

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

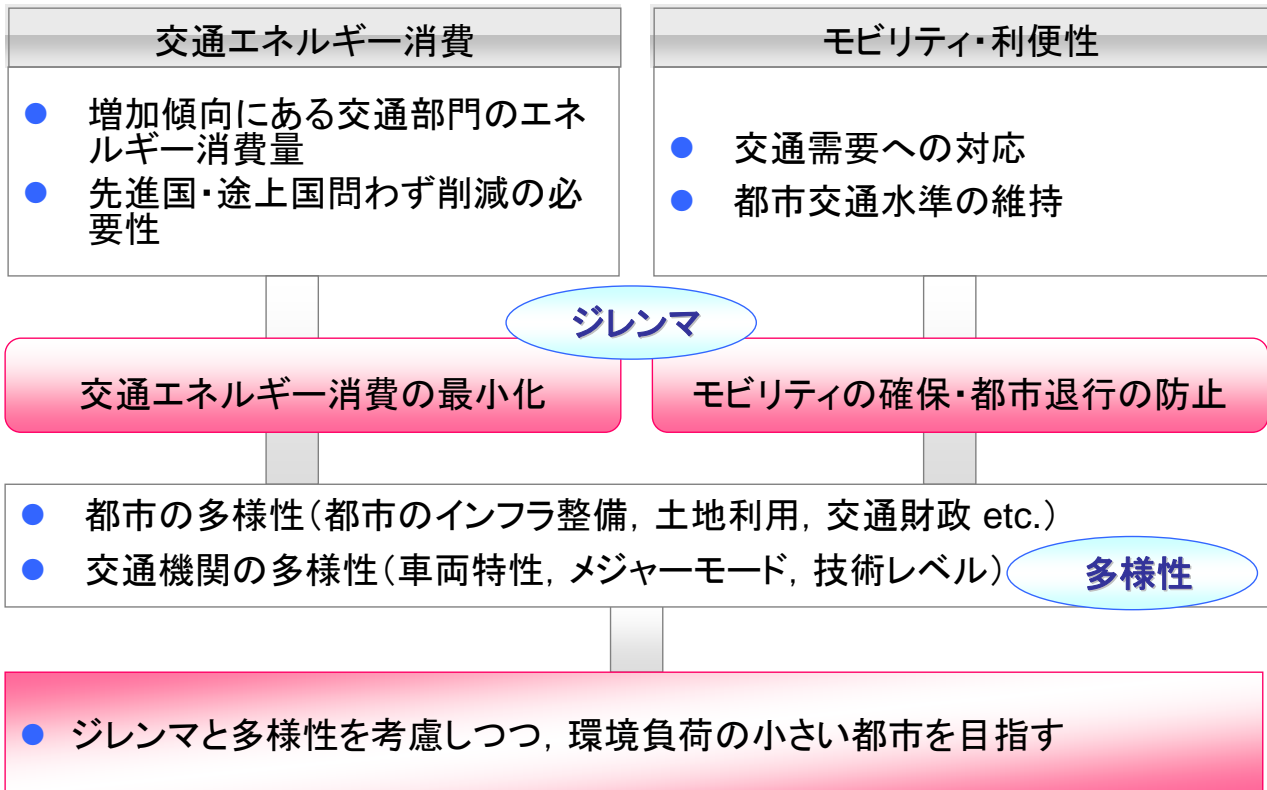
本日の発表のアウトライン

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

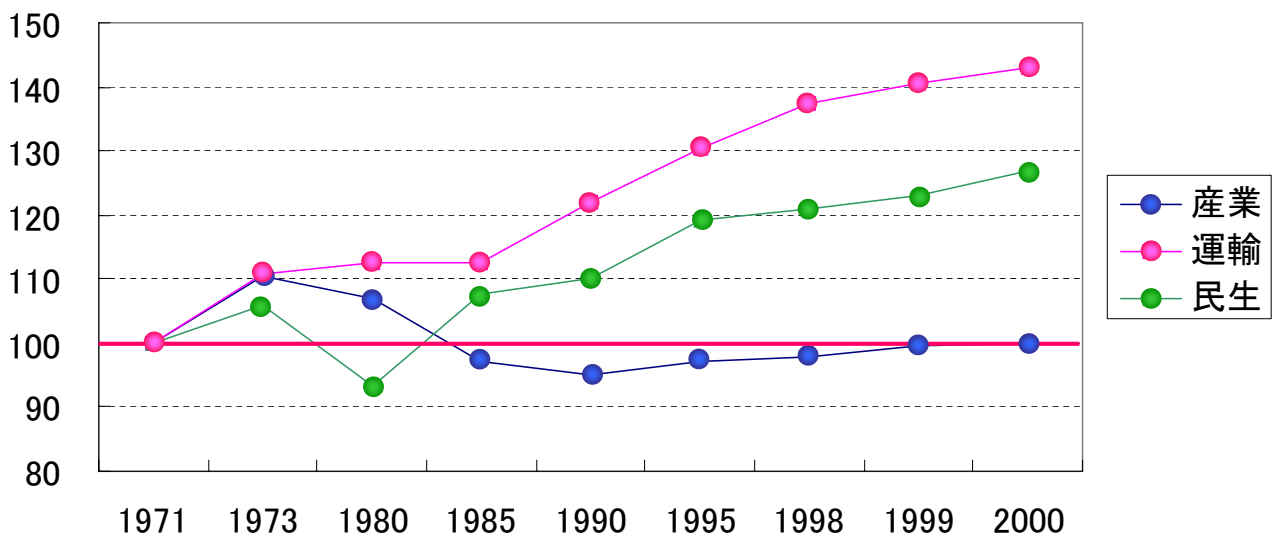


3 / 30

第42回COE研究会(2007.12.4)

