

地理情報を活用した世界物流ネットワークシミュレーションモデルとシナリオ分析

柴崎 隆一

GIS の応用例として、筆者がこれまで構築してきた世界物流ネットワークシミュレーションモデルの概要を紹介する。多岐にわたるモデル計算用の入力データにおいてさまざまな GIS データやソフトウェアを利用しているに加え、世界各地の物流政策を対象としたシミュレーション結果の分析においても、GIS 上で計算結果を出力することでより詳細な検討を行うことができる。

キーワード：国際物流、ネットワークシミュレーション、インターモーダル輸送、政策分析、GIS

1. はじめに

筆者はこれまで、世界各地を対象に、陸運と海運の双方を考慮したインターモーダルな国際物流ネットワークシミュレーション (Global Logistics Intermodal Network Simulation: GLINS) モデル [1] を構築し、道路・鉄道・港湾などのインフラ開発投資や、国境における越境抵抗削減などといった国際物流政策が対象地域および全世界の物流へ及ぼすインパクトの分析を行ってきた。同モデルを用いたこれまでのシミュレーション分析の実施例を表 1 に示す。表に示すとおり、アジア・大洋州の発展途上国を中心に、日本やアフリカ大陸、中米なども含めた世界各地の物流インフラ開発政策などのシミュレーションを実施している。

本稿では、シミュレーションモデルの概要およびシナリオ分析の事例を紹介し、本モデル構築のためのデータ整備やシミュレーション結果の分析において GIS の果たしている役割について紹介する。

2. GLINS モデルの概要

図 1 に GLINS モデルの全体構成を示す。全世界の地域間貨物輸送需要 (OD 貨物量) を所与とし、インターモーダル輸送ネットワーク上での貨物の輸送機関 (モード) やルートの選択をネットワーク配分モデルによって表現し、リンクフローを出力するという、交通需要予測における交通量配分のモデルである。リンクフローを集計することにより、各港湾の取扱貨物量や輸送モード分担率なども計算できる。モデルは、全

世界の国際海上コンテナ貨物輸送ネットワーク上での配分を行う海上輸送サブモデル、分析対象地域の陸上貨物輸送ネットワーク上での配分を行う陸上輸送サブモデルの二つの下位モデルと、両サブモデルで算出した運賃や輸送時間を入力としてインターモーダル輸送ネットワーク上での配分を行う上位モデルから構成される。

下位の二つのサブモデルでは、実ネットワークに基づき各輸送モードの容量制約を考慮した利用者均衡 (User Equilibrium: UE) 配分を行い、上位モデルでは、費用や輸送時間以外の要素 (誤差項) も考慮した確率ネットワーク配分 (ダイヤル配分) を行う。両者を統合した一つのモデルに確率的利用者均衡 (Stochastic User Equilibrium: SUE) 配分を適用することも考えられる

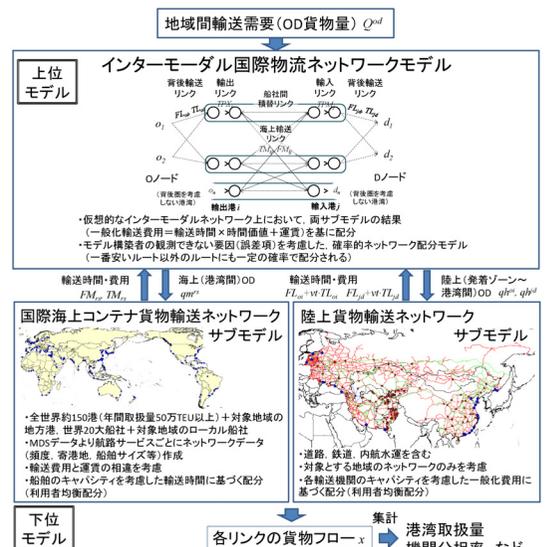


図 1 GLINS モデルの構成

しばさき りゅういち
 東京大学大学院工学系研究科レジリエンス工学研究センター
 〒 113-8656 東京都文京区本郷 7 丁目 3-1
 shibasaki@tmi.t.u-tokyo.ac.jp

