ISSN 1883-1656

RRC Working
Paper No. 89

ロシアの渋滞問題とその解決方法としてのスマート信号システム

ザリーナ・アバチェワ

December 2020

RUSSIAN RESEARCH CENTER
Institute of Economic Research
Hitotsubashi University
Kunitachi Tokyo JAPAN

ロシアの渋滞問題とその解決方法としてのスマート信号システム

ザリーナ・アバチェワ

一橋大学大学院経済学研究科
モスクワ大学付属アジア・アフリカ諸国大学アジア・アフリカ経済研究科

[要旨]

ロシアでは経済成長に伴うモータリゼーションの飛躍的な発展で人々の生活が豊かで便利になった一方、慢性的な交通渋滞が極めて深刻な問題になった。経済・環境・生活に悪影響を与え、大きな損失をもたらしている。歴史の負の遺産により主な原因は道路網の特性と道路の容量の不足であり、そのため道路建設や交差点の整備などの対策が進められてきたが、未だ全ロシアで激しい渋滞が発生している。

一方、ここ数年の間にロシアと日本は幅広い分野における協力の進展を見せている。その中で都市づくりやインフラ分野における協力は、ロシアと日本にとって最も将来性のある、相互に有益な分野の一つであることが言える。

本稿では、2017 年に日露経済協力による都市環境改善のモデル都市として選定されたボロネジでの事業を事例として、交通量に応じて自動的に信号を調整できる日本発の ARTEMIS スマート信号システム導入の効果を問う。モスクワで実施された実証事業では最大 40%の渋滞緩和効果が達成されたため、ボロネジでも ARTEMIS スマート信号システム事業が渋滞問題を解決に導くと期待される。しかし、首都モスクワの状況はボロネジのような地方の都市と異なり、同じような結果になるとは限らない。その為、実際の効果について検討を要する。ボロネジにおける事業の効果を分析することによって、ボロネジの次にフォローアップ事業として選ばれる地方の都市でも渋滞緩和の効果を実現出来るか否かを推測できるようになる。

本稿では、ARTEMIS スマート信号システム導入前後における車の速度と交通量というような指標に基づいた交通データを用いた、移動時間、待ち時間や速度変化に与える経済効果の分析モデルを記述し、モスクワ実証事業を再評価した上で、代替シミュレーションを通してボロネジにおける事業の経済効果と投資回収期間を仮説的に分析し、他の地方の都市への展開について考察することを目的とする。

目次

はじめに 1

1. 歴史的背景 3

2. 先行研究 5

3. インフラ分野における日ロ協力の背景 9

3.1 日ロ間の対話の進展とその可能性 9

3.2. 日本発のスマート信号システム「ARTEMIS」の特徴 10

4. 日ロ共同事業：ボロネジにおける事業 11

4.1 ボロネジでの共同事業の概要 11

4.2. ボロネジを対象とする理由とその都市の特質 13

5. 事業効果計測モデル：モスクワでの実験 15

5.1. 代替シミュレーション 17

5.2. モスクワ実証事業の経済効果の再計算 18

６. ボロネジにおける事業の経済効果 21

7. 結論 28

参考文献 29

添付資料 32

1. 歴史的背景

交通混雑は、様々な要因によって引き起こされているが、道路網の形成が大きく影響すると思われている。ロシアの交通問題も道路インフラ整備に関わる歴史的経緯に由来しているため、その過去の遺産に触れなければならない。

19 世紀半ばから 1980 年代末までにロシア帝国とソ連で実施されたすべての道路計画は次の特徴を持っているといえる。道路は、鉄道や水路に沿って、バックアップまたは補助的なルートであり国防上の利益と公共交通機関による商品や乗客の輸送の安全が確保されるように設計されていた。すなわち、都市の道路は、都市の旅客輸送、都市産業のための商品の輸送、公用車両の通過といった機能だけを提供できるような道路網密度と交通容量に留まっていたのである（Reshetova, 2015）。

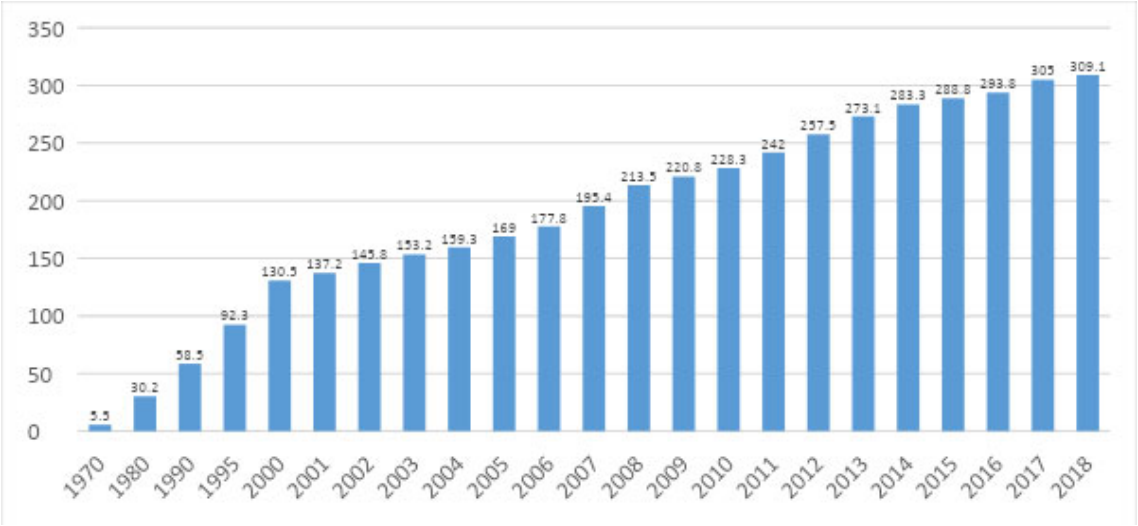
それに加えて注目を払うべきなのは、道路網自体の構造である。道路網は首都に向かって放射状に伸びた星形である。放射状道路網は、当時の政治・社会的ニーズを視野に入れれば論理的だったといえる。なぜならば、自動車道路網は、都市と都市をつなぐためではなく、戦略的に重要なところと中心部をつなぐためのものだったからである。また，当時・予測の自動車普及率では交通渋滞が起きにくかったのである。道路網のもう一つの特徴を指摘すると、２車線道路の限定的な普及に目を向けざるを得ない。言い換えると、対向車線 2 台の移動の不可能な道路の普及が進んだのである。都市間を結ぶ道路はバスやトラックを通過させるため 4 車線道路だったが、1980 年代でも人口千人当たり自動車保有台数は 1 千人当たり 60 台（1980 年代に設定された将来的な目標としても 1 千人当たり 180 台）しかなかったため、都市内で車線が複数ある道路は極めて少なかった。

当時の都市計画には、予備道路セクション（空き地）等の整備も策定されていた。要するに、自動車の普及が早ければ、空き地を普及率に応じて駐車場や道路にし、遅ければ、公園や庭園にする計画だったと言われている。しかしながらソ連崩壊後に建設ブームが到来し、道路や緑地のために整備されていた地所では無秩序的にビルが建てられ始めた（Faleev, 2008)。その結果、発達が停滞した道路網、建設ブームの結果としての無秩序なビルの建設、道路・駐車場不足等が渋滞の根源だとみられている（Faleev, 2008）。

1990 年代から、モータリゼーションの進展が始まり、人口千人当たり自動車保有台数が激増してきていた。1990 年には千人当たり 58 台であったが、十年後の 2000

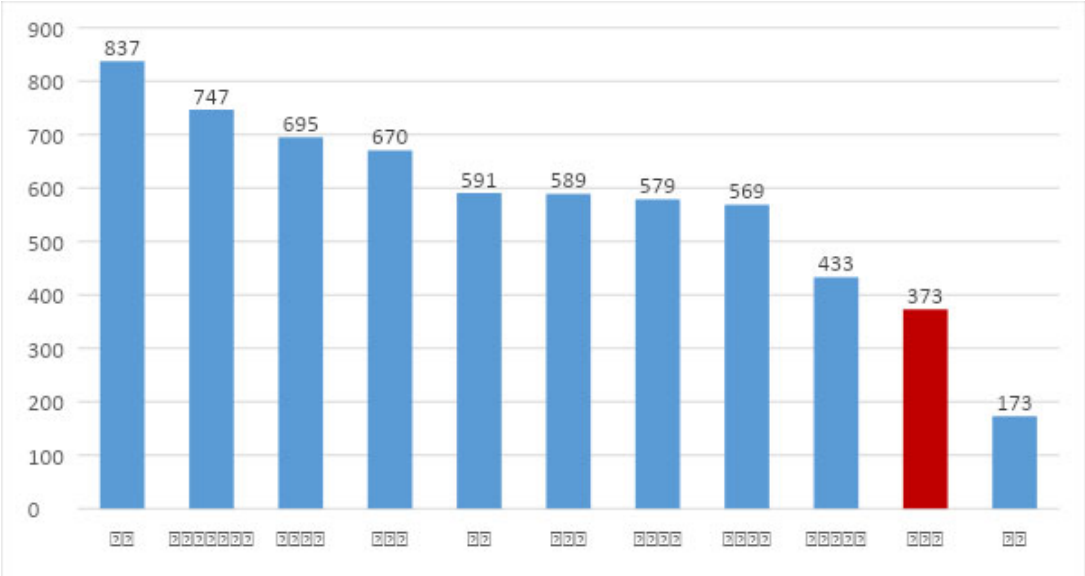
年に 130 台、そして 2018 年に 309 台になった（図１）。道路の交通容量の制約、道路の供給不足による問題が既に発生しており、その中で渋滞問題は代表的なものである。自動車普及率がまだ日本と欧州のほかの国々より低いにもかかわらず（図 2）、その国々よりも渋滞問題が深刻な問題になっている（Reshetova，2015）。

