

# 世界100都市の交通システムの環境効率評価

Eco-efficiency Evaluation of Transportation systems  
in 100 cities around the world

広島大学大学院国際協力研究科  
開発科学専攻 交通工学研究室  
吉野 大介  
藤原 章正  
張 峻屹

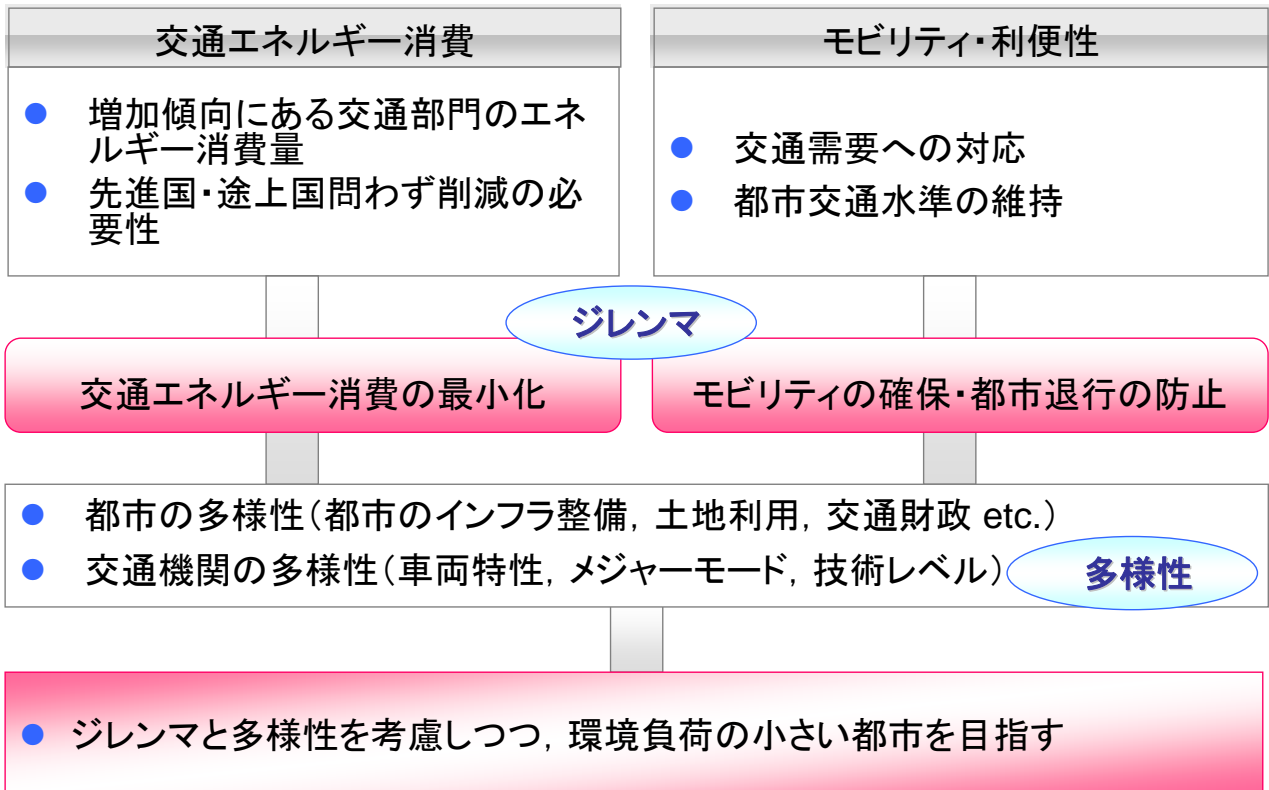
## 本日の発表のアウトライン

Outline of this study

1. 研究の背景
2. 研究の目的
3. 修士論文の紹介
  - 環境効率の再定義
  - 改善案計算手法の提案
4. 今後の方向性

# 研究の背景

Backgrounds of this study

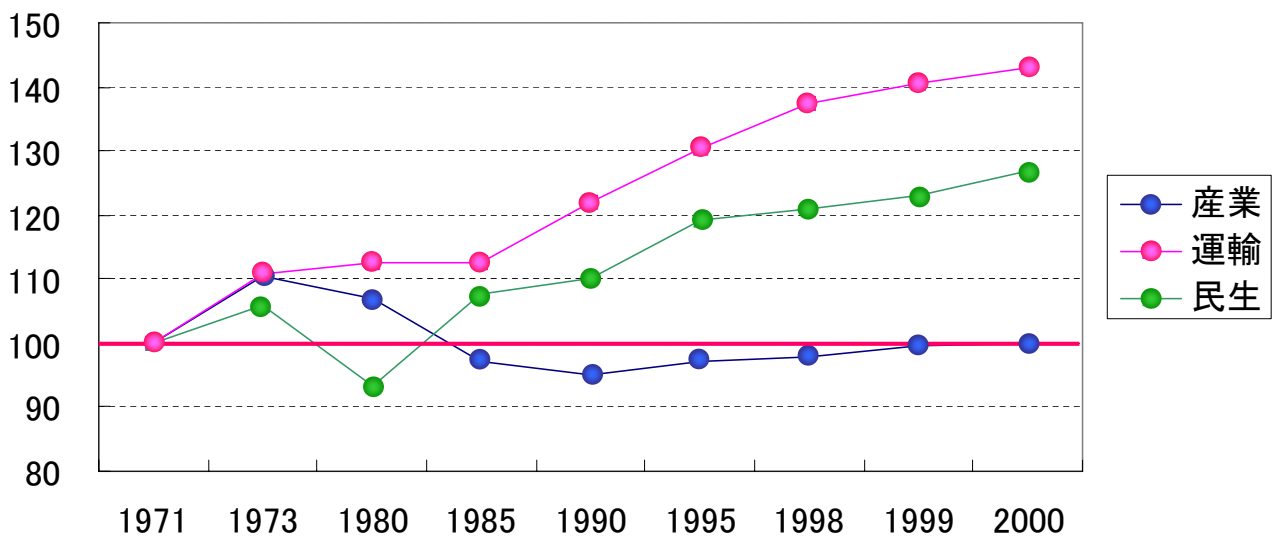


3 / 30

第42回COE研究会(2007.12.4)