表1 GLINS モデルの適用地域と概要（現在進行中のプロジェクトも含む）

対象地域	対象施策（例）	特徴	協力機関	対象年次	発表論文等
中米	新規港湾整備，越境抵抗削減	陸上モデルは簡略版（容量制約なし）	JICA, OCIDI	2010	[1]（第10章）， [2]
メコン下流域（カンボジア）	(1) 内航水運の利用促進，(2) 鉄道・高速道路の建設，港湾投資，国境改善	(1) 内航水運ネットワークを初めて考慮，(2) 将来シミュレーションの実施	(1) 国土交通省，OCIDI，(2) JICA	(1) 2010，(2) 2016	(1)[1](第11章)， [3]，(2) [4]
ミャンマーを中心とする東南アジア	GMS 経済回廊の整備，新規港湾整備，越境抵抗削減	段階配分への変更，陸上モデルの上位モデルへの統合	日本工営	2016，2018	[5]
南アジア	貨物専用鉄道（DFC）の建設，新規港湾整備，港湾混雑の解消，国際フェリーの導入	陸上輸送容量を初めて考慮	JICA	2013	[1]（第12章）， [6]，[7]
中央アジア・コーカサス	新規港湾整備，カスピ海フェリーの整備，越境抵抗削減，鉄道の整備	(2) のモデルは下記ユーラシア大陸モデルの (1) を利用	(2) KazATC，東京海洋大学，ADB I	(1) 2013，(2) 2016	(1)[1](第13章)， [8]，(2) [9]
ユーラシア大陸（中国の一路政策，モンゴル，ロシア）	(1) 越境抵抗削減，新規鉄道建設，鉄道輸送容量の改善および運賃補助，(2) 航空輸送アクセスの改善，空港整備，(3) ドライポートの整備	(1) 国際陸上貨物を初めて考慮，(2) 航空貨物輸送を考慮，(3) ドライポートを考慮	(1) ERINA，PADECO，(2) 関空調査会，(3) 山東大学	2013，2016，2018	(1)[1](第16章)， [10]，(2) [11]， (3) [12]
大洋州	(1) 新規航路開設，港湾荷役の改善，(2) 折り畳みコンテナの導入，空コン輸送の最適化	海上モデルのみ (2) 空コンテナの回送問題を追加	(1) アジア開発銀行，(2) Boxtics Inc.	(1) 2013，(2) 2018	(1)[1](第14章)， (2) [13]*
アフリカ	(1) 越境抵抗削減，鉄道の改善，国際河川の架橋，(2) 経済回廊の整備，AfCFTA の実施，(3) 西アフリカにおける物流環境の改善	(1) 南部アフリカ，(2) (1)+東アフリカ，将来シミュレーションの実施，(3) アフリカ全域	(1) 東京工業大学，(2) JICA，(3) (2)+アフリカ連合	(1) 2013，(2) 2016，(3) 2016	(1)[1](第15章)， (2) [14]， (3) [15]
日本	(1) 京浜港・阪神港を対象とした外航コンテナシャトル便の導入，(2) 博多港を対象とした内航フィーダー輸送の促進と外航コンテナシャトル便の導入	・内航カボタージュ規制の考慮（ネットワークの二重化） ・時間価値の違いを考慮した品目別配分	(1) 国土交通省，(2) 港湾協会，福岡市・九州大学	(1) 2013，2016，(2) 2016	(1) [16]
全世界	基幹航路におけるハブ港の最適配置	配船モデルの導入による船舶大型化と輸送経路上の制約を考慮した基幹航路の最適化	鉄鋼協会	2013	[17]
北極海航路	北極海航路の利用可能性，環境税や温室効果ガス排出規制区域の導入の影響	(1) 季節による航行速度および輸送コストの変動，(2) コンテナ以外への拡張	文部科学省（ArCS II）	2018	(1) [18]*

*ネットワークモデルは含まれない

ものの、計算量や精度の観点、および特に国際海上コンテナ貨物輸送市場では運賃がリンクベースではなくパス（発着港）ベースで決まることなどを理由として、上位モデルと下位モデルを交互に計算する（上位モデルで算出されたリンクフローが下位モデルにおける海上港湾間および陸上地域間貨物輸送需要となり、下位モデルから算出されたパスベースの所要時間や運賃が上位モデルのコスト関数となる）構造を採用している。ただし、このように各（サブ）モデルを交互に計算する構造のため、モデル計算全体が収束することは予め保証されず、事後的に確認する必要がある（実際に、多くのケースにおいて計算が収束していることを確認し

