

# ランドブリッジと海上輸送の競合を考慮した ユーラシア大陸インターモーダル国際物流 ネットワークモデルによる一帯一路政策の分析

西村 健太郎<sup>1</sup>・柴崎 隆一<sup>2</sup>・田邊 玲<sup>3</sup>・加藤 浩徳<sup>4</sup>

<sup>1</sup> 学生非会員 東京大学大学院 工学系研究科システム創成学専攻  
E-mail:kentaro-nishimura177@g.ecc.u-tokyo.ac.jp

<sup>2</sup> 正会員 東京大学大学院准教授 工学系研究科システム創成学専攻  
E-mail:shibasaki@sys.t.u-tokyo.ac.jp

<sup>3</sup> 正会員 パデコ株式会社

E-mail:satoshi.tanabe@padeco.co.jp

<sup>4</sup> 正会員 東京大学大学院教授 工学系研究科社会基盤学専攻  
E-mail:kato@civil.t.u-tokyo.ac.jp

本研究は、筆者らがこれまで世界各地を対象に構築してきた、物流やインフラ政策などの、コンテナ輸送への影響に関するシミュレーションを目的としたインターモーダル国際物流モデルをユーラシア大陸に適用する。また、ランドブリッジと海上輸送の競合を考慮するため、これまで対象外であった、陸上輸送で完結する貨物を取り込むためのモデル修正やゾーンの細分化、入力する OD 貨物量の精緻化を行った。モデルにより推計されたユーラシア大陸地域のゲートウェイ港湾の輸出入貨物量や、カザフスタン国境における鉄道コンテナ通過貨物量を実績値と比較し、概ね妥当な再現性が得られることを確認した。

また、構築したモデルを用いて、中国の「一帯一路」構想における鉄道網の発展に関するシミュレーションを行い、鉄道輸送運賃の補助など海上から陸上輸送に貨物がシフトする条件について確認した。

**Key Words:** *intermodal shipping network, container cargo, network assignment model, Eurasian continent, Belt and Road Initiative, policy simulation*

## 1. はじめに

1950年代に出現したコンテナ輸送は、世界的な経済成長ともあいまって急速に世界に普及し、世界の交易も拡大し続けてきた。また、海上輸送と、道路や鉄道、内航水運などの背後輸送ネットワークとの接続性（インターモーダリズム）の向上も進んでおり、世界の物流ネットワークは、海上輸送と背後輸送がより緊密に結びついた複雑なものとなってきている。

近年では、ユーラシア大陸を横断するシベリア鉄道に加え、中国が主導する「一帯一路」構想にも位置づけられたチャイナランドブリッジも整備が進み、多くのルートが選択可能となっている。

このように、従来より輸送費用の安さから普及していた海上輸送に加え、輸送時間の短さやルートを選択肢が多い陸上輸送にも注目が集まり、陸上輸送（ランドブリッジ）と海上輸送の競合がより注目されるようになってきている。そこで本研究では、複雑化した世界の物流ネットワークの中で、どのような経路が実際に選択されているのか、また、海上輸送と陸上輸送が実際にどのように競合しているのかを把握するため、海上輸送と陸上輸送を

統合し、世界の国際コンテナ輸送の現状を再現した物流ネットワークモデルを構築することを目的とする。構築するモデルは、Shibasaki et al.<sup>1)</sup>および柴崎・川崎<sup>2)</sup>のモデルをベースとして、陸上輸送で完結する貨物の動きも考慮可能なように修正している。さらに、対象をユーラシア大陸としてモデルを構築し、中国の「一帯一路」構想に関する政策がコンテナ輸送に与える影響について、シナリオ分析を行うものである。

## 2. 既往研究

国際海上コンテナ貨物を対象としたモデル構築に関する過去の研究例は、仮想的な単純化されたネットワークを対象とした理論モデルが多く、実在する輸送ネットワークを対象としたモデルも、世界的な流動までは対象としていないか、あるいは大規模であるほど容量制約を考慮しないなど単純化され、再現性の確認が十分なされていないなどの課題が残っている。

Tavasszy et al.<sup>3)</sup>のモデルは、地球規模の貨物フローを再現しているものの、混雑（容量制約）が考慮されておら

ず、また航行コストなどの設定も単純化されている。また IIP<sup>4)</sup>のモデルも、国際貨物輸送と二酸化炭素排出量の予測を関連させている点が特徴的であるものの、リンクやノードの容量、ノードの区別、経路選択の条件について簡易なものとなっている。

柴崎・川崎<sup>2)</sup>のモデルは、海上輸送モデルは世界全域、陸上輸送モデルは南アジアを対象としながら、実際の港湾取扱量やコンテナ輸送量、ネットワークや輸送機関、リンクごとの各種サービスレベルを所与とし、より現実に近いネットワーク上での荷主の行動に焦点を当てることで、モデルを構築している。また、各輸送機関の容量制約も考慮している。さらに、実際に南アジア地域に対してモデルを適用し、当該地域の物流インフラ政策の影響分析を行っている。

### 3. モデル

本研究は柴崎・川崎<sup>2)</sup>のモデルをベースとしているものの、ここではすべてのコンテナ貨物が一度は海上輸送を利用するという前提があった。本研究では、陸上輸送と海上輸送の競合を考慮するため、後述するいくつかの点でモデル構成と入力データに変更を加えた。以下の(1)で本研究のモデル構成、(2)でモデルの入力データ、(3)でモデルの全体解法について述べる。

#### (1) モデル構成

上述したように、本研究では柴崎・川崎<sup>2)</sup>のモデルと同様に、確率的ネットワーク配分モデルである1つの上位問題と、利用者均衡配分モデルである2つの下位問題の入れ子構造を採用している。ただし、陸上輸送で完結する貨物の動きも考慮するため、図-1で示すように、上位問題のネットワークにおいて、貨物の発地ノード(Oノード)と着地ノード(Dノード)を直接結ぶ陸上輸送リンクを追加した。また、陸上輸送ネットワーク構築の対象地域はユーラシア大陸とする(図-2)。具体的な対象国は、中央アジアのゲートウェイ港湾や中国発着の定期コンテナ列車(中欧班列)の主要目的地を含む23ヶ国(中国、ロシア、カザフスタン、キルギス、トルクメニスタン、ウズベキスタン、タジキスタン、モンゴル、パキスタン、アフガニスタン、イラン、アルメニア、アゼルバイジャン、ジョージア、エストニア、ラトビア、リトアニア、ベラルーシ、モルドバ、ウクライナ、ポーランド、ドイツ、オランダ)とする。

