

# 再生可能エネルギー需給特性の地域間差異を考慮した 長距離EVトラック給電インフラの空間最適マッチング

「再生可能エネルギー供給と連携した電気自動車対応給電道路網に  
関する計画論的研究」研究プロジェクト

2026年6月

公益社団法人日本交通政策研究会

1. “日交研シリーズ”は、公益社団法人 日本交通政策研究会の実施するプロジェクトの研究  
成果、本研究会の行う講演、座談会の記録、交通問題に関する内外文献の紹介、等々を印刷  
に付して順次刊行するものである。
2. シリーズはAよりEに至る5つの系列に分かれる。  
シリーズAは、本研究会のプロジェクトの成果である書き下ろし論文を収める。  
シリーズBは、シリーズAに対比して、より時論的、啓蒙的な視点に立つものであり、  
折にふれ、重要な問題を積極的にとりあげ、講演、座談会、討論会、その他の方法によっ  
てとりまとめたものを収める。  
シリーズCは、交通問題に関する内外の資料、文献の翻訳、紹介を内容とする。  
シリーズDは、本研究会会員が他の雑誌等に公けにした論文にして、本研究会の研究調査  
活動との関連において復刻の価値ありと認められるもののリプリントシリーズである。  
シリーズEは、本研究会が発表する政策上の諸提言を内容とする。
3. 論文等の内容についての責任はそれぞれの著者に存し、本研究会は責任を負わない。
4. 令和2年度以前のシリーズは印刷及び送料実費をもって希望の向きに頒布するものとする。

公益社団法人日本交通政策研究会

代表理事 竹 内 健 蔵  
同 中 村 文 彦

令和2年度以前のシリーズの入手をご希望の向きは系列番  
号を明記の上、下記へお申し込み下さい。

〒102-0073 東京都千代田区九段北 1-12-6

守住ビル 4階

公益社団法人日本交通政策研究会

電 話 (03) 3263-1945 (代表)

F a x (03) 3234-4593

E-Mail: office@nikkoken.or.jp

日交研シリーズ A-937

令和7年度自主研究プロジェクト

「再生可能エネルギー供給と連携した電気自動車対応給電道路網に関する計画論的研究」

刊行：2026年6月

再生可能エネルギー需給特性の地域間差異を考慮した  
長距離EVトラック給電インフラの空間最適マッチング

**Spatial Optimization of Long-Distance EV Truck Charging Infrastructure, Taking into Account  
Regional Variations in Renewable Energy Supply and  
Demand Characteristics**

主査：福田 大輔（東京大学大学院教授）

Daisuke FUKUDA

要 旨

道路交通におけるゼロエミッション化に向けた施策として、EVの活用促進に向けた環境整備がよく掲げられる。しかし、利用電力の発電段階にまで遡りライフサイクルの観点で脱炭素化を実現する可能性について、学術的・政策提言的な検討は十分ではない。

本研究では、再生可能エネルギー起源電力を活用したEV利用が道路網全体で適切に達成される条件を明らかにし、真の意味で地域の道路交通ゼロエミッション化が達成可能かどうかを評価する理論的・実証的な新たな枠組の構築を企図して、次の研究を行う。

1. 再エネ発電量とEV交通量のマッチングによる“再エネ地産地消EV道路網”の要件整理
  2. 再エネ地産地消EV道路網の有効性を評価可能な数理計画モデルの構築
- 研究の経過（4月～3月）：

まず、目的1. に関しては、我が国の再エネの生産動向と各地域単位での発電ポテンシャルの状況把握のレビューを行い、現在の動向を整理した。またそれと並行して、走行中給電技術の現在の到達点と将来展望について、文献調査や各国エキスパートへのヒアリングを行い整理した。

次に、目的2. に関しては、都市間高速道路を走行する貨物車のEV化を念頭に、再生可能エネルギー供給地点とEV需要地点の全体最適マッチングを行う数理最適化モデルのプロトタイプを構築した。長距離貨物トラックの電動化を前提とした我が国の都市間道路ネットワークを想定して、再生可能エネルギー供給地点と電力需要地点の効率的なマッチングを目的とした最適化モデルを構築した。さらに、再生可能エネルギーの自給自足の観点から、その供給と需要のバランスを評価する新たな指標を提案し、我が国全体を対象としたケーススタディを行い、再生エネのモビリティ活用における自給自足の可能性について検討した。

キーワード： 電気自動車, 走行中無線給電, 再生可能エネルギー

Keywords: Electric Vehicle, Wireless Battery Charging, Renewable Energy



# 目次

|            |                                 |           |
|------------|---------------------------------|-----------|
| <b>1 章</b> | <b>はじめに</b>                     | <b>1</b>  |
| 1.1        | 貨物トラックの電動化 . . . . .            | 1         |
| 1.2        | 再生可能エネルギーの自給自足型供給システム . . . . . | 1         |
| 1.3        | 研究目的と構成 . . . . .               | 1         |
| <b>2 章</b> | <b>既往研究と本研究の位置づけ</b>            | <b>3</b>  |
| 2.1        | 計画の必要性 . . . . .                | 3         |
| 2.2        | 太陽光パネルの設置に関する土地利用の重要性 . . . . . | 3         |
| 2.3        | 地域特性を考慮したアプローチ . . . . .        | 3         |
| 2.4        | ネットワーク計画に関する数理計画的な研究 . . . . .  | 4         |
| 2.5        | 本研究の位置付け . . . . .              | 5         |
| <b>3 章</b> | <b>研究の全体フロー</b>                 | <b>6</b>  |
| <b>4 章</b> | <b>データの収集と前処理</b>               | <b>7</b>  |
| 4.1        | 太陽光発電ポテンシャルの推計方法 . . . . .      | 7         |
| 4.2        | 交通量の推計 . . . . .                | 8         |
| 4.3        | インプットデータ . . . . .              | 8         |
| 4.4        | 需給マッチングで使用するデータ . . . . .       | 10        |
| <b>5 章</b> | <b>空間最適マッチングモデルの構築</b>          | <b>13</b> |
| 5.1        | 線形計画問題としての定式化 . . . . .         | 13        |
| 5.2        | パラメータ . . . . .                 | 13        |
| 5.3        | 決定変数 . . . . .                  | 13        |
| 5.4        | 目的関数 . . . . .                  | 14        |
| 5.5        | 制約条件 . . . . .                  | 15        |
| 5.6        | 感度分析 . . . . .                  | 15        |
| <b>6 章</b> | <b>エネルギー自給率による各地域の評価</b>        | <b>16</b> |
| 6.1        | エネルギー自給率の定義 . . . . .           | 16        |
| 6.2        | エネルギー自給率の計算方法 . . . . .         | 16        |

|     |                        |    |
|-----|------------------------|----|
| 6.3 | 距離に基づくスコアの定義 . . . . . | 17 |
| 7 章 | 適用結果と考察                | 18 |
| 7.1 | マッチング結果 . . . . .      | 18 |
| 7.2 | 考察 . . . . .           | 19 |
| 8 章 | おわりに                   | 27 |
| 8.1 | 本研究の成果 . . . . .       | 27 |
| 8.2 | 今後の課題と発展性 . . . . .    | 27 |
|     | 参考文献                   | 29 |

研究メンバーおよび執筆者（敬称略・順不同）

|       |                           |             |
|-------|---------------------------|-------------|
| 主査：   | 福田大輔                      | 東京大学大学院（全章） |
| メンバー： | Daniel Del Barrio Alvarez | 東京大学大学院     |
|       | 金岡実祐                      | 東京大学大学院（全章） |
|       | 岡英紀                       | 計量計画研究所     |
|       | 金子法子                      | 三菱総合研究所     |
|       | Henrik Gudmundsson        | CONCITO     |

2026年5月現在





# 1 章 はじめに

## 1.1 貨物トラックの電動化

地球温暖化対策として、各国が温室効果ガスの削減を進める中、日本も 2050 年カーボンニュートラルを目指している。運輸部門の二酸化炭素排出量は全体の約 18.5 %を占め、そのうち貨物トラックが最大の排出源となっている。政府は 2030 年までに 2013 年度比で 46 %の排出削減を目標としているが、依然として化石燃料への依存度は高い。電気自動車（EV）は脱炭素化の鍵とされるが、充電インフラ不足や航続距離の制約が課題である。特に長距離輸送を担う貨物トラックでは、大容量バッテリーと頻繁な充電が必要となり、電動化のハードルが高い。

この課題の解決策として、走行中に非接触で給電可能な動的ワイヤレス電力伝送(DWPT)技術が注目されている。この技術は充電時間の削減により、長距離輸送の電動化を促進する可能性がある。しかし、最適な DWPT 配置戦略やエネルギー需給のあり方については、依然として研究の余地が多い。

## 1.2 再生可能エネルギーの自給自足型供給システム

EV の環境負荷を低減するには、供給電力が化石燃料由来ではなく、再生可能エネルギーであることが重要である。しかし、日本の発電に占める再生可能エネルギーの割合は依然として低く、化石燃料依存度も高い。このため、クリーンな電力を効率的に EV へ供給するシステムが求められる。再生可能エネルギーの導入には、設置スペースの制約や供給の変動性といった課題がある。これを解決する手段として、「自給自足」型エネルギーシステムが注目されている。地域内で発電と消費を完結させることで、送電ロスを削減することができる。本研究では、この自給自足の概念を基に、再生可能エネルギーを最大限活用し、EV へ最適に供給するエネルギーシステムのあり方を検討する。

## 1.3 研究目的と構成

そのために、本研究では、

- メッシュごとの日射量と土地利用から算出される太陽光発電ポテンシャルと、高速道路上の貨物トラックの交通量に基づき、全国に分散する電力の供給地点と道路網上の需要地点を、エネルギーの自給自足の観点から適切にマッチングさせる最適化数理モデルを構築すること。
- 太陽光パネルの設置コストの最小化や送電距離の短縮など、複数のシナリオを考慮した分析を行い、DWPT（動的ワイヤレス給電）の導入を優先すべきエリアの選定に向けた基礎的知見を提供すること。

という2点を目的として研究を行う。

本研究の構成を以下に示す。第2章では、関連する既往研究をレビューしたのち、本研究の位置付けを述べる。第3章では分析の全体フローを示す。第4章ではまず、本研究で使用するデータについて述べる。第5章では、エネルギー供給とEV需要の関係を数理モデル化し、DWPTの最適配置を決定するための最適化手法を提示する。また、地域内エネルギー利用の度合いを評価するための「エネルギー自給率」の指標を定義し、その計算方法について第6章で詳述する。次に、第7章では最適化モデルを適用し、供給地点と需要地点のマッチング結果を示す。特に、自給自足度の高い地域を特定し、どの地域に優先的にDWPTを導入すべきかの示唆を得る。さらに、パラメータの感度分析を行い、距離コストや設置コストの影響を検討する。最後に、第8章において本研究の成果、限界、今後の展開について述べる。