ている）。

モデル化の対象となる貨物は、全世界の国際海上コンテナ貨物に加え、これに相当する国際陸上輸送貨物も含める。入力データの作成方法について次節で詳しく説明する前に、モデルの再現精度について触れておくと、たとえば、ユーラシア大陸（具体的な対象地域は後出の図3を参照）を分析対象としたシミュレーションモデル [1]（第16章）において、国際陸上輸送貨物量の国際海上輸送との合計に対して占めるシェアは、2013年実績値が40.9%（420万トン）であるのに対し推計結果は38.1%（390万トン）となっており、また、同モデルにおいて陸上輸送ネットワークのゲートウエ

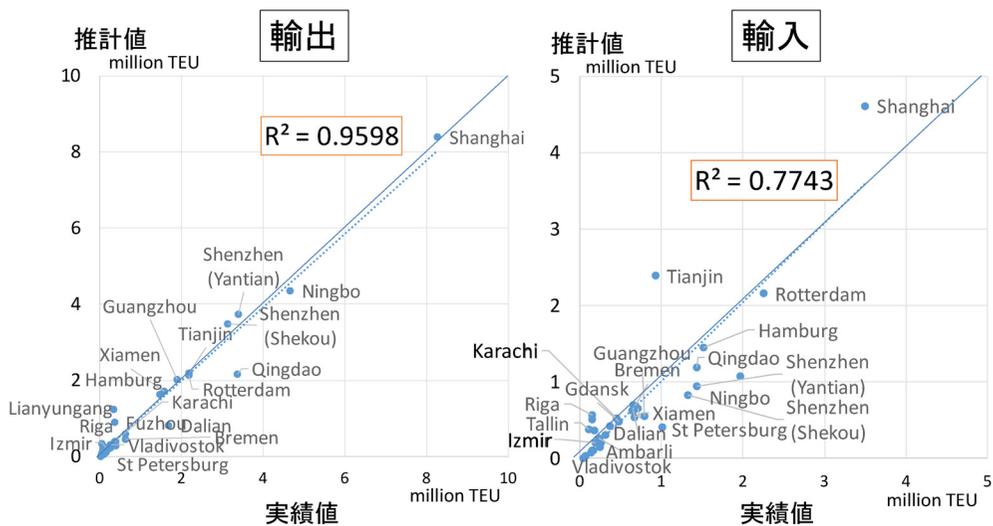


図2 GLINS モデルの再現性 (2) : ユーラシア大陸を対象としたモデルにおける港湾取扱貨物量 [1]

イとなるアジア・欧州の 29 港について、輸出入別取扱貨物量の実績値と推計値を比較 (図 2) すると、こちらもおおむね良好な再現性が得られていることがわかる。なお、これらの図においては、貨物量の単位は 20 フィートコンテナ換算個数 (TEU) で表記されている (陸上貨物については、10 トン=1 TEU と換算)。

3. GIS を用いた入力データの整備

本モデルは、全世界を対象とした大規模シミュレーションのため、さまざまな入力データが必要となる。大別すると、地域間貨物輸送需要 (OD 貨物量) および海上・陸上輸送ネットワークに関するデータである。

3.1 OD 貨物量の推計：夜間光量データの使用

地域間貨物輸送需要 (OD 貨物量) は、はじめに、国レベルの OD 貨物量を市販のデータベース (GTA Forecasting) から作成する。同データは、全世界 232 カ国・地域別の国際海上コンテナ OD 貨物量 (TEU ベース) だけでなく、国際陸上 OD 貨物量 (トンベース) も提供されていることから、陸上貨物のうち国際海上コンテナ輸送と競合する「コンテナ相当陸上貨物」の OD 貨物量について、同データから海上貨物のうち国際海上コンテナ貨物の占める割合 (コンテナ化率、トンベース) を品目別に算出し、品目別の国際陸上 OD 貨物量に乗じて集計することによって求める。

次に、国レベルの OD 貨物量を地域 (ゾーン) レベルに分割する際は、陸上ネットワークを考慮しない国については、モデルの対象となる港湾の輸出入コンテナ取扱量 (積替貨物量は除く) によって按分し、陸上ネットワークを考慮する国については、各地域の経済

活動量を表す指標によって按分する。なお、陸上ネットワークを考慮する各国における地域分割は、基本的には州などの第 1 階層レベルで行うことを想定するものの、中国・ロシア・インドなど経済規模の大きな国については、市などの第 2 階層レベルで行うこともある。また、港湾取扱量によって按分するケースで、港湾の背後圏が国を跨いで拡がり国際的な競合がある場合や、内陸国が存在する場合などは、一度複数の国の OD 貨物量を統合してから按分することもある。