上位問題では、貨物ごとに効用が最大となる経路を選ぶとし、効用は観測可能な確定項 $V$ と、観測不可能な誤差項 $\varepsilon$ で表されるとする。誤差項が互いに独立で、ガンベル分布に従うと仮定したとき、地域 $i$ から $j$ までの所

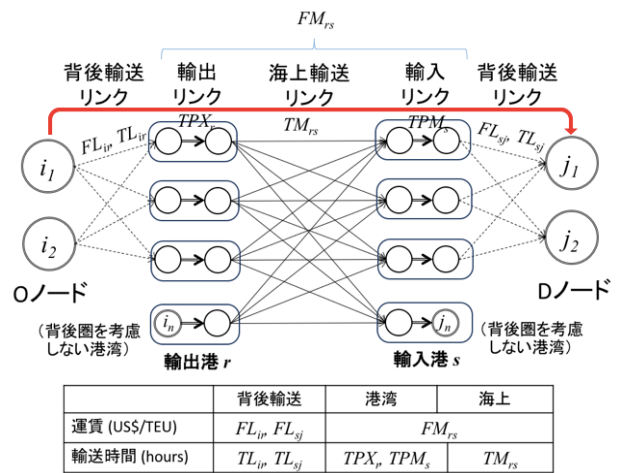


図-1 本研究の上位問題のネットワーク

出典：柴崎・川崎<sup>2)</sup>より一部改変

与の年間輸送需要 $Q^{ij}$  (TEU/年)のうち、経路 $h$ を選択する貨物量 $F_h^{ij}$  (TEU/年)は次の式(1)で表される。ここで、 $\theta$ : ガンベル分布の分散パラメータ、 $h'$ :  $h$ 以外の経路、 $H^{ij}$ : 地域 $i$ から $j$ までの輸送についての経路の集合である。

$$F_h^{ij} = Q^{ij} \times \frac{\exp(\theta \times V_h^{ij})}{\exp(\theta \times V_h^{ij}) + \sum_{h' \in H^{ij}} \exp(\theta \times V_{h'}^{ij})} \quad (1)$$

また、確定項 $V_h^{ij}$ は輸送費用と時間を考慮し、一般化費用の符号を負にした次の式(2)で定義する。ここで、 $r$ : 輸出港(経路 $h$ に含まれる)、 $s$ : 輸入港(経路 $h$ に含まれる)、 $vt$ : 時間価値パラメータ(US\$/TEU/hour)、 $FL_{ir}$ : 発地 $i$ から輸出港 $r$ までの運賃(US\$/TEU)、 $FL_{sj}$ : 輸入港 $s$ から着地 $j$ までの運賃(US\$/TEU)、 $FM_{rs}$ : 輸出港 $r$ から輸入港 $s$ までの港湾料金を含む運賃(US\$/TEU)、 $TL_{ir}$ : 発地 $i$ から輸出港 $r$ までの所要時間(hour)、 $TL_{sj}$ : 輸入港 $s$ から着地 $j$ までの所要時間(hour)、 $TPX_r$ : 輸出港 $r$ におけるリードタイム(hour)、 $TPM_s$ : 輸入港 $s$ におけるリードタイム(hour)、 $TM_{rs}$ : 輸出港 $r$ から輸入港 $s$ までの海上輸送時間(hour)である。なお、 $FM_{rs}, TPX_r, TPM_s, TM_{rs}$ は、陸上輸送で完結する貨物については考慮しない。

$$V_h^{ij} = -(FL_{ir} + FM_{rs} + FL_{sj}) - vt \times (TL_{ir} + TPX_r + TM_{rs} + TPM_s + TL_{sj}) \quad (2)$$

2つの下位問題については、柴崎・川崎<sup>2)</sup>と同じネットワーク構成のモデルを適用する。海上輸送サブモデルは、各港湾間の海上輸送運賃は船社・経路によらず一定(ODベースで決まるもの)と仮定し、混雑を考慮した所要時間のみを対象として、Wardropの第一法則(交通量の配分に関する等時間原則)に基づき、利用者均衡配分モデル(式(3),(4),(5),(6))を適用する。

$$\min z(x) = \sum_{a \in A} \int_0^{x_a} t(x_a) dx \quad (3)$$

$$s. t. x_a = \sum_{(r,s) \in R \times S} \sum_{k \in K^{rs}} \delta_{a,k}^{rs} \times f_k^{rs}, \forall a \quad (4)$$

$$\sum_{k \in K^{rs}} f_k^{rs} - q^{rs} = 0, \forall r, s \quad (5)$$

$$f_k^{rs} > 0, \forall r, s, k \quad (6)$$

$x_a$ : リンク  $a$  の年間フロー (TEU/year,  $A$  はリンクの集合)

$t(x_a)$ : 所要時間関数

$f_k^{rs}$ : 経路  $k$  のフロー ( $K$  は経路の集合)

$q^{rs}$ : 港湾  $rs$  間の海上貨物輸送需要

$\delta_{a,k}^{rs}$ : クロネッカーのデルタ

( $a$  が  $k$  に含まれれば 1, 含まれなければ 0)

陸上輸送サブモデルは、市場の実態を反映し、海上輸送と異なり運賃はリンクベースで各リンクの限界輸送費用に一致するもの（鉄道への積卸費用および時間は別途想定）と仮定する。よって輸送費用と輸送時間を共に考慮した、一般化費用に基づく利用者均衡配分（式(7),(8),(9),(10)）を行う。

$$\min z(x) = \sum_{a \in A} \int_0^{x_a} u(x_a) dx \quad (7)$$

$$s. t. x_a = \sum_{(i,r) \in O \times R'} \sum_{k \in K^{ir}} \delta_{a,k}^{ir} \times f_k^{ir} + \sum_{(s,j) \in S' \times D'} \sum_{k \in K^{sj}} \delta_{a,k}^{sj} \times f_k^{sj}, \forall a \quad (8)$$

$$(\sum_{k \in K^{ir}} f_k^{ir} + \sum_{k \in K^{sj}} f_k^{sj}) - (q^{ir} + q^{sj}) = 0, \quad \forall r, s, i, j \quad (9)$$

$$f_k^{ir} \geq 0, f_k^{sj} \geq 0, \forall k, r, s, i, j \quad (10)$$

## (2) 入力データ

本研究に必要な入力データは、海上輸送と陸上輸送のサブモデルそれぞれのリンク距離やサービスレベル（頻度、容量、速度等）、輸送費用、陸上越境費用・時間、港湾荷役費用・時間などのネットワークデータ、および地域間輸送需要である。データは原則として 2013 年のものである。