研究の背景

Backgrounds of this study



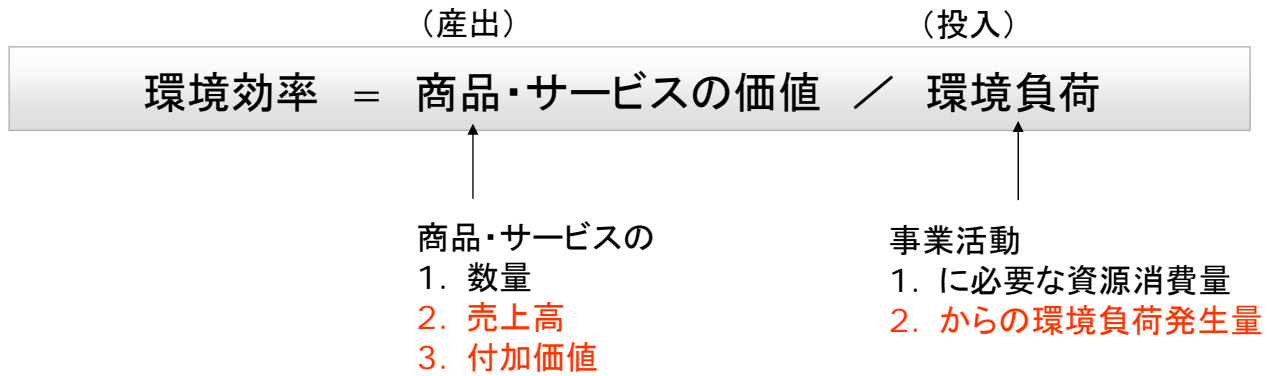
(注) 下記の出典の数値をもとに作成した。1971年度の値を100として指数評価した。

[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



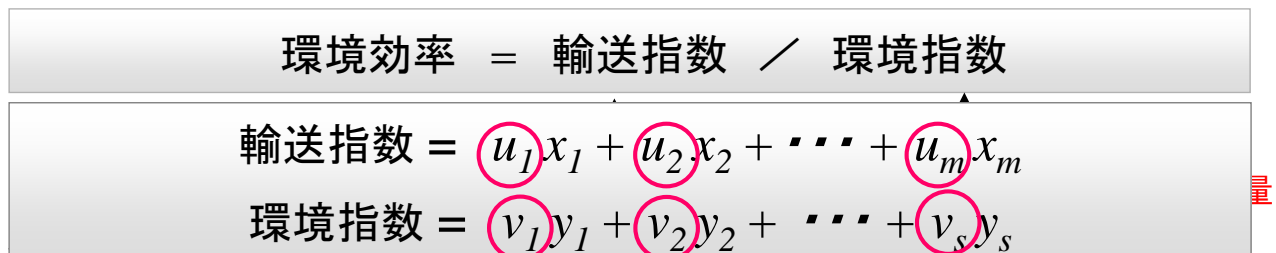
- 交通部門への適用

- 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。

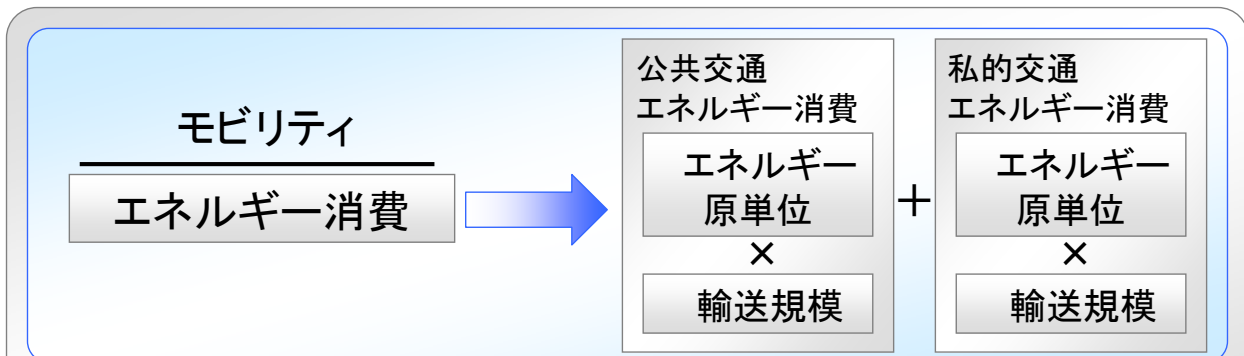
- DEAとは
 - 入力→出力の変換効率
 - 自都市とフロンティア都市(理想都市)の相対比較に基づいた効率性
- 本研究で用いる理由
 - 可変ウェイト・相対比較
 - 一義的な評価でなく、各都市の「強み」を評価(多様性への対応)
 - 改善案のイメージが分かりやすい

