

物流まちづくりガイドンス (シミュレーションモデル構築編)

令和8年3月
東京都市圏交通計画協議会

序章 はじめに

- **変革を迫られる東京都市圏の物流** 少子高齢化による労働力不足(2024年問題)、ネット通販(EC)の急激な普及やカーボンニュートラルへの要請など、東京都市圏の物流を取り巻く環境はかつてないスピードで変化しています。過去のトレンドの延長や従来の推計手法だけでは、将来の都市交通や物流網の姿を描くことは困難になりつつあります。
- **Tokyo FreightSimの構築** こうした不確実な未来に対応するため、東京都市圏交通計画協議会では、第6回東京都市圏物資流動調査の調査結果をもとに、新たな分析基盤となる「東京都市圏物流シミュレーションモデル(Tokyo FreightSim)」を構築しました。本シミュレーションモデル(以下、モデルという)は、都市内の事業所・世帯・トラックといった個々の動き(エージェント)を積み上げることで、複雑な都市物流の実態を再現するとともに、施策導入や社会変化がもたらす影響を「シナリオ」としてシミュレーションすることで、まちづくりと物流施策をつなぐ定量的な分析への活用を目指しています。
- **本ガイダンスの目的** Tokyo FreightSimは、分析やその結果を用いた施策検討のための共通基盤(プラットフォーム)です。本ガイダンスは、本プラットフォームを行政・研究・実務に携わる皆様と共有し、継続的に改善していくためのガイダンスとして作成しました。物流まちづくりをすすめるために、本ガイダンスが今後の施策検討や研究活動の一助となれば幸いです。

目次

第1章 本ガイダンスの目的と背景	3
1-1 本ガイダンスの目的と位置付け	3
1-2 モデル構築の背景と目的	4
1-3 本ガイダンスが想定する読者層	6
第2章 シミュレーションモデルの構築	7
2-1 モデルの考え方	7
2-2 モデルの概要	8
2-3 モデルの構築	11
2-4 モデルの限界と留意点	21
第3章 シミュレーションモデルのユースケースとシナリオ分析	22
3-1 シナリオ設定	22
3-2 シナリオ分析	23
第4章 シミュレーションモデルの活用に向けて	30
4-1 モデルの外部公開	30
4-2 モデルの利用方法	31
4-3 今後の展望	33
参考資料 モデルの数式・パラメータ推定結果・現況再現性	34

第1章 本ガイドンスの目的

1-1 本ガイドンスの目的と位置付け



本ガイドンスの目的

- Tokyo FreightSimは、**モデル分析やその結果を用いた施策検討のための共通基盤(プラットフォーム)**です。
- 東京都市圏物流シミュレーションモデル(Tokyo FreightSim)の概要と活用方法を解説し、行政・研究・実務をつなぐ共通基盤としての利用を促進することを目的としています。
- 本ガイドンスを通じて、都市物流に関する課題とモデルの可能性を共有し、都市・交通施策と物流施策をつなぐ新しい分析基盤としての理解を深めることを企図しています



本ガイドンスの位置付け

- 本ガイドンスは、第6回東京都市圏物資流動調査の調査結果をもとに構築された「東京都市圏物流シミュレーションモデル(Tokyo FreightSim)」の概要と活用方法を解説する冊子として位置付けられます。
- 行政・研究・実務に携わる皆様がそれぞれの立場で活用できるよう、モデルの全体像や留意点、シナリオ分析のユースケースを整理しています。
- 併せて、モデルの外部公開に向けた提供データや利用条件、運営体制を示しています。

第1章 本ガイドンスの目的

1-2 モデル構築の背景と目的

- 少子高齢化やEC普及など、物流を取り巻く環境が急激に変化する中、確かな未来を予測することは困難ですが、起こりえる事象を幅広く想定し、**様々な可能性があることを理解しておくことは有益**と考えます。
- そのためには、都市の物流実態を調査(本体調査、補完調査)し、その活動・行動を分析・モデル化(モデリング)することが必要であり、**実態の可視化と将来予測を可能にする新たな分析基盤**として本モデルを構築しました。

✓モデルの役割:

- 都市物流の実態を「**現況シミュレーション**」で可視化(本体／補完調査だけでは把握しきれないギャップを補完)
- 都市・交通施策や社会変化の影響を「**将来シミュレーション(シナリオ分析)**」で定量的に把握
- モデルを外部公開し、施策立案や研究に加え、共同配送・貨客混載輸送・混雑課金といった具体課題への分析ニーズにも応える「**共通基盤**」として活用

✓活用目的:

- 行政・コンサルタント:都市・交通施策の立案、効果検証等
- 研究者:共通基盤としての応用・高度化

✓開発目的:

- 東京都市圏の多様な課題に対応できる「**シミュレーションモデル**」を構築し、政策立案や研究・実務で活用可能な基盤とする

第1章 本ガイドンスの目的

1-3 本ガイドンスが想定する読者層

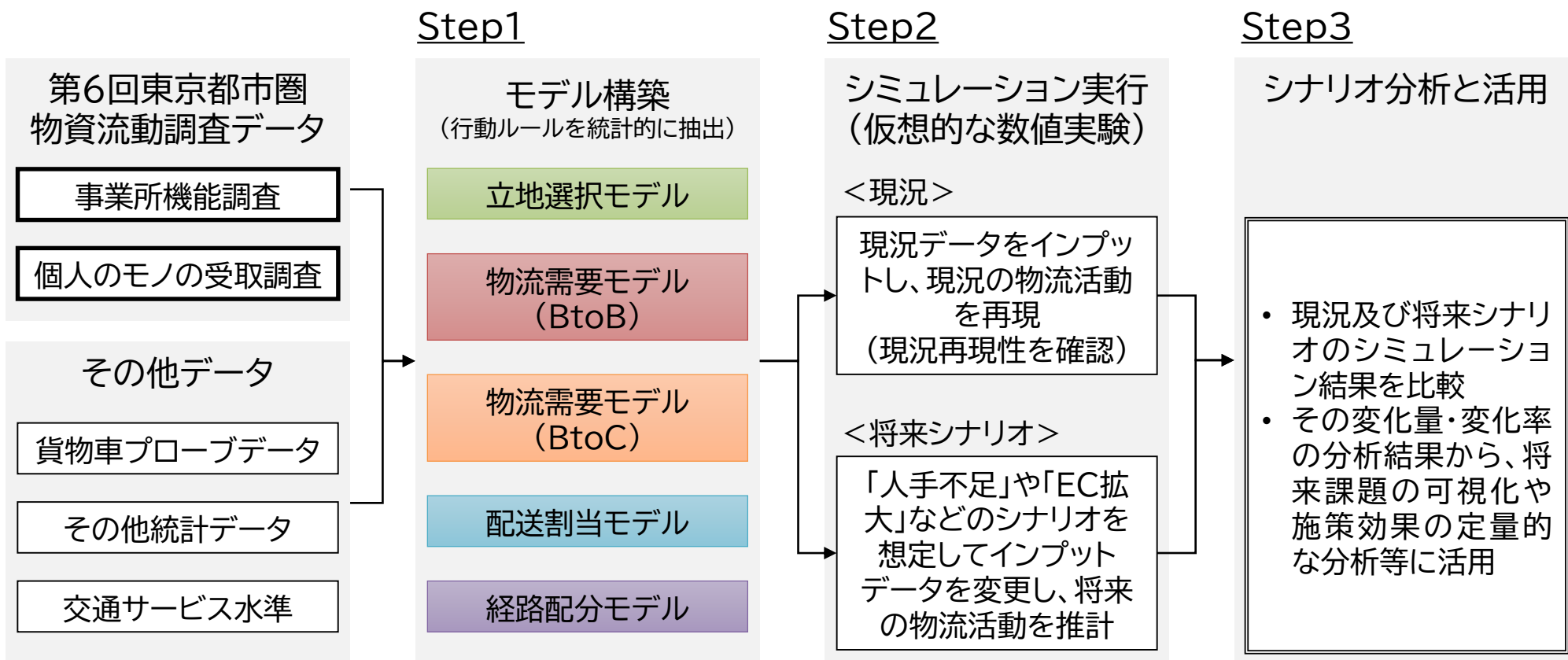
- 本ガイドンスは、行政機関による施策検討、コンサルタントによる分析実務、研究者によるモデル高度化など、多様な主体によるそれぞれの立場での活用を想定して構成しています。

主体	シミュレーションモデルへの関わり方と使い方
行政機関(国、東京都市圏内を中心とした都県政令市や市区町村)	<ul style="list-style-type: none">• シミュレーションモデルで何ができるか、活用方法と留意点を理解する• 都市計画の策定、物流施策や物流対策などの検討に際し、シミュレーションモデルが有用と認められる場合に、検討業務を発注し、検討成果を得る
物流業務を受託するコンサルタント	<ul style="list-style-type: none">• 行政から物流検討業務を受託し、シミュレーションモデルのインプットデータを整備したうえで、業務目的に応じた現況シミュレーション・将来シミュレーションを実施する• 行政に対してシミュレーションモデルを活用した検討を提案する
物流を研究する大学関係者	<ul style="list-style-type: none">• シミュレーションモデルそのものの課題を把握し、モデルを改良する• 特定の研究課題に対して、シミュレーションモデルを活用してその効果・影響を分析する• 物流シミュレーションモデルという研究分野を発展させる

第2章 モデルの構築

2-1 モデルの考え方

- 第6回東京都市圏物資流動調査で得られた実態データを最大限活用してモデルを構築し、多様なシナリオに基づく将来シミュレーションを実施できるようにしました。
- 東京都市圏物流シミュレーションモデル(Tokyo FreightSim)の構築:複雑な都市物流の構造を再現することができるエージェントベースの都市物流シミュレーションモデルを、シンガポール等で実装実績があるSimMobility Freight(Sakai et al., 2020)を参考に構築しました。



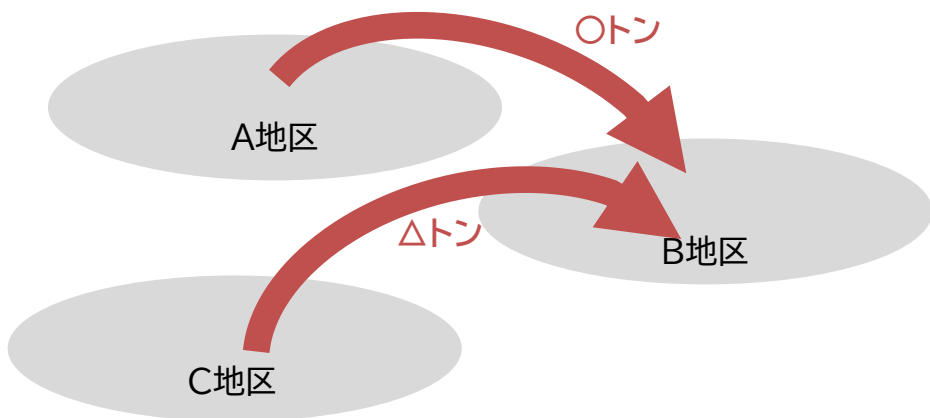
第2章 モデルの構築

Q エージェントベースモデルとは？

- 都市を行き交う「個々の主体(エージェント)」の行動を積み上げて、全体の状況を再現するシミュレーション手法です。
- 物流の世界では、「午前中に届けてほしい」「荷待ち時間が長い」といった個別の事情(ミクロな課題)が積み重なって、都市交通問題や長時間労働などの社会課題(マクロな問題)を引き起こしています。これらを解決する施策を検討するには、全体を平均値で見るのではなく、個々の動きを詳細に追跡できるエージェントベースモデルが有効との考えに立脚しています。

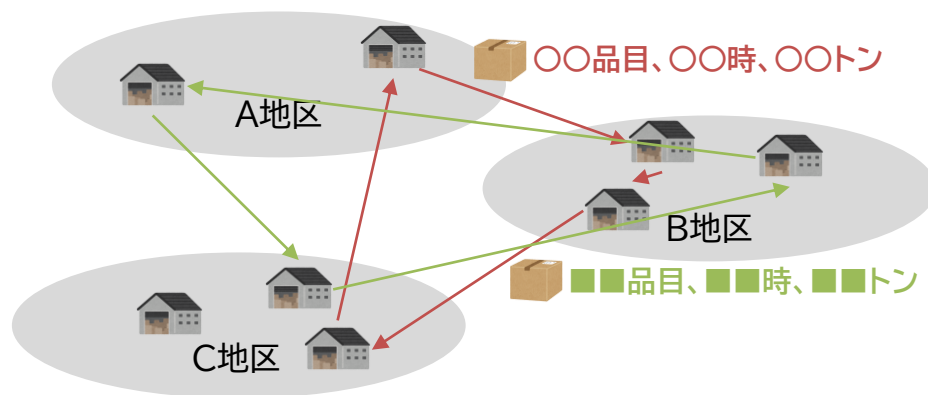
▼従来の手法(集計型モデル)

- 交通を「水の流れ(流量)」のようにマクロに捉える
- 「A地区からB地区へ〇トン運ばれる」といった総量は分かるが、個々の貨物車が「なぜそのルートを選んだか」「どこで待たされたか」といった細かい事情は把握できない



▼エージェントベースモデル(本モデル)

- 交通を「個々の事業者・貨物車の動き」としてミクロに捉える
- 「ある運送事業者が、特定の荷物を、どのトラックで、何時に運ぶか」という意思決定を1つ1つ計算し、その結果として発生する渋滞や物流の滞りを再現

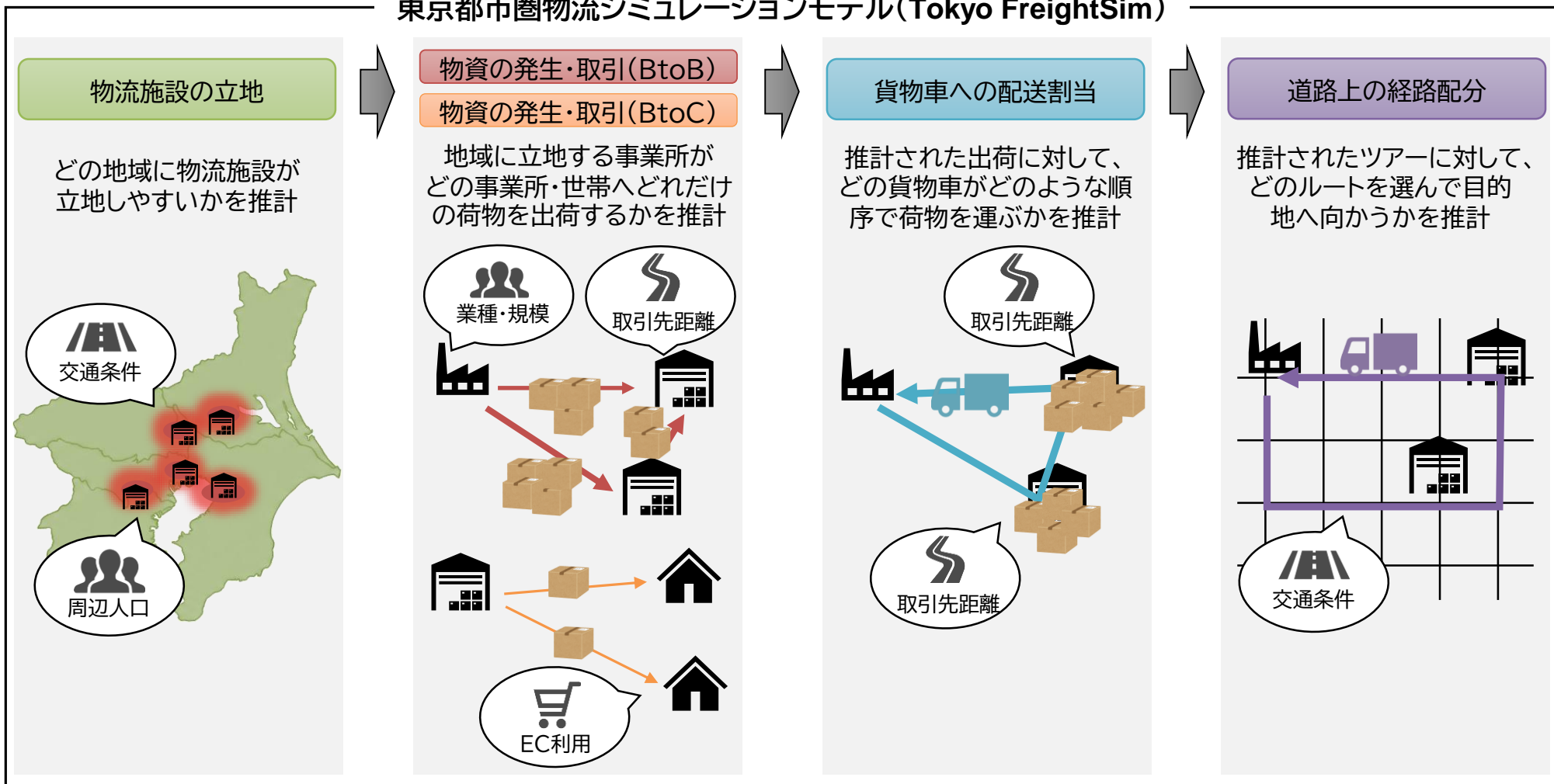


第2章 モデルの構築

2-2 モデルの概要 (1)モデルの全体構成

- Tokyo FreightSimは、5つのサブモデルから構成されます。**事業所の「立地」から、物資の「発生・取引」、貨物車への「配送割当」、道路上の「経路配分」**まで、物流活動の意思決定プロセスを段階的に推計し、東京都市圏の物流構造を仮想的に再現します。

