

国内外貨物流動予測 シミュレーションの 開発と海運振興への 適用可能性

運航・物流系

松倉 洋史

水中工学系

瀬田 剛広

はじめに

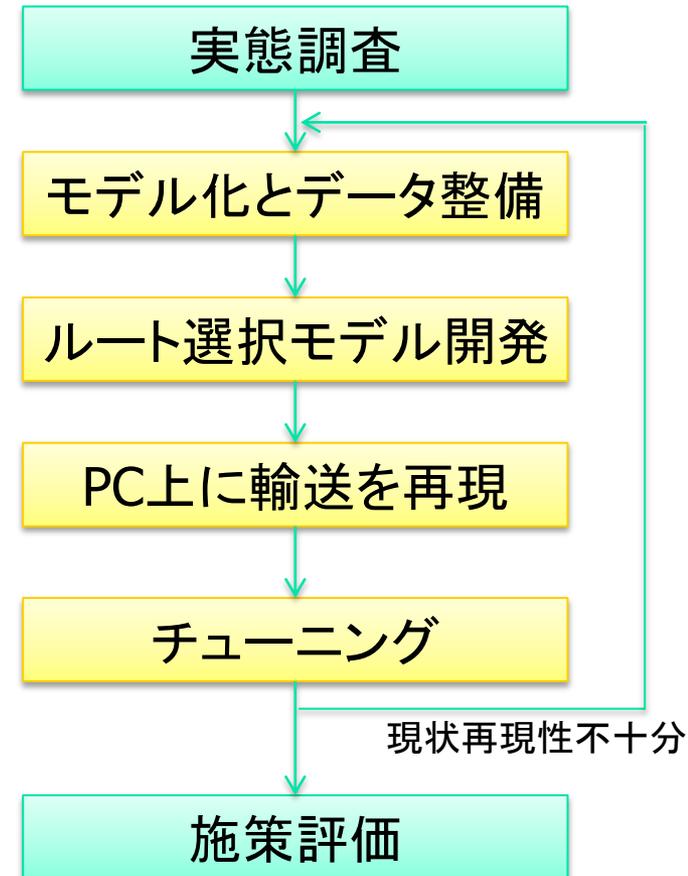
- 輸出入海上コンテナ貨物・国内ユニットロードの輸送
 - ⇒内航フィーダー輸送の育成やモーダルシフトの推進が求められている



- “国内外貨物流動予測シミュレーション”の開発
 - 貨物の輸送経路を推定するシミュレーションシステム
 - 輸出入海上コンテナ貨物
 - 国内発着のユニットロード
 - 特徴
 - 詳細・大規模
 - 拡張犠牲量モデル
 - 迅速・適切
 - 官民の施策評価が可能

シミュレーションによる輸送経路の予測

- Step 1 輸送機能のモデル化とデータ整備
 - 日本・世界の貨物輸送機能をモデル化
- Step 2 輸送ルート選択モデルを用意
 - 貨物がどのようなルートを通る傾向があるかを表現したモデルを開発
- Step 3 コンピュータ上に輸送を再現
 - 輸送機能をプログラムとしてPC上に実装
- Step 4 システムのチューニング
 - 現状の輸送ルートを再現できるよう調整
- Step 5 施策評価



1. 輸送機能のモデル化とデータ整備

使用する輸送機関

- 国内部分で使用する輸送機関を集約
 - 国内貨物
 - 陸路のみの場合
 - トラック
 - 内航路も使う場合
 - トラック + フェリー
 - トレーラ + フェリー (トラクタなし)
 - トレーラ + RORO船 (トラクタなし)
 - JRコンテナ + コンテナ船・一般貨物船
 - 輸出入貨物・・・外航路はコンテナ船
 - 陸路のみの場合
 - 海上コンテナ(トレーラで牽引)
 - 内航路も使う場合
 - 海上コンテナ + コンテナ船・一般貨物船

1. 輸送機能のモデル化とデータ整備

輸送機関等の各種属性

■ 輸送距離

- 陸上距離: NITAS(全国総合交通分析システム)を用いて計算
- 国内外の港間の海上距離: 必要な航路ネットワークを作成した上で所内の既存プログラムで計算

■ 所要時間

- 陸上輸送: NITASの結果を使用
- 海上輸送の移動所要時間: 輸送距離 ÷ 平均的な船速
- 必要に応じ輸送パターン毎、港湾地域・種別・規模毎に各種時間を加算
 - 荷役時間、横持ち時間、港湾待ち時間、通関時間、トランシップ時間等