# 研究の背景

Backgrounds of this study

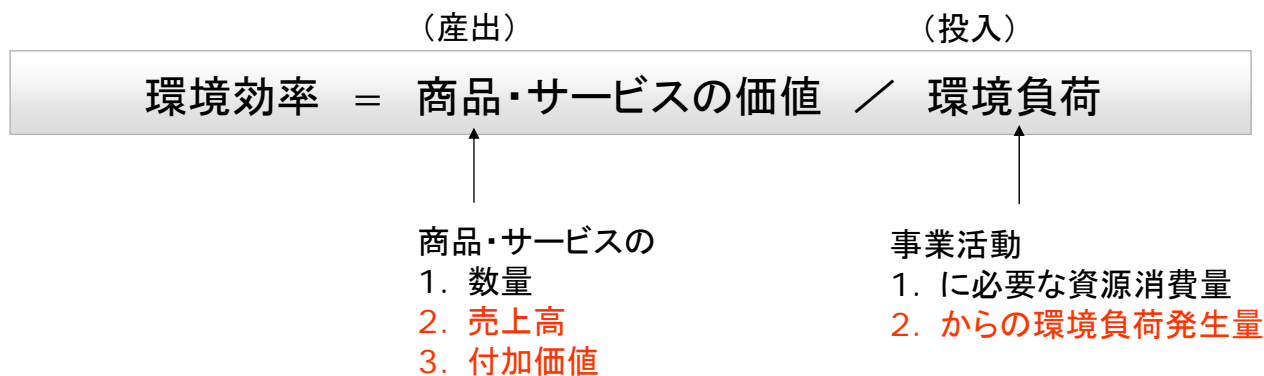


(注) 下記の出典の数値をもとに作成した。1971年度の値を100として指数評価した。

[出典](財)日本エネルギー経済研究所計量分析部(編):EDMC/エネルギー・経済統計要覧2003年版  
(財)省エネルギーセンター(2003年2月5日)p210-214

- WBCSD (World Business Council for Sustainable Development)が概念を提示(1992)
  - より少ない環境への影響でより多くの価値を創造すること

## ● 環境効率の算出

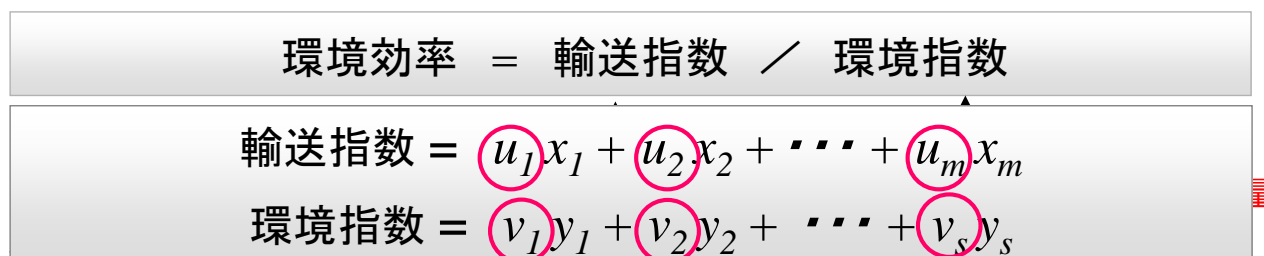


- 交通部門への適用
  - 環境負荷と利便性のジレンマの解消

# 環境効率の交通部門への適用

Application to transportation sector of Eco-efficiency

- 国土交通省: 運輸部門のCO2排出に関わる環境効率改善指標の算出法, 2007.
- 自身の卒業論文



## 問題点

- 都市・交通多様性の表現の難しさ
  - 個々の都市の特色を無視した一律ウェイトによる評価
  - 全都市に共通な先見的な加重システムの仮定
    - 都市・交通の多様性が考慮されない
- 指標の単純性
  - 単純明快な算出法で概念が分かりやすい
  - 原単位比較とほぼ同義
    - 都市の詳細なエネルギー排出構造の評価にはオーバースペック

## 環境効率の再定義

- 利便性と環境負荷を考慮した多面的な交通システムの評価
  - 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

## 改善案計算手法の提案

- 各都市への環境負荷を最小化する交通活動の目標設定
- 目標に向けての効果的な施策の提案

# 環境効率の再定義

Redefinition of Eco-Efficiency

# 環境効率の再定義へのアプローチ

Approach to redefinition of Eco-Efficiency

- 構成要素
  - 環境効率算出に使用する変数の決定
    - 利便性と環境負荷の関係を把握
- 使用モデル
  - 環境効率算出に使用するモデルの決定
    - 先見的な加重ウェイトの仮定が不必要
    - 多義的な評価が可能
- 定式化
  - 環境効率算出におけるモデル形態の決定
    - 環境負荷の発生原理を再現
    - 入出力比での算出の限界

9 / 30

第42回COE研究会(2007.12.4)

# 環境効率の再定義へのアプローチ

Approach to redefinition of Eco-Efficiency

- 構成要素
    - 環境効率算出に使用する変数の決定
      - 利便性と環境負荷の関係を把握
- 利便性
    - 移動のしやすさ(モビリティの高さ)によって表現
    - トリップ平均速度
  - 輸送活動に伴う環境負荷
    - エネルギー消費量

10 / 30

第42回COE研究会(2007.12.4)

# 環境効率の再定義へのアプローチ

Approach to redefinition of Eco-Efficiency

- 構成要素
  - 環境効率算出に使用する変数の決定
    - 利便性と環境負荷の関係を把握
- 使用モデル
  - 環境効率算出に使用するモデルの決定
    - 先見的な加重ウェイトの仮定が不必要
    - 多義的な評価が可能