ここで、陸上ネットワークを考慮する国において OD 貨物量を分割する際に使用する各地域の経済活動量としては、国際貿易額や域内総生産 (GRP) が得られる国においては原則としてそれらの値を用いる。しかし、多くの発展途上国では入手可能な地域別の経済統計データが存在しないことも多い。また、特に資源産出国では、資源産出地域の貿易額や GRP の国内シェアが非常に大きいことがあり、都市域や工業地域での利用が相対的に多いと考えられるコンテナ貨物の OD 貨物量の推計に不適切な可能性もある。そのため、特に東南アジア (ミャンマー、ラオスなど) やアフリカ諸国などの地域経済指標が入手不可能な国においては、熊谷と磯野 [19] に倣い、Google Earth Engine より得られる夜間光 (Nighttime Light) データを、各地域における経済発展度の代理指標として用いる。具体的には、1 cm² ごとの夜間光放射輝度データから、各地域の年間平均夜間光量 (nanoWatts/cm²/sr) を算出し、これに基づき国間 OD 貨物量を分割する。

3.2 貨物輸送ネットワークデータの作成

海上コンテナ輸送ネットワークについては、全世界の

定期航路サービス (2,000~2,500 サービス程度) を網羅するデータベース (MDS Containership Databank) から、サービス名、運航船社および共同運航船社、寄港地、就航船舶の平均サイズ、頻度、船速を得ることができるのでこれを利用する。また、港湾間海上距離については、鳥海 [20] により作成された海上輸送ネットワーク上で算出した値を用いる。この海上輸送ネットワークは、アメリカ海洋大気庁が提供している世界の海岸線ベクトルデータを背景図として、世界各地の港湾、運河、海上変針点をノード、ノード間を大圏航路により結んだリンクで構成されている。ノードとなる海上変針点は航海士が利用している世界港間距離図表をベースに、リンクが陸地と重ならないように手作業により追加されている。さらに、OD 貨物量の推計や現状再現性の確認のために必要な世界各地のコンテナ港湾の輸出入貨物量および積替貨物量については、Drewry Maritime Research の発行する報告書や Containerisation International ウェブサイトなどの各種資料、各港のウェブサイトなど多くのデータソースを統合してリストを作成する (全世界の 250~300 港程度について作成済み)。

次に、陸上輸送ネットワークについて、道路および鉄道に関しては、American Digital Cartography, Inc. の発行する ADC WorldMap [21] に含まれるデータを利用する。ADC WorldMap は全世界の行政区画や水域などのポリゴンデータ、都市・港湾・空港などのポイ

ントデータも含む総合的な GIS データベースであり、全世界の道路総距離は約 78 億 km (このうち全体の約 1/4 を占める major roads を原則として対象とする)、鉄道は約 13 億 km に及ぶ。道路については、リンク距離だけでなく道路種別も含まれており、道路の格の違いを反映するため、種別ごとに走行速度を設定している。一方で、鉄道のサービス頻度や 1 サービスあたりの輸送容量、速度に関する情報は得られないため、現地調査や文献調査により入手した情報に基づき設定する。このため、かなり思い切った設定になることもある。また、トラックや鉄道の運賃についても同様に現地調査等の結果に基づき設定する。さらに、各国のポリゴンと交差するリンクには国境フラグを付加し、世界銀行の提供する Doing Business Database に含まれる国境通過に要する時間および費用を追加的に付与する。内航水運ネットワークに関しては、コンテナ輸送が可能な水域は限られるため、現地調査などで入手した資料などに基づき、基本的には GIS ソフト上で手動で設定する。

また、ノードの設定について、地域代表点に関しては、代表都市の位置座標を前述の ADC WorldMap や World Cities Database [22] などより取得し、ADC WorldMap の道路上のノードで、GIS ソフト上で算出した直線距離が最も近いものを割り当てる。なお、ゾーン内に道路リンクが存在しない地域については、同一国内の隣接地域に統合する。同様に、港湾に関し