■ 輸送費用

- 各種文献より設定
- 詳細不明の場合、必要に応じ港湾・航路等を分類し、近似式により計算

1. 輸送機能のモデル化とデータ整備

貨物発着地と使用港湾

■ 貨物発着地

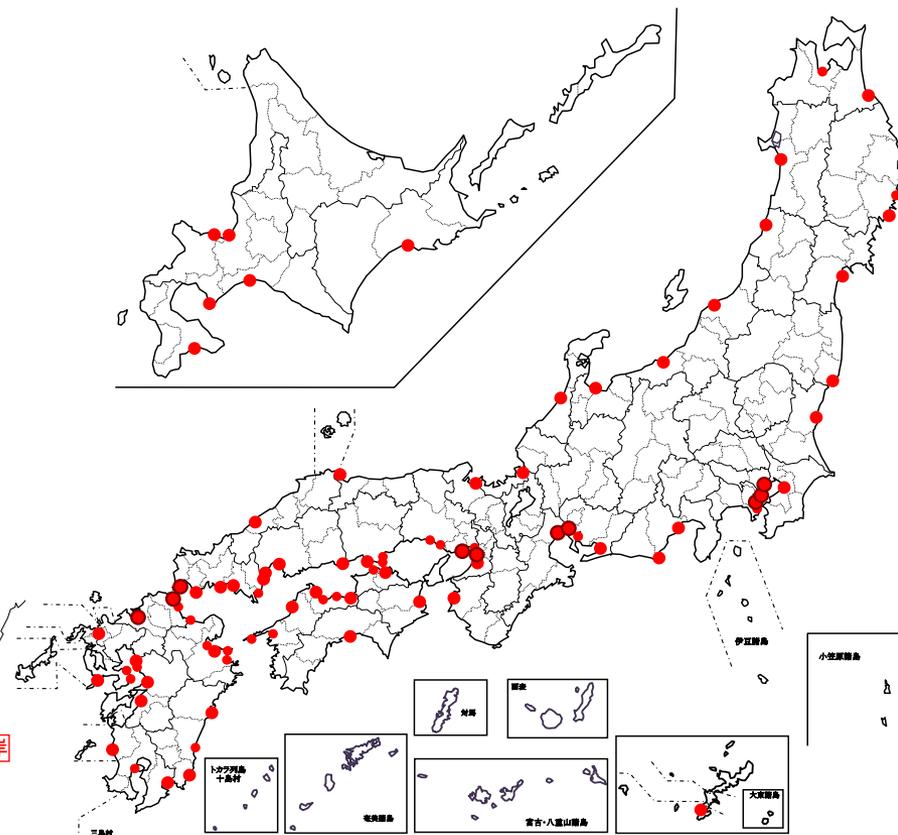
- 国内: 全国を207の生活圏に分割
- 海外: 世界を25の地域に分割

■ 使用港

- 使用した貨物データに出現した国内港は省略なく全て使用



図 世界地域区分と代表港



(大きな道県ほど多数に分割)

図 日本の207生活圏区分と使用港湾

1. 輸送機能のモデル化とデータ整備

海陸輸送経路

■ 陸上輸送経路

- 経路上では有料道路も利用可能とし、最短時間経路を探索

■ 内航経路

- 使用した貨物データに出現した全ての航路は省略なく使用
- 船種が異なれば違う航路として計上

■ 外航経路

- 外航コンテナ船のサイズを2種類に集約
 - 東西基幹航路及びフィーダー港間の航路: 6,000TEU積のコンテナ船
 - それ以外: 2,000TEU積のコンテナ船

