



鉄道路線情報を活用して都市域通信ネットワークモデルを構築
 — Beyond 5G の研究開発を促進する東京 23 区モデルを公開 —

本研究成果のポイント：

- ◆第5世代移動通信システム（5G）以降の Beyond 5G に関する研究開発を促進するために、都市域ネットワークのトポロジ・モデルを構築可能な鉄道路線情報を活用した構築アルゴリズムを確立した。
- ◆鉄道路線情報を活用した都市域通信ネットワークモデルの構築アルゴリズムは、本研究が世界で初めて確立したものである。
- ◆確立したアルゴリズムを用いて、東京23区を対象とした計4つのネットワークモデルを構築し、学術論文誌で公開した（2022年10月3日早期公開、2023年4月から正式版が無料公開）。

現在、第6世代移動通信システム（6G）を含む Beyond 5G（B5G）の研究開発が進められており、5G で実現される「高速・大容量」「低遅延」「多数同時接続」の高度化に加え、「超低消費電力」「超安全・信頼性」「自律性」「拡張性」などの持続可能で新しい価値の創造が期待されている。そのためには、無線通信部分の研究開発だけでなく有線ネットワーク部分の研究開発もこれまで以上に重要となり、自動運転のような超低遅延サービスを想定すると規模が限定的な都市域ネットワーク（以下、メトロポリタンエリアネットワーク、MAN）**（注1）**を対象とした研究開発が特に望まれる。

国立大学法人東海国立大学機構 名古屋大学大学院工学研究科 長谷川浩 教授は、MAN を対象とした B5G の研究開発を促進するために、国立大学法人福井大学 工学系部門 工学領域 情報・メディア工学講座 橋拓至 教授、国立研究開発法人情報通信研究機構（エヌアイシーティー NICT） 廣田悠介 主任研究員、国立研究開発法人産業技術総合研究所 鈴木恵治郎 主任研究員、株式会社 KDDI 総合研究所 釣谷剛宏 執行役員と共に、共同でコンピュータシミュレーション**（注2）**や最適化問題**（注3）**で利用可能な MAN トポロジ・モデル**（注4）**を構築するアルゴリズム**（注5）**を確立した。確立したアルゴリズムでは、MAN トポロジ・モデルを構築するために世界で初めて鉄道路線情報を活用しており、鉄道の路線が存在する地域であれば広く利用可能である。本研究では、この構築アルゴリズムを使って東京23区を対象としたサイズが異なる2つのトポロジを構築し、それぞれ昼と夜の計2種の人口分布を設定した計4つの MAN モデルを構築した。

〈研究の背景と経緯〉

第5世代移動通信システム（5G）の商用サービスが2018年の米国を皮切りに日本でも2020年3月から開始され、現在は第6世代移動通信システムを含むBeyond 5G(B5G)の研究開発が世界中で開始されている。このBeyond 5Gでは、現5Gで実現される「高速・大容量」「低遅延」「多数同時接続」のさらなる高度化に加え、「超低消費電力」「超安全・信頼性」「自律性」「拡張性」などの持続可能で新たな価値を創造することが期待されている。それゆえ、スマートフォンなどの携帯端末で利用する無線通信技術の研究開発だけでなく、送受信データが伝送される都市規模の有線ネットワークである都市域通信ネットワーク（以下、メトロポリタンエリアネットワーク、MAN）を対象とした研究開発がこれまで以上に重要となる。

有線ネットワークの通信技術の研究開発では、コンピュータシミュレーション（注2）や最適化問題で利用するMANトポロジ・モデルが必要不可欠であるが、これまで日本の都市を対象としたMANトポロジ・モデルは存在していなかった。その理由は、通信ネットワークのトポロジ情報はネットワークを運用・管理する企業・組織の最重要情報の一つで正確な情報は非公開となっているためである。また、これまでに様々な手段で通信ネットワークを推定してトポロジ・モデルを構築する方法が複数提案されているが、いずれの方法にもそれぞれ欠点があり研究開発で利用可能なネットワークトポロジ・モデルを新たに構築するのが困難であった。

そこで、電子情報通信学会フォトニックネットワーク研究会は（<https://www.ieice.org/cs/pn/jpn/>）、通信ネットワークが水道や鉄道・道路などの社会インフラを利用して構築されてきた歴史に注目し、鉄道の路線や船舶の航路の情報を利用して、日本全国を対象としたコアネットワーク（注6）のトポロジ・モデルを構築している。公開されたJPNトポロジ・モデルは現在様々な研究開発で利用されている（<https://www.ieice.org/cs/pn/jpn/jpnm.html>）。