（図１）1970 年度から 2018 年度までの自動車普及率（ロシア）



（出典）ロシアの自動車情報機関の資料を基に筆者作成（千人当たり自動車保有台数）

（図 2）2019 年度の 10 か国の自動車普及率



（出典）ロシア連邦国家統計局の資料を基に筆者作成（ 千人当たり自動車保有台数）

渋滞を解消するには、様々な方法があるが、大きく分ければ次の二つの方法が一般的である。それは道路の交通容量を拡大する方法と交通需要を調整(交通行動を効率化)する方法である（国土交通省、2003）。

交通容量拡大対策というのは、車がスムーズに流れることができるような道路ネットワークの整備を意味する。そのために、渋滞が発生するところで交差点の改良を行ったり、ボトルネック解消施策や環状道路整備等をしたり、新しい道路を建設したりする（国土交通省、2003）。

交通需要の調整というのは、総合的に良好な交通環境の作成を意味する。そのために、交通手段や自動車の利用法の変更を行ったり、交通混雑を少なくする交通需要マネジメント施策と複数の交通機関を発達させたりする（(国土交通省、2003）。

ロシアは上記の方法を使い、以前から積極的に問題解決に取り組んでいるといえる。ロシア連邦国家統計局によると、1995 年には舗装道路総延長は 95 万キロメートルだったのに対し 2019 年には 153 万キロメートルに達しており、道路の整備が進んでいる（ロシア連邦国家統計局, 2019）。自転車をはじめ他の交通手段や公共交通機関や鉄道システムにも大いに注意を払っている。その中で例えば、都市高速鉄道の「モスクワ中央環状線」を事例として指摘出来る。モスクワ中央環状線は 2016 年に従来貨物用だった鉄道を旅客用へ再編成されて、開業した。モスクワ地下鉄の路線として扱われ、モスクワ地下鉄 14 号線とも呼ばれる。新環状線の総距離は 54km であり、1.5 時間で 1 周する。モスクワ市内を循環するため、都市内やモスクワ州の離れた地区をつなぐことで地下鉄の負担を軽減して、地上の交通量を 10～12%減らすと見込まれていた。しかしながら、依然混雑が残っていることを指摘しなければならない（Mosmetro, 2020）。

2. 先行研究

渋滞問題とその解決方法は以前から研究されているテーマである。
上記の二つの方法だけでは交通渋滞問題が解決できないことが多くの研究と世界各国の状況からわかる。そこでこの問題に関わる先行研究の議論を見てみよう.

公共交通機関の利用者が増えれば渋滞が減ると思われているが、Duranton and Turner （2011） によると、公共交通の整備も渋滞問題の解決にならない。交通機関が

整備されることで、より多くの人が移動しやすくなるのは事実だが、公共交通機関を発達させた都市でも交通量はまったく変わらなかったということが示されている。

道路建設は、都市開発のある段階から効果がなくなり、悪影響さえ生じる。新たな道路が新たな交通需要を生むという現象さえ知られている(Phil Goodwin, 1997). その現象は、Duranton and Turner (2009) によって示され、「交通渋滞の根本原理」と呼ばれているものである。1980 年から 2000 年にかけて行われた研究の結果によると、十年間で道路の交通容量が 11%増えたが、交通量も同じく 11%増加している。すなわち、道路の交通容量と交通量が同じ比率で変化している。道路の拡幅は、潜在的な利用者を誘発するため、渋滞の解消には有効ではないといえる。

新しい道路の建設によって渋滞が悪化することが、数学的にも示されている。独ルール大学の数学者 Braes (1968)が提唱した「ブライスのパラドックス」によると、道路の混雑を減らすことを目的として新たな道路を増設するとかえって移動時間が増加し渋滞するという現象がある。常にパラドックスが起きるわけではなく、出発する車両の台数（需要）、ネットワークの構造などによって事情が変化するが、新しい道路の建設が渋滞問題の解決にはならないことが多い。もちろん、モータリゼーションの進展に伴い、道路網の拡大が必要だが、渋滞の問題の解決にはならない恐れもある。さらに、言及したように、ロシアの都市計画の発展過程に起因する問題により道路網の拡大に制限がある上、大きな費用と時間がかかるため現在は臨機応変な対応が困難なものとなっている。他の対策として様々な手法が取り上げられるが、ロシアの状況に応じて渋滞問題を解決できるかどうかが問われる。ロシア科学アカデミー中央経済数理研究所の Makarov et al. (2012) によると、一般的な方法の中では、ロシア人のメンタリティーを考慮すれば、大きな効果が期待できないような対策もあれば、ロシアの気候などの地理的な事象に合わない対策もある。駐車場・自動車利用者の制限、小型車の購入の促進、リバーシブル・レーン（可逆車線）の設置などの対策は前者の例として挙げられる。自転車利用の促進は後者の例である。そのようななか，道路網の特性をはじめロシアの状況を考慮すれば、現在は高度交通システム（スマート信号機）や高度道路交通システムの導入が一番効果的であると主張している。

多くの研究者が適切な交通管理の重要性を指摘している。その中で、モスクワの交通渋滞問題を研究しているＸａｔｏяｍａ (2011) が、非合理的な信号機の設置や信号機のない横断歩道に注意を払っている。モスクワでは、主要道路の交差点にある信号機の設置場所と構造に問題があり、大きな交差点で、脇道から左折または右折

して車が移動する。脇道から主要道路に向かう場合、信号機が非常に短い時間で動作するため、交通渋滞が発生することは珍しくない。したがって、信号機の動作タイミングと時間を再検討することが望ましい。すなわち、スマート信号機の導入でより快適・安全で便利な交通環境が整うことになると期待できる。

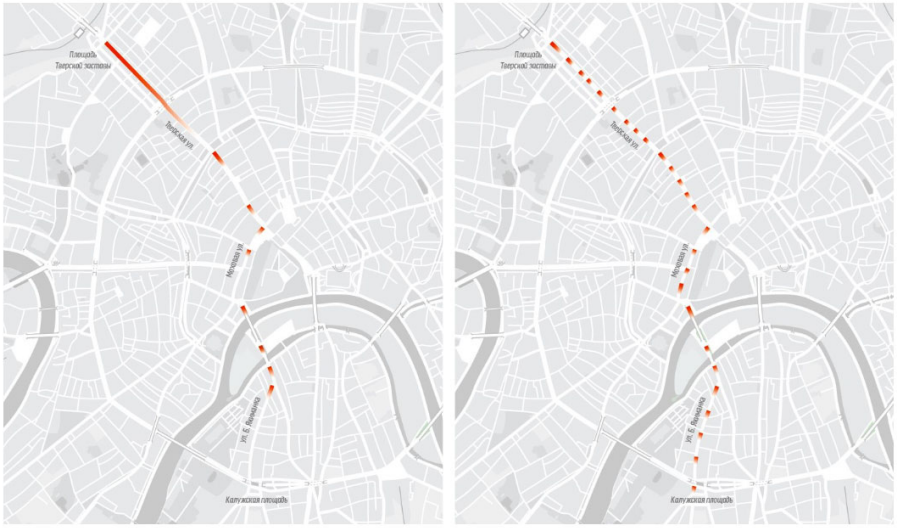
モスクワ渋滞問の解決に取り組んでいる非営利組織組織「probok.net」のShumskoy(2016)も、渋滞問題の解決方法としてのスマート信号機設置の重要性を強調している。不適切な交通整理が渋滞を生み出すが、不適切な交通整理の原因の一つは、信号機数の不足や信号機の不適切な設置状況などである，とする。

従来は、信号機は方向別の交通を時間別に分離して秩序づけ，交通事故と車と歩行者の衝突を防止するために設置されていた。それに加えて、交通量に応じて適切なタイミングで動作できる信号機があれば車の流れはスムーズになるが、信号機の動作タイミングが適切ではなければ、かえって渋滞が悪化することもある。すなわち、適切なタイミングで動作できる信号機が多ければ多いほど、交通管理がより順調になり、交通流も円滑になると考えられる（Gershman, 2014）。