/ 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)

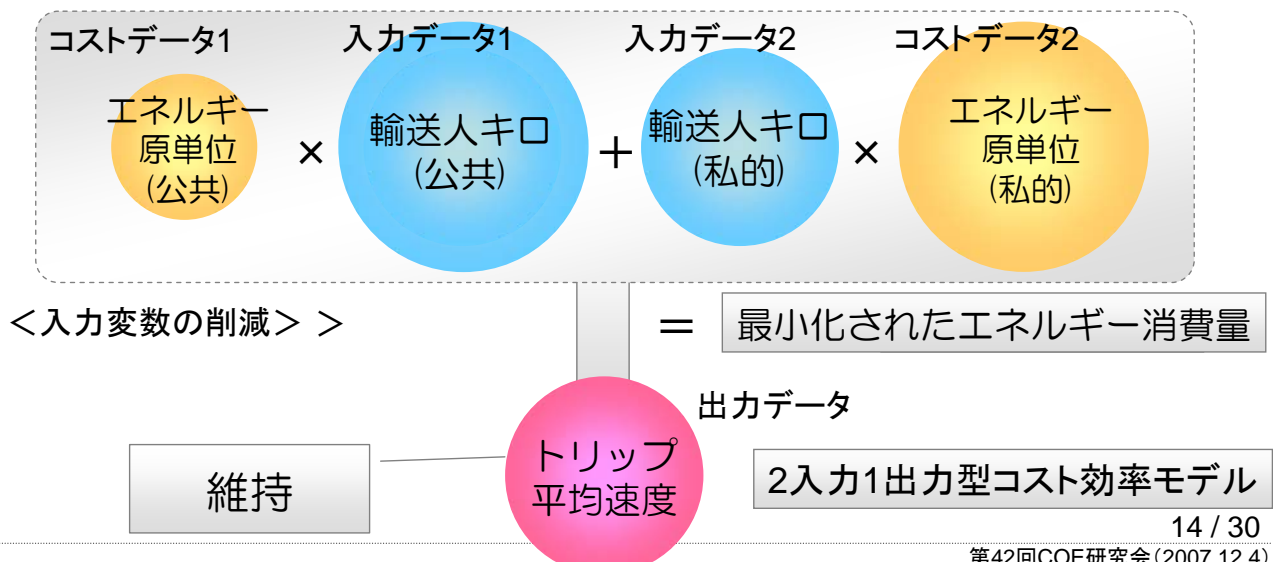
環境効率の再定義のため、以下のDEA各種モデルを統合して、**環境効率モデル**を構築する。