## 2 章 既往研究と本研究の位置づけ

### 2.1 計画の必要性

近年、持続可能な交通手段の必要性が高まる中、自動車、とりわけ貨物トラックの電動化は、二酸化炭素排出量削減と持続可能性向上の観点から重要な課題として挙げられることが多い。Lee et al. (2023) は、15 t 以上の大型トラックは、定期的かつ予測可能な運行特性を持つため電動化に適した候補であるとしている。しかし、充電インフラの整備状況が限られていることがその普及を阻む主要な要因となっているとも指摘している。

先行研究では、電動トラックの運用に関する様々なアプローチが提案されている。例えば、Tanvir et al. (2021) は、電動トラックのバッテリー寿命を最適化するためのスケジューリング手法を検討し、充電機会を最大化する方法を示した。また、Un-Noor et al. (2024) は、港湾地域における定置型ワイヤレス充電の導入が大型トラックの運行に与える影響を分析している。一方で、これらの研究には限界も存在し、特に、充電インフラの設計や実装に関する具体的なガイドラインが不足していることが指摘されている。

### 2.2 太陽光パネルの設置に関する土地利用の重要性

坂村ら (2014) は、再生可能エネルギー導入に関する重要な先行研究として、地上設置型メガソーラーの導入状況とその影響を分析している。特に、固定価格買取制度 (Feed-in Tariff: FiT) の導入後における再生可能エネルギー発電設備が急増し、その中でメガソーラーが全体の約9割を占めていることを明らかにしている。併せて、地域ごとに異なる開発誘導策の必要性を指摘すると共に、メガソーラーの敷地面積と発電効率の関係については、1 ヘクタールあたり約 0.54 MW の発電が可能であることを示すなど、効率的な土地利用に関する実証的知見が提供されている。

### 2.3 地域特性を考慮したアプローチ

下町ら (2021) は、路面電車沿線の学校に設置された太陽光発電 (PV) システムを活用し、自給自足型エネルギーシステムの構築を提案している。PV システムから路面電車の

電力線に直接電力を供給する仕組みを構築することで、地域内でのエネルギーの生産と消費を促進し、経済的な優位性を実証することを目的としている。具体的には、提案システムの全体構成を明確にした上で、PV システム群に対する変換器の最適配置を試算している。また、初期投資費用や運用に伴う電気料金削減効果を数値モデルに基づき評価し、従来型システムとの経済性の比較を行っている。この研究は路面電車を対象に行ったが、本研究では DWPT の問題へと展開する。それにあたり、日本は高密度な人口分布と特異なエネルギー供給構造を持つため、DWPT 技術の評価には地域特性を考慮する必要があること、都市部の交通量や再生可能エネルギーの地域ごとの供給ポテンシャルを踏まえたアプローチが必要となると考えられる。

## 2.4 ネットワーク計画に関する数理計画的研究

Pei et al. (2023) で提案されているモデルは、DWPT を備えた車線、すなわち動的ワイヤレス充電レーン (Dynamic Wireless Charging Lane: DWCL) の配置と電気自動車 (EV) の充電戦略を統合した非線形整数モデルであり、このモデルの主な目的は、DWCL の建設コストとユーザーの充電コストを最小化することである。

以下では、本研究にも深く関わるこの研究について概説する。高速道路ネットワークは、ノードの集合  $N$  とアークの集合  $A$  からなる有向グラフで表されており、充電需要を考慮し、EV の充電戦略と DWCL の配置を決定変数とする。充電状態 (State of Charge: SoC) を維持することが重要で、充電プロセスは非線形の特性を持つと仮定される。

### 2.4.1 主な関数

充電パワーと充電状態 (SoC) に関する関数は、次のように表される。

$$f(\text{SoC}) = \begin{cases} P_{CC} & (0 \leq \text{SoC} \leq \text{SoC}_{CC}) \\ P_{CC} \cdot e^{[\alpha(\text{SoC} - \text{SoC}_{CC})]} & (\text{SoC} > \text{SoC}_{CC}) \end{cases} \quad (2.1)$$

ここで、 $P_{CC}$ : 定常充電パワー、 $\text{SoC}_{CC}$ : 定常充電のしきい値、 $\alpha$ : 非線形特性のパラメータ、である。

## 2.4.2 目的関数

DWCL システムの総コストの最小化に関する目的関数は次のように定義される。

$$\min F = F_1 + F_2 \quad (2.2)$$

ここで、 $F_1$ : DWCL の建設コスト、 $F_2$ : 充電コスト、である。

このモデルは、ハイウェイサービスエリア (HSA) における既存のステーション型充電リソースを念頭に、DWCL の最適配置を検討している。また、感度分析を実施し、DWCL 上の EV の運転速度の変化が総コストに大きな影響を与えるのに対し、バッテリー容量の変動は比較的小さいことを明らかにしている。

## 2.5 本研究の位置付け

本研究は、再生可能エネルギーの自給自足の機会を広域に実現するという基本認識のもと、地域ごとのエネルギー資源を最大限に活用した持続可能な DWPT の最適配置モデルの構築を行う。特に、交通ネットワーク上の電力需要と地域の再生可能エネルギー供給ポテンシャルを効率的にマッチングさせることで、エネルギーの地域内循環を促進し、持続可能な輸送インフラの実現に寄与することを目指す。なお、交通量は高速道路を走る貨物トラックを対象にし、再生可能エネルギーは太陽光に限定して分析を行うが、他の車種や他の再生可能エネルギーを考慮した拡張は可能な枠組みとなっている。

### 3章 研究の全体フロー

研究の全体フローは以下のように構成される。まず、太陽光発電量を算出するため、年間平均日射量データや土地利用データを用いて、地域ごとの発電可能量を推定する。また、交通ネットワーク上のエネルギー需要を見積もるため、道路交通センサスBゾーン別交通量データや道路ネットワーク情報を基に、電動トラックの消費エネルギーを計算する。次に、これらのデータを基に、設置コストと輸送コストを考慮しながら地域内利用度の高いマッチングを導く最適化モデルを構築し、供給・需要のバランスや距離の制約などを踏まえて、貨物トラック向け動的ワイヤレス電力伝送（DWPT）と太陽光発電を組み合わせたエネルギーマッチングの最適解を求める。

最後に、GISを用いた可視化と感度分析を通じて、最適なDWPT導入エリアとその影響を評価する。具体的には、コスト要因の重みを段階的に変更し、複数のシナリオを分析することで、地域ごとの最適なDWPT導入パターンを導き出す。その結果を基に、エネルギー自給率の高い地域の優先導入エリアや、持続可能かつ効率的な輸送ネットワークを構築するための政策提案を行う。本フローを通じて、地域資源の活用を促進し、災害時にもレジリエントな電力供給を維持するための具体的なインフラ整備への示唆を与えることを目指す。



## 4章 データの収集と前処理

### 4.1 太陽光発電ポテンシャルの推計方法

本研究では、杉原ら (2010) が提案した太陽光発電ポテンシャル算定式を用いる。この式は、地域ごとの土地利用データ (国土交通省, 2016) と 1 日当たりの平均全天日射量データ (国土交通省, 2021) を用いて計算され、現実 に即した発電量に調整するために適切な係数が乗じられる。

$$G(n) = \rho \times S_a \times \alpha \times 0.1 \times K \times T \quad (4.1)$$

ここで、各変数は次のように定義される。

- $G(n)$  : メッシュ  $n$  における太陽光発電ポテンシャル (MJ/day)
- $\rho$  : 太陽電池の変換効率 (= 0.14)
- $S_a$  : 再エネに利用可能な土地面積 ( $\text{m}^2$ )
- $\alpha$  : 日あたり年平均全天日射量 ( $\text{MJ}/\text{m}^2$ )
- $K$  : 統合係数 (= 0.70)
- $T$  : 温度損失係数 (= 0.85)
- 0.1 : 単位整合係数 (日射量  $\alpha$  と面積  $S_a$  の積から発電量  $G(n)$  を MJ 単位で得るための換算係数)

ここで、利用可能な土地面積とは、メッシュごとの土地利用データにおいて「未利用地」となっている面積である。変換効率 ( $\rho$ ) は、商業用太陽電池の平均変換効率として広く認識されている 0.14 を採用した。この効率値は多くの先行研究や実績データに基づいて選定されている。統合係数 ( $K$ ) は太陽光発電システムの実際の発電量を理論的な発電量に対して調整するための係数で、これは設置条件や環境要因を考慮した値で、一般的に 0.70 が使用されている。また、温度損失係数 ( $T$ ) は、太陽電池の温度上昇による効率低下を反映しており、0.85 と設定されている。

これらの係数を適用することにより、理論的な発電量から実際の発電量へと修正され、現実的な太陽光発電ポテンシャルを算出することができる。特に、温度損失係数や地域ごとの日射量の違いが影響を与えるため、これらを考慮することで、各地域での太陽光発電

の導入可能性を正確に評価できる。

## 4.2 交通量の推計

交通量データは、エネルギーの需要を推計するために重要な要素である。本研究では、二次メッシュごとの通過交通量を推定し、二次メッシュ単位でのエネルギー需要を明確化した。これにより、エネルギー需要が交通ネットワーク上でどのように広がるかを定量的に示したので、地域ごとの供給ポテンシャルとの統合が容易になる。

### 4.2.1 交通ネットワークの構築

交通ネットワークの構築にあたり、Node 1 と Node 2 を結ぶエッジを道路リンクと見立て、エッジに道路の長さ（距離）を重みとして付与した無向グラフを作成した。このネットワークにおいて、ノード集合は交通ネットワーク（図 4.1）上の地点であり、エッジ集合はノード間の道路リンクを、エッジの重みは道路リンクの距離を表している。ダイクストラ法をもとに、各ノードを出発地点（O）、到着地点（D）とするトリップの最短経路を求めることで、経路を一意に特定し、各メッシュの通過交通量を算出した。ダイクストラ法を実装している Python のネットワーク計算パッケージ networkX を利用して最短経路上の通過ノードを計算し、各ノードを二次メッシュコードに変換した。この変換では、ノード ID の先頭 6 桁を二次メッシュコードとして抽出した。通過メッシュに基づいて、エネルギー需要を均等に分配した。具体的には、OD 間の総エネルギー需要を通過メッシュの数で割り、各メッシュに割り当てた。