しかし、B5Gの研究開発で活用される日本のMANトポロジ・モデルは前述のように既存のアプローチでは構築することが難しく、新たな手法・アプローチも存在していなかった。そこで、日本のB5Gに関する研究開発を促進するために、電子情報通信学会フォトニックネットワーク研究会の関係者が中心となり、鉄道路線情報を活用したMANトポロジ・モデルの構築アルゴリズムを確立する取り組みを開始した。

〈研究の内容〉

確立したMANトポロジ・モデル構築アルゴリズムでは、対象とする都市内から構築するトポロジ・モデルのノードとなる重要拠点を選択したうえで、鉄道路線情報を用いてノード間にリンクを設定する。このとき、乗降客数が多い路線を優先的に選択し、その路線が経由する拠点のノード間にリンクを設定していく。

本研究では、東京23区を対象に各ノードが各区を示す23ノードのMANトポロジを構築した（図1）。各ノードの位置は各区役所の位置から導出し、各リンクの長さはGoogleマップの徒歩の距離から算出した。このトポロジの正当性は、東京23区をカバーする通信ネットワークについて知られている様々な情報に基づき鉄道路線情報を使用せずに作成したトポロジ（図2）と比較して、両者が非常に近いことから図1の確立したアルゴリズムが有効であることが分かる。なお、確立したアルゴリズムは広く公開されている鉄道路線情報を使用しているため、鉄道路線情報が提供されている都市であればトポロジを構築できるが、通信ネットワークの情報が手に入らない都市では図2の方法

では構築できないことに注意する。

次に、図 1 のトポロジからノードとリンクを削減した図 3 のトポロジも作成した。このトポロジ作成に使用されるアルゴリズムでは、あらかじめ削減するノード数を決めたうえで、図 1 のトポロジが表している概形やノードとリンクの関係性を可能な限り維持するように、トポロジの総面積やノードの接続性を考慮してトポロジを設計する。

それから、2 つの MAN トポロジの各ノードに 2 種類の人口分布を割り当てて、計 4 つの MAN モデルを構築した。図 4 は構築した計 4 つの MAN トポロジにおける各ノードの人口を示している。この人口情報は、通信ネットワーク内のノード間の伝送データ量などを算出する際に使用できる。

なお、今回構築した東京 23 区に対する計 4 つのモデルは、新たな屋モデルを一つずつ追加して計 6 モデルとして下記のフォトニック研究会のホームページからダウンロード可能である。

URL（日本語）：<https://www.ieice.org/cs/pn/jpn/>

URL（英語）：<https://www.ieice.org/cs/pn/eng/>

〈今後の展開〉

本研究の成果は、構築した東京 23 区の計 4 つのモデルが B5G の研究開発の促進に貢献するだけでなく、鉄道路線情報が入手可能な多くの都市を対象とした MAN トポロジ・モデルを構築することができる。とくに、鉄道の路線が全国に広がっている日本の MAN トポロジ・モデルの構築に有効であり、今後の日本の B5G 研究で有効活用されることが期待できる。例えば、スマートシティ、スマートモビリティ、デジタルツイン、五感通信、ホログラムを含む次世代エンターテインメントなどの実現に向けた通信ネットワーク技術やシステム設計の研究開発へ貢献することができる。

今後は、東京以外の大阪や名古屋などの大都市の MAN トポロジ・モデルや、福井などの地方都市の MAN トポロジ・モデルの構築を進める。なお、都市によっては鉄道路線情報に加えて道路情報も利用する可能性があり、地域の特性も踏まえて、構築アルゴリズムの改良や新たなアルゴリズムの確立も想定される。