- 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

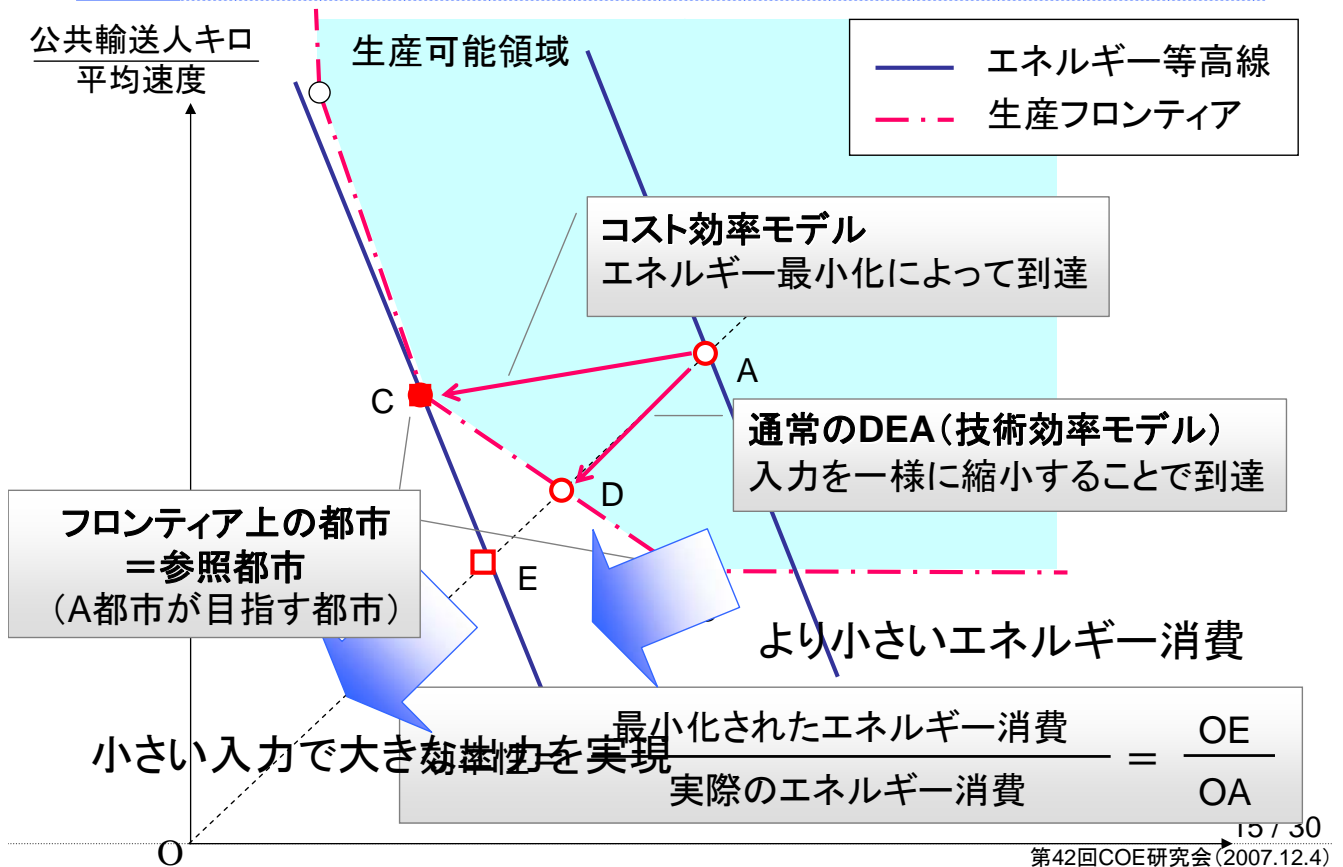
Cost efficiency model

- 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



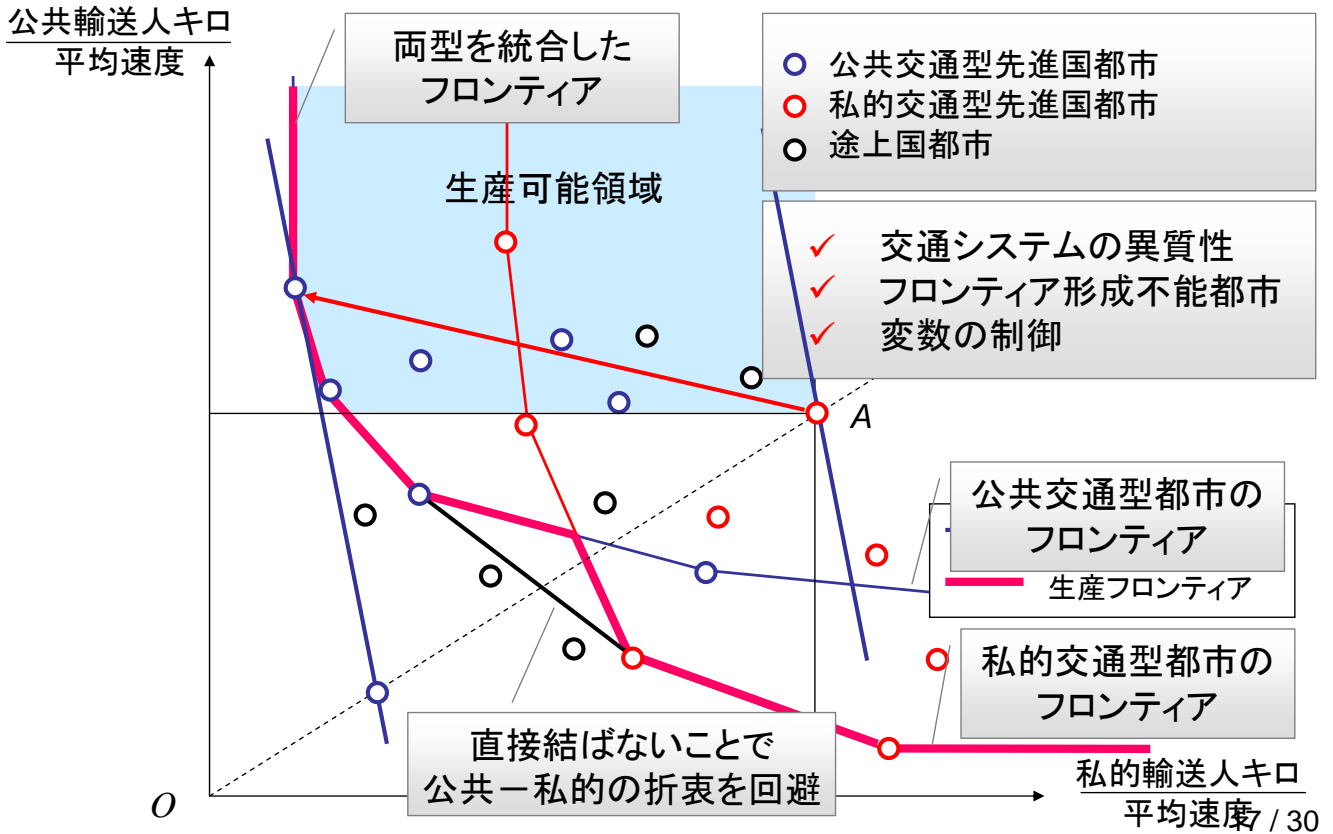
環境条件を考慮したDEA

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 Angeles (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

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

コスト最小化

s.t.