## 4.3 インプットデータ

### 4.3.1 交通データ

- 高速道路ネットワークデータ：各リンクの ID、始点と終点のノード ID、リンク長、規制速度、車線数などの情報が含まれている。このデータを基に、道路ネットワークを構築する。ここでの高速道路の定義は、高速自動車国道、都市高速道路、その他公社・公団が管理する道路である。全リンク数は約 6 万、平均長は 613m。
- 普通貨物の B ゾーン間 OD 表：平成 27 年度の道路交通センサスの結果を用いる。1



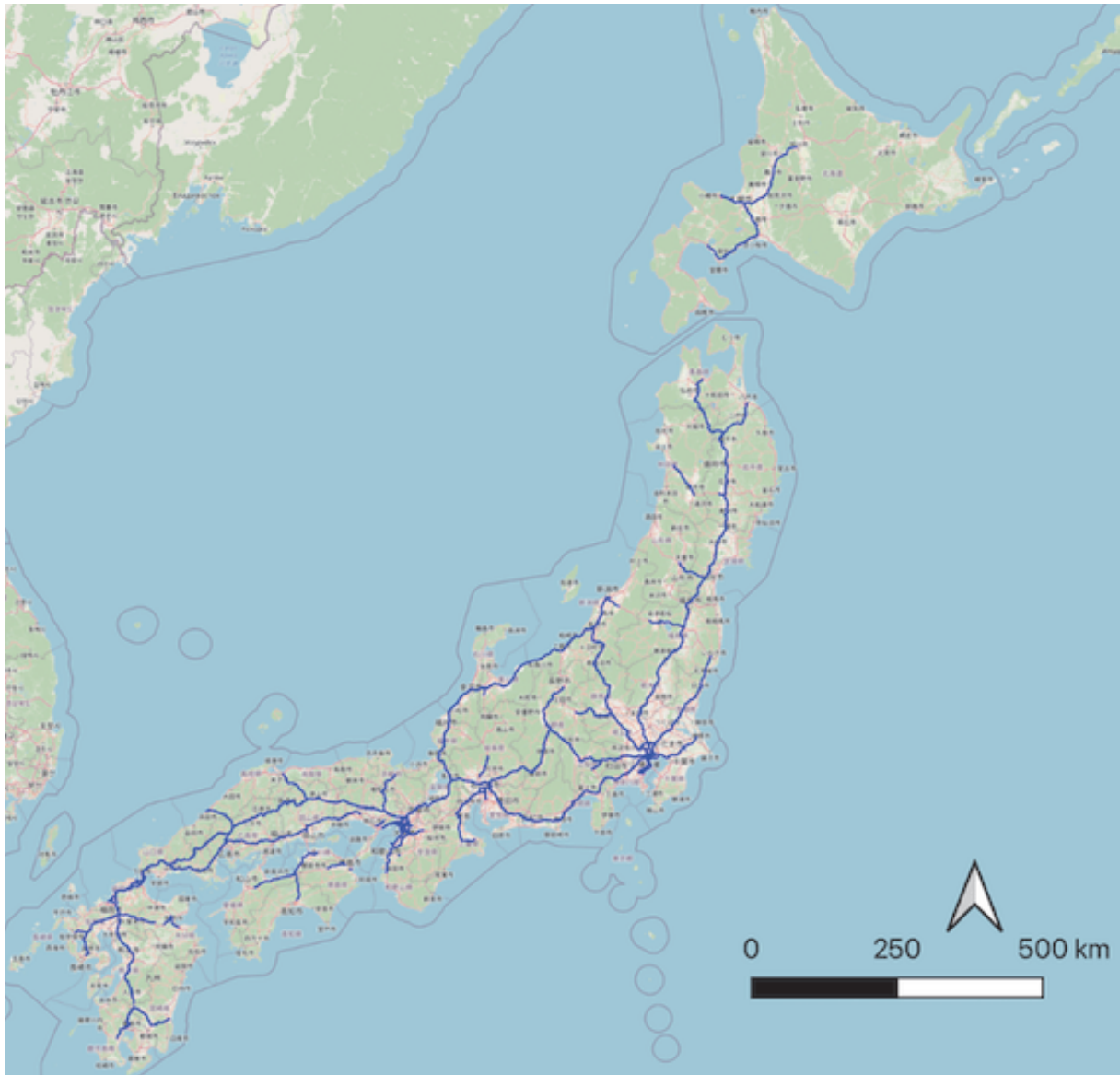


図 4.1 交通ネットワーク

日あたりの普通貨物車の平均交通量が、起点・終点となる B ゾーンとともに含まれている。

- 起終点テーブル：貨物輸送に関する B ゾーン間の移動データを提供する。このテーブルは、各ゾーン間のトリップ数や移動距離を計算するために使用される。
- 緯度経度データ：各ノードの緯度経度がまとまっており、ジオメトリーを作成するのに用いる。

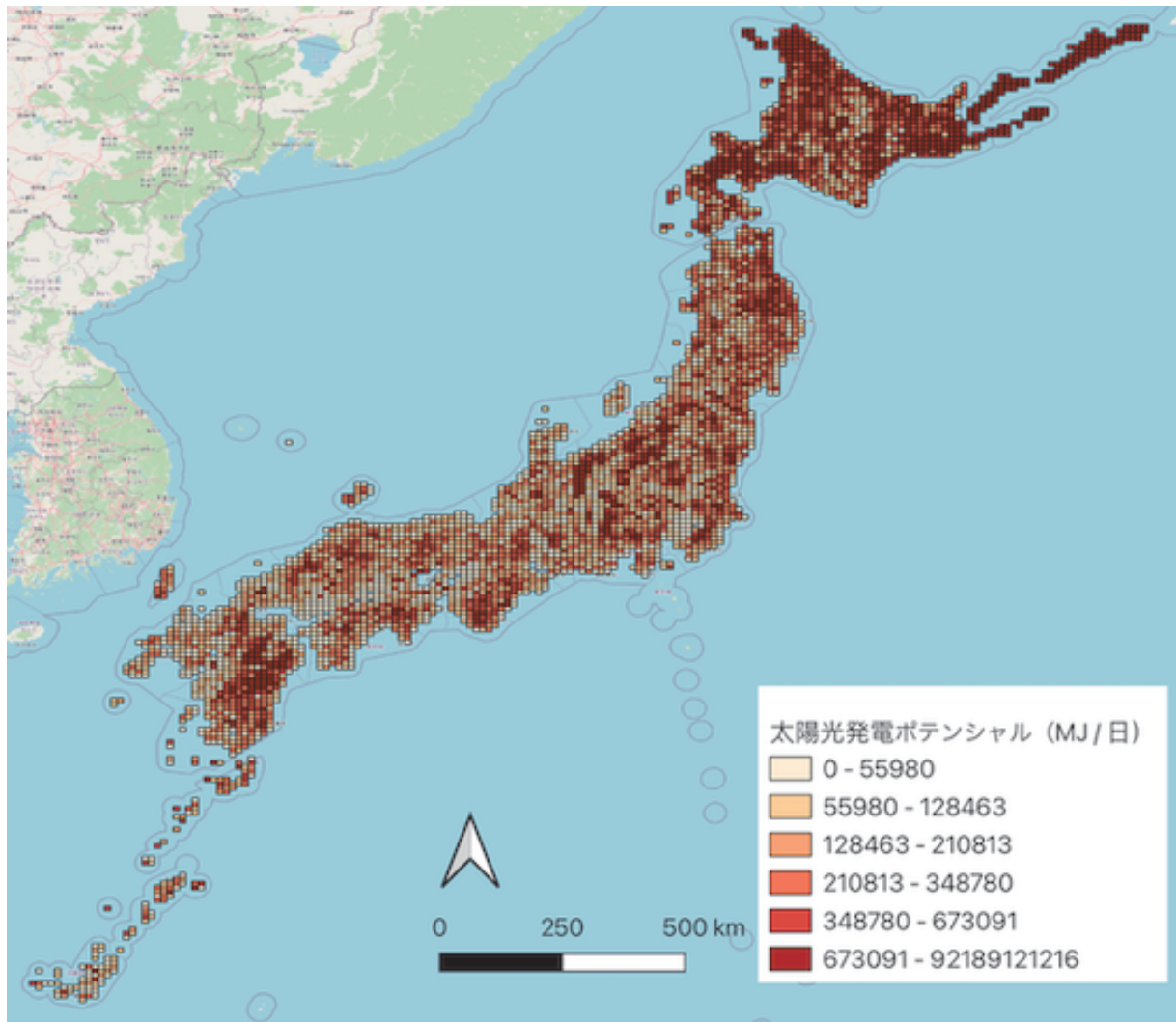


図 4.2 供給側データ：太陽光発電ポテンシャル

#### 4.4 需給マッチングで使用するデータ

- 供給側のデータ（図 4.2）：太陽光発電ポテンシャル（年間平均日射量と土地利用データに基づく）を 10km メッシュ単位で計算。また、扱うメッシュは、対象道路である都市間高速道路ネットワークが通っている北海道、本州、四国、九州のみとし、その他離島は除外した。データ数は 4222、総供給量は約 2.18 億 MJ。
- 需要側のデータ（図 4.3）：全国的高速道路を走行する電動貨物トラックの 1 日当たり交通量データ（B ゾーン単位で提供される OD データに基づく）。データ数は 1024、総需要量は約 1.97 億 MJ。
- 距離データ：供給メッシュと需要メッシュ間の重心間の直線距離 (km)。