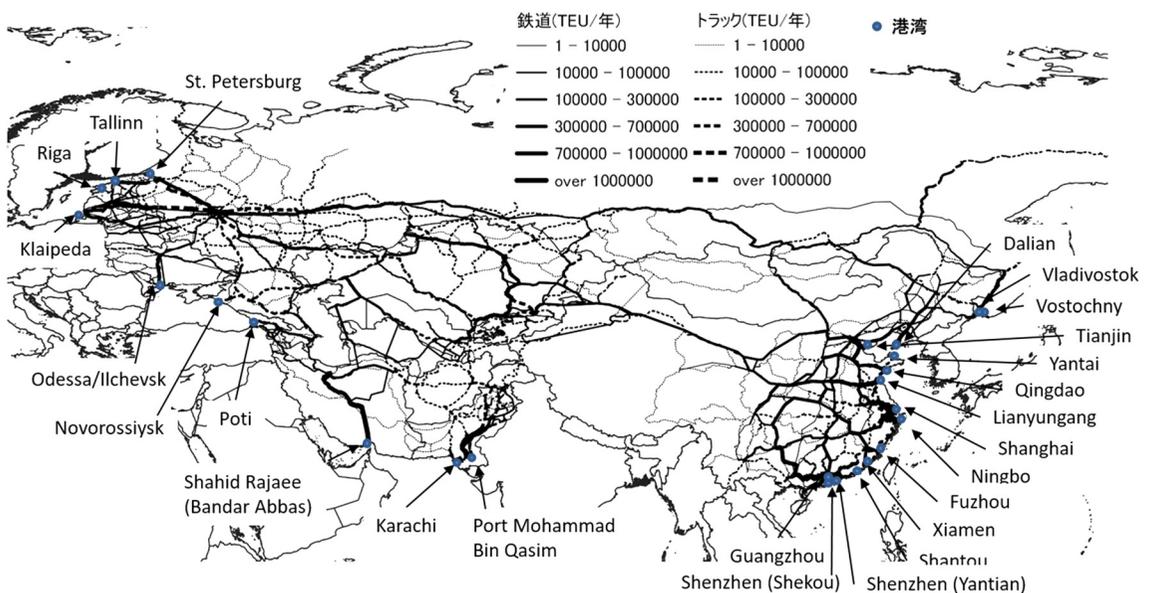


図3 作成した陸上ネットワークおよび推計された年間貨物フローの例 (ユーラシア大陸を対象としたモデル) [1]

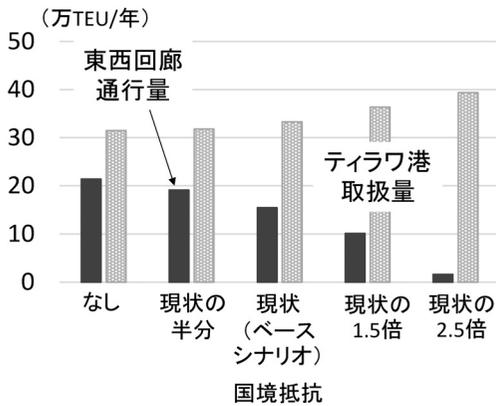


図4 GMS 東西回廊タイ～ミャンマー国境抵抗増減シナリオにおける東西回廊通行量およびティラワ港湾取扱量 (文献 [5] を翻訳・改変)

でも、Global Ports Database [23] などより取得した港湾位置座標に最も近い道路上のノードを割り当てる。鉄道貨物駅に関しては、現地調査などで収集した情報も参考にしつつ、鉄道ネットワーク上で地域代表点に近いノードなどを選択または新設して設定し、最も距離が近い道路ノードとの間を接続する。

以上の方法で作成した陸上ネットワークをQGISを用いて作図した例を、図3に示す。なお、本図には、GLINSモデルにより推計された年間貨物フロー（2013年）も示されている。図より、中国内陸部やロシアのシベリア地域など長距離の輸送では鉄道が多く利用される一方で、中国沿岸部やロシア西部などの比較的短距離の輸送ではトラックが中心となっていることがわかる。

4. モデルを用いたシナリオ分析：GISを用いた分析例

GLINSモデルを用いたシミュレーションの対象となる政策は、表1に示したように多岐にわたる。このなかには、新規港湾の開発や海上コンテナ定期航路の新設など海上輸送に関わる政策だけでなく、道路・鉄道インフラを含む経済回廊の整備や国境施設の改善による陸上国境越境時の抵抗削減など、陸上輸送に関わる政策も含まれる。特に、後者の陸上輸送政策に関するインパクトについては、GISソフト上でシナリオごとのリンクフローの増減を確認しながら分析することが効果的であるため、ミャンマーを中心とする東南アジア地域のシミュレーション [5] を例に、分析の内容を紹介する。

