

# 都市交通システムの環境効率性に関する研究

Environmental Efficiency in Urban Transportation System

---

広島大学 藤原 章正

# 研究の背景 / 環境効率性の導入

Background / Introduction of Environmental Efficiency

---

- 持続的な都市開発におけるジレンマ
  - 交通エネルギー消費量の抑制
  - モビリティ・都市活動水準の維持・向上

→ 2つの目的を両立する解の探索が必要
- 環境効率性(WBCSD:1992)による評価
  - 環境効率性 = サービスの利便性 / 環境負荷
  - ジレンマを解決する有用なツールになる？



# 環境効率性の交通部門への適用

Application to transportation sector of environmental efficiency

Senbilら (2005), 吉野 (2006) など

$$\text{環境効率性} = \text{輸送指数} / \text{環境指数}$$

$$\begin{aligned} \text{輸送指数} &= \frac{u_1 x_1 + u_2 x_2 + \dots + u_m x_m}{v_1 y_1 + v_2 y_2 + \dots + v_s y_s} \\ \text{環境指数} &= \end{aligned}$$

## 問題点

- 都市・交通の多様性の表現に関する脆弱性
  - 個々の都市の特色を無視した一律ウェイトによる評価
    - 全都市で画一的なエネルギー削減目標が設定されてしまう
- 指標算出式の構造(入出力比)
  - 利便性を高めればよい or 環境負荷を減らせばよい という結論
    - …いくらでも動かせるわけではない
    - 非現実的・実行性の無い指標になる可能性がある

# 研究の目的

Objectives of this study

- **環境効率性モデルの開発による**環境効率性の再定義**
  - 利便性と環境負荷の**ジレンマの解決**
  - 都市・交通機関の**多様性を表現**
  - **現実性・実行性**を検討**
- **環境効率性の適用**
  - 実際の都市データを使用した**環境効率性の分析**

