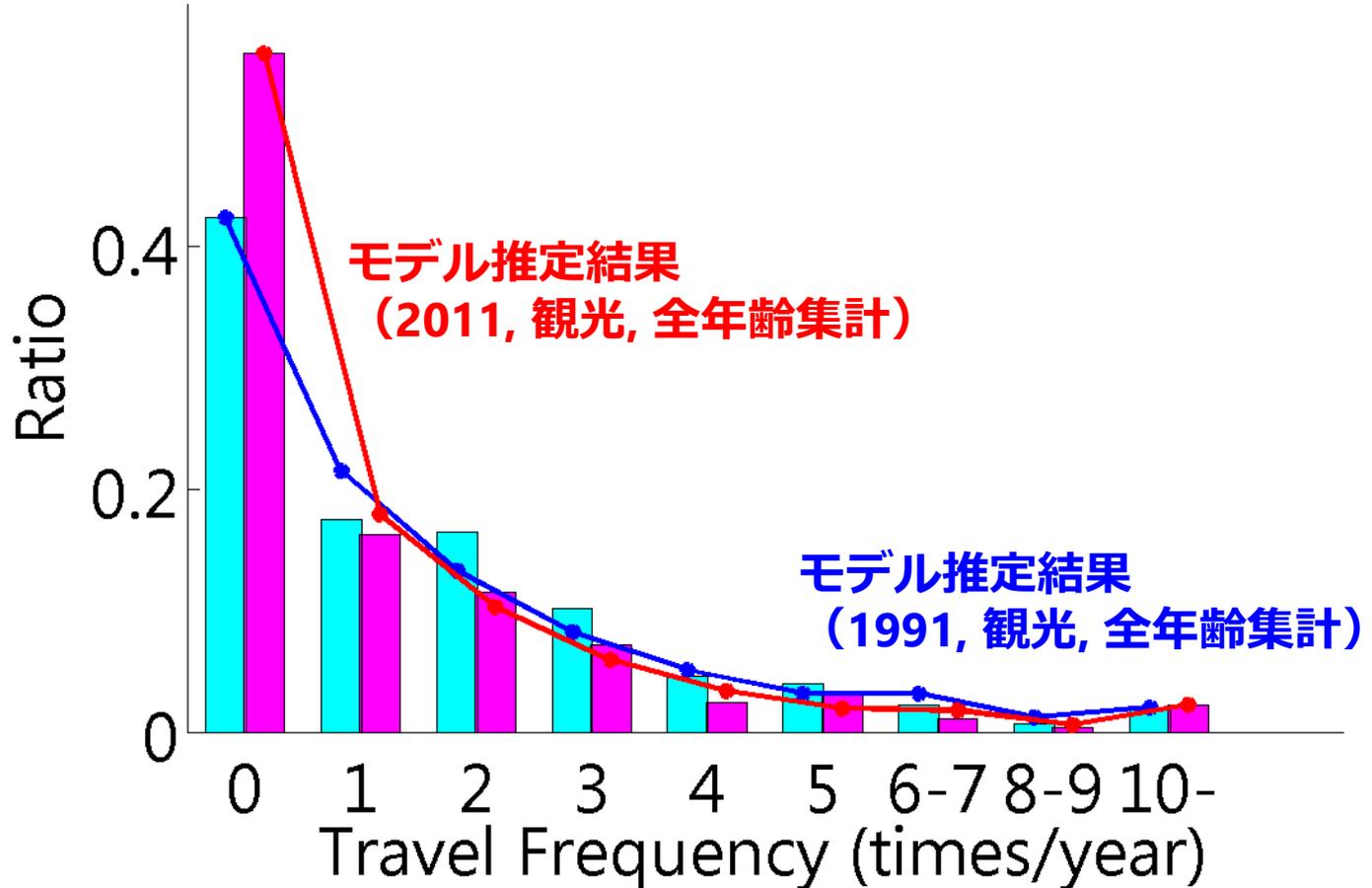
旅行回数分布モデル

◆ さらに過剰な項を説明するパラメータ追加：

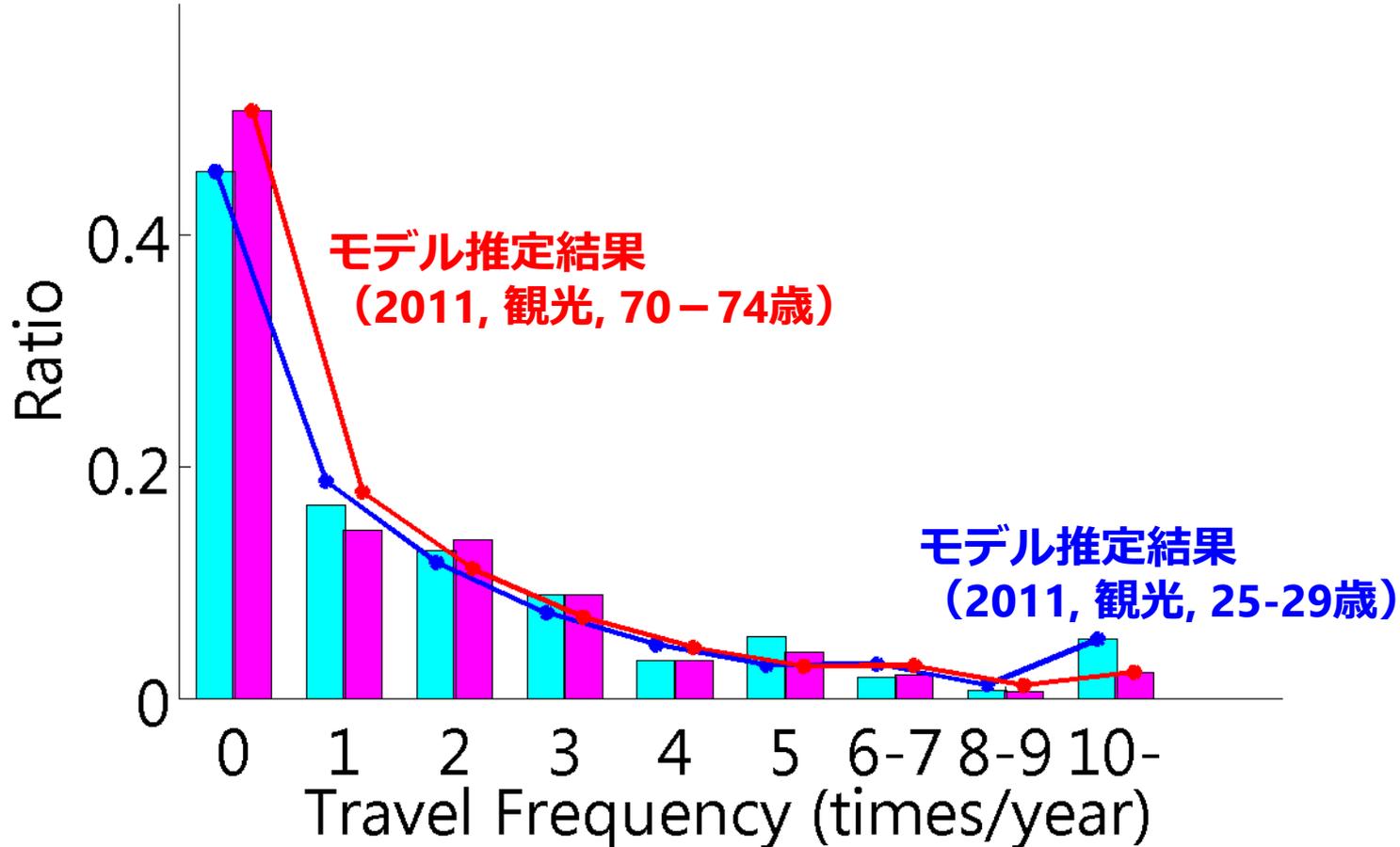
$$p(k) = \begin{cases} \omega + (1 - \omega - \delta) \frac{1}{\mu + 1} & (k = 0) \\ (1 - \omega - \delta) \frac{\mu^k}{(\mu + 1)^{k+1}} & (1 \leq k \leq 9) \\ 1 - \sum_{k=1 \sim 9} p(k) & (k = ' \text{over } 10') \end{cases}$$

- ω : 「ゼロ回」の過剰分を説明するパラメータ
 - δ : 「10回以上」の過剰分を説明するパラメータ
- ⇒ 3パラメータで旅行回数分布を表現

モデルの当てはまり確認



モデルの当てはまり確認



旅行回数分布のモデル化 – まとめ –

◆ 1回～9回までの分布は

Poissonと指数の混合分布に概ね従う

意味：

年間 k 回旅行する人が $f(k)$ 人のとき、 $k + 1$ 回旅行する人は、 $f(k + 1) = \frac{\mu}{\mu + 1} f(k)$ 人この $\frac{\mu}{\mu + 1}$ は、観光目的では、0.5～0.7程度