東京都市圏物流シミュレーションモデル(Tokyo FreightSim)

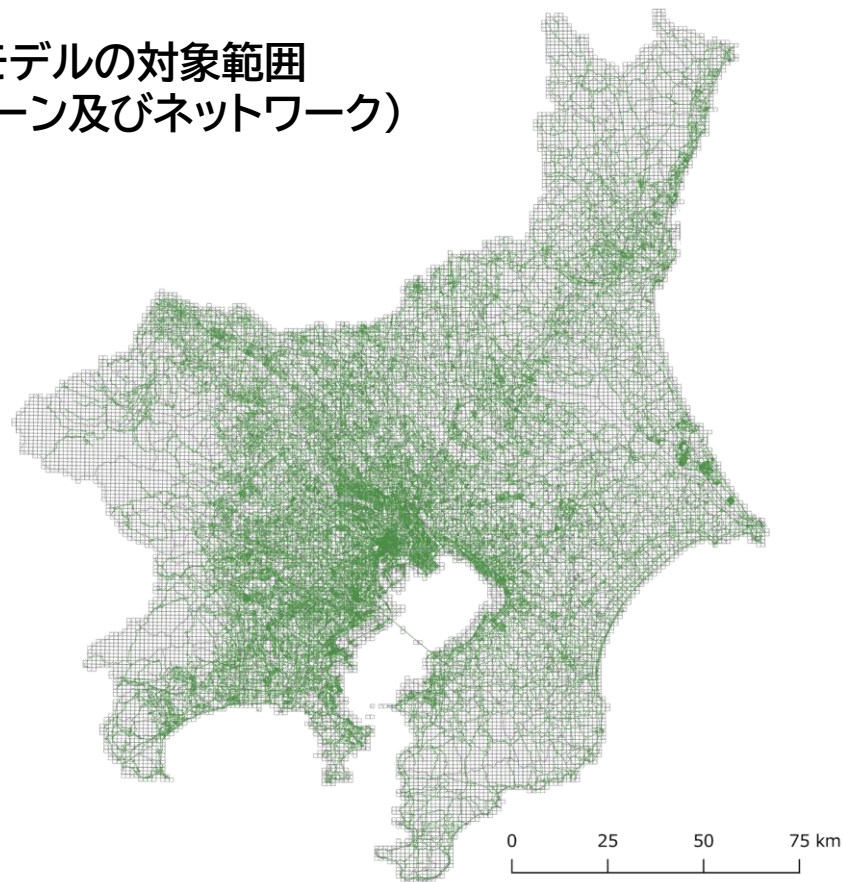


第2章 モデルの構築

2-2 モデルの概要 (2)モデルの対象範囲とスケール

- 本モデルは、**世界最大規模のメガリージョンである東京都市圏を対象**として構築されています。詳細なゾーン分割と緻密な道路ネットワークを組み込むことで、広域輸送から生活道路における端末配送(ラストワンマイル)に至るまで、**シームレスかつ高解像度に物流活動を再現**する点が大きな特徴です。
- なお、モデル上で活動する事業所や世帯・貨物車等は、統計データに基づき確率的に生成された「仮想の主体(エージェント)」であり、**実在の企業や個人の行動を直接追跡・特定できないよう、プライバシーおよび企業機密の保護に配慮**しています。

▼モデルの対象範囲 (ゾーン及びネットワーク)



	規模・特徴
対象地域※1	東京都市圏全域
空間解像度	約2万ゾーン (1kmメッシュ)
道路ネットワーク※2	約25万リンク
対象主体※3 (エージェント)	事業所数:約140万事業所 世帯数:約1850万世帯 貨物車数:約220万台

※1 第6回東京都市圏物資流動調査の調査対象範囲と整合し、東京都(島しょ部を除く)、神奈川県、千葉県、埼玉県、茨城県を対象

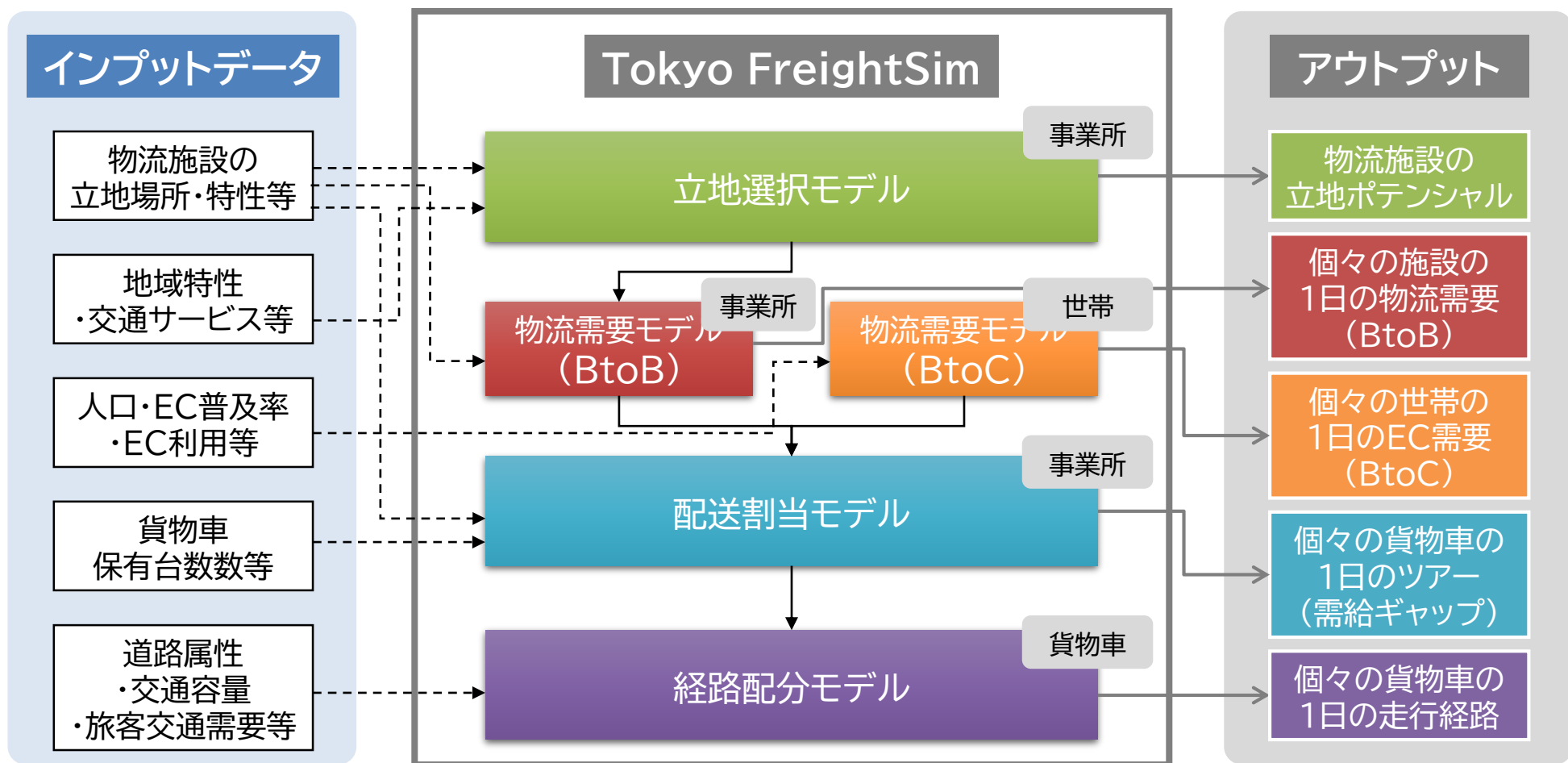
※2 都道府県道以上の道路及びそれ以外で幅員5.5m以上の道路を対象

※3 実在の主体ではなく確率的に生成した「仮想都市」のデータを用いるため、個別の企業や個人の特定は困難。なお、事業所数は、製造業、電気・ガス・熱供給・水道業、情報通信業、運輸業・郵便業、卸売業・小売業、金融業・保険業、不動産業・物品賃貸業、学術研究・専門・技術サービス業、宿泊業・飲食サービス業、生活関連サービス業・娯楽業、教育・学習支援業、医療・福祉、複合サービス事業、サービス業(他に分類されないもの)に属する各業種の総事業所数を基にクローニング

第2章 モデルの構築

2-2 モデルの概要 (3)モデルのインプットとアウトプット

- Tokyo FreightSimは、多様な統計データと調査データを統合し、物流施設から道路ネットワークに至るまでの相互作用をシミュレーションすることで、**多角的な指標を出力**します。
- また、本モデルは、**将来的な旅客シミュレーションとの連携も見据えた拡張性**を備えており、人と物の動きを包括的に捉えた次世代の都市交通分析への発展が期待されます。



第2章 モデルの構築

2-2 モデルの概要 (4)モデルで表現可能な施策と物流活動

- Tokyo FreightSimは、「都市全体の物流動向の変化」を把握することを主眼としており、個別の追跡ではなく、統計的な傾向に基づく「代表的な行動パターン」を再現するものです。

▼モデルで表現する施策や物流活動 =「インプットデータとして設定可能な要素」による変化

□ 都市・交通基盤の変更による影響

- ✓ 物流施設の立地誘導(用途地域の変更、大規模施設の新規立地)による貨物発生源の分布変化と周辺交通への影響
- ✓ 道路条件の変化(高速道路の新規開通、通行規制等)によるトラックの走行ルートや所要時間の変化

□ 物流効率化・社会情勢変化の影響

- ✓ 輸送効率の変化:共同配送や貨客混載等の普及を想定した、「積載率」や「配送ロット(1回あたりの輸送量)」の設定変更による走行台数の削減効果
- ✓ 労働力の制約:2024年問題(労働時間制約)等を想定した稼働台数や配送可能圏域の変化

□ 多角的な指標の算出

- ✓ ゾーン別・時間帯別の物流量、車種別OD交通量、貨物車からのCO2排出量 等

▼現時点では表現していない施策や物流活動 =「説明変数に含まれない要素」や「ミクロな個別事象」

□ 特定の「個体」の追跡

- ✓ 特定の事業者(〇〇運送など)や特定の荷物(個別の宅配便など)の位置追跡や配送遅延予測
- ※あくまで「代表的な行動パターン」を持つエージェントとしての挙動を再現

□ 施設「内」のオペレーション

- ✓ 物流施設敷地内での詳細な荷役作業(積み下ろし、仕分け、ピッキング等)の効率性
- ※「荷役時間が〇分短縮された」という結果を間接的にパラメータとして設定することは可能

□ 企業レベルの戦略・統括判断

- ✓ 複数拠点を保有する企業における、拠点間在庫融通や車両相互利用といった企業としての意思決定
- ※本モデルは「企業」ではなく「事業所」を意思決定単位としているため

□ その他商流・定性的な要素

- ✓ 運賃交渉、マッチングプロセス、ドライバー個人の心理的要因、突発的な事故・気象条件による運行管理など

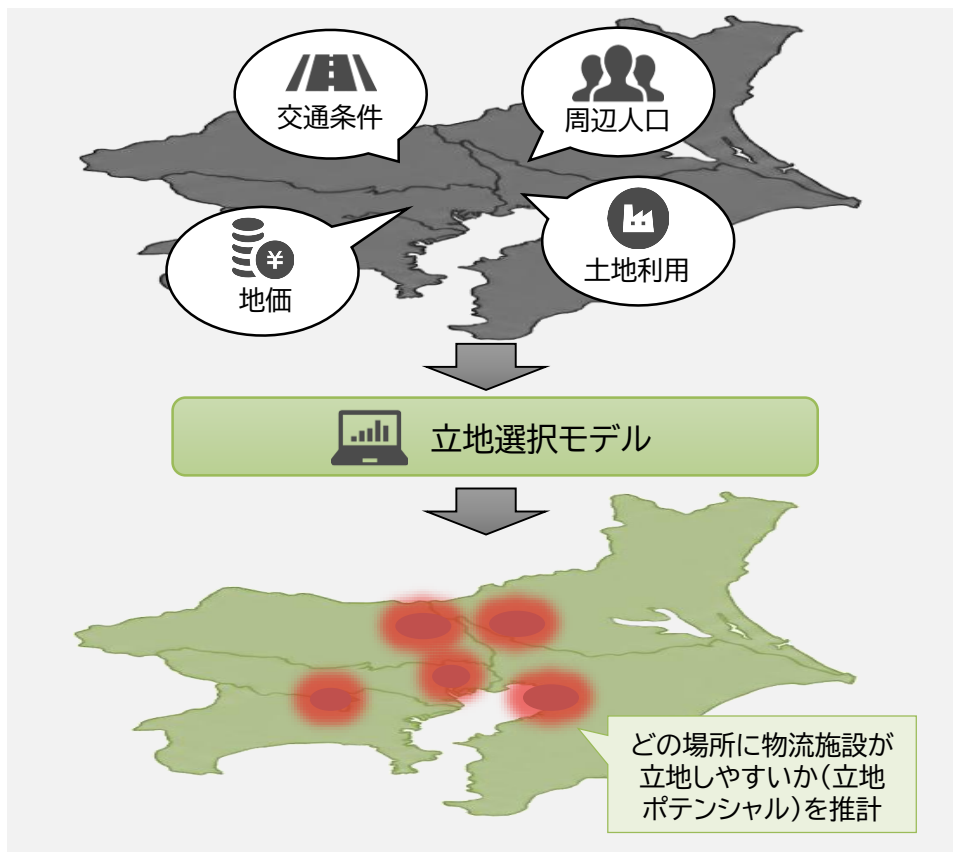
第2章 モデルの構築

2-3 モデルの構築 2-3-1 立地選択モデル (1)モデルの概要

- 物流事業者の「合理的な選択行動」をモデル化し、現況の立地要因の分析から将来の動向予測まで活用します。

□ モデルのイメージ:

- ✓ 地域特性をインプットに、東京都市圏内の**どの場所に物流施設が立地しやすいか(立地ポテンシャル)を推計**



□ モデルのねらい:

- ✓ 将来の都市計画の変更や周辺環境の変化、道路交通状況の変化といった「シナリオ」において、物流施設がどこに立地しようとするか(立地ポテンシャルの変化)を予測し、施策効果の検証に活用

□ モデル化する行動原理:

- ✓ 物流事業者が、高速道路ICへのアクセス、地価、労働力の確保しやすさ等の条件を比較考量し、最もメリットが大きい場所を選ぶという「物流事業者の合理的な判断基準」をモデル化