### a) 対象港湾

対象港湾は、柴崎・川崎<sup>2)</sup>が対象としている 173 港に加え、中央アジアのゲートウェイ港湾として考えられる 5 地域（極東ロシア、中国、アラビア海沿岸、黒海沿岸、バルト海沿岸）に含まれる港湾のうち、上記の 173 港に含まれない 14 港も加え、187 港とした。輸出入時の港湾のサービスに関するモデル入力変数は、柴崎、川崎<sup>2)</sup>と同様の手順で決定する。

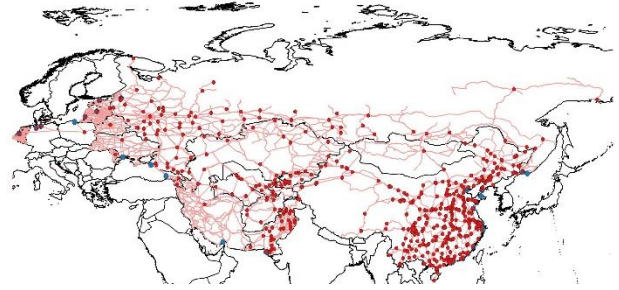


図2 本研究の陸上輸送ネットワーク

### b) 海上・陸上ネットワークデータ

ネットワークデータのうち、海上輸送ネットワークデータは柴崎・川崎<sup>2)</sup>と同様に、MDS containership databank データ<sup>5)</sup>（以下 MDS データ）を利用する。MDS データでは、コンテナ船ごとに、就航定航サービス、運航船社、共同運航船社、寄港地リスト、年間サービス頻度、船腹量（TEUベース）、船速などが得られる（ただし輸送実績は含まない）。

陸上輸送ネットワークデータは、道路・鉄道については ADC WorldMap<sup>6)</sup>を利用し、域内水運については、インタビュー調査の結果等をもとに個別に追加する。また一部の道路や鉄道も同様に追加する。対象ノード数は 15,572（そのうち OD ノードは 544）、リンク数は 17,137 である。各輸送機関の速度や容量、頻度等のサービスレベル、輸送費用、陸上越境費用・時間は、現地インタビュー調査や各種資料に基づき設定する。

### c) 地域間輸送需要

TEUベースで作成する地域間貨物輸送需要データ（以下 OD 表とする）は、IHS 社の提供する WTS（世界貿易サービス）データ<sup>7)</sup>における、2013 年の取引実績を用いた。この際、陸上輸送で完結する貨物の OD 表（以下陸上 OD 表）と、それ以外の貨物の OD 表は分けて作成し、最終的に統合して一つの地域間輸送需要データとする。WTS データは、国単位と中央アジアのような複数国（地域）単位のデータが混在している。一方、追加的に入手した 2011 年の WTS データには、中央アジア、南コーカサスの各国データが含まれる。また国連貿易統計（UN comtrade）<sup>8)</sup>では、金額ベースであるものの、国単位の貿易データが入手可能である。そこで、2011 年の WTS データと、2011 年および 2013 年の UN comtrade を用いて相手国別に地域内各国シェアを算出し、2013 年の WTS データに適用することで国単位の OD 表を作成した。なお、WTS の陸上 OD 表は、海上 OD 表と異なり荷姿（コンテナ、ドライバルク、液体バルク等）別となっており、パイプラインで輸送される貨物なども含まれるため、海上 OD 表から得られる品目別コンテナ化率（総海上輸送量のうちコンテナ輸送される割合）を乗じることで、コンテナ輸送に相当する貨物量を抽出した。なお、

これらの貨物の実際の荷姿は不明であるものの、入力データの単純化のため、陸上輸送においても国際海上コンテナと同単位で輸送される（トラック 1 台＝鉄道 1 コンテナ＝1 TEU）と仮定した。

次に、複数のデータベースより算出したゾーン比率を用いて、国レベルからゾーンレベルに細分化した。その際、中国については、国土が広大でかつ発生集中貨物量も多いことから、2015 年の中国税関統計<sup>9)</sup>（発着都市別相手国別品目別貿易額）を用いて、335 の地級市相当レベルに細分化した。ロシアについても、同様に第 2 段階の行政区画である 81 の連邦構成体レベルに細分化した。ただし、ロシアの細分化に使用した 2013 年のロシア税関統計<sup>10)</sup>は品目別ではなく、また相手国も CIS 諸国と CIS 諸国以外の諸国の 2 区分となっているため、中国ほどは細分化による OD 貨物量の精緻化はできていない。

### (3) モデル計算

モデル計算は、柴崎・川崎<sup>2)</sup>のモデルと同様に、海上貨物輸送需要と陸上貨物輸送需要を所与として下位問題を解き、アウトプットされた海上輸送サブモデルの輸送時間やそれをもとに推計された運賃、および陸上輸送サブモデルの一般化費用を、上位問題にインプットして解くという手順を一回のモデル計算とする。これを、あらかじめ設定した収束判定基準を満たすまで繰り返し計算を行うことで、最終的な結果を得る。初期計算においては、陸上貨物輸送需要の初期値を推定するのが難しいため、陸上モデルのみゼロフローを入力としてモデルを解く。また海上輸送サブモデルの計算は他のモデルよりも計算時間がかかるため、偶数回目のモデル計算のみで計算し、奇数回目の計算では前回の計算結果を再度用いる。

## 4. モデルの計算結果と現状再現性

3.(2)a)に示したモデル対象港湾のうち、陸上輸送ネットワークと接続する港湾のコンテナ取扱量（実入りコンテナのみ、2013年）について、各種資料より算定した実績値とモデル計算による推計値を、輸出入別に比較する（図-3, 4）。図-3に示す輸出コンテナについては、再現性が十分高いといえる。図-4に示す輸入コンテナに関しては、重相関係数はあまり高くないものの、地理的に近接する Shanghai 港と Ningbo 港を統合した場合の重相関係数は 0.8884 となる。よって、Shanghai 港と Ningbo 港のような地理的に近い港湾における推計誤差の改善は今後の課題であるものの、全体の再現性は輸出入ともに概ね妥当であるといえる。

図-5に、カザフスタンと周辺各国との主要国境（位置については図-6参照）における鉄道通過貨物量につい

て、カザフスタンフォワーダー協会資料<sup>11)</sup>より得られた実績値と、モデルによる推計結果を比較した。図より、カザフスタン国境地点における鉄道通過貨物についても、モデルによる現状再現性はおおむね妥当であることが確認できた。