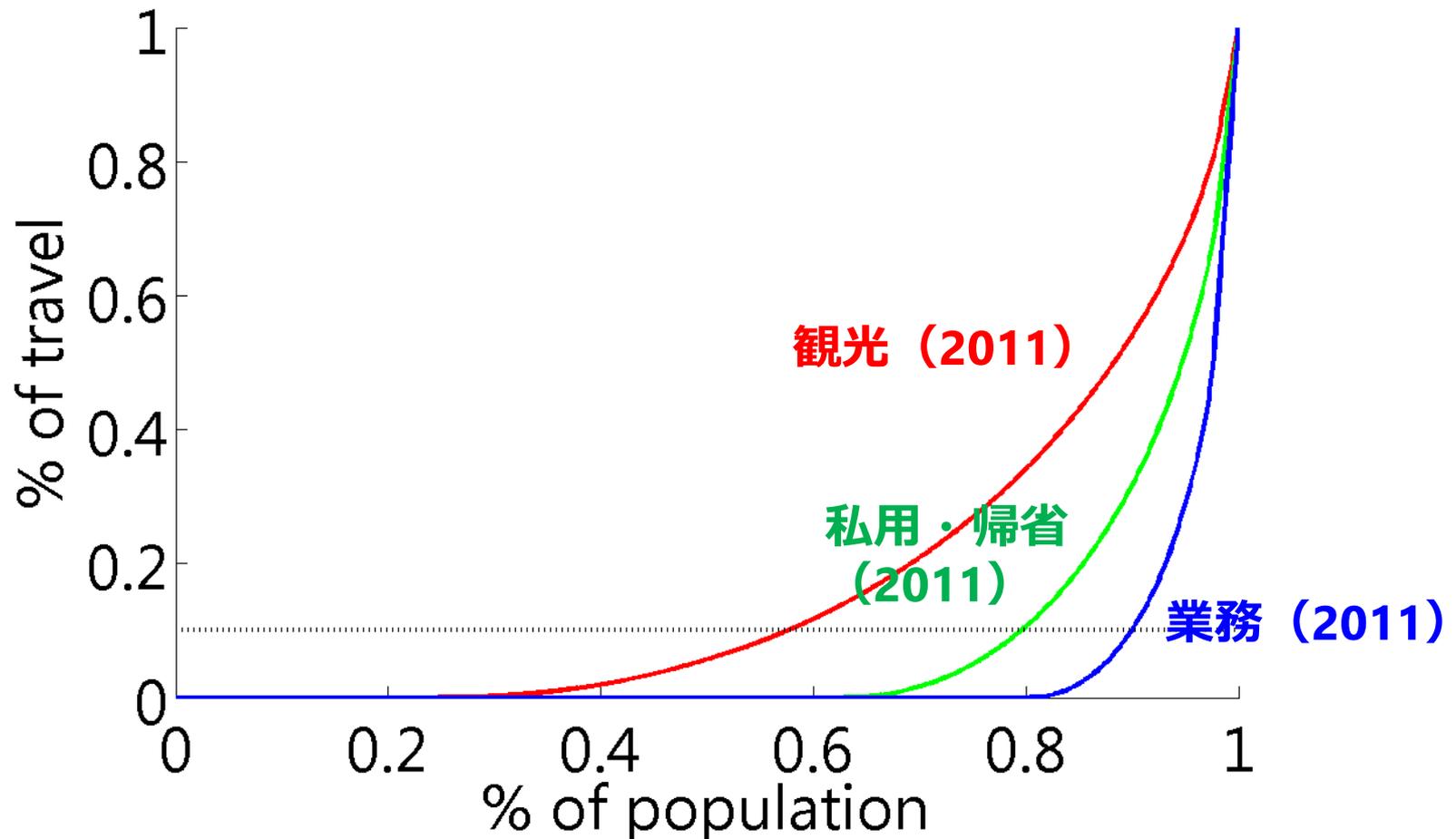
◆ 「0回」と「10回以上」は

上述の法則では説明できない

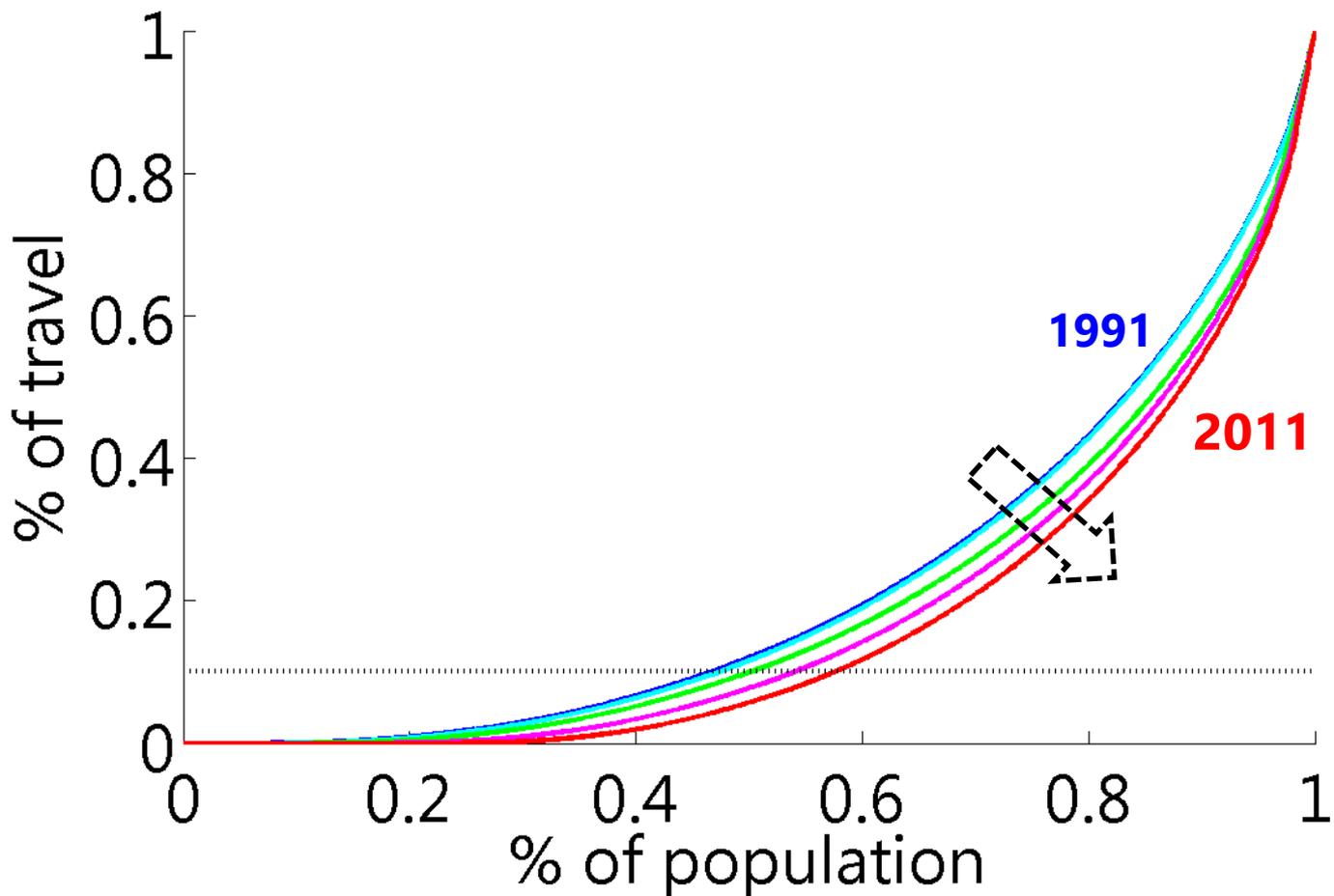
⇒ 別途パラメータを設定して分析

旅行回数分布形状の旅行目的間比較

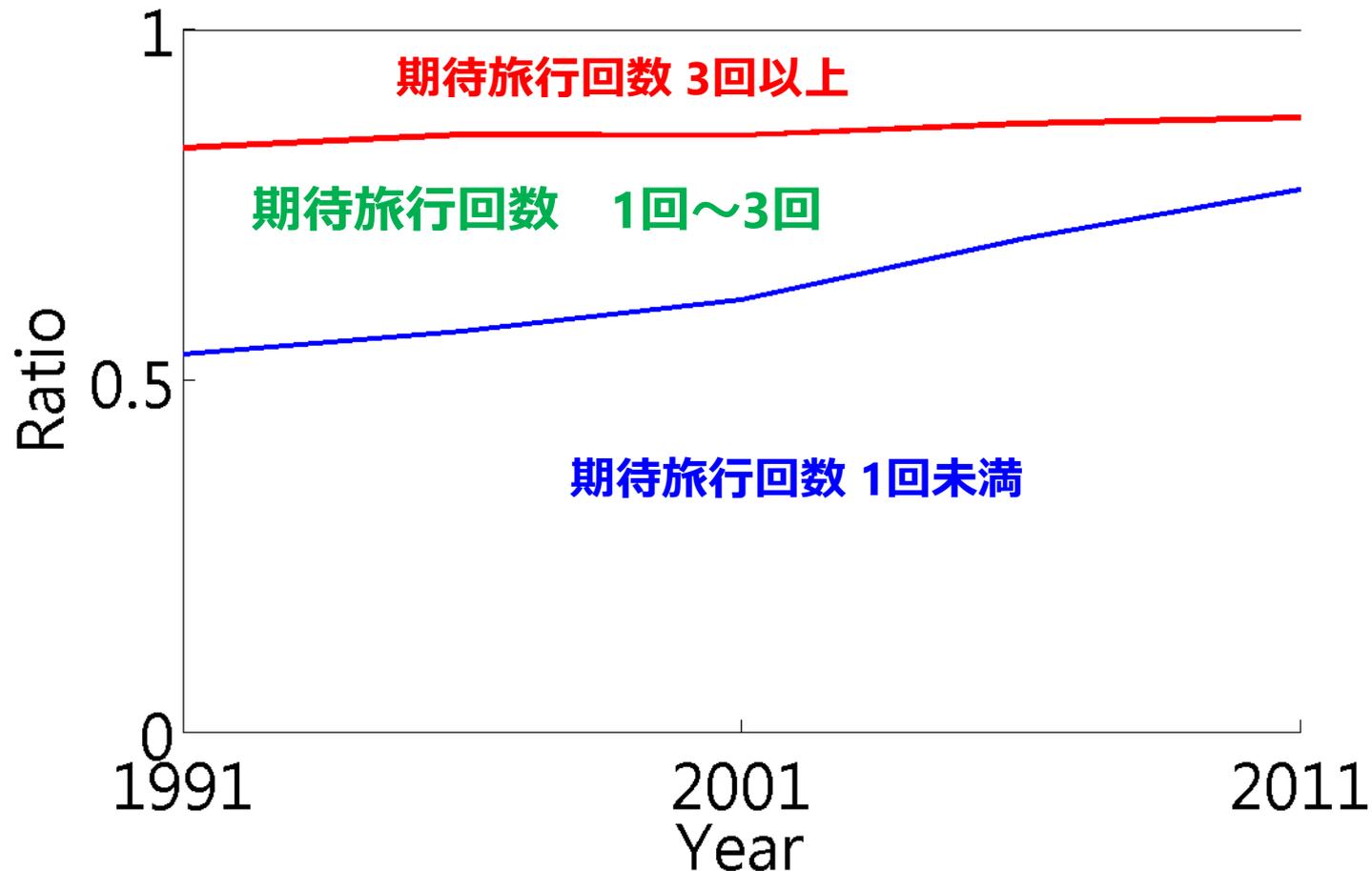
◆ローレンツ曲線（年収格差などに利用）の比較



ローレンツ曲線の経年変化（観光）



低頻度層・高頻度層の構成比の経年変化



ローレンツ曲線の特徴と経年変化 -まとめ-

◆ローレンツ曲線の目的間比較

- 個人間格差は、業務 > 私用・帰省 > 観光

◆ローレンツ曲線の経年変化

- 右下方向にシフト = 旅行回数の格差拡大
⇒ 年間旅行回数が1回未満の構成比大きく
“ほとんど旅行しない人”が増えている

年齢-世代間分析 -コホートモデルの適用-

◆3パラメータ (ω , δ , μ) を

データ年次・年齢階層ごとに算出



◆コホートモデル※を用いた年齢階層・世代間比較

$$X_{ac} = \theta_{0,X} + \theta_{a, \text{Age}, X} + \theta_{c, \text{Cohort}, X} + \epsilon$$