資源エネルギー庁 (2024) によると、2020 年度の国内における最終エネルギー消費量の

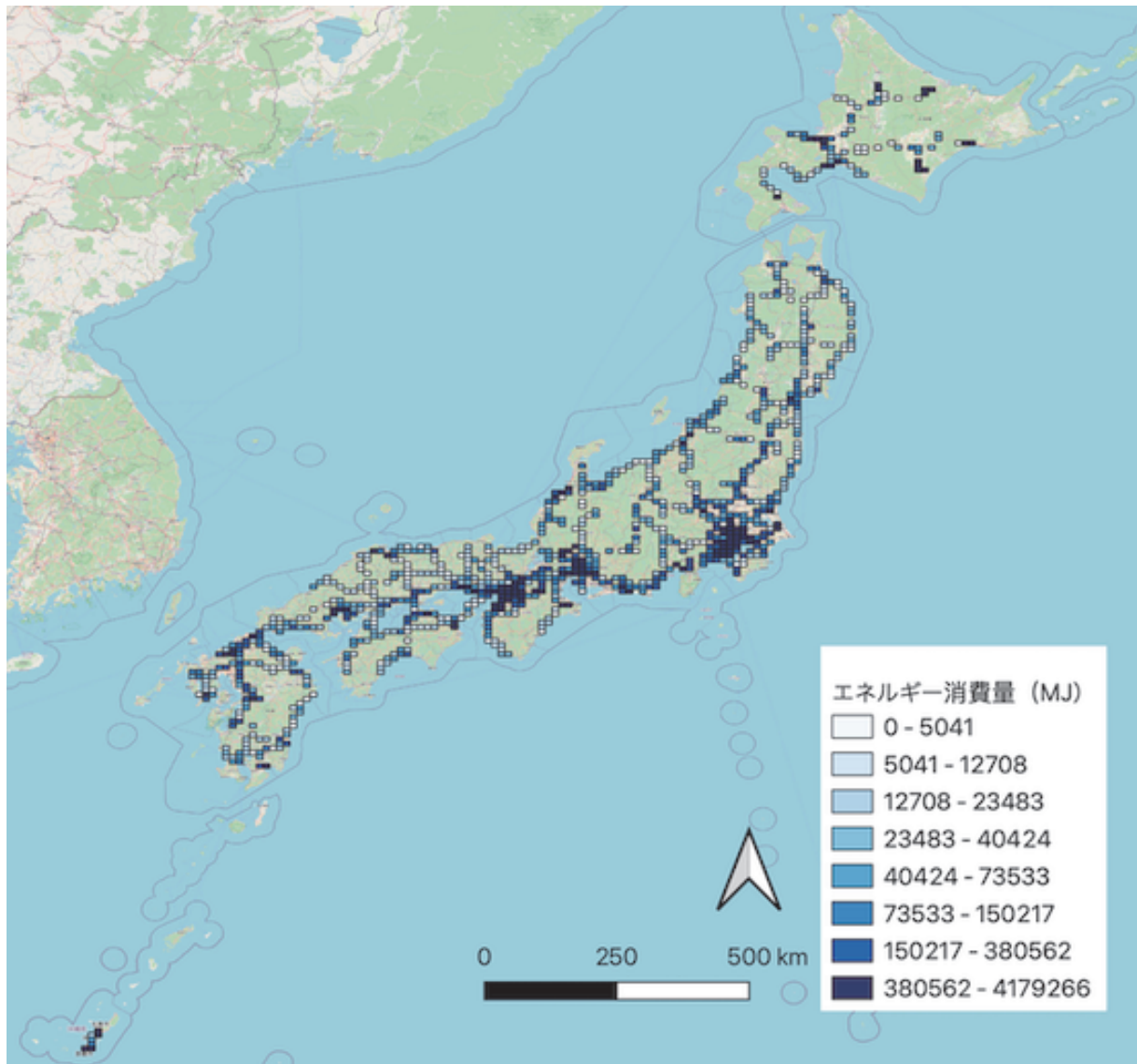


図 4.3 需要側データ：交通量

うち、運輸部門が占める割合が22.3 %。そのうち、貨物部門は43.6 %を占めていて、貨物輸送のエネルギー源のうち68.6 %が大型トラックで消費される軽油、21.3 %が配送用小型貨物車で消費されるガソリン、残りは船舶に使われる重油や航空用ジェット燃料であった。これを踏まえて、供給側のデータに関しては、各メッシュの太陽光発電量に、貨物トラックへの割当係数（運輸部門比率22.3% × 貨物部門比率43.6% × 大型トラック比率68.6% ≈ 6.7%）を乗じた値を用いた。また、計算負荷を軽減するため、全国メッシュデータを東西の2つに分けた。その際に、日本の送電ネットワークにおいて周波数が東西で切り替わる糸魚川（経度137.9度）を境界に設定した。これにより、東日本の供給データ数は2404、需要データ数は487、西日本の供給データ数は1818、需要データ数は537となった。

これらのデータをインプットとして、供給ポイント（太陽光発電ポテンシャル）と需要ポイント（交通量データ）を最適にマッチングさせるための最適化モデルを構築した。

## 5 章 空間最適マッチングモデルの構築

本研究では、電動貨物トラックの需要に対応する太陽光発電の供給を効率的にマッチングするため、距離コストとパネル設置コストを考慮した線形計画法を用いた最適化モデルを構築した。

### 5.1 線形計画問題としての定式化

本研究では、異なる基準という観点から、以下の2つの目的関数を定め、その合成関数を最小化する最適化問題を線形計画法として定式化する。より具体的には、再生可能エネルギーの供給地点と電動貨物トラックのエネルギー需要地点を最適マッチングし、設置コストと輸送コストの総和を最小化するモデルを構築する。

### 5.2 パラメータ

- $S_i$ : 供給点  $i$  の供給可能エネルギー量 [MJ]
- $D_j$ : 需要点  $j$  の必要エネルギー量 [MJ]
- $c_i$ : 供給点  $i$  における設置コスト [円/MJ]
- $d_{ij}$ : 供給点  $i$  から需要点  $j$  への距離 [km]
- $d_{\max}$ : 最大輸送可能距離 [km]
- $\beta_L$ : 送電損失率
- $\gamma$ : 距離コストとパネル設置コストのバランスを調整する重み

$c_i$  は、2021年に設置された10kW以上の事業用太陽光パネルのシステム費用の単純平均25万円/kWh（資源エネルギー庁(2021)）を基にMJ単位のコストを算出した。また、 $\beta_L$  は東京電力 東京電力ホールディングス株式会社(2023)の統計を基に0.05とした。

### 5.3 決定変数

- $x_{ij}$ : 供給点  $i$  から需要点  $j$  へ送電されるエネルギー量 [MJ]

## 5.4 目的関数

**パネル設置コスト** 供給地点  $i$  におけるパネル設置コストは以下のように定義する：

$$C_{\text{install}} = \sum_{i,j} c_i x_{ij} \quad (5.1)$$

すなわち、実際に送電に用いられる電力量に応じて、供給地点ごとの設置コストを評価する。

**輸送コスト** 供給地点  $i$  から需要地点  $j$  への輸送コストは以下のように表される：

$$C_{\text{transport}} = \sum_{i,j} d_{ij} x_{ij} \quad (5.2)$$

ここで、 $d_{ij}$  は供給地点  $i$  から需要地点  $j$  への距離である。また、送電損失率  $\beta_L$  は需要充足制約において、送電距離に応じた有効受電量を評価するために用いる。

**スケール調整** 単位の異なるコストのスケールを統一するため、各コストを 0 から 1 の範囲に正規化する：

$$C'_{\text{install}} = \frac{C_{\text{install}} - C_{\text{install}, \min}}{C_{\text{install}, \max} - C_{\text{install}, \min}} \quad (5.3)$$

$$C'_{\text{transport}} = \frac{C_{\text{transport}} - C_{\text{transport}, \min}}{C_{\text{transport}, \max} - C_{\text{transport}, \min}} \quad (5.4)$$

ここで、 $C_{\text{install}, \min}$ ,  $C_{\text{install}, \max}$ ,  $C_{\text{transport}, \min}$ ,  $C_{\text{transport}, \max}$  は、全シナリオ（すべての  $\gamma$  ケース）を通じて共通に定められたコストの最小値と最大値である。全シナリオで同一の基準値を用いることにより、異なる  $\gamma$  値のケース間での比較が可能となる。これにより、最終的な目的関数は以下のように表される：

$$\min \left( \gamma \cdot C'_{\text{install}} + C'_{\text{transport}} \right) \quad (5.5)$$



## 5.5 制約条件

### 1. 供給量の制約

$$\sum_j x_{i,j} \leq S_i \quad \forall i \quad (5.6)$$

供給点  $i$  の供給量は、供給可能量を超えない。

### 2. 需要充足率の制約

$$0.7D_j \leq \sum_i (1 - \beta_L)^{d_{ij}} x_{i,j} \leq D_j \quad \forall j \quad (5.7)$$

各需要点  $j$  において、送電損失を考慮した有効受電量が需要量の 70% 以上かつ需要量以下となるように制約する。

### 3. 最大輸送距離の制約

$$x_{i,j} = 0 \quad \text{if } d_{i,j} > d_{\max} \quad (5.8)$$

供給点  $i$  から需要点  $j$  までの距離が  $d_{\max}$  を超える場合、供給は行われない。

## 5.6 感度分析

設置コストの  $\gamma$  の影響を評価するために、感度分析を実施する。  $\gamma$  を変化させることで、距離コストと設置コストのいずれかに重点を置くことで次のような結果が得られることが予想される。

まず、距離コストを重視する（低い  $\gamma$ ）設定では、近接した需要地と供給地の組合せが優先されやすくなる。この戦略により、エネルギーの移送距離が短くなり、輸送に伴うロスやコストを抑えることが可能である。一方、複数の供給地点を活用する必要が生じるため、総設置コストが増加する可能性がある。

他方、パネル設置コスト重視（高い  $\gamma$ ）設定では、単位コストの低い供給地点への集約が進みやすい。この戦略により、設備の設置にかかる総コストを抑えることができる一方、エネルギーを長距離輸送する必要が生じる可能性がある。

## 6章 エネルギー自給率による各地域の評価

本研究では、需要メッシュに供給される電力量のうち、近距離供給を高く評価する重み付き指標を「エネルギー自給率 (Local Consumption Index: LCI)」として定義する。なお、図中ではこの指標を「地産地消度」と表記する。その上で、供給地点と需要地点のエネルギー自給率を分析し、再生可能エネルギー導入における優先地域を可視化する。この指標を用いることで、エネルギー供給と需要の地域内バランスを定量的に評価し、どの地域で再エネの地域内利用が成立しやすいかを明らかにできる。特に、都市部や交通の要所では需要が供給を上回る傾向が生じやすく、逆に郊外や未利用地が多い地域では供給余力が生じやすいと考えられる。この指標により、エネルギーの地域内完結性や、需給ギャップを埋めるための政策的介入の必要性を明確化できると考えられる。

### 6.1 エネルギー自給率の定義

本研究では、エネルギーの地域内利用を評価する際の基準距離を 80 km とする。この値は、全国の隣接する都道府県間距離の平均値 (76.9 km) を参考に設定した。

### 6.2 エネルギー自給率の計算方法

エネルギー自給率は、ある需要メッシュ  $d$  に供給される総電力量を分母とし、供給メッシュ  $s$  から供給される電力量に距離に基づくスコアを掛け合わせた値の総和を分子とする。式 (6.1) にエネルギー自給率  $LCI(d)$  の計算式を示す。供給地点と需要地点の距離が短いほど指標の値が高くなるよう設計されており、地域内でのエネルギー循環がどの程度実現されているかを測ることができる。そのため、この指標を用いることで、(1) 近距離で需給がマッチングされている地域、(2) 供給地が遠方に偏りやすい地域を特定できると期待できる。また、感度分析によって、距離コストの重みを変えた際のエネルギー自給率の変化を確認することで、適切なバランスを探る手がかりになる。

$$LCI(d) = \frac{\sum_{s \in S} (P_{s \rightarrow d} \cdot w_{s \rightarrow d})}{\sum_{s \in S} P_{s \rightarrow d}} \quad (6.1)$$



ここで,  $S$ : 需要メッシュ  $d$  に供給を行う全供給メッシュの集合,  $P_{s \rightarrow d}$ : 供給メッシュ  $s$  から需要メッシュ  $d$  に供給される電力量,  $w_{s \rightarrow d}$ : 距離に基づくスコア (詳細は式 6.2 を参照), である.