DEA(データ包絡分析法)を使用する。

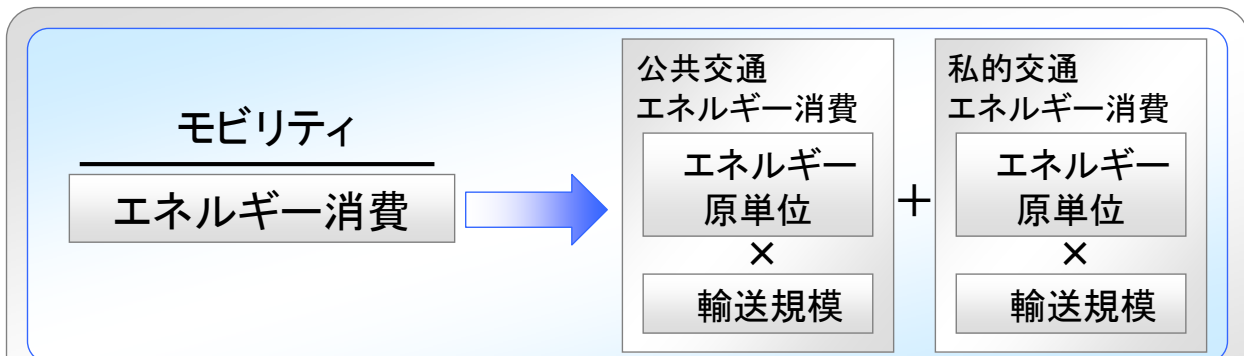
- DEAとは
  - 入力→出力の変換効率
  - 自都市とフロンティア都市(理想都市)の相対比較に基づいた効率性
- 本研究で用いる理由
  - 可変ウェイト・相対比較
    - 一義的な評価でなく、各都市の「強み」を評価(多様性への対応)
    - 改善案のイメージが分かりやすい

/ 30

第42回COE研究会(2007.12.4)

# 環境効率の再定義へのアプローチ

Approach to redefinition of Eco-Efficiency



都市によってエネルギー消費の構成要因は異なる

→ 評価・対応策も異なるべきだが、従来の環境効率ではカバーできない

- 定式化
  - 環境効率算出におけるモデル形態の決定
    - 環境負荷の発生原理を再現
    - 入出力比での算出の限界

12 / 30

第42回COE研究会(2007.12.4)

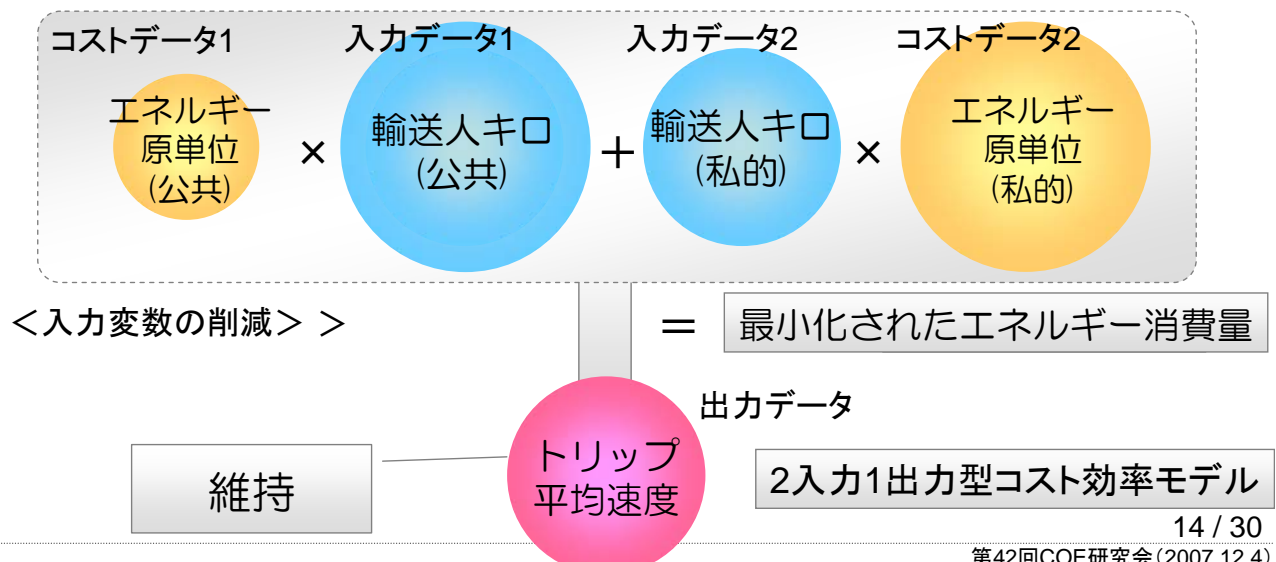
環境効率の再定義のため、以下のDEA各種モデルを統合して、**環境効率モデル**を構築する。

- **コスト効率モデル**
  - 入出力比に基づく効率性算出からの脱却
  - モビリティと環境負荷の両立を果たす輸送規模の決定
- **環境条件を考慮したDEA**
  - 現実性の表現