■ 国内貨物

- 2010年物流センサス(全国貨物純流動調査)の非集計データ

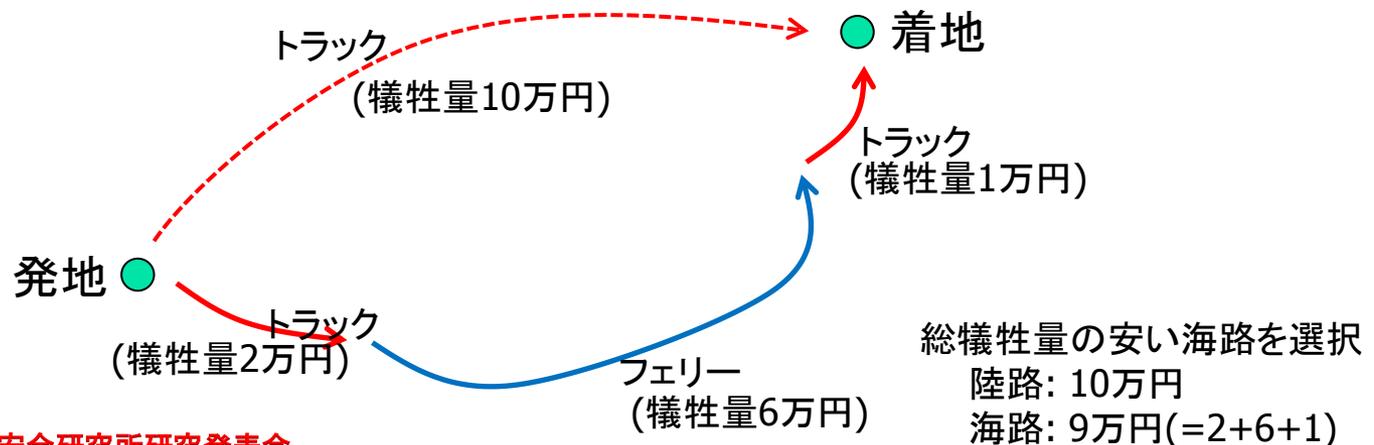
■ 輸出入貨物

- 2008年コンテナ流調(全国輸出入コンテナ貨物流動調査)の非集計データ

2. 輸送ルート選択モデル 従来の犠牲量モデル

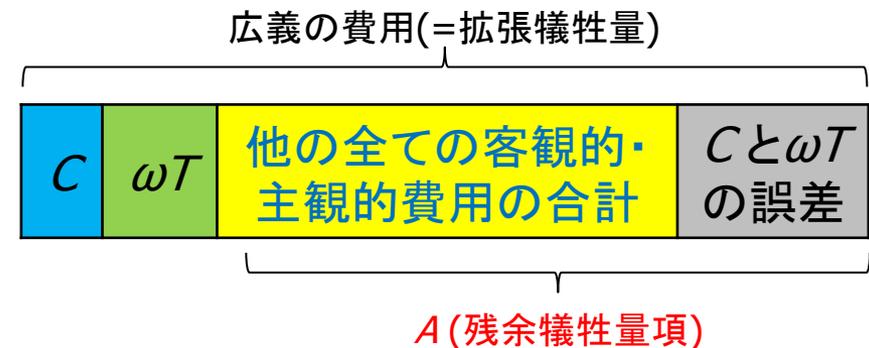
■ 犠牲量モデル

- 利用者は損失(犠牲量)が最も少ないルートを選択する
- モデル式: $S = C + \omega T$. . . 費用と時間により生じる負担からなる
 - S [円]: 犠牲量(負担額)
 - C [円]: 輸送費用
 - 輸送に実際かかる費用
 - ω [円/時間]: 貨物の時間価値
 - 当該貨物は1トンあたり1時間にどの程度価値が下がるか
 - T [時間]: 輸送所要時間



2. 輸送ルート選択モデル 拡張犠牲量モデル

- 貨物輸送は商業活動の一部 ⇒ ”広義の費用”でルートを決定
 - “総合的に判断して、このルートが一番お得”
 - 広義の費用 (=拡張犠牲量)
 - 実費用、時間価値に基づく費用(従来の犠牲量モデルの構成要素)
 - 他の全ての客観的・主観的費用の合計
 - 頻度・遅延リスク・貨物損傷リスク・使い勝手・心理的抵抗感等を費用換算



- 拡張犠牲量モデル: $S = C + \omega T + A$
 - A [円]: 残余犠牲量項
 - 他の全ての客観的・主観的費用の合計+C 及び ωT の誤差
 - A を適切に得られれば、実際の輸送を精度高く再現することが可能

3.コンピュータ上に輸送を再現 プログラムの構成

- 入力である貨物ODデータ、輸送に係る距離、時間、費用等から、出力として各貨物がどのルートを通過するか推定する
- Visual C#.Netを用いてフルスクラッチで開発