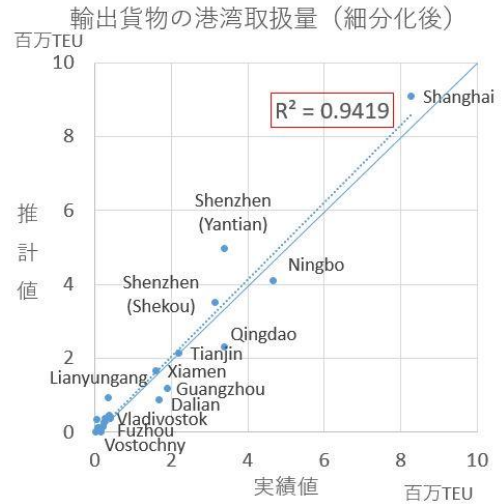


図-3 陸上輸送ネットワークと接続する港湾の輸出実入りコンテナ取扱量の実績値とモデル推計値の比較



図-4 陸上輸送ネットワークと接続する港湾の輸入実入りコンテナ取扱量の実績値とモデル推計値の比較

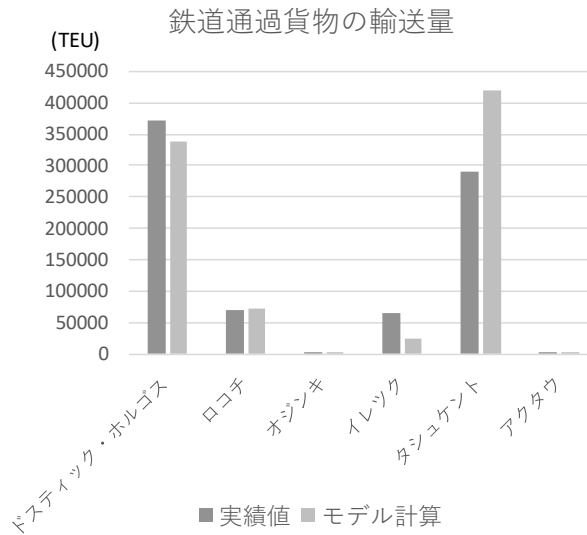


図5 カザフスタンの各国境地点を通過する鉄道貨物輸送量の実績値と推計値の比較



図6 カザフスタン各国境地点の位置

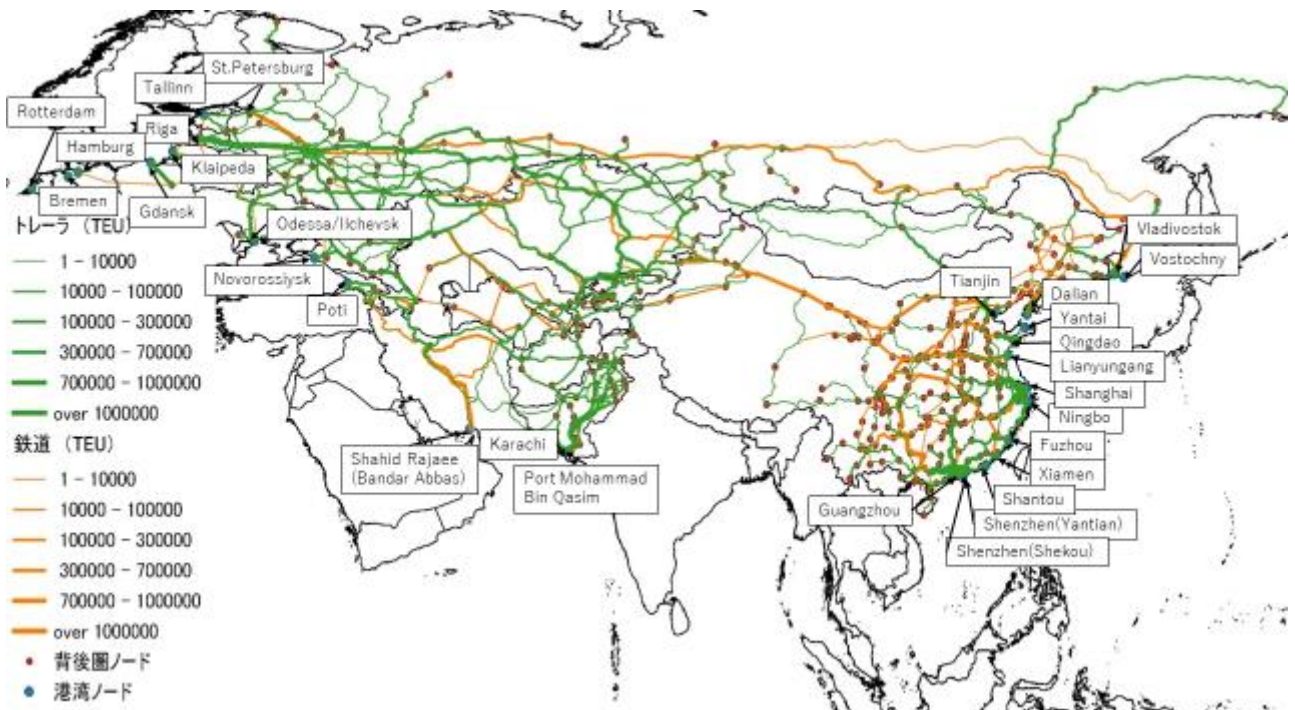


図7 陸上輸送ネットワークのコンテナフロー推計値

また、図7にモデルによる陸上輸送ネットワークのコンテナフローの推計値を示す。図7より、ユーラシア大陸の西側（カザフスタン以西）は、長距離輸送でもある程度トレーラ輸送が利用される傾向が強いのに対し、東側（中国や極東ロシア）は鉄道輸送が比較的強いという傾向が観察され、これは現地インタビュー調査の結果とも一致する。

さらに図8,9,10に、中国沿岸部の上海、内陸部の重慶、カザフスタン国境付近の新疆ウイグル自治区をそれぞれ発地とする貨物について、ユーラシア大陸各地域へ輸送

される貨物のうち陸上輸送されるものの割合を示す。これらの図より、発地が内陸にあるほど、ユーラシア大陸において陸上輸送が利用される範囲と割合が拡大することがわかる。また、沿岸部の上海市だけでなく内陸部の重慶市からも極東ロシアへ陸上輸送される貨物はないことから、中国から極東ロシアへは、海上輸送が有利であることもわかる。