はじめに、メコン広域圏 (GMS) 東西回廊にも位置づけられるタイ～ミャンマー間の国境における越境抵抗削減のシミュレーションの結果を示す。図4に、GMS



図5 GMS 東西回廊タイ～ミャンマー国境抵抗完全削減シナリオとベースシナリオにおけるリンクフローの差異 (文献 [5] を翻訳・改変)

東西回廊のタイ・ミャンマー国境における越境抵抗（国境通過に要する費用および時間）を現状より増減させた場合の、当該区間の貨物通行量の変化、およびヤンゴン郊外に位置するミャンマー随一のコンテナ港湾であるティラワ港のコンテナ取扱量の変化を示す。図に示すとおり、国境抵抗を減少させると東西回廊の通行量は増加し、増加させると通行量は減少する。また、タイ～ミャンマー間の国際貨物輸送において東西回廊経由ルートと海上輸送ルートが競合していることを反映し、競合ルート上にあるティラワ港のコンテナ取扱量は、東西回廊の通行量とは逆に増減するという結果となった。

ただし、特に東西回廊の国境抵抗が削減された場合には、ティラワ港の取扱量の減少量はあまり大きくない。そこで、QGIS上で、東西回廊上の国境抵抗完全削減シナリオとベースシナリオにおける陸上リンクフローの差異を図示すると（図5）、国境抵抗を変化させていない北方の国境の通行量が減少していることがわかり、このルートから東西回廊への陸上輸送ルート同士でのシフトが生じていることが推察される。加えて、タイ経済の中心であるバンコク首都圏まで到達する陸上輸送ルートの通行量の増加に比べ、東西回廊国境での通行量の増加が非常に大きいことなどから、東西回廊の国境に近いタイ中部を発着する貨物（特に海上輸送距離の短くなる南アジア向けなど貨物）の一部が、より距離の短いミャンマーの港湾を新たに利用する結果となってい

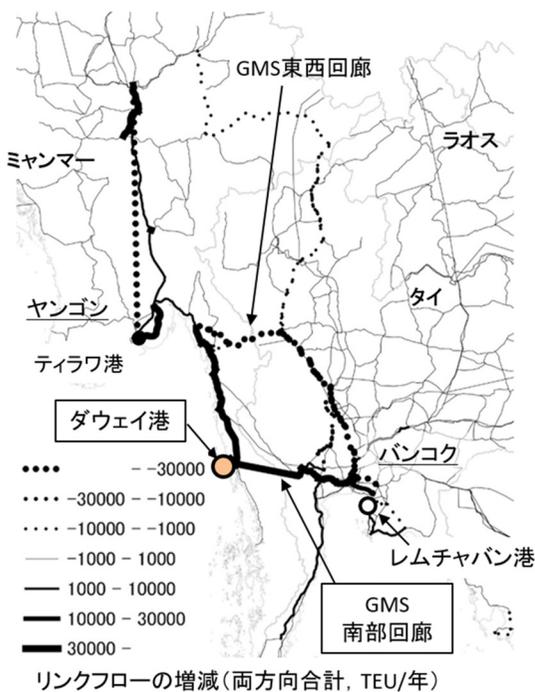


図6 GMS南部回廊建設シナリオとベースシナリオにおけるリンクフローの差異（文献[5]を翻訳・改変）

ることが推察される。このように、GISソフト上で結果を把握・分析することにより、競合ルートの把握や交通量増減の要因の推測をより詳細に行うことができる。

同様に、同じモデルを用いて、ミャンマー南部に建設が予定されているダウエイ港、およびバンコクからダウエイ港に接続するGMS南部回廊の新設シミュレーションを行う。はじめに、南部回廊のみ新設した場合のシミュレーション結果（ベースシナリオとの陸上リンクフローの差異）を図6に示す。図に示すとおり、バンコク～ヤンゴン間の輸送において、東西回廊から南部回廊への貨物のシフトが観察される。ただし、東西回廊と南部回廊の通行量の合計でみればベースシナリオより増加しており、陸上輸送全体としては輸送量が増加し、そのぶん海上輸送が減少する結果となっている。このようなタイ～ミャンマー間貨物輸送における海上輸送から陸上輸送へのシフトは、バンコクとその外港であるレムチャバン港との間の陸上フローが減少していることにも表れている。