# 環境効率性の再定義

Redefinition of Environmental Efficiency

---

# 環境効率性モデル

Environmental efficiency model

## 環境効率性モデルは

- ① **コスト効率モデル**を基本モデルとし、
- ② **環境条件を取り入れたDEA**を付加することで開発する。

## コスト効率モデルとは？

- **DEA (包絡分析法)**のモデルの一種。**可変ウェイト**を使用。
  - 前述の一律ウェイトの問題を解消
- **入出力比によらない**効率性評価

## 環境条件を取り入れたDEAとは？

- **交通施策の実現可能性**を**制約条件に加える**ことで、  
より現実的な評価を目指す

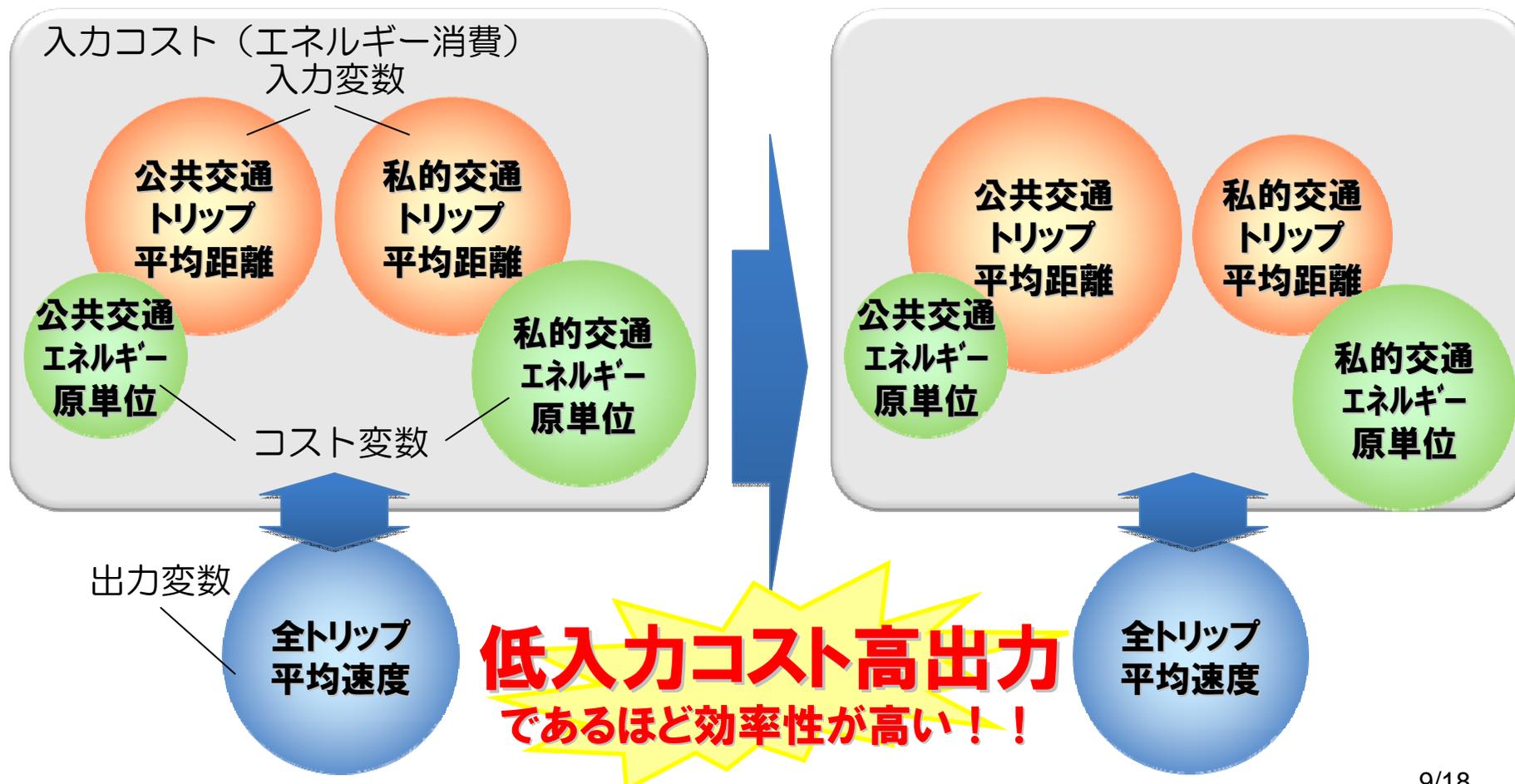
# DEA基本モデルとコスト効率モデル

- DEAにおける効率性算出 = 自分より優れた都市(ベンチマーク)との比較
- DEA基本モデルは「**入力変数がどれだけ減らせるか?**」を基準に効率性を算出
- 各都市の交通形態や技術レベルが考慮できない



# DEA基本モデルとコスト効率モデル

- コスト効率モデルは、「**入力コストがどれだけ減らせるか？**」を基準に効率性を算出
- 交通形態・技術レベルに沿った効率性算出が可能



# 環境条件を取り入れたDEA

DEA considering environment condition

## ① 都市ごとのエネルギー排出構造の多様性の表現

- DEA・・・ベンチマークを設定
- ある都市のベンチマークが複数の都市となる場合、

**同じタイプの都市**がペアになるように!!

(「L.A.とZurichを折衷したような都市を目指せ!」と言われても困る)

## ② 政策的閾値をもつ変数の導入

- **公共交通の利用を現状以上**にする制約

(「環境に悪いので公共交通は使わないようにしましょう!」というのは考えにくい)

## ③ フロントニア形成不能都市の設定

- 原野のような状態を先進国都市が目指すことは非現実的?  
(いくらエネルギー消費が少ないからといっても・・・)
- 都市サービス水準の低い**途上国都市**を**ベンチマークにしない**

(※DEAでは、ベンチマーク都市のことを「フロントニア」と呼びます。)

10/18

# 環境効率性モデル

Environmental efficiency model

$$\min c_k = \sum_{i=1}^m p_{ik} x_i$$

エネルギー最小化

s.t.