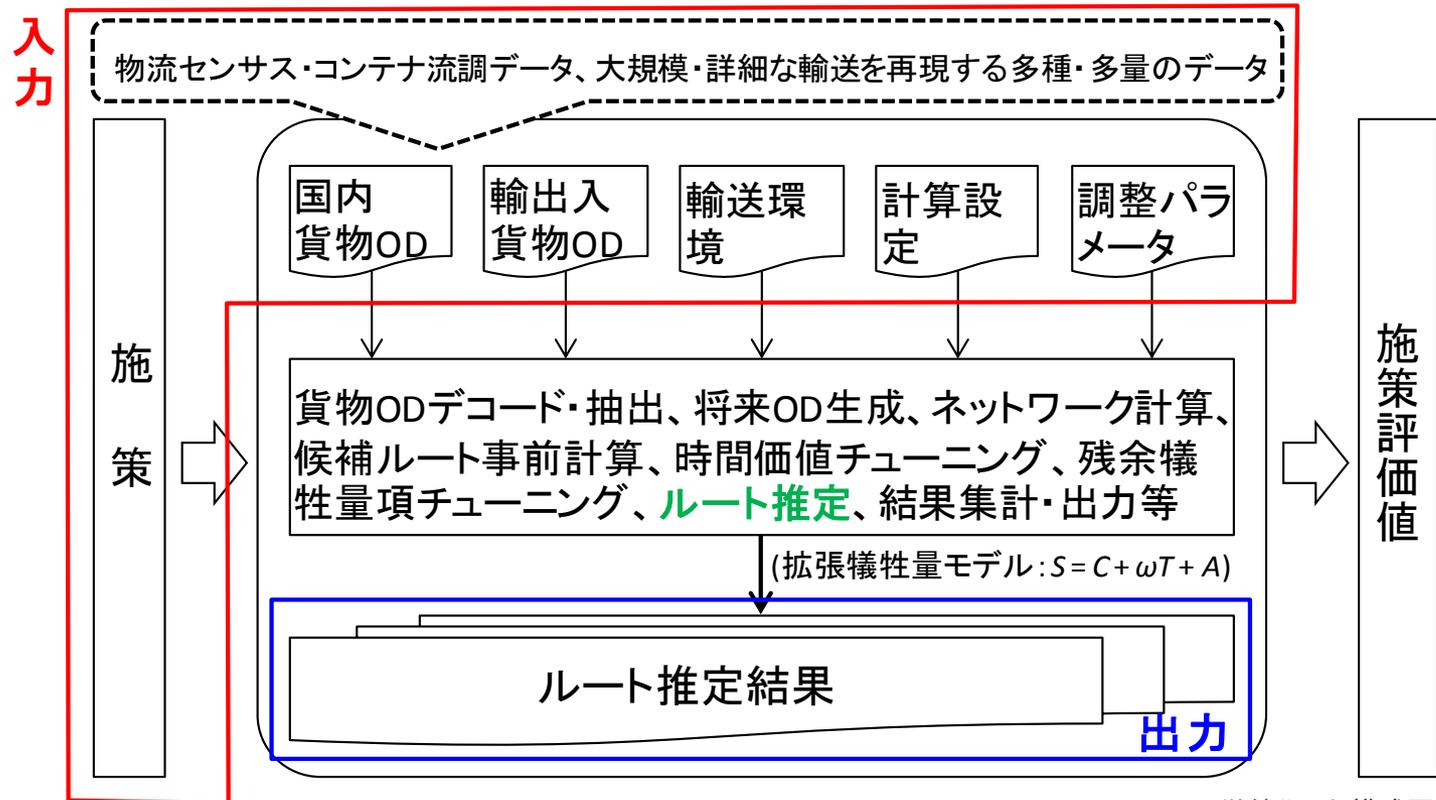


図 計算構造の概要

単純化した構成図

4. システムのチューニング

概要, 時間価値

- 輸送機能をモデル化し、入力データを用意し、PCに実装した後は、パラメータを調整して現実を再現できるようにチューニング
 - 拡張犠牲量モデル: $S = C + \omega T + A$
 - 時間価値 ω :
 - 残余犠牲量項 A :
- } この2つをチューニング
- 貨物の時間価値は様々な値が求められており、それぞれに合理性
 - 時間価値をシステムのチューニングパラメータととらえる
 - 開発したシステムを用いてチューニングで求める
 - 犠牲量モデルではわずかの犠牲量の違いで、大きく貨物の流れが変化する恐れ
 - 時間価値に正規分布を仮定し、値をランダムに与えて反復計算して集計 (モンテカルロ計算)