続いて、ダウエイ港を新規建設し、インド・スリランカ向け南アジア定期コンテナ航路の就航を想定したシナリオと、上記の南部回廊のみ新設したシナリオにおける陸上リンクフローの差異を図7に示す。図に示されるように、バンコクから南部回廊を経由してダウエイ

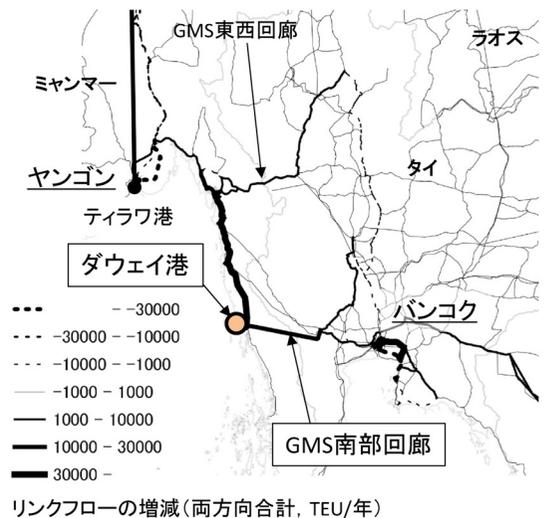


図7 ダウエイ港建設シナリオと南部回廊建設シナリオにおけるリンクフローの差異（文献[5]を翻訳・改変）

イ港へ至る貨物が増加し、ダウエイ港建設の本来の目的である、特に南アジア・中東・欧州などの西方へ向けたバンコク首都圏の外港としての機能を果たす可能性があるといえる。加えて、同図より、東西回廊やヤンゴン近郊からダウエイ港へ向かう貨物も大きく増加していることがわかる。これは、筆者らが当初想定していたよりも、ダウエイ港の勢力圏（背後圏）がミャンマー中部やタイ中部にも広がっていることを示唆しており、GISソフト上で貨物フローの変化を地理的に出力し結果を分析することによって、初めて得られた示唆の一つといえる。

5. 結言

本稿は、筆者らが世界各地の物流インフラ開発やソフト施策を対象として展開している世界物流ネットワークシミュレーション（GLINS）モデルの概要を述べ、多岐にわたる入力データの作成やさまざまなシミュレーション結果の分析において、GISデータやアプリケーションをどのように活用しているかについて紹介させていただいた。これまで、このように世界全体（あるいは世界各地）を対象とした物流シミュレーションモデルの構築事例が、世界的に見てもあまり多くなかったことの最大の理由は、統一的なデータの入手が難しかった点にある。しかし、最近になって、無料のものも含め、本稿で紹介したようなさまざまなデータベースが充実してきており、GIS分析技術の発展との相乗効果で、今後、同種のモデルの発展やシミュレーション精度のさらなる向上が期待される。