〈参考図〉

図 1：東京 23 区を対象に構築した 23 ノードの MAN トポロジ

東京 23 区の各区をノードとし、鉄道の路線情報を活用したアルゴリズムに従って構築した。

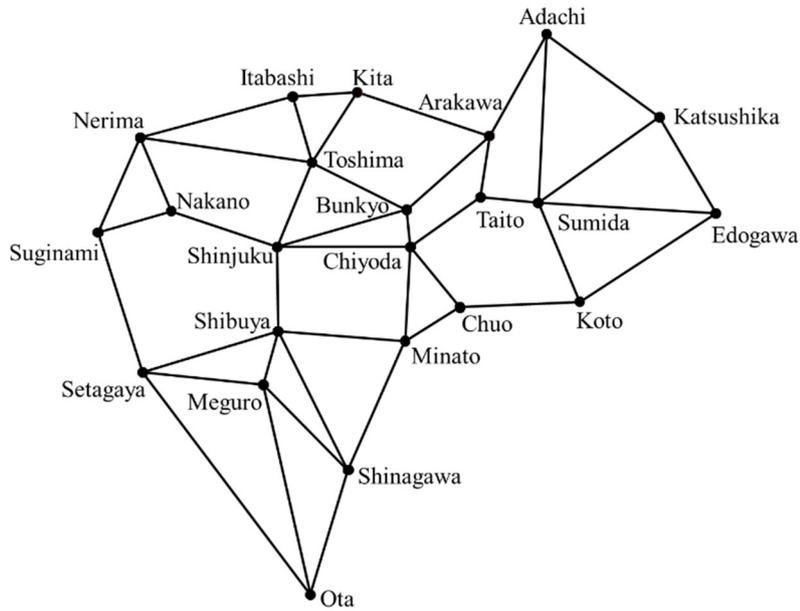


図 2：比較対象の MAN トポロジ

東京 23 区の通信ネットワークに関して収集できた情報を基に構築した。鉄道の路線情報を使用しておらず、一般に他の都市の MAN トポロジ構築では使用することができない。