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

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

$$\sum_{j=1}^{n'} y_{rj} \lambda_{1j} + \sum_{j=n'+1}^{n''} x_{rj} \lambda_{2j} \geq z_r$$

公共交通を現状以上に

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

$$z_1 + z_2 = 1,$$

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

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

交通システムの異質性

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

記号の説明

● x_{ij}, y_{rj} : 入出力データ

● i : 入力変数の種類

1, ..., 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

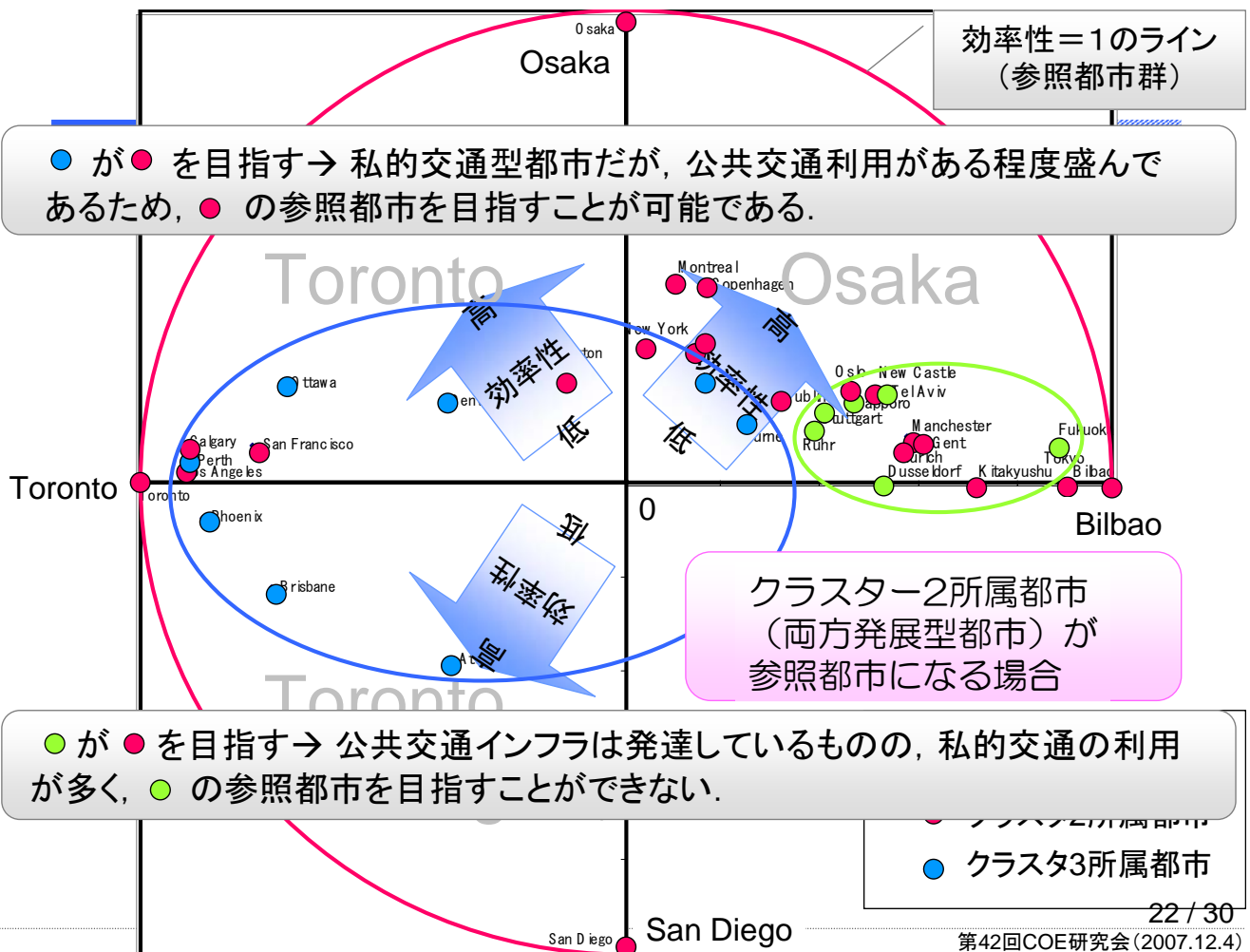
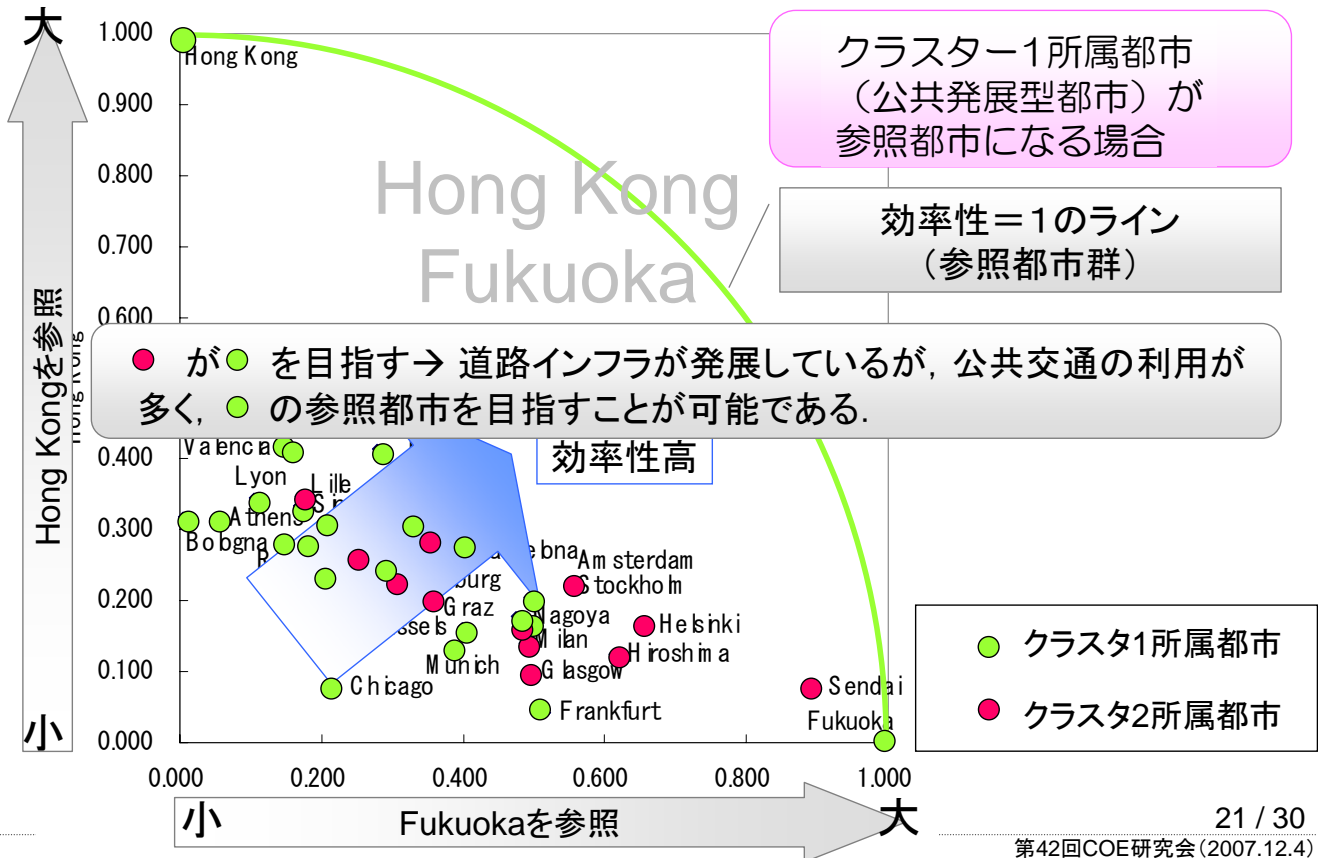
- 入力システムの異質性はアプリアリに与える
- クラスタ分析を使用
- 分類に使用した変数
 - 1000人あたりの道路延長[m/1000人]
 - 1000人あたりの公共交通専用路線延長[m/1000人]→ インフラ整備水準によって分類