### 6.3 距離に基づくスコアの定義

式 (6.1) における距離に基づくスコア  $w_{s \rightarrow d}$  は, 供給メッシュ  $s$  と需要メッシュ  $d$  の距離  $d_{s \rightarrow d}$  (単位: km) に依存し, 以下のように定義される.

$$w_{s \rightarrow d} = \begin{cases} 1 & (d_{s \rightarrow d} \leq 80 \text{ km}) \\ \frac{80}{d_{s \rightarrow d}} & (d_{s \rightarrow d} > 80 \text{ km}) \end{cases} \quad (6.2)$$

このスコアは, 距離が 80km 以内であれば最大値 1 を与え, それを超えると距離の逆数に比例して減少する. これにより, 近距離の供給を高く評価しつつ, 距離が増加するほど評価が低下するように設定されている.

## 7章 適用結果と考察

### 7.1 マッチング結果

$\gamma$  値を変化させた上で、それぞれのケースにおいて最適化問題を求解することで、最適な需要地点と供給地点とのマッチングペアが生成される。ただし、メッシュ数が膨大になることからそれらの結果をそのまま可視化することは適切ではない。そこで以下では、連動して算出されるエネルギー自給率を可視化することにより考察する。

主な可視化結果を図 7.1～図 7.8 に示す。なお図中では、エネルギー自給率を地産地消費と表している。エネルギー自給率の変化を分析したところ、分析全体を通して、東京圏は  $\gamma$  値が変化しても総じてエネルギー自給率が低いという結果が得られた。これは、東京圏の発電ポテンシャルが低い一方で貨物車交通量が非常に多いことから、周辺地域からの電力供給に依存せざるを得ない状況であることを示唆している。

一方、東北圏や関西圏では、 $\gamma$  値が下がると緑の領域が増加する、すなわちエネルギー自給率が高まる傾向が確認された。ただし、 $\gamma$  値が下がる、すなわちマッチングにおいて距離の近接性をより重視するにつれて、エネルギー自給率が単調に増加するわけではなく、その変化は連続的ではないことも確認された（図 7.3 と図 7.4）。また、 $\gamma$  値が減少した場合には、特定の需要メッシュへ集中的に供給するよりも、供給がより均等に分散するマッチング結果が生じやすいことが確認された。

より具体的には、 $\gamma$  値が小さくなるほど、供給メッシュの役割は「一極集中型」から「分散型」へと移行する傾向が見られる。特定の大規模な供給メッシュが全体の需要を一手に担うのではなく、より多くの供給メッシュがそれぞれ近隣の需要メッシュと結びつき、局所的に電力を供給しようとする動きが強まる。このため、 $\gamma$  値を下げることでエネルギー自給率が単調に増加するわけではなく、ある程度の閾値を超えると供給の分散化が進み、指標値が横ばいあるいは低下するケースも確認される。

以上の結果から、供給側メッシュの空間的な分散度合いとエネルギー自給率の関係は、単調な比例関係ではなく、ある程度のバランス点が存在する可能性が示唆された。今後は、より詳細な分析を進めてこのバランス点を明確にし、最適な  $\gamma$  値の設定方法を検討する必要がある。

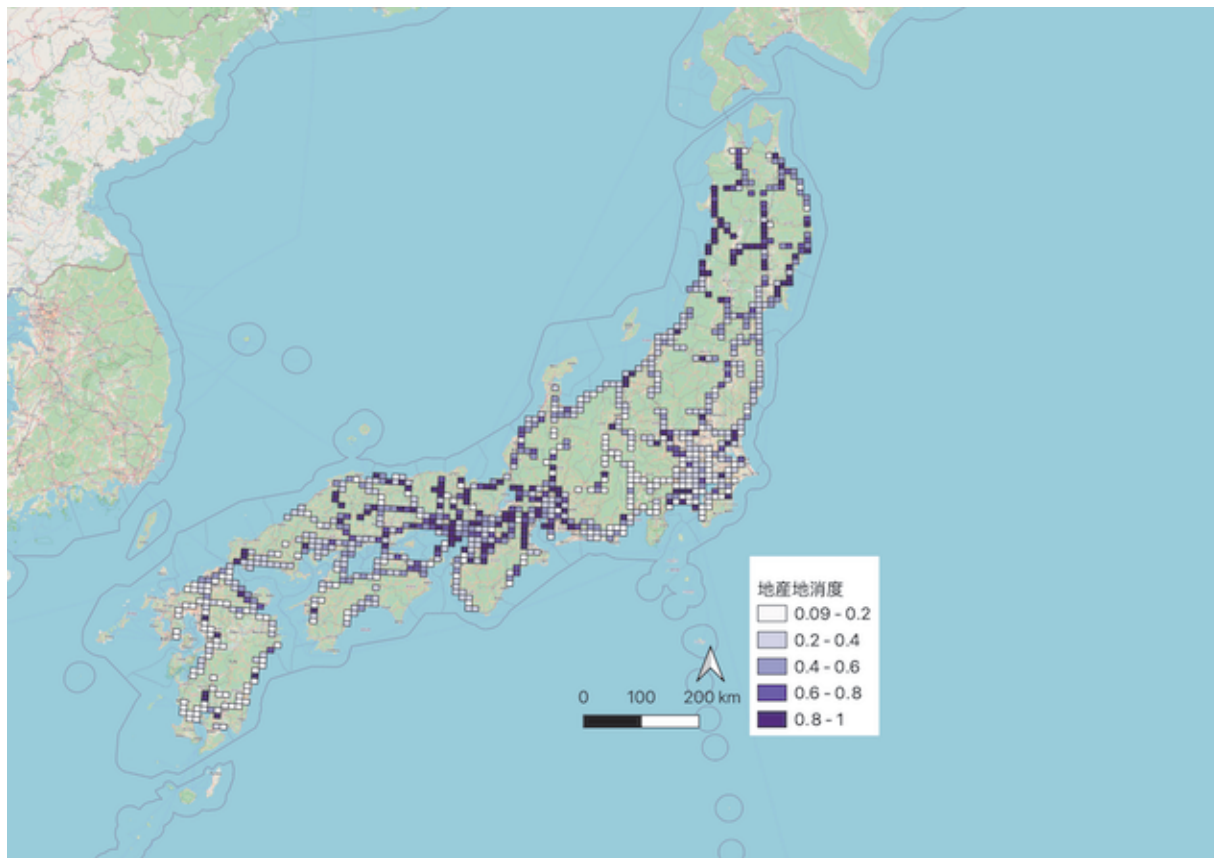


図 7.1 エネルギー自給率： $\gamma = 1$  のとき

## 7.2 考察

エネルギー自給率の算出結果を太陽光発電ポテンシャルの分布図および交通量の分布図と比較して考察すると、次のような状況が生じていると推察される。

- 東京圏は、太陽光発電ポテンシャルが低いにもかかわらず交通量が非常に多いため、周辺地域から電力を調達する必要がある。その結果、エネルギー自給率が低くなった。
- 東北圏は、交通量と発電ポテンシャルがともに中程度であり、供給と需要のバランスが良かったため、エネルギー自給率が高くなった。
- 関西圏では、紀伊半島の太陽光発電ポテンシャルが高く、大阪などの都市部がそのエネルギーを活用する形となったことで、エネルギー自給率が高い結果となった。
- 九州（特に福岡都市圏）では、交通量が多いものの発電ポテンシャルが低い。しかし、宮崎県周辺は日射量が多く、太陽光発電ポテンシャルが非常に高いため、そこから電力を供給する形となり、福岡周辺のエネルギー自給率も一定程度確保された。ただし、突出して高いわけではなく、比較的緑が薄い状態となった。