ロシアでは、ノンストップで移動できるよう建設された信号機なしの高速道路や一般道路が多い。時速 50 km を超える速度で移動する車は、高速道路の追加後、最寄りの信号機または「ボトルネック」の形をしている場所に止まることで、渋滞が発生する。信号機導入前の地図である図 3a を見てみると、道路の一部区間だけに車が集中しており、より道路の容量を活用できるはずなのに活用しきれていないということになる。これを防ぐには、道路に適切な形で信号を設置する必要がある。 信号機がたくさんあることで、図3bのように車は1か所に集中することなく、車の流れがスムーズになると考えられる（Chelyabinsky urbanist, 2018）。

（図 3）信号機導入前後における車の流れ

図 3a　信号機導入前（左）　　図 3b　信号機導入後（右）



スマート信号機の導入はロシアの渋滞問題の解決にならないと主張する研究者もいる。例えば、都市経済研究基金の常任理事 Polidi(2020)によると、現在の道路網や都市計画を視野にいれると、交通渋滞問題を解決できるのは、効率的な土地利用や建築密度の規制のみであり、スマート信号機等ではない，とする。とはいえ、長年にわたり形成されていた道路網や地区の在り方を変えることは極めて困難であり、事実上不可能でもあるといえる。その上、既存道路の改善とは異なっており，都市全体を改造するという資金的裏付けや現実性等に乏しいアプローチであることが指摘出来よう。

21 世紀初頭より高度交通システムの研究開発がロシアも含めて世界各国で進められているが、2015 年度から日本の ARTEMIS スマート信号システム（ARTEMIS：Autonomous and Real‐Time signal control based on Estimation traffic demand for Minimization of Signal waiting time）が、モスクワでの実証事業から始められ、ロシアで普及しつつあり、渋滞緩和効果が期待されている。この導入に至った経緯について次節にて詳述する.

3. インフラ分野におけるロ日協力の背景

3.1　日ロ間の対話の進展とその可能性

近年ロシアと日本の両国首脳による対話が積み重ねられて、経済・貿易・投資協力の発展を含めて両国関係は進展を見せている。2016 年 5 月、ロシア南部のソチで開催された日露首脳会談において日露経済交流の促進に向けて提示された「協力プラン」は，8項目からなっている。すなわち，（1）健康寿命の伸長、（2）快適・清潔で住みやすく、活動しやすい都市作り、（3）中小企業交流・協力の抜本的拡大、（4）エネルギー、（5）ロシアの産業多様化・生産性向上、（6）極東の産業振興・輸出基地化、（7）先端技術協力、（8）人的交流の抜本的拡大(MOFＡ)，である.

経済分野をはじめ幅広い分野での協力を目指しているプランの中で、都市づくりやインフラ分野における協力は、ロシアと日本にとって有望で相互に有益な分野の一つであることが言える。

ロシアの立場から考えると、国内のインフラストラクチャーが耐用年数を越えて老朽化したり、輸送需要の高まりに整備が追いついていないという問題がある。世界経済フォーラム発表の競争力指数によると、ロシアの総合順位は 141 カ国の中では 43 位である。鉄道を除き、道路、港湾、航空といった輸送インフラの順位は低い。特に、道路の質の順位が低く、141 か国の中で 99 位を占めている（The Global Competitiveness Report 2019）。

ロシア政府が 2008 年に公表した「2030 年までのロシア連邦の運輸戦略」で、輸送インフラが今後の経済成長の制約要因になると指摘されていることも、膨大なインフラ需要とともに、インフラの整備の重要性を示している。

一方、日本の立場から考えると、「日本の強みのある技術・ノウハウを最大限に活かして、世界の膨大なインフラ需要を積極的に取り込むことによって、日本の経済成長につなげていくこと」を目指して「インフラシステム輸出戦略」を 2013 年に決定し、質の高いインフラの輸出を促進する政策を行っている。その戦略の枠組みでは、ロシアのインフラ市場への参入は望ましい。そして世界経済フォーラム発表の競争力指数によると、日本の総合順位は 141 カ国の中では６位で、特に 141 カ国中の５位に

位置づけられるほどインフラが高く評価されている（The Global Competitiveness Report 2019）。

上記を考慮すれば、インフラにおけるロシアと日本との間の協力は相互に有益なものになると考えられる。一方で両国間の貿易は依然としてエネルギー・資源産業分野に大きく依存していることがよく知られている。今後、資源エネルギー中心の大企業向け案件ばかりではなく、インフラ分野における協力を発展させていき、地方企業の活躍できるような仕組みを作ることで、将来的には日本とロシアの関係発展にも貢献すると考えられる。

2017 年には、8 項目の日ロ協力プランの都市環境整備におけるモデル都市として、ロシアの南西の代表的な都市であるボロネジ市が選ばれた。ボロネシ市では、スマート信号機の導入、スマートウェルネス住宅のモデルハウス建設、水道管の交換、ゴミ処理技術の導入、交通発展プロジェクトの 5 事業を協力しながら実施することで一致したが、ここでは、ボロネシでの事業を事例として、交通量に応じて信号の待ち時間が最小になるように信号の切り替え感覚を制御できる ARTEMIS という日本の高度交通信号システムの導入の効果を問うことに着目する。論じてきたとおり、現代ロシアで見られる不適切な交通管理によって発生する渋滞問題が、信号機をはじめ交通管理の状況を改善することによって削減できる可能性がある。そのため、高度交通信号システムの導入が渋滞問題解決ということに寄与するであろう事を鑑みて，スマート信号機の効果を検証することは日ロ両国の相互協力の実現という側面からも重要な課題だと言えよう。

3.2. 日本発のスマート信号システム「ARTEMIS」の特徴

本事業の効果という問題に入る前に、ARTEMIS スマート信号システムと既存のロシアの信号システムとの違いに触れておかなければならない（NEDO,2018）。

ARTEMIS は、信号機を制御する信号制御機（コントローラー）と、車両を検知する感知器、これらを結ぶ通信ネットワークから構成されている。コントローラ間でリアルタイムに交通情報や信号機制御情報を交換して、流入する交通量を予測することができる。そのため、信号待ち時間が最小になるように信号サイクルを自律的に制御することができる。それに加えて、管制センターの中央装置を介して信号機をコントロールする制御方式と違って、信号機間でリアルタイムに情報を交換できるため、中

央制御装置 が不要になる。すなわち、渋滞緩和のための初期導入コストを抑えられるというメリットもある。交通渋滞を削減し、CO2などの排出を削減することが想定され、環境に優しいことも重要だと言える（NEDO,2018）。

ARTEMIS は、日本国内でも既に渋滞改善に貢献している。2009 年に静岡県磐田市の 30 交差点に導入し、35%の渋滞改善効果が得られているという。その他、宮崎県宮崎市、滋賀県彦根市 、神奈川県海老名市 、富山県魚津市といった都市にも導入されている（NEDO,2018）。

既存のロシアの信号システムは、定周期信号システムと通信機能付定・周期信号システムであり、どちらの場合も、制御は定周期すなわち一定の決まった時間ごとに赤・青が入れ替わる、一般的な古いタイプのものになっている。要するに、交通の状況に応じることができず、設定したパラメータで作動するため渋滞削減効果が少ないといえる。渋滞削減効果を上げるには、適切な設置場所を定めることと同時に、適切なタイミングの作動が欠かせない。ARTEMISスマート信号システムは、論じてきた通り、予測制御技術により信号サイクルを自律的に制御することができるため、渋滞が起きにくくなるというものなのである（NEDO,2018）。

4. 日ロ共同事業：ボロネジにおける事業

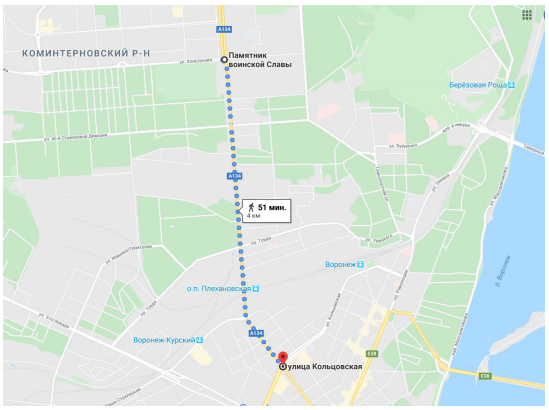
4.1 ボロネジでの共同事業の概要

日ロ共同で展開されている当該事業では、ボロネジ市内の深刻な交通渋滞の解決に向けて、信号システムのトップメーカー「京三製作所」がボロネジ市交通管制センターと共同で、2017 年 12 月から 2018 年 1 月にかけて（ボロネジ市内の）「モスクワ大通り」と「プレカノフスカヤ通り」の約 4 キロの区間にある連続する 10 の交差点でARTEMISスマート信号機を145基設置した。この概要は表1の通りである。