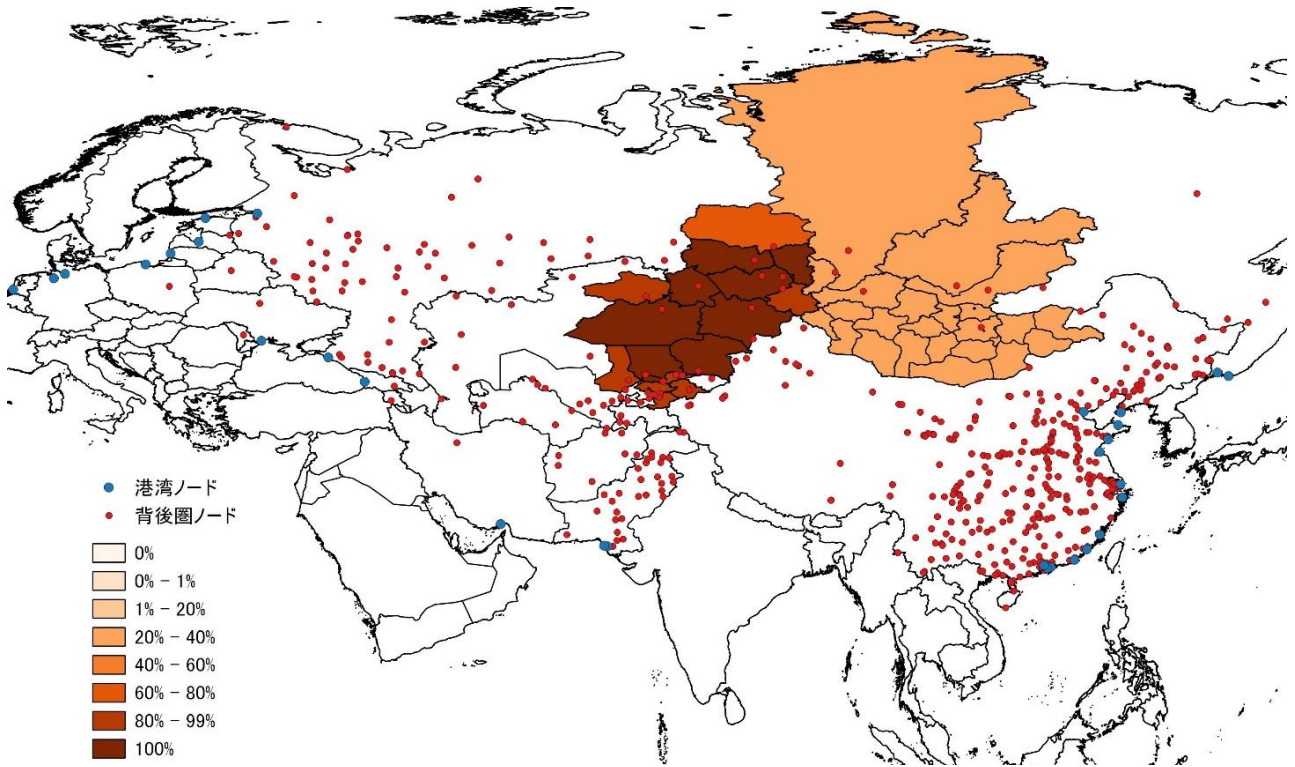


図-8 上海市発貨物の着地域別陸上輸送貨物シェアの推計結果

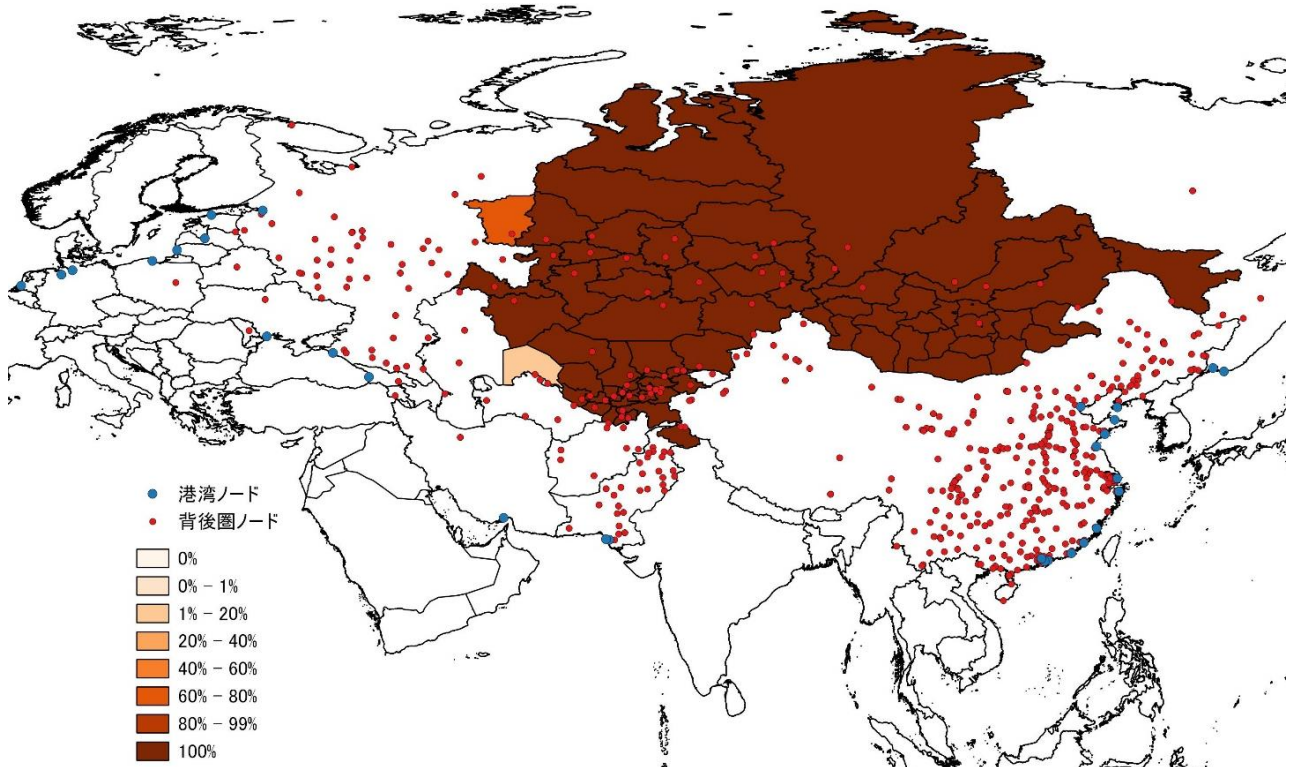


図-9 重慶市発貨物の着地域別陸上輸送貨物シェアの推計結果

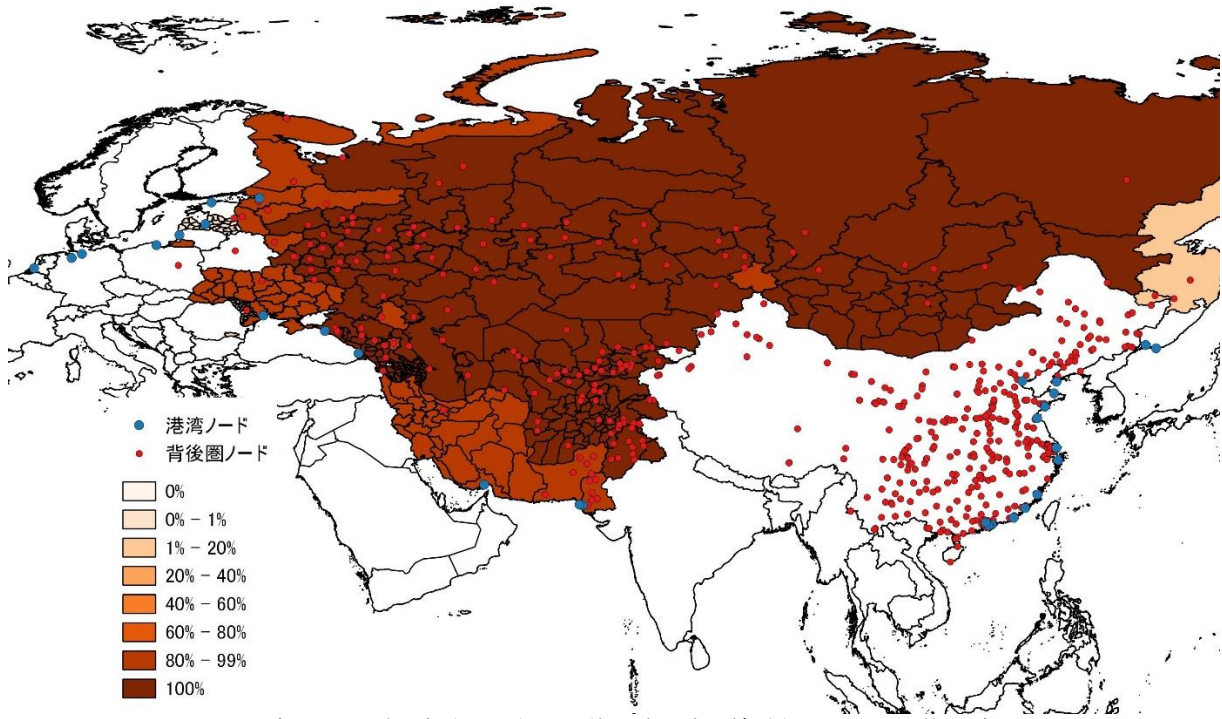


図-10 新疆ウイグル自治区発貨物の着地域別陸上輸送貨物シェアの推計結果

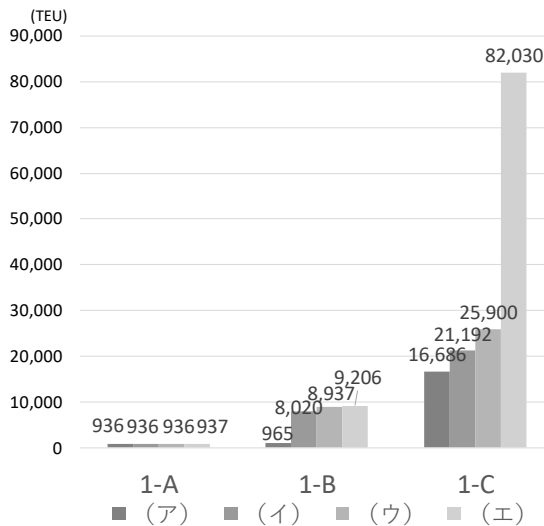


図-11 各シナリオの中国発欧州着陸上貨物量

を追加した 1-A(ア)から 1-C(エ)までの計 12 シナリオをもとに、中国発ヨーロッパ着陸上輸送量の変化を図-11に整理した。運賃割引の際は、モデル上の経路全体の鉄道輸送運賃の合計を割引した。図より、以下の点がわかる。まず、25%の運賃割引では、他の追加条件の有無にかかわらず、輸送量は変化しない。次に、50%の割引では、運航頻度を増加させることで輸送量が増加するものの、輸送速度や国境抵抗の変化は影響しない。そして、75%まで割引すると、他条件がなくとも輸送量は大きく増加し、条件を追加していくたびに輸送量は増加する。特にカザフスタンとの国境抵抗を減らすことで、輸送量がさらに大きく増加する。以上より、運賃割引率が大きいほど、利便性の向上を目的としたインフラ投資施策や越境交通政策の影響を受けやすいことがわかる。