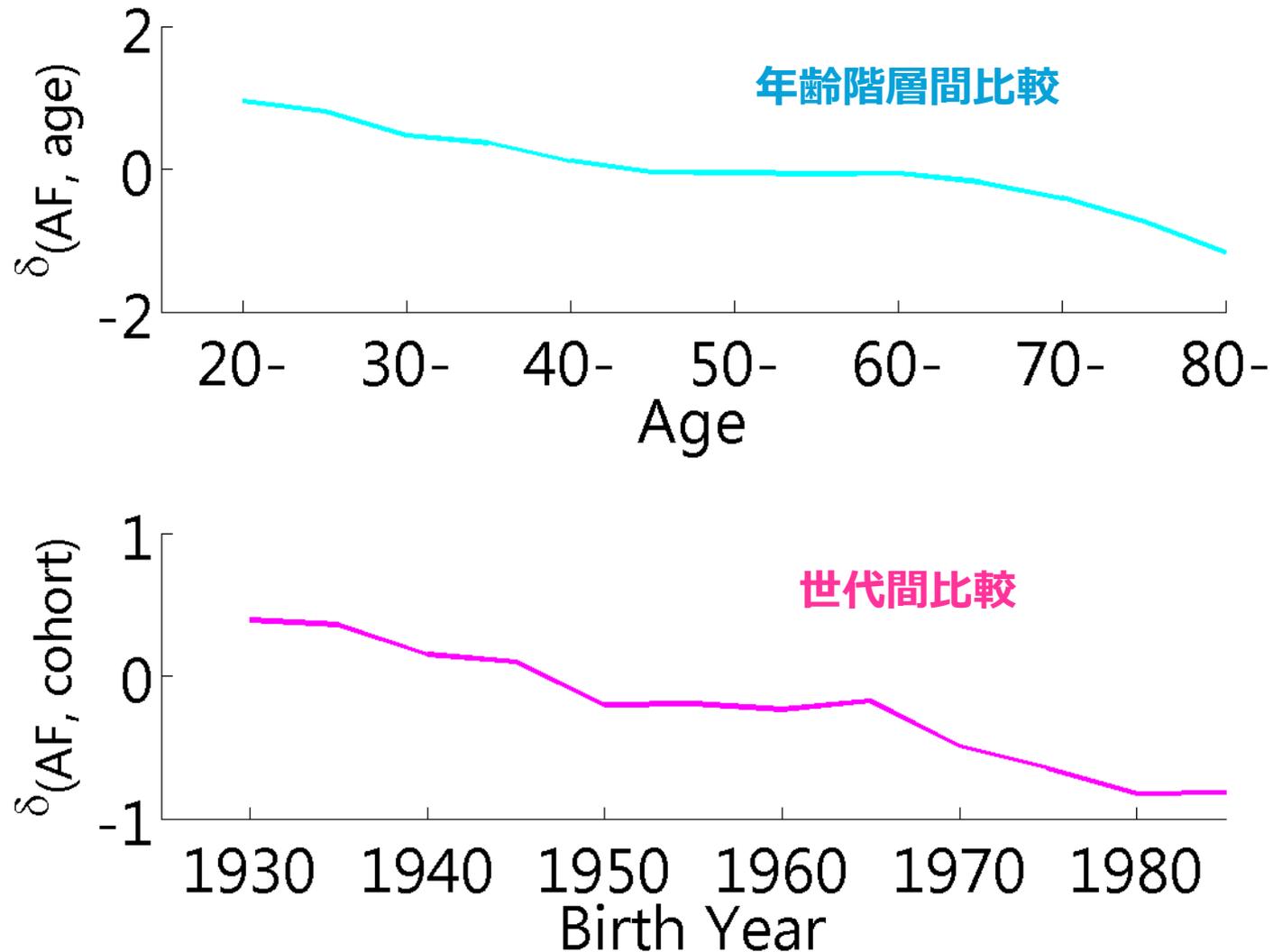
$$\sum_{a \in A} \theta_{a, \text{Age}, X} = \sum_{c \in C} \theta_{c, \text{Cohort}, X} = 0$$