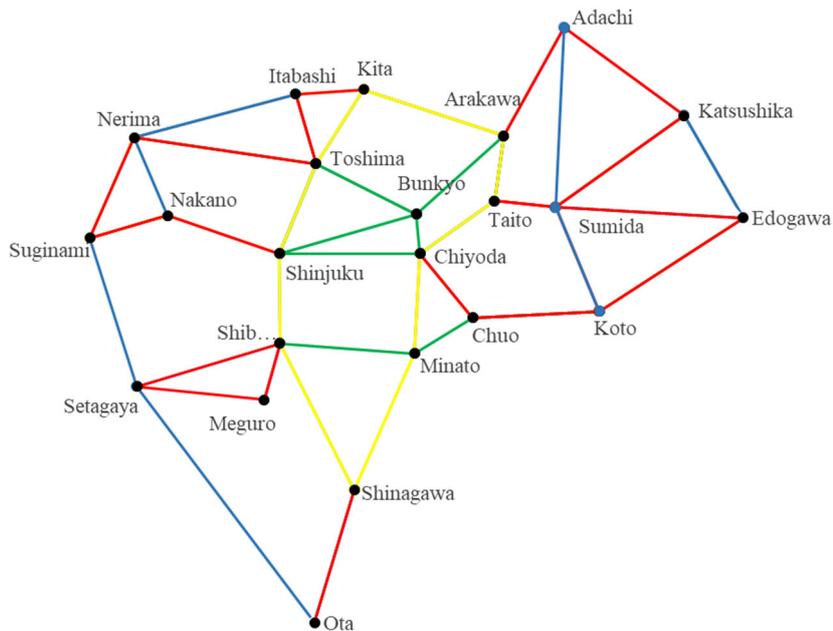


図 3 : 東京 23 区を対象に構築した 12 ノードの MAN トポロジ

23 ノードの MAN トポロジ (図 1) からノードとリンクを減らして (縮退して) 構築した。

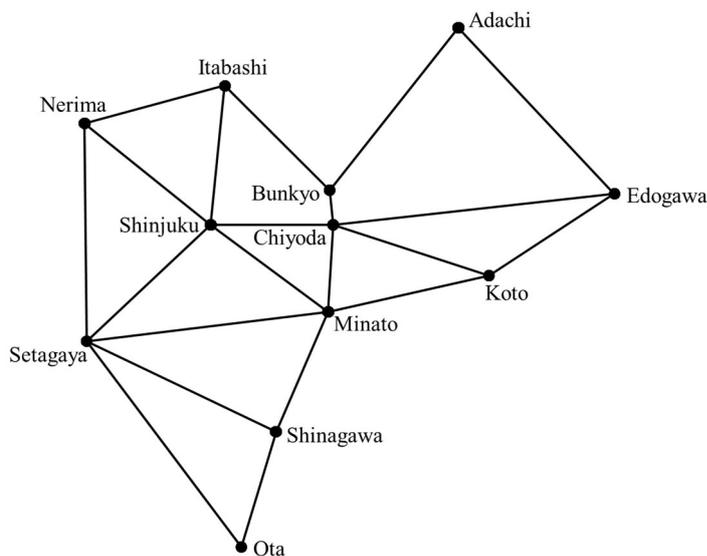
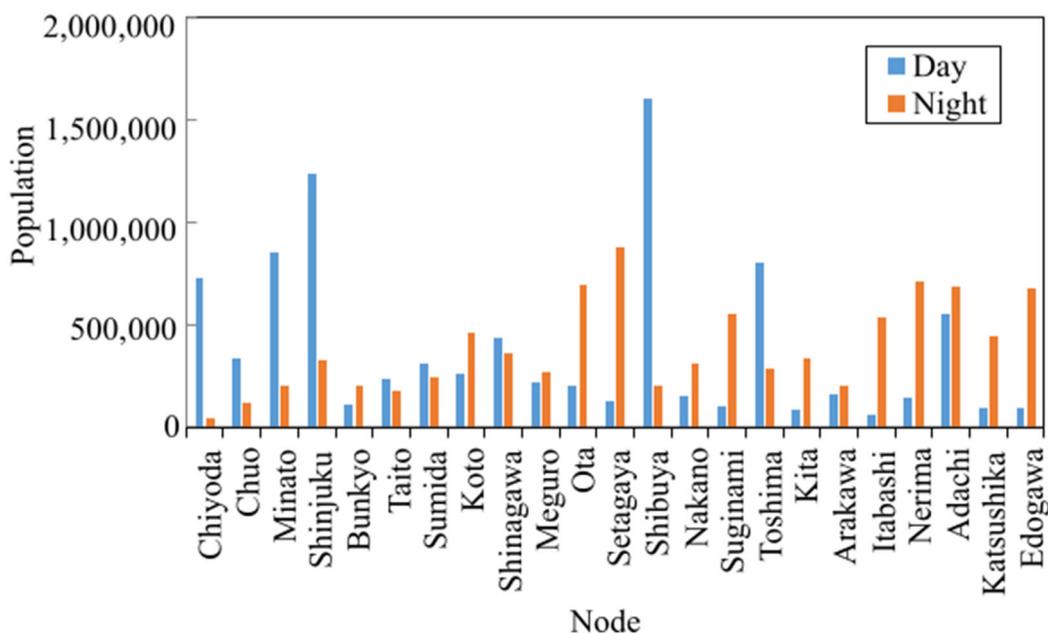
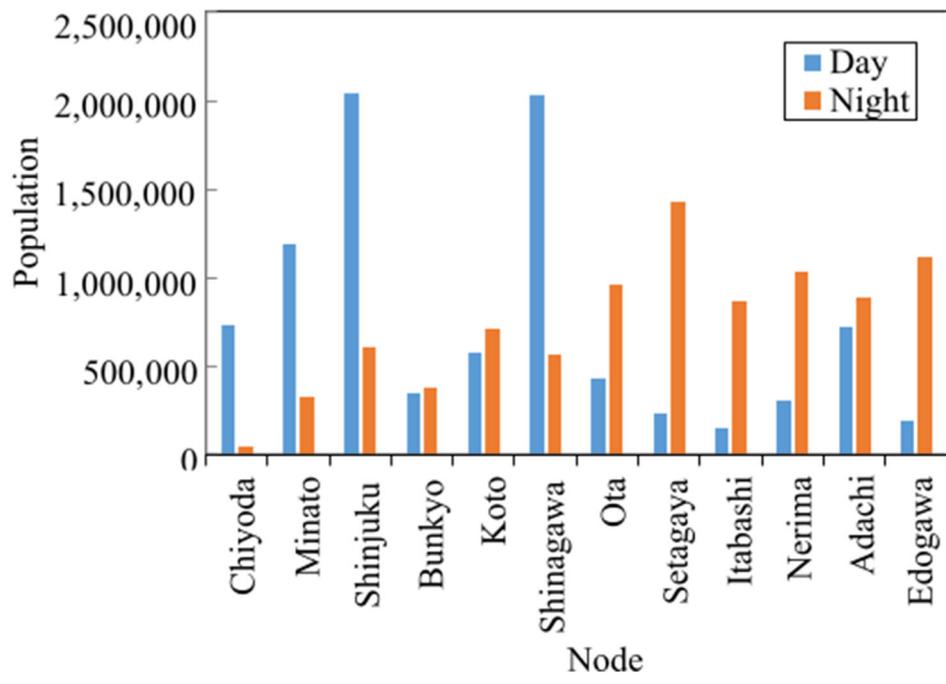