4. システムのチューニング

残余犠牲量項

- 残余犠牲量項Aは多数必要: 内航航路毎・輸出港及び輸入港毎に1つ
 - 国内貨物用に126個、輸出入貨物用に185個⇒人手による調整は非現実的



- 単純なチューニング機構をプログラムに実装

- $V_{est.} - V_{act.} > 0 \Rightarrow A_{n+1} = A_n + A_{step}$
- $V_{est.} - V_{act.} < 0 \Rightarrow A_{n+1} = A_n - A_{step}$
- $V_{est.} - V_{act.} = 0 \Rightarrow A_{n+1} = A_n$

- $V_{act.}$: 航路輸送量の実績値
- $V_{est.}$: 航路輸送量の推定値
- A_n : 残余犠牲量項
- A_{step} : 調整幅

シミュレーションをしつつ適宜 A_{step} を狭めていく

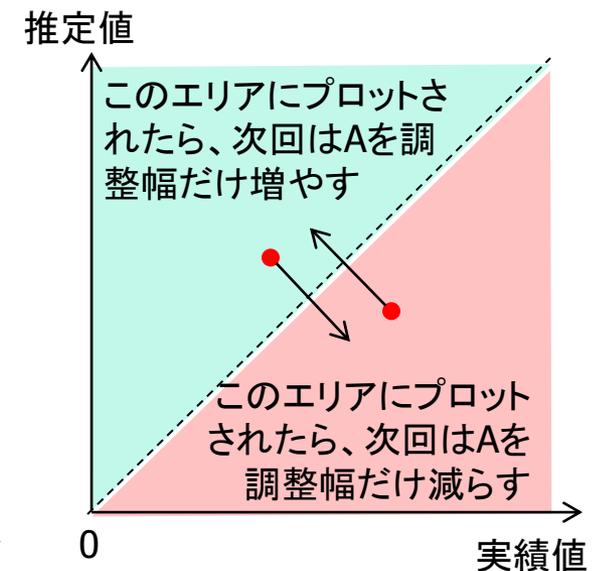
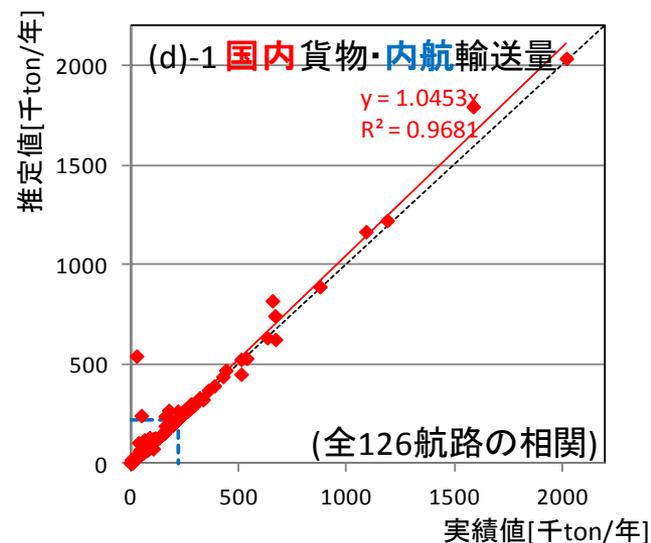
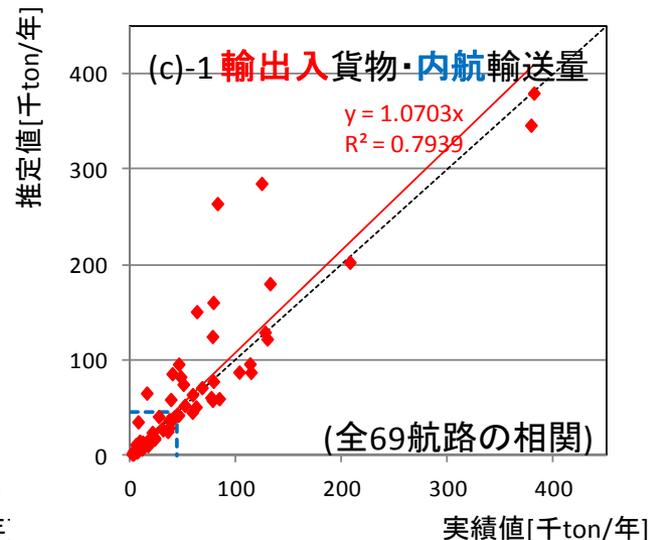
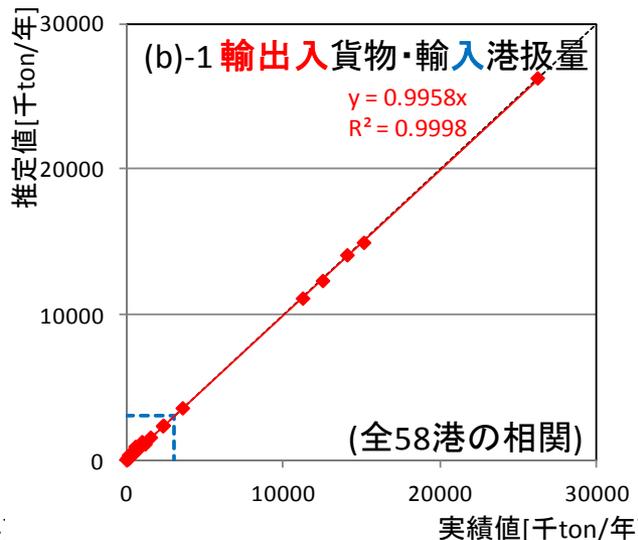
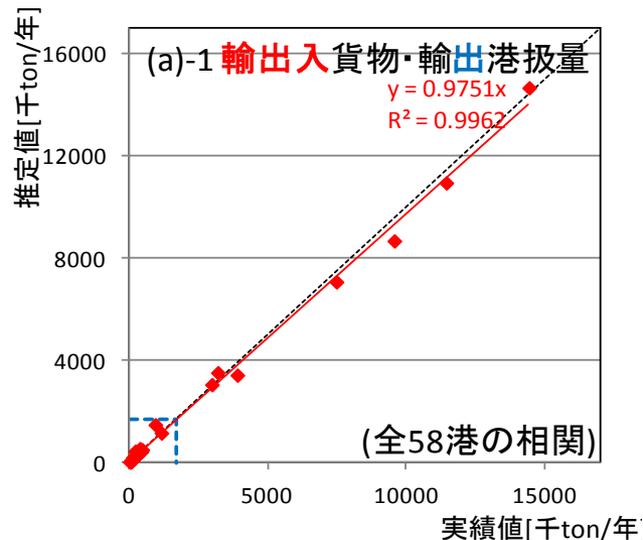