「 モスクワ大通り」と「プレカノフスカヤ通り」は市の基幹道路であり、中心部と活発に発展している都市の北部とを結ぶため、朝のラッシュ時は中心部への自動車の乗り入れによる渋滞が、夕方のラッシュ時は中心部から北側へ向かっている自動車による渋滞が、毎日発生する。更に、「モスクワ通り」は最終的に首都モスクワと

黒海の主要港ノヴォロシースクとを結ぶロシア連邦道路 M4 へのアクセス道路でもある。すなわち、北側の近接の都市からボロネジ市への出入りを目的とした、他の都市からの自動車で更に交通量が増加することになる。自動車普及率の激増も考慮に入れれば、その道路に発生する激しい混雑の原因が明確になってくるのである。

表１．ボロネジ市における事業の概要

企業・組織	日本側：京三製作所 ロシア側：ボロネジ市交通管制センター（TsoDd Voronezh)、TechnoNippon LLC
業種	公共
地域	ヴォロネジ市（ロシアの南西の都市。人口は約 105 万人） コミンテルン区 モスクワ大通りとプレカノフスカヤ通りの約 4 キロの区間にある 10 箇所 
スマート信号機数	145 基
枠組み	日露経済交流の促進に向けた８項目の「協力プラン」
問題	毎日激しい渋滞が発生している
解決の方法	交通量に応じて信号の待ち時間が最小になるように信号の切り替え感覚を制御できる ARTEMIS という日本の「自律分散信号システム」の導入
実施時期	2017 年 12 月 － 2018 年 1 月

（出典）筆者作成

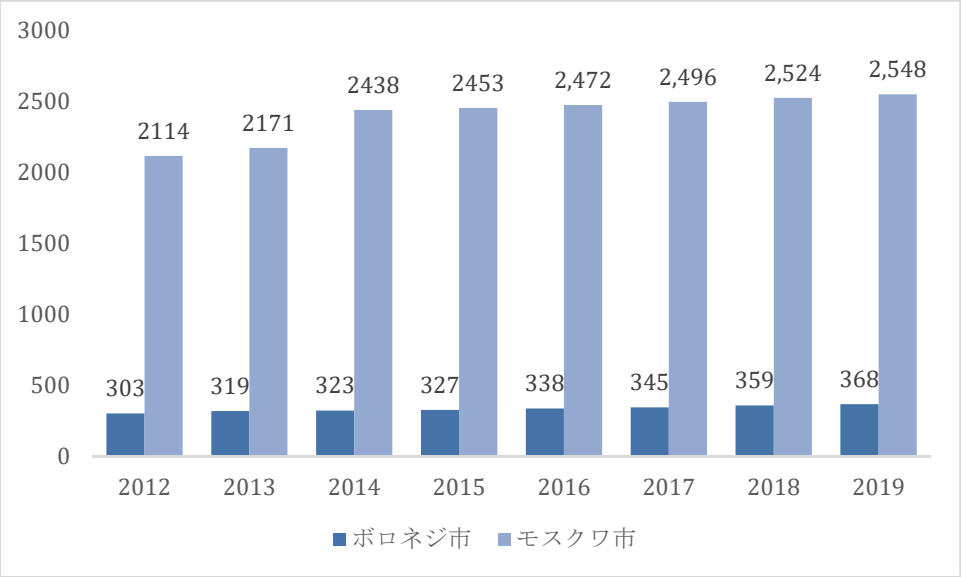
4.2. ボロネジを対象とする理由とその都市の特質

ボロネジ市はロシアの南西に位置している都市であり、長い歴史を持っている。人口が 100 万人を超えるロシアの都市の自動車普及率を見れば、ボロネジ市はモスクワ（8 位）を上回って４位になっている。千人当たり自動車保有台数は 315 台である（Avtostat, 2019）。全ロシアで見ても、最も自動車が移動手段として使われている都市の一つであると言える。しかしながら、道路の整備、駐車場の不足、交通量の流れの不適切な管理により激しい渋滞が発生している。実際の速度と道路が空いている時の可能な速度の比率に基づいた「最も混雑している全ロシアの都市のランキング」（The Village, Google Map Service, 2017）ではボロネジ市は５位を占めている。渋滞問題が深刻であることが示されているといえるのである。

ボロネジ市に信号機が設置されるのに先だって、ロシアの首都モスクワの「オニェジスカヤ通り」にある 5 つの交差点で同じスマート信号システムの実証事業（添付資料、表 1）が実施された。日本側による評価では、混雑時間帯で最大 40%の渋滞緩和効果が達成され、経済効果と省エネ効果が得られたため、その成果をもとにロシアの他の地域への展開を目指し、モデル都市として選ばれたボロネシ市ののちに、フォローアップ事業として 12 都市への普及活動を行っている（添付資料、図 1）。

だが、首都であるモスクワの状況は他のロシアのより小さい都市と異なり、同じような結果になるとは限らない。図４で表示されているように、ボロネジ市とモスクワ市の道路密度（面積あたり道路総延長）はほぼ 7 倍の差がある上、ボロネジで行われた世論調査によれば回答者の 50,5%は道路の不足を示している（Abireg, 2016）。道路網が整備を必要としている一方で、自動車普及率はモスクワ市（千人当たり自動車保有台数が 296 台）より高く、千人当たり自動車保有台数は先述のとおり 315 台となっている（ROSSTAT,2019）。モスクワと異なる側面で、自動車普及率の激増と道路ネットワーク密度不足という問題があるボロネシ市のようなより小さな都市でモスクワでの実証事業で得られた渋滞緩和の効果を実現出来るか否かについては、その都市の性質の相違から検討を要するものと考えられよう。その為、ボロネジ市の事業の経済効果を分析する。

図４．モスクワ市とボロネジ市の道路密度、2012－2019



（出典）ロシア連邦国家統計局の資料を基に筆者作成 （1000 平方キロ当たりの道路延長、キロ）

2013 年には、ボロネジ中心部の混雑を緩和させるため、ヨーロッパの渋滞解決対策を見習って 5 つの地下駐車場を建設する計画がボロネジ政府により発表された。だが 2017 年の時点では、一部の計画が実施されたのだが、想定と異なり、実際の状況はほぼ変わらなかった。ボロネジ市民が、新たに建設された駐車に車を置かずに、前と変わらない場所を駐車場として使い続けているからである（Emel`yanova, 2017）。

長年にわたりインターチェンジと代替道路の建設が別の解決策として推進されてきた。なぜなら、住宅地等の建設が活発に行われているものの、道路ネットワークをはじめ社会・交通インフラの需要の高まりに整備が追いついていないという問題があるためである。しかしながら、道路整備・建設は多大な費用を必要とするため、2017 年までに 1 つのプロジェクトが実施されたのみなのである（Emel`yanova, 2017）。

そのような状況下で、他の対策と比較すれば時間も費用も相対的に少ない日本発のスマート信号システム導入の共同プロジェクトが大きな期待を抱かせるものとなったのである。

5.　事業効果計測モデル：モスクワでの実験

ボロネジにおける事業の経済効果を推計するにあたって、モスクワで実施された実験についてのNEDO[1]の効果計測モデルを使うこととする。NEDOは4.2節で言及したモスクワでのARTEMISの実証事業を京三製作所に委託して行い、最大約40%の渋滞緩和効果を確認した組織である。以下ではこの、NEDOの効果計測モデルを記述する。

このモデルは、モスクワで2017年に実施されていたARTEMIS導入の実証事業の効果を測定するためのものである。測定項目は移動時間・信号待ち台数・信号時間である。測定期間は2017年7月22日―28日（事前）と2017年８月4日（事後）であり、時間は午前7時―9時、午後17時―19時、すなわち平日朝夕の混雑時間帯であった。その状況が 1 年間継続したことを想定した場合の、平均速度の向上と待ち時間の減少に伴う経済効果を試算している。渋滞改善効果は平日のみに現れることとし、年間の平日日数を200日であることを前提とする。

経済効果（Q）は、信号機導入後の燃料消費削減（I）と移動時間短縮（C）の二つの効果を想定 して算出されたものである。

Q = C + I = 2777 + 201 = 2978（万円/年）

燃料消費削減は、ARTEMIS 導入前後の平均走行速度の変化による燃費削減量（A）をレギュラーガソリンの価格[2]（B）に乗じて算出されたものである。

I：燃料消費削減効果（万円）

I = A x B = 26.5 x 75.7 = 201（万円）

A ： 燃料消費削減量（Kl/年）26.5

[1] 国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構 - New Energy and Industrial Technology Development Organization（日本）