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

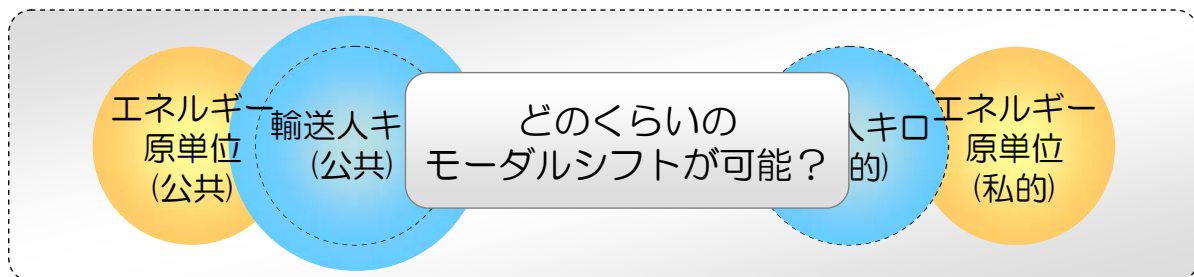


効率性改善手法の提案

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



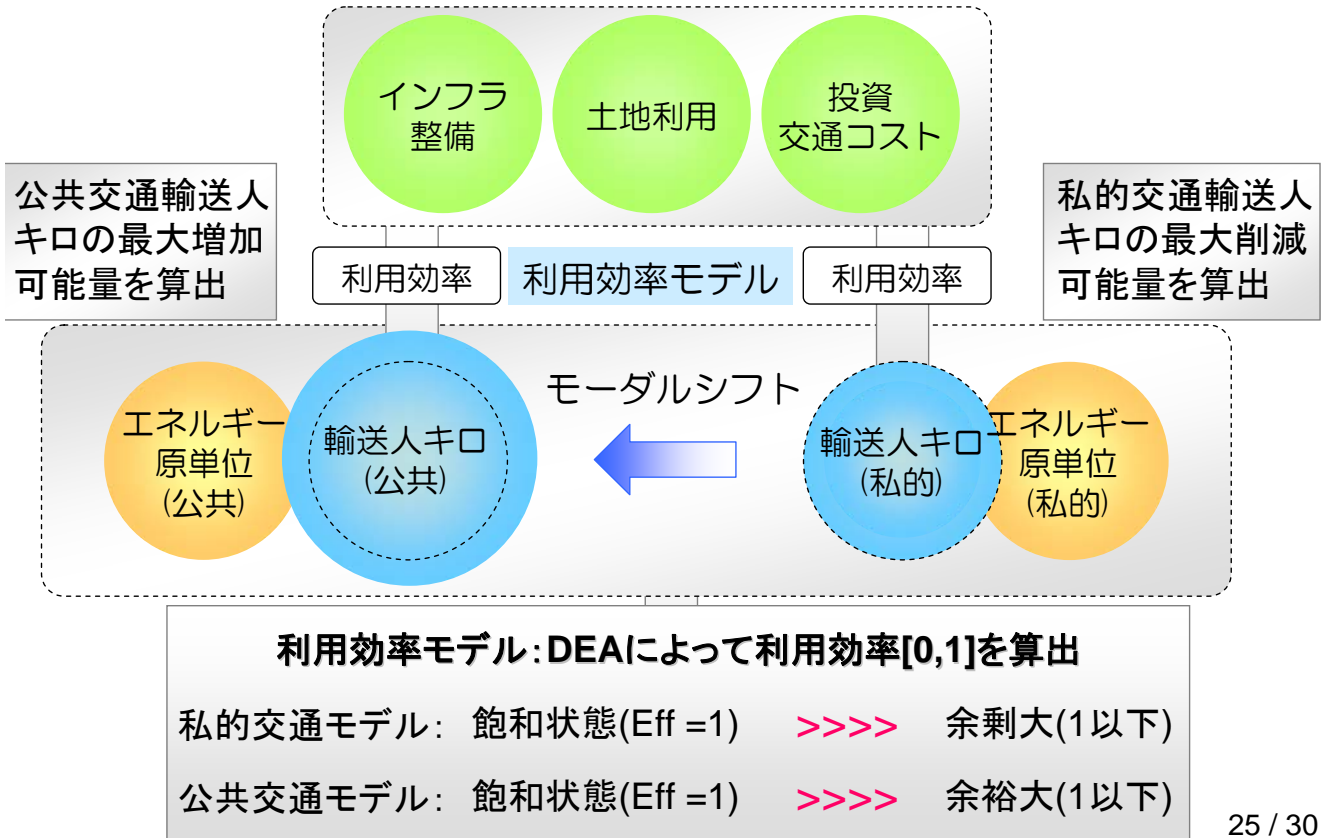
● 改善案パターン

- 入力(輸送規模)を変化
- 入力単価(原単位)を変化

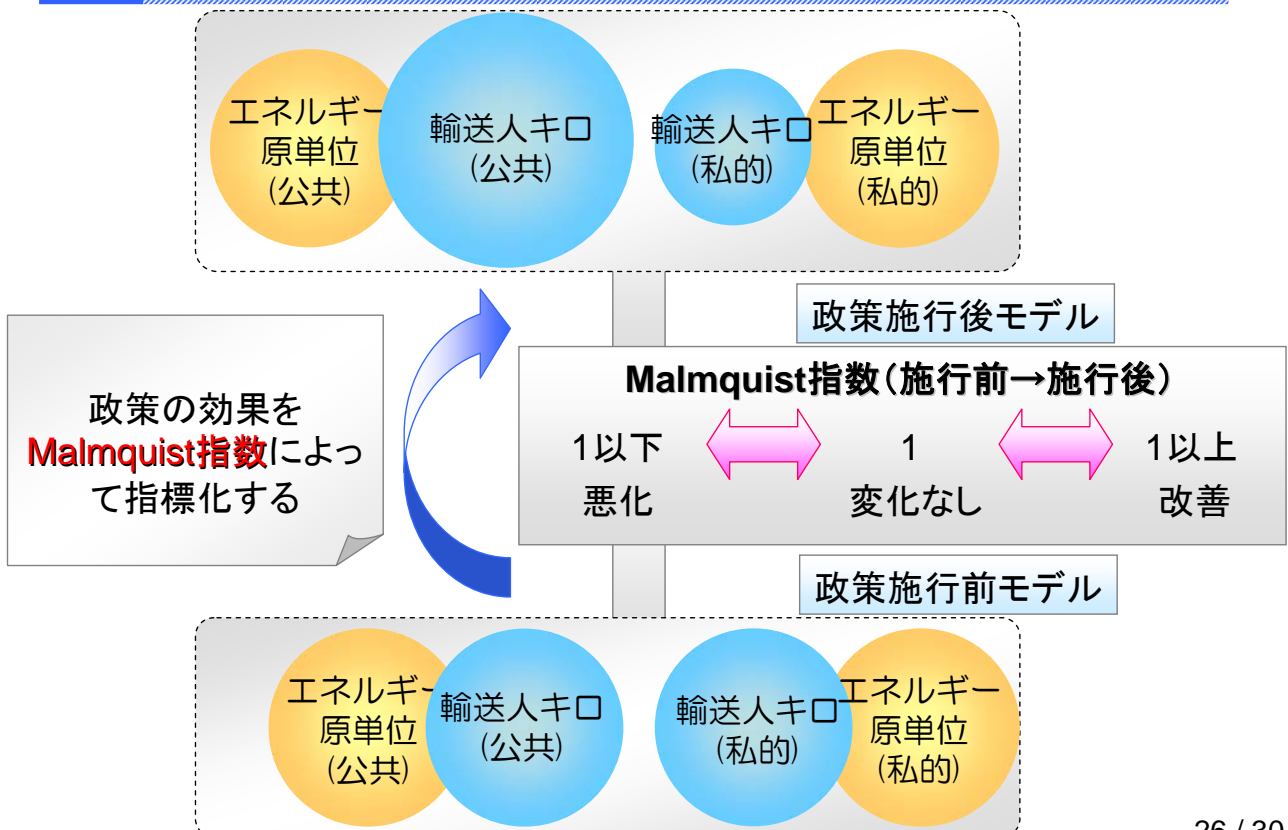