図 チューニングのイメージ

4. システムのチューニング パラメータのチューニング結果



■ 良好な現状再現性

- $y = x$ 近傍に分布
- 小規模港湾も再現
- 殆どの点が $x \cdot y$ 軸を離れて均衡状態

4. システムのチューニング 本システムの特徴

■ 詳細

- 生活圏単位の発/着地メッシュ
- 国内港湾・航路の省略なし

■ 大規模

- 国内全体の貨物輸送を対象

■ ルート選択

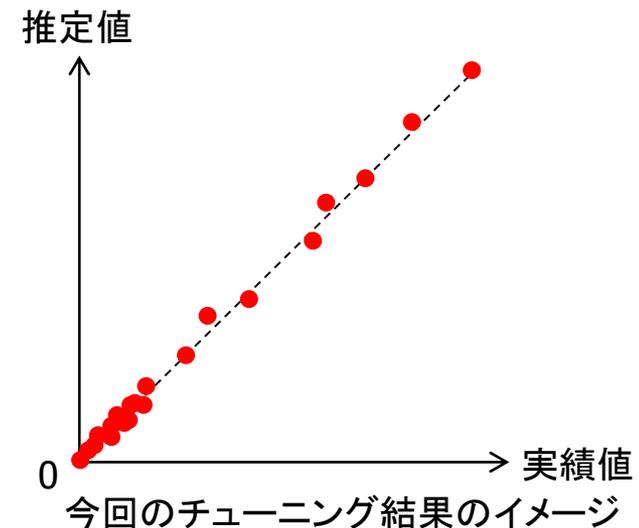
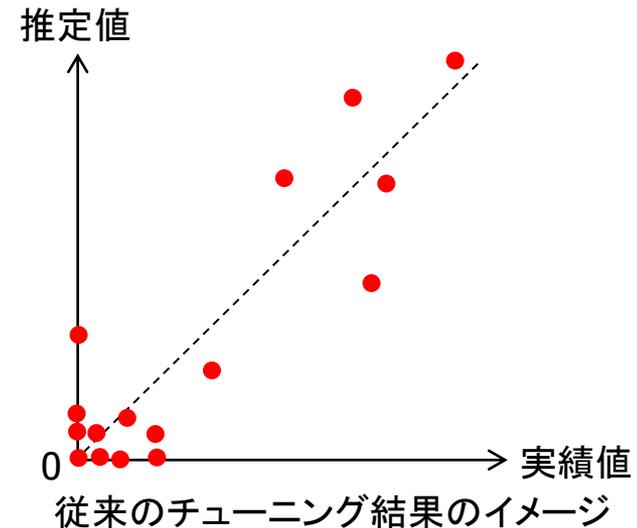
- 拡張犠牲量モデル