[2] 37.85RUB/L=約76円

B ： ガソリン代（円/L）75.7

移動時間短縮効果（C）は、走行速度の向上により短縮された時間に、通常渋滞が発生していると想定される 2 時間の間に発生する総交通量（自動車台数）を乗じて延べ削減時間を算出した上で、それに時間価値を乗じたものである。時間価値は、2017 年度のロシアの生産年齢人口 1 人 あたり・1 時間あたりの GDP[3]と仮定している。

延べ移動時間削減（G）は事後に朝と夕のピーク時間に道路の南進と北進における平均走行速度の向上によって短縮された時間に、交通量を乗じて延べ移動削減を算出する。延べ移動時間削減に 200 日を乗じて移動時間短縮効果がわかる。

C： 移動時間短縮効果（万円）

C = G x VoT x H = 131.5 x 200 x 1056 = 2777

G: 延べ移動時間削減（時間/年）

（表 2）算出の元となる移動時間削減関統計

	朝		夕[4]		合計
	南進	北進	南進	北進	
移動時間削減　（秒/台）D	188	42	21	37	―
交通量（台/日）E	1824	794	1564	1741	5923
のべ移動時間削減 G＝DxE　（時間/年)	95.3	9.3	9.2	17.9	**131.5**

（出典）NEDO、2018

VoT：時間価値（円/時）1056

H：時間（日）200

[3] 528RUB/h＝約 1,056 円

[4] 平日朝夕の各 2 時間（NEDO、2018）

以上に基づいて計測した結果、モスクワ市における実証事業では移動時間短縮により年間約 2777 万円、燃料消費削減により年間約 201 万円の効果が得られたということが明らかになった。すなわち、合計約 2978 万円の経済効果が出たのである（NEDO,2018）。

5.1. 代替シミュレーション

以上が NEDO の分析モデルの説明である。ここで注目したいのは、経済効果に直接に影響を与える、移動時間短縮効果を算出する際に使う時間価値というパラメータの設定である。一般的には、交通の時間価値設定方法は大きく分けると、人の時間価値を労働賃金率と仮定する所得接近法と、人々の実際の行動実態を計測する選好接近法のいずれかに分類される(竹内、2011)。交通の時間価値というのは、交通に関わる様々な要素の影響を受けることもあり、それぞれの方法が利点と欠点を持っている。所得接近法も選好接近法もいずれも万全なものであるとはいえないが、所得接近法の方が相対的にデータ入手が容易であるため、本稿では所得接近法を利用していきたい。NEDO の分析モデルでは人の時間価値の設定に当たっても、所得接近法的な方法が使われていることから、比較が行いやすいものとなる。

前述したように、NEDO の分析モデルでは、モスクワでの事業における時間価値は、生産年齢人口 1 人 あたりの GDP と仮定されており、1056 円／時になっている。ここで、GDP と生産年齢人口が適切であるか否かという点に焦点を当てる必要があるのではないかと思われる。GDP（国内総生産）はロシア国内の様々な共和国，自治州，地方，自治管区からなる全国の総生産を表す指標である。ここで問題なのは、地理や政策等の差で生じる地域経済発展水準の格差がロシアにおいては極めて激しく、地域ごとに社会・経済状況が異なることなのである。1 人当たりの時間価値を計算する際に全国の経済力を示す GDP を使用すると、全国平均の時間価値こそ分かるものの、対象となった地域や都市の実況とは異なる可能性が高いかも知れない。それに対して、GRP（地域総生産） は一定の地域内で生産された付加価値額を示し、その地域の社会・経済状況を反映する指標であるため、一つの地域が対象である場合は GRP を基礎とした方がよ

り正確に時間価値を算出し、ボロネジとモスクワのそれぞれの時間価値の相違を勘案出来るようになるものと考えることが出来る。とはいえ、町の道路の利用者が必ずしもその町の住民とは限らないことを考慮すれば、GDP を用いた方法も妥当性が無いと断じるのは早計であろう。そのため GDP をベースとして用いた試算も行うこととする。

次に考えたいのは、もう一方の計算ベースとなっている「生産年齢人口」である。生産年齢人口とは、中核の労働力となる年齢の範囲内にあたる人口を指し、2017 年のロシアでは男性の場合は 16 歳以上 65 歳未満、女性の場合は 16 歳以上 60 歳未満の年齢に該当する人口を意味する（Rosstat,2010）。すなわち、生産年齢人口には失業者、非労働力人口など「働いていない人達」も含まれる。一方、平日に自動車を使う人の多数は労働力人口であると考えることができる。労働力人口ならば生産年齢人口外にも「働いている人達」が含まれ、かつ「働いていない人たち」を除くため、労働力人口で割ることのほうがむしろ適切であるかも知れない。他方、総人口そのものを母数とする可能性もあり得る。なぜならば、生産年齢人口と労働力人口に含まれていない年少人口（0 歳～16 歳）と老年人口（65 歳以上）も自動車に乗っているのであり、その移動時間も短縮されることになるからである。NEDO による事業評価と同じように生産年齢人口をベースとしつつ、他を母数とした場合の計算結果も検討に含めるものとする。

上記を考慮に入れて、本稿は ARTEMIS の結果に基づく経済効果を計算する際、代替シミュレーションとして GRP・生産年齢人口に力点を置くこととし、他の可能性も視野に入れるために GDP と GRP、そしてそれぞれ生産年齢人口・労働力人口・総人口を母数とした試算を行い比較する。

5.2. モスクワ実証事業の経済効果の再計算

上記を踏まえてモスクワでの実証事業の経済効果を再計算する必要性が生じる。その際に使うデータを以下の表（表 3）にまとめてある。全ての金額は 1 円 が 0.51 ルーブル（2017 年 12 月時点）という為替ルートで換算されている。

（表 3）算出の元となる GDP・GRP 並びに人口・労働関連統計

	モスクワ	ロシア
GRP（億円）	30716,4 （15688,3 ルーブル）	163026, 5 83143,5 （ルーブル）
総人口（千人） P	12506,5	146880,4
生産年齢人口（千人）U	7128,7	82253,0
労働力人口（千人）W	8730,0	71842,7

（出典）ロシア連邦国家統計局の資料を基に筆者作成

表 3 のデータを使い、時間価値（VoT）を以下のように再計算する。労働時間（T）の上限は、ロシア連邦労働法典で定められ、1 週間につき 40 時間までである。2017 年の祝日と休日を考慮に入れれば、1 年 1973 時間の労働時間となる。

$$VoT^{GDP}_{総人口} = \frac{\text{GDP}}{\text{P x T}} = \frac{163026,5}{146880,4 \text{ x } 1973} = 562$$

$$VoT^{GDP}_{生産年齢人口} = \frac{\text{GDP}}{\text{U x T}} = \frac{163026,5}{82253,0 \times 1973} = 1005$$

$$VoT^{GDP}_{労働力人口} = \frac{\text{GDP}}{\text{W x T}} = \frac{163026,5}{71842,7 \times 1973} = 1150$$

$$VoT^{GRP}_{総人口} = \frac{\text{GRP}}{\text{P x T}} = \frac{30716,4}{12506,5 \text{ x } 1973} = 1245$$

$$VoT^{GRP}_{生産年齢人口} = \frac{\text{GRP}}{\text{U x T}} = \frac{30716,4}{7128,7 \times 1973} = 2184$$

$$VoT^{GRP}_{労働力人口} = \frac{\text{GRP}}{\text{T x P}} = \frac{30716,4}{8730 \times 1973} = 1783$$

（表 4）一人一時間あたり時間価値、ロシア vs モスクワ市　（円）

	ロシアの GDP の場合	モスクワ市の GRP の場合
総人口の場合	562	1245
生産年齢人口の場合	1005	**2184**
労働力人口の場合	1150	1783

（出典）筆者作成

表 4 の左側はロシア人全体の一人当たり時間価値で、右側はモスクワ市の住民一人あたり時間価値である。首都モスクワには、GRP が全国 18.9%を占めるほど経済活動が集中しているため、モスクワの 1 人あたり時間価値が全国平均より圧倒的に高くなっている。その為、モスクワの GRP を使用した場合の経済効果と GDP を使用した場合の経済結果に隔たりが生じることが容易に判る。

そして燃料消費削減（I）と移動時間短縮（C）の二つの効果からなる経済効果（Q）は、

$$Q = C + I = (VoT \times G \times H) + I = (VoT \times 131.5 \times 200) + 201$$

であった。

そこで経済効果（Q）の再計算を行うと次のとおりになる。 以下は GDP と GRP、それぞれ生産年齢人口・労働力人口・総人口を母数とした試算である。結果は表 5 にまとめている。

$Q\left(VoT^{GDP}_{総人口}\right) = 562 \times 26300 + 201(万) = 1679$

$Q\left(VoT^{GDP}_{生産年齢人口}\right) = 1005 \times 26300 + 201\ (万) = 2844$[5]