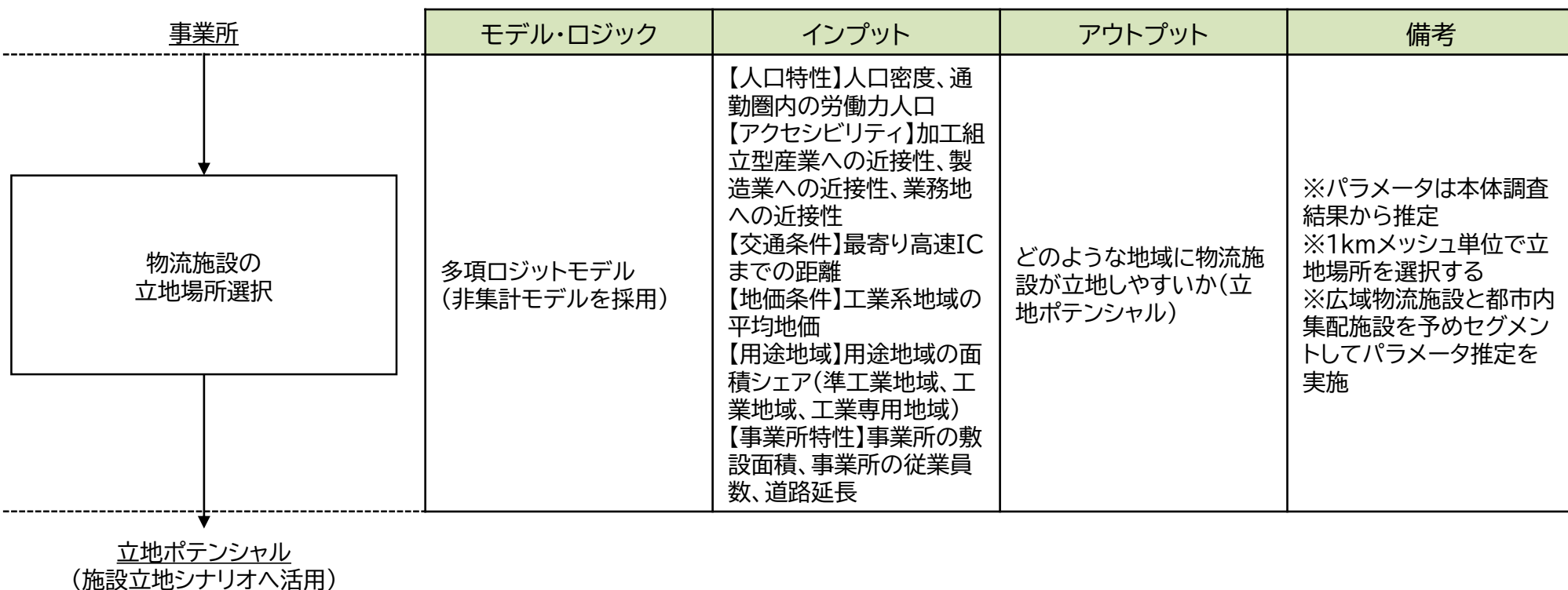
□ 特徴:

- ✓ 東京都市圏物資流動調査により把握した現在の立地状況をもとに、ロジックモデルを用いて統計的に推計を実施
- ✓ これにより、経験則だけでは予測しにくい「将来の環境変化による影響」などを、客観的な数値(立地ポテンシャル)として算出

第2章 モデルの構築

2-3 モデルの構築 2-3-1 立地選択モデル (2)モデルの仕組み

- 交通利便性や地価などの地域特性に基づき、確率モデルを用いて「どの地域に物流施設が立地しやすいか」を推計します。



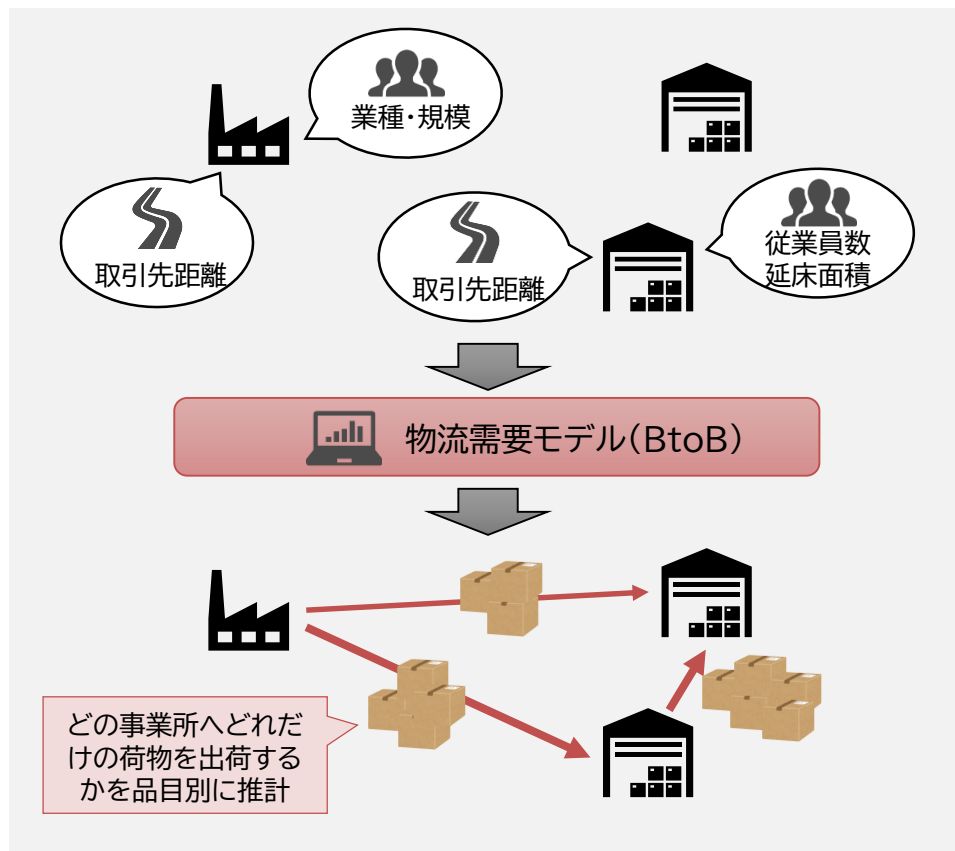
第2章 モデルの構築

2-3 モデルの構築 2-3-2 物流需要モデル(BtoB) (1)モデルの概要

- 事業所の業種・規模(従業員数及び延床面積)等をもとに、「どのような品目をどれだけ取扱うか」を推計したうえで、「それがどこへ送られるか」を推計します。

□ モデルのイメージ:

- ✓ 事業所の規模、相手先の規模や距離をインプットに、「**どの事業所へどれだけの荷物を出荷するか**」を推計



□ モデルのねらい:

- ✓ 大規模工場の移転や物流施設の集約など、「事業所の立地や規模の変化」が、都市全体の貨物量の発生と流れに与える影響を分析

□ モデル化する行動原理:

- ✓ 事業所の規模等に応じて取扱量や品目が決まり、相手先の規模や距離に応じて出荷先・仕入先が決まるという「属性に基づく発生と選択の傾向」をモデル化

□ 特徴:

- ✓ 従来の「ゾーン間の総量(A地区からB地区へ〇トン)」という集計値とは異なり、「個別の事業所間のつながり」として推計
- ✓ これにより、平均値では埋もれてしまう出荷サイズや出荷頻度のバラつきまで考慮して分析

第2章 モデルの構築

2-3 モデルの構築 2-3-2 物流需要モデル(BtoB) (2)モデルの仕組み

- 「取扱量の推計」と「取引の選択」を組み合わせ、事業所ごとの出荷貨物量を推計します。

事業所	モデル・ロジック	インプット	アウトプット	備考
<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;">物流活動実施有無</div>	二項ロジットモデル	従業員規模、延床面積	各施設が物流活動を実施するかどうかを決定	※パラメータは本体調査結果から推定
<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;">搬出品目</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;">搬入品目</div> </div>	多項ロジットモデル	搬出品目は従業員規模 搬入品目は従業員規模と搬出品目と搬入品目が同一かどうかのダミー変数	各施設の取扱品目を決定(単一の品目を選択することを仮定)	※パラメータは本体調査結果から推定(本体調査にあわせて12品目分類でパラメータ推定)
<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;">搬出重量</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;">搬入重量</div> </div>	線形モデル	搬出重量は従業員規模、延床面積、従業員規模×延床面積 搬入重量は従業員規模、延床面積、従業員規模×延床面積、搬出重量	各施設の年間搬出重量及び年間搬入重量	
<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;">契約ベースの需要</div>	二項ロジットモデル	年間搬入重量	1契約かそれ以上かを決定	
	ランクサイズ回帰モデル	最大の契約重量	2契約を超える場合について、契約の数と重量を決定	※パラメータは本体調査結果から推定
<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;">サプライヤー選択</div>	多項ロジットモデル	(2契約を超える場合、それぞれの契約について) サプライヤーとの距離、サプライヤーの搬出総重量、レーバーの契約搬入重量	各契約について、サプライヤー(どこから仕入れるか、誰から受け取るか、オリジン(施設))を決定	※パラメータは本体調査結果から推定
<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;">出荷サイズ及び頻度</div>	対数線形モデル	契約重量、契約におけるサプライヤーレーバー間の距離、レーバーが立地する場所の施設密度	出荷重量を決定(出荷頻度は契約重量÷出荷重量で決定)	※パラメータは本体調査結果から推定
<div style="text-align: center;">事業所の物流需要</div>				

第2章 モデルの構築

2-3 モデルの構築 2-3-3 物流需要モデル(BtoC) (1)モデルの概要

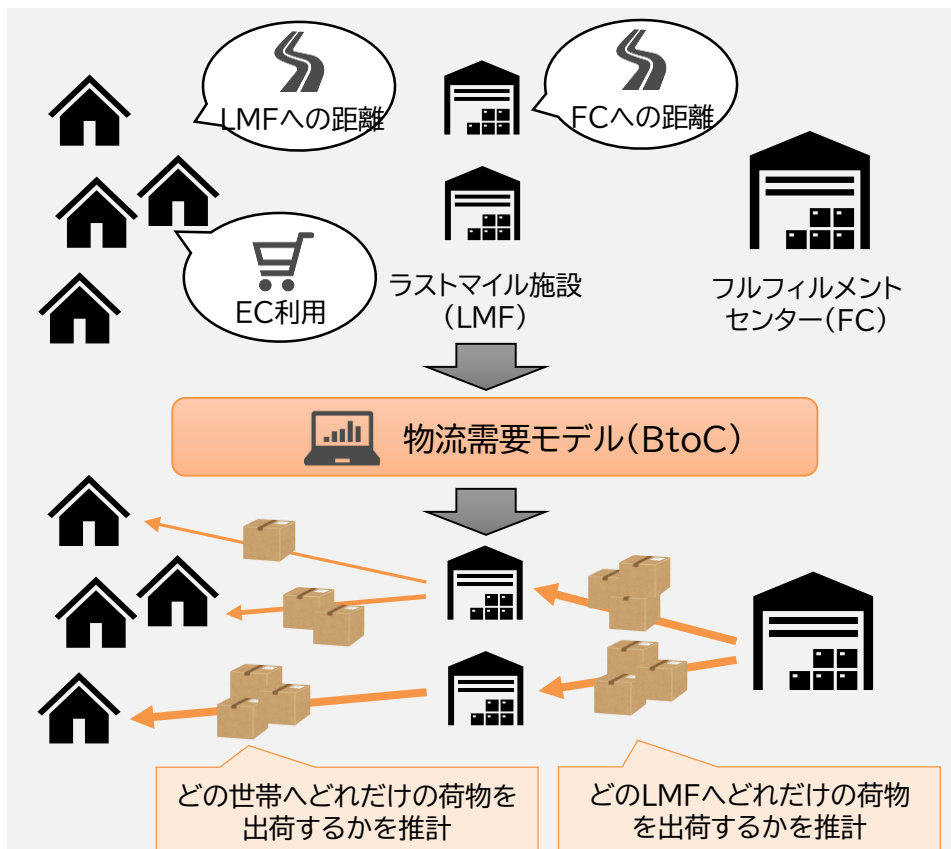
- 統計値に基づくEC普及率や、個人のモノの受取調査(補完調査)に基づく世帯のEC利用状況を用いて、「どの世帯でどれだけの宅配荷物が発生し、どこから運ばれてくるか」を推計します。

□ モデルのイメージ:

- ✓ EC普及率やEC利用状況(品目・金額・頻度の分布)をインプットに、**世帯のEC需要を推計したうえで、事業所の物流需要を推計**

□ モデルのねらい:

- ✓ EC利用率の上昇やEC向け物流施設の配置変更が、地域ごとの宅配便の物流需要に与える影響を定量的に分析



□ モデル化する行動原理:

- ✓ 調査データに基づく確率で注文品目や頻度を決定し、そこから算出された「注文重量」に対して、近接性等を考慮して配送元の施設(ラストワンマイル施設・フルフィルメントセンター)を割り当てるプロセスをモデル化

□ 特徴:

- ✓ 従来の物資流動調査(BtoB中心)では捉えきれない「個人の消費行動」に焦点を当てており、EC利用率の上昇などの社会情勢の変化を、具体的な「貨物量の変化」として分析

第2章 モデルの構築

2-3 モデルの構築 2-3-3 物流需要モデル(BtoC) (2)モデルの仕組み

・「どの地域の家庭でどれだけの注文が発生するか」を推計したうえで、事業所の物流需要を推計します。

世帯	モデル・ロジック	インプット	アウトプット	備考
普及率	EC普及率を外生的に設定	外生値(50.5%)	世帯が年間で一度でもECを利用するかどうか	※統計値(家計消費状況調査, 2024)をもとに設定
注文品目	補完調査(個人のモノの受取調査)をもとに確率的に決定	外生値 ※品目別受取世帯数の分布	注文品目	※補完調査における直近の受取品目および金額を利用。ただし、複数品目を受取しているサンプル除く。また、個数については考慮していない ※品目別の注文頻度の違いは考慮していない
注文金額		注文品目 ※品目別の平均注文金額	注文金額	
注文頻度		外生値(週1回)	注文頻度	
注文重量	統計値(Commodity Flow Survey: CFS, 2017)により換算	注文品目、注文金額	注文重量	※補完調査の品目を統計値の品目に対応付けるために、家計消費状況調査における「インターネットを利用した1世帯当たり1か月間の支出」を利用 ※2017年の[kg/USD]を日本円に変換する際には購買力平価を採用
世帯のEC需要	フルフィルメントセンター選択	多項ロジットモデル	フルフィルメントセンターの搬出総重量、LMFからフルフィルメントセンターまでの距離	どのフルフィルメントセンターからラストマイル施設へ運ばれるか
事業所の物流需要	ラストマイル施設選択	最近傍探索	世帯の座標、ラストマイル施設の座標	どのラストマイル施設から世帯へ運ばれるか

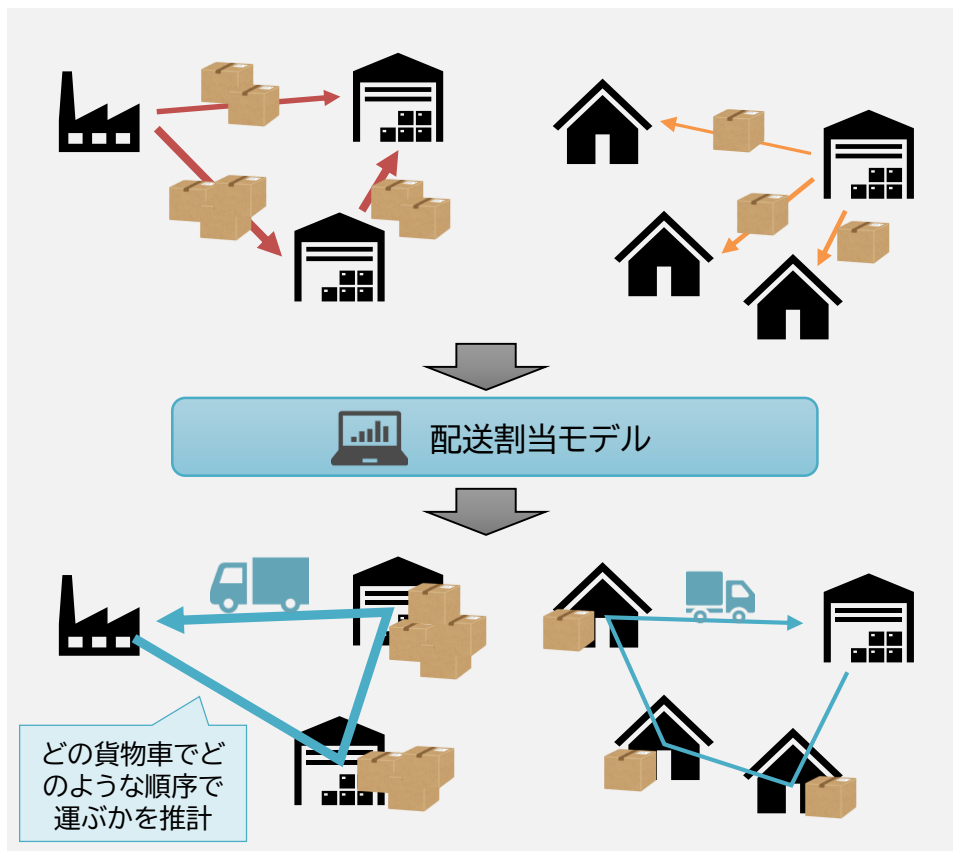
第2章 モデルの構築

2-3 モデルの構築 2-3-4 配送割当モデル (1)モデルの概要

- 事業所の物流需要をもとに、ヒューリスティックな手法を用いて「貨物車一台一台のツアーデータ」を生成します。

□ モデルのイメージ:

- ✓ 事業所間の物流需要と事業所ごとの貨物車保有台数をインプットに、「どの貨物車でどのような順序で運ぶか」というツアー情報を生成



□ モデルのねらい:

- ✓ 積載率の向上(共同配送の普及等を想定)や、配送ロットの変更といった「輸送効率化」が、トラックの運行台数やOD交通量に与える効果を定量的に分析

□ モデル化する行動原理:

- ✓ 時間指定や積載容量などの制約条件を考慮し、制約条件下の探索(最適化)に基づいて荷物をトラックに割り当てる(※現実の非効率な運行状況などが捨象され、指標によっては実態と乖離が生じる構造的な特徴を有する)

□ 特徴:

- ✓ 荷物を車両に割り当てるプロセスをモデル化しているため、積載率をはじめとする輸送効率化を分析
- ✓ 個々のツアーデータ(発着・経路情報)が生成されることから、直行・巡回といった配送パターンの違いを分析

第2章 モデルの構築

2-3 モデルの構築 2-3-4 配送割当モデル (2)モデルの仕組み

- 時間指定や積載容量などの制約条件を満たしつつ、具体的なトラックの動きに落とし込みます。

事業所の物流需要	モデル・ロジック	インプット	アウトプット	備考
<p>出荷方法の決定</p>	多項ロジットモデル	出荷重量	各契約の出荷方法を決定 (一社貸切・混載、宅配の 2肢選択)	※宅配貨物を配送する配 送業者は業種区分で決定
<p>受取時間帯の決定</p>	観測データをもとに確率的に設定	BtoBの品目別の時間帯 分布(12区分)、BtoCの 時間帯分布 ※観測値	各出荷の品目別の時間帯 分布(12区分)	※時間帯分布は事業所票、 個人のモノの受取調査か ら作成
<p>貨物車稼働率</p>	貨物車稼働率を外生的に 設定	外生値(小型車49%、大 型車54%)	配送業者決定時の選択肢 に含める貨物車を決める	※統計値(道路交通セン サス)をもとに設定
<p>配送業者の決定</p>	多項ロジットモデル	サプライヤーキャリア間の 距離(パラメータかなり大 きい、基本は近いところ を選ぶ)	誰に運んでもらうかを決 める	※貨物車稼働率に応じて、 選択可能な貨物車台数が 変化
<p>ツアー生成</p>	ヒューリスティックに出荷 をツアーに割り当ててい く ※キャリアが持っている 車に出荷情報をどう割り 当てるかというプロセス	出荷リスト、出荷方法	車両一台一台のツアー スケジュール ※ひとつまたは複数のツ アーから構成される一日 の運行スケジュール	※朝一番早い配送リクエ ストから割当をはじめめる ※pickup/delivery所 要時間は貨物車プローブ データでフィッティングし た確率分布から抽出 ※FCFSで割当
<p>配送順序の最適化</p>	走行距離を最小化するよ うに配送順序を最適化	車両一台一台のツアー スケジュール	最適化されたツアースケ ジュール	※配送が4件以上あるツ アーのみ最適化対象 ※deliveryの順序のみ を入れ替える

貨物車ツアー

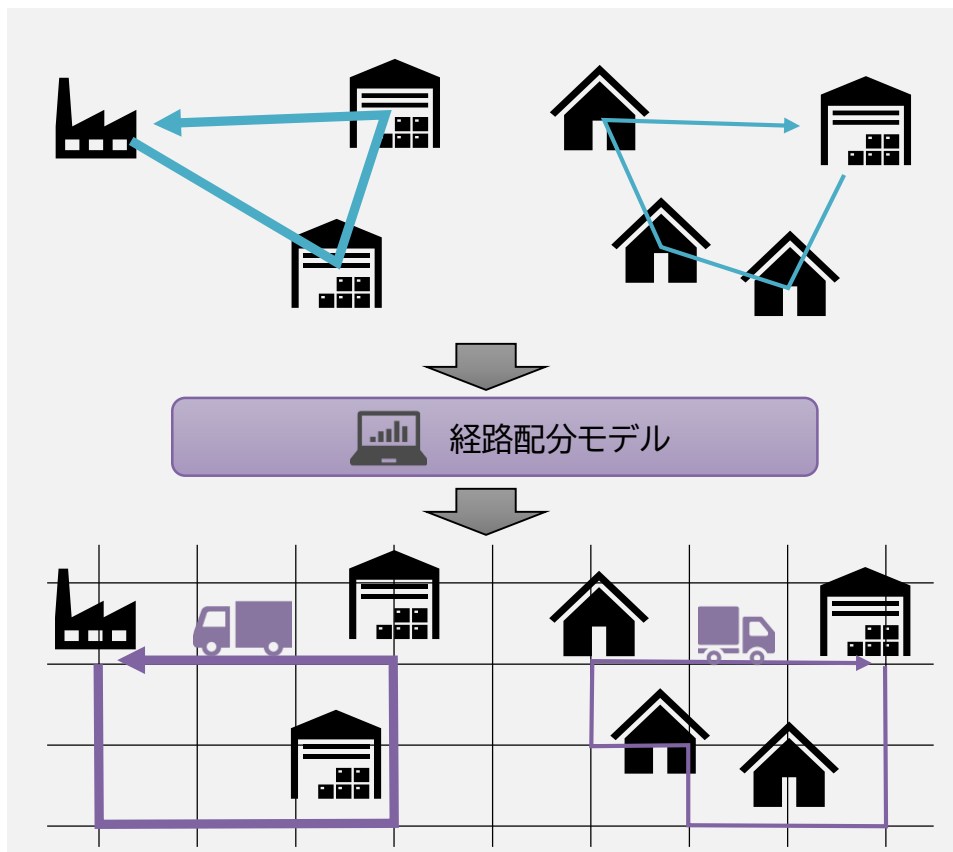
第2章 モデルの構築

2-3 モデルの構築 2-3-5 経路配分モデル (1)モデルの概要

- 道路の混雑状況を考慮しながら、「貨物車がどのルートを選んで目的地へ向かうか」を推計します。

□ モデルのイメージ:

- ✓ 貨物車のツアー情報と道路情報をインプットに、道路の混雑状況を考慮しながら、「**貨物車がどのルートを選んで目的地へ向かうか**」を推計



□ モデルのねらい:

- ✓ 配送割当に基づいて出発したトラックの詳細な交通流動を可視化するとともに、特定の道路整備や通行規制が、周辺道路の混雑状況やトラックの迂回行動に与える影響を分析

□ モデル化する行動原理:

- ✓ 混雑状況を回避する「動的な経路選択」に加え、大型貨物車が高速道路や主要な幹線道路を優先して走行するという「貨物車特有の経路選択特性」をモデル化

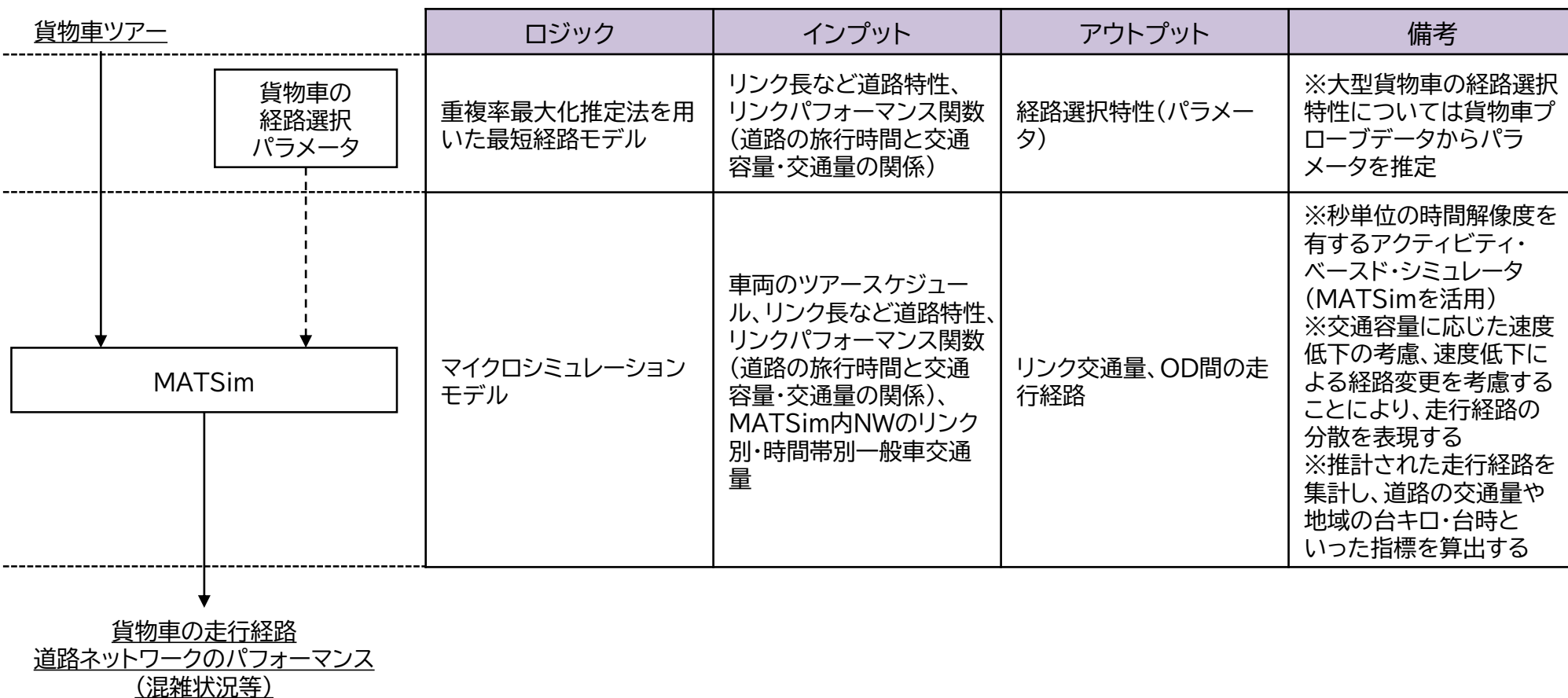
□ 特徴:

- ✓ 1日の交通量ではなく、朝夕のラッシュ時など「時間帯ごとの交通状況の変化」を表現
- ✓ 時間解像度を持つシミュレーションを行うため、ボトルネックの発生や渋滞の波及といった動的な現象を分析

第2章 モデルの構築

2-3 モデルの構築 2-3-5 経路配分モデル (2)モデルの仕組み

- 大型車特有の経路選択特性と、動的な経路変更を考慮したシミュレーションを行い、時間解像度を持った詳細な交通流動を推計します。



第2章 モデルの構築

2-4 モデルの限界と留意点

- Tokyo FreightSimは、広域的な傾向分析に有効ですが、ミクロな個別事象の再現には限界があるため、目的やデータの制約を十分に理解した上で活用する必要があります。

▼モデルの限界

- **対象範囲:**
 - ✓ 本モデルは**東京都市圏を対象**としており、全国規模や東京都市圏外の分析には対応が難しい
- **データ:**
 - ✓ 本モデルは、東京都市圏物資流動調査データをはじめとする**公的統計に立脚**していることから、最新の動向や局所性を反映しづらい
 - ✓ モデルを用いてシミュレーションを行う際には、**都市・地域ごとに別途データ整備が必要な場合**がある
- **モデル構造:**
 - ✓ 本モデルは、事業者・世帯・貨物車の全ての意思決定要因を考慮できていない
 - ✓ 特定事業者の行動や特定貨物車の走行経路といった**ミクロレベルでの再現性を担保するものではない**

▼モデル活用上の留意点

- **結果の解釈:**
 - ✓ 将来のシナリオ分析は、「確かな未来の予測」ではなく、**モデルに基づく仮想実験**である
 - ✓ 施策間の比較や施策効果の大きさを「絶対値」ではなく「**相対的な傾向**」として分析するツールとして活用することが重要である
- **前提条件の確認:**
 - ✓ シナリオ設定(入力データやパラメータの設定)によって結果が大きく変わることから、結果の解釈に際し**前提条件を必ず明示**することが重要である
- **補足分析の必要性:**
 - ✓ モデルを用いたシミュレーション結果から政策判断をするのではなく、東京都市圏物資流動調査データをはじめとする**他のデータの分析結果と併用**して判断することが重要である

第3章 シミュレーションモデルのユースケースとシナリオ分析

3-1 シナリオ設定

- Tokyo FreightSimを具体的な政策立案や実務で活用することを目指し、ユースケースとして「人手不足進行」と「EC拡大」という2つのシナリオを設定しました。
- なお、各シナリオは変化の傾向を明確に可視化するため、あえて極端な条件下でのシミュレーションを行っています。また、すべてのシナリオは、現況(2023年時点)を基準としたベースシナリオとの比較により分析を行いました。

No.	シナリオの性質	シナリオ名	設定のねらい目的	モデル上の主な変更点
1	基準	ベースシナリオ (現況)	• 比較分析のベースケースとして、現況の立地ポテンシャルや物流需要の基礎構造(BtoBとBtoCの違い)を可視化する	—
2	社会変化 (外的要因)	人手不足進行シナリオ (供給制約)	• 「 運ぶ力が不足した世界 」を想定し、人手不足の進行が「運びきれない荷物」に与える影響を可視化する	貨物車の稼働率 • 物流業界の人手不足が深刻化し、稼働できる貨物車の台数が現況から一定割合減少した状況をシミュレーション
3	社会変化 (外的要因)	EC拡大シナリオ (需要変化)	• 「 荷物が急増した世界 」を想定し、ライフスタイルの変化が住宅地の交通環境に与える負荷を可視化する	世帯のEC普及率 • ネット通販やテレワークの普及によって、世帯のEC普及率が一定割合上昇した状況をシミュレーション