また、カザフスタンフォワード協会資料<sup>11)</sup>によると、2016年にカザフスタンを通過する鉄道コンテナ貨物で中国とヨーロッパを発着する貨物は 99,306 TEU である。よって、このシナリオにおける輸送量が、2015年～2016年の輸送実績に近いことを確認した。これより、中国が中欧班列の輸送運賃に出している補助金が、シナリオ 1-C(エ)の条件と同程度に大きい可能性が示唆される。

さらに、輸送量が最大と推計されたシナリオ 1-C(エ)における、中国発ヨーロッパ着陸上輸送量の省別内訳を図-12に示す。図より、重慶市発の輸送量が半分以上を占め、重慶と同様に中国内陸部に位置する湖北省や四川省に加え、中国西部の新疆ウイグル自治区や甘粛省を発地とする貨物で大部分を占めることがわかる。

## 5. モデルを用いた一帯一路政策の分析

### (1) 中欧班列の利用促進

中国と欧州を結ぶ定期コンテナ列車である中欧班列の利用促進を目的に、中国政府が実施しているとされている補助金<sup>12)</sup>等の施策について分析を行った。鉄道運賃をそれぞれ 1-A: 25%, 1-B: 50%, 1-C: 75%に引き下げ、それぞれの条件において、

- (ア)：他条件なし、
- (イ)：運行頻度を 28 (便週) に増加、
- (ウ)：(イ)に加えて速度を 40 (km/hour) に上昇、
- (エ)：(ウ)に加えてカザフスタンとの国境抵抗を半減、