$$\sum_{j=1}^{n'} x_{ij} \lambda_{1j} + \sum_{j=n'+1}^{n''} x_{ij} \lambda_{2j} \leq x_i \quad (i = 1, 2, \dots, m')$$

$$x_{ik} \leq x_i \quad (i = m'+1, m)$$

公共交通を現状以上に

$$\sum_{j=1}^{n'} y_{rj} \lambda_{1j} + \sum_{j=n'+1}^{n''} y_{rj} \lambda_{2j} \geq y_{rk} \quad (r = 1, 2, \dots, s)$$

$$\sum_{j=1}^{n'} \lambda_{1j} = z_1, \quad \sum_{j=n'+1}^{n''} \lambda_{2j} = z_2,$$

$$z_1 + z_2 = 1,$$

$$\lambda_{1j} \geq 1, \lambda_{2j} \geq 1,$$

$$z_1, z_2 = 0 \text{ or } 1,$$

ベンチマークのペア

$$x_i \geq 1 \quad (i = 1, 2, \dots, m).$$

## 記号の説明

- $x_{ij}, y_{rj}$ : 入出力データ
- $i$ : 入力変数の種類  
1~ $m'$ : 政策的閾値なし  
 $m'+1$ ~ $m$ : 政策的閾値あり

- $r$ : 出力変数の種類
- $j$ : 都市

1~ $n'$ : 公共交通型都市  
 $n'+1$ ~ $n''$ : 私的交通型都市  
 $n''+1$ ~ $n$ : 途上国都市

- フロンティア
- 形成不能都市
- $z_1, z_2$ : バイナリ変数

# 環境効率性モデル

Environmental efficiency model

クラスター分析によって先進国都市を分類



<クラスター分析に使用した変数>

- 1人当たり道路延長
- 1人当たり公共交通専用路線長

## 記号の説明

- $x_{ij}, y_{ri}$ : 入出力データ
- $i$ : 入力変数の種類  
1~ $m'$   
 $m'+1$
- $r$ : 出
- $j$ : 都市