● 入力変数を減らさず変数間でシフトさせる

- 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)

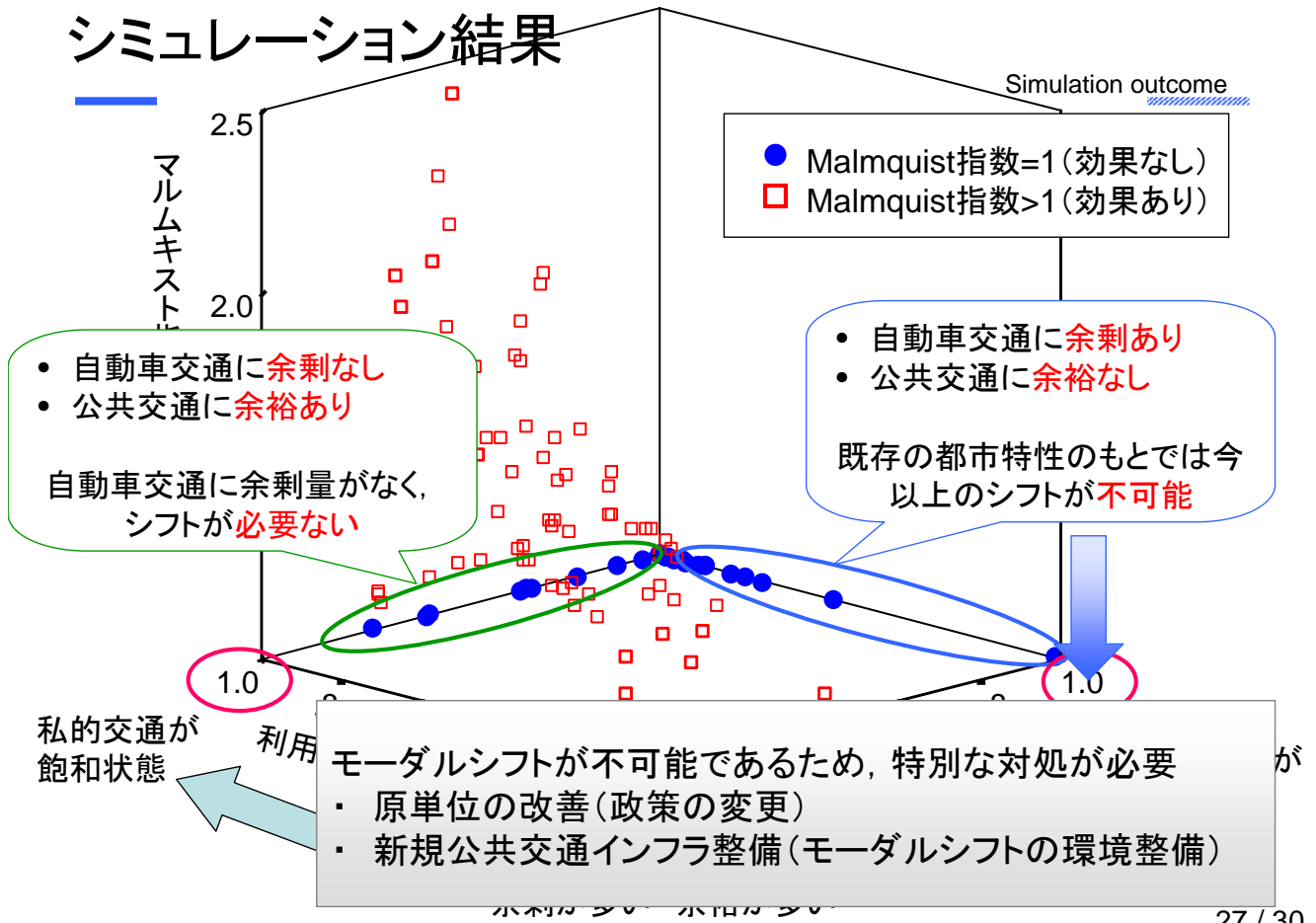
Network DEA



Malmquistアプローチ



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
 - ・ 実行可能なモーダルシフトの決定
 - 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!!