$Q\left(VoT^{GDP}_{労働力人口}\right) = 1150 \times 26300 + 201\ (万) = 3225$

$Q\left(VoT^{GRP}_{総人口}\right) = 1245 \times 26300 + 201\ (万) = 3475$

$Q\left(VoT^{GRP}_{生産年齢人口}\right) = 2184 \times 26300 + 201\ (万) = 5945$

$Q\left(VoT^{GRP}_{労働力人口}\right) = 1783 \times 26300 + 201\ (万) = 4890$

[5] NEDO による事業評価において、同じ GDP・生産年齢人口を基準とした計算で経済効果が 2978 万円になっているが、計算結果の差異はルーブルの為替ルートの相違によって生じたものである。

（表 5）経済効果の感度分析　（万円）

	ロシアの GDP の場合	モスクワ市の GRP の場合
総人口の場合	1679	3475
生産年齢人口の場合	2844	**5945**
労働力人口の場合	3225	4890

（出典）筆者作成

表 5 の通り、総人口と生産年齢人口の場合は 2 倍の差、労働力人口の場合は 1.5 倍の差がある。前述したように、相対的に妥当性が担保されうると思われる GRP・生産年齢人口をベースとした場合に着目するならば、一年に 5945 万円の経済効果が得られたこととなる。NEDO による事業評価の場合は約 3000 万円（GDP・生産年齢人口）であったのに対して、同じ生産年齢人口を母数とし全国の GDP の代わりにモスクワの景気や社会・経済状況を反映する GRP を用いた算出方法ならば約 2 倍の額になる。総人口・労働力人口を母数とした試算の場合も公開されている経済効果より高い。従って、実際の所は公開されている 3000 万円より高い成果があったと考えることも可能である。

６．ボロネジにおける事業の経済効果

ボロネジで実施された事業はモスクワと違い、ARTEMIS 導入前後における車の速度と交通量というような交通分析にとって有効なデータが公開されておらず、入手不可能である。その為、限られた指標を使わざるを得ないが、先に見たモスクワ事業のデータを参考にすることで推測可能となる指標もあり、交通量に関する資料が不十分でも事業の経済効果の分析はある程度可能なものと思われる。

そしてまた、データ不足という条件下にあるものの、ボロネジにおける事業の効果を計測する意義と必要性とを強調する必要があろう。第 4 節で詳述したように、ボロネジはモスクワ市における実証事業で成果が確認できた後に選ばれたモデル都市であり、ボロネジの次にフォローアップ事業としてロシアの他の地域への展開が行われる（添付資料図 1）。モスクワで実施された ARTEMIS の実証事業で大きな渋滞緩和効果が得られたとはいえ、首都のモスクワと地方都市の社会経済状況には大きな差がある。ボロネジの次に ARTEMIS 導入の対象となった都市は、ロシアの地方都市であり、モス

クワ市よりもボロネジ市に似た特質を備えた都市[6]であると言って良い。従って、ボロネジにおける事業の効果を分析することは、他のフォローアップ事業として選ばれた都市でも渋滞緩和の効果を実現出来るか異かを推測する一助となることが期待されるのである。

以下に、経済効果を計算する際に使う投資額・渋滞改善率・時間価値といったデータを説明する。全ての金額を 1 円 が 0,51 ルーブル（2017 年 12 月時点)という為替ルートで換算している。

事業への初期投資の全額が 6666 万円 （3400 万ルーブル）であった。そのうち、日本側の投資額が 5882 万円 （3000 万ルーブル）で、ロシア側の投資額が 784 万円（400 万ルーブル）である。

日本側の京三製作所とロシア側のボロネジ市役所で確認をしたところ[7]、2017 年に推測では ARTEMIS 導入後の渋滞時間の改善率は 17.9%であった。

ボロネジ市特有の時間価値の算出の基礎とする GRP 並びに人口・労働指標は表 6 の通りである。

（表 6）算出の元となる GDP・GRP 並びに人口・労働関連統計

	ボロネジ	ロシア
GRP（億円）	1696,5 865,2（ルーブル）	163026, 5 83143,5 （ルーブル）
総人口（千人）	2333,8	146880,4
生産年齢人口（千人）	1283,6	82253,0
労働力人口（千人）	1102,1	71842,7

（出典）ロシア連邦国家統計局の資料を基に筆者作成

時間価値を計算するために、モスクワ市事業の場合と同様の代替シミュレーションとして、GDP と GRP、それぞれ生産年齢人口・労働力人口・総人口を母数とした試算を以下のとおり行った。

[6] 例えば、ロシア連邦西部のボロネジ川沿いに位置するリペツク市、中央ウラル山脈の西側に位置しているペルミ市、北部のムルマンスク市等の都市。（添付資料図 1）

[7] 京三製作所担当者 に 2020.8.7、ボロネジ市役所担当者 に 2020.10.14､直接確認を行った。

$$VoT^{GDP}_{総人口} = \frac{\text{GDP}}{\text{P x T}} = \frac{163026,5}{146880,4 \text{ x } 1973} = 562$$

$$VoT^{GDP}_{生産年齢人口} = \frac{\text{GDP}}{\text{U x T}} = \frac{163026,5}{82253,0 \times 1973} = 1005$$

$$VoT^{GDP}_{労働力人口} = \frac{\text{GDP}}{\text{W x T}} = \frac{163026,5}{71842,7 \times 1973} = 1150$$

$$VoT^{GRP}_{総人口} = \frac{\text{GRP}}{\text{P x T}} = \frac{1696,5}{2333,8 \text{ x } 1973} = 368$$

$$VoT^{GRP}_{生産年齢人口} = \frac{\text{GRP}}{\text{U x T}} = \frac{1696,5}{1283,6 \times 1973} = 670$$

$$VoT^{GRP}_{労働力人口} = \frac{\text{GRP}}{\text{T x P}} = \frac{1696,5}{1102.1 \times 1973} = 780$$

（表 7）一人一時間あたり時間価値、ロシア vs ボロネジ市 （円）

	ロシアの GDP の場合	ボロネジ市の GRP の場合
総人口の場合	562	368
生産年齢人口の場合	1005	**670**
労働力人口の場合	1150	780

（出典）筆者作成

表 7 に記した通り、ボロネジの一人一時間あたり時間価値はロシアの値を下回り、かなり低い。ソ連の都市はボロネジのようにかつて工作機械産業等に大きく偏った産業構造を持ったところが多いが、ソ連崩壊後に苦境に陥った。こうした都市では人口規模こそ比較的大きいものの，経済的条件はさほど良好でないものが多いのである．モスクワとサンクトペテルブルク、あるいは資源採掘業の大きい地域では所得水準が高いことによって全ロシアの一人当たりの時間価値が高くなるが、ボロネジのような都市を対象にすると時間価値について全国平均の場合よりも低いことがある。そうした方がより現実的であるとも言えよう。ボロネジの GRP と生産年齢人口をベースにする場合は一人一時間あたり時間価値は 670 円である。

上記を踏まえて、事業の効果に関する推計に入る。モスクワにおける検討で、経済効果（Q）は燃料消費削減（I）と移動時間短縮（C）の効果を想定 して算出されていたが、ボロネジの事業については ARTEMIS 導入前後の平均走行速度の変化による燃料消費削減効果はデータが得られないため算出不可能なのである。ここで燃料消費削減効果を β としておく。

全体の効果は

$$Q = C + \beta = (G \times VoT \times H) + \beta$$

と表される。

さて次に、ボロネジ市の事業への初期投資が全額回収できれば、経済効果が得られたと見なすこととする。その場合、経済効果が初期投資の金額に等しくなれば良いものとなる。

ここで例えば、10 年で初期投資を回収出来るとすれば、次式

$$Q = (G \times VoT \times H \times 10) + \beta$$

が満たされる。モスクワにおける実証事業と同じように、H は 200（日）である。

10 年間で初期投資が全額回収できるにはどれぐらいの延べ移動時間削減効果が必要になるかを以下のように推定してみよう。

$$G = \frac{Q}{VoT \times H \times 10}$$

$$G\left(VoT^{GDP}_{総人口}\right) = \frac{6666}{562 \times 200 \times 10} = 59,3$$

$$G\left(VoT^{GDP}_{生産年齢人口}\right) = \frac{6666}{1005 \times 200 \times 10} = 33,2$$

$$G\left(VoT^{GDP}_{労働力人口}\right) = \frac{6666}{1150 \times 200 \times 10} = 28,9$$

$$G\left(VoT^{GRP}_{総人口}\right) = \frac{6666}{368 \times 200 \times 10} = 90,6$$

$$G\left(VoT^{GRP}_{生産年齢人口}\right) = \frac{6666}{670 \times 200 \times 10} = 49,7$$

$$G\left(VoT^{GRP}_{労働力人口}\right) = \frac{6666}{780 \times 200 \times 10} = 42,7$$