第3章 シミュレーションモデルのユースケースとシナリオ分析

3-2 シナリオ分析 3-2-1 現況(ベースシナリオ)の分析 (1)物流施設の立地ポテンシャル

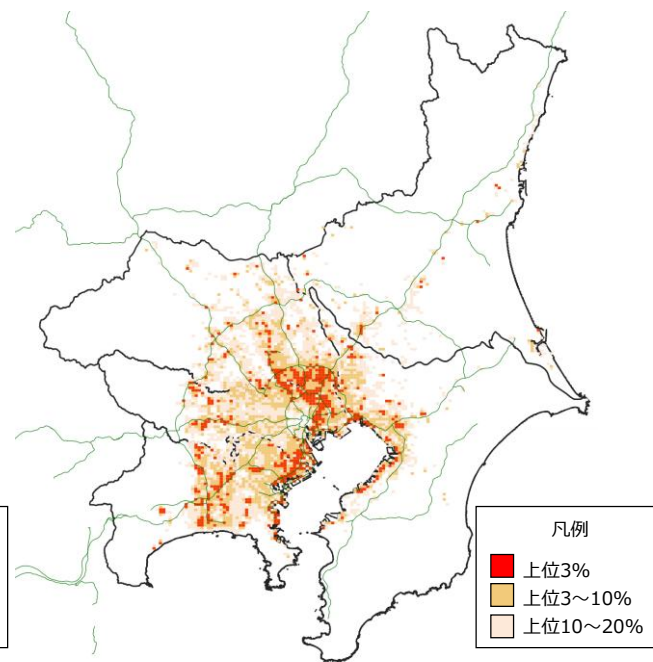
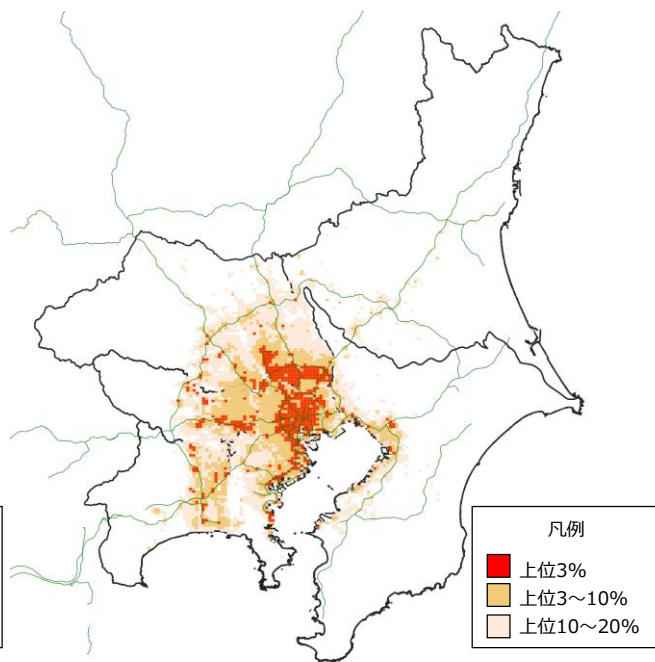
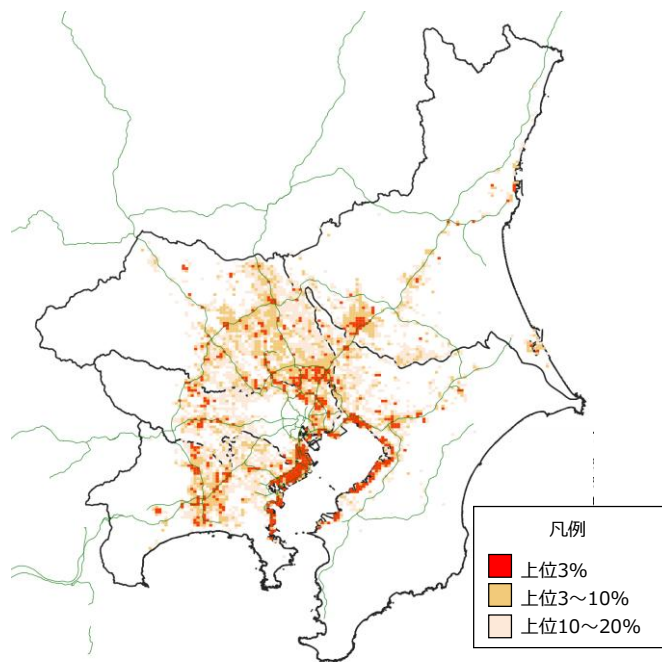
- 立地選択モデルを用いて、現況の立地ポテンシャルを可視化しました。
- 広域物流施設は、港湾(臨海部)、空港、高速道路IC(幹線道路沿線)といった交通結節点の近くなどの幹線輸送の利便性に優れた場所での立地ポテンシャルが高く、消費地型の都市内集配施設は、都心近郊の地域での立地ポテンシャルが高いという傾向が見られます。

▼物流施設の立地ポテンシャル

広域物流施設

生産地型都市内集配施設

消費地型都市内集配施設



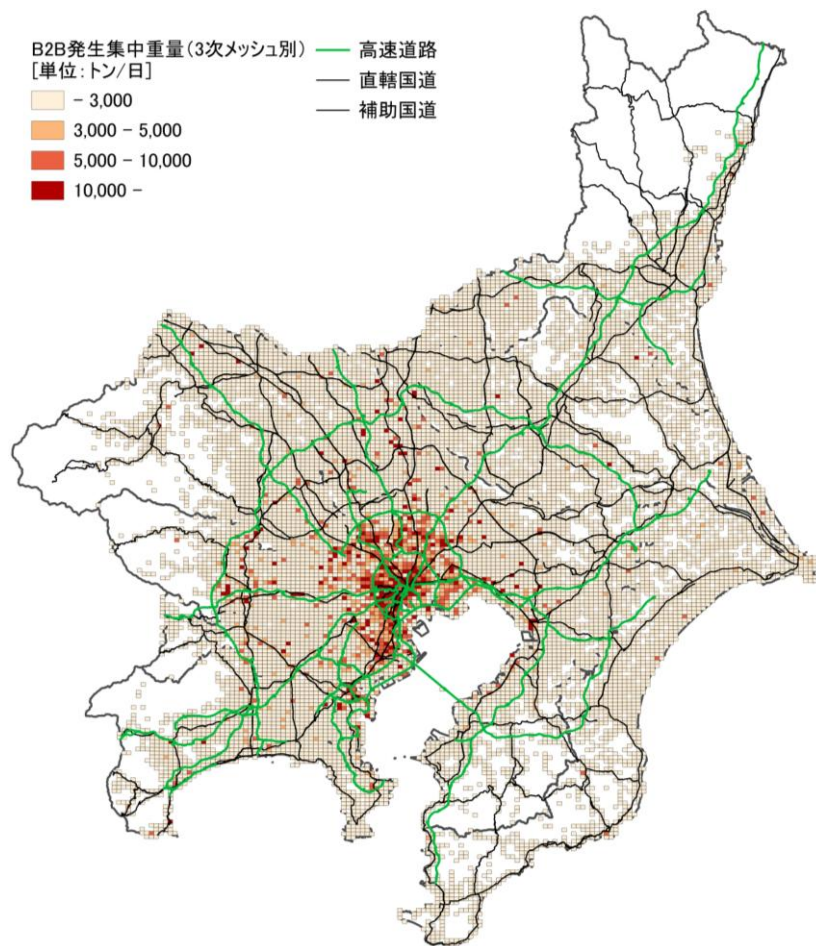
※立地ポテンシャル:立地選択モデルにより算出された各メッシュの「立地効用」を全サンプル分積み上げ、地域全体での相対評価を行うために偏差値化(平均50、標準偏差10に正規化)した指標
※広域物流施設:「主な搬出圏域」が「東北」「甲信越」「東海」「上記以外の日本国内」「海外」の施設、または「主な搬出圏域」が「関東」の施設のうち施設所在地から「搬出先市区町村」の輸送距離が40kmを超える輸送を行う施設のうち、敷地面積が3,000㎡以上の物流施設(2005年以降開設)
※都市内集配施設:上記以外の物流施設(2005年以降開設)。搬出先をもとに、生産地型(主に工場などに搬出)の物流施設と消費地型(主に店舗・住宅などに搬出)の物流施設に分類

第3章 シミュレーションモデルのユースケースとシナリオ分析

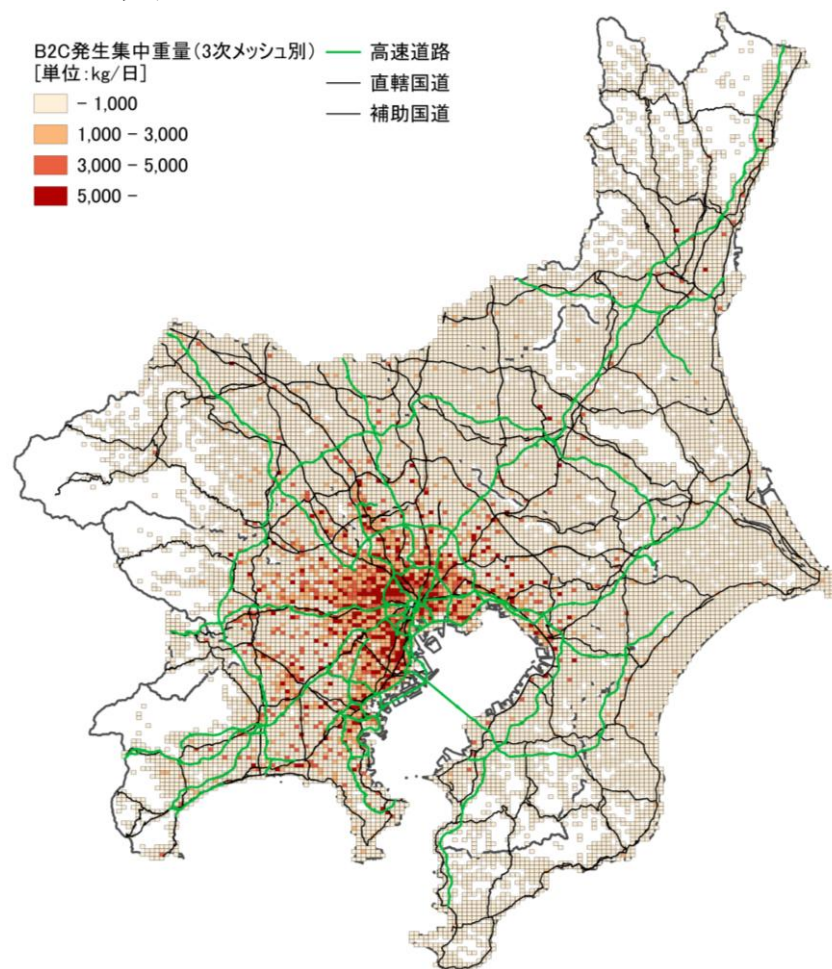
3-2 シナリオ分析 3-2-1 現況(ベースシナリオ)の分析 (2)物流需要の基礎構造

- 物流需要モデル(BtoB、BtoC)を用いて、現況の物流需要をそれぞれ可視化しました。
- BtoB(企業間物流)は幹線道路及びIC周辺に集中する一方、BtoC(個人向け物流)は居住エリア全域に広く分散しており、輸送効率や負担の構造が異なることが確認できます。

▼BtoB貨物の発生・集中分布



▼BtoC貨物の発生・集中分布



第3章 シミュレーションモデルのユースケースとシナリオ分析

3-2 シナリオ分析 3-2-2 人手不足進行シナリオ (1)シナリオの想定

- 「2024年問題」等に代表される人手不足を、モデル上の供給制約(貨物車稼働率の低下)として設定し、東京都市圏における運びきれない荷物の発生をシミュレーションします。さらに、物流施設の立地適正化による走行時間短縮が、そのギャップをどの程度緩和できるかを検証します。

▼人手不足進行シナリオ (供給力の低下)

- **ねらい:**
 - ✓ 人手不足により「運びきれない荷物」が発生する状況を再現
- **操作するモデル/パラメータ/データ:**
 - ✓ モデル:配送割当モデル
 - ✓ パラメータ:貨物車の稼働率(保有台数のうち稼働する車両の割合)を引き下げること、人手不足を表現
- **設定内容:**
 - ✓ 貨物車の稼働率を現況から約3割引き下げ(小型車49%→35%、大型車54%→40%)
- **メカニズム:**
 - ✓ 稼働台数の減少:モデル内で配送に割り当て可能な「アクティブな車両数」が物理的に減少
 - ✓ 供給力の低下:荷物量(需要)が変わらない中で、それを運ぶための車両リソースが不足
 - ✓ 運びきれない荷物の発生:長距離移動を伴う非効率な配送要求の優先度が相対的に低下し、どの車両にも割り当てられない「積み残し(未割当)荷物」が発生

▼人手不足進行シナリオに対する施策効果の検証 (物流施設の配置変化の効果)

- **ねらい:**
 - ✓ 物流施設が交通利便性の高い場所に立地することで、少ない車両でも効率よく配送し、不足分をカバーできるか(施策による緩和効果)を検証
- **操作するモデル/パラメータ/データ:**
 - ✓ モデル:配送割当モデル
 - ✓ データ:事業所間所要時間を短縮することで、施設立地の効率化を表現
- **設定内容:**
 - ✓ 全メッシュを対象に、事業所間所要時間を現況から5%短縮(稼働率は人手不足進行シナリオと同じ設定)
- **メカニズム:**
 - ✓ 移動時間の短縮:高速道路IC近接などにより、配送先へのアクセス時間が短縮
 - ✓ 回転率の向上:1台の車両が1日に配送できる件数や回数が増加
 - ✓ 運びきれない荷物の緩和:稼働台数が少ないままでも、全体の処理能力が向上し、積み残しが減少

第3章 シミュレーションモデルのユースケースとシナリオ分析

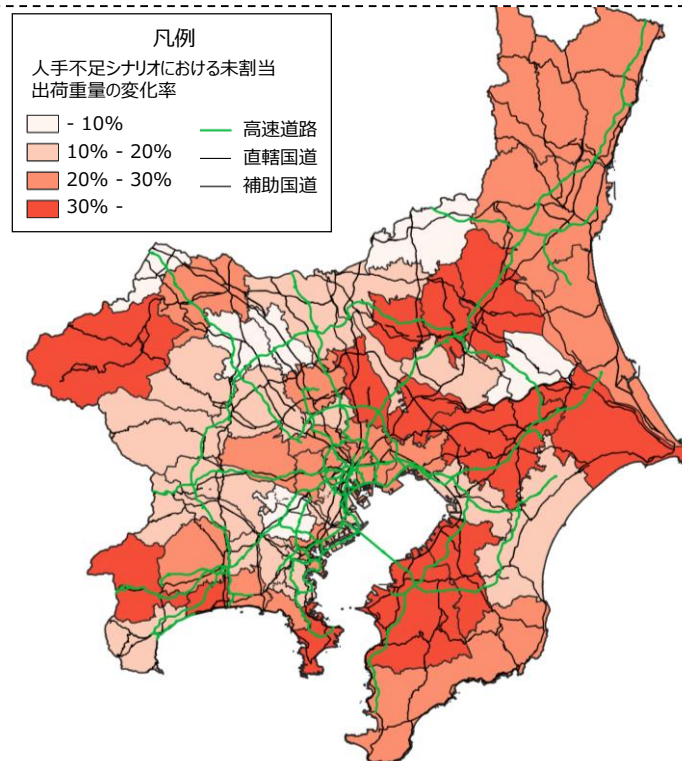
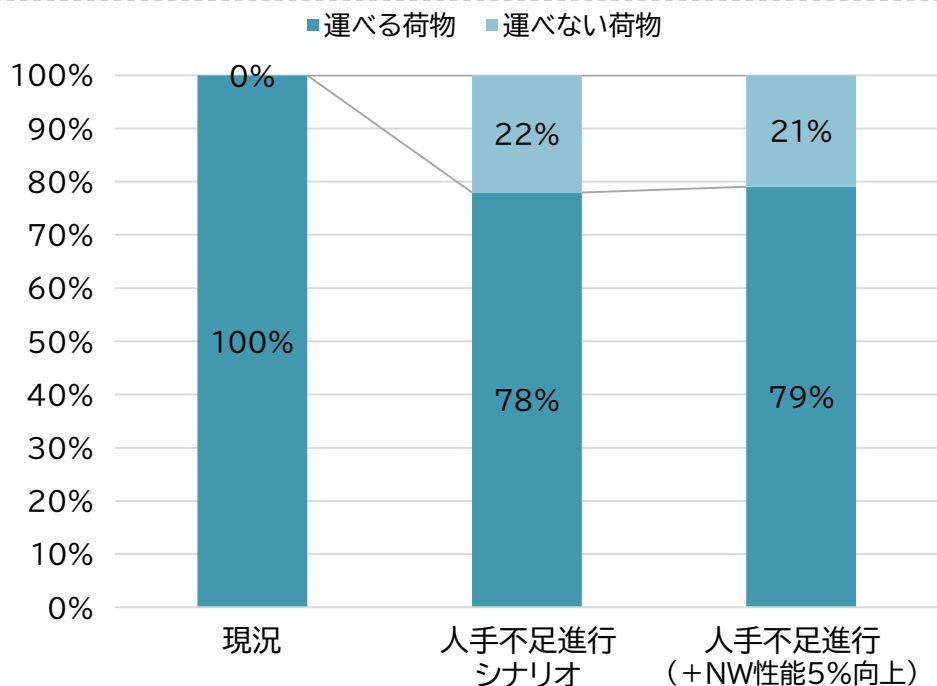
3-2 シナリオ分析 3-2-2 人手不足進行シナリオ (2)シナリオによる変化

- 仮に、人手不足で貨物車の稼働率が現況比約3割減少すると仮定してシミュレーションした結果では、約2割の荷物が運びきれない可能性が試算されました。モデル上の配送割当では、「限られた車両で効率よく配る」という行動原理が働くため、移動時間が長く非効率になりやすい郊外部への配送が後回しになりやすい傾向が確認できます※。

▼人手不足の進行が「運びきれない荷物」に及ぼす影響

- さらなる人手不足の拡大に伴い、貨物車の稼働率が約3割減少した場合、東京都市圏では重量ベースで22%の荷物が運びきれない可能性があることを試算

- 人手不足の進行により、郊外部の地域を中心に、運べない荷物の比率が大きくなる可能性があることを確認



※運べない荷物の比率は、各シナリオの運べる荷物の重量÷現況シナリオの運べる荷物の重量で算出

※本シミュレーションによる地域別の推計値は、設定したシナリオ(稼働率の一律減少等)に基づく確率的な計算結果(理論値)であり、各自治体の将来の正確な発生量を示すものではなく、影響の偏りを把握するための「傾向値」