■ 迅速・適切

- 内部開発
- モデルの省略少ない
- 高い現状再現性

■ 用途

- 官民の施策評価が可能



5. 施策評価

- 港湾インセンティブ制度: 港湾が自港を使う輸出入海上コンテナ貨物に対して金銭補助
 - コンテナ1本あたり1万円程度が多い
 - 広く普及
- 航路自体に直接運賃補助を行う制度: あまり見られない



- 施策: 航路補助
- 目的: 内航フィーダー輸送育成、モーダルシフト推進
- 内容: 輸出入貨物・国内ユニットロード貨物が内航で輸送されたら、新規/継続に関わらず貨物1トンあたり定額の金銭補助を実施

5. 施策評価

基本施策と分析

- 基本施策: 内航輸送される輸出入海上コンテナ貨物・国内ユニットロードに、新規/継続に関わらず200円/トンの補助



- シミュレータによる評価
 - 貨物移行量: 年589万トン(施策実施前の内航貨物の2割増)
 - 必要予算額: 年68億円弱
- シミュレータによる分析の結果、以下が判明
 - 基本施策では、航路によって感度が大きく異なる
 - 感度上位の航路は値が非常に大きい(上位は2倍以上の感度)
 - 下位航路は感度が1.2未満と小さい
 - 補助単価を増額(400円/トン)すると、基本施策での感度が高い航路ほど増額効果が高い
 - 下位航路は殆ど増額効果が無い

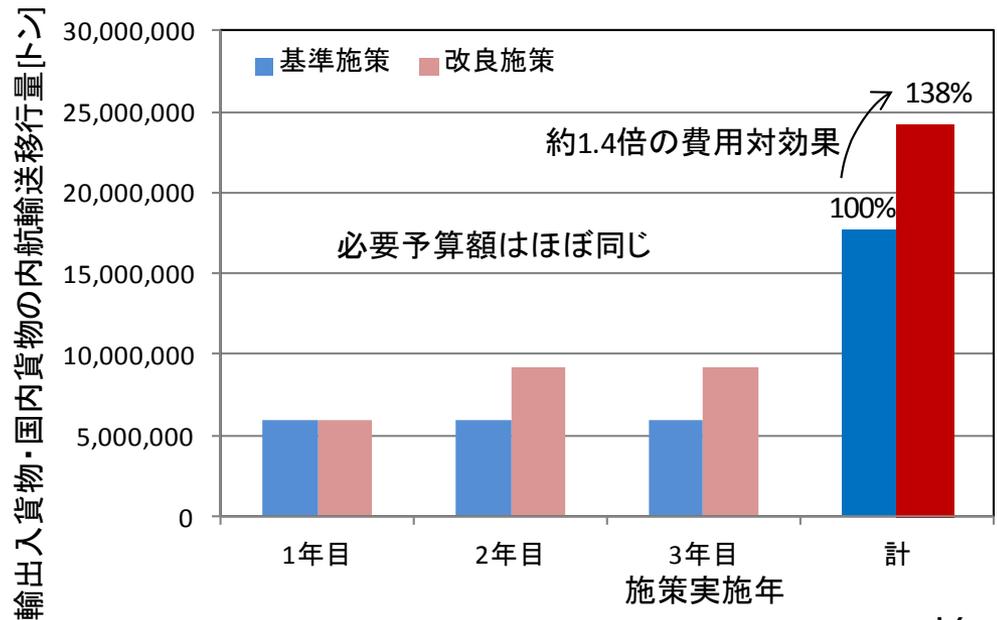
5. 施策評価 改良施策

- 方針: 費用対効果を高めるため、**感度の高い航路へ重点的に補助**
- 公平感・客観性・事業者の営業努力喚起を考え以下の手順とする。
 - 1年目: 基準施策と同じ(内航ユニットロード貨物を輸送する全内航航路に対し、一律に輸送貨物へ200円/トンの補助)
 - 2・3年目: 1年目に感度実績の高かった航路順に、
 - 上位1/4: 補助単価を倍の400円/トン
 - 上位1/4~1/2: 単価据置き
 - 下位1/2: 補助停止