ボロネジ市の事業への初期投資を５年間で回収できるようにするためには、延べ移動時間削減効果は 10 年間で回収できる場合の２倍の規模を当然要することになる。実際にどの程度の移動時間削減が必要となるか、その算出結果は表 8 にまとめた通りである。

既述のとおり、モスクワ市での事業において ARTEMIS 信号システム導入後一年に移動時間が短縮できた一年の移動時間削減効果は 131.5 時間だったのである。その

成果をもとに、今後、他の地域へのARTEMIS信号システムの展開が検討されるようになったことに留意したい。モスクワで得られた移動時間削減効果が131.5時間だったのに対して、今次ボロネジ市事業について鑑みると、GRP・総人口を母数とした試算以外は全て、移動時間削減が100時間以下でも回収が可能だということになる。一年で延べ移動時間削減が100時間以下で良いのであるならば、1日あたりの移動時間削減は30分以下で条件を満たす。以上から，回収期間が5年間であれ10年間であれ、どちらの場合であっても実現できる可能性が高い結果になったと考えられる。

（表 8）10 年間あるいは 5 年間で初期投資が全額回収できるために必要な延べ移動時間削減効果についての感度分析（時間）

	5年後	10年後	5年後	10年後
	GDPの場合		GRPの場合	
総人口の場合	118.6	59.3	181.2	90.6
生産年齢人口の場合	66.4	33.2	**99.4**	**49.7**
労働力人口の場合	57.8	28.9	85.4	42.7

（出典）筆者作成

ボロネジとモスクワの事業対象となっている道路における交通量が仮に同じであったとすると、次の方法でボロネジの事業の延べ移動時間削減効果を算出できる。

NEDO（2018）によれば、モスクワにおける事業で得られた渋滞改善効果は最大40%であった。すなわち、移動時間を一年に 131.5 時間短縮することに成功したということである。ここで総移動時間の 40%が 131.5 時間ならは、当該道路における移動時間は全体として 328,75 時間であったということになる。本節の最初に言及したが、ボロネジにおける事業の事業主体である京三製作所 およびロシア側のボロネジ市役所によれば、渋滞改善効果は最大17,9%だったという。これを踏まえると、ボロネジの場合でも事業対象道路の総移動時間を 328.75 時間とした場合には、一年あたりで短縮できた時間は58.8時間だったということになる。

その場合は、経済効果（Q）は

$$Q = C + I = (VoT \times G \times H) + \beta = (VoT \times 58,8 \times 200) + \beta$$

となる。これまでと同様にいくつかの条件を勘案してボロネジにおける事業の評価を仮説的に行うと次のようになる（表 9）。

Q（ $VoT^{GDP}_{総人口}$）= 660 （万円）

Q（ $VoT^{GDP}_{生産年齢人口}$）= 1118 （万円）

Q（ $VoT^{GRP}_{労働力人口}$ ）= 1352（万円）

Q（ $VoT^{GRP}_{総人口}$ ）= 433（万円）

Q（ $VoT^{GRP}_{生産年齢人口}$）= 787（万円）

Q（ $VoT^{GRP}_{労働力人口}$）= 917（万円）

（表 9）ボロネジ事業とモスクワ事業の対象道路における交通量が同じと仮定する場合の一年の経済効果（万円）

	GDP の場合	GRP の場合
総人口の場合	660	433
生産年齢人口の場合	1118	**787**
労働力人口の場合	1352	917

（出典）筆者作成

上記の算出結果を使用すると、ボロネジ事業とモスクワ事業とで対象道路の交通量が同じと仮定する場合に、ボロネジ事業で投下された 6666 万円の初期投資が回収できるためにかかる年数を推測出来る。（表 10）

（表 10）初期投資回収に要する年数、ボロネジ事業 vs モスクワ事業

	GDP の場合	GRP の場合
総人口の場合	10.1	15.3
生産年齢人口の場合	5.9	**8.5**
労働力人口の場合	4.9	7.3

（出典）筆者作成

ここでモスクワの実証事業の投資回収期間を考える。NEDO による事業評価に基づくと、モスクワの事業で得られた一年の効果は約 3000 万円であったと公開されていた（本稿第 5 節）。モスクワ事業の初期投資[8]が回収できるためには 7.8 年がかかることになる。3000 万円の経済効果が事業とりまとめにおいて高く評価されていたのであるから[9]、7.8 年かかる回収は妥当なものという判断をなされたことになる。それに比較した場合、ボロネジの事業については、GRP ベース・生産年齢人口ベースで回収に要するのは 8.5 年であり、極端に長くかかるものではない。また NEDO が評価の主体としていた GDP ベースならば、それより短い期間で回収できると判断できる。

そしてまた、モスクワよりボロネジの方が延べ移動時間削減効果が高い可能性も想定され得る。ここで、自動車普及率と道路密度という二つの指標に注目を払う必要がある。第 4 節で見たしたように、2019 年度の自動車普及率を比較すると、千人当たり自動車保有台数はボロネジの場合 315 台であるのに対して、モスクワの場合 293 台となっている。その上に、第 4 節の図 4 に示されているように、ボロネジとモスクワの道路密度はほぼ 7 倍の差がある。ボロネジは、モスクワより自動車普及率が高いにも関わらず、面積あたりの道路密度が圧倒的に低い訳である。従って、モスクワ市よりボロネジ市の方が道路の混雑状況が激しい可能性が高いと考えることが出来る。表 10 に示されている経済効果は、ボロネジとモスクワの対象道路における交通量が同じと仮定した上で算出されたものだが、ARTEMIS 信号システム導入後に得られた延べ移動時間削減効果は、ボロネジ市における道路に出て来得る自動車の数および道路の整備が進んでいないという状況を鑑みれば、モスクワ市の場合より高いという事が考えられる。表 10 に基いたとしても、十年以内に回収できることが確実であるが、実際にはボロネジ市のより高い自動車普及率および整備の遅れた道路状況という条件から、効果はこの想定よりも大きく初期投資回収に要する年数は表 10 の仮説的計算 ほどかからない可能性が高いと言えるであろう。

[8] モスクワ事業の事業費は 223 百万円であった（NEDO,2018；添付資料参照）
[9] ロシア・モスクワ市における高度交通信号システム実証で大幅な渋滞緩和に成功、NEDO, 2017.11.1 https://www.nedo.go.jp/news/press/AA5_100866.html

7. 結論

本稿は日本とロシアとの相互協力の 1 つの可能性を見出すことに寄与し得る、ロシア連邦ボロネジ市で実施された ARTEMIS 信号システム導入事業による効果と投資回収期間に関する検討を行った。GRP ベース ・GDP ベースの双方を勘案して、それぞれ総人口・生産年齢人口・労働力人口を母数とした方法を使用し、代替シミュレーションを通してボロネジとモスクワでの共同事業の効果を比較した上で、ボロネジの次にフォローアップとして実施される事業に関して考察することが可能になったものと考える。

既述のとおり、日露協力の枠組みの中で実施されたモスクワにおける実証事業の成果を基に、更にロシア国内の 12 都市へ導入する計画が進捗されている。モスクワ実証事業で大きな渋滞緩和効果が得られたため、激しい渋滞問題に直面しているボロネジにおける事業にも大きな期待が寄せられていた。社会経済情勢において首都のモスクワとロシアの南西にあるボロネジには大きな隔たりがあるため、同じような成果が実現出来るか異かについて検討の余地があり得ると考えられたものの、本稿の分析ではモスクワとボロネジ、それぞれの初期投資回収にかかる期間には大きな差がないことが示された。

ARTEMIS 信号システム導入による効果と投資回収期間を分析したところ、GRP ベース・生産年齢人口ベースでは、ボロネジの場合は、ボロネジ事業とモスクワ事業の対象道路における交通量が同じと仮定する場合には一年の経済効果が 787＋ β 万円で、投資回収期間が 8.5 年であることが推測され得る。それに対して、モスクワ実証事業の 場合は、NEDO による事業経済効果評価に基づいて算出された初期投資回収期間が 7.8 年であった。すなわち、モスクワ実証事業と比較すれば、ボロネジ事業への投資額を回収するためにかかる期間はほとんど変わらないものと判断できる。

それに加えて、NEDO によるモスクワ事業評価の場合は年あたりで得られる経済効果は約 3000 万円（GDP ベース・生産年齢人口ベース）であったのに対して、本稿で GRP を基準として計算し直した結果では、一年で得られた経済効果は 5945 万円に達すると考えることが可能である。それを考慮に入れると、日本発の ARTEMIS 信号システム導入はそもそも、公開されている成果より大きな効果をもたらすものと期待することもできる。