- X : 3パラメータ (μ , ω , δ) , 平均旅行回数

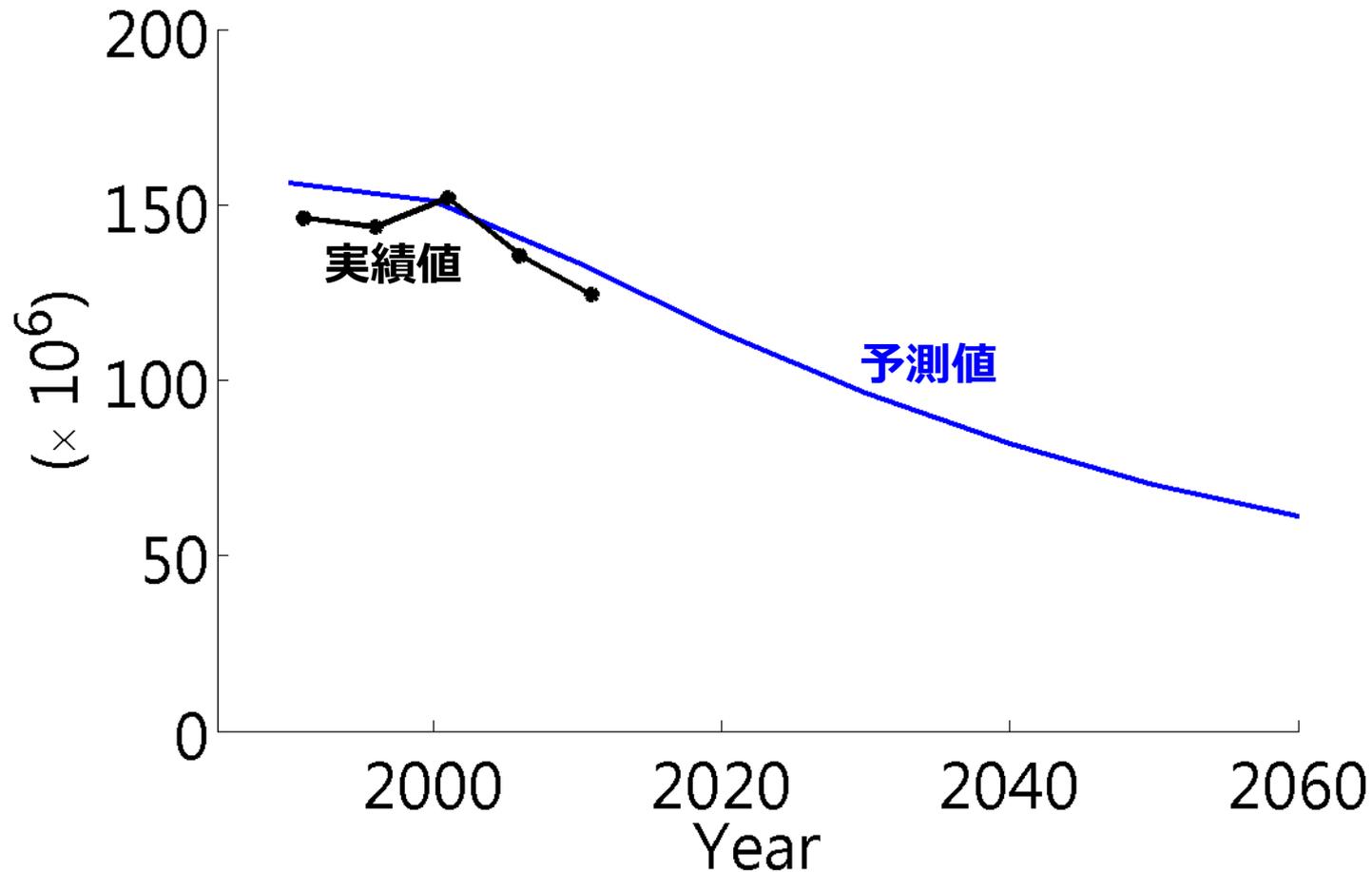
⇒ それぞれについて $\theta_{a, \text{Age}, X}$, $\theta_{c, \text{Cohort}, X}$ を推定

※Rogers, W.L.: Estimable Functions of Age, Period and Cohort Effects, *American Sociological Review*, Vol.47, No.6, pp.774-787, 1982.