## コスト効率モデル

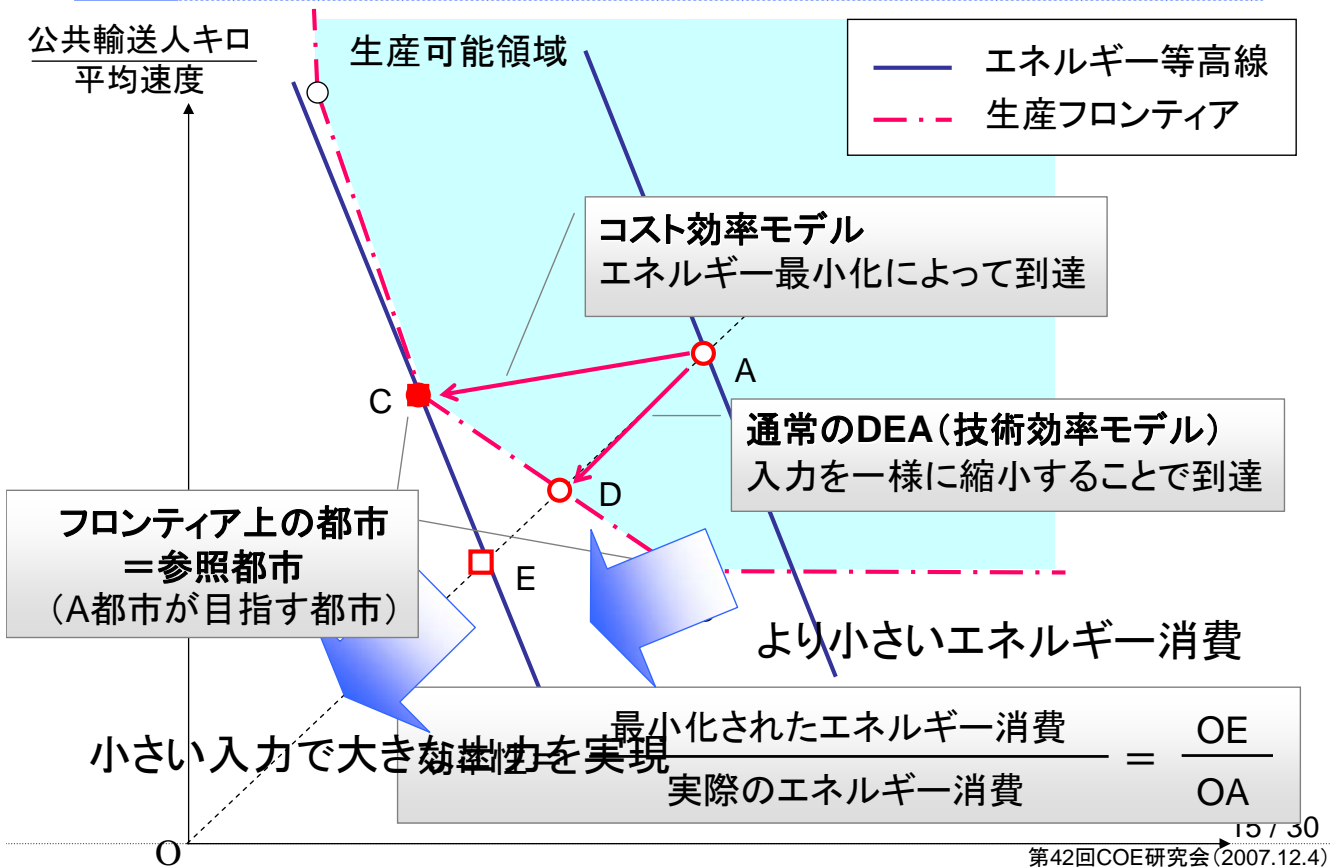
Cost efficiency model

- **標準のDEA(技術効率モデル)**
  - より少ない投入でより多い産出を目指す
- **コスト効率モデル**
  - 現状の産出量を維持しつつ、**総入力コスト**を最小化する



# コスト効率モデル

Cost efficiency model



# 環境条件を考慮したDEA

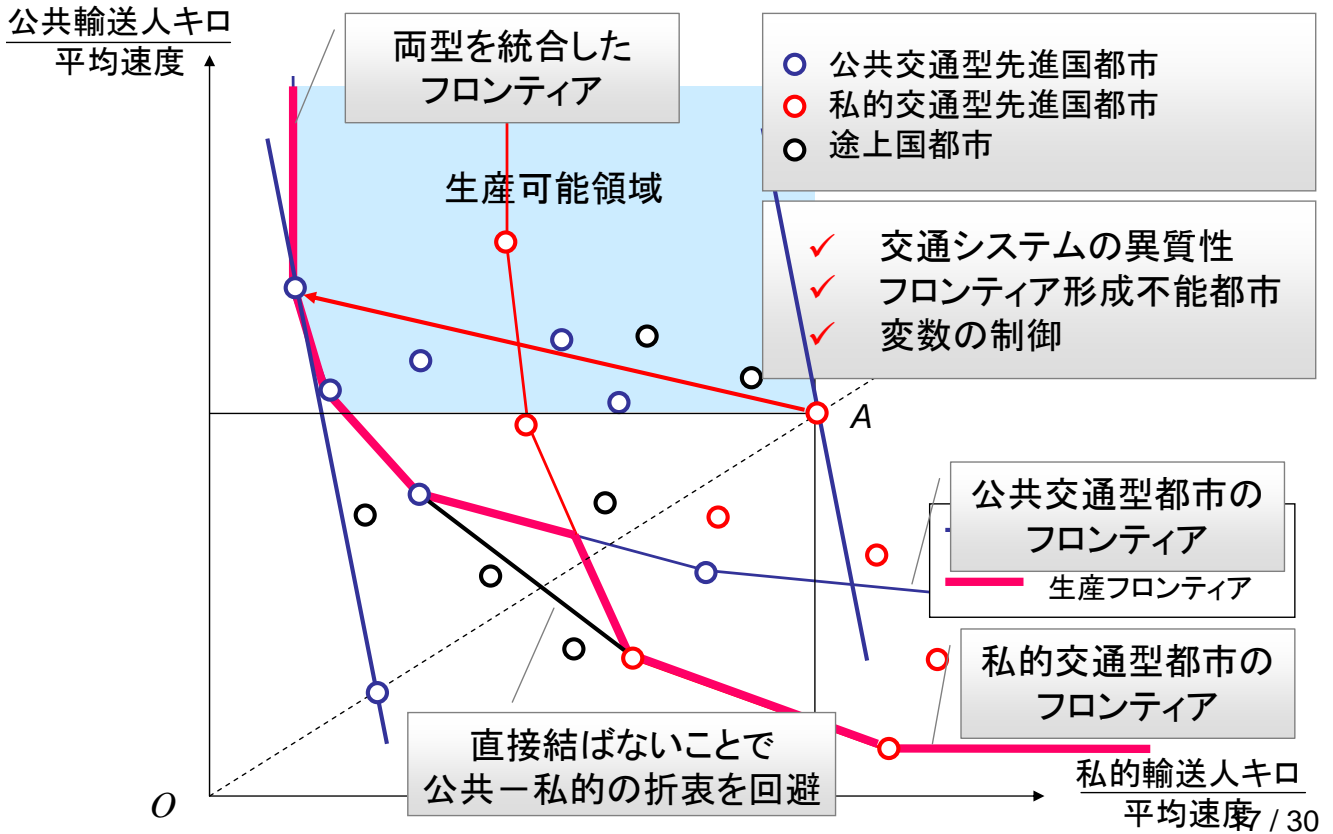
DEA considering environment condition

- 変数の制御
  - 私的交通: エネルギー最小化のため削減(現状以下)
  - 公共交通: 削減対象でないことが一般的(現状以上)
  