渋滞を解消するには様々な方法があるが、放射状道路網の交通容量の制約等のロシアの歴史的な遺産と現代の状況を考慮に入れると、適切な交通管理を提供するスマート信号機という高度交通システムの実用可能性の高さを強調することが出来る。モスクワにおいてもボロネジにおいても ARTEMIS 信号システム導入によって渋滞緩和に伴う経済効果が大きいと判断されたことを鑑みれば、他の対策と比較して時間も費用も相対的に小さく押さえることの出来る日本発のスマート信号システムの普及活動が、それぞれの都市の渋滞問題の解決に寄与することが期待できるのではないかと考えられる。全ロシアの都市が深刻な渋滞問題に直面している中で、今後の共同事業によって渋滞問題の緩和が実現することが期待出来る。

更に、日本およびロシアの双方にとって有益な分野と考えられるインフラ分野における共同事業が、モスクワに限らず地方都市においても実施されることは、日本とロシアの関係の発展そして一層の深化にも貢献し得るであろう。

参考文献

ロシア語

1. Аналитическое агентство «Автостат» https://www.autostat.ru/
2. Владимиров С.Н. Транспортные заторы в условиях мегаполиса, Серия «Химическое машиностроение и инженерная экология», Известия МГТУ «МАМИ» № 1(19): 77-84, Москва, 2014
3. Воронежцы сильнее всего ощущают нехватку современного транспорта, Интернет-издательство «Abireg», 2016 https://abireg.ru/n_54783.html
4. Емельянова З., Паралич дорог: есть ли спасение от пробок?, ИА Regnum, 2017 https://regnum.ru/news/economy/2337182.html
5. Когда светофоры помогают, а не мешают автомобилистам, Экспертный центр « Probok.Net», 2020 https://probok.net/news/kogda-svetofory-pomogayut-a-ne-meshayut-a/
6. М., Фил Гудвин: Решение проблемы пробок, Информационный и политический портал «Polit.ru», 2009 https://polit.ru/article/2009/03/24/probki/#sdendnote1sym

7. Макарова И.В., Хабибуллин Р.Г., Беляев Э.И., Маврин В.Г., Применение современных методов оптимизации транспортной системы в условиях роста автомобилизации, XIII Международная заочная научно-практическая конференция «Инновации в науке»: 72-85, Новосибирск, 2012
8. Министерство строительства и жилищно-коммунального хозяйства РФ, В 14 российских городах может быть внедрена японская высокотехнологичная система управления светофорами, 2020
https://minstroyrf.gov.ru/press/v-14-rossiyskikh-gorodakh-mozhet-byt-vnedrena-yaponskaya-vysokotekhnologichnaya-sistema-upravleniya-/
9. Нам не нужна развязка, Интернет-издательство «Челябинский урбанист», 2018
https://chelurban.ru/projects/nam-ne-nuzhna-razvyazka-chast-2-transport/
10. Рейтинг российских городов-миллионников по обеспеченности автомобилями в 2019 году, Автостат, 2019
https://www.autostat.ru/press-releases/41923/
11. Решетова Е.М., Механизмы финансирования дорожной инфраструктуры в России и в мире, Издательский дом ВШЭ, Москва, 2015
12. Самые загруженные города России, Интернет-издательство «The Village», 2017
https://www.the-village.ru/village/city/transport/257524-traffic
13. Сколько машин в Москве?. Интернет-портал «Universe of cars», 2018
https://universeofcars.ru/skolko-mashin-v-moskve-v-2018-godu/
14. Территориальный орган Федеральной службы государственной статистики по Воронежской области, 2019
https://voronezhstat.gks.ru/
15. Фалалеев Д., Город без движения, Harvard Business review, Издание «Ведомости», Москва, 2008
https://hbr-russia.ru/management/strategiya/a9386
16. Федеральная служба государственной статистики (РОССТАТ)
https://rosstat.gov.ru/
17. Хатояма К., Сравнительный анализ токийского и московского опыта по улучшению ситуации с дорожными пробками в Москве: взгляд из Москвы и Токио), Журнал «Сравнительная политика» 2(1(3)):114-123, Москва, 2011
18. Что не так в первой иерархии умных городов, Аналитический центр «Эксперт Юг», 2020
https://expertsouth.ru/news/chto-ne-tak-v-pervoy-ierarkhii-umnykh-gorodov/

日本語

19. 国土交通省、「市圏の交通渋滞対策 －都市再生のための道路整備－」、2003 https://www.mlit.go.jp/common/000043136.pdf
20. 国土交通省、「時間価値原単位について」 https://www.mlit.go.jp/road/ir/ir-council/hyouka-syuhou/2pdf/3.pdf
21. 世界経済フォーラム、世界経済フォーラム 競争力ランキング 2019、2019 http://www3.weforum.org/docs/WEF_TheGlobalCompetitivenessReport2019.pdf
22. 竹内健蔵、「ソーシャルコスト入門、時間価値とは何か」,『No-Dig Today』 No.76: 64－66, 2011
23. 東京環境局,「交通需要マネジメント」 https://www.kankyo.metro.tokyo.lg.jp/vehicle/management/index.html
24. NEDO,「高度交通信号システム（自律分散制御） 実証事業」、2018 https://www.nedo.go.jp/content/100890973.pdf

英語

25. Braess Paradox: maximum penalty in a minimal critical network. Transportation Research A 31(5): 379–388, 1968
26. Duranton, G., & Turner, M. A. The Fundamental Law of Road Congestion: Evidence From US Cities. American Economic Review, 101 (6): 2616-52, 2011

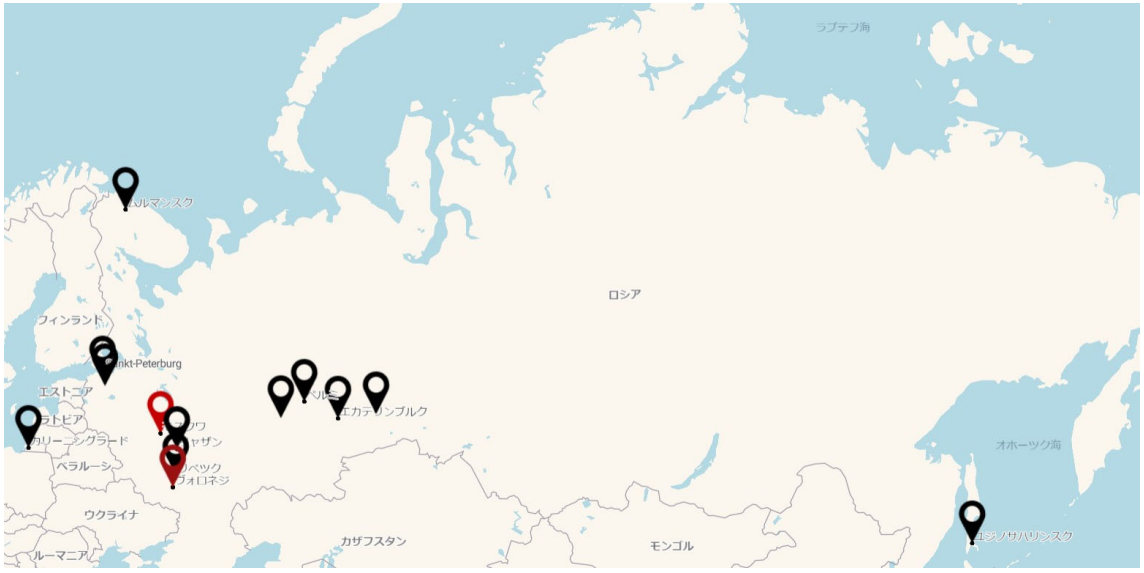
添付資料

（表．１）モスクワ実証事業の概要

企業・組織	モスクワ市交通管制センター（TsODD） NEDO（新エネルギー・産業技術総合開発機構） 京三製作所 野村総合研究所（NRI）
業種	公共
地域	モスクワ市の北側 （オニェジスカヤ通りの約 2km の区間にある 5 つの交差点）
場所の特徴	オニェジスカヤ通りの特徴 • 朝のピークは南進、夕方のピークは北進 • 北側からの流入交通量が多いため、南進がいつも渋滞 • モスクワの中心部に入るための抜け道
枠組み	日露経済交流の促進に向けた８項目の「協力プラン」
問題	信号機がモスクワの管制センターからの指示を受けて動作しているが、交通量に応じて制御できないので、渋滞を引き起こしていた
解決の方法	交通量に応じて信号の待ち時間が最小になるように信号の切り替え感覚を制御できる ARTEMIS という日本の「自律分散信号システム」の導入
実施時期	2015 年 12 月－2017 年 10 月
事業費	計 223 百万円

（出典）筆者作成

（図１）フォローアップ事業の対象となるロシア国内の 12 都市の位置



赤：モスクワ市

濃赤：ボロネジ市

黒：サンクトペテルブルク市、　エカテリンブルグ市、　カリーニングラード市、　ムルマンスク市、ガッチナ市、　イジェフスク市、　リペツク市、　ペルミ市、　リャザン市、　チュメニ市、　ユジノサハリンスク市。

（出典）筆者作成