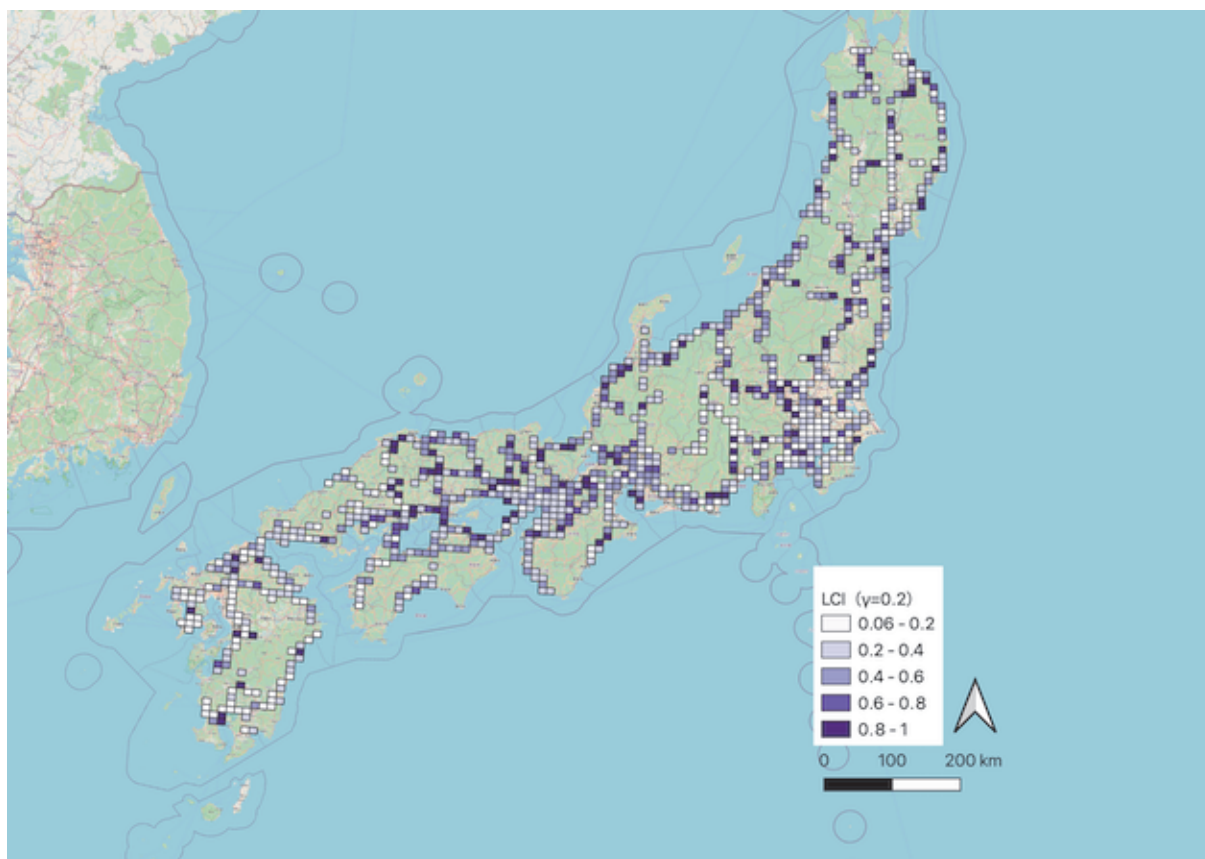


図 7.2 エネルギー自給率： $\gamma = 0.5$  のとき

以上の結果から、太陽光発電ポテンシャルと交通量の分布バランスがエネルギー自給率に大きく影響を与えることが確認された。ただし、これらの知見は本研究で設定したモデルとパラメータの範囲に基づくものであり、今後はこの関係をより詳細に分析し、より効率的な供給・需要のマッチング方法を検討する必要がある。

先行研究である福田 (2024) は、電動化させるトリップ数を最大化する最適な給電インフラ配置を求める最適化問題を定式化し、給電レーン設置数を変えたシナリオごとに、車両側すなわちエネルギー消費者の観点から見た最適配置を示している。給電レーン設置数が少ない場合には東京・福岡間での設置が有効であり、整備が進むにつれて東北自動車道や北陸自動車道への設置が貨物車の電動化に大きな影響を与えると結論づけている。したがって、本研究と福田 (2024) を併せて見ると、東北自動車道は貨物車の電動化において DWPT の導入候補として重要である可能性が高い。