- 交通システムの異質性の表現
  - 現実的かつ特徴を把握しやすい評価
  - 参照都市のペアの決め方は性格が似た都市同士で
    - (例) Hiroshimaが目指す都市(参照都市)
      - San Francisco(自動車) - Los Angles(自動車) ○
      - Hong Kong (公共交通)- Tokyo(公共交通) ○
      - San Francisco(自動車) - Tokyo(公共交通) ×
  
- フロンティア形成不能都市
  - 都市の退行は非現実的
  - 途上国は参照都市にならない



# 環境効率モデル

Eco-Efficiency model



第42回COE研究会(2007.12.4)

# 環境効率モデル

Eco-Efficiency model

$$\min c_k = \sum_{i=1}^m p_{ik} x_i \quad \text{コスト最小化}$$

s.t.

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

$$x_{ik} \leq x_i \quad (i=m'+1, m'+2, \dots, m),$$

$$\sum_{j=1}^{n'} y_{rj} \lambda_{1j} + \sum_{j=n'+1}^{n''} y_{rj} \lambda_{2j} \quad \text{公共交通を現状以上に}$$

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

$$z_1 + z_2 = 1,$$

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

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

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

交通システムの異質性

## 記号の説明

●  $x_{ij}, y_{rj}$ : 入出力データ

●  $i$ : 入力変数の種類

1, ...,  $m'$ : 制約なし変数

アприオリに与える

●  $r$ : 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

## Millennium Cities Database

- 国際公共交通連合, Kenworthy, J., Laube, F.
- 100都市収録(1995年)
- 先進国・途上国を含む世界各地の都市を対象
- 収録項目
  - 都市地域特性指標
  - 交通需給指標
  - モビリティ指標
  - 交通財政指標
  - 環境負荷指標