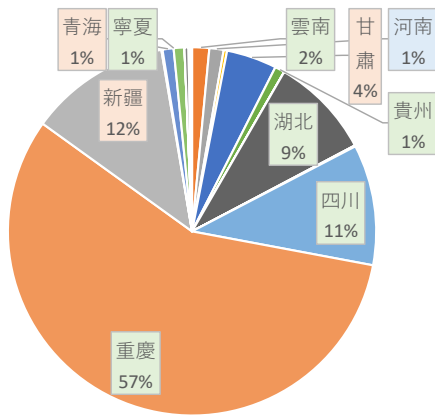


図-12 シナリオ 1-C- (エ) における中国発ヨーロッパ着陸上輸送貨物の発地内訳

## (2) カスピ海ルートの整備

一帯一路政策の「一帯」ルートのうち、(1)で分析したロシア経由の主要ルートの代替として、ロシアを経由せず中国からヨーロッパ方面にアクセス可能なカスピ海横断国際輸送ルート（図-13）が注目されている。ただし、カスピ海を航行するフェリーの運航頻度が安定しておらず、実態としてはまだほとんど利用されていない。そこで、フェリーのサービスレベルの安定・向上を念頭に、距離比例運賃の 3.0(US\$/km)から 1.0(US\$/km)への引き下げおよび運航頻度の 2(便/週)から 21(便/週)への引き上げを実施し、かつルート上の鉄道運賃を(1)と同様に 75% 割引したシナリオ（シナリオ 2-a）を想定する。さらに、中国・カザフスタン間の国境抵抗を 50%, 75%, 100% 下げたシナリオ 2-b, 2-c, 2-d を設定し、各シナリオにおける、中国発イラン・南コーカサス各国着貨物の陸上輸送量を推計した。推計結果を、4.で示した現状再現結果（ベースシナリオ）における輸送量とともに図-14 に示す。図より、シナリオ 2-a における陸上輸送貨物は、ベースシナリオから 4 カ国とも大きく増加した。また中国・カザフスタン間の国境抵抗を下げるほど、イランとジョージア着貨物の陸上輸送量がさらに増加することがわかる。

また、各国着貨物について、シナリオごとの陸上輸送割合を図-15 に示す。図-15 より、ベースシナリオからシナリオ 2-a における条件改善によって、4 カ国とも陸上輸送のシェアが増加していることがわかる。このうちジョージアとイランは自国の海港（ポチ、バンダルアッバス）が存在することもあり、シナリオ 2-a では依然として海上輸送のシェアが大きい。また両国は、中国からの陸上輸送距離は同程度であるものの、中国・カザフスタン間の国境抵抗を下げた場合の陸上輸送シェアについては、ジョージア着貨物は国境抵抗がゼロに近づくと同様に陸路シェアが 100%に近づくのに対し、イラン着貨物の陸路シェア増加率はあまり大きくないという相違が生じる。これは、中国からの海上輸送距離が両国で大きく異なる

（ジョージアの港湾が黒海に面しておりスエズ運河を通過するルートでアクセスが必要なのに対し、イランの港湾はアラビア海に面している）ためと考えられる。

さらに、フェリーリンクのコンテナフローを分析し、中国発の陸上貨物輸送量の増加量がフェリーリンクのフローの増加量と概ね一致することを確認した。これらの分析により、今後さらに当該ルートの整備や中国・カザフスタン間の越境コスト等に関する政策的支援が進めば、中国～ヨーロッパ間の陸上輸送貨物がカスピ海ルートを利用する可能性があると言える。特にジョージアやイランを発着する貨物の輸送ルートに大きな影響があると考えられる。

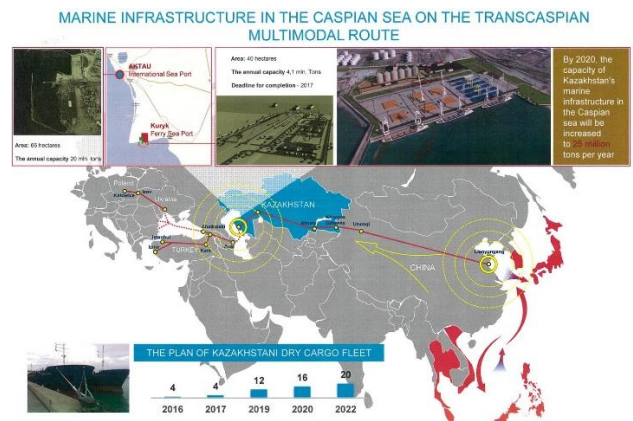


図-13 カスピ海横断国際輸送ルート  
出典：カザフスタン鉄道資料

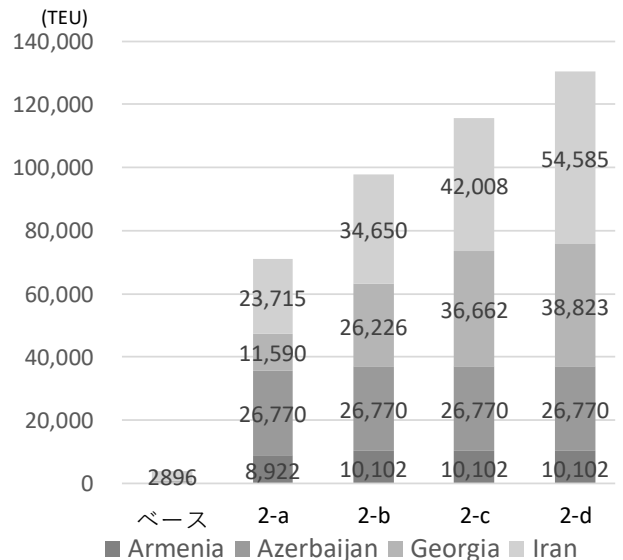


図-14 各シナリオにおける中国発貨物の陸上輸送量



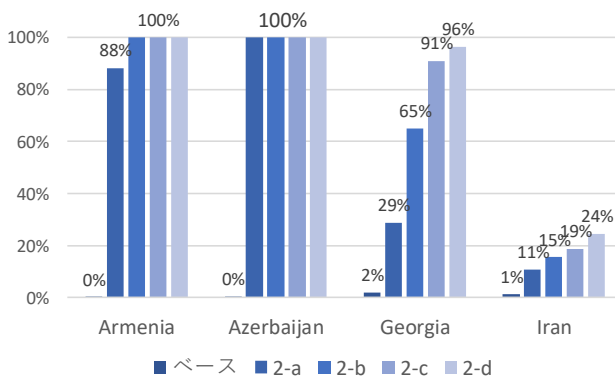


図15 各国着貨物のシナリオ別陸上輸送割合

## 6. 結論

本研究では、Shibasaki et al.<sup>1)</sup>および柴崎・川崎<sup>2)</sup>のインターモーダル国際物流ネットワークモデルをベースとし、ユーラシア大陸に適用した。中央アジアのゲートウェイ港湾を対象港湾として追加し、広範囲の陸上輸送ネットワークにおけるリンク容量や速度、鉄道やフェリーの運航頻度などのサービスレベルを設定し、ゾーン間の国際海上コンテナ貨物輸送需要（海上 OD 貨物量）を整備した。さらに、ランドブリッジと海上輸送の競合を考慮するため、陸上輸送のみで完結する貨物をモデルに取り込んだ。そのために、上位問題のスーパーネットワーク上におけるリンクの追加や、入力する陸上 OD 貨物量の算定を行った。OD 貨物量を算定する際、コンテナ化率を考慮することで、石油・ガス・ばら積み貨物などコンテナ相当貨物以外の貨物を除外した。また、ゾーンごとに相手国別貿易額を含む税関データに基づき、中国の地域代表ノードのゾーンレベルを細分化し、OD 貨物量を精緻化した。ロシアにおいても、税関データの性質上 OD 貨物量の精緻化まではいかないものの、広大な国土面積を考慮し、地域代表ノードの数を増加させた。