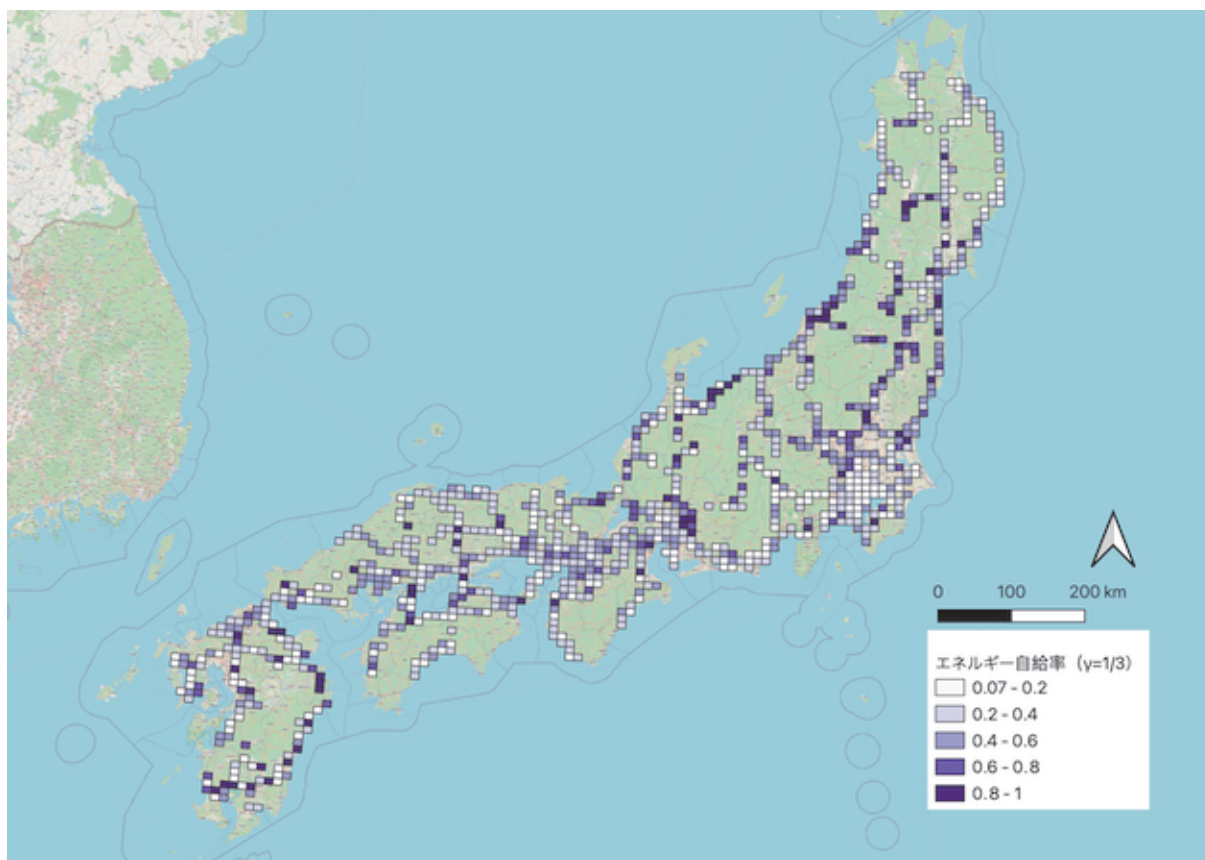


図 7.3 エネルギー自給率： $\gamma = 1/3 \approx 0.33$  のとき



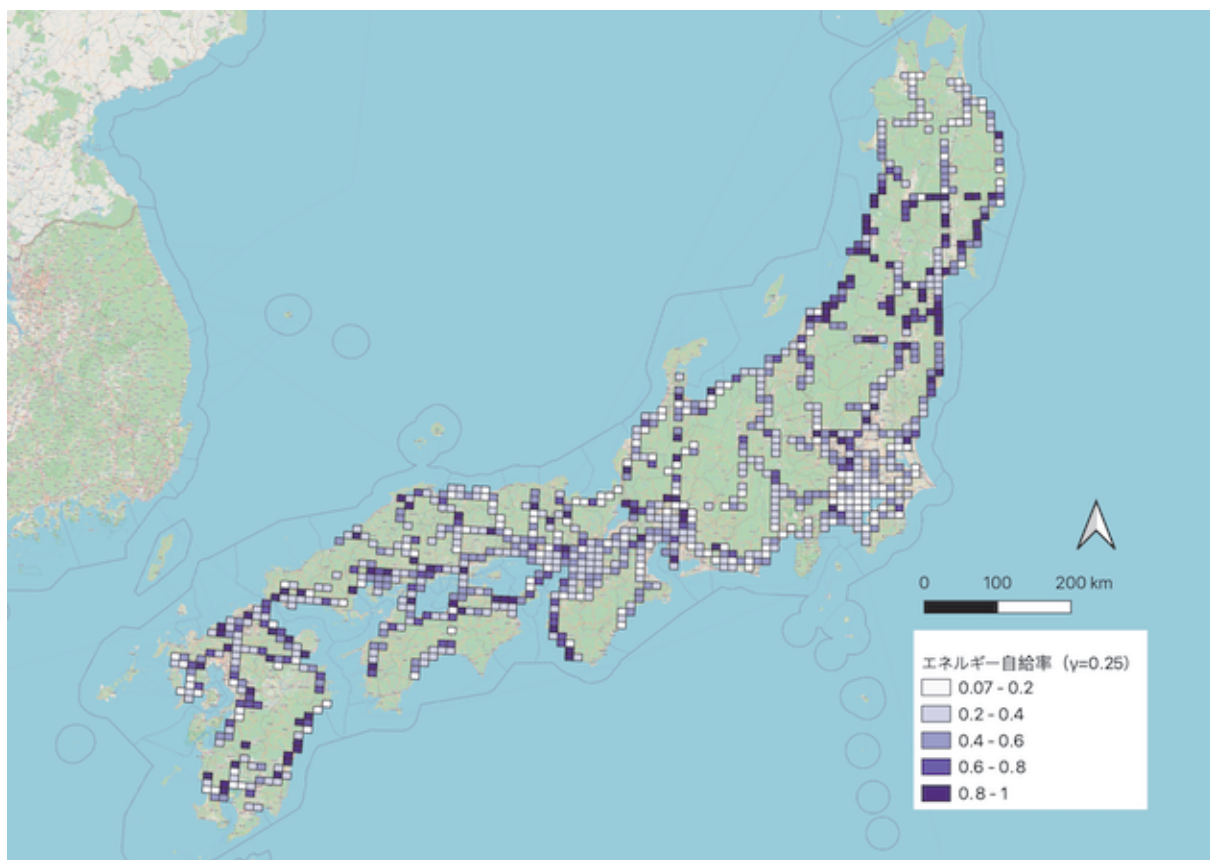


図 7.4 エネルギー自給率： $\gamma = 1/4 = 0.25$  のとき

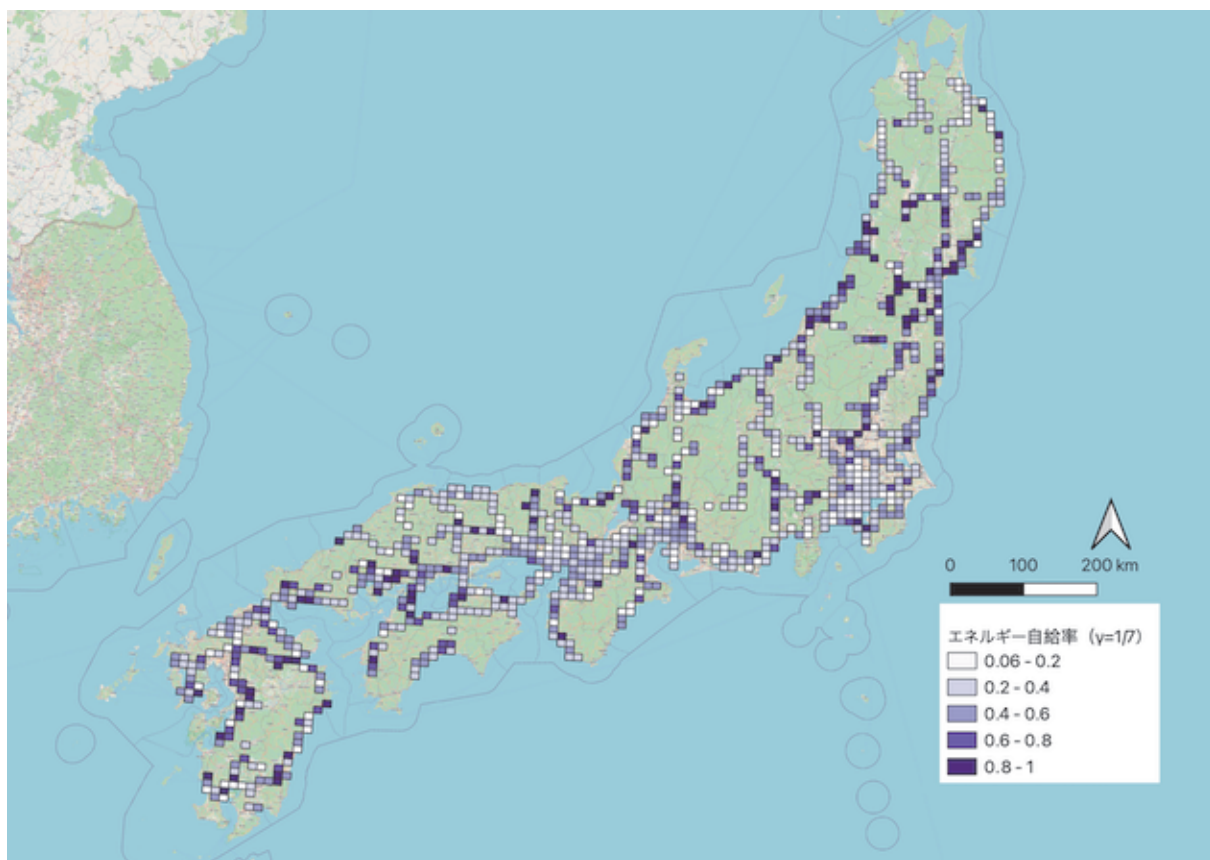


図 7.5 エネルギー自給率： $\gamma = 1/7 \approx 0.142$  のとき

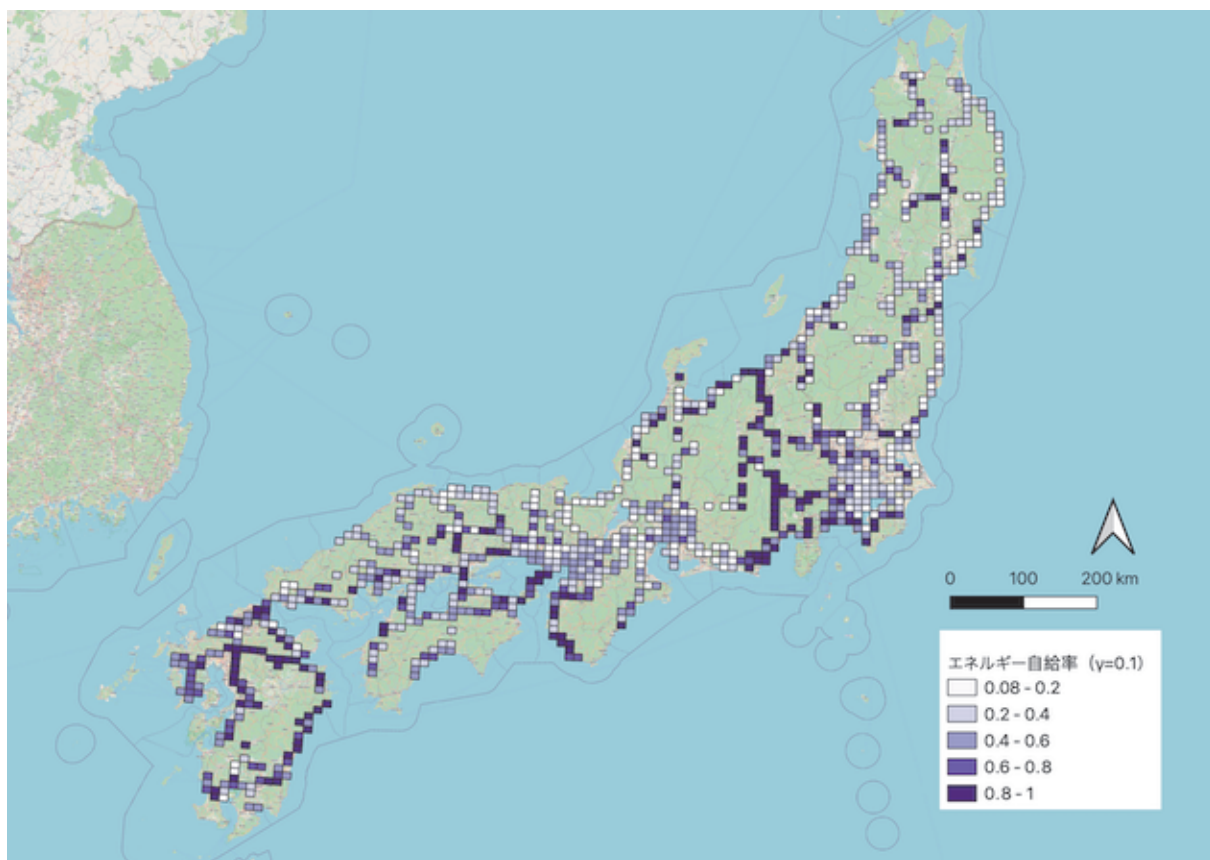


図 7.6 エネルギー自給率： $\gamma = 0.1$  のとき



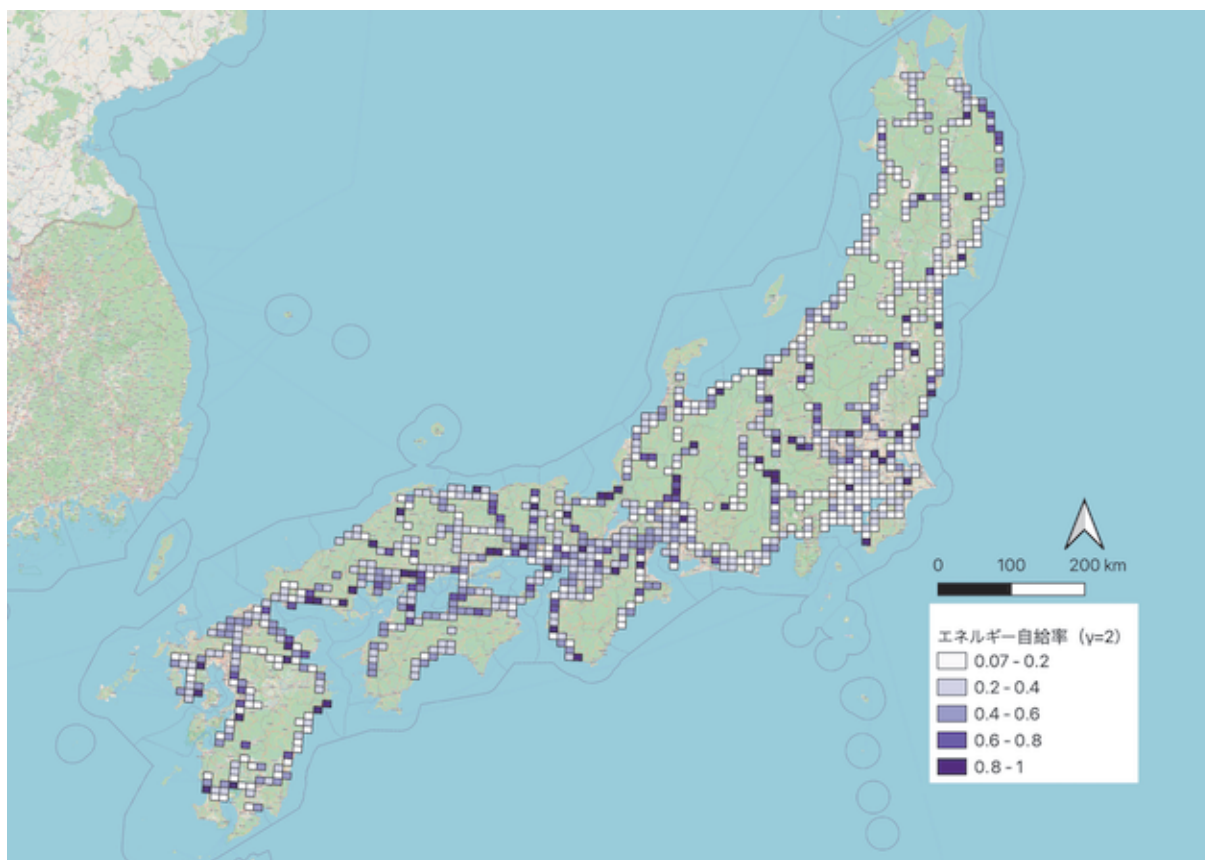


図 7.7 エネルギー自給率： $\gamma=2$  のとき

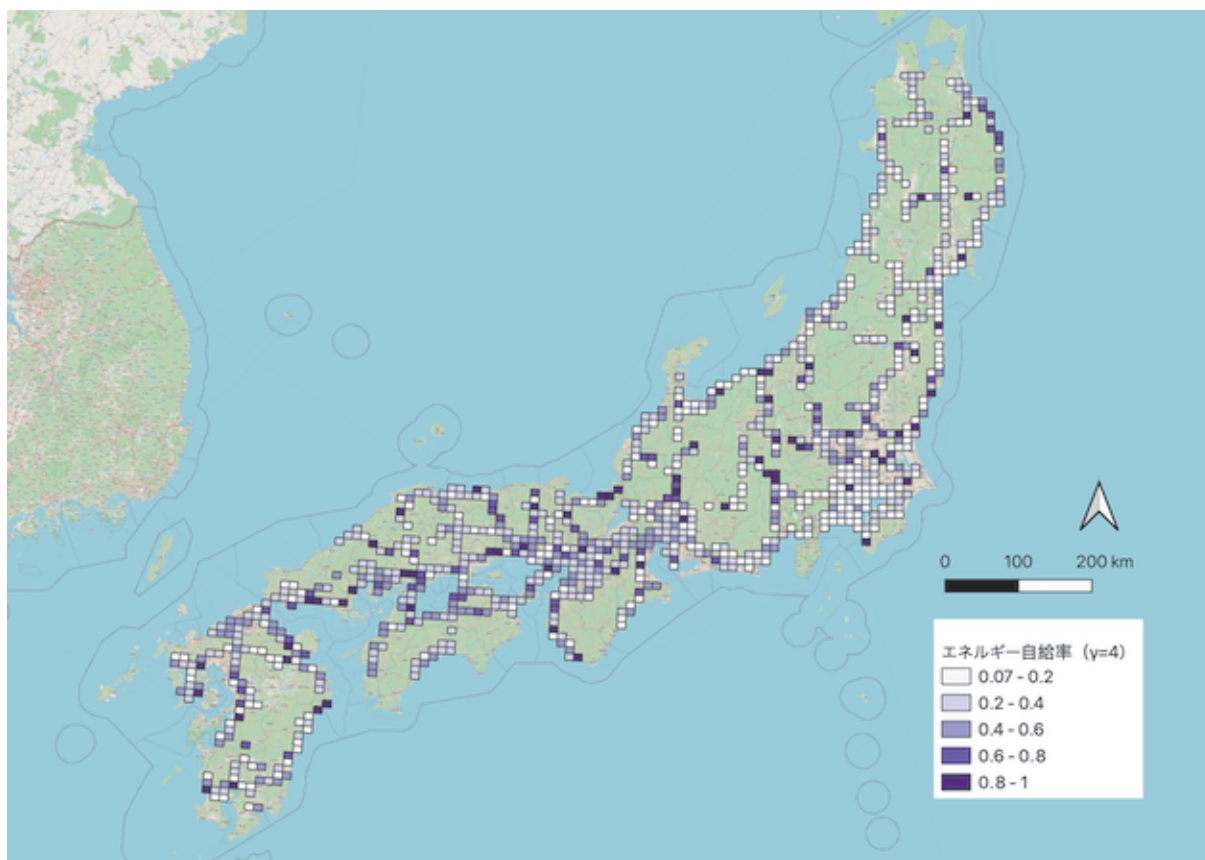


図 7.8 エネルギー自給率： $\gamma=4$  のとき

## 8章 おわりに

### 8.1 本研究の成果

本研究では、長距離貨物トラックの電動化を前提とした都市間道路ネットワークにおいて、再生可能エネルギー供給地点と電力需要地点の効率的なマッチングを目的とした最適化モデルを構築した。また、再生可能エネルギーの地域内利用の観点から、その供給と需要のバランスを評価する指標を提案し、我が国全体を対象としたケーススタディを行い、再生可能エネルギーのモビリティ活用における地域内利用の可能性について定量的な理解を試みた。

特に、太陽光発電を中心とした再生可能エネルギーの潜在力を活用し、供給地点と需要地点の間の送電距離および設置コストを考慮したマッチングを行い、エネルギー自給率が相対的に高い地域を抽出した。本モデルは、貨物トラックの交通量データを活用し、各需要地点で必要な電力量を算出することで、DWPTシステムの効率的な配置方法を評価した。

さらに、感度分析を通じて、距離コストと設置コストの重み付けを変化させた場合のエネルギー自給率の変動を分析した結果、エネルギー自給率の向上には距離コストの影響が大きいことが確認された。これにより、地域エネルギーの持続可能な利用に向けた優先的な導入戦略を提案する知見を得た。

本研究ではエネルギー供給側の観点から、関西圏と東北圏で相対的に高い評価が得られた。特に関西圏は、大阪を中心とする都市圏を形成しており、多くの需要を満たしうる供給ポテンシャルを備えているためである。

### 8.2 今後の課題と発展性

本研究では、全国規模の広域ネットワークを対象とし、10 km メッシュ単位でのDWPT導入地域の大まかな提案に留まった。しかしながら、実用的かつ具体的な政策提言へと結びつけるためには、道路リンクやノードなど、より細かなスケールでの分析を行い、特定の車線やレーンへの適用可能性を評価する必要がある。

太陽光発電量の推定においては、一日当たりの平均全天日射量データを用いたが、実際の発電量は時間帯や季節によって大きく変動する。このため、日射量の時間的・季節的変動を考慮したモデル化が今後の課題として挙げられる。同様に、交通量も今回は所与として算出したものの、現実的な提案に繋げるためにはリアルタイムの需要に対応しなければならない。その上で考えられる方向性として以下が挙げられる。

- 供給と需要のデータを定期的に更新し、動的に最適化（例：30分ごと、1時間ごと、1日ごと）。
- 機械学習で予測モデルを組み込み、需要が変化する前に最適な供給地点を切り替える・各供給地点の発電量を制御。
- 余剰電力の蓄電：電気自動車を活用。
- 価格インセンティブ：需要が高い時間帯には価格を高く設定し、需要を供給に合わせるよう制御。
- 需給マッチングの安定性の課題：頻繁に変更しないように制約を設定。
- モバイル充電設備やステーション型など他の方式も活用した柔軟なインフラ設計。

また、本研究では太陽光パネルの設置コストを発電量のみ依存するものと仮定したが、実際には地形的要因（標高や傾斜など）が設置の容易性やコストに大きく影響を与える可能性がある。これらの要因を取り入れることで、より現実的かつ精緻なコスト評価が可能となる。

さらに、本研究では電力が100%再生可能エネルギーから賄われるという仮定のもとで、再生可能エネルギーの中でも、日本国内で最も導入が進んでいる太陽光発電に着目したが、洋上風力発電や陸上風力発電、地熱発電といった他の有望なエネルギー源についても検討を進める必要がある。同時に、化石燃料や天然ガスなども含めたエネルギーミックスを採用したシナリオも効果的であると考えられる。

加えて、本研究の分析対象は日本国内に限定されたが、電源構成や土地利用、交通量が異なる他国においても同様の分析を行うことで、新たな知見を得る可能性がある。特に、先進国と比べて送電ロスが著しく大きい国においては、本研究で提案した「自給自足」の理念を基盤とした電力網の構築が、エネルギー問題解決の一助となることが期待される。

## 参考文献

- [1] Lee, Bryant, Shams Tanvir, and Mohamed Awwad (2023) "Planning and Design for Wireless Enroute Charging Infrastructure," *International Conference on Transportation and Development 2023*, pp. 449-464.