第3章 シミュレーションモデルのユースケースとシナリオ分析

3-2 シナリオ分析 3-2-3 EC拡大シナリオ (1)シナリオの想定

- ライフスタイルの変化等に伴う「EC(電子商取引)のさらなる普及」を想定し、宅配需要の増加が都市内の貨物車交通、特に生活道路(住宅地)の走行量に与える影響をシミュレーションします。

▼EC拡大シナリオ(需要の変化)

□ ねらい:

- ✓ ネット通販やテレワークの定着により、家庭への宅配需要が急増した状況を再現し、住宅地周辺の交通負荷を可視化

□ 操作するモデル/パラメータ/データ:

- ✓ モデル:物流需要モデル(BtoC)
- ✓ パラメータ:世帯のECの普及率を引き上げることで、ECのさらなる拡大を表現

□ 設定:

- ✓ 世帯のEC普及率を現況から約30pt.引き上げ(50.5%→80%)

※地域や世帯属性に応じてEC普及率を変えることも可能

□ メカニズム:

- ✓ EC普及率の上昇:モデル上の各世帯がECを利用する確率(比率)が上昇
- ✓ 宅配貨物量の増加:都市全体で発生する家庭向け荷物(BtoC)の総重量が増加
- ✓ 配送トリップ及びトリップ長の増加:各家庭には最寄りのラストマイル施設から荷物が運ばれるため、施設が少ない(施設から遠い)地域ほど1件あたりの配送距離が増加
- ✓ 住宅地走行量の増加:経路配分モデルにより、ラストワンマイル(各家庭への配送ルート)として住宅地内の道路が選択され、走行台キロが増加

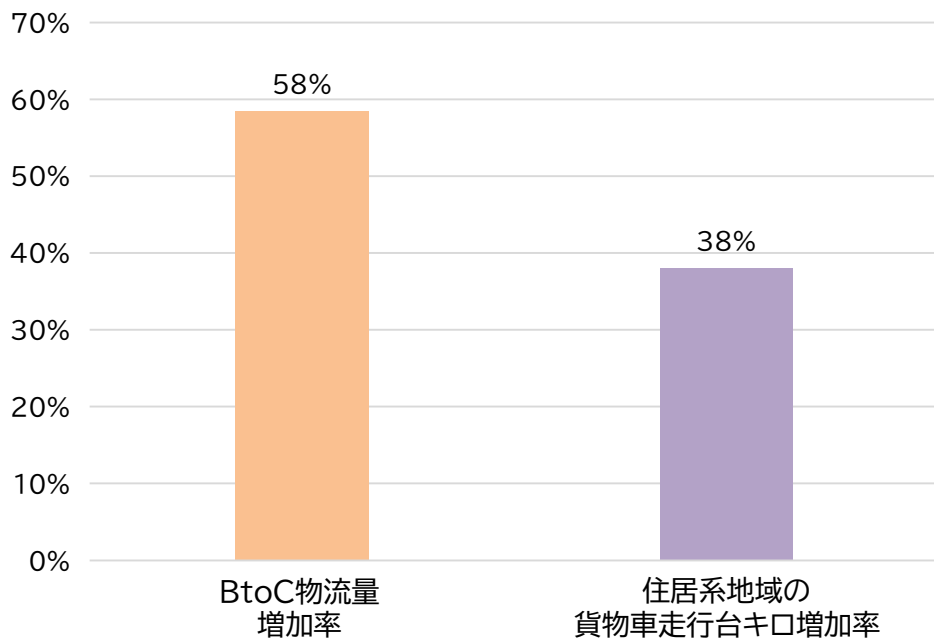
第3章 シミュレーションモデルのユースケースとシナリオ分析

3-2 シナリオ分析 3-2-3 EC拡大シナリオ (2)シナリオによる変化

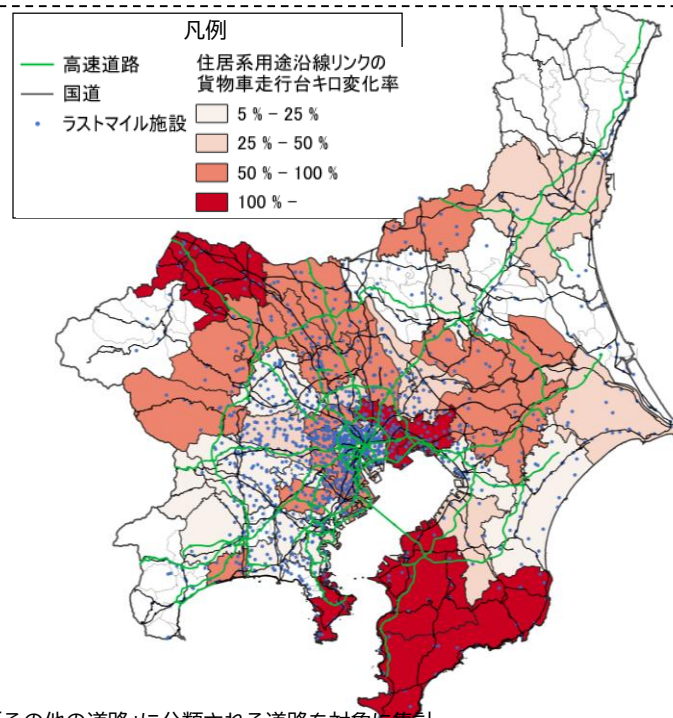
- 仮に、世帯のEC普及率が現況比約6割増加すると仮定してシミュレーションした結果では、住宅系地域周辺の道路で貨物車の走行台キロが約4割増加する可能性があることが試算されました。最寄りのラストマイル施設から各家庭へ配送されるため、施設が少ない地域ほどEC需要増加が台キロ増加に直結しやすいという傾向が確認できます。

▼ECの拡大が住宅地の交通環境に及ぼす影響

- EC需要の増加に伴い、世帯のEC普及率が80%（現況比+30pt.）になると、BtoCの貨物需要が重量ベースで58.4%増加し、住居系地域沿線の貨物車の走行台キロが38.0%増加する可能性を試算



- EC普及率の拡大により、ラストマイル施設が少ない地域を中心に、住居系地域沿線の貨物車走行台キロが増加傾向



※貨物車走行台キロは、沿線の用途地域が住居系用途で、道路種別が「一般都道府県道」、「指定市の一般市道」および「その他の道路」に分類される道路を対象に集計
※本シミュレーションによる地域別の推計値は、設定したシナリオ(全域でのEC普及率の一律上昇等)に基づく確率的な計算結果であり、各地域の正確な将来予測を示すものではなく、施設配置等の条件によって交通負荷が高まりやすいエリアを把握するための「傾向値」

第4章 シミュレーションモデルの活用に向けて

4-1 モデルの外部公開

- Tokyo FreightSimをモデル分析とモデルを用いた施策検討のための「共通基盤」として育てるため、一定のルールの下でアプリケーションやデータを段階的に公開し、継続的な改良と活用を図ります。





公開範囲	<ul style="list-style-type: none">• アプリケーション本体• インプットデータ• アウトプットデータ• パラメータファイル(変更可能なもののみ)• データレイアウト• 説明資料(利用方法、テクニカルレポート) <p>※アプリケーションやデータ、テクニカルレポートについては、準備でき次第段階的に公開します。</p>
利用条件	<ul style="list-style-type: none">• 行政機関・研究者による公益目的を条件に申請制で利用を許可します。• ただし、別途定める使用許諾条件に同意いただく必要がございます。
運営・維持体制	申請窓口:東京都市圏交通計画協議会 問い合わせ窓口:国土交通省関東地方整備局企画部広域計画課 <p>※ご利用を希望される場合は、関東地方整備局 企画部広域計画課までお問合せください。モデルの利用条件等についてご説明いたします。</p>
その他留意点	<ul style="list-style-type: none">• モデルのご利用にあたっては、本ガイダンス及びテクニカルレポートをご確認のうえ、誤用のないようお願いいたします。• また、本モデルの利用や、その推計・分析結果に基づいて生じたいかなる損害・不利益についても、当協議会は一切の責任を負いません。

第4章 シミュレーションモデルの活用に向けて

4-2 モデルの利用方法

- Tokyo FreightSimを用いてシナリオ分析を行う際は、提供された「標準データセット」をベースとして、分析対象となる要素(貨物車稼働率、EC普及率、ゾーン間所要時間等)のデータファイルを編集・加工し、「シナリオデータセット」を作成してシミュレーションを実行します。

▼モデルの利用方法

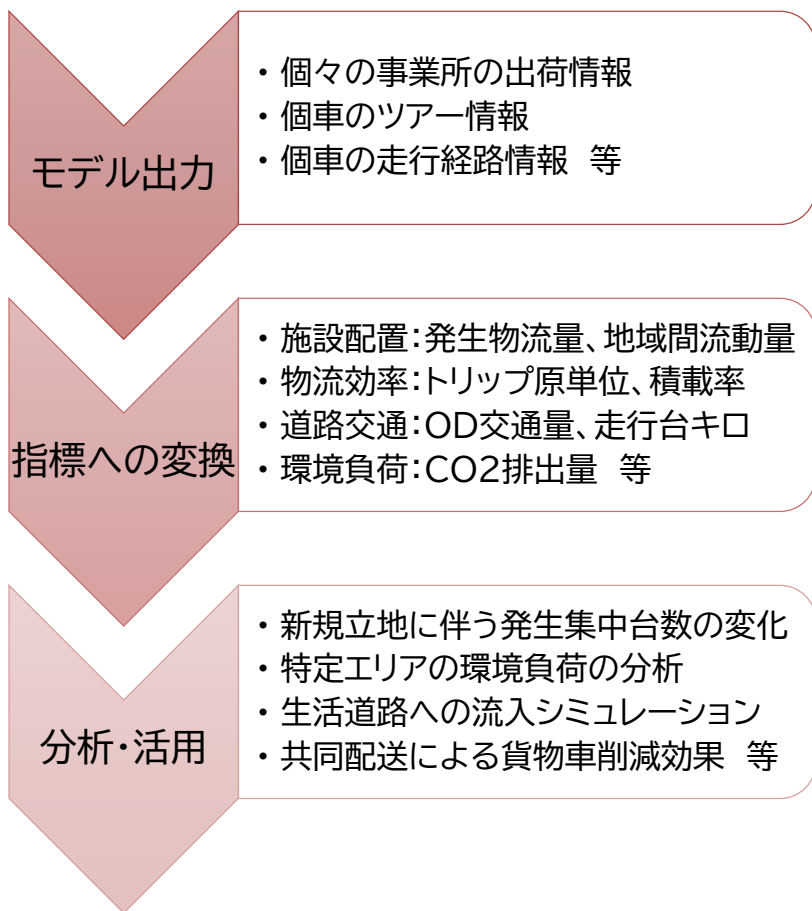
		作業内容	作業内容の具体例
Step1 	標準データセットの準備	当協議会から貸与されたデータ一式(標準データセット)を作業スペースに保存し、作業環境を準備	—
Step2 	シナリオデータセットの作成	シナリオ設定に応じて標準データセットを編集し、シナリオデータセットを作成	EC拡大シナリオを分析するため、パラメータファイル内のEC普及率パラメータを編集
Step3 	シミュレーションの実行	シナリオデータセットをインプットし、モジュールごとにシミュレーションプログラムを実行	EC拡大がBtoC物流需要に及ぼす影響を分析するため、「BtoC物流需要モデル」を実行
Step4 	アウトプットの取得・分析	得られたアウトプットをEXCEL、GIS等の任意のソフトウェア・プログラムで分析	プログラムから出力されたEC出荷データを市区町村単位で集計し、現況からの変化率を可視化

第4章 シミュレーションモデルの活用に向けて




4-2 モデルの利用方法

- Tokyo FreightSimの最大の特徴は、**ゾーン間物流量などの「集計値」ではなく、取引1件単位、トラック1台単位の「個体データ(非集計データ)」がアウトプットデータとして出力される点**です。
- 利用者は、この詳細なデータを自由に集計・加工することで、都市・交通・環境・物流効率など、目的に応じた多様な指標を算出できます。

▼アウトプットデータの活用プロセス



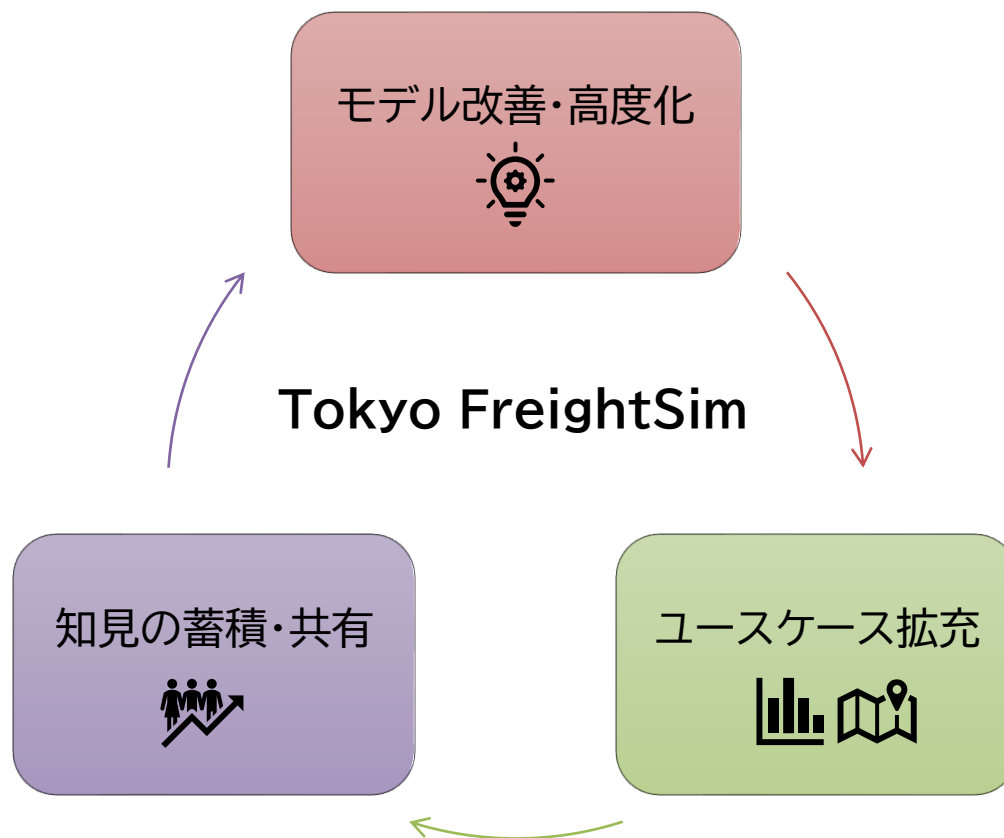
▼アウトプットデータから算出可能な指標の例

	アウトプットデータ	集計・加工のイメージ(活用例) ※その他、アイデア次第で多様な場面で活用可能
まちづくり 	個々の世帯・事業所の出荷情報	【開発に伴う物流需要変化の推計】 • 個々の出荷量を集計し、特定エリアに大規模物流施設が立地した際や、特定エリアのEC利用状況が変化した際の「発生・集中物流量」の増加量を分析
	個車の配送計画情報	【開発に伴う交通影響の分析】 • 特定エリアを発着する貨物車の「時間帯別台数」を集計し、朝夕のピーク発生や荷待ち車両の滞留の可能性を分析
道路交通 	個車の走行経路情報	【生活道路への流入分析】 • 住居系地域沿線の「走行台キロ」を集計し、将来のEC需要増に伴う貨物車交通変化を分析 • 特定のスクールゾーンや住宅地内の道路を通過する貨物車を抽出し、規制前後の「走行台数」の変化を比較
環境負荷 	個車の走行経路情報	【CO2排出量の推計】 • エリア単位や道路単位の走行台キロを集計し、車種・速度別の排出原単位を掛け合わせることで、「CO2排出量」を算出

第4章 シミュレーションモデルの活用に向けて

4-3 今後の展望

- Tokyo FreightSimは、本ガイダンスで提示した社会変化(外的要因)に伴う課題の可視化だけでなく、共同配送や夜間配送、混雑課金など、課題解決に向けた多様な施策(政策要因)の検討への応用が期待されます。
- 今後は、本モデルを、分析やその結果を用いた施策検討のための「共通基盤」として、一定のルールの下で外部公開し、多様な主体によるユースケースを蓄積していき、「物流まちづくり」の後押しを図ります。