## 環境効率指標の推定結果

Estimation results of Eco-Efficiency Index

### 入力システムの異質性の表現

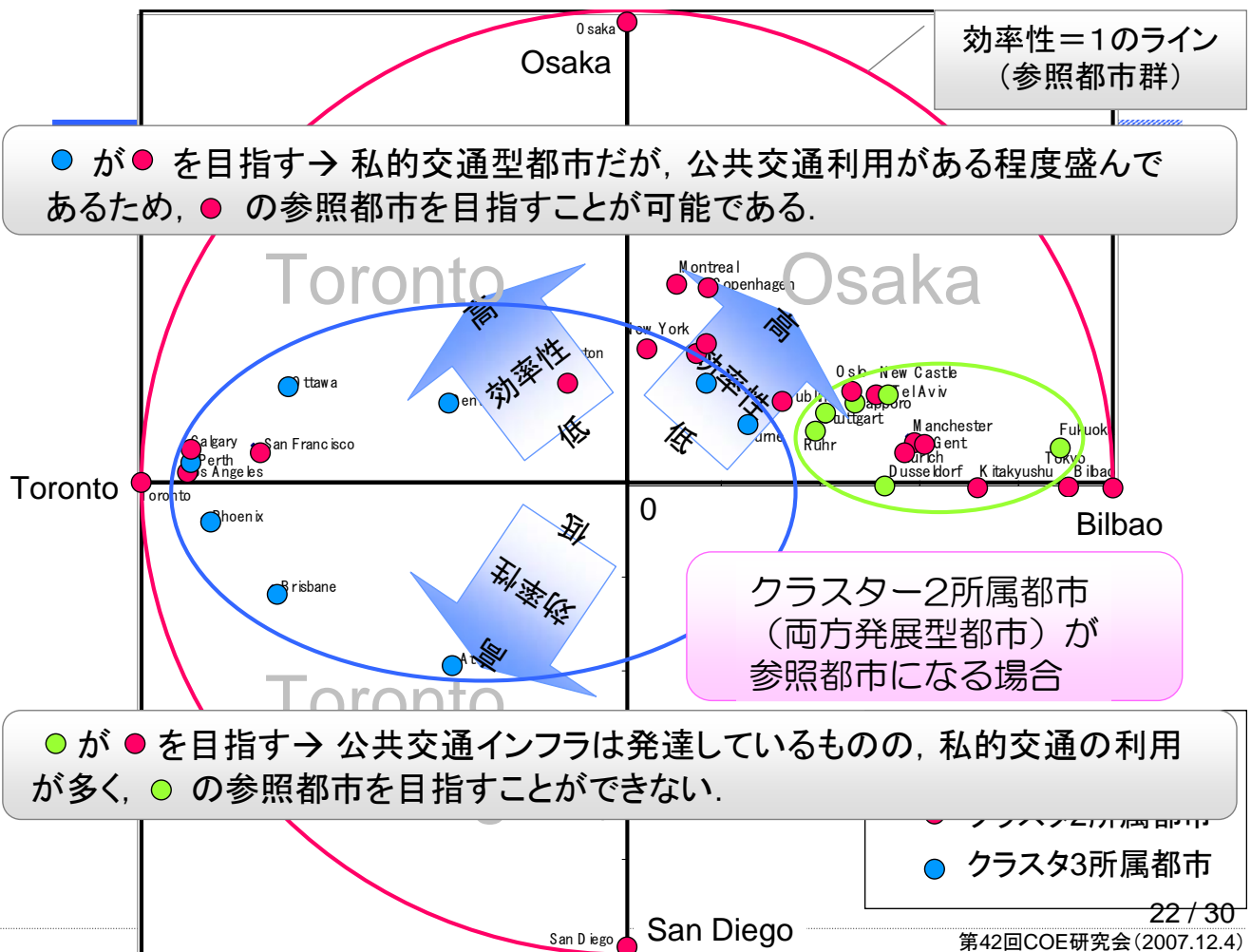
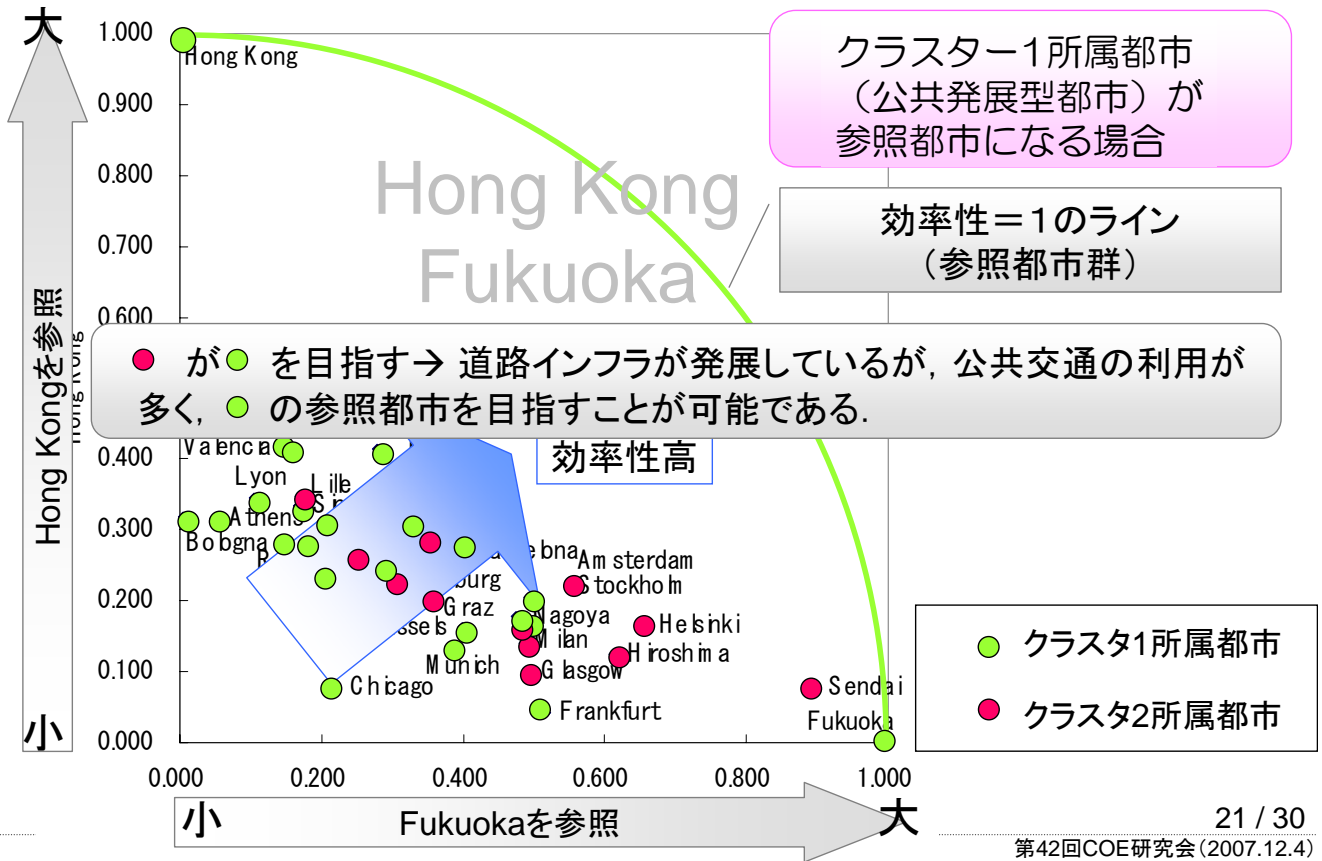
- 入力システムの異質性はアプリアリに与える
- クラスタ分析を使用
- 分類に使用した変数
  - 1000人あたりの道路延長[m/1000人]
  - 1000人あたりの公共交通専用路線延長[m/1000人]→ インフラ整備水準によって分類

### 分類結果

- クラスタ1: **公共交通発展型**  
*London, Hong Kong, Paris etc.*
  - クラスタ2: **道路・公共交通両方発展型**  
*N.Y., Osaka, Toronto etc.*
  - クラスタ3: **道路発展型**  
*Houston, Sydney, Ottawa etc.*
- 公共交通依存度高い
- 
- 自動車依存度高い