- [2] Pei, Mingyang, Hongyu Zhu, Jiazheng Ling, Yi Hu, Handong Yao, and Lingshu Zhong (2023) "Empowering highway network: Optimal deployment and strategy for dynamic wireless charging lanes," *Communications in Transportation Research*, Vol. 3, p. 100106.
- [3] Tanvir, Shams, Fuad Un-Noor, Kanok Boriboonsomsin, and Zhiming Gao (2021) "Feasibility of operating a heavy-duty battery electric truck fleet for drayage applications," *Transportation Research Record*, Vol. 2675, No. 1, pp. 258–268.
- [4] Un-Noor, Fuad, Alexander Vu, Shams Tanvir, Zhiming Gao, Matthew Barth, and Kanok Boriboonsomsin (2024) "Application of Wireless Charging at Seaports for Range Extension of Drayage Battery Electric Trucks," *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, Vol. 73, pp. 4599–4609.
- [5] 下町健太朗・三島裕樹・北條昌秀 (2021) 「路面電車給電システムを利用した PV 出力地産地消型エネルギーシステムの提案」, 電気設備学会 論文誌, 第 41 巻, 第 1 号, 1-10 頁.
- [6] 国土交通省国土政策局 (2016) 「国土数値情報：土地利用細分メッシュデータ」, <https://nlftp.mlit.go.jp/ksj/gml/datalist/KsjTmplt-L03-b.html>. (Accessed on 7/24/2024).
- [7] 国土交通省国土政策局 (2021) 「国土数値情報：平年値メッシュ」, <https://nlftp.mlit.go.jp/ksj/gml/datalist/KsjTmplt-G02.html>. (Accessed on 7/24/2024).
- [8] 坂村圭・金子貴俊・中井検裕・沼田麻美子 (2014) 「地上設置型メガソーラーの建設地の立地特性に関する研究」, 都市計画論文集, 第 49 巻, 第 3 号, 633-638 頁.

[9] 資源エネルギー庁 (2021) 「太陽光発電について」, [https://www.meti.go.jp/shingikai/santeii/pdf/073\\_01\\_00.pdf](https://www.meti.go.jp/shingikai/santeii/pdf/073_01_00.pdf). (Accessed on 1/22/2025).

[10] 資源エネルギー庁 (2024) 「令和 5 年度エネルギーに関する年次報告 (エネルギー白書 2024)」, <https://www.enecho.meti.go.jp/about/whitepaper/2024/pdf/index.html>. (Accessed on 1/22/2025).

[11] 杉原弘恭・遠井聡・宮崎隆彦・上田祐樹・秋澤淳 (2010) 「都道府県における太陽光発電の導入ポテンシャル推計」, 『日本機械学会関東支部総会講演会講演論文集』, 第 16 巻, 267-268 頁, 一般社団法人 日本機械学会.

[12] 東京電力ホールディングス株式会社 (2023) 「送配電ロス率 | 数表でみる東京電力」, <https://www.tepco.co.jp/corporateinfo/illustrated/electricity-supply/transmission-distribution-loss-j.html>. (Accessed on 2/24/2025).

[13] 福田大輔 (2024) 「都市間高速道路網における走行中給電インフラの最適配置に関する研究: 長距離貨物トラックの電動化を念頭に」, 交通政策研究, 第 2024 巻, 26-27 頁.

日交研シリーズ目録は、日交研ホームページ  
[http://www.nikkoken.or.jp/publication\\_A.html](http://www.nikkoken.or.jp/publication_A.html) を参照してください。

A-937 「再生可能エネルギー需給特性の地域間差異を考慮した  
長距離EVトラック給電インフラの空間最適マッチング」

再生可能エネルギー供給と連携した電気自動車対応給電道路網に  
関する計画論的研究」研究プロジェクト

2026年6月 発行

公益社団法人日本交通政策研究会