クラスター分析によって  
アприオリに与える

- 1~ $n'$ : 公共交通型都市
- $n'+1$ ~ $n''$ : 私的交通型都市
- $n''+1$ ~ $n$ : 途上国都市

- フロンティア  
形成不能都市
- $z_1, z_2$ : バイナリ変数

# 都市交通システムの環境効率性の評価

Evaluation of environmental efficiency in urban transportation system

---

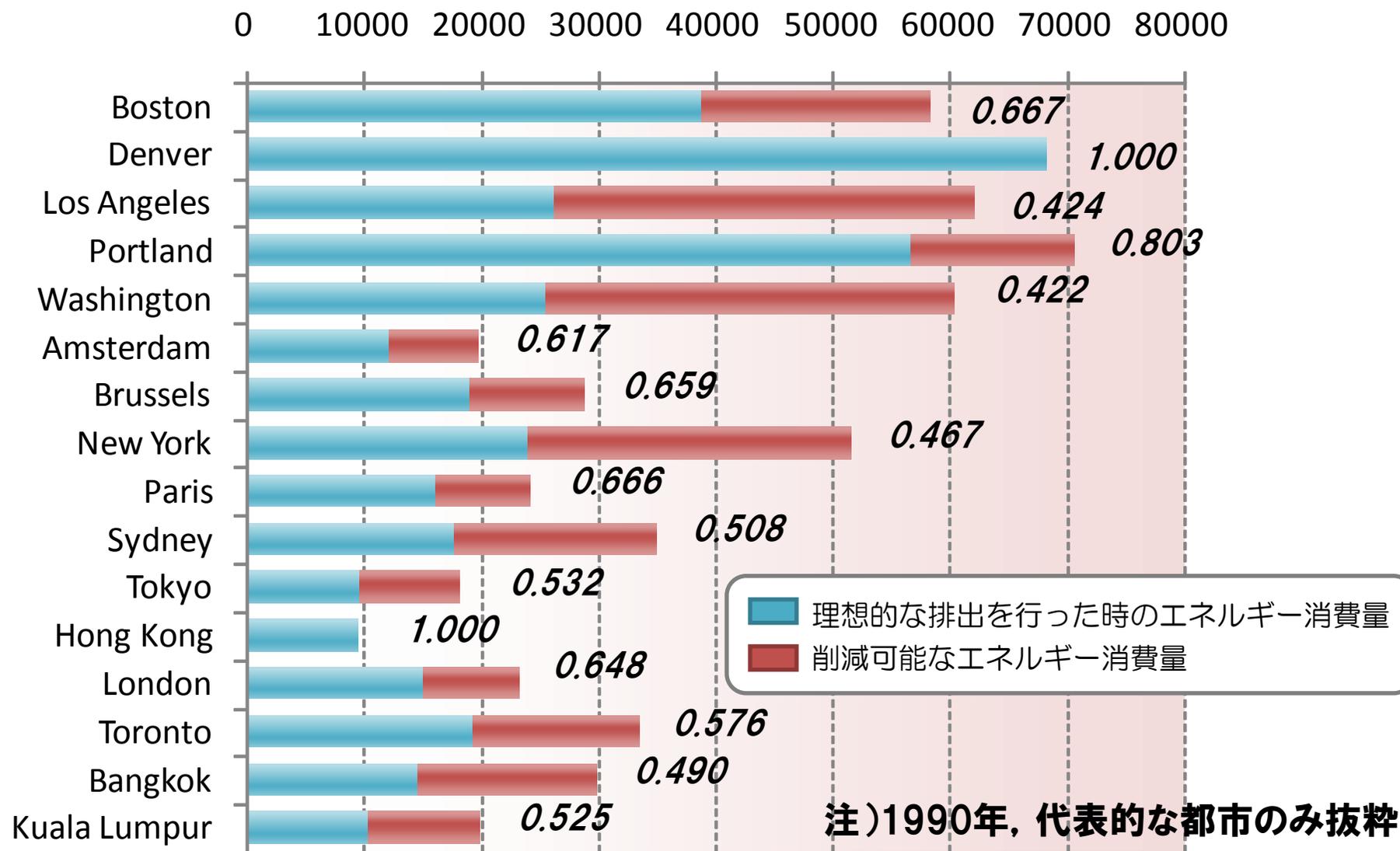
## 世界46都市の4時点データ

- 国際公共交通連合 (UITP)、Kenworthy, J.、Laube, F. が収録
- 46都市・4時点(1960、1970、1980、1990)
- 先進国・途上国を含む世界各地域の都市を対象
- 収録項目
  - 都市地域特性指標: 人口密度、従業密度...
  - 交通需給指標: 道路延長、公共交通路線長...
  - モビリティ指標: トリップ距離、トリップ速度...
  - 環境負荷指標: エネルギー消費、CO<sub>2</sub>排出量...