参考資料

モデルの数式・パラメータ推定結果・現況再現性

参考資料:モデルの数式・パラメータ推定結果・現況再現性

(1)立地選択モデル ①モデル式

- 本モデルでは、物流事業者の立地選択行動を多項ロジットモデルで表現し、地域特性が事業者の意思決定に与える影響(立地効用)を推定しています。
- さらに、推計された立地効用を地域全体で比較できるように偏差値化した数値を「立地ポテンシャル」と定義し、地域における物流施設の立地魅力度を評価する指標として活用しています。

▼立地選択モデルのモデル式

- 事業所機能調査(本体調査)で調査された物流施設の立地データを用い、物流施設が立地しやすい場所(立地ポテンシャルが高い場所)を1kmメッシュ(3次メッシュ)別に推計

$$P_i = \frac{\exp(V_i)}{\sum_{i \in j} \exp(V_j)} \quad V_i = \sum_k \beta_k x_k + \ln S_i$$

<変数の定義>

P_i : 3次メッシュ*i*の選択確率

V_i : 3次メッシュ*i*の立地効用

β_k : パラメータ

x_k : 説明変数

S_i : 3次メッシュ*i*の規模変数(可住地面積－一般建物面積)

▼立地ポテンシャルの推計方法

- 立地選択モデルにより算出された各メッシュの「立地効用」を全サンプル分積み上げ、地域全体での相対評価を行うために偏差値化(平均50、標準偏差10に正規化)

$$LP_i = \frac{10 \times (V_i - \bar{V})}{\sigma} + 50$$

<変数の定義>

LP_i : 3次メッシュ*i*の立地ポテンシャル

V_i : 3次メッシュ*i*の立地効用

\bar{V} : 立地効用の平均値

σ : 立地効用の標準偏差

参考資料:モデルの数式・パラメータ推定結果・現況再現性

(1)立地選択モデル ②パラメータ推定結果

▼パラメータ推定結果

説明変数	単位等	備考	広域物流拠点		都市内集配拠点			
			パラメータ	t値	生産地型		消費地型	
					パラメータ	t値	パラメータ	t値
ln(人口密度)	千人/km ²	夜間人口÷可住地面積	-0.1360	(-5.27)	-0.0527	(-1.53)		
ln(通勤圏内労働力人口)	千人	45分圏域内の労働力人口	1.0246	(8.70)			0.4677	(1.66)
ln(加工組立型産業への近接性)	億円	工業出荷額(距離減衰考慮)	0.4324	(1.73)				
ln(製造業への近接性)	億円	工業出荷額(距離減衰考慮)			0.5738	(1.11)	1.1298	(1.03)
ln(業務地への近接性)	千人	従業人口(距離減衰考慮)			3.2267	(5.70)		
ln(最寄りの高速道路ICまでの距離)	km	道路距離	-0.3438	(-4.04)	-0.5041	(-6.93)	-0.2769	(-1.85)
ln(工業系地域の平均地価)	千円/m ²	メッシュ内公示地価の平均値	-1.0316	(-9.28)			-0.5461	(-3.05)
用途地域	準工業地域	対可住地面積比	2.5150	(8.33)	0.7505	(2.62)	1.8387	(3.17)
	工業地域	対可住地面積比	3.5521	(9.38)	3.0266	(7.86)	5.1623	(8.31)
	工業専用地域	対可住地面積比	2.7609	(10.78)	1.6650	(4.31)	2.8529	(4.90)
ln(事業所の敷地面積)	郊外部	m ²			0.1630	(5.11)		
事業所の従業員数	郊外部	千人			-9.8251	(-2.66)		
ln(道路延長)	km/km ²	メッシュ内総道路延長	0.3658	(4.11)	0.3611	(3.14)	0.7605	(3.59)
ln(規模変数)	km ²	メッシュ内可住地面積	1.0000	(—)	1.0000	(—)	1.0000	(—)
サンプルサイズ			305		370		97	
選択枝数(パラメータ推定時)			200		200		200	
初期尤度			-1509.7		-1805.8		-473.5	
最終尤度			-1188.1		-1454.8		-368.8	
尤度比			0.213		0.194		0.221	
自由度調整済み尤度比			0.207		0.189		0.204	

※太字のパラメータ:95%有意(t値が1.96以上) ※パラメータの符号が正の場合は説明変数の数値が大きいほど立地効用が高まり、負の場合は説明変数の数値が大きいほど立地効用が低くなる傾向を表す
 ※広域物流施設:「主な搬出圏域」が「東北」「甲信越」「東海」「上記以外の日本国内」「海外」の施設、または「主な搬出圏域」が「関東」の施設のうち施設所在地から「搬出先市区町村」の輸送距離が40kmを超える輸送を行う施設のうち、敷地面積が3,000m²以上の物流施設(2005年以降開設)
 ※都市内集配施設:上記以外の物流施設(2005年以降開設)。搬出先をもとに、生産地型(主に工場などに搬出)の物流施設と消費地型(主に店舗・住宅などに搬出)の物流施設に分類

参考資料:モデルの数式・パラメータ推定結果・現況再現性

(1)立地選択モデル ③現況再現性

- 推計された立地ポテンシャルの分布と、実際の物流施設の立地状況(物資流動調査)を比較した結果、実際の物流施設の8割以上が立地ポテンシャルの上位20%メッシュ内に位置しており、現実の立地傾向を適切に捉えられていることを確認しました。

▼立地ポテンシャルの現況再現性

広域物流施設

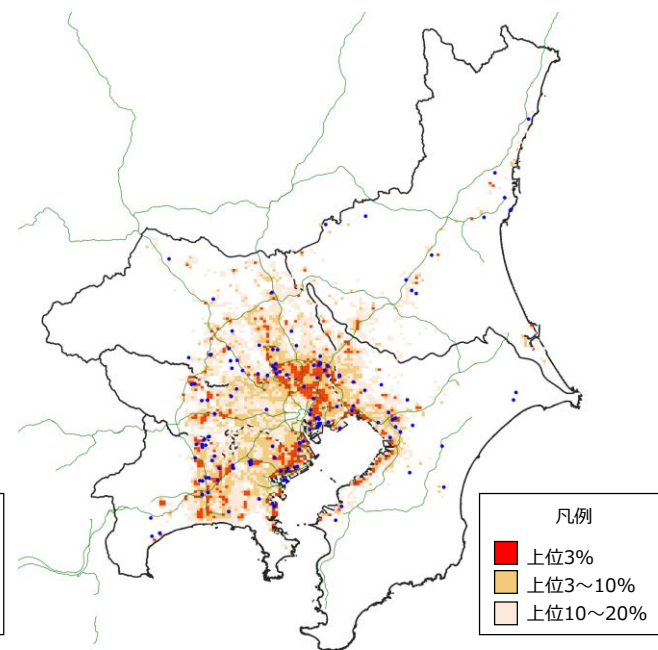
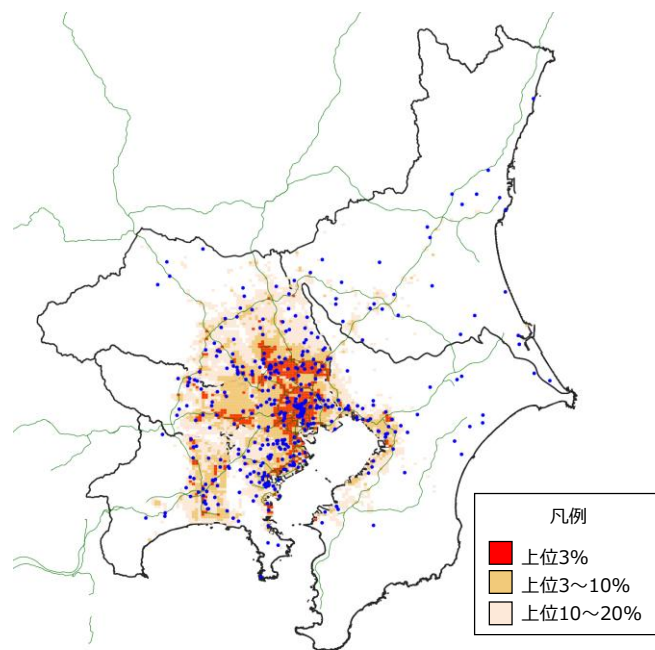
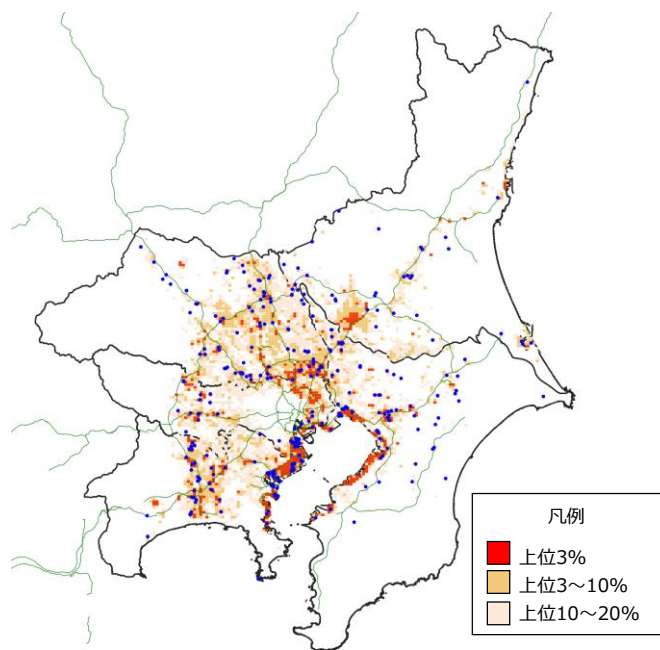
- 立地ポテンシャルが上位20%の3次メッシュに実際に立地している物流施設の割合: 84.6%

生産地型都市内集配施設

- 立地ポテンシャルが上位20%の3次メッシュに実際に立地している物流施設の割合: 85.0%

消費地型都市内集配施設

- 立地ポテンシャルが上位20%の3次メッシュに実際に立地している物流施設の割合: 83.1%



※立地ポテンシャル:立地選択モデルにより算出された各メッシュの「立地効用」を全サンプル分積み上げ、地域全体での相対評価を行うために偏差値化(平均50、標準偏差10に正規化)した指標
※広域物流施設:「主な搬出圏域」が「東北」「甲信越」「東海」「上記以外の日本国内」「海外」の施設、または「主な搬出圏域」が「関東」の施設のうち施設所在地から「搬出先市区町村」の輸送距離が40kmを超える輸送を行う施設のうち、敷地面積が3,000㎡以上の物流施設(2005年以降開設)
※都市内集配施設:上記以外の物流施設(2005年以降開設)。搬出先をもとに、生産地型(主に工場などに搬出)の物流施設と消費地型(主に店舗・住宅などに搬出)の物流施設に分類

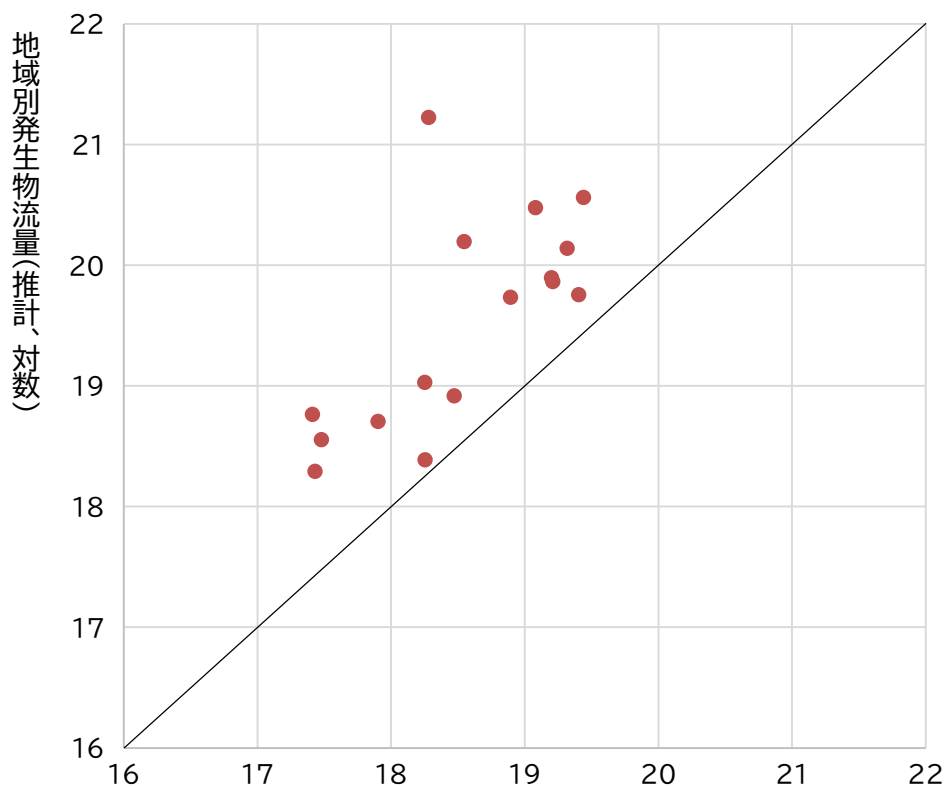
参考資料:モデルの数式・パラメータ推定結果・現況再現性

(2)物流需要モデル(BtoB) ①モデルの現況再現性

- 推計された地域別物流量や地域間物流量と、物資流動調査による実測値を比較した結果、双方の間に一定の正の相関が確認され、都市圏全体の流動パターンの基本構造を捉えられているものと考えられます。

▼16地域別発生物流量の現況再現性

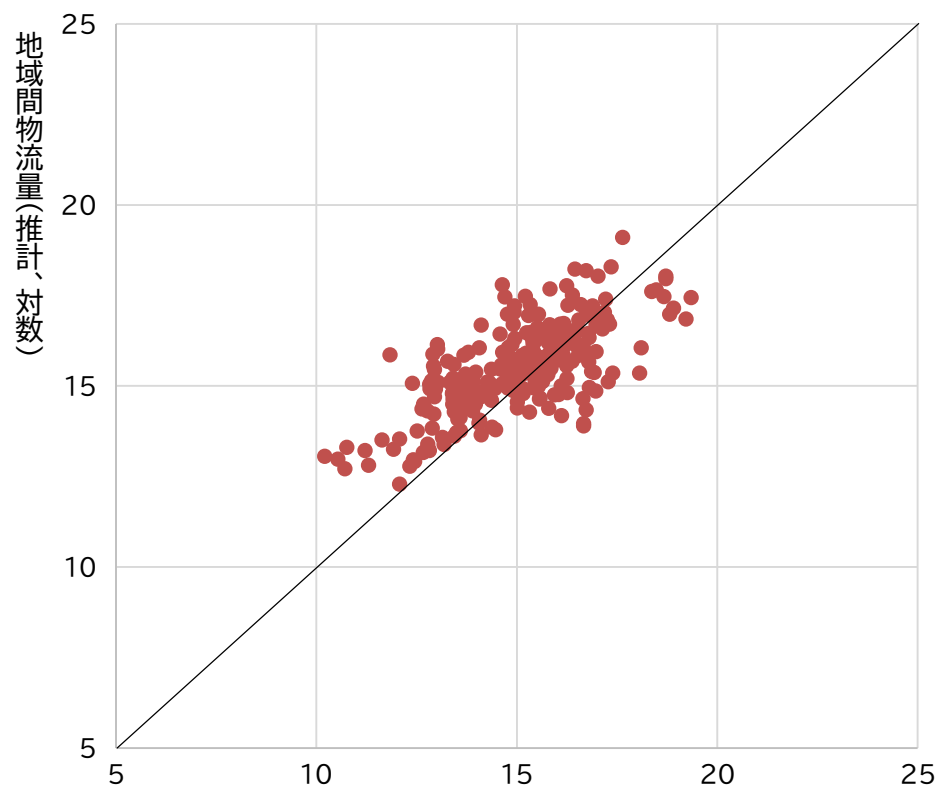
※相関係数:0.686



地域別発生物流量(実績、対数)
※第6回東京都市圏物資流動調査(本体調査)