上記により構築したモデルについて、陸上輸送ネットワークと接続する各港湾の輸出入コンテナ貨物取扱量、カザフスタンと各国の国境における鉄道通過コンテナフロー、および陸上輸送ネットワーク全体のコンテナフローに関する推計結果を、実績値やヒヤリング調査等をもとに把握した実態と比較することによって、概ね妥当な再現性があることを確認した。

また、モデルを用いて、中国の「一帯一路」構想（特に陸上ネットワークに関する「一帯」構想）に関連する政策分析を行い、コンテナ相当貨物が中国とヨーロッパの間を陸上輸送される条件や、そのときのゾーンごとの輸送量の特徴を分析し、フローの変化を地理的観点などから考察した。また、カスピ海横断国際輸送ルートの特徴についても、条件を変えたときの貨物フローの変

化を確認し、さまざまな支援施策を実施すれば、中国～ヨーロッパ間の輸送貨物が当該ルートを利用する可能性が十分あることを確認した。

以上より、本研究の目的はおおむね達成できたものの、いくつかモデル構築上の課題は残っている。まず、ユーラシア大陸におけるトレーラ輸送の実態を再現するために、鉄道の距離比例コストがやや厳しくなっていることである。その結果、中国からヨーロッパへの長距離輸送を鉄道で行う場合の輸送運賃の推計値が、実態よりも大きい可能性がある。本研究では、「一帯一路」構想に関するシナリオ分析において、かなりの運賃割引を行わないと実際の最近の利用量を再現できない結果となったものの、実際の運賃割引率はそこまで大きくない可能性がある。また、品目ごとに時間価値パラメータを変えるモデルへ修正することで、陸上輸送のメリットである輸送時間の短さを、より直接的にモデルに反映させることも今後の課題である。

次に、現在のモデルによる計算では、図8～10に示したように、地域ごとの海上輸送と陸上輸送のシェアが、文献調査などより推測される実態よりも片方に偏りすぎてしまう傾向があることから、モデルに含まれる分散パラメータの調整等の対応が必要である。

さらに、ユーラシア大陸という大規模なネットワークを対象としているため、輸送実態が把握できていない地域も複数ある。これらの地域について、各種資料や現地インタビュー調査等を実施することでさらなる情報収集を行い、より多くの地域・観点からモデルの妥当性を検証する必要がある。また、今回、中国の細分化によって OD 貨物量の精緻化を行うことができ、それがモデルの再現性を向上させる結果となったため、欧州やイラン等の他の地域でも同様に追加のデータを集めることで、ゾーン細分化および OD 貨物量の精緻化を行い、再現性を高めることも必要である。

最後に、今回行った政策分析以外でも、様々な施策に関するシミュレーションを実施していくことも今後の課題としてあげられる。

**謝辞：**本研究を進めるにあたり、公益財団法人環日本海経済研究所調査研究部長・主任研究員の新井様をはじめ、多くの方々にご協力・ご助言をいただきました。末尾ながら、ここに示して深く感謝致します。

## 参考文献

- 1) Shibasaki, R., Iijima, T., Kawakami, T., Kadono, T., Shishido, T. : Network assignment model of integrating maritime and hinterland container shipping: application to Central America, *Maritime Economics & Logistics*, 19(2), pp.234-273, 2017.

- 2) 柴崎隆一, 川崎智也 : 南アジア地域を対象としたインターモーダル国際物流モデルの構築と政策分析, 国土技術政策総合研究所研究報告, 第 58 号, 2016.
- 3) Tavasszy, L., Minderhoud, M., Perin, J. F., Notteboom, T. : A strategic network choice model for global container flows: specification, estimation and application, *Journal of Transport Geography*, pp.1163-1172, 2011.
- 4) OECD/ITF. : *ITF Transport Outlook 2015*, OECD Publishing/ITF. <http://dx.doi.org/10.1787/9789282107782-en>  
(2017 年 7 月 13 日最終アクセス)
- 5) MDS Transmodal Ltd. : *MDS Containership Databank*, 2013.
- 6) American Digital Cartography Inc. : *ADC WorldMap ver 5.2*.
- 7) IHS, Inc. : *World Trade Service (WTS) database*.
- 8) United Nations. : UN comtrade "International Trade Statistics Database". <http://comtrade.un.org>  
(2018 年 1 月 29 日最終アクセス)
- 9) 中国税関統計, 2015.
- 10) ロシア連邦税関統計, 2013. [http://www.customs.ru/index.php?option=com\\_content&view=article&id=19301:-2013-&catid=250:-i-2011-&Itemid=2448](http://www.customs.ru/index.php?option=com_content&view=article&id=19301:-2013-&catid=250:-i-2011-&Itemid=2448)  
(2018 年 1 月 29 日最終アクセス)
- 11) カザフスタンフォワード協会 : カザフスタン鉄道通過貨物輸送量データ, 2016. (ロシア語)
- 12) 辻久子 : シベリア鉄道と「一帯一路」, ロシア NIS 調査月報 11 月号, pp.78-81, 2017.

(2018.?.受付)

## Impact of Belt and Road Initiative utilizing an intermodal international container cargo network model focused on Eurasian continent

Kentaro Nishimura, Ryuichi Shibasaki, Satoshi Tanabe and Hironori Kato

The authors applied in this paper a two-layered network assignment model of international container cargo which the authors had developed in Eurasian continent. Also, to analyze a competitive relationship between maritime and hinterland shipping network, network and input data in the model was partly rebuilt with consideration of the international cargo which only transits in hinterland shipping network. The performance of the model was verified, in particular that the laden container throughput in each Central Asia's gateway port and rail cargo amount in the boundary between Kazakhstan and the neighboring countries can be well described. Also, two policy simulations which were related to China's "Belt and Road Initiative", improve the level of service in hinterland rail shipping network, were examined by utilizing the model.