■ 改良の効果

- **必要予算額はほぼ変わらない**
- **約1.4倍の費用対効果**



5. 施策評価 考察

- 内航フィーダー輸送の進まない理由として、規制・商慣習による非効率や高コスト(例えば、文献1)
- モーダルシフトの進まない理由として、船舶利用時の長所に関する荷主の認識不足、物流事業者のPR不足、認可手続きに時間がかかる等の要因(例えば、文献2)

文献1 日本内航海運組合総連合会:国内コンテナフィーダーに関する研究, 2011.
 文献2 国土交通省:モーダルシフト等推進官民協議会 中間とりまとめ, 2011.



- 本施策を定期的に実施
 - 全国的な競争が促進され、事業者への認知が進む中で上記課題が改善
 - ⇒施策終了後も一定の効果を持続可能と期待

シミュレータを用いることで、あらかじめ必要予算や効果を予測しながら、効果的な施策設計を行うことが可能

6. 利用例

- 本システムで分かること
 - チューニング完了時の犠牲量(=費用、時間費用、残余犠牲量)の構成比
 - 他航路/港との比較により自航路・港の特性を把握
 - 残余犠牲量の割合が大きければ、航路/港の改善余地が大きい



- 貨物扱量の、各航路・港における犠牲量に対する感度
 - 費用、所要時間、残余犠牲量構成要素(頻度・遅延リスク・貨物損傷リスク・使い勝手・心理的抵抗感等)への相対的感度(競合程度)

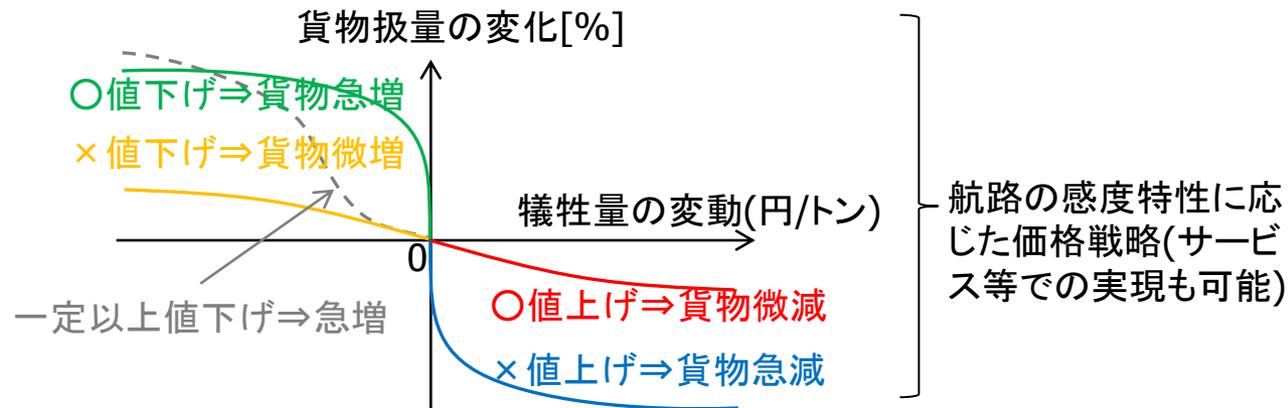


図 感度特性(運賃で犠牲量を変動させた例)

6. 利用例 / 終わりに

■ 利用例

- 公共(航路・港湾関係組織): 政策の企画、政策対象航路抽出
- 船社/フォワーダー: 自社航路診断、価格戦略策定、新規航路F/S、新規荷主開拓(陸路との競合度の高い貨物の荷主)
- 荷主: 価格交渉材料、代替航路検討

■ おわりに

- 輸出入海上コンテナ貨物及び国内ユニットロードを対象とした、海運施策評価シミュレーションシステムを開発
- 特徴
 - 詳細・大規模
 - 拡張犠牲量モデル
 - 迅速・適切
 - 官民の施策評価が可能