▼16地域間物流量(OD量)の現況再現性

※相関係数:0.700



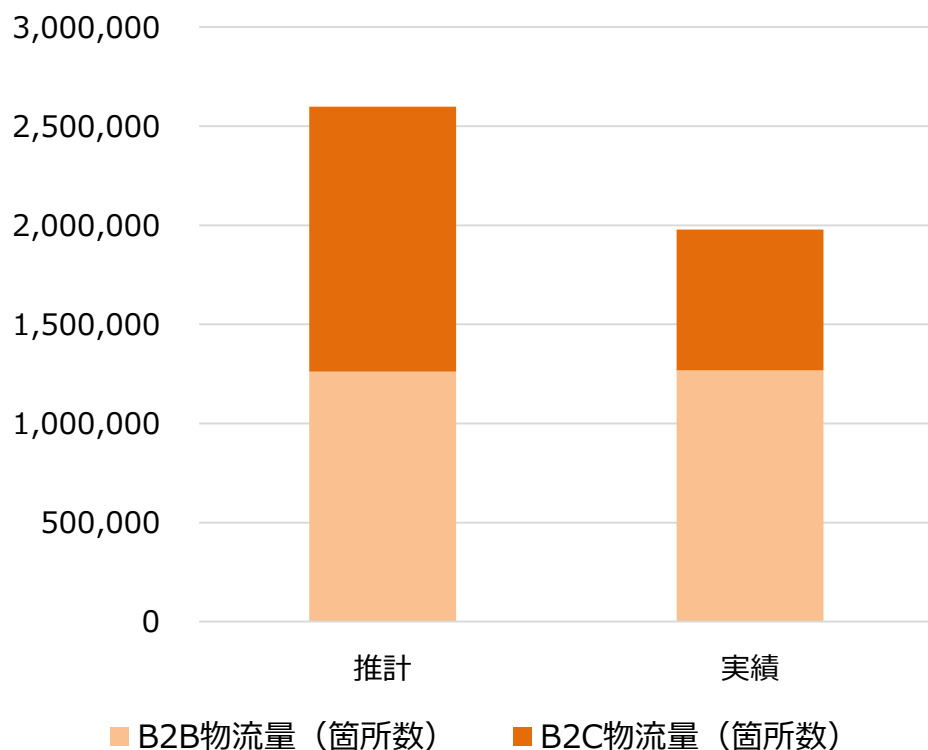
地域間物流量(実績、対数)
※第6回東京都市圏物資流動調査(本体調査)

参考資料:モデルの数式・パラメータ推定結果・現況再現性

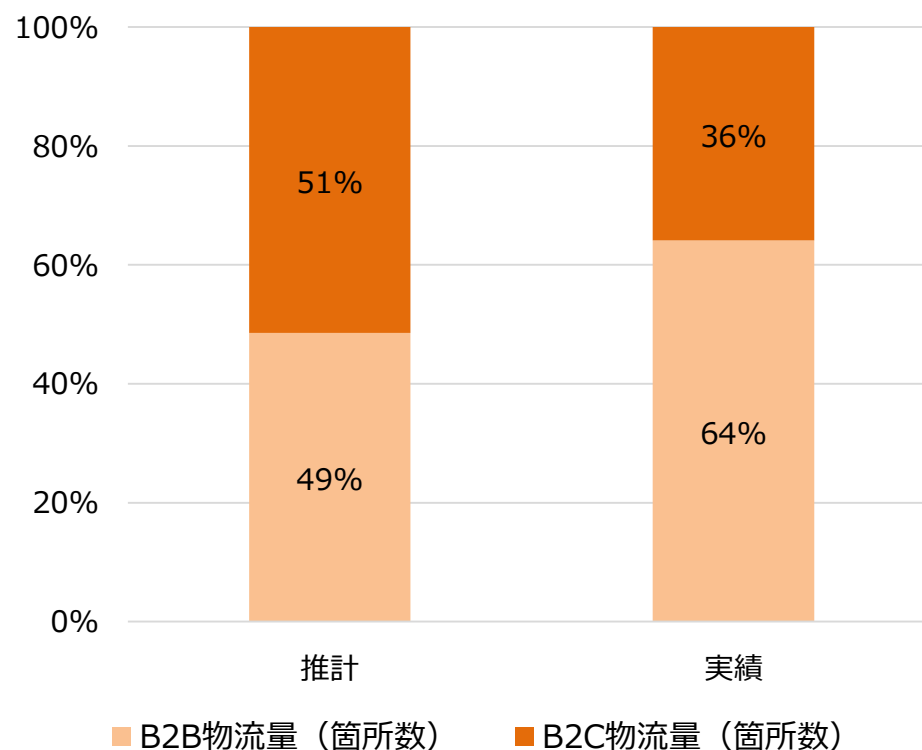
(3)物流需要モデル(BtoC) ①モデルの現況再現性

- 推計された物流量と、物資流動調査(本体調査)に基づく実績物流量について、BtoBとBtoCの構成比を配送先箇所数ベースで比較検証しました。推計値は、実績値と比較してBtoCの構成比がやや高く算出される傾向にありますが、多頻度小口化が進むBtoC物流の特性や、両者の規模感の整合性を踏まえると、都市内の配送実態の傾向を一定程度反映した結果であると推察されます。

▼配送先箇所数の現況再現性



▼配送先箇所数構成比の現況再現性



※実績値、推計値いずれも、発地・着地ともに東京都市圏内であるトラック輸送(自家用・営業用)による出荷を対象として集計
※実績値は第6回東京都市圏物資流動調査(本体調査)より、受取施設が居住施設である出荷の箇所数を集計
※推計値は、B2Bモデルによる推計結果とB2Cモデルによる推計結果より集計

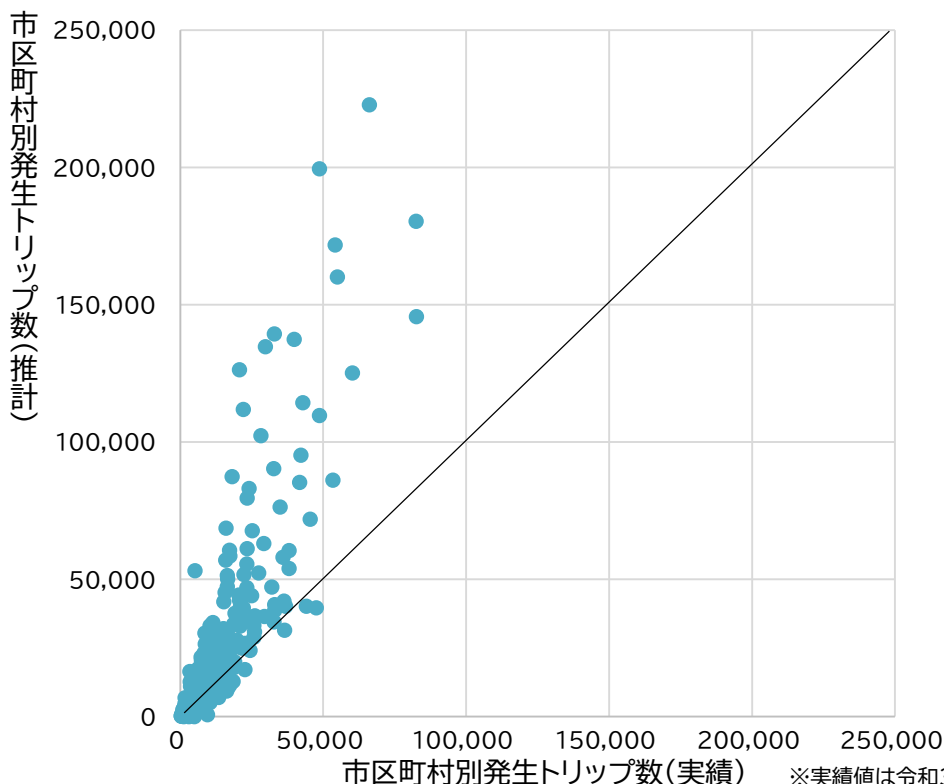
参考資料:モデルの数式・パラメータ推定結果・現況再現性

(4) 配送割当モデル ①モデルの現況再現性

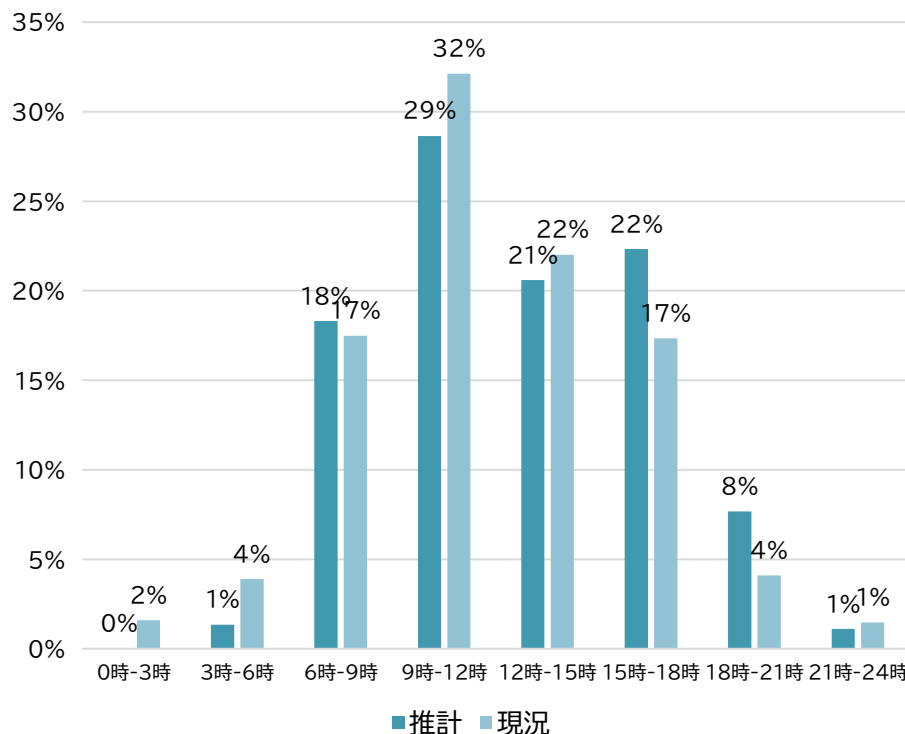
- 配送割当モデルにより生成されたツアーの発生トリップ数を集計し、道路交通センサスの実績値と比較検証しました。
- 本モデルのツアーはヒューリスティックなルールに基づく効率的な配車結果(理論値)であるため、実態の数値と乖離が生じる部分を含んでいます。しかしながら、市区町村別の発生トリップ数の分布や時間帯別の傾向といったマクロな構造においては、実態に近い傾向を示していることを確認しました。

▼市区町村別発生トリップ数の現況再現性

※相関係数:0.848



▼時間帯別発生トリップ数構成比の現況再現性



※実績値は令和3年度全国道路・街路交通情勢調査(OD調査)から
※すべてのトリップが東京都市圏内であるツアーをもつ車両を対象とするとともに、東京都市圏内を発生するトリップを対象に集計
※本モデルで推計対象としている車種(営業用貨物車)に限定し、本モデルで推計対象外の業種(建設業、サービス業)を除く

参考資料:モデルの数式・パラメータ推定結果・現況再現性

(5)経路配分モデル ①モデル式及びパラメータ推定結果

- 本モデルの経路探索アルゴリズムには、大型貨物車特有の選好性を反映した独自の「リンクコスト(走行抵抗)」を実装しています。
- 高速道路や幅員の広い国道では、時間の重みが小さくなることで、実際の所要時間以上に「心理的な負担が少なく、通しやすい」と感じる大型車の経路選択特性を再現しています。

▼経路探索におけるコストの考え方(モデル式)

- 道路の規格に応じて走行時間に対する評価(時間コスト)を割り引く構造を採用
- このコストが最小になるルートを、MATSimが探索

$$GC = (\omega + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2) \cdot time + M$$

<変数の定義>

GC :一般化費用(Generalized cost)

ω, β_1, β_2 :パラメータ

X_1 :高速道路(四車線以上)ダミー変数
※四車線以上の高速道路なら1、それ以外なら0

X_2 :国道(四車線以上)ダミー変数
※四車線以上の国道なら1、それ以外なら0

$time$:所要時間(分)

M :燃料費及び有料道路料金(円)

▼パラメータ推定結果

- 重複率最大化法(兵藤ら,2007)を用いてパラメータを推定。全ての道路に係る基準時間価値に対して、高速道路や幅員の広い国道ではコストが割り引かれる

推定パラメータ	基準時間価値(ω) ※すべての道路に係るパラメータ	177.60円/分
	時間価値補正係数(β_1) ※高速道路(四車線以上)に係るパラメータ	-24.67円/分
	時間価値補正係数(β_2) ※国道(四車線以上)に係るパラメータ	-29.19円/分
有効実績経路数		53,560経路
実績経路と推計経路の重複率		55.45%

※貨物車プローブデータをもとに推定

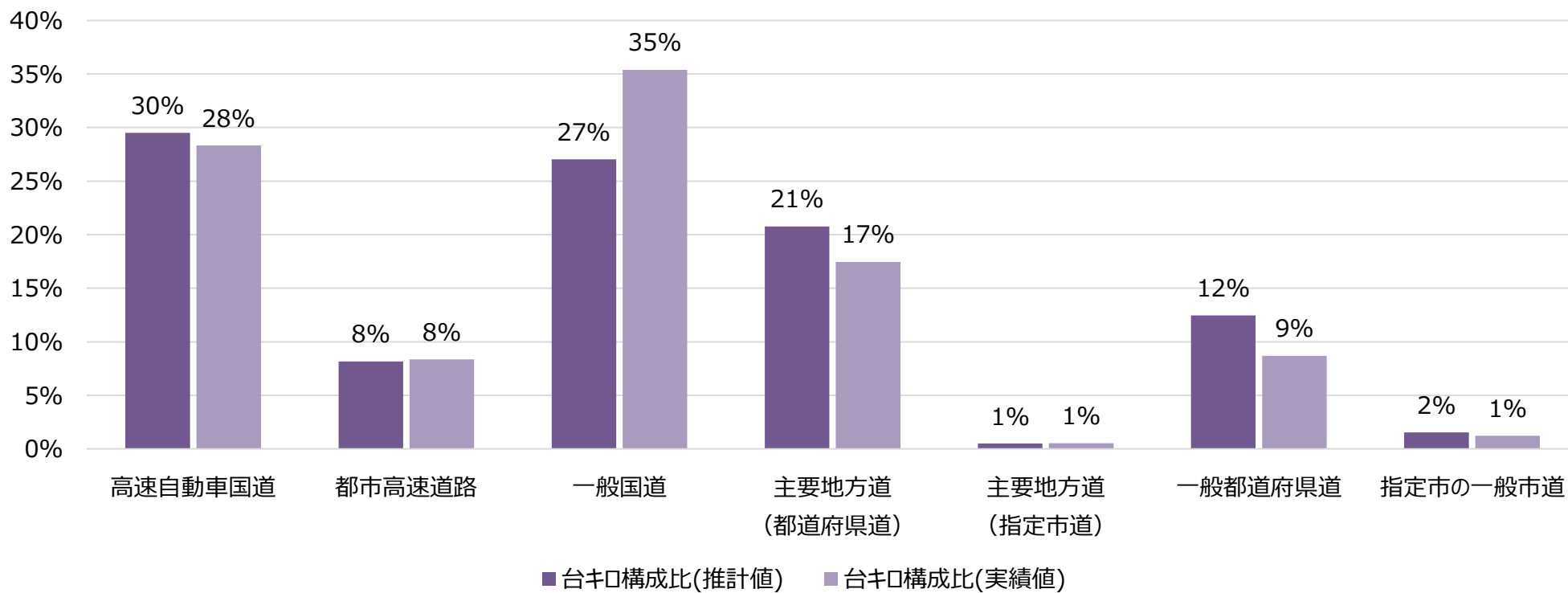
※実績経路と推計経路の重複率:プローブデータに基づく実績経路の総延長に対し、推計経路と一致するリンクの延長が占める割合

参考資料:モデルの数式・パラメータ推定結果・現況再現性

(5)経路配分モデル ②モデルの現況再現性

- 推計された走行台キロと実績の走行台キロを道路種別ごとに比較検証しました。推計値は実績値と比べて一般国道の構成比がやや低く算出される傾向にあるものの、大型車特有の選好を含む経路選択行動の傾向を一定程度表現できているものと考えられます。

▼道路種別走行台キロ(構成比)の現況再現性



※実績値は、道路交通センサス(一般交通量調査)から、大型車の道路種別走行台キロを集計
※推計値は、MATSimで推定された個車の走行経路から、道路種別走行台キロを集計