参考文献

- [1] R. Shibusaki, H. Kato and C. Ducruet (eds.), *Global Logistics Network Modelling and Policy: Quantification and Analysis for International Freight*, Elsevier, 2020.
- [2] R. Shibusaki, T. Iijima, T. Kawakami, T. Kadono and T. Shishido, "Network assignment model of integrating maritime and hinterland container shipping: application to Central America," *Maritime Economics & Logistics*, **19**, pp. 234–273, 2017.
- [3] R. Shibusaki, T. Shimada and M. Suzuki, "Intermodal route choice of international containers in Southern Mekong Region and policy simulation using the large-scale intermodal network assignment model," *Economic Integration and Regional Development: The ASEAN Economic Community*, K. Kobayashi, K. A. Rashid, M. Furuichi and W. P. Anderson (eds.), Routledge, pp. 162–176, 2017.
- [4] N. Kosuge, R. Shibusaki, K. Sanui and K. Okubo, "Impact of Cambodian international logistics policies on container cargo flow in comprehensive intermodal transport network," *International Journal of Logistics Research and Applications*, online, doi: 10.1080/13675567.2021.1967898.
- [5] T. Yamaguchi, R. Shibusaki, H. Samizo and H. Ushirooka, "Impact on Myanmar's logistics efficiency of the East–West and Southern Corridor development of the Greater Mekong Subregion: A global logistics intermodal network simulation," *Sustainability*, **13**, 668, 2021.
- [6] R. Shibusaki and T. Kawasaki, "A transshipment hub in South Asia and its competition: Application of network equilibrium assignment model for global maritime container shipping," *Asian Transport Studies*, **5**, pp. 546–569, 2019.
- [7] R. Shibusaki and T. Kawasaki, "International intermodal container shipping network in South Asia: Modelling and policy simulations," *International Journal of Shipping and Transport Logistics*, **13**, pp. 70–101, 2021.
- [8] R. Shibusaki, S. Tanabe, H. Kato and P. T.-W. Lee, "Could Gwadar port in Pakistan be a new gateway? A network simulation approach in the context of the Belt and Road Initiative," *Sustainability*, **11**, 5757, 2019.
- [9] D. Watanabe, R. Shibusaki and H. Arai, "Logistics policy analysis and network model simulation for cross-border transport in the Trans-Caspian Transport Corridor: The global intermodal logistics network simulation model," *Unlocking Transport Connectivity in the Trans-Caspian Corridor*, D. Azhgaliyeva and Y. Kaluzhnova (eds.), Asian Development Bank Institute, pp. 187–206, 2021.
- [10] R. Shibusaki, H. Arai and K. Nishimura, "Impacts of Eurasian transport connectivity enhancement on Russia: An approach by intermodal logistics network assignment model," *E3S Web Conferences*, **135**, 02001, Innovative Technologies in Environmental Science and Education (ITESE-2019).
- [11] 西村健太郎, 柴崎隆一, 山口拓哉, "航空輸送も含めた全世界統合物流シミュレーションモデルの構築," 土木計画学研究・講演集, **62**, 7042, 2020.
- [12] J. Xie, R. Shibusaki and K. Nishimura, "The role of Chinese dry port in international container shipping under Belt and Road Initiative: Network simulation approach," In *Proceeding of Annual Conference of International Association of Maritime Economists (IAME 2019)*, 203, 2019.
- [13] Z. Liang, R. Shibusaki and Y. Hoshino, "Do foldable containers enhance efficient empty container repositioning under demand fluctuation? Case of the Pacific Region," *Sustainability*, **13**, 4730, 2021.
- [14] 小野寺仁, 柴崎隆一, 大谷直輝, 中川淳史, 高田雄暉, "全世界国際物流ネットワークモデルを用いたアフリカ大陸における回廊開発・貿易円滑化効果の分析," 日本オペレーションズ・リサーチ学会春季研究発表会, 1-A-9, pp. 20–21, 2020.
- [15] K. Shibuya, R. Shibusaki, T. Kawasaki and T. Tokuori, "How a civil conflict affects the logistics growth? Case of Western Africa by the global logistics intermodal network simulation," In *Proceedings of Annual Conference of International Association of Maritime Economists (IAME 2021)*, 146, 2021.
- [16] 柴崎隆一, "東南アジアのコンテナシャトル便の成立可能性," 『みなと』のインフラ学—PORT2030の実現のための処方箋—, 山縣彦彦・加藤一誠(編), 成山堂, pp. 48–59, 2020.
- [17] 萩原雅貴, 柴崎隆一, "荷主と船社の選択行動を考慮した国際海上コンテナモデルによる船舶大型化シミュレーションの試行," 日本船舶海洋工学会講演会論文集, **30**, pp. 375–384, 2020.
- [18] C. A. Kavirathna, R. Shibusaki, W. Ding and N. Otsuka, "Vessel speed optimization considering the environment and economic perspectives of Arctic Shipping," In *Proceedings of Annual Conference of International Association of Maritime Economists (IAME 2021)*, 154, 2021.
- [19] 熊谷聡, 磯野生茂(編), 『経済地理シミュレーションモデル—理論と応用』, アジア経済研究所, 2015.
- [20] 鳥海重喜, "海上航路ネットワークを用いたコンテナ船の運行パターン分析," オペレーションズ・リサーチ: 経営の科学, **55**, pp. 359–367, 2010.
- [21] American Digital Cartography, Inc., "ADC WorldMap."
- [22] Simplemaps, World Cities Database, <https://simplemaps.com/data/world-cities> (2021年1月16日閲覧)
- [23] WFP GeoNode, Global Ports, https://geonode.wfp.org/layers/esri:gn:geonode:wld_trs_ports_wfp (2021年1月16日閲覧)