# 環境効率指標の推定結果

Estimation results of Eco-Efficiency Index

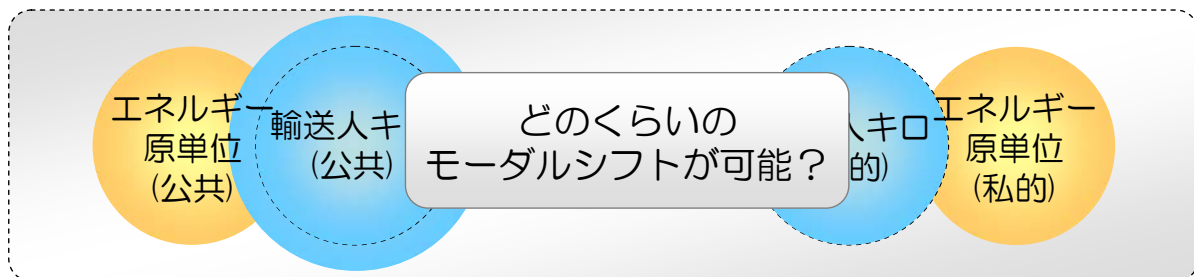


# 効率性改善手法の提案

Suggestion of calculation methodology of efficiency improvement

## 効率性改善計算手法の提案

Suggestion of calculation methodology of efficiency improvement



### ● 改善案パターン

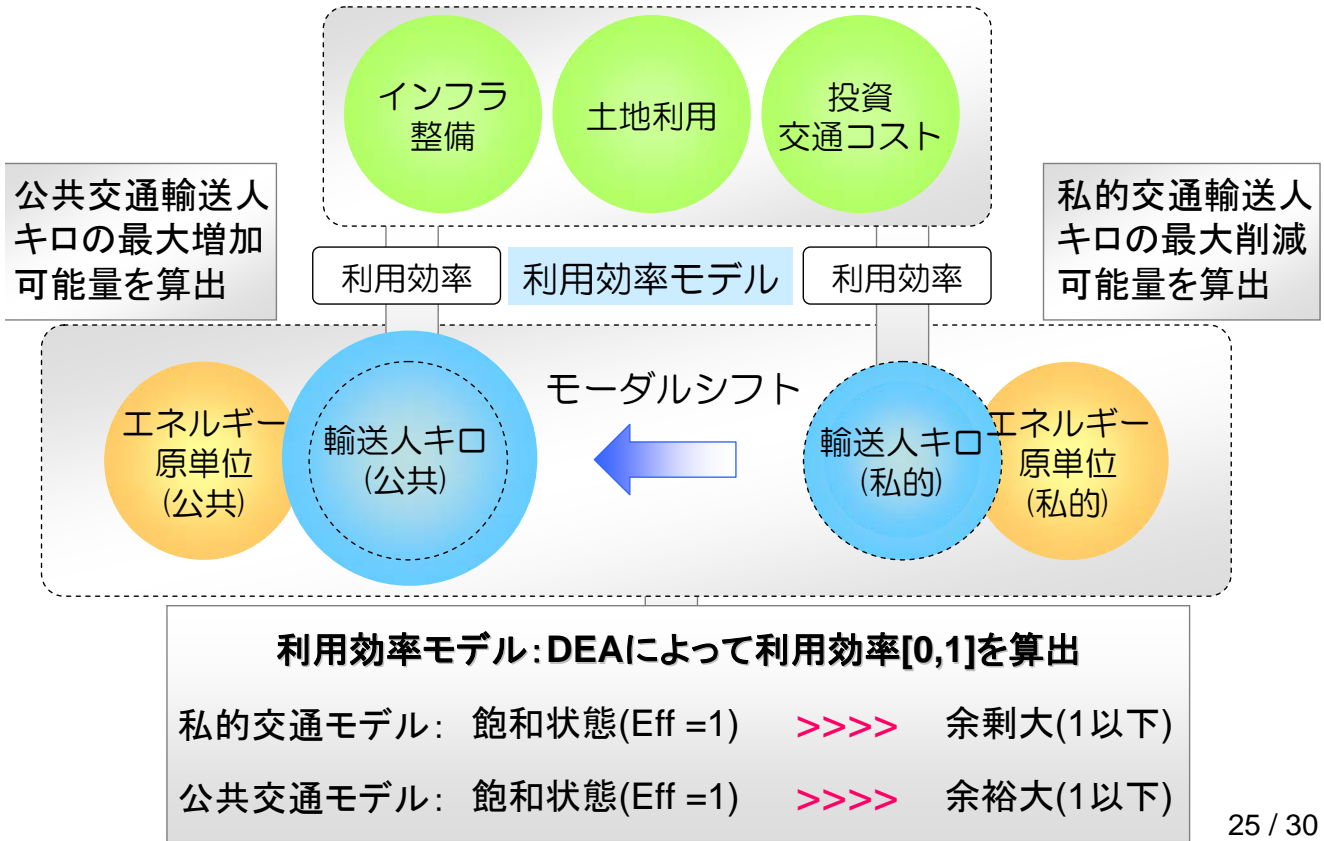
- 入力(輸送規模)を変化
- 入力単価(原単位)を変化

### ● 入力変数を減らさず変数間でシフトさせる

- 従来のコスト効率モデルでは、改善にあたり、入力変数の削減または入力変数間のシフトによって改善
- 入力変数の削減は都市の輸送規模の縮小を意味(都市の退行)
- 都市全体の輸送規模は維持し、入力変数間のシフトのみで改善(モーダルシフトを行う)