図 4 : 計 4 つの MAN モデルにおける人口分布

図 1 の 23 ノードの MAN トポロジと図 3 の 12 ノードの MAN トポロジで、各ノードに設定した人口分布を示す。23 ノードの夜モデル (Night) では、各区の居住人数を各ノードの人口とし、昼モデル (Day) では夜モデルと総人数を各区の路線の乗降客数に基づき分配して人口を決定した。12 ノードの夜モデルと昼モデルの人口は、23 ノードの両モデルから削除されたノードの人口を、12 ノードのいずれかのノードの人数に加算して作成した。





〈用語解説〉

(注1) 都市域通信ネットワーク、メトロポリタンエリアネットワーク、Metropolitan Area Network (MAN)

都市や市街地の一部もしくは全部をカバーする通信ネットワークを指し、カバー範囲はLAN（ローカルエリアネットワーク）よりも広く、WAN（ワイドエリアネットワーク）よりも狭い。

(注2) コンピュータシミュレーション

現実の現象やシステムの動きを模擬するプログラムをコンピュータ内で実行して、現実の現象やシステムをコンピュータ上で再現してその性能などを把握する手法である。通信ネットワーク技術の研究開発では、実ネットワークを使ったデータ伝送実験は実施が難しいため、コンピュータ上で伝送されるデータなどのふるまいを模擬するコンピュータシミュレーションが広く利用される。

(注3) 最適化問題

与えられた制約の下である目的を達成したい場合に、この制約や目的を数式で表現しその数式の解を求める問題のことを示す。たとえば有名なナップサック問題では、ナップサックの大きさ、つまり中に入れられる品物の合計サイズが制約となり、ナップサックの中に入っている品物の総価値を最大にすることが目的となる。通信ネットワークの研究では、データを伝送する経路や各種機器の配置などを決定する場合などに最適化問題が広く利用される。事象のふるまいを時間の流れとともに模擬するコンピュータシミュレーションとは異なり、最適化問題ではある瞬間における最適な選択を決定することになる。それゆえ、ナップサック問題の例では、ナップサックの大きさが途中で変わった場合には、新しい最適化問題を作って解を導出しなければならない。

(注4) ネットワークトポロジとネットワークモデル

ネットワークトポロジは通信ネットワーク上の各機器の接続形態を示し、各機器を示すノードとケーブルを示すリンクで構成される。例えば、 x 個のノードが x 本のリンクで円状に接続されているネットワークのトポロジはリングトポロジと呼ばれる。また、本研究では、各ノードに人口の情報を付与されているトポロジのことをモデルと呼ぶ。

(注5) アルゴリズム

与えられた問題の解を導出したり、課題を解決したりするための計算手順や処理手順を示す。本研究で確立したアルゴリズムでは、図1や図2のMANトポロジ・モデルを構築する際に、処理手順の中で東京の鉄道路線情報を活用している。

(注6) コアネットワーク

通信ネットワークの中核にあたる部分のネットワークを指し、バックボーンネットワークとも呼ばれる。各地に点在するLAN、MAN、WAN（注1）はコアネットワークを介して互いに接続されている。

〈論文タイトル〉

“Metropolitan Area Network Model Design using Regional Railways Information for Beyond 5G Research”

日本語翻訳（非公式）：「Beyond 5Gに関する研究のための鉄道路線情報を用いたメトロポリタンエリアネットワークモデルの構築」

〈著者〉

Takuji Tachibana, Yusuke Hirota, Keijiro Suzuki, Takehiro Tsuritani,
and Hiroshi Hasegawa

橘 拓至 (国立大学法人福井大学 工学系部門 工学領域
情報・メディア工学講座 教授)
廣田 悠介 (国立研究開発法人情報通信研究機構 (NICT) ネットワーク研究所
フォトリック ICT 研究センター 主任研究員)
鈴木 恵治郎 (国立研究開発法人産業技術総合研究所
プラットフォームフォトリックス研究センター 主任研究員)
釣谷 剛宏 (株式会社 KDDI 総合研究所 執行役員)
長谷川 浩 (国立大学法人東海国立大学機構 名古屋大学 大学院工学研究科 教授)

〈発表雑誌〉

電子情報通信学会の「IEICE Transactions on Communications (アイ・イー・アイ・シー・イー トランザクションズ オン コミュニケーションズ)」電子版に 2022 年 10 月 3 日プレ公開、2023 年 4 月 1 日に正式版発行予定

DOI: 10.1587/transcom.2022EBN0001

URL: https://www.jstage.jst.go.jp/article/transcom/advpub/0/advpub_2022EBN0001/_article