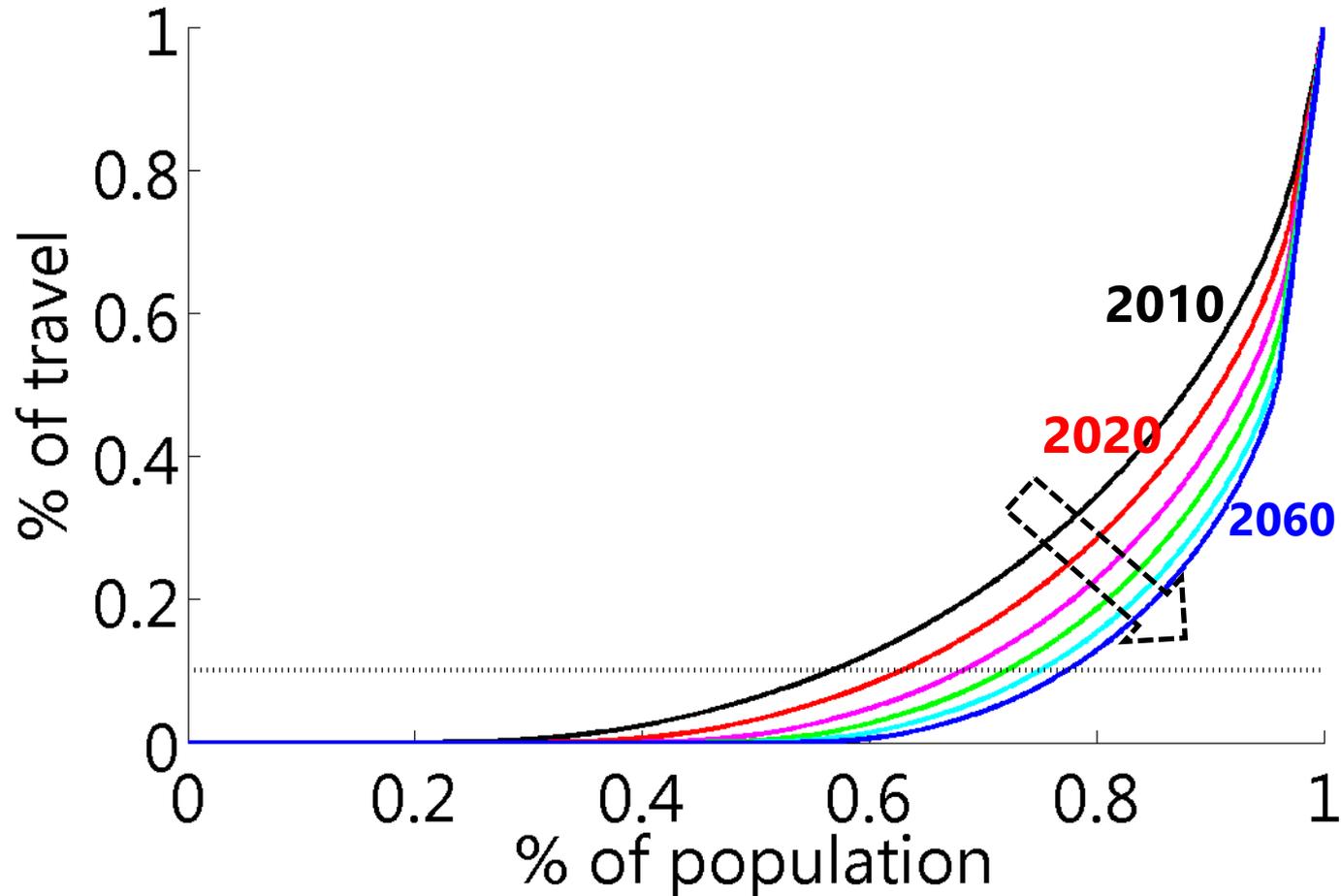
平均旅行回数のコホート分析結果（観光）



年間宿泊旅行総数の将来予測（観光）



ローレンツ曲線の将来予測（観光）



旅行回数分布の将来予測　－まとめ－

◆年間観光旅行回数は激減する

- － 高齢化・世代交代も減少に寄与
- － 総旅行回数は2060年までに2000年比で **1/3に減少**
1億回減少

※ インバウンド（訪日外国人）は1千万人/年程度

◆ローレンツ曲線はさらに右下にシフトする

= 格差が拡大

- － 観光目的でも、2060年には
総旅行の90%を、人口のたった20%が行うようになる
人口の60%がほとんど宿泊観光旅行をしなくなる

今後の展開

- ◆ 旅行回数分布形状を，効用最大化の枠組みで記述
(統計モデルの経済学的解釈)

 - ◆ LOS効果・年次効果を追加した統計分析
 - 「都道府県ごと」のデータを利用
 - LOS (運賃, 所要時間, 頻度) の旅行回数分布への影響
- “新幹線ができると，旅行に行く人が増える？”**
- “LCC (格安航空会社) は，
普段旅行しない層の潜在需要を顕在化させた？”**
- ⇒ LOS低下のスパイラルを理解・補助金等の政策分析

Appendix: 旅行回数分布の研究

◆年間旅行回数の“分布”に着目

- 稀少性という特徴を持つ

都市間トリップの発生パターンの解明

Research Questions

- 都市間旅行回数分布の基本的特徴
 - 経年的にどのように変化してきたか？
 - 年齢階層・世代によって、どう異なるか？
 - 回数分布，都市間旅行量の将来予測
-
- 旅行回数分布の空間的な差異
 - 移動利便性と旅行回数分布の関係

Future Study...

Appendix: 利用データ

◆ 社会生活基本調査

– 利用する情報

「年間旅行回数別の行動者数（人口規模に拡大）」

- 年間旅行回数の集計分類：
{1回, 2回, 3回, 4回, 5回, 6-7回, 8-9回, 10回以上}
+ 人口総数から0回の行動者数を算出
- 年次：
(1981, 1986), 1991, 1996, 2001, 2006, 2001年
→ 本発表で利用したデータ

Appendix: 利用データ

◆ 社会生活基本調査

– 利用する情報

「年間旅行回数別の行動者数（人口規模に拡大）」

- 旅行タイプ：
 - 行楽（日帰り）
 - 国内宿泊旅行（◇観光 ◇私用・帰省 ◇業務他）
 - 海外旅行（◇観光 ◇業務他）

- 個人属性：
 - ◇ 性別 ◇ 年齢(5歳階級) ◇ 職業
 - ◇ 居住都道府県