# 環境効率性とエネルギー消費目標値

Environmental efficiency and target value of energy consumption

## エネルギー消費量 [MJ/人]



# パネル分析への応用

Application to panel analysis

- **Malmquist指数による評価**

- 時点間で効率性計測の基準となるベンチマークの技術レベルが変化
- 時点間でのベンチマークのシフトを加味しつつ、効率性の推移を検証することが必要

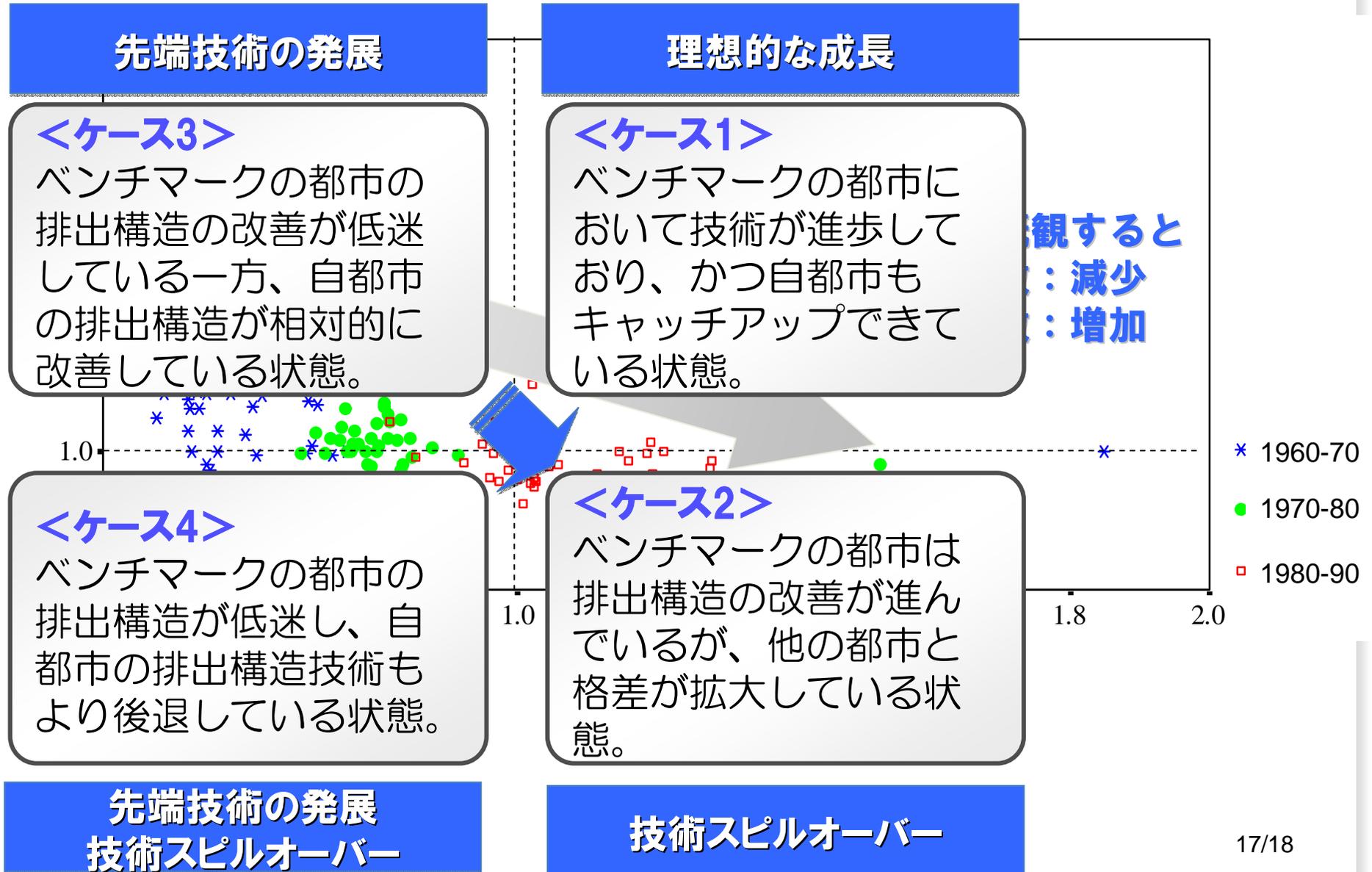
$$M_k(x^t, y^t, x^{t+1}, y^{t+1}) = \frac{F^{t+1}(x^{t+1}, y^{t+1})}{F^t(x^t, y^t)} \cdot \left[ \frac{F^t(x^{t+1}, y^{t+1})}{F^{t+1}(x^{t+1}, y^{t+1})} \cdot \frac{F^t(x^t, y^t)}{F^{t+1}(x^t, y^t)} \right]^{\frac{1}{2}}$$

Malmquist指数                      CU指数                      FS指数

- **CU(Catch Up)指数**  
各都市が時点間でどれだけベンチマークに近づいたか
- **FS(Frontier Shift)指数**  
時点間でベンチマークのレベルがどれだけ動いたか
- 指数は 1 を超えると改善、下回ると悪化を示唆

# Malmquist指数の解釈

Application to panel analysis



# 結論

Conclusion

---

## まとめ

- **環境効率性モデルの開発・適用**
  - 定量的なエネルギー排出構造の評価
  - 各都市のエネルギー排出特性を考慮
- **パネル分析への適用**
  - フロンティア・シフト(技術革新)を考慮
  - 格差への対応の必要性

## 今後の課題

- **分析者の恣意性の混入**
  - ベンチマークのペア設定
  - 途上国都市の線引き

Thank you for your kind attention!!

---