# Network DEA

Network DEA

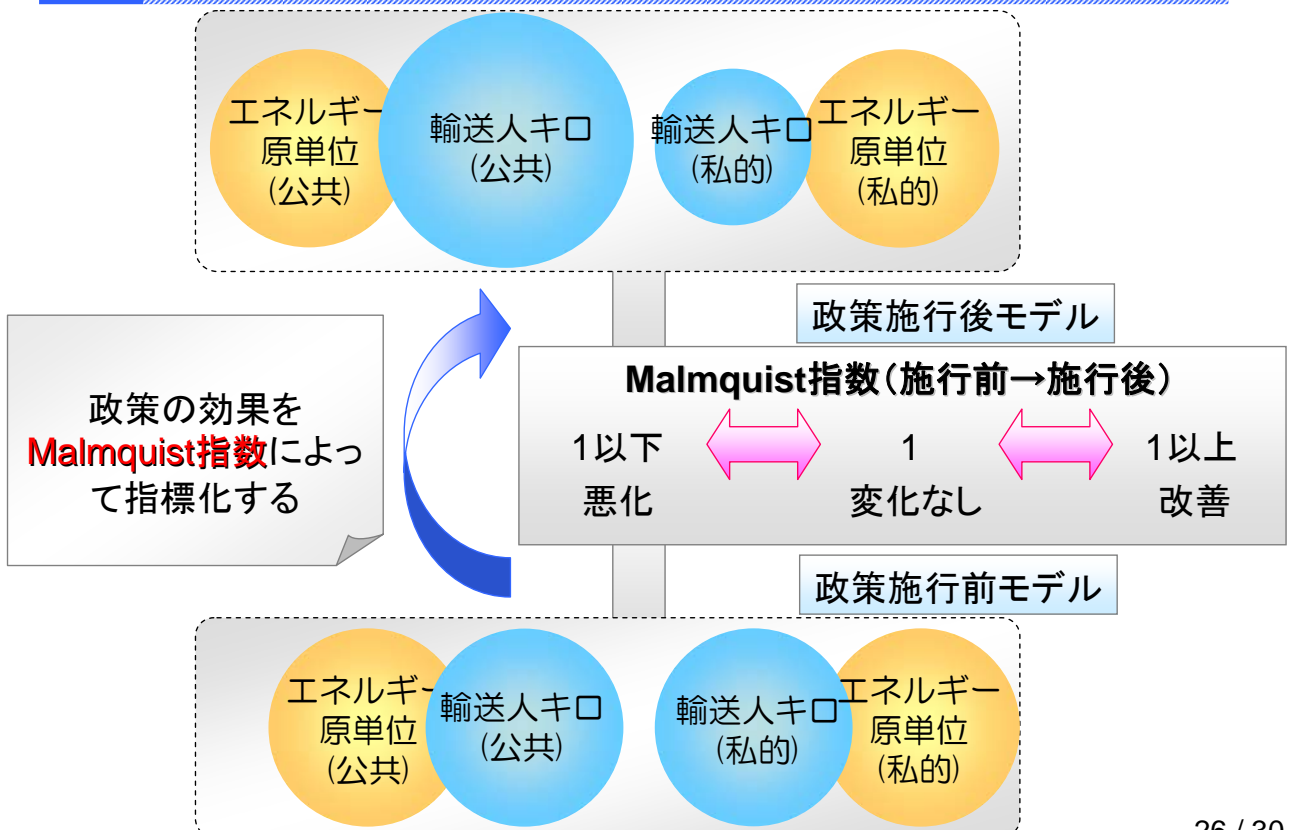


25 / 30

第42回COE研究会(2007.12.4)

# Malmquistアプローチ

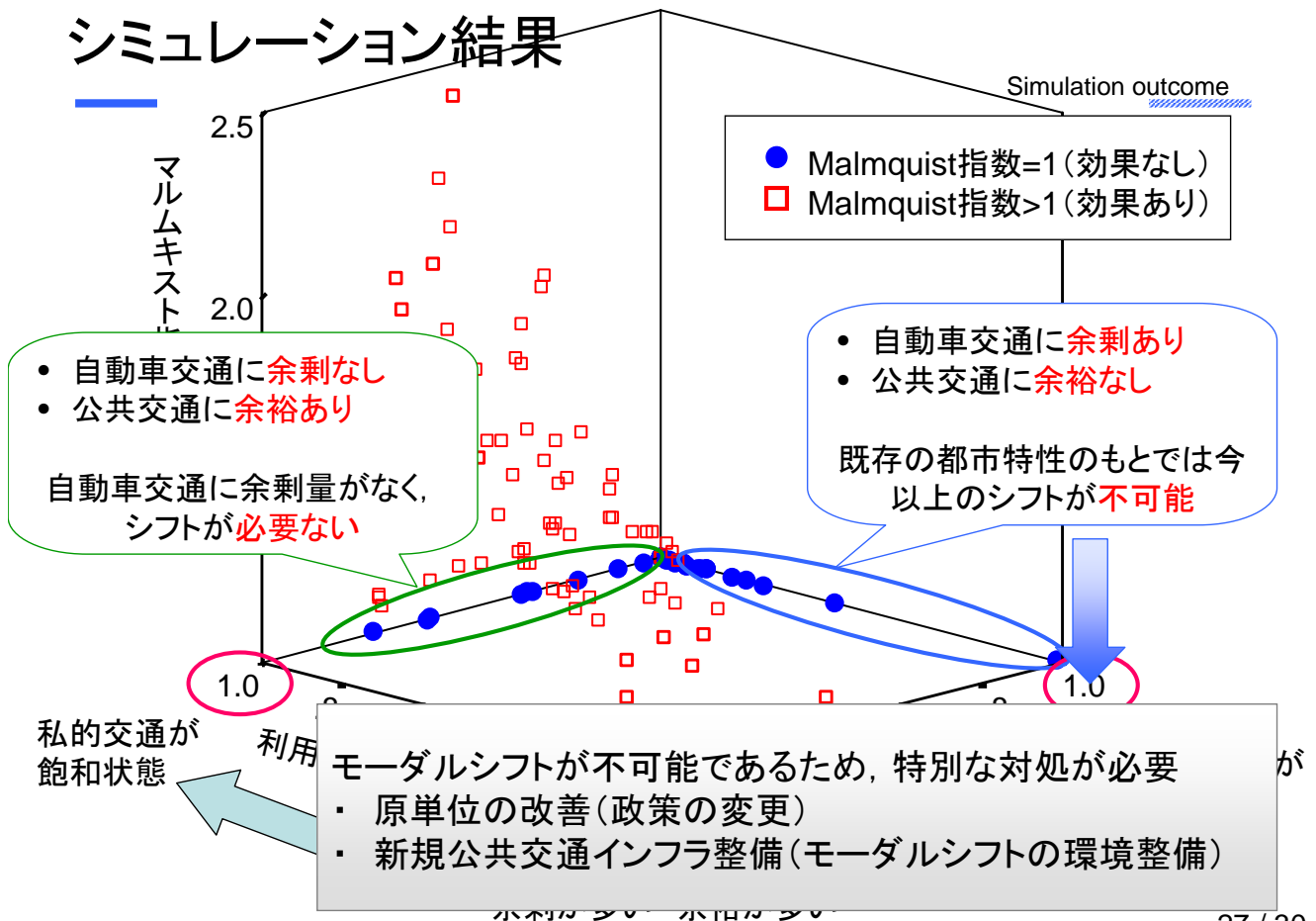
Introduction of Malmquist approach



26 / 30

第42回COE研究会(2007.12.4)

# シミュレーション結果



27 / 30

第42回COE研究会 (2007.12.4)

## まとめ

Conclusion

- 環境効率モデルの構築
  - DEAコスト効率モデルによる環境効率の再定義
    - ・ 詳細なエネルギー排出機構の評価
  - 環境条件を考慮したDEA
    - ・ 現実性の表現
- 改善案計算法の構築
  - Network DEAの導入
    - ・ 実行可能なモータルシフトの決定
  - 現実性・実効性を考慮

28 / 30

第42回COE研究会 (2007.12.4)

- シミュレーションのシナリオ設定
  - 政策に変化をつけ、施策の感度計測
    - モーダルシフト(入力値の変化)
    - 原単位改善(入力単価の変化)
  
- 都市の分類
  - 入力システムの異質性
    - クラスターのパターン
  - フロンティア形成不能都市
    - 経済先進都市と交通先進都市の違い

Thank